

本資料のうち、枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所 6号及び7号炉

設計基準対象施設について

平成29年2月

東京電力ホールディングス株式会社

第4条：地震による損傷の防止

<目次>

第1部

1. 基本方針

1.1 要求事項の整理

1.2 追加要求事項に対する適合性

(1) 位置、構造及び設備

(2) 安全設計方針

(3) 適合性説明

1.3 気象等

1.4 設備等

1.5 手順等

第2部

1. 耐震設計の基本方針

1.1 基本方針

1.2 適用規格

2. 耐震設計上の重要度分類

2.1 重要度分類の基本方針

2.2 耐震重要度分類

3. 設計用地震力

3.1 地震力の算定法

3.2 設計用地震力

4. 荷重の組合せと許容限界

4.1 基本方針

5. 地震応答解析の方針

5.1 建物・構築物

5.2 機器・配管系

5.3 屋外重要土木構造物

5.4 津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備又は津波監視設備が設置された建物・構築物

6. 設計用減衰定数

7. 耐震重要施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響

8. 水平2方向及び鉛直方向の地震力の組合せに関する影響評価方針

9. 構造計画と配置計画

(別添)

- 別添－１ 設計用地震力
- 別添－２ 動的機能維持の評価
- 別添－３ 弾性設計用地震動 S_d ・静的地震力による評価
- 別添－４ 上位クラス施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響の検討について
- 別添－５ 水平２方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針
- 別添－６ 屋外重要土木構造物の耐震評価における断面選定の考え方
- 別添－７ 主要建屋の構造概要及び解析モデルについて
- 別添－８ 入力地震動について

(別紙)

- 別紙－１ 建屋及び原子炉の地震応答解析モデルの詳細化について
- 別紙－２ 原子炉格納容器コンクリート部の応力解析における弾塑性解析の採用について
- 別紙－３ 土木構造物の解析手法および解析モデルの精緻化について
- 別紙－４ 使用済燃料貯蔵ラックの減衰定数について
- 別紙－５ 原子炉建屋屋根トラス及び排気筒の評価モデルについて
- 別紙－６ 機器・配管系設備に関するその他手法の相違点について
- 別紙－７ 機器・配管系の設備の既工認からの構造変更について
- 別紙－８ 下位クラス施設の波及的影響の検討について
- 別紙－９ 水平２方向及び鉛直方向の適切な組合せに関する検討について
- 別紙－１０ 基礎地盤傾斜が $1/2,000$ を超えることに対する耐震設計方針について
- 別紙－１１ 液状化影響の検討方針について
- 別紙－１２ 屋外重要土木構造物の耐震評価における断面選定について

第4条：地震による損傷の防止

<目次>

第1部

1. 基本方針

1.1 要求事項の整理

1.2 追加要求事項に対する適合性

(1) 位置、構造及び設備

(2) 安全設計方針

(3) 適合性説明

1.3 気象等

1.4 設備等

1.5 手順等

第2部

1. 耐震設計の基本方針

1.1 基本方針

1.2 適用規格

2. 耐震設計上の重要度分類

2.1 重要度分類の基本方針

2.2 耐震重要度分類

3. 設計用地震力

3.1 地震力の算定法

3.2 設計用地震力

4. 荷重の組合せと許容限界

4.1 基本方針

5. 地震応答解析の方針

5.1 建物・構築物

5.2 機器・配管系

5.3 屋外重要土木構造物

5.4 津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備又は津波監視設備が設置された建物・構築物

6. 設計用減衰定数

7. 耐震重要施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響

8. 水平2方向及び鉛直方向の地震力の組合せに関する影響評価方針

9. 構造計画と配置計画

(別添)

- 別添－１ 設計用地震力
- 別添－２ 動的機能維持の評価
- 別添－３ 弾性設計用地震動 S_d ・静的地震力による評価
- 別添－４ 上位クラス施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響の検討について
- 別添－５ 水平２方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針
- 別添－６ 屋外重要土木構造物の耐震評価における断面選定の考え方
- 別添－７ 主要建屋の構造概要及び解析モデルについて
- 別添－８ 入力地震動について

(別紙)

- 別紙－１ 建屋及び原子炉の地震応答解析モデルの詳細化について
- 別紙－２ 原子炉格納容器コンクリート部の応力解析における弾塑性解析の採用について
- 別紙－３ 土木構造物の解析手法および解析モデルの精緻化について
- 別紙－４ 使用済燃料貯蔵ラックの減衰定数について
- 別紙－５ 原子炉建屋屋根トラス及び排気筒の評価モデルについて
- 別紙－６ 機器・配管系設備に関するその他手法の相違点について
- 別紙－７ 機器・配管系の設備の既工認からの構造変更について
- 別紙－８ 下位クラス施設の波及的影響の検討について
- 別紙－９ 水平２方向及び鉛直方向の適切な組合せに関する検討について
- 別紙－１０ 基礎地盤傾斜が $1/2,000$ を超えることに対する耐震設計方針について
- 別紙－１１ 液状化影響の検討方針について
- 別紙－１２ 屋外重要土木構造物の耐震評価における断面選定について

< 概 要 >

第1部において、設計基準対象施設の設置許可基準規則、技術基準規則の追加要求事項を明確化するとともに、それら要求に対する柏崎刈羽原子力発電所6号炉及び7号炉における適合性を示す。

第2部において、設計基準対象施設について、追加要求事項に適合するために必要となる機能を達成するための設備又は運用等について説明する。

第 1 部

1. 基本方針

1.1 要求事項の整理

地震による損傷の防止について，設置許可基準規則第 4 条並びに技術基準規則第 5 条において，追加要求事項を明確化する（表 1）。

表 1 設置許可基準規則第 4 条並びに技術基準規則第 5 条 要求事項

設置許可基準規則 第 4 条（地震による損傷の防止）	技術基準規則 第 5 条（地震による損傷の防止）	備考
<p><u>設計基準対象施設は、地震力に十分に耐えることができるものでなければならない。</u></p> <p><u>2 前項の地震力は、地震の発生によって生ずるおそれがある設計基準対象施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度に応じて算定しなければならない。</u></p> <p><u>3 耐震重要施設は、その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力（以下「基準地震動による地震力」という。）に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。</u></p> <p><u>4 耐震重要施設は、前項の地震の発生によって生ずるおそれがある斜面の崩壊に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。</u></p>	<p><u>設計基準対象施設は、これに作用する地震力（設置許可基準規則第四条第二項の規定により算定する地震力をいう。）による損壊により公衆に放射線障害を及ぼさないように施設しなければならない。</u></p> <p><u>2 耐震重要施設（設置許可基準規則第三条第一項に規定する耐震重要施設をいう。以下同じ。）は、基準地震動による地震力（設置許可基準規則第四条第三項に規定する基準地震動による地震力をいう。以下同じ。）に対してその安全性が損なわれるおそれがないように施設しなければならない。</u></p> <p><u>3 耐震重要施設が設置許可基準規則第四条第三項の地震により生ずる斜面の崩壊によりその安全性が損なわれるおそれがないよう、防護措置その他の適切な措置を講じなければならない。</u></p>	追加要求事項

1.2 追加要求事項に対する適合性

(1) 位置、構造及び設備

ロ 発電用原子炉施設の一般構造

(1) 耐震構造

本発電用原子炉施設は、次の方針に基づき耐震設計を行い、「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」に適合するように設計する。

(i) 設計基準対象施設の耐震設計

設計基準対象施設については、耐震重要度分類に応じて、適用する地震力に対して、以下の項目に従って耐震設計を行う。

- a. 耐震重要施設は、基準地震動による地震力に対して、安全機能が損なわれるおそれがないように設計する。
- b. 設計基準対象施設は、地震により発生するおそれがある安全機能の喪失及びそれに続く放射線による公衆への影響を防止する観点から、各施設の安全機能が喪失した場合の影響の相対的な程度に応じて、耐震重要度分類を以下のとおり、Sクラス、Bクラス又はCクラスに分類し、それぞれに応じた地震力に十分耐えられるように設計する。

Sクラス 地震により発生するおそれがある事象に対して、原子炉を停止し、炉心を冷却するために必要な機能を持つ施設、自ら放射性物質を内蔵している施設、当該施設に直接関係しておりその機能喪失により放射性物質を外部に拡散する可能性のある施設、これらの施設の機能喪失により事故に至った場合の影響を緩和し、放射線による公衆への影響を軽減するために必要な機能を持つ施設及びこれらの重要な安全機能を支援するために必要となる施設、並びに地震に伴って発生するおそれがある津波による安全機能の喪失を防止するために必要となる施設であって、その影響が大きいもの

Bクラス 安全機能を有する施設のうち、機能喪失した場合の影響がSクラスの施設と比べ小さい施設

Cクラス Sクラスに属する施設及びBクラスに属する施設以外の一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設

【説明資料 (1.1(2) : P4 条-77) (2.1 : P4 条-81)】

- c. Sクラスの施設(e.に記載のもののうち、津波防護機能を有する設備(以下「津波防護施設」という。)、浸水防止機能を有する設備(以下「浸水防止設備」という。))及び敷地における津波監視機能を有する施設(以下「津波監視設備」という。)を除く。)、Bクラス及びCクラスの施設は、建物・

構築物については、地震層せん断力係数 C_i に、それぞれ 3.0, 1.5 及び 1.0 を乗じて求められる水平地震力、機器・配管系については、それぞれ 3.6, 1.8 及び 1.2 を乗じた水平震度から求められる水平地震力に十分に耐えられるように設計する。建物・構築物及び機器・配管系ともに、おおむね弾性状態に留まる範囲で耐えられるように設計する。

ここで、地震層せん断力係数 C_i は、標準せん断力係数 C_0 を 0.2 以上とし、建物・構築物の振動特性及び地盤の種類等を考慮して求められる値とする。

ただし、土木構造物の静的地震力は、Cクラスに適用される静的地震力を適用する。

Sクラスの施設（e. に記載のもののうち、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を除く。）については、水平地震力と鉛直地震力が同時に不利な方向の組合せで作用するものとする。鉛直地震力は、建物・構築物については、震度 0.3 以上 を基準とし、建物・構築物の振動特性及び地盤の種類等を考慮して求められる鉛直震度、機器・配管系については、これを 1.2 倍した鉛直震度より算定する。ただし、鉛直震度は高さ方向に一定とする。

- d. Sクラスの施設（e. に記載のもののうち、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を除く。）は、基準地震動による地震力に対して安全機能が保持できるように設計する。建物・構築物については、構造物全体としての変形能力（終局耐力時の変形）について十分な余裕を有し、建物・構築物の終局耐力に対し妥当な安全余裕を有するように設計する。機器・配管系については、その施設に要求される機能を保持するように設計し、塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、その施設に要求される機能に影響を及ぼさないように、また、動的機器等については、基準地震動による応答に対して、その設備に要求される機能を保持するように設計する。

また、弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力に対しておおむね弾性状態に留まる範囲で耐えられるように設計する。建物・構築物については、発生する応力に対して、建築基準法等の安全上適切と認められる規格及び基準による許容応力度を許容限界とする。機器・配管系については、応答が全体的におおむね弾性状態に留まるように設計する。

なお、基準地震動及び弾性設計用地震動による地震力は、水平 2 方向及び鉛直方向について適切に組み合わせて算定するものとする。

基準地震動は、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動及び震源を

特定せず策定する地震動について、敷地の解放基盤表面における水平方向及び鉛直方向の地震動としてそれぞれ策定する。第1図に示す敷地における地震波の伝播特性を踏まえ、1～4号炉が位置する荒浜側、5～7号炉が位置する大湊側のそれぞれについて策定した基準地震動の応答スペクトルを第2図及び第3図に、時刻歴波形を第4図～第17図に示す。

なお、基準地震動の策定においては、解放基盤表面以深の地震波の伝播特性は荒浜側と大湊側とで異なること、荒浜側と大湊側は約 1km 程度の距離を隔てて位置していることから、それぞれにおけるボーリング調査等の結果より、S 波速度が 700m/s 以上の地層が概ね水平に分布している位置として、荒浜側では標高-284m、大湊側では標高-134m に解放基盤表面を設定する。但し、入力地震動の評価においては、解放基盤表面以浅の影響を適切に考慮するため、5～7 号炉ではそれぞれ第 1 表に示す位置とする。

また、弾性設計用地震動は、基準地震動との応答スペクトルの比率が目安として 0.5 を下回らないような値に余裕を持たせ、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（昭和 56 年 7 月 20 日原子力安全委員会決定、平成 13 年 3 月 29 日一部改訂）」における基準地震動 S_1 を踏まえ、工学的判断から基準地震動に係数 0.5 を乗じて設定する。

【説明資料（3.1(2)：P4 条－83)】

なお、Bクラスの施設のうち、共振のおそれのある施設については、弾性設計用地震動に 2 分の 1 を乗じた地震動によりその影響についての検討を行う。建物・構築物及び機器・配管系ともに、おおむね弾性状態に留まる範囲で耐えられるように設計する。

【説明資料（3.1(2)：P4 条－83)】

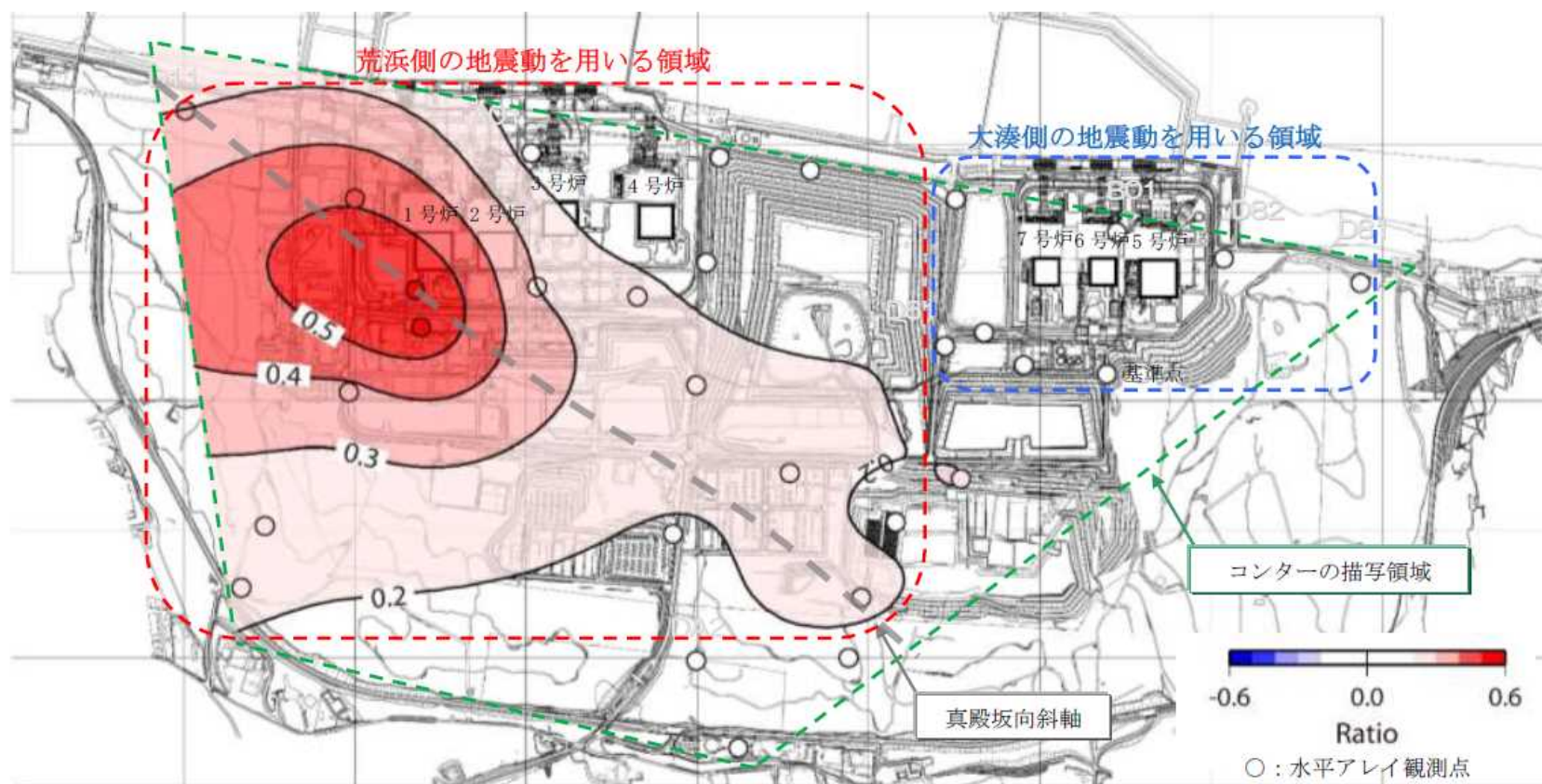
- e. 津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備が設置された建物・構築物は、基準地震動による地震力に対して、それぞれの施設及び設備に要求される機能が保持できるように設計する。

【説明資料（1.1(6)：P4 条－78)（4.1(3)：P4 条－86)

（4.1(4)：P4 条－87)】

- f. 耐震重要施設は、耐震重要度分類の下位のクラスに属する施設の波及的影響によって、その安全機能を損なわないように設計する。波及的影響の評価に当たっては、敷地全体を俯瞰した調査・検討を行い、事象選定及び影響評価を行う。なお、影響評価においては、耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力を適用する。

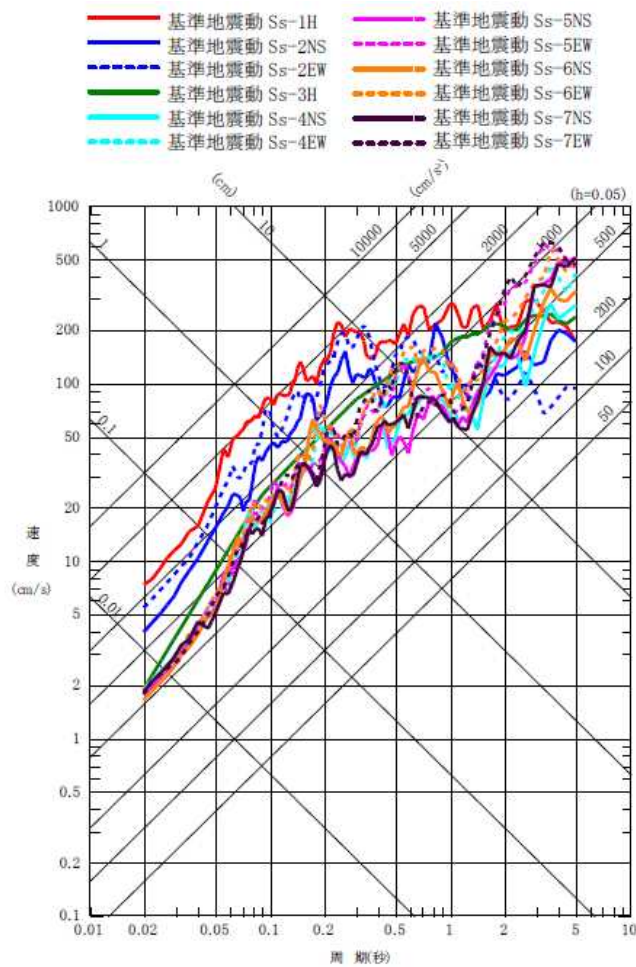
【説明資料（1.1(9)：P4 条－78)（7：P4 条－95)】



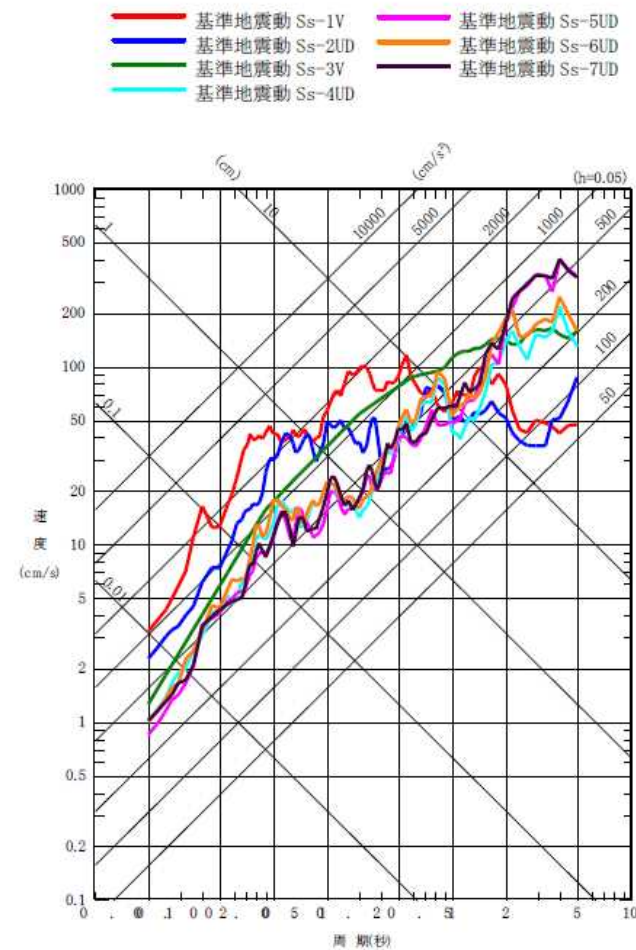
※基準点に対する各観測点のフーリエスペクトル比において、顕著な不整形性の影響がない北側の地震に対する南西側の地震の比を周期0.1～0.4秒の平均で算定し、コンターを描画したもの。コンターは、観測点間で補間しており、観測点がない端部は外挿となるためコンター描写領域を表記。(数値及び色はフーリエスペクトル比の常用対数を示す。)

※なお、どちらの基準地震動を用いるか、判断にあたり十分なデータが得られていない領域については、周辺の地盤調査結果や地震観測記録等を参照し、必要に応じて地震観測を実施するなど検討したうえで、適切な基準地震動を用いる。

第1図 水平アレイ地震観測記録に基づく敷地地盤の増幅特性の領域区分
(敷地南西側から到来する地震動の増幅特性)

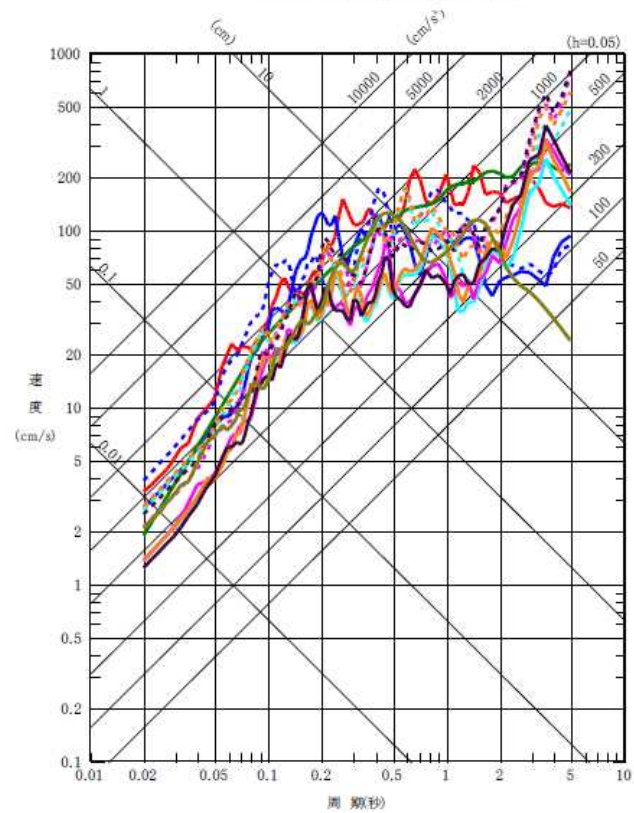


水平方向

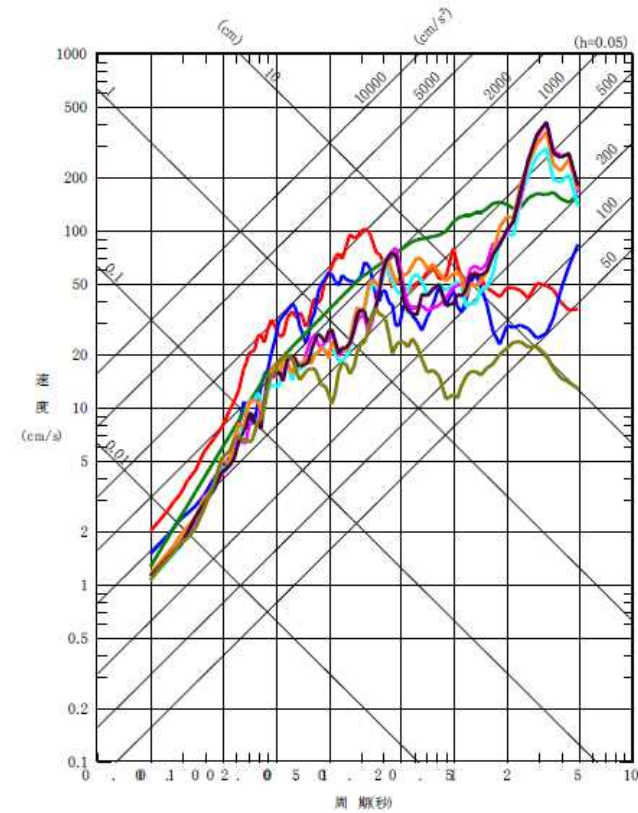


鉛直方向

第2図 基準地震動 $S_s-1 \sim S_s-7$ の応答スペクトル (荒浜側)

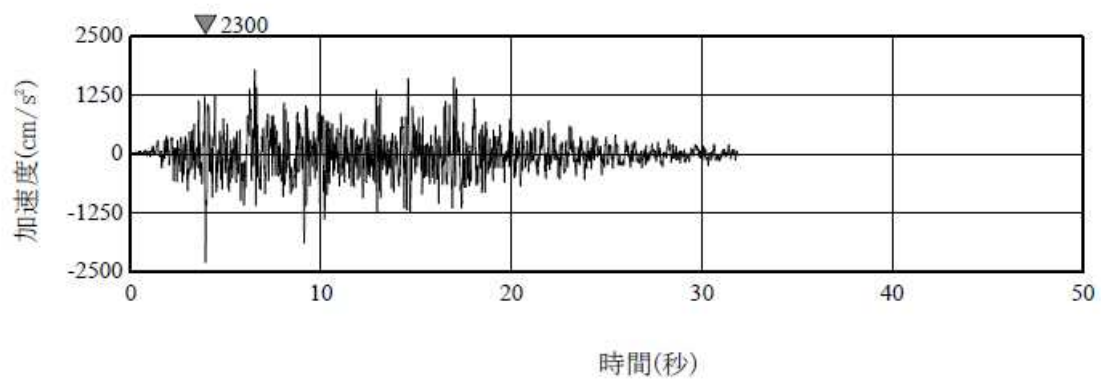


水平方向

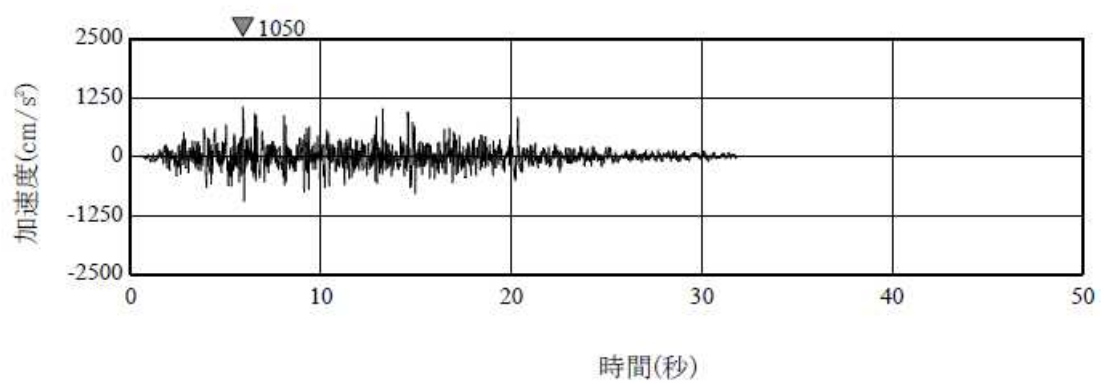


鉛直方向

第3図 基準地震動 S s - 1 ~ S s - 8 の応答スペクトル (大湊側)

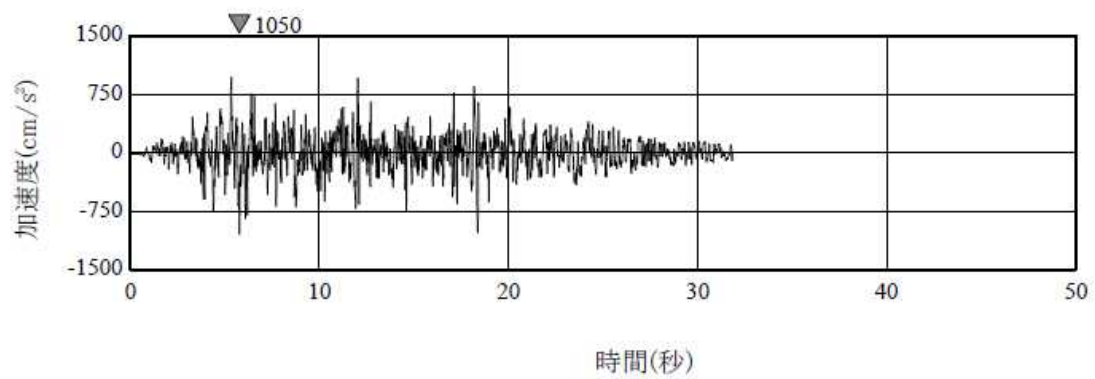


(a) Ss-1H

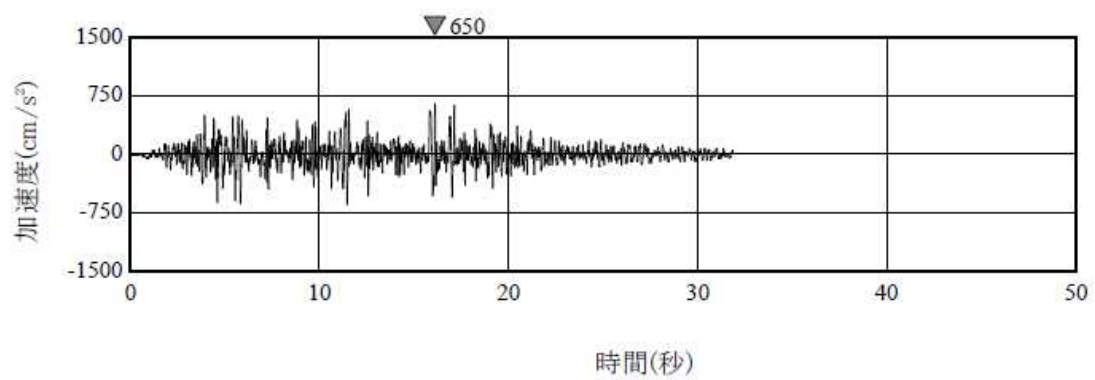


(b) Ss-1V

第4図 基準地震動S_s-1の加速度時刻歴波形（荒浜側）

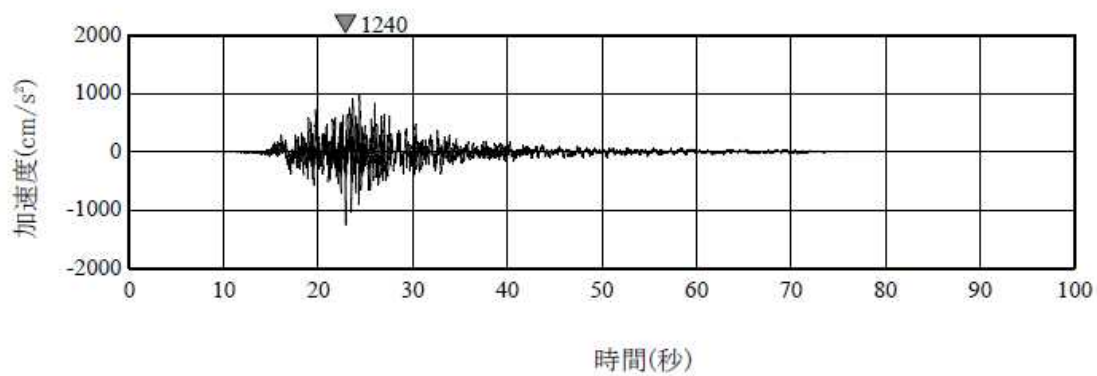


(a) Ss-1H

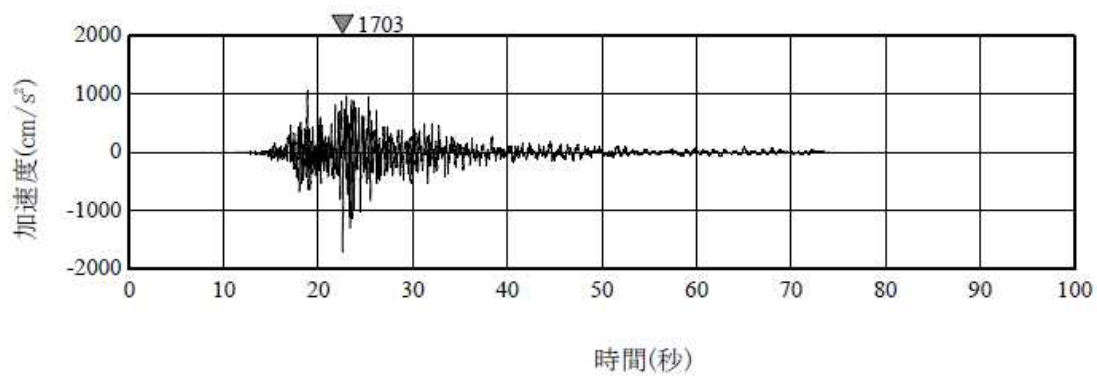


(b) Ss-1V

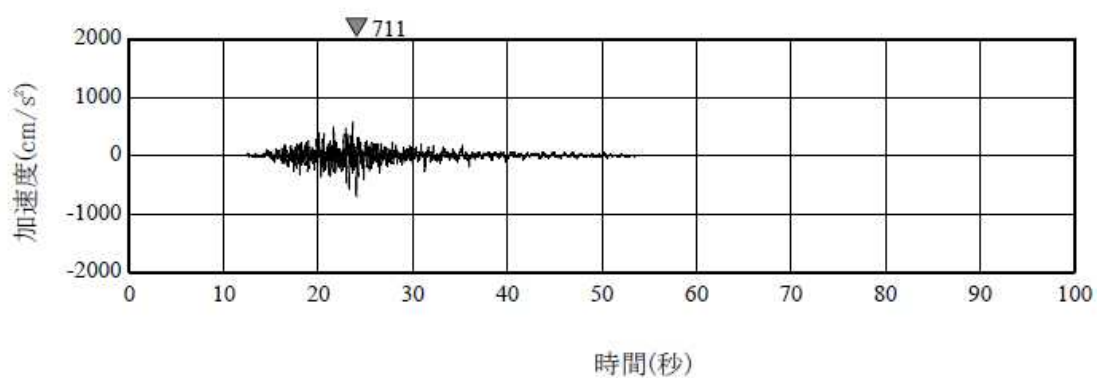
第 5 図 基準地震動 S s - 1 の加速度時刻歴波形（大湊側）



(a) Ss-2NS

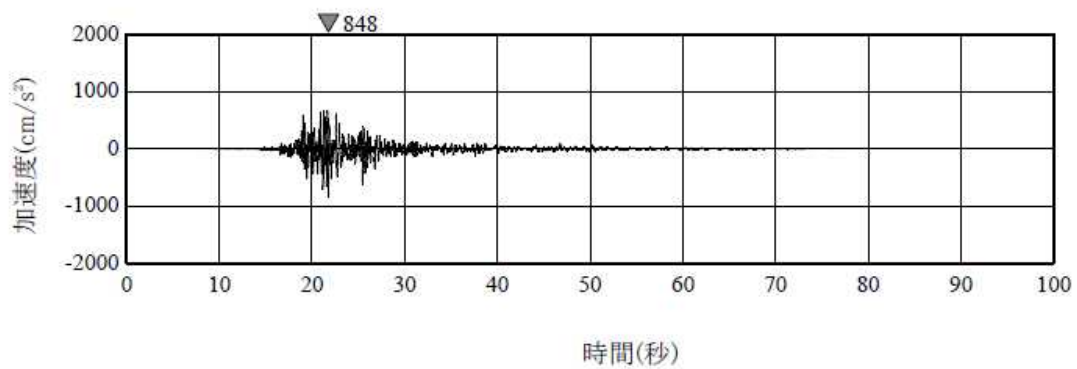


(b) Ss-2EW

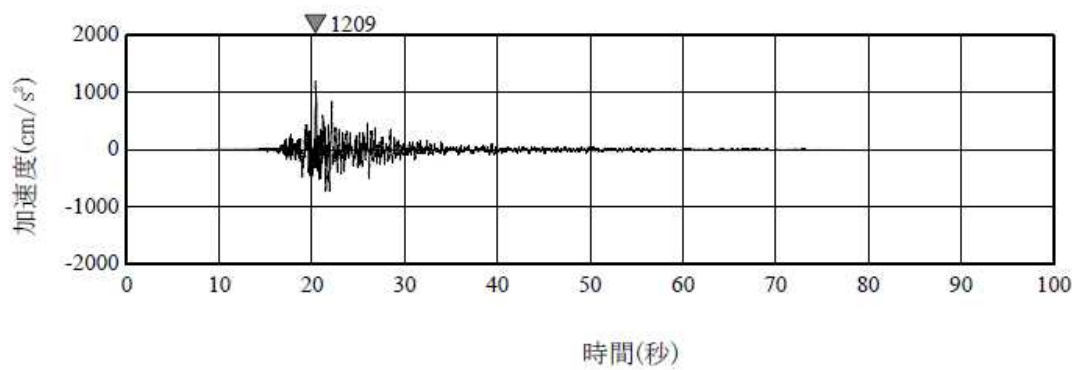


(c) Ss-2UD

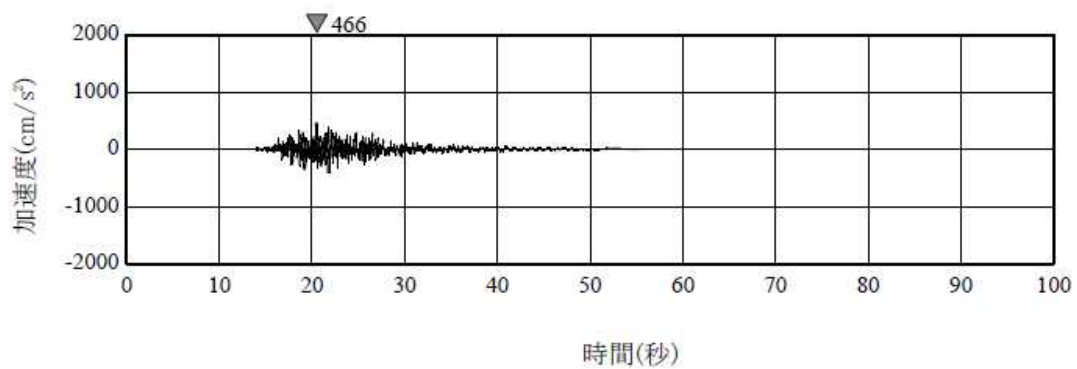
第 6 図 基準地震動 S s - 2 の加速度時刻歴波形（荒浜側）



(a) Ss-2NS

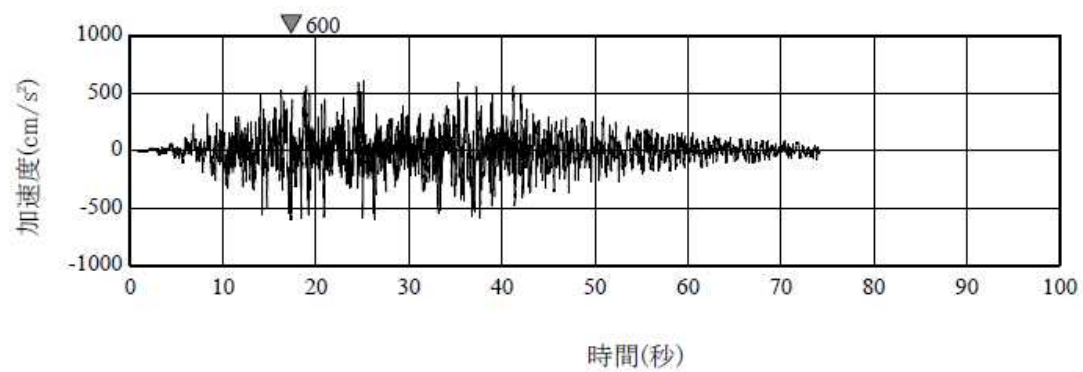


(b) Ss-2EW

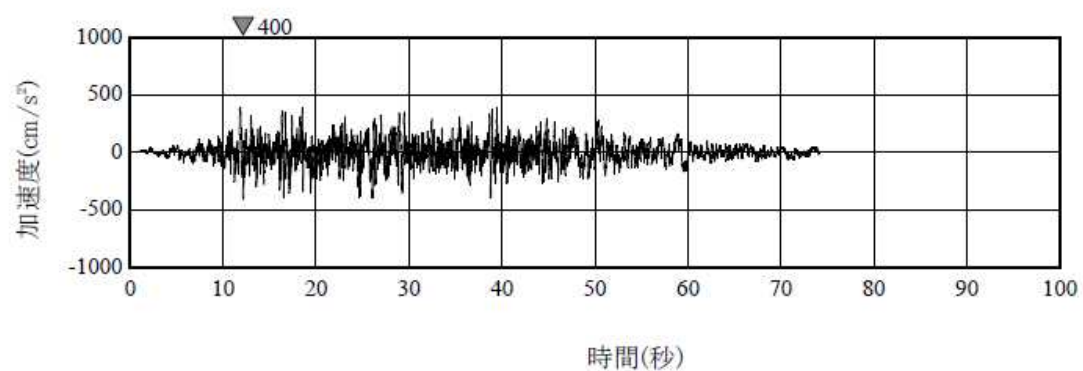


(c) Ss-2UD

第 7 図 基準地震動 S s - 2 の時刻歴波形（大湊側）

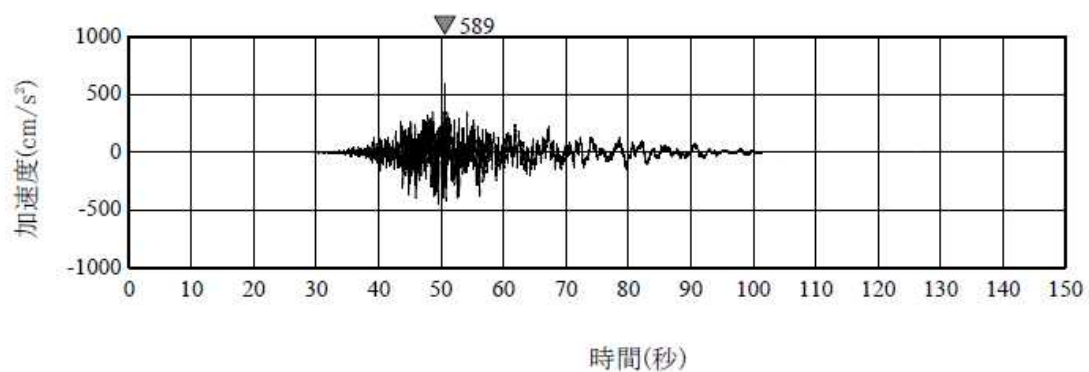


(a) Ss-3H

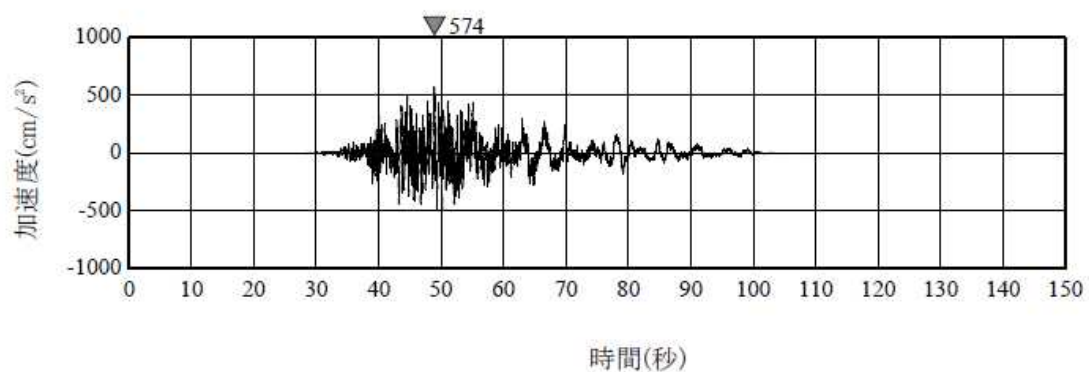


(b) Ss-3V

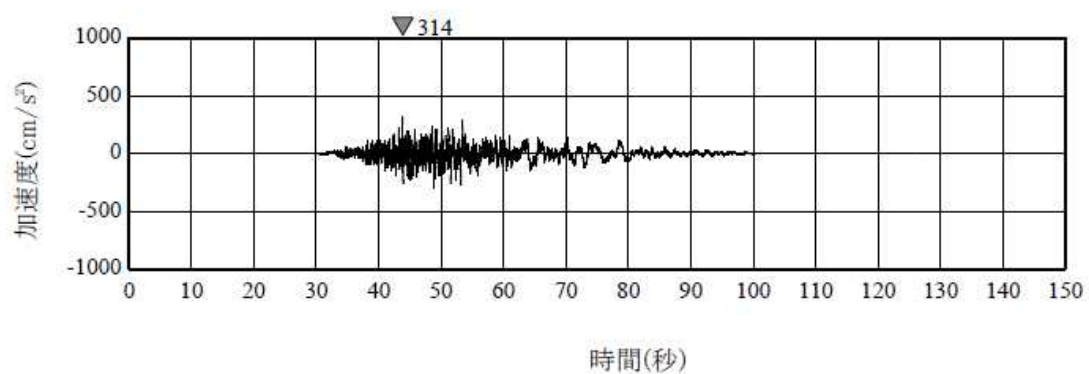
第 8 図 基準地震動 S s - 3 の加速度時刻歴波形
(荒浜側と大湊側で共通)



(a) Ss-4NS

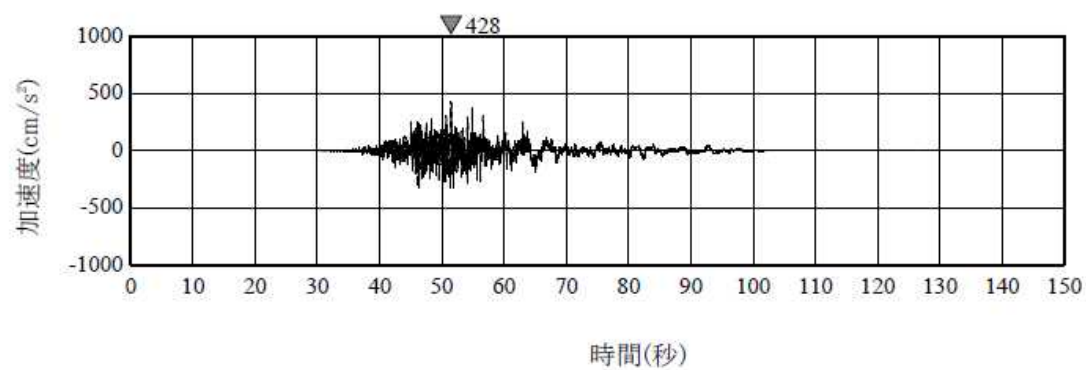


(b) Ss-4EW

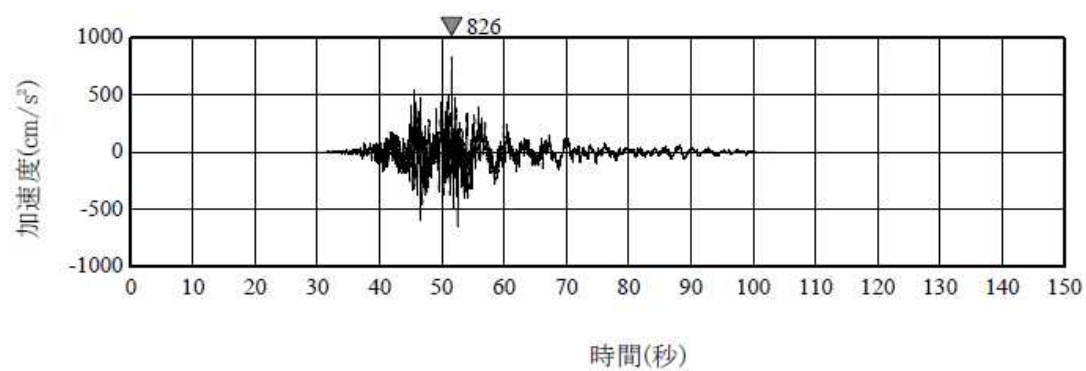


(c) Ss-4UD

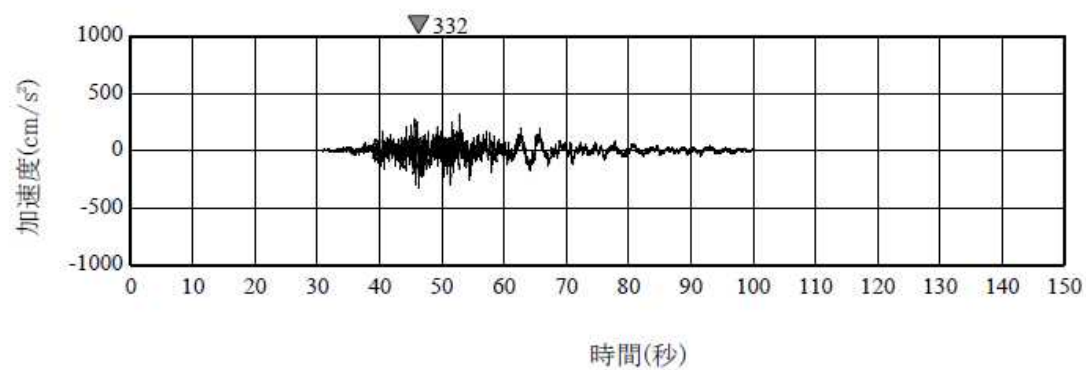
第9図 基準地震動S_s-4の加速度時刻歴波形（荒浜側）



(a) S_s-4NS

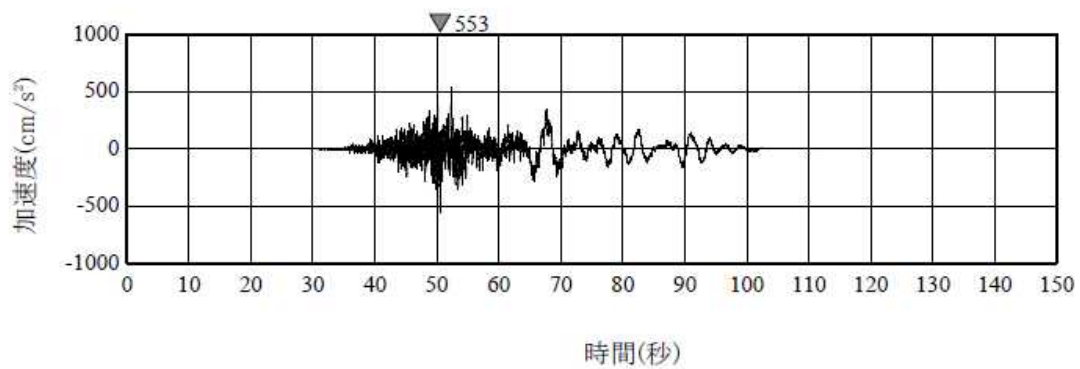


(b) S_s-4EW

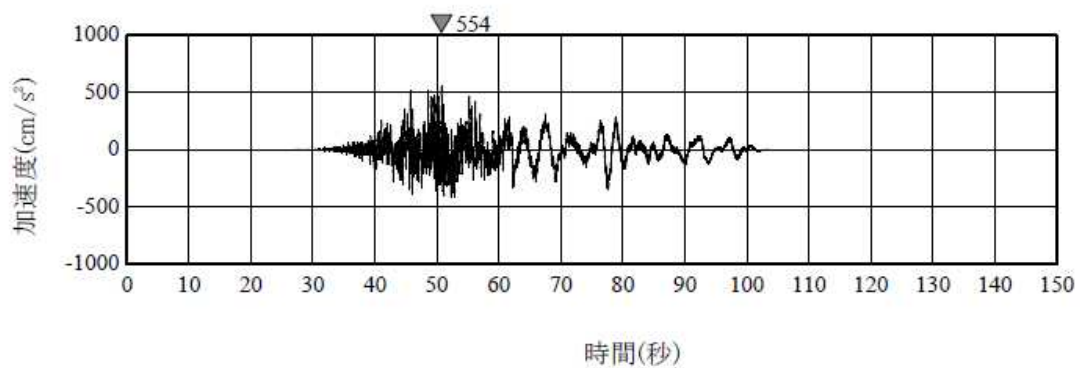


(c) S_s-4UD

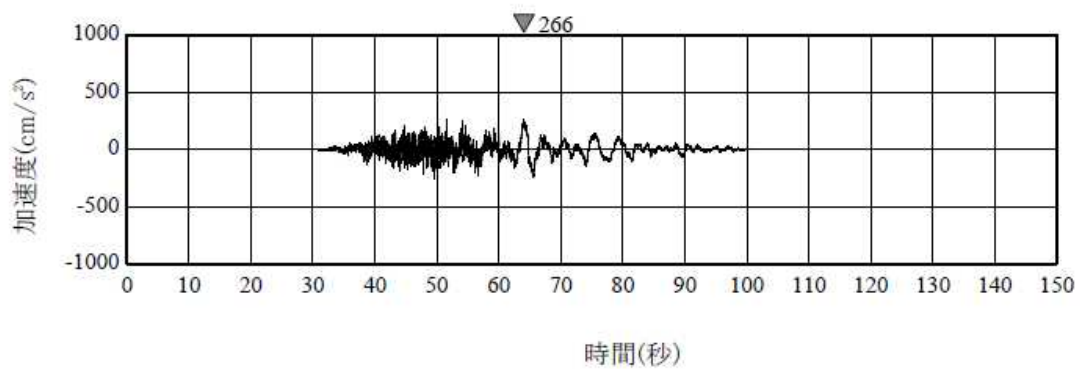
第 10 図 基準地震動 S_s - 4 の加速度時刻歴波形 (大湊側)



(a) Ss-5NS

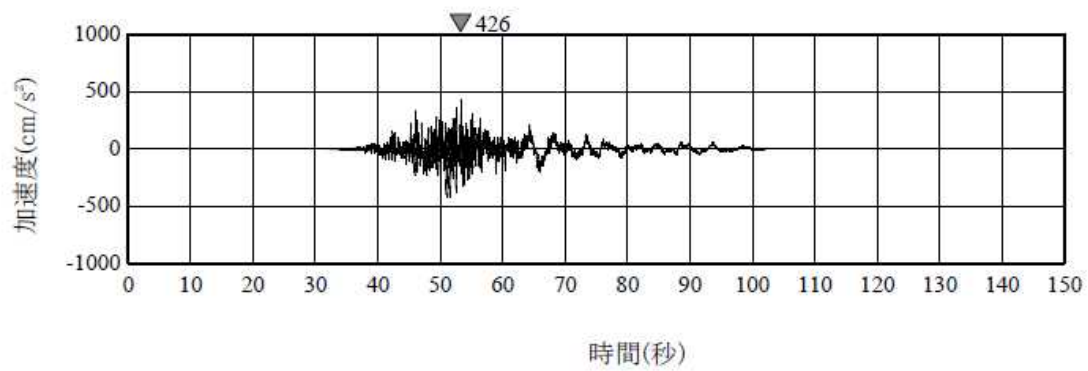


(b) Ss-5EW

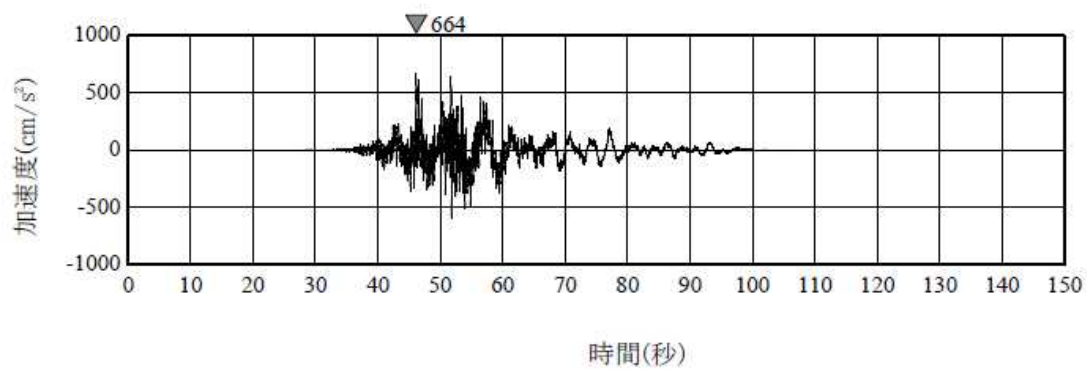


(c) Ss-5UD

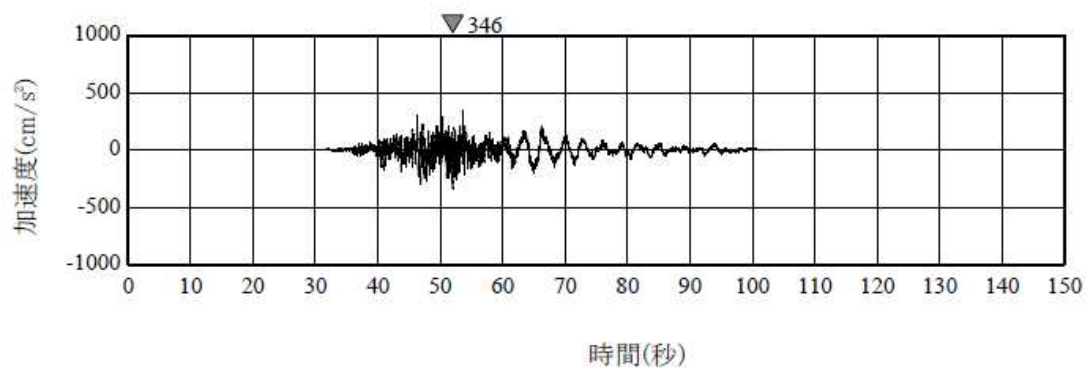
第 11 図 基準地震動 $S_s - 5$ の加速度時刻歴波形（荒浜側）



(a) Ss-5NS

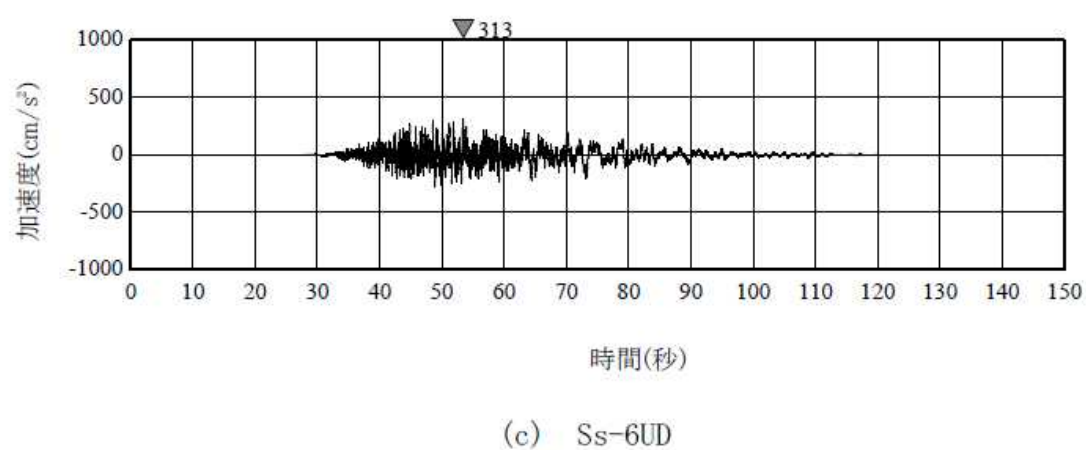
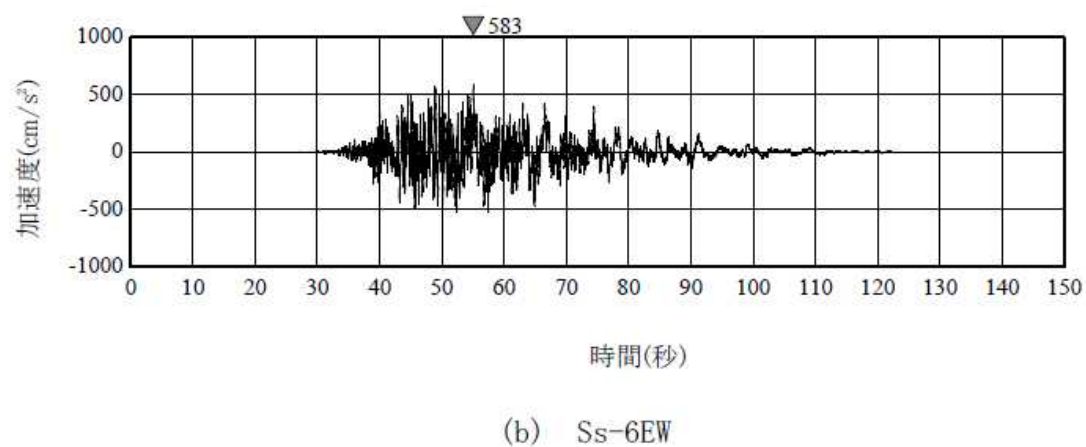
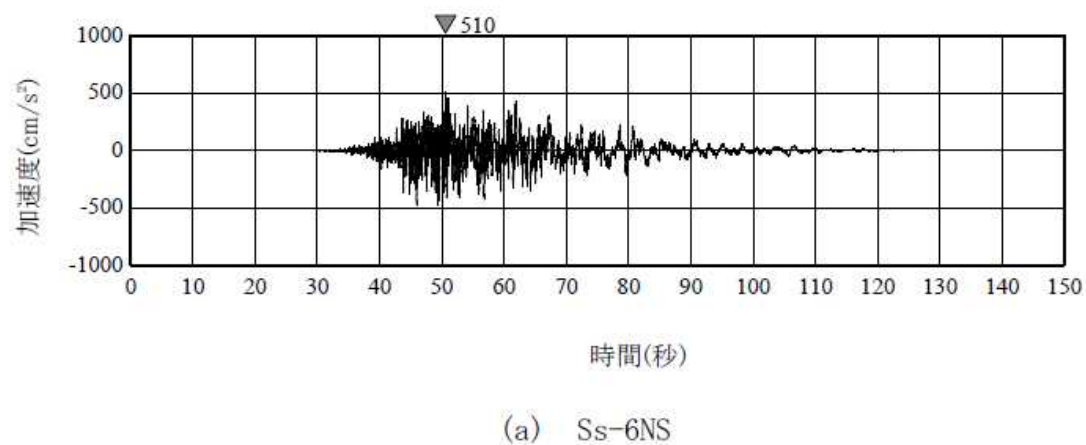


(b) Ss-5EW

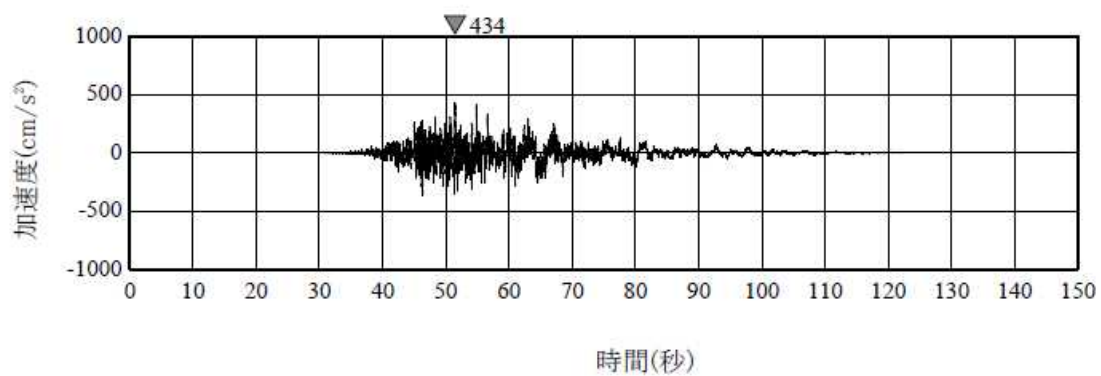


(c) Ss-5UD

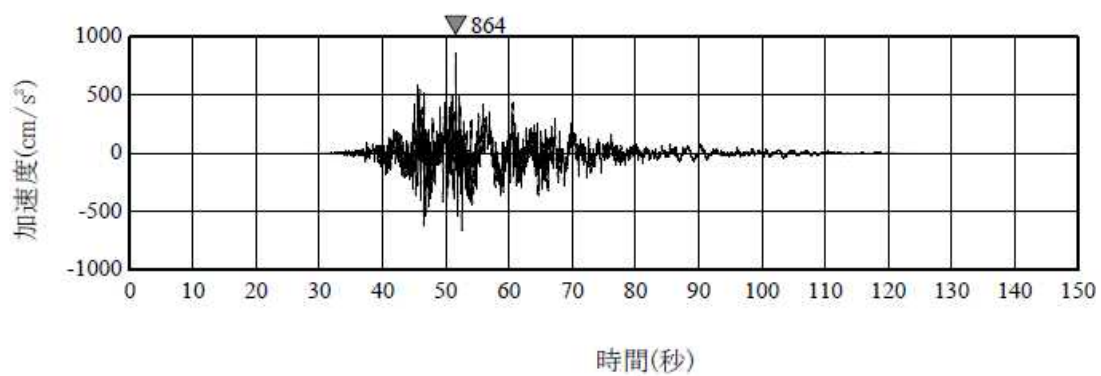
第 12 図 基準地震動 S_s - 5 の加速度時刻歴波形（大湊側）



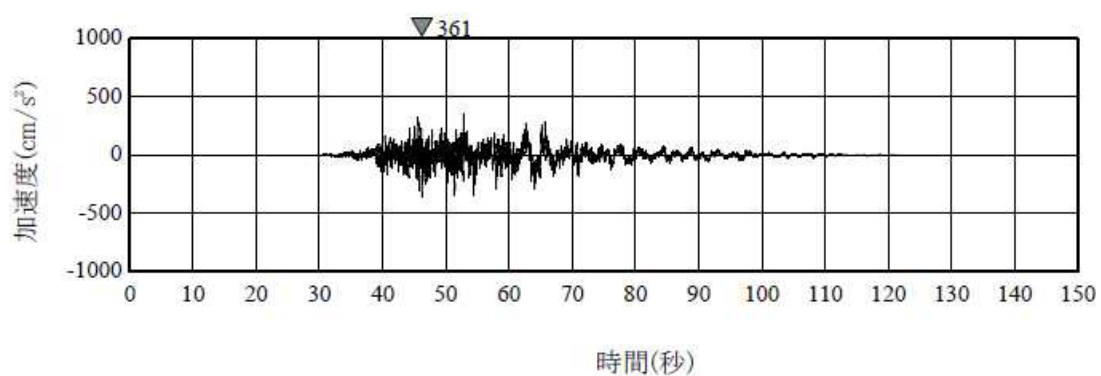
第 13 図 基準地震動 S_s - 6 の加速度時刻歴波形（荒浜側）



(a) Ss-6NS

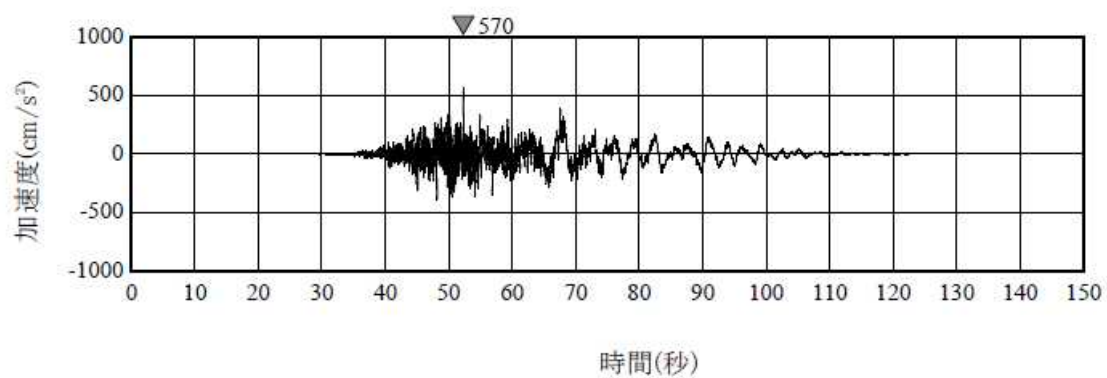


(b) Ss-6EW

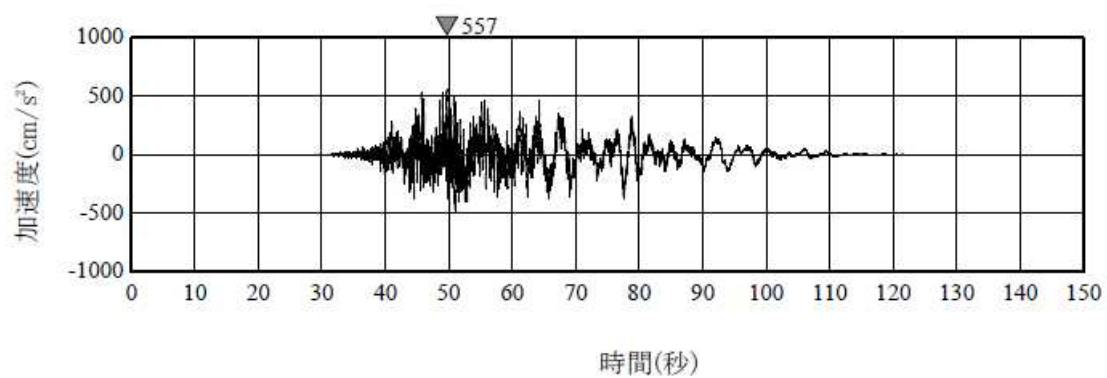


(c) Ss-6UD

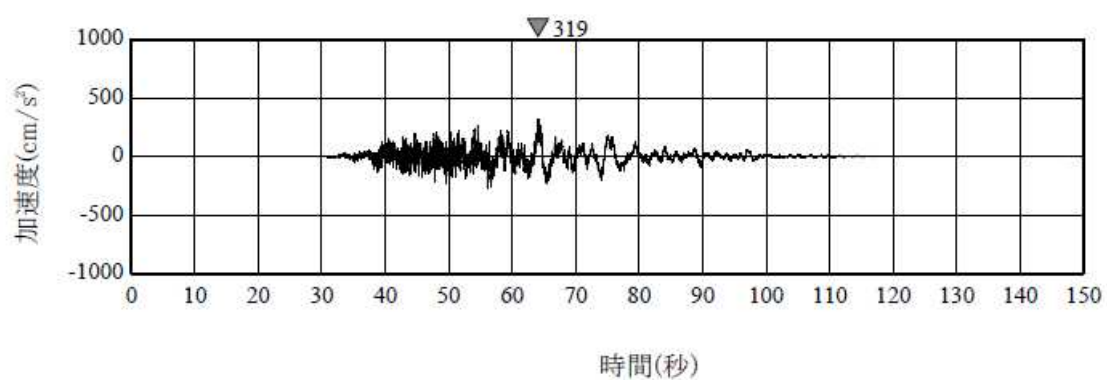
第 14 図 基準地震動 S_s - 6 の加速度時刻歴波形 (大湊側)



(a) S_s-7NS

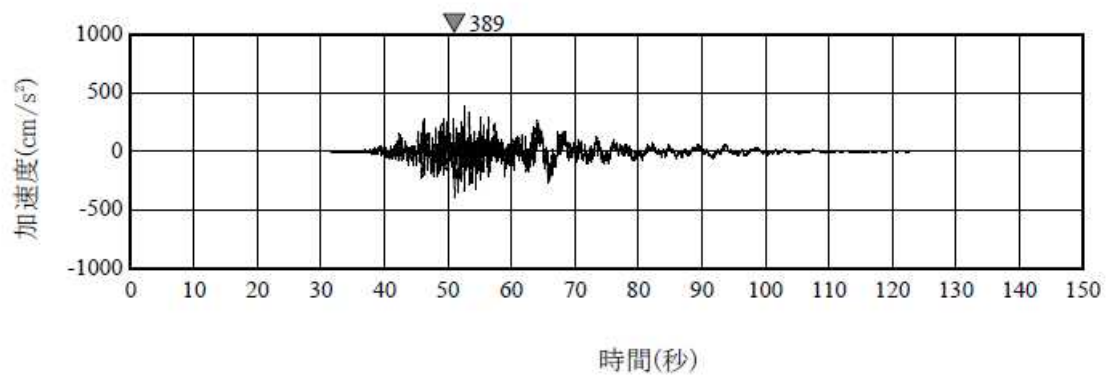


(b) S_s-7EW

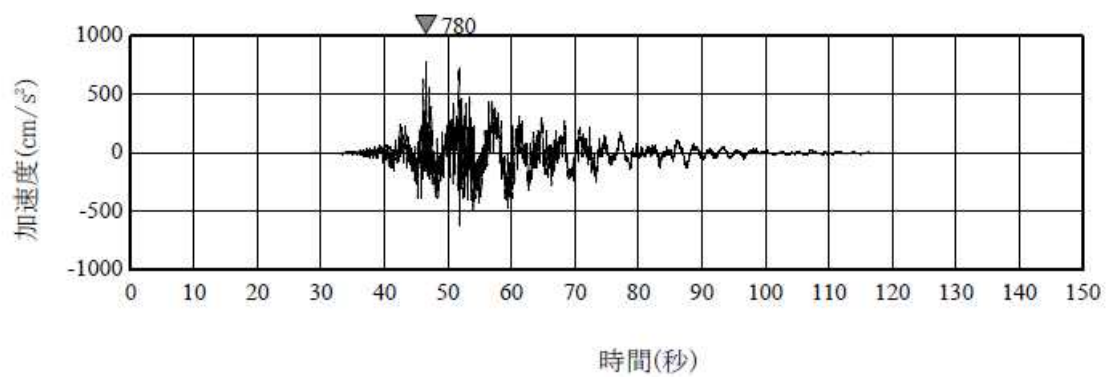


(c) S_s-7UD

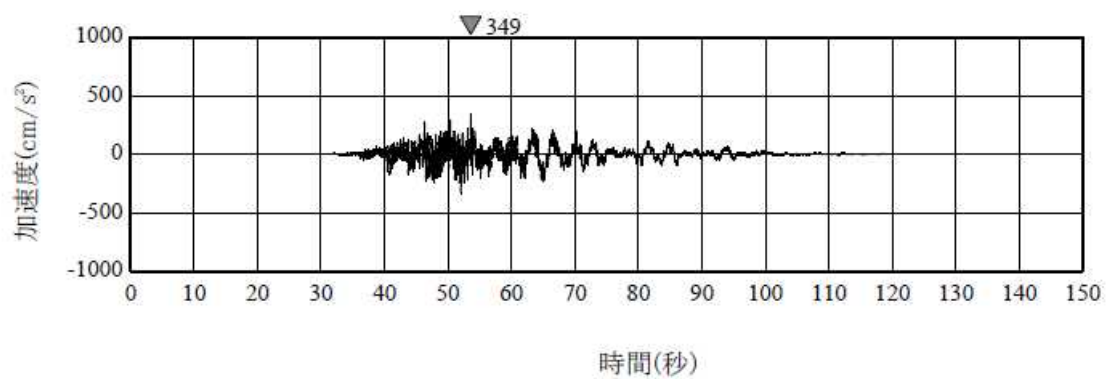
第 15 図 基準地震動 S_s - 7 の加速度時刻歴波形（荒浜側）



(a) S_s-7NS

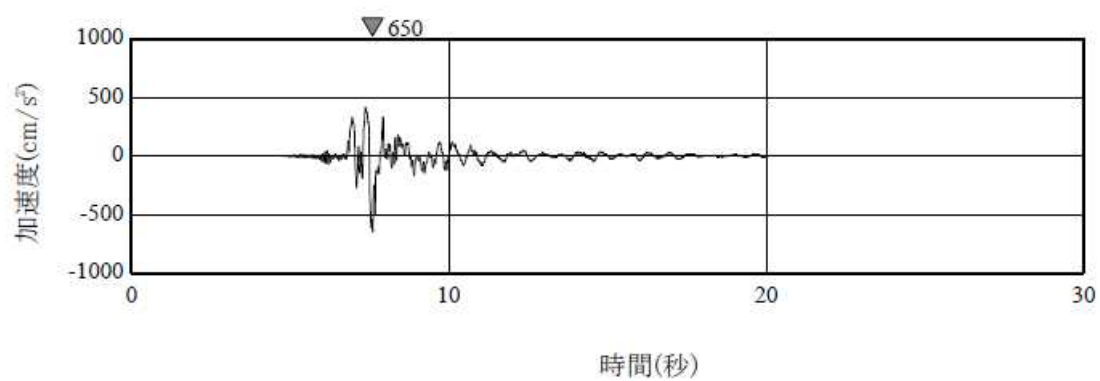


(b) S_s-7EW

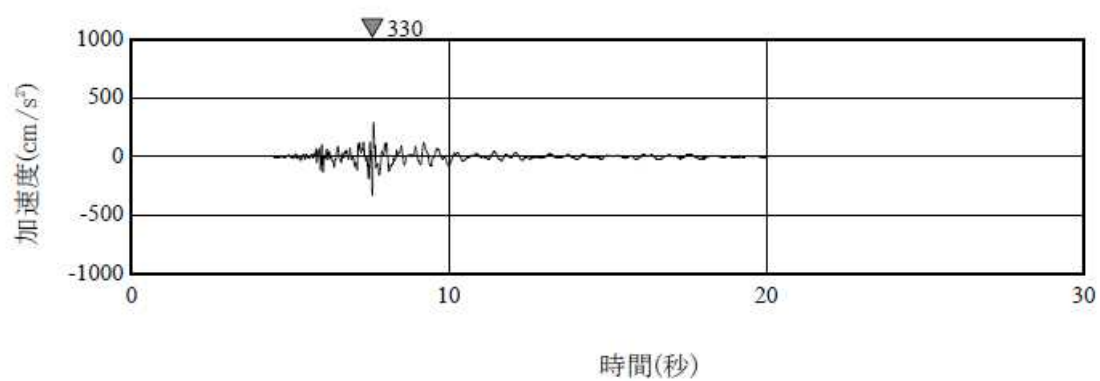


(b) S_s-7UD

第 16 図 基準地震動 S_s - 7 の加速度時刻歴波形 (大湊側)



(a) Ss-8H



(b) Ss-8V

第 17 図 基準地震動 S_s - 8 の加速度時刻歴波形 (大湊側)

第 1 表 設定した解放基盤表面の位置

号炉	標高 T.M.S.L.※(m)	整地面からの深さ(m)
5 号炉	-134m	146m
6 号炉	-155m	167m
7 号炉	-155m	167m

※T.M.S.L.：東京湾平均海面。Tokyo bay Mean Sea Level の略で、
東京湾での検潮に基づき設定された陸地の高さの基準

(2) 安全設計方針

1.4 耐震設計

発電用原子炉施設の耐震設計は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」に適合するように、「1.4.1 設計基準対象施設の耐震設計」、「1.4.2 重大事故等対処施設の耐震設計」、「1.4.3 主要施設の耐震構造」及び「1.4.4 地震検知による耐震安全性の確保」に従って行う。

1.4.1 設計基準対象施設の耐震設計

1.4.1.1 設計基準対象施設の耐震設計の基本方針

設計基準対象施設の耐震設計は、以下の項目に従って行う。

- (1) 地震により生ずるおそれがあるその安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度が特に大きいもの(以下「耐震重要施設」という。)は、その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力に対して、その安全機能が損なわれるおそれがないように設計する。
- (2) 設計基準対象施設は、地震により発生するおそれがある安全機能の喪失(地震に伴って発生するおそれがある津波及び周辺斜面の崩壊等による安全機能の喪失を含む。)及びそれに続く放射線による公衆への影響を防止する観点から、各施設の安全機能が喪失した場合の影響の相対的な程度(以下「耐震重要度」という。)に応じて、耐震重要度分類をSクラス、Bクラス又はCクラスに分類し、それぞれに応じた地震力に十分耐えられるように設計する。
- (3) 建物・構築物については、耐震重要度分類の各クラスに応じて算定する地震力が作用した場合においても、接地圧に対する十分な支持力を有する地盤に設置する。

なお、建物・構築物とは、建物、構築物及び土木構造物(屋外重要土木構造物及びその他の土木構造物)の総称とする。

また、屋外重要土木構造物とは、耐震安全上重要な機器・配管系の間接支持機能、若しくは非常時における海水の通水機能を求められる土木構造物をいう。

- (4) Sクラスの施設((6)に記載のもののうち、津波防護機能を有する設備(以下「津波防護施設」という。)、浸水防止機能を有する設備(以下「浸水防止設備」という。))及び敷地における津波監視機能を有する施設(以下「津波監視設備」という。)を除く。)は、基準地震動による地震力に対して、その安全機能が保持できるように設計する。

また、弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力に対しておおむね弾性状態に留まる範囲で耐えられる設計とする。

- (5) Sクラスの施設（(6)に記載のもののうち、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を除く。）については、静的地震力は、水平地震力と鉛直地震力が同時に不利な方向の組合せで作用するものとする。

また、基準地震動及び弾性設計用地震動による地震力は、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせて算定するものとする。なお、水平2方向及び鉛直方向の地震力が同時に作用し、影響が考えられる施設、設備については許容限界の範囲内に留まることを確認する。

- (6) 屋外重要土木構造物、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備が設置された建物・構築物は、基準地震動による地震力に対して、構造全体として変形能力（終局耐力時の変形）について十分な余裕を有するとともに、それぞれの施設及び設備に要求される機能が保持できるように設計する。なお、基準地震動の水平2方向及び鉛直方向の地震力の組合せについては、上記（5）と同様とする。

また、重大事故等対処施設を津波から防護するための津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備が設置された建物・構築物についても同様の設計方針とする。

- (7) Bクラスの施設は、静的地震力に対しておおむね弾性状態に留まる範囲で耐えられるように設計する。

また、共振のおそれのある施設については、その影響についての検討を行う。その場合、検討に用いる地震動は、弾性設計用地震動に2分の1を乗じたものとする。なお、当該地震動による地震力は、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせて算定するものとし、Sクラス施設と同様に許容限界の範囲内に留まることを確認する。

- (8) Cクラスの施設は、静的地震力に対しておおむね弾性状態に留まる範囲で耐えられるように設計する。
- (9) 耐震重要施設は、耐震重要度分類の下位のクラスに属するものの波及的影響によって、その安全機能を損なわないように設計する。
- (10) 設計基準対象施設の構造計画及び配置計画に際しては、地震の影響が低減されるように考慮する。
- (11) Sクラスの施設及び屋外重要土木構造物は、基準地震動による基礎地盤の傾斜に対する影響を適切に考慮し、安全機能が損なわれるおそれがないように設計する。

【説明資料（1.1：P4条－77）】

1.4.1.2 耐震重要度分類

設計基準対象施設の耐震重要度を、次のように分類する。

(1) Sクラスの施設

地震により発生するおそれがある事象に対して、原子炉を停止し、炉心を冷却するために必要な機能を持つ施設、自ら放射性物質を内蔵している施設、当該施設に直接関係しておりその機能喪失により放射性物質を外部に拡散する可能性のある施設、これらの施設の機能喪失により事故に至った場合の影響を緩和し、放射線による公衆への影響を軽減するために必要な機能を持つ施設及びこれらの重要な安全機能を支援するために必要となる施設、並びに地震に伴って発生するおそれがある津波による安全機能の喪失を防止するために必要となる施設であって、その影響が大きいものであり、次の施設を含む。

- ・原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系
- ・使用済燃料を貯蔵するための施設
- ・原子炉の緊急停止のために急激に負の反応度を付加するための施設、及び原子炉の停止状態を維持するための施設
- ・原子炉停止後、炉心から崩壊熱を除去するための施設
- ・原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故後、炉心から崩壊熱を除去するための施設
- ・原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故の際に、圧力障壁となり放射性物質の放散を直接防ぐための施設
- ・放射性物質の放出を伴うような事故の際に、その外部放散を抑制するための施設であり、上記の「放射性物質の放散を直接防ぐための施設」以外の施設
- ・津波防護施設及び浸水防止設備
- ・津波監視設備

【説明資料 (2.1(1) : P4 条－81)】

(2) Bクラスの施設

安全機能を有する施設のうち、機能喪失した場合の影響がSクラスの施設と比べ小さい施設であり、次の施設を含む。

- ・原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていて、1次冷却材を内蔵しているか又は内蔵し得る施設
- ・放射性廃棄物を内蔵している施設（ただし、内蔵量が少ない又は貯蔵方式により、その破損により公衆に与える放射線の影響が「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則（昭和53年通商産業省令第77号）」第2条第2項第6号に規定する「周辺監

視区域」外における年間の線量限度に比べ十分小さいものは除く。)

- ・放射性廃棄物以外の放射性物質に関連した施設で、その破損により、公衆及び従事者に過大な放射線被ばくを与える可能性のある施設
- ・使用済燃料を冷却するための施設
- ・放射性物質の放出を伴うような場合に、その外部放散を抑制するための施設で、Sクラスに属さない施設

【説明資料 (2.1(2) : P4 条－81)】

(3) Cクラスの施設

Sクラスに属する施設及びBクラスに属する施設以外の一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設である。

上記に基づくクラス別施設を第1.4.1表に示す。

なお、同表には当該施設を支持する構造物の支持機能が維持されることを確認する地震動及び波及的影響を考慮すべき施設に適用する地震動についても併記する。

【説明資料 (2.1(3) : P4 条－81)】

1.4.1.3 地震力の算定方法

設計基準対象施設の耐震設計に用いる地震力の算定は以下の方法による。

(1) 静的地震力

静的地震力は、Sクラスの施設（津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を除く。）、Bクラス及びCクラスの施設に適用することとし、それぞれ耐震重要度分類に応じて次の地震層せん断力係数 C_i 及び震度に基づき算定する。

a. 建物・構築物

水平地震力は、地震層せん断力係数 C_i に、次に示す施設の耐震重要度分類に応じた係数を乗じ、さらに当該層以上の重量を乗じて算定するものとする。

Sクラス 3.0

Bクラス 1.5

Cクラス 1.0

ここで、地震層せん断力係数 C_i は、標準せん断力係数 C_0 を0.2以上とし、建物・構築物の振動特性及び地盤の種類等を考慮して求め

られる値とする。

また、必要保有水平耐力の算定においては、地震層せん断力係数 C_i に乗じる施設の耐震重要度分類に応じた係数は、Sクラス、Bクラス及びCクラスともに1.0とし、その際に用いる標準せん断力係数 C_0 は1.0以上とする。

Sクラスの施設については、水平地震力と鉛直地震力が同時に不利な方向の組合せで作用するものとする。鉛直地震力は、震度0.3以上を基準とし、建物・構築物の振動特性及び地盤の種類等を考慮し、高さ方向に一定として求めた鉛直震度より算定するものとする。

ただし、土木構造物の静的地震力は、安全上適切と認められる規格及び基準を参考に、Cクラスに適用される静的地震力を適用する。

b. 機器・配管系

静的地震力は、上記 a. に示す地震層せん断力係数 C_i に施設の耐震重要度分類に応じた係数を乗じたものを水平震度として、当該水平震度及び上記 a. の鉛直震度をそれぞれ20%増しとした震度より求めるものとする。

なお、Sクラスの施設については、水平地震力と鉛直地震力は同時に不利な方向の組合せで作用するものとする。ただし、鉛直震度は高さ方向に一定とする。

上記 a. 及び b. の標準せん断力係数 C_0 等の割増係数の適用については、耐震性向上の観点から、一般産業施設及び公共施設等の耐震基準との関係を考慮して設定する。

【説明資料 (3.1(1) : P4 条-82)】

(2) 動的地震力

動的地震力は、Sクラスの施設、屋外重要土木構造物及びBクラスの施設のうち共振のおそれのあるものに適用することとし、基準地震動及び弾性設計用地震動から定める入力地震動を入力として、動的解析により水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせて算定する。なお、地震力の組合せについては水平2方向及び鉛直方向の地震力が同時に作用するものとし、影響が考えられる施設、設備に対して許容限界の範囲内に留まることを確認する。

Bクラスの施設のうち共振のおそれのあるものについては、弾性設計用地震動から定める入力地震動の振幅を2分の1にしたものによる地震力を適用する。

屋外重要土木構造物、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設

備並びに浸水防止設備が設置された建物・構築物については、基準地震動による地震力を適用する。

「添付書類六 5. 地震」に示す基準地震動は、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」について、解放基盤表面における水平方向及び鉛直方向の地震動としてそれぞれ策定し、年超過確率は、 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 程度である。

また、弾性設計用地震動は、基準地震動との応答スペクトルの比率が目安として 0.5 を下回らないよう基準地震動に係数 0.5 を乗じて設定する。ここで、係数 0.5 は工学的判断として、原子炉施設の安全機能限界と弾性限界に対する入力荷重の比率が 0.5 程度であるという知見^(*)を踏まえ、さらに「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（昭和 56 年 7 月 20 日原子力安全委員会決定、平成 13 年 3 月 29 日一部改訂）」における基準地震動 S_1 の応答スペクトルをおおむね下回らないよう配慮した値とする。また、建物・構築物及び機器・配管系ともに 0.5 を採用することで、弾性設計用地震動に対する設計に一貫性をとる。なお、弾性設計用地震動の年超過確率は、 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 程度である。弾性設計用地震動の応答スペクトルを第 1.4.1 図及び第 1.4.2 図に、弾性設計用地震動の時刻歴波形を第 1.4.3 図～第 1.4.16 図に、弾性設計用地震動と基準地震動 S_1 の応答スペクトルの比較を第 1.4.17 図に、弾性設計用地震動と解放基盤表面における地震動の一樣ハザードスペクトルの比較を第 1.4.18 図及び第 1.4.19 図に示す。

【説明資料（3.1(2)：P4 条－83)】

a. 入力地震動

入力地震動の評価においては、解放基盤表面以浅の影響を適切に考慮するため、5～7 号炉ではそれぞれ第 1 表に示す位置とする。

建物・構築物の地震応答解析における入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動及び弾性設計用地震動を基に、対象建物・構築物の地盤条件を適切に考慮したうえで、必要に応じ 2 次元 FEM 解析又は 1 次元波動論により、地震応答解析モデルの入力位置で評価した入力地震動を設定する。地盤条件を考慮する場合には、地震動評価で考慮した敷地全体の地下構造との関係にも留意し、地盤の非線形応答に関する動的変形特性を考慮する。また、必要に応じ敷地における観測記録による検証や最新の科学的・技術的知見を踏まえ設定する。

b. 地震応答解析

(a) 動的解析法

i. 建物・構築物

動的解析による地震力の算定に当たっては、地震応答解析手法の適用性及び適用限界等を考慮のうえ、適切な解析法を選定するとともに、建物・構築物に応じた適切な解析条件を設定する。動的解析は、時刻歴応答解析法による。また、3次元応答性状等の評価は、時刻歴応答解析法による。

建物・構築物の動的解析に当たっては、建物・構築物の剛性はそれらの形状、構造特性等を十分考慮して評価し、集中質点系等に置換した解析モデルを設定する。剛性の設定時に材料の実剛性を考慮する場合は、統計データを踏まえ、建物・構築物ごとに設定値の妥当性、適用性を確認するとともに、不確実性や保守性を考慮した上で適用する。また、建物・構築物の壁に関する剛性の評価範囲は、実機の挙動を模擬する観点で適切な規格及び基準等に基づき妥当性、適用性を確認するとともに、保守性を考慮した上で設定する。

動的解析には、建物・構築物と地盤との相互作用を考慮するものとし、解析モデルの地盤のばねは、基礎版の平面形状、地盤の剛性等を考慮して定める。また、側面の地盤による回転拘束効果を地盤のばねとして考慮する場合は、実験等の結果に基づき、適用する建物・構築物ごとに妥当性、適用性を確認するとともに、不確実性や保守性を考慮した上で適用する。設計用地盤定数は、原則として、弾性波試験によるものをを用いる。

地盤－建物・構築物連成系の減衰定数は、振動エネルギーの地下逸散及び地震応答における各部のひずみレベルを考慮して定める。

基準地震動及び弾性設計用地震動に対する応答解析において、主要構造要素がある程度以上弾性範囲を超える場合には、実験等の結果に基づき、該当する建物部分の構造特性に応じて、その弾塑性挙動を適切に模擬した復元力特性を考慮した応答解析を行う。

また、Sクラスの施設を支持する建物・構築物の支持機能を検討するための動的解析において、施設を支持する建物・構築物の主要構造要素がある程度以上弾性範囲を超える場合には、その弾塑性挙動を適切に模擬した復元力特性を考慮した応答解析を行う。

応答解析に用いる材料定数については、地盤の諸定数も含めてばらつきによる変動幅を適切に考慮する。また、必要に応じて建

物・構築物及び機器・配管系の設計用地震力に及ぼす影響を検討する。

原子炉建屋については、3次元FEM解析等から、建物・構築物の3次元応答性状及び機器・配管系への影響を評価する。

屋外重要土木構造物の動的解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる連成系の地震応答解析手法とし、地盤及び構造物の地震時における非線形挙動の有無や程度に応じて、線形、等価線形又は非線形解析のいずれかにて行う。液状化に伴う構造物への影響を考慮する場合には、有効応力解析を実施する。有効応力解析に用いる液状化強度特性は、代表性および網羅性を踏まえた保守性を考慮して設定する。なお、サイクリックモビリティ等を示す土層についても、液状化強度特性を設定した有効応力解析を実施し、安全側の設計となるよう配慮する。

なお、地震力については、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせて算定する。

【説明資料（5.1：P4条－91）（5.3：P4条－93）】

ii. 機器・配管系

動的解析による地震力の算定に当たっては、地震応答解析手法の適用性及び適用限界等を考慮のうえ、適切な解析法を選定するとともに、解析条件として考慮すべき減衰定数、剛性等の各種物性値は、適切な規格及び基準又は実験等の結果に基づき設定する。なお、鋼板とコンクリートの複合構造物である原子炉本体基礎については、地震応答が線形領域を超える場合には、より現実に近い適正な地震応答解析を実施する観点から、コンクリートの剛性変化を適切に考慮した復元力特性を設定する。復元力特性の設定に当たっては、既往の知見を参考に妥当性、適用性を確認するとともに、設定における不確実性や保守性を考慮し、安全側の設計となるよう配慮する。

機器の解析に当たっては、形状、構造特性等を考慮して、代表的な振動モードを適切に表現できるよう質点系モデル、有限要素モデル等に置換し、設計用床応答曲線を用いたスペクトルモーダル解析法又は時刻歴応答解析法により応答を求める。配管系については、適切なモデルを作成し、設計用床応答曲線を用いたスペクトルモーダル解析法等により応答を求める。スペクトルモーダル解析法及び時刻歴応答解析法の選択に当たっては、衝突・すべり等の非線形現象を模擬する観点又は既往研究の知見を取り入れ実機の

挙動を模擬する観点で、建物・構築物の剛性及び地盤物性等の不確かさへの配慮をしつつ時刻歴応答解析法を用いる等、解析対象とする現象、対象設備の振動特性・構造特性等を考慮し適切に選定する。

また、設備の3次元的な広がりや踏まえ、適切に応答を評価できるモデルを用い、水平2方向及び鉛直方向の応答成分について適切に組み合わせるものとする。

なお、剛性の高い機器は、その機器の設置床面の最大応答加速度の1.2倍の加速度を震度として作用させて地震力を算定する。

【説明資料（5.2：P4条－92）】

(3) 設計用減衰定数

応答解析に用いる減衰定数は、安全上適切と認められる規格及び基準、既往の振動実験、地震観測の調査結果等を考慮して適切な値を定める。

なお、建物・構築物の応答解析に用いる鉄筋コンクリートの減衰定数の設定については、既往の知見に加え、既設施設の地震観測記録等により、その妥当性を検討する。

また、地盤と屋外重要土木構造物の連成系地震応答解析モデルの減衰定数については、地中構造物としての特徴、同モデルの振動特性を考慮して適切に設定する。

【説明資料（6：P4条－95）】

1. 4. 1. 4 荷重の組合せと許容限界

設計基準対象施設の耐震設計における荷重の組合せと許容限界は以下による。

(1) 耐震設計上考慮する状態

地震以外に設計上考慮する状態を次に示す。

a. 建物・構築物

(a) 運転時の状態

発電用原子炉施設が運転状態にあり、通常の下作条件下におかれている状態

ただし、運転状態には通常運転時、運転時の異常な過渡変化時を含むものとする。

(b) 設計基準事故時の状態

発電用原子炉施設が設計基準事故時にある状態

(c) 設計用自然条件

設計上基本的に考慮しなければならない自然条件（風、積雪等）

b. 機器・配管系

(a) 通常運転時の状態

発電用原子炉の起動、停止、出力運転、高温待機及び燃料取替等が計画的又は頻繁に行われた場合であって運転条件が所定の制限値以内にある運転状態

(b) 運転時の異常な過渡変化時の状態

通常運転時に予想される機械又は器具の単一の故障若しくはその誤作動又は運転員の単一の誤操作及びこれらと類似の頻度で発生すると予想される外乱によって発生する異常な状態であって、当該状態が継続した場合には炉心又は原子炉冷却材圧力バウンダリの著しい損傷が生ずるおそれがあるものとして安全設計上想定すべき事象が発生した状態

(c) 設計基準事故時の状態

発生頻度が運転時の異常な過渡変化より低い異常な状態であって、当該状態が発生した場合には発電用原子炉施設から多量の放射性物質が放出するおそれがあるものとして安全設計上想定すべき事象が発生した状態

(d) 設計用自然条件

設計上基本的に考慮しなければならない自然条件（風、積雪等）

【説明資料（4.1(1)：P4条－84）】

(2) 荷重の種類

a. 建物・構築物

(a) 発電用原子炉のおかれている状態にかかわらず常時作用している荷重、すなわち固定荷重、積載荷重、土圧、水压及び通常の気象条件による荷重

(b) 運転時の状態で施設に作用する荷重

(c) 設計基準事故時の状態で施設に作用する荷重

(d) 地震力、風荷重、積雪荷重等

ただし、運転時の状態及び設計基準事故時の状態での荷重には、機器・配管系から作用する荷重が含まれるものとし、地震力には、地震時土圧、機器・配管系からの反力、スロッシング等による荷重が含まれるものとする。

b. 機器・配管系

(a) 通常運転時の状態で作用する荷重

(b) 運転時の異常な過渡変化時の状態で作用する荷重

(c) 設計基準事故時の状態で施設に作用する荷重

(d) 地震力, 風荷重, 積雪荷重等

【説明資料 (4.1(2) : P4 条-85)】

(3) 荷重の組合せ

地震力と他の荷重との組合せは次による。

a. 建物・構築物 (c. に記載のもののうち, 津波防護施設, 浸水防止設備及び津波監視設備を除く。)

(a) Sクラスの建物・構築物については, 常時作用している荷重及び運転時 (通常運転時又は運転時の異常な過渡変化時) の状態で施設に作用する荷重と地震力とを組み合わせる。

(b) Sクラスの建物・構築物については, 常時作用している荷重及び設計基準事故時の状態で施設に作用する荷重のうち長時間その作用が続く荷重と弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力とを組み合わせる。

(c) Bクラス及びCクラスの建物・構築物については, 常時作用している荷重及び運転時の状態で施設に作用する荷重と動的地震力又は静的地震力とを組み合わせる。

b. 機器・配管系 (c. に記載のものを除く。)

(a) Sクラスの機器・配管系については, 通常運転時の状態で作用する荷重と地震力とを組み合わせる。

(b) Sクラスの機器・配管系については, 運転時の異常な過渡変化時の状態及び設計基準事故時の状態のうち地震によって引き起こされるおそれのある事象によって施設に作用する荷重と地震力とを組み合わせる。

(c) Sクラスの機器・配管系については, 運転時の異常な過渡変化時の状態及び設計基準事故時の状態のうち地震によって引き起こされるおそれのない事象であっても, いったん事故が発生した場合, 長時間継続する事象による荷重は, その事故事象の発生確率, 継続時間及び地震動の超過確率の関係を踏まえ, 適切な地震力と組み合わせる。

(d) Bクラス及びCクラスの機器・配管系については, 通常運転時の状態で施設に作用する荷重及び運転時の異常な過渡変化時の状態で施設に作用する荷重と, 動的地震力又は静的地震力を組み合わせる。

c. 津波防護施設, 浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備が設置された建物・構築物

(a) 津波防護施設及び浸水防止設備が設置された建物・構築物につい

ては、常時作用している荷重及び運転時の状態で施設に作用する荷重と基準地震動による地震力を組み合わせる。

- (b) 浸水防止設備及び津波監視設備については、常時作用している荷重及び運転時の状態で施設に作用する荷重等と基準地震動による地震力を組み合わせる。

なお、上記 c. (a), (b) については、地震と津波が同時に作用する可能性について検討し、必要に応じて基準地震動による地震力と津波による荷重の組合せを考慮する。また、津波以外による荷重については、「(2) 荷重の種類」に準じるものとする。

d. 荷重の組合せ上の留意事項

- (a) Sクラスの施設に作用する地震力のうち動的地震力については、水平 2 方向と鉛直方向の地震力とを適切に組み合わせ算定するものとする。
- (b) ある荷重の組合せ状態での評価が明らかに厳しいことが判明している場合には、その他の荷重の組合せ状態での評価は行わないことがある。
- (c) 複数の荷重が同時に作用する場合、それらの荷重による応力の各ピークの生起時刻に明らかなずれがあることが判明しているならば、必ずしもそれぞれの応力のピーク値を重ねなくてもよいものとする。
- (d) 上位の耐震重要度分類の施設を支持する建物・構築物の当該部分の支持機能を確認する場合においては、支持される施設の耐震重要度分類に応じた地震力と常時作用している荷重、運転時の状態で施設に作用する荷重及びその他必要な荷重とを組み合わせる。

なお、第 1.4.1 表に対象となる建物・構築物及びその支持機能が維持されていることを検討すべき地震動等について記載する。

【説明資料 (4.1(3) : P4 条-86)】

(4) 許容限界

各施設の地震力と他の荷重とを組み合わせた状態に対する許容限界は次のとおりとし、安全上適切と認められる規格及び基準又は試験等で妥当性が確認されている許容応力等を用いる。

- a. 建物・構築物（ c. に記載のもののうち、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を除く。）
 - (a) Sクラスの建物・構築物
 - i. 弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力との組合せに対

する許容限界

建築基準法などの安全上適切と認められる規格及び基準による許容応力度を許容限界とする。

ただし、冷却材喪失事故時に作用する荷重との組合せ（原子炉格納容器バウンダリにおける長期的荷重との組合せを除く。）に対しては、下記 ii . に示す許容限界を適用する。

ii . 基準地震動による地震力との組合せに対する許容限界

構造物全体としての変形能力（終局耐力時の変形）について十分な余裕を有し、建物・構築物の終局耐力に対し妥当な安全余裕を持たせることとする。

なお、終局耐力は、建物・構築物に対する荷重又は応力を漸次増大していくとき、その変形又はひずみが著しく増加するに至る限界の最大耐力とし、既往の実験式等に基づき適切に定めるものとする。

(b) Bクラス及びCクラスの建物・構築物（(e) 及び (f) に記載のものを除く。）

上記 (a) i . による許容応力度を許容限界とする。

(c) 耐震重要度分類の異なる施設を支持する建物・構築物（(e) 及び (f) に記載のものを除く。）

上記 (a) ii . を適用するほか、耐震重要度分類の異なる施設を支持する建物・構築物が、変形等に対してその支持機能を損なわないものとする。

なお、当該施設を支持する建物・構築物の支持機能が損なわれないことを確認する際の地震動は、支持される施設に適用される地震動とする。

(d) 建物・構築物の保有水平耐力（(e) 及び (f) に記載のものを除く。）

建物・構築物については、当該建物・構築物の保有水平耐力が必要保有水平耐力に対して耐震重要度分類に応じた安全余裕を有していることを確認する。

(e) 屋外重要土木構造物

i . 静的地震力との組合せに対する許容限界

安全上適切と認められる規格及び基準による許容応力度を許容限界とする。

ii . 基準地震動による地震力との組合せに対する許容限界

構造部材の曲げについては、曲げ耐力、限界層間変形角、圧縮

縁コンクリート限界ひずみ又は終局曲率に対して妥当な安全余裕を持たせることとし、構造部材のせん断については、せん断耐力又は終局せん断強度に対して妥当な安全余裕を持たせることを基本とする。ただし、構造部材の曲げ、せん断に対する上記の許容限界に代わり、許容応力度を適用することで、安全余裕を考慮する場合もある。なお、それぞれの安全余裕については、各施設の機能要求等を踏まえ設定する。

(f) その他の土木構造物

安全上適切と認められる規格及び基準による許容応力度を許容限界とする。

b. 機器・配管系 (c. に記載のものを除く。)

(a) Sクラスの機器・配管系

i. 弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力との組合せに対する許容限界

応答が全体的におおむね弾性状態に留まることとする。

ただし、冷却材喪失事故時に作用する荷重との組合せ（原子炉格納容器及び非常用炉心冷却設備等における長期的荷重との組合せを除く。）に対しては、下記 (a) ii. に示す許容限界を適用する。

ii. 基準地震動による地震力との組合せに対する許容限界

塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、その施設に要求される機能に影響を及ぼさないように応力、荷重等を制限する値を許容限界とする。

また、地震時又は地震後に動的機能が要求される機器等については、基準地震動による応答に対して、実証試験等により確認されている機能確認済加速度等を許容限界とする。

(b) Bクラス及びCクラスの機器・配管系

応答が全体的におおむね弾性状態に留まることとする。

(c) チャンネル・ボックス

地震時に作用する荷重に対して、燃料集合体の冷却材流路を維持できること及び過大な変形や破損を生ずることにより制御棒の挿入が阻害されることがないことを確認する。

c. 津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備が設置された建物・構築物

津波防護施設及び浸水防止設備が設置された建物・構築物につい

ては、当該施設及び建物・構築物が構造物全体としての変形能力（終局耐力時の変形）について十分な余裕を有するとともに、その施設に要求される機能（津波防護機能及び浸水防止機能）が保持できることを確認する。

浸水防止設備及び津波監視設備については、その設備に要求される機能（浸水防止機能及び津波監視機能）が保持できることを確認する。

d. 基礎地盤の支持性能

- (a) Sクラスの建物・構築物及びSクラスの機器・配管系（(b)に記載のもののうち、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を除く。）の基礎地盤

i. 基準地震動による地震力との組合せに対する許容限界

接地圧が、安全上適切と認められる規格及び基準等による地盤の極限支持力度に対して妥当な余裕を有することを確認する。

ii. 弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力との組合せに対する許容限界

接地圧に対して、安全上適切と認められる規格及び基準等による地盤の短期許容支持力度を許容限界とする。

- (b) 屋外重要土木構造物、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備が設置された建物・構築物の基礎地盤

i. 基準地震動による地震力との組合せに対する許容限界

接地圧が、安全上適切と認められる規格及び基準等による地盤の極限支持力度に対して妥当な余裕を有することを確認する。

- (c) Bクラス及びCクラスの建物・構築物、Bクラス及びCクラスの機器・配管系並びにその他の土木構造物の基礎地盤

上記 (a) ii. による許容支持力度を許容限界とする。

【説明資料（4.1(4)：P4条－87）】

1.4.1.5 設計における留意事項

耐震重要施設は、耐震重要度分類の下位のクラスに属する施設（以下「下位クラス施設」という。）の波及的影響によって、その安全機能を損なわないように設計する。

波及的影響については、耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力を適用して評価を行う。なお、地震動又は地震力の選定に当たっては、施設の配置状況、使用時間等を踏まえて適切に設定する。また、波及的影響においては水平2方向及び鉛直方向の地震力が同時に作

用する場合に影響を及ぼす可能性のある施設、設備を選定し評価する。

波及的影響の評価に当たっては、以下（１）～（４）をもとに、敷地全体を俯瞰した調査・検討を行い、耐震重要施設の安全機能への影響がないことを確認する。

なお、原子力発電所の地震被害情報をもとに、以下（１）～（４）以外に検討すべき事項がないかを確認し、新たな検討事項が抽出された場合には、その観点を追加する。

- （１） 設置地盤及び地震応答性状の相違等に起因する不等沈下又は相対変位による影響
 - a. 不等沈下
耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力に対して不等沈下により、耐震重要施設の安全機能へ影響がないことを確認する。
 - b. 相対変位
耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力による下位クラス施設と耐震重要施設の相対変位により、耐震重要施設の安全機能へ影響がないことを確認する。
- （２） 耐震重要施設と下位クラス施設との接続部における相互影響
耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力に対して、耐震重要施設に接続する下位クラス施設の損傷により、耐震重要施設の安全機能へ影響がないことを確認する。
- （３） 建屋内における下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等による耐震重要施設への影響
耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力に対して、建屋内の下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等により、耐震重要施設の安全機能へ影響がないことを確認する。
- （４） 建屋外における下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等による耐震重要施設への影響
 - a. 耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力に対して、建屋外の下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等により、耐震重要施設の安全機能へ影響がないことを確認する。
 - b. 耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力に対して、耐震重要施設の周辺斜面が崩壊しないことを確認する。

なお、上記（１）～（４）の検討に当たっては、溢水、火災の観点からも波及的影響がないことを確認する。（火災については「柏崎刈羽原子力発電所

6号炉及び7号炉 設計基準対象施設について」のうち「第8条 火災による損傷の防止」に、溢水については「柏崎刈羽原子力発電所6号炉及び7号炉 設計基準対象施設について」のうち「第9条 溢水による損傷の防止等」に記載)

上記の観点で検討した耐震重要施設に対して、波及的影響を考慮する施設を、第1.4.1表中に「波及的影響を考慮すべき施設」として記載する。

【説明資料（7：P4条－95）】

1.4.1.6 構造計画と配置計画

設計基準対象施設の構造計画及び配置計画に際しては、地震の影響が低減されるように考慮する。

建物・構築物は、原則として剛構造とし、重要な建物・構築物は、地震力に対し十分な支持性能を有する地盤に支持させる。剛構造としない建築・構築物は、剛構造と同等又はそれを上回る耐震安全性を確保する。

機器・配管系は、応答性状を適切に評価し、適用する地震力に対して構造強度を有する設計とする。配置に自由度のあるものは、耐震上の観点からできる限り重心位置を低くし、かつ、安定性のよい据付け状態になるよう配置する。

また、建物・構築物の建屋間相対変位を考慮しても、建物・構築物及び機器・配管系の耐震安全性を確保する設計とする。

下位クラス施設は原則、耐震重要施設に対して離隔をとり配置する若しくは、基準地震動に対し構造強度を保つようにし、耐震重要施設の安全機能を損なわない設計とする。

【説明資料（9：P4条－98）】

1.4.3 主要施設の耐震構造

1.4.3.1 原子炉建屋

原子炉建屋は、地上4階、地下3階建で、平面が約57m（南北方向）×約60m（東西方向）の鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造）の建物である。

最下階床面からの高さは約58mで地上高さは約38mである。

建物中央部には鉄筋コンクリート製原子炉格納容器があり、鉄筋コンクリート造の基礎版上に設置し原子炉建屋と一体構造としている。その外側に外壁である原子炉建屋側壁がある。

これらは、原子炉建屋の主要な耐震壁を構成している。また、それぞれ壁の間は強固な床版で一体に連結し、全体として剛な構造としている。

1.4.3.2 タービン建屋

タービン建屋は、地上 2 階(一部 3 階)、地下 2 階建で平面が約 97m (南北方向) ×約 82m (東西方向) の鉄筋コンクリート造(一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造) の建物である。

建物の内部は、多くの遮蔽壁をもち、剛性が高い。したがって十分な耐震性を有する構造となっている。

1.4.3.3 原子炉格納容器

格納容器は、鋼製ライナを内張りした鉄筋コンクリート造であり、圧力容器を取り囲む円筒型ドライウェル、円筒型サブプレッション・チェンバ及び基礎版等で構成され、容器の主要寸法は、円筒部直径が約 29m、全高が約 36m である。

内部にはドライウェルとサブプレッション・チェンバを仕切る鉄筋コンクリート造のダイヤフラム・フロアがある。

格納容器は、原子炉建屋床版、燃料プール、キャスク・ピット、蒸気乾燥器・気水分離器ピット等と一体にしているので、圧力容器から格納容器に伝えられる地震力及び格納容器にかかる地震力を、原子炉建屋耐震壁とともに負担する構造である。

1.4.3.4 原子炉圧力容器

圧力容器は、内径約 7.1m、内高約 21m、重量は圧力容器内部構造物、内部冷却材及び燃料集合体を含めて約 1,900t である。

この容器は、胴下部の鋼製スカートで支持し、スカートは鋼製円筒形基礎にアンカ・ボルトで接続されている。圧力容器は上部を、その外周の円筒状原子炉遮へい壁頂部でスタビライザによって水平方向に支持する。スタビライザはプリコンプレッションによって圧力容器を締めつけており地震力に対し圧力容器の上部を横方向に支持している。なお、圧力容器の熱膨張によってこのプリコンプレッションが弛緩して零にならないようにする。

1.4.3.5 原子炉圧力容器内部構造物

炉心に作用する水平力は、ステンレス鋼製の炉心シュラウドで支持する。

炉心シュラウドは円筒形をした構造でシュラウド支持脚を介して圧力容器の下部に溶接する。燃料集合体に作用する水平力は、上部格子板及び炉心支持板を通して炉心シュラウドに伝える。燃料集合体は、ジルカロイ製の細長いチャンネル・ボックスに納める。燃料棒は、過度の変形を生ず

ることがないように、燃料集合体頂部及び底部のタイ・プレートで押さえ、中間部もスペーサによって押さえる。

気水分離器は、シュラウド・ヘッドに取り付けられたスタンド・パイプに溶接する。蒸気乾燥器は、圧力容器に付けたブラケットで支持する。

10 台の再循環ポンプは、炉心シュラウドの外周下端に配置する。

再循環ポンプ・モータケーシングは、圧力容器と一体構造とする。再循環ポンプは、ケーシングにより圧力容器下鏡部で支持する。

制御棒駆動機構ハウジングは、上部は圧力容器底部のスタブ・チューブに溶接し、下部は地震力に対しハウジング・サポートで支持し、地震力に対しても十分な強度を持つように設計する。

1.4.3.6 その他

その他の機器・配管については、運転荷重、地震荷重、熱膨脹による荷重を考慮して、必要に応じてスナバ、リジット・ハンガ、その他の支持装置を使用して耐震的にも熱的にも安全な設計とする。

1.4.4 地震検知による耐震安全性の確保

(1) 地震感知器

安全保護系の一つとして地震感知器を設け、ある程度以上の地震が起こった場合に原子炉を自動的に停止させる。スクラム設定値は弾性設計用地震動の加速度レベルに余裕を持たせた値とする。安全保護系は、フュエル・セーフ設備とするが、地震以外のショックによって原子炉をスクラムさせないよう配慮する。

地震感知器は、基盤の地震動をできるだけ直接的に検出するため建屋基礎版の位置、また主要な機器が配置されている代表的な床面に設置する。なお、設置に当たっては試験及び保守が可能な原子炉建屋の適切な場所に設置する。

(2) 地震観測等による耐震性の確認

発電用原子炉施設のうち安全上特に重要なものに対しては、地震観測網を適切に設置し、地震観測等により振動性状の把握を行い、それらの測定結果に基づく解析等により施設の機能に支障のないことを確認していくものとする。

地震観測を継続して実施するために、地震観測網の適切な維持管理を行う。

第 1.4.1 表 クラス別施設

耐震重要度 分類	機能別分類	主要設備 注 1)		補助設備 注 2)		直接支持構造物 注 3)		間接支持構造物 注 4)		波及的影響を 考慮すべき設備 注 5)	
		適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	検討用 地震動 注 6)	適用範囲	検討用 地震動 注 6)
S クラス	(I) 原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系	・原子炉圧力容器 ・原子炉冷却材圧力バウンダリに属する容器・配管・ポンプ・弁	S S	・隔離弁を閉とするに必要な電気及び計装設備	S	・原子炉圧力容器支持スカート ・機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	S S	・原子炉圧力容器基礎 ・原子炉建屋 ・コントロール建屋	S s S s S s	・原子炉遮蔽壁 ・その他	S s S s
	(II) 使用済燃料を貯蔵するための施設	・使用済燃料貯蔵プール ・使用済燃料貯蔵ラック	S S	・燃料プール水補給設備(残留熱除去系(燃料プール水の補給に必要な設備)) ・非常用電源及び計装設備(ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設を含む)	S S	・機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	S	・原子炉建屋 ・コントロール建屋 ・軽油タンクの基礎 ・非常用電源の燃料油系を支持する構造物	S s S s S s S s	・原子炉建屋クレーン ・燃料取扱設備 ・その他	S s S s S s
	(III) 原子炉の緊急停止のために急激に負の反応度を付加するための施設、及び原子炉の停止状態を維持するための施設 注 7)	・制御棒、制御棒駆動機構及び制御棒駆動水圧系(スクラム機能に関する部分)	S	・炉心支持構造物 ・電気計装設備 ・チャンネル・ボックス	S S S	・機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	S	・原子炉建屋 ・下部ドライウェルアクセストンネル	S s S s	・その他	S s
	(IV) 原子炉停止後、炉心から崩壊熱を除去するための施設	・原子炉隔離時冷却系 ・高圧炉心注水系 ・残留熱除去系(停止時冷却モード運転に必要な設備) ・冷却水源としてのサブレーション・チェンバ	S S S S	・当該施設の冷却系(原子炉補機冷却系) ・炉心支持構造物 ・非常用電源及び計装設備(ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設を含む) ・当該施設の機能維持に必要な空調設備	S S S S	・機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	S	・原子炉建屋 ・当該設備に係る屋外コンクリートダクト ・コントロール建屋 ・タービン建屋 (S クラスの機器・配管を支持する部分) ・軽油タンクの基礎 ・非常用電源の燃料油系を支持する構造物	S s S s S s S s S s S s	・その他	S s

(つづき)

耐震重要度 分類	機能別分類	主要設備 注1)		補助設備 注2)		直接支持構造物 注3)		間接支持構造物 注4)		波及的影響を 考慮すべき設備 注5)	
		適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	検討用 地震動 注6)	適用範囲	検討用 地震動 注6)
Sクラス	(V) 原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故後、炉心から崩壊熱を除去するための施設	・非常用炉心冷却系 1) 高圧炉心注水系 2) 原子炉隔離時冷却系 3) 残留熱除去系(低圧注水モード運転に必要な設備) 4) 自動減圧系 ・冷却水源としてのサブレッション・チェンバ	S S	・当該施設の冷却系(原子炉補機冷却系) ・非常用電源及び計装設備(ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設を含む) ・中央制御室の遮蔽及び空調設備 ・当該施設の機能維持に必要な空調設備	S S	・機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	S	・原子炉建屋 ・タービン建屋 (Sクラスの配管を支持する部分) ・当該施設に係る屋外コンクリートダクト ・コントロール建屋 ・軽油タンクの基礎 ・非常用電源の燃料油系を支持する構造物	S s S s S s S s S s S s	・その他	S s
	(VI) 原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故の際に、圧力障壁となり放射性物質の拡散を直接防ぐための施設	・原子炉格納容器 ・格納容器バウンダリに属する配管・弁	S S	—	—	・機器・配管等の支持構造物	S	・原子炉建屋	S s	・原子炉ウエル遮蔽ブラグ ・その他	S s S s
				・隔離弁を閉とするに必要な電気及び計装設備	S	・電気計装設備等の支持構造物	S	・原子炉建屋 ・コントロール建屋	S s S s	・その他	S s
	(VII) 放射性物質の放出を伴うような事故の際に、その外部放散を抑制するための施設であり、Sクラス(VI)以外の施設	・残留熱除去系(格納容器スプレイ冷却モードの運転に必要な設備)	S	・当該施設の冷却系(原子炉補機冷却系)	S	・機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	S	・原子炉建屋	S s	・その他	S s
		・可燃性ガス濃度制御系	S	・非常用電源及び計装設備(ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設を含む)	S			・主排気筒(非常用ガス処理系の排気口を支持する場合)	S s		
		・原子炉建屋原子炉区域	S	・当該施設の機能維持に必要な空調設備	S			・タービン建屋(Sクラスの配管を支持する部分)	S s		
		・非常用ガス処理系及び排気口	S					・当該施設に係る屋外コンクリートダクト	S s		
		・原子炉格納容器圧力抑制装置(ダイヤフラムフロア、ベント管)	S					・コントロール建屋	S s		
		・冷却水源としてのサブレッション・チェンバ	S					・軽油タンクの基礎	S s		
								・非常用電源の燃料油系を支持する構造物	S s		

(つづき)

耐震重要度 分類	機能別分類	主要設備 注1)		補助設備 注2)		直接支持構造物 注3)		間接支持構造物 注4)		波及的影響を 考慮すべき設備 注5)	
		適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	検討用 地震動 注6)	適用範囲	検討用 地震動 注6)
Sクラス	(Ⅷ) 津波防護機能を有する設備及び浸水防止機能を有する設備	・海水貯留堰 ・閉止板 ・水密扉 ・浸水防止ダクト ・床ドレンライン浸水防止治具 ・貫通部止水処置	S S S S S	—	—	—	—	・浸水防止設備が設置された建物・構築物	S s	・その他	S s
	(Ⅸ) 敷地における津波監視機能を有する施設	・津波監視カメラ ・取水槽水位計	S S	・非常用電源及び計装設備(ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設を含む)	S	・電気計装設備等の支持構造物	S	・津波監視設備が設置された建物・構築物 ・軽油タンクの基礎 ・非常用電源の燃料油系を支持する構造物	S s S s S s	・その他	S s

※圧力容器内部構造物は、炉内にあることの重要性からSクラスに準ずる。

(つづき)

耐震重要度 分類	機能別分類	主要設備 注1)		補助設備 注2)		直接支持構造物 注3)		間接支持構造物 注4)		波及的影響を 考慮すべき設備 注5)	
		適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	検討用 地震動 注6)	適用範囲	検討用 地震動 注6)
Bクラス	(Ⅰ) 原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていて、一次冷却材を内蔵しているか、又は内蔵し得る施設	・主蒸気系（原子炉格納容器外側主蒸気隔離弁からタービン主蒸気止め弁まで） ・逃がし安全弁排気管	B 注8) B 注9)	—	—	・機器・配管等の支持構造物	B 注8)	・原子炉建屋 ・タービン建屋 （原子炉格納容器外側主蒸気隔離弁よりタービン主蒸気止め弁までの配管・弁を支持する部分）	S _d S _d	—	—
		・主蒸気系及び給水系 ・原子炉冷却材浄化系	B B	—	—	・機器・配管等の支持構造物	B	・原子炉建屋 ・タービン建屋	S _B S _B	—	—
	(Ⅱ) 放射性廃棄物を内蔵している施設（ただし、内蔵量が少ない又は貯蔵方式により、その破損により公衆に与える放射線の影響が「周辺監視区域」外における年間の線量限度に比べ十分小さいものは除く）	・放射性廃棄物廃棄施設 ただし、Cクラスに属するものは除く	B	—	—	・機器・配管等の支持構造物	B	・原子炉建屋 ・タービン建屋 ・廃棄物処理建屋 ・焼却炉建屋	S _B S _B S _B S _B	—	—
	(Ⅲ) 放射性廃棄物以外の放射性物質に関連した施設で、その破損により、公衆及び従業員に過大な放射線被ばくを与える可能性のある施設	・蒸気タービン、湿分分離加熱器、復水器、給水加熱器及びその主要配管 ・復水浄化系 ・復水貯蔵槽 ・燃料プール冷却浄化系 ・サブプレッションプール浄化系 ・放射線低減効果の大きい遮蔽 ・制御棒駆動水圧系（放射性流体を内蔵する部分、ただし、スクラム機能に関するものを除く） ・原子炉建屋クレーン ・燃料取扱設備 ・制御棒貯蔵ラック	B B B B B B B B B	—	—	・機器・配管等の支持構造物	B	・原子炉建屋 ・タービン建屋 ・タービン・ベデスタル ・廃棄物処理建屋	S _B S _B S _B S _B	—	—

(つづき)

耐震重要度 分類	機能別分類	主要設備 注 1)		補助設備 注 2)		直接支持構造物 注 3)		間接支持構造物 注 4)		波及的影響を 考慮すべき設備 注 5)	
		適用範囲	耐 震 クラス	適用範囲	耐 震 クラス	適用範囲	耐 震 クラス	適用範囲	検討用 地震動 注 6)	適用範囲	検討用 地震動 注 6)
Bクラス	(Ⅳ) 使用済燃料を冷却するための施設	・燃料プール冷却浄化系	B	・原子炉補機冷却系 ・電気計装設備	B B	・機器・配管、電気計装 設備等の支持構造物	B	・原子炉建屋 ・タービン建屋 ・コントロール建屋	S _B S _B S _B	—	—
	(Ⅴ) 放射性物質の放出を伴うような場合に、その外部放散を抑制するための施設で、Sクラスに属さない施設	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

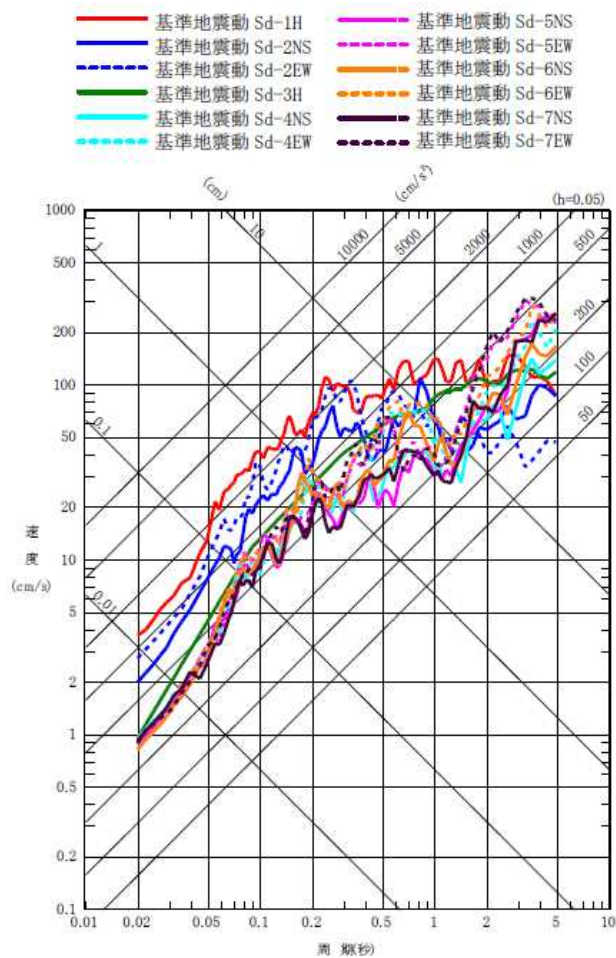
(つづき)

耐震重要度 分類	機能別分類	主要設備 注 1)		補助設備 注 2)		直接支持構造物 注 3)		間接支持構造物 注 4)		波及的影響を 考慮すべき設備 注 5)	
		適用範囲	耐 震 クラス	適用範囲	耐 震 クラス	適用範囲	耐 震 クラス	適用範囲	検討用 地震動 注 6)	適用範囲	検討用 地震動 注 6)
Cクラス	(Ⅰ) 原子炉の反応度を制御するための施設でSクラス及びBクラスに属さない施設	・冷却材再循環流量制御装置 ・制御棒駆動系 (Sクラス及びBクラスに属さない部分)	C C	—	—	—	—	・原子炉建屋 ・コントロール建屋 ・廃棄物処理建屋	S _c S _c S _c	—	—
	(Ⅱ) 放射性物質を内蔵しているか、又はこれに関連した施設でSクラス及びBクラスに属さない施設	・試料採取系 ・シャワ・ドレン系 ・洗濯廃液系 ・固体廃棄物貯蔵施設 ・雑固体系 (雑固体廃棄物処理設備を除く) ・新燃料貯蔵庫 ・使用済燃料輸送容器保管施設 ・その他	C C C C C C C C	—	—	・機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	C	・原子炉建屋 ・タービン建屋 ・焼却炉建屋 ・ランドリ建屋 ・廃棄物処理建屋 ・コントロール建屋 ・サービス建屋 ・使用済燃料輸送容器保管建屋 注 10)	S _c S _c S _c S _c S _c S _c S _c S _c	—	—

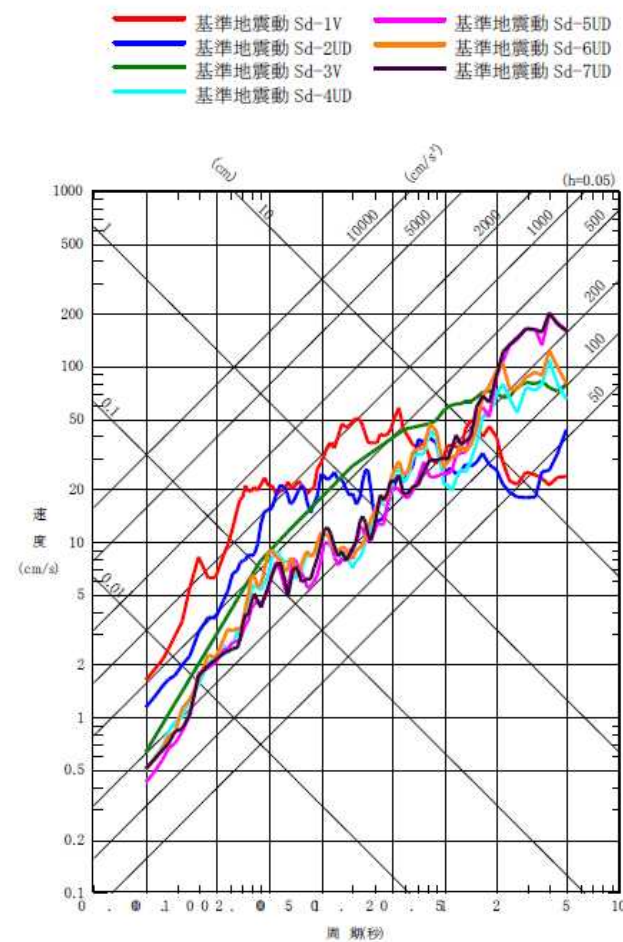
(つづき)

耐震重要度 分類	機能別分類	主要設備 注1)		補助設備 注2)		直接支持構造物 注3)		間接支持構造物 注4)		波及的影響を 考慮すべき設備 注5)	
		適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	検討用 地震動 注6)	適用範囲	検討用 地震動 注6)
Cクラス	(Ⅲ) 放射線安全に関 係しない施設等	<ul style="list-style-type: none"> ・循環水系 ・タービン補機冷却系 ・所内ボイラ ・消火系 ・開閉所，発電機，変圧器 ・換気空調系 (Sクラスの換気空調系以外のもの) ・タービン建屋クレーン ・圧縮空気系 ・緊急時対策所 ・その他 	C C C C C C C C C C	<ul style="list-style-type: none"> ・緊急時対策所計装設備・通信連絡設備 	C	<ul style="list-style-type: none"> ・機器・配管，電気計装設備等の支持構造物 	C	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋 ・タービン建屋 ・補助ボイラ建屋 ・当該施設の支持構造物 ・コントロール建屋 ・サービス建屋 ・廃棄物処理建屋 ・緊急時対策所 	S _c S _c S _c S _c S _c S _c S _c S _c	—	—

- (注 1) 主要設備とは、当該機能に直接的に関連する設備をいう。
- (注 2) 補助設備とは、当該機能に間接的に関連し、主要設備の補助的役割を持つ設備をいう。
- (注 3) 直接支持構造物とは、主要設備、補助設備に直接取り付けられる支持構造物、若しくはこれらの設備の荷重を直接的に受ける構造物をいう。
- (注 4) 間接支持構造物とは、直接支持構造物から伝達される荷重を受ける構造物（建物・構築物）をいう。
- (注 5) 波及的影響を考慮すべき設備とは、下位の耐震クラスに属するものの破損等によって上位の分類に属するものに波及的影響を及ぼすおそれのある施設をいう。
- (注 6) S_s : 基準地震動により定まる地震力。
 S_d : 弾性設計用地震動により定まる地震力。
 S_B : 耐震Bクラス施設に適用される地震力。
 S_C : 耐震Cクラス施設に適用される静的地震力。
- (注 7) ほう酸水注入系は、安全機能の重要度を考慮して、構造強度についてはSクラスに準じて取り扱う。
- (注 8) Bクラスではあるが、弾性設計用地震動に対し破損しないことの検討を行うものとする。
- (注 9) 地震により逃がし安全弁排気管が破損したとしても、ドライウエル内に放出された蒸気はベント管を通してサプレッション・チェンバのプール水中に導かれて凝縮するため、格納容器内圧が有意に上昇することはないと考えられるが、基準地震動に対し破損しないことを確認する。
- (注 10) 使用済燃料輸送容器保管建屋の破損によって使用済燃料輸送容器に波及的破損を与えないよう設計するものとする。

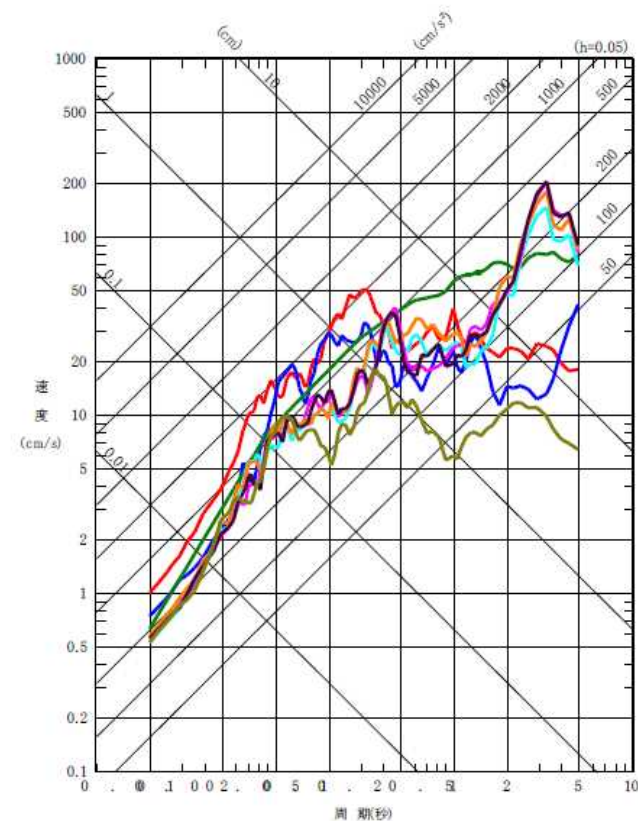
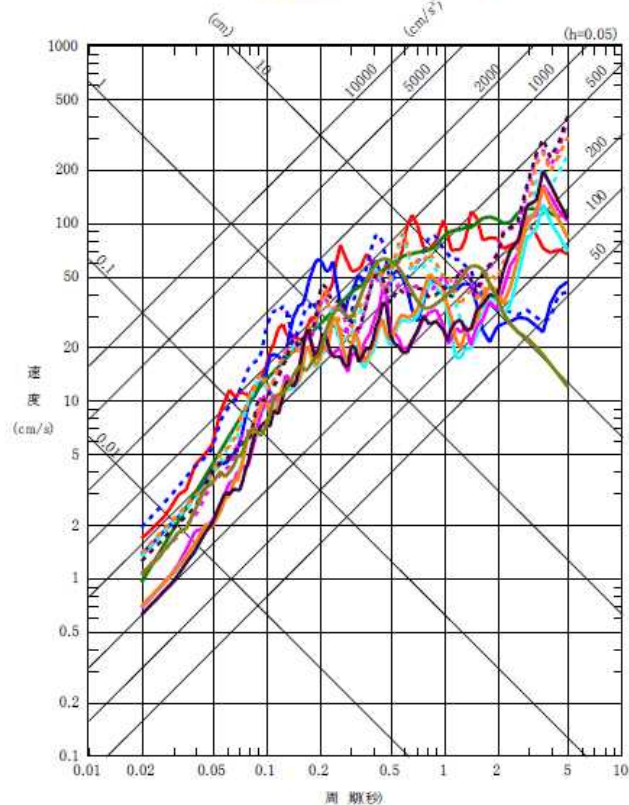


水平方向



鉛直方向

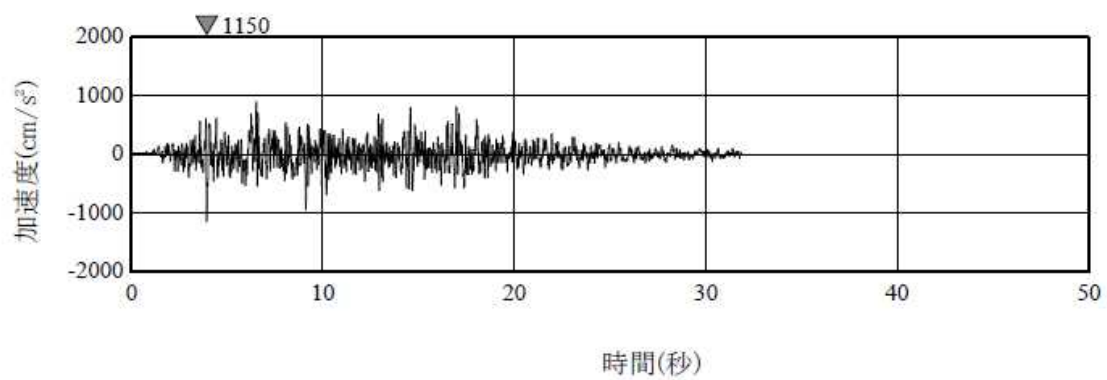
第 1.4.1 図 弾性設計用地震動 S d - 1 ~ S d - 7 の応答スペクトル (荒浜側)



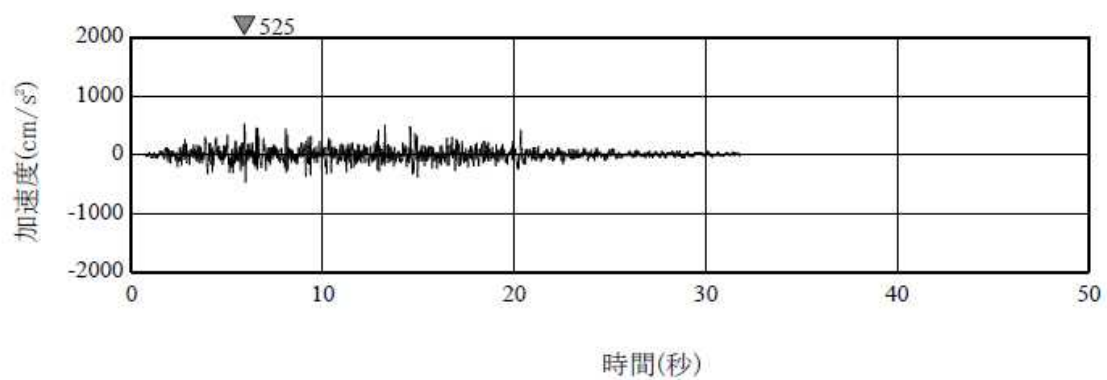
水平方向

鉛直方向

第 1.4.2 図 弾性設計用地震動 S d - 1 ~ S d - 8 の応答スペクトル (大湊側)

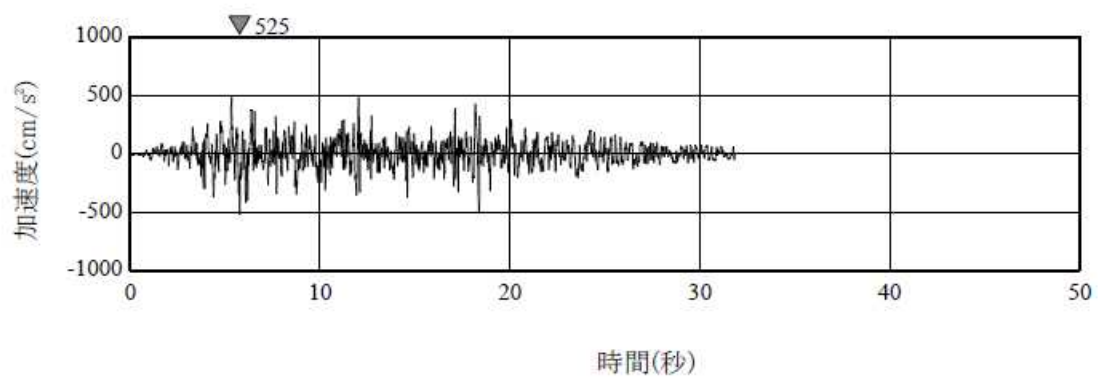


(a) Sd-1H

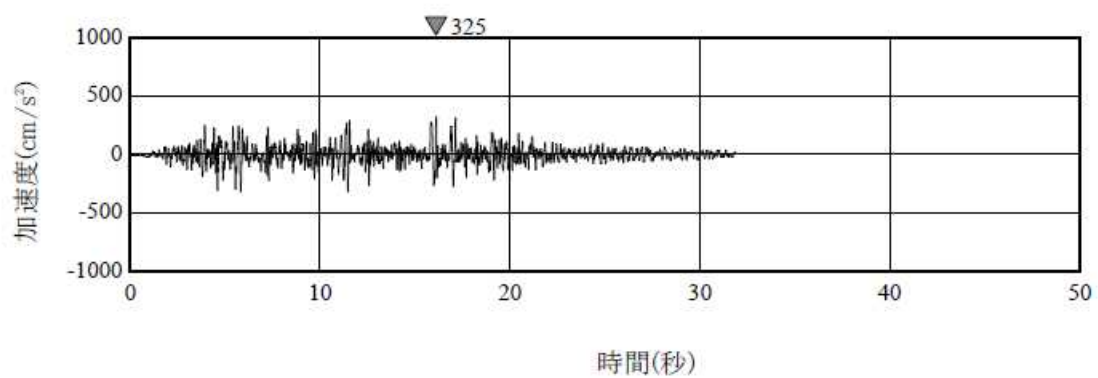


(b) Sd-1V

第 1.4.3 図 弾性設計用地震動 S d - 1 の加速度時刻歴波形（荒浜側）

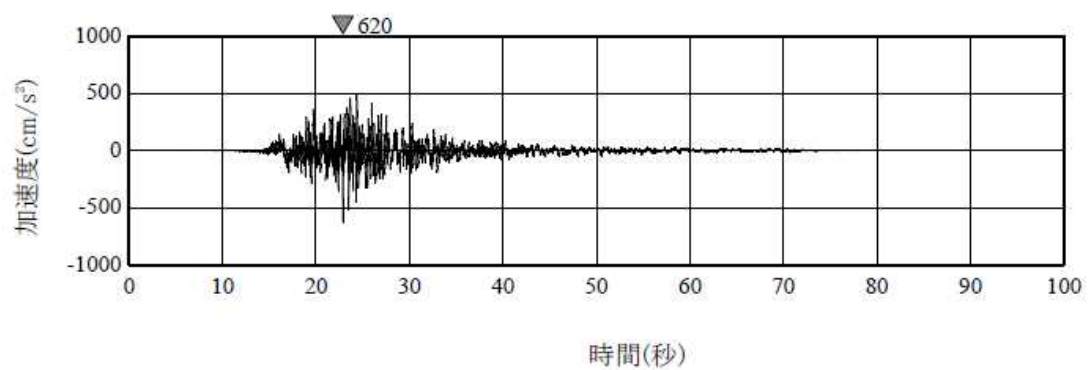


(a) Sd-1H

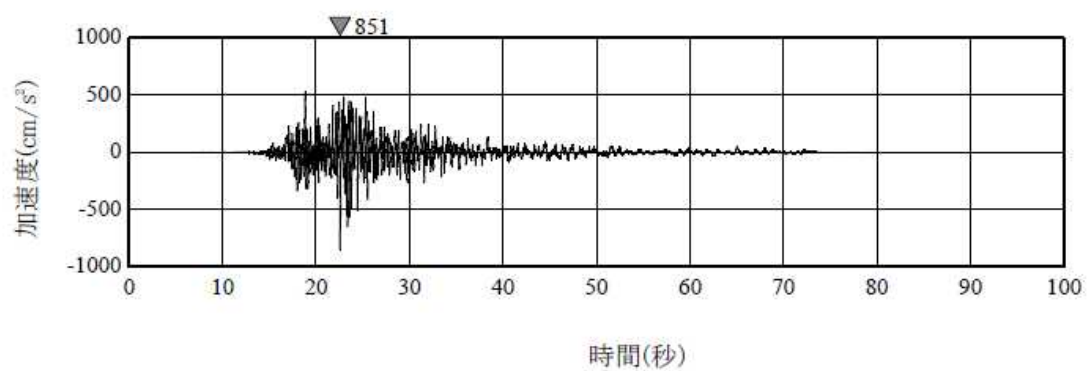


(b) Sd-1V

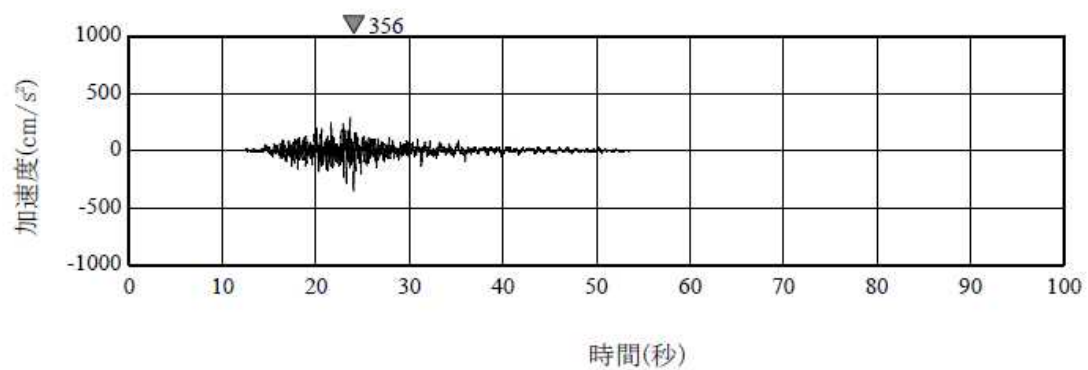
第 1.4.4 図 弾性設計用地震動 S d - 1 の加速度時刻歴波形（大湊側）



(a) Sd-2NS

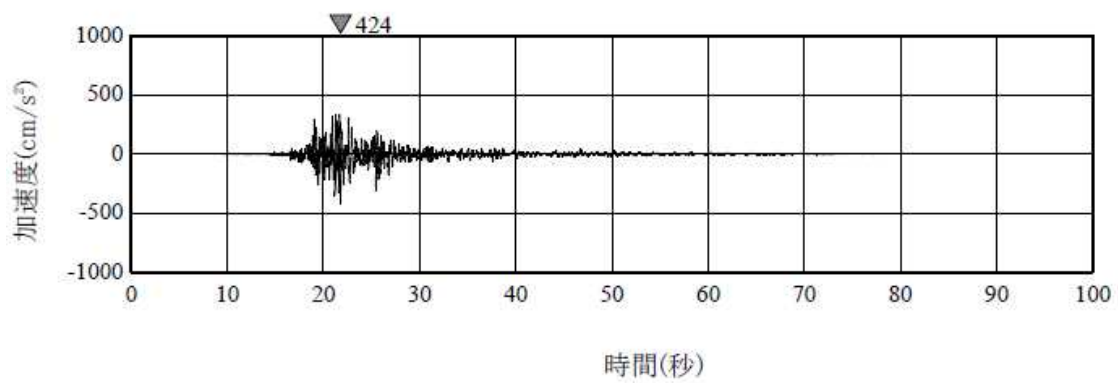


(b) Sd-2EW

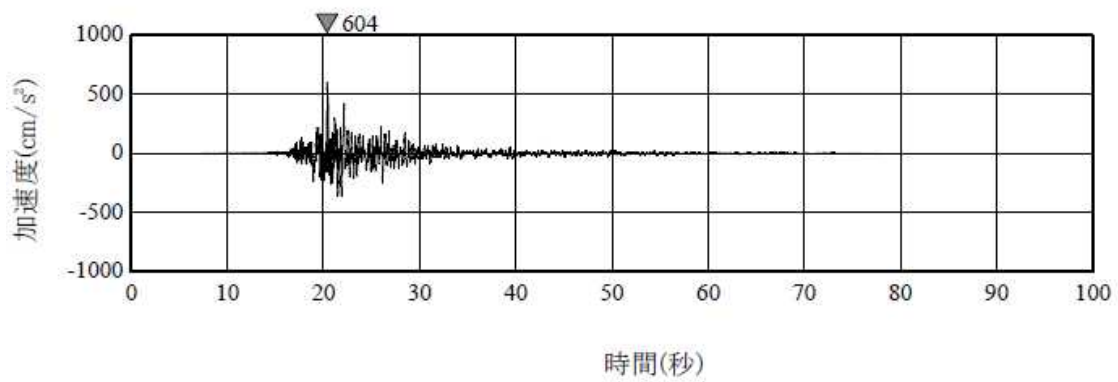


(c) Sd-2UD

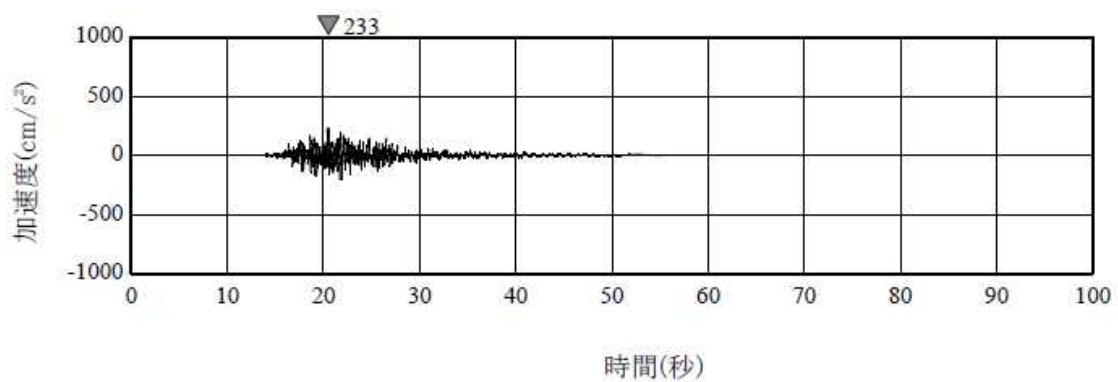
第 1.4.5 図 弾性設計用地震動 S d - 2 の加速度時刻歴波形（荒浜側）



(a) Sd-2NS

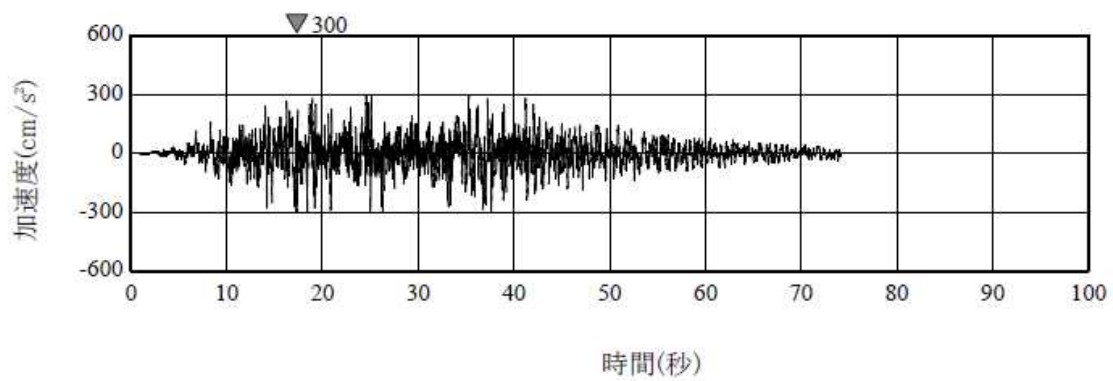


(b) Sd-2EW

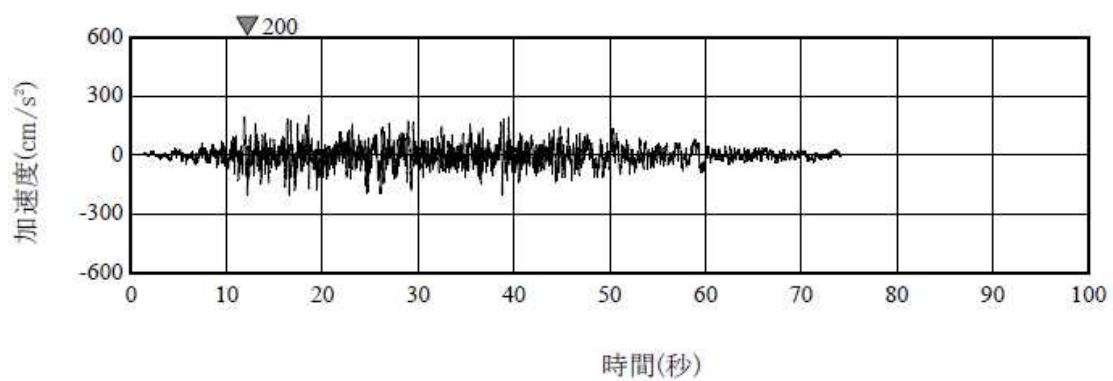


(c) Sd-2UD

第 1.4.6 図 弾性設計用地震動 S d - 2 の加速度時刻歴波形（大湊側）

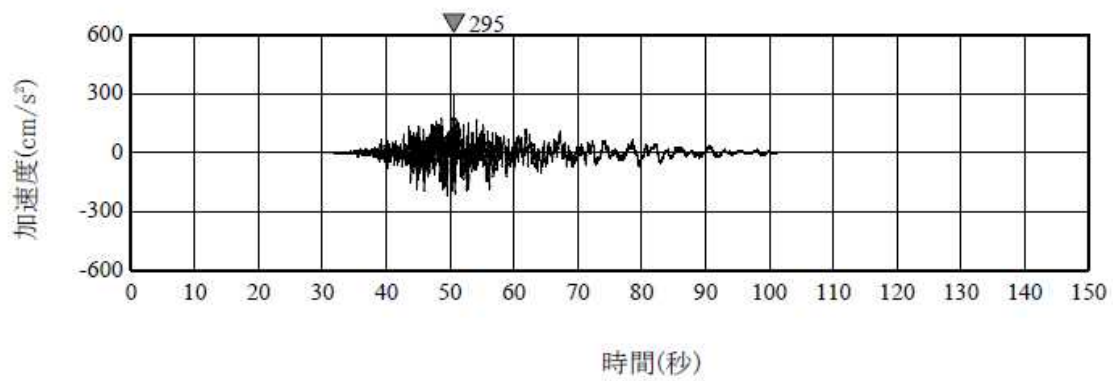


(a) Sd-3H

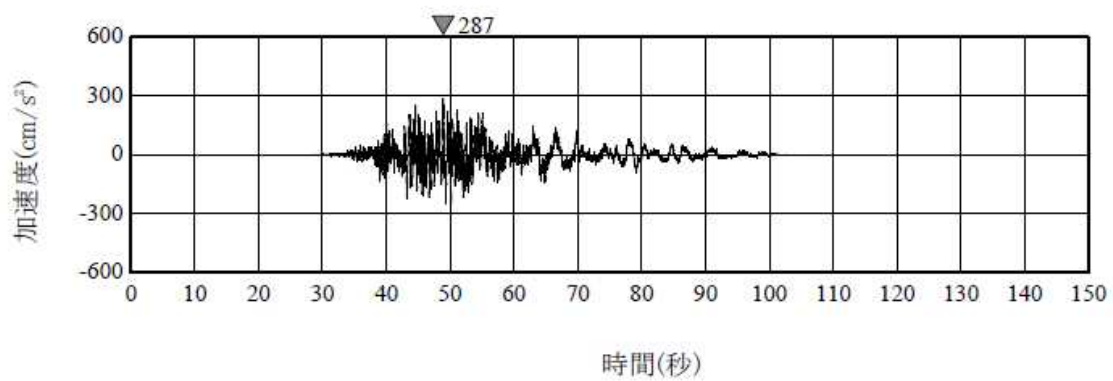


(b) Sd-3V

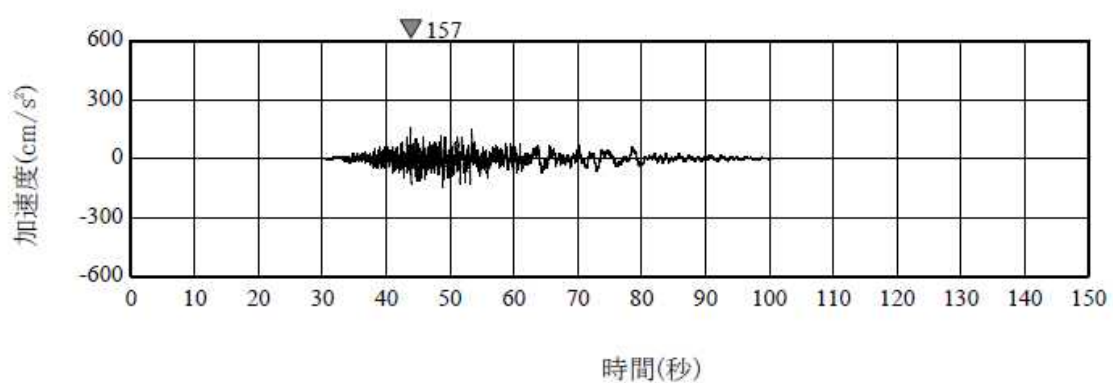
第 1.4.7 図 弾性設計用地震動 S d - 3 の加速度時刻歴波形
(荒浜側と大湊側で共通)



(a) Sd-4NS

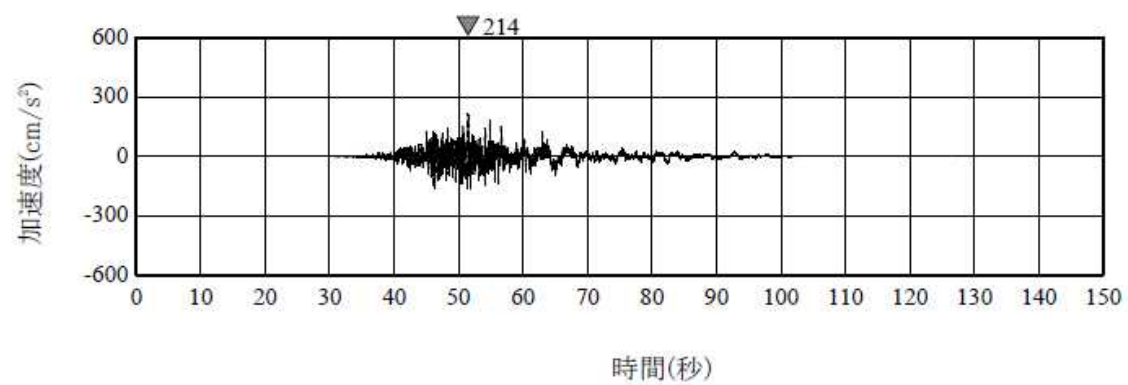


(b) Sd-4EW

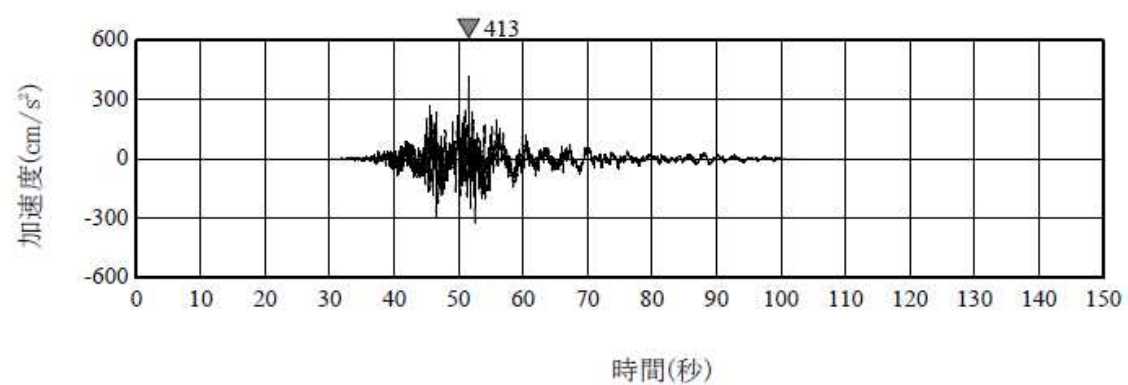


(c) Sd-4UD

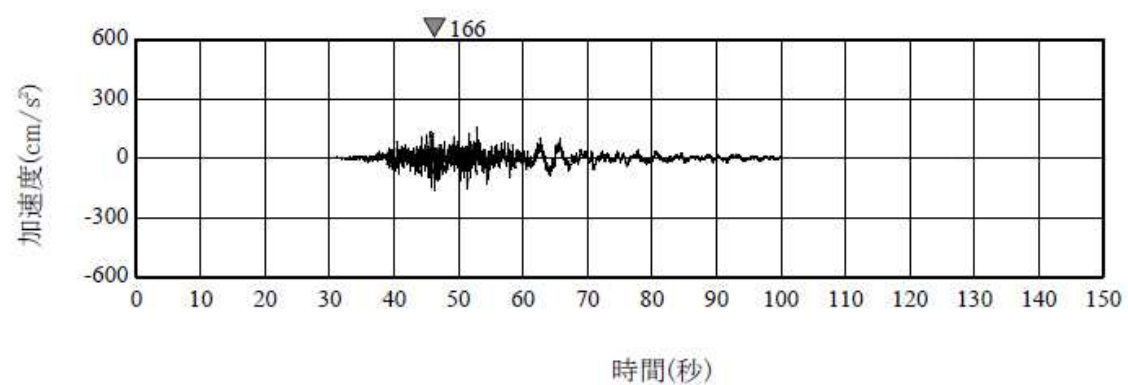
第 1.4.8 図 弾性設計用地震動 S d - 4 の加速度時刻歴波形 (荒浜側)



(a) Sd-4NS

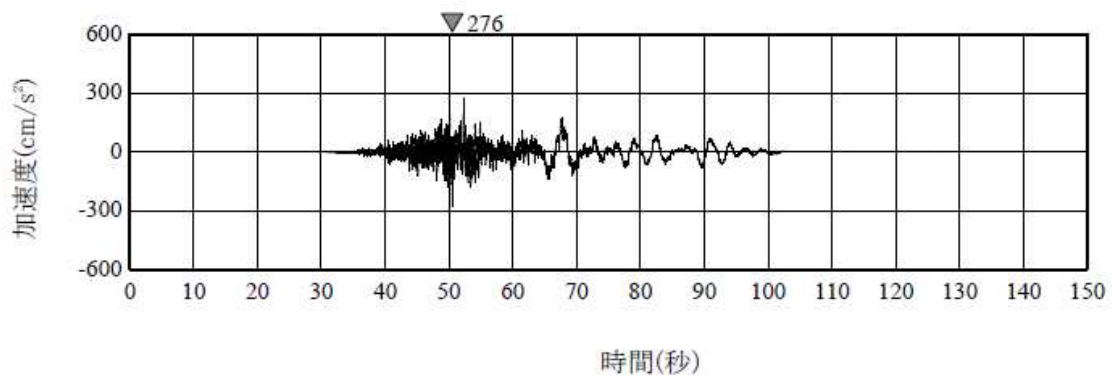


(b) Sd-4EW

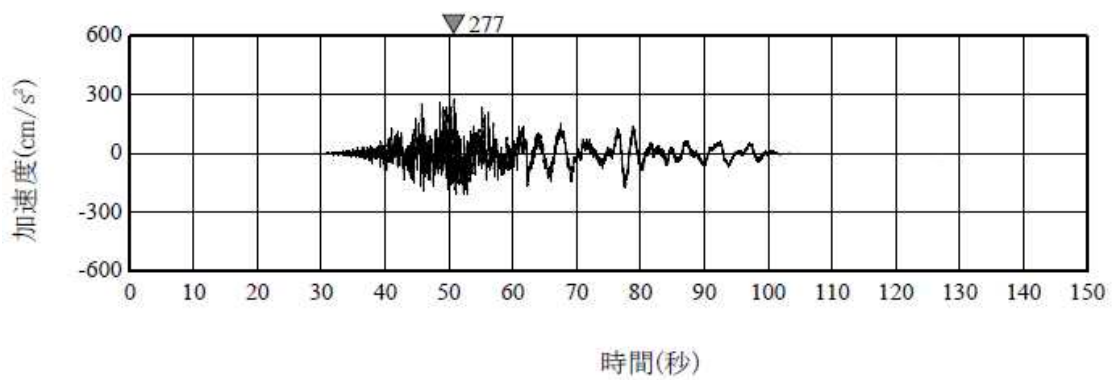


(c) Sd-4UD

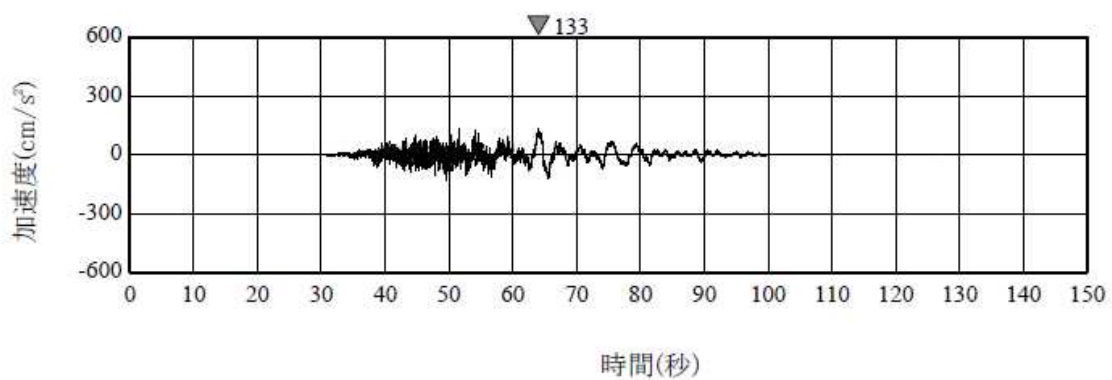
第 1.4.9 図 弾性設計用地震動 S d - 4 の加速度時刻歴波形（大湊側）



(a) Sd-5NS

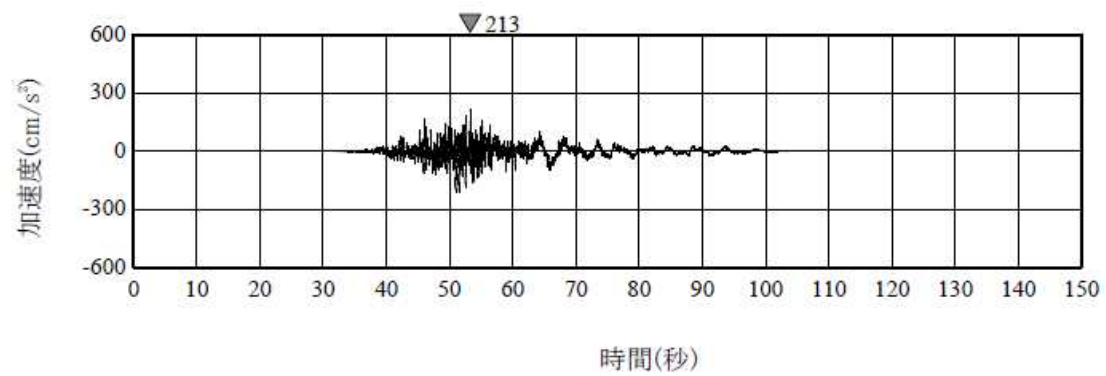


(b) Sd-5EW

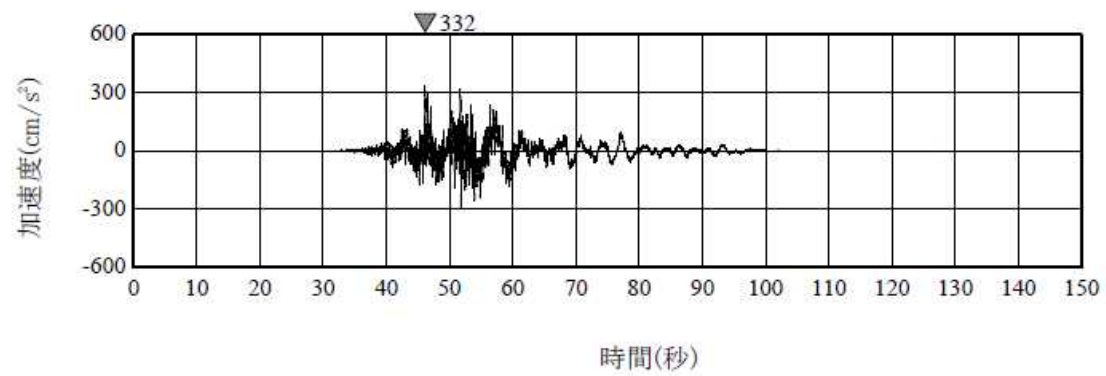


(c) Sd-5UD

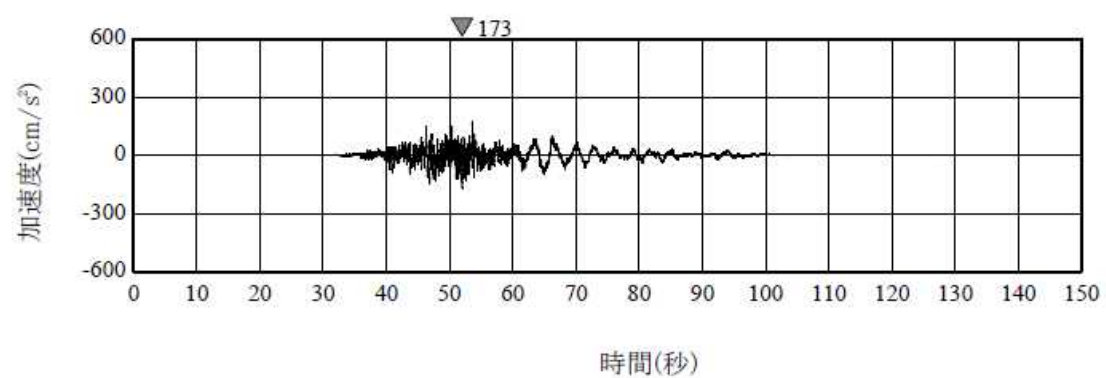
第 1.4.10 図 弾性設計用地震動 S d - 5 の加速度時刻歴波形（荒浜側）



(a) Sd-5NS

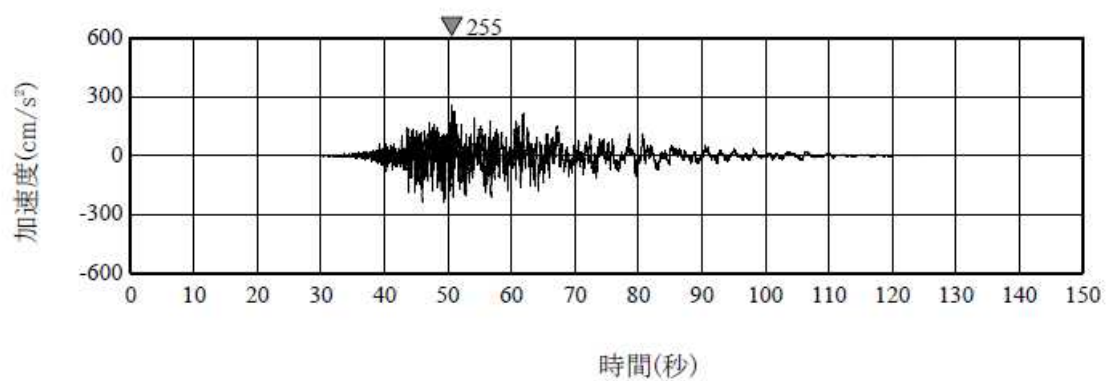


(b) Sd-5EW

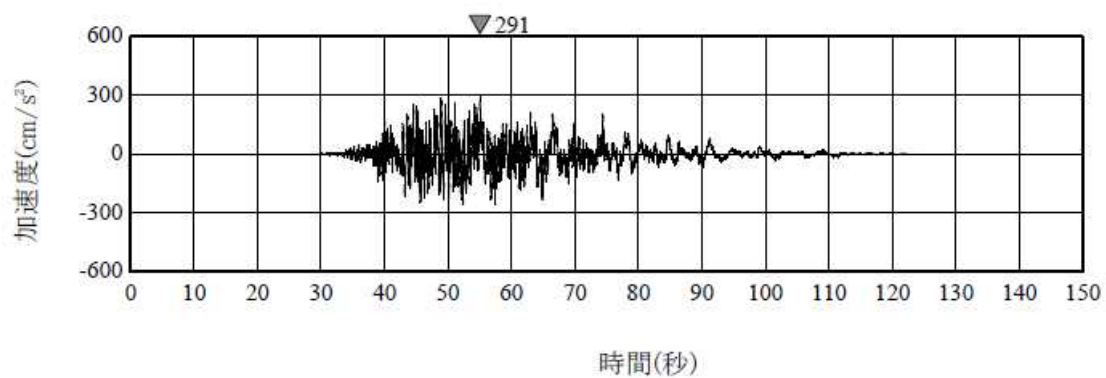


(c) Sd-5UD

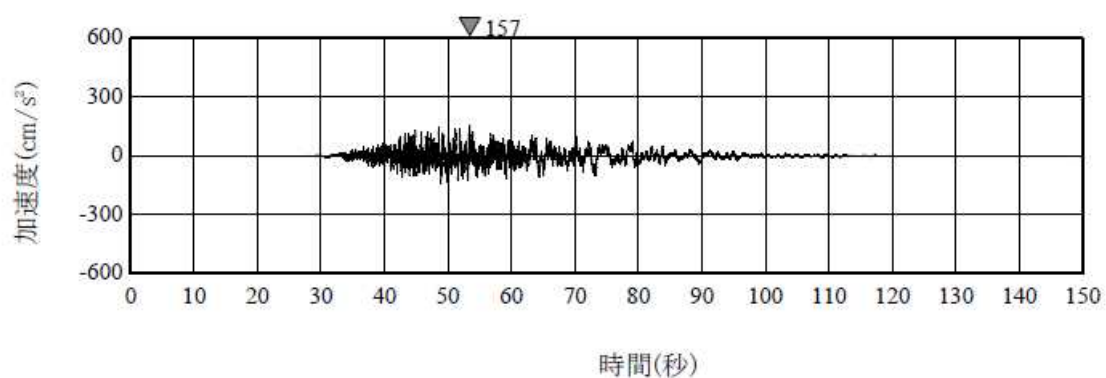
第 1.4.11 図 弾性設計用地震動 S d - 5 の加速度時刻歴波形（大湊側）



(a) Sd-6NS

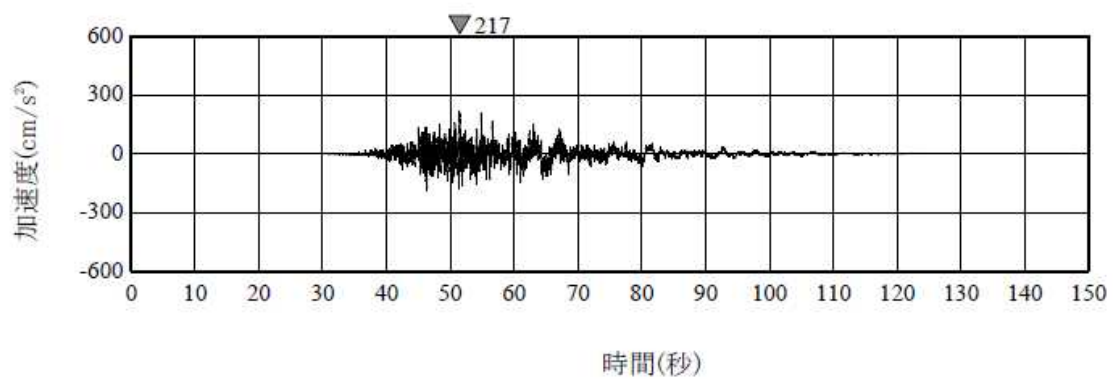


(b) Sd-6EW

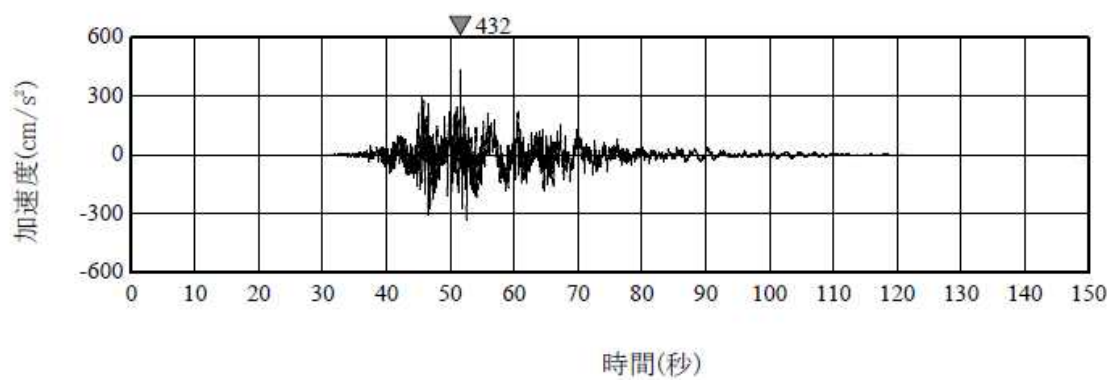


(c) Sd-6UD

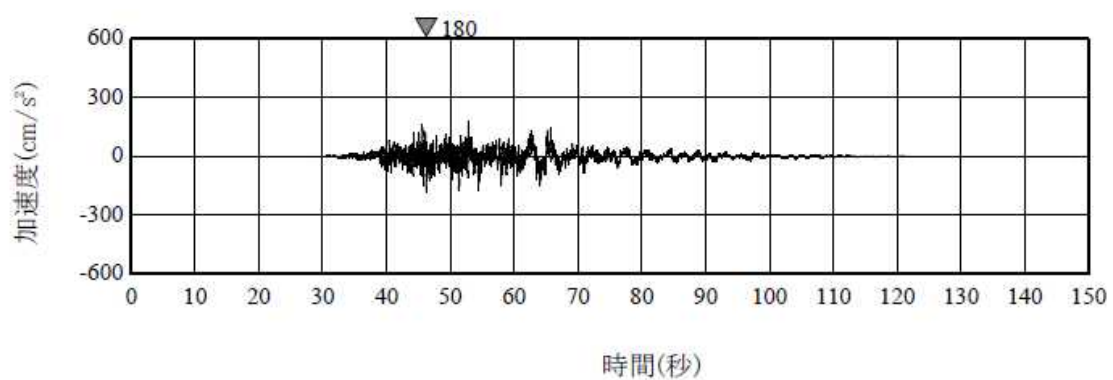
第 1.4.12 図 弾性設計用地震動 S d - 6 の加速度時刻歴波形（荒浜側）



(a) Sd-6NS

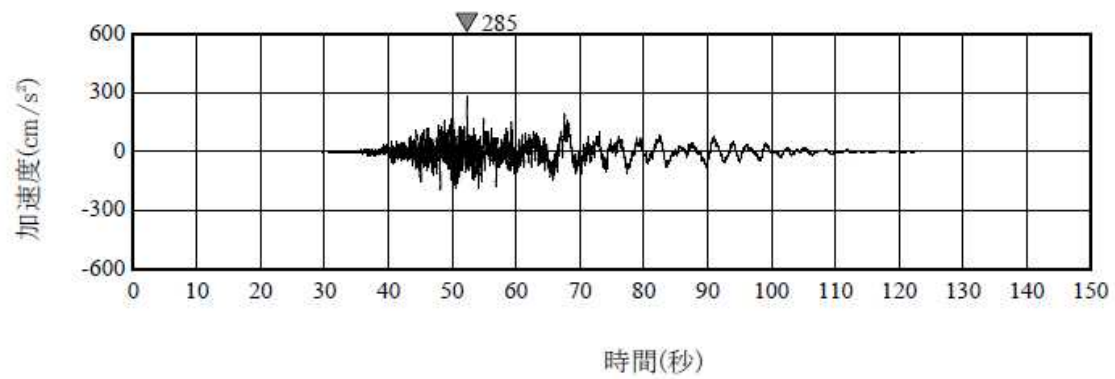


(b) Sd-6EW

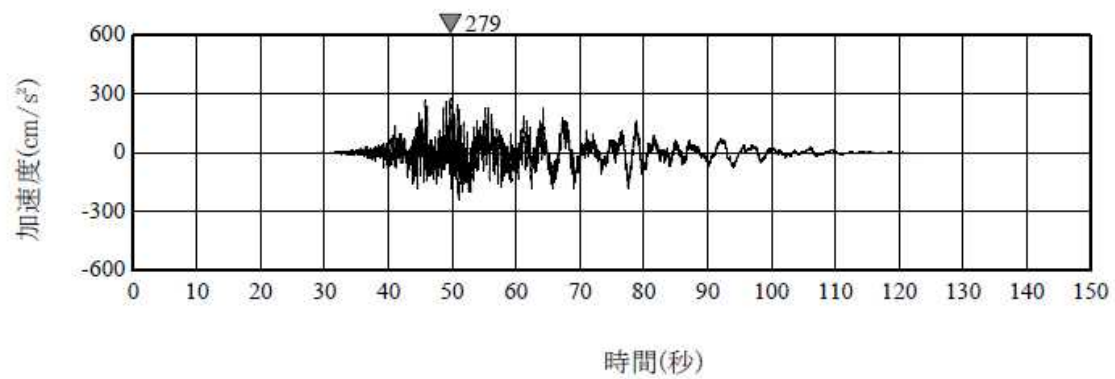


(c) Sd-6UD

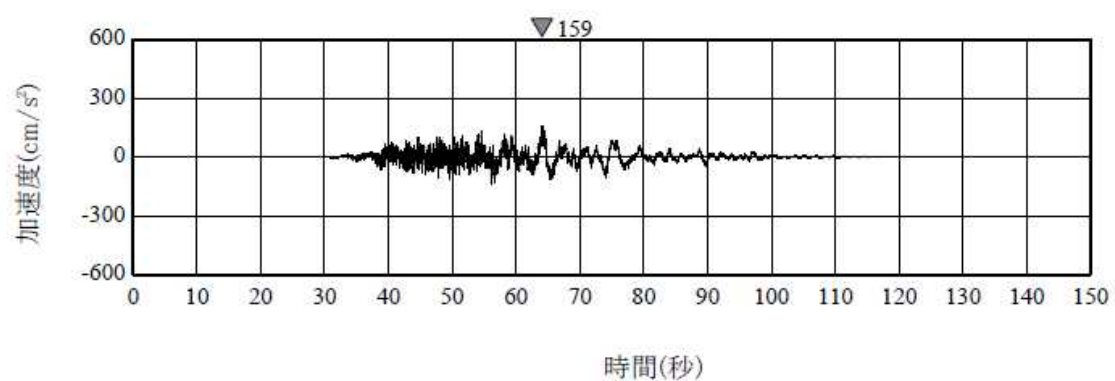
第 1.4.13 図 弾性設計用地震動 S d - 6 の加速度時刻歴波形（大湊側）



(a) Sd-7NS

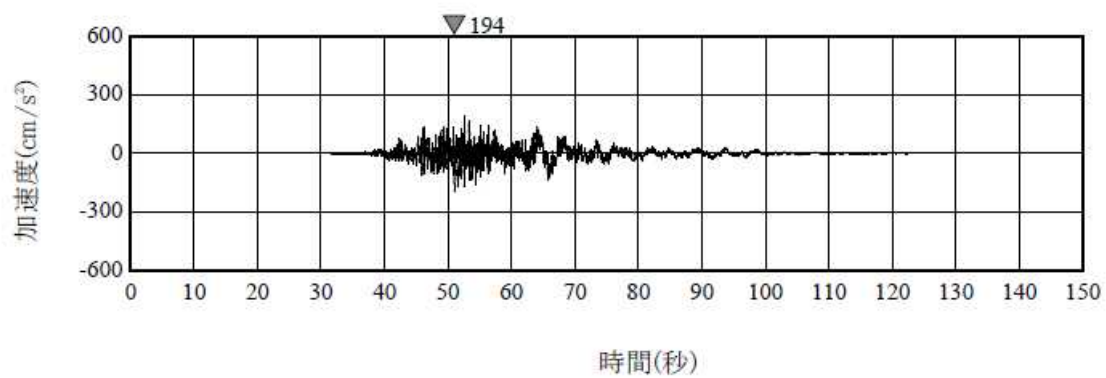


(b) Sd-7EW

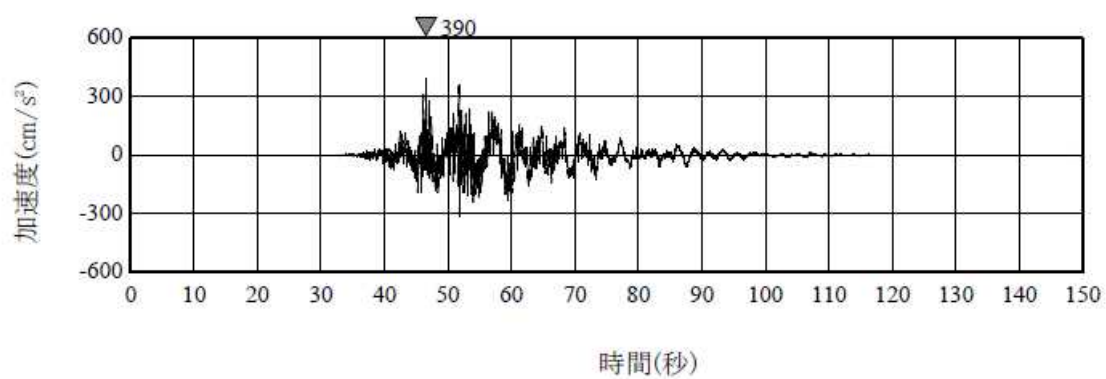


(c) Sd-7UD

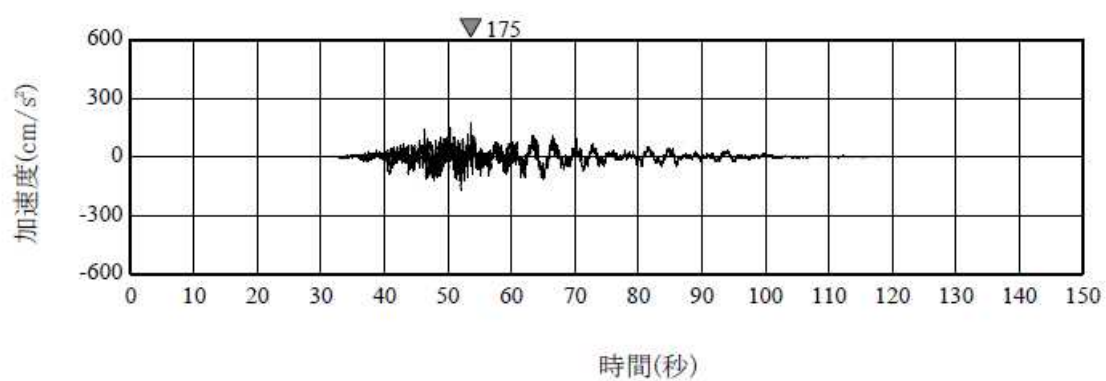
第 1.4.14 図 弾性設計用地震動 S d - 7 の加速度時刻歴波形（荒浜側）



(a) Sd-7NS

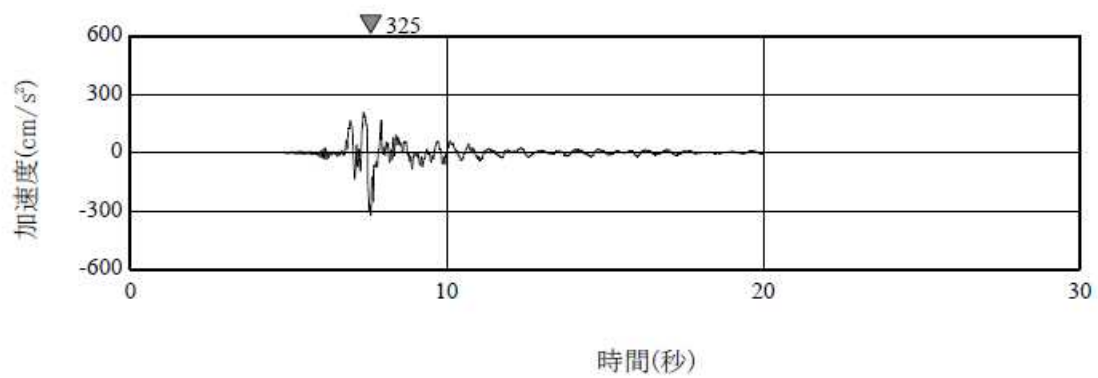


(b) Sd-7EW

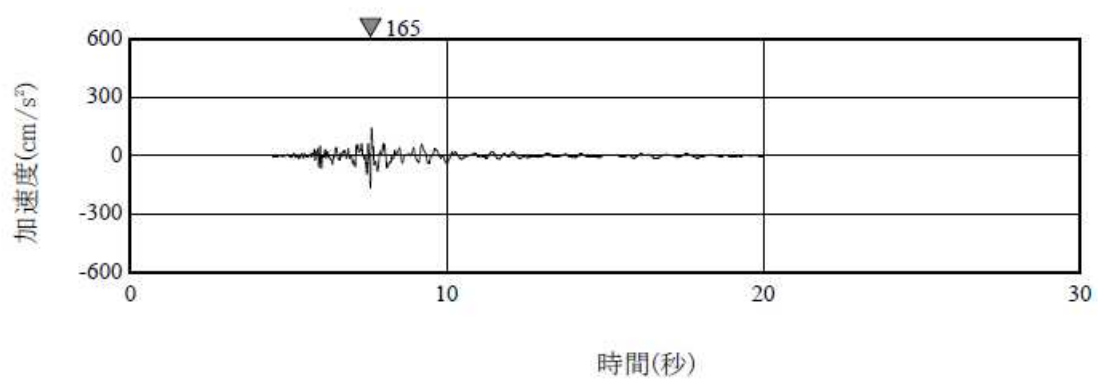


(c) Sd-7UD

第 1.4.15 図 弾性設計用地震動 S d - 7 の加速度時刻歴波形（大湊側）

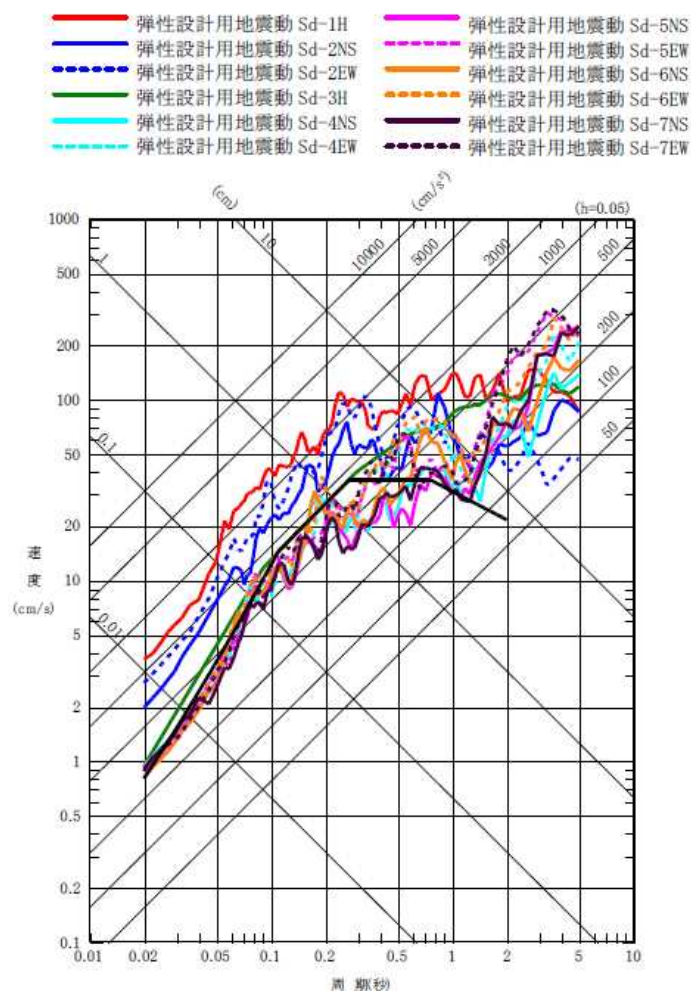


(a) Sd-8H

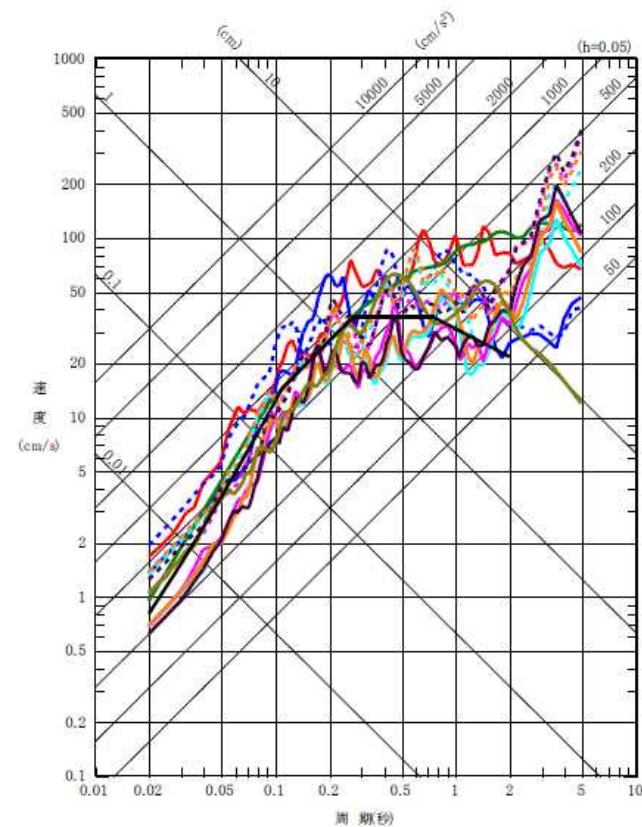


(b) Sd-8V

第 1.4.16 図 弾性設計用地震動 S d - 8 の加速度時刻歴波形（大湊側）

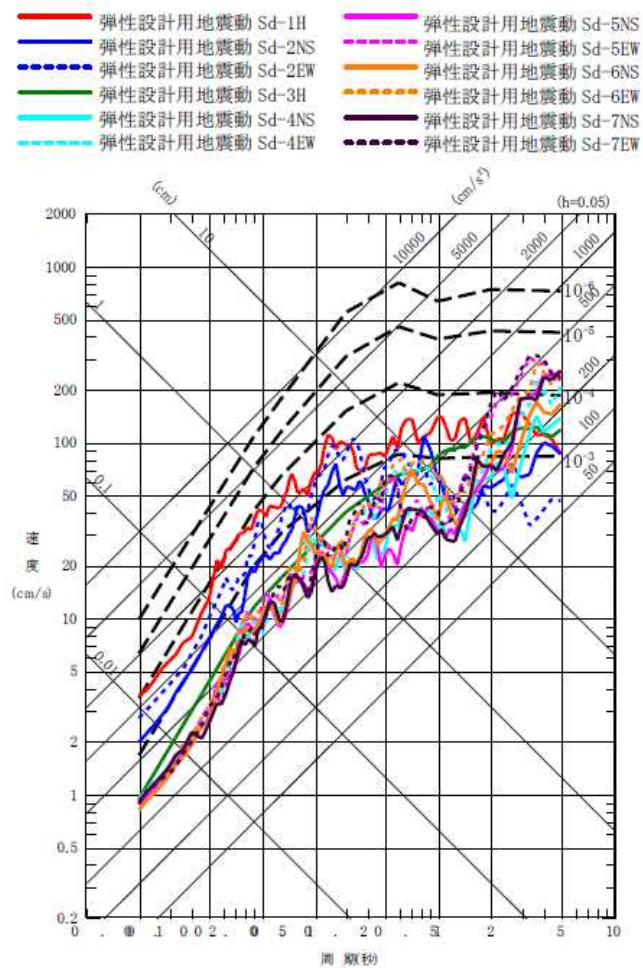


荒浜側

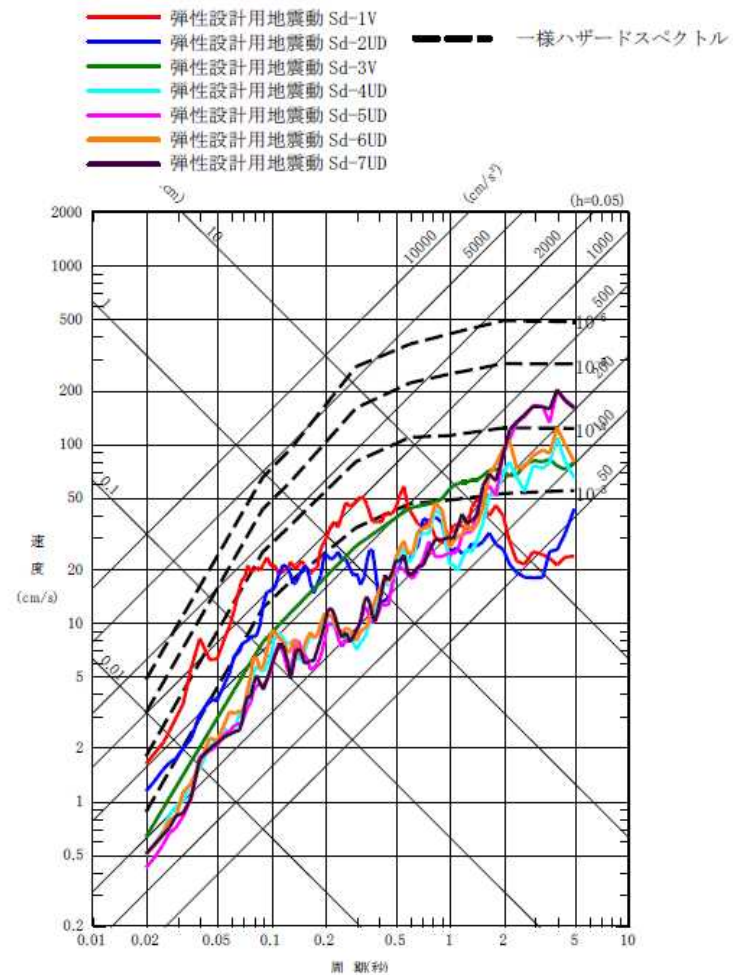


大湊側

第 1.4.17 図 弾性設計用地震動 S d と基準地震動 S₁ の応答スペクトルの比較 (水平方向)



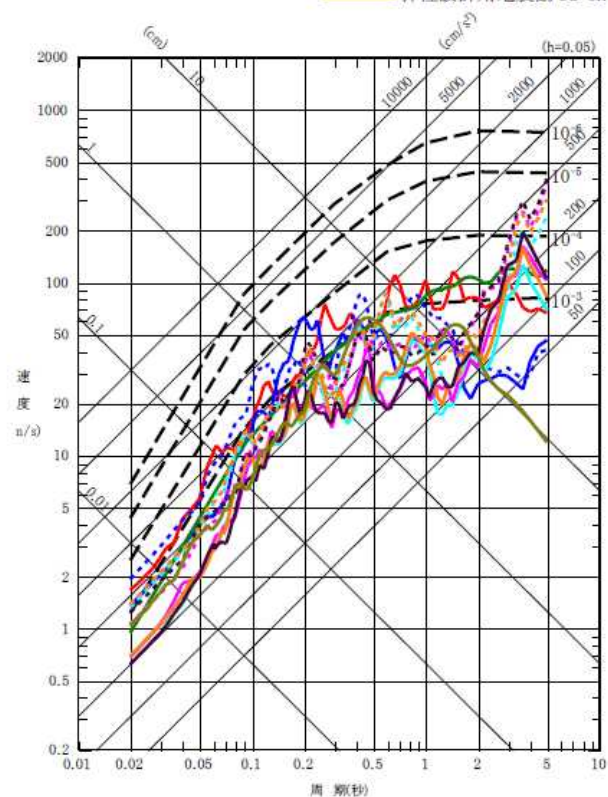
水平方向



鉛直方向

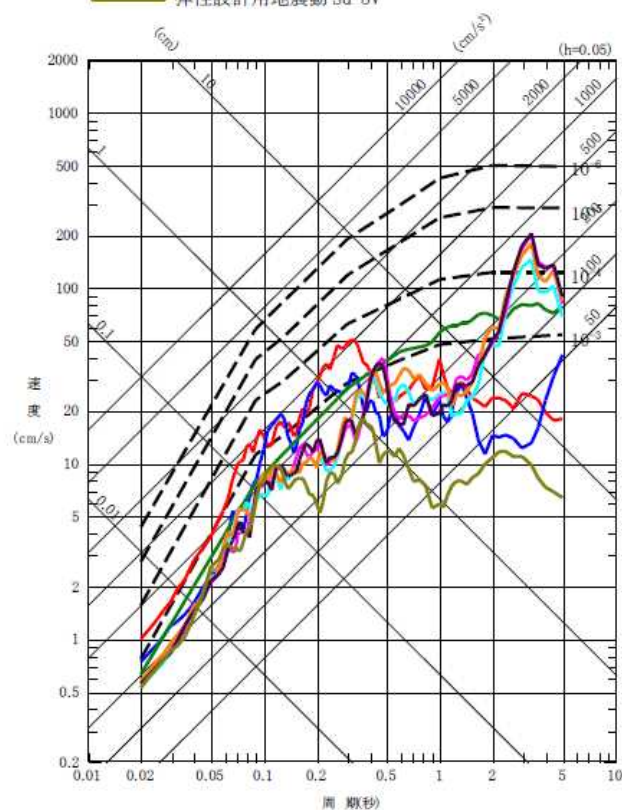
第 1.4.18 図 弾性設計用地震動の応答スペクトル及び解放基盤表面における地震動の一様ハザードスペクトル（荒浜側）

- 弾性設計用地震動 Sd-1H
- 弾性設計用地震動 Sd-2NS
- - 弾性設計用地震動 Sd-2EW
- 弾性設計用地震動 Sd-3H
- 弾性設計用地震動 Sd-4NS
- - 弾性設計用地震動 Sd-4EW
- 弾性設計用地震動 Sd-5NS
- - 弾性設計用地震動 Sd-5EW
- 弾性設計用地震動 Sd-6NS
- - 弾性設計用地震動 Sd-6EW
- 弾性設計用地震動 Sd-7NS
- - 弾性設計用地震動 Sd-7EW
- 弾性設計用地震動 Sd-8H



水平方向

- 弾性設計用地震動 Sd-1V
- 弾性設計用地震動 Sd-2UD
- 弾性設計用地震動 Sd-3V
- 弾性設計用地震動 Sd-4UD
- 弾性設計用地震動 Sd-5UD
- 弾性設計用地震動 Sd-6UD
- 弾性設計用地震動 Sd-7UD
- 弾性設計用地震動 Sd-8V
- 一様ハザードスペクトル



鉛直方向

第 1.4.19 図 弾性設計用地震動の応答スペクトル及び解放基盤表面における地震動の一様ハザードスペクトル（大湊側）

1.13 参考文献

(※) 「静的地震力の見直し（建築編）に関する調査報告書（概要）」

（社）日本電気協会 電気技術調査委員会原子力発電耐震設計特別調査委員会建築部会 平成 6 年 3 月

(3) 適合性説明

(地震による損傷の防止)

第四条 設計基準対象施設は、地震力に十分に耐えることができるものでなければならない。

2 前項の地震力は、地震の発生によって生ずるおそれがある設計基準対象施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度に応じて算定しなければならない。

3 耐震重要施設は、その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力（以下「基準地震動による地震力」という。）に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。

4 耐震重要施設は、前項の地震の発生によって生ずるおそれがある斜面の崩壊に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。

適合のための設計方針

1 について

設計基準対象施設は、耐震重要度分類をSクラス、Bクラス又はCクラスに分類し、それぞれに応じて設定した地震力に対しておおむね弾性範囲の設計を行う。

なお、耐震重要度分類及び地震力については、「2 について」に示すとおりである。

【説明資料 (1.1(2) : P4 条－77)】

2 について

設計基準対象施設は、地震により発生するおそれがある安全機能の喪失（地震に伴って発生するおそれがある津波及び周辺斜面の崩壊等による安全機能の喪失を含む。）及びそれに続く放射線による公衆への影響を防止する観点から、各施設の安全機能が喪失した場合の影響の相対的な程度に応じて、以下のとおり、耐震重要度分類をSクラス、Bクラス又はCクラスに分類し、それぞれに応じた地震力を算定する。

【説明資料 (1.1(1) : P4 条－77) (1.1(2) : P4 条－77)】

(1) 耐震重要度分類

Sクラス：地震により発生するおそれがある事象に対して、原子炉を停止し、炉心を冷却するために必要な機能を持つ施設、自ら放射性物質を内蔵している施設、当該施設に直接関係しておりその機能喪失により放射性物質を外部に拡散する可能性の

ある施設、これらの施設の機能喪失により事故に至った場合の影響を緩和し、放射線による公衆への影響を軽減するために必要な機能を持つ施設及びこれらの重要な安全機能を支援するために必要となる施設、並びに地震に伴って発生するおそれがある津波による安全機能の喪失を防止するために必要となる施設であって、その影響が大きいもの

【説明資料 (2.1(1) : P4 条-81)】

Bクラス：安全機能を有する施設のうち、機能喪失した場合の影響がSクラスの施設と比べ小さい施設

【説明資料 (2.1(2) : P4 条-81)】

Cクラス：Sクラスに属する施設及びBクラスに属する施設以外の一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設

【説明資料 (2.1(3) : P4 条-81)】

(2) 地震力

上記 (1) のSクラスの施設（津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を除く。）、Bクラス及びCクラスの施設に適用する地震力は以下のとおり算定する。

なお、Sクラスの施設については、弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力を適用する。

a. 静的地震力

静的地震力は、Sクラス、Bクラス及びCクラスの施設に適用することとし、それぞれ耐震重要度分類に応じて次の地震層せん断力係数 C_i 及び震度に基づき算定する。

(a) 建物・構築物

水平地震力は、地震層せん断力係数 C_i に、次に示す施設の耐震重要度分類に応じた係数を乗じ、さらに当該層以上の重量を乗じて算定するものとする。

Sクラス 3.0

Bクラス 1.5

Cクラス 1.0

ここで、地震層せん断力係数 C_i は、標準せん断力係数 C_0 を0.2以上とし、建物・構築物の振動特性及び地盤の種類等を考慮して求められる値とする。

Sクラスの施設については、水平地震力と鉛直地震力が同時に不利な方向の組合せで作用するものとする。鉛直地震力は、震度0.3以上を基準とし、建物・構築物の振動特性及び地盤の種類等を考慮して求めた鉛直

震度より算定するものとする。ただし、鉛直震度は高さ方向に一定とする。

(b) 機器・配管系

耐震重要度分類の各クラスの地震力は、上記 (a) に示す地震層せん断力係数 C_i に施設の耐震重要度分類に応じた係数を乗じたものを水平震度とし、当該水平震度及び上記 (a) の鉛直震度をそれぞれ 20% 増しとした震度より求めるものとする。

なお、Sクラスの施設については、水平地震力と鉛直地震力は同時に不利な方向の組合せで作用するものとする。ただし、鉛直震度は高さ方向に一定とする。

【説明資料 (3.1(1) : P4 条-82)】

b. 弾性設計用地震動による地震力

弾性設計用地震動による地震力は、Sクラスの施設に適用する。

弾性設計用地震動は、「添付書類六 5. 地震」に示す基準地震動に工学的判断から求められる係数 0.5 を乗じて設定する。

また、弾性設計用地震動による地震力は、水平 2 方向及び鉛直方向について適切に組み合わせたものとして算定する。

なお、Bクラスの施設のうち、共振のおそれのある施設については、弾性設計用地震動に 2 分の 1 を乗じた地震動によりその影響についての検討を行う。当該地震動による地震力は、水平 2 方向及び鉛直方向について適切に組み合わせて算定するものとする。

【説明資料 (3.1(2) : P4 条-83)】

3 について

耐震重要施設（津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を除く。）については、最新の科学的・技術的知見を踏まえ、敷地及び敷地周辺の地質・地質構造、地盤構造並びに地震活動性等の地震学及び地震工学的見地から想定することが適切な地震動、すなわち「添付書類六 5. 地震」に示す基準地震動による地震力に対して、安全機能が損なわれるおそれがないように設計する。

【説明資料 (1.1(5) : P4 条-77)】

また、屋外重要土木構造物、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備が設置された建物・構築物については、基準地震動による地震力に対して、それぞれの施設及び設備に要求される機能が保持できるように設計する。

【説明資料 (1.1(6) : P4 条-78)】

基準地震動による地震力は、基準地震動を用いて、水平 2 方向及び鉛直方向について適切に組み合わせたものとして算定する。

【説明資料 (1.1(5) : P4 条－77) (1.1(6) : P4 条－78)】

なお、耐震重要施設が、耐震重要度分類の下位のクラスに属する施設の波及的影響によって、その安全機能を損なわないように設計する。

【説明資料 (1.1(9) : P4 条－78)】

4 について

耐震重要施設については、基準地震動による地震力によって生じるおそれがある周辺の斜面の崩壊に対して、その安全機能が損なわれるおそれがない場所に設置する。

【説明資料 (7(4) : P4 条－96)】

1.3 気象等

該当なし

1.4 設備等

該当なし

1.5 手順等

該当なし

第4条：地震による損傷の防止

<目次>

第2部

1. 耐震設計の基本方針
 - 1.1 基本方針
 - 1.2 適用規格
2. 耐震設計上の重要度分類
 - 2.1 重要度分類の基本方針
 - 2.2 耐震重要度分類
3. 設計用地震力
 - 3.1 地震力の算定法
 - 3.2 設計用地震力
4. 荷重の組合せと許容限界
 - 4.1 基本方針
5. 地震応答解析の方針
 - 5.1 建物・構築物
 - 5.2 機器・配管系
 - 5.3 屋外重要土木構造物
 - 5.4 津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備が設置された建物・構築物
6. 設計用減衰定数
7. 耐震重要施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響
8. 水平2方向及び鉛直方向の地震力の組合せに関する影響評価方針
9. 構造計画と配置計画

(別添)

- 別添－1 設計用地震力
- 別添－2 動的機能維持の評価
- 別添－3 弾性設計用地震動 S_d ・静的地震力による評価
- 別添－4 上位クラス施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響の検討について
- 別添－5 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針
- 別添－6 屋外重要土木構造物の耐震評価における断面選定の考え方
- 別添－7 主要建屋の構造概要及び解析モデルについて
- 別添－8 入力地震動について

第2部

1. 耐震設計の基本方針

柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉の設計基準対象施設の耐震設計方針について説明する。なお、資料中で「6号炉」「7号炉」の区別を特に記載しない場合は6号及び7号炉共通の記載である。

1.1 基本方針

発電用原子炉施設の耐震設計は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則(平成25年6月28日原子力規制委員会規則第5号)」及び「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則(平成25年6月28日原子力規制委員会規則第6号)」に適合するよう以下の項目に従って行う。

- (1) 地震により生ずるおそれがあるその安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度が特に大きいもの(以下「耐震重要施設」という。)は、その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力に対して、その安全機能が損なわれるおそれがない設計とする。
- (2) 地震により発生するおそれがある安全機能の喪失(地震に伴って発生するおそれがある津波及び周辺斜面の崩壊等による安全機能の喪失を含む。)及びそれに続く放射線による公衆への影響を防止する観点から、各施設の安全機能が喪失した場合の影響の相対的な程度(以下、「耐震重要度」という。)に応じて、耐震重要度分類をSクラス、Bクラス又はCクラスに分類し、それぞれに応じた地震力に十分耐えられる設計とする。
- (3) 建物・構築物及び土木構造物(屋外重要土木構造物及びその他の土木構造物)については、耐震重要度分類の各クラスに応じて算定する地震力が作用した場合においても、接地圧に対する十分な支持力を有する地盤に設置する。
- (4) Sクラスの施設((6)に記載のもののうち、津波防護機能を有する設備(以下「津波防護施設」という。)、浸水防止機能を有する設備(以下「浸水防止設備」という。))及び敷地における津波監視機能を有する施設(以下「津波監視設備」という。)を除く。)について、静的地震力は、水平地震力と鉛直地震力が同時に不利な方向の組合せで作用するものとする。
- (5) Sクラスの施設((6)に記載のもののうち、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を除く。)は、基準地震動 S_s による地震力に対してその安全機能が保持できる設計とする。建物・構築物については、構造物全体としての変形能力(終局耐力時の変形)に対して十分な余裕を有するように、機器・配管系については、塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さ

なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、その施設の機能を保持できるように設計する。

また、弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力に対しておおむね弾性状態に留まる範囲で耐えられる設計とする。

- (6) 屋外重要土木構造物、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備が設置された建物・構築物は、基準地震動 S_s による地震力に対して、構造全体として変形能力（終局耐力時の変形）について十分な余裕を有するとともに、それぞれの施設に要求される機能が保持できる設計とする。

屋外重要土木構造物は、構造部材の曲げについては、曲げ耐力、限界層間変形角、圧縮縁コンクリート限界ひずみ又は終局曲率に対して妥当な安全余裕を持たせることとし、構造部材のせん断については、せん断耐力又は終局せん断強度に対して妥当な安全余裕を持たせることを基本とする。ただし、構造部材の曲げ、せん断に対する上記の許容限界に代わり、許容応力度を適用することで、安全余裕を考慮する場合もある。なお、それぞれの安全余裕については、各施設の機能要求等を踏まえ設定する。

津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備が設置された建物・構築物については、(5)に示す基準地震動 S_s に対する設計方針を適用する。基準地震動 S_s による地震力は、水平 2 方向及び鉛直方向について適切に組み合わせて算定するものとする。

また、重大事故等対処施設を津波から防護するための津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備が設置された建物・構築物についても同様の設計方針とする。

- (7) Bクラスの施設は、静的地震力に対しておおむね弾性状態に留まる範囲で耐えられる設計とする。

また、共振のおそれのあるものについては、その影響についての検討を行う。その場合、検討に用いる地震動は、弾性設計用地震動 S_d に 2 分の 1 を乗じたものとする。当該地震動による地震力は、水平 2 方向及び鉛直方向について適切に組み合わせて算定するものとし、Sクラス施設と同様に許容限界の範囲内に留まることを確認する。

- (8) Cクラスの施設は、静的地震力に対しておおむね弾性状態に留まる範囲で耐えられる設計とする。
- (9) 耐震重要施設は、耐震重要度分類の下位のクラスに属するもの（資機材等含む）の波及的影響によって、その安全機能を損なわない設計とする。
- (10) 設計基準対象施設の構造計画及び配置計画に際しては、地震の影響が低減

されるように考慮する。

- (11) Sクラスの施設及び屋外重要土木構造物は、基準地震動による基礎地盤の傾斜に対する影響を適切に考慮し、安全機能が損なわれるおそれがないように設計する。

1.2 適用規格

適用する規格としては、既往工認で適用実績がある規格のほか、最新の規格基準についても技術的妥当性及び適用性を示したうえで適用可能とする。

既往工認で実績のある適用規格を以下に示す。

- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 1 9 8 7」(社)日本電気協会
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補－1 9 8 4」(社)日本電気協会
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 －1 9 9 1 追補版」(社)日本電気協会
- (以降、「J E A G 4 6 0 1」と記載しているものは上記3指針を指す。)
- ・建築基準法・同施行令
- ・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説－許容応力度設計法－((社)日本建築学会, 1999 改定)
- ・原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説((社)日本建築学会, 2005 制定)
- ・鋼構造設計規準－許容応力度設計法－((社)日本建築学会, 2005 改定)
- ・鉄骨鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説－許容応力度設計と保有水平耐力－((社)日本建築学会, 2001 改定)
- ・建築耐震設計における保有耐力と変形性能((社)日本建築学会, 1990 改定)
- ・建築基礎構造設計指針((社)日本建築学会, 2001 改定)
- ・各種合成構造設計指針・同解説((社)日本建築学会, 2010)
- ・発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格(社)日本機械学会, 2003)
- ・コンクリート標準示方書[構造性能照査編]((社)土木学会, 2002 年制定)
- ・道路橋示方書(I 共通編・IV 下部構造編)・同解説(社)日本道路協会, 平成14年3月)
- ・道路橋示方書(V 耐震設計編)・同解説(社)日本道路協会, 平成14年

3 月)

- ・水道施設耐震工法指針・解説 ((社)日本水道協会, 1997 年版)
- ・地盤工学会基準 (J G S 1 5 2 1 - 2 0 0 3) 地盤の平板載荷試験方法
- ・地盤工学会基準 (J G S 3 5 2 1 - 2 0 0 4) 剛体載荷板による岩盤の平板載荷試験方法

ただし, J E A G 4 6 0 1 に記載されている A s クラスを含む A クラスの施設を S クラスの施設とした上で, 基準地震動 S_2 , S_1 をそれぞれ基準地震動 S_s , 弾性設計用地震動 S_d と読み替える。

また, 「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」(昭和 55 年通商産業省告示第 501 号, 最終改正平成 15 年 7 月 29 日経済産業省告示第 277 号)に関する内容については, 「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (2005 年版(2007 年追補版を含む))〈第 I 編 軽水炉規格〉J S M E S N C 1 - 2 0 0 5 / 2 0 0 7」(日本機械学会)に従うものとする。

2. 耐震設計上の重要度分類

2.1 重要度分類の基本方針

設計基準対象施設の耐震設計上の重要度を次のように分類する。

(1) Sクラスの施設

地震により発生するおそれがある事象に対して、原子炉を停止し、炉心を冷却するために必要な機能を持つ施設、自ら放射性物質を内蔵している施設、当該施設に直接関係しておりその機能喪失により放射性物質を外部に拡散する可能性のある施設、これらの施設の機能喪失により事故に至った場合の影響を緩和し、放射線による公衆への影響を軽減するために必要な機能を持つ施設及びこれらの重要な安全機能を支援するために必要となる施設、並びに地震に伴って発生するおそれがある津波による安全機能の喪失を防止するために必要となる施設であって、その影響が大きい施設

(2) Bクラスの施設

安全機能を有する施設のうち、機能喪失した場合の影響がSクラスの施設と比べ小さい施設

(3) Cクラスの施設

Sクラスに属する施設及びBクラスに属する施設以外の一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設

2.2 耐震重要度分類

耐震重要度分類について第1部第1.4.1表に示す。なお、同表には当該施設を支持する構造物の支持機能が維持されることを確認する地震動及び波及的影響を考慮すべき施設に適用する地震動についても併記する。

3. 設計用地震力

3.1 地震力の算定法

耐震設計に用いる地震力の算定は以下の方法による。

(1) 静的地震力

静的地震力は、Sクラスの施設(津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を除く。)、Bクラス及びCクラスの施設に適用することとし、それぞれ耐震重要度分類に応じて、以下の地震層せん断力係数 C_i 及び震度に基づき算定するものとする。

a. 建物・構築物

水平地震力は、地震層せん断力係数 C_i に、次に示す施設の耐震重要度分類に応じた係数を乗じ、さらに当該層以上の重量を乗じて算定するものとする。

Sクラス 3.0

Bクラス 1.5

Cクラス 1.0

ここで、地震層せん断力係数 C_i は、標準せん断力係数 C_0 を0.2以上とし、建物・構築物の振動特性及び地盤の種類等を考慮して求められる値とする。

また、必要保有水平耐力の算定においては、地震層せん断力係数 C_i に乘じる施設の耐震重要度分類に応じた係数は、Sクラス、Bクラス及びCクラスともに1.0とし、その際に用いる標準せん断力係数 C_0 は1.0以上とする。

Sクラスの施設については、水平地震力と鉛直地震力が同時に不利な方向の組合せで作用するものとする。鉛直地震力は、震度0.3以上を基準とし、建物・構築物の振動特性及び地盤の種類等を考慮し、高さ方向に一定として求めた鉛直震度より算定するものとする。

b. 機器・配管系

静的地震力は、上記 a. に示す地震層せん断力係数 C_i に施設の耐震重要度分類に応じた係数を乗じたものを水平震度として、当該水平震度及び上記 a. の鉛直震度をそれぞれ20%増しとした震度より求めるものとする。

Sクラスの施設については、水平地震力と鉛直地震力は同時に不利な方向の組合せで作用するものとする。ただし、鉛直震度は高さ方向に一定とする。

c. 土木構造物（屋外重要土木構造物及びその他の土木構造物）

土木構造物の静的地震力は、J E A G 4 6 0 1の規定を参考に、Cクラ

スの建物・構築物に適用される静的地震力を考慮する。

上記 a. 及び b. 並びに c. の標準せん断力係数 C_0 等の割増係数の適用については、耐震性向上の観点から、一般産業施設及び公共施設等の耐震基準との関係を考慮して設定する。

(2) 動的地震力

動的地震力は、Sクラスの施設、屋外重要土木構造物及びBクラスの施設のうち共振のおそれのあるものに適用する。Sクラスの施設（津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を除く。）については、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d から定める入力地震動を適用する。

Bクラスの施設のうち共振のおそれのあるものについては、弾性設計用地震動 S_d から定める入力地震動の振幅を2分の1にしたものによる地震力を適用する。

屋外重要土木構造物、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備が設置された建物・構築物については、基準地震動 S_s による地震力を適用する。

動的解析においては、地盤の諸定数も含めて材料のばらつきによる変動幅を適切に考慮する。

3.2 設計用地震力

設計用地震力については別添－1に示す。

4. 荷重の組合せと許容限界

4.1 基本方針

耐震設計における荷重の組合せと許容限界は以下による。

(1) 耐震設計上考慮する状態

地震以外に設計上考慮する状態を以下に示す。

a. 建物・構築物

以下の(a)～(c)の状態を考慮する。

(a) 運転時の状態

発電用原子炉施設が運転状態にあり、通常 of 自然条件下におかれている状態

ただし、運転状態には通常運転時、運転時の異常な過渡変化時を含むものとする。

(b) 設計基準事故時の状態

発電用原子炉施設が設計基準事故時にある状態

(c) 設計用自然条件

設計上基本的に考慮しなければならない自然条件（風、積雪等）

b. 機器・配管系

以下の(a)～(d)の状態を考慮する。

(a) 通常運転時の状態

発電用原子炉の起動、停止、出力運転、高温待機及び燃料取替等が計画的又は頻繁に行われた場合であって、運転条件が所定の制限値以内にある運転状態

(b) 運転時の異常な過渡変化時の状態

通常運転時に予想される機械又は器具の単一の故障若しくはその誤作動又は運転員の単一の誤操作及びこれらと類似の頻度で発生すると予想される外乱によって発生する異常な状態であって、当該状態が継続した場合には炉心又は原子炉冷却材圧力バウンダリの著しい損傷が生ずるおそれがあるものとして安全設計上想定すべき事象が発生した状態

(c) 設計基準事故時の状態

発生頻度が運転時の異常な過渡変化より低い異常な状態であって、当該状態が発生した場合には発電用原子炉施設から多量の放射性物質が放出するおそれがあるものとして安全設計上想定すべき事象が発生した状態

(d) 設計用自然条件

設計上基本的に考慮しなければならない自然条件（風、積雪等）

c. 土木構造物

以下の(a)～(c)の状態を考慮する。

(a) 運転時の状態

発電用原子炉施設が運転状態にあり、通常 of 自然条件下におかれている状態

ただし、運転状態には通常運転時、運転時の異常な過渡変化時を含むものとする。

(b) 設計基準事故時の状態

発電用原子炉施設が設計基準事故時にある状態

(c) 設計用自然条件

設計上基本的に考慮しなければならない自然条件（風、積雪等）

(2) 荷重の種類

a. 建物・構築物

以下の(a)～(d)の荷重とする。

(a) 発電用原子炉のおかれている状態にかかわらず常時作用している荷重、すなわち固定荷重、積載荷重、土圧、水圧、及び通常 of 気象条件による荷重

(b) 運転時の状態で施設に作用する荷重

(c) 設計基準事故時の状態で施設に作用する荷重

(d) 地震力、風荷重、積雪荷重等

ただし、運転時の状態及び設計基準事故時の状態での荷重には、機器・配管系から作用する荷重が含まれるものとし、地震力には地震時の土圧、機器・配管系からの反力、スロッシング等による荷重が含まれるものとする。

b. 機器・配管系

以下の(a)～(d)の荷重とする。

(a) 通常運転時の状態で施設に作用する荷重

(b) 運転時の異常な過渡変化時の状態で施設に作用する荷重

(c) 設計基準事故時の状態で施設に作用する荷重

(d) 地震力、風荷重、積雪荷重等

c. 土木構造物

以下の(a)～(d)の荷重とする。

(a) 発電用原子炉のおかれている状態にかかわらず常時作用している荷重、すなわち固定荷重、積載荷重、土圧、水圧及び通常 of 気象条件による荷重

(b) 運転時の状態で施設に作用する荷重

(c) 設計基準事故時の状態で施設に作用する荷重

(d) 地震力, 風荷重, 積雪荷重等

ただし, 運転時の状態及び設計基準事故時の状態での荷重には, 機器・配管系から作用する荷重が含まれるものとし, 地震力には, 地震時土圧, 機器・配管系からの反力, スロッシング等による荷重が含まれるものとする。

(3) 荷重の組合せ

(2)に定めた地震力と他の荷重との組合せは以下による。

a. 建物・構築物 (d. に記載のもののうち, 津波防護施設, 浸水防止設備及び津波監視設備を除く。)

(a) Sクラスの建物・構築物については, 常時作用している荷重及び運転時(通常運転時又は運転時の異常な過渡変化時)に施設に作用する荷重と地震力とを組み合わせる。

(b) Sクラスの建物・構築物については, 常時作用している荷重及び設計基準事故時の状態で施設に作用する荷重のうち長時間その作用が続く荷重と弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力とを組み合わせる。

(c) Bクラス及びCクラスの建物・構築物については, 常時作用している荷重及び運転時の状態で施設に作用する荷重と, 動的地震力又は静的地震力とを組み合わせる。

b. 機器・配管系 (d. に記載のものを除く。)

(a) Sクラスの機器・配管系については, 通常運転時の状態で施設に作用する荷重と地震力とを組み合わせる。

(b) Sクラスの機器・配管系については, 運転時の異常な過渡変化時の状態及び設計基準事故時の状態のうち地震によって引き起こされるおそれのある事象によって作用する荷重と地震力とを組み合わせる。

(c) Sクラスの機器・配管系については, 運転時の異常な過渡変化時の状態及び設計基準事故時の状態のうち地震によって引き起こされるおそれのない事象であっても, いったん事故が発生した場合, 長時間継続する事象による荷重は, その事故事象の発生確率, 継続時間及び地震動の年超過確率の関係を踏まえ, 適切な地震力と組み合わせる。

(d) Bクラス及びCクラスの機器・配管系については, 通常運転時の状態で施設に作用する荷重及び運転時の異常な過渡変化時の状態で作用する荷重と, 動的地震力又は静的地震力を組み合わせる。

c. 土木構造物

(a) 屋外重要土木構造物については, 常時作用している荷重及び運転時(通常運転時又は運転時の異常な過渡変化時)の状態に施設に作用する荷

重と地震力とを組み合わせる。

- (b) その他の土木構造物については、常時作用している荷重及び運転時の状態で施設に作用する荷重と静的地震力とを組み合わせる。

d. 津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備が設置された建物・構築物

- (a) 津波防護施設及び浸水防止設備が設置された建物・構築物については、常時作用している荷重及び運転時の状態で施設に作用する荷重と基準地震動 S_s による地震力とを組み合わせる。

- (b) 浸水防止設備及び津波監視設備については、常時作用している荷重及び運転時の状態で施設に作用する荷重等と基準地震動 S_s による地震力を組み合わせる。

なお、上記 d. (a), (b) については、地震と津波が同時に作用する可能性について検討し、必要に応じて基準地震動 S_s による地震力と津波による荷重の組合せを考慮する。また、津波以外による荷重については、「(2) 荷重の種類」に準じるものとする。

e. 荷重の組合せ上の留意事項

- (a) 動的地震力については、水平 2 方向と鉛直方向の地震力とを適切に組み合わせるものとする。
- (b) ある荷重の組合せ状態での評価が明らかに厳しい場合には、その妥当性を示した上で、その他の荷重の組合せ状態での評価は行わないものとする。
- (c) 複数の荷重が同時に作用し、それらの荷重による応力の各ピークの生起時刻に明らかなずれがある場合には、その妥当性を示した上で、必ずしもそれぞれの応力のピーク値を重ねなくてもよいものとする。
- (d) 上位の耐震クラスの施設を支持する建物・構築物の当該部分の支持機能を確認する場合においては、支持される施設の耐震重要度分類に応じた地震力と、常時作用している荷重、運転時の状態で施設に作用する荷重及びその他必要な荷重とを組み合わせる。

第 1 部第 1.4.1 表に対象となる建物・構築物及びその支持性能が維持されていることを検討すべき地震動等について記載する。

(4) 許容限界

各施設の地震力と他の荷重とを組み合わせた状態に対する許容限界は以下のとおりとし、J E A G 4 6 0 1 等の安全上適切と認められる規格及び基準又は試験等で妥当性が確認されている値を用いる。

- a. 建物・構築物 (d. に記載のもののうち、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を除く。)

(a) Sクラスの建物・構築物

イ. 弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力との組合せに対する許容限界

建築基準法等の安全上適切と認められる規格及び基準による許容応力度を許容限界とする。

ただし、冷却材喪失事故時に作用する荷重との組合せ（原子炉格納容器における長期的荷重との組合せを除く。）に対しては、下記ロ. に示す許容限界を適用する。

ロ. 基準地震動 S_s による地震力との組合せに対する許容限界

建物・構築物が構造物全体としての変形能力（終局耐力時の変形）に対して十分な余裕を有し、終局耐力に対し妥当な安全余裕を持たせることとする。なお、終局耐力は、建物・構築物に対する荷重又は応力を漸次増大していくとき、その変形又はひずみが著しく増加するに至る限界の最大耐力とし、既往の実験式等に基づき適切に定めるものとする。

(b) Bクラス及びCクラスの建物・構築物

上記(a)イ. による許容応力度を許容限界とする。

(c) 耐震重要度の異なる施設を支持する建物・構築物

上記(a)ロ. の項を適用するほか、耐震重要度の異なる施設がそれを支持する建物・構築物が、変形等に対して、その支持機能が損なわないものとする。なお、当該施設を支持する建物・構造物の支持機能が維持されることを確認する際の地震動は、支持される施設に適用される地震動とする。

(d) 建物・構築物の保有水平耐力

建物・構築物については、当該建物・構築物の保有水平耐力が必要保有水平耐力に対して耐震重要度分類に応じた安全余裕を有していることを確認する。

b. 機器・配管系（d. に記載のものを除く。）

(a) Sクラスの機器・配管系

イ. 弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力との組合せに対する許容限界

応答が全体的におおむね弾性状態に留まるものとする。

ただし、冷却材喪失事故時に作用する荷重との組合せ（原子炉格納容器及び非常用炉心冷却設備等における長期的荷重との組合せを除く。）に対しては、下記(a)ロ. に示す許容限界を適用する。

ロ. 基準地震動 S_s による地震力との組合せに対する許容限界

塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、その施設に要求される機能に影響を及ぼすことがないように応力、荷重等を制限する。

また、地震時又は地震後に動的機能が要求される機器等については、基準地震動 S_s による応答に対して、実証試験等により確認されている機能確認済加速度等を許容限界とする。動的機能維持の評価については別添－２に示す。

(b) Bクラス及びCクラスの機器・配管系

応答が全体的におおむね弾性状態に留まることとする。

(c) チャンネル・ボックス

地震時に作用する荷重に対して、燃料集合体の冷却材流路を維持できること及び過大な変形や破損を生ずることにより制御棒の挿入が阻害されることがないこととする。

c. 土木構造物

(a) 屋外重要土木構造物

イ. 静的地震力との組合せに対する許容限界

安全上適切と認められる規格及び基準による許容応力度を許容限界とする。

ロ. 基準地震動 S_s による地震力との組合せに対する許容限界

構造部材の曲げについては、曲げ耐力、限界層間変形角、圧縮縁コンクリート限界ひずみ又は終局曲率に対して妥当な安全余裕を持たせることとし、構造部材のせん断については、せん断耐力又は終局せん断強度に対して妥当な安全余裕を持たせることを基本とする。ただし、構造部材の曲げ、せん断に対する上記の許容限界に代わり、許容応力度を適用することで、安全余裕を考慮する場合もある。なお、それぞれの安全余裕については、各施設の機能要求等を踏まえ設定する。

(b) その他の土木構造物

安全上適切と認められる規格及び基準による許容応力度を許容限界とする。

d. 津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備が設置された建物・構築物

津波防護施設及び浸水防止設備が設置された建物・構築物については、当該施設及び建物・構築物が構造全体として変形能力（終局耐力時の変形）及び安定性について十分な余裕を有するとともに、その施設に要求される機能（津波防護機能、浸水防止機能及び津波監視機能）が保持できる

ものとする。

浸水防止設備及び津波監視設備については、その施設に要求される機能（浸水防止機能及び津波監視機能）が保持できるものとする。

e. 基礎地盤の支持性能

- (a) Sクラスの建物・構築物及びSクラスの機器・配管系（(b)に記載のものうち、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を除く。）の基礎地盤

イ. 基準地震動 S_s による地震力との組合せに対する許容限界

接地圧が、安全上適切と認められる規格及び基準等による地盤の極限支持力度に対して妥当な余裕を有することを確認する。

ロ. 弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力との組合せに対する許容限界

接地圧に対して、安全上適切と認められる規格及び基準等による地盤の短期許容支持力度を許容限界とする。

- (b) 屋外重要土木構造物、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備が設置された建物・構築物の基礎地盤

イ. 基準地震動 S_s による地震力との組合せに対する許容限界

接地圧が、安全上適切と認められる規格及び基準等による地盤の極限支持力度に対して妥当な余裕を有することを確認する。

- (c) Bクラス及びCクラスの建物・構築物、Bクラス及びCクラスの機器・配管系及びその他の土木構造物の基礎地盤

上記（a）ロ. による許容支持力度を許容限界とする。

5. 地震応答解析の方針

5.1 建物・構築物

(1) 入力地震動

入力地震動の評価においては，解放基盤表面以浅の影響を適切に考慮するため，5～7号炉ではそれぞれ第1表に示す位置とする。

第1表 設定した解放基盤表面の位置

号炉	標高 T.M.S.L.※(m)	整地面からの深さ(m)
5号炉	-134m	146m
6号炉	-155m	167m
7号炉	-155m	167m

※T.M.S.L.：東京湾平均海面。Tokyo bay Mean Sea Level の略で，東京湾での検潮に基づき設定された陸地の高さの基準

建物・構築物の地震応答解析における入力地震動は，解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d を基に，対象建物・構築物の地盤条件を適切に考慮したうえで，必要に応じ2次元FEM解析又は1次元波動論により，地震応答解析モデルの入力位置で評価した入力地震動を設定する。地盤条件を考慮する場合には，地震動評価で考慮した敷地全体の地下構造との関係や対象建物・構築物位置と炉心位置での地質・速度構造の違いにも留意し，地盤の非線形応答に関する動的変形特性を考慮する。また，必要に応じ敷地における観測記録による検証や最新の科学的・技術的知見を踏まえ設定する。弾性設計用地震動 S_d ・静的地震力による評価については別添－3に示す。

また，耐震Bクラスの建物・構築物のうち共振のおそれがあり，動的解析が必要なものに対しては，弾性設計用地震動 S_d を1/2倍したものを用いる。

入力地震動の考え方については別添－8に示す。

(2) 解析方法及び解析モデル

動的解析による地震力の算定に当たっては，地震応答解析手法の適用性及び適用限界等を考慮のうえ，適切な解析法を選定するとともに，建物・構築物に応じた適切な解析条件を設定する。また，原則として，建物・構築物の地震応答解析及び床応答曲線の策定は，線形解析及び非線形解析に適用可能な時刻歴応答解析法による。

建物・構築物の地震応答解析に当たっては，建物・構築物の剛性はそれらの

形状、構造特性等を十分考慮して評価し、集中質点系等に置換した解析モデルを設定する。剛性の設定時に材料の実剛性を考慮する場合は、統計データを踏まえ、建物・構築物ごとに設定値の妥当性、適用性を確認するとともに、不確実性や保守性を考慮した上で適用する。また、建物・構築物の壁に関する剛性の評価範囲は、実機の挙動を模擬する観点で適切な規格及び基準等に基づき妥当性、適用性を確認するとともに、保守性を考慮した上で設定する。

動的解析には、建物・構築物と地盤との相互作用を考慮するものとし、解析モデルの地盤のばね定数は、基礎版の平面形状、基礎側面と地盤の接触状況及び地盤の剛性等を考慮して定める。各入力地震動が接地率に与える影響を踏まえて、地盤ばねには、基礎浮上りによる非線形性又は誘発上下動を考慮できる浮上り非線形性を考慮するものとする。また、側面の地盤による回転拘束効果を地盤のばねとして考慮する場合は、実験等の結果に基づき、適用する建物・構築物ごとに妥当性、適用性を確認するとともに、不確実性や保守性を考慮した上で適用する。設計用地盤定数は、原則として、弾性波試験によるものを用いる。

地震応答解析に用いる材料定数については、地盤の諸定数も含めて材料のばらつきによる変動幅を適切に考慮する。また、材料のばらつきによる変動のうち建物・構築物の振動性状や応答性状に及ぼす影響として考慮すべき要因を選定した上で、選定された要因を考慮した動的解析により設計用地震力を設定する。

建物・構築物の 3 次元応答性状及び機器・配管系への影響については、建物・構築物の 3 次元 FEM モデルによる解析に基づき、施設の重要性、建屋規模、構造特性を考慮して評価する。3 次元応答性状等の評価は、時刻歴応答解析法による。

5.2 機器・配管系

(1) 入力地震動又は入力地震力

機器・配管系の地震応答解析における入力地震動又は入力地震力は、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d 、又は当該機器・配管系の設置床における設計用床応答曲線又は時刻歴応答波とする。弾性設計用地震動 S_d による評価については別添－3 に示す。

また、耐震 B クラスの機器・配管系のうち共振のおそれがあり、動的解析が必要なものに対しては、弾性設計用地震動 S_d を基に作成した設計用床応答曲線の応答加速度を 2 分の 1 倍したものを用いる。

(2) 解析方法及び解析モデル

動的解析による地震力の算定に当たっては、地震応答解析手法の適用性及

び適用限界等を考慮のうえ、適切な解析法を選定するとともに解析条件として考慮すべき減衰定数、剛性等の各物性値は適切な規格・基準、あるいは実験等の結果に基づき設定する。

また、評価にあたっては建物・構築物の剛性及び地盤物性等の不確かさを適切に考慮する。なお、鋼板とコンクリートの複合構造物である原子炉本体基礎については、地震応答が線形領域を超える場合には、より現実に近い適正な地震応答解析を実施する観点から、コンクリートの剛性変化を適切に考慮した復元力特性を設定する。復元力特性の設定に当たっては、既往の知見を参考に妥当性、適用性を確認するとともに、設定における不確実性や保守性を考慮し、安全側の設計となるよう配慮する。

機器の解析に当たっては、形状、構造特性等を考慮して、代表的な振動モードを適切に表現できるよう 1 質点系モデル、多質点系モデル等に置換し、設計用床応答曲線を用いたスペクトルモーダル解析法又は時刻歴応答解析法により応答を求める。

配管系については、適切なモデルを作成し、設計用床応答曲線を用いたスペクトルモーダル解析法等により応答を求める。

スペクトルモーダル解析法及び時刻歴応答解析法の選択に当たっては、衝突・すべり等の非線形現象を模擬する場合等には時刻歴応答解析法を用いる等、解析対象とする現象、対象設備の振動特性・構造特性等を考慮し適切に選定する。

また、応答解析モデルは設備の3次元的な広がり及び当該設備の対称性を踏まえ、応答を適切に評価できる場合は 1 次元モデルや 2 次元モデルを用い、3 次元的な応答性状を把握する必要がある場合は 3 次元的な配置をモデル化する等、その応答を適切に評価できるモデルを用いることとし、水平 2 方向及び鉛直方向の応答成分について適切に組み合わせるものとする。

なお、剛性の高い機器は、その機器の設置床面の最大応答加速度の 1.2 倍の加速度を震度として作用させて構造強度評価に用いる地震力を算定する。

5.3 屋外重要土木構造物

(1) 入力地震動

屋外重要土木構造物の地震応答解析における入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を基に、対象構造物の地盤条件を適切に考慮したうえで、必要に応じ 2 次元 FEM 解析又は 1 次元波動論により、地震応答解析モデルの入力位置で評価した入力地震動を設定する。地盤条件を考慮する場合には、地震動評価で考慮した敷地全体の地下構造との関係にも留意し、地盤の非線形応答に関する動的変形特性を考慮する。また、必要に応じ敷地

における観測記録による検証や最新の科学的・技術的知見を踏まえ設定する。
静的地震力による評価については別添－３に示す。

入力地震動の考え方については別添－８に示す。

(2) 解析方法及び解析モデル

動的解析による地震力の算定に当たっては、地震応答解析手法の適用性及び適用限界等を考慮のうえ、適切な解析法を選定するとともに、各構造物に応じた適切な解析条件を設定する。地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる連成系の地震応答解析手法とし、地盤及び構造物の地震時における非線形挙動の有無や程度に応じて、線形、等価線形又は非線形解析のいずれかにて行う。液状化に伴う構造物への影響を考慮する場合には、有効応力解析を実施する。有効応力解析に用いる液状化強度特性は、代表性および網羅性を踏まえた保守性を考慮して設定する。なお、サイクリックモビリティ等を示す土層についても、液状化強度特性を設定した有効応力解析を実施し、安全側の設計となるよう配慮する。

なお、地震応答解析では、水平地震動と鉛直地震動の同時加振を基本とするが、構造物の応答特性により水平２方向の同時性を考慮する必要がある場合は、水平２方向の組合せについて適切に評価する。

(3) 評価対象断面

屋外重要土木構造物の評価対象断面については、構造物の形状・配置等により、耐震上の弱軸、強軸が明確である場合、構造の安定性に支配的である弱軸方向を対象とする。

また、評価対象断面位置については、構造物の配置や荷重条件等を考慮し、耐震評価上最も厳しくなると考えられる位置を評価対象とする。

屋外重要土木構造物の耐震評価における評価断面選定の考え方を別添－６に示す。

5.4 津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備が設置された建物・構築物

(1) 入力地震動

津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備が設置された建物・構築物の地震応答解析における入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を基に、構造物の基礎地盤条件等を考慮し設定する。なお、敷地内の詳細な地盤条件を考慮する場合には、地震動評価で考慮した敷地全体の地下構造との関係にも留意する。

(2) 構造解析方法及び解析モデル

動的解析による地震力の算定については、5.1 (2)、5.2 (2)及び5.3(2)によるものとする。

6. 設計用減衰定数

応答解析に用いる減衰定数は、J E A G 4 6 0 1に記載されている減衰定数を設備の種類、構造等により適切に選定するとともに、試験等で妥当性が確認された値も用いる。

なお、建屋・構築物の応答解析に用いる鉄筋コンクリートの減衰定数の設定については、既往の知見に加え、既設施設の地震観測記録等より、その妥当性について検討する。

地盤と屋外重要土木構造物の連成系地震応答解析モデルの減衰定数については、地中構造物としての特徴、同モデルの振動特性を考慮して適切に設定する。

7. 耐震重要施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響

耐震重要施設は、耐震重要度分類の下位のクラスに属する施設（以下「下位クラス施設」という。）の波及的影響によって、その安全機能を損なわないように設計する。

波及的影響については、耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力を適用して評価を行う。なお、地震動又は地震力の選定に当たっては、施設の配置状況、使用時間等を踏まえて適切に設定する。また、波及的影響においては水平 2 方向及び鉛直方向の地震力が同時に作用する場合に影響を及ぼす可能性のある施設を選定し評価する。

波及的影響については、以下に示す(1)から(4)の 4 つの事項について検討を行う。また、原子力発電所の地震被害情報等から新たに検討すべき事項が抽出された場合には、これを追加する。

(1) 設置地盤及び地震応答性状の相違等に起因する不等沈下又は相対変位による影響

a. 不等沈下

耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力に伴う不等沈下による、耐震重要施設の安全機能への影響

b. 相対変位

耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力に伴う下位クラス施設と耐震重要施設の相対変位による、耐震重要施設の安全機能への影響

(2) 耐震重要施設と下位のクラスの施設との接続部における相互影響

耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力に伴う、耐震重要施設に接続する下位クラス施設の損傷による、耐震重要施設の安全機能への影響

- (3) 建屋内における下位のクラスの施設の損傷、転倒及び落下等による耐震重要施設への影響

耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力に伴う、建屋内の下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等による、耐震重要施設の安全機能への影響

- (4) 建屋外における下位のクラスの施設の損傷、転倒及び落下等による耐震重要施設への影響

耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力に伴う、建屋外の下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等による、耐震重要施設の安全機能への影響

なお、上記(1)～(4)の検討に当たっては、地震に起因する溢水及び火災の観点からも波及的影響がないことを確認する。

上記観点で抽出した下位クラス施設について、抽出した過程と結果を別添－4に示す。

8. 水平 2 方向及び鉛直方向の地震力の組合せに関する影響評価方針

水平 2 方向及び鉛直方向の地震力の組合せについて、従来の設計手法における水平 1 方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた耐震計算に対して、施設の構造特性から水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性のあるものを抽出し、施設が有する耐震性に及ぼす影響を評価する。

評価にあたっては、施設の構造特性から水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を受ける部位を抽出し、その部位について水平 2 方向及び鉛直方向の荷重や応力を算出し、施設が有する耐震性への影響を確認する。なお、本方針の詳細を別添－5 に示す。

(1) 建物・構築物

- ・建物・構築物における耐震評価上の構成部位を整理し、各建屋において、該当する耐震評価上の構成部位を網羅的に確認する。
- ・建物・構築物における耐震評価上の構成部位について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される応答特性を整理する。
- ・整理した耐震評価上の構成部位について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される応答特性のうち、荷重の組合せによる応答特性を検討する。水平 2 方向及び鉛直方向地震力に対し、荷重の組合せによる応答特性により、有する耐震性への影響が想定される部位を抽出する。
- ・3 次元的な応答特性が想定される部位として抽出された部位について、3 次元 FEM モデルを用いた精査を実施し、水平 2 方向及び鉛直方向地震力により、有する耐震性への影響が想定される部位を抽出する。
- ・上記で抽出されなかった部位についても、局所応答の観点から、3 次元 FEM モデルによる精査を実施し、水平 2 方向及び鉛直方向地震力により、有する耐震性への影響が想定される部位を抽出する。
- ・評価対象として抽出した耐震評価上の構成部位について、構造部材の発生応力等を適切に組み合わせることで、各部位の設計上の許容値に対する評価を実施し、各部位が有する耐震性への影響を評価する。

(2) 機器・配管系

- ・基準地震動で評価を行う各設備を代表的な機種ごとに分類し、構造上の特徴から水平 2 方向の地震力が重複する観点、若しくは応答軸方向以外の振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点にて検討を行い、水平 2 方向の地震力による影響の可能性のある設備を抽出する。
- ・抽出された設備に対して、水平 2 方向及び鉛直方向に地震力が入力された場合の荷重や応力等を求め、従来の設計手法による設計上の配慮を踏まえて影響を検討する。

(3) 屋外重要土木構造物

- ・屋外重要土木構造物について、各構造物の構造上の特徴を踏まえ、構造形式ごとに大別する。
- ・従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重を抽出する。
- ・屋外重要土木構造物は、地中に埋設された構造であり、周辺地盤からの土圧が耐震上支配的な荷重となることから、評価対象断面に対して直交方向に作用する土圧により水平2方向及び鉛直方向の地震力による影響程度が決定される。したがって、地盤からの土圧が直接作用する部材について影響検討を行う。
- ・影響検討にあたっては、評価対象断面（弱軸方向）と評価対象断面に直交する縦断方向（強軸方向）の部材照査に与える影響を検討する。

9. 構造計画と配置計画

設計基準対象施設の構造計画及び配置計画に際しては、地震の影響が低減されるように考慮する。

建物・構築物は、原則として剛構造とし、重要な建物・構築物は、地震力に対し十分な支持性能を有する地盤に支持させる。剛構造としない建築・構築物は、剛構造と同等又はそれを上回る耐震安全性を確保する。主要建屋の平面図、断面図を別添—7に示す。

機器・配管系は、応答性状を適切に評価し、適用する地震力に対して構造強度を有する設計とする。配置に自由度のあるものは、耐震上の観点から出来る限り重心位置を低くし、かつ、安定性のよい据え付け状態になるよう配置する。

また、建物・構築物の建屋間相対変位を考慮しても、建物・構築物及び機器・配管系の耐震安全性を確保する設計とする。

下位クラス施設は原則、耐震重要施設に対して離隔をとり配置するか、耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力に対して耐震性を保持するか若しくは、下位クラス施設の波及的影響を想定しても耐震重要施設の有する機能を保持する設計とする。

柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉

設計用地震力
(耐震)

設計用地震力

1. 静的地震力

静的地震力は、以下の地震層せん断力係数及び震度に基づき算定する。

種別	耐震 クラス	地震層せん断力係数 及び水平震度	鉛直震度
建物・ 構築物	S	$3.0C_i$	$1.0C_v$
	B	$1.5C_i$	—
	C	$1.0C_i$	—
機器・ 配管系	S	$3.6C_i$	$1.2C_v$
	B	$1.8C_i$	—
	C	$1.2C_i$	—
土木 構造物	C	$1.0C_i$	—

(注) C_i : 標準せん断力係数を 0.2 とし、建物・構築物の振動特性及び地盤の種類等を考慮して求められる値で柏崎刈羽 6 号及び 7 号炉については建設時に算定した C_i を用いる。

2. 動的地震力

動的地震力は、以下の入力地震動に基づき算定する。

種別		耐震 クラス	入力地震動 (注1)	
			水平地震動	鉛直地震動
建屋・ 構築物		S	弾性設計用地震動 S_d	弾性設計用地震動 S_d
			基準地震動 S_s	基準地震動 S_s
		B	弾性設計用地震動 $S_d \times 1/2$ (注2)	弾性設計用地震動 $S_d \times 1/2$ (注2)
津波防護施設 浸水防止設備 津波監視設備		S	設計用床応答曲線 S_s 又は 基準地震動 S_s	設計用床応答曲線 S_s 又は 基準地震動 S_s
機器・ 配管系		S	設計用床応答曲線 S_d 又は 弾性設計用地震動 S_d	設計用床応答曲線 S_d 又は 弾性設計用地震動 S_d
			設計用床応答曲線 S_s 又は 基準地震動 S_s	設計用床応答曲線 S_s 又は 基準地震動 S_s
		B	設計用床応答曲線 $S_d \times 1/2$ (注2)	設計用床応答曲線 $S_d \times 1/2$ (注2)
土木 構造物	屋外重要 土木 構造物	C	基準地震動 S_s	基準地震動 S_s

(注1) 設計用床応答曲線は、弾性設計用地震動 S_d 及び基準地震動 S_s に基づき作成した設計用床応答曲線とする。

(注2) 水平及び鉛直方向の地震動に対して共振のおそれのある施設に適用する。

3. 設計用地震力

種別	耐震 クラス	入力地震動		設計用地震力
		水平	鉛直	
建物・ 構築物	S	地震層せん断力係数 $3.0C_i$	静的震度 $1.0C_v$	荷重の組合せは、水平方向及び鉛直方向が静的地震力の場合は同時に不利な方向に作用するものとする。 水平方向及び鉛直方向が動的地震力の場合は組合せ係数法による。
		弾性設計用地震動 S_d	弾性設計用地震動 S_d	
		基準地震動 S_s	基準地震動 S_s	
	B	地震層せん断力係数 $1.5C_i$	—	静的地震力とする。
		弾性設計用地震動 $S_d \times 1/2$ (注1)	弾性設計用地震動 $S_d \times 1/2$ (注1)	水平方向及び鉛直方向が動的地震力の場合は組合せ係数法による。
	C	地震層せん断力係数 $1.0C_i$	—	静的地震力とする。
津波防護施設 浸水防止設備 津波監視設備	S	基準地震動 S_s	基準地震動 S_s	荷重の組合せは、組合せ係数法又は二乗和平方根 (SRSS) 法による。

種別		耐震 クラス	入力地震動		設計用地震力
			水平	鉛直	
機器・ 配管系		S	静的震度 $3.6C_i$	静的震度 $1.2C_v$	(注2)(注3) 荷重の組合せは、水平 方向及び鉛直方向が静 的地震力の場合は同時 に不利な方向に作用す るものとする。 水平方向及び鉛直方向 が動的地震力の場合は 二乗和平方根(SRS S)法による。
			設計用床応答曲線 S_d 又は 弾性設計用地震動 S_d	設計用床応答曲線 S_d 又は 弾性設計用地震動 S_d	
			設計用床応答曲線 S_s 又は 基準地震動 S_s	設計用床応答曲線 S_s 又は 基準地震動 S_s	(注3) 荷重の組合せは、二乗 和平方根(SRSS)法 による。
		B	静的震度 $1.8C_i$	—	(注3)(注4) 水平方向及び鉛直方向 が動的地震力の場合は 二乗和平方根(SRS S)法による。
			弾性設計用地震動 $S_d \times 1/2$ (注1)	弾性設計用地震動 $S_d \times 1/2$ (注1)	
		C	静的震度 $1.2C_i$	—	静的地震力とする。
土木構造物	屋外重要 土木構造物	C	静的震度 $1.0C_i$	—	静的地震力とする。
			基準地震動 S_s	基準地震動 S_s	動的地震力とする。
	その他 土木構造物	C	静的震度 $1.0C_i$	—	静的地震力とする。

(注1) 水平及び鉛直方向の地震動に対して共振のおそれのある施設に適用する。

(注2) 水平における動的と静的の大きい方の地震力と、鉛直における動的と静的の大きい方の地震力とを、絶対値和法で組み合わせてもよいものとする。

(注3) 絶対値和法で組み合わせてもよいものとする。

(注4) 水平における動的と静的の大きい方の地震力と、鉛直における動的地震力とを、絶対値和法で組み合わせてもよいものとする。

柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉

動的機能維持の評価 (耐震)

動的機能維持の評価

動的機能維持に関する評価は、以下に示す機能確認済加速度との比較により実施する。

動的機能維持の評価手順を第 2-1 図に示す。

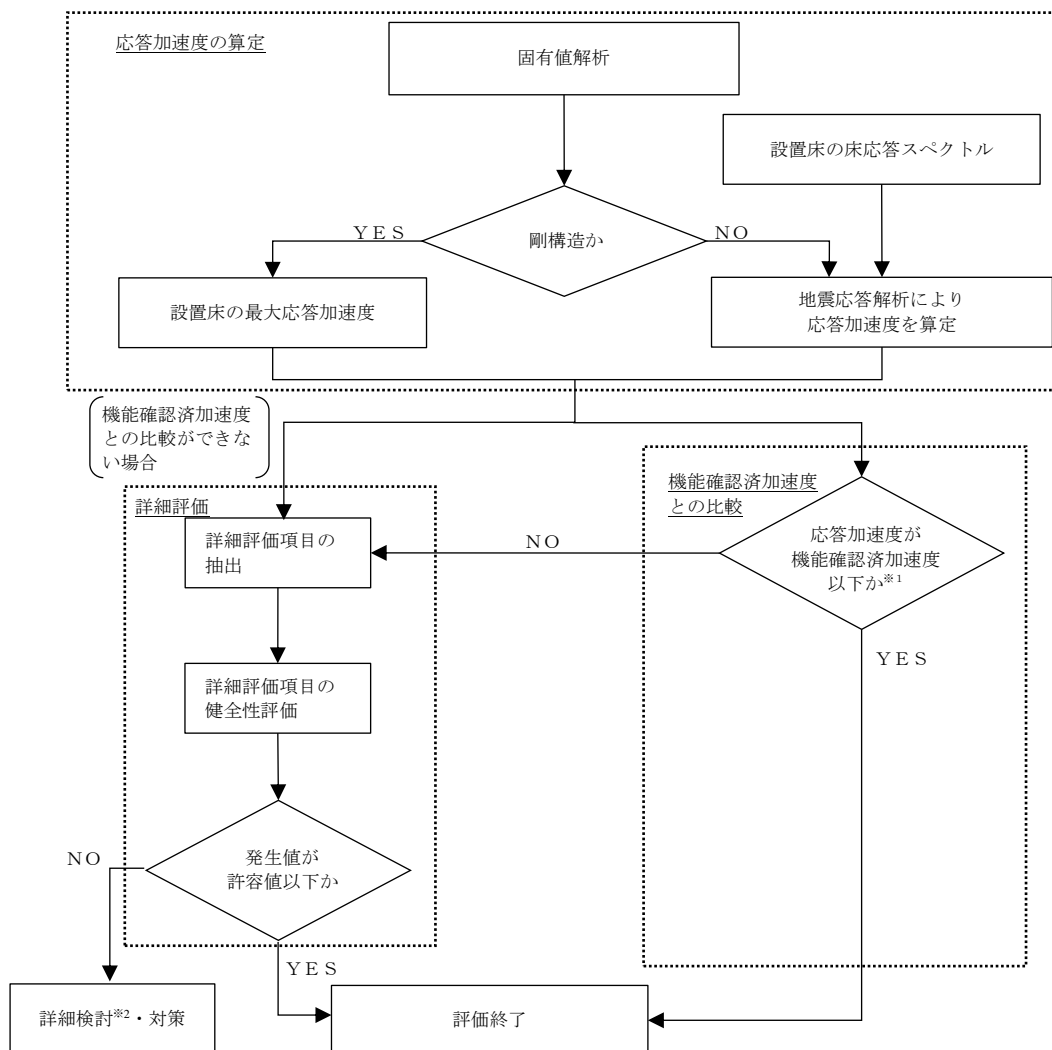
1. 機能確認済加速度との比較

基準地震動 S_s による評価対象機器の応答加速度を求め、その加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。なお、機能確認済加速度とは、立形ポンプ、横形ポンプ及びポンプ駆動用タービン等、機種ごとに試験あるいは解析により動的機能維持が確認された加速度である。

制御棒の地震時挿入性の評価については、炉心を模擬した実物大の部分モデルによる加振時制御棒挿入試験結果から挿入機能に支障を与えない最大燃料集合体変位を求め、地震応答解析から求めた燃料集合体変位がその最大燃料集合体変位を下回ることを確認する。

2. 詳細評価

機能確認済加速度の設定されていない機器、基準地震動 S_s による応答加速度が機能確認済加速度を上回る機器については、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1－1 9 9 1 追補版」等を参考に、動的機能維持を確認する上で評価が必要となる項目を抽出し、対象部位ごとの構造強度評価または動的機能維持評価を行い、発生値が評価基準値を満足していることを確認する。



※1 制御棒の地震時挿入性の評価については、炉心を模擬した実物大の部分モデルによる加振時制御棒挿入試験結果から挿入機能に支障を与えない最大燃料集合体変位を求め、地震応答解析から求めた燃料集合体変位がその最大燃料集合体変位を下回ることを確認する。

※2 解析，試験等による検討。

第 2-1 図 動的機能維持の評価手順

柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉

弾性設計用地震動 S_d ・ 静的地震力
による評価
(耐震)

弾性設計用地震動 S_d ・ 静的地震力による評価

1. 建物・構築物

弾性設計用地震動 S_d ・ 静的地震力による評価は、建物・構築物が、弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力に対して評価結果がおおむね弾性状態であること及び地震時の最大接地圧が基礎地盤の短期許容応力度に対して安全余裕を有していることを確認する。また、建物・構築物の保有水平耐力が必要保有水平耐力に対して安全余裕を有していることを確認する。

2. 機器・配管系

評価対象設備が弾性設計用地震動 S_d 及び静的地震力に対しておおむね弾性状態にあることを確認する。具体的には、以下の(1)，(2)のいずれかの手順に従う。

(1) 基準地震動 S_s による評価で代用する場合

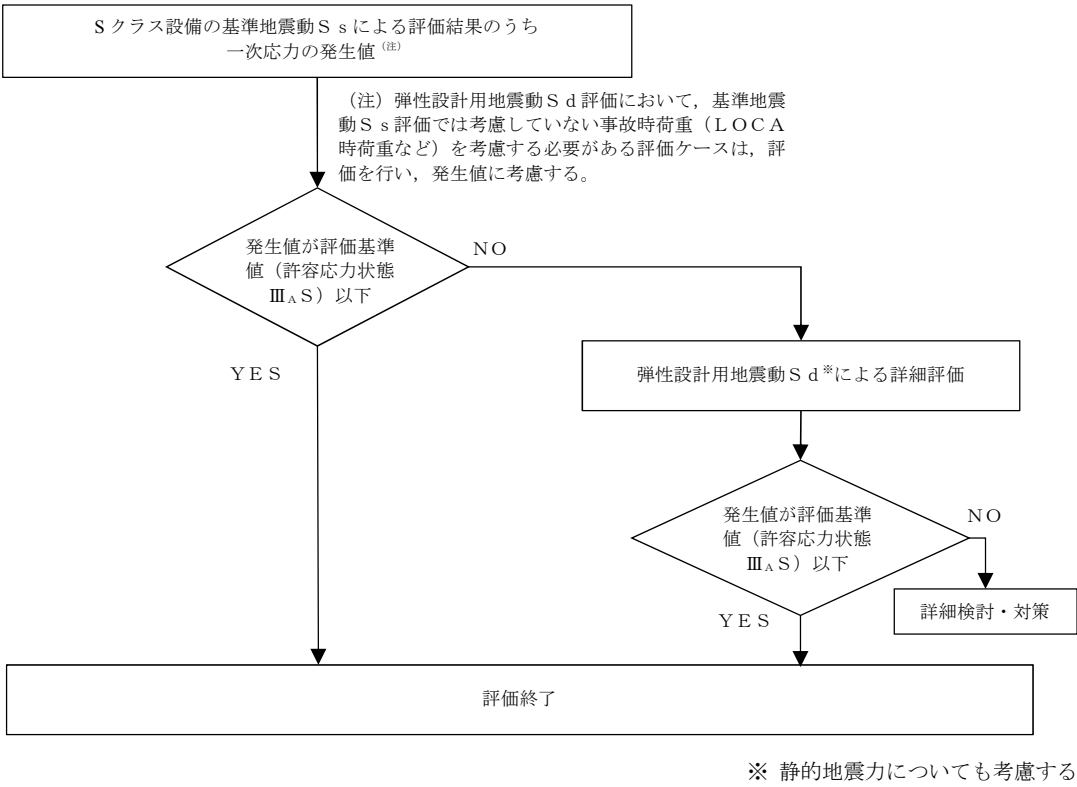
弾性設計用地震動 S_d は基準地震動 S_s の係数倍にて定義していること、及び基準地震動 S_s による地震力が静的震度 $3.6C_i$ よりも大きいことを確認していることから、基準地震動 S_s による発生値が評価基準値以下であることを確認する。評価手順を第 3-1 図に示す。

評価対象設備の基準地震動 S_s による発生値が弾性設計用の評価基準値（許容応力状態 $III_A S$ ）以下であることを確認する。

弾性設計用地震動 S_d は基準地震動 S_s の係数倍にて定義していることから、設備の基準地震動 S_s による発生値が、評価基準値（許容応力状態 $III_A S$ ）以下であれば、弾性設計用地震動 S_d による発生値についても、評価基準値（許容応力状態 $III_A S$ ）以下となる。

ただし、基準地震動 S_s 評価では考慮しない事故時荷重（ $LOCA$ 時荷重など）を考慮する必要がある評価ケースは、弾性設計用地震動 S_d と組み合わせるべき事故時荷重を考慮した評価を行い、発生値に考慮する。

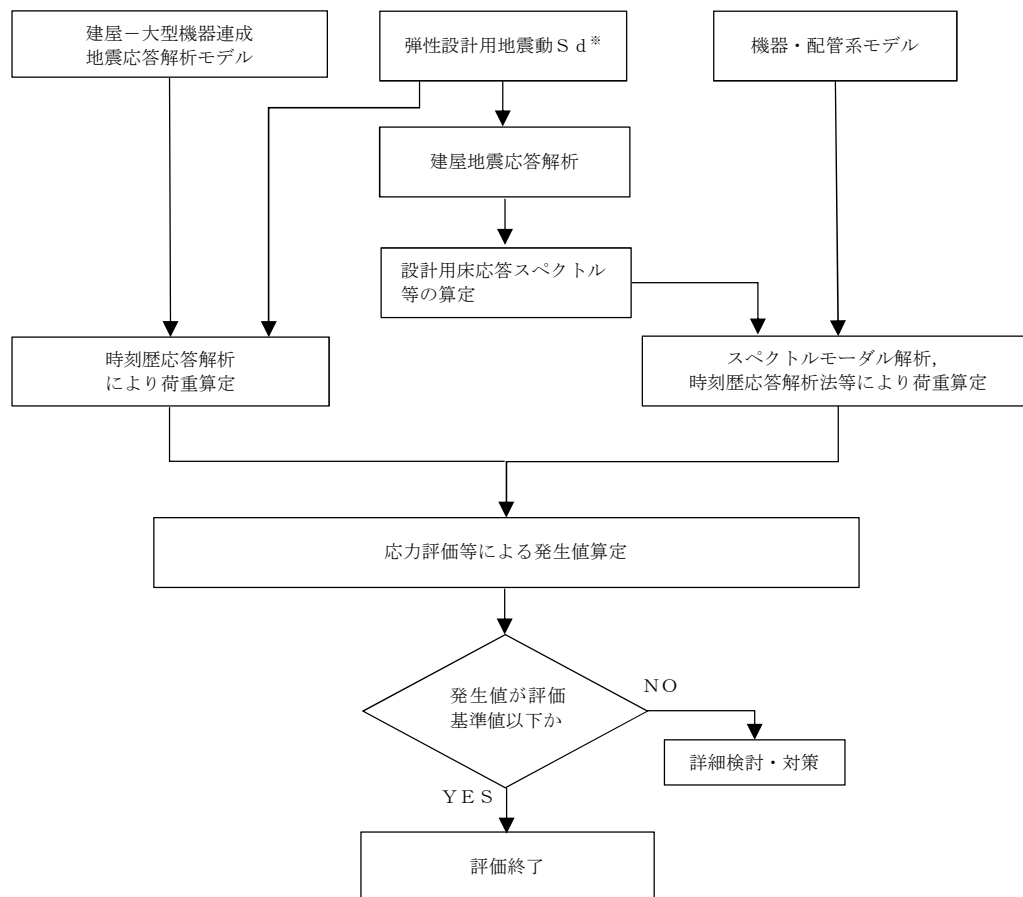
なお、座屈の評価は $J E A G 4 6 0 1$ に規定される評価式を用いるため、評価式中の評価基準値を $IV_A S$ から $III_A S$ とし、評価を行う。



第 3-1 図 機器・配管系の弾性設計用地震動 S d 及び静的地震力に対する
評価手順

(2) 弾性設計用地震動 S d による評価

弾性設計用地震動 S d による発生値を詳細評価により算定し、その算定した発生値が評価基準値（許容応力状態Ⅲ_AS）以下であることを確認する。評価手順を第 3-2 図に示す。なお、その際、弾性設計用地震動 S d による地震力と静的地震度 3.6C i を比較し、静的震度 3.6C i の方が大きい場合は、静的震度 3.6C i についても考慮する。



※ 静的地震力についても考慮する。

第 3-2 図 機器・配管系の弾性設計用地震動 S_d に対する評価手順

なお、弾性設計用地震動 S_d による評価において、一次＋二次応力評価の省略を可とするが、その理由について以下に示す。

一次＋二次応力評価については、J E A G 4 6 0 1 に規定されている許容応力状態Ⅳ_A S とⅢ_A S の許容値は同一となる。許容値が同じであれば、弾性設計用地震動 S_d より大きな地震動である基準地震動 S_s で評価した結果の方が厳しいことは明らかであることから、基準地震動 S_s の評価を実施することで、弾性設計用地震動 S_d による評価は省略した。

ただし、支持構造物（ボルト以外）のうち、「支圧」に対しては、許容応力状態Ⅳ_A S とⅢ_A S で許容値が異なるケースが存在する為、個別確認を実施する。

3. 屋外重要土木構造物

従前より屋外重要土木構造物として取扱われている構造物については、既工認において、A s クラスの動的地震力（基準地震動 S_2 ）に対して、許容応力度法による耐震評価を実施している。

したがって、今回工認においては、現在の基準により設定される荷重条件や、許容限界等の諸条件が、既工認における諸条件と同等であることを確認することで、静的地震力に対する耐震評価が既工認にて満足されることを確認する。

柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉

上位クラス施設の安全機能への下位クラス
施設の波及的影響の検討について
(耐震)

上位クラス施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響の検討について

1. 概要

本資料は、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設の設計を行うに際して、波及的影響を考慮した設計の基本的な考え方を説明するものである。

本資料の適用範囲は、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設である。

2. 基本方針

設計基準対象施設のうち耐震重要度分類のＳクラスに属する施設（以下、「Ｓクラス施設」という。）、重大事故等対処施設のうち常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備並びにこれらが設置される常設重大事故等対処施設（以下、「ＳＡ施設」という。）は、下位クラス施設の波及的影響によって、それぞれその安全機能及び重大事故等に対処するために必要な機能を損なわないように設計する。

3. 波及的影響を考慮した施設の設計方針

3.1 設置許可基準規則に例示された事項に基づく事例の検討

Ｓクラス施設の設計においては、「設置許可基準規則の解釈別記２」（以下、「別記２」という。）に記載の以下の４つの観点で実施する。

ＳＡ施設の設計においては、別記２における「耐震重要施設」を「ＳＡ施設」に、「安全機能」を「重大事故等に対処するために必要な機能」に読み替えて適用する。

- ① 設置地盤及び地震応答性状の相違等に起因する相対変位又は不等沈下による影響
- ② 耐震重要施設と下位のクラスの施設との接続部における相互影響
- ③ 建屋内における下位のクラスの施設の損傷、転倒及び落下等による耐震重要施設への影響
- ④ 建屋外における下位のクラスの施設の損傷、転倒及び落下等による耐震重要施設への影響

3.2 地震被害事例に基づく事象の検討

上記の別記２に例示された事項の他に考慮すべき事項が抜け落ちているものがないかを確認する観点で、原子力施設情報公開ライブラリー（NUC I A）に登録された以下の地震を対象に被害情報を確認する。

(対象とした情報)

- ・宮城県沖地震（女川原子力発電所：平成 17 年 8 月）
- ・能登半島地震（志賀原子力発電所：平成 19 年 3 月）
- ・新潟県中越沖地震（柏崎刈羽原子力発電所：平成 19 年 7 月）
- ・駿河湾地震（浜岡原子力発電所：平成 21 年 8 月）
- ・東北地方太平洋沖地震（福島第二，女川原子力発電所，東海第二発電所※：平成 23 年 3 月）

※NUC I A 最終報告となっているものを対象とした。

その結果，これらの地震の被害要因のうち，3.1 の検討事象に整理できないものとして，津波や警報発信等の設備損傷以外の要因が挙げられた。

津波については，別途「津波による損傷の防止」への適合性評価を実施する。津波の影響評価では，基準地震動に伴う津波を超える高さの津波を基準津波として設定して，施設の安全機能への影響評価を実施することから，基準地震動に伴う津波による影響については，これらの適合性評価に包絡されるため，ここでは検討の対象外とする。

また，警報発信等については，設備損傷以外の要因による不適合事象であることから，波及的影響の観点で考慮すべき事象に当たらないと判断した。

以上のことから，原子力発電所の地震被害情報から確認された損傷要因を踏まえても，3.1 で整理した波及的影響の具体的な検討事象に追加考慮すべき事項がないことを確認した。

以上の①～④の具体的な設計方法を以下に示す。

3.3 不等沈下又は相対変位の観点による設計

建屋外に設置する設計基準対象施設及び重大事故等対処施設を対象に，別記 2 ①「設置地盤及び地震応答性状の相違等に起因する相対変位又は不等沈下による影響」の観点で，上位クラス施設の安全機能及び重大事故等に対処するために必要な機能を損なわないよう下位クラス施設を設計する。

(1) 地盤の不等沈下による影響

下位クラス施設が設置される地盤の不等沈下により，上位クラス施設の安全機能及び重大事故等に対処するために必要な機能が損なわないよう，以下のとおり設計する。

離隔による防護を講じて設計する場合には，下位クラス施設の不等沈下

を想定しても上位クラス施設に衝突しない程度に十分な距離をとって配置するか、下位クラス施設と上位クラス施設の間に波及的影響を防止するために、衝突に対する強度を有する障壁を設置する。下位クラス施設を上位クラス施設への波及的影響を及ぼす可能性がある位置に設置する場合には、下位クラス施設を上位クラス施設と同等の支持性能を持つ地盤に、同等の基礎を設けて設置する。支持性能が十分でない地盤に下位クラス施設を設置する場合は、基礎の補強や周辺の地盤改良を行った上で、同等の支持性能を確保する。

上記の方針で設計しない場合は、下位クラス施設が設置される地盤の不等沈下を想定し、上位クラス施設の有する機能を保持するよう設計する。

以上の設計方針のうち、不等沈下を想定し、上位クラス施設の有する機能を保持するよう設計する下位クラス施設を「4. 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設」に、その設計方針を「5. 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震設計方針」に示す。

(2) 建屋間の相対変位による影響

下位クラス施設と上位クラス施設との相対変位により、上位クラス施設の安全機能及び重大事故等に対処するために必要な機能を損なわないよう、以下の通り設計する。

離隔による防護を講じて設計する場合には、下位クラス施設と上位クラス施設との相対変位を想定しても、下位クラス施設が上位クラス施設に衝突しない程度に十分な距離をとって配置するか、下位クラス施設と上位クラス施設との間に波及的影響を防止するために、衝突に対する強度を有する障壁を設置する。下位クラス施設と上位クラス施設の相対変位により、下位クラス施設が上位クラス施設に衝突する位置にある場合には、衝突部分の接触状況の確認、建屋全体評価又は局部評価を実施し、衝突に伴い、上位クラス施設について、それぞれその安全機能及び重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれのないよう設計する。

以上の設計方針のうち、建屋全体評価又は局部評価を実施して設計する下位クラス施設を「4. 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設」に、その設計方針を「5. 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震設計方針」に示す。

3.4 接続部の観点による設計

建屋内外に設置する設計基準対象施設及び重大事故等対処施設を対象に、

別記 2 ②「上位クラス施設と下位のクラスの施設との接続部における相互影響」の観点で、上位クラス施設の安全機能及び重大事故等に対処するために必要な機能を損なわないよう下位クラス施設を設計する。

上位クラス施設と下位クラス施設との接続部には、原則、上位クラスの隔離弁等を設置することにより分離し、事故時等に隔離されるよう設計する。隔離されない接続部以降の下位クラス施設については、下位クラス施設が上位クラス施設の設計に用いる地震動又は地震力に対して、内部流体の内包機能、機器の動的機能、構造強度等を確保するよう設計する。又は、これらが維持されなくなる可能性がある場合は、下位クラス施設の損傷と隔離によるプロセス変化により、上位クラス施設の内部流体の温度、圧力に影響を与えても、系統としての機能が設計の想定範囲内に維持されるよう設計する。

以上の設計方針のうち、内部流体の内包機能、機器の動的機能、構造強度を確保するよう設計する下位クラス施設を「4. 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設」に、その設計方針を「5. 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震設計方針」に示す。

3.5 損傷、転倒及び落下等の観点による建屋内施設の設計

建屋内に設置する設計基準対象施設及び重大事故等対処施設を対象に、別記 2 ③「建屋内における下位のクラスの施設の損傷、転倒及び落下等による耐震重要施設への影響」の観点で、上位クラス施設の安全機能及び重大事故等に対処するために必要な機能を損なわないよう下位クラス施設を設計する。

隔離による防護を講じて設計する場合には、下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等を想定しても上位クラス施設に衝突しない程度に十分な距離をとって配置するか、下位クラス施設と上位クラス施設の間に波及的影響を防止するために衝突に対する強度を有する障壁を設置する。下位クラス施設を上位クラス施設への波及的影響を及ぼす可能性がある位置に設置する場合には、下位クラス施設が上位クラス施設の設計に用いる地震動又は地震力に対して、下位クラス施設が損傷、転倒及び落下等に至らないよう構造強度設計を行う。

上記の方針で設計しない場合は、下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等を想定し、上位クラス施設の有する機能を保持するよう設計する。

以上の設計方針のうち、構造強度設計を行う、又は下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等を想定し、上位クラス施設の有する機能を保持するよう設計する下位クラス施設を「4. 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設」に、その設計方針を「5. 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の

耐震設計方針」に示す。

3.6 損傷、転倒及び落下等の観点による建屋外施設の設計

建屋外に設置する設計基準対象施設及び重大事故等対処施設を対象に、別記 2 ④「建屋外における下位のクラスの施設の損傷、転倒及び落下等による耐震重要施設への影響」の観点で、上位クラス施設の安全機能及び重大事故等に対処するために必要な機能を損なわないよう下位クラス施設を設計する。

離隔による防護を講じて設計する場合には、下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等を想定しても上位クラス施設に衝突しない程度に十分な距離をとって配置するか、下位クラス施設と上位クラス施設の間に波及的影響を防止するために衝突に対する強度を有する障壁を設置する。下位クラス施設を上位クラス施設への波及的影響を及ぼす可能性がある位置に設置する場合には、下位クラス施設が上位クラス施設の設計に用いる地震動又は地震力に対して、下位クラス施設が損傷、転倒及び落下等に至らないよう構造強度設計を行う。

上記の方針で設計しない場合は、下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等を想定し、上位クラス施設の有する機能を保持するよう設計する。

以上の設計方針のうち、構造強度設計を行う、又は下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等を想定し、上位クラス施設の有する機能を保持するよう設計する下位クラス施設を「4. 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設」に、その設計方針を「5. 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震設計方針」に示す。

4. 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設

「3. 波及的影響を考慮した施設の設計方針」に基づき、構造強度等を確保するよう設計するものとして選定した下位クラス施設を以下に示す。

4.1 不等沈下又は相対変位の観点

(1) 地盤の不等沈下による影響

a. サービス建屋

下位クラス施設であるサービス建屋は、上位クラス施設であるコントロール建屋に隣接しており、一部が洪積層に支持されていることから、不等沈下による衝突影響の観点で波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。このため波及的影響の設計対象とした。

b. 5 号炉サービス建屋

下位クラス施設である 5 号炉サービス建屋は、上位クラス施設である 5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所（5 号炉原子炉建屋）に隣接しており、地盤改良土を介して洪積層に支持されていることから、不等沈下による衝突影響の観点で波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。このため波及的影響の設計対象とした。

c. 5 号炉連絡通路

下位クラス施設である 5 号炉連絡通路は、上位クラス施設である 5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所（5 号炉原子炉建屋）に隣接しており、マンメイドロックを介して洪積層に支持されていることから、不等沈下による衝突影響の観点で波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。このため波及的影響の設計対象とした。

d. 5 号炉主排気モニタ建屋

下位クラス施設である 5 号炉主排気モニタ建屋は、上位クラス施設である 5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所（5 号炉原子炉建屋）に隣接しており、埋戻し土に支持されていることから、不等沈下による衝突影響の観点で波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。このため波及的影響の設計対象とした。

ここで選定した波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の不等沈下により、波及的影響を受けるおそれのある上位クラス施設を第 4－1 表に示す。

第 4－1 表 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設（不等沈下）

波及的影響を受けるおそれのある上位クラス施設	波及的影響の設計対象とする下位クラス施設
コントロール建屋	サービス建屋
5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所(5 号炉原子炉建屋)	5 号炉サービス建屋
	5 号炉連絡通路
	5 号炉主排気モニタ建屋

（注）詳細設計の段階で変更の可能性有り。

(2) 建屋間の相対変位による影響

a. 6 号炉連絡通路

下位クラス施設である 6 号炉連絡通路は、上位クラス施設である 6 号炉タービン建屋に隣接していることから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う相対変位により衝突して、6 号炉タービン建屋に対して波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。このため波及的影響の設計対象とした。

b. サービス建屋

下位クラス施設であるサービス建屋は、上位クラス施設であるコントロール建屋に隣接していることから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う相対変位により衝突して、コントロール建屋に対して波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。このため波及的影響の設計対象とした。

c. 5 号炉タービン建屋

下位クラス施設である 5 号炉タービン建屋は、上位クラス施設である 5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所（5 号炉原子炉建屋）に隣接していることから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う相対変位により衝突して、5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所（5 号炉原子炉建屋）に対して波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。このため波及的影響の設計対象とした。

d. 5 号炉連絡通路

下位クラス施設である 5 号炉連絡通路は、上位クラス施設である 5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所（5 号炉原子炉建屋）に隣接していることから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う相対変位により衝突して、5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所（5 号炉原子炉建屋）に対して波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。このため波及的影響の設計対象とした。

e. 5 号炉主排気モニタ建屋

下位クラス施設である 5 号炉主排気モニタ建屋は、上位クラス施設である 5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所（5 号炉原子炉建屋）に隣接していることから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う相対変位により衝突して、5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所（5 号炉

原子炉建屋）に対して波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。このため波及的影響の設計対象とした。

ここで選定した波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の相対変位により，波及的影響を受けるおそれのある上位クラス施設を第４－２表に示す。

第４－２表 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設（相対変位）

波及的影響を受けるおそれのある上位クラス施設	波及的影響の設計対象とする下位クラス施設
6号炉タービン建屋	6号炉連絡通路
コントロール建屋	サービス建屋
5号炉原子炉建屋内緊急時対策所(5号炉原子炉建屋)	5号炉タービン建屋
	5号炉連絡通路
	5号炉主排気モニタ建屋

(注) 詳細設計の段階で変更の可能性有り。

4.2 接続部の観点

上位クラス施設と下位クラス施設との接続部は隔離弁等により隔離されていること，又は下位クラス施設の損傷と隔離によるプロセス変化に対する上位クラス施設への過渡条件が設計の想定範囲内に維持されることから，接続部における相互影響の観点で波及的影響を及ぼす下位クラス施設はない。

4.3 建屋内施設の損傷，転倒及び落下等の観点

(1) 施設の損傷，転倒及び落下等による影響

a. 6号炉原子炉遮蔽壁

下位クラス施設である6号炉原子炉遮蔽壁は，上位クラス施設である6号炉原子炉圧力容器に隣接していることから，上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う転倒により，6号炉原子炉圧力容器に衝突し波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。このため波及的影響の設計対象とした。

b. 6号炉原子炉建屋クレーン

下位クラス施設である6号炉原子炉建屋クレーンは，上位クラス施設である6号炉使用済燃料貯蔵プール及び6号炉使用済燃料貯蔵ラック等の上部または隣りに設置していることから，上位クラス施設の設計に適用する

地震動又は地震力に伴う転倒または落下により、6号炉使用済燃料貯蔵プール及び6号炉使用済燃料貯蔵ラック等に衝突し波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。このため波及的影響の設計対象とした。

c. 6号炉燃料取替機

下位クラス施設である6号炉燃料取替機は、上位クラス施設である6号炉使用済燃料貯蔵プール及び6号炉使用済燃料貯蔵ラック等の上部または隣りに設置していることから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う転倒または落下により、6号炉使用済燃料貯蔵プール及び6号炉使用済燃料貯蔵ラック等に衝突し波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。このため波及的影響の設計対象とした。

d. 6号炉原子炉ウェル遮蔽プラグ

下位クラス施設である6号炉原子炉ウェル遮蔽プラグは、上位クラス施設である6号炉原子炉格納容器の上部に設置していることから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う落下により、6号炉原子炉格納容器に衝突し波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。このため波及的影響の設計対象とした。

e. 6号炉中央制御室天井照明

下位クラス施設である6号炉中央制御室天井照明は、上位クラス施設である6号炉中央運転監視盤及び6号炉運転監視補助盤の上部に設置していることから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う落下により、6号炉中央運転監視盤及び6号炉運転監視補助盤に衝突し波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。このため波及的影響の設計対象とした。

f. 7号炉原子炉遮蔽壁

下位クラス施設である7号炉原子炉遮蔽壁は、上位クラス施設である7号炉原子炉圧力容器に隣接していることから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う転倒により、7号炉原子炉圧力容器に衝突し波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。このため波及的影響の設計対象とした。

g. 7号炉原子炉建屋クレーン

下位クラス施設である7号炉原子炉建屋クレーンは、上位クラス施設で

ある 7 号炉使用済燃料貯蔵プール及び 7 号炉使用済燃料貯蔵ラック等の上部または隣りに設置していることから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う転倒または落下により、7 号炉使用済燃料貯蔵プール及び 7 号炉使用済燃料貯蔵ラック等に衝突し波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。このため波及的影響の設計対象とした。

h. 7 号炉燃料取替機

下位クラス施設である 7 号炉燃料取替機は、上位クラス施設である 7 号炉使用済燃料貯蔵プール及び 7 号炉使用済燃料貯蔵ラック等の上部または隣りに設置していることから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う転倒または落下により、7 号炉使用済燃料貯蔵プール及び 7 号炉使用済燃料貯蔵ラック等に衝突し波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。このため波及的影響の設計対象とした。

i. 7 号炉原子炉ウェル遮蔽プラグ

下位クラス施設である 7 号炉原子炉ウェル遮蔽プラグは、上位クラス施設である 7 号炉原子炉格納容器の上部に設置していることから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う落下により、7 号炉原子炉格納容器に衝突し波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。このため波及的影響の設計対象とした。

j. 7 号炉中央制御室天井照明

下位クラス施設である 7 号炉中央制御室天井照明は、上位クラス施設である 7 号炉中央運転監視盤及び 7 号炉運転監視補助盤の上部に設置していることから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う落下により、7 号炉中央運転監視盤及び 7 号炉運転監視補助盤に衝突し波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。このため波及的影響の設計対象とした。

ここで選定した波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等により波及的影響を受けるおそれのある上位クラス施設を第 4－3 表に示す。

第 4－3 表 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設（損傷、転倒及び落下等）

波及的影響を受けるおそれのある上位クラス施設	波及的影響の設計対象とする下位クラス施設
6 号炉原子炉圧力容器	6 号炉原子炉遮蔽壁
6 号炉使用済燃料貯蔵プール及び 6 号炉使用済燃料貯蔵ラック等	6 号炉原子炉建屋クレーン
6 号炉使用済燃料貯蔵プール及び 6 号炉使用済燃料貯蔵ラック等	6 号炉燃料取替機
6 号炉原子炉格納容器	6 号炉原子炉ウェル遮蔽プラグ
6 号炉中央運転監視盤及び 6 号炉運転監視補助盤	6 号炉中央制御室天井照明
7 号炉原子炉圧力容器	7 号炉原子炉遮蔽壁
7 号炉使用済燃料貯蔵プール及び 7 号炉使用済燃料貯蔵ラック等	7 号炉原子炉建屋クレーン
7 号炉使用済燃料貯蔵プール及び 7 号炉使用済燃料貯蔵ラック等	7 号炉燃料取替機
7 号炉原子炉格納容器	7 号炉原子炉ウェル遮蔽プラグ
7 号炉中央運転監視盤及び 7 号炉運転監視補助盤	7 号炉中央制御室天井照明

（注）詳細設計の段階で変更の可能性有り。

4.4 建屋外施設の損傷、転倒及び落下等の観点

(1) 施設の損傷、転倒及び落下等による影響

a. 5 号炉排気筒

下位クラス施設である 5 号炉排気筒は、上位クラス施設である 6 号炉非常用ディーゼル発電設備軽油タンク、6 号炉原子炉建屋等が転倒範囲に位置していることから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う転倒により、6 号炉非常用ディーゼル発電設備軽油タンク、6 号炉原子炉建屋等に衝突し、波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。このため波及的影響の設計対象とした。

b. 6 号炉燃料移送ポンプエリア竜巻防護壁

下位クラス施設である 6 号炉燃料移送ポンプエリア竜巻防護壁は、上位クラス施設である 6 号炉非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ、6 号炉非常用ディーゼル発電設備燃料油系配管等が転倒範囲に位置しているこ

とから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う転倒により、6号炉非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ、6号炉非常用ディーゼル発電設備燃料油系配管等に衝突し、波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。このため波及的影響の設計対象とした。

c. 5号炉タービン建屋

下位クラス施設である5号炉タービン建屋は、上位クラス施設である6号炉タービン建屋及び5号炉原子炉建屋内緊急時対策所（5号炉原子炉建屋）に隣接していることから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う転倒により、6号炉タービン建屋及び5号炉原子炉建屋内緊急時対策所（5号炉原子炉建屋）に衝突し、波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。このため波及的影響の設計対象とした。

d. 6号炉取水護岸

下位クラス施設である6号炉取水護岸は、上位クラス施設である6号炉海水貯留堰が転倒範囲に位置していることから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う転倒により、6号炉海水貯留堰に衝突し、波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。このため波及的影響の設計対象とした。

e. 7号炉燃料移送ポンプエリア竜巻防護壁

下位クラス施設である7号炉燃料移送ポンプエリア竜巻防護壁は、上位クラス施設である7号炉非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ、7号炉非常用ディーゼル発電設備燃料油系配管等が転倒範囲に位置していることから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う転倒により、7号炉非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ、7号炉非常用ディーゼル発電設備燃料油系配管等に衝突し、波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。このため波及的影響の設計対象とした。

f. 7号炉取水護岸

下位クラス施設である7号炉取水護岸は、上位クラス施設である7号炉海水貯留堰が転倒範囲に位置していることから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う転倒により、7号炉取水護岸に衝突し、波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。このため波及的影響の設計対象とした。

g. サービス建屋

下位クラス施設であるサービス建屋は、上位クラス施設であるコントロール建屋に隣接していることから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う転倒により、コントロール建屋に衝突し、波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。このため波及的影響の設計対象とした。

h. 5 号炉サービス建屋

下位クラス施設である 5 号炉サービス建屋は、上位クラス施設である 5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所（5 号炉原子炉建屋）に隣接していることから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う転倒により、5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所（5 号炉原子炉建屋）に衝突し、波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。このため波及的影響の設計対象とした。

i. 5 号炉格納容器圧力逃がし装置基礎

下位クラス施設である 5 号炉格納容器圧力逃がし装置基礎は、上位クラス施設である 5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所（5 号炉原子炉建屋）に隣接していることから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う転倒により、5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所（5 号炉原子炉建屋）に衝突し、波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。このため波及的影響の設計対象とした。

ここで選定した波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等により波及的影響を受けるおそれのある上位クラス施設を第 4－4 表に示す。

第 4－4 表 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設（損傷、転倒及び落下等）

波及的影響を受けるおそれのある上位クラス施設	波及的影響の設計対象とする下位クラス施設
6 号炉非常用ディーゼル発電設備軽油タンク，6 号炉原子炉建屋等	5 号炉排気筒
6 号炉非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ，6 号炉非常用ディーゼル発電設備燃料油系配管等	6 号炉燃料移送ポンプエリア竜巻防護壁
6 号炉タービン建屋及び 5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所（5 号炉原子炉建屋）	5 号炉タービン建屋
6 号炉海水貯留堰	6 号炉取水護岸
7 号炉非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ，7 号炉非常用ディーゼル発電設備燃料油系配管等	7 号炉燃料移送ポンプエリア竜巻防護壁
7 号炉海水貯留堰	7 号炉取水護岸
コントロール建屋	サービス建屋
5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所（5 号炉原子炉建屋）	5 号炉サービス建屋
5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所（5 号炉原子炉建屋）	5 号炉格納容器圧力逃がし装置基礎

（注）詳細設計の段階で変更の可能性有り。

5. 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震設計方針

「4.波及的影響の設計対象とする下位クラス施設」で選定した施設の耐震設計方針を以下に示す。

5.1 耐震評価部位

波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の評価対象部位は，それぞれの損傷モードに応じて選定する。すなわち，評価対象下位クラス施設の不等沈下，相対変位，接続部における相互影響，損傷，転倒及び落下等を防止するように，主要構造部材，支持部及び固定部等を対象とする。

5.2 地震応答解析

波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震設計において実施する

地震応答解析については、既工認で実績があり、かつ最新の知見に照らしても妥当な手法及び条件を基本として行う。

5.3 設計用地震動又は地震力

波及的影響の設計対象とする下位クラス施設においては、上位クラス施設の設計に用いる地震動又は地震力を適用する。

5.4 荷重の種類及び荷重の組合せ

波及的影響の防止を目的とした設計において用いる荷重の種類及び荷重の組合せについては、波及的影響を受けるおそれのある上位クラス施設と同じ運転状態において下位クラス施設に発生する荷重を組み合わせる。

荷重の設定においては、実運用・実事象上定まる範囲を考慮して設定する。

5.5 許容限界

波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の評価に用いる許容限界設定の考え方を、以下建物・構築物、機器・配管系及び土木構造物にわけて示す。

5.5.1 建物・構築物

建物・構築物について、下位クラス施設の上位クラス施設に対する衝突を防止する場合の許容限界は、下位クラス施設と上位クラス施設との離隔距離を確保することを基本とする。

また、施設の構造を保つことで、下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等を防止する場合は、部材に発生する応力に対して終局耐力を基本として許容限界を設定する。

5.5.2 機器・配管系

機器・配管系について、施設の構造を保つことで、下位クラス施設の接続部における相互影響及び損傷、転倒及び落下等を防止する場合は、許容限界として、評価部位に塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有していることに相当する許容限界を設定する。機器の動的機能維持を確保することで、下位クラス施設の接続部における相互影響を防止する場合は、許容限界として動的機能確認済加速度を設定する。

5.5.3 土木・構造物

土木構造物について、施設の構造を保つことで、下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等を防止する場合は、構造部材の終局耐力や基礎地盤の極限支持力度に対し妥当な安全余裕を考慮することを基本として許容限界を設定する。

また、構造物の安定性や変形により上位クラス施設の機能に影響がないよう設計する場合は、構造物のすべりや変形量に対し妥当な安全余裕を考慮することを基本として許容限界を設定する。

6. 工事段階における下位クラス施設の調査・検討

工事段階においても、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設の設計段階の際に検討した配置・補強等が設計どおりに施されていることを、敷地全体を俯瞰した調査・検討を行うことで確認する。また、仮置資材等、現場の配置状況等の確認を必要とする下位クラス施設についても合わせて確認する。

工事段階における検討は、別記2の4つの観点のうち、③及び④の観点、すなわち下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等による影響について、プラントウォークダウンにより実施する。

確認事項としては、設計段階において検討した離隔による防護の観点で行う。すなわち、施設の損傷、転倒及び落下等を想定した場合に上位クラス施設に衝突するおそれのある範囲内に下位クラス施設がないこと、又は間に衝撃に耐えうる障壁、緩衝物等が設置されていること、仮置資材等については固縛など、転倒及び落下を防止する措置が適切に講じられていることを確認する。

ただし、仮置資材等の下位クラス施設自体が、明らかに影響を及ぼさない程度の大きさ、重量等の場合は対象としない。

以上を踏まえて、損傷、転倒及び落下等により、上位クラス施設に波及的影響を及ぼす可能性がある下位クラス施設が抽出されれば、必要に応じて、上記の確認事項と同じ観点で対策・検討したり、固縛等の転倒・落下防止措置等を講じたりすることで対策・検討を行う。すなわち、下位クラス施設の配置を変更したり、間に緩衝物等を設置したり、固縛等の転倒・落下防止措置等を講じたりすることで対策・検討を行う。

また、工事段階における確認の後も、波及的影響を防止するように現場を保持するため、保安規定に機器設置時の配慮事項等を定めて管理する。

柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに
関する影響評価方針
(耐震)

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針

1. 概要

本資料は、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価の方針について説明するものである。

2. 基本方針

施設の耐震設計では、設備の構造から地震力の方向に対して弱軸及び強軸を明確にし、地震力に対して配慮した構造としている。

今回、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる耐震設計に係る技術基準が制定されたことから、従来の設計手法における水平 1 方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた耐震計算に対して、施設の構造特性から水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性があるものを抽出し、施設が有する耐震性に及ぼす影響を評価する。

評価対象は「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（平成 25 年 6 月 28 日原子力規制委員会規則第 6 号）」の第 5 条及び第 50 条に規定されている耐震重要施設及びその間接支持構造物、常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設並びにこれらの施設への波及的影響防止のために耐震評価を実施する施設とする。耐震 B クラスの施設については、共振のおそれのあるものを評価対象とする。

評価にあたっては、施設の構造特性から水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を受ける部位を抽出し、その部位について水平 2 方向及び鉛直方向の荷重や応力を算出し、施設が有する耐震性への影響を確認する。

施設が有する耐震性への影響が確認された場合は、詳細な手法を用いた検討等、新たに設計上の対応策を講じる。

3. 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる地震動

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価には、基準地震動 $S_s-1 \sim S_s-8$ を用いる。

ここで、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる基準地震動は、複数の基準地震動における地震動の特性及び包絡関係を施設の特性による影響も考慮した上で確認し、本影響評価に用いる。

4. 各施設における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針

4.1 建物・構築物

4.1.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計手法の考え方

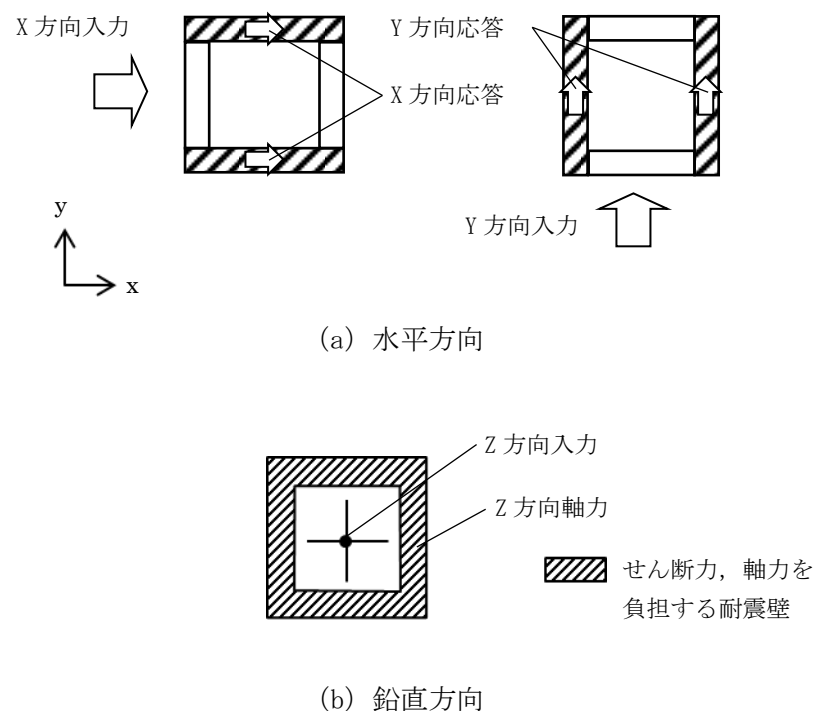
従来の設計手法では、建物・構築物の地震応答解析において、各水平方向及び鉛

直方向の地震動を質点系モデルにそれぞれ方向ごとに入力し解析を行っている。また、原子炉施設における建物・構築物は、全体形状及び平面レイアウトから、地震力を主に耐震壁で負担する構造であり、剛性の高い設計としている。

水平方向の地震力に対しては、せん断力について評価することを基本とし、建物・構築物に作用するせん断力は、地震時に生じる力の流れが明解となるように、直交する 2 方向に釣合いよく配置された鉄筋コンクリート造耐震壁を主な耐震要素として構造計画を行う。地震応答解析は、水平 2 方向の耐震壁に対して、それぞれ剛性を評価し、各水平方向に対して解析を実施している。したがって、建物・構築物に対し水平 2 方向の入力がある場合、各方向から作用するせん断力を負担する部位が異なるため、水平 2 方向の入力がある場合の評価は、水平 1 方向にのみ入力がある場合と同等な評価となる。

鉛直方向の地震力に対しては、軸力について評価することを基本としている。建物・構築物に作用する軸力は、鉄筋コンクリート造耐震壁を主な耐震要素として構造計画を行う。

入力方向ごとの耐震要素について、第 5-4-1 図に示す。



第 5-4-1 図 入力方向ごとの耐震要素

4.1.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針

建物・構築物において、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した場合に影響を受ける可能性がある部位の評価を行う。

評価対象は、耐震重要施設及びその間接支持構造物、常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設並びにこれらの施設への波及的影響防止のために耐震評価を実施する施設の評価部位とする。

対象とする部位について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される応答特性から、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を受ける可能性がある部位を抽出する。

応答特性から抽出された水平 2 方向の地震力による影響を受ける可能性がある部位は、従来の評価結果の荷重又は応力の算出結果等を水平 2 方向及び鉛直方向に組み合わせ、各部位に発生する荷重や応力を算出し、各部位が有する耐震性への影響を確認する。

各部位が有する耐震性への影響が確認された場合は、詳細な手法を用いた検討等、新たに設計上の対応策を講じる。

4.1.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方法

建物・構築物において、水平 1 方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた従来の設計手法に対して、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性がある耐震評価上の構成部位について、応答特性から抽出し、影響を評価する。影響評価のフローを第 5-4-2 図に示す。

(1) 影響評価部位の抽出

① 耐震評価上の構成部位の整理

建物・構築物における耐震評価上の構成部位を整理し、各建屋において、該当する耐震評価上の構成部位を網羅的に確認する。

② 応答特性の整理

建物・構築物における耐震評価上の構成部位について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される応答特性を整理する。

③ 荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出

整理した耐震評価上の構成部位について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される応答特性のうち、荷重の組合せによる応答特性を検討する。水平 2 方向及び鉛直方向地震力に対し、荷重の組合せによる応答特性により、有する耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

④ 3 次元的な応答特性が想定される部位の抽出

荷重の組合せによる応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位のうち、3 次元的な応答特性が想定される部位を検討する。水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、3 次元的な応答特性により、有する耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

⑤ 3 次元 FEM モデルによる精査

3 次元的な応答特性が想定される部位として抽出された部位について、3 次元 FEM モデルを用いた精査を実施し、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにより、有する耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

また、3 次元的な応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位についても、局所応答の観点から、3 次元 FEM モデルによる精査を実施し、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにより、有する耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

局所応答に対する 3 次元 FEM モデルによる精査は、施設の重要性、建屋規模及び構造特性を考慮し、柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉原子炉格納容器及び原子炉建屋について地震応答解析を行う。3 次元 FEM モデルの概要を第 5-4-3 図に示す。

(2) 影響評価手法

⑥ 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価においては、水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる局部評価の荷重又は応力の算出結果等を用い、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を組み合わせる方法として、米国 Regulatory Guide 1.92（注）の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として、組合せ係数法 (1.0 : 0.4 : 0.4) に基づいて地震力を設定する。

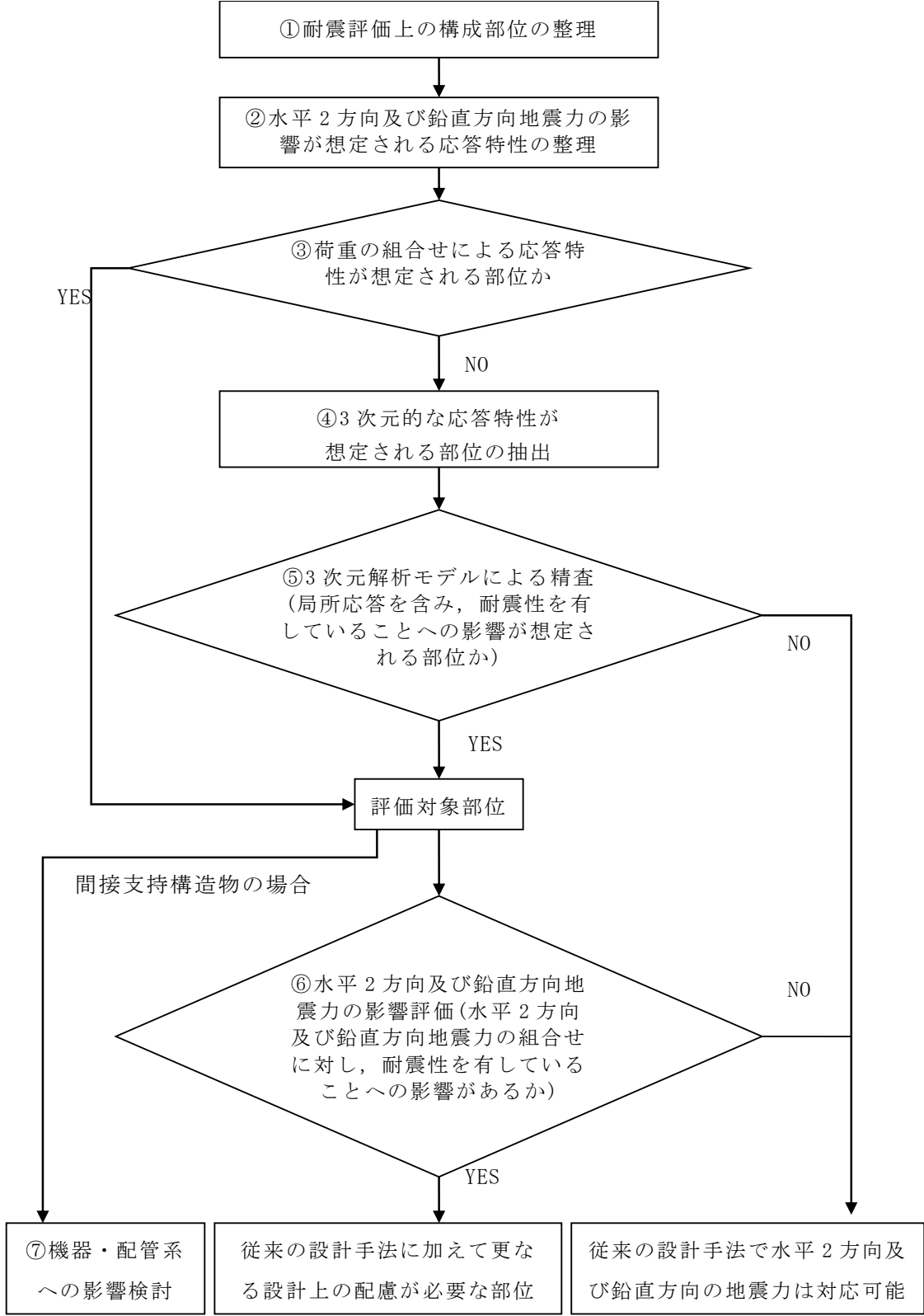
評価対象として抽出した耐震評価上の構成部位について、構造部材の発生応力等を適切に組み合わせることで、各部位の設計上の許容値に対する評価を実施し、各部位が有する耐震性への影響を評価する。

⑦ 機器・配管系への影響検討

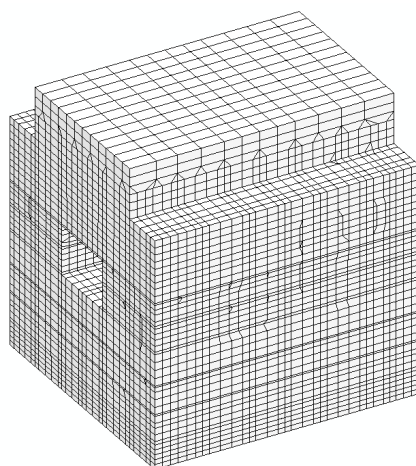
評価対象として抽出された部位が、耐震重要施設、常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設の機器・配管系の間接支持機能を有する場合、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響を確認する。

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響が確認された場合、機器・配管系の影響評価に反映する。

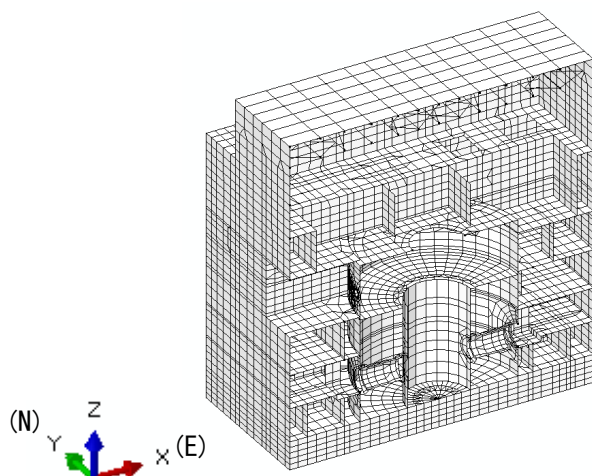
(注) Regulatory Guide (RG) 1.92 “ Combining modal responses and spatial components in seismic response analysis ”



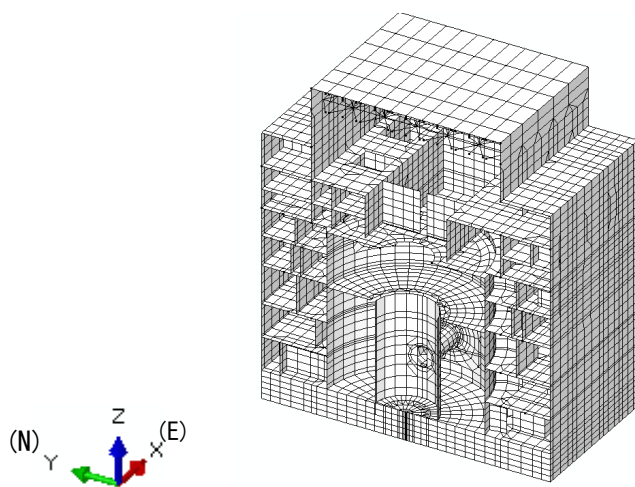
第 5-4-2 図 水平2方向及び鉛直方向地震力による影響検討のフロー



(a) 建屋全景



(b) EW 断面図



(c) NS 断面図

第 5-4-3 図 建屋 3 次元 FEM モデル

4.2 機器・配管系

4.2.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計の考え方

機器・配管系における従来の水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計手法では、建物・構築物の振動特性を考慮し、変形するモードが支配的となり応答が大きくなる方向（応答軸方向）に基準地震動を入力して得られる各方向の地震力（床応答）を用いている。

応答軸（強軸・弱軸）が明確となっている設備の耐震評価においては、水平各方向の地震力を包絡し、変形モードが支配的となる応答軸方向に入力するなど、従来評価において保守的な取り扱いを基本としている。

一方、応答軸が明確となっていない設備で3次元的な広がりを持つ設備の耐震評価においては、基本的に3次元のモデル化を行っており、建物・構築物の応答軸方向の地震力をそれぞれ入力し、この入力により算定される荷重や応力のうち大きい方を用いて評価を実施している。

さらに、応答軸以外の振動モードが生じにくい構造の採用、応答軸以外の振動モードが生じ難いサポート設計の採用といった構造上の配慮など、水平方向の入力に対して配慮した設計としている。

4.2.2 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針

機器・配管系において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した場合に影響を受ける可能性がある設備（部位）の評価を行う。

評価対象は、耐震重要施設、常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設の機器・配管系並びにこれらの施設への波及的影響防止のために耐震評価を実施する設備とする。耐震Bクラスの施設については、共振のおそれのあるものを評価対象とする。

対象とする設備を機種毎に分類し、それぞれの構造上の特徴により荷重の伝達方向、その荷重を受ける構造部材の配置及び構成等により水平2方向の地震力による影響を受ける可能性がある設備（部位）を抽出する。

構造上の特徴により影響の可能性のある設備（部位）は、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の検討を実施する。水平各方向の地震力が1:1で入力された場合の発生値を従来の評価結果の荷重又は算出応力等を水平2方向及び鉛直方向に整理して組み合わせる又は新たな解析等により高度化した手法を用いる等により、水平2方向の地震力による設備（部位）に発生する荷重や応力を算出する。

これらの検討により、水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた荷重や応力の結果が従来の発生値と同等である場合は影響のない設備として抽出せず、従来の発生値を超えて耐震性への影響が懸念される場合は、設備が有する耐震

性への影響を確認する。

設備が有する耐震性への影響が確認された場合は、詳細な手法を用いた検討等、新たに設計上の対応策を講じる。

水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価は、基準地震動 $S_s-1 \sim S_s-8$ を対象とするが、複数の基準地震動における地震動の特性及び包絡関係、地震力の包絡関係を確認し、代表可能である場合は代表の基準地震動にて評価する。また、水平各方向の地震動は、それぞれの位相を変えた地震動を用いることを基本とするが、保守的な手法を用いる場合もある。

4.2.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方法

機器・配管系において、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響を受ける可能性があり、水平 1 方向及び鉛直方向の従来評価に加え、更なる設計上の配慮が必要な設備について、構造及び発生値の増分の観点から抽出し、影響を評価する。影響評価は従来設計で用いている質点系モデルによる評価結果を用いて行うことを基本とする。影響評価のフローを第 5-4-4 図に示す。

なお、耐震評価は基本的に概ね弾性範囲で留まる体系であることに加え、国内と海外の機器の耐震解析は、基本的に線形モデルにて実施している等類似であり、水平 2 方向及び鉛直方向の位相差は機器の応答にも現れることから、米国 Regulatory Guide 1.92 の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of Earthquake」を参考として、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を検討する際は、地震時に水平 2 方向及び鉛直方向それぞれの最大応答が同時に発生する可能性は極めて低いとした考え方である Square-Root-of-the-Sum-of-the-Squares 法（以下「最大応答の非同時性を考慮した SRSS 法」という。）又は組合せ係数法（1.0 : 0.4 : 0.4）を適用し、各方向からの地震入力による各方向の応答を組み合わせる。

① 評価対象となる設備の整理

耐震重要施設、常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設の機器・配管系並びにこれらの施設への波及的影響防止のために耐震評価を実施する設備、共振のおそれのある耐震 B クラス施設を評価対象とし、代表的な機種毎に分類し整理する。（第 5-4-4 図①）

② 構造上の特徴による抽出

機種毎に構造上の特徴から水平 2 方向の地震力が重複する観点、もしくは応答軸方向以外の振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点にて検討を行い、水平 2 方向の地震力による影響の可能性のある設備を抽出する。（第 5-4-4 図②）

③ 発生値の増分による抽出

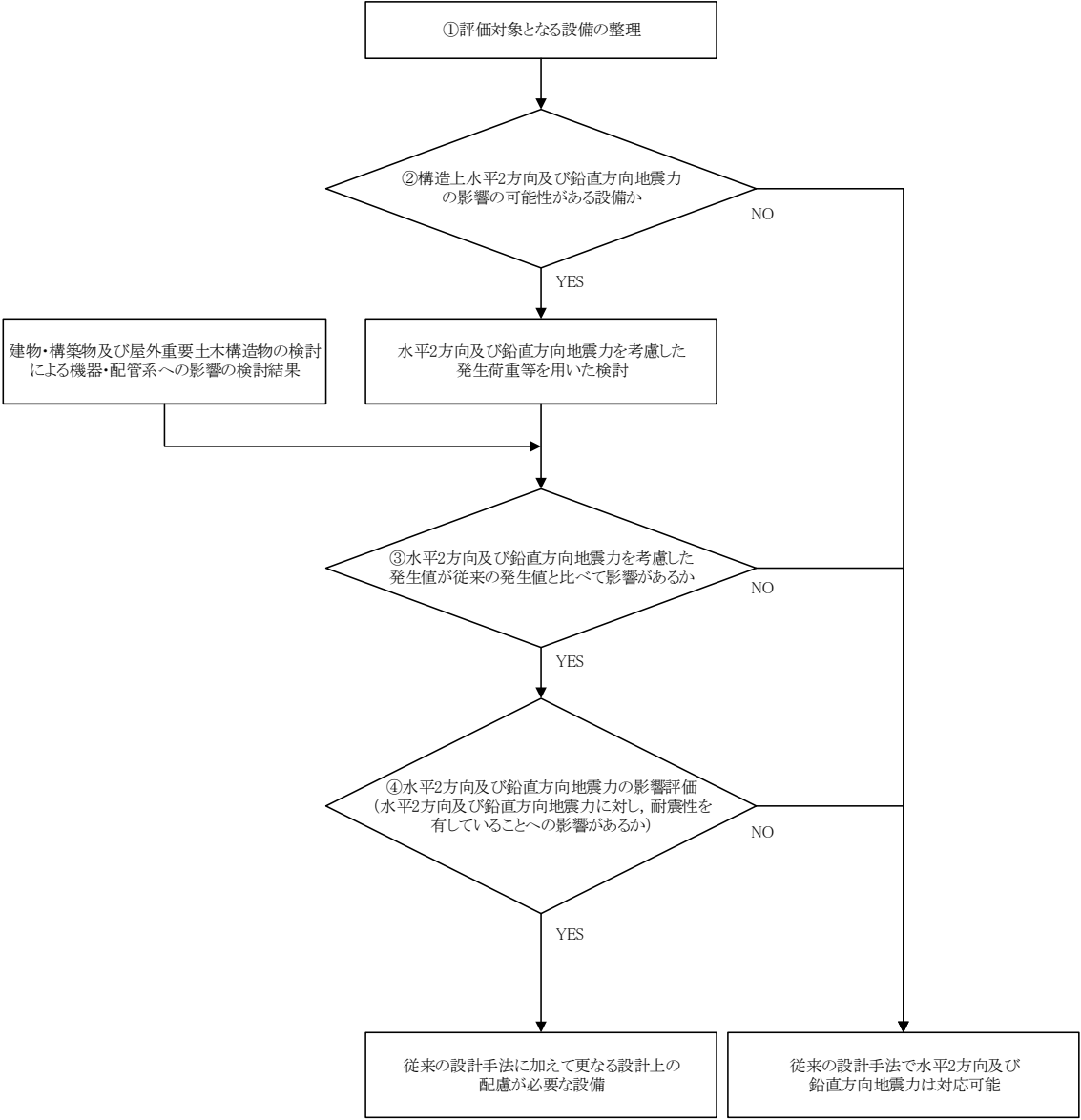
水平 2 方向の地震力による影響の可能性がある設備に対して、水平 2 方向の地震力が各方向 1:1 で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め、従来の水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した発生値の増分を用いて影響を検討し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出する。

また、建物・構築物及び屋外重要土木構築物の検討により、機器・配管系への影響の可能性がある部位が抽出された場合は、機器・配管系への影響を評価し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出する。

影響の検討は、機種毎の分類に対して地震力の寄与度に配慮し耐震裕度が小さい設備（部位）を対象とする。（第 5-4-4 図③）

④ 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価

③の検討において算出された荷重や応力を用いて、設備が有する耐震性への影響を確認する。（第 5-4-4 図④）



第 5-4-4 図 水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した影響評価フロー

4.3 屋外重要土木構造物

4.3.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計手法の考え方

従来の設計の考え方について RC 構造物である取水路を例に第 5-4-1 表に示す。

一般的な地上構造物では、躯体の慣性力が主たる荷重であるのに対し、屋外重要土木構造物は地中に埋設されているため、動土圧や動水圧等の外力が主たる荷重となる。また、屋外重要土木構造物は、比較的単純な構造部材の配置で構成され、ほぼ同一の断面が奥行き方向に連続する構造的特徴を有することから、3 次元的な応答の影響は小さいため、2 次元断面での耐震評価を行っている。

屋外重要土木構造物は、主に海水の通水機能や配管等の間接支持機能を維持するため、通水方向や管軸方向に対して空間を保持できるように構造部材が配置されることから、構造上の特徴として、明確な弱軸、強軸を有する。

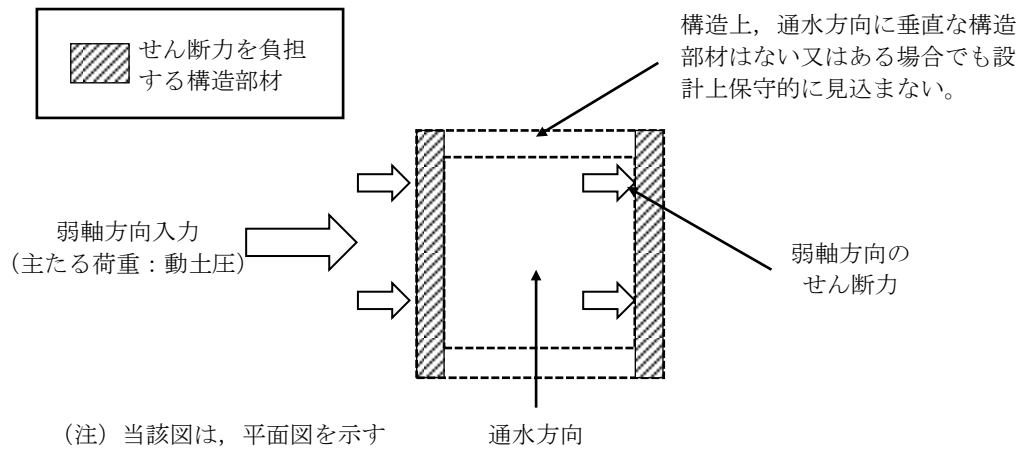
強軸方向の地震時挙動は、弱軸方向に対して顕著な影響を及ぼさないことから、従来設計手法では、弱軸方向を評価対象断面として、耐震設計上求められる水平 1 方向及び鉛直方向地震力による耐震評価を実施している。

第 5-4-5 図に示すとおり、従来設計手法では、屋外重要土木構造物の構造上の特徴から、弱軸方向の地震荷重に対して、保守的に加振方向に平行な壁部材を見込まず、垂直に配置された構造部材のみで受け持つよう設計している。

屋外重要土木構造物のうち軽油タンク基礎は、海水の通水機能や配管等の間接支持機能を有する構造物と比較して、強軸及び弱軸が明確ではないことから、従来設計では、長軸方向及び短軸方向ともに評価対象断面として、耐震設計上求められる水平 1 方向及び鉛直方向地震力による耐震評価を実施している。

第 5-4-1 表 従来設計における評価対象断面の考え方（取水路の例）

	横断方向の加振	縦断方向の加振
従来設計 の評価対 象断面の 考え方	<p>取水方向 加振方向に平行な壁部材が少ない</p> <p>⇒弱軸方向を評価対象断面とする</p>	<p>加振方向 取水方向 加振方向に平行な側壁及び隔壁を耐震設計上見込むことが出来る</p> <p>⇒強軸方向</p>



第 5-4-5 図 従来設計手法の考え方

4.3.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針

屋外重要土木構造物において、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した場合に影響を受ける可能性がある構造物の評価を行う。

評価対象は、屋外重要土木構造物である、軽油タンク基礎、燃料移送系配管ダクト、海水貯留堰、スクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路及び波及的影響防止のために耐震評価を実施する土木構造物（取水護岸、燃料移送ポンプエリア竜巻防護壁）とする。また、常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設の間接支持構造物のうち第一ガスタービン発電機基礎及び第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎も本評価では屋外重要土木構造物として扱うこととし、評価対象に含める。

屋外重要土木構造物を構造形式毎に分類し、構造形式毎に作用すると考えられる荷重を整理し、荷重が作用する構造部材の配置等から水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響を受ける可能性のある構造物を抽出する。

抽出された構造物については、従来設計手法での評価対象断面（弱軸方向）の地震応答解析に基づく構造部材の照査において、評価対象断面（弱軸方向）に直交する断面（強軸方向）の地震応答解析に基づく構造部材の発生応力等を適切に組み合わせることで、水平 2 方向及び鉛直方向地震力による構造部材の発生応力を算出し、構造物が有する耐震性への影響を確認する。

構造物が有する耐震性への影響が確認された場合は詳細な手法を用いた検討等、新たに設計上の対応策を講じる。

4.3.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方法

屋外重要土木構造物において、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響を受ける可能性があり、水平 1 方向及び鉛直方向の従来評価に加え、更なる設計上の配慮が必要な構造物について、構造形式及び作用荷重の観点から影響評価の対象とする構造物を抽出し、構造物が有する耐震性への影響を評価する。影響評価のフローを第 5-4-6 図に示す。

(1) 影響評価対象構造物の抽出

① 構造形式の分類

屋外重要土木構造物について、各構造物の構造上の特徴や従来設計手法の考え方を踏まえ、構造形式毎に大別する。

② 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の整理

従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重を抽出する。

③ 荷重の組合せによる応答特性が想定される構造物形式の抽出

②で整理した荷重に対して、構造形式毎にどのように作用するかを整理し、耐震性に与える影響程度を検討した上で、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される構造形式を抽出する。

- ④ 従来設計手法における評価対象断面以外の 3 次元的な応答特性が想定される箇所の抽出

③で抽出されなかった構造形式について、従来設計手法における評価対象断面以外の箇所で、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響により 3 次元的な応答が想定される箇所を抽出する。

- ⑤ 従来設計手法の妥当性の確認

④で抽出された箇所が、水平 2 方向及び鉛直方向地震力に対して、従来設計手法における評価対象断面の耐震評価で満足できるか検討を行う。

(2) 影響評価手法

- ⑥ 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価

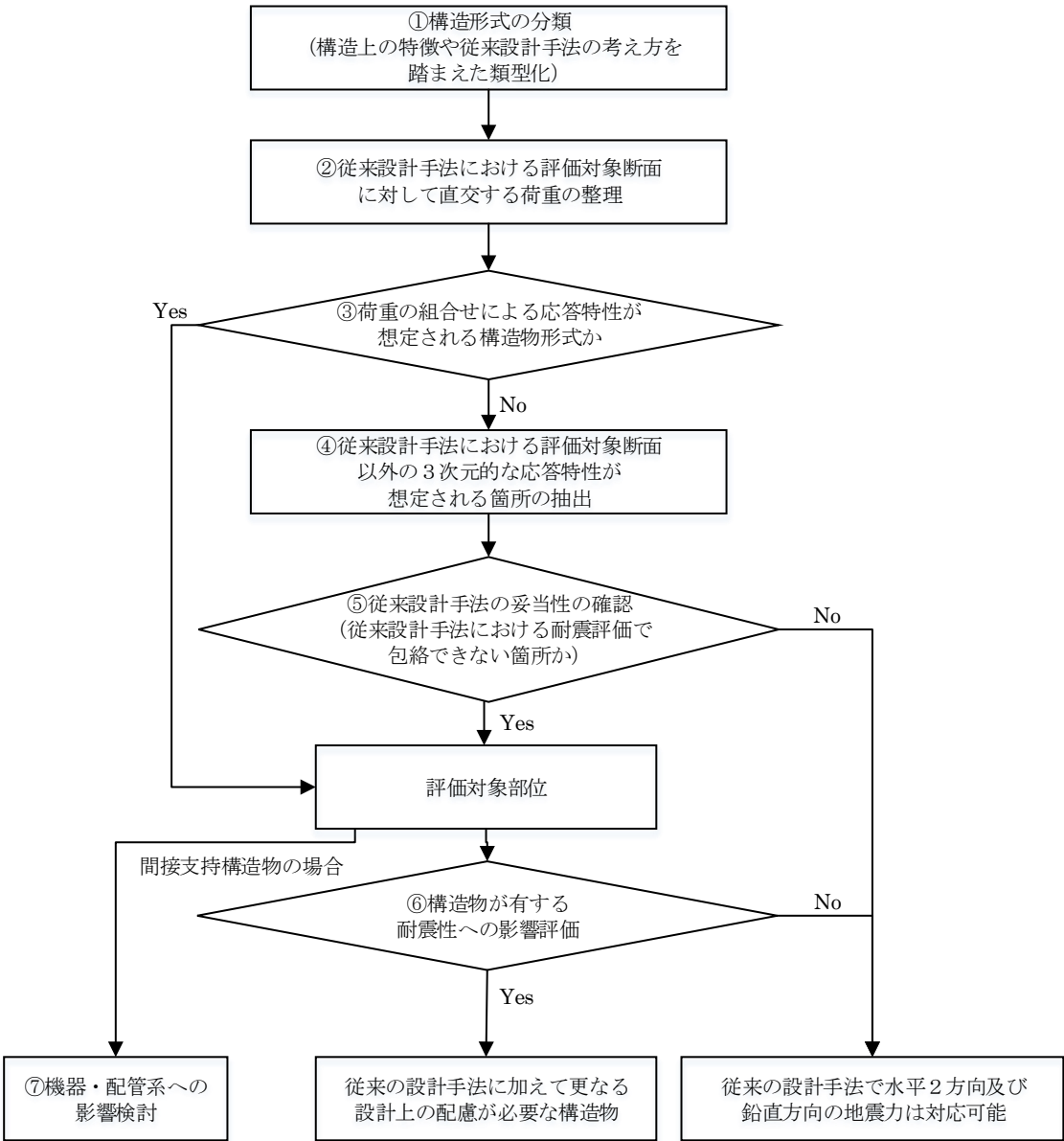
評価対象として抽出された構造物について、従来設計手法での評価対象断面（弱軸方向）の地震応答解析に基づく構造部材の照査において、評価対象断面（弱軸方向）に直交する断面（強軸方向）の地震応答解析に基づく構造部材の発生応力等を適切に組み合わせることで、構造部材の設計上の許容値に対する評価を実施し、構造部材が有する耐震性への影響を確認する。

評価対象部位については、屋外重要土木構造物が明確な弱軸・強軸を示し、地震時における構造物のせん断変形方向が明確であることを考慮し、従来設計手法における評価対象断面（弱軸方向）における構造部材の耐震評価結果及び水平 2 方向の影響の程度を踏まえて選定する。

- ⑦ 機器・配管系への影響検討

③及び⑤にて、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響が確認された構造物が、耐震重要施設、常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設の機器・配管系の間接支持構造物である場合には、機器・配管系に対して、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響を確認する。

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響が確認された場合、機器・配管系の影響評価に反映する。



第 5-4-6 図 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価のフロー

4.4 浸水防止設備及び津波監視設備

4.4.1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針

浸水防止設備及び津波監視設備は、「建物・構築物」または「機器・配管系」に区分し設計をしていることから水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価は、施設、設備の区分に応じて「4.1 建物・構築物」または「4.2 機器・配管系」の方針に基づいて実施する。

柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉

屋外重要土木構造物の耐震評価における
断面選定の考え方
(耐震)

屋外重要土木構造物の耐震評価における断面選定の考え方

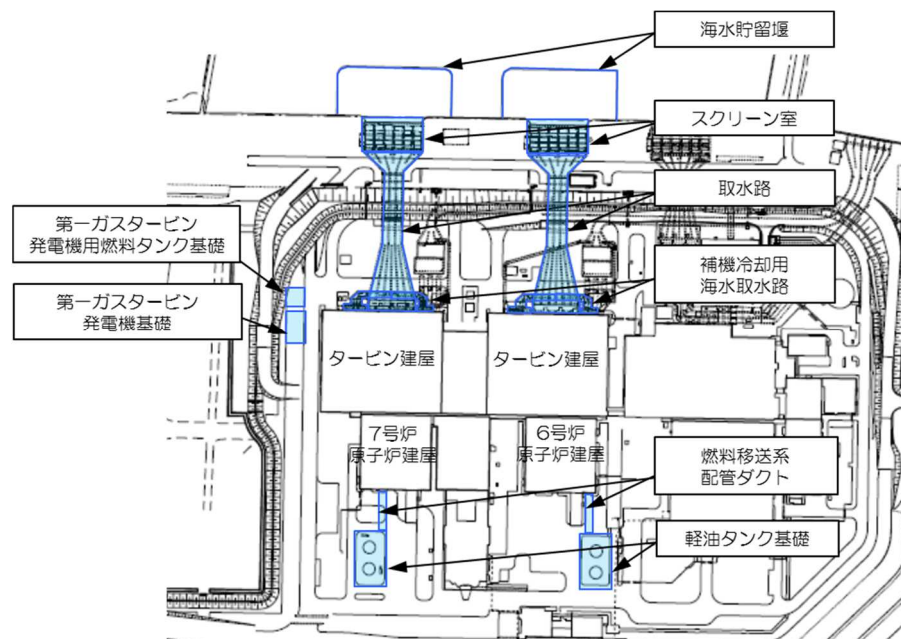
1. はじめに

柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉での評価対象構造物は、屋外重要土木構造物であるスクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路、軽油タンク基礎、燃料移送系配管ダクト、海水貯留堰及び常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備である第一ガスタービン発電機基礎及び第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎である。

対象構造物のうち、取水路、軽油タンク基礎、燃料移送系配管ダクト、海水貯留堰、第一ガスタービン発電機基礎及び第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎については、構造物の配置、荷重条件及び地盤条件を考慮し、耐震評価上最も厳しくなると考えられる位置を評価対象断面とする。

スクリーン室及び補機冷却用海水取水路については、3 次元的な構造を考慮した設計を行うことから、特定の評価対象断面はない。

以下に、取水路、軽油タンク基礎、燃料移送系配管ダクト、海水貯留堰、第一ガスタービン発電機基礎及び第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎の評価対象断面選定の考え方を述べる。対象構造物の平面配置図を第 6-1-1 図に示す。



第 6-1-1 図 平面配置図

2. 取水路

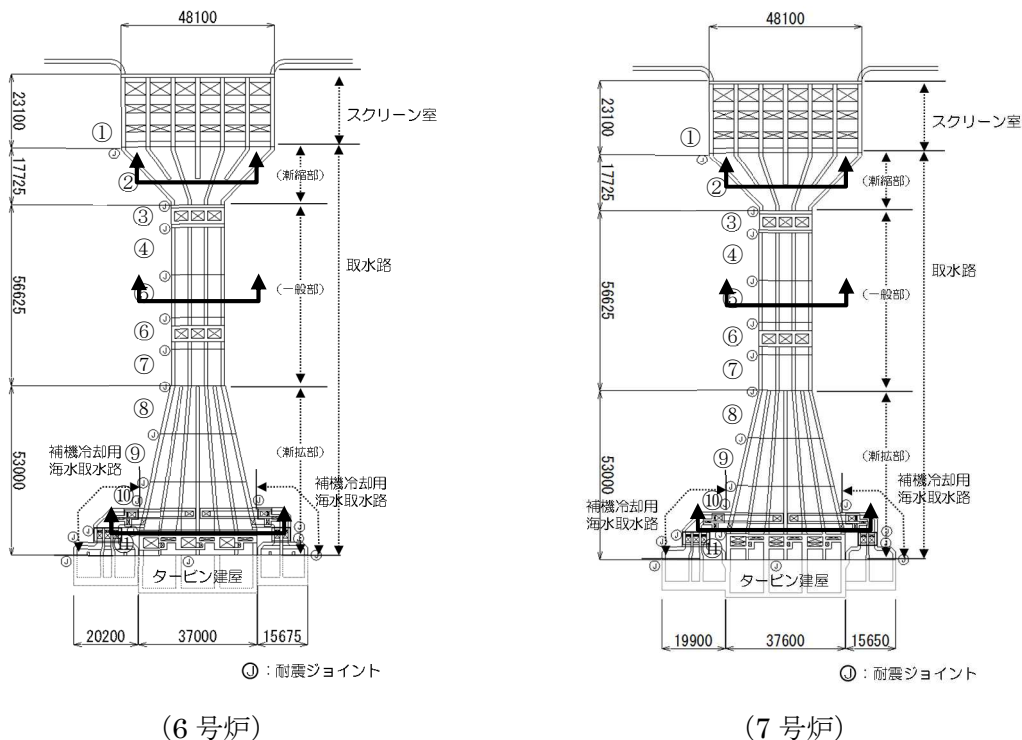
取水路の平面図を第 6-2-1 図に、縦断図を第 6-2-2 図及び第 6-2-3 図に、断面図を第 6-2-4 図に示す。また、取水路の構造諸元について 6 号炉を第 6-2-1 表に、7 号炉を第 6-2-2 表に示す。

取水路は、鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、古安田層洪積粘性土層に直接もしくはマンメイドロックを介して西山層に設置される。

取水路の縦断方向（通水方向）は、加振方向と平行に配置される側壁及び隔壁を耐震設計上見込むことができるため、強軸方向となる。一方、横断方向（通水方向に対し直交する方向）は、通水機能を確保するため、加振方向と平行に配置される構造部材がないことから、弱軸方向となる。

取水路の断面形状は、取水方向に対して複数の断面形状を示し、海側から大きく漸縮部、一般部、漸拡部に分けられる。

取水路の耐震評価は、構造物の構造的特徴や周辺の地盤条件も考慮して、構造の安全性に支配的な弱軸方向であるブロック②～⑪の横断方向断面のうち、耐震安全上厳しくなる断面について基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。

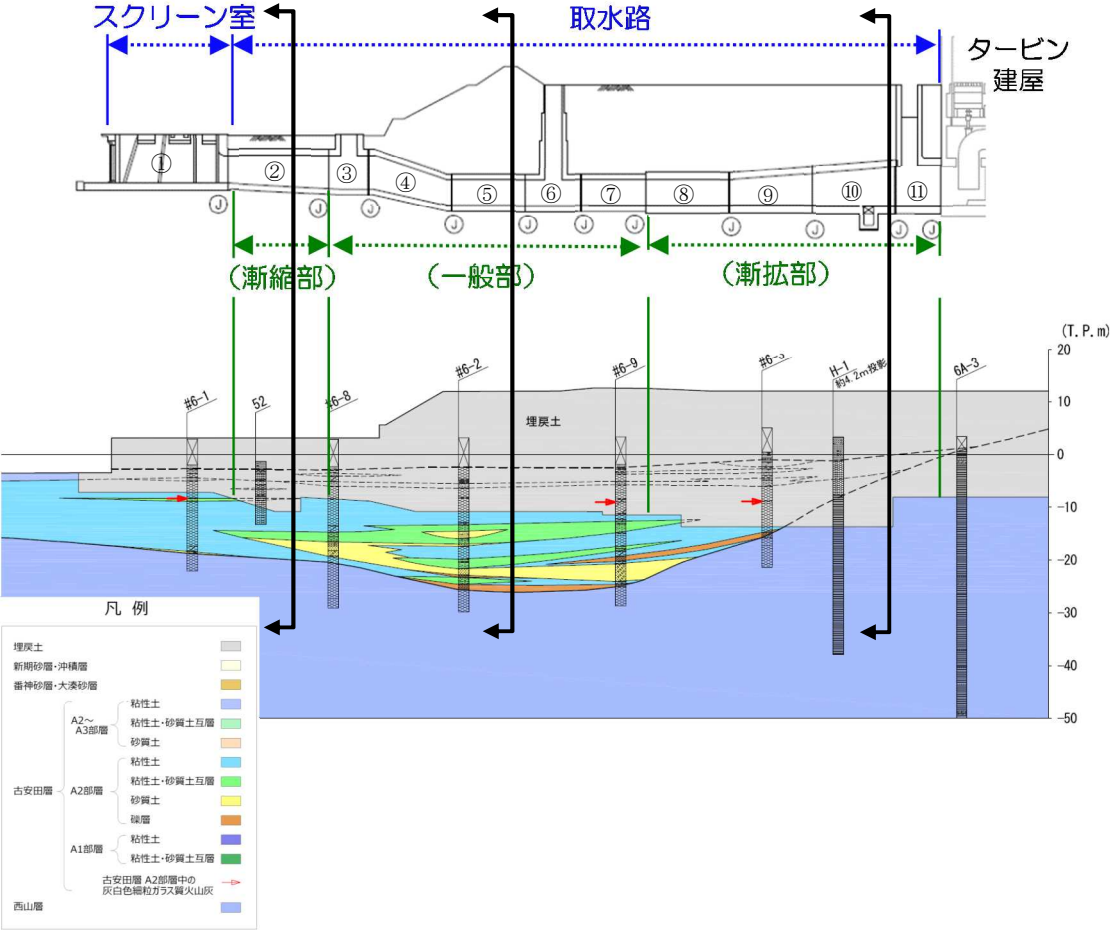
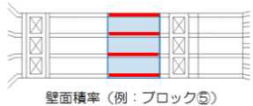


第 6-2-1 図 取水路 平面図

第 6-2-1 表 6 号炉取水路 構造諸元

ブロック番号	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪
設備区分	スクリーン室	取水路 (漸縮部)	取水路 (一般部)				取水路 (漸拡部)				
幅 (m)	48.1	48.1~16.6	立坑	16.6	16.6	立坑	16.6	17.3~24.0	24.0~30.9	30.9~37.6	立坑
高さ (m)	10.0	7.0~8.0		8.0~6.6	6.6		6.6	7.2	7.2~8.3	8.3~9.5	
壁面積率	0.19	0.20		0.24	0.24		0.24	0.37	0.28	0.23	
頂部開口	有	無		無	無		無	無	無	無	
機器荷重	有	無		無	無		無	無	無	無	
土被り厚 (m)	0	2.5		2.5~15.2	15.2~19.2		15.9	15.6	15.6~14.5	14.5~13.3	

※ここで壁面積率とは、横断面のせん断変形が鉛直部材の壁面に
依存することを考慮して、構造物各ブロックの全体平面積（青色
部分）に対する鉛直部材の平面積（赤色部分）と定義する



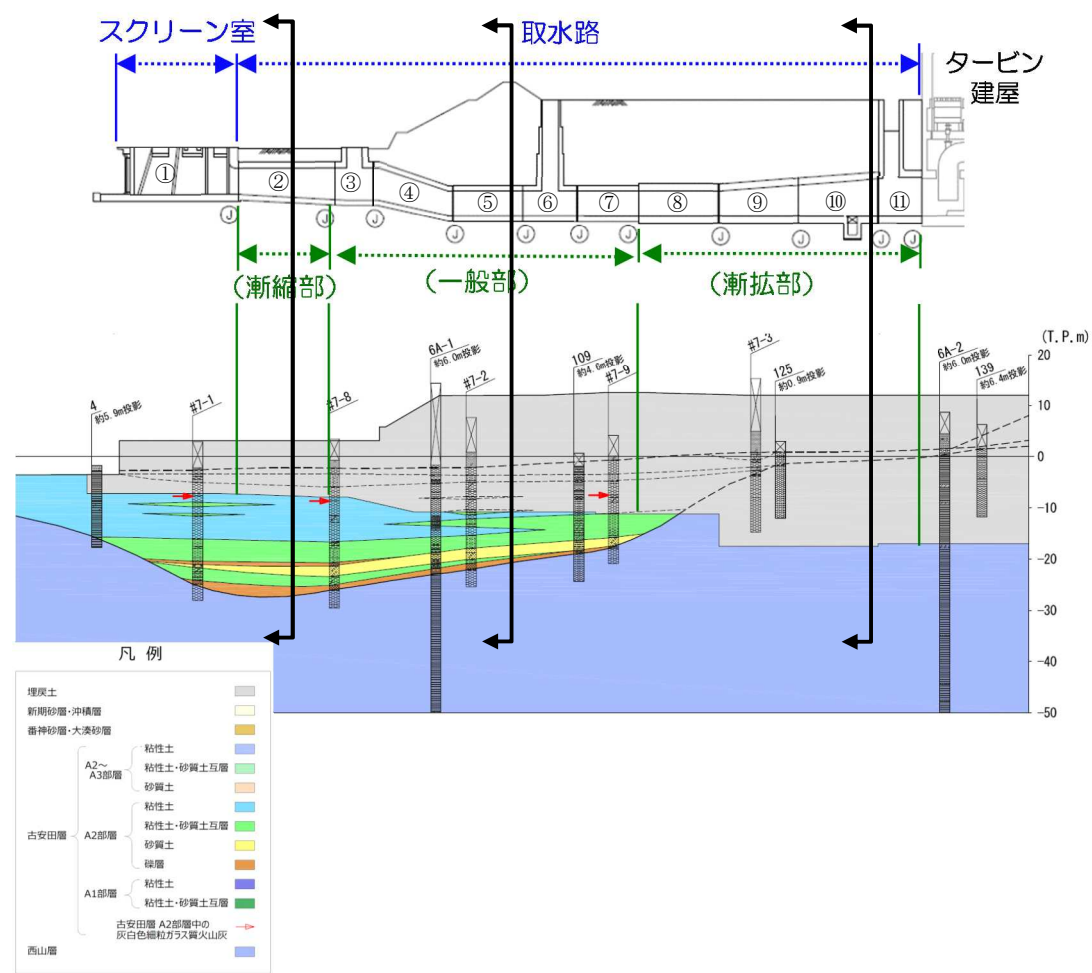
第 6-2-2 図 6 号炉取水路 縦断面図

第 6-2-2 表 7 号炉取水路 構造諸元

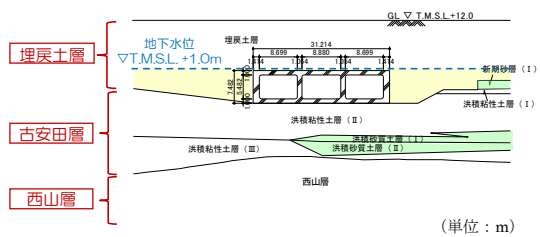
ブロック番号	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪
設備区分	スクリーン室	取水路 (漸縮部)	取水路 (一般部)				取水路 (漸拡部)				
幅 (m)	48.1	48.1~16.6	立坑	16.6	16.6	立坑	16.6	17.3~24.0	24.0~30.9	30.9~37.6	立坑
高さ (m)	10.0	7.0~8.0		8.0~6.6	6.6		6.6	7.2	7.2~8.3	8.3~9.5	
壁面積率	0.19	0.20		0.24	0.24		0.24	0.37	0.28	0.23	
頂部開口	有	無		無	無		無	無	無	無	
機器荷重	有	無		無	無		無	無	無	無	
土被り厚 (m)	0	2.5		2.5~15.2	15.2~19.2		15.9	15.6	15.6~14.5	14.5~13.3	

※ここで壁面積率とは、横断面のせん断変形が鉛直部材の壁厚に依存することを考慮して、構造物各ブロックの全体平面積（青色部分）に対する鉛直部材の平面積（赤色部分）と定義する

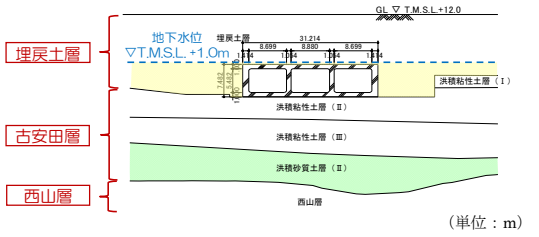
壁面積率（例：ブロック⑤）



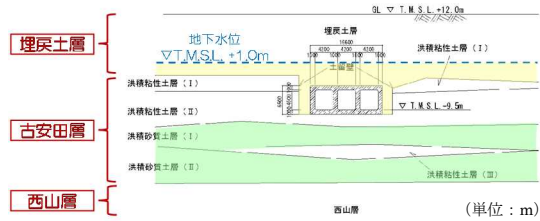
第 6-2-3 図 7 号炉取水路 縦断面図



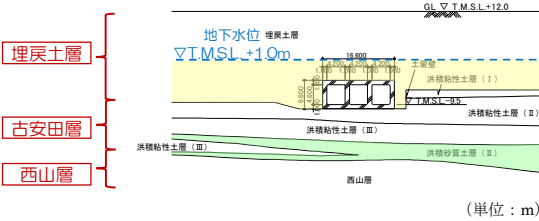
(6号炉取水路漸縮部)



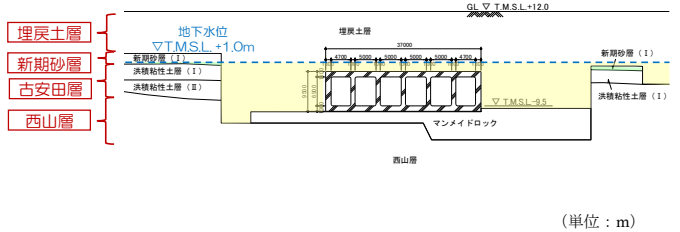
(7号炉取水路漸縮部)



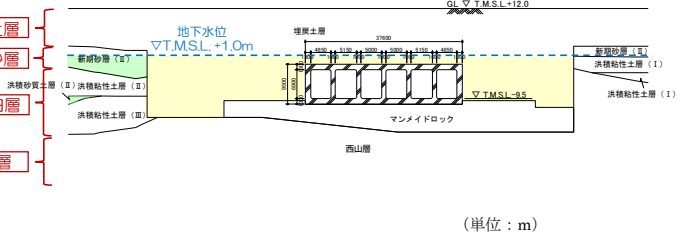
(6号炉取水路一般部)



(7号炉取水路一般部)



(6号炉取水路漸拡部)



(7号炉取水路漸拡部)

第 6-2-4 図 取水路 断面図

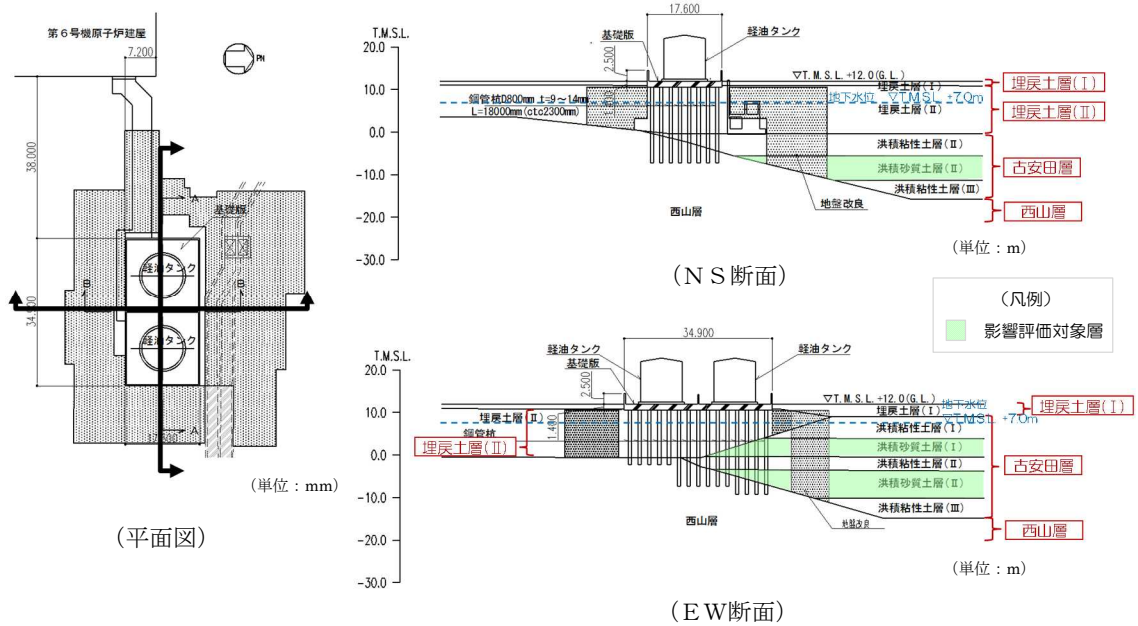
3. 軽油タンク基礎

軽油タンク基礎の平面図及び断面図について、6 号炉を第 6-3-1 図に、7 号炉を第 6-3-2 図に示す。

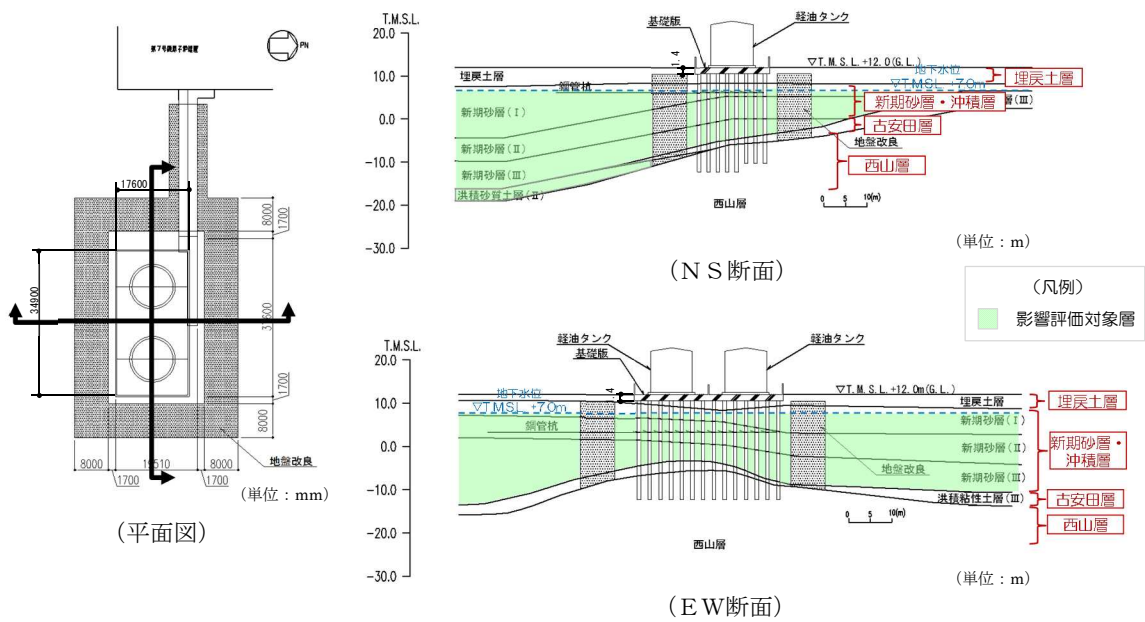
軽油タンク基礎は、鉄筋コンクリート造の基礎版と杭を介して西山層に支持する地中構造物である。

軽油タンク基礎は比較的単純な基礎構造物であり、評価対象断面方向に一様な構造となっている。また、基礎版及び杭の周辺には地盤改良を実施しているため、周辺の地盤が構造物に与える影響はどの断面も大きな差は無いと考えられる。

軽油タンク基礎の耐震評価は、構造物の構造的特徴や周辺の地盤条件も考慮して、耐震安全上厳しくなる断面について基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。



第 6-3-1 図 6 号炉軽油タンク基礎 平面図・断面図



第 6-3-2 図 7 号炉軽油タンク基礎 平面図・断面図

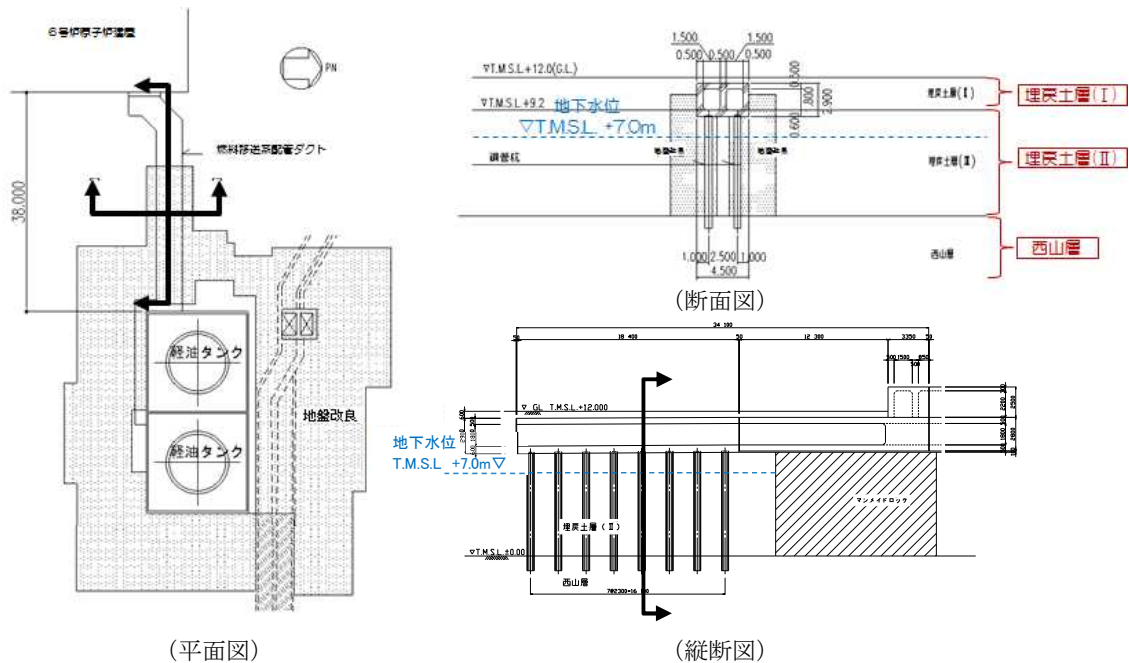
4. 燃料移送系配管ダクト

燃料移送系配管ダクトの平面図，断面図及び縦断面図について，6号炉を第6-4-1図に，7号炉を第6-4-2図に示す。

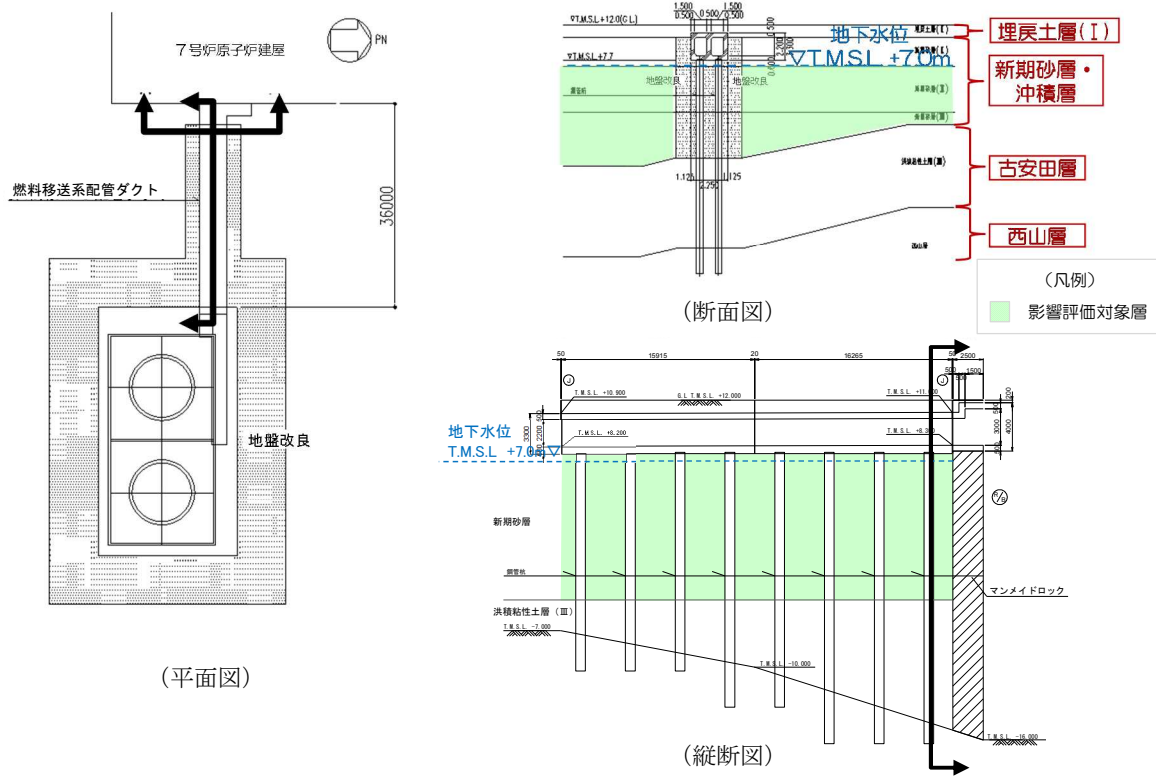
6号炉燃料移送系配管ダクトは，軽油タンク側は鉄筋コンクリート造のダクトと杭を介して，6号炉原子炉建屋側はマンメイドロックを介して西山層に支持する地中構造物である。7号炉燃料移送系配管ダクトは，鉄筋コンクリート造のダクトと杭を介して西山層に支持する地中構造物である。また，6号及び7号炉ともにダクト及び杭の周辺には地盤改良を実施している。

燃料移送系配管ダクトの縦断方向（軸方向）は，ダクト部の加振方向と平行に配置される側壁及び隔壁を耐震設計上見込むことができるため，強軸方向となる。一方，横断方向（軸方向に対し直交する方向）は，加振方向と平行に配置される構造部材がないことから，弱軸方向となる。

燃料移送系配管ダクトの耐震評価は，構造物の構造的特徴や周辺の地盤条件も考慮して，構造の安全性に支配的な弱軸方向である横断方向断面のうち，耐震安全上厳しくなる断面について基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。



第 6-4-1 図 6 号炉燃料移送系配管ダクト 平面図・断面図・縦断面図



第 6-4-2 図 7 号炉燃料移送系配管ダクト 平面図・断面図・縦断面図

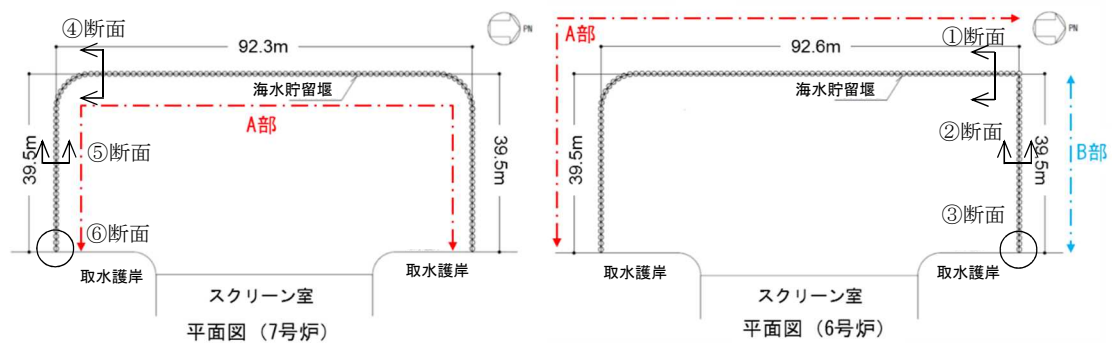
5. 海水貯留堰

海水貯留堰の平面図を第 6-5-1 図に、断面図を第 6-5-2 図に示す。

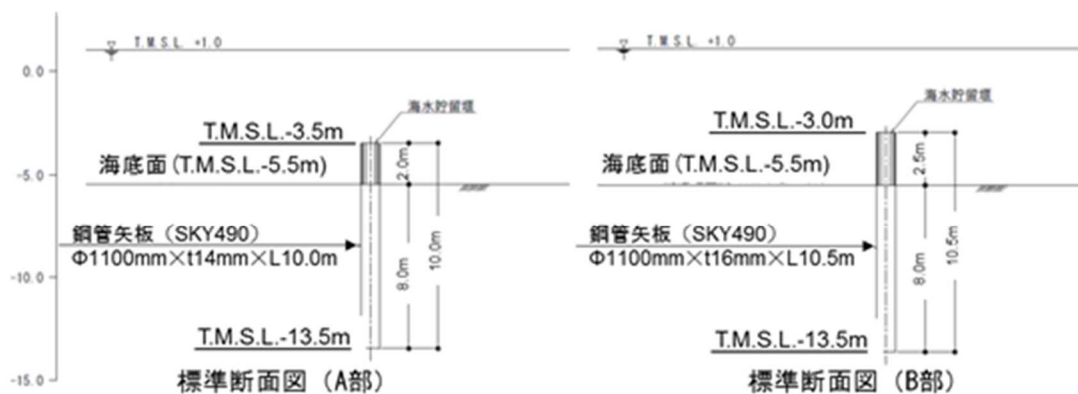
海水貯留堰は、取水口前面の海中に設置する鋼管矢板を連結した構造物であり、取水護岸に接続する。また、鋼管矢板は、西山層および古安田層洪積粘性土層に直接設置される。

海水貯留堰の縦断方向（軸方向）は、加振方向に隣接する鋼管矢板を耐震設計上見込むことができるため、強軸方向となる。一方、横断方向（軸方向に対し直交する方向）は、加振方向に隣接する鋼管矢板がないことから、弱軸方向となる。

海水貯留堰の耐震評価は、構造物の構造的特徴や周辺の地盤条件も考慮して、構造の安全性に支配的な弱軸方向である横断方向断面のうち、耐震安全上厳しくなる断面について基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。



第 6-5-1 図 海水貯留堰 平面図



第 6-5-2 図 海水貯留堰 断面図

6. 第一ガスタービン発電機基礎及び第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎

第一ガスタービン発電機基礎及び第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎の平面図を第 6-6-1 図に、断面図を第 6-6-2 図に示す。

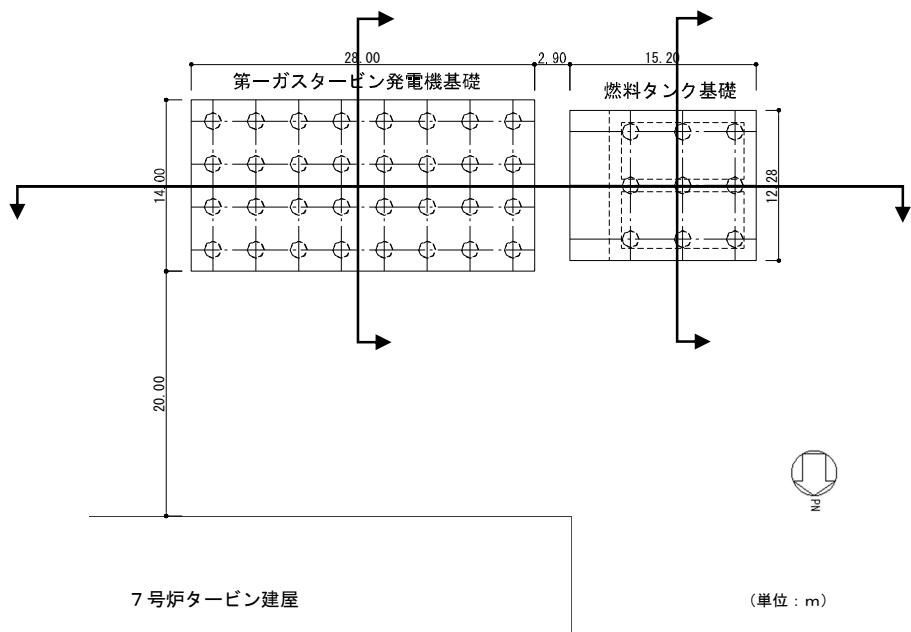
第一ガスタービン発電機基礎は、鉄筋コンクリート造の基礎版と杭を介して西山層に支持する地中構造物である。

第一ガスタービン発電機基礎は比較的単純な基礎構造物であり、評価対象断面方向に一樣な構造となっている。また、基礎版及び杭の周辺には地盤改良を実施しているため、周辺の地盤が構造物に与える影響はどの断面も大きな差は無いと考えられる。

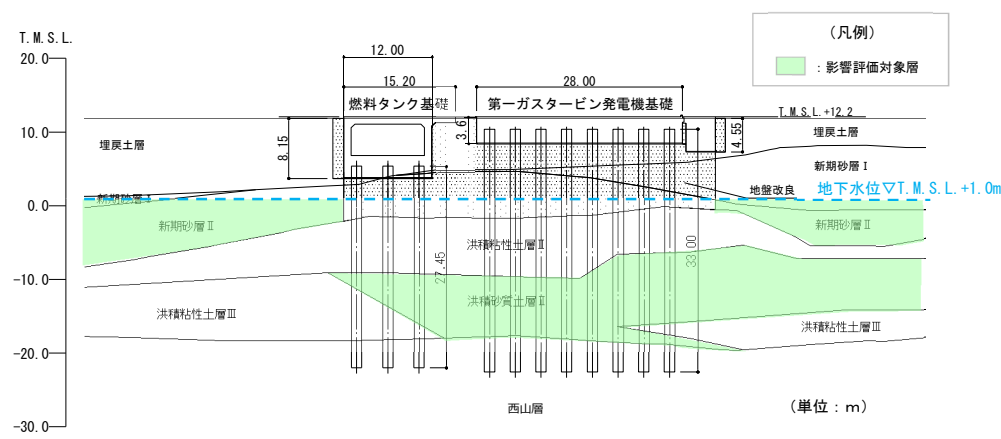
第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎は、鉄筋コンクリート造のピットと杭を介して西山層に支持する地中構造物である。

第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎は比較的単純な基礎構造物であり、評価対象断面方向に一樣な構造となっている。また、ピット及び杭の周辺には地盤改良を実施しているため、周辺の地盤が構造物に与える影響はどの断面も大きな差は無いと考えられる。

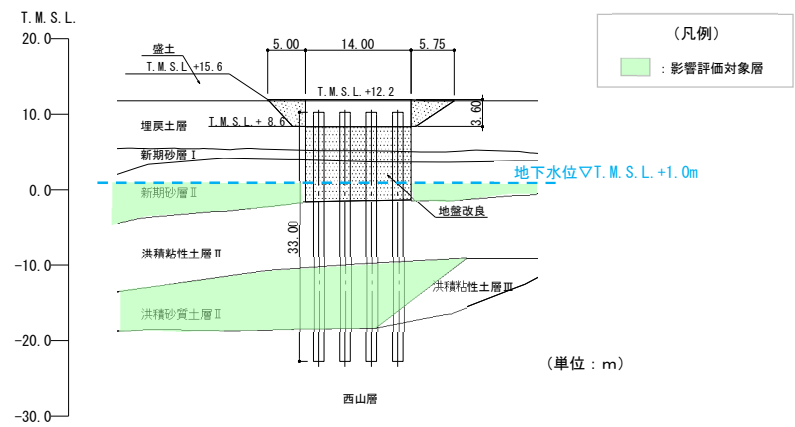
第一ガスタービン発電機基礎及び第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎の耐震評価は、構造物の構造的特徴や周辺の地盤条件も考慮して、耐震安全上厳しくなる断面について基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。



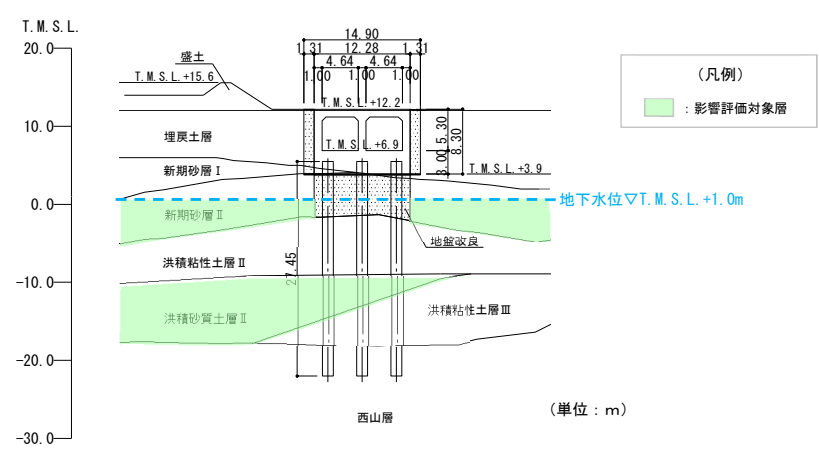
第 6・6・1 図 第一ガスタービン発電機及び第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎 平面図



(第一ガスタービン発電機基礎及び燃料タンク基礎 EW 断面)



(第一ガスタービン発電機基礎 NS 断面)



(第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎 NS 断面)

第 6-6-2 図 第一ガスタービン発電機及び第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎 断面図

柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉

主要建屋の構造概要及び解析モデルについて
(耐震)

主要建屋の構造概要及び解析モデルについて

1. 構造概要

(1) 6, 7 号炉原子炉格納容器

格納容器は、鋼製ライナを内張りした鉄筋コンクリート造であり、圧力容器を取り囲む円筒型ドライウェル、円筒型サプレッション・チェンバ及び基礎版等で構成され、容器の主要寸法は、円筒部直径が約 29m、全高が約 36m である。

内部にはドライウェルとサプレッション・チェンバを仕切る鉄筋コンクリート造のダイヤフラム・フロアがある。

格納容器は、原子炉建屋床版、燃料プール、キャスク・ピット、蒸気乾燥器・気水分離器ピット等と一体にしているので、圧力容器から格納容器に伝えられる地震力及び格納容器にかかる地震力を、原子炉建屋耐震壁とともに負担する構造である。

(2) 6, 7 号炉原子炉建屋

原子炉建屋は、地上 4 階、地下 3 階建で、平面が約 57m（南北方向）×約 60m（東西方向）の鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造）の建物である。最下階床面からの高さは約 58m で地上高さは約 38m である。建物中央部には鉄筋コンクリート製原子炉格納容器があり、鉄筋コンクリート造の基礎版上に設置し原子炉建屋と一体構造としている。その外側に外壁である原子炉建屋側壁がある。

これらは、原子炉建屋の主要な耐震壁を構成している。また、それぞれ壁の間は強固な床版で一体に連結し、全体として剛な構造としている。

(3) 6, 7 号炉コントロール建屋

コントロール建屋は、地上 2 階、地下 2 階建で、平面が約 42m（南北方向）×約 59m（東西方向）の鉄筋コンクリート造を主体とした建物で、一部が鉄骨鉄筋コンクリート造の建物である。基礎版底面からの高さは約 30m であり、地上高さは約 12m である。建物の内部は、多くの遮蔽壁をもち、剛性が高い。したがって十分な耐震性を有する構造となっている。

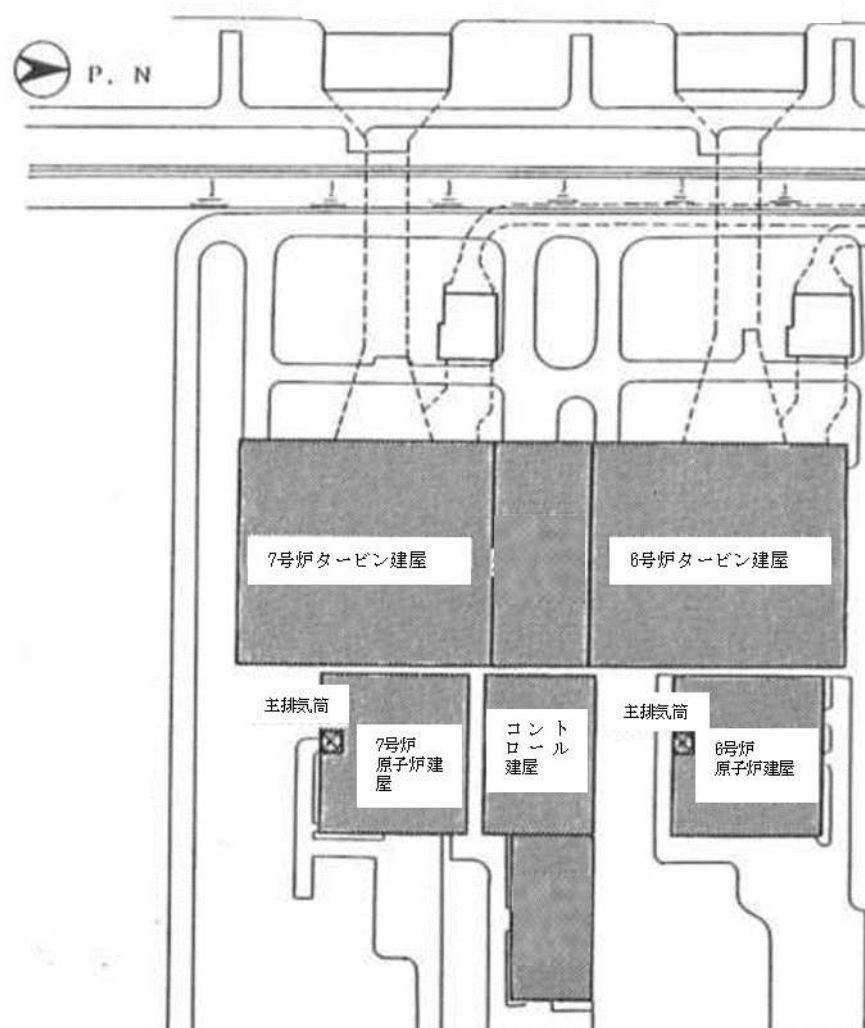
(4) 6, 7 号炉タービン建屋

タービン建屋は、地上 2 階（一部 3 階）、地下 2 階建で平面が約 97m（南北方向）×約 82m（東西方向）の鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造）の建物である。建物の内部は、多くの遮蔽壁をもち、剛性が高い。したがって十分な耐震性を有する構造となっている。

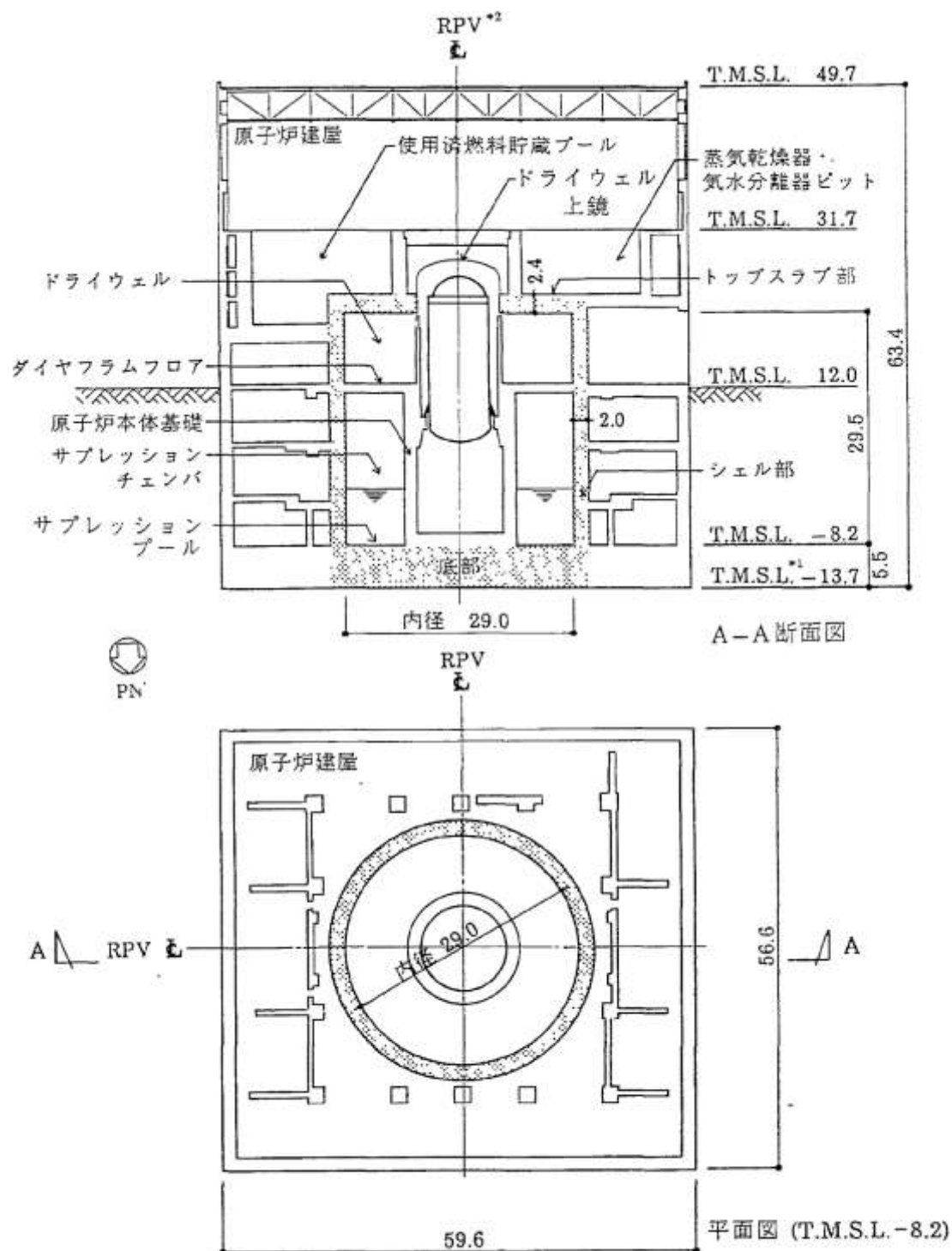
(5) 6, 7 号炉主排気筒

主排気筒は、原子炉建屋の屋上に位置し、鋼板製筒身（換気空調系用排気筒）と鋼管四角系鉄塔（制振装置付）で支えた鉄塔支持形排気筒である。筒身内部には、非常用ガス処理系用排気筒が筒身に支持されている。

主要建屋の配置図を第 7-1 図に示す。また、各建屋の概略平面図及び断面図を第 7-2 図～第 7-13 図に、排気筒の配置図及び概要図を第 7-14 図～第 7-17 図に示す。




第 7-1 図 主要建屋の配置図 (6, 7 号炉)

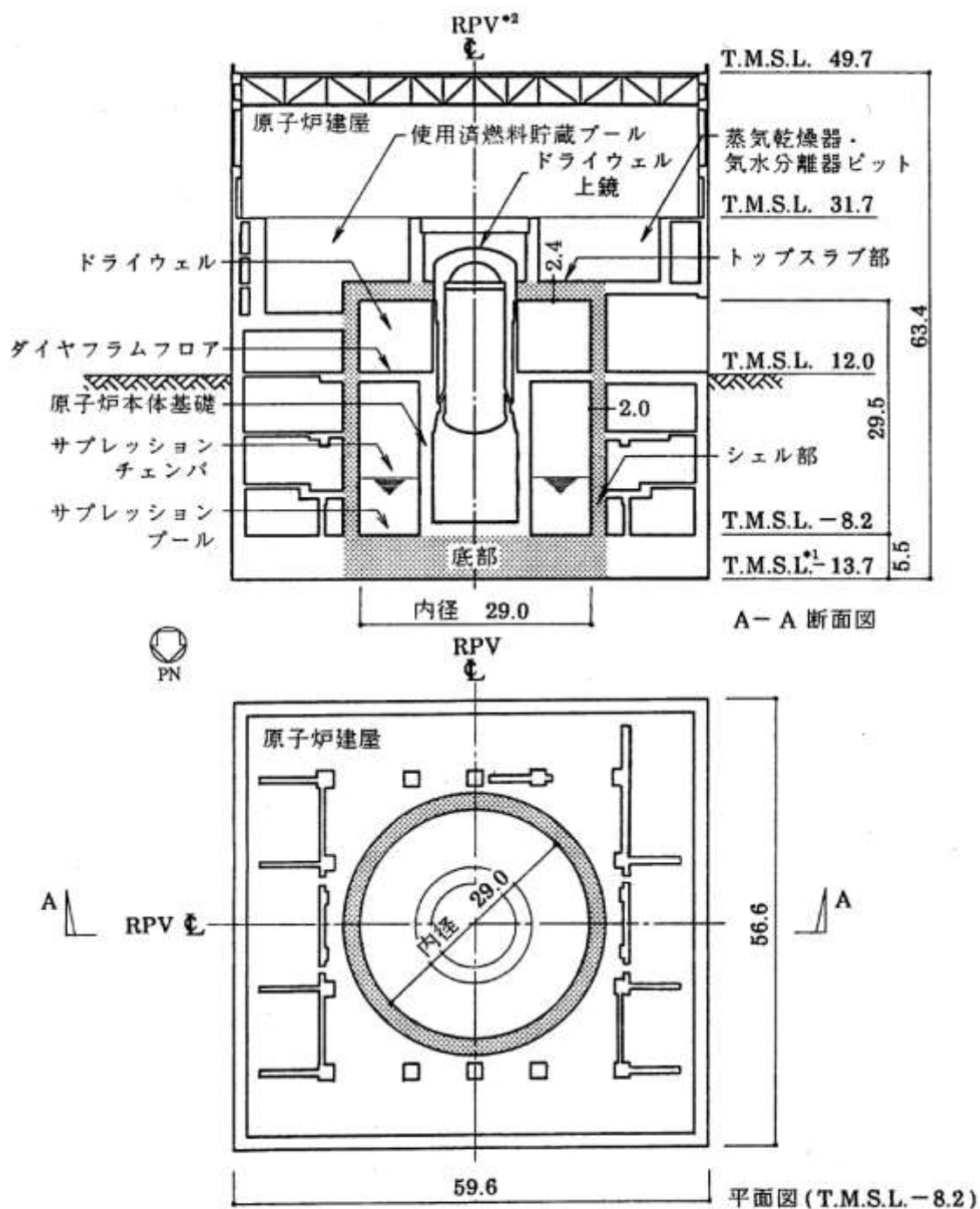


注記 *1: 東京湾平均海面 (以下, 「T.M.S.L.」と略す。)

*2: 原子炉圧力容器 (以下, 「RPV」と略す。)

注:  部分は, 原子炉格納容器を示す。

第 7-2 図 原子炉格納容器の概略平面図・断面図 (6 号炉)

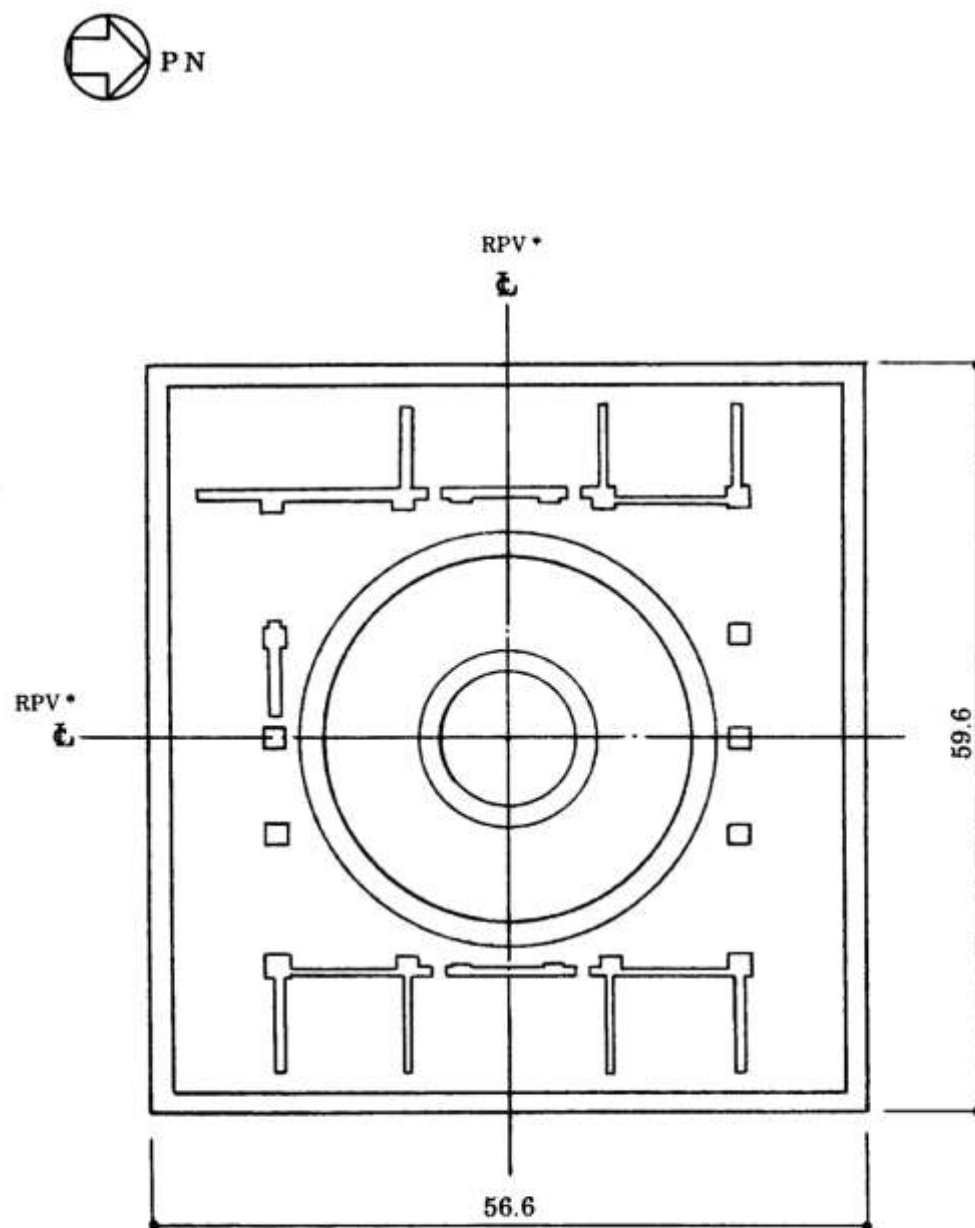


注記 *1: 東京湾平均海面 (以下, 「T.M.S.L.」と略す。)

*2: 原子炉圧力容器 (以下, 「RPV」と略す。)

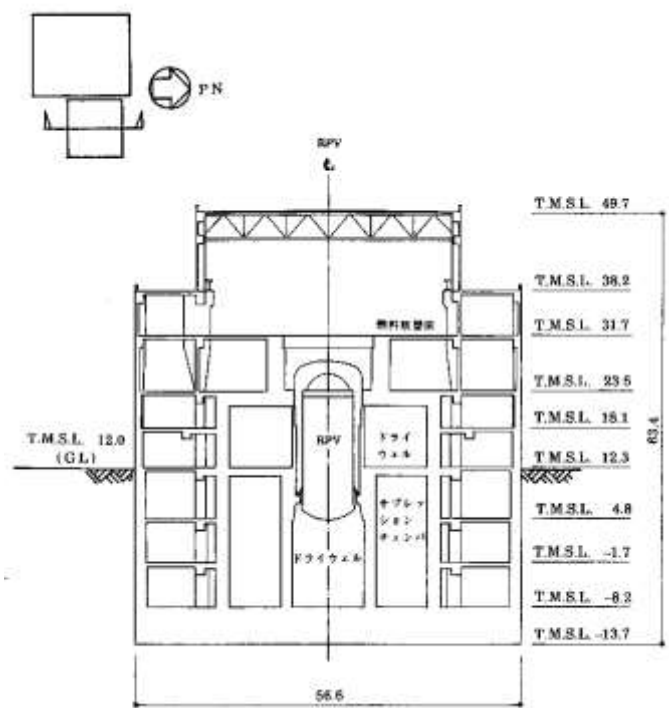
注: ■部分は, 原子炉格納容器を示す。

第 7-3 図 原子炉格納容器の概略平面図・断面図 (7 号炉)

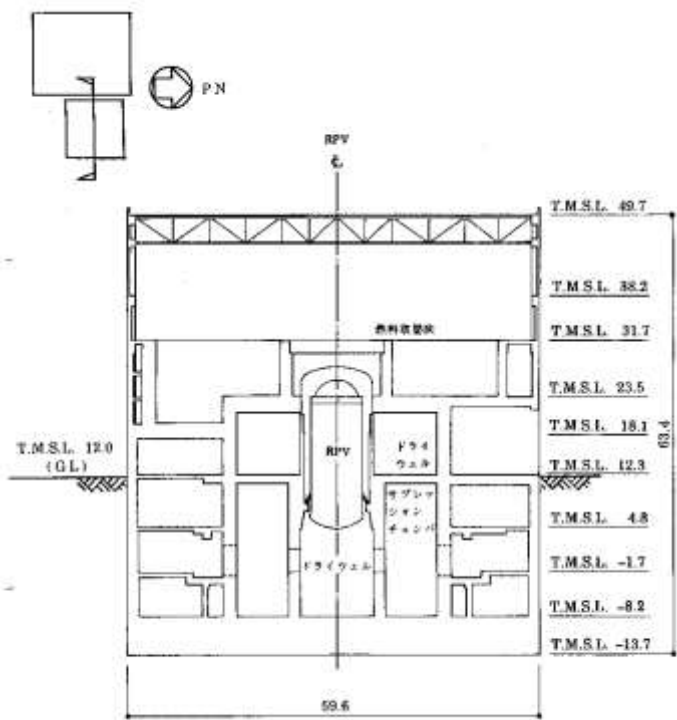


注記・：原子炉压力容器（以下，「RPV」と略す。）

第 7-4 図 6 号炉原子炉建屋 概略平面図（T. M. S. L. -8. 2m）

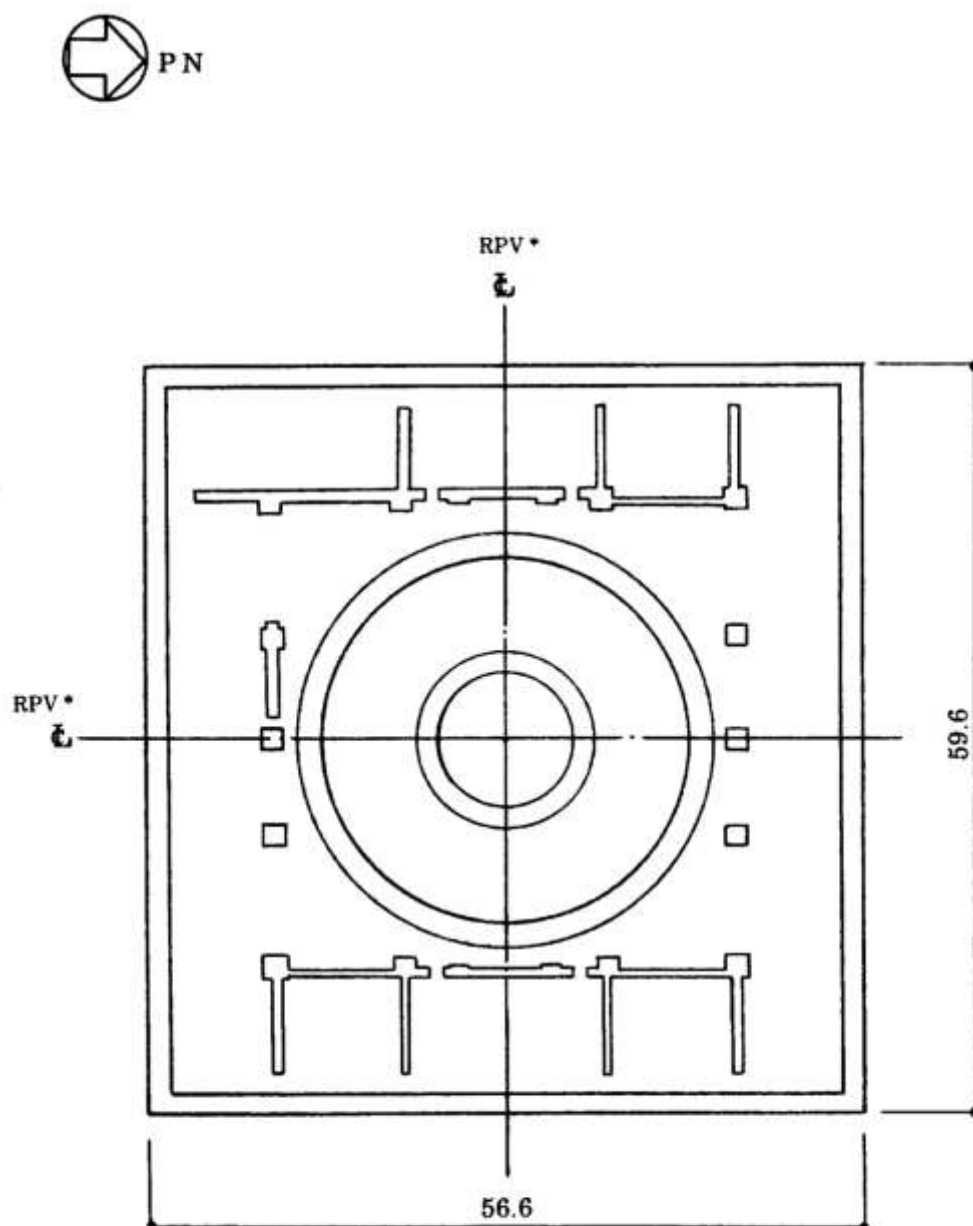


NS 方向断面 (単位：m)



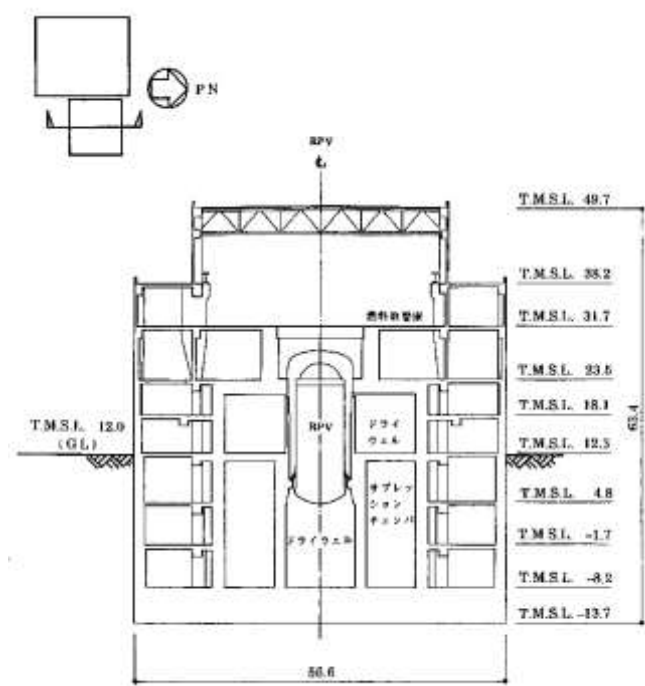
EW 方向断面 (単位：m)

第 7-5 図 6 号原子炉建屋 断面図

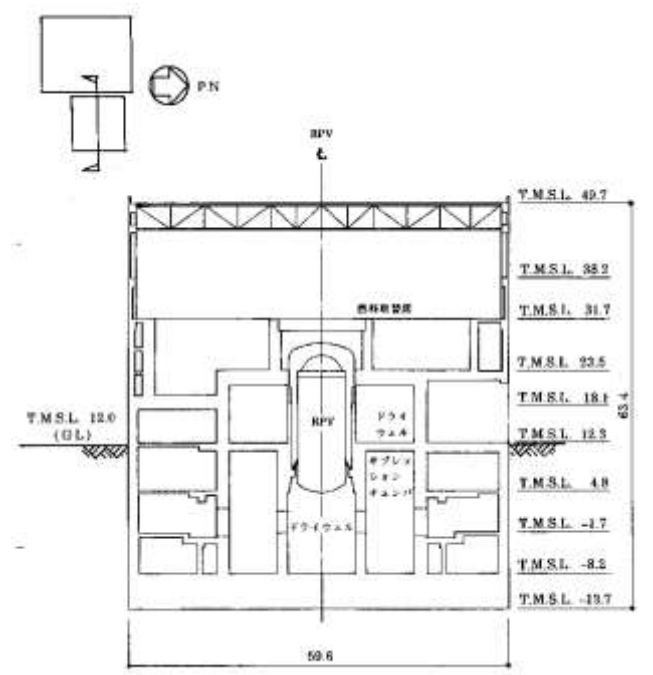


注記・：原子炉压力容器（以下，「RPV」と略す。）

第 7-6 図 7 号原子炉建屋 概略平面図（T.M.S.L. -8.2m）



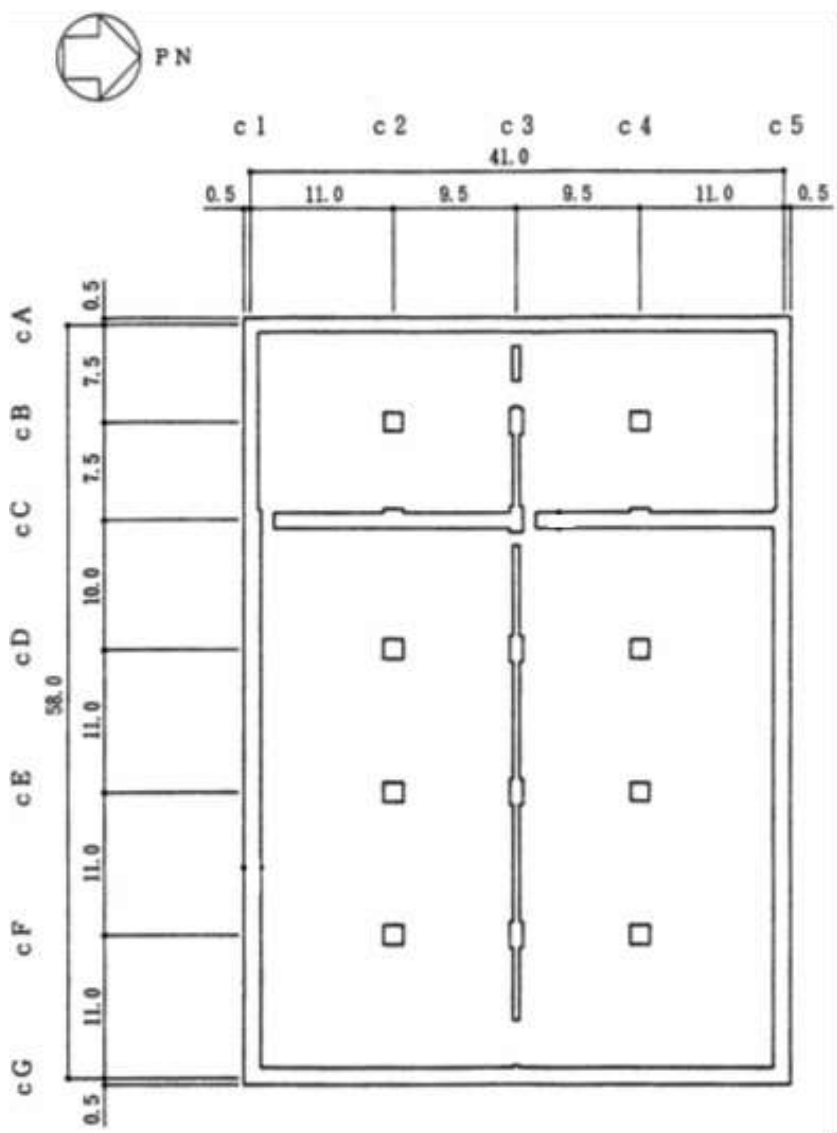
NS 方向断面 (単位：m)



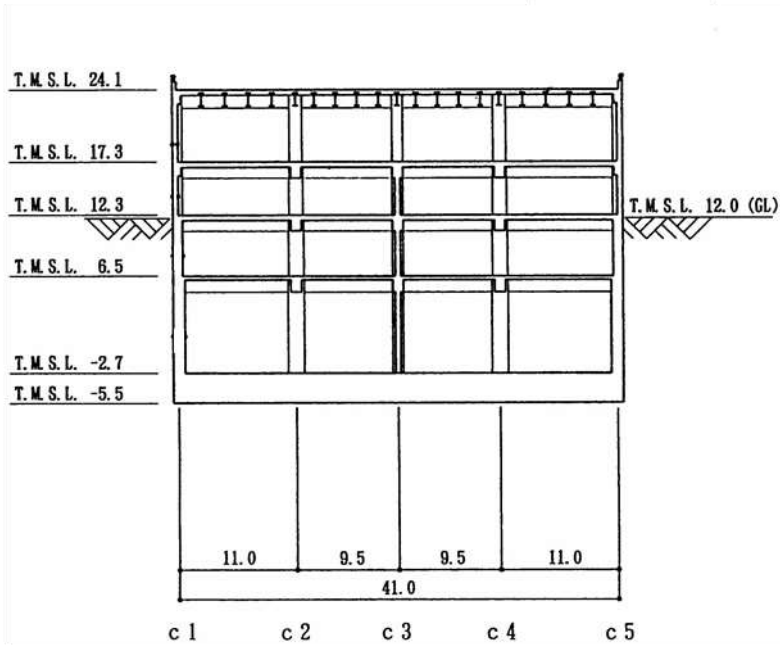
(単位：m)

EW 方向断面

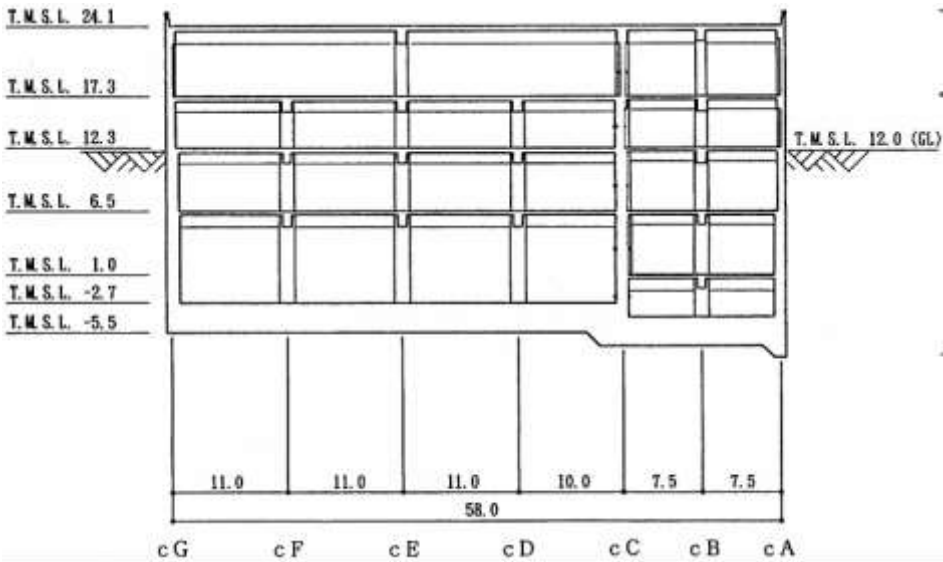
第 7-7 図 7 号炉原子炉建屋 断面図



第 7-8 図 6, 7 号炉コントロール建屋 概略平面図 (T. M. S. L. -2. 7m)

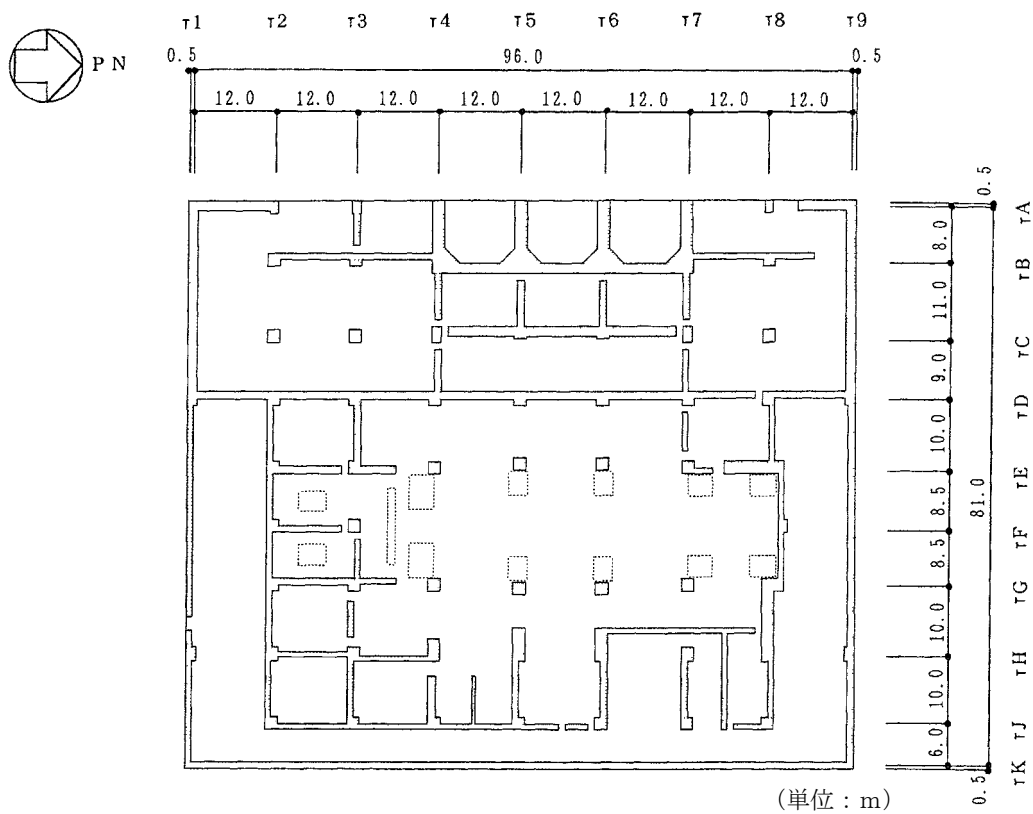


NS 方向断面 (単位：m)

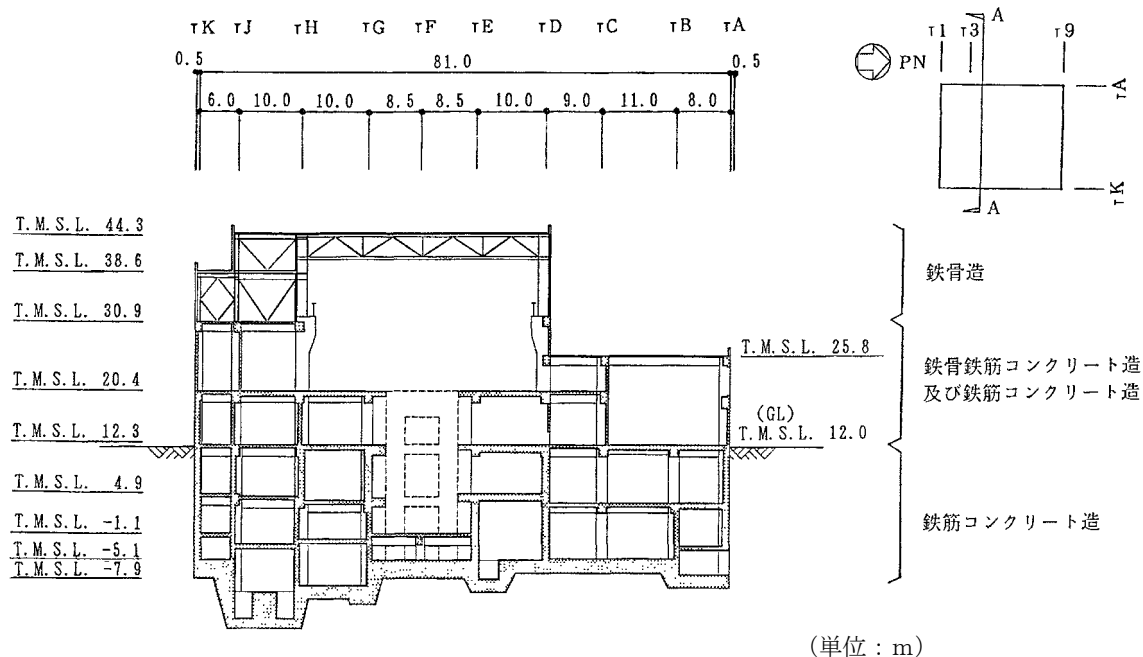
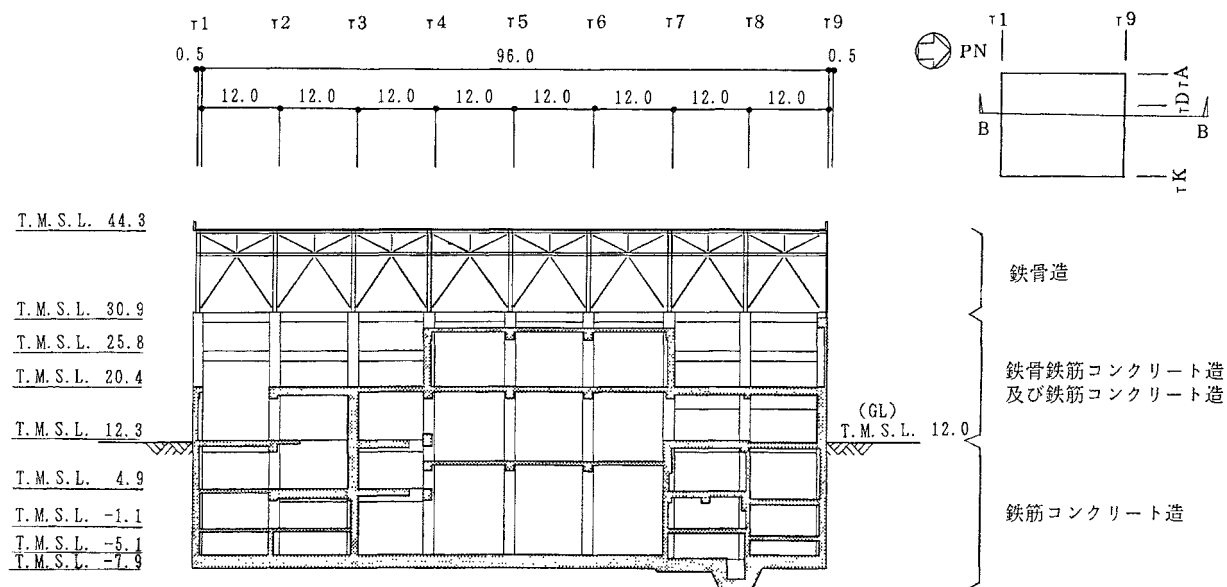


EW 方向断面 (単位：m)

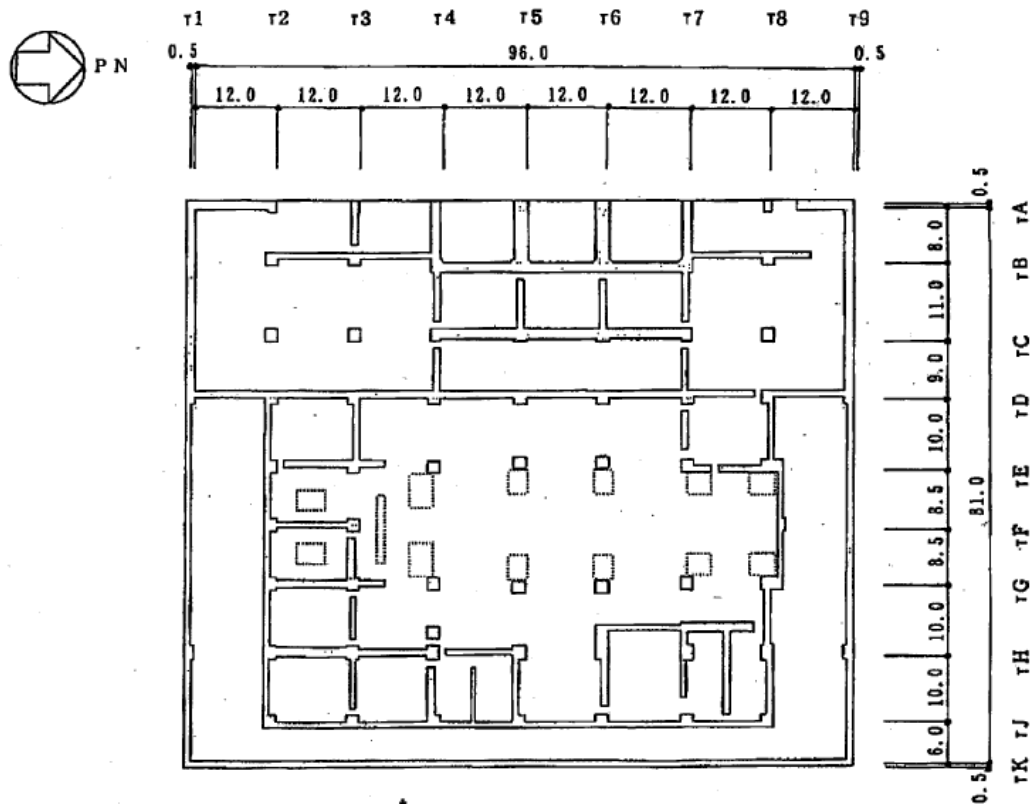
第 7-9 図 6, 7 号炉コントロール建屋 断面図



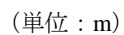
第 7-10 図 6 号炉タービン建屋 概略平面図 (T. M. S. L. -5. 1m)



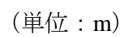
第 7-11 図 6 号炉タービン建屋 断面図



第 7-12 図 7 号炉タービン建屋 概略平面図 (T. M. S. L. -5. 1m)

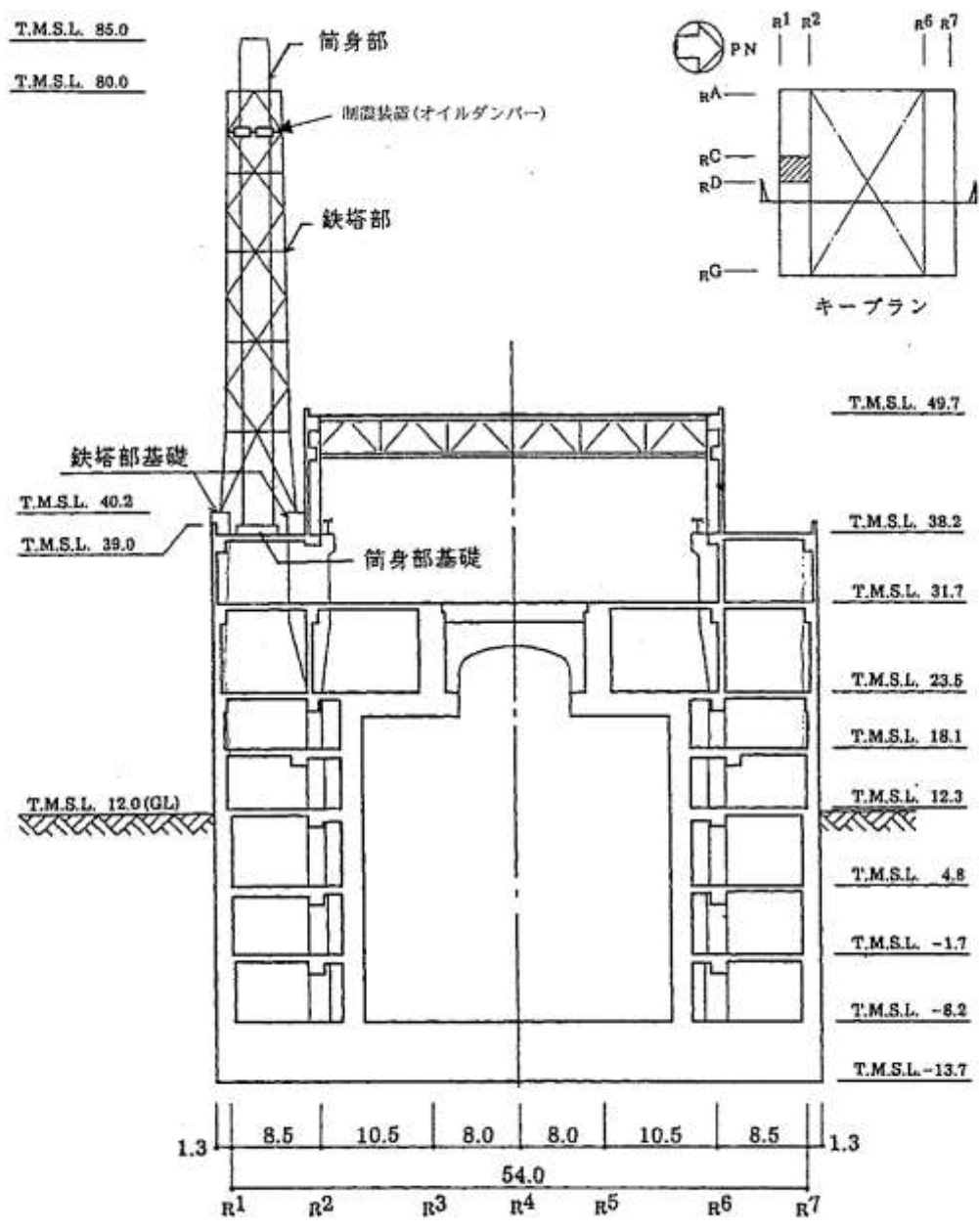


NS 方向断面

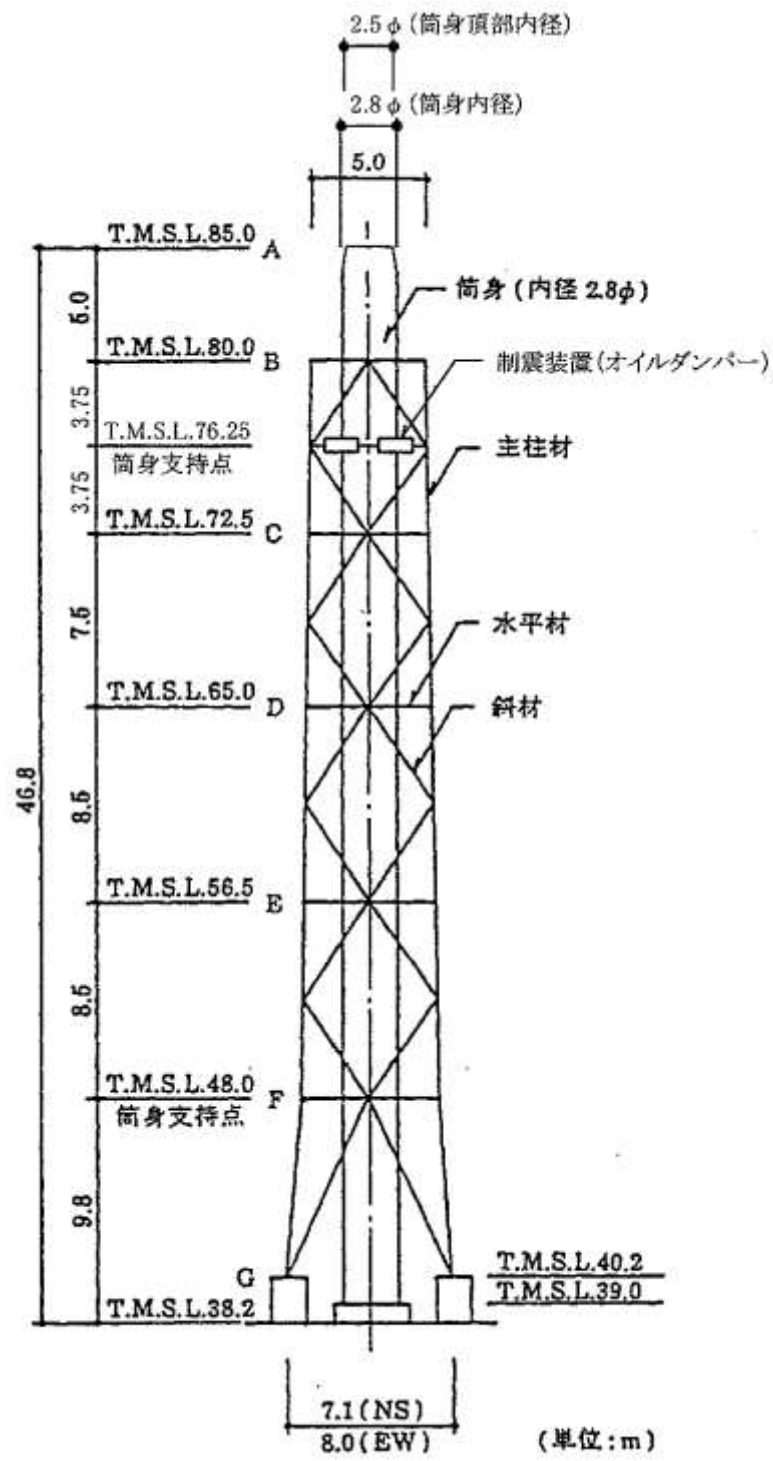


EW 方向断面

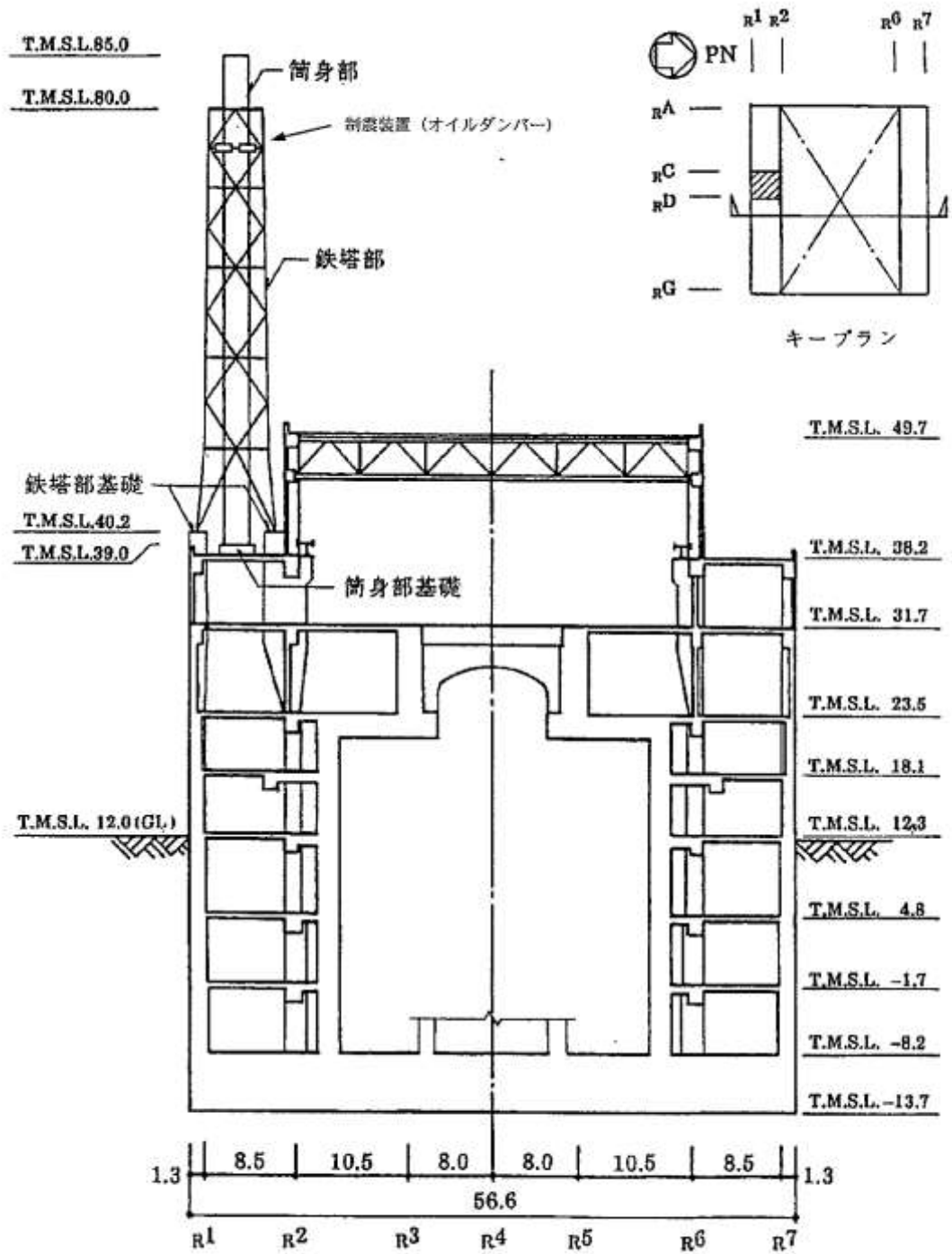
第7-13図 7号炉タービン建屋 断面図



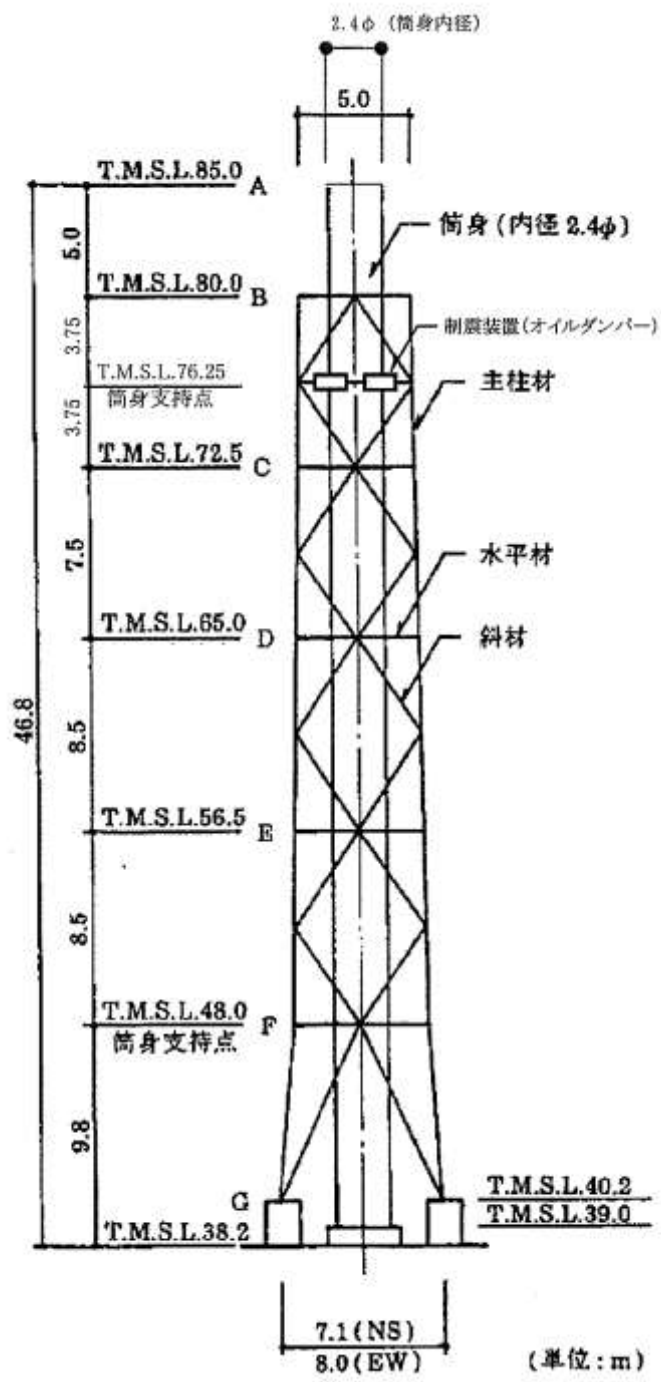
第 7-14 図 排気筒配置図 (6 号炉)



第 7-15 図 排気筒概要図 (6 号炉)



第 7-16 図 排気筒配置図 (7 号炉)

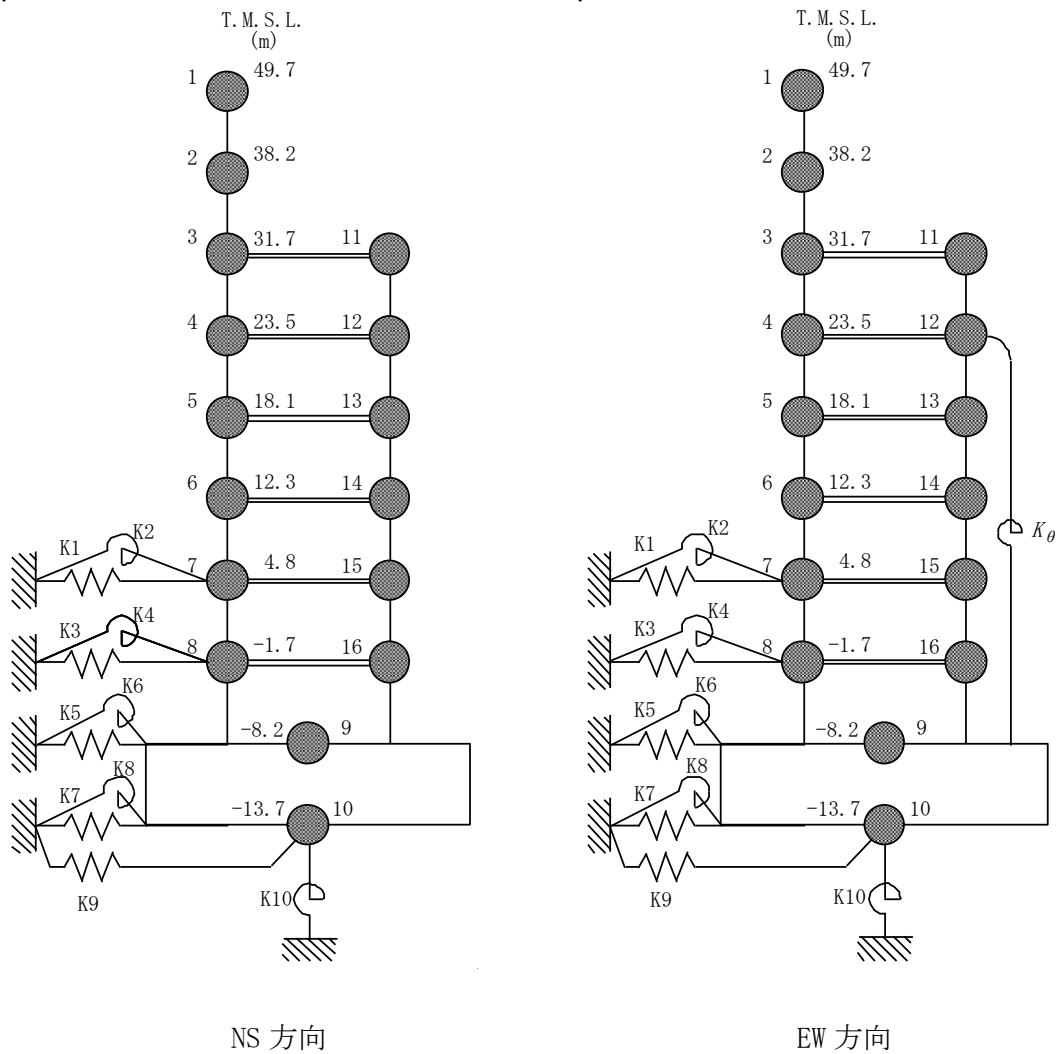


第 7-17 図 排気筒概要図 (7 号炉)

2. 解析モデル

(1) 地震応答解析モデル

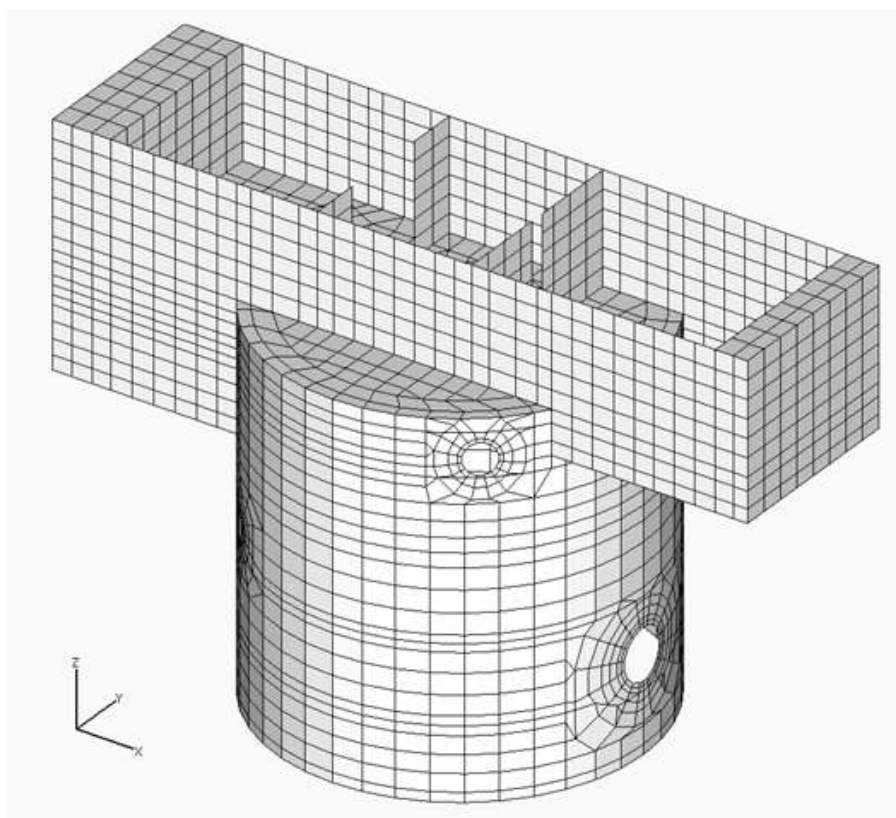
主要建屋の地震応答解析モデルのうち、6号炉及び7号炉の原子炉建屋を例に第7-18図に示す。



第7-18図 原子炉建屋の地震応答解析モデル図

(2) 応力解析モデル

主要建屋の応力解析モデルのうち、7号炉原子炉格納容器の応力解析モデルを例として、第7-19図に示す。



第7-19図 原子炉格納容器 解析モデル図

柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉

入力地震動について
(耐震)

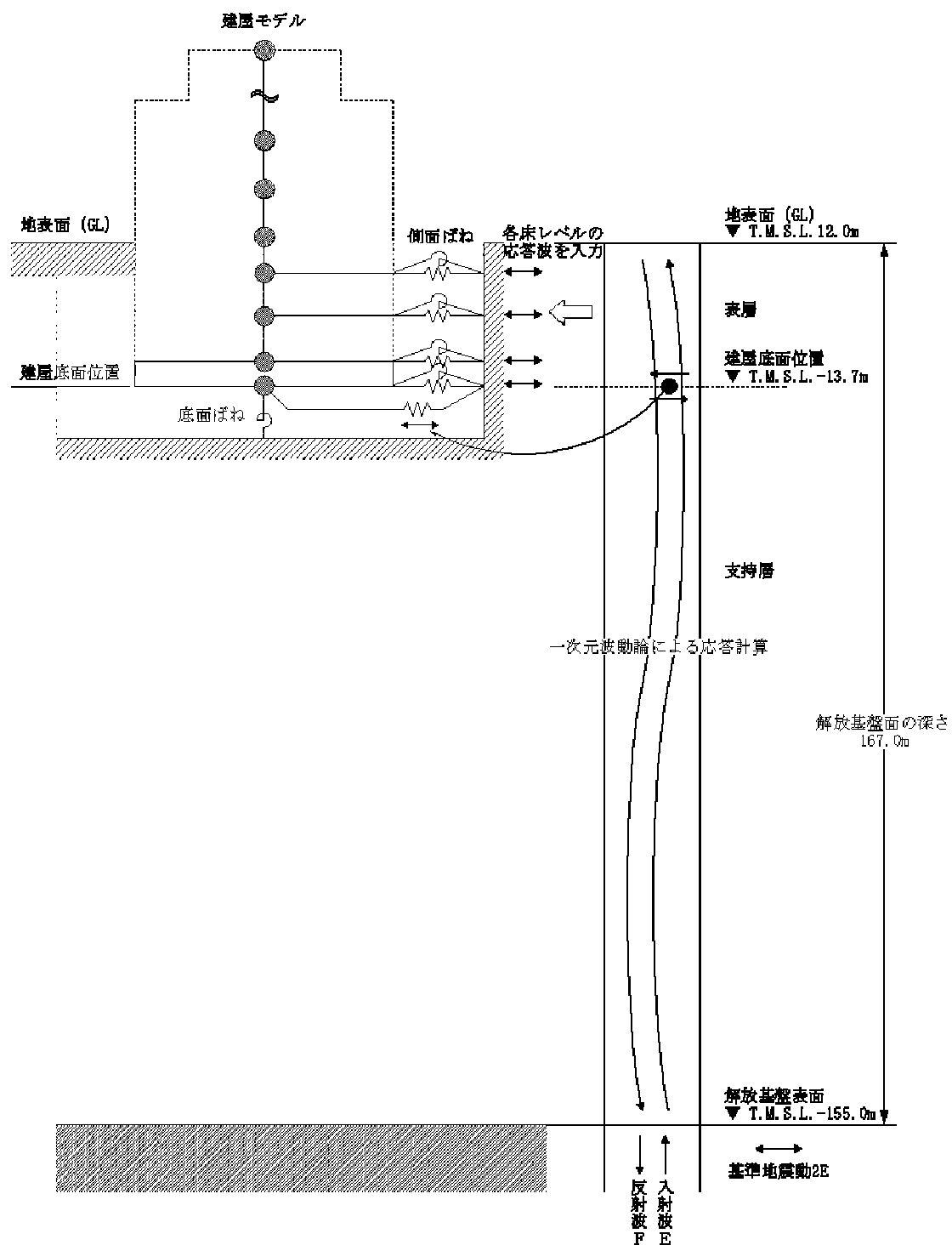
入力地震動について

1. 建物・構築物

建物・構築物の地震応答解析における入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d を基に、対象建物・構築物の地盤条件を適切に考慮したうえで、必要に応じ 2 次元 FEM 解析又は 1 次元波動論により、地震応答解析モデルの入力位置で評価した入力地震動を設定する。なお、敷地における 1 次元波動論の適用性は、(参考) に示す敷地における観測記録の分析により確認している。地盤条件については、地震動評価で考慮した敷地全体の地下構造との関係や対象建物・構築物位置と炉心位置での地質・速度構造の違いにも留意し、地盤の非線形応答に関する動的変形特性を考慮する。

なお、建物・構築物の地震応答解析においては、建物・構築物と地盤との相互作用を考慮するものとし、解析モデルの地盤のばね定数は、基礎版の平面形状、基礎側面と地盤の接触状況及び地盤の剛性等を考慮して定める。各入力地震動が接地率に与える影響を踏まえて、地盤ばねには、基礎浮上りによる非線形性又は誘発上下動を考慮できる浮上り非線形性を考慮するものとする。設計用地盤定数は、原則として、弾性波試験によるものを用いる。

7 号炉原子炉建屋（水平方向）を例として、第 8-1 図に地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図を示す。

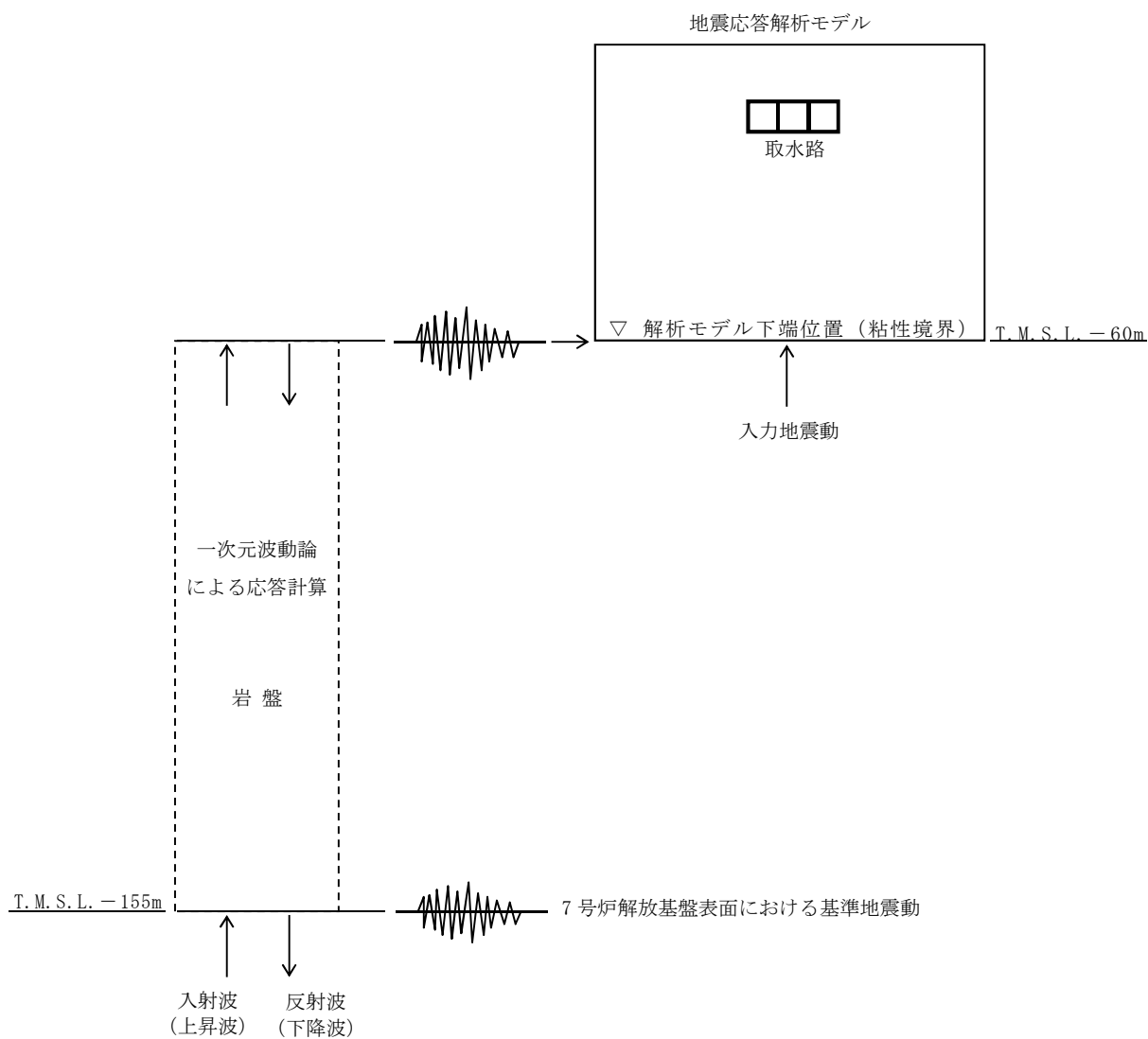


第 8-1 図 建物・構築物への入力地震動の概念図 (7 号炉原子炉建屋の例)

2. 屋外重要土木構造物

屋外重要土木構造物の地震応答解析における入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を基に、対象構造物の地盤条件を適切に考慮したうえで、必要に応じ 2 次元 FEM 解析又は 1 次元波動論により、地震応答解析モデルの入力位置で評価した入力地震動を設定する。なお、敷地における 1 次元波動論の適用性は、(参考) に示す敷地における観測記録の分析により確認している。地盤条件を考慮する場合には、地震動評価で考慮した敷地全体の地下構造との関係にも留意するとともに、地盤の非線形応答に関する動的変形特性を考慮する。

7 号炉取水路（一般部）を例として、第 8-2 図に地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図を示す。



第 8-2 図 屋外重要土木構造物への入力地震動の概念図 (7 号炉取水路の例)

(参考)

敷地における 1 次元波動論の適用性について

1. 検討方針

敷地における 1 次元波動論の適用性について確認するため、荒浜側および大湊側の敷地地盤で得られた地震観測記録や敷地内において評価されている地下構造モデルを用いて分析を実施する。なお、本検討結果は第 266 回及び第 404 回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合にて示したものである。

2. 地震観測記録を用いた分析

敷地における地震観測点を参考 1 図に示す。荒浜側の 1 号炉地盤系と大湊側の 5 号炉地盤系の観測点について、スペクトル比（地表観測点／地中観測点）を到来方向別に評価することで、解放基盤表面以浅の地下構造による増幅特性を把握し、1 次元波動論の適用性を検証する。なお、対象とした観測点は観測期間の長さを考慮し、荒浜側において T. M. S. L. +5m（地表）及び T. M. S. L. -122m（地中）とし、大湊側において T. M. S. L. +9. 3m（地表）及び T. M. S. L. -180m（地中）とした。

検討対象とした地震は以下の条件で選定した。

- ・震源距離 100km 以内
- ・解放基盤に近い地盤系観測点で観測されており、最大加速度値が 1cm/s^2 程度以上
- ・1 号機地盤系及び 5 号機地盤系で共通に記録が得られている地震

参考 2 図に敷地周辺で発生した小規模地震の到来方向別の地表観測点の地中観測点に対するスペクトル比を示す。図より荒浜側及び大湊側の解放基盤表面以浅においては、到来方向による顕著な差異は確認されない。

以上から、解放基盤表面以浅においては、不整形性等による影響は確認されないため、敷地においては 1 次元波動論により増幅特性を評価可能と考えられる。

3. 地下構造モデルを用いた分析

参考 1 図に示す水平アレイ地震観測点においては、各地点の地震観測記録の逆解析により地震基盤から地表までの地下構造モデルを推定している。参考 1 表に大湊側の 5 号炉地盤系付近に設置されている D71 観測点における地下構造モデルの例を示す。参考 3 図に D71 観測点の地下構造モデルに基づく伝達関数と大湊側の 5 号炉地盤系の地震観測記録に基づく伝達関数の比較を示す。図より推定した地下構造モデルは、解放基盤表面以浅の伝達関数を再現可能であることが確認できる。そのため、水平アレイ地震観測点における地

下構造モデルに基づき敷地内における各地点の解放基盤表面相当位置から地表までの伝達関数を評価し、面的な特徴を整理する。

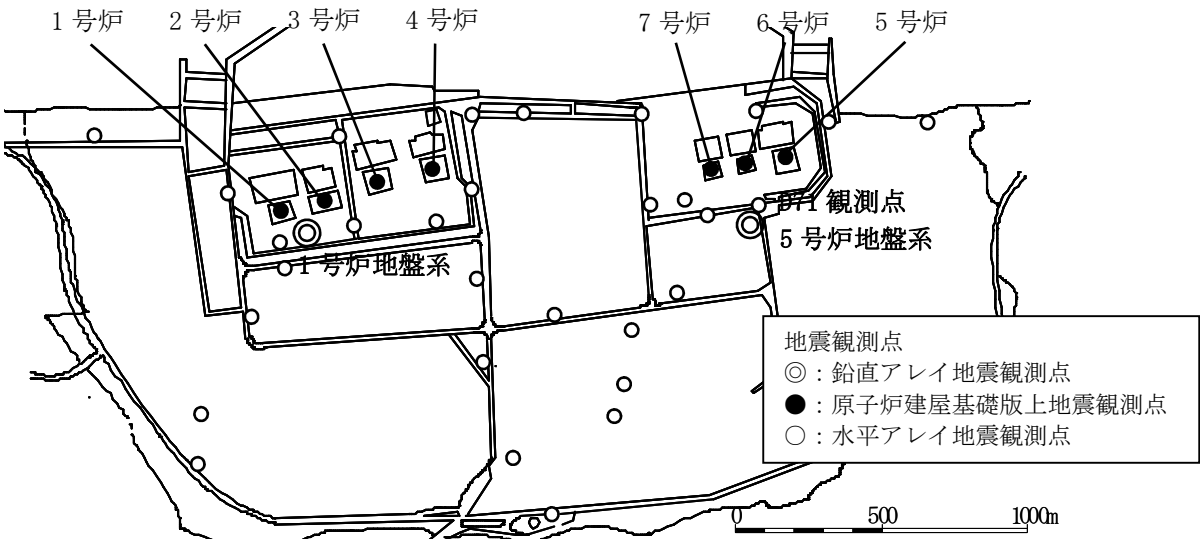
参考４図に水平アレイ観測点における地下構造モデルに基づく解放基盤表面相当位置から地表の伝達関数を示す。荒浜側と大湊側で増幅特性の傾向に顕著な差は認められず、１次元地下構造モデルによる評価が可能であると考えられる。一方、標高が高い陸側においては長周期側にピークが確認されることから、施設評価においては、各施設近傍でのボーリング調査等に基づき、解放基盤以浅の地下構造による増幅特性を適切に反映する。

【参考文献】

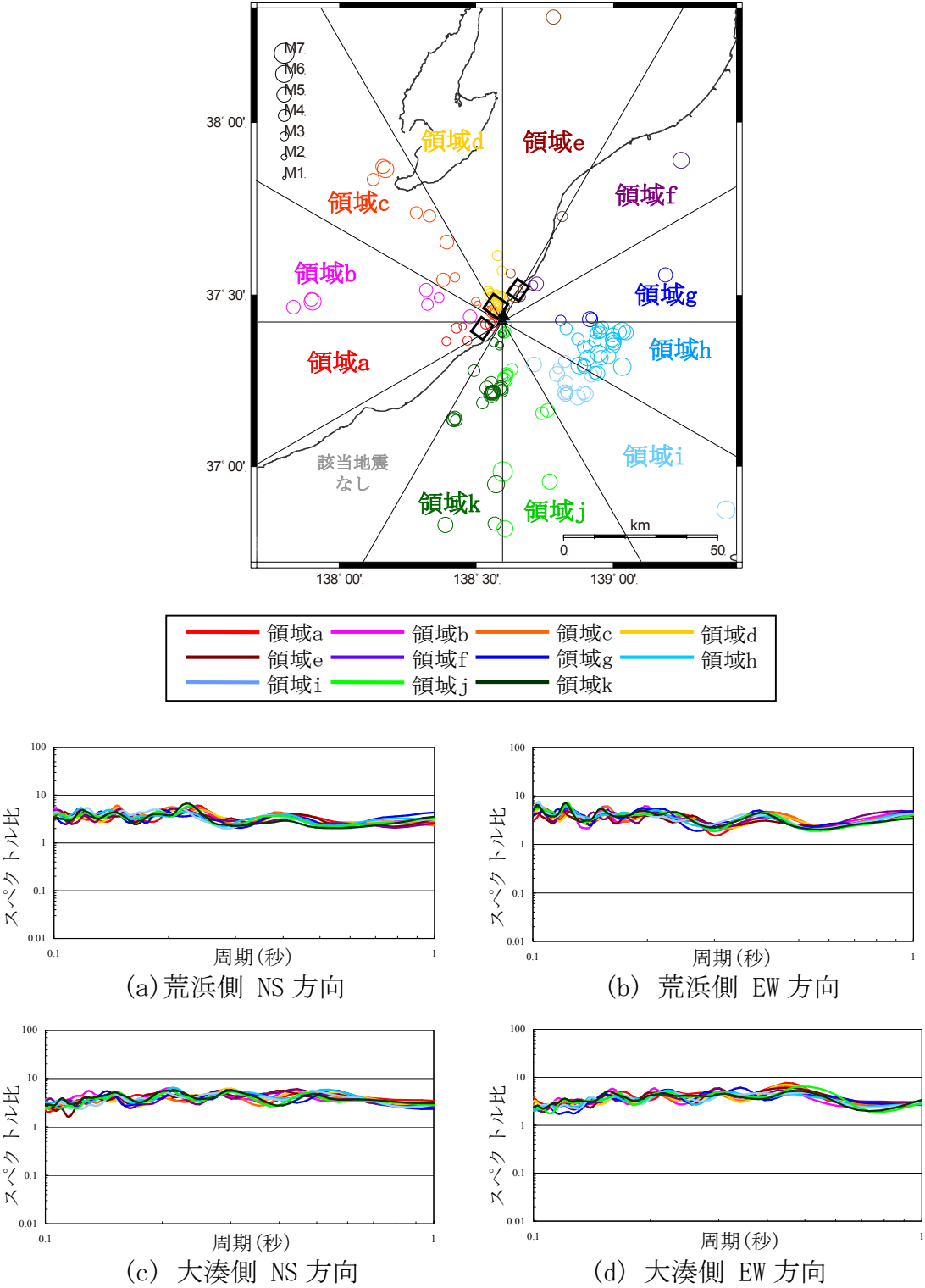
- 第 266 回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合 資料 1 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉敷地における地震波の増幅特性についてコメント回答
第 404 回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合 資料 4－3－1 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉 基準地震動の策定について

標高	1号炉地盤系		5号炉地盤系	
	地震計	地層	地震計	地層
+12.0m +9.3m			▽G. L. ○※4	
+5.0m	▽G. L. ○※1	古安田層		古安田層
-24.0m -40.0m	○※1		○※4	西山層
-100.0m -122.0m	○※1	西山層	○※4	
-180.0m -250.0m	○※2		○※4	椎谷層
-300.0m -400.0m	○※3		○※4	

※1：1982年4月観測開始， ※2：1982年4月観測開始～2007年11月観測終了
※3：2009年3月観測開始， ※4：1985年9月観測開始



参考 1 図 敷地における地震観測点

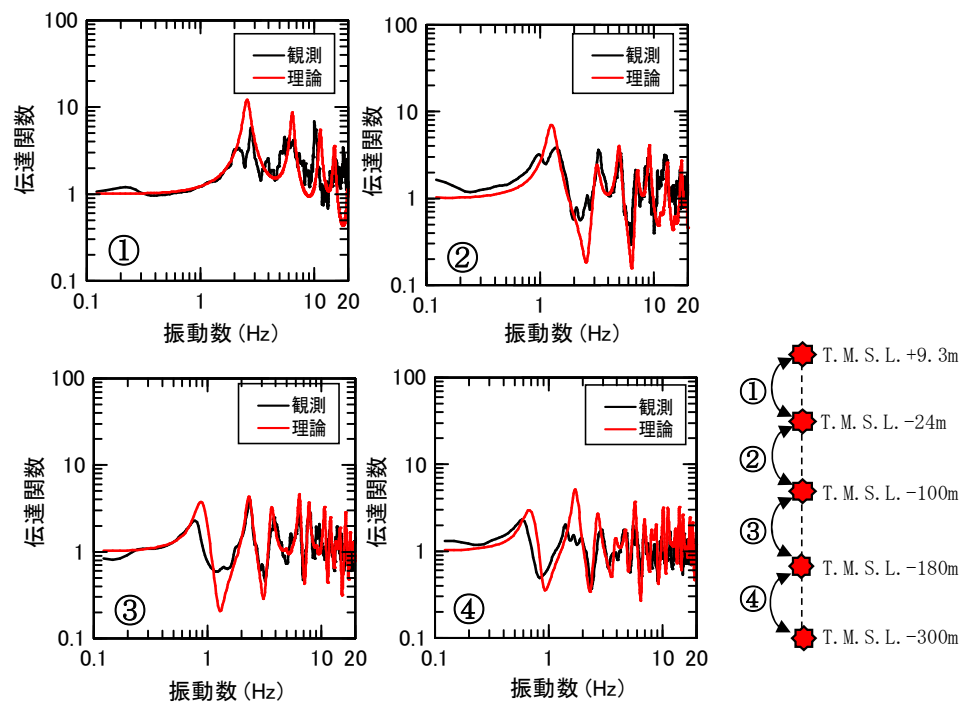


参考 2 図 敷地周辺で発生した小規模地震の
到来方向別の地表観測点の地中観測点に対するスペクトル比

参考 1 表 水平アレイ観測点における地下構造モデル（D71 観測点の例）

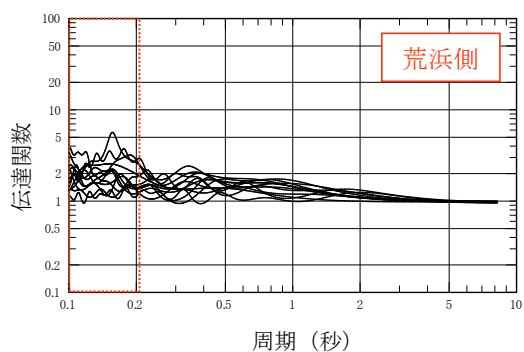
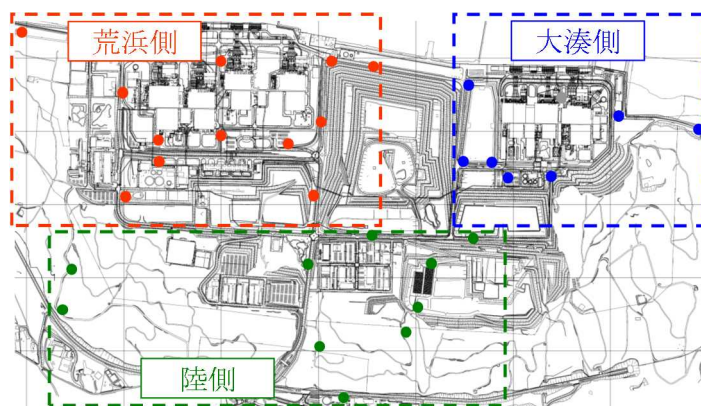
層 No.	層厚 (m)	密度 (t/m ³)	S 波速度 (m/s)	P 波速度 (m/s)	Qs [※]		Qp [※]	
					Qo	n	Qo	n
1	14.8	1.73	242	554	5.7	0.56	2.7	0.56
2	13.9	1.81	368	1190	5.0	0.52	3.2	0.52
3	28.4	1.86	465	1495	7.1	0.70	4.2	0.70
4	66.4	1.70	633	1720	7.2	0.71	4.9	0.71
5	40.3	1.70	694	1836	9.8	0.74	6.8	0.74
6	113.5	2.10	854	1953	17	0.82	14	0.82
7	869.5	2.10	1285	2596	20	0.76	14	0.76
8	619.8	2.30	1826	3413	25	0.92	16	0.92
9	1073.3	2.40	1994	4131	23	0.83	16	0.83
10	1169.1	2.50	2498	4510	25	0.71	14	0.71
11	890.8	2.60	3280	5354	38	0.70	20	0.70
12	－	2.70	3427	5560	81	0.78	46	0.78

※ $Q(f)=Q_0 \times f^n$ を仮定。

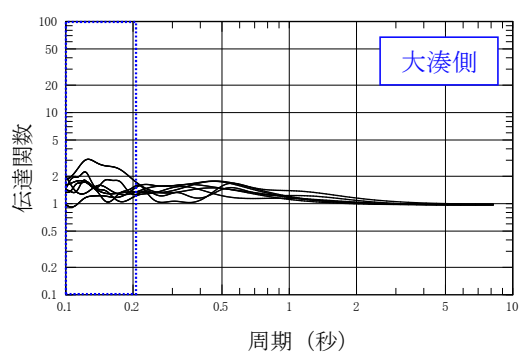


参考 3 図 D71 観測点の地下構造モデルに基づく伝達関数[※]と
大湊側鉛直アレイ地震観測記録に基づく伝達関数の比較

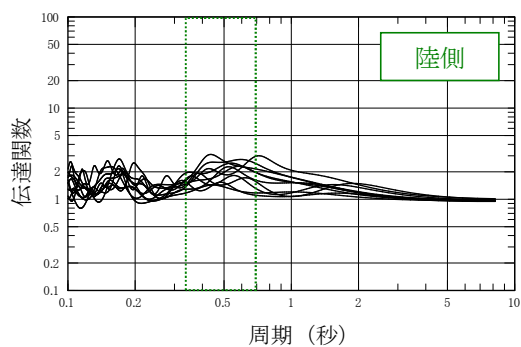
※地下構造モデルに基づく伝達関数は、第 1 表に示す地下構造モデルにおいて地震観測点と同
深度となる位置の伝達関数を評価



(a) 荒浜側の観測点



(b) 大湊側の観測点



(c) 陸側の観測点

参考 4 図 水平アレイ観測点における地下構造モデルによる
解放基盤表面相当位置から地表の伝達関数

※参考 4 表のハッチ部に示すように、各地下構造モデルにおいてせん断波速度 V_s が概ね
700(m/s)となる No. 5 層の上面から No. 1 層上面の伝達関数を評価。

柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉

建屋及び原子炉の地震応答解析モデルの詳細化について
(耐震)

目次

1. はじめに
 2. 建屋及び原子炉の地震応答解析モデルの概要
 2. 1 原子炉建屋地震応答解析モデル
 2. 2 原子炉本体基礎の地震応答解析モデル
 2. 3 炉心, 原子炉圧力容器および圧力容器内部構造物の地震応答解析モデル
 3. 詳細化の検討内容及び妥当性
 3. 1 コンクリート実強度を考慮した建屋剛性
 3. 2 補助壁の考慮
 3. 3 側面地盤回転ばねの考慮
 3. 4 原子炉本体基礎の復元力特性
 3. 5 今回工認モデルの妥当性
 4. 地震応答解析モデルの保守性と不確かさへの対応方針
 4. 1 保守性と不確かさを設定する項目
 4. 2 保守性と不確かさの設定
 4. 3 検討ケース
 4. 4 設計への反映方針
 5. まとめ
- 添付資料ー 1 今回工認モデルの地震応答解析に対する 3 次元 FEM モデルによる妥当性の
検証
- 添付資料ー 2 不確かさ検討ケースの選定について
- 参考資料ー 1 既工認モデルによる評価
- 参考資料ー 2 地震応答解析モデル詳細化の定量的な効果
- 参考資料ー 3 地震応答解析モデルの不確かさの影響 (試検討)
- 参考資料ー 4 各詳細化項目のシミュレーション解析への影響度の検討
- 参考資料ー 5 新潟県中越沖地震本震以外の地震観測記録を用いたシミュレーション解析
モデルの妥当性確認
- 参考資料ー 6 表層地盤ばねの取扱いについて
- 別紙 1 建屋の地震応答解析におけるコンクリート実剛性の採用について
- 別紙 2 地震応答解析モデルにおける補助壁の評価方法について
- 別紙 3 建屋側面地盤回転ばねを考慮することの妥当性について
- 別紙 4 原子炉本体基礎の復元力特性について

1. はじめに

柏崎刈羽原子力発電所6，7号炉の今回の工事計画認可申請書（以下，「今回工認」という）では，基準地震動のレベルの増大に伴い，より現実に近い地震応答を算出することを目的として，建設時の工事計画認可申請書（以下，「既工認」という）の地震応答解析モデルを詳細化した地震応答解析モデルを採用することとする（表 1-1）。

本資料では，今回工認において地震応答解析モデルを詳細化することの目的及び妥当性，地震応答解析モデルの不確かさへの対応方針について説明する。

表 1-1 地震応答解析モデルの詳細化の概要

詳細化項目	既工認の 地震応答解析モデル	今回工認の 地震応答解析モデル
建屋剛性	コンクリートの設計基準強度を使用	コンクリートの実強度データに基づく剛性を使用
耐震要素（建屋壁）のモデル化	外壁などの主要な壁のみモデル化	左記に加え，考慮可能な壁（補助壁）を追加でモデル化
建屋側面地盤による拘束効果	側面地盤回転ばねを考慮せず	側面地盤回転ばねを考慮する
原子炉本体基礎のモデル化	線形解析モデル	コンクリートのひび割れによる剛性低下を考慮した非線形解析モデル

※建屋の弾塑性解析は，既工認では採用していないが，今回工認では，最新の知見「原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601-1991 追補版）」に基づき採用する。

2. 建屋及び原子炉の地震応答解析モデルの概要

2. 1 原子炉建屋地震応答解析モデル

原子炉建屋は地下3階、地上4階建て、基礎底面からの高さは、63.4mである。平面の大きさは地下部分で56.6m(NS方向)×59.6m(EW方向)、最上階は39.0m(NS)×59.6m(EW)である。

建屋の主体構造は鉄筋コンクリート造(一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造)であり、その総重量は約20万tである。また、建屋の主な耐震要素は、鉄筋コンクリート製原子炉格納容器と原子炉建屋の外壁である。

地震応答計算に用いる解析モデルは、建屋を鉄筋コンクリート製原子炉格納容器(以下、「RCCV部」と呼ぶ。)と外壁(以下、「外壁部」と呼ぶ。)に分けた曲げ変形とせん断変形をする質点系とし、地盤を等価なばねで評価した建屋-地盤連成系モデルとする。尚、中間壁の曲げ及びせん断剛性は、RCCV部または外壁部に加える。

モデル化はNS方向、EW方向それぞれについて行っているが、EW方向においては、プール壁がRCCVの曲げ変形を拘束する影響を考慮して回転ばねを取り付けている。

建屋側方の地盤は水平ばね及び回転ばねで、建屋底面下の地盤は水平ばね及び回転ばねで置換している。地下部分側面の地盤水平ばねは、各質点の支配深さに従って地盤を水平に分割し、波動論により評価している。なお、表層部分については、基準地震動 S_s による地盤の応答レベルを踏まえ、ばね評価を行わないこととする。また、基礎スラブ底面における地盤の水平及び回転ばねは、それ以降の地盤を等価な半無限地盤とみなして、波動論により評価している。

建屋の断面図を図2-1、解析モデルを図2-2に示す。

2. 2 原子炉本体基礎の地震応答解析モデル

原子炉建屋内の原子炉压力容器、原子炉遮蔽壁、原子炉本体基礎等の大型機器・構造物は、原子炉建屋基礎版やダイヤフラムフロアを介して原子炉建屋からの地震の入力があることを考慮して、図2-3に示すように原子炉建屋と原子炉本体基礎を連成させている。

原子炉压力容器は、原子炉压力容器スタビライザと等価なばねで原子炉遮蔽壁と結ばれ、原子炉本体基礎と剛に結合される。原子炉本体基礎は、その下端において原子炉建屋基礎スラブ上端と剛に結合され、更にダイヤフラムフロアの剛性と等価なばねにより原子炉格納容器を介し、原子炉建屋に支持される。

なお、上記のモデル化の考え方については、今回工認においても既工認から変更は無い。

2. 3 炉心，原子炉圧力容器および圧力容器内部構造物の地震応答解析モデル

原子炉圧力容器内には，燃料集合体，制御棒，炉心シュラウド，制御棒案内管，制御棒駆動機構ハウジング，気水分離器，原子炉冷却材再循環ポンプ等が収納されている。

炉心シュラウドは薄肉円筒形で，下端において水平方向をシュラウドサポートプレート，鉛直方向をシュラウドサポートシリンダ及びレグにより原子炉圧力容器に支持される。炉心シュラウド上部はさら形のシュラウドヘッド，その上の気水分離器で構成している。

炉心シュラウド内部には燃料集合体が収納され，下端を炉心支持板，上端を上部格子板により正確に位置が定められている。燃料集合体に加わる荷重は水平方向は上部格子板及び炉心支持板を支持する炉心シュラウド，鉛直方向は制御棒案内管を支持する制御棒駆動機構ハウジングを介し，原子炉圧力容器に伝達される。

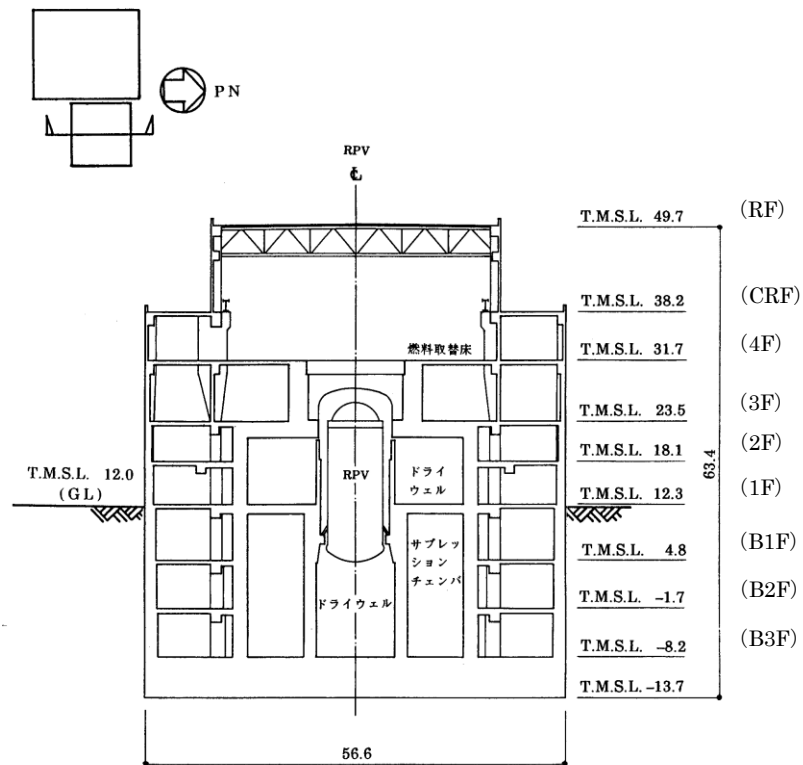
制御棒駆動機構は，原子炉圧力容器下部鏡板を貫通して取り付けられる制御棒駆動機構ハウジング内に納められ，その上端に取り付けられる制御棒を炉心に挿入する機能を有している。

原子炉冷却材再循環ポンプは原子炉圧力容器下部に環状に設置され，原子炉冷却材を循環し，その流量を調整する機能を有している。その原動機は，原子炉圧力容器下部鏡板に溶接された原子炉冷却材再循環ポンプモーターケーシング内に収納される。これらの構造図を図 2-4 に示す。

また，中性子計測案内管，中性子束計測ハウジングについては，重量が小さく炉内構造物の振動に与える影響は小さいため重量のみを考慮する。

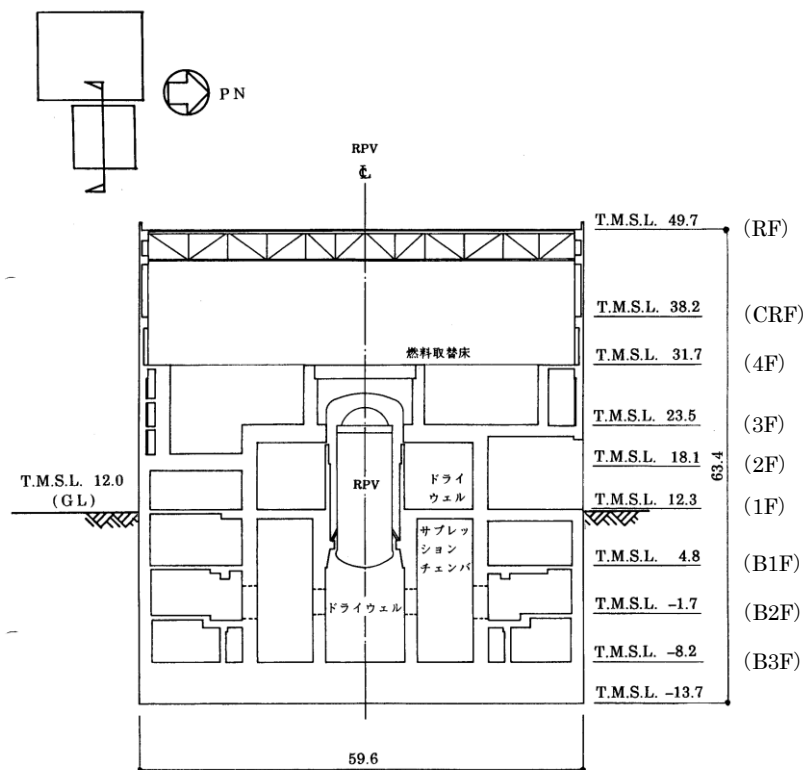
地震応答解析モデルは図 2-5 に示すように，原子炉建屋，原子炉格納容器，原子炉遮蔽壁，原子炉本体基礎，原子炉圧力容器，炉心シュラウド，燃料集合体，制御棒駆動機構ハウジング及び原子炉冷却材再循環ポンプ等の各質点を等価な曲げ，せん断剛性を有する無質量のばねにより結合した多質点集中系とする。燃料集合体，制御棒案内管，制御棒駆動機構ハウジング，気水分離器，炉心シュラウドはシュラウドサポートと等価な回転ばねを介して，原子炉圧力容器と結合する。原子炉冷却材再循環ポンプは，原子炉圧力容器と結合する。原子炉圧力容器は原子炉圧力容器スタビライザおよび原子炉本体基礎を介して，原子炉建屋に支持される。

なお，上記のモデル化の考え方については，今回工認においても既工認から変更は無い。



NS 方向断面

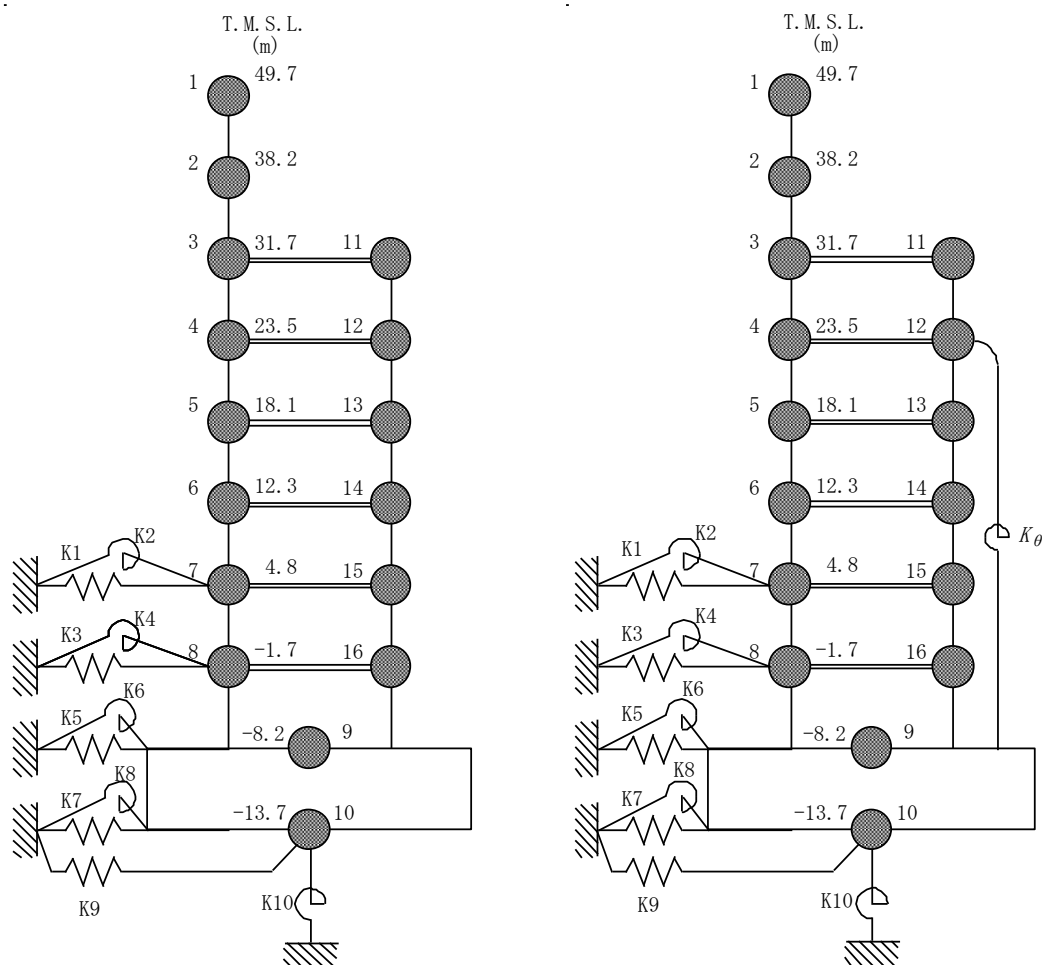
(単位 : m)



EW 方向断面

(単位 : m)

図 2-1 原子炉建屋断面 (7 号炉の例)



NS 方向

EW 方向

図 2-2 建屋—地盤連成地震応答解析モデル (7 号炉の例)

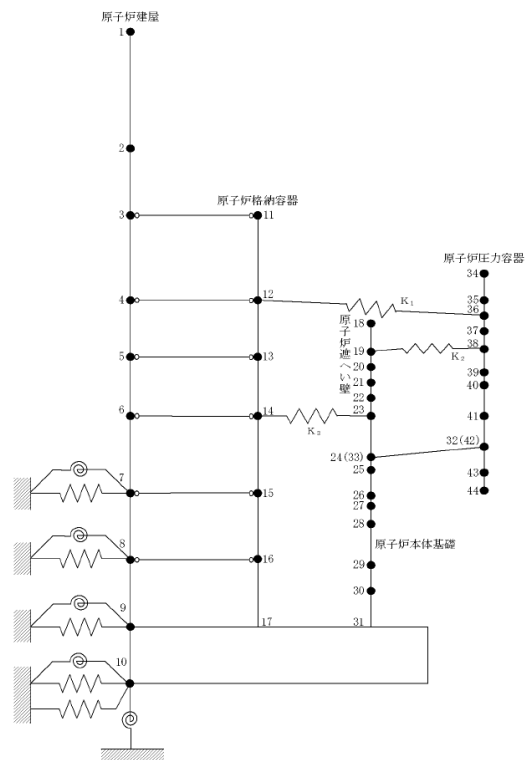


図 2-3 原子炉本体基礎の地震応答解析モデル
(7 号炉 水平方向 (NS 方向) の例)

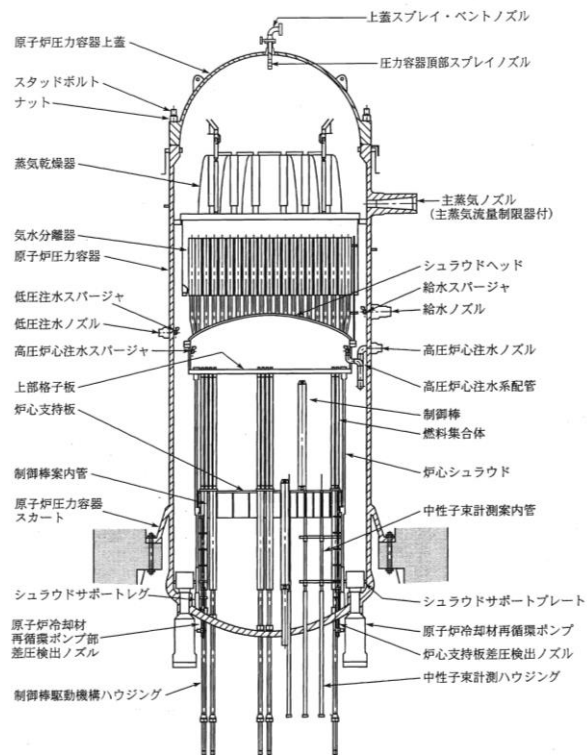


図 2-4 原子炉内部構造図

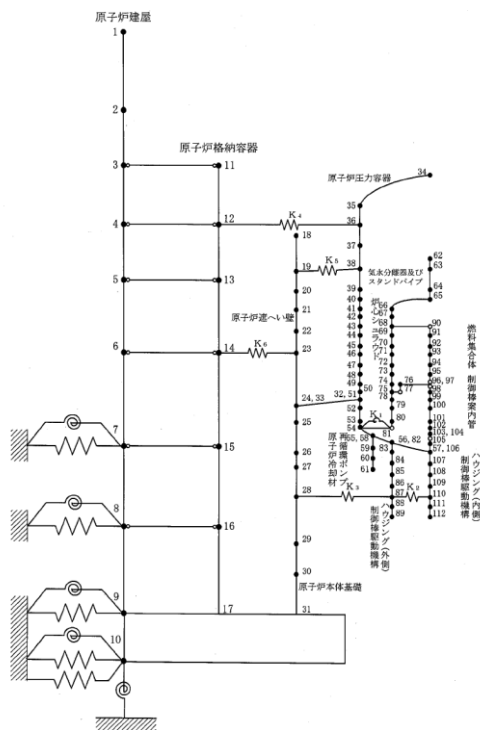


図 2-5 炉心，原子炉压力容器および压力容器内部構造物の地震応答解析モデル
(7 号炉 水平方向 (NS 方向) の例)

3. 詳細化の検討内容及び妥当性

地震応答解析モデル詳細化の検討フローを図 3 に示す。

詳細化項目ごとに妥当性を確認したのち、詳細化後の地震応答解析モデル（以下、「今回工認モデル」という）全体の妥当性を別の解析モデル（建屋 3 次元 FEM モデル）との比較により確認する。

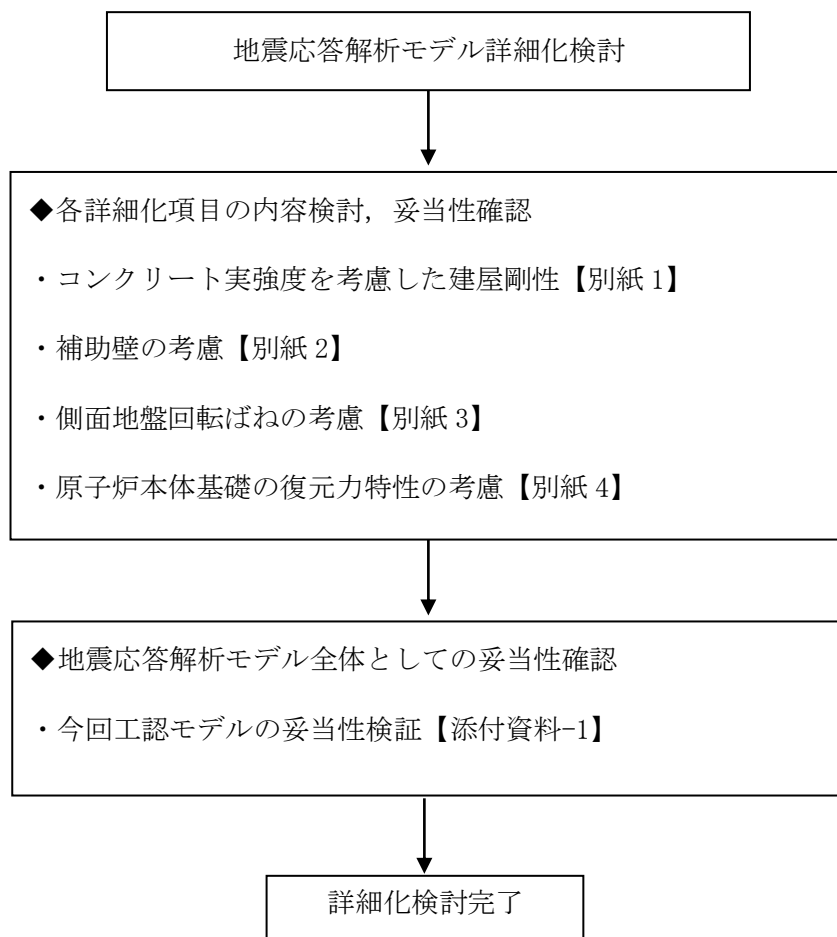


図 3 地震応答解析モデルの詳細化検討フロー

3. 1 コンクリート実強度を考慮した建屋剛性【別紙1】

既工認も含め、通常の構造設計において、地震応答解析は対象構造物の構築前に実施することから、地震応答解析時に実際の構造物のデータを得ることは物理的に不可能である。そのため、解析で用いるコンクリート剛性の評価には、設計基準強度を用いるのが一般的である。

今回工認の場合、既工認や通常の構造設計とは異なり、対象構造物が解析実施以前に現に存在しているため、材料物性値を推定することは物理的に可能であることから、地震時の建屋挙動を実応答に近い形で評価できる条件で設計することを目的として、コンクリート剛性の評価に実強度を採用する。

コンクリート実強度を採用する際の論点を整理し、抽出された論点に対して、原子炉建屋を例として、既往の知見や試験等から得られたデータを通してその妥当性・信頼性について考察した上で、今回工認に用いる実剛性の値を設定する方針とした。また、原子炉建屋以外の建屋についても同様のデータ整理を行い、原子炉建屋同様のコンクリート実剛性が適用可能であることを確認する。

原子炉建屋における建設時コンクリートの91日強度データを整理し、網羅的にデータ取得されていること及びデータ数が妥当であることを確認した。

その上で、経年によるコンクリート強度の変化を考察している既往の知見について整理することによりコンクリート強度の経年による影響について検討し、材齢91日から10年にかけてのコンクリート強度の増加を考慮して推定される実強度（推定実強度）を設定した。

更に長期的な強度増進効果を考慮した推定実強度について、実機から直接採取して得られる強度と比較して数値に大きな差異がないかを確認した。

以上の検討を踏まえた上で、妥当性・信頼性を有していると考えられる実強度を設定した。

また、原子炉建屋以外の建屋についても同様のデータ整理を行い、原子炉建屋同様のコンクリート実剛性が共通的に適用可能であることを確認した。

地震応答解析に用いる材料定数は、材料のばらつきによる変動幅を適切に考慮することから、コンクリート実強度の値のばらつきについて検討し、不確かさを設計上考慮することにより地震応答解析における保守性を確保することとした。

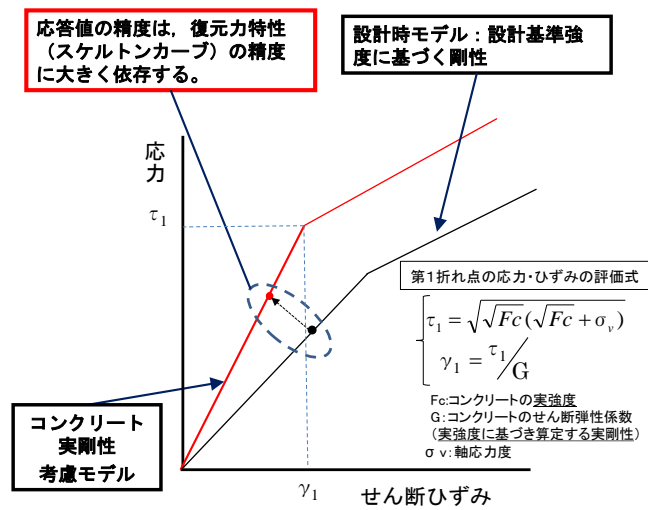


図 3-1 コンクリート実剛性の採用（概念図）

3. 2 補助壁の考慮【別紙2】

既設建屋の地震応答解析の実施にあたっては、より実現に近い応答を模擬するという観点から、設計時には考慮されていなかったが実際には耐震要素として考慮可能な壁を補助壁と位置づけ、地震応答解析モデルに取り込むこととした。

補助壁の選定基準の設定にあたっては、先行審査を含む既工認で適用実績のある規準である、日本建築学会：「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（2005）」（以下、「RC-N」規準という）を参考に設定する。RC-N 規準 19 条「耐震壁の断面算定」には、耐震壁の壁厚、せん断補強筋比等に関する規定として「算定外の規定」が示されており、今回工認の補助壁の選定条件を設定するにあたっては、「算定外の規定」の記載を踏まえて選定条件を設定することとした。建屋内の鉄筋コンクリート壁のうち、選定条件に適合する壁を補助壁として選定した。

また、選定された補助壁の地震応答解析で用いる解析モデルへの反映方針としては、JEAG4601-1991 追補版におけるスケルトン評価法のベースとなった実験の内容や耐震壁と補助壁の違い（鉄筋比、直交壁の有無）を踏まえ、補助壁のせん断スケルトンカーブとしては第 1 折れ点で降伏する完全弾塑性型とし、曲げスケルトンとしては補助壁の剛性を無視する保守的な設定とした。

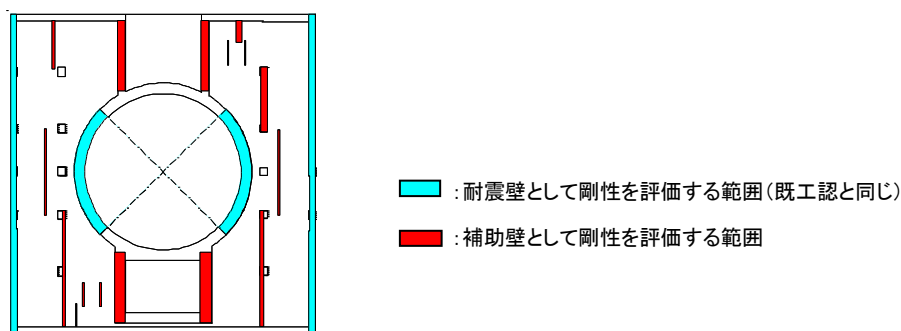


図 3-2 補助壁の考慮例（6 号炉 原子炉建屋 2 階）

3. 3 側面地盤回転ばねの考慮【別紙3】

側面回転ばねを考慮することの妥当性検証にあたって、地中に埋め込まれた建屋と地盤との相互作用に関する知見及び6, 7号炉原子炉建屋の設置状況を整理し、その上で大きな地震動が作用する場合の側面回転ばねの妥当性に関して、以下の3つの論点を抽出した。

各論点に対する検討方針を設定し、それぞれの論点について検証を実施した。

【論点①】 建屋側面に防水層が存在する場合に防水層と地盤間で摩擦力が伝達可能か

【論点②】 地震時の側面地盤の剥離や土圧変動を考慮しても建屋拘束効果が得られ埋め込みSRモデルへ回転ばねを適用することが妥当か

【論点③】 隣接建屋や建屋周辺の詳細な地盤状況が側面回転ばねの適用性に影響しないか

論点①に対する検討としては、6, 7号炉原子炉建屋の実機の地下外壁（防水層付き）と側面地盤の間を模擬した摩擦試験により、建屋側面と地盤間に摩擦力があることを確認した。また、試験結果を踏まえて、論点②及び論点③に対する検証で使用する解析モデルで使用する摩擦特性を設定した。

論点②に対する検討としては、地下外壁と側面地盤の間の接触・剥離や摩擦特性を考慮した詳細な解析モデルによる地震応答解析を行い、地震時の建屋と地盤間の接触状況、建屋と地盤間の摩擦による応力伝達状況、側面地盤反力について検討し、拘束効果が得られることを確認した。その上で、埋め込みSRモデルに側面回転ばねを適用した場合の建屋応答と詳細モデルによる建屋応答を比較し、埋め込みSRモデルによる建屋応答が妥当であることを確認した。

論点③に対する検討としては、論点②のモデルで考慮した接触剥離・摩擦滑り現象に加えて、原子炉建屋に隣接するタービン建屋や周辺の地盤状況（埋戻し土、マンメイドロック等）を考慮した解析モデルを用いた解析を実施し、論点②のモデルによる解析結果と比較することにより、隣接建屋や建屋周辺の詳細な地盤状況が建屋応答に与える影響がないことを確認した。

また、上記の解析的な検証は6号炉原子炉建屋を代表として実施したものであるが、6号炉原子炉建屋と7号炉原子炉建屋の設置状況の類似性や6号炉を対象とした解析結果の傾向を踏まえ、7号炉原子炉建屋についても側面回転ばねを適用することが妥当であることを確認した。

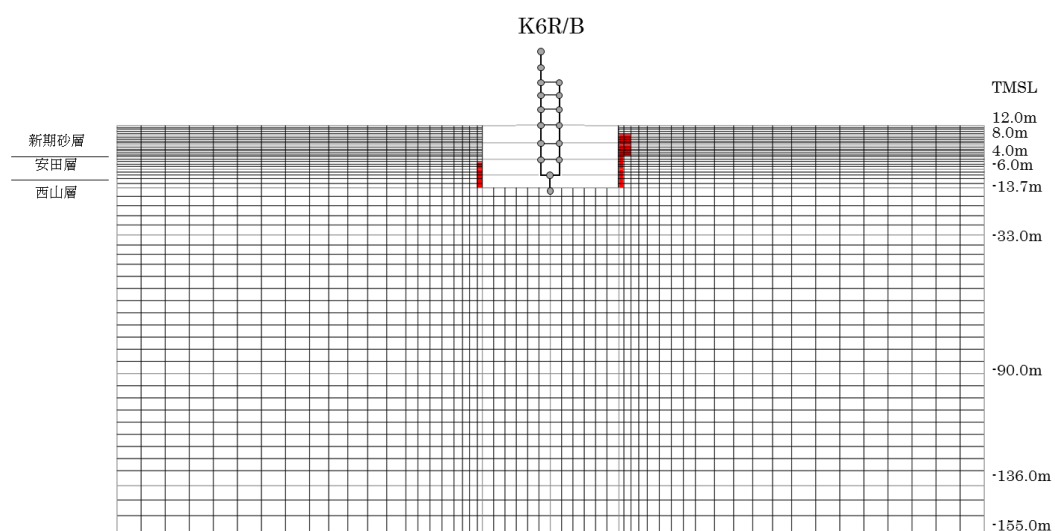


図 3-3 地盤 2 次元 FEM による解析モデル図 (6 号炉原子炉建屋 NS 方向の例)

3. 4 原子炉本体基礎の復元力特性の考慮【別紙4】

原子炉本体基礎は、鋼板とコンクリートの複合構造物であり、既工認の地震応答解析モデルでは、基準地震動のレベルが小さく地震応答は概ね弾性領域と考えられたことから、剛性一定の線形仮定としていた。

しかしながら、今回工認では基準地震動のレベルが増大し、地震応答が線形領域を超えることから、より現実に近い適正な地震応答解析を実施する観点から、コンクリートのひび割れによる剛性変化を考慮した非線形解析モデルを採用することとする。

非線形解析モデルの評価は、鉄筋コンクリートの評価手法として実績のある手法に加え、鋼板とコンクリートの複合構造としての特徴に留意した既往の知見を参考にしておこない、実物の原子炉本体基礎を模擬した試験体による加力試験結果を用いてその妥当性を確認する。

原子炉本体基礎の非線形特性を考慮した復元力特性（スケルトンカーブ）の設定は、規格基準や既往の知見を参考に、曲げ及びせん断のそれぞれに対し、コンクリートのひび割れを表す第1折点と鋼板の降伏を表す第2折点を設定することによりおこなった。

曲げの第1、第2折点及びせん断の第1折点の評価は、「原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601-1991 追補版）」に規定されるスケルトンカーブ評価方法を基本とし、せん断の第2折点の評価は、鋼板及びコンクリートで構成された複合構造物に関する既往知見に示されたコンクリートひび割れ後の荷重変形関係の理論式を基本とした。

実機原子炉本体基礎の構造の特徴を踏まえ、評価式への反映方法について検討し、実機を模擬した試験体でその妥当性を確認した。

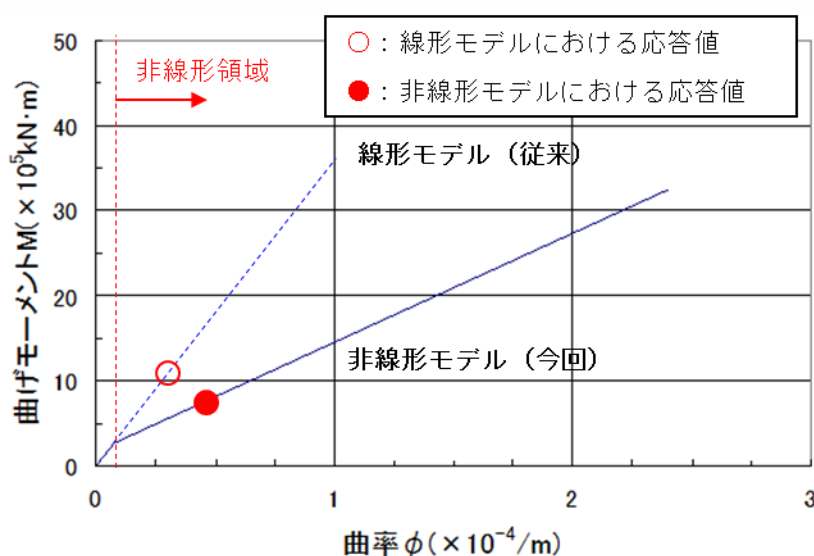


図 3-4 原子炉本体基礎の復元力特性の例
(7号炉, Ss-1, NS 方向の概念図)

3. 5 今回工認モデルの妥当性検証

今回工認モデルの妥当性検証として、過去の地震観測記録でベンチマーキングした別の解析モデル（建屋 3 次元 FEM）の地震応答解析結果の比較を行う。検証にあたっては、建屋 3 次元 FEM モデルについて、新潟県中越沖地震によるシミュレーション解析によりその妥当性を確認した上で、今回工認モデルと建屋 3 次元 FEM モデルのそれぞれに対して弾性設計用地震動 S_d を入力とした地震応答解析を行い、両者の応答結果を比較することにより今回工認モデルの妥当性を確認する。今回工認モデルの妥当性検討のフローを図 3-5 に示す。妥当性検証のフローに基づき検討を実施し、今回工認モデルと建屋 3 次元 FEM の地震応答解析結果の比較を行った結果、応答が整合的であったことから、今回工認モデルが妥当であると判断した。（添付資料-1）。

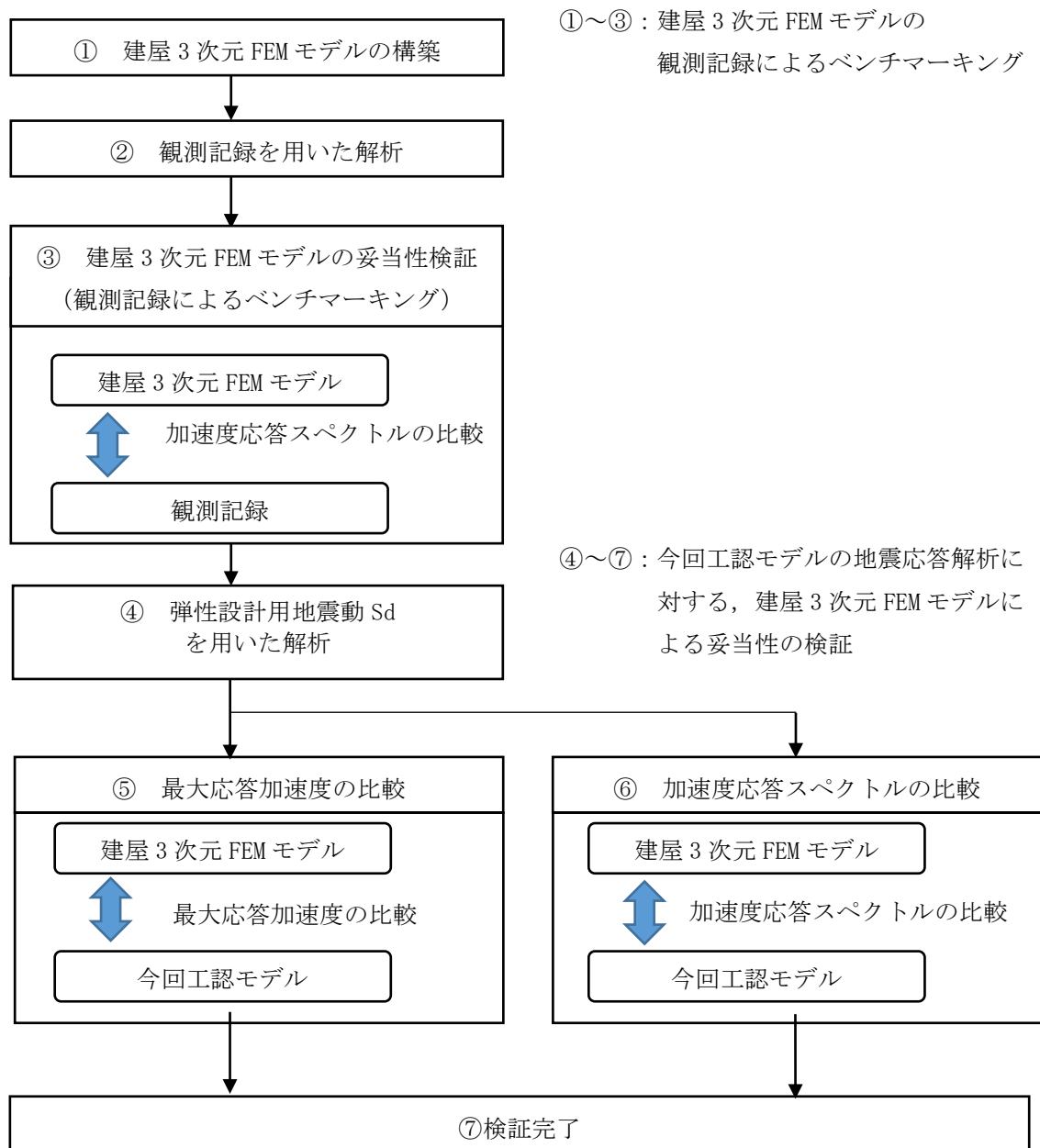


図 3-5 地震応答解析モデルの妥当性検証フロー

4. 地震応答解析モデルの保守性と不確かさへの対応方針

4. 1 保守性と不確かさを設定する項目

今回工認では、既工認時より詳細化しつつ保守性に配慮した地震応答解析モデルを採用する方針である。詳細化した項目については、項目毎に保守性を有することを確認するとともに、必要に応じ追加で保守性を設定し、地震応答解析結果へ与える影響を確認する。同様に、詳細化項目のうち不確かさが考えられるものについては、不確かさが地震応答解析結果へ与える影響を確認する。

また、詳細化した項目ではないものの地盤剛性については、実測した地盤のせん断波速度を用いて算出していることから、地盤のせん断波速度の不確かさが地震応答解析結果へ与える影響を確認する。

なお、本検討では地震応答解析モデルにおけるコンクリート減衰定数を既工認時同様 5%としているが、先行審査では減衰定数を 3%とした場合の影響についても確認している。柏崎刈羽原子力発電所は、軟岩サイトであり、かつ建屋が地中に深く埋め込まれていることから、建屋地盤相互作用による減衰効果の影響が大きく、コンクリートの減衰定数による影響はほとんど無いと考えられるためここでは検討の対象とはしていない。ただし、今回工認では、念のため、コンクリートの減衰定数を 3%とした場合の影響についても検討を実施する予定である。

4. 2 保守性と不確かさの設定

(1) 建屋剛性（コンクリート強度）

今回工認では、建屋の地震応答解析モデルにおけるコンクリート剛性の評価にコンクリート実強度を採用する予定であり、その数値は概ね建設時コンクリートの 91 日強度の平均値と同等となっている。ここでは、保守的に材齢 91 日以降の強度上昇を無視している。不確かさの検討にあたっては、データベースである 91 日強度の分布を考慮し、平均値に対して $\pm 1\sigma$ を考慮することとした。さらに、実強度値のマイナス側については、91 日強度の値として 95%信頼区間の下限値に相当する値（平均値 -2σ ）を、プラス側については、実機の経年後のコア強度の平均値である $568\text{kg}/\text{cm}^2$ ($55.7\text{N}/\text{mm}^2$) を考慮する。

表 4-2 (1) コンクリート強度の保守性と不確かさ検討の考え方

地震応答解析モデル	コンクリート強度
基本ケース	実強度（91 日強度） $440\text{kg}/\text{cm}^2$ ($43.1\text{N}/\text{mm}^2$)
保守性	91 日以降の強度上昇を無視
不確かさ	<ul style="list-style-type: none">• $+1\sigma$ $470\text{kg}/\text{cm}^2$ ($46.0\text{N}/\text{mm}^2$)• -1σ $410\text{kg}/\text{cm}^2$ ($40.2\text{N}/\text{mm}^2$)• コア強度平均 $568\text{kg}/\text{cm}^2$ ($55.7\text{N}/\text{mm}^2$)• -2σ $380\text{kg}/\text{cm}^2$ ($37.2\text{N}/\text{mm}^2$)

(2) 補助壁の耐震要素化

今回工認では、設計時には考慮されていなかったが実際には耐震要素として考慮可能な壁を補助壁と位置づけ、地震応答解析モデルに取り込むこととした。補助壁のせん断スケルトンカーブとしては第1折れ点で降伏する完全弾塑性型とし、曲げスケルトンとしては補助壁の剛性を無視する保守的な設定としている。また、規格に該当しない間仕切壁の剛性を保守的に無視している。なお、本項目についての不確かさは特に無いものと考えられる。

表 4-2 (2) 補助壁の耐震要素化における保守性と不確かさ検討の考え方

地震応答解析モデル	補助壁の耐震要素化
基本ケース	・ 補助壁を耐震要素として考慮
保守性	・ 補助壁のせん断スケルトンカーブは第1折点で降伏する完全弾塑性型 ・ 補助壁の曲げ剛性は無視 ・ 規格に該当しない間仕切り壁の剛性を無視
不確かさ	特に無し

(3) 側面地盤回転ばね定数

側面地盤回転ばねについては、別紙 3 における検討で用いた地盤 2 次元 FEM の地盤反力が埋込み SR モデルの地盤反力より小さいという傾向が見られたことを踏まえ、接地率の評価が保守的になるように、NOVAK の方法により算定される側面地盤回転ばね定数を 0.5 倍して半減させたケースについて、影響評価を行うこととする。不確かさの検討にあたっては、後述する地盤剛性の不確かさを考慮することで、回転ばね定数も変化することから、地盤剛性の不確かさの検討と合わせて影響を確認することとする。

表 4-2 (3) 側面地盤回転ばね定数の保守性と不確かさ検討の考え方

地震応答解析モデル	側面地盤回転ばね定数
基本ケース	100%
保守性	無し (但し、不確かさの考慮において回転拘束効果を低減 (50%) した場合の影響を評価)
不確かさ	回転ばね定数の変動を考慮 (地盤剛性を $\pm \sigma$ 変化させることで回転ばね定数も変化する)

(4) 原子炉本体基礎の非線形モデル化

建屋と連成させる「原子炉本体基礎の地震応答解析モデル」及び「炉心，原子炉圧力容器および圧力容器内部構造物の地震応答解析モデル」（以下，「原子炉系の地震応答解析モデル」という）に含まれるコンクリート構造物は，建物のように実測したコンクリート強度がないことから保守的に設計基準強度を用いているが，コンクリート強度は設計基準強度を上回るよう設計されるため，実構造物と地震応答解析モデルとで剛性が異なることが考えられる。不確かさの検討にあたっては，原子炉系の地震応答解析モデルのうち，コンクリート構造物である原子炉本体基礎とダイヤフラムフロアについて，コンクリート実強度を考慮した影響評価をおこなうこととする。

また，原子炉本体基礎の復元力特性（スケルトンカーブ）の設定は，保守的に許容限界を鋼板降伏までとしており，折線近似で評価している。しかしながら，現実の挙動は上に凸な曲線になると考えられることから，手法特有の配慮としてスケルトンカーブを曲線包絡した場合の影響を確認することとする。

表 4-2 (4) 原子炉本体基礎の非線形モデル化における保守性と不確かさ検討の考え方

地震応答解析モデル	設定方法
基本ケース	<ul style="list-style-type: none"> ・ 許容限界を鋼板降伏までと設定 ・ コンクリート強度を設計基準強度と設定 原子炉本体基礎：300kg/cm² (29.4N/mm²) ダイヤフラムフロア：330kg/cm² (32.3N/mm²)
保守性	<ul style="list-style-type: none"> ・ 鋼板降伏以降の領域は設定しない ・ コンクリート強度の下限值を採用
不確かさ	<ul style="list-style-type: none"> ・ コンクリート強度を実強度とした場合の影響を考慮 原子炉本体基礎：400kg/cm² (39.2N/mm²) ダイヤフラムフロア※：440kg/cm² (43.1N/mm²)
手法特有の配慮	<ul style="list-style-type: none"> ・ スケルトンカーブを曲線包絡とした場合の影響を考慮

※ダイヤフラムフロアの設計基準強度は原子炉建屋と同じ値であることから，実強度は原子炉建屋と同じ値を用いる。

(5) 地盤剛性

地盤剛性については、地盤調査結果の平均値を元に設定した数値を基本ケースとして採用している。地盤剛性の不確かさ検討にあたっては、初期せん断波速度に対して、標準偏差に相当するばらつきを考慮することにより、影響評価を行うこととする。

表 4-2 (5) 地盤剛性の不確かさ検討の考え方

地震応答解析モデル	せん断波速度
基本ケース	・ 標準地盤 (平均値)
不確かさ	+ 地盤 (表層 (+13%), 古安田層 (+25%), 西山層 (+10%)) - 地盤 (表層 (-13%), 古安田層 (-25%), 西山層 (-10%))

4. 3 検討ケース

前項で述べた不確かさのうち、統計的なもの（建物のコンクリート剛性 $\pm\sigma$ のケースと地盤剛性 $\pm\sigma$ のケース）については重畳を考慮した上で影響を確認する。それ以外については保守的に設定したものであることから、重畳は考慮せず個別に影響を確認する（詳細は、添付資料－2 参照）。

以上を踏まえ、検討ケースを下表に示す。

表 4-3 検討ケース

検討ケース	コンクリート剛性	回転ばね定数	RPV ペデスタル	地盤剛性	備考
◆ケース 1 (基本ケース)	実強度 (440kg/cm ²)	100%	非線形 (折線近似)	標準地盤	
◆ケース 2 (建屋剛性 $+\sigma$ ，地盤剛性 $+\sigma$)	実強度 $+\sigma$ (470kg/cm ²)	100% ($+\sigma$)	非線形 (折線近似)	標準地盤 $+\sigma$	地盤剛性の変化に伴い、回転ばね定数が変化
◆ケース 3 (建屋剛性 $-\sigma$ ，地盤剛性 $-\sigma$)	実強度 $-\sigma$ (410kg/cm ²)	100% ($-\sigma$)	非線形 (折線近似)	標準地盤 $-\sigma$	地盤剛性の変化に伴い、回転ばね定数が変化
◆ケース 4 (建屋剛性コア平均)	実強度 (コア平均) (568kg/cm ²)	100%	非線形 (折線近似)	標準地盤	
◆ケース 5 (建屋剛性 -2σ)	実強度 -2σ (380kg/cm ²)	100%	非線形 (折線近似)	標準地盤	
◆ケース 6 (回転ばね低減)	実強度 (440kg/cm ²)	50%	非線形 (折線近似)	標準地盤	
◆ケース 7 (原子炉系コンクリート実強度相当)	実強度 (440kg/cm ²)	100%	非線形・実強度 (折線近似)	標準地盤	原子炉本体基礎：400kg/cm ² ダイヤフラムフロア：440kg/cm ²
◆ケース 8 (原子炉本体基礎曲線包絡スケルトンカーブ)	実強度 (440kg/cm ²)	100%	非線形 (曲線包絡)	標準地盤	

4. 4 設計への反映方針

(1) 建物・構築物

今回工認の設計においては、基本ケースの地震応答解析モデルを用いることとする。但し、不確かさを考慮した各検討ケースの地震応答解析から得られる地震力（せん断力、曲げモーメント、最大せん断ひずみ等）が基本ケースの地震力を上回る場合には、それらの影響を考慮した場合でも許容値を満足することを確認する。

(2) 機器・配管系

今回工認の設計においては、原則、基本ケースの地震応答解析モデルによる地震応答解析結果と不確かさを考慮した各検討ケースの地震応答解析結果を全て包絡した条件を用いることとする。但し、今回工認の耐震計算書作成においては、自主的に保守的な条件を設定する場合がある。

a. 建屋床面の最大加速度を用いて設計する設備

各建屋のフロア毎に、基本ケースの最大加速度と各検討ケースの最大加速度を全て包絡した加速度を用いて設計する。

b. 地震応答解析結果から得られる荷重（モーメント、せん断力等）を用いて設計する設備

地震応答解析モデルの質点のうち設備の設計に用いる箇所について、基本ケースの荷重と各検討ケースの荷重を全て包絡した荷重を用いて設計する。

c. 床応答スペクトルを用いて設計する設備

基本ケースの床応答スペクトルを周期方向に±10%拡幅したものと各検討ケースの床応答スペクトル（拡幅無し）を全て包絡したスペクトルを用いて設計する。

(地震荷重の例)

設備名	設備 A	設備 B	設備 C
荷重 (単位)	モーメント (kN・m)	モーメント (kN・m)	反力 (kN)
◆ケース 1 (基本ケース)	100000	3000	500
◆ケース X (不確かさケース)	150000	2000	600
◆ケース Y (不確かさケース)	200000	2500	500
最大値 (設計に用いる値)	200000	3000	600

(床応答スペクトルの例)

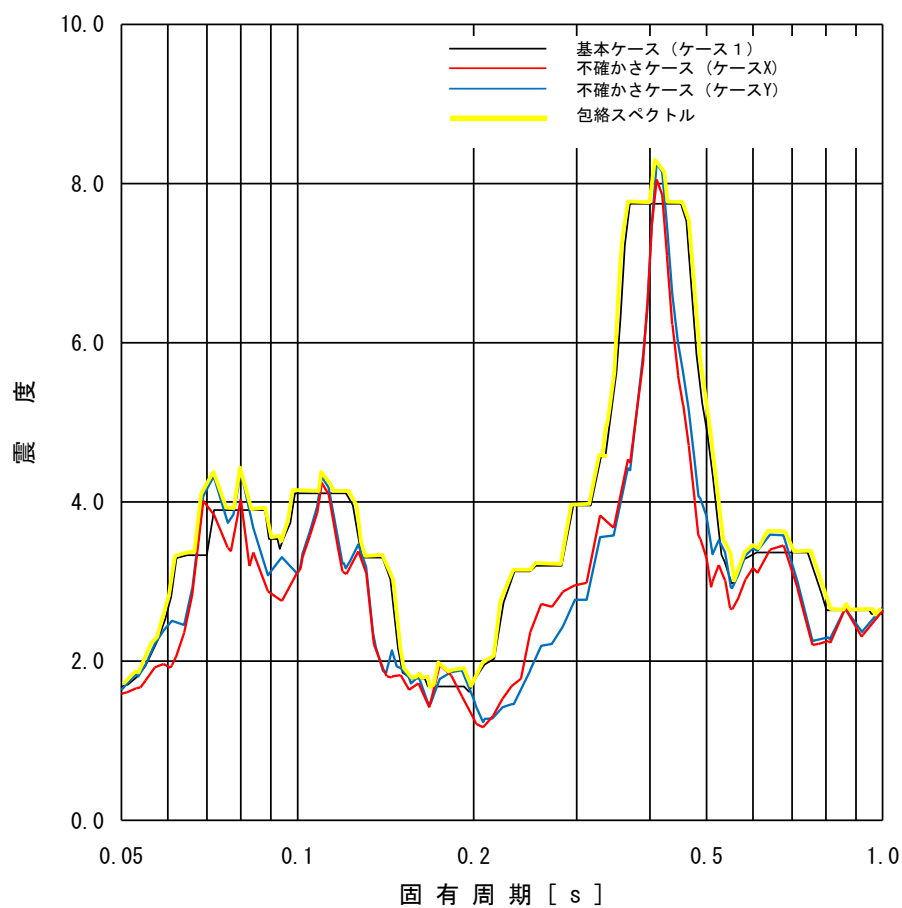


図 4-4 機器・配管系の設計条件 (イメージ)

5. まとめ

柏崎刈羽原子力発電所6，7号炉の今回工認の耐震設計に用いる建屋及び原子炉の地震応答解析モデルを，既工認の地震応答解析モデルから詳細化するにあたって，詳細化する目的及び妥当性について検討した。その結果，今回の詳細化は，既往の知見や得られた試験データ等に基づき適切に設定されていること，今回工認モデルと3次元FEMモデルの応答性状は整合的であることから，今回工認モデルは妥当であると考ええる。

また，地震応答解析モデルにおける保守性と不確かさについて整理するとともに，不確かさの変動幅や不確かさの検討ケースを設定し，地震応答解析結果における影響検討方針を示した。今後，本方針に従い検討を実施する。

以上

添付資料－１　今回工認モデルの地震応答解析に対する
３次元 FEM モデルによる妥当性の検証

目 次

1. はじめに
2. 3次元 FEM モデルの構築
3. 3次元 FEM モデルによる評価
4. まとめ

1. はじめに

詳細化した原子炉建屋の地震応答解析モデル（以下、「今回工認モデル」という。）の妥当性検証として、今回工認モデルと、過去の地震観測記録でベンチマーキングした別の解析モデル（以下、「建屋 3 次元 FEM モデル」という。）の地震応答解析結果の比較を行う。

検証にあたっては、建屋 3 次元 FEM モデルについて、新潟県中越沖地震によるシミュレーション解析によりその妥当性を確認した上で、今回工認モデルと建屋 3 次元 FEM モデルのそれぞれに対して弾性設計用地震動 S_d を入力とした地震応答解析を行い、両者の応答性状を比較することにより今回工認モデルの妥当性を確認する。

今回工認モデルと建屋 3 次元 FEM モデルの主要なモデル化条件について表 1-1 に示す。

表 1-1 地震応答解析モデルの主要なモデル化条件

モデル化条件	今回工認モデル	建屋 3 次元 FEM モデル
建屋剛性 (コンクリート剛性の設定)	コンクリートの実強度データに基づく剛性を使用	同左
耐震要素（建屋壁）の モデル化	外壁などの主要な壁に加え、考慮可能な壁※（補助壁）を追加	同左
床のモデル化	床剛	床柔
地盤モデル	側面地盤回転ばねを考慮する	同左

※「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（2005）、日本建築学会」に基づき設定。

なお、検証にあたっては、6, 7 号炉原子炉建屋の構造が類似していることを踏まえ、6 号炉を代表として実施するものとする。

今回工認モデルの妥当性検証のフローを図 1-1 に示す。

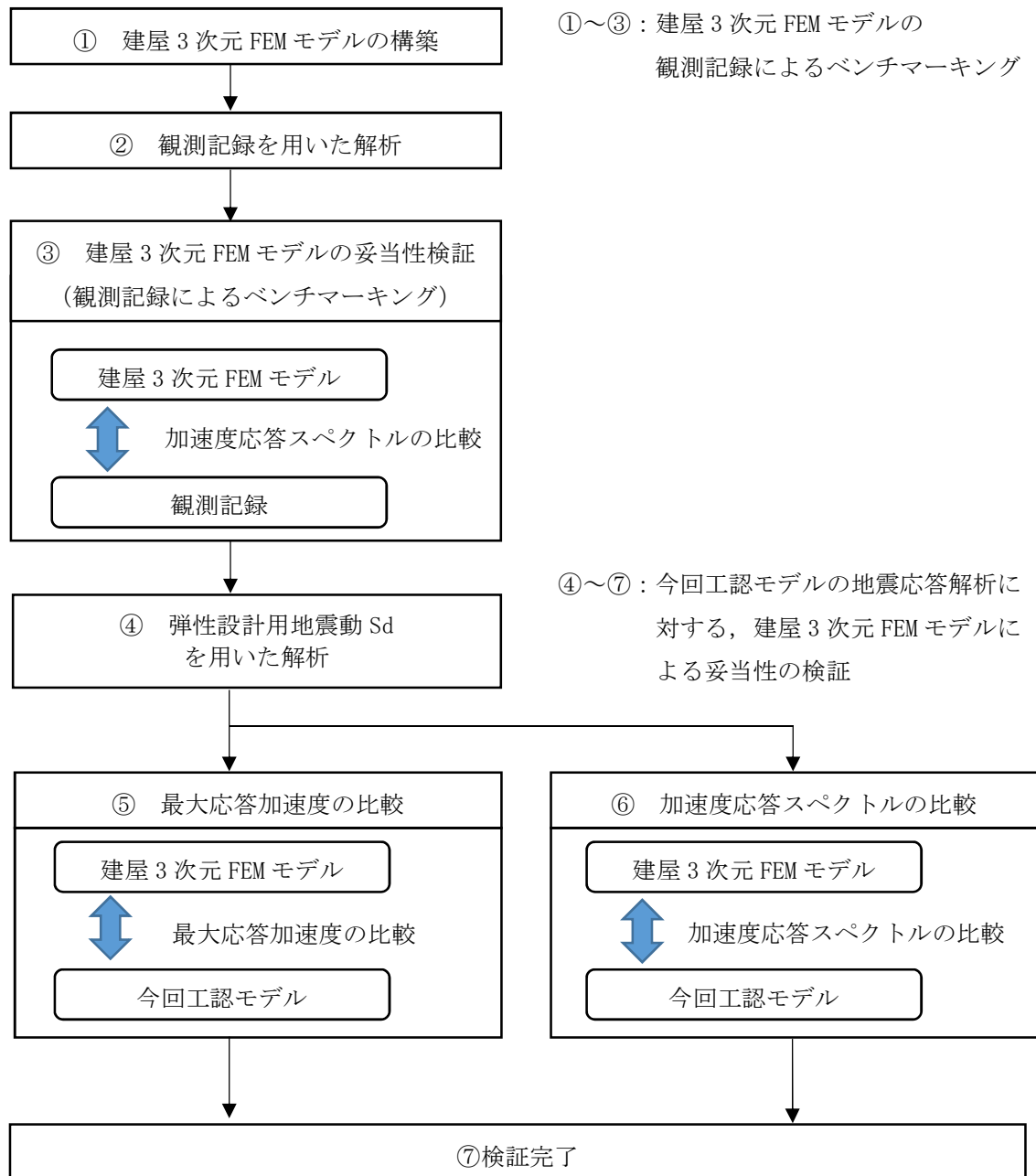


図 1-1 今回工認モデルの妥当性検証フロー

2. 3次元FEMモデルの構築

2.1 原子炉建屋の3次元FEMモデル

原子炉建屋の3次元FEMモデルを構築する。モデル化の範囲は、原子炉建屋、鉄筋コンクリート製原子炉格納容器（以下、「RCCV」という。）及び基礎とする。建屋3次元FEMモデルの解析モデルを図2.1-1に示す。

3次元FEMモデルで設定する各部材の要素タイプは、次のとおりである。

床スラブ・壁は面材で軸剛性、せん断剛性および曲げ剛性を評価するためシェル要素（約21000要素）とする。

基礎スラブは、床スラブと同一の面材であるが、床スラブに比べスラブ厚が大きいことからソリッド要素（約5600要素）とする。

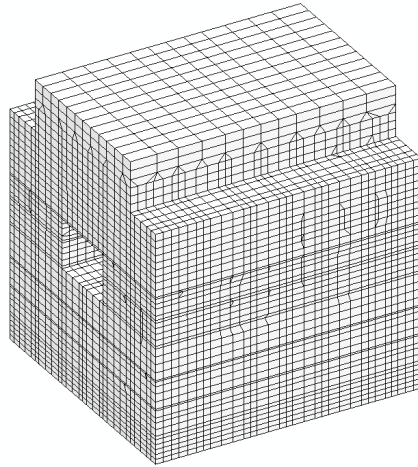
柱・梁は線材で軸剛性、せん断剛性および曲げ剛性を評価するためビーム要素とし、屋根トラスのメイントラス・サブトラス・サブビームについても柱・梁と同一の線材なのでビーム要素（約3600要素）、斜材・束材・水平ブレースは線材で軸剛性のみ評価するのでトラス要素（約600要素）でモデル化する。

また、壁・床の開口部については、主要な開口部のみモデル化する。

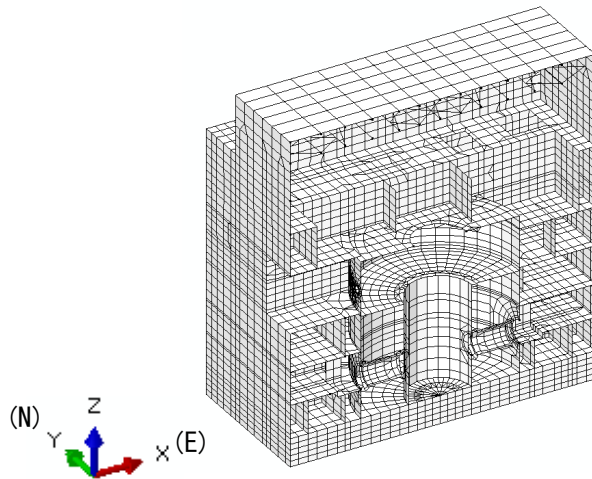
なお、シェル要素のサイズについて検討した事例として、吉田伸一、足立高雄他「3次元FEM弾塑性解析における要素サイズの影響評価（その1）、（その2）」（日本建築学会大会学術講演概要集 2011年8月）がある。ここでは、シェル要素の要素分割を替えた3次元FEMによる固有値解析、静的漸増解析および動的弾塑性解析を実施した結果から、弱非線形レベルでは1層2分割で耐震安全性確認は十分可能であり、強非線形レベルでも1層4分割程度で十分であるとしている。この文献によれば、添付資料-1で実施する原子炉建屋の3次元FEMモデルによる地震応答解析は線形の解析であることから、シェル要素の要素分割は1層2分割でも十分と考えられる。しかし、念のため文献より細かくモデル化することとし、壁に用いるシェル要素の要素分割は1層4分割以上としている。

使用材料の物性値を表2.1-1に示す。コンクリートの実強度及びヤング係数については、今回工認モデルと同一の設定である。

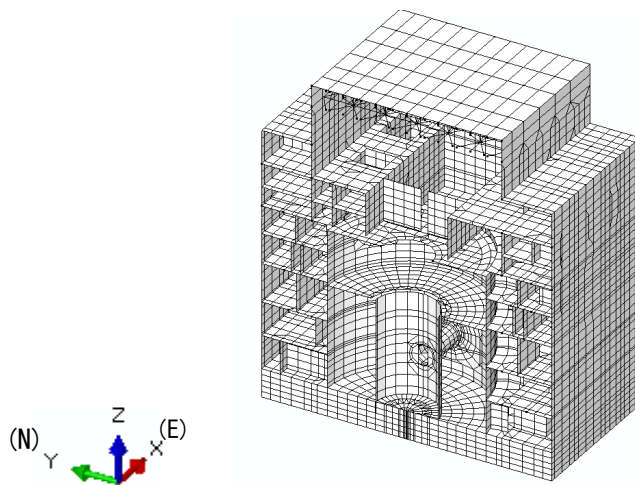
解析には解析コード「MSC Nastran Version 2013.1.1」を用いる。



(a) 建屋全景



(b) EW 断面図



(c) NS 断面図

図 2.1-1 建屋 3 次元モデル

表 2.1-1 使用材料の物性値

部位他		使用材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断弾性 係数 G (N/mm ²)	ポアソン比	減衰定数 h (%)
建屋部	実強度	コンクリート Fc = 440kg/cm ²	2.88×10 ⁴	1.20×10 ⁴	0.2	5
基礎部	実強度	コンクリート Fc = 400kg/cm ²	2.79×10 ⁴	1.16×10 ⁴	0.2	5
屋根トラス, 鉄骨部		鋼材	2.05×10 ⁵	7.90×10 ⁴	0.3	2

2.2 観測記録を用いた解析

(1) 観測記録を用いた解析の概要

観測記録を対象に、建屋 3 次元 FEM モデルを用いたシミュレーション解析を実施する。今回のシミュレーション解析においては、柏崎刈羽サイトにおいて最大の地震記録が観測されている、2007 年新潟県中越沖地震の地震記録を対象とする。なお、建屋 3 次元 FEM モデルのさらなる妥当性検証の観点から、今回工認時には他観測記録（中越地震（本震）等）も対象とし、シミュレーション解析を実施する予定である。

解析に用いる地震の諸元を図 2.2-1 に、地震計位置を図 2.2-2 に示す。原子炉建屋基礎上で得られた観測記録を図 2.2-3 および図 2.2-4 に示す。

観測記録を用いた解析は、原子炉建屋基礎上（6-R2：T.M.S.L. -8.2m）で観測された記録を使用する。

地震計を設置している 3 階位置（6-R2：T.M.S.L. 23.5m）での観測記録と建屋 3 次元 FEM モデルの解析結果とを比較する。

地震名	新潟県中越沖地震
発生日時	2007 年 7 月 16 日 午前 10 時 13 分頃
マグニチュード	6.8
震源深さ	17km
震央距離	16km
震源距離	23km



図 2. 2-1 解析に用いる地震の諸元（2007 年新潟県中越沖地震）

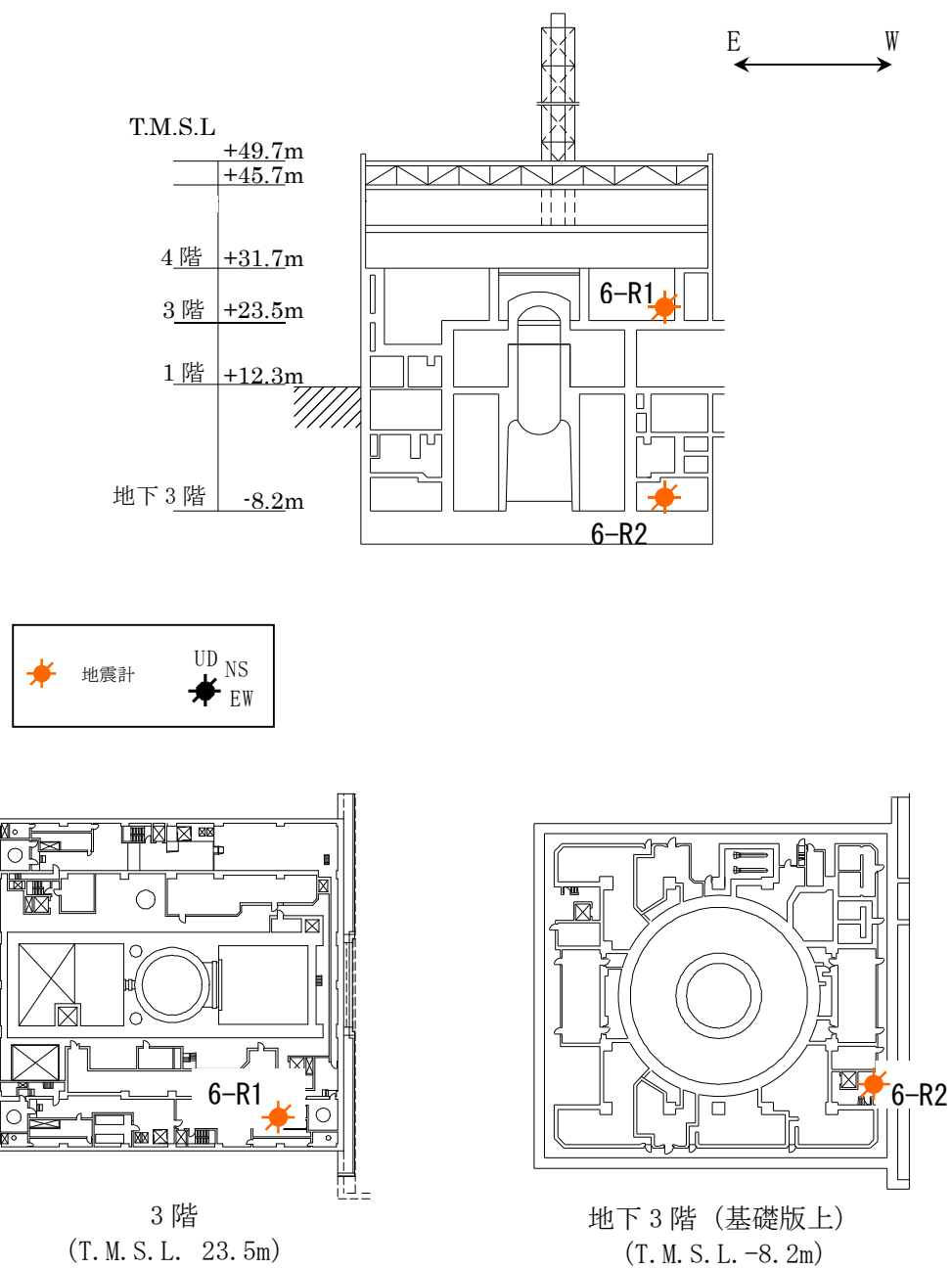
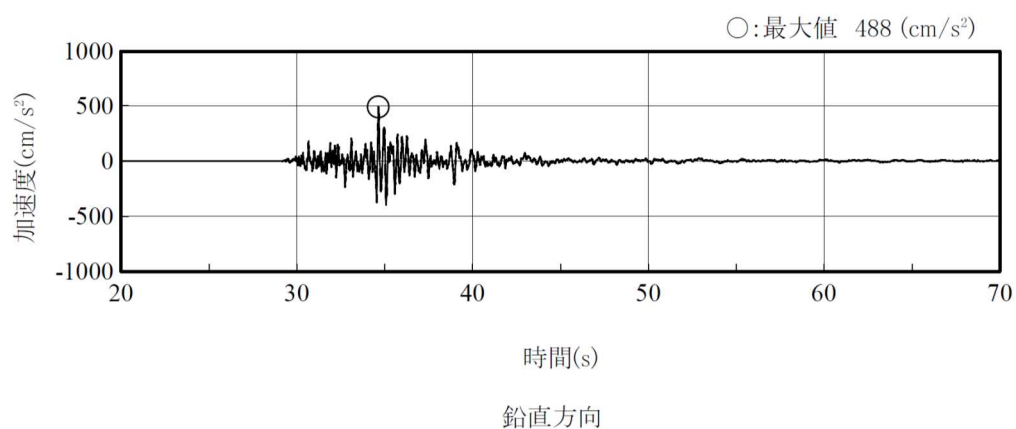
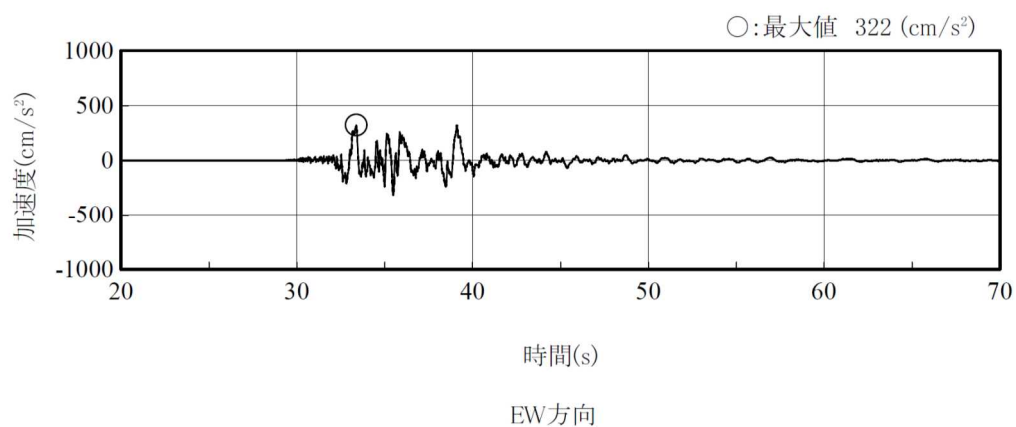
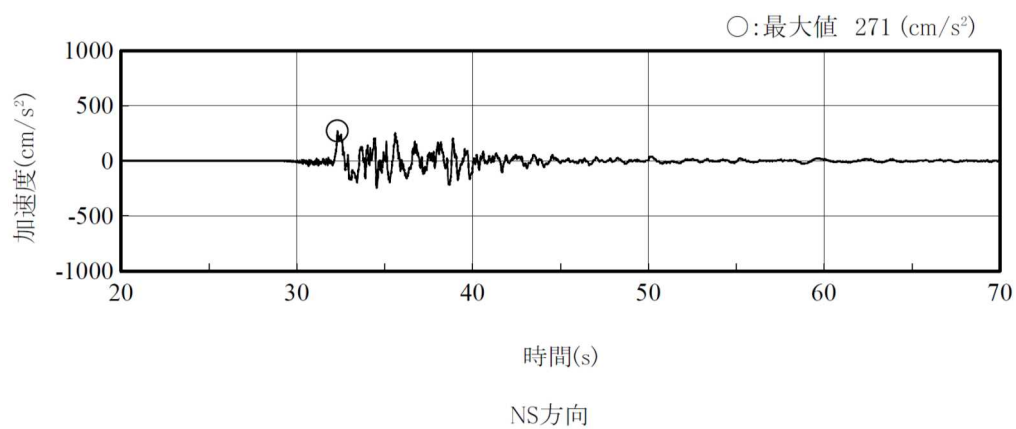


図 2. 2-2 地震計位置



(記録の主要動を含む 50 秒間を表示)

図 2.2-3 原子炉建屋の基礎上の観測記録 加速度時刻歴波形
(6-R2 : T. M. S. L. -8.2m)

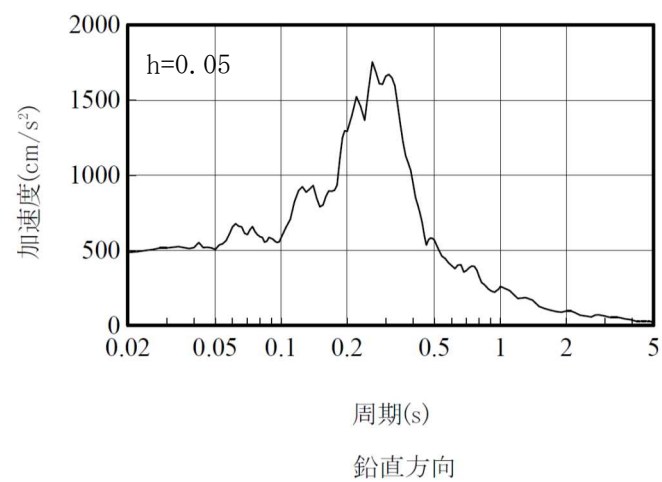
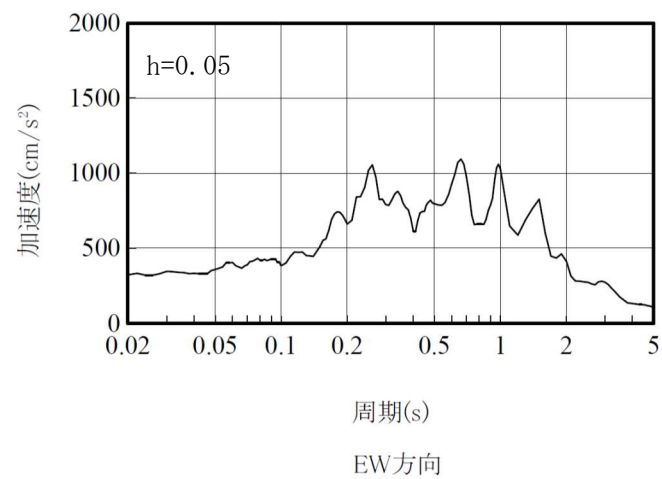
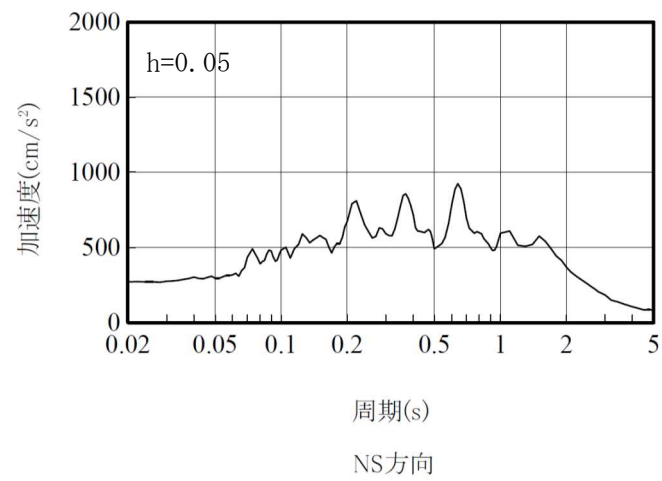


図 2.2-4 原子炉建屋の基礎上の観測記録 加速度応答スペクトル
(6-R2 : T. M. S. L. -8.2m)

(2) 観測記録による解析結果

原子炉建屋 3 階の地震計位置 (6-R1 : T. M. S. L. 23.5m) での観測記録及び解析結果の加速度応答スペクトルの比較を図 2.2-5 に示す。なお、観測記録と比較するための解析結果は、地震計位置近傍の節点を用いる。

(3) 観測記録と解析結果の比較・考察

加速度応答スペクトルにおいて示されるように、解析結果は建屋全体応答の主要モードを捉えていると共に、機器評価において主要な周期帯である 0.2 秒以下においても観測記録と整合的な応答の傾向を示している。

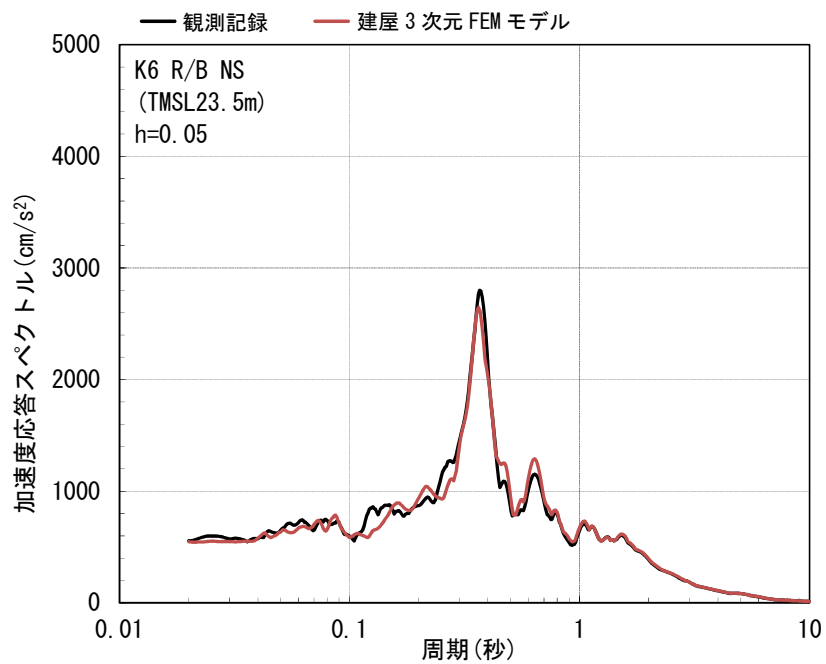
以上より、建屋 3 次元 FEM モデルは観測記録を再現可能なモデルであると考えられる。

なお、建屋 3 次元 FEM モデルは直接建屋各部をモデル化することから詳細な評価が可能であり、計算機能力の向上と共に極めて有力な解析手法となっており、他サイトにおいても、建屋 3 次元 FEM モデルによる類似のシミュレーション解析事例が報告^{3), 4)}されている。

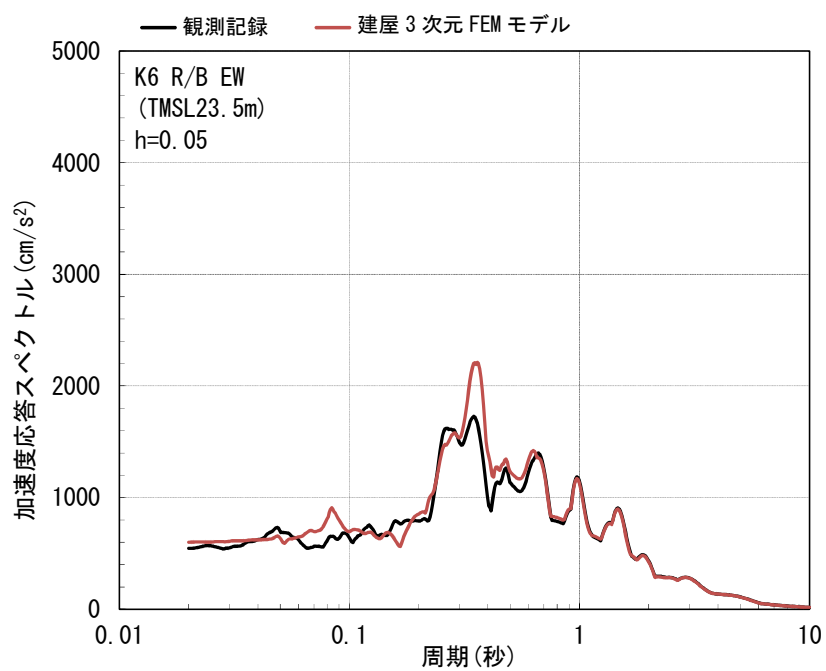
今回の検討に用いた建屋 3 次元 FEM モデルについて、他プラント評価への適用に加え、将来的に設計等に直接適用していく場合も想定される。

しかし、実際の適用に際しては、現在の設計クライテリアを活用するために建屋 3 次元 FEM モデルから得られる複数の結果（応力やひずみ）を平均化して比較したり、複数の床応答スペクトルを平均化して評価する方法が想定される。さらに長期的には、個別の要素から得られる情報を平均化して評価するのではなく、それぞれの情報を直接的に評価することも考えられるが、そのためには設計体系全体の見直しも含めて十分な検討を踏まえて高度化を図っていくべき項目も残されている。

このため、建屋 3 次元 FEM モデルに関して、今回の検討への適用性について確認されたものの、今後一般化するにあたっては、各種の検討を継続的に行っていく必要がある。

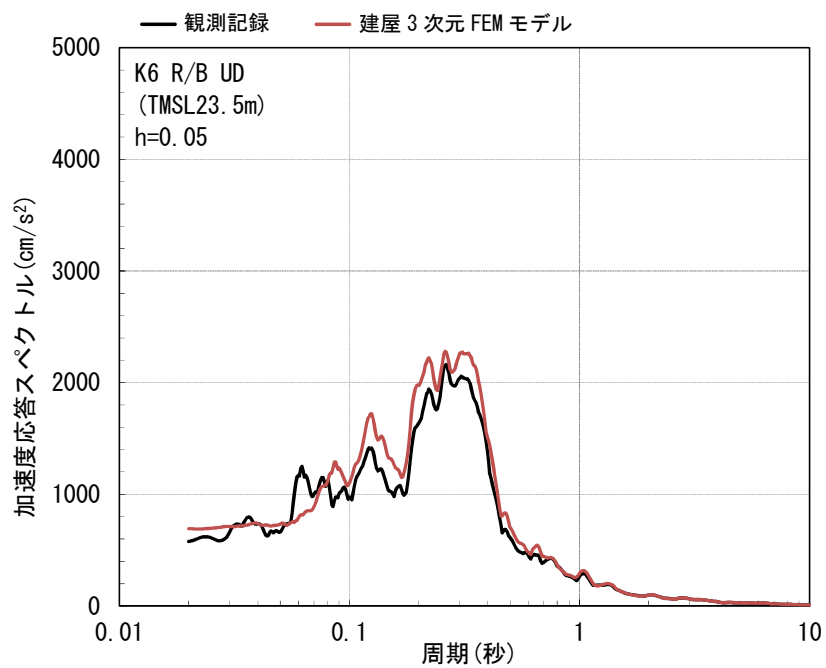


(a) NS 方向



(b) EW 方向

図 2.2-5 観測記録と解析結果の加速度応答スペクトルの比較
(6-R1 : T. M. S. L. 23.5m) (1/2)



(c) UD 方向

図 2.2-5 観測記録と解析結果の加速度応答スペクトルの比較
(6-R1 : T. M. S. L. 23.5m) (2/2)

3 3次元 FEM モデルによる評価

3.1 地震応答解析の概要

今回工認モデルの妥当性の検証として、今回工認モデルと建屋 3 次元 FEM モデルの各フロアの最大応答加速度および加速度応答スペクトルの比較を行う。

原子炉建屋の地震応答解析は基準地震動 S_s にて実施されることが望ましいが、3 次元 FEM 解析の演算時間が長時間となるため、その負担が少なくなるよう、基準地震動 S_s を 1/2 倍して算出される弾性設計用地震動 S_d で解析を行う。なお、弾性設計用地震動 S_d においても、今回工認モデルと建屋 3 次元 FEM モデルの違いによる応答への影響はとらえることができると考えられる。

弾性設計用地震動 S_d の応答スペクトルを図 3.1-1 に示す。図 3.1-1 より、耐震評価へおよぼす影響が大きい弾性設計用地震動 S_d として S_d-1 と S_d-2 が挙げられるが、今回検討では、断層モデルにおいて 3 方向それぞれで入力が定義されている弾性設計用地震動 S_d-2 を検討用地震動として選定し、解析を実施した。

弾性設計用地震動 S_d-2 の加速度時刻歴波形を図 3.1-2 に、加速度応答スペクトルを図 3.1-3 に示す。

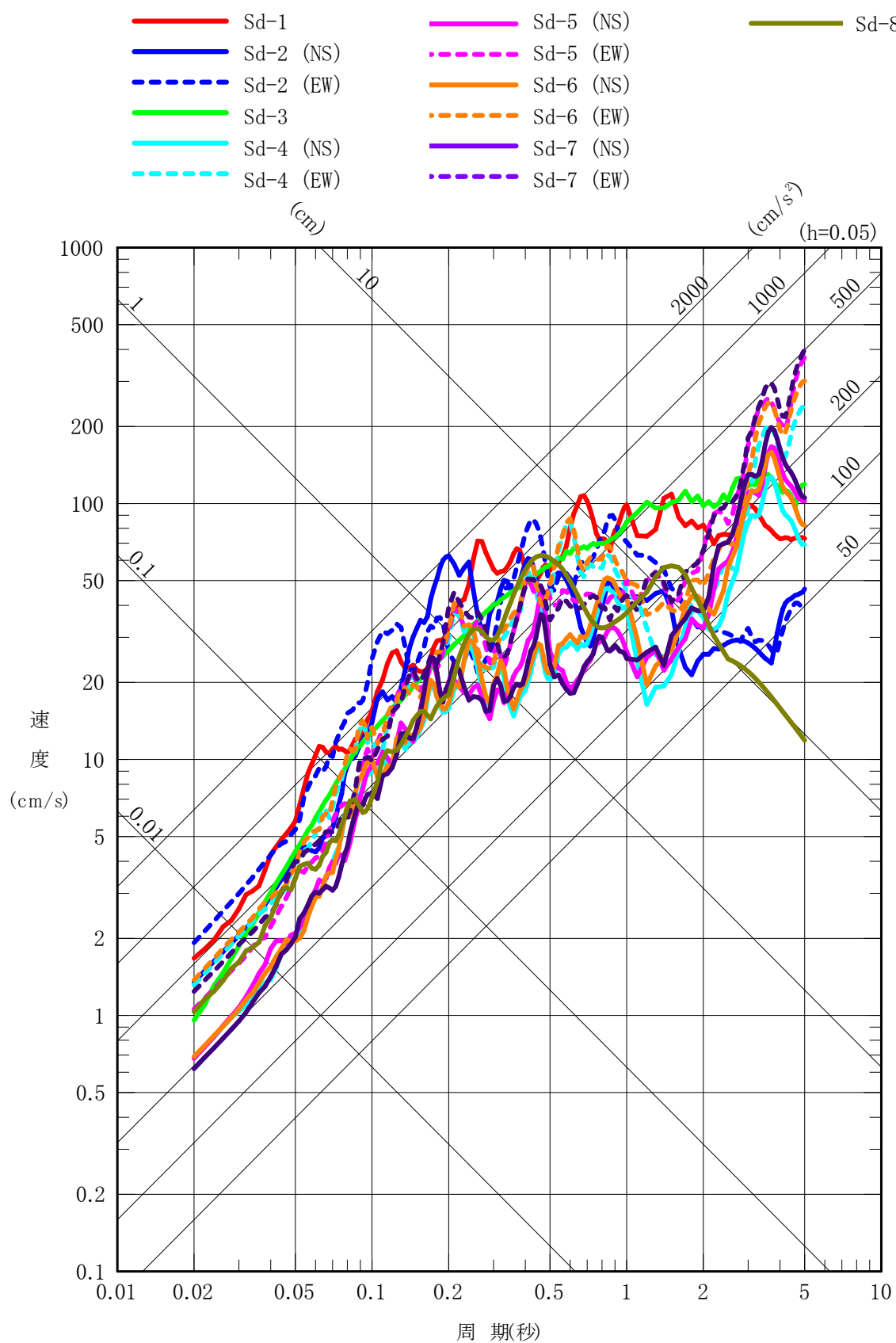


図 3. 1-1 弾性設計用地震動 Sd の応答スペクトル (水平方向) (大湊側) (1/2)

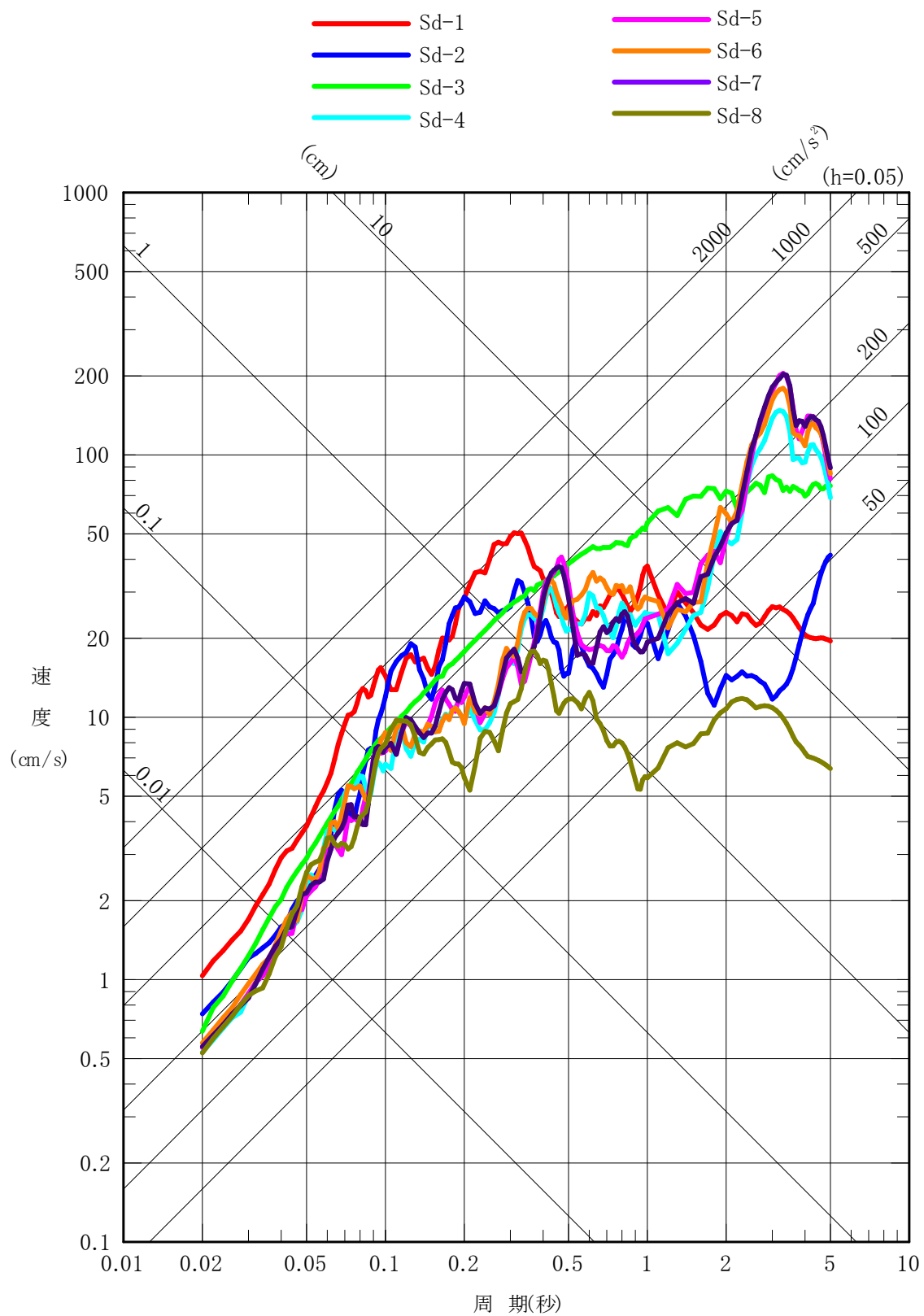


図 3.1.-1 弾性設計用地震動 Sd の応答スペクトル (鉛直方向) (大湊側) (2/2)

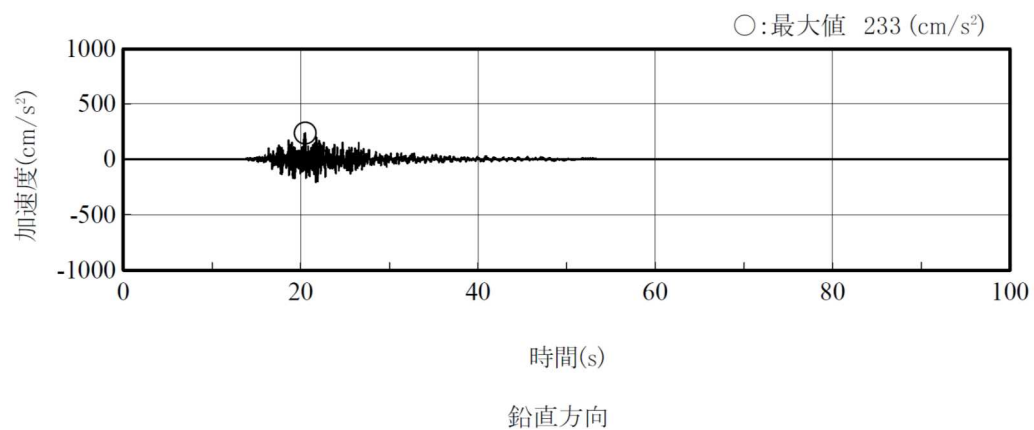
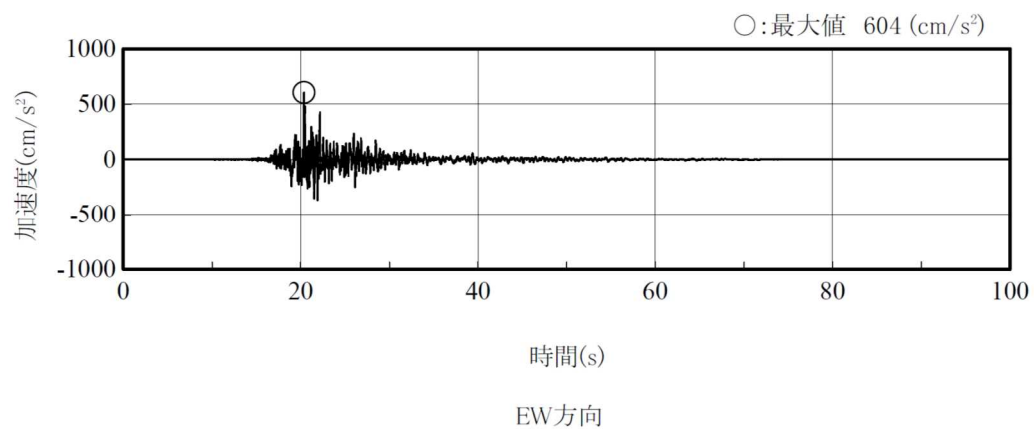
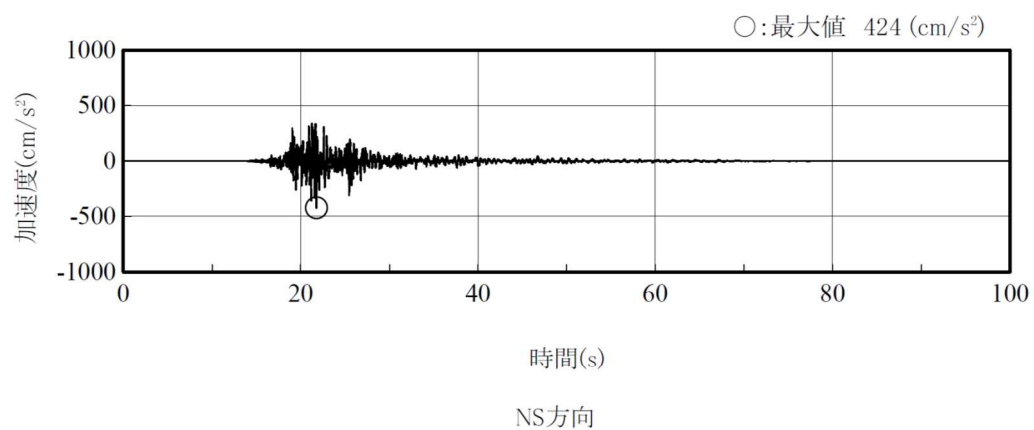


図 3.1-2 弾性設計用地震動 Sd-2 加速度時刻歴波形 (解放基盤面)

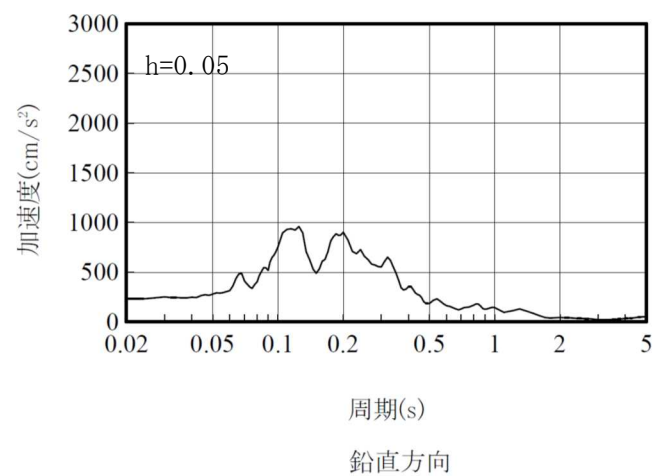
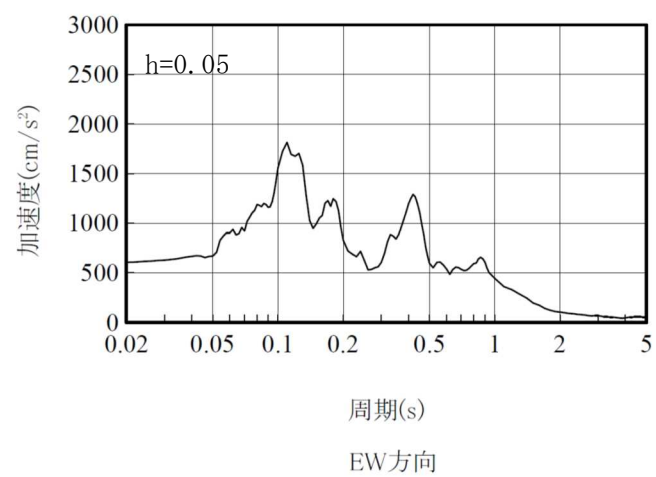
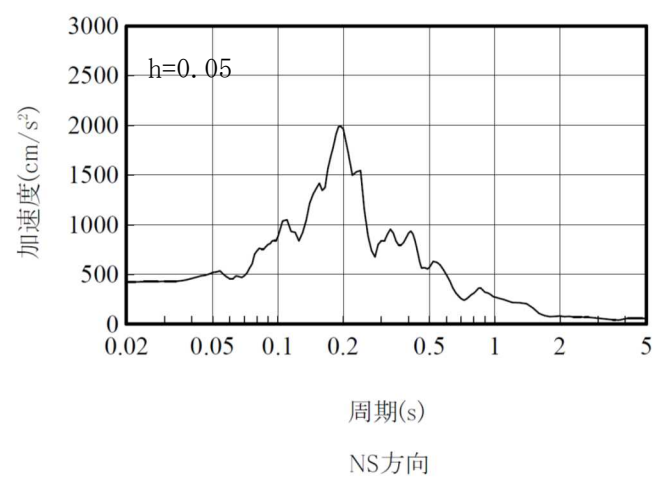


図 3.1-3 弾性設計用地震動 Sd-2 加速度応答スペクトル (解放基盤面)

3.2 最大応答加速度の比較による妥当性の検証

(1) 検証方針

今回工認モデルと建屋 3 次元 FEM モデルの最大応答加速度の比較を行い、今回工認モデルの妥当性を検証する。

評価に当たっては、今回工認モデルの質点位置（床レベル）での応答を評価対象とし、今回工認モデルの各質点位置に対応する 3 次元 FEM モデルの評価点としては、原子炉建屋外壁（以下、「ボックス壁」という。）の隅部および中間部を評価点とし、また RCCV 部についても NS・EW 方向での影響が検討できるよう直行方向よりそれぞれ評価点を抽出した。なお、建屋の対称性を考慮し、各床の評価点は 5 点程度とした。

(2) 検証結果

図 3.2-1 及び表 3.2-1 に最大応答加速度の比較結果を示す。

図 3.2-1 及び表 3.2-1 より、今回工認モデルの応答性状は建屋 3 次元 FEM モデルの応答性状と整合的であることを確認した。

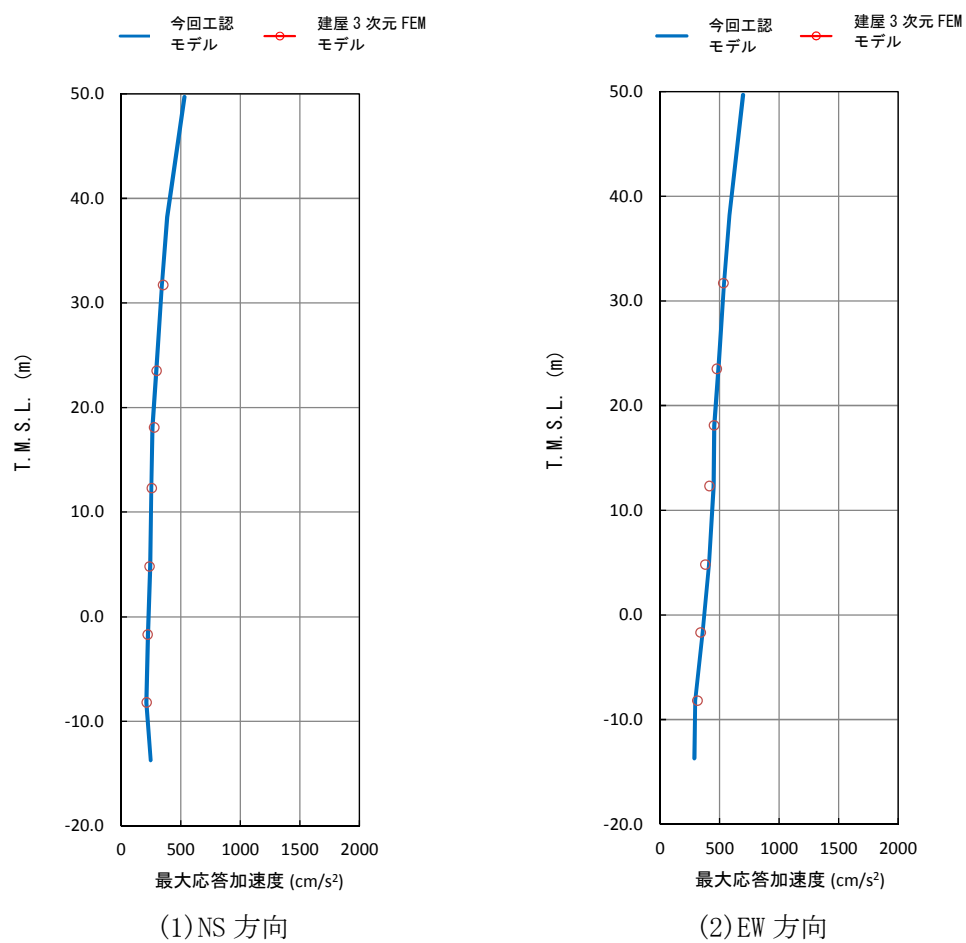


図 3.2-1 今回工認モデル及び建屋 3 次元 FEM における最大応答加速度の比較

表 3.2-1 最大応答加速度一覧

部位	床レベル (T. M. S. L.)	最大応答加速度 (cm/s ²)			
		NS 方向		EW 方向	
		今回工認 モデル	建屋 3 次元 FEM モデル	今回工認 モデル	建屋 3 次元 FEM モデル
原子炉建屋	4 階 (31.7m)	341	355	536	533
	3 階 (23.5m)	295	300	489	477
	2 階 (18.1m)	262	278	455	454
	1 階 (12.3m)	253	257	449	416
	地下 1 階 (4.8m)	245	240	410	381
	地下 2 階 (-1.7m)	225	224	358	341
	地下 3 階 (-8.2m)	212	216	294	315

3.3 加速度応答スペクトルの比較による妥当性の検証

(1) 検証方針

今回工認モデルと建屋 3 次元 FEM モデルの加速度応答スペクトルの比較を行い、今回工認モデルの妥当性を検証する。

今回工認モデル及び建屋 3 次元 FEM モデルの加速度応答スペクトルの比較について、地震動の入力は今回工認モデルで 1 方向入力していることから、建屋 3 次元 FEM モデルにおいても 1 方向入力と比較する。

建屋 3 次元 FEM モデルの応答評価位置について、高さ方向については原子炉建屋の地下部及び地上部(下部, 上部)を網羅できるように、地下 3 階(T. M. S. L. -8. 2m), 1 階(T. M. S. L. 12. 3m) および 3 階 (T. M. S. L. 23. 5m) を代表高さとし、重要機器が付近にあるボックス壁の隅部および中間部を評価点とし、また RCCV 部についても NS・EW 方向での影響が検討できるよう直行方向よりそれぞれ評価点を抽出した。なお、建屋の対称性を考慮し、各床の評価点は 5 点程度とし、合計 14 点を評価点とし抽出した。

(2) 検証結果

図 3. 3-1 に加速度応答スペクトルの比較結果を示す。

今回工認モデル及び建屋 3 次元 FEM モデルの加速度応答スペクトルを比較した結果、NS 方向、EW 方向、UD 方向とも、両者の応答性状は整合的であることを確認した。この傾向については、6 号炉原子炉建屋が軟岩サイトに深く埋込まれていること及び地盤ばねの設定が理由として考えられる。一般的に軟岩サイトで建屋の埋込みが深い場合には、地盤相互作用の影響が建屋応答に対して支配的となり、建屋 3 次元 FEM モデルの地盤ばねは今回工認モデルの地盤ばねを離散化してモデル化していることから両者の応答性状が整合的な傾向を示したと考えられる。さらに、BWR 型原子炉建屋の構造的特徴として、外壁と内壁(6/7 号炉の場合には RCCV が該当)がバランスよく配置されているため質点系モデルで建屋全体の地震時の応答性状が評価可能であることも両者の応答の差異が小さい要因と考えられる。

ただし、NS 方向の一部の周期帯(周期 0. 2 秒付近)で建屋 3 次元 FEM モデルの応答が質点系モデルより大きくなる傾向を示した。これは別途実施した固有値解析結果にみられるように、建屋 3 次元 FEM モデルの周期 0. 2 秒付近において質点系モデルでモデル化されない屋根中央部が水平方向に振動するモードがあることが影響していると考えられる。周期 0. 2 秒付近で影響の大きい設備については主に配管系の設備が考えられる。この 3 次元的応答特性が及ぼす影響については、今回工認時にその影響の評価を行う予定である。固有値解析結果を表 3. 3-1 に、固有モードを図 3. 3-2 に示す。

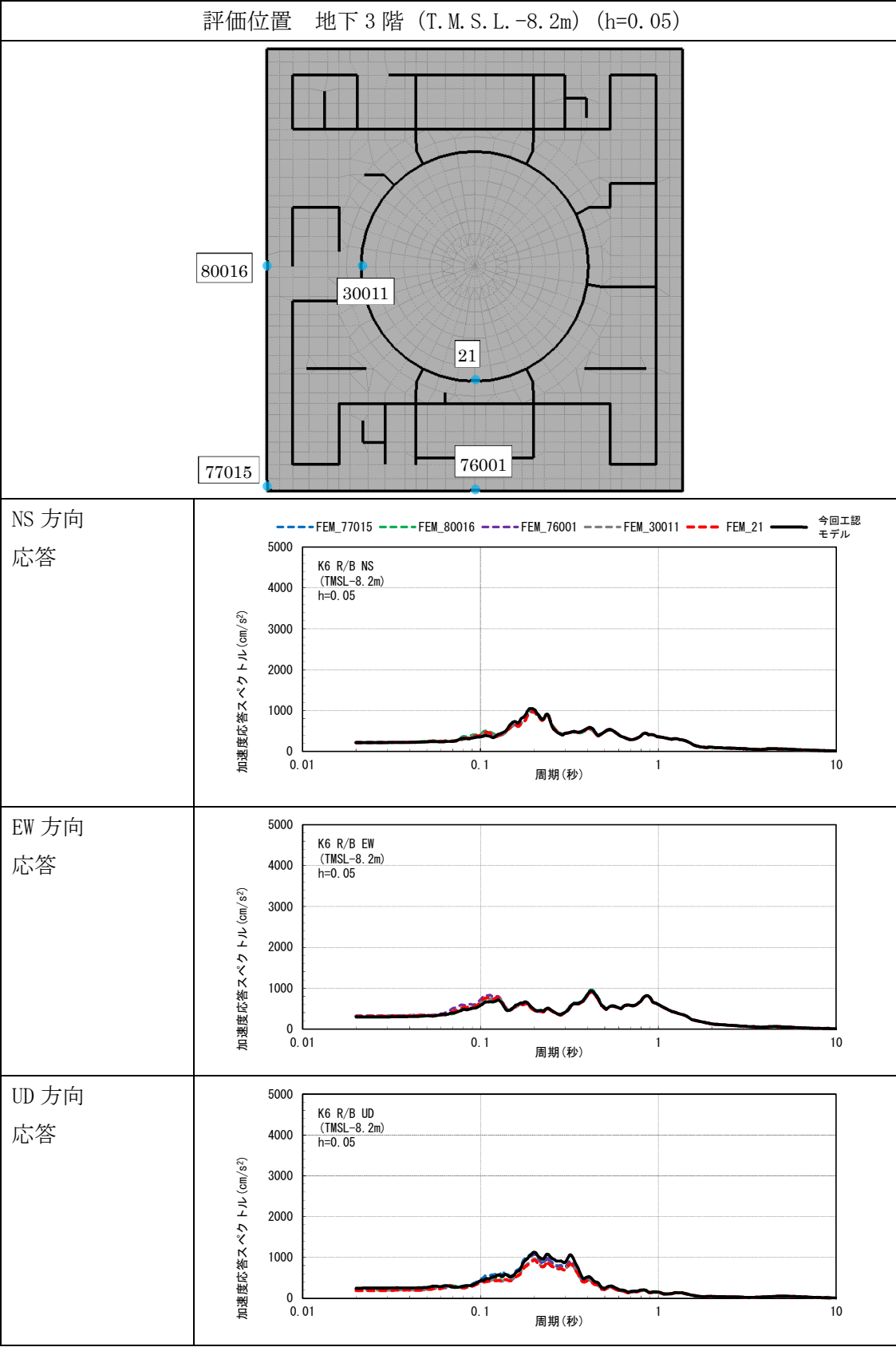


図 3.3-1 今回工認モデル及び建屋 3 次元 FEM モデルの応答スペクトルの比較 (1/6)

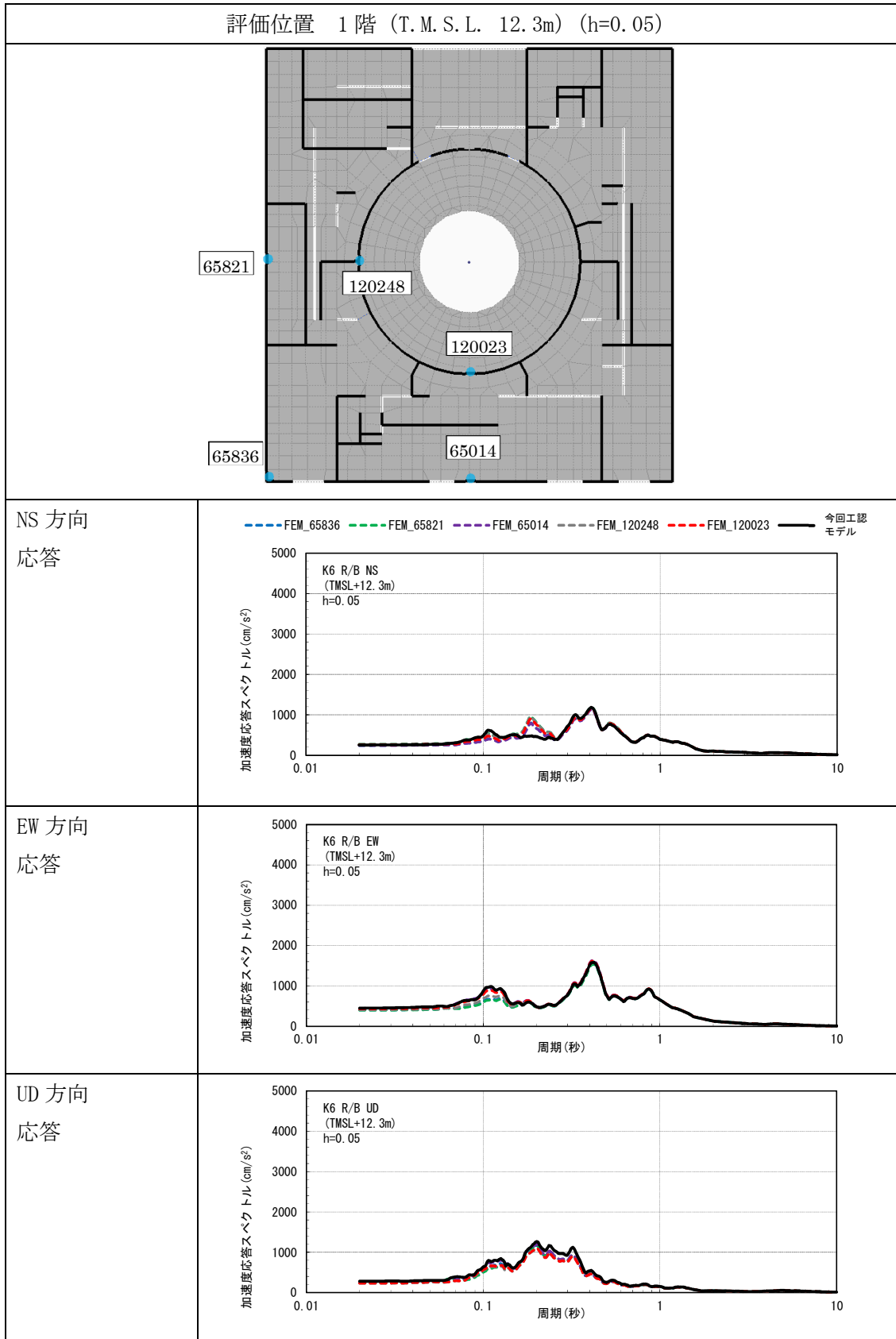


図 3. 3-1 今回工認モデル及び建屋 3 次元 FEM モデルの応答スペクトルの比較 (2/6)

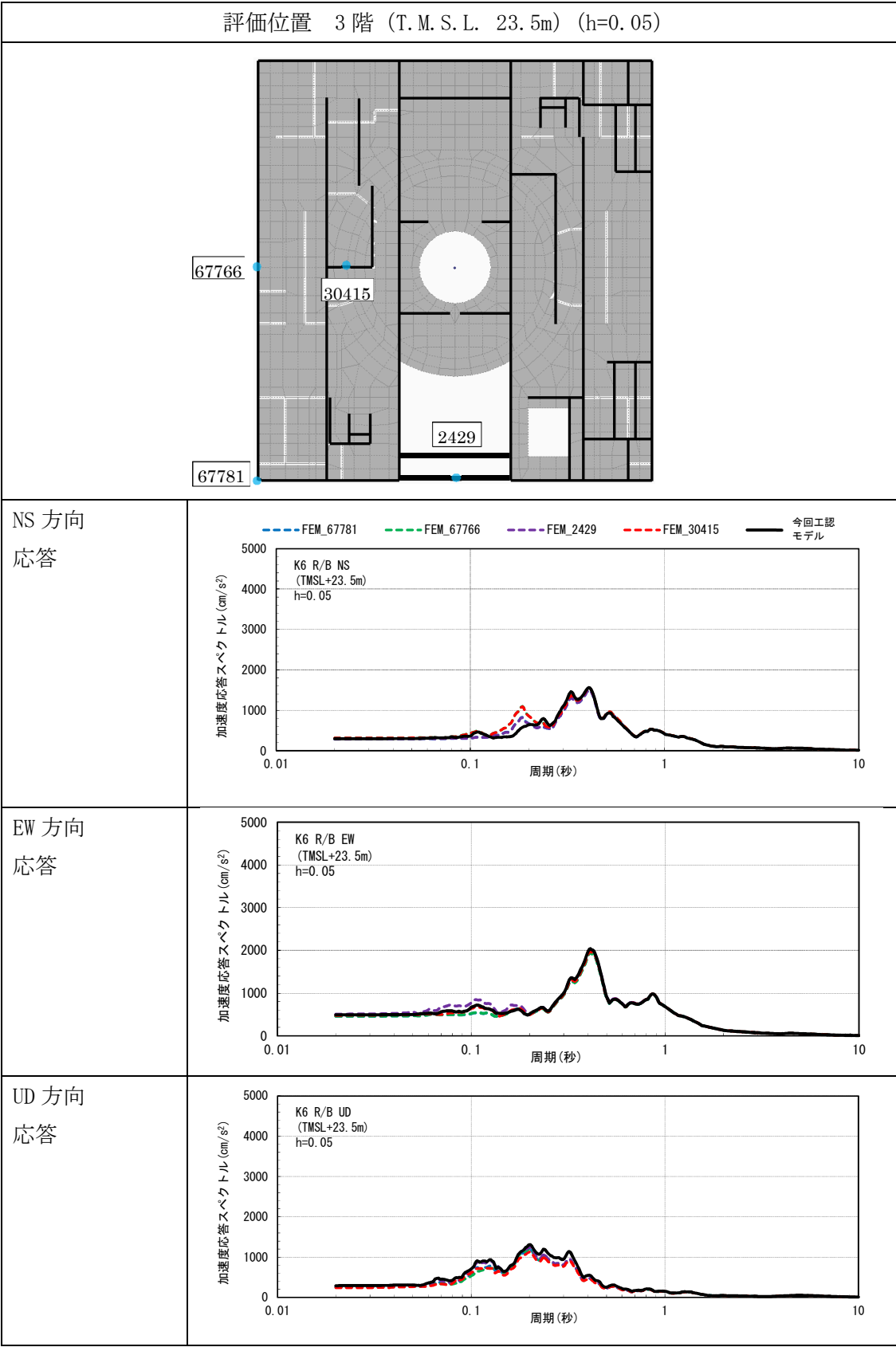


図 3.3-1 今回工認モデル及び建屋 3 次元 FEM モデルの応答スペクトルの比較 (3/6)

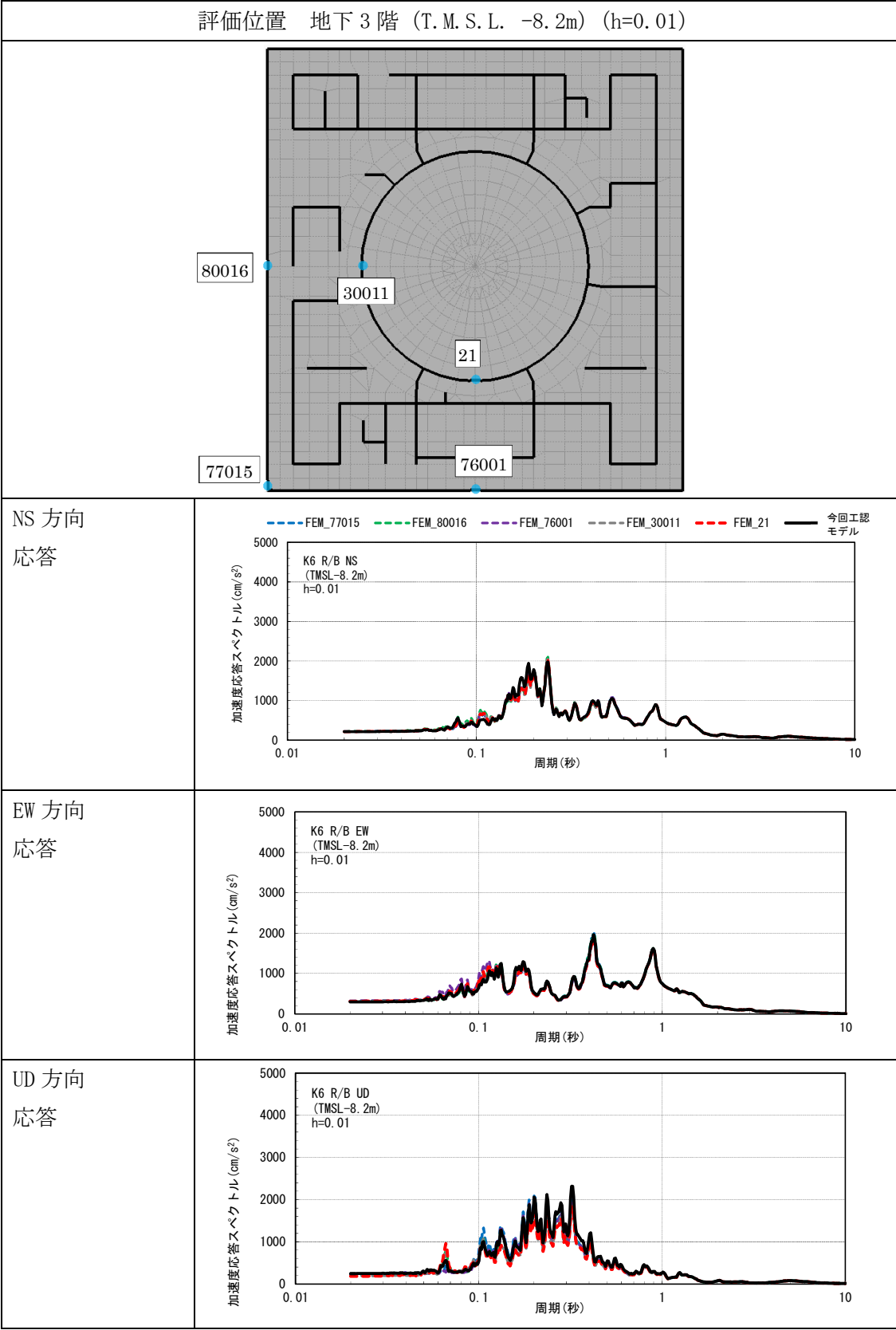


図 3.3-1 今回工認モデル及び建屋 3 次元 FEM モデルの応答スペクトルの比較 (4/6)

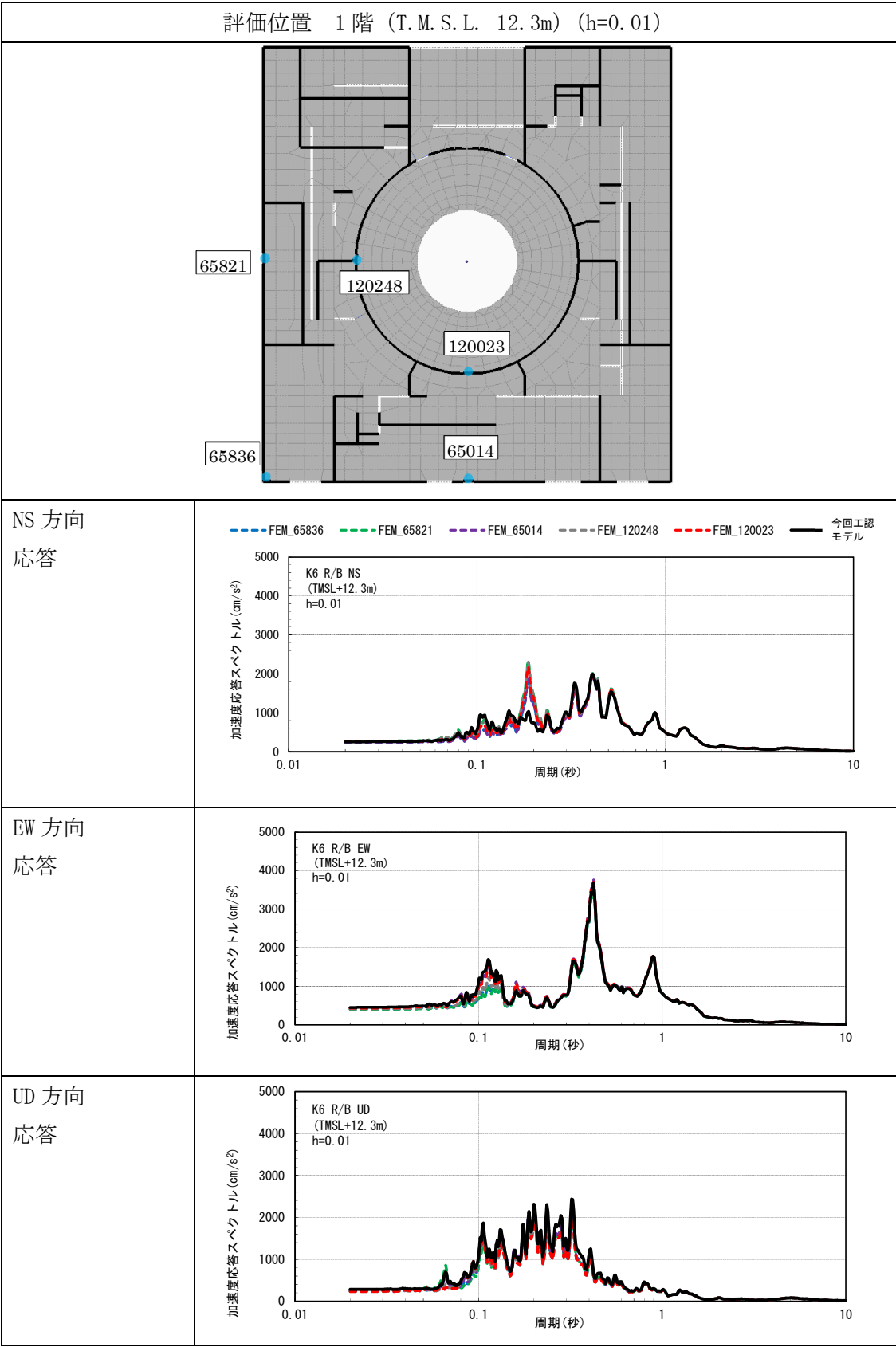


図 3.3-1 今回工認モデル及び建屋 3 次元 FEM モデルの応答スペクトルの比較 (5/6)

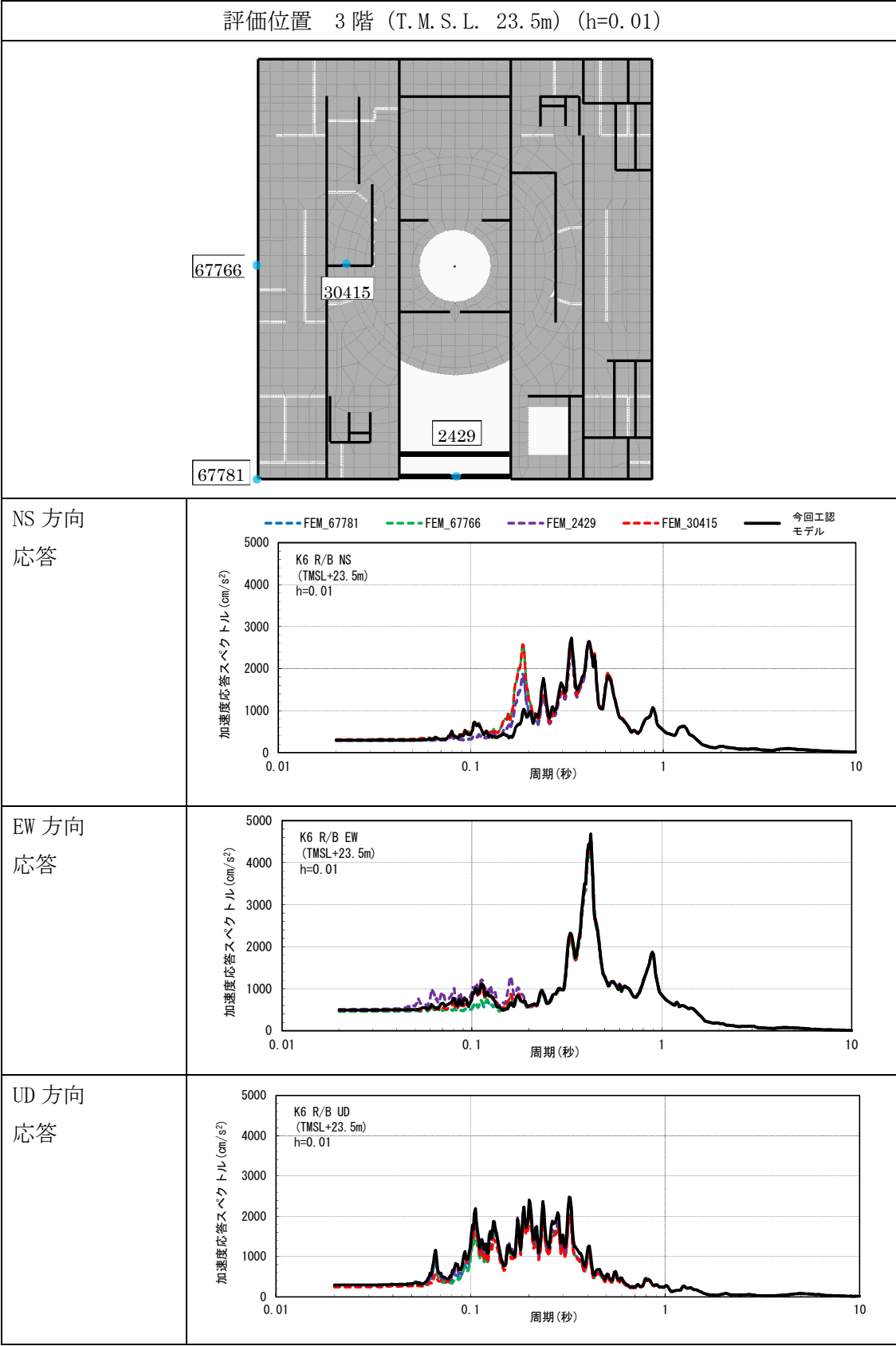
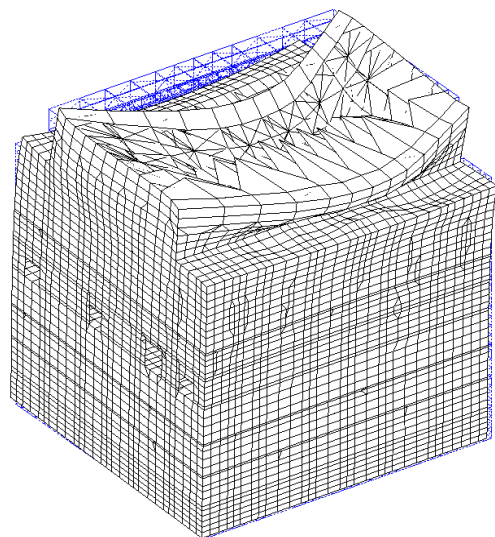


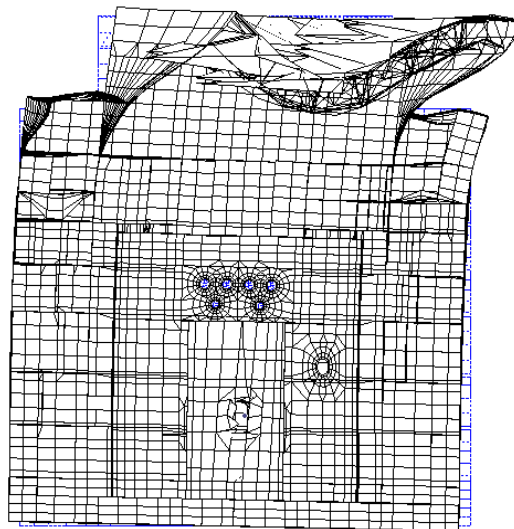
図 3.3-1 今回工認モデル及び建屋 3 次元 FEM モデルの応答スペクトルの比較 (6/6)

表 3.3-1 固有値解析結果

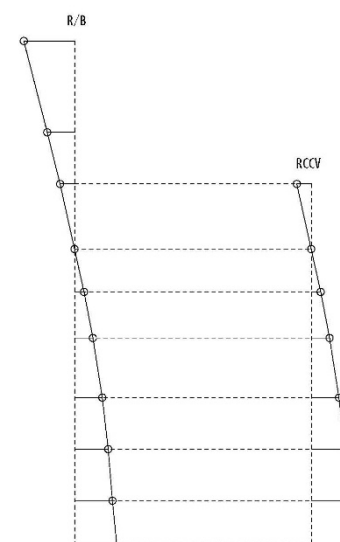
モード	建屋3次元FEMモデル					今回工認モデル		
	固有振動数 (Hz)	固有周期 (sec)	刺激係数			固有振動数 (Hz)	固有周期 (sec)	刺激係数
			EW方向 (X)	NS方向 (Y)	UD方向 (Z)			
NS1次	2.296	0.435	-3.86	385.27	-0.19	2.343	0.427	1.59
EW1次	2.387	0.419	-390.67	-3.89	-0.43	2.397	0.417	1.55
NS2次	5.023	0.199	-1.24	-165.64	-16.10	5.347	0.187	0.71
EW2次	5.316	0.188	-161.01	0.38	6.92	5.390	0.186	0.62



(a) FEM モデル建屋全景



(b) FEM モデル建屋 NS 断面



(c) 質点系モデル

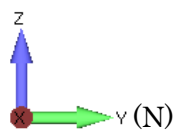
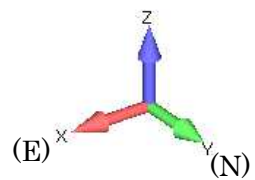


図 3.3-2 固有モード図 : NS 方向 2 次

4. まとめ

今回工認モデルの妥当性検証の観点から、6号炉原子炉建屋を対象として、建屋3次元FEMモデルによる地震応答解析を実施し、両者の応答の比較を行った。

今回工認モデルと、建屋3次元FEMモデルの最大応答加速度の比較を行い、両者の応答性状が整合的であることを確認した。

今回工認モデルと、建屋3次元FEMモデルの加速度応答スペクトルの比較を行い、両者の応答性状が整合的であることを確認した。

以上のことから、今回工認モデルは妥当と考えられる。

5. 参考文献

- 1) 吉田伸一 他 : 「3次元FEM弾塑性解析における要素サイズの影響評価(その1) 検討条件および静的漸増解析による検討」, 日本建築学会学術講演概要集, 2011年8月
- 2) 足立高雄 他 : 「3次元FEM弾塑性解析における要素サイズの影響評価(その2) 動的弾塑性解析による検討」, 日本建築学会学術講演概要集, 2011年8月
- 3) Kumagai T et al : 「Simulation Analysis using 3-D Nonlinear FEM model for Onagawa Unit 2 Control Building at the time of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake」, Transactions, SMiRT-23 Manchester, United Kingdom-August 10-14, 2015
- 4) Iwashima N et al : 「Study of simulation analysis of nuclear reactor building for Surugawan Earthquake」, Transactions, SMiRT-23 Manchester, United Kingdom-August 10-14, 2015

添付資料－２　不確かさ検討ケースの選定について

建屋の不確かさの影響検討として選定した６ケースについて、組み合わせパターンを下表に示す。
建屋コンクリート剛性については、別紙-1の検討を踏まえて設定した91日強度データの平均値（440kg/cm2）に基づく値を基本ケースとしており、この数値に対して各種ばらつきの影響を検討するが、保守的にばらつきを大きく設定した条件として、実機のコア強度の平均値及び実強度－2σを採用した場合の影響も確認する。
なお、回転ばね定数は地盤剛性の変化に伴って変化するため、ケース２，３は、回転ばね定数のばらつきも考慮したケースとなっている。

ケース名		建屋コンクリート剛性					回転ばね定数		地盤剛性			備考
		実強度 (440kg/cm2) 【基本】	実強度＋σ (470kg/cm2) 【統計的】	実強度－σ (410kg/cm2) 【統計的】	コア平均 (568kg/cm2) 【保守的】	実強度－2σ (380kg/cm2) 【保守的】	100% 【基本】	50% 【保守的】	標準 【基本】	標準 ＋σ 【統計的】	標準 －σ 【統計的】	
ケース1	基本ケース	○					○		○			
ケース2	建屋剛性＋σ、地盤剛性＋σ (建屋剛性と地盤剛性を統計的に硬くしたケース)		○				○(+σ)			○		・建屋－地盤連成系の剛性が最も硬い側(全体系の固有周期が短い側)及び最も柔らかい側(全体系の固有周期が長い側)で代表(左の赤枠ケース)。 ・地盤剛性の変化に伴い、回転ばね定数も変化する。
			○				○		○			
		○					○(+σ)			○		
			○				○(－σ)				○	
ケース3	建屋剛性－σ、地盤剛性－σ (建屋剛性と地盤剛性を統計的に柔らかくしたケース)			○			○(－σ)				○	
				○			○		○			
		○					○(－σ)				○	
				○			○(+σ)			○		
ケース4	建屋剛性 コア平均 (建屋剛性を保守的に硬くしたケース)				○		○		○			データ点数の少ない経年後の強度測定データから設定したものであり、必ずしも実態を表しているものではないため、個別に影響を確認する。
ケース5	建屋剛性 －2σ (建屋剛性を保守的に柔らかくしたケース)					○	○		○			極端に(保守的に)設定した項目であることから、個別に影響を確認する。
ケース6	回転ばね定数低減 (回転ばね定数を保守的に半減したケース)	○						○	○			ケース2，3において、回転ばね定数のばらつきの影響を考慮している。

参考資料－１ 既工認モデルによる評価

今回工認で既工認モデルを地震応答解析モデルとして採用し耐震評価を実施した場合に、計算値等が規格基準で定められる許容値を満足することが可能かを見極めるため、基準地震動 S_s に対して既工認モデルを用いた地震応答解析をおこない、算出される地震荷重を確認した。確認にあたっては、改造が困難な原子炉本体の設備に着目して、地震応答結果から算出された各設備の地震荷重と、許容値を満足する地震荷重の目安値（規格基準上の各設備の許容値から逆算して算出）との比較をおこなった。

表 1 既工認モデルに基づく原子炉本体設備の地震荷重

設備名	荷重（単位）	地震荷重※1	許容値を満足する地震荷重の目安値※1	判定
原子炉本体の基礎	モーメント ($\text{kN} \cdot \text{m}$)	2000000	1200000	<u>目安値を超える</u>
原子炉圧力容器 (基礎ボルト)	モーメント ($\text{kN} \cdot \text{m}$)	146000	461000	目安値以下
炉心支持構造物 (シェラウトサポート)	モーメント ($\text{kN} \cdot \text{m}$)	38700	171500	目安値以下
気水分離器	モーメント ($\text{kN} \cdot \text{m}$)	2660	4800	目安値以下
制御棒駆動機構貫通部 ※2	モーメント ($\text{kN} \cdot \text{m}$)	5.6	9.2	目安値以下
原子炉圧力容器 スタビライザ	反力 (kN)	2900	12000	目安値以下
ダイヤフラムフロア	反力 (kN)	66100	53000	<u>目安値を超える</u>
原子炉冷却材再循環ポンプ 付け根部	モーメント ($\text{kN} \cdot \text{m}$)	1720	2310	目安値以下

※1 7号炉を例とした概算値（地震荷重は S_s-1 及び S_s-2 包絡値）

※2 1本あたりの地震荷重

参考資料ー 2 地震応答解析モデル詳細化の定量的な効果

1. はじめに

地震応答解析モデルの詳細化が地震応答へ与える効果を定量的に把握するため、地震応答解析モデルのパラメータスタディを実施した。

検討にあたっては、既工認モデル、既工認モデルに詳細化項目の一部を加えた地震応答解析モデル、既工認モデルに詳細化項目の全てを加えた地震応答解析モデルのそれぞれで地震応答解析をおこない、地震荷重等の比較をおこなった。

なお、柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉と 7 号炉は、同設計、同構造であり、地震応答性状も概ね同等と考えられることから、本検討は 7 号炉を代表としておこなった。

2. 検討に用いた地震動

本検討は詳細化の定量的な効果の確認を目的として、暫定モデルを用いておこなう試験であることから、柏崎刈羽原子力発電所の基準地震動 S_s のうち、施設の耐震性評価において支配的な地震動である S_s-1 及び S_s-2 を用いておこなった。

3. 詳細化の効果を測る指標

今回の地震応答解析モデルの詳細化による効果が現れるのは主に水平方向であることから、水平方向の地震荷重等（加速度，せん断力，モーメント等）の変化に着目した。具体的には、地震応答解析モデルでモデル化される部位のうち、主要な部位（図1）における地震荷重等の比較をおこない、詳細化の効果を確認した。

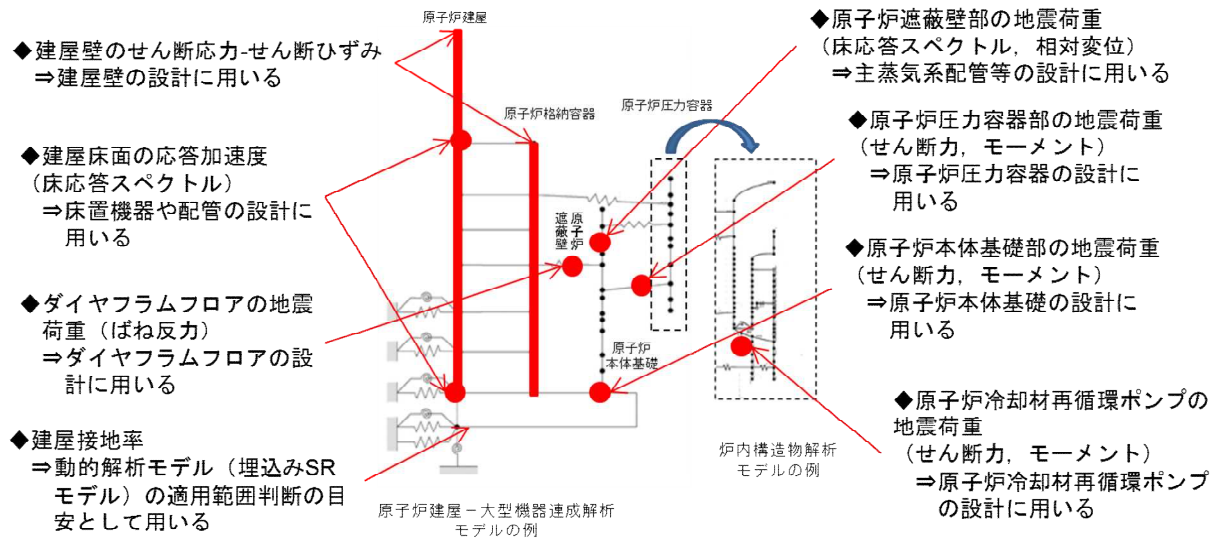


図1 詳細化の効果を測る指標

4. 検討ケース

地震応答解析モデルの個々の詳細化項目が地震応答へ与える効果を定量的に把握するため、「既工認モデル」、「既工認モデルに対して詳細化項目を1項目のみ加えた地震応答解析モデル（表1のケース1～4）」、「詳細化モデル」のそれぞれで地震応答解析を実施し、地震荷重等（加速度、せん断力、モーメント等）の比較をおこなった。なお、比較に際しては、既工認モデルにおける地震荷重等からの増減に着目して整理した。

表1 検討ケース

（網掛けは、既工認モデルからの変更箇所を示す）

ケース名	①コンクリート剛性	②補助壁	③回転ばね	④原子炉本体基礎
既工認モデル	設計基準強度	無	無	線形
ケース1 (コンクリート実強度)	実強度※	無	無	線形
ケース2 (補助壁考慮)	設計基準強度	有	無	線形
ケース3 (回転ばね考慮)	設計基準強度	無	有	線形
ケース4 (原子炉本体基礎)	設計基準強度	無	無	非線形
詳細化モデル	実強度※	有	有	非線形

※本検討では暫定的に耐震バックチェック時に採用した値である 500kg/cm²を用いている（今回工認で採用する地震応答解析モデル（基本ケース）では 440kg/cm²を用いる）。

5. 検討結果

5. 1 原子炉建屋

地震応答解析モデルの詳細化が建物の応答等に与える影響を把握するため、建屋壁のせん断ひずみ、せん断力の比較をおこなった。また、建屋の接地率と建屋床面の加速度（床応答スペクトル）の比較をおこなった。

(1) せん断ひずみ、せん断力

各ケースにおける建屋のせん断ひずみの比較を図2に、せん断力の比較を図3に示す。せん断ひずみは、各ケースとも耐震壁の評価基準値である 2.0×10^{-3} に対して十分に余裕のある結果となっており、耐震安全性評価への影響が無いことを確認した。せん断力については、各ケースとも大きな変動が無いことを確認した。

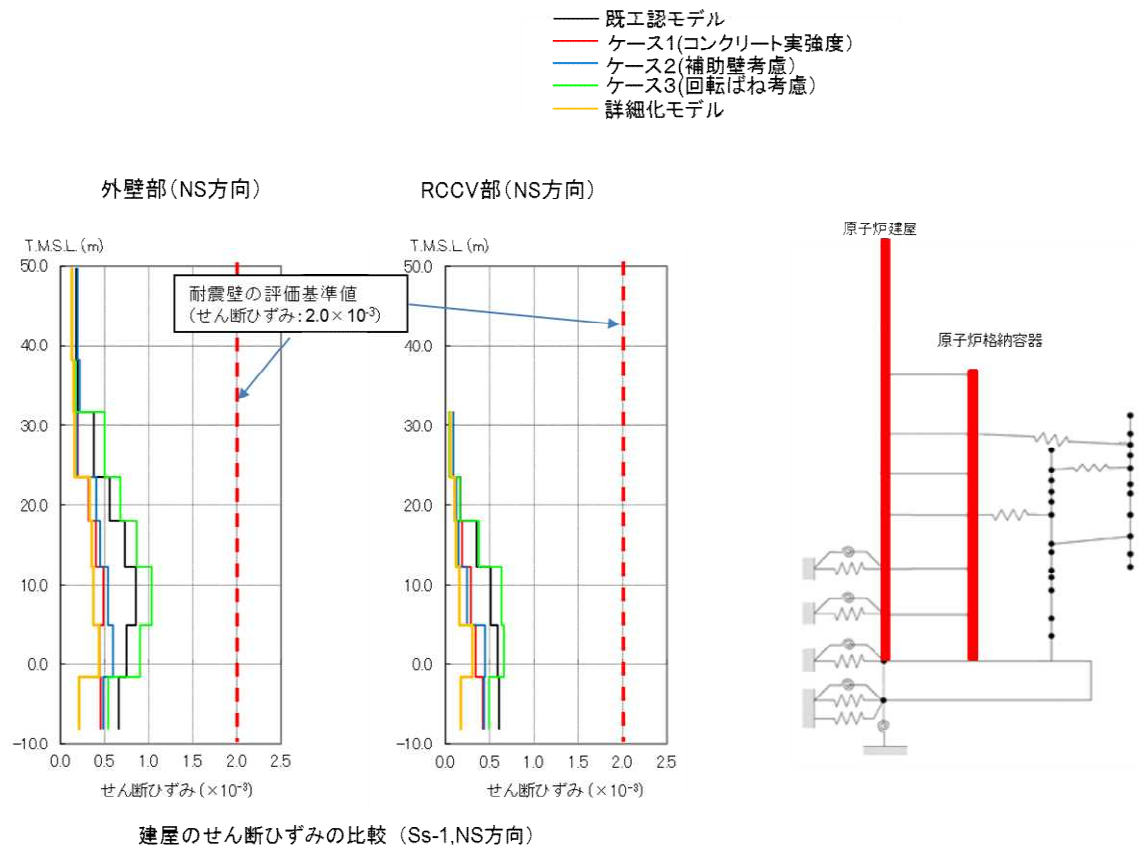


図2 建屋せん断ひずみの比較

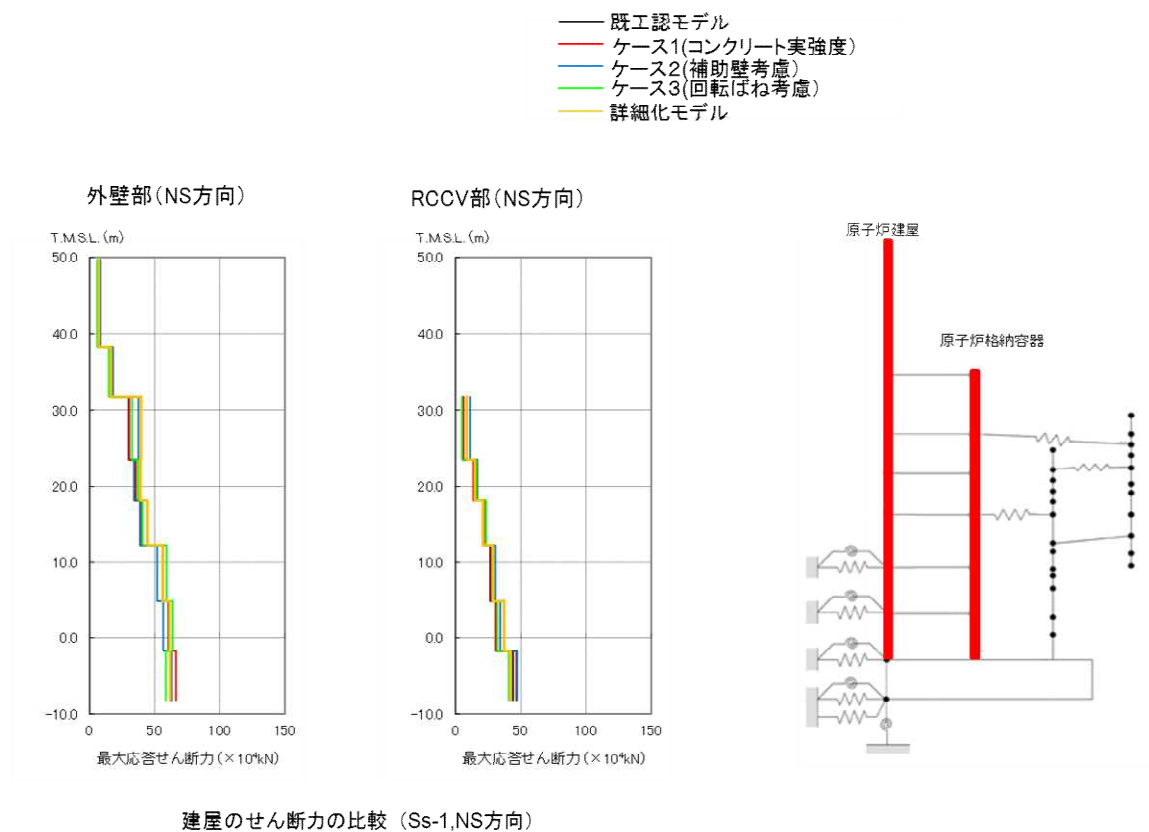


図3 建屋せん断力の比較

(2) 建屋接地率

各ケースにおける建屋接地率を表 2 に示す。既工認モデルでは SR モデルの適用範囲である接地率 50%を下回るが、既工認モデルに回転ばねを考慮することにより接地率が改善されることを確認した。

表 2 建屋接地率の比較

解析ケース	接地率 (%)	
	NS 方向	EW 方向
既工認モデル	51.5 (Ss-1)	49.9 (Ss-2)
ケース 1 (コンクリート実強度)	50.3 (Ss-1)	47.3 (Ss-2)
ケース 2 (補助壁考慮)	51.0 (Ss-1)	47.4 (Ss-2)
ケース 3 (回転ばね考慮)	70.1 (Ss-1)	67.0 (Ss-2)
詳細化モデル	68.5 (Ss-1)	65.0 (Ss-2)

※接地率の下括弧内は接地率が最小となる地震動

(3) 床応答スペクトル

図4に床応答スペクトルを示す。各ケースの解析結果は、多少のばらつきは見られるものの、建屋の応答性状を大きく変更させるようなものでないことを確認した。

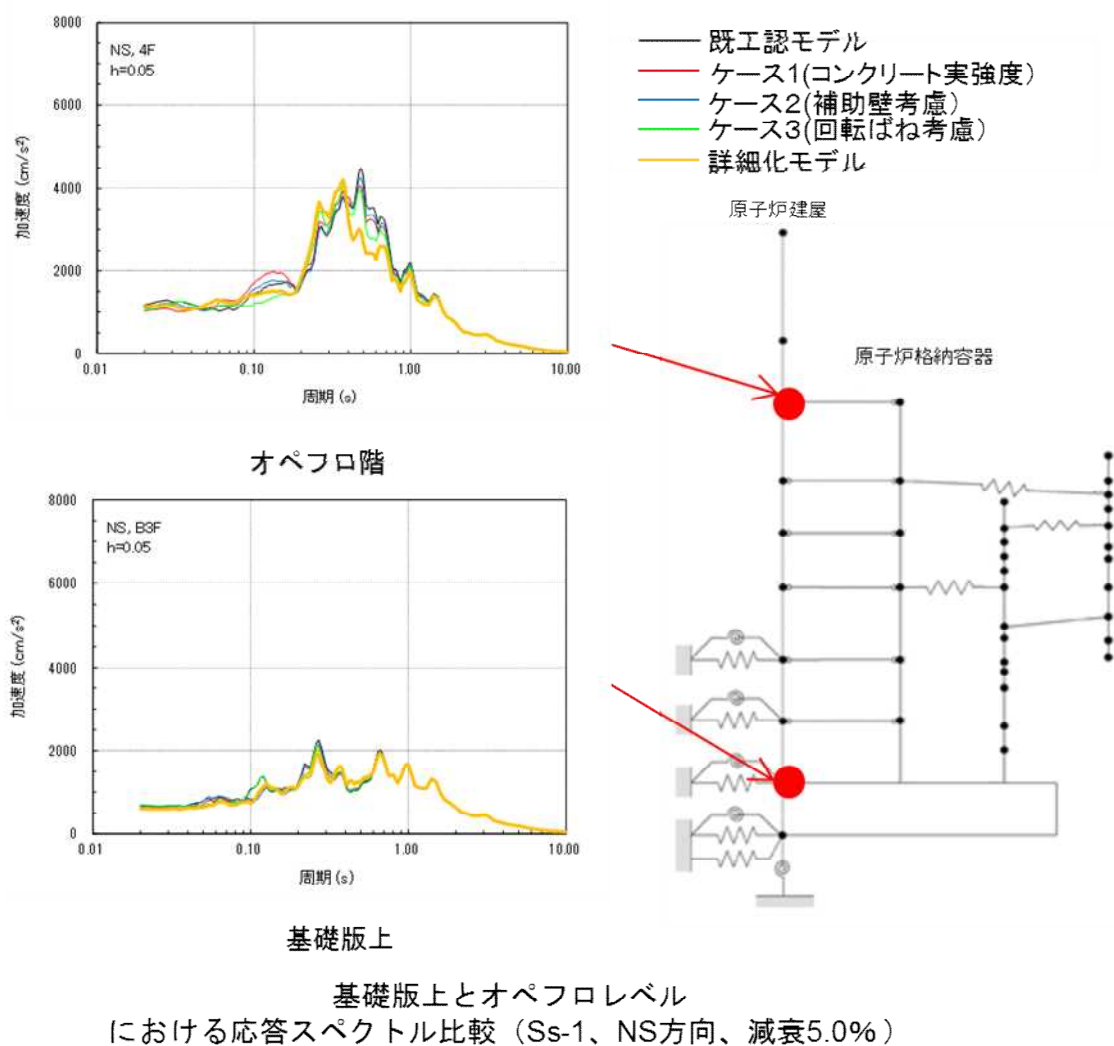


図4 原子炉建屋の床応答スペクトルの比較

5. 2 機器・配管系

地震応答解析モデルの詳細化が機器・配管系に与える影響を把握するため、代表部位の地震荷重（せん断力，モーメント，ばね反力），床応答スペクトルの比較をおこなった。また，配管の評価に用いる構造物間の相対変位の比較をおこなった。

（1）地震荷重

原子炉圧力容器支持スカートの地震荷重の比較を図 5 に示す。原子炉圧力容器支持スカートの地震荷重は，地震応答解析モデルを詳細化することにより，若干の減少傾向が見られた。

原子炉本体基礎基部の地震荷重の比較を図 6 に示す。原子炉本体基礎基部の地震荷重は，回転ばねのみを考慮することにより若干の増加が見られるが，地震応答解析モデルを詳細化することにより大幅に低減することが確認された。

ダイヤフラムフロアのばね反力の比較を図 7 に示す。ダイヤフラムフロアのばね反力は，回転ばねのみを考慮することにより若干の増加が見られるが，地震応答解析モデルを詳細化することにより大幅に低減することが確認された。

原子炉冷却材再循環ポンプ付け根部の地震荷重の比較を図 8 に示す。原子炉冷却材再循環ポンプ付け根部の地震荷重は，地震応答解析モデルを詳細化することにより若干増加することが確認された。

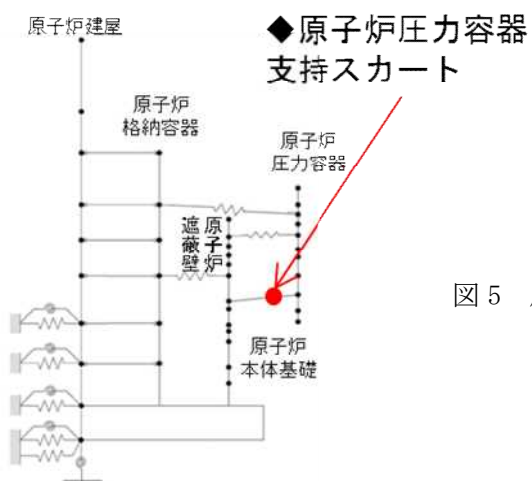
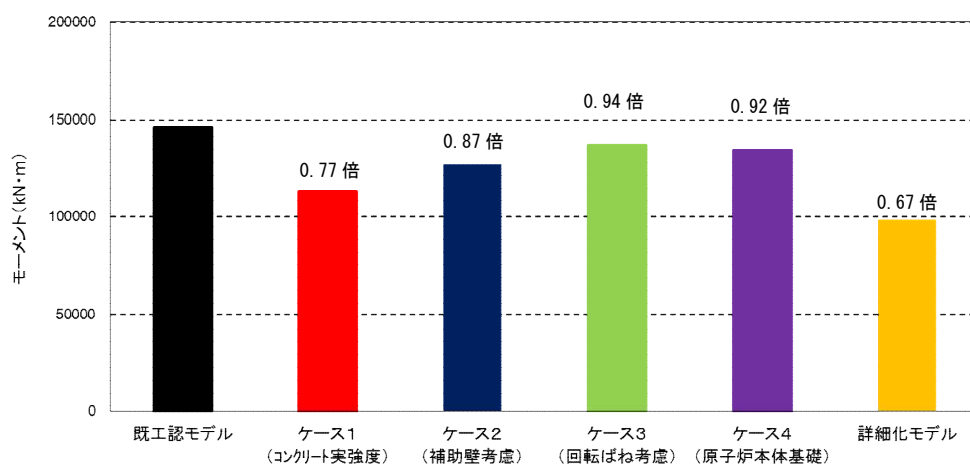
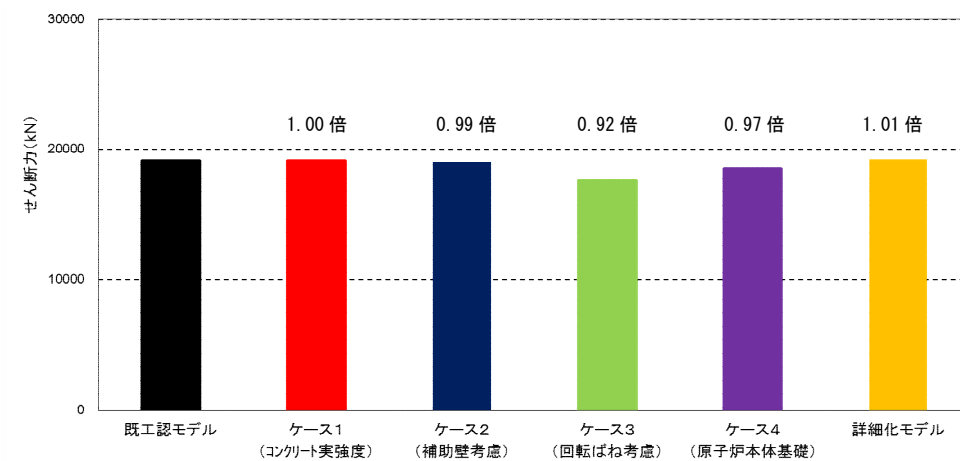


図5 原子炉压力容器スカートにおける地震荷重の比較
(上：せん断力，下：モーメント)
(Ss-1 及び Ss-2 包絡値)

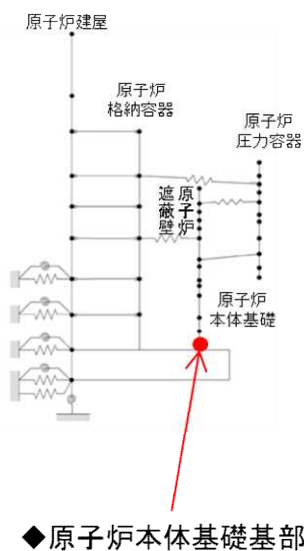
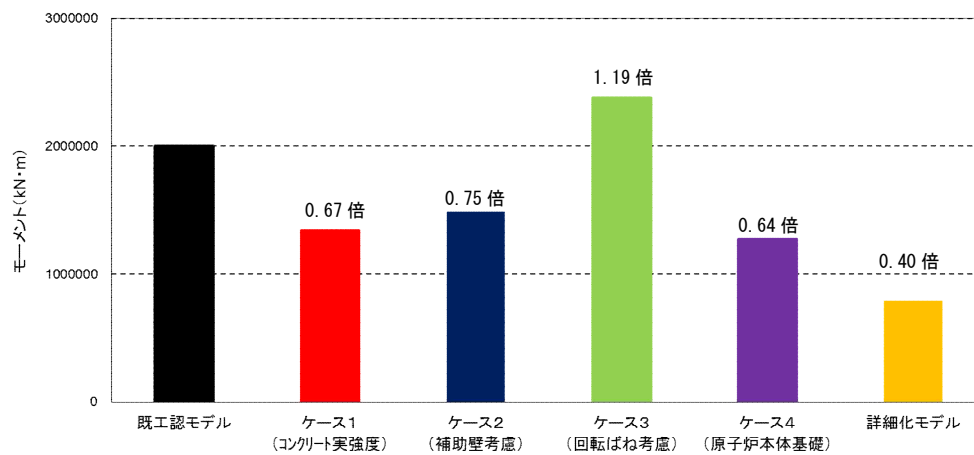
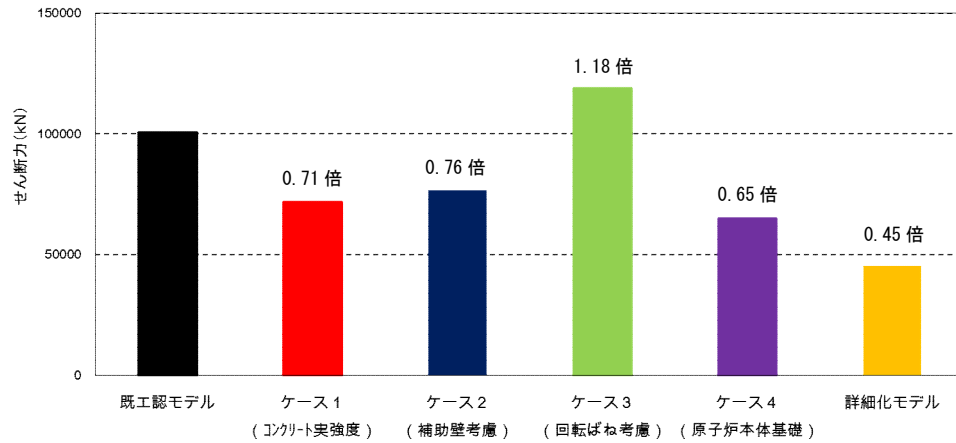


図6 原子炉本体基礎基部における地震荷重の比較
(上：せん断力，下：モーメント)
(Ss-1 及び Ss-2 包絡値)

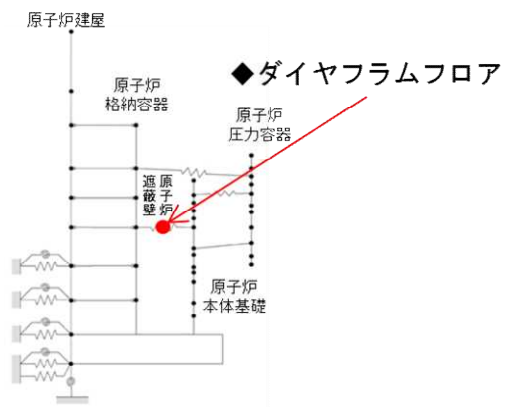
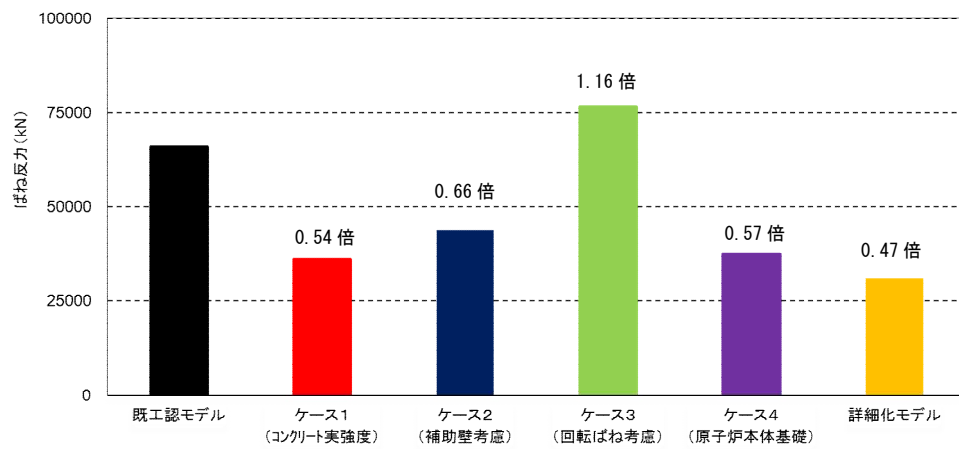


図7 ダイヤフラムフロアにおけるばね反力の比較
(Ss-1 および Ss-2 包絡値)

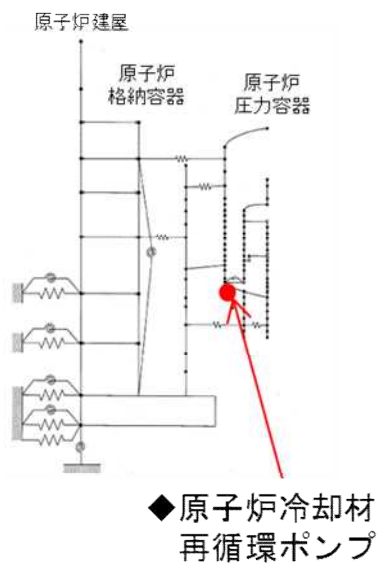
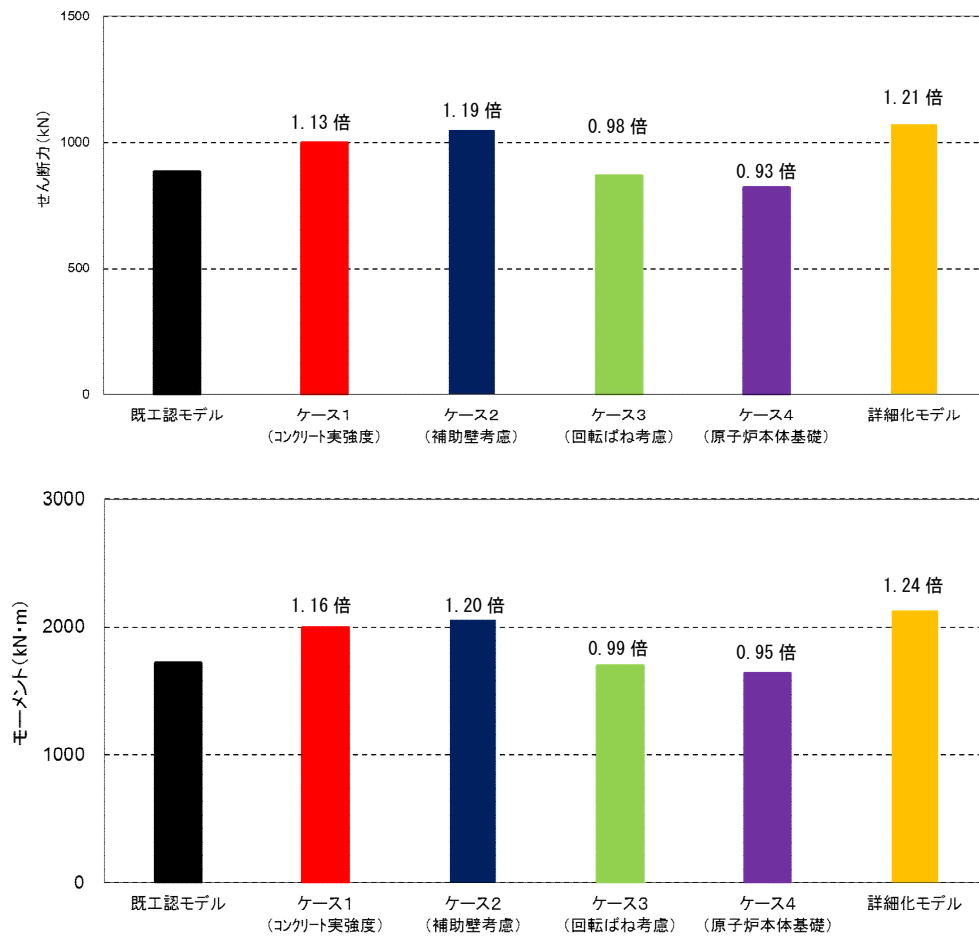


図8 原子炉冷却材再循環ポンプ付け根部における地震荷重の比較（上：せん断力，下：モーメント）
（Ss-1 及び Ss-2 包絡値）

(2) 床応答スペクトル

原子炉遮蔽壁における床応答スペクトルの比較を図 9 に示す。ケース 4 以外では、固有周期が約 0.2 秒以下の領域で既工認モデルより震度が若干減少し、固有周期が約 0.2 秒以上の領域で既工認モデルより震度が若干増加することが確認された。なお、ケース 4 (原子炉本体基礎) ではほとんど変化が無いことが確認された。

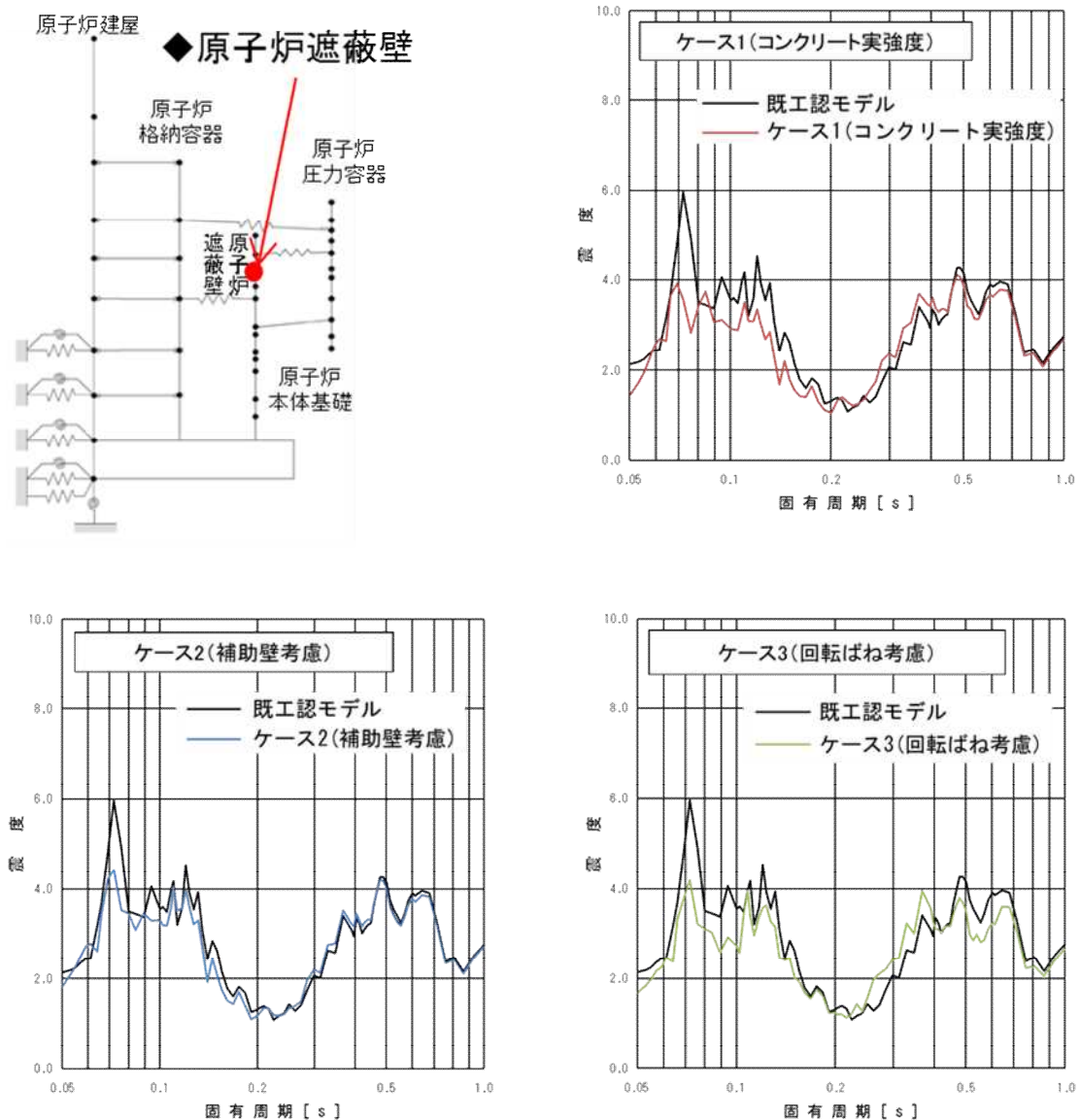


図 9 (1/2) 原子炉遮蔽壁における床応答スペクトル比較
 (T.M.S.L. 18.440m, Ss-1, NS 方向, 減衰 2.0%)

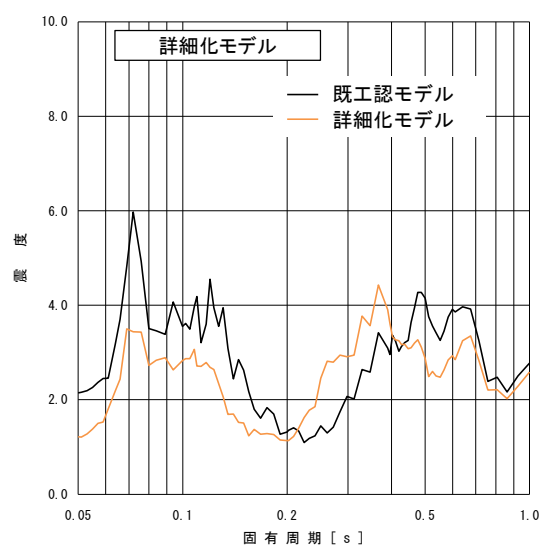
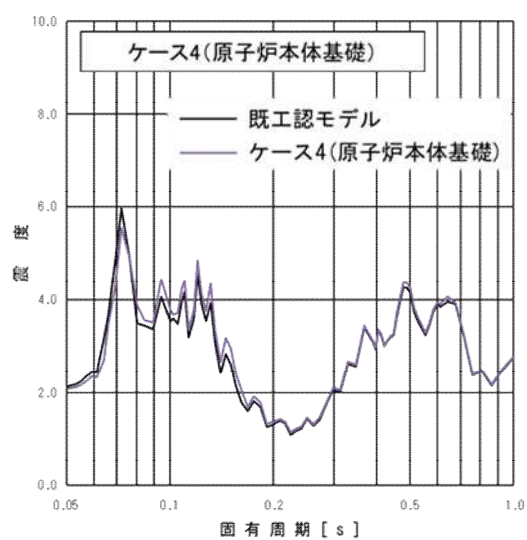


図 9 (2/2) 原子炉遮蔽壁における床応答スペクトル比較
(T. M. S. L. 18. 440m, Ss-1, NS 方向, 減衰 2. 0%)

(3) 相対変位

原子炉格納容器内の主蒸気系配管の評価に用いる構造物間の相対変位の比較を表 3 に示す。回転ばねのみを考慮することにより若干の増加が見られるが、地震応答解析モデルを詳細化することにより低減することが確認された。

表 3 主蒸気系配管評価用構造物間相対変位の比較
(水平方向, Ss-1 及び Ss-2 包絡値)

解析ケース	相対変位 (mm)
既工認モデル	2.6
ケース 1 (コンクリート実強度)	1.5
ケース 2 (補助壁考慮)	1.8
ケース 3 (回転ばね考慮)	2.7
ケース 4 (原子炉本体基礎)	2.4
詳細化モデル	1.3

※原子炉圧力容器－原子炉遮蔽壁間及び原子炉遮蔽壁－原子炉格納容器間のうち、
最大値を記載

6. 詳細化の効果（まとめ）

本検討より得られた結果を整理したものを表 4 に示す。

表 4 地震応答解析モデル詳細化の効果（まとめ）

変更点	応答への効果 (建物系)	応答への効果 (機器系)
①コンクリート剛性 に実強度を使用	採用により, S_s による建屋のせん断ひずみを小さくする効果があるが, 原子炉建屋は評価基準値に対して十分余裕のある設計となっており, 既工認モデルで評価した場合も, 評価基準値を満足する。	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉系（特に, 原子炉本体基礎, ダイヤフラムフロア）の地震荷重を低減する効果がある。 ・配管系の設計条件（床応答スペクトル, 相対変位）を低減する効果もある。
②耐震要素に補助壁 をモデル化		
③側面地盤ばねに回 転ばねを追加	回転ばねを採用することにより, 接地率を大きく改善する効果がある。採用しない場合, 接地率が小さくなり, 浮き上がりの影響を考慮した検討が必要となる可能性がある。	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉系の地震荷重は, 概ね既工認モデルと同等か若干増加する傾向。 ・配管系の設計条件（床応答スペクトル, 相対変位）を低減する効果もある。
④RPV ペデスタルに非 線形特性を考慮	—	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉系（特に, 原子炉本体基礎, ダイヤフラムフロア）の地震荷重を低減する効果がある。 ・配管系の設計条件（床応答スペクトル, 相対変位）に与える影響は軽微。

参考資料－３ 地震応答解析モデルの不確かさの影響（試検討）

１．はじめに

本文４項に示した地震応答解析モデルの保守性と不確かさへの対応方針に基づき、７号炉の原子炉建屋を例に試検討をおこなった。

２．検討に用いた地震動

本検討は試検討であり耐震成立性の見通しの確認をおこなうことを目的として、柏崎刈羽原子力発電所の基準地震動 S_s のうち、施設の耐震性評価において支配的な地震動である S_s-1 及び S_s-2 を用いておこなう。

表１ 検討ケース

検討ケース	コンクリート剛性	回転ばね定数	RPV ペDESTAL	地盤剛性	備考
◆ケース１ (基本ケース)	実強度 (440kg/cm ²)	100%	非線形 (折線近似)	標準地盤	
◆ケース２ (建屋剛性＋ σ ，地盤剛性＋ σ)	実強度＋ σ (470kg/cm ²)	100% (＋ σ)	非線形 (折線近似)	標準地盤＋ σ	地盤剛性の変化に伴い，回転ばね定数が変化
◆ケース３ (建屋剛性－ σ ，地盤剛性－ σ)	実強度－ σ (410kg/cm ²)	100% (－ σ)	非線形 (折線近似)	標準地盤－ σ	地盤剛性の変化に伴い，回転ばね定数が変化
◆ケース４ (建屋剛性コア平均)	実強度（コア平均） (568kg/cm ²)	100%	非線形 (折線近似)	標準地盤	
◆ケース５ (建屋剛性－2 σ)	実強度－2 σ (380kg/cm ²)	100%	非線形 (折線近似)	標準地盤	
◆ケース６ (回転ばね低減)	実強度 (440kg/cm ²)	50%	非線形 (折線近似)	標準地盤	
◆ケース７ (原子炉系コンクリート実強度相当)	実強度 (440kg/cm ²)	100%	非線形・実強度 (折線近似)	標準地盤	原子炉本体基礎：400kg/cm ² ダイヤフラムフロア：440kg/cm ²
◆ケース８ (原子炉本体基礎曲線包絡スケルトンカーブ)	実強度 (440kg/cm ²)	100%	非線形 (曲線包絡)	標準地盤	

3. 検討結果

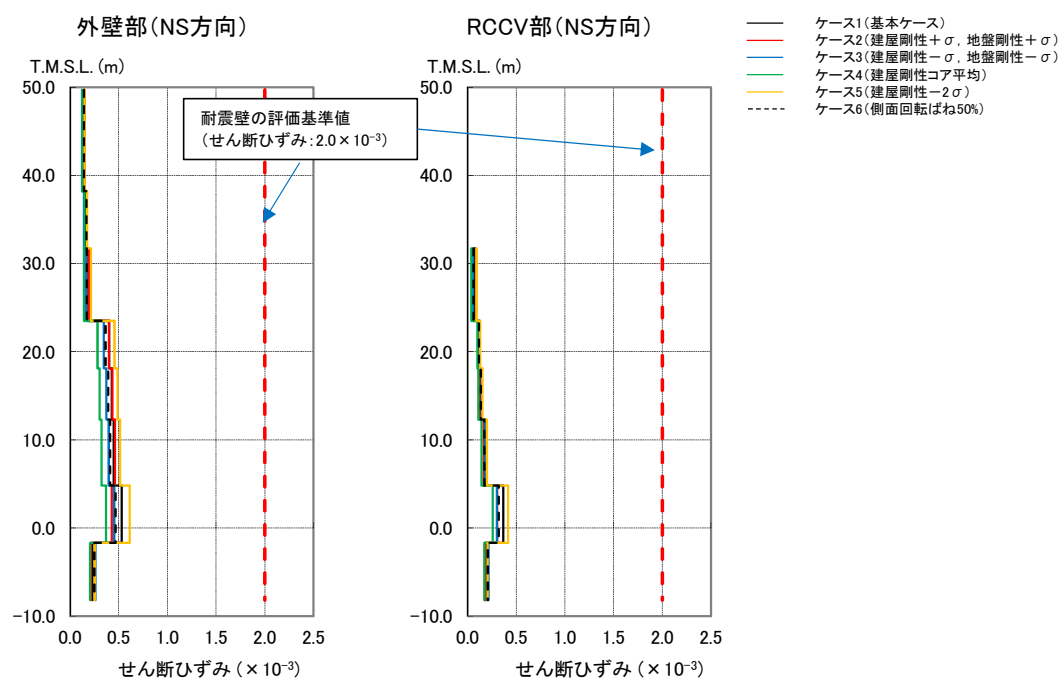
3. 1 建物・構築物

次頁以降に、ケース 1～6 に対する検討結果を示す（ケース 7 およびケース 8 は機器・配管系のみの検討ケースであるため、ここでは図示していない）。

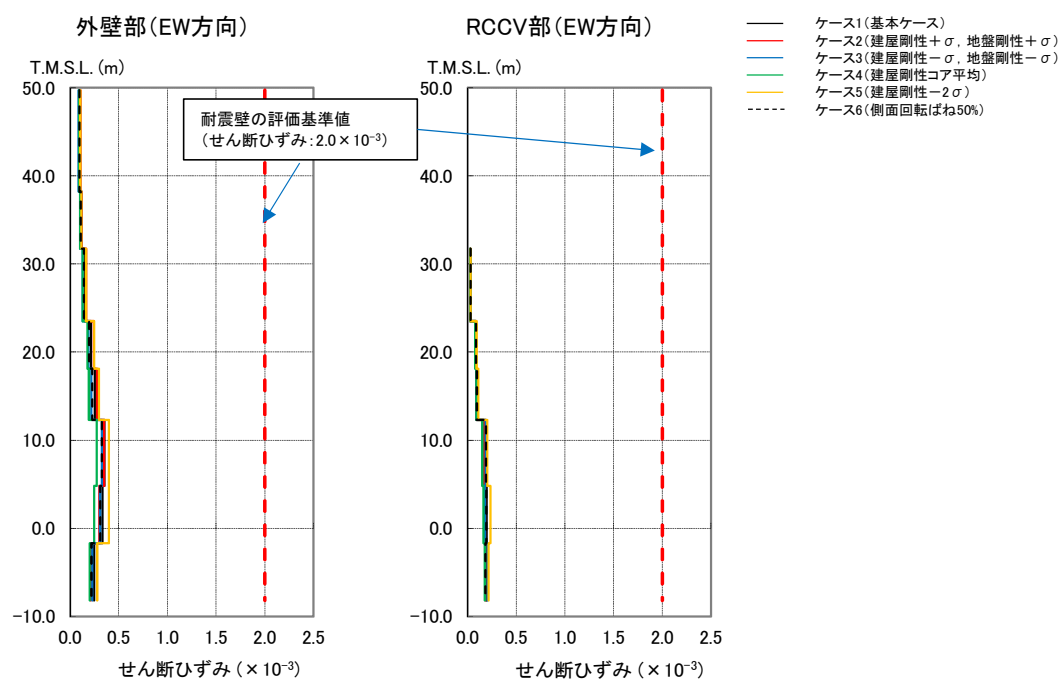
図 1 に最大せん断ひずみを示す。各ケースとも耐震壁の評価基準値 (2.0×10^{-3}) に対して十分な余裕があり、耐震安全性へ与える影響が無いことを確認した。

図 2 に各階の最大せん断力、図 3 及び図 4 にオペフロ階（4 階）と基礎版上の加速度応答スペクトル（減衰定数 5% 及び 1%）を示す。これより、材料物性の不確かさが最大せん断力及び加速度応答スペクトルに与える影響は軽微であることを確認した。

表 2 に建屋の接地率を示す。回転ばねを低減させたケース 6 については接地率が小さくなるものの、それ以外のケースについては建屋の接地率に有意な変動が無いことを確認した。また、全てのケースにおいて埋め込み SR モデルの適用範囲内（接地率 50% 以上）にあることを確認した。

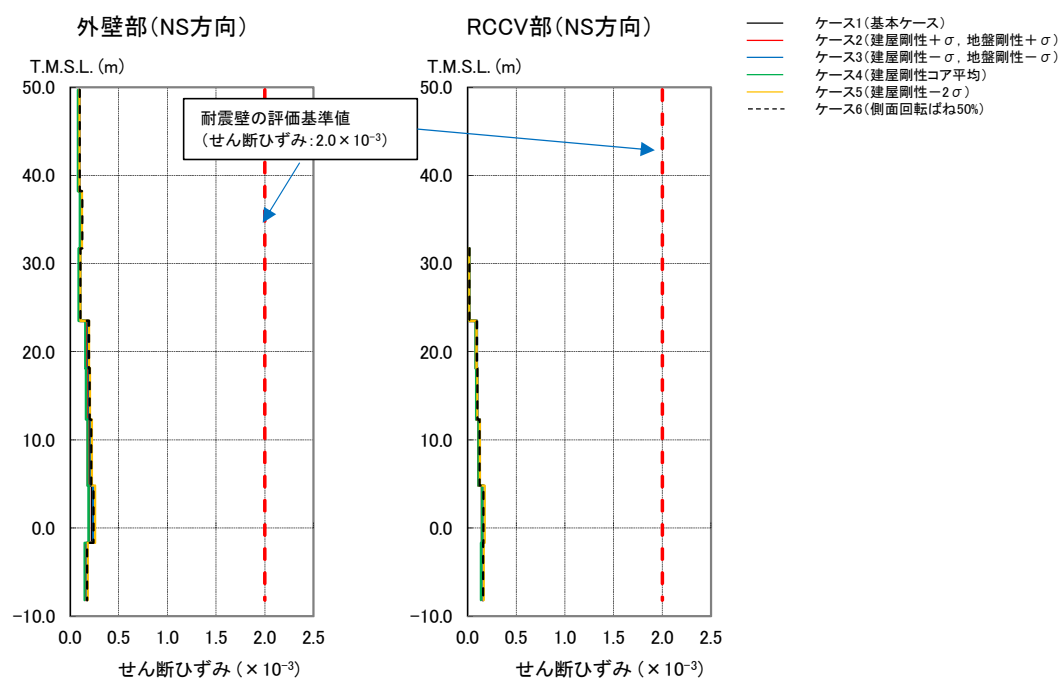


(a) Ss-1、NS 方向

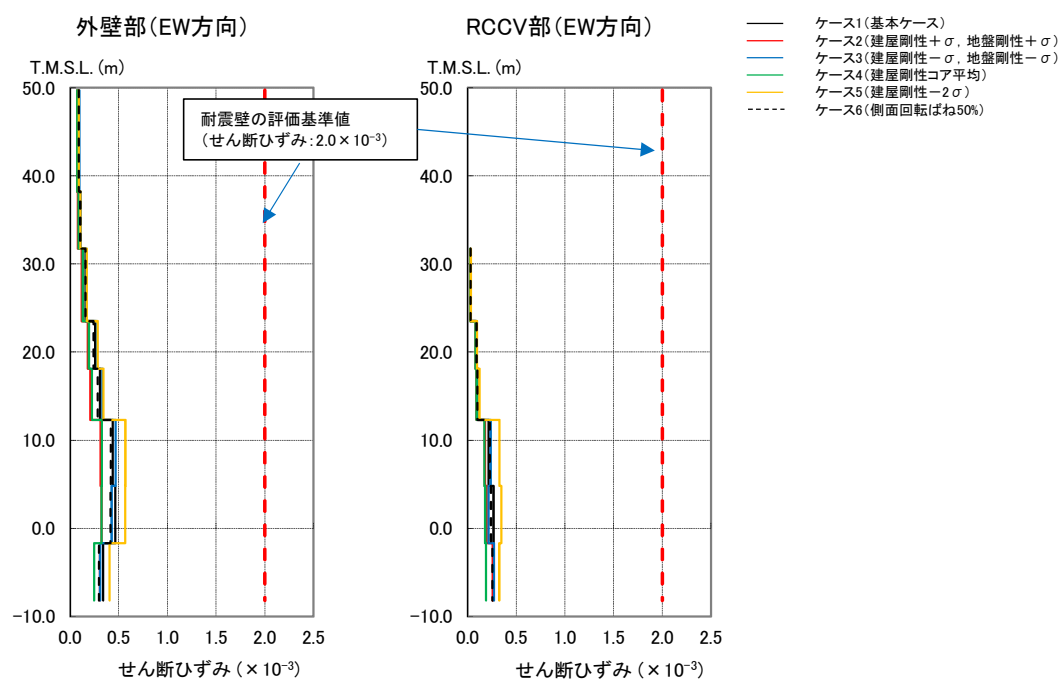


(b) Ss-1、EW 方向

図 1 (1/2) 建屋せん断ひずみの比較

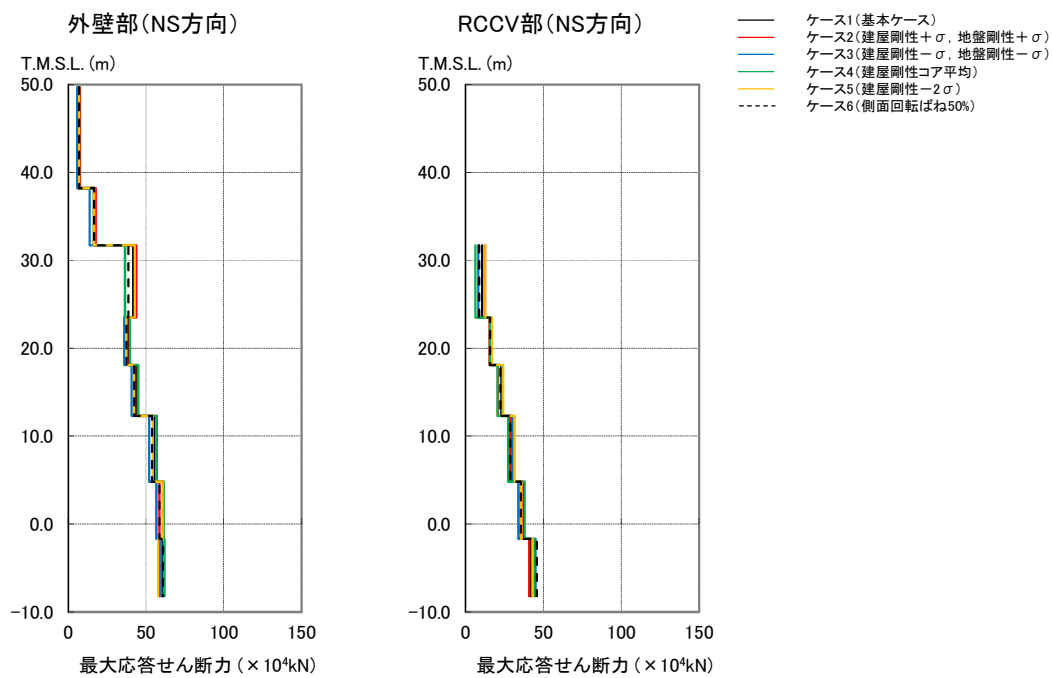


(c) Ss-2、NS 方向

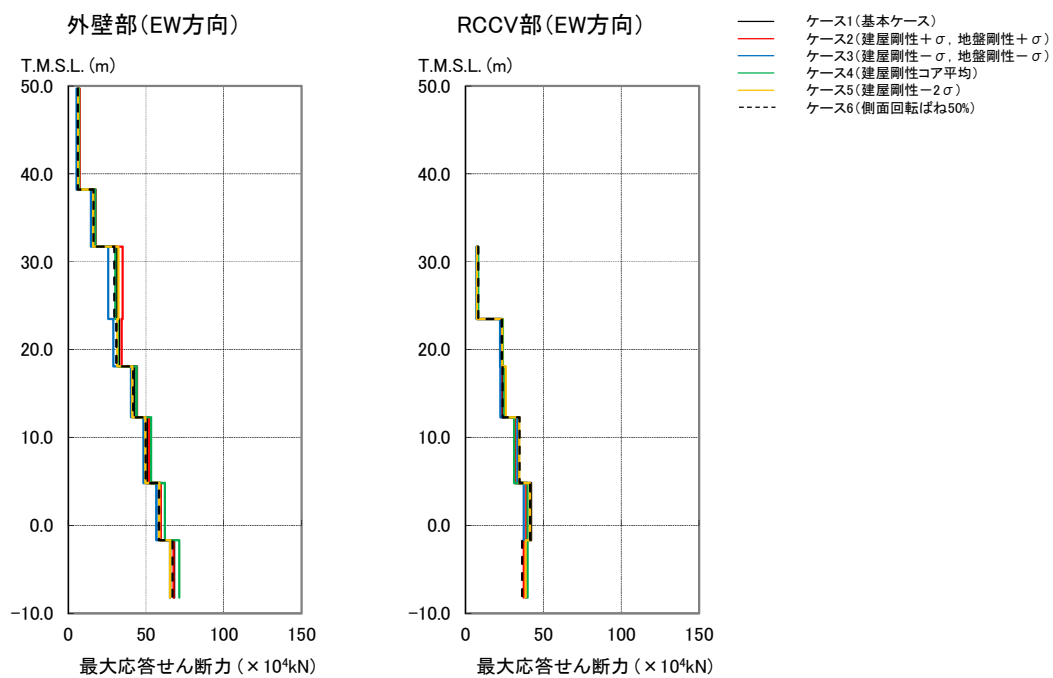


(d) Ss-2、EW 方向

図 1 (2/2) 建屋せん断ひずみの比較

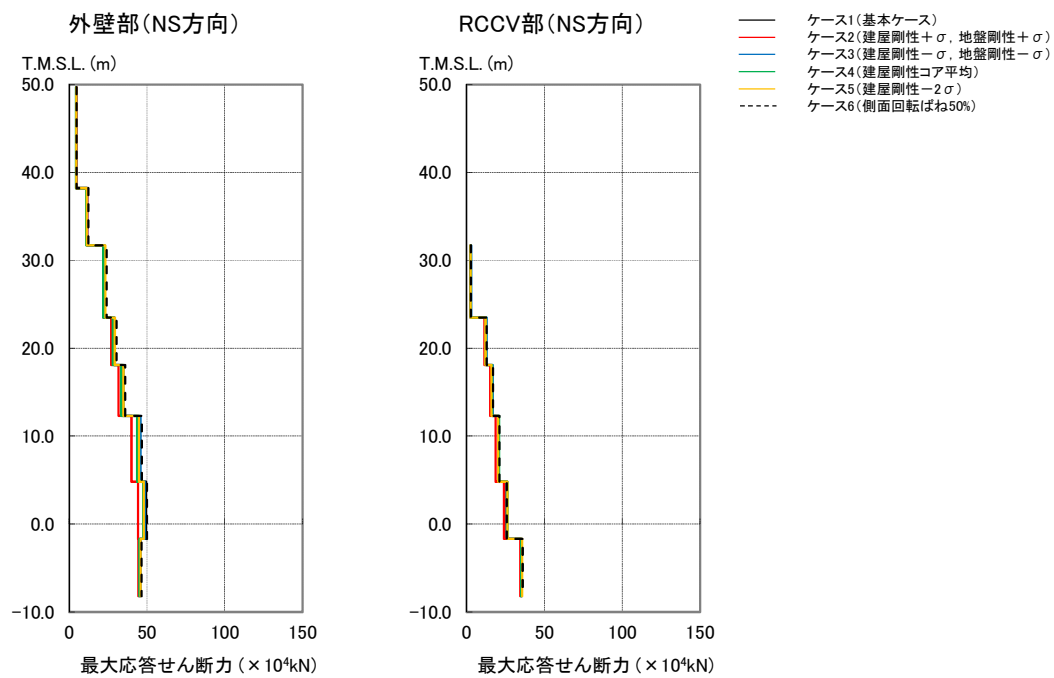


(a) Ss-1、NS 方向

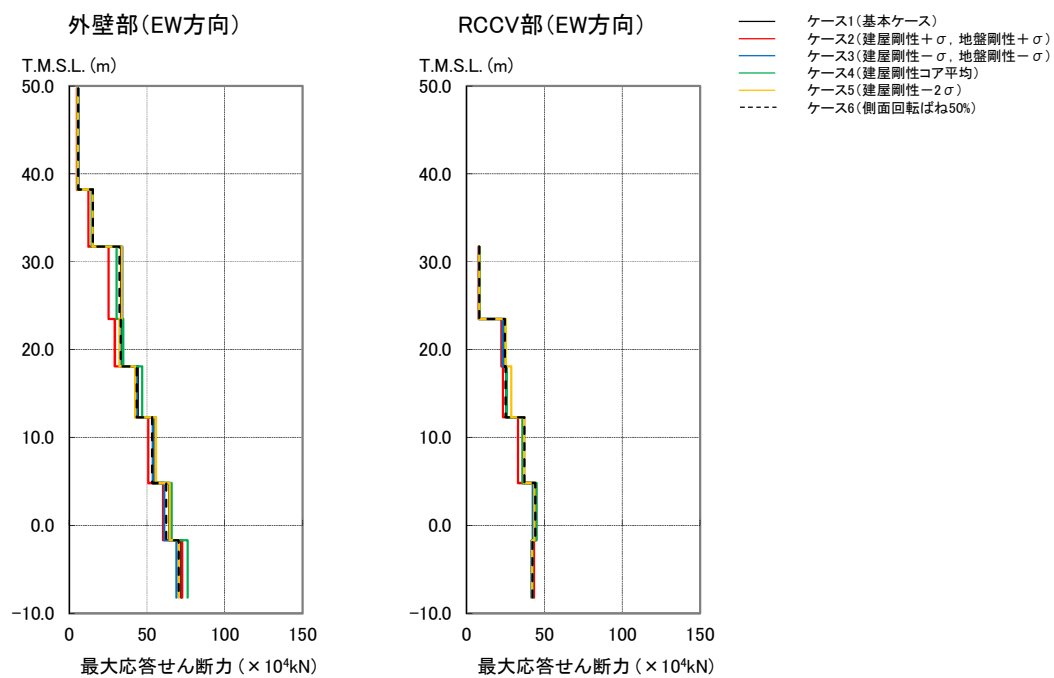


(b) Ss-1、EW 方向

図 2 (1/2) 建屋せん断力の比較

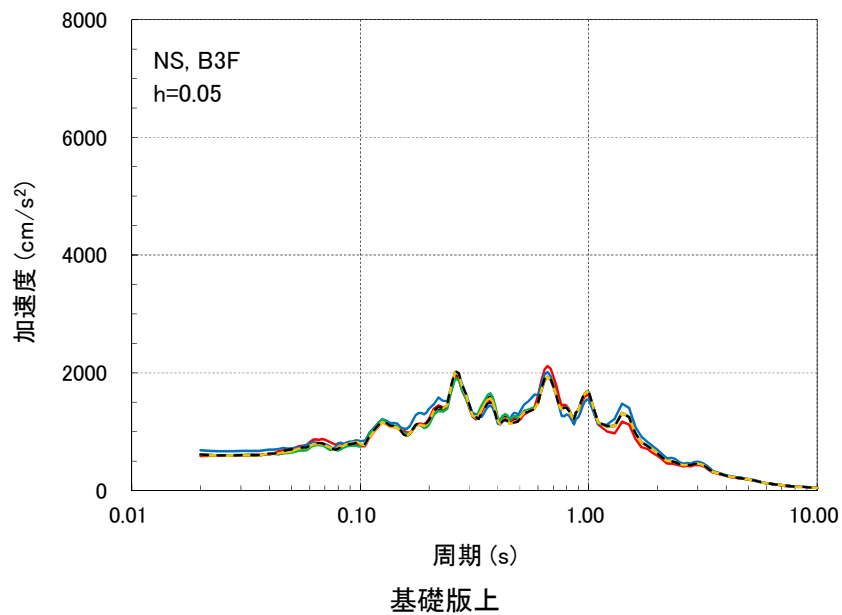
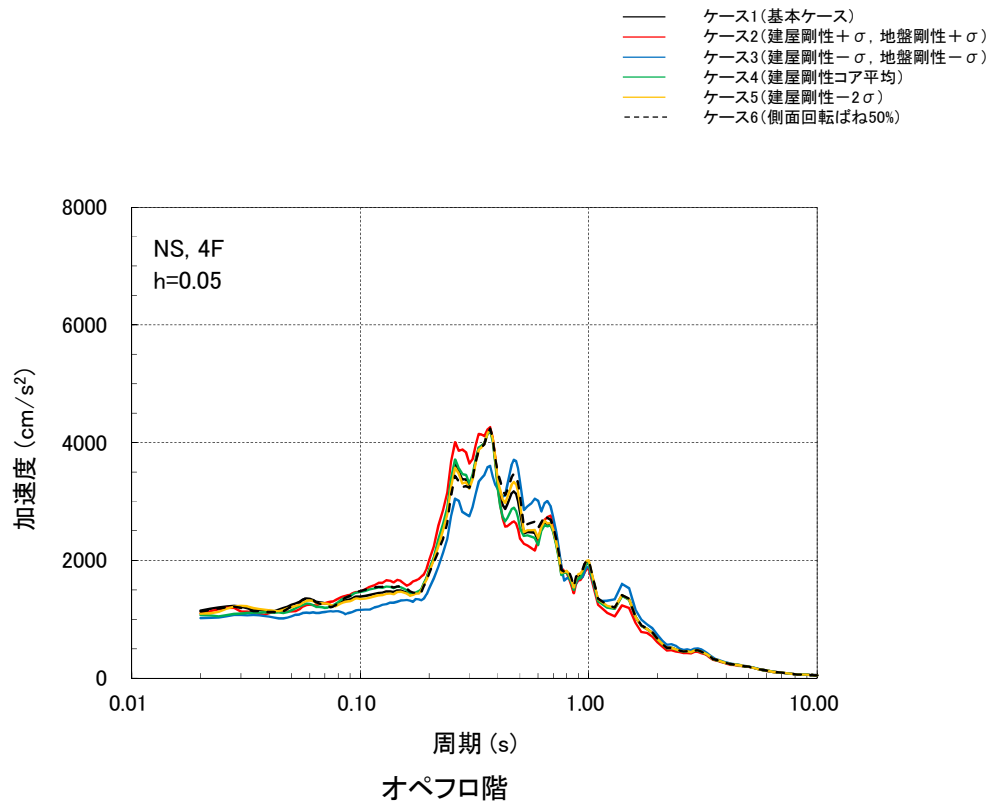


(c) Ss-2、NS 方向



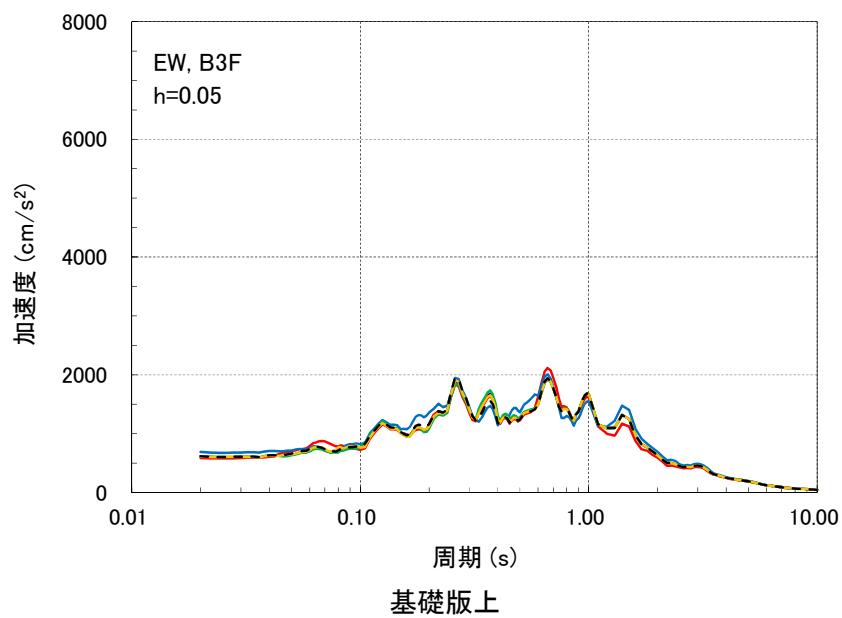
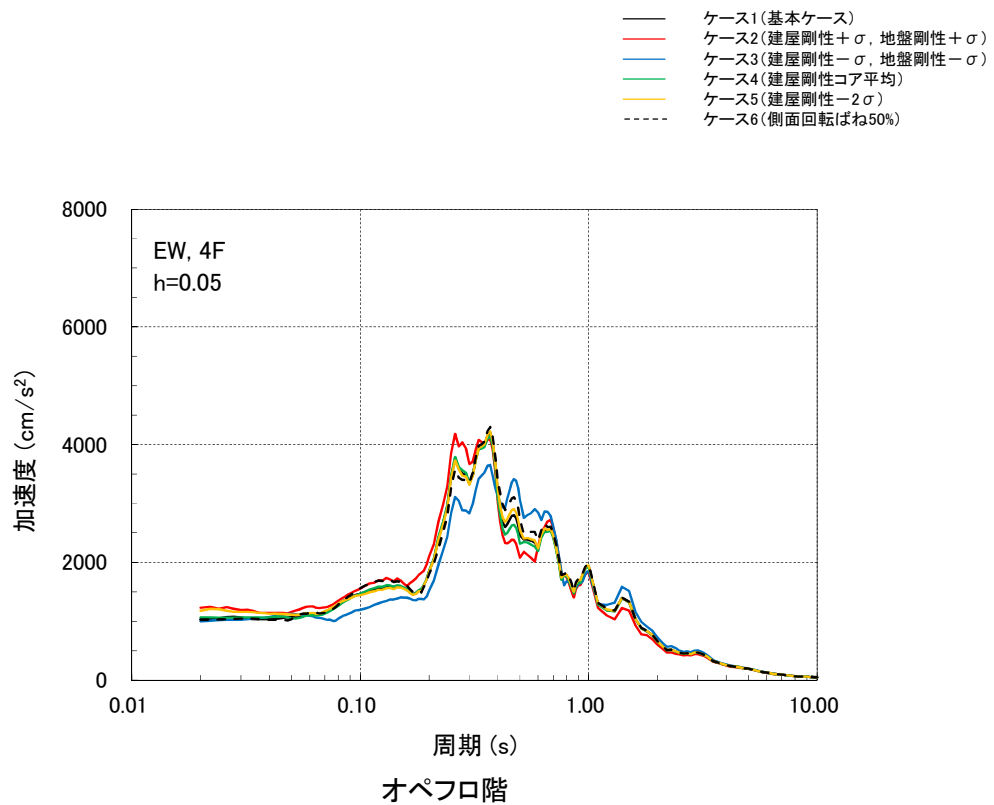
(d) Ss-2、EW 方向

図 2 (2/2) 建屋せん断力の比較



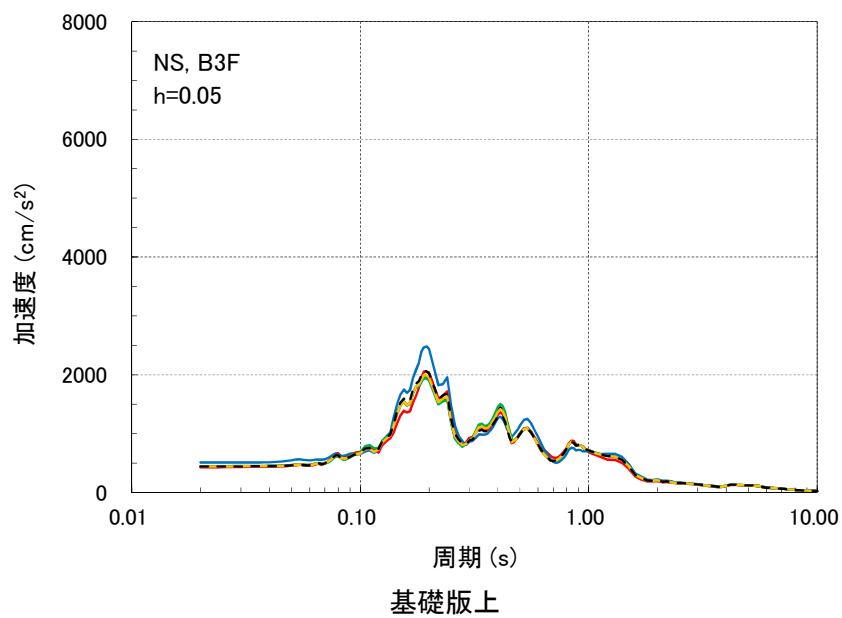
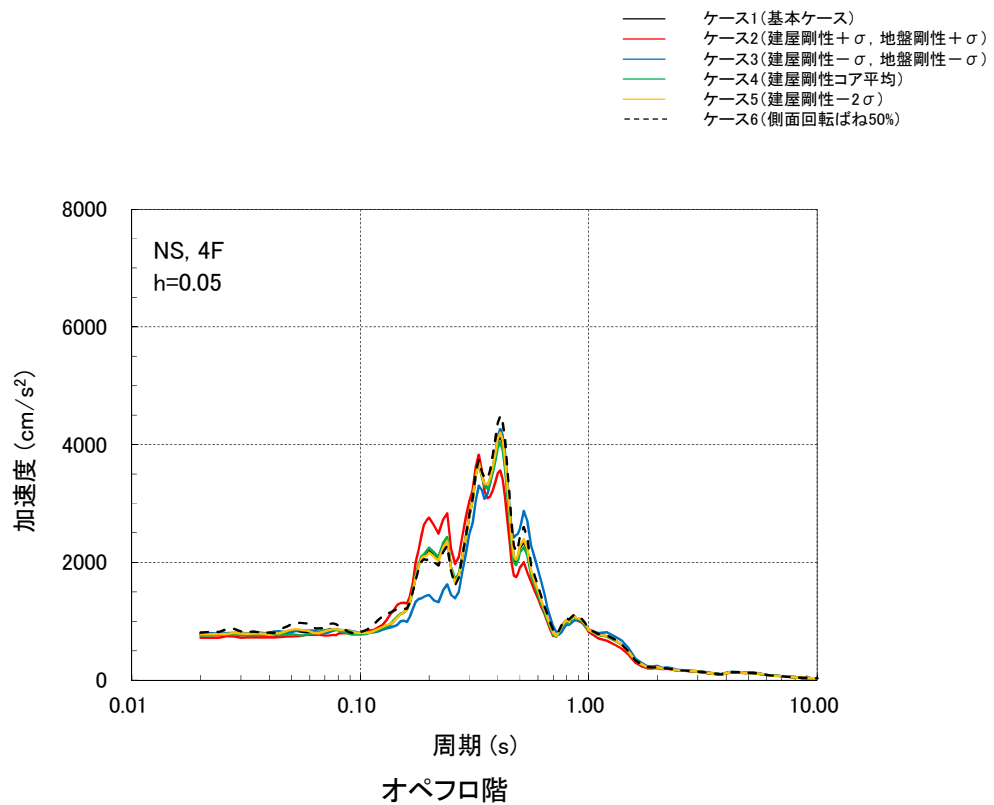
(a) Ss-1、NS 方向

図 3 (1/4) 建屋床応答スペクトルの比較 (h=5%)



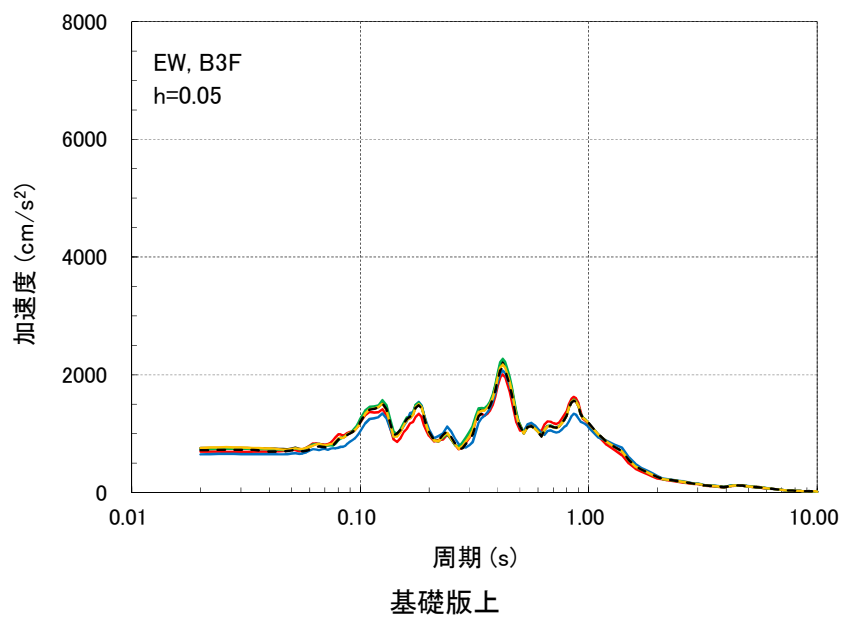
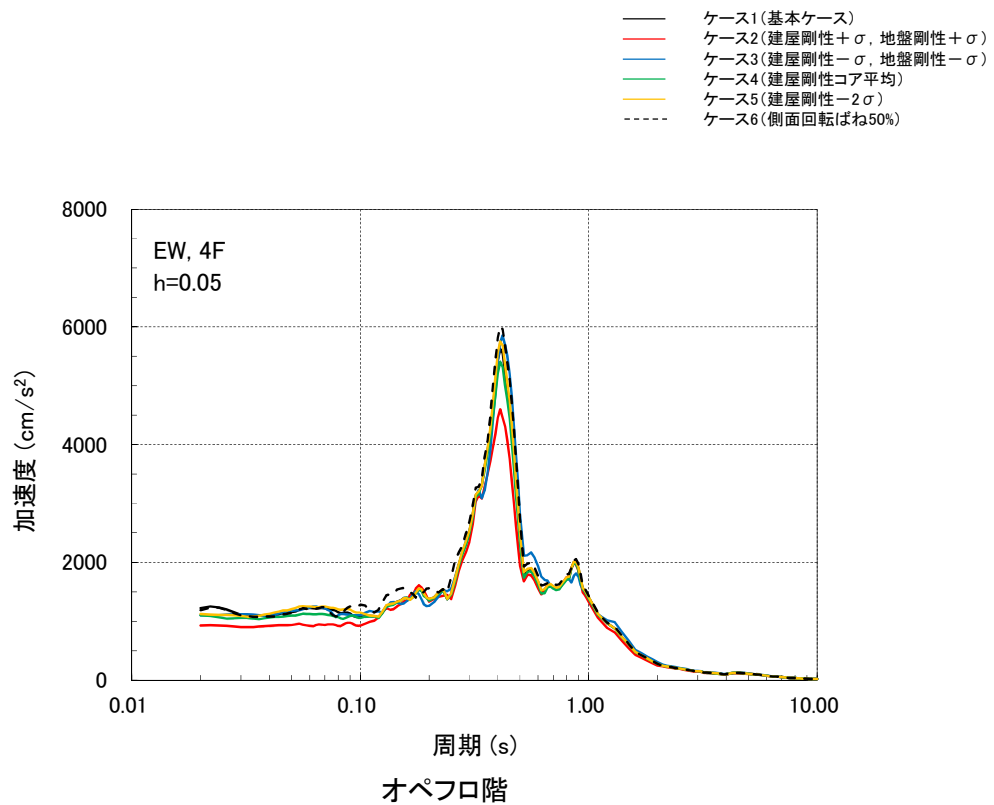
(b) Ss-1、EW 方向

図 3 (2/4) 建屋床応答スペクトルの比較 (h=5%)



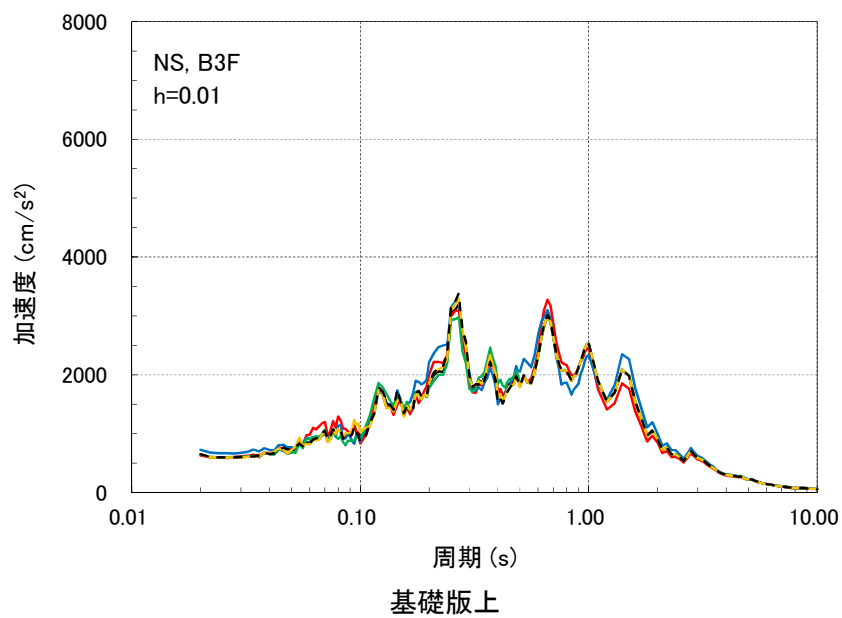
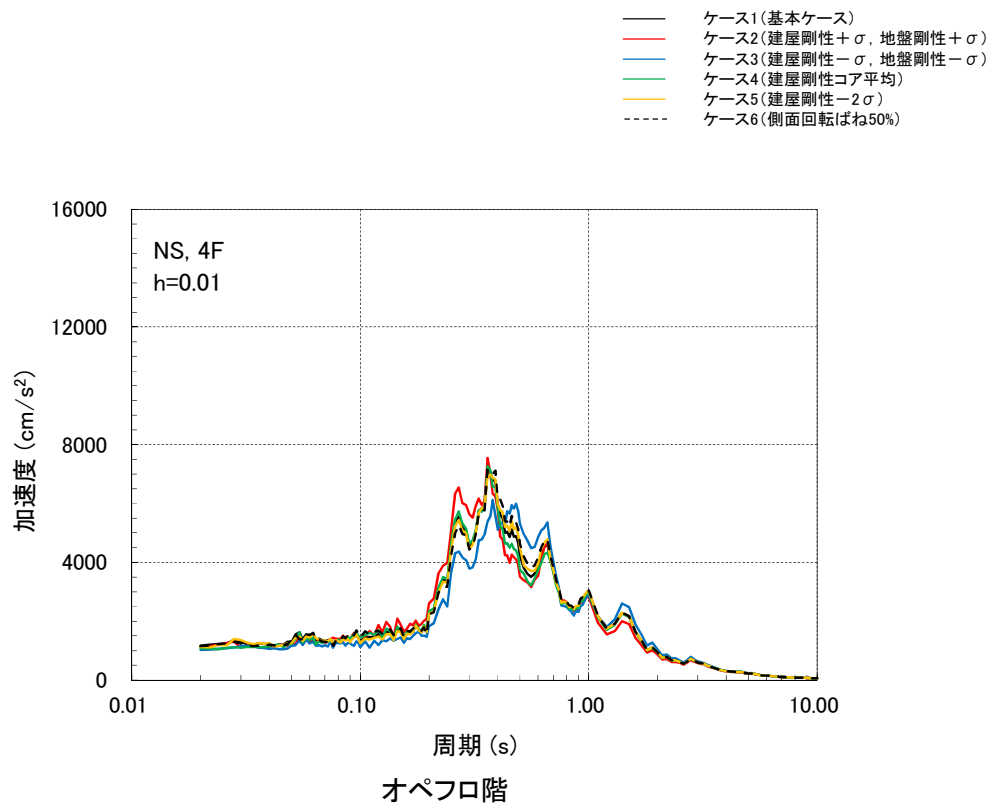
(c) Ss-2、NS 方向

図 3 (3/4) 建屋床応答スペクトルの比較 (h=5%)



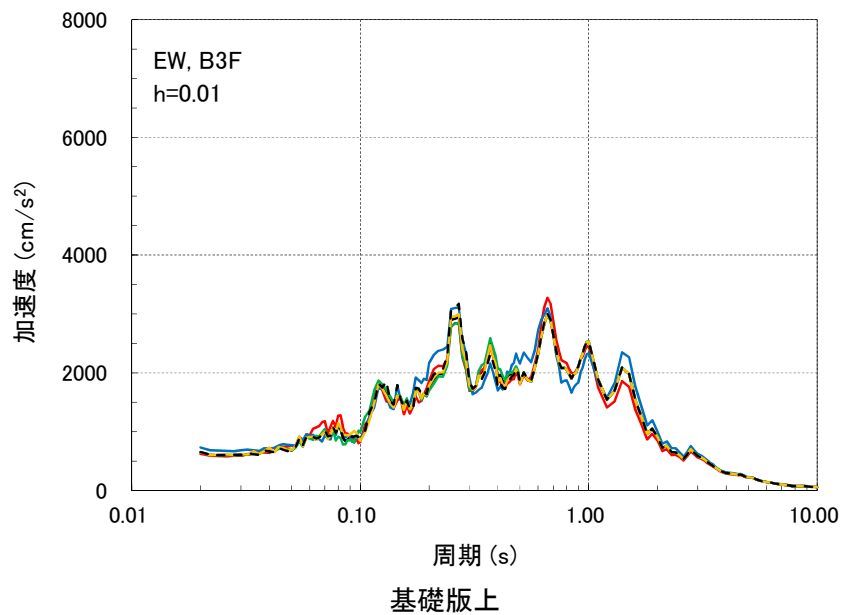
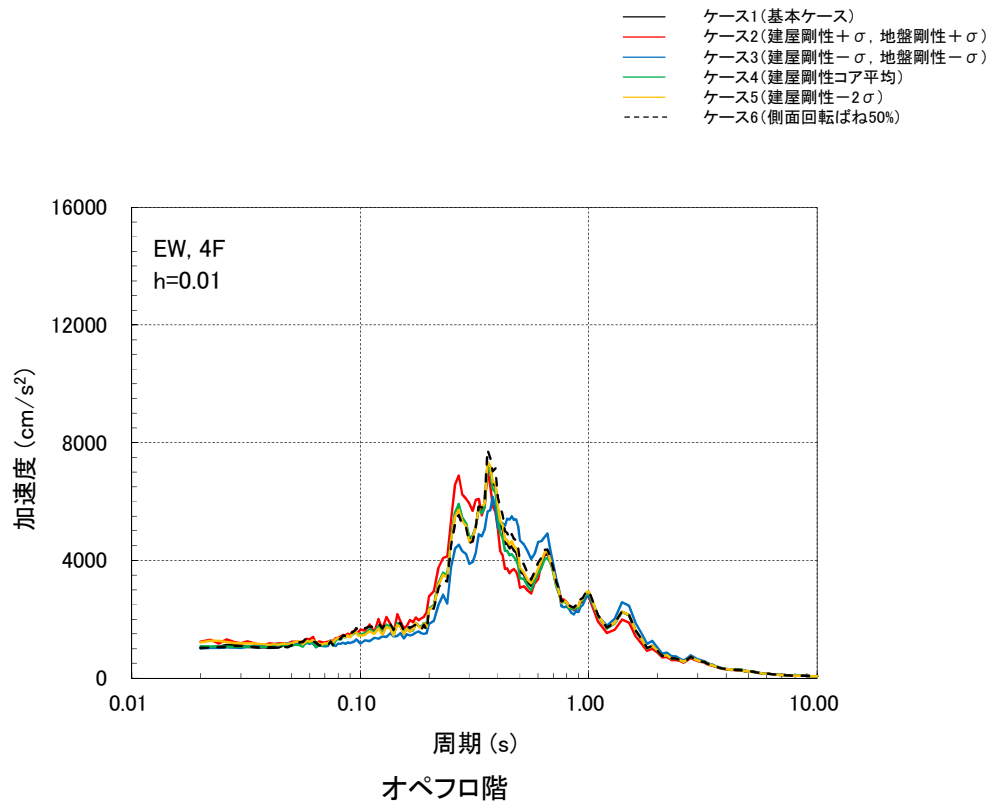
(d) Ss-2、EW 方向

図 3 (4/4) 建屋床応答スペクトルの比較 (h=5%)



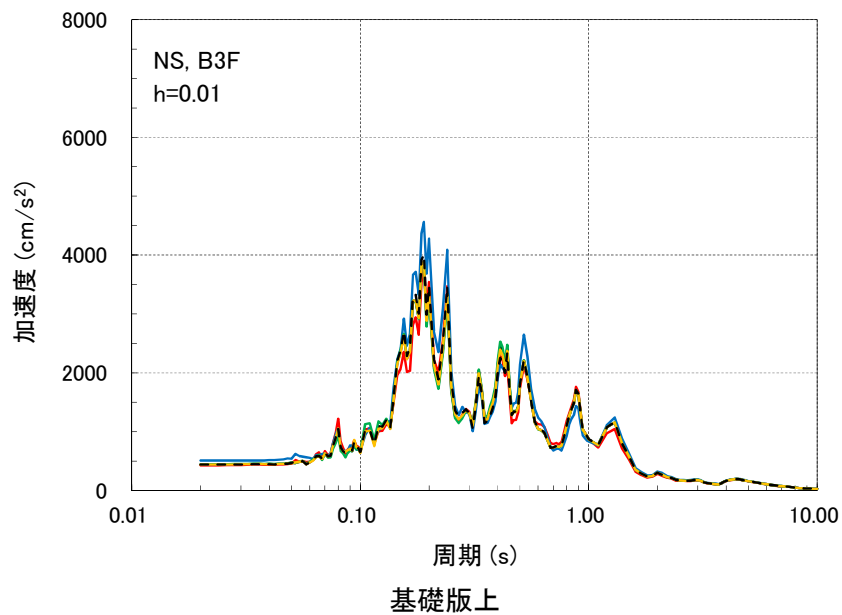
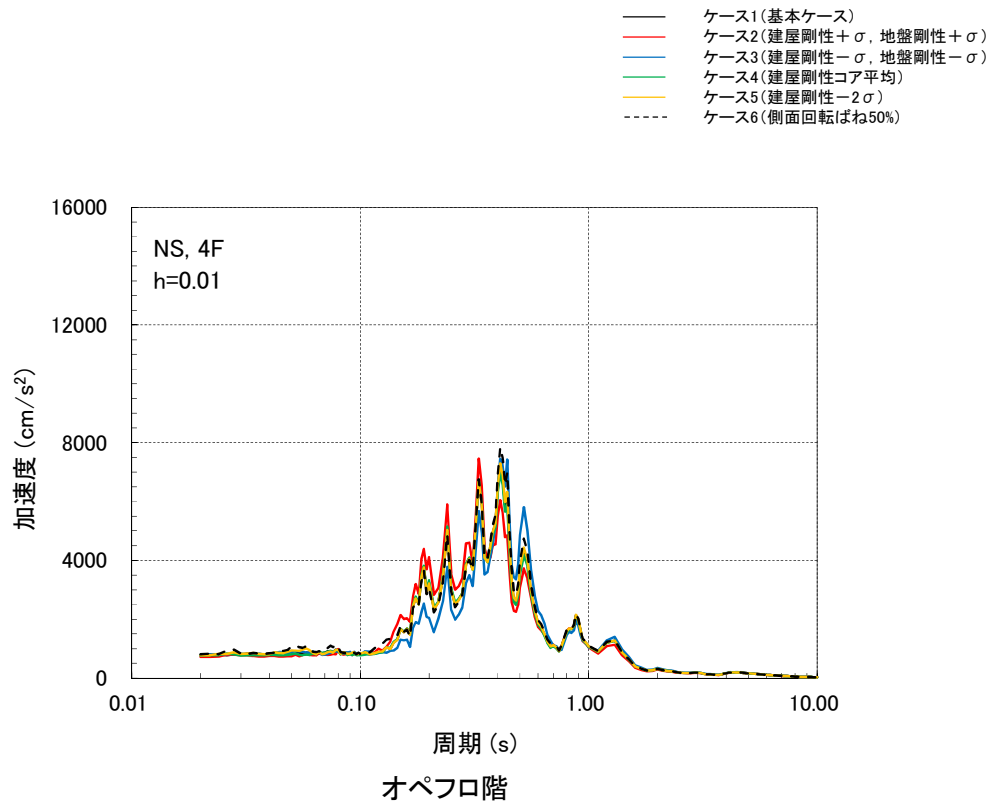
(a) Ss-1、NS 方向

図 4 (1/4) 建屋床応答スペクトルの比較 (h=1%)



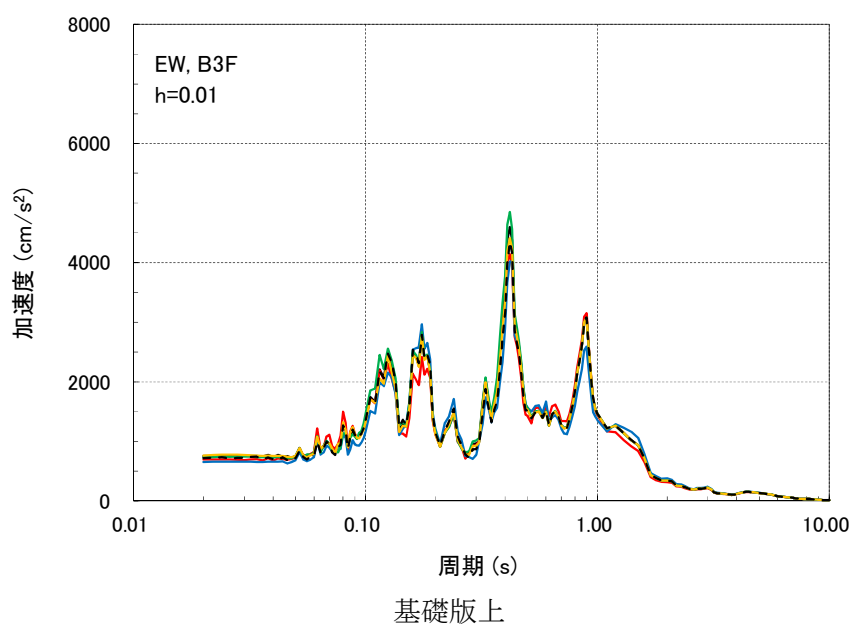
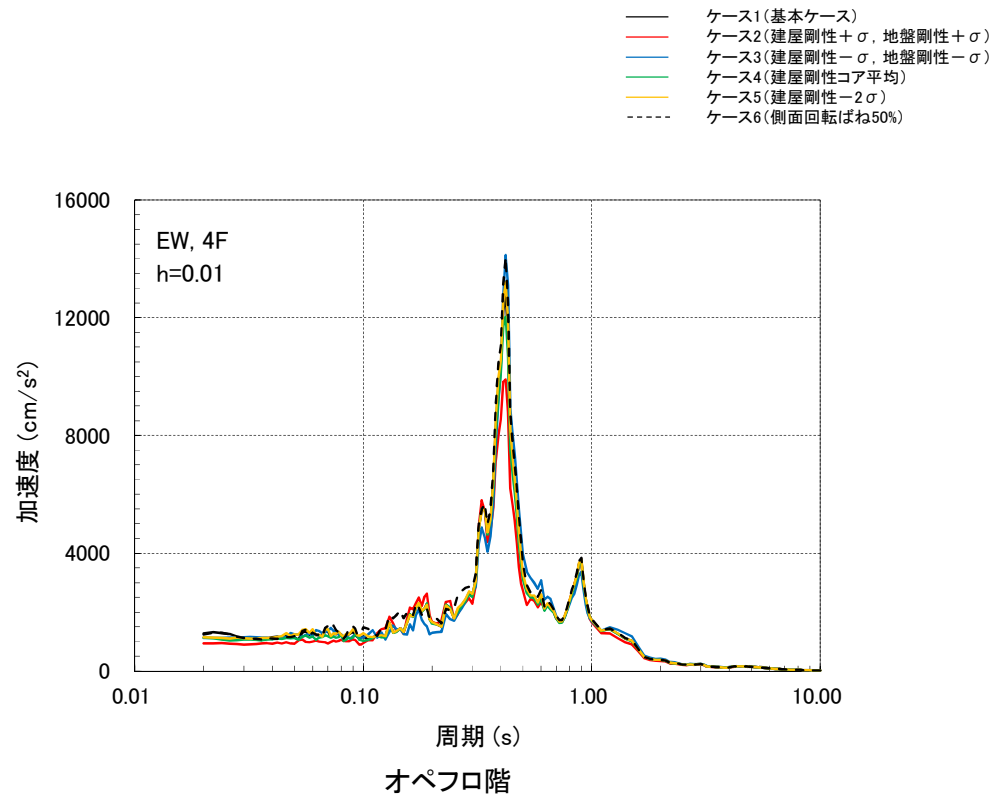
(b) Ss-1、EW 方向

図 4 (2/4) 建屋床応答スペクトルの比較 (h=1%)



(c) Ss-2、NS 方向

図 4 (3/4) 建屋床応答スペクトルの比較 (h=1%)



(d) Ss-2、EW 方向

図 4 (4/4) 建屋床応答スペクトルの比較 (h=1%)

表 2 建屋接地率の比較

解析ケース	接地率(%)			
	NS 方向		EW 方向	
	Ss-1	Ss-2	Ss-1	Ss-2
ケース 1	68.9	81.8	69.2	67.7
ケース 2	70.5	88.5	69.2	71.0
ケース 3	68.7	80.4	69.4	66.7
ケース 4	68.1	82.6	69.3	67.8
ケース 5	69.3	81.7	69.5	67.7
ケース 6	61.0	72.5	61.4	56.6

3. 2 機器・配管系

耐震成立性の見通し確認評価に用いる「原子炉本体基礎の地震応答解析モデル」および「炉心，原子炉圧力容器および圧力容器内部構造物の地震応答解析モデル」の地震荷重等について以下に示す。なお，ここでは基本ケースに加えて，建物・構築物の検討において主要な応答を示したケース 2 およびケース 5 と，機器・配管系のみの検討ケースであるケース 7 およびケース 8 を代表として実施した。

なお，不確かさの設計への反映は全てのケースを対象とし，上記の地震応答解析モデルを用いない原子炉建屋等に設置される機器・配管系に対してもおこなう予定である。

(1) 地震荷重

各ケースの地震応答解析から得られる代表設備の地震荷重（モーメント，せん断力，ばね反力）の比較を表 3 に示す。

表 3 代表部位における地震荷重等の比較

設備名	原子炉本体の基礎	原子炉圧力容器 (基礎ボルト)	ダイヤフラム フロア	原子炉冷却材再循環 ポンプ付け根部
荷重（単位）	モーメント (kN・m)	モーメント (kN・m)	反力 (kN)	モーメント (kN・m)
【参考】許容値を満足する地震荷重の目安値※1	1200000	461000	53000	2310
◆ケース 1 (基本ケース)	843000	100000	32000	2110
◆ケース 2 (建屋剛性+ σ ，地盤剛性+ σ)	808000	108000	35200	2160
◆ケース 5 (建屋剛性-2 σ)	937000	101000	29000	2110
◆ケース 7 (原子炉系コンクリート実強度相当)	902000	99100	29600	2080
◆ケース 8 (原子炉本体基礎曲線包絡スケルトンカーブ)	903000	99000	27200	2120

※1 7号炉を例とした概算値（地震荷重はSs-1及びSs-2包絡値）

(2) 床応答スペクトル

代表箇所（原子炉遮蔽壁）における基本ケースの床応答スペクトルを周期方向に±10% 拡幅したものと各ケースの床応答スペクトルの比較を図 5 に示す。

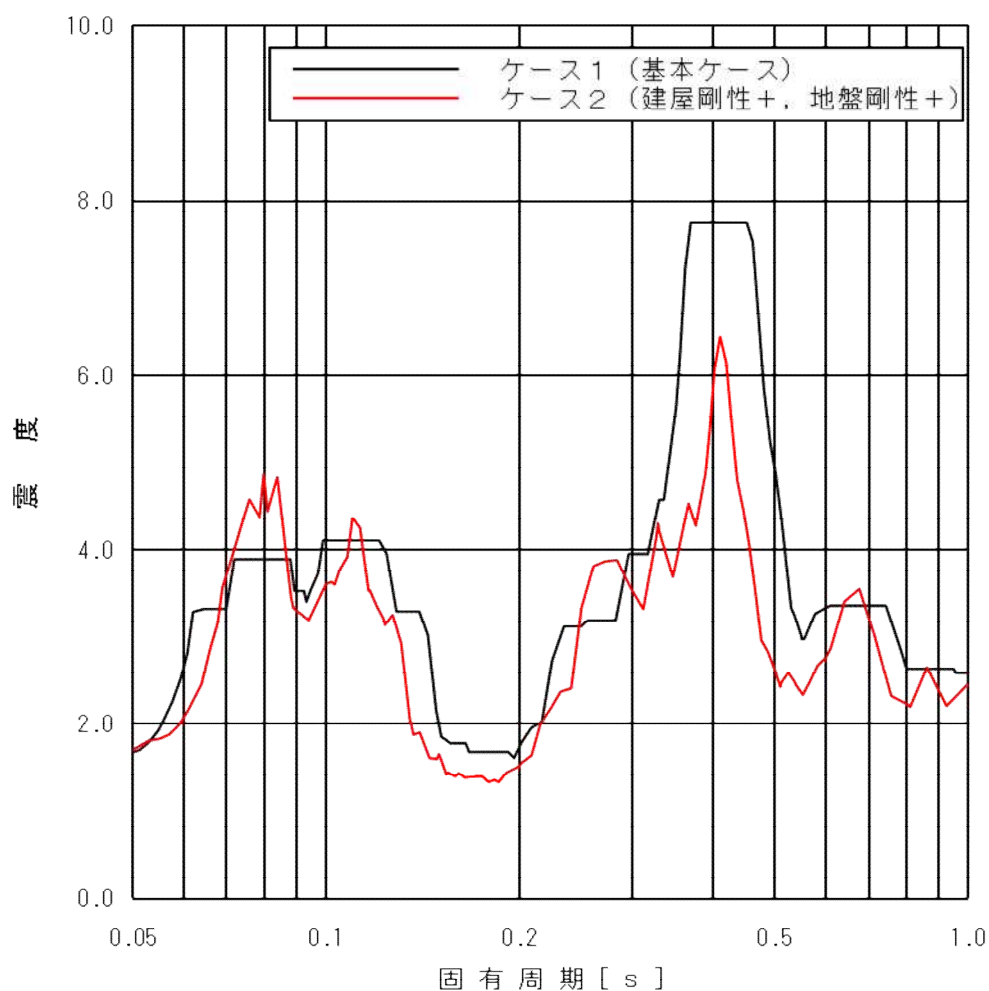


図 5 (1/4) 原子炉遮蔽壁における床応答スペクトル比較 (ケース 2)
(T. M. S. L. 18. 44m, Ss-1 及び Ss-2 包絡, 水平方向 (NS/EW 包絡), 減衰 2. 0%)

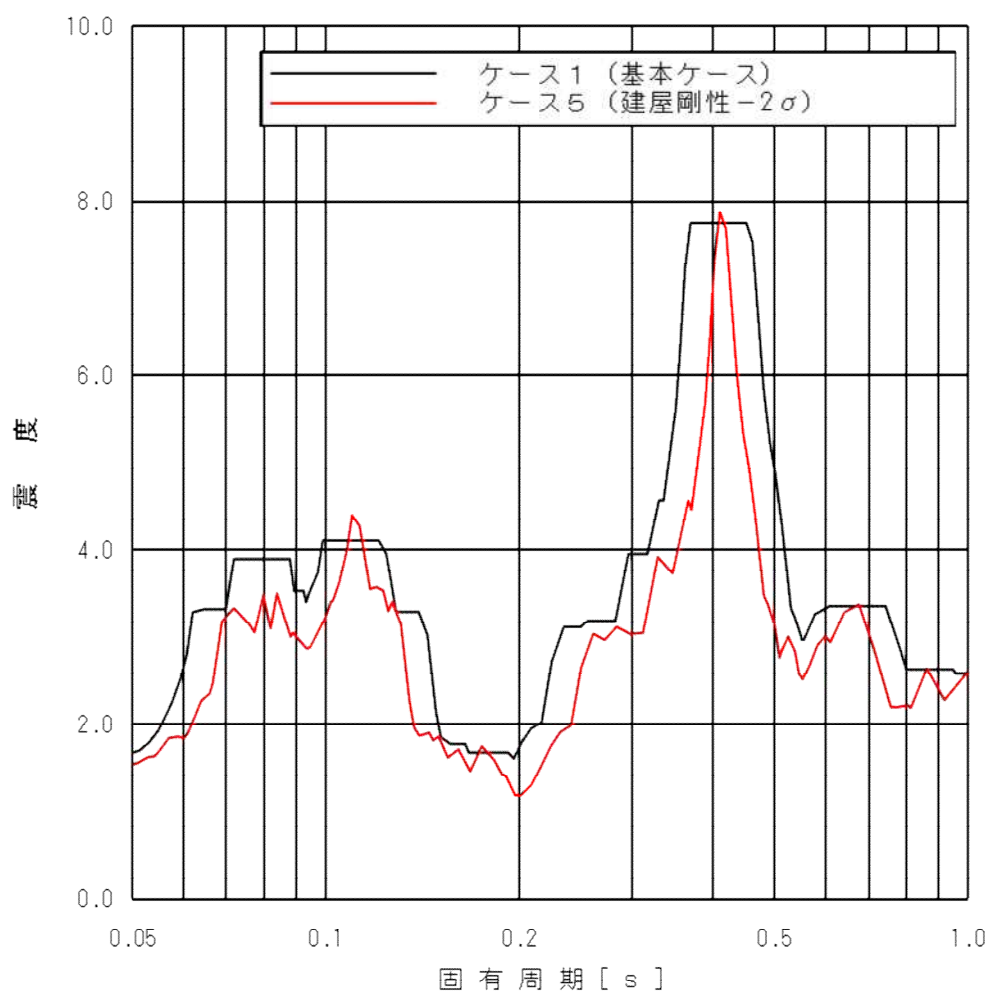


図5 (2/4) 原子炉遮蔽壁における床応答スペクトル比較 (ケース5)
(T.M.S.L. 18.44m, Ss-1 及び Ss-2 包絡, 水平方向 (NS/EW 包絡), 減衰 2.0%)

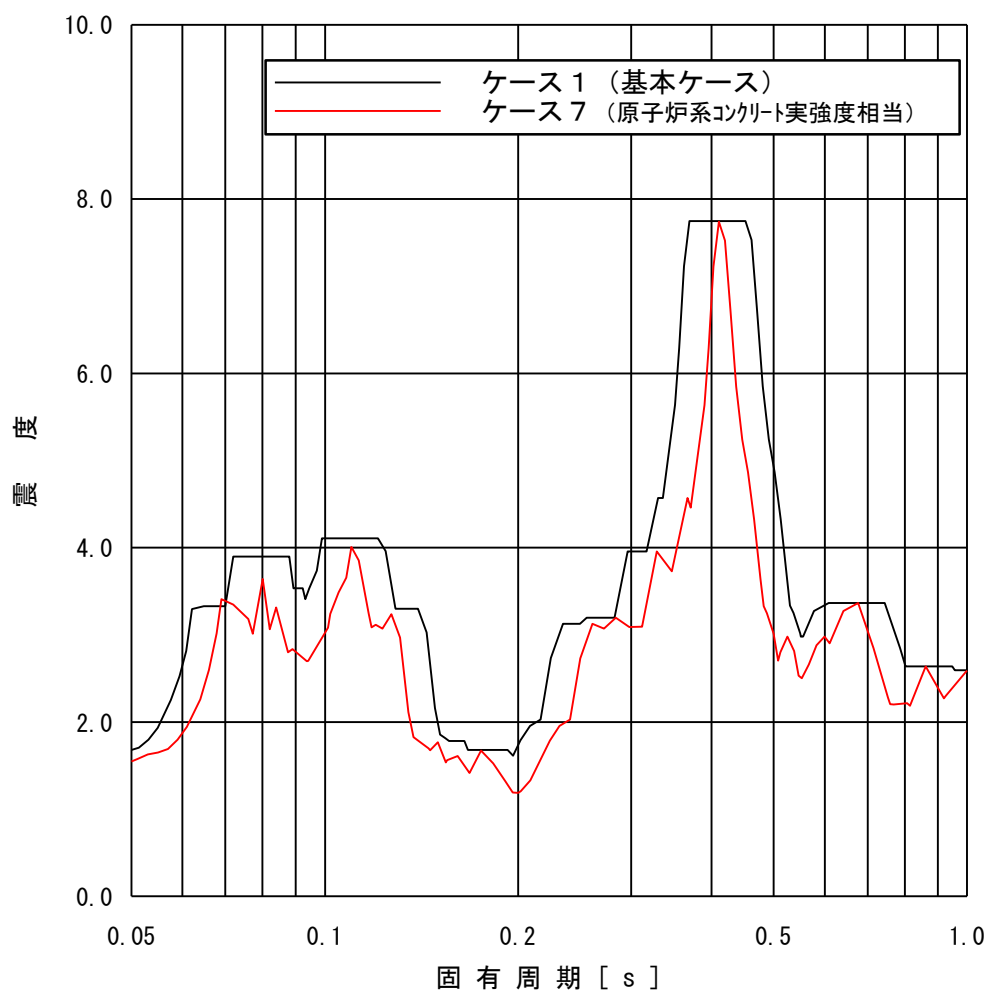


図 5 (3/4) 原子炉遮蔽壁における床応答スペクトル比較 (ケース 7)
(T. M. S. L. 18. 44m, Ss-1 及び Ss-2 包絡, 水平方向 (NS/EW 包絡), 減衰 2. 0%)

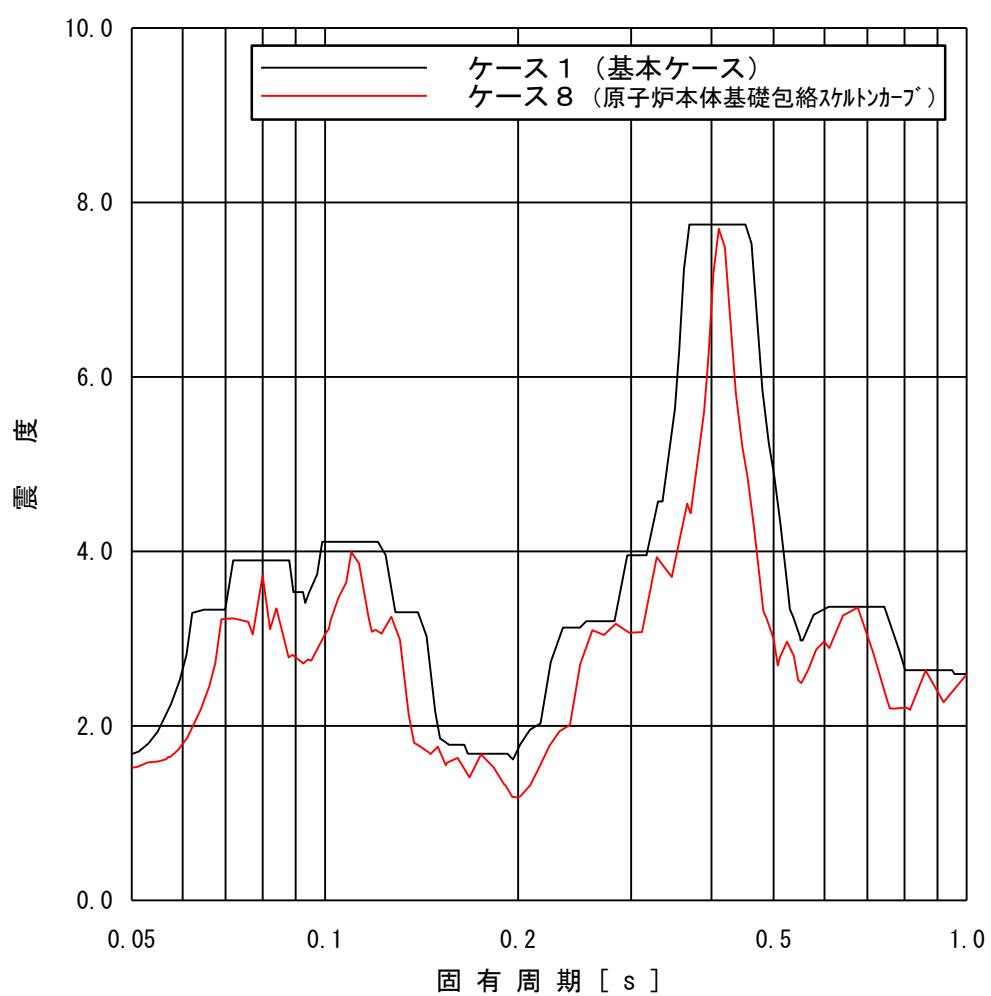


図 5 (4/4) 原子炉遮蔽壁における床応答スペクトル比較 (ケース 8)
(T.M.S.L. 18.44m, S_S-1 及び S_S-2 包絡, 水平方向 (NS/EW 包絡), 減衰 2.0%)

4. 機器・配管系への影響検討

(1) 検討方法

各ケースの地震応答解析結果を用いて、代表設備（図6）の評価を実施し、評価結果へ与える影響を確認した。

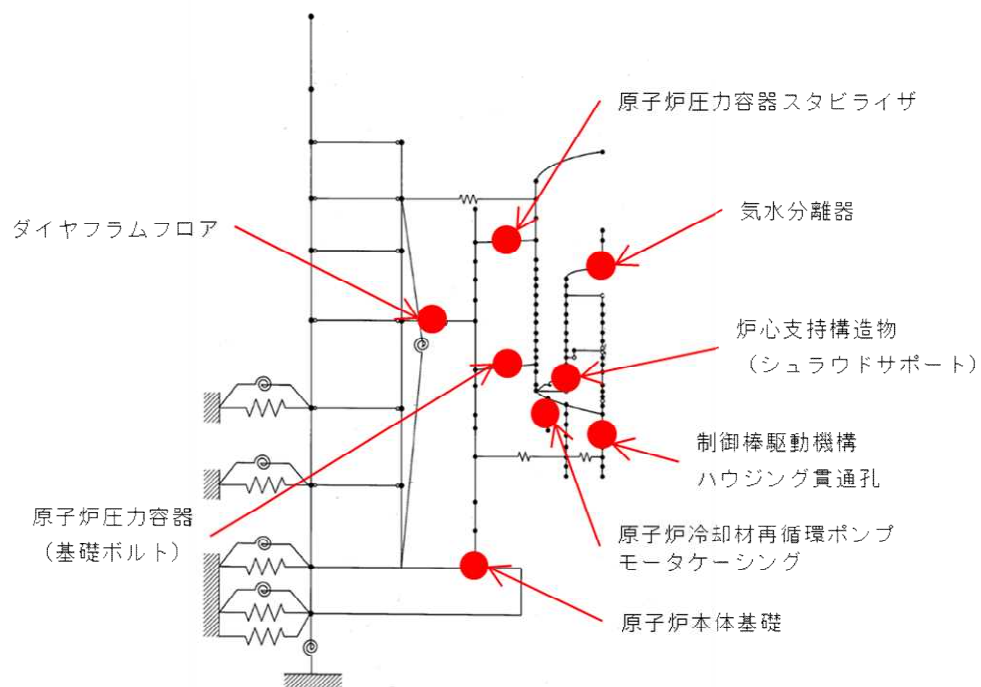


図6 評価対象設備（代表設備）

(2) 評価結果

代表設備の評価結果を表 4 に示す。なお，ケース 7 およびケース 8 については，地震荷重等と床応答スペクトルがケース 2 およびケース 5 に包絡されることから，評価結果はケース 1，2，5 について示す。

表 4 代表設備の評価結果

設備名	評価部位 (応力分類)	検討ケース	発生値※ ¹	許容値※ ²	単位
原子炉本体 の基礎	アンカボルト (引抜力)	ケース 1	3607	5907	kN/4.5°
		ケース 2	3303		
		ケース 5	3954		
原子炉 圧力容器	基礎ボルト (引張)	ケース 1	233	499	MPa
		ケース 2	237		
		ケース 5	233		
炉心支持 構造物 (シュラウド サポート)	レグ (一次一般膜)	ケース 1	58	334	MPa
		ケース 2	56		
		ケース 5	57		
気水分離器	スタンド パイプ (一次一般膜 +一次曲げ)	ケース 1	76	205	MPa
		ケース 2	78		
		ケース 5	80		
制御棒駆動 機構ハウジ ング貫通孔	スタブ チューブ (軸圧縮)	ケース 1	90	124	MPa
		ケース 2	91		
		ケース 5	96		
原子炉圧力 容器スタビ ライザ	ロッド (引張)	ケース 1	241	513	MPa
		ケース 2	244		
		ケース 5	240		
ダイヤフラ ムフロア	シアプレート (曲げ応力度)	ケース 1	297	492	MPa
		ケース 2	326		
		ケース 5	269		
原子炉再循 環ポンプモ ータケーシ ング	ケーシング (軸圧縮)	ケース 1	184	207	MPa
		ケース 2	184		
		ケース 5	184		

※1：7 号炉を例とした概算値。

※2：許容応力状態Ⅳ_AS における許容値。

参考資料－４ 各詳細化項目のシミュレーション解析への影響度の検討

１．はじめに

今回工認で採用を予定している建屋の地震応答解析モデルは、平成 19 年新潟県中越沖地震時の観測記録に基づく建屋シミュレーション解析から得られた知見を踏まえて、より実現象に近い応答を再現するという観点から、既工認で構築していた建屋解析モデルに対して、①コンクリート実剛性、②補助壁の考慮、③側面地盤ばねにおける回転成分の考慮 を反映する予定である。本資料は、シミュレーション解析の結果と観測記録との整合性及び各変更項目がシミュレーション解析結果に与える影響を示すものである。なお、6 号炉原子炉建屋と 7 号炉原子炉建屋はほぼ同様の構造となっていることから、7 号炉原子炉建屋を代表として検討を実施する。

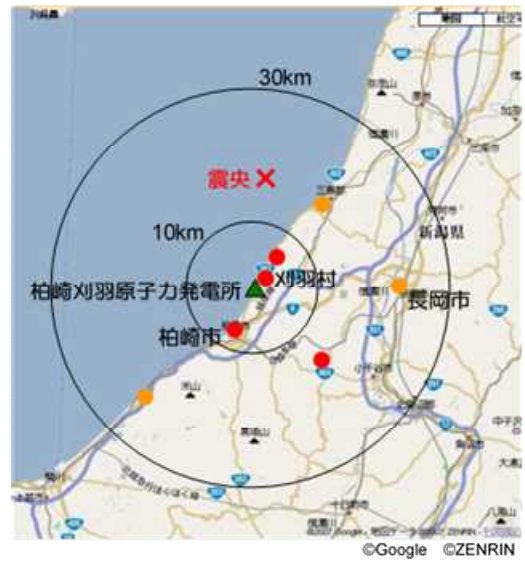
２．新潟県中越沖地震時に取得された観測記録を用いたシミュレーション解析

(1) 観測記録を用いた検討の概要

シミュレーション解析に用いる地震の諸元を図－１に、地震計位置を図－２に示す。原子炉建屋基礎版上で得られた観測記録を図－３に示す。

また、本検討におけるシミュレーション解析は、地震時に観測した基礎版上における水平方向及び鉛直方向の地震観測記録を用いた弾性応答解析による。建屋各部位の応答は、原子炉建屋の基礎版上での観測記録波を解析モデルの基礎版上に入力し、基礎版上からの建屋各部の伝達関数を用いて算定する。シミュレーション解析における地震応答解析のフローを図－４に示す。

地震名	新潟県中越沖地震
発生日時	2007 年 7 月 16 日 午前 10 時 13 分頃
マグニチュード	6.8
震源深さ	17km
震央距離	16km
震源距離	23km



図－1 検討に用いる地震の諸元（2007 年新潟県中越沖地震）

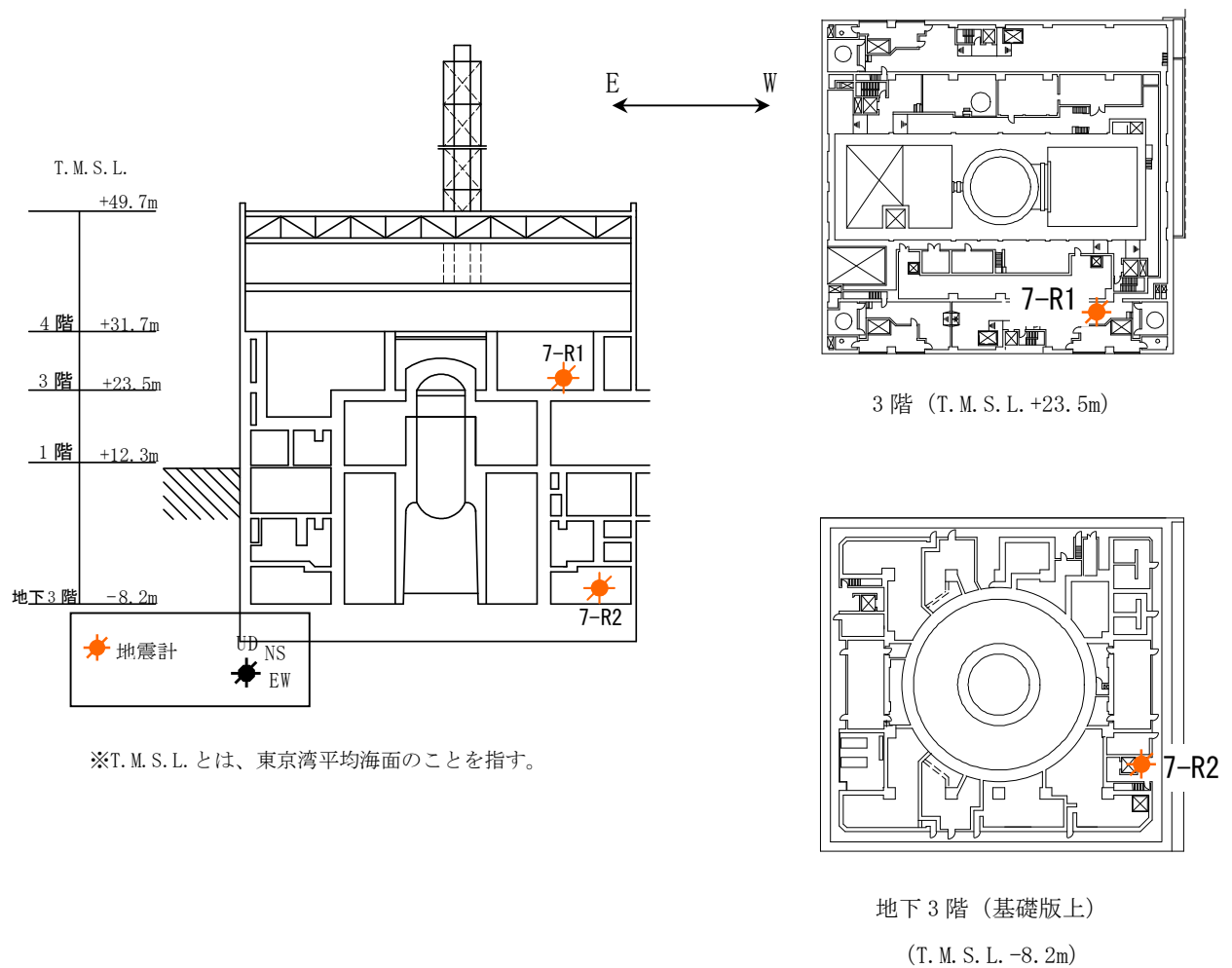
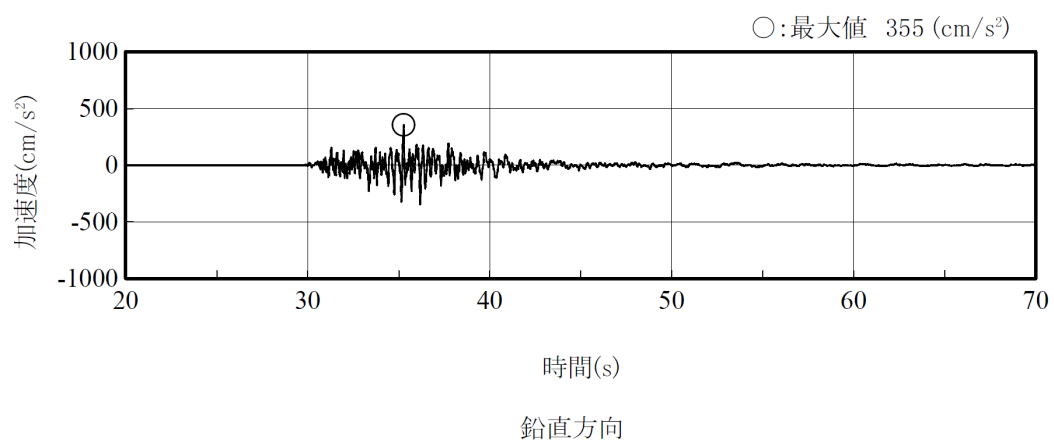
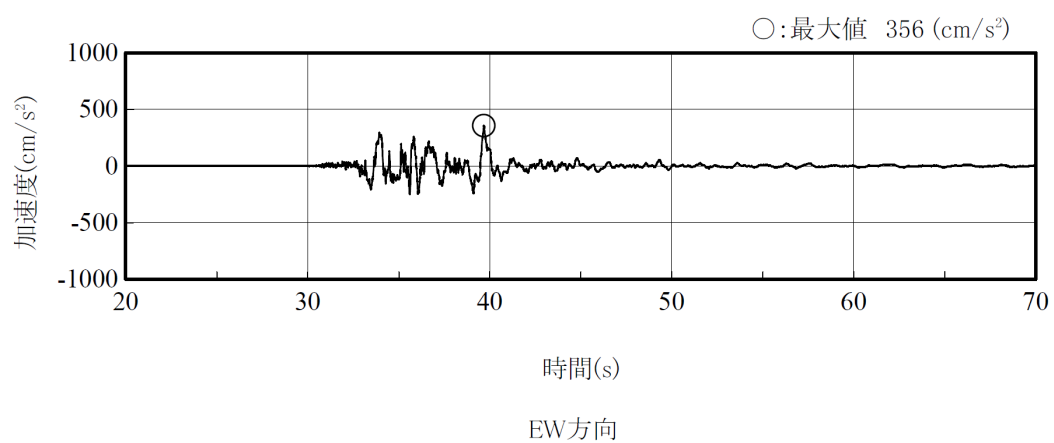
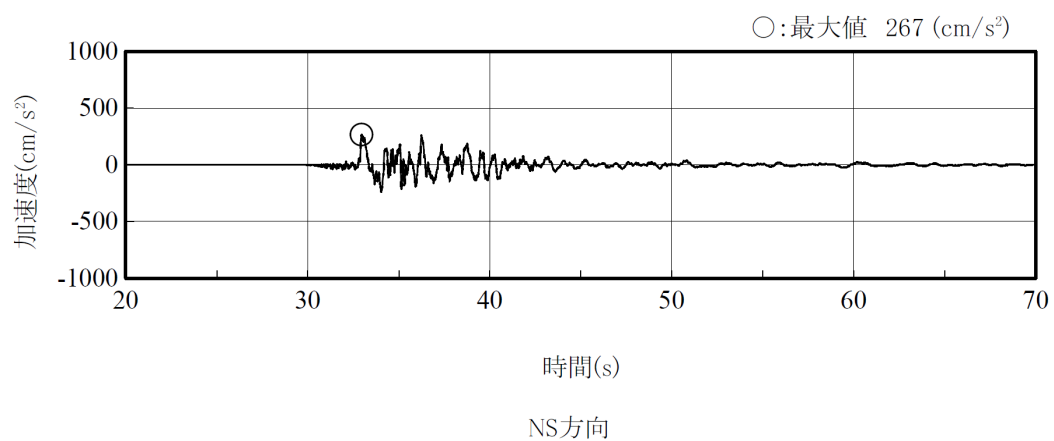


図-2 7号炉原子炉建屋 地震計設置位置



図－3 原子炉建屋基礎版上の地震観測記録 加速度時刻歴波形
(7-R2 : T. M. S. L. -8. 2m)

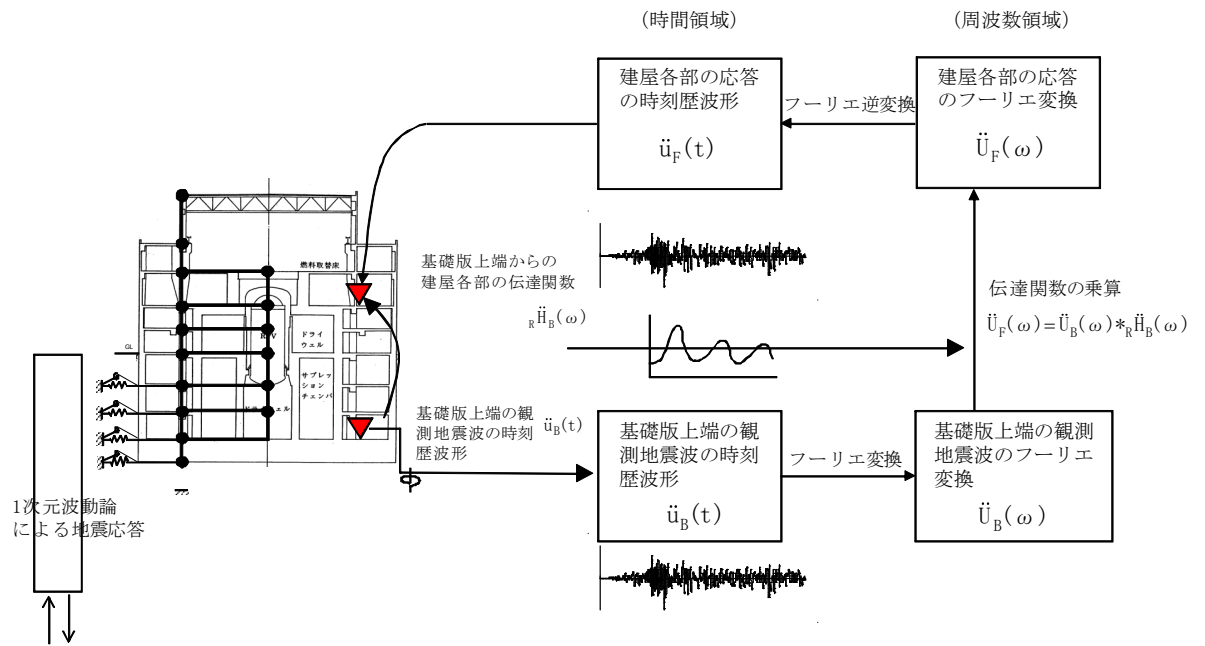


図-4 解析フロー図

(2) 検討ケース

表 2-1 に示す全 5 ケースについて解析を実施した。鉛直方向の解析モデルでは、側面地盤の効果は考慮していないことから、Case1 および Case2 でのみ検討を実施している。

表 2-1 パラメータスタディケース

ケース名	建屋モデル		地盤モデル
	コンクリートのヤング係数	剛性を考慮する部位	側面ばね
既工認手法に基づく解析モデル	設計基準強度に基づく	耐震壁	水平
Case1	実剛性※	耐震壁	水平
Case2	設計基準強度に基づく	耐震壁＋補助壁	水平
Case3	設計基準強度に基づく	耐震壁	水平・回転
シミュレーション解析モデル（今回工認採用予定の項目を反映したモデル）	実剛性※	耐震壁＋補助壁	水平・回転

※本シミュレーション解析においては、建設時の取得データを元に文献調査等を踏まえて経年による強度増進効果を加味して設定した推定実強度（ $F_c=500\text{kg/cm}^2$ 、詳細は別紙-1 参照）に基づく剛性を使用している。なお、工認計算では、別紙-1 で検討した通り、妥当性・信頼性の観点から、建設時の 91 日強度の平均値に相当する値（ $F_c=440\text{kg/cm}^2$ ）をコンクリート実強度として剛性を算定する予定である。

3. シミュレーション解析結果

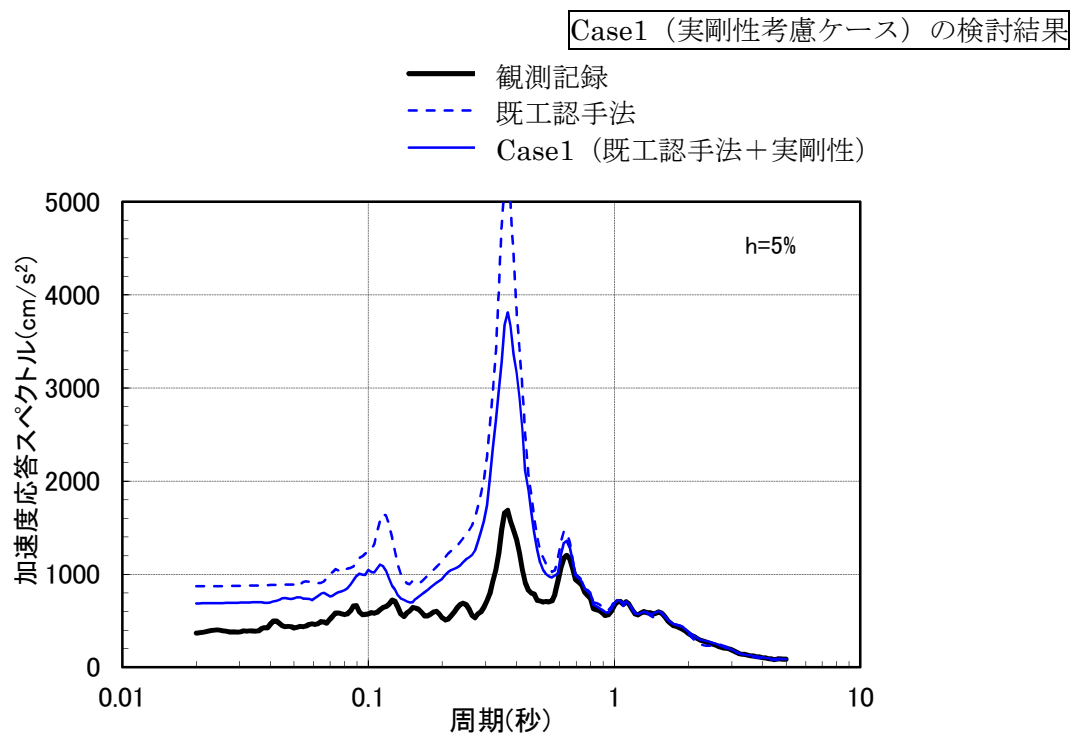
Case 1～3 の各ケースの地震応答解析結果と既工認手法の地震応答解析結果、観測記録とを比較した結果（床応答スペクトル、最大応答加速度）を図 3-1～6 に示す。また、シミュレーション解析モデル（今回工認で採用予定の項目を反映したモデル）による解析結果を図 3-7,8 に示す。表 3-1 に各解析ケースを考察した結果を示す。

4. まとめ

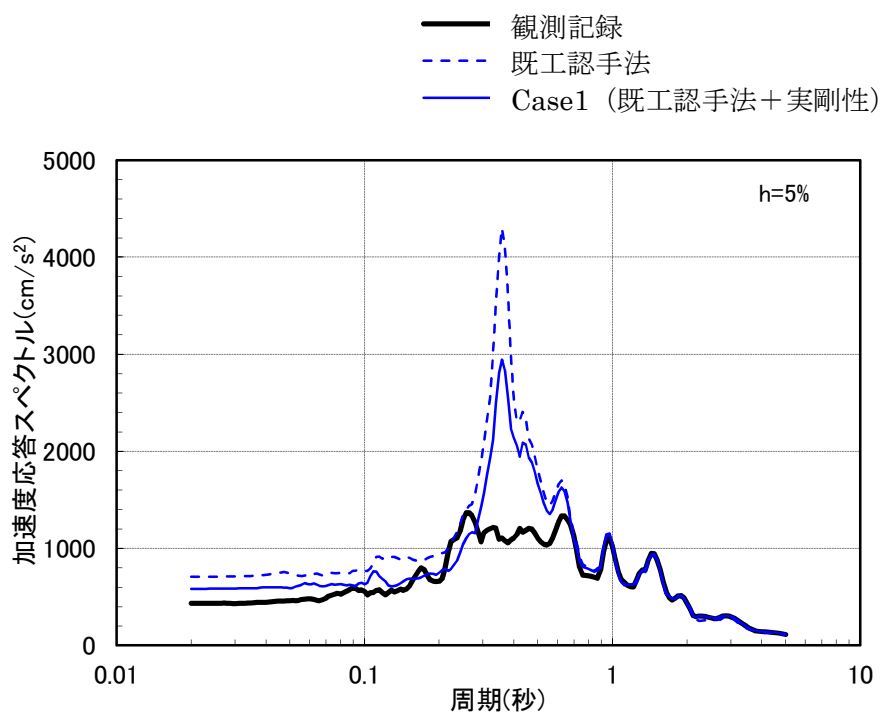
各モデルの変更点が中越沖地震時のシミュレーション解析結果に与える影響を把握するために、パラメータスタディを実施し、各変更点がシミュレーション解析結果に与える影響を確認した。

表 3-1 考察結果

解析ケース		考察
Case1 (NS/EW/UD)	実剛性考慮	<ul style="list-style-type: none">・加速度応答スペクトルについては、NS,EW, 鉛直方向共に、既工認手法と比較して、観測記録との整合性が向上している。・最大応答加速度については、NE・EW 方向については、既工認手法よりも整合性が向上するかほぼ同等の結果となっており、鉛直方向については、記録と整合性が大きく向上している。
Case2 (NS/EW/UD)	補助壁考慮	<ul style="list-style-type: none">・加速度応答スペクトルについては、NS,EW では既工認手法と比較して観測記録との整合性が向上している。鉛直方向については、周期 0.1 秒より長周期側での整合性は向上している。・最大応答加速度については、NE・EW 方向については、既工認手法よりも整合性が向上している。鉛直方向については、観測記録取得位置では、設計モデルよりも少し応答が大きめとなっている。
Case3 (NS/EW)	回転バネ考慮	<ul style="list-style-type: none">・加速度応答スペクトルについては、NS,EW 共に既工認手法と比較して観測記録との整合性が向上している。他のケースと比べても向上度合いは大きい。・最大加速度についても、NS・EW 方向共に既工認手法と比較して整合性が向上している。
シミュレーション解析モデル (NS/EW/UD)	全項目反映	<ul style="list-style-type: none">・加速度応答スペクトルについては、NS,EW 方向共に Case 1～3 と比較して、観測記録とより整合する結果となっている。鉛直方向についても、建屋モデルを 1 項目のみを変更した Case1,2 と比較して整合性は向上している。・最大加速度についても 1 項目のみを変更した Case1～3 と比較して、整合性は向上する結果となっている。



(1) NS 方向



(2) EW 方向

図 3-1(a) 7 号炉原子炉建屋加速度応答スペクトルの比較 (T.M.S.L.+23.5m) 【Case1】

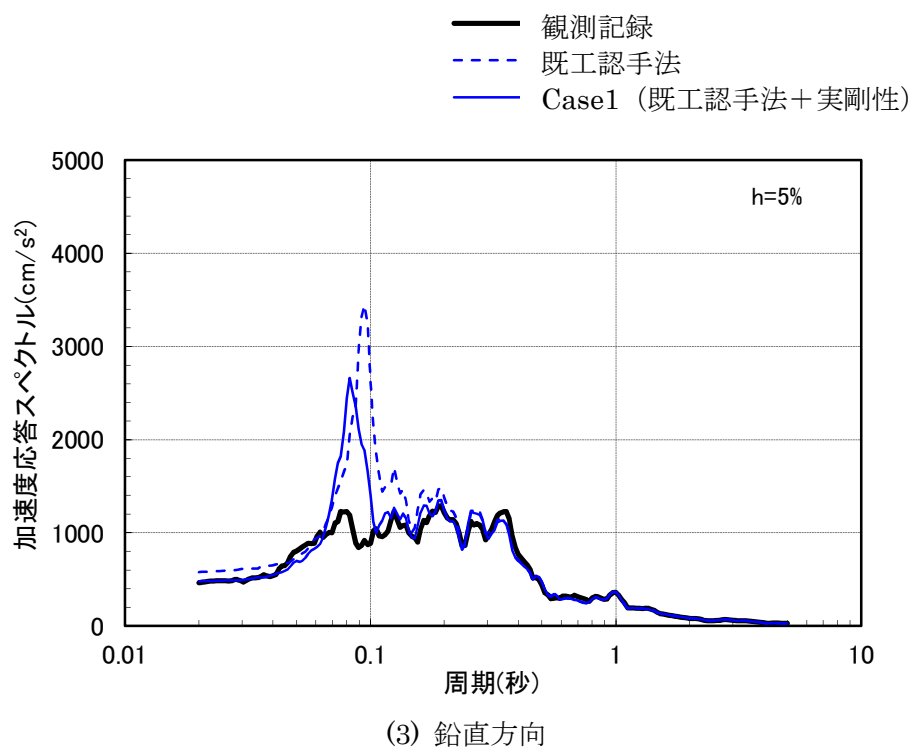
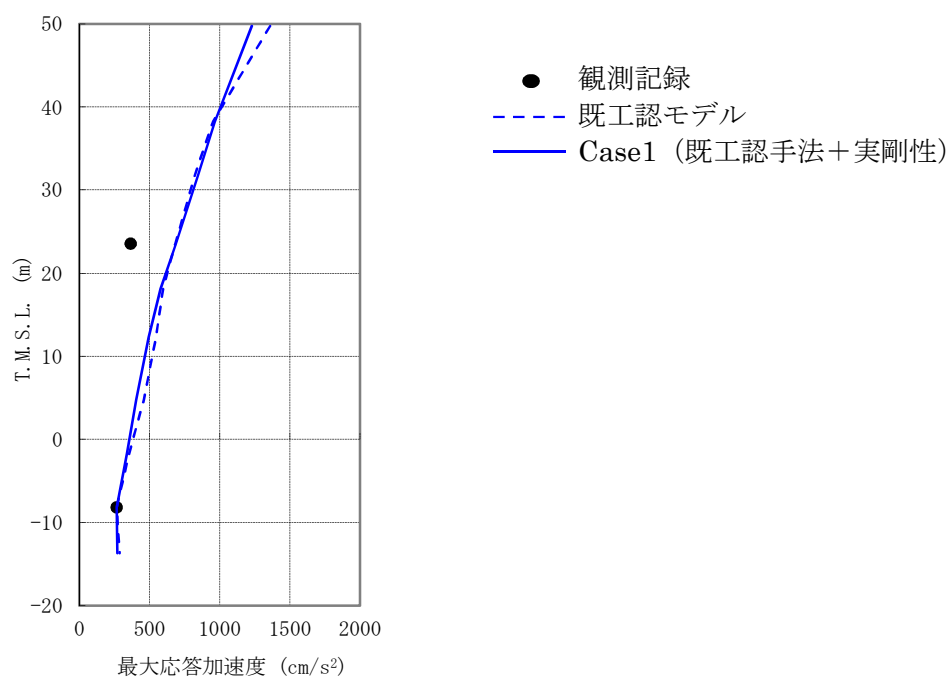
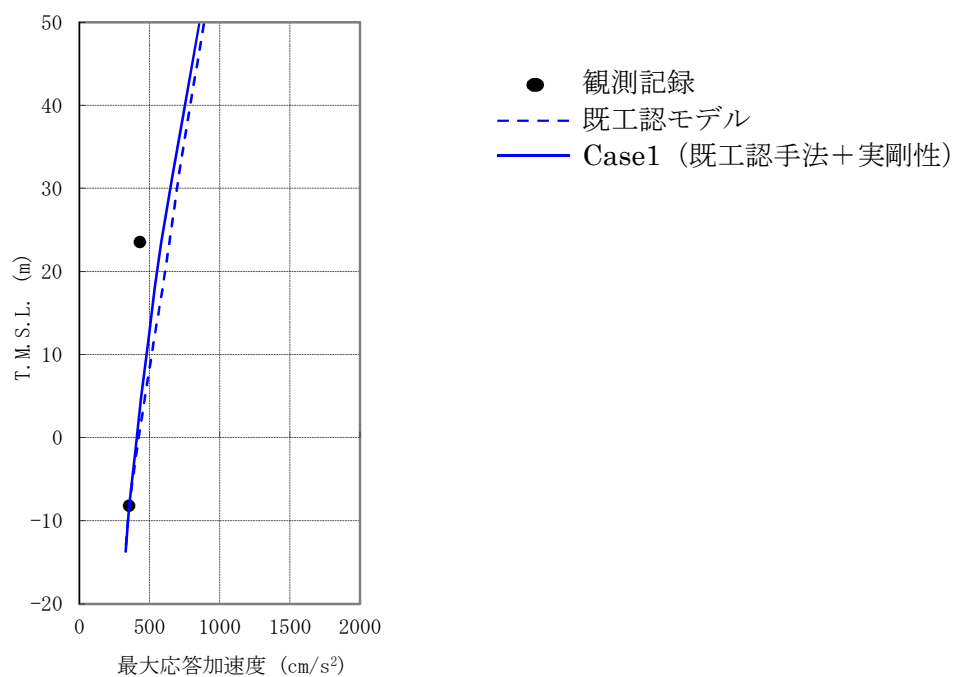


図 3-1(b) 7 号炉原子炉建屋加速度応答スペクトルの比較 (T.M.S.L.+23.5m) 【Case1】

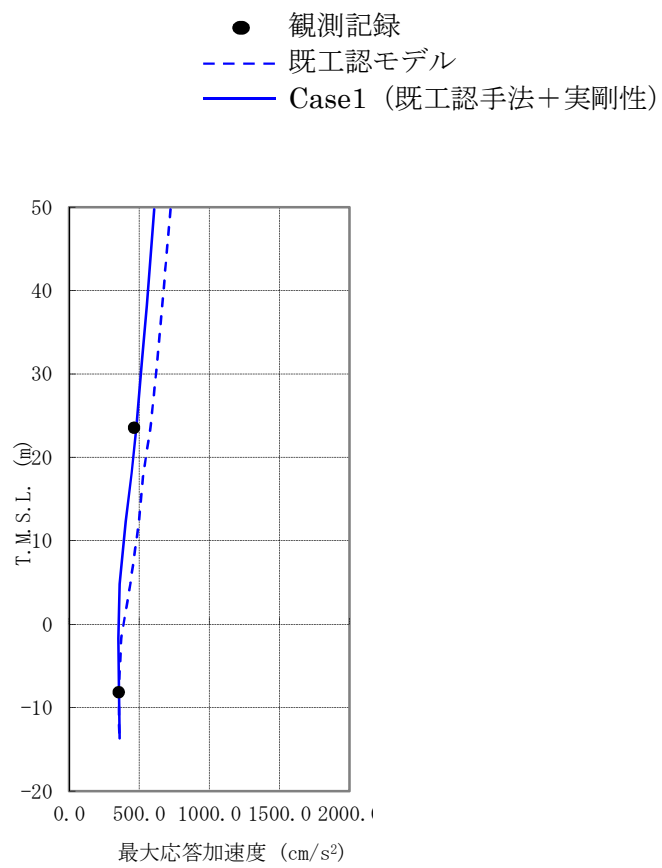


(1) NS 方向



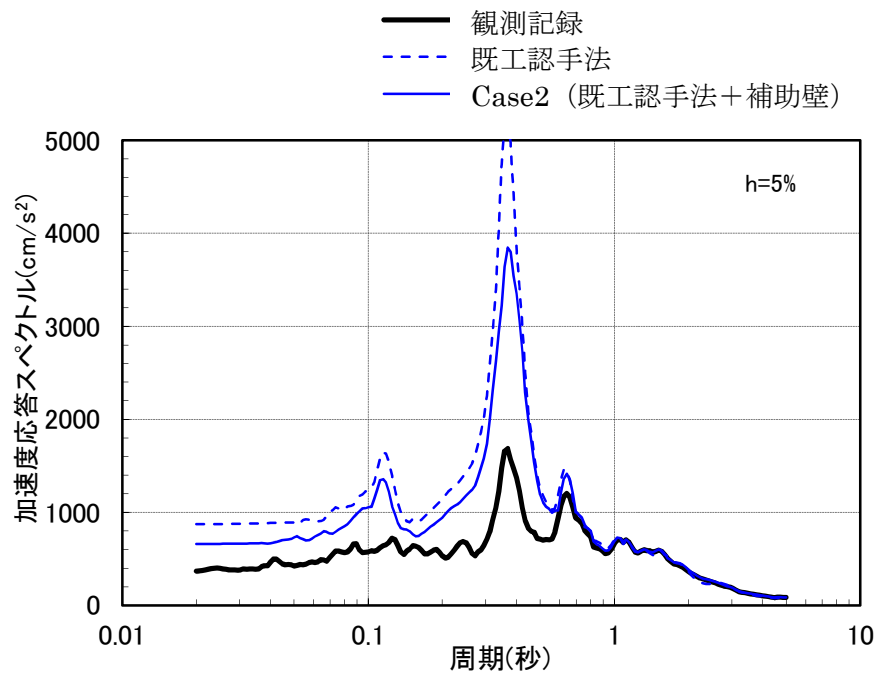
(2) EW 方向

図 3-2(a) 7 号炉原子炉建屋最大応答加速度の比較【Case1】

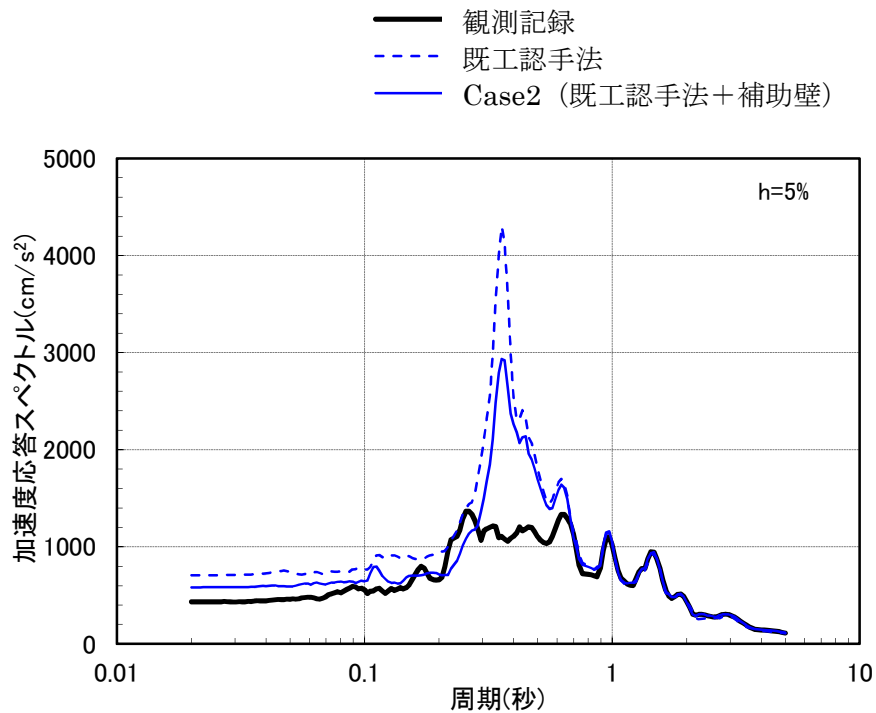


(3) 鉛直方向

図 3-2(b) 7 号炉原子炉建屋最大応答加速度の比較【Case1】



(1) NS 方向



(2) EW 方向

図 3-3(a) 7 号炉原子炉建屋加速度応答スペクトルの比較 (T.M.S.L.+23.5m) 【Case2】

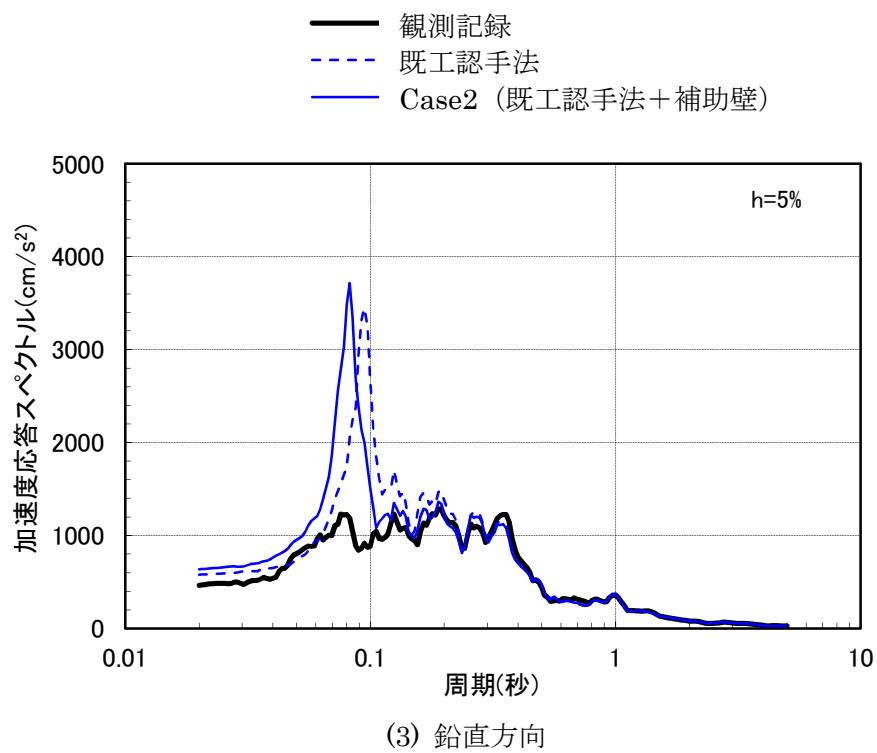
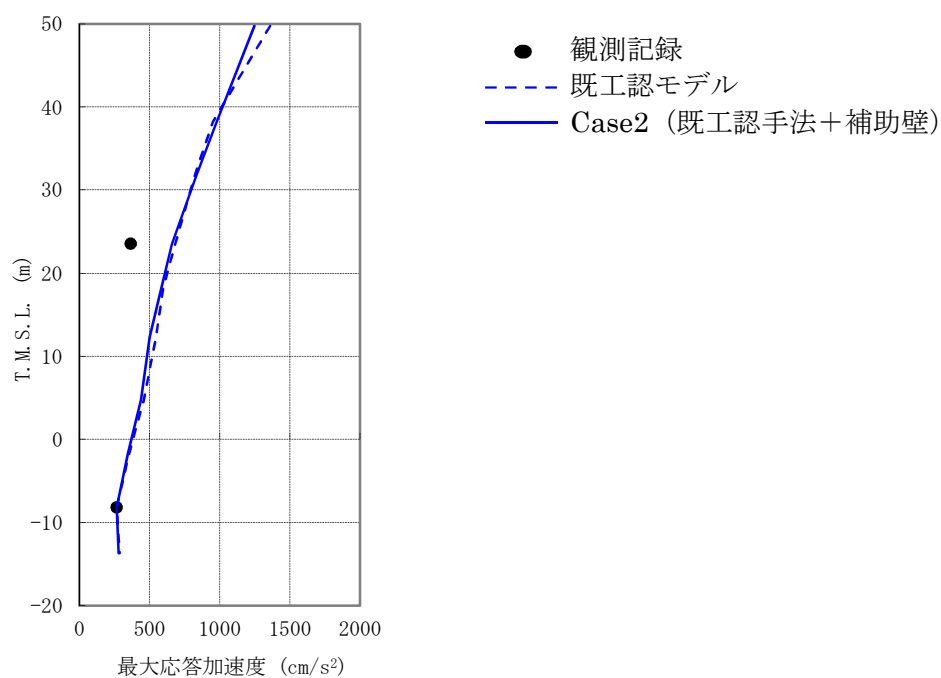
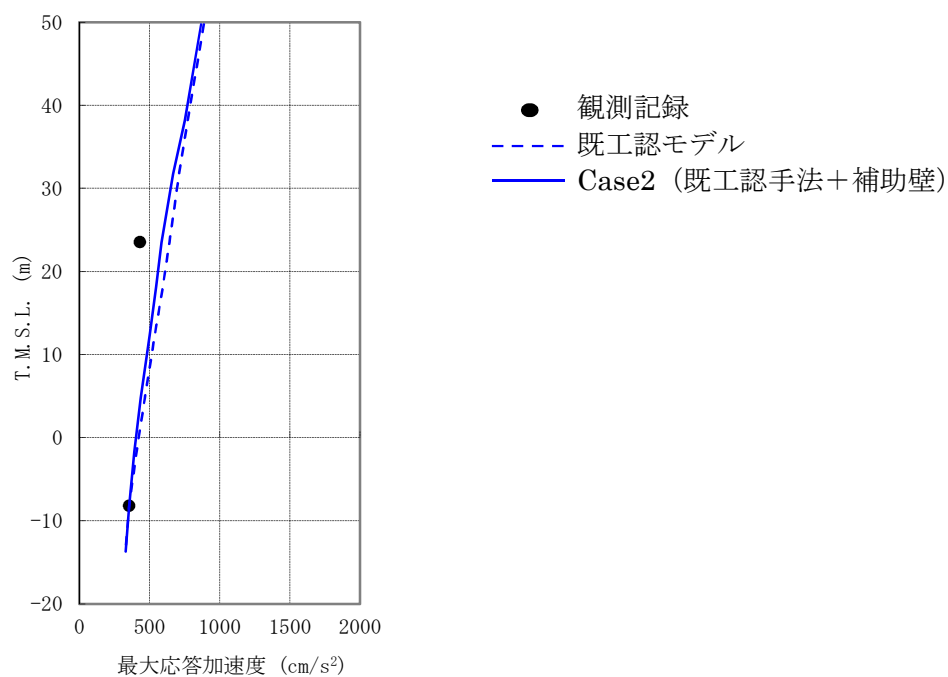


図 3-3(b) 7 号炉原子炉建屋加速度応答スペクトルの比較 (T.M.S.L.+23.5m) 【Case2】

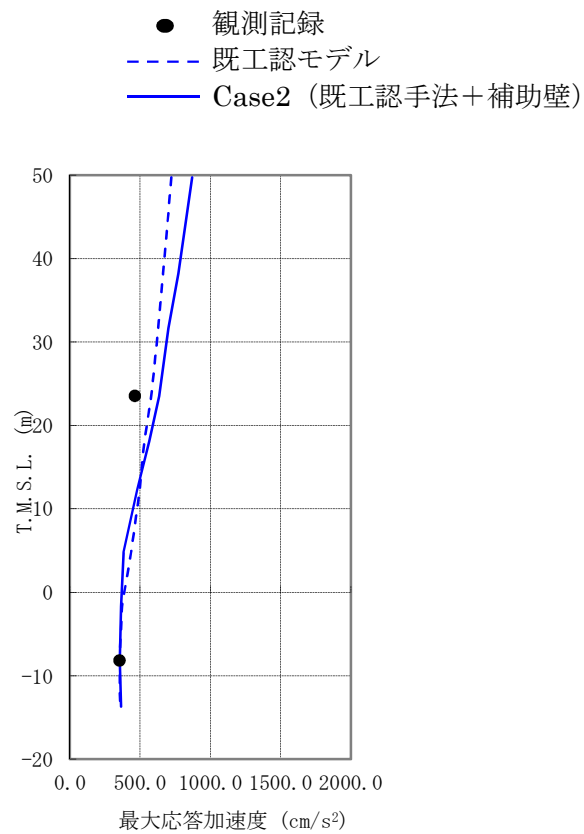


(1) NS 方向



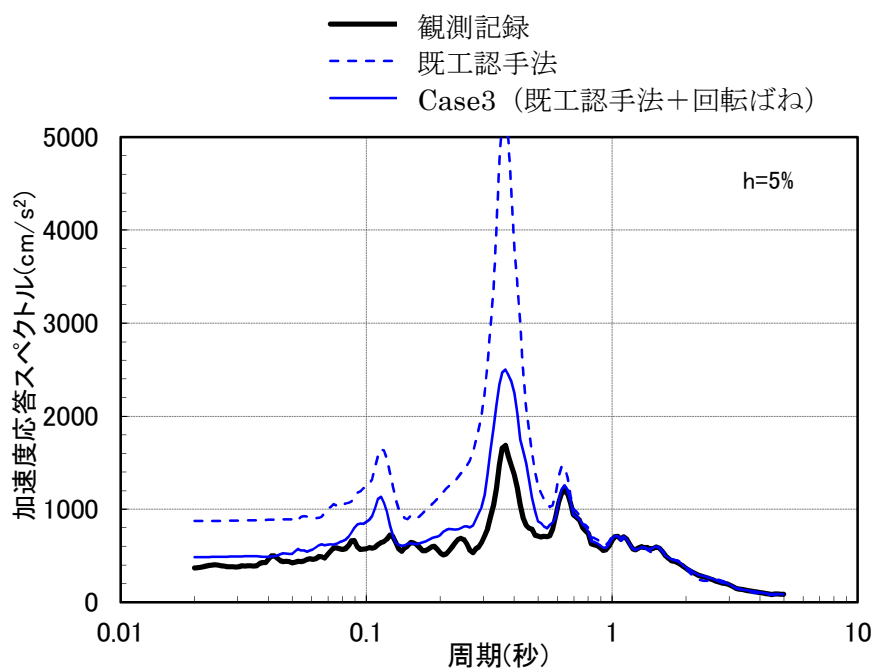
(2) EW 方向

図 3-4(a) 7 号炉原子炉建屋最大応答加速度の比較【Case2】

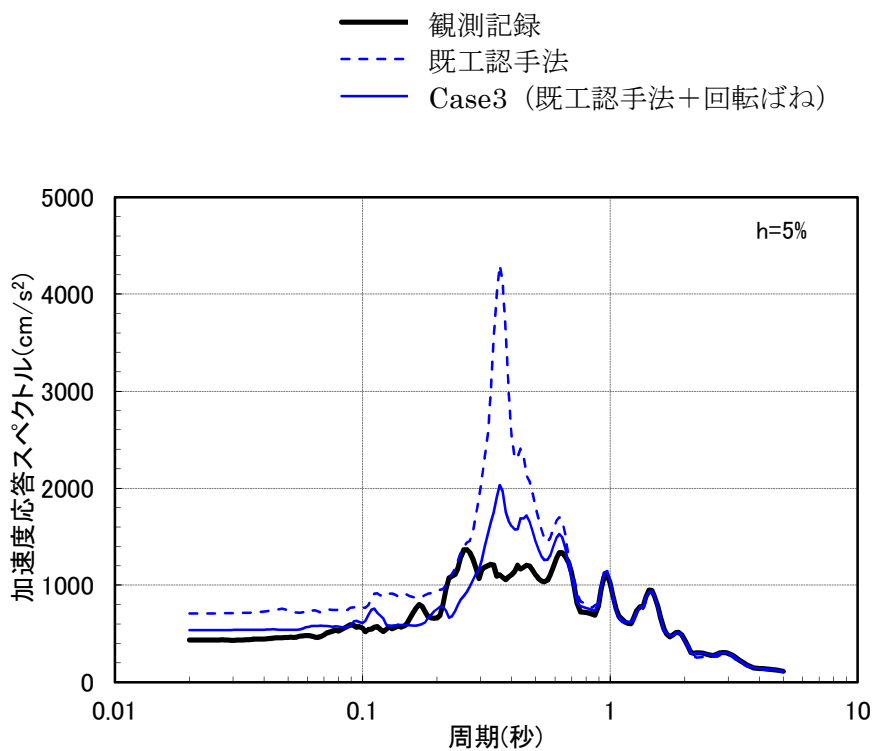


(3) 鉛直方向

図 3-4(b) 7 号炉原子炉建屋最大応答加速度の比較【Case2】

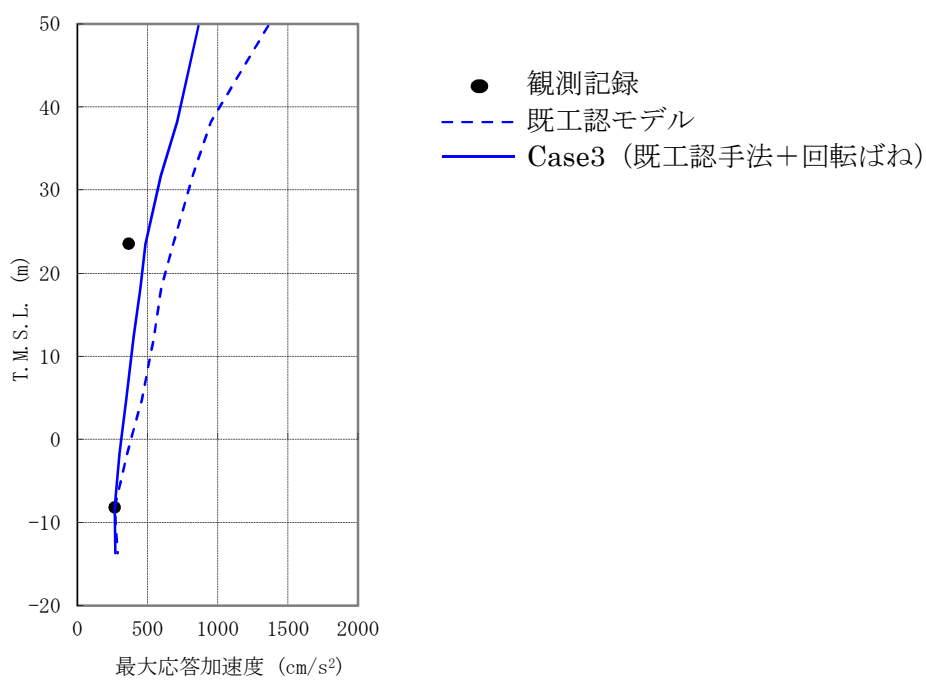


(1) NS 方向

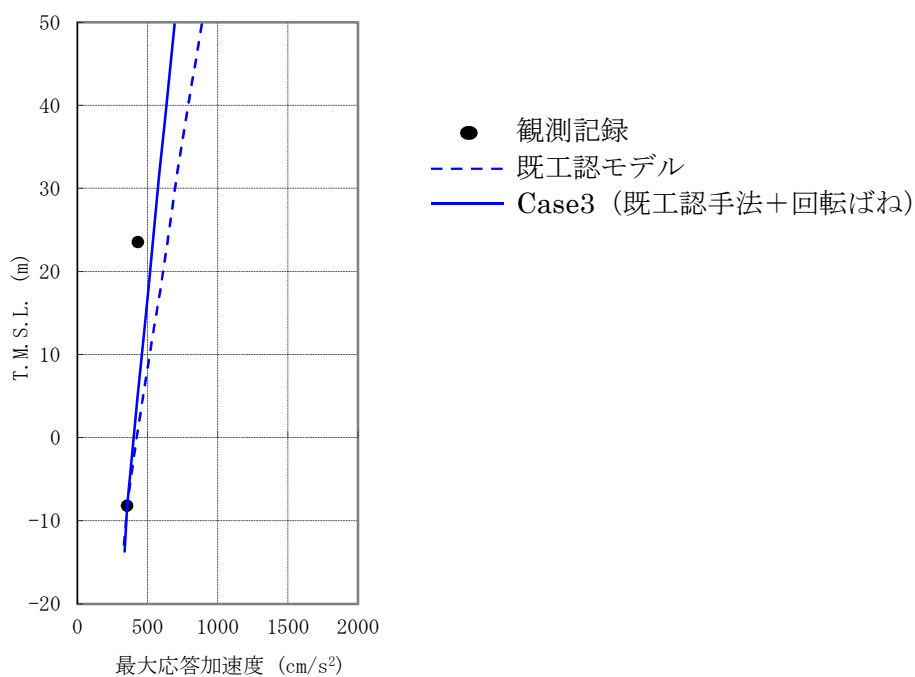


(2) EW 方向

図 3-5 7 号炉原子炉建屋加速度応答スペクトルの比較 (T.M.S.L.+23.5m) 【Case3】

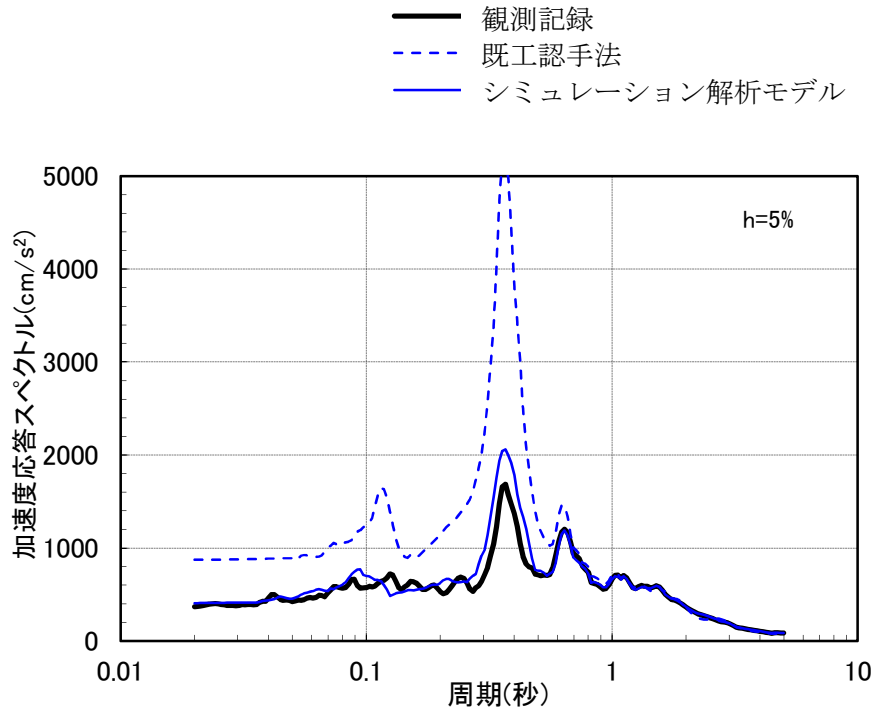


(1) NS 方向

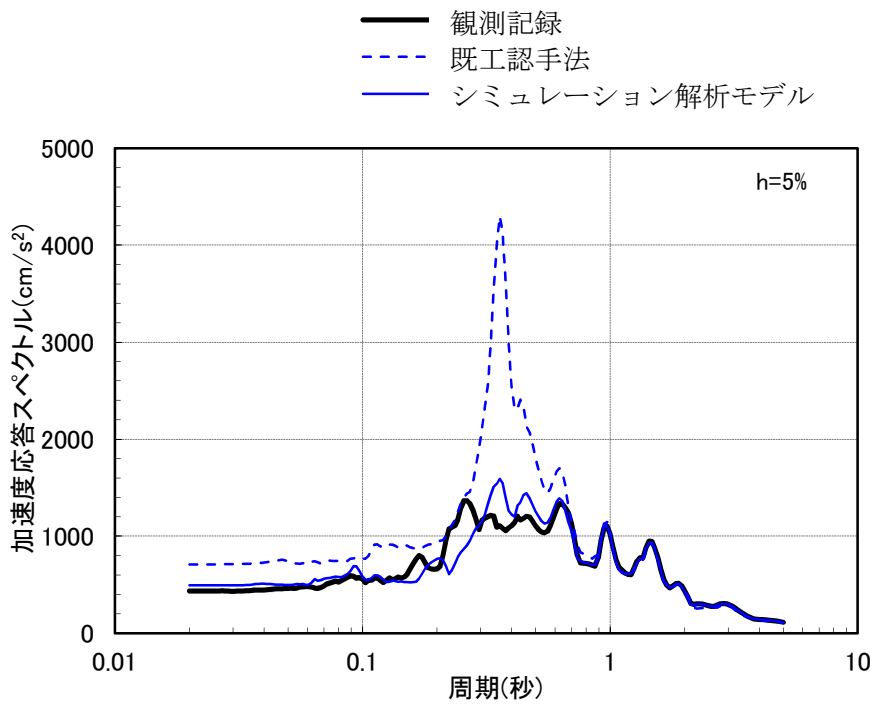


(2) EW 方向

図 3-6 7 号炉原子炉建屋最大応答加速度の比較【Case3】

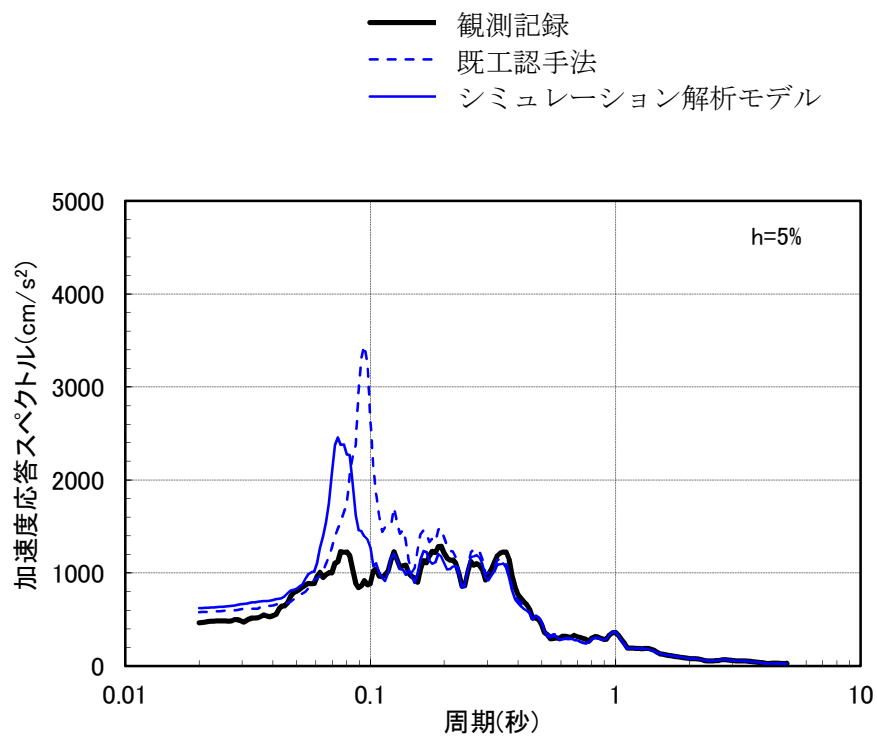


(1) NS 方向



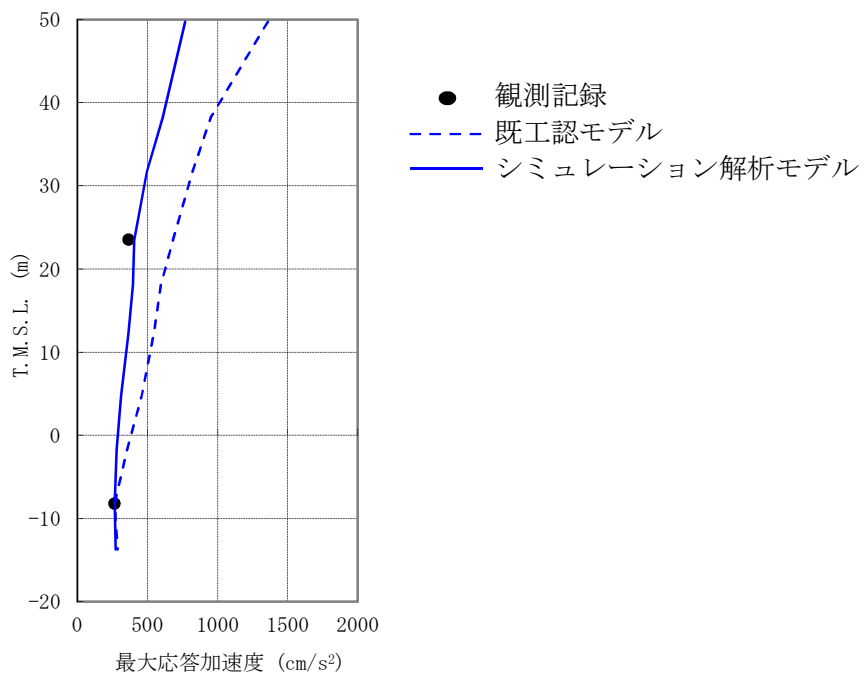
(2) EW 方向

図 3-7(a) 7 号炉原子炉建屋加速度応答スペクトルの比較 (T.M.S.L.+23.5m)

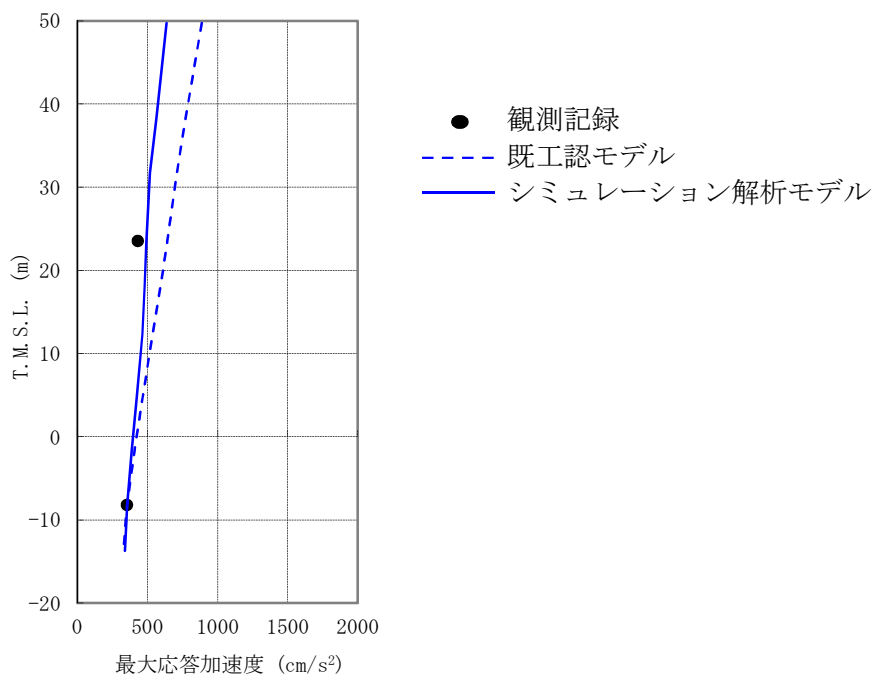


(3) 鉛直方向

図 3-7(b) 7号炉原子炉建屋加速度応答スペクトルの比較 (T.M.S.L.+23.5m)

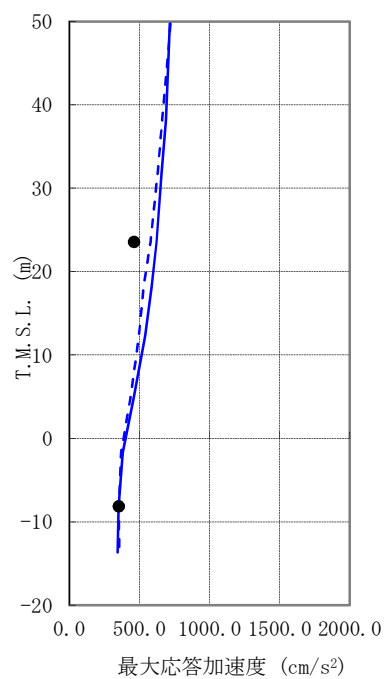


(1) NS 方向



(2) EW 方向

図 3-8(a) 7 号炉原子炉建屋最大応答加速度の比較



(3) 鉛直 EW 方向

図 3-8(b) 7 号炉原子炉建屋最大応答加速度の比較

参考資料－５ 新潟県中越沖地震本震以外の地震観測記録を用いたシミュレーション解析モデルの妥当性確認

１．はじめに

参考資料－４でも示したとおり，新潟県中越沖地震本震（以下、「本震」という）のシミュレーション解析では，地震応答解析のモデル化を既工認手法に基づく解析モデルから詳細化することにより，解析結果と観測記録との整合性が向上する。ここでは，構築したシミュレーション解析モデルが，本震以外の地震観測記録によるシミュレーション解析でも本震同様に再現性のある結果が得られるかを確認する。なお，検討は，６，７号炉原子炉建屋の構造が類似していることを踏まえ，７号炉原子炉建屋を代表として実施する。

２．検討に用いる観測記録及び地震応答解析モデル

検討に用いる地震動としては，２００７年７月１６日１５時３７分頃に発生した新潟県中越沖地震の最大余震（以下、「最大余震」という）とする。諸元を表-１に示す。地震計の設置位置を図－１に示す。７号炉原子炉建屋基礎版上（７-R2：T.M.S.L.-8.2m）で得られた観測記録を図－２に示す。

最大余震によるシミュレーション解析は基礎版上で取得された観測記録を入力として，動的解析を実施し，地震計が設置された中間階（７R-１：T.M.S.L.23.5m）の応答が再現できるかを確認する。なお，シミュレーション解析手法は参考資料-４と同様の手法とし，解析モデルとしては，表-１に示す通り既工認手法に基づく解析モデルとシミュレーション解析モデル（参考資料-４で示した本震のシミュレーション解析と同一のモデル）を用いるものとする。

表-1 新潟県中越沖地震の最大余震の諸元

発生日時	2007 年 7 月 16 日 午後 3 時 37 分頃
マグニチュード	5.8
震源深さ(km)	11

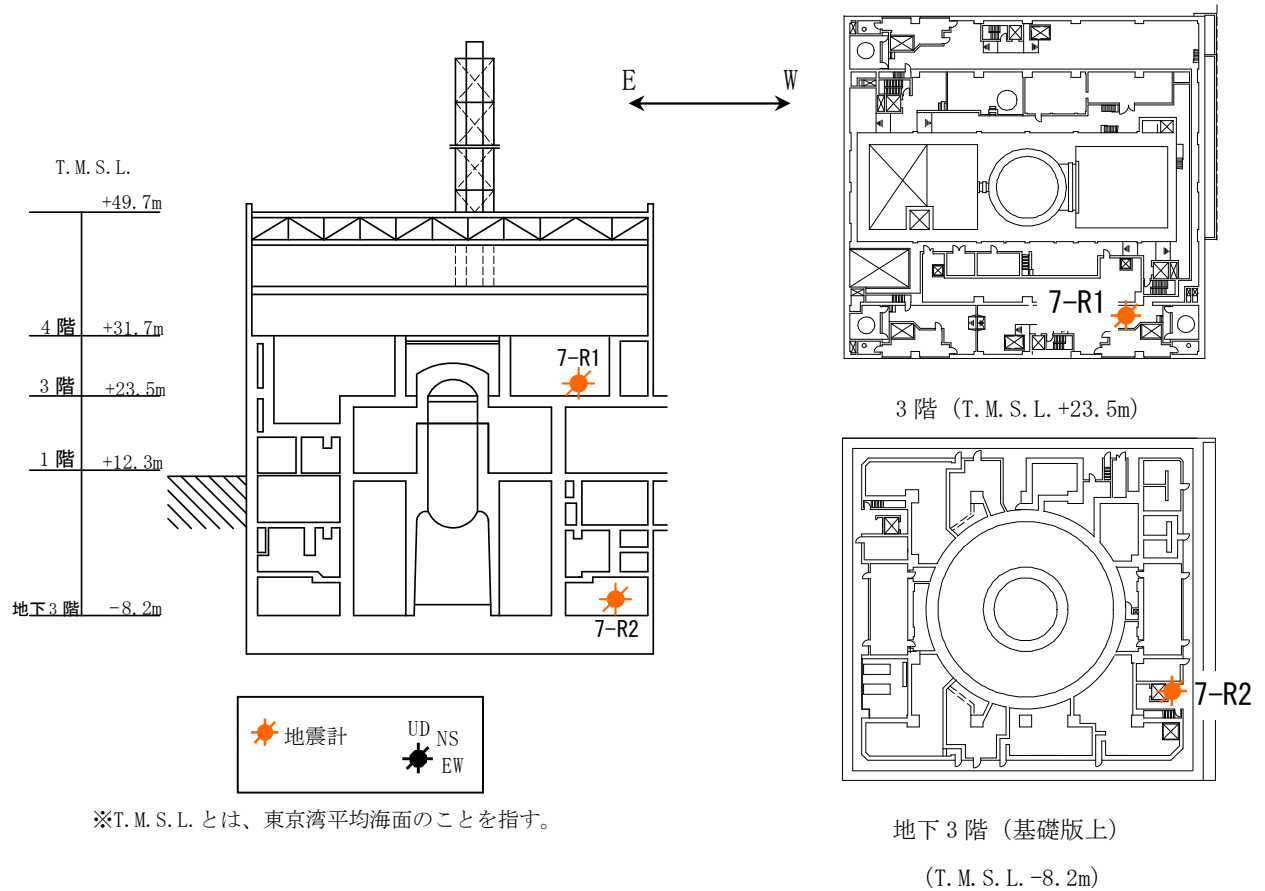
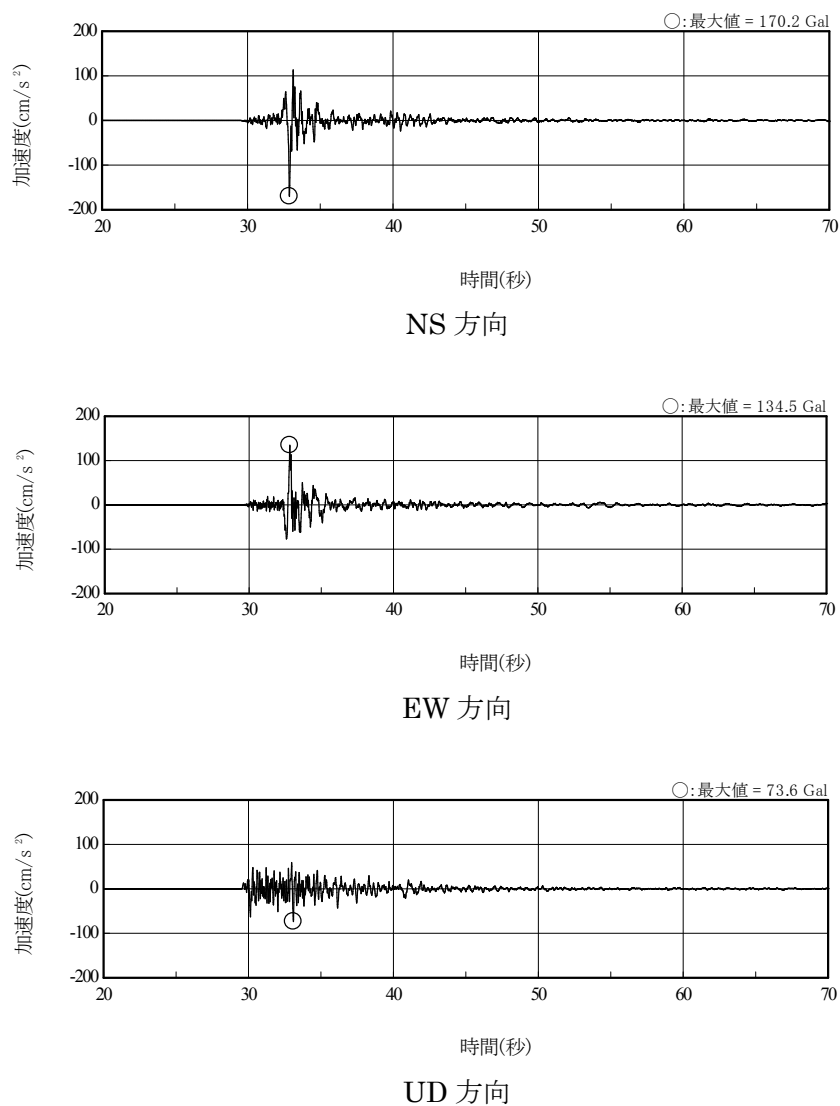


図-1 7号炉原子炉建屋 地震計設置位置



(主要動を含む 50 秒間を記載)

図-2 地震観測記録 (7 R-1)

表-2 パラメータスタディケース

ケース	建屋諸元		地盤諸元
	コンクリートのヤング係数	剛性を考慮する部位	側面ばね
既工認手法	設計基準強度に基づく	耐震壁	水平
シミュレーション解析モデル	実剛性※	耐震壁＋補助壁	水平・回転

※本シミュレーション解析においては、建設時の取得データを元に文献調査等を踏まえて経年による強度増進効果を加味して設定した推定実強度 ($F_c=500\text{kg/cm}^2$ 、詳細は別紙-1 参照) に基づく剛性を使用している。なお、工認計算では、別紙-1 で検討した通り、妥当性・信頼性の観点から、建設時の 91 日強度の平均値に相当する値 ($F_c=440\text{kg/cm}^2$) をコンクリート実強度として剛性を算定する予定である。

3. 解析結果

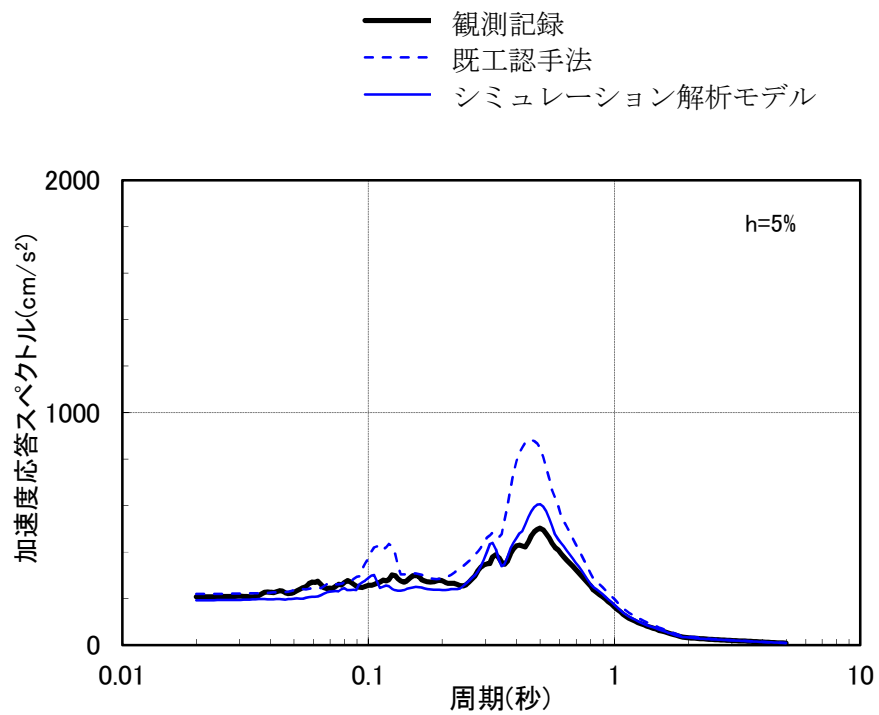
解析結果を図-3, 4に示す。加速度応答スペクトルについては、シミュレーション解析モデルの方が設計時モデルよりも観測記録との整合性が向上していることが確認出来る。また、最大応答加速度分布についても同様にシミュレーション解析モデルの方が既工認手法よりも観測記録との整合性が向上していることが確認出来る。これらは、参考資料-4で示した本震のシミュレーション解析結果でも概ね同様の傾向である。

4. まとめ

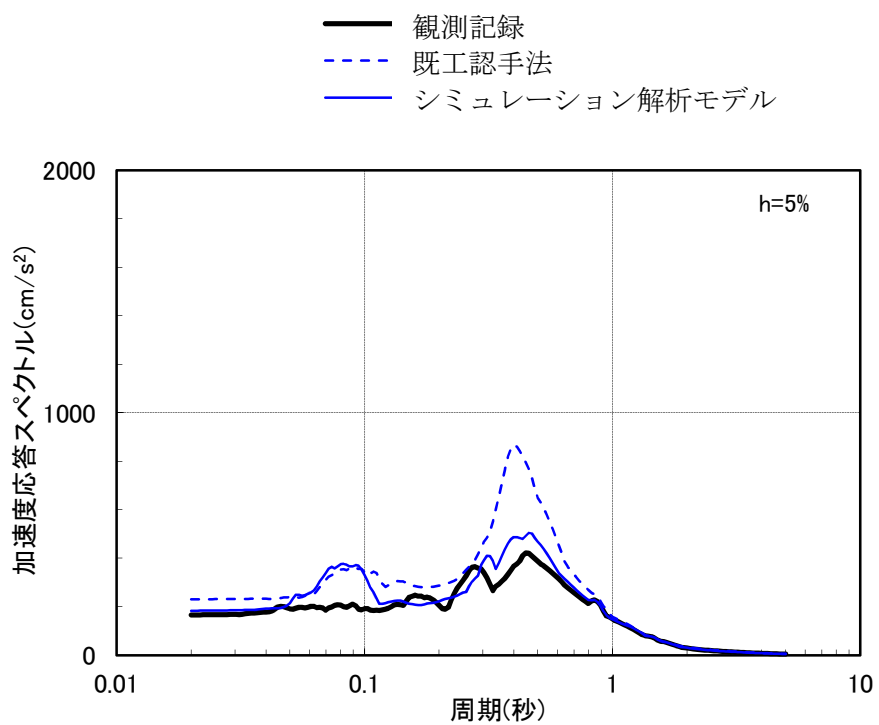
本検討では、既工認手法による解析モデルと本震のシミュレーション解析モデルを用いて、最大余震によるシミュレーション解析を実施した。

その結果、シミュレーション解析モデルの方が既工認手法による解析モデルよりも観測記録との整合度が向上することを確認した。

以上より、本震の観測記録によるシミュレーション解析でチューニングした項目を反映することにより、本震以外の地震でも記録の再現性が向上することが確認でき、実現象に近い応答を再現するための解析モデルとして妥当であると考えられる。

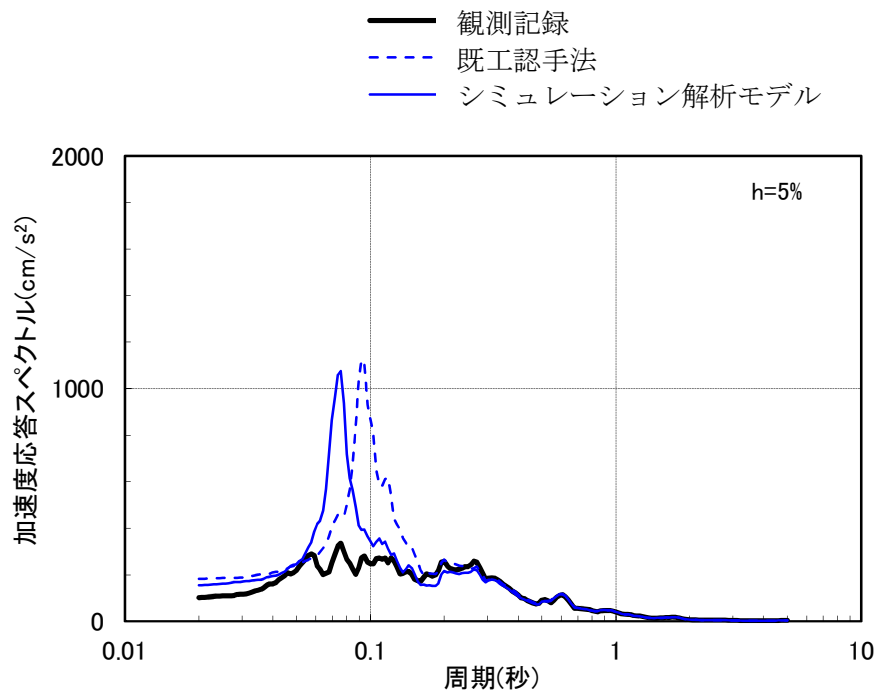


(1) NS 方向



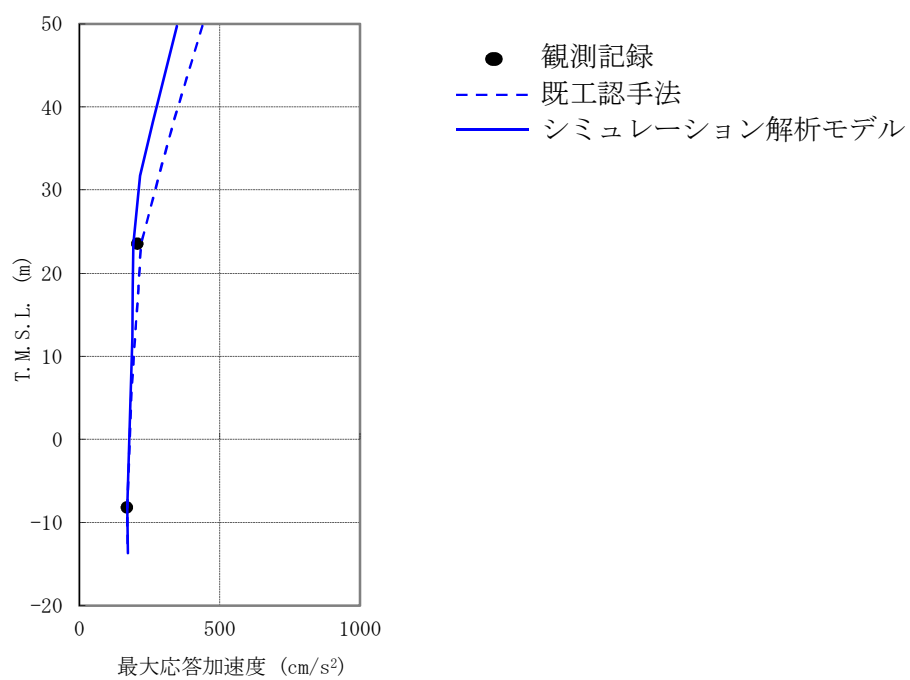
(2) EW 方向

図-3(a) 加速度応答スペクトルの比較 (T.M.S.L.+23.5m)

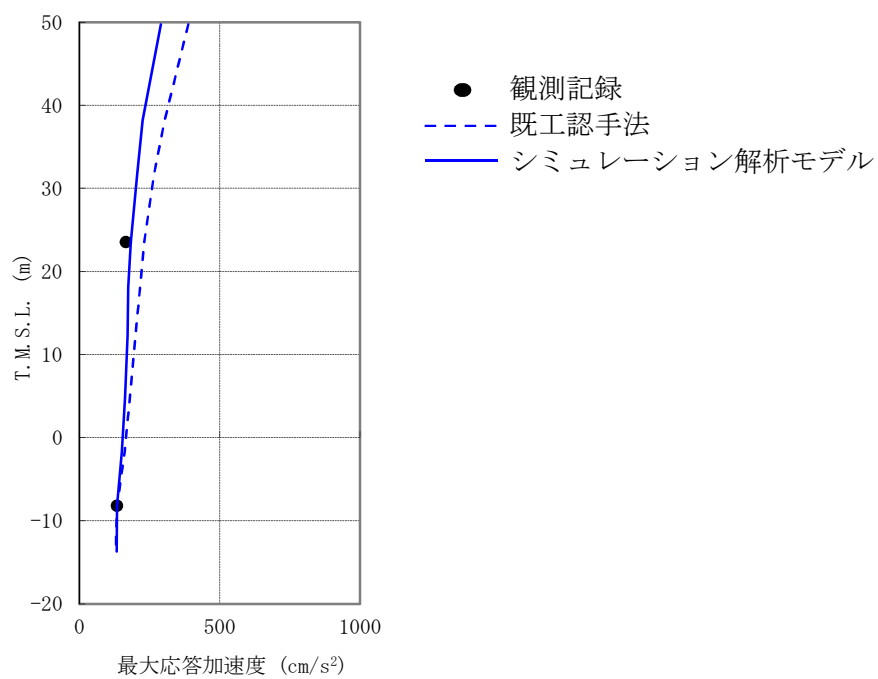


(3) 鉛直方向

図-3(b) 加速度応答スペクトルの比較 (T.M.S.L.+23.5m)

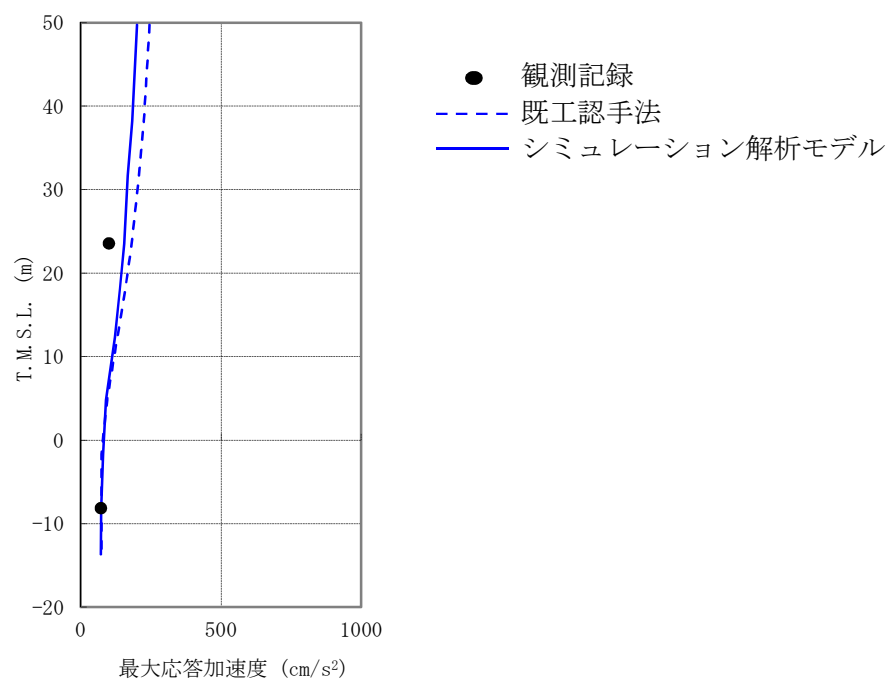


(1) NS 方向



(2) EW 方向

図-4(a) 最大応答加速度の比較



(3) 鉛直方向

図-4(b) 最大応答加速度の比較

参考資料－6 表層地盤ばねの取扱いについて

1. はじめに

既工認時には地盤表層部（新期砂層）についても地盤ばねとして考慮していたが，今回工認で採用予定の解析モデルでは，基準地震動による地盤応答レベルを踏まえ，表層部では地盤－建屋相互作用が見込めないと判断し，この部分の地盤ばねを考慮しないこととしている。本資料はその妥当性を説明するものである。

2. 検討概要

柏崎刈羽原子力発電所 6，7 号炉では，検討に用いる地震動を用いた一次元波動論による等価線形解析によって，地盤内各層の加速度，有効歪みを求めている。

本検討では，6/7 号炉原子炉建屋の地盤モデルを対象として，基準地震動 Ss-1 による等価線形解析を実施し，表層部（新期砂層）の応答（剛性低下率，有効歪み）を確認することにより，この部分の地盤－建屋相互作用が有効かどうかを確認する。

3. 地盤の等価線形解析結果

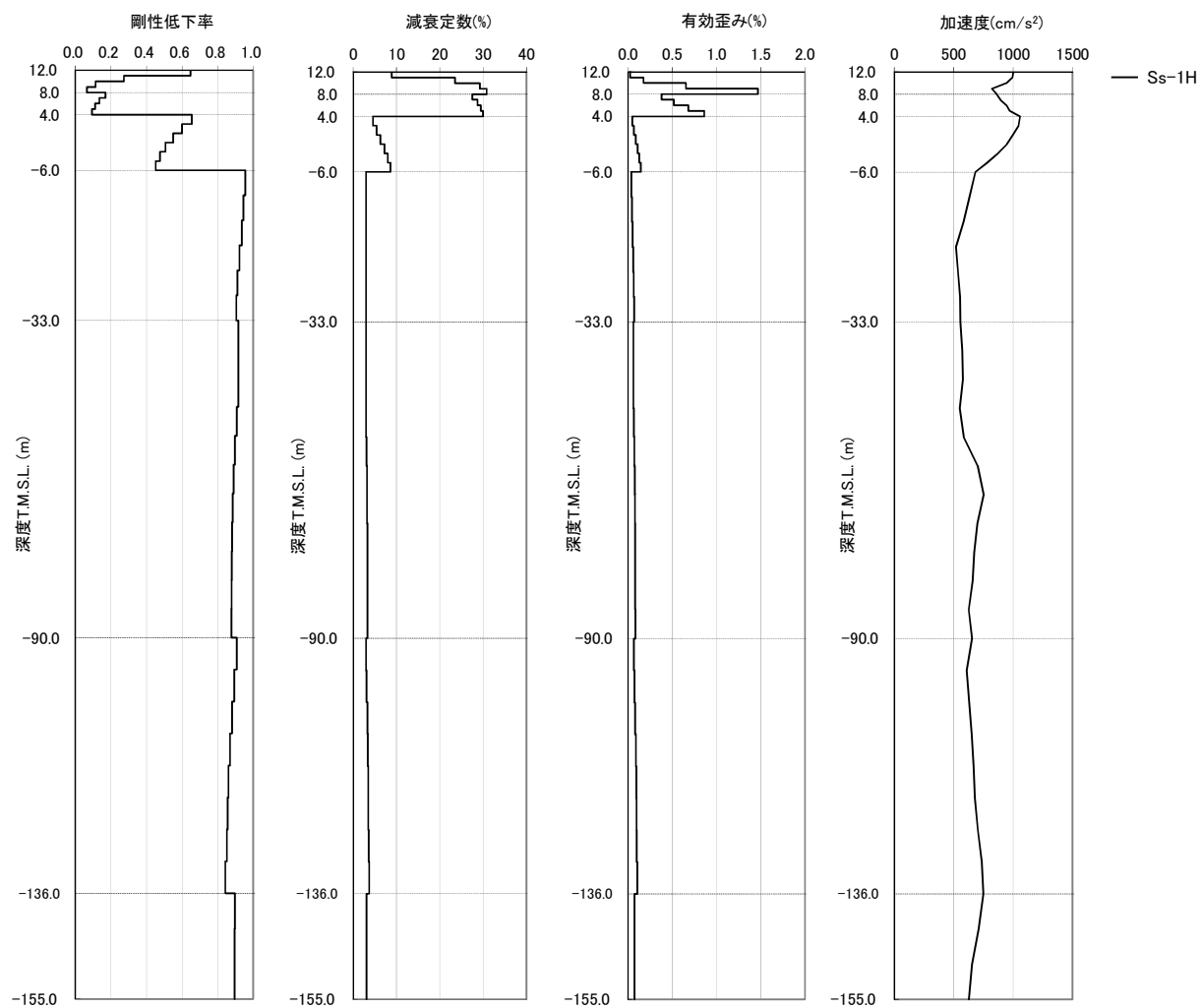
基準地震動 Ss-1 に対する地盤の等価線形解析結果を図 1-1 に示す。

表層部（新期砂層，T.M.S.L.4.0m～12.0m）において，急激に剛性が低下しており，有効歪みについても大きくなっている（剛性低下率（ G/G_0 ）は最小で 0.1 程度，有効歪みは最大で 1%程度）。

従って，当該層における建屋－地盤連成効果は見込めず，建屋応答評価上，この部分の地盤ばねは評価しないことが適切であると考えられる。

4. まとめ

以上より，原子炉建屋の耐震設計に用いる地震応答解析モデルにおいて，表層部の地盤ばねを無視することは妥当であると考えられる。



※T.M.S.L. 4.0m～12.0m が表層部に該当。

図 1-1 地盤の等価線形解析結果 (Ss-1)

建屋の地震応答解析における
コンクリート実剛性の採用について

目 次

1. 概要	1
2. 今回工認における施設の耐震設計上のコンクリート実強度の扱いについて	1
3. 建屋の地震応答解析におけるコンクリート物性値について	2
3.1 既工認と今回工認におけるコンクリート物性値の差異について	2
3.2 既工認との差異についての考察	3
4. コンクリート実剛性を採用するにあたっての論点について	3
5. 実強度の値の妥当性・信頼性について	3
5.1 実強度の値の設定方針	3
5.2 原子炉建屋における建設時コンクリートの 91 日強度データの整理	5
5.3 経年後のコンクリート強度に関する知見	6
5.4 原子炉建屋から直接採取したコア強度との比較	9
5.5 実強度の値の設定	13
6. 原子炉建屋以外の建屋への適用性について	14
7. 実強度のばらつきに関する考え方	15
8. まとめ	16

1. 概要

柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉の補正工認（以下、今回工認という）における建屋（原子炉建屋、タービン建屋、コントロール建屋、廃棄物処理建屋）の地震応答解析においては、建屋コンクリートの実強度を用いて算定したコンクリート実剛性を採用する予定である。本資料は、原子炉建屋を含む鉄筋コンクリート構造物の地震応答解析においてコンクリートの実剛性を用いることが、先行電力を含めた既工認での採用事例がないことを踏まえ、その妥当性・信頼性について説明するものである。

本資料では、まず、今回工認での耐震設計におけるコンクリート実強度の取り扱いについて明確にする。その上で、コンクリート実剛性の採用に関して、建屋の地震応答解析におけるコンクリート物性値について、既工認と今回工認における差異を考察し、新手法としての妥当性を確認すべき項目として、コンクリート剛性の評価にコンクリート実強度の値を用いていることが抽出されることを確認する。その後、コンクリート実強度を採用する際の論点を整理し、抽出された論点に対して、原子炉建屋を例として、既往の知見や試験等から得られたデータを通してその妥当性・信頼性について考察した上で、今回工認に用いる実剛性の値を設定する。また、原子炉建屋以外の建屋についても同様のデータ整理を行い、原子炉建屋同様のコンクリート実剛性が適用可能であることを確認する。

2. 今回工認における施設の耐震設計上のコンクリート実強度の扱いについて

今回工認の耐震設計にあたっては、既工認とは異なり、対象施設が設計前に現に存在していることから、地震時の挙動をより実応答に近い形で評価できる条件を用いて耐震設計を実施する予定である。上記条件の一つとして、原子力施設の主要構造材料であるコンクリートの剛性の評価が挙げられる。ここでは、コンクリートの剛性の評価に用いるコンクリート実強度に関して、今回工認における耐震設計上の取り扱いについて説明する。

今回工認においては評価条件を実応答に近づけるという観点から、動的地震荷重算定時の地震応答解析において使用する建屋剛性の評価に関して、コンクリート実強度に基づき評価される実剛性を用いる予定である。ただし、評価対象部位に発生する応力が許容値以内におさまっているか否かの応力評価の検討にあたっては、設計基準強度（ 330kg/cm^2 ： 32.3N/mm^2 ）を用いて算定される許容値を用いて検討を行う。

3. 建屋の地震応答解析におけるコンクリート物性値について

3.1 既工認と今回工認におけるコンクリート物性値の差異について

既工認で採用したコンクリートの物性値と今回工認で採用予定のコンクリートの物性値を比較し、論点となりうる項目を整理する。

地震応答解析に用いるコンクリートの物性値について、既工認及び今回工認での設定を表 3-1 に示す。表 3-1 のうち、コンクリートの単位体積重量及びヤング係数の差異については、1992 年の計量法改正において、重力単位系から国際単位系に見直されたことを受け、適用規準である学会刊行物においても単位系を国際単位系へ変更したことによるものである。以上を踏まえると、既工認と今回工認におけるコンクリート物性値の主要な差異は、コンクリート剛性（ヤング係数 E_c ）の評価に用いる F_c の値に、コンクリート実強度を用いていることである。

表 3-1 地震応答解析に用いるコンクリートの材料物性値の設定

材料物性値	既工認	今回工認
コンクリート強度 F_c	設計基準強度 330【kg/cm ² 】	実強度
コンクリートの 単位体積重量 γ	2.3 【t/m ³ 】	23.5 【kN/m ³ 】
ヤング係数 E_c	$2.1 \times 10^5 \times \left(\frac{\gamma}{2.3} \right)^{1.5} \times \sqrt{\frac{F_c}{200}}$ 【kg/cm ² 】	$3.35 \times 10^4 \times \left(\frac{\gamma}{24} \right)^2 \times \left(\frac{F_c}{60} \right)^{\frac{1}{3}}$ 【N/mm ² 】
せん断弾性係数 G_c	$\frac{E_c}{2(1+\nu)}$	$\frac{E_c}{2(1+\nu)}$
ポアソン比 ν	0.167	0.2
適用規準	日本建築学会：鉄筋コンクリート構造 計算規準・同解説（1988）	日本建築学会：原子力施設鉄筋コン クリート構造計算規準・同解説（2005）

3.2 既工認との差異についての考察

既工認も含め、通常の構造設計において、地震応答解析は対象構造物の構築前に実施し、構造物の耐震安全性についての検討を完了し場合によってはその結果を設計へ反映してから、構造物の構築に着手する。従って、地震応答解析時に実際の構造物のデータを得ることは物理的に不可能である。そのため、解析で用いるコンクリート剛性の評価には、設計基準強度を用いるのが一般的である。

今回工認の場合、既工認や通常の構造設計とは異なり、対象構造物が解析実施以前に現に存在しているため、材料物性値を推定することは物理的に可能であることから、建屋挙動を実応答により近い形で評価できる条件で設計することを目的として、コンクリート剛性の評価に実強度を採用している。ただし、先行電力を含めた既工認での採用事例がないことから、以降でその詳細について検討し、今回工認で新手法として採用することの妥当性を確認することとする。

4. コンクリート実剛性を採用するにあたっての論点について

6号炉及び7号炉の原子炉建屋及びタービン建屋、コントロール建屋、廃棄物処理建屋の地震応答解析は、多質点系曲げせん断棒モデルを用いて行う。同モデルによる地震応答解析において、解（応答値）の精度は、構造物のせん断ばね特性の精度に大きく依存し、誤差を小さく抑えるためには、せん断ばねの復元力特性（スケルトンカーブ）をできる限り精度よくモデル化する必要がある。

今回工認では、スケルトンカーブの設定にあたり、コンクリートのせん断剛性の評価に用いるコンクリート強度に実強度の値を用いる予定だが、コンクリート実強度の値は、応答値の精度に直接影響を及ぼすことから、その設定の妥当性・信頼性については十分に確認する必要があると判断し、「コンクリート実強度の値」を論点として位置づけ、その妥当性・信頼性を検討することとした。

5. 実強度の値の妥当性・信頼性について

5.1 実強度の値の設定方針

一般に、コンクリート強度は打ち込みから14日くらいまで大きく強度が増進し、材齢28日から90日くらいでは安定し、材齢1年以上の長期においては緩やかに増進する傾向にあるといわれている。従って、コンクリート実強度を推定するにあたっては、データベースとして豊富なサンプル数があることから、建設時のコンクリート打設の際にフレッシュコンクリートから採取したコア供試体の材齢91日における圧縮強度（以下、91日強度という。）をデータベースとして用いることとした。なお、柏崎刈羽原子力発電所6,7号炉の建築工事（鉄筋コンクリート工事）では、日本建築学会「建築工事標準仕様書・同解説（原子力発電所施設における鉄筋コンクリート工事）」（JASS5N）に基づく品質管理が行われており、91日強度についても、JASS5Nで定められた方法※及び頻度により得られた試験

結果がデータベース化されている。

また、実際に実強度の数値を設定するにあたっては、コンクリートの長期的な強度増進効果に関する既往の知見や、実機から採取して得たコア強度との比較を通じて、総合的に判断することとした。

※試験方法について JASS5N では、JIS A 1108（コンクリートの圧縮強度試験方法）、JIS A 1132（コンクリートの強度試験用供試体の作り方）に基づくことが指定されている。

5.2 原子炉建屋における建設時コンクリートの91日強度データの整理

6号炉及び7号炉原子炉建屋の建設時におけるコア供試体の91日強度試験の統計値を表5-1に示す。本統計値は、6号炉及び7号炉原子炉建屋の各階、各部位ごとに打設の際に採取した供試体から得られており、十分な数のデータから算出されているため、建屋コンクリートの平均的な91日強度を推定する統計値として妥当性・信頼性を有していると考えられる。なお、表5-1(c)より、6号炉及び7号炉原子炉建屋の打設後91日のコンクリート強度は平均で445kg/cm²であり、その標準偏差は30.3kg/cm²である。

表 5-1 建設時コンクリートの91日強度データの統計値

(a) 6号炉原子炉建屋

打設箇所	平均値 【kg/cm ² 】	標準偏差 【kg/cm ² 】	最大値 【kg/cm ² 】	最小値 【kg/cm ² 】	中央値 【kg/cm ² 】	データ数 【個】
B3F,MB3F	437	25.4	510	403	433	41
B2F	425	23.8	483	344	426	65
B1F,MB1F	431	34.5	518	376	422	69
1F	468	16.8	490	430	473	67
2F	453	25.6	493	366	456	48
3F	439	19.8	471	358	444	74
4F,M4F,RF	465	21.4	547	428	465	82
全体	446	29.0	547	344	447	446

(b) 7号原子炉建屋

打設箇所	平均値 【kg/cm ² 】	標準偏差 【kg/cm ² 】	最大値 【kg/cm ² 】	最小値 【kg/cm ² 】	中央値 【kg/cm ² 】	データ数 【個】
B3F	476	14.9	494	423	479	51
B2F	460	26.4	496	404	472	55
B1F,MB1F	427	16.8	475	400	425	62
1F	460	20.0	493	403	465	59
2F	460	24.9	489	389	466	45
3F	422	20.6	477	372	426	45
4F,M4F,RF	418	28.7	473	365	422	97
全体	443	31.7	496	365	442	414

(c) 6号炉及び7号炉原子炉建屋全体

打設箇所	平均値 【kg/cm ² 】	標準偏差 【kg/cm ² 】	最大値 【kg/cm ² 】	最小値 【kg/cm ² 】	中央値 【kg/cm ² 】	データ数 【個】
B3F,MB3F	459	28.1	510	403	466	92
B2F	441	30.6	496	344	439	120
B1F,MB1F	429	27.5	518	376	425	131
1F	464	18.7	493	403	470	126
2F	457	25.4	493	366	458	93
3F	432	21.5	477	358	434	119
4F,M4F,RF	440	34.8	547	365	446	179
全体	445	30.3	547	344	446	860

5.3 経年後のコンクリート強度に関する知見

前述の通り，一般的にはコンクリート強度は打ち込み後 90 日程度でほぼ安定し，材齢 1 年以上の長期においては緩やかに増進することが知られている。ここでは，経年によるコンクリート強度の変化を考察している既往の知見について整理し，コンクリート強度の経年による影響について検討する。

6 号炉及び 7 号炉原子炉建屋の構造体コンクリートの調合に用いている材料のうち，普通コンクリートと異なる点は，混和材としてフライアッシュを用いていることである。コンクリートの強度発現はセメントの水和反応に伴う物性変化であるため，水とセメントの割合（水セメント比： W/C ）に大きく依存する。さらに，混和材としてフライアッシュを用いた場合，ポゾラン反応によりセメントの水和生成物と類似した化合物を生成し，コンクリートの耐久性や水密性を高めることにつながる。以上を踏まえると，コンクリートの強度発現に影響を及ぼす要因として，水セメント比及び水結合材比（水とセメント及びフライアッシュの割合： $W/(C+F)$ ）が挙げられることから，本検討においては，水セメント比及び水結合材比に着目して文献を抽出し整理を行った。コンクリート強度の経年変化に関する文献の一覧を表 5-2 に，文献の抽出フローを図 5-1 に示す。

表 5-2 コンクリート強度の経年変化に関する文献一覧

No.	文献名 (出典)	著者名	FA 有無	水セメ ント比	水結合 材比	セメント 種類
1	コンクリートの長期物性モニタリング試験 (日本建築学会技術報告集 第 13 号 9-14 2001)	尾崎昌彦 大藤信雄 北川高史 小野香	有	47.9%	39.0%	中庸熟
2	10 年曝露した FAⅢ種コンクリートのコア供試体の強度 特性及び中性化性状 (コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, 2009)	岡野智久 山地功二 橋本親典 渡辺健	有	56～ 66%	40～ 62%	普通
3	10 年屋外暴露したフライアッシュを使用したコンクリ ートの性状 (コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.1, 2007)	安田正雪 阿部道彦 千歩修 小山智幸	有	27～ 78%	27,40, 55%	普通
4	材齢 10 年以上を経過した高強度コンクリートの強度性 状に関する研究【基盤】(平成 20 年度に終了した研究開 発)	古賀純子	無	22,27 %	—	不明
5	長期材齢における高強度コンクリートの圧縮強度と弾性 係数の関係に関する研究 (日本建築学会大会学術講演梗 概集, 2000)	中村則清 真野孝次 池永博威	無	25～ 65%	—	普通
6	32 年経過した早強ポルトランドセメントコンクリート の強度・中性化 (日本建築学会大会学術講演梗概集, 2003)	依田彰彦 横室隆	無	57%	—	早強
7	40 年経過した高炉スラグ細骨材を用いたコンクリート の長期性状 (日本建築学会関東支部研究報告集 I, 2015)	彦根俊海 尾作勇介 阿部道彦	無	72%	—	高炉
8	45 年経過した混合セメントコンクリートの長期強度発 現性について (コンクリート工学論文集, 第 23 巻第 2 号, 2012)	植木康知 大塚勇介 平本真也 檀康弘	有	58~86 %	58～ 65%	高炉

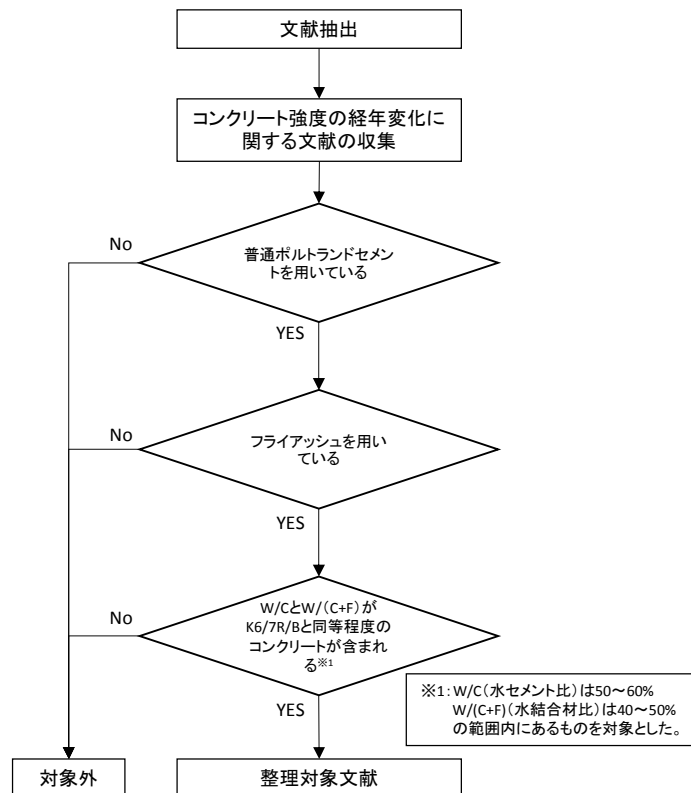


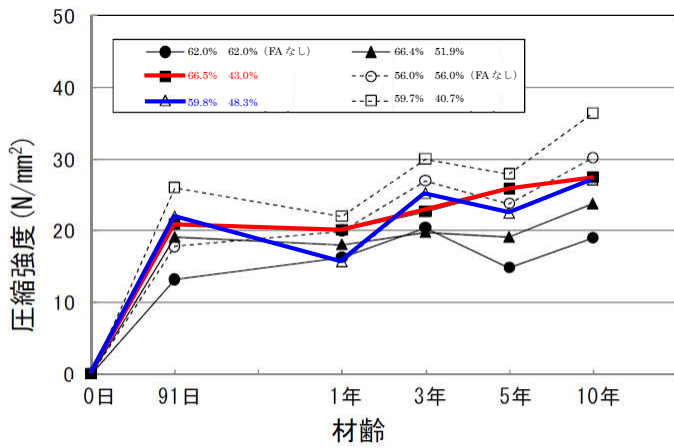
図 5-1 コンクリート強度の経年変化に関する文献の抽出フロー

図 5-1 のフローにより整理対象となる文献は、表 5-1 中の No.2, No.3 の文献である。表 5-3 に 6 号炉及び 7 号炉原子炉建屋の構造体コンクリートと対象文献におけるコンクリートの使用材料及び水結合材比の比較を、図 5-2 に対象文献における水セメント比、水結合材比ごとの圧縮強度の経年変化を示す。図 5-2 (a) ～ (c) より、フライアッシュを用いたコンクリートの圧縮強度の経年変化は、打設時期に関わらず 91 日以降 10 年目まで概ね緩やかに増進しており、その増加率は 91 日強度に対して約 1.2～1.4 倍程度になっていることが伺える。また図 5-2 (d) より、水結合材比の過多に関わらず、程度は異なるものの長期的な強度の増進効果は表れていることが分かる。

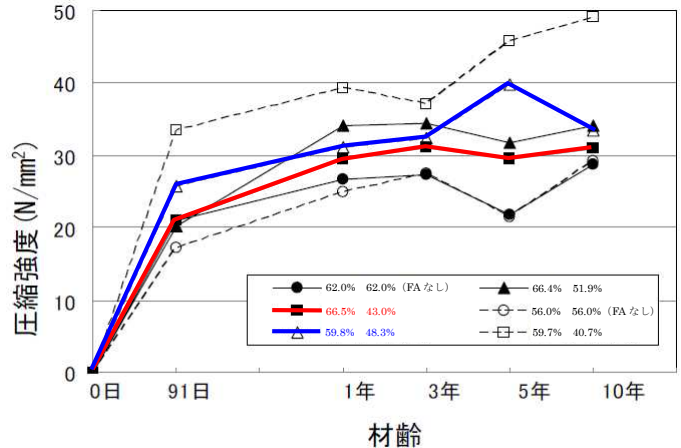
各文献における水セメント比及び水結合材比は、6 号炉及び 7 号炉原子炉建屋の構造体コンクリートにおけるそれと類似しているため、強度発現の傾向は定性的には同一であると考えられることから、当該原子炉建屋の構造体コンクリートについても、材齢 91 日に対して強度は増進していると推察される。以上を踏まえると、既往の知見から得られた材齢 91 日から 10 年にかけてのコンクリート強度の増加を考慮して推定される実強度（推定実強度）の値は、約 500kg/cm² 程度となる。

表 5-3 使用材料，水セメント比及び水結合材比の比較

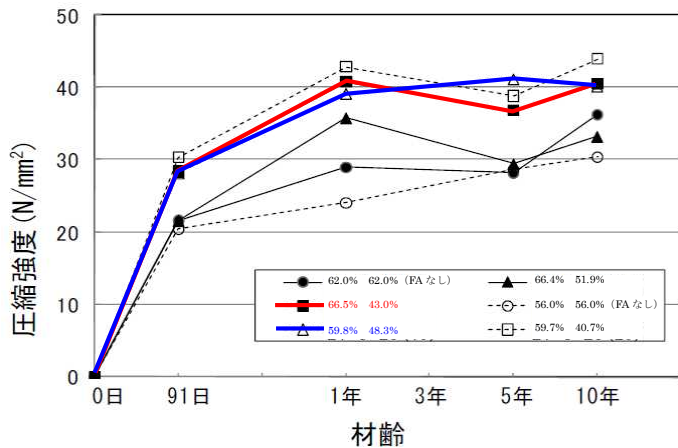
	使用材料		水セメント比 (%)	水結合材比 (%)
	セメント	混和材		
6号炉 7号炉	普通ポルトランド セメント	フライアッシュ	50 ～ 60	40 ～ 50
文献 No.2	普通ポルトランド セメント	フライアッシュ	56 ～ 66	40 ～ 62
文献 No.3	普通ポルトランド セメント	フライアッシュ	27 ～ 78	27, 40, 55



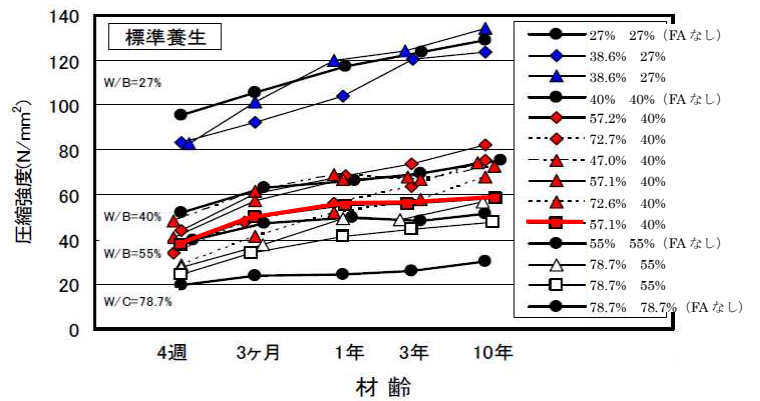
(a) 打設時期の影響：夏期打設



(b) 打設時期の影響：秋期打設



(c) 打設時期の影響：冬期打設



(d) 水結合材比の影響

図 5-2 コンクリート圧縮強度の経年変化
(文献 No.2, No.3 より抜粋，一部加筆修正※2,3,4)

※2：凡例は，左：水セメント比，右：水結合材比の順に示す。

※3：上記のうち，論文中に直接記載のない値については，各単位量から算定した値を記載している。

※4：グラフ中の色付きで示す線は，K6/7 と同程度の水セメント比，水結合比を有し，かつ，混和材にフライアッシュを使用しているコンクリートを示す。

5.4 原子炉建屋から直接採取したコア強度との比較

長期的な強度増進効果を考慮した推定実強度 500kg/cm^2 について、実機から直接採取して得られる強度と比較して数値に大きな差異がないかを検討した。図 5-3 に 6 号炉及び 7 号炉原子炉建屋の経年後（約 10 年）のコア強度と、強度増進を考慮して得られる推定実強度との比較を示す。また、各建屋におけるコアの採取位置及び試験実施日を表 5-4 に示す。

図 5-3 より、長期的な強度増進効果を考慮した推定実強度の値は、サンプル数が少ないという問題はあるものの、経年後のコア強度の平均値と概ね同等であることを確認した。

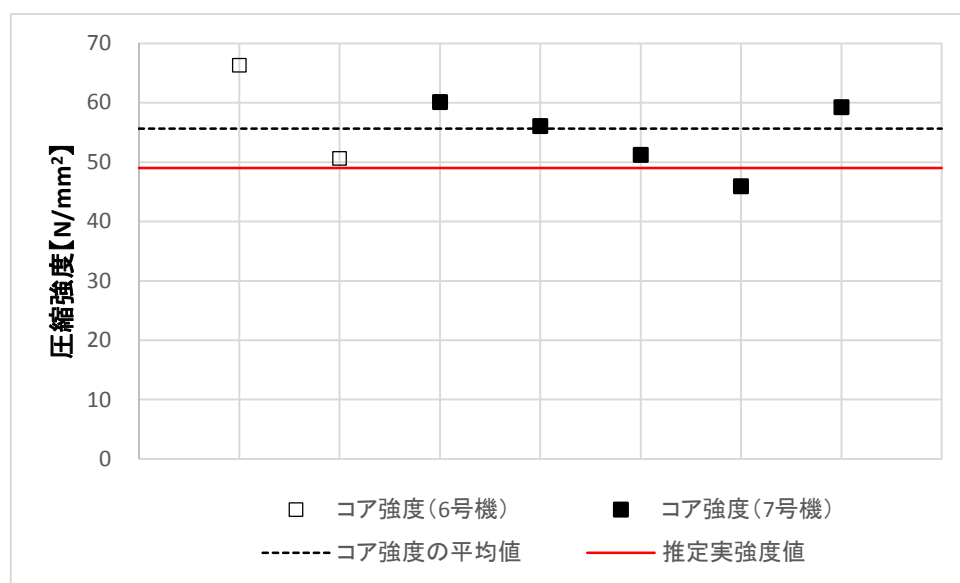
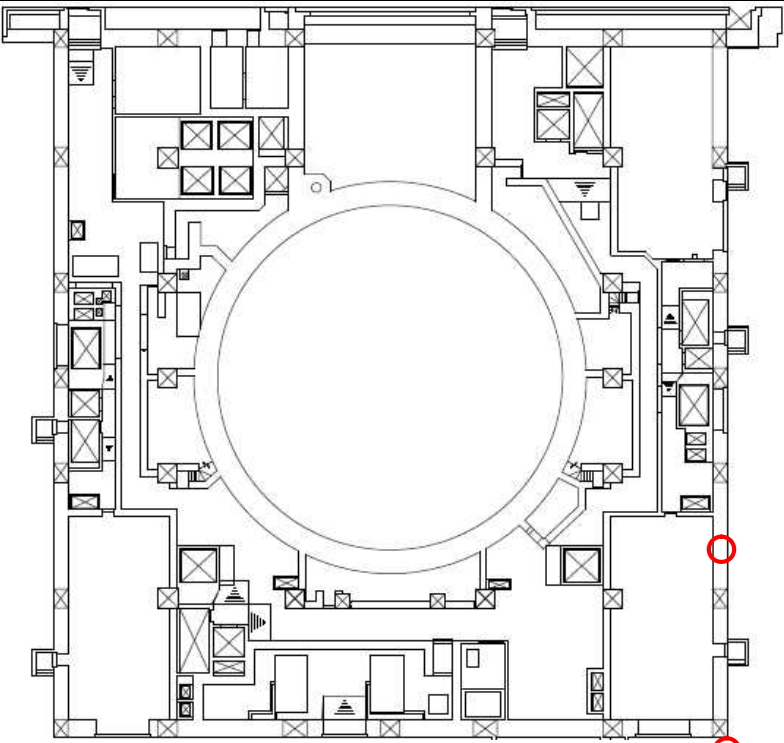
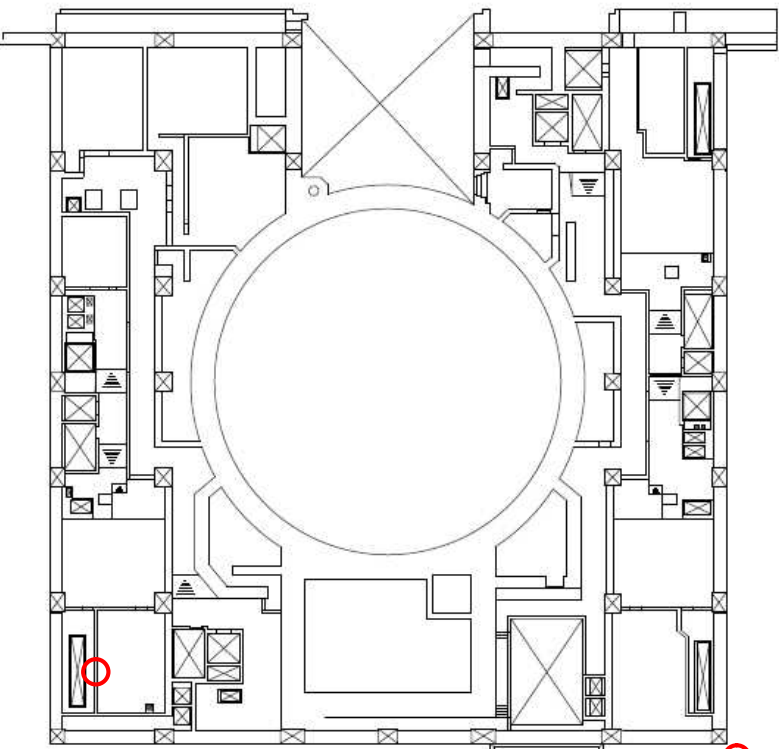
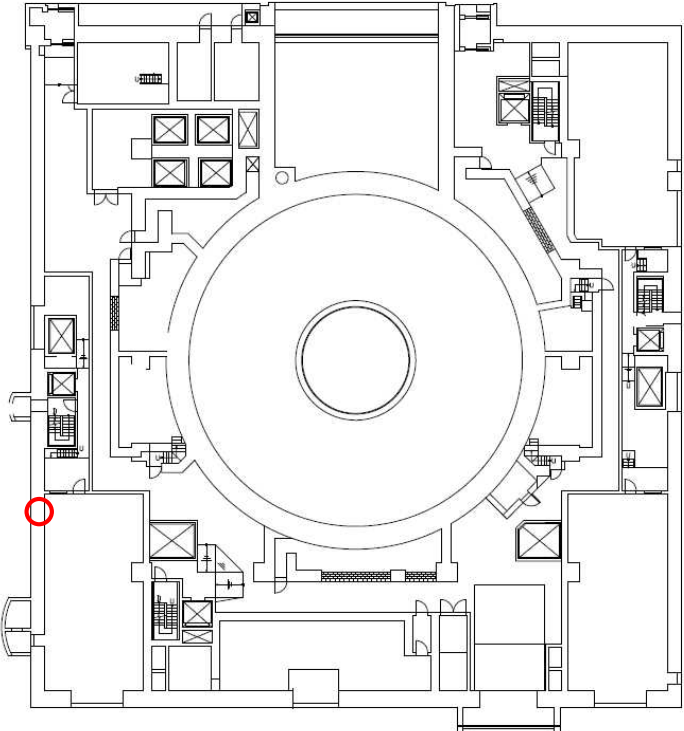
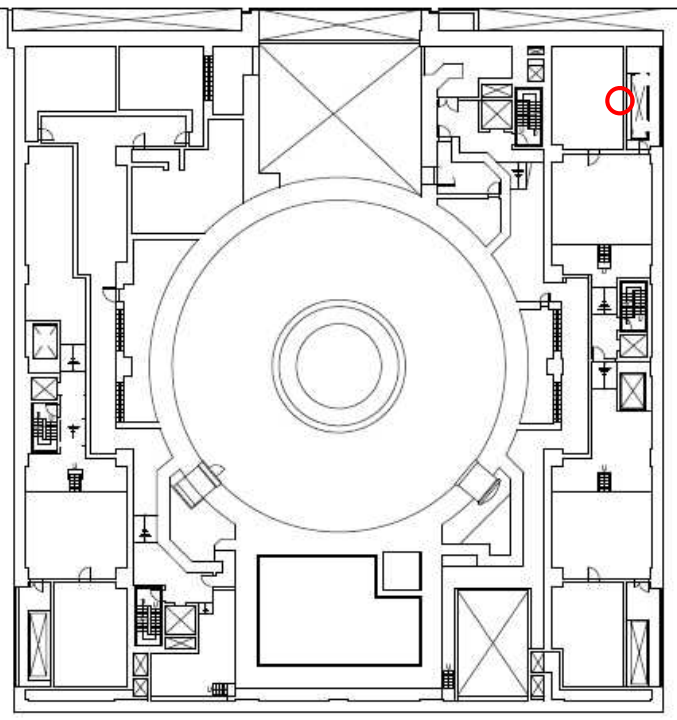


図 5-3 コア強度との比較

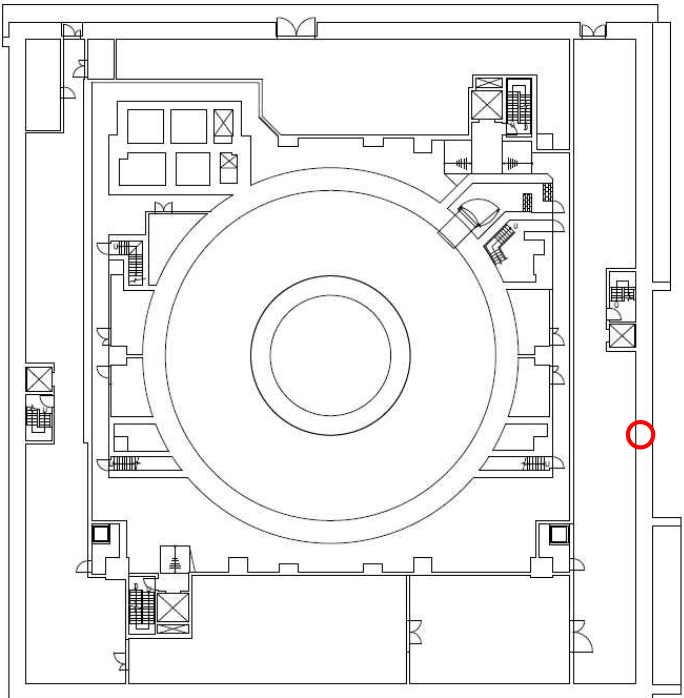
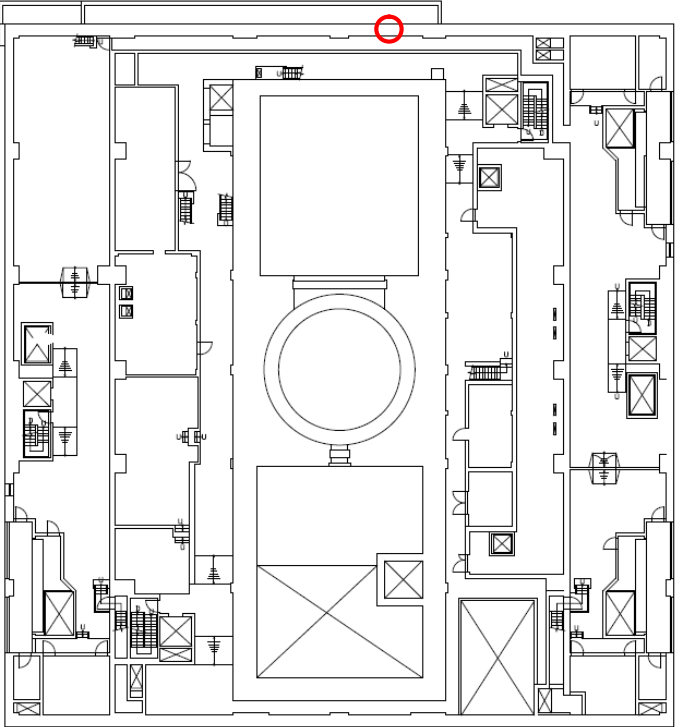
表 5-4 コア採取位置
(a) 6号原子炉建屋

採取位置	上：1階 下：2階
試験日 H18. 6	 <p data-bbox="1155 1160 1337 1189">○：コア採取位置</p>
試験日 H18. 6	 <p data-bbox="1155 1966 1337 1995">○：コア採取位置</p>

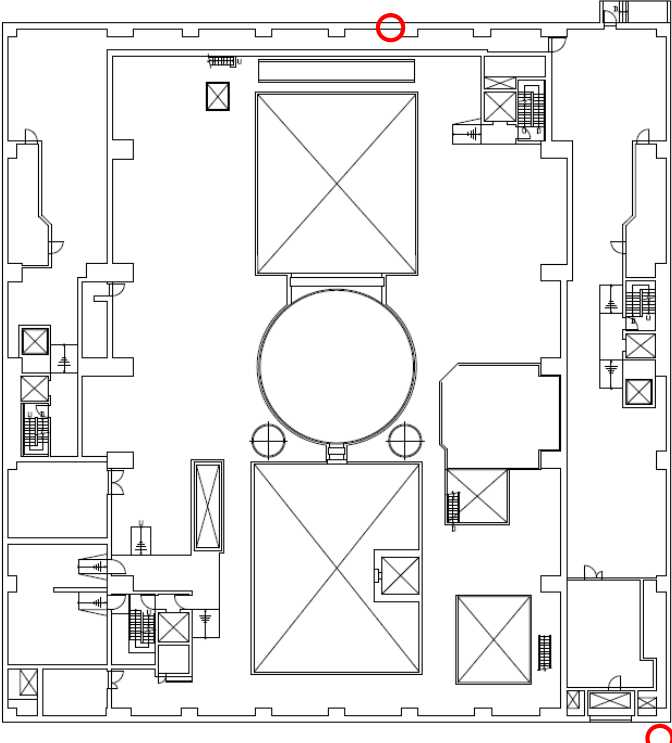
(b) 7号原子炉建屋

採取位置	上：1階 下：2階
<p>試験日 H19.7</p>	 <p>○：コア採取位置</p>
<p>試験日 H19.7</p>	 <p>○：コア採取位置</p>

(c) 7号原子炉建屋

採取位置	上 : B1 階 下 : 3 階
試験日 H21. 1	 <p data-bbox="1157 1160 1348 1198">○ : コア採取位置</p>
試験日 H21. 1	 <p data-bbox="1157 1960 1348 2002">○ : コア採取位置</p>

(d) 7号原子炉建屋

採取位置	4 階
試験日 H21.1	 ○ : コア採取位置

5.5 実強度の値の設定

6号炉及び7号炉原子炉建屋については、建設後約20年経過しており、経年後のコンクリート強度に関する既往の知見や実機から直接採取したコア強度の値を鑑みても、建設時コンクリートの91日強度に対してある程度強度増進していることが推察される。一方で、強度増進効果を考慮する際に必要となる増加率の値に関しては、既往の文献において詳細な考察はなされておらず、コンクリートの養生場所や温度等の環境条件により変動することが考えられる。また、実機から直接採取したコア強度の値については、現状ではサンプル数が少ないため、妥当性・信頼性に欠ける。

以上を踏まえ、今回工認で用いるコンクリート実強度の値については、経年によるコンクリート強度の増進効果を見做することとし、妥当性・信頼性の観点からサンプルの数と種類が豊富な91日強度を基に設定することとした。

表5-1より、6号炉及び7号炉原子炉建屋の91日強度の平均値はそれぞれ、 446kg/cm^2 、 443kg/cm^2 であり、両建屋のデータをまとめて処理した場合の平均値は 445kg/cm^2 であることから、今回工認で採用するコンクリート実強度の値としては、保守的に評価して有効数字3桁を切り下げ、 440kg/cm^2 (43.1N/mm^2) という値を用いることとした。また、ばらつきについては、標準偏差の平均値を参考に 30kg/cm^2 (2.94N/mm^2) とした。

6. 原子炉建屋以外の建屋への適用性について

今回工認においては、6号炉及び7号炉原子炉建屋に加えて、同タービン建屋、コントロール建屋、廃棄物処理建屋についても、地震応答解析においてコンクリート実剛性を採用する予定である。ここでは、原子炉建屋について設定した実強度の値が、原子炉建屋以外の建屋についても適用可能であるかを検討する。

表 6-1 に、原子炉建屋及び原子炉建屋以外の建屋のコンクリートの使用材料、水セメント比及び水結合材比を示す。原子炉建屋以外の建屋については、原子炉建屋と同じ設計基準強度でほぼ同時期に同じ発電所構内に建設されており、コンクリートの調合も概ね同等であることや建屋の経年環境もほぼ同等であることを踏まえると、材齢 91 日からの強度の増進については原子炉建屋と同程度の効果が期待できると考えられる。

各建屋の 91 日強度データの整理結果を表 6-2 に示す。表 6-2 より、どの建屋においても 91 日強度の平均値は原子炉建屋で設定した実強度の値（440kg/cm²）と同程度であり、建設時期や経年環境が同等であることを踏まえると、原子炉建屋で設定した実強度の値を用いることは妥当であると考えられる。なお、標準偏差についても、全ての建屋において原子炉建屋のそれとほぼ同等になっていることが確認できる。

表 6-1 各建屋の使用材料、水セメント比及び水結合材比

建屋	使用材料		水セメント比 【%】	水結合材比 【%】
	セメント	混和材		
6号炉原子炉建屋	普通ポルトランド セメント	フライアッシュ	50～60	40～50
7号炉原子炉建屋				
6号炉タービン建屋				
7号炉タービン建屋				
コントロール建屋				
廃棄物処理建屋				

表 6-2 原子炉建屋以外の建屋における 91 日強度データの統計値

建屋	平均値 【kg/cm ² 】	標準偏差 【kg/cm ² 】	データ数 【個】
6号炉タービン建屋	455	28.6	531
7号炉タービン建屋	449	30.5	453
コントロール建屋	442	32.0	123
廃棄物処理建屋	450	31.0	245
(参考) 6号炉原子炉建屋	446	29.0	446
(参考) 7号炉原子炉建屋	443	31.7	414

7. 実強度のばらつきに関する考え方

今回工認では、建屋の地震応答解析におけるコンクリート剛性の評価にコンクリート実強度を採用する予定である。地震応答解析に用いる材料定数は、材料のばらつきによる変動幅を適切に考慮する必要があることから、ここでは、コンクリート実強度の値のばらつきについて検討する。

コンクリート剛性の不確かさの検討における先行電力との考え方の比較を表 7-1 に示す。先行電力では、一般的にコンクリート強度は設計基準強度を上回るよう設計されていることから、不確かさとしては実強度を考慮することとしている。一方、今回工認においては、基本ケースとして実強度を用いており、その数値は概ね建設時コンクリートの 91 日強度の平均値と同等となっている。不確かさの検討にあたっては、データベースである 91 日強度の分布を考慮し、平均値に対して $\pm 1\sigma$ ※5を考慮することとした。さらに保守的な評価として、実強度値のマイナス側については、91 日強度の値として 95%信頼区間の下限值に相当する値(平均値 -2σ ※5)を、プラス側については、実機のコア強度の平均値である 568kg/cm² (55.7N/mm²) を設計上考慮し、地震応答解析における保守性を確保することとした。

※5： $\sigma=30\text{kg/cm}^2$ とする。

表 7-1 地震応答解析モデルにおけるコンクリート強度の不確かさ検討の考え方

地震応答解析モデル	先行電力	今回工認
基本ケース	設計基準強度	実強度 440kg/cm ² (43.1N/mm ²)
不確かさケース	実強度	・ばらつき： $\pm 1\sigma$ 470kg/cm ² , 410kg/cm ² (46.0N/mm ² , 40.2N/mm ²) ・保守性 プ ラ ス側：568kg/cm ² (55.7N/mm ²) マイ ナ ス側：380kg/cm ² (37.2N/mm ²)

8. まとめ

今回工認における建屋の地震応答解析に用いるコンクリート物性値について、既工認と今回工認での設定の差異を整理した。その際、地震応答解析の解（応答値）の精度に直接影響を及ぼすコンクリート実強度の値を論点として抽出した。その上で、コンクリート実強度の設定の考え方や用いたデータベースについて整理し、既往の知見やデータと比較した結果、設定した実強度の値が妥当性・信頼性を有していることを確認した。

設定したコンクリートの各物性値を表 8-1 に示す。

表 8-1 設定したコンクリート物性値

コンクリート実強度	440kg/cm ² (43.1N/mm ²)
ヤング係数	2.88×10 ⁴ N/mm ²
せん断弾性係数	1.20×10 ⁴ N/mm ²

<参考文献>

- [1] 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の耐震性能評価指針（案）・同解説，2006
- [2] 日本建築学会：構造体コンクリートの品質に関する研究の動向と問題点，2008
- [3] 岡野 他：10 年曝露した FAⅢ種コンクリートのコア供試体の強度特性及び中性化性状，コンクリート工学年次論文集，Vol.31,No.1,2009
- [4] 安田 他：10 年屋外暴露したフライアッシュを使用したコンクリートの性状，コンクリート工学年次論文集，Vol.29,No.1,2007

地震応答解析モデルにおける
補助壁の評価方法について

目次

1. 概要	1
2. 補助壁の選定	2
2.1 補助壁の選定方針	2
2.2 補助壁の選定結果	4
3. 地震応答解析で用いるスケルトンカーブへの補助壁の反映方針	6
3.1 せん断スケルトンカーブ	6
3.2 曲げスケルトンカーブ	7
4. 設計手法としての妥当性	8
5. まとめ	8

添付資料-1 補助壁の選定結果（6号炉原子炉建屋）

添付資料-2 補助壁の選定結果（7号炉原子炉建屋）

添付資料-3 せん断スケルトンカーブにおける耐震壁と補助壁の合算方法

参考資料-1 補助壁の維持管理について

1. 概要

柏崎刈羽原子力発電所 6/7 号炉の補正工認（以下、「今回工認」という）においては、地震応答解析モデルで考慮する建屋剛性に、設計時には耐震要素として考慮できなかったが、実際には耐震壁として考慮可能であると考えられる壁を補助壁として、その分の剛性を考慮する予定である。

本資料は、柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉の既工認（以下、「既工認」という）で考慮した耐震壁と今回工認で新たに考慮する補助壁の扱いの差異及び耐震性評価における考え方について整理し、その上で耐震要素として補助壁を考慮することの設計手法としての妥当性を判断する。

2. 補助壁の選定

2.1 補助壁の選定方針

既設建屋の地震応答解析の実施にあたっては、より実現象に近い応答を模擬するという観点から、設計時には考慮されていなかったが実際は耐震要素として考慮可能な壁を補助壁として位置づけ、地震応答解析モデルに取り込むこととした。

補助壁の選定基準の設定にあたっては、先行審査を含む既工認で適用実績のある規準である、日本建築学会：「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（2005）」（以下、RC-N 規準という）を参考にした。RC-N 規準 19 条「耐震壁の断面算定」には、耐震壁の壁厚、せん断補強筋比等に関する規定として「算定外の規定」が示されており、今回工認の補助壁の選定条件を設定するにあたり、「算定外の規定」の記載を踏まえ、表 2-1 に示す選定条件を設定することとした。表 2-1 を踏まえた具体的な選定プロセスを、図 2-1 にフロー図として示す。

表 2-1 補助壁の選定条件

項目	RC・N 規準 (算定外の規定)	補助壁の選定条件	【参考】耐震壁の選定条件（既工認）
壁厚・内法高さ	・壁の厚さは 200mm 以上，かつ壁の内法高さの 1/30 以上	・壁の厚さは 300mm 以上，かつ壁の内法高さの 1/30 以上	同左
せん断補強筋比	・壁のせん断補強筋比は，直交する各方向に関し，それぞれ 0.25%以上	同左	・壁のせん断補強筋比は，直交する各方向に関し，それぞれ 0.6% 以上
壁筋	・複筋配置 ・D13 以上の異形鉄筋を用い，壁の見付面に関する間隔は 300mm 以下	同左	同左
その他条件		・下階まで壁が連続している，もしくは床スラブを介して壁に生じるせん断力を下階の耐震壁に伝達できる壁	・基礎スラブから連続して立ち上がっている壁
		・フレーム構面外でも上記を満たす壁	・フレーム構面内（柱，梁間）の壁

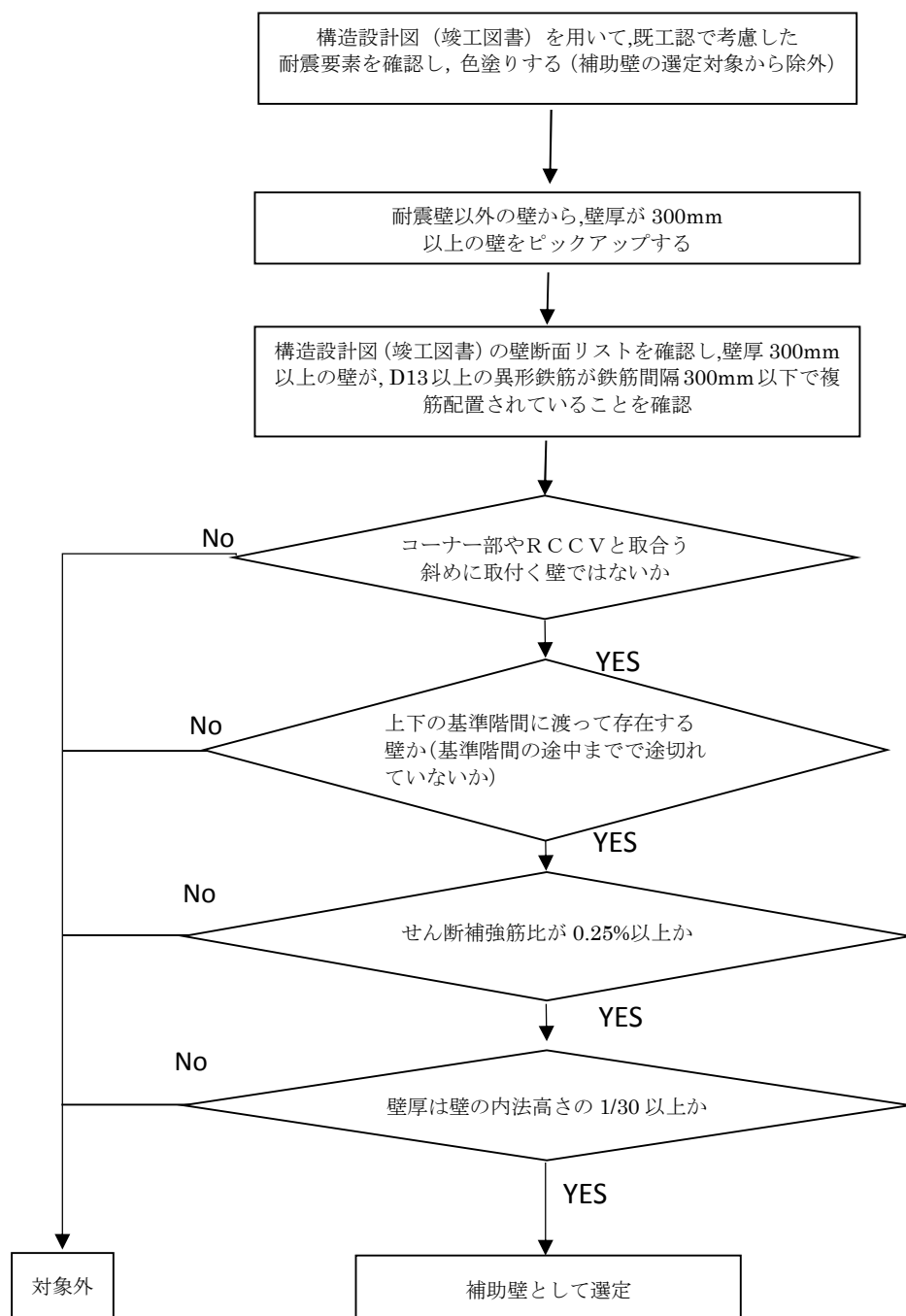


図 2-1 補助壁の選定プロセス

2.2 補助壁の選定結果

表 2-1 で示した考え方に基づき、耐震要素として考慮する補助壁の選定を実施した。

新たに補助壁として剛性を考慮した壁の断面積と耐震壁として従来より考慮していた分の断面積について整理した結果を、6 号炉原子炉建屋を表 2-2 に、7 号炉原子炉建屋を表 2-3 示す。(耐震壁+補助壁)/耐震壁の比率は約 1.1~1.7 程度であり、数字が大きくなっている部分は燃料プールや蒸気乾燥器・気水分離器ピットの壁を補助壁として算定したことに起因している。考慮した補助壁の範囲(概要図)については添付資料-1 及び添付資料-2 に示す。

表 2-2 補助壁の評価結果 (6 号炉原子炉建屋) ※1

T.M.S.L. (m)	階	耐震壁		補助壁		耐震壁+補助壁		比率 (今回工認/既工認)	
		NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向
		m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²		
49.7	屋上階	41.0	54.7	0.0	0.0	41.0	54.7	1.00	1.00
38.2	クレーン階								
31.7	4 階	82.4	122.6	0.0	0.0	82.4	122.6	1.00	1.00
		231.3	273.2	70.7	137.3	302.0	410.5	1.31	1.50
23.5	3 階	213.6	209.4	22.1	146.4	235.7	355.8	1.10	1.70
18.1	2 階	220.3	231.7	86.2	85.0	306.5	316.7	1.39	1.37
		260.8	274.7	52.4	40.9	313.2	315.6	1.20	1.15
12.3	1 階								
4.8	地下 1 階	280.8	288.2	40.5	106.6	321.3	394.8	1.14	1.37
		336.3	340.1	64.9	78.7	401.2	418.8	1.19	1.23
-1.7	地下 2 階								
-8.2	地下 3 階								

※1：表に示した数値は暫定値であり、今後の審査における議論を踏まえ適宜見直す。

表 2-3 補助壁の評価結果（7号炉原子炉建屋）※2

T.M.S.L. (m)	階	耐震壁		補助壁		耐震壁＋補助壁		比率 (今回工認/既工認)	
		NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向
		m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²		
49.7	屋上階	41.0	54.7	0.0	0.0	41.0	54.7	1.00	1.00
38.2	クレーン階	83.0	122.9	0.0	0.0	83.0	122.9	1.00	1.00
31.7	4 階	231.8	267.7	75.7	124.0	307.5	391.7	1.33	1.46
23.5	3 階	214.5	207.3	31.0	147.3	245.5	354.6	1.14	1.71
18.1	2 階	215.8	228.9	71.2	145.2	287.0	374.1	1.33	1.63
12.3	1 階	261.9	275.8	57.7	55.7	319.6	331.5	1.22	1.20
4.8	地下 1 階	281.9	288.2	34.1	103.3	315.7	391.5	1.12	1.36
-1.7	地下 2 階	337.2	343.6	72.7	80.3	409.9	423.9	1.22	1.23
-8.2	地下 3 階								

※2：表に示した数値は暫定値であり，今後の審査における議論を踏まえ適宜見直す。

3. 地震応答解析で用いるスケルトンカーブへの補助壁の反映方針

地震応答解析で用いるスケルトンカーブへの補助壁の反映方針を以下で説明する。

3.1 セン断スケルトンカーブ

鉄筋コンクリート造耐震壁のせん断スケルトンカーブは、JEAG4601-1991 追補版の評価法を基本とするが、補助壁については、JEAG4601-1991 追補版で評価される第1折れ点で降伏する、完全弾塑性型のスケルトンカーブとして評価する方針とする。終局点を与えるせん断ひずみについては JEAG4601-1991 追補版の記載による値を採用する方針としている。耐震壁及び補助壁のせん断に関するスケルトンカーブの概念図を図 3-1 に示す。

補助壁のせん断スケルトンカーブを完全弾塑性型とした理由は、以下の点を踏まえた上で、保守的な評価とするためである。

- JEAG4601-1991 追補版におけるせん断スケルトンカーブの終局点の評価法は BOX 壁、円筒壁、I 型壁の実験結果に基づいており、直交壁が存在しない壁の場合は、直交する壁の効果を見込まないような終局点の評価方法を適用する必要があると考えられるが、補助壁については、直交壁が存在しない場合も多いことから、JEAG4601-1991 追補版の終局点の評価法を採用すると過剰にせん断応力の負担を期待するようなスケルトンカーブとなる場合があること。
- 補助壁の鉄筋比は耐震壁と比べて小さい場合が多く、鉄筋によるせん断力の負担が生じる第一折れ点以降のせん断応力の負担については補助壁分の寄与が小さいと考えられることから、第一折れ点まで補助壁の効果を考慮することにより、補助壁による効果を踏まえた応答性状になると考えられること。

また、実際の地震応答解析は、複数の耐震壁と補助壁のスケルトンカーブを軸毎に集約した合算後のスケルトンカーブを用いて解析を実施している。スケルトンカーブの集約方法の詳細を添付資料-3 に示す

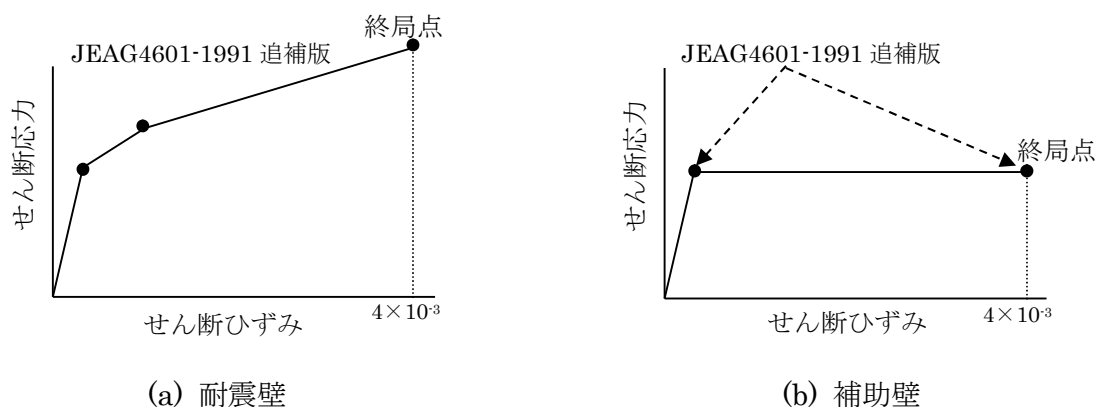


図 3-1 セン断に関するスケルトンカーブの概念図

3.2 曲げスケルトンカーブ

鉄筋コンクリート造耐震壁の曲げスケルトンカーブは、せん断スケルトンカーブと同様に JEAG4601-1991 追補版の評価法を基本とするが、補助壁については、その影響を無視する方針である。

曲げスケルトンカーブの算定時に補助壁の影響を無視することとしたのは、以下の点を踏まえた上で、保守的な評価とするためである。

- ・補助壁として新たに考慮した壁のうち、燃料プール、蒸気乾燥器・気水分離器ピットの壁については、EW 方向の解析モデルの曲げ剛性への影響は大きいと考えられるため、建屋質点系モデルにおける建屋質点間を繋ぐ回転ばねとして既工認時より考慮済みであること(図 3-2 参照)。
- ・その他の補助壁については、既工認で耐震壁として考慮した外壁部やフレーム部を構成するような大スパンの連続的な壁ではなく、短スパンの壁であり、建屋全体の曲げ剛性に与える影響は小さいと判断されることから、その影響を無視しても応答性状に与える影響は小さいと考えられること。

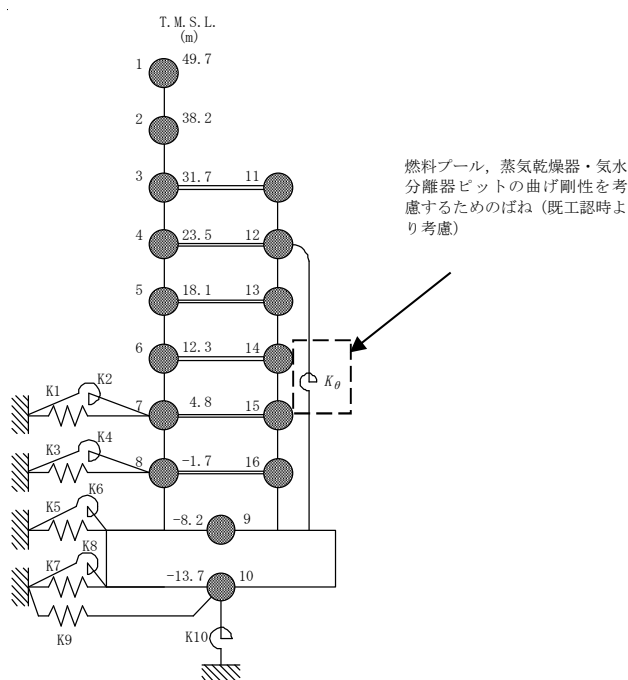


図 3-2 今回工認で採用予定の原子炉建屋の地震応答解析モデル（EW 方向）

4. 設計手法としての妥当性

今回工認で新たに耐震要素として考慮する補助壁は、RC-N 規準における耐震壁の規定を踏まえて設定した選定基準に基づき選定されていることから、耐震要素として十分に考慮可能であると考えられる。

また、地震応答解析で用いる解析モデルへの反映方針としては、JEAG4601-1991 追補版におけるスケルトン評価法のベースとなった実験の内容や耐震壁と補助壁の違い（鉄筋比、直交壁の有無）を踏まえ、補助壁のせん断スケルトンカーブとしては第 1 折れ点で降伏する完全弾塑性型とし、曲げスケルトンとしては補助壁の剛性を無視する保守的な設定としている。

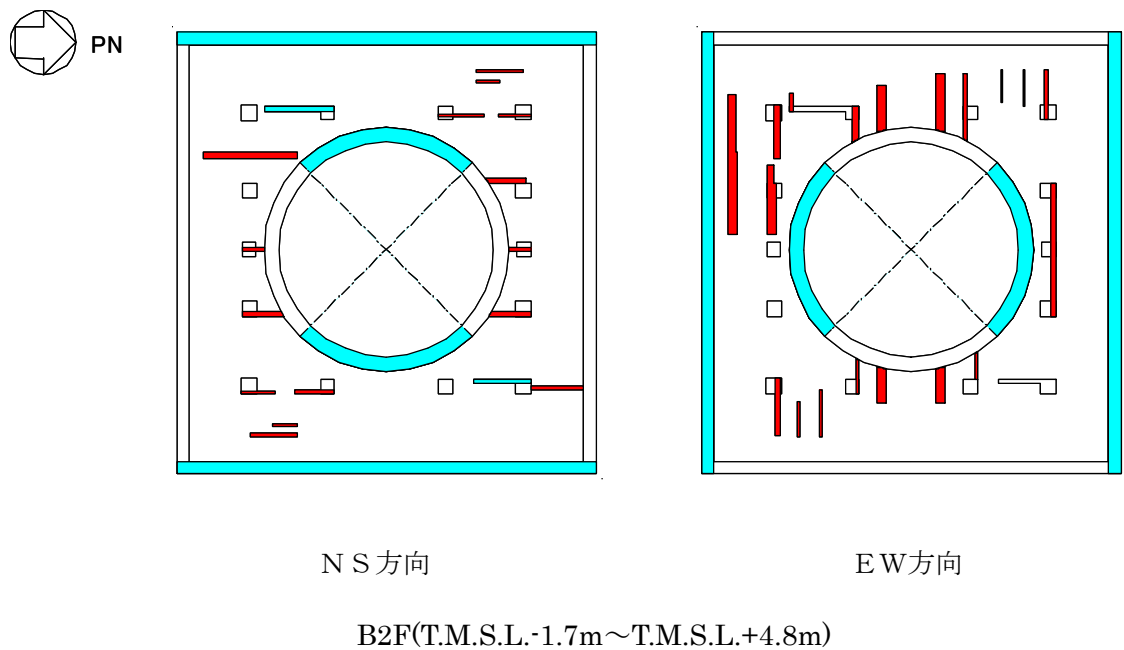
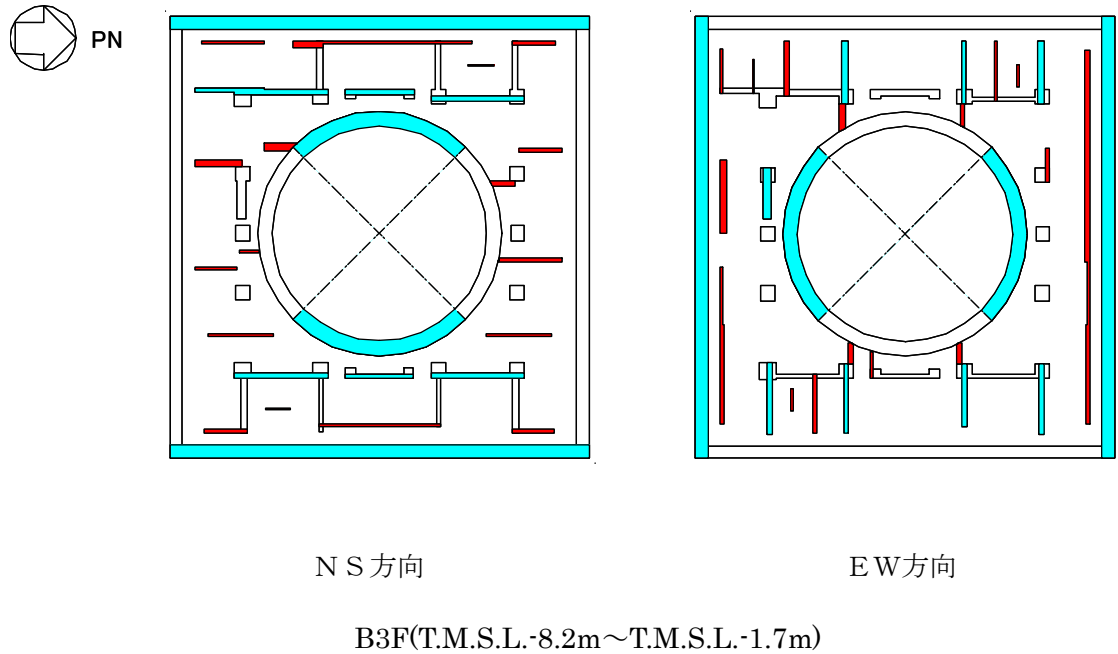
以上のことから、補助壁を耐震要素として新たに考慮することは、設計手法として妥当であると判断した。

5. まとめ

今回工認では、より実現象に近い応答を模擬するという観点から新たに耐震要素として取り入れる補助壁について、選定の考え方と選定結果について整理した。また、耐震評価の考え方についても整理した。その上で今回工認において耐震要素として、補助壁を考慮することが設計手法として妥当であると判断した。

添付資料-1 補助壁の選定結果（6号炉原子炉建屋）

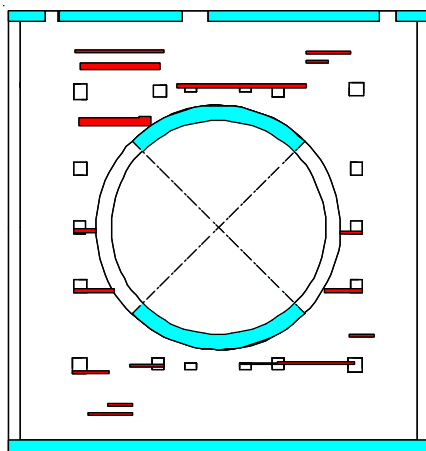
6号炉原子炉建屋の地震応答解析時に耐震壁及び補助壁として剛性を評価する範囲（概要図）を以下に示す。



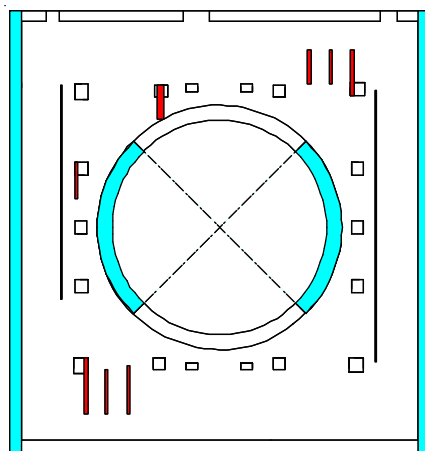
: 耐震壁として剛性を評価する範囲
(既工認と同じ)

: 補助壁として剛性を評価する範囲

添図 1-1 耐震壁と補助壁の考慮範囲

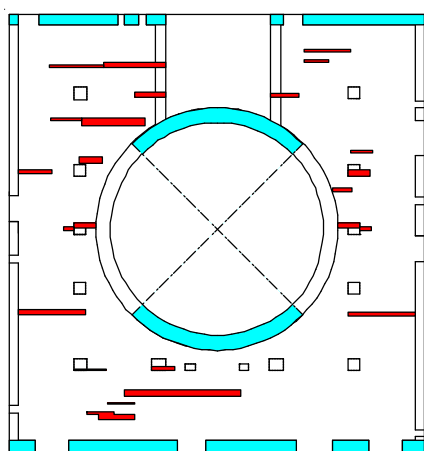


NS 方向

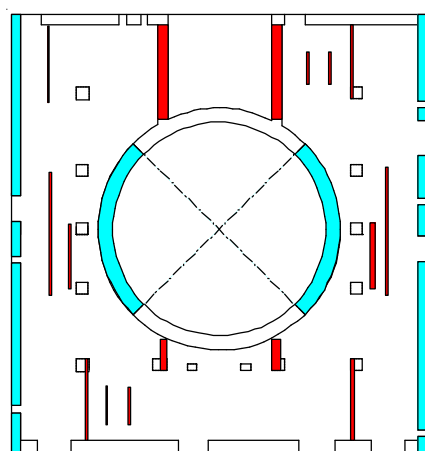


EW 方向

B1F(T.M.S.L.+4.8m~T.M.S.L.+12.3m)



NS 方向

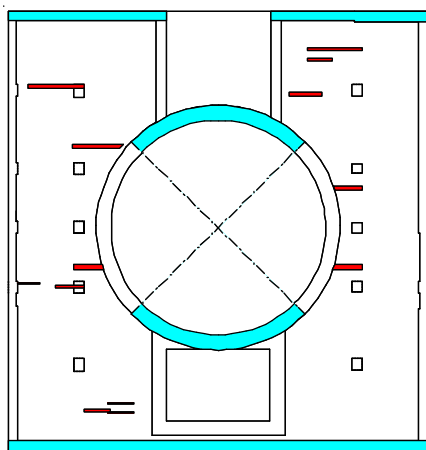


EW 方向

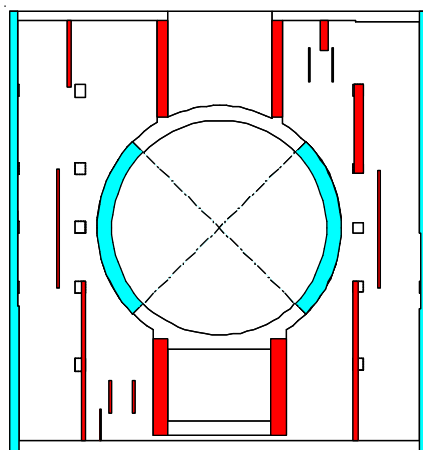
1F(T.M.S.L.+12.3m~T.M.S.L.+18.1m)

- : 耐震壁として剛性を評価する範囲
(既工認と同じ)
- : 補助壁として剛性を評価する範囲

添図 1-2 耐震壁と補助壁の考慮範囲

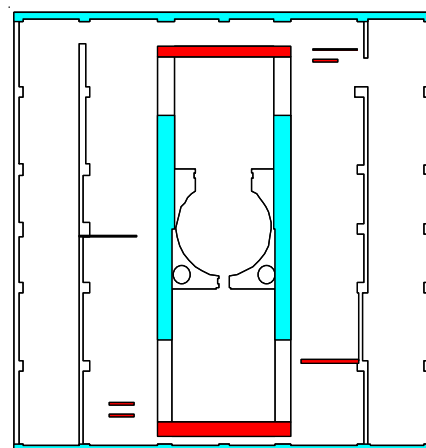


N S 方向

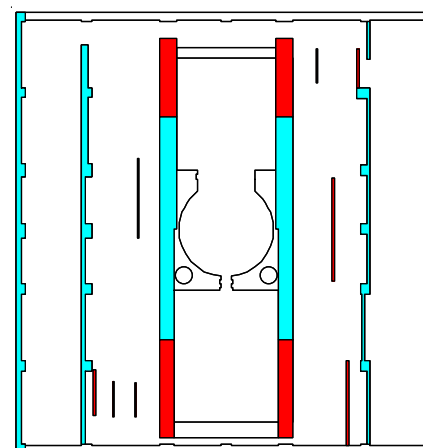


E W 方向

2F(T.M.S.L.+18.1m~T.M.S.L.+23.5m)





N S 方向



E W 方向

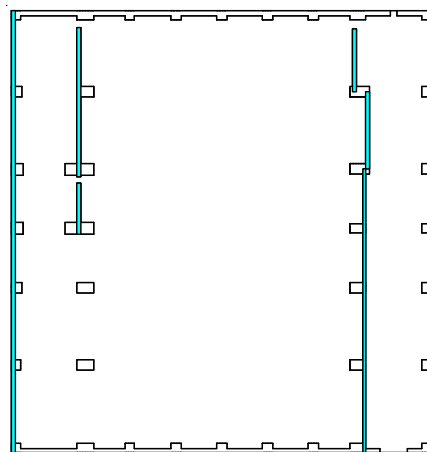
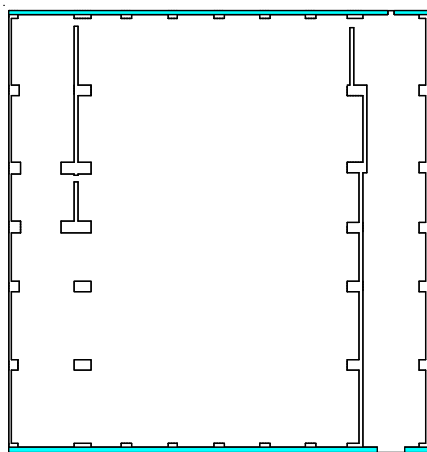
3F(T.M.S.L. +23.5m~T.M.S.L.+31.7m)

-  : 耐震壁として剛性を評価する範囲
(既工認と同じ)
-  : 補助壁として剛性を評価する範囲

添図 1-3 耐震壁と補助壁の考慮範囲



PN



補助壁該当なし

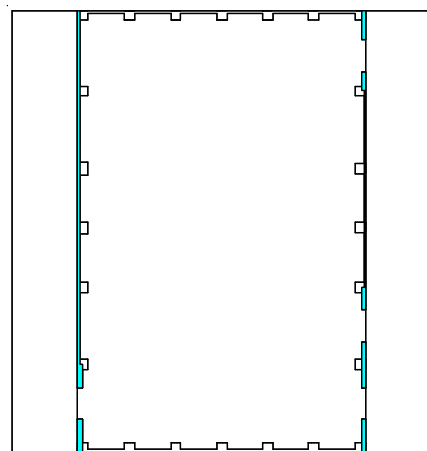
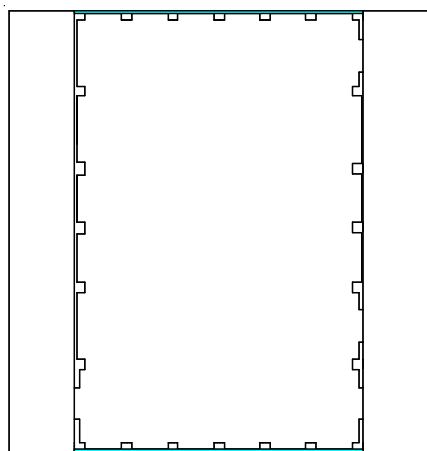
N S 方向

E W 方向

4F(T.M.S.L.+31.7m~T.M.S.L.+38.2m)



PN




補助壁該当なし

N S 方向

E W 方向

CRF(T.M.S.L.+38.2m~T.M.S.L.+49.7m)

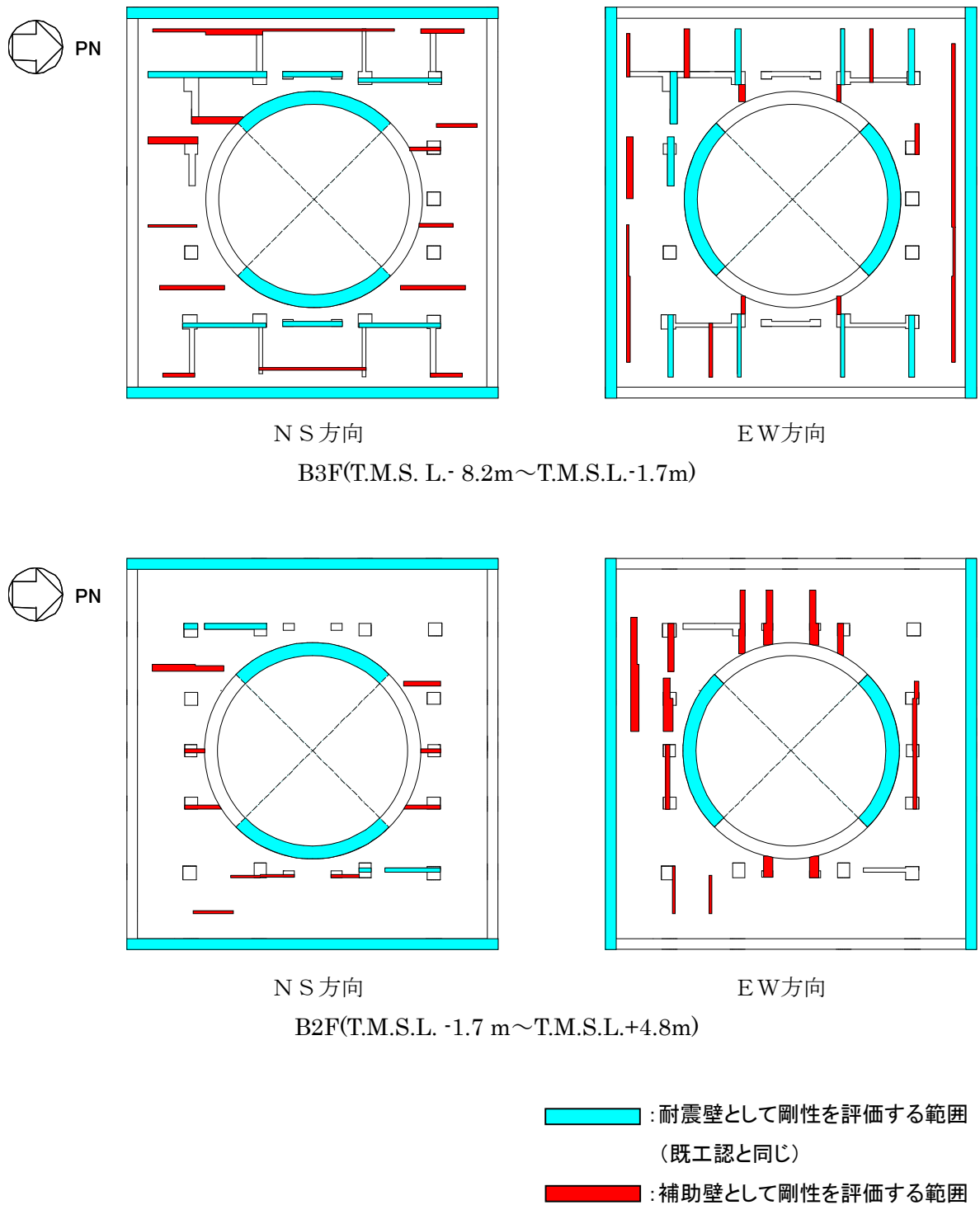
 : 耐震壁として剛性を評価する範囲

(既工認と同じ)

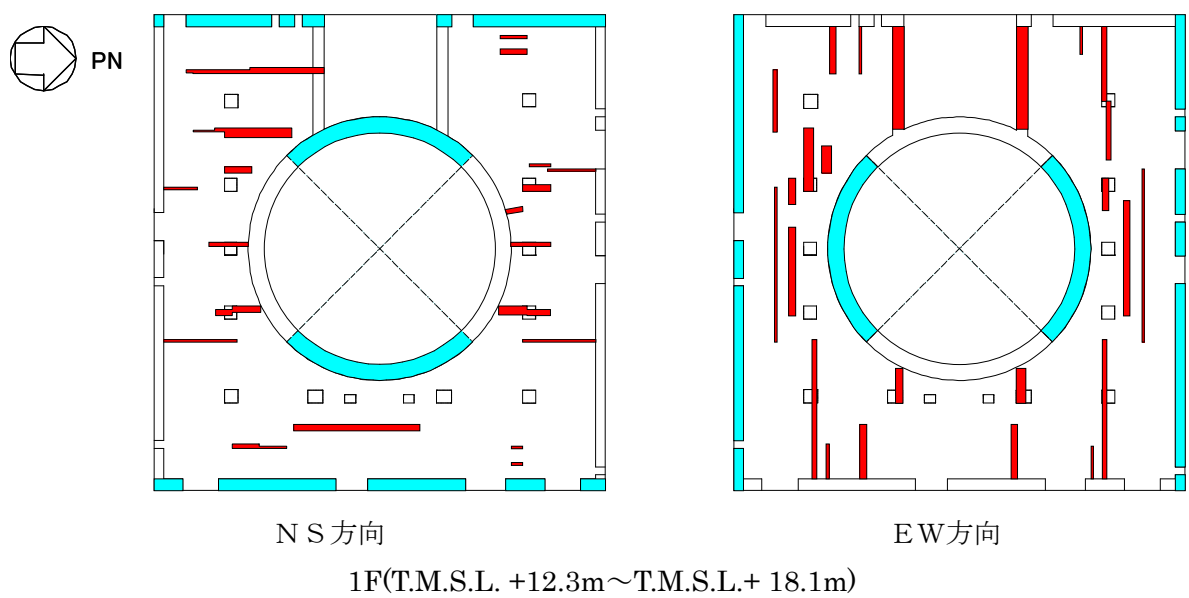
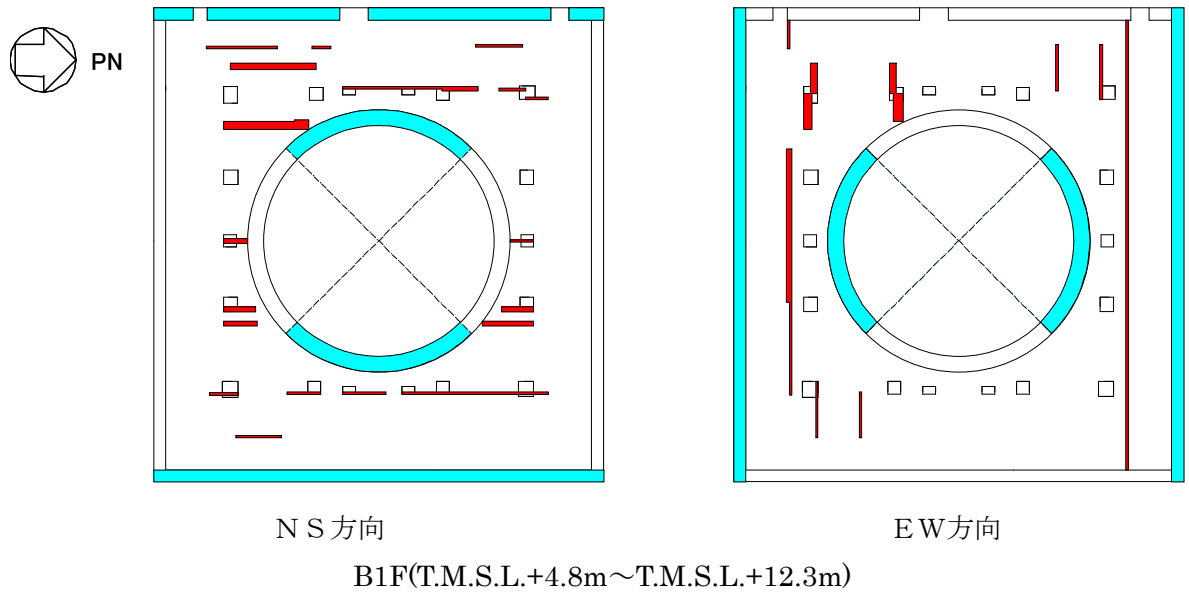
添図 1-4 耐震壁と補助壁の考慮範囲


添付資料-2 補助壁の選定結果（7号炉原子炉建屋）


7号炉原子炉建屋の地震応答解析時に耐震壁及び補助壁として剛性を評価する範囲（概要図）を以下に示す。



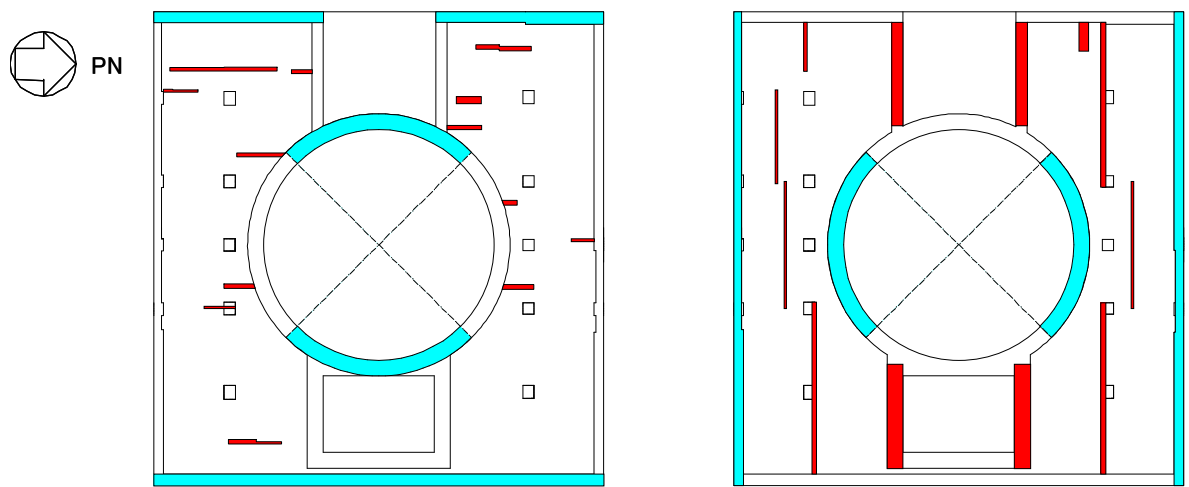
添図 2-1 耐震壁と補助壁の考慮範囲



 :耐震壁として剛性を評価する範囲
(既工認と同じ)

 :補助壁として剛性を評価する範囲

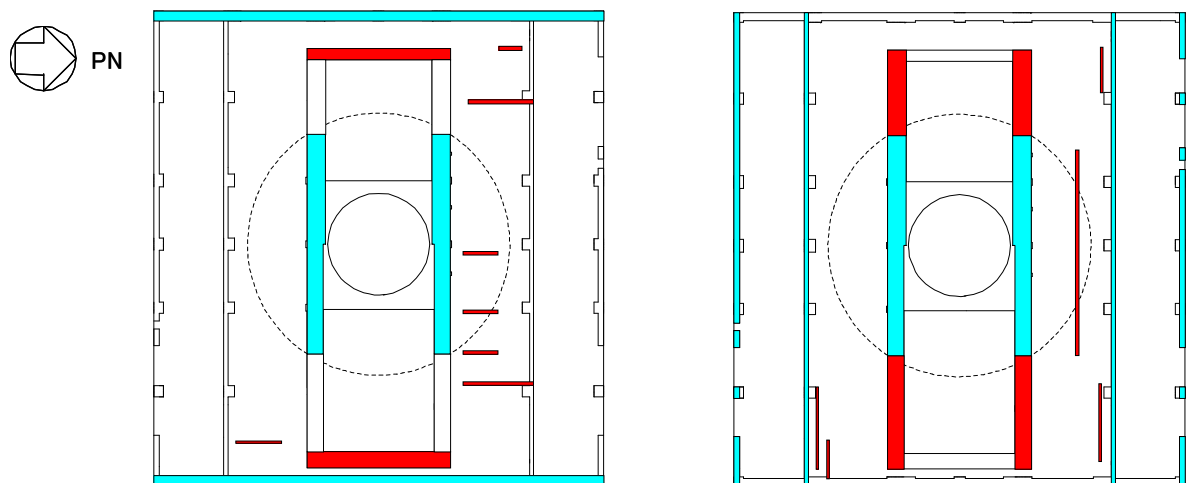
添図 2-2 耐震壁と補助壁の考慮範囲



NS方向

EW方向



2F(T. M.S.L.+18.1m~T.M.S.L.+23.5m)



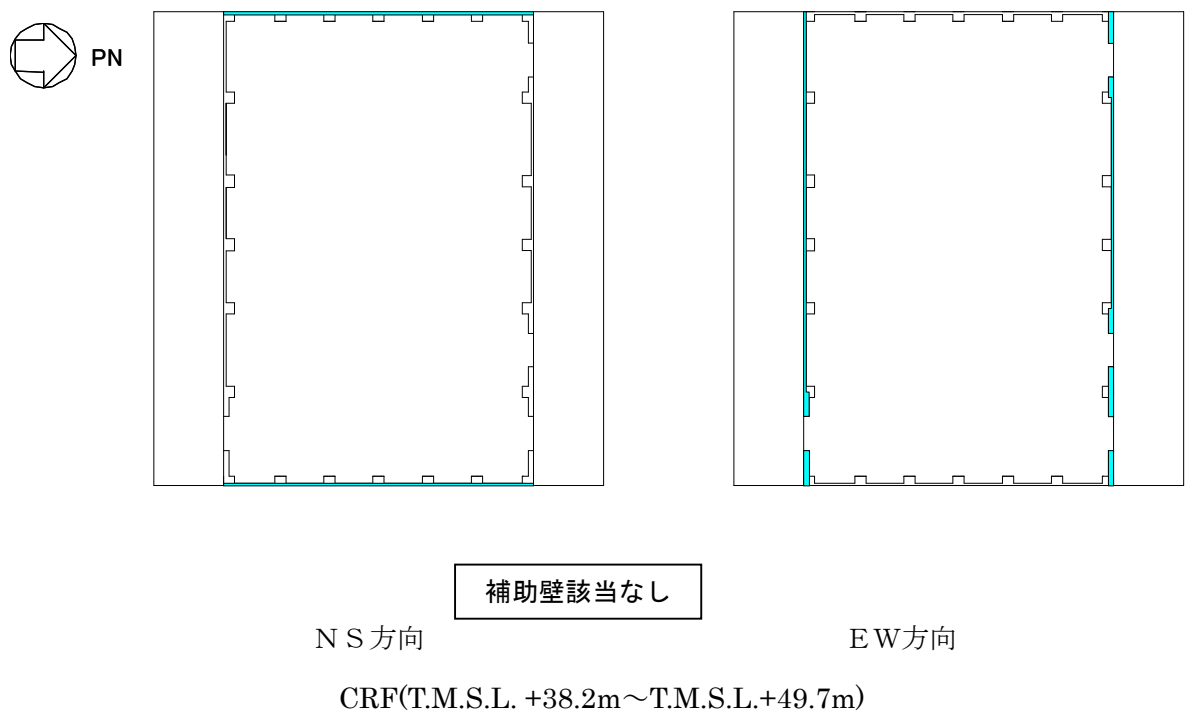
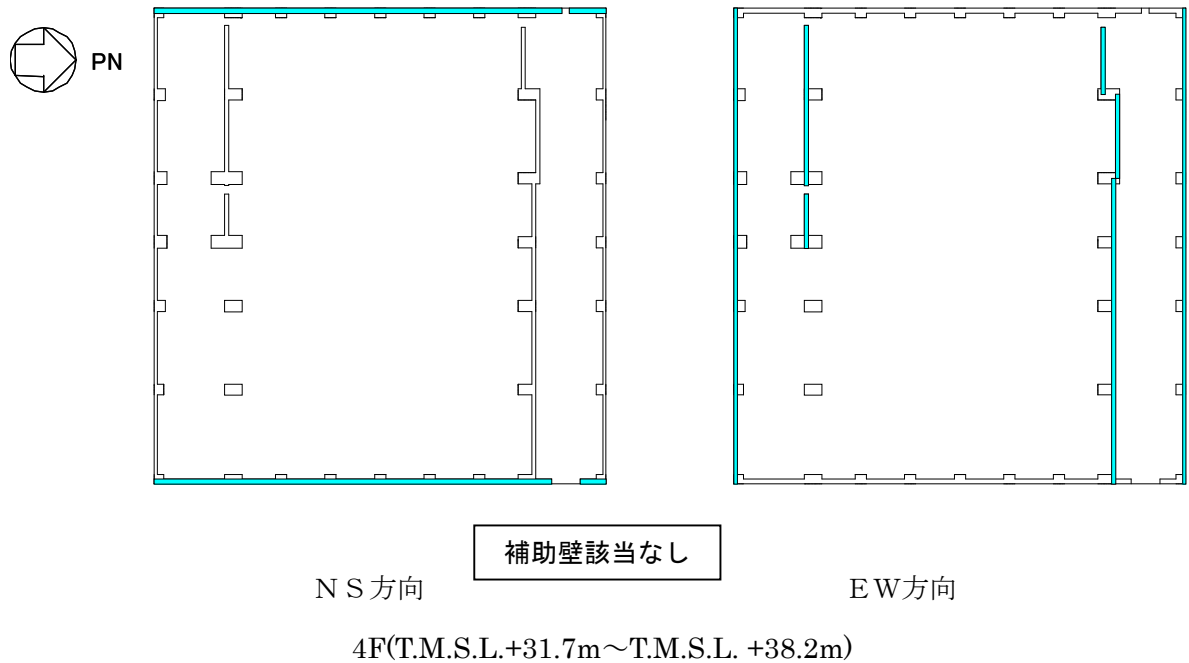
NS方向

EW方向

3F(T.M.S.L. +23.5m~T.M.S.L.+31.7m)

 : 耐震壁として剛性を評価する範囲
(既工認と同じ)
 : 補助壁として剛性を評価する範囲

添図 2-3 耐震壁と補助壁の考慮範囲



: 耐震壁として剛性を評価する範囲
(既工認と同じ)

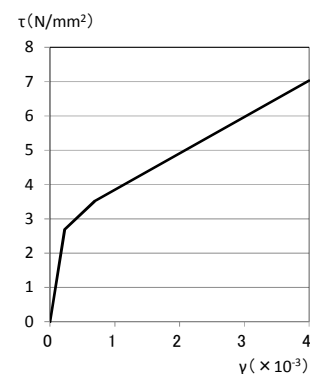
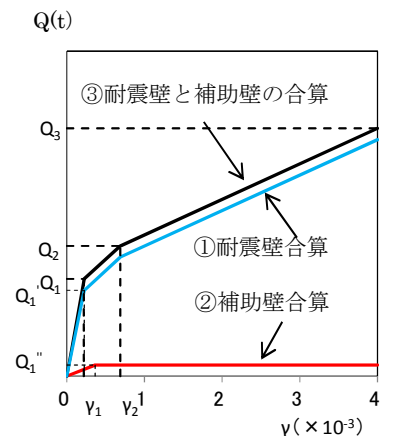
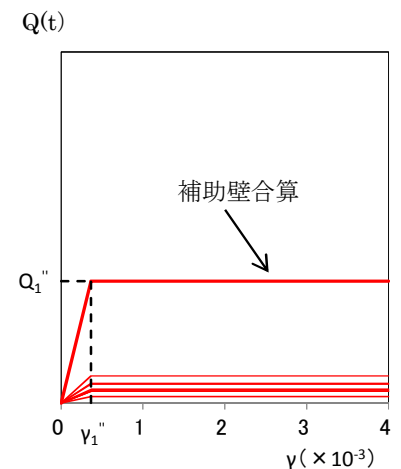
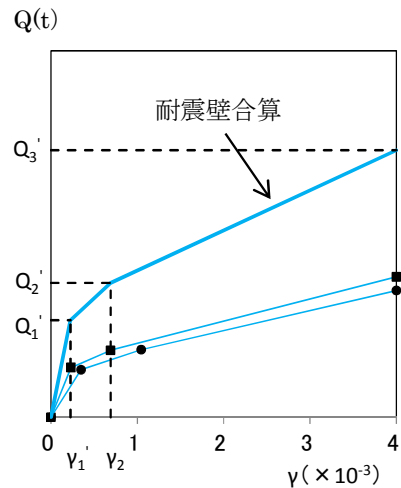
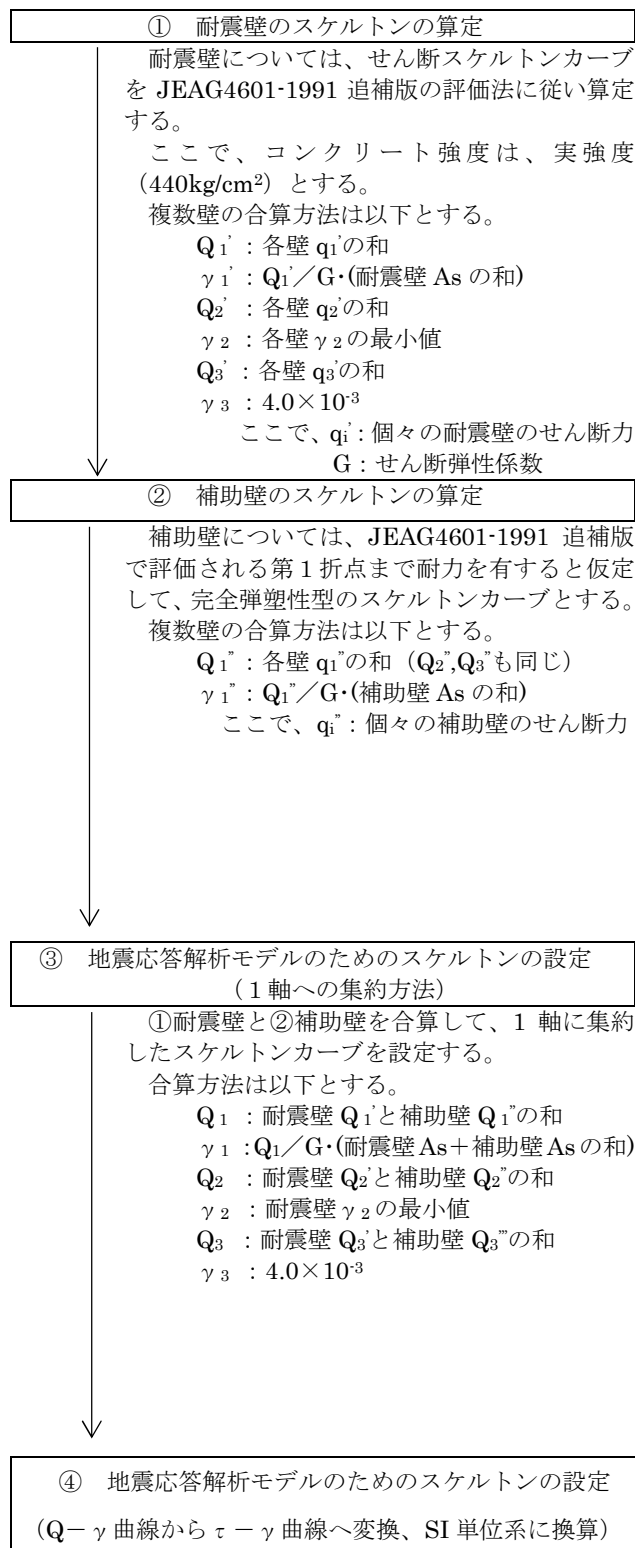
添図 2-4 耐震壁と補助壁の考慮範囲

添付資料-3 セン断スケルトンカーブにおける耐震壁と補助壁の合算方法

原子炉建屋の地震応答解析モデルにおけるセン断スケルトンカーブは、耐震壁と補助壁を合算評価して設定している。耐震壁と補助壁を評価する場合のスケルトンカーブの算定フローを添図 3-1 に示す。

算定フローに基づき算定した結果として、7 号炉原子炉建屋の NS 方向 B3F（最下階）の外壁軸における計算例を添表 3-1 に示す。

また、算定フローに基づき設定した地震応答解析モデルに用いるセン断スケルトンカーブについて、7 号炉原子炉建屋の NS 方向を例として、添図 3-2～9 に示す。



添図 3-1 スケルトンカーブの算定フロー

添表 3-1 セン断スケルトンカーブ算定例（原子炉建屋 NS 方向，地下 3 階 外壁軸）

① 耐震壁のスケルトンの算定結果

T. M. S. L. (m)	通り	耐震壁As (m ²)	JEAG 第 1 折点			JEAG 第 2 折点			JEAG 終局点		
			τ_1 (kg/cm ²)	Q_1 (t)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (kg/cm ²)	Q_2 (t)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (kg/cm ²)	Q_3 (t)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
-8.2~-1.7	kA	96.2	28.09	27023	0.230	37.92	36480	0.691	79.55	76523	4.000
	kG	96.2	28.34	27262	0.232	38.26	36804	0.697	79.76	76730	4.000

耐震壁の合算

T. M. S. L. (m)	部位	耐震壁As (m ²)	τ_1 (kg/cm ²)	Q_1 (t)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (kg/cm ²)	Q_2 (t)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (kg/cm ²)	Q_3 (t)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
-8.2~-1.7	耐震壁	192.4		54285	0.231		73284	0.691		153253	4.000

注 : $G = 1.22 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$

② 補助壁のスケルトンの算定結果

T. M. S. L. (m)	壁NO	補助壁As A(m ²)	JEAG 第 1 折点		
			τ_1 (kg/cm ²)	Q_1 (t)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)
-8.2~-1.7	1	3.50	22.27	779	0.183
	2	6.93	22.27	1543	0.183
	3	4.83	22.27	1076	0.183
	4	1.65	22.27	367	0.183
	5	3.06	22.27	681	0.183
	6	3.06	22.27	681	0.183
	7	5.04	22.27	1122	0.183
	8	3.06	22.27	681	0.183

補助壁の合算

T. M. S. L. (m)	部位	補助壁As (m ²)	τ_1 (kg/cm ²)	Q_1 (t)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)
-8.2~-1.7	補助壁	31.13		6933	0.183

注 : $G = 1.22 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$

③ 地震応答解析モデルのためのスケルトンの設定結果（1 軸への集約）

T. M. S. L. (m)	部位	ΣAs (m ²)	第 1 折点			第 2 折点			第 3 折点		
			τ_1^{*1} (kg/cm ²)	Q_1^{*1} (t)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2^{*1} (kg/cm ²)	Q_2^{*1} (t)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3^{*1} (kg/cm ²)	Q_3^{*1} (t)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
-8.2~-1.7	外壁軸	223.53		61218	0.224		80217	0.691		160186	4.000

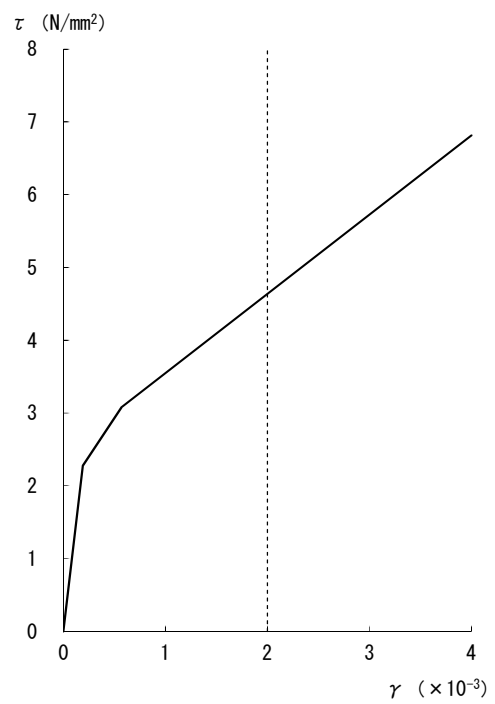
*1 : ①耐震壁と②補助壁の和

④ 地震応答解析モデルのためのスケルトンの設定結果（Q- γ 曲線から τ - γ 曲線へ変換）

T. M. S. L. (m)	部位	ΣAs (m ²)	第 1 折点			第 2 折点			第 3 折点		
			τ_1^{*1} (kg/cm ²)		γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2^{*1} (kg/cm ²)		γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3^{*1} (kg/cm ²)		γ_3 ($\times 10^{-3}$)
-8.2~-1.7	外壁軸	223.53	27.39 (2.686)		0.224	35.89 (3.519)		0.691	71.66 (7.028)		4.000

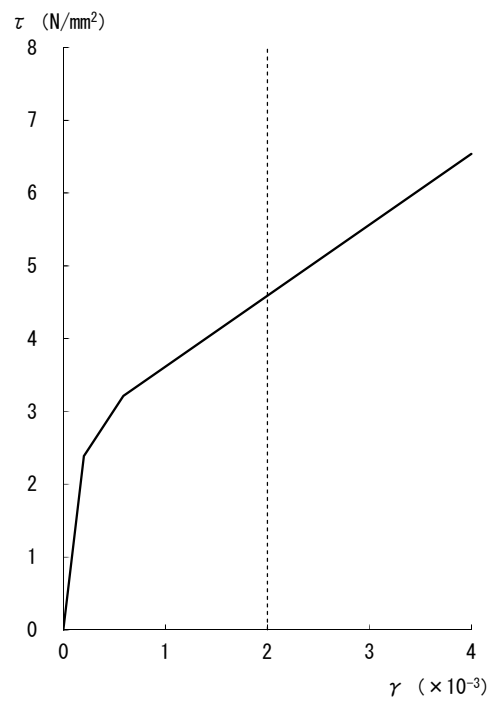
*1 : $\tau_i = Q_i / \Sigma As$ 、() 内は、N/mm² (SI 単位換算値を示す)

(NS 方向)



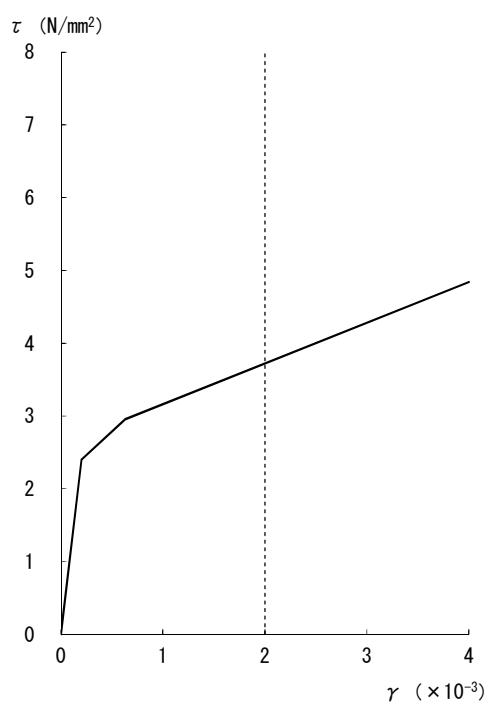
[外壁]

添図 3-2 せん断スケルトンカーブ (NS 方向, CRF)

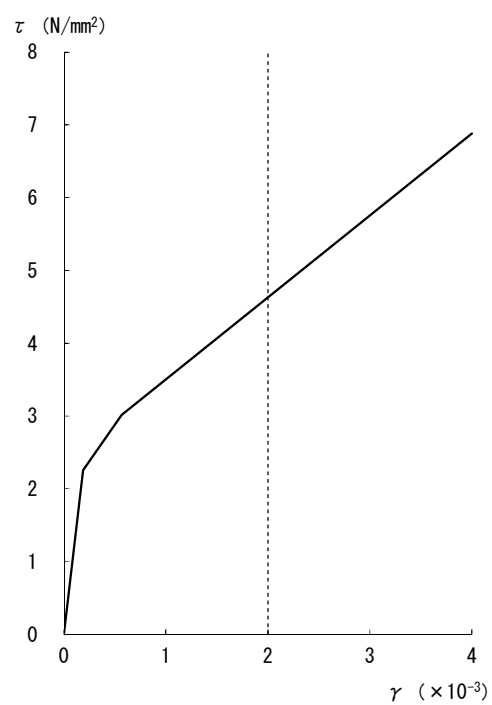


[外壁]

添図 3-3 せん断スケルトンカーブ (NS 方向, 4F)

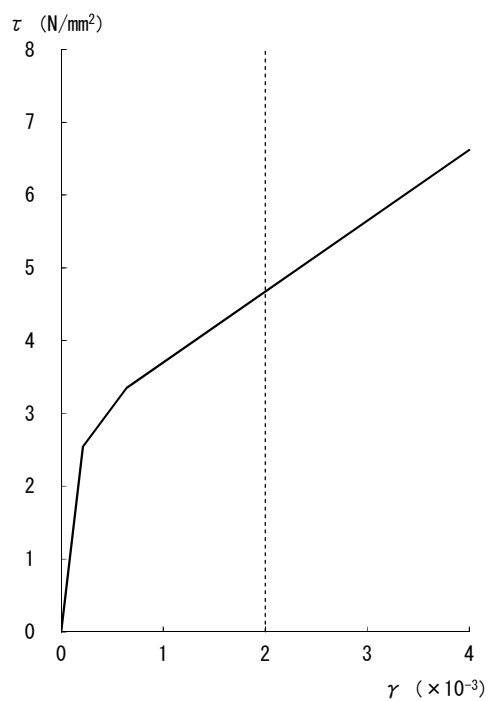


[外壁]

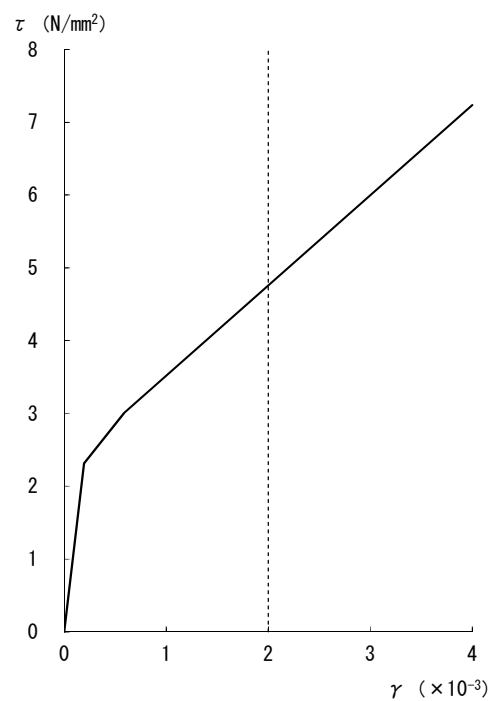


[RCCV]

添図 3-4 セン断スケルトンカーブ (NS 方向, 3F)

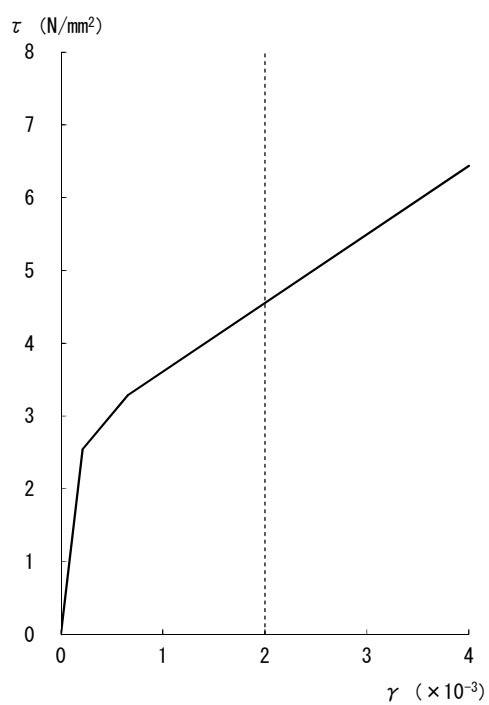


[外壁]

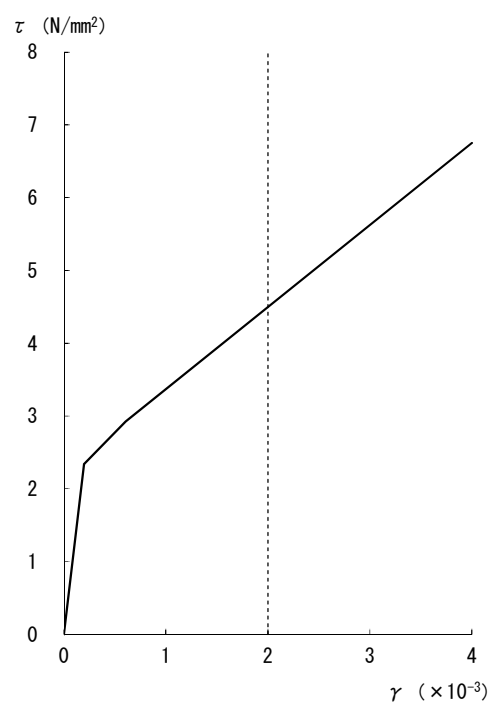


[RCCV]

添図 3-5 セン断スケルトンカーブ (NS 方向, 2F)

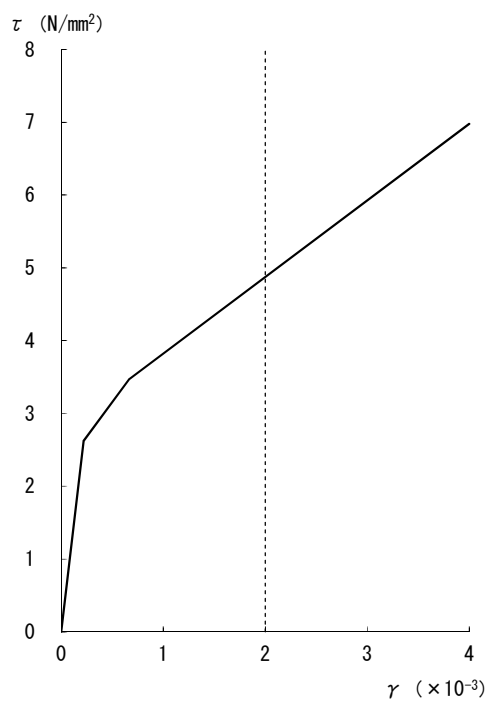


[外壁]

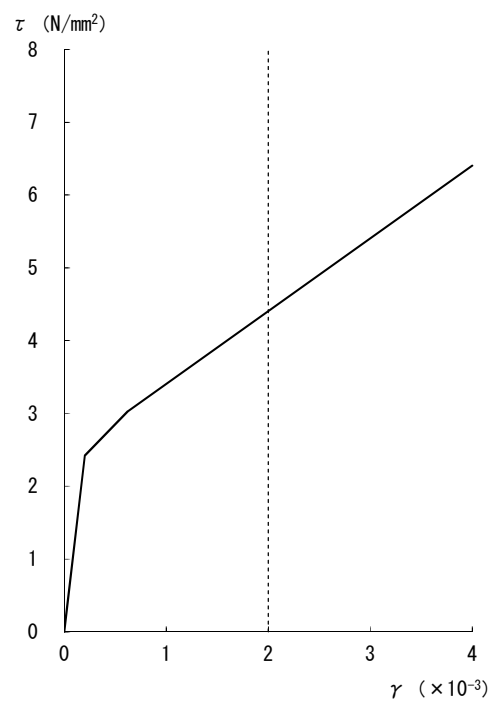


[RCCV]

添図 3-6 セン断スケルトンカーブ (NS 方向, 1F)

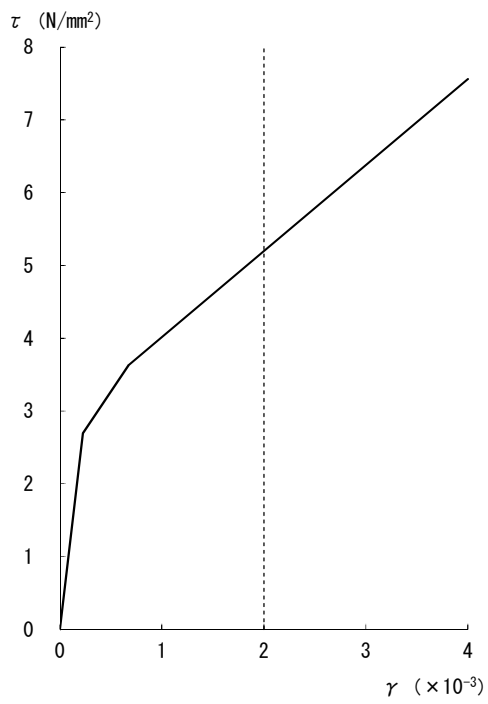


[外壁]

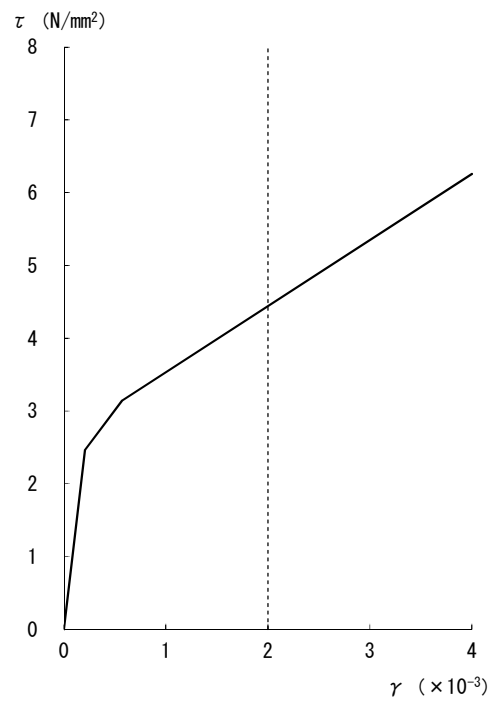


[RCCV]

添図 3-7 セン断スケルトンカーブ (NS 方向, B1F)

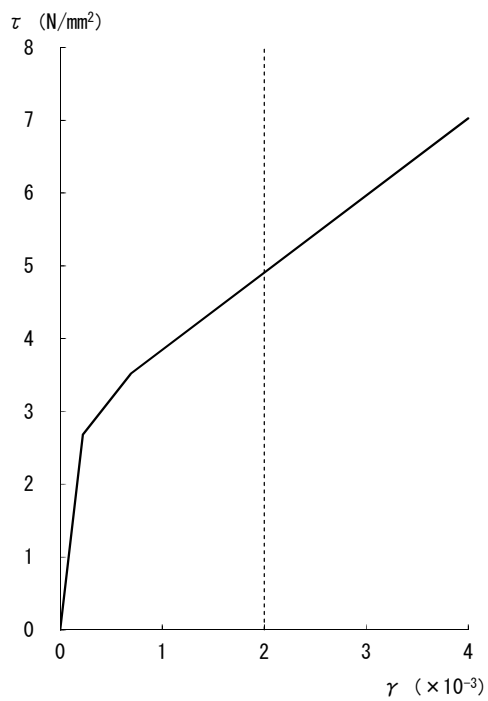


[外壁]

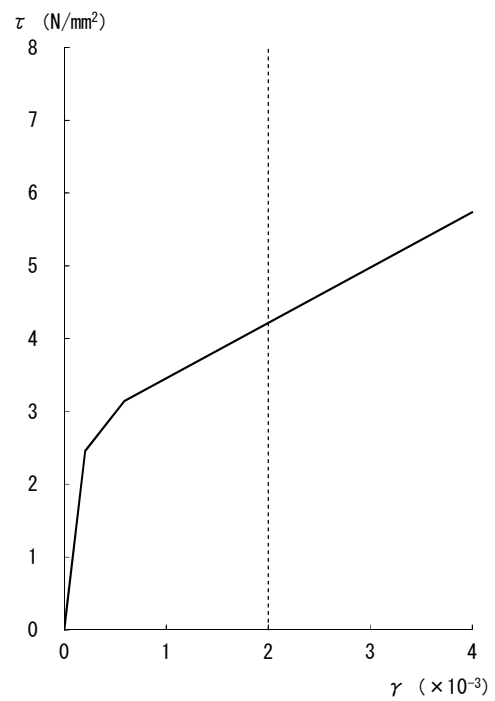


[RCCV]

添図 3-8 セン断スケルトンカーブ (NS 方向, B2F)



[外壁]



[RCCV]

添図 3-9 セン断スケルトンカーブ (NS 方向, B3F)

参考資料-1 補助壁の維持管理について

柏崎刈羽原子力発電所では、原子炉建屋、タービン建屋、コントロール建屋、廃棄物処理建屋等の鉄筋コンクリート造建物の躯体について、躯体の健全性維持の観点から、社内マニュアル※に基づく定期点検を実施している。点検は建屋躯体全てを対象として実施しているため、今回工認より地震応答解析モデルで新たに考慮する予定の補助壁についても、耐震壁を含む他の壁と同様に、以前より全てが点検の対象となっており、耐震壁と同様の維持管理がなされている。点検項目については、ひび割れ、表面劣化等が設定されており、それぞれの項目について点検周期が設定されている。

以上のように全ての補助壁について、鉄筋コンクリート構造としての要求機能が満たせるように適切な維持管理がなされていることから、耐震要素として補助壁を新たに考慮した場合についてもこれまで同様の維持管理を実施することで特段の支障は生じないものと考えられる。

なお、鉄筋コンクリート構造の壁のうち、生体遮へい装置としての機能が要求される部分については、使用前検査の確認対象となっており、建設時に使用前検査を受検しているが、地震応答解析モデルで考慮している耐震壁のうち、生体遮へい装置の対象となっていない壁は、使用前検査の対象とはなっていない。今回工認で新たに耐震要素として考慮する補助壁についても、耐震壁と同様に使用前検査の対象となっている壁となっていない壁が混在している。

※NE-55-7「原子力発電所建築設備点検マニュアル」

建屋側面地盤回転ばねを考慮することの妥当性について

目 次

1. はじめに

2. 論点の整理と検討方針

- 2.1 建屋地盤相互作用とモデル化について
- 2.2 側面回転ばねを採用する目的・効果について
- 2.3 建屋の設置状況を踏まえた論点の抽出
- 2.4 妥当性の検討方針
- 2.5 まとめ

3. 論点①に対する検討

(論点① 建屋側面に防水層が存在する場合に防水層と地盤間で摩擦力が伝達可能か)

- 3.1 試験の目的
- 3.2 試験計画
- 3.3 一方向載荷及び繰返し載荷試験
- 3.4 スケール影響試験
- 3.5 考察

4. 論点②に対する検討

(論点② 地震時の側面地盤の剥離や土圧変動を考慮しても建屋拘束効果が得られ埋め込み SR モデルへ回転ばねを適用することが妥当か)

- 4.1 検討概要
 - 4.1.1 検討用地震動
 - 4.1.2 解析モデル
 - 4.1.3 解析ケース
- 4.2 建屋拘束効果の検討
 - 4.2.1 2次元 FEM モデルによる検討
 - 4.2.2 側面地盤反力に関する検討
- 4.3 建屋応答の比較
 - 4.3.1 2次元 FEM モデルと埋め込み SR モデルの建屋応答の比較
- 4.4 ジョイント要素せん断ばねのせん断剛性のばらつきの影響検討
- 4.5 まとめ

5. 論点③に対する検討

(論点③ 隣接建屋や建屋周辺の詳細な地盤状況が側面回転ばねの適用性に影響しない)

か)

- 5.1 検討概要
- 5.2 解析ケース
- 5.3 解析モデル
- 5.4 検討用地震動
- 5.5 解析結果
- 5.6 まとめ

6. 全体まとめ

7. 参考文献

- 添付資料 1 NOVAK ばねの円形仮定の妥当性（辺長比）について
- 添付資料 2 中越沖地震の観測記録を用いた 2 次元 FEM 解析モデルの信頼性の検証
- 添付資料 3 2 次元 FEM モデルの建屋基礎下の地反力分布
- 添付資料 4 せん断ばねの履歴特性と初期剛性の建屋応答への影響について
- 添付資料 5 建屋基礎下のマンメイドロックの建屋応答への影響
- 添付資料 6 建屋周辺のマンメイドロックについて

- 参考資料 1 回転ばね考慮モデルと既工認モデルとの応答結果比較（Ss-2EW 方向）

1. はじめに

本資料は、今回工認における、原子炉建屋の地下部分の埋め込みを考慮した水平方向の地震応答解析モデル（以下、埋め込み **SR** モデルという）に採用する予定の原子炉建屋地下外壁部の側面回転ばねの妥当性に関して検討したものである。

本資料では、はじめに、地中に埋め込まれた建屋と地盤との相互作用の代表的な評価法のひとつである側面回転ばねを付与した埋め込み **SR** モデルや、地盤を離散系モデルで評価した 2 次元 **FEM** モデルに関する既往の知見を整理する。その上で、比較的大きい地震動が作用する場合の、側面回転ばねの妥当性に関する論点を整理する。

次に、実機の地下外壁（防水層付き）と側面地盤の間を模擬した摩擦試験の結果から、大入力時を想定した、建屋・地盤間の摩擦特性を評価する。

また、原子炉建屋の地下外壁と側面地盤の間の接触・剥離や、摩擦特性を考慮して地盤を 2 次元 **FEM** とし、建屋を質点モデルとした詳細な解析モデルによる地震応答解析を行い、側面地盤による建屋の拘束効果について検討する。その上で、埋め込み **SR** モデルに側面回転ばねを適用した場合の建屋応答と詳細モデルによる建屋応答を比較し、埋め込み **SR** モデルによる建屋応答が妥当であることを確認する。

更に、原子炉建屋に隣接するタービン建屋や周辺の地盤状況（埋戻し土、マンメイドロック等）を考慮した解析モデルを用いた解析を実施し、隣接建屋や建屋周辺の詳細な地盤状況が建屋応答に与える影響を確認する。

2. 論点の整理と検討方針

ここでは、側面回転ばねを考慮することの目的・効果を説明した上で、側面回転ばねを考慮するにあたっての論点を抽出し、各論点に対する検討方針を設定する。

2.1 建屋地盤相互作用とモデル化について

2.1.1 埋め込み効果を考慮した地震応答解析モデルについて

比較的大規模で地中に深く埋め込まれている建物の地震時挙動には、地盤と建屋の相互作用（地盤の建屋拘束効果や側方地盤からの入力）が存在し、これを適切に評価する必要がある。

評価方法としては、建屋の各床位置に集中質点を設け、曲げせん断剛性要素でモデル化した質点系モデルに、地盤の剛性や減衰を適切なばね（＝地盤ばね）として付与し、地盤ばねを介して地震動を入力する比較的簡易な方法がある。この場合質点系モデルの各質点には水平及び回転の自由度を有するので、地盤ばねも建屋の水平・回転に対する抵抗、すなわち水平ばね・回転ばねを考慮する（スウェイ・ロッキング＝SR モデル）。

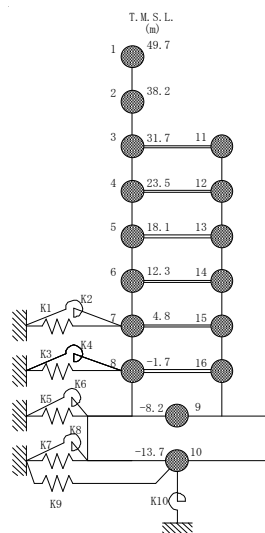
SR モデルを用いる場合、地盤ばねの評価方法がポイントとなるが、地盤ばねとしては弾性波動論に基づいた理論解を簡便化して用いることが多く、基礎底面には振動アドミッタンスによる方法、側面地盤に NOVAK の方法を用いることが一般的である。柏崎刈羽原子力発電所原子炉建屋のように地中に深く埋め込まれている場合に有効な方法である。（埋め込み考慮＝埋め込み SR モデル）この方法は、以下に示すように振動試験や地震観測での妥当性が確認され、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版」（以下、「JEAG4601-1991 追補版」）に示されている。なお、「JEAG4601-1991 追補版」では NOVAK の側面ばねのうち水平ばねのみを付与し回転ばねは考慮しないこととしている。

地盤をばねで評価する方法の他に、地盤を離散系でモデル化する方法として、地盤を質点と質点を連結する軸ばねとせん断ばねで評価する多質点系並列地盤モデル（格子型モデル）と、地盤を有限要素法でモデル化し必要に応じて建屋周辺の埋土や地盤の不整形等を併せて考慮する方法（FEM モデル）がある。この方法も、地盤を格子型モデルや2次元 FEM でモデル化した場合について、地震観測での妥当性が確認され、「JEAG4601-1991 追補版」に示されている。

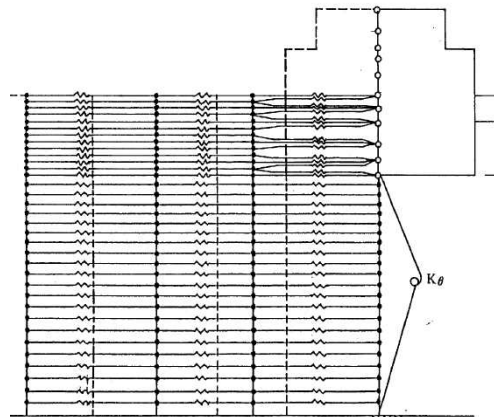
これらのモデルは、目的に応じて使い分けられるが、原子力発電所の設計においては、「建屋の弾塑性や基礎の浮上りを考慮する」、「膨大な荷重条件を想定したパラメータスタディが必要である」、「重要機器を詳細にモデル化して建屋と一体化した精緻な解析を行う必要がある」等の理由から、これまでは埋め込み SR モデルや格子型モデルが用いられている。

一方で、埋め込み SR モデルや格子型モデルの場合に、地盤を平行成層にモデル化することが前提であるのに対し、FEM モデルは、建屋周辺の状況を詳細に表現することができる。このため、周辺地盤の精緻なモデル化や建屋と地盤の間の非線形性等考慮した場合の検証に用いられている。

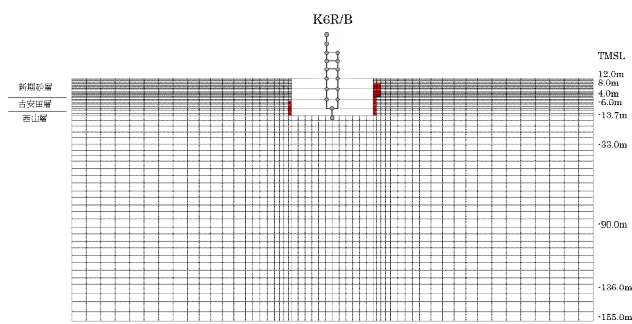
図 2.1.1 に埋め込みを考慮した建屋地盤相互作用を評価するためのモデルを示す。



(埋め込みSRモデル)



(格子型モデル)



(2次元FEMモデル)

図 2.1.1 埋め込みを考慮した建屋地盤相互作用を評価するモデル

2.1.2 埋め込み SR モデルについて

(1) NOVAK のばねの算定における仮定について

埋め込み SR モデルにおいて、側面ばねとして適用することとした NOVAK のばね（側面水平ばね及び側面回転ばね）は、次の仮定をもうけ弾性波動論に基づいて算定されている。

- ・地盤は単位厚さで平面的にスライスされた当方均質な弾性体とし、地盤の鉛直方向の連成は無視する。
- ・建屋は半径 r_0 の円形平面を持ち、振動時に円形平面の形状は変化しない。
- ・地盤の鉛直方向の変位を無視し、建屋と地盤の接触面を水平方向に加振することにより、水平ばねを算定する。
- ・地盤の水平方向の変位を無視し、回転に対して平面保持を考慮した外力を想定し建屋と地盤の接触面を鉛直方向に加振することにより、回転ばねを算定する。

NOVAK の側面ばね算定の概念を図 2.1.2 に示す。

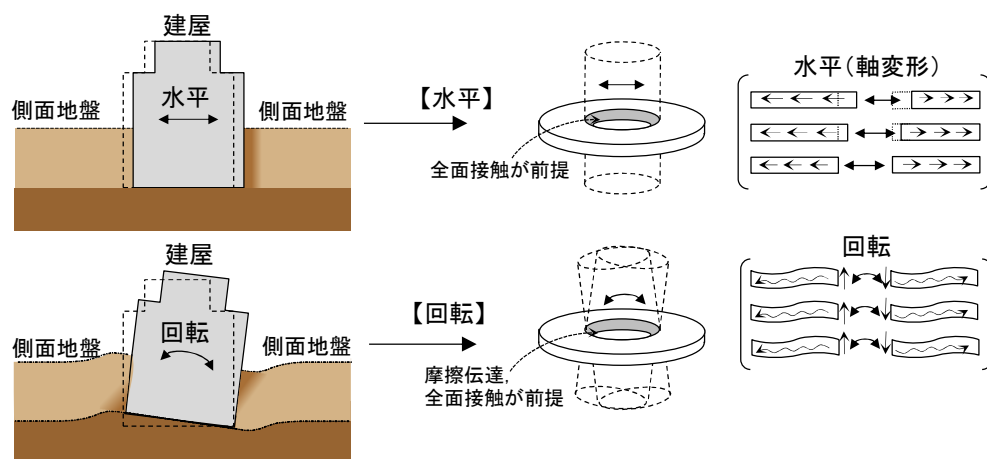


図 2.1.2 NOVAK の側面ばね算定の概念

NOVAK の側面ばね算定における変位の近似化の概念を図 2.1.3 に示す。

この近似の過程では，図 2.1.3 に示すように軸方向の抵抗と鉛直方向のせん断抵抗は考慮されているが，水平方向のせん断抵抗は考慮されていない。

以上の過程によって求まる，NOVAK の側面ばねの算定式を表 2.1.1 に示す。

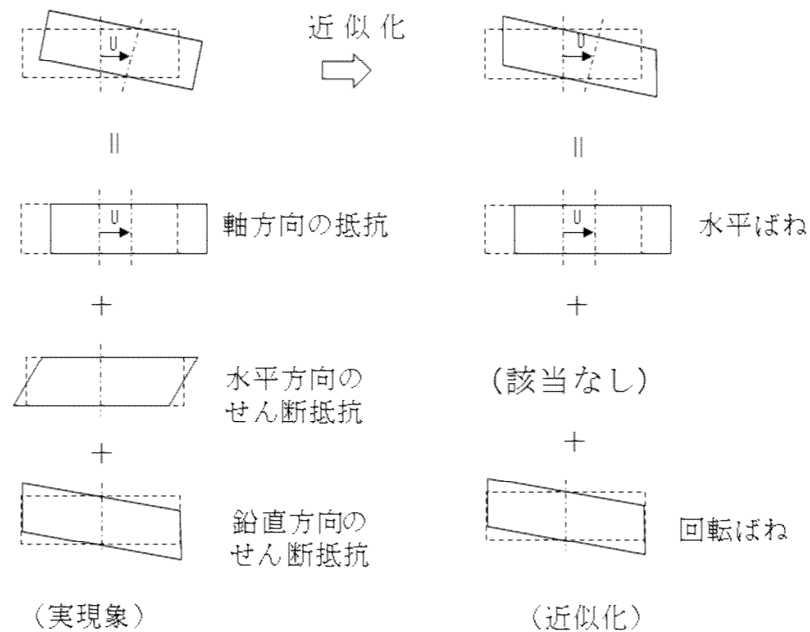


図 2.1.3 NOVAK の側面ばね算定における近似

以上の，NOVAK のばねの算定における仮定をまとめると次のとおりである。

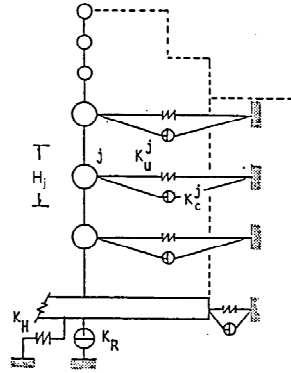
- ・円形の形状を仮定している。
- ・建屋と地盤間は接触していることを仮定しており，特に回転ばねにおいては建屋と地盤間が摩擦力により伝達することを仮定している。
- ・地盤を平面的にスライスすることを仮定しており，軸方向の抵抗と鉛直方向のせん断抵抗は考慮されているが，水平方向のせん断抵抗は考慮されていない。

対象建屋が矩形形状をしているのに対して，円形を仮定していることについては，添付資料 1 において適用性を示す。

建屋と地盤間の接触を仮定していることに関しては，地震時に建屋と地盤間が引張になる面と圧縮になる面があることを踏まえ，地震時の挙動と地盤の建屋拘束効果への影響を検討することが必要である。

地盤の水平方向のせん断抵抗は考慮されていないことに関しては，側面ばねのうち水平ばねの建屋拘束効果を小さめに評価しているので，上記地震時の挙動と地盤の建屋拘束効果と合わせて検討する。

表 2.1.1 NOVAK の側面ばねを用いた埋め込み SR モデルの地盤ばね



埋め込み SR モデル

側面地盤ばねのうち水平ばね (K_u^j) および回転ばね (K_c^j) は次式により算定する。

$$K_u^j = -\pi H_j G_j a_0^2 \frac{4K_1(b_0^*)K_1(a_0^*) + a_0^* K_1(b_0^*)K_0(a_0^*) + b_0^* K_0(b_0^*)K_1(a_0^*)}{b_0^* K_0(b_0^*)K_1(a_0^*) + a_0^* K_1(b_0^*)K_0(a_0^*) + b_0^* a_0^* K_0(b_0^*)K_0(a_0^*)}$$

$$K_c^j = \pi H_j G_j r_0^2 \left[1 + a_0^* \frac{K_0(a_0^*)}{K_1(a_0^*)} \right]$$

ここに,

π : 円周率

H_j : 建物質点 j の支配高さ

G_j : 建物質点 j の支配高さにおける地下部外壁に接する地盤のせん断弾性係数

$a_0 = \omega r_0 / V_s$ (等価円置換の無次元振動数)

$r_0 = \sqrt{B_x \cdot B_y / \pi}$: 等価円半径

ω : 円振動数

V_s : 地下部外壁に接する地盤の S 波速度

B_x, B_y : 建物の辺長

$K_0(\quad), K_1(\quad)$: それぞれ 0 次と 1 次の変形ベッセル関数

$$a_0^* = \frac{a_0}{\sqrt{1+i \cdot 2h_j}} \cdot i, \quad b_0^* = a_0^* / \eta_j$$

$$\eta_j = \sqrt{2(1-\nu_j)/(1-2\nu_j)}$$

h_j : 地下部外壁に接する地盤の減衰定数

ν_j : 地下部外壁に接する地盤のポアソン比

(2) NOVAK の側面ばねに関する既往文献について

a. 実機振動試験との比較について

NOVAK の側面ばねを用いた埋め込み SR モデルについては、原子炉建屋の振動試験や地震観測のシミュレーション解析において、その妥当性が検証されている。これらの結果は、「JEAG4601-1991 追補版」において引用されている原子力発電耐震設計特別調査委員会調査報告書 Vol.12「建屋埋込み効果の評価法の標準化に関する調査報告書」（昭和 62 年 6 月）（以下「標準化報告書」という）にまとめられている。

「標準化報告書」においては、埋め込みを考慮した側面ばねの評価法として次の 4 ケースについて比較検討している。

- ・評価法 A NOVAK の側面ばね（水平ばねおよび回転ばね）
- ・評価法 B 境界要素法（BEM）
- ・評価法 C 薄層要素法
- ・評価法 D 軸対称 FEM

これらのうち、境界要素法、薄層要素法、軸対称 FEM は、ともに地盤を 3 次元連続体として取り扱う方法である。

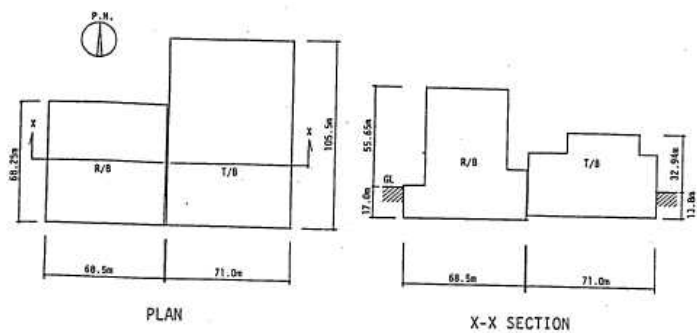
これらの方法を比較検討し、次の 4 点を評価項目として標準化する手法を選定している。

- (1) 波動論との整合があること
- (2) 振動試験結果との整合性があること
- (3) 建屋モデルを質点系としたときに埋め込み効果が簡単にモデルに組み込めること
- (4) 実用性を考慮して地盤ばねの算定ができるだけ簡単であること

その結果、質点系モデルへの適用性や実用性の観点から、評価法 A NOVAK の側面ばねを選定したとしている。

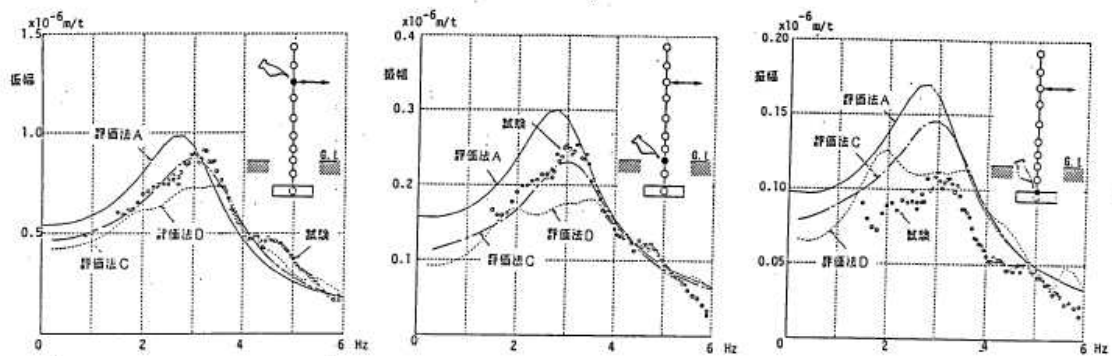
「標準化報告書」での振動試験結果と各種評価法による振動試験の比較例を図 2.1.4 に示す。これらの比較例は、「標準化報告書」のほかに、Yano et al. 「Seismic Design Model of Embedded Structures」(9th World Conference on Earthquake Engineering (9WCEE), 1988), 矢野, 土方他: 埋込みを考慮した原子炉建屋の地震応答解析法 (その 1 ~ その 4), 日本建築学会学術講演梗概集, 昭和 62 年 10 月, K. Hijikata, Uchiyama, et al. : Dynamic soil stiffness of embedded reactor buildings, 9th Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT), 1987 においても報告されている。

実機振動試験と、埋め込みを考慮した場合と埋め込みを考慮しない場合のシミュレーション解析結果を比較した事例を図 2.1.5 に示す。

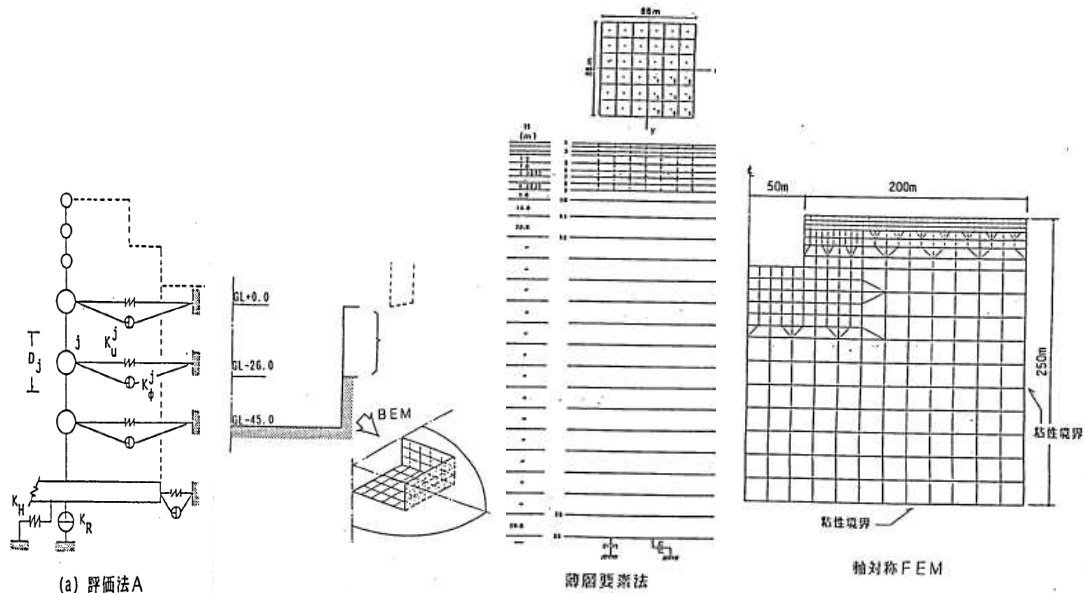


建屋の概要

a. 対象建屋



b. 振動試験結果（共振曲線）



(a) 評価法 A
(NOVAK)

(b) 評価法 B
(境界要素法)

(c) 評価法 C
(薄層要素法)

(d) 評価法 D
(軸対称 FEM)

図 2.1.4 各種評価法による実機振動試験のシミュレーション解析事例
(「標準化報告書」に図題等を加筆)

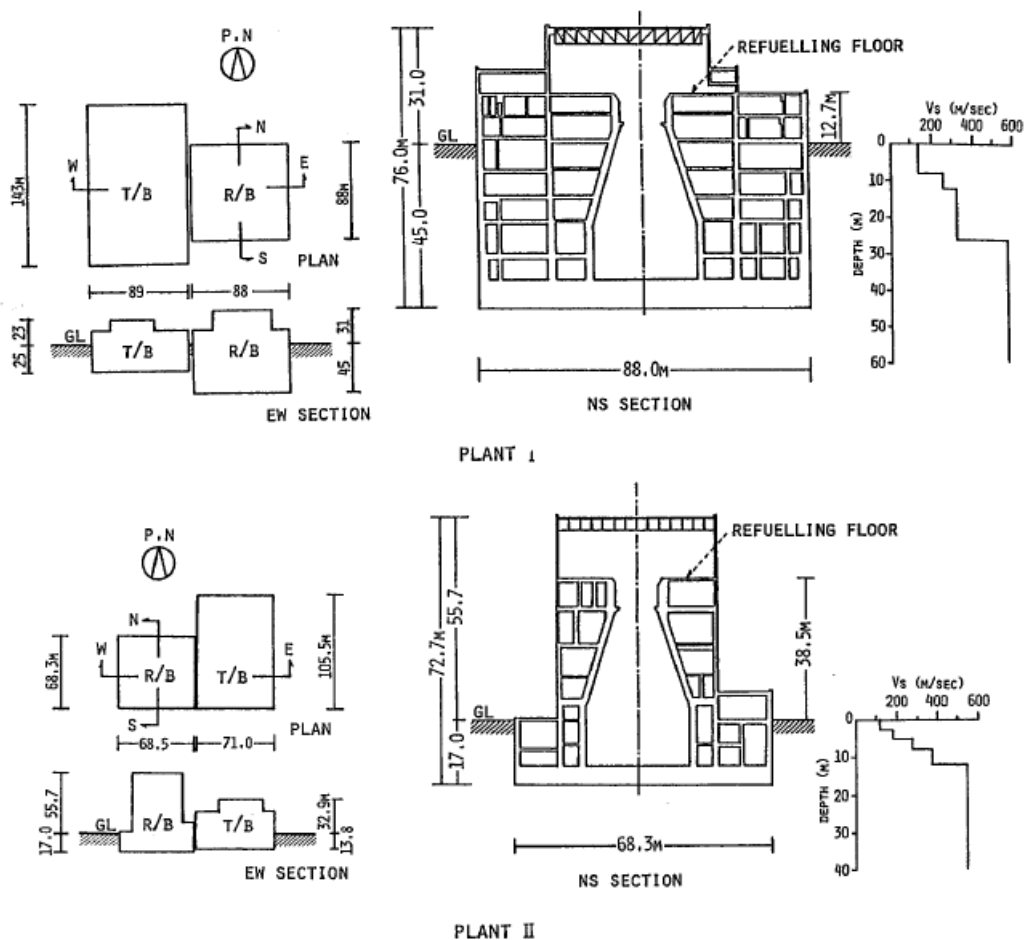
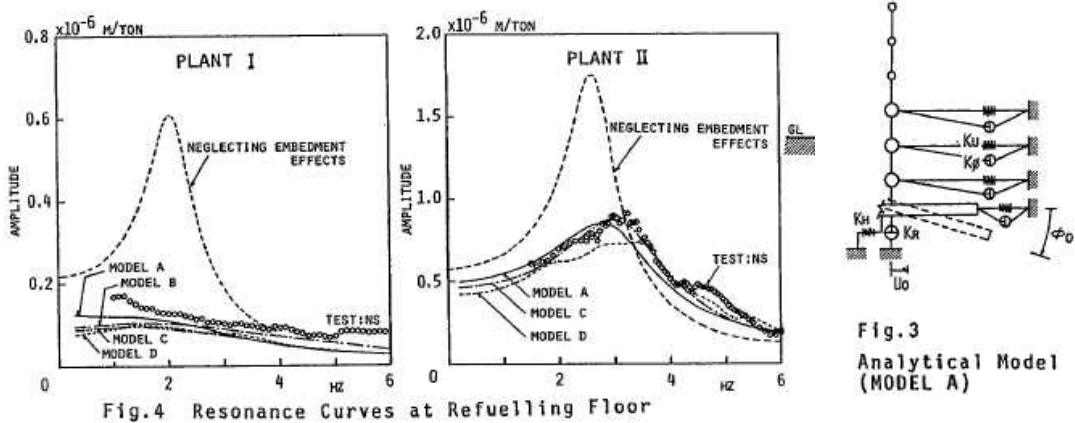


Fig.1 Embedded Structures

a. 対象建屋



b. 振動試験結果と解析結果の比較（埋め込み SR モデルは MODEL A）

図 2.1.5 埋め込み SR モデルによる実機振動試験のシミュレーション解析事例
(Yano et al. 「Seismic Design Model of Embedded Structures」 (9th World Conference on Earthquake Engineering (9WCEE), 1988) に図題を加筆)

b.地震観測との比較について

原子力発電技術機構（NUPEC）の報告書「耐震安全解析コード改良試験 原子炉建屋の埋込み震動効果試験 実地盤上試験に関する報告書」（平成 7 年 3 月原子力発電技術機構）（以下、「NUPEC 報告書」）では、実機サイトにおいて、軟質地盤（ $V_s 400\text{m/s}$ 程度）と硬質地盤（ $V_s 900\text{m/s}$ 程度）上に試験体を設置した地震観測を実施している。これらの地震観測結果とシミュレーション解析結果を比較することにより、NOVAK の側面ばね（水平ばねおよび回転ばねを考慮）を用いた埋め込み SR モデルが、埋め込みのある試験体の応答特性を評価する場合に有効であるとしている。既往文献におけるシミュレーション解析結果の一例を、図 2.1.6 に示す。

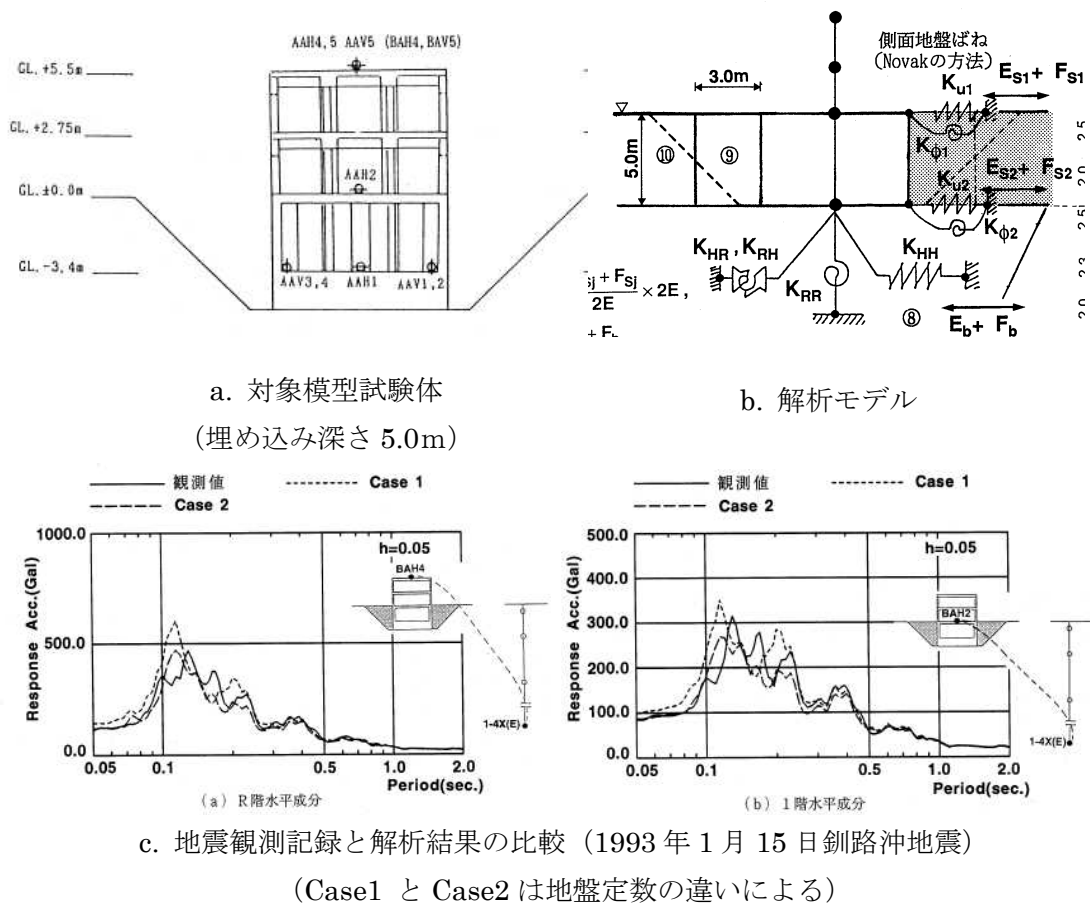


図 2.1.6 埋め込み SR モデルによる模型試験体の地震観測シミュレーション解析事例
（「耐震安全解析コード改良試験 原子炉建屋の埋込み震動効果試験 実地盤上試験に関する報告書」（平成 7 年 3 月原子力発電技術機構）に図題を加筆）

c. NOVAK の側面回転ばねについて

「標準化報告書」においては、実機振動試験との比較結果より NOVAK の側面ばね（水平ばね及び回転ばね）を考慮した評価法が、実用的かつ合理的であるとの評価を行った後に、側面ばねのうち回転ばねの扱いについて検討を行っている。

「標準化報告書」における記載の概要は次のとおりである。

側面ばねのうち回転ばねを考慮した場合と削除した場合を、実機振動試験結果と比較し次に言及している。比較結果を図 2.1.7 に示す。

- ・NOVAK の側面ばねのうち回転ばねを考慮した場合と削除した場合で共振振動数の差異はほとんど生じない。

- ・NOVAK の回転ばねを削除することにより、共振振動数における振幅は増大し、建屋―地盤連成系の減衰効果は小さく評価される。

これらより、「標準化報告書」では地震応答解析に用いる地震加速度レベル程度での防水層のせん断耐力が不明である現状を勘案すれば、建屋―地盤連成系の減衰定数を小さく評価する回転ばねを削除した埋め込み SR モデルで地震応答解析するのが適切であると判断されるとしている。

以上の検討結果を踏まえると、次のことが結論付けられる。

- ・NOVAK の回転ばねを考慮した方が試験結果との対応が良くなることから、建屋の埋め込み効果をより適切に評価するためには、NOVAK の回転ばねを考慮することが望ましい。

- ・NOVAK の回転ばねを考慮するためには、「標準化報告書」で指摘されているように、地震加速度レベル程度での防水層のせん断耐力を明らかにすることが必要である。

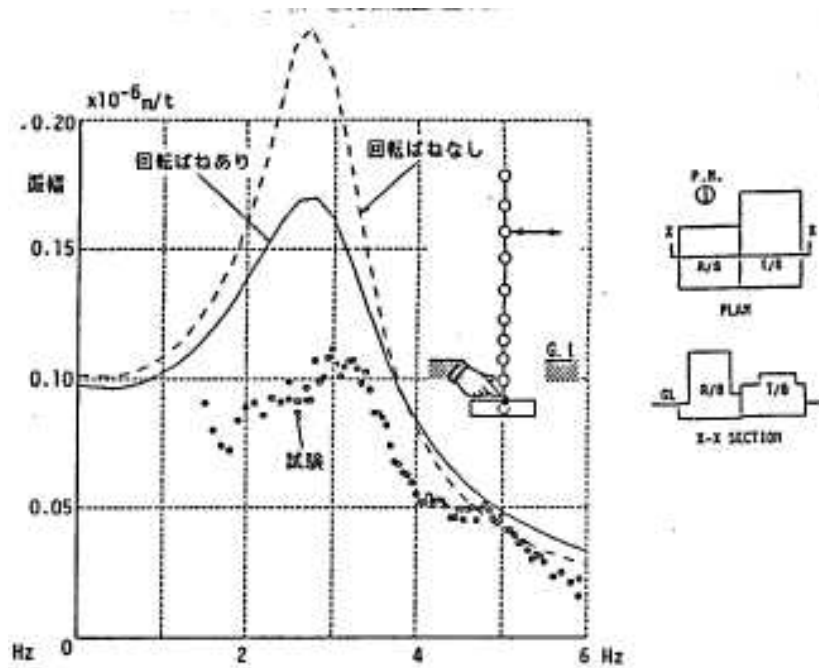
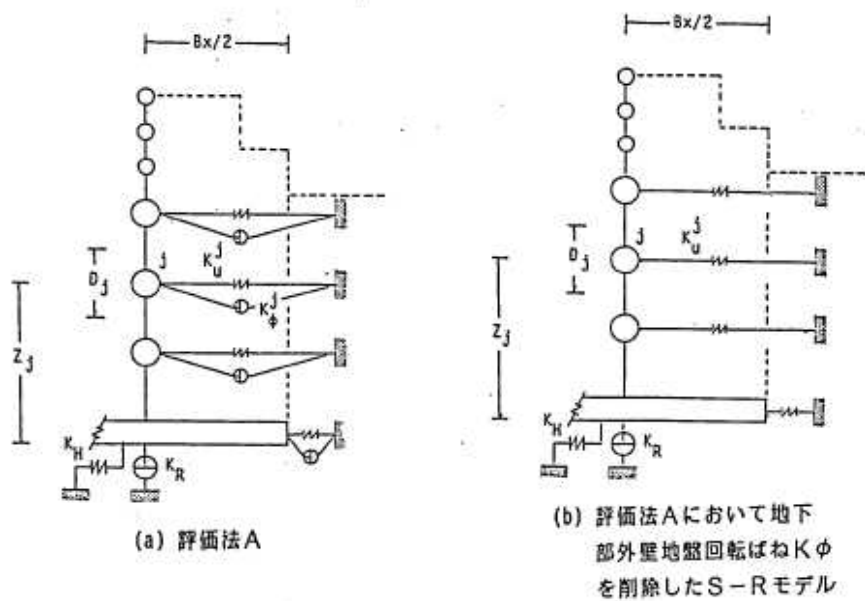


図 2.1.7 実機振動試験結果と側面回転ばねの有無による解析結果の比較事例
(「標準化報告書」に図題等を加筆)

2.1.3 離散系モデルについて

地盤を離散系でモデル化する地震応答解析モデルとしては、格子型モデル及び FEM モデルがある。別紙・3 では、FEM モデルを用いて原子炉建屋の地下外壁と側面地盤の間の接触・剥離や摩擦を考慮した場合の影響等を実施するので、より精緻なモデル化が可能な FEM モデルについて述べる。

地盤を 2 次元 FEM によりモデル化した地震応答解析については、矢野他「埋込みを考慮した原子炉建屋の地震応答解析法（その 1 ～その 4）」（日本建築学会学術講演梗概集 1988 年）における、埋め込みのある原子炉建屋の地震観測記録に対するシミュレーション解析により、その妥当性が検証されている。これらの結果は、埋め込み SR モデルと同様に「JEAG4601-1991 追補版」において引用されている「標準化報告書」にまとめられている。

また、埋め込みを有する構造物模型の摩擦滑りや剥離・浮上り等を対象にした振動台実験の 2 次元 FEM によるシミュレーション解析の事例としては、鈴木康嗣他「埋め込みを有する構造物の非線形応答に関する実験とその解析」（日本建築学会構造系論文集第 438 号・1992 年 8 月）がある。ここでは、地盤の材料非線形を等価線形で扱い、地盤と構造物の接触部分の滑り剥離の幾何学非線形を考慮した 2 次元 FEM の解析モデルで、加速度応答、共振振動数、動土圧等に対して実験結果と整合する結果が得られたとしている。さらに、これらの結果から、シミュレーションが 2 次元モデルであることや、実験・解析ともに有限領域のものであるという制約はあるものの、ここで示した 2 次元 FEM による解析手法の精度・信頼性が確認されたとしている。既往文献におけるシミュレーション解析結果を、図 2.1.8 に示す。

一方、埋め込みを有する構造物模型の摩擦滑りや剥離・浮上り等を対象にした遠心振動台実験の 2 次元 FEM によるシミュレーション解析の事例として、古山田耕司他「大地震入力に対する埋込み構造物の非線形挙動に関する研究（その 4）」（日本建築学会大会学術講演梗概集・2008 年 9 月）がある。ここでは、2 次元 FEM による非線形解析により、埋め込みありの場合、建屋底面の接地率（以降、底面の接地率と表記）30%程度の実験結果も含めて、実験結果の性状を定量的に良く捉えているとしている。既往文献におけるシミュレーション解析結果を、図 2.1.9 に示す。なお、井原和弘他「大地震入力に対する埋込み構造物の非線形挙動に関する研究（その 5）」（日本建築学会大会学術講演梗概集・2008 年 9 月）では 3 次元 FEM による非線形解析により、埋め込みのない場合のシミュレーション解析を実施し、3 次元 FEM による解析手法の妥当性を確認したとしている。

さらに、埋め込みを有する構造物模型の摩擦滑りや剥離・浮上り等を対象にした遠心振動台実験の 3 次元 FEM によるシミュレーション解析の事例として、今村晃他「浮上りを考慮した構造物の大地震入力時非線形挙動に関する研究（その 2）」（日本建築学会大会学術

講演梗概集・2013 年 8 月)がある。ここでは、3 次元 FEM による非線形解析により、埋め込みないの場合と埋め込みありの場合のシミュレーション解析を実施し、3 次元 FEM の適用範囲として文献等に記載されている底面の接地率 35%以上よりも広い適用範囲があるとしている。3 次元 FEM によるシミュレーション解析結果の例を、図 2.1.10 に示す。

埋め込みのない原子炉建屋を対象とした場合ではあるが、3 次元 FEM 解析と 2 次元解析の地震応答解析結果を比較した事例として、内山不二男他「3 次元 FEM を用いた建屋―地盤の基礎浮き上がり評価法の高度化に関する研究 (その 4)」(日本建築学会大会学術講演梗概集・2004 年 8 月)がある。3 次元 FEM 解析と 2 次元解析の地震応答解析結果の比較例を図 2.1.11 に示す。

これらの結果より、3 次元 FEM 解析と 2 次元解析の違いとして次を言及している。

- ・ 3 次元 FEM 解析と 2 次元解析の水平応答は概ね対応した値であり、解析次元が異なる応答結果としてはその差異は小さい。
- ・ 建屋頂部と基礎の上面の応答スペクトルに関しては、水平応答は同等であり、上下応答は 2 次元 FEM が大きい。
- ・ 基礎に生じる転倒モーメントはほぼ等しいが、底面の接地率は 2 次元 FEM の方が小さくなっており、2 次元 FEM の地反力分布が奥行き方向に一定であるため浮上りが生じやすいことが影響している。

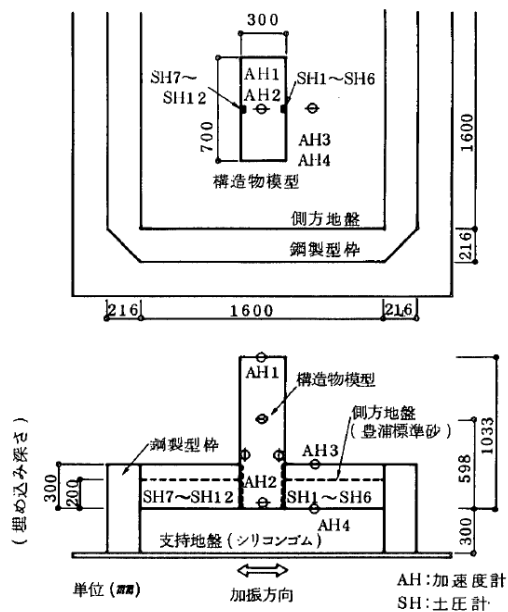


図-1 構造物・地盤模型の概要

a. 構造物・地盤模型の概要

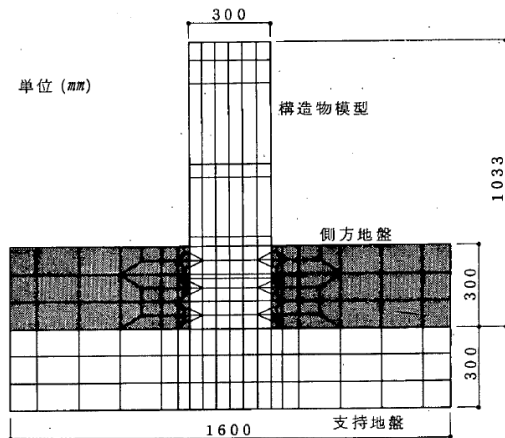


図-8 解析モデル (埋め込み深さ 30 cm)

b. 解析モデルの概要

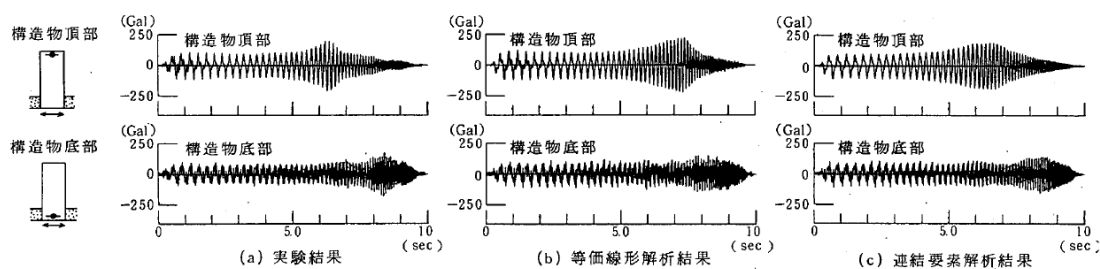


図-13 応答加速度時刻歴 (埋め込み深さ 20 cm, 50 Gal 加振)

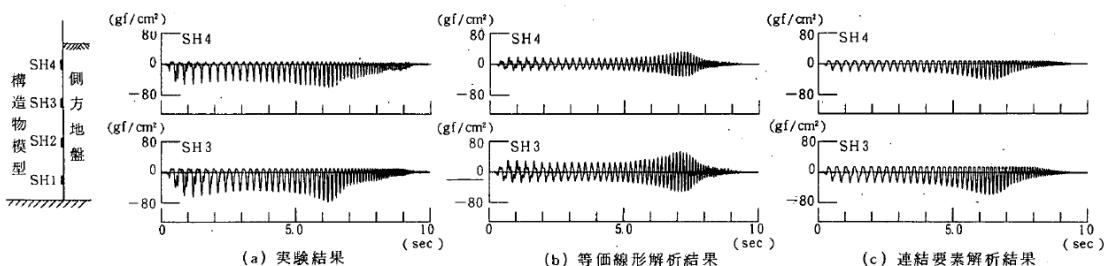


図-14 動土圧時刻歴 (埋め込み深さ 20 cm, 50 Gal 加振)

c. シミュレーション解析結果と試験結果の比較

図 2.1.8 埋め込みを有する構造物模型の振動台実験の 2 次元 FEM による解析事例
 (鈴木康嗣他「埋め込みを有する構造物の非線形応答に関する実験とその解析」
 (日本建築学会構造系論文集第 438 号・1992 年 8 月) に図題を加筆)

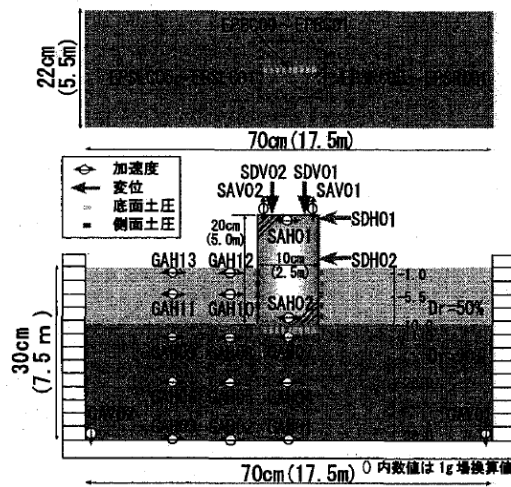


図1 埋込み有り実験モデルと計測点配置

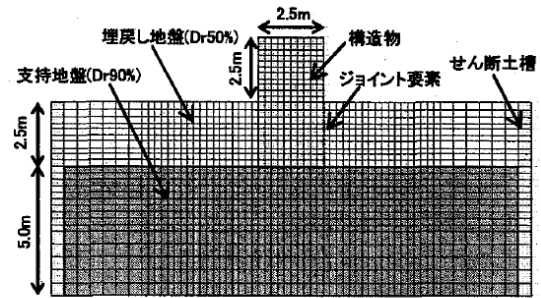
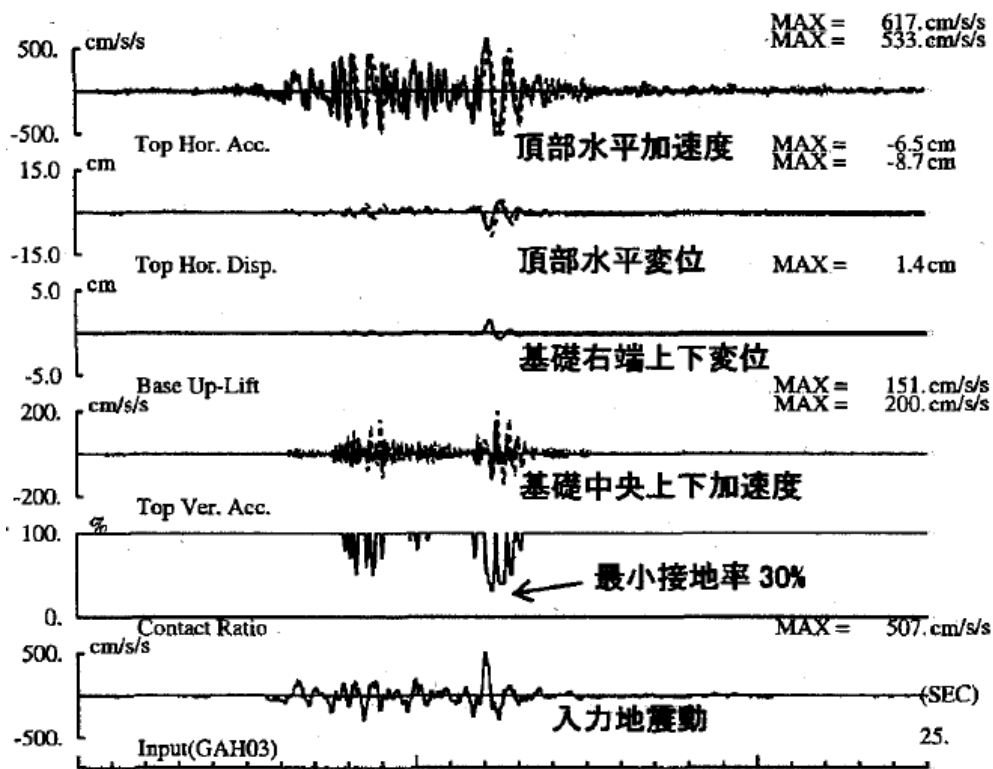


図5 2次元FEM解析モデル (1g場換算表示)

a. 試験体概要

b. 2次元 FEM 解析モデル概要



(b) 埋込み有り

図1 試験体の浮上り応答と接地率の時刻歴波形 (実線:解析、点線:実験、最大値は上段が解析)

c. 試験結果と解析結果の比較

図 2.1.9 埋め込みを有する構造物模型の遠心振動台実験の2次元 FEM による解析事例
(古山田耕司他「大地震入力に対する埋込み構造物の非線形挙動に関する研究(その4)」
(日本建築学会大会学術講演梗概集・2008年9月)に図題を加筆)

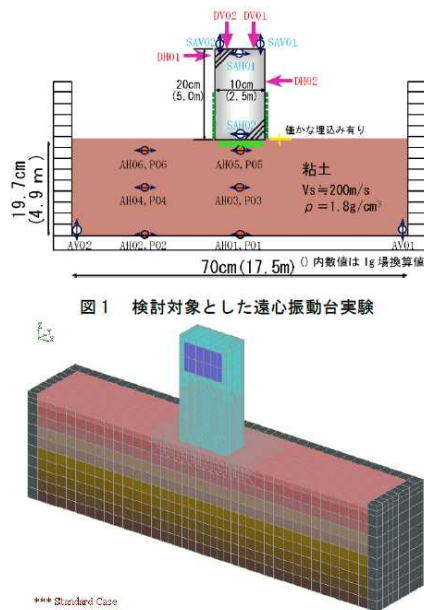


図1 検討対象とした遠心振動台実験

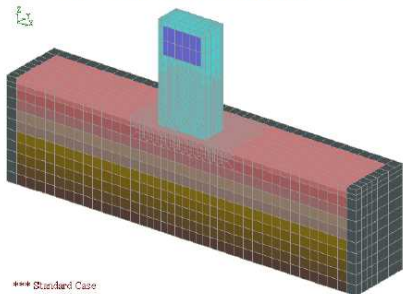


図2 三次元有限要素モデル

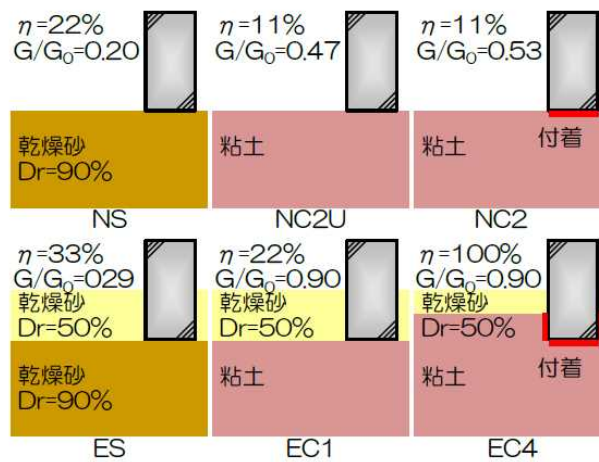


図3 遠心振動台実験のシミュレーション解析ケース

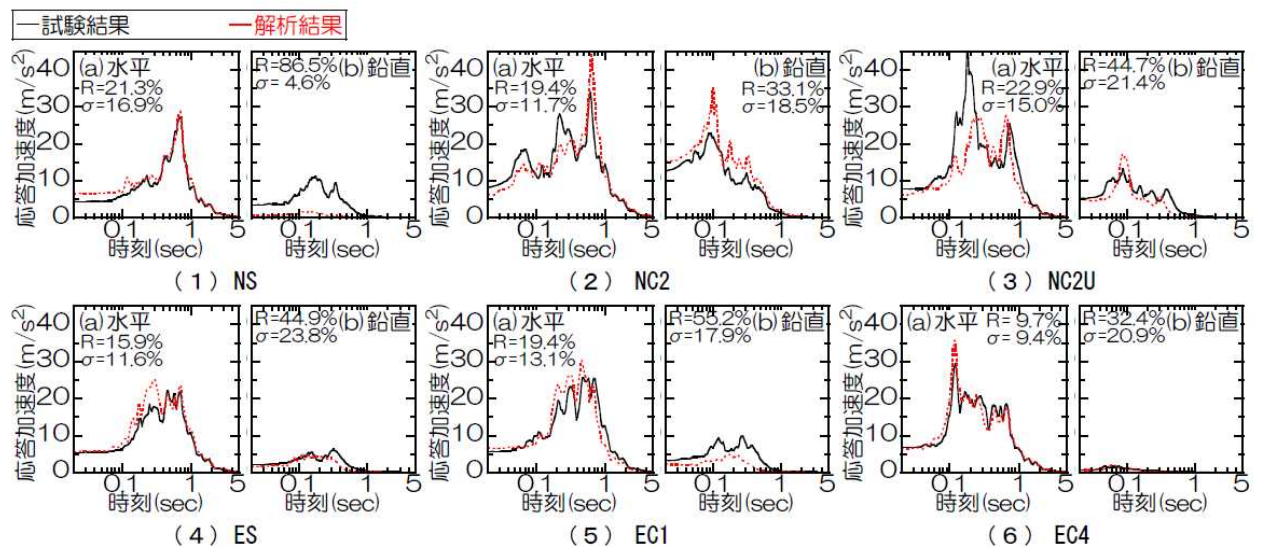


図3 構造物頂部における加速度応答スペクトル（減衰5%）の比較

図 2.1.10 埋め込みを有する構造物模型の遠心振動台実験の3次元 FEM による解析事例
 (今村晃他「浮上りを考慮した構造物の大地震入力時非線形挙動に関する研究 (その2)」
 (日本建築学会大会学術講演梗概集・2013 年 8 月) に図題を加筆)

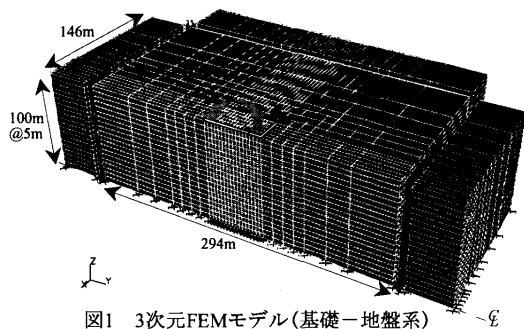


図1 3次元FEMモデル(基礎-地盤系)

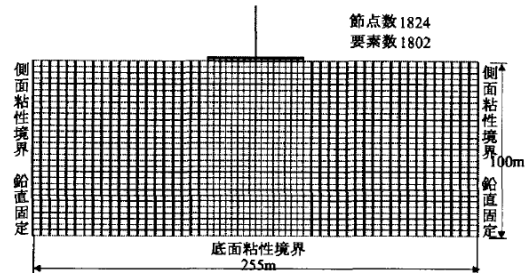


図5 2次元FEM解析モデル($V_s=1800\text{m/s}$ 地盤)

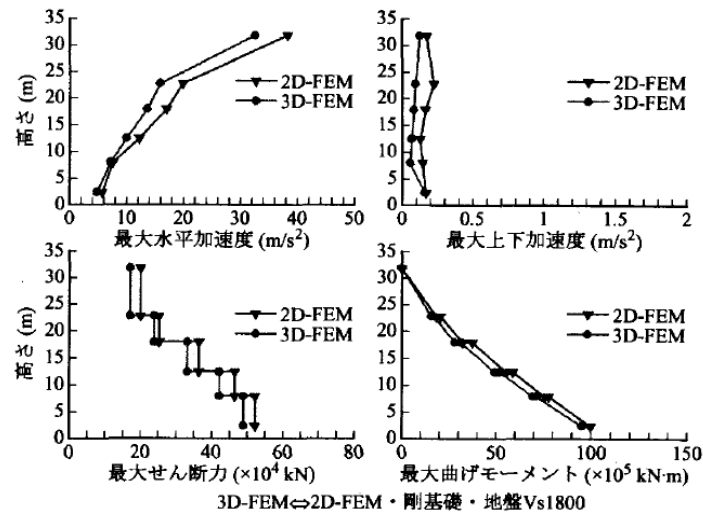


図6 解析次元の違いによる建屋最大応答値の比較

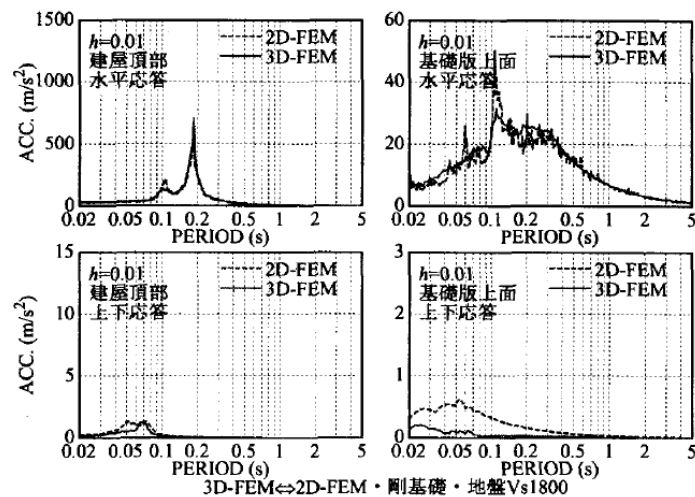


図7 解析次元の違いによる建屋応答スペクトルの比較

図 2.1.11 埋め込みを有する構造物模型の遠心振動台実験の3次元 FEM による解析事例
(内山不二男他「3次元 FEM を用いた建屋-地盤の基礎浮き上がり評価法の高度化に関する研究 (その4)」(日本建築学会大会学術講演梗概集・2004 年 8 月))

2.1.4 建屋地盤相互作用とモデル化についてのまとめ

本章では、建屋地盤相互作用とモデル化について概括した。それらの結果次のことが確認された。

- ・埋込まれた原子炉施設の設計における地震応答解析では、埋め込み SR モデルや格子型モデルが多用されている。

- ・今回工認で用いる NOVAK の側面回転ばねを考慮した埋め込み SR モデルは、実機の振動試験や地震観測シミュレーションにより、その妥当性が確認されている。

- ・「標準化報告書」では、地震加速度レベル程度での防水層のせん断耐力が不確かであることから埋め込み SR モデルに NOVAK の側面回転ばねを用いないこととしている。

- ・NOVAK の回転ばねを考慮するためには、「標準化報告書」で指摘されているように、地震加速度レベル程度での防水層のせん断耐力を明らかにすることが必要である。

- ・NOVAK の側面回転ばねは、建屋側面と地盤が接触しておりかつ摩擦力が伝達されていることを仮定して算定されている。実現象においては摩擦による応力伝達に加え水平方向のせん断抵抗も期待できるので、NOVAK の側面回転ばねの適用にあたっては地震時の建屋～地盤間の挙動と地盤の建屋への拘束効果の関係を確認することが望ましい。

- ・2次元 FEM モデルは、振動台実験等により建屋と周辺地盤間の摩擦滑りや剥離等が評価できることが確認されているので、地震時の建屋～地盤間の挙動と地盤の建屋への拘束効果の確認においては、2次元 FEM の活用が有効と考えられる。

2.2 側面回転ばねを採用する目的・効果について

今回工認の原子炉建屋の水平方向の地震応答解析モデルでは、上述の埋め込み SR モデルを用いるものとする。既工認モデル時より考慮している NOVAK の側面水平ばねに加え、図 2.2.1 に示すように NOVAK の側面回転ばねを採用する予定である。

これは、2007 年新潟県中越沖地震の観測記録を用いたシミュレーション解析において、他の項目（コンクリート実剛性等）と併せて、側面回転ばねを採用したモデルによる解析結果が、観測記録を精度良く再現できたことを踏まえ、より実状に近い建屋応答を再現するという観点から、側面回転ばねによる効果を考慮することとしたものである。また、側面回転ばねを考慮することにより、埋め込み SR モデル適用の判定基準として用いる建屋の底面の接地率の改善効果も期待できる。

側面回転ばねを考慮することが建屋応答に与える影響を定量的に把握するために、6/7 号炉原子炉建屋のうち 7 号炉を代表として検討を実施した。検討にあたっては、①既工認ベースのモデル（側面回転ばね非考慮）、②既工認ベースのモデルに側面回転ばねを追加したモデルのそれぞれの解析モデルについて、建屋応答の大きくなる基準地震動 Ss-1 を代表波として動的解析を実施し、結果を比較することとした。表 2.2.1 に建屋の底面の接地率、図 2.2.1 に床応答スペクトル、図 2.2.3 に建屋の最大応答せん断ひずみについての比較結果を示す。

まず、表 2.2.1 から側面回転ばねを考慮することによって底面の接地率が大きく改善することが確認出来る。底面の接地率は前述の通り、埋め込み SR モデル適用の判定基準として用いる指標である。「原子力発電所耐震設計技術規定 JEAC4601-2008」（（社）日本電気協会、2009 年）を参考に、底面の接地率が 50%を下回った場合においては、埋め込み SR モデルの適用範囲外とし、特別な検討が必要になると考えている。

図 2.2.2 の床応答スペクトルについては、側面回転ばねを考慮することにより、短周期側の応答スペクトルを多少低減する効果が認められる。側面回転ばねは、建屋の地下側面と地盤の間の摩擦力による建屋の回転方向の拘束効果をモデル化したものであるため、その効果で短周期側の振動が低減したものと考えられる。

図 2.2.3 の建屋のせん断ひずみは、耐震壁の耐震安全性評価の評価基準値として参照する応答値であるが、既工認モデル及び側面回転ばねを追加で考慮したモデル共に評価基準値に対して十分な余裕がある。側面回転ばねを考慮することにより、最大せん断ひずみは大きくなる傾向が確認出来る。

以上で説明したとおり、側面回転ばねを考慮することの主要な目的としては、「側面の摩擦力による拘束効果をモデルに取り込むことによってより実状に近い応答を模擬すること」にあると考えており、結果として埋め込み SR モデル適用の判定基準として用いる建屋の底面の接地率が改善することとなる。

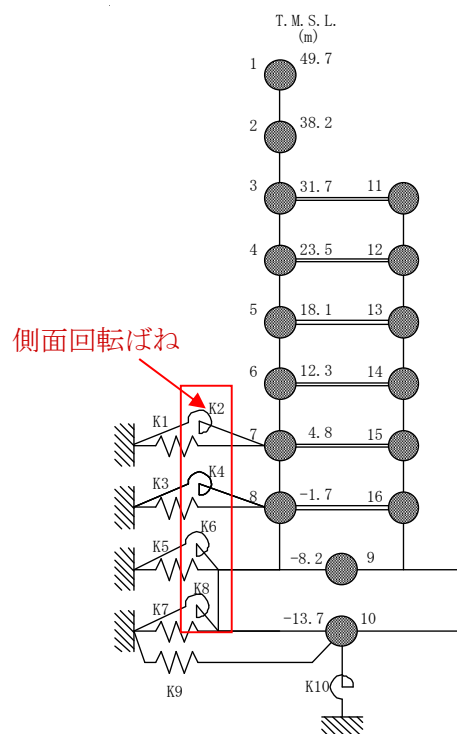
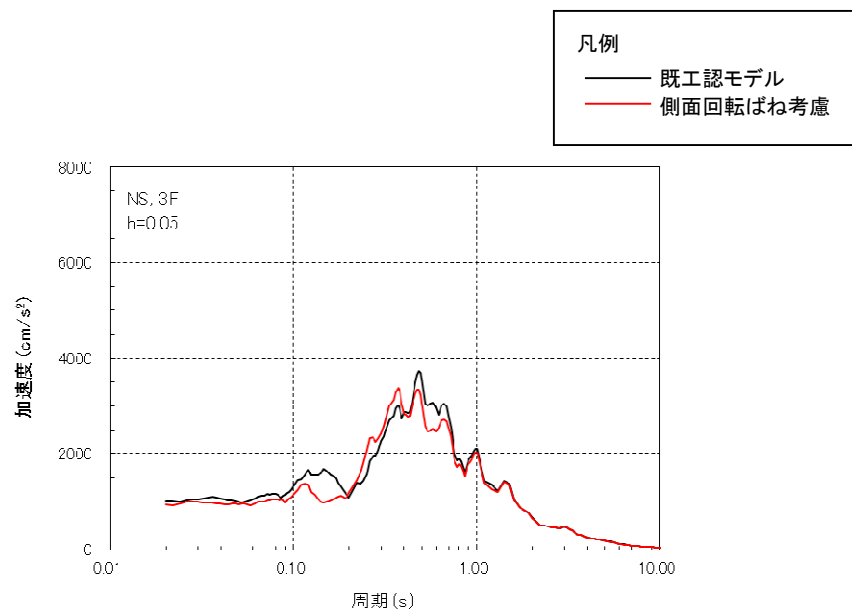


図 2.2.1 K6/7 R/B の地震応答解析モデル※ (NS 方向)

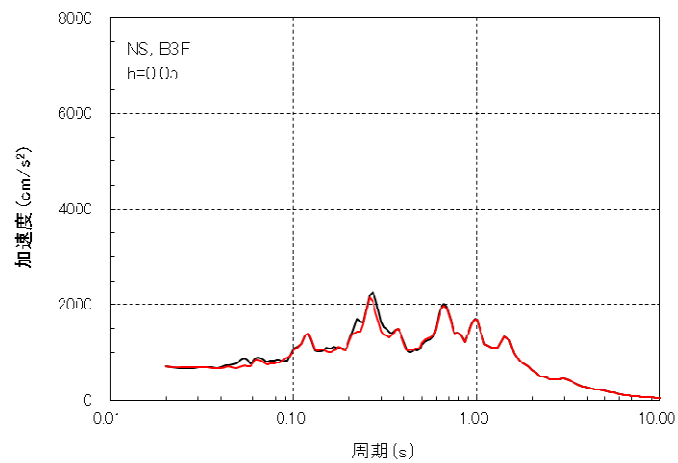
※原子炉建屋の解析モデル図としては、6, 7 号炉原子炉建屋で同じ表現となる。

表 2.2.1 側面回転ばねが建屋底面の接地率に与える影響 (7 号炉原子炉建屋での試算例)

解析ケース	建屋底面の接地率
	NS 方向
既工認モデル	51.5%(Ss-1)
側面回転ばね考慮	70.1%(Ss-1)



(3階, Ss-1, NS方向)



(基礎版上, Ss-1, NS方向)

図 2.2.2 側面回転ばねが床応答スペクトルに与える影響
(7号炉原子炉建屋での試算例)

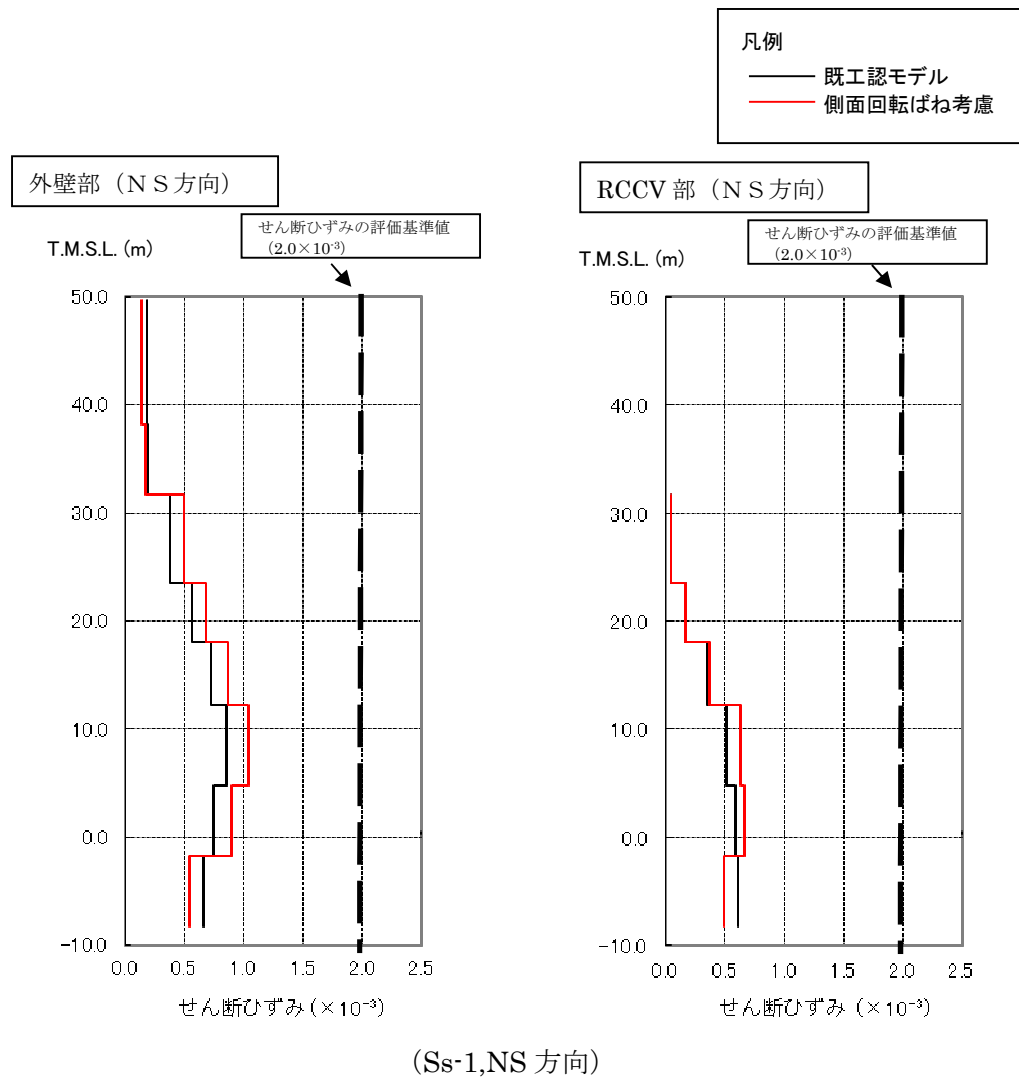


図 2.2.3 側面回転ばねが応答せん断ひずみに与える影響
(7 号炉原子炉建屋での試算例)

2.3 建屋の設置状況を踏まえた論点の抽出

NOVAK の側面回転ばねは、図 2.3.1 に示したように、建屋地下外壁部と側面地盤との間に作用するせん断力の埋め込み建屋の回転方向の変形に対する拘束効果を表現したものであり、側面回転ばねを採用することの妥当性・適用性の確認にあたっては、埋め込みの状況や建屋周辺部の状況を適切に考慮した上で、側面回転ばねの反力を負担出来ることを確認する必要があると考えられる。

6 号炉原子炉建屋の地盤及び周辺建屋の設置状況の詳細について、図 2.3.2 に平面図、図 2.3.3 に断面図を示す。また、7 号炉原子炉建屋についても同様に、図 2.3.4 に平面図、図 2.3.5 に断面図を示す。6 号炉原子炉建屋と 7 号炉原子炉建屋は、建屋の構造躯体の形状と地盤への埋め込み深さが同じであることから振動性状は類似していると考えられ、また、他の建屋との位置関係についても概ね類似している。建屋地下外壁部には防水層が設けられているが、この仕様も 6 号炉と 7 号炉で共通の仕様となっている。したがって、建屋地下外壁と地盤間のせん断力による建屋拘束効果を確認するという観点を踏まえ、6 号炉原子炉建屋を代表として検討を進めることとした。なお、検討結果の 7 号炉への適用性については 6 号炉原子炉建屋の検討結果を踏まえ、改めて判断することとする。

地下外壁部については図 2.3.6 に詳細を示すとおり、防水層が設けられており、建屋地下外壁が防水層を介して概ね西山モルタル（マンメイドロック）と接する状況にある。

したがって、側面回転ばねの妥当性の検討にあたっては、防水層が介在することを踏まえた上で建屋と地盤間でせん断力が伝達可能かを確認する必要があると考え、これを論点として位置づけることとした。

→【論点① 側面地盤ばねの前提である地盤-建屋間に作用する摩擦力が、建屋側面に防水層が存在する場合でも、伝達可能か】

また、今回工認で採用する地震応答解析モデル（埋め込み S R モデル）への適用性の検討にあたっては、原子炉建屋の検討に用いる基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d を想定した場合でも側面回転ばねが機能することを確認することが必要と考えられる。地震時には建屋地下外壁面と側面地盤の境界部で、地盤の接触剥離の発生や土圧変動が発生することにより、建屋外壁と地盤との間に作用して建屋の動きを抑える力（せん断力や軸圧等）、すなわち、側面地盤による建屋の拘束効果が影響を受けることが想定されることから、それらの影響を考慮した上での適用性を示すことが必要であると考えられる。具体的には、地震時に建屋と地盤間がどの程度接触しているか、建屋と地盤間の摩擦でどの程度応力伝達ができるか、側面地盤反力の観点ではどうかについて検討し、力のやりとり＝拘束効果が得られることを確認する。

その上で、埋め込み S R モデルに側面回転ばねを適用した場合の建屋応答が、詳細モデルと比較して妥当かどうかを確認する必要があると考えられる。これらをあわせて 2 つめの

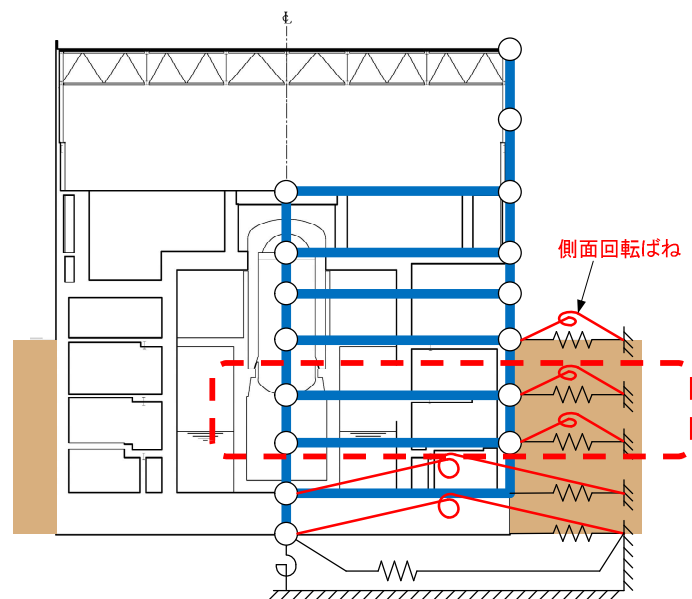
論点として位置づけることとした。

→【論点② 地震時の側面地盤の剥離や土圧変動を考慮しても建屋拘束効果が得られ埋め込み SR モデルへ回転ばねを適用することが妥当か】

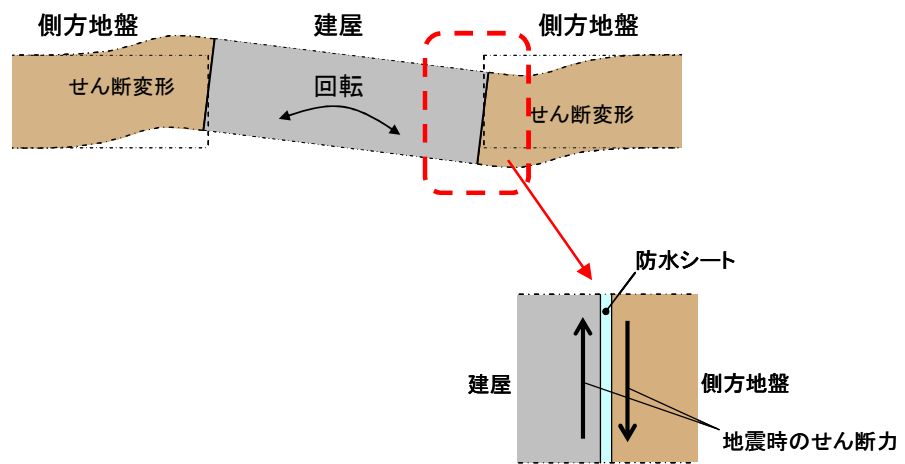
一方、図 2.3.2、図 2.3.3 に示した通り、6 号炉原子炉建屋の西側側面には 6 号炉タービン建屋が接している。更に、建屋周辺においてマンメイドロックが複雑に打設されていることや埋め戻し土が存在することについても確認出来る。以上のような状況を踏まえると、隣接建屋や建屋周辺の詳細な地盤状況を踏まえた場合の側面回転ばねの適用性についても確認する必要があると考えられるため、これを 3 つめの論点として位置づけることとした。

→【論点③ 隣接建屋や建屋周辺の詳細な地盤状況が側面回転ばねの適用性に影響しないか】

以降では、以上の 3 つの論点を踏まえた上で、妥当性の確認方針を設定する。



(a) 原子炉建屋の埋め込み状況の概要



(b) NOVAK ばねの効果イメージ

図 2.3.1 側面回転ばねの作用機構概念

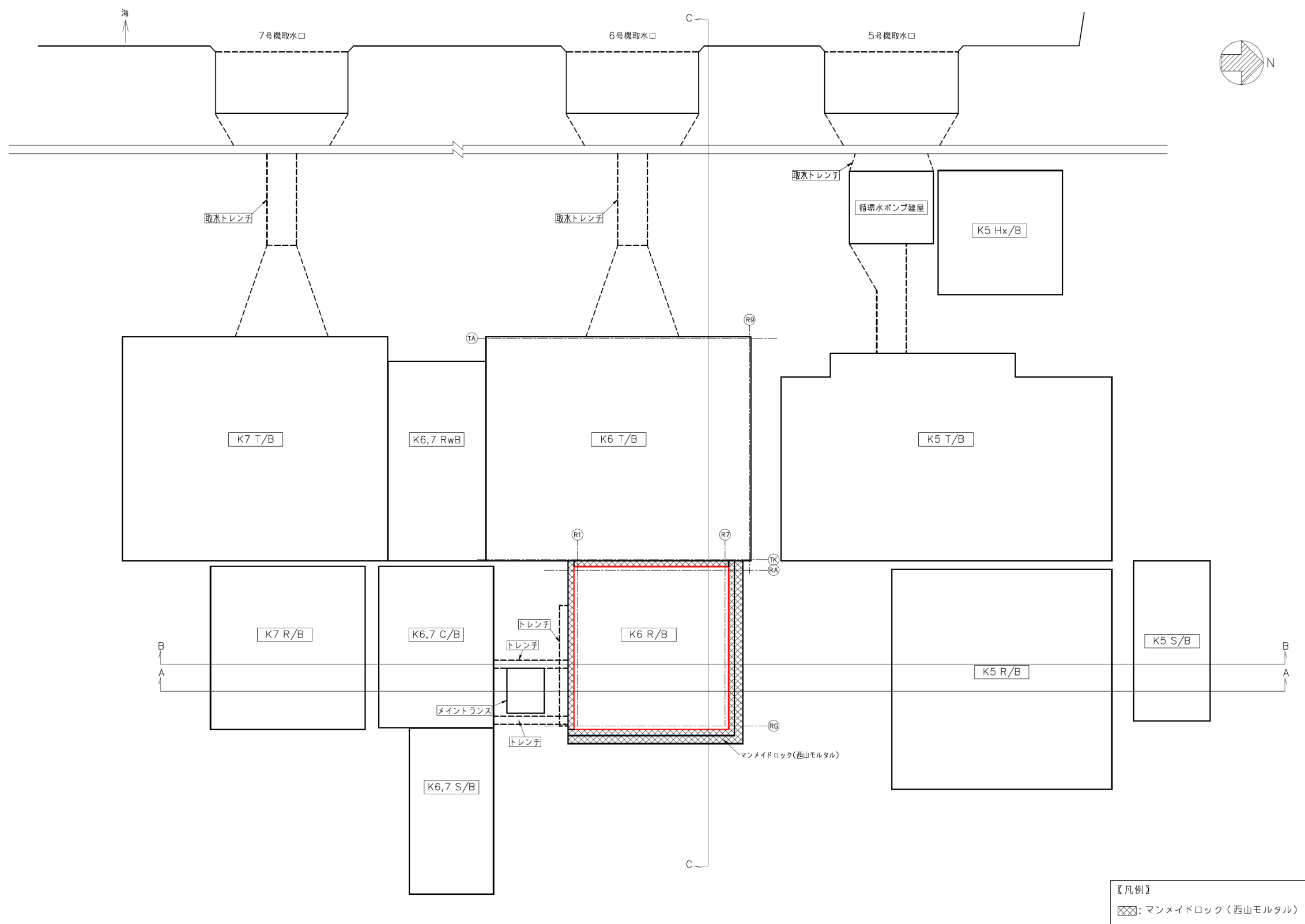
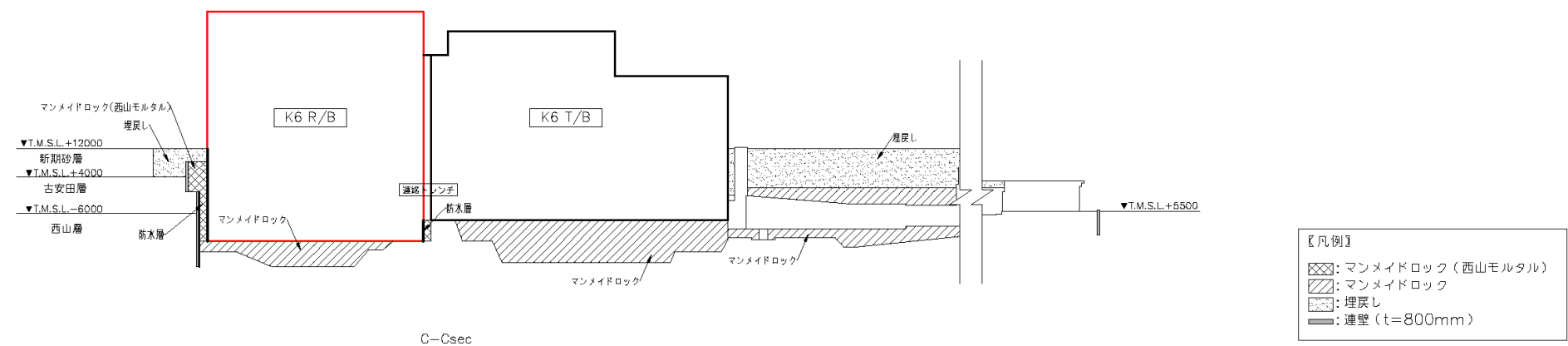
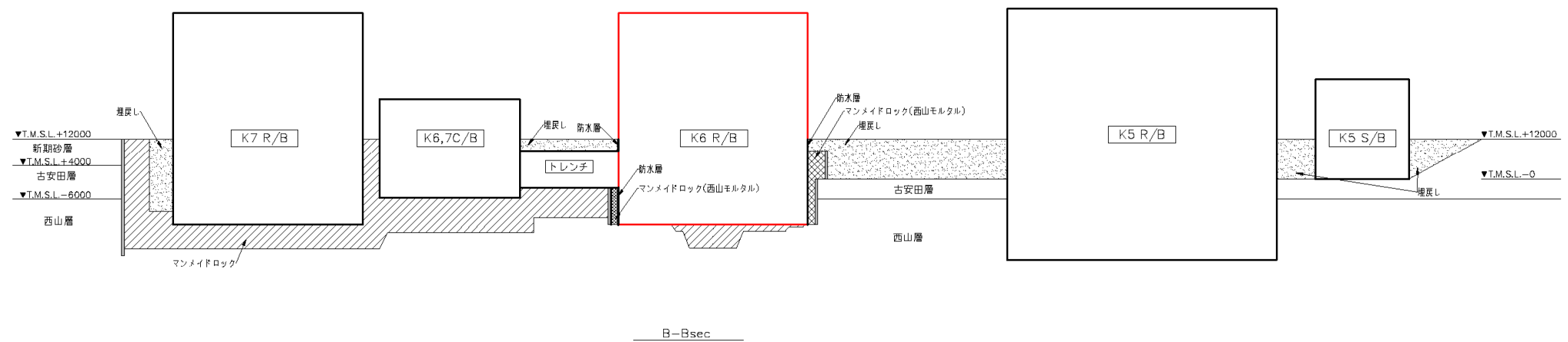
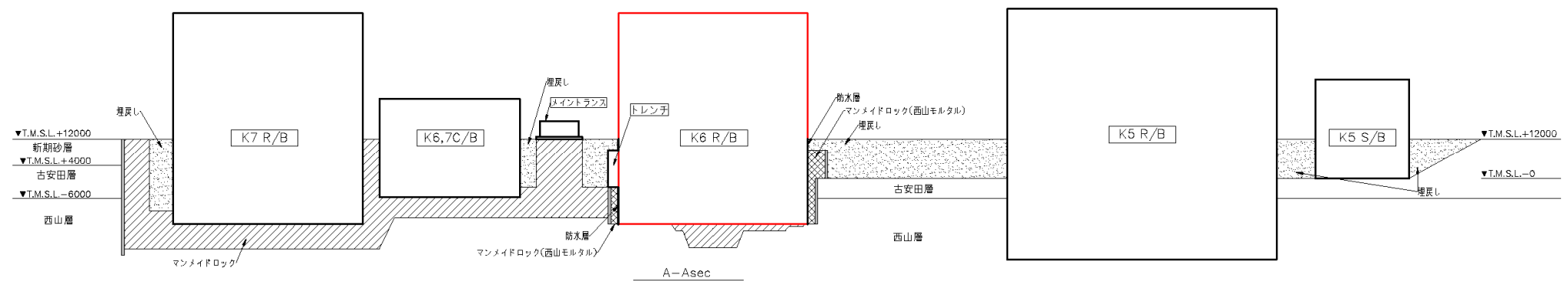


図 2.3.2 6号炉原子炉建屋の設置状況（平面図）



【凡例】	
	マンメイドロック (西山モルタル)
	マンメイドロック
	埋戻し
	連壁 (t=800mm)

図 2.3.3 6号炉原子炉建屋の設置状況（断面図）

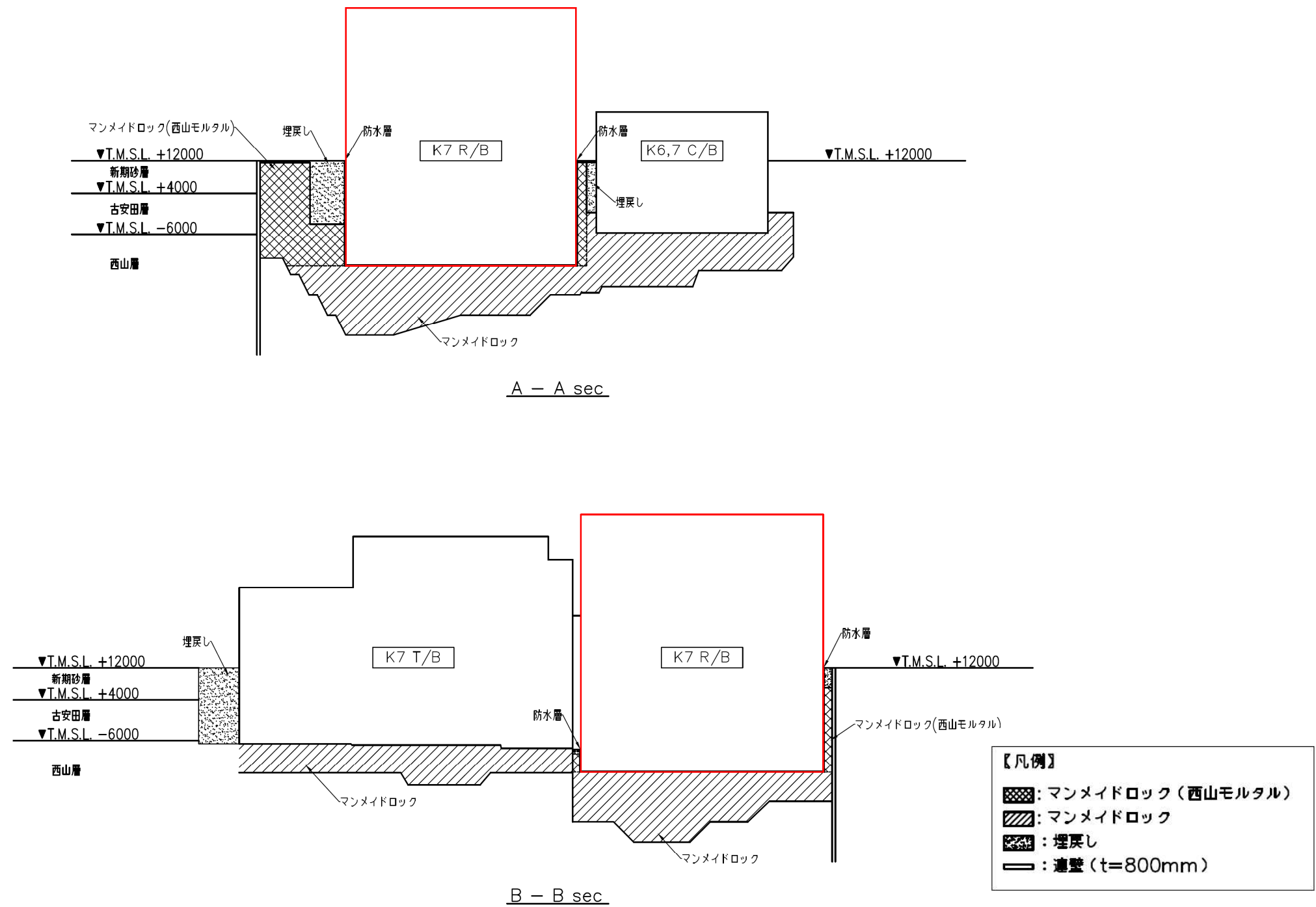


図 2.3.5 7号炉原子炉建屋の設置状況（断面図）

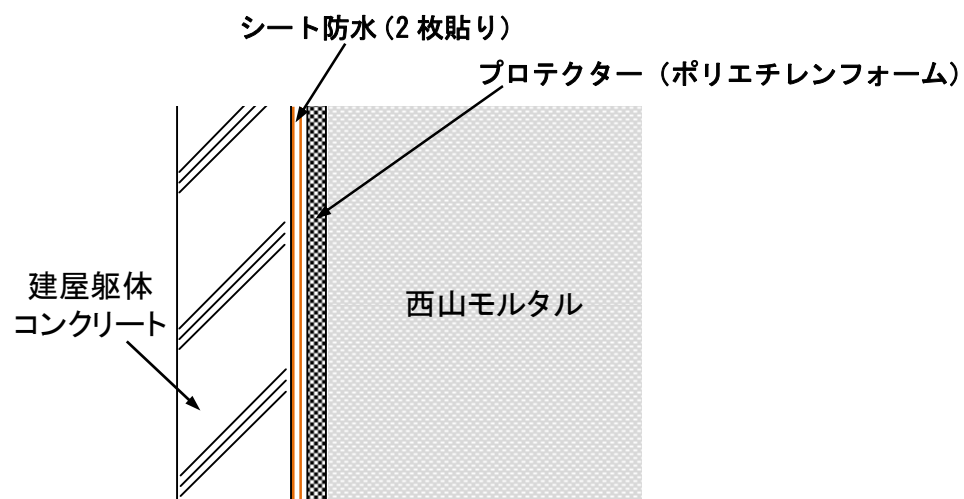


図 2.3.6 地下外壁の防水施工状況

2.4 妥当性の検討方針

2.3 で抽出した論点を踏まえて、今後の検討方針を設定することとした。検討の全体フローを図 2.4.1 に示す。

以降では、以上の3つの論点を踏まえた上で、妥当性の確認方針を設定する。

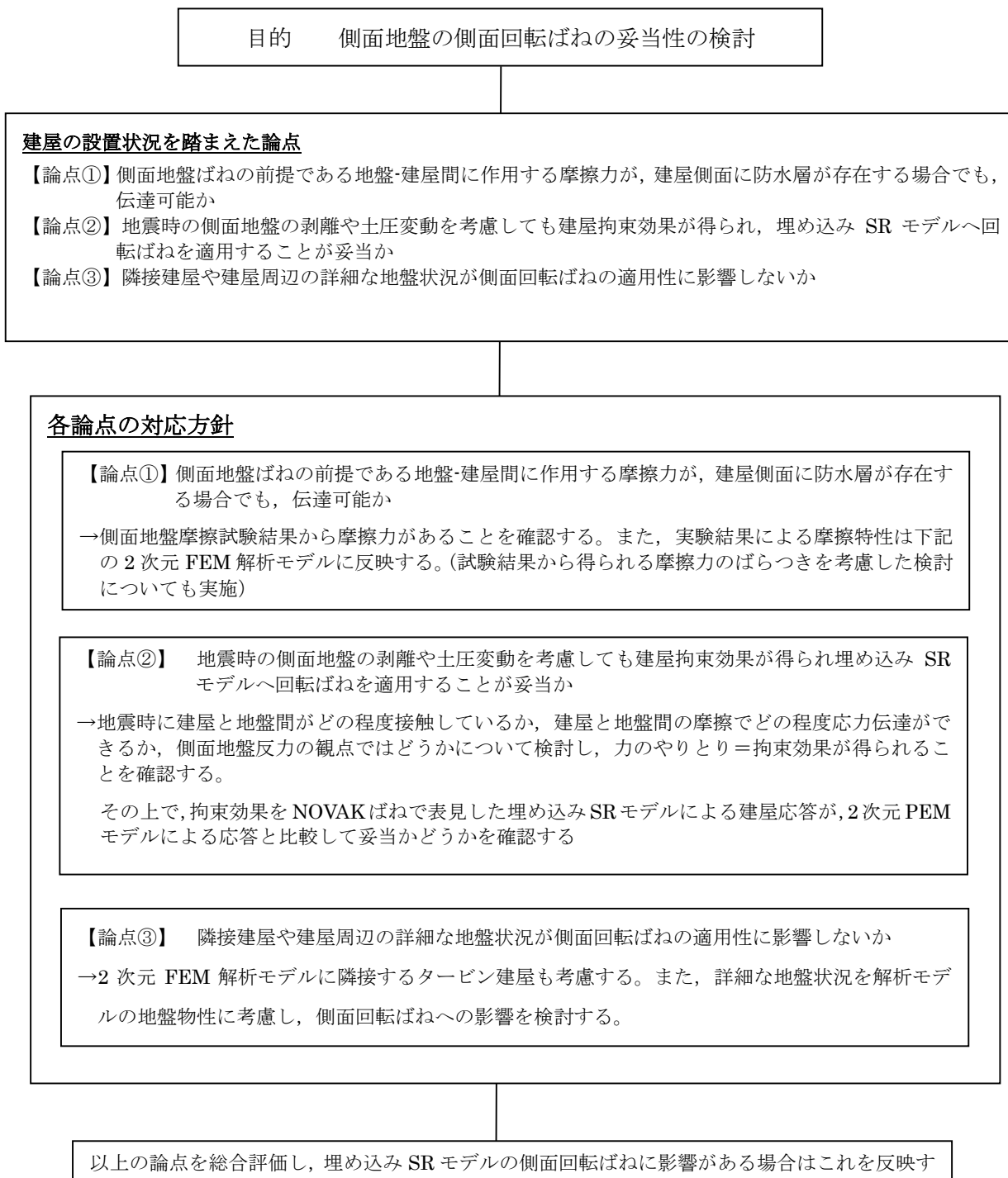


図 2.4.1 側面回転ばねの妥当性に関する全体の検討フロー

2.4.1 【論点①】についての確認方針

【論点①】建屋側面には防水層があるが、防水層と地盤間で摩擦力が伝達可能か

原子炉建屋の地下外壁には図 2.3.6 に示したとおり、防水層が設置されていることから、側面回転ばねの妥当性検討にあたっては、建屋側面に防水層がある場合の建屋-側面地盤の境界部で保持できる摩擦力（以下、摩擦耐力と呼ぶ）を適切に設定した上で、確認を行うことが必要であると考えられる。

防水層が存在する場合の建屋-側面地盤の境界部の摩擦耐力については、地盤摩擦試験により確認する方針とした。地盤摩擦試験の実施にあたっては、図 2.4.2 に示すように実機防水仕様の状況や側面に作用する土圧による影響も踏まえたモデル化を行うこととし、試験に用いる材料（保護層、防水層等）については、試験結果の実機への適用性を考慮し、実機と同製品もしくは同等品を使用することとした。試験により得られた摩擦耐力については、側面回転ばねの妥当性確認に用いる 2 次元 FEM モデル（後述）に反映する。

なお、2 次元 FEM モデルの基礎側面と地盤間のジョイント要素の摩擦力（せん断応力-垂直圧関係）は、地盤摩擦試験結果（図 2.4.3）の平均値を採用することを基本とするが、試験結果のばらつきを考慮した場合の影響についても検討を実施する。

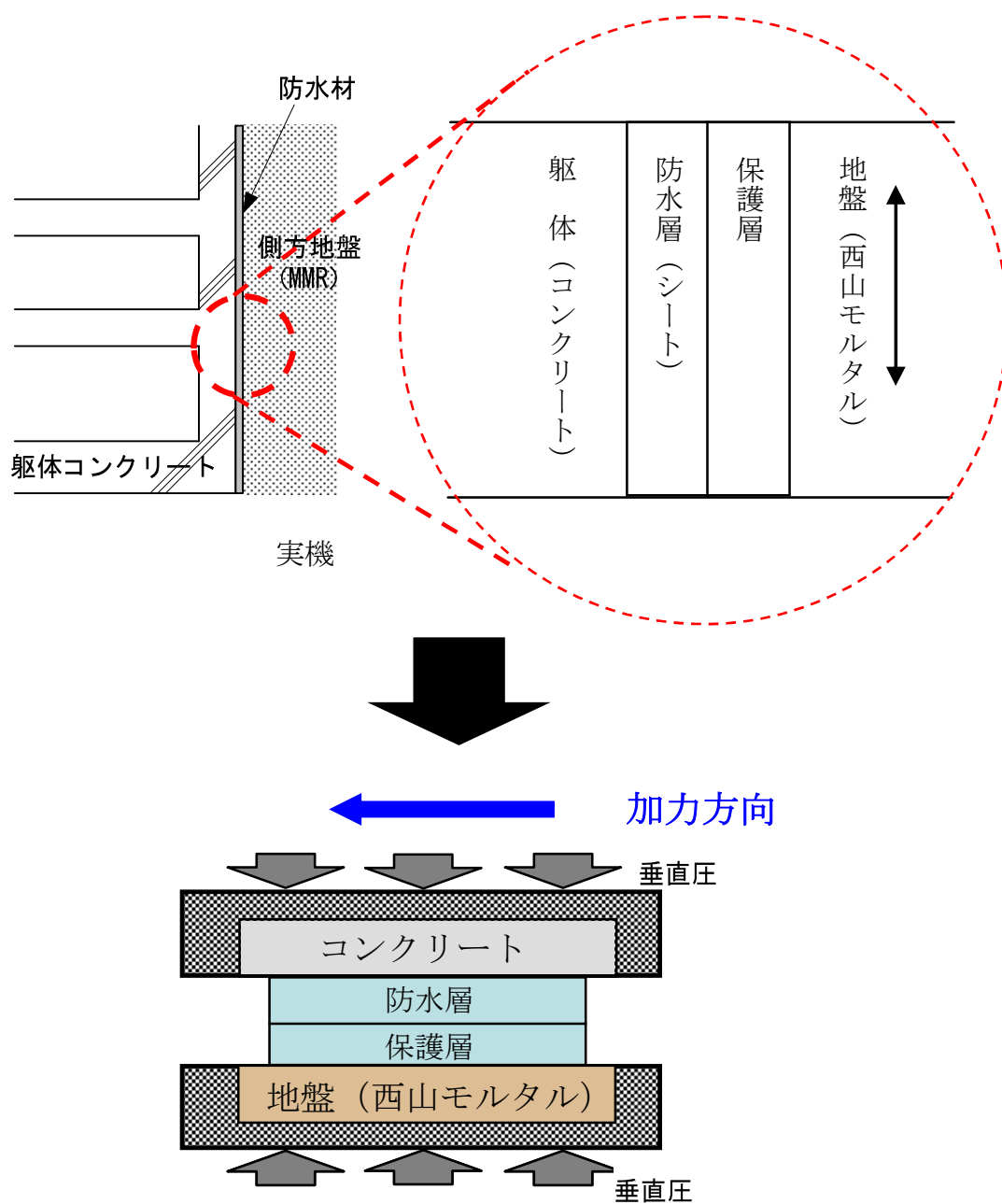
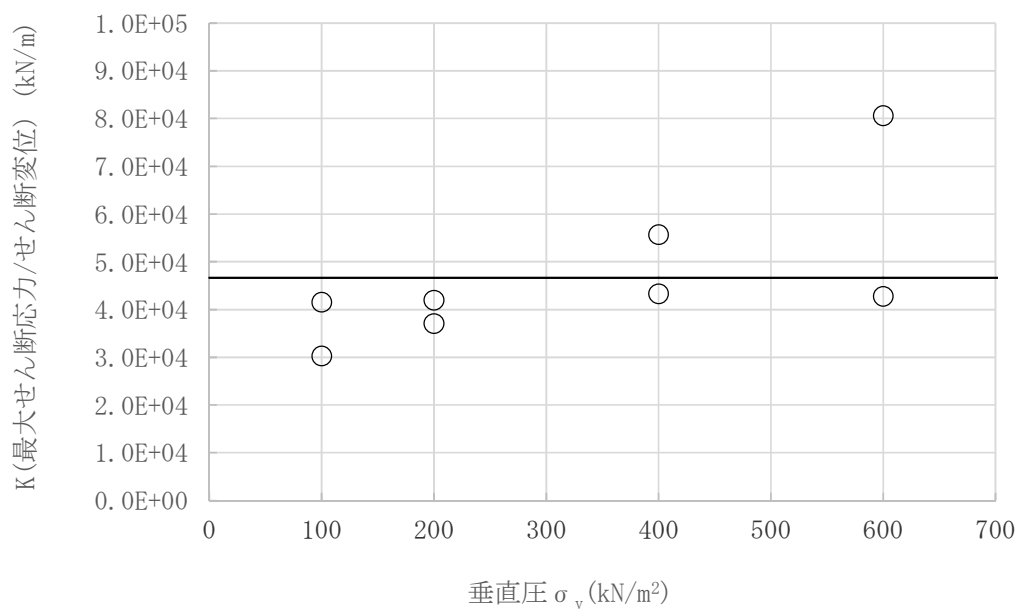
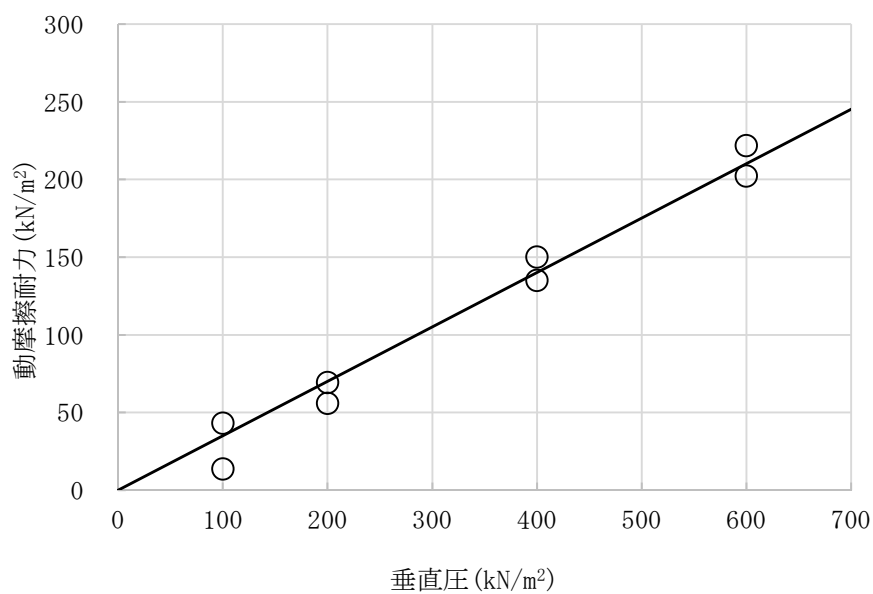


図 2.4.2 地中外壁の摩擦試験のモデル化の考え方



(せん断ばね定数と垂直圧の関係)



(動摩擦耐力・垂直圧関係)

図 2.4.3 地盤摩擦試験結果

2.4.2 【論点②】についての確認方針

【論点②】地震時の側面地盤の剥離や土圧変動を考慮しても建屋拘束効果が得られ、埋め込み SR モデルへ回転ばねを適用することが妥当か

地震時には建屋地下外壁面と側面地盤の境界部で、地盤の接触剥離の発生や土圧変動が発生することにより、外壁側面の摩擦抵抗力が影響を受ける。そこで、FEM モデルを用いた地震応答解析を行い、基準地震動 S_s 時における建屋・側面地盤の境界部の接触剥離及び摩擦を検討する。FEM モデルには図 2.4.4 に破線で示す建屋・地盤境界部に接触剥離や摩擦を考慮したジョイント要素（軸ばねとせん断ばね）を設ける。なお、地盤の接触剥離の発生や地盤摩擦試験結果に基づく滑りを伴う動摩擦特性を考慮した解析を行うため、ここでは解析演算上の利便性の良い 2 次元 FEM モデルを用いることとした。

検討に用いるモデルを図 2.4.5 に示す。図 2.3.5 に示す解析モデルは、建屋を質点系モデルとし、地盤を成層地盤としてモデル化するが、建屋周囲に存在するマンメイドロックも考慮する。

上記の 2 次元 FEM モデルによる詳細な地震応答解析を行い、地震時に建屋と地盤間がどの程度接触しているか、建屋と地盤間の摩擦でどの程度応力伝達ができるか、側面地盤反力の観点ではどうかについて検討し、力のやりとり＝拘束効果が得られることを確認する。

その上で、埋め込み SR モデルに側面回転ばねを適用した場合の建屋応答が、詳細モデルと比較して妥当かどうかを確認する。

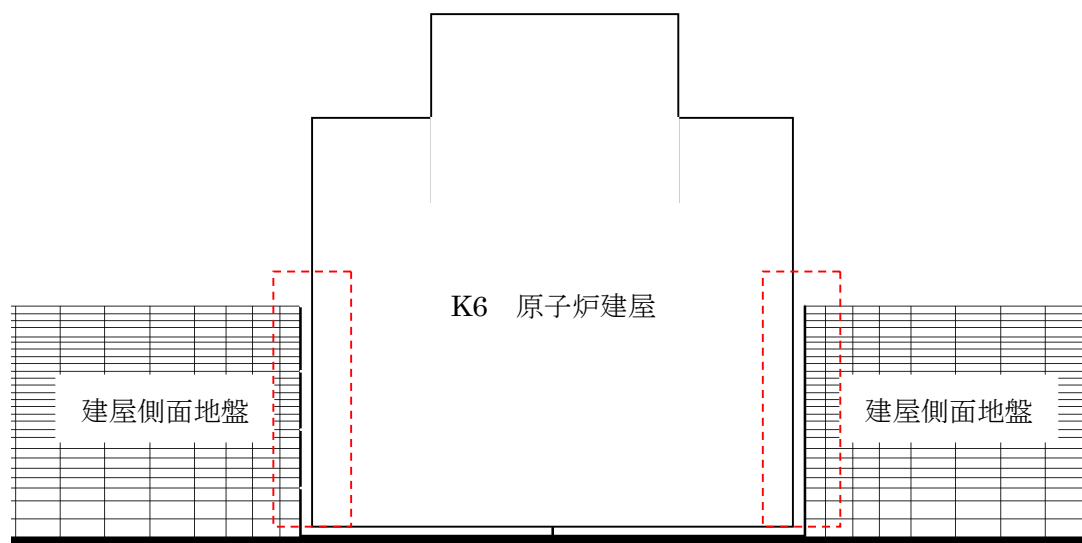
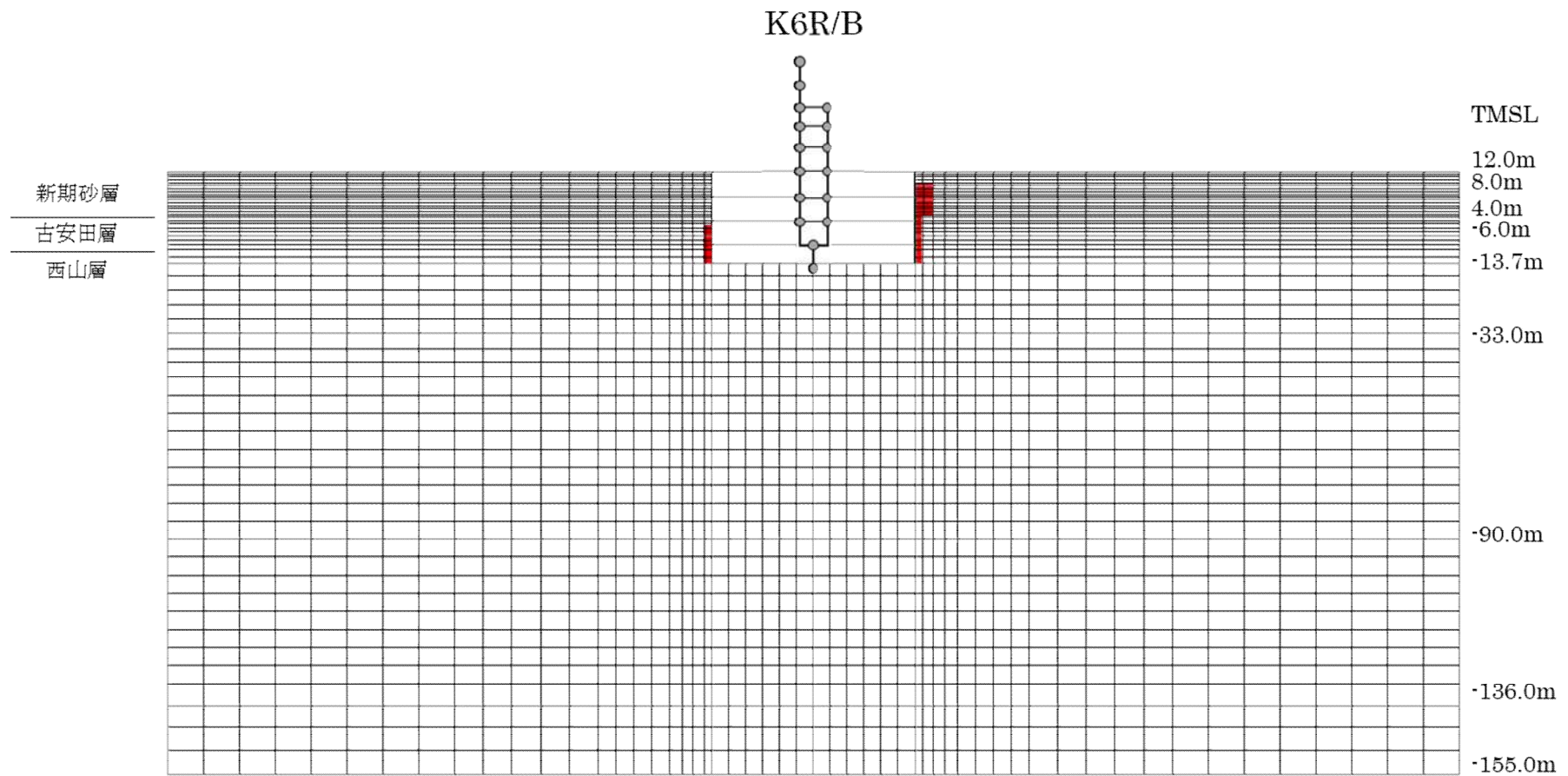


図 2.4.4 建屋と隣接地盤の剥離・接触の検討箇所



赤色着色部：マンメイドロック

図 2.4.5 K6R/B モデル図 (NS 方向)

2.4.3 【論点③】についての確認方針

【論点③】隣接建屋や建屋周辺の詳細な地盤状況が側面回転ばねの適用性に影響しないか

2次元 FEM による検討は、【論点②】に対する検討で用いる地盤を成層としたモデルに加えて、隣接建屋（タービン建屋）や建屋周辺の詳細な地盤状況の影響を考慮したモデルによる解析についても実施し、詳細な地盤状況を考慮することの影響を確認する。図 2.3.2 図 2.3.3 で示した周辺地盤状況のうち原子炉建屋近傍の地盤を詳細にモデル化した場合のモデル図を図 2.4.7 及び図 2.4.8 に示す。

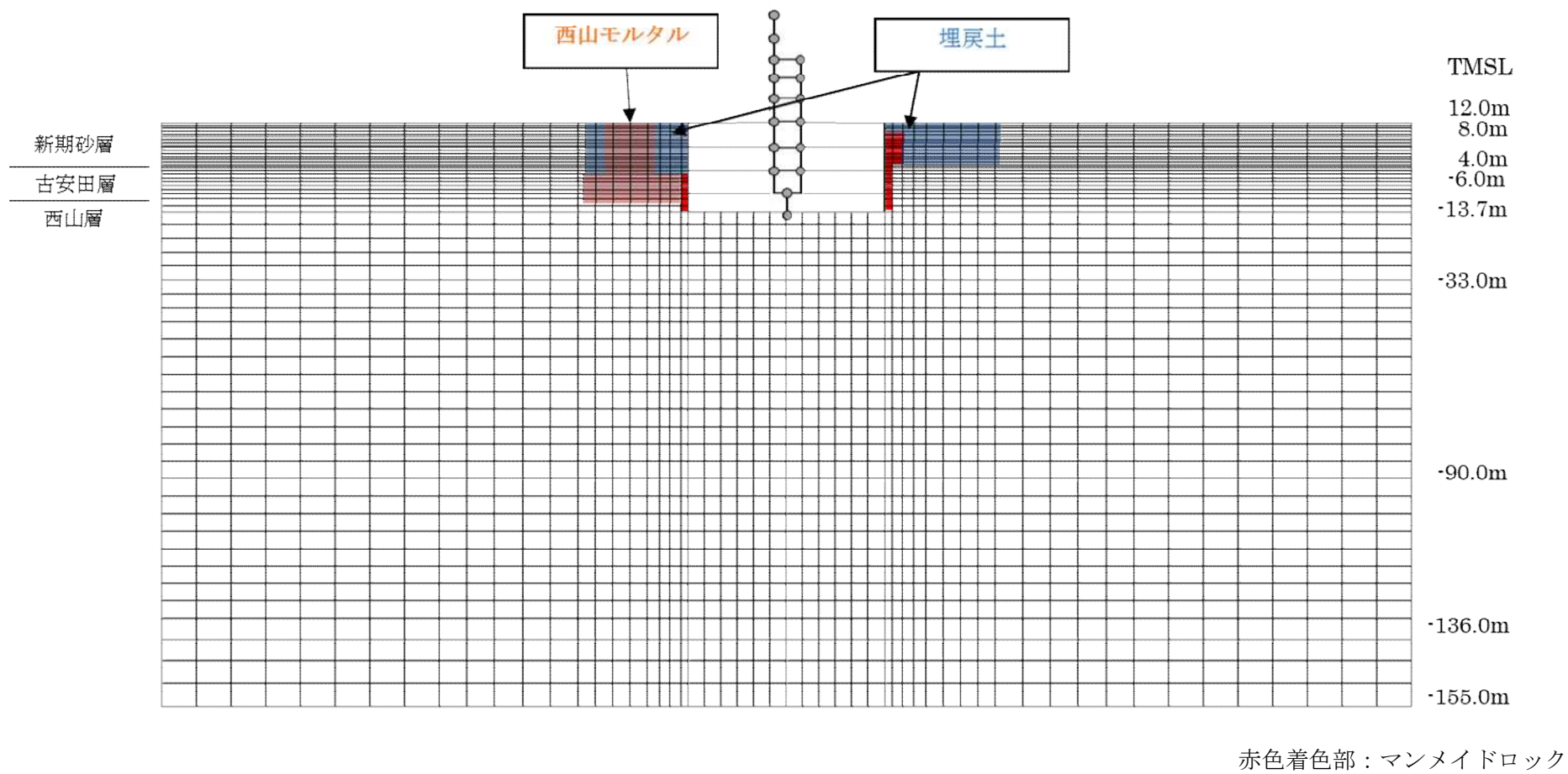


図 2.4.7 K6R/B モデル図 (NS 方向)

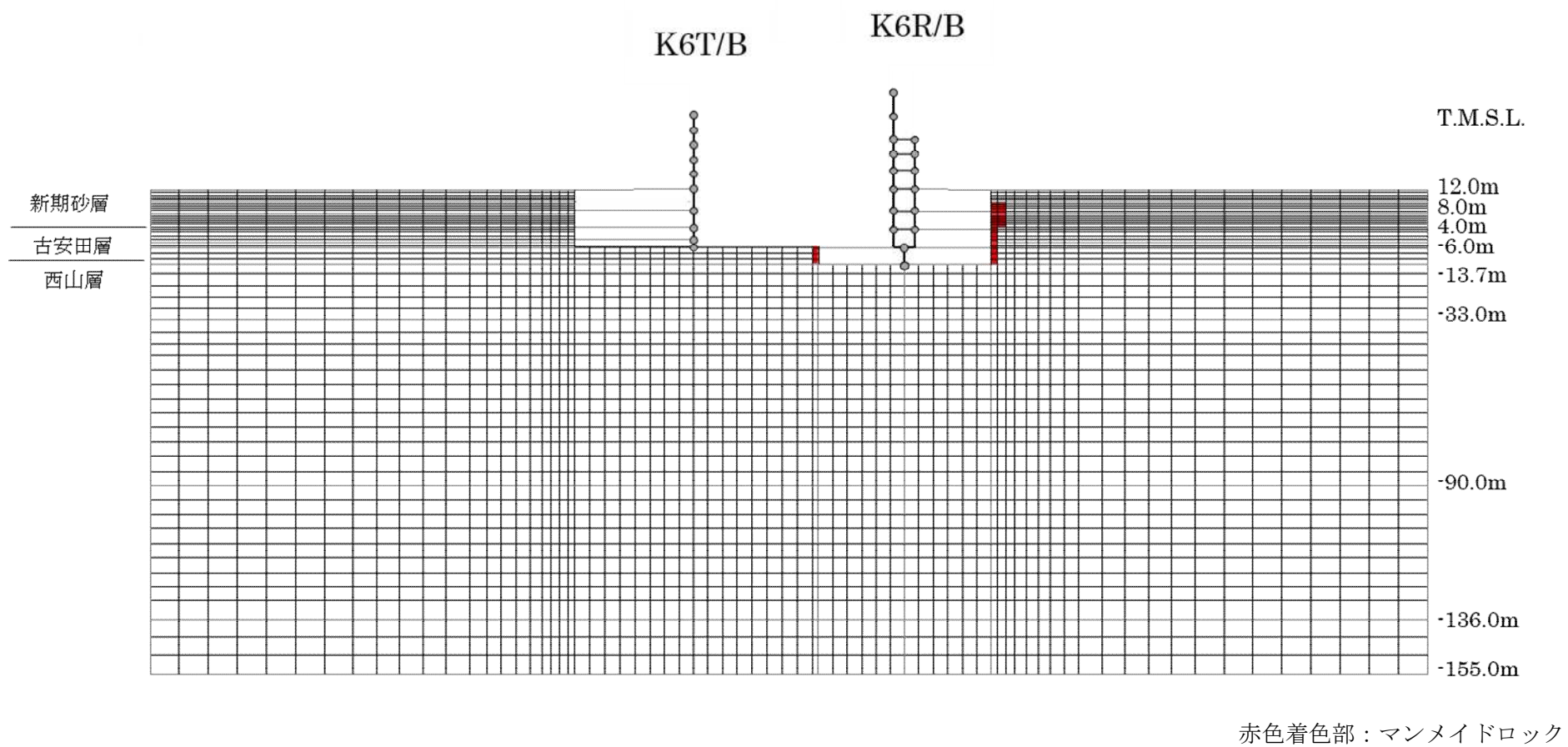


図 2.4.8 K6R/B モデル図 (EW 方向)

3. 論点①に対する検討

(論点① 建屋側面に防水層が存在する場合に防水層と地盤間で摩擦力が伝達可能か)

3.1 試験の目的

論点①は、図 3.1.1 に示すように原子炉建屋の地下外壁が防水層を介して概ね西山モルタル（マンメイドロック）と接する状況にあり、側面回転ばねの妥当性の検討にあたっては、防水層が介在することを踏まえた上で建屋と地盤間で摩擦力が伝達可能かを確認する必要があるとの考えに基づくものである。また、建屋側面に防水層がある場合の建屋・側面地盤の境界部で保持できる摩擦力（以下、摩擦耐力と呼ぶ）を適切に設定した上で、論点②、論点③についての検討を進める必要がある。

ここでは、防水層が存在する場合の建屋・側面地盤の境界部の摩擦特性について、実機防水仕様と同製品もしくは同等品を用いた地盤摩擦試験（屋内試験）により確認する。また、試験より得られた摩擦特性については、論点②及び論点③として行う側面回転ばねの妥当性確認に用いる FEM モデルに反映する。

実施した地盤摩擦試験は、以下の 3 試験である。

- ① 一方向載荷試験・・・防水層を介した基本的な摩擦特性の確認
- ② 繰返し載荷試験・・・地震時の繰返し条件下での摩擦特性の確認
- ③ スケール影響試験・・・摩擦面積の寸法影響確認

また、上記試験より得られた試験結果に基づき、建屋側面に防水層がある場合の建屋・側面地盤の境界部で保持できる平均的な摩擦特性（せん断ばね定数及び動摩擦耐力）を設定し、論点②、論点③の検討に用いる FEM モデルの地下外壁と地盤間のジョイント要素として用いる。

図 3.1.2 に試験から評価に至る一連の検討の流れを示す。

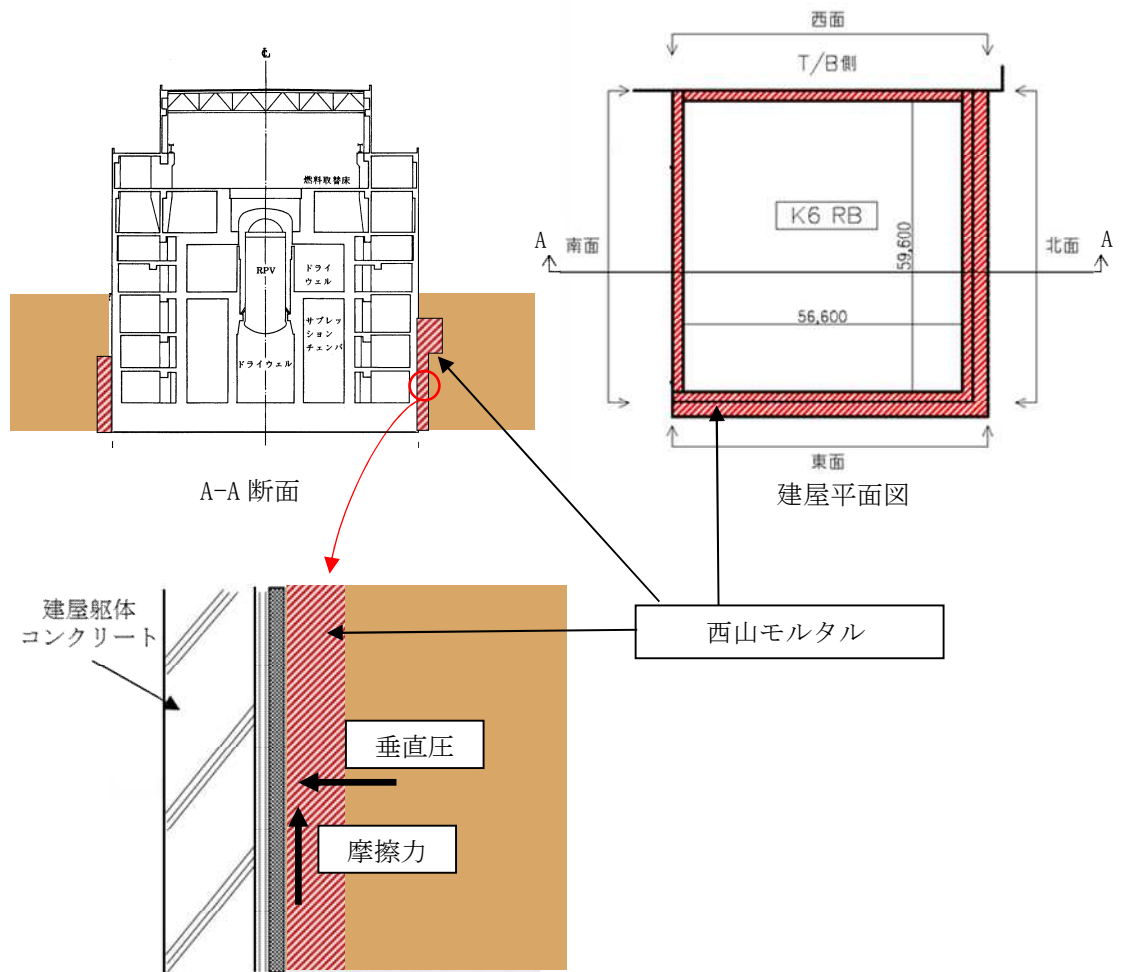


図 3.1.1 建屋外壁部の防水層と西山モルタルの位置関係

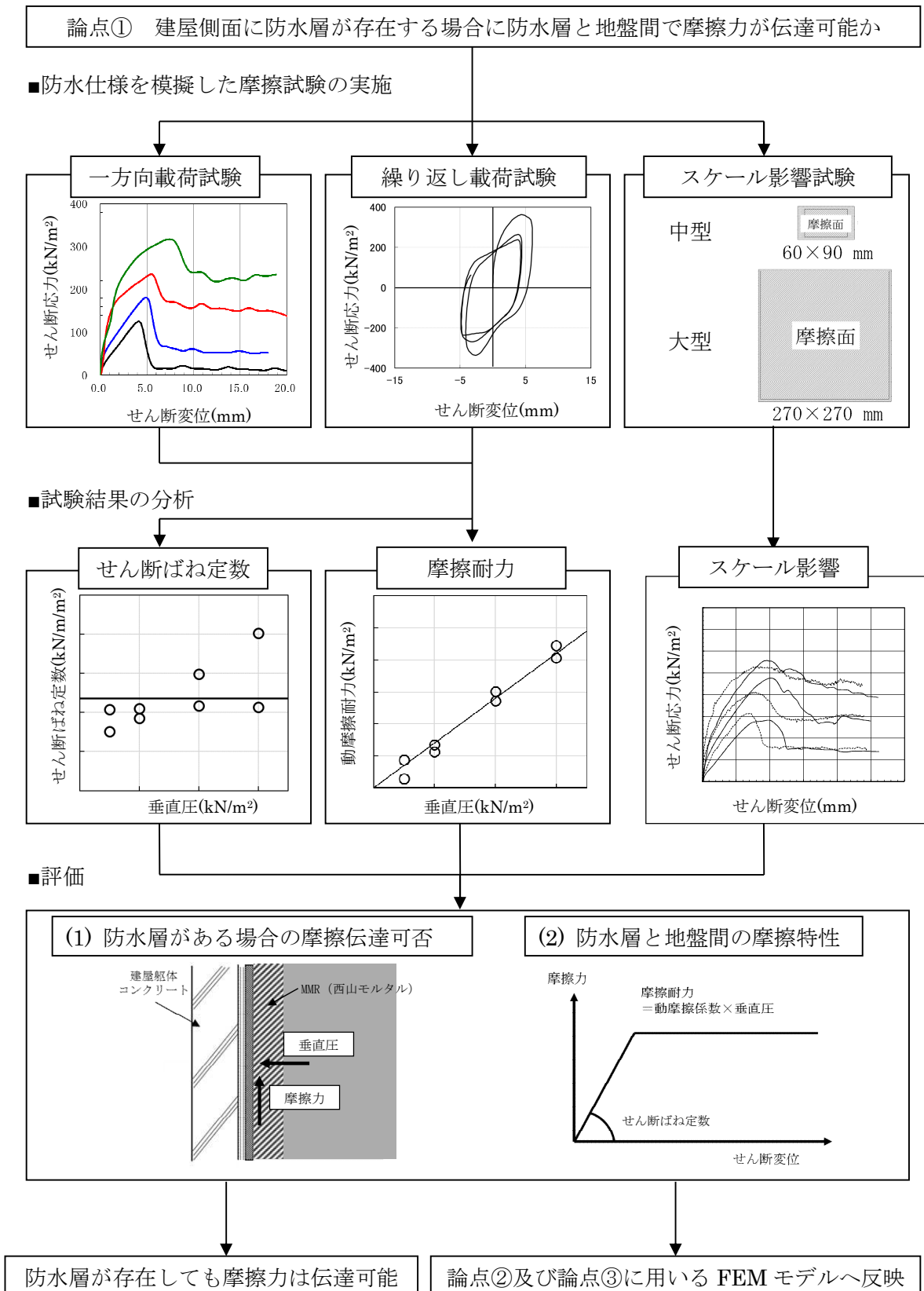


図 3.1.2 論点①に対する検討フロー

3.2 試験方法

柏崎刈羽原子力発電所の原子炉建屋等で使用されている防水層及び保護層を考慮し、これらを挟むように地盤と躯体からなる供試体を製作する。この供試体に対して、せん断加力試験を行い、摩擦特性を把握する。

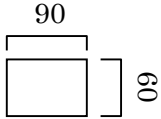
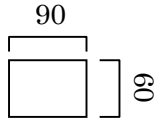
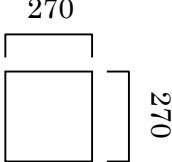
3.2.1 試験方法の概要

試験は、以下に示す一方向載荷及び繰返し載荷試験とスケール影響試験を実施する。
表 3.2.1 に試験計画の概要を示す。

一方向載荷及び繰返し載荷試験では、一方向載荷や繰返し載荷が可能な試験装置を用いて、せん断加力試験を実施し、摩擦特性データを取得する。

スケール影響試験では、摩擦面積の寸法影響を把握するため、大型供試体及び中型供試体を作成し、せん断加力試験を実施する。なお、一方向載荷及び繰返し載荷試験結果より、防水層の部分では滑らず、保護層と西山モルタルの間で滑ることが確認されたことより、スケール影響試験の供試体は、西山モルタルと保護層のみを模擬した供試体とする。

表 3.2.1 試験計画概要

試験	目的	概 要	摩擦面の 試験寸法(mm)	使用試験 装置
①一方向載荷試験	防水層の基本的な摩擦抵抗特性を把握する。	建屋側面の構造を模擬した供試体を作成し、一方向載荷(滑り開始時の載荷速度が概ね下記の繰返し載荷試験と同程度となる 25mm/s で載荷)による一面せん断試験を実施する。		一面せん断試験装置
②繰返し載荷試験	防水層への動摩擦特性を把握する。	建屋側面の構造を模擬した供試体を作成し、繰返し載荷(建屋-地盤連成系一次周期相当の 2Hz で載荷)による一面せん断試験を実施する。		
③スケール影響試験	摩擦面積の寸法影響を確認する。	西山モルタルと保護層を模擬した中型供試体を作成し、静的一方向載荷試験(0.02mm/min で載荷)を実施する。		一面せん断試験装置
		西山モルタルと保護層を模擬した大型供試体を作成し、静的一方向載荷試験(0.02mm/min で載荷)を実施する。		大型一面せん断試験装置

3.2.2 建屋側面構造の室内試験へのモデル化

実際に施工された建屋側面の構造は、図 3.2.1 に示すとおり、躯体（コンクリート）、防水シート、保護層、地盤（西山モルタル）からなる。

一方向載荷及び繰返し載荷試験では上記の建屋側面の構造を模擬するため、図 3.2.2 に示すような供試体を製作する。なお、供試体の製作も、実際の施工手順に概ね準じることとし、先ず躯体コンクリートを打設、その上に 1 層目の防水シートを接着する。次に、別途敷設した 2 層目の防水シートに保護層を接着、その上に西山モルタルを打設する。最後に、1 層目と 2 層目の防水シート間を接着する手順で行う。

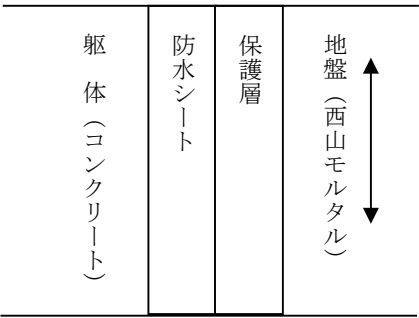


図 3.2.1 躯体～地盤間の構造

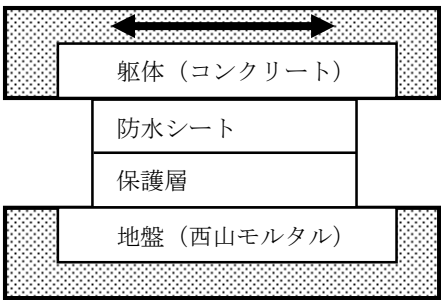
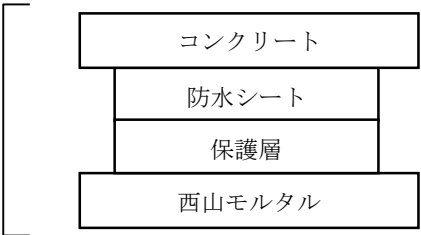


図 3.2.2 供試体（標準）

また、前述のとおりスケール影響試験の供試体は、西山モルタルと保護層のみを模擬した供試体とする。各試験に用いる供試体について、図 3.2.3 に示す。

- ・ 一方向載荷試験
- ・ 繰返し載荷試験



- ・ スケール影響試験

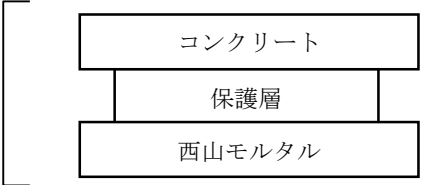


図 3.2.3 各試験に用いる供試体

保護層及び防水シートは基本的には実機で用いられた材料を用いることとし、柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉で用いられた材料を調査した。調査した結果、対象となる材料が製造されていない場合は、同等品を用いた。なお、一般的に合成ゴムや合成樹脂材料（接着剤を含む）の経年劣化要因として熱・紫外線・酸素などが挙げられるが、土中環境においては、比較的影響が小さいと考えられる。

実機の調査結果及び試験で用いることとした材料を整理して表 3.2.2 に示す。

表 3.2.2 実機材料の調査結果及び試験に用いる材料

使用材料		6号炉・7号炉	試験に用いる材料	備考
1	プライマー	サンタックプライマー SR-200 <早川ゴム(株)>	サンタックプライマー SR-200 <早川ゴム(株)>	—
2	接着剤	サンタックボンド T <早川ゴム(株)>	サンタックボンド PB-50 <早川ゴム(株)>	注 1
3	1層目 防水シート	サンタックルーフ R-400 t=1.5mm <早川ゴム(株)>	サンタックルーフ TY-400 t=2.0mm <早川ゴム(株)>	注 2
4	接着剤	サンタックボンド T <早川ゴム(株)>	サンタックボンド PB-50 <早川ゴム(株)>	注 1
5	2層目 防水シート	サンタックルーフ TY-400 t=1.5mm <早川ゴム(株)>	サンタックルーフ TY-400 t=1.5mm <早川ゴム(株)>	—
6	接着剤	水性ボンド <(株)エイ・アール・センター>	水性ボンド <化研マテリアル株>	注 3
7	保護層	デラタイトプロテクター+ポリエチレンフ ォーム t=7mm <奥山化工業(株)>	デラタイトプロテクター+ポリエチレンフ ォーム t=6mm <奥山化工業(株)>	注 4
8	西山モル タル	西山泥岩を細かく砕いた ものと砂をセメント系固化材 と水で固化させたもの	同左	注 5

(注 1) 実機と同製品は製造していないので、メーカーが指定する同等品を使用

(注 2) 実機と同製品は製造していないので、メーカーが指定する同一素材の同等品を使用

(注 3) 実機と同製品は製造していないので、防水専門会社（奥山化工業(株)）が指定する他メーカーの同等品を使用

(注 4) t=7mm は製造していないので、試験に保護材の厚みによる影響は小さいと考え、同一メーカー・同一素材の t=6mm を使用

(注 5) 西山モルタルの基本調合は、下表のとおり

西山モルタルの基本調合

単位量(kg/m ³)				単位容積重量(t/m ³)
西山泥岩	砂	固化材	水	
230	700	180	600	1.71

3.2.3 試験装置

試験装置の仕様を表 3.2.3 に、試験装置を図 3.2.4～図 3.2.7、写真 3.2.1～写真 3.2.2 に示す。

表 3.2.3 試験装置の仕様

試験装置名称	最大供試体寸法 (mm)	加力方法	最大変位 (mm)
一面せん断 試験装置	縦 70×横 120	静的加力 動的加力（繰返し加力）	20
大型一面せん断 試験装置	縦 300×横 300	静的加力	50

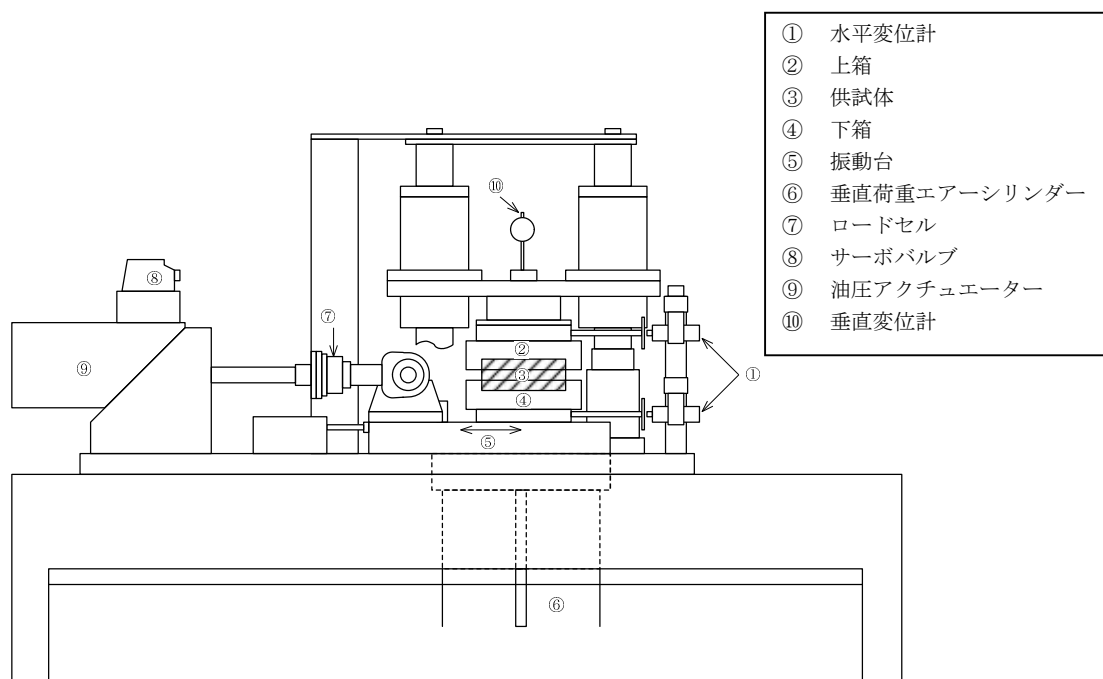


図 3.2.4 一面せん断試験装置

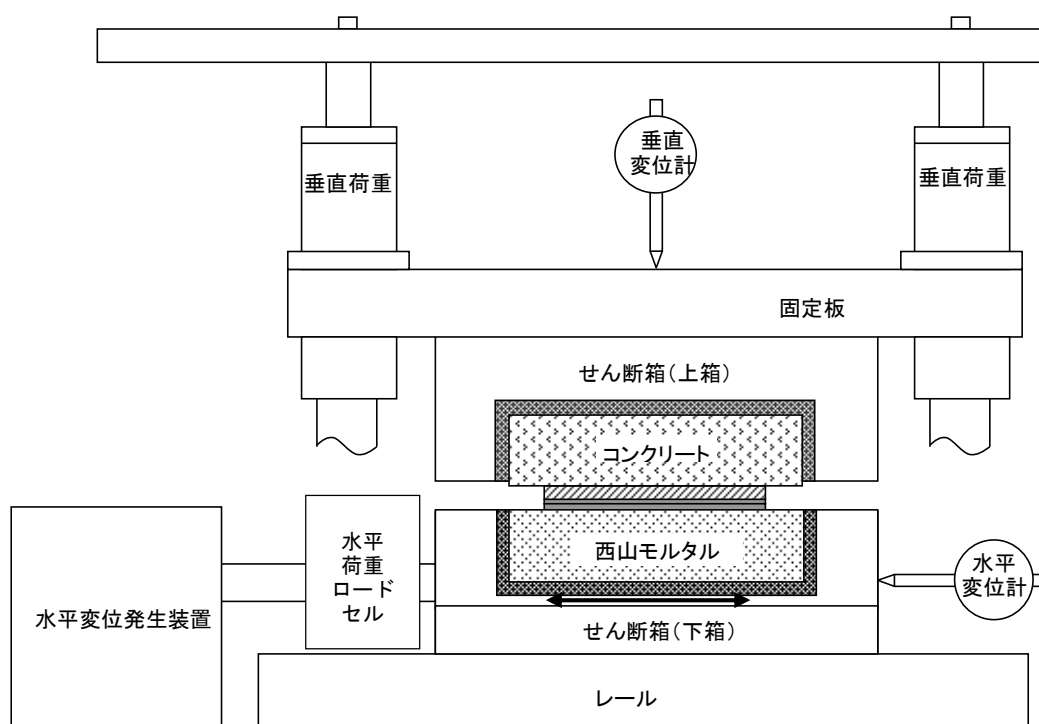


図 3.2.5 一面せん断試験装置（詳細図）



写真 3.2.1 一面せん断試験装置全景

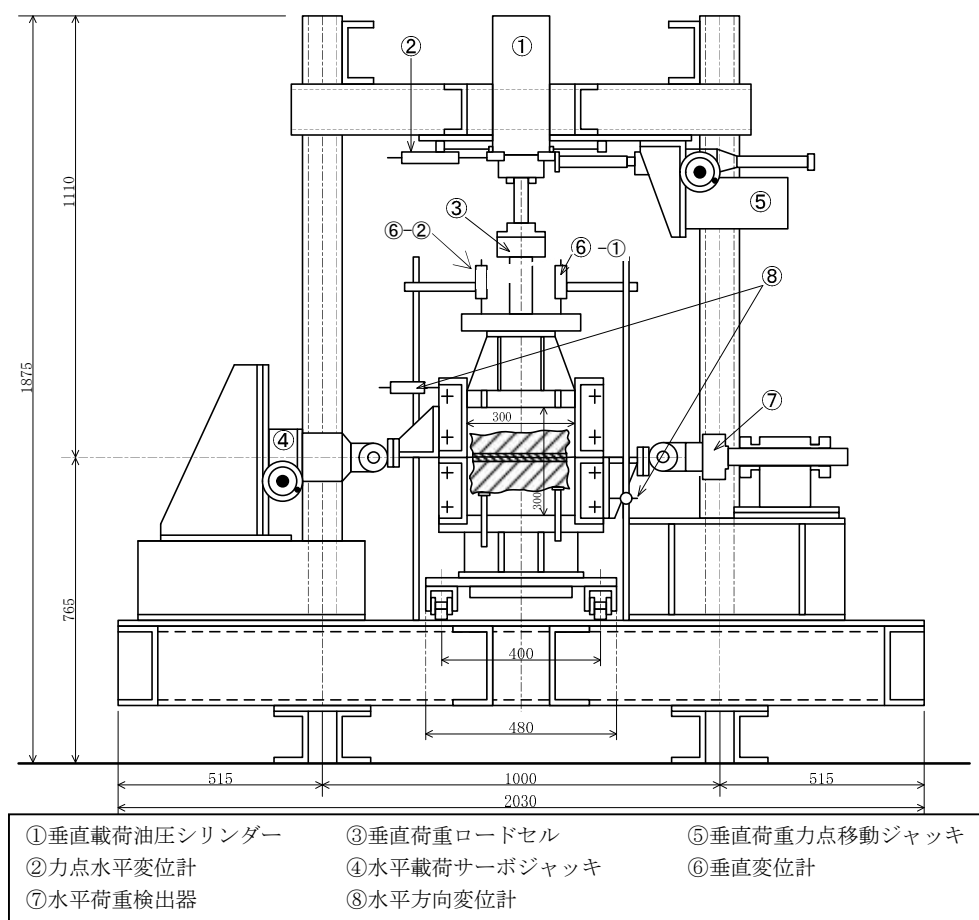


図 3.2.6 大型一面せん断試験装置

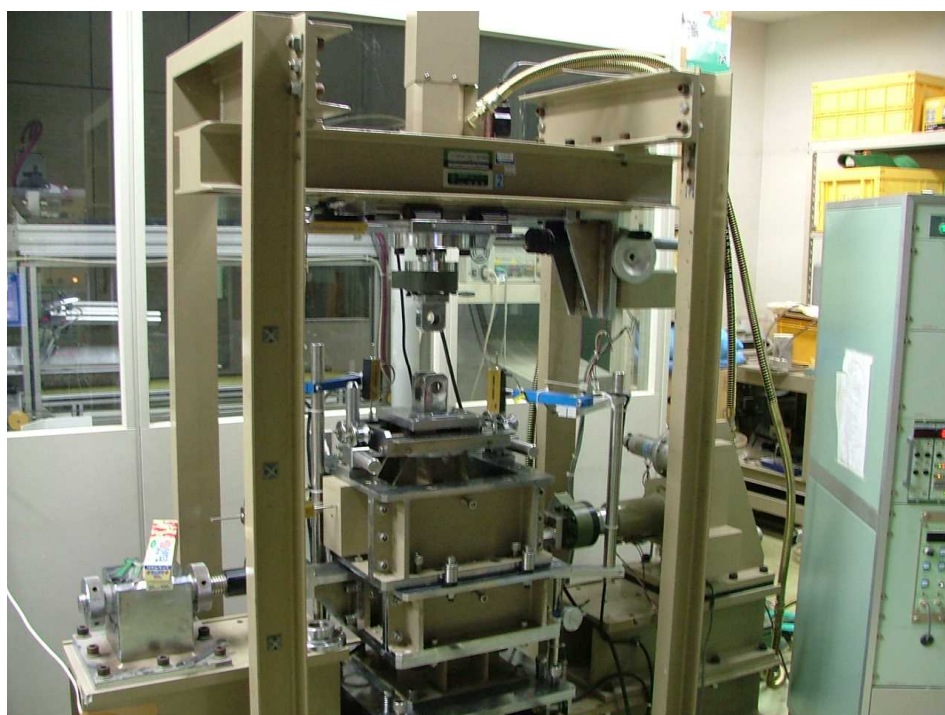


写真 3.2.2 大型一面せん断試験装置全景

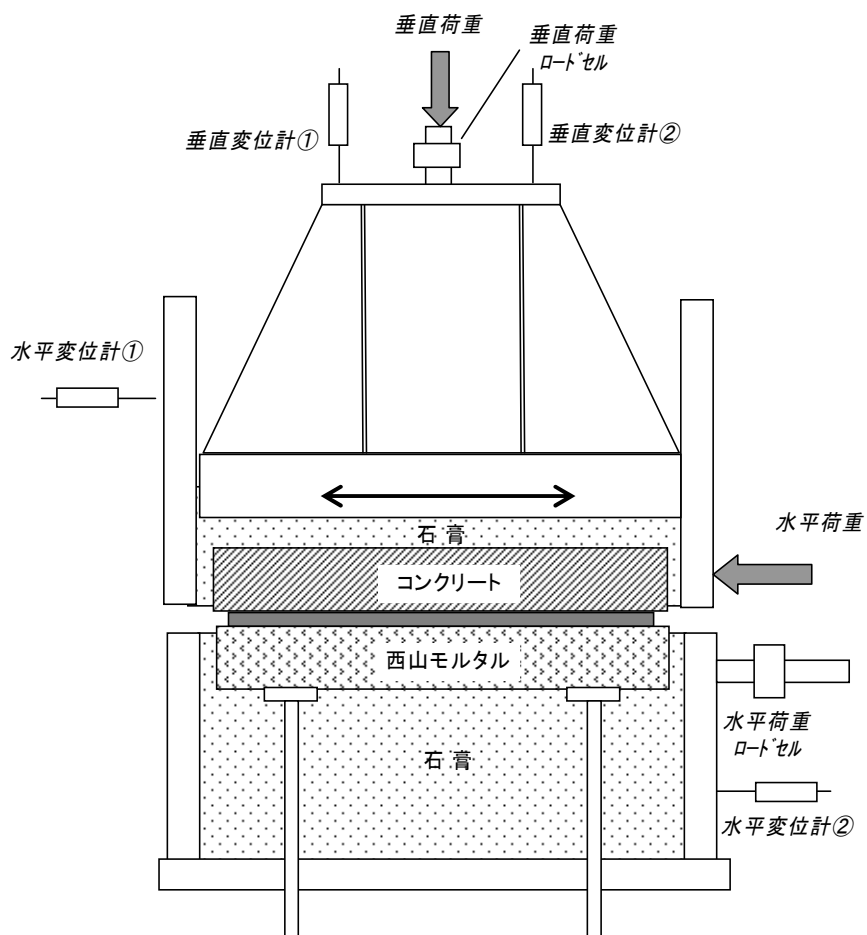


図 3.2.7 大型一面せん断試験装置概念図

3.3 一方向載荷及び繰返し載荷試験

3.3.1 目的

一方向載荷及び繰返し載荷試験の 2 種類の動的試験を行うことで、建屋・側面地盤の境界部に防水層が存在する場合の静止摩擦抵抗～動摩擦抵抗状態に至る一連の基本的な摩擦特性及び地震時の繰返し条件を想定した場合の動摩擦特性の確認を目的とする。

3.3.2 試験ケース

一方向載荷及び繰返し載荷試験の試験ケースを表 3.3.1 に示す。

なお、原子炉建屋の埋め込み深さは約 25m であり、常時土圧は～250kN/m² 程度である。地震時には、この静土圧に動土圧の変動分が加算される。ここでは、地震時土圧の変動が摩擦特性に及ぼす影響の有無を確認するため試験体に作用させる垂直圧に幅をもたせることとし、垂直圧を 100kN/m²～600kN/m² と設定した。

表 3.3.1 一方向載荷及び繰返し載荷試験ケース

ケース	加力方法	供試体サイズ (mm)	垂直圧 (kN/m ²)
1-1	一方向載荷	幅 60× 加力方向 90	100
1-2			200
1-3			400
1-4			600
1-5	繰返し載荷		100
1-6			200
1-7			400
1-8			600

3.3.3 供試体

供試体は，実機の状態を模擬できるように実機の方法仕様あるいは同等品を用い，さらに保護層に西山モルタルを打設して製作する。

供試体を図 3.3.1 に示す。

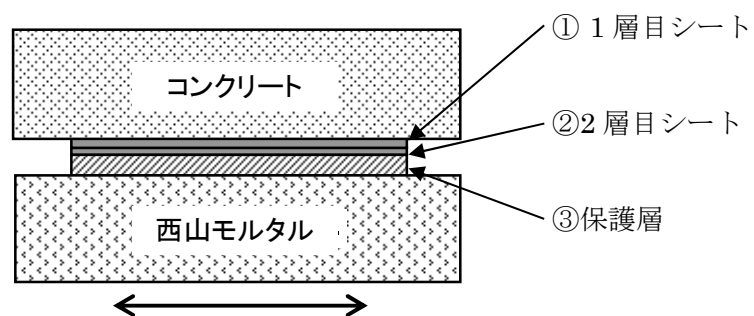


図 3.3.1 一方向載荷及び繰返し載荷試験供試体

3.3.4 試験結果（一方向載荷試験）

(1) せん断応力－せん断変位関係

試験の結果得られた最大せん断応力とその時のせん断変位の一覧を表 3.3.2 に、せん断応力－せん断変位関係を図 3.3.2（図中□印：表 3.3.2 で最大せん断応力とせん断変位を示した点）に示す。

- ① 静止摩擦耐力に相当する最大せん断応力は 125～317kN/m²で、垂直圧に概ね比例した値を示した。
- ② いずれの試験においても最大せん断応力を過ぎると摩擦すべりが発生し、荷重が低下し、動摩擦抵抗状態に移行した。
- ③ 動摩擦耐力は、変位量約 15mm 以上まで安定的に保持された。

表 3.3.2 一方向載荷試験 試験結果一覧

試験 No.	垂直圧 (kN/m ²)	最大せん断応力 (kN/m ²)	せん断変位*1 (mm)
1-1	100	125	4.1
1-2	200	181	4.9
1-3	400	236	5.4
1-4	600	317	7.4

*1 最大せん断応力を示した時のせん断変位

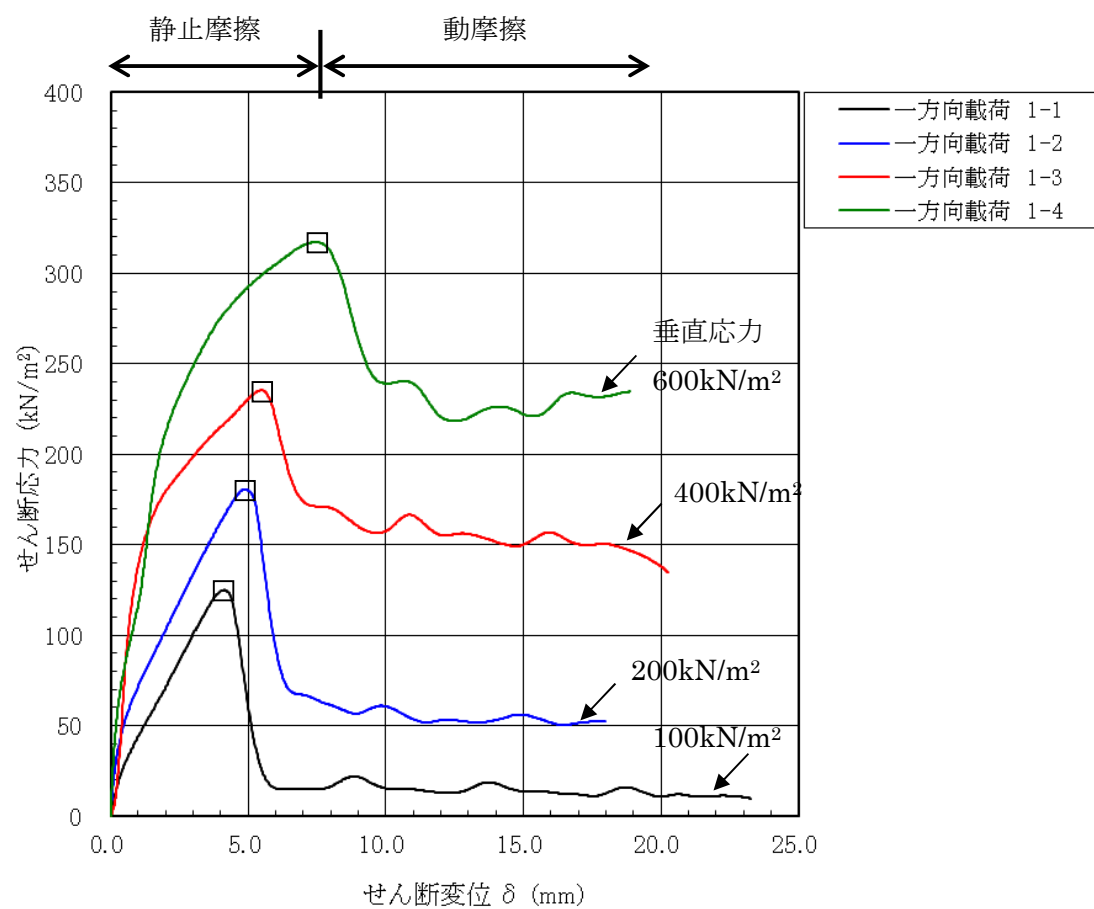


図 3.3.2 一方向載荷試験 せん断応力-せん断変位関係
(図中□印：表 3.3.2 で最大せん断応力を示した点)

(2) 試験後の状況

試験後の供試体の状況を写真 3.3.1～写真 3.3.8 に示す。

供試体は、全試験において保護層表面と西山モルタル表面の間で分離しており、摩擦すべりは、保護層と西山モルタルの間で生じることが確認された。

なお、躯体コンクリートと1層目防水シート間、1層目と2層目の防水シート間及び2層目防水シートと保護層間は接着剤で強固に接着処理されていることから、接着処理されていない保護層と西山モルタル間で滑りが生じたと考えられる。

一部の試験体で、保護層端部に剥がれが見られるが、試験結果のせん断応力・せん断変位関係は動摩擦領域への移行後も全域にわたり滑らかな性状を示しており、この剥がれが滑り性状や摩擦特性に影響を与えた可能性は小さいと考えられる。

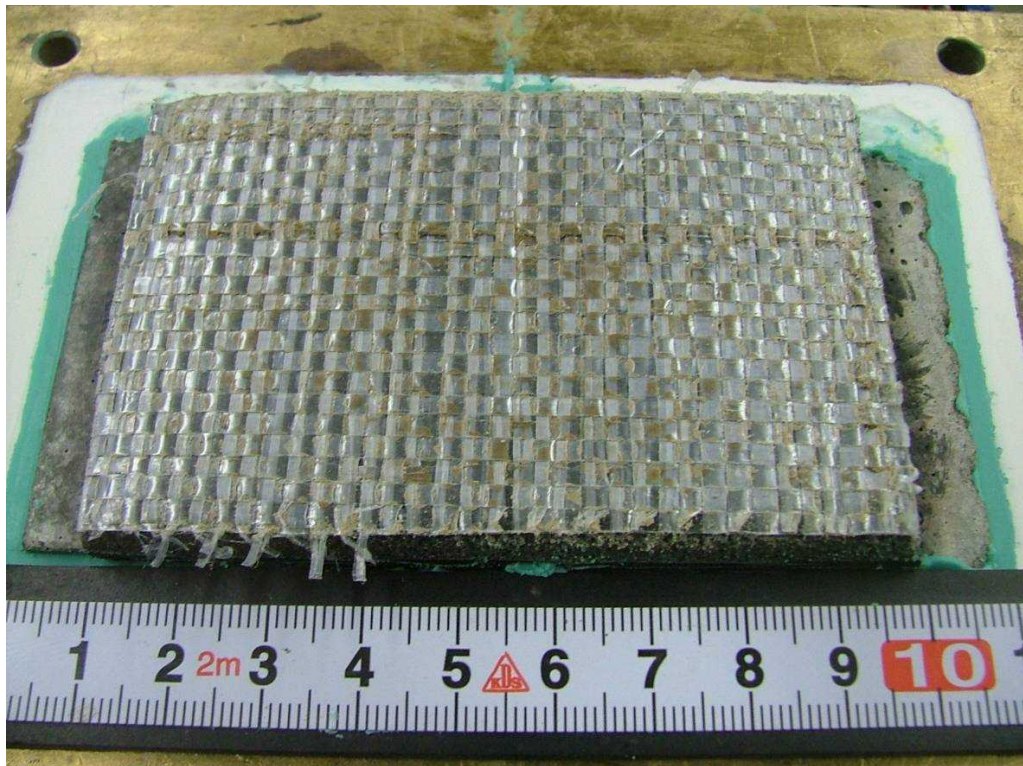


写真 3.3.1 一方向載荷試験後の供試体状況
ケース 1-1 (保護層表面)

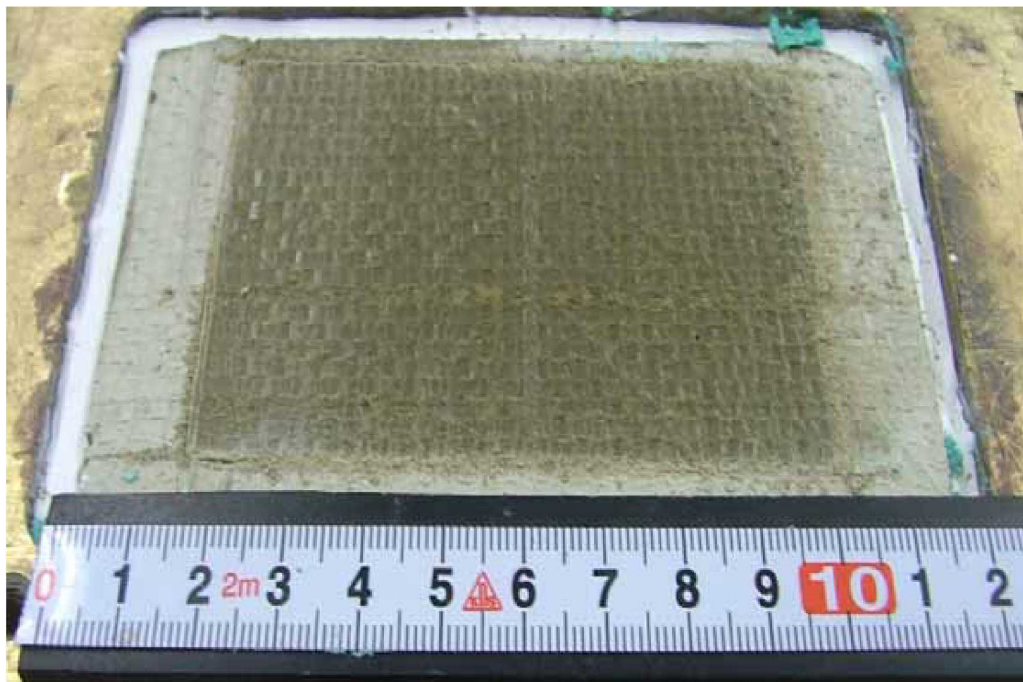


写真 3.3.2 一方向載荷試験後の供試体状況
ケース 1-1 (西山モルタル表面)

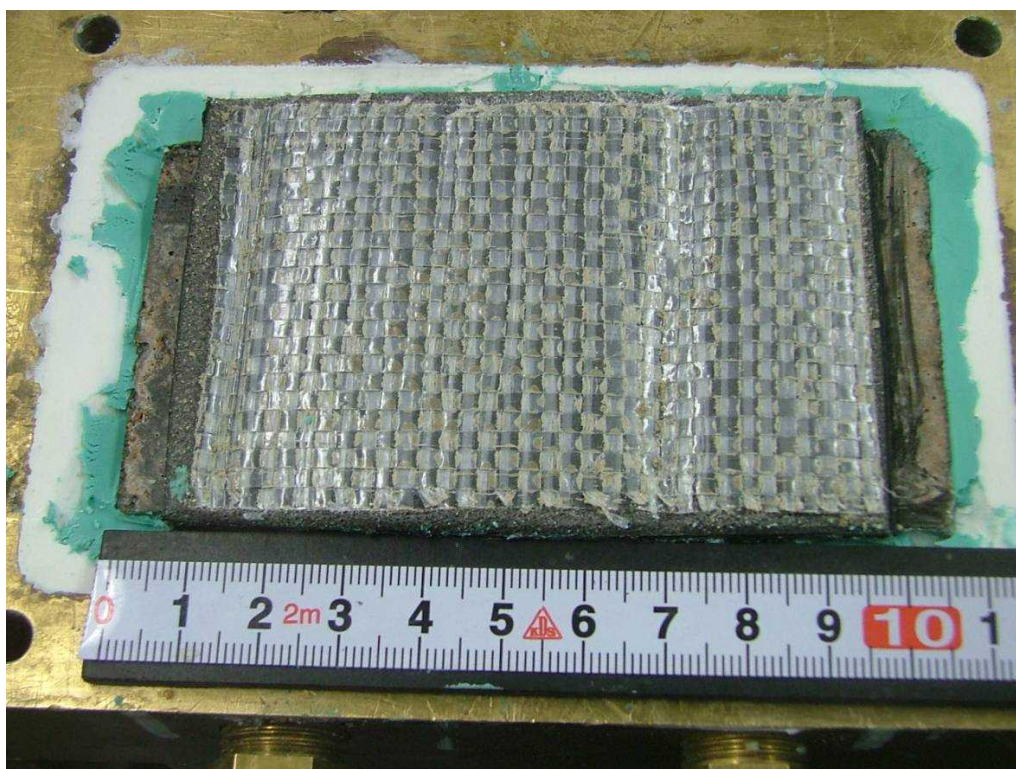


写真 3.3.3 一方向載荷試験後の供試体状況
ケース 1-2 (保護層表面)



写真 3.3.4 一方向載荷試験後の供試体状況
ケース 1-2 (西山モルタル表面)

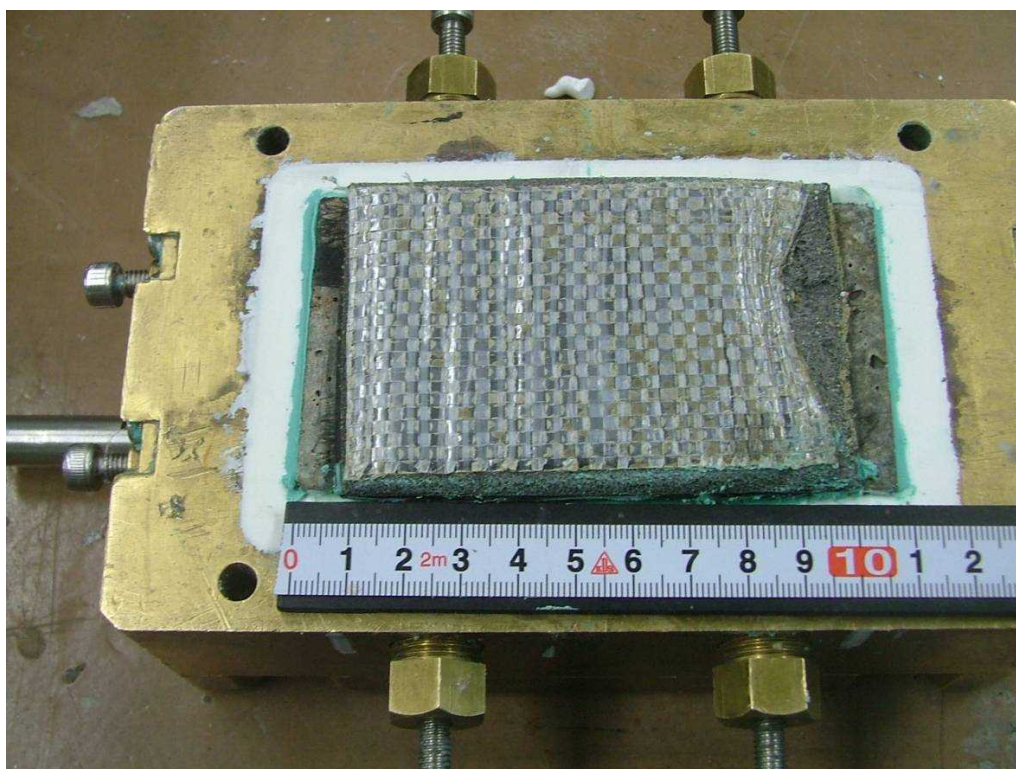


写真 3.3.5 一方向載荷試験後の供試体状況
ケース 1-3（保護層表面）

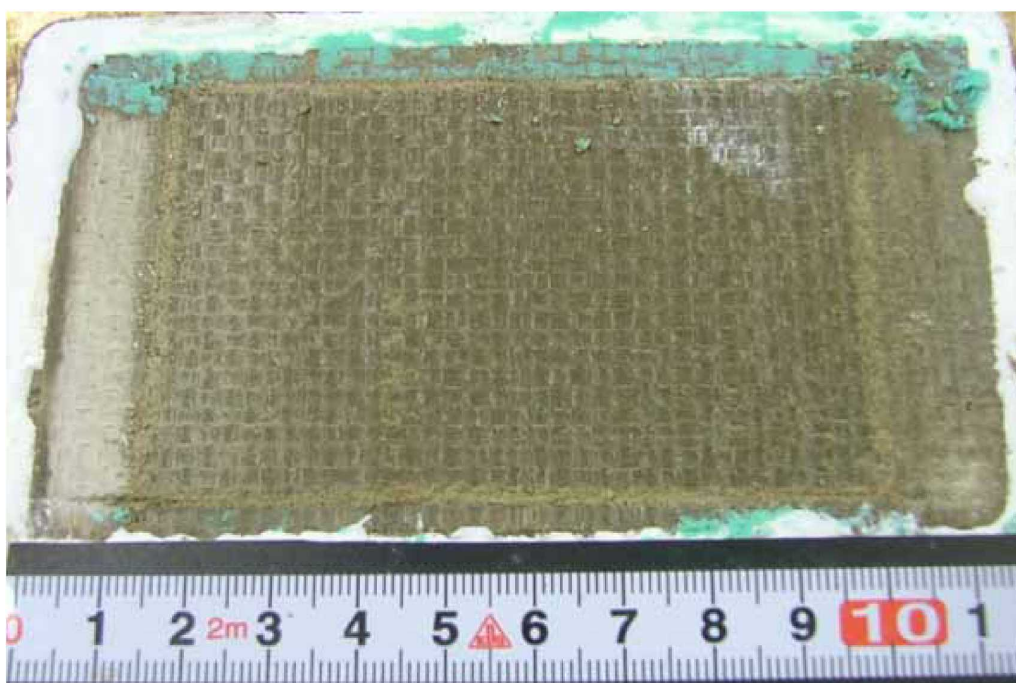


写真 3.3.6 一方向載荷試験後の供試体状況
ケース 1-3（西山モルタル表面）



写真 3.3.7 一方向載荷試験後の供試体状況
ケース 1-4（保護層表面）

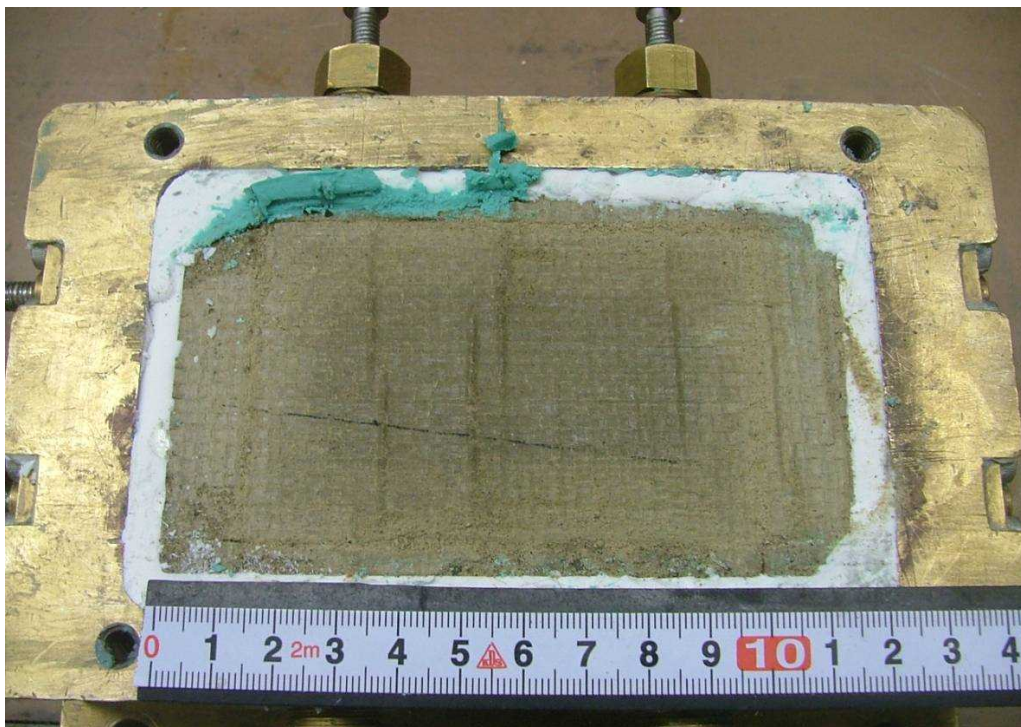


写真 3.3.8 一方向載荷試験後の供試体状況
ケース 1-4（西山モルタル表面）

3.3.5 試験結果（繰返し載荷試験結果）

(1) せん断応力－せん断変位関係

試験の結果から得られた最大せん断応力とその時のせん断変位の一覧を表 3.3.3 に示す。また、図 3.3.3 に示したように、本試験では一定の垂直圧を作用させた上で、徐々に目標変位量を漸増させながら変位制御により繰返し載荷を行うため、目標としたせん断変位量ごとに離散的な試験結果が得られる。全ての繰返し載荷試験のせん断応力－せん断変位関係を図 3.3.4（図中□印：表 3.3.3 で最大せん断応力とせん断変位を示した点）に示す。

なお、繰返し載荷試験におけるせん断応力については、ピーク値を記録する段階までを静止摩擦が働く領域と定義し、ピーク値以降でせん断応力が低下した段階を動摩擦が働く領域と定義した。したがって、最大せん断応力を評価する場合は静止摩擦による値として試験結果を整理し、残留せん断応力を評価する場合は動摩擦による値として試験結果を整理した。

- ① 静止摩擦領域，静止摩擦→動摩擦移行領域，動摩擦領域のいずれの領域においても，安定した荷重変形ループを示した。
- ② 図 3.3.2 に示した一方向載荷試験のせん断応力－せん断変位関係と比較すると，静止摩擦耐力に相当する最大せん断応力及び動摩擦耐力は若干向上する傾向が見られた。

表 3.3.3 繰返し載荷試験 試験結果一覧

試験 No.	垂直圧 (kN/m ²)	最大せん断応力 (kN/m ²)	せん断変位*1 (mm)
1-5	100	136	3.3
1-6	200	164	3.9
1-7	400	236	4.2
1-8	600	363	4.5

*1 最大せん断応力を示した時のせん断変位

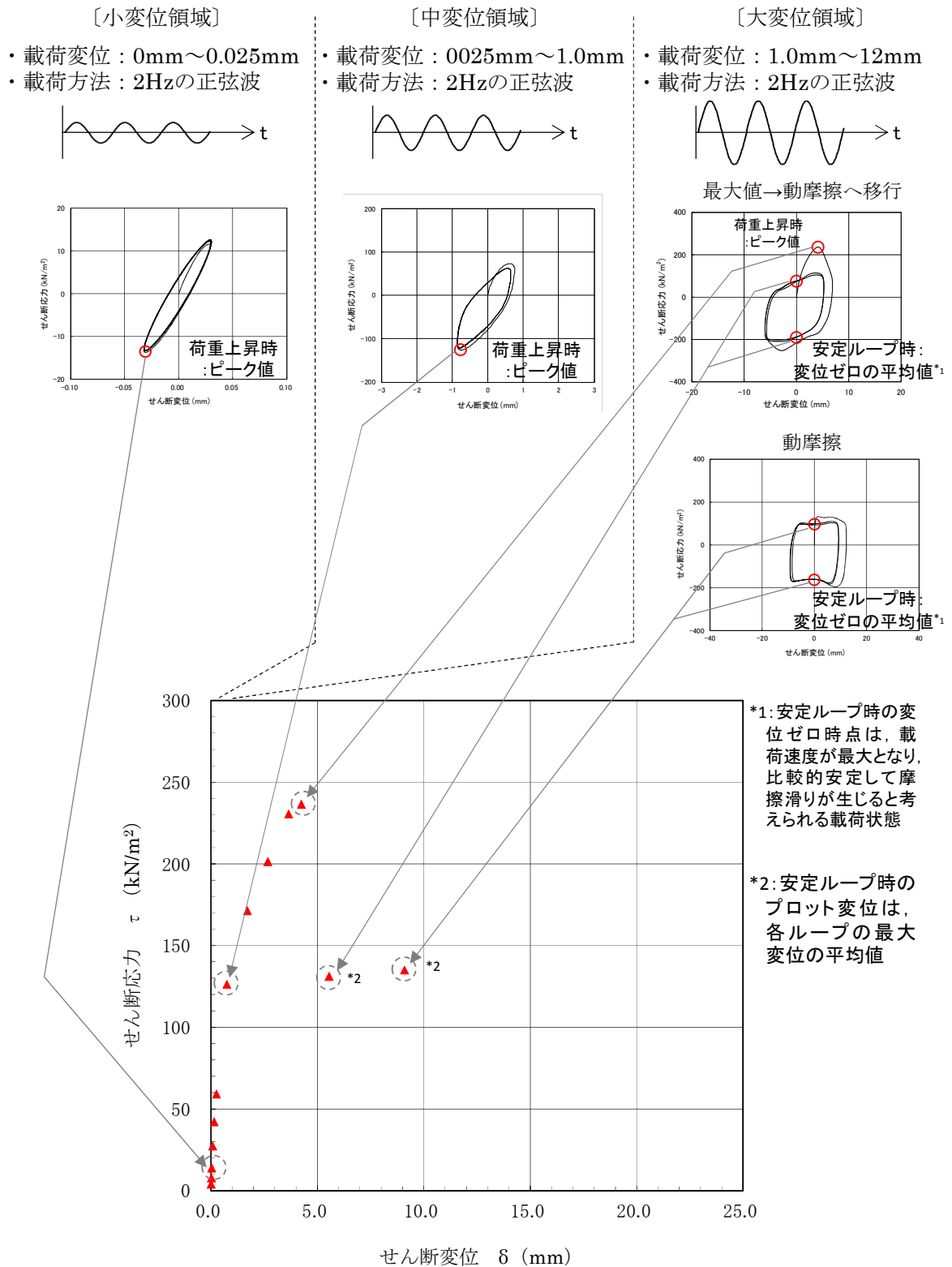


図 3.3.3 繰返し荷重試験の試験結果に基づくせん断応力-せん断変位関係
(試験ケース 1・7 のデータ整理の例)

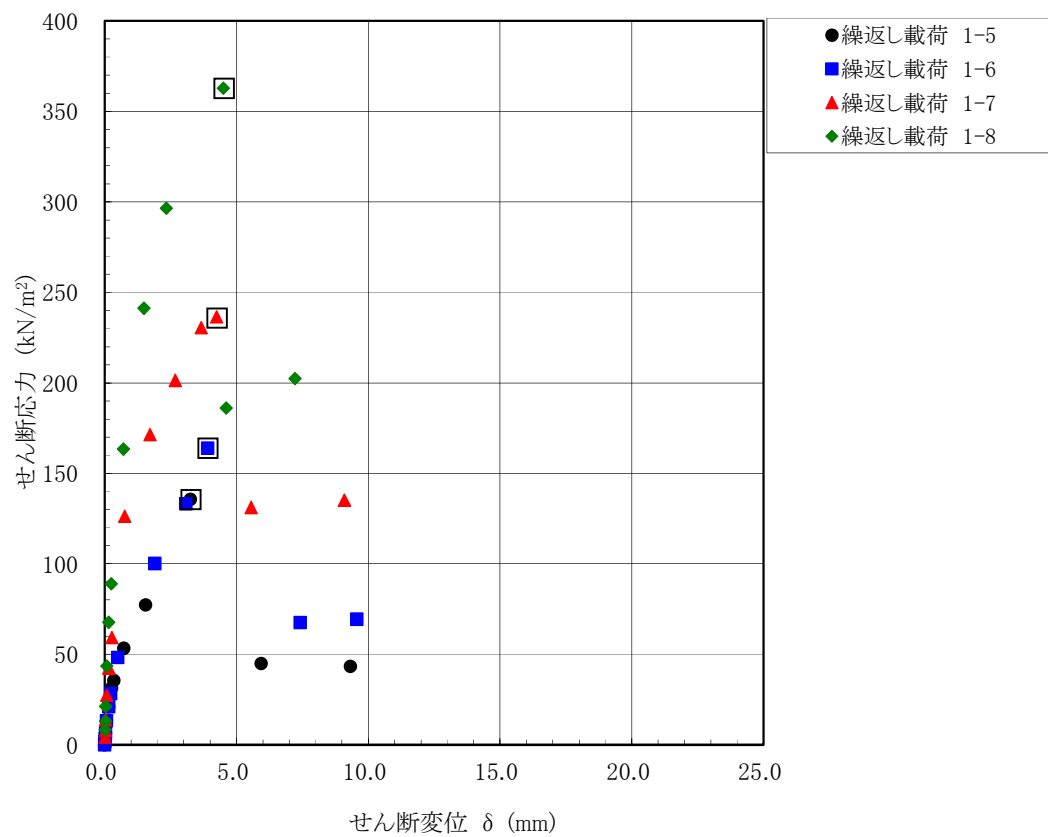


図 3.3.4 繰返し载荷試験 せん断応力-せん断変位関係 (全試験ケース 1-5~1-8)
(図中□印：表 3.3.3 で最大せん断応力を示した点)

(2) 試験後の状況

試験後の供試体の状況を写真 3.3.9～写真 3.3.16 に示す。

一方向載荷試験と同様、供試体は、全試験において保護層表面と西山モルタル表面の間で分離しており、摩擦すべりは、保護層と西山モルタルの間で生じることが確認された。

なお、一方向載荷試験と同様、躯体コンクリートと1層目防水シート間、1層目と2層目の防水シート間及び2層目防水シートと保護層間は接着剤で強固に接着処理されていることから、接着処理されていない保護層と西山モルタル間で滑りが生じたと考えられる。

一部の試験体で、保護層端部に剥がれが見られるが、試験結果のせん断応力・せん断変位関係は動摩擦領域に移行後も全域にわたり滑らかな性状を示しており、この剥がれが滑り性状や摩擦特性に影響を与えた可能性は小さいと考えられる。



写真 3.3.9 繰返し載荷試験後の供試体状況 ケース 1-5（保護層表面）

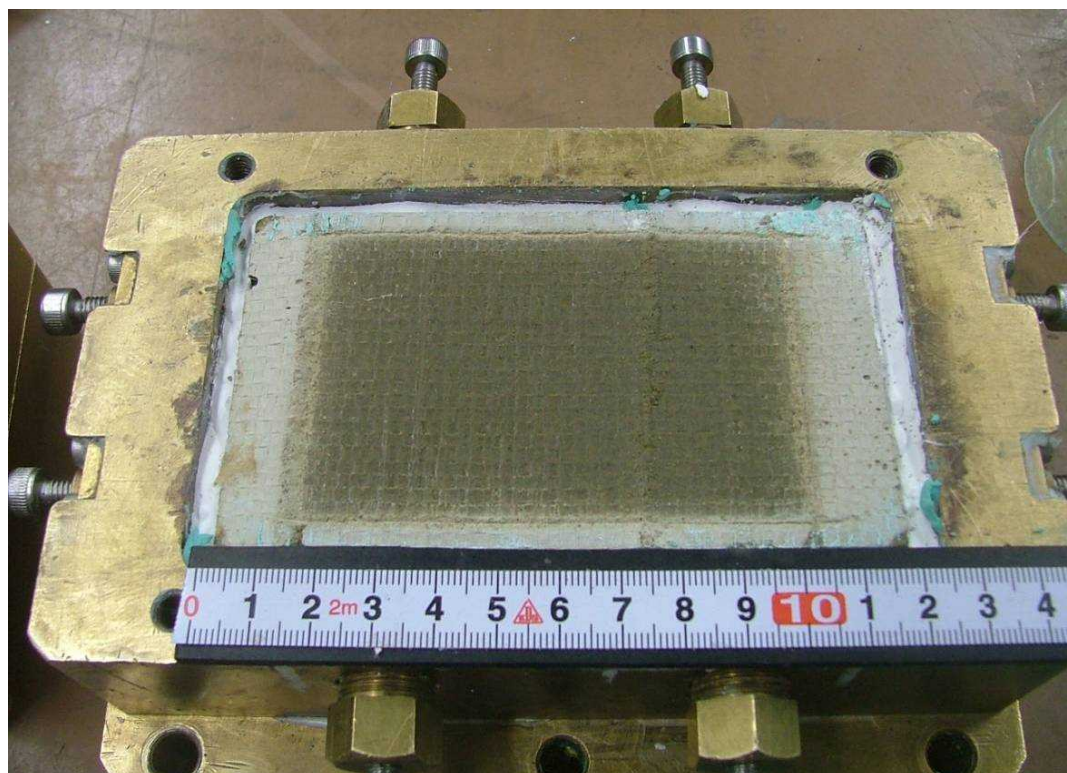


写真 3.3.10 繰返し載荷試験後の供試体状況 ケース 1-5（西山モルタル表面）

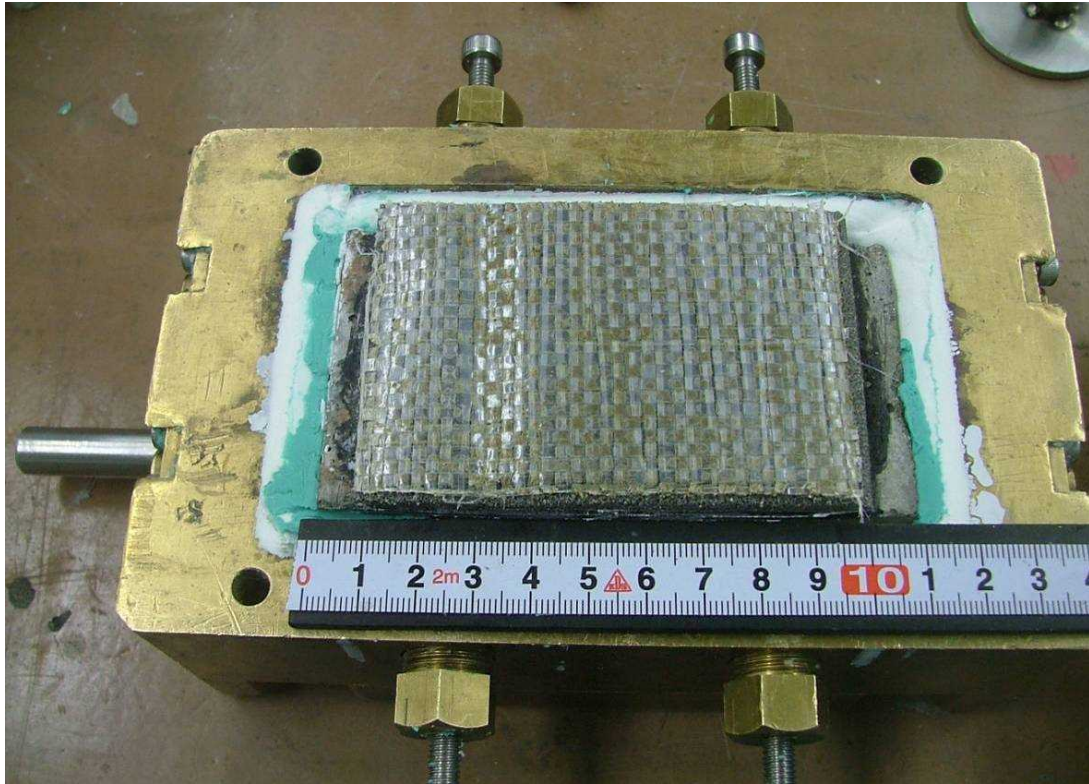


写真 3.3.11 繰返し載荷試験後の供試体状況 ケース 1-6 (保護層表面)

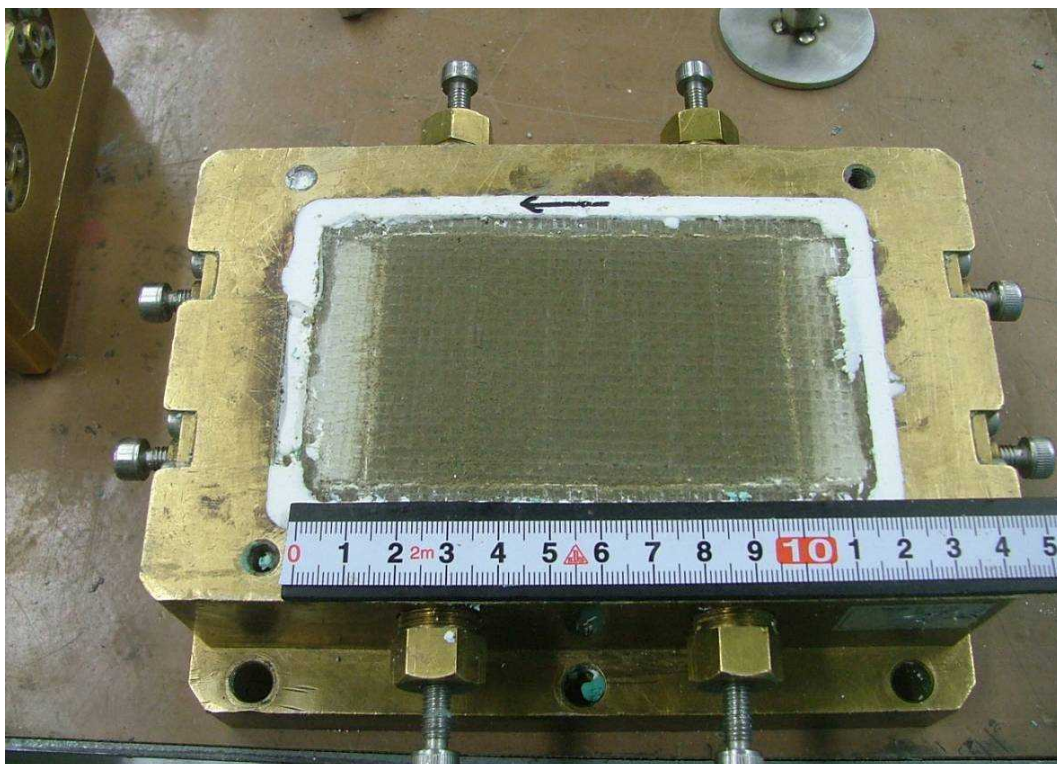


写真 3.3.12 繰返し載荷試験後の供試体状況 ケース 1-6 (西山モルタル表面)



写真 3.3.13 繰返し載荷試験後の供試体状況 ケース 1-7 (保護層表面)

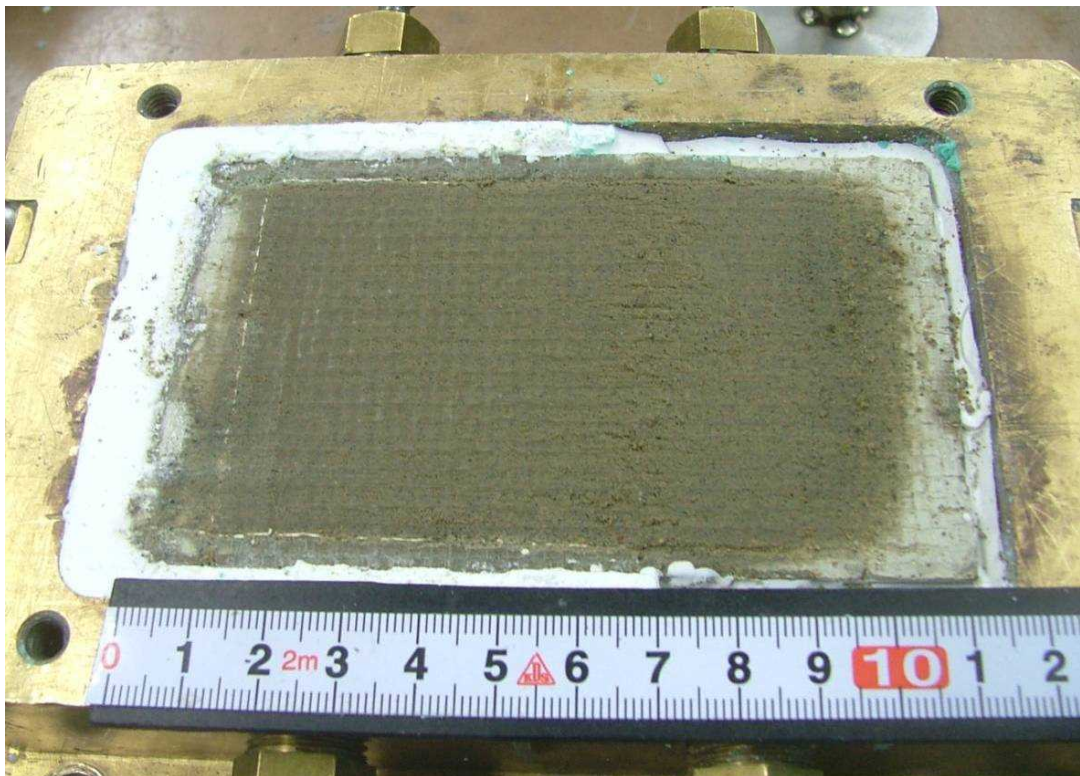


写真 3.3.14 繰返し載荷試験後の供試体状況 ケース 1-7 (西山モルタル表面)



写真 3.3.15 繰返し載荷試験後の供試体状況 ケース 1-8 (保護層表面)

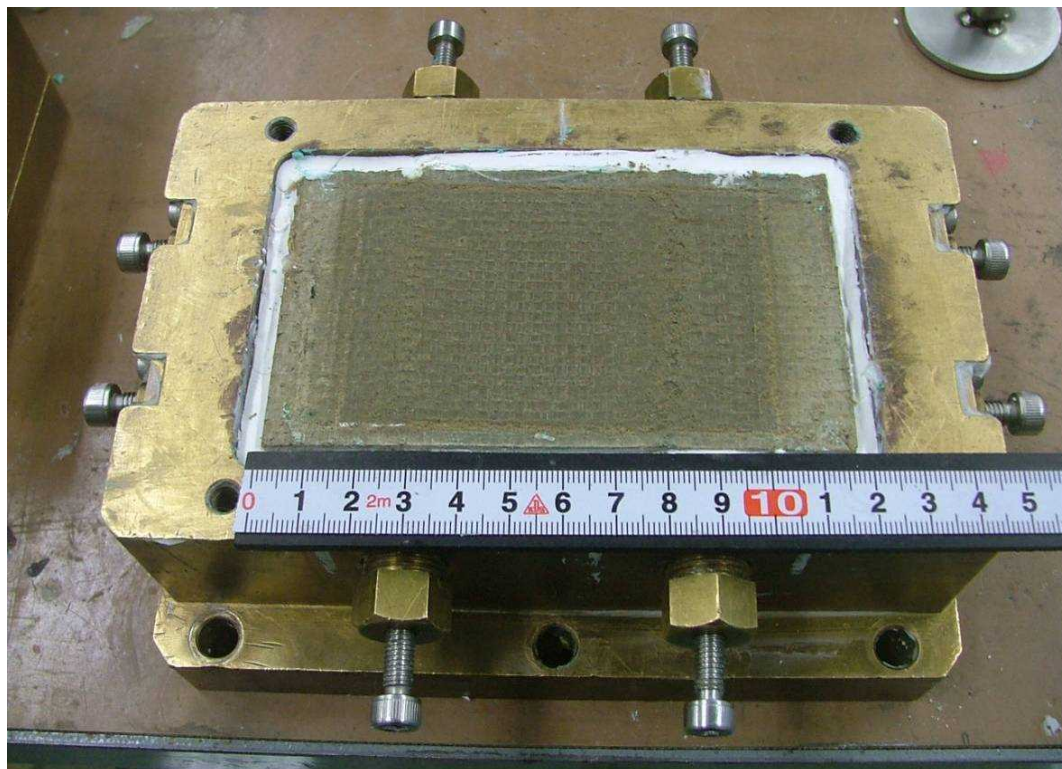


写真 3.3.16 繰返し載荷試験後の供試体状況 ケース 1-8 (西山モルタル表面)

3.3.6 試験結果の評価

図 3.3.5 に、一方向載荷試験 4 ケース及び繰返し載荷試験 4 ケースのせん断応力とせん断変位の関係を重ね描いたものを示す。静止摩擦領域及び垂直圧の小さい動摩擦領域において一方向載荷と繰返し載荷試験結果にばらつきが見られる。

なお、載荷方向、載荷速度、供試体スケール等、試験条件の違いが試験結果に与える有意な影響は認められなかった。

平均的な摩擦特性（せん断ばね定数及び動摩擦係数）を分析するために、下記の評価点を設定し（図 3.3.6 参照）、せん断ばね定数（＝評価点のせん断応力／評価点のせん断変位）及び動摩擦係数（＝評価点のせん断応力／垂直圧）を求めた結果を表 3.3.4 に示す。

- ・せん断ばね定数の評価点

一方向載荷及び繰返し載荷試験結果における最大せん断応力を示す点で評価した。

- ・動摩擦係数の評価点

一方向載荷試験及び繰返し載荷試験結果におけるせん断応力がピーク後に安定化（残留せん断応力）した時点で評価した。ただし、一方向載荷試験においては比較的安定した残留せん断応力を与える変位を 15mm と定義し、繰返し載荷試験においては、安定化したループ上で、変位＝0mm における点の平均値で評価した。

せん断ばね定数と垂直圧の相関関係を図 3.3.7 に示す。せん断ばね定数は垂直圧が高いと若干増加する傾向が見られる。せん断ばね定数と垂直圧が線形関係にあると考え、最小二乗法によりせん断ばね定数の近似値を求めると以下となる。

$$(\text{せん断ばね定数}) \quad K_s = 51.9 \times \text{垂直圧 } \sigma_v + 2.98 \quad (\times 10^4 \text{ kN/m}^2)$$

しかしながら、論点②③で行う解析において、時間刻みで変化する垂直圧に応じてせん断ばね定数を変化させるのは演算が複雑になり収束しにくくなるため、せん断ばね定数の違いが解析結果に及ぼす影響は小さいことが推察されることから、ここでは全結果の平均値として評価することとし、以下の値を採用する。

$$(\text{解析に用いるせん断ばね定数}) \quad K_s = 4.67 \times 10^4 \quad (\text{kN/m}^2)$$

なお、垂直圧の変動に対して、せん断ばね定数は最大 $8.06 \times 10^4 (\text{kN/m}^2)$ ～最小 $3.03 \times 10^4 (\text{kN/m}^2)$ とばらついていることから、せん断ばね定数のばらつきの影響について上下限值を用いた解析を実施し確認する。

動摩擦耐力と垂直圧の相関関係を図 3.3.8 に示す。垂直圧が増加すると動摩擦耐力は概ね比例して増加する。動摩擦耐力を垂直圧で除した動摩擦係数は概ね一定値と見なせると考

え，最小二乗法により動摩擦係数の近似値を求めると以下となる。データ数は少ないものの，拘束圧が小さい部分(100kN/m²)を除けば，動摩擦係数には，ほとんどばらつきは見られない。また，動摩擦耐力は垂直圧に応じて変動するため，拘束圧が小さい場合は負担するせん断力も小さく，この領域のばらつきが応答性状に与える影響は小さいと考えられることから，解析においては最小二乗法により近似した動摩擦係数を用いた検討を実施する。

(動摩擦係数) $\mu_d = 0.35$
(動摩擦耐力) $\tau_d = \text{動摩擦係数 } \mu_d \times \text{垂直圧 } \sigma_v \text{ (kN/m}^2\text{)}$

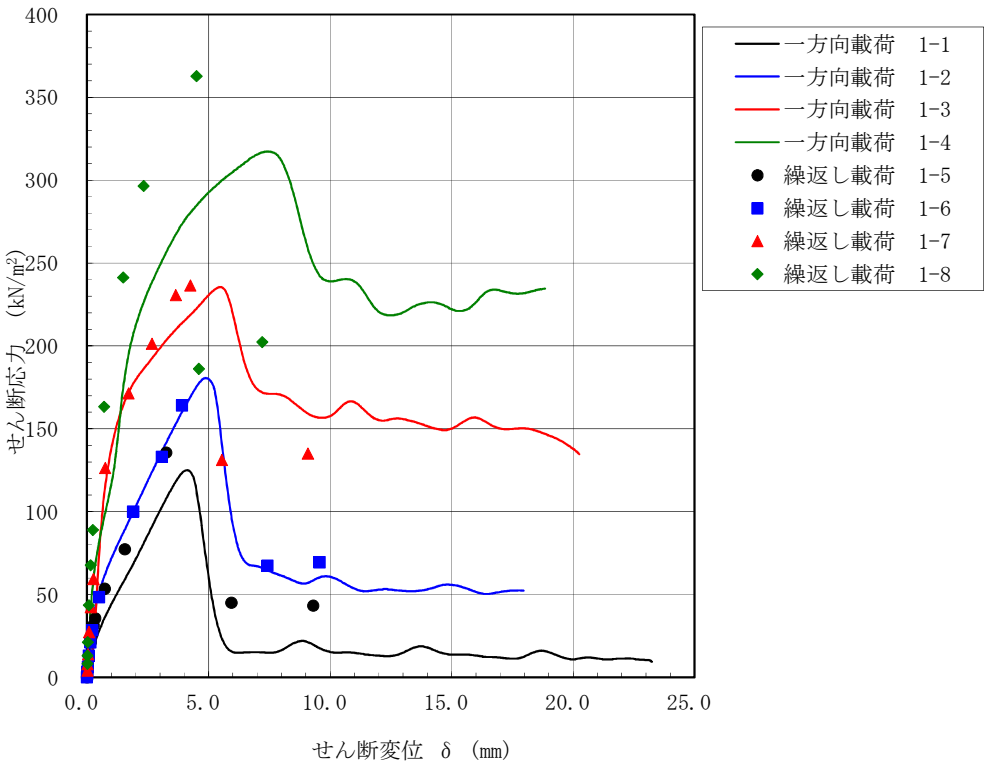


図 3.3.5 一方向載荷及び繰返し載荷試験によるせん断応力ーせん断変位関係

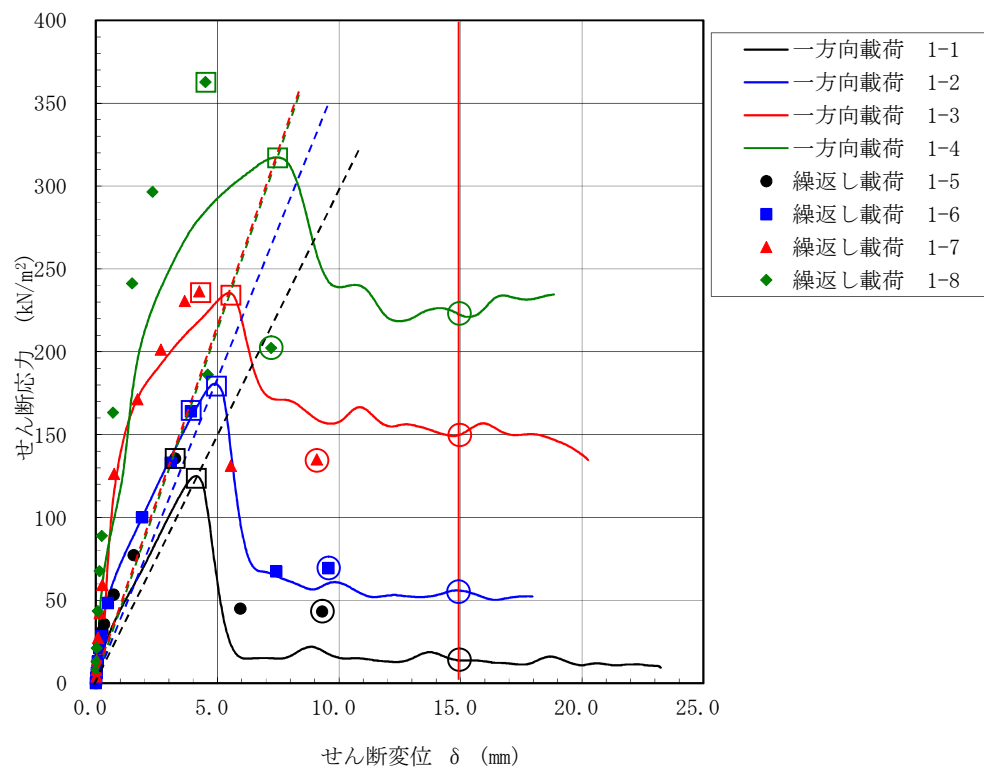


図 3.3.6 せん断ばね定数及び動摩擦係数の評価点
(図中□印：せん断ばね定数の評価点，図中○印：動摩擦係数の評価点)

表 3.3.4 試験結果によるせん断ばね定数と動摩擦係数

試験ケース		垂直圧 A	最大 せん断応力 B	最大せん断応力時の 最大せん断変位 C	摩擦ばね定数 B/C	残留 せん断応力 D	動摩擦係数 B/A
		kN/m ²	kN/m ²	mm	kN/m/m ²	kN/m ²	
一方向載荷	1-1	100	125	4.1	3.03.E+04	14	0.14
	1-2	200	181	4.9	3.71.E+04	56	0.28
	1-3	400	236	5.4	4.33.E+04	150	0.38
	1-4	600	317	7.4	4.28.E+04	222	0.37
繰返し載荷	1-5	100	136	3.3	4.16.E+04	43	0.43
	1-6	200	164	3.9	4.20.E+04	69	0.35
	1-7	400	236	4.2	5.57.E+04	135	0.34
	1-8	600	363	4.5	8.06.E+04	202	0.34

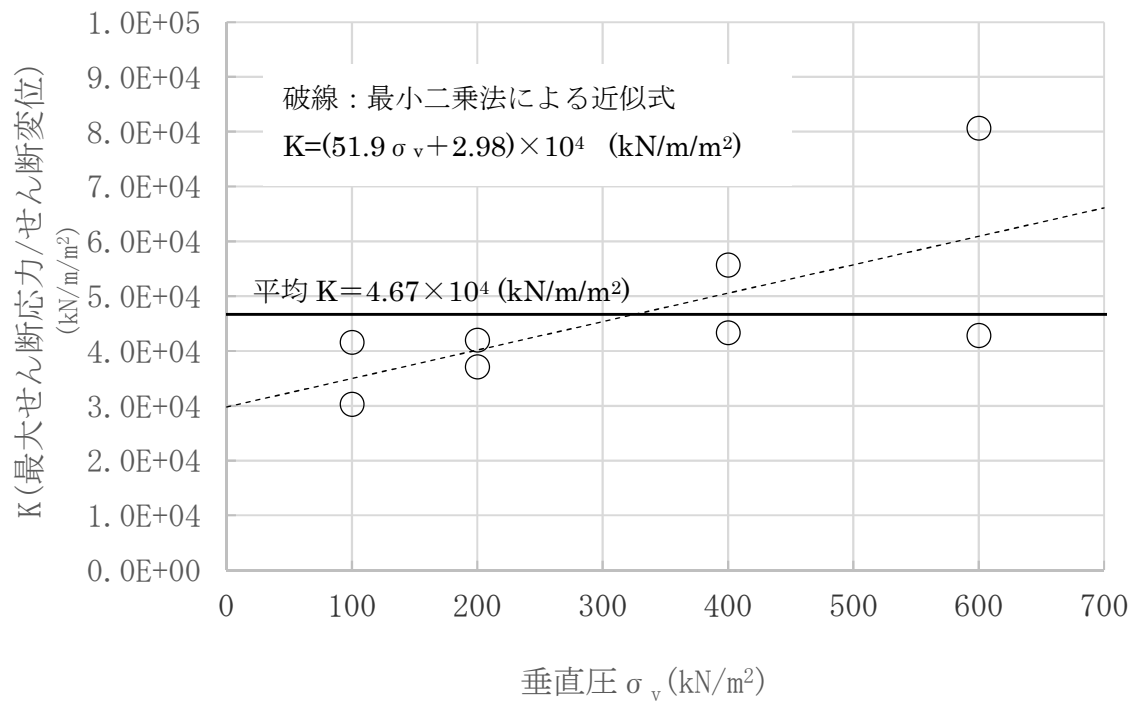


図 3.3.7 せん断ばね定数と垂直圧の関係（一方向載荷及び繰返し載荷試験）

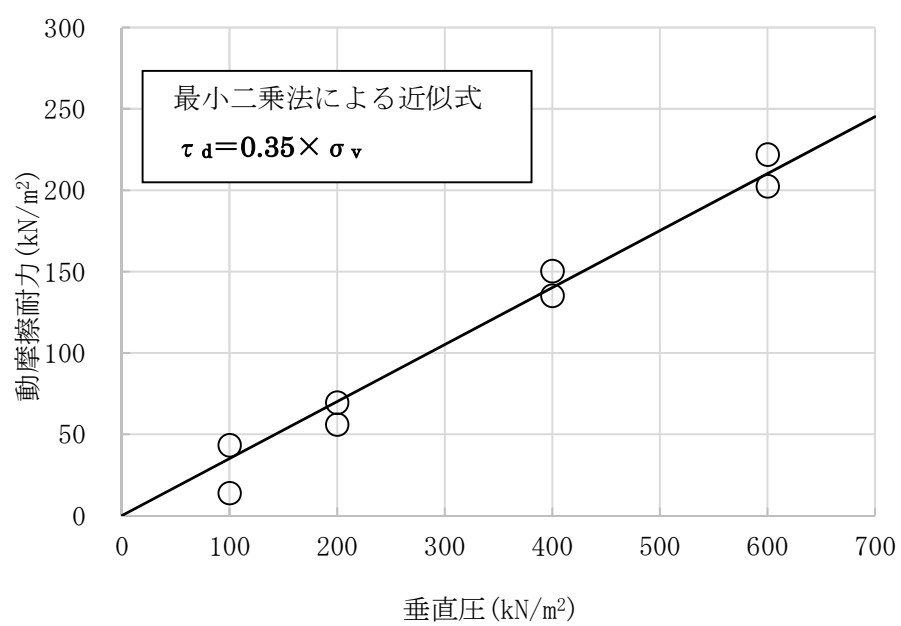


図 3.3.8 動摩擦耐力と垂直圧の関係（一方向載荷及び繰返し載荷試験）

3.4 スケール影響試験

3.4.1 目的

供試体に用いたコンクリート，防水層，保護層及び西山モルタルは全て実機と同製品もしくは同等品を用いており，実大の供試体となっている。また，せん断ばね定数や動摩擦係数は，一般的に摩擦面積に影響を受けないと考えられている。しかし，前述の一方方向載荷及び繰返し載荷試験に用いた供試体の摩擦面は 90 mm×60 mm であり，実機の地下外壁に比べ非常に小さい。そこで，念のため摩擦面積の大きい場合について確認試験を行う。

ここでは，大型一面せん断試験装置の可能な範囲で，摩擦面積が大きい供試体（中型：幅 60mm×加力方向 90mm に対し，大型：幅 270mm×加力方向 270mm）を用いる。なお，試験装置の制約より前述の一方方向載荷試験及び繰返し載荷試験で行った動的載荷が行えないため，ここでは静的な一方方向載荷によりスケール影響を確認した。

3.4.2 試験ケース

スケール影響試験ケースを表 3.4.1 に示す。

表 3.4.1 スケール影響試験ケース

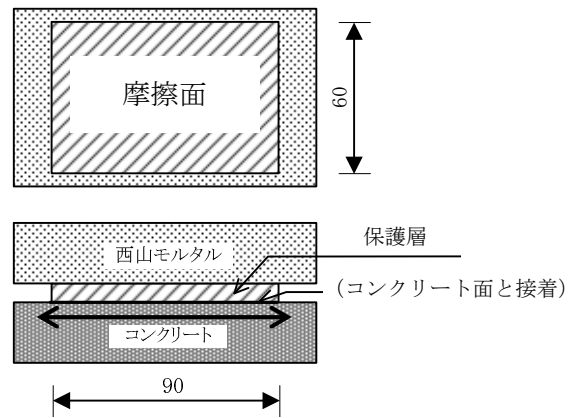
ケース	加力	供試体サイズ	垂直圧 (kN/m ²)
2-1	一方方向 載荷	幅 60mm× 加力方向 90mm	200
2-2			400
2-3			600
2-4		幅 270mm× 加力方向 270mm	200
2-5			400
2-6			600

3.4.3 供試体

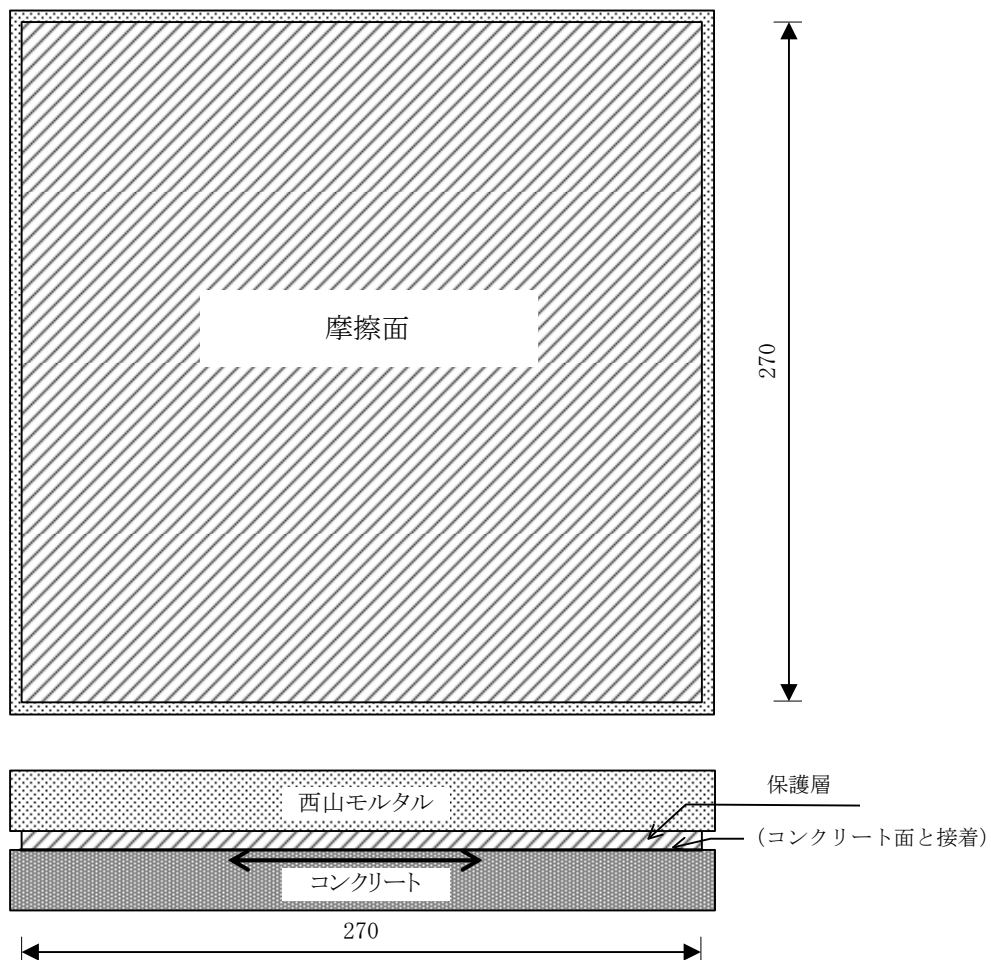
(1) 供試体

前述の一方方向載荷及び繰返し載荷試験結果で滑り面が保護層と西山モルタルの間であることが確認されたことより，スケール影響試験の供試体は，西山モルタルと保護層のみを模擬した供試体とした。

供試体を図 3.4.1 に示す。



(中型供試体)



(大型供試体)

図 3.4.1 スケール影響試験供試体

3.4.4 試験結果

(1) せん断応力－せん断変位関係

せん断応力－せん断変位関係を図 3.4.2 に，試験結果一覧を表 3.4.2 に示す。試験結果より以下を確認した。

- ① 静止摩擦耐力に相当する最大せん断応力は，中型供試体で $156\sim 265\text{kN/m}^2$ ，大型供試体で $141\sim 278\text{kN/m}^2$ で，垂直圧に概ね比例した値を示した。
- ② いずれの試験においても最大せん断応力を過ぎると摩擦すべりが発生し，荷重が低下し，動摩擦抵抗状態に移行した。
- ③ 動摩擦耐力は，変位量約 20mm 以上まで概ね安定的に保持された。
- ④ 同じ垂直圧条件での中型供試体と大型供試体の結果を比較すると，動摩擦状態に至るまでのせん断応力－せん断変位関係には多少差異が見られるものの動摩擦耐力は概ね一致した。
- ⑤ 垂直圧を変化させても中型供試体と大型供試体は概ね類似した摩擦特性を示した。

以上のことから、摩擦面積の違いによる顕著なスケール影響は認められないと考えられる。

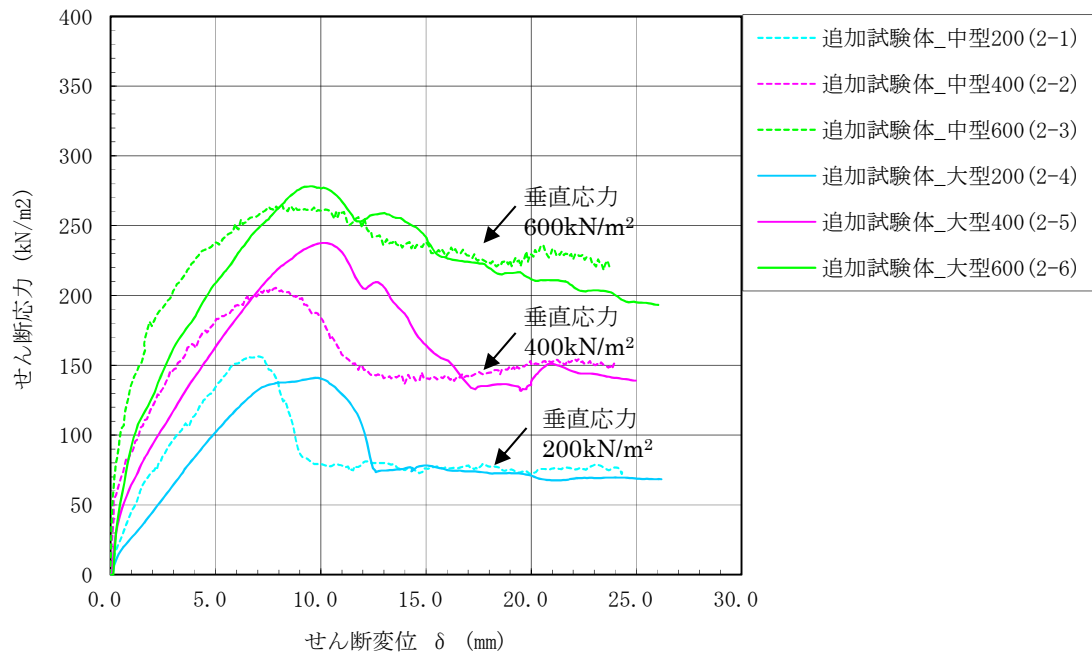


図 3.4.2 スケール影響試験 せん断応力－せん断変位関係

表 3.4.2 スケール影響試験 試験結果一覧表

試験ケース		垂直圧 A (kN/m ²)	最大 せん断応力 B (kN/m ²)	最大せん断応力 時のせん断変位 C (mm)
中型 試験	2-1	200	156	7.0
	2-2	400	206	7.9
	2-3	600	265	8.2
大型 試験	2-4	200	141	9.8
	2-5	400	238	10.1
	2-6	600	278	9.5

(2) 試験後の状況

試験後の供試体の状況を写真 3.4.1～写真 3.4.12 に示す。

一方向載荷試験及び繰り返し載荷試験と同様に、一部の試験体で保護層端部に剥がれが見られるが、試験結果のせん断応力-せん断変位関係は動摩擦領域に移行後も全域にわたり滑らかな性状を示しており、この剥がれが滑り性状や摩擦特性に影響を与えた可能性は小さいと考えられる。



写真 3.4.1 スケール影響試験後の供試体状況 ケース 2-1（保護層表面）

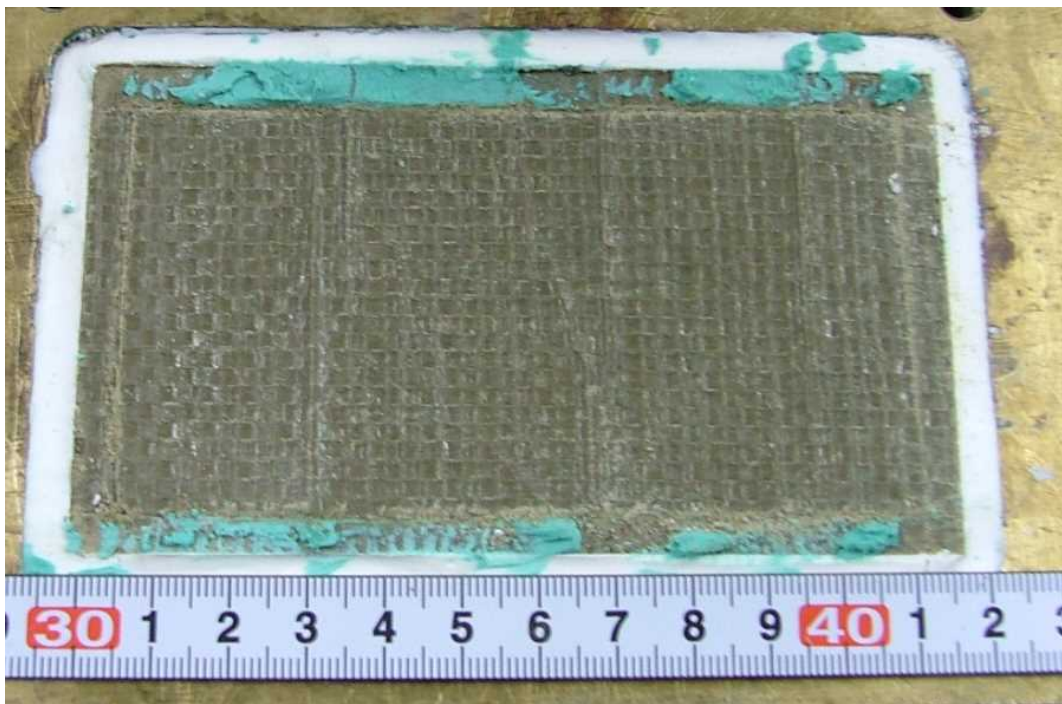


写真 3.4.2 スケール影響試験後の供試体状況 ケース 2-1（西山モルタル表面）

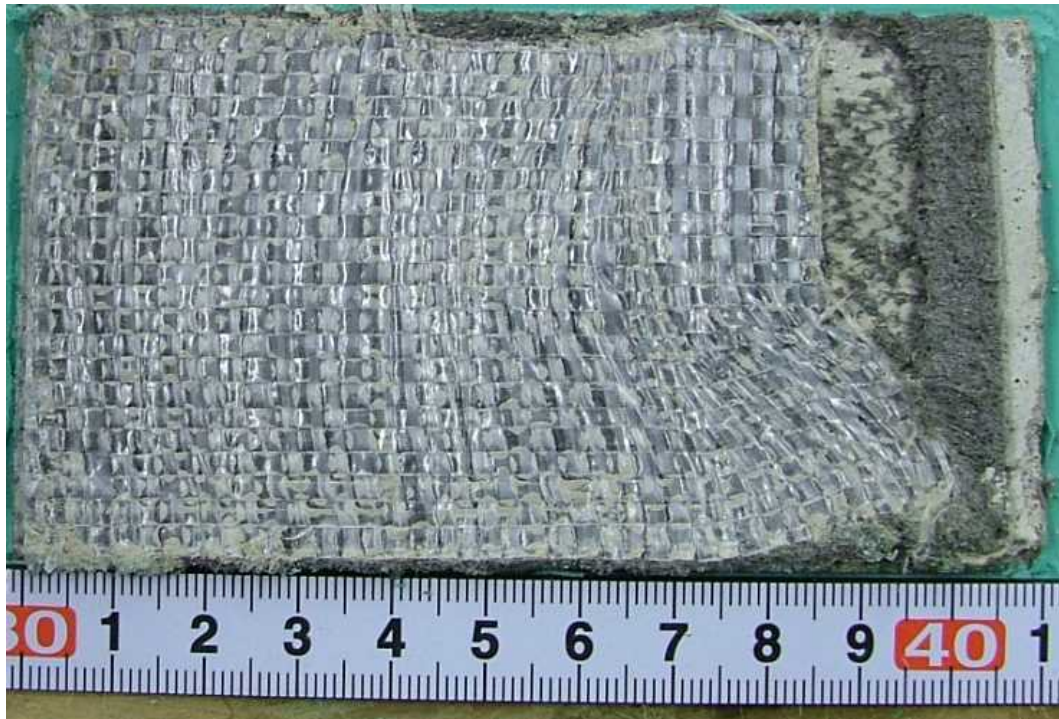


写真 3.4.3 スケール影響試験後の供試体状況 ケース 2-2 (保護層表面)

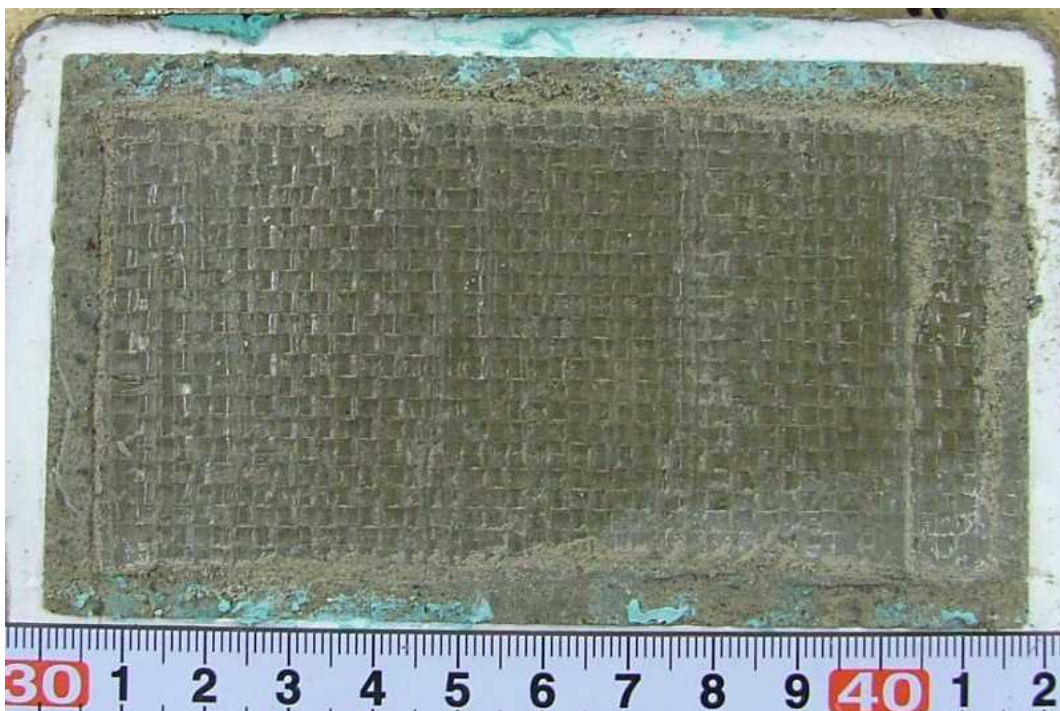


写真 3.4.4 スケール影響試験後の供試体状況 ケース 2-2 (西山モルタル表面)



写真 3.4.5 スケール影響試験後の供試体状況 ケース 2-3 (保護層表面)



写真 3.4.6 スケール影響試験後の供試体状況 ケース 2-3 (西山モルタル表面)



写真 3.4.7 スケール影響試験後の供試体状況 ケース 2・4（保護層表面）

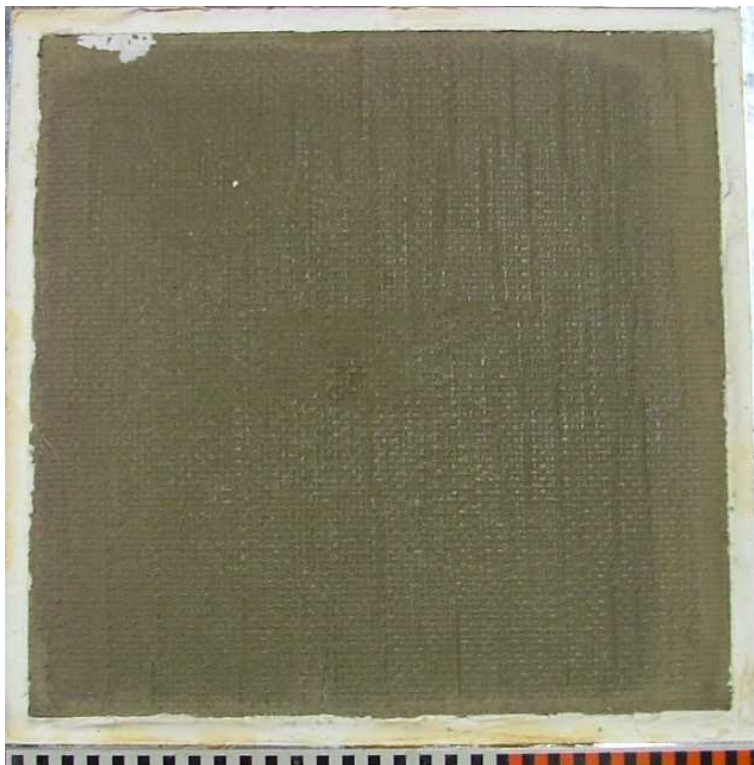


写真 3.4.8 スケール影響試験後の供試体状況 ケース 2・4（西山モルタル表面）

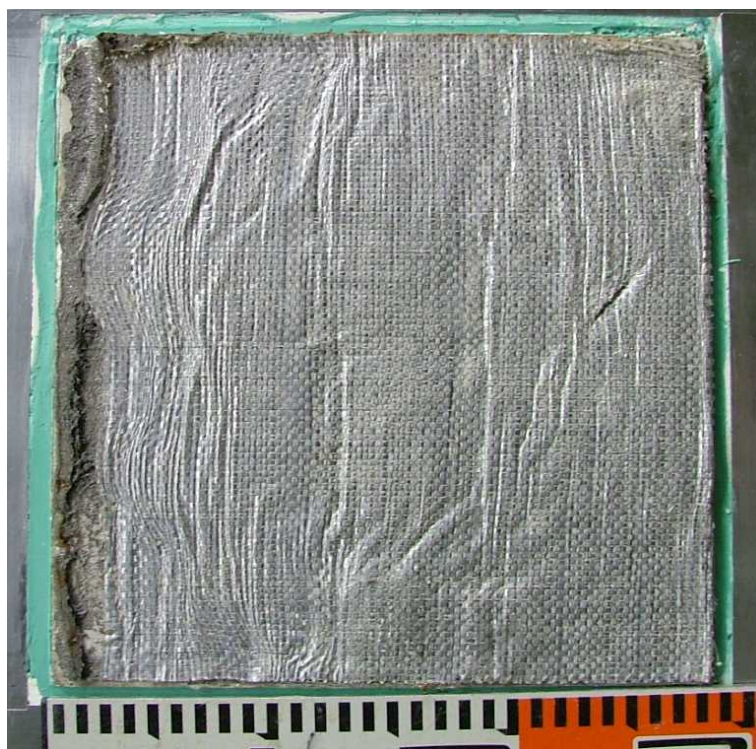


写真 3.4.9 スケール影響試験後の供試体状況 ケース 2-5（保護層表面）

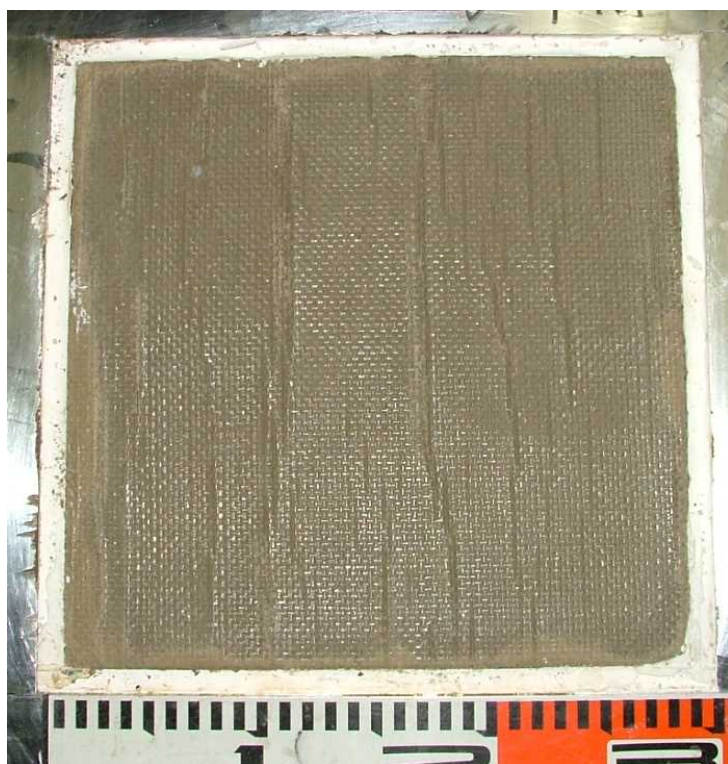


写真 3.4.10 スケール影響試験後の供試体状況 ケース 2-5（西山モルタル表面）



写真 3.4.11 スケール影響試験後の供試体状況 ケース 2-6（保護層表面）

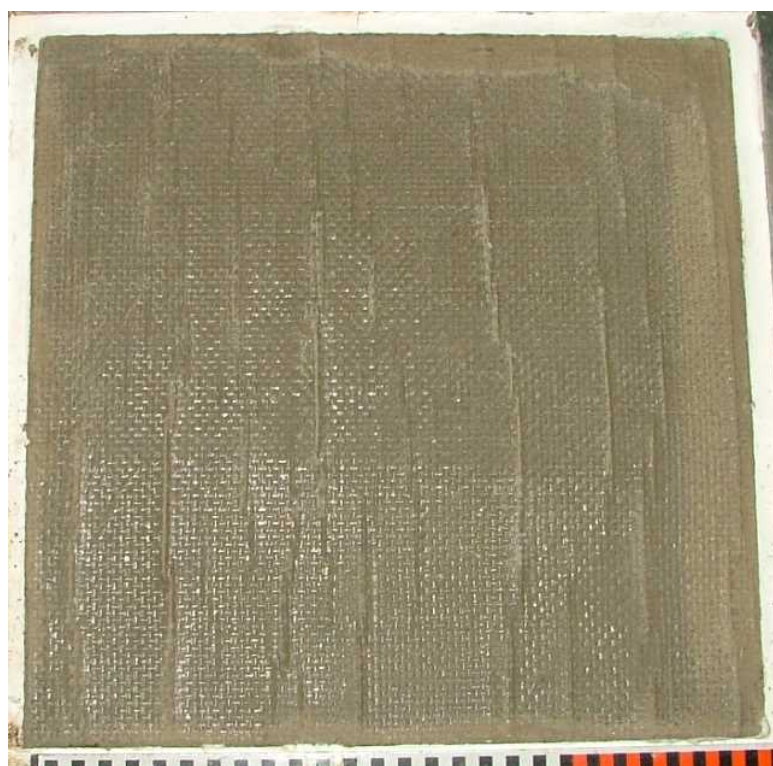


写真 3.4.12 スケール影響試験後の供試体状況 ケース 2-6（西山モルタル表面）

3.5 考察

実機地下外壁の防水仕様を模擬した各種摩擦試験（一方向載荷試験，繰返し載荷試験，スケール影響試験）を行い，防水層が存在する場合の建屋・側面地盤間の摩擦特性を確認した。その結果，以下の結論を得た。

(1) 防水層がある場合の防水層と地盤間の摩擦力伝達の可否

実験結果に基づき得られた以下の検討結果より，防水層が存在する場合の防水層と地盤間は安定した摩擦力伝達が可能と判断する。

- ① 防水層が存在する建屋・側面地盤間の摩擦力とせん断変位の関係（せん断ばねの剛性）は，摩擦すべりが生じるまで安定した特性を有する。
- ② 摩擦すべりが生じると摩擦力は一旦低下するが，動摩擦状態にスムーズに移行し，安定した動摩擦耐力を維持する。
- ③ 地震時の繰返し条件を想定した場合においても安定した動摩擦耐力を保持する。
- ④ 摩擦面積の違いにより顕著な摩擦特性へのスケール影響は認められない。

(2) 防水層が存在する場合の防水層と地盤間の摩擦特性

論点②～論点③の検討に用いる FEM モデルにおいて予定する地下外壁と地盤間の摩擦を模擬したジョイント要素の条件として，実験結果より得られた以下の摩擦特性（図 3.5.1 参照）を用いることで，より実情に近い解析結果を得ることが可能と判断する。

- ① せん断ばね定数 $K_s = 4.67 \times 10^4$ (kN/m/m²)
- ② 動摩擦係数 $\mu_d = 0.35$
- ③ 動摩擦耐力 $\tau_d = \text{動摩擦係数 } \mu_d \times \text{垂直圧 } \sigma_v$ (kN/m²)

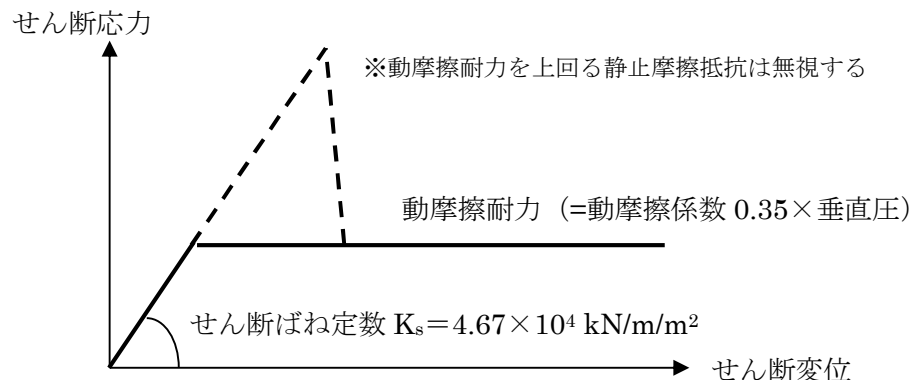


図 3.5.1 2次元 FEM 解析モデルで用いる地下外壁と地盤間の摩擦特性

4. 論点②に対する検討

(論点② 地震時に地盤・建屋間の剥離や土圧変動を考慮しても側面地盤の拘束効果が得られ NOVAK ばねで表現した埋め込み SR モデルによる建屋応答は妥当か)

4.1 検討概要

論点②に対して以下の検討を行う。

(1) 地震時の側面地盤の剥離や土圧変動を考慮した建屋拘束効果の検討

剥離や土圧変動を考慮した 2 次元 FEM モデルによる地震応答解析を実施し、地震時に建屋と地盤間がどの程度接触しているか、建屋と地盤間の摩擦でどの程度応力伝達ができるかを確認する。更に、建屋の回転に対する側面地盤反力の観点より、2 次元 FEM モデルによる反力を算定し、埋め込み SR モデルによる結果と比較検討を行う。これらより、地震時に地盤・建屋間の剥離や土圧変動を考慮しても、側面地盤の拘束効果が得られることを確認する。

(2) 2 次元 FEM モデルと埋め込み SR モデルによる建屋応答比較

NOVAK ばねで表現した埋め込み SR モデルによる地震応答解析を実施し、2 次元 FEM モデルによる建屋応答の比較検討を行う。これにより、NOVAK ばねで表現した埋め込み SR モデルによる建屋応答解析の妥当性を確認する。

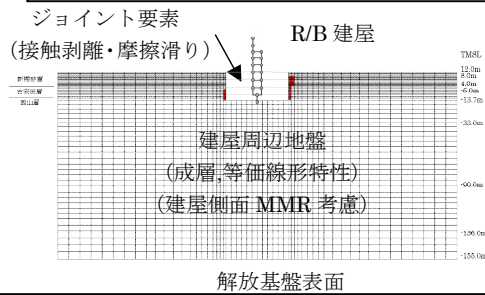
なお、上記の地震応答解析で対象とする地震動は、4.1.1 に示す基準地震動 Ss-1 とする。
検討フローを図 4.1.1 及び図 4.1.2 に示す。

なお、上記検討に加え、論点①に示した摩擦試験結果のばらつき範囲を考慮した 2 次元 FEM 解析を実施し、建屋応答に及ぼす影響について確認する。

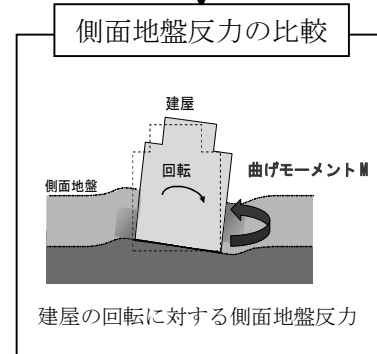
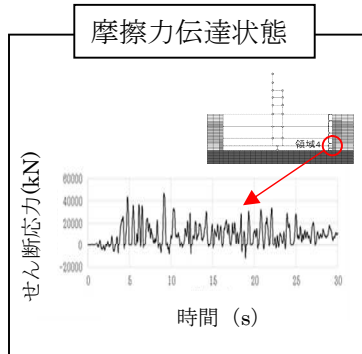
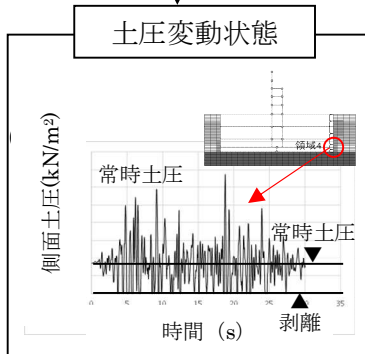
(1) 地震時の側面地盤の剥離や土圧変動を考慮しても建屋拘束効果が得られるか

■剥離や土圧変動を考慮した地震応答解析の実施

基本モデル (NS,EW)

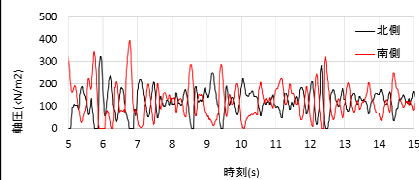


■解析結果の分析

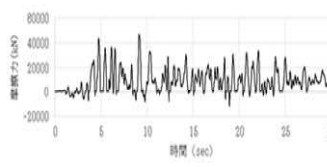


■評価

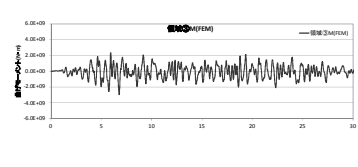
剥離や土圧変動を考慮しても建屋拘束効果はあるか



建屋埋め込み部の側面土圧



建屋埋め込み部の側面摩擦



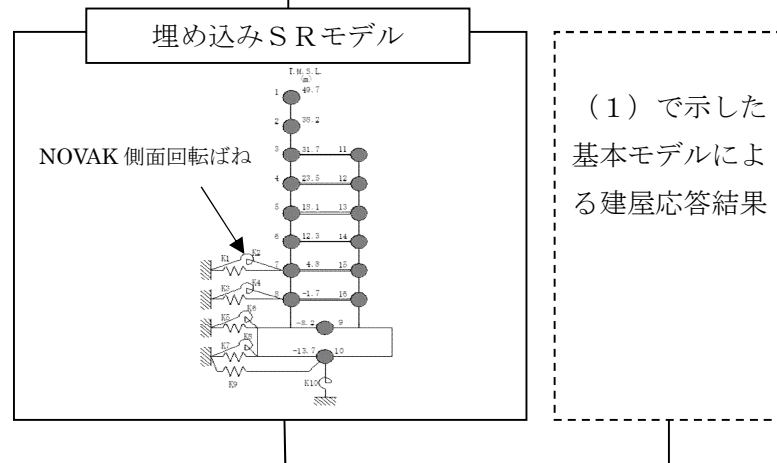
建屋埋め込み部の側面地盤反力

側面地盤の剥離や土圧変動を考慮しても建屋拘束効果は期待できる

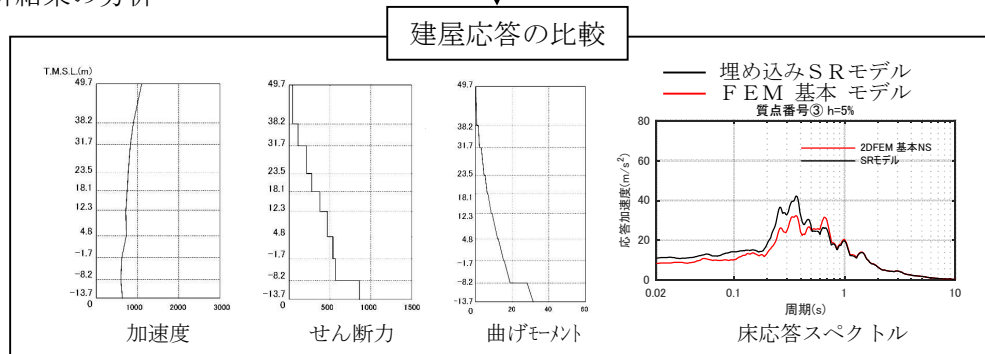
図 4.1.1 論点②に対する検討フロー (その 1)

(2) 2次元 FEM モデルと埋め込み S R モデルによる建屋応答を比較しても NOVAK ばねで表現した埋め込み SR モデルによる建屋応答は妥当か

■側面回転ばね考慮の埋め込み S R モデル
による地震応答解析の実施



■解析結果の分析



■評価

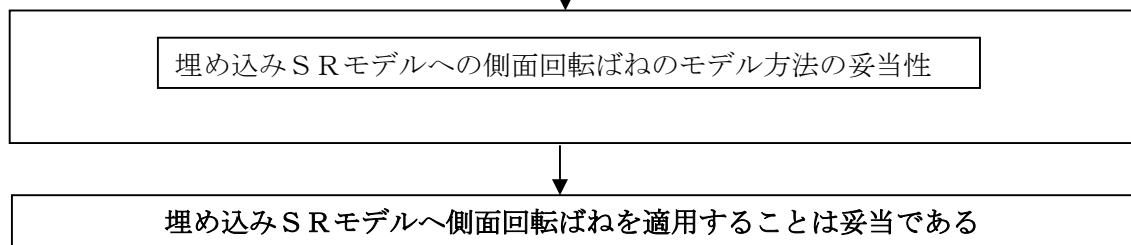


図 4.1.1 論点②に対する検討フロー (その 1)

4.1.1 検討用地震動

対象とする地震動は基準地震動 Ss-1 とする。

図 4.1.1.1 に基準地震動 Ss-1 の加速度波形を示す。

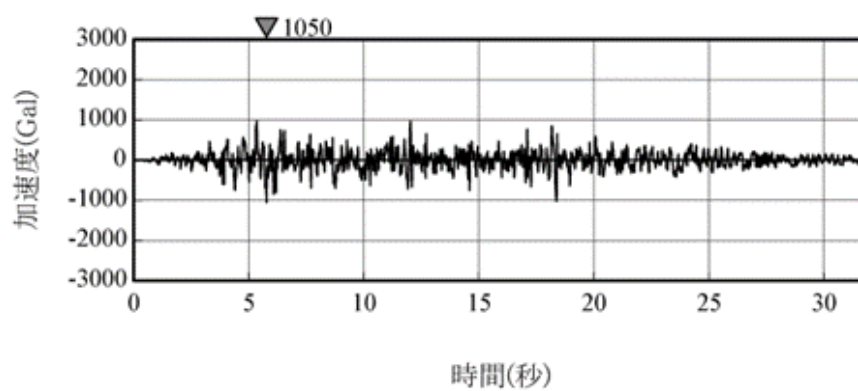


図 4.1.1.1 基準地震動 Ss-1 の加速度波形（解放基盤表面）

4.1.2 解析モデル

(1) 2次元 FEM モデル

原子炉建屋を質点系モデル、地盤を 2 次元 FEM モデルとし、原子炉建屋地下外壁と側面地盤の間の接触剥離や上下方向の摩擦すべり、及び、建屋基礎底面の浮上りを考慮した詳細なモデルを用いて非線形地震応答解析*1を行い、応答性状を把握する。

なお、本検討で用いる 2 次元 FEM モデルについては、2007 年新潟県中越沖地震に対するシミュレーション解析を実施し、モデルの信頼性について別途検証を行っている。(添付資料 2 参照) また、2 次元 FEM モデルを用いた理由は以下のとおりである。

- ・ 2 次元 FEM モデルでは外壁周辺の側面地盤の剥離や摩擦力、外壁に作用する変動土圧は地震入力方向に直交する面 (2 面) に考慮されるが、地震入力方向に並行となる面 (2 面) に対しては、剥離や変動土圧に伴う摩擦力は考慮しないことになる。従って、地盤を 3 次元 FEM とする場合よりも地盤による建屋の拘束効果は小さ目に考慮されると考えられる。
- ・ 2 次元 FEM 解析に比べて 3 次元 FEM 解析は解析時間が多大に要する。このため、解析条件を変えた影響検討を含めた解析を行う場合などでは、2 次元 FEM 解析のほうが有用である。

*1 使用する解析プログラムは KANDYN_2N ver.4.06 (鹿島建設株式会社による開発、所有)

1) 地盤のモデル化

成層地盤に加えて建屋地下外壁側面のマンメイドロックを考慮した地盤とする。成層地盤の物性は、図 4.1.1.1 に示す基準地震動 Ss-1 を対象に、既工認における地盤物性値 (せん断波速度、単位体積重量等) と非線形特性 (剛性低下率 $G/G_0 \sim \gamma$ 及び減衰定数 $h \sim \gamma$) を用いて、地盤のひずみ依存特性を考慮した一次元波動論による等価線形解析*2 の結果に基づく等価物性とする。地盤の減衰特性はレーリー減衰とし、各地盤の減衰定数を与える。

地盤の境界条件は、地盤の半無限的な広がりを表現するために、底面を粘性境界、側面を粘性境界かつ周期境界とする。また、境界条件の影響を受けないように、地盤のモデル化範囲を大きく設定し、水平方向は R/B の建屋幅の 6 倍程度、深さ方向は地表面から解放基盤表面までとした。

表 4.1.2.1 に成層地盤の物性を、表 4.1.2.2 にマンメイドロックの物性を示す。図 4.1.2.1～図 4.1.2.4 に地盤のメッシュを示す。

*2 使用する解析プログラムは SHAKE_ ver.1.6.2

2) 建屋地下外壁と側面地盤のジョイント部のモデル化

建屋地下外壁と側面地盤の間は、側面地盤の剥離・接触を表す軸ばね（水平方向）及びせん断抵抗を表すせん断ばね（上下方向）で接続する。

軸ばねは、側面地盤が剥離した時には剛性（引張方向）を 0 とし、接触中の剛性（圧縮方向）は剛とした。また、軸ばねには静止土圧による初期応力を考慮する。軸ばねは側面地盤モデルの FEM メッシュの各節点に設置する。

せん断ばねは、軸ばねと連成させて、側面地盤の剥離が生じている間は摩擦を 0 とする。また、せん断ばねの力が動摩擦力に達すると滑りが発生するものとし、軸ばねの圧縮軸力に応じて動摩擦力が変動するようにした（動摩擦力＝動摩擦係数×圧縮軸力）。なお、動摩擦係数及びせん断ばねのせん断剛性は摩擦試験結果から設定した。なお、せん断ばねは摩擦試験により摩擦力の存在が確認できたマンメイドロックと接触している FEM メッシュの節点にのみに設定する。

図 4.1.2.5 に地下外壁と側面地盤要素接合及び建物基礎と底面地盤要素接合の概念図を示す。また、図 4.1.2.6 にせん断ばねの特性を示す。

3) 建屋基礎底面と地盤のジョイント部のモデル化

建屋基礎底面部分は浮上りを考慮する。基礎底面の地盤の FEM メッシュの各節点には浮上りを表す鉛直方向の軸ばねを設定する。鉛直方向の軸ばねについては、引張側の剛性は 0、圧縮側の剛性は剛とした。初期状態では基礎底面に建屋の自重による長期軸力を考慮する。

4) 原子炉建屋のモデル化

原子炉建屋は後述する埋め込み SR モデルと同様とする。

表 4.1.2.1 地盤物性

標高 T. M. S. L (m)	地層	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G ($\times 10^2$ N/mm ²)	ヤング 係数 E ($\times 10^2$ N/mm ²)	減衰 定数 h (%)
+12.0	〔砂層〕	150	16.1	0.347	0.10	0.27	23
+8.0		200	16.1	0.308	0.08	0.21	28
+4.0	古安田層	330	17.3	0.462	1.01	2.95	6
-6.0	西山層	490	17.0	0.451	3.82	11.09	3
-33.0		530	16.6	0.446	4.22	12.20	3
-90.0		590	17.3	0.432	5.28	15.12	3
-136.0		650	19.3	0.424	7.40	21.08	3
-155.0		720	19.9	0.416	10.50	29.74	-
	〔解放 基盤〕						

表 4.1.2.2 マンメイドロックの物性

単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比	せん断弾性係数 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	減衰定数 (%)
17.2	0.36	1910.0	5195.2	2.0

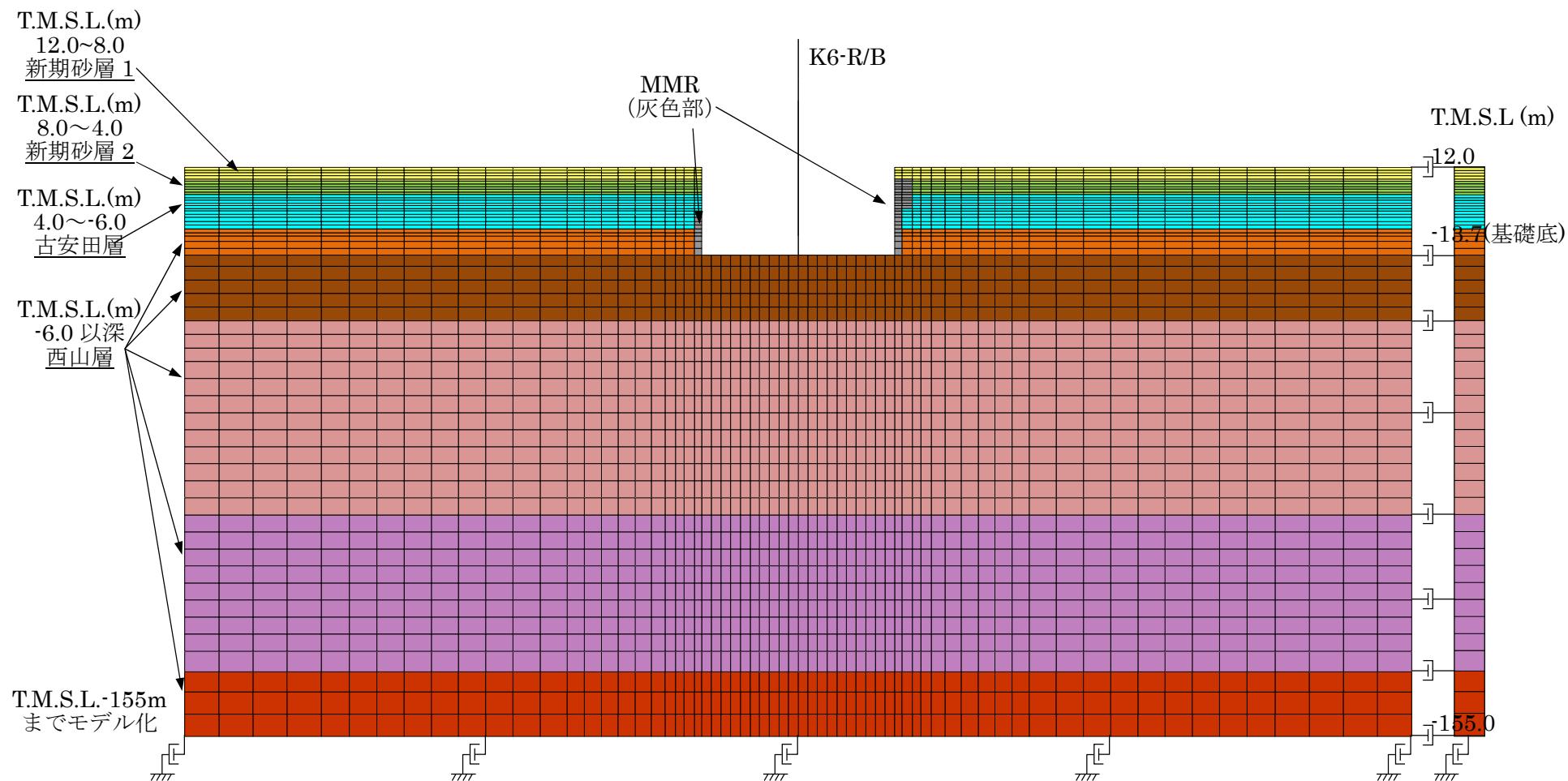


図 4.1.2.1 地盤メッシュ図 (NS 方向)

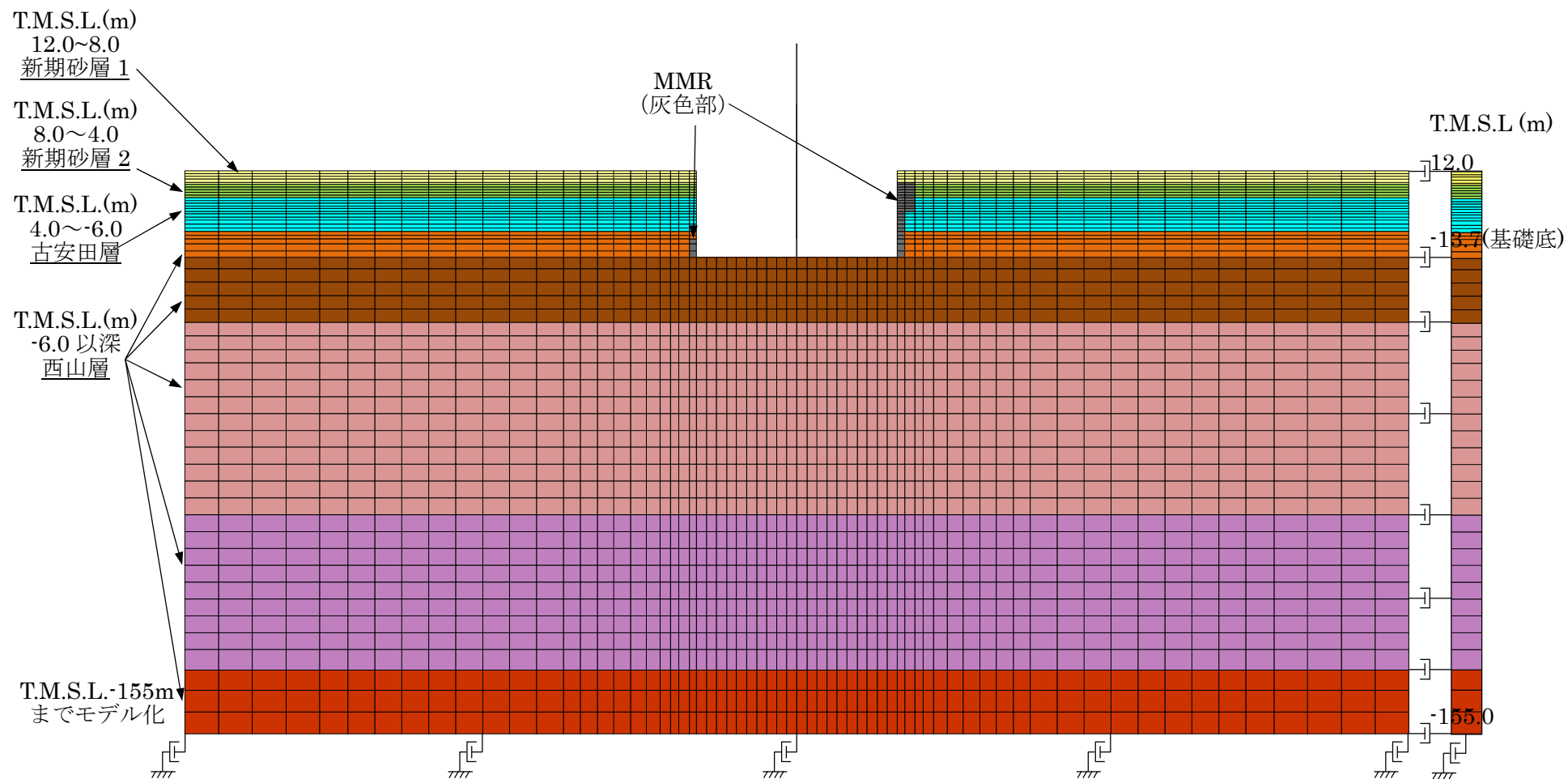


図 4.1.2.2 地盤メッシュ図 (EW 方向)

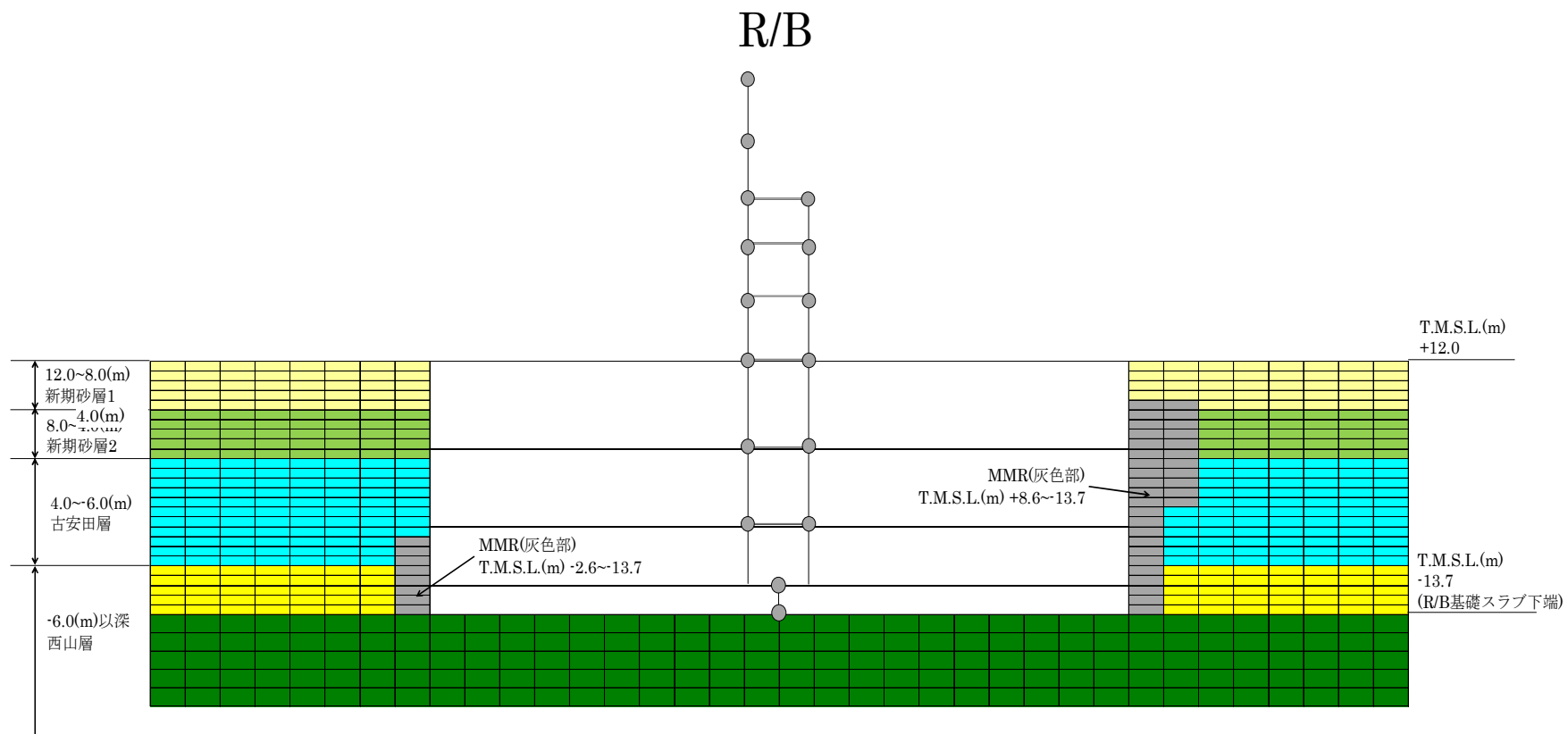


図 4.1.2.3 建屋周辺の地盤メッシュの詳細 (NS 方向)

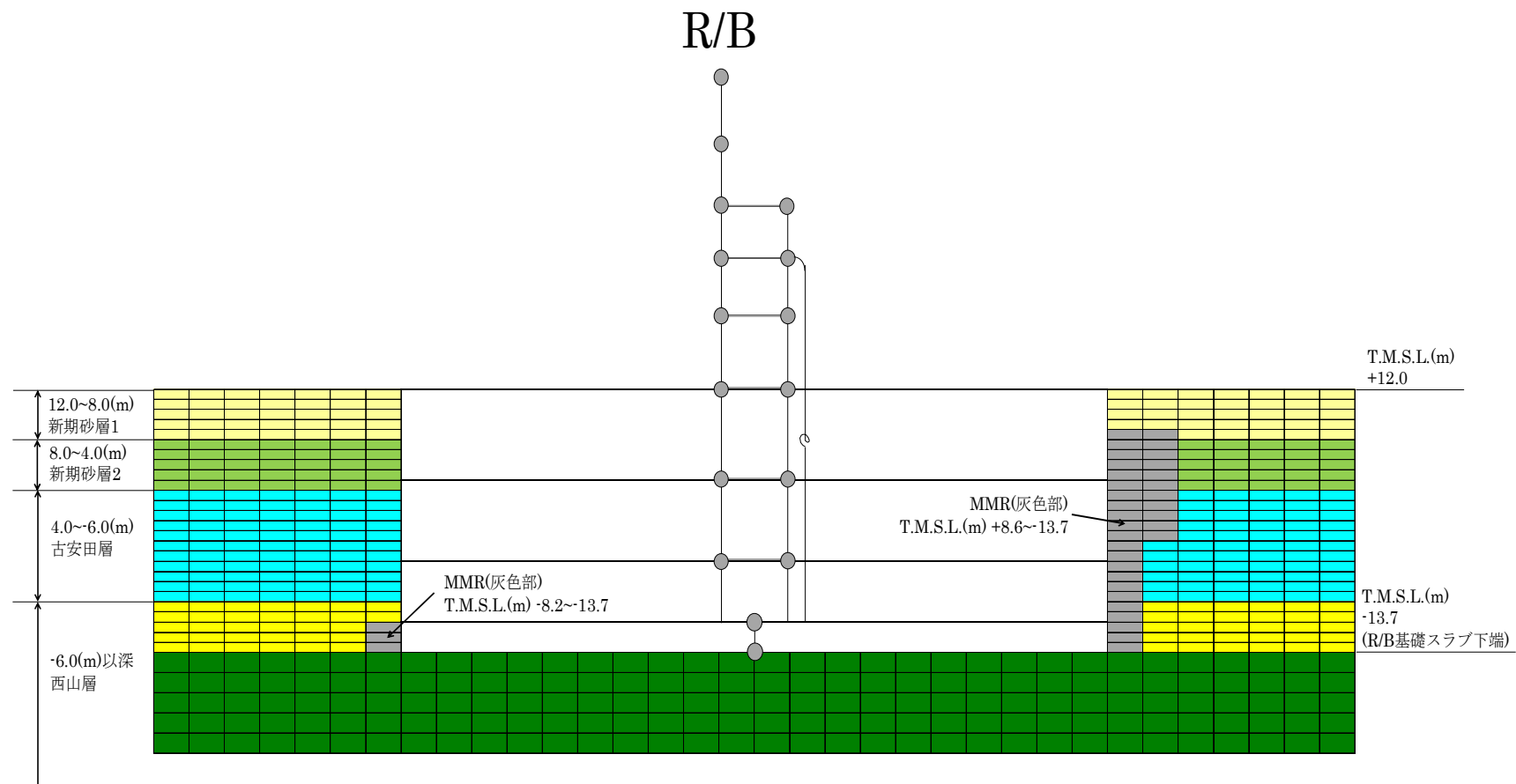


図 4.1.2.4 建屋周辺の地盤メッシュの詳細 (EW 方向)

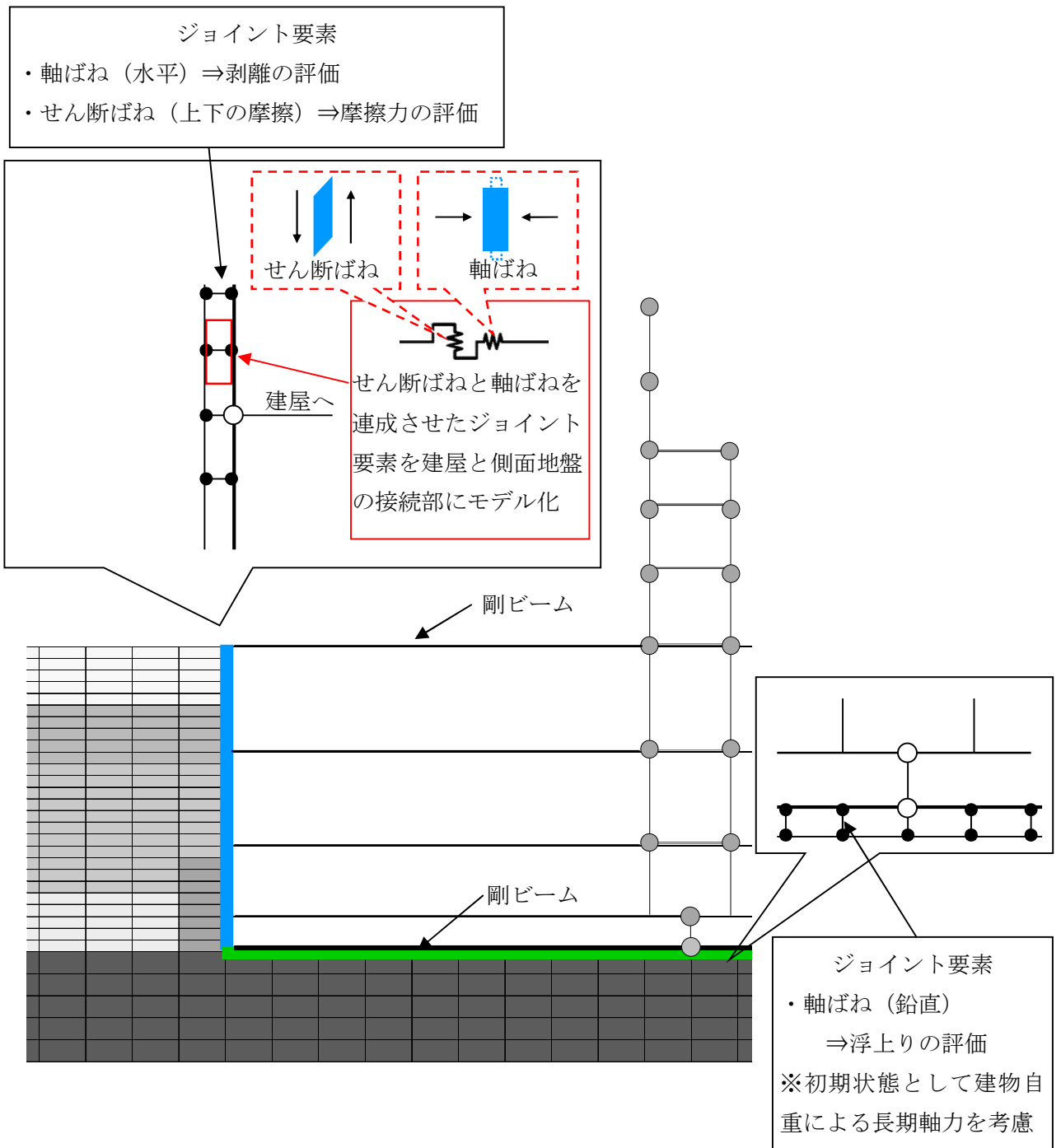
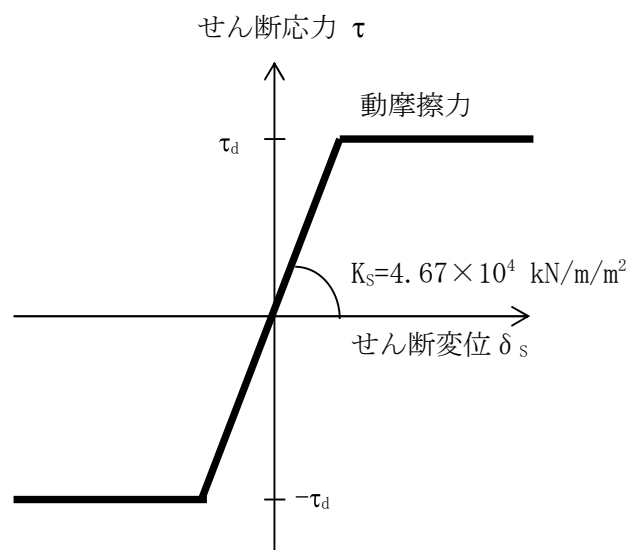


図 4.1.2.5 建屋地下外壁と側面地盤要素及び建物基礎と底面地盤要素との接合部のモデル化概要



せん断応力（摩擦力）－せん断変位関係

$$\tau_d = \text{動摩擦力} = 0.35 \times \text{垂直圧}$$

$$K_s = 4.67 \times 10^4 \text{ kN/m}^2 \text{ (単位面積当たり)}$$

＊動摩擦係数と剛性 K_s は摩擦試験結果をもとに設定

図 4.1.2.6 建屋地下外壁と側面地盤の間のせん断ばねの特性

(2) 埋め込み SR モデル

今回工認の水平方向の地震応答解析モデルは、建屋を質点系モデルとした埋め込み SR モデルである。埋め込み効果を考慮するため、原子炉建屋の地下外壁側面部分には側面水平ばねと側面回転ばねを取付けている。側面水平ばねと側面回転ばねはいずれも NOVAK ばねとして、表 4.1.2.1 の地盤物性に基づき表 2.1.1 に示す式により算定している。なお、表層地盤については地盤の非線形化が大きいため埋め込み効果が期待できないものとして側面水平ばねと側面回転ばねを無視する。

原子炉建屋のせん断剛性及び曲げ剛性は非線形とし、今回工認で用いる予定の建屋諸元を有するものとする。また、建屋の減衰は今回工認と同じひずみエネルギー比例減衰とし、減衰定数は $h=5\%$ とする。

図 4.1.2.7 に建屋のモデル図を、表 4.1.2.3～表 4.1.2.4 に諸元を示す。コンクリートの実強度(43.1N/mm^2)に基づく剛性を反映し、かつ補助壁を考慮した今回工認モデルに対応したモデルとなっている。

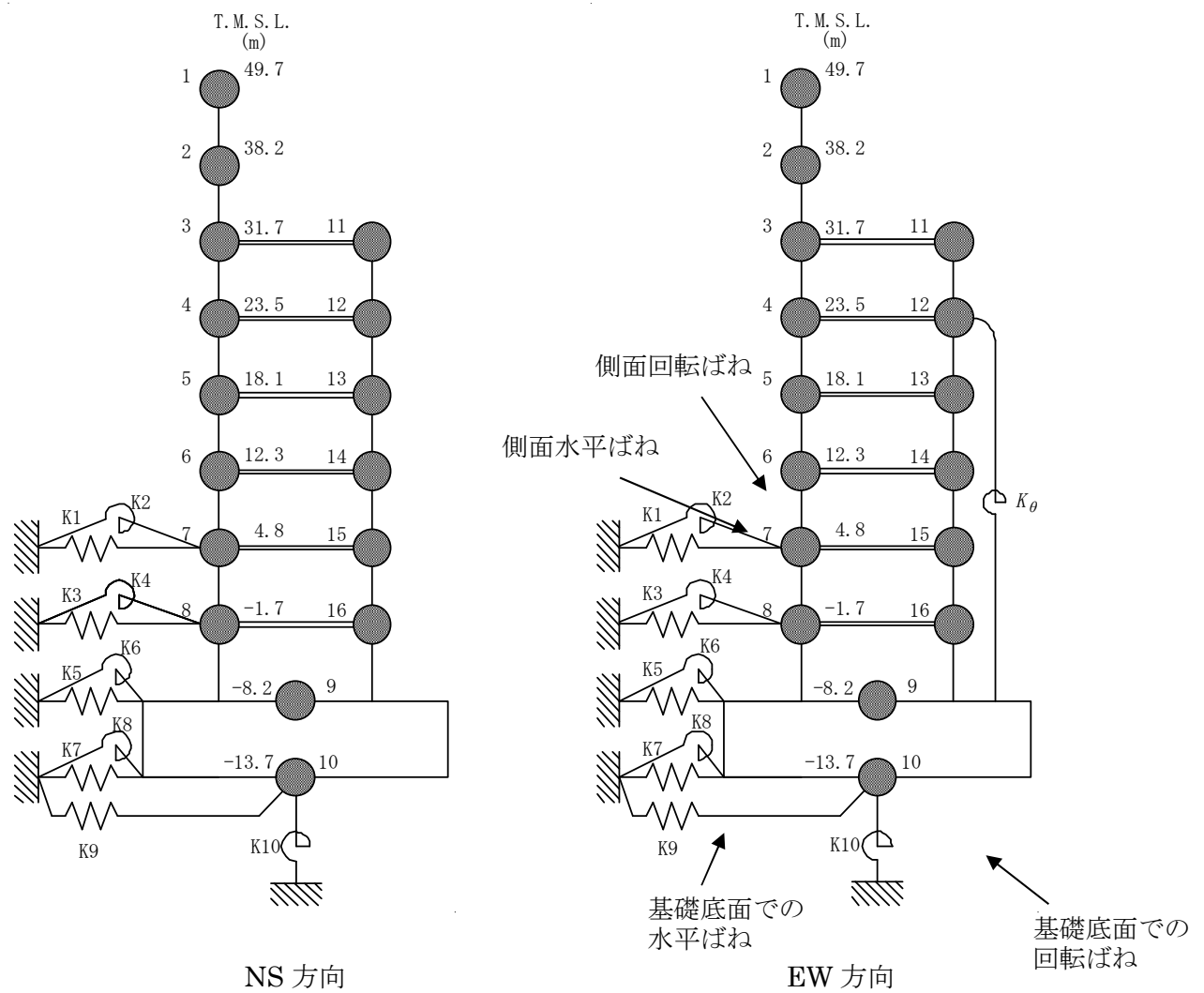


図 4.1.2.7 今回工認で採用予定の埋め込み SR モデル

表 4.1.2.3 埋め込み SR モデルの諸元 (NS 方向)

質点 番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I _G (×10 ⁵ kNm ²)	せん断 断面積 A _s (m ²)	断面 2 次 モーメント I (m ⁴)	質点 番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I _G (×10 ⁵ kNm ²)	せん断 断面積 A _s (m ²)	断面 2 次 モーメント I (m ⁴)
1	39,540	70.7							
2	79,450	403.0	41.0	13,600					
3	86,670	484.3	82.4	50,500					
4	83,020	287.2	183.8	71,400	11	94,140	33.3	118.2	7,200
5	55,470	199.9	126.5	70,400	12	157,400	384.4	109.2	23,300
6	82,360	293.2	183.7	87,200	13	101,890	303.0	122.8	23,500
7	78,650	291.3	180.2	103,000	14	199,370	400.1	133.0	23,400
8	79,430	293.2	201.8	112,800	15	125,920	392.3	119.5	23,600
9	339,800	936.5	271.5	119,000	16	136,710	369.7	129.7	29,500
10	216,920	580.6	3,373.4	900,600					
合計	1,956,740								

建屋部

ヤング係数 E_c 2.88×10⁴ (N/mm²)
せん断弾性係数 G 1.20×10⁴ (N/mm²)
ポアソン比 ν 0.20
減衰定数 h 5%

②基礎スラブ

ヤング係数 E_c 2.79×10⁴ (N/mm²)
せん断弾性係数 G 1.16×10⁴ (N/mm²)
ポアソン比 ν 0.20
減衰定数 h 5%

基礎形状 56.6m (NS 方向) ×59.6m (EW 方向)

表 4.1.2.4 埋め込み SR モデルの諸元 (EW 方向)

質点 番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I _G (×10 ⁵ kNm ²)	せん断 断面積 A _s (m ²)	断面 2 次 モーメント I (m ⁴)
1	39,540	147.4		
			54.7	29,900
2	79,450	301.3		
			122.6	61,200
3	91,670	303.9		
			166.9	89,400
4	67,180	275.6		
			139.1	82,600
5	52,160	220.6		
			153.8	96,200
6	81,290	330.4		
			197.0	111,700
7	77,080	317.7		
			215.7	124,000
8	77,960	320.7		
			280.2	131,000
9	339,800	1030.7		
			3,373.4	998,600
10	216,920	647.2		
合計	1,956,740			

質点 番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I _G (×10 ⁵ kNm ²)	せん断 断面積 A _s (m ²)	断面 2 次 モーメント I (m ⁴)
11	89,140	275.6		
			243.6	6,700
12	173,240	480.4		
			216.7	23,300
13	105,200	332.4		
			162.9	23,100
14	200,440	439.3		
			118.6	23,400
15	127,490	433.5		
			179.1	21,200
16	138,180	408.9		
			138.6	23,800

① 建屋部

ヤング係数 E_c 2.88×10⁴ (N/mm²)
せん断弾性係数 G 1.20×10⁴ (N/mm²)
ポアソン比 ν 0.20
減衰定数 h 5%

② 基礎スラブ

ヤング係数 E_c 2.79×10⁴ (N/mm²)
せん断弾性係数 G 1.16×10⁴ (N/mm²)
ポアソン比 ν 0.20
減衰定数 h 5%

基礎形状 56.6m (NS 方向) ×59.6m (EW 方向)

回転ばね K_θ 2.13×10¹⁰(kNm/rad)

表 4.1.2.5 地盤のばね定数と減衰係数

(NS 方向)

ばね 番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数 ^(*1) K_c	減衰係数 ^(*2) C_c
K1	7	側面・並進	1.07×10^6	4.24×10^5
K2	7	側面・回転	8.33×10^8	1.05×10^8
K3	8	側面・並進	2.85×10^6	1.13×10^6
K4	8	側面・回転	2.21×10^8	2.80×10^8
K5	9	側面・並進	8.53×10^6	1.73×10^6
K6	9	側面・回転	6.73×10^8	3.98×10^8
K7	10	側面・並進	4.52×10^6	8.62×10^5
K8	10	側面・回転	3.54×10^8	1.96×10^8
K9	10	底面・並進	7.28×10^7	2.84×10^6
K10	10	底面・回転	7.06×10^{10}	6.09×10^8

(*1) K1, K3, K5, K7, K9 は kN/m K2, K4, K6, K8, K10 は kNm/rad

(*2) K1, K3, K5, K7, K9 は kNs/m K2, K4, K6, K8, K10 は kNsm/rad

(EW 方向)

ばね 番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数 ^(*1) K_c	減衰係数 ^(*2) C_c
K1	7	側面・並進	1.07×10^6	4.26×10^5
K2	7	側面・回転	8.33×10^8	1.06×10^8
K3	8	側面・並進	2.85×10^6	1.13×10^6
K4	8	側面・回転	2.21×10^8	2.80×10^8
K5	9	側面・並進	8.53×10^6	1.73×10^6
K6	9	側面・回転	6.73×10^8	4.00×10^8
K7	10	側面・並進	4.52×10^6	8.61×10^5
K8	10	側面・回転	3.54×10^8	1.97×10^8
K9	10	底面・並進	7.25×10^7	2.82×10^6
K10	10	底面・回転	7.60×10^{10}	7.10×10^8

(*1) K1, K3, K5, K7, K9 は kN/m K2, K4, K6, K8, K10 は kNm/rad

(*2) K1, K3, K5, K7, K9 は kNs/m K2, K4, K6, K8, K10 は kNsm/rad

4.1.3 解析ケース

表 4.1.3.1 に解析ケースを示す。原子炉建屋を単独とした NS 方向と EW 方向の 2 ケースである。なお、2 次元 FEM モデルにおいて、地盤のモデルには、埋め込み SR モデルの地震応答解析と同じ成層地盤に加えて、地下外壁に接しているマンメイドロック (MMR) を考慮する。

表 4.1.3.1 解析ケース

No	方向	建屋	地盤	備考
1	NS 方向	R/B 単独	成層地盤＋外壁側面の MMR	NS 方向 基本ケース
2	EW 方向	R/B 単独	成層地盤＋外壁側面の MMR	EW 方向 基本ケース

4.2 建屋拘束効果の検討

4.2.1 2次元 FEM モデルによる検討

地震時の側面地盤の剥離や土圧変動を考慮しても建屋拘束効果が得られるかについて、地震応答解析結果について以下のとおり検討を行った。

(1) NS 方向

図 4.2.1.1 及び図 4.2.1.2 に地下外壁と側面地盤の間を接続する軸ばねの軸圧の時刻歴を、高さ方向に領域を設定しその領域ごとにまとめて、単位面積当たりの応力に換算して示す。ここで、各領域は埋め込み SR モデルにおける各質点にとりつく側面回転ばねの支配領域に対応する。また、図 4.2.1.3 に上記の両側の地下外壁にある軸ばねの軸圧の時刻歴を応答の比較的大きい時刻について重ね描きしたものを示す。

これらの結果から以下が明らかである。

- ・ 軸圧は深度が増すほど大きくなる傾向にあり、ごく短時間の剥離が生じた場合にゼロになることもあるが、大部分の時間帯で軸圧が作用した状態となる。
- ・ 外壁両側の軸圧の時刻歴には逆位相の傾向がみられ、片側が剥離（軸圧 0）してもその反対側では軸圧が作用している。
- ・ 軸圧は最大 700kN/m^2 程度であり、摩擦試験で対象とした垂直圧の範囲と整合する。

図 4.2.1.4 及び図 4.2.1.5 に地下外壁と側面地盤の間を接続するせん断ばねのせん断応力（摩擦力）の時刻歴を、建屋の南側及び北側について、高さ方向に領域をとりその領域ごとにまとめて、単位面積当たりの応力に換算して示す。ここで、各領域は埋め込み SR モデルにおける各質点にとりつく側面回転ばねの支配領域に対応する。また、図 4.2.1.6 及び図 4.2.1.7 に領域ごとに平均化したせん断ばねのせん断変位の時刻歴を示す。

これらの結果から以下が明らかである。

- ・ 軸圧の時間変化と建物の振動性状との組合せによるものとなり、ばねのせん断応力は、時間領域で細かく変動している。
- ・ 建屋が側面地盤よりも沈み込む方向をせん断ばねの正側にとると、建屋のロッキングにより沈み込むと考えられる正側でせん断力が大きくなる傾向を示している。
- ・ せん断変位分布は地表に近いほど大きい傾向にある。
- ・ せん断ばねの最大変位は 13mm 程度であり、側面地盤と建屋が剥離した状態で生じている。また、側面地盤と建屋が接触した状態での最大変位は 6mm 程度である。

せん断ばねは、軸圧の変化に応じて保持できる最大せん断力が変化する。ある軸圧下で最大せん断力に達した後は、一定の力を保ちながら滑る設定である。また、軸ばねに剥離が生

じた際にはせん断力は作用しない。

せん断変位は、せん断力作用時においてはせん断力と線形関係にあるが、せん断ばねに滑りが生じた場合や剥離が生じた場合には線形関係にはない。（各ケースに共通）

（２）EW 方向

図 4.2.1.11 及び図 4.2.1.12 に地下外壁と側面地盤の間を接続する軸ばねの軸圧の時刻歴を、高さ方向に領域をとりその領域ごとにまとめて、単位面積当たりの応力に換算して示す。ここで、各領域は埋め込み SR モデルにおける各質点にとりつく側面回転ばねの支配領域に対応する。また、図 4.2.1.13 に上記の両側の地下外壁にある軸ばねの軸圧の時刻歴を重ね描きして示す。

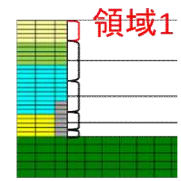
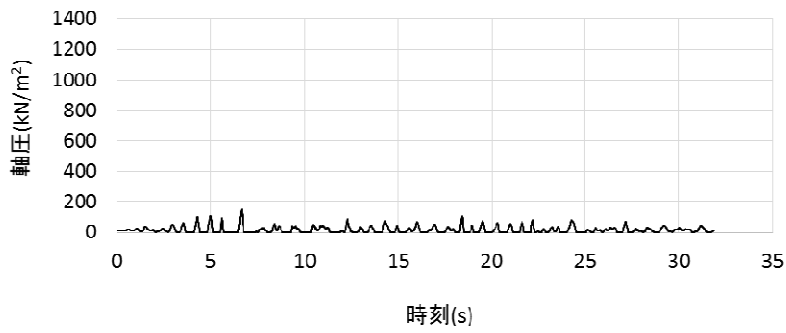
これらの結果から以下が明らかである。

- ・ 軸圧は深度が増すほど大きくなる傾向にあり、ごく短時間の剥離が生じた場合にゼロになることもあるが、大部分の時間帯で軸圧が作用した状態となる。
- ・ 外壁両側の軸圧の時刻歴には逆位相の傾向がみられ、片側が剥離（軸圧 0）してもその反対側では軸圧が作用している。
- ・ 軸圧は最大 800kN/m² 程度であり、摩擦試験で対象とした垂直圧の範囲と整合する。

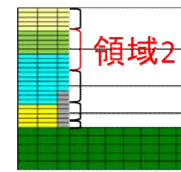
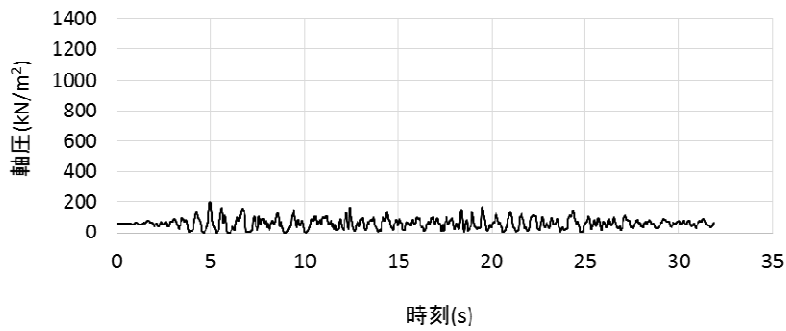
図 4.2.1.14 及び図 4.2.1.15 に地下外壁と側面地盤の間を接続するせん断ばねのせん断応力（摩擦力）の時刻歴を、建屋の東側及び参考に西側について、高さ方向に領域をとりその領域ごとにまとめて、単位面積当たりの応力に換算して示す。ここで、各領域は埋め込み SR モデルにおける各質点にとりつく側面回転ばねの支配領域に対応する。また、図 4.2.1.16 及び図 4.1.5.17 に領域ごとに平均化したせん断ばねのせん断変位の時刻歴を示す。

これらの結果から以下が明らかである。

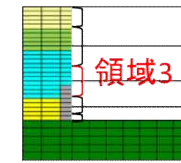
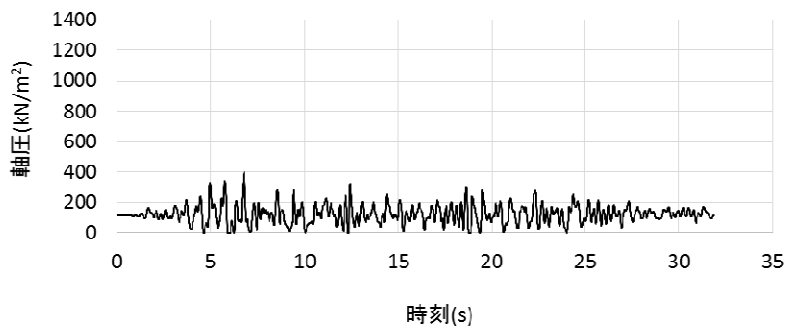
- ・ 軸圧の時間変化と建物の振動性状との組合せによるものとなり、ばねのせん断応力は、時間領域で細かく変動している。
- ・ 建屋が側面地盤よりも沈み込む方向をせん断ばねの正側にとると、建屋のロッキングにより沈み込むと考えられる正側でせん断力が大きくなる傾向を示している。
- ・ せん断変位分布は地表に近いほど大きい傾向にある。
- ・ せん断ばねの最大変位は 10mm 程度であり、側面地盤と建屋が剥離した状態で生じている。また、側面地盤と建屋が接触した状態での最大変位は 6mm 程度である。



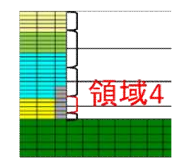
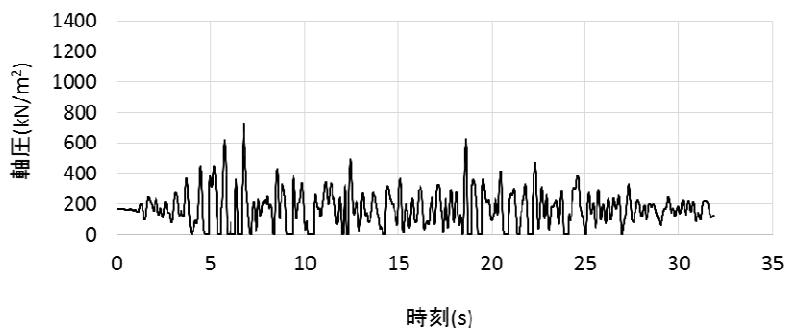
1F 床以深(T.M.S.L.12.3m~)



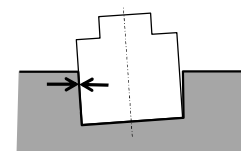
B1F 床位置 (T.M.S.L.4.8m)



B2F 床位置 (T.M.S.L.-1.7m)

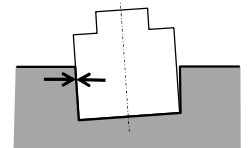
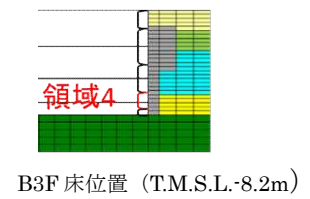
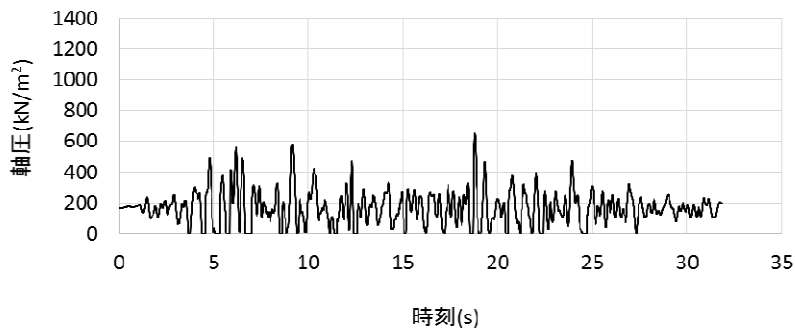
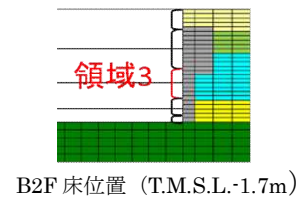
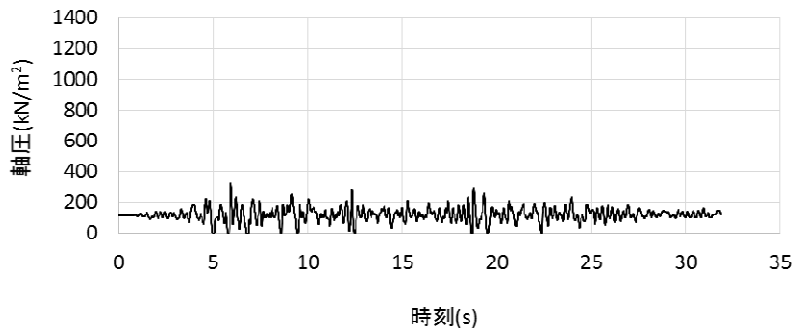
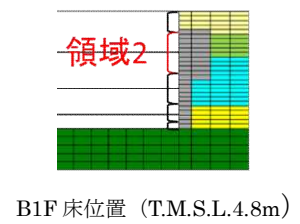
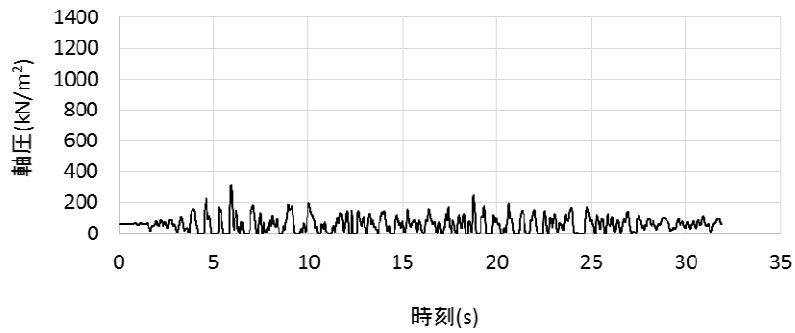
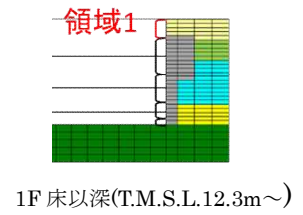
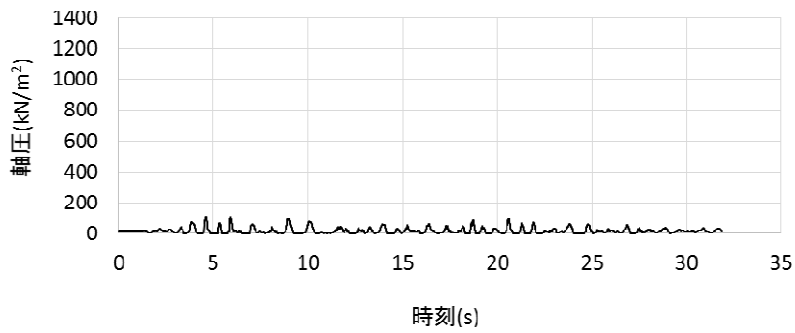


B3F 床位置 (T.M.S.L.-8.2m)



軸圧は、地盤を圧縮する
方向を正とする

図 4.2.1.1 軸ばねの軸圧の時刻歴 (NS 方向基本モデル, 南側)



軸圧は、地盤を圧縮する方向を正とする

図 4.2.1.2 軸ばねの軸圧の時刻歴 (NS 方向基本モデル, 北側)

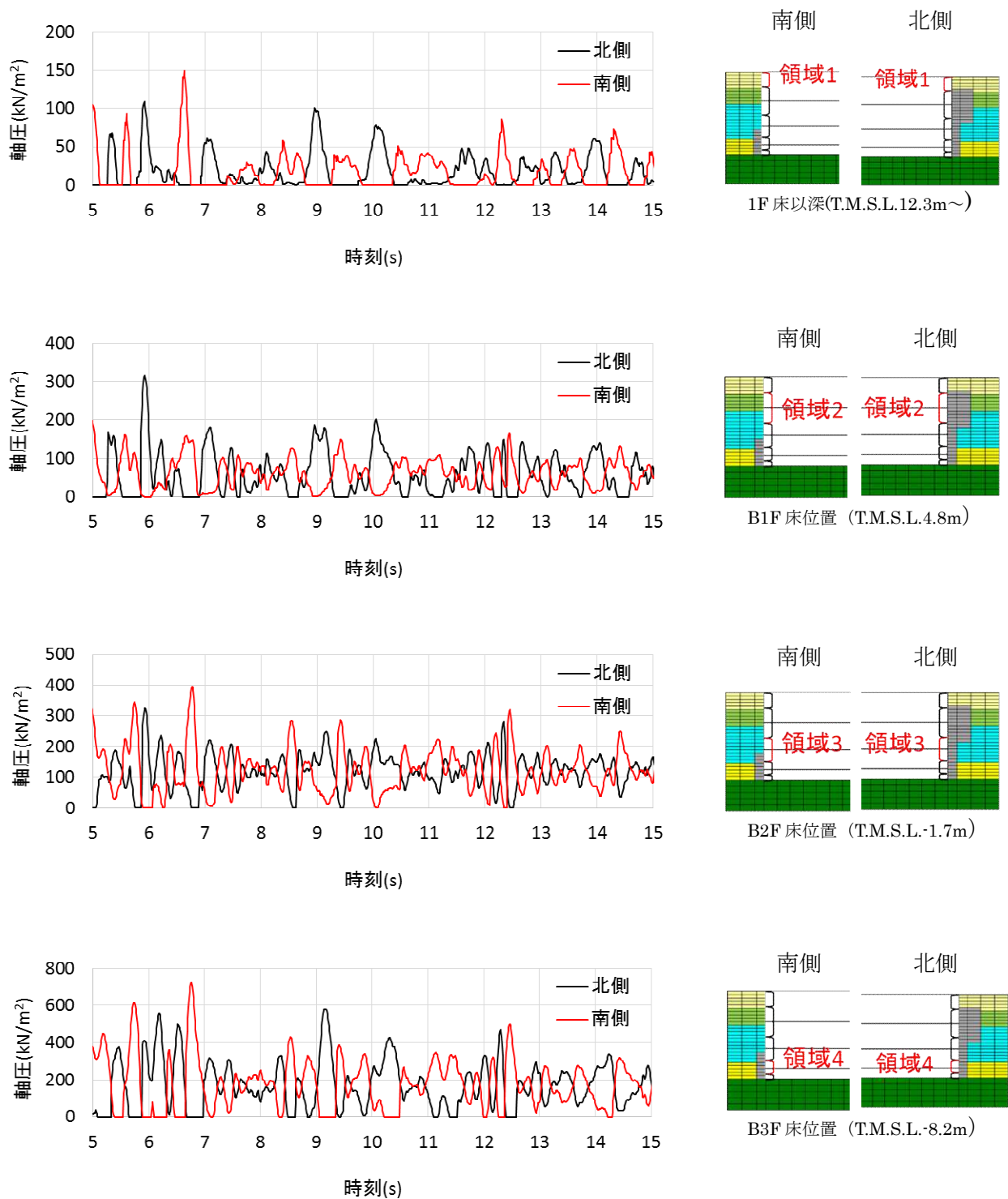
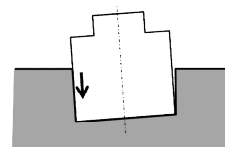
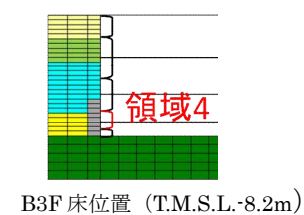
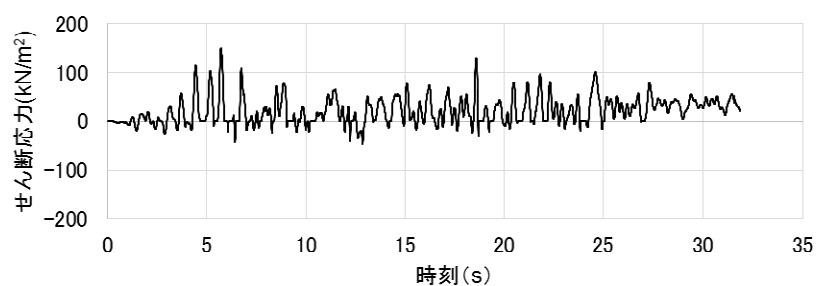
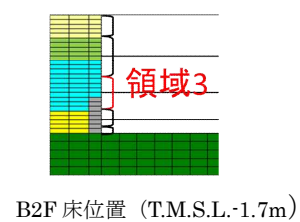
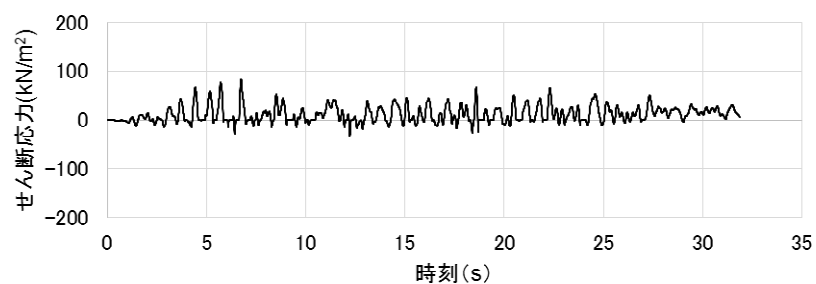


図 4.2.1.3 南側と北側の軸ばねの軸圧の時刻歴の比較 (NS 方向基本モデル)



せん断応力は、地盤に沈み込んだ時に生ずる力の方向を正とする

※領域 1 と 2 にはせん断ばねがモデル化されていないため、領域 3 と 4 のみの作図となっている。

図 4.2.1.4 セン断ばねのせん断応力の時刻歴 (NS 方向基本モデル, 南側)

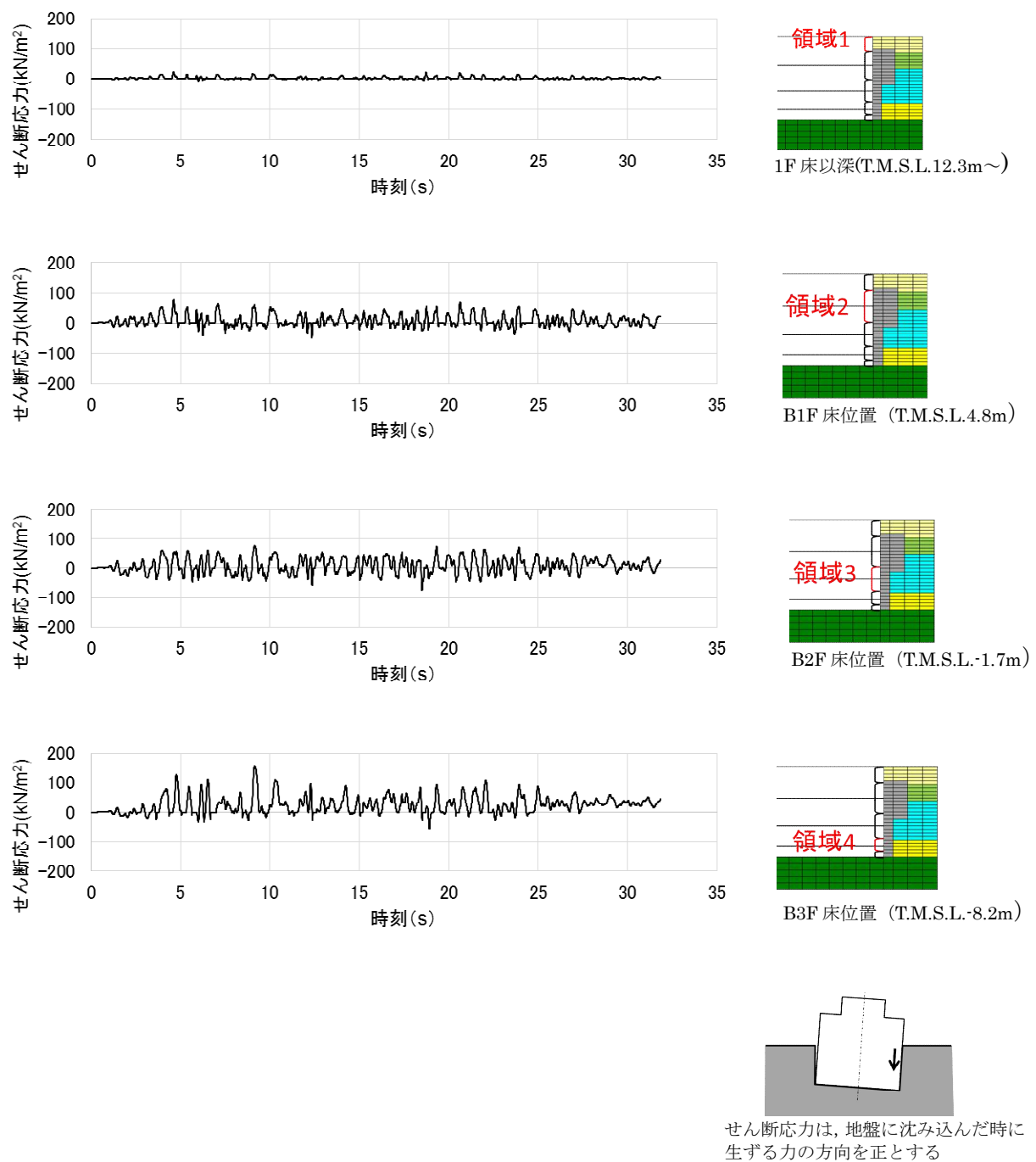
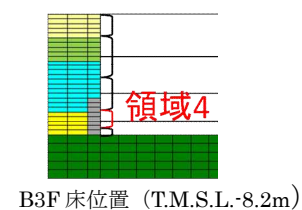
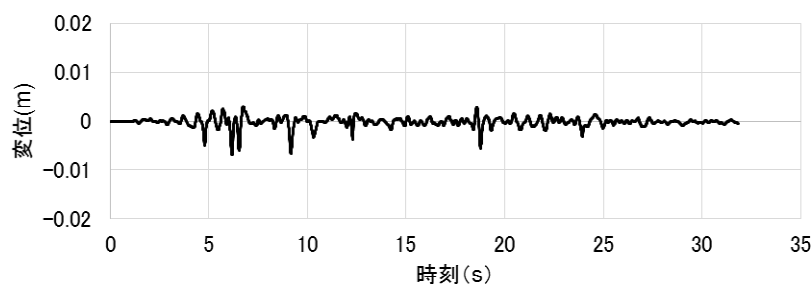
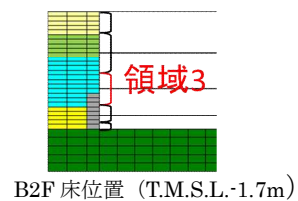
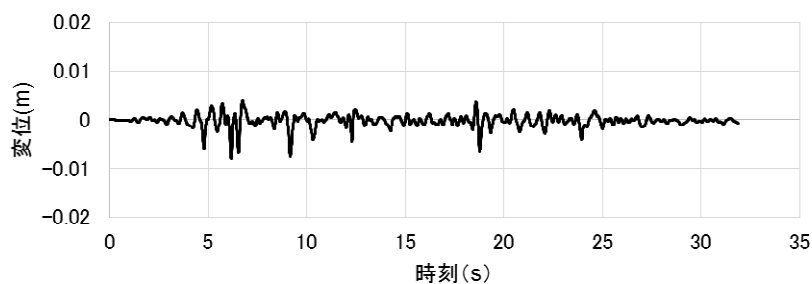


図 4.2.1.5 せん断ばねのせん断応力の時刻歴 (NS 方向基本モデル, 北側)



せん断変位は建屋が地盤より下に
ずれたとき、値を正とする

※領域 1 と 2 にはせん断ばねがモデル化されていないため、
領域 3 と 4 のみの作図となっている。

図 4.2.1.6 せん断ばねのせん断変位の時刻歴 (NS 方向基本モデル, 南側)

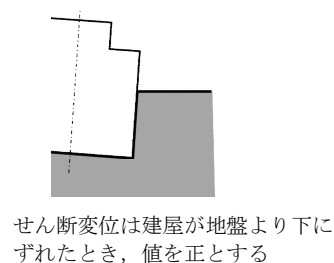
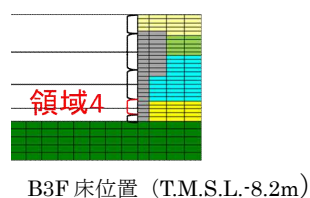
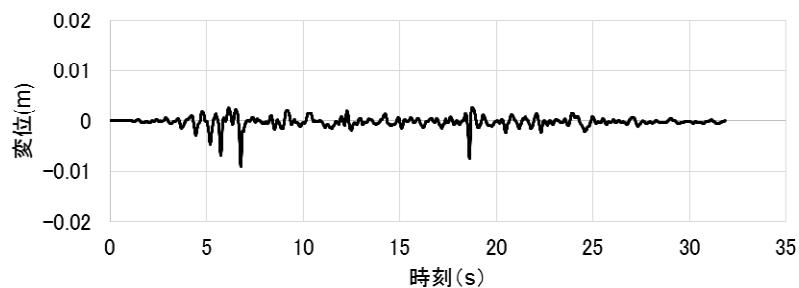
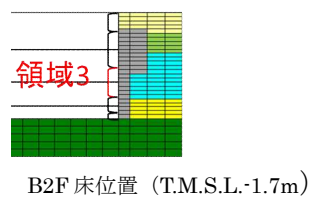
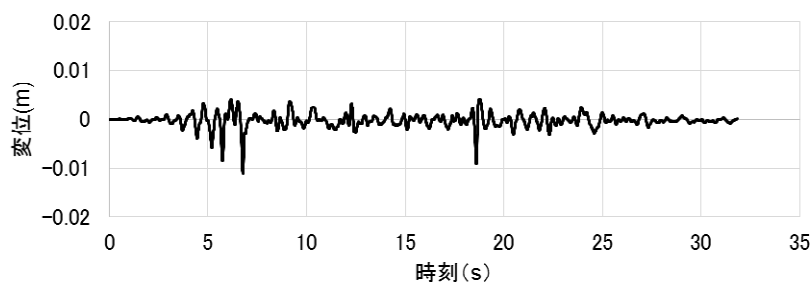
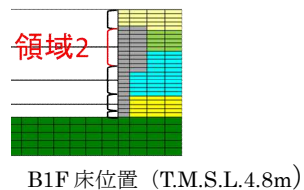
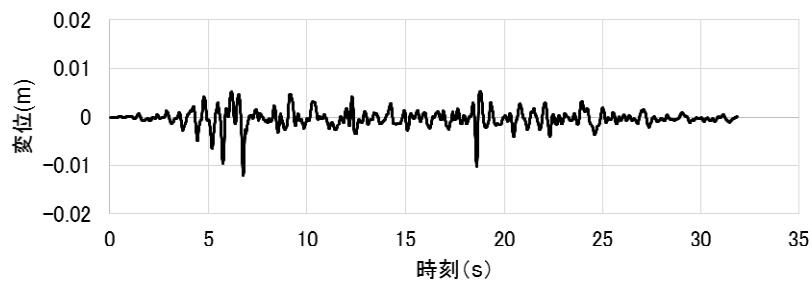
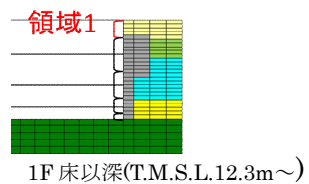
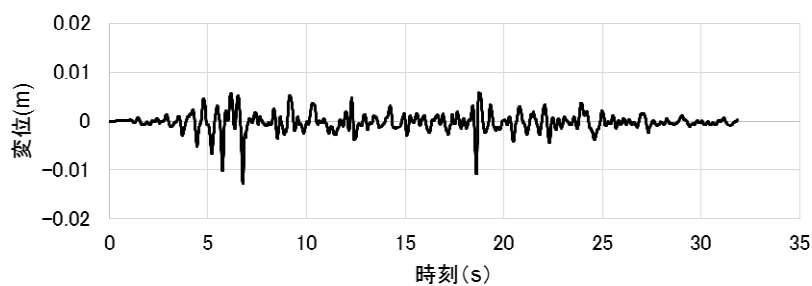


図 4.2.1.7 せん断ばねのせん断変位の時刻歴 (NS 方向基本モデル, 北側)

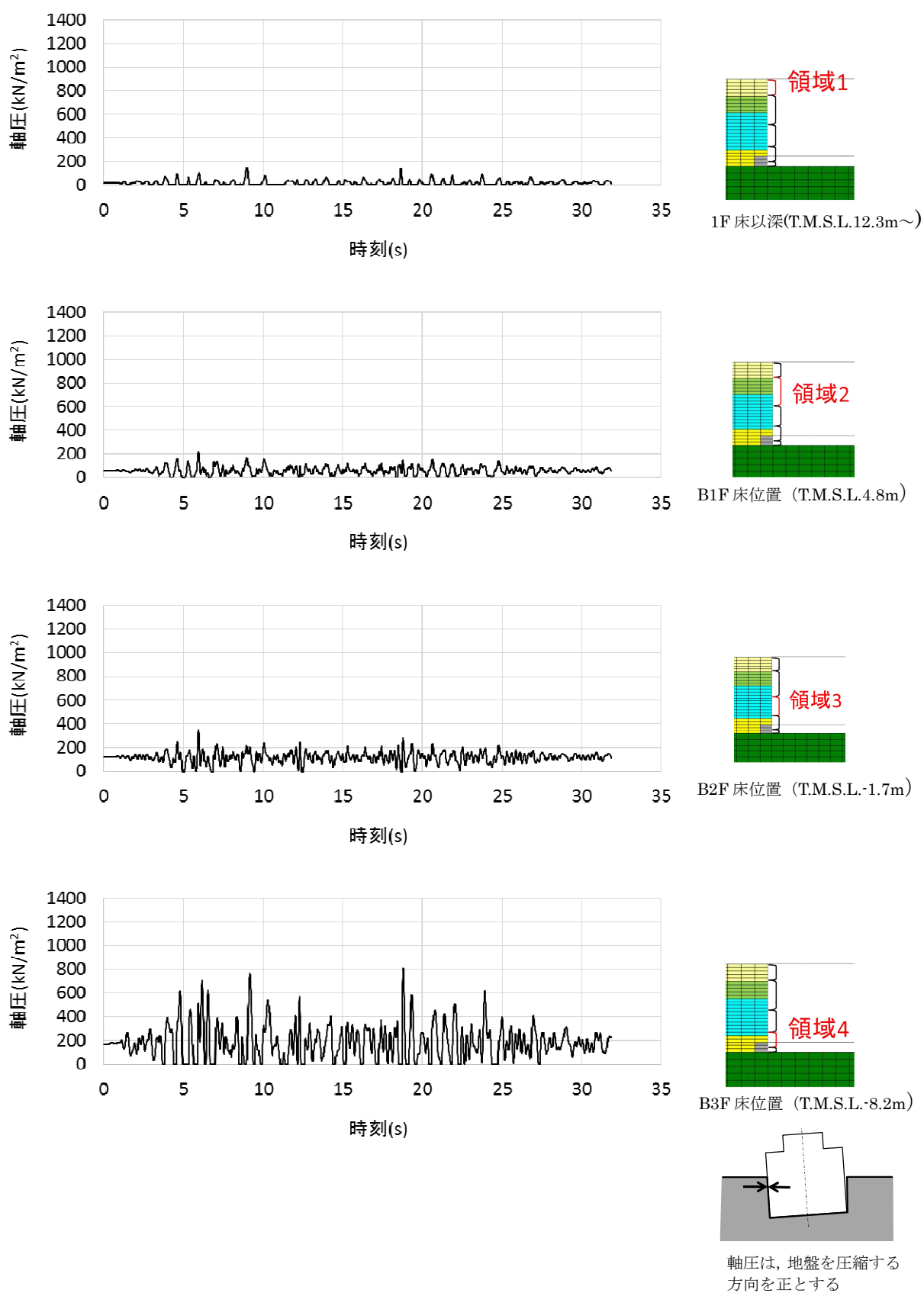


図 4.2.1.11 軸ばねの軸圧の時刻歴 (E W方向基本モデル, 西側)

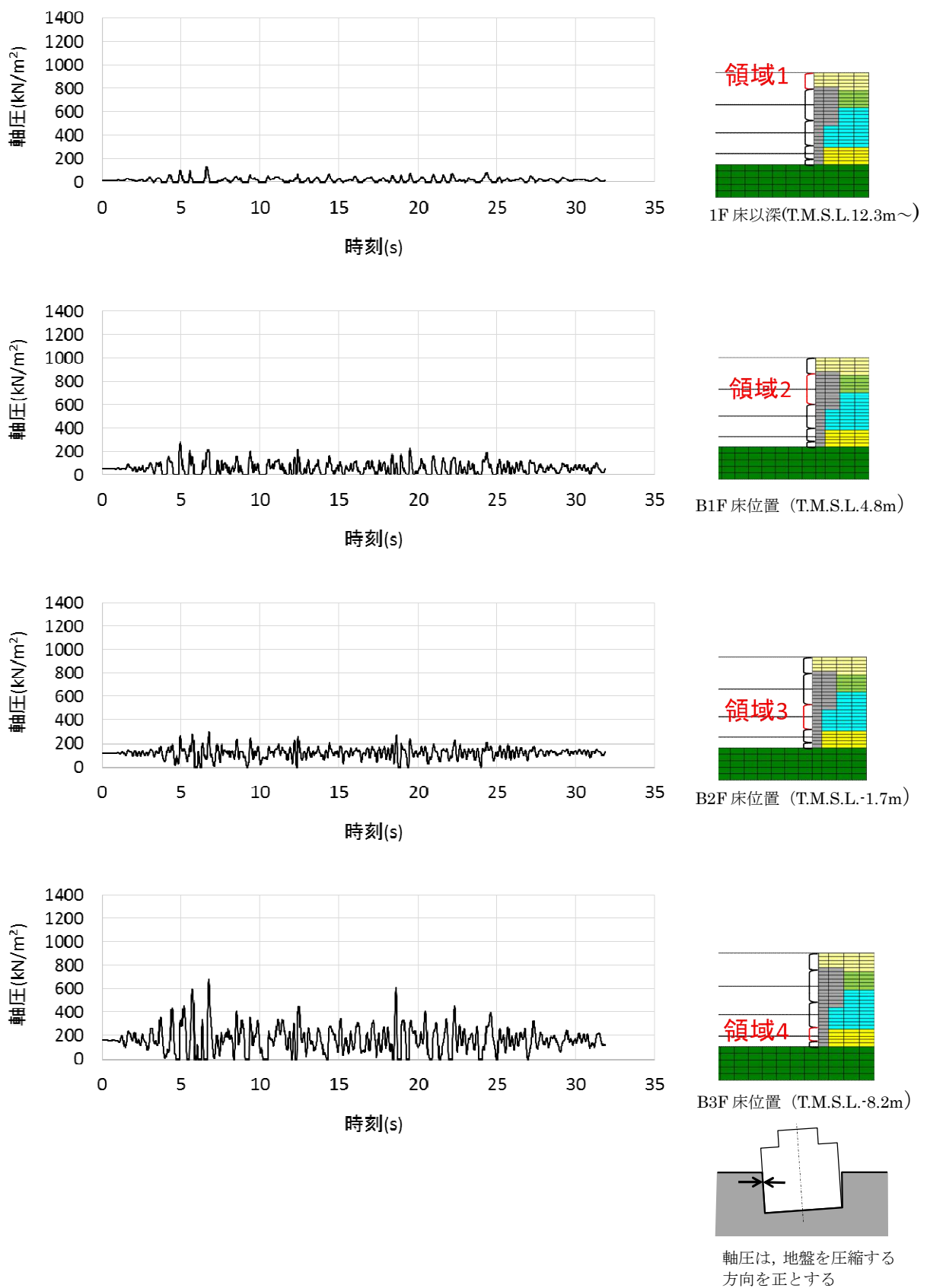


図 4.2.1.12 軸ばねの軸圧の時刻歴 (E W方向基本モデル, 東側)

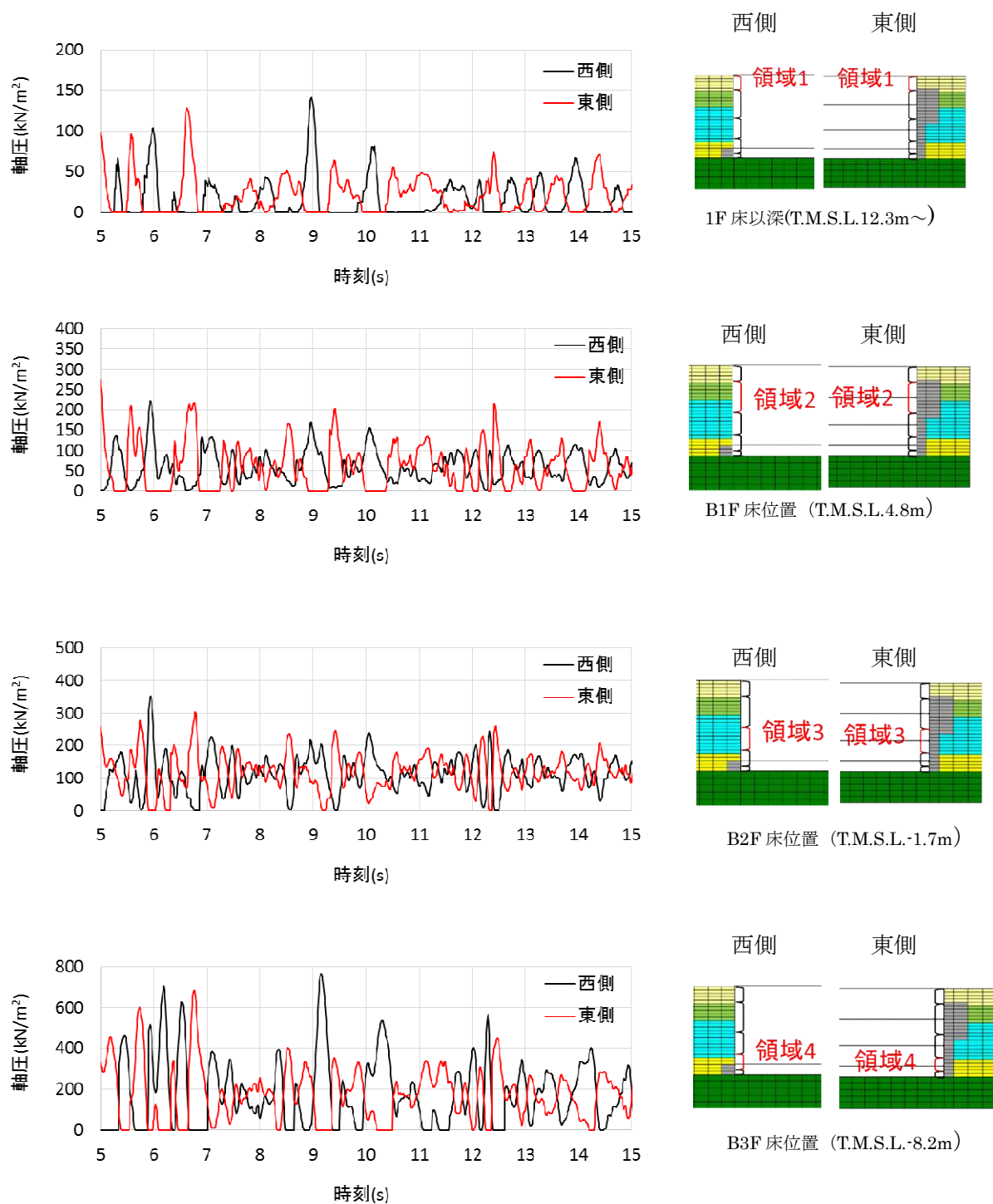
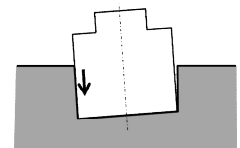
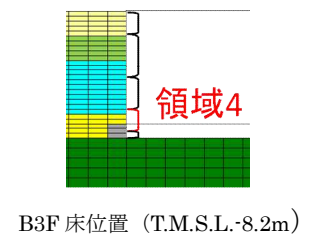
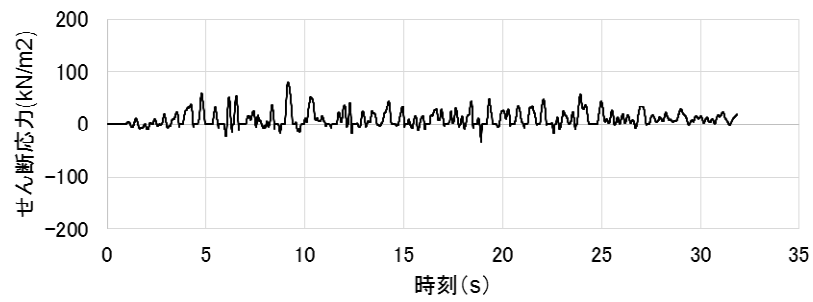


図 4.2.1.13 西側と東側の軸ばねの軸圧の時刻歴の比較 (E W方向基本モデル)



せん断応力は、地盤に沈み込んだ時を正とする

※領域 1～3 にはせん断ばねがモデル化されていないため、領域 4 のみの作図となっている。

図 4.2.1.14 せん断ばねのせん断応力の時刻歴 (E W 方向基本モデル, 西側)

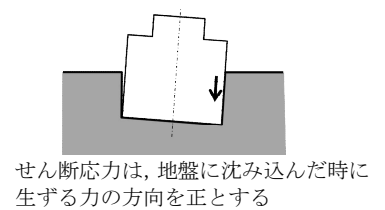
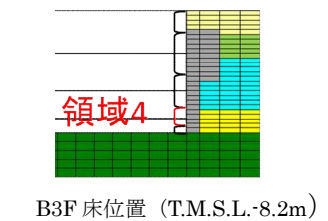
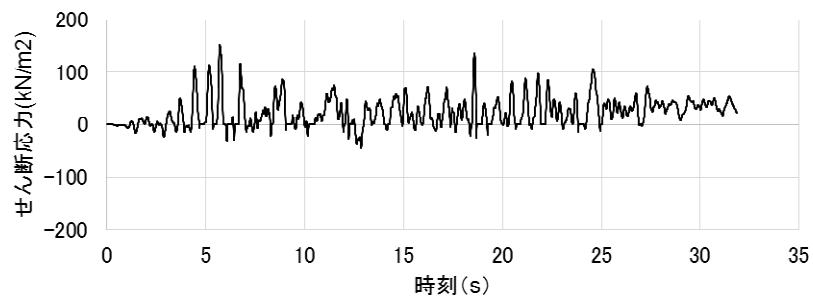
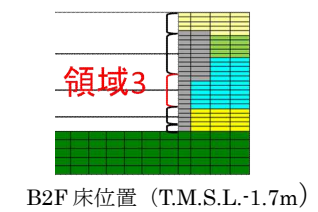
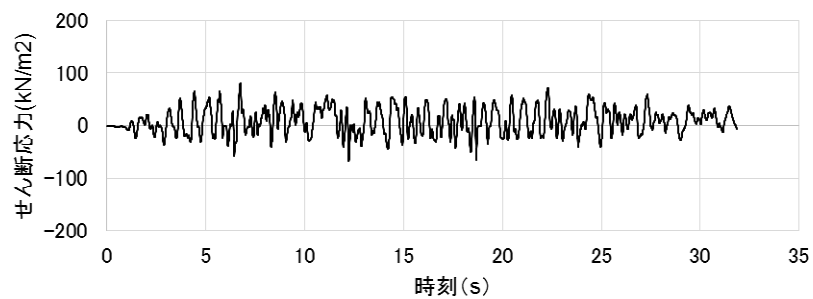
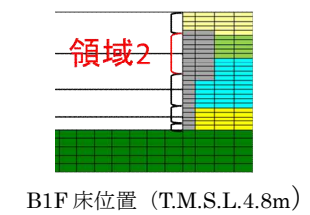
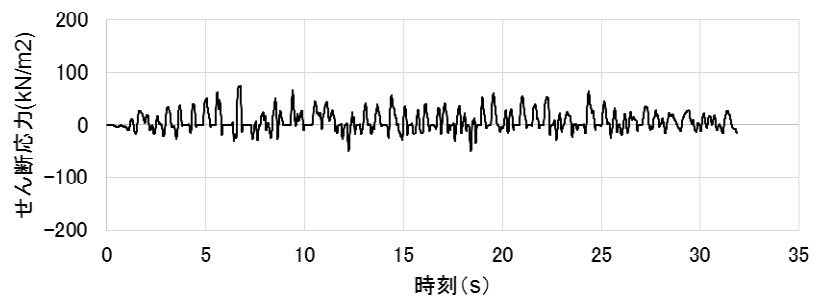
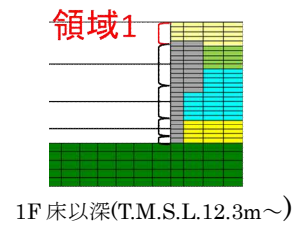
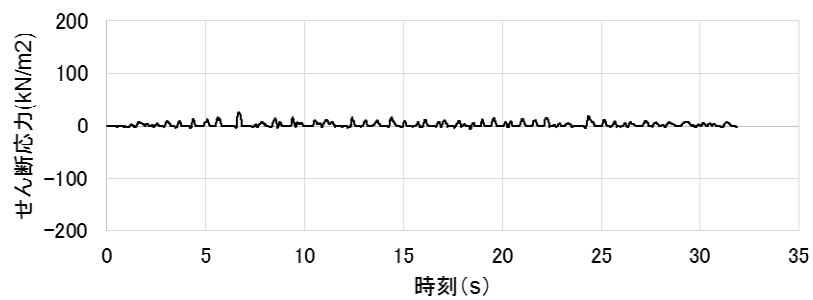
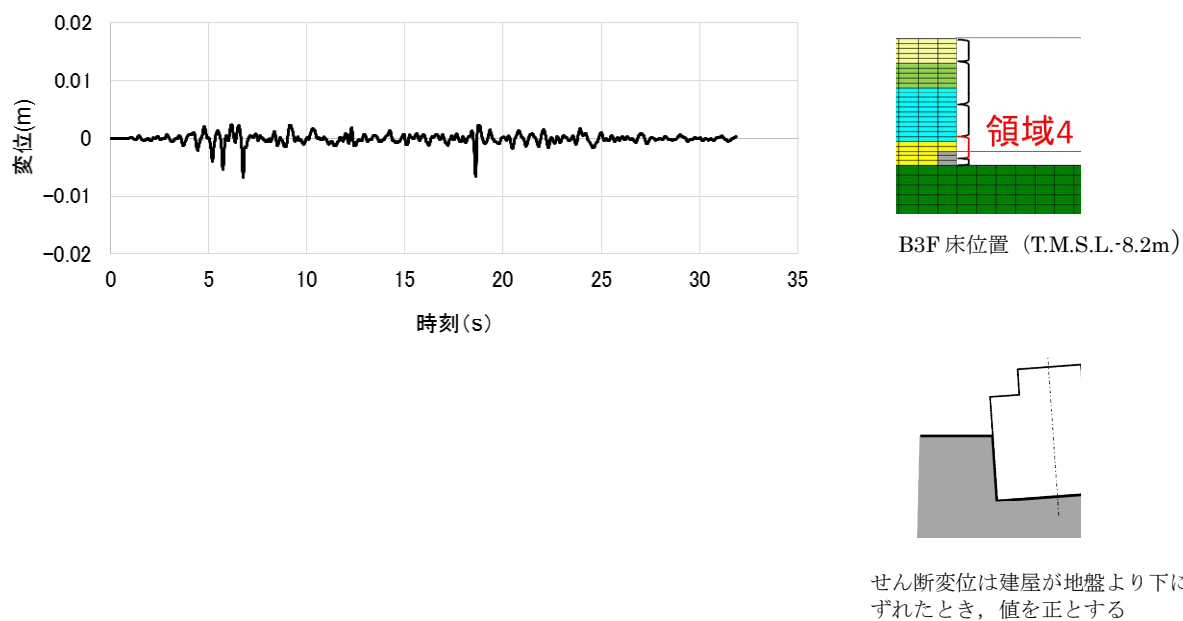
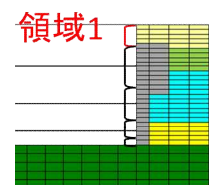
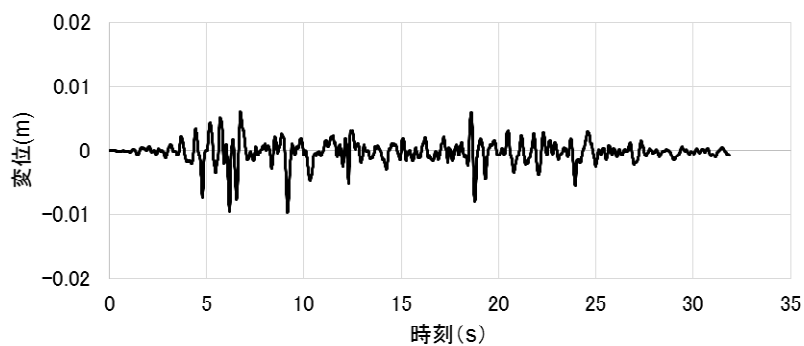


図 4.2.1.15 せん断ばねのせん断応力の時刻歴 (E W方向基本モデル, 東側)

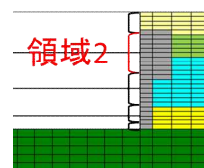
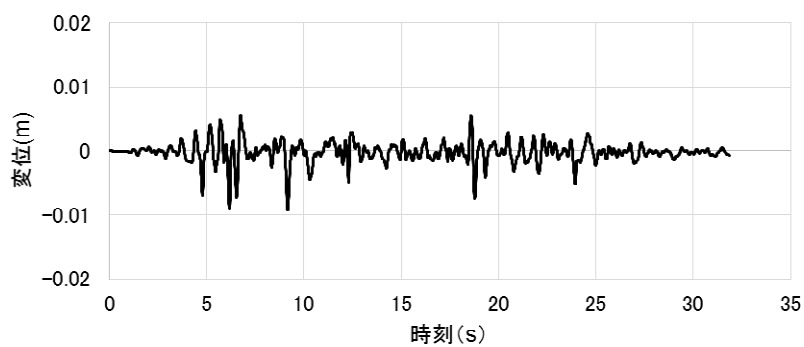


※領域 1～3 にはせん断ばねがモデル化されていないため、
領域 4 のみの作図となっている。

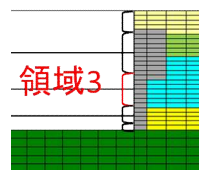
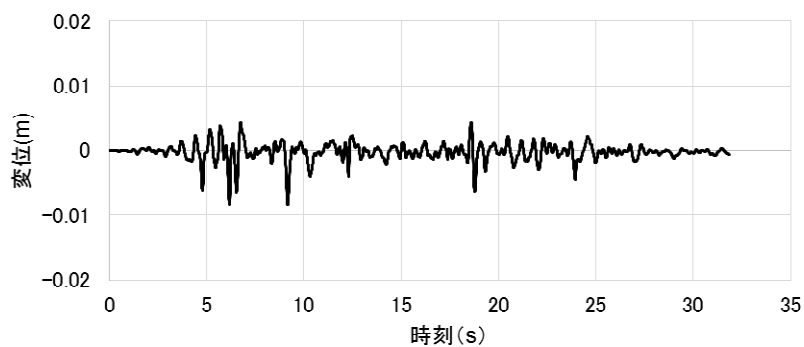
図 4.2.1.16 せん断ばねのせん断変位の時刻歴（E W方向基本モデル，西側）



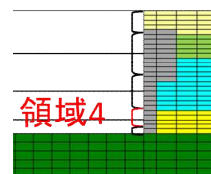
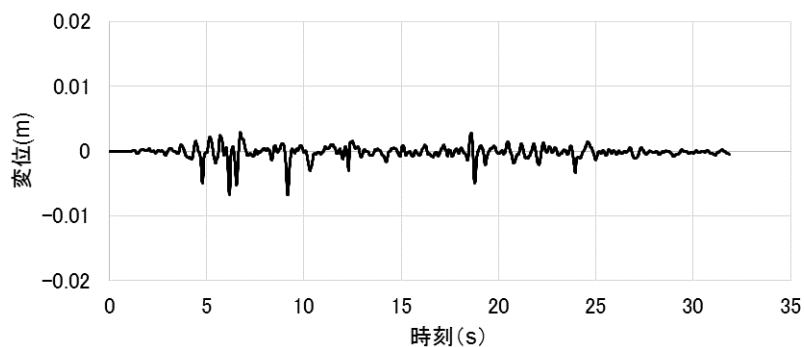
1F床以深(T.M.S.L.12.3m～)



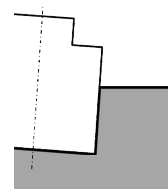
B1F床位置 (T.M.S.L.4.8m)



B2F床位置 (T.M.S.L.-1.7m)



B3F床位置 (T.M.S.L.-8.2m)



せん断変位は建屋が地盤より下にずれたとき、値を正とする

図 4.2.1.17 セン断ばねのせん断変位の時刻歴 (E W方向基本モデル, 東側)

4.2.2 側面地盤反力に関する検討

(1) 検討概要

ここでは先ず，図 4.2.2.1 に示す建屋の回転に対する側面地盤反力について，埋め込み SR モデルの NOVAK ばね（側面地盤ばね）に生じる地盤反力と 2 次元 FEM モデルの側面地盤ばねに生じる地盤反力を算定し比較する。2 次元 FEM モデルの側面地盤ばねに生じる地盤反力については，2 次元 FEM モデルの解析結果を用い，建屋外壁と側面地盤間のジョイント要素に生じる力から側面地盤反力を算定する。その結果を埋め込み SR モデルの NOVAK ばねに生じる側面地盤反力と比較する。

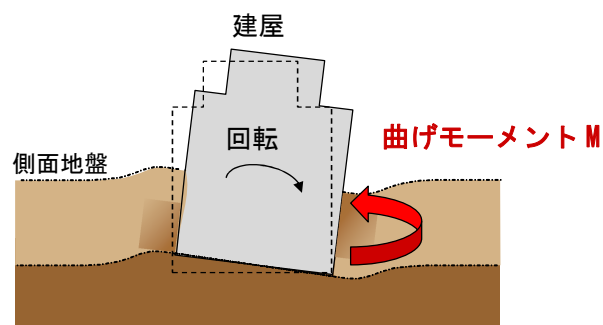


図 4.2.2.1 建屋の回転に対する側面地盤反力のイメージ

(2) 検討条件

1) 検討ケース

表 4.2.2.1 に解析ケースを示す。原子炉建屋を単独とした NS 方向及び EW 方向の基本ケースについて検討する。

表 4.2.2.1 検討ケース

ケース	方向	建屋	地盤	備考
1	NS 方向	R/B 単独	成層地盤＋外壁側面の MMR	NS 方向 基本ケース
2	EW 方向	R/B 単独	成層地盤＋外壁側面の MMR	EW 方向 基本ケース

2) 解析モデル

解析モデルは、4.1.2 に示した NS 方向と EW 方向の 2 次元 FEM 解析モデル、及び、NS 方向と EW 方向の埋め込み SR モデルを用いる。

3) 検討用地震動

対象とする地震動は 4.1.1 に示した基準地震動 Ss-1 とする。

4) 側面地盤反力算定方法

図 4.2.2.2 に示すように、埋め込み SR モデルの NOVAK の側面地盤回転ばねに対応する 2 次元 FEM モデルの領域を区切り、表層地盤や建屋底面地盤の影響を受けにくい代表領域について建屋の回転に対する側面地盤反力（曲げモーメント M ）を算定する。

表 4.2.2.2 に選定した代表領域を示す。表層の影響を受けにくい地下 2 階（T.M.S.L -1.7m）レベルの地盤ばねに相当する領域③と建屋底面地盤の影響を受けにくい地下 3 階（T.M.S.L -8.2m）レベルの地盤ばねに相当する領域④を選定する。

図 4.2.2.3 に側面地盤反力の算定方法の概要を示す。

埋め込み SR モデルの側面地盤反力 M_{SR} は、NOVAK の水平ばね反力 P_H に基礎下端からの高さ h を掛けた曲げモーメント $M_p (=P_H \cdot h)$ と NOVAK の回転ばね反力 M の和として算定する。

2 次元 FEM モデルの側面地盤反力 M_{FEM} については、軸ばね反力 P_H に基礎下端からの高さ h を掛けた曲げモーメントの合計 $M_{ph} (= \sum P_H \cdot h)$ とせん断ばね反力 P_v に基礎中心から基礎端部までの長さ L を掛けた合計 $M_{pv} (= \sum P_v \cdot L)$ との和として、埋め込み SR モデルの NOVAK ばねの支配領域毎に算定する。

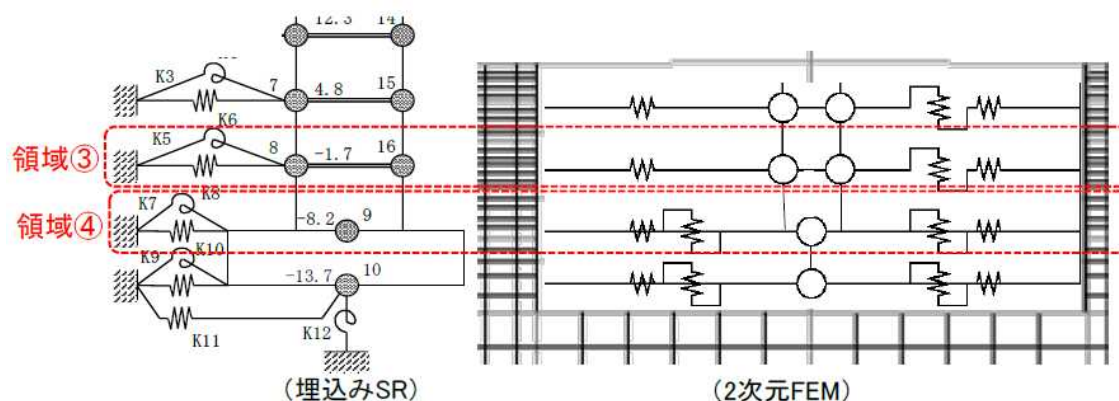
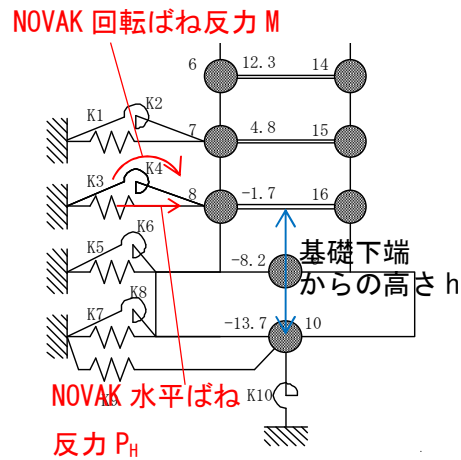


図 5.2.2.2 2 次元 FEM モデルの領域区分

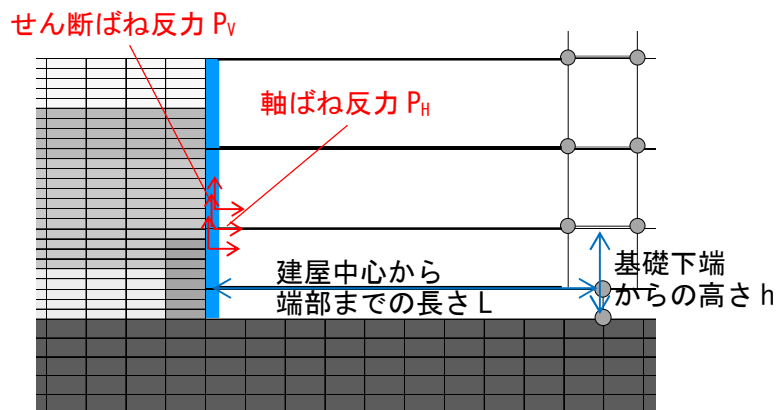
表 4.2.2.2 領域区分（対象とする建屋-地盤間モデル化部分）

領域名	埋め込み SR モデル	2 次元 FEM モデル
領域③	T.M.S.L -1.7m の NOVAK ばね	T.M.S.L -4.95m～1.55m に位置する地盤ばね
領域④	T.M.S.L -8.2m の NOVAK ばね	T.M.S.L -10.45m～-4.95m に位置する地盤ばね



埋め込み SR モデルの側面地盤反力 M_{SR}
 $= \text{NOVAK 水平ばね反力 } P_H \times \text{基礎下端からの高さ } h$
 $+ \text{NOVAK 回転ばね反力 } M$

(埋め込み SR モデル)



2 次元 FEM の側面地盤反力 M_{FEM}
 $= \sum (\text{せん断ばね反力 } P_v \times \text{建屋中心から端部までの長さ } L)$
 $+ \sum (\text{軸ばね反力 } P_H \times \text{基礎下端からの高さ } h)$

(2 次元 FEM モデル)

図 4.2.2.3 側面地盤反力算定方法の概要

(3) 検討結果

ケース 1 (NS 方向)の領域③ (T.M.S.L -1.7m レベル) 及び領域④ (T.M.S.L -8.2m レベル) の側面地盤反力 (曲げモーメント) の算定結果を図 4.2.2.5 及び図 4.2.2.6 に示す。2 次元 FEM の側面地盤反力と埋め込み SR の側面地盤反力は共に、建屋応答 (曲げモーメント) と同等オーダー ($\times 10^9 \text{N} \cdot \text{m}$) の比較的大きな値を示しており、建屋の拘束効果が認められる。

ケース 2 (EW 方向)の領域③ (T.M.S.L -1.7m レベル) 及び領域④ (T.M.S.L -8.2m レベル) の側面地盤反力 (曲げモーメント) の算定結果を図 4.2.2.7 及び図 4.2.2.8 に示す。ケース 1 (NS 方向)と同様、2 次元 FEM の側面地盤反力と埋め込み SR の側面地盤反力は共に建屋応答 (曲げモーメント) と同等オーダー ($\times 10^9 \text{N} \cdot \text{m}$) の比較的大きな値を示しており、領域④についても建屋の拘束効果が認められる。

なお、ケース 1 (NS 方向)及びケース 2 (EW 方向)共に、2 次元 FEM の側面地盤反力の方が埋め込み SR の側面地盤反力よりも小さい。これは、2 次元 FEM では外壁に作用する変動土圧は地震入力方向に直交する面 (2 面) に考慮されるが、地震入力方向に並行となる面 (2 面) からの拘束力は考慮されていないこと等、モデル化の違いが要因のひとつとして考えられる。(図 4.2.2.4 参照)

以上より、地震時の側面地盤の剥離や土圧変動が考慮されている 2 次元 FEM の側面地盤反力と埋め込み SR モデルの側面地盤反力を比較した結果、両者は同様に建屋を拘束する効果を与えていることが確認できた。

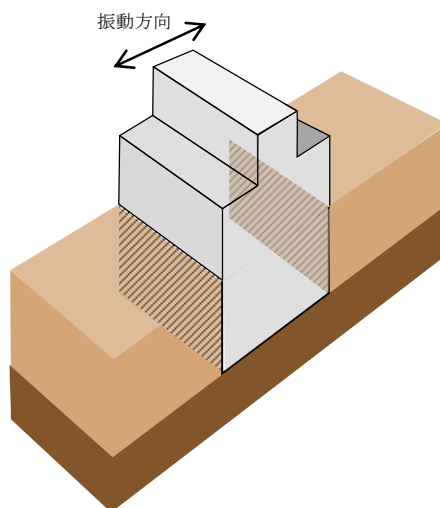


図 4.2.2.4 2 次元 FEM による地盤と建屋のモデル化のイメージ

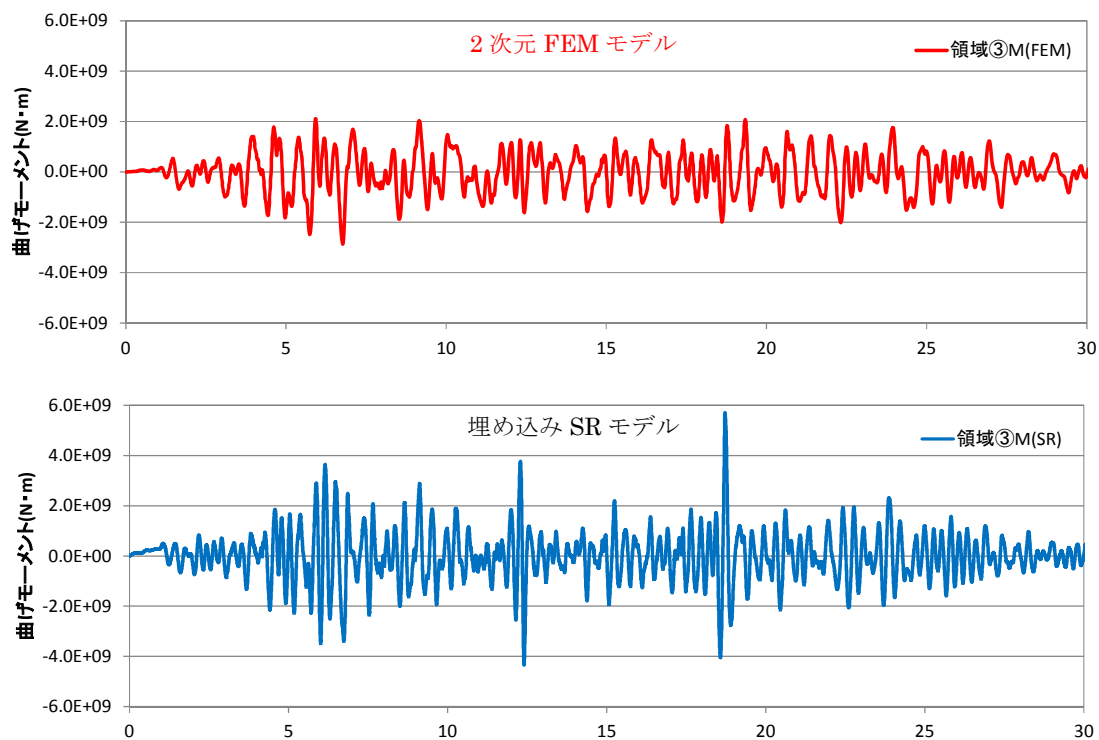


図 4. 2. 2. 5 側面地盤反力（曲げモーメント）の時刻歴
ケース 1（NS 方向）：領域③

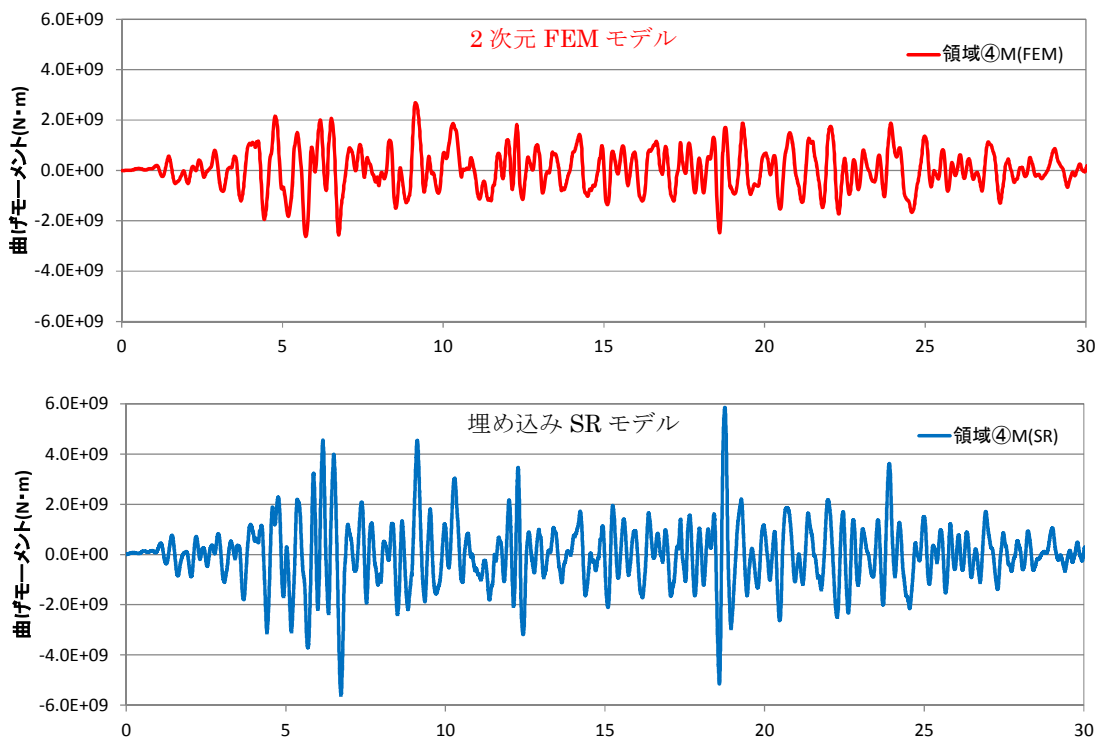


図 4. 2. 2. 6 側面地盤反力（曲げモーメント）の時刻歴
ケース 1（NS 方向）：領域④

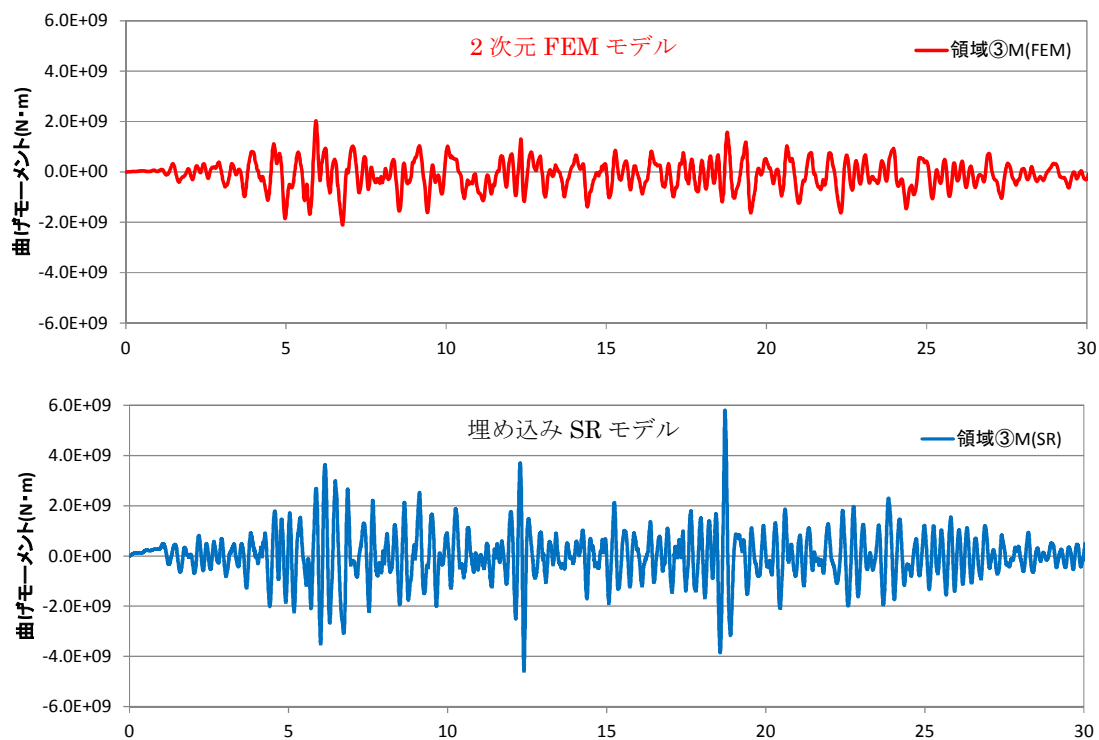


図 4. 2. 2. 7 側面地盤反力（曲げモーメント）の時刻歴
ケース 2（EW 方向）：領域③

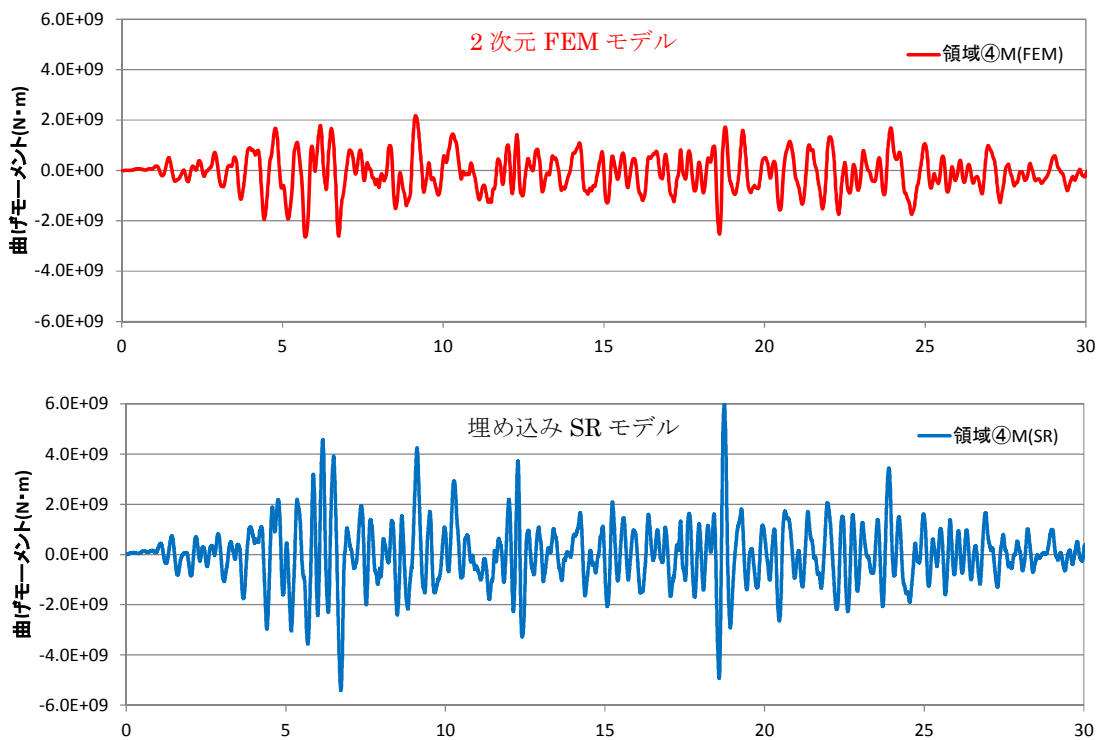


図 4. 2. 2. 8 側面地盤反力（曲げモーメント）の時刻歴
ケース 2（EW 方向）：領域④

4.3 建屋応答の比較

建屋地下外壁と側面地盤の接触剥離や摩擦すべりなどを考慮した2次元 FEM による建屋応答を、今回工認で用いる埋め込み SR モデルによる建屋応答を比較することにより、両者のモデルによる結果が同等であれば、埋め込み SR モデルに用いる側面回転ばねは有効であると考ええる。

埋め込み SR モデルと比較する地盤を 2 次元 FEM としたモデルは、原子炉建屋単独の基本モデル (NS, EW) を対象とする。

(1) NS 方向

図 4.3.1 に建屋の最大応答分布を比較して示す。全体的には埋め込み SR モデルのほう若干大きくなっているが、大きな差異は認められない。

図 4.3.2 に床応答スペクトルを比較して示す。建屋の上層部分ではスペクトルのピーク値や高振動数領域において埋め込み SR モデルのほうが大きくなっているが、大きな差異は認められない。

(2) EW 方向

図 4.3.3 に建屋の最大応答分布の比較、図 4.3.4 に床応答スペクトルの比較を示す。NS 方向と同様な結果であり、FEM モデルと埋め込み SR モデルの建屋応答の差異はわずかである。

なお、2 次元 FEM 解析の NS 方向及び EW 方向に共通してみられる周期 0.7 秒付近のピークは、基礎版上レベル (質点番号⑨) の応答スペクトルでも生じていることから、地盤深部の影響により、建屋への入力地震動に含まれる成分が励起されたものと推測でき、2 次元 FEM 解析で側面の接触剥離及び摩擦を詳細に考慮したことの影響ではないと考えられる。また、重要な機器の固有周期帯からは外れており、耐震評価上問題となるものではない。

表 4.3.1 に建屋の底面の接地率の最小値を比較して示す。参考として、同表の 2 次元 FEM モデルにおける底面の接地率が最小となる時刻の地反力分布を添付資料 3 に示す。

表 4.3.1 底面の接地率の最小値一覧

	NS 方向	EW 方向
埋め込み SR モデル	68%	68%
2 次元 FEM モデル	87%	87%

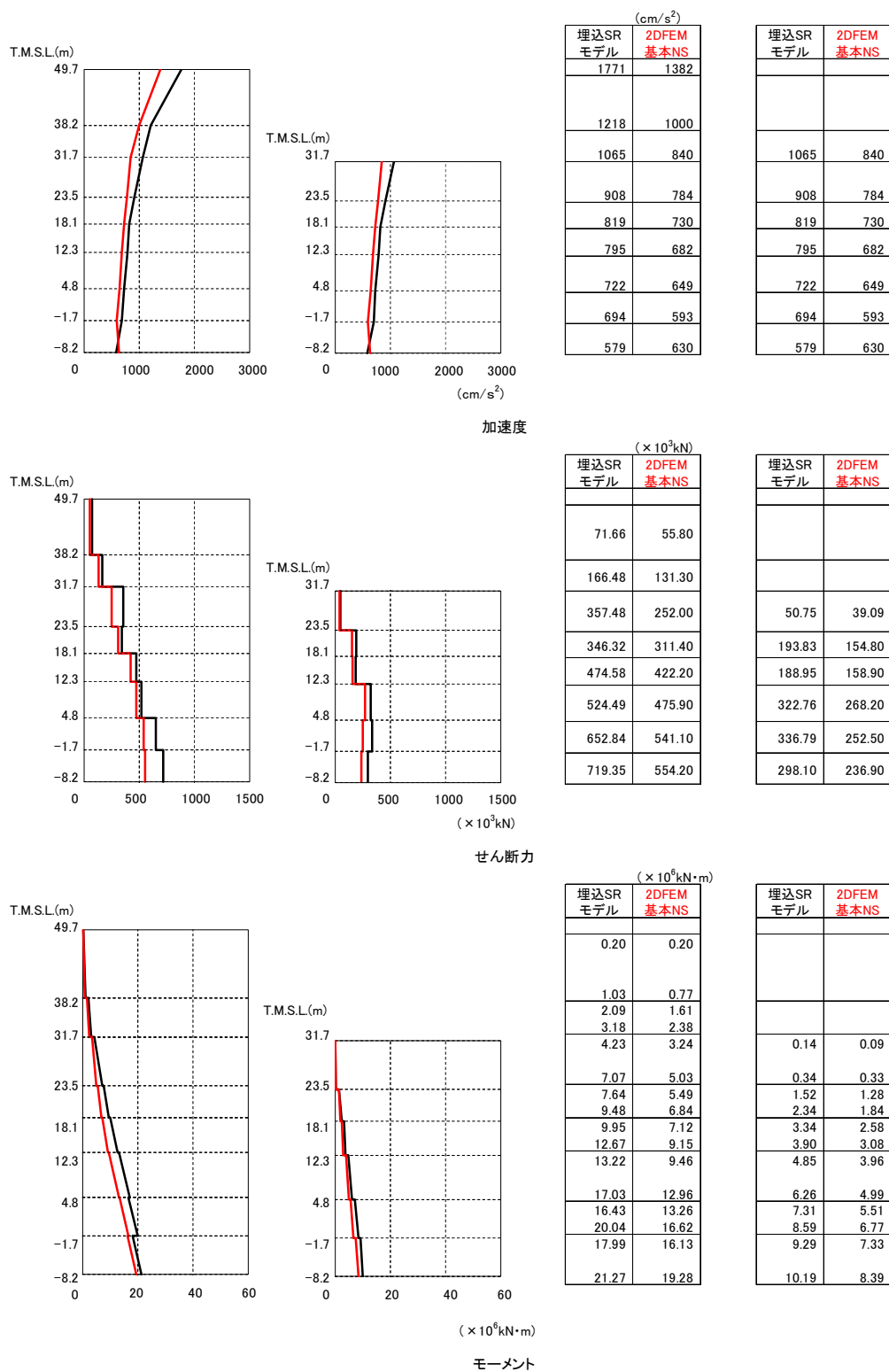


図 4.3.1 の最大応答分布の比較（基本モデルと埋め込み SR モデル）（NS 方向）

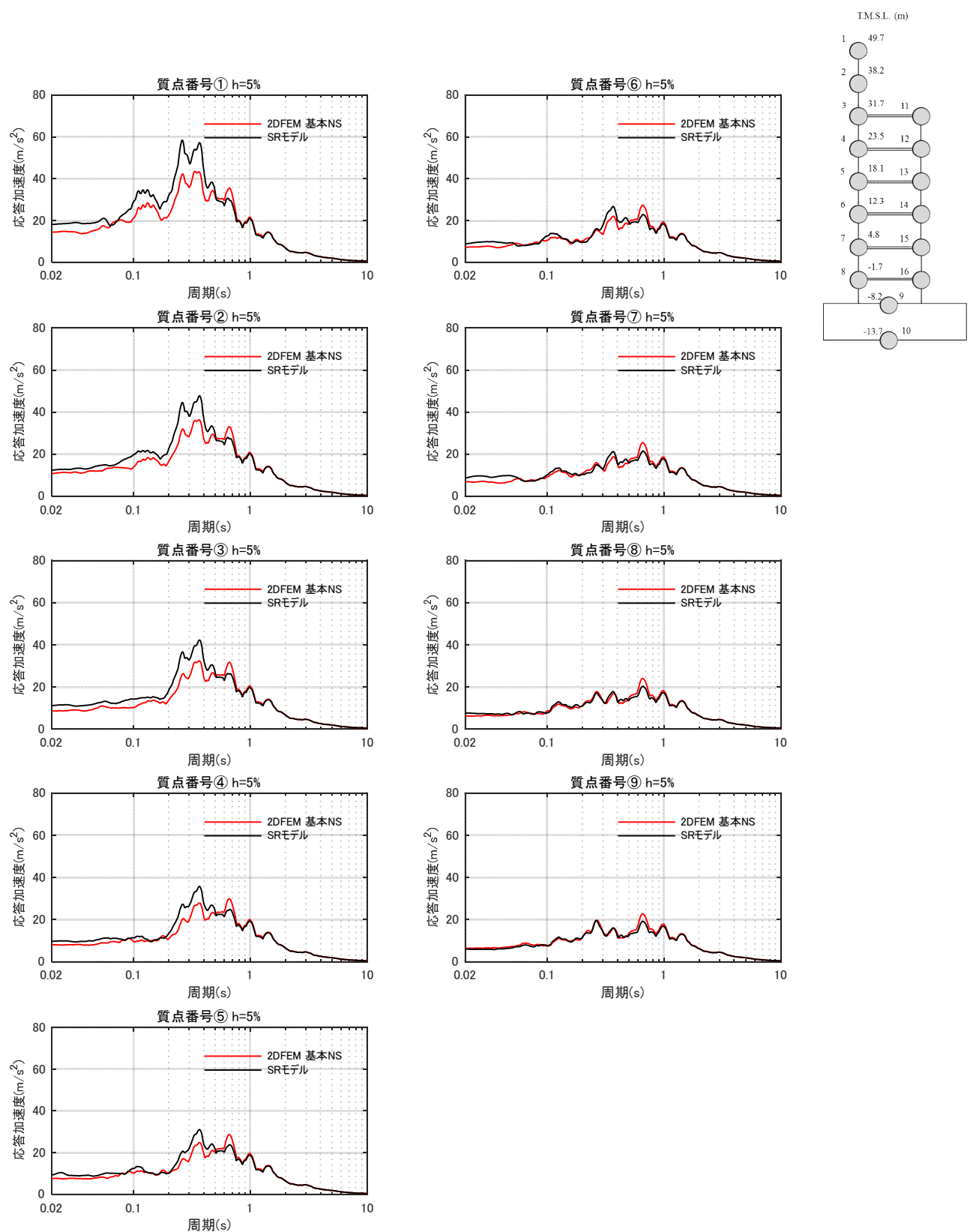


図 4.3.2-a 床応答スペクトルの比較（基本モデルと埋め込み SR モデル）（NS 方向） $h=5\%$

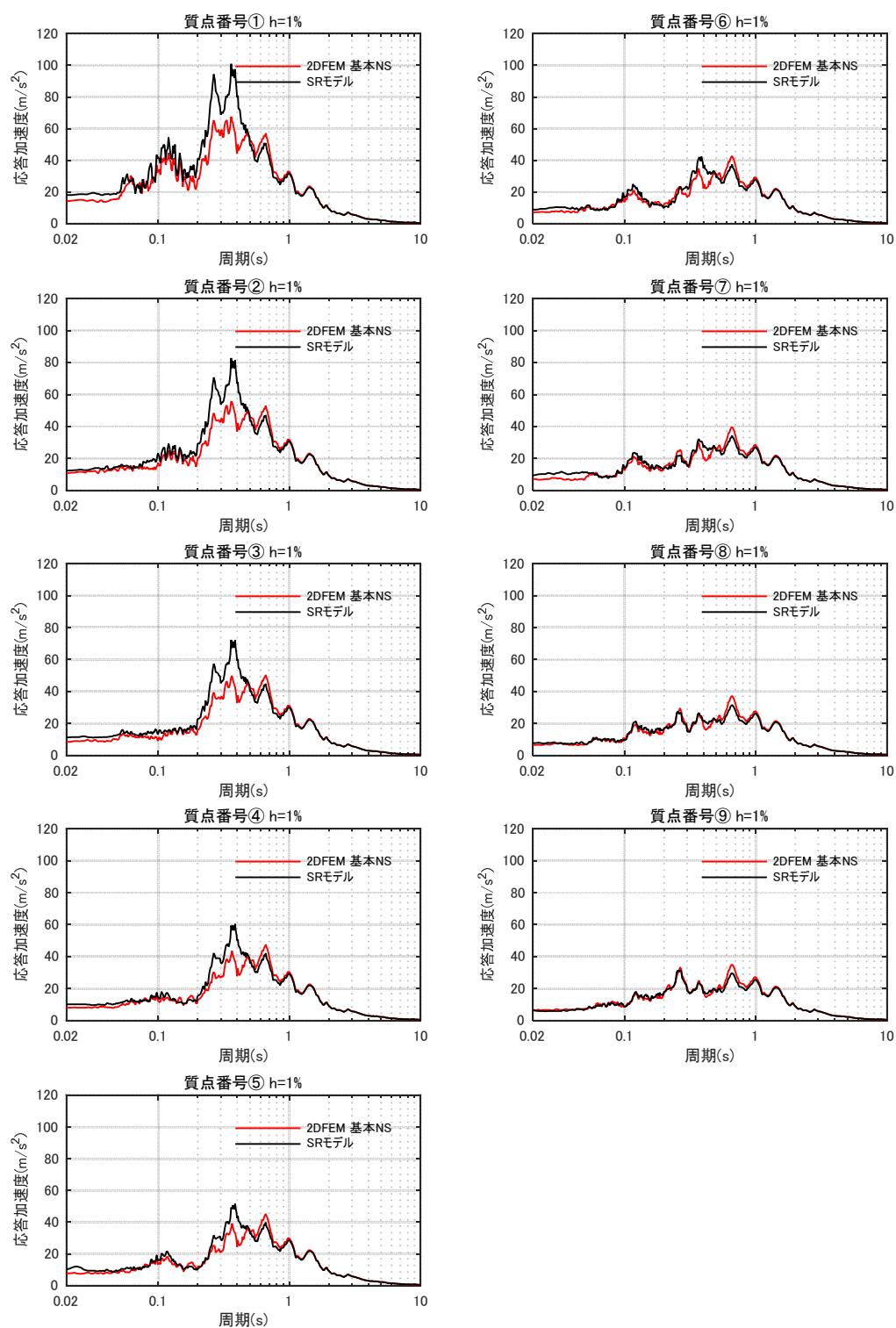


図 4.3.2-b 床応答スペクトルの比較（基本モデルと埋め込み SR モデル）（NS 方向） $h=1\%$

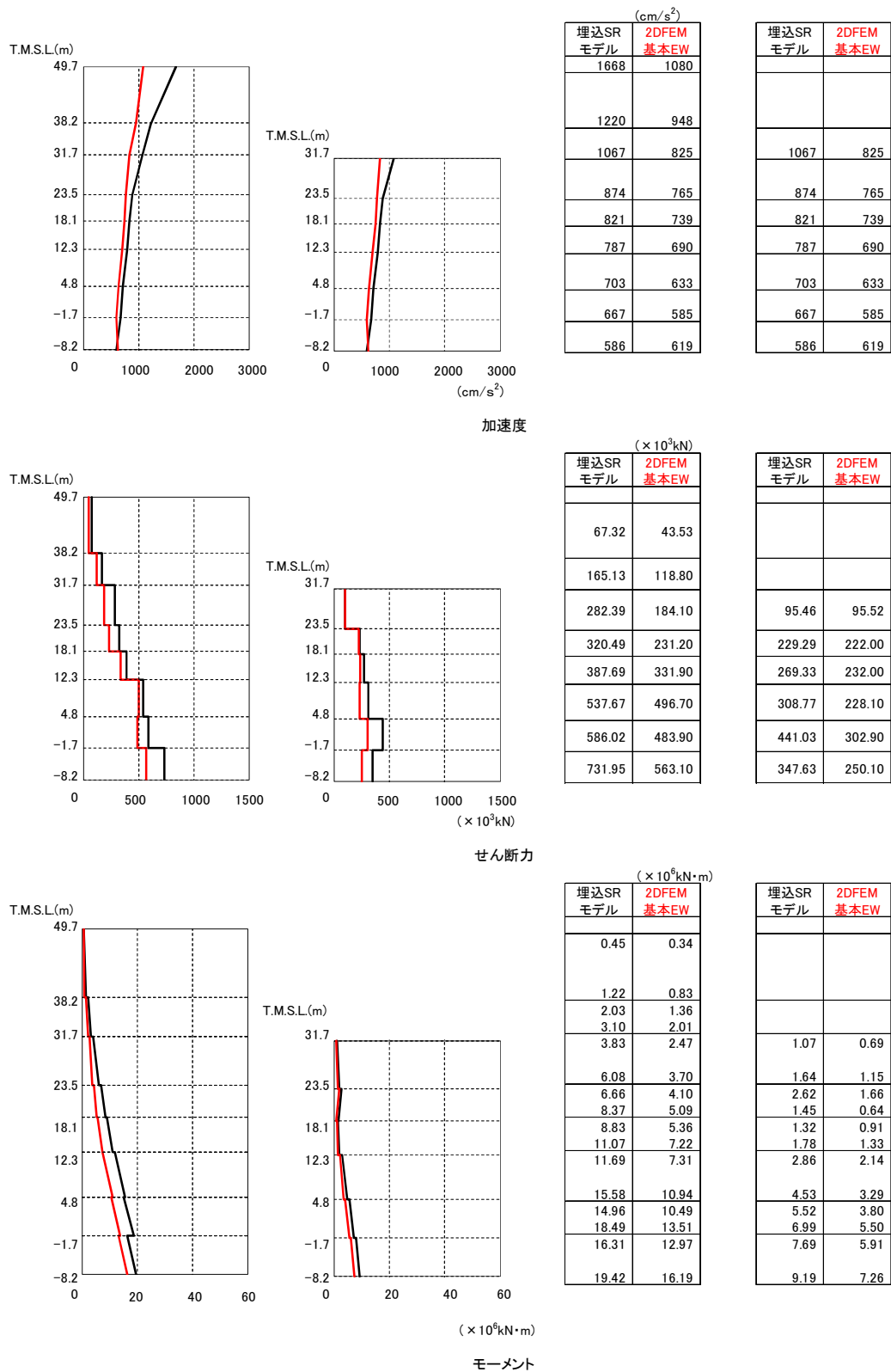


図 4.3.3 建屋の最大応答分布の比較（基本モデルと埋め込み SR モデル）（EW 方向）

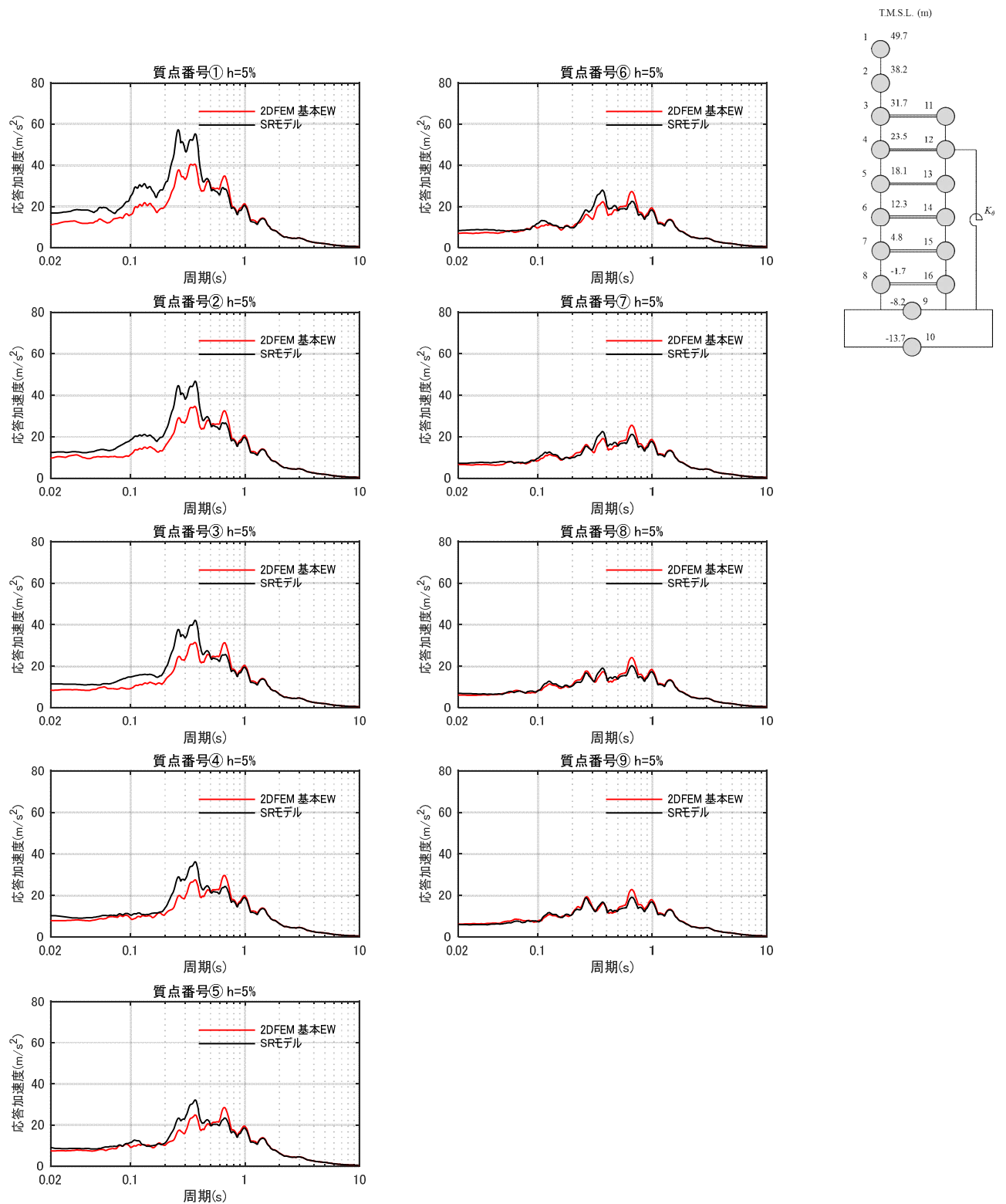


図 4.3.4-a 床応答スペクトルの比較（基本モデルと埋め込み SR モデル）（EW 方向） $h=5\%$

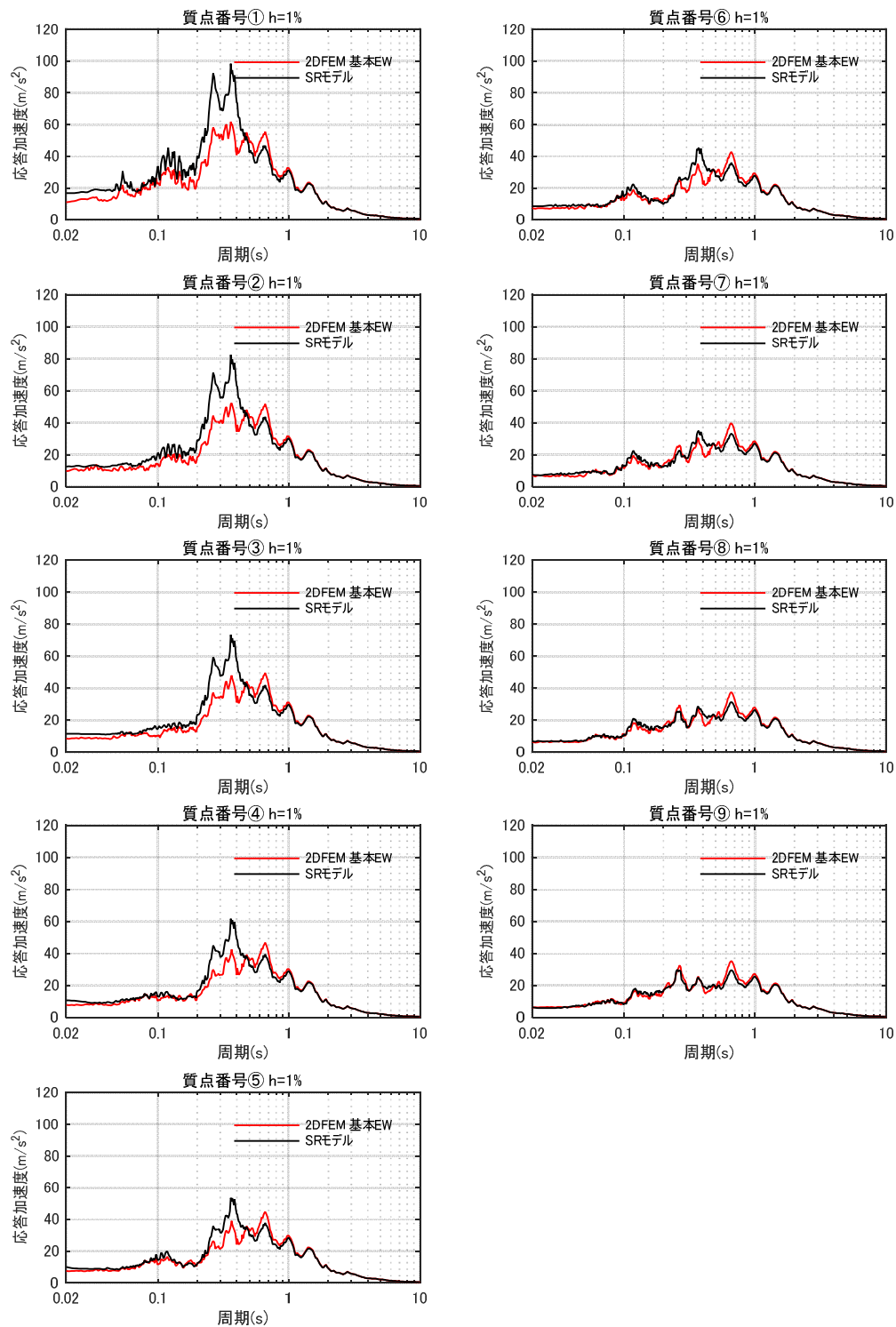


図 4.3.4-b 床応答スペクトルの比較（基本モデルと埋め込み SR モデル）（EW 方向） $h=1\%$

4.4 ジョイント要素せん断ばねのせん断剛性のばらつきの影響検討

論点①の検討として実施した，防水層がある建屋外壁と側面地盤の間を模擬した摩擦試験によれば，試験結果から算定したせん断剛性には垂直圧等の影響によるばらつきが見られた。そこで，ここでは 4.1 節で示した NS 方向の基本モデルのジョイント要素であるせん断ばねのせん断剛性を，摩擦試験結果のばらつき範囲を考慮して，表 4.4.1 に示すように試験結果の最大と最小のせん断剛性を設定して地震応答解析を行い，平均的なせん断剛性を用いた基本モデルによる結果と比較するとにより，せん断ばねのせん断剛性のばらつきの影響を検討する。

解析モデルは NS 方向の基本モデルについて，建屋地下壁と側面地盤の間に設置したジョイント要素のせん断ばねのせん断剛性にばらつきを与えたものである。

表 4.4.1 2 次元 FEM 解析モデルに用いるせん断ばねのせん断剛性のばらつき

	平均値 (基本モデル)	剛性大	剛性小
せん断剛性 ($\times 10^4$ kN/m/m ²)	4.67	8.06	3.03

図 4.4.1～図 4.4.2 に建屋の最大応答結果及び床応答スペクトルを比較して示す。せん断ばねのせん断剛性のばらつきを考慮しても建屋の応答は平均的なせん断剛性を用いた場合とほぼ同じであり，せん断ばねのせん断剛性のばらつきの影響は殆どないことが判った。なお，せん断ばねの履歴特性とせん断ばね剛性の建屋応答への影響について検討した結果を添付資料 4 に示す。

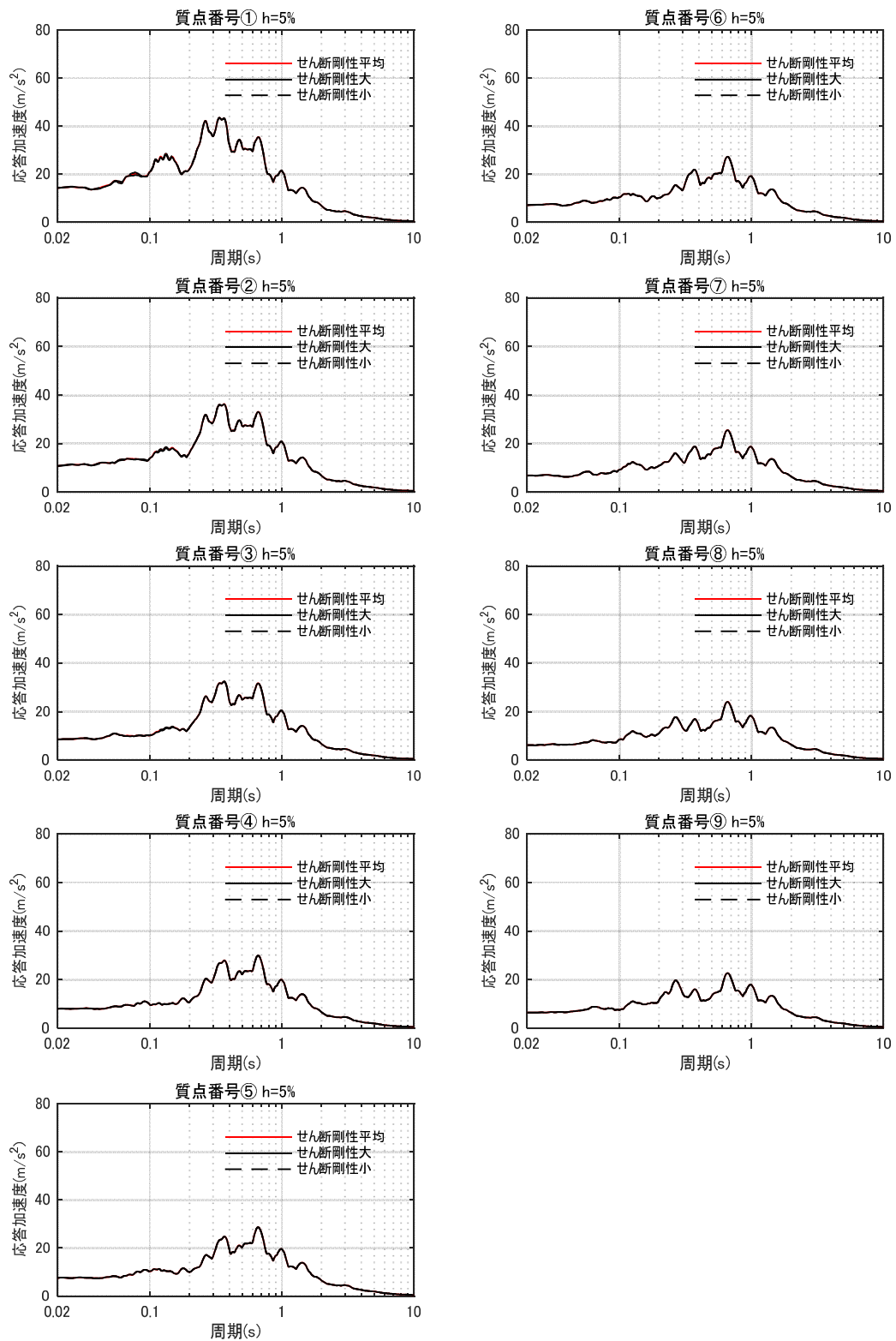


図 4.4.2-a 床応答スペクトルの比較 (せん断剛性: 平均, 大, 小) $h=5\%$

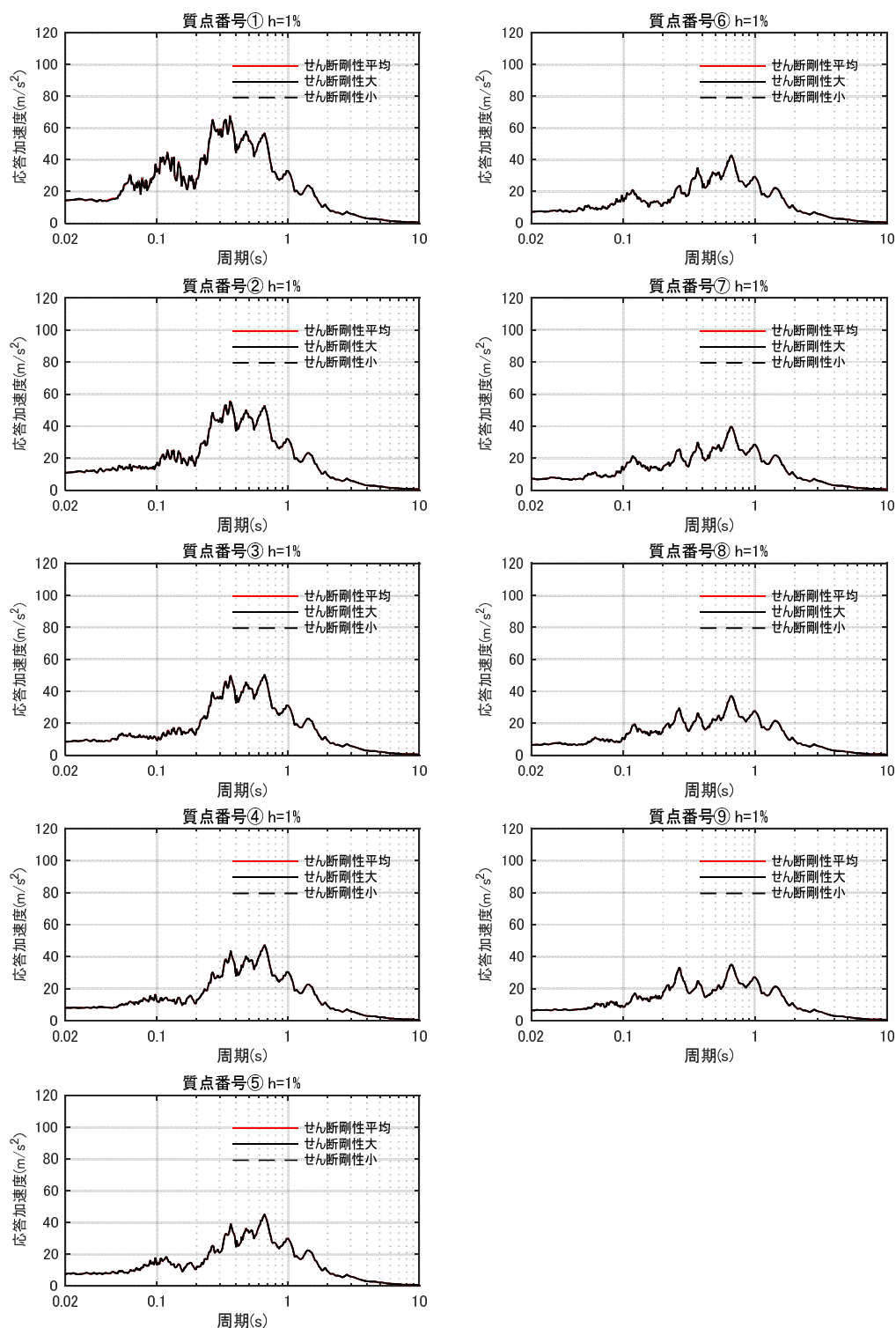


図 4.4.2-b 床応答スペクトルの比較（せん断剛性：平均，大，小） $h=1\%$

4.5 まとめ

(1) 建屋拘束効果の検討

地盤を 2 次元 FEM モデル、建屋を質点系モデルとして、建屋地下外壁と側面地盤の剥離や摩擦を考慮した解析モデルを用いて基準地震動 Ss-1 に対する地震応答解析を実施した。

この結果、側面地盤-建屋間に剥離が生じる場合でも、地震継続中の大半の時間において、地下外壁には土圧及びせん断応力が作用する結果が示された。2 次元 FEM では、建屋と地盤間の摩擦を介したせん断力の伝達が比較的小さい場合であっても、NOVAK のばねに考慮されていない水平方向のせん断抵抗（図 2.1.3 参照）による軸方向の力が作用すること等により側面地盤の拘束効果が得られることが分かった。

更に、埋め込み SR モデルの NOVAK ばねに作用する側面地盤反力を、2 次元 FEM の側面地盤反力と比較した結果、NOVAK ばねに作用する側面地盤反力と 2 次元 FEM の側面地盤反力は共に、建屋応答（曲げモーメント）と同等オーダー（ $\times 10^9 \text{N} \cdot \text{m}$ ）の比較的大きな値を示し、建屋を相応に拘束していることが確認された。これらのことから、地震時において建屋～地盤間の力の伝達が生じ、地盤による建屋の拘束効果が期待できることがわかった。なお、2 次元 FEM の側面地盤反力は埋め込み SR モデルの側面地盤反力より小さい傾向が見られた。

(2) 建屋応答の比較

2 次元 FEM モデルによる建屋応答と側面回転ばねを有する埋め込み SR モデルの建屋応答を比較した。この結果、NS 方向、EW 方向ともに両者のモデルによる建屋応答や床応答スペクトルの差異はわずかであり、埋め込み SR モデルに側面回転ばねを考慮することは妥当であると考えられる。また、側面回転ばねは先に述べたように底面の接地率の改善に効果があるものの地震応答解析結果の差異は小さい傾向がある。しかしながら、側面地盤反力で見られた傾向を踏まえ、今回工認においては底面の接地率の評価において保守的に、側面回転ばねの値を半減させた場合についても検討することとする。（参考資料-2）

(3) ジョイント要素せん断ばねのせん断剛性のばらつきの影響検討

論点①の検討として実施した摩擦試験結果のせん断剛性のばらつきの範囲を考慮した 2 次元 FEM 解析を実施した。その結果、ばらつきを考慮しても建屋の応答は、平均的なせん断剛性を用いた場合とほぼ同じであり、ばらつきの影響は殆どないことがわかった。

5. 論点③に対する検討

(論点③ 隣接建屋や建屋周辺の詳細な地盤状況が側面回転ばねの適用性に影響しないか)

5.1 検討概要

原子炉建屋に隣接するタービン建屋の影響及び原子炉建屋周辺にあるマンメイドロック（メイントランス基礎）や埋戻しなど詳細な地盤状況の影響について、それらを考慮した 2 次元 FEM モデルを用いて地震応答解析を行い、論点②で検討した基本モデルの結果と比較することにより影響を検討する。

EW 方向は基本モデルにタービン建屋を考慮したモデルにより、隣接建屋の影響を検討する。NS 方向は基本モデルの地盤の一部をマンメイドロック（メイントランス基礎）や埋戻し土に変更して地盤の精緻化による影響を検討する。

図 5.1.1 に論点③の検討フローを示す。

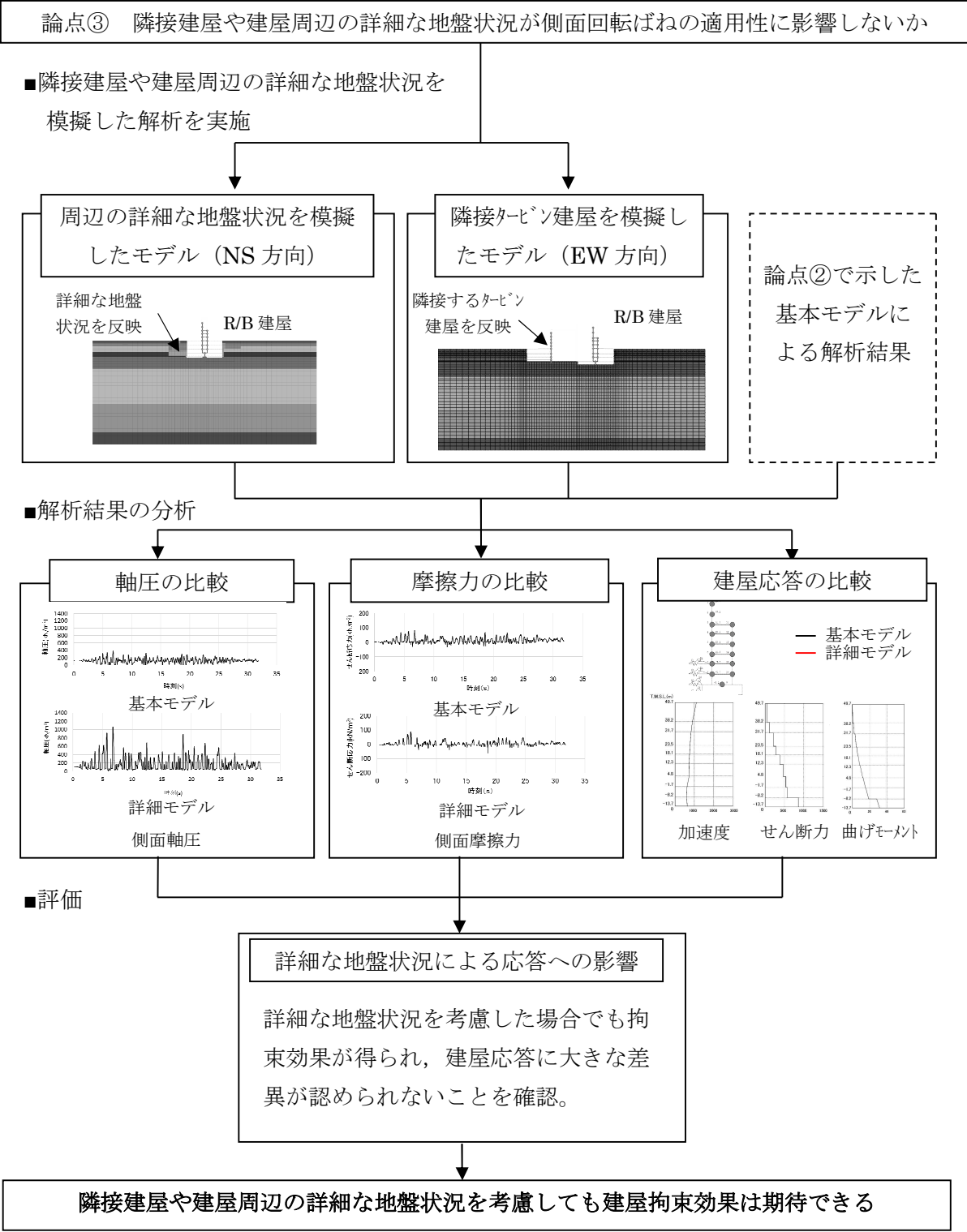


図.5.1.1 隣接建屋や建屋周辺の詳細な地盤状況を考慮した側面回転ばねの適用性検討フロー

5.2 解析ケース

表 5.2.1 に解析ケースを示す。

表 5.2.1 解析ケース

No	方向	建屋	地盤	備考
3	NS 方向	R/B 単独	成層地盤＋外壁側面の MMR＋(建屋周辺 MMR 及び埋戻し状況の反映)	地盤精緻化 モデル
4	EW 方向	R/B＋T/B 連成	成層地盤＋外壁側面の MMR	タービン建屋 連成モデル

5.3 解析モデル

地盤精緻化モデル及びタービン建屋連成モデルは、原子炉建屋単独の基本モデルと同様に、建屋部分を質点系モデル、地盤を２次元 FEM モデルとし、建屋地下外壁と側面地盤の間の接触剥離や上下方向の摩擦すべり、及び、基礎底面の浮上りを考慮したモデルである。

(1) 地盤精緻化モデル

1) 地盤のモデル化

実際の建屋周辺の地盤には、地下壁側面のマンメイドロックの他に、地表から古安田層に一部達する深さにメイントランス基礎であるマンメイドロックが打設されている。また、埋戻し工事の関係で古安田層上端レベルが建屋近傍で基本モデルに比べ低くなっている。これらの実際の地盤の影響を検討するために、NS 方向の基本モデルの地盤の一部を、メイントランス基礎の状況を踏まえてマンメイドロックに変更するとともに、古安田層の一部がマンメイドロックに切り込まれている状況を考慮したモデルとする。また、建屋の設置状況の断面図（図-2.3.2）によれば、原子炉建屋の直下にも一部マンメイドロックが打設されていることが確認できるが、本検討は側方地盤による拘束効果を確認するものであり、この部分のモデル化による影響は軽微だと考え、モデル化に反映していない。なお、原子炉建屋の直下のマンメイドロックの建屋応答への影響について念のため検討した結果を添付資料 5 に示す。

表 5.3.1、表 5.3.2 に埋戻し土とメイントランス基礎のマンメイドロックの物性を示す。図 5.3.1 に地盤のメッシュを、図 5.3.2 に建屋周辺のメッシュの詳細を示す。

2) 建屋地下外壁と側面地盤のジョイント部のモデル化

地下外壁と側面地盤の間に考慮するせん断ばねと軸ばねの特性は基本モデルと同じである。地盤（埋戻し土を含む）と接する部分には接触剥離を考慮する軸ばねを設置し、地下外壁側面がマンメイドロックと接している部分にせん断ばねを設置する。

3) 建屋基礎底面と地盤のジョイント部のモデル化

4.1 節に示す基本モデルと同様である。

4) 原子炉建屋のモデル化

原子炉建屋は基本モデルと同様である。

(2) タービン建屋連成モデル

1) 地盤のモデル化

地盤は EW 方向の基本モデルと同様であるが、タービン建屋を追加するため地盤全体の水平方向のモデル化範囲をタービン建屋基礎分だけ拡大している。また、建屋の設置状況の断面図（図-2.3.2）によれば、タービン建屋西側に埋戻し土が存在しているが、本検討はタービン建屋が隣接することによる原子炉建屋の応答への影響を検討するものであり、この部分のモデル化が原子炉建屋に及ぼす影響は軽微だと考え、モデル化に反映していない。

図 5.3.3 に地盤のメッシュを、図 5.3.4 に建屋周辺のメッシュの詳細を示す。

2) 建屋地下外壁と側面地盤のジョイント部のモデル化

地下外壁と側面地盤の間に考慮するせん断ばねと軸ばねの特性は基本モデルと同じである。原子炉建屋及びタービン建屋ともに、建屋が地盤と接する部分には接触剥離を考慮する軸ばねを設置し、地下外壁側面がマンメイドロックと接する場所にはせん断ばねを設置する。

3) 建屋基礎底面と地盤のジョイント部のモデル化

4.1 節に示す基本モデルと同様である。

4) 原子炉建屋とタービン建屋のモデル化

原子炉建屋は基本モデルと同じである。タービン建屋は質点系の線形モデルとした。

表 5.3.1 埋戻し土の物性

エリア	単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比	せん断弾性係数 (N/mm ²)	減衰定数 (%)
埋戻し土①	18.6	0.333	2.96～23.64	24.0～14.8
埋戻し土②	18.6	0.333	4.15～53.06	11.4～6.3
埋戻し土③	18.6	0.333	3.69～55.37	11.7～6.7

表 5.3.2 マンメイドロックの物性（メイントランス基礎）

単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比	せん断弾性係数 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	減衰定数 (%)
17.2	0.36	1910.0	5195.2	2.0

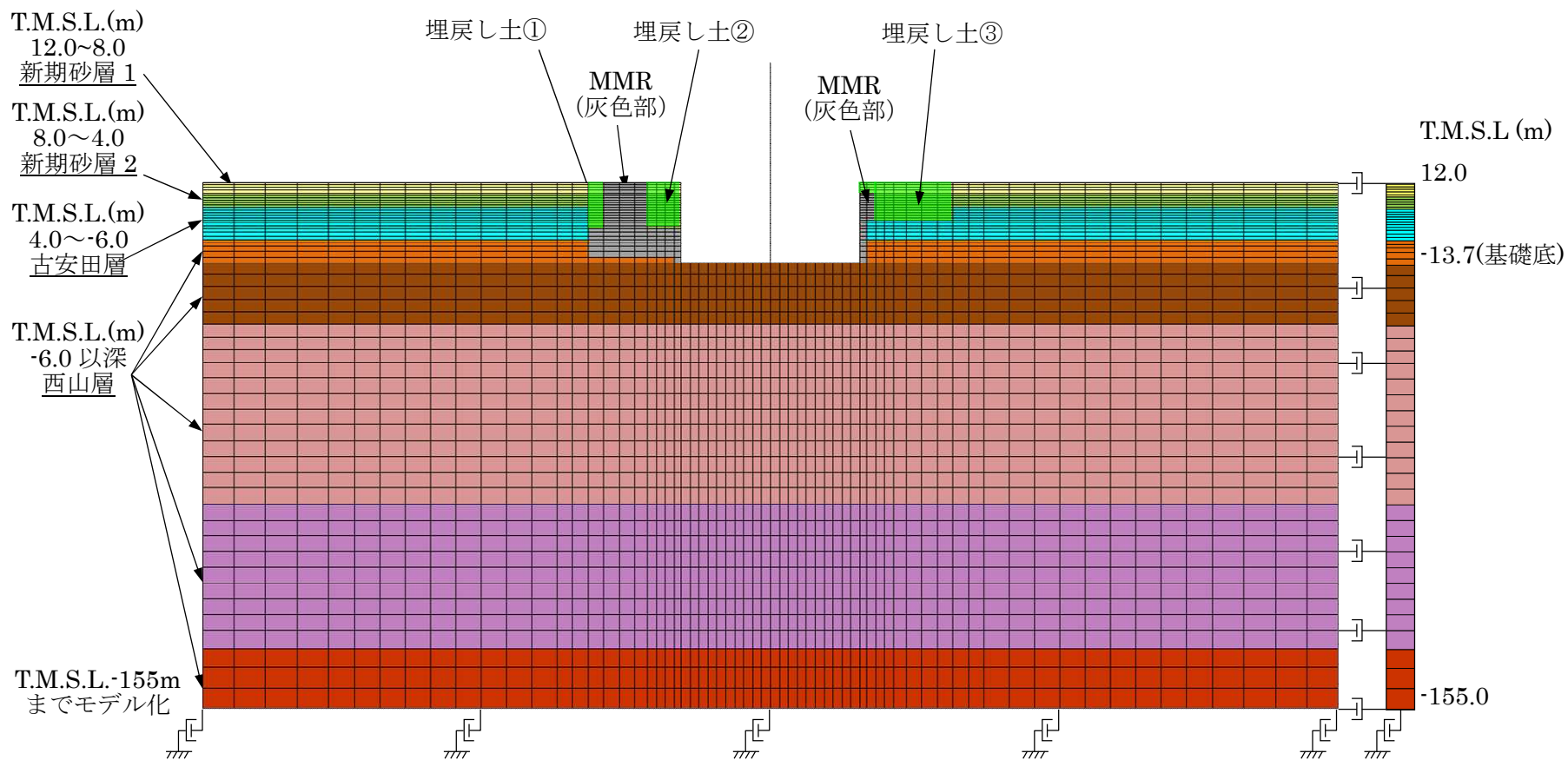


図 5.3.1 地盤精緻化モデルの地盤メッシュ図 (NS 方向)

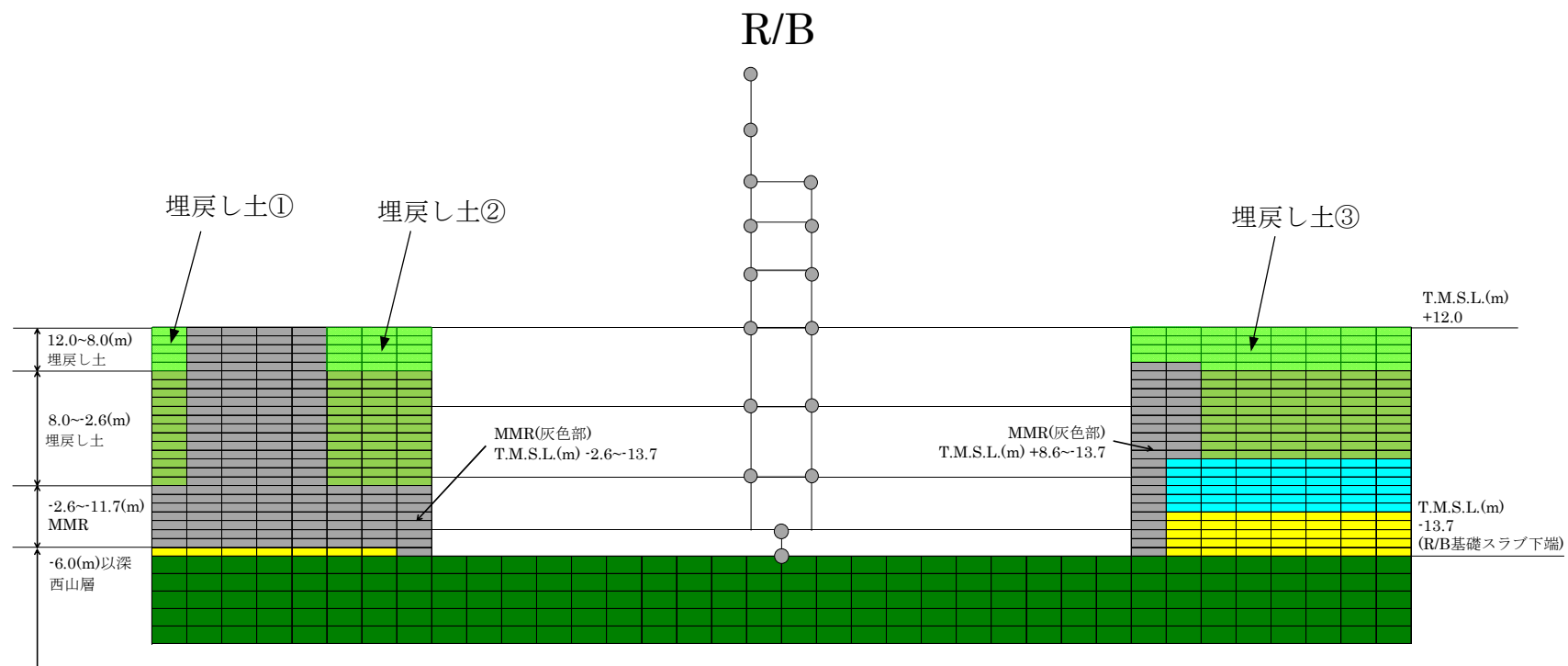


図 5.3.2 地盤精緻化モデルの建屋周辺の詳細 (NS 方向)

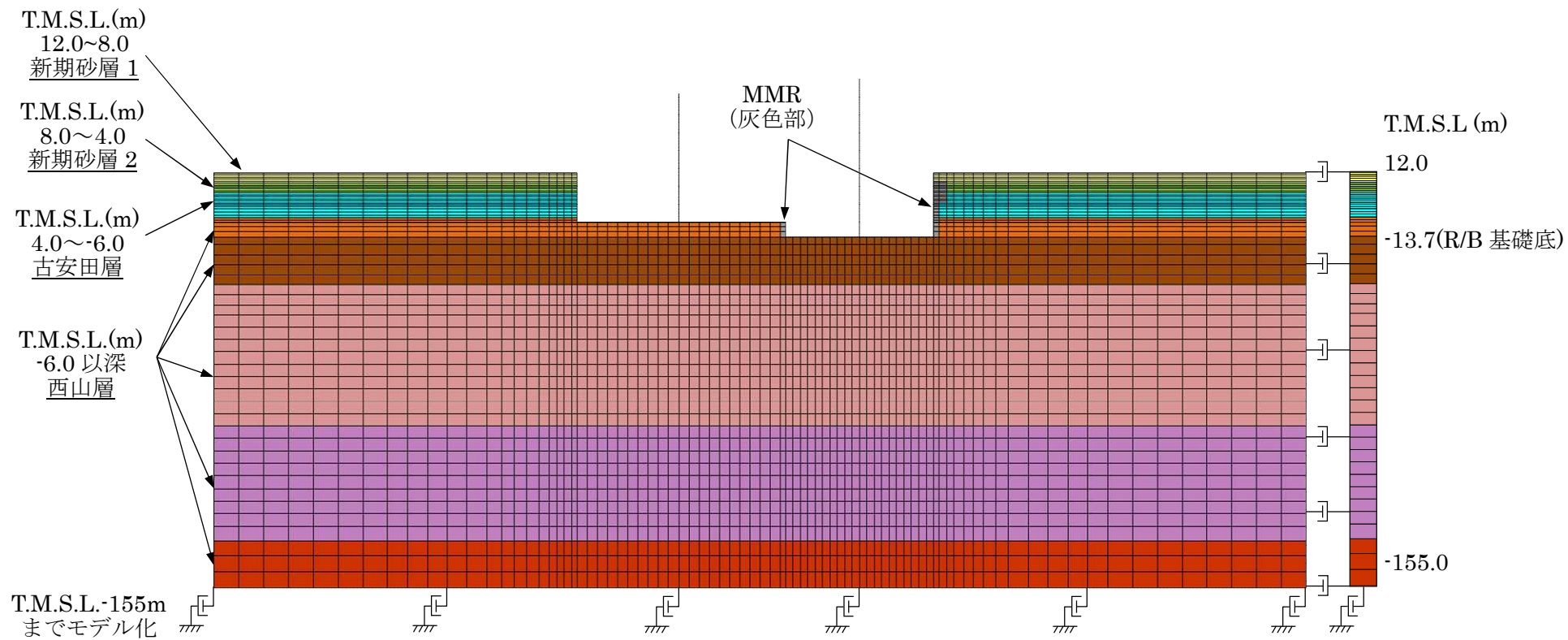


図 5.3.3 タービン建屋連成モデルの地盤メッシュ図 (EW 方向)

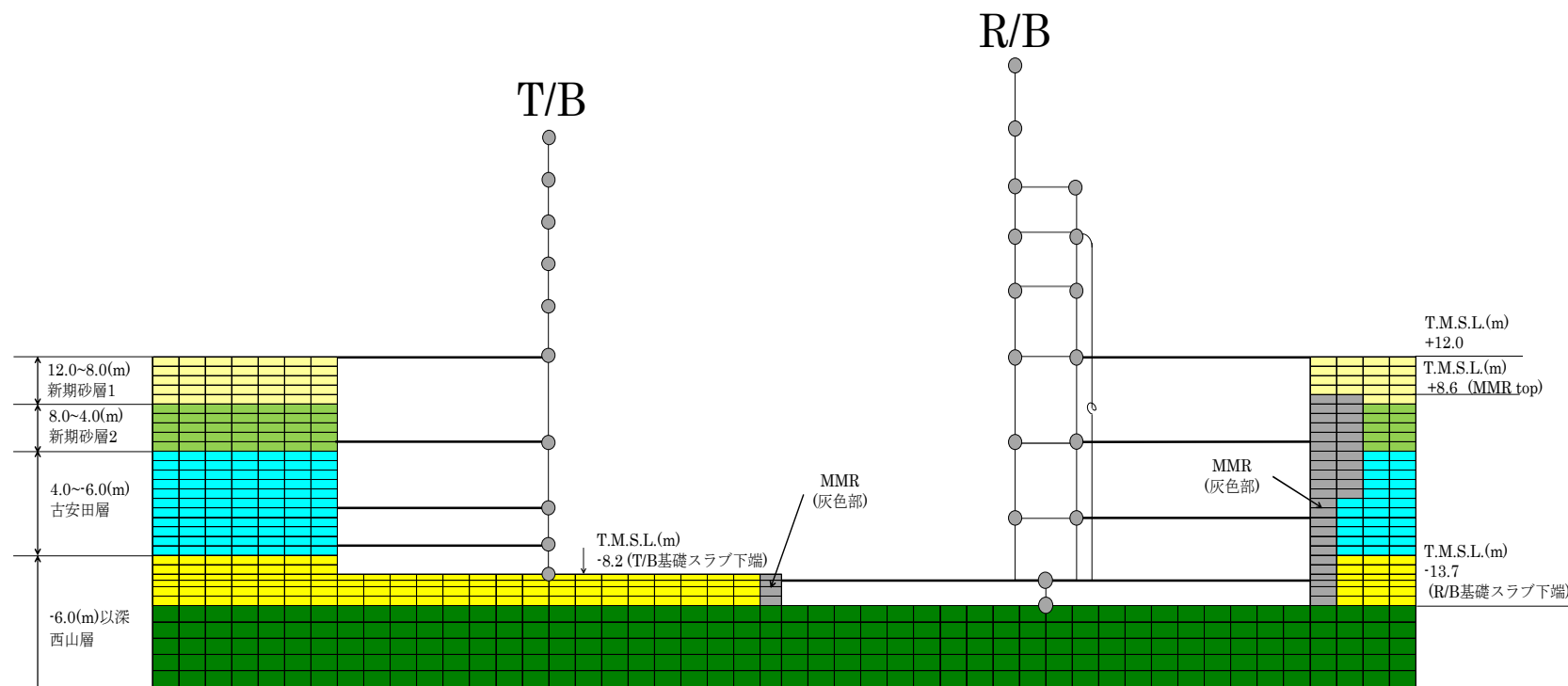


図 5.3.4 タービン建屋連成モデルの建屋周辺の詳細 (EW 方向)

5.4 検討用地震動

対象とする地震動は 4.1 節と同様の基準地震動 Ss-1 とする。

図 5.4.1 に基準地震動 Ss-1 の加速度波形を示す。

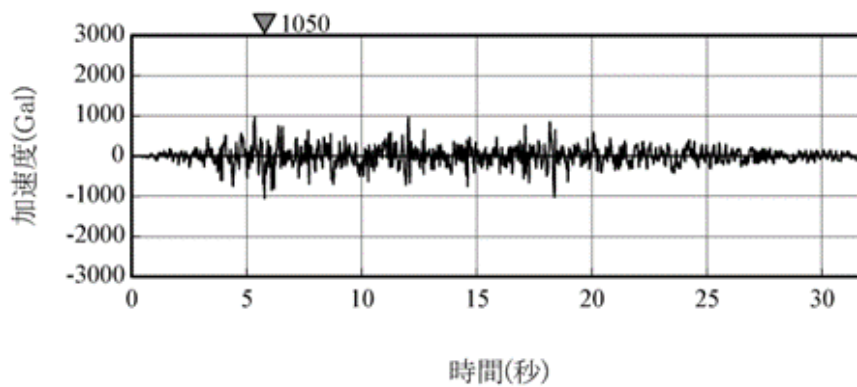


図 5.4.1 基準地震動 Ss-1 の加速度波形（解放基盤表面）

5.5 解析結果

ここでは、4.1 節で用いた 2 次元 FEM モデル（基本モデル）の建屋応答結果と比較することにより、地盤精緻化やタービン建屋連成の影響を把握する。

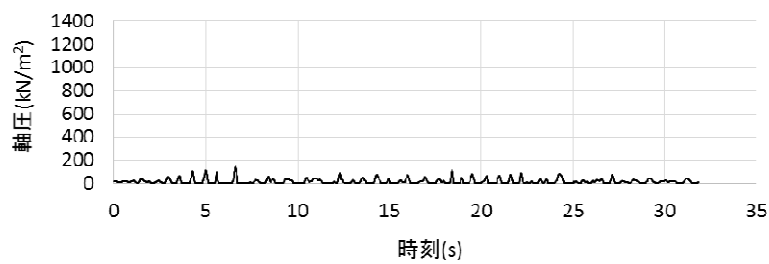
（1）地盤精緻化モデルと基本モデルの比較（NS 方向）

図 5.5.1～図 5.5.7 に各領域における単位面積当たりの軸圧，せん断応力の時刻歴について両モデルで比較して示す。図 5.5.8 に建屋の最大応答分布の比較を示す。

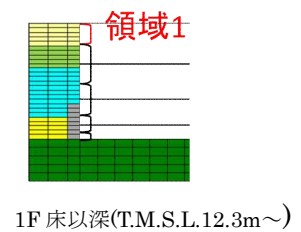
また，図 5-5-9～10 に床応答スペクトルを比較して示す。これらの結果から以下が明らかである。

- ・ 地盤精緻化モデルでは南側のメイントランス基礎のマンメイドロックの部分で軸圧が基本モデルより大きい。一方，北面の軸圧は同等である。
- ・ せん断応力は基本モデルと地盤精緻モデルで概ね同等である。
- ・ 建屋の最大応答は基本モデルと大きな差異は認められない。
- ・ 床応答スペクトルについても，基本モデルと大きな差異は認められない。

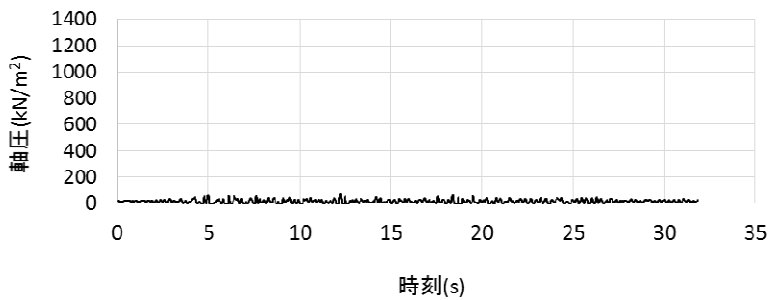
以上より，地盤を精緻化した場合でも，建屋の拘束効果は得られること，建屋応答は基本モデルと整合的であることを確認した。



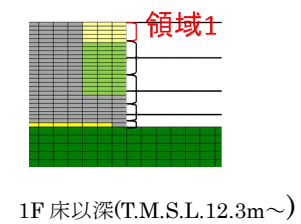
(NS 方向基本モデル)



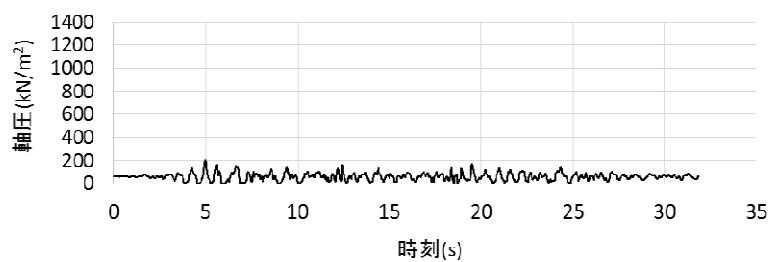
1F 床以深(T.M.S.L.12.3m～)



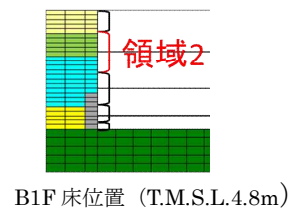
(NS 方向地盤精緻モデル)



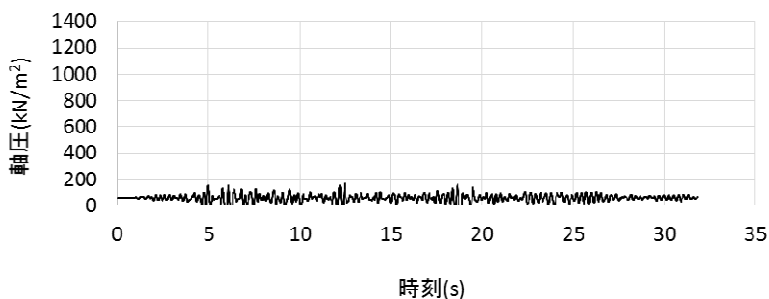
1F 床以深(T.M.S.L.12.3m～)



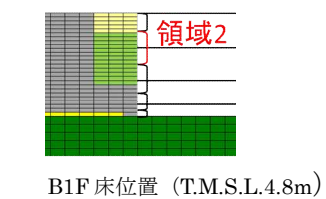
(NS 方向基本モデル)



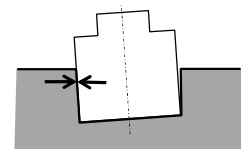
B1F 床位置 (T.M.S.L.4.8m)



(NS 方向地盤精緻モデル)

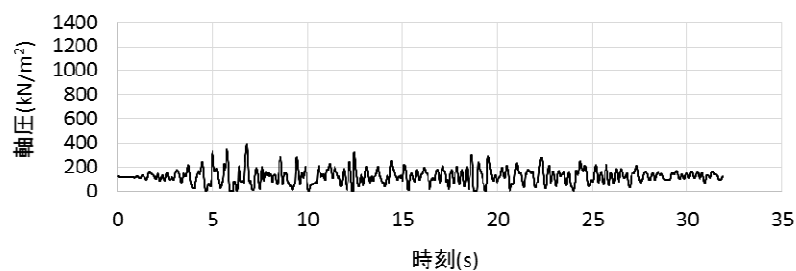


B1F 床位置 (T.M.S.L.4.8m)

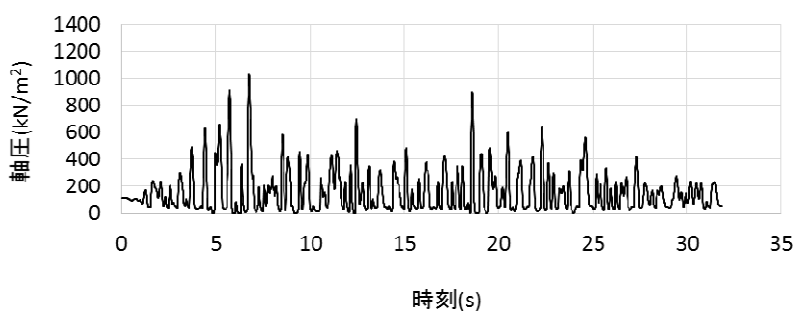
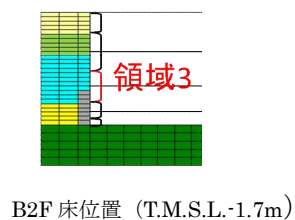


軸圧は、地盤を圧縮する
方向を正とする

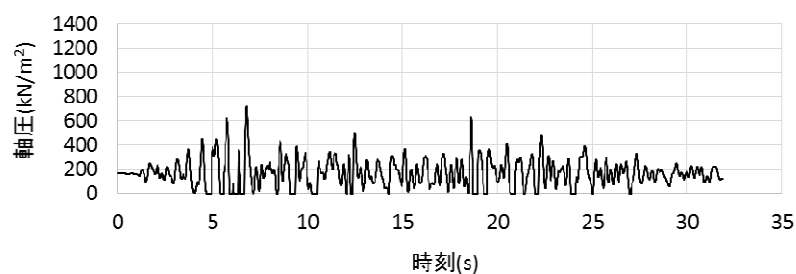
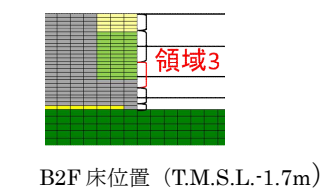
図 5.5.1 軸ばねの軸圧の時刻歴 (NS 方向 基本モデル, 地盤精緻モデル 南側 1/2)



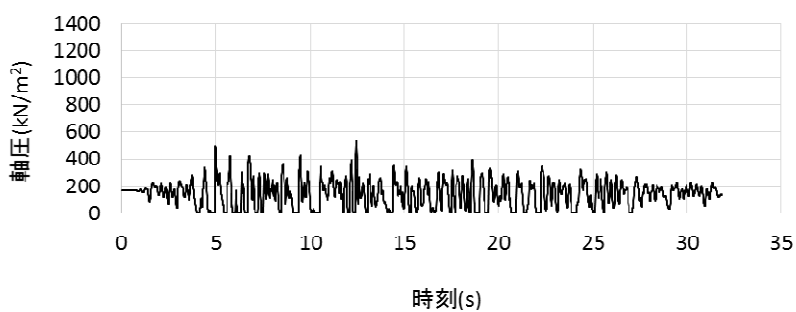
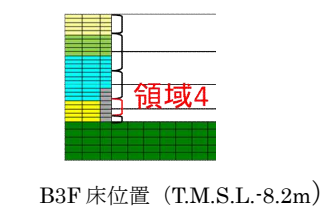
(NS 方向基本モデル)



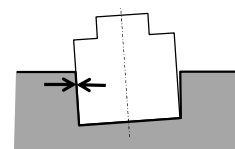
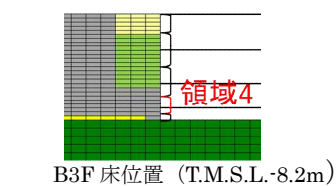
(NS 方向地盤精緻モデル)



(NS 方向基本モデル)

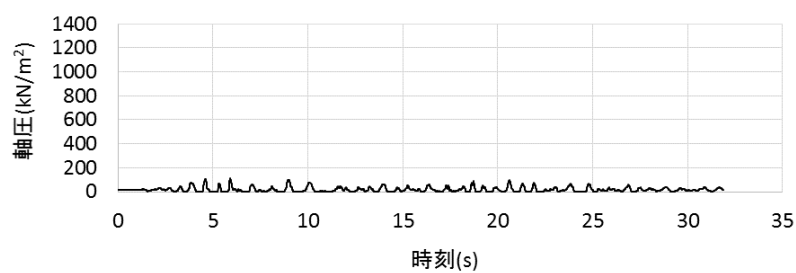


(NS 方向地盤精緻モデル)

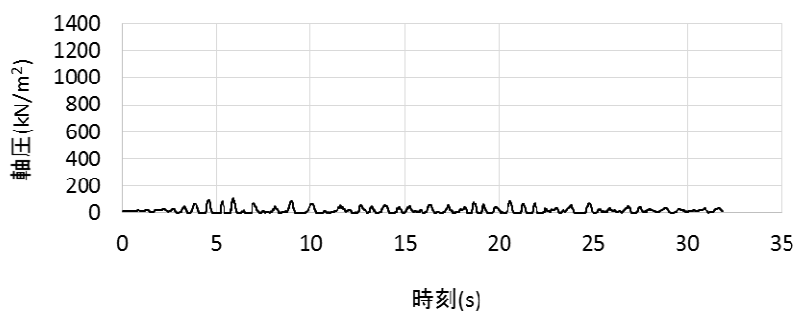
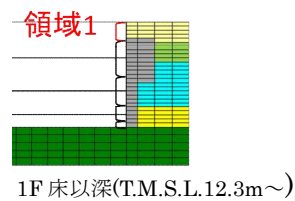


軸圧は、地盤を圧縮する方向を正とする

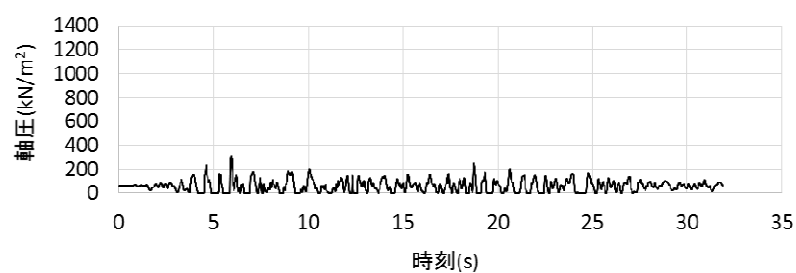
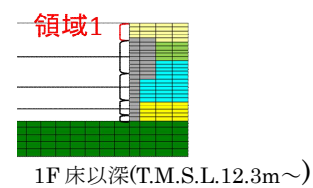
図 5.5.2 軸ばねの軸圧の時刻歴 (NS 方向 基本モデル, 地盤精緻モデル 南側 2/2)



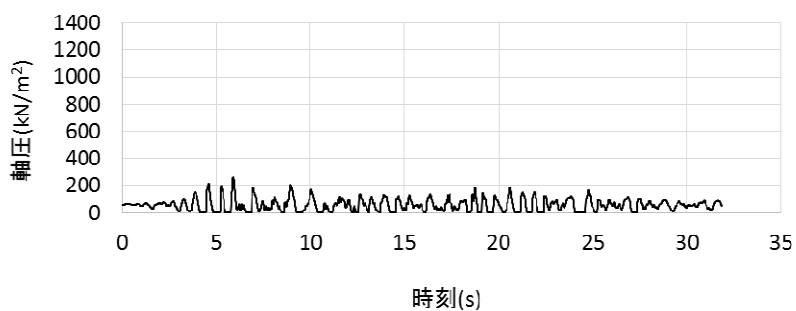
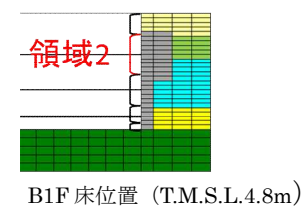
(NS 方向基本モデル)



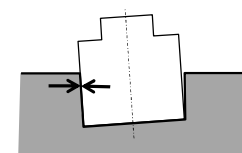
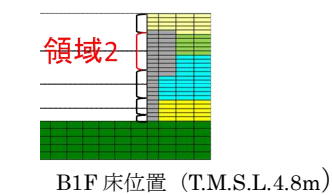
(NS 方向地盤精緻モデル)



(NS 方向基本モデル)

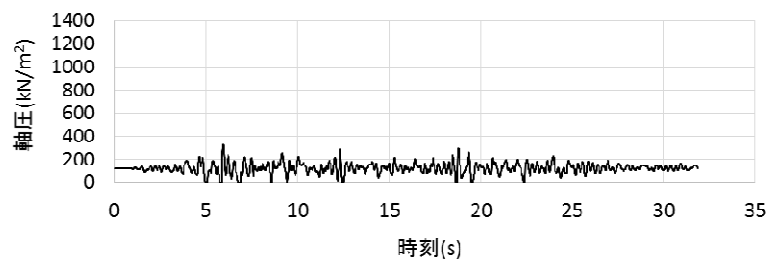


(NS 方向地盤精緻モデル)

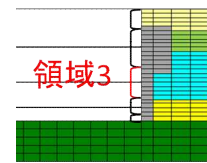


軸圧は、地盤を圧縮する
方向を正とする

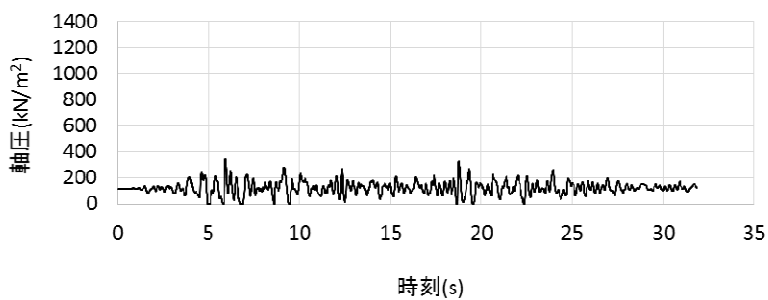
図 5.5.3 軸ばねの軸圧の時刻歴 (NS 方向 基本モデル, 地盤精緻モデル 北側 1/2)



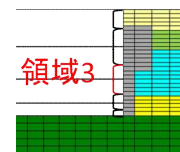
(NS 方向基本モデル)



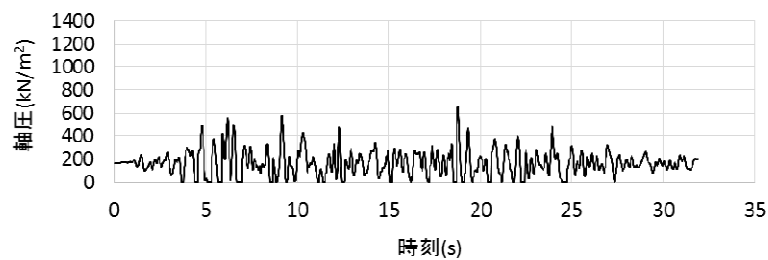
B2F 床位置 (T.M.S.L.-1.7m)



(NS 方向地盤精緻モデル)



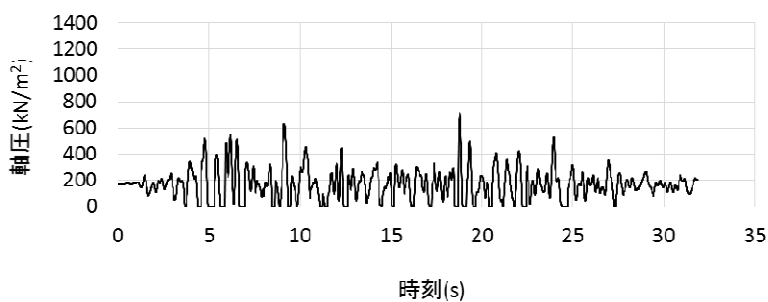
B2F 床位置 (T.M.S.L.-1.7m)



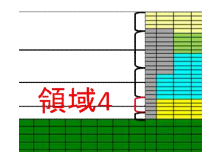
(NS 方向基本モデル)



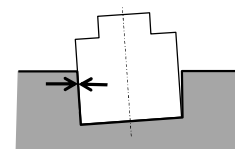
B3F 床位置 (T.M.S.L.-8.2m)



(NS 方向地盤精緻モデル)

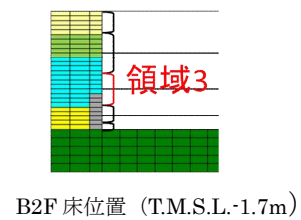
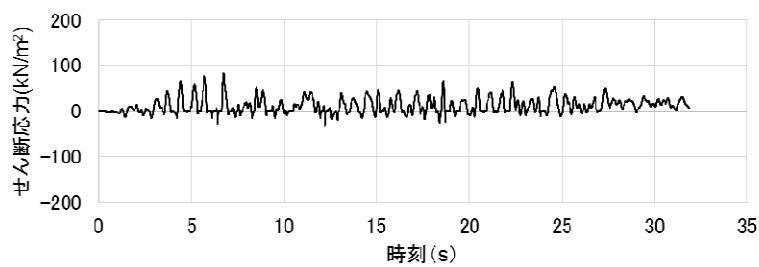


B3F 床位置 (T.M.S.L.-8.2m)

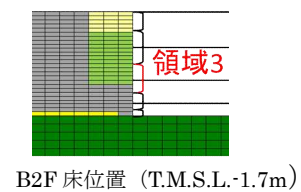
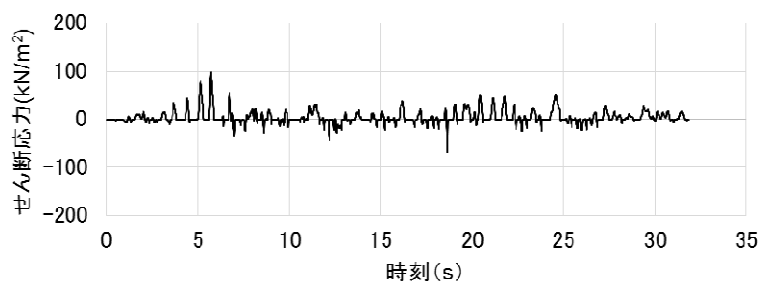


軸圧は、地盤を圧縮する
方向を正とする

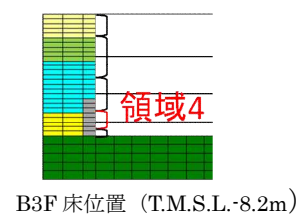
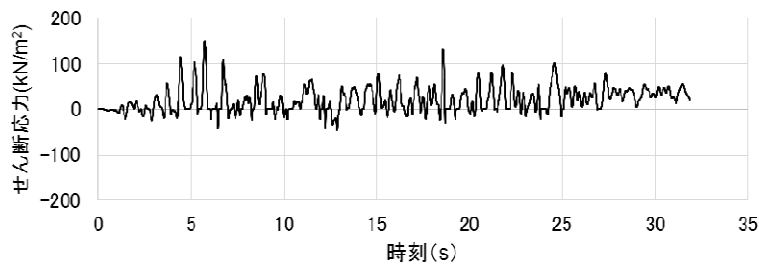
図 5.5.4 軸ばねの軸圧の時刻歴 (NS 方向 基本モデル, 地盤精緻モデル 北側 2/2)



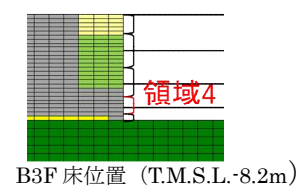
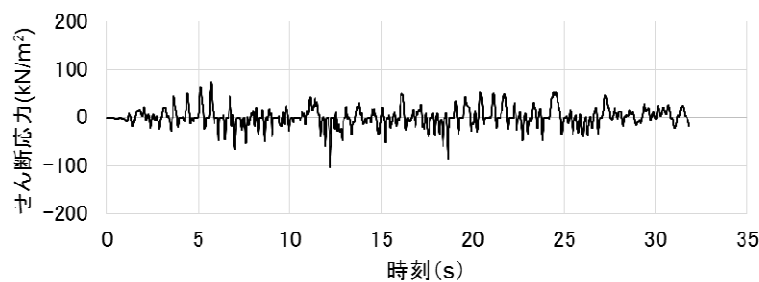
(NS 方向基本モデル)



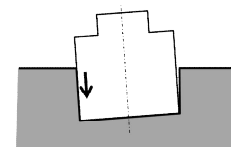
(NS 方向地盤精緻モデル)



(NS 方向基本モデル)

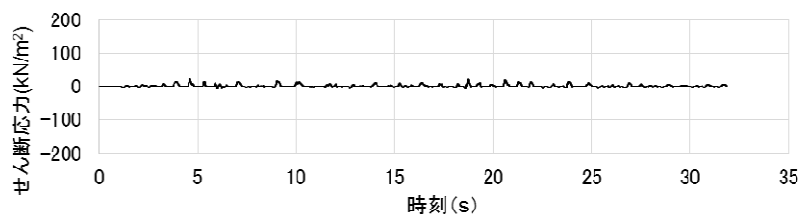


(NS 方向地盤精緻モデル)

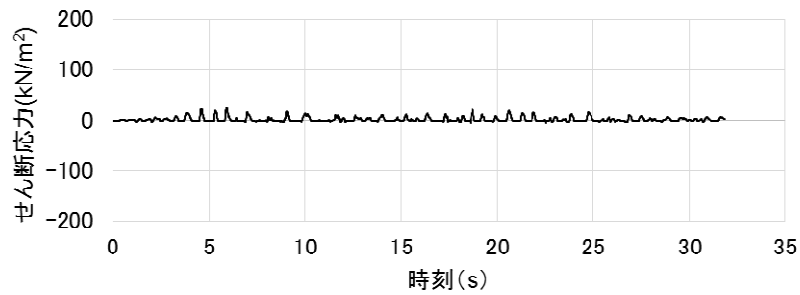
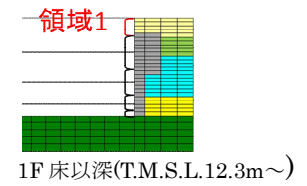


せん断応力は、地盤に沈み込んだ時に生ずる力の方向を正とする

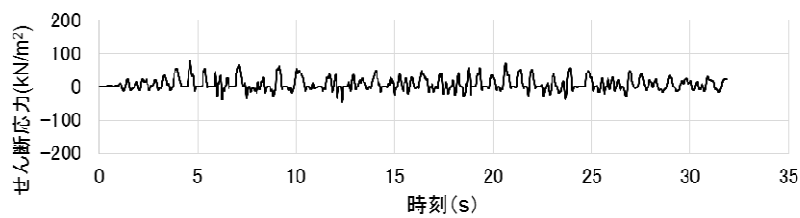
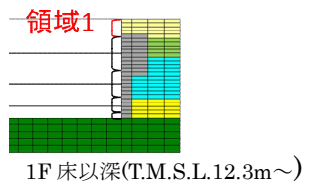
図 5.5.5 せん断ばねのせん断応力の時刻歴
(NS 方向 基本モデル, 地盤精緻モデル 南側)



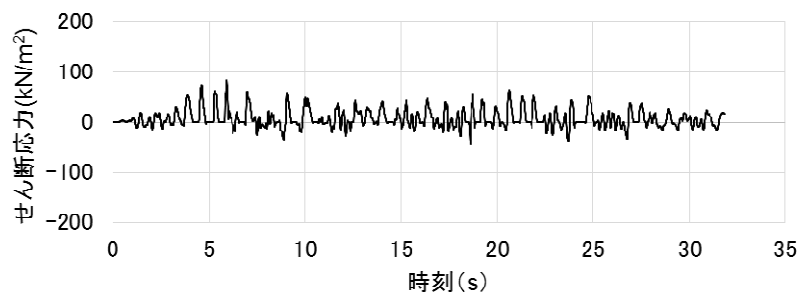
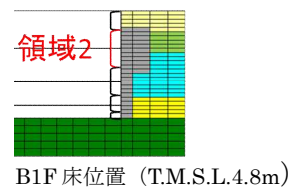
(NS 方向基本モデル)



(NS 方向地盤精緻モデル)



(NS 方向基本モデル)



(NS 方向地盤精緻モデル)

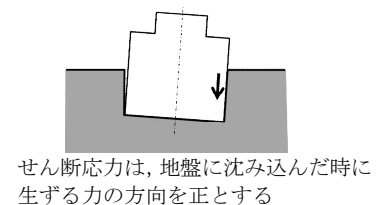
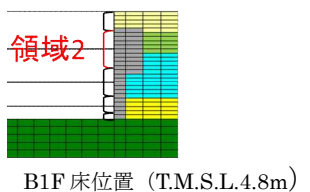
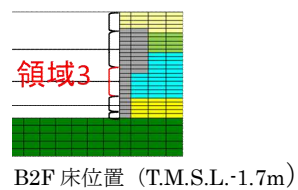
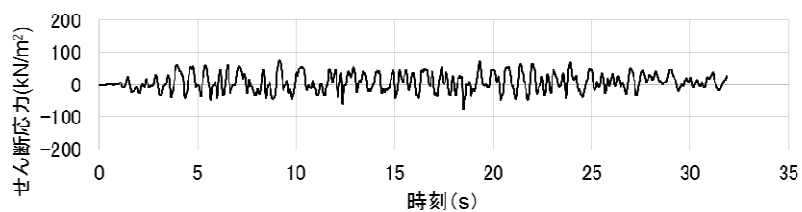
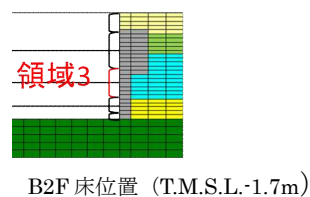
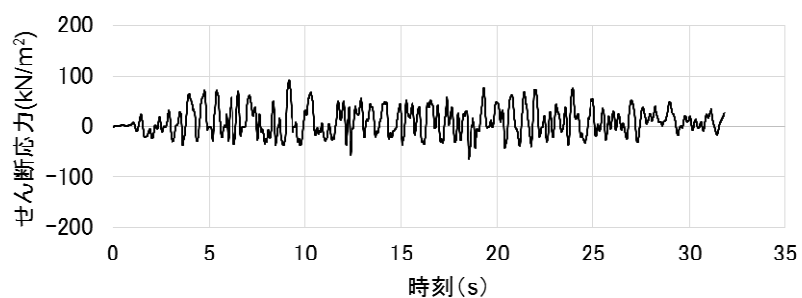


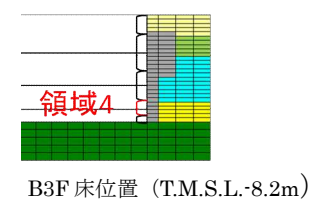
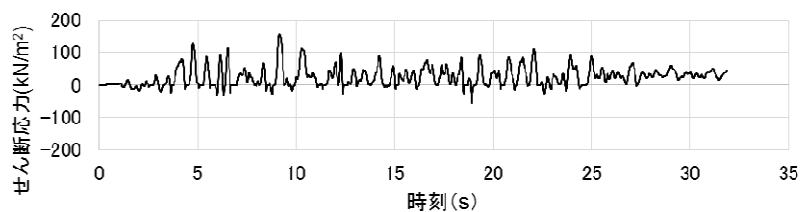
図 5.5.6 せん断ばねのせん断応力の時刻歴
(NS 方向 基本モデル, 地盤精緻モデル 北側 1/2)



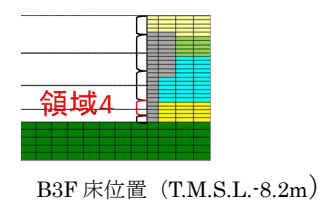
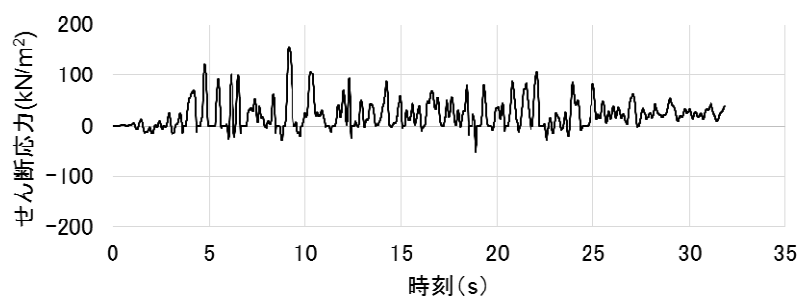
(NS 方向基本モデル)



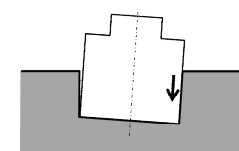
(NS 方向地盤精緻モデル)



(NS 方向基本モデル)



(NS 方向地盤精緻モデル)



せん断応力は、地盤に沈み込んだ時に生ずる力の方向を正とする

図 5.5.7 セン断ばねのせん断応力の時刻歴
(NS 方向 基本モデル, 地盤精緻モデル 北側 2/2)

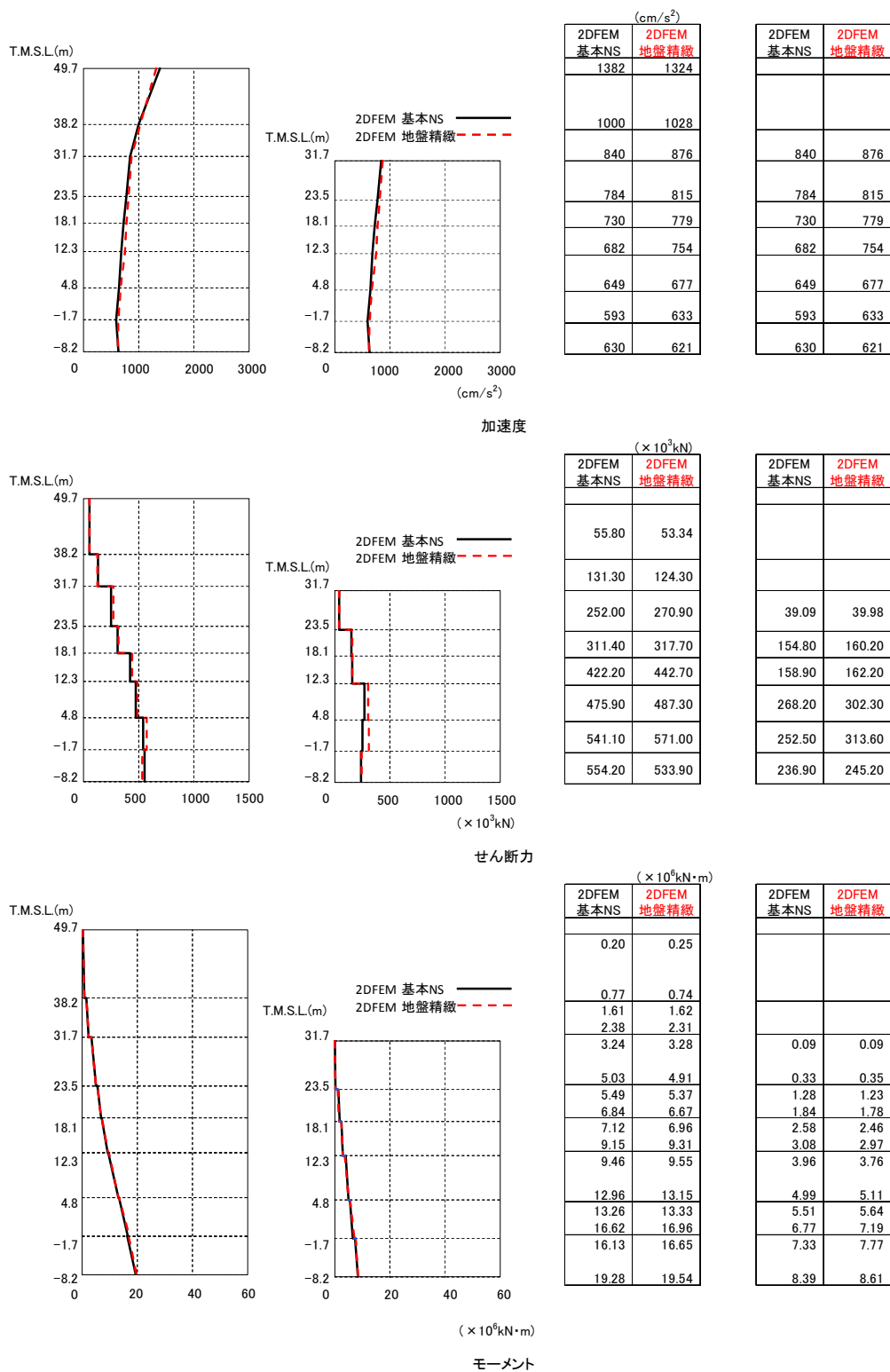


図 5.5.8 建屋の最大応答分布の比較（基本モデルと地盤精緻化モデル,NS 方向）

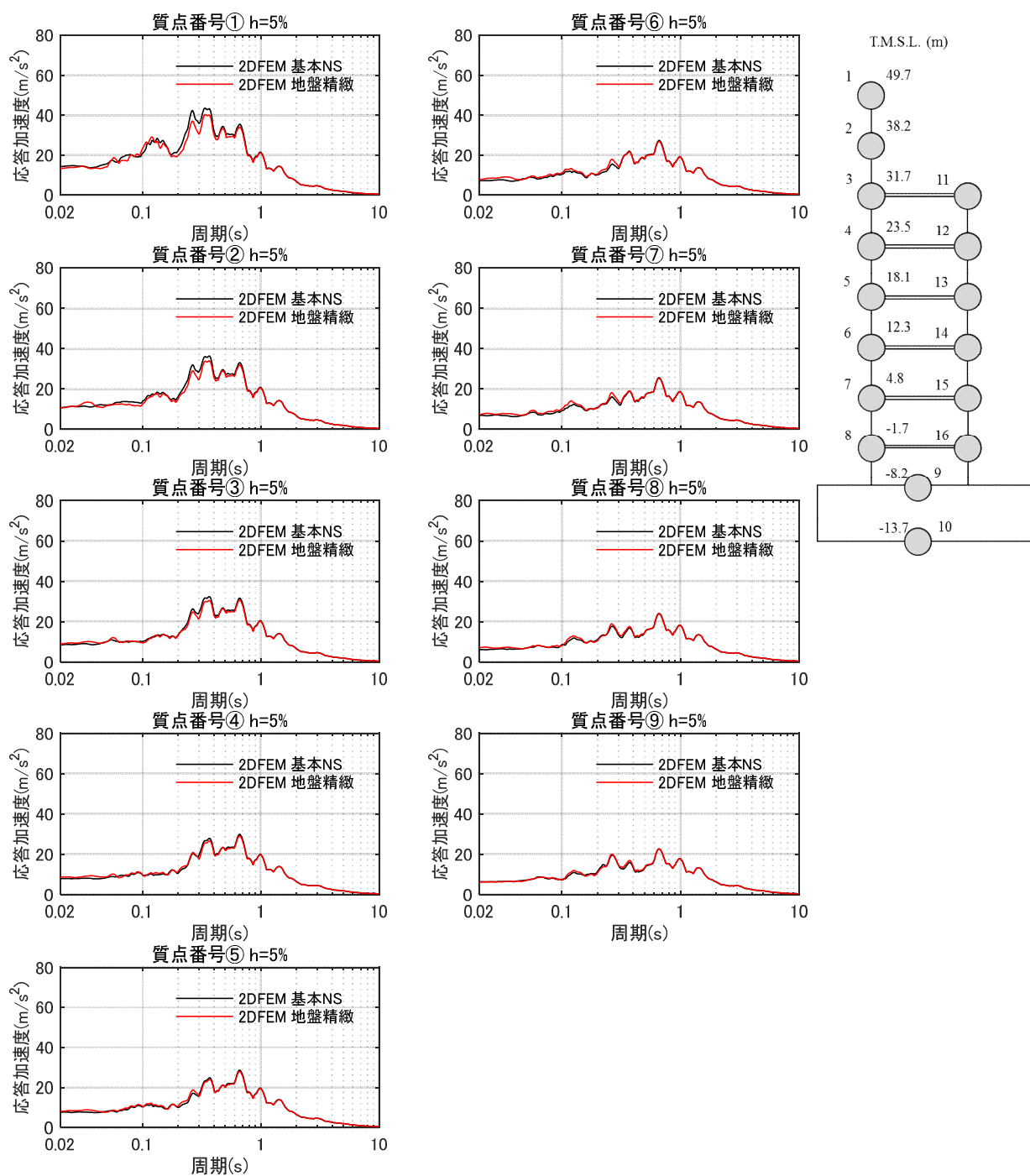


図 5.5.9 床応答スペクトルの比較（基本モデルと地盤精緻モデル）（NS 方向） $h=5\%$

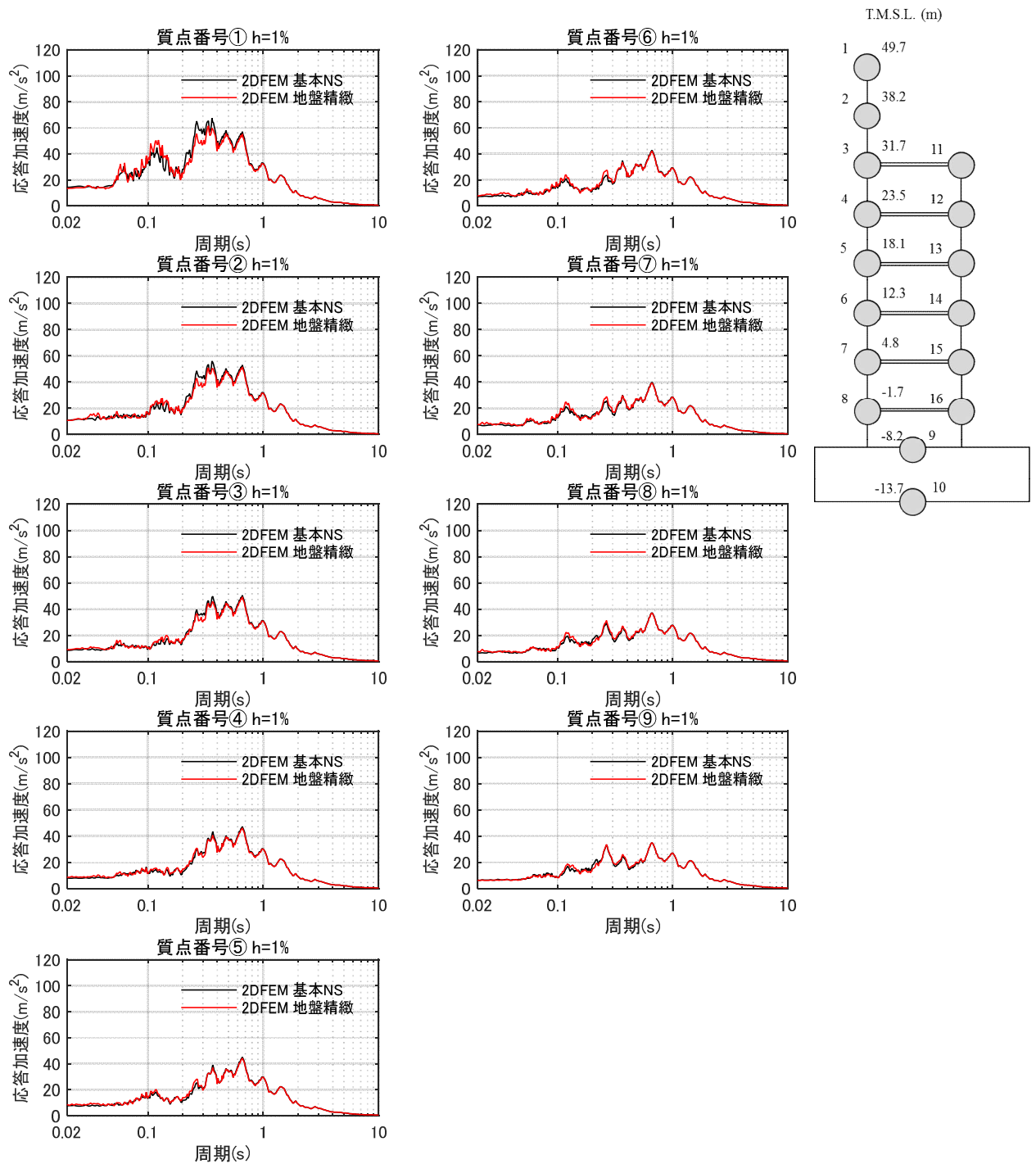


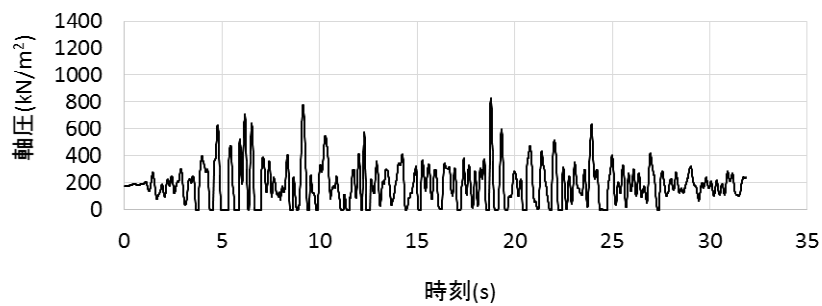
図 5.5.10 床応答スペクトルの比較（基本モデルと地盤精緻モデル）（NS 方向） $h=1\%$

(2) タービン建屋連成モデルと基本モデルの比較 (EW 方向)

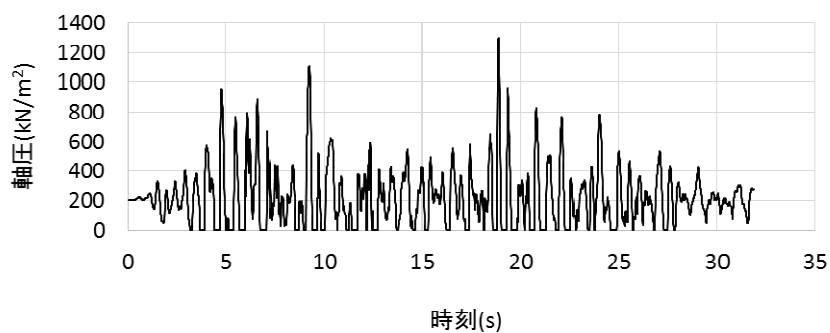
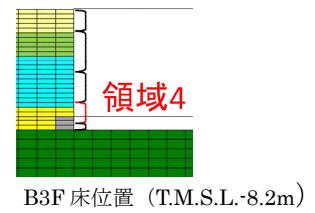
図 5.5.11～図 5.5.16 に各領域における単位面積当たりの軸圧，せん断応力の地時刻歴応答について両モデルで比較して示す。図 5.5.17 に建屋の最大応答分布の比較を示す。また，図 5.5.18～19 に床応答スペクトルを比較して示す。これらの結果から以下が明らかである。

- ・ 軸圧については，東側は両モデルで同等であるが，西側は T/B 連成モデルのほうが若干大きくなっている。
- ・ せん断応力についても，軸圧と同様な傾向であり，東面は両モデルで同等であるが，西側は T/B 連成モデルのほうが若干大きい。
- ・ 建屋の最大応答は基本モデルと同等であり，建屋応答に及ぼす隣接建屋の影響は小さい。
- ・ 床応答スペクトルは，基本モデルと大きな差異は認められない。

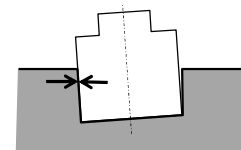
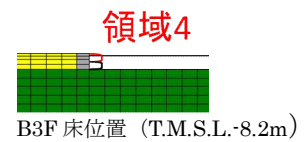
以上より，地盤を精緻化した場合でも，建屋の拘束効果は得られること，建屋応答は基本モデルと整合的であることを確認した。



(EW 方向基本モデル)



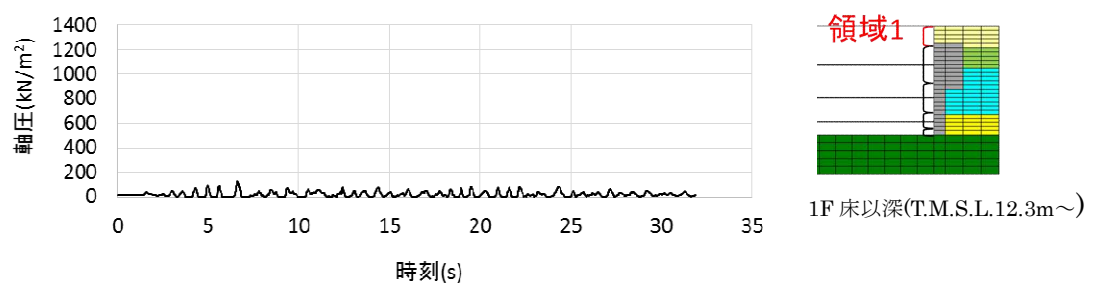
(EW 方向 T/B 連成モデル)



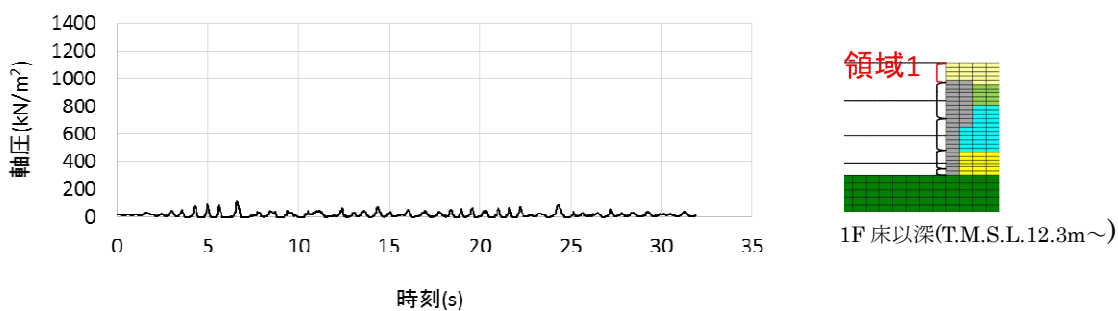
軸圧は、地盤を圧縮する
方向を正とする

※T/B 連成モデルの西側には領域 1～3 に相当する壁面がないため
領域 4 のみの作図となっている。

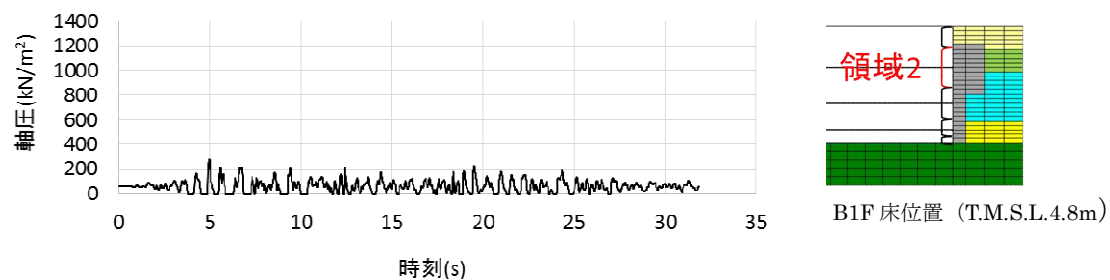
図 5.5.11 軸ばねの軸圧の時刻歴
(E W方向基本モデル, T/B 連成モデル 西側)



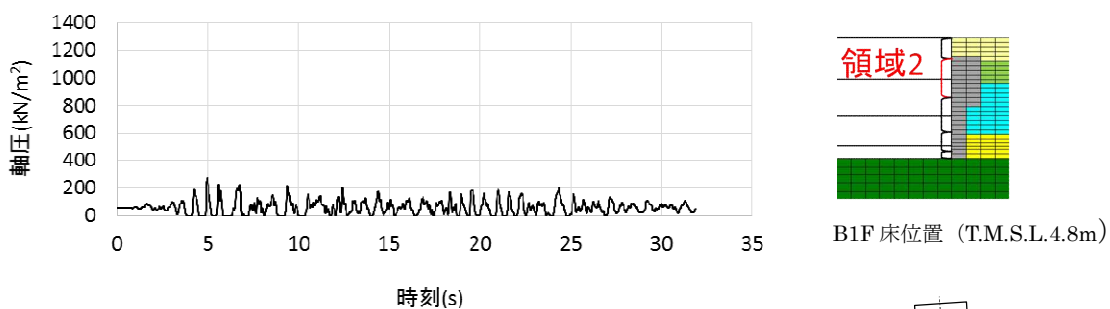
(EW 方向基本モデル)



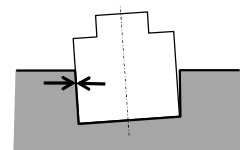
(EW 方向 T/B 連成モデル)



(EW 方向基本モデル)

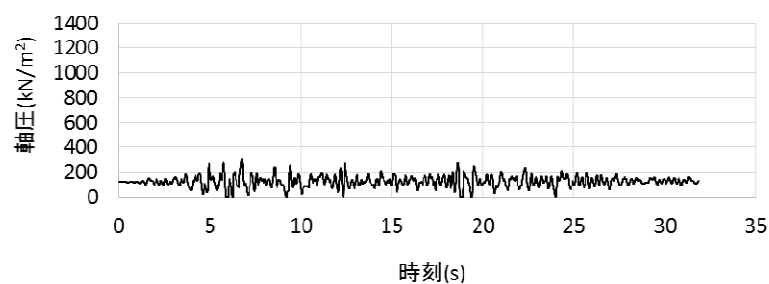


(EW 方向 T/B 連成モデル)

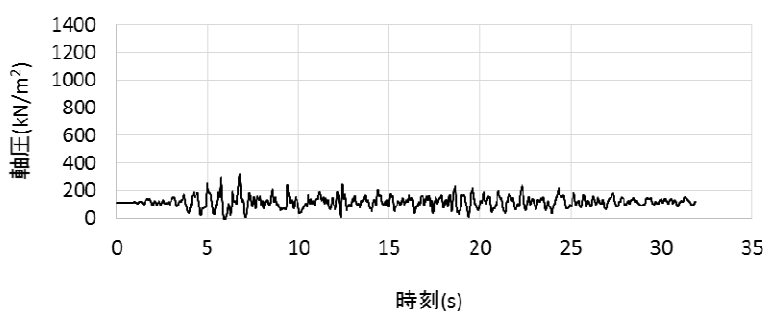
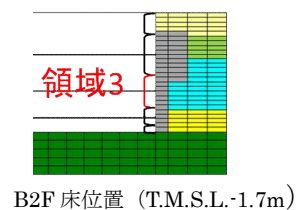


軸圧は、地盤を圧縮する
方向を正とする

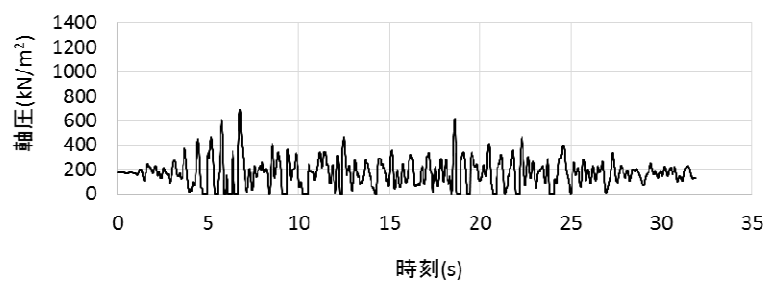
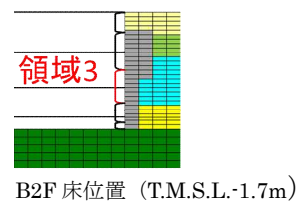
図 5.5.12 軸ばねの軸圧の時刻歴
(E W方向基本モデル, T/B 連成モデル 東側 1/2)



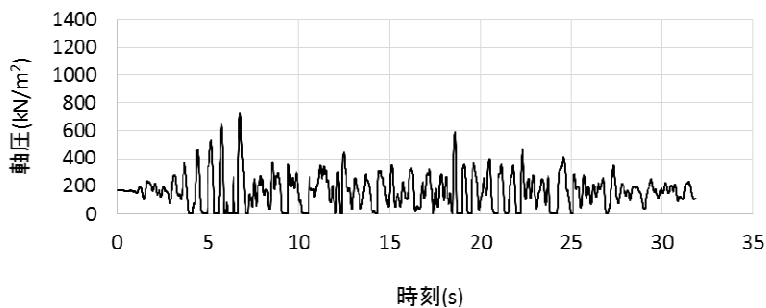
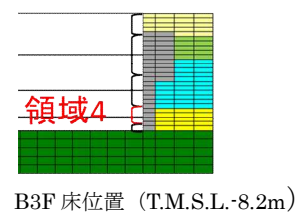
(EW 方向基本モデル)



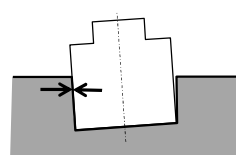
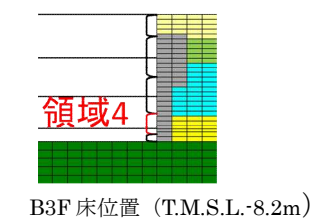
(EW 方向 T/B 連成モデル)



(EW 方向基本モデル)

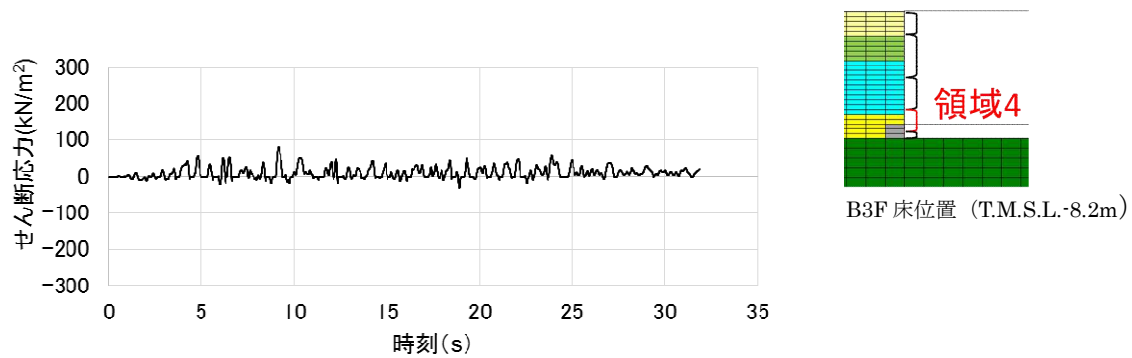


(EW 方向 T/B 連成モデル)

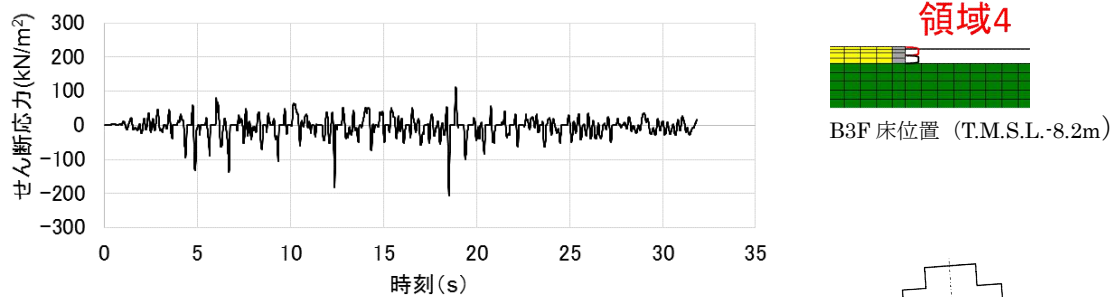


軸圧は、地盤を圧縮する方向を正とする

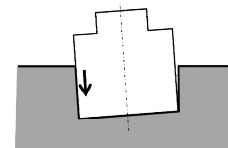
図 5.5.13 軸ばねの軸圧の時刻歴
(E W方向基本モデル, T/B 連成モデル 東側 2/2)



(EW 方向基本モデル)



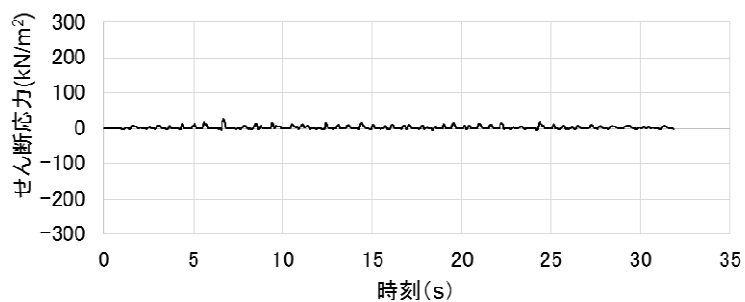
(EW 方向 T/B 連成モデル)



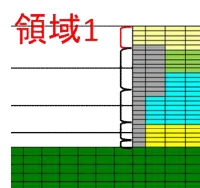
せん断応力は、地盤に沈み込んだ時に生ずる力の方向を正とする

※T/B 連成モデルの西側には領域 1～3 に相当する壁面がないため領域 4 のみの作図となっている。

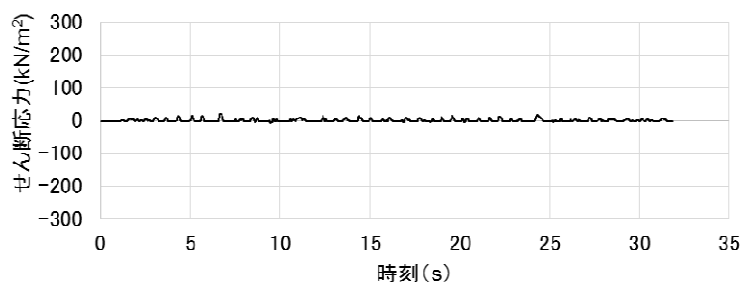
図 5.5.14 せん断ばねのせん断応力の時刻歴
(E W方向基本モデル, T/B 連成モデル 西側)



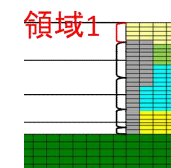
(EW 方向基本モデル)



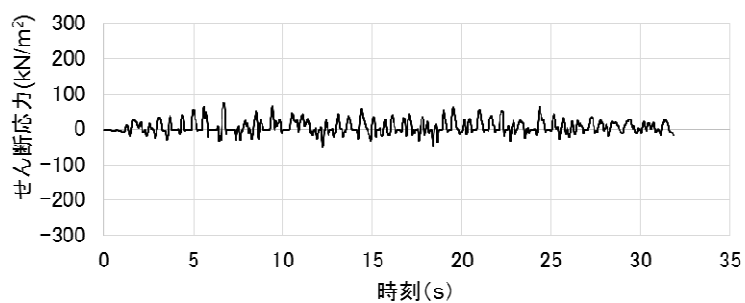
1F 床以深(T.M.S.L.12.3m～)



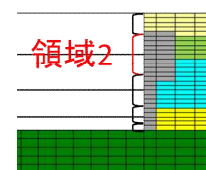
(EW 方向 T/B 連成モデル)



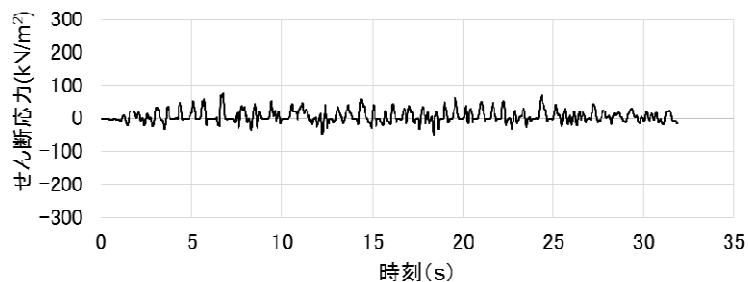
1F 床以深(T.M.S.L.12.3m～)



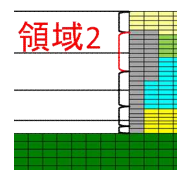
(EW 方向基本モデル)



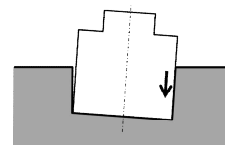
B1F 床位置 (T.M.S.L.4.8m)



(EW 方向 T/B 連成モデル)

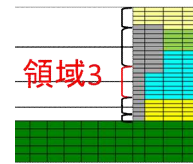
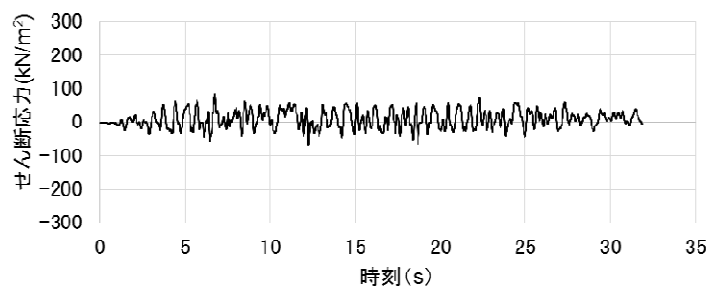


B1F 床位置 (T.M.S.L.4.8m)



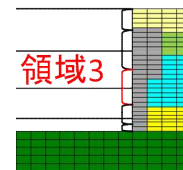
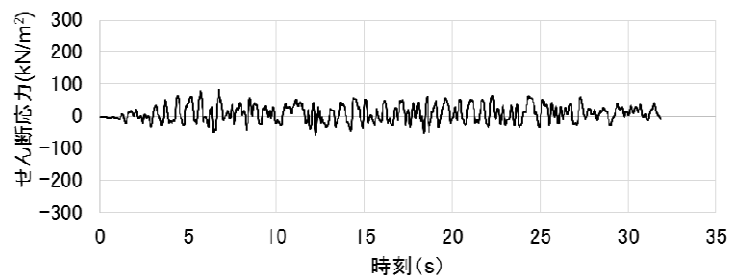
せん断応力は、地盤に沈み込んだ時に生ずる力の方向を正とする

図 5.5.15 せん断ばねのせん断応力の時刻歴
(EW 方向基本モデル, T/B 連成モデル 東側 1/2)



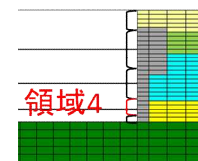
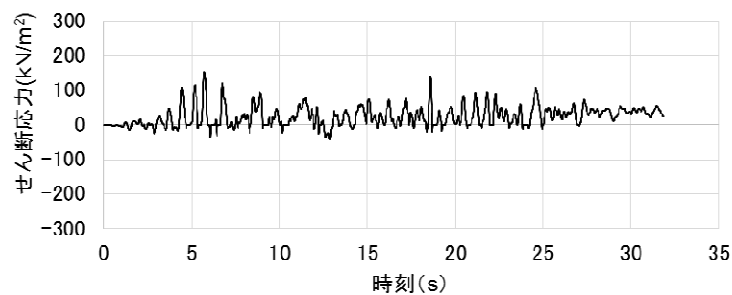
B2F 床位置 (T.M.S.L.-1.7m)

(EW 方向基本モデル)



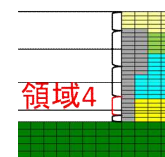
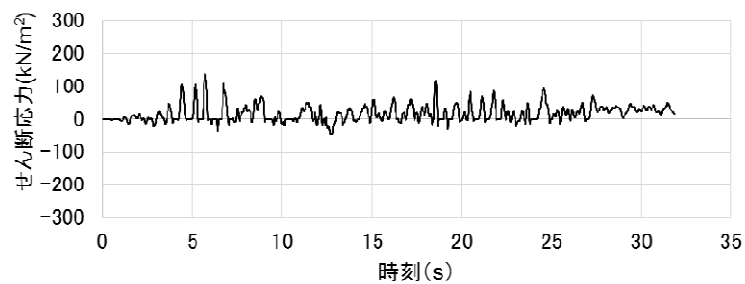
B2F 床位置 (T.M.S.L.-1.7m)

(EW 方向 T/B 連成モデル)



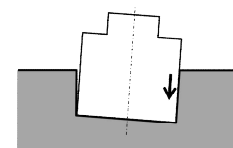
B3F 床位置 (T.M.S.L.-8.2m)

(EW 方向基本モデル)



B3F 床位置 (T.M.S.L.-8.2m)

(EW 方向 T/B 連成モデル)



せん断応力は、地盤に沈み込んだ時に生ずる力の方向を正とする

図 5.5.16 せん断ばねのせん断応力の時刻歴
(EW 方向基本モデル, T/B 連成モデル 東側 2/2)

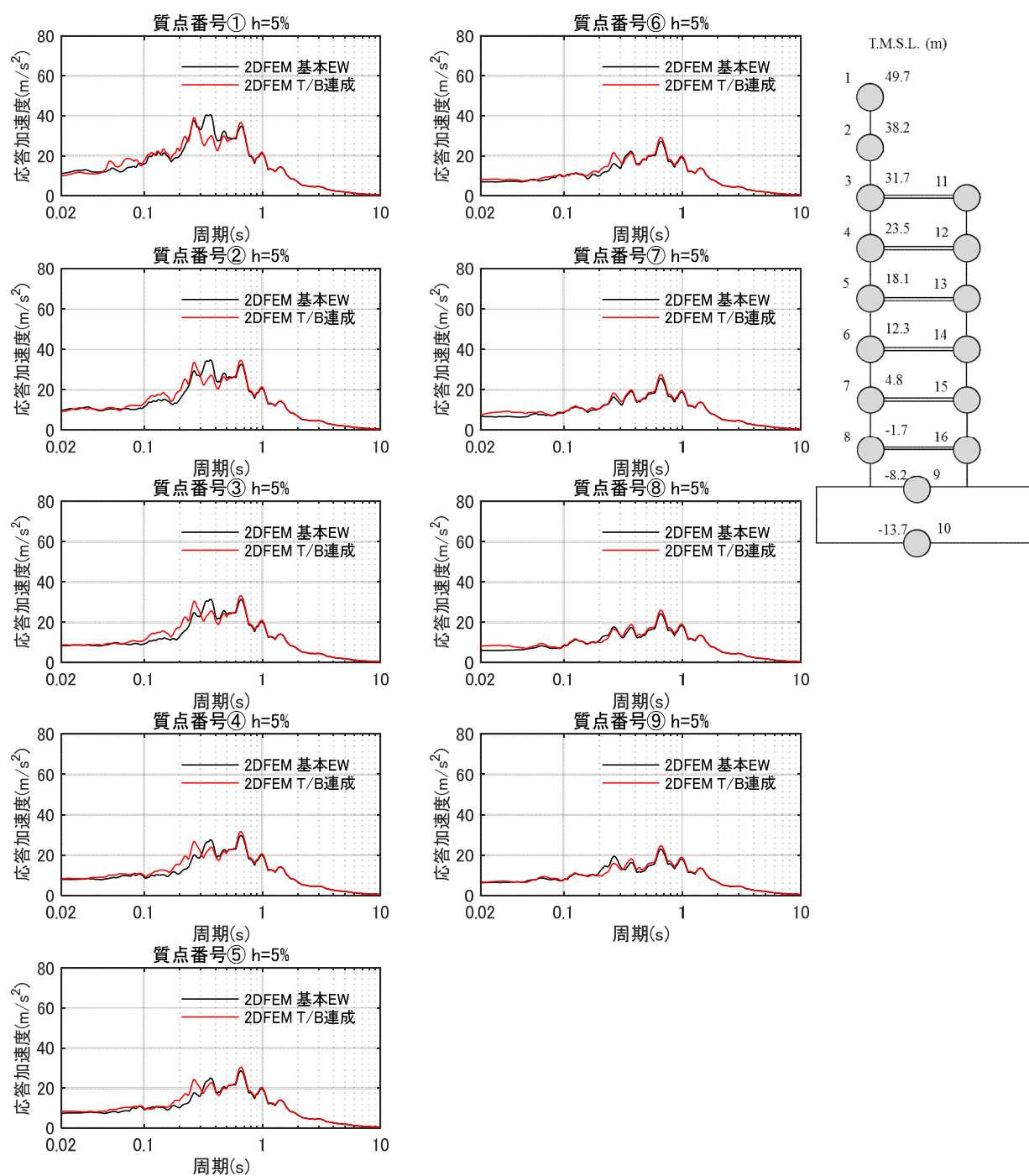


図 5.5.18 床応答スペクトルの比較 (基本モデルと T/B 連成モデル) (EW 方向) $h=5\%$

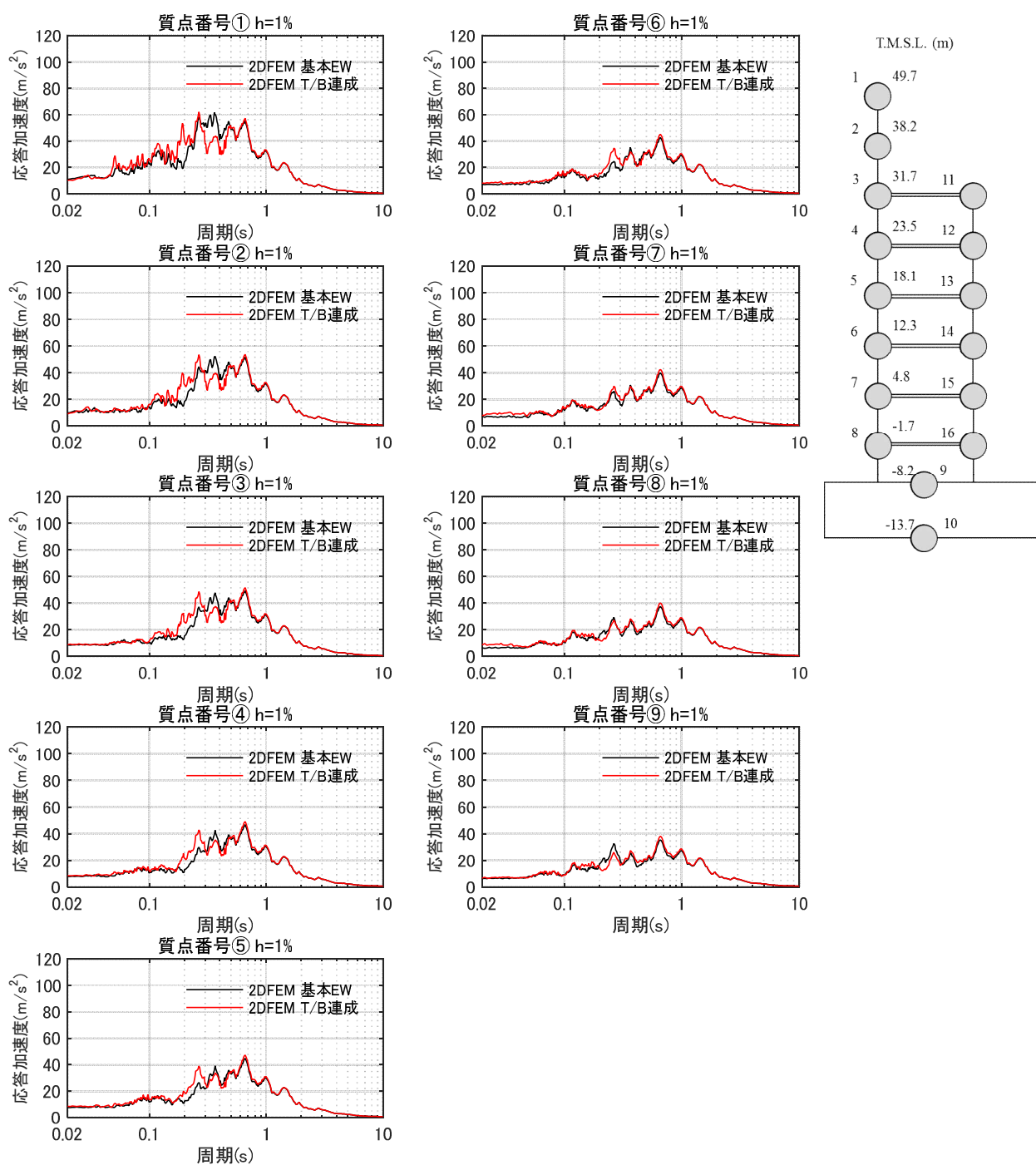


図 5.5.19 床応答スペクトルの比較 (基本モデルと T/B 連成モデル) (EW 方向) $h=1\%$

5.6 まとめ

地盤を精緻化したモデル及び隣接するタービン建屋を考慮したモデルについて検討した結果、基本モデルと同様に側面地盤による建屋の拘束効果がみられ、また、建屋応答は基本モデルの場合と整合的であり、詳細な周辺地盤の影響や隣接建屋の影響は小さいことが確認された。

なお、地盤を精緻化したモデルにおいて埋土と接しているマンメイドロックの健全性を確認するために、添付資料4にマンメイドロックの最大応答値を示す。この結果から、マンメイドロック部で局所的な損傷は生じることはないと判断している。

6. 全体まとめ

1) 各論点のまとめ

【論点①】建屋側面に防水層が存在する場合に防水層と地盤間で摩擦力が伝達可能か

建屋地下外壁（防水層付き）と西山モルタルが接する部分について、実機の材料を模擬した試験体により摩擦試験を実施した。この結果、防水層があっても土圧が圧縮方向に外壁に作用する場合には摩擦力を見込めることが分かった。また、試験結果から摩擦力として静止摩擦と動摩擦が観測され、それらは垂直圧に概ね比例する結果（摩擦係数が一定）が得られた。

試験結果から、論点②、③の検討で用いる解析モデルのうち、せん断ばねの特性（動摩擦力とせん断剛性）を設定した。

【論点②】地震時の側面地盤の剥離や土圧変動を考慮しても建屋拘束効果が得られ、埋め込み SR モデルへ回転ばねを適用することが妥当か

建屋地下外壁と側面地盤の間の剥離や摩擦すべりを考慮した 2 次元 FEM モデルを用いて非線形地震応答解析を行った。この結果、側面地盤-建屋間に生じる土圧変動及び剥離が生じる場合でも、地震継続中の大半の時間において、地下外壁には土圧及びせん断応力が作用する結果が示されたことから、地震時において建屋～地盤間の力の伝達が生じることがわかった。更に、側面地盤反力の観点より 2 次元 FEM の側面地盤反力と埋め込み SR モデルによる側面地盤反力について分析した結果、両者は共に建屋を相応に拘束する結果を与えていることが確認できた。これらのことより、地震時の側面地盤の剥離や土圧変動を考慮しても、側面地盤による建屋の拘束効果は期待できることがわかった。

また、2 次元 FEM モデルによる地震応答解析結果と埋め込み SR モデルによる建屋応答を比較すると、両モデルの建屋応答は整合的であり、埋め込み SR モデルに側面回転ばねを適用することは妥当であると考えられる。

【論点③】隣接建屋や建屋周辺の詳細な地盤状況が側面回転ばねの適用性に影響しないか

論点②の検討で用いた 2 次元 FEM モデルに、隣接するタービン建屋及び詳細な地盤状況を反映したモデルを作成し非線形地震応答解析を行い、論点②の解析結果と比較した。その結果、詳細な地盤状況を考慮しても建屋の拘束効果が得られること、建屋の応答に大きな差異は認められず、詳細な地盤状況が建屋応答に及ぼす影響は小さいことが分かった。

2) 総括

埋め込み SR モデルに使用する側面回転ばねの妥当性について、地下外壁（防水層付き）と側面地盤（マンメイドロック）の間の摩擦試験、及び、詳細な 2 次元 FEM モデルによる地震応答解析により検討した結果、埋め込み SR モデルに側面回転ばねを用いることは妥当であると考えられる。

なお、今回の検討は 6 号炉原子炉建屋を代表とした検討であるが、7 号炉原子炉建屋においても以下の理由により、埋め込み SR モデルに側面回転ばねを用いることは妥当であると考えられる。

- ・EW方向の断面については、6 号炉と 7 号炉に配置計画上の大きな差異は無いこと。
 - ・論点②の検討での結果が示すように、埋め込み SR モデルの解析結果は概ね保守的な傾向を示していることから、6 号炉と同様の結果が推定できること。
 - ・NS方向の断面については、6 号炉と 7 号炉において配置計画上の差異はあるものの、論点③に対する検討において、隣接建屋や詳細な地盤状況を反映したモデルによる解析結果と論点②の解析結果との差異がほとんど見られないこと。
- なお、本編 5 章「論点③に関する検討」で述べたように、建屋直下のマンメイドロックによる影響は軽微であることを確認している。

7. 参考文献

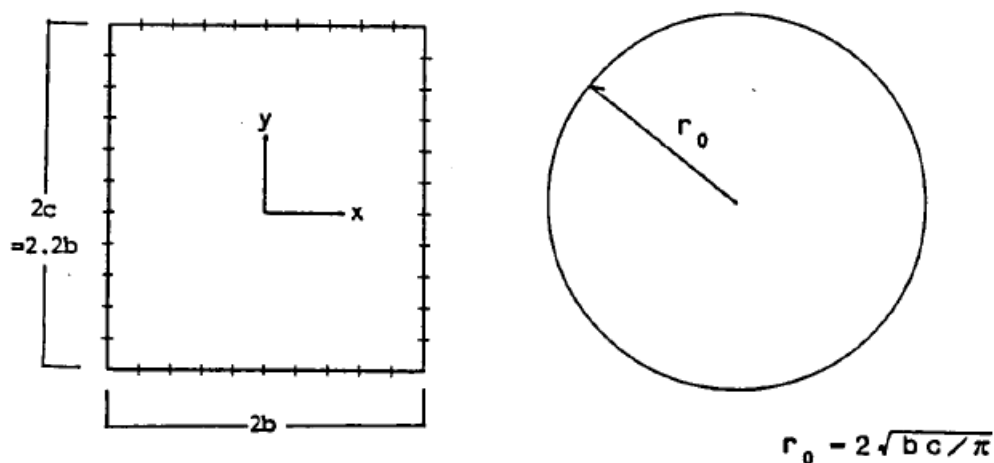
- ・ 社団法人日本電気協会：原子力発電所耐震設計技術指針 (JEAG4601-1991 追補版), 1991 年
- ・ A. Yano, K. Hijikata, et al. : Seismic Design Model of Embedded Structures, 9th World Conference on Earthquake Engineering (9WCEE), 1988
- ・ K. Hijikata, Uchiyama, et al.: Dynamic soil stiffness of embedded reactor buildings, 9th Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT), 1987
- ・ 社団法人日本電気協会：建屋埋込み効果の評価法の標準化に関する調査報告書, 昭和 62 年 6 月
- ・ 財団法人原子力発電技術機構：耐震安全解析コード改良試験 原子炉建屋の埋込み震動効果試験 実地盤上試験に関する報告書, 平成 7 年 3 月
- ・ 矢野, 土方他：埋込みを考慮した原子炉建屋の地震応答解析法 (その 1～その 4), 日本建築学会学術講演梗概集, 昭和 62 年 10 月
- ・ 矢野, 中沢他：埋め土・浮き上り非線形に着目した地盤建屋模型の振動台実験とその解析 (その 1～その 4), 日本建築学会学術講演梗概集, 昭和 59 年 10 月
- ・ 鈴木, 内藤他：埋め込みを有する構造物の非線形応答に関する実験とその解析, 日本建築学会構造系論文報告集 第 438 号, 1992 年 8 月
- ・ 古山田他：「大地震入力に対する埋込み構造物の非線形挙動に関する研究 (その 1～その 5)」, 日本建築学会学術講演梗概集, 2008 年 9 月
- ・ 井原他：「大地震入力に対する埋込み構造物の非線形挙動に関する研究 (その 5)」, 日本建築学会学術講演梗概集, 2008 年 9 月
- ・ 今村他：「浮上りを考慮した構造物の大地震入力時非線形挙動に関する研究 (その 2)」, 日本建築学会学術講演梗概集, 2013 年 8 月
- ・ 内山他：「3 次元 FEM を用いた建屋―地盤の基礎浮き上がり評価法の高度化に関する研究 (その 4)」, 日本建築学会学術講演梗概集, 2004 年 8 月
- ・ 滝田, 成川他：埋込まれた矩形建物の側面地盤ばねの検討, 日本建築学会学術講演梗概集, 1995 年 8 月

添付資料 1. NOVAK ばねの円形仮定の妥当性（辺長比）について

NOVAK のばねは、円形を仮定している。一方、ここでの検討対象の原子炉建屋は矩形の平面形状をしている。ここでは、円形仮定の妥当性について既往の文献を調査する。

（1）「標準化報告書」での内容

NOVAK の側面ばねは建屋の平面形が円形として導かれたものであるのに対し、一般に建屋は矩形のことが多いことから、「標準化報告書」では、平面形が矩形の建屋への適用性について検討を実施している。具体的には、矩形平面に関する地盤ばねを二次元境界要素法（BEM）で計算し、このばねの値と面積が等価な円半径（等価円半径）を用いた地盤ばねの値とを比較・検討している。



添図 1.1 矩形平面と等価円半径

「標準化報告書」における、正方形平面の場合と等価円の場合を比較して添図 1.2 に示す。この結果より、正方形平面の地盤ばねの虚部が等価円の場合の虚部より若干大きくなる傾向にあるが、正方形平面の地盤ばねを、等価円半径を用いて NOVAK の方法により算定しても実用上問題ないものと考えられるとしている。

「標準化報告書」において、長辺と短辺が異なり正方形でない場合での等価円半径を用いた NOVAK の側面ばねの適用性について検討した結果を添図 1.3 に示す。この結果より長辺と短辺の比（辺長比）が 1.1 程度の長方形平面であれば、等価円半径を用いて地盤ばねを算定しても実用上ほぼ問題ないものと考えられるとしている。

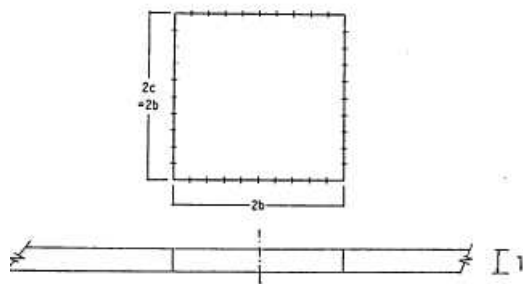


図 7.1 正方形平面のBEM解析モデル

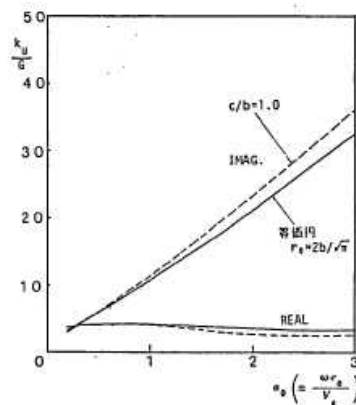


図 7.2 正方形平面と等価円の K_u

a. 解析対象 (BEM)

b. 解析結果

添図 1.2 正方形平面と等価円の比較 (「標準化報告書」に加筆)

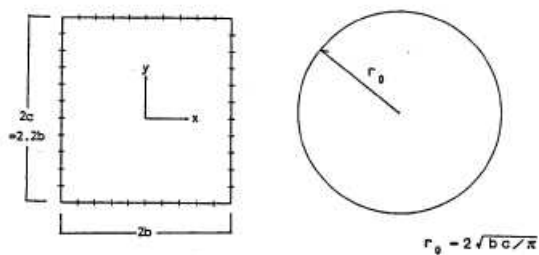


図 7.3 $c/b=1.1$ の長方形平面のBEM解析モデルと等価円半径 r_0

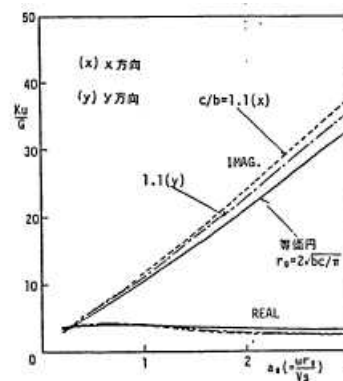


図 7.4 $c/b=1.1$ と等価円の K_u

a. 解析対象 (BEM と NOVAK)

b. 解析結果

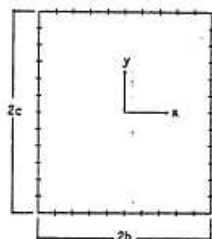


図 7.5 長方形平面のBEM解析モデル

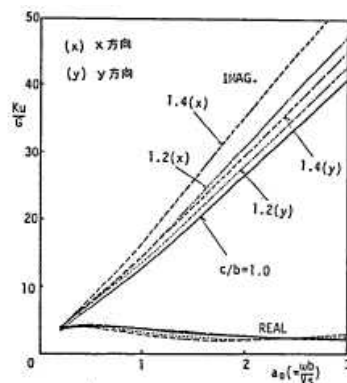


図 7.6 辺長比の違いによる K_u の比較

a. 解析対象 (BEM と NOVAK)

b. 解析結果

添図 1.3 辺長比に関する検討事例 (辺長比 1.1 の場合) (「標準化報告書」に加筆)

(2) 既往文献での内容

滝田 博章ほか「埋込まれた矩形建物の側面地盤ばねの検討」(日本建築学会学術講演梗概集 1995 年 8 月)では、主要周期帯が 5Hz 以下の建屋を設計する場合には、辺長比 1.7 程度まで等価円を用いて Novak の方法を用いてよいとしている。

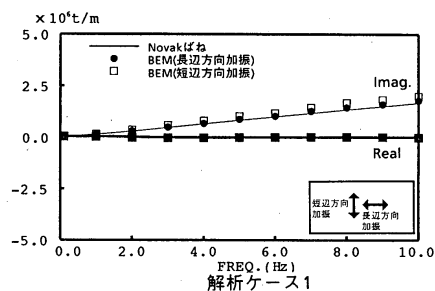


図-3 NovakとBEMの側面地盤ばねの比較
(辺長比1.3の場合)

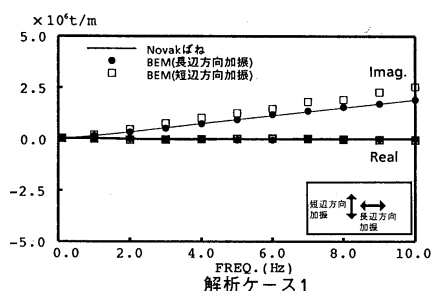
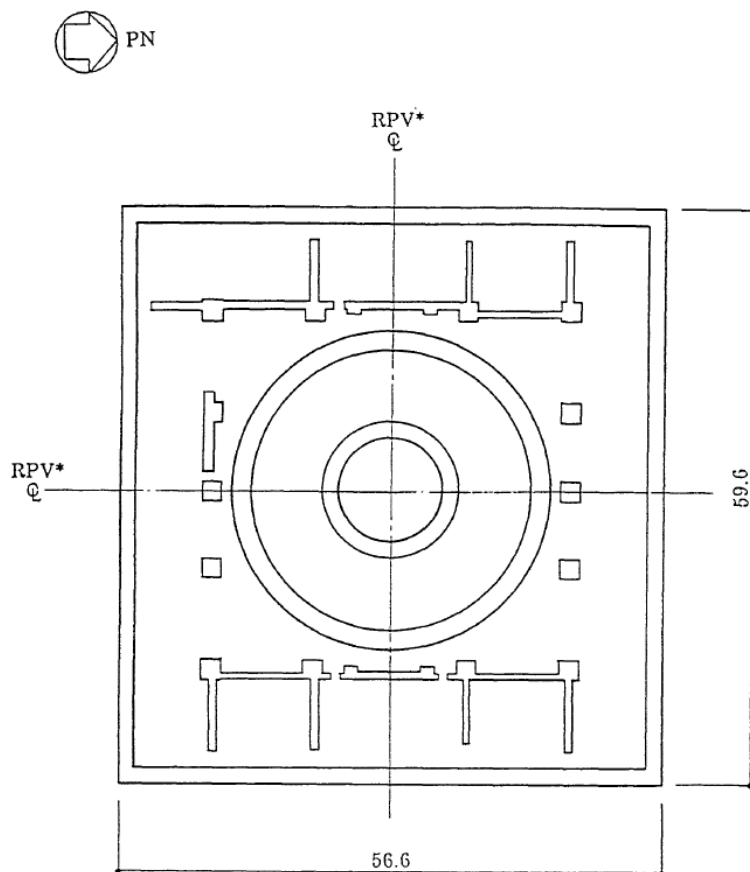


図-4 NovakとBEMの側面地盤ばねの比較
(辺長比1.7の場合)

添図 1.4 辺長比に関する検討事例 (辺長比 1.1 の場合) (滝田 博章ほか「埋込まれた矩形建物の側面地盤ばねの検討」(日本建築学会学術講演梗概集 1995 年 8 月) より)

(3) 今回対象の6号炉原子炉建屋について

今回の検討対象である、6号炉原子炉建屋は56.6m(NS)×59.6m(EW)であり、辺長比は1.05となり、いずれの場合においてもNOVAKのばねの適用範囲内となっている。



注記 *: 原子炉圧力容器 (以下、「RPV」と略す。)

図3-1 原子炉建屋平面図(T.M.S.L.-8.2) (単位 : m)

添図 1.5 原子炉建屋地下部分の平面図 (T.M.S.L.-8.2m の例)

添付資料 2 中越沖地震の観測記録を用いた 2 次元 FEM 解析モデルの信頼性の検証

(1) 検討の概要

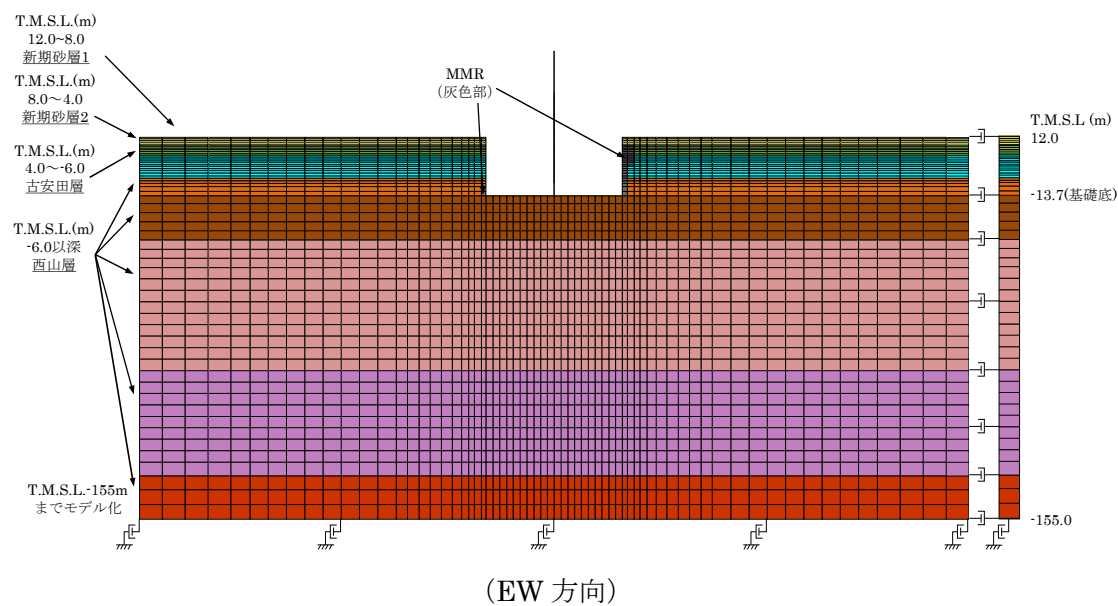
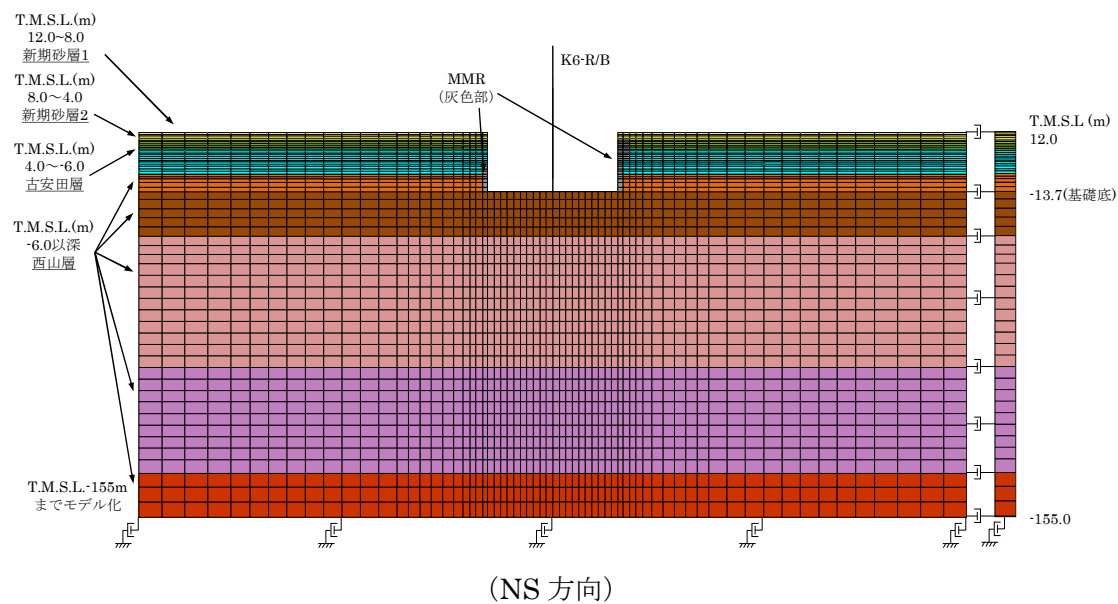
2007 年新潟県中越沖地震に対して、本編 2 章で示した 2 次元 FEM 解析モデルを用いてシミュレーション解析を行い、解析モデルの信頼性を検証する。

2 次元 FEM 解析モデルを添図 2.1 に示す。なお、2 次元 FEM 解析モデルには、地震観測時点の建屋の質量状態を反映させる。

解析に用いる地震の諸元を添図 2.2 に、地震計位置を添図 2.3 に示す。原子炉建屋基礎上で得られた観測記録を添図 2.4 および添図 2.5 に示す。また、解析用地盤物性値を添表 2.1 に示す。

原子炉建屋基礎上（6-R2：T.M.S.L.-8.2m）で観測された記録に基づき、基礎上での応答が観測記録と同一となるよう入力地震波を設定し地震応答解析を行う。

地震計を設置している 3 階の位置（6-R1：T.M.S.L. 23.5m）での解析結果と観測記録とを比較する。

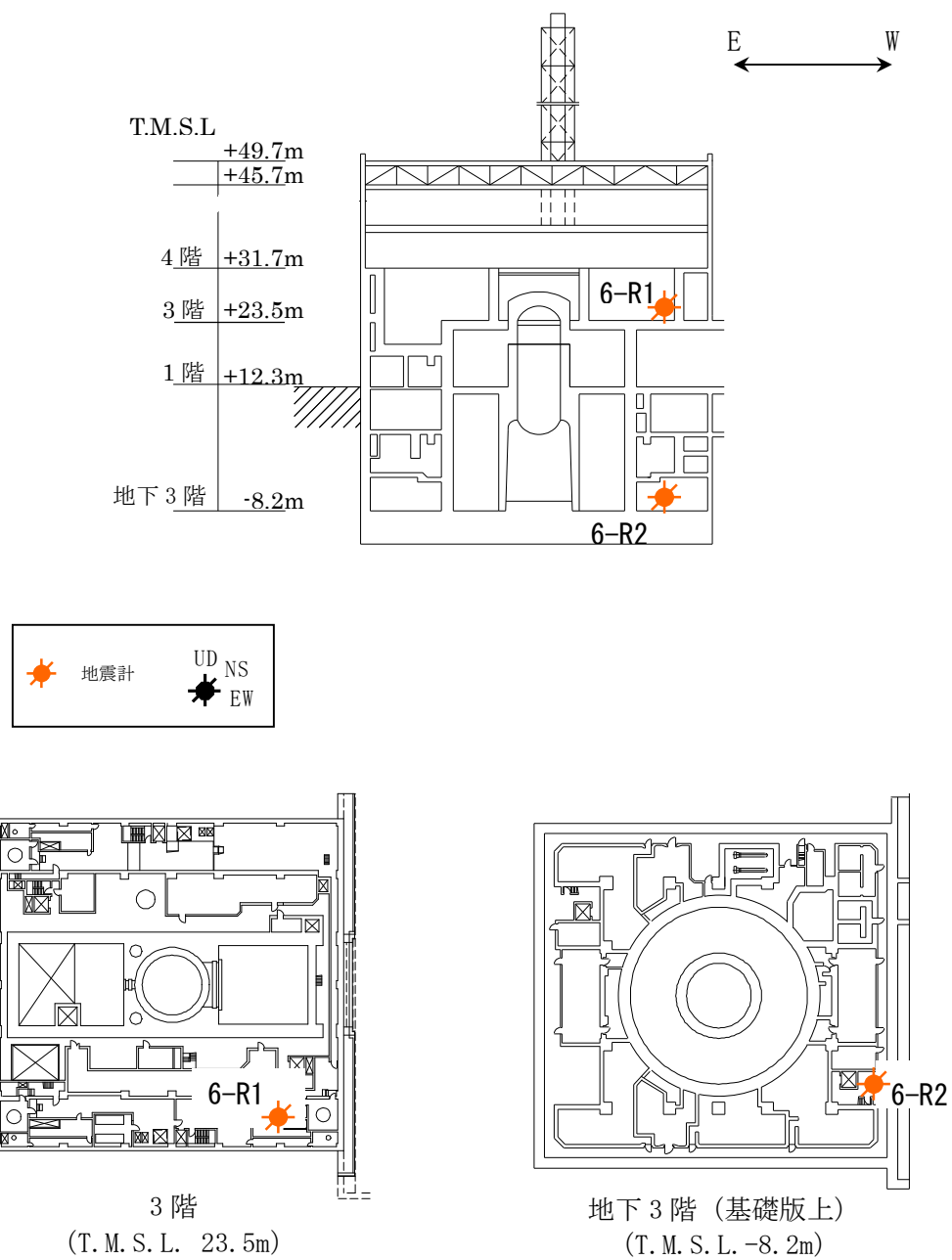


添図 2.1 2次元 FEM 解析モデル

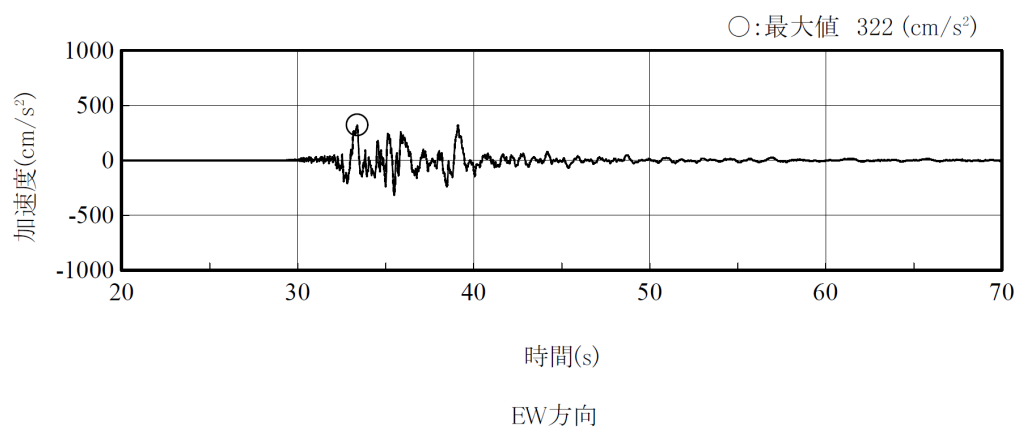
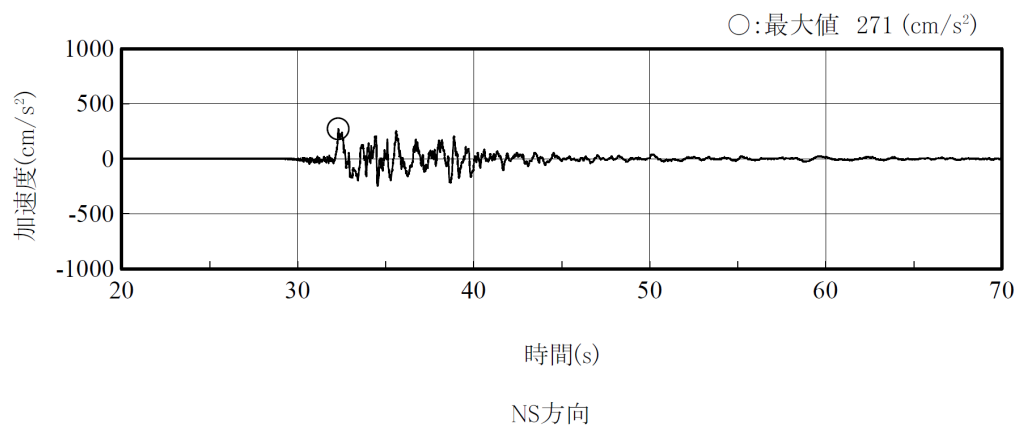
地震名	新潟県中越沖地震
発生日時	2007 年 7 月 16 日 午前 10 時 13 分頃
マグニチュード	6.8
震源深さ	17km
震央距離	16km
震源距離	約 23km



添図 2.2 検討に用いる地震の諸元（2007 年新潟県中越沖地震）

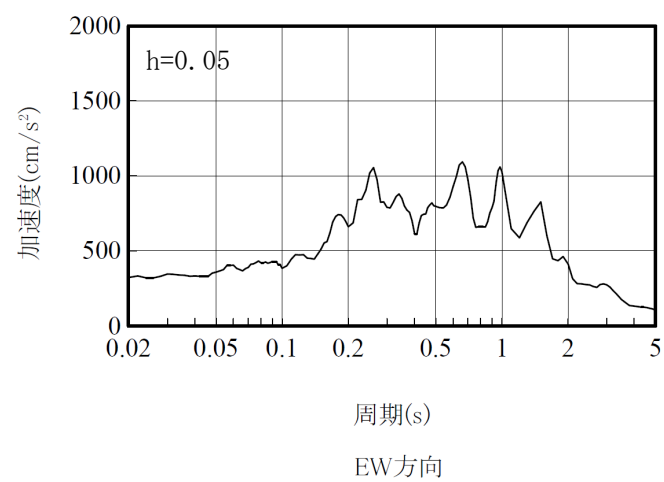
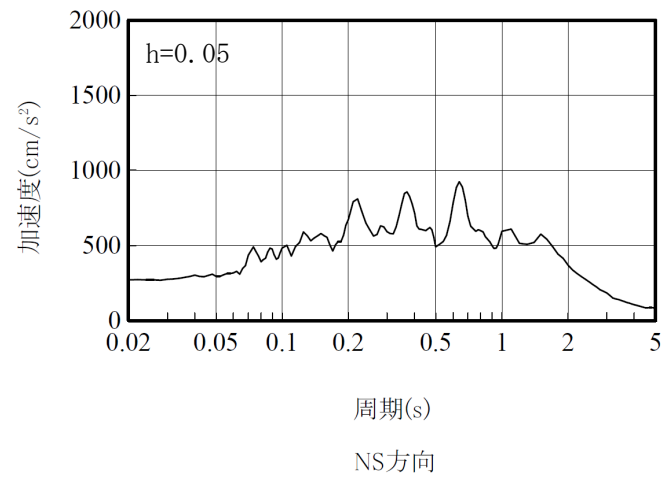


添図 2.3 地震計位置



(記録の主要動を含む 50 秒間を表示)

添図 2.4 原子炉建屋の基礎上の観測記録 加速度時刻歴波形
(6-R2 : T.M.S.L.-8.2m)



添図 2.5 原子炉建屋の基礎上の観測記録 加速度応答スペクトル
(6-R2 : T.M.S.L.-8.2m)

添表 2.1 シミュレーション検討モデルの解析用地盤物性値

標高 T. M. S. L (m)	地層	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G ($\times 10^2$ N/mm ²)	ヤング 係数 E ($\times 10^2$ N/mm ²)	減衰 定数 h (%)
+12.0	〔砂層〕	150	16.1	0.347	0.11	0.29	22
+8.0		200	16.1	0.308	0.19	0.50	22
+4.0	古安田層	330	17.3	0.462	1.22	3.57	4
-6.0	西山層	490	17.0	0.451	3.86	11.20	3
-33.0		530	16.6	0.446	4.41	12.75	3
-90.0		590	17.3	0.432	5.71	16.35	3
-136.0		650	19.3	0.424	7.73	22.02	3
-155.0		720	19.9	0.416	10.50	29.74	-
	〔解放 基盤〕						

(2) 観測記録による解析結果

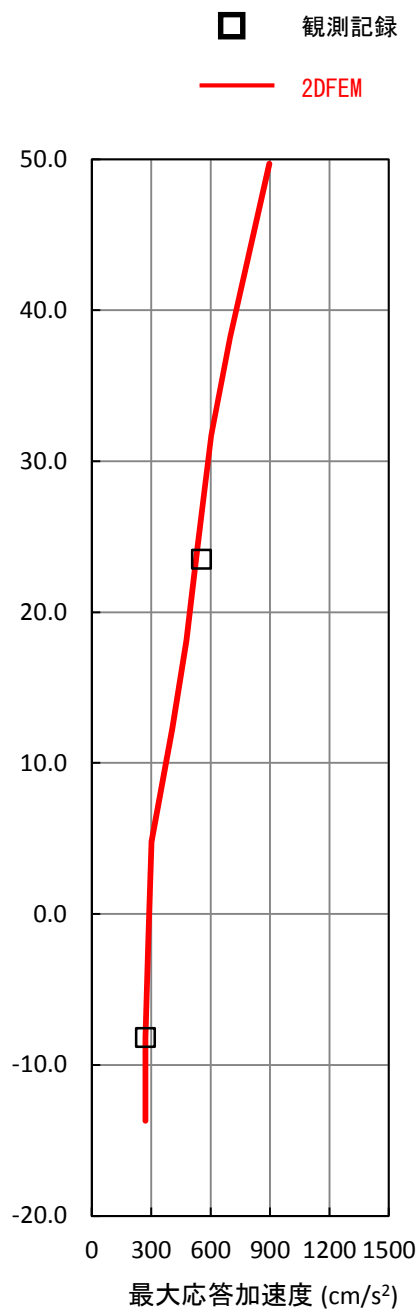
解析結果の建屋の最大応答加速度分布を観測記録と比較し添図 2.6 に示す。また、原子炉建屋 3 階（6-R1 : T.M.S.L. 23.5m）の地震計位置での解析結果と観測記録の加速度波形及び加速度応答スペクトルの比較を添図 2.7 及び添図 2.8 に示す。

(3) 観測記録と解析結果の比較・考察

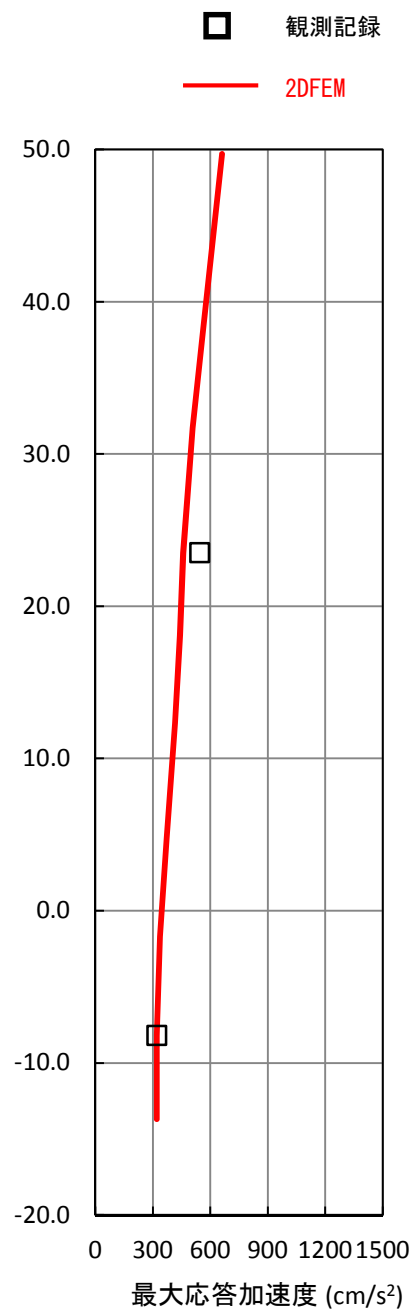
添図 2.6～添図 2.8 に示した通り、最大応答加速度、加速度波形及び加速度応答スペクトルにおいて、NS 方向及び EW 方向の解析結果は、観測記録と概ね対応する結果となった。

なお、EW 方向の床応答スペクトルの比較において、短周期で一部観測記録を下回る部分がみられるものの、主要な周期帯では観測記録と同等の応答となっている。これらより、地震時の建屋～地盤間の挙動と地盤の建屋への拘束効果の確認においては 2 次元 FEM を適用できるものと考えられる。

また、今回工認モデルの妥当性については、別途本資料「1. 建屋及び原子炉の地震応答解析モデルの詳細化について、添付資料－1 今回工認モデルの地震応答解析に対する 3 次元 FEM モデルによる妥当性の検証」において、建屋 3 次元 FEM による検討を実施することにより確認している。

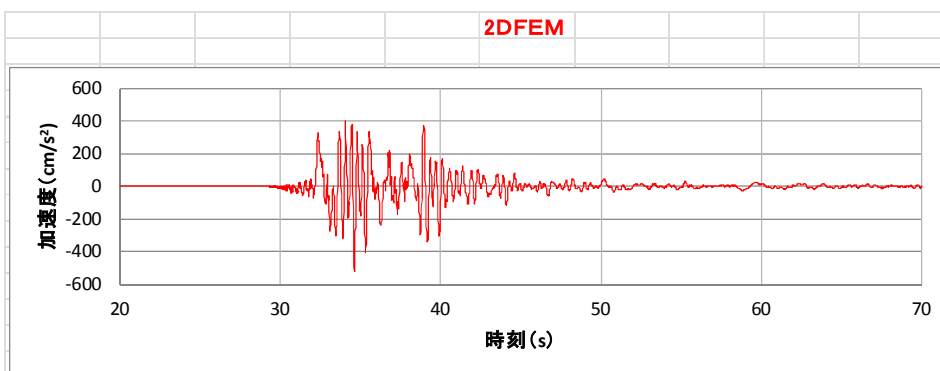
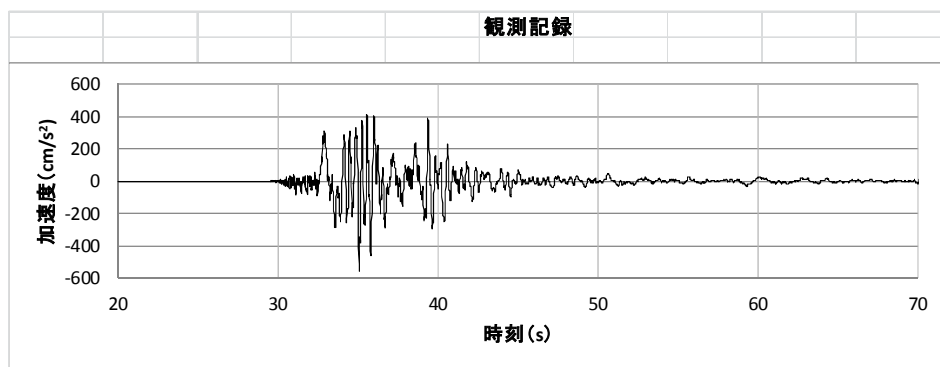


(1)NS 方向

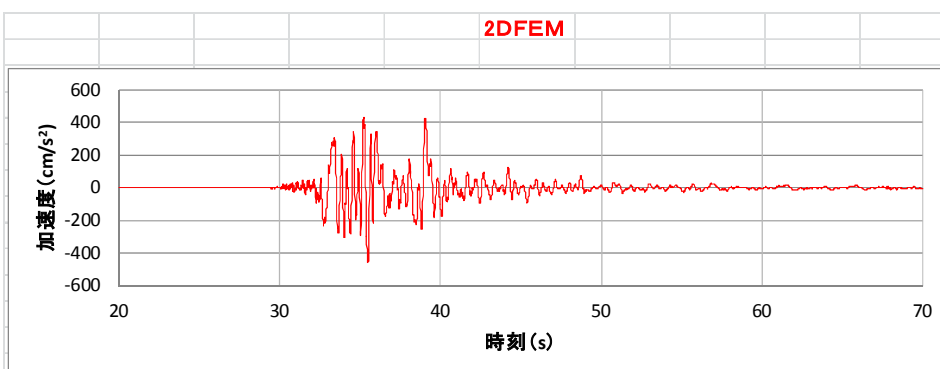
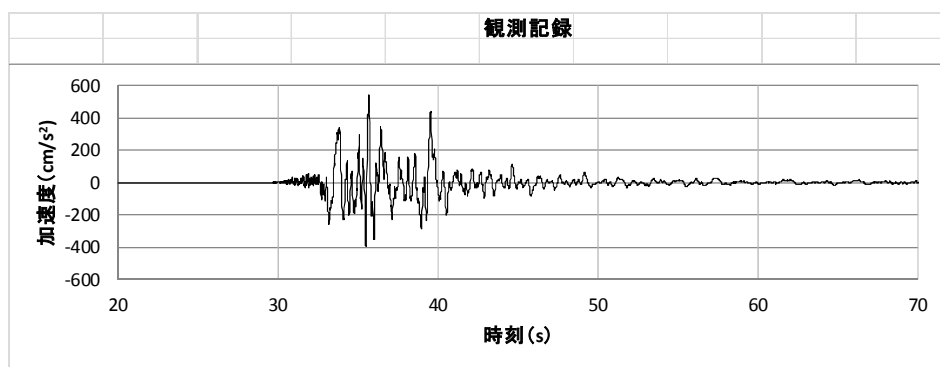


(2)EW 方向

添図 2.6 観測記録と解析結果の最大応答加速度の比較

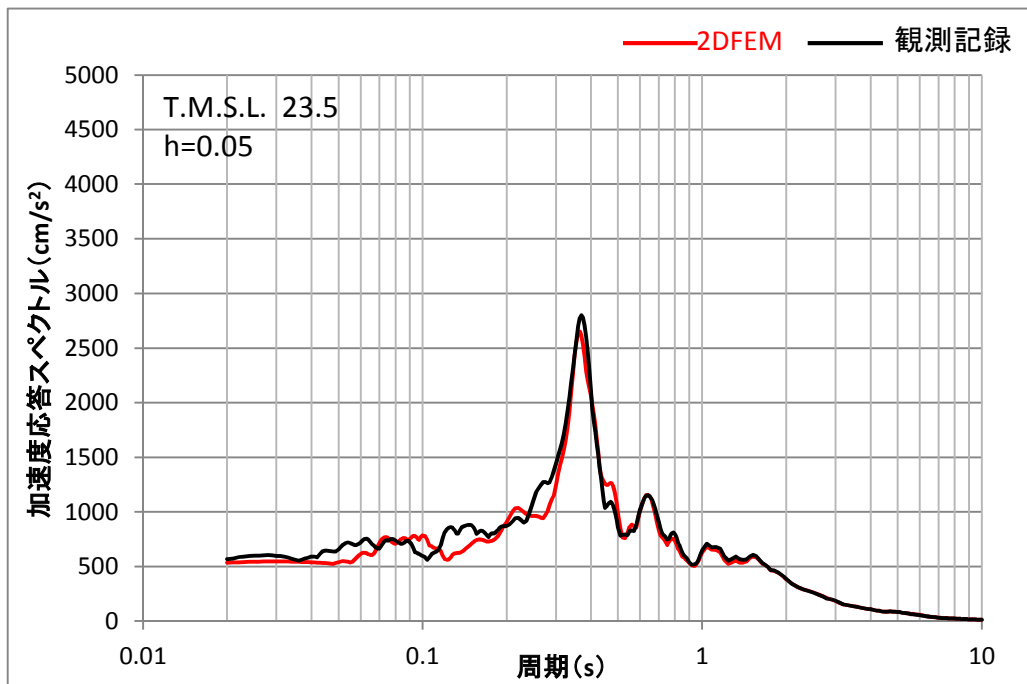


(1) NS 方向

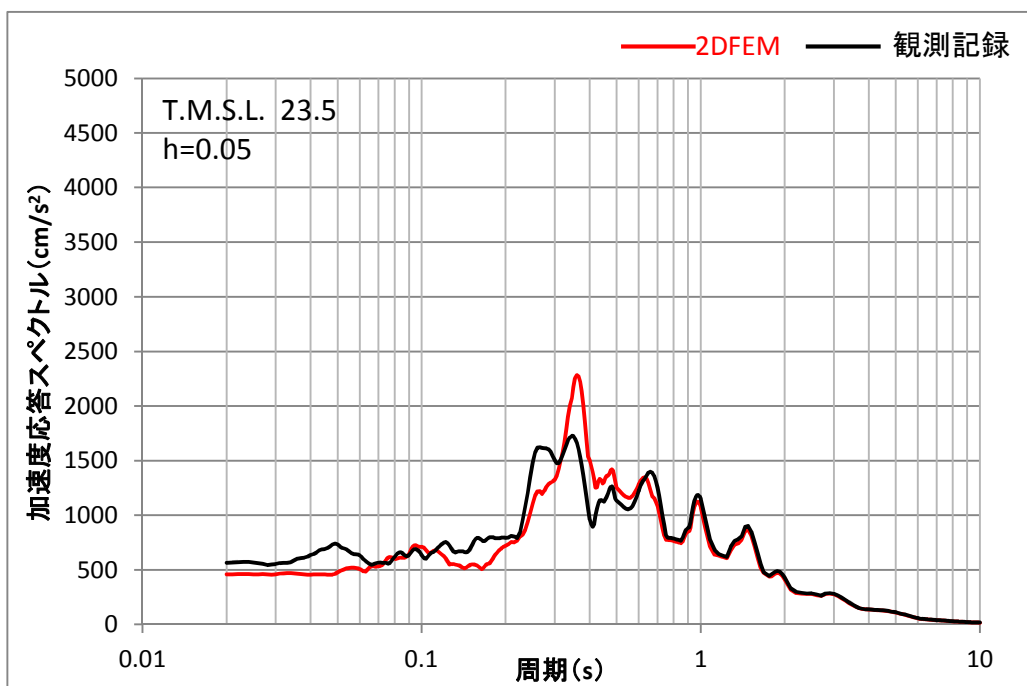


(2)EW 方向

添図 2.7 観測記録と解析結果の加速度波形の比較
(3 階 : T.M.S.L. 23.5m)



(a) NS 方向



(b) EW 方向

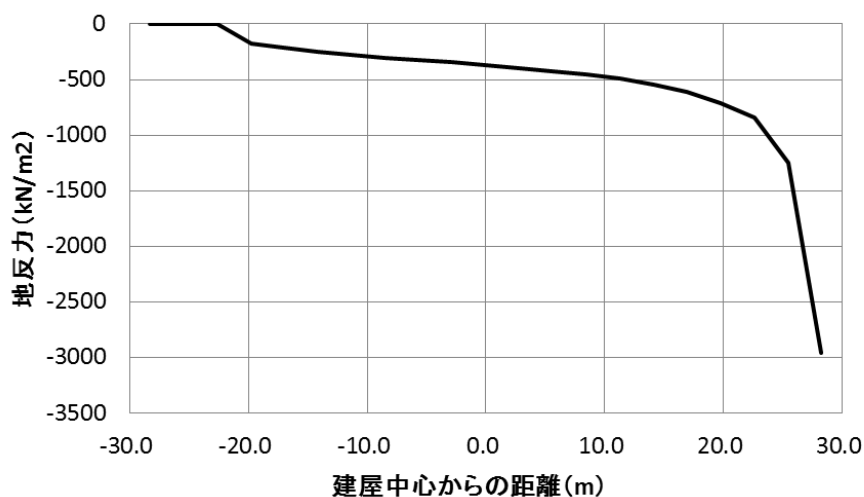
添図 2.8 観測記録と解析結果の加速度応答スペクトルの比較
(3 階 : T.M.S.L. 23.5m)

添付資料 3 2次元 FEM モデルの建屋基礎下の地反力分布

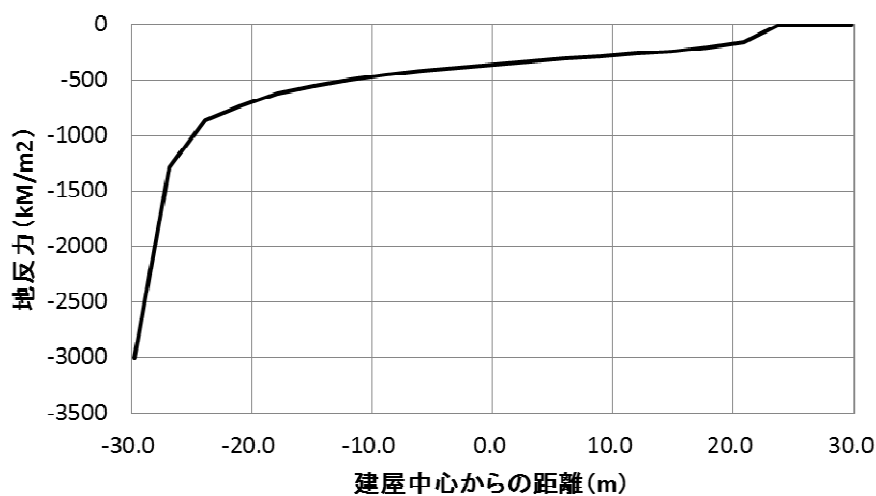
2次元 FEM モデルの地震応答解析結果から建屋基礎下の地反力分布を検討する。対象としたケースは NS 方向基本モデルと EW 方向基本モデルである。

底面の接地率が最小となった時刻における建屋基礎底面と地盤の間に設置した鉛直方向の各軸ばねの圧縮軸圧から評価した地反力を, NS 方向基本モデルの場合を添図 3.1 に, EW 方向基本モデルの場合を添図 3.2 に示す。

なお, 支持地盤の極限支持力度は, 5982kN/m^2 (610tf/m^2) である。



添図 3.1 底面の接地率が最小となる時刻における地反力分布 (NS 方向基本モデル)



添図 3.2 底面の接地率が最小となる時刻における地反力分布 (EW 方向基本モデル)

添付資料 4 セン断ばねの履歴特性と初期剛性の建屋応答への影響について

1. セン断ばねの履歴特性について

地下外壁と側面地盤間のせん断ばねは、側面土圧を表現する軸ばねと連成させたモデルであり、以下の特性を有している。

(基本的な特性)

- ・ 動摩擦力は軸ばねの軸圧に依存する（動摩擦力＝摩擦係数 μ ×軸圧）
- ・ 側面地盤が剥離中（軸ばねの軸圧がゼロ）は、せん断ばねにせん断応力は作用しない

(初期～剥離まで)

- ・ せん断応力が動摩擦力に達するまで、せん断応力～せん断変位関係は初期剛性上を移動する。せん断応力が動摩擦力に達した場合は、動摩擦力に応じてスケルトンカーブ上を移動する。軸圧が一定の場合のスケルトンカーブを添図 4.1 に示す。
- ・ せん断変位の増分が正の場合、動摩擦力は軸圧に依存するので、せん断応力は軸圧に応じて時々刻々変動する。
- ・ せん断変位の増分が負に反転した場合についても、動摩擦力に達するまでせん断応力～せん断変位関係は初期剛性上を移動する。軸圧が 0 となった場合に、剥離と判定される。

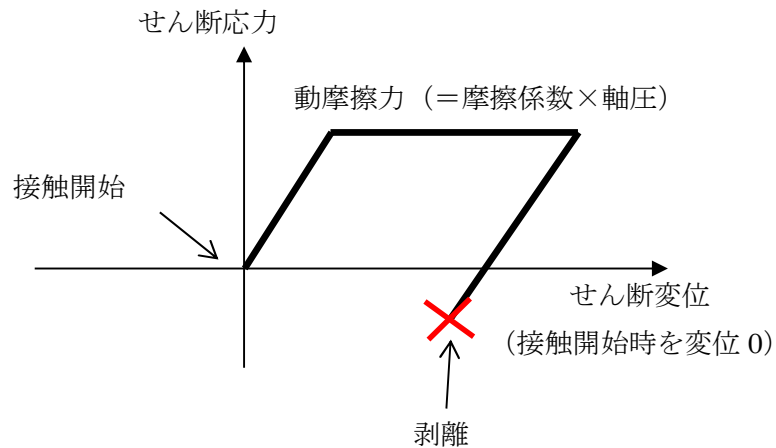
(剥離時)

- ・ 剥離時にはせん断応力は作用しないが、地下外壁と側面地盤間の上下方向の相対変位は時々刻々変動する。

(再接触後)

- ・ 再接触時の変位を 0 として再接触後のせん断変位の変動に対して、せん断応力～せん断変位関係は動摩擦力に達するまで初期剛性上を移動する。
- ・ せん断応力が動摩擦力に達した場合は、動摩擦力に応じてスケルトンカーブ上を移動する。

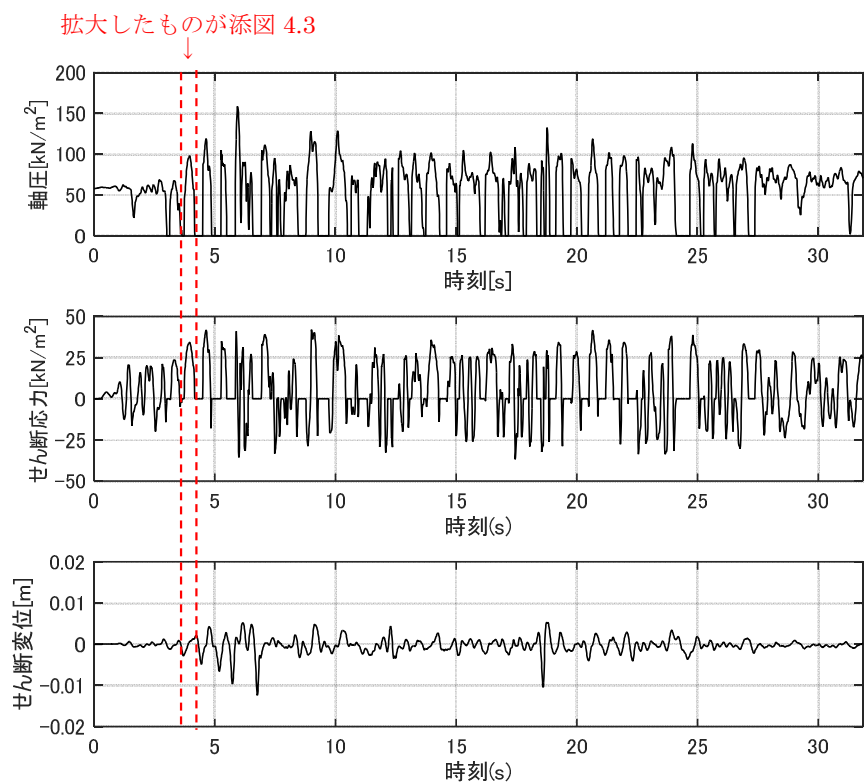
添図 4.1 においては、軸圧が一定の場合を示しているが、動摩擦力は軸圧によって変動するため、軸圧変動が加わると複雑な特性になる。なお、せん断ばねは地下外壁と側面地盤が接触している間のみ摩擦が働くので、建屋～地盤間が接触剥離する場合、せん断応力-せん断変位のループは多くても半ループまでの履歴となる。従って、せん断ばねの履歴によるエネルギー吸収は少ないことがわかる。



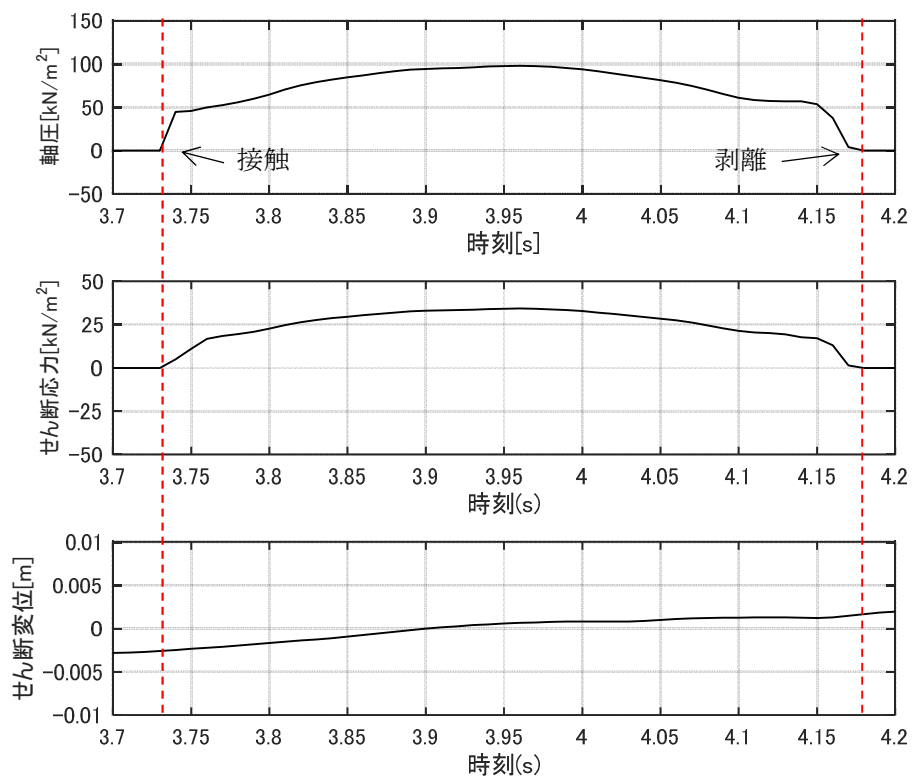
添図 4.1 せん断ばねの特性

参考として、添図 4.2 に、NS 方向基本モデルの B1 階床レベルにおける地下外壁の節点に取り付けた軸ばねの軸圧、せん断ばねのせん断応力およびせん断変位の時刻歴波形を示す。また、添図 4.3 に、軸圧、せん断応力およびせん断変位の時刻歴波形のうち応答の初期において大きな軸圧およびせん断応力が生じている、3.7 秒から 4.2 秒の時刻歴波形を拡大して示す。

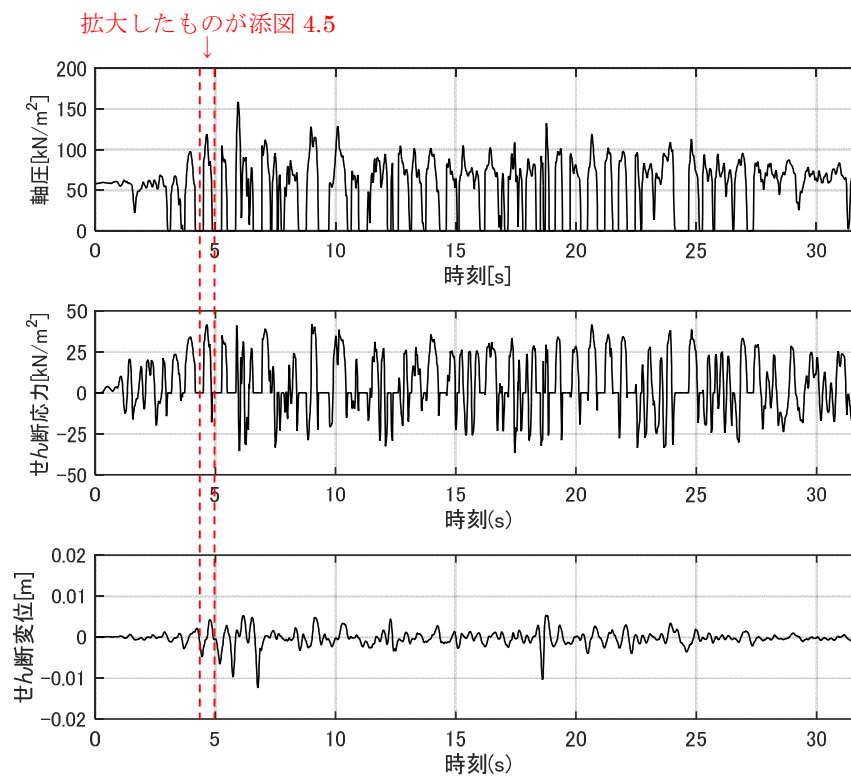
また、上記とは別の時間帯 (4.45～4.90 秒) での時刻歴波形を添図 4.4 (添図 4.2 の再掲)、添図 4.5 に示す。添図 4.5 のせん断応力は 4.83 秒付近から負の値となっている。これは軸圧が存在する状態で 4.76 秒付近からせん断変位の増分が正から負に転じて、せん断ばねの履歴が戻り方向になったためである。これらの図より、動摩擦力に対応したせん断応力が生じていることが分かる。



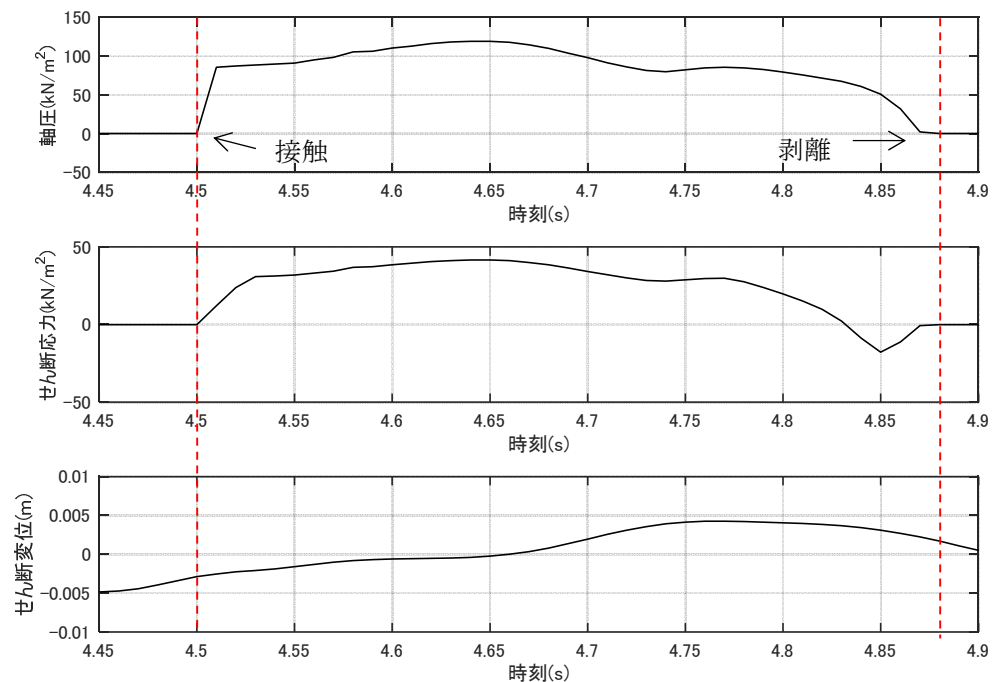
添図 4.2 軸圧，せん断応力およびせん断変位の時刻歴波形（基本モデル NS 方向）



添図 4.3 軸圧，せん断応力およびせん断変位の時刻歴波形（3.7 秒～4.2 秒拡大）



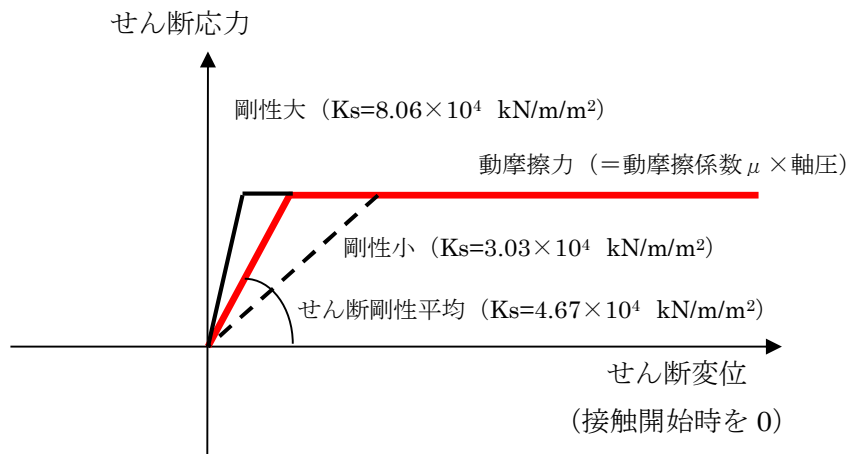
添図 4.4 軸圧，せん断応力およびせん断変位の時刻歴波形（基本モデル NS 方向）



添図 4.5 軸圧，せん断応力およびせん断変位の時刻歴波形（4.45 秒～4.90 秒拡大）

2. せん断ばねの初期剛性の建屋応答への影響について

添図 4.6 に本編 4.4 節「ジョイント要素せん断ばねのせん断剛性のばらつきの影響検討」に用いたせん断ばねの特性を示す。せん断ばねの剛性が影響するのはせん断応力が動摩擦力に達するまでである。せん断ばねの動摩擦力は軸圧に依存するため、軸圧の変化により早い段階で動摩擦力に達して滑る場合は、せん断ばねの剛性の建屋応答への影響は小さくなると推測される。



添図 4.6 せん断剛性をばらつかせた場合のせん断ばねの特性

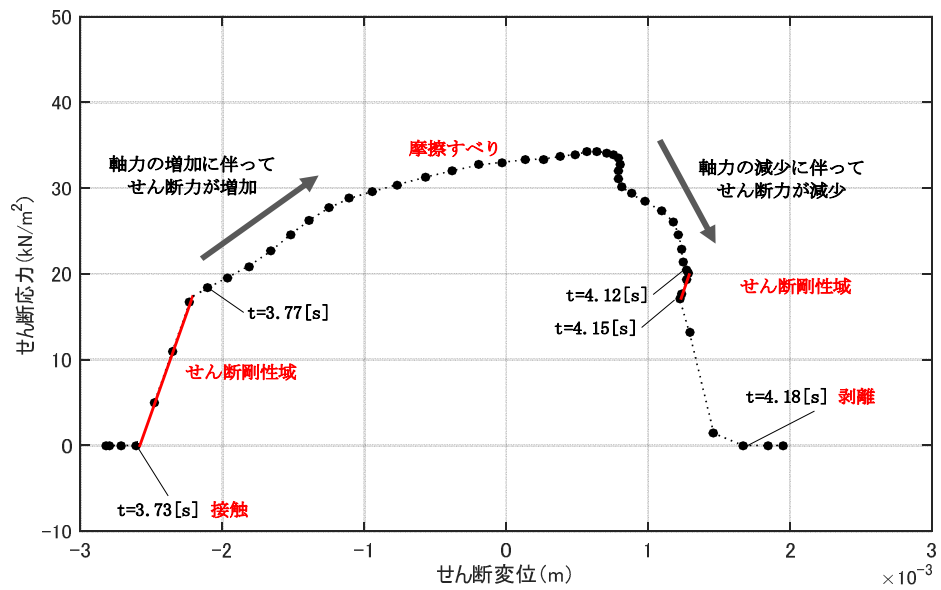
添図 4.7 に、NS 方向基本モデルの B1 階床レベルにおける地下外壁の節点のせん断ばねの 3.7 秒～4.2 秒におけるせん断応力－せん断変位関係を示す。図中の黒点が各時刻における値を示している。図中に赤線で示したせん断応力－せん断変位関係が直線になっている部分がせん断ばねの初期剛性の範囲に該当する。接触から再接触までを 1 ループとした場合に、初期剛性の範囲にある時間の割合は 1 ループ中の 10% 程度であり、多くの時間では初期剛性に依存しない動摩擦力が生じている状態にあることが分かる。

添図 4.8 に、せん断ばねの剛性のばらつきを考慮した各解析ケースのせん断力の時刻歴を示す。せん断剛性の違いが応答に影響するのは、せん断ばねの初期剛性の範囲にある場合のみであるが、各ケースともに初期剛性の部分は極めて短く、また、せん断ばねの初期剛性を変化させた場合のせん断力の時刻歴の形状は同等となっている。

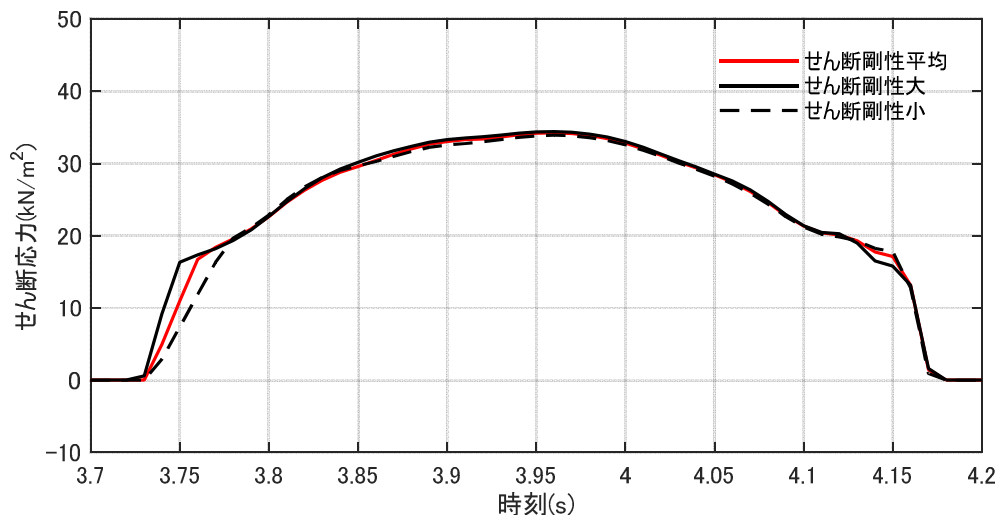
上記の添図 4.7、添図 4.8 とは別の時間帯 (4.45 秒～4.90 秒) におけるせん断ばねのせん断応力－せん断変位関係、および、剛性のばらつきを考慮したせん断応力の時刻歴を添図 4.9、添図 4.10 に示す。この時間帯はせん断変位が反転している特徴があるが、せん断ばねが初期剛性の範囲にある時間帯は 1 ループ中の 16% 程度であり、また、せん断ばねの初期剛性を変化させた場合のせん断力の時刻歴の形状は同等となっている。

これらより、せん断ばねが初期剛性の範囲にある時間が短いことと、せん断ばねの初期剛性を変化させた場合のせん断力の時刻歴の形状は同等であることからことから、せん断

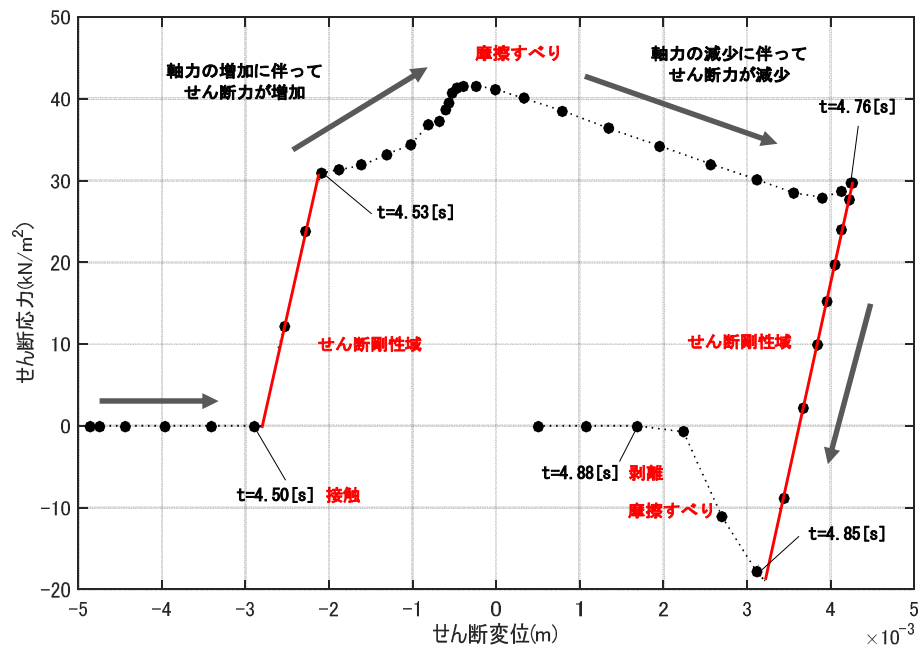
ばねの初期剛性の建屋応答への影響は極めて小さいことが分かる。



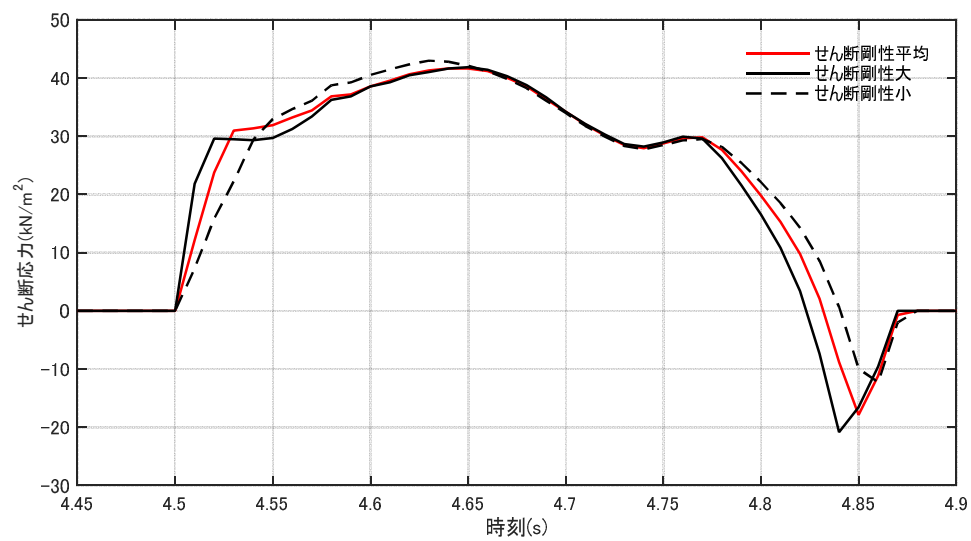
添図 4.7 せん断応力-せん断変位関係 (3.7 秒~4.2 秒)



添図 4.8 せん断応力の時刻歴 (せん断剛性をばらつかせた場合の比較)



添図 4.9 せん断応力-せん断変位関係 (4.45 秒~4.90 秒)



添図 4.10 せん断応力の時刻歴 (せん断剛性をばらつかせた場合の比較)

添付資料5 建屋基礎下のマンメイドロックの建屋応答への影響

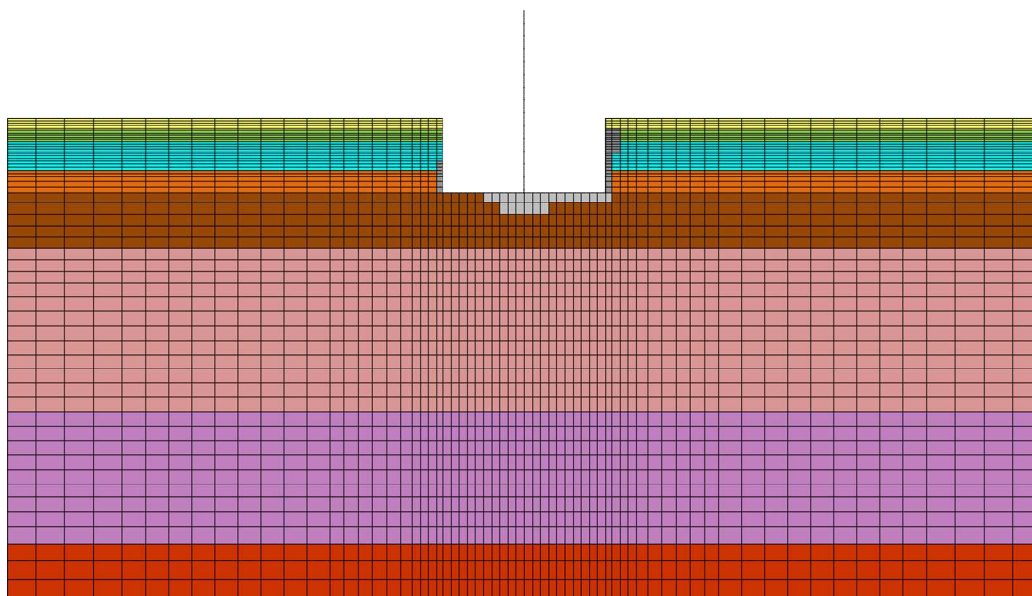
(1) 検討の概要

地盤 2 次元 FEM による側面地盤の接触剥離を考慮した検討においては、建屋埋め込みによる側面地盤の拘束効果を把握するために側面地盤のマンメイドロックは地盤モデルに考慮したが、建屋基礎下のマンメイドロックは拘束効果に影響が少ないと考えられるため地盤モデルに反映していない。

そこで、建屋基礎下のマンメイドロックの存在が建屋応答に及ぼす影響を検討するため、NS 方向の基本モデルの地盤に建屋基礎下のマンメイドロックを考慮した地盤モデルを作成し、NS 方向の基本モデルと基礎下マンメイドロックを考慮したモデルによる建屋応答を比較する。

(2) 解析モデル

解析モデルを添図 5.1 に示す。原子炉建屋単独の基本モデルの建屋基礎下にマンメイドロック（図 2.3.3 参照）をモデル化したものである。

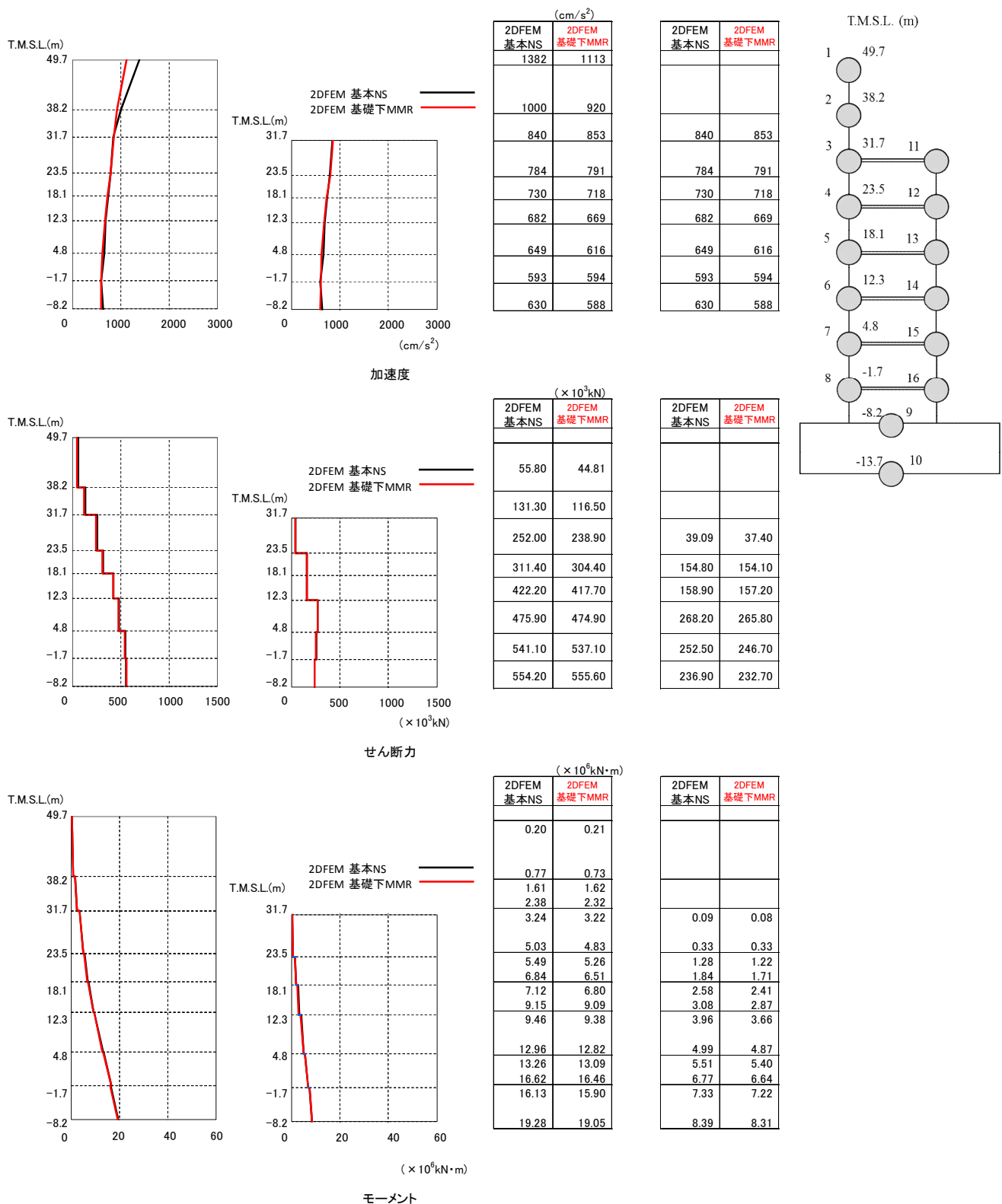


添図 5.1 K6 基礎下 MMR を考慮した 2 次元 FEM 解析モデル
の地盤メッシュ (NS 方向)

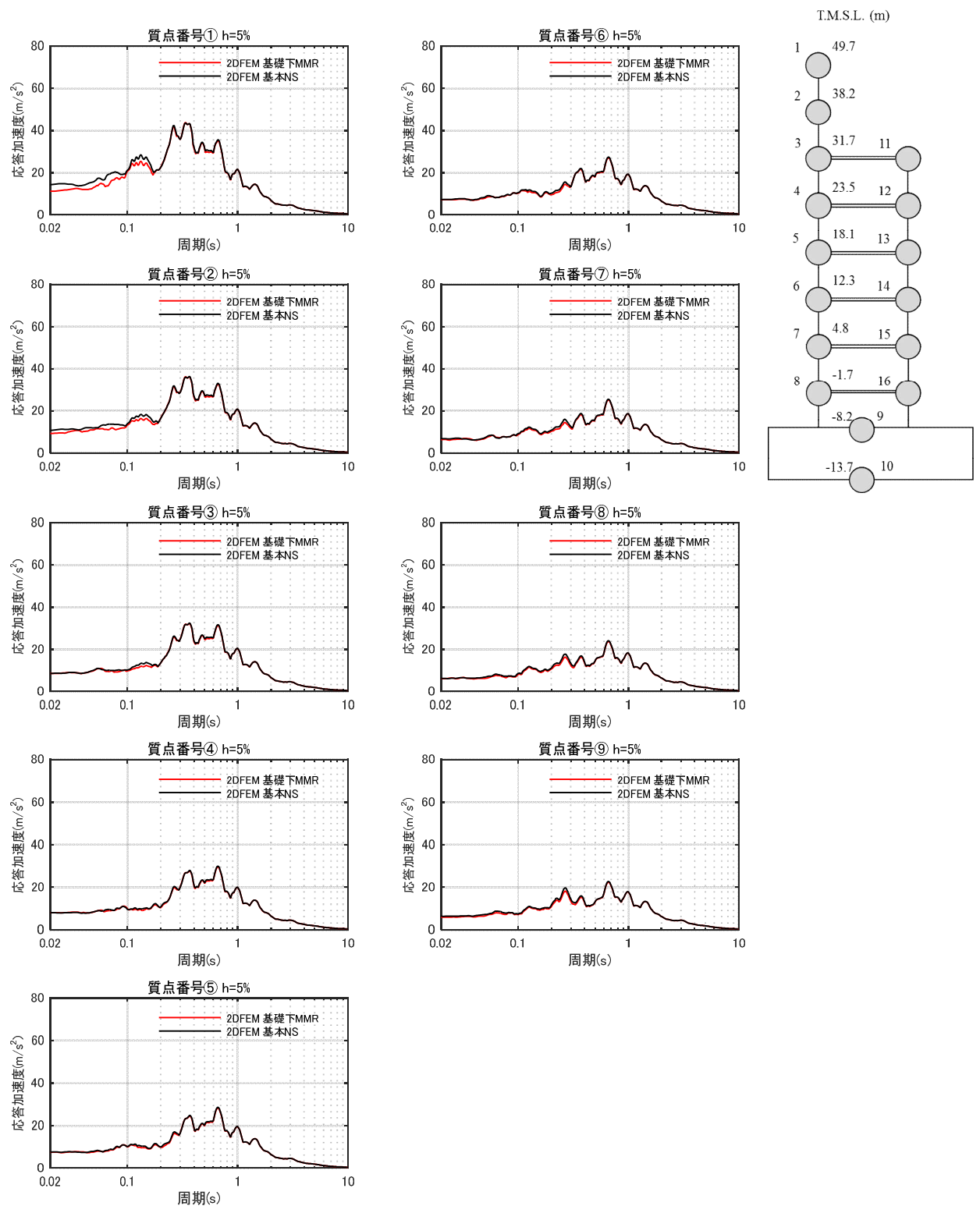
(3) 建屋応答の比較

添図 5.2～添図 5.4 に建屋の最大応答結果及び床応答スペクトルを比較して示す。

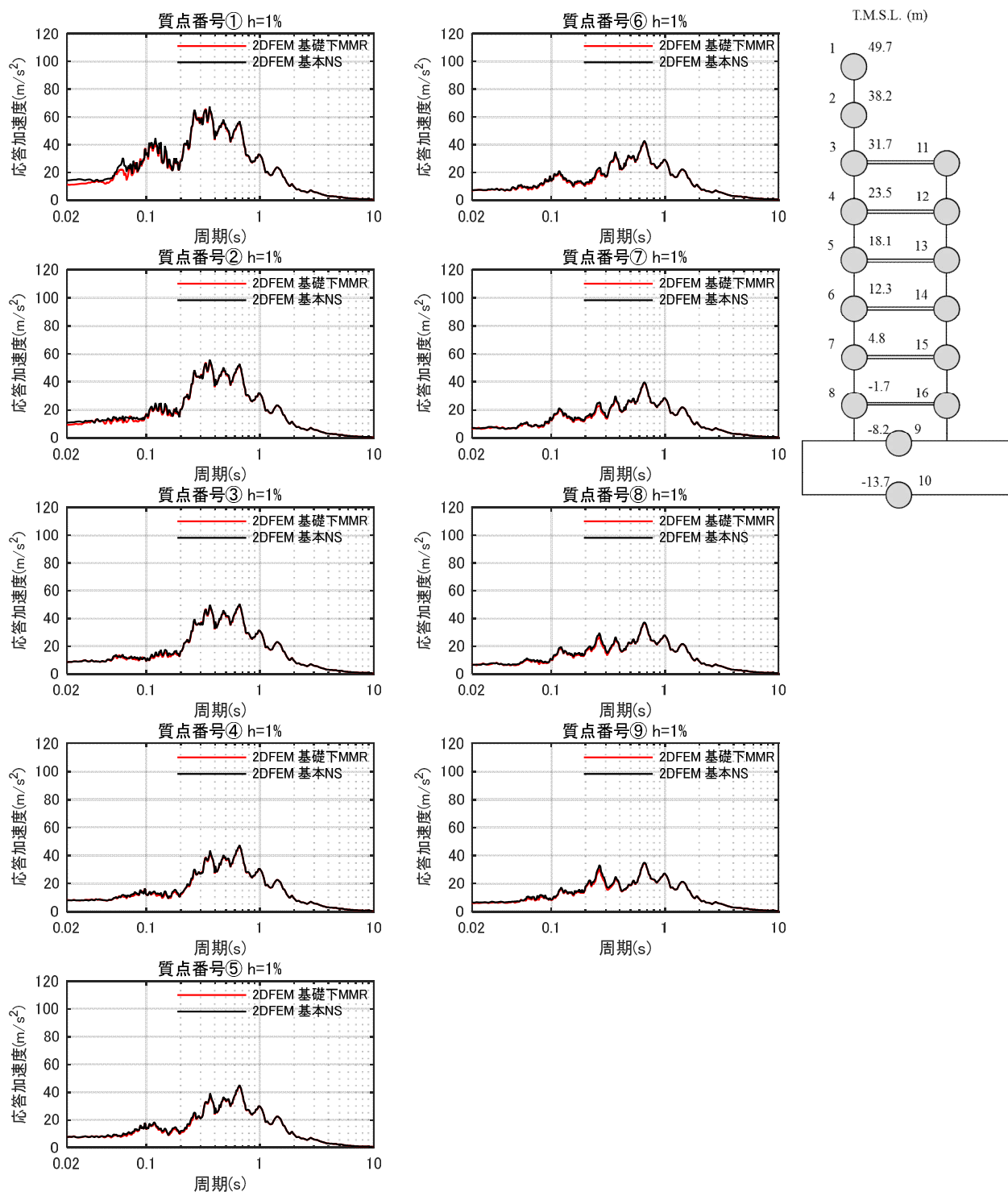
建屋基礎下のマンメイドロックを考慮しても，建屋の応答は顕著な影響を受けないことを確認した。



添図 5.2 建屋の最大応答分布の比較（基本モデルと K6 基礎下 MMR モデル）



添図 5.3 床応答スペクトルの比較(基本モデルと K6 基礎下 MMR モデル) (NS 方向) $h=5\%$



添図 5.4 床応答スペクトルの比較(基本モデルと K6 基礎下 MMR モデル) (NS 方向) $h=1\%$

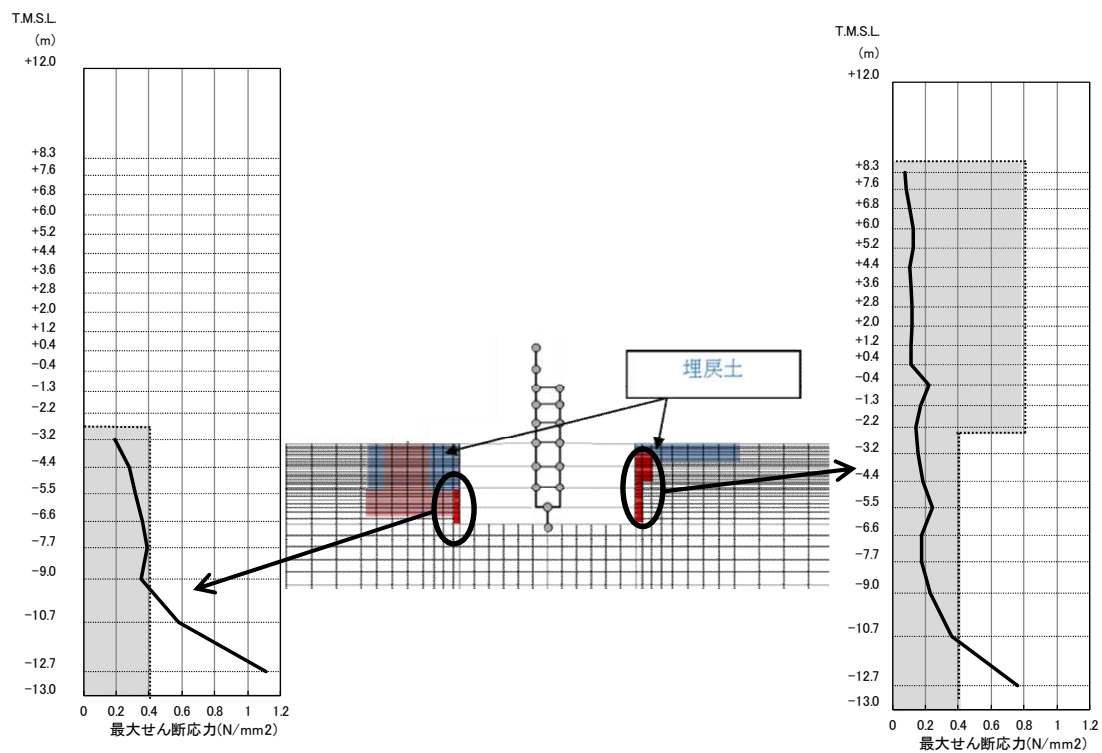
添付資料 6 建屋周辺のマンメイドロックについて

建屋外周のマンメイドロックについて、建屋周辺の埋戻し状況を詳細に模擬した解析ケース（論点③に対する検討で実施）を代表として、最大せん断応力を確認した。

建屋外周マンメイドロックの最大応答せん断応力分布を添図 6.1 に示す。同図より、建屋外周マンメイドロックの最大応答せん断応力は、最大でも 1.1 N/mm^2 （建屋基礎近傍の最深部）程度となっている。

これはマンメイドロックのせん断強度 1.84 N/mm^2 *（保守的に圧密圧力の影響を無視した値）以下であることから、マンメイドロックが局所的に破壊することはないと考えている。

* 出典：柏崎刈羽原子力発電所原子炉設置変更許可申請書（6 号及び 7 号原子炉施設の変更）
（平成 25 年 9 月 27 日）



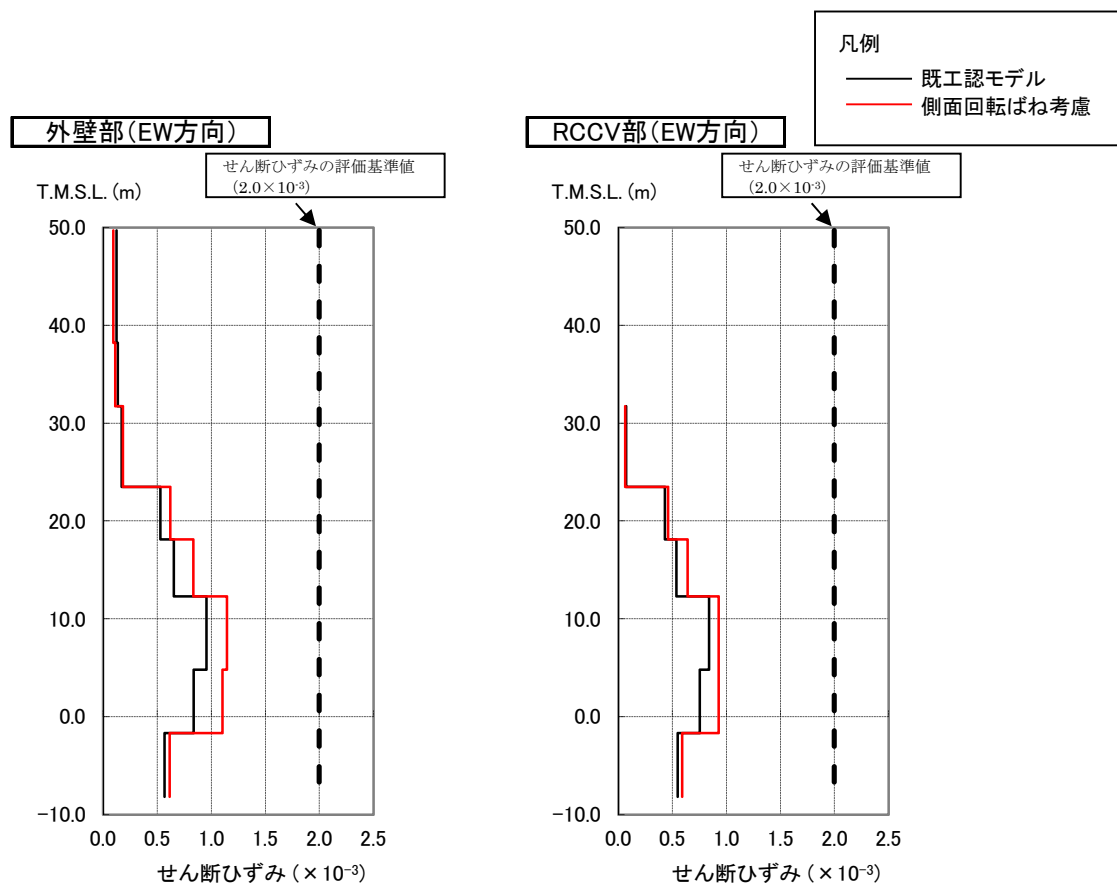
添図 6.1 建屋外周のマンメイドロックの最大応答せん断応力分布

参考資料-1 回転ばね考慮モデルと既工認モデルとの応答結果比較 (Ss-2EW 方向)

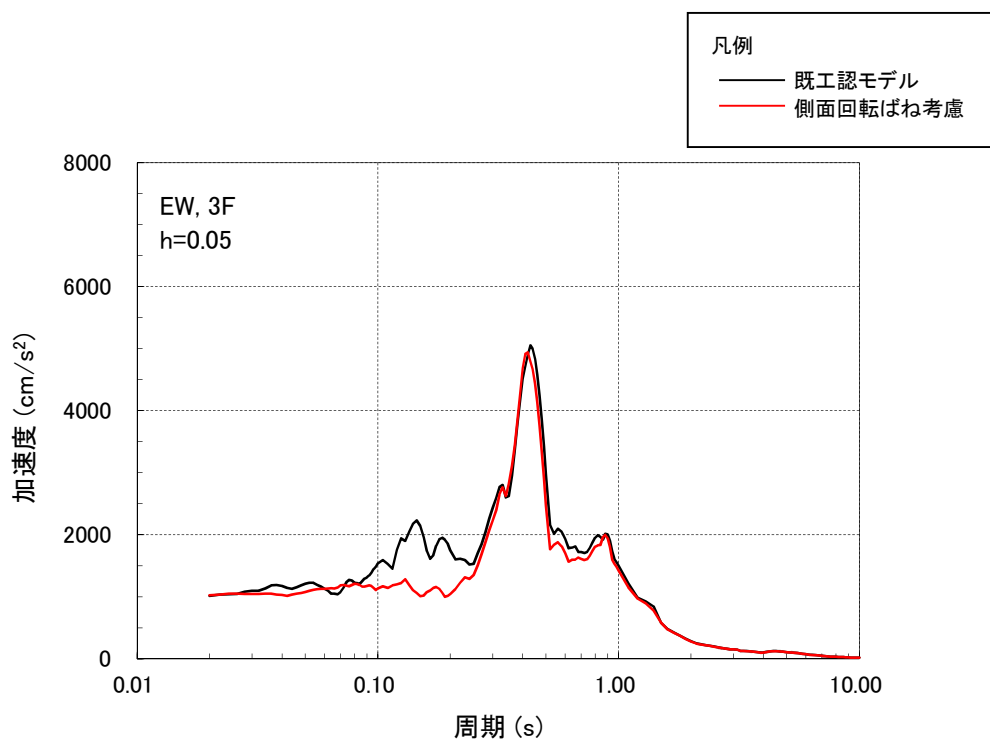
本編では Ss-1NS 方向を代表として側面回転ばねを考慮することの定量的な効果を示したが、ここでは建屋底面の接地率がわずかに Ss-1NS 方向を下回るケースとして Ss-2EW 方向の結果について参考として示す。底面の接地率を参表-1, せん断ひずみ及び応答スペクトルを参図-1,2 に示す。

参表-1 側面回転ばねが建屋底面の接地率に与える影響 (7号炉原子炉建屋での試算例)

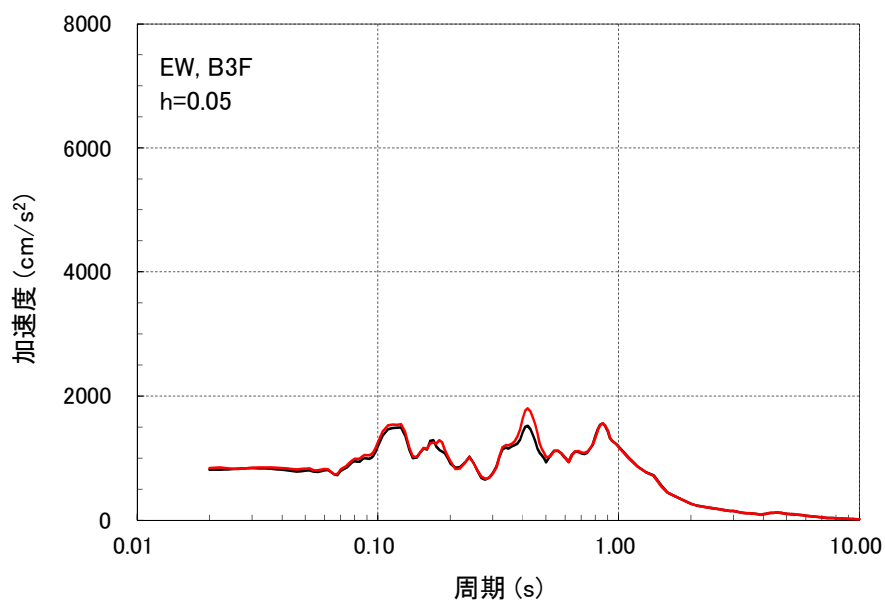
解析ケース	建屋底面の接地率
	EW 方向
既工認モデル	49.9%(Ss-2)
側面回転ばね考慮	67.0%(Ss-2)



参図-1 側面回転ばねを考慮することが応答せん断ひずみに与える影響 (Ss-2, EW 方向)
(7号炉原子炉建屋での試算例)



(a) (3階, Ss-2, EW 方向)



(b) (基礎版上, Ss-2, EW 方向)

参図-2 側面回転ばねが床応答スペクトルに与える影響
(7号炉原子炉建屋での試算例)

参考資料-2 埋め込み SR モデルにおける側面回転ばねの影響検討

1. はじめに

本資料では、埋め込み SR モデルでの側面回転ばねの建屋応答への影響検討について参考として示す。

解析は、側面回転地盤ばねを 100%考慮した場合、50%考慮した場合、無視（0%）した場合の Ss-1 に対する NS 方向及び EW 方向で実施する。

2. 解析結果

2.1 地震応答解析結果

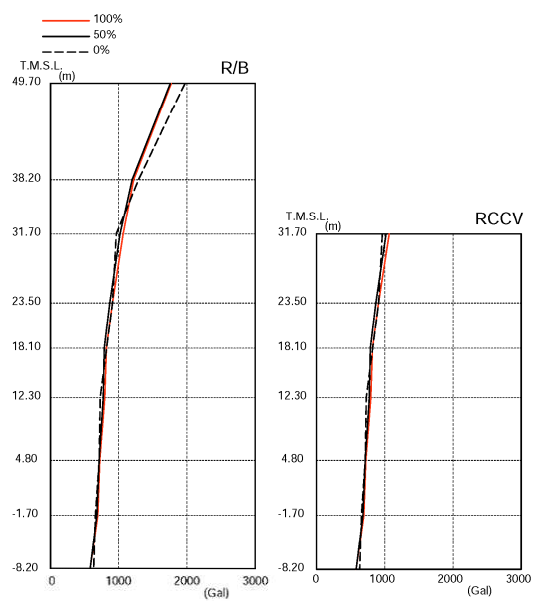
参表-1 に接地率の比較を示す。

参図-1～参図-8 に、最大応答値を比較して示す。

参図-9～参図-10 に、基礎版上、1 階床、3 階床位置の加速度応答スペクトル（h=5%及び h=1%）を比較して示す。

参表-1 接地率の比較

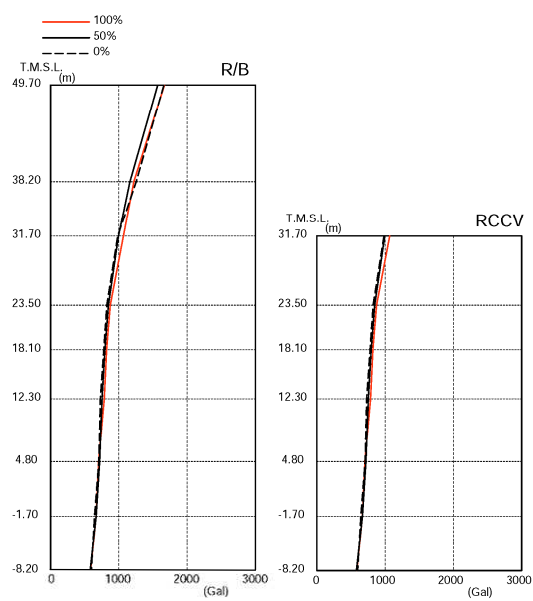
解析ケース	接地率（%）	
	NS 方向	EW 方向
側面回転ばね 100%	68.2	68.8
側面回転ばね 50%	64.6	65.4
側面回転ばね 0%	50.9	52.0



R/B (Gal)		
100%	50%	0%
1771	1757	1972
1218	1196	1290
1065	1019	964
908	868	909
819	788	822
795	773	728
722	712	713
694	680	658
579	580	632

RCCV (Gal)		
100%	50%	0%
1065	1019	964
908	868	909
819	788	822
795	773	728
722	712	713
694	680	658
579	580	632

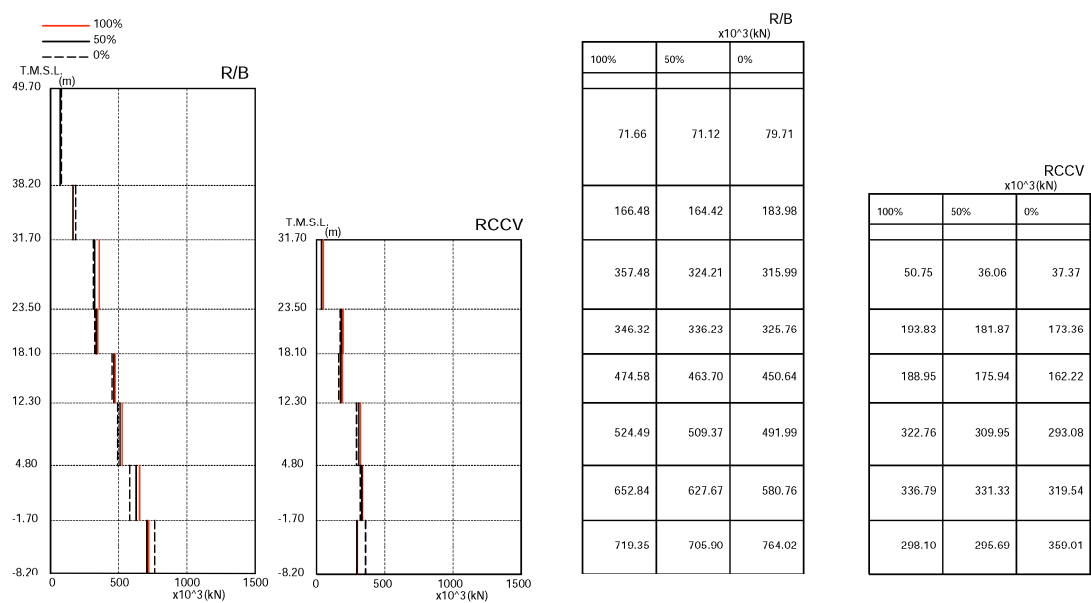
参図-1 最大応答加速度(NS 方向、Ss-1)



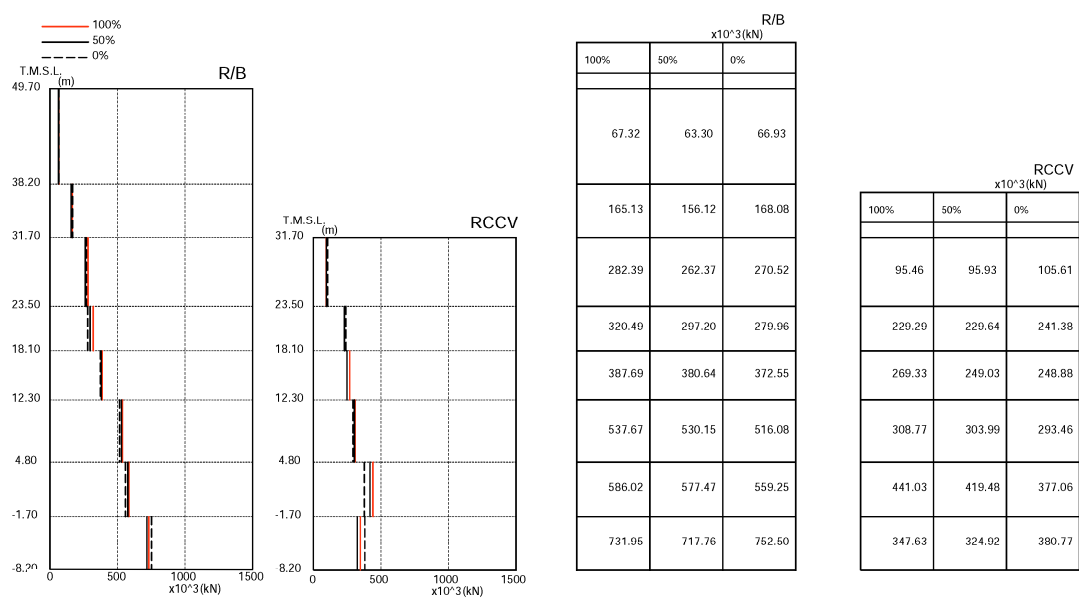
R/B (Gal)		
100%	50%	0%
1668	1569	1660
1220	1162	1254
1067	995	984
874	847	823
821	796	779
787	754	729
703	719	707
667	668	644
586	580	598

RCCV (Gal)		
100%	50%	0%
1067	995	984
874	847	823
821	796	779
787	754	729
703	719	707
667	668	644
586	580	598

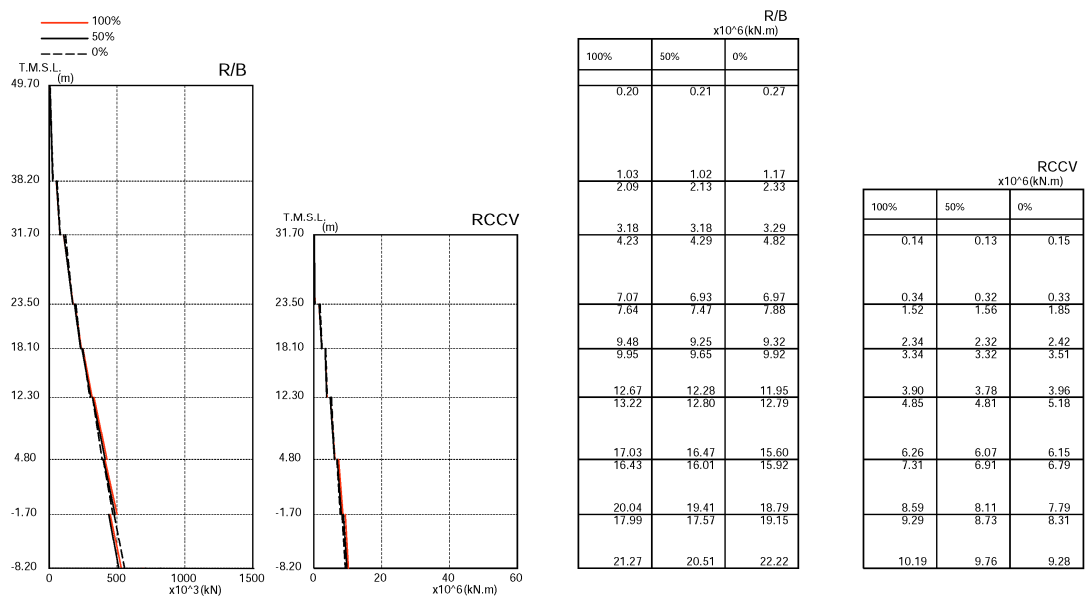
参図-2 最大応答加速度(EW 方向、Ss-1)



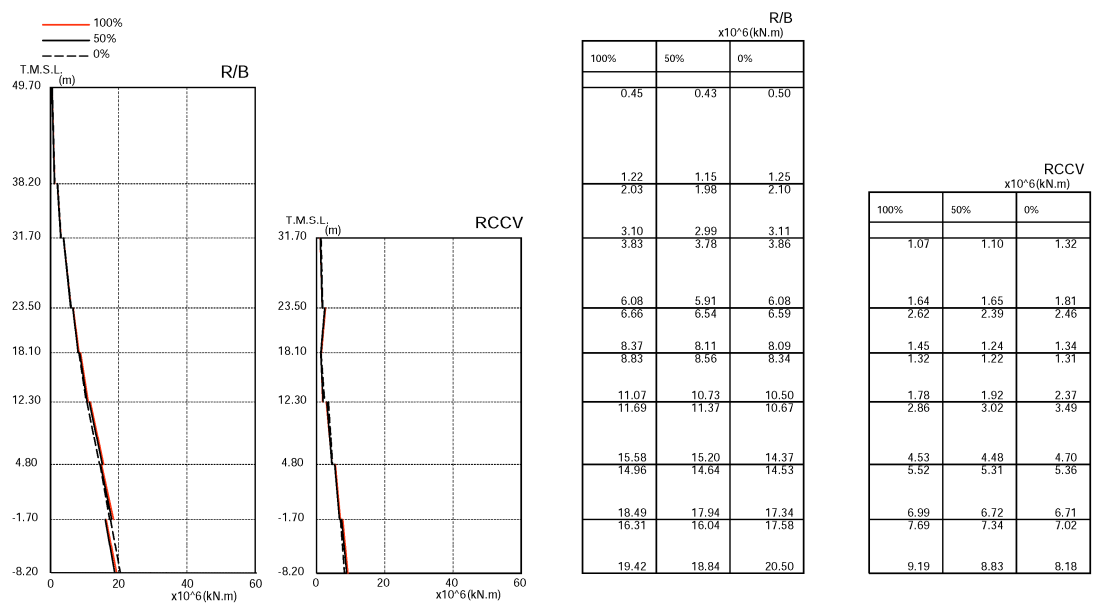
参図-3 最大応答せん断力(NS 方向、Ss-1)



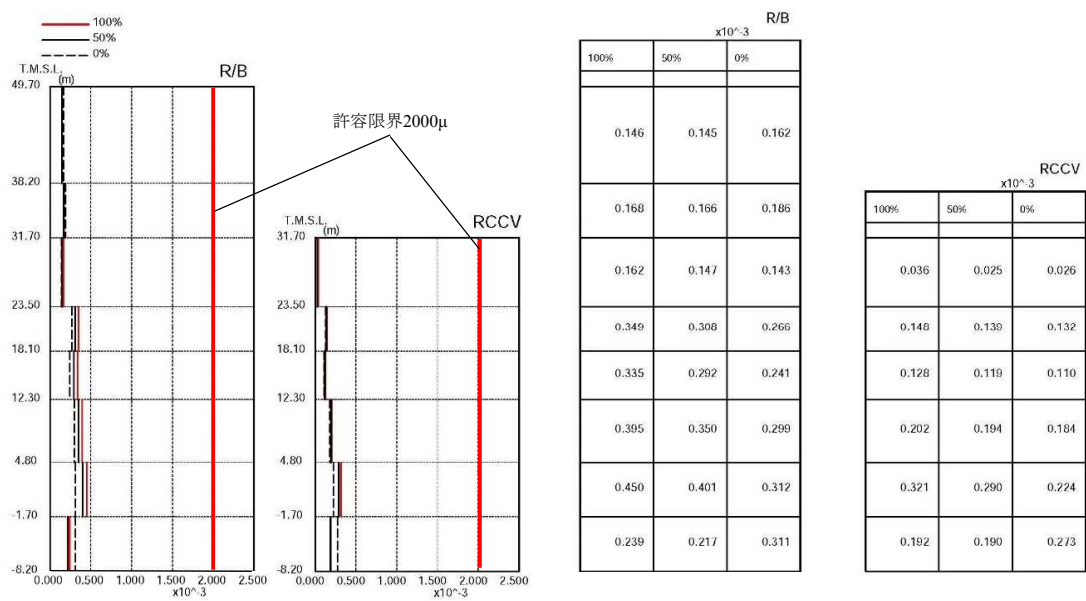
参図-4 最大応答せん断力(EW 方向、Ss-1)



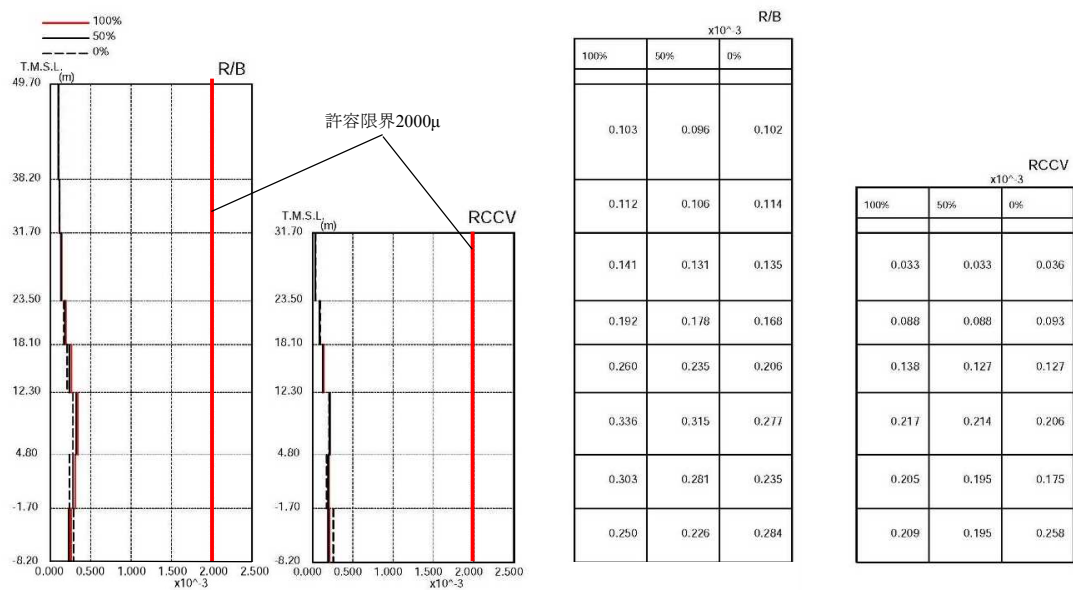
参図-5 最大応答曲げモーメント (NS 方向、Ss-1)



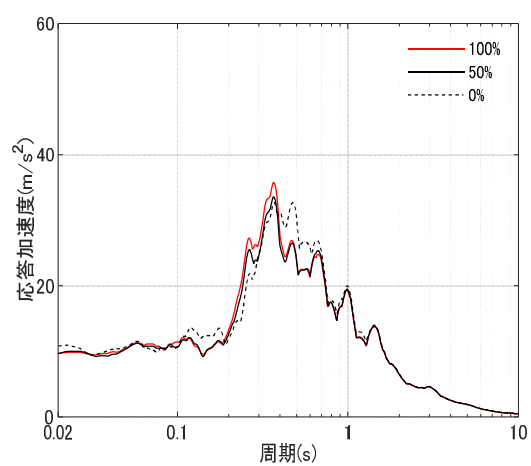
参図-6 最大応答曲げモーメント (EW 方向、Ss-1)



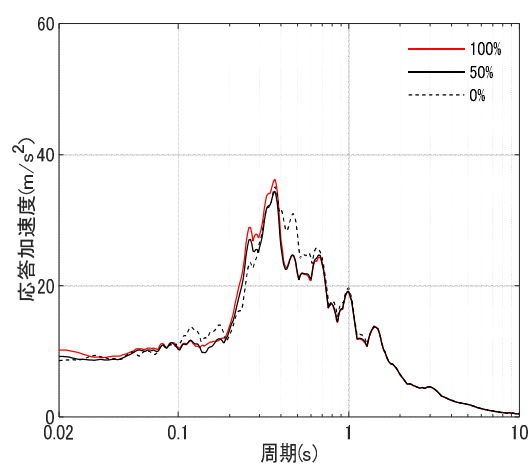
参図-7 最大応答せん断ひずみ(NS 方向、Ss-1)



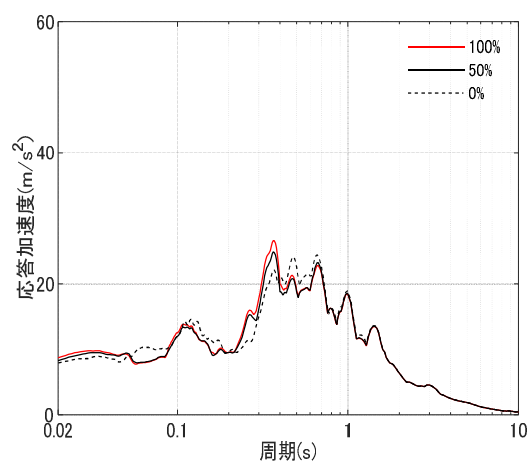
参図-8 最大応答せん断ひずみ(EW 方向、Ss-1)



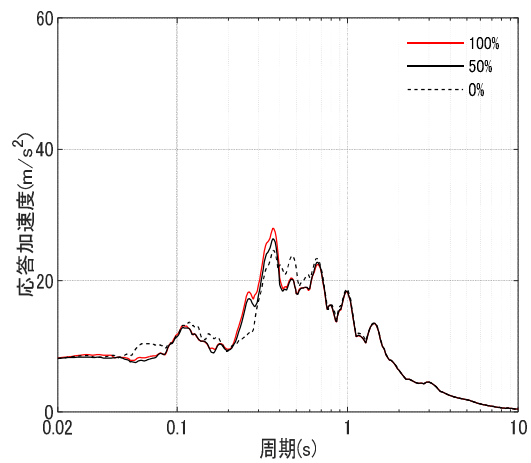
3 階 : T.M.S.L. +23.50m



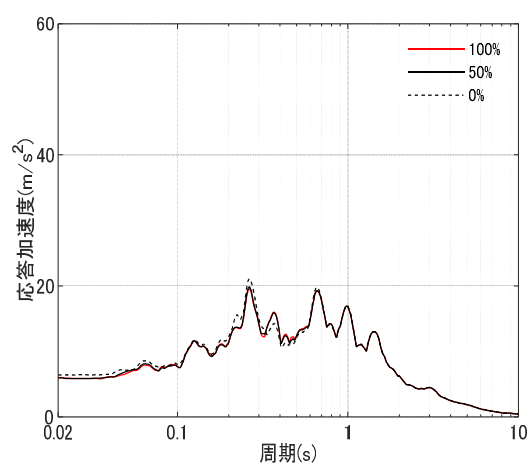
3 階 : T.M.S.L. +23.50m



1 階 : T.M.S.L. +12.30m

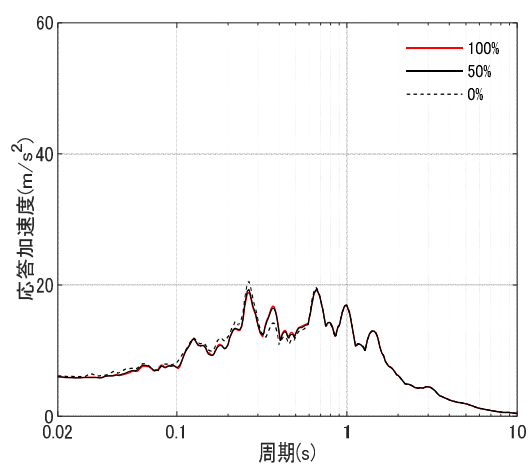


1 階 : T.M.S.L. +12.30m



基礎版上 : T.M.S.L. -8.20m

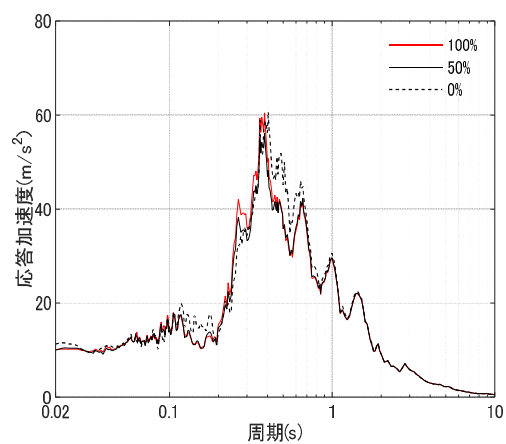
NS 方向



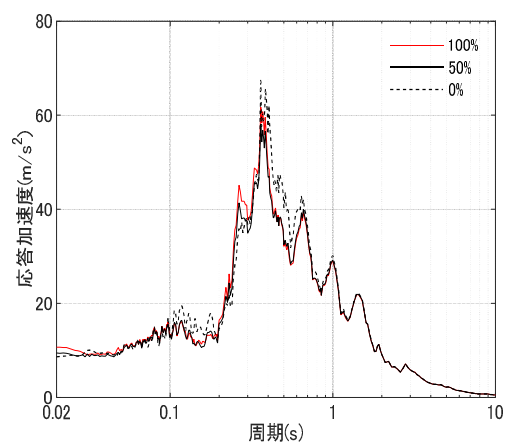
基礎版上 : T.M.S.L. -8.20m

EW 方向

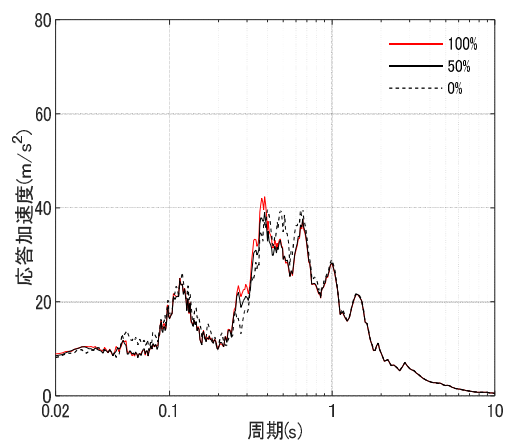
参図-9 加速度応答スペクトル(h=5%)



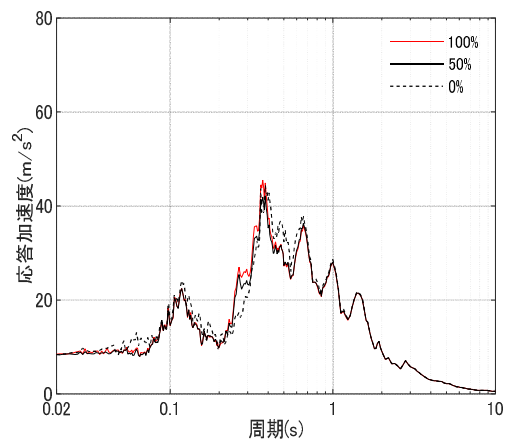
3 階 : T. M. S. L. +23.50m



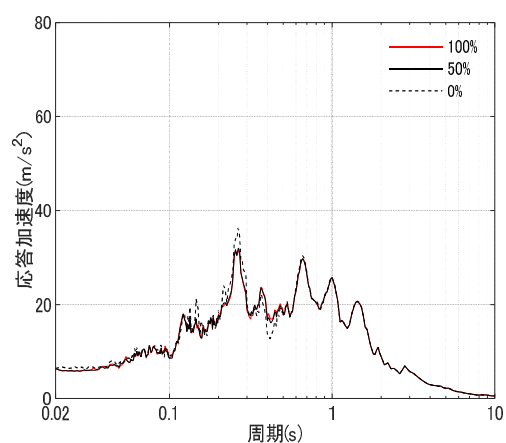
3 階 : T. M. S. L. +23.50m



1 階 : T. M. S. L. +12.30m

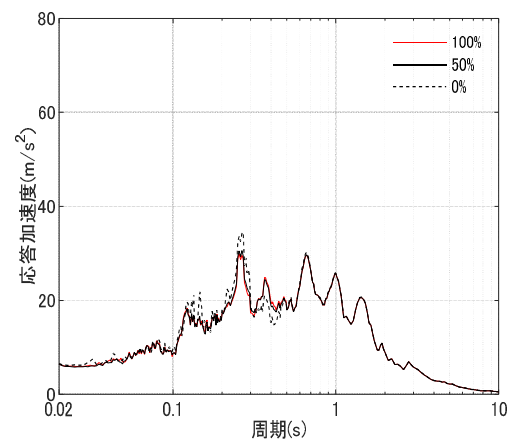


1 階 : T. M. S. L. +12.30m



基礎版上 : T. M. S. L. -8.20m

NS 方向



基礎版上 : T. M. S. L. -8.20m

EW 方向

参図-10 加速度応答スペクトル(h=1%)

原子炉本体基礎の復元力特性について

目次

1	はじめに	1
2	RPV ペデスタルの設計概要	3
	(1) RPV ペデスタルの構造	3
	(2) RPV ペデスタルの設計フロー及び今回工認の変更点	5
	(3) 地震応答解析	6
	(4) RPV ペデスタルの構造強度評価	7
3	詳細化の目的と効果	8
3.1	詳細化の目的	8
3.2	詳細化の効果	10
4	詳細化の検討方針	12
	(1) 概要	12
	(2) 今回工認の検討範囲	13
	(3) スケルトンカーブの評価方針	14
	(4) 妥当性確認が必要な評価上の仮定	21
	(5) 妥当性の確認方針	21
5	復元力特性の設定方法	22
5.1	SC 規程を参考にした設定方針	22
	(1) SC 規程を参考にした設定方針	22
	(2) SC 規程を参考にした RPV ペデスタルの復元力特性の検討手順	24
5.2	RPV ペデスタルの構造の特徴の抽出及び構造に応じた追加検討事項	25
5.3	スケルトンカーブの設定方法	27
	(1) 地震応答解析における RPV ペデスタルのモデル化	27
	(2) 曲げに対する弾塑性特性を考慮したスケルトンカーブ設定方法	33
	(3) せん断に対する弾塑性特性を考慮したスケルトンカーブ設定方法	44
5.4	構造の特徴に応じた追加検討事項の妥当性	58
	(1) 妥当性の確認対象	58
	(2) 確認方法	59
	(3) 確認結果	61
6	スケルトンカーブの作成	64
7	履歴特性の設定	85
	(1) 検討目的	85
	(2) 検討方法	85
	(3) 検討ケース	85
	(4) 検討結果	88

8	まとめ	90
9	参考文献	90

添付資料-1	RPV ペデスタルの復元力特性に用いるコンクリート強度の取り扱い
添付資料-2	地震応答解析モデルにおける RPV ペデスタルの減衰定数
添付資料-3	SC 規程を参考にした RPV ペデスタルのスケルトンカーブ導出過程
添付資料-4	SC 規程を参考に作成したスケルトンカーブに基づく試験体の荷重変位特性の作成方法
添付資料-5	既往試験の概要，信頼性及び実機への適用性
添付資料-6	復元力特性の設定における温度に応じた材料物性値の設定方法
添付資料-7	コンクリートせん断ひび割れ後の RPV ペデスタルの支持性能
添付資料-8	RPV ペデスタル円筒部の構造強度評価
添付資料-9	スケルトンカーブの近似方法
添付資料-10	RPV ペデスタル復元力特性の折線近似の影響検討
添付資料-11	コンクリートせん断ひび割れ後の剛性評価の理論式
参考資料-1	隔壁方式の鋼板コンクリート構造に関する理論式と試験結果の比較
参考資料-2	圧縮ストラット角度の変化による地震荷重への影響

1 はじめに

柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉の原子炉本体基礎（以下、「RPV ペデスタル」という）は、鋼板とコンクリートで構成されており、構造強度上は、鋼板によって地震等の荷重に耐える鋼構造として設計している。コンクリートは放射線の遮蔽を目的として内部に充填しており、構造強度部材として期待していない。

一方で、地震時の振動特性を考慮するとコンクリートは無視できないものであり、RPV ペデスタルの地震応答解析モデルとしては、コンクリートの剛性及び重量もモデルに取り込んでいる。

地震応答解析は、原子炉建屋と RPV ペデスタルを連成させて行っている。6 号及び 7 号炉の建設時工認（以下、「既工認」という）で用いた基準地震動のレベルは小さく、地震応答は概ね弾性領域に入っていたことから、原子炉建屋及び RPV ペデスタルともに剛性一定の線形仮定としていた。

しかしながら、今回工認では基準地震動のレベルが増大し、地震応答が弾性領域を超えることから、原子炉建屋の地震応答解析モデルは、適正な地震応答に基づく評価を行うためコンクリートの剛性変化を考慮した非線形解析モデルを採用することとしている。

そのため、仮に RPV ペデスタルを既工認のまま線形仮定として地震応答解析を実施すると、本来は RPV ペデスタルも原子炉建屋と同様に剛性が変化するものであるが、計算上は剛性一定として扱うことになるため、連成させている原子炉建屋と RPV ペデスタルの荷重分担のバランスが実態と大きく異なることとなる。

従って、より現実に近い適正な地震応答解析を実施する観点から、原子炉建屋と連成させる RPV ペデスタルについても原子炉建屋と同様に、従来の既工認で用いていた線形解析モデルを詳細化した非線形解析モデルを導入することとする。

非線形解析モデルの評価は、鉄筋コンクリートの評価手法として実績のある手法に加え、鋼板とコンクリートの複合構造としての特徴に留意した既往の知見を参考にして行い、実物の RPV ペデスタルを模擬した試験体による加力試験結果を用いてその妥当性を確認するものとする。

構造強度設計は、今回工認においても既工認と同様に、鋼板のみで地震等の荷重に耐える設計とする。なお、基準地震動 S_s による RPV ペデスタルの応答は鋼板の降伏点に対して大きな余裕を有する範囲にとどまる。

また、6 号及び 7 号炉の RPV ペデスタルの構造上の特徴は同一であることから、本手法を両号炉の地震応答解析に適用する。

表 1-1 RPV ペデスタルの耐震設計に関する 6 号及び 7 号炉の既工認と今回工認の比較

	6 号及び 7 号炉の既工認	今回工認
地震応答解析	原子炉建屋と連成しモデル化	同左
	剛性は鋼板及びコンクリートとともに考慮	同左
	線形解析	<u>非線形解析*</u>
構造強度評価	鋼構造として、鋼板のみで耐えるよう設計	同左

※コンクリートひび割れ後の剛性低下を考慮（鋼板は降伏に至らない範囲で設定。）

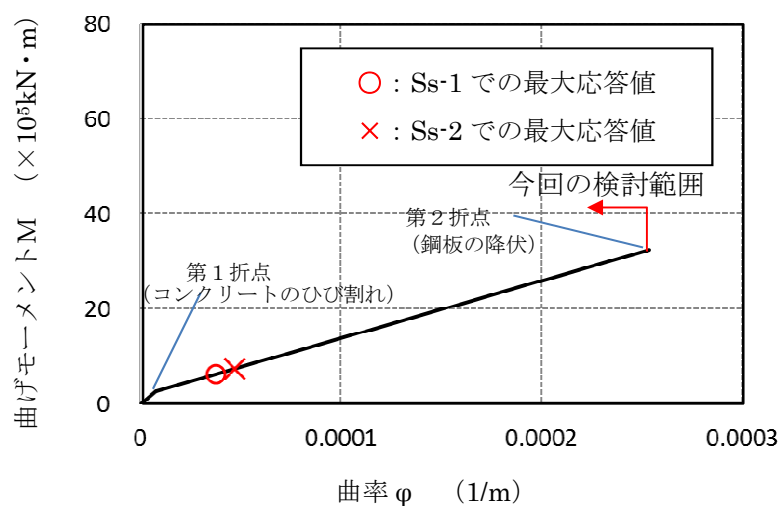


図 1-1 今回工認の基準地震動 Ss に対する RPV ペデスタルの地震応答の例

2 RPV ペデスタルの設計概要

(1) RPV ペデスタルの構造

RPV ペデスタルは、原子炉圧力容器を支持する他、原子炉遮蔽壁、ダイヤフラムフロアを支持する円筒状の構造物である。(RPV ペデスタルの概略図は図 2.1-1 参照)

RPV ペデスタルの構造は、内外の円筒鋼板とそれらを一体化するための放射状のたてリブ鋼板(隔壁)、及び原子炉圧力容器ブラケットの支持部である水平配置の鋼板で構成され、内部にコンクリートを充填している※。RPV ペデスタル内には、上部ドライウェルと下部ドライウェルを連絡する連通孔を設けており、ベント管を内蔵している。

※RPV ペデスタルは当社 BWR プラントの初期では鉄筋コンクリート構造としていたが、柏崎刈羽原子力発電所においては施工性改善の観点から、内外の円筒鋼板の間にコンクリートを充填した構造を採用している。

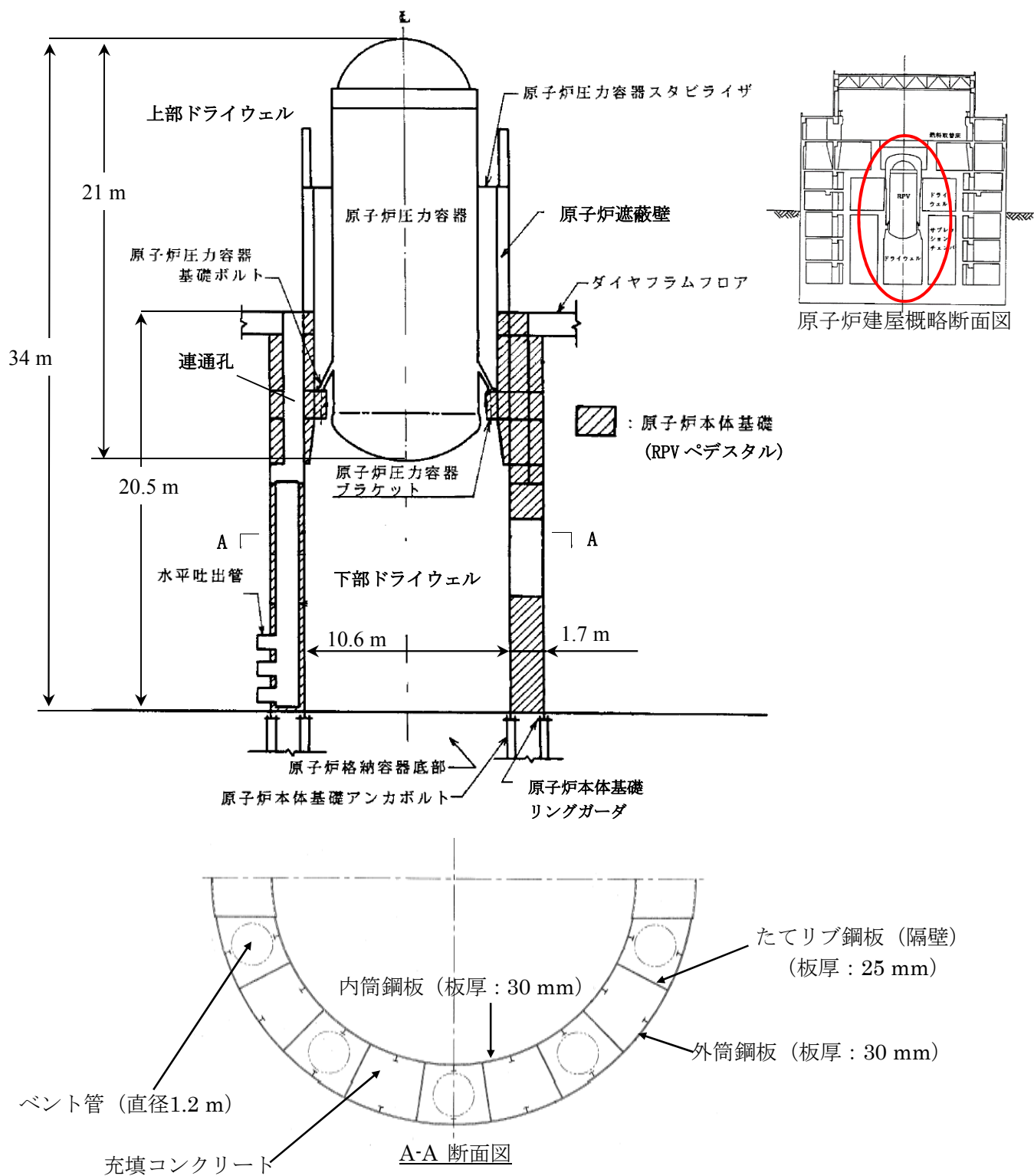


図 2.1-1 RPV ペデスタル概略図

(2) RPV ペデスタルの設計フロー及び今回工認の変更点

RPV ペデスタルに作用する地震力は、原子炉建屋内の原子炉压力容器、原子炉遮蔽壁、RPV ペデスタル等の大型機器・構築物と原子炉建屋を連成させた地震応答解析モデルを用いて算定している。

地震時の振動特性を考慮すると RPV ペデスタルの鋼板内に充填したコンクリートは無視できないものであることから、RPV ペデスタルの地震応答解析モデルとしては鋼板に加えコンクリートの剛性及び重量もモデルに取り込んでいる。

既工認では RPV ペデスタルを剛性一定としてモデル化していたが、今回工認ではコンクリートひび割れによる剛性変化を考慮し、より詳細なモデル化を行う。

構造強度評価では、地震力及びその他の荷重に対して鋼板内部に充填されたコンクリートの強度には期待せず、鋼板のみで概ね弾性状態で耐えるような設計とし、既工認からの変更はない。(図 2.1-2)

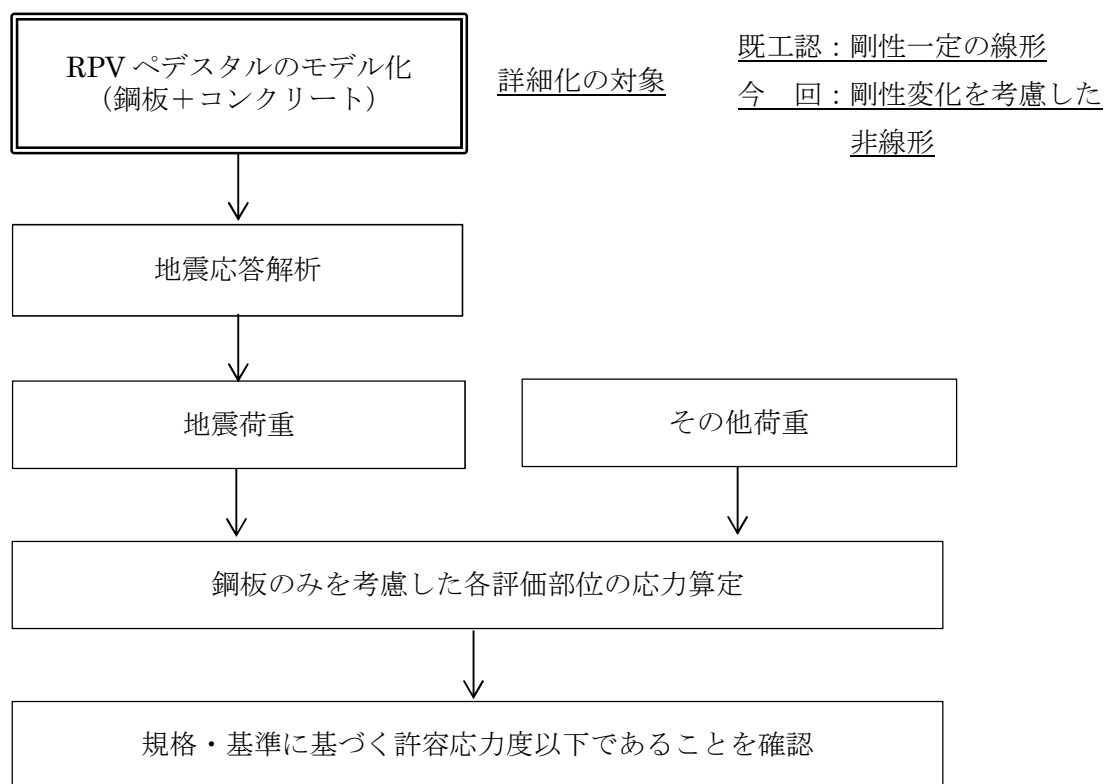


図 2.1-2 RPV ペデスタルの設計フロー

(3) 地震応答解析

RPV ペDESTALの地震応答解析モデルは、原子炉建屋基礎版やダイヤフラムフロアを介して原子炉建屋から地震の入力があることを考慮して、建屋と RPV ペDESTALを連成させている。(図 2.1-3)

このモデルを用いた地震応答解析により RPV ペDESTALに生じる地震荷重を算出する。

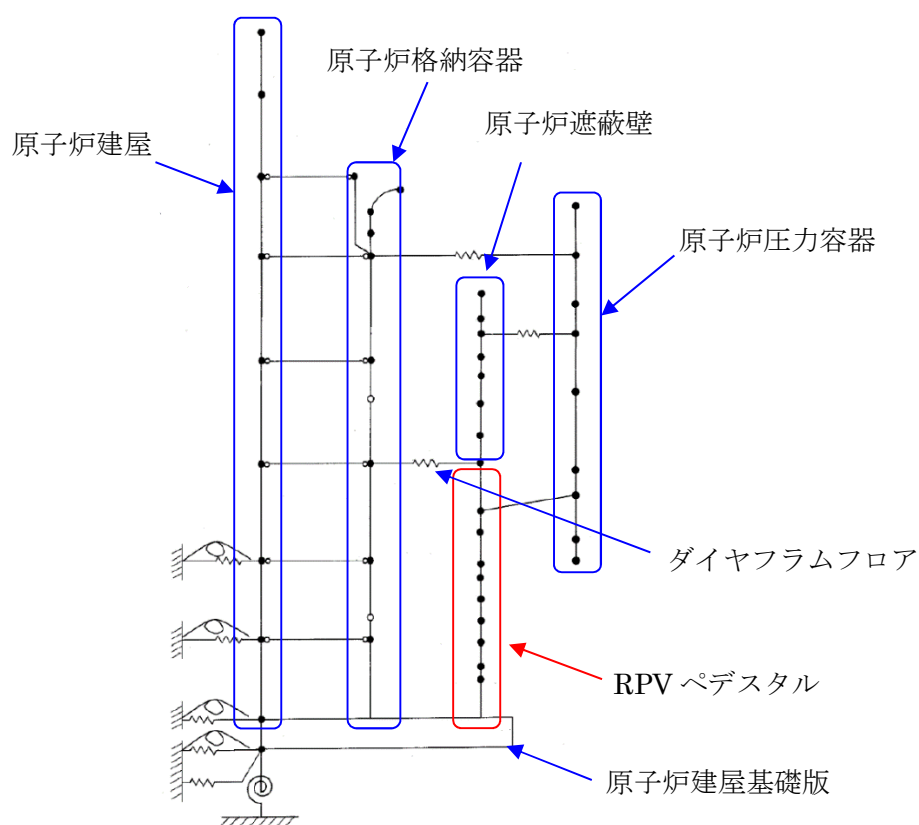


図 2.1-3 地震応答解析モデルの例

(4) RPV ペDESTALの構造強度評価

RPV ペDESTALの構造強度評価は、(3)で述べた地震応答解析により得られた地震荷重を用いて行っており、評価部位は円筒部、ブラケット部及び基部アンカ部である。(図 2.1-4)

このうち、円筒部とブラケット部については、鋼構造設計規準に準拠し鋼板のみで概ね弾性状態で耐えるように設計する。アンカ部は他プラントの工認で認可実績のある許容値により定着部コンクリート及びアンカボルト等が許容値を満足することを確認する。

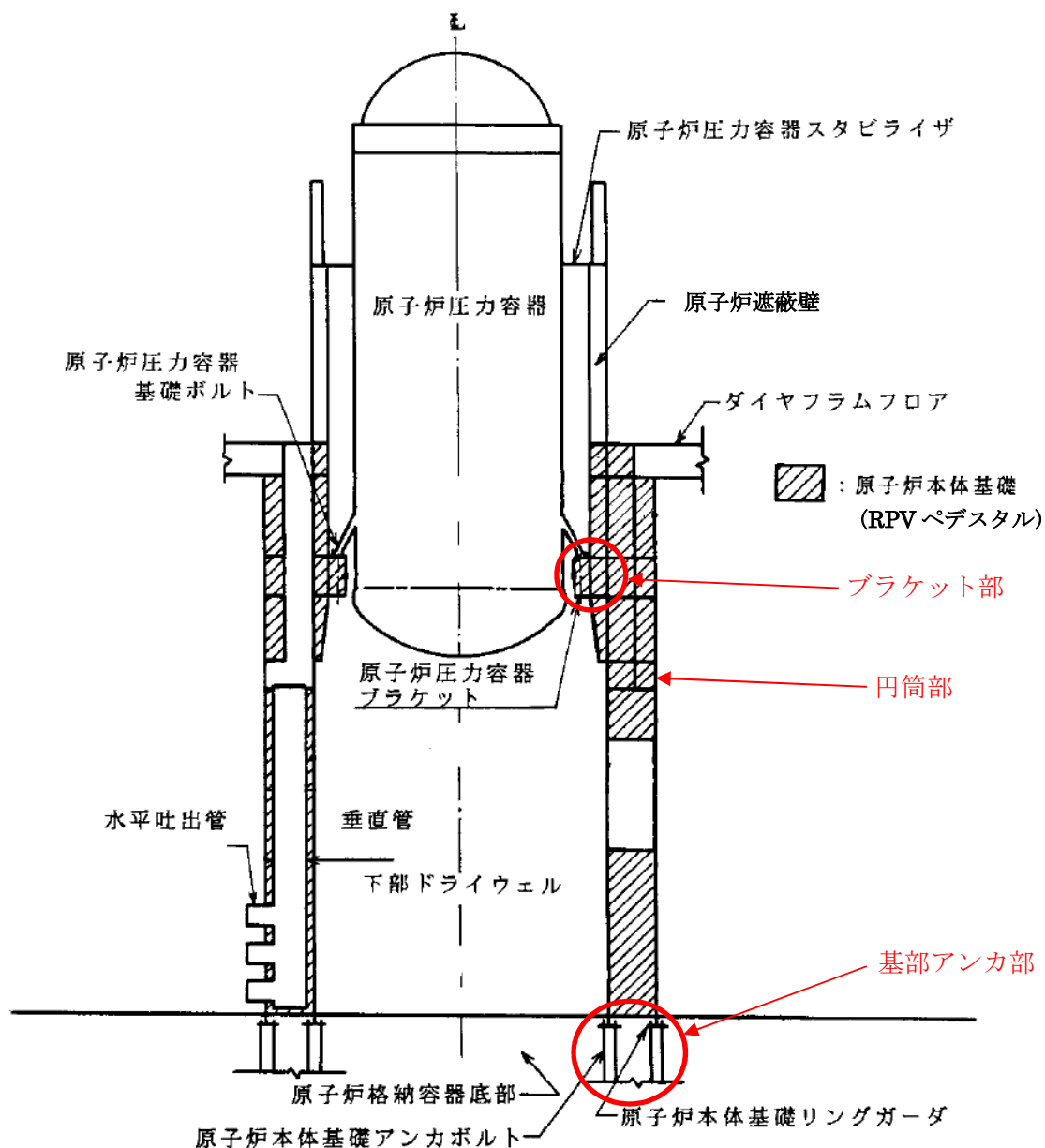


図 2.1-4 RPV ペDESTALの構造強度評価部位

3 詳細化の目的と効果

3.1 詳細化の目的

既工認では地震動レベルが小さく、地震応答は概ね弾性領域と考えられたことから、原子炉建屋及び RPV ペデスタルともに剛性一定の線形仮定としていた。

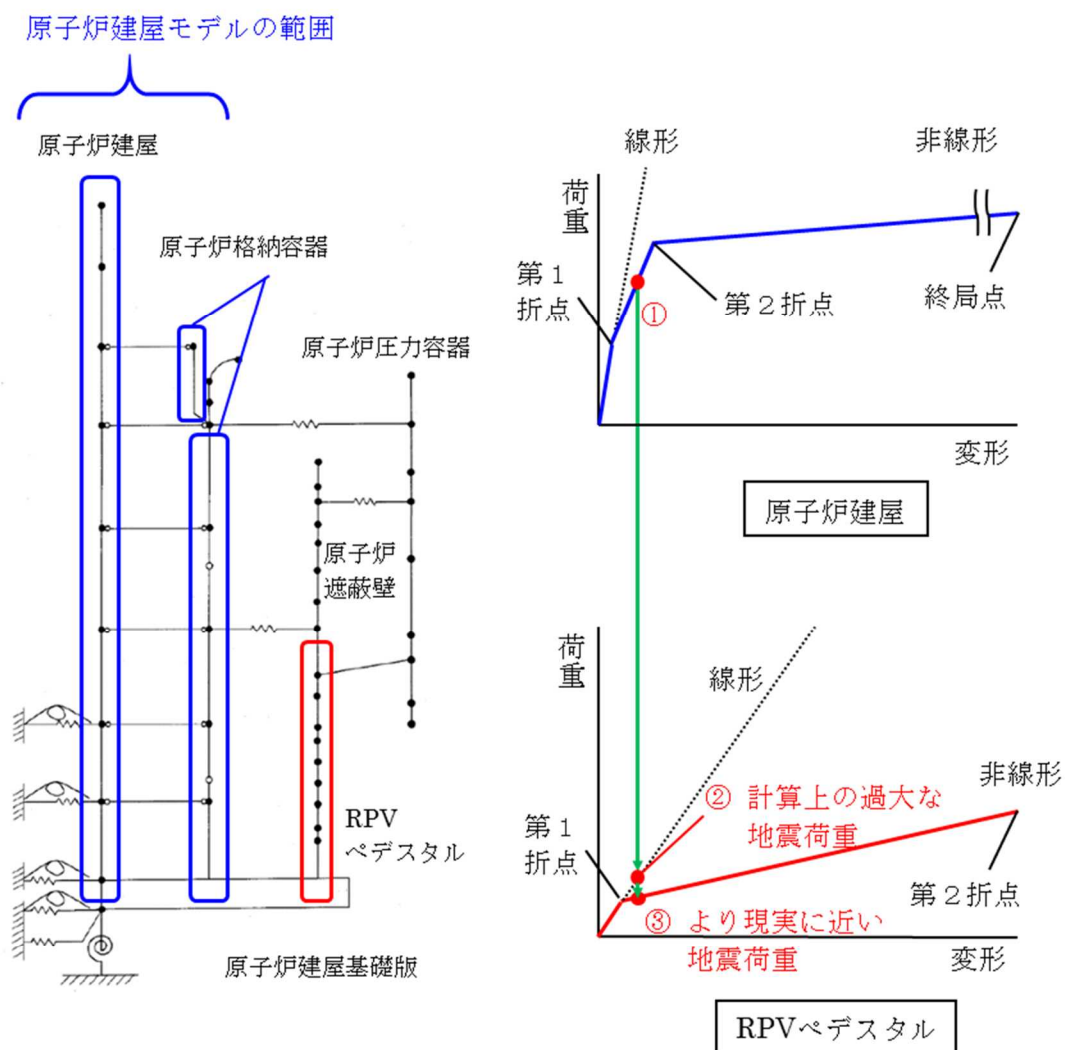
今回工認では既工認に比べ地震動レベルが増大していることから、原子炉建屋の地震応答解析モデルに他プラントの工認で認可実績のある非線形解析モデルを採用する予定である。

RPV ペデスタルを既工認のまま変更せず線形とする場合、原子炉建屋がコンクリートのひび割れ点である第 1 折点を超え剛性低下した際（図 3.1-1 中の①）に、原子炉建屋と並列ばねを構成する RPV ペデスタルが過大な地震荷重を計算上受け持つこととなり、原子炉建屋と RPV ペデスタルの荷重分担のバランスが実態と大きく異なることとなる。（図 3.1-1 中の②）

このように原子炉建屋を非線形、RPV ペデスタルを線形とした実態と大きく異なる条件を設計に取り入れることは、プラントの安全性向上に資するものとはならないと考えられる。

従って、より現実に近い詳細化した地震応答解析モデルを用いて、プラント全体の安全性向上を適切に行うことを目的として、RPV ペデスタルに対しても原子炉建屋と同様にコンクリートの剛性変化を考慮した復元力特性を導入する。（図 3.1-1 中の③）

なお、剛性変化の要因となるコンクリートのひび割れは、コンクリートの一部に微細なひび割れが発生する程度であり、遮蔽性能に影響を与えるものではない。



第1折点：コンクリートのひび割れ点
第2折点：鋼板の降伏点

図 3.1-1 地震力の増大に伴う RPV ペデスタルの応答増加の概念図

3.2 詳細化の効果

RPV ペデスタルにコンクリートの剛性低下を考慮した復元力特性を導入することで、より現実に近い地震荷重を計算でき、原子炉建屋の地震荷重分担割合が増加し、RPV ペデスタル荷重分担が減少した。(表 3.2-1)

この地震荷重を用いて、既工認で許容値に対する裕度が最も小さいアンカボルトのコンクリート定着部の構造強度評価を実施する場合、発生値が大きく低減する見通しである。(表 3.2-2)

表 3.2-1 原子炉建屋と RPV ペデスタルの荷重分担の比較

モデル化方法	原子炉建屋 ^{※1} ：非線形 RPV ペデスタル： <u>線形</u>		原子炉建屋 ^{※1} ：非線形 RPV ペデスタル： <u>非線形</u> (今回工認)	
地震動	基準地震動 Ss		基準地震動 Ss	
部位	原子炉建屋 (原子炉格納容器 部の荷重を含む)	RPV ペデスタル	原子炉建屋 (原子炉格納容器 部の荷重を含む)	RPV ペデスタル
モーメント [×10 ³ kN・m]	28,400	2,000	28,900	1,270
モーメントの 分担割合 ^{※2}	93.4 %	<u>6.6 %</u>	95.8 %	<u>4.2 %</u>
せん断力 [×10 ³ kN]	993	101	1,010	65
せん断力の 分担割合 ^{※2}	90.8 %	<u>9.2 %</u>	93.9 %	<u>6.1 %</u>

(7号炉の例、暫定値)

※1：原子炉建屋の地震応答解析モデルは、既工認と同様にコンクリート強度は設計基準強度とし、補助壁は剛性の算定に含めていない。

※2：原子炉建屋と RPV ペデスタルの合計を 100%とした場合の荷重の割合

表 3.2-2 基準地震動 Ss に対するアンカボルトの評価結果

評価部位	評価項目	モデル化方法	発生値 [kN/4.5°]※ ²	許容値※ ¹ [kN/4.5°]※ ²
コンクリート 定着部	シアコーン 強度	原子炉建屋：非線形 RPV ペデスタル： <u>線形</u>	7,389	5,907
		原子炉建屋：非線形 RPV ペデスタル： <u>非線形</u>	4,862	5,907

(7号炉の例, 暫定値)

※ 1 : 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版に規定されるコンクリート定着部の許容応力状態ⅣAS に該当する許容値

※2：アンカボルトは全周 360° のベアリングプレートに、内側 80 本、外側 160 本配置されており、最小ユニットである内側 1 本、外側 2 本に該当する角度が 4.5° となる。ここでは、4.5° あたりの引き抜き力を評価している。

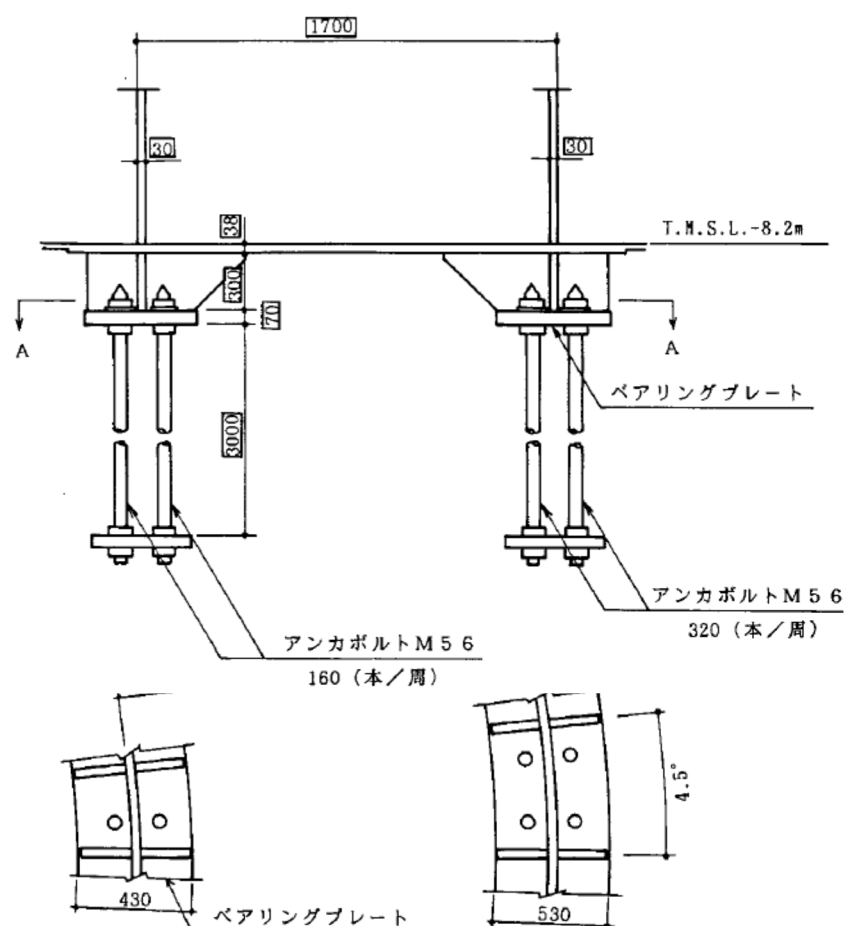


図 3.2-1 RPV ペデスタルのアンカ部構造

4 詳細化の検討方針

(1) 概要

詳細化の検討は、RPV ペデスタルの地震応答解析における復元力特性を非線形とすることのみ行い、復元力特性の設定以外の項目については、既工認と同様の考え方にに基づき評価を行う。(表 4-1)

表 4-1 RPV ペデスタルの耐震設計に関する既工認と今回工認の比較

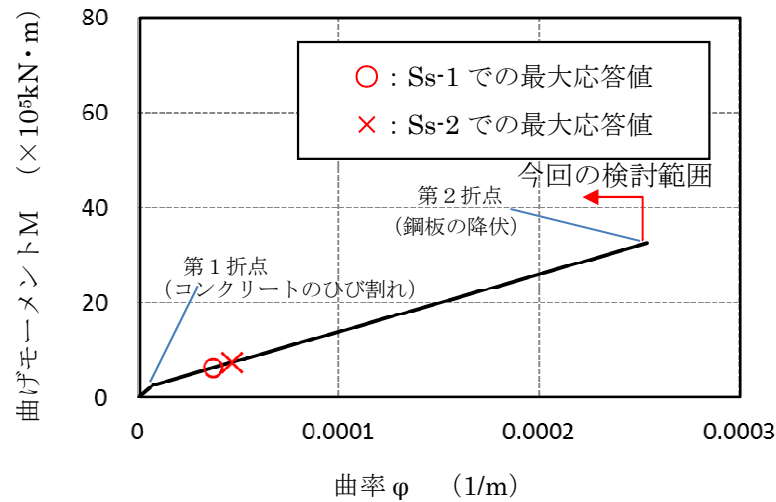
	既工認	今回工認
地震応答解析	原子炉建屋と連成しモデル化	同左
	剛性は鋼板及びコンクリートをともに考慮	同左
	線形解析	<u>非線形解析</u> ※
構造強度評価	鋼構造として、鋼板のみで耐えるよう設計	同左

※コンクリートひび割れ後の剛性低下を考慮（鋼板は降伏に至らない範囲で設定。）

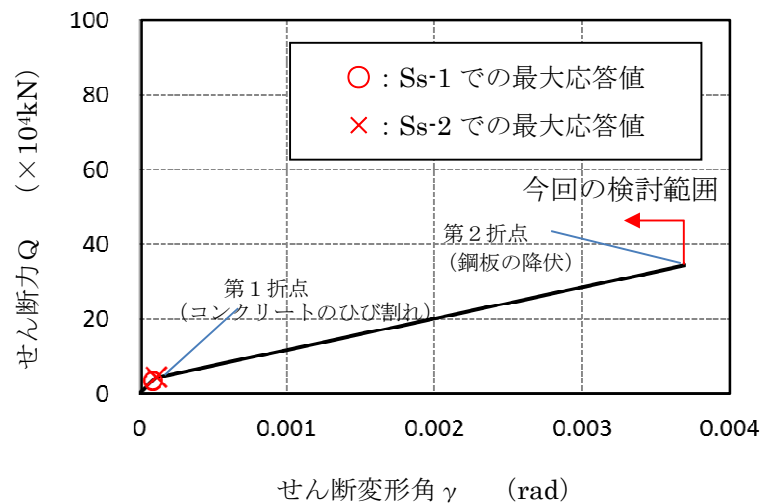
(2) 今回工認の検討範囲

RPV ペデスタルは、構造強度設計上鋼構造であり、概ね弾性状態で耐える設計思想であることから、今回の検討範囲は鋼板の降伏を表す第2折点までとし、第2折点以降の領域は設定しない。

RPV ペデスタルに弾塑性解析モデルを適用する場合、最大の地震荷重はコンクリートのひび割れを表す第1折点を少し超える程度であり、鋼板の降伏を表す第2折点に対しては大きな余裕を有している。



(a) 曲げモーメントー曲率関係



(b) せん断力ーせん断変形角関係

図 4-1 曲げ及びせん断に対するスケルトンカーブの概念図

(3) スケルトンカーブの評価方針

RPV ペデスタルは鋼構造の内部に、放射線遮蔽を目的としたコンクリートを充填した構造であり、地震応答解析においては鉄筋コンクリート構造（以下、「RC 構造」という）と同様にコンクリートと鋼板の複合構造物として直線近似した剛性を用いている。

RPV ペデスタルの非線形特性を考慮した復元力特性の設定は、曲げ及びせん断のそれぞれに対し、コンクリートのひび割れを表す第 1 折点と鋼板の降伏を表す第 2 折点を設定することにより行う。

ここでは、原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版に規定され、原子力発電所に多く適用されている RC 構造のスケルトンカーブ評価方法を参照しながら、RPV ペデスタルのスケルトンカーブの評価方針を示す。

a. 曲げの第 1 折点

曲げの第 1 折点は、コンクリートに曲げひび割れが入ることにより剛性が変化する点であり、RC 構造も RPV ペデスタルもこの基本原則は共通である。

RC 構造の第 1 折点は、引張側コンクリートの応力がコンクリート引張強度に至るときのモーメント及び曲率を求めることにより評価している。

RC 構造の第 1 折点の評価は、コンクリートと鉄筋の断面性能を用いて算出しているのみであるため、RPV ペデスタルについても同様にコンクリートと鋼板の断面性能に応じて計算することが可能である。

b. 曲げの第 2 折点

曲げの第 2 折点は、鋼材の降伏により剛性が変化する点であり、RC 構造も RPV ペデスタルもこの基本原則は共通である。

RC 構造の第 2 折点は、引張側の鉄筋が降伏に至るときのモーメント及び曲率を求めることにより評価している。

RC 構造の第 2 折点の評価する際は、コンクリートと鉄筋の断面性能を等価断面に置き換えて評価をしているのみであるため、RPV ペデスタルについても同様にコンクリートと鋼板の断面形状に応じて計算することが可能である。

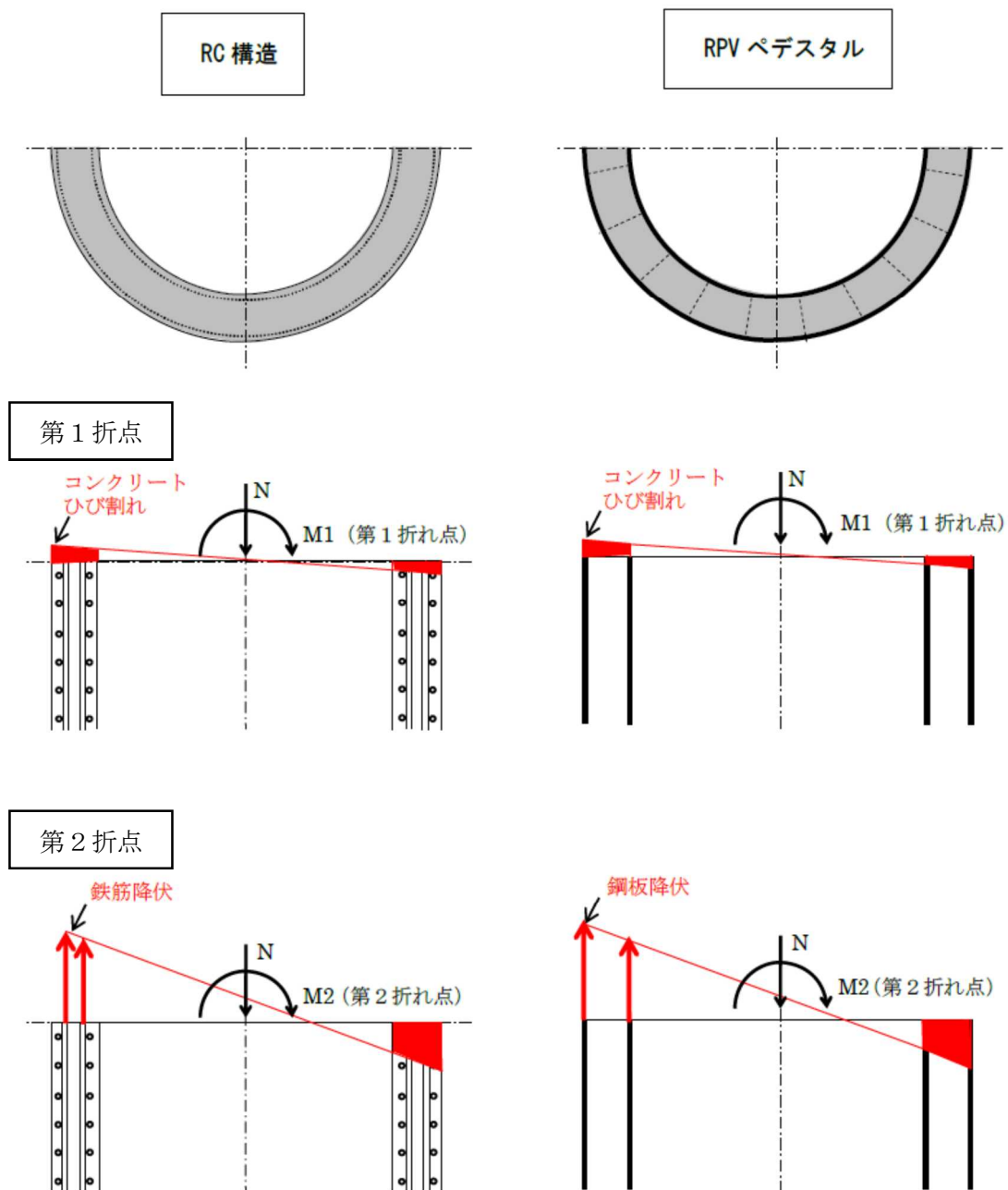


図 4-2 RC 構造と RPV ペDESTAL の曲げに対する抵抗機構

c. せん断の第1折れ点

せん断の第1折点は、コンクリートにせん断ひび割れが入ることにより剛性が変化する点であり、RC構造もRPVペデスタルもこの基本原則は共通である。

RC構造では、鉄筋がせん断抵抗にほとんど寄与しないため、第1折点はコンクリートのせん断ひび割れ強度にコンクリートの断面積を乗じて評価している。

RPVペデスタルは、鋼板がせん断抵抗に寄与することを踏まえ、コンクリートのせん断ひび割れ強度にコンクリート断面積及び鋼板部の等価断面積（鋼板とコンクリートの剛性比を用いて算出）を乗じることで算出可能である。

d. せん断の第2折点

RC構造及びRPVペデスタルのコンクリートひび割れ後のせん断力に対する鋼材の抵抗機構は、RC構造が縦横に配置された鉄筋の引張降伏機構であるのに対し、RPVペデスタルは鋼板のせん断引張の組合せ応力による降伏機構であり異なることから、RPVペデスタルのせん断第2折点を評価する際は、RC構造とは別の知見が必要となる。

コンクリートひび割れ後の鋼材及びコンクリートの抵抗機構については、RC構造物の場合せん断ひび割れ角度を 45° として理論構築されている。

RPVペデスタルについては、構造に応じたひび割れ角度を考慮する必要があり、この角度を仮定することで、鋼板及びコンクリートで構成された複合構造物に関する既往知見⁽³⁾に示されたコンクリートひび割れ後の荷重変形関係の理論式で評価可能である。

さらに、RPVペデスタルの構造を模擬した試験体を用いた試験によりその仮定の妥当性を検証することで、RPVペデスタルのせん断第2折点を算出可能である。

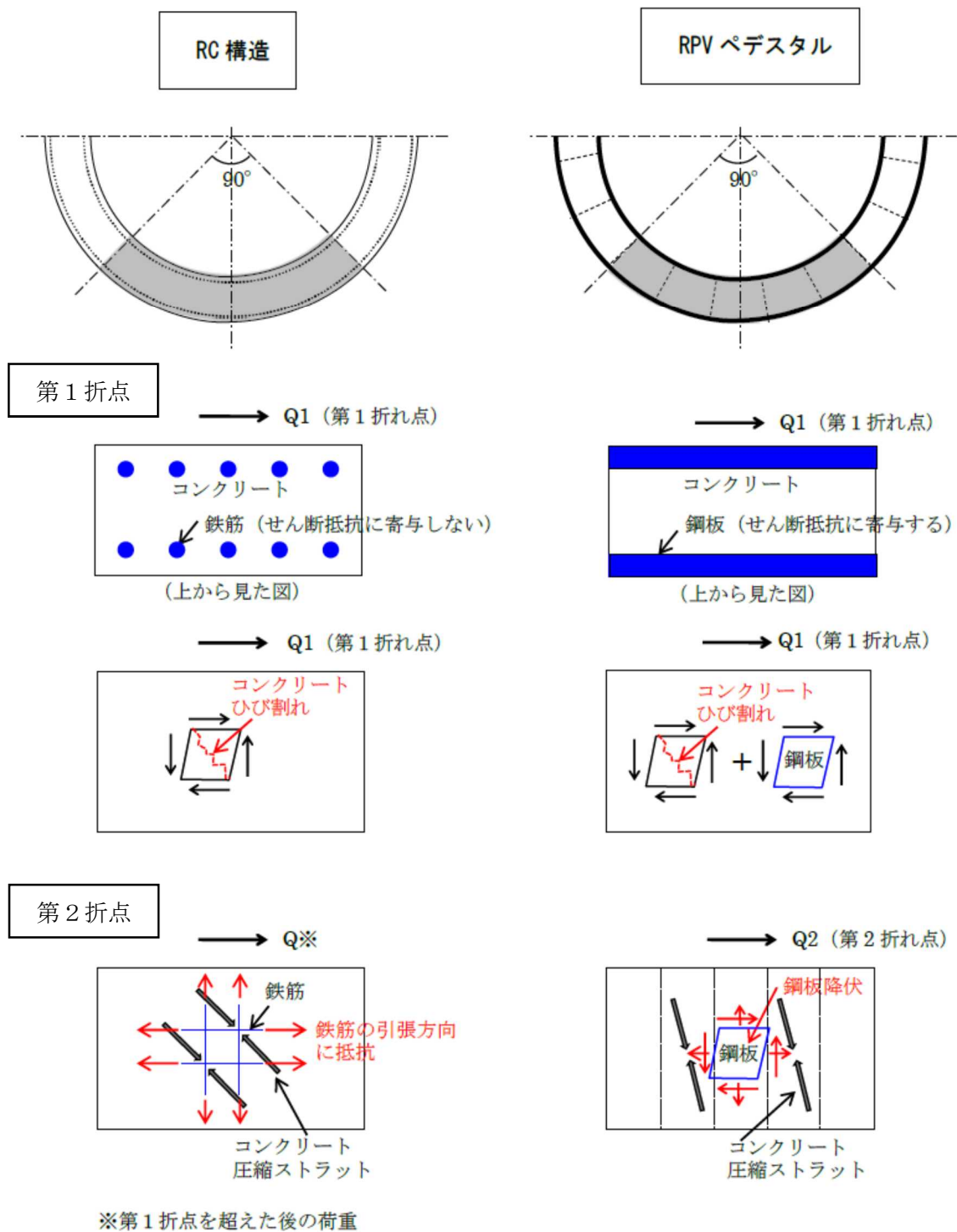


図 4-3 RC 構造と RPV ペデスタルのせん断に対する抵抗機構

以上 a.～c.より，曲げの第 1，第 2 折点及びせん断の第 1 折点については，RPV ペデスタルは RC 構造と同様の考え方でスケルトンカーブを評価することが可能である。

一方，d.に示したせん断の第 2 折点については，RC 構造とはコンクリートひび割れ後の鋼材及びコンクリートの抵抗機構が異なることから，鋼板及びコンクリートで構成された複合構造物に関する既往知見⁽³⁾に基づきスケルトンカーブを評価する。

なお，これらの考え方を踏まえた鋼板及びコンクリートで構成された複合構造物に関するスケルトンカーブの評価方法が，鋼板コンクリート構造耐震設計技術規程

(JEAC4618-2009，以下「SC 規程」という)にまとめられていることから，RPV ペデスタルの非線形挙動を考慮した復元力特性の評価は，便宜上 SC 規程を参考に行うこととする。

表 4-2 RC 構造と RPV ペデスタルのスケルトンカーブ評価式一覧（凡例は次ページ）

		RC 構造 (JEAG4601-1991, SI 換算)	RPV ペデスタル (SC 規程に同様の記載あり)
曲げ	第 1 折点	$M_1 = Z_e(f_t + \sigma_v)$ $\Phi_1 = M_1 / (E_c \cdot I_e)$	RC 構造と同様の考え方で評価が可能 $M_1 = Z_e(f_t + \sigma_v)$ $\Phi_1 = M_1 / (E_c \cdot I_e)$
	第 2 折点	$M_2 = M_y$ $\Phi_2 = \Phi_y$	RC 構造と同様の考え方で評価が可能 $M_2 = M_y$ $\Phi_2 = \Phi_y$
せん断	第 1 折点	τ_1 $= \sqrt{0.31\sqrt{F_c}(0.31\sqrt{F_c} + \sigma_v)}$ $\gamma_1 = \tau_1 / G$	鋼板のせん断剛性の寄与分を考慮して同様の考え方で評価が可能 $\tau_{cr} = \sqrt{0.31\sqrt{\sigma_B} \cdot (0.31\sqrt{\sigma_B} + \sigma_v)}$ ただし、 σ_B は F_c を用いて良い $\gamma_1 = \tau_{cr} / G_c$ $Q_1 = \left(A_c + \left(\frac{G_s}{G_c} \right) \cdot A_s \right) \cdot \tau_{cr}$ 鋼板の面積を考慮
	第 2 折点	$\tau_2 = 1.35\tau_1$ $\gamma_2 = 3\gamma_1$	鋼板及びコンクリートで構成された複合構造物に関する既往知見 ⁽³⁾ に基づき、コンクリートのせん断ひび割れ角度 θ に応じたせん断ひび割れ後のコンクリート剛性 K_θ を求めることで評価が可能 $Q_2 = \frac{(K_\alpha + K_\beta)}{\sqrt{(3K_\alpha^2 + K_\beta^2)}} \cdot A_s \cdot \sigma_y$ $\gamma_2 = \frac{Q_2}{(K_\alpha + K_\beta)}$ $K_\alpha = A_s \cdot G_s$ $K_\beta = \frac{(\cos \theta)^2 \cdot H}{2 \left[\frac{1 - \nu_c^2}{E'_c \cdot t_c \cdot \sin 2\theta} + \frac{1}{2 \cdot E_s} (C1 + C2) \right]}$ ここで、C1 及び C2 は寸法とせん断ひび割れ角度 θ から定まる係数である。（詳細は 5.3(3)項参照）

<RC 構造>

- E_c : コンクリートのヤング係数 (N/mm²)
 σ_v : 縦軸応力度 (N/mm²) (圧縮を正とする)
 I_e : 鉄筋を考慮した断面二次モーメント (mm⁴)
 Z_e : 鉄筋を考慮した断面係数 (mm³)
 $f_t = 1.2\sqrt{F_c}$
: コンクリートの曲げ引張強度 (N/mm²)
 M_y : 引張鉄筋降伏時モーメント (N・m)
 ϕ_y : 引張鉄筋降伏時曲率 (1/mm)
 F_c : コンクリートの圧縮強度 (N/mm²)
 G : コンクリートのせん断弾性係数 (N/mm²)

<RPV ペデスタル>

- σ_v : 鋼板を考慮した鉛直方向軸応力度 (圧縮を正, N/mm²)
 I_e : 鋼板を考慮した断面二次モーメント (mm⁴)
 Z_e : 鋼板を考慮した断面係数 (mm³)
 f_t : コンクリートの曲げ引張強度 (N/mm²)
 E_c : コンクリートのヤング係数 (N/mm²)
 M_y : 鋼板降伏時モーメント (N・mm)
 ϕ_y : 鋼板降伏時曲率 (1/mm)
 A_s : 鋼板のせん断断面積 (mm²)
 A_c : コンクリートのせん断断面積 (mm²)
 G_s : 鋼板のせん断弾性係数 (N/mm²)
 G_c : コンクリートのせん断弾性係数 (mm²)
 E_s : 鋼板のヤング係数 (N/mm²)
 E_c' : コンクリートのひび割れを考慮したヤング係数で、コンクリートのヤング係数に
0.7 を乗じた値を用いてよい (N/mm²)
 K_α : 鋼板のせん断剛性
 K_β : ひび割れ後の鋼板による拘束効果を考慮したコンクリートの有効せん断剛性
 σ_y : 鋼板の降伏点強度 (N/mm²)
 σ_B : コンクリートの圧縮強度で設計基準強度 F_c を用いてよい (N/mm²)
 F_c : コンクリートの圧縮強度 (N/mm²)
 ν_c : コンクリートのポアソン比
 H : コンクリートの高さ (mm)
 t_c : コンクリート板厚 (mm)

(4) 妥当性確認が必要な評価上の仮定

RPV ペデスタルの非線形挙動を考慮した復元力特性の評価の参考とする SC 規程の曲げの第 1, 第 2 折点及びせん断の第 1 折点の評価方法は, 他プラントの工認で認可実績のある RC 構造と同様の考え方に基づいている。

従って, 基本的な評価方法に関する論点は無いと言えるものの, RPV ペデスタルは一般的な壁と比較すると複雑な構造であることから, その構造の特徴を踏まえて設定した以下の仮定について妥当性を確認することとする。

- ・ ベント管による開口に対する評価上の仮定
- ・ 複雑な形状によるコンクリートの不連続部に対する評価上の仮定

また, せん断の第 2 折点の評価方法については, SC 規程の参考文献となっている鋼板及びコンクリートで構成された複合構造物に関する既往知見⁽³⁾に示された理論式を活用する際に設定する, 構造に応じたコンクリートのひび割れ角度に対する評価上の仮定について妥当性を確認することとする。

(5) 妥当性の確認方針

RPV ペデスタルの構造を踏まえ設定したスケルトンカーブ評価上の仮定について, 実機を模擬した試験体でその妥当性を確認する。

5. 復元力特性の設定方法

5.1 SC 規程を参考にした設定方針

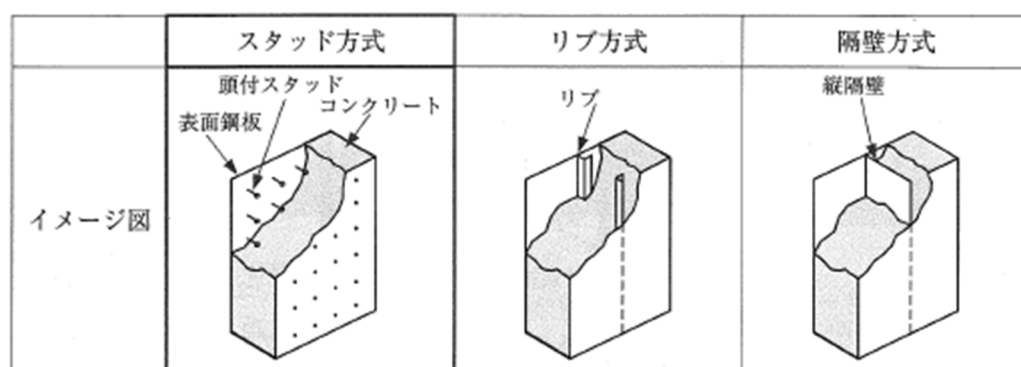
(1) SC 規程を参考にした設定方針

RPV ペデスタルは、鋼板円筒殻の内部にコンクリートを充填した構造であり、隔壁方式の鋼板コンクリート構造（以下、「SC 構造」という）に近い構造物である。

今回工認で採用する RPV ペデスタルの非線形特性を考慮した復元力特性は、SC 構造の耐震設計に関する民間規格である SC 規程に定められた復元力特性の評価方法を参考にすることにより設定する。

なお、SC 規程はスタッド方式を前提としており、規程で取り扱われていない方式に対しては調査・検討を行うことで準用できるとされている。

RPV ペデスタルは二重円筒鋼板と縦リブ（隔壁）からなる構造物であり、隔壁方式の SC 構造に近い構造であることから、SC 規程の評価式に対して RPV ペデスタルの構造の特徴に応じた追加検討を行った上で復元力特性の設定を行うものとする。



((1)より引用)

図 5.1-1 SC 構造の各種構造形式（例）

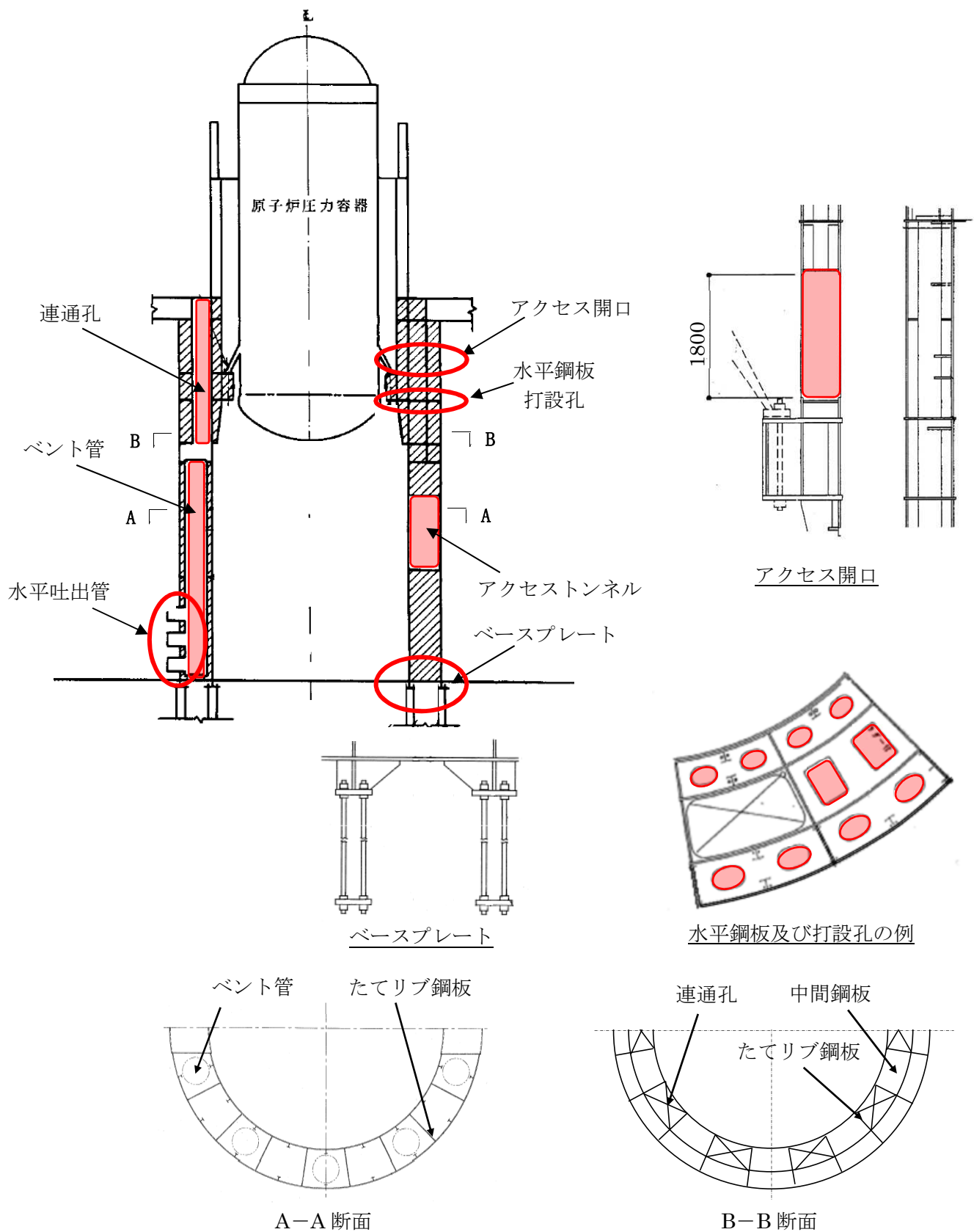


図 5.1-2 RPV ペデスタルの構造概要

(2) SC 規程を参考にした RPV ペデスタルの復元力特性の検討手順

SC 規程を参考にした RPV ペデスタルの復元力特性を設定するために、RPV ペデスタルの構造の特徴を抽出し、それぞれの構造の特徴に対して、追加検討の要否を確認する。

RPV ペデスタルの構造の特徴のうち追加検討が必要なものに対しては、復元力特性の評価式への反映方法について検討し、実機を模擬した試験体の加力試験結果を用いて検討事項の妥当性を確認する。

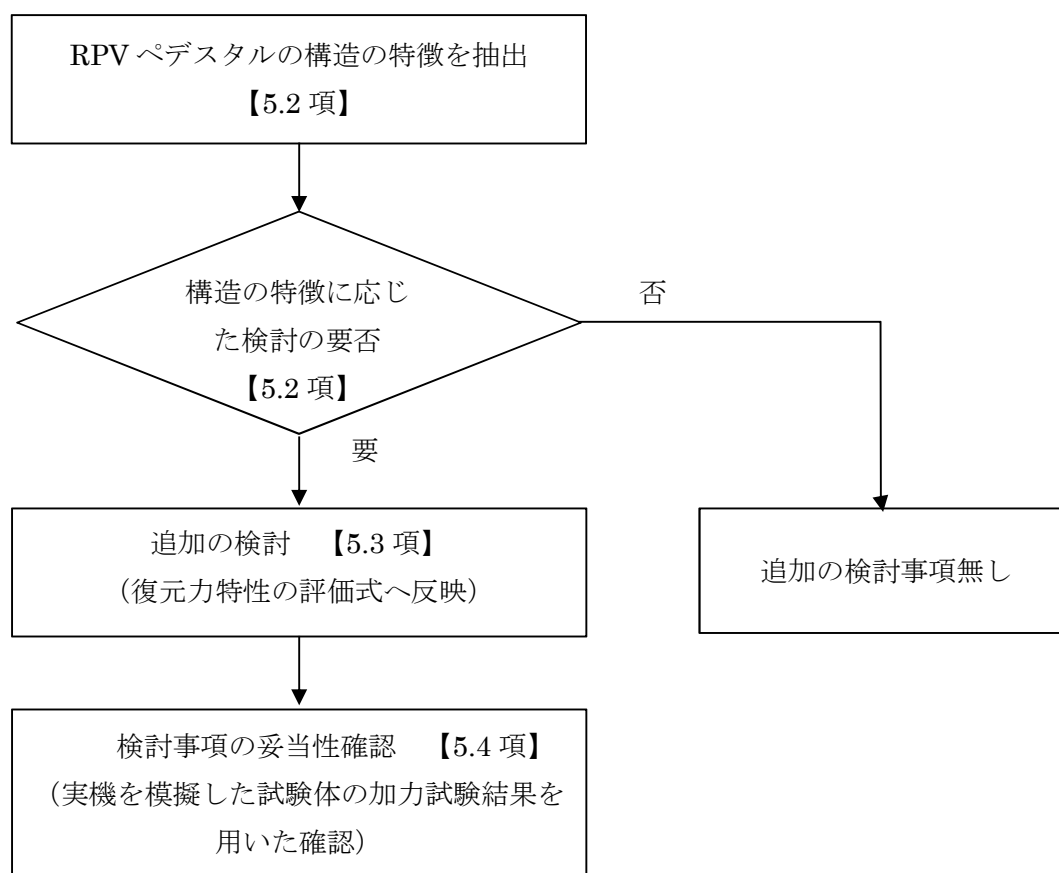


図 5.1-3 RPV ペデスタルの復元力特性評価方法の検討手順

5.2 RPV ペデスタルの構造の特徴の抽出及び構造に応じた追加検討事項

RPV ペデスタルの構造の特徴を抽出し、各々に対する構造に応じた追加検討の要否について整理した結果を表 5.2 に示す。

RPV ペデスタルの構造の特徴のうち、以下の 5 点が構造に応じた追加検討が必要な項目であることから、5.3 項では、これらの特殊構造を復元力特性の評価方法へ反映する方法を検討する。

- ①隔壁方式の SC 構造に近い構造であり、SC 規程の前提としているスタッド方式と異なる。
- ②円筒型の SC 構造に近い構造であり、SC 規程の根拠としている試験結果に含まれていない。
- ③ベント管を内蔵しており、コンクリートに大きな断面欠損がある。
- ④コンクリート底面が、鋼製のベースプレートにより基礎マットと分断されている。
- ⑤水平鋼板内に、施工用のコンクリート打設孔が設けてある。

表 5.2 RPV ペデスタルの構造の特徴及び追加検討の要否

RPV ペデスタルの構造の特徴		構造の特徴に応じた追加検討の要否	
		○：要 ×：否	理由
共通	隔壁方式	○	SC 規程（スタッド方式）とは一体化方式が異なる。
	円筒型	○	SC 規程は円筒型への適用を排除するものではないが、規程の根拠となっているデータが矩形断面であることから、念のため追加検討を行う。
下部 ペデスタル	ベント管	○	RPV ペデスタルの内外円筒鋼板及び縦リブ間に充填されたコンクリートに埋め込んだベント管による大きな開口欠損がある。
	水平吐出管	×	SC 規程の開口の取り扱いに関する規定に準じることで追加の検討は不要である※ 1
	ベースプレート	○	基礎マットとの接続部がベースプレートにより分断されている。
	アクセストンネル	×	※ 1 と同じ
上部 ペデスタル	連通孔	×	※ 1 と同じ
	ベント取入孔	×	※ 1 と同じ
	中間鋼板	○	一体化方式の違いによる相違
	水平鋼板	○	一体化方式の違いによる相違
	水平鋼板のコンクリート打設孔	○	打設孔部分のコンクリートの取り扱いについては、SC 規程に特に規定されていない。
	アクセス開口	×	※ 1 と同じ

5.3 スケルトンカーブの設定方法

(1) 地震応答解析における RPV ペデスタルのモデル化

RPV ペデスタルは隔壁方式の SC 構造に近い構造であり，図 5.3(1)-1 に示すように下部ペデスタルと上部ペデスタルに大別できる。さらに，上部ペデスタルは中間鋼板を含む断面形状の違いから，以下に示す 3 部位に細分類できる。なお，下部ペデスタルにはベント管を内蔵している。

①下部ペデスタル

②上部ペデスタル

- ・ RPV 支持点上部
- ・ RPV 支持点下部
- ・ ベント取入孔部

地震応答解析モデルにおいて RPV ペデスタルは図 5.3(1)-1 に示す質点を繋いだものとしてモデル化される。(RPV ペデスタルの各断面における主要寸法は表 5.3(1)-1 参照。)

下部ペデスタルは，質点番号 1～7 の各質点を繋ぐ曲げ変形及びせん断変形を考慮した 6 要素でモデル化している。

上部ペデスタルは，質点番号 7～11 の各質点を繋ぐ曲げ変形及びせん断変形を考慮した 4 要素から構成され，RPV 支持点上部では 2 要素，RPV 支持点下部では 1 要素及びベント取入孔部では 1 要素でモデル化している。

スケルトンカーブは，これらの要素ごとに曲げ及びせん断について設定する。

RPV ペデスタルは各断面で中間鋼板の有無やベント管による開口の有無といった構造の差異があるが，既工認では構造の差異について各要素で個別に考慮し剛性を算定している。

今回の非線形特性を考慮したスケルトンカーブの設定においても既工認同様に各断面の構造の差異を考慮し，複雑な断面形状を有する実機 RPV ペデスタルに対して，構造に応じた検討を行った上で SC 規程を参考にしてスケルトンカーブを求める。(既工認と今回工認の剛性設定の比較表は表 5.3(1)-2 参照。)

SC 規程を参考にした RPV ペデスタル実機の構造特性を踏まえた評価式を表 5.3(1)-3 に示す。また，曲げ及びせん断に対するスケルトンカーブ設定方法について本項(2)及び(3)に示す。

なお，スケルトンカーブ設定に用いるコンクリート強度は，既工認と同様に設計基準強度を用いることとするが，実強度を用いた影響評価も合わせて実施する。地震応答解析モデルに用いる減衰は既工認と同様に 5%とする。(添付資料-1,2)

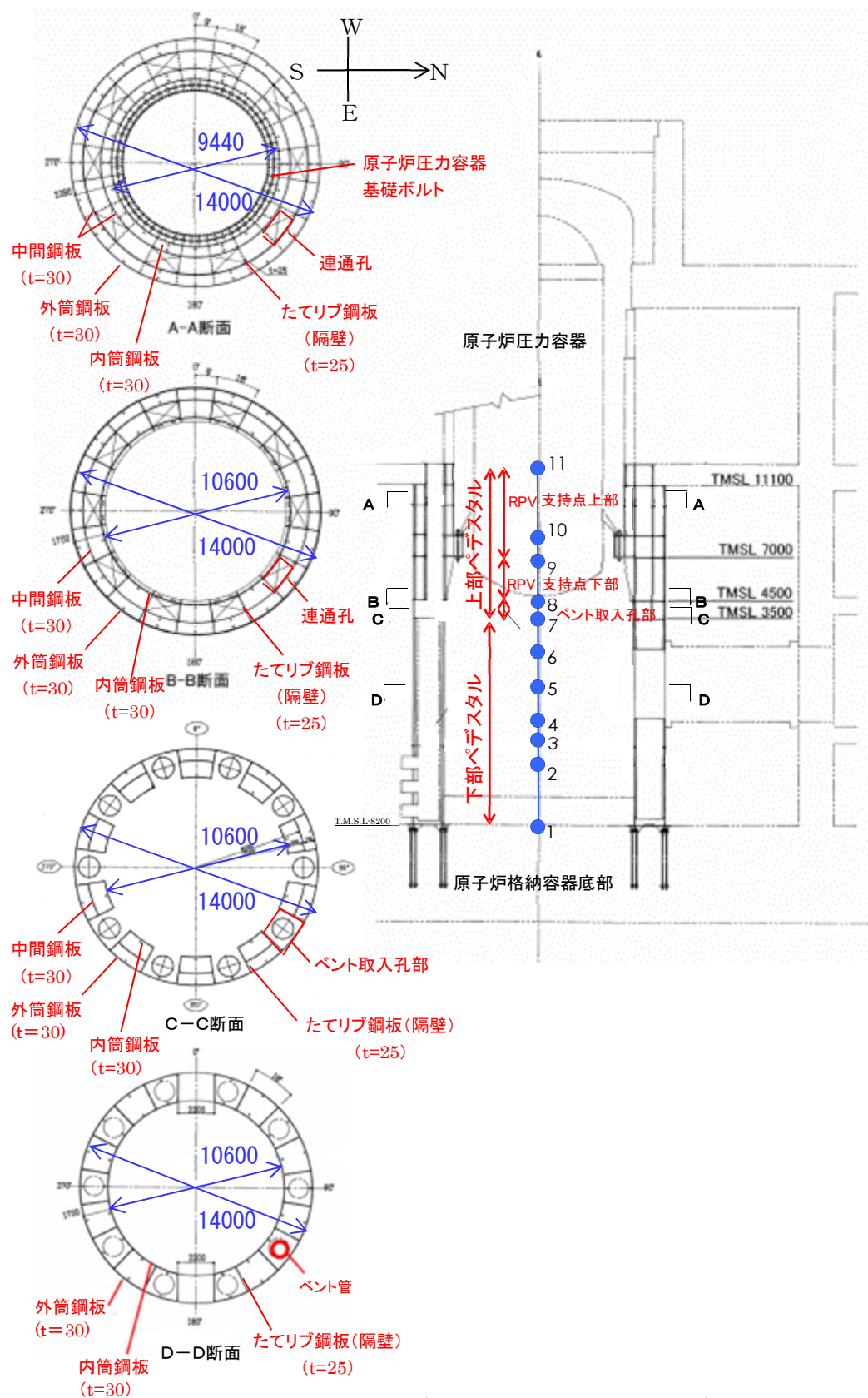


図 5.3(1)-1 RPV ペデスタルと地震応答解析モデルの対応

表 5.3(1)-1 RRV ペデスタル各断面における主要寸法まとめ（6号及び7号炉）

項目				個数(配置)	寸法
上部 ペデスタル	RPV 支持点 上部	連通孔なし	円筒鋼板	4（中間鋼板含 む）	内径：9440mm 外径：14000mm 板厚：30mm
			隔壁	20（18° ）	板厚：25mm
		連通孔あり	円筒鋼板	4（中間鋼板含 む）	内径：9440mm 外径：14000mm 板厚：30mm
			隔壁	20（18° ）	板厚：25mm
			連通孔	10（18° おきに 開口部（連通孔） と無開口部が連 続する構造）	—
		RPV 支持点 下部	連通孔なし	円筒鋼板	3（中間鋼板含 む）
	隔壁			20（18° ）	板厚：25mm
	連通孔あり		円筒鋼板	3（中間鋼板含 む）	内径：10600mm 外径：14000mm 板厚：30mm
			隔壁	20（18° ）	板厚：25mm
			連通孔	10（18° おきに 開口部（連通孔） と無開口部が連 続する構造）	—
	ベント 取入孔部		ベント取入 孔なし	円筒鋼板	3（中間鋼板含 む）
		隔壁		20（18° ）	板厚：25mm
		ベント取入 孔あり	円筒鋼板	1（外筒のみ）	外径：14000mm 板厚：30mm
			隔壁	20（18° ）	板厚：25mm
			ベント 取入孔部	10（18° おきに 開口部（ベント 取入孔）と無開 口部が連続する 構造）	—
下部 ペデスタル	円筒鋼板		2	内径：10600mm 外径：14000mm 板厚：30mm	
	隔壁		20（18° ）	板厚：25mm	
	ベント管		10（36° ）	内径：1200mm	

表 5.3(1)-2 RPV ペデスタル剛性設定の既工認及び今回工認の比較

項目		既工認	今回工認
曲げ変形	初期剛性	鋼板及びコンクリートの 曲げ剛性を合成 $I_s \cdot E_s + I_c \cdot E_c$	同左
	コンクリートひび 割れ後の剛性	設定無し (線形仮定)	$I_s \cdot E_s + \text{(曲げひび割れ後のコンクリート剛性)} ※$
せん断変形	初期剛性	鋼板及びコンクリートの せん断剛性を合成 $A_s \cdot G_s + A_c \cdot G_c$	同左
	コンクリートひび 割れ後の剛性	設定無し (線形仮定)	$A_s \cdot G_s + \text{(せん断ひび割れ後のコンクリート剛性)} ※$

※：SC 規程に RPV ペデスタルの構造の特徴を反映した評価式に基づき算定し，既往の加力試験結果との整合性を確認することにより妥当性を確認した方法を用いて設定する。

E_c : コンクリートのヤング係数 (N/mm²)
 E_s : 鋼板のヤング係数 (N/mm²)
 I_c : コンクリートの断面二次モーメント (mm⁴)
 I_s : 鋼板の断面二次モーメント (mm⁴)
 G_c : コンクリートのせん断弾性係数 (N/mm²)
 G_s : 鋼板のせん断弾性係数 (N/mm²)
 A_c : コンクリートのせん断断面積 (mm²)
 A_s : 鋼板のせん断断面積 (mm²)

表 5.3(1)-3 RPV ペデスタル実機の構造特性を踏まえた評価式

変形特性		RC 構造 (JEAG4601-1991, SI 換算)	SC 規程 (JEAC4618-2009)	構造を踏まえた RPV ペデスタルの評価式		設定 理由	試験で妥当性確認 する範囲
				下部ペデスタル	上部ペデスタル		
曲げ変形	第 1 折点	$M_1 = Z_e(f_t + \sigma_v)$	$M_1 = Z_e(f_t + \sigma_v)$	$M_1 = Z_e(f_t + \sigma_v)$ ただし, $f_t=0$ とする	$M_1 = Z_e(0.5f_t + \sigma_v)$	注 2, 注 3	評価式は RC 構造 と同様の考え方で 適用可能。
		$\phi_1 = M_1/(E_c \cdot I_e)$	$\phi_1 = M_1/(E_c \cdot I_e)$	同左 (構造特性の反映点無し)	同左 (構造特性の反映点無し)		
	第 2 折点	$M_2 = M_y$ $\phi_2 = \phi_y$	$M_2 = M_y$ $\phi_2 = \phi_y$	同左 (構造特性の反映点無し)	同左 (構造特性の反映点無し)		構造を踏まえたコン クリート引張強
せん断 変形	第 1 折点	$\tau_1 = \sqrt{0.31\sqrt{F_c}(0.31\sqrt{F_c} + \sigma_v)}$	$Q_1 = \left(A_c + \left(\frac{G_s}{G_c}\right) \cdot A_s\right) \cdot \tau_{cr}$	同左 (構造特性の反映点無し)	同左 (構造特性の反映点無し)	注 4	度 f_t とせん断ひび 割れ強度 τ_{cr} に関 する評価上の仮定 について, 試験で 妥当性確認を行 う。
			ただし, $\tau_{cr} = \sqrt{0.31\sqrt{\sigma_B} \cdot (0.31\sqrt{\sigma_B} + \sigma_v)}$	ただし, $\tau_{cr} = 0.5 \times \sqrt{0.31\sqrt{\sigma_B} \cdot (0.31\sqrt{\sigma_B} + \sigma_v)}$	SC 規程式と同じ (構造特性の反映点無し)		
		$\gamma_1 = \tau_1/G$	$\gamma_1 = \tau_{cr}/G_c$	同左 (構造特性の反映点無し)	同左 (構造特性の反映点無し)		
	第 2 折点	$\tau_2 = 1.35\tau_1$ $\gamma_2 = 3\gamma_1$	$Q_2 = \frac{(K_\alpha + K_\beta)}{\sqrt{(3K_\alpha^2 + K_\beta^2)}} \cdot A_s \cdot \sigma_v$ $\gamma_2 = \frac{Q_2}{(K_\alpha + K_\beta)}$ $K_\alpha = A_s \cdot G_s$	同左 (構造特性の反映点無し)	同左 (構造特性の反映点無し)	注 5	RC 構造とはせん断 力に対する抵抗機 構が異なる。 構造に応じたコン クリートのひび割 れ角度 θ に関する 評価上の仮定につ いて, 試験で妥当 性確認を行う。
			$K_\beta = \frac{1}{\frac{4}{(A_c \cdot E'_c)} + \frac{2(1-\nu_s)}{(A_s \cdot E_s)}}$	K_β : SC 規程の附属書 2.1 解説を参考に設定 $K_\beta = \frac{(\cos \theta)^2 \cdot H}{2 \left[\frac{1 - \nu^2}{E'_c \cdot t_c \cdot \sin 2\theta} + \frac{1}{2 \cdot E_s} (C1 + C2) \right]}$	K_β : SC 規程の附属書 2.1 解説を参考に設定 $K_\beta = \frac{(\cos \theta)^2 \cdot H}{2 \left[\frac{1 - \nu^2}{E'_c \cdot t_c \cdot \sin 2\theta} + \frac{1}{2 \cdot E_s} (C1 + C2) \right]}$		

注：

1. 記号の凡例は次ページに示す。

2. 下部ペデスタルはコンクリート部がベースプレートにて完全に分断されておりコンクリート部の引張による抵抗が期待できないため $f_t=0$ とした。

3. 上部ペデスタルはコンクリート部断面積のうち約 1/2 がコンクリート打設孔により連続しているためコンクリート部の引張による抵抗は $0.5f_t$ を考慮した。

4. 下部ペデスタルはベント管開口の平均的な応力集中を考慮し, せん断ひび割れ強度 τ_{cr} に **0.5** を乗じた。

5. SC 規程における K_β (=ひび割れ後の鋼板による拘束効果を考慮したコンクリートの有効せん断剛性) はコンクリートの圧縮ストラット角度を $\theta = 45^\circ$ と仮定して簡略化された評価式を記載している。RPV ペデスタルの構造特性を踏まえ, SC 規程の附属書 2.1 解説に示される釣り合い式を用い, 実際の θ に合わせた値を設定した。

<RC 構造 (JEAG4601-1991, SI 換算) >

- E_c : コンクリートのヤング係数 (N/mm²)
 σ_v : 縦軸応力度 (N/mm²) (圧縮を正とする)
 I_e : 鉄筋を考慮した断面二次モーメント (mm⁴)
 Z_e : 鉄筋を考慮した断面係数 (mm³)
 $f_t = 1.2\sqrt{F_c}$
: コンクリートの曲げ引張強度 (N/mm²)
 M_y : 引張鉄筋降伏時モーメント (N・m)
 ϕ_y : 引張鉄筋降伏時曲率 (1/mm)
 F_c : コンクリートの圧縮強度 (N/mm²)
 G : コンクリートのせん断弾性係数 (N/mm²)

<RPV ペデスタル (JEAC4618-2009) >

- σ_v : 鋼板を考慮した鉛直方向軸応力度 (圧縮を正, N/mm²)
 I_e : 鋼板を考慮した断面二次モーメント (mm⁴)
 Z_e : 鋼板を考慮した断面係数 (mm³)
 f_t : コンクリートの曲げ引張強度 (N/mm²)
 E_c : コンクリートのヤング係数 (N/mm²)
 M_y : 鋼板降伏時モーメント (N・mm)
 ϕ_y : 鋼板降伏時曲率 (1/mm)
 A_s : 鋼板のせん断断面積 (mm²)
 A_c : コンクリートのせん断断面積 (mm²)
 G_s : 鋼板のせん断弾性係数 (N/mm²)
 G_c : コンクリートのせん断弾性係数 (mm²)
 E_s : 鋼板のヤング係数 (N/mm²)
 E'_c : コンクリートのひび割れを考慮したヤング係数で, コンクリートのヤング係数に
0.7 を乗じた値を用いてよい (N/mm²)
 K_α : 鋼板のせん断剛性
 K_β : ひび割れ後の鋼板による拘束効果を考慮したコンクリートの有効せん断剛性
 σ_y : 鋼板の降伏点強度 (N/mm²)
 σ_B : コンクリートの圧縮強度で設計基準強度 F_c を用いてよい (N/mm²)
 F_c : コンクリートの圧縮強度 (N/mm²)
 ν_c : コンクリートのポアソン比
 H : コンクリートの高さ (mm)
 t_c : コンクリート板厚 (mm)
C1, C2 : 寸法とせん断ひび割れ角度 θ から定まる係数 (詳細は 5.3(3)項参照)

(2) 曲げに対する非線形特性を考慮したスケルトンカーブ設定方法

a. SC 規程の曲げ変形に対するスケルトンカーブ

SC 規程に示された曲げ変形に対するスケルトンカーブは、曲げモーメント M と曲率 ϕ との M - ϕ 関係を以下に示す状態を考慮して算定する (図 5.3(2)-1 参照)。

- ① コンクリートの曲げひび割れによる剛性の変化 (第 1 折点)
- ② 鋼板の降伏による剛性の変化 (第 2 折点)

SC 規程記載内容の抜粋を以下に示す。

第 1 折点 コンクリートの曲げひび割れにより剛性が変化する点

$$\left[\begin{array}{l} M_1 = Z_e \cdot (f_t + \sigma_v) \quad (\text{N} \cdot \text{mm}) \quad \dots\dots\dots (\text{附 2.1-7}) \\ \phi_1 = \frac{M_1}{E_c \cdot I_e} \quad (1/\text{mm}) \quad \dots\dots\dots (\text{附 2.1-8}) \end{array} \right.$$

第 2 折点 鋼板の降伏により剛性が変化する点

$$\left[\begin{array}{l} M_2 = M_y \quad (\text{N} \cdot \text{mm}) \quad \dots\dots\dots (\text{附 2.1-9}) \\ \phi_2 = \phi_y \quad (1/\text{mm}) \quad \dots\dots\dots (\text{附 2.1-10}) \end{array} \right.$$

終 局 点 曲げ終局強度及び曲げ終局曲率を示す点

$$\left[\begin{array}{l} M_3 = M_u \quad (\text{N} \cdot \text{mm}) \quad \dots\dots\dots (\text{附 2.1-11}) \\ \phi_3 = \frac{0.004}{X_{nu}} \quad (1/\text{mm}) \quad \dots\dots\dots (\text{附 2.1-12}) \end{array} \right.$$

ただし、 $\phi_3 > 20\phi_2$ ならば $\phi_3 = 20\phi_2$ とする。

ここで、

- σ_v : 鋼板を考慮した鉛直方向軸応力度 (圧縮を正, N/mm^2)
- σ_B : コンクリートの圧縮強度で設計基準強度 F_c を用いてよい (N/mm^2)
- ν_1 : コンクリート圧縮強度の有効係数で、 $0.7 - \frac{\sigma_B}{200}$ を用いてよい
- I_e : 鋼板を考慮した断面二次モーメント (mm^4)
- Z_e : 鋼板を考慮した断面係数 (mm^3)
- f_t : コンクリートの曲げ引張強度 (N/mm^2)
- σ_v : 鋼板を考慮した鉛直方向軸応力度 (圧縮を正, N/mm^2)
- E_c : コンクリートのヤング係数 (N/mm^2)
- M_y : 鋼板降伏時モーメント ($\text{N} \cdot \text{mm}$)
- ϕ_y : 鋼板降伏時曲率 ($1/\text{mm}$)
- M_u : 全塑性モーメント ($\text{N} \cdot \text{mm}$)
- X_{nu} : 全塑性モーメント時の圧縮縁から中立軸までの距離 (mm)

今回の
設定範囲

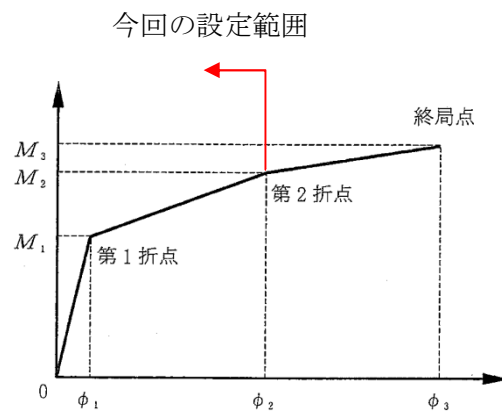


図 5.3(2)-1 曲げ変形に対するスケルトンカーブ
((1) に加筆)

b. 下部ペデスタルの曲げ変形に対するスケルトンカーブ

上記 a. 項に示す SC 規程の記載内容を参考に RPV ペデスタル固有の構造特性を反映した点及び反映後の評価式を以下に示す。

図 5.3(2)-2 に示すとおり，下部ペデスタルの曲げモーメントが大きくなると引張側の死荷重による圧縮応力度がゼロとなり（第 1 折点），さらに大きくなると圧縮側のコンクリートと鋼板及び引張側の鋼板が曲げに抵抗し，引張側の鋼板が降伏することで第 2 折点に到達する。

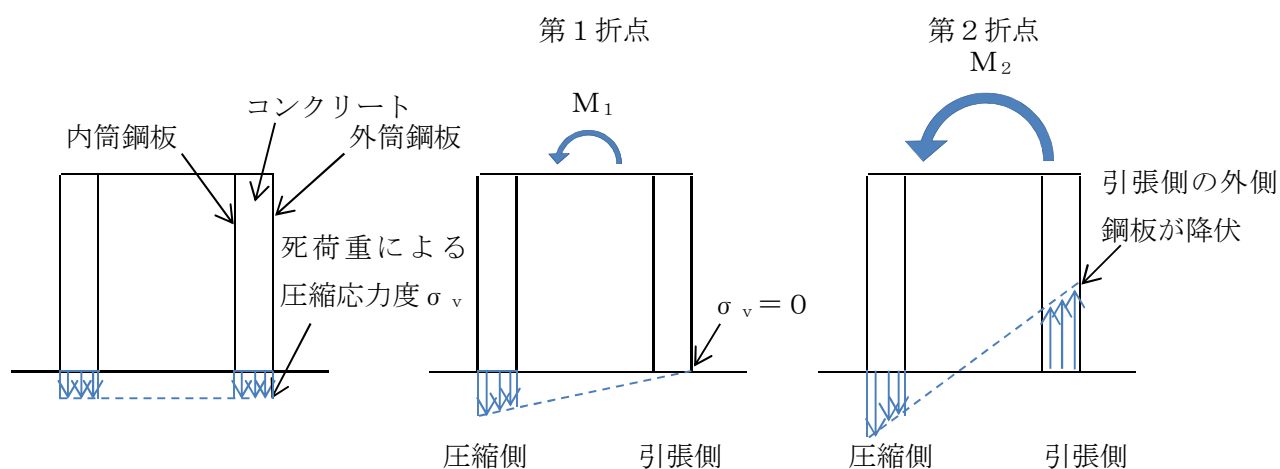


図 5.3(2)-2 下部ペデスタル曲げ変形の各状態（概念図）

(i) RPV ペデスタル固有の構造特性を反映した点

（第 1 折点）

- RPV ペデスタルの地震応答解析モデルにおける部材断面性能は，コンクリートの剛性はベント管等の開口欠損を考慮した断面積に基づき性能評価する。
- 下部ペデスタルは，図 5.3(2)-3（赤破線囲み）に示すようにコンクリート部がベースプレートにて完全に分断されていることから，コンクリートの引張強度 f_t は無視する。

（第 2 折点）

構造特性の反映点無し。

(ii) 反映後の評価式

(第1折点)

- $M_1 = Z_e \cdot (f_t + \sigma_v)$ ただし、 $f_t = 0$ とする

- ϕ_1 は初期剛性と M_1 の交点 ($\phi_1 = M_1 / (E_c \cdot I_e)$)

注) 下部ペデスタルはコンクリート部がベースプレートにて完全に分断されておりコンクリート部の引張による抵抗が期待できないため $f_t = 0$ となる。

Z_e : 鋼板を考慮したコンクリートの断面係数 (mm^3) ($= I_e / (D / 2)$)

$D / 2$: 中心から最外縁までの距離 (D は最外直径)

f_t : コンクリートの曲げ引張強度 (N/mm^2) ($= 0.38 \sqrt{\sigma_B}$)

σ_B : コンクリートの圧縮強度 (N/mm^2)

ペデスタルコンクリートの設計基準強度 $= 29.4 (\text{N/mm}^2)$

σ_v : 鋼板を考慮したコンクリートの鉛直方向軸応力度 (N/mm^2)

(ペデスタル及びペデスタルが支持する機器の死荷重によるペデスタル鉛直方向の軸力) \div ((各鋼板の断面積の和) $\times (E_s / E_c)$ + (開口欠損を考慮したコンクリート部の断面積))

E_c : コンクリートのヤング係数 (N/mm^2)

E_s : 鋼板のヤング係数 (N/mm^2)

I_e : 鋼板を考慮したコンクリートの断面二次モーメント (mm^4)

(各鋼板の断面二次モーメントの和) $\times (E_s / E_c)$ + (開口欠損を考慮したコンクリート部の断面二次モーメント)

第1折点は、ペデスタル円筒の曲げ引張側の死荷重による圧縮応力 (σ_v) がゼロとなる時点の M 及び ϕ を表している。

(第2折点)

- $M_2 = M_y$

- $\phi_2 = \phi_y$

M_y : 鋼板降伏時モーメント ($\text{N} \cdot \text{mm}$)

ϕ_y : 鋼板降伏時曲率 ($1/\text{mm}$)

第2折点は、ペデスタル円筒の曲げ引張側の鋼板が降伏する時点の M 及び ϕ を表している。

第2折点の曲げモーメント M 及び曲率 ϕ は、断面の平面保持を仮定し、鋼板部の引張応力が降伏状態となる場合の応力 (ひずみ) 分布を中立軸を変えながら収束計算し、収束する際の M_2 及び ϕ_2 を求める。

表 5.3(2)-1 曲げに対する実機下部ペデスタルの構造特性を踏まえた評価式

変形特性		SC 規程	構造特性を踏まえた評価式	RPV ペデスタル固有の構造特性を反映した点
曲げ変形	第 1 折点	$M_1 = Z_e \cdot (f_t + \sigma_v)$	$M_1 = Z_e \cdot (f_t + \sigma_v)$	下部ペデスタルはコンクリート部がベースプレートにて完全に分断されておりコンクリート部の引張による抵抗が期待できないため $f_t = 0$ とした。
		$\phi_1 = M_1 / (E_c \cdot I_e)$	同左 (構造特性の反映点無し)	
	第 2 折点	$M_2 = M_y$ $\phi_2 = \phi_y$	同左 (構造特性の反映点無し)	

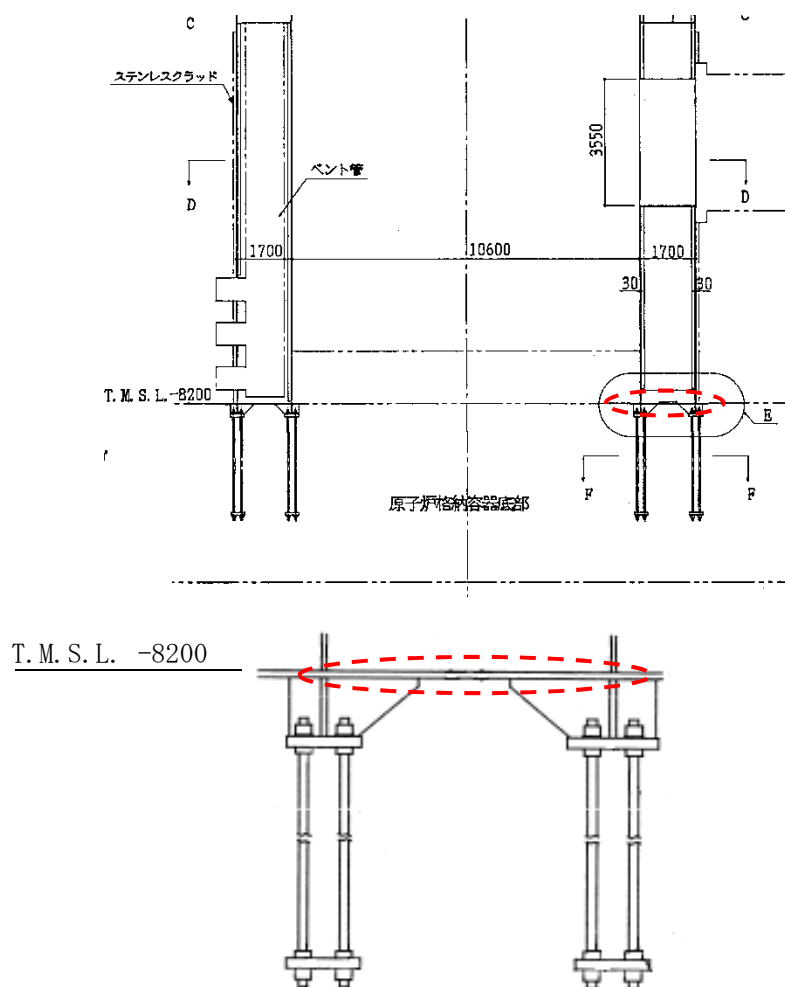


図 5.3(2)-3 RPV ペデスタルの脚部
[コンクリートがベースプレートにて分断されている箇所を赤破線で示す]

c. 上部ペデスタルの曲げ変形に対するスケルトンカーブ

上記 a. 項に示す SC 規程の記載内容を参考に RPV ペデスタル固有の構造特性を反映した点及び反映後の評価式を以下に示す。

図 5.3(2)-4 に示すとおり，上部ペデスタルの曲げモーメントが大きくなると引張側のコンクリートは引張側の死荷重による圧縮応力度がゼロとなった後も引張に抵抗し，コンクリート引張応力が引張強度に到達してひび割れが発生する（第 1 折点）。さらに大きくなると圧縮側のコンクリートと鋼板及び引張側の鋼板が曲げに抵抗し，引張側の鋼板が降伏することで第 2 折点に到達する。

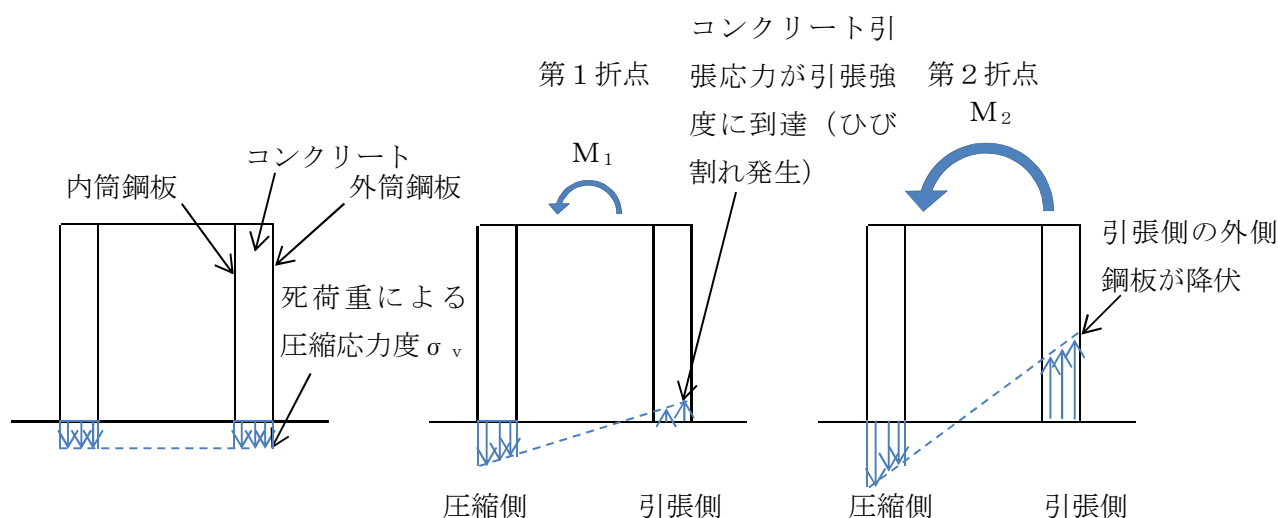


図 5.3(2)-4 上部ペデスタル曲げ変形の各状態（概念図）

(i) RPV ペデスタル固有の構造特性を反映した点

（第 1 折点）

- RPV ペデスタルの地震応答解析モデルにおける部材断面性能は，コンクリートの剛性は連通孔等の開口欠損を考慮した断面積に基づき性能評価する。
- 水平鋼板によるコンクリートの分断を考慮するが，コンクリート断面積のうち約 1/2 がコンクリート打設孔により連続していると仮定する。図 5.3(2)-5 及び図 5.3(2)-6 にコンクリート打設孔の概念図を示す。

（第 2 折点）

構造特性の反映点無し。

(i) 反映後の評価式

(第1折点)

- $M_1 = Z_e \cdot (0.5f_t^{*1} + \sigma_v)$

- ϕ_1 は初期剛性と M_1 の交点 ($\phi_1 = M_1 / (E_c \cdot I_e)$)

注) *1: 水平鋼板がコンクリートを分断するように設置されるが、水平鋼板面積のうち約 1/2 はコンクリート打設孔による開口があり、コンクリートが連続していることから、コンクリートの曲げ引張強度 f_t に 0.5 を乗じる。

Z_e : 鋼板を考慮したコンクリートの断面係数 (mm^3) ($= I_e / (D/2)$)

$D/2$: 中心から最外縁までの距離 (D は最外直径)

σ_v : 鋼板を考慮したコンクリートの鉛直方向軸応力度 (N/mm^2)

(ペDESTAL及びペDESTALが支持する機器の死荷重によるペDESTAL鉛直方向の軸力) / ((各鋼板の断面積の和) $\times (E_s/E_c)$ + (開口欠損を考慮したコンクリート部の断面積))

f_t : コンクリートの曲げ引張強度 (N/mm^2) ($= 0.38\sqrt{\sigma_B}$)

σ_B : コンクリートの圧縮強度 (N/mm^2)

ペDESTALコンクリートの設計基準強度 $= 29.4 (\text{N}/\text{mm}^2)$

E_c : コンクリートのヤング係数 (N/mm^2)

E_s : 鋼板のヤング係数 (N/mm^2)

I_e : 鋼板を考慮したコンクリートの断面二次モーメント (mm^4)

(各鋼板の断面二次モーメントの和) $\times (E_s/E_c)$ + (開口欠損を考慮したコンクリート部の断面二次モーメント)

第1折点は、ペDESTAL円筒の曲げ引張側のコンクリート部にひび割れが生じる点の M 及び ϕ を表している。

(第2折点)

- $M_2 = M_y$

- $\phi_2 = \phi_y$

M_y : 鋼板降伏時モーメント ($\text{N} \cdot \text{mm}$)

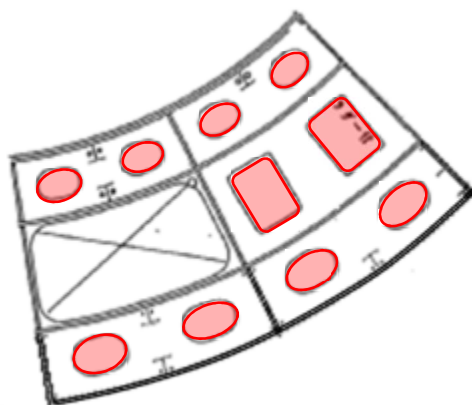
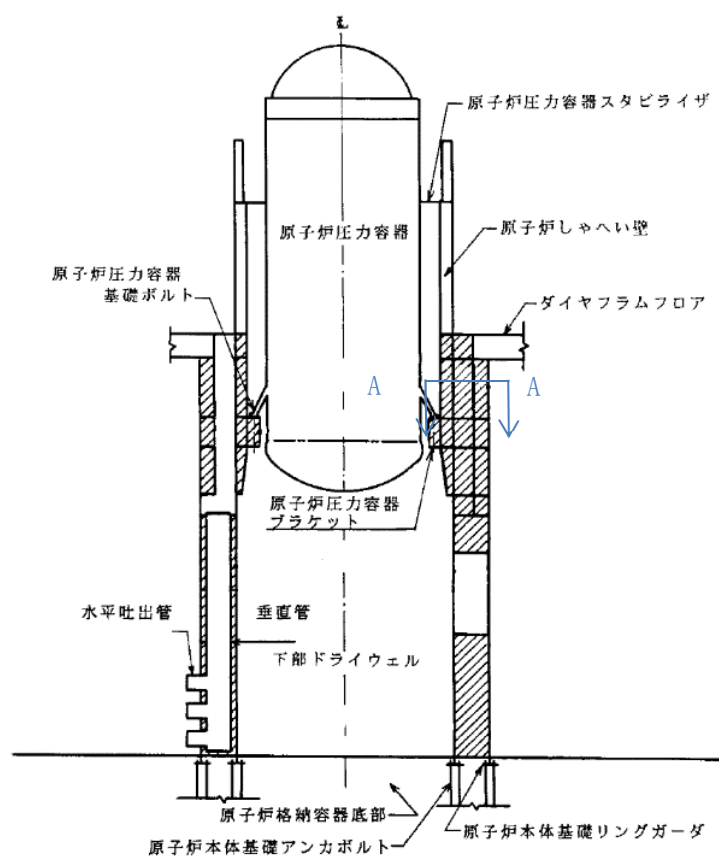
ϕ_y : 鋼板降伏時曲率 ($1/\text{mm}$)

第2折点は、ペDESTAL円筒の曲げ引張側の鋼板が降伏する時点の M 及び ϕ を表している。

第2折点の曲げモーメント M 及び曲率 ϕ は、断面の平面保持を仮定し、鋼板部の引張応力が降伏状態となる場合の応力 (ひずみ) 分布を中立軸を変えながら収束計算し、収束する際の M_2 及び ϕ_2 を求める。

表 5.3(2)-2 曲げに対する実機上部ペデスタル円筒の構造特性を踏まえた評価式

変形特性		SC 規程	構造特性を踏まえた評価式	RPV ペデスタル固有の構造特性を反映した点
曲げ変形	第 1 折点	$M_1 = Z_e \cdot (f_t + \sigma_v)$	$M_1 = Z_e \cdot (0.5f_t + \sigma_v)$	上部ペデスタルはコンクリート部断面積のうち約 1/2 が打設孔により連続しているためコンクリート部の引張による抵抗は $0.5f_t$ を考慮した。
		$\phi_1 = M_1 / (E_c \cdot I_e)$	同左 (構造特性の反映点無し)	
	第 2 折点	$M_2 = M_y$ $\phi_2 = \phi_y$	同左 (構造特性の反映点無し)	



A-A 断面

図 5.3(2)-5 上部ペデスタルの断面 (一部)
[赤線部がコンクリート打設孔を示す]

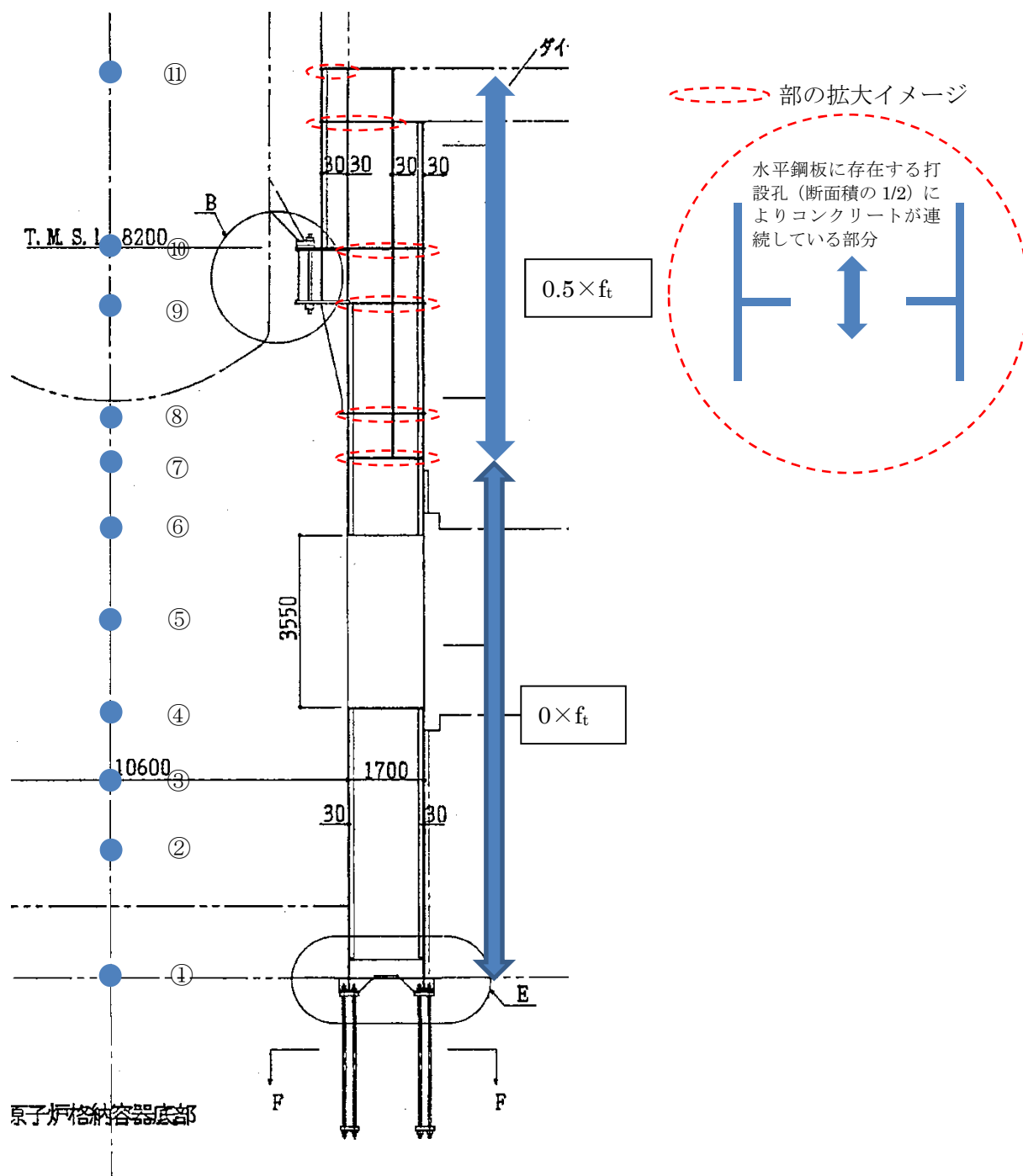


図 5.3(2)-6 RPV ペデスタル立面図
(コンクリート打設用開口部を赤破線部で示す)

(3) せん断に対する非線形特性を考慮したスケルトンカーブ設定方法

a. SC 規程のせん断変形に対するスケルトンカーブ

SC 規程に示されたせん断変形に対するスケルトンカーブは、せん断力 Q とせん断ひずみ γ との $Q-\gamma$ 関係を以下に示す状態を考慮して算定する (図 5.3(3)-1 参照)。

- ① コンクリートのせん断ひび割れによる剛性の変化 (第 1 折点)
- ② 鋼板の降伏による剛性の変化 (第 2 折点)

以下、SC 規程記載内容の抜粋。

第 1 折点 コンクリートのせん断ひび割れにより剛性が変化する点

$$\left[\begin{aligned} Q_1 &= (A_c + \left(\frac{G_s}{G_c}\right) \cdot A_s) \cdot \tau_{cr} \quad (\text{N}) \cdots \cdots \cdots \text{ (附 2.1-1)} \\ \gamma_1 &= \left(\frac{\tau_{cr}}{G_c}\right) \quad (\text{rad}) \cdots \cdots \cdots \text{ (附 2.1-2)} \end{aligned} \right.$$

ただし、 $\tau_{cr} = \sqrt{0.31 \sqrt{\sigma_B} \cdot (0.31 \sqrt{\sigma_B} + \sigma_v)}$

第 2 折点 鋼板の降伏により剛性が変化する点

$$\left[\begin{aligned} Q_2 &= \frac{(K_\alpha + K_\beta)}{\sqrt{(3K_\alpha^2 + K_\beta^2)}} \cdot A_s \cdot \sigma_y \quad (\text{N}) \cdots \cdots \cdots \text{ (附 2.1-3)} \\ \gamma_2 &= \frac{Q_2}{(K_\alpha + K_\beta)} \quad (\text{rad}) \cdots \cdots \cdots \text{ (附 2.1-4)} \end{aligned} \right.$$

ただし、 $K_\alpha = A_s \cdot G_s$

$$K_\beta = \frac{1}{\frac{4}{(A_c \cdot E'_c)} + \frac{2(1-\nu_s)}{(A_s \cdot E_s)}}$$

終局点 せん断終局強度及びせん断終局ひずみ度を示す点

$$\left[\begin{aligned} Q_3 &= A_c \cdot \sqrt{\left(\frac{A_s}{A_c}\right) \cdot \sigma_y \cdot \nu_1 \cdot \sigma_B} \quad (\text{N}) \cdots \cdots \cdots \text{ (附 2.1-5)} \\ \gamma_3 &= 6.0 \times 10^{-3} \quad (\text{rad}) \cdots \cdots \cdots \text{ (附 2.1-6)} \end{aligned} \right.$$

ここで、

A_s : 鋼板のせん断断面積 (mm^2)

A_c : コンクリートのせん断断面積 (mm^2)

G_s : 鋼板のせん断弾性係数 (N/mm^2)

G_c : コンクリートのせん断弾性係数 (N/mm^2)

E_s : 鋼板のヤング係数 (N/mm^2)

E'_c : コンクリートのひび割れを考慮したヤング係数で、コンクリートのヤング係数に 0.7 を乗じた値を用いてよい (N/mm^2)

ν_s : 鋼板のポアソン比

σ_v : 鋼板を考慮した鉛直方向軸応力度 (圧縮を正, N/mm^2)

K_α : 鋼板のせん断剛性

K_β : ひび割れ後の鋼板による拘束効果を考慮したコンクリートの有効せん断剛性

σ_y : 鋼板の降伏点強度 (N/mm^2)

σ_B : コンクリートの圧縮強度で設計基準強度 F_c を用いてよい (N/mm^2)

ν_1 : コンクリート圧縮強度の有効係数で、 $0.7 - \frac{\sigma_B}{200}$ を用いてよい

今回の
設定範囲

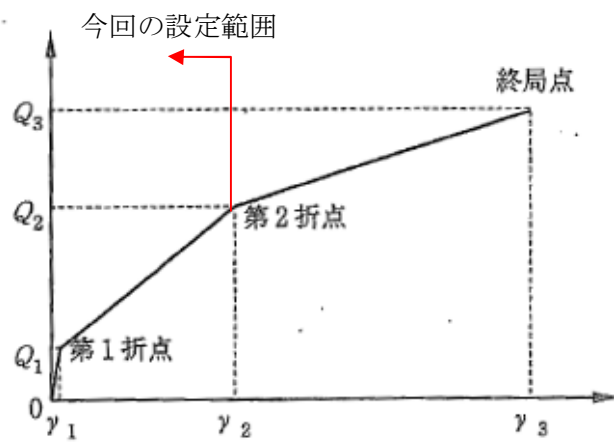


図 5.3(3)-1 セン断変形に対するスケルトンカーブ
((1) に加筆)

b. 下部ペデスタルのせん断変形に対するスケルトンカーブ

上記 a. 項に示す SC 規程の内容から RPV ペデスタル固有の構造特性を反映した点及び反映後の評価式を以下に示す。

図 5.3(3)-2 に示すとおり，下部ペデスタルのせん断力が大きくなるとコンクリートのせん断応力がひび割れ強度 τ_{cr} に到達してせん断ひび割れが発生する（第 1 折点）。第 1 折点でコンクリートにひび割れが発生した後もコンクリートは圧縮方向（ひび割れ角度 θ の方向，コンクリートのひび割れ方向は圧縮方向と同じ）にのみ抵抗する弾性体（異方性弾性体）として挙動し，ひび割れたコンクリートを鋼板が拘束し，コンクリートと鋼板が一体となってせん断力に抵抗する。さらに大きくなると鋼板の応力が降伏点強度 σ_y に到達し第 2 折点に到達する。

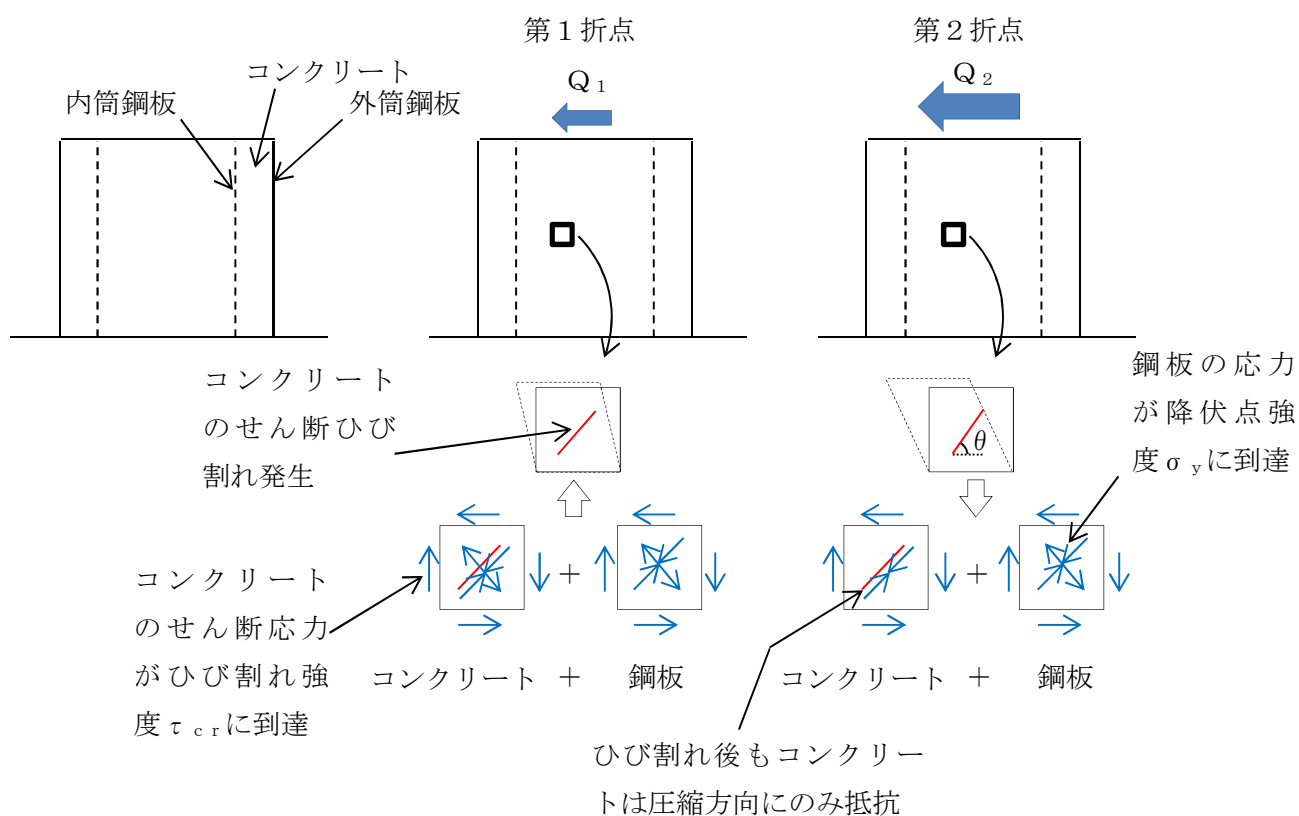


図 5.3(3)-2 下部ペデスタルせん断変形の各状態（概念図）

(i) RPV ペデスタル固有の構造特性を反映した点

(第1折点)

- せん断ひび割れ強度については、RPV ペデスタルの内外円筒鋼板及び縦リブ間に充填されたコンクリートにベント管を埋め込んだ特殊な構造であり、コンクリートに大きな開口欠損がある。ベント管周りのコンクリート部は実際には複雑な応力状態を形成していると考えられるため、その影響を考慮して、せん断ひび割れ強度 τ_{cr} の0.5倍の値を仮定し用いる。仮定の妥当性は、5.4項に示す試験結果との整合性により確認する。

(第2折点)

- コンクリートの圧縮ストラット角度 θ に RPV ペデスタルの構造に合せた角度を入力することでせん断剛性を算出する。

(ii) 反映後の評価式

(第1折点)

$$\bullet Q_1 = (A_c + (G_s/G_c) \cdot A_s) \cdot \tau_{cr}$$

$$\bullet \gamma_1 = \tau_{cr}/G_c$$

$$\text{ただし, } \tau_{cr} = 0.5^{*1} \times \sqrt{0.31\sqrt{\sigma_B} \cdot (0.31\sqrt{\sigma_B} + \sigma_v)}$$

注) *1: せん断ひび割れ強度については, RPV ペデスタルの内外円筒鋼板及び縦リブ間に充填されたコンクリートにベント管を埋め込んだ特殊な構造であり, コンクリートに大きな開口欠損がある。ベント管周りのコンクリート部は実際には複雑な応力状態を形成していると考えられるため, その影響を考慮して, せん断ひび割れ強度 τ_{cr} の 0.5 倍の値を仮定し用いる。仮定の妥当性は, 5.4 項に示す試験結果との整合性により確認する。

A_c : コンクリートのせん断断面積 (mm^2)

A_s : 鋼板のせん断断面積 (mm^2)

G_c : コンクリートのせん断弾性係数 (N/mm^2)

G_s : 鋼板のせん断弾性係数 (N/mm^2)

E_c : コンクリートのヤング係数 (N/mm^2)

E_s : 鋼板のヤング係数 (N/mm^2)

τ_{cr} : コンクリートのせん断ひび割れ強度 (N/mm^2)

σ_B : コンクリートの圧縮強度 (N/mm^2)

ペデスタルコンクリートの設計基準強度 = 29.4 (N/mm^2)

σ_v : 鋼板を考慮したコンクリートの鉛直方向軸応力度 (N/mm^2)

(ペデスタル及びペデスタルが支持する機器の死荷重によるペデスタル鉛直方向の軸力) / ((各鋼板の断面積の和) \times (E_s/E_c) + (コンクリート部の断面積))

第1折点は, ペデスタルのコンクリートと鋼板を考慮したせん断断面積 (コンクリートのせん断断面積 A_c 及びそれと等価なペデスタル鋼板のせん断断面積 $(G_s/G_c) \cdot A_s$ の和) にコンクリートのせん断ひび割れ強度 τ_{cr} を乗じた値, すなわちペデスタルコンクリート部にせん断ひび割れが発生する点の Q, γ を表している。

(第2折点)

$$Q_2 = \frac{(K_\alpha + K_\beta)}{\sqrt{(3K_\alpha^2 + K_\beta^2)}} \cdot A_s \cdot \sigma_y$$

$$\gamma_2 = \frac{Q_2}{(K_\alpha + K_\beta)}$$

ただし, $K_\alpha = A_s \cdot G_s$

A_s : 鋼板のせん断断面積 (mm²)

G_s : 鋼板のせん断弾性係数 (N/mm²)

K_α : 鋼板のせん断剛性

K_β : ひび割れ後の鋼板による拘束効果を考慮したコンクリートの有効せん断剛性

σ_y : 鋼板の降伏点強度 (N/mm²)

第1折点でコンクリートにひび割れが発生した後もコンクリートは圧縮方向（ひび割れ角度 θ の方向）にのみ抵抗する弾性体（異方性弾性体）として挙動し、鋼板と一体となつてせん断力に抵抗する。

第2折点の評価に用いるコンクリートの有効せん断剛性 K_β は、SC 規程の附属書 2.1 解説及び、コンクリートひび割れ後のコンクリートと鋼板の挙動に関する既往知見⁽³⁾に示される以下の理論式を用いて、 $Q_c = K_\beta \cdot \gamma$ 、 $\delta = H \cdot \gamma$ の関係より算出する。

$$Q_c = \frac{(\cos\theta)^2}{2 \left[\frac{1 - \nu_c^2}{E_c' \cdot t_c \cdot \sin 2\theta} + \frac{1}{2 \cdot E_s} (C1 + C2) \right]} \cdot \delta$$

$$C1 = L \cdot \cos\theta \left(\frac{\cos\theta}{sAx} - \frac{\sin\theta}{sAy} \nu_s \right)$$

$$C2 = H \cdot \sin\theta \left(\frac{\sin\theta}{sAy} - \frac{\cos\theta}{sAx} \nu_s \right)$$

ここで、

Q_c : コンクリートの受け持つせん断力 (N)

δ : 水平変位 (mm)

γ : せん断ひずみ度

E_c' : コンクリートのひび割れを考慮したヤング係数で、コンクリートのヤング係数に 0.7 を乗じた値を用いる。 (N/mm²)

E_s : 鋼材のヤング係数 (N/mm²)

t_c : コンクリート板厚 (mm)

ν_c : コンクリートのポアソン比

ν_s : 鋼材のポアソン比

L : 隔壁の間隔(mm)

H : 隔壁の高さ(mm)

s_{Ay} : 鋼材の水平断面の断面積(mm²)

s_{Ax} : 鋼材の鉛直断面の断面積(mm²)

θ : 圧縮ストラット角度 ($\theta = \tan^{-1}\left(\frac{H}{L}\right)$)

($\theta=45^\circ$ とした場合の評価式が SC 規程に例示されている。)

ここで、コンクリートの圧縮ストラット角度 θ は、ペデスタルのたてリブ鋼板（隔壁）で分断された区画ごとに等価矩形断面に置換し、実際の構造に合わせた値を設定する。

下部ペデスタルのコンクリートの圧縮ストラット角度 θ は、たてリブ及び円筒鋼板に囲まれた各々の隔壁及び隔壁に囲まれたコンクリートを一つの SC 構造体として、その寸法（隔壁の高さ及び間隔）の対角線にコンクリートひび割れが発生すると仮定し、コンクリートの圧縮ストラット角度 θ を設定する。ベント管内蔵部については、コンクリート断面が最も小さい箇所を起点としてひび割れが発生すると仮定し、たてリブ端部からベント管中心までの寸法を間隔 L として設定する。（図 5.3(3)-3 参照。）

各々の θ を用いて K_β （ひび割れ後の鋼板による拘束効果を考慮したコンクリートの有効せん断剛性）を算出し、それぞれ足し合わせることで各層の K_β を算出し、上に示した SC 規程式に代入し、 Q_2 、 γ_2 を求める。

地震方向に対して有効と見なす範囲を対象とする

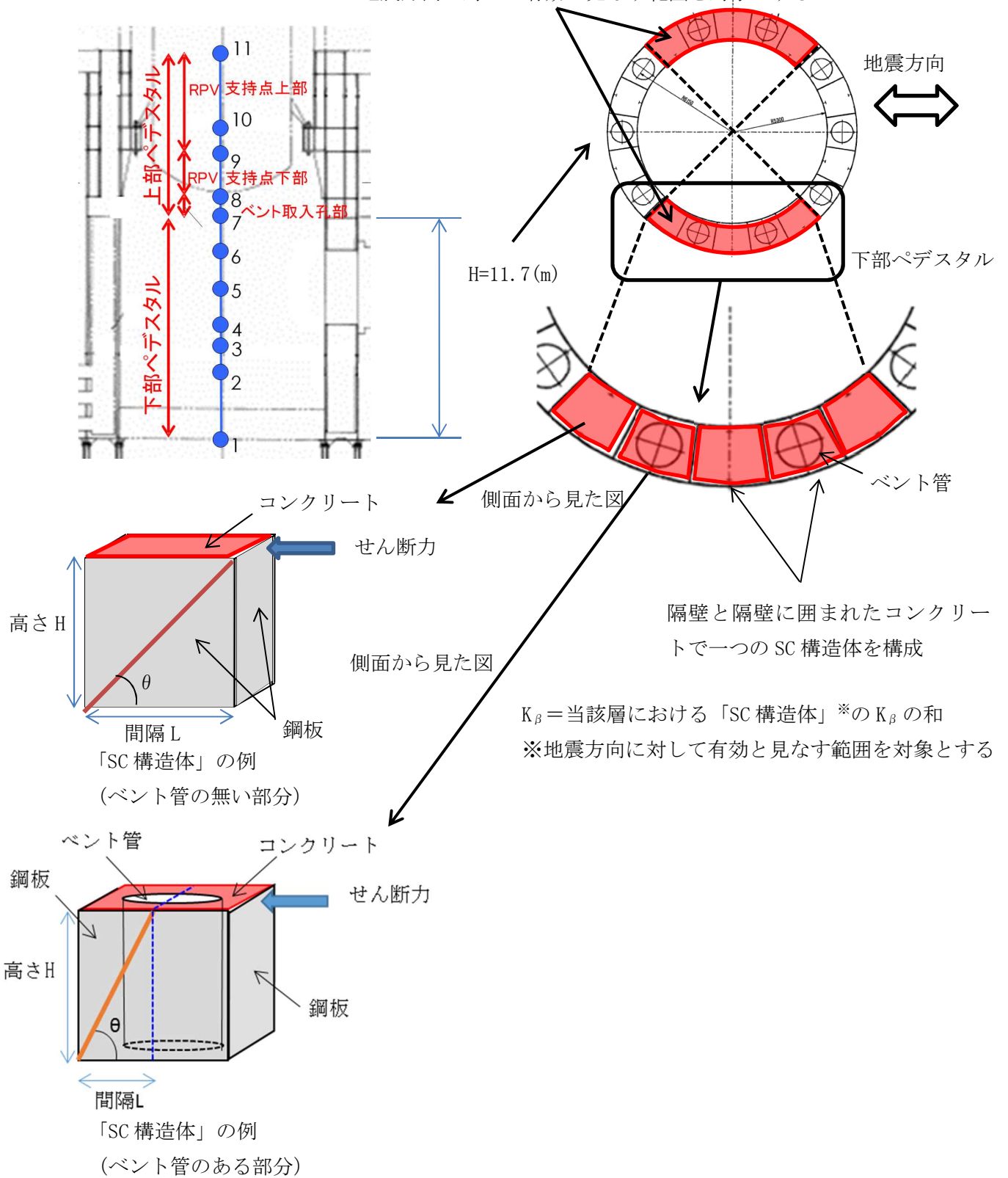


図 5.3(3)-3 下部ペデスタルの隔壁構造の概念図

表 5.3(3)-1 セン断に対する実機下部ペデスタルの構造特性を踏まえた評価式

変形特性		SC 規程	構造特性を踏まえた 評価式	RPV ペデスタル固有の 構造特性を反映した 点
せん断 変形	第 1 折点	$Q_1 = (A_c + (G_s/G_c) \cdot A_s) \cdot \tau_{cr}$ $\gamma_1 = \tau_{cr}/G_c$	同左 (構造特性の反映無し)	
		ただし, $\tau_{cr} = \frac{1}{\sqrt{0.31\sqrt{\sigma_B} \cdot (0.31\sqrt{\sigma_B} + \sigma_v)}}$	ただし, $\tau_{cr} = \frac{1}{0.5 \times \sqrt{0.31\sqrt{\sigma_B} \cdot (0.31\sqrt{\sigma_B} + \sigma_v)}}$	下部ペデスタルはベント管開口の平均的な応力集中を考慮し、せん断ひび割れ強度 τ_{cr} に 0.5 を乗じた。
	第 2 折点	$Q_2 = \frac{(K_\alpha + K_\beta)}{\sqrt{(3K_\alpha^2 + K_\beta^2)}} \cdot A_s \cdot \sigma_y$ $\gamma_2 = \frac{Q_2}{(K_\alpha + K_\beta)}$ ただし, $K_\alpha = A_s \cdot G_s$	同左 (構造特性の反映無し)	
		$K_\beta = \frac{1}{\frac{4}{(A_c \cdot E_c')} + \frac{2(1-\nu_s)}{(A_s \cdot E_s)}}$	K_β : SC 規程の附属書 2.1 解説を参考に設定	下部ペデスタルのコンクリートの圧縮ストラット角度 θ は、たてリブ及び円筒鋼板に囲まれた各々の隔壁及び隔壁に囲まれたコンクリートを一つの SC 構造体として、その寸法（隔壁の高さ及び間隔）の対角線にコンクリートひび割れが発生すると仮定し、コンクリートの圧縮ストラット角度 θ を設定する。ベント管内蔵部は、たてリブ端部からベント管中心までの寸法を間隔 L として仮定する。 SC 規程の附属書 2.1 及び既往知見 ⁽³⁾ に示される理論式を用い、実際の θ に合わせた値を設定した。

c. 上部ペデスタルのせん断変形に対するスケルトンカーブ

上記 a. 項に示す SC 規程の内容から RPV ペデスタル固有の構造特性を反映した点及び反映後の評価式を以下に示す。

上部ペデスタルのせん断変形における第 1 折点，第 2 折点の各状態については，下部ペデスタルと同様である（図 5.3(3)-2 参照）。

(i) RPV ペデスタル固有の構造特性を反映した点

（第 1 折点）

構造特性の反映点無し

（第 2 折点）

コンクリートの圧縮ストラット角度 θ に RPV ペデスタルの構造に合せた角度を入力することでせん断剛性を算出する。

(ii) 反映後の評価式

(第1折点)

- Q_1 , γ_1 評価式は下部ペデスタルと同様。

$$\text{ただし, } \tau_{cr} = \sqrt{0.31\sqrt{\sigma_B} \cdot (0.31\sqrt{\sigma_B} + \sigma_V)}$$

注) 上部ペデスタルはベント管の開口もなく, コンクリートは4面を鋼板で囲まれた閉鎖断面のために, せん断ひび割れ強度 τ_{cr} は SC 規程に従う。

(第2折点)

$$Q_2 = \frac{(K_\alpha + K_\beta)}{\sqrt{(3K_\alpha^2 + K_\beta^2)}} \cdot A_s \cdot \sigma_y$$

$$\gamma_2 = \frac{Q_2}{(K_\alpha + K_\beta)}$$

ただし, $K_\alpha = A_s \cdot G_s$

A_s : 鋼板のせん断断面積 (mm^2)

G_s : 鋼板のせん断弾性係数 (N/mm^2)

K_α : 鋼板のせん断剛性

K_β : ひび割れ後の鋼板による拘束効果を考慮したコンクリートの有効せん断剛性

σ_y : 鋼板の降伏点強度 (N/mm^2)

第1折点でコンクリートにひび割れが発生した後もコンクリートは圧縮方向（ひび割れ角度 θ の方向）にのみ抵抗する弾性体（異方性弾性体）として挙動し, 鋼板と一体となつてせん断力に抵抗する。

第2折点の評価に用いるコンクリートの有効せん断剛性 K_β は, SC 規程の附属書 2.1 解説及び, コンクリートひび割れ後のコンクリートと鋼板の挙動に関する既往知見⁽³⁾に示される以下の理論式を用いて, $Q_c = K_\beta \cdot \gamma$, $\delta = H \cdot \gamma$ の関係より算出する。

$$Q_c = \frac{(\cos\theta)^2}{2 \left[\frac{1 - \nu_c^2}{E_c \cdot t_c \cdot \sin 2\theta} + \frac{1}{2 \cdot E_s} (C1 + C2) \right]} \cdot \delta$$

$$C1 = L \cdot \cos\theta \left(\frac{\cos\theta}{sAx} - \frac{\sin\theta}{sAy} \nu_s \right)$$

$$C2 = H \cdot \sin\theta \left(\frac{\sin\theta}{sAy} - \frac{\cos\theta}{sAx} \nu_s \right)$$

ここで、

Q_c : コンクリートの受け持つせん断力(N)

δ : 水平変位(mm)

γ : せん断ひずみ度

E_c' : コンクリートのひび割れを考慮したヤング係数で、コンクリートのヤング係数に 0.7 を乗じた値を用いる。(N/mm²)

E_s : 鋼材のヤング係数(N/mm²)

t_c : コンクリート板厚(mm)

ν_c : コンクリートのポアソン比

ν_s : 鋼材のポアソン比

L : 隔壁の間隔(mm)

H : 隔壁の高さ(mm)

sAy : 鋼材の水平断面の断面積(mm²)

sAx : 鋼材の鉛直断面の断面積(mm²)

θ : 圧縮ストラット角度 ($\theta = \tan^{-1}\left(\frac{H}{L}\right)$)

($\theta=45^\circ$ とした場合の評価式が SC 規程に例示されている。)

ここで、コンクリートの圧縮ストラット角度 θ は、ペデスタルのたてリブ鋼板（隔壁）で分断された区画ごとに等価矩形断面に置換し、実際の構造に合わせた値を設定する。

上部ペデスタルのコンクリートの圧縮ストラット角度 θ は、水平隔壁が設置されている層を考慮し、RPV 支持点上部（2 層（質点番号 10～11, 9～10））、RPV 支持点下部（1 層（質点番号 8～9））及びベント取入孔部（1 層（質点番号 7～8））に分けて、たてリブ及び円筒鋼板に囲まれた各々の隔壁及び隔壁に囲まれたコンクリートを一つの SC 構造体として、その寸法（隔壁の高さ及び間隔）の対角線にコンクリートひび割れが発生すると仮定し、コンクリートの圧縮ストラット角度 θ を設定する。

各々の θ を用いて K_β （ひび割れ後の鋼板による拘束効果を考慮したコンクリートの有効せん断剛性）を算出し、それぞれ足し合わせることで上記の各層の K_β を算出し、上に示した SC 規程式に代入し、 Q_2 、 γ_2 を求める。

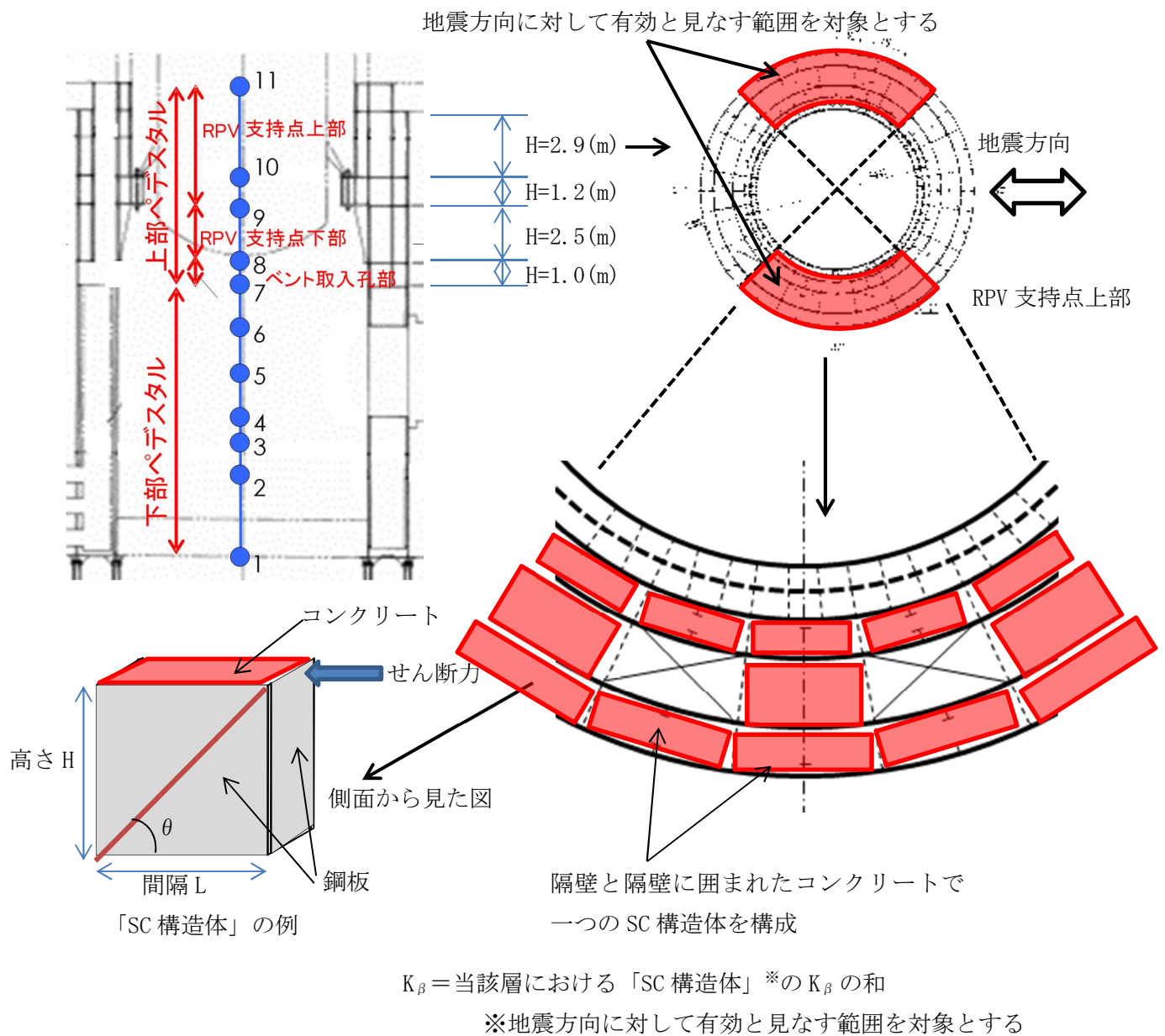


図 5.3(3)-4 上部ペデスタルの隔壁構造の概念図 (RPV 支持点上部を例示)

表 5.3(3)-2 セン断に対する実機上部ペデスタルの構造を踏まえた評価式

変形特性		SC 規程	構造特性を踏まえた 評価式	RPV ペデスタル固有の 構造特性を反映した 点
せん断 変形	第 1 折点	$Q_1 = (A_c + (G_s/G_c) \cdot A_s) \cdot \tau_{cr}$ $\gamma_1 = \tau_{cr}/G_c$	同左 (構造特性の反映無し)	
		ただし, $\tau_{cr} = \sqrt{0.31\sqrt{\sigma_B} \cdot (0.31\sqrt{\sigma_B} + \sigma_v)}$	同左 (構造特性の反映無し)	
	第 2 折点	$Q_2 = \frac{(K_\alpha + K_\beta)}{\sqrt{(3K_\alpha^2 + K_\beta^2)}} \cdot A_s \cdot \sigma_y$ $\gamma_2 = \frac{Q_2}{(K_\alpha + K_\beta)}$ ただし, $K_\alpha = A_s \cdot G_s$	同左 (構造特性の反映無し)	
		$K_\beta = \frac{1}{\frac{4}{(A_c \cdot E_c')} + \frac{2(1-\nu_s)}{(A_s \cdot E_s)}}$	K_β : SC 規程の附属書 2.1 解説を参考に設定	上部ペデスタルのコンクリートの圧縮ストラット角度 θ は, たてリブ及び円筒鋼板に囲まれた各々の隔壁及び隔壁に囲まれたコンクリートを一つの SC 構造体として, その寸法 (隔壁の高さ及び間隔) の対角線にコンクリートひび割れが発生すると仮定し, コンクリートの圧縮ストラット角度 θ を設定する。ベント管内蔵部は, たてリブ端部からベント管中心までの寸法を間隔 L として仮定する。 SC 規程の附属書 2.1 及び既往知見 ⁽³⁾ に示される理論式を用い, 実際の θ に合わせた値を設定した。

5.4 構造の特徴に応じた追加検討事項の妥当性

(1) 妥当性の確認対象

構造の特徴に応じた追加検討により復元力特性の評価式へ反映する事項の妥当性の確認は、既往の加力試験の結果を活用し行う。なお、追加検討事項のうち、水平鋼板のコンクリート打設孔については、単純に断面積の減少を反映しているのみであることから妥当性の確認は不要とする。

表 5.4(1) 追加検討事項の妥当性確認対象

RPV ペデスタルの構造の特徴		追加検討事項の妥当性確認	
		○：要 ×：不要	内容 (検証不要の場合はその理由)
共通	隔壁方式	○	構造を模擬した試験体の加力試験結果を用いて、以下に示す構造に応じた追加検討事項の妥当性を確認する。 ・せん断の第2折点を求める際の構造に応じたコンクリートひび割れ角度の仮定 ・せん断力に対して有効と見なす範囲を全断面の半分と仮定
	円筒型	○	
下部 ペデスタル	ベント管	○	・せん断の第1折点を求める際のコンクリートのせん断ひび割れ強度を0.5倍と仮定 ・曲げの第1折点を求める際、コンクリートの引張に対する抵抗を無視
	ベースプレート	○	
上部 ペデスタル	中間鋼板	×※1	※1：隔壁方式の構造の一部を成すものであるため、隔壁方式の妥当性確認に包絡される。
	水平鋼板	×※1	
	水平鋼板のコンクリート打設孔	×	断面積の減少を反映したものであり妥当性の確認は不要。

(2) 確認方法

追加検討事項を反映した復元力特性の評価式を用いて作成した既往の試験体の荷重－変位特性と、試験で実測された試験体の荷重－変位特性の整合性を確認することにより、追加検討事項の妥当性を判断する。(スケルトンカーブの作成方法，荷重－変位特性の作成方法は，それぞれ添付資料-3, 4 参照)

既往の加力試験結果を用いた妥当性の確認が必要な構造は，下部ペDESTALの構造が該当することから，参照する既往の加力試験は，下部ペDESTALの構造を適切に模擬したものとする。(表 5.4(2)，図 5.4(2)，加力試験の内容は添付資料-5 参照)

表 5.4(2) RPV ペDESTALと試験体の構造の比較

RPV ペDESTALの構造の特徴		追加検討事項の妥当性確認の要否 (表 5.4(1)再掲)	実機と試験体の差異	
		○：対象 ×：対象外	○：差異なし ×：差異あり	差異ありの理由
共通	隔壁方式	○	○	—
	円筒型	○	○	—
下部 ペDESTAL※	ベント管	○	○	—
	ベースプレート	○	○	—

※ RPV ペDESTAL及び試験体ともにアンカー方式を採用している。

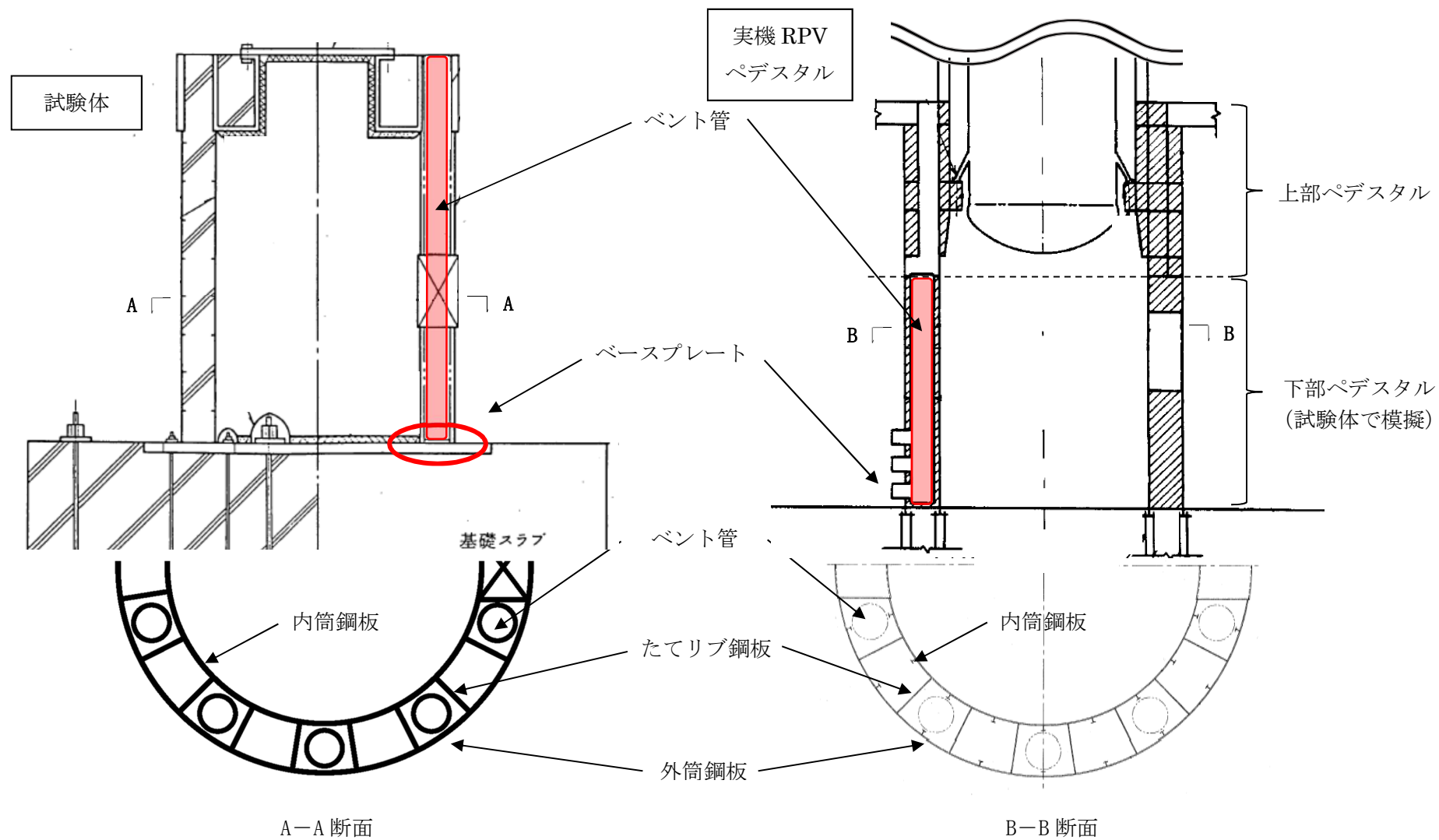


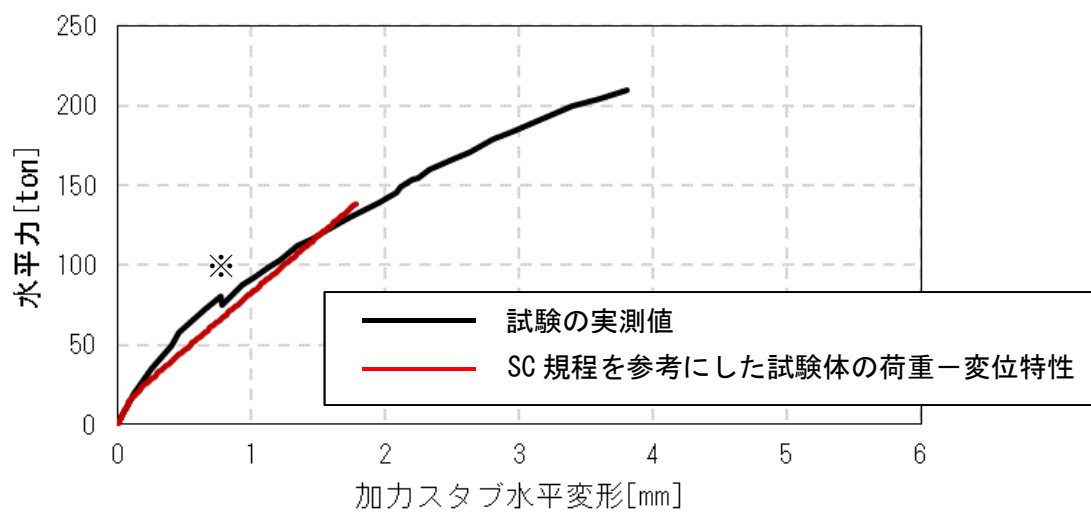
図 5.4(2) 試験体と実機 RPV ペデスタルの構造

(3) 確認結果

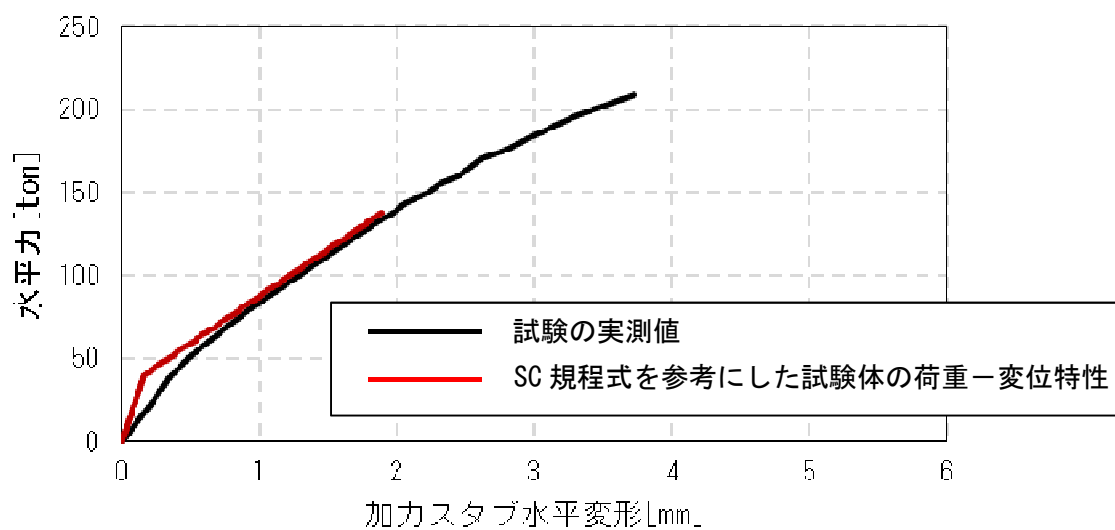
5.3 項で設定した SC 規程式を参考にした試験体の曲げ及びせん断のスケルトンカーブを用いた荷重－変位特性を作成し，試験で実測された荷重－変位特性との比較を行った結果を図 5.4(3)に示す。

今回適用範囲としている鋼板降伏までの範囲において，SC 規程式を参考にした試験体の荷重－変位特性は試験結果とよく一致していることから，SC 規程の評価式に対し，RPV ペデスタルの構造の特徴を踏まえて追加検討して設定した以下の仮定の妥当性を確認した。

- ・ ベント管による開口に対する評価上の仮定
(せん断の第 1 折点を求める際のコンクリートのせん断ひび割れ強度を 0.5 倍と仮定)
- ・ 複雑な形状によるコンクリートの不連続部に対する評価上の仮定
(曲げの第 1 折点を求める際，コンクリートの引張に対する抵抗を無視)
- ・ せん断力に対して有効と見なす範囲を全断面の半分と仮定
- ・ せん断の第 2 折点を求める際の構造に応じたコンクリートひび割れ角度の仮定
(鋼板に囲まれたコンクリートの対角上にひび割れが発生すると仮定。ベント管内蔵部については，コンクリート断面が最も小さい箇所を起点としてひび割れが発生すると仮定)

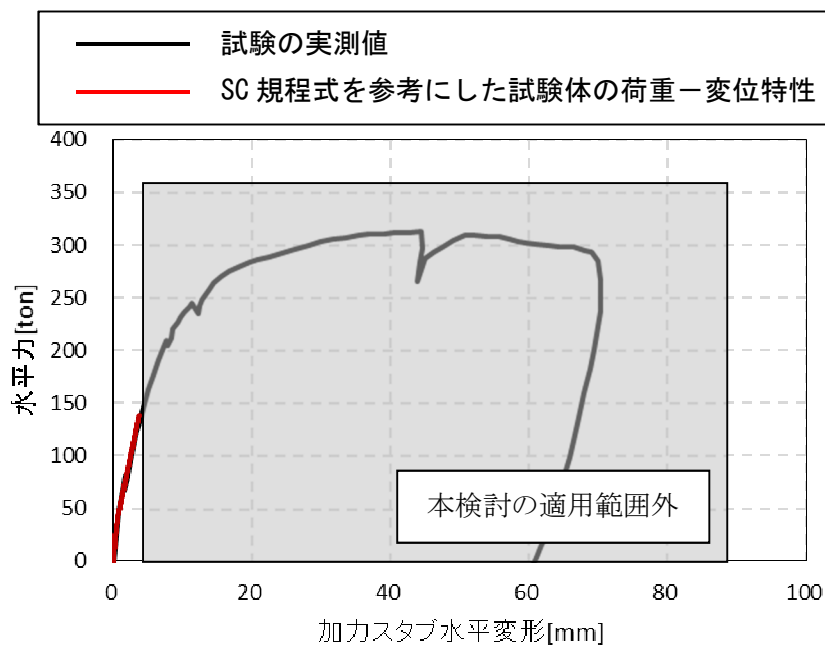


(a) 曲げ変形の比較

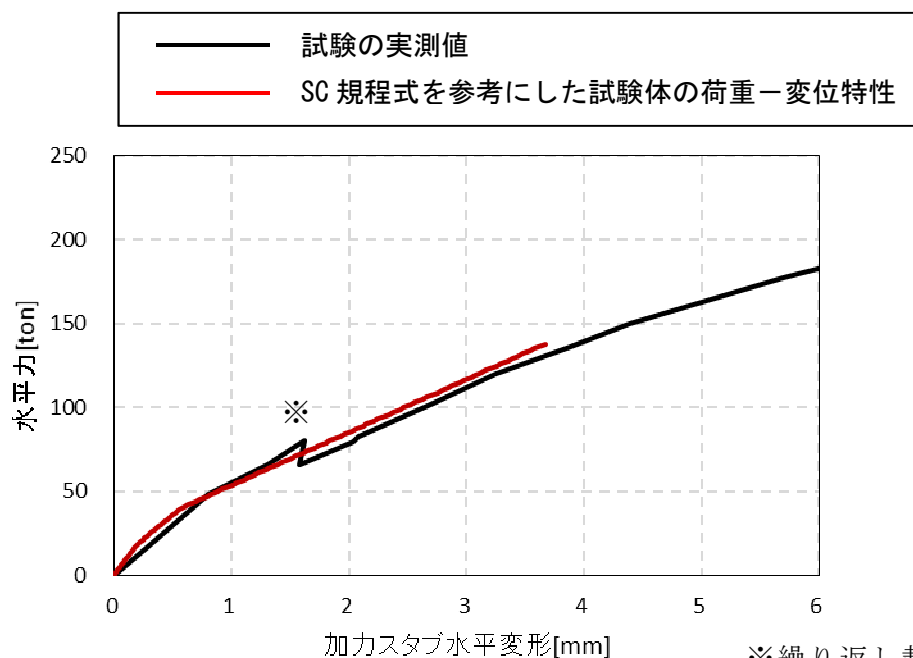


(b) せん断変形の比較

図 5.4(3) 荷重-変形関係の比較 (1 / 2)



(c) 荷重－変位関係の比較（試験結果全体での比較）



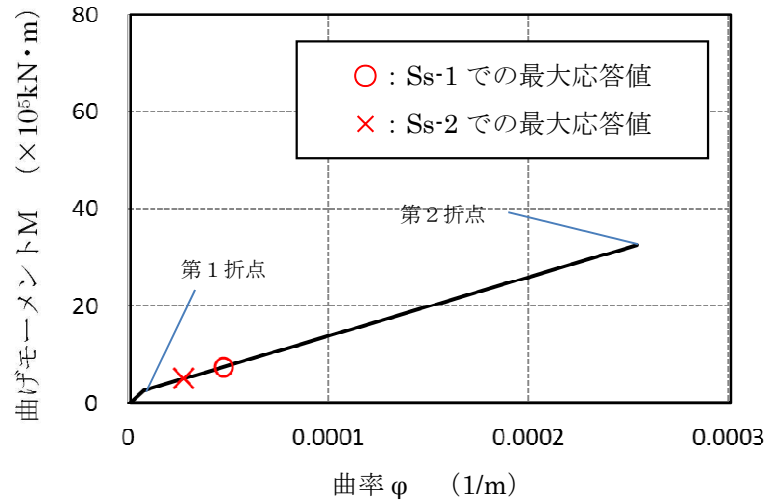
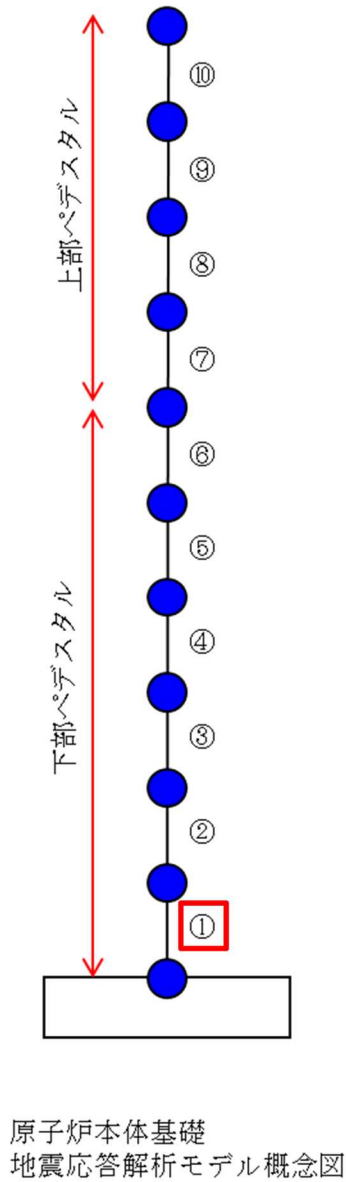
※繰り返し載荷した試験結果を包絡したことによる不連続点

図 5.4(3) 荷重-変形関係の比較（2 / 2）

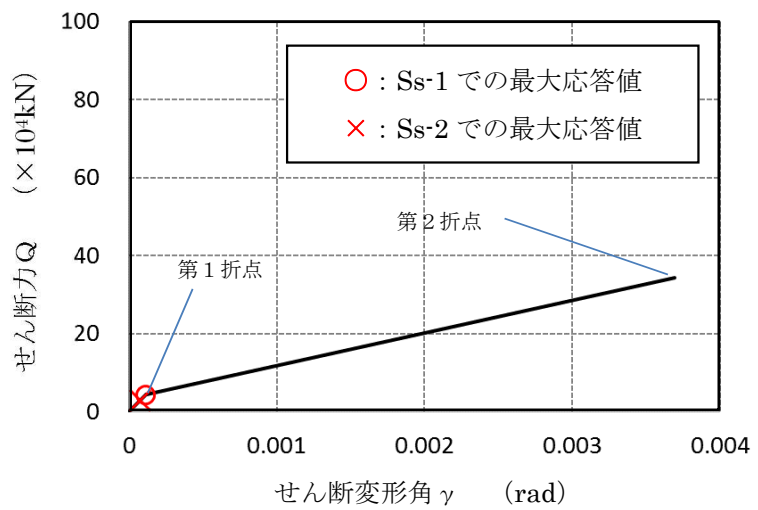
6 スケルトンカーブの作成

5 項で妥当性が確認された方法に基づき, RPV ペデスタルのスケルトンカーブを作成した。RPV ペデスタルの各要素に対する曲げ変形及びせん断変形に対するスケルトンカーブに, 暫定条件を用いて Ss-1, 2 による地震応答解析を実施した際の応答レベルをプロットしたものを図 6 に示す。(スケルトンカーブの導出過程は添付資料-3 参照)

要素①のスケルトンカーブ（N S方向）



(a) 曲げモーメントー曲率関係

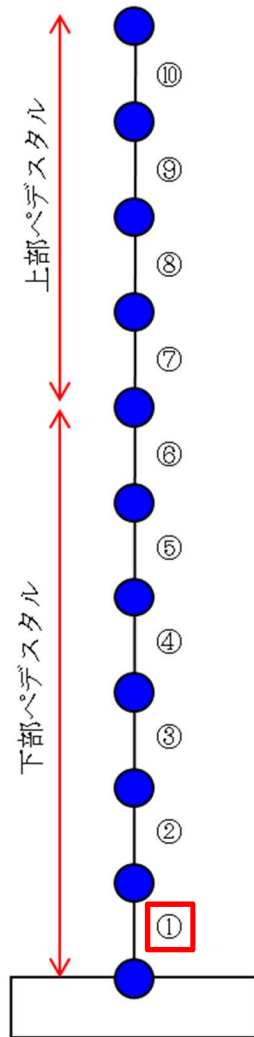


(b) せん断力ーせん断変形角関係

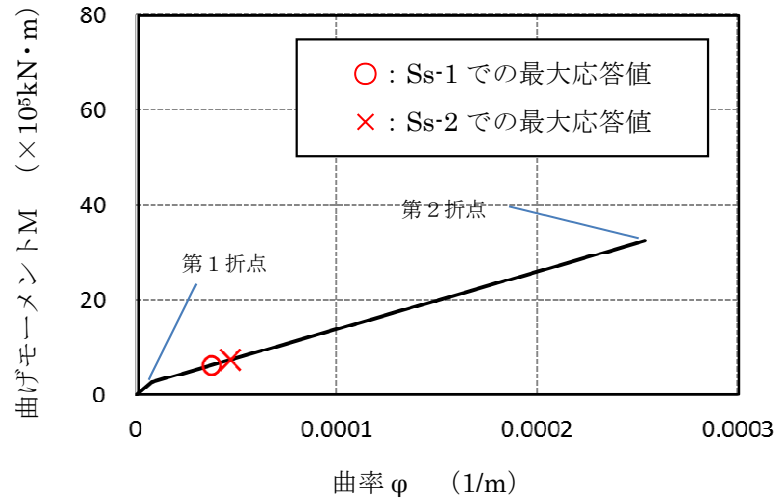
※暫定条件に基づく概算値

図6 SC規程を参考にしたRPVペデスタルのスケルトンカーブ（1／20）
（鋼板降伏点である第2折点までを算定）

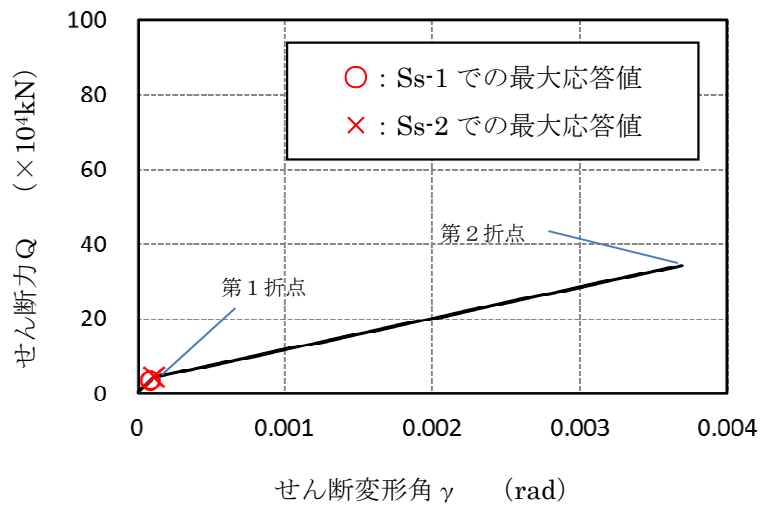
要素①のスケルトンカーブ（E W方向）



原子炉本体基礎
地震応答解析モデル概念図



(a) 曲げモーメントー曲率関係

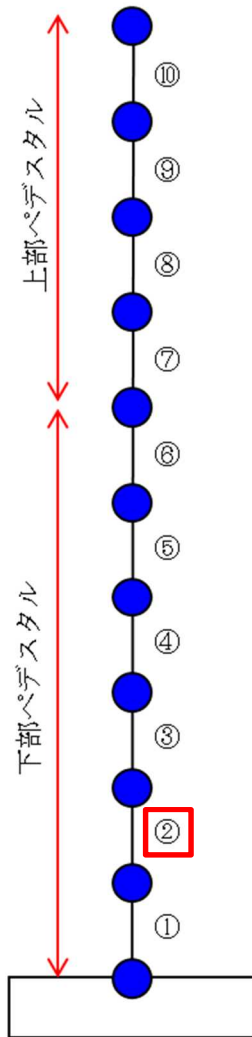


(b) せん断力ーせん断変形角関係

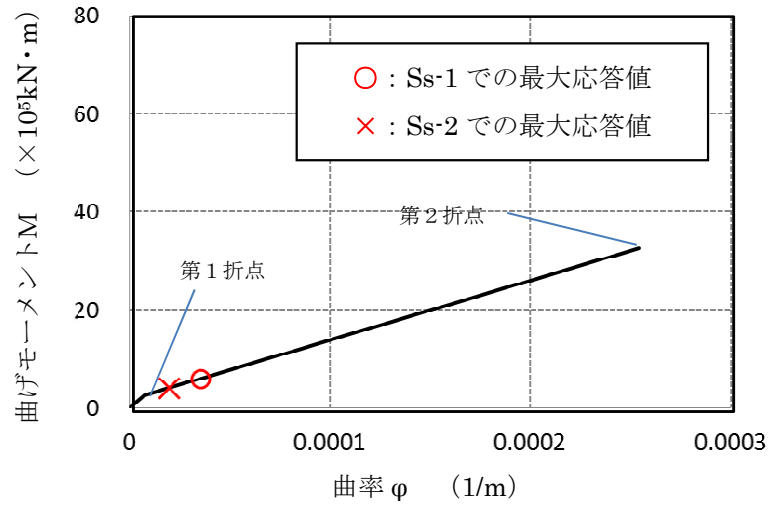
※暫定条件に基づく概算値

図6 SC規程を参考にしたRPVペデスタルのスケルトンカーブ（2／20）
（鋼板降伏点である第2折点までを算定）

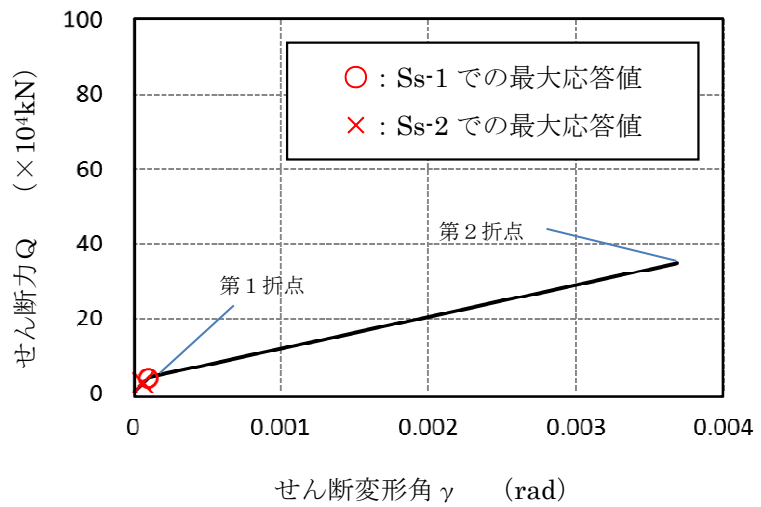
要素②のスケルトンカーブ（N S 方向）



原子炉本体基礎
地震応答解析モデル概念図



(a) 曲げモーメントー曲率関係

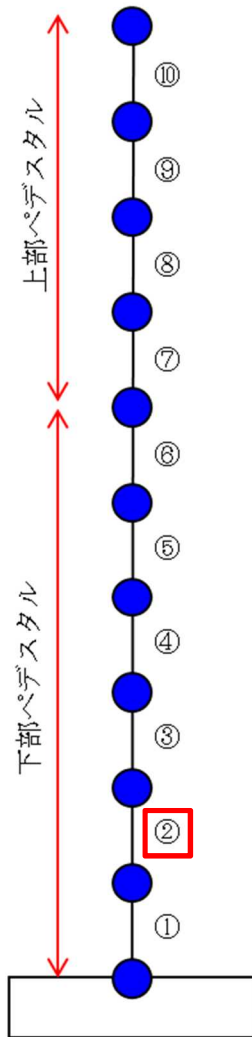


(b) せん断力ーせん断変形角関係

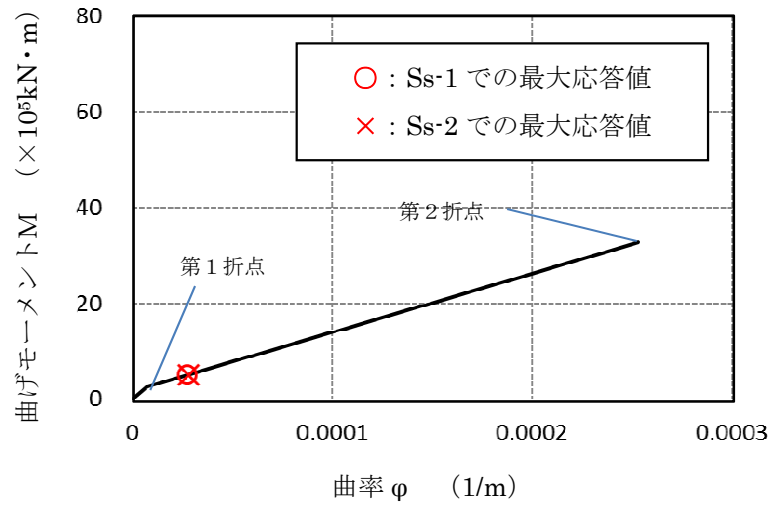
※暫定条件に基づく概算値

図6 SC 規程を参考にした RPV ペデスタルのスケルトンカーブ（3／20）
（鋼板降伏点である第2折点までを算定）

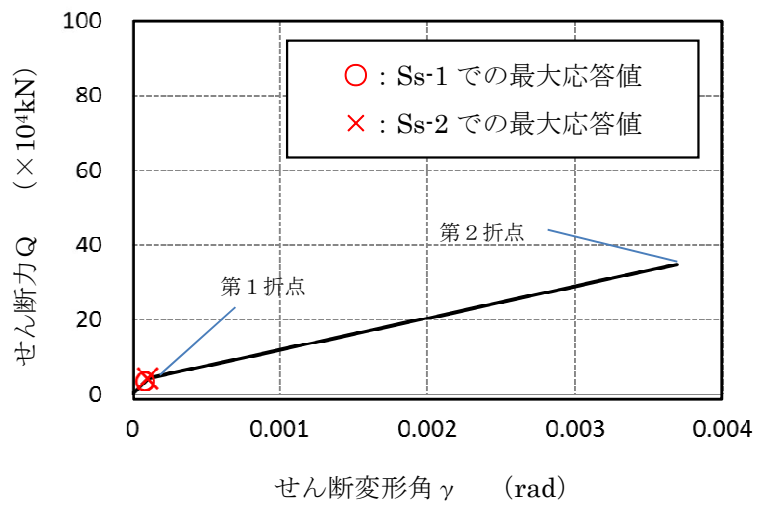
要素②のスケルトンカーブ（EW方向）



原子炉本体基礎
地震応答解析モデル概念図



(a) 曲げモーメントー曲率関係

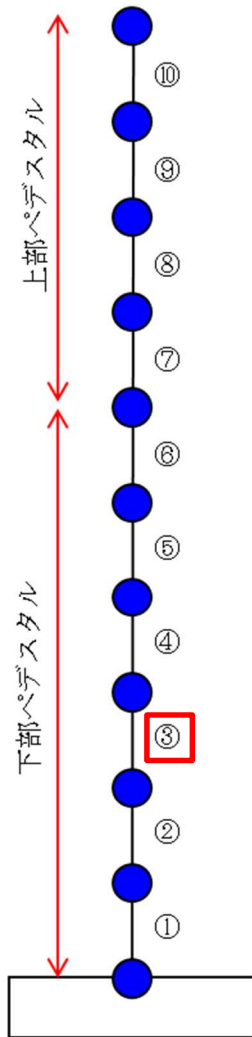


(b) せん断力ーせん断変形角関係

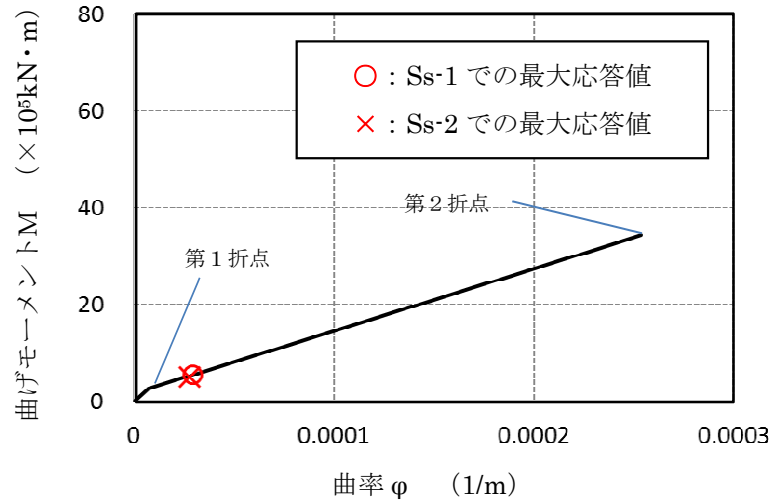
※暫定条件に基づく概算値

図6 SC規程を参考にしたRPVペデスタルのスケルトンカーブ（4／20）
（鋼板降伏点である第2折点までを算定）

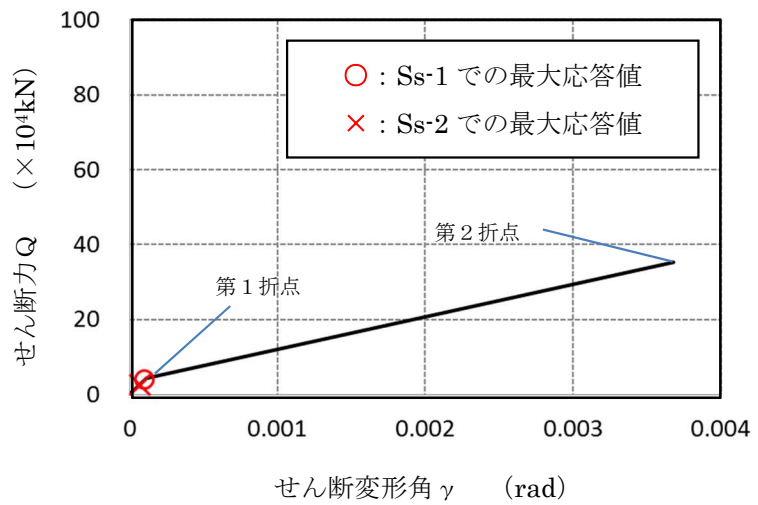
要素③のスケルトンカーブ（N S方向）



原子炉本体基礎
地震応答解析モデル概念図



(a) 曲げモーメントー曲率関係

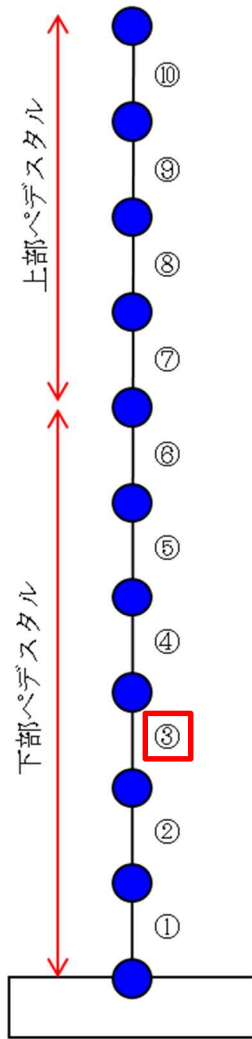


(b) せん断力ーせん断変形角関係

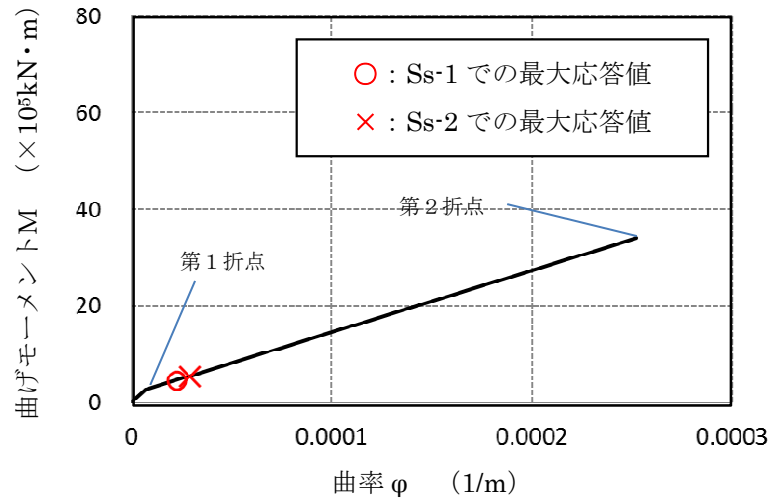
※暫定条件に基づく概算値

図6 SC規程を参考にしたRPVペDESTALのスケルトンカーブ（5／20）
（鋼板降伏点である第2折点までを算定）

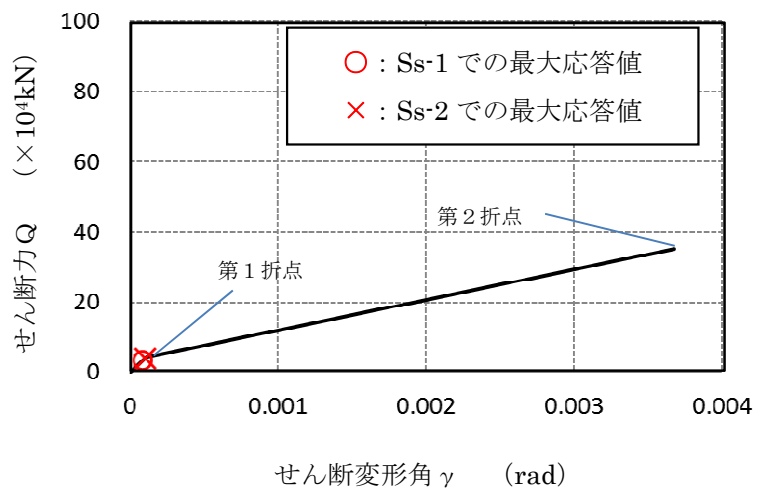
要素③のスケルトンカーブ（EW方向）



原子炉本体基礎
地震応答解析モデル概念図



(a) 曲げモーメントー曲率関係

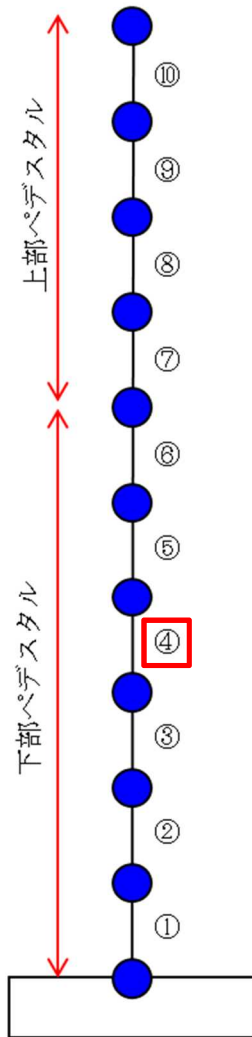


(b) せん断力ーせん断変形角関係

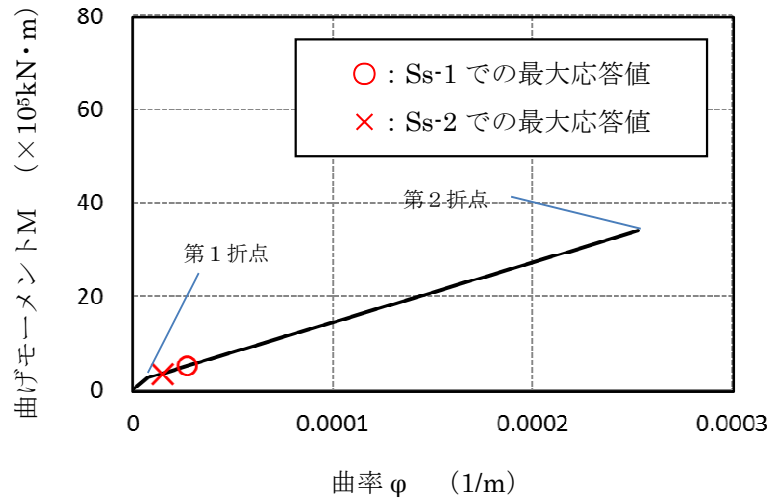
※暫定条件に基づく概算値

図6 SC規程を参考にしたRPVペDESTALのスケルトンカーブ（6／20）
（鋼板降伏点である第2折点までを算定）

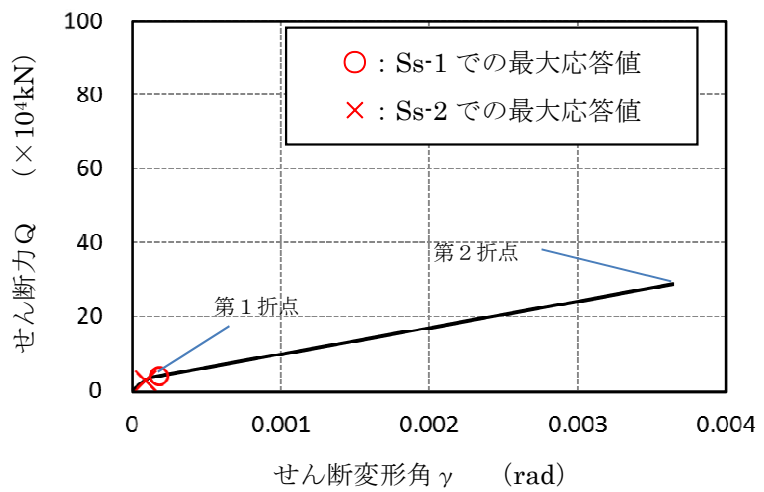
要素④のスケルトンカーブ（N S方向）



原子炉本体基礎
地震応答解析モデル概念図



(a) 曲げモーメントー曲率関係

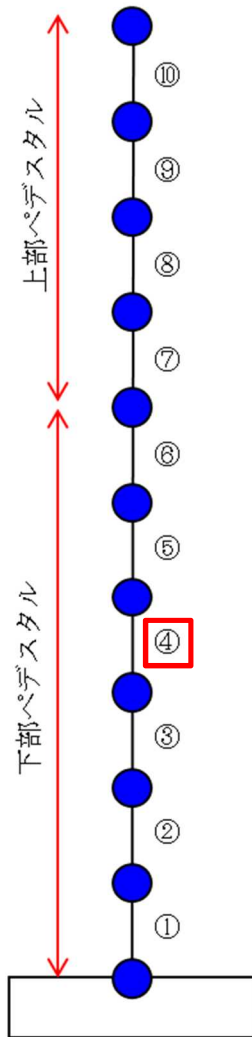


(b) せん断力ーせん断変形角関係

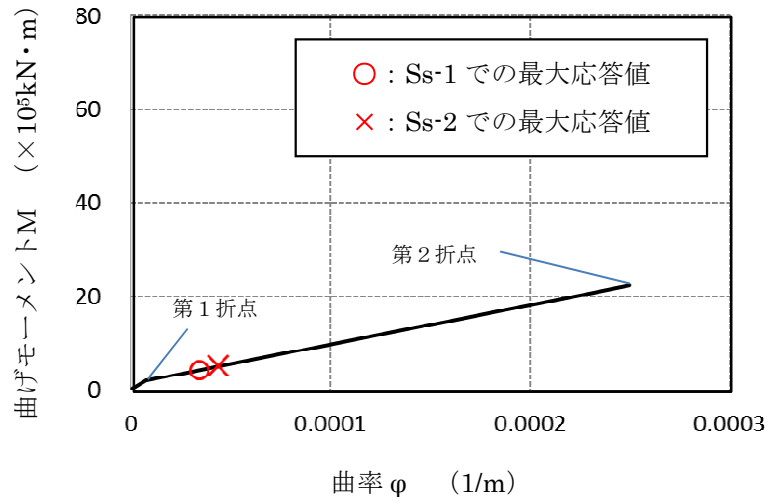
※暫定条件に基づく概算値

図6 SC規程を参考にしたRPVペデスタルのスケルトンカーブ（7/20）
（鋼板降伏点である第2折点までを算定）

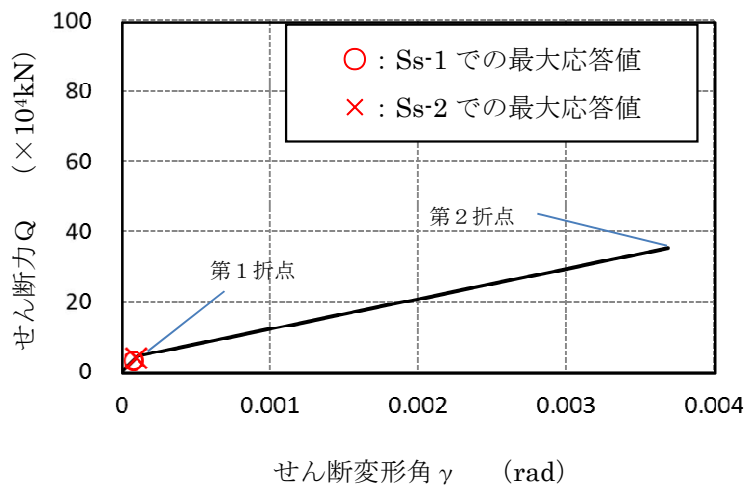
要素④のスケルトンカーブ（EW方向）



原子炉本体基礎
地震応答解析モデル概念図



(a) 曲げモーメントー曲率関係

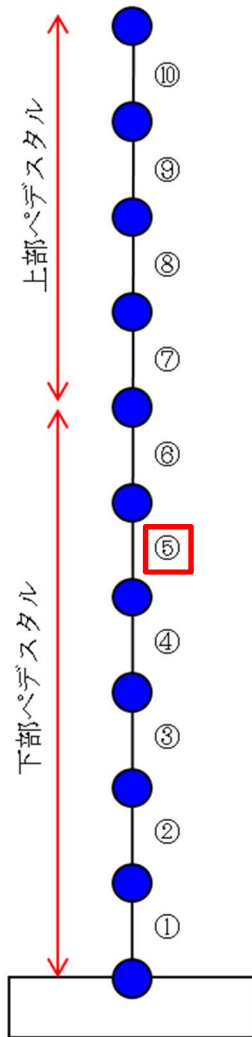


(b) せん断力ーせん断変形角関係

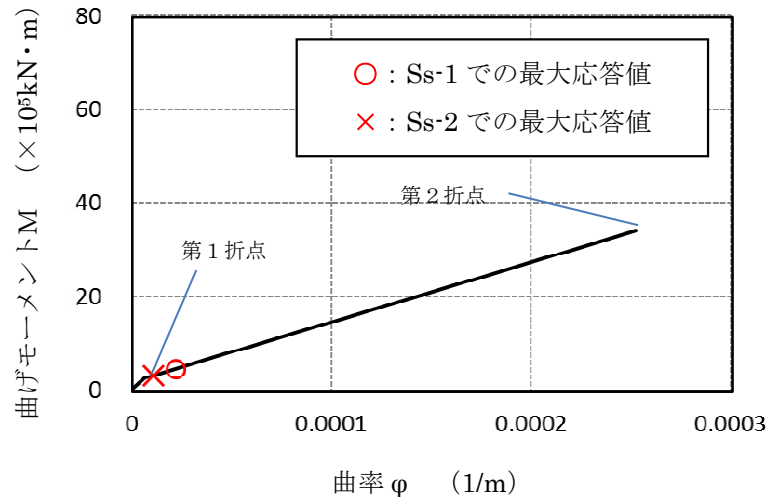
※暫定条件に基づく概算値

図6 SC規程を参考にしたRPVペデスタルのスケルトンカーブ（8／20）
（鋼板降伏点である第2折点までを算定）

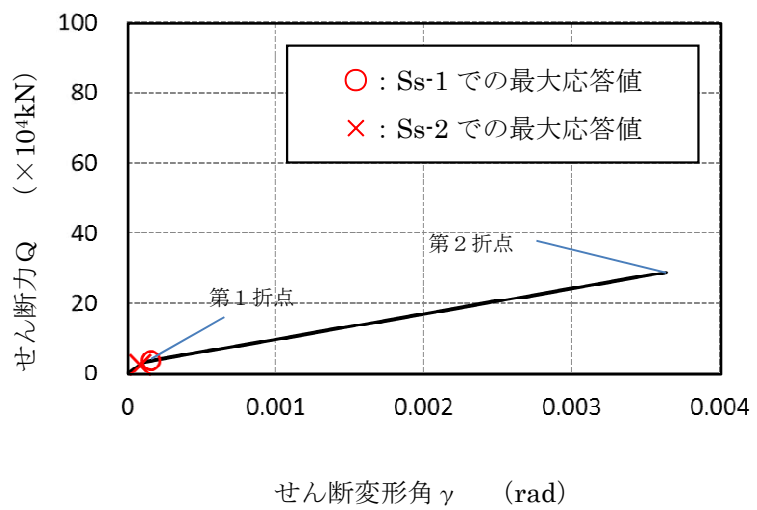
要素⑤のスケルトンカーブ（N S方向）



原子炉本体基礎
地震応答解析モデル概念図



(a) 曲げモーメントー曲率関係

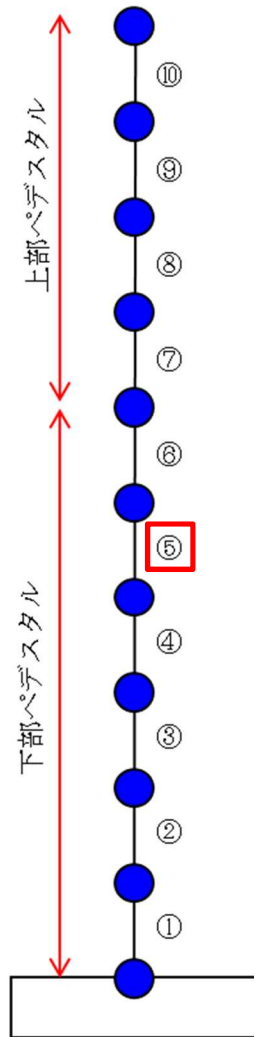


(b) せん断力ーせん断変形角関係

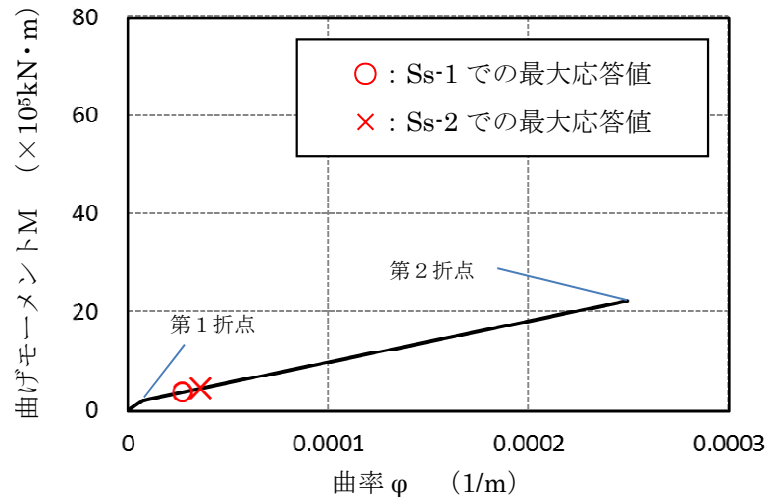
※暫定条件に基づく概算値

図6 SC 規程を参考にした RPV ペDESTアルのスケルトンカーブ（9 / 2 0）
（鋼板降伏点である第2折点までを算定）

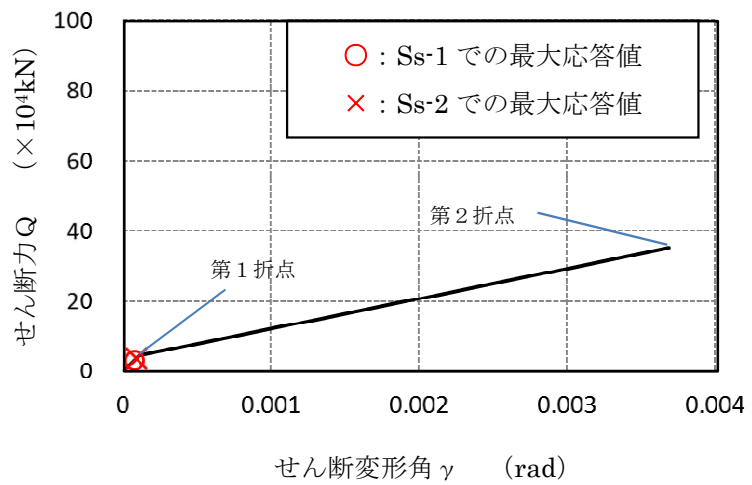
要素⑤のスケルトンカーブ（EW方向）



原子炉本体基礎
地震応答解析モデル概念図



(a) 曲げモーメントー曲率関係

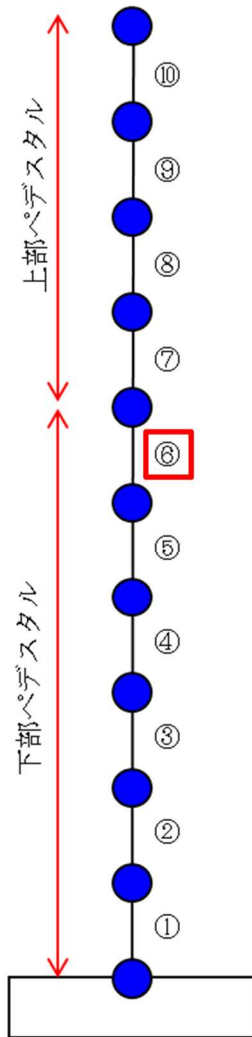


(b) せん断力ーせん断変形角関係

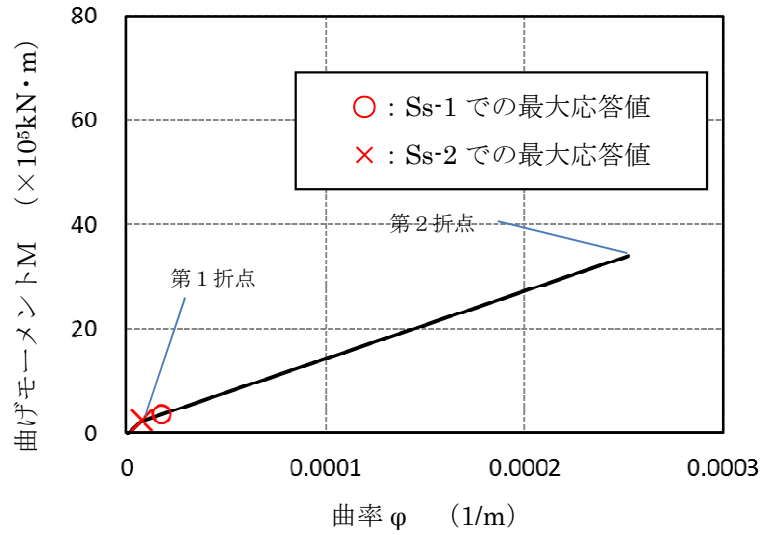
※暫定条件に基づく概算値

図6 SC規程を参考にしたRPVペDESTALのスケルトンカーブ（10／20）
（鋼板降伏点である第2折点までを算定）

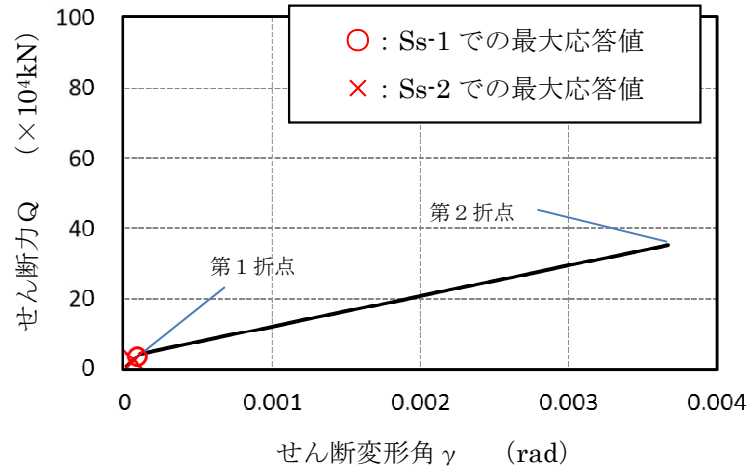
要素⑥のスケルトンカーブ（N S方向）



原子炉本体基礎
地震応答解析モデル概念図



(a) 曲げモーメントー曲率関係

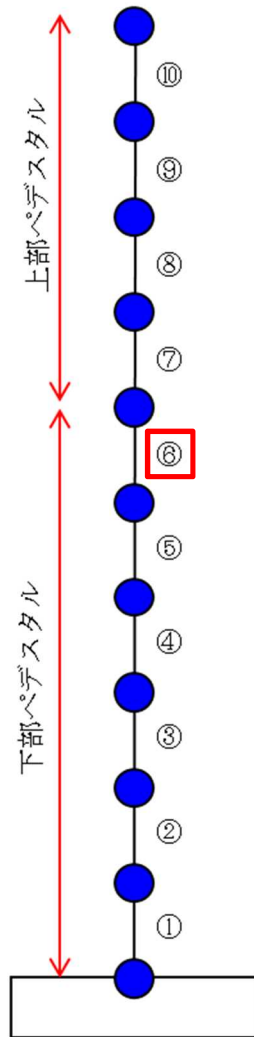


(b) せん断力ーせん断変形角関係

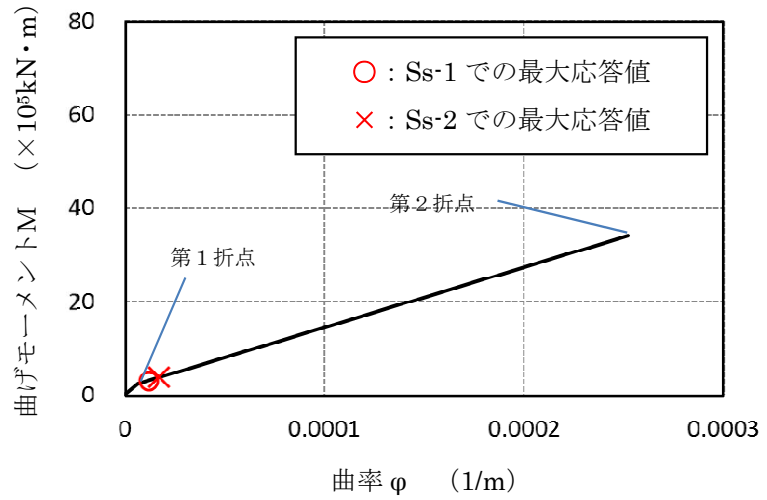
※暫定条件に基づく概算値

図6 SC規程を参考にしたRPVペDESTALのスケルトンカーブ（11／20）
（鋼板降伏点である第2折点までを算定）

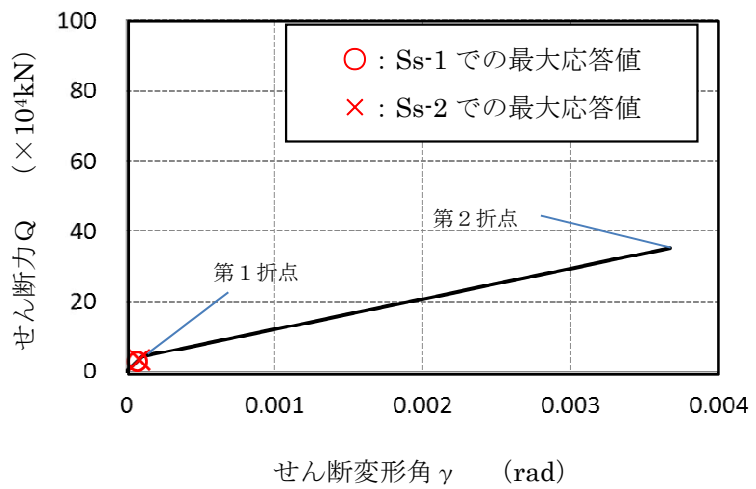
要素⑥のスケルトンカーブ（EW方向）



原子炉本体基礎
地震応答解析モデル概念図



(a) 曲げモーメントー曲率関係

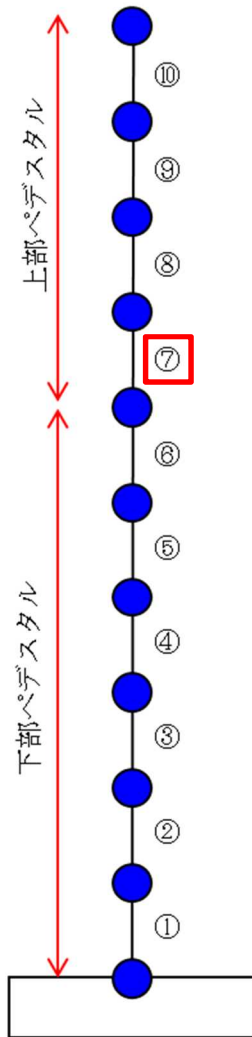


(b) せん断力ーせん断変形角関係

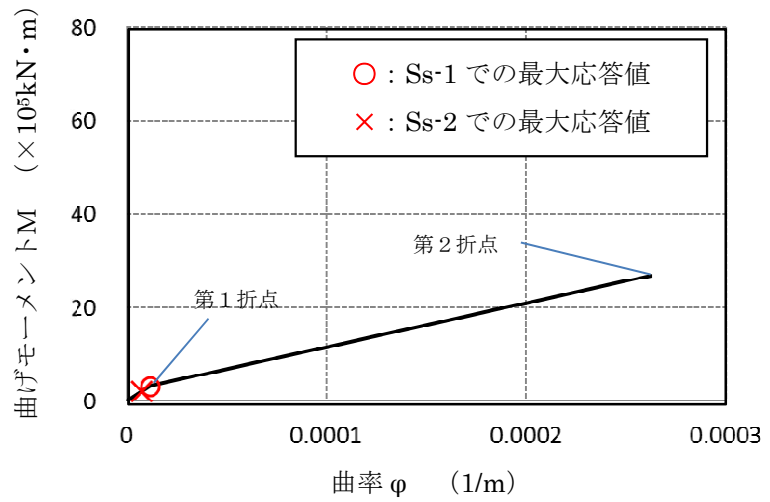
※暫定条件に基づく概算値

図6 SC規程を参考にしたRPVペDESTALのスケルトンカーブ（12/20）
（鋼板降伏点である第2折点までを算定）

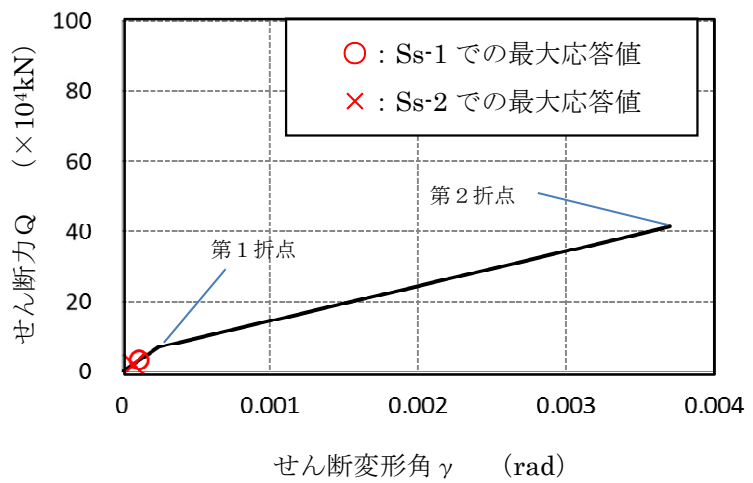
要素⑦のスケルトンカーブ（N S方向）



原子炉本体基礎
地震応答解析モデル概念図



(a) 曲げモーメントー曲率関係

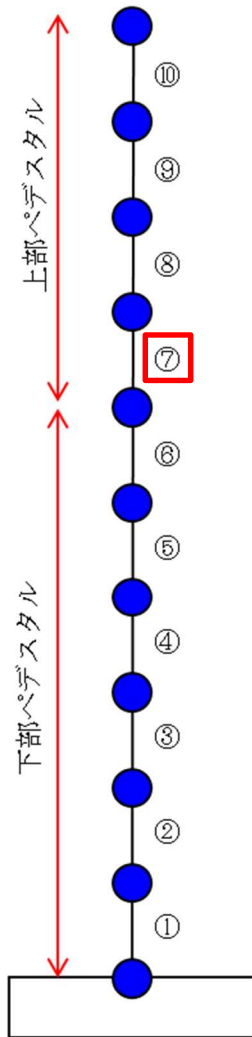


(b) せん断力ーせん断変形角関係

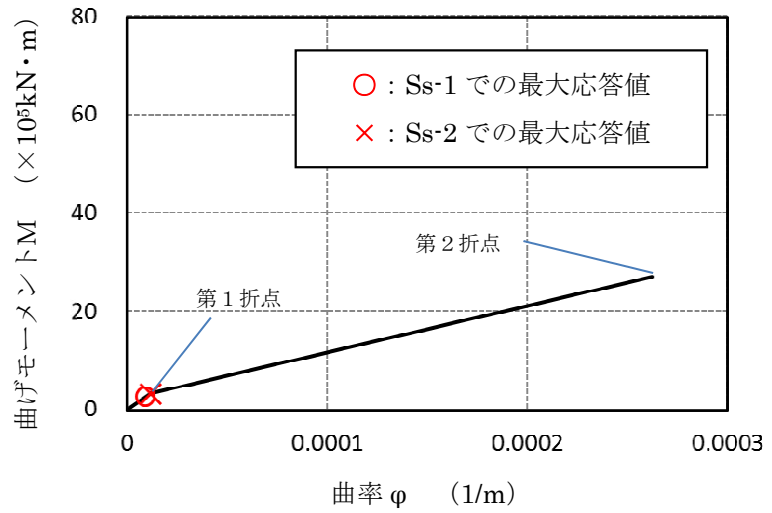
※暫定条件に基づく概算値

図6 SC規程を参考にしたRPVペDESTALのスケルトンカーブ（13／20）
（鋼板降伏点である第2折点までを算定）

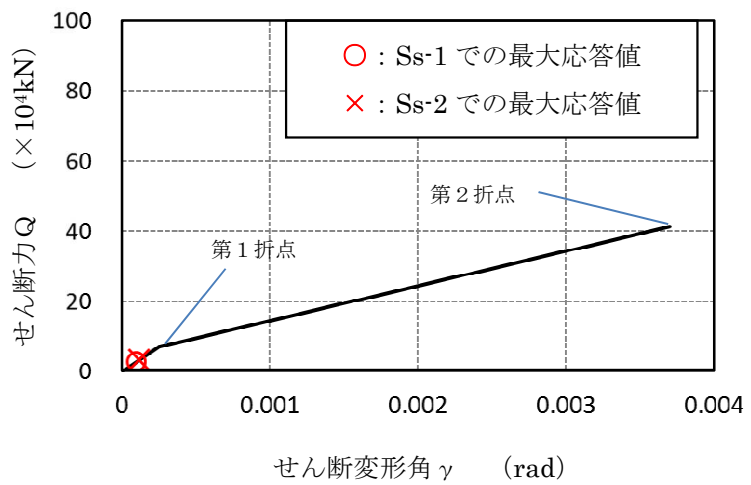
要素⑦のスケルトンカーブ（EW方向）



原子炉本体基礎
地震応答解析モデル概念図



(a) 曲げモーメントー曲率関係

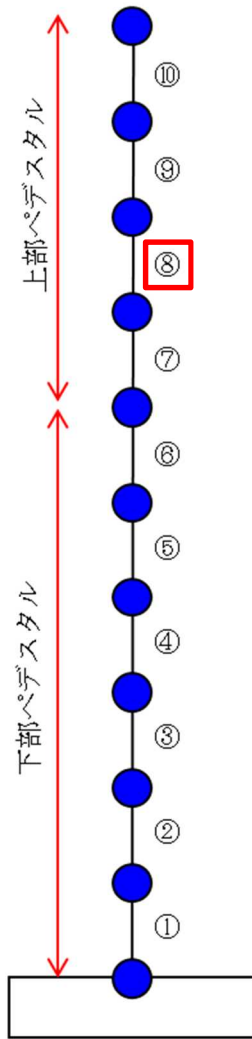


(b) せん断力ーせん断変形角関係

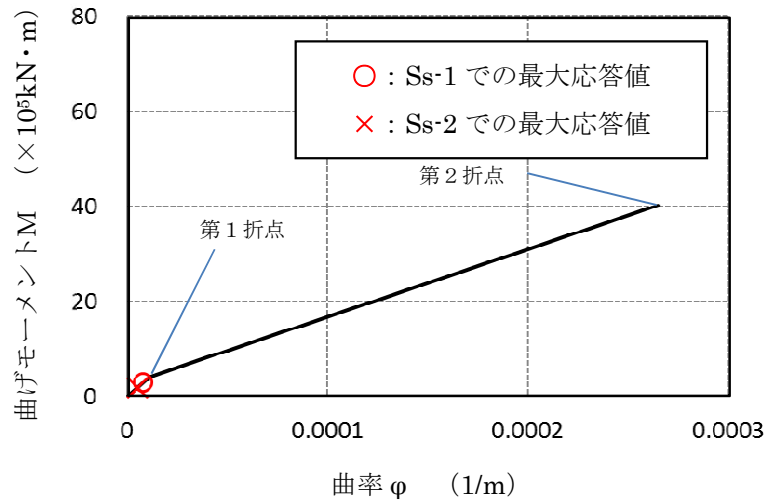
※暫定条件に基づく概算値

図6 SC規程を参考にしたRPVペDESTALのスケルトンカーブ（14／20）
（鋼板降伏点である第2折点までを算定）

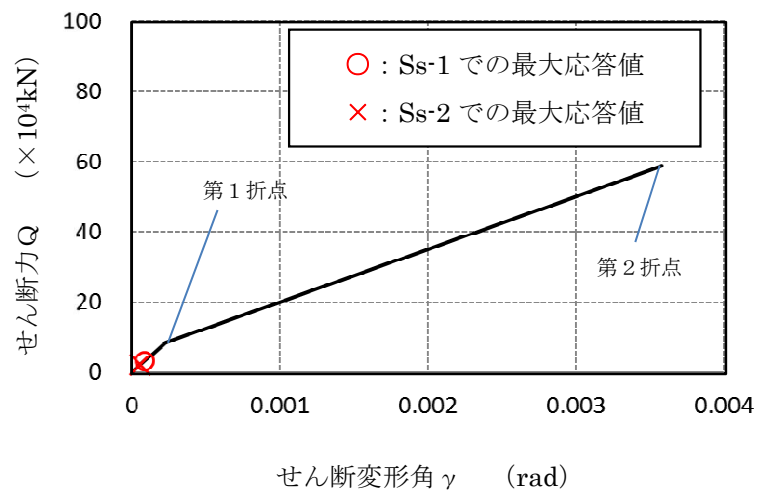
要素⑧のスケルトンカーブ（N S方向）



原子炉本体基礎
地震応答解析モデル概念図



(a) 曲げモーメントー曲率関係

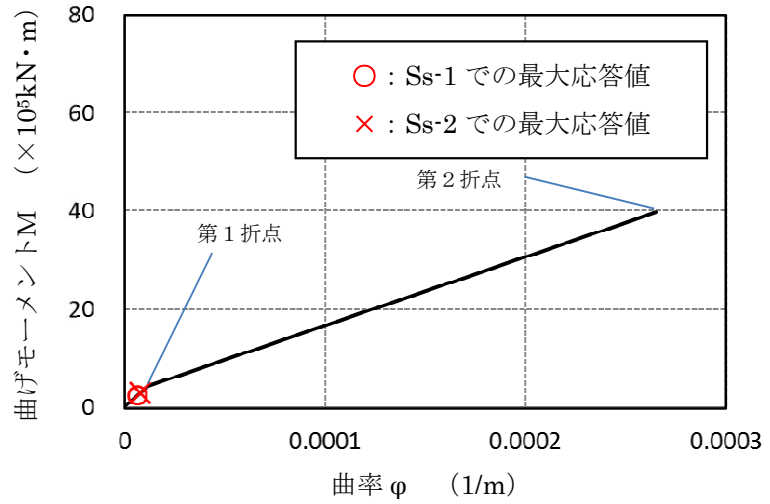
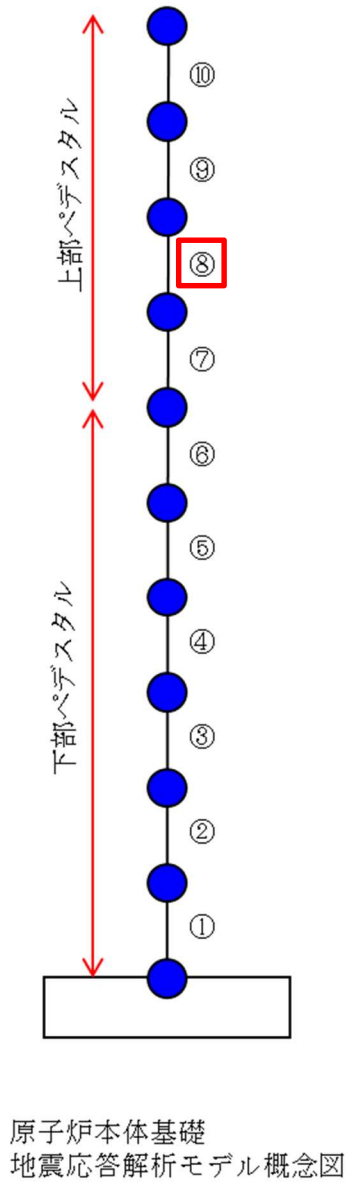


(b) せん断力ーせん断変形角関係

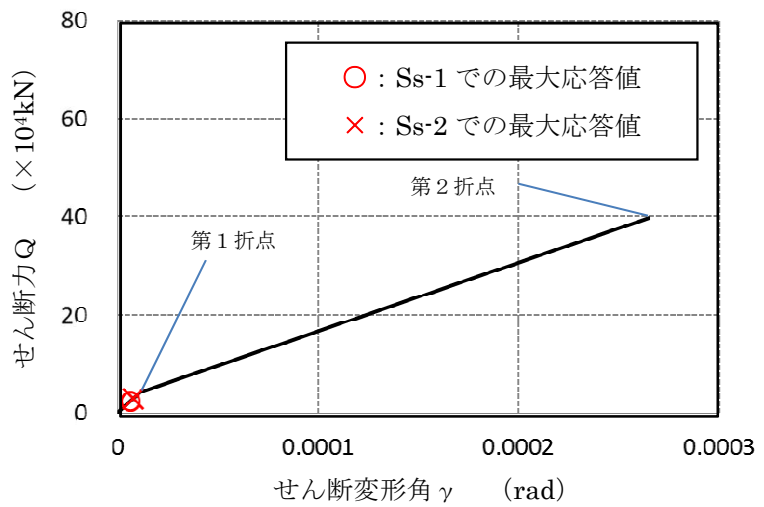
※暫定条件に基づく概算値

図6 SC規程を参考にしたRPVペDESTALのスケルトンカーブ（15／20）
（鋼板降伏点である第2折点までを算定）

要素⑧のスケルトンカーブ（EW方向）



(a) 曲げモーメントー曲率関係

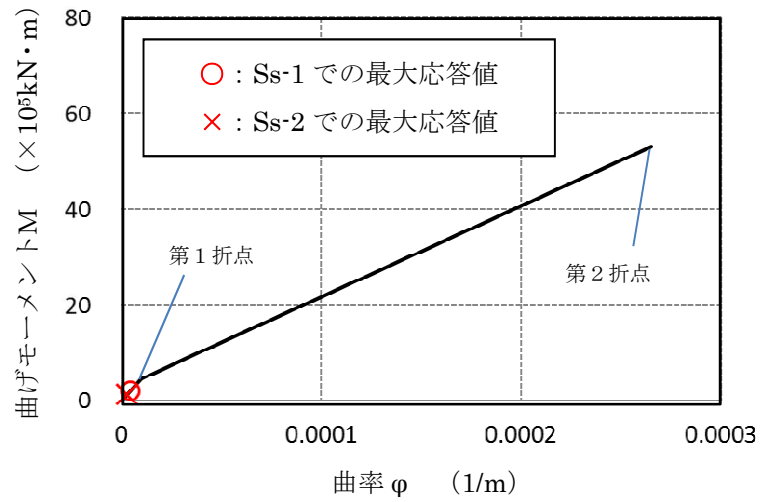
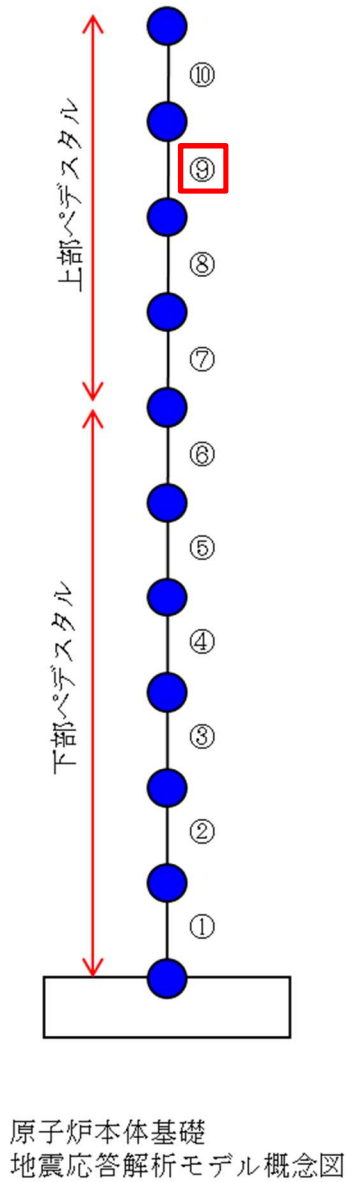


(b) せん断力ーせん断変形角関係

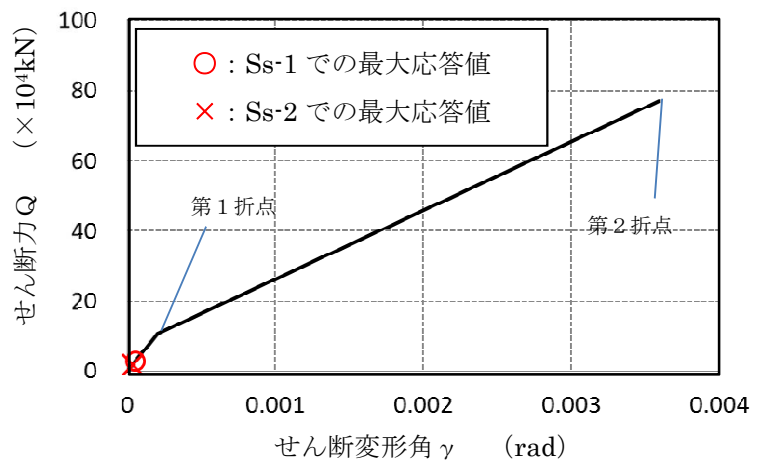
※暫定条件に基づく概算値

図6 SC規程を参考にしたRPVペDESTアルのスケルトンカーブ（16／20）
（鋼板降伏点である第2折点までを算定）

要素⑨のスケルトンカーブ（N S方向）



(a) 曲げモーメントー曲率関係

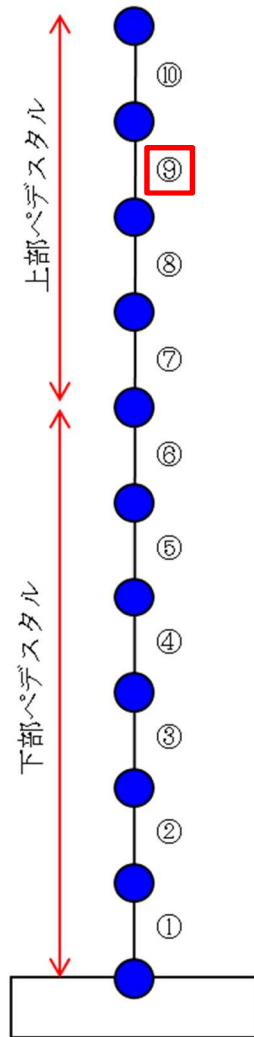


(b) せん断力ーせん断変形角関係

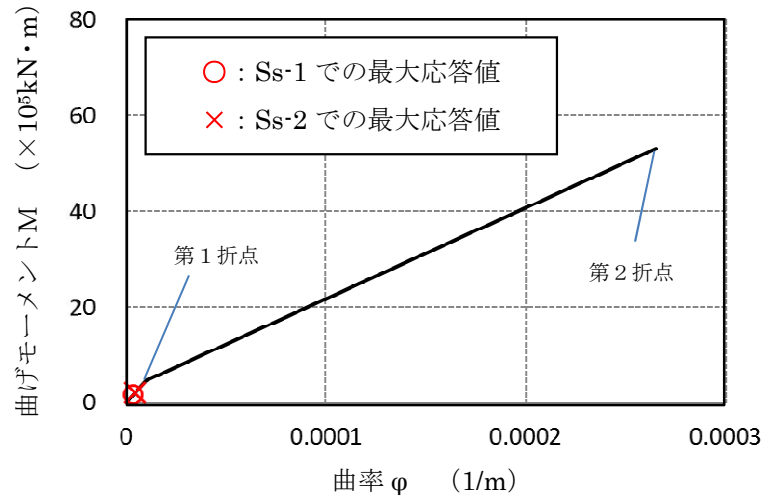
※暫定条件に基づく概算値

図6 SC規程を参考にしたRPVペデスタルのスケルトンカーブ（17/20）
（鋼板降伏点である第2折点までを算定）

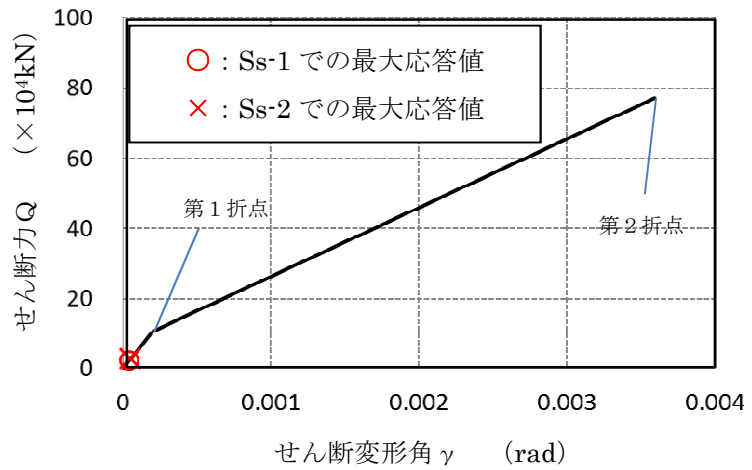
要素⑨のスケルトンカーブ（EW方向）



原子炉本体基礎
地震応答解析モデル概念図



(a) 曲げモーメントー曲率関係

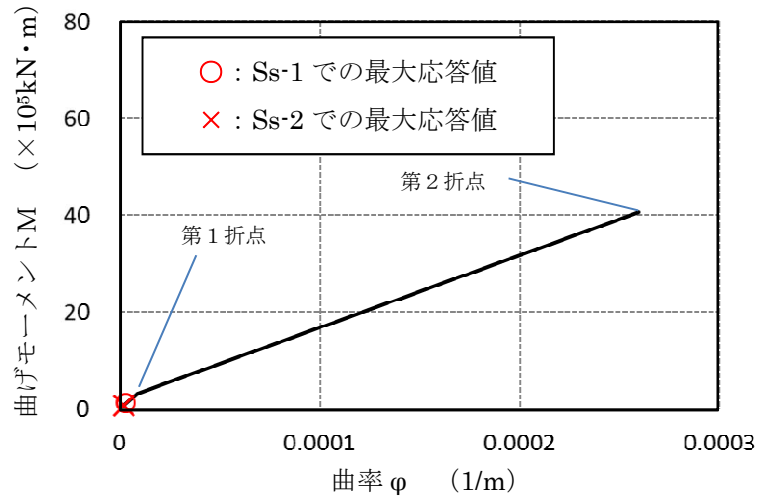
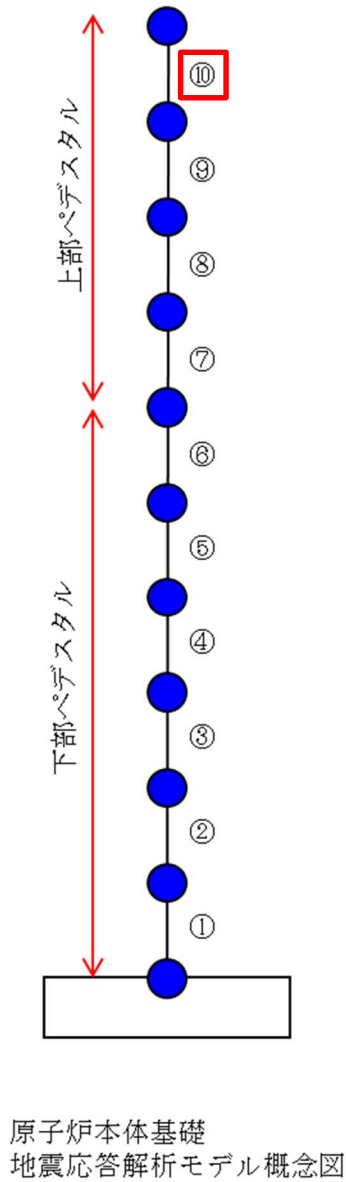


(b) せん断力ーせん断変形角関係

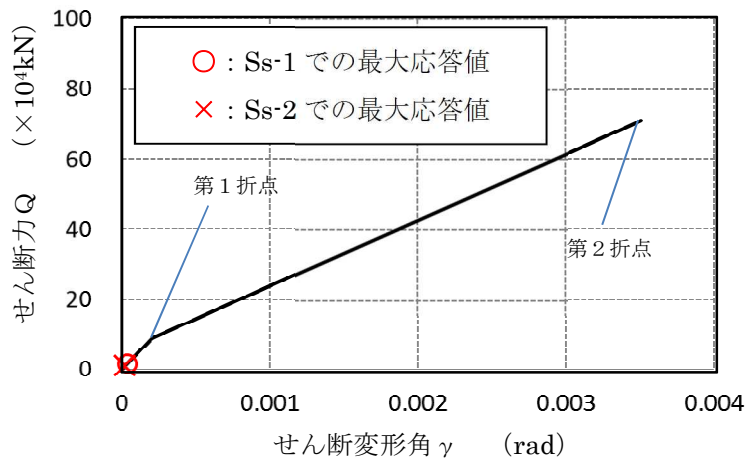
※暫定条件に基づく概算値

図6 SC規程を参考にしたRPVペDESTALのスケルトンカーブ（18／20）
（鋼板降伏点である第2折点までを算定）

要素⑩のスケルトンカーブ（N S方向）



(a) 曲げモーメントー曲率関係

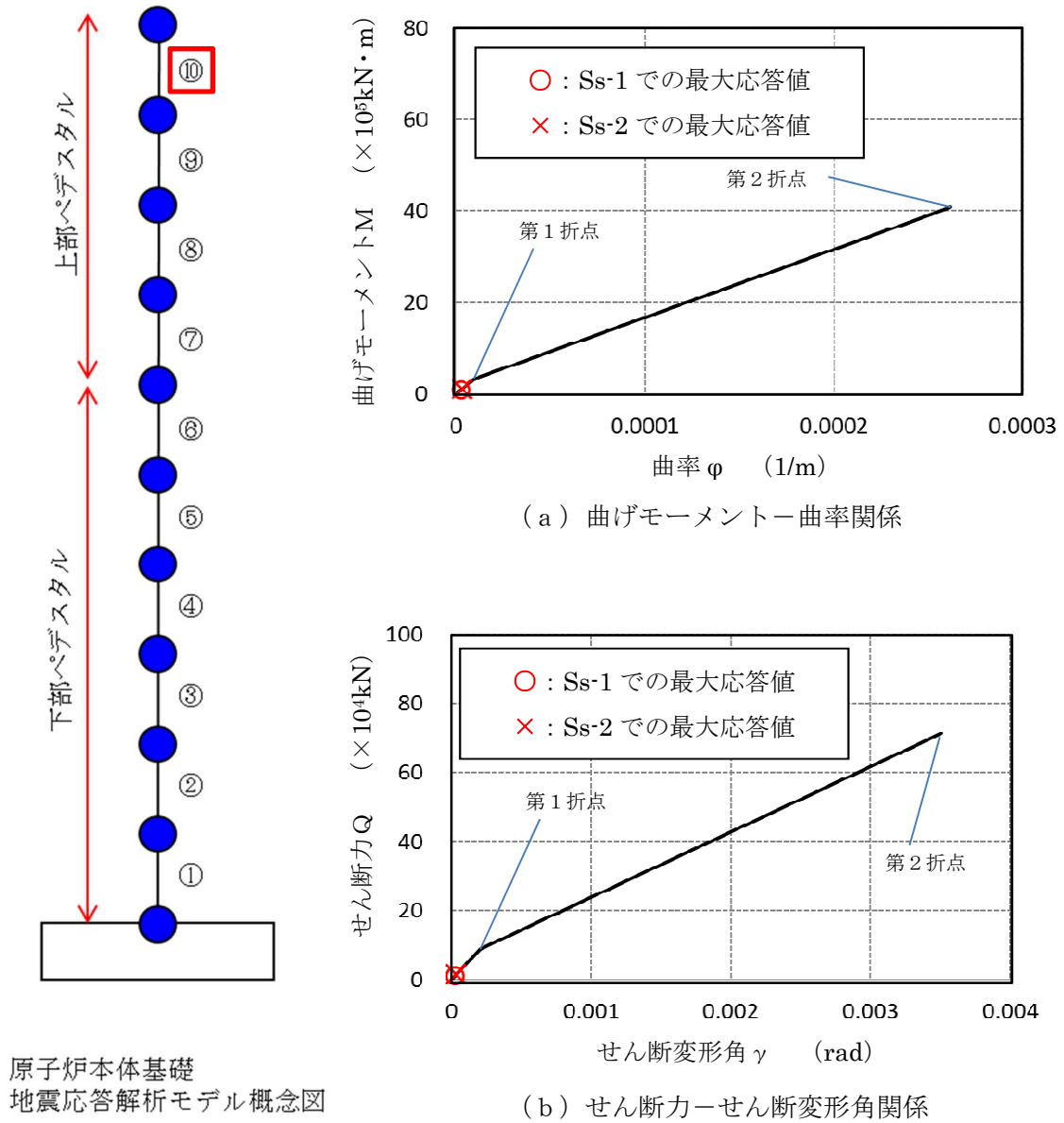


(b) せん断力ーせん断変形角関係

※暫定条件に基づく概算値

図6 SC規程を参考にしたRPVペDESTALのスケルトンカーブ（19／20）
（鋼板降伏点である第2折点までを算定）

要素⑩のスケルトンカーブ（EW方向）



※暫定条件に基づく概算値

図6 SC規程を参考にしたRPVペDESTALのスケルトンカーブ（20/20）
（鋼板降伏点である第2折点までを算定）

7 履歴特性の設定

(1) 検討目的

地震応答解析で応答が第1折点を超える場合は，線形時の減衰定数（一定値）に加え，採用した復元力特性による履歴減衰を考慮する。

RPV ペデスタルについても復元力特性を実機に適用するにあたり，履歴特性を設定する必要がある。設定する履歴特性に応じて履歴減衰が異なることから，保守性に配慮し，履歴減衰による消費エネルギーがより小さくなる履歴特性を設定する。

(2) 検討方法

試験結果に近い履歴特性と，SC 規程で定められている履歴特性をそれぞれ適用した地震応答解析を実施し，各々の消費エネルギー，即ち履歴減衰の大きさを比較する。

(3) 検討ケース

履歴特性に関するパラメータスタディの検討ケースを表 7(3)-1 に示す。

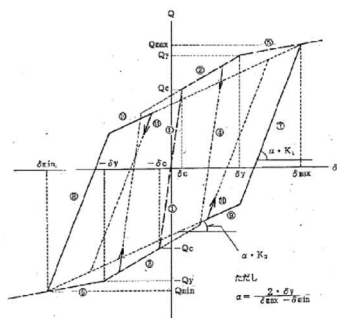
ケース A は，SC 規程を踏まえて，曲げとせん断の双方ともに最大点指向型の履歴特性を採用したケースである。

ケース B は，曲げ変形の履歴特性については，試験で得られた曲げ変形及びせん断変形の履歴特性（図 7(3)-2 参照）より，ディグレイディングトリリニア型に近い紡錘型の安定したループ形状が得られていることを踏まえ，曲げに対する履歴特性に試験結果に近いディグレイディングトリリニア型を採用し，せん断に対しては消費エネルギーがより小さな原点指向型の履歴特性を採用したケースである。

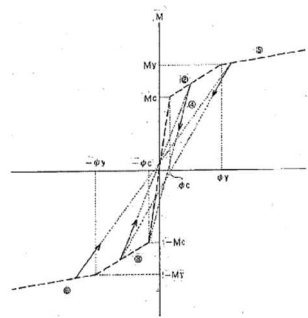
参考として，最大点指向型，ディグレイディングトリリニア型及び原点指向型の履歴特性のイメージを図 7(3)-1 に示す。

表 7(3)-1 履歴特性に関するパラメータスタディ

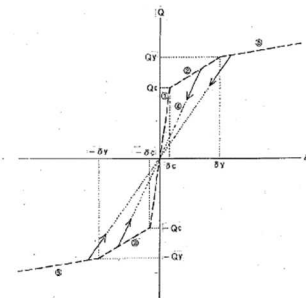
ケース	曲げ	せん断
ケース A (SC 規程準拠)	最大点指向型	最大点指向型
ケース B	ディグレイディング トリリニア型	原点指向型



(a)ディグレイディングトリリニア型

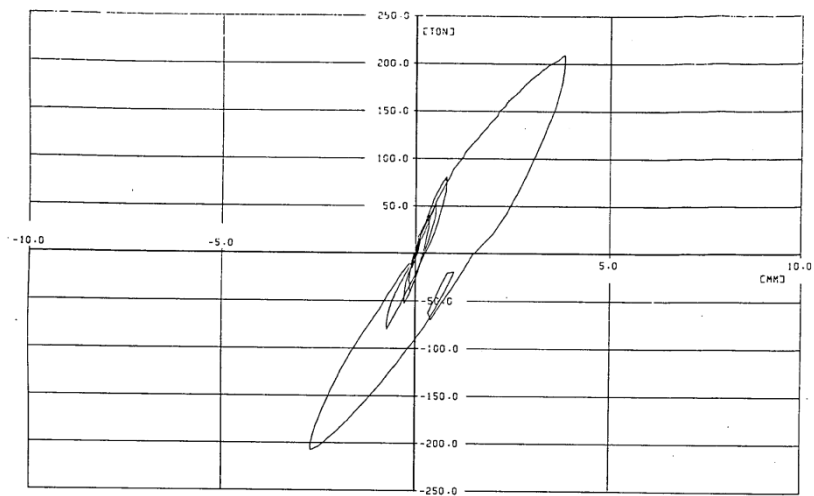


(b)最大点指向型

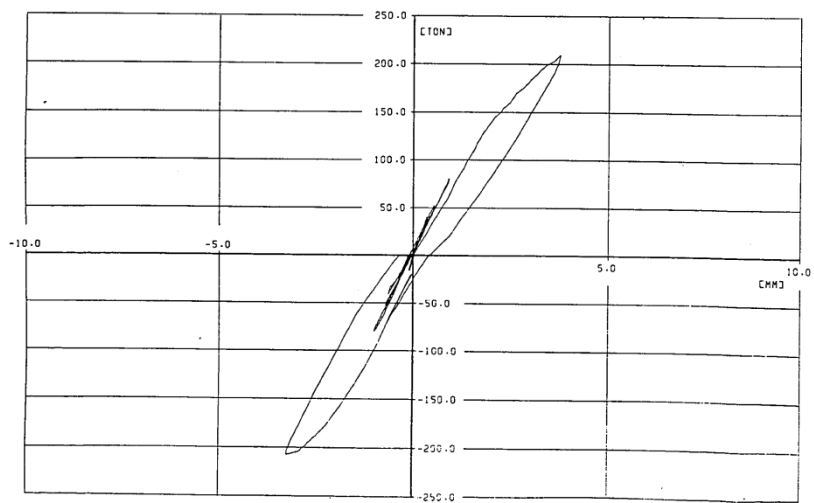


(c)原点指向型

図 7(3)-1 履歴特性のイメージ



(a) 水平力ー曲げ変形関係



(b) 水平力ーせん断変形関係

図 7(3)-2 実験における曲げ及びせん断の履歴特性
(2)より引用)

(4) 検討結果

履歴減衰による消費エネルギーの累積値を比較したものを図 7(4)-1 に示す。曲げによる消費エネルギーは、せん断による消費エネルギーと比べると 2 桁大きいオーダーの値を示しており、消費エネルギーの観点からは曲げによる影響が大きく支配的であると言える。

さらに、曲げによる消費エネルギーは、試験結果に近いディグレイディングトリリニア型を採用したケース B は、ケース A の 1.5 倍以上のエネルギーが消費されていることが示された。

以上より、RPV ペDESTAL の弾塑性特性を考慮した復元力特性の履歴特性としては、消費エネルギーが小さく保守的な応答を与えられと考えられるケース A の最大点指向型を採用することとした。

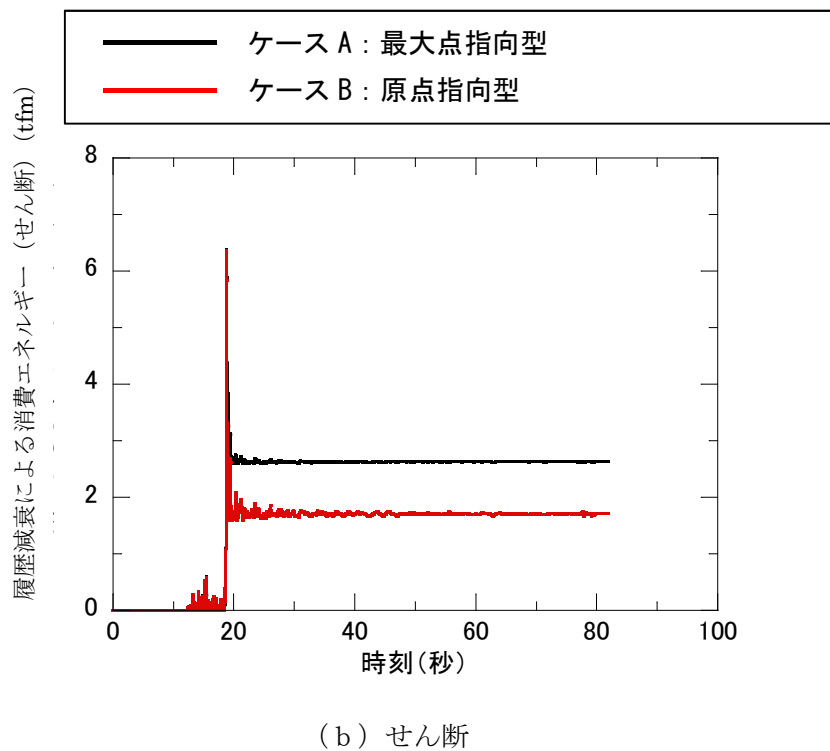
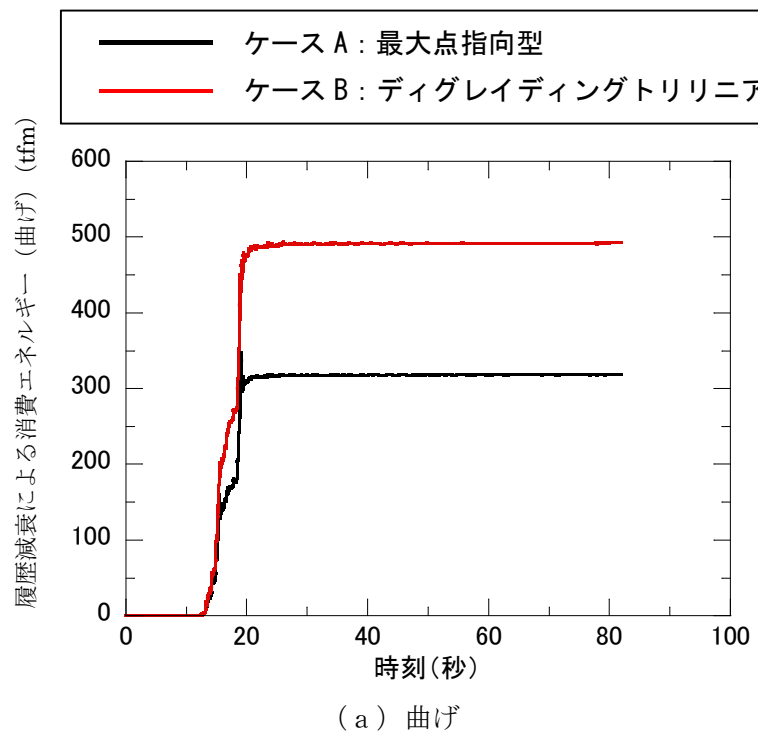


図 7(4)-1 履歴特性のパラメータスタディによる消費エネルギーの比較

8 まとめ

基準地震動の増大により原子炉建屋の地震応答解析モデルを建設時工認の線形解析モデルからコンクリートの剛性変化を考慮した非線形解析モデルを採用することに合わせ、RPV ペデスタルについても原子炉建屋と同様に非線形解析モデルとした復元力特性を適用し、より現実に近い適正な地震応答解析が可能になるようにした。

非線形解析モデルの評価は、既往の RC 構造との類似性を検討し同様の理論で評価可能であることを確認した上で、既往知見である SC 規程を参考に RPV ペデスタルの構造を踏まえた評価を行い、実機の RPV ペデスタルを模擬した試験結果を用いてその妥当性を確認した。

9 参考文献

- (1) 社団法人日本電気協会 原子力規格委員会：電気技術規程原子力編 鋼板コンクリート構造耐震設計技術規程 JEAC4618-2009
- (2) 東京電力株式会社，東北電力株式会社，中部電力株式会社，北陸電力株式会社，中国電力株式会社，日本原子力発電株式会社，株式会社 東芝，株式会社 日立製作所：共同研究報告書「コンクリート PCV の構造評価および基準確立のための実証試験」，昭和 62 年度上半期（最終報告書），昭和 62 年 9 月
- (3) 松尾 他：鋼板コンクリート耐震壁に関する研究 その 3 セン断荷重・変形関係の解析 日本建築学会学術講演梗概集（1992 年）
- (4) 菊地 他：原子炉本体基礎の弾塑性モデル化手法に関する研究 その 1 復元力特性評価法の妥当性検討 日本建築学会学術講演梗概集（2010 年）
- (5) 肱岡 他：原子炉本体基礎の弾塑性モデル化手法に関する研究 その 2 復元力特性評価法の適用性検討 日本建築学会学術講演梗概集（2010 年）
- (6) 吉崎 他：原子炉建屋の復元力特性試験（その 6）スケール・イフェクト試験 日本建築学会学術講演梗概集（昭和 61 年）
- (7) 日本原子力技術協会 中越沖地震後の原子炉機器の健全性評価平成 20 年度中間報告，JANTI-SANE-02，中越沖地震後の原子炉機器の健全性評価委員会，平成 21 年 4 月
- (8) 社団法人日本電気協会 電気技術基準調査委員会：電気技術規程原子力編 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版

添付資料-1：RPV ペデスタルの復元力特性に用いるコンクリート強度の取り扱い

1. コンクリート強度の取り扱い方針

今回工認における RPV ペデスタルの復元力特性の設定に用いるコンクリート強度は、原子炉建屋（以下、「R/B」という）等のような施工時の「91 日強度データ」がないこと及びプラント運転開始後にコア採取を実施していないことから、既工認と同様に設計基準強度を用いている。

しかしながら、RPV ペデスタルについても R/B 等と同様に、現実のコンクリート強度は設計基準強度を上回ると考えられることから、コンクリート実強度を考慮した復元力特性を設定し影響評価を行う方針とする。

2. RPV ペデスタルで想定するコンクリート実強度

RPV ペデスタルは実測したコンクリート強度がないことから、R/B 等で実測値をもとに設定したコンクリート強度を参照し、実強度を想定する。

具体的には、R/B のコンクリート実強度（440kg/cm²）に、RPV ペデスタルの設計基準強度（300kg/cm²）と R/B の設計基準強度（330kg/cm²）の比率を乗じることにより、影響評価に用いる RPV ペデスタルの実強度を 400kg/cm² と想定する。

$$\begin{aligned}\text{RPV ペデスタルの実強度} &= \text{R/B の実強度} \times \frac{\text{RPV ペデスタルの設計基準強度}}{\text{R/B の設計基準強度}} \\ &= 440 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \times \frac{300 \text{ (kg/cm}^2\text{)}}{330 \text{ (kg/cm}^2\text{)}} \\ &= 400 \text{ (kg/cm}^2\text{)}\end{aligned}$$

添付資料-2：地震応答解析モデルにおける RPV ペデスタルの減衰定数

1. 地震応答解析における RPV ペデスタルの減衰定数

地震応答解析に用いる RPV ペデスタルの減衰定数は、既工認と同じく 5%を適用する。RPV ペデスタルは、鋼板円筒殻の内部にコンクリートを充填した構造である。本構造の減衰定数は、原子力発電所耐震設計技術指針 (JEAG4601-1987) に示される減衰定数のうち、鉄筋コンクリート構造物 (以下、「RC 構造物」という) の減衰定数を準用し 5%を適用する。これは、RPV ペデスタルの減衰が、材料の内部粘性減衰及び鋼板とコンクリート間の摩擦減衰等で生じ、これらは鉄筋コンクリートと同等であるとの工学的判断による。また、重大事故等時の減衰定数も、上記の考え方に従い、RC 構造物と同じ 5%を適用する。

上記の減衰定数は、以下の運動方程式の減衰マトリックス[c]の値として考慮する。

$$[m]\{\ddot{u}\} + [c]\{\dot{u}\} + [k]\{u\} = -[m]\{H\}\Delta\ddot{a}$$

ここで

[m]: 質量マトリックス

[k]: 剛性マトリックス

[c]: 減衰マトリックス

{u}: 変位マトリックス

{H}: 入力ベクトル

$\Delta\ddot{a}$: 地震加速度

固有円振動数と固有モードは次式により求める。

$$([k] - \omega_i^2[m])\{\phi_i\} = \{0\}$$

ここで

ω_i : i 次の固有円振動数

$\{\phi_i\}$: i 次振動モードの固有ベクトル

この時の減衰マトリックス[c]は次式により求められる。

$$[c] = [m] \left(\sum_i \{\phi_i\} \eta_i \{\phi_i\}^T \right) [m]$$

ここで

$$\eta_i = \frac{2 \cdot h_i \cdot \omega_i}{M_i}$$

$$M_i = \{\phi_i\}^T [m] \{\phi_i\}$$

M_i : i 次のモード換算質量

h_i : i 次のモード減衰定数

なお, モード減衰定数 h_i は各次モードにおける各部材のひずみエネルギーに比例するものとして, 次式により求める。

$$h_i = \frac{\sum_j (h^j \cdot E_i^j)}{\sum_j E_i^j}$$

$$E_i^j = \frac{1}{2} \{\phi_i^j\}^T [k^j] \{\phi_i^j\}$$

E_i^j : i 次振動モードにおける j 部材のひずみエネルギー

h^j : j 部材の減衰定数

$[k^j]$: j 部材の初期剛性マトリックス

$\{\phi_i^j\}$: i 次振動モードにおける j 部材の材端変位ベクトル

上記で求まる減衰マトリックス $[c]$ は, 復元力特性上の線形領域 (第 1 折点以下) 及び第 1 折点を越えた弾塑性領域で同じ値として適用される。

2. RPV ペDESTAL の履歴特性による減衰効果

弾塑性解析では 1. で示す通り, 減衰マトリックス $[c]$ は, 復元力特性上の線形領域 (第 1 折点以下) および第 1 折点を越えた弾塑性領域でも同じ値を適用する。剛性マトリックス $[k]$ は, 第 1 折点を越えた弾塑性領域では履歴特性上の位置に応じて変化する。この変化により描かれる履歴ループでエネルギー消費が行われ, 減衰効果となる。

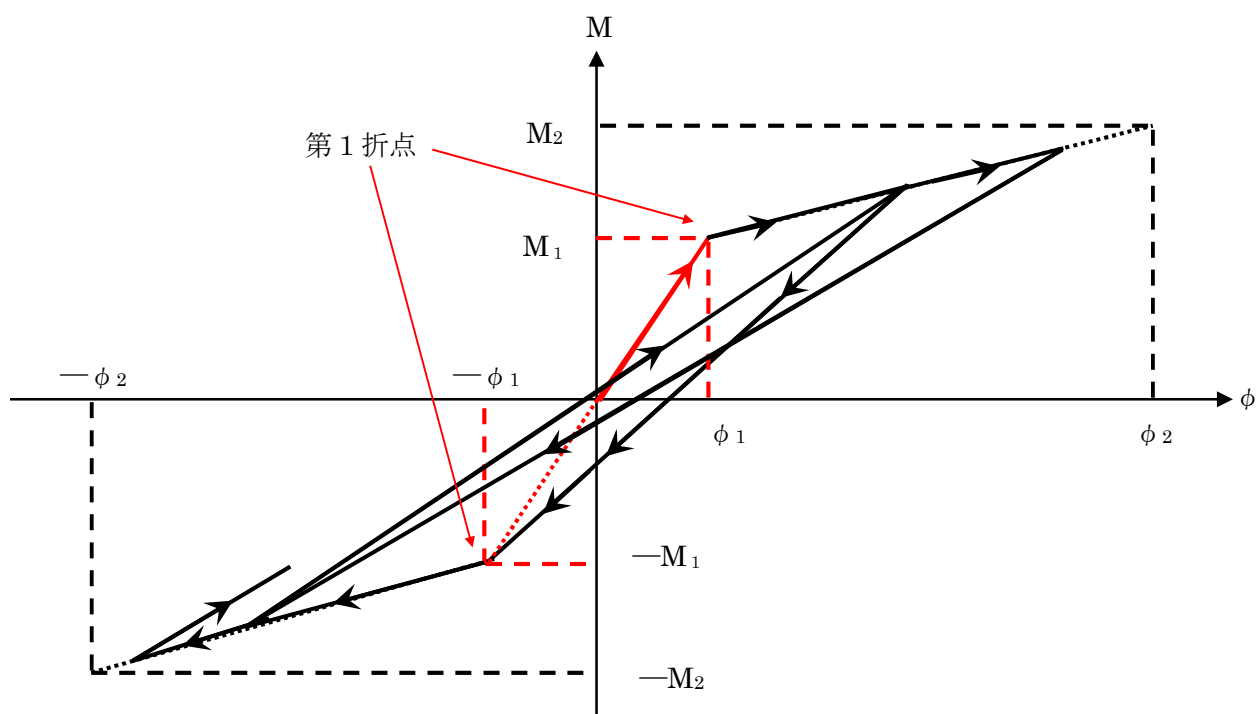


図 1 最大点指向型の履歴特性の例 (曲げモーメント)

添付資料-3 : SC 規程を参考にした RPV ペデスタルのスケルトンカーブ導出過程

目次

1. SC 規程を参考にした試験体のスケルトンカーブ導出過程	3
2. 試験体の計算過程	5
(1) 曲げのスケルトンカーブ導出過程	5
(2) せん断のスケルトンカーブ導出過程	11
3. SC 規程を参考にした実機 RPV ペデスタルのスケルトンカーブ導出過程	23
4. 下部ペデスタルの計算過程	25
(1) 曲げのスケルトンカーブ導出過程	25
(2) せん断のスケルトンカーブ導出過程	34
5. 上部ペデスタルの計算過程	50
(1) 曲げのスケルトンカーブ導出過程	50
(2) せん断のスケルトンカーブ導出過程	59

1. SC 規程を参考にした試験体のスケルトンカーブ導出過程

RPV ペデスタルの復元力特性を SC 規程を参考にして設定する際に検討した追加検討事項の妥当性を確認するため、追加検討事項を反映した復元力特性の評価式を用いて作成した既往の試験体の荷重－変位特性と、試験で実測された試験体の荷重－変位特性の整合性を確認することにより、追加検討事項の妥当性を判断している。

ここでは、妥当性検証に用いた、SC 規程を参考にした試験体の曲げ及びせん断のスケルトンカーブの導出過程を説明する。

また、試験体の加力方向は 1 方向であるため、スケルトンカーブの設定は加力方向 1 方向に対して行う。なお、試験体は各層共通してベント管を内蔵していることから、より複雑な構造である開口部を有する断面を具体的計算過程提示の代表として抽出した。(図 1-1)

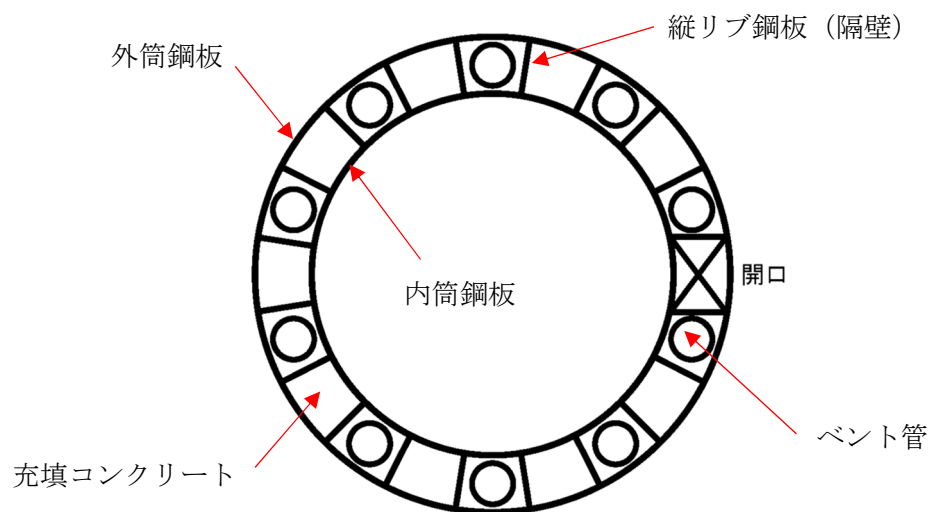
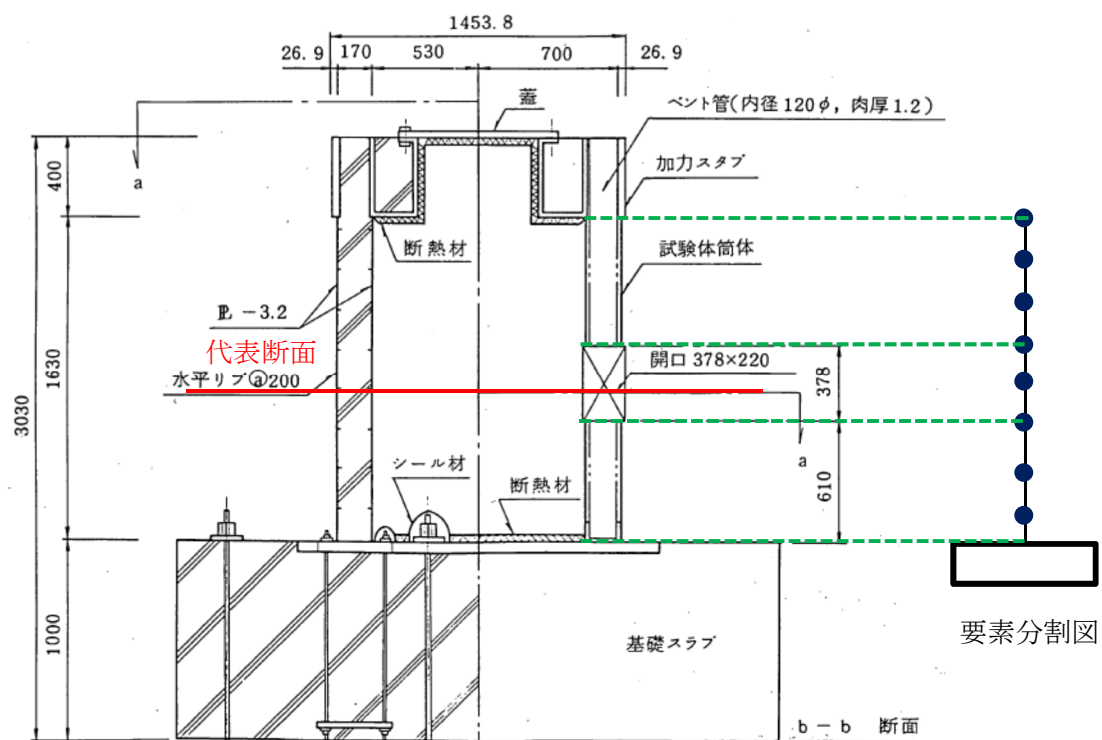


図 1-1 スケルトンカーブ設定の具体的計算過程提示の代表断面

2. 試験体の計算過程

(1) 曲げのスケルトンカーブ導出過程

a. 試験体の構造特性を踏まえた評価式

(第1折点)

- $M_1 = Z_e \cdot (f_t + \sigma_v)$ ただし、 $f_t = 0$ とする

- ϕ_1 は初期剛性と M_1 の交点 ($\phi_1 = M_1 / (E_c \cdot I_e)$)

注) 下部ペデスタルはコンクリート部がベースプレートにて完全に分断されておりコンクリート部の引張による抵抗が期待できないため $f_t = 0$ となる。

Z_e : 鋼板を考慮したコンクリートの断面係数 (mm^3) ($= I_e / (D / 2)$)

$D / 2$: 中心から最外縁までの距離 (D は最外直径)

f_t : コンクリートの曲げ引張強度 (N/mm^2) ($= 0.38 \sqrt{\sigma_B}$)

σ_B : コンクリートの圧縮強度 (N/mm^2)

ペデスタルコンクリートの設計基準強度 $= 29.4 (\text{N/mm}^2)$

σ_v : 鋼板を考慮したコンクリートの鉛直方向軸応力度 (N/mm^2)

(ペデスタル及びペデスタルが支持する機器の死荷重によるペデスタル鉛直方向の軸力) \div ((各鋼板の断面積の和) $\times (E_s / E_c)$ + (開口欠損を考慮したコンクリート部の断面積))

E_c : コンクリートのヤング係数 (N/mm^2)

E_s : 鋼板のヤング係数 (N/mm^2)

I_e : 鋼板を考慮したコンクリートの断面二次モーメント (mm^4)

(各鋼板の断面二次モーメントの和) $\times (E_s / E_c)$ + (開口欠損を考慮したコンクリート部の断面二次モーメント)

第1折点は、ペデスタル円筒の曲げ引張側の死荷重による圧縮応力 (σ_v) がゼロとなる時点の M 及び ϕ を表している。

(第2折点)

- $M_2 = M_y$

- $\phi_2 = \phi_y$

M_y : 鋼板降伏時モーメント ($\text{N} \cdot \text{mm}$)

ϕ_y : 鋼板降伏時曲率 ($1/\text{mm}$)

b. 具体的計算過程

(第 1 折点)

ベント管及びアクセストンネルを模擬した開口による断面欠損を考慮し算出する。(図 2(1)-1)

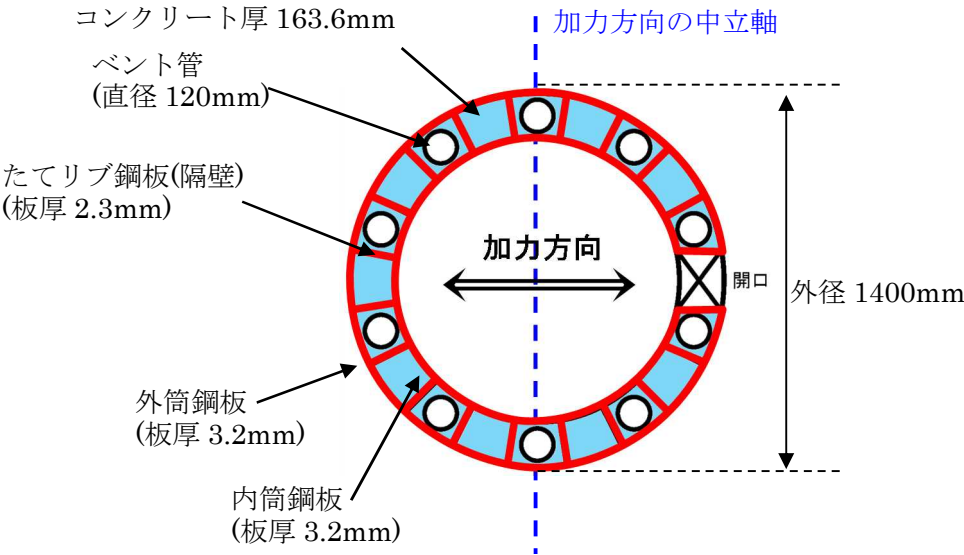


図 2(1)-1 断面二次モーメント及び断面積の算出に考慮する各部材断面
(赤：鋼板， 水色：コンクリート)

●計算過程

コンクリート及び鋼板の材料物性値は，試験体の規格値を用いる。また，各部材断面の断面二次モーメント及び断面積は，実機 RPV ペデスタルと同様に求める。(表 2(1)-1，表 2(1)-2)

コンクリートのヤング係数 E_c は，既工認と同様に鉄筋コンクリート構造計算規準に基づいて，コンクリートの単位体積重量 $\gamma = 2.3 \text{ t/m}^3$ 及び圧縮強度を用いて求める。

$$\begin{aligned} E_c &= 2.1 \times 10^5 \times \left(\frac{\gamma}{2.3} \right)^{1.5} \times \sqrt{\frac{\sigma_B}{200}} \\ &= 2.6 \times 10^5 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \\ &= 2.55 \times 10^4 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \dots \dots \text{(式 2 (1)-1)} \end{aligned}$$

表 2 (1)-1 コンクリート及び鋼板の材料物性値

物性値	値	根拠
コンクリートのヤング係数 E_c	25,500 (N/mm ²)	鉄筋コンクリート構造計算規準 (式 2(1)-1)
鋼板のヤング係数 E_s	192,000 (N/mm ²)	告示 501 号
コンクリートの圧縮強度 σ_B	29.4 (N/mm ²) (300 (kg/cm ²))	設計基準強度

表 2(1)-2 各部材断面の断面二次モーメント及び断面積

項目	値	対象箇所
コンクリート部の断面二次モーメント I_c	$9.91886 \times 10^{10} \text{ (mm}^4\text{)}$	図 2(1)-1 の水色部分
各鋼板の断面二次モーメントの和 I_s	$5.0359 \times 10^9 \text{ (mm}^4\text{)}$	図 2(1)-1 の赤線部分
コンクリート部の断面積 $A_{n, c}$	$5.19 \times 10^5 \text{ (mm}^2\text{)}$	図 2(1)-1 の水色部分
各鋼板の断面積の和 $A_{n, s}$	$2.85 \times 10^4 \text{ (mm}^2\text{)}$	図 2(1)-1 の赤線部分

各部材断面の断面二次モーメント（表 2(1)-2）を用いて、鋼板を考慮したコンクリートの断面二次モーメント I_e を求める。

$$I_e = I_s \times (E_s / E_c) + I_c = 3.79174 \times 10^{10} + 9.91886 \times 10^{10} \\ = 1.37106 \times 10^{11} \text{ (mm}^4\text{)} \quad \dots \dots \text{(式 2(1)-2)}$$

中心から最外縁までの距離 $D/2 = 700\text{mm}$ （ D は最外直径）を用いて、鋼板を考慮したコンクリートの断面係数 Z_e を求める。

$$Z_e = I_e / (D/2) = 1.95866 \times 10^8 \text{ (mm}^3\text{)} \quad \dots \dots \text{(式 2(1)-3)}$$

試験体に負荷される鉛直方向のプレストレス力によるペデスタル鉛直方向の軸力 N （ $= 9.23 \times 10^5 \text{ (N)}$ ）を用いて、鋼板を考慮したコンクリートの鉛直方向軸応力度 σ_v を求める。

$$\sigma_v = N / (A_{n, s} \times (E_s / E_c) + A_{n, c}) = 1.26 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \dots \dots \text{(式 2(1)-4)}$$

以上より、第 1 折点の曲げモーメント M_1 及び曲率 ϕ_1 を算出する。

$$M_1 = Z_e \cdot \sigma_v = \underline{2.47 \times 10^2 \text{ (kN} \cdot \text{m)}} \quad \dots \dots \text{(式 2(1)-5)}$$

$$\phi_1 = M_1 / (E_c \cdot I_e) = \underline{7.06 \times 10^{-5} \text{ (1/m)}} \quad \dots \dots \text{(式 2(1)-6)}$$

(第2折点)

RPV ペデスタルの断面をファイバーモデルとしてモデル化し，漸増させる荷重（モーメント）に対して収束計算により中立軸と曲率を求め，鋼板とコンクリートの応力度 σ とひずみ ε を導出する。

鋼板が降伏状態に至る際のモーメント及び曲率が，それぞれ第2折点のモーメント M_2 及び曲率 ϕ_2 となる。

●モデル化方法

RPV ペデスタルの断面をファイバーモデルとしてモデル化する際は，ベント管及びアクセストンネルを模擬した開口によるコンクリート及び鋼板の断面欠損を考慮した等価板厚を用いる。（図2(1)-2, 3 参照）

本計算に用いるコンクリートの応力度 σ とひずみ ε の関係は，パラボラ型の応力ひずみ曲線を採用し，CEB-FIP⁽¹⁾モデルに基づき設定し，圧縮強度到達以降はフラットとする。なお，引張側の強度は無視する。

また，鋼板の応力ひずみ関係は，完全弾塑性（バイリニア）を採用する。

●第2折点のモーメント M_2 及び曲率 ϕ_2 の算出方法

荷重（モーメント）を漸増させていき，鋼板の応力度が降伏状態に至る際のモーメント及び曲率を算出する。

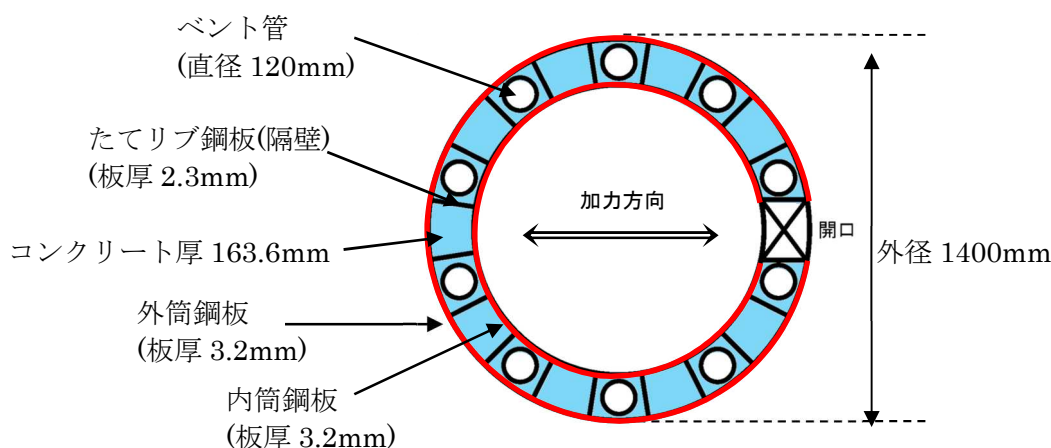


図2(1)-2 ファイバーモデルに考慮する各部材断面
(赤：鋼板， 水色：コンクリート)

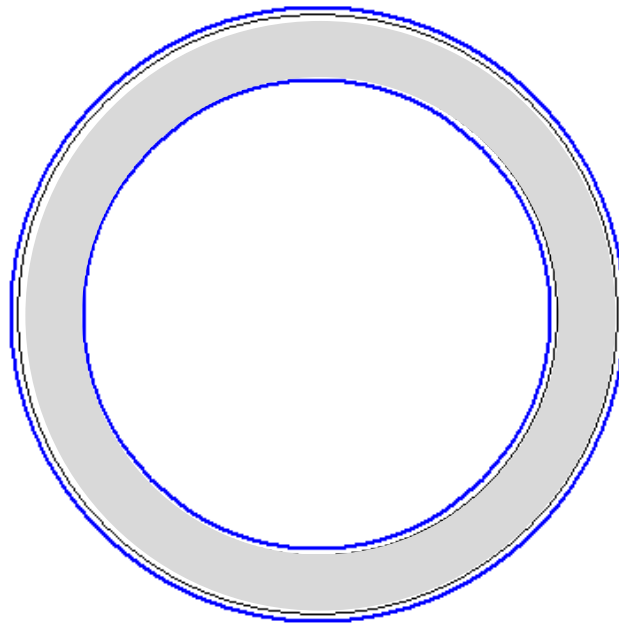


図 2(1)-3 ファイバーモデル構造図(黒線の間がコンクリート，青線が鋼板)

N : 軸力	ϕ : 曲率
M : モーメント	ε_c : 圧縮側最大ひずみ
xn : 中立軸の位置 (モデル左端からの距離)	ε_s : 鋼板の圧縮ひずみ

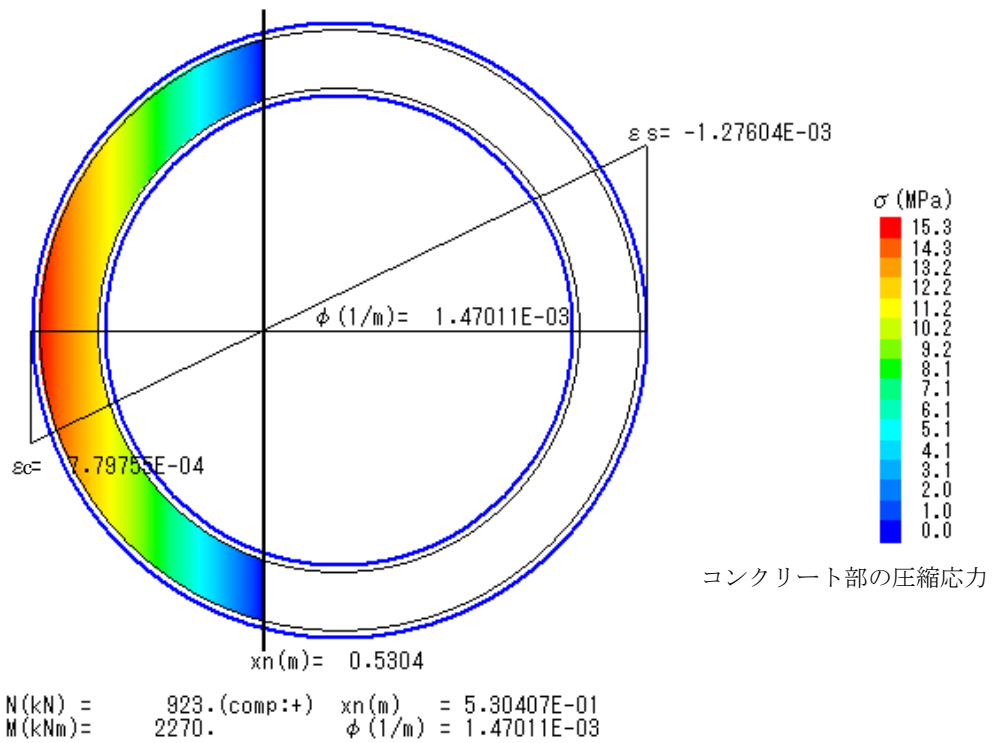


図 2(1)-4 ファイバーモデルによる解析結果

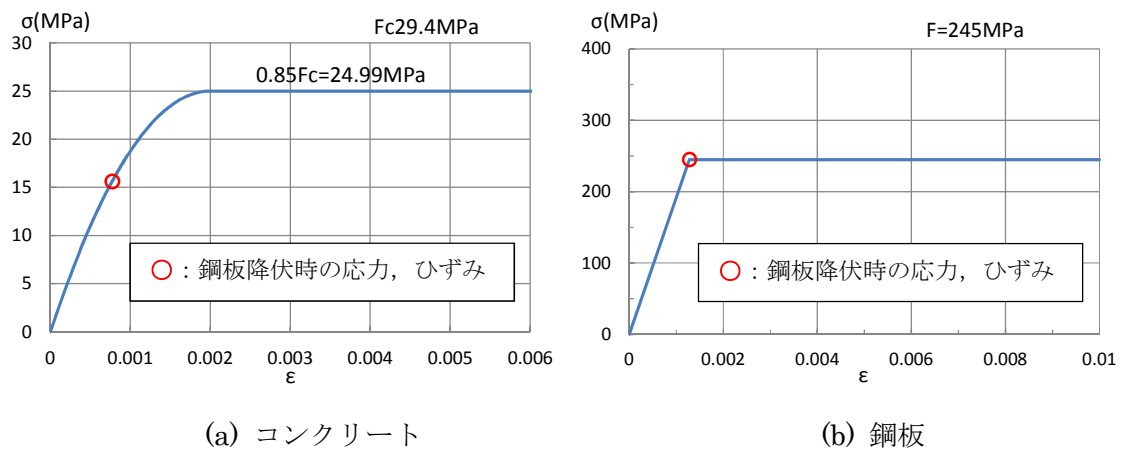


図 2(1)-5 コンクリート及び鋼板の応力ひずみ関係

- ・ 第 2 折点の曲げモーメント $M_2 = \underline{2.27 \times 10^3 (kN \cdot m)}$
- ・ 第 2 折点の曲率 $\phi_2 = \underline{1.47 \times 10^{-3} (1/m)}$

(2) セン断のスケルトンカーブ導出過程

a. 評価式

(第1折点)

- $Q_1 = (A_c + (G_s/G_c) \cdot A_s) \cdot \tau_{cr}$
- $\gamma_1 = \tau_{cr}/G_c$

ただし、 $\tau_{cr} = 0.5^{*1} \times \sqrt{0.31\sqrt{\sigma_B} \cdot (0.31\sqrt{\sigma_B} + \sigma_v)}$

注) *1: セン断ひび割れ強度については、RPV ペデスタルの内外円筒鋼板及び縦リブ間に充填されたコンクリートにベント管を埋め込んだ特殊な構造であり、コンクリートに大きな開口欠損がある。ベント管周りのコンクリート部は実際には複雑な応力状態を形成していると考えられるため、その影響を考慮して、セン断ひび割れ強度 τ_{cr} の 0.5 倍の値を仮定し用いる。

A_c : コンクリートのセン断断面積 (mm^2)

A_s : 鋼板のセン断断面積 (mm^2)

G_c : コンクリートのセン断弾性係数 (N/mm^2)

G_s : 鋼板のセン断弾性係数 (N/mm^2)

E_c : コンクリートのヤング係数 (N/mm^2)

E_s : 鋼板のヤング係数 (N/mm^2)

τ_{cr} : コンクリートのセン断ひび割れ強度 (N/mm^2)

σ_B : コンクリートの圧縮強度 (N/mm^2)

ペデスタルコンクリートの設計基準強度 = 29.4 (N/mm^2)

σ_v : 鋼板を考慮したコンクリートの鉛直方向軸応力度 (N/mm^2)

(ペデスタル及びペデスタルが支持する機器の死荷重によるペデスタル鉛直方向の軸力) / ((各鋼板の断面積の和) \times (E_s/E_c) + (コンクリート部の断面積))

第1折点は、ペデスタルのコンクリートと鋼板を考慮したセン断断面積 (コンクリートのセン断断面積 A_c 及びそれと等価なペデスタル鋼板のセン断断面積 $(G_s/G_c) \cdot A_s$ の和) にコンクリートのセン断ひび割れ強度 τ_{cr} を乗じた値、すなわちペデスタルコンクリート部にセン断ひび割れが発生する点の Q , γ を表している。

(第2折点)

$$Q_2 = (K_\alpha + K_\beta) / \sqrt{(3K_\alpha^2 + K_\beta^2)} \cdot A_s \cdot \sigma_y$$

$$\gamma_2 = Q_2 / (K_\alpha + K_\beta)$$

$$\text{ただし, } K_\alpha = A_s \cdot G_s$$

A_s : 鋼板のせん断断面積 (mm²)

G_s : 鋼板のせん断弾性係数 (N/mm²)

K_α : 鋼板のせん断剛性

K_β : ひび割れ後の鋼板による拘束効果を考慮したコンクリートの有効せん断剛性

σ_y : 鋼板の降伏点強度 (N/mm²)

第1折点でコンクリートにひび割れが発生した後もコンクリートは圧縮方向（ひび割れ角度 θ の方向）にのみ抵抗する弾性体（異方性弾性体）として挙動し、鋼板と一体となってせん断力に抵抗する。

第2折点の評価に用いるコンクリートの有効せん断剛性 K_β は、SC 規程の附属書 2.1 解説及び、コンクリートひび割れ後のコンクリートと鋼板の挙動に関する既往知見⁽²⁾に示される以下の理論式を用いて、 $c Q = K_\beta \cdot \gamma$ 、 $\delta = H \cdot \gamma$ の関係より算出する。

$$Q_c = \frac{(\cos\theta)^2}{2 \left[\frac{1 - \nu_c^2}{E_c' \cdot t_c \cdot \sin 2\theta} + \frac{1}{2 \cdot E_s} (C1 + C2) \right]} \cdot \delta$$

$$C1 = L \cdot \cos\theta \left(\frac{\cos\theta}{sAx} - \frac{\sin\theta}{sAy} \nu_s \right)$$

$$C2 = H \cdot \sin\theta \left(\frac{\sin\theta}{sAy} - \frac{\cos\theta}{sAx} \nu_s \right)$$

ここで、

Q_c : コンクリートの受け持つせん断力 (N)

δ : 水平変位 (mm)

γ : せん断ひずみ度

E_c' : コンクリートのひび割れを考慮したヤング係数で、コンクリートのヤング係数に 0.7 を乗じた値を用いる。 (N/mm²)

E_s : 鋼材のヤング係数 (N/mm²)

t_c : コンクリート板厚 (mm)

ν_c : コンクリートのポアソン比

ν_s : 鋼材のポアソン比

L : 隔壁の間隔(mm)

H : 隔壁の高さ(mm)

s_{Ay} : 鋼材の水平断面の断面積(mm²)

s_{Ax} : 鋼材の鉛直断面の断面積(mm²)

θ : 圧縮ストラット角度 ($\theta = \tan^{-1} \left(\frac{H}{L} \right)$)

($\theta = 45^\circ$ とした場合の評価式が SC 規程に例示されている。)

b. 具体的計算過程

(第1折点)

ベント管及び開口による断面欠損を考慮し算出する。(図2(2)-1)

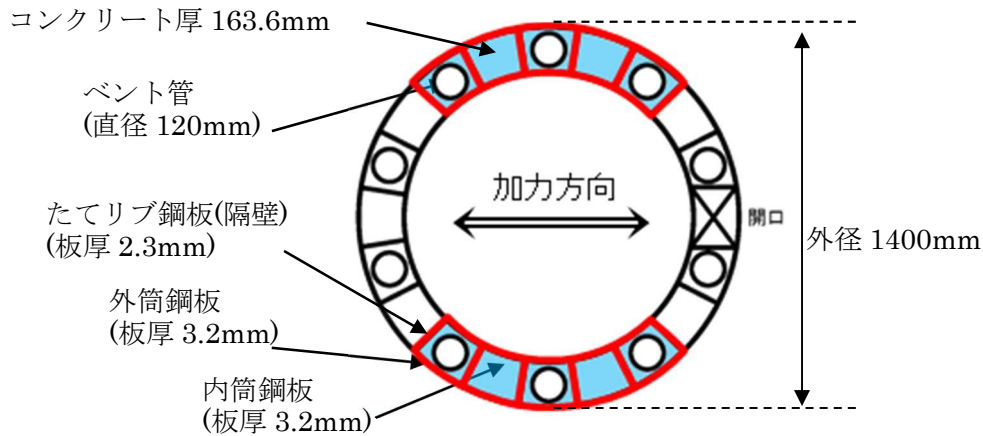


図2(2)-1 せん断断面積の算出に考慮する各部材断面
(赤：鋼板， 水色：コンクリート)

●計算過程

コンクリート及び鋼板の材料物性値は、試験体の規格値を用いる。また、各部材のせん断断面積は、実機RPVペダスタルと同様に求める。(表2(2)-1, 表2(2)-2)

コンクリート及び鋼板のせん断弾性係数 G_c , G_s は、以下に示す式により、それぞれのヤング係数、ポアソン比 $\nu_c=0.167$, $\nu_s=0.3$ を用いて求める。

$$G_c = \frac{E_c}{2(1 + \nu_c)} = 10900 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \dots \dots \text{(式2(2)-1)}$$

$$G_s = \frac{E_s}{2(1 + \nu_s)} = 73900 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \dots \dots \text{(式2(2)-2)}$$

表 2(2)-1 コンクリート及び鋼板の材料物性値

物性値	値	根拠
コンクリートのせん断弾性係数 G_c	10,900 (N/mm ²)	鉄筋コンクリート構造計算規準 (式 2(2)-1)
鋼板のせん断弾性係数 G_s	73,900 (N/mm ²)	式 2(2)-2
コンクリートのヤング係数 E_c	25,500 (N/mm ²)	鉄筋コンクリート構造計算規準 (式 2(1)-1)
鋼板のヤング係数 E_s	192,000 (N/mm ²)	告示 501 号
コンクリートの圧縮強度 σ_B	29.4 (N/mm ²)	設計基準強度

表 2(2)-2 各部材断面のせん断断面積

項目	値	対象箇所
コンクリートのせん断断面積 A_c	2.595×10^5 (mm ²)	図 2(2)-1 の水色部分
鋼板のせん断断面積 A_s	1.425×10^4 (mm ²)	図 2(2)-1 の赤線部分

鋼板を考慮したコンクリートの鉛直方向軸応力度 σ_v は、曲げのスケルトンカーブ算出に用いた値と同一であり、 $\sigma_v = 1.26$ (N/mm²) となる。

コンクリートの圧縮強度 σ_B (表 2(2)-1) と σ_v を用いて、コンクリートのせん断ひび割れ強度 τ_{cr} を求める。

$$\tau_{cr} = 0.5^{*1} \times \sqrt{0.31\sqrt{\sigma_B} \cdot (0.31\sqrt{\sigma_B} + \sigma_v)} = 1.11 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \dots\dots\dots \text{(式 2(2)-3)}$$

注) *1: せん断ひび割れ強度については、RPV ペDESTALの内外円筒鋼板及び縦リブ間に充填されたコンクリートにベント管を埋め込んだ特殊な構造であり、コンクリートに大きな開口欠損がある。ベント管周りのコンクリート部は実際には複雑な応力状態を形成していると考えられるため、その影響を考慮して、せん断ひび割れ強度 τ_{cr} の 0.5 倍の値を仮定し用いる。

以上より、第 1 折点のせん断力 Q_1 及びせん断変形角 γ_1 を算出する。

$$Q_1 = (A_c + (G_s/G_c) \cdot A_s) \cdot \tau_{cr} = \underline{3.95 \times 10^2 \text{ (kN)}} \quad \dots\dots\dots \text{(式 2(2)-4)}$$

$$\gamma_1 = \tau_{cr}/G_c = \underline{1.02 \times 10^{-4} \text{ (rad)}} \quad \dots\dots\dots \text{(式 2(2)-5)}$$

(第2折点)

コンクリートひび割れ後の鋼板による拘束効果を考慮したコンクリートの有効せん断剛性 K_β を算出する際は、断面全体のうち半分がせん断力に対して有効な領域と仮定し、SC構造体ユニット①、②それぞれについて、全10箇所の半分に相当する5箇所分の剛性を評価する。

具体的には、次に示す手順で層全体の K_β を求める。

- ・SC構造体ユニット①とSC構造体ユニット②それぞれの K_β を求める。
- ・層全体の K_β を求める。

(層全体の $K_\beta = \text{SC構造体ユニット①の} K_\beta \times 5 + \text{SC構造体ユニット②の} K_\beta \times 5$)

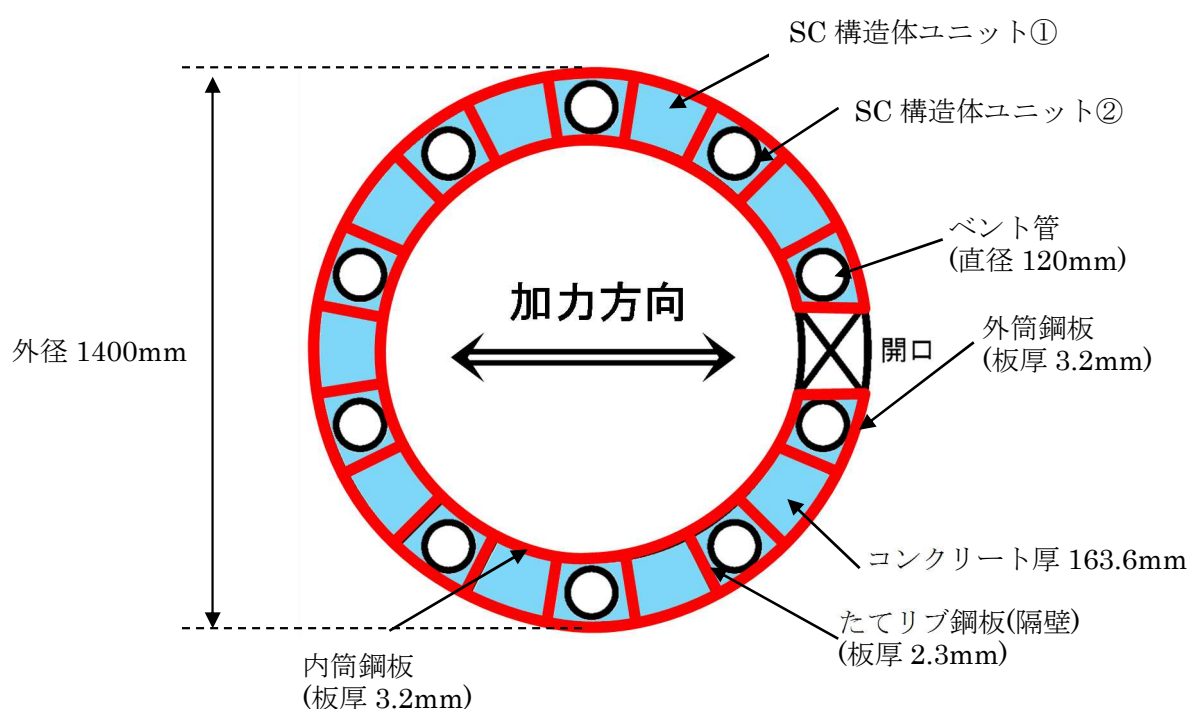


図 2(2)-2 SC 構造体ユニット (赤が鋼板, 青がコンクリート)

鋼板のせん断剛性 K_α は、第1折点と同様に方向に応じた部材断面を考慮し求める。

● K_β の算出方法 (SC 構造体ユニット①)

コンクリート及び鋼板の材料物性値は、試験体の規格値を用いる。 K_β の算出は、実機試験体の構造 (寸法) に応じた値を用いて行う。(図 2(2)-3, 表 2(2)-3, 表 2(2)-4)

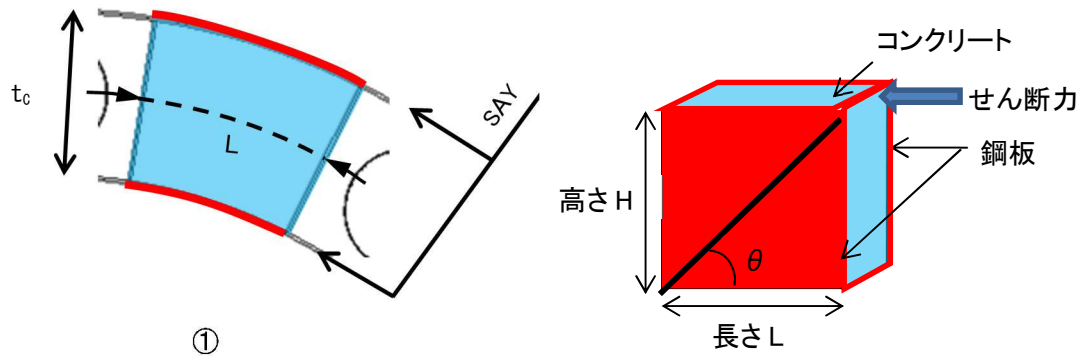


図 2(2)-3 SC 構造体ユニット① (赤が鋼板, 水色がコンクリート)

表 2(2)-3 コンクリート及び鋼板の材料物性値

物性値	値	根拠
コンクリートのヤング係数 E_c	25,500 (N/mm ²)	鉄筋コンクリート構造計算規準 (式 2(1)-1)
鋼板のヤング係数 E_s	192,000 (N/mm ²)	告示 501 号
コンクリートのポアソン比 ν_c	0.167	鉄筋コンクリート構造計算規準
鋼材のポアソン比 ν_s	0.3	鋼構造設計規準

表 2(2)-4 各部材の主要寸法

項目	値	対象箇所
SC 構造体ユニットの高さ H	1,630 (mm)	図 2(2)-3 の高さ H
SC 構造体ユニットの長さ L	193.2 (mm)	図 2(2)-3 の長さ L
コンクリート板厚 t_c	163.6 (mm)	図 2(2)-3 の t_c
鋼材の水平断面の断面積 s_{Ay}	1,236 (mm ²)	-
鋼材の鉛直断面の断面積 s_{Ax}	10,432 (mm ²)	-

圧縮ストラット角度 θ は，SC 構造体ユニット①の高さ H 及び長さ L を用いて求める。

$$\theta = \tan^{-1}(H/L) = 83.2(^{\circ}) \quad \dots\dots\dots (式 2(2)-6)$$

コンクリートのひび割れを考慮したヤング係数 E_c' は，コンクリートのヤング係数 E_c に 0.7 を乗じることにより求める。

$$E_c' = 0.7 \times E_c = 17,850 (N/mm^2) \quad \dots\dots\dots (式 2(2)-7)$$

以上より，SC 構造体ユニット①ひとつあたりの K_{β} を求める。

$$C1 = L \cdot \cos\theta \left(\frac{\cos\theta}{s_{Ax}} - \frac{\sin\theta}{s_{Ay}} \nu_s \right) = -0.00525 \quad \dots\dots\dots (式 2(2)-8)$$

$$C2 = H \cdot \sin\theta \left(\frac{\sin\theta}{s_{Ay}} - \frac{\cos\theta}{s_{Ax}} \nu_s \right) = 1.29477 \quad \dots\dots\dots (式 2(2)-9)$$

$$K_{\beta} = \frac{(\cos\theta)^2}{2 \left[\frac{1 - \nu_c^2}{E_c' \cdot t_c \cdot \sin 2\theta} + \frac{1}{2 \cdot E_s} (C1 + C2) \right]} \cdot H$$

$$= \underline{\underline{2.39 \times 10^6 (N)}} \quad \dots\dots\dots (式 2(2)-10)$$

● K_β の算出方法 (SC 構造体ユニット②)

コンクリート及び鋼板の材料物性値は、試験体の規格値を用いる。 K_β の算出は、実機試験体の構造 (寸法) に応じた値を用いて行う。(図 2(2)-4, 表 2(2)-5, 表 2(2)-6)

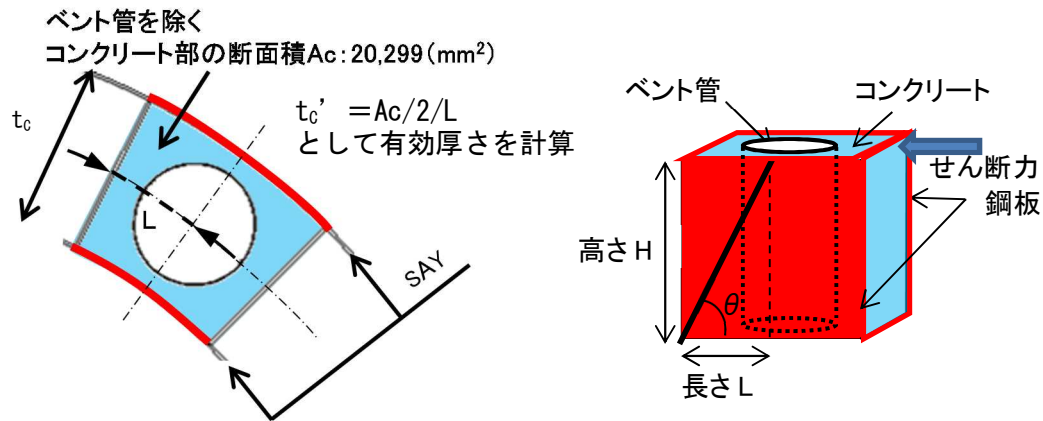


図 2(2)-4 SC 構造体ユニット② (赤が鋼板, 水色がコンクリート)

表 2(2)-5 コンクリート及び鋼板の材料物性値

物性値	値	根拠
コンクリートのヤング係数 E_c	25,500 (N/mm ²)	鉄筋コンクリート構造計算規準 (式 2(1)-1)
鋼板のヤング係数 E_s	192,000 (N/mm ²)	告示 501 号
コンクリートのポアソン比 ν_c	0.167	鉄筋コンクリート構造計算規準
鋼材のポアソン比 ν_s	0.3	鋼構造設計規準

表 2(2)-6 各部材の主要寸法

項目	値	対象箇所
SC 構造体ユニットの高さ H	1,630 (mm)	図 2(2)-4 の高さ H
SC 構造体ユニットの長さ L	96.6 (mm)	図 2(2)-4 の長さ L
コンクリート板厚 t_c	163.6 (mm)	図 2(2)-4 の t_c
鋼材の水平断面の断面積 s_{Ay}	618 (mm ²)	-
鋼材の鉛直断面の断面積 s_{Ax}	10,432 (mm ²)	-

圧縮ストラット角度 θ は，SC 構造体ユニット②の高さ H 及び長さ L を用いて求める。

$$\theta = \tan^{-1}(H/L) = 86.6(^{\circ}) \quad \dots\dots\dots (式 2(2)-11)$$

コンクリートのひび割れを考慮したヤング係数 E_c' は，コンクリートのヤング係数 E_c に 0.7 を乗じることにより求める。

$$E_c' = 0.7 \times E_c = 17,850 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \dots\dots\dots (式 2(2)-12)$$

SC 構造体ユニット②では，コンクリート部にベント管が内蔵されていることから， K_{β} の算出に用いるコンクリート厚さは，ベント管を除くコンクリート部の断面積 A_c のうち，半分が有効とし，SC 構造体ユニットの長さ L で除することにより求まる有効板厚 t_c' を用いる。

$$t_c' = A_c/2/L = 105.1 \text{ (mm)} \quad \dots\dots\dots (式 2(2)-13)$$

以上より，SC 構造体ユニット②ひとつあたりの K_{β} を求める。

$$C1 = L \cdot \cos\theta \left(\frac{\cos\theta}{s_{Ax}} - \frac{\sin\theta}{s_{Ay}} \nu_s \right) = -0.00274 \quad \dots\dots\dots (式 2(2)-14)$$

$$C2 = H \cdot \sin\theta \left(\frac{\sin\theta}{s_{Ay}} - \frac{\cos\theta}{s_{Ax}} \nu_s \right) = 2.62549 \quad \dots\dots\dots (式 2(2)-15)$$

$$K_{\beta} = \frac{(\cos\theta)^2}{2 \left[\frac{1 - \nu_c^2}{E_c' \cdot t_c' \cdot \sin 2\theta} + \frac{1}{2 \cdot E_s} (C1 + C2) \right]} \cdot H$$

$$= \underline{2.56 \times 10^5 \text{ (N)}} \quad \dots\dots\dots (式 2(2)-16)$$

●層全体の K_{β}

$$\begin{aligned} \text{層全体の } K_{\beta} \text{ は, } &= \text{SC 構造体ユニット①の } K_{\beta} \times 5 + \text{SC 構造体ユニット②の } K_{\beta} \times 5 \\ &= \underline{1.32 \times 10^7 \text{ (N)}} \quad \dots\dots\dots (式 2(2)-17) \end{aligned}$$

● K_a の算出方法

ベント管による断面欠損を考慮し算出する。(図 2(2)-5)

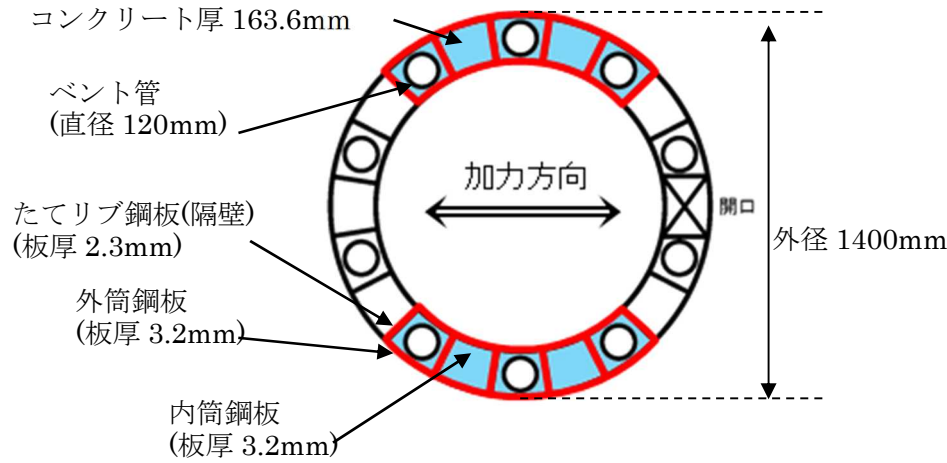


図 2(2)-5 せん断断面積の算出に考慮する各部材断面
(赤：鋼板， 水色：コンクリート)

● 計算過程

コンクリート及び鋼板の材料物性値は、試験体の規格値を用いる。 K_a の算出は、実機試験体の構造（寸法）に応じた値を用いて行う。(表 2(2)-7，表 2(2)-8)

表 2(2)-7 鋼板の材料物性値

物性値	値	根拠
鋼板のヤング係数 E_s	192,000 (N/mm ²)	告示 501 号
鋼板のせん断弾性係数 G_s	73,900 (N/mm ²)	式 2(2)-2
鋼板の降伏点強度 σ_y	245 (N/mm ²)	JIS G 3101

表 2(2)-8 各部材の主要寸法

項目	値	対象箇所
鋼板のせん断断面積 A_s	1.425×10^4 (mm ²)	図 2(2)-5 の赤線部分

鋼板のせん断断面積 A_s 及びせん断弾性係数 G_s を用いて鋼板のせん断剛性 K_α を求める。

$$K_\alpha = A_s \cdot G_s = 105 \times 10^7 \text{ (N)} \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \text{ (式 2 (2) -18)}$$

以上より，式 2 (2) -17 で求めた，ひび割れ後の鋼板による拘束効果を考慮したコンクリートの有効せん断剛性 K_β を用いて，第 2 折点のせん断力 Q_2 及びせん断変形角 γ_2 を算出する。

$$K_\alpha = 105 \times 10^7 \text{ (N)}$$

$$K_\beta = 1.32 \times 10^7 \text{ (N)}$$

・第 2 折点のせん断力 Q_2

$$\begin{aligned} Q_2 &= \frac{K_\alpha + K_\beta}{\sqrt{3K_\alpha^2 + K_\beta^2}} \cdot A_s \cdot \sigma_y \\ &= \underline{2.04 \times 10^3 \text{ (kN)}} \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \text{ (式 2 (2) -19)} \end{aligned}$$

・第 2 折点のせん断変形角 γ_2

$$\begin{aligned} \gamma_2 &= \frac{Q_2}{K_\alpha + K_\beta} \\ &= \underline{1.92 \times 10^{-3} \text{ (rad)}} \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \text{ (式 2 (2) -20)} \end{aligned}$$

3. SC 規程を参考にした実機 RPV ペデスタルのスケルトンカーブ導出過程

RPV ペデスタルは各断面で中間鋼板の有無やベント管による開口の有無といった構造の差異があるが、既工認では構造の差異について各要素で個別に考慮し剛性を算定している。

今回の非線形特性を考慮したスケルトンカーブの設定においても既工認同様に各断面の構造の差異を考慮し、複雑な断面形状を有する実機 RPV ペデスタルに対して、構造に応じた検討を行った上で SC 規程を参考にスケルトンカーブを設定する。

本項では、曲げ及びせん断のスケルトンカーブの具体的導出過程を示す。

上部ペデスタルは、各層で連通孔の有無、ベント取入孔の有無及び中間鋼板の個数という点で構造上の特徴が異なる。(表 3-1)

スケルトンカーブの設定においては、いずれの層においても、中間鋼板を断面積等の算定に含め、連通孔及びベント取入孔による開口分の断面欠損を考慮するという点は共通で、計算過程も同一であることから、ここでは一例として RPV 支持点上部の計算過程を示す。

表 3-1 上部ペデスタルの構造上の特徴

	連通孔	ベント取入孔	中間鋼板の個数
RPV 支持点上部	あり	無し	2
RPV 支持点下部	あり	無し	1
ベント取入孔部	無し	あり	1

下部ペデスタルは、各層共通してベント管を内蔵していることから、ベント管以外の構造物を含む下部ドライウェルアクセストンネルを有する断面を代表として計算過程を示す。

代表として計算過程を示す断面を図 3-1 に示す。

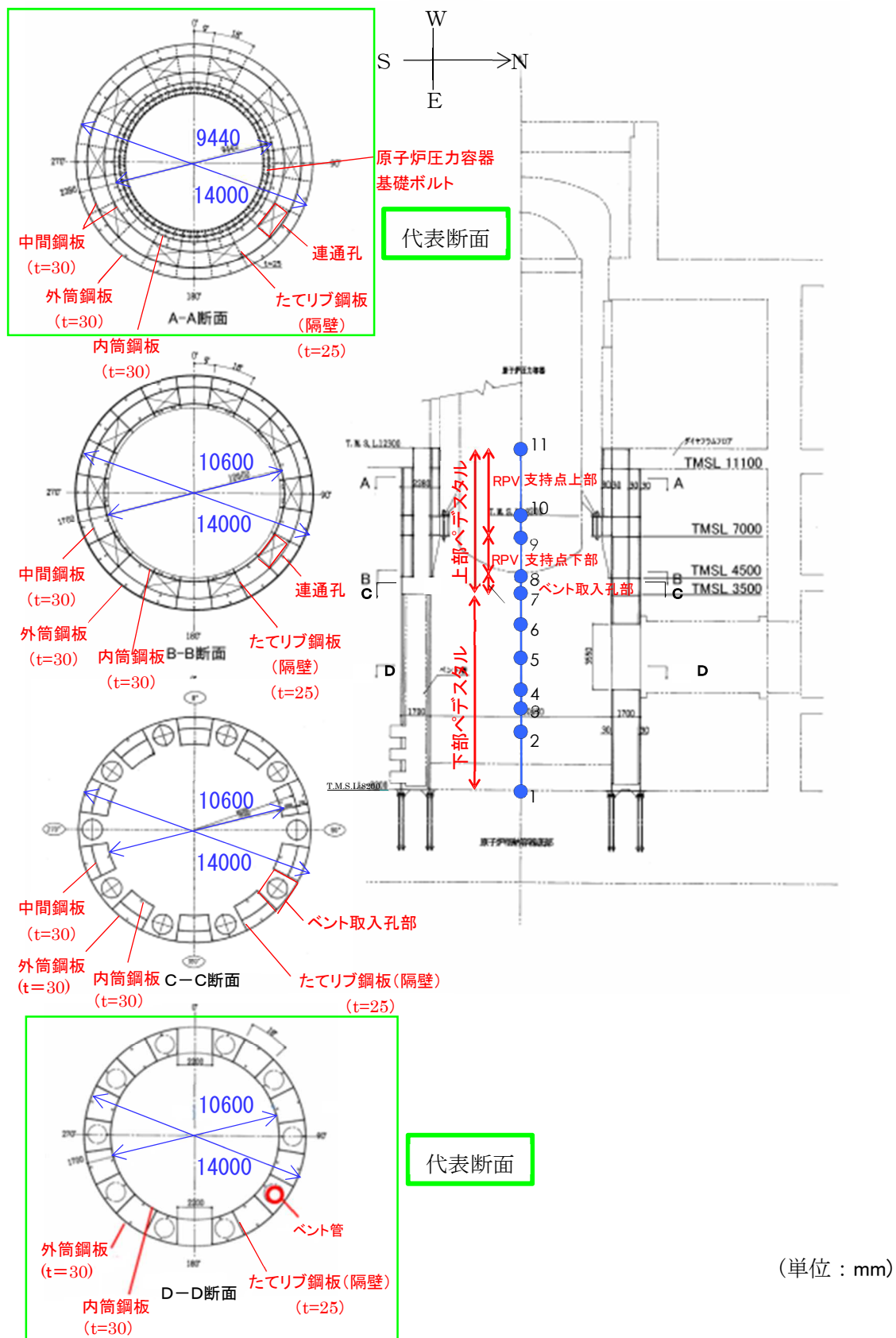


図 3-1 スケルトンカーブ設定の具体的計算過程提示の代表断面

4. 下部ペデスタルの計算過程

(1) 曲げのスケルトンカーブ導出過程

a. RPV ペデスタルの構造特性を踏まえた評価式

(第1折点)

- $M_1 = Z_e \cdot (f_t + \sigma_v)$ ただし、 $f_t = 0$ とする
- ϕ_1 は初期剛性と M_1 の交点 ($\phi_1 = M_1 / (E_c \cdot I_e)$)

注) 下部ペデスタルはコンクリート部がベースプレートにて完全に分断されておりコンクリート部の引張による抵抗が期待できないため $f_t = 0$ となる。

Z_e : 鋼板を考慮したコンクリートの断面係数 (mm^3) ($= I_e / (D / 2)$)

$D / 2$: 中心から最外縁までの距離 (D は最外直径)

f_t : コンクリートの曲げ引張強度 (N/mm^2) ($= 0.38\sqrt{\sigma_B}$)

σ_B : コンクリートの圧縮強度 (N/mm^2)

ペデスタルコンクリートの設計基準強度 $= 29.4 (\text{N/mm}^2)$

σ_v : 鋼板を考慮したコンクリートの鉛直方向軸応力度 (N/mm^2)

(ペデスタル及びペデスタルが支持する機器の死荷重によるペデスタル鉛直方向の軸力) \div ((各鋼板の断面積の和) $\times (E_s / E_c)$ + (開口欠損を考慮したコンクリート部の断面積))

E_c : コンクリートのヤング係数 (N/mm^2)

E_s : 鋼板のヤング係数 (N/mm^2)

I_e : 鋼板を考慮したコンクリートの断面二次モーメント (mm^4)

(各鋼板の断面二次モーメントの和) $\times (E_s / E_c)$ + (開口欠損を考慮したコンクリート部の断面二次モーメント)

第1折点は、ペデスタル円筒の曲げ引張側の死荷重による圧縮応力 (σ_v) がゼロとなる時点の M 及び ϕ を表している。

(第2折点)

- $M_2 = M_y$
- $\phi_2 = \phi_y$

M_y : 鋼板降伏時モーメント ($\text{N} \cdot \text{mm}$)

ϕ_y : 鋼板降伏時曲率 ($1/\text{mm}$)

b. 具体的計算過程

(第1折点)

●NS 方向

ベント管及び下部ドライウェルアクセストンネル（以下「アクセストンネル」という）による断面欠損を考慮し算出する。（図 4(1)-1）

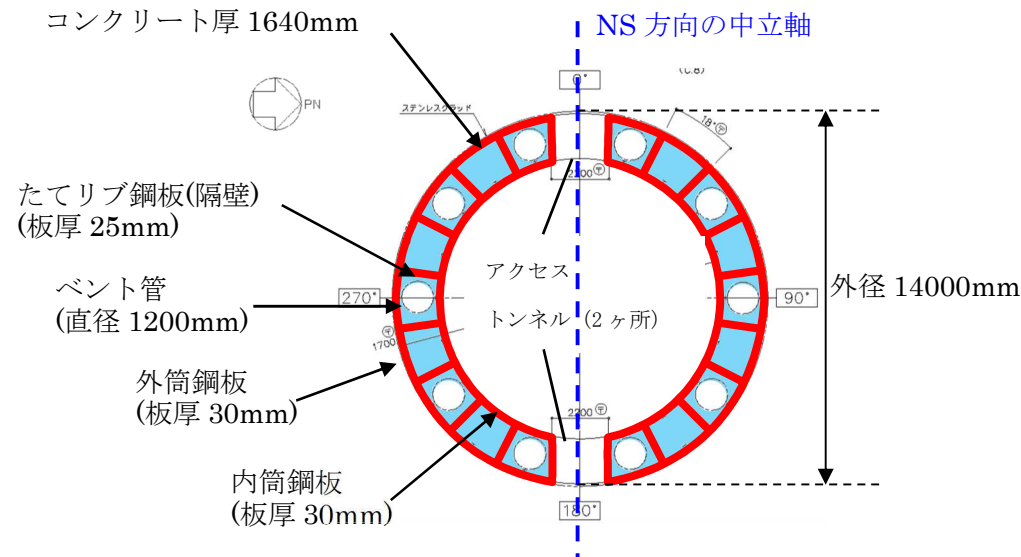


図 4(1)-1 断面二次モーメント及び断面積の算出に考慮する各部材断面
(赤：鋼板， 水色：コンクリート)

●計算過程

コンクリート及び鋼板の材料物性値，各部材断面の断面二次モーメント及び断面積は，既工認と同様の値を用いる。（表 4(1)-1，表 4(1)-2）

表 4(1)-1 コンクリート及び鋼板の材料物性値

物性値	値	根拠
コンクリートのヤング係数 E_c	25,500 (N/mm ²)	鉄筋コンクリート構造計算規準 (式 2(1)-1)
鋼板のヤング係数 E_s	192,000 (N/mm ²)	告示 501 号
コンクリートの圧縮強度 σ_B	29.4 (N/mm ²)	設計基準強度

表 4(1)-2 各部材断面の断面二次モーメント及び断面積

項目	値	対象箇所
コンクリート部の断面二次モーメント I_c	9.93430×10^{14} (mm ⁴)	図 4(1)-1 の水色部分
各鋼板の断面二次モーメントの和 I_s	5.3917×10^{13} (mm ⁴)	図 4(1)-1 の赤線部分
コンクリート部の断面積 $A_{n,c}$	4.4807×10^7 (mm ²)	図 4(1)-1 の水色部分
各鋼板の断面積の和 $A_{n,s}$	2.463×10^6 (mm ²)	図 4(1)-1 の赤線部分

各部材断面の断面二次モーメント（表 4(1)-2）を用いて、鋼板を考慮したコンクリートの断面二次モーメント I_e を求める。

$$I_e = I_s \times (E_s / E_c) + I_c = 4.05963 \times 10^{14} + 9.93430 \times 10^{14} \\ = 1.39939 \times 10^{15} (\text{mm}^4) \quad \dots \dots \text{(式 4(1)-1)}$$

中心から最外縁までの距離 $D/2 = 7,000\text{mm}$ （ D は最外直径）を用いて、鋼板を考慮したコンクリートの断面係数 Z_e を求める。

$$Z_e = I_e / (D/2) = 1.99913 \times 10^{11} (\text{mm}^3) \quad \dots \dots \text{(式 4(1)-2)}$$

ペデスタル及びペデスタルが支持する機器の死荷重によるペデスタル鉛直方向の軸力 N （ $= 7.50 \times 10^7 (\text{N})$ ）を用いて、鋼板を考慮したコンクリートの鉛直方向軸応力度 σ_v を求める。

$$\sigma_v = N / (A_{n,s} \times (E_s / E_c) + A_{n,c}) = 1.18 (\text{N/mm}^2) \quad \dots \dots \text{(式 4(1)-3)}$$

以上より、第 1 折点の曲げモーメント M_1 及び曲率 ϕ_1 を算出する。

$$M_1 = Z_e \cdot \sigma_v = \underline{2.36 \times 10^5 (\text{kN} \cdot \text{m})} \quad \dots \dots \text{(式 4(1)-4)}$$

$$\phi_1 = M_1 / (E_c \cdot I_e) = \underline{6.61 \times 10^{-6} (1/\text{m})} \quad \dots \dots \text{(式 4(1)-5)}$$

●EW 方向

ベント管及びアクセストンネルによる断面欠損を考慮し算出する。(図 4(1)-2)

コンクリート厚 1640mm

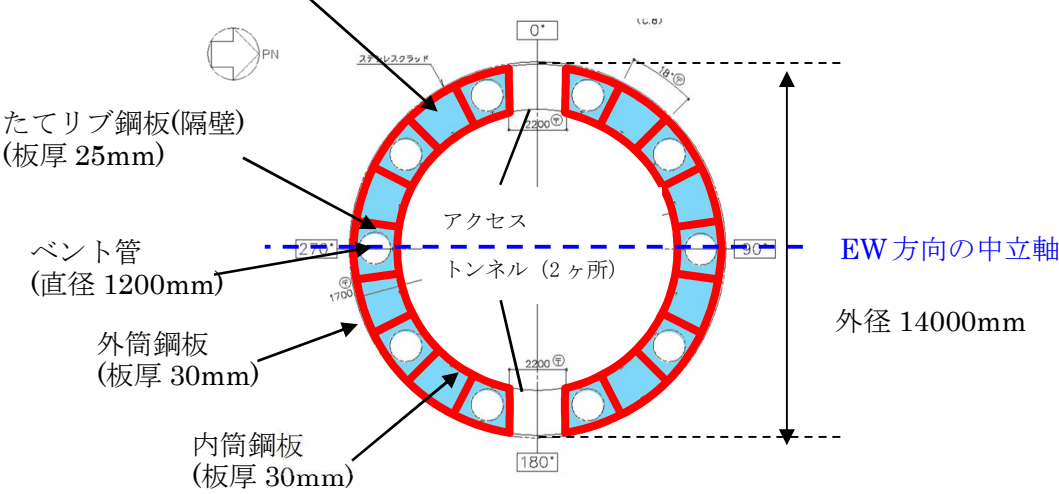


図 4(1)-2 断面二次モーメント及び断面積の算出に考慮する各部材断面
(赤：鋼板， 水色：コンクリート)

●計算過程

コンクリート及び鋼板の材料物性値，各部材断面の断面二次モーメント及び断面積は，既工認と同様の値を用いる。(表 4(1)-3，表 4(1)-4)

表 4(1)-3 コンクリート及び鋼板の材料物性値

物性値	値	根拠
コンクリートのヤング係数 E_c	25,500 (N/mm ²)	鉄筋コンクリート構造計算規準 (式 2(1)-1)
鋼板のヤング係数 E_s	192,000 (N/mm ²)	告示 501 号

表 4(1)-4 各部材断面の断面二次モーメント及び断面積

項目	値	対象箇所
コンクリート部の断面二次モーメント I_c	7.24900×10^{14} (mm ⁴)	図 4(1)-2 の水色部分
各鋼板の断面二次モーメントの和 I_s	4.3908×10^{13} (mm ⁴)	図 4(1)-2 の赤線部分
コンクリート部の断面積 $A_{n,c}$	4.4807×10^7 (mm ²)	図 4(1)-2 の水色部分
各鋼板の断面積の和 $A_{n,s}$	2.463×10^6 (mm ²)	図 4(1)-2 の赤線部分

各部材断面の断面二次モーメント（表 4(1)-4）を用いて，鋼板を考慮したコンクリートの断面二次モーメント I_e を求める。

$$I_e = I_s \times (E_s / E_c) + I_c = 3.30601 \times 10^{14} + 7.24900 \times 10^{14} \\ = 1.05550 \times 10^{15} (\text{mm}^4) \quad \dots \dots \dots \text{(式 4(1)-6)}$$

中心から最外縁までの距離 $D/2 = 7,000\text{mm}$ （ D は最外直径）を用いて，鋼板を考慮したコンクリートの断面係数 Z_e を求める。

$$Z_e = I_e / (D/2) = 1.50786 \times 10^{11} (\text{mm}^3) \quad \dots \dots \dots \text{(式 4(1)-7)}$$

ペデスタル及びペデスタルが支持する機器の死荷重によるペデスタル鉛直方向の軸力 N （ $= 7.50 \times 10^7 (\text{N})$ ）を用いて，鋼板を考慮したコンクリートの鉛直方向軸応力度 σ_v を求める。

$$\sigma_v = N / (A_{n,s} \times (E_s / E_c) + A_{n,c}) = 1.18 (\text{N/mm}^2) \quad \dots \dots \dots \text{(式 4(1)-8)}$$

以上より，第 1 折点の曲げモーメント M_1 及び曲率 ϕ_1 を算出する。

$$M_1 = Z_e \cdot \sigma_v = \underline{1.78 \times 10^5 (\text{kN} \cdot \text{m})} \quad \dots \dots \dots \text{(式 4(1)-9)}$$

$$\phi_1 = M_1 / (E_c \cdot I_e) = \underline{6.61 \times 10^{-6} (1/\text{m})} \quad \dots \dots \dots \text{(式 4(1)-10)}$$

(第2折点)

RPV ペデスタルの断面をファイバーモデルとしてモデル化し、漸増させる荷重（モーメント）に対して収束計算により中立軸と曲率を求め、鋼板とコンクリートの応力度 σ とひずみ ε を導出する。

鋼板が降伏状態に至る際のモーメント及び曲率が、それぞれ第2折点のモーメント M_2 及び曲率 ϕ_2 となる。

●モデル化方法

RPV ペデスタルの断面をファイバーモデルとしてモデル化する際は、ベント管及びアクセストンネルによるコンクリート及び鋼板の断面欠損を考慮した等価板厚を用いる。（図4(1)-3～5 参照）

本計算に用いるコンクリートの応力度 σ とひずみ ε の関係は、パラボラ型の応力ひずみ曲線を採用し、CEB-FIP⁽¹⁾モデルに基づき設定し、圧縮強度到達以降はフラットとする。なお、引張側の強度は無視する。

また、鋼板の応力ひずみ関係は、完全弾塑性（バイリニア）を採用する。

●第2折点のモーメント M_2 及び曲率 ϕ_2 の算出方法

荷重（モーメント）を漸増させていき、鋼板の応力度が降伏状態に至る際のモーメント及び曲率を算出する。

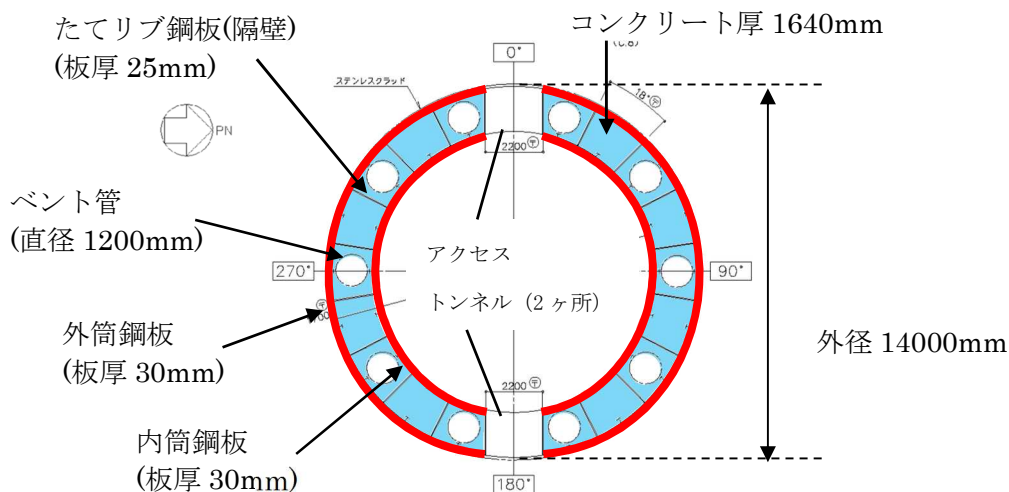


図4(1)-3 ファイバーモデルに考慮する各部材断面
(赤：鋼板， 水色：コンクリート)

●NS 方向

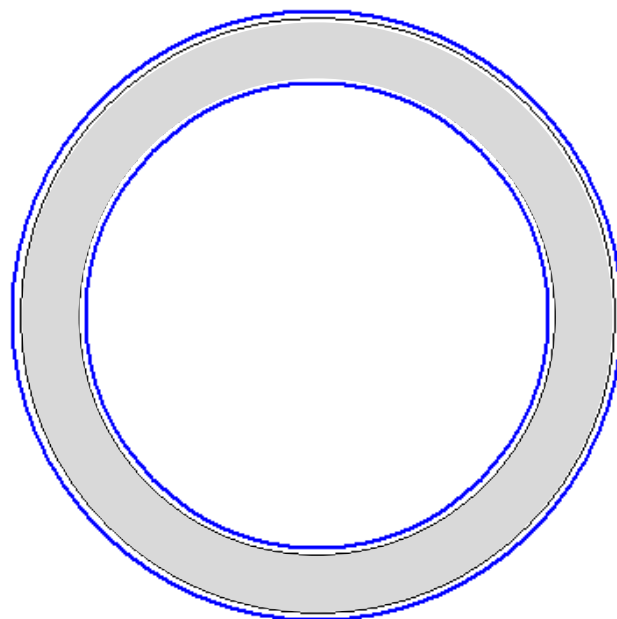


図 4(1)-4 ファイバーモデル構造図(黒線の間がコンクリート，青線が鋼板)【NS 方向】

●EW 方向

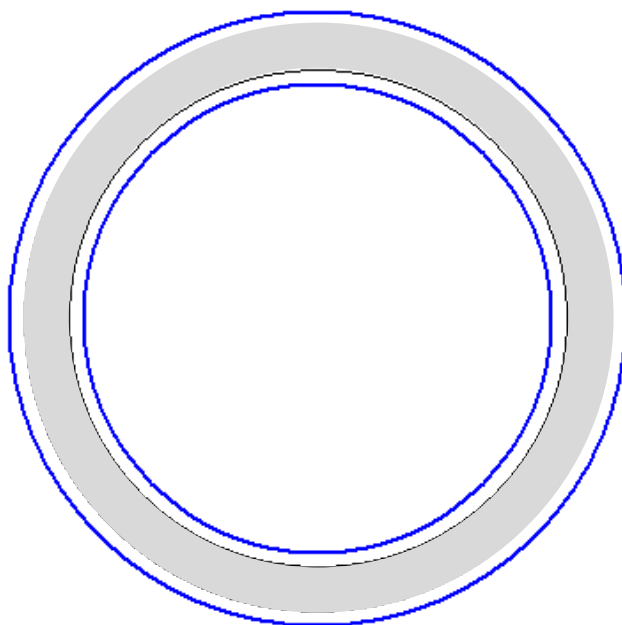


図 4(1)-5 ファイバーモデル構造図(黒線の間がコンクリート，青線が鋼板)【EW 方向】

●NS 方向

N : 軸力
M : モーメント
xn : 中立軸の位置
(モデル左端からの距離)

φ : 曲率
ε c : 圧縮側最大ひずみ
ε s : 鋼板の圧縮ひずみ

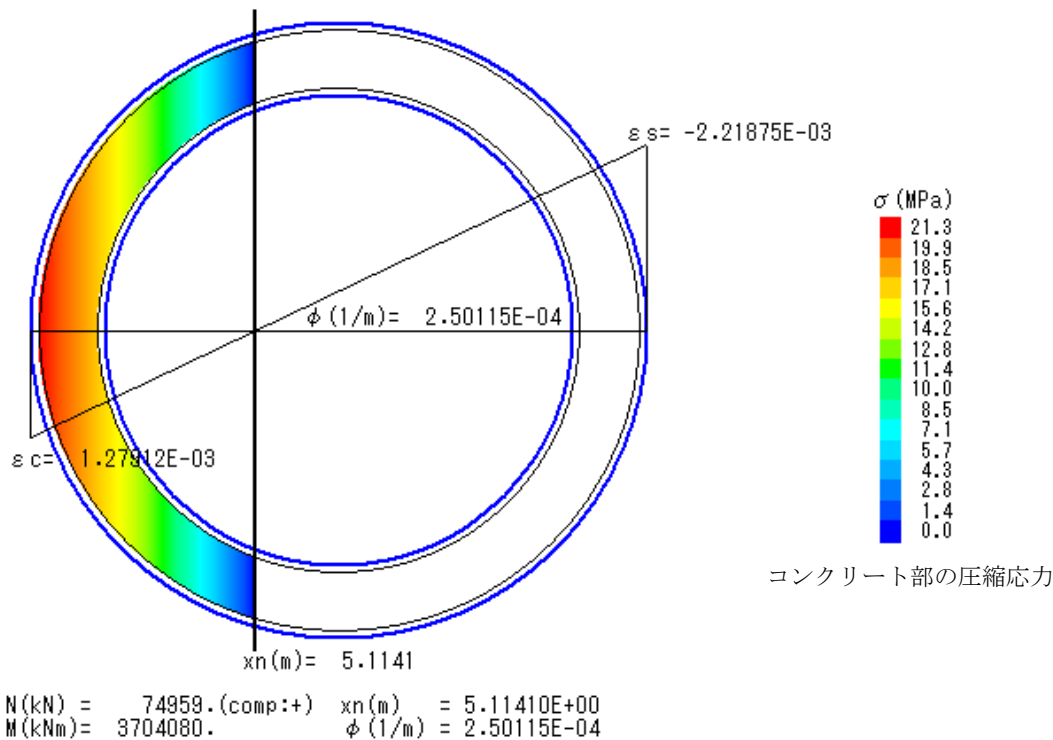
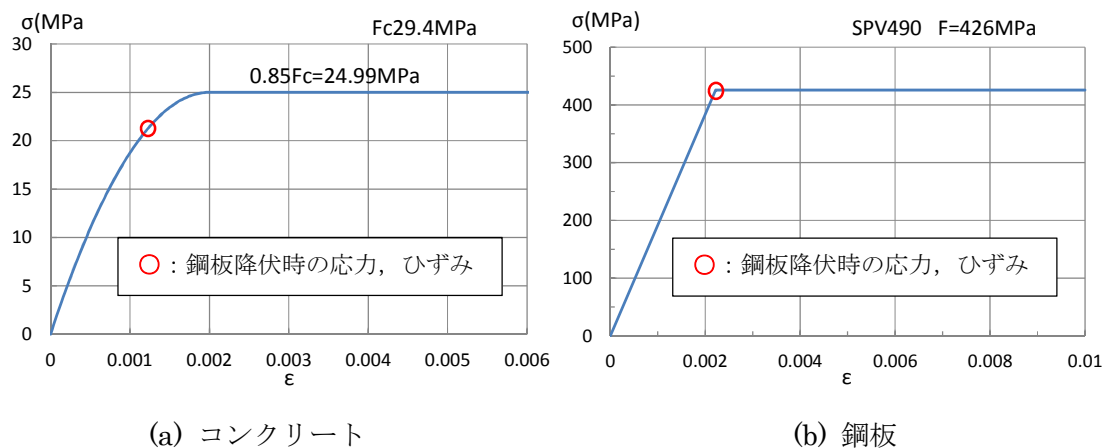


図 4(1)-6 ファイバーモデルによる解析結果 【NS 方向】



(a) コンクリート

(b) 鋼板

図 4(1)-7 コンクリート及び鋼板の応力ひずみ関係 【NS 方向】

- ・第2折点の曲げモーメント $M_2 = 3.70 \times 10^6 \text{ (kN} \cdot \text{m)}$
- ・第2折点の曲率 $\phi_2 = 2.50 \times 10^{-4} \text{ (1/m)}$

●EW 方向

N : 軸力
M : モーメント
xn : 中立軸の位置
(モデル左端からの距離)

φ : 曲率
ε c : 圧縮側最大ひずみ
ε s : 鋼板の圧縮ひずみ

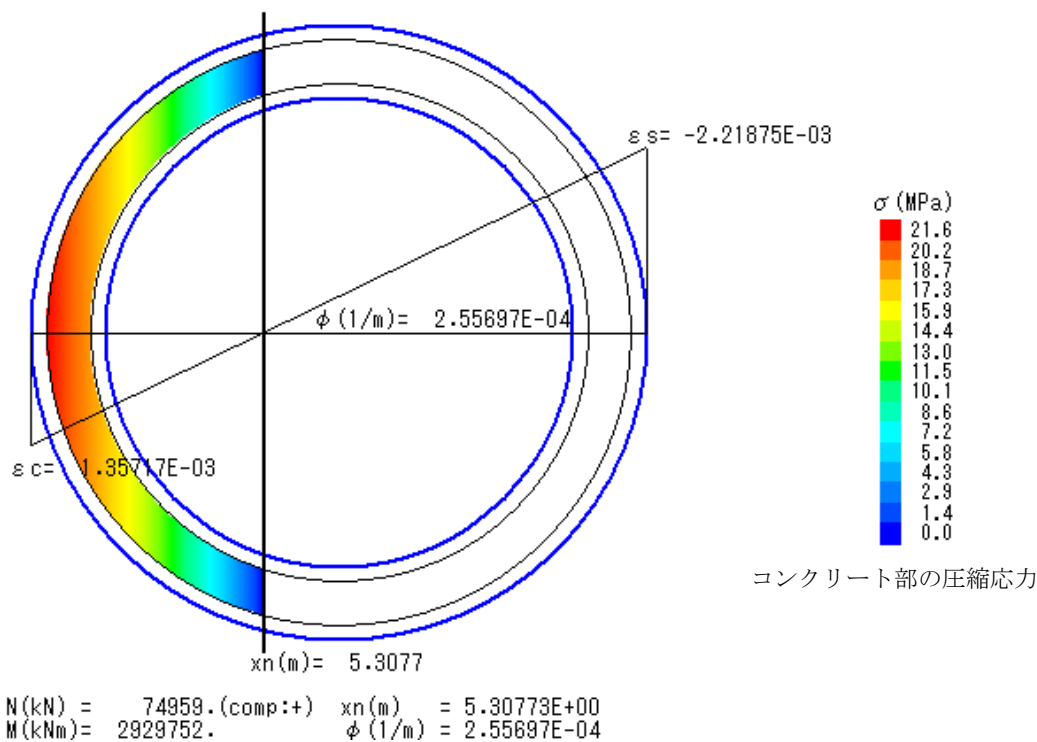


図 4(1)-8 ファイバーモデルによる解析結果 【EW 方向】

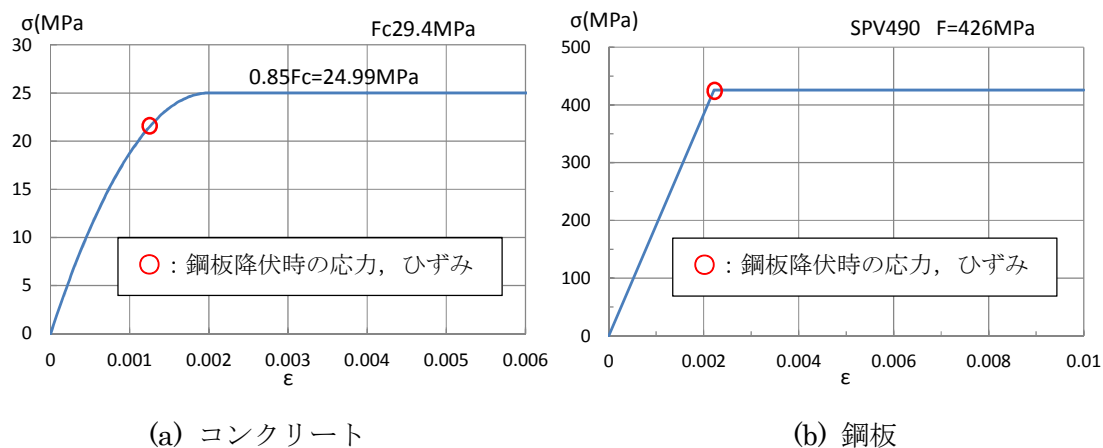


図 4(1)-9 コンクリート及び鋼板の応力ひずみ関係 【EW 方向】

- ・第2折点の曲げモーメント $M_2 = 2.93 \times 10^6 (\text{kN} \cdot \text{m})$
- ・第2折点の曲率 $\phi_2 = 2.56 \times 10^{-4} (1/\text{m})$

(2) せん断のスケルトンカーブ導出過程

a. 評価式

(第1折点)

- $Q_1 = (A_c + (G_s/G_c) \cdot A_s) \cdot \tau_{cr}$
- $\gamma_1 = \tau_{cr}/G_c$

ただし、 $\tau_{cr} = 0.5^{*1} \times \sqrt{0.31\sqrt{\sigma_B} \cdot (0.31\sqrt{\sigma_B} + \sigma_v)}$

注) *1: せん断ひび割れ強度については、RPV ペデスタルの内外円筒鋼板及び縦リブ間に充填されたコンクリートにベント管を埋め込んだ特殊な構造であり、コンクリートに大きな開口欠損がある。ベント管周りのコンクリート部は実際には複雑な応力状態を形成していると考えられるため、その影響を考慮して、せん断ひび割れ強度 τ_{cr} の 0.5 倍の値を仮定し用いる。

A_c : コンクリートのせん断断面積 (mm^2)

A_s : 鋼板のせん断断面積 (mm^2)

G_c : コンクリートのせん断弾性係数 (N/mm^2)

G_s : 鋼板のせん断弾性係数 (N/mm^2)

E_c : コンクリートのヤング係数 (N/mm^2)

E_s : 鋼板のヤング係数 (N/mm^2)

τ_{cr} : コンクリートのせん断ひび割れ強度 (N/mm^2)

σ_B : コンクリートの圧縮強度 (N/mm^2)

ペデスタルコンクリートの設計基準強度 = 29.4 (N/mm^2)

σ_v : 鋼板を考慮したコンクリートの鉛直方向軸応力度 (N/mm^2)

(ペデスタル及びペデスタルが支持する機器の死荷重によるペデスタル鉛直方向の軸力) / ((各鋼板の断面積の和) \times (E_s/E_c) + (コンクリート部の断面積))

第1折点は、ペデスタルのコンクリートと鋼板を考慮したせん断断面積 (コンクリートのせん断断面積 A_c 及びそれと等価なペデスタル鋼板のせん断断面積 $(G_s/G_c) \cdot A_s$ の和) にコンクリートのせん断ひび割れ強度 τ_{cr} を乗じた値、すなわちペデスタルコンクリート部にせん断ひび割れが発生する点の Q 、 γ を表している。

(第2折点)

$$Q_2 = (K_\alpha + K_\beta) / \sqrt{(3K_\alpha^2 + K_\beta^2)} \cdot A_s \cdot \sigma_y$$

$$\gamma_2 = Q_2 / (K_\alpha + K_\beta)$$

$$\text{ただし, } K_\alpha = A_s \cdot G_s$$

A_s : 鋼板のせん断断面積 (mm^2)

G_s : 鋼板のせん断弾性係数 (N/mm^2)

K_α : 鋼板のせん断剛性

K_β : ひび割れ後の鋼板による拘束効果を考慮したコンクリートの有効せん断剛性

σ_y : 鋼板の降伏点強度 (N/mm^2)

第1折点でコンクリートにひび割れが発生した後もコンクリートは圧縮方向（ひび割れ角度 θ の方向）にのみ抵抗する弾性体（異方性弾性体）として挙動し、鋼板と一体となってせん断力に抵抗する。

第2折点の評価に用いるコンクリートの有効せん断剛性 K_β は、SC 規程の附属書 2.1 解説及び、コンクリートひび割れ後のコンクリートと鋼板の挙動に関する既往知見⁽²⁾に示される以下の理論式を用いて、 $Q_c = K_\beta \cdot \gamma$ 、 $\delta = H \cdot \gamma$ の関係より算出する。

$$Q_c = \frac{(\cos\theta)^2}{2 \left[\frac{1 - \nu_c^2}{E_c' \cdot t_c \cdot \sin 2\theta} + \frac{1}{2 \cdot E_s} (C1 + C2) \right]} \cdot \delta$$

$$C1 = L \cdot \cos\theta \left(\frac{\cos\theta}{sAx} - \frac{\sin\theta}{sAy} \nu_s \right)$$

$$C2 = H \cdot \sin\theta \left(\frac{\sin\theta}{sAy} - \frac{\cos\theta}{sAx} \nu_s \right)$$

ここで、

Q_c : コンクリートの受け持つせん断力 (N)

δ : 水平変位 (mm)

γ : せん断ひずみ度

E_c' : コンクリートのひび割れを考慮したヤング係数で、コンクリートのヤング係数に 0.7 を乗じた値を用いる。 (N/mm^2)

E_s : 鋼材のヤング係数 (N/mm^2)

t_c : コンクリート板厚 (mm)

ν_c : コンクリートのポアソン比

ν_s : 鋼材のポアソン比

L : 隔壁の間隔(mm)

H : 隔壁の高さ(mm)

s_{Ay} : 鋼材の水平断面の断面積(mm²)

s_{Ax} : 鋼材の鉛直断面の断面積(mm²)

θ : 圧縮ストラット角度 ($\theta = \tan^{-1} \left(\frac{H}{L} \right)$)

($\theta = 45^\circ$ とした場合の評価式が SC 規程に例示されている。)

b. 具体的計算過程

(第1折点)

●NS 方向

ベント管及びアクセストンネルによる断面欠損を考慮し算出する。(図4(2)-1)

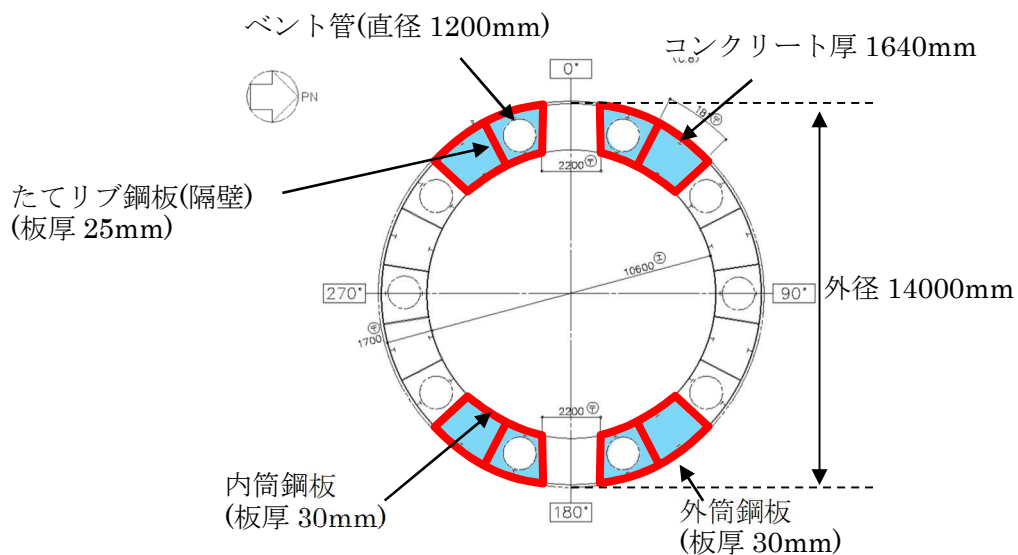


図4(2)-1 せん断断面積の算出に考慮する各部材断面

(赤：鋼板, 水色：コンクリート)

●計算過程

コンクリート及び鋼板の材料物性値, 各部材断面のせん断断面積は, 既工認と同様の値を用いる。(表4(2)-1, 表4(2)-2)

表 4(2)-1 コンクリート及び鋼板の材料物性値

物性値	値	根拠
コンクリートのせん断弾性係数 G_c	10,900 (N/mm ²)	鉄筋コンクリート構造計算規準 (式 2(2)-1)
鋼板のせん断弾性係数 G_s	73,900 (N/mm ²)	式 2(2)-2
コンクリートのヤング係数 E_c	25,500 (N/mm ²)	鉄筋コンクリート構造計算規準 (式 2(1)-1)
鋼板のヤング係数 E_s	192,000 (N/mm ²)	告示 501 号
コンクリートの圧縮強度 σ_B	29.4 (N/mm ²)	設計基準強度

表 4(2)-2 各部材断面のせん断断面積

項目	値	対象箇所
コンクリートのせん断断面積 A_c	1.8776×10^7 (mm ²)	図 4(2)-1 の水色部分
鋼板のせん断断面積 A_s	1.099×10^6 (mm ²)	図 4(2)-1 の赤線部分

鋼板を考慮したコンクリートの鉛直方向軸応力度 σ_v は、曲げのスケルトンカーブ算出に用いた値と同一であり、 $\sigma_v = 1.18$ (N/mm²) となる。

コンクリートの圧縮強度 σ_B (表 4(2)-1) と σ_v を用いて、コンクリートのせん断ひび割れ強度 τ_{cr} を求める。

$$\tau_{cr} = 0.5^{*1} \times \sqrt{0.31\sqrt{\sigma_B} \cdot (0.31\sqrt{\sigma_B} + \sigma_v)} = 1.10 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \dots\dots (式 4(2)-1)$$

注) *1: せん断ひび割れ強度については、RPV ペDESTAL の内外円筒鋼板及び縦リブ間に充填されたコンクリートにベント管を埋め込んだ特殊な構造であり、コンクリートに大きな開口欠損がある。ベント管周りのコンクリート部は実際には複雑な応力状態を形成していると考えられるため、その影響を考慮して、せん断ひび割れ強度 τ_{cr} の 0.5 倍の値を仮定し用いる。

以上より、第 1 折点のせん断力 Q_1 及びせん断変形角 γ_1 を算出する。

$$Q_1 = (A_c + (G_s/G_c) \cdot A_s) \cdot \tau_{cr} = \underline{2.88 \times 10^4 \text{ (kN)}} \quad \dots\dots (式 4(2)-2)$$

$$\gamma_1 = \tau_{cr}/G_c = \underline{1.01 \times 10^{-4} \text{ (rad)}} \quad \dots\dots (式 4(2)-3)$$

●EW 方向

ベント管による断面欠損を考慮し算出する。(図 4(2)-2)

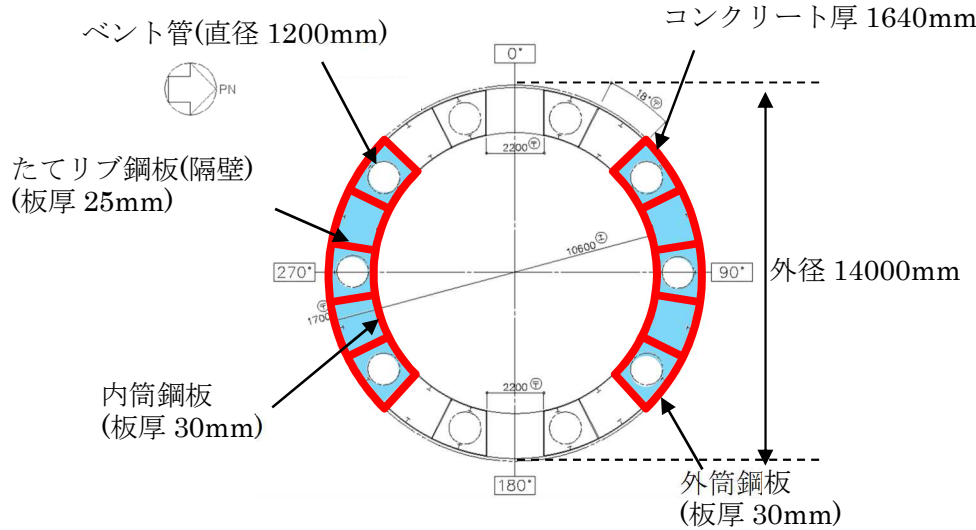


図 4(2)-2 せん断断面積の算出に考慮する各部材断面
(赤：鋼板， 水色：コンクリート)

●計算過程

コンクリート及び鋼板の材料物性値，各部材断面のせん断断面積は，既工認と同様の値を用いる。(表 4(2)-3，表 4(2)-4)

表 4(2)-3 コンクリート及び鋼板の材料物性値

物性値	値	根拠
コンクリートのせん断弾性係数 G_c	10,900 (N/mm ²)	鉄筋コンクリート構造計算規準 (式 2(2)-1)
鋼板のせん断弾性係数 G_s	73,900 (N/mm ²)	式 2(2)-2
コンクリートのヤング係数 E_c	25,500 (N/mm ²)	鉄筋コンクリート構造計算規準 (式 2(1)-1)
鋼板のヤング係数 E_s	192,000 (N/mm ²)	告示 501 号
コンクリートの圧縮強度 σ_B	29.4 (N/mm ²)	設計基準強度

表 4(2)-4 各部材断面のせん断断面積

項目	値	対象箇所
コンクリートのせん断断面積 A_c	$2.6031 \times 10^7 \text{ (mm}^2\text{)}$	図 4(2)-2 の水色部分
鋼板のせん断断面積 A_s	$1.364 \times 10^6 \text{ (mm}^2\text{)}$	図 4(2)-2 の赤線部分

鋼板を考慮したコンクリートの鉛直方向軸応力度 σ_v は、曲げのスケルトンカーブ算出に用いた値と同一であり、 $\sigma_v = 1.18 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ となる。

コンクリートの圧縮強度 σ_B (表 4(2)-3) と σ_v を用いて、コンクリートのせん断ひび割れ強度 τ_{cr} を求める。

$$\tau_{cr} = 0.5^{*1} \times \sqrt{0.31\sqrt{\sigma_B} \cdot (0.31\sqrt{\sigma_B} + \sigma_v)} = 1.10 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \dots\dots\dots \text{(式 4(2)-4)}$$

注) *1 : せん断ひび割れ強度については、RPV ペデスタルの内外円筒鋼板及び縦リブ間に充填されたコンクリートにベント管を埋め込んだ特殊な構造であり、コンクリートに大きな開口欠損がある。ベント管周りのコンクリート部は実際には複雑な応力状態を形成していると考えられるため、その影響を考慮して、せん断ひび割れ強度 τ_{cr} の 0.5 倍の値を仮定し用いる。

以上より、第 1 折点のせん断力 Q_1 及びせん断変形角 γ_1 を算出する。

$$Q_1 = (A_c + (G_s/G_c) \cdot A_s) \cdot \tau_{cr} = \underline{3.88 \times 10^4 \text{ (kN)}} \quad \dots\dots\dots \text{(式 4(2)-5)}$$

$$\gamma_1 = \tau_{cr}/G_c = \underline{1.01 \times 10^{-4} \text{ (rad)}} \quad \dots\dots\dots \text{(式 4(2)-6)}$$

(第2折点)

下部ペデスタルは、各層を通じて概ね均一な断面であることから、コンクリートひび割れ後の鋼板による拘束効果を考慮したコンクリートの有効せん断剛性 K_β を算出する際は、平均的な断面として基部の断面を用いる。また、試験体を用いて妥当性を確認した手法と同様に、断面全体のうち半分がせん断力に対して有効な領域とし、SC構造体ユニット①、②それぞれについて、全10箇所の半分に相当する5箇所分の剛性を評価する。

この場合、NS及びEWの各方向に対する平均的なせん断剛性が得られることから、 K_β はNS及びEW方向について共通の値を用いる。

具体的には、次に示す手順で層全体の K_β を求める。

- ・SC構造体ユニット①とSC構造体ユニット②それぞれの K_β を求める。
- ・層全体の K_β を求める。

(層全体の $K_\beta = \text{SC構造体ユニット①の} K_\beta \times 5 + \text{SC構造体ユニット②の} K_\beta \times 5$)

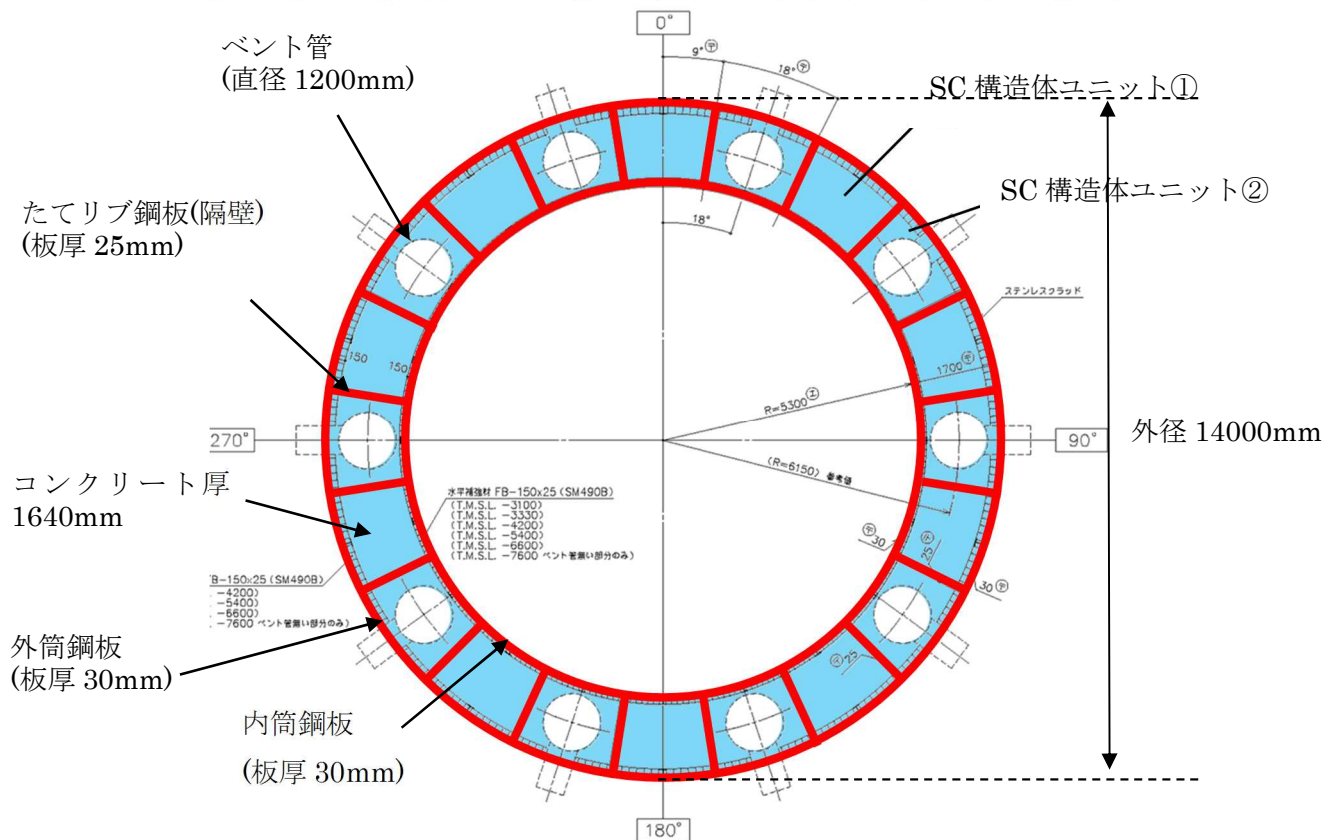


図4(2)-3 SC構造体ユニット（赤：鋼板， 水色：コンクリート）

鋼板のせん断剛性 K_α は、第1折点と同様に方向に応じた部材断面を考慮し求める。

● K_β の算出方法 (SC 構造体ユニット①)

コンクリート及び鋼板の材料物性値は、既工認と同様の値を用い、 K_β の算出は、実機 RPV ペDESTAL の構造 (寸法) に応じた値を用いて行う。(図 4(2)-4、表 4(2)-5、表 4(2)-6)

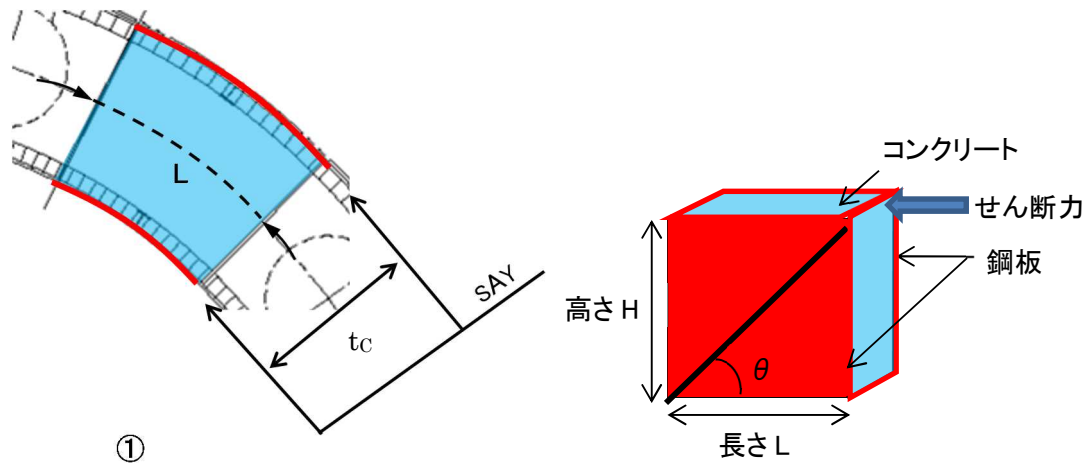


図 4(2)-4 SC 構造体ユニット① (赤が鋼板, 水色がコンクリート)

表 4(2)-5 コンクリート及び鋼板の材料物性値

物性値	値	根拠
コンクリートのヤング係数 E_c	25,500 (N/mm ²)	鉄筋コンクリート構造計算規準 (式 2(1)-1)
鋼板のヤング係数 E_s	192,000 (N/mm ²)	告示 501 号
コンクリートのポアソン比 ν_c	0.167	鉄筋コンクリート構造計算規準
鋼材のポアソン比 ν_s	0.3	鋼構造設計規準

表 4(2)-6 各部材の主要寸法

項目	値	対象箇所
SC 構造体ユニットの高さ H	11,700 (mm)	図 4(2)-4 の高さ H
SC 構造体ユニットの長さ L	1,932 (mm)	図 4(2)-4 の長さ L
コンクリート板厚 t_c	1,640 (mm)	図 4(2)-4 の t_c
鋼材の水平断面の断面積 sAy	115,920 (mm ²)	-
鋼材の鉛直断面の断面積 sAx	702,000 (mm ²)	-

圧縮ストラット角度 θ は，SC 構造体ユニット①の高さ H 及び長さ L を用いて求める。

$$\theta = \tan^{-1}(H/L) = 80.6(^{\circ}) \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \text{(式 4(2)-7)}$$

コンクリートのひび割れを考慮したヤング係数 E_c' は，コンクリートのヤング係数 E_c に 0.7 を乗じることにより求める。

$$E_c' = 0.7 \times E_c = 17,850 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \text{(式 4(2)-8)}$$

以上より，SC 構造体ユニット①ひとつあたりの K_{β} を求める。

$$C1 = L \cdot \cos\theta \left(\frac{\cos\theta}{s_{Ax}} - \frac{\sin\theta}{s_{Ay}} \nu_s \right) = -0.00073 \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \text{(式 4(2)-9)}$$

$$C2 = H \cdot \sin\theta \left(\frac{\sin\theta}{s_{Ay}} - \frac{\cos\theta}{s_{Ax}} \nu_s \right) = 0.09743 \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \text{(式 4(2)-10)}$$

$$K_{\beta} = \frac{(\cos\theta)^2}{2 \left[\frac{1 - \nu_c^2}{E_c' \cdot t_c \cdot \sin 2\theta} + \frac{1}{2 \cdot E_s} (C1 + C2) \right]} \cdot H$$

$$= \underline{\underline{4.40 \times 10^8 \text{ (N)}}} \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \text{(式 4(2)-11)}$$

● K_{β} の算出方法（SC 構造体ユニット②）

コンクリート及び鋼板の材料物性値は、既工認と同様の値を用い、 K_{β} の算出は、実機 RPV ペデスタルの構造（寸法）に応じた値を用いて行う。（図 4(2)-5、表 4(2)-7、表 4(2)-8）

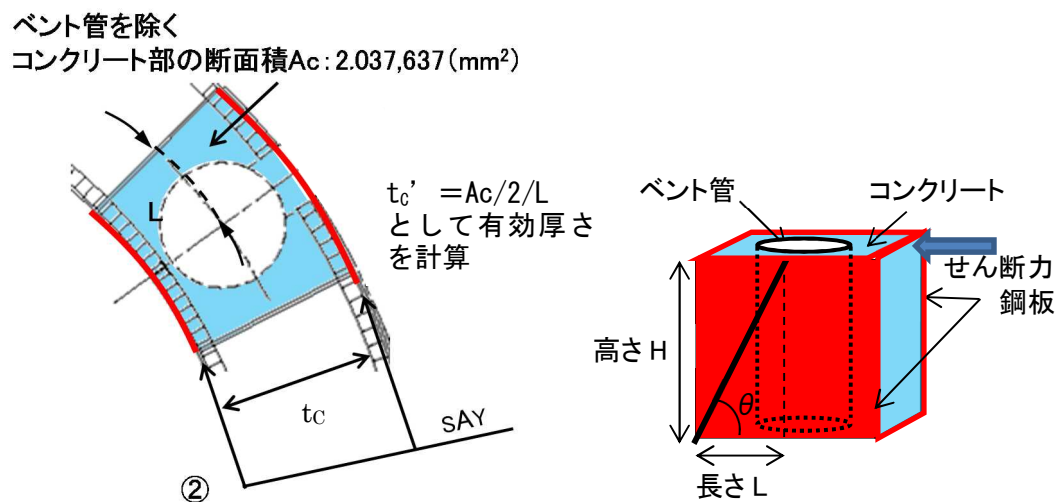


図 4(2)-5 SC 構造体ユニット②（赤が鋼板，水色がコンクリート）

表 4(2)-7 コンクリート及び鋼板の材料物性値

物性値	値	根拠
コンクリートのヤング係数 E_c	25,500 (N/mm ²)	鉄筋コンクリート構造計算規準 (式 2(1)-1)
鋼板のヤング係数 E_s	192,000 (N/mm ²)	告示 501 号
コンクリートのポアソン比 ν_c	0.167	鉄筋コンクリート構造計算規準
鋼材のポアソン比 ν_s	0.3	鋼構造設計規準

表 4(2)-8 各部材の主要寸法

項目	値	対象箇所
SC 構造体ユニットの高さ H	11,700 (mm)	図 4(2)-5 の高さ H
SC 構造体ユニットの長さ L	966 (mm)	図 4(2)-5 の長さ L
コンクリート板厚 t_c	1,640 (mm)	図 4(2)-5 の t_c
鋼材の水平断面の断面積 s_{Ay}	57,960 (mm ²)	－
鋼材の鉛直断面の断面積 s_{Ax}	702,000 (mm ²)	－

圧縮ストラット角度 θ は、SC 構造体ユニット②の高さ H 及び長さ L を用いて求める。

$$\theta = \tan^{-1}(H/L) = 85.3(^{\circ}) \quad \dots\dots\dots \text{(式 4(2)-12)}$$

コンクリートのひび割れを考慮したヤング係数 E_c' は、コンクリートのヤング係数 E_c に 0.7 を乗じることにより求める。

$$E_c' = 0.7 \times E_c = 17,850 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \dots\dots\dots \text{(式 4(2)-13)}$$

SC 構造体ユニット②では、コンクリート部にベント管が内蔵されていることから、 K_{β} の算出に用いるコンクリート厚さは、ベント管を除くコンクリート部の断面積 A_c のうち、半分が有効とし、SC 構造体ユニットの長さ L で除することにより求まる有効板厚 t_c' を用いる。

$$t_c' = A_c/2/L = 1,055 \text{ (mm)} \quad \dots\dots\dots \text{(式 4(2)-14)}$$

以上より、SC 構造体ユニット②ひとつあたりの K_{β} を求める。

$$C1 = L \cdot \cos\theta \left(\frac{\cos\theta}{s_{Ax}} - \frac{\sin\theta}{s_{Ay}} v_s \right) = -0.00040 \quad \dots\dots\dots \text{(式 4(2)-15)}$$

$$C2 = H \cdot \sin\theta \left(\frac{\sin\theta}{s_{Ay}} - \frac{\cos\theta}{s_{Ax}} v_s \right) = 0.20010 \quad \dots\dots\dots \text{(式 4(2)-16)}$$

$$K_{\beta} = \frac{(\cos\theta)^2}{2 \left[\frac{1 - v_c^2}{E_c' \cdot t_c' \cdot \sin 2\theta} + \frac{1}{2 \cdot E_s} (C1 + C2) \right]} \cdot H$$

$$= \underline{4.70 \times 10^7 \text{ (N)}} \quad \dots\dots\dots \text{(式 4(2)-17)}$$

●層全体の K_{β}

層全体の K_{β} は、 $= \text{SC 構造体ユニット①の } K_{\beta} \times 5 + \text{SC 構造体ユニット②の } K_{\beta} \times 5$

$$= \underline{2.44 \times 10^9 \text{ (N)}} \quad \dots\dots\dots \text{(式 4(2)-18)}$$

● K_α の算出方法

● NS 方向

ベント管及びアクセストンネルによる断面欠損を考慮し算出する。(図 4(2)-6)

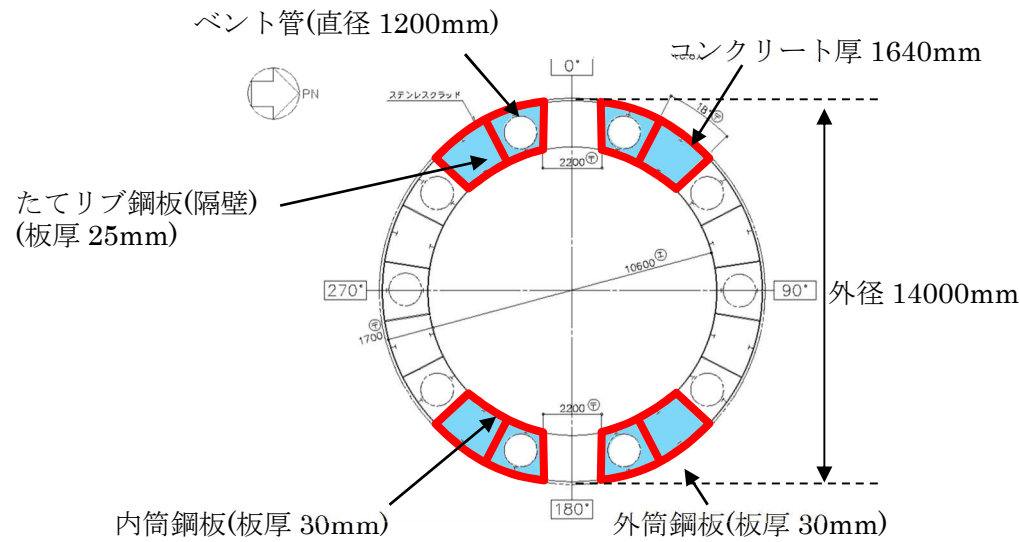


図 4(2)-6 せん断断面積の算出に考慮する各部材断面
(赤：鋼板， 水色：コンクリート)

● 計算過程

鋼板の材料物性値及び各部材断面のせん断断面積は、既工認と同様の値を用いる。(表 4(2)-9, 表 4(2)-10)

表 4(2)-9 鋼板の材料物性値

物性値	値	根拠
鋼板のヤング係数 E_s	192,000 (N/mm ²)	告示 501 号
鋼板のせん断弾性係数 G_s	73,900 (N/mm ²)	式 2(2)-2
鋼板の降伏点強度 σ_y	426 (N/mm ²)	JIS G 3115

表 4(2)-10 鋼板のせん断断面積

項目	値	対象箇所
鋼板のせん断断面積 A_s	1.099×10^6 (mm ²)	図 4(2)-6 の赤線部分

鋼板のせん断断面積 A_s 及びせん断弾性係数 G_s を用いて鋼板のせん断剛性 K_α を求める。

$$K_\alpha = A_s \cdot G_s = 81.2 \times 10^9 \text{ (N)} \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \text{ (式 4(2)-19)}$$

以上より，式 4(2)-18 で求めた，ひび割れ後の鋼板による拘束効果を考慮したコンクリートの有効せん断剛性 K_β を用いて，第 2 折点のせん断力 Q_2 及びせん断変形角 γ_2 を算出する。

$$K_\alpha = 81.2 \times 10^9 \text{ (N)}$$

$$K_\beta = 2.44 \times 10^9 \text{ (N)}$$

・ 第 2 折点のせん断力 Q_2

$$\begin{aligned} Q_2 &= \frac{K_\alpha + K_\beta}{\sqrt{3K_\alpha^2 + K_\beta^2}} \cdot A_s \cdot \sigma_y \\ &= \underline{2.78 \times 10^5 \text{ (kN)}} \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \text{ (式 4(2)-20)} \end{aligned}$$

・ 第 2 折点のせん断変形角 γ_2

$$\begin{aligned} \gamma_2 &= \frac{Q_2}{K_\alpha + K_\beta} \\ &= \underline{3.32 \times 10^{-3} \text{ (rad)}} \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \text{ (式 4(2)-21)} \end{aligned}$$

●EW 方向

ベント管による断面欠損を考慮し算出する。(図 4(2)-7)

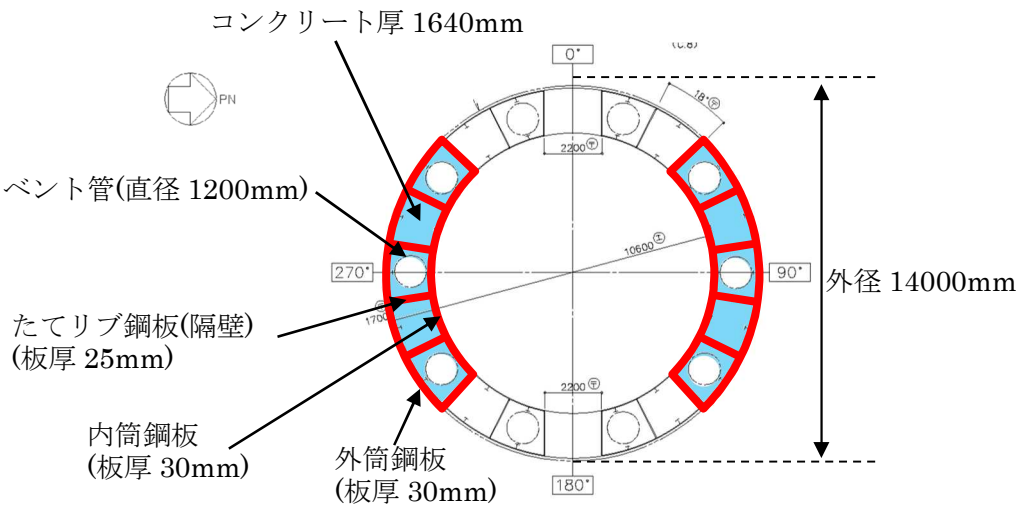


図 4(2)-7 せん断断面積の算出に考慮する各部材断面
(赤：鋼板, 水色：コンクリート)

●計算過程

鋼板の材料物性値及び各部材断面のせん断断面積は、既工認と同様の値を用いる。(表 4(2)-11, 表 4(2)-12)

表 4(2)-11 鋼板の材料物性値

物性値	値	根拠
鋼板のヤング係数 E_s	192,000 (N/mm ²)	告示 501 号
鋼板のせん断弾性係数 G_s	73,900 (N/mm ²)	式 2(2)-2
鋼板の降伏点強度 σ_y	426 (N/mm ²)	JIS G 3115

表 4(2)-12 鋼板のせん断断面積

項目	値	対象箇所
鋼板のせん断断面積 A_s	1.364×10^6 (mm ²)	図 4(2)-7 の赤線部分

鋼板のせん断断面積 A_s 及びせん断弾性係数 G_s を用いて鋼板のせん断剛性 K_α を求める。

$$K_\alpha = A_s \cdot G_s = 101 \times 10^9 \text{ (N)} \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \text{ (式 4 (2) -22)}$$

以上より，式 4 (2) -18 で求めた，ひび割れ後の鋼板による拘束効果を考慮したコンクリートの有効せん断剛性 K_β を用いて，第 2 折点のせん断力 Q_2 及びせん断変形角 γ_2 を算出する。

$$K_\alpha = 101 \times 10^9 \text{ (N)}$$

$$K_\beta = 2.44 \times 10^9 \text{ (N)}$$

・第 2 折点のせん断力 Q_2

$$Q_2 = \frac{K_\alpha + K_\beta}{\sqrt{3K_\alpha^2 + K_\beta^2}} \cdot A_s \cdot \sigma_y$$
$$= \underline{3.44 \times 10^5 \text{ (kN)}} \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \text{ (式 4 (2) -23)}$$

・第 2 折点のせん断変形角 γ_2

$$\gamma_2 = \frac{Q_2}{K_\alpha + K_\beta}$$
$$= \underline{3.33 \times 10^{-3} \text{ (rad)}} \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \text{ (式 4 (2) -24)}$$

5. 上部ペデスタルの計算過程

(1) 曲げのスケルトンカーブ導出過程

a. RPV ペデスタルの構造特性を踏まえた評価式

(第1折点)

- $M_1 = Z_e \cdot (0.5f_t^{*1} + \sigma_v)$
- ϕ_1 は初期剛性と M_1 の交点 ($\phi_1 = M_1 / (E_c \cdot I_e)$)

注) *1: 水平鋼板がコンクリートを分断するように設置されるが、水平鋼板面積のうち約 1/2 はコンクリート打設孔による開口があり、コンクリートが連続していることから、コンクリートの曲げ引張強度 f_t に 0.5 を乗じる。

Z_e : 鋼板を考慮したコンクリートの断面係数 (mm^3) ($= I_e / (D/2)$)

$D/2$: 中心から最外縁までの距離 (D は最外直径)

σ_v : 鋼板を考慮したコンクリートの鉛直方向軸応力度 (N/mm^2)

(ペデスタル及びペデスタルが支持する機器の死荷重によるペデスタル鉛直方向の軸力) / ((各鋼板の断面積の和) $\times (E_s / E_c)$ + (開口欠損を考慮したコンクリート部の断面積))

f_t : コンクリートの曲げ引張強度 (N/mm^2) ($= 0.38\sqrt{\sigma_B}$)

σ_B : コンクリートの圧縮強度 (N/mm^2)

ペデスタルコンクリートの設計基準強度 $= 29.4 (\text{N/mm}^2)$

E_c : コンクリートのヤング係数 (N/mm^2)

E_s : 鋼板のヤング係数 (N/mm^2)

I_e : 鋼板を考慮したコンクリートの断面二次モーメント (mm^4)

(各鋼板の断面二次モーメントの和) $\times (E_s / E_c)$ + (開口欠損を考慮したコンクリート部の断面二次モーメント)

第1折点は、ペデスタル円筒の曲げ引張側のコンクリート部にひび割れが生じる点の M 及び ϕ を表している。

(第2折点)

- $M_2 = M_y$
- $\phi_2 = \phi_y$

M_y : 鋼板降伏時モーメント ($\text{N} \cdot \text{mm}$)

ϕ_y : 鋼板降伏時曲率 ($1/\text{mm}$)

b. 具体的計算過程

(第1折点)

●NS 方向

連通孔及びアクセス開口による断面欠損を考慮し算出する。(図5(1)-1)

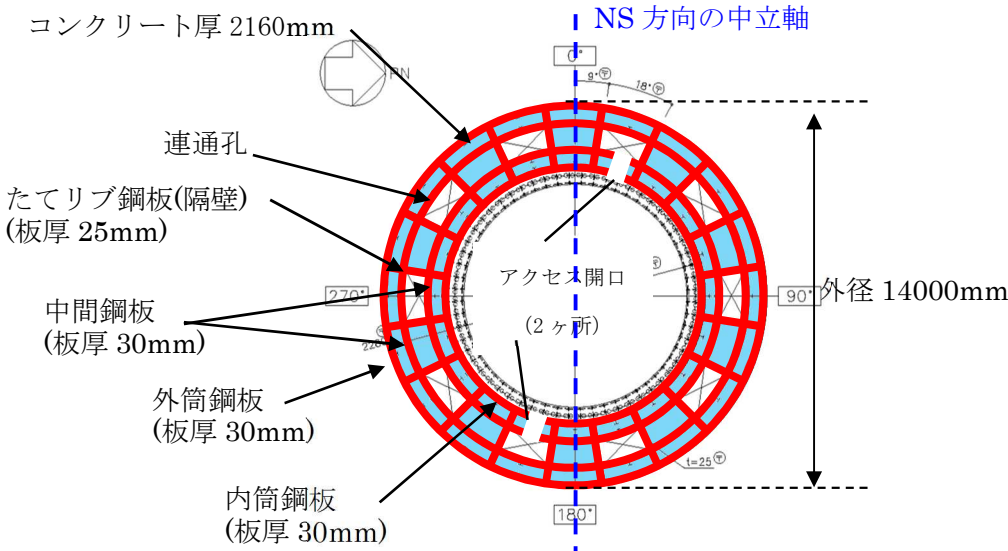


図5(1)-1 断面二次モーメント及び断面積の算出に考慮する各部材断面
(赤：鋼板， 水色：コンクリート)

●計算過程

コンクリート及び鋼板の材料物性値，各部材断面の断面二次モーメント及び断面積は，既工認と同様の値を用いる。(表5(1)-1，表5(1)-2)

表5(1)-1 コンクリート及び鋼板の材料物性値

物性値	値	根拠
コンクリートのヤング係数 E_c	25,500 (N/mm ²)	鉄筋コンクリート構造計算規準 (式2(1)-1)
鋼板のヤング係数 E_s	192,000 (N/mm ²)	告示501号

表5(1)-2 各部材断面の断面二次モーメント及び断面積

項目	値	対象箇所
コンクリート部の断面二次モーメント I_c	8.35811×10^{14} (mm ⁴)	図5(1)-1の水色部分
各鋼板の断面二次モーメントの和 I_s	7.5003×10^{13} (mm ⁴)	図5(1)-1の赤線部分
コンクリート部の断面積 $A_{n,c}$	5.0397×10^7 (mm ²)	図5(1)-1の水色部分
各鋼板の断面積の和 $A_{n,s}$	4.392×10^6 (mm ²)	図5(1)-1の赤線部分

各部材断面の断面二次モーメント（表 5(1)-2）を用いて，鋼板を考慮したコンクリートの断面二次モーメント I_e を求める。

$$I_e = I_s \times (E_s / E_c) + I_c = 5.64728 \times 10^{14} + 8.35811 \times 10^{14} \\ = 1.40054 \times 10^{15} (\text{mm}^4) \quad \dots \dots \text{(式 5(1)-1)}$$

中心から最外縁までの距離 $D/2 = 7,000\text{mm}$ （ D は最外直径）を用いて，鋼板を考慮したコンクリートの断面係数 Z_e を求める。

$$Z_e = I_e / (D/2) = 2.00077 \times 10^{11} (\text{mm}^3) \quad \dots \dots \text{(式 5(1)-2)}$$

ペDESTAL 及びペDESTAL が支持する機器の死荷重によるペDESTAL 鉛直方向の軸力 N （ $= 3.53 \times 10^7 (\text{N})$ ）を用いて，鋼板を考慮したコンクリートの鉛直方向軸応力度 σ_v を求める。

$$\sigma_v = N / (A_{n,s} \times (E_s / E_c) + A_{n,c}) = 0.42 (\text{N/mm}^2) \quad \dots \dots \text{(式 5(1)-3)}$$

以上より，第 1 折点の曲げモーメント M_1 及び曲率 ϕ_1 を算出する。

$$M_1 = Z_e \cdot (0.5f_t + \sigma_v) = \underline{2.90 \times 10^5 (\text{kN} \cdot \text{m})} \quad \dots \dots \text{(式 5(1)-4)}$$

$$\phi_1 = M_1 / (E_c \cdot I_e) = \underline{8.12 \times 10^{-6} (1/\text{m})} \quad \dots \dots \text{(式 5(1)-5)}$$

●EW 方向

連通孔及びアクセス開口による断面欠損を考慮し算出する。(図 5(1)-2)
コンクリート厚 2160mm

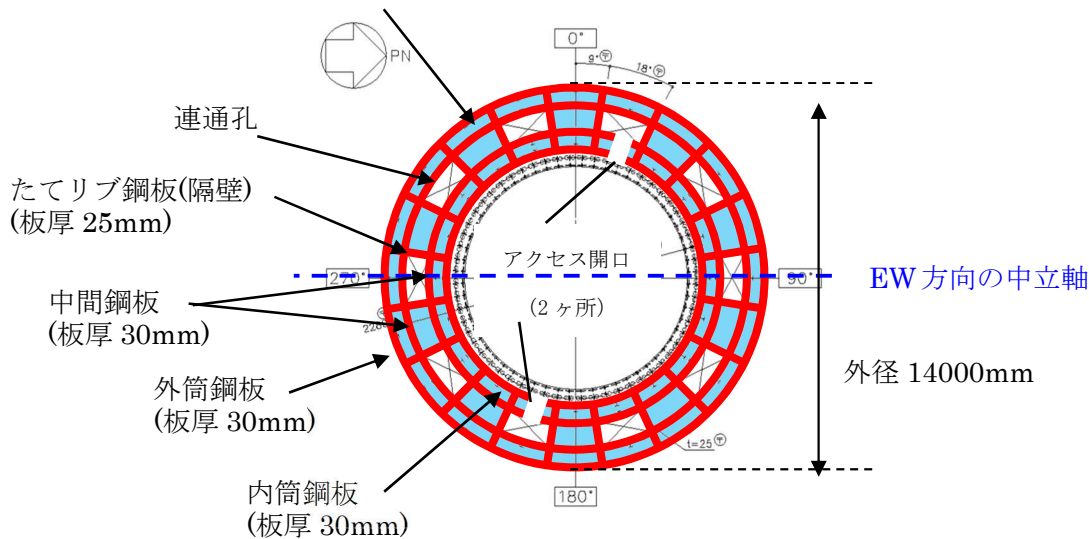


図 5(1)-2 断面二次モーメント及び断面積の算出に考慮する各部材断面
(赤：鋼板， 水色：コンクリート)

●計算過程

コンクリート及び鋼板の材料物性値，各部材断面の断面二次モーメント及び断面積は，既工認と同様の値を用いる。(表 5(1)-3，表 5(1)-4)

表 5(1)-3 コンクリート及び鋼板の材料物性値

物性値	値	根拠
コンクリートのヤング係数 E_c	25,500 (N/mm ²)	鉄筋コンクリート構造計算規準 (式 2(1)-1)
鋼板のヤング係数 E_s	192,000 (N/mm ²)	告示 501 号

表 5(1)-4 各部材断面の断面二次モーメント及び断面積

項目	値	対象箇所
コンクリート部の断面二次モーメント I_c	8.33523×10^{14} (mm ⁴)	図 5(1)-2 の水色部分
各鋼板の断面二次モーメントの和 I_s	7.4655×10^{13} (mm ⁴)	図 5(1)-2 の赤線部分
コンクリート部の断面積 $A_{n,c}$	5.0397×10^7 (mm ²)	図 5(1)-2 の水色部分
各鋼板の断面積の和 $A_{n,s}$	4.392×10^6 (mm ²)	図 5(1)-2 の赤線部分

各部材断面の断面二次モーメント（表 5(1)-4）を用いて，鋼板を考慮したコンクリートの断面二次モーメント I_e を求める。

$$I_e = I_s \times (E_s / E_c) + I_c = 5.62108 \times 10^{14} + 8.33523 \times 10^{14} \\ = 1.39563 \times 10^{15} (\text{mm}^4) \quad \dots \dots \text{(式 5(1)-6)}$$

中心から最外縁までの距離 $D/2 = 7,000\text{mm}$ （ D は最外直径）を用いて，鋼板を考慮したコンクリートの断面係数 Z_e を求める。

$$Z_e = I_e / (D/2) = 1.99376 \times 10^{11} (\text{mm}^3) \quad \dots \dots \text{(式 5(1)-7)}$$

ペデスタル及びペデスタルが支持する機器の死荷重によるペデスタル鉛直方向の軸力 N （ $= 3.53 \times 10^7 (\text{N})$ ）を用いて，鋼板を考慮したコンクリートの鉛直方向軸応力度 σ_v を求める。

$$\sigma_v = N / (A_{n,s} \times (E_s / E_c) + A_{n,c}) = 0.42 (\text{N/mm}^2) \quad \dots \dots \text{(式 5(1)-8)}$$

以上より，第 1 折点の曲げモーメント M_1 及び曲率 ϕ_1 を算出する。

$$M_1 = Z_e \cdot (0.5f_t + \sigma_v) = \underline{2.89 \times 10^5 (\text{kN} \cdot \text{m})} \quad \dots \dots \text{(式 5(1)-9)}$$

$$\phi_1 = M_1 / (E_c \cdot I_e) = \underline{8.12 \times 10^{-6} (1/\text{m})} \quad \dots \dots \text{(式 5(1)-10)}$$

(第2折点)

RPV ペデスタルの断面をファイバーモデルとしてモデル化し、漸増させる荷重（モーメント）に対して収束計算により中立軸と曲率を求め、鋼板とコンクリートの応力度 σ とひずみ ε を導出する。

鋼板が降伏状態に至る際のモーメント及び曲率が、それぞれ第2折点のモーメント M_2 及び曲率 ϕ_2 となる。

●モデル化方法

RPV ペデスタルの断面をファイバーモデルとしてモデル化する際は、連通孔及びアクセス開口によるコンクリート及び鋼板の断面欠損を考慮した等価板厚を用いる。(図 5(1)-3～5 参照)

本計算に用いるコンクリートの応力度 σ とひずみ ε の関係は、パラボラ型の応力ひずみ曲線を採用し、CEB-FIP⁽¹⁾モデルに基づき設定し、圧縮強度到達以降はフラットとする。なお、引張側の強度は無視する。

また、鋼板の応力ひずみ関係は、完全弾塑性（バイリニア）を採用する。

●第2折点のモーメント M_2 及び曲率 ϕ_2 の算出方法

荷重（モーメント）を漸増させていき、鋼板の応力度が降伏状態に至る際のモーメント及び曲率を算出する。

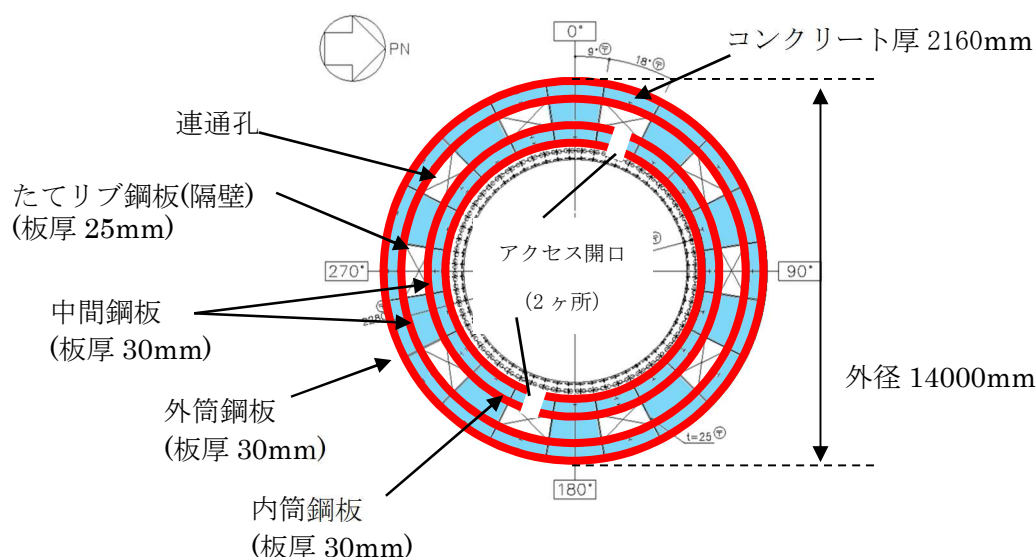


図 5(1)-3 ファイバーモデルに考慮する各部材断面
(赤：鋼板、 水色：コンクリート)

●NS 方向

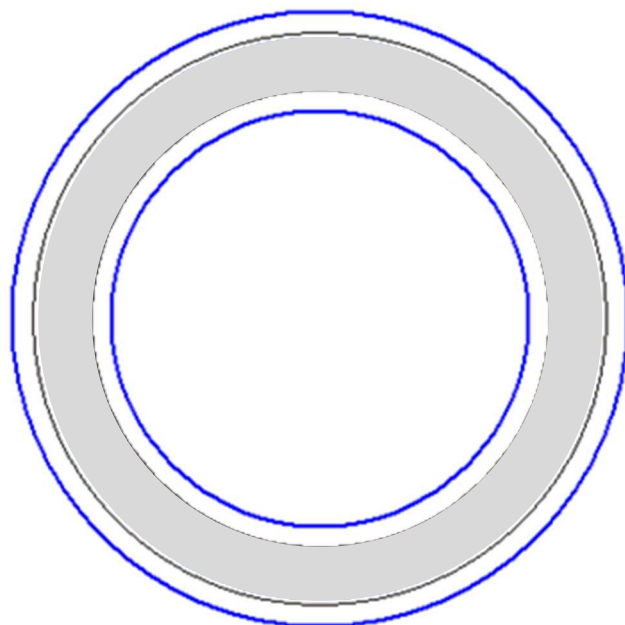


図 5(1)-4 ファイバーモデル構造図(黒線の間がコンクリート，青線が鋼板)

●EW 方向

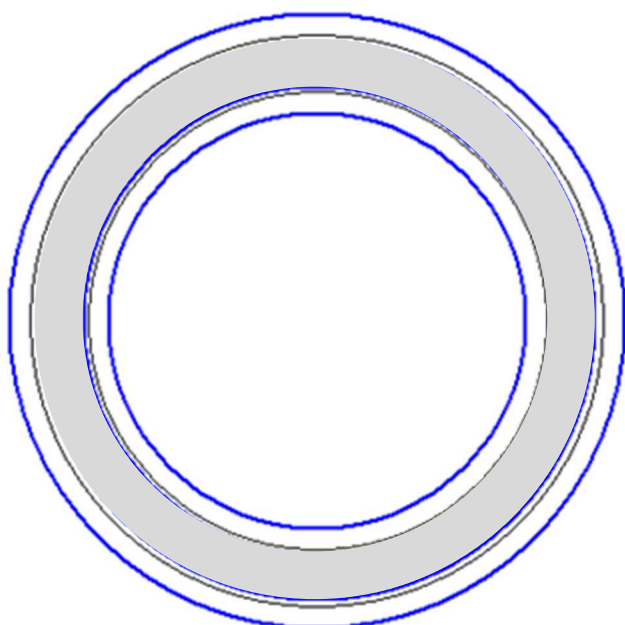


図 5(1)-5 ファイバーモデル構造図(黒線の間がコンクリート，青線が鋼板)

●NS 方向

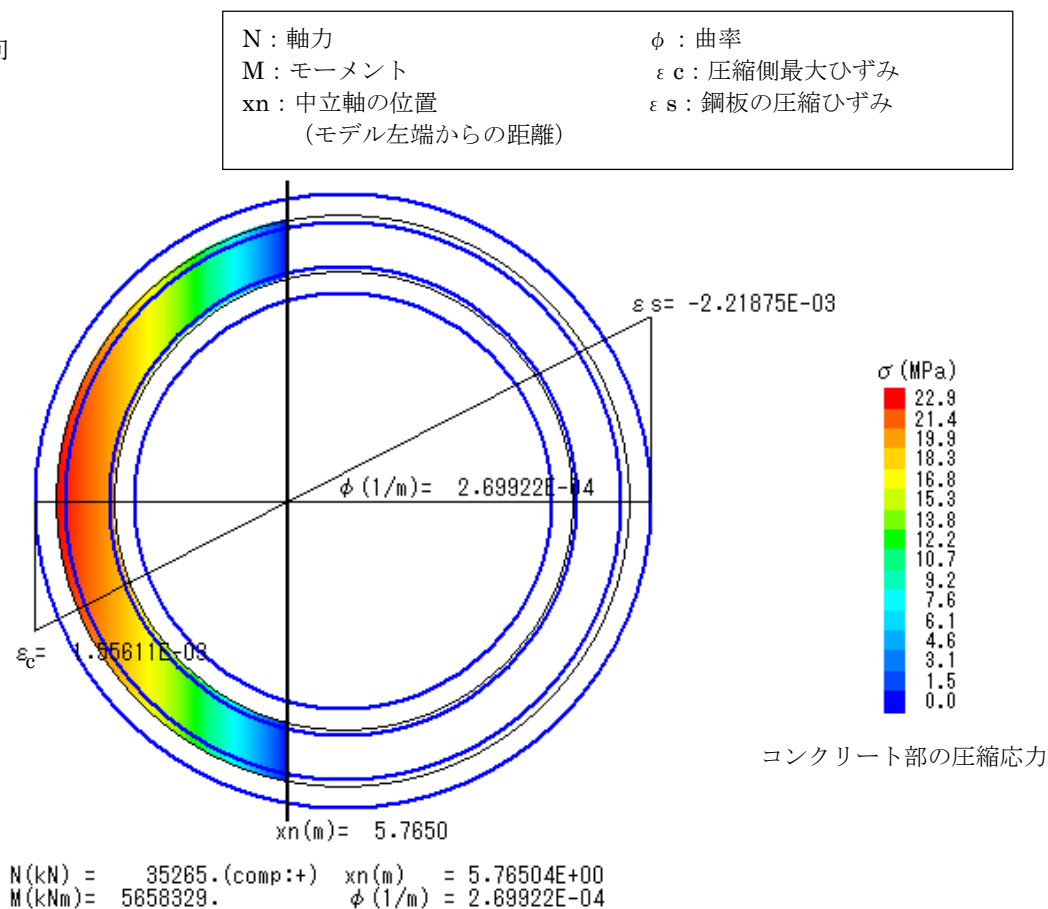


図 5(1)-6 ファイバーモデルによる解析結果 【NS 方向】

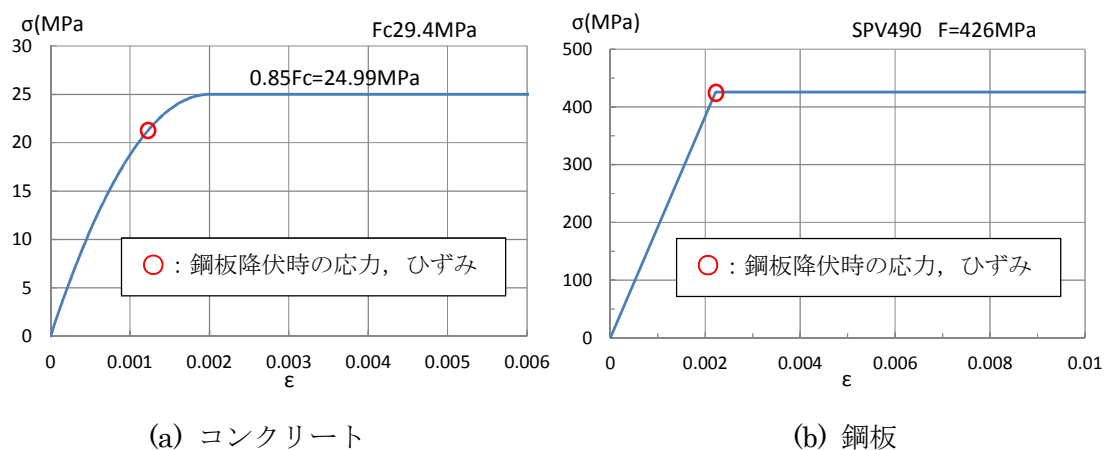


図 5(1)-7 コンクリート及び鋼板の応力ひずみ関係 【NS 方向】

- ・ 第 2 折点の曲げモーメント $M_2 = 5.66 \times 10^6$ (kN・m)
- ・ 第 2 折点の曲率 $\phi_2 = 2.70 \times 10^{-4}$ (1/m)

●EW 方向

N : 軸力
M : モーメント
xn : 中立軸の位置
(モデル左端からの距離)
 ϕ : 曲率
 ε_c : 圧縮側最大ひずみ
 ε_s : 鋼板の圧縮ひずみ

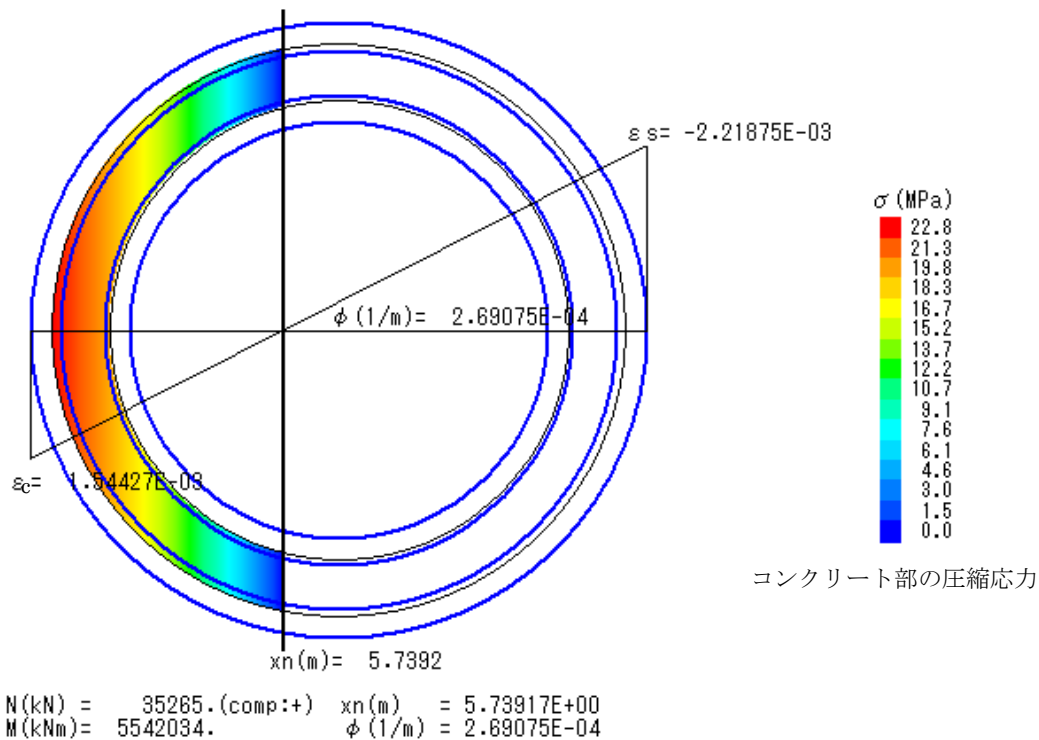


図 5(1)-8 ファイバーモデルによる解析結果 【EW 方向】

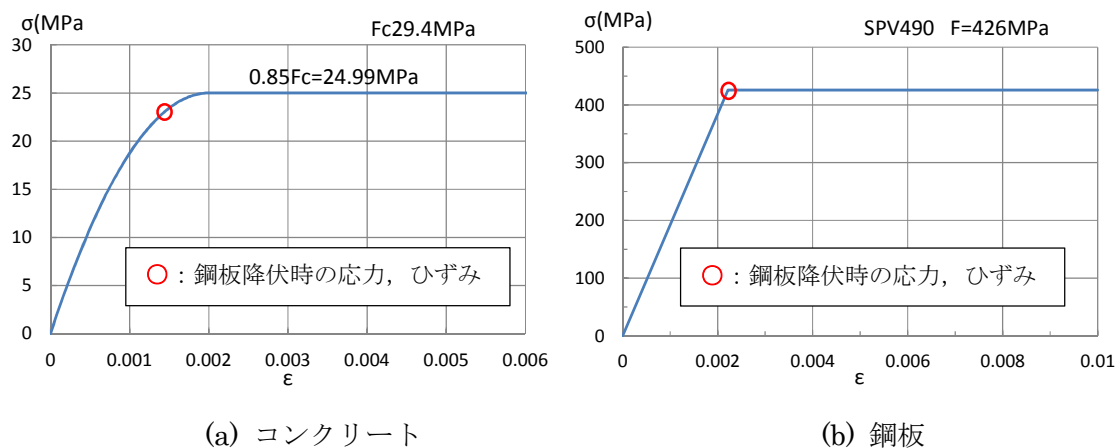


図 5(1)-9 コンクリート及び鋼板の応力ひずみ関係 【EW 方向】

- ・第2折点の曲げモーメント $M_2 = 5.54 \times 10^6 \text{ (kN} \cdot \text{m)}$
- ・第2折点の曲率 $\phi_2 = 2.69 \times 10^{-4} \text{ (1/m)}$

(2) せん断のスケルトンカーブ導出過程

a. 評価式

(第1折点)

- $Q_1 = (A_c + (G_s/G_c) \cdot A_s) \cdot \tau_{cr}$
- $\gamma_1 = \tau_{cr}/G_c$

$$\text{ただし, } \tau_{cr} = \sqrt{0.31\sqrt{\sigma_B} \cdot (0.31\sqrt{\sigma_B} + \sigma_v)}$$

注) 上部ペデスタルはベント管の開口もなく、コンクリートは4面を鋼板で囲まれた閉鎖断面のために、せん断ひび割れ強度 τ_{cr} はSC規程に従う。

A_c : コンクリートのせん断断面積 (mm^2)

A_s : 鋼板のせん断断面積 (mm^2)

G_c : コンクリートのせん断弾性係数 (N/mm^2)

G_s : 鋼板のせん断弾性係数 (N/mm^2)

E_c : コンクリートのヤング係数 (N/mm^2)

E_s : 鋼板のヤング係数 (N/mm^2)

τ_{cr} : コンクリートのせん断ひび割れ強度 (N/mm^2)

σ_B : コンクリートの圧縮強度 (N/mm^2)

ペデスタルコンクリートの設計基準強度 = 29.4 (N/mm^2)

σ_v : 鋼板を考慮したコンクリートの鉛直方向軸応力度 (N/mm^2)

(ペデスタル及びペデスタルが支持する機器の死荷重によるペデスタル鉛直方向の軸力) / ((各鋼板の断面積の和) \times (E_s/E_c) + (コンクリート部の断面積))

第1折点は、ペデスタルのコンクリートと鋼板を考慮したせん断断面積 (コンクリートのせん断断面積 A_c 及びそれと等価なペデスタル鋼板のせん断断面積 $(G_s/G_c) \cdot A_s$ の和) にコンクリートのせん断ひび割れ強度 τ_{cr} を乗じた値、すなわちペデスタルコンクリート部にせん断ひび割れが発生する点の Q 、 γ を表している。

(第2折点)

$$Q_2 = (K_\alpha + K_\beta) / \sqrt{(3K_\alpha^2 + K_\beta^2)} \cdot A_s \cdot \sigma_y$$

$$\gamma_2 = Q_2 / (K_\alpha + K_\beta)$$

$$\text{ただし, } K_\alpha = A_s \cdot G_s$$

A_s : 鋼板のせん断断面積 (mm²)

G_s : 鋼板のせん断弾性係数 (N/mm²)

K_α : 鋼板のせん断剛性

K_β : ひび割れ後の鋼板による拘束効果を考慮したコンクリートの有効せん断剛性

σ_y : 鋼板の降伏点強度 (N/mm²)

第1折点でコンクリートにひび割れが発生した後もコンクリートは圧縮方向（ひび割れ角度 θ の方向）にのみ抵抗する弾性体（異方性弾性体）として挙動し、鋼板と一体となってせん断力に抵抗する。

第2折点の評価に用いるコンクリートの有効せん断剛性 K_β は、SC 規程の附属書 2.1 解説及び、コンクリートひび割れ後のコンクリートと鋼板の挙動に関する既往知見⁽²⁾に示される以下の理論式を用いて、 $Q_c = K_\beta \cdot \gamma$ 、 $\delta = H \cdot \gamma$ の関係より算出する。

$$Q_c = \frac{(\cos\theta)^2}{2 \left[\frac{1 - \nu_c^2}{E_c' \cdot t_c \cdot \sin 2\theta} + \frac{1}{2 \cdot E_s} (C1 + C2) \right]} \cdot \delta$$

$$C1 = L \cdot \cos\theta \left(\frac{\cos\theta}{sAx} - \frac{\sin\theta}{sAy} \nu_s \right)$$

$$C2 = H \cdot \sin\theta \left(\frac{\sin\theta}{sAy} - \frac{\cos\theta}{sAx} \nu_s \right)$$

ここで、

Q_c : コンクリートの受け持つせん断力 (N)

δ : 水平変位 (mm)

γ : せん断ひずみ度

E_c' : コンクリートのひび割れを考慮したヤング係数で、コンクリートのヤング係数に 0.7 を乗じた値を用いる。 (N/mm²)

E_s : 鋼材のヤング係数 (N/mm²)

t_c : コンクリート板厚 (mm)

ν_c : コンクリートのポアソン比

ν_s : 鋼材のポアソン比

L : 隔壁の間隔 (mm)

H : 隔壁の高さ (mm)

sAy : 鋼材の水平断面の断面積 (mm²)

sAx : 鋼材の鉛直断面の断面積 (mm²)

θ : 圧縮ストラット角度 ($\theta = \tan^{-1}\left(\frac{H}{L}\right)$)

($\theta = 45^\circ$ とした場合の評価式が SC 規程に例示されている。)

b. 具体的計算過程

(第 1 折点)

●NS 方向

連通孔及びアクセス開口による断面欠損を考慮し算出する。(図 5(2)-1)

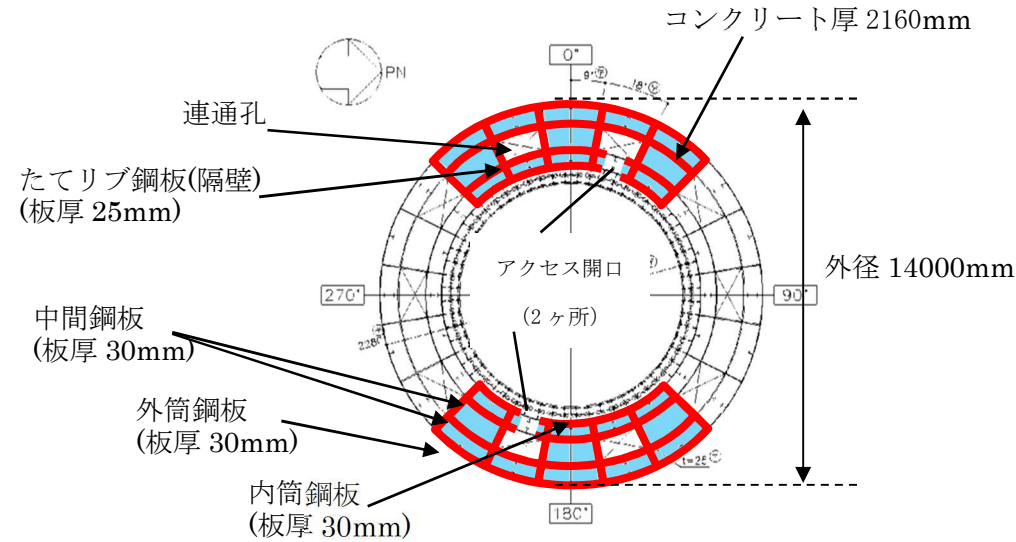


図 5(2)-1 セン断断面積の算出に考慮する各部材断面
(赤：鋼板， 水色：コンクリート)

●計算過程

コンクリート及び鋼板の材料物性値，各部材断面のせん断断面積は，既工認と同様の値を用いる。(表 5(2)-1，表 5(2)-2)

表 5(2)-1 コンクリート及び鋼板の材料物性値

物性値	値	根拠
コンクリートのせん断弾性係数 G_c	10,900 (N/mm ²)	鉄筋コンクリート構造計算規準 (式 2(2)-1)
鋼板のせん断弾性係数 G_s	73,900 (N/mm ²)	式 2(2)-2
コンクリートのヤング係数 E_c	25,500 (N/mm ²)	鉄筋コンクリート構造計算規準 (式 2(1)-1)
鋼板のヤング係数 E_s	192,000 (N/mm ²)	告示 501 号
コンクリートの圧縮強度 σ_B	29.4 (N/mm ²)	設計基準強度

表 5(2)-2 各部材断面のせん断断面積

項目	値	対象箇所
コンクリートのせん断断面積 A_c	$2.5122 \times 10^7 \text{ (mm}^2\text{)}$	図 5(2)-1 の水色部分
鋼板のせん断断面積 A_s	$2.186 \times 10^6 \text{ (mm}^2\text{)}$	図 5(2)-1 の赤線部分

鋼板を考慮したコンクリートの鉛直方向軸応力度 σ_v は、曲げのスケルトンカーブ算出に用いた値と同一であり、 $\sigma_v = 0.42 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ となる。

コンクリートの圧縮強度 σ_B (表 5(2)-1) と σ_v を用いて、コンクリートのせん断ひび割れ強度 τ_{cr} を求める。

$$\tau_{cr} = \sqrt{0.31\sqrt{\sigma_B} \cdot (0.31\sqrt{\sigma_B} + \sigma_v)} = 1.88 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \dots \dots \text{(式 5(2)-1)}$$

以上より、第 1 折点のせん断力 Q_1 及びせん断変形角 γ_1 を算出する。

$$Q_1 = (A_c + (G_s/G_c) \cdot A_s) \cdot \tau_{cr} = \underline{7.51 \times 10^4 \text{ (kN)}} \quad \dots \dots \text{(式 5(2)-2)}$$

$$\gamma_1 = \tau_{cr}/G_c = \underline{1.72 \times 10^{-4} \text{ (rad)}} \quad \dots \dots \text{(式 5(2)-3)}$$

●EW 方向

連通孔の開口欠損を考慮し算出する。(図 5(2)-2)

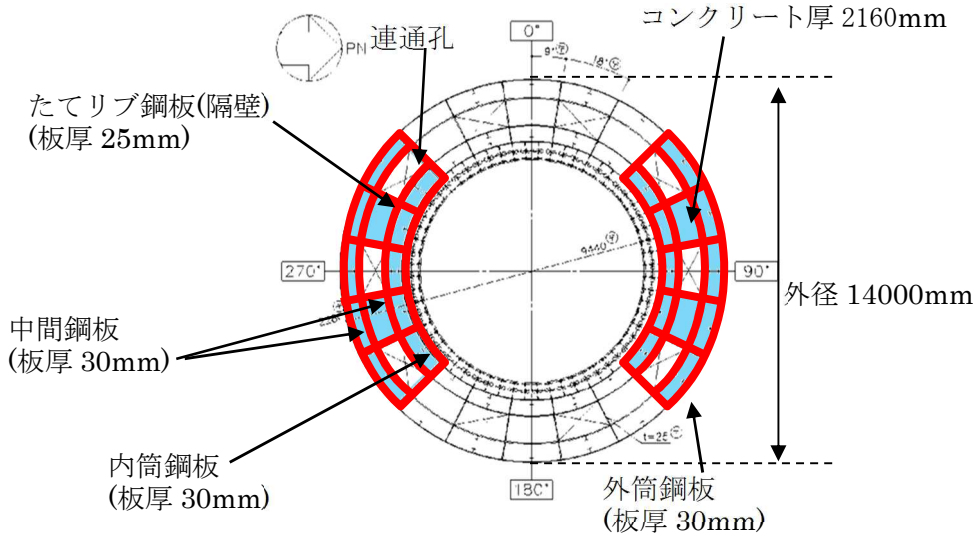


図 5(2)-2 セン断断面積の算出に考慮する各部材断面
(赤：鋼板， 水色：コンクリート)

●計算過程

コンクリート及び鋼板の材料物性値，各部材断面のせん断断面積は，既工認と同様の値を用いる。(表 5(2)-3，表 5(2)-4)

表 5(2)-3 コンクリート及び鋼板の材料物性値

物性値	値	根拠
コンクリートのせん断弾性係数 G_c	10,900 (N/mm ²)	鉄筋コンクリート構造計算規準 (式 2(2)-1)
鋼板のせん断弾性係数 G_s	73,900 (N/mm ²)	式 2(2)-2
コンクリートのヤング係数 E_c	25,500 (N/mm ²)	鉄筋コンクリート構造計算規準 (式 2(1)-1)
鋼板のヤング係数 E_s	192,000 (N/mm ²)	告示 501 号
コンクリートの圧縮強度 σ_B	29.4 (N/mm ²)	設計基準強度

表 5(2)-4 各部材断面のせん断断面積

項目	値	対象箇所
コンクリートのせん断断面積 A_c	$2.5275 \times 10^7 \text{ (mm}^2\text{)}$	図 5(2)-2 の水色部分
鋼板のせん断断面積 A_s	$2.206 \times 10^6 \text{ (mm}^2\text{)}$	図 5(2)-2 の赤線部分

鋼板を考慮したコンクリートの鉛直方向軸応力度 σ_v は、曲げのスケルトンカーブ算出に用いた値と同一であり、 $\sigma_v = 0.42 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ となる。

コンクリートの圧縮強度 σ_B (表 5(2)-3) と σ_v を用いて、コンクリートのせん断ひび割れ強度 τ_{cr} を求める。

$$\tau_{cr} = \sqrt{0.31\sqrt{\sigma_B} \cdot (0.31\sqrt{\sigma_B} + \sigma_v)} = 1.88 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \dots \dots \text{(式 5(2)-4)}$$

以上より、第 1 折点のせん断力 Q_1 及びせん断変形角 γ_1 を算出する。

$$Q_1 = (A_c + (G_s/G_c) \cdot A_s) \cdot \tau_{cr} = \underline{7.56 \times 10^4 \text{ (kN)}} \quad \dots \dots \text{(式 5(2)-5)}$$

$$\gamma_1 = \tau_{cr}/G_c = \underline{1.72 \times 10^{-4} \text{ (rad)}} \quad \dots \dots \text{(式 5(2)-6)}$$

(第2折点)

コンクリートひび割れ後の鋼板による拘束効果を考慮したコンクリートの有効せん断剛性 K_β を算出する際は、試験体を用いて妥当性を確認した手法と同様に、断面全体のうち半分がせん断力に対して有効な領域とし、SC構造体ユニット①、②、③それぞれについて、全10箇所の半分に相当する5箇所分の剛性を評価する。

この場合、NS及びEWの各方向に対する平均的なせん断剛性が得られることから、 K_β はNS及びEW方向について共通の値を用いる。

具体的には、次に示す手順で層全体の K_β を求める。

- ・SC構造体ユニット①、SC構造体ユニット②、SC構造体ユニット③それぞれの K_β を求める。
- ・層全体の K_β を求める。

(層全体の $K_\beta = \text{SC構造体ユニット①の} K_\beta \times 5 + \text{SC構造体ユニット②の} K_\beta \times 5 + \text{SC構造体ユニット③の} K_\beta \times 5$)

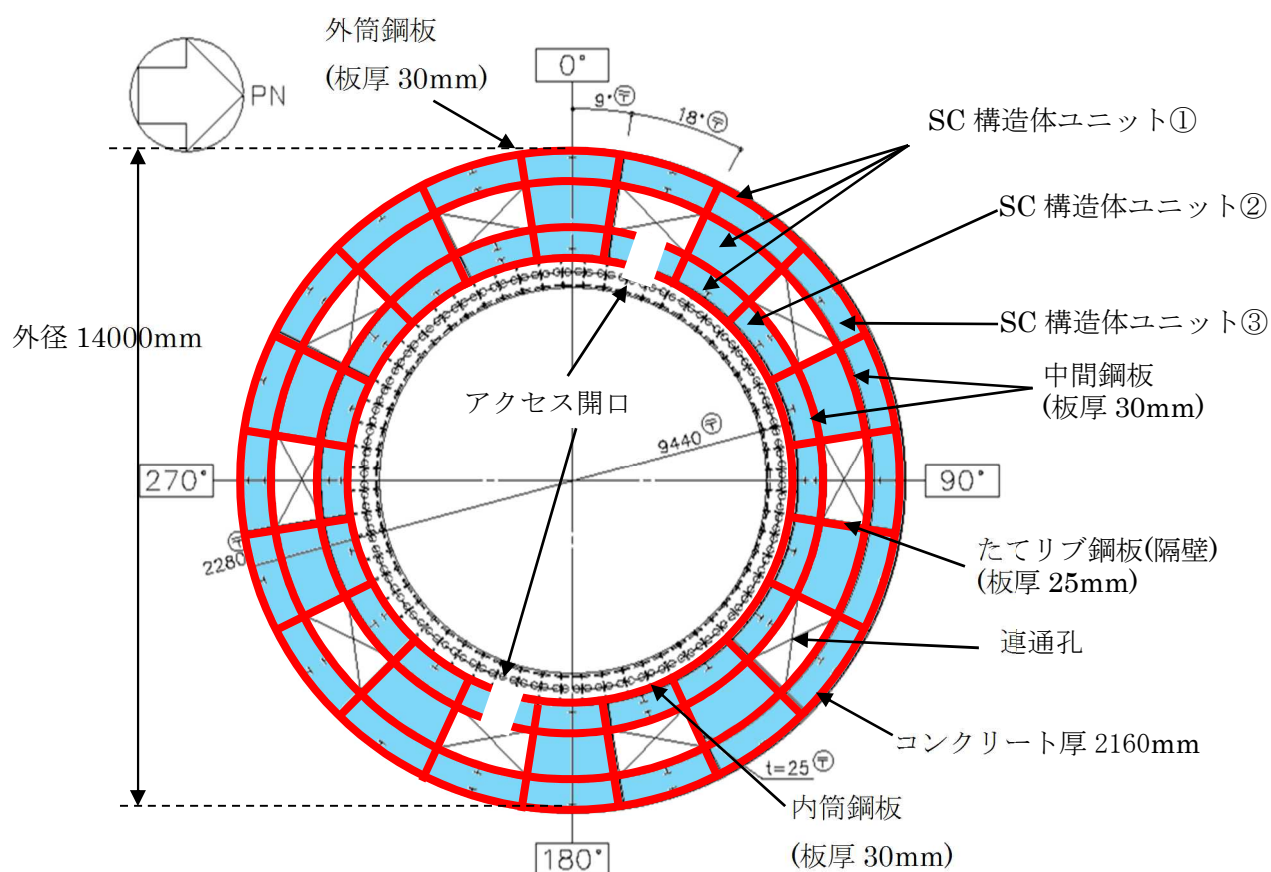


図5(2)-3 SC構造体ユニット (赤：鋼板， 水色：コンクリート)

鋼板のせん断剛性 K_α は、第1折点と同様に方向に応じた部材断面を考慮し求める。

● K_β の算出方法 (SC 構造体ユニット①)

コンクリート及び鋼板の材料物性値は、既工認と同様の値を用い、 K_β の算出は、実機 RPV ペデスタルの構造 (寸法) に応じた値を用いて行う。(図 5(2)-4, 表 5(2)-5, 表 5(2)-6)

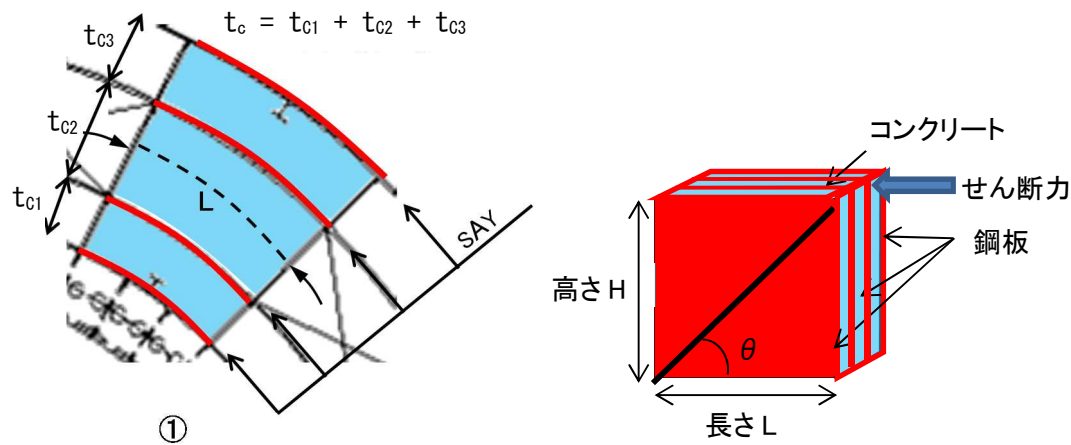


図 5(2)-4 SC 構造体ユニット① (赤：鋼板, 水色：コンクリート)

表 5(2)-5 コンクリート及び鋼板の材料物性値

物性値	値	根拠
コンクリートのヤング係数 E_c	25,500 (N/mm ²)	鉄筋コンクリート構造計算規準 (式 2(1)-1)
鋼板のヤング係数 E_s	192,000 (N/mm ²)	告示 501 号
コンクリートのポアソン比 ν_c	0.167	鉄筋コンクリート構造計算規準
鋼材のポアソン比 ν_s	0.3	鋼構造設計規準

表 5(2)-6 各部材の主要寸法

項目	値	対象箇所
SC 構造体ユニットの高さ H	2,900 (mm)	図 5(2)-4 の高さ H
SC 構造体ユニットの長さ L	1,841 (mm)	図 5(2)-4 の長さ L
コンクリート板厚 t_c	2,160 (mm)	図 5(2)-4 の t_c
鋼材の水平断面の断面積 s_{Ay}	220,920 (mm ²)	-
鋼材の鉛直断面の断面積 s_{Ax}	348,000 (mm ²)	-

圧縮ストラット角度 θ は，SC 構造体ユニット①の高さ H 及び長さ L を用いて求める。

$$\theta = \tan^{-1}(H/L) = 57.6(^{\circ}) \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \text{(式 5(2)-7)}$$

コンクリートのひび割れを考慮したヤング係数 E_c' は，鋼板のヤング係数 E_s に 0.7 を乗じることにより求める。

$$E_c' = 0.7 \times E_s = 17,850 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \text{(式 5(2)-8)}$$

以上より，SC 構造体ユニット①ひとつあたりの K_{β} を求める。

$$C1 = L \cdot \cos\theta \left(\frac{\cos\theta}{s_{Ax}} - \frac{\sin\theta}{s_{Ay}} \nu_s \right) = 0.00039 \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \text{(式 5(2)-9)}$$

$$C2 = H \cdot \sin\theta \left(\frac{\sin\theta}{s_{Ay}} - \frac{\cos\theta}{s_{Ax}} \nu_s \right) = 0.00823 \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \text{(式 5(2)-10)}$$

$$K_{\beta} = \frac{(\cos\theta)^2}{2 \left[\frac{1 - \nu_c^2}{E_c' \cdot t_c \cdot \sin 2\theta} + \frac{1}{2 \cdot E_s} (C1 + C2) \right]} \cdot H$$

$$= \underline{8.27 \times 10^9 \text{ (N)}} \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \text{(式 5(2)-11)}$$

● K_β の算出方法 (SC 構造体ユニット②)

コンクリート及び鋼板の材料物性値は、既工認と同様の値を用い、 K_β の算出は、実機 RPV ペデスタルの構造 (寸法) に応じた値を用いて行う。(図 5(2)-5, 表 5(2)-7, 表 5(2)-8)

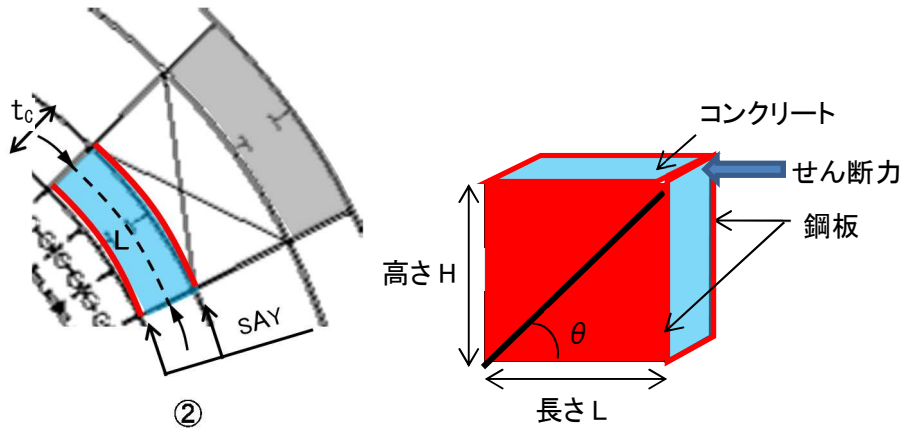


図 5(2)-5 SC 構造体ユニット② (赤：鋼板, 水色：コンクリート)

表 5(2)-7 コンクリート及び鋼板の材料物性値

物性値	値	根拠
コンクリートのヤング係数 E_c	25,500 (N/mm ²)	鉄筋コンクリート構造計算規準 (式 2(1)-1)
鋼板のヤング係数 E_s	192,000 (N/mm ²)	告示 501 号
コンクリートのポアソン比 ν_c	0.167	鉄筋コンクリート構造計算規準
鋼材のポアソン比 ν_s	0.3	鋼構造設計規準

表 5(2)-8 各部材の主要寸法

項目	値	対象箇所
SC 構造体ユニットの高さ H	2,900 (mm)	図 5(2)-5 の高さ H
SC 構造体ユニットの長さ L	1,569 (mm)	図 5(2)-5 の長さ L
コンクリート板厚 t_c	550 (mm)	図 5(2)-5 の t_c
鋼材の水平断面の断面積 s_{Ay}	94,140 (mm ²)	-
鋼材の鉛直断面の断面積 s_{Ax}	174,000 (mm ²)	-

圧縮ストラット角度 θ は，SC 構造体ユニット②の高さ H 及び長さ L を用いて求める。

$$\theta = \tan^{-1}(H/L) = 61.6(^{\circ}) \quad \dots \dots \dots \text{(式 5(2)-12)}$$

コンクリートのひび割れを考慮したヤング係数 E_c' は，コンクリートのヤング係数 E_c に 0.7 を乗じることにより求める。

$$E_c' = 0.7 \times E_c = 17,850 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \dots \dots \dots \text{(式 5(2)-13)}$$

以上より，SC 構造体ユニット②ひとつあたりの K_{β} を求める。

$$C1 = L \cdot \cos\theta \left(\frac{\cos\theta}{s_{Ax}} - \frac{\sin\theta}{s_{Ay}} \nu_s \right) = -0.00005 \quad \dots \dots \dots \text{(式 5(2)-14)}$$

$$C2 = H \cdot \sin\theta \left(\frac{\sin\theta}{s_{Ay}} - \frac{\cos\theta}{s_{Ax}} \nu_s \right) = 0.02174 \quad \dots \dots \dots \text{(式 5(2)-15)}$$

$$K_{\beta} = \frac{(\cos\theta)^2}{2 \left[\frac{1 - \nu_c^2}{E_c' \cdot t_c \cdot \sin 2\theta} + \frac{1}{2 \cdot E_s} (C1 + C2) \right]} \cdot H$$

$$= \underline{1.88 \times 10^9 \text{ (N)}} \quad \dots \dots \dots \text{(式 5(2)-16)}$$

● K_β の算出方法 (SC 構造体ユニット③)

コンクリート及び鋼板の材料物性値は、既工認と同様の値を用い、 K_β の算出は、実機 RPV ペデスタルの構造 (寸法) に応じた値を用いて行う。(図 5(2)-6, 表 5(2)-9, 表 5(2)-10)

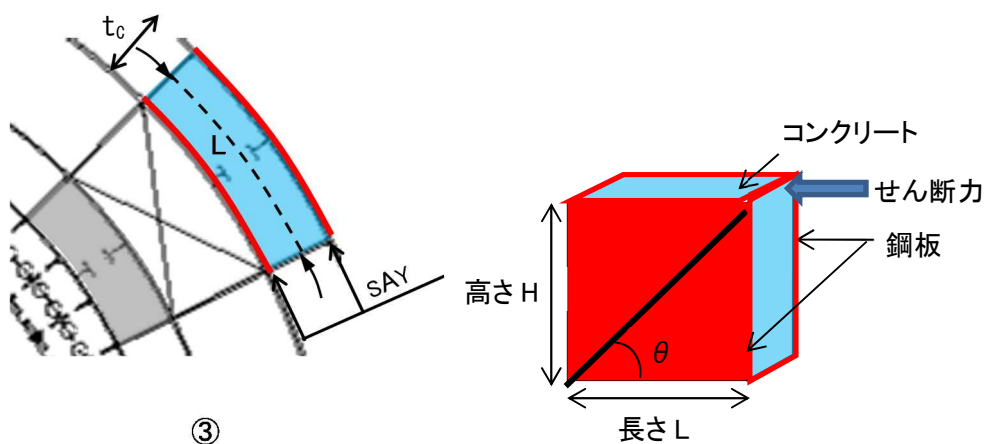


図 5(2)-6 SC 構造体ユニット③ (赤：鋼板, 水色：コンクリート)

表 5(2)-9 コンクリート及び鋼板の材料物性値

物性値	値	根拠
コンクリートのヤング係数 E_c	25,500 (N/mm ²)	鉄筋コンクリート構造計算規準 (式 2(1)-1)
鋼板のヤング係数 E_s	192,000 (N/mm ²)	告示 501 号
コンクリートのポアソン比 ν_c	0.167	鉄筋コンクリート構造計算規準
鋼材のポアソン比 ν_s	0.3	鋼構造設計規準

表 5(2)-10 各部材の主要寸法

項目	値	対象箇所
SC 構造体ユニットの高さ H	2,900 (mm)	図 5(2)-6 の高さ H
SC 構造体ユニットの長さ L	2,099 (mm)	図 5(2)-6 の長さ L
コンクリート板厚 t_c	640 (mm)	図 5(2)-6 の t_c
鋼材の水平断面の断面積 sAy	125,940 (mm ²)	-
鋼材の鉛直断面の断面積 sAx	174,000 (mm ²)	-

圧縮ストラット角度 θ は、SC 構造体ユニット③の高さ H 及び長さ L を用いて求める。

$$\theta = \tan^{-1}(H/L) = 54.1(^{\circ}) \quad \dots\dots\dots (式 5(2)-17)$$

コンクリートのひび割れを考慮したヤング係数 E_c' は、コンクリートのヤング係数 E_c に 0.7 を乗じることにより求める。

$$E_c' = 0.7 \times E_c = 17,850 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \dots\dots\dots (式 5(2)-18)$$

以上より、SC 構造体ユニット③ひとつあたりの K_{β} を求める。

$$C1 = L \cdot \cos\theta \left(\frac{\cos\theta}{s_{Ax}} - \frac{\sin\theta}{s_{Ay}} \nu_s \right) = 0.00177 \quad \dots\dots\dots (式 5(2)-19)$$

$$C2 = H \cdot \sin\theta \left(\frac{\sin\theta}{s_{Ay}} - \frac{\cos\theta}{s_{Ax}} \nu_s \right) = 0.01273 \quad \dots\dots\dots (式 5(2)-20)$$

$$K_{\beta} = \frac{(\cos\theta)^2}{2 \left[\frac{1 - \nu_c^2}{E_c' \cdot t_c \cdot \sin 2\theta} + \frac{1}{2 \cdot E_s} (C1 + C2) \right]} \cdot H$$

$$= \underline{\underline{3.92 \times 10^9 \text{ (N)}}} \quad \dots\dots\dots (式 5(2)-21)$$

●層全体の K_{β}

$$\begin{aligned} \text{層全体の } K_{\beta} \text{ は、} &= \text{SC 構造体ユニット①の } K_{\beta} \times 5 + \text{SC 構造体ユニット②の } K_{\beta} \times 5 \\ &\quad + \text{SC 構造体ユニット③の } K_{\beta} \times 5 \\ &= \underline{\underline{7.04 \times 10^{10} \text{ (N)}}} \quad \dots\dots\dots (式 5(2)-22) \end{aligned}$$

● K_α の算出方法

● NS 方向

連通孔及びアクセス開口による断面欠損を考慮し算出する。(図 5(2)-7)

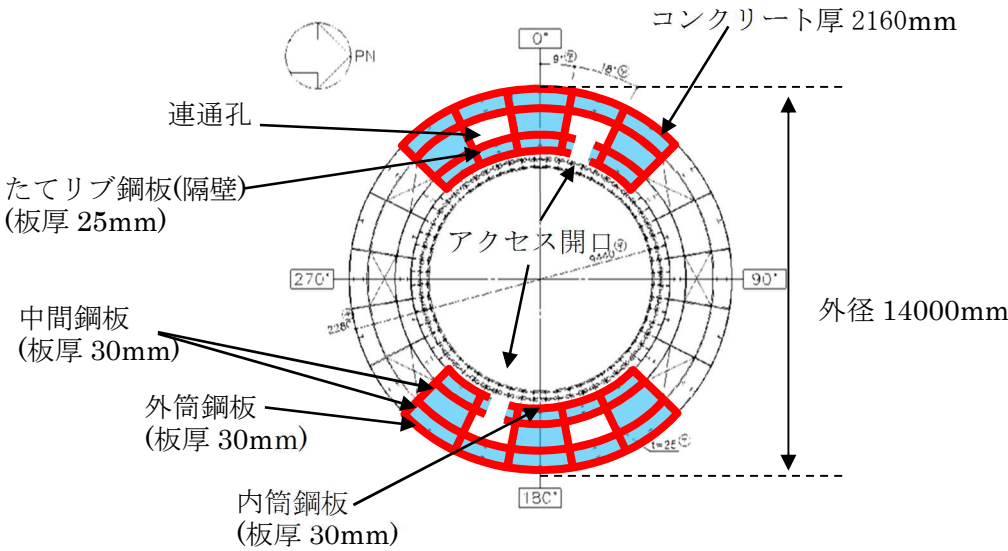


図 5(2)-7 せん断断面積の算出に考慮する各部材断面
(赤：鋼板, 水色：コンクリート)

● 計算過程

鋼板の材料物性値及び各部材断面のせん断断面積は、既工認と同様の値を用いる。(表 5(2)-11, 表 5(2)-12)

表 5(2)-11 鋼板の材料物性値

物性値	値	根拠
鋼板のヤング係数 E_s	192,000 (N/mm ²)	告示 501 号
鋼板のせん断弾性係数 G_s	73,900 (N/mm ²)	式 2(2)-2
鋼板の降伏点強度 σ_y	426 (N/mm ²)	JIS G 3115

表 5(2)-12 各部材の主要寸法

項目	値	対象箇所
鋼板のせん断断面積 A_s	2.186×10^6 (mm ²)	図 5(2)-7 の赤線部分

鋼板のせん断断面積 A_s 及びせん断弾性係数 G_s を用いて鋼板のせん断剛性 K_α を求める。

$$K_\alpha = A_s \cdot G_s = 16.2 \times 10^{10} \text{ (N)} \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \text{ (式 5 (2) -23)}$$

以上より，式 5 (2) -22 で求めた，ひび割れ後の鋼板による拘束効果を考慮したコンクリートの有効せん断剛性 K_β を用いて，第 2 折点のせん断力 Q_2 及びせん断変形角 γ_2 を算出する。

$$K_\alpha = 16.2 \times 10^{10} \text{ (N)}$$

$$K_\beta = 7.04 \times 10^{10} \text{ (N)}$$

・第 2 折点のせん断力 Q_2

$$Q_2 = \frac{K_\alpha + K_\beta}{\sqrt{3K_\alpha^2 + K_\beta^2}} \cdot A_s \cdot \sigma_y$$
$$\underline{= 7.48 \times 10^5 \text{ (kN)}} \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \text{ (式 5 (2) -24)}$$

・第 2 折点のせん断変形角 γ_2

$$\gamma_2 = \frac{Q_2}{K_\alpha + K_\beta}$$
$$\underline{= 3.22 \times 10^{-3} \text{ (rad)}} \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \text{ (式 5 (2) -25)}$$

●EW 方向

連通孔による断面欠損を考慮し算出する。(図 5(2)-8)

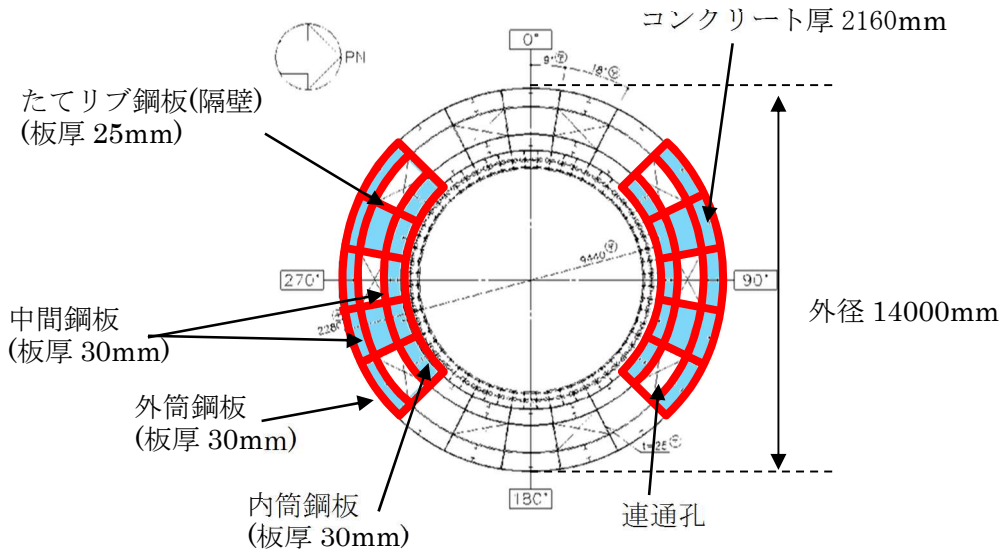


図 5(2)-8 せん断断面積の算出に考慮する各部材断面
(赤：鋼板， 水色：コンクリート)

●計算過程

鋼板の材料物性値及び各部材断面のせん断断面積は、既工認と同様の値を用いる。(表 5(2)-13, 表 5(2)-14)

表 5(2)-13 鋼板の材料物性値

物性値	値	根拠
鋼板のヤング係数 E_s	192,000 (N/mm ²)	告示 501 号
鋼板のせん断弾性係数 G_s	73,900 (N/mm ²)	式 2(2)-2
鋼板の降伏点強度 σ_y	426 (N/mm ²)	JIS G 3115

表 5(2)-14 各部材の主要寸法

項目	値	対象箇所
鋼板のせん断断面積 A_s	2.206×10^6 (mm ²)	図 5(2)-8 の赤線部分

鋼板のせん断断面積 A_s 及びせん断弾性係数 G_s を用いて鋼板のせん断剛性 K_α を求める。

$$K_\alpha = A_s \cdot G_s = 16.3 \times 10^{10} (\text{N}) \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (\text{式 } 5(2)-26)$$

以上より，式 5(2)-22 で求めた，ひび割れ後の鋼板による拘束効果を考慮したコンクリートの有効せん断剛性 K_β を用いて，第 2 折点のせん断力 Q_2 及びせん断変形角 γ_2 を算出する。

$$K_\alpha = 16.3 \times 10^{10} (\text{N})$$

$$K_\beta = 7.04 \times 10^{10} (\text{N})$$

・第 2 折点のせん断力 Q_2

$$Q_2 = \frac{K_\alpha + K_\beta}{\sqrt{3K_\alpha^2 + K_\beta^2}} \cdot A_s \cdot \sigma_y$$
$$\underline{= 7.54 \times 10^5 (\text{kN})} \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (\text{式 } 5(2)-27)$$

・第 2 折点のせん断変形角 γ_2

$$\gamma_2 = \frac{Q_2}{K_\alpha + K_\beta}$$
$$\underline{= 3.23 \times 10^{-3} (\text{rad})} \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (\text{式 } 5(2)-28)$$

〈参考文献〉

- (1) Comite Euro-International du Beton : CEB-FIP MODEL CODE 1990 (DESIGN CODE),1993
- (2) 松尾 他:鋼板コンクリート耐震壁に関する研究 その3 セン断荷重・変形関係の解析
日本建築学会学術講演梗概集 (1992 年)

添付資料-4：SC 規程を参考に作成したスケルトンカーブに基づく
試験体の荷重変位特性の作成方法

1. 概要

SC 規程式を参考にして試験体の荷重変位特性を作成するため，試験体を実機 RPV ペデスタルと同様に要素分割し，地震応答解析モデルの各要素に対して，本文 5.3 項の考え方に基づき SC 規程を参考に作成したスケルトンカーブ（ $M-\phi$ 特性， $Q-\gamma$ 特性）を用いて，荷重変位特性を作成する。

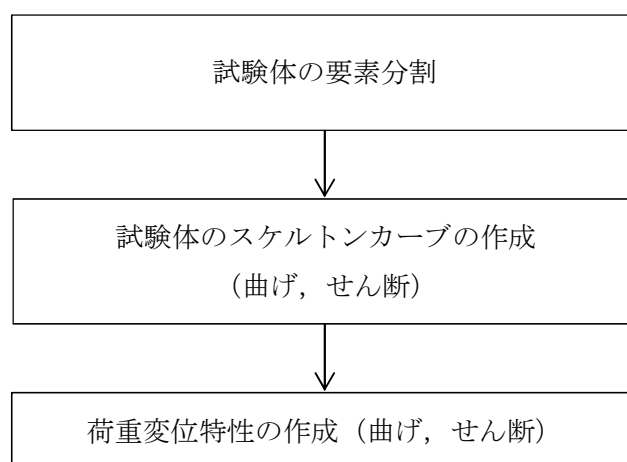


図 1-1 SC 規程式を参考にした試験体の荷重変位特性の作成フロー

2. 試験体の構造及びスケルトンカーブの作成

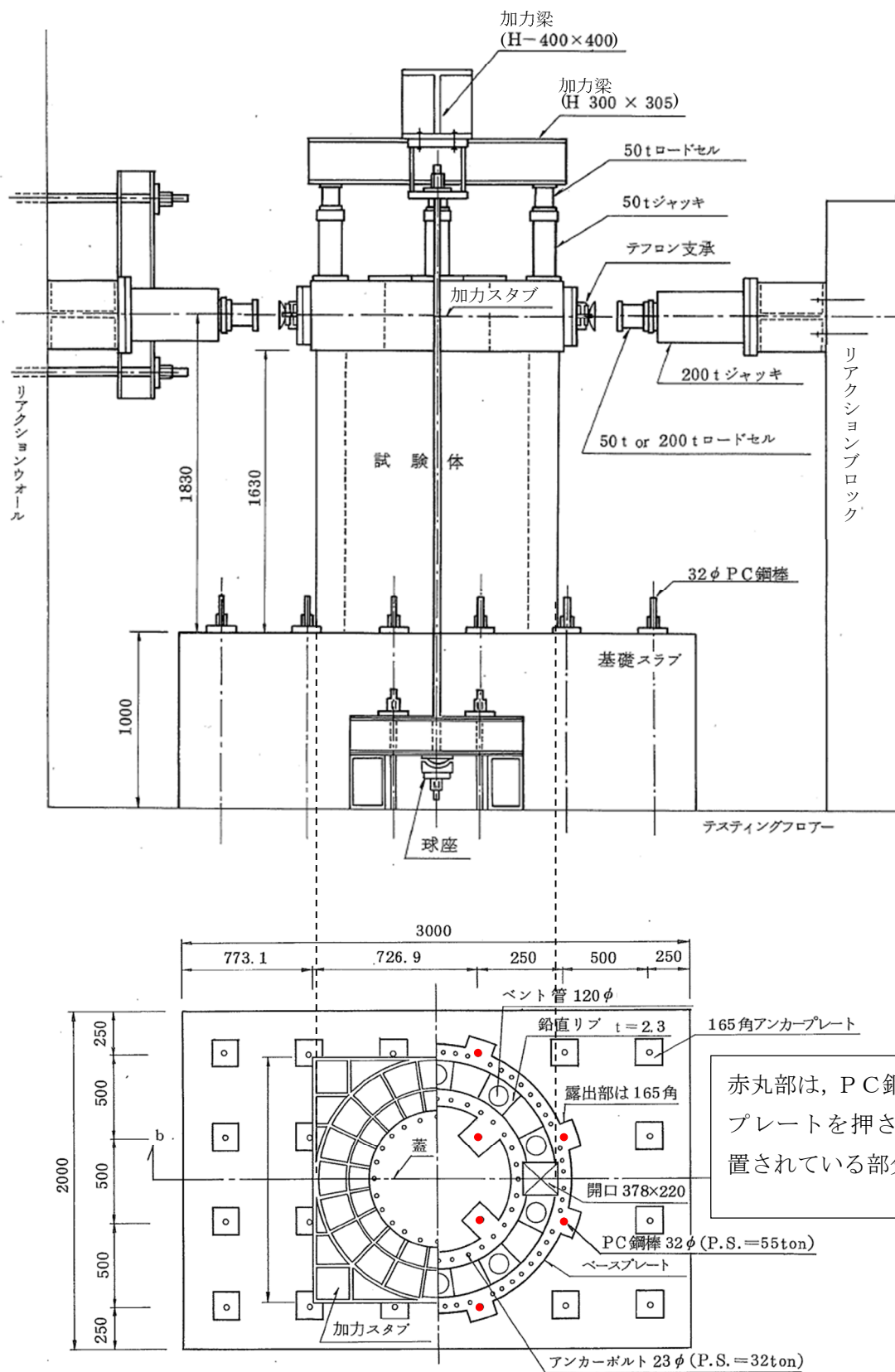
(1) 構造及び要素分割

試験体の構造は，実機 RPV ペデスタルと同様に内外の円筒鋼板とそれらを一体化するための放射状のたてリブ鋼板（隔壁）で構成され，内部にコンクリートを充填している。RPV ペデスタル内にはベント管を内蔵している。（図 2-1）

試験体は，ほぼ一様断面の構造となっているものの，下部ドライウェルアクセストンネルを模擬した開口部を含んでいることから，当該部分については個別に要素分割を行う。（図 2-2）

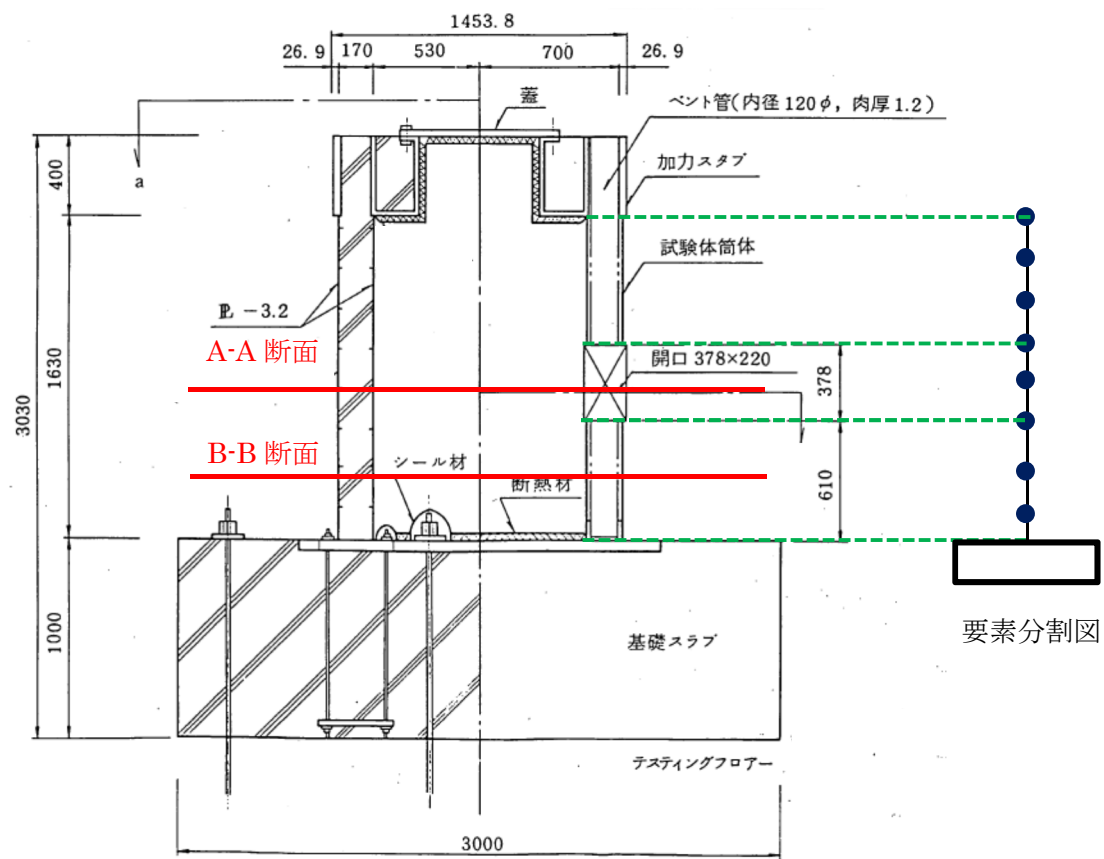
(2) 試験体のスケルトンカーブの作成

試験体は下部ペデスタルと類似の構造であることから，本文 5.3(2)a. 及び 5.3(3)a. 項の設定方法に基づき曲げ及びせん断のスケルトンカーブを作成する。

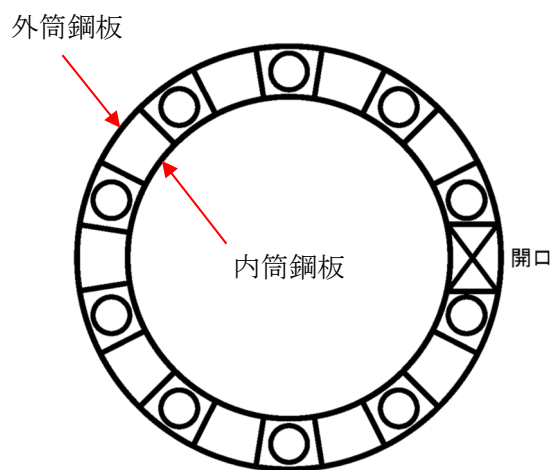


(単位：mm)

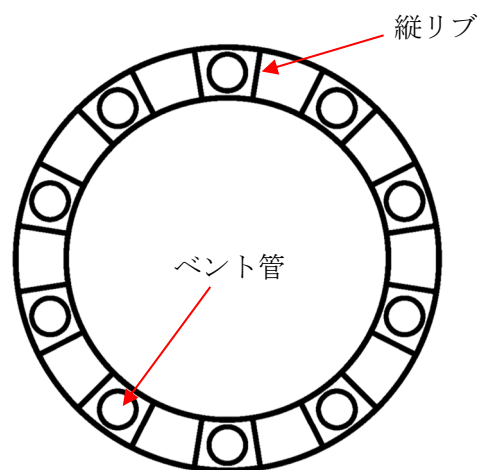
図 2-1 RPV ペデスタルの試験体と加力装置の概要
((1)より引用, 加筆)



(a) 試験体要素分割図



(b) A-A 断面概要図



(c) B-B 断面概要図

図 2-2 試験体の要素分割及び断面

3. 荷重変位特性の作成

(1) 作成方法

実機RPVペデスタルと同様に断面形状を考慮した試験体の各層の曲げモーメント M —曲率 ϕ 関係、せん断力 Q —せん断変形角 γ 関係をもとに、荷重 P —変位 δ 関係を作成する。

図3-1に示す通り、頂部に荷重 P を作用させたときの全体変形 δ は曲げ変形 δ_b とせん断変形 δ_s の和で表され、曲げ変形 δ_b とせん断変形 δ_s を各層ごとに積み重ねることで、頂部における全体変位 δ を算出する。

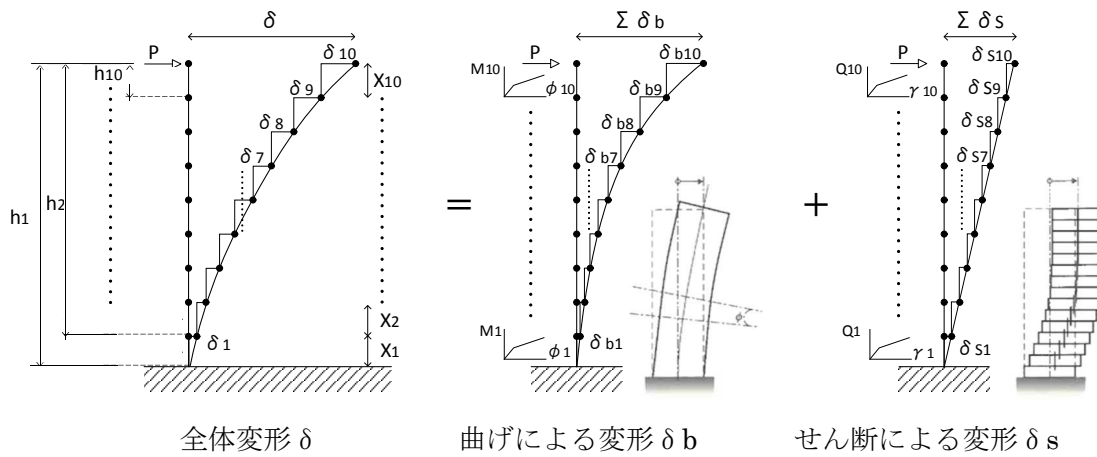


図 3-1 算出方法のイメージ

下記①～④の手順により頂部における荷重 P に対する変位 δ_b 及び δ_s を算出し、荷重変位特性を作成する。

- ① 頂部に荷重 P を作用させたときの、各層の曲げモーメント M 、せん断力 Q を求める。

各層の $M = P \times$ ペデスタル頂部から対象要素下端までの距離 h

各層の $Q = P$

- ② 各層の M 、 Q から、スケルトンカーブの M — ϕ 、 Q — γ 関係より、各層の ϕ 、 γ を求める。

各層の $M \rightarrow$ スケルトンカーブ (M — ϕ 関係) \rightarrow 各層の ϕ

各層の $Q \rightarrow$ スケルトンカーブ (Q — γ 関係) \rightarrow 各層の γ

- ③ 各層の ϕ 、 γ から、各層の曲げ変形 δ_b 、せん断変形 δ_s を求める。

$\delta_b =$ 各層の回転角 $\theta \times$ ペデスタル頂部から対象要素下端までの距離 h

$=$ 各層の $\phi \times$ 各層の要素長さ $X \times$ ペデスタル頂部から対象要素下端までの距離 h ※

$\delta_s =$ 各層の $\gamma \times$ 各層の要素長さ X

- ④ 各層の δ_b 、 δ_s を足し合わせ、全体の δ を求める。

$\delta = \Sigma \delta_b + \Sigma \delta_s$

※ 曲げ変形 δ_b の算出について

曲げ変形 δ_b を算出するにあたり、図 3-2 の様に以下を定義する。

X_i : 曲げ変形を算出しようとしている対象要素の長さ

h_i : ペDESTAL頂部から対象要素下端までの距離

θ_i : 曲げ変形により生じる要素の傾き

これらについて、スケルトンカーブから求める曲率 ϕ と曲率の逆数である曲率半径 ρ を用いて整理すると、

$$X_i \div \rho_i \times \theta_i = \theta_i / \phi_i$$

となるため、

$$\theta_i = X_i \times \phi_i$$

となる。求めた回転角 θ より各層の曲げ変形 δ_{bi} を表すと

$$\delta_{bi} \div h_i \times \theta_i$$

となる。そのため全体の曲げ変形 δ_b は以下の式で求めることができる。

$$\delta_b = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4 + \dots$$

$$\div (h_1 \times \theta_1) + (h_2 \times \theta_2) + (h_3 \times \theta_3) + (h_4 \times \theta_4) + \dots$$

$$\div (h_1 \times X_1 \times \phi_1) + (h_2 \times X_2 \times \phi_2) + (h_3 \times X_3 \times \phi_3) + (h_4 \times X_4 \times \phi_4) + \dots$$

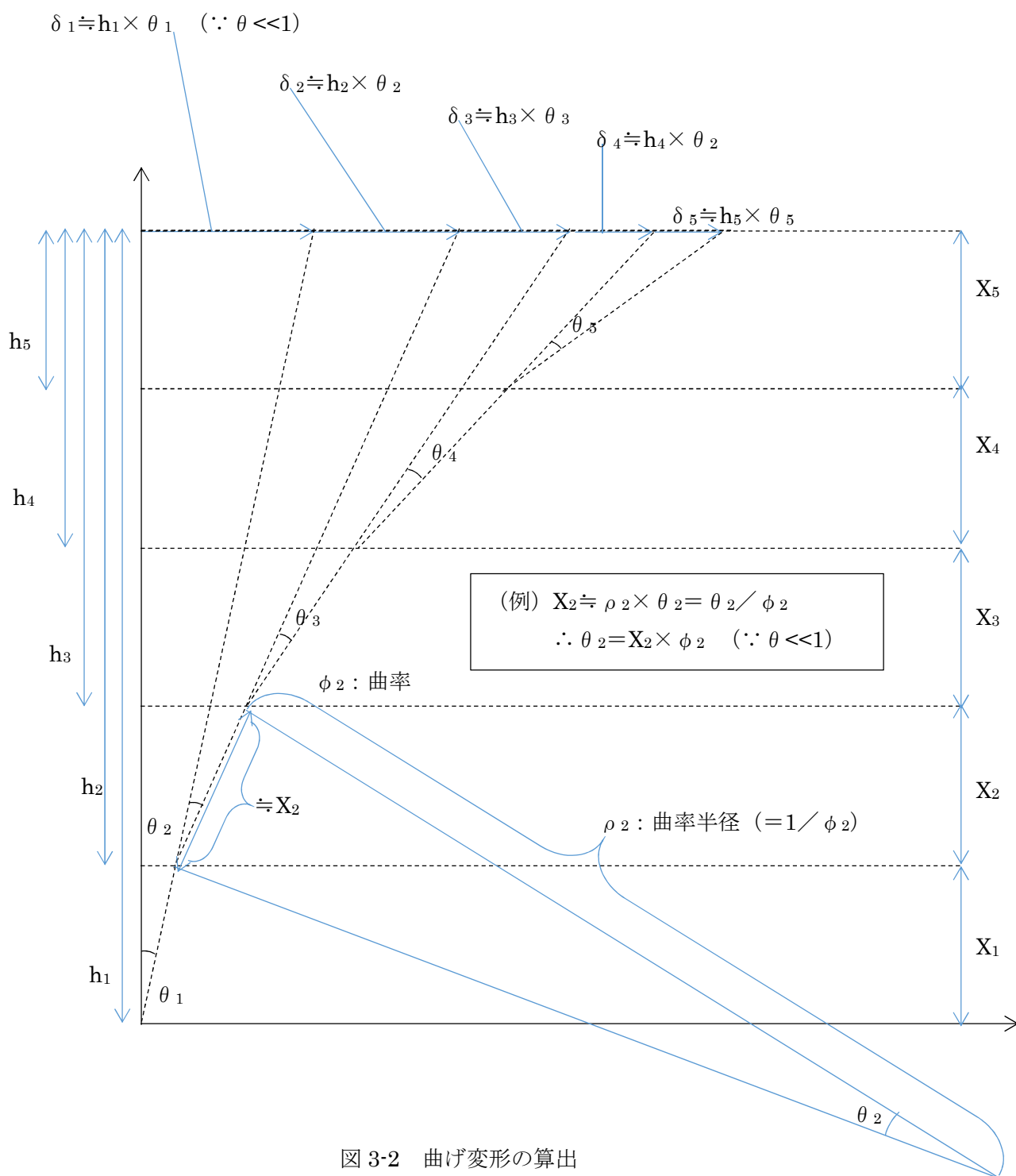


図 3-2 曲げ変形の算出

(2) 荷重変位特性

前項(1)に基づき作成した曲げ及びせん断の荷重変位特性を図3-3に示す。

a. 曲げ変形

黒線：試験体へ水平力を付加した際に実測した試験体の曲率をもとに算出した曲げによる変形（添付資料5のP.9～10参照）

赤線：SC規程を参考に作成したスケルトンカーブ（ $M-\phi$ ）から算出したもの（本資料のP.4～6参照）

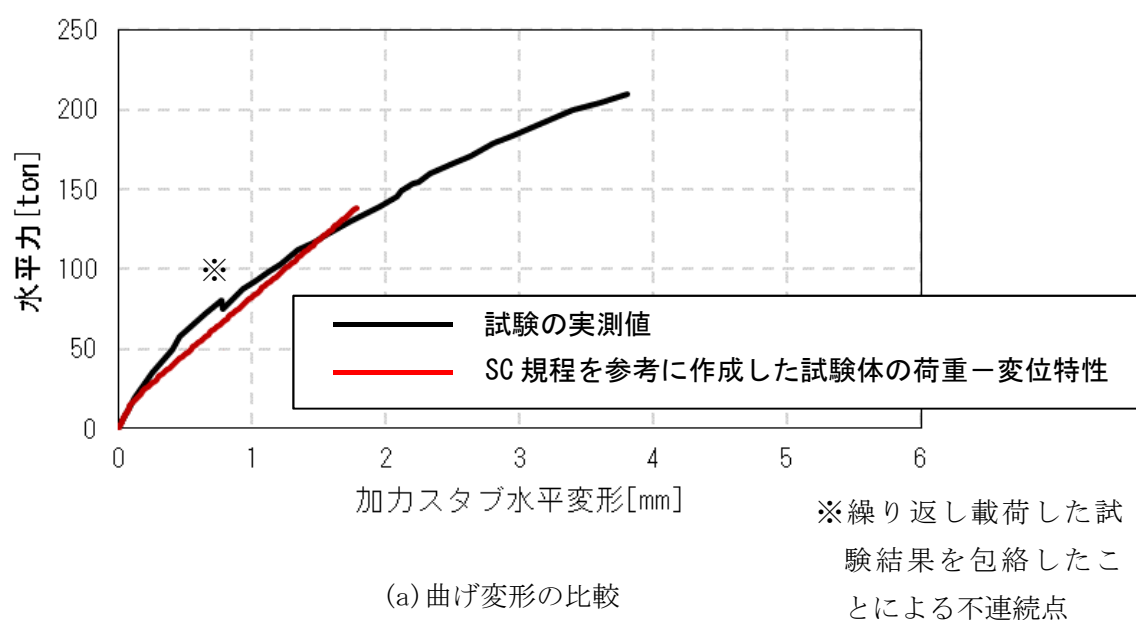
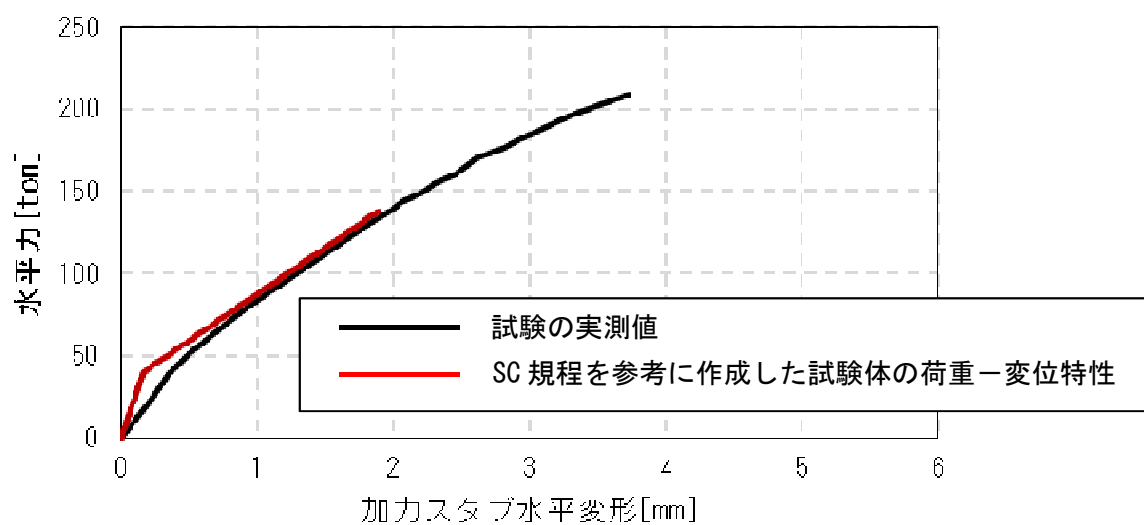


図3-3 荷重-変形関係の比較（1／3）

b. せん断変形

黒線：試験体へ水平力を付加した際に実測した試験体頂部の全体変形から，曲げによる変形分を除いたもの（添付資料 5 の P. 10 参照）

赤線：SC 規程を参考に作成したスケルトンカーブ（ $Q-\gamma$ ）から算出したもの（本資料の P. 4 参照）



(b) せん断変形の比較

図 3-3 荷重-変形関係の比較（2 / 3）

c. 全体変形

黒線：試験体へ水平力を付加した際に実測した試験体頂部の全体変形（添付資料 5 の P. 8 参照）

赤線：SC 規程を参考に作成したスケルトンカーブ（ $M-\phi$ 及び $Q-\gamma$ ）から算出したもの（本資料の P. 4 参照）

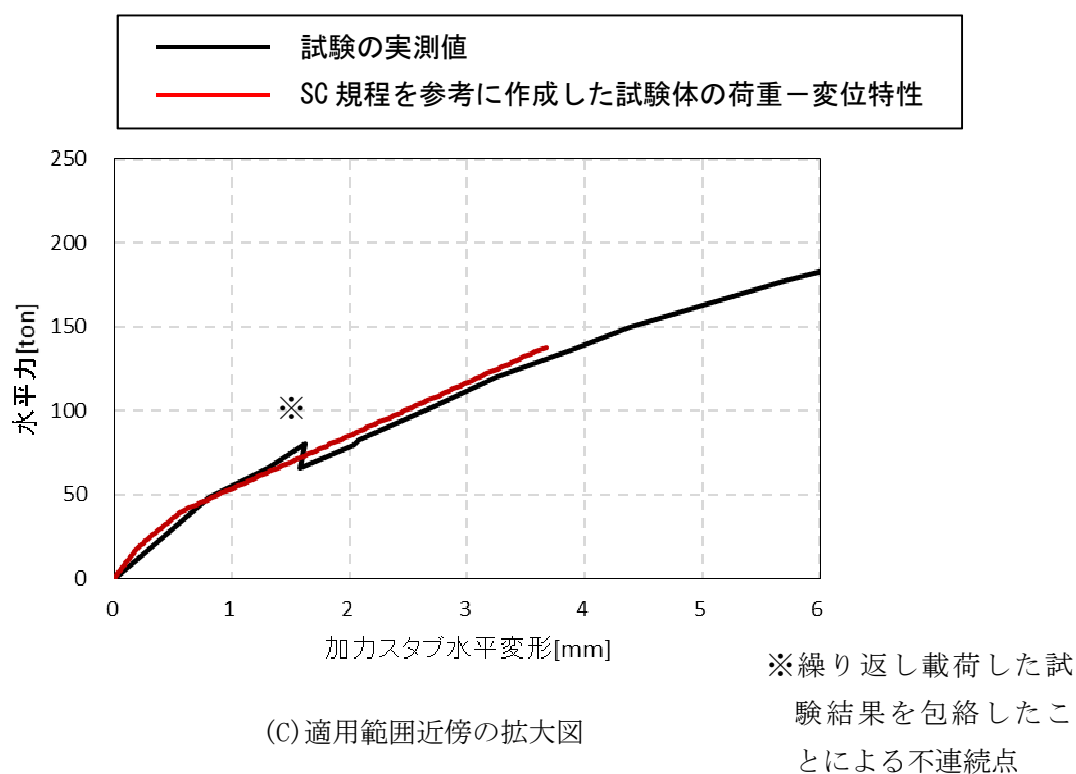


図 3-3 荷重-変形関係の比較（3／3）

4. 参考文献

- (1) 東京電力株式会社，東北電力株式会社，中部電力株式会社，北陸電力株式会社，中国電力株式会社，日本原子力発電株式会社，株式会社 東芝，株式会社 日立製作所：共同研究報告書「コンクリート PCV の構造評価および基準確立のための実証試験」，昭和 62 年度上半期（最終報告書），昭和 62 年 9 月

添付資料-5：既往試験の概要，信頼性及び実機への適用性

1. 既往の試験

改良型沸騰水型原子炉（以下「ABWR」という）の RPV ペデスタルは，鋼板及びコンクリートからなる複合構造物にベント管が埋め込まれているという構造上の特徴を有している。ABWR の開発段階において，RPV ペデスタルの水平荷重に対する終局状態までの荷重－変位特性を把握するため，電力共同研究として実機を模擬した試験体を用いて静的加力試験⁽¹⁾（以下「試験」という。）を行っている。試験体と加力装置の概要を図 1-1 に，試験体の断面図を図 1-2 に示す。

本試験結果のうち鋼板が降伏するまでの範囲を，今回工認で設定した RPV ペデスタルのスケルトンカーブの評価上の仮定に対する妥当性確認に用いている。

(1) 試験体

試験は，実機の構造の特徴を模擬した 1/10 縮尺の円筒型の鋼板コンクリート構造試験体を製作して行った。試験体に発生する応力度が実機相当になるように，試験体寸法の縮尺を実機の 1/10 程度，載荷する荷重を試験当時の実機設計荷重の 1/100 程度として試験を実施した。

試験体の模擬対象は，実機の構造のうち隔壁方式の鋼板コンクリート構造の特徴を有すると共に，地震時に比較的大きな荷重が作用して非線形挙動を示す RPV ペデスタルの下部とした。試験体の内外筒鋼板の間に 20 枚の鉛直方向の隔壁を配置し，底部にはベースプレート⁽²⁾を配置することにより内部コンクリートが実機と同様に分断されている状態を模擬すると共に，10 本のベント管による内部コンクリートの欠損状態を考慮している。

試験体の据付けは，加力の影響を受けない剛なテストングフロアーと試験体の基礎スラブを，PC 鋼棒による軸力を介して緊結し固定した。

(2)加力方法

試験当時の設計荷重相当の鉛直力※を付加した後、試験体の反力の影響を受けない剛なりアクションウォール（反力壁）及びリアクションブロック（反力ブロック）にそれぞれジャッキを取付け、水平方向に静的に漸増载荷した。

試験体への鉛直力は、試験体頂部加力スタブに PC 鋼棒及び加力梁を介して 50t ジャッキにより付加し、圧力ジャッキと加力梁間のロードセル（荷重計）により計測した。なお、加力梁とテストングフロアーを緊結する PC 鋼棒に取付く球座は、水平方向の加力に対して追従するために設けた治具である。

水平方向の荷重は、200t ジャッキ先端に設けたロードセル（荷重計）によって測定した。なお、試験体に設けたテフロン支承は、ジャッキとの摩擦力を緩和し、点荷重に近い状態とすることを目的に設置した。

水平力の载荷サイクルを図 1-3 に示す。まず、コンクリートのひび割れが生じない力（弾性荷重）で繰返し载荷を行った。次に水平力が当時の設計荷重相当（図 1-3 に示す $Q_0=52 \text{ ton}$ ）に至るまで载荷を行い、その後、設計荷重の 1.5 倍相当（ $1.5Q_0=80 \text{ ton}$ ）、鋼板曲げ降伏レベル（209 ton）のサイクルを経て、荷重降下に至るレベルまで加力した。（荷重変位特性は図 1-4 参照）

※ 本試験は水平荷重に対する RPV ペデスタルの終局状態までの荷重－変位特性の把握を目的として実施したものである。RPV ペデスタルのコンクリートは構造強度部材として期待していないが、試験当時の設計荷重による圧縮応力度（ 1.2N/mm^2 ）は、鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説の長期許容応力度（ $1/3F_c=9.8\text{N/mm}^2$ ， F_c ：設計基準強度）に比べて十分に小さいレベルであり、水平加力に対して脆性的な終局状態を引き起こすものではないことを確認している。

(3) 計測方法

試験体の非線形挙動を把握するために、荷重、試験体頂部の水平方向変位、試験体側面の鉛直方向変位及び鋼板のひずみを計測した。計測項目と計測方法のまとめを表 1-1 に示す。

表 1-1 計測項目と計測方法のまとめ

計測項目	目的	計測方法	計測位置等
荷重	試験体に載荷された水平力の計測	加力ジャッキに取り付けたロードセルにより計測	図 1-1 参照
試験体頂部の水平方向変位	全体変形量の計測	基礎スラブを不動点として、変位計により計測	図 1-5 参照
試験体側面の鉛直方向相対変位	曲げ変形量の計測	鉛直方向相対変位を変位計により計測し、図 1-7 に示す手法により曲げ変形を算出する	図 1-6 参照
鋼板のひずみ	鋼板の応力度の計測	試験体に取りつけたひずみゲージでひずみを計測し、得られたひずみに縦弾性係数を乗じて応力度を算出する	図 1-8 参照

荷重値はジャッキに取り付けたロードセル（荷重計）により計測した。（図 1-1）

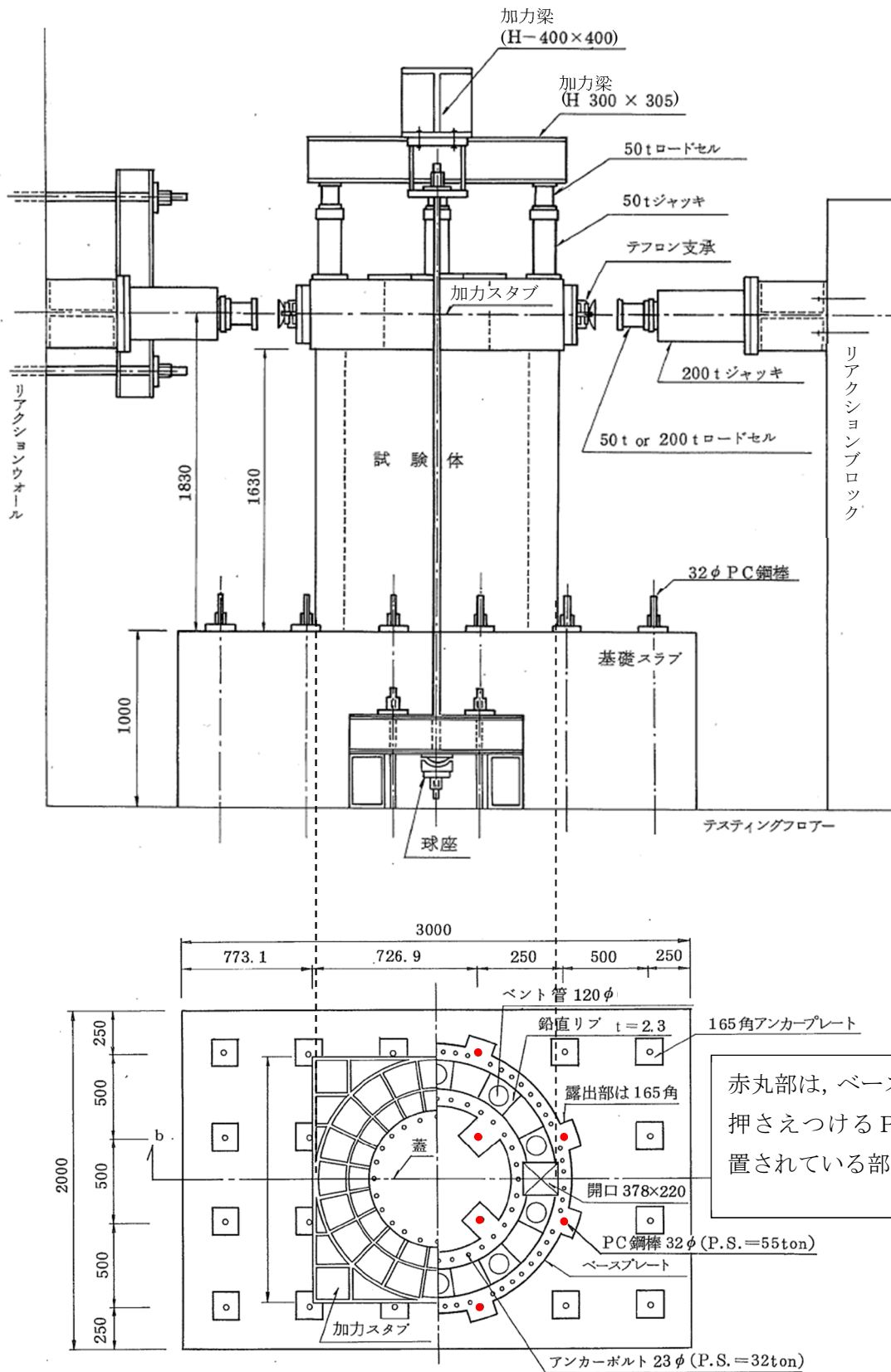
水平力載荷時の試験体各部の変形量は、不動点である基礎スラブに設置した計測フレームに取り付けた変位計にて計測を行った。また、試験体の曲げ変形を算出するため、試験体鉛直方向の相対変位を変位計にて計測した。（図 1-6）

全体変形 δ_T は基礎スラブを不動点として、試験体頂部の変位計により計測した。（試験体頂部の変位計は図 1-5 の赤丸で図示）

曲げ変形 δ_B は、計測した鉛直方向の相対変位から定まる曲率を用いて算出し、せん断変形 δ_s は全体変形 δ_T から曲げ変形 δ_B を減算することにより算出した。（図 1-7）

水平力載荷時の鋼板のひずみを、鋼板の側面に取り付けたひずみゲージにより計測し、鋼板の応力度を（ひずみ）×（鋼材の縦弾性係数）の関係から算出した。

試験体は、PC 鋼棒を介してベースプレートにプレストレス力(1 本あたり 55ton)を作用させており、測定データがベースプレートの変形の影響を受けないようにしており、測定される試験体の水平変形量の信頼性を確保している。



(単位 : mm)

図 1-1 RPV ペDESTAL の試験体と加力装置の概要
((1) より引用, 加筆)

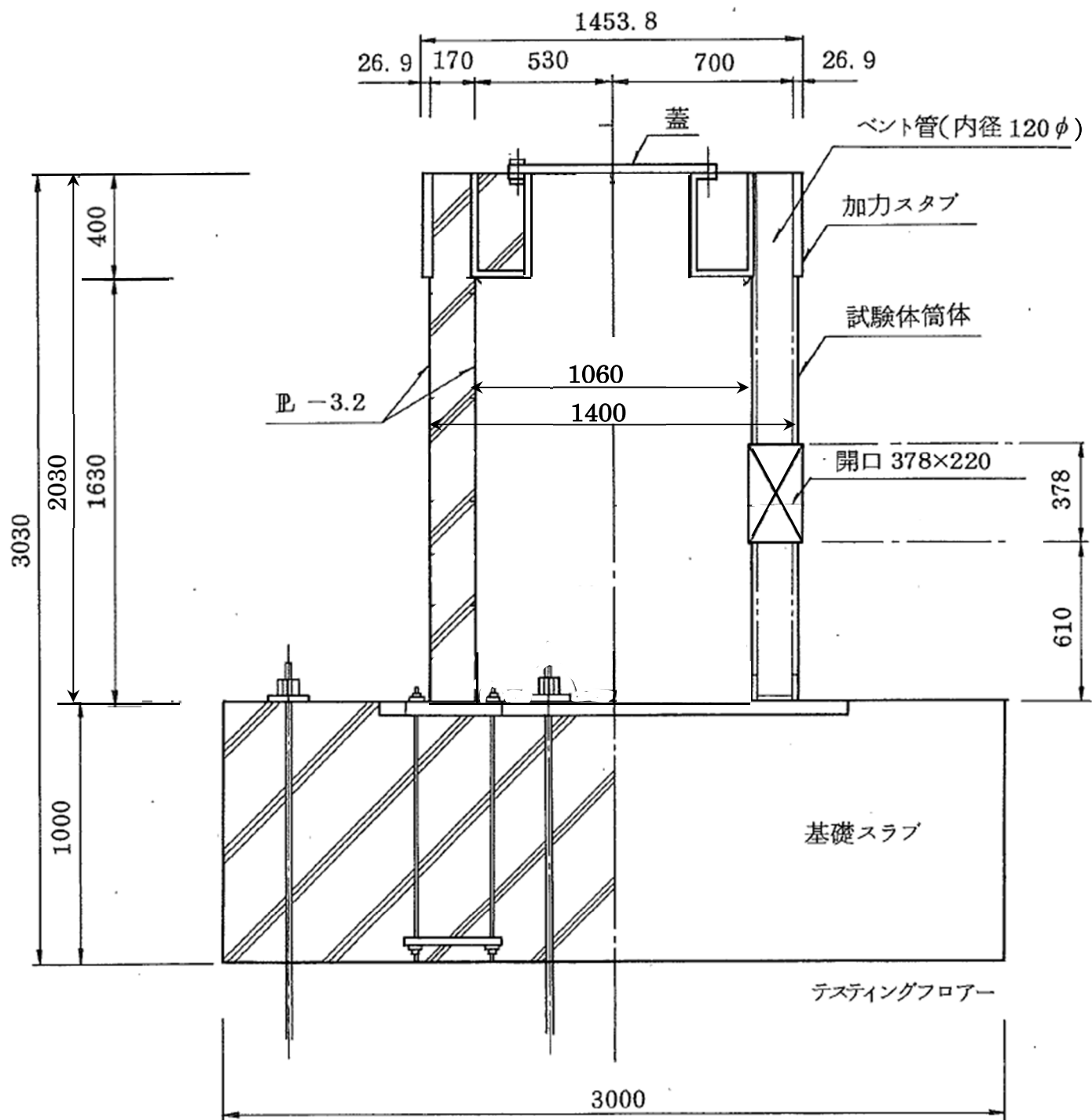


図 1-2 試験体の断面図
(1)より引用，加筆)

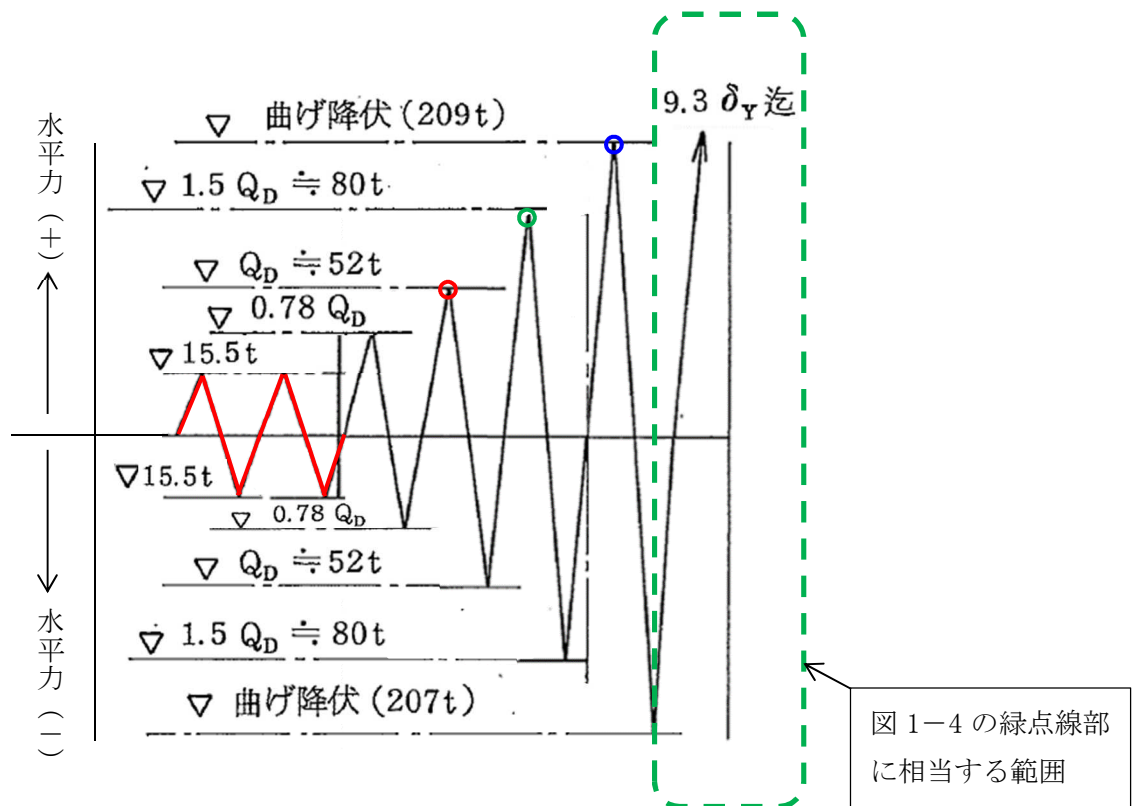
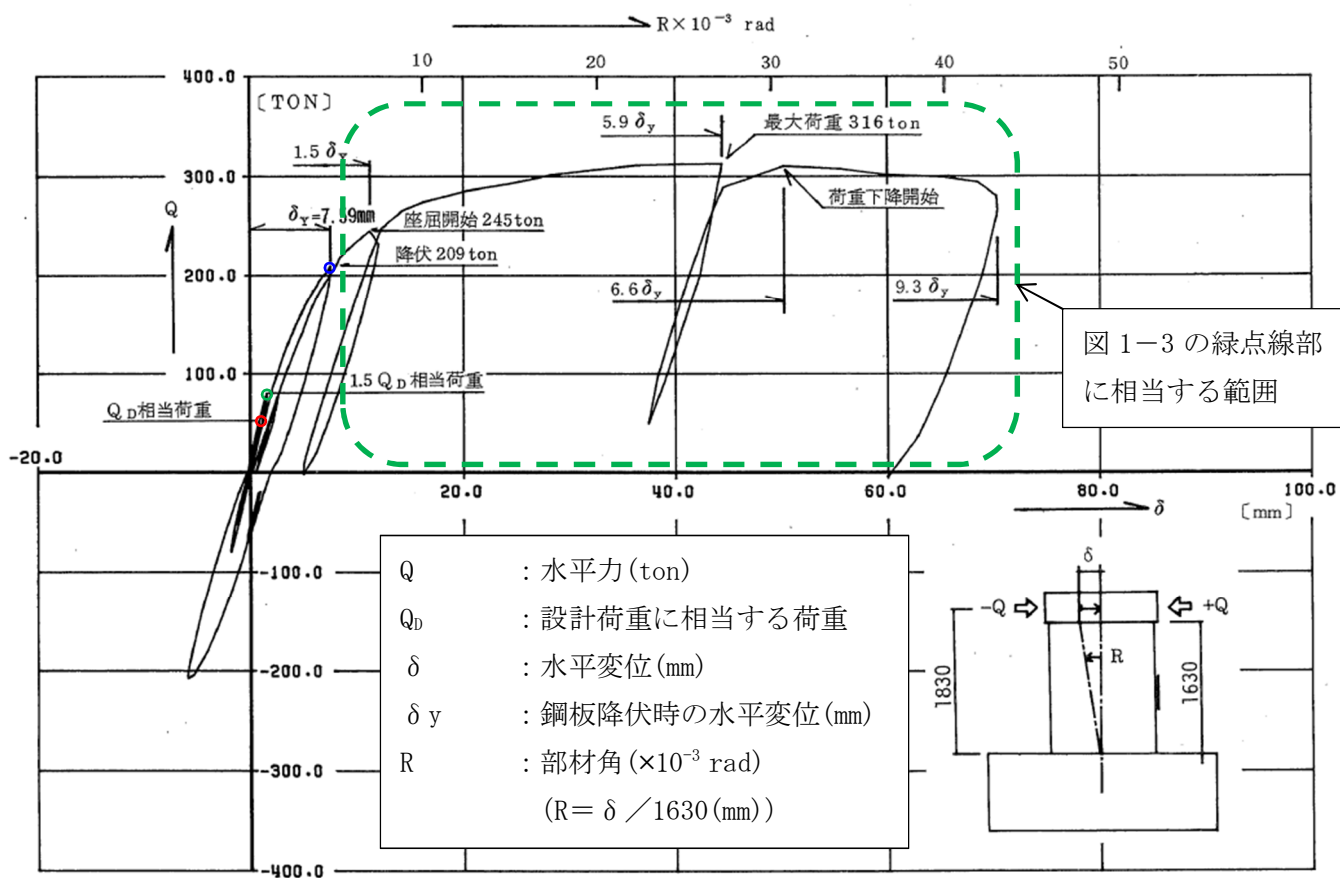


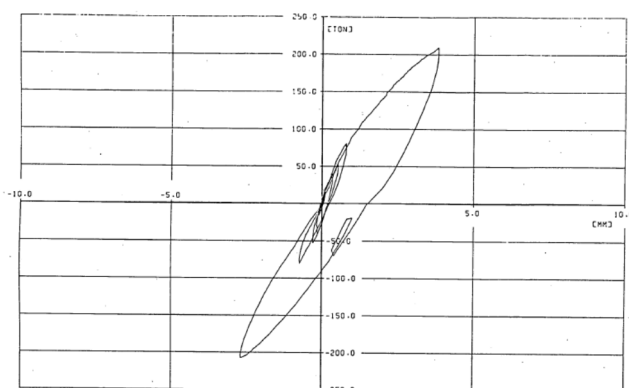
図 1-3 水平力の載荷サイクル
(1)より引用，加筆)

<記号の説明>

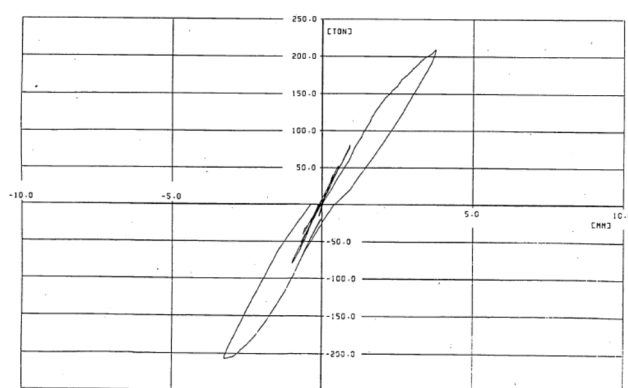
- Q_D : 設計荷重に相当する荷重
- δ_Y : 鋼板降伏時の水平変位
- 赤線 : コンクリートのひび割れが生じない程度の小さな荷重(弾性荷重)で載荷する範囲
- 赤丸 : 設計荷重に相当する荷重($Q_D = 52 \text{ ton}$) (図 1-4 の赤丸に相当)
- 緑丸 : 設計荷重に相当する荷重の 1.5 倍の荷重($1.5Q_D = 80 \text{ ton}$) (図 1-4 の緑丸に相当)
- 青丸 : 曲げ降伏時の荷重(209 ton) (図 1-4 の青丸に相当)
- 緑点線 : 図 1-4 の緑点線部に相当する範囲



(a) 水平力－水平変位特性（曲げ＋せん断）



(b) 水平力－水平変位特性（曲げ）



(c) 水平力－水平変位特性（せん断）

図 1-4 試験で得られた荷重変位特性
 ((1)より引用，加筆)

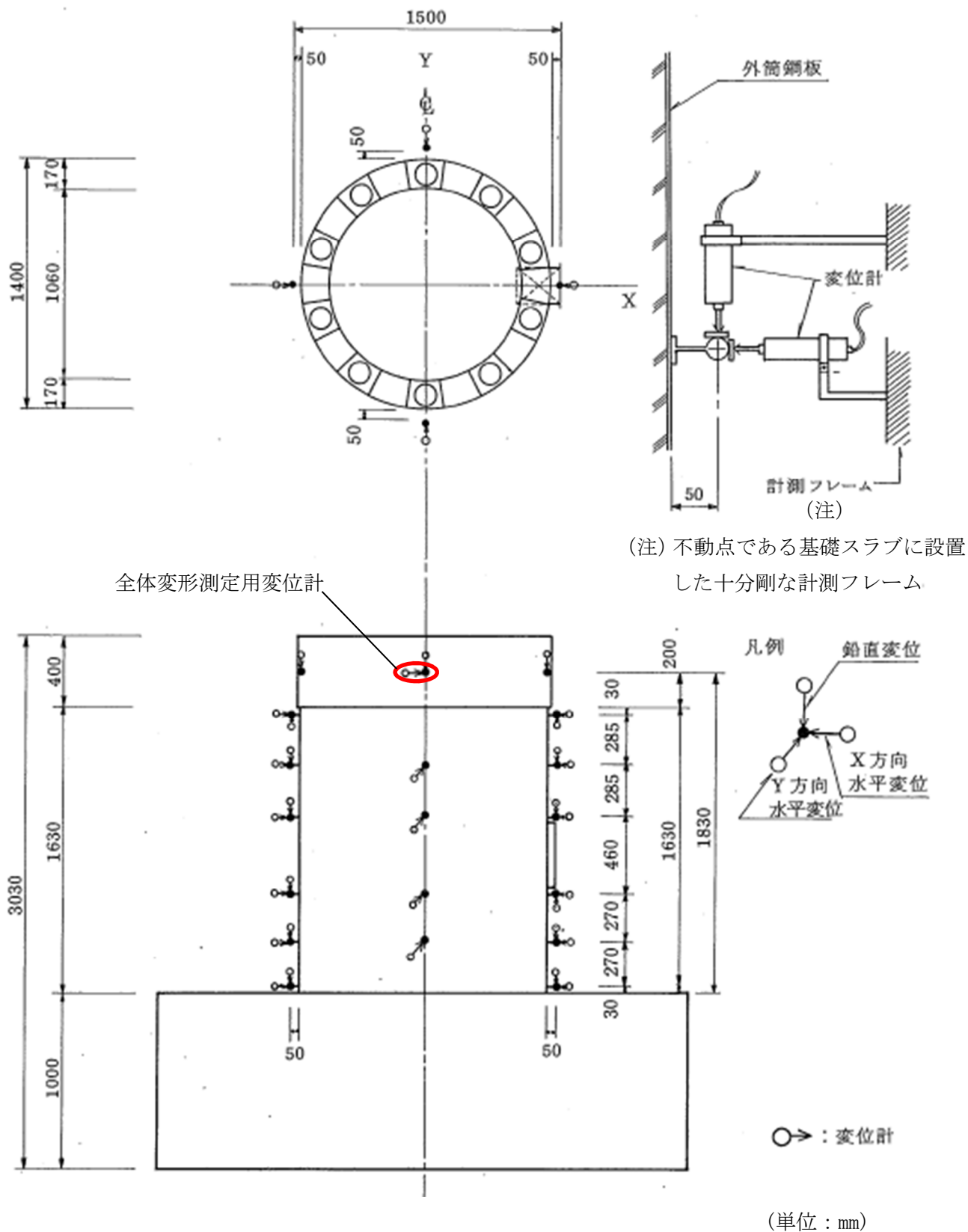


図 1-5 水平変位及び鉛直変位測定位置
((1) より引用, 加筆)

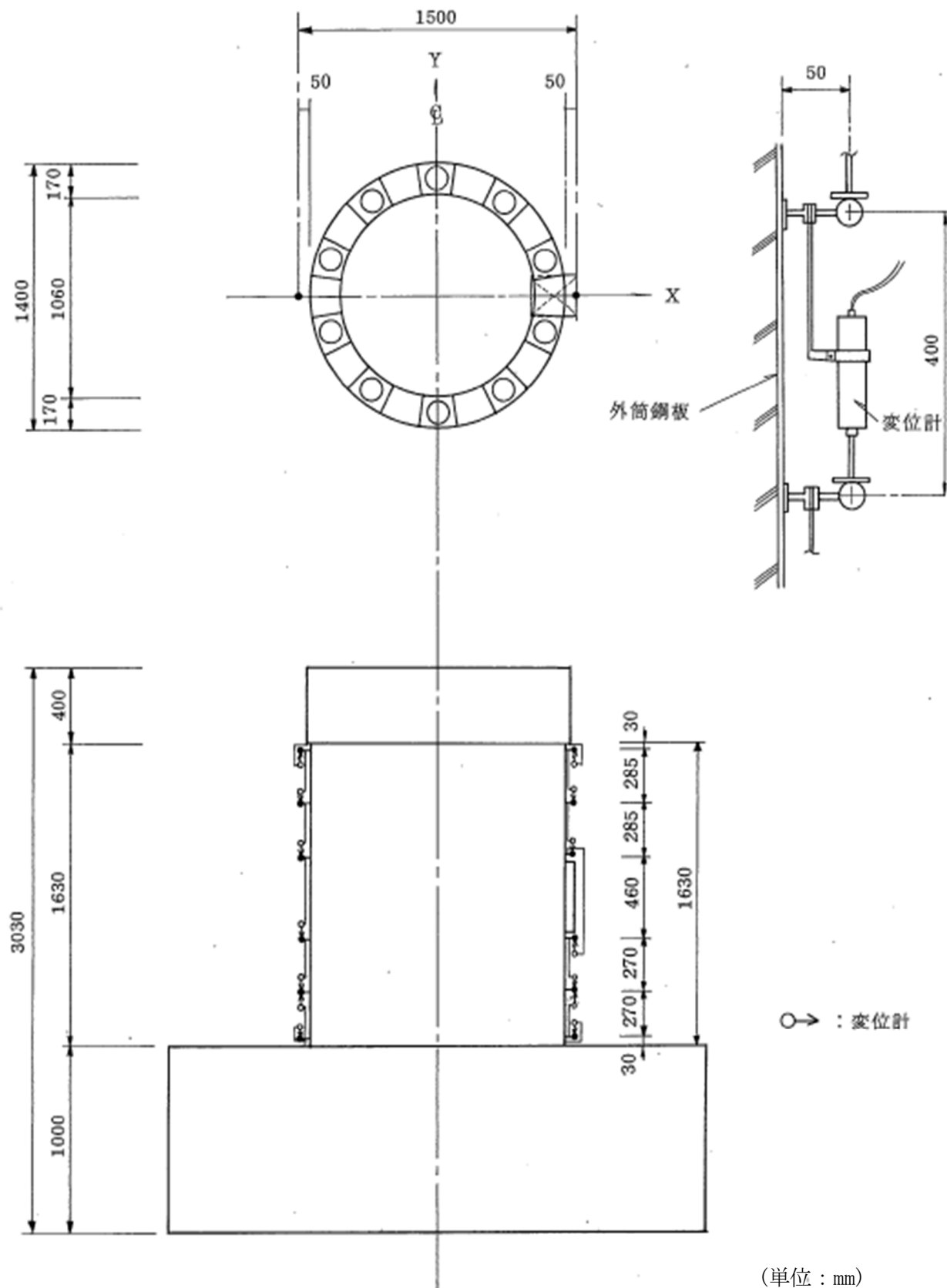
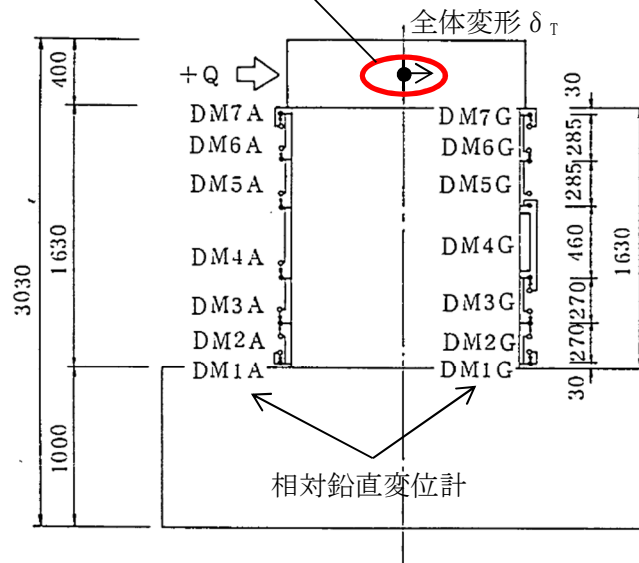
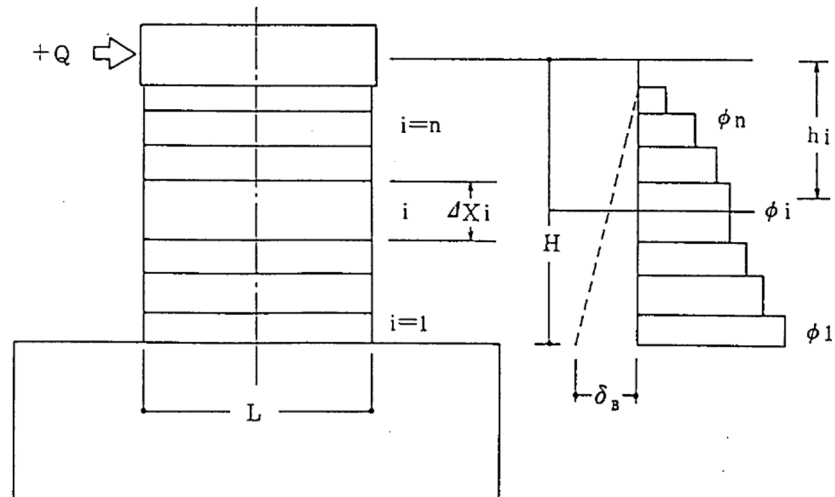


図 1-6 曲げ変形算出用変位測定位置
((1)より引用, 加筆)

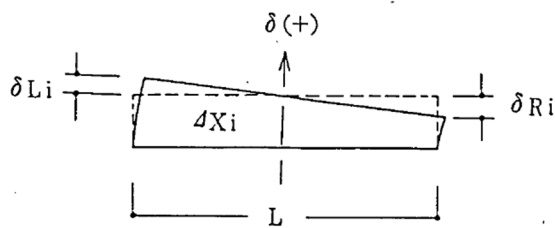
全体変形測定用変位計



(単位: mm)



$$\text{曲率: } \phi_i = \frac{\delta_{Li} - \delta_{Ri}}{L} \cdot \frac{1}{\Delta X_i}$$



$$\text{曲げ変形: } \delta_B = \sum_{i=1}^n h_i (\phi_i \cdot \Delta X_i)$$

$$\text{せん断変形: } \delta_S = \delta_T - \delta_B$$

$$\delta_T: \text{全体変形}$$

(頂部水平変位計による)

図 1-7 変形成成分分離手法

((1)より引用, 加筆)

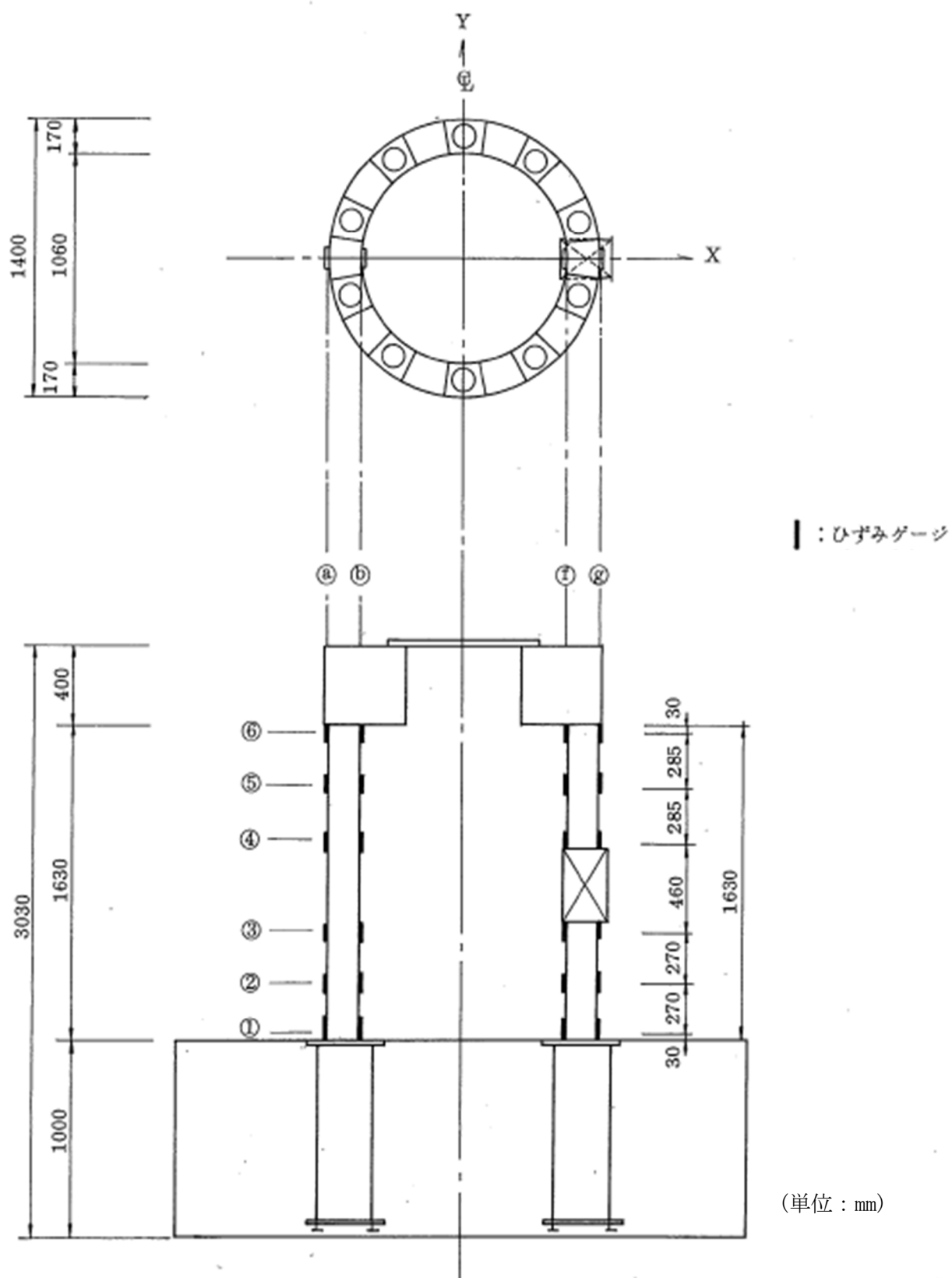


図 1-8 内外鋼板応力度算出用ひずみ測定位置
((1)より引用, 加筆)

2. 試験結果の実機への適用性

試験体は、RPV ペデスタルの構造上の特徴を反映するため内外鋼板の間にコンクリートを充填した構造とし、ベント管を内蔵する部分と内蔵しない部分を含めたものである。柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉と試験体に関するRPV ペデスタルの仕様を表2-1に示す。

鋼材の材質が実機RPV ペデスタルと異なるが、試験体に対するSC規程式を用いた荷重－変位特性を求める際は、使用材料の規格値に基づく剛性を用いることで、差異を適切に考慮している。

従って、本試験体の試験結果は、隔壁構造及びベント管を有した構造といったSC規程に対して追加検討に対する妥当性の確認に適用可能である。

また、スケール効果の観点では実機を縮小した場合の試験体に用いるコンクリートのうち骨材寸法の影響が考えられる。この影響については、参考文献(2)において骨材寸法の差が復元力特性に与える影響は少なく、実用上無視できることが確認されている。

3. 参考文献

- (1) 東京電力株式会社，東北電力株式会社，中部電力株式会社，北陸電力株式会社，中国電力株式会社，日本原子力発電株式会社，株式会社 東芝，株式会社 日立製作所：共同研究報告書「コンクリートPCVの構造評価および基準確立のための実証試験」，昭和62年度上半期（最終報告書），昭和62年9月
- (2) 吉崎 他：原子炉建屋の復元力特性試験（その6）スケール・イフェクト試験 日本建築学会学術講演梗概集（昭和61年）

表 2-1 実機 RPV ペデスタル及び試験体の構造概要

項目		柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉	試験体
構造	鋼板コンクリート構造の型式	隔壁方式 ^{※1}	同左
	断面形状	円筒型 ^{※1}	同左
	ベント管内蔵	あり ^{※2}	同左
	ベースプレート	あり ^{※1}	同左
(以下、参考)			
二重円筒部 (内筒及び 外筒鋼板)	高さ (mm)	20500	2030
	厚さ (mm)	1700	170
	内筒鋼板の内径 (mm)	10600	1060
	外筒鋼板の外径 (mm)	14000	1400
	内筒及び外筒鋼板の板厚 (mm)	30	3.2
たてリブ	板厚 (mm)	25	2.3
	個数	20	20
	配置 (角度)	18°	18°
開口部	高さ×幅 (mm)	3800×2200	378×220
ベント管 ^{※3}	内径 (mm)	1200	120
	個数	10	10
	配置 (角度)	36°	36°
材質	鋼材	SPV490	SS400
	コンクリート 設計基準強度 (kg/cm ²)	300	300

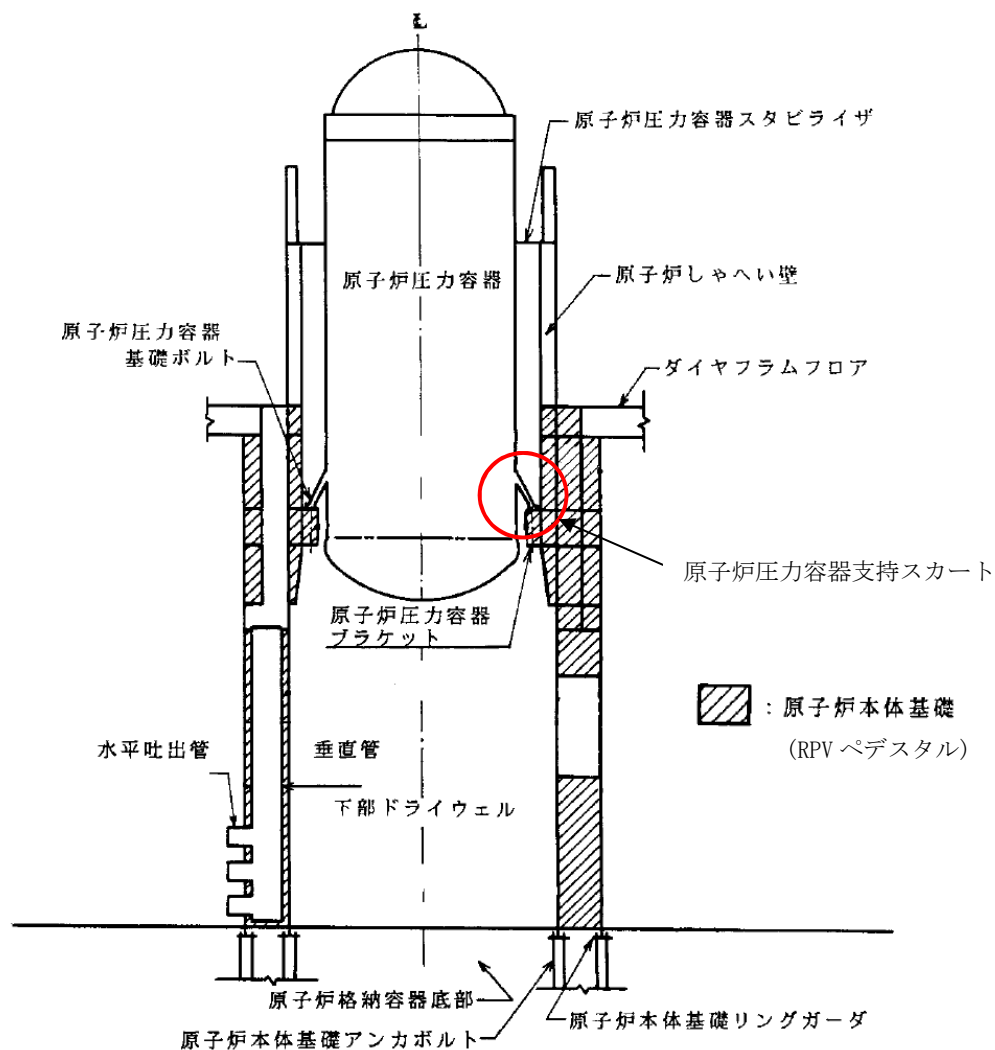
※1：柏崎刈羽原子力発電所の他号炉も含めて採用されている方式

※2：柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉固有の構造（改良型沸騰水型原子炉）

※3：ベント管の断面積や断面二次モーメントは RPV ペデスタル全体に対して小さいことから、既工認同様に復元力特性の設定においてベント管の板厚は考慮しない。

(参考1) 実機 RPV ペDESTALの荷重状態

実機 RPV ペDESTALは、上部ペDESTALに設けたブラケット部にて原子炉圧力容器を支持している。地震時に原子炉圧力容器へ作用する荷重は、原子炉圧力容器支持スカート及び原子炉圧力容器基礎ボルトを介して曲げモーメントとして RPV ペDESTALへ伝達されることから、実機 RPV ペDESTALへ作用する荷重は曲げが支配的となる。



参考図1 RPV ペDESTAL概略図

(参考2) 試験体と実機 RPV ペDESTALの鉛直方向の圧縮応力度について

試験当時の設計荷重に基づく試験体の鉛直方向の圧縮応力度 (1.2N/mm^2) に対し、実機の圧縮応力度 (約 1.0N/mm^2 , 評価断面により異なる) は僅かに相違がある (参考表 1) もの、この差が試験体の終局変形に与える影響は小さい。

また、SC 規程を参考にしたスケルトンカーブの評価においては、試験体及び実機 RPV ペDESTALのそれぞれの圧縮応力度に応じた鉛直方向軸応力度 σ_v を用いることから、実機構造の再現性の観点でこの差による影響は無いと言える。

参考表 1 実機 RPV ペDESTAL及び試験体の鉛直方向の圧縮応力度

実機 RPV ペDESTAL※ ¹	試験※ ² (鉛直力として付加)
約 1.0 N/mm^2	1.2 N/mm^2

※ 1 : RPV ペDESTALが支持する RPV, 原子炉遮蔽壁, ダイヤフラムフロア等の総重量を、コンクリートと鋼板のヤング係数比から、鋼板部分をコンクリートの断面積相当に換算した鉛直方向圧縮応力度。

※ 2 : 試験当時の設計荷重相当の鉛直力 (軸力) を、※ 1 と同様にコンクリート基準の鉛直方向圧縮応力度に換算したもの。

添付資料-6：復元力特性の設定における温度に応じた材料物性値の設定方法

既工認では、地震と組み合わせる運転状態の温度を考慮し、当該温度における材料物性値を用いて剛性の設定を行っており、今回工認の非線形特性を考慮した復元力特性の設定においても、設計基準における温度条件は既工認と同一のため既工認の材料物性値を用いる。

また重大事故等の高温状態の影響を考慮する場合においても、既工認における考え方と同様に設定を行うが、既工認より温度条件が変更となるため、温度による影響を考慮した材料物性値を用いて剛性の設定を行う。

RPV ペデスタルの復元力特性を設定する際に用いる物性値のうち、温度による影響を受けるものを整理し、設定に用いる規格・基準類を表 1 に示す。

表 1 温度に応じた材料物性値の設定に用いる規格・基準類

		既工認	今回工認	
			設計基準	重大事故等の高温状態の影響を考慮する場合
コンクリート	ヤング係数	RC 規準	同左	同左 (温度による影響は Eurocode を用いて確認予定)
	圧縮強度	RC 規準	同左	同左 (温度による影響は Eurocode を用いて確認予定)
鋼板	ヤング係数	告示 501	同左	JSME
	降伏点	— (線形仮定のため剛性算定に用いていない)	JIS G 3115 (既工認の応力評価の許容値根拠と整合させる。)	JSME (温度による影響を考慮するため JSME を参照)

＜略称の説明＞

RC 規準	: 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説
告示 501	: 発電用原子力設備に関する構造等の技術基準（告示第 501 号）
JSME	: 発電用原子力設備規格（設計・建設規格 JSME S NC1－2005/2007）
Eurocode※	: EN 1992-1-1, Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings / EN 1992-1-2, Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-2: General rules. Structural fire design

※: Eurocode は, EU 域内のみならず, 海外で標準的に用いられている設計規準であり, 日本国内においても「福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係る実施計画」における福島第一原子力発電所 4 号機原子炉建屋等の耐震性評価において, プール水温の高温化による影響を考慮する際に Eurocode を用いた解析評価を行い認可された実績があることから, RPV ペデスタルにも適用可能と考える。

添付資料-7：コンクリートせん断ひび割れ後の RPV ペDESTALの支持性能

1. RPV ペDESTALの構造強度設計

RPV ペDESTALは、地震力を含む荷重に対して鋼板のみで概ね弾性状態を保持する設計としており、コンクリートを強度部材として期待しない設計である。

2. コンクリートせん断ひび割れ後の支持性能

コンクリートにせん断ひび割れが生じたとしても、1. の通り RPV ペDESTALはコンクリートに期待せず鋼板のみで弾性状態を保持する設計であることから、ひび割れたコンクリートの横拘束効果は鋼板によって発揮される。

鋼板による横拘束効果が発揮されることにより、せん断力に対して鋼板とひび割れたコンクリートが一体となって荷重を分担することが可能となる。

従って、コンクリートせん断ひび割れ後においても RPV ペDESTALの支持機能は維持される。

3. 試験結果との対比

SC 規程のスケルトンカーブの評価式は、鋼板とコンクリートが一体となって荷重を分担することを前提としたものである。

SC 規程を参考に作成した試験体のスケルトンカーブを用いた荷重－変位特性と、試験で実測された荷重－変位特性を比較すると、コンクリートひび割れ後であっても両者は整合していることから、試験体においても SC 規程と同様に鋼板とコンクリートが一体となって挙動していることが確認できる。(図 1)

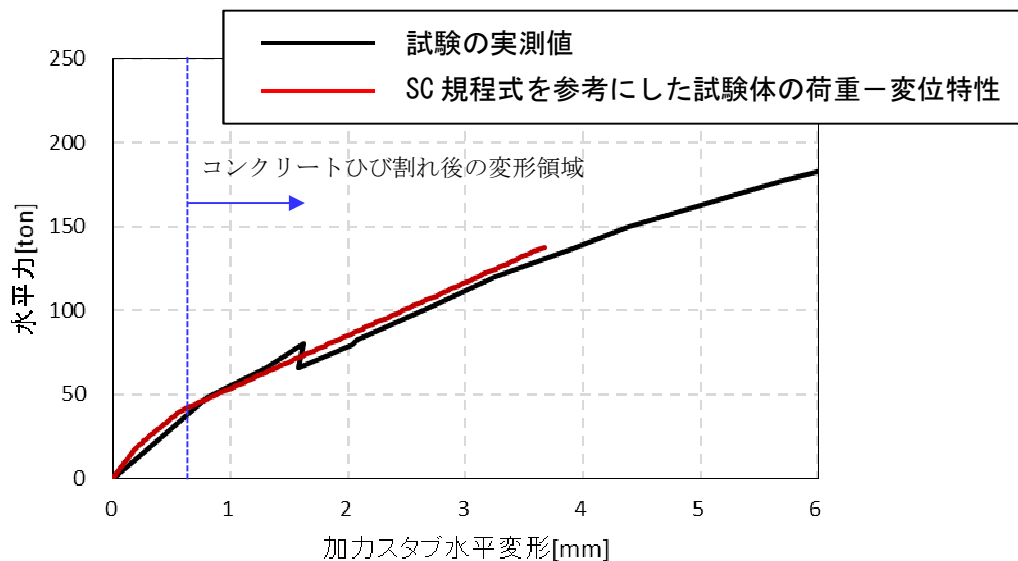


図 1 荷重-変形関係の比較

(参考) RPV ペデスタルへの圧縮荷重について

RPV ペデスタルは、鋼板のみでも十分な支持性能が発揮される設計であることから、コンクリートに高圧縮力が負荷される環境ではない。

実際に、実機や試験体の鉛直力は表 1 の通りであって、実機 RPV ペデスタルコンクリートの圧縮強度 (29.4N/mm^2) に比べて十分に小さく、コンクリートの圧縮強度に至るような荷重が負荷されることはない。

表 1 実機 RPV ペデスタル及び試験体の鉛直方向の圧縮応力度

実機 RPV ペデスタル※ ¹	試験※ ² (鉛直力)
約 1.0 N/mm^2	1.2 N/mm^2

※ 1 : RPV ペデスタルが支持する RPV, 原子炉遮蔽壁, ダイヤフラムフロア等の総重量を、コンクリートと鋼板のヤング係数比から、鋼板部分をコンクリートの断面積相当に換算した鉛直方向圧縮応力度。

※ 2 : 試験当時の設計荷重相当の鉛直力 (軸力) を、※ 1 と同様にコンクリート基準の鉛直方向圧縮応力度に換算したもの。

添付資料-8：RPV ペDESTAL円筒部の構造強度評価

RPV ペDESTALの内部にはコンクリートが充填されていることから，地震応答解析では鋼板と内部コンクリートをともに考慮した剛性を設定し，地震荷重を求める。

円筒部の評価は，鋼板のみを考慮した FEM 解析モデルを用いて応力算定を行い，各荷重による応力の組合せが鋼構造設計規準に基づく許容値以内に収まることを確認している。

なお，RPV ペDESTALの応力算定は，FEM 解析モデルを用いて行っており，構造不連続部の局所の効果を含んだ応力が許容値以内に収まることを確認している。また，実際には内部にコンクリートが充填されており円筒鋼板が座屈しにくい構造であることに加え，座屈補強材として円筒鋼板に鉛直方向に鉄骨，水平方向にスティフナープレートを設置し，鋼板の幅厚比制限を満足することにより，局部座屈を防止する設計としている。

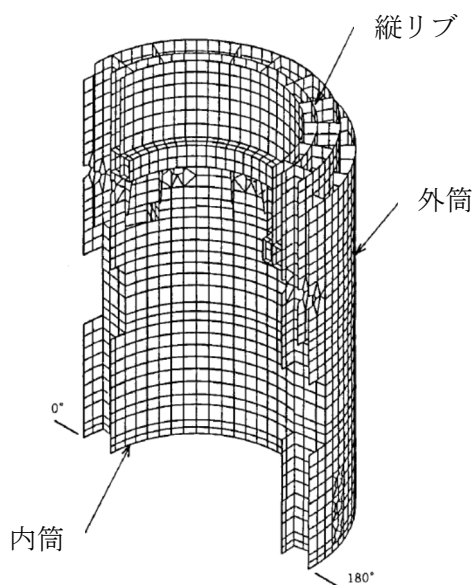


図-1 RPV ペDESTAL円筒部の FEM 解析モデル

表-1 円筒部の許容応力度（鋼構造設計規準に基づき算定）

	長期	短期
面内せん断応力	$\frac{F}{1.5 \times \sqrt{3}}$	$\frac{F}{\sqrt{3}}$
組合せ応力	$\frac{F}{1.5}$	F

$$F = \text{Min}(\sigma_y, 0.7 \sigma_u)$$

σ_y : JIS G 3115 に規定される鋼板の降伏点 (N/mm)

σ_u : JIS G 3115 に規定される鋼板の引張強さ (N/mm)

添付資料-9： スケルトンカーブの近似方法

1. スケルトンカーブの近似方法

RPV ペデスタルのスケルトンカーブは、曲げ、せん断ともに第1折点を内部コンクリートのひび割れが生じる点、第2折点を鋼板が降伏する点として2直線で近似しており、スケルトンカーブを多折れ線で近似する方法は「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991」（以下、「JEAG」という）に示される鉄筋コンクリート造耐震壁のスケルトンカーブの近似方法と同じである（図 1-1）。

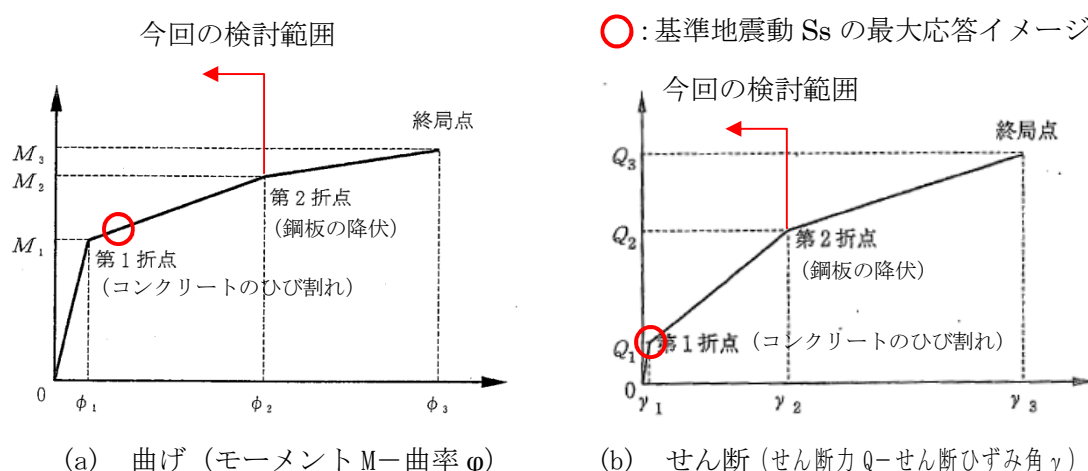


図 1-1 スケルトンカーブの概念図

JEAG においては、スケルトンカーブは、応答解析上の取扱いが容易なものであると同時に、建屋が終局に至るまでの挙動をできるだけ忠実に表わすことが望ましいとされており、本評価法は、原子炉建屋の耐震壁を対象とした模型実験の結果ともよく適合したものとなっている⁽¹⁾。

2. 地震応答へ与える影響

建屋耐震壁のスケルトンカーブの変動が、地震応答に与える影響を調査した既往検討例では、折点のせん断力を 25～30%変動させても、最大応答せん断力、最大応答加速度の変動は数%程度であり、スケルトンカーブの変動が、地震応答へ与える影響は小さいことが確認されている⁽²⁾。

<参考文献>

- (1) 古川茂, 他: 原子炉建屋鉄筋コンクリート耐震壁の復元力特性評価法(その1～6)
日本建築学会学術講演梗概集, 2145～2150, pp. 289-300, 1987 年 10 月
- (2) 東京電力株式会社, 北海道電力株式会社, 東北電力株式会社, 中部電力株式会社,
北陸電力株式会社, 関西電力株式会社, 中国電力株式会社, 九州電力株式会社, 日
本原子力発電株式会社, 株式会社大林組, 大成建設株式会社, 鹿島建設株式会社,
清水建設株式会社, 株式会社竹中工務店: 共同研究報告書「原子炉建屋耐震余裕の
評価法に関する研究その4 (昭和 61 年度下半期最終報告書)」

添付資料-10：RPV ペデスタル復元力特性の折線近似の影響検討

1. はじめに

RPV ペデスタルのスケルトンカーブは、曲げ、せん断ともに第1折点を内部コンクリートのひび割れが生じる点、第2折点を鋼板が降伏する点として2直線で近似しており、第1折点を超えた範囲では剛性が一定との仮定に基づいている。

一方、実現象としては第1折点で初期ひび割れが生じた後も、荷重の増加に伴い内部コンクリートのひび割れは徐々に増加していく。ひび割れの増加はコンクリートの剛性低下を意味することから、第1折点から第2折点の間の区間は直線で近似するよりも、徐々に剛性すなわちスケルトンカーブの勾配が低下する曲線で近似する方が実現象に近いと考えられる。

以上を踏まえ、RPV ペデスタルについて曲線近似したスケルトンカーブを作成し、折線近似との比較により影響検討を行うこととする。なお、曲げ及びせん断のうち、せん断変形については、折線近似したスケルトンカーブに基づく荷重－変位特性が加力試験の実測値を上回っていること（図 1-1）及び、せん断のスケルトンカーブの第1折点以降を変化させた場合でも地震応答解析結果から得られる最大せん断力及び最大モーメントに与える影響が小さいこと（図 1-2）から、影響検討は曲げ変形のみ実施する。

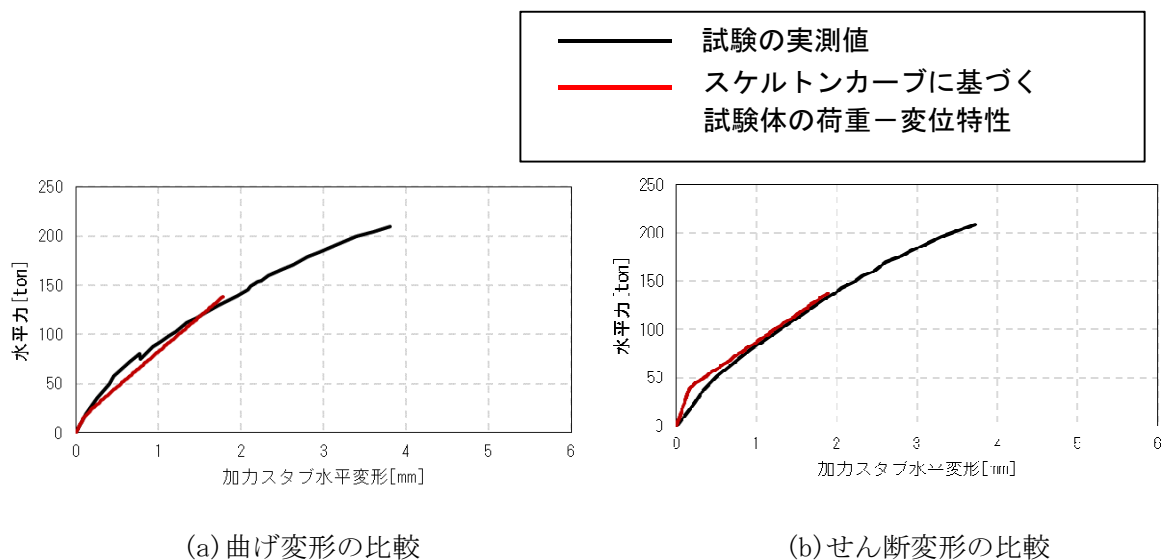


図 1-1 荷重-変形関係の比較

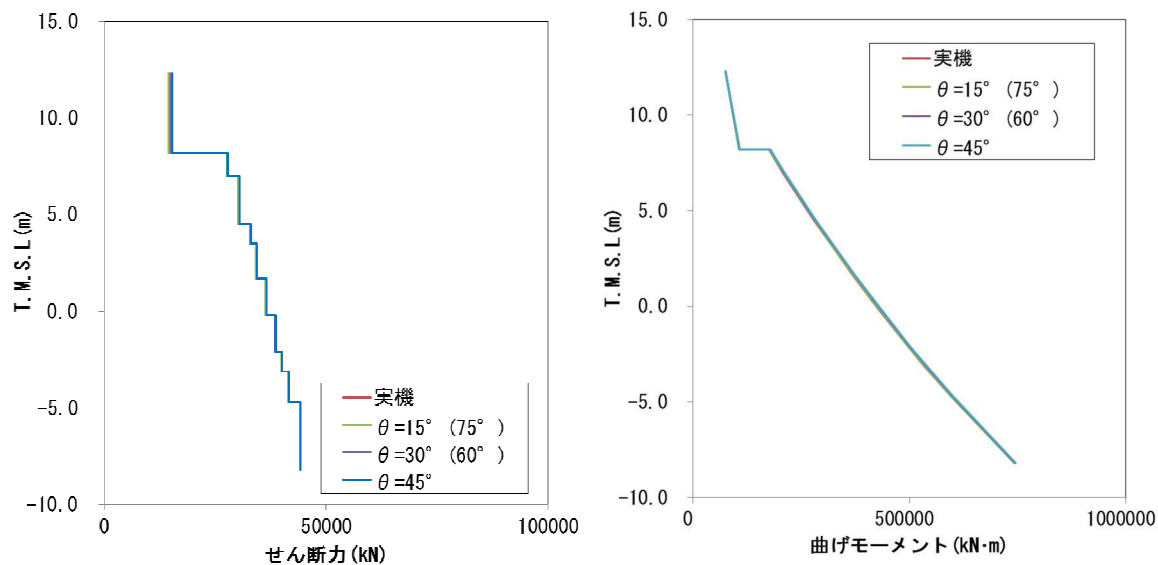


図 1-2 せん断力および曲げモーメントの応答分布図 (参考資料・2*より抜粋)

※：せん断第2折点の評価における圧縮ストラット角度 θ についてのパラメータスタディ

2. 曲線近似したスケルトンカーブの作成方法

RPV ペデスタルの曲げの第2折点は、断面の鋼板及びコンクリートを等価断面に置き換えモデル化したファイバーモデルを用いて鋼板が降伏状態に至る際の曲げモーメント及び曲率を求めている。曲線近似したスケルトンカーブは、第2折点の算出と同様の手法で曲げモーメント及び曲率の関係を求め、プロットすることにより行う。

なお、RPV ペデスタルの構造強度評価は曲げモーメントの最大応答値を用いて実施することを踏まえ、影響検討は曲げモーメントの最大応答値が算出される EW 方向のスケルトンカーブに対して行うこととする。

3. 影響検討

第1折点を越えた範囲において、曲線近似として作成した RPV ペデスタルのスケルトンカーブは上に凸の形状で、直線近似のものに比べ曲げモーメントが大きく算出されることを確認した。(図 3-1)

最大応答値である基準地震動 Ss-2 の曲げモーメントを折線近似したスケルトンカーブ上にプロットし、同じ曲率のモーメントを曲線近似のスケルトンカーブから参照しその差分を求めると、曲線近似による値は直線近似に比べ約 10.9%大きい値が得られた。(表 3-1)

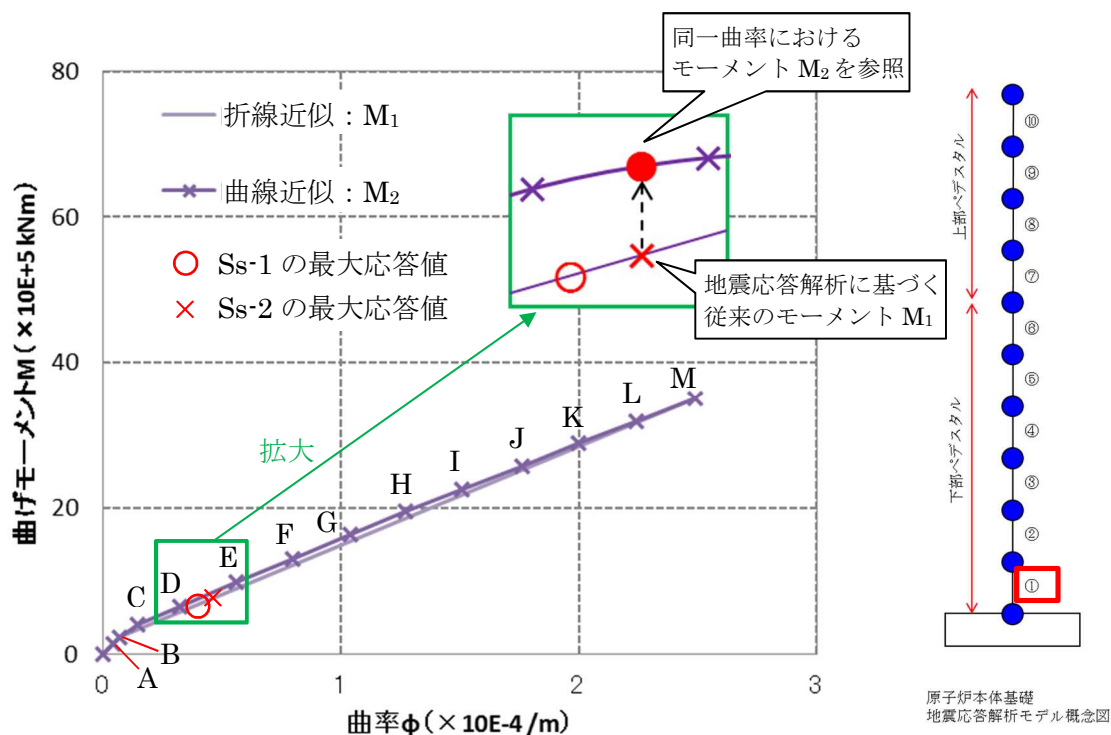


図 3-1 下部ペデスタル（要素①）の連続カーブと直線近似との比較（EW 方向）（暫定値）

表 3-1 曲線近似の折線近似からの差分（要素①，EW 方向）

	単位	A	B	C	D	Ss-1	Ss-2	E	F
曲率 ϕ	$\times 10^{-4} / \text{m}$	0.05	0.07	0.15	0.32	0.38	0.47	0.56	0.80
モーメント(折線) M_1	$\times 10^5 \text{ kN} \cdot \text{m}$	1.6	2.4	3.4	5.8	6.5	7.7	9.0	12.2
モーメント(曲線) M_2	$\times 10^5 \text{ kN} \cdot \text{m}$	1.5	2.3	4.0	6.6	7.3	8.6	9.9	13.1
折線からの差分 ($M_2 - M_1$)/ M_1	%	-8.4	-3.7	16.1	13.7	12.5	10.9	9.8	7.5

	単位	G	H	I	J	K	L	M
曲率 ϕ	$\times 10^{-4} / \text{m}$	1.04	1.27	1.51	1.76	2.00	2.24	2.49
モーメント(折線) M_1	$\times 10^5 \text{ kN} \cdot \text{m}$	15.4	18.5	21.8	25.2	28.4	31.6	35.0
モーメント(曲線) M_2	$\times 10^5 \text{ kN} \cdot \text{m}$	16.3	19.5	22.6	25.7	28.8	31.9	35.0
折線からの差分 ($M_2 - M_1$)/ M_1	%	5.5	5.1	3.7	2.2	1.4	0.9	0.0

（暫定値）

4. 設計への反映方針

折線近似による変形量を設計に用いる場合は、同じ荷重レベルに対して大きい変形量を与えることになり安全側の設計となる。一方、荷重を設計に用いる場合は、同じ変形量に対して小さい荷重を与えることになる。

スケルトンカーブを曲線近似する場合の応答は地震応答解析により求まるため、ここでの曲線近似と折線近似の比は純粋な荷重比にはならないものの、折線近似では表現できていない不確実性を表すものと考えられる。

以上を踏まえ、RPV ペDESTALの構造強度評価は地震応答解析から得られる地震荷重に対して、折線近似による不確実性を考慮した設計を行うこととし、具体的には以下による。

(1) 折線近似の不確実性を考慮したスケルトンカーブの作成

RPV ペDESTALの地震応答解析モデルの各要素、各方向（NS, EW 方向）の曲げ変形に対するスケルトンカーブについて、曲線近似を包絡するように折線のスケルトンカーブ（以下、「包絡スケルトンカーブ」という）を作成する。

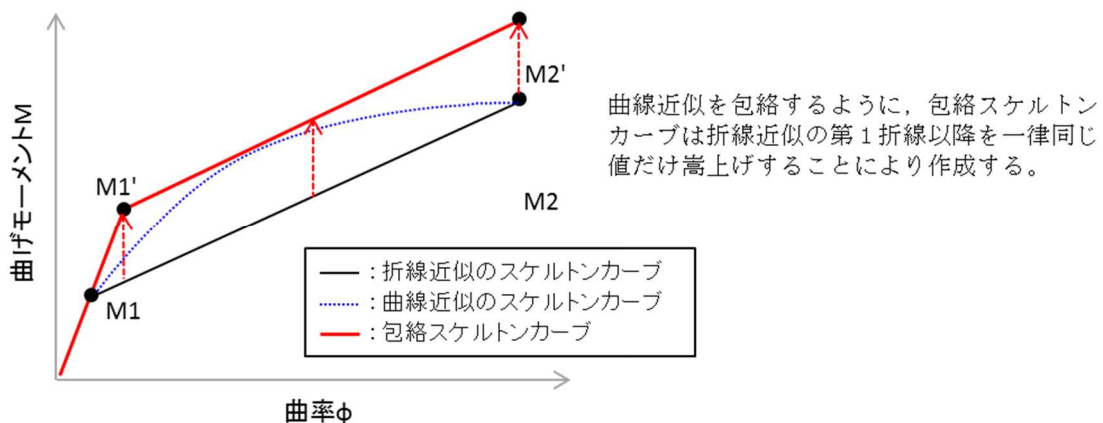


図 4-1 包絡スケルトンカーブの概念図

(2) 包絡スケルトンカーブを用いた地震応答解析結果に基づく機器への影響評価

包絡スケルトンカーブを用いて、原子炉格納容器・原子炉圧力容器の地震応答解析及び原子炉本体の地震応答解析を実施し、得られた地震荷重等を用いて機器・配管系への影響評価を行う。

添付資料-11：コンクリートせん断ひび割れ後の剛性評価の理論式

1. はじめに

本資料は鋼板コンクリート構造（以下、「SC 構造」という）のせん断ひび割れ後のコンクリート剛性に関する既往知見⁽¹⁾に示される理論式の概要を示すものである。

2. SC 構造のせん断抵抗挙動

SC 構造にせん断力 Q が作用する際、既往知見が参照している実験結果から鋼板が降伏するまでの範囲において SC 構造は以下の挙動を示す。本資料では②の状態におけるコンクリートのせん断剛性の算定について説明する。

- ①鋼板 S とコンクリート C がともに等方性弾性状態で変形。
- ②コンクリート C の対角方向にひび割れが発生し、コンクリート C が異方性弾性状態として振る舞う。(C のひび割れは体積膨張を伴うため、 $S-C$ 間に内力 N が生じる。

図 2-1 参照)

せん断力 Q は、鋼板 S 及びコンクリート C がそれぞれせん断力 sQ 及び cQ として分担する。また、コンクリートひび割れ後は、鋼板に内力 sN_x 及び sN_y 、コンクリートには内力 cN_x 及び cN_y が作用し、両者はそれぞれ釣り合う。

$$Q = sQ + cQ \quad (\text{式 2-1})$$

$$sN_x + cN_x = 0, \quad sN_y + cN_y = 0 \quad (\text{式 2-2})$$

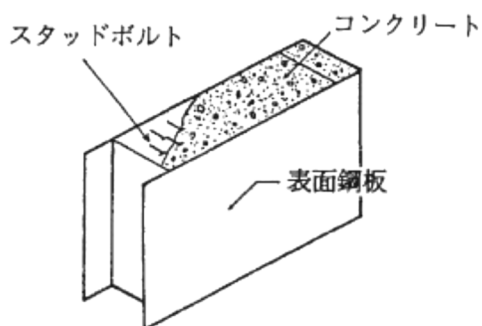


図 1-1 SC 構造の例

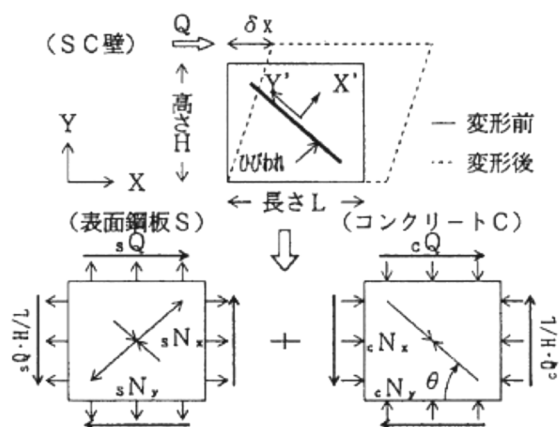


図 2-1 ひびわれ後の荷重分担

3. ひびわれ発生後の応力－ひずみ状態の仮定

鋼板は等方性弾性材料とし、コンクリートはひび割れに沿った斜め圧縮力のみに抵抗する異方性弾性材料と仮定する。この場合の対角方向（コンクリートの圧縮ストラット方向）を Y'軸とする X'－Y'座標系における応力 $\{\sigma\}$ とひずみ $\{\varepsilon\}$ の関係は、一般的な応力とひずみの構成方程式より、D マトリクスを介して式 3-1～式 3-4 で表される。

[鋼板の応力ひずみ関係]

$$_s \{\sigma\} = _s [D] \cdot \{\varepsilon\} \quad (\text{式 3-1})$$

ここで,

$$_s [D] = \frac{_s E}{1 - _s \nu^2} \begin{bmatrix} 1 & _s \nu & 0 \\ _s \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & (1 - _s \nu)/2 \end{bmatrix} \quad (\text{式 3-2})$$

[コンクリートの応力ひずみ関係]

$$_c \{\sigma\} = _c [D] \cdot \{\varepsilon\} \quad (\text{式 3-3})$$

ここで,

$$_c [D] = \frac{_c E}{1 - _c \nu^2} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (\text{式 3-4})$$

E, ν はそれぞれヤング係数, ポアソン比であり, 各変数の添字 S 及び C は, それぞれ鋼板 S 及びコンクリート C を表している。

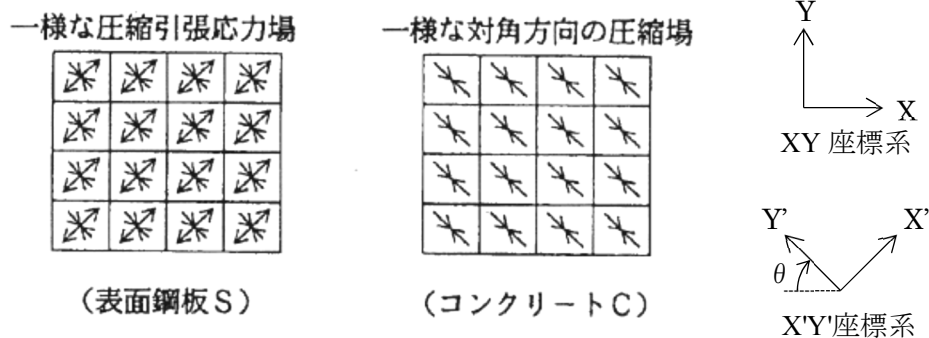


図 3-1 ひびわれ後の応力状態の仮定

4. ひび割れ後の荷重－変形関係式

壁長さ方向を X 軸とする X－Y 座標系に変換し、応力に有効断面積を乗じて鋼板とコンクリートに生じる内力 N 及びせん断力 Q を求める。

鋼板は等方性弾性材料の仮定であるため、座標変換後も式 3-2 と同じ D マトリクスを用いる。(式 4-1)

一方のコンクリートは異方性弾性材料の仮定であるため、圧縮ストラット方向で定義した式 3-4 の X'－Y'座標系の D マトリクスをそのまま用いることができないことから、 $\pi/2-\theta$ の応力変換マトリクス $[T_1]$ 及びひずみ変換マトリクス $[T_2]$ を用いて X－Y 座標系に変換する。(式 4-2)

$$s \begin{bmatrix} N_x \\ N_y \\ Q \end{bmatrix} = s \begin{bmatrix} A_x \\ A_y \\ A_{ys} \end{bmatrix} \cdot s [D] \cdot \{\varepsilon\}_{xy} \quad (\text{式 4-1})$$

$$c \begin{bmatrix} N_x \\ N_y \\ Q \end{bmatrix} = c \begin{bmatrix} A_x \\ A_y \\ A_y \end{bmatrix} \cdot [T_1]^{-1} \cdot c [D] \cdot [T_2] \cdot \{\varepsilon\}_{xy} \quad (\text{式 4-2})$$

ここで、内力の釣り合い条件より、

$$sN_x + cN_x = 0, \quad sN_y + cN_y = 0 \quad (\text{式 4-3})$$

式 4-1～式 4-3 を sQ および cQ について解くと、SC 構造が水平方向に $\delta x (=H \cdot \gamma)$ セン断変形する際のせん断力 sQ, cQ は式 4-4～式 4-7 で表される。

$$sQ = \frac{sA_{ys} \cdot sE}{2(1 + s\nu) \cdot H} \cdot \delta x \quad (\text{式 4-4})$$

$$cQ = \frac{(\cos \theta)^2}{2 \cdot \left[\frac{1 - c\nu^2}{cE \cdot ct \cdot \sin 2\theta} + \frac{1}{2 \cdot sE} (C1 + C2) \right]} \cdot \delta x \quad (\text{式 4-5})$$

$$C1 = L \cdot \cos \theta \left(\frac{\cos \theta}{sA_x} - \frac{\sin \theta}{sA_y} s\nu \right) \quad (\text{式 4-6})$$

$$C2 = H \cdot \sin \theta \left(\frac{\sin \theta}{sA_y} - \frac{\cos \theta}{sA_x} s\nu \right) \quad (\text{式 4-7})$$

ここで、 H, L : SC 構造の高さ, SC 構造の長さ

ct : コンクリート板厚

sA_x, sA_y : X, Y 方向の鋼板軸力有効断面積

sA_{ys} : Y 方向の鋼板せん断有効断面積

式 4-4 に $\delta x = H \cdot \gamma$ を代入することにより、 $cQ = K_{\beta} \cdot \gamma$ の関係からひび割れ後のコンクリートの有効せん断剛性 K_{β} を求めることができる。(C1, C2 は式 4-5, 6 により求める。)

$$cQ = \frac{(\cos \theta)^2}{2 \cdot \left[\frac{1 - c\nu^2}{cE \cdot c t \cdot \sin 2\theta} + \frac{1}{2 \cdot s E} (C1 + C2) \right]} \cdot \delta x \quad (\text{式 4-4})$$

ここで、 $\delta x = H \cdot \gamma$ を代入すると以下の式が得られる。

$$cQ = \frac{(\cos \theta)^2}{2 \cdot \left[\frac{1 - c\nu^2}{cE \cdot c t \cdot \sin 2\theta} + \frac{1}{2 \cdot s E} (C1 + C2) \right]} \cdot H \cdot \gamma \quad (\text{式 4-8})$$

K_{β}

5. 参考文献

- (1) 松尾 他：鋼板コンクリート耐震壁に関する研究 その 3 セン断荷重・変形関係の解析 日本建築学会学術講演梗概集 (1992 年)

参考資料-1：隔壁方式の鋼板コンクリート構造に関する理論式と試験結果の比較

1. はじめに

RPV ペデスタルのせん断第2折点の設定を行う際は、既往知見⁽¹⁾に記載のある鋼板コンクリート構造（以下、「SC 構造」という）に関する理論式を用いて、コンクリートせん断ひび割れ後の鋼板及びコンクリートの剛性を算出している。

既往知見の理論式は、試験結果との対比により整合性が確認されているが、ここでは更なる確認として、既往知見に記載された試験以外の隔壁により鋼板とコンクリートを一体化した SC 構造の試験結果を用いて、理論式との整合性を確認する。

2. 確認方法

実験結果の荷重変形関係と理論式に基づき算出する荷重変形関係の比較を行う。実験値として使用するデータは、以下に示す 2 つの論文から得られる荷重変形関係とする。解析で求める荷重変形関係は別紙 4 に記載の方法に基づいて設定し、鋼材の材料物性値は規格値、コンクリートの材料物性値は試験 1 については設計基準強度、試験 2 については論文中から設計基準強度が読み取れないため論文に記載のある実測値を用いた。

【試験 1】加藤，遠山他：コンクリート充填鋼板耐力壁の実験的研究その 3，日本建築学会学術講演梗概集，1985

【試験 2】鋼板コンクリート構造に関する研究その 1 （大林組技術研究所報）

3. 参照する試験の概要

(1) 試験 1 コンクリート充填鋼板耐力壁の実験的研究その 3

試験 1 の試験体諸元を表 3-1 に示し、各試験体の断面を図 3-1 に示す。

試験概要・方法は図 3-2 に示しており、試験体には正負交番の漸増繰り返しで荷重を与える。

試験結果として得られた荷重変形関係を図 3-3 に示す。なお、試験体にはせん断力と共に曲げモーメントも生じるため、荷重変形関係の評価にあたっては曲げによる変形も考慮する。

表 3-1 実験 1 の試験体及び諸元

試験体名	隔壁枚数	鋼板板厚[mm]		鋼板材料		コンクリート 設計基準強度 [kg・cm2]
		表面・隔壁 板厚[mm]	フランジ 板厚[mm]	表面・隔壁	フランジ	
200K	0	3.2	19	SS41	SM50A	240
100K	1					
67K	2					

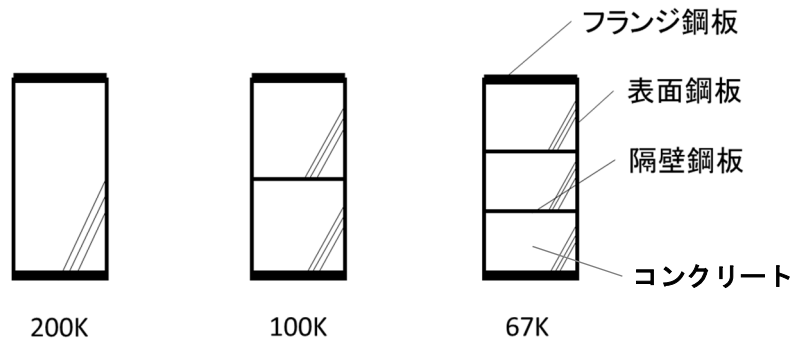


図 3-1 実験 1 の試験体断面

(2) 実験 2 鋼板コンクリート構造に関する研究その 1 (大林組技術研究所報)

実験 2 で使用されている試験体及び諸元を表 3-2 に示す。試験体の平断面、及び断面が、図 3-4、図 3-5 である。

加力方法は、試験体各辺にそれぞれ 4 分割された加力治具を取り付け、各々の加力治具を PC 鋼棒によってまとめて引っ張り、試験体に純せん断応力を与える(図 3-6)。したがって、試験体にはせん断変形のみが生じるものとし、曲げによる変形は考慮しない。

試験結果が図 3-7 である。

表 3-2 実験 2 の試験体及び諸元

試験体	隔壁枚数	鋼材				コンクリート	
		表面鋼板板厚[mm]	隔壁板厚[mm]	フランジ鋼板 板厚[mm]	材料	ヤング係数※ [kgf/cm2]	圧縮強度※ [kgf/cm2]
SC209-2	0	2.3	4.5	4.5	SS400	2.68	377
SC150-0	0	3.2		-		2.83	436
SC150-2	0	3.2		4.5		2.85	412
SC150-3	1	3.2		4.5		2.78	444

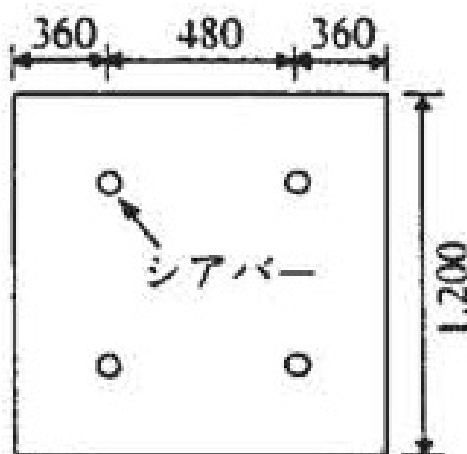


図 3-4 実験 2 の試験体縦断面

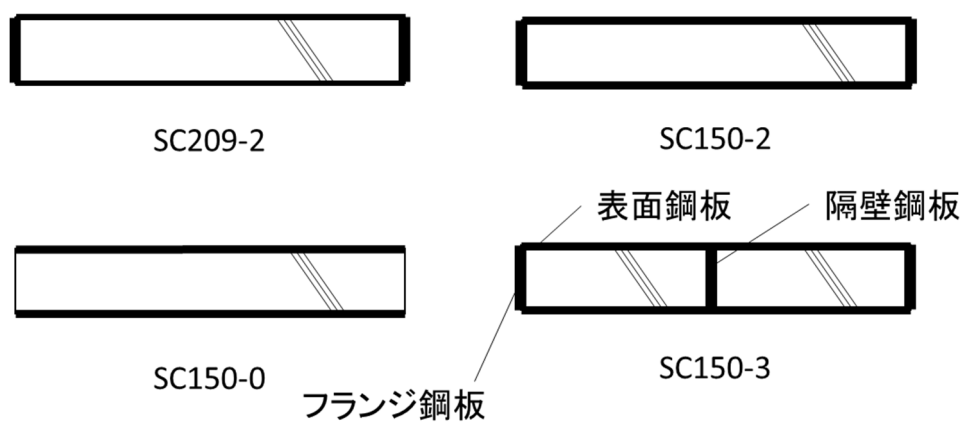


図 3-5 実験 2 の各試験体断面

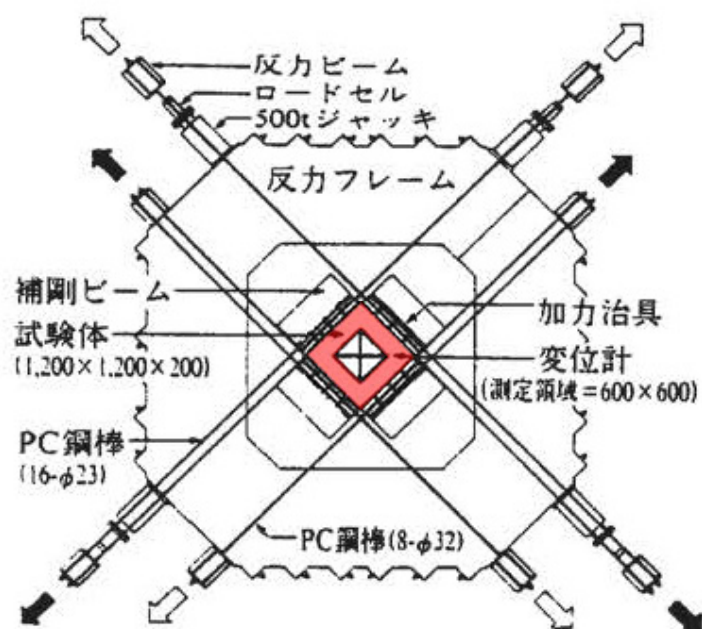


図 3-6 実験 2 の加力装置概要

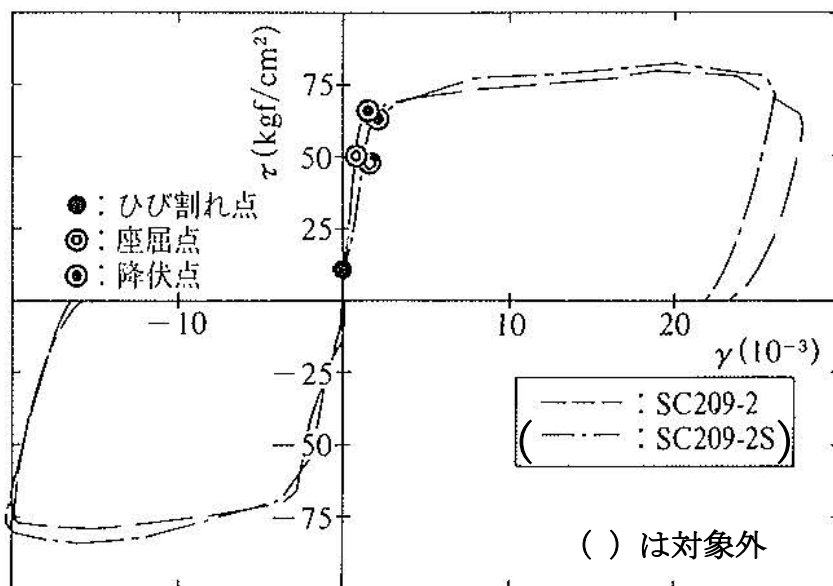
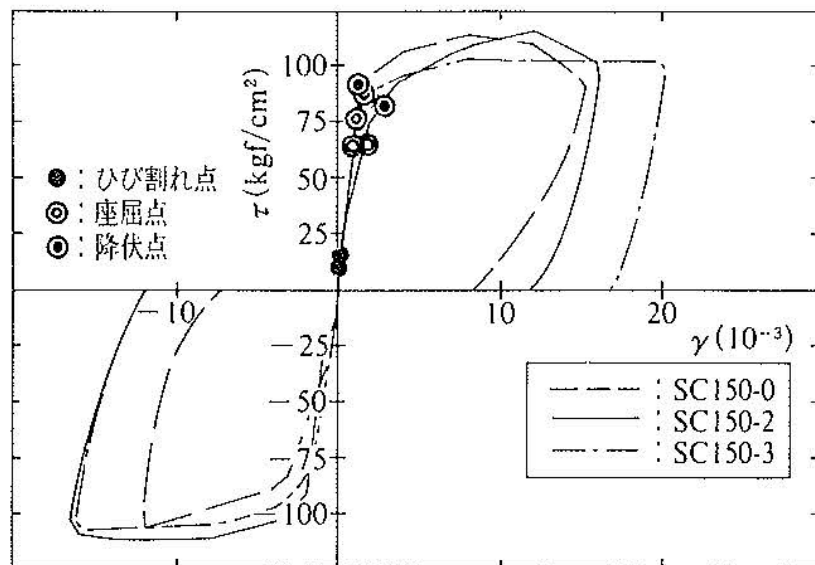


図 3-7 実験 2 の試験結果

4. 荷重変形特性の比較

3. で示した計7体のケースに関して、実験結果と理論式に基づく算出結果を図4-1～3, 5～8に示す。一般的にコンクリートの試験においては、コンクリート材料の不均一性、試験体の形状や加力方法等により、ある程度のばらつきが生じることが知られており、これらの試験についてもばらつきの範囲内にあると考えられる。

試験体の形状や加力方法といった試験固有の推定要因についても以下に示す。

(1) 実験1

＜実験結果との比較＞

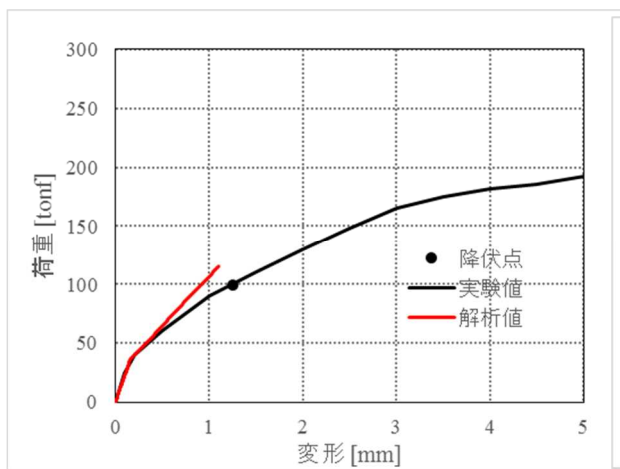


図 4-1 実験 1 200K

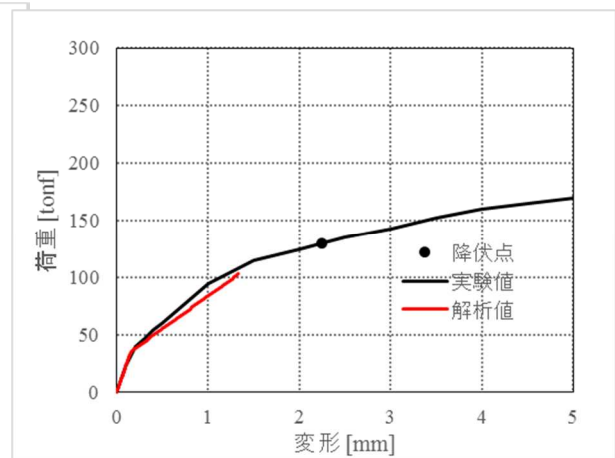


図 4-2 実験 1 100K

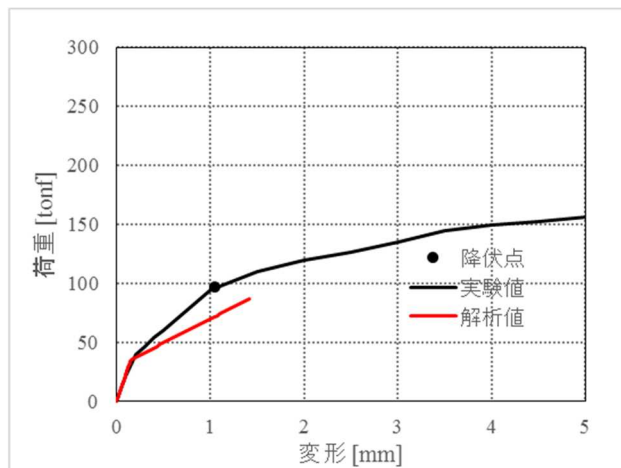


図 4-3 実験 1 67K

<差異に関する試験固有の推定要因>

a. 鋼板のひずみ計測点と実際にコンクリートにひび割れが入る点の差異

降伏点の差異については、理論式では鋼板降伏ひずみは一様分布すると仮定しているのに対して、実験ではひずみ計測は鋼板上の数点（論文中には主要点で計測との記載があるが詳細は読み取ることができない。）で行っており、鋼板の降伏は局所のひずみを用いて判定している。鋼板のひずみはコンクリートのひび割れ発生位置の分布に応じて計測位置によって異なる可能性があることから、実験時の降伏点の判定ポイントがばらついた可能性が考えられる。

b. 隔壁に設けられたコンクリート打設孔を介したコンクリートの一体性

試験体内部に隔壁を内蔵する 100K と 67K の試験体（図 4-2,3）については、2 枚の隔壁にコンクリート打設孔が設けられていると考えられる。理論式は隔壁によりコンクリートが完全に分断されている前提であることにに対し、実際は打設孔を介して隣接するコンクリートが一体として挙動することにより、理論式よりも剛性が高くなっている可能性がある。

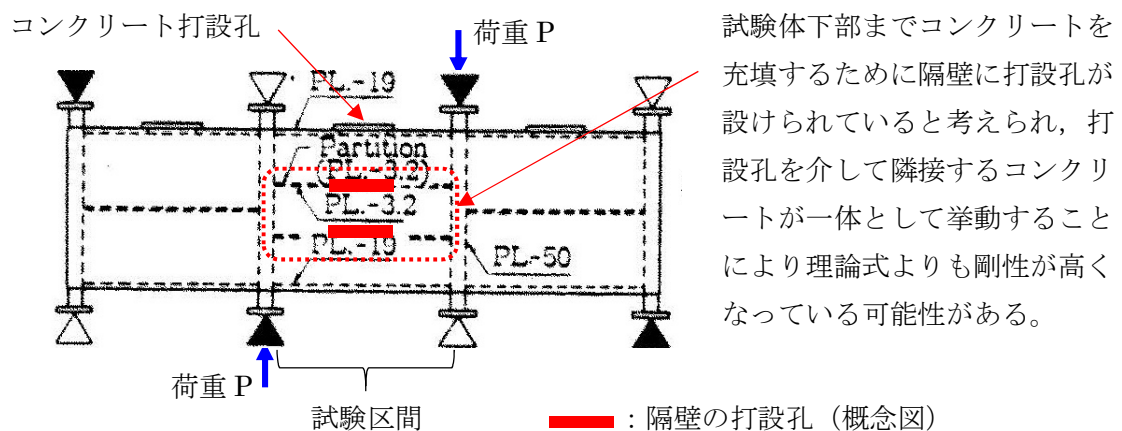


図 4-4 試験体に設けられたコンクリート打設孔の概念図

(2) 実験 2

＜実験結果との比較＞

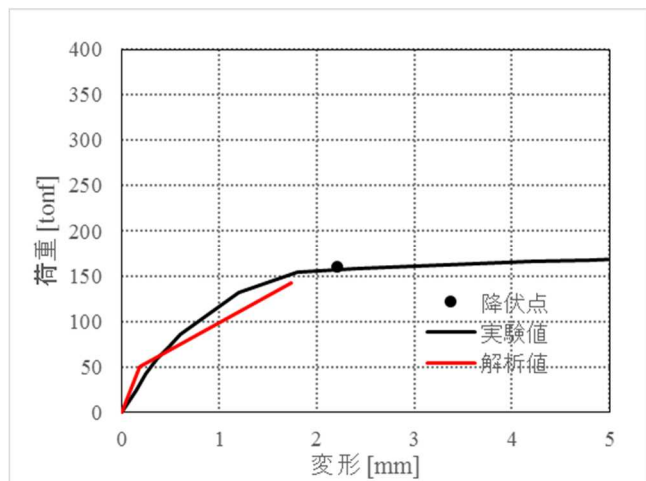


図 4-5 実験 2 SC209-2

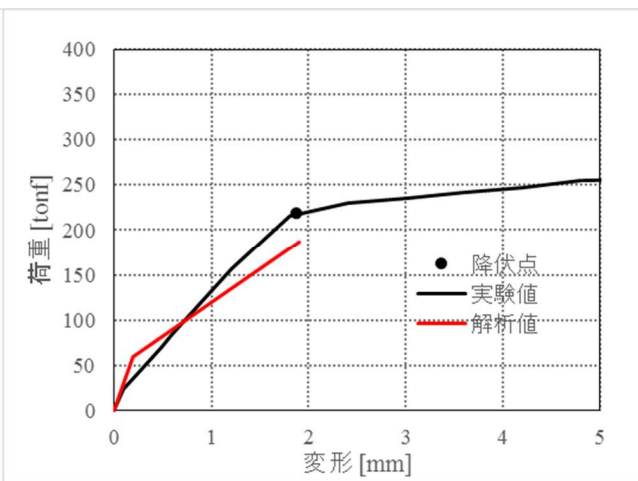


図 4-6 実験 2 SC150-0

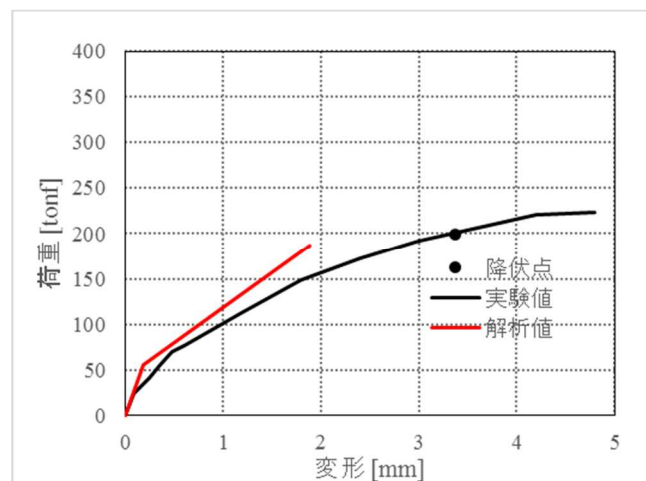


図 4-7 実験 2 SC150-2

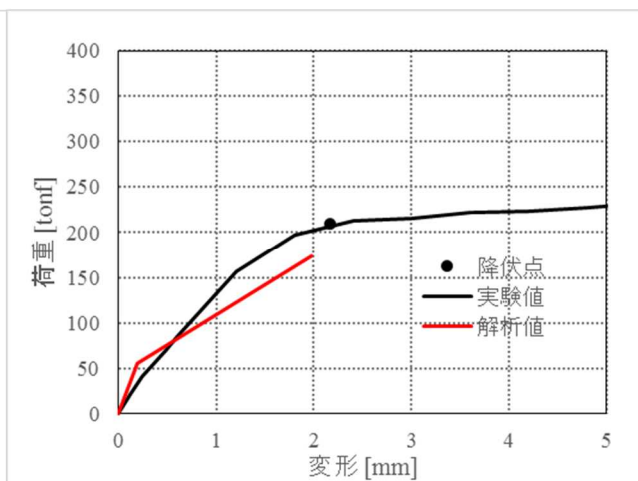


図 4-8 実験 2 SC150-3

＜差異に関する試験固有の推定要因＞

a. 鋼板のひずみ計測点と実際にコンクリートにひび割れが入る点の差異

降伏点の差異については、理論式では鋼板降伏ひずみは一様分布すると仮定しているのに対して、実験ではひずみ計測は図 4-9 のように 1,200mm 四方の鋼板上の 6 点で行っており、鋼板の降伏は局所のひずみを用いて判定している。鋼板のひずみはコンクリートのひび割れ発生位置の分布に応じて計測位置によって異なる可能性があることから、実験時の降伏点の判定ポイントがばらついた可能性が考えられる。

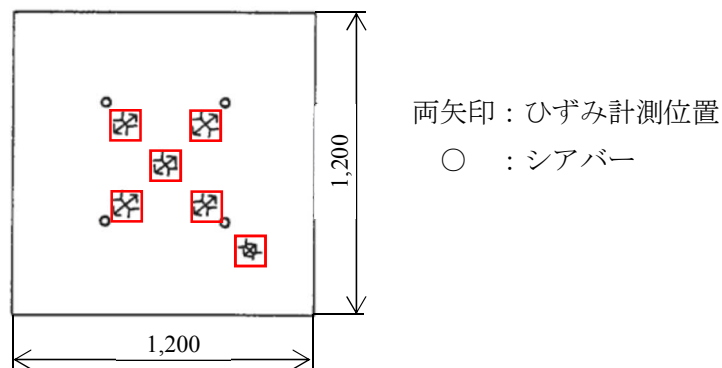


図 4-9 鋼板のひずみ計測点 (SC150-2)

b. 試験装置と試験体の定着部での局所的な応力集中の影響

実験 2 の試験体はアンカー筋やシアキーを介した特殊な加力方式を採用しており、それらの取り付け部位で局所的に応力集中が生じることにより、コンクリートひび割れを表す第 1 折点よりも早期に剛性低下が生じた可能性が考えられる。

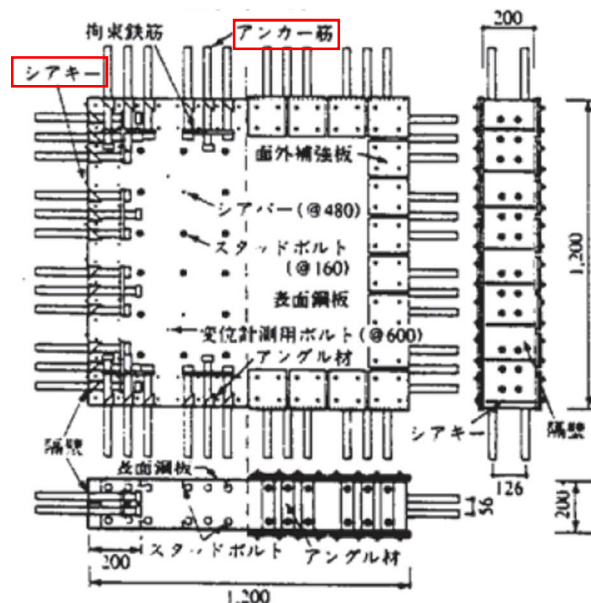


図 4-10 試験体及び加力装置

c. 鋼板降伏の判定に用いる材料物性値の差異

理論式では鋼材の規格値の物性値（ヤング係数及び降伏強度）を用いて降伏点を求めていることに対して，実験では実測した鋼板の物性値が用いられている。実測した鋼板の降伏点が規格値を上回ることが，実験値が理論式の降伏点を上回る要因と考えられる。

表 4-1 降伏点の算出に用いた鋼板の物性値（ヤング係数及び降伏強度）

	実験				理論式	
試験体名	SC209-2	SC150-0	SC150-2	SC150-3	各試験体で同一の規格値を使用 (SS400)	
表面鋼板板厚 (mm)	2.3	3.2				
ヤング係数 (GPa) (SI 換算)	220	223				206
降伏強度 (MPa) (SI 換算)	242	291				245

5. 参考文献

- (1) 松尾 他：鋼板コンクリート耐震壁に関する研究 その 3 セン断荷重-変形関係の解析 日本建築学会学術講演梗概集（1992 年）
- (2) 加藤，遠山他：コンクリート充填鋼板耐力壁の実験的研究その 3，日本建築学会学術講演梗概集（1985 年）
- (3) 鋼板コンクリート構造に関する研究その 1 （大林組技術研究所報）

参考資料-2：圧縮ストラット角度の変化による地震荷重への影響

1. はじめに

せん断第 2 折点を評価する際には、コンクリートの圧縮ストラット角度 θ を設定する必要がある。RPV ペデスタルでは縦リブや水平鋼板により囲まれた領域の対角線上にひび割れが入ると仮定し算出している。

この仮定の妥当性については、実機 RPV ペデスタルを模擬した試験体の加力試験結果を用いて確認している。ここでは、ストラット角度 θ をパラメータとした検討を行い、地震荷重へ与える影響について確認する。

2. 検討ケース

RPV ペデスタルにおける圧縮ストラット角度 θ の振り幅は、 15° 、 30° 、 45° 、 60° 、 75° としたケースを考慮する。なお、 $\theta = 30^\circ$ と $\theta = 60^\circ$ 及び $\theta = 15^\circ$ と $\theta = 75^\circ$ は、せん断第 2 折れ点がそれぞれ同一の数値となることから、本資料では $\theta = 15^\circ$ 、 30° 、 45° の 3 ケースを対象にスケルトンカーブの作成を行う。

また、地震応答解析はモーメント及びせん断力の最大値がえられる Ss-2 の EW 方向について行う。RPV ペデスタルの各要素に対して、圧縮ストラット角度 θ を変化させ作成したスケルトンカーブを図 2 に示す。

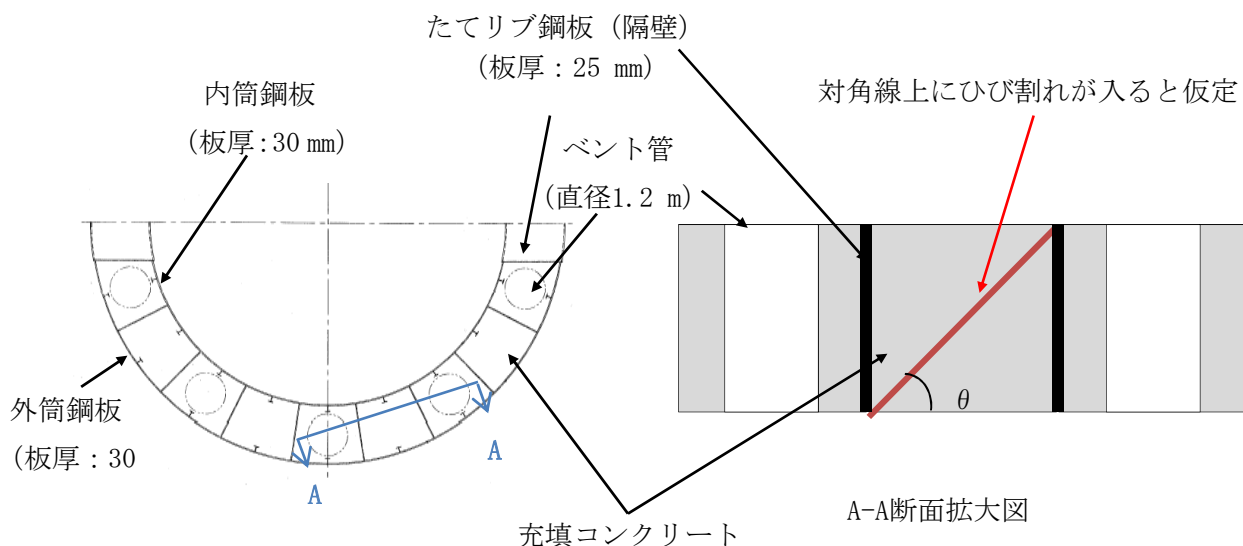
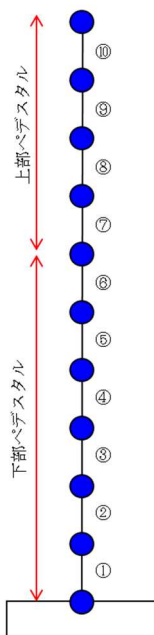
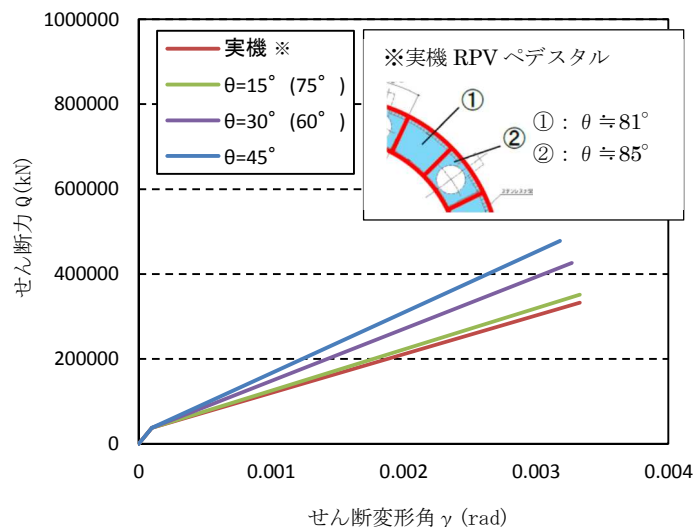


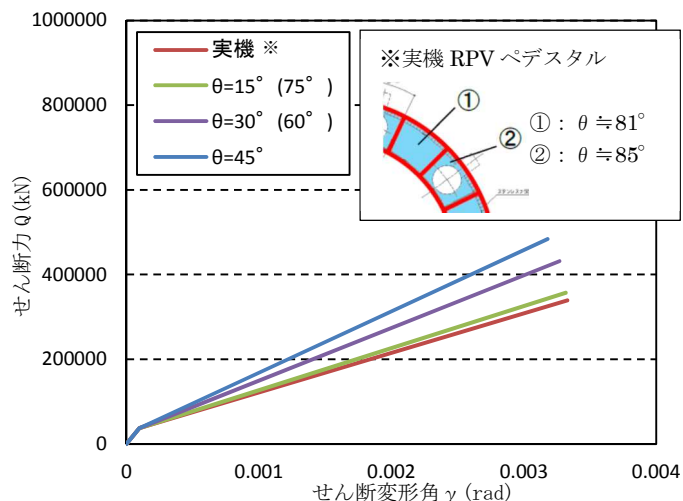
図1 下部ペデスタルの圧縮ストラット角度 θ の設定



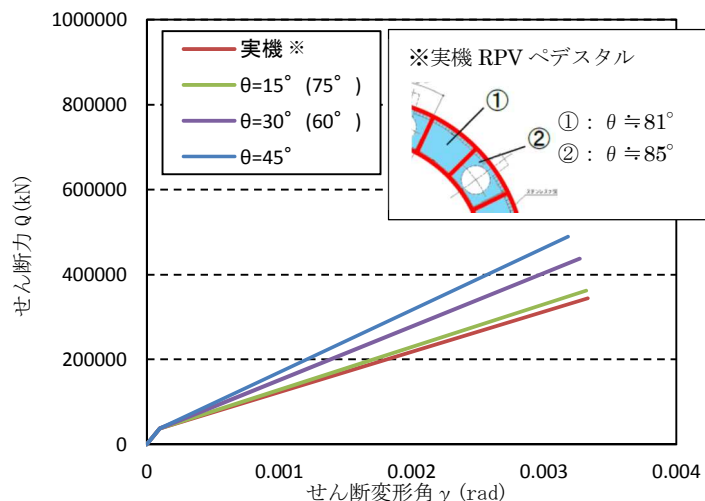
原子炉本体基礎地震応答解析モデル概念図



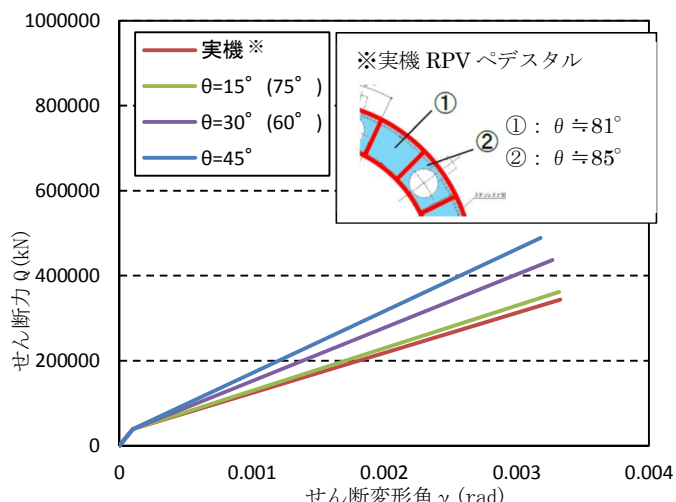
(1) 要素番号①のスケルトンカーブ (EW 方向)



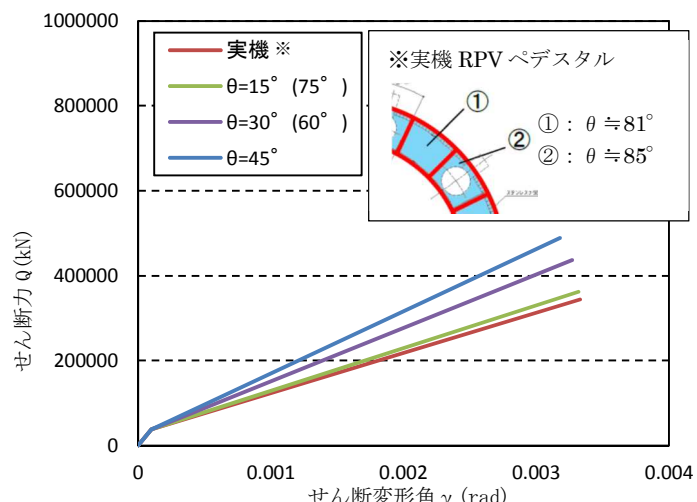
(2) 要素番号②のスケルトンカーブ (EW 方向)



(3) 要素番号③のスケルトンカーブ (EW 方向)



(4) 要素番号④のスケルトンカーブ (EW 方向)



(5) 要素番号⑤のスケルトンカーブ (EW 方向)

図2 圧縮ストラット角 θ の違いによるスケルトンカーブの比較 (1 / 2)

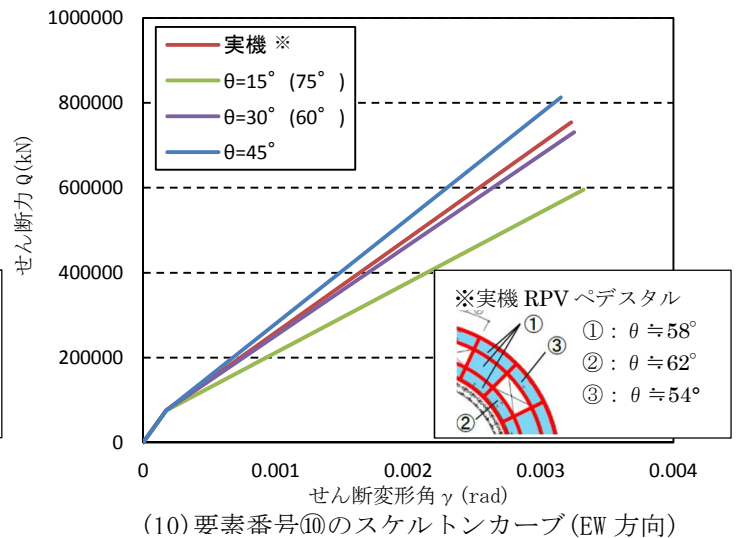
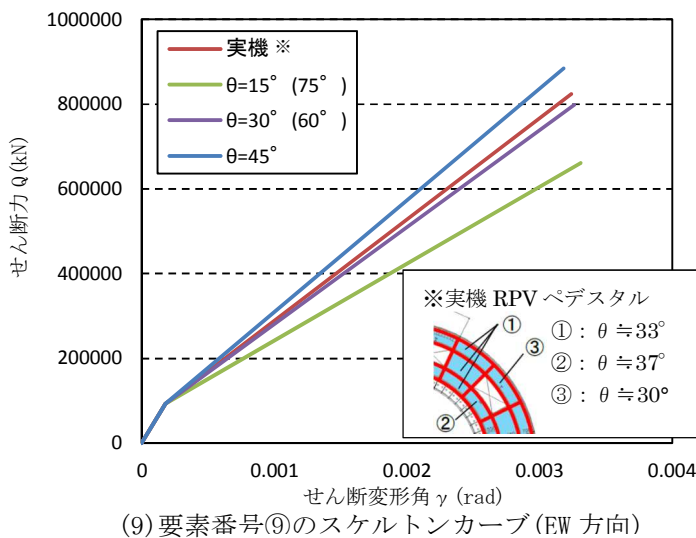
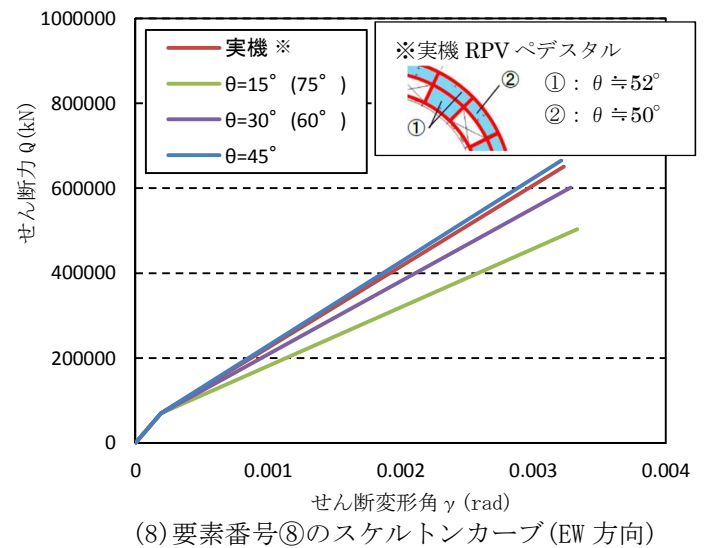
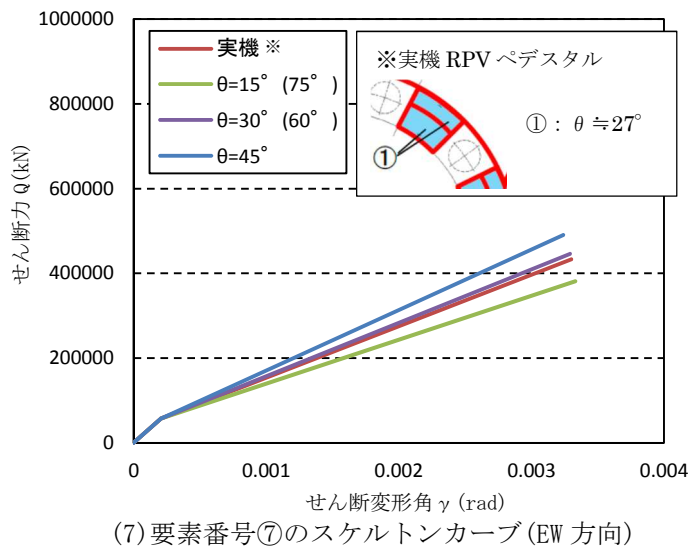
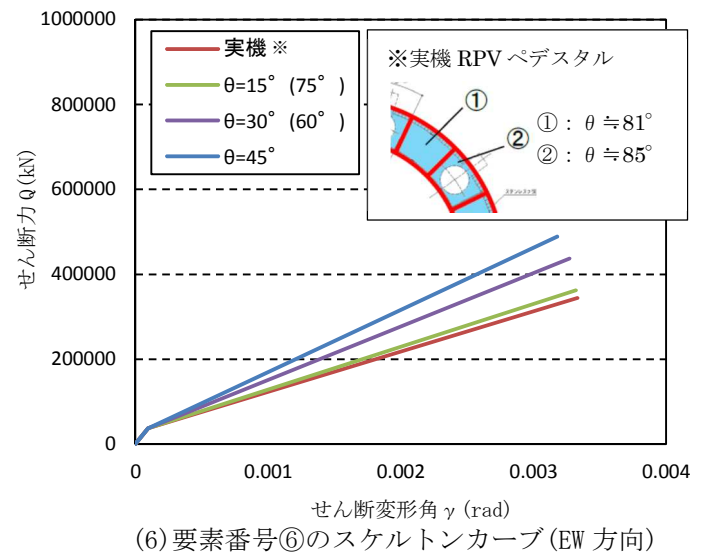
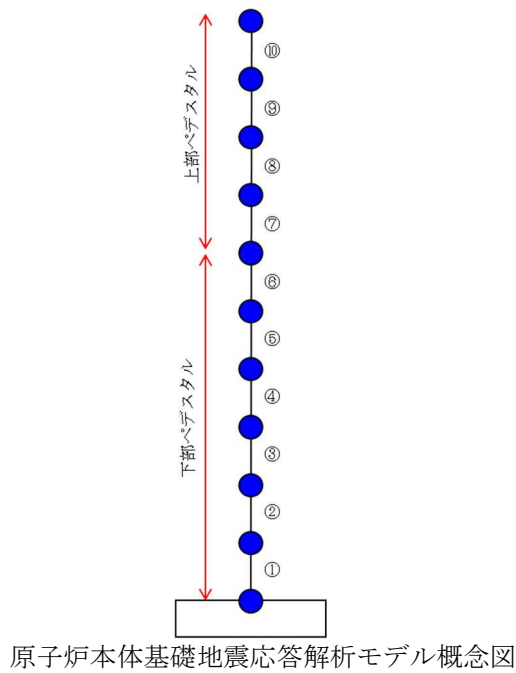


図2 圧縮ストラット角 θ の違いによるスケルトンカーブの比較 (2 / 2)

3. 圧縮ストラット角をパラメータとした地震応答解析結果

圧縮ストラット角度 θ を 15° , 30° , 45° として地震応答解析を実施した結果を図 3 に示す。PRV ペデスタルの下部でせん断力の第一折れ点を超えているが、圧縮ストラット角度 θ が最大せん断力、最大モーメントに与える影響は小さい。圧縮ストラット角度 θ の地震荷重に対する感度が小さいことを確認した。

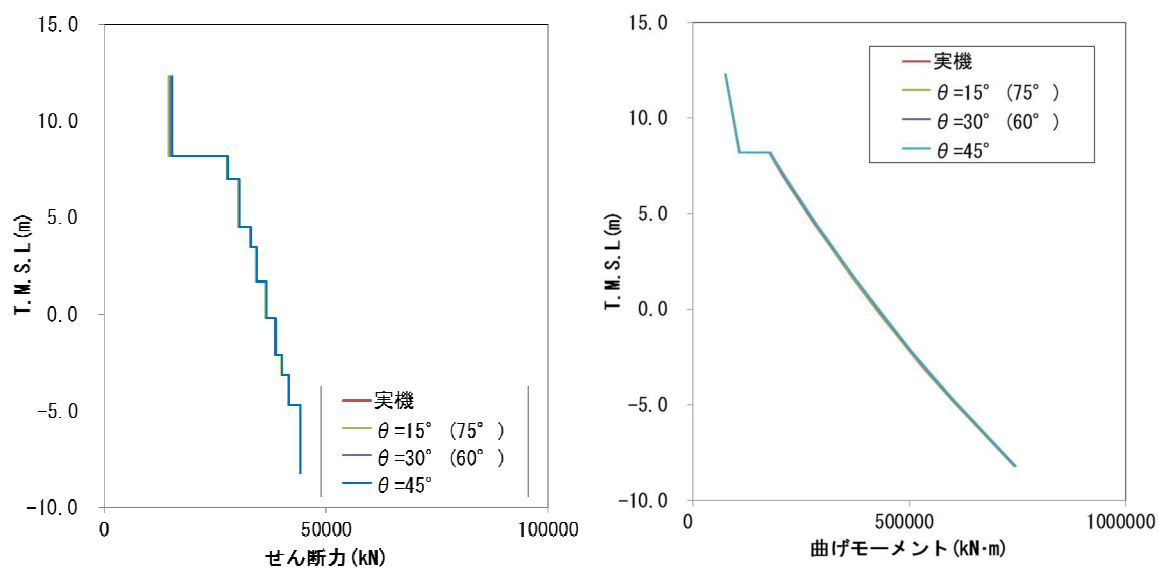


図 3 せん断力および曲げモーメントの応答分布図

柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉

原子炉格納容器コンクリート部の
応力解析における弾塑性解析の採用について
(耐震)

目 次

1. 概要	1
2. 既工認モデルと今回工認で採用予定のモデルの差異について	1
2. 1 原子炉格納容器の構造概要	1
2. 2 既工認モデルと今回工認で採用予定のモデルの差異について	3
2. 3 既工認との差異についての考察	7
3. 弾塑性解析を採用する目的と論点について	10
3. 1 弾塑性解析を採用することの目的	10
3. 2 弾塑性解析を採用するにあたっての論点	11
4. 材料構成則の適用性・妥当性について	13
4. 1 コンクリート（引張側）	13
4. 2 コンクリート（圧縮側）	23
4. 3 鉄筋（圧縮側、引張側）	23
5. 既往試験結果に基づく弾塑性応力解析の妥当性・適用性	26
5. 1 構造物全体を対象とした既往試験による弾塑性応力解析の妥当性確認	26
5. 2 今回工認における弾塑性解析手法の妥当性・適用性の確認	29
6. まとめ	31

添付資料ー 1 有効性評価における RCCV 検討時の評価モデルとの差異について

添付資料ー 2 CCV 規格における許容限界設定の考え方について

添付資料ー 3 コンクリート引張側構成則に関する影響検討

添付資料ー 4 コンクリート圧縮側の応力歪み曲線の折れ線近似について

1. 概要

6号炉及び7号炉原子炉格納容器コンクリート部（以下、「RCCV」という）の応力解析において、荷重状態Ⅳにおける荷重組合せでは基本的に弾塑性解析を採用する予定である。本資料は、鉄筋コンクリート構造物の3次元弾塑性解析応力解析が先行電力を含めた既工認での採用事例がないことを踏まえ、その妥当性・適用性について説明するものである。

本資料では、まず既工認モデルと今回工認モデルの差異について整理・考察し、新手法としての妥当性を確認すべき項目として、弾塑性応力解析の採用のみが抽出されることを確認する。その上で、弾塑性解析を採用する際の論点を整理する。次に、抽出された論点に対して、既往の研究から得られた知見の整理を通して、その適用性又は妥当性について考察する。

2. 既工認モデルと今回工認で採用予定のモデルの差異について

2. 1 原子炉格納容器の構造概要

RCCVの構造は6,7号炉ではほぼ同じであるため、構造概要については7号炉を代表として説明する。

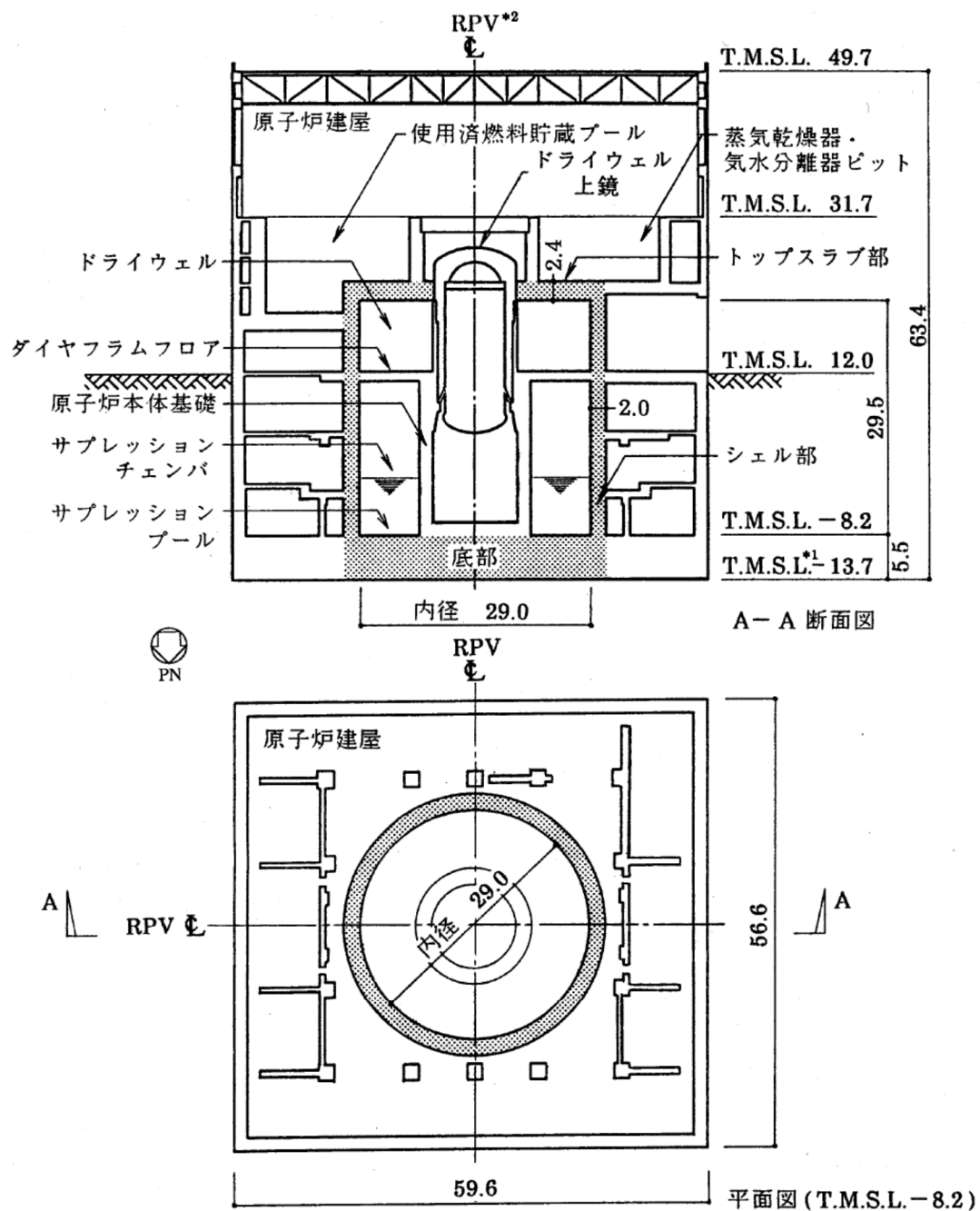
原子炉格納容器は、コンクリート部が耐圧、耐震およびしゃへいの機能を有し、コンクリート部に内張りした鋼板であるライナプレートが漏えい防止の機能を有する鉄筋コンクリート製原子炉格納容器である。

コンクリート部は、シェル部、トップスラブ部および底部から構成され、シェル部は、原子炉建屋の床と接合されている。また、トップスラブ部の一部は、使用済燃料貯蔵プール、蒸気乾燥器・気水分離器ピット等を兼ねる構造となっている。底部は、RCCVおよびこれを取り囲む原子炉建屋の共通の基礎となっている鉄筋コンクリート造の基礎スラブであり、平面の形状は、NS方向56.6m、EW方向59.6mの矩形である。

RCCVの内径は29.0m、底部上端からトップスラブ部下端までの高さは29.5m、ドライウェル上鏡を含めた全体高さは約36mである。RCCVの概要を図2-1に示す。

RCCVの内部は、ダイヤフラムフロアおよび原子炉本体基礎によりドライウェルとサブレーションチェンバに区分されている。

基礎スラブは、RCCVの底部となっている部分とそれ以外の部分より構成され、特にRCCV底部は、圧力バウンダリを構成するように設計されている。また、その上面には、漏えい防止の機能を有するライナプレートが設けられている。



注記 *1: 東京湾平均海面 (以下, 「T.M.S.L.」と略す。)

*2: 原子炉圧力容器 (以下, 「RPV」と略す。)

注: 斜線部分, 原子炉格納容器を示す。

(単位: m)

図 2-1 RCCV の概要 (7 号炉の例)

2. 2 既工認モデルと今回工認で採用予定のモデルの差異について

まず、既工認で採用した RCCV の解析モデルと今回工認で採用する予定の解析モデルとの差異を整理し、論点となりうる項目を整理する。

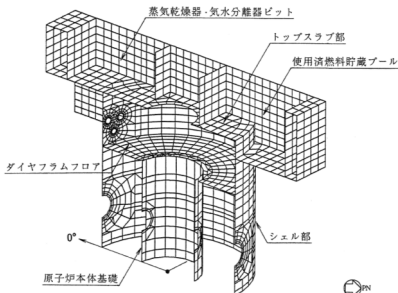
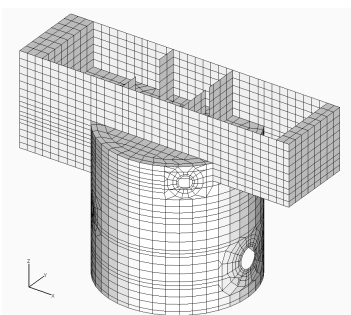
既工認における RCCV の解析モデルと今回工認で採用予定の解析モデルの比較表を表 2-1 に示す。また、今回工認で採用予定の解析モデルの境界条件、拘束条件を表 2-2 に示す。

表 2-1 で整理した通り、既工認と今回工認における解析モデルの差異としては、以下の 4 点が抽出された。

- (1) 既工認時に半割モデルとしていたものを全周モデルとしたこと
- (2) 弾塑性解析の解析では事象発生順に荷重を入力すること
- (3) 応力解析に弾塑性解析を採用すること
- (4) コンクリートの物性値（ヤング係数，ポアソン比）

なお、上記は今回工認の耐震設計で用いる評価モデルと既工認の耐震設計の評価モデルとの差異を整理した結果であるが、今回工認の重大事故評価で採用予定の RCCV の評価モデルについても、既往の有効性評価時の検討（200°C2Pd 条件時の RCCV 構造健全性評価）で用いた RCCV の評価モデルから一部モデルを見直す予定である。そこで、有効性評価時と工認時のモデル化の差異及び差異が既往の有効性評価時の解析結果に与える影響について検討を実施した。その結果を添付資料-1 に示す。

表 2-1 応力解析モデル及び手法の比較（RCCV）

項目	内容	既工認時	今回工認時
解析手法		・ 3 次元 FEM モデルを用いた応力解析	・ 同左
解析コード		・ NASTRAN	・ NASTRAN（弾性解析※ ¹ ） ・ ABAQUS（弾塑性解析※ ² ）
解析手順		・ 同時に荷重を組合せる（弾性解析）	・ 同時に荷重を組合せる（弾性解析） ・ 事象発生順に荷重を入力する（弾塑性解析）
モデル化	モデル化範囲	・ 構造が東西軸に対してほぼ対称であることを踏まえ北半分の 180° のみをモデル化（半割モデル）	・ 360° 全周をモデル化
	メッシュサイズ	・ モデル全体で概ね 1～2m 程度（開口周辺等はさらに細分割）	・ 同左
	要素タイプ	シェル要素：シェル部，トップスラブ部 ROD 要素，BAR 要素：境界条件の設定に使用	・ 同左
要素分割		シェル要素：シェル部，トップスラブ部 ROD 要素，BAR 要素：境界条件の設定に使用	・ 同左
材料物性		・ コンクリートのヤング係数 $E=2.7 \times 10^6 \text{ t/m}^2$ ・ コンクリートのポアソン比 $\nu=0.167$ ・ コンクリートの線膨張係数 $\alpha=1.0 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$	・ コンクリートのヤング係数 $E=2.88 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ ※ ³ ・ コンクリートのポアソン比 $\nu=0.2$ ※ ⁴ ・ コンクリートの線膨張係数 $\alpha=1.0 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ （変更無し）
評価方法	応力解析	荷重状態Ⅰ～Ⅳ：弾性応力解析	荷重状態Ⅳ：弾塑性応力解析 荷重状態Ⅰ～Ⅲ：弾性応力解析
	許容限界	・ 部材に発生する応力・ひずみが許容限界を超えないことを確認※ ⁵	・ 同左※ ⁵
モデル図			

※1，2：荷重状態Ⅰ～Ⅲに対しては弾性解析を実施する。荷重状態Ⅰ～Ⅲについては，RCCV の挙動を弾性範囲内に収めるという設計思想に基づき設計が行われており，許容値も弾性範囲内とされていること，並びに，温度荷重により発生する熱応力については CCV 規格「（解説 CVE-3330）熱応力の扱い」に基づき，荷重状態Ⅰ及び荷重状

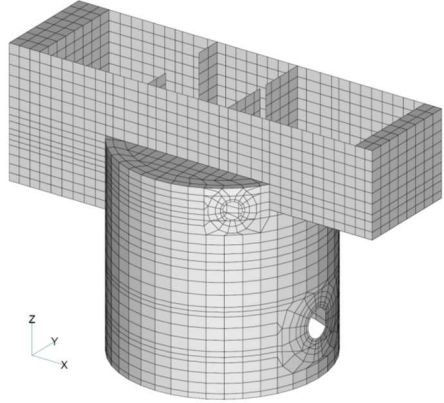
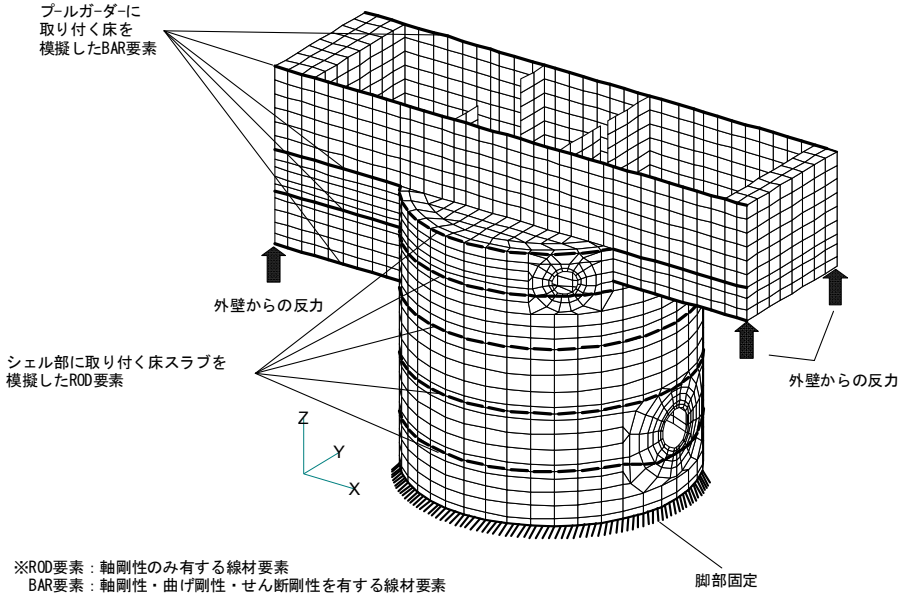
態Ⅱにおいては弾性剛性を 1/2 に、荷重状態Ⅲにおいては弾性剛性を 1/3 に一律低減して算定することにより考慮することから既工認時と同様に弾性解析を実施することとし、荷重状態Ⅳについては、評価基準値が塑性化を許容した終局強度設計を行っており、許容値も塑性化を考慮した数値となっていることから、弾塑性解析を実施することとした。

※3：コンクリートのヤング係数としては、RCCV が原子炉建屋の躯体の一部であることを鑑み、地震応答解析モデルで採用する数値（実剛性）を準用する方針である。これは設定したコンクリート強度を用いて、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説-許容応力度設計法-1999」による計算式により算定した数値であるが、CCV 規格においても、解析に用いる材料定数として、同計算式を用いることとされており、また、応力評価に用いるコンクリート強度としては、既工認と同様に設計基準強度を採用する方針である。

※4：適用規準を日本建築学会「原子炉施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」（2005）に見直したことによる。

※5：許容限界については、既工認時：通商産業省告示 452 号「コンクリート製原子炉格納容器に関する構造等の技術基準」、今回工認：「発電用原子力設備規格コンクリート製原子炉格納容器規格 JSME S NE1-2003」に基づき設定しているが、数値は同じである。荷重状態Ⅳ（ S_s （既工認時は S_2 ）を含む荷重組合せ等）の場合は、鉄筋： 5000μ 、コンクリート： 3000μ という鉄筋及びコンクリートの非線形化を許容するような許容限界となっているが、この数値が設定された経緯及び考え方について整理した結果を添付資料-2 に示す。

表 2-2 RCCV の応力解析におけるモデル化、境界条件、拘束条件

モデル概要	境界条件、拘束条件
<p>○モデル化範囲 使用済燃料プール、蒸気乾燥器・気水分離器ピット及びダイヤフラムを含めて 360° モデル化</p> <p>○使用要素 シェル要素, ROD 要素, BAR 要素</p>  <p>応力解析モデル</p>	<p>基礎スラブ及び床との境界条件</p> <p>基礎スラブとシェル部とは固定とし、シェル部及びプールガードに取り付く床スラブはそれぞれ梁要素（ROD 要素・BAR 要素※）としてモデル化</p>  <p>※ROD要素：軸剛性のみ有する線材要素 BAR要素：軸剛性・曲げ剛性・せん断剛性を有する線材要素</p> <p>基礎スラブ及び床スラブとの境界</p>

2. 3 既工認との差異についての考察

(1) 応力解析に弾塑性解析を採用することについて

弾塑性応力解析については、基準地震動 S_s による地震動の増大に伴い、原子炉建屋の鉄筋コンクリート構造全体としての挙動が弾塑性領域に入ると考えられることに加えて CCV 規格における許容限界が鉄筋コンクリートの塑性域のひずみであることを踏まえて、その塑性域の挙動を適切に評価するために採用するものである。ただし、先行電力を含めた既工認で採用された事例がなく、手法自体の変更となることから解析結果に与える影響も大きいと判断し、以降でその詳細について分析・検討し、今回工認で新手法として採用することの妥当性を確認することとする。なお、弾塑性解析の採用にあたって解析コードとして ABAQUS を採用しているが、汎用の有限要素解析コードであり、コンクリート製格納容器を含む鉄筋コンクリート構造物に対する既往知見もあること（詳細は、本資料「4. 材料構成則の適用性・妥当性について (2) 解析プログラム「ABAQUS」を用いた検討例」を参照）から、ここでは論点として取り上げないこととする。なお、今回工認では、添付資料として「計算機プログラム（解析コード）の概要」を添付し、その妥当性を説明する予定である。

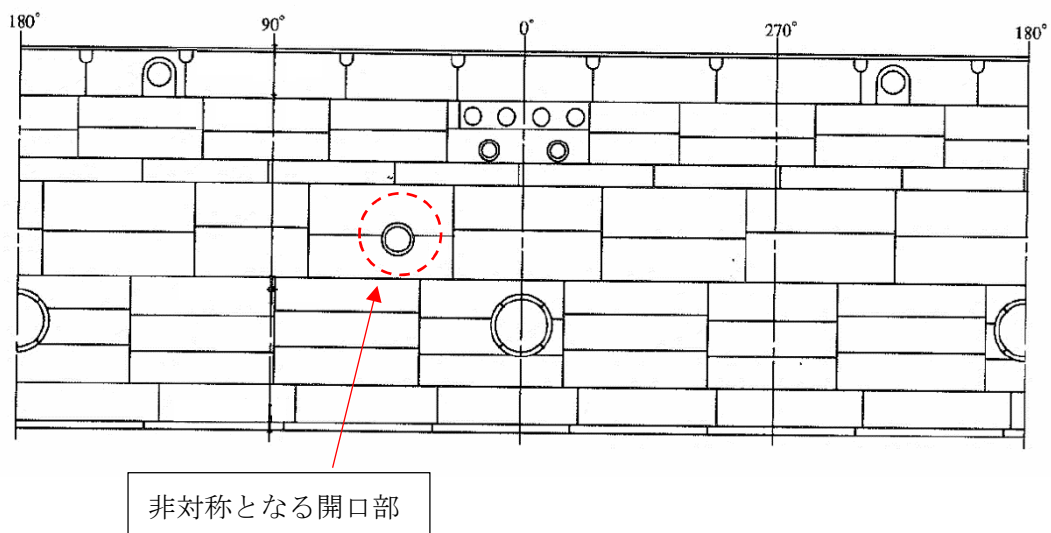
(2) 弾塑性解析の解析で事象発生順に荷重を入力することについて

弾性応力解析においては、一般に荷重の組合せ順序が解析結果に影響することはない。しかし、弾塑性応力解析についてはコンクリートや鉄筋が弾塑性領域に入った場合、荷重を入力する順序が解析結果に若干影響する。したがって、今回工認で実施する弾塑性解析においては、実際に事象の発生する順序で荷重を入力することで、実現象を捉える解析を行なう。例えば荷重状態Ⅳの荷重組合せでは、死荷重および活荷重や、運転時圧力等の常時荷重を先に入力し、次に地震荷重、地震時配管荷重等の地震発生時の荷重を入力する。これは実際の発生事象の順序を正確に評価した解析を実施するためであることから、本変更点については、特に論点としては扱わないこととする。

(3) 既工認時に半割モデルとしていたものを全周モデルとしたことについて

既工認で使用した半割モデルは、RCCV が東西軸に対してほぼ対称な構造となっていることを踏まえ、建設当時の計算機速度等を考慮して作成したものであり、北半分のみをモデル化している。また、その妥当性については、建設当時実施した構造実験のシミュレーション解析を行うことにより確認しているものである。ただし、RCCV は完全な対称構造ではなく、図 2-2 に示す通り、シェル部の開口部に差異があり、この開口部周辺の評価を正確に行うためには、全周モデルとし解析することが望ましいと考えられる。

現在の計算機速度等を踏まえると、全周モデルにより解析を実施することが可能であることから、今回工認で採用予定の解析モデルでは、弾性解析、弾塑性解析共に全周モデルを採用することとした。これは非対称条件をより正確に評価するための変更であることから、本変更点については、論点としては扱わないこととする。



RCCV 外周展開図

図 2-2 RCCV シェル部の開口部の非対称性

(4) コンクリートの物性値（ヤング係数，ポアソン比）

コンクリートの物性値のうち，ヤング係数については，原子炉建屋の動解モデルで使用する物性値と整合の取れた値（実剛性）を採用する予定である。実剛性の設定値の妥当性については，原子炉建屋の動解モデルの審査における論点となっており，動的解析モデルの審査の中で妥当性を説明している。また，応力評価に用いるコンクリート強度としては設計基準強度を採用する方針である。

一方，ポアソン比の変更については適用規準を日本建築学会「原子炉施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」(2005)に見直したことによるものであり，同様の変更については先行審査でも認可実績があり，論点とはならないと考えている。

以上のことから，コンクリートの物性値の変更については，本資料における論点としては取り扱わないこととする。

3. 弾塑性解析を採用することの目的と論点について

3. 1 弾塑性解析を採用することの目的

弾性解析と弾塑性解析の応答性状の違いを示した概念図を図 3-1 に示す。弾性解析は、どれだけ入力が大きくなっても初期の剛性が維持され続けるという仮定での解析を実施することとなるので、入力レベルが小さい場合は実現象を精度良く再現することが出来るが、入力の増大により挙動が弾塑性領域に入るような場合、部材の塑性化により剛性が低下する現象を模擬できない。そのため、実挙動が弾塑性に入る場合に弾性解析を用いると、応力を過大に評価し、ひずみ（変形量）は過小に評価することとなる。この傾向は入力が大きくなればなるほど、より顕著になると考えられる。

今回工認では、基準地震動 S_s による地震動の増大に伴い、原子炉建屋の鉄筋コンクリート構造全体としての挙動が弾塑性領域に入ると考えられることから、入力レベルに応じた構造物の挙動を適切に評価することを目的として弾塑性解析を採用することが必要であると判断した。

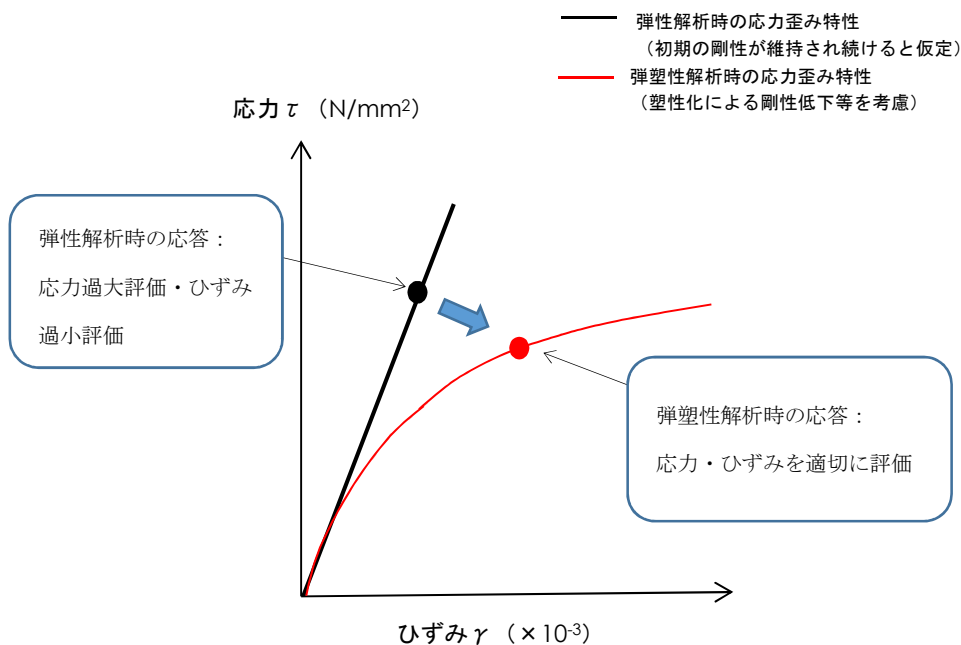


図 3-1 弾性解析と弾塑性解析の違い（概念図）

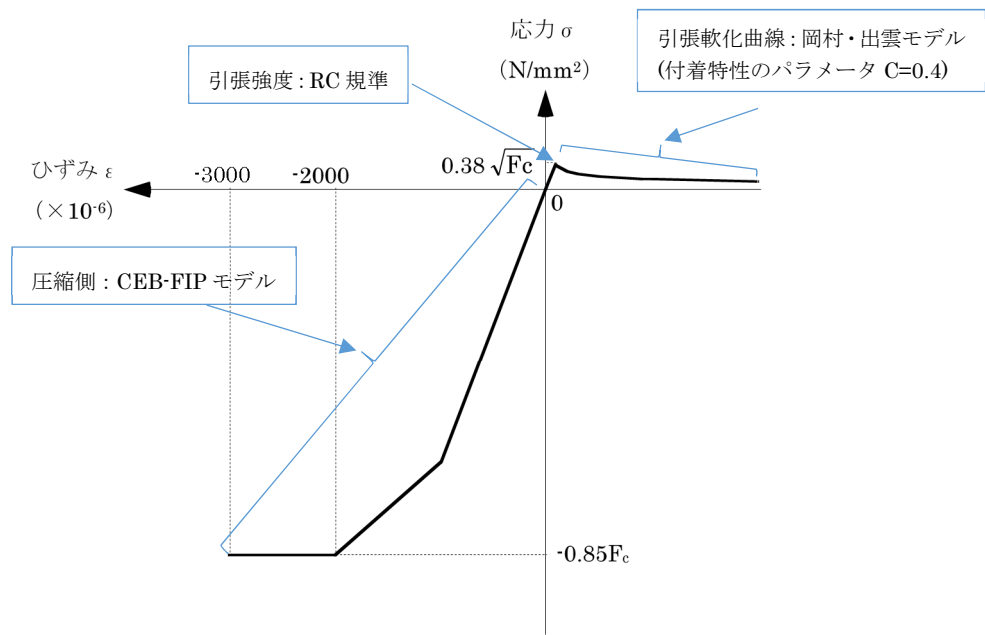
3. 2 弾塑性解析を採用するにあたっての論点

3. 1で説明したとおり、RCCVの応力解析に弾塑性解析を取り入れることによる利点としては、既工認で採用していた弾性解析では表現出来ないような大入力時の弾塑性挙動を評価できることにある。弾塑性挙動を適切に評価するにあたっては、弾塑性領域を含めた鉄筋及びコンクリートの材料構成則（材料の応力とひずみの関係をモデル化したもの）を適切に設定し解析を実施する必要があると考えられる。

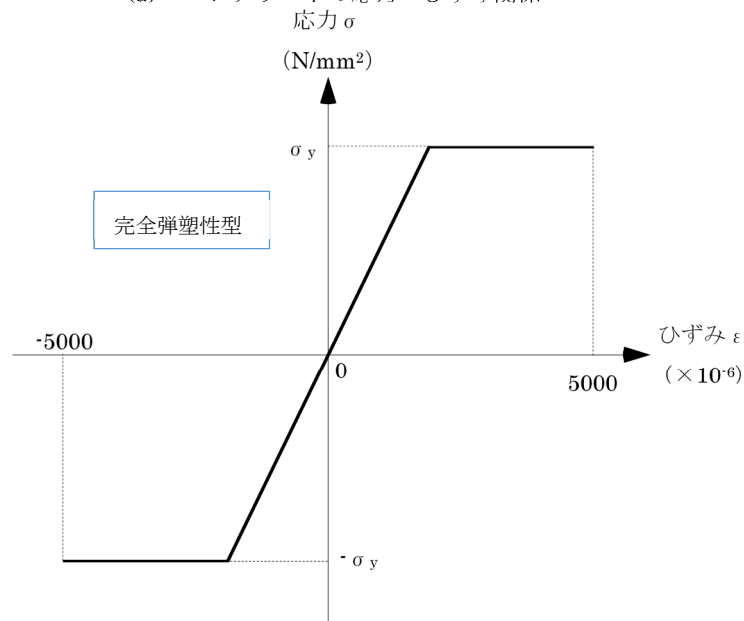
今回の工認で採用予定の材料構成則を図3-2に示す。ここで、コンクリート（圧縮側）はCEB-FIP^[1]モデル、コンクリート（引張側）はRC規準^[2]（ひび割れ点の評価）と岡村・出雲モデル^[3]（ひび割れ点以降の引張軟化曲線）、鉄筋（圧縮・引張側）は完全弾塑性型を用いているが、弾塑性挙動へ与える影響が大きいため、その設定の妥当性・適用性については十分に確認する必要があると判断し、「材料構成則の設定の妥当性」を弾塑性解析採用にあたっての論点として位置づけ、その妥当性・適用性を検討することとした。

なお、コンクリートの構成則の設定において、初期剛性については実剛性、最大応力を決める際のコンクリート強度（図3-2における $0.38\sqrt{F_c}$ 及び $0.85F_c$ の F_c の値）としては設計基準強度を採用する方針である。

また、材料構成則を適切に設定することに加え、弾塑性応力解析のもつ不確実性を踏まえ、構造物全体を対象とした実証的な試験データにより、今回工認で採用する弾塑性解析手法の妥当性・適用性についても併せて確認することとした。



(a) コンクリートの応力-ひずみ関係



(b) 鉄筋の応力-ひずみ関係

F_c : コンクリートの設計基準強度, σ_y : 鉄筋の降伏強度

図 3-2 採用予定の材料構成則

4. 材料構成則の適用性・妥当性について

RCCV の応力解析では、基準地震動 S_s による外力の増大に伴い、鉄筋コンクリート部材の塑性化が想定されることから、鉄筋コンクリートの弾塑性挙動を踏まえた適切な評価を実施するために弾塑性解析を採用する予定である。その中でも適用した材料構成則が弾塑性挙動に直結する項目であることから、弾塑性解析を採用する上での論点として位置づけ、以下で設定にあたって適用した文献の内容を整理し、その妥当性・適用性を検討する。

4.1 コンクリート（引張側）

コンクリートの引張側の材料構成則のうち、ひび割れが発生するまでのコンクリートの剛性は圧縮側の初期剛性と同様の値とし、引張強度については、RC 規準²⁾における曲げひび割れ時のコンクリート引張強度に関する記載である(4.1)式を参考に、その下限値を設定している。なお、RC 規準は、既工認でも適用実績のある規格規準である。また、今回の検討では保守的に引張強度の下限値を参照し、コンクリート引張側のエネルギー消費を低く見積もることにより鉄筋の引張側の負担が増えるように配慮しており、十分に保守的な設定であると考えられる。

$${}_c\sigma_t = (0.38 \sim 0.75) \sqrt{\sigma_b} \quad (4.1)$$

${}_c\sigma_t$: コンクリートの引張強度

σ_b : コンクリートの圧縮強度

また、ひび割れ発生後は応力再配分により力の大部分は鉄筋が負担することとなるものの、実現象としては、鉄筋とコンクリート間の付着によりひび割れ後のコンクリートも構造全体に生じる応力の一部を負担することから、ひび割れ後の性状を考慮するために、ひび割れ点以降のコンクリートの構成則として引張軟化曲線を定義している。引張軟化曲線としては、弾塑性解析で使用する計算機コード(ABAQUS)で、各種実験結果との対応が良いことが確認されている岡村・出雲モデル³⁾を採用する予定である。

岡村・出雲モデルは、既往文献における知見を参照して設定した項目であり、先行審査を含めた既工認で適用実績が無いため、以下で、モデルの概要（モデルが提唱された論文における妥当性検証の内容含む）について整理した上で、既往の検討例を整理することにより RCCV の弾塑性応力解析への適用性を検討する。

なお、コンクリートの引張側構成則については、設定値が解析結果に与える影響を確認するための検討を実施している。検討結果については、添付資料-3 に示す。

(1) 岡村・出雲モデルの概要

岡村・出雲モデルは、文献^[3]に示されるコンクリートの引張軟化曲線であり、ひび割れた鉄筋コンクリートの引張軟化曲線を評価する際に設定する。鉄筋に関係なく、ひびわれ後のコンクリートの平均応力・平均ひずみの関係を与えているのが特徴であり、下記の式により表現される。

$$\frac{\sigma_t}{f_t} = \left(\frac{\varepsilon_{cr}}{\varepsilon_t} \right)^c \quad (4.2)$$

σ_t : ひびわれと直角方向のコンクリートの平均引張応力

f_t : 2 軸応力下のコンクリートの引張強度

ε_{cr} : ひびわれ発生時の平均引張ひずみ

ε_t : ひびわれと直角方向の平均引張ひずみ

c : 付着性状を表すパラメータ

本モデルの妥当性については、原論文においても既往の実験結果との比較により検証されているため、以下ではその概要について記載する。

原論文では、(4.2)式を用いることで既往の実験（Collins-Vecchio の実験^[4]、森田・角の実験^[5]）から求められたコンクリートの平均応力・平均ひずみ曲線をほぼ再現できることを確認している（図 4-1）。ここで、付着性状を表すパラメータ c としては、鉄筋として溶接された金網を用いた Collins-Vecchio の実験^[4]では $c=0.2$ 、異形鉄筋を用いた森田・角の実験^[5]は $c=0.4$ が採用されている。なお、今回工認の RCCV の応力解析モデルでは、RCCV で用いている鉄筋が異形鉄筋であることを踏まえ、 $c=0.4$ を採用している。後述する財団法人原子力発電技術機構の原子炉格納容器信頼性実証事業における解析例でも $c=0.4$ が採用されている。

また、ひび割れ後のコンクリートの構成則として(4.2)式を用いた検討を実施し、既往の実験時の挙動を再現できるかを確認している。ここでは、既往の実験（Collins-Vecchio の実験^[4]及び青柳・山田の実験^[6]）からコンクリートの引張剛性の影響を受ける供試体を選定し、鉄筋コンクリート部材の挙動（せん断ひずみ、鉄筋のひずみ）が実験値とよく一致する結果となることを確認している（図 4-2）。このことから岡村・出雲モデルがひび割れ後の挙動をよく表現できるモデルであるとしている。

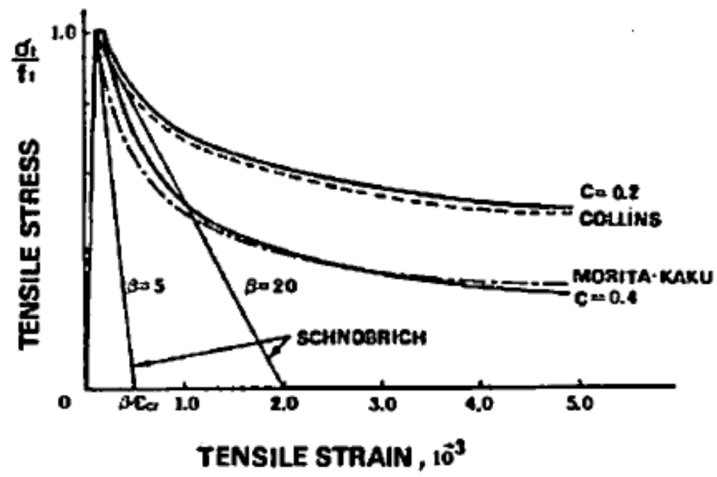


図 4-1 岡村・出雲モデルと他のモデルとの比較 ([3]より引用)

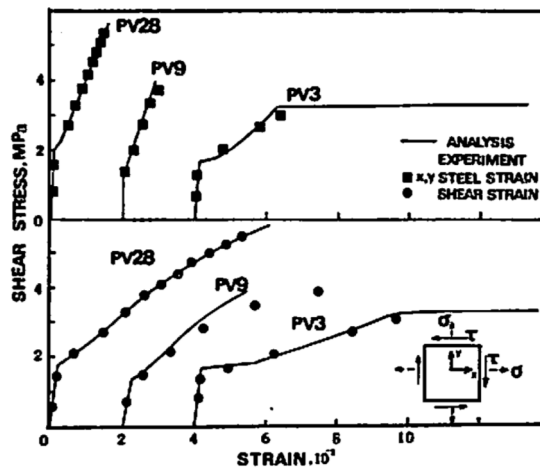


図 4-2 コンクリート引張剛性モデルの検証結果 ([3]より引用)

(2) 解析プログラム「ABAQUS」を用いた検討例

a) 日本建築学会「コンクリート系構造の部材解析モデルと設計への応用」での検討例

日本建築学会「コンクリート系構造の部材解析モデルと設計への応用」^[7]には、RCCV の応力解析でも用いる予定の解析プログラム「ABAQUS」を使用した解析例が示されている。

ここでもコンクリートの引張軟化曲線として岡村・出雲モデルを用いた検討例が示されており、既往の試験結果と解析結果との対応が良好であることが確認されている。

本文献においては、簡易要素ベンチマークテスト、梁せん断試験、床曲げ試験の検討例が示されている。以下にその概要を述べる。

梁せん断破壊試験については、既往の文献^[9]に示される試験体を模擬して、試験体中央部に鉛直方向単調荷重を変位制御で載荷する静的漸増非線形解析を実施し、ABAQUS で用いる塑性損傷モデルに係るパラメータを検討したものである（図 4-3）。ここでの検討の結論としても、コンクリートの引張軟化曲線は、岡村・出雲モデルを用いた検討ケースが文献における実験結果との対応が良好とされている。

鉄筋コンクリート床の曲げ破壊試験については、既往の文献^[10]に示される試験体を模擬し、荷重積載部に鉛直方向単位荷重を変位制御で載荷する静的漸増非線形解析を実施し、ABAQUS で用いる塑性損傷モデルに係るパラメータを検討したものである（図 4-4）。ここでの検討の結論としても、コンクリートの引張軟化曲線は、岡村・出雲モデルを用いた検討ケースが文献における実験結果との対応が良好とされている。

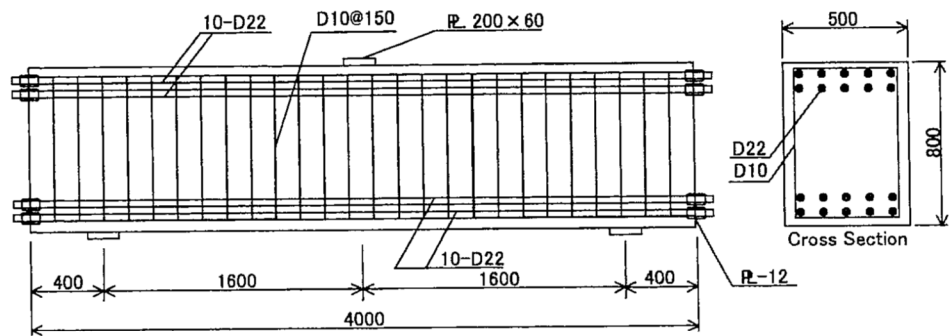


図-4.3.9 試験体諸元 (単位: mm)

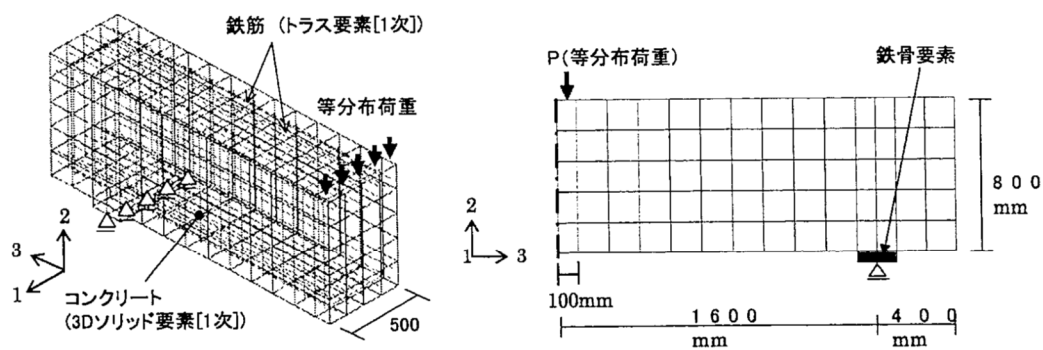


図-4.3.10 解析モデル

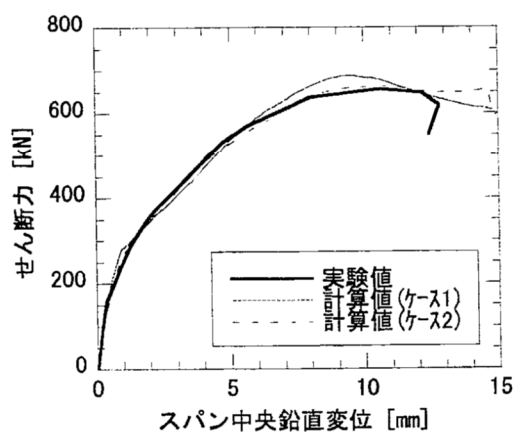


図-4.3.11 セン断力ースパン中央鉛直変位関係

図 4-3 梁せん断破壊試験に基づく検証結果 ([7]より引用)

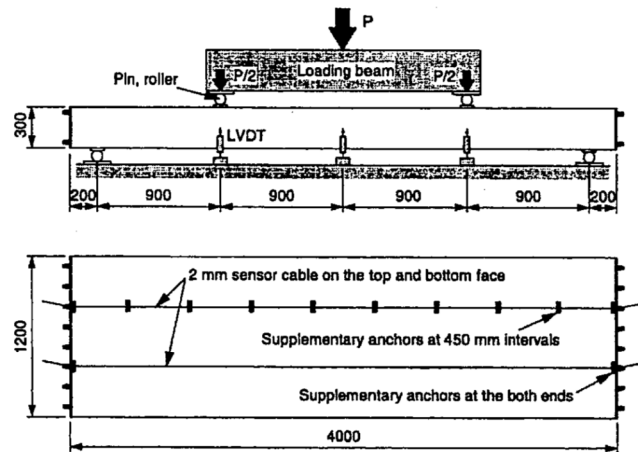


図-4.3.12 試験体諸元

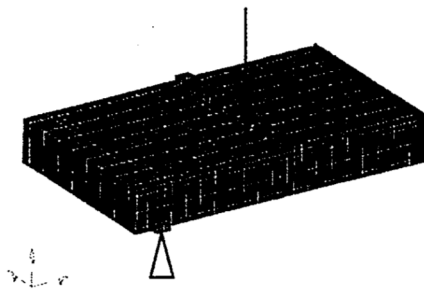


図-4.3.13 解析モデル

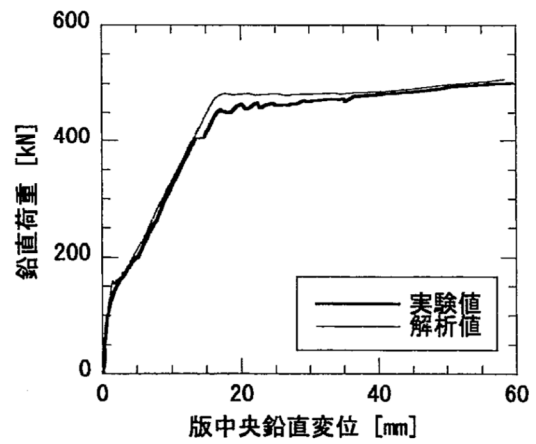


図-4.3.14 鉛直荷重—版中央鉛直変位関係

図 4-4 鉄筋コンクリートの曲げ破壊試験に基づく検証結果 ([7]より引用)

b) 原子炉格納容器信頼性実証事業における検討例

財団法人原子力発電技術機構が実施した原子炉格納容器信頼性実証事業^[11]においても、基礎要素特性試験（二軸引張基礎要素特性試験）の結果を用いて、ABAQUS による検討を実施しており、そこで得られた知見として、コンクリートの構成則特性については、出雲式が実験との整合が良いと記載されている。試験及び解析の概要を以下に示す。

基礎要素特性試験は、RCCV の限界挙動を評価する解析モデルの妥当性検証を主たる目的として実施されたものであり、RCCV において想定される破損部位とモードを踏まえて試験内容が設定されている。RCCV の破壊想定部位及びモードは図 4-5 に示す通りとしており、この内、局部的な損傷が大きくなる領域（円筒壁脚部：面外せん断、面外曲げ、大開口部：引張、トップスラブ開口部：円周方向引張曲げ、トップスラブ隅角部：面外せん断、面外曲げ）に対しては、部分詳細モデルを用いた解析を実施し、特に、円筒壁における大開口部周りでは、開口部周りの厚板部と薄板の接合部等の開口部を構成する補強部材等の影響で、ライナにひずみ集中が発生することが想定された。このため、開口部及び周囲の鉄筋コンクリート／ライナ性状を模擬した 2 軸引張試験が実施されることとなったものである。

試験では RCCV の開口部及び周囲の鉄筋コンクリート／ライナ性状を模擬した試験体（ライナ有り・無しの 2 種類の試験体）を直角 2 方向に引張加力し、その構造的挙動を確認している。試験体の材料（鉄筋、コンクリート）は実機と同等のものをを用いており、配筋についても実機をできる限り忠実にモデル化するとしている。試験体の縮尺は、ライナの破損を評価するためにはできるだけ大きな縮尺が望ましいとして、1/2 倍としている。試験体形状及び加力装置を図 4-6 に示す。

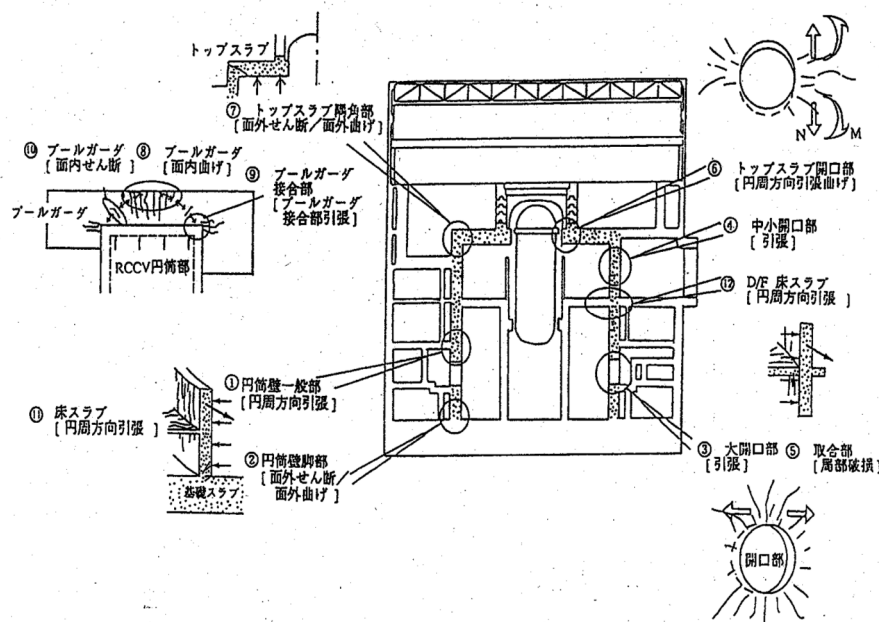
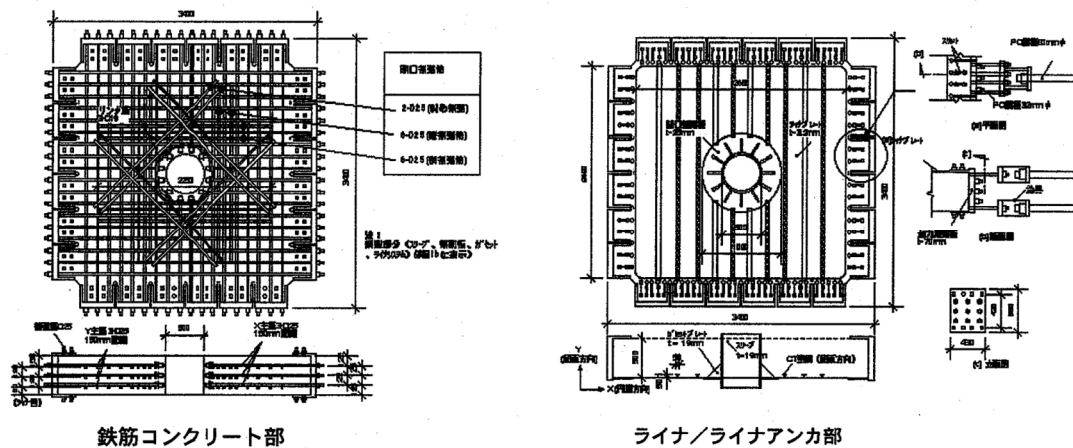
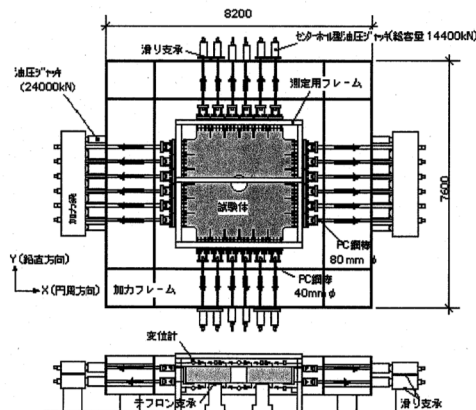


図 4-5 RCCV の破損想定部位とモード（[11]より抜粋）



試験体形状



試験装置

図 4-6 二軸引張基礎要素特性試験の試験体及び試験装置 ([11]より抜粋)

実験結果を踏まえた解析としては、荷重分布・材料物性・構成則・要素の種類（シェル要素、ソリッド要素）・ライナアンカのモデル化が及ぼす影響について検討が行われている。シェル要素での検討は、解析コード LASHET(清水建設（株）所有)、ソリッド要素での検討では、解析コードとして ABAQUS が使用されている。

ソリッド要素モデルは、開口部周りや円筒部脚部、トップスラブ隅角部を対象とする解析に用いられており、検討にあたっては、図 4-7 に示す通り、ライナ無しの RC のみのモデルとライナ有りのモデルが作成されている。ライナ無しのモデルはコンクリートの引張強度とテンションステイフニング特性（引張軟化曲線）をパラメータとして解析し、シェル要素モデルと解析精度の比較が行われている。

解析結果を図 4-8 に示す。この解析から得られた知見のうち、コンクリート構成則特性については、出雲式(岡村・出雲モデル)が実験との整合が良いとされている。

なお、NUPEC による解析において、岡村・出雲モデル適用時の付着性状を表すパラメータは、岡村・出雲モデルの原論文で異形鉄筋に対する適用性が確認されている $c=0.4$ が使用されている。

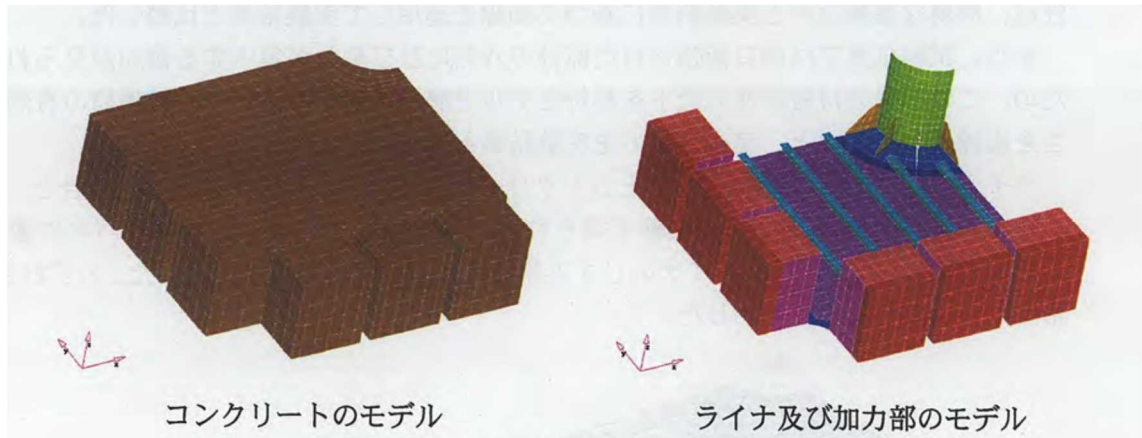


図 4-7 ソリッド要素による解析モデル ([11]より抜粋)

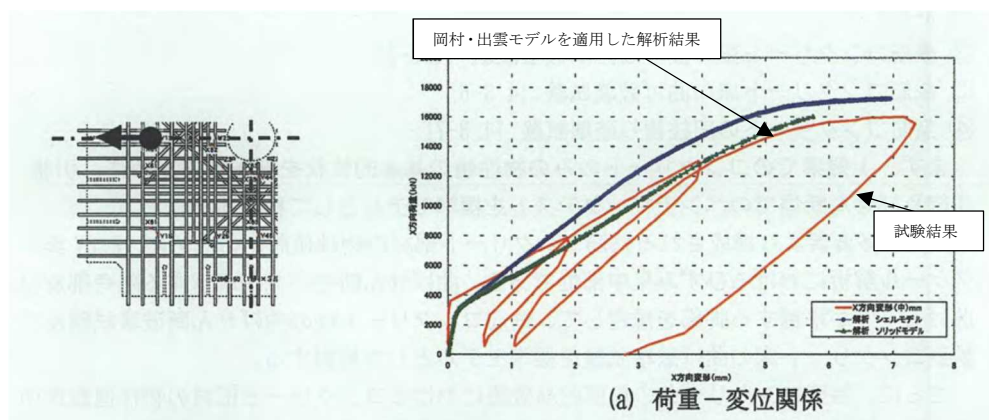


図 4-8 解析結果 ([11]より抜粋、加筆)

(3) 岡村・出雲モデルの RCCV 応力解析への適用性について

岡村・出雲モデルは、提案時より既往の複数の実験結果を用いて妥当性が十分に検証されていること、また、今回使用する解析プログラム「ABAQUS」を用いた検討例でも RCCV 実機を想定した試験体を含めた各種実験結果との対応が良好とされていることから、3 次元 FEM モデルによる弾塑性応力解析を実施する際のコンクリート（引張側）の構成則（引張軟化曲線）として、採用することは妥当であると考えている。

4.2 コンクリート(圧縮側)

コンクリートの圧縮応力度とひずみの関係は、「発電用原子力設備規格コンクリート製原子炉格納容器規格 JSME S NE1-2003」(以下, CCV 規格という)の図 CVE3511.2-1 を参考にした上で, パラボラ型の応力歪み曲線を想定するにあたって標準的な CEB-FIP Model code^[9]に基づき設定している。

CEB-FIP Model code^[1]におけるコンクリート(圧縮側)の構成則は以下の(4.3)式により規定されている。なお, (4.3)式に基づく場合, 6, 7 号炉のコンクリート圧縮強度は 50MPa(N/mm²)以下であるため, 終局ひずみは 0.0035 となるが, CCV 規格における終局ひずみは 0.003 であるため RCCV の応力解析で用いるのは 0.003 までの範囲内とする。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{cd} &= 0.85f_{cd} \left[2 \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c1}} \right) - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c1}} \right)^2 \right] && (\varepsilon_c < \varepsilon_{c1} \text{ の場合}) \\ \sigma_{cd} &= 0.85f_{cd} && (\varepsilon_{c1} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu} \text{ の場合}) \\ \sigma_{cd} &= 0 && (\varepsilon_{cu} < \varepsilon_c \text{ の場合}) \end{aligned} \right\} \quad (4.3)$$

ここで, $\varepsilon_{c1} = 0.002$,

$\varepsilon_{cu} = 0.0035$ ($f_{ck} \leq 50\text{MPa}$ の場合),

$\varepsilon_{cu} = 0.0035 \left(\frac{50}{f_{ck}} \right)$ ($50\text{MPa} \leq f_{ck} \leq 80\text{MPa}$ の場合) とする。

σ_{cd} :コンクリートの応力, ε_c :コンクリートのひずみ, ε_{cu} :コンクリートの終局ひずみ f_{cd}, f_{ck} :コンクリート圧縮強度

既工認において, 荷重状態IVに対する RCCV の応力解析は弾性解析であったが, 応力解析から求まる応力(膜力, 曲げモーメント等)をもとにコンクリートの圧縮ひずみを算定する際, パラボラ型の応力歪み曲線を仮定している。既工認「原子炉格納容器コンクリート部の耐震性についての計算書」から関連箇所の抜粋を図 4-9 及び図 4-10 に示す。ここで設定したパラボラ型の応力歪み曲線は, 今回と同様に CEB-FIP Model Code に基づき設定している。なお, 既工認と今回工認で参照した CEB FIP Model Code は同じものであるものの, 前掲した図 3-2 に示したとおり, 今回工認では折れ線近似している。折れ線近似することの考え方は添付資料-4 に示す。

以上のことから, コンクリートの圧縮側の弾塑性特性については, CEB-FIP Model Code^[9]に基づき設定することは妥当であると考えている。

4.3 鉄筋(引張側, 圧縮側)

鉄筋の非線形特性については, CCV 規格(CVE-3511.2 の記載)に基づき完全弾塑性型として設定している。

既工認において, 荷重状態IVに対する RCCV の応力解析は弾性解析であったが, 応力解析から求まる応力をもとに鉄筋の圧縮及び引張ひずみを算定する際, 完全弾塑性型を仮定している。既工認「原子炉格納容器コンクリート部の耐震性についての計算書」から関連箇所の抜粋を図 4-9 及び図 4-10 に示す。

以上のことから, 3 次元 FEM モデルによる弾塑性応力解析を実施する際の鉄筋(引張側, 圧縮側)の材料構成則として, 採用することは妥当であると考えている。

(b) 荷重状態Ⅳ

荷重状態Ⅳにおいて生ずる膜力及び曲げ応力によるひずみは次による。

・ コンクリートの圧縮ひずみが、0.003を超えないことを確認する。

・ 鉄筋の引張ひずみ及び圧縮ひずみが、0.005を超えないことを確認する。

・ コンクリート及び鉄筋のひずみは、次により算定する。

イ、ひずみは、中立軸からの距離に比例する。

ロ、コンクリートの圧縮応力度とひずみの関係は放物線とし、

・ コンクリートの最大圧縮応力度は、コンクリートの設計基準強度の0.85倍の値 (280kg/cm^2)とする。

ハ、コンクリートの引張強度は無視する。

ニ、鉄筋の応力度とひずみの関係は完全弾塑性型とし、鉄筋の

・ 最大引張応力度及び最大圧縮応力度は、表2-3に示す鉄筋の許容応力度であって荷重状態Ⅲの値とする。

この場合、膜力は、荷重状態Ⅰ、荷重状態Ⅱ及び荷重状態Ⅲと同様に等価膜力を用いる。

図5-9に断面内応力度分布の概念図を示す。

図 4-9 既工認からの抜粋 (RCCV シェル部の検討を例示)

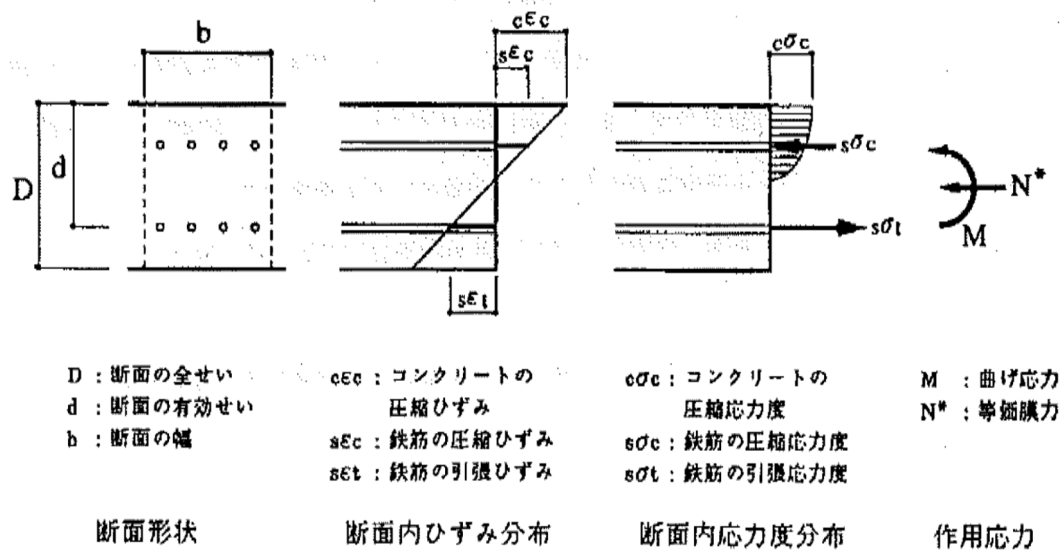


図5-9 シェル部断面内応力度分布概念図(荷重状態Ⅳ)

図 4-10 既工認からの抜粋 (RCCV シェル部断面内応力度分布概念図を例示)

5. 既往試験結果に基づく弾塑性応力解析の妥当性・適用性

弾塑性応力解析手法が有する不確実さを踏まえ、既往知見（試験及びシミュレーション解析）について整理した上で、これらの試験における解析結果と今回工認で採用予定の RCCV の解析条件について比較することにより、RCCV に対して弾塑性応力解析を適用することの妥当性・適用性を確認する。

検討に用いる既往知見としては、財団法人 原子力発電技術機構（NUPEC）の原子炉格納容器信頼性実証事業において実施された、プレストレストコンクリート製格納容器（以下、PCCV とする）の耐圧実証試験^[11]を選定した。

本章の検討は、弾塑性応力解析手法が有する不確実さを踏まえた上で、構造物全体を対象とした解析に弾塑性解析手法を適用することの妥当性を実証的なデータに基づき確認することであるため、PCCV 耐圧実証試験は、対象が PCCV であるものの、1/4 縮小の格納容器全体を対象とした試験であり、試験体を終局状態まで载荷し弾塑性挙動を確認していること、また、今回工認で採用予定の解析コード（ABAQUS）によるシミュレーション解析を実施していることから、弾塑性応力解析の妥当性・適用性を確認するために参照する解析例としては適切な事例であると判断した。

5. 1 構造物全体を対象とした既往試験による弾塑性応力解析の妥当性確認

財団法人 原子力発電技術機構による原子炉格納容器信頼性実証事業の中で行なわれた構造挙動試験のうち、PCCV に関して、試験および解析評価の概要について以下で整理する。本試験では PCCV プラント構造を対象にシビアアクシデント時のアクシデントマネジメント（以下、AM とする）条件下での格納容器の躯体限界圧挙動および漏えい挙動を評価するために実験的実証および構造限界圧挙動解析モデル化技術の精度向上が検討されている。

試験にあたっては、PCCV 構造の 1/4 縮尺モデルを制作し、常温で高圧窒素ガスを準静的に注入することにより、躯体限界圧挙動およびライナの限界圧時の漏えい挙動を実験的に把握することを目的として試験が行われている。試験体の形状および主要諸元を図 5-1 に示す。縮尺 1/4 の本試験体は、基礎板、円筒胴部、ドーム部より構成されている。

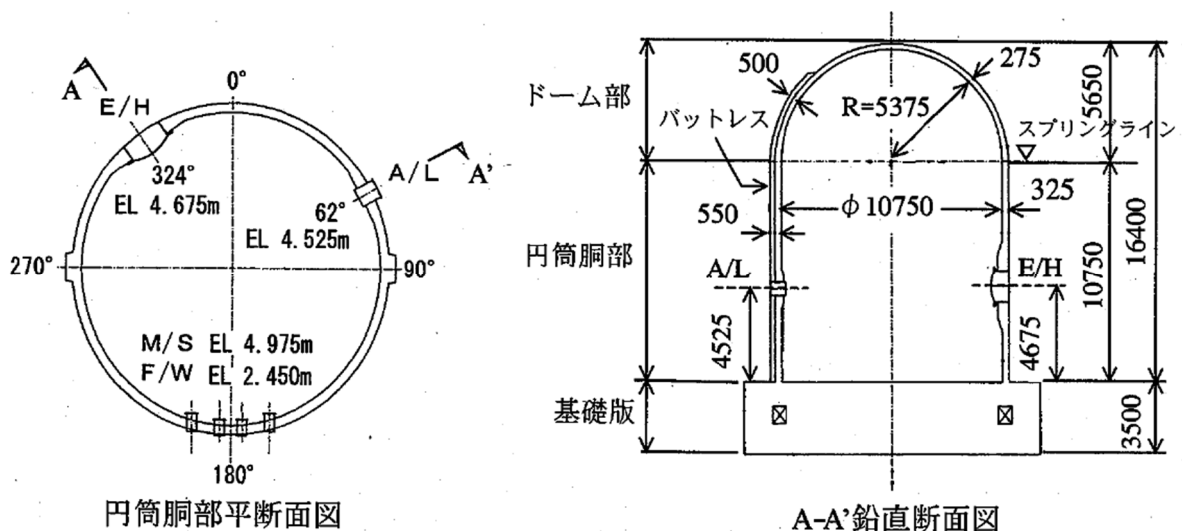


図 5-1 試験体外形図と主要諸元（[11]より引用）

限界圧構造挙動試験（LST）では、SA 時の AM 条件下での格納容器の躯体限界圧挙動を評価することを目的として、最大で 3.3Pd まで加圧されている。限界圧構造挙動試験（LST）に対しては、格納容器の半径方向および頂部鉛直方向の変形に着目して試験結果と解析結果の比較を行っており、解析モデルとしては、図 5-2 に示すようなシェル要素モデルが使用されている。構造物全体に対する解析で使用する解析コードとしては、ABAQUS と FINAL が使用されているが、以下では ABAQUS に着目する。

コンクリート・ライナは積層シェル要素、鉄筋は積層シェル内に鉄筋層、テンドンについては要素軸方向の剛性のみ有する梁要素としてモデル化されている。図 5-3 にシミュレーション解析結果（内圧－変位関係）を示す。実験と解析による载荷挙動を比較すると、ABAQUS による解析で対象範囲としている最大圧力に至るまでの試験結果の変位挙動が良好に模擬されており、適正な材料構成則を使う限りはほぼ妥当な評価ができ、実機の評価において ABAQUS を適用することは妥当であるとされている。

以上より、解析条件を適切に設定することにより、弾塑性応力解析で妥当な結果が得られることが確認できる。

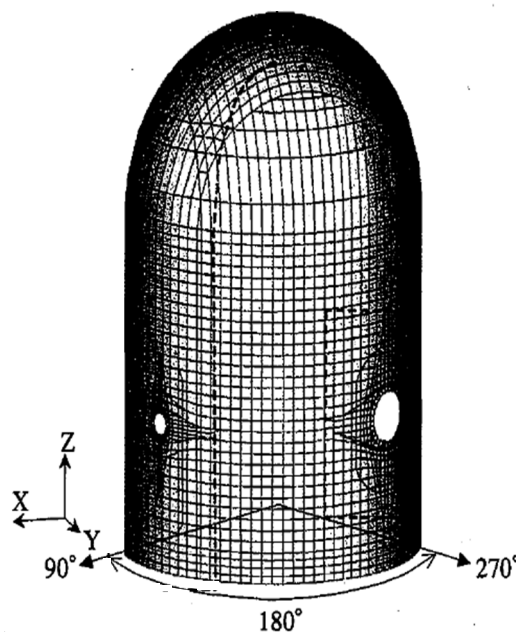


図 5-2 全体解析モデル（[11] より引用）

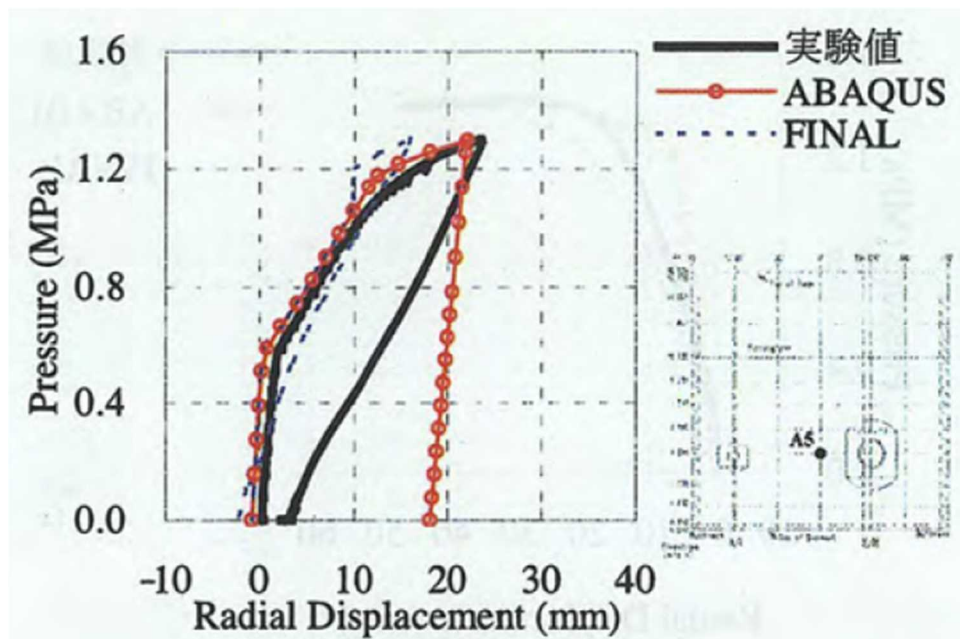


図 5-3 内圧一半径方向変位関係 ([11] より引用)

5. 2 今回工認における弾塑性解析手法の妥当性・適用性の確認

今回工認と 5.1 で整理した限界圧構造挙動試験（LST）における弾塑性解析手法の比較結果を表 5-1 に示す。これより、モデル化、解析手法、解析コード、材料構成則について今回工認と限界圧構造挙動試験（LST）の解析手法に大きな差異は無く、同様の弾塑性解析手法であることが確認できる。

構造物全体を対象とした試験のシミュレーション解析により妥当性が確認されている弾塑性解析の諸条件と今回工認で採用する予定の解析条件について比較した結果、設定条件や手法に有意な差が無いことが確認出来たことから、今回工認で採用する予定の弾塑性解析手法は妥当であり、また、参照した試験が構造物全体を模擬した縮小試験体によるものであることから、同様の弾塑性解析手法を RCCV 全体を対象とした弾塑性解析に適用することは可能であると考えられる。

以上より、RCCV に対して弾塑性応力解析を適用することの妥当性・適用性を確認した。

表 5-1 今回工認と限界圧構造挙動試験（LST）における弾塑性解析手法の差異

項目			KK67RCCV(今回工認)	限界圧構造挙動試験（LST）	差異の考察
モデル化	メッシュサイズ		モデル全体で概ね 1～2m 程度 (開口周辺等はさらに細分割)	モデル全体で概ね 0.38m 程度 (開口周辺等はさらに細分割)	LST 試験体は 1 / 4 縮尺であり、円周方向の分割数としては同等
	要素タイプ		シェル要素：シェル部， トップスラブ部 ROD 要素， BAR 要素：境界条件の設定に使用	シェル要素：円筒胴部， ドーム部 梁要素：テンドン	格納容器構造の違いによる差異であり、論点として扱う必要なし
解析手法			・ 3 次元 FEM モデルを用いた 応力解析	同左	—
解析コード			・ ABAQUS（弾塑性解析）	同左	—
構成則	コンクリート	圧縮側 応力－ひずみ	折れ線近似 (CEB-FIP Model Code1990)	折れ線近似 (修正 Kent&Park)	両者とも折れ線近似しており， 条件としては同等
		引張側 応力－ひずみ	岡村出雲モデル（c=0.4） (テンションスティフニング特性)	同左	—
	鉄筋	応力－ひずみ	完全弾塑性型	同左	—

6. まとめ

原子炉格納容器コンクリート部の応力解析で採用予定の解析モデルについて、既工認との手法の差異を整理した。論点として、弾塑性挙動に与える影響が大きい材料構成則（鉄筋、コンクリート）を抽出した。その上で適用文献の内容を整理し、その適用性・妥当性を確認した。

また、弾塑性解析手法の不確かさを踏まえ、構造物全体を対象とした試験のシミュレーション解析により妥当性が確認されている弾塑性解析の諸条件と今回工認で採用する予定の解析条件について比較し、弾塑性解析手法としての妥当性・適用性を確認した。

以上より、今回採用予定の応力解析モデルの妥当性を確認した。

<参考文献>

- [1] Comité Euro-International du Béton : CEB-FIP MODEL CODE 1990 (DESIGN CODE),1993
- [2] 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説--許容応力度設計法-1999, 1999年
- [3] 出雲, 島, 岡村：面内力を受ける鉄筋コンクリート板要素の解析モデル, コンクリート工学, Vol.25, No.9.1987.9
- [4] M.P.Collins, F.J. Vecchio: The response of reinforced concrete to in-plane shear and normal stresses, University of Toronto, March 1982
- [5] 森田司郎・角徹三：鉄筋コンクリート部材の引張試験による付着効果の研究, セメント技術年報, Vol.18, pp.426-430, 昭 39
- [6] 山田一字・青柳征夫：ひび割れ面におけるせん断伝達,第 2 回 鉄筋コンクリート構造物のせん断問題に対する解析的研究に関するコロキウム論文集, pp.19-26, 1983.10
- [7] 日本建築学会：コンクリート系構造の部材解析モデルと設計への応用, 2008 年
- [8] 美原義徳：「ABAQUS V6.3 における塑性損傷論に基づくコンクリートモデルについて」, ABAQUS 国内ユーザーズミーティング 2002 講演論文集, pp.59-68, 2002
- [9] Saito,H et al. : Ultimate strength of reinforced concrete members subjected to transient high temperature distribution, Transactions of the 12th international conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT), Volume H, pp.31-36, Aug. 1993
- [10] Kumagai,H. et al.:Fiber optic distributed sensor for concrete structures, Proceeding of the 1st fib Congress, Session 15, pp.179-184,2002
- [11] 財団法人 原子力発電技術機構：重要構造物の安全評価(原子炉格納容器信頼性実証事業)に関する総括報告書, 平成 15 年 3 月

添付資料－１ 有効性評価における RCCV 検討時の評価モデルとの差異について

1. 有効性評価における RCCV 検討時の評価モデルとの差異について

有効性評価で説明した 200℃2Pd 条件の解析モデルと今回申請の耐震設計で用いる解析モデル、加えて、工認段階の重大事故評価で用いる解析モデルについて、主な差異を表 1-1 に示す。主な差異として、構成則設定時のコンクリート強度を実強度から設計基準強度に見直すこと以外にも、重大事故評価用の解析モデルで RCCV と基礎版とを一体化させることやライナプレートの弾塑性特性を考慮することが挙げられる。

表 1-1 解析モデルの差異

	設置許可	今回工認	
条件	①有効性評価 (200℃2Pd 評価)	②重大事故 評価条件	③設計基準 耐震設計条件
コンクリート剛性	実剛性	実剛性	実剛性
コンクリート強度	実強度	設計基準強度	設計基準強度
境界条件	RCCV 脚部固定	基礎版と一体化	RCCV 脚部固定
ライナプレート	弾性(温度依存性非 考慮)	弾塑性 (温度依存性 考慮)	無し※

※温度荷重モデルでは、ライナを弾性（温度依存なし）でモデル化

2. 条件の違いが既往の評価結果に与える影響について

今回工認における重大事故評価については、表 1-1 の条件②を用いて実施する予定であるが、一方で有効性評価時に RCCV の 200℃2Pd 条件時の構造健全性について、条件①で実施した解析結果を元に説明している。そこで仮に条件②を採用した場合でも、有効性評価で説明した 200℃2Pd 時の RCCV の評価結果へ与える影響がないことを確認するために、条件②による 200℃2Pd 時の評価を実施することとした。

条件①（有効性評価時）と条件②について、シェル部及びトップスラブ部の一般部での鉄筋のひずみ分布及びコンクリートの最小主ひずみ分布を比較した結果を図 2-1～4 に示す。

条件②による評価の場合、有効性評価時と若干傾向が異なる部分はあるものの、鉄筋の大部分は降伏ひずみに達しておらず、一部の要素で局所的に降伏ひずみに達している程度であり、破断までには十分な余裕があり、コンクリートは、ひび割れは発生しているものの、圧縮ひずみは 2000 μ よりも小さく、破壊までには十分な余裕があることが評価できる。また、条件①による評価の場合も同様の考察となる。

以上より、仮に条件②を採用して 200℃2Pd 条件による解析を実施した場合でも、既往の有効性評価時と同様の結論が得られることが確認できることから、有効性評価時の RCCV

の限界温度・圧力として 200℃2Pd を用いることを妥当と判断した解析結果には与える影響がないことを確認した。

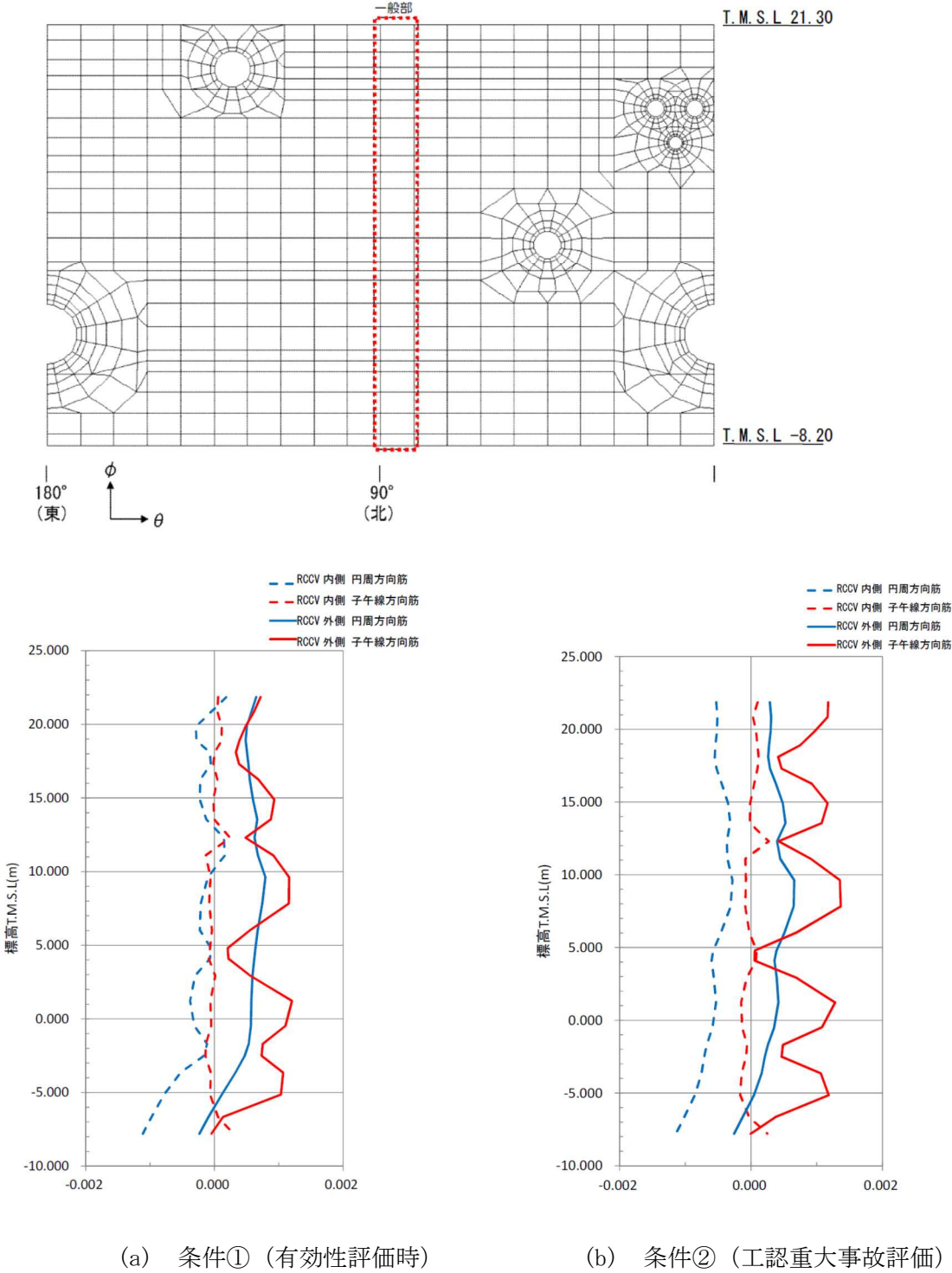


図 2-1 シェル部の一般部での変形状態（鉄筋のひずみ）

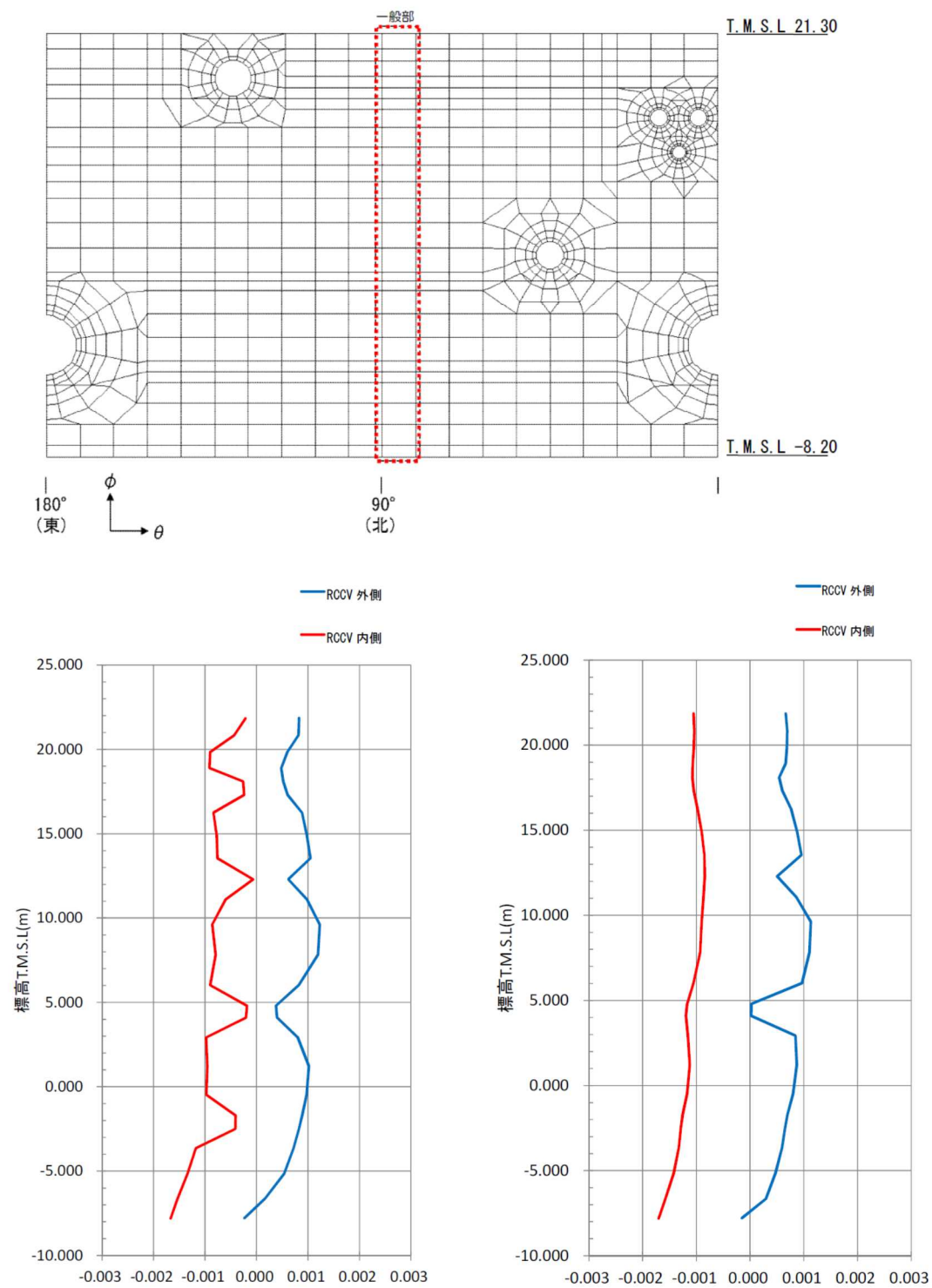
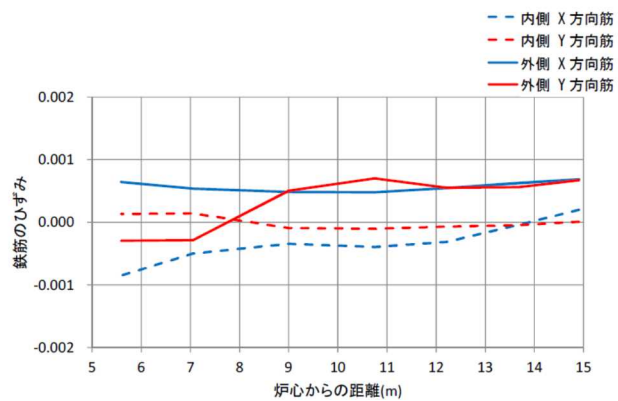
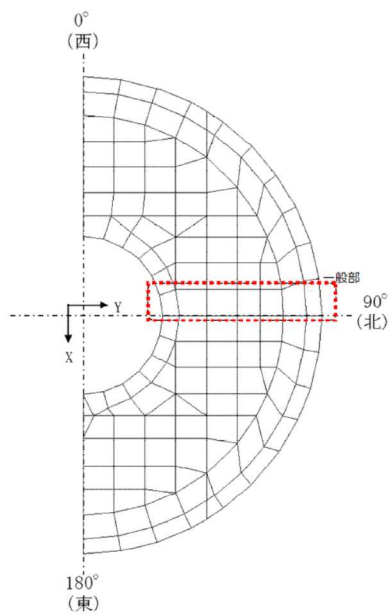
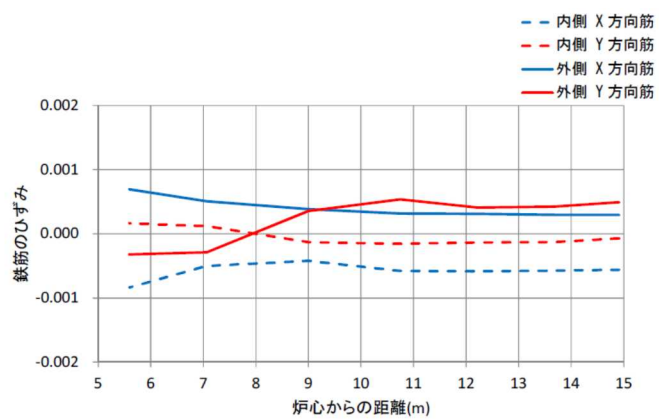


図 2-2 シェル部の一般部での変形状態 (コンクリートの主ひずみ)

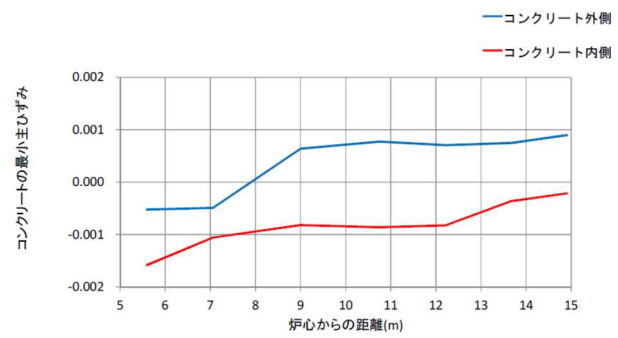
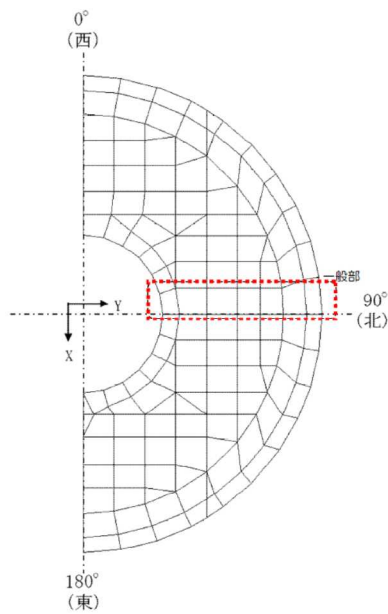


(a) 条件① (有効性評価時)

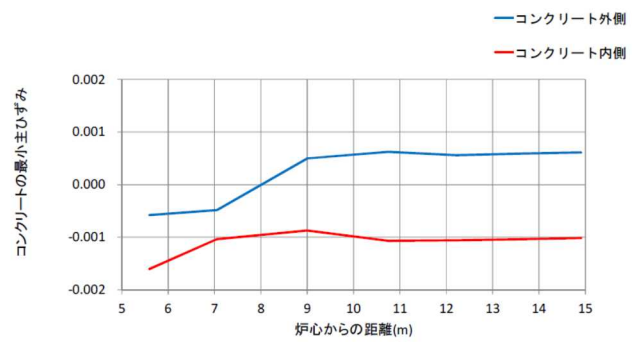


(b) 条件② (工認重大事故評価)

図 2-3 トップスラブ部の一般部での変形状態 (鉄筋のひずみ)



(a) 条件① (有効性評価時)



(b) 条件② (工認重大事故評価)

図 2-4 トップスラブ部の一般部での変形状態 (コンクリートの主ひずみ)

添付資料－２ CCV 規格における許容限界設定の考え方について

CCV 規格における荷重状態Ⅳのコンクリート及び鉄筋のせん断ひずみの許容限界設定の考え方について以下に示す。

１．コンクリート

CCV 規格において荷重状態Ⅳのコンクリートのひずみの許容値としては、 $0.003(3000\mu)$ が採用されている。

これは、American Concrete Institute「Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-02)」の Chapter 10 Flexural and axial loads の記載に基づき設定されている。

コンクリートのひずみが 3000μ に達した状態は、最大圧縮強度時のひずみ(2000μ 程度)を超えた応力下降域(軟化域)の状態にあり、若干のひび割れが入っているものの、ある程度の強度を有している状態である。また、一般的に、コンクリートのひび割れは、スリット状ではなく、複雑な形状で生じるため、放射線の低減効果が期待でき、遮へい性能にあたえる影響は無い。

なお、コンクリートの最大圧縮強度については、American Concrete Institute「Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-02)」の Chapter 10 Flexural and axial loads の記載に基づき、 $0.85F_c$ (設計基準強度の 0.85 倍)に制限しており、実際のコンクリートの最大圧縮強度に対して余裕を見込んだ数値が設定されている。

２．鉄筋

CCV 規格において荷重状態Ⅳの鉄筋のひずみの許容値としては、 $0.005(5000\mu)$ が採用されている。

鉄筋のひずみを 5000μ とした理由について、CCV 規格の解説に「部材の変形が過大にならないように配慮して定めた」とし、「一般的に多く使用されている SD345 および SD390 の降伏ひずみ(中略)は 0.0017 及び 0.0019 であり、鉄筋の最大ひずみはこれら降伏ひずみの 2 から 3 倍程度とした」と記載されている。

一般に、鉄筋のひずみが 5000μ に達した状態は、降伏ひずみの 2～3 倍程度であり、最大引張強度に至るまでには程遠い状態である。また、JIS に示される鉄筋の機械的性質としては、SD345 及び SD390 の場合、伸びが 16～19%($160000\sim 190000\mu$)以上とされており、 5000μ は破断に対しても十分余裕のある状態にあるといえる。

３．気密性について

原子炉格納容器内部の機器から放出される放射性物質等の有害な物質の漏洩を防止するために、RCCV には鋼製のライナプレートが内張りされており、気密性はライナプレートにより担保されている。なお、柏崎の 6,7 号炉の場合、材質は SGV49 及び SUS304L であ

る。

CCV 規格によれば、ライナプレートは、「鉄筋コンクリート部の変形およびコンクリートとの温度差により強制されるような自己制御的ひずみ」に対して、「漏えいを生じることなく追従できる変形性能を有していればよいことから、ひずみを制限すること」としており、米国機械学会：「ASME Boiler & Pressure Vessel Code Section III Div.2」（2001）に基づき、ひずみについての許容値（表 3-1）が設定されている。

表 3-1 に示される許容値は、鋼材の降伏ひずみの数倍程度であり、破断に対しては十分余裕のある状態にあると言え、CCV 規格におけるライナプレートの許容ひずみは、耐漏えい性能を十分に確保することができる数値であると考えられる。

なお、JIS に示される SGV49（現在の SGV480 に相当）の伸びは 17～21%（170000～210000 μ ）、SUS304L の伸びは 40%（400000 μ ）以上であり、表 3-1 で規定された値は破断に対しても十分余裕のある状態にあるといえる。

表 3-1 ライナプレートの許容ひずみ（CCV 規格）

ひずみの種類		許容ひずみ	
荷重状態	ひずみの種別	膜	膜と曲げの和
ⅢおよびⅣ	圧縮ひずみ	0.005	0.014
	引張ひずみ	0.003	0.010

添付資料－3 コンクリートの引張側構成則に関する影響検討

1. 検討概要

引張側構成則の影響検討にあたって、まずは引張側構成則を無視する検討を試みたが、解の収束性が悪く、解析結果を得ることが出来なかった。そのため、コンクリートの引張強度が解析結果に与える影響に着目し、引張強度の変動に応じて、解がどの程度増減するかを検討を試みることにした。

今回の工認の解析モデルでは、コンクリートの引張強度として、RC 規準に記載されている引張強度のうち、下限値を採用している（図 1-1）。

ここでは、コンクリートの引張強度として、RC 規準に平均値として記載されている値を用い、引張強度の設定値が解析評価に与える影響を検討する。

今回検討と影響検討時のコンクリートの引張強度 $c\sigma_t$ を以下に示す。

今回工認：RC 規準に記載されているコンクリートの引張強度の下限値

$$\begin{aligned} c\sigma_t &= 0.38\sqrt{\sigma_B} \\ &= 2.15(\text{N/mm}^2) \end{aligned}$$

影響検討：RC 規準に記載されているコンクリートの引張強度の平均値

$$\begin{aligned} c\sigma_t &= 0.56\sqrt{\sigma_B} \\ &= 3.18(\text{N/mm}^2) \end{aligned}$$

ここで、 $c\sigma_t$ ：コンクリート引張強度

σ_B ：コンクリート圧縮強度（設計基準強度 330kg/cm²(32.3N/mm²))

影響検討では、代表例として、Ss 地震時（N→S 方向）の結果（暫定条件に基づく概算値）を示す。なお、引張側軟化特性については、下限値を用いた場合と同様に岡村・出雲モデルとし、付着特性を示すパラメータ c は 0.4 とする。図 1-2 にコンクリートの引張側応力－ひずみ関係を示す。

なお、コンクリートの引張強度については、上記の RC 規準以外に、コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（2002 年制定，土木学会）においても定義されているが、下記の通り、RC 規準の下限値と平均値の中間的な値であるため、このケースについては検討不要と判断した。

$$\begin{aligned} f_{tk} &= 0.23f'_{ck}{}^{\frac{2}{3}} \\ &= 2.33(\text{N/mm}^2) \end{aligned}$$

ここで、 f_{tk} ：コンクリート引張強度

f'_{ck} ：コンクリート圧縮強度（設計基準強度 330kg/cm²(32.3N/mm²))

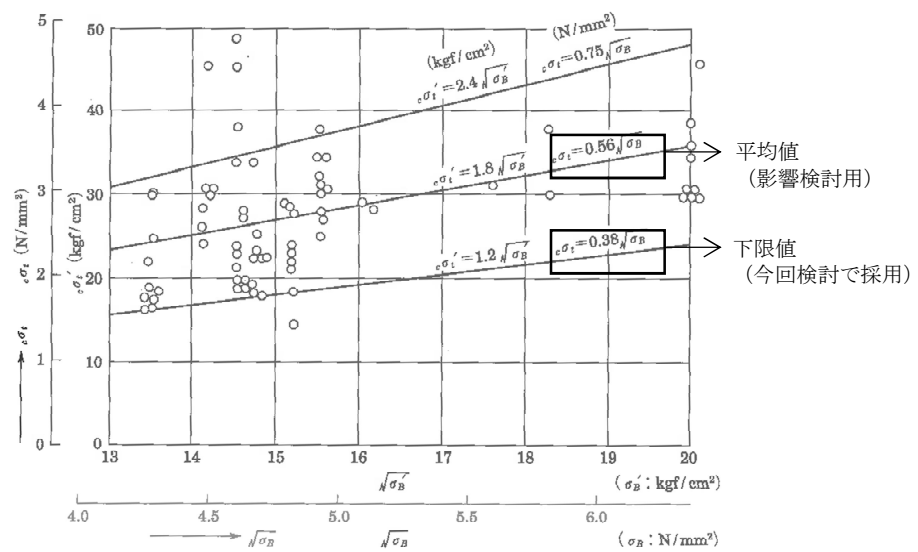


図 8.2 梁の曲げひび割れ時のコンクリート引張応力

図 1-1 コンクリートの引張強度 (RC 規準から抜粋)

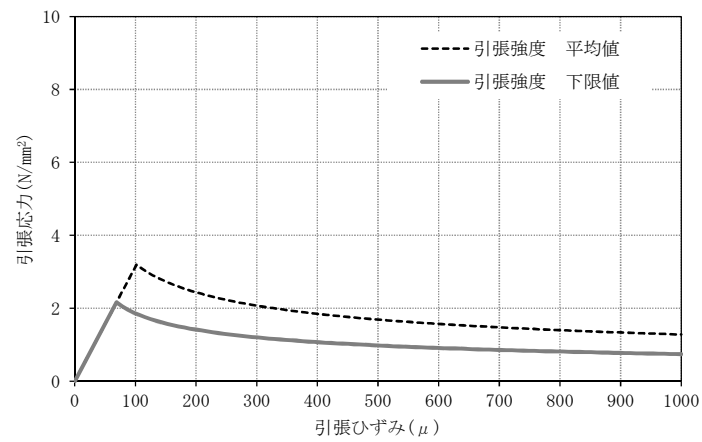


図 1-2 コンクリートの引張側応力-ひずみ関係

2. 検討結果

今回工認モデル（以下、下限値モデルとする）と、影響検討用のモデル（以下、平均値モデルとする）のシェル部一般部の子午線方向鉄筋のひずみを図 2-1 に、コンクリート最小主ひずみ分布を図 2-2 に示す。

図 2-1, 図 2-2 からコンクリート引張強度として, RC 規準による下限値を用いた場合は, 平均値を用いた場合に比べ, コンクリート, 鉄筋ともひずみが大きくなった。これは, コンクリートの引張軟化により剛性が低下するためである。

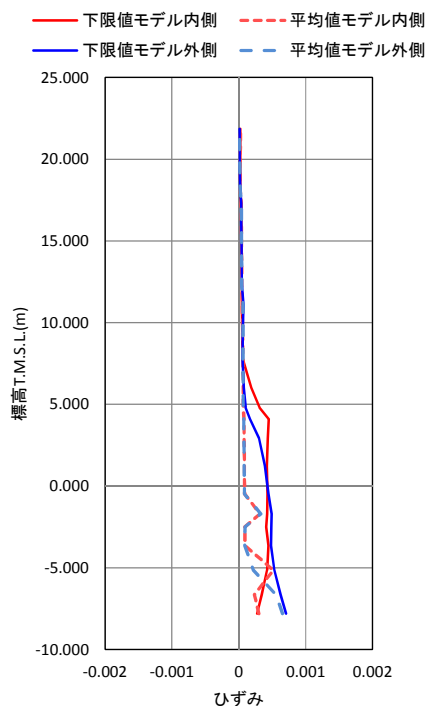
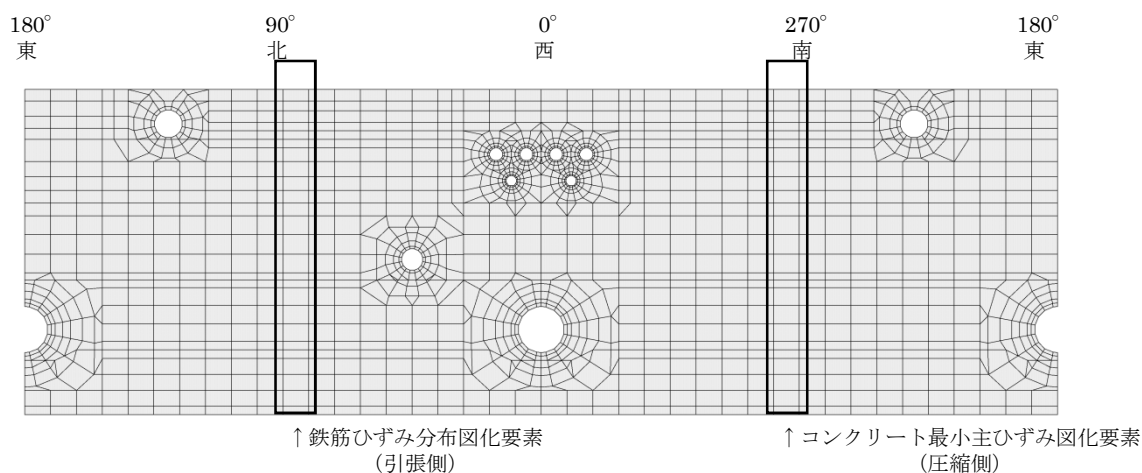


図 2-1 子午線方向鉄筋のひずみ

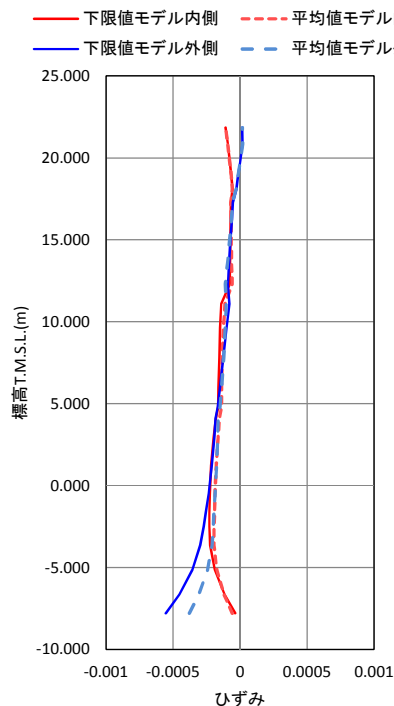


図 2-2 コンクリートの最小主ひずみ

3. まとめ

コンクリートの引張強度として、RC 規準に記載されている平均値と下限値を用いた場合の解析結果を比較して、コンクリートの引張強度の設定値が解析評価に与える影響を検討した。

その結果、下限値を用いた場合は、平均値を用いた場合に比べ、コンクリートと鉄筋のひずみが大きくなる傾向となることがわかった。このことからコンクリートの引張強度として、RC 規準に下限値として記載されている値を用いることは、躯体健全性評価に対して保守的な評価を与える設定であるといえる。

添付資料-4 コンクリート圧縮側の応力歪み曲線の折れ線近似について

コンクリート圧縮側の構成則の設定にあたって参照している CEB-FIP Model Code 1990 では、コンクリートの応力歪み関係はパラボラ型として定義されている。一方、今回工認の RCCV の解析にあたっては、原子炉建屋の地震応答解析における解析条件と整合させる観点から、コンクリート実剛性を考慮した上で、CEB-FIP Model Code 1990 に基づくパラボラ型を折れ線近似した応力ひずみ関係を用いて解析を実施する予定である。

今回工認で用いる予定の材料構成則について、折れ線近似を用いるにあたっての考え方を下記の①～③及び図-1 に示す。

- ① CEB-FIP Model Code 1990 に基づくパラボラ型の応力ひずみ曲線（図中破線）を算定する。算定式については、本編で示した（4.3）式を用いることとし、式に入力するコンクリート強度としては設計基準強度を用いる。
- ② 初期剛性（ヤング係数）については、原子炉建屋等の地震応答解析モデルと同様に実剛性を用いる方針であることから、「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説—許容応力度設計法—（1999）」に基づく算定式により、コンクリート実強度に基づく実剛性を算定する。なお、CCV 規格（CVE-3320）においても解析に用いる材料定数は本算定式を用いて設定することとされている。
- ③ CEB-FIP Model Code1990 によるパラボラ型の曲線が包絡する面積と、折れ線近似の応力ひずみ関係が包絡する面積が等価となる初期剛性上の折れ点を算出し、解析に用いる折れ線近似の応力ひずみ関係とする。

また、参考として、コンクリート強度に実強度を用いて CEB-FIP Model Code1990 によるパラボラ型の曲線を算定し、設計基準強度を用いたパラボラ型の曲線及び折れ線近似したものと比較した結果を図-2 に示す。これより、今回工認で使用する折れ線近似した応力歪み関係における初期剛性が、CEB-FIP Model Code の式に実強度を入力した場合の曲線の初期剛性と概ね整合していることが確認できる。

以上で示した通り、今回工認で採用予定のコンクリート圧縮側の応力歪み関係は、初期剛性を実剛性と整合させる観点から折れ線近似しているものの、包絡面積は CEB-FIP Model Code1990 に基づくパラボラ型（設計基準強度）と等価としており、保守性を損なうような近似方法ではないと考えられる。

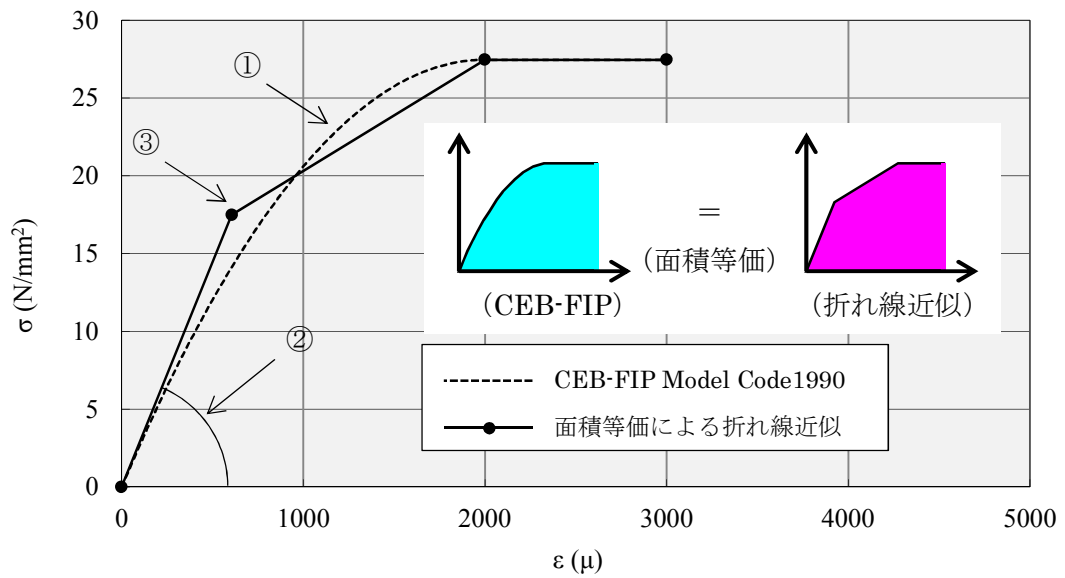


図-1 CCV 規格に基づくパラボラ型と折れ線近似の応力ひずみ関係

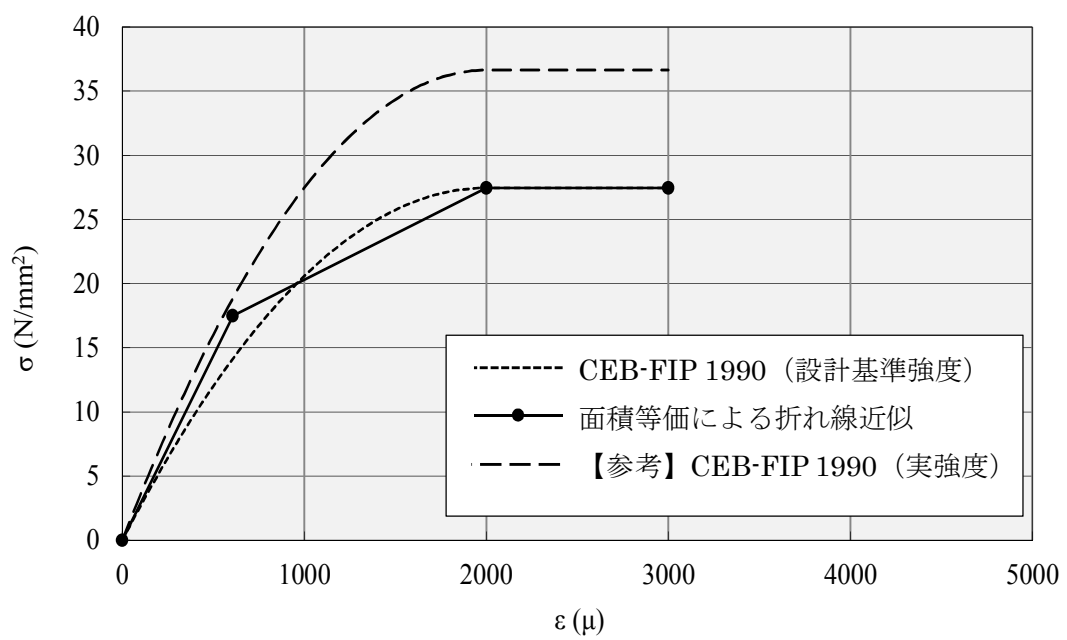


図-2 パラボラ型の曲線算定時に実強度を用いた場合との比較

柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉

土木構造物の解析手法および解析モデルの
精緻化について
(耐震)

1. 屋外重要土木構造物の評価手法の概要

屋外重要土木構造物の耐震評価について、今回工認では、屋外重要土木構造物の変位や変形をより実状に近い応答に適正化することを目的に、評価手法の高度化として、解析手法と減衰定数の変更を予定している。ここで、既工認は、柏崎刈羽原子力発電所 6 号機および 7 号機の工事計画認可（1991 年 8 月）をいう。既工認と今回工認との手法の比較を第 3-1-1 表に示す。

既工認との相違点のうち、解析手法として適用している「時刻歴応答解析，限界状態設計法」は、新規制基準対応工認にて適用例がある手法である。

なお、土木構造物の地震時の挙動は、地盤の影響を受けることを踏まえると、地盤特性を適切にモデル化することにより、実応答に近い形で評価できるものと考えられる。このため、コンクリート強度は、既工認と同じく設計基準強度を採用する方針とする。

第 3-1-1 表 既工認と今回工認との手法の比較

	解析手法	解析モデル	減衰定数	コンクリート強度
既工認	周波数応答解析 許容応力度法	地質データに基づく FEM モデル	構造物の減衰 5%	設計基準強度
今回工認	時刻歴応答解析 限界状態設計法	地質データに基づく FEM モデル	構造物の減衰 1% ＋履歴減衰	設計基準強度
比較結果	●異なる	○同じ	●異なる	○同じ
適用例	○あり	○あり	×なし	○あり

2. 解析手法

屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について、既工認では、地震応答解析手法として周波数応答解析を採用し、許容応力度法による設計として、構造部材の曲げについては許容応力度、せん断については許容応力度に対して妥当な裕度を持つことを確認することを基本としていた。

今回工認では、屋外重要土木構造物の地震応答解析手法に時刻歴応答解析を適用した、限界状態設計法による設計を採用する。減衰定数は、構造物の減衰 1%及び履歴減衰とする。構造部材の曲げについては限界層間変形角または許容応力度、せん断についてはせん断耐力または許容応力度に対して妥当な裕度を持つことを確認することを基本とし、各設備の要求性能（支持性能、通水性能、貯水性能）を踏まえて照査項目・内容を追加する。

以下では、今回工認で採用する限界状態設計法のうち、構造部材の曲げ照査に係る土木学会マニュアルの適用性およびせん断照査に係る土木学会マニュアルの適用性について検討を行う。

2. 1 曲げ照査に係る土木学会マニュアルの適用性について

今回の工認申請における曲げに対する照査は、「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005）」（以下，土木学会マニュアルという。）に基づき，照査用層間変形角が限界層間変形角を超えないことを確認する。

コンクリート標準示方書では，構造部材の終局変位は，部材の荷重－変位関係の骨格曲線において，荷重が降伏荷重を下回らない最大の変位として求めてよいとしている。コンクリート標準示方書による構造部材の終局変位の考え方を第 3-2-1 図に示す。

一方，土木学会マニュアルでは，以下の考え方に基づいている。

屋外重要土木構造物を模したラーメン構造の破壊実験の結果より，かぶりコンクリートが剥落すると荷重が低下し始める。層間変形角 1/100 に至る状態は，かぶりコンクリートの剥落が発生する前の状態であることを確認しており¹²⁾，荷重が低下しない範囲にある。当該限界値を限界状態とすることで，構造全体としての安定性が確保できるものとして設定されたものである。ラーメン構造の破壊実験の例を第 3-2-2 図に示す。

従って，土木学会マニュアルによる曲げ照査手法は，コンクリート標準示方書による照査よりも安全側の評価を与えるため，適用性を有している。

さらに，土木学会マニュアルでは，日本建築学会の「鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針（案）・同解説（1997）」にて記載されている設計限界変形 1/100，終局限界変形 1/80 等を基準値として参照している。

対象は同じラーメン構造であり，軸力比（軸応力度／コンクリート圧縮強度比）は建築物よりも屋外重要土木構造物の方が小さいと考えられることから，変形性能がより大きくなる傾向にあり，層間変形角 1/100 は安全側であると考ええる。機能維持確保の観点からも耐荷性能が確保されることが担保できるため限界値として適切である。

参考に，建築学会における曲げ降伏先行型の部材について，復元力特性と限界状態（損傷度）の関係の概念図を第 3-2-3 図に，土木学会マニュアルにおける鉄筋コンクリートはり部材の荷重変位関係と損傷状態に対する概念図を第 3-2-4 図に示す。建築学会と土木学会マニュアルにおいて概ね対応が取れており，土木学会マニュアルの各損傷状態の設定は妥当であると考えられる。第 3-2-4 図において層間変形角 1/100 は第 4 折れ点よりも手前にあり，屋外重要土木構造物の限界状態に至っていないと考えられる。また，第 3 折れ点は層間変形角 1/100 よりもさらに手前にある。

耐震安全性評価では、当該許容限界値に対して、妥当な安全余裕を確保するため、構造部材の照査の過程において複数の安全係数を考慮する。安全係数は、材料係数、部材係数、荷重係数、構造解析係数及び構造物係数の 5 種に分けられる。それぞれの安全係数の考え方を第 3-2-5 図に示す。また、地盤物性のばらつきの考慮として、周辺地盤の変形特性について、平均値を基本ケースとした場合に、平均値 $\pm 1.0 \times$ 標準偏差(σ) のケースにおける影響の程度を安全係数として考慮した照査を、工事計画認可段階において実施する。

曲げに対する照査において考慮している安全係数は第 3-2-1 表に示すとおり、材料係数、部材係数、荷重係数、構造解析係数、構造物係数がある。これらの安全係数は土木学会マニュアルにおいて以下の考えにより定められている。

(1) 材料係数

コンクリート強度の特性値は、製造において、その値を下回る強度が発現する確率が 5% 以内となるように設定する。また、鉄筋の機械的性質の特性値に関しても、日本工業規格 (JIS) の規格範囲の下限値を設定してよいとしている。このように、双方とも特性値の段階で実強度に対して小さい値を設定しており、応答値・限界値ともに安全側の照査がなされているため、材料係数は 1.0 としている。

(2) 部材係数

安全側に配慮した設定を行っていることから、部材係数は 1.0 としている。

(3) 荷重係数

地震の影響以外の荷重の評価精度は、かなり高いものと考えられ、地震の影響については入力地震動そのものが最近の研究成果に基づいて設定されるため、荷重係数は 1.0 としている。

(4) 構造解析係数

限られた条件での実験であること、地盤パラメータの設定が応答解析結果に及ぼす影響などを考え併せて、構造解析係数は 1.2 以上を標準としている。

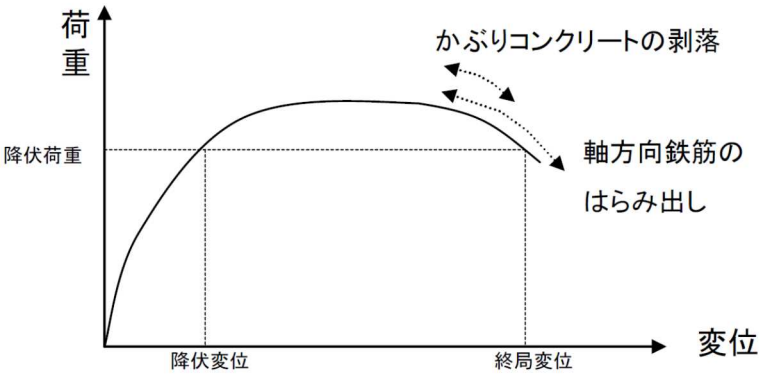
(5) 構造物係数

屋外重要土木構造物は重要度毎に適切な地震動が設定される。従って、構造物係数によりさらに構造物の重要性を考慮する必要はなく、耐震性能照査における構造係数は 1.0 としている。

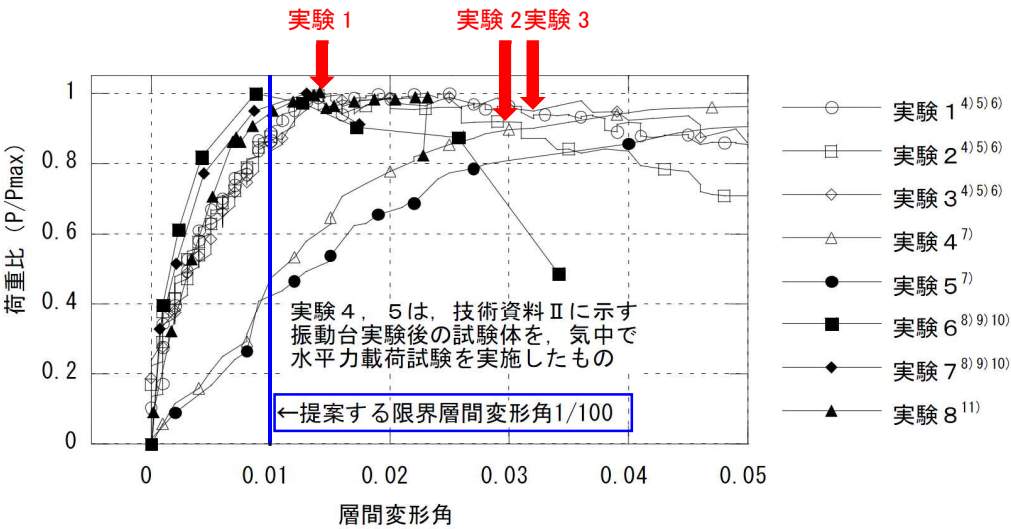
以上のことから、土木学会マニュアルによる曲げ照査手法は、コンクリート標準示方書による照査よりも安全側の評価を与えるため、技術的妥当性及び適用性を有するとともに適切な余裕が確保されていると判断できる。

第 3-2-1 表 曲げ評価において考慮している安全係数

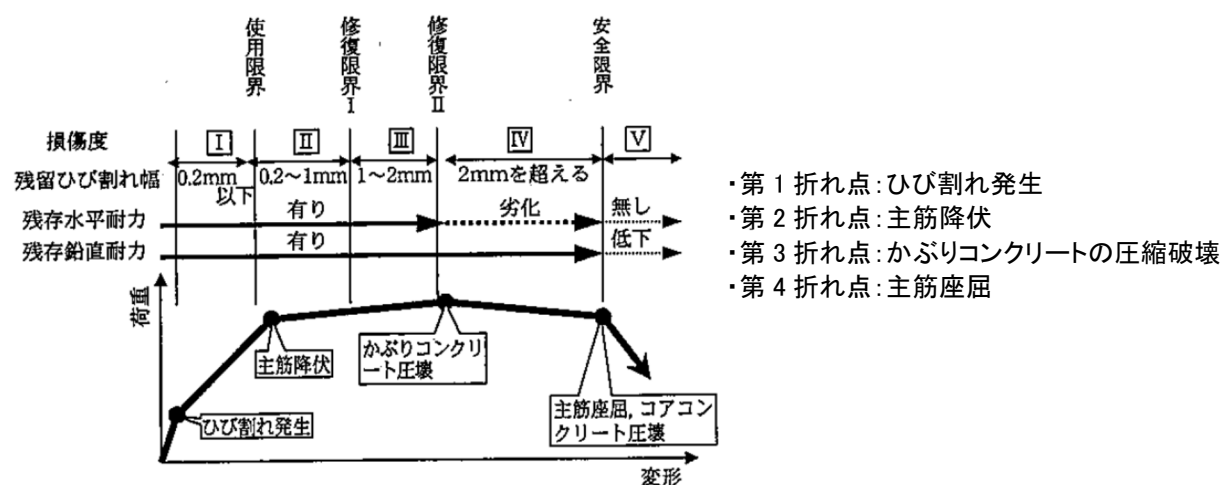
安全係数		曲げ照査	
		応答値算定	限界値算定
材料係数	コンクリート	1.0	1.0
	鉄筋	1.0	1.0
	地盤	1.0	－
部材係数		－	1.0
荷重係数		1.0	－
構造解析係数		1.2	－
構造物係数		1.0	



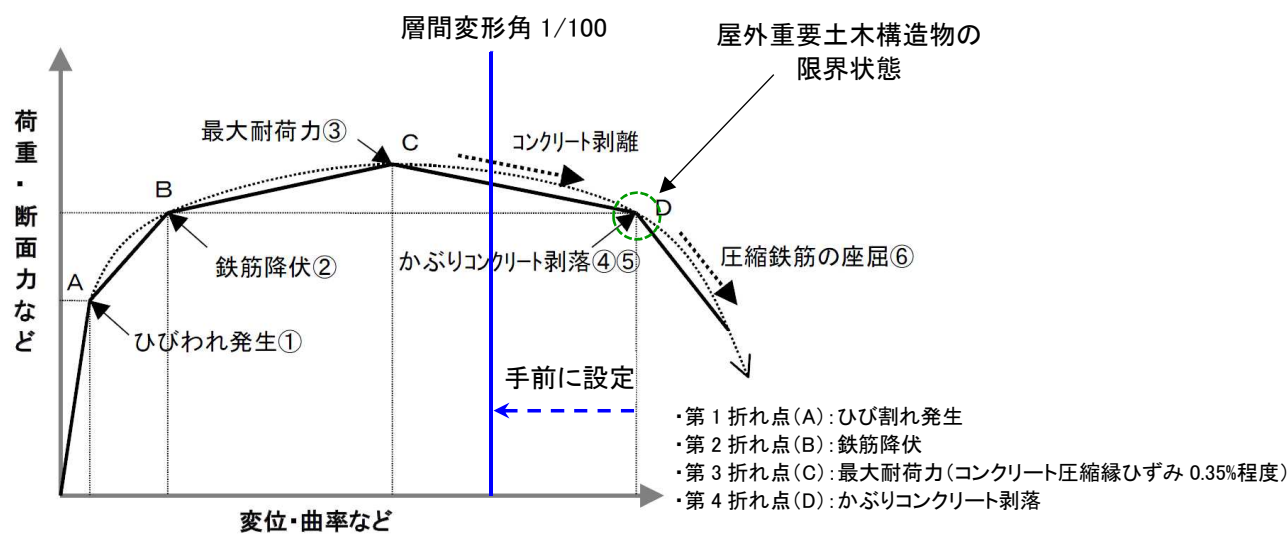
第 3-2-1 図 コンクリート標準示方書による構造部材の終局変位の考え方



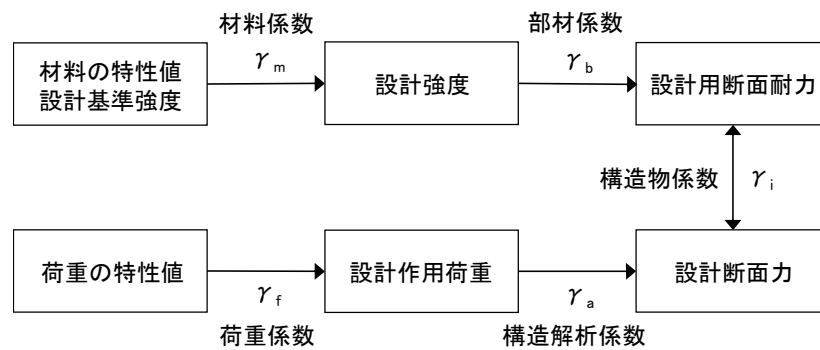
第 3-2-2 図 鉄筋コンクリート製ラーメン構造の破壊実験例 ¹⁾²⁾



第 3-2-3 図 曲げ降伏先行型の部材の復元力特性と限界状態（損傷度）
の関係の概念図（建築学会）



第 3-2-4 図 鉄筋コンクリートはり部材の荷重変位関係と損傷状態に対する概念図
(土木学会マニュアル)



※上記に加えて、地盤物性のばらつきに関する安全係数を考慮する

第 3-2-5 図 安全係数の考え方

【参考文献】

- 1)松尾ら：コンクリート製地中構造物の合理的な耐震性能評価指標に関する検討，土木学会地震工学論文集,2003
- 2)石川ら：鉄筋コンクリート製地中構造物の変形性状と損傷状態に関わる実験的考察，第 26 回地震工学研究発表会公演論文集，pp885-888

2. 2 セン断照査に係る土木学会マニュアルの適用性について

今回の工認申請におけるせん断に対する照査は、土木学会マニュアルに基づき、照査用せん断力が、せん断耐力を下回ることを確認する。

2. 2. 1 セン断耐力評価式

コンクリート標準示方書では、棒部材及びディープビームについて第 3-2-2 表に示すとおり のせん断耐力式を定義している。このうち、ディープビームについては、コンクリート標準示方書及び土木学会マニュアルにおいて同様の評価式となっている。

土木学会マニュアルでは、コンクリート標準示方書におけるせん断耐力式のうち棒部材式において、等価せん断スパンにより設定可能な係数 β_a を考慮している。これは屋外重要土木構造物が地中に埋設されたラーメン構造で、土圧、水圧、地震時慣性力等の多数の分布荷重が作用していることによる分布荷重が卓越し、スパン内に反曲点が存在する等の載荷形態にある条件下では、せん断耐力が増大するという実験的知見を踏まえ、より合理的なせん断耐力を与えるよう、コンクリート標準示方書のせん断耐力式を精緻化したものである。当該せん断耐力式は、第 3-2-7 図に示すとおり、屋外重要土木構造物を模した破壊試験より得られるせん断耐力と整合的であり、合理的な評価が可能であることを確認されている¹⁾²⁾。

また、これら多数の荷重の複合作用を個々に分解することは困難であることから、せん断耐力の算定時に個々の荷重作用を区分せず最終的な設計用断面力分布を用いて合理的なせん断耐力を算定することとしている¹⁾。

耐震安全性評価では、当該許容限界値に対して、妥当な安全余裕を確保するため、構造部材の照査の過程において複数の安全係数を考慮する。安全係数は、材料係数、部材係数、荷重係数、構造解析係数及び構造物係数の 5 種に分けられる。それぞれの安全係数の考え方を第 3-2-6 図に示す。また、地盤物性のばらつきの考慮として、周辺地盤の変形特性について、平均値を基本ケースとした場合に、平均値 $\pm 1.0 \times$ 標準偏差(σ) のケースにおける影響の程度を安全係数として考慮した照査を、工事計画認可段階において実施する。

せん断に対する照査において考慮している安全係数は第 3-2-3 表に示すとおり、材料係数、部材係数、荷重係数、構造解析係数、構造物係数がある。これらの安全係数は土木学会マニュアルにおいて以下の考えにより定められている。

(1) 材料係数

限界値算定時に適用する材料係数はコンクリート標準示方書に準拠して、コンクリートに対して 1.3、鉄筋に対して 1.0 としている。応答値算定時に適用する材料係数は、コンクリートと鉄筋の物性値が、特性値の段階で実強度に対して小さい値を設定していることから安全側の照査がなされているため、材料係数は 1.0 としている。

(2) 部材係数

コンクリート標準示方書に準拠して、コンクリート寄与分に対して 1.3, 鉄筋寄与分に対して 1.1 としている。

(3) 荷重係数

地震の影響以外の荷重の評価精度は、かなり高いものと考えられ、地震の影響については入力地震動そのものが最近の研究成果に基づいて設定されるため、荷重係数は 1.0 としている。

(4) 構造解析係数

変形に関する応答値の評価精度に比較して、断面力に関する応答値の評価精度は高いと考えられることから、変形照査の場合より低減させて 1.05 としている。

(5) 構造物係数

基準地震動は地点毎にサイト特性を考慮して設定され、重要度分類に対応して入力地震動が選定される。従って、構造物係数よりさらに構造物の重要性を考慮する必要はなく、耐震性能照査における構造係数は 1.0 としている。

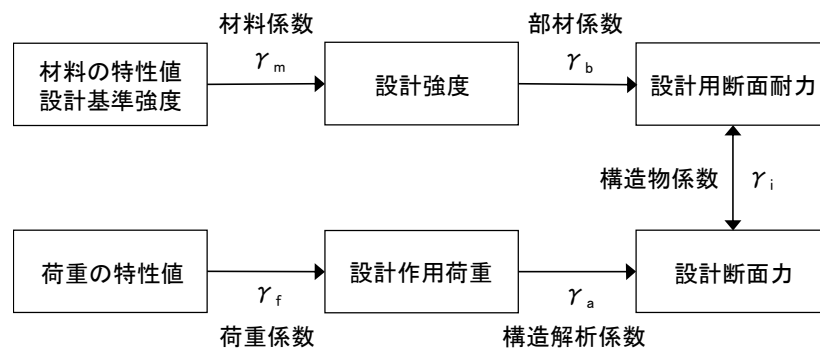
以上のことから、土木学会マニュアルによるせん断照査手法は、屋外重要土木構造物の構造的特徴を踏まえ設定された手法であるため、技術的妥当性及び適用性を有すると判断できる。

第 3-2-2 表 せん断耐力式の比較表

	コンクリート標準示方書	土木学会マニュアル
棒 部 材	$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$ V_{yd} : せん断耐力 V_{cd} : コンクリート負担 V_{sd} : せん断補強筋負担 $V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$ β_d, β_p : 構造寸法や鉄筋量で決まる係数 β_n : 発生曲げモーメントで決まる係数 f_{vcd} : 設計基準強度, 安全係数等で決まる b_w : 腹部の幅 d : 有効高さ γ_b : 安全係数	$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$ V_{yd} : せん断耐力 V_{cd} : コンクリート負担 V_{sd} : せん断補強筋負担 $V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$ β_d, β_p : 構造寸法や鉄筋量で決まる係数 β_n : 発生曲げモーメントで決まる係数 $\beta_a = 0.75 + \frac{1.4}{a/d}$ f_{vcd} : 設計基準強度, 安全係数等で決まる b_w : 腹部の幅 d : 有効高さ γ_b : 安全係数
	せん断スパンより設定される係数 β_a を考慮し コンクリート標準示方書のせん断耐力式を精緻化	
デ イ ー プ ビ ーム	$V_{yda} = V_{cda} + V_{sda}$ V_{yda} : せん断耐力 V_{cda} : コンクリート負担 V_{sda} : せん断補強筋負担 $V_{cda} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{da} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$ $\beta_a = \frac{5}{1 + (a_v/d)^2}$ a_v : 荷重作用点から支承前面までの距離 f_{da} : 設計基準強度, 安全係数等で決まる	$V_{yda} = V_{cda} + V_{sda}$ V_{yda} : せん断耐力 V_{cda} : コンクリート負担 V_{sda} : せん断補強筋負担 $V_{cda} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{da} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$ $\beta_a = \frac{5}{1 + (a_v/d)^2}$ a_v : 荷重作用点から支承前面までの距離 f_{da} : 設計基準強度, 安全係数等で決まる
	同一の評価式	

第 3-2-3 表 せん断耐力評価において考慮している安全係数

安全係数		せん断照査	
		応答値算定	限界値算定
材料係数	コンクリート	1.0	1.3
	鉄筋	1.0	1.0
	地盤	1.0	—
部材係数	コンクリート	—	1.3
	鉄筋	—	1.1
荷重係数		1.0	—
構造解析係数		1.05	—
構造物係数		1.0	



※上記に加えて、地盤物性のばらつきに関する安全係数を考慮する

第 3-2-6 図 安全係数の考え方

(第 3-2-5 図の再掲)

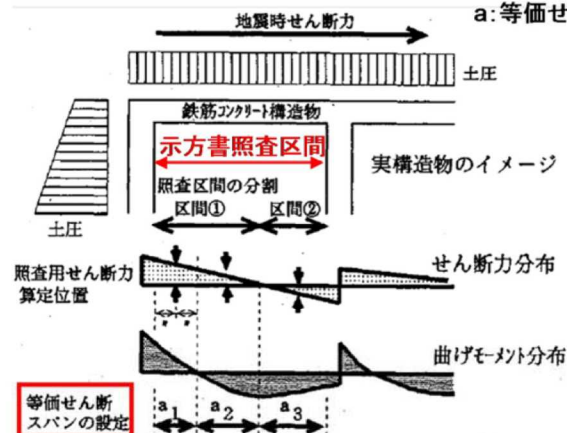
○コンクリート標準示方書におけるせん断耐力評価式 $V_{yd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$
 2点载荷の単純はりの実験結果に基づいた単純な载荷形態あるいは単純な断面力分布は精度良くせん断耐力を評価する。
 <問題点>
 ・分布荷重が卓越する場合、支点付近に大きな荷重が加わる場合および支点反力が大きい場合において、せん断耐力を過小評価する。
 ○地中構造物を模擬した実験によるせん断耐力評価式
 地中に埋設されたラーメン構造で、分布荷重が卓越、スパン内に反曲点が存在する等複雑な载荷形態を考慮してせん断耐力を評価する。

合理的なせん断耐力評価式の提案(土木学会マニュアル)¹⁾

$$V_{yd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$$

$$\beta_a = 0.75 + 1.4 / (a/d)$$

a: 等価せん断スパン長

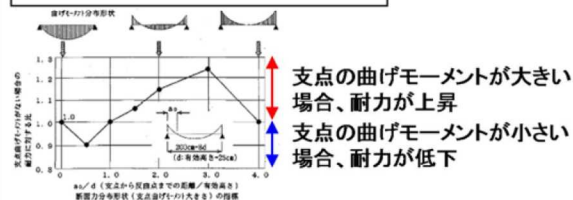


連続はり実験結果(分布荷重の影響)²⁾

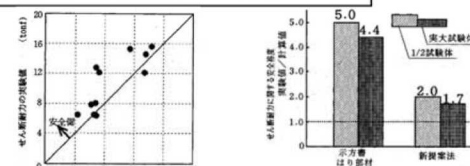
示方書が対象とした载荷形態 地中構造物を模擬した载荷形態

終局耐力: 10.3tf → 終局耐力: 17.1tf
約70%増加

連続はり実験結果(反曲点の影響)¹⁾



連続はりの実験結果による検証¹⁾



示方書と比較して実験結果に整合する合理的な評価

第 3-2-7 図 土木学会マニュアルによるせん断耐力式評価の設定経緯

(6) 安全上適切と認められる規格及び基準を用いた評価について

屋外重要土木構造物の耐震安全性については、屋外重要土木構造物の構造上の特徴を踏まえ、土木学会マニュアルに基づき評価を実施しているが、当該マニュアルについては工認審査ガイドにおいて「安全上適切と認められる規格及び基準等」として取り扱われていない。このため代表構造物について、工認審査ガイドにおいて「安全上適切と認められる規格及び基準等」として適用可能な規格及び基準等に準拠した評価を実施し、土木学会マニュアルの評価結果と比較することで、現在の評価が妥当であることを確認する。

評価項目のうち、構造部材の曲げについては、工認審査ガイドにおいて「安全上適切と認められる規格及び基準等」として取り扱われているコンクリート標準示方書よりも保守的な手法を用いていることから、ここでは、耐震裕度が厳しい構造部材のせん断に対して検討を実施する。

検討では、基準地震動 S_s による地震応答解析により得られた応答値を用い、「安全上適切と認められる規格及び基準等」として、工認審査ガイド記載の原子力施設鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説（（社）日本建築学会，2005 制定）（以下，建築学会基準という）によるせん断照査結果と比較を行うことで、土木学会マニュアルによるせん断照査が妥当であることを確認する。

【参考文献】

- 1)原子力土木委員会・限界状態設計部会：原子力発電所・鉄筋コンクリート製屋外重要土木構造物への限界状態設計法の適用-安全性照査マニュアルの提案-，土木学会論文集 No.442/V-16
- 2)遠藤ら：鉄筋コンクリート製地中構造物の限界状態に用いるせん断耐力評価法，電力中央研究所報告
- 3)（社）日本建築学会：原子力施設鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説

2. 2. 2 材料非線形解析を用いたせん断耐力評価

構造部材の照査において発生するせん断力が、せん断耐力式によるせん断耐力を上回る部材については、以下で示す材料非線形解析を用いたせん断耐力評価を実施する。

(1) 評価条件

2. 2. 1 で示したせん断耐力式は、既往の実験等から一般化されたものであることから、構造部材の形状、作用荷重及び RC の非線形特性を踏まえた材料非線形解析を実施することにより、より高い精度でせん断耐力を求め、構造部材のせん断照査を行う。

第 3-2-4 表及び第 3-2-5 表に材料非線形解析の概要を示す。

材料非線形解析は、90 年代までに、ひび割れの進展モデルや破壊エネルギーの概念等、基本となるモデルが提示され、様々な問題に適用されながら有効性と信頼性を高めており、「コンクリート標準示方書 設計編（土木学会，2012）」や「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005）」等で取り扱われている。

材料非線形解析にて用いる RC の構成則については種々あるが、ここでは、現在までに実務でも使用され、適用性と信頼性が確認されており、「コンクリート標準示方書 設計編（土木学会，2012）」において標準とされる以下の手法とする。

- ① 鉄筋とコンクリートとの一体性を前提とする分散ひび割れモデルにてモデル化する。
- ② 鉄筋との複合作用が支配的な鉄筋周辺のコンクリートについては、平均化構成則を用いる。
- ③ 鉄筋との複合作用が及ばない領域では、コンクリートの破壊力学の概念を導入する。

なお、材料非線形解析の適用にあたっては、当該構造物の構造的な特徴や荷重条件が類似する既往の実験等から得られたせん断耐力と、材料非線形解析によるせん断耐力を比較し、その適用性を判断した上で、モデル化や各種パラメータの設定に係る解析者の差を考慮した安全係数を設定する。

第 3-2-4 表 材料非線形解析の位置付け

区分	限界状態	選択される標準的な解析手法と耐震性能に用いる物理量	
1	構造物の部材が降伏に至らない	①	① 線形解析 ・鉄筋及びコンクリートの最大応力 ・最大せん断応力
2	構造物が最大耐力に至らない	②	② 等価線形解析 ・鉄筋及びコンクリートの最大応力 ・最大せん断応力，最大せん断力 ・最大曲げモーメント
		③	③ 部材非線形解析 ・最大曲げモーメント ・最大曲率，最大変位 ・最大層間変形角，最大せん断力
3	構造物が崩壊しない	④	④ 材料非線形解析 ・最大変位 ・最大層間変形角 ・最大ひずみ，最大せん断力

第 3-2-5 表 部材非線形解析と材料非線形解析の特徴

	部材非線形解析	材料非線形解析		
モデル化	骨組モデル	有限要素		
解析次元	1 次元		2 次元	3 次元
構成則	M-φ，M-θ 等	応力-ひずみ関係		
要素	はり要素	ファイバー要素	平面ひずみ要素	立体要素
特徴	(汎用性)	狭い	←	→ 広い
	(解析時間)	短い	←	→ 長い

1) 適用基準

材料非線形解析については，土木学会マニュアル，コンクリート標準示方書 設計編（土木学会，2012）等に基づき実施する。基準と異なる設定を用いる場合には，設定根拠の妥当性を確認する。

第 3-2-6 表に参考とする主な基準・文献を示す。

第 3-2-6 表 参考とする主な基準等

項 目	参考とする主な基準等	備 考
材料定数・材料特性	・コンクリート標準示方書 ・土木学会マニュアル	—
許容限界	—	・既往文献等より設定した許容限界（破壊基準）が，部材係数の設定における材料非線形解析にて，実験結果と整合的であることを確認。

2) 材料定数

耐震評価に用いる材料定数は，設計図書及び文献等を基に設定する。コンクリート及び鉄筋の材料定数を第 3-2-7 表及び第 3-2-8 表に示す。

第 3-2-7 表 コンクリートの材料定数

	設定値	諸 元
単位体積重量	0.0kN/m ³	材料非線形解析による荷重に含まれることから考慮しない)
圧縮強度	18.1 N/mm ²	設計基準強度（設計図書 23.5N/mm ² ） ／材料係数（ $\gamma_{mc}=1.3$ ）
引張強度	1.45N/mm ²	引張強度（コ示）／材料係数
圧縮ピークひずみ	0.2%	コンクリート標準示方書
ひび割れ－せん断 伝達係数	1.0	コンクリート標準示方書
破壊エネルギー	0.0768N/mm	コンクリート標準示方書

第 3-2-8 表 鉄筋の材料定数

		設定値	諸 元
単位体積重量		0.0kN/m ³	材料非線形解析による荷重に含まれることから考慮しない)
ヤング係数		200kN/mm ²	コンクリート標準示方書
降伏 強度	主鉄筋	2000N/mm ²	せん断破壊先行型の破壊形態となるよう、曲げ耐力が増大するように設定
	せん断補強筋	345 N/mm ²	設計図書

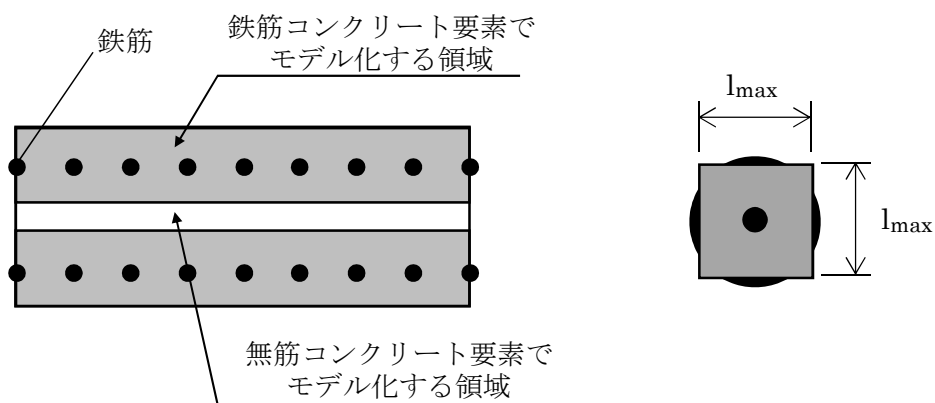
3) 解析モデルの要素分割

材料非線形解析の対象とする構造部材を平面ひずみ要素にてモデル化する。構造部材のモデル化にあたっては、第 3-2-8 図に示すとおり、鉄筋の付着が有効な領域を鉄筋コンクリート要素としてモデル化し、付着の影響が及ばない領域を無筋コンクリートとしてモデル化する。

部材厚方向の要素分割数については、鉄筋を含む要素と無筋要素を明確に指定できる分割数が望ましいこと及び 3 層以上の分割数をとる場合、解析結果に大きな差異が生じない¹⁾ ことから 3 層以上に設定することとする。

具体的には、鉄筋を含む要素は、鉄筋を中心としてかぶり厚さの 2 倍とし、無筋領域については、要素形状が極端に扁平とならないように分割する。

なお、対象とする構造部材に接合する部材は、弾性要素でモデル化し、モデル下端を固定境界とする。



$$l_{max} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} D_b \sqrt{\frac{f_y}{f_t}}$$

ここに、 l_{max} : 鉄筋一本当たりの付着有効面積を正方形で考えた場合の一辺の長さ

D_b : 鉄筋の直径

f_y : 鉄筋の降伏強度

f_t : コンクリートの引張強度

第 3-2-8 図 鉄筋付着有効領域と無筋領域の分割の概要

4) コンクリートの非線形特性

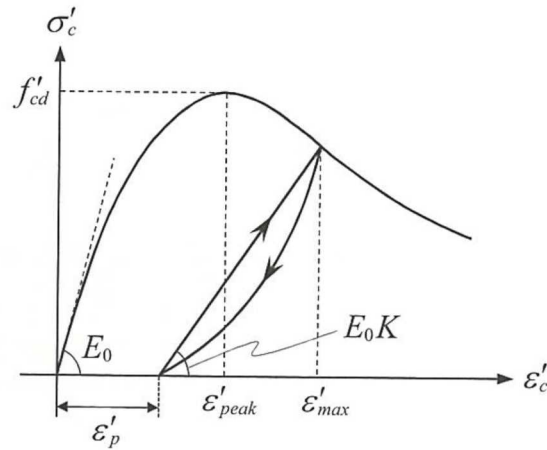
耐震評価に用いる要素は鉄筋コンクリート要素および無筋コンクリート要素に分類されるが、それぞれの非線形特性は同一の考え方で表される。

・圧縮応力下における応力－ひずみ関係

第 3-2-9 図における一軸圧縮応力下における応力－ひずみ関係を示す。

圧縮応力下の応力－ひずみの骨格曲線は、最大応力点までの硬化域と、最大応力点を越えた軟化域で表され、残留塑性ひずみと除荷再載荷時の剛性低下を考慮している。

また、ひび割れ発生後のコンクリートの圧縮強度については、第 3-2-10 図に示す、低減係数を破壊パラメータに乗じることで、ひび割れ発生後の圧縮強度の低下を考慮する。



$$\sigma'_c = E_0 K (\varepsilon'_c - \varepsilon'_p) \geq 0$$

$$E_0 = \frac{2 \cdot f'_{cd}}{\varepsilon'_{peak}}$$

$$K = \exp \left\{ -0.73 \frac{\varepsilon'_{max}}{\varepsilon'_{peak}} \left(1 - \exp \left(-1.25 \frac{\varepsilon'_{max}}{\varepsilon'_{peak}} \right) \right) \right\}$$

$$\varepsilon'_p = \varepsilon'_{max} - 2.86 \cdot \varepsilon'_{peak} \left\{ 1 - \exp \left(-0.35 \frac{\varepsilon'_{max}}{\varepsilon'_{peak}} \right) \right\}$$

ここに、 $f'_{cd} = f'_{ck} / \gamma_c$

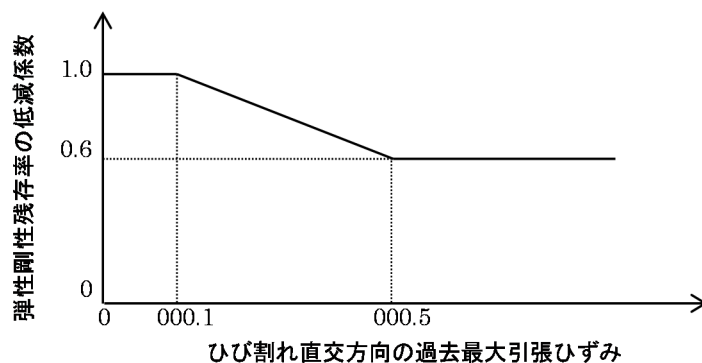
ε'_{peak} : 圧縮強度に対応するひずみ (一般に、0.002 としてもよい)

ε'_{max} : 過去に受けた圧縮ひずみの最大値

ε'_p : 塑性ひずみ

K : 弾性剛性残存率

第 3-2-9 図 圧縮応力下におけるコンクリートの非線形特性

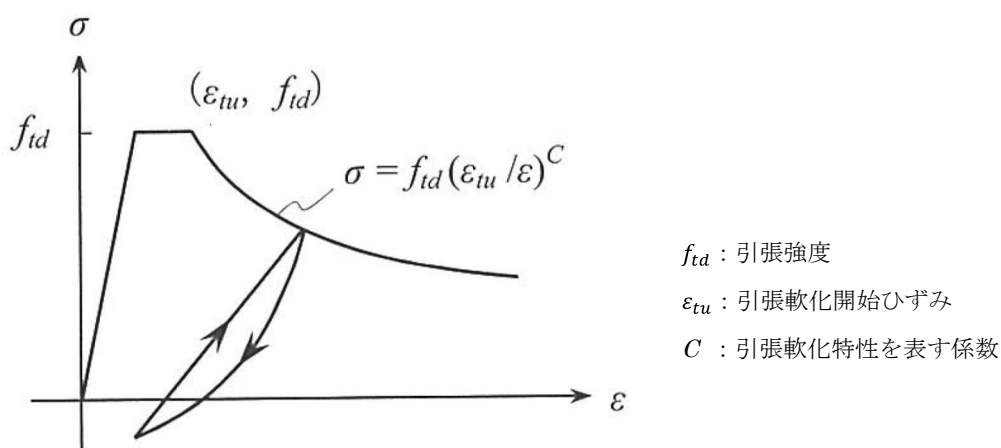


第 3-2-10 図 弾性剛性残存率の低減係数

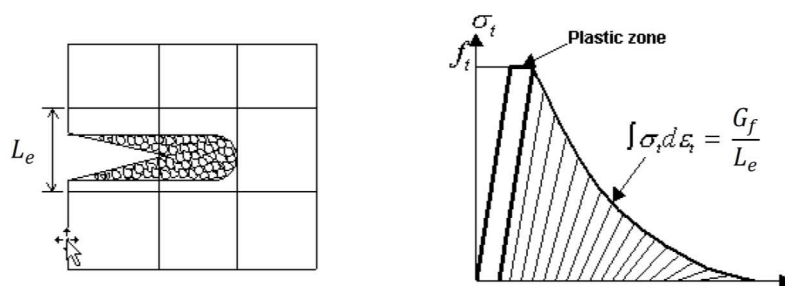
・引張応力下における応力－ひずみ関係

引張応力下における応力－ひずみ関係は，ひび割れ発生までは線形弾性とし，ひび割れ強度以降は，鉄筋とコンクリートの付着の影響等を考慮し，第 3-2-11 図に示す骨格曲線を用いて，ひび割れ間のコンクリートに引張応力分担を考慮する。

引張力を受ける無筋コンクリート要素では，引張軟化挙動は，破壊エネルギー（ G_f ）によって定義する。引張軟化挙動の考慮にあたっては，第 3-2-12 図に示すひび割れ発生後の軟化曲線とひび割れ発生点からの除荷曲線とで囲まれる面積が G_f/Le （要素寸法）に一致するように，軟化特性を表す係数 C を用いる。



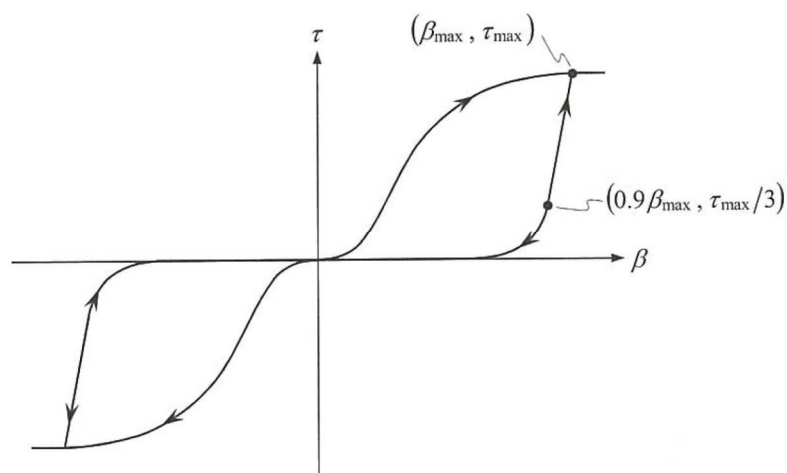
第 3-2-11 図 引張対応力下における鉄筋とコンクリートの付着効果を考慮した
応力－ひずみ関係

第 3-2-12 図 応力－ひずみ曲線と破壊エネルギー G_f の関係

・ ひび割れ面でのせん断伝達関係

コンクリートのひび割れ発生後にひび割れ角度を固定する固定ひび割れモデルでは，ひび割れ面のずれによるせん断応力伝達特性を考慮する必要がある。

ひび割れ面でのせん断伝達挙動は，斜めひび割れの発生に伴う剛性低下や破壊を評価するため，第 3-2-13 図に示すとおり，ひび割れ面におけるせん断ひずみ γ とひび割れ開口ひずみ ε の比をパラメータとし，コンクリートの剛性低下を考慮するモデルを用いる。



β : ひび割れ面におけるせん断ひずみ γ とひび割れ開口ひずみ ε の比(γ/ε)

τ : ひび割れ面でのせん断応力

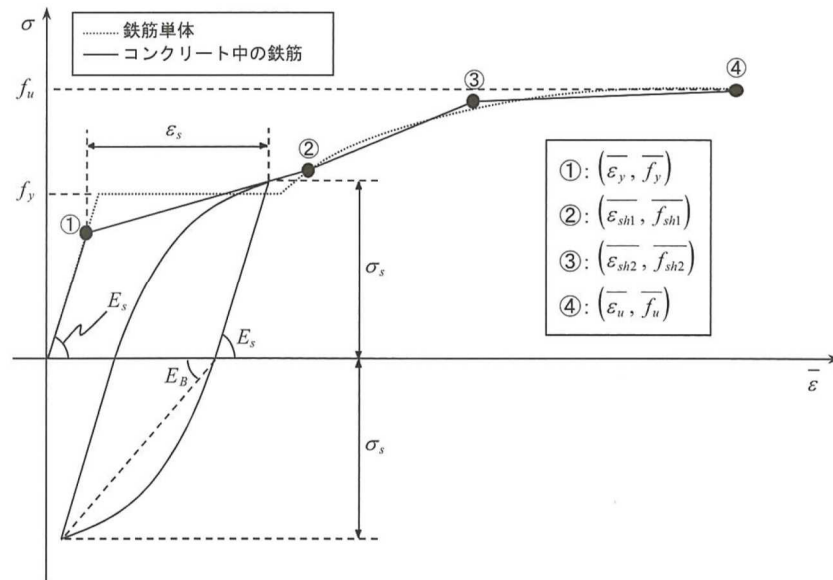
τ_{max} : 除荷開始時せん断応力

β_{max} : 除荷開始時せん断ひずみ γ とひび割れ開口ひずみ ε の比

第 3-2-13 図 ひび割れ面でのせん断伝達モデル

5) 鉄筋の非線形特性

ひび割れを複数含む領域におけるコンクリート中の鉄筋の平均応力－平均ひずみ関係は、単体鉄筋の応力－ひずみ関係と異なり、第 3-2-14 図に示すひずみ硬化特性を考慮する。



第 3-2-14 図 ひずみ硬化域までモデル化した鉄筋の平均応力－平均ひずみ関係

6) 鉄筋コンクリートとしてのモデル化

コンクリートと鉄筋の界面の付着特性をテンションスティフニング効果（引張特性が硬化する現象）として、鉄筋コンクリート要素の中に取り込むことにより、鉄筋コンクリートの構成則を直接与える。

鉄筋コンクリートの引張応力下の平均応力は、以下の式で表される。

$$\bar{\sigma}_{RC} = \frac{A_s}{A_{RC}} \bar{\sigma}_s + \frac{A_c}{A_{RC}} \bar{\sigma}_c$$

ここに、 $\bar{\sigma}_{RC}$ 、 $\bar{\sigma}_c$: それぞれ鉄筋とコンクリートの平均応力

A_s 、 A_c : それぞれ鉄筋とコンクリートの断面積、 $A_{RC} = A_s + A_c$

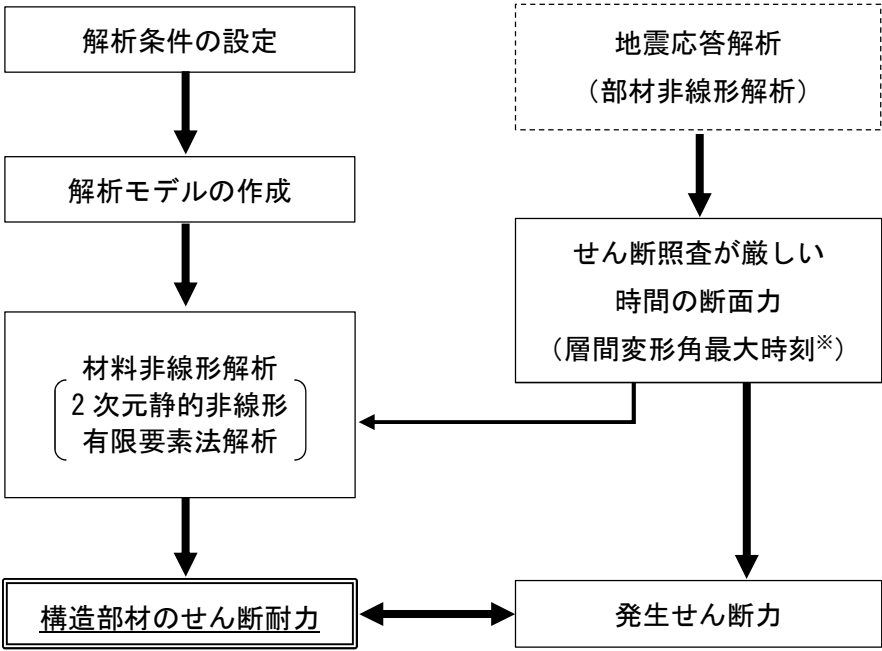
7) 荷重の組合せ

材料非線形解析においては、地震応答解析（部材非線形解析）により得られた荷重を用いることから、荷重の組み合わせは、地震応答解析と同様である。

(2) 評価方法

1) 耐震安全性評価フロー

材料非線形解析を用いたせん断耐力評価の評価フローを第 3-2-15 図に示す。



※層間変形角が最大となる時刻と、せん断力が最大となる時刻の整合性は、補足確認する。

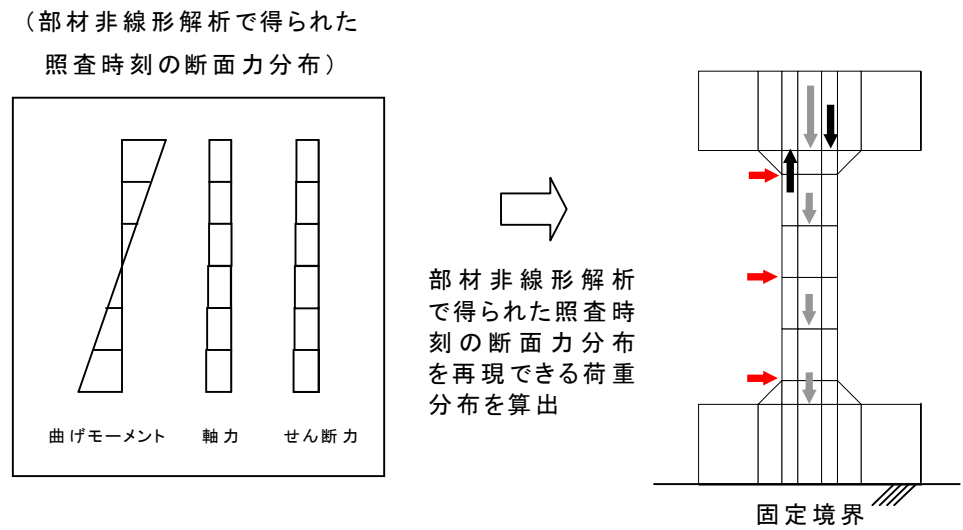
第 3-2-15 図 材料非線形解析の耐震安全性評価フロー

2) 荷重の設定

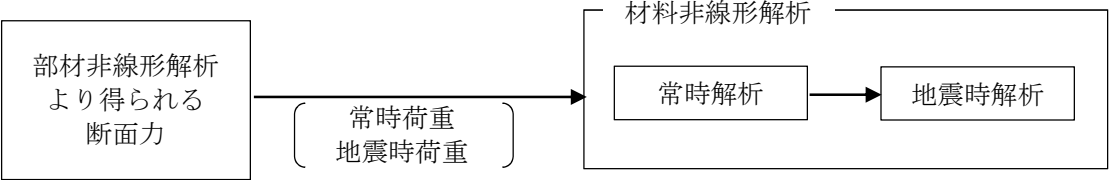
材料非線形解析にて考慮する荷重は、地震応答解析（部材非線形解析）から得られる荷重を考慮する。具体的には、地震応答解析（部材非線形解析）で評価対象部材のせん断照査結果が厳しくなる時刻（層間変形角最大時）における断面力（曲げモーメント，軸力，せん断力）を材料非線形解析モデルに第 3-2-16 図に示すとおりに作用させる。

材料非線形解析では、部材非線形解析で得られた照査時刻の断面力分布を再現できる荷重分布を算出し、この荷重比率を維持しながら漸増载荷する。

作用荷重は、常時荷重及び地震時荷重に分けて、第 3-2-17 図に示すとおり常時解析と地震時解析に分けて実施する。



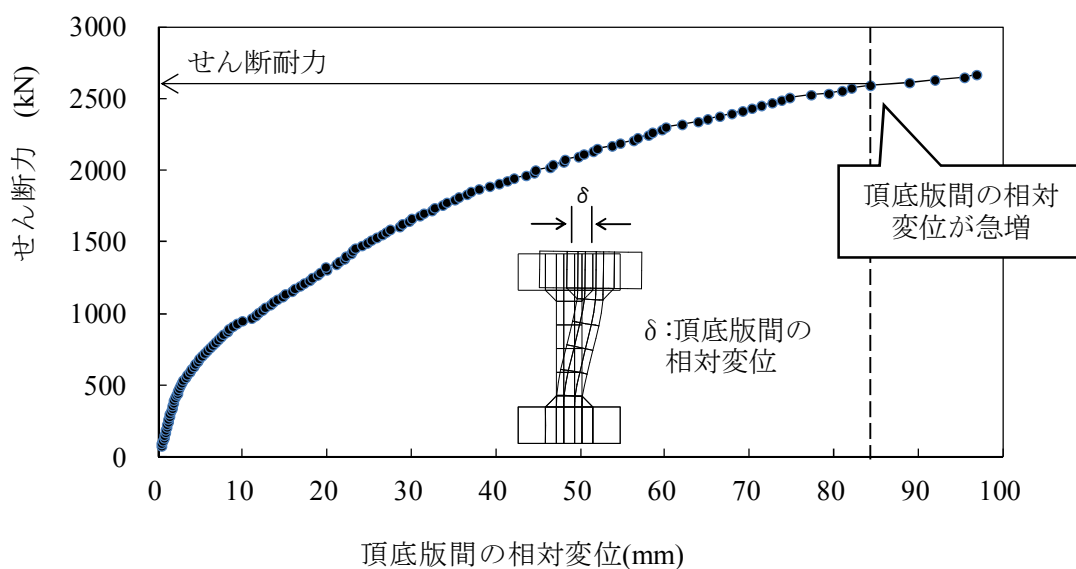
第 3-2-16 図 材料非線形解析における载荷状況



第 3-2-17 図 荷重の作用手順

3) せん断耐力

材料非線形解析を用いたせん断耐力は，材料非線形解析におけるせん断力－相対変位関係や要素ひずみの応答から設定する。具体的には，第 3-2-18 図に示す例のとおり，せん断力－相対変位関係においてせん断力の増分に対して相対変位が急増する点又はせん断力が最大となる点を部材のせん断耐力と判断する。



第 3-2-18 図 材料非線形解析を用いたせん断耐力の設定例

4) 安全係数の設定

材料非線形解析では，地震応答解析（部材非線形解析）で得られる断面力 P_0 （曲げモーメント，軸力，せん断力）を材料非線形解析に作用させた時のせん断力 V と材料非線形解析で得られるせん断耐力 V_y に，下記の通り部材係数 γ_{b1} ， γ_{b2} ，構造解析係数 γ_a ，構造物係数 γ_i を考慮し，照査用せん断力 V_d ，設計せん断耐力 V_{yd} を算定する。

$$V_d = \gamma_i \cdot \gamma_a \cdot V$$

$$V_{yd} = V_y / (\gamma_{b1} \cdot \gamma_{b2})$$

考慮した安全係数を第 3-2-9 表に示す。ここで，部材係数 γ_{b1} については，実験またはせん断耐力式により得られるせん断耐力と材料非線形解析により得られるせん断耐力との比率により設定することとし，解析における構成則の相違や，要素の種類，要素分割，材料物性の設定，入力増分等，多岐にわたる解析者間の差を考慮する。

具体的には，第 3-2-10 表に示す 17 ケースの材料非線形解析を実施し，実験又はせん断耐力との差が最も大きい Case No.12 の部材係数 1.24 を設定する。

第 3-2-9 表 考慮した安全係数

安全係数		値	設定根拠
部材係数	γ_{b1}	1.24	別途実施する材料非線形解析により設定
	γ_{b2}	1.00	地震応答解析による層間変形角より設定
構造物係数	γ_i	1.00	構造物の重要度は，基準地震動 S_s により評価することで包絡されていると判断
構造解析係数	γ_a	1.05	各種文献より保守的に設定

第 3-2-10 表 部材係数 γ_{b1} の設定

Case No.	実験結果	解析結果	部材係数 (解析結果／ 実験結果)
	せん断耐力 (kN)	せん断耐力 (kN)	
1	475	437	0.92
2	1,187	1,234	1.04
3	324	343	1.06
4	294	306	1.04
5	581	529	0.91
6	329	359	1.09
7	1,587	1,904	1.20
8	350	399	1.14
9	855	855	1.00
10	165	168	1.02
11	333	403	1.21
12	127	157	1.24
13	188	165	0.88
14	163	156	0.96
15	273	172	0.63
16	356	235	0.66
17	432	324	0.75
平均	—	—	0.99
標準偏差	—	—	0.18

【参考文献】

- 1)原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル，土木学会，2005 年

3. 屋外重要土木構造物の減衰定数

(1) 減衰の設定について

今回工認で採用している時刻歴応答解析において、地盤および構造物の減衰は、粘性減衰と履歴減衰とで考慮している。

粘性減衰による減衰は、固有値解析にて求まる固有周期および減衰比に基づき、質量マトリックスおよび剛性マトリックスの線形結合で表される以下の Rayleigh 減衰にて与える。土木学会マニュアルに従い Rayleigh 減衰を $\alpha=0$ となる剛性比例型減衰とする。材料毎に減衰を設定するために要素剛性比例型としている。なお、一次の基準モードについては構造系全体がせん断変形しているモードを選定している。

$$[C] = \alpha [M] + \beta [K]$$

[C]： 減衰係数マトリックス，[M]： 質量マトリックス，
[K]： 剛性マトリックス， α ， β ：係数

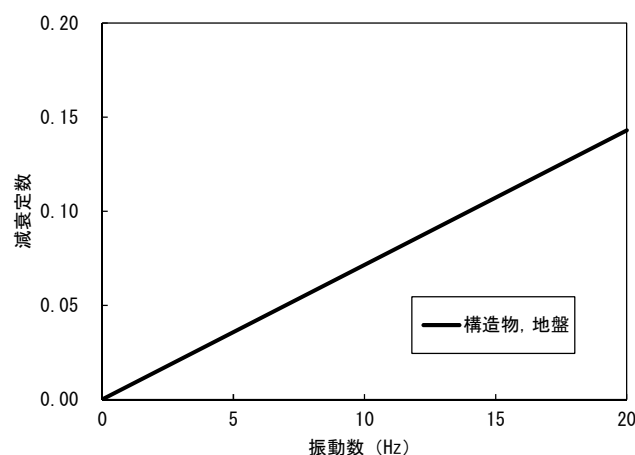
係数 α ， β は以下のように求めている。

$$\alpha = 0$$

$$\beta = h / \pi f$$

h ： 各材料の減衰定数， f ： 固有値解析により求められた一次固有振動数

設定した Rayleigh 減衰を第 3-3-1 図に示す。



第 3-3-1 図 設定した Rayleigh 減衰（7 号機取水路一般部の例）

今回工認における剛性比例型減衰は、履歴減衰が生じない状態等における解析上の安定のためになるべく小さい値として一次固有振動数に対して減衰 1 %を採用している。

履歴減衰による減衰は、構造部材の部材非線形性（曲げモーメントー曲率関係）における非線形の程度に応じた値となる。

（２）既工認と今回工認との相違について

今回工認における構造物の粘性減衰定数は、履歴減衰が生じない状態等における解析上の安定のためになるべく小さい値として一次固有振動数に対して減衰 1 %となる剛性比例型減衰を採用している。

既工認では、周波数応答解析における構造物の減衰定数は 5%を用いた（JEAG4601-1987 記載）。

非線形解析における粘性減衰による減衰の値は、道路橋示方書・同解説 V耐震設計編（平成 14 年）¹⁾ において、構造部材の非線形性を非線形履歴モデルで表した場合には、この部材の履歴減衰は履歴モデルによって自動的に解析に取り入れられるため、非線形履歴モデルを用いて表した部材の減衰定数は、コンクリート部材は 2%（0.02）程度、鋼部材は 1%（0.01）程度とするのがよいとされている。

最新の道路橋示方書・同解説（平成 24 年）においても、構造部材の非線形性を非線形履歴モデルで表した場合の減衰定数について、鉄筋コンクリート橋脚は 2%（0.02）とされている。

以上のように、粘性減衰の減衰定数は、履歴減衰が生じない状態等における解析上の安定のために設定される値であるため、構造物の減衰について、なるべく小さい値として減衰 1%を採用していることは、技術的妥当性を有するものと判断した。

（３）構造物の減衰定数の影響

解析モデルの中で構造物の占める割合は小さいため、構造物の減衰の影響は小さいと考えられる。

地盤の減衰定数は 1%のまま、構造物の減衰定数を 5%とした場合の解析モデル全体の一次モード減衰を確認したところ 1.03%であった。

以上のことから、地盤の減衰の影響が支配的であり、構造物の減衰の影響は小さいと考えられる。

【参考文献】

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編 平成 14 年 3 月

4. 耐震性能照査の手順

機器・配管を支持する屋外重要土木構造物の照査では、想定される荷重条件に対して機器・配管の機能を維持することが主たる目的となる。このため、土木学会マニュアルでは、機器・配管を支持する屋外重要土木構造物の耐震性能評価においては、機器・配管の機能維持のために屋外重要土木構造物に求められる制約条件を与条件としている、とされている。

屋外重要土木構造物の耐震性能の照査にあたっては、地盤と構造物の連成解析を行い、床応答や変位を算定する。機器・配管の耐震安全性は、当該構造物を支持する屋外重要土木構造物の床応答や変位を用いて、別途確認を行う。第 3-4-1 表に対象構造物の例を示す。

第 3-4-1 表 検討対象構造物の例

屋外重要土木構造物	機器・配管
軽油タンク基礎	軽油タンク
	燃料移送ポンプ
	燃料移送ポンプ出口逆止弁
燃料移送系配管ダクト	燃料油系配管

柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉

使用済燃料貯蔵ラックの減衰定数について
(耐震)

1. はじめに

柏崎刈羽原子力発電所6号および7号炉（以下「柏崎刈羽6号および7号炉」という）の既工認では、使用済燃料貯蔵ラック(以下「燃料ラック」という)の水平方向の設計用減衰定数は、「原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601-1991 追補版」（以下「JEAG4601」という）に規定される溶接構造物の設計用減衰定数1.0%を用いている。

しかし、実際の燃料ラックは使用済燃料貯蔵プール（以下「燃料プール」という）内の水中に設置され、燃料集合体を貯蔵していることから、燃料集合体のガタつき、ラック内壁と燃料集合体の衝突および水の抵抗により、運動エネルギーの消散が大きくなり、減衰定数1.0%より大きな減衰があると考えられる。

そのため、柏崎刈羽6号および7号炉における今回の工認の耐震設計において、燃料ラックの設計用減衰定数は実物大加振試験の結果に基づき設定している。

本資料は、加振試験結果に基づき設定した今回の工認の耐震設計に適用する設計用減衰定数について纏めたものである。

2. 燃料ラックの概要および耐震設計手法の既工認と今回手法の比較

2.1 燃料ラックの構造と燃料プール内の配置

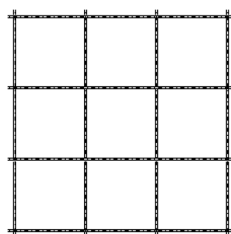
柏崎刈羽原子力発電所6号炉（以下「柏崎刈羽6号炉」という）の燃料プールには、格子型燃料ラック（以下「格子ラック」という）および角管並列型燃料ラック（以下「角管ラック」という）を設置し、柏崎刈羽原子力発電所7号炉（以下「柏崎刈羽7号炉」という）の燃料プールには、角管市松型燃料ラック（以下「市松ラック」という）を設置している。

格子ラックは鋼板を溶接することで燃料集合体を貯蔵する格子状のセルを構成しており、市松ラックは角管を溶接することで燃料集合体を貯蔵する格子状のセルを構成しており、角管ラックは角管と補強板を溶接することで、格子状のセルを構成している。各ラックの構造図を図1に示す。

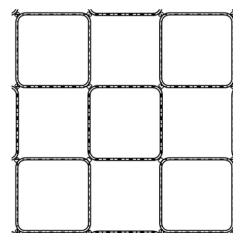
柏崎刈羽6号および7号炉の燃料ラック型式と貯蔵体数を表1に示す。また、燃料プール内における燃料ラックの配置を図2および図3に示す。

表 1 ラック型式と貯蔵体数

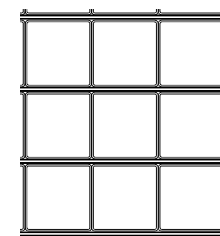
設置場所	ラック型式	貯蔵体数	貯蔵体数
柏崎刈羽 6 号炉 燃料プール	格子ラック	120 体	6 列×10 列×2 台
		187 体	9 列×11 列+8 列×11 列
		210 体	10 列×10 列+10 列×11 列
	角管ラック	176 体	11 列×16 列
		187 体	11 列×17 列
柏崎刈羽 7 号炉 燃料プール	市松ラック	77 体	7 列×11 列
		100 体	10 列×10 列
		110 体	10 列×11 列
		121 体	11 列×11 列



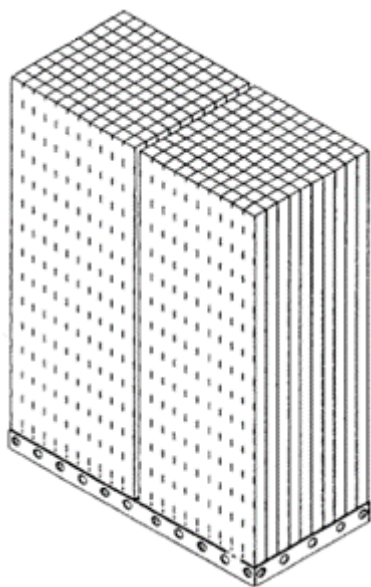
格子ラック断面図



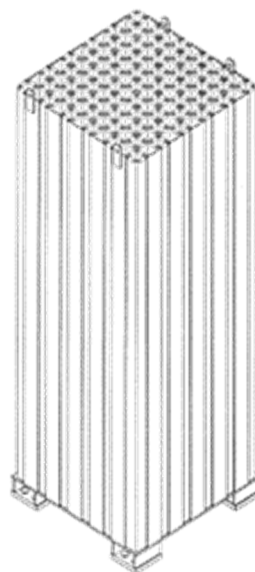
市松ラック断面図



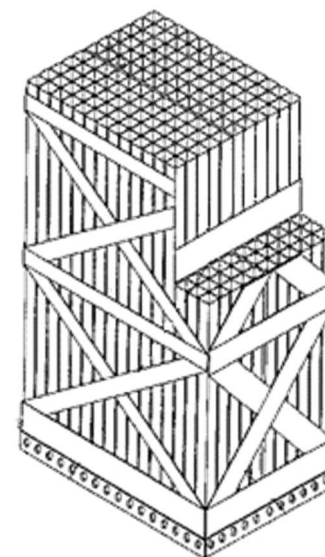
角管ラック断面図



(a) 格子ラック

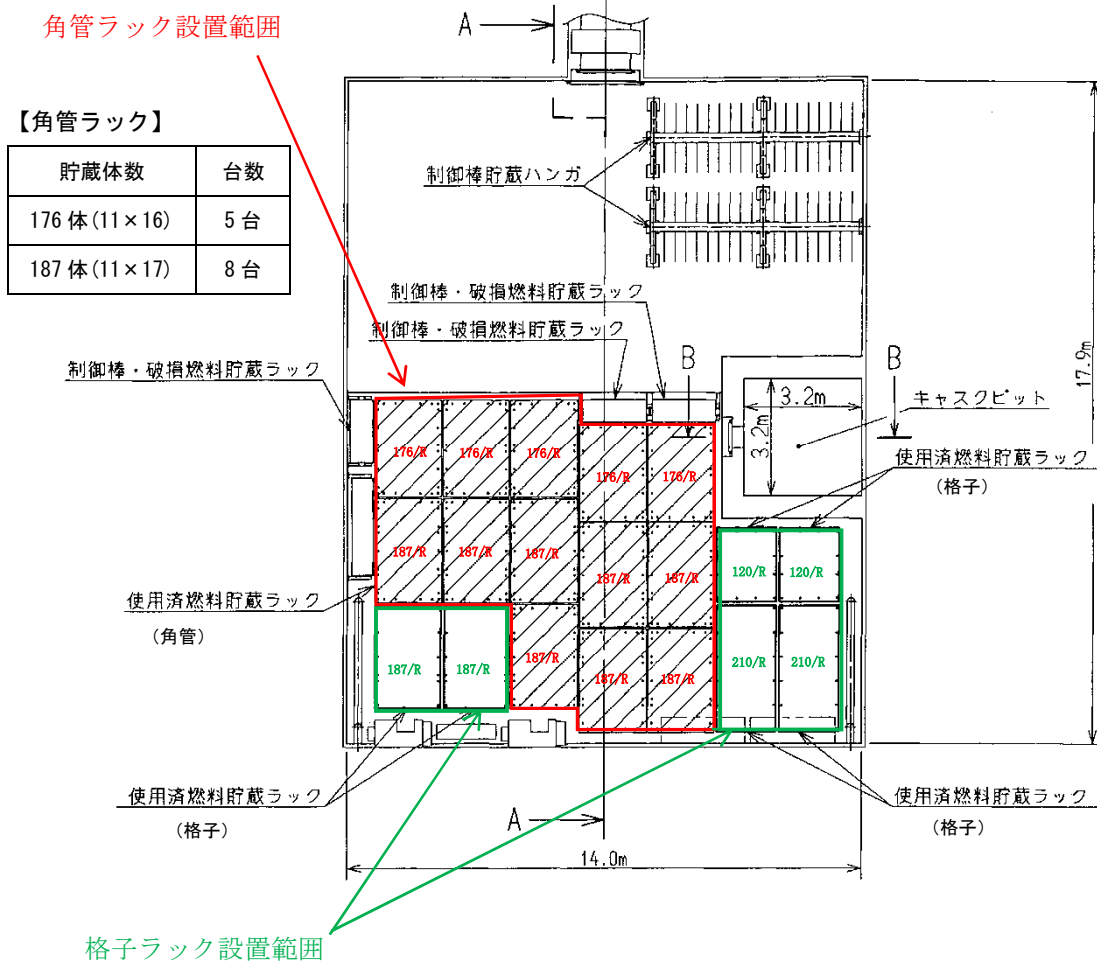


(b) 市松ラック



(c) 角管ラック

図 1 燃料ラックの構造図 (概要)



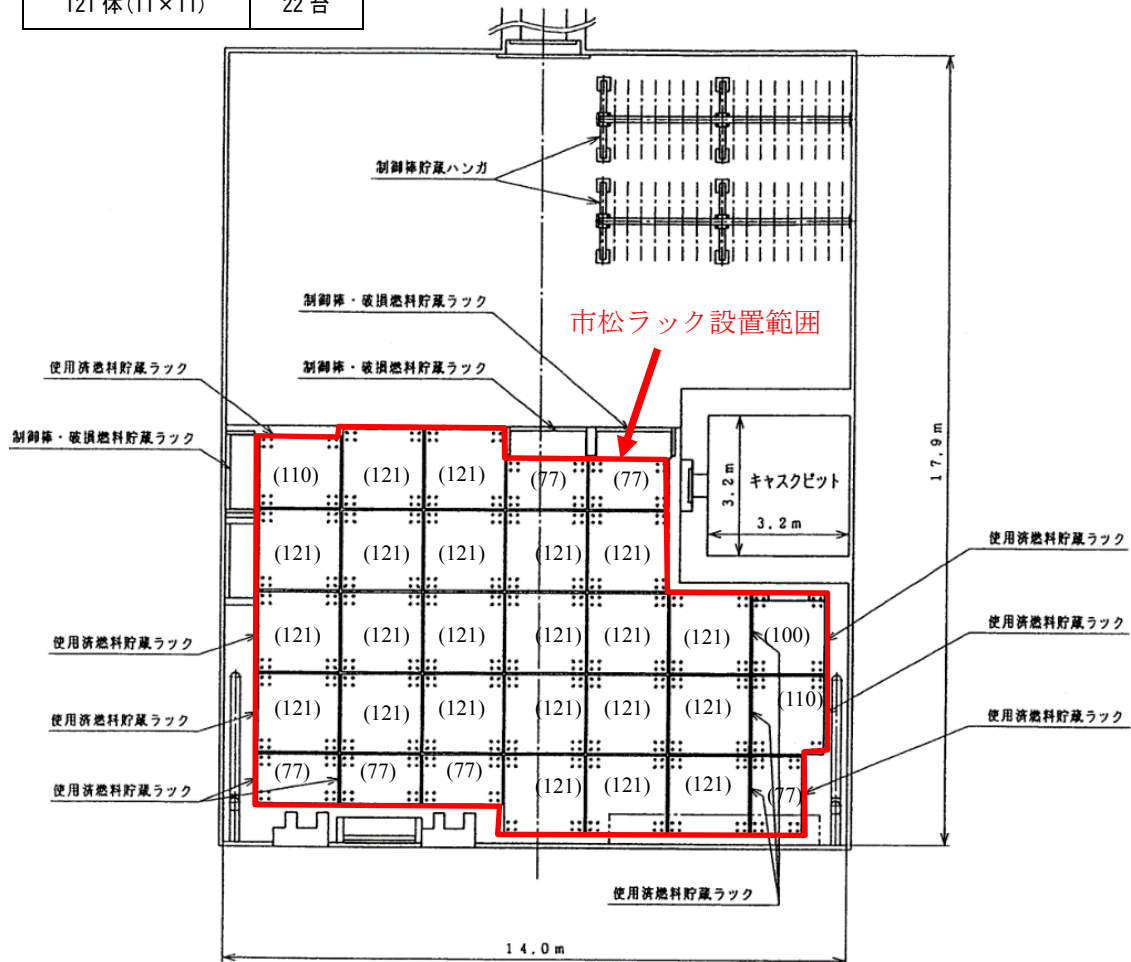
【格子ラック】

貯蔵体数	台数
120 体 (10×6×2)	2 台
187 体 (11×8+11×9)	2 台
210 体 (10×10+10×11)	2 台

図 2 燃料ラック配置図 (柏崎刈羽 6 号炉)

【市松ラック】

貯蔵体数	台数
77 体 (7×11)	6 台
100 体 (10×10)	1 台
110 体 (11×10)	2 台
121 体 (11×11)	22 台



※()内の数字はラックの貯蔵体数

図 3 燃料ラック配置図 (柏崎刈羽 7 号炉)

2.2 燃料ラックの耐震設計手法について

柏崎刈羽 6 号および 7 号炉に設置されている燃料ラックの構造及び解析モデルの概要を図 4～図 7 に示す。格子ラックは、鋼板を断続的に溶接し格子状のラックセルを形成していることから燃料ラックをシェル要素にてモデル化した 3 次元有限要素モデル（FEM モデル）としている。市松ラックは、角管を市松に配列し、角管同士の角を断続的に溶接し格子状のラックセルを形成していることから燃料ラックをシェル要素にてモデル化した 3 次元有限要素モデル（FEM モデル）としている。角管ラックは、角管と補強板の接触面全面を溶接しているため、はり要素でモデル化し、一部の補強板は断続溶接となっている面を有するため、シェル要素にてモデル化した 3 次元有限要素モデル（FEM モデル）としている。

燃料ラックの質量には、燃料ラック自身の質量、燃料集合体の質量、燃料ラックに含まれる水の質量および水中の機器の形状により排除される機器周囲の流体の質量である付加質量を考慮している。これらの燃料集合体および燃料ラックに含まれる水の質量ならびに付加質量は角管および板の全長にわたって等分布に与えている。

既工認の応力評価は、部材（角管、格子状の鋼板、補強板）および基礎ボルトに対して行っており、部材の応力は図 7 の解析モデルを用いて、スペクトルモーダル解析による最大応答加速度から、部材に作用する最大荷重を算出し応力を評価している。基礎ボルトの応力は、燃料ラック設置位置における水平・鉛直震度を用いて、ラック基礎に生じるモーメントとせん断力から基礎ボルトに作用する最大荷重を算出し、評価している。

なお、各部の許容応力は「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601・補-1984」に規定されている「その他支持構造物」の許容応力を用いている。

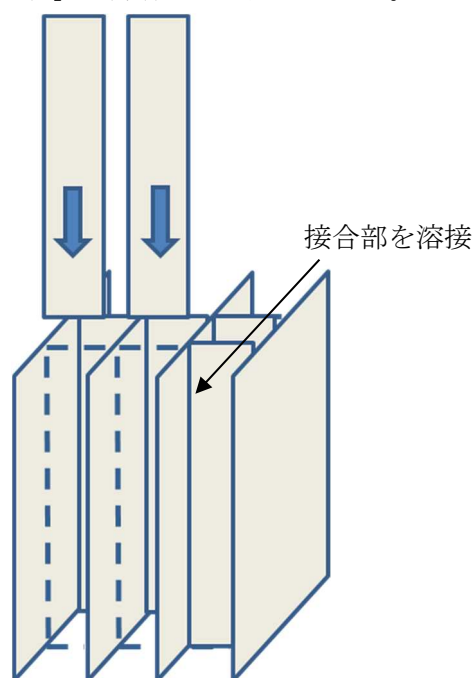


図 4 格子ラックの概要

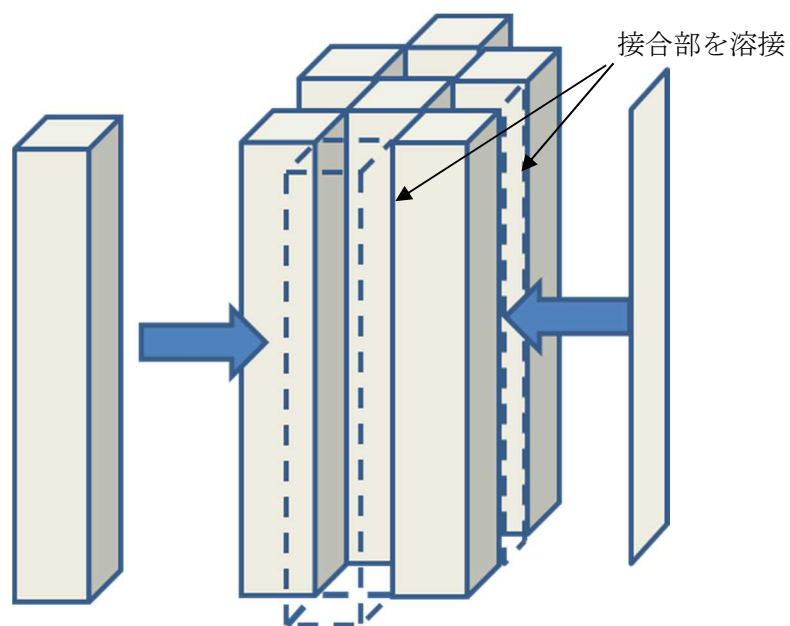


図 5 市松ラックの概要

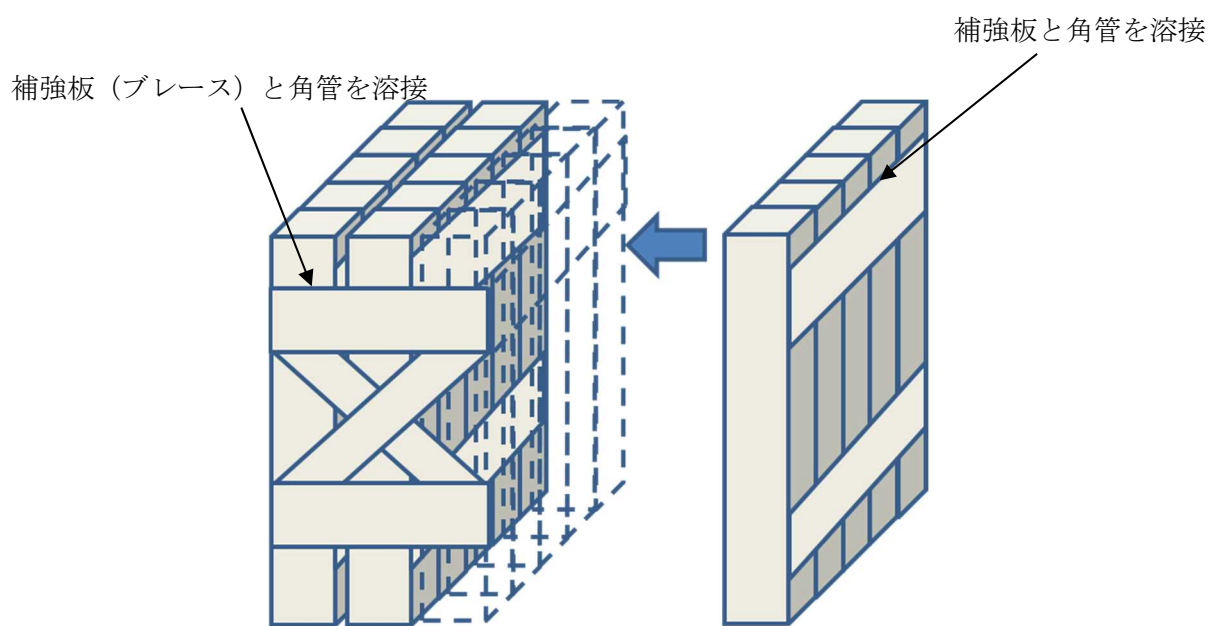


図 6 角管ラックの概要

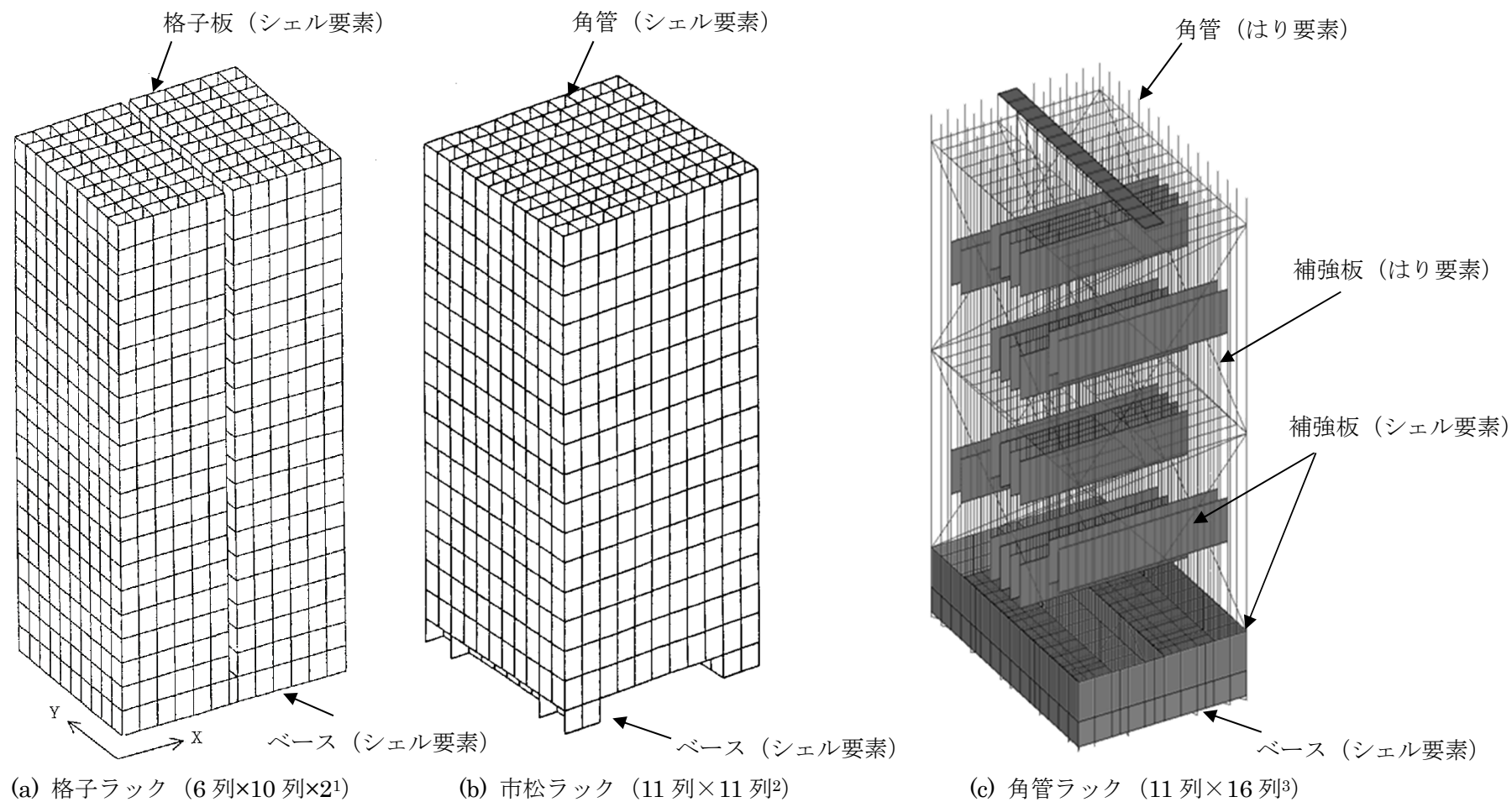


図 7 燃料ラックの解析モデル例

¹ 既工認では 120 体と表記
² 既工認では 121 体と表記
³ 既工認では 176 体と表記

2.3 既工認と今回工認の耐震設計手法の比較

柏崎刈羽 6 号および 7 号炉の燃料ラックの耐震設計における既工認と今回手法の比較を表 2 に示す。既工認からの変更は設計用減衰定数のみである。

表 2 柏崎刈羽 6 号および 7 号炉 燃料ラックの耐震設計法の既工認と今回手法の比較

		既工認手法	今回手法
解析モデル		3次元有限要素モデル	同左
耐震解析手法	水平方向	スペクトルモーダル解析	同左
	鉛直方向	静的設計※	同左（剛構造のため）
設計用減衰定数	水平方向	1.0%	Ss : 7.0% Sd : 5.0%
	鉛直方向	—	—
許容応力		JEAG4601	同左
地盤・建屋等の不確実さの考慮		床応答スペクトルの周期方向への ±10%拡幅	同左
モデルの考え方		剛性は燃料ラック本体の寸法およびヤング率より設定 質量は燃料ラック本体、燃料ラック内の燃料体、水および付加質量を考慮	同左

※静的地震力による評価。

2.4 減衰定数を変更する目的と効果

既工認における設計用減衰定数は、JEAG4601 に規定される溶接構造物の設計用減衰定数 1.0%を採用していた。しかし、実際の燃料ラックは、燃料プール内の水中に設置されることや、燃料集合体を貯蔵していることから、地震時には燃料ラックと燃料集合体の摩擦や、燃料ラックおよび燃料集合体が流体中を振動することにより、運動エネルギーの消散が大きくなり、1.0%より大きな減衰があると考えられる。

したがって、地震時の燃料ラックの挙動を把握するため、実機を模擬した加振試験を行った結果、既工認では考慮されていなかったより大きな減衰効果が見込まれることが確認された。

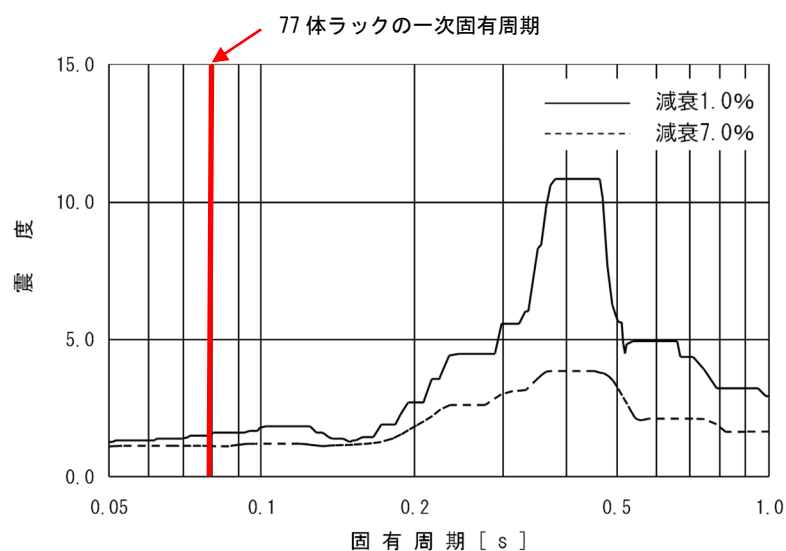
これらの知見に基づいて、より現実に近い燃料ラックの挙動を模擬して評価を行うことを目的に、今回の工認の耐震設計では、実物大加振試験の結果に基づいた燃料ラックの設計用減衰定数として、基準地震動 Ss に対しては減衰定数 7.0%、弾性設計用地震動 Sd に対しては減衰定数 5.0%を採用する。

なお、本設計用減衰定数を用いて、既工認で許容値に対する発生応力が最も大きい柏崎刈羽 7 号炉における燃料ラックの構造強度評価を実施する場合、応力の発生値が低減すると考える（表 3、図 8）。

表 3 基準地震動 Ss における市松ラック（77 体）の試評価結果

ラック種類	評価部位	応力分類	計算値		評価基準値
			減衰定数 1.0%	減衰定数 7.0% (今回工認)	
市松ラック (77 体)	基礎ボルト	引張応力	165*MPa	122*MPa	153MPa

*：暫定条件による概算値（解析値）。



減衰定数	1.0%	7.0%
震度	1.66	1.12

図 8 基準地震動 Ss，燃料ラック設置位置における水平床応答スペクトル比較
(R/B, T.M.S.L 23,500 mm)

3. 減衰定数の確認方針について

既工認で考慮していなかった燃料集合体を貯蔵していることおよび燃料ラックが水中に設置されていることによる効果を確認する試験を行った。3種類のラックは格子状のラックセルを有した構造物であり、燃料集合体を貯蔵していることおよび燃料ラックが水中に設置されていることによる減衰効果は以下に示す通り同程度と考えられることから、市松ラックを対象に加振試験を行った。試験内容および結果については4.以降に示す。

①燃料集合体を貯蔵していることによる効果

燃料集合体のガタつき、ラック内壁と燃料集合体の衝突によるエネルギー消散が考えられる。これらの影響は、実機ラックのラックセル内壁とチャンネルファスナの隙間が同一（表4）のため3種類のラックともに同程度であると考えられる。

②燃料ラックが水中に設置されていることによる効果

ラック外部の水による影響とラック内部の水による影響が考えられる。ラック外部の水による影響は3種類のラックともに形状が矩形であることから、振動方向に対し垂直な面で流体抵抗を受けることになるため、水の抵抗は同等と考えられる。ラック内部の水による影響は、ラックセルと燃料集合体の間隙や、ラックセルのサイズがほぼ同等（表4）のため3種類のラックともに同程度の減衰となると考えられる。

表 4 実機ラックの主要諸元

項目		実機		諸元の比較
燃料ラック	ラックセルの型式	角管市松型		—
	燃料ラックの 支持形式	ボルトによる 床固定式※	同左	同一
		自立型	同左	
	貯蔵体数	120 体 (6×10,6×10) 187 体 (11×8,11×9) 210 体 (10×11,10×10)	77 体 (7×11) 100 体 (10×10) 110 体 (10×11) 121 体 (11×11)	—
	ラックセル頂部と 燃料集合体の最小隙 間			ほぼ同等
	燃料ラックから 壁までの距離	約 290～970mm	約 250～900mm	ほぼ同等
	ラックセル高さ			ほぼ同等
	ラックセルのピッチ			ほぼ同等
	ラックセルの厚さ			ほぼ同等
	ラックセルの材質	B-SUS	同左	同一
燃料集合体	燃料タイプ	9×9 燃料 (ステップⅢ燃料)	8×8 燃料 (ステップⅠ燃料)	9×9 燃料 (ステップⅢ燃料)
	質量	約 300kg	同左	同左
	外形寸法	148.8mm	148.4mm	148.8mm
	チャンネルボックス 材質	ジルカロイ-4	同左	同左
燃料プール	チャンネルボックス 厚さ			同一
	水深	約 12m	同左	同一

※トルク管理されており地震により減衰に影響を与えるほど緩むことはない。

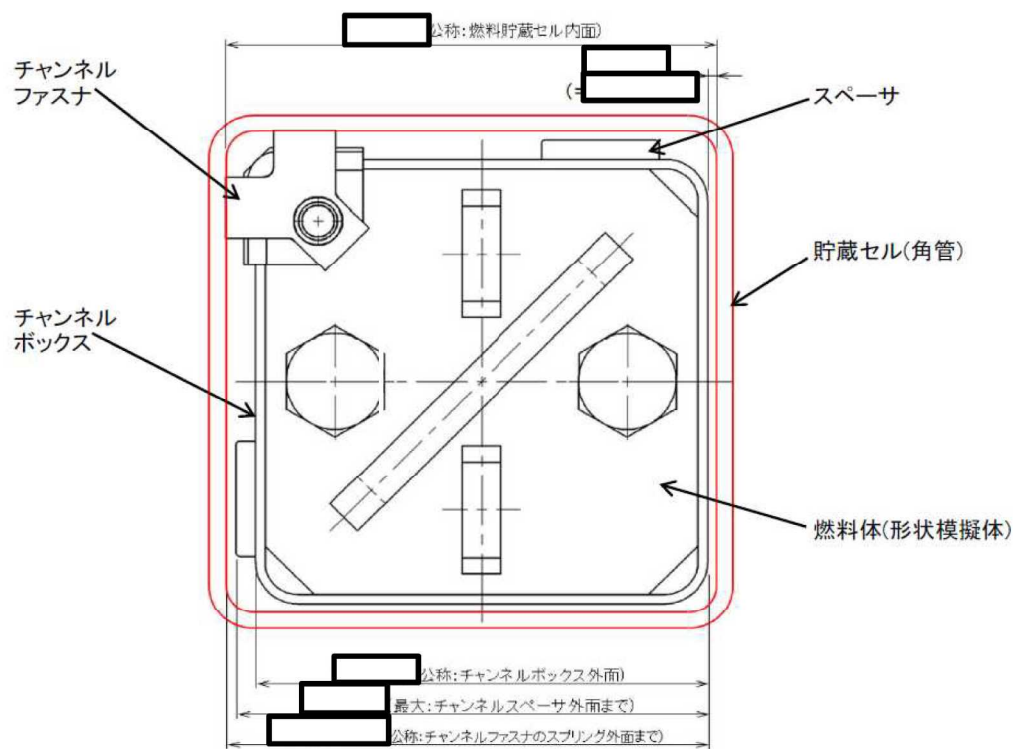
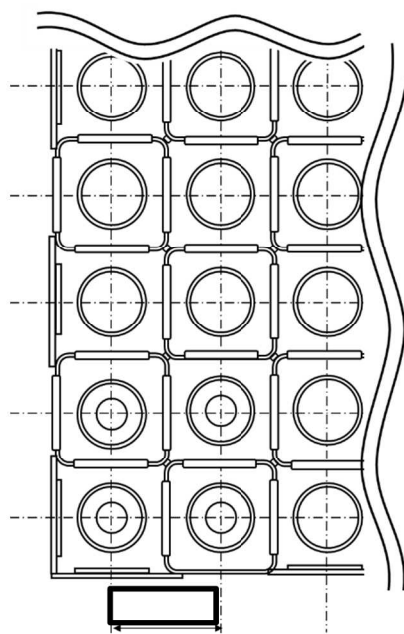


図 9 ラックセルと燃料集合体の隙間（概念図）



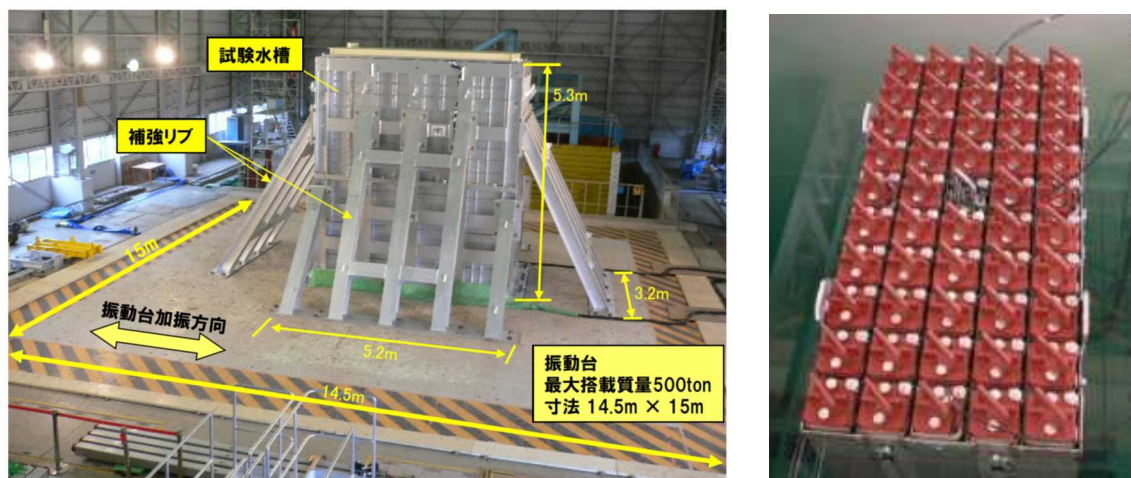
単位：mm（ミリメートル）

図 10 ラックセルのピッチ（概念図）

4. 減衰特性の確認試験

4.1 実物大試験供試体の概要

燃料プール内の環境（水中）および使用状態（燃料集合体貯蔵）において、燃料ラックが加振された際の減衰特性を確認することを目的に、模擬燃料集合体を貯蔵した模擬燃料ラック（以下「供試体ラック」という）の水槽内での加振試験を実施した（図 11）。試験は、振動台上に、供試体ラックを設置した試験水槽を据え付け、長辺および短辺方向に加振した。供試体ラックは、燃料プール床との固定状態と同一とするために、水槽床に基礎ボルトで固定した自立式とした。



（１） 試験状況 [1]

（２） 供試体の水槽内設置状態

図 11 加振試験の実施状況

4.2 燃料ラックの水中加振試験装置および試験手法について

(1) 供試体ラック

供試体ラックの寸法等は、実機の市松ラックと同等となるよう設定した。

また、燃料ラック全体の減衰効果は、燃料集合体の体数増加に伴い前述の燃料集合体を貯蔵していることおよび燃料ラックが水中に設置されていることによる減衰効果が大きくなると考えられるため、実機の市松ラック（77 体～121 体）に対して、貯蔵体数が小さくなるよう、供試体ラックの貯蔵体数は、50 体とした（図 12）。

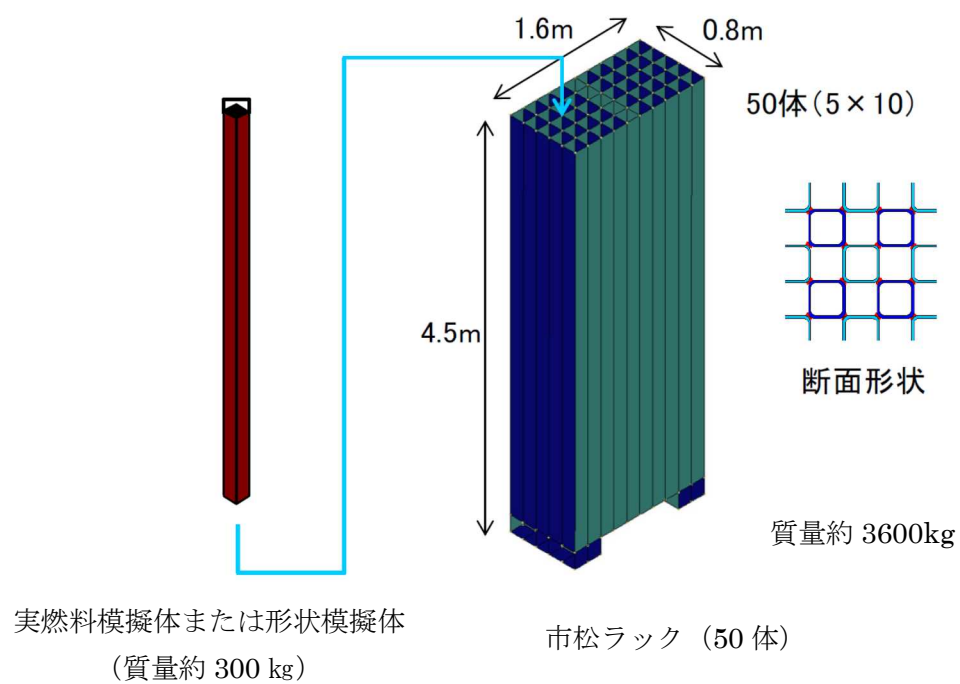
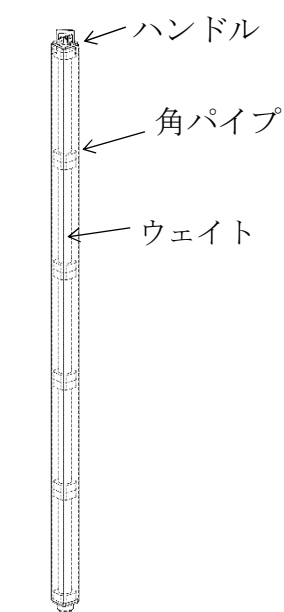


図 12 供試体の構造(市松ラック供試体) ^[2]

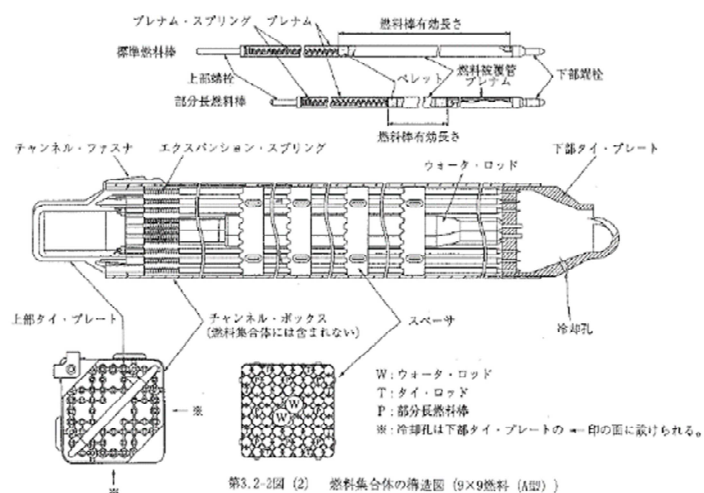
(2) 模擬燃料集合体

供試体ラックに貯蔵する模擬燃料集合体には、実燃料模擬体と形状模擬体の 2 種類を用いた。実燃料模擬体は、チャンネルボックス等は実機と同一であり、燃料ペレットの代わりに鉛で質量を一致させたものである。形状模擬体は、実機燃料集合体の質量およびチャンネルボックス外形を模擬したものである（図 13, 表 5）。いずれの模擬燃料集合体も実機燃料集合体と形状、質量および振動特性が同様になるように作成されている。

なお、実機ラックに貯蔵されている燃料集合体の一部については、チャンネルファスナが取り外されているが、チャンネルファスナを取り付けた状態の方が、ガタつきが少なくなることで減衰が小さくなると考えられることから、試験はチャンネルファスナを全数取り付けて実施している。チャンネルボックスについては照射成長による有意な曲げの影響がないよう炉心内の燃料配置を管理している。ウォータ・ロッドについては他プラントにて曲がり確認されたため、平成 25 年にウォータ・ロッドに曲がりがないことを確認し、併せて、曲がりの原因となったチャンネルボックスの装着作業の手順を見直している³ため、ウォータ・ロッドには曲がりはない。以上より、模擬燃料集合体のチャンネルボックスおよびウォータ・ロッドには、実機と同様に曲がりの無いものを使用している。



(a)形状模擬体



(b) 実燃料模擬体

実燃料のペレットを鉛ペレットにて製作

図 13 模擬燃料集合体の内部構造

表 5 実機燃料集合体と模擬燃料集合体仕様の比較

	模擬燃料集合体		柏崎刈羽 7号炉
	実燃料模擬体	形状模擬体	8×8 燃料*2
長さ	4469mm	4430mm	4470mm
断面寸法*1	□139.14mm	□139mm	□139.14mm
質量	約 300kg	約 300kg	302kg
材質	SUS および Zr 材	SUS および SS 材	SUS および Zr 材

*1 チャンネルボックス外形寸法

*2 柏崎刈羽 7 号炉に貯蔵されている燃料集合体のうち、最も重量が大きいもの

(3) 模擬燃料集合体の配置方法

本試験では図 14 に示すとおり実燃料模擬体と形状模擬体を貯蔵して試験を行なった。形状模擬体はウェイトにて実機燃料集合体の荷重分布を模擬し、質量、外形もほぼ同様になるよう設定しているため、実燃料模擬体と形状模擬体の配置による減衰への影響は小さいと考えられる。

また、燃料集合体の貯蔵体数は、最も条件が厳しくなる 100%貯蔵条件にて加振試験を行った（別紙－1）。

なお、模擬燃料集合体と供試体ラック底部の取り合い部は、燃料ラック底部の支持板に開けられた孔の面取り部と下部タイププレートであり、これらの寸法および形状は実機と同様に設定したため、実機と供試体で減衰に違いはないと考えられる（図 15）。

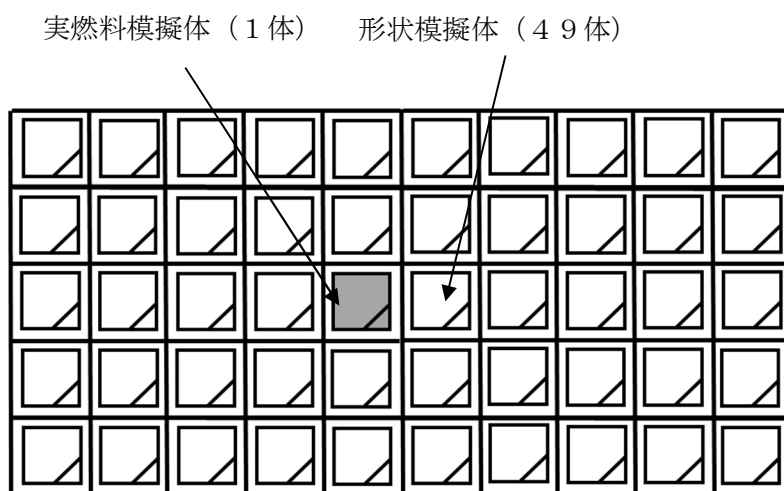


図 14 模擬燃料集合体の配置

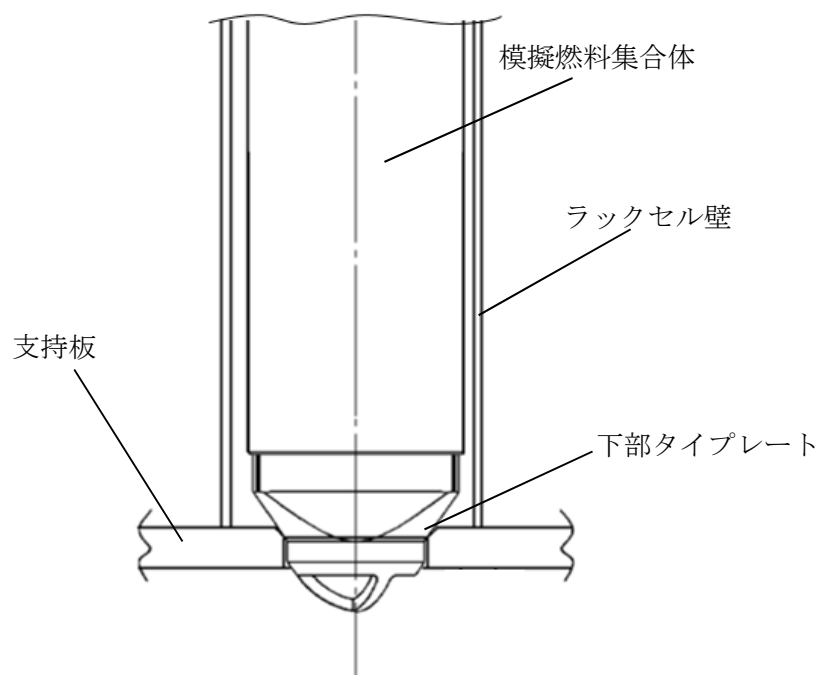


図 15 模擬燃料集合体の設置状況

(4) 試験水槽

燃料プール内に設置されている状態を模擬するため試験水槽を制作し、その大きさは、燃料ラックの流体減衰に大きな影響を与えないよう流体の影響が十分小さくなる大きさに設定した（別紙－２）。

(5) 実機と供試体等の主要諸元比較

供試体ラックおよび試験水槽等（以下「供試体等」という）と実機との主要諸元の比較を表 6 に示す。

表 6 市松ラックと供試体等の主要諸元比較

項目		実機	供試体等	実機への適用性
燃料ラック	ラックセルの形式	角管市松型	同左	実機と同一。
	燃料ラックの支持形式	ボルトによる床固定式	同左	
		自立型	同左	
	貯蔵体数	77 体 (7×11) 100 体 (10×10) 110 体 (10×11) 121 体 (11×11)	50 体 (5×10)	供試体は流体および燃料集合体による減衰効果が実機よりも小さいと考えられるラックを選定したことから、本試験結果に基づく減衰定数は、実機の全ての燃料ラックに適用可能と考えられる。
	ラックセル頂部と燃料集合体の最小隙間			ラックセルと燃料集合体の隙間は実機とほぼ同等と考えられることから、その影響は小さいと考えられる。
	燃料ラックから壁までの距離	約 250～900mm	約 470～1600mm	流体による減衰効果が最も小さくなるよう設定した (別紙－2)。
	ラックセル高さ			実機と同一。
	ラックセルのピッチ			実機ラックとほぼ同等であることから、その影響は小さいと考えられる (図 10)。
	ラックセルの厚さ			実機と同一。
	ラックセルの材質	B-SUS	同左	実機と同一。
燃料集合体	燃料タイプ	8×8 燃料 (ステップ I 燃料)	模擬燃料集合体	工認では、燃料プール共用化条件を考慮し、評価結果の厳しくなる質量が大きい燃料条件により評価している。
	質量	302kg	300kg	実機とほぼ同等であることから、その影響は小さいと考えられる。
	外形寸法	148.4mm	同左	実機と同一。
	チャンネルボックス材料	ジルカロイ・4	同左	
	チャンネルボックス板厚			
燃料プール	水深	約 12m	約 5m	高さ (水深) は実機と異なるが、燃料ラックの振動特性に与える影響が小さいことを確認した (別紙－3)。

(6) 試験方法

供試体ラックに模擬燃料集合体を設置し、試験水槽に注水した状態において、加振試験を実施した。加振レベルの小さい範囲では正弦波による掃引試験を行い、得られた振動台上の加速度および供試体ラック頂部の加速度から求めた伝達関数より、ハーフパワー法を適用して減衰定数を評価した。また、加振レベルの大きい範囲では共振させ続けることにより供試体の振動が過大になり、試験装置および供試体を損傷させるおそれがあることから正弦半波の加振試験を行い、自由減衰波形から減衰定数を評価した（別紙－４～７）。

なお、正弦波掃引試験および正弦半波加振試験は、弾性範囲にある事を確認しており、供試体ラックの応答は再現性があることから、各々、供試体ラックの長辺方向および短辺方向で加速度※を変えた３ケースを１回ずつ実施した（表 ７）。

表 ７ 減衰定数の評価に用いた試験条件

No.	試験方法	加振方向	入力加速度※ (m/s ²)	備考
1	正弦波掃引試験	短辺	0.62	減衰定数をハーフパワー法により算出（別紙－５）
2			0.91	
3			1.22	
4		長辺	0.72	
5			0.97	
6			1.22	
7	正弦半波加振試験	短辺	2.91	減衰定数を自由振動波形から算出（別紙－６）
8			3.98	
9			5.00	
10		長辺	2.96	
11			3.75	
12			4.50	

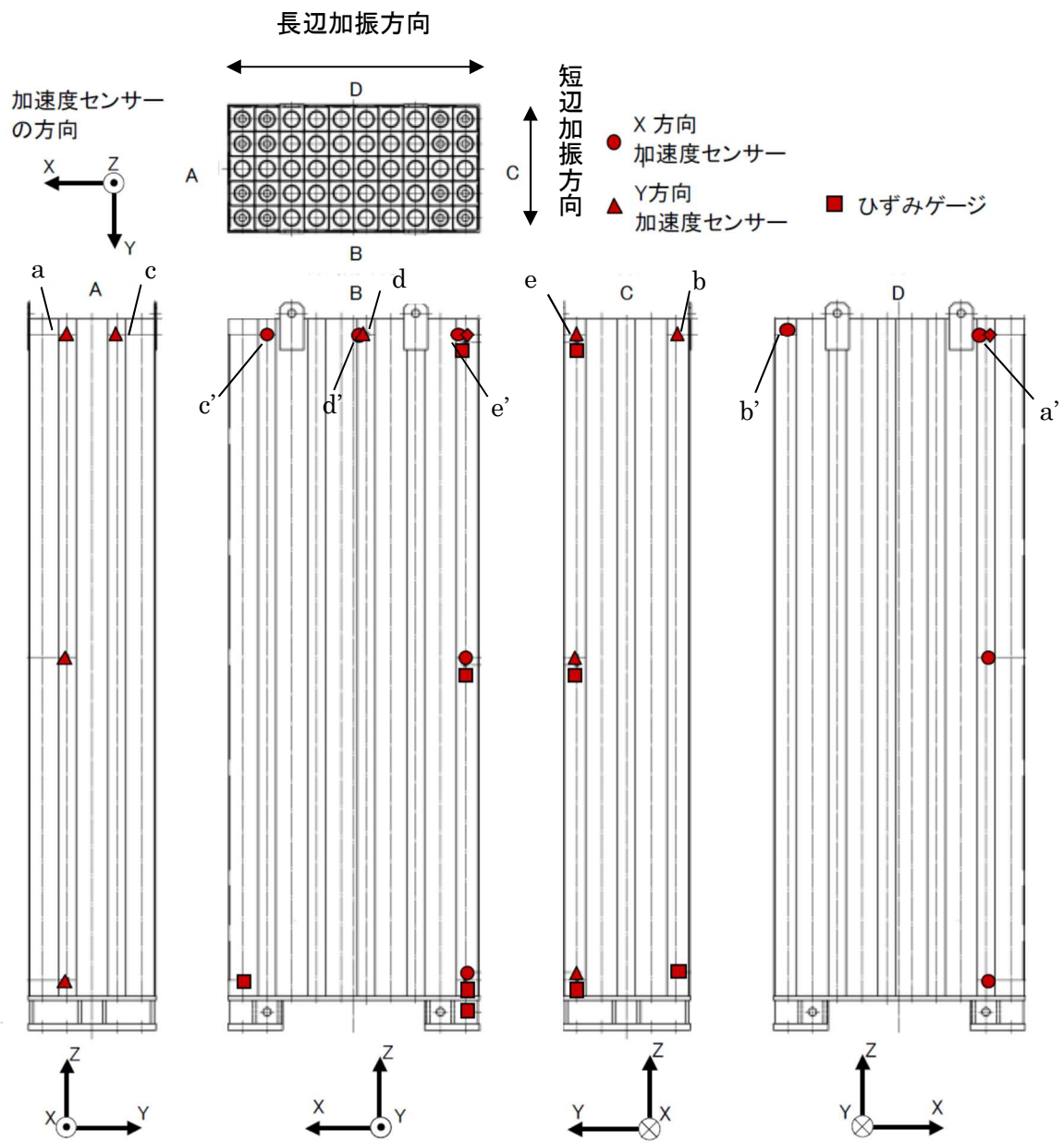
※振動台上の実測加速度（最大値）

(7) 加速度の計測方法

供試体ラックの減衰定数を算出するため、供試体ラック頂部の加速度と、振動台上の加速度を計測した。燃料ラック頂部には、短辺方向の加速度を計測する加速度センサーを 5 台、長辺方向の加速度を計測する加速度センサーを 5 台の計 10 台を設置し（図 16）、振動台上には短辺方向と長辺方向の加速度を計測する加速度センサーを 4 台設置した（図 17）。

また、燃料ラックの頂部、中間部および基部のひずみにより、燃料ラックが弾性範囲内で加振されていることを確認した。

なお、試験水槽は剛構造で設計しており、試験水槽が剛として挙動し、供試体ラックへ影響を与えないことを確認するため水槽周囲の加速度を計測した（図 18）。



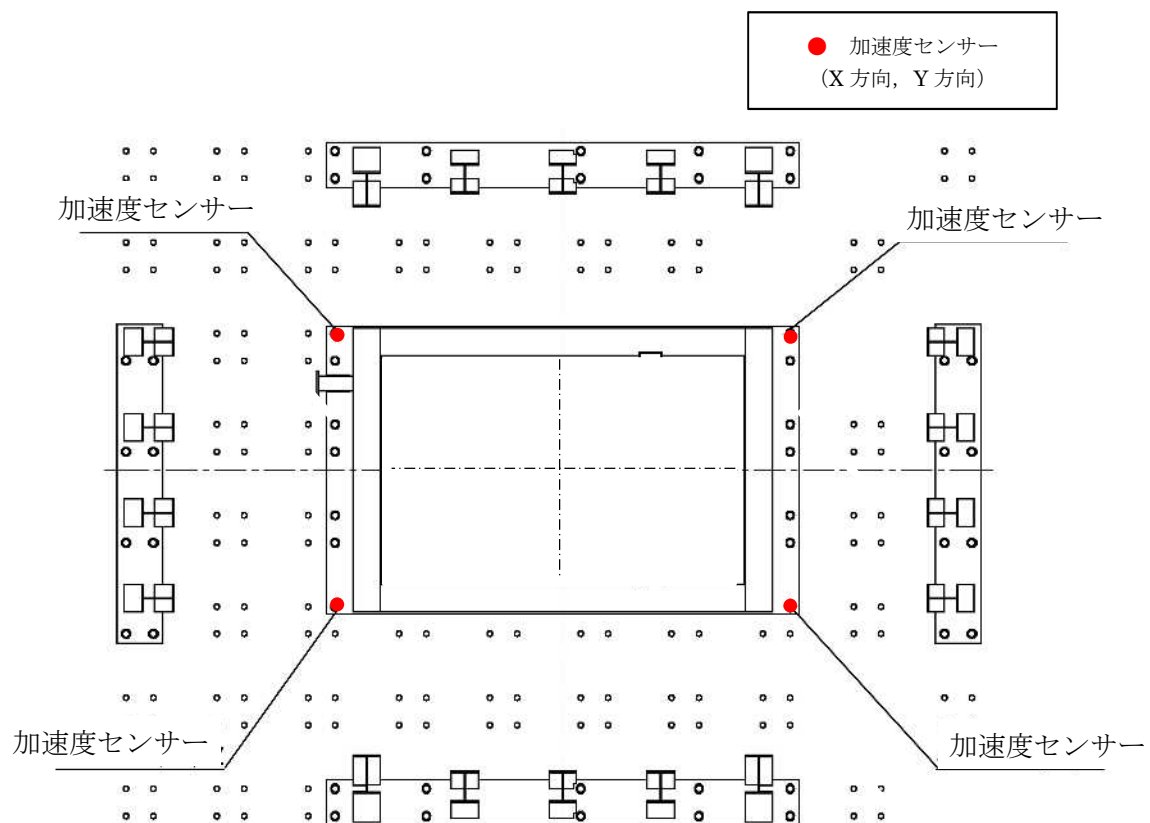
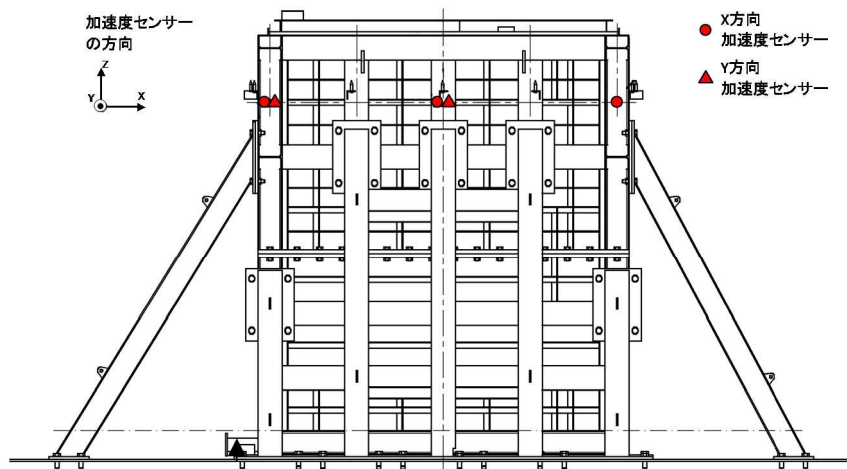
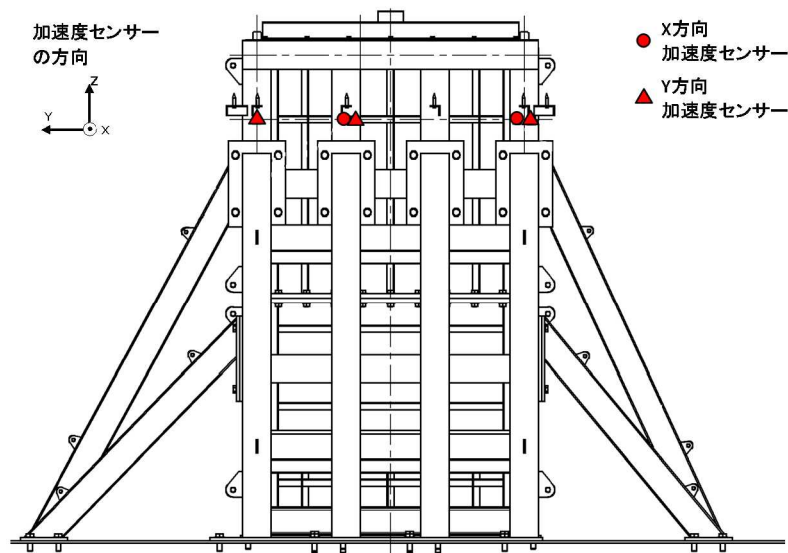


図 17 振動台上の加速度の計測位置



(a) 水槽長辺方向



(b) 水槽短辺方向

図 18 水槽の加速度計測位置

4.3 試験結果

正弦波掃引試験結果から算出した減衰定数と、正弦半波加振試験の自由減衰波形から得られた減衰定数について、横軸を燃料ラック頂部の応答加速度で整理した結果を図 19 および表 8 に示す。

供試体ラック頂部の応答加速度と減衰の関係は、各試験ケース最小のものでも 6～11%であり、既工認で適用している設計用減衰定数の 1% よりも大きな減衰効果を示すことを確認した。

正弦半波加振試験での短辺方向の結果において、応答加速度のばらつきが大きくなっている。これは、試験方法および加振方向の相違による影響が考えられる。

試験方法に関して、正弦波掃引試験は一定振動数・一定振幅で継続加振をおこなうため、供試体ラック頂部の応答が安定しばらつきが小さく、正弦半波加振試験は入力レベルが大きい正弦半波にて加振するため、最大加速度の領域では燃料のガタつきによる高次モード成分が減衰しきらずに応答加速度に影響しばらつきが大きくなっていると考えられる（図 20）。また、加振方向に関して、短辺方向の応答加速度は、供試体ラックの幾何形状および応答レベルの違いにより、長辺方向の応答加速度と比較し、振動台制御の不安定性による振動台の加振軸以外の振動成分の影響を受けやすいため応答加速度に比べばらつきが大きくなっている（図 21）。

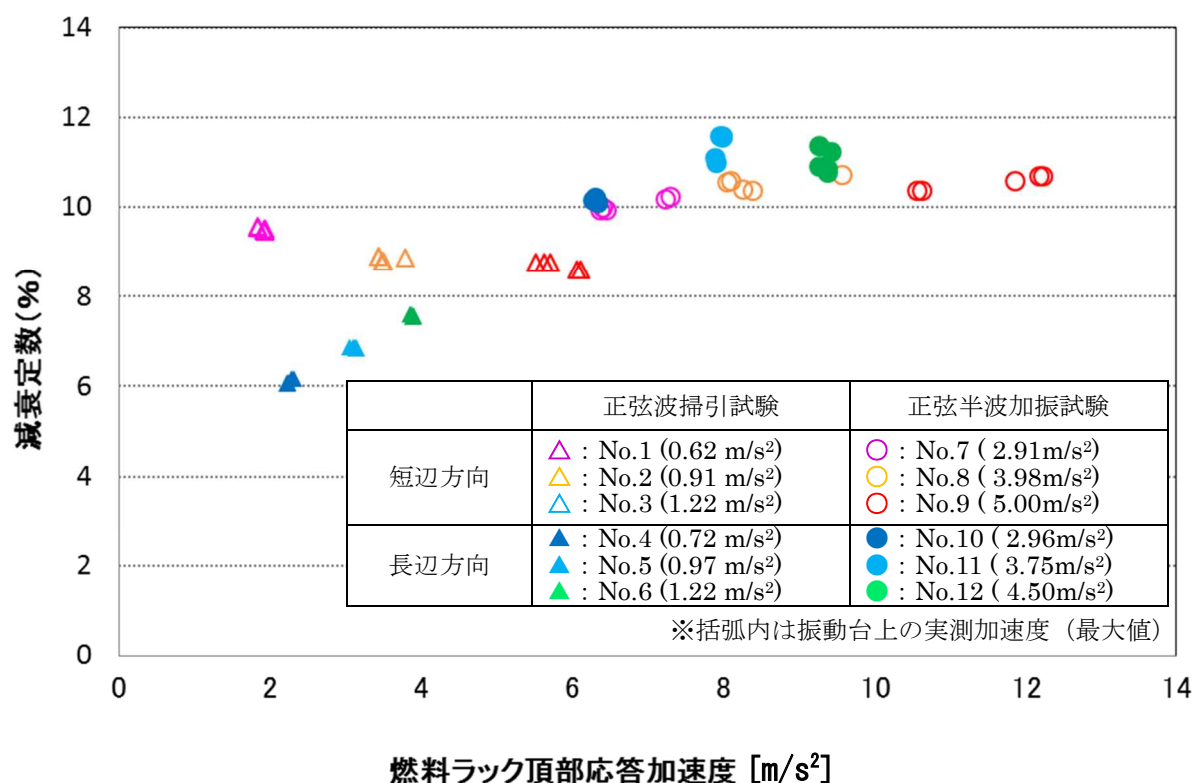


図 19 燃料ラック頂部最大応答加速度と減衰定数の関係

表 8 加振試験結果データ一覧（1 / 2）

No.	試験方法	加振方向	入力加速度※1 (m/s ²)	計測位置※2	頂部加速度 (m/s ²)	減衰定数 (%)
1	正弦波掃引試験	短辺	0.62	a	1.9	9.5
				b	1.8	9.5
				c	1.9	9.5
				d	1.9	9.5
				e	1.8	9.6
2	正弦波掃引試験	短辺	0.91	a	3.5	8.8
				b	3.4	8.9
				c	3.5	8.8
				d	3.8	8.9
				e	3.4	8.9
3	正弦波掃引試験	短辺	1.22	a	6.1	8.6
				b	5.7	8.8
				c	6.1	8.6
				d	5.5	8.8
				e	5.6	8.8
4	正弦波掃引試験	長辺	0.72	a'	2.3	6.2
				b'	2.3	6.2
				c'	2.2	6.1
				d'	2.2	6.1
				e'	2.2	6.1
5	正弦波掃引試験	長辺	0.97	a'	3.1	6.9
				b'	3.1	6.9
				c'	3.1	6.9
				d'	3.1	6.9
				e'	3.2	6.9
6	正弦波掃引試験	長辺	1.22	a'	3.9	7.6
				b'	3.9	7.6
				c'	3.9	7.6
				d'	3.9	7.6
				e'	3.9	7.6

※1 振動台上の実測加速度（最大値）

※2 計測位置は図 16 参照

表 8 加振試験結果データ一覧 (2 / 2)

No.	試験方法	加振方向	入力加速度※1 (m/s ²)	計測位置※2	頂部加速度 (m/s ²)	減衰定数 (%)
7	正弦半波加振試験	短辺	2.91	a	7.3	10.2
				b	6.4	9.9
				c	7.2	10.2
				d	6.4	10.0
				e	6.4	10.0
8	正弦半波加振試験	短辺	3.98	a	8.4	10.4
				b	8.1	10.6
				c	8.3	10.4
				d	9.6	10.7
				e	8.1	10.6
9	正弦半波加振試験	短辺	5.00	a	12.2	10.7
				b	10.6	10.4
				c	12.2	10.7
				d	11.9	10.6
				e	10.6	10.4
10	正弦半波加振試験	長辺	2.96	a'	6.3	10.2
				b'	6.3	10.1
				c'	6.3	10.2
				d'	6.3	10.2
				e'	6.3	10.2
11	正弦半波加振試験	長辺	3.75	a'	7.9	11.1
				b'	7.9	11.0
				c'	8.0	11.6
				d'	7.9	11.6
				e'	8.0	11.6
12	正弦半波加振試験	長辺	4.50	a'	9.3	10.9
				b'	9.3	11.4
				c'	9.4	10.9
				d'	9.4	10.8
				e'	9.4	11.3

※1 振動台上の実測加速度 (最大値)

※2 計測位置は図 16 参照

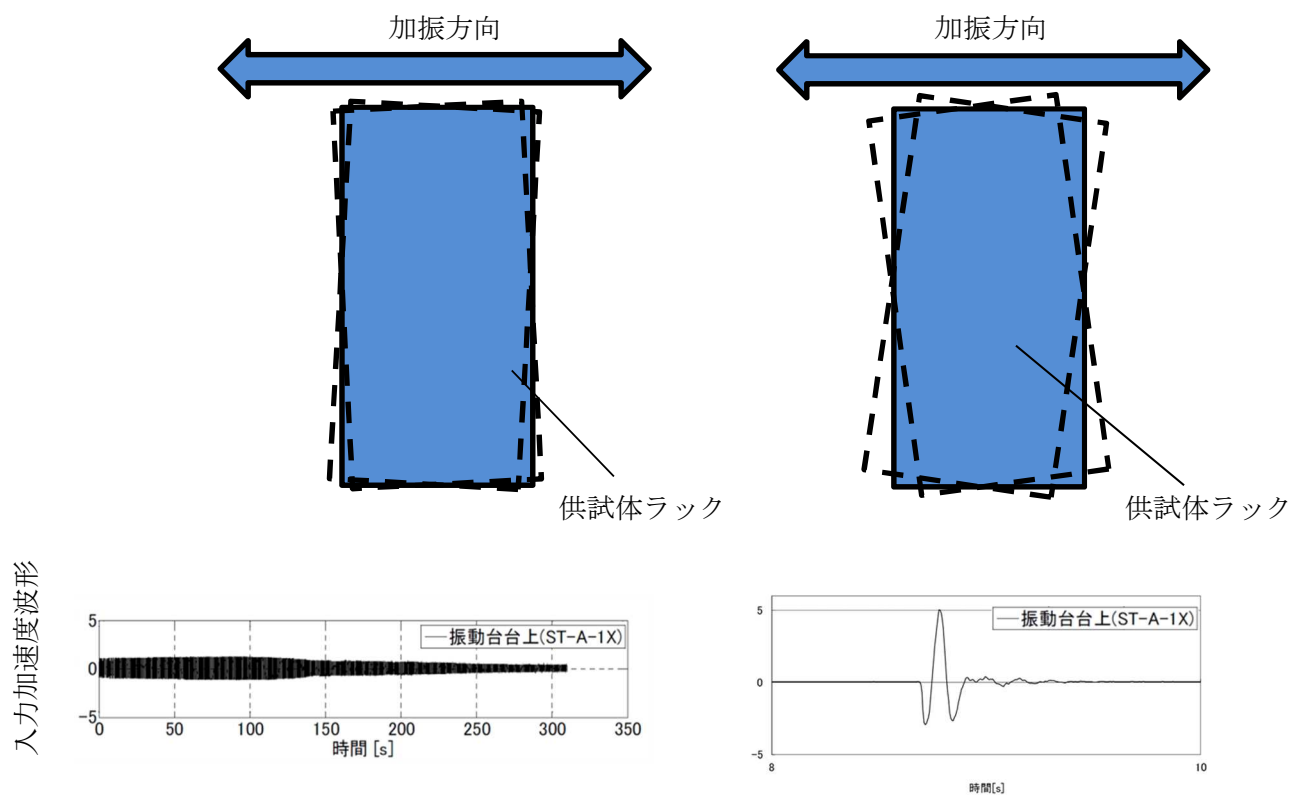


図 20 試験方法の違いによるばらつき (概念図)

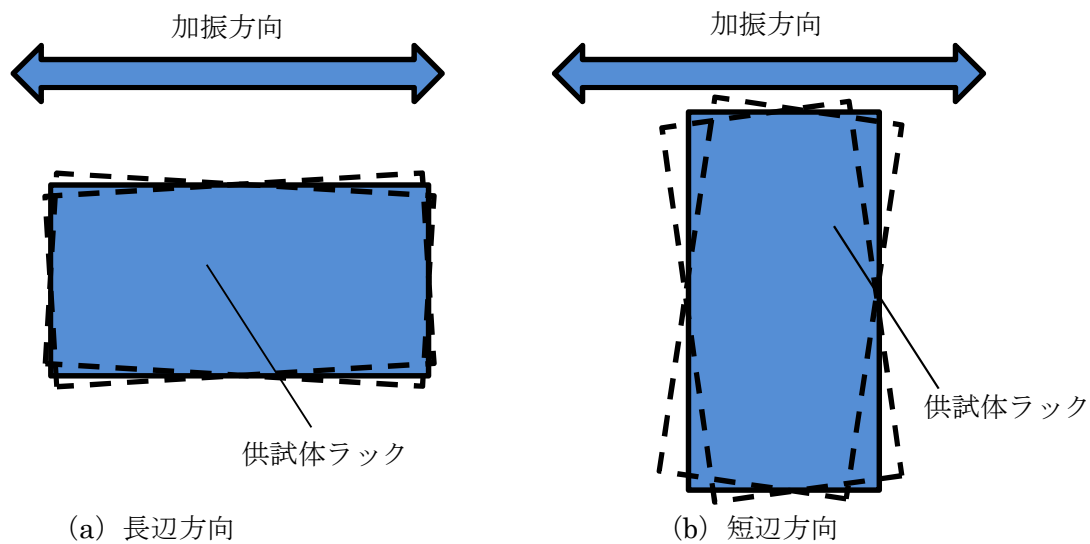


図 21 加振方向の違いによる最大加速度のばらつき (概念図)

4.4 実物大試験における試験条件の妥当性

実物大供試体の加振試験は、実機ラックの減衰傾向を把握することを目的とした試験であり、4.2 で述べたように、供試体ラックの主要諸元および試験水槽の大きさは実機および実機環境と同等、または実機と比較して減衰定数が小さくなるように設定した。試験水槽の水深は実機とは異なるが、燃料ラックの振動特性に与える影響が小さいことを確認している（別紙－3）。試験水槽は剛構造とし、その寸法が供試体ラックの減衰定数に影響を与えないようにしている（別紙－2）。

試験は水槽内でスロッシングが励起されない条件で実施しており、スロッシングが供試体ラックの減衰定数に影響を与えないようにしている。一方、実機では地震動の長周期成分の大きさによっては、使用済燃料プールでのスロッシングが励起され、スロッシングにより減衰定数が大きくなるため、スロッシングの影響を考慮していない本試験は安全側の試験条件である（別紙－8）。

実機ラックおよび供試体ラックはいずれも基礎ボルトにて燃料プールまたは水槽底部と固定されており、底部と燃料ラックに隙間ができるほど基礎ボルトが緩んだ場合には振動特性が変わり減衰定数への影響があると考えられるが、実機ラック設置時に基礎ボルトについて規定トルク値による締付確認を実施しているほか、新潟県中越沖地震後の点検でも基礎ボルトに緩みが無いこと、また、実機ラックは建屋内の使用済燃料貯蔵プール内にあり、環境が一定に管理されている静的機器であることから、トルク低下により減衰定数へ影響を与える可能性は低いと考えられる。

なお、基礎ボルトに緩みが生じた場合、基礎ボルトと部材のガタつき等によるエネルギー消散が増加し、減衰定数がより大きくなることから、基礎ボルトに緩みが無い状態で行った本試験により取得した減衰定数は安全側の設定となると考えられる。

以上より、本試験で得られた減衰定数を実機へ適用することは妥当と考えられる。

5. 試験結果に基づく燃料ラックの設計用減衰定数の設定

5.1 実機応答と供試体応答の比較

「図 19 燃料ラック頂部最大応答加速度と減衰定数の関係」に、実機ラックの基準地震動 S_s 、弾性設計用地震動 S_d に対する応答加速度を追加したもの示す（図 22）。基準地震動 S_s に対する実機ラックの応答加速度レベルにおける減衰定数は、全て 10%以上であった。弾性設計用地震動 S_d に対する減衰定数は、概ね 8~10%であった。なお、一部ラックの基準地震動 S_s に対する応答加速度が供試体の最大応答加速度を上回っているが、加速度が大きい領域ではほぼ一定の減衰定数となっているため、これらのラックにおける減衰定数は 10%程度と考えられる。

また、燃料ラック頂部応答加速度をそれぞれの固有周期を用い近似的に変位に換算し、減衰定数との関係を検討した（図 23）。弾性設計用地震動 S_d に対する実機ラックの応答は角管ラックの長辺の応答変位が僅かに実験値を下回っているが、試験体の応答範囲とほぼ同等であり、試験で得られた減衰定数を適用しても問題ないと考えられる。応答変位が 1mm 付近までは減衰が増加し、以降は概ね一定となる傾向を示している。これは、変位が大きくなるとラックセル内部でチャンネルファスナがラックセルと衝突し、減衰効果が飽和するためと考えられ、短辺・長辺ともに同様の傾向を示すと考えられる。

本試験では以上の通り試験により得られた減衰定数を応答加速度及び変位により整理しており、同一の応答加速度レベルに対して、短辺方向の変位が長辺方向の変位に比較し、大きくなっている。これは、応答加速度が同一の場合、長辺は固有振動数が高く剛性も大きいため応答変位が小さくなり、短辺方向の場合固有振動数が低く剛性も小さいため応答変位が大きくなったためである。

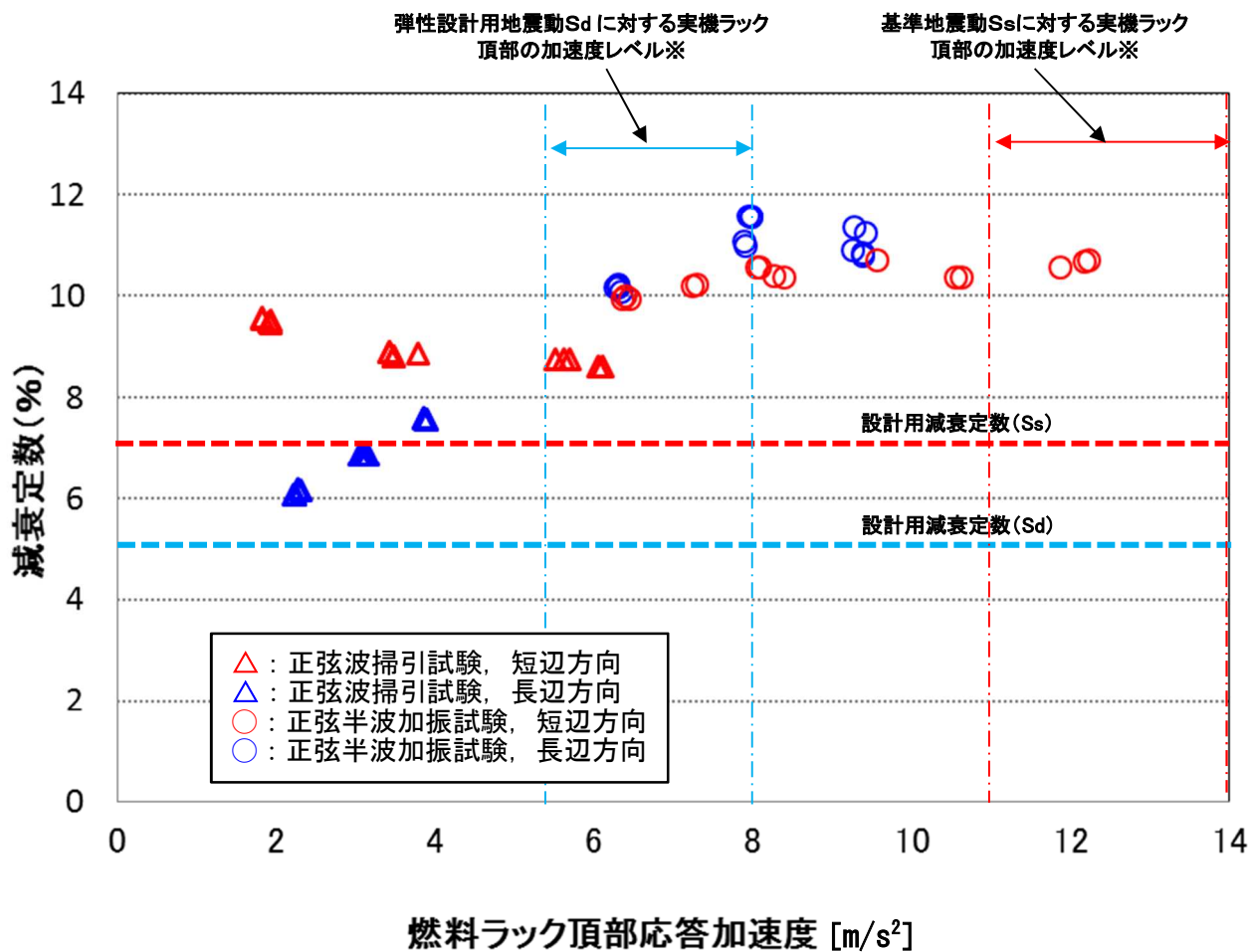
なお、燃料ラックの減衰定数と固有振動数の関係については、減衰の要因として、構造減衰、燃料ラックが水中に設置されていることによる減衰、燃料集合体を貯蔵していることによる減衰の 3つに分類し、既往の知見および試験結果を用いて検討した（別紙-9）。その結果、柏崎刈羽 6 号および 7 号炉の実機ラックの固有振動数領域においては明確な固有振動数依存性は確認されず、供試体ラックと実機ラックの減衰定数は同程度であると考ええる。

以上より、減衰定数は応答依存性が強く実機ラックの応答との対応を評価することにより設計用減衰定数を設定することは妥当であると考ええる。

5.2 設計用減衰定数の設定

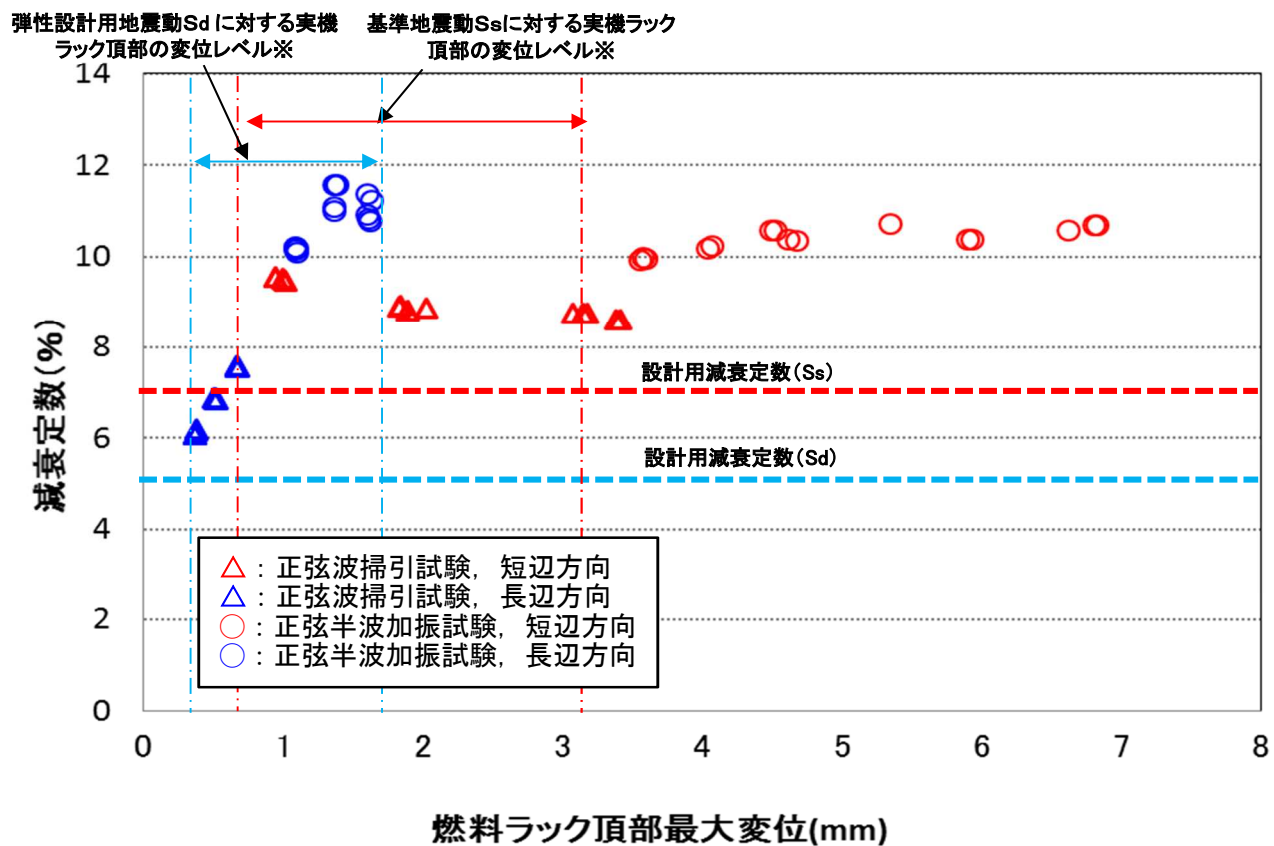
5.1 より、実機ラックの減衰定数は、燃料ラックの型式および貯蔵体数によらず、基準地震動 S_s では 7.0%以上、弾性設計用地震動 S_d では 5.0%以上であることを確認した。ただし、耐震設計に適用する設計用減衰定数の設定は、試験結果のばらつき、耐震設計の簡便さと余裕を考慮して、燃料ラックの型式および貯蔵体数によらず、基準地震動 S_s では 7.0%、弾性設計用地震動 S_d では 5.0%を設定する。

なお、3種類ある燃料ラックのうち、格子ラックおよび市松ラックと構造がやや異なる角管ラックについては、既往の試験結果を確認し、減衰定数がほぼ同様であることを確認した（参考－1）。



※床応答スペクトルと実機ラックの固有周期（長辺/短辺）から求めた値の最小値～最大値を
 実機応答レベルとして記載した（詳細は表 9 および表 10 参照）。

図 22 実機ラック頂部の最大加速度と減衰定数の関係



※床応答スペクトルと実機ラックの固有周期（長辺/短辺）から求めた値の最小値～最大値を実機応答レベルとして記載した（詳細は表 9 および表 10 参照）。

図 23 実機ラック頂部の最大変位と減衰定数の関係

表 9 実機ラックの固有周期と加速度・変位の関係（実機・短辺）

評価用 地震動	ラック型式	ラック種類	①固有周期 (s)	②震度 (－)	③応答加速度 (m/s ²)	④変位 (mm)
基準地震 動 Ss-1～8 減衰 7.0%	格子型	120 体		1.43	14.0 ^{※1}	3.1 ^{※1}
		187 体		1.23	12.1	2.0
		210 体		1.17	11.5	1.2
	角管市松型	77 体タイプ I		1.26	12.4	2.1
		77 体タイプ II		1.27	12.5	2.2
		100 体		1.14	11.2	1.1
		110 体タイプ I		1.14	11.2	1.1
		110 体タイプ II		1.14	11.2	1.1
		121 体		1.14	11.2	0.9
	角管並列型	176 体		1.35	13.2	2.7
		187 体		1.41	13.8	3.0
弾性設計 用 地震動 Sd-1～8 減衰 5.0%	格子型	120 体		0.82	8.0 ^{※2}	1.8 ^{※2}
		187 体		0.65	6.4	1.1
		210 体		0.61	6.0	0.6
	角管市松型	77 体タイプ I		0.64	6.3	1.1
		77 体タイプ II		0.64	6.3	1.1
		100 体		0.58	5.7	0.6
		110 体タイプ I		0.58	5.7	0.6
		110 体タイプ II		0.57	5.6	0.5
		121 体		0.56	5.5	0.5
	角管並列型	176 体		0.74	7.3	1.5
		187 体		0.81	7.9	1.7

③=②×g (m/s²) (重力加速度)④={③/(2 π f)²}×1000

f=1/①

※1 Ss に対する加速度または変位の最大値

※2 Sd に対する加速度または変位の最大値

表 10 実機ラックの固有周期と加速度・変位の関係（実機・長辺）

評価用 地震動	ラック型式	ラック種類	①固有周期 (s)	②震度 (－)	③応答加速度 (m/s ²)	④変位 (mm)
基準地震 動 Ss-1～8 減衰 7.0%	格子型	120 体		1.12	11.0 ^{※2}	0.7 ^{※2}
		187 体		1.12	11.0 ^{※2}	0.7 ^{※2}
		210 体		1.12	11.0 ^{※2}	0.9
	角管市松型	77 体タイプ I ^{※1}	—	—	—	—
		77 体タイプ II ^{※1}	—	—	—	—
		100 体		1.14	11.2	0.9
		110 体タイプ I		1.14	11.2	0.9
		110 体タイプ II		1.14	11.2	0.8
		121 体		1.14	11.2	0.9
	角管並列型	176 体		1.23	12.1	1.8
		187 体		1.23	12.1	1.8
弾性設計 用 地震動 Sd-1～8 減衰 5.0%	格子型	120 体		0.54	5.3 ^{※3}	0.3 ^{※3}
		187 体		0.54	5.3 ^{※3}	0.3 ^{※3}
		210 体		0.55	5.4	0.4
	角管市松型	77 体タイプ I ^{※1}	—	—	—	—
		77 体タイプ II ^{※1}	—	—	—	—
		100 体		0.56	5.5	0.5
		110 体タイプ I		0.56	5.5	0.4
		110 体タイプ II		0.56	5.5	0.4
		121 体		0.56	5.5	0.5
	角管並列型	176 体		0.65	6.4	1.0
		187 体		0.65	6.4	1.0

③=②×g (m/s²) (重力加速度)④={③/(2 π f)²}×1000

f=1/①

※1 剛構造のため減衰の設定不要

※2 Ss に対する加速度または変位の最小値

※3 Sd に対する加速度または変位の最小値

6. 結論

今回の工認で柏崎刈羽 6 号炉の格子ラックおよび角管ラックならびに柏崎刈羽 7 号炉の市松ラックに採用予定の水平方向の設計用減衰定数（基準地震動 S_s : 7.0%, 弾性設計用地震動 S_d : 5.0%）は、実機ラックと同等な供試体を用いて、実機と同等な試験条件により行われた加振試験で得られた結果に対して余裕を考慮した上で設定した値であることから、設計用減衰定数として妥当であることを確認した。

引用文献

- [1] 大型耐震実験施設(LARGE-SCALE EARTHQUAKE SIMULATOR)パンフレット，独立行政法人 防災科学技術研究所
- [2] 浪田他，「水中振動試験による BWR 使用済燃料貯蔵ラックの減衰比」，日本機械学会〔No.10-8〕 Dynamics and Design Conference 2010 論文集 No.417
- [3] 東京電力株式会社 当社原子力発電所における燃料集合体ウォータ・ロッドの曲がりに係る調査結果について（最終報告）平成 25 年 7 月

別紙－１ プール水および燃料集合体の体数が減衰定数に与える影響

(1) 燃料集合体の体数と減衰定数の関係

燃料集合体の体数による減衰定数への影響を確認するため、模擬燃料集合体の貯蔵率を変えて水中での加振試験を行った。また、プール水の減衰定数への影響を確認するため、市松ラック単体（燃料集合体 0%）で気中と水中それぞれで、加振試験を行った。

試験条件を表－別紙 1－1 に示す。

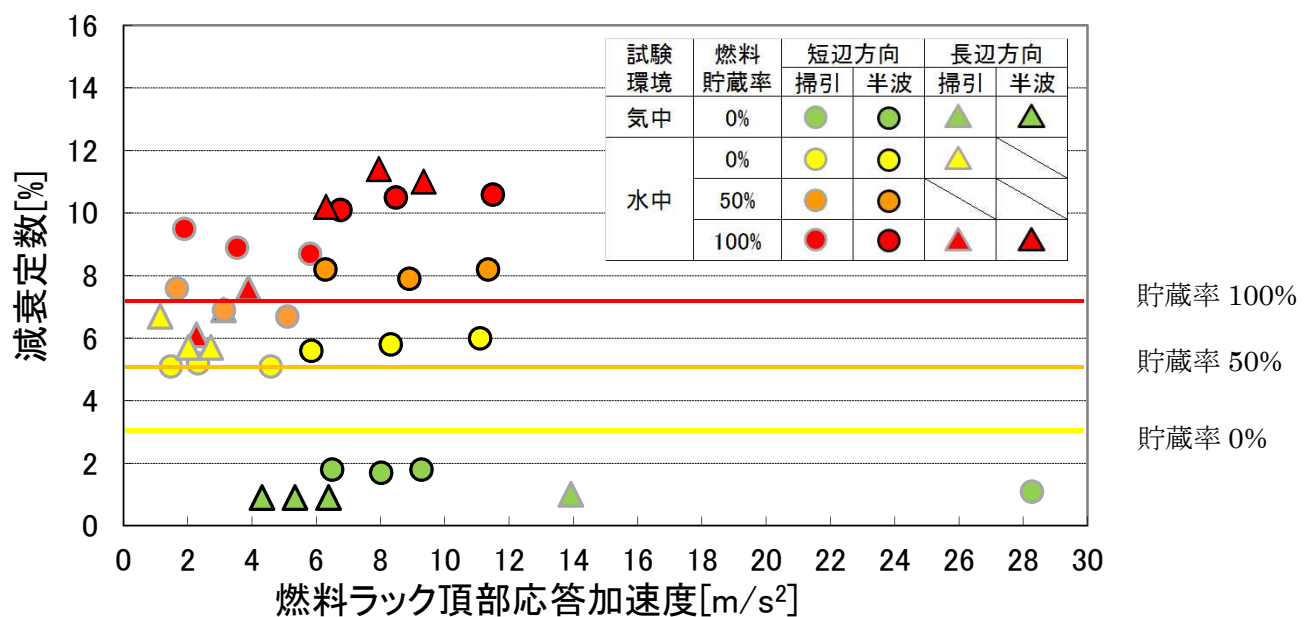
表－別紙 1－1 水および燃料集合体数の影響評価に用いた試験条件

試験方法	方向	入力加速度※ (m/s ²)	気中/水中	燃料貯蔵率 (%)	備考
正弦波掃引試験	短辺	0.71	気中	0	減衰定数をハーフパワー法により算出 (別紙－５)
		0.61, 0.61, 0.62	水中	0, 50, 100	
		0.89, 0.89, 0.91	水中	0, 50, 100	
		1.19, 1.22, 1.22	水中	0, 50, 100	
	長辺	0.36	気中	0	
		0.45, 0.72	水中	0, 100	
		0.73, 0.97	水中	0, 100	
		0.98, 1.22	水中	0, 100	
半波加振試験	短辺	3.38,4.25,5.22	気中	0%	減衰定数を自由振動波形より算出（別紙－６）
		3.13,4.06,5.10	水中	0%	
		3.05,3.74,4.91	水中	50%	
		2.91,3.98,5.00	水中	100%	
	長辺	3.09,3.85,4.67	気中	0%	
		2.96,3.75,4.50	水中	100%	

※振動台上の実測加速度（最大値）。

試験結果から、試験を実施したいずれの燃料ラック頂部応答加速度の範囲においても、貯蔵される燃料集合体の貯蔵率の増加に伴い、減衰定数が増加する傾向があることがわかる（図－別紙 1－1）。これは、燃料の貯蔵体数の増加により、ラックセル内部での各燃料集合体とラック間の摩擦、衝突、流体減衰等による振動エネルギーの消散が大きくなることで、減衰が大きくなったと考えられる。

また、燃料貯蔵率 0%における気中および水中の試験結果を比較すると、流体付加減衰効果により減衰定数が大きくなることがわかる。



図－別紙 1－1 燃料貯蔵率と減衰定数の関係

(2) 燃料集合体の体数と減衰定数および発生応力の関係

燃料ラックの減衰定数は、模擬燃料集合体の貯蔵率の増加に伴い変化することから、燃料ラックの耐震評価で考慮すべき貯蔵率と減衰定数および発生応力について確認した。

許容応力に対する発生応力が最も大きい 77 体ラックを対象に、燃料ラックへの発生応力を貯蔵率と減衰をパラメータにし、解析にて求めた値を表－別紙 1－2 に示す。

評価の結果、発生応力は燃料ラック重量による依存性が高く、100%設置の状態が最も厳しい設計条件となることから、設計上は燃料集合体 100%設置を仮定して評価すれば良いと考えられる。

表－別紙 1－2 燃料貯蔵率と発生応力の関係※1

貯蔵率(%)	減衰定数(%)※2	総重量(ton)	発生応力(MPa)	許容応力(MPa)
0	3	13.9	48	153
50	5	24.3	87	153
100	7	34.3	122	153

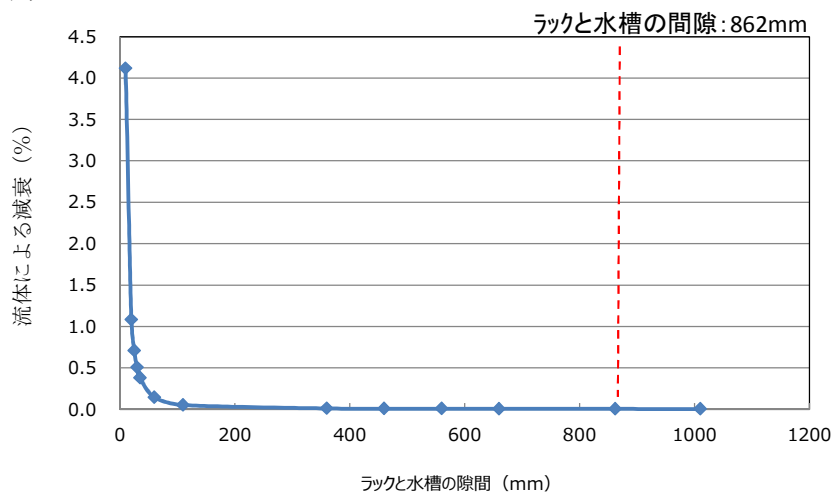
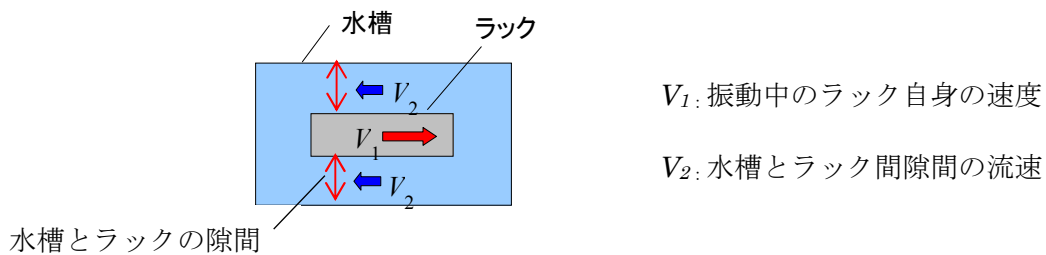
※1：基礎ボルトの応力

※2：試験結果より仮定

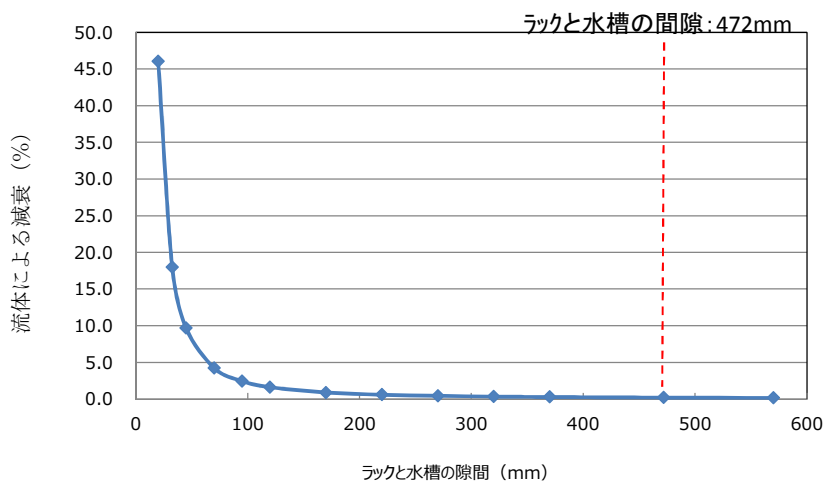
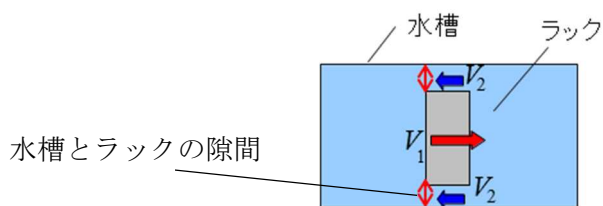
別紙－２ 試験水槽の形状決定方法

燃料ラックの減衰効果には、燃料ラックが流体中を振動することによる流体減衰の効果の影響が考えられ、燃料ラックと水槽間の隙間が小さいほど流速が速くなり、より大きな流体減衰効果が生じる。そのため、試験水槽の大きさは、流体減衰の効果が影響しないような隙間として設定した。

図－別紙２－１に水槽とラックの隙間を変化させた場合の、ラックが流体から受ける減衰比を示す。今回の実物大試験供試体における水槽と試験ラックの隙間における流体の減衰効果は、試験で得られた供試体ラックの減衰に影響を与えるものではないことを確認した。



(a) 長辺方向



(b) 短辺方向

図一別紙2-1 水槽とラック間隙間が与える流体減衰

なお、試験水槽内で振動する供試体ラックに与える流体減衰は以下の式¹⁾に従い算出した。

燃料ラックが水中を振動することによって生じる流体抵抗によるエネルギー消費は、ラックの単位高さあたりの流体抵抗は速度の二乗に比例し、次のように表される。

$$F = \frac{1}{2} C_D \rho d \int_0^L |V| V dz \cdots (1)$$

ここで、

$$V = \alpha_m \dot{X}$$

$$X = ag(z) \sin(\omega t)$$

$$\alpha_m = \frac{d}{D-d} + 1 = \frac{D}{D-d}$$

$g(z)$: ラックの高さ方向振動モードベクトル

流体力が一周期あたりに消費されるエネルギーは式(1)を用いると、

$$E = \int_0^T F \dot{X} dt \cdots (2)$$

$$E = \frac{4}{3} C_D \rho d \alpha_m^2 a^3 \omega^2 \beta L \cdots (3)$$

ここで、

C_D : 角柱の流体抗力係数

ρ : 流体密度

d : ラックの振動方向幅

L : ラックの高さ

a : ラックの変位振幅

ω : ラックの固有円振動数

α_m : ラック自身の速度とラックから見た流体の相対速度の比

D : 水槽の振動方向の幅

β : 高さ方向の流速分布に関する係数

等価減衰として速度比例型減衰力を考えれば、減衰力によって一周期あたりに消費されるエネルギーは次のように表される。

$$E_0 = C_{eq} a^2 \pi \omega \cdots (4)$$

ここで、流体減衰と等価な減衰として、式(3)と(4)が等しいとして等価減衰比を求めると、

$$\zeta_{eq} = \frac{C_{eq}}{2(m+m_v)\omega} = \frac{2\beta}{3\pi} \frac{1}{(m+m_v)} C_D \rho d L \alpha_m^2 a \cdots (5)$$

ここで、

m : ラックの質量

m_v : 水中におけるラックの付加質量

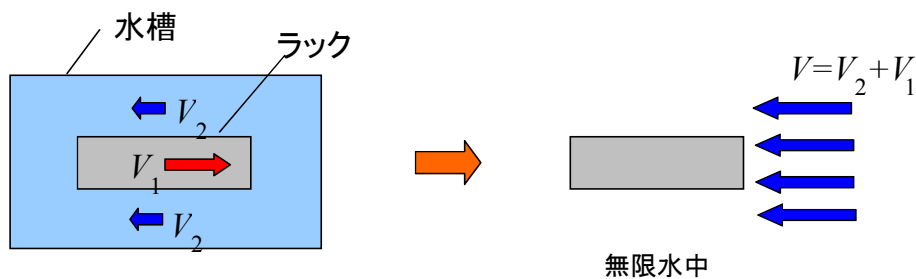
以上の計算式から、水槽内で振動するラックの流体減衰と等価な減衰は以下となり、燃料ラックの減衰に対し、ラックと水槽の隙間による流体減衰の影響は十分に小さい。

市松ラックの等価減衰比

長辺方向の加振 : $\zeta_{eq} = 0.005\%$

短辺方向の加振 : $\zeta_{eq} = 0.203\%$

ここで、流体による抗力の計算における一様流の流速 V はラックから見た流体の相対速度 $V=V_2+V_1$ を用いた (図一別紙 2-2)。ここで、 V_1 はラック自身の速度、 V_2 は流路内の流速である。



一様流中に置かれた角柱で近似

図一別紙 2-2 一様流の流速の考え方

参考文献[1] : 藤本他, 「流体中で振動する角柱群の減衰特性」, 日本機械学会論文集 (C 編) 51 巻 471 号

別紙－3 試験における水深の影響について

実機ラックは水深 11.5m のところに設置されているが、試験では試験設備の関係から試験水槽の水深は 4.8m とした。試験水槽の水深 4.8m の試験で、実機ラックの振動特性に影響を与えないか検討するため、解析モデルを作成し NASTRAN の MFLUID 機能※1を用いて水深が異なる場合の振動特性を検討した。

(1) 検討方法

市松ラックの水中の振動特性に与える水深の影響を評価した。なお、試験における地震動入力スロッシングの影響を回避するような波を使用しており、本解析においてもスロッシング効果は考慮していない。

市松ラックの代表寸法は、幅 1584mm、奥行き 804mm、高さ 4493mm である。NASTRAN の MFLUID 機能を用いて試験水槽の水深 4.8m の場合と実機水深 11.5m の場合の固有振動数と周波数応答を算出した。ラック外側の水平方向は無限水中とした。

(2) 検討結果

(a) 固有振動数

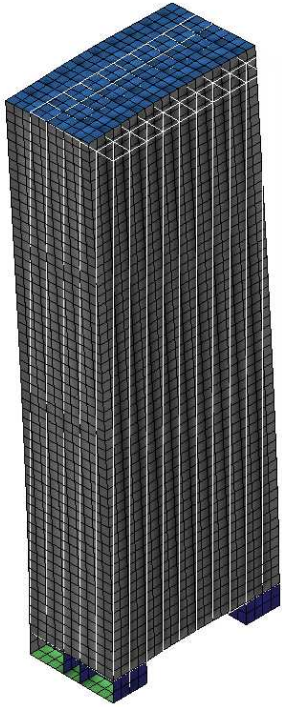
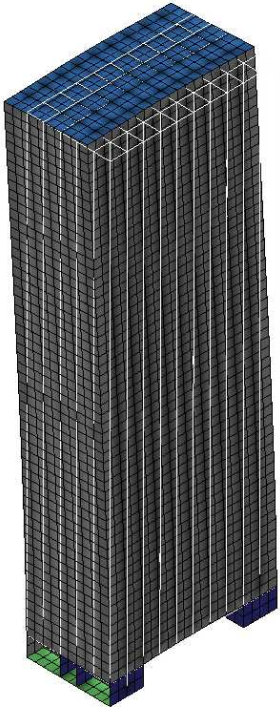
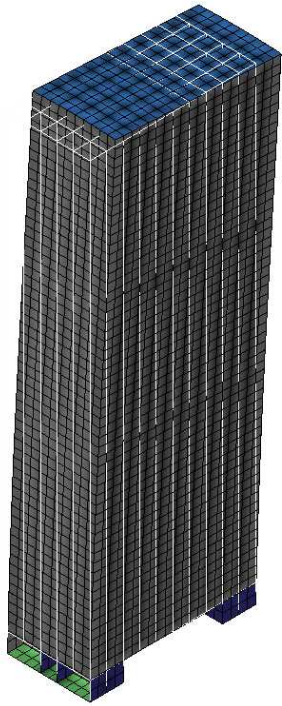
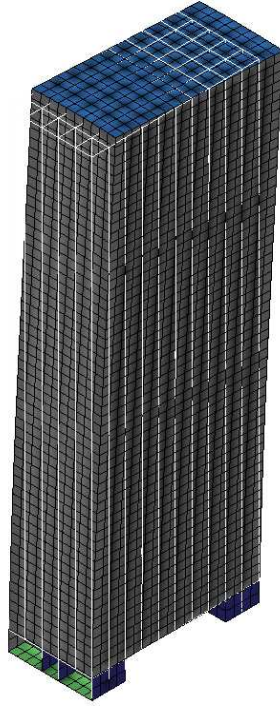
水深 4.8m の場合と水深 11.5m の場合の固有振動数および固有振動モードを図一別紙 3－1 に示す。

試験水槽の水深 4.8m の場合と実機水深 11.5m の場合の固有振動数の差異は小さいことがわかった。

表一別紙 3－1 固有振動数の比較

次数	水深4.8m		水深11.5m	
	固有振動数 [Hz]	振動モード	固有振動数 [Hz]	振動モード
1	10.25	Y方向変形	10.20	Y方向変形
2	22.43	X方向変形	22.40	X方向変形

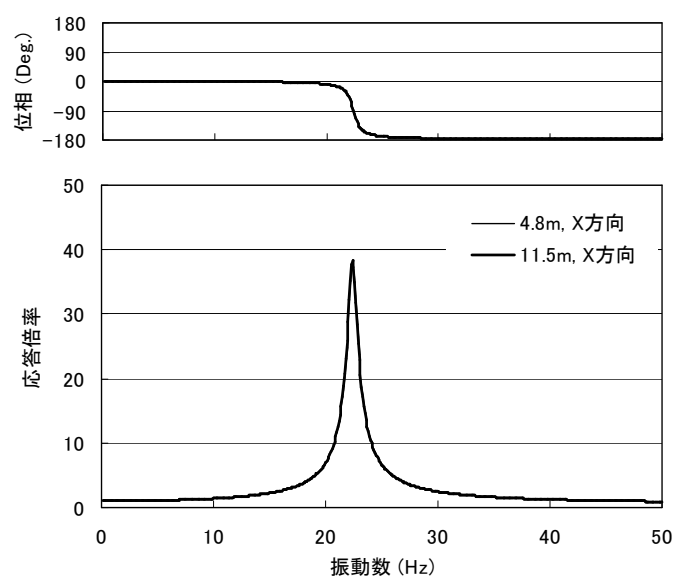
※1 解析モデル上考慮している流体の付加質量を計算する機能

	試験：水深 4.8m	実機：水深 11.5m
1 次 モード	 <p>10.25Hz</p>	 <p>10.20Hz</p>
2 次 モード	 <p>22.43Hz</p>	 <p>22.40Hz</p>

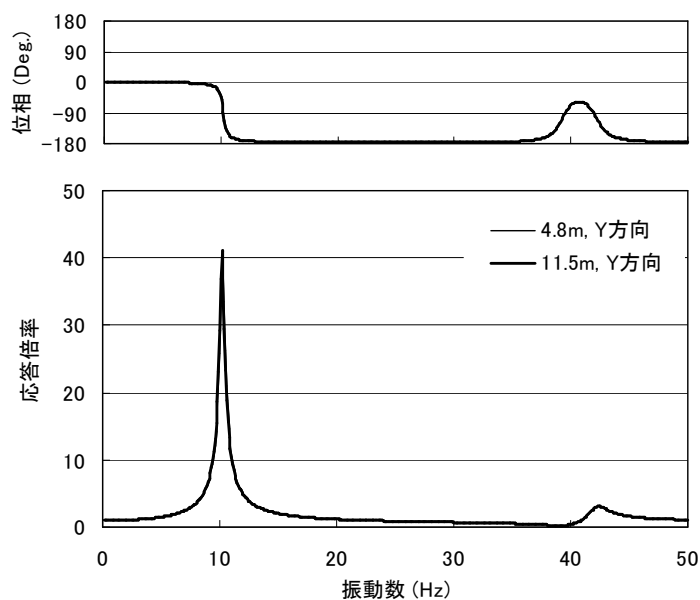
図－別紙 3－1 水深 4.8m と 11.5m のラック振動モード

(b) 周波数応答

固有振動数の違いは小さいことがわかったが、応答特性の違いも小さいことを確認するために、上記の解析モデルを用いて周波数応答計算を行った。図一別紙 3-2 に X 方向加振時の周波数応答、Y 方向加振時の周波数応答を示す。水深が 4.8m の場合と 11.5m の場合で違いはほとんどないことがわかる。なお、減衰定数は 2% と仮定した。



(1) X 方向加振時



(2) Y 方向加振時

図一別紙 3-2 周波数応答解析結果

(3) 検討結果のまとめ

実機ラックは水深 11.5m のところに設置されているが、試験では試験設備の関係から試験水槽の水深は 4.8m とした。試験水槽の水深 4.8m の試験で、実機ラックの振動特性に影響を与えないか検討するため、解析モデルを作成し NASTRAN の MFLUID 機能を用いて水深が異なる場合の振動特性を検討した。その結果、水深 4.8m および水深 11.5m の条件において、水位は付加質量に対して影響を与えないため、固有振動数および周波数応答に差異がなく、水深 4.8m の試験水槽を用いた試験で実機の振動特性を模擬できることを確認した。

なお、水位をラック高さ以下に変化させることでラックに掛かる付加質量を変化させて、本解析モデルで指定した水深が付加質量に影響していることを確認した検討結果を以下に示す。

(4) 水深の影響によるラックの固有値解析

本検討では水深 11.5m と水深 4.8m の固有値解析結果に対して、水位高さ 4.473m（ラック高さ）と 2m（ラック高さ以下の水位）の 2 ケースの固有値解析を追加実施した。本解析では、付加質量を考慮した計算を実施している。

表一別紙 3－2 に市松ラックの短辺方向および長辺方向について、水深と固有振動数の関係を示す。表より、水深 11.5m の固有振動数に対してラック高さと同等の水深 4.473m の固有振動数はほぼ変化しないが、ラック高さ以下の水深 2m の固有振動数では変化率が大いことがわかる。ラック高さ以下のケースとして実施した水深 2m の固有値解析ではラック高さの半分程度が水中にないため、ラックに対して付加質量を受けない部分があり、固有振動数が高くなったといえる。すなわち、本解析結果においてラック高さ以上の水位ではラックに与える付加質量は変わらず、試験計画の水深 4.8m で実機プラントでの水深 11.5m の振動特性を模擬できているといえる。

表一別紙 3－2 水深と固有振動数

No.	水深[m]	固有振動数[Hz]		備考
		短辺方向	長辺方向	
1	11.5	10.20	22.40	
2	4.8	10.25	22.43	
3	4.473	10.31	22.46	ラック高さ
4	2	12.10	23.86	ラック高さ以下の水位

別紙－４ 試験方法および減衰定数の算出方法

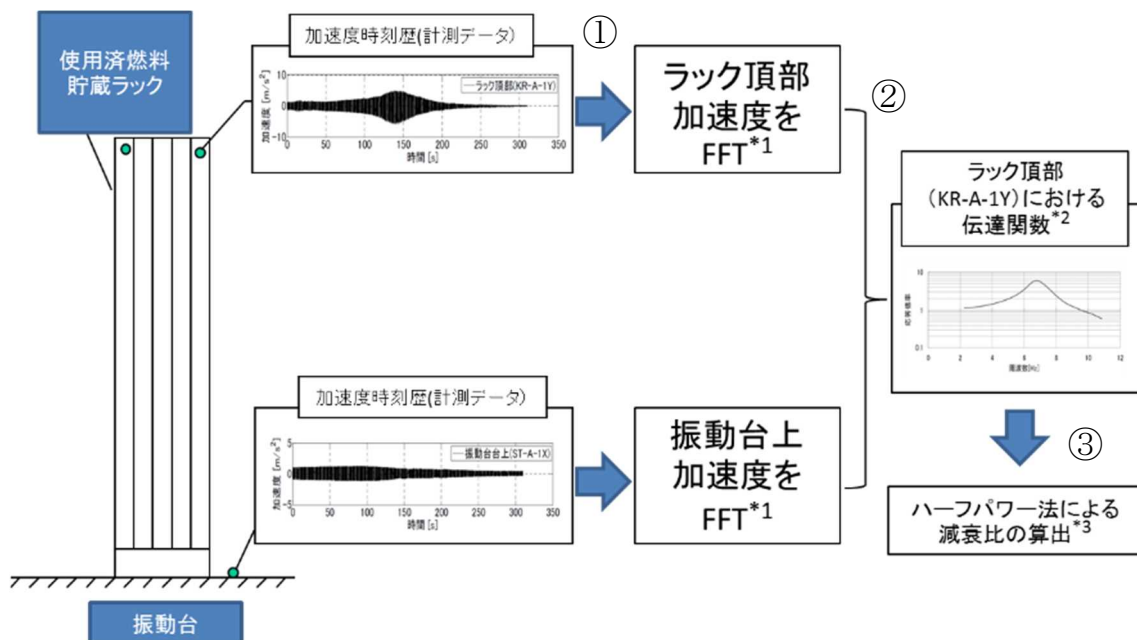
本試験では、正弦波掃引試験と正弦半波加振試験の２種類の加振をおこない、正弦波掃引試験では振動台上加速度と供試体頂部加速度から伝達関数を求め、ハーフパワー法を用い減衰定数を算定し、正弦半波加振試験は自由減衰波形の振幅より減衰定数を算定した。いずれの方法も、一般的で実績のある方法である。

加振試験をおこなうに当たり、ランダム波により供試体ラックの固有振動数を探索した。次に、正弦波掃引加振試験にて、探索したラックの一次固有振動数を中心に $\pm 5\text{Hz}$ 程度の帯域を持った正弦波による加振をおこない、固有振動数を確認するとともに、入力レベルを段階的に増加させた正弦波掃引試験により、応答の傾向および減衰定数を確認した。さらに、高いレベルの減衰傾向を取得するため、正弦波掃引試験で得られた固有振動数を目標に正弦半波加振をおこない、応答の傾向および減衰定数を確認した。以下にそのデータ処理方法を示す。

a. 正弦波掃引試験

正弦波掃引試験にて、ハーフパワー法を適用し減衰定数を算定するまでのデータ処理の流れは以下の通り。

- ① 正弦波掃引試験において取得したラック頂部の加速度時刻歴データおよび振動台上加速度時刻歴データの振動数解析を行う。
- ② 振動台上加速度の振動数解析データとラック頂部の振動数解析結果から、伝達関数を計算する。
- ③ ラック頂部の加速度計測点それぞれに対応する伝達関数に対しハーフパワー法を適用し減衰定数を算定する（詳細は別紙－5 参照）。



*1:高速フーリエ変換処理にて、振動数に対する加速度最大値を算出する（FFT：Fast Fourier Transform, 高速フーリエ変換）。

*2:伝達関数：ラック頂部加速度 FFT 結果／振動台上加速度 FFT とした結果をプロットしたもの。

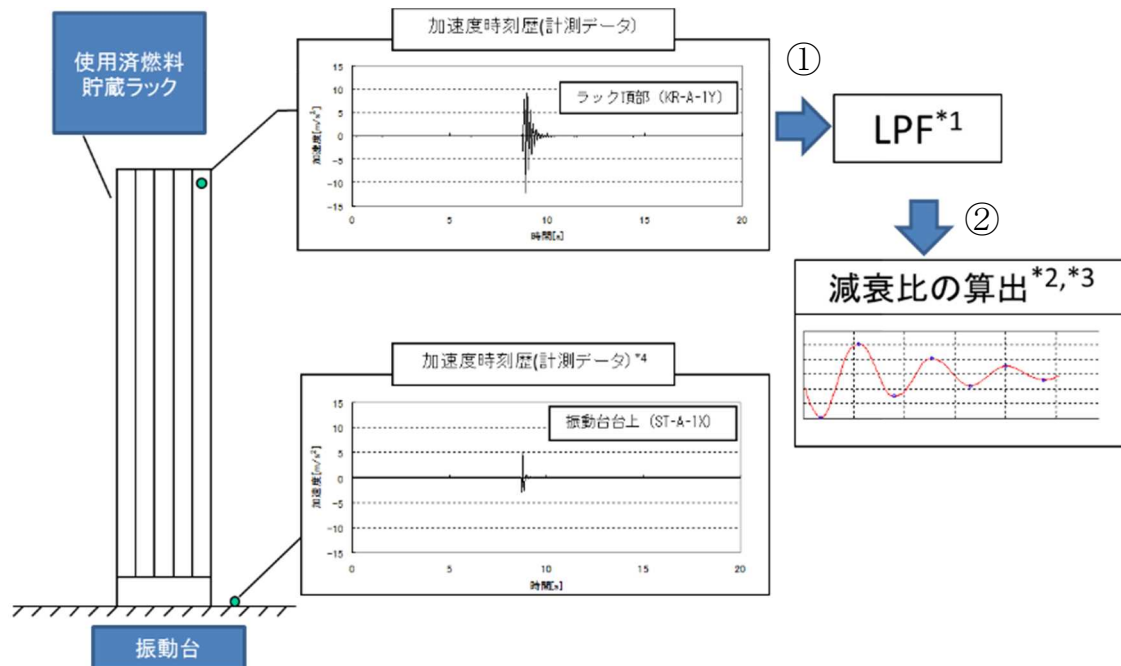
*3:ラック頂部の加速度計測点 4 点（KR-A-1Y～4Y）について KR-A-1Y と同様の処理を実施

図－別紙 4－1 正弦波掃引試験データの処理の例（短辺方向，目標入力加速度 $1.00m/s^2$ ）

b. 正弦半波加振試験

正弦半波加振試験にて，自由減衰波形から減衰定数を算定するまでのデータ処理の流れは以下の通り。

- ① 正弦半波加振試験にて取得したラック頂部の加速度時刻歴データを，試験体の一次モードで評価するため，ローパスフィルタ（LPF）により高周波成分を除去する。
- ② フィルタ処理後の加速度波形に対し，振動台加振時間帯を除く加速度のピーク値より減衰比を求める（詳細は別紙－6 および別紙－7 参照）。



*1:ローパスフィルタにて最低次数のモードだけの応答で評価するため，高周波成分を除去する（LPT : Low-pass Filter : ローパスフィルタ）。

*2:振動台加振時間帯を除く加速度波形のピーク値より減衰比を算定する。

*3:ラック頂部の加速度計測点 4 点（KR-A-1Y~4Y）について KR-A-1Y と同様の処理を実施する。

*4:振動台上加速度が小さいことを確認する。

図－別紙 4－2 正弦半波加振試験データ処理の例（短辺方向，振動台上加速度 5.00m/s^2 ）

別紙-5 ハーフパワー法について

加振力 $Fe^{i\omega t}$ を受ける 1 自由度系の振動方程式は式(1)で表される。

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = Fe^{i\omega t} \quad (1)$$

上式の解を $x = Ae^{i\omega t}$ として、式(1)に代入すると、

$$A = \frac{F}{-m\omega^2 + ic\omega + k} = \frac{F}{k \left\{ \left(1 - \frac{m}{k} \omega^2 \right) + i \frac{c}{k} \omega \right\}}$$

ここで、固有円振動数 $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ ，減衰定数 $\zeta = \frac{c}{c_c} = \frac{c}{2\sqrt{mk}} = \frac{c\omega_0}{2k}$ とおくと

$$A = \frac{F}{k \left[\left\{ 1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 \right\} + i 2\zeta \frac{\omega}{\omega_0} \right]}$$

よって、

$$x = \frac{1}{k \left[\left\{ 1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 \right\} + i 2\zeta \frac{\omega}{\omega_0} \right]} Fe^{i\omega t}$$

となる。

よって、加振力 $Fe^{i\omega t}$ に対する変位の振動伝達特性の振幅は式(2)で与えられる。

$$A = \frac{1}{k} \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 \right)^2 + \left(2\zeta \frac{\omega}{\omega_0} \right)^2}} \quad (2)$$

いま $\zeta \leq 1$ とすると式(2)の振幅曲線はピーク値付近で $\omega = \omega_p$ に対しほぼ対称である。

そこで ω_p より少し低い ω_L 点の振幅を A_L とする。

$$\Delta\omega/2 = \omega_p - \omega_L = \omega_0 - \omega_L \quad (\omega_p \approx \omega_0) \text{ より}$$

$$A_L = \frac{1}{k} \frac{1}{\sqrt{\left(1 - (\omega_0 - \Delta\omega/2)^2 / \omega_0^2\right)^2 + 4\zeta^2 (\omega_0 - \Delta\omega/2)^2 / \omega_0^2}}$$

$$\approx \frac{1}{k} \frac{1}{\sqrt{(\Delta\omega / \omega_0)^2 + 4\zeta^2}}$$

一方,

$$A_{\max} = \frac{1}{2k\zeta\sqrt{1-\zeta^2}} \approx \frac{1}{2\zeta k}$$

となる。 A_{\max} と A_L の比 R は

$$R = \frac{A_{\max}}{A_L} = \frac{\sqrt{(\Delta\omega / \omega_0)^2 + 4\zeta^2}}{2\zeta}$$

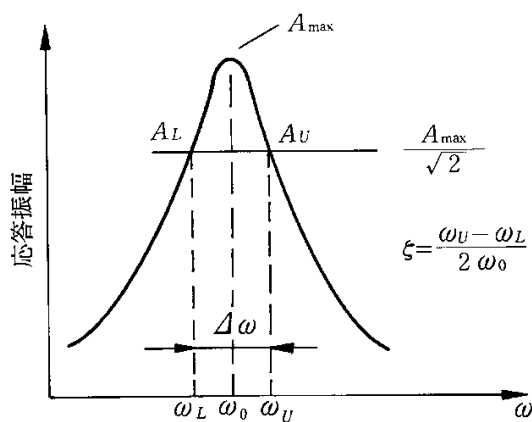
となり, 整理すると

$$\zeta = \frac{1}{2} \frac{\Delta\omega / \omega_0}{\sqrt{R^2 - 1}}$$

となる。 $R = \sqrt{2}$ とすると以下のように簡単になる。

$$\zeta = \frac{1}{2} \frac{\Delta\omega}{\omega_0} = \frac{1}{2} \frac{\omega_U - \omega_L}{\omega_0} = \frac{f_U - f_L}{2f_0}$$

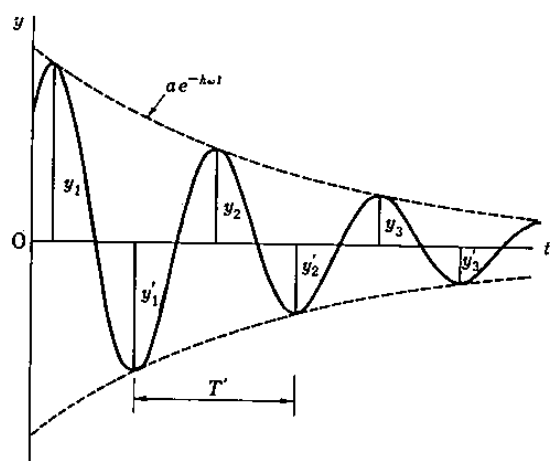
よって, 周波数応答の $A_{\max} / \sqrt{2}$ を示す周波数 f_U と f_L および固有振動数 f_0 を計測すれば減衰定数 ζ を求めることができる。この減衰定数測定方法をハーフパワー法という(図一別紙5-1)。



図一別紙5-1 ハーフパワー法

別紙－6 自由振動波形からの減衰定数の算出方法

自由減衰振動波形は、指数関数的に減衰することから、隣り合う振幅の比の対数をとると常に一定の値となり、この隣り合う振幅の比の自然対数から対象とする構造の減衰定数を求めることができる（図－別紙6－1）。



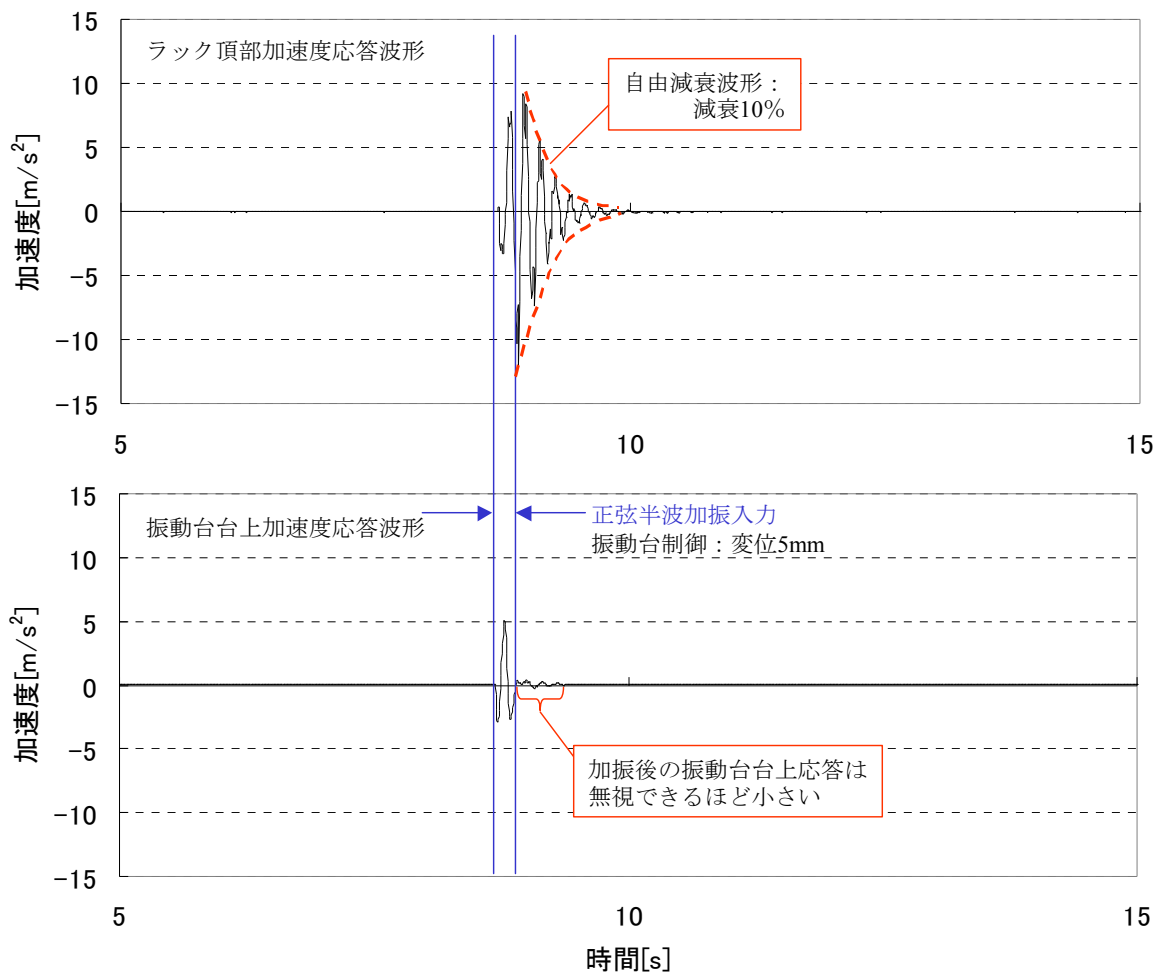
$$(\text{振幅比}) d = \frac{y_1}{y_2} = \frac{y_2}{y_3} = \dots$$

$$h = \left(\frac{\ln d}{2\pi} \right) / \sqrt{1 + \left(\frac{\ln d}{2\pi} \right)^2}$$

図－別紙6－1 減衰定数の算出方法(自由振動波形からの減衰定数の算定方法)

別紙－７ 正弦半波加振試験における振動台の影響について

正弦半波加振におけるラック頂部および振動台上の加速度時刻歴波形を図－別紙７－１に示す。振動台上加速度応答波形において、正弦半波加振入力後の台上応答加速度は、ラック頂部加速度に比べて無視できるほど小さいことがわかる。なお、振動台上応答加速度がほぼゼロとなる時点からラック頂部応答加速度の自由減衰波形として減衰定数を求めている。



図－別紙７－１ 燃料ラックの自由振動波形と減衰定数
(正弦半波加振試験，短辺方向，振動台上加速度 5.00m/s^2)

別紙－８ スロッシングによる減衰への影響について

本試験は、供試体ラックの固有周期を含む振動数範囲で加振試験を行なっている。試験水槽のスロッシングの固有周期は入力振動数範囲に対し十分大きい試験条件にて試験を行なっているため、本試験ではスロッシングが励起されない（表－別紙８－１）。一方、実機では、地震動の長周期成分の大きさによっては燃料プールのスロッシングが励起される可能性が考えられるため、その影響を検討する。

実機燃料プールのスロッシングの固有周期は、実機ラックの固有周期に対し十分に大きい（表－別紙－８－２）。地震によって実機燃料プールにスロッシングが励起された場合、燃料ラックの振動速度に対して、スロッシングによるプール水の流速はほぼ一定とみなせる状態であると考えられ、流速一定の流れの中で物体が振動する場合、流速に依存して減衰定数が大きくなるがあるが[1]、今回設定する設計用減衰定数はこの影響を考慮せず設定した減衰定数であるため、スロッシングの影響が無い試験条件で取得した減衰定数を実機の燃料ラックの耐震設計に適用出来ると考える。

表－別紙８－１ 試験および実機の固有周期

	試験	
	試験水槽のスロッシング	入力加速度の周期
市松ラック	1.8～2.3 秒	振動台振動 0.050～0.500 秒

表－別紙８－２ 試験および実機の固有周期

	実機	
	実機燃料プールのスロッシング	実機ラック
格子ラック	4.3～4.9 秒	0.065～0.093 秒
市松ラック		0.057～0.082 秒
角管ラック		0.077～0.092 秒

参考文献[1]：Robert D. Blevins,” Flow-Induced Vibration Second Edition” , (1990), Van Nostrand Reinhold.

別紙－9 固有振動数と減衰定数の関係について

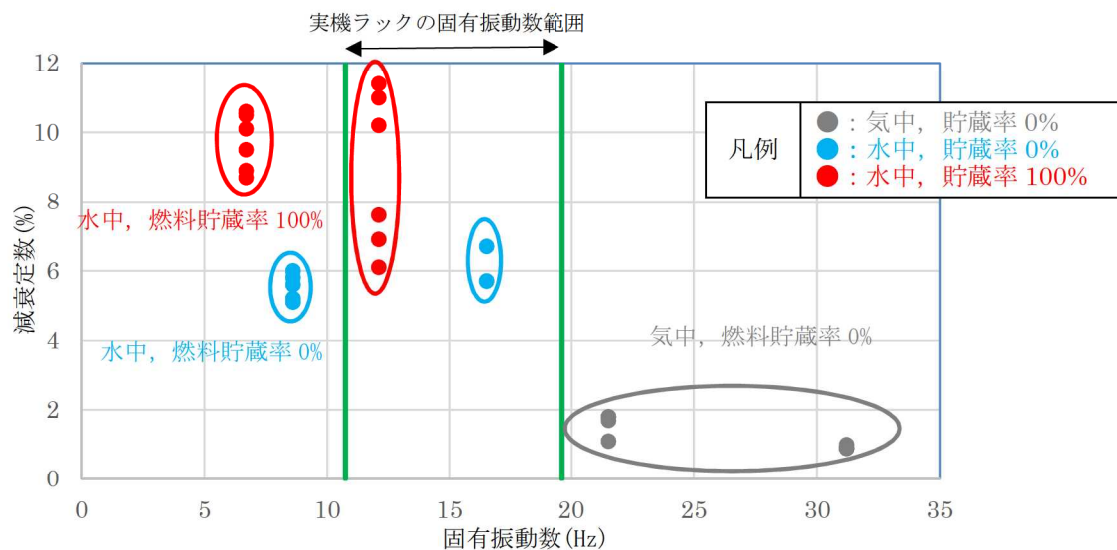
本試験に用いた供試体ラックと実機ラックは、表－別紙9－1に示す通り、固有振動数が異なることから、実機ラックへの適用性を確認するために固有振動数と減衰定数の関係について検討する。

表－別紙9－1 水中・燃料貯蔵率 100%における燃料ラックの固有振動数について

ラック型式	貯蔵体数 (列数)	固有振動数 (Hz)	
		短辺	長辺
供試体ラック	50 体 (5 列×10 列)		
角管市松型	100 体 (10 列×10 列)		
角管市松型	110 体タイプⅠ (10 列×11 列)		
角管市松型	110 体タイプⅡ (10 列×11 列)		
角管市松型	121 体 (11 列×11 列)		
角管市松型	77 体タイプⅠ (7 列×11 列)		－※
角管市松型	77 体タイプⅡ (7 列×11 列)		－※
格子型	120 体 (6 列×10 列×2 台)		
格子型	187 体 (9 列×11 列+8 列×11 列)		
格子型	210 体 (10 列×10 列+10 列×11 列)		
角管並列型	176 体 (11×16 列)		
角管並列型	187 体 (11×17 列)		

※：剛構造のため

本試験より得られた減衰定数について横軸を固有振動数として整理した結果（図－別紙9－1），同一の固有振動数に対しても減衰定数がばらついており，固有振動数との相関が不明確であることから，燃料ラックの減衰効果を細分化し，既往の知見および試験結果を用いて減衰定数との関係を検討する。



図－別紙9－1 固有振動数と減衰定数の関係

1. 燃料ラックの減衰効果

燃料ラックは、水中に設置された溶接構造物であり、燃料集合体を貯蔵していることから、減衰として以下に示す効果によるものがあると考えられる。

a. 構造減衰

燃料ラックが曲げモーメントおよびせん断力を受けて変形することによる減衰。

b. 燃料ラックが水中に設置されていることによる減衰

水中で燃料ラックが振動する際の水の抵抗による減衰。

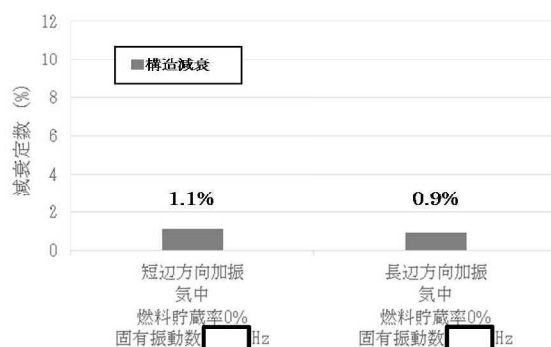
c. 燃料集合体を貯蔵していることによる減衰

燃料ラックに貯蔵された燃料集合体のガタつきにより、振動エネルギーを吸収することによる減衰。

2. 各減衰効果の振動数依存性について

a. 構造減衰の振動数依存性について

気中・燃料貯蔵率 0% の試験結果より、構造減衰は約 1% であった（図一別紙 9－2）。



図一別紙 9－2 構造減衰（試験結果）

構造減衰の主要因は材料減衰、即ち材料の分子間の摩擦による減衰と考えられる。簡単のため、燃料ラックの振動モデルを図一別紙 9－3 に示すような 1 自由度系のモデルと考え、構造減衰について検討する。

構造減衰による減衰定数 ζ_s は系全体の運動エネルギー E と摩擦による消散エネルギー ΔE との比に比例するので、 ζ_s は以下の式で表される。

$$\zeta_s \propto \frac{\Delta E}{E} \quad (1)$$

ここで、 K を剛性、 x を変位、 μ を摩擦係数、 N を抗力、 μN を摩擦力とするとひずみエネルギー E は

$$E = \frac{1}{2} K x^2 \quad (2)$$

と表される。

一方、摩擦減衰による消散エネルギー ΔE は図一別紙 9-4 の荷重 - 変位特性の囲む面積で表され、

$$\Delta E = 4 \mu N x \quad (3)$$

となる。

抗力 N が系の剛性 K に比例すると考えて $N \propto Kx$ とすると(3)式は

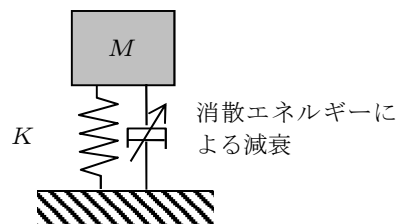
$$\Delta E = 4 \mu K x^2 \quad (4)$$

となるため、

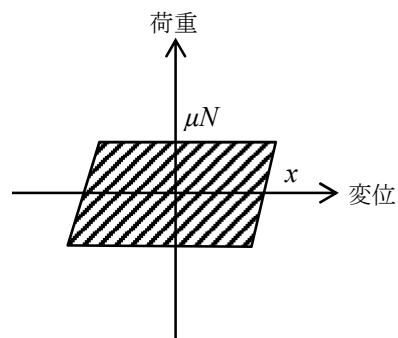
$$\frac{\Delta E}{E} \propto \frac{4 \mu K x^2}{\frac{1}{2} K x^2} = 8 \mu \quad (5)$$

となり、構造減衰による減衰定数は 8μ に比例し、固有振動数には依存しない。

以上より、構造減衰は固有振動数によらず一定の値となると考えられる。これは JEAG4601 に溶接構造物の減衰定数が 1.0% と規定されていることおよび試験結果（気中・燃料貯蔵率 0% の短辺方向加振結果および長辺方向加振結果）と矛盾しないことから、構造減衰として 1.0% を想定することは妥当であると考ええる。



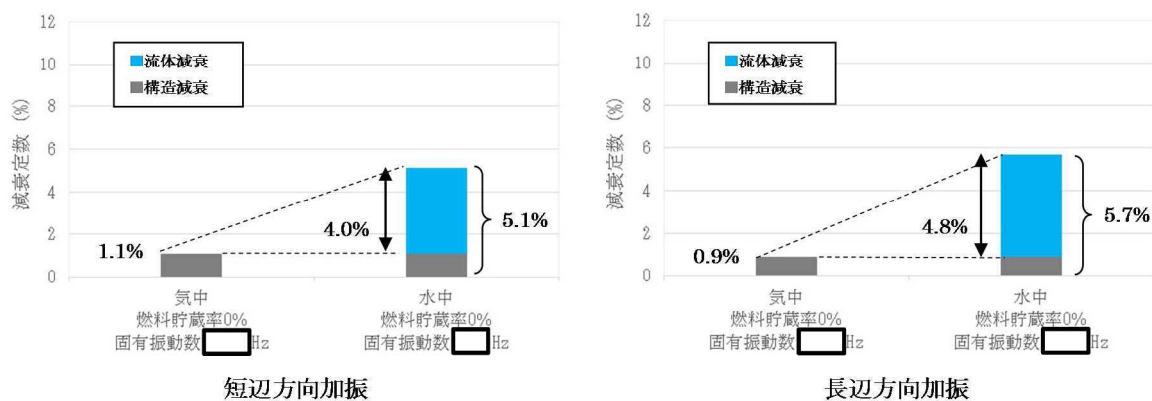
図一別紙 9-3 ラック振動モデル



図一別紙 9-4 荷重-変位特性

b. 燃料ラックが水中に設置されていることによる減衰の振動数依存性について

気中・燃料貯蔵率 0%の試験結果および水中・燃料貯蔵率 0%の試験結果より、水の抵抗による減衰定数は短辺方向加振で 4.0%，長辺方向加振で 4.8%であった（図－別紙 9－5）。



図－別紙 9－5 燃料ラックが水中に設置されていることによる減衰（試験結果）

供試体ラックの固有振動数及び減衰定数と実機ラックの固有振動数を整理した結果（表－別紙 9－2）より以下のことがわかる。

- (a) 供試体ラック短辺方向加振結果と長辺方向加振結果の減衰定数の差は 0.6%
（表－別紙 9－2 の（a））
- (b) 供試体ラック短辺方向と長辺方向加振結果の固有振動数の差は約 8Hz
（表－別紙 9－2 の（b））
- (c) 供試体ラックの最大固有振動数と実機ラックの最大固有振動数の差は約 3Hz
（表－別紙 9－2 の（c））

表－別紙 9－2 各条件での固有振動数と減衰定数

	供試体ラック 水中燃料貯蔵率 0% 短辺方向加振	実機ラック 水中・燃料貯蔵率 100% 最小固有振動数	供試体ラック 水中・燃料貯蔵率 0% 長辺方向加振	実機ラック 水中・燃料貯蔵率 100% 最大固有振動数
固有振動数 (Hz)	<div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; margin: 0 auto;"></div>	<div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; margin: 0 auto;"></div>	<div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; margin: 0 auto;"></div>	<div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; margin: 0 auto;"></div>
減衰定数 (%)	5.1	—	5.7	—

(a)

上記の通り，(a)供試体ラックの短辺方向加振時と長辺方向加振時の減衰定数の差は小さく，(b)供試体ラックの短辺方向加振時と長辺方向加振時の固有振動数の差よりも(c)供試体

ラック長辺方向加振時の固有振動数と実機ラックのうち最大となる固有振動数の差の方がより小さいことから、固有振動数による実機ラックの減衰定数への大きな影響はないと考えるが、ここでは固有振動数と流体による減衰の関係について、以下の静止流体中で振動する円柱構造物の減衰の式^[1]を用いて検討する。

$$\zeta_f = \frac{2}{3\pi} \frac{\rho_f D^2}{M} \frac{X_d}{D} \frac{\omega}{\omega_n} C_D \quad (6)$$

ρ_f : 流体の密度[kg/m³]

D : 代表長さ[m]

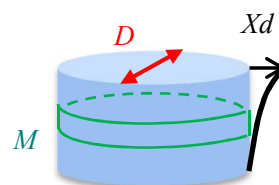
M : 高さ方向への単位長さあたりの質量[kg/m]

X_d : 変位振幅[m]

ω : 加振振動数[rad/s]

ω_n : 固有振動数[rad/s]

C_D : 抗力係数



(6)式において、右辺第一項は定数項、第二項は質量に関する項、第三項は応答変位に関する項、第四項は振動数に関する項、第五項は抗力係数となっている。したがって、固有振動数の影響は、第四項にて考慮することとなる。

第四項は加振振動数と固有振動数の比となっているが、加振試験にて減衰定数の評価をおこなう際、正弦波掃引試験では固有振動数を中心とした加振試験をおこない、伝達関数を求めて、燃料ラックの共振状態での減衰を評価していること、正弦半波加振試験では試験体の固有振動数成分を含む正弦半波加振をおこない、固有振動数で振動する自由減衰波形にて減衰を評価していることから、加振振動数と固有振動数は同一となる。

また、実機ラックの耐震設計では、応答が最も大きくなる共振状態を想定し、床応答スペクトルを用いて固有振動数に応じた地震力を設定していることから、加振振動数と固有振動数は同一となる。

以上より、加振振動数と固有振動数は同一となり、その比は常に1であるため、流体による減衰効果に対して固有振動数依存性はないと考えられる。

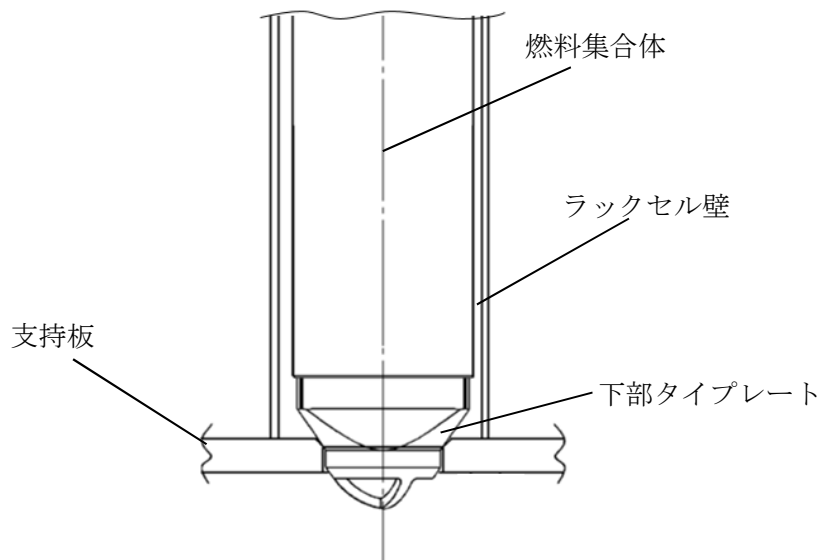
c. 燃料集合体を貯蔵していることによる減衰の振動数依存性について

(i) 燃料ラック加振時の燃料集合体の挙動について

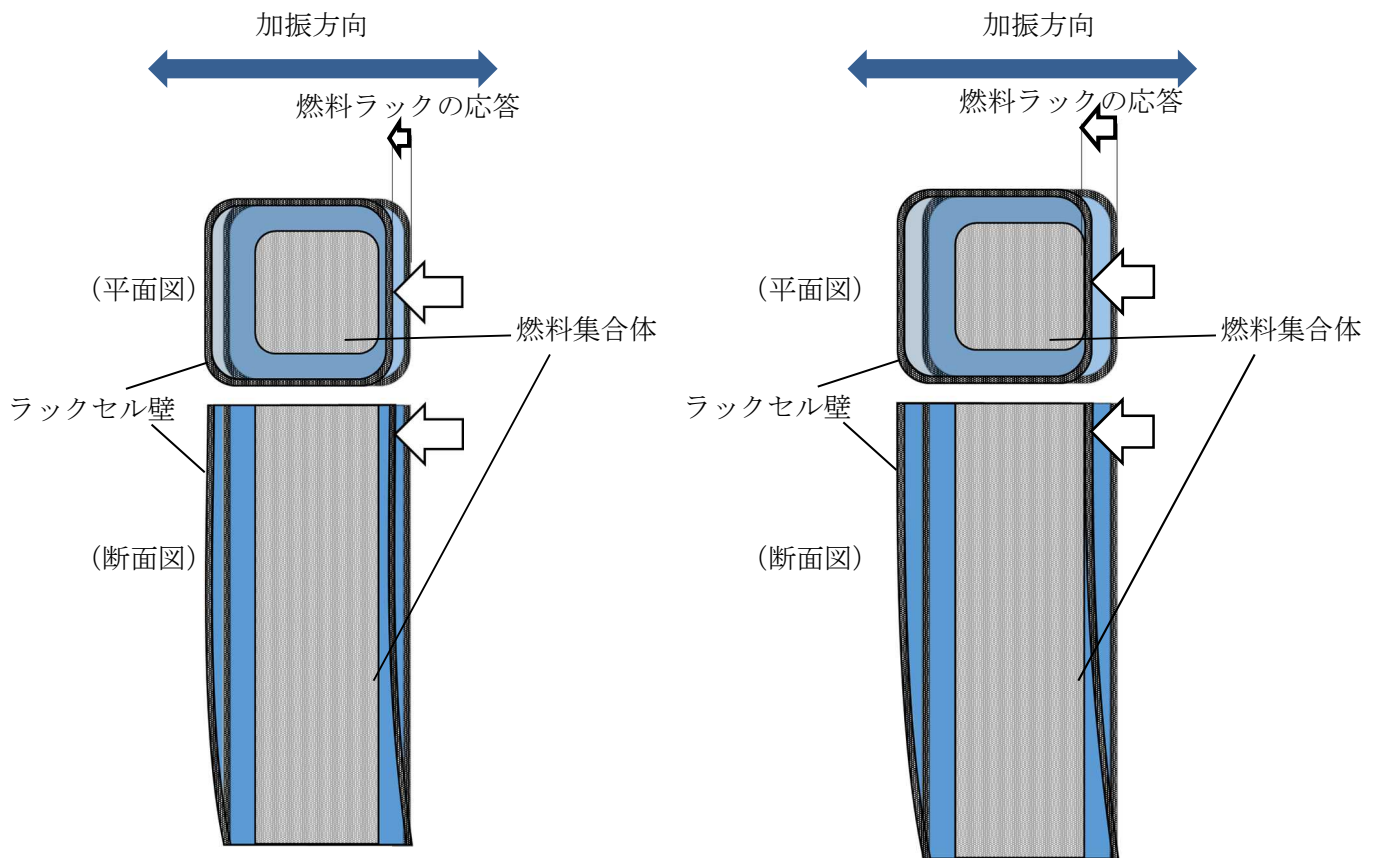
燃料集合体を貯蔵していることによる減衰について検討を行うにあたり、燃料ラック加振時の燃料集合体の挙動について整理を行う。

燃料集合体は、燃料ラック支持板の円孔に燃料集合体の下部タイプレートが着座しており、固定されていないため（図－別紙 9－6）、燃料ラックを振動させた場合、燃料ラックの挙動が燃料集合体に伝わりにくく、燃料ラックと比較して燃料集合体はあまり振動しない（図－別紙 9－7（1））。ただし、燃料ラックの応答変位が大きくなるにつれて、燃料ラックと燃料集合体の相対的な振動は徐々に増加する。

また、燃料ラックの応答変位がさらに大きくなると燃料ラックと燃料集合体頂部の最小隙間以上に燃料ラックが振動し、ラックセルと燃料集合体頂部が衝突し、燃料集合体もラックセルに押される形で振動するものと考えられる（図－別紙 9－7（2））。



図－別紙 9－6 燃料集合体の設置状況



(1) 燃料ラックの応答変位が小さいとき (2) 燃料ラックの応答変位が大きいとき
図－別紙 9－7 燃料ラックと燃料集合体の挙動

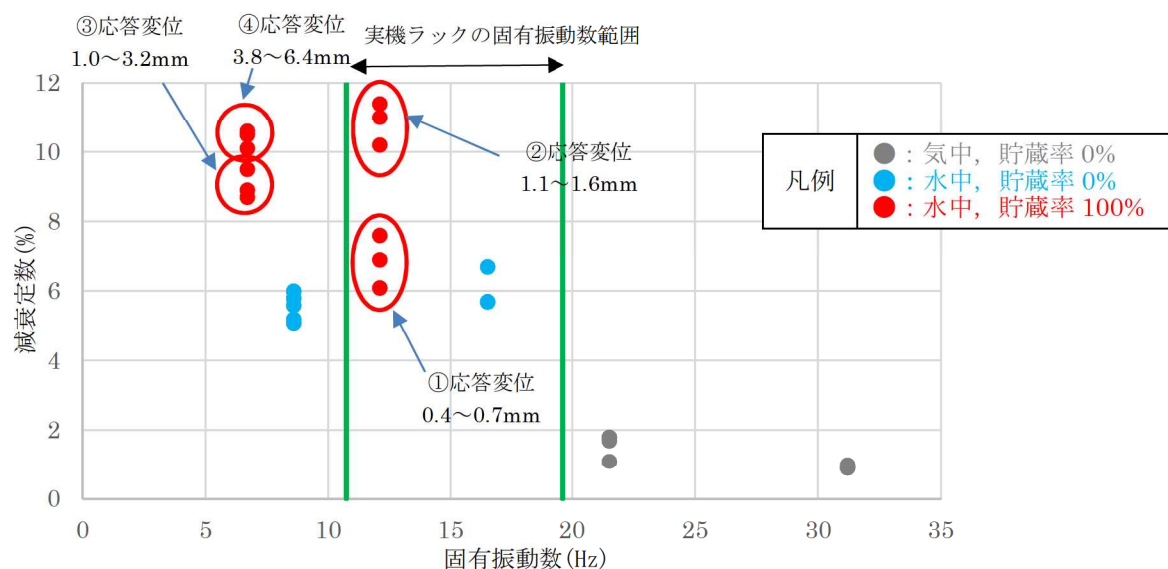
(ii) 燃料集合体を貯蔵していることによる減衰のメカニズム

(i) より，燃料集合体を貯蔵していることによる減衰としては燃料ラックの応答変位によって以下の 2 つのメカニズムが考えられる。

- ・ 燃料ラックの応答変位が小さい領域：
ラックセル内の燃料集合体が相対的に振動する際の燃料集合体周囲の流体による減衰
- ・ 燃料ラックの応答変位が大きい領域：
ラックセル内の燃料集合体が相対的に振動する際の燃料集合体周囲の流体による減衰に加え，ラックセルと燃料集合体の衝突により生じる燃料集合体のガタつきによる減衰

(iii) 試験結果における燃料ラックの応答変位と減衰定数

(ii) における減衰のメカニズムを検討するため、水中・燃料貯蔵率 100%の試験結果に
 応答変位を追加したものを、図－別紙 9－8 に示す。



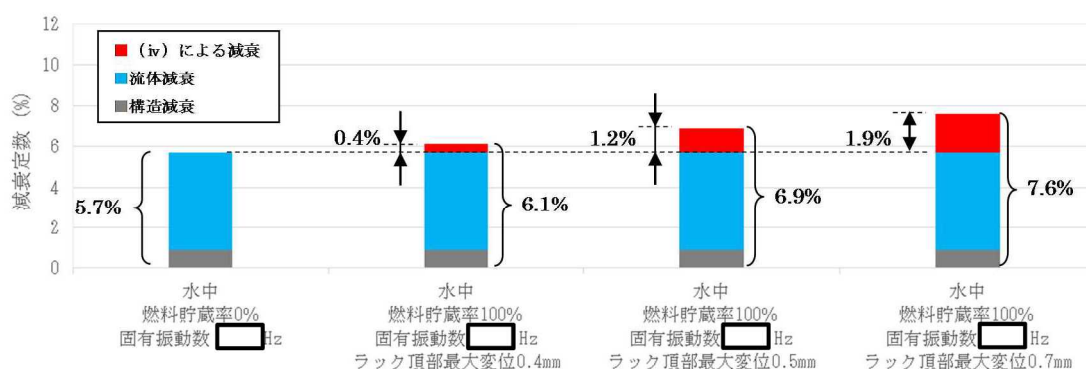
図－別紙 9－8 固有振動数と減衰定数の関係

本試験における供試体ラックと燃料集合体頂部の最小隙間は□mm であり、供試体ラックの応答変位が□mm より小さい領域（図－別紙 9－8 ①）においてはラックセルと燃料集合体が衝突しておらず、燃料集合体が相対的に振動することによる減衰が生じており、応答変位が□mm よりも大きい領域（図－別紙 9－8 ②～④）においてはラックセルと燃料集合体の衝突により生じる燃料集合体のガタつきによってより大きな減衰が生じていると考えられる。

(iv) 燃料集合体の相対的な振動による減衰効果

供試体ラックの応答変位が小さい領域における減衰に着目すると、水中・燃料貯蔵率 0%の試験結果および水中・燃料貯蔵率 100%の試験結果より、燃料集合体が相対的に振動することによる減衰定数は応答変位の増加に伴って増加しており、その増加分は 2%未満である（図－別紙 9－9）。

これは燃料集合体の相対的な振動により、燃料集合体周囲の流体による減衰が生じていると考えられ、流体による減衰については前述の通り固有振動数依存性はないと考えられる。



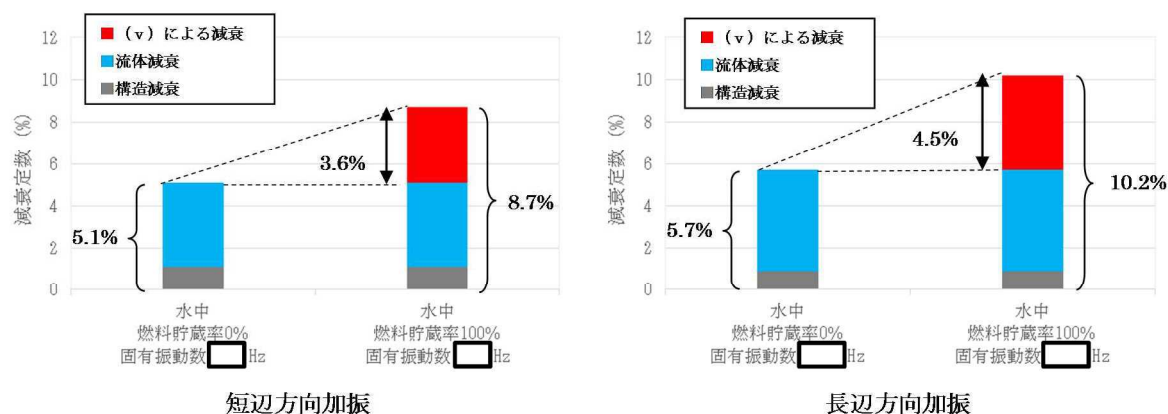
長辺方向加振

※短辺方向加振は応答変位がラックセルと燃料集合体の最小隙間□mm より小さい試験結果が存在しないため、長辺方向加振の試験結果のみを記載する。

図－別紙 9－9 応答変位が小さい領域での燃料集合体を貯蔵していることによる減衰（試験結果）

(v) ラックセルと燃料集合体の衝突により生じるガタつきによる減衰

実機ラックの応答変位が大きい領域における減衰に着目すると、水中・燃料貯蔵率 0% の試験結果および水中・燃料貯蔵率 100%の試験結果では、燃料集合体のガタつきによる減衰定数の増加分はラックセル内の燃料集合体が相対的に振動する際の燃料集合体周囲の流体による増加分を含めて、短辺方向加振で 3.6%，長辺方向加振で 4.5%であった（図一別紙 9－10）。



図一別紙 9－10 応答変位が大きい領域での燃料集合体を貯蔵していることによる減衰（試験結果）

前述の通り応答変位が大きい領域については、ラックセルが燃料集合体と衝突することによる燃料集合体のガタつきによって減衰効果が発生していると考えられるため、その減衰効果の振動数依存性について検討を行う。

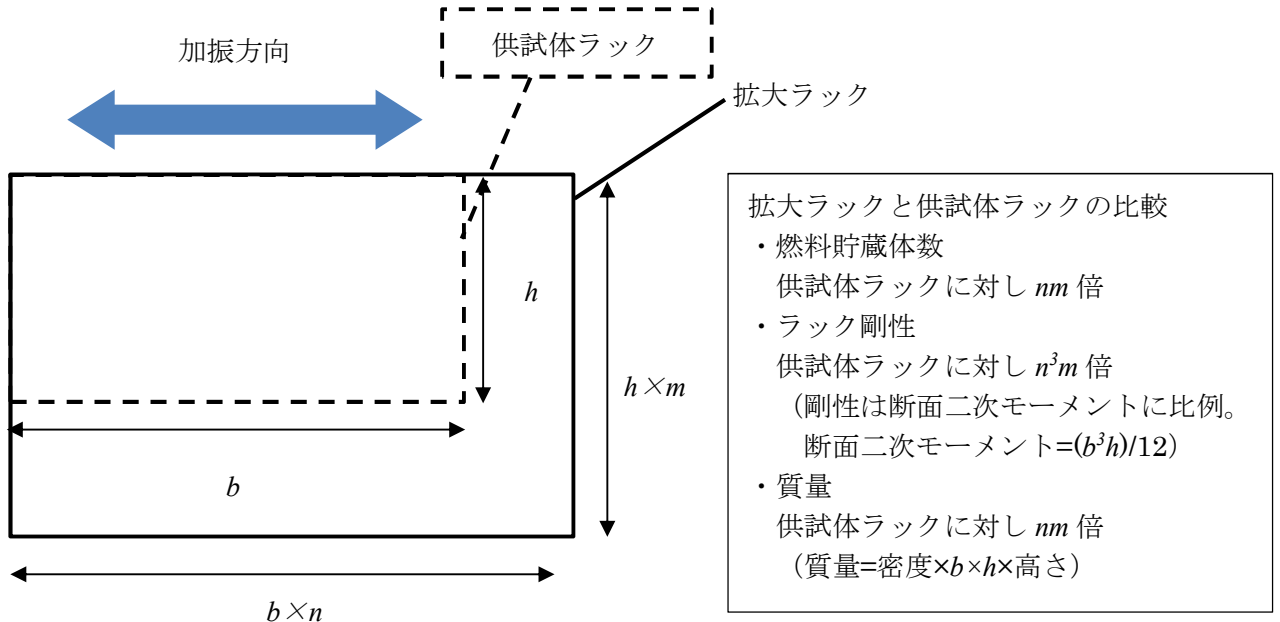
燃料集合体のガタつきによる減衰定数 ζ_f は、燃料集合体のガタつきによる消散エネルギー ΔE と燃料ラックのひずみエネルギー E に比例すると考えられるため、 ζ_f は以下の式で表される。

$$\zeta_f = \frac{\Delta E}{E} = \frac{\Delta E}{\frac{1}{2} K x^2} \quad (7)$$

K ：燃料ラックの剛性

x ：燃料ラックの変位振幅

ここで、燃料集合体のガタつきによる減衰定数の振動数依存性を検討するため、図一別紙 9－1 1 に示す通り供試体ラックを加振方向へ n 倍、加振と直交方向へ m 倍拡大した燃料ラック（以下、「拡大ラック」という）を想定し、それらの減衰定数を比較検討する。



図一別紙 9－1 1 供試体ラックと拡大ラック（概念図）

なお、以降の検討においては以下の仮定を行う。

- ・燃料ラック断面を長方形とみなして剛性（断面二次モーメント）を算出する
- ・燃料集合体は、燃料ラックに押されて振動すると考えられることから、燃料集合体と燃料ラックの応答加速度・応答速度は同一であるとみなす
- ・燃料集合体のガタつきによる消散エネルギーは燃料集合体の運動エネルギーに比例する

拡大ラックの固有振動数 f' は、供試体ラックの剛性を K 、質量を M 、拡大ラックの剛性を K' 、質量を M' とすると、 K' は断面二次モーメントに比例し、ラック高さは供試体ラックと拡大ラックで一定とすると M' はラック面積に比例することから、

$$f' = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K'}{M'}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{n^3 \times m \times K}{n \times m \times M}} = nf \quad (8)$$

となる。

また，変位を x ，速度を v ，加速度を a ，振動数を f とすれば，これらの関係は

$$x = \frac{a}{(2\pi f)^2} \quad (9)$$

$$v = \frac{a}{2\pi f} \quad (10)$$

であるため，拡大ラックの変位を x' ，速度を v' ，加速度を a' ，振動数を f' とすれば，

$$x' = \frac{a'}{(2\pi f')^2} = \frac{a'}{(2\pi n f)^2} \quad (11)$$

$$v' = \frac{a'}{2\pi f'} = \frac{a'}{2\pi n f} \quad (12)$$

となる。

ここで，拡大ラックを供試体ラックと同じ応答加速度で加振する場合を想定すると， $a' = a$ であるため，

$$x' = \frac{a}{(2\pi n f)^2} = \frac{a}{n^2 (2\pi f)^2} = \frac{x}{n^2} \quad (13)$$

$$v' = \frac{a}{2\pi n f} = \frac{a}{n 2\pi f} = \frac{v}{n} \quad (14)$$

となる。

拡大ラックにおける燃料集合体のガタつきによる消散エネルギー $\Delta E'$ は，拡大ラックの燃料集合体貯蔵体数が供試体ラックに対し nm 倍，燃料集合体 1 本当たりの運動エネルギーが速度の 2 乗に比例するため $1/n^2$ 倍となることから，

$$\Delta E' = (nm) \times \frac{1}{n^2} \times \Delta E = \frac{m}{n} \Delta E \quad (15)$$

となる。なお，ここでは燃料集合体は燃料ラックに押されて振動するため，両者の速度は同一であるとしている。

一方，拡大ラックのひずみエネルギー E' は，供試体ラックのひずみエネルギー E に対し，剛性と変位の 2 乗に比例することから，

$$E' = n^3 m \times \frac{1}{n^4} \times E = \frac{m}{n} E \quad (16)$$

となる。

以上より，拡大ラックの減衰定数 ζ_f' は，

$$\zeta_f' = \frac{\Delta E'}{E'} = \frac{\frac{m}{n} \Delta E}{\frac{m}{n} E} = \frac{\Delta E}{E} = \zeta_f \quad (17)$$

となるため，燃料ラックの固有振動数が変化した場合（燃料ラックを加振方向へ n 倍，加振と直交方向へ m 倍した場合）においても燃料集合体のガタつきによる減衰は一定の値となる。

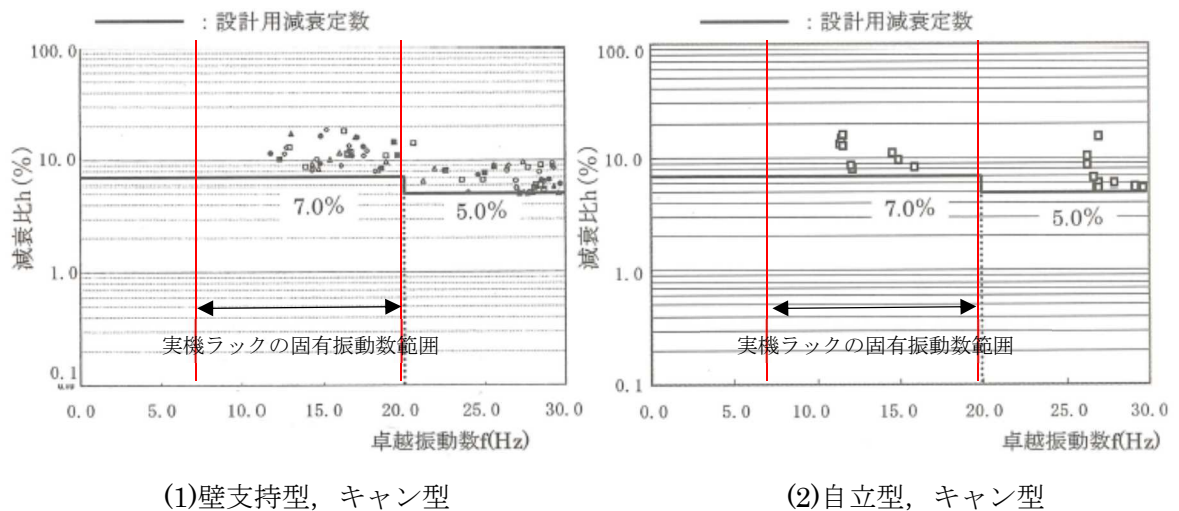
(vi) 燃料集合体を貯蔵していることによる減衰の振動数依存性について

燃料集合体を貯蔵していることによる減衰は，燃料集合体が相対的に振動することによる減衰および燃料集合体のガタつきによる減衰であると考え，それぞれについて振動数依存性を検討した結果，いずれもその依存性は確認されなかった。

3. 固有振動数と減衰定数の関係について

燃料ラックの減衰定数について、構造減衰、燃料ラックが水中に設置されていることによる減衰、燃料集合体を貯蔵していることによる減衰の3つの要因に分類し、固有振動数との関係を既往の知見および試験結果を用いて検討した。その結果、柏崎刈羽6号および7号炉の実機ラックの固有振動数領域においては明確な固有振動数依存性は確認されず、供試体ラックと実機ラックの減衰定数は同程度であると考ええる。

なお、参考として類似構造物（水中に設置された溶接構造物）である加圧水型軽水炉におけるキャン型燃料ラックの固有振動数と減衰定数の関係を図一別紙9-12に示す。同図より柏崎刈羽6号および7号炉における実機ラックの固有振動数領域においては、固有振動数の増加に伴う減衰定数の変化はあまり見られず、さらに高振動数領域（20Hz以上）においては、固有振動数の増加に伴い減衰定数が低下する傾向が見られる。



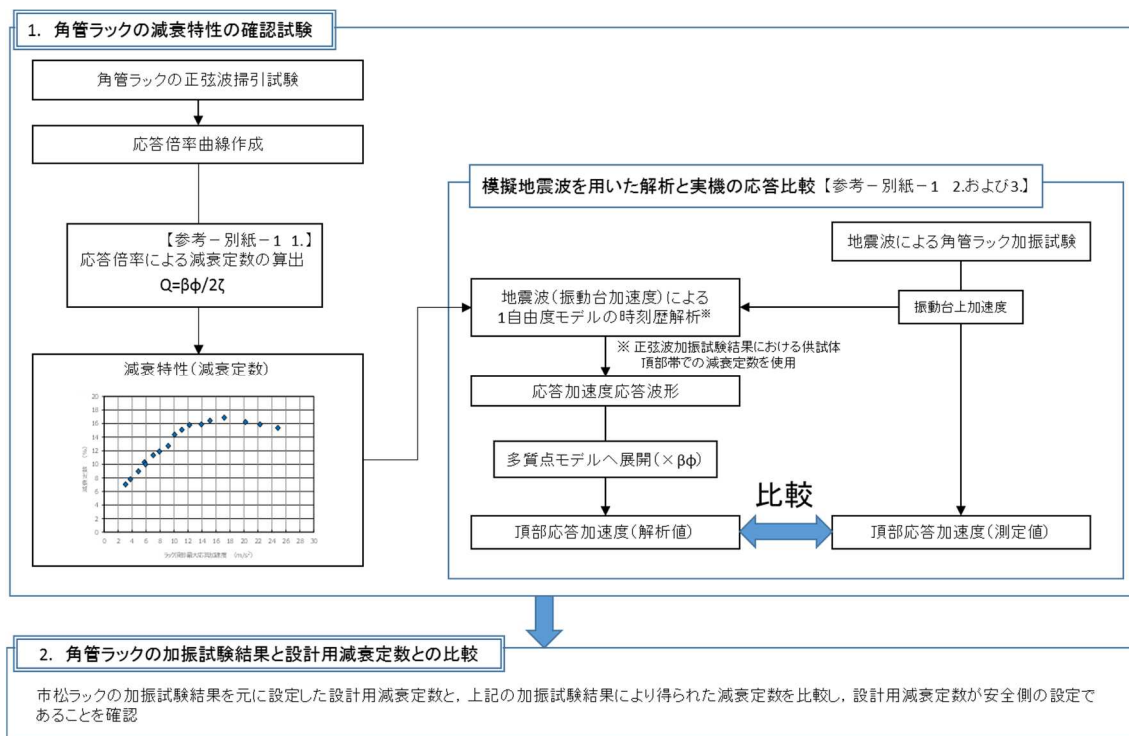
図一別紙9-12 類似構造物における減衰定数と振動数の関係^[2]

参考文献

- [1] 事例に学ぶ流体関連振動[第2版] 日本機械学会
- [2] 原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008 日本電気協会より引用（一部加筆）

参考－１ 既往の燃料貯蔵ラックの振動試験について

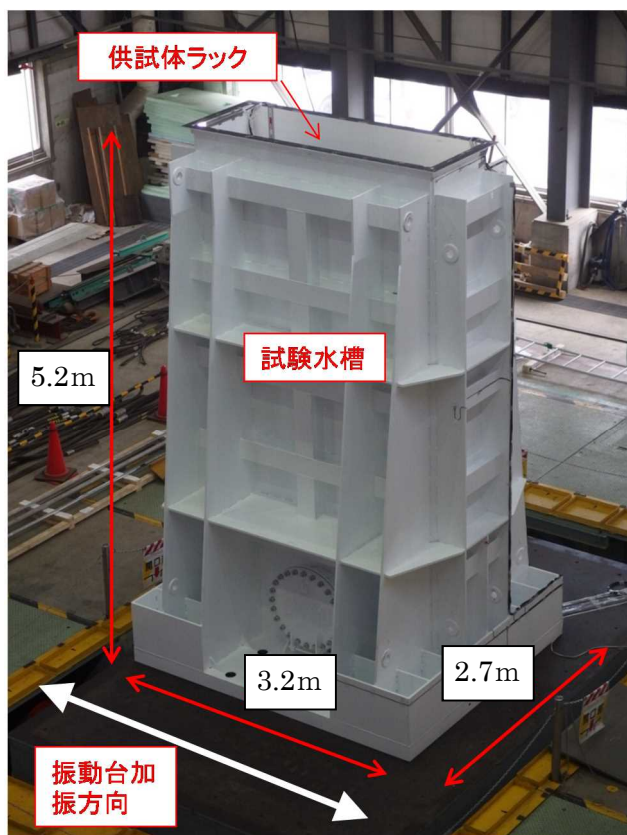
角管ラックに対して行われた既往の振動試験結果を元に減衰定数を確認した結果、今回設定した設計用減衰定数が安全側の設定となっていることを確認した。確認および検討の流れは以下の通り。



1. 角管ラックの減衰特性の確認試験

1. 1 実物大試験供試体の概要

燃料プール内の環境（水中）および使用状態（燃料集合体貯蔵）において、燃料ラックが加振された際の減衰特性を確認することを目的に、模擬燃料集合体を設置した供試体ラックの水槽内での加振試験を実施している（図－参考－1）。試験は、振動台上に、供試体ラックを設置した試験水槽を据え付け、長辺方向に加振している（図－参考－2）。供試体ラックは、燃料プール床との固定状態と同一とするために、水槽床に基礎ボルトで固定した自立式としている。

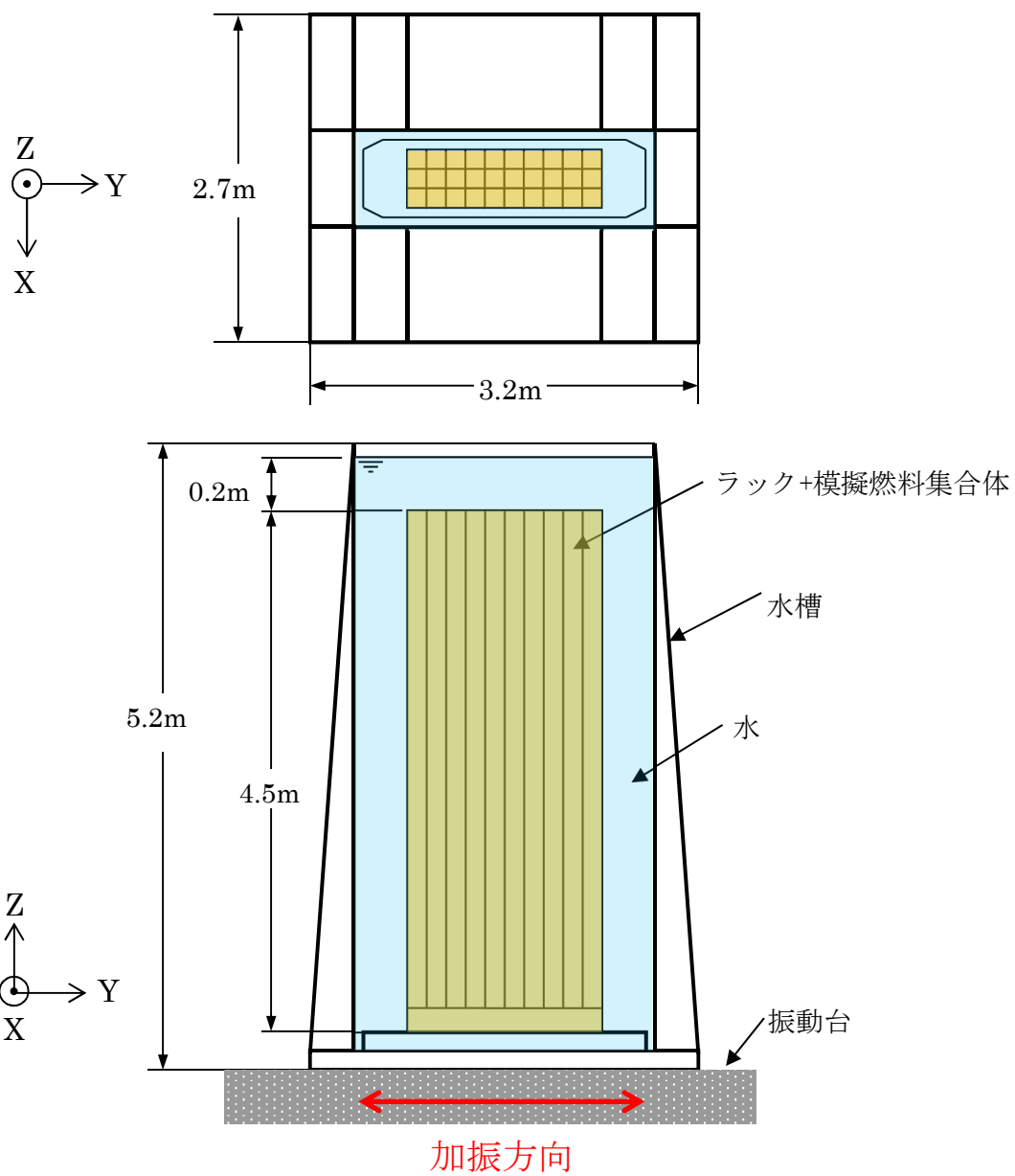


(1) 試験状況^[1]



(2) 供試体の水槽内設置状況

図－参考－1 加振試験の実施状況

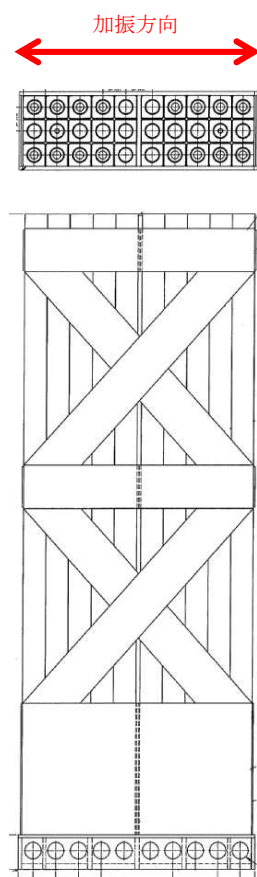


図一参考一 2 実物大試験供試体概要

1. 2 燃料ラックの水中加振試験装置および試験手法について

(1) 供試体ラック

供試体ラックの貯蔵体数は，30 体[10 列×3 列]に設定している（図－参考－3）。



図－参考－3 供試体ラック構造（30 体[10 列×3 列]）

(2) 模擬燃料集合体

供試体ラックに設置する模擬燃料集合体には、実燃料模擬体と形状模擬体の 2 種類を用いている。実燃料模擬体は、チャンネルボックス等は実機と同等であり、燃料ペレットの代わりに鉛で質量を一致させたものである。形状模擬体は、実燃料模擬体の質量およびチャンネルボックス外形を模擬したものである（表－参考－1 および図－参考－4，5）。いずれの模擬燃料集合体も実機燃料集合体と形状、質量および振動特性が同様になるように作成されている。

表－参考－1 実燃料集合体と模擬燃料集合仕様の比較

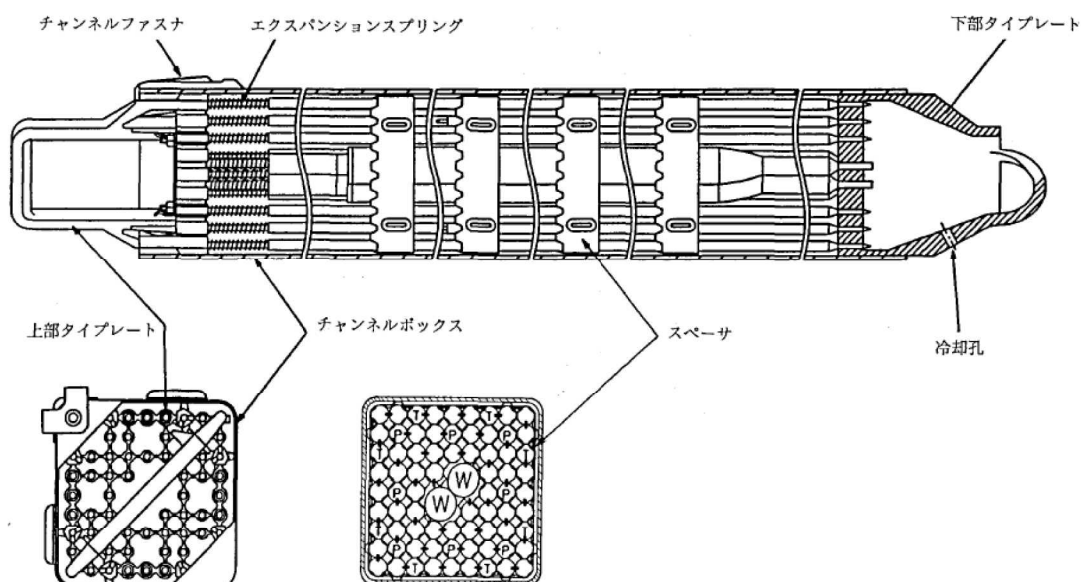
	模擬燃料集合体		実燃料集合体
	実燃料模擬体	形状模擬体	9×9 燃料 ^{*2}
長さ	4470mm	4470mm	4468mm
断面寸法 ^{*1}	□137.54mm	□137.54mm	□139.14mm
質量	約 300kg	約 300kg	約 300kg
材質	SUS および Zr 材	SUS および Zr 材	SUS および Zr 材

*1 チャンネルボックス外形寸法

*2 実機に貯蔵されている燃料集合体のうち、最も重量が大きいもの



図－参考－４ 模擬燃料集合体の外観



(a) 実燃料模擬体



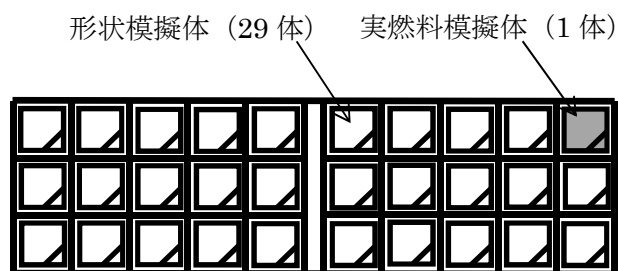
(b) 形状模擬体

図－参考－５ 模擬燃料集合体

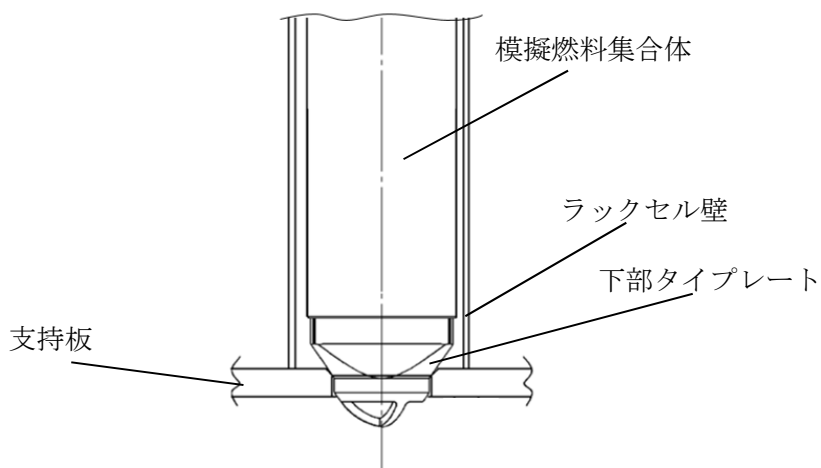
(3) 模擬燃料集合体の配置方法

試験では図－参考－6 に示すとおりに実燃料模擬体と形状模擬体を貯蔵して試験を行なっている。実燃料模擬体と形状模擬体は質量、外形がほぼ同様なため、配置による減衰への影響は小さいと考えられる。また、燃料集合体の貯蔵体数は、最も条件が厳しくなる 100%貯蔵条件にて加振試験を行っている。

なお、模擬燃料集合体は、供試体ラック底部の支持板に開けられた孔に設置されている。この孔の形状と燃料集合体の接触部は実機と同様に設定したため、実機と供試体で減衰に違いはないと考えられる（図－参考－7）。



図－参考－6 模擬燃料集合体の配置



図－参考－7 模擬燃料集合体の設置状況

(4) 試験水槽

試験水槽は剛構造とし、燃料プール内に設置されている状態を模擬するため、大きさは、燃料ラックの流体減衰の効果に影響がないように設定した。

(5) 実機と供試体の主要諸元比較

供試体ラックおよび試験水槽等の供試体（以下「供試体等」という。）の主要諸元を表一参考－2に示す。

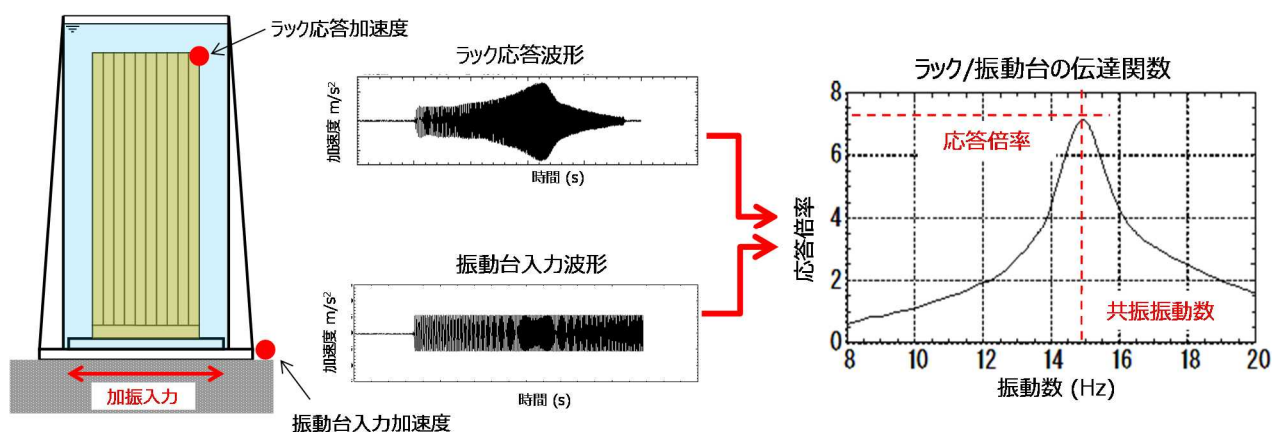
表一参考－2 供試体等の主要諸元

項目		供試体等
燃料ラック	ラックセルの型式	角管並列型
	燃料ラックの 支持形式	ボルトによる 床固定式
		自立型
	貯蔵体数	30 体 (10×3)
	ラックセル頂部と 燃料集合体の最小隙間	
	燃料ラックから 壁までの距離	約 150～430mm
	ラックセル高さ	
	ラックセルのピッチ	
	ラックセルの厚さ	
	ラックセルの材質	SUS304
燃料集合体	燃料タイプ	模擬燃料集合体
	質量	約 300kg
	外形寸法	約 147.4mm
	チャンネルボックス 材質	ジルカロイ-4
	チャンネルボックス 厚さ	
試験水槽	水深	約 5m

(6) 試験方法

供試体ラックに模擬燃料集合体を設置し、試験水槽に注水した状態において、加振試験を実施している。振動台からの加振入力には、加速度振幅一定で振動数を時間比例で変化、振幅を上昇させてゆく正弦波を入力し、振動台加速度と供試体ラック頂部の応答加速度との伝達関数から、共振振動数や応答倍率等の振動特性を分析評価している（図－参考－８）。

なお、供試体の長辺は、実機の短辺および長辺よりも減衰が小さくなるよう設定していることから、試験では長辺方向のみ加振している。



図－参考－８ 加振試験方法概要

加振試験条件は供試体ラックの応答加速度に対する減衰特性の変化を確認するため、振動台からの入力加振加速度をパラメータとしている（表－参考－３）。

表－参考－３ 加振試験条件

ラック 種類	試験方法	振動数範囲 (Hz)	入力加速度※ (m/s ²)	入力加速度 ケース数
角管 ラック	正弦波 掃引試験	8～20	0.42～7.09	17

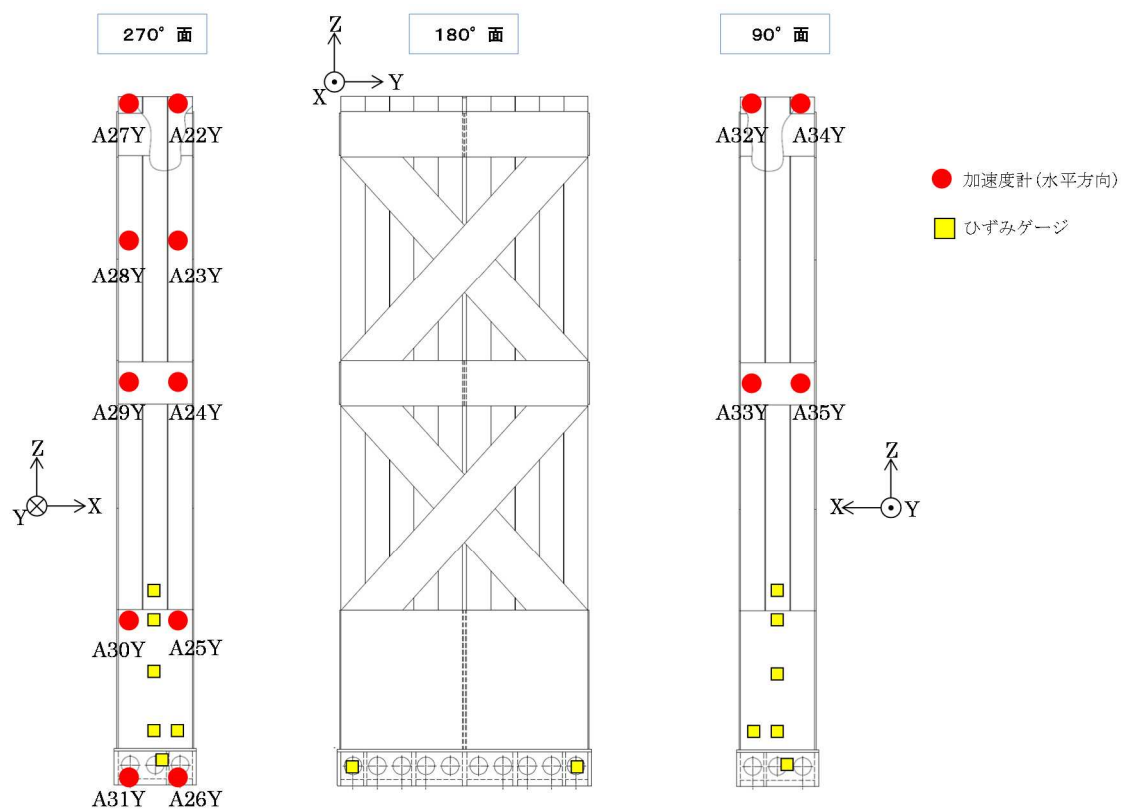
※振動台上の実測加速度（最大値）

(7) 加速度の計測方法

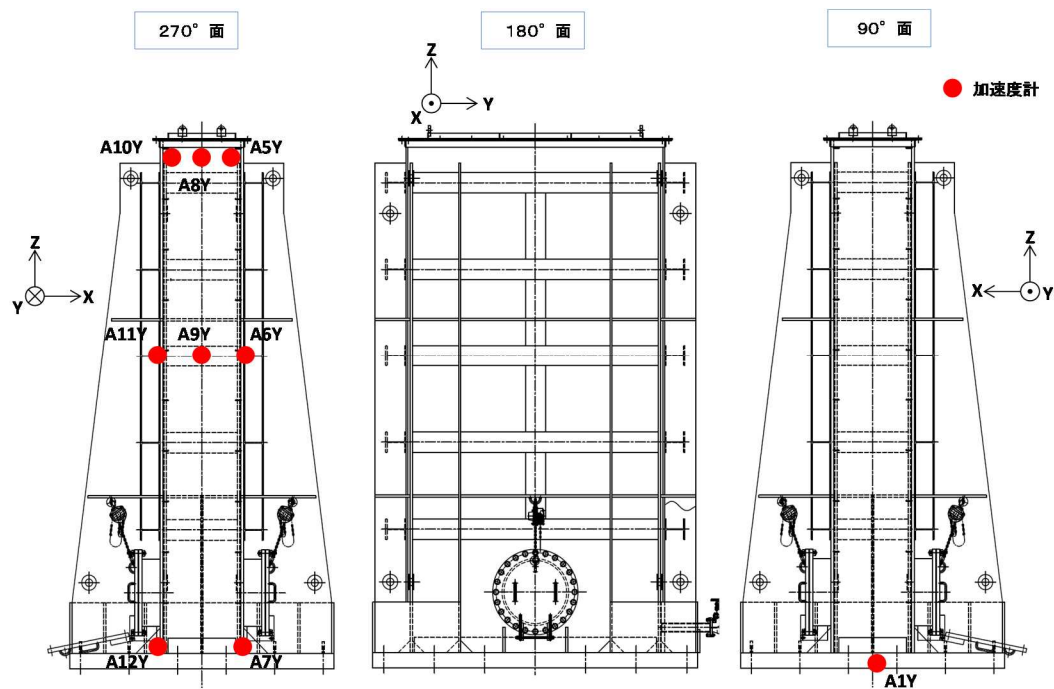
加速度を計測し供試体ラックの伝達関数を求めるため、供試体ラック頂部と振動台上に加速度計を設置している。また、供試体ラックの全体の振動特性を計測するために、供試体ラックの高さ方向の異なる各位置に加速度計を設置している（図－参考－９）。

また、燃料ラックの頂部、中間部および基部のひずみにより、燃料ラックが弾性範囲内で加振されていることを確認している。

なお、試験水槽が剛構造として挙動し、供試体ラックへ影響を与えないことを確認するため、水槽周囲に加速度計を設置している（図－参考－１０）。



図－参考－ 9 供試体ラックの加速度計測位置



図－参考－ 1 0 水槽の加速度計測位置

1. 3 試験結果

(1) 試験結果に基づく減衰の算出方法

各入力加速度ケースの正弦波掃引試験における供試体ラック頂部の加速度（計測点：A22Y(*1)）と振動台上面の加速度（計測点：A1Y）の伝達関数に基づき、供試体ラックの共振振動数における応答倍率から、減衰定数を評価している。応答倍率から減衰を求める方法は、理論式より、1 質点系の応答倍率が $1/2\zeta$ （ ζ ：減衰比）となることから、同様に供試体ラックの多質点系の理論式に展開し、以下の式より減衰比を求めている（参考－別紙－1）。

$$\zeta = \frac{\beta\phi}{2\mu}$$

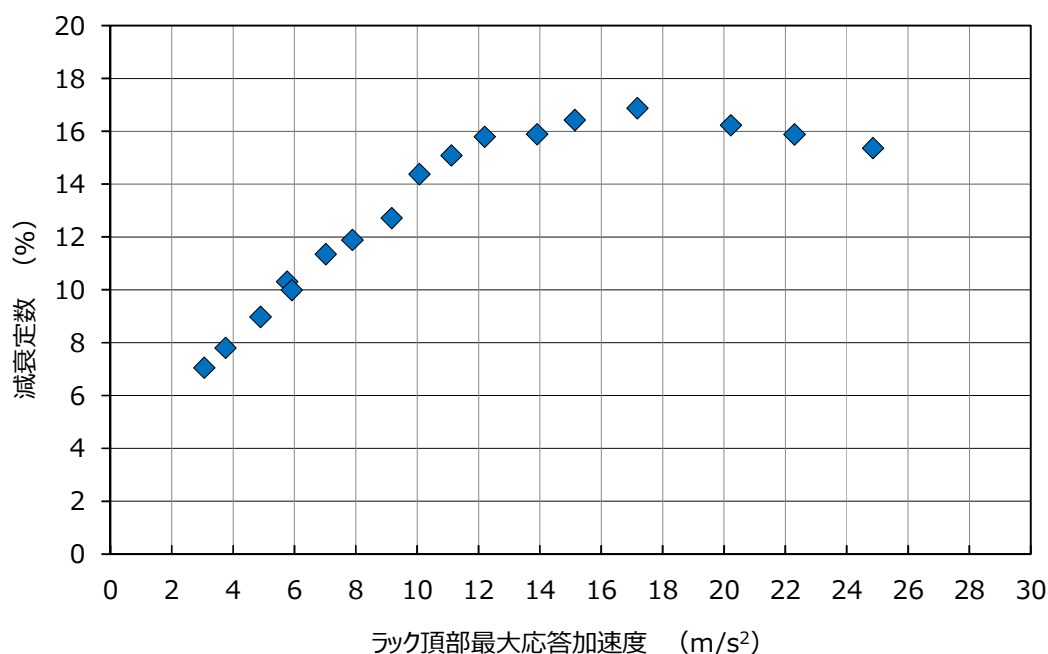
〔 β ：刺激係数， ϕ ：固有モードベクトル， μ ：応答倍率〕

*1 ラック頂部に設置した 4 点の加速度計（A22Y，A27Y，A32Y，A34Y）で有意な差異が無いことを確認した上で、A22Y で計測した 1 点の加速度を使用している。

(2) 減衰特性結果

供試体ラック頂部の応答加速度から得られた減衰定数について、横軸をラック頂部の最大応答加速度で整理した結果を図－参考－1 1 に示す。なお、横軸のラック頂部最大応答加速度については応答倍率を用いて減衰を求めるため振動台とラック頂部の相対加速度を表している。

供試体ラック頂部の応答加速度と減衰の関係は、供試体ラック頂部の応答加速度の増加に伴い減衰定数が直線的に増加し、減衰定数は最大で約 17% となっており、既工認で適用している設計用減衰定数の 1% よりも大きな減衰効果を示すことを確認した。



図－参考－1 1 ラック頂部最大応答加速度と減衰定数の関係

2. 角管ラックの加振試験結果と設計用減衰定数との比較

2. 1 供試体ラックと柏崎刈羽 6 号炉角管ラックとの諸元比較

既往の角管ラックの加振試験に用いた供試体は、柏崎刈羽 6 号炉の角管ラックとほぼ同等である（表－参考－4）。

また、試験は水槽内でスロッシングが励起されない条件で実施しており、スロッシングが供試体ラックの減衰定数に影響を与えないようにしている。一方、実機では地震動の長周期成分の大きさによっては、使用済燃料プールでのスロッシングが励起される場合があるが、燃料プールの固有周期は実機ラックの固有周期に対して十分に大きいことから、スロッシングにより燃料ラックの減衰定数は大きくなると考えられる。

以上より、既往の角管ラックに対する加振試験結果は、柏崎刈羽 6 号炉の角管ラックの設計用減衰定数を確認する上で妥当であると考えられる。

表－参考－4 角管ラックと供試体等の主要諸元比較

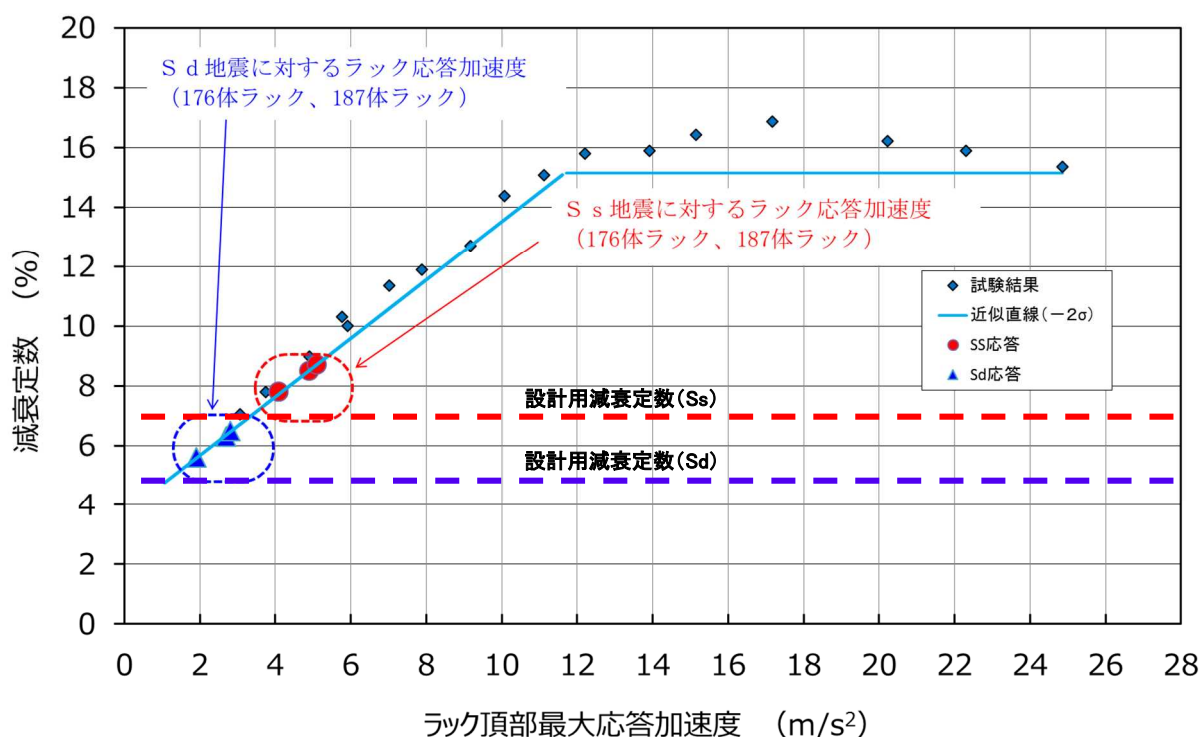
項目		実機	供試体等	実機への適用性
燃料ラック	ラックセルの型式	角管並列型	同左	実機と同一。
	燃料ラックの支持形式	ボルトによる床固定式	同左	実機と同一。
		自立型	同左	実機と同一。
	貯蔵体数	176 体 (11×16) 187 体 (11×17)	30 体 (10×3)	供試体は流体および燃料集合体による減衰効果が実機よりも小さいと考えられるラックを選定しており，本試験結果に基づく減衰定数は，実機の全ての燃料ラックに適用可能と考えられる。
	ラックセル頂部と燃料集合体の最小隙間			ラックセル頂部と燃料集合体の隙間は実機とほぼ同等であることから，その影響は小さいと考えられる。
	燃料ラックから壁までの距離	約 200～950mm	約 150～430mm	流体による減衰効果が最も小さくなるよう設定した。
	ラックセル高さ			実機と同一。
	ラックセルのピッチ			実機と同一。
	ラックセルの厚さ			実機と同一。
	ラックセルの材質	B-SUS	SUS304	材料特性はほぼ同等であり，材料自体の内部減衰も小さいと考えられるため，ラック全体の減衰効果へ与える影響は小さいと考えられる。
燃料集合体	燃料タイプ	9×9 燃料 (ステップⅢ燃料)	模擬燃料集合体	工認では，燃料プール供用化条件を考慮し，評価結果の厳しくなるもつとも質量が大きい燃料条件にて評価している。
	質量	約 300kg	同左	実機と同一。
	外形寸法	148.8mm	147.4mm	実機とほぼ同一。
	チャンネルボックス材質	ジルカロイ-4	同左	実機と同一。
燃料プール	チャンネルボックス厚さ			実機と同一。
	水深	約 12m	約 5m	高さ (水深) は実機と異なるが，燃料ラックの振動特性に与える影響が小さいことを確認した。

2. 2 今回設定した設計用減衰定数と既往の角管ラックに対する加振試験結果との比較

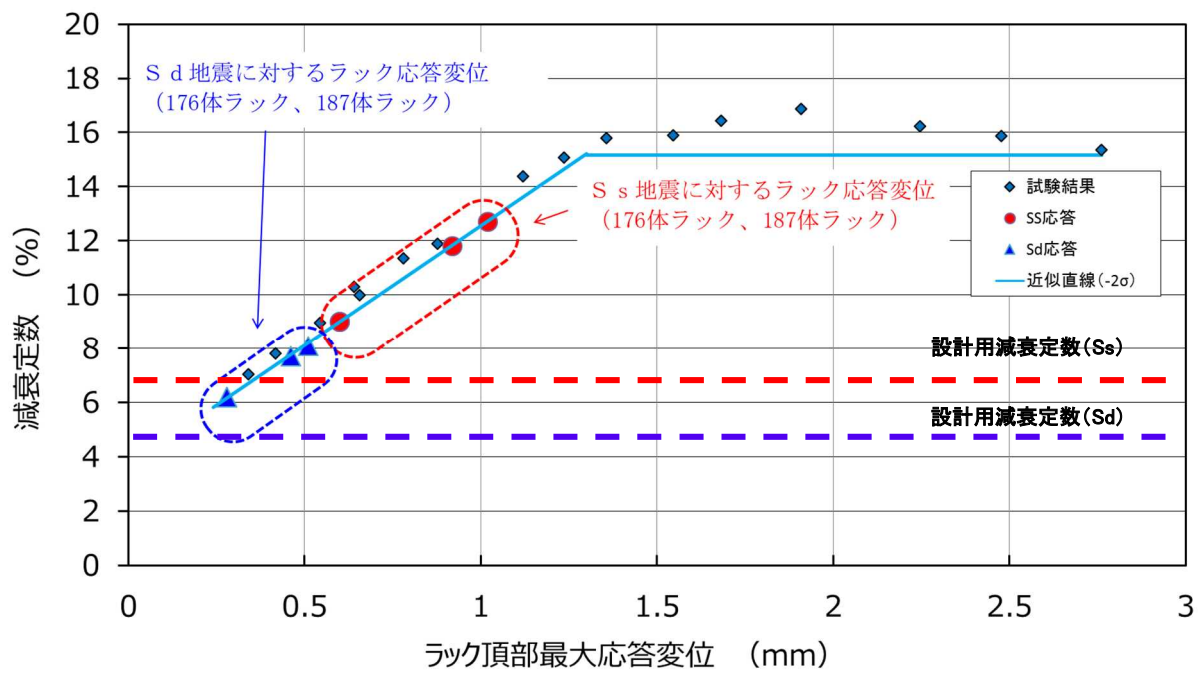
既往の角管ラックに対する加振試験結果における，柏崎刈羽 6 号炉の応答加速度レベルでの減衰定数を確認したところ，基準地震動 S_s では 7.0%以上，弾性設計用地震動 S_d では 5.0%以上であることを確認した（図－参考－1 2）。

また，長辺方向のみを加振した角管ラックの減衰定数は，ある応答変位レベルを超えると一定となっており，短辺方向と長辺方向を加振した市松ラックの試験結果と同様であることを確認した（図－参考－1 3）。

以上より，設計用減衰定数として基準地震動 S_s では 7.0%，弾性設計用地震動 S_d では 5.0%と設定することは妥当であると考える。



図－参考－1 2 柏崎刈羽 6 号炉の燃料ラックで想定される減衰定数



図－参考－１３ 柏崎刈羽 6 号炉の燃料ラックで想定される減衰定数

[1] 長坂他, 「BWR 使用済燃料貯蔵ラックの減衰特性評価」, 日本原子力学会「2015 年秋の大会」 No.B36

１． 応答倍率による減衰比の算出方法^[1]

１． １ 地動に対する１自由度系の運動方程式と加速度共振曲線

１自由度系に地動変位が入力されるとき運動方程式を相対座標系で記述すると下記の式で表される。

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = -m\ddot{z} \quad (1)$$

ここで、

x : 質点の変位

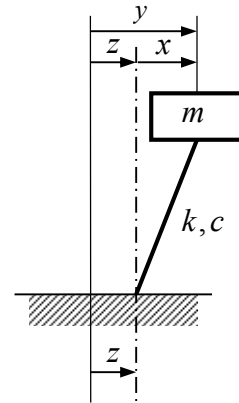
y : 質点の地動を含めた変位 ($x+z$)

z : 地動変位

m : 質量

c : 減衰係数

k : ばね定数



ここで、固有振動数 $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ ，減衰比 $\zeta = \frac{c}{2m\omega_0}$ ，振動数比 $\lambda = \frac{\omega}{\omega_0}$ とおくと、

$$\ddot{x} + 2\zeta\omega_0\dot{x} + \omega_0^2 x = -\ddot{z} \quad (2)$$

調和入力（正弦入力）として、

$$z = \frac{I}{\omega^2} e^{j\omega t} \quad (\ddot{z} = -Ie^{j\omega t} : \text{加速度振幅一定}) \quad (3)$$

とすれば、 x も調和振動（正弦振動，単振動）となり、

$$x = Ae^{j\omega t}, \quad \ddot{x} = -A\omega^2 e^{j\omega t} \quad (4)$$

とすると、式(2)は、

$$Ae^{j\omega t}(-\omega^2 + 2\zeta\omega\omega_0 j + \omega_0^2) = Ie^{j\omega t} \quad (5)$$

したがって、応答加速度の周波数応答関数は、

$$\frac{\ddot{x}}{\ddot{z}} = \frac{A\omega^2}{I} = \frac{1}{\omega_0^2 \{ (1 - \lambda^2) + 2\zeta\lambda j \}} \omega^2 = \frac{\lambda^2}{(1 - \lambda^2) + 2\zeta\lambda j} \quad (6)$$

この振動系の伝達関数（応答倍率）は以下の式で表される。

$$|H(\omega)| = \left| \frac{\ddot{x}}{\ddot{z}} \right| = \frac{\lambda^2}{\sqrt{(1 - \lambda^2)^2 + (2\zeta\lambda)^2}} \quad (7)$$

1. 2 地動に対する多自由度系の運動方程式と加速度共振曲線

地動に対する多自由度系の運動方程式は次式で表される。

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = -[M]\{1\}\ddot{z} \quad (8)$$

ここで,

$[M]$: 質量マトリックス

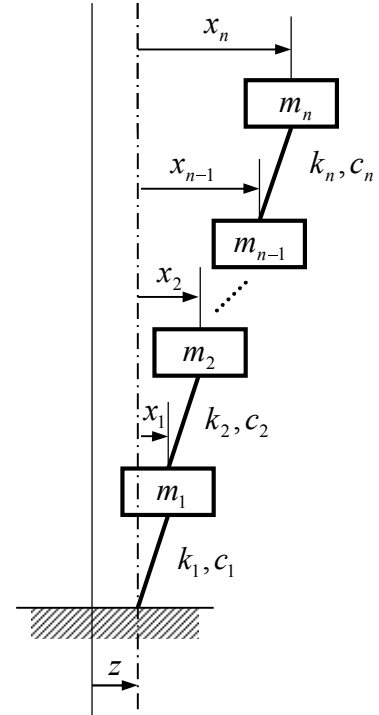
$[C]$: 減衰マトリックス

$[K]$: 剛性マトリックス

$\{x\}$: 変位ベクトル

$\{1\} = \{1 \ \cdots \ 1\}^T$: 単位ベクトル

z : 地動変位



モーダル解析の手法により，モード分離を行う。変位ベクトルを空間と時間の関数に変数分離する。

$$\begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{Bmatrix} = q_1 \begin{Bmatrix} \phi_{11} \\ \phi_{21} \\ \vdots \\ \phi_{n1} \end{Bmatrix} + q_2 \begin{Bmatrix} \phi_{12} \\ \phi_{22} \\ \vdots \\ \phi_{n2} \end{Bmatrix} + \cdots + q_n \begin{Bmatrix} \phi_{1n} \\ \phi_{2n} \\ \vdots \\ \phi_{nn} \end{Bmatrix} = \sum_{s=1}^n q_s \{\phi_s\} \quad (9)$$

ここで,

q_s : s 次のモード座標における変位 (時間の関数)

$\{\phi_s\}$: s 次の固有ベクトル (空間の関数)

(9)を(8)に代入し，さらに左側より基準関数の転置行列 $\{\phi_s\}^T$ を乗じて整理すると s 次モードに

おける q_s の運動方程式は以下ようになる。

$$\{\phi_s\}^T [M] \{\phi_s\} \ddot{q}_s + \{\phi_s\}^T [C] \{\phi_s\} \dot{q}_s + \{\phi_s\}^T [K] \{\phi_s\} q_s = -\{\phi_s\}^T [M] \{1\} \ddot{z} \quad (10)$$

(10)を整理すると,

$$\ddot{q}_s + \frac{\{\phi_s\}^T [C] \{\phi_s\}}{\{\phi_s\}^T [M] \{\phi_s\}} \dot{q}_s + \frac{\{\phi_s\}^T [K] \{\phi_s\}}{\{\phi_s\}^T [M] \{\phi_s\}} q_s = -\frac{\{\phi_s\}^T [M] \{1\}}{\{\phi_s\}^T [M] \{\phi_s\}} \ddot{z} \quad (11)$$

ここで,

$$M_s = \{\phi_s\}^T [M] \{\phi_s\} : \text{質量}$$

$$C_s = \{\phi_s\}^T [C] \{\phi_s\} : \text{減衰係数}$$

$$K_s = \{\phi_s\}^T [K] \{\phi_s\} : \text{ばね定数}$$

$$\beta_s = \frac{\{\phi_s\}^T [M] \{1\}}{\{\phi_s\}^T [M] \{\phi_s\}} : s \text{ 次の振動モードの刺激係数}$$

とおき, (11)式を変形すると,

$$\ddot{q}_s + \frac{C_s}{M_s} \dot{q}_s + \frac{K_s}{M_s} q_s = -\beta_s \ddot{z} \quad (12)$$

固有円振動数 ω_s , モーダル減衰比 ζ_s を用いて(12)式を変形すると

$$\omega_s^2 = \frac{K_s}{M_s} : s \text{ 次の固有円振動数}$$

$$\zeta_s = \frac{C_s}{2M_s \omega_s} : s \text{ 次のモーダル減衰比}$$

$$\ddot{q}_s + 2\zeta_s \omega_s \dot{q}_s + \omega_s^2 q_s = -\beta_s \ddot{z} \quad (13)$$

1 自由度系の運動方程式(2)と比較すると, (13)式は 1 自由度系の右边が係数倍されていることがわかる。

1 つの固有振動モードだけが励振される場合, s 次モードの質点 i の変位は次式で与えられる。

$$x_i = q_s \phi_{is} \quad (14)$$

よって, s 次モードの質点 i の伝達関数 (応答倍率 = 質点 i の応答加速度/地動加速度) は以下の式で表される。

$$|H(\omega)| = \left| \frac{\ddot{x}_i}{\ddot{z}} \right| = \frac{\beta_s \phi_{i_s} \lambda_s^2}{\sqrt{(1 - \lambda_s^2)^2 + (2\zeta_s \lambda_s)^2}} \quad (15)$$

なお，水中構造物については，質量マトリクス $[M]$ に流体付加質量の効果が考慮されるため，

応答倍率の式（15）では，流体付加質量の効果は $\beta_s \phi_{i_s}$ に表れる。

1. 3 応答倍率による減衰比の算出方法

加速度共振曲線から、応答倍率の最大値 $|H(\omega)|_{\max}$ は $\lambda = \frac{\omega}{\omega_0} = 1$ 近傍で生じる（図－参考－

別紙 1－1）。 $Q = |H(\omega)|_{\max}$ とすると、1 自由度系の場合、応答倍率の最大値は、(7)式より、

$$Q \cong \frac{1}{2\zeta} \quad (16)$$

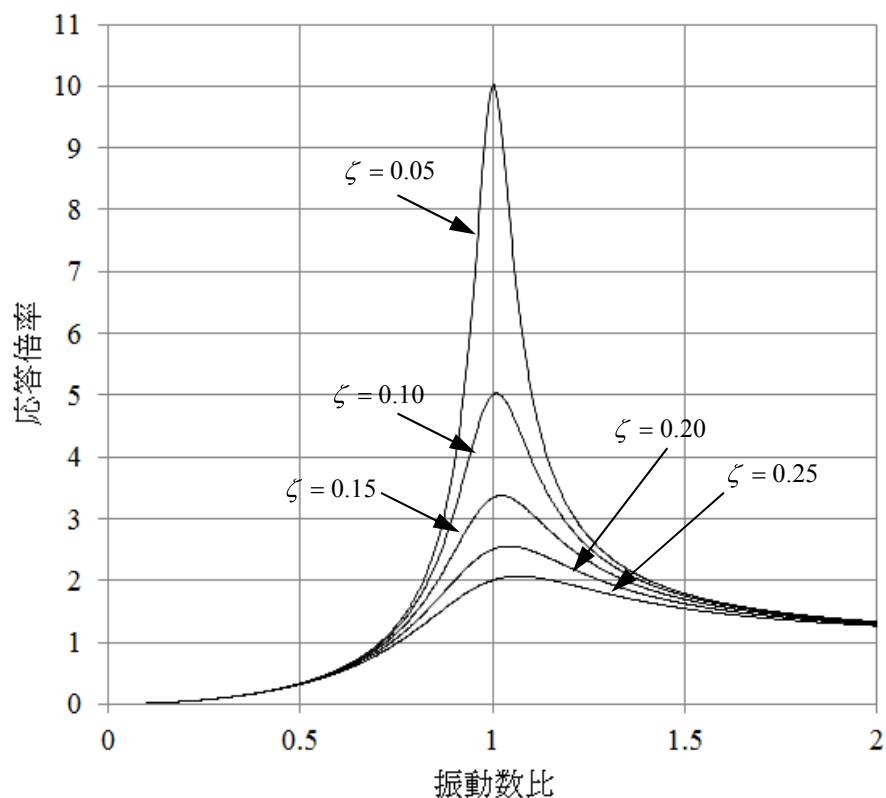
一方、多自由度系の場合、応答倍率の最大値は、(15)式より、

$$Q \cong \frac{\beta_s \phi_{is}}{2\zeta_s} \quad (17)$$

である。

よって、正弦波掃引試験で得られる加速度の伝達関数にて、応答倍率が最大となる振動数 ω_p

を ω_0 とみなすと、応答倍率の最大値 Q と刺激関数 $\beta_s \phi_{is}$ から減衰比 ζ_s を算出できる。

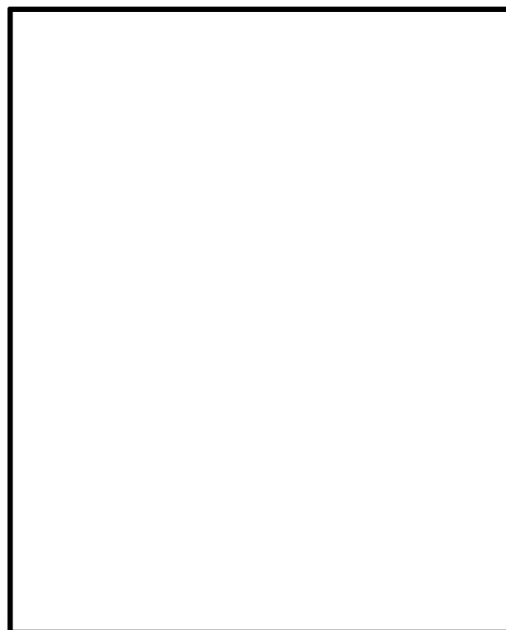


図－参考－別紙 1－1 加速度の伝達関数

ここで，固有モードベクトル ϕ_{is} と刺激係数 β_s は図－参考－別紙 1－2 に示す供試体ラックと水槽の FEM モデルによる固有値解析より算出した値を用いる。

1. 4 供試体ラックと水槽の FEM モデル

供試体ラックは，実機の燃料ラックの耐震計算モデルと同様，はり要素およびシェル要素でモデル化した 3 次元有限要素モデル（FEM モデル）としている。水槽は，各部の構造，形状および寸法に基づき，水槽底板，外面枠板，補強リブ等をはり要素およびシェル要素でモデル化している。この水槽と供試体ラックを組み合わせ連成モデルにより，水槽内の水の影響を MSC/NASTRAN を用いた固有値解析で固有モードベクトル ϕ_{is} と刺激係数 β_s を算出している。



図－参考－別紙 1－2 角管ラックの解析モデルの例（試験水槽と供試体ラックの連成モデル）

2. 試験結果で得られた減衰定数の妥当性確認

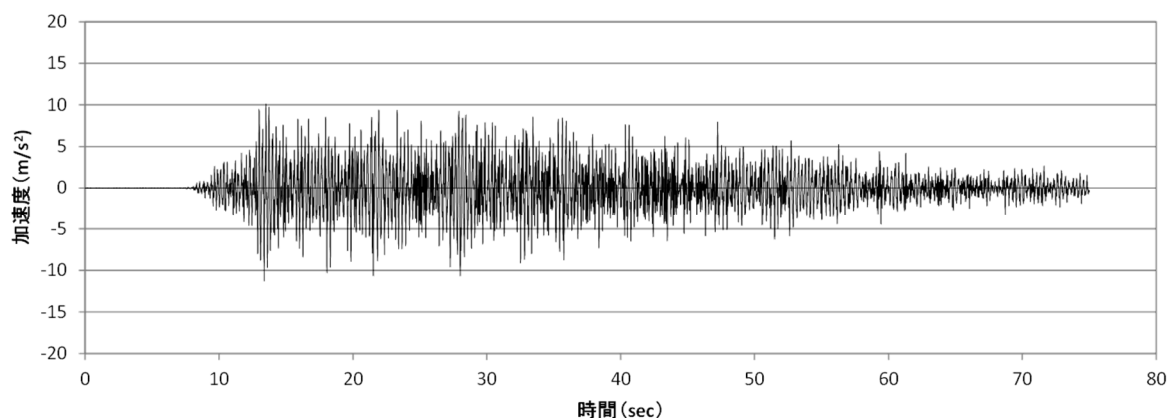
加振試験および減衰評価方法の妥当性確認として、新たに地震波による加振試験を行い、解析モデルによるシミュレーション結果と比較した。

2. 1 加振試験

角管ラックの減衰特性の確認試験と同じ供試体ラックを用い、全てのセルに模擬燃料集合体を貯蔵した状態で地震波加振を行い、供試体ラックの応答加速度を計測した。加速度計測点は減衰特性の確認試験と同様である。地震波加振試験の入力波には、実機の基準地震動 S_s の時刻歴波形を用いて、入力倍率を変化させた 6 ケースを実施した（図－参考－別紙 1－3）。

解析ケース

	入力加速度の最大値
ケース 1	2.7 m/s ²
ケース 2	4.2 m/s ²
ケース 3	5.9 m/s ²
ケース 4	7.6 m/s ²
ケース 5	9.4 m/s ²
ケース 6	11.3 m/s ²



図－参考－別紙 1－3 入力地震波の時刻歴波形（ケース 6 の例）

2. 2 シミュレーション解析

シミュレーション解析では，減衰特性の確認試験で取得した角管ラックの共振振動数から設定した1自由度振動系モデルの解析で求めた応答加速度に刺激関数 $\beta_s \phi_{is}$ を乗じて供試体ラック頂部の応答加速度を算出した。シミュレーション解析には，減衰定数取得試験にて取得した減衰定数を用いた。

(1) 解析方法

(13) 式を (18) 式を用いて置きかえると(19)式となる。

$$q_s(t) = \beta_s q_{s0}(t) \quad (18)$$

$$\ddot{q}_{s0}(t) + 2\zeta_s \omega_s \dot{q}_{s0}(t) + \omega_s^2 q_{s0}(t) = -\ddot{z}(t) \quad (19)$$

このとき， s 次モードの質点 i における地動に対する応答は (20) 式のように表される。

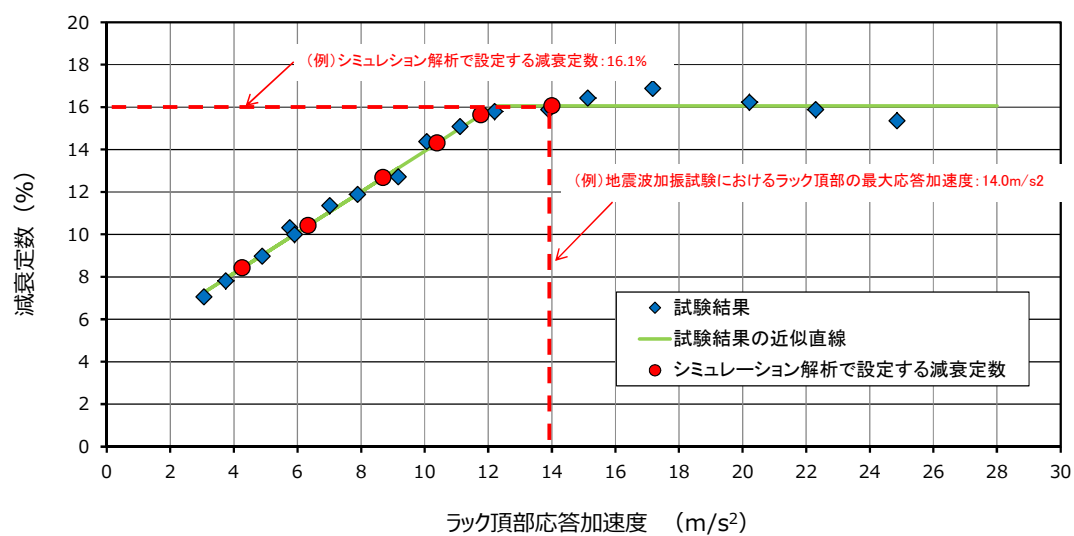
$$x_i(t) = q_s(t) \phi_{is} = \beta_s \phi_{is} q_{s0}(t) \quad (20)$$

(2) 刺激関数の設定

角管ラックの解析モデル（図－参考－別紙1－2）の固有値解析にて，供試体ラックの1次固有振動モードにおける刺激係数 β_s と，供試体ラック頂部の加速度計測点に相当する位置の固有ベクトル ϕ_{is} を算出した。

(3) 減衰定数の設定

シミュレーション解析に適用する減衰定数は、地震波加振入力に加振試験で計測したラック頂部の最大応答加速度と、正弦波掃引試験で得られた減衰定数とラック頂部最大応答加速度の関係減衰特性線図（図一参考一別紙 1－4）に基づき設定した。



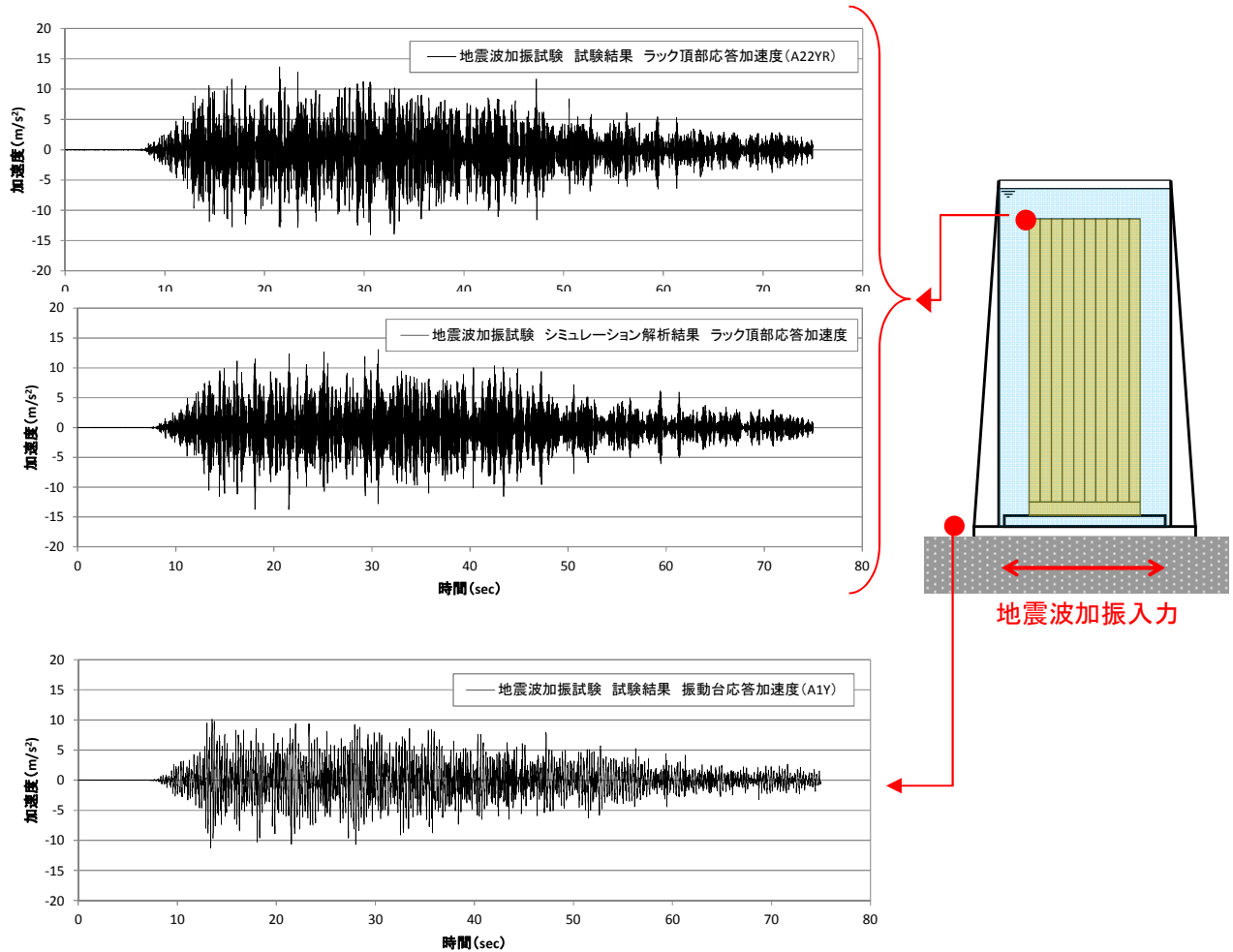
図一参考一別紙 1－4 解析に適用したラック頂部最大応答加速度と減衰定数

2. 3 試験結果とシミュレーション解析結果との比較

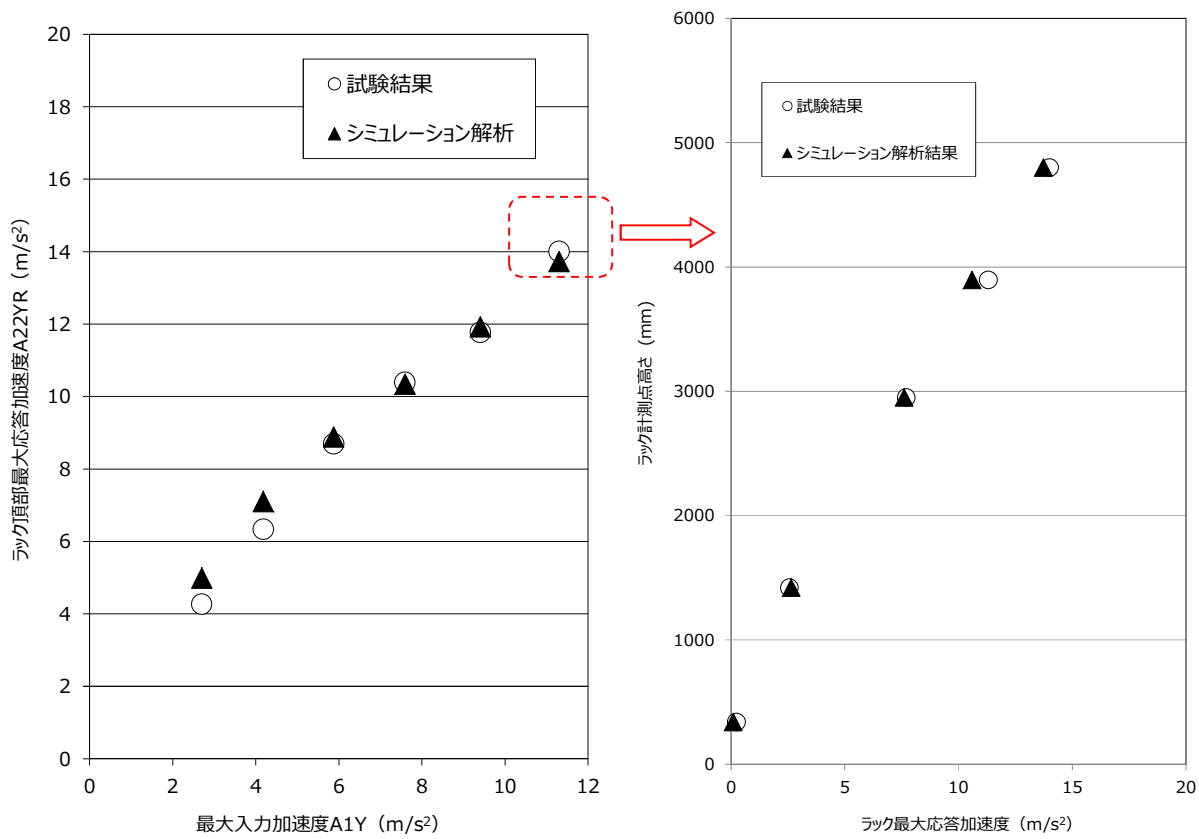
試験結果とシミュレーション解析結果の比較を図－参考－別紙 1－5 および図－参考－別紙 1－6 に示す。

基準地震動 S_s の時刻歴波形の入力倍率を変化させた 6 ケースにおけるラック頂部最大応答加速度は、いずれも試験とシミュレーション解析の結果がよく一致している（図－参考－別紙 1－6（a））。また、最大入力加速度が 11.3m/s^2 の入力ケースの、ラック頂部の最大加速度発生時刻におけるラックの各高さ位置の応答加速度についても、試験とシミュレーション解析の結果がほぼ一致している（図－参考－別紙 1－6（b））。

以上より本試験に用いた刺激関数は妥当であると考えられる。



図－参考－別紙 1－5 試験と解析の時刻歴波形（最大入力 11.3m/s^2 の例）



(a) 最大入力加速度と
ラック頂部最大加速度

(b) ラック頂部最大応答における
高さ方向分布図 (最大入力 11.3m/s²)

図ー参考ー別紙1ー6 地震波加振入力に対する試験結果とシミュレーション解析の比較

3. 応答倍率から算出した減衰定数の実機ラック耐震評価への適用性

減衰定数は線形な振動系の共振状態における応答加速度の大きさを定める係数であることから、加振試験においても、燃料ラックの共振状態における最大応答の大きさ（最大応答倍率＝質点の加速度/入力加速度）から、理論式を用いて減衰定数を算出した。

また、燃料ラックの耐震評価に適用している応答解析手法は、線形な3次元解析モデルによるスペクトルモーダル法であり、燃料ラックの共振時における最大応答加速度から、ラック各部材に作用する荷重を算出し、応力を算出するものである。

したがって、本手法は、供試体ラックの共振時の最大応答加速度を適切に再現できると考えられる。また、前述の通り、シミュレーション解析と試験結果が良く一致していることから減衰を評価する手法として妥当であると考えられる。

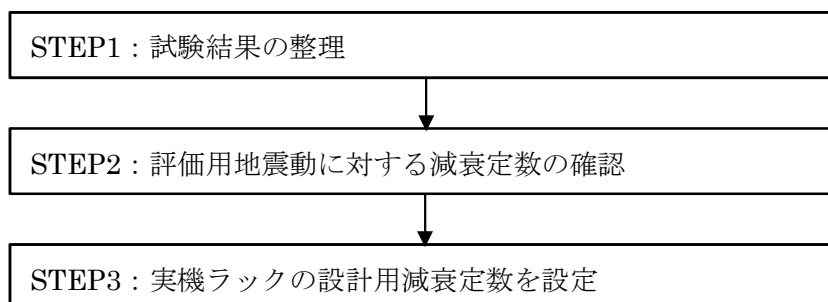
参考文献[1]：柴田明徳著、「最新耐震構造解析 第3版」森北出版株式会社

参考一別紙ー 2 減衰の応答依存性を考慮した燃料ラックの減衰定数の確認方法

(1) 試験結果に基づく燃料ラックの設計用減衰定数の設定手順

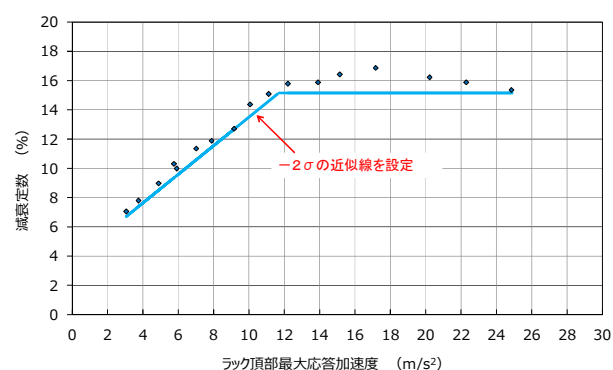
本試験の結果から、燃料ラックの減衰定数は、外部からの加振力による燃料ラック頂部の応答加速度が大きくなると減衰定数が増加し、その後ほぼ一定となる減衰特性を確認したため、以下の手順により基準地震動 S_s および弾性設計用地震動 S_d (以下「評価用地震動」という) に対する設計用減衰定数を確認する。

なお、本検討においては STEP2 にて設定した減衰定数と、設計用減衰定数の比較をおこなった。



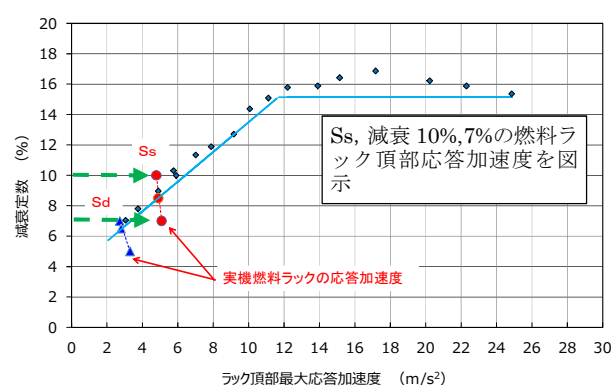
STEP1：試験結果の整理

本試験で得られた燃料ラックの減衰は、減衰定数が増加する領域と、減衰定数が一定の領域に分けられると考えられるため、それぞれの領域に対し、試験結果のばらつき（測定器や試験条件による誤差）を考慮し、試験データに対して余裕（95%信頼区間： -2σ ）を持たせた近似線を設定する。



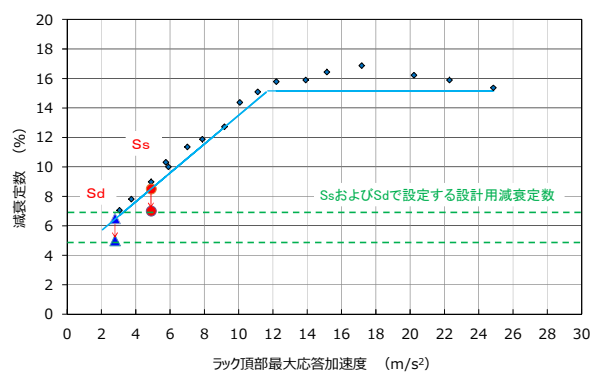
STEP2：評価用地震動に対する減衰定数の確認

減衰定数を変数にとり、評価用地震動に対する実機ラックの最大応答加速度を、床応答スペクトルと実機ラックの固有周期から算定し図示する。これらの点を結んだ直線と、STEP1 で設定した近似線との交点における減衰定数が評価用地震動に対する実機ラックの減衰定数である。



STEP3：実機ラックの設計用減衰定数を設定

STEP2 で確認した減衰定数に対し，耐震評価での簡便性と余裕を考慮して設計用減衰定数を設定する。



柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉

原子炉建屋屋根トラス及び排気筒の評価モデルについて

(耐震)

目 次

1. 概要	1
2. 原子炉建屋屋根トラスについて	1
2.1 原子炉建屋屋根トラスの概要	1
2.2 原子炉建屋屋根トラスの地震応答解析モデル	3
2.3 既工認と今回工認における原子炉建屋屋根トラスの解析モデルの比較.....	5
2.4 弾塑性解析の採用について	7
2.4.1 弾塑性解析を採用することの目的.....	7
2.4.2 弾塑性解析を採用することの論点.....	8
2.4.3 弾塑性特性の設定の妥当性・適用性について	12
2.5 原子炉建屋屋根トラスの評価に関するまとめ	13
3. 排気筒について.....	14
3.1 排気筒の概要.....	14
3.2 排気筒の地震応答解析モデル	17
3.3 既工認と今回工認における排気筒の解析モデルの比較	21
3.4 排気筒の評価のまとめ.....	21

添付資料 1 屋根トラスの耐震補強工事について

参考資料 1 剛性比例型減衰の妥当性について

参考資料 2 排気筒基礎部の評価について

参考資料 3 排気筒の入力地震動及び固有振動数・固有モードについて

参考資料 4 排気筒の想定破損箇所及び破損モード，溶接箇所と筒身支持位置の関係について

参考資料 5 屋根トラスの入力地震動及び固有振動数・固有モードについて

1. 概要

本資料は、柏崎刈羽原子力発電所第6号及び7号炉の建物・構築物のうち、鉄骨構造部の詳細評価モデルを構築して評価を実施している原子炉建屋屋根トラス及び排気筒の地震応答解析モデルの内容について説明し、既工認時のモデルとの差異及びモデル変更の目的について説明するものである。なお、6、7号炉とも同様の構造であり、モデル化の考え方も共通であるため、ここでは7号炉を例として説明する。

2. 原子炉建屋屋根トラスについて

2.1 原子炉建屋屋根トラスの概要

原子炉建屋の上部構造は、鉄骨造陸屋根をもつ屋根トラスで構成されている。屋根トラスの平面は、39.0m(南北)×59.6m(東西)の長方形をなしており、オペフロレベル (T.M.S.L. 31.7m) からの高さは18.0mである。屋根トラスの概要を図2.1.1に示す。表2.1.1にトラス部材の諸元のうち、RB通りの主トラス材について例示する。

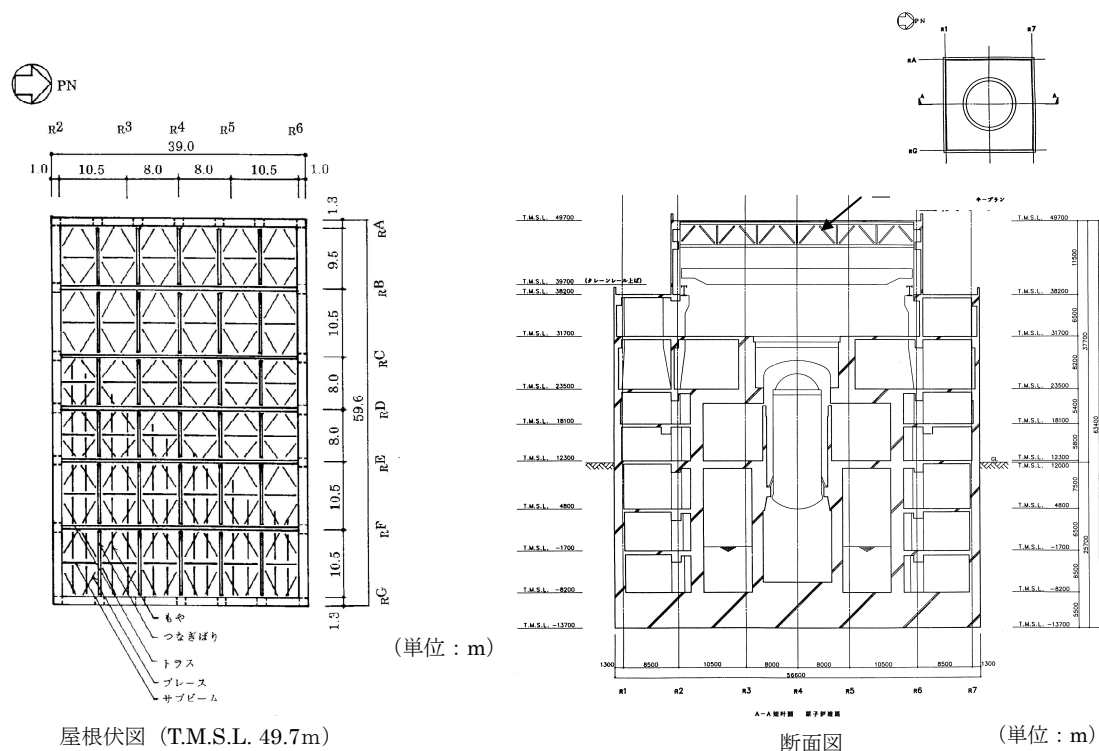


図 2.1.1 原子炉建屋屋根トラスの概要

表 2.1.1 rB 通り主トラスの部材諸元

部位	使用部材
上弦材	H-428×407×20×35
	H-428×407×20×35
	H-428×407×20×35
	H-428×407×20×35
	H-428×407×20×35
	H-428×407×20×35
	H-428×407×20×35
	H-428×407×20×35
	H-428×407×20×35
	H-428×407×20×35
下弦材	H-400×408×21×21
	H-400×408×21×21
	H-400×408×21×21
	H-400×408×21×21
	H-400×408×21×21
	H-400×408×21×21
	H-400×408×21×21
	H-400×408×21×21
	H-400×408×21×21
	H-400×408×21×21
斜材	H-400×400×13×21
	H-350×350×12×19
	H-244×252×11×11
束材	2Cs-200×90×8×13.5

2.2 原子炉建屋屋根トラスの地震応答解析モデル

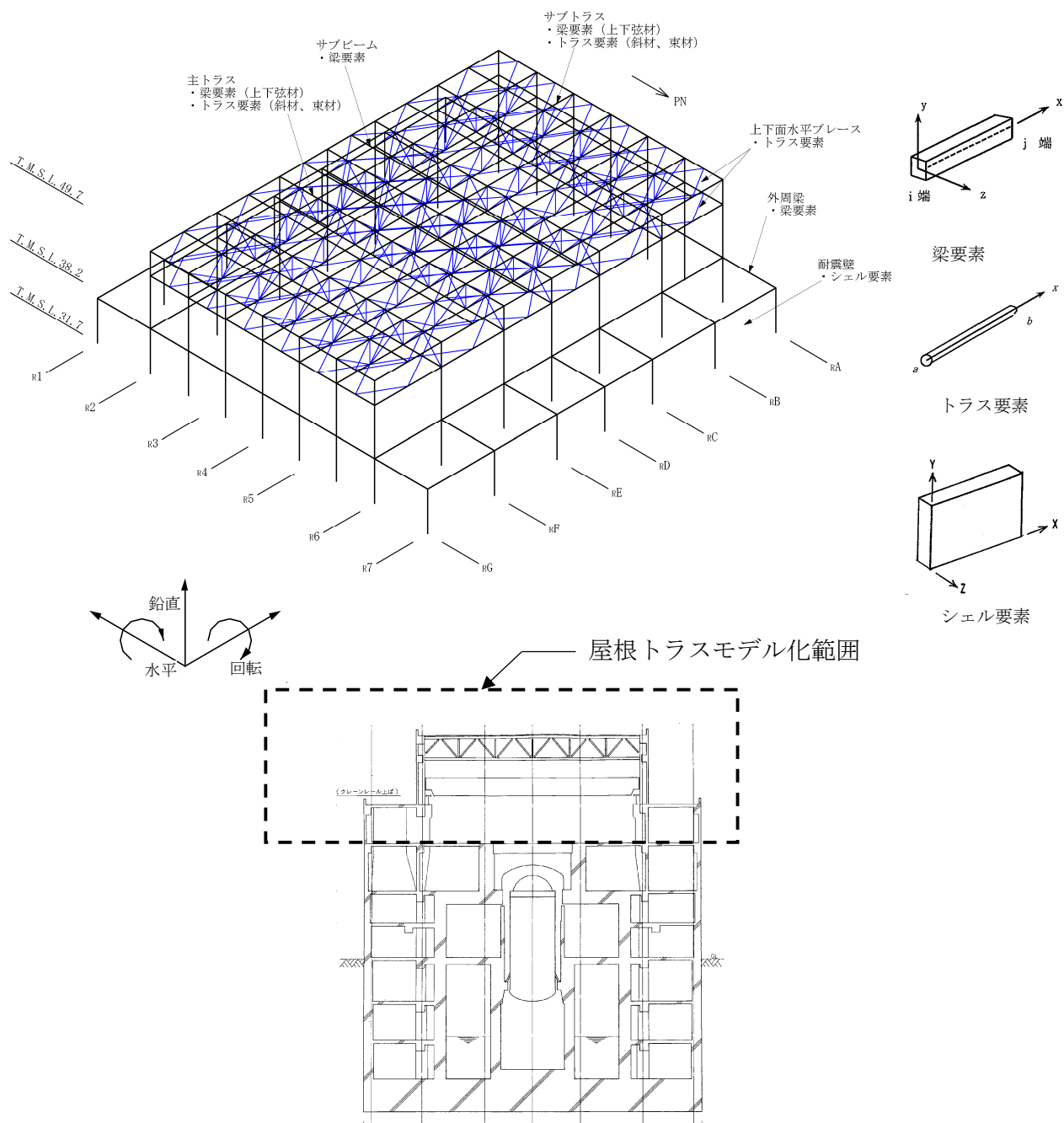
原子炉建屋屋根トラスは、鉛直方向の地震動の影響を受けやすいと考えられるため、水平方向と鉛直方向地震力の同時入力による評価を行うために 3 次元モデルによる地震応答解析を採用する。

地震応答解析モデルは、オペフロレベル (T.M.S.L. 31.7m) より上部の鉄骨鉄筋コンクリート造の柱、梁、壁および鉄骨造の屋根トラス、屋根面水平ブレース等を線材、面材により立体的にモデル化した 3 次元フレームモデルとし、部材に発生する応力を地震応答解析によって直接評価できるモデルとしている。解析モデルの概要を図 2.2.1 に示す。

屋根トラス部は、主トラス、サブトラス (つなぎばり)、屋根上下面水平ブレース、サブビームをモデル化する。各鉄骨部材は軸、曲げ変形を考慮した梁要素 (トラスの上下弦材) と軸変形のみを考慮したトラス要素 (屋根面水平ブレース、トラスの斜材、束材等) としてモデル化する。また、耐震壁および外周梁は各々シェル要素および軸、曲げ変形を考慮した梁要素としてモデル化し、耐震壁の開口部についても考慮する。なお、柱脚の条件は固定とする。また、解析に用いる材料の物性値を表 2.2.1 に示す。

なお、基準地震動 S_s に対する評価を実施する際、トラス材としてモデル化した部材の一部については、弾性範囲を超えることが確認されたため、部材座屈後の挙動を模擬できる手法 (修正若林モデル) に基づく弾塑性特性を考慮している。考慮した弾塑性特性の詳細については、「2.4 弾塑性解析の採用について」で示すこととする。

解析モデルへの入力地震動は、原子炉建屋の質点系モデルによる地震応答解析結果から得られるオペフロレベル (T.M.S.L. 31.7m) の応答結果 (水平、鉛直、回転成分) を用いることとし、オペフロ位置を固定として、同時入力による地震応答解析を実施する。また、地震応答解析における減衰評価は、水平材の応答に影響の大きい鉛直方向 1 次固有振動数 (5.19Hz) に対して減衰定数が $h=2\%$ となる剛性比例型減衰を与えている。



原子炉建屋断面図

図 2.2.1 屋根トラスの解析モデルの概要

表 2.2.1 解析に用いる材料定数

部位	材料	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比	減衰定数
屋根トラス	鉄骨	2.05×10 ⁵	0.3	0.02
躯体	コンクリート	2.88×10 ⁴	0.2	0.05

2.3 既工認と今回工認における原子炉建屋屋根トラスの解析モデルの比較

原子炉建屋屋根トラスの解析モデルについて、既工認で採用した解析モデルと今回工認で採用する予定の解析モデルとの差異を整理する。既工認における屋根トラスの解析モデルと今回工認で採用予定の解析モデルの比較表を表 2.3.1 に示す。

表 2.3.1 のうち、解析コード、要素分割及び地震荷重の差異については、解析手法を変更したことに伴う変更である。また、モデル化については、原子炉建屋屋根トラスが鉛直方向の地震動の影響を受けやすいと考えられるため、水平方向と鉛直方向地震力の同時入力による評価を適切に行うことを目的として 3 次元フレームモデルによる弾塑性時刻歴応力解析を採用している。コンクリートのヤング係数及びポアソン比については、別資料（「別紙 1 建屋の地震応答解析におけるコンクリート実剛性の採用について」）にて考察しているため、ここでは差異として取り上げないこととする。

以上を踏まえると、既工認と今回工認における主要な差異として、「原子炉建屋屋根トラスに対する弾塑性解析時刻歴応力解析の採用」を抽出し、以下で検討を行うこととした。

表 2.3.1 原子炉建屋屋根トラスの解析モデルの比較

項目	既工認	今回工認
解析手法	・静的応力解析（弾性解析）	・時刻歴応力解析（弾塑性解析）
解析コード	・ NASTRAN	・ DYNA2E
モデル化	・ 2次元フレームモデル	・ 3次元フレームモデル (屋根トラス部の耐震補強工事の内容を反映 ^{※1})
要素分割	梁要素：トラスの上下弦材 トラス要素：トラスの斜材，束材	梁要素：トラスの上下弦材，外周梁 トラス要素：屋根面水平ブレース，トラスの斜材，束材 シェル要素：耐震壁
材料物性	・ 鉄骨のヤング係数： $E=2.1 \times 10^7 \text{t/m}^2$ ・ コンクリートのヤング係数 $E=2.7 \times 10^6 \text{t/m}^2$ ・ コンクリートのポアソン比 $\nu=0.167$	・ 鉄骨のヤング係数： $E=2.05 \times 10^5 (\text{N/mm}^2)$ ・ コンクリートのヤング係数 $E=2.88 \times 10^4 \text{kN/mm}^2$ ・ コンクリートのポアソン比 $\nu=0.2$
評価方法	・ S2 地震及び静的地震力に対して発生応力が許容限界を超えないことを確認	・ Ss 地震に対し，主トラスの各部材に発生する応力が，許容限界を超えないことを確認 ・ 弾塑性特性（修正若林モデル）を適用する部材（つなぎ梁（束材・斜材），下面水平ブレース） ^{※2} が破断しないことを確認
地震荷重	・ 水平：原子炉建屋の地震応答解析結果に基づく地震荷重を静的に考慮 ・ 鉛直：静的震度を鉛直力として入力	・ 水平及び鉛直： モデル脚部に原子炉建屋の質点系モデルの地震応答解析による応答を同時入力

※1：耐震補強工事の概要については，添付資料 1 に示す。

※2：弾塑性特性を考慮する部材は，既工認時には地震力を負担する部材としては取り扱われていなかったが，3次元挙動を適切に評価するという観点から今回工認で採用予定の3次元フレームモデルではモデル化することとした部材である。

2.4 弾塑性解析の採用について

2.4.1 弾塑性解析を採用することの目的

原子炉建屋屋根トラスについては、基準地震動 S_s による地震動の増大に伴い、トラスを構成する部材の一部が弾塑性領域に入ると考えられるが、弾性解析では当該部材の塑性化による影響を考慮できないため、解析と実現象に乖離が生じることになる。そこで今回工認では、屋根トラスの弾塑性挙動を適切に評価することを目的として、部材の弾塑性特性を考慮した地震応答解析を採用する予定としている。

原子炉建屋屋根トラスの応力解析に弾塑性解析を取り入れることによる利点としては、既工認で採用していた弾性解析では表現出来ないような大入力時の弾塑性挙動を評価できることにある。弾塑性挙動を適切に評価するにあたっては、部材の弾塑性特性を適切に設定し解析を実施する必要があると考えられる。

今回工認で採用予定の屋根トラス部材の弾塑性特性について、表 2.4.1 に示す。表 2.4.1 に示す通り、軸力のみを負担するトラス要素に対してのみ弾塑性特性として修正若林モデルを採用する予定である。当該モデルについては、先行電力の審査にて採用実績があり、モデルの妥当性自体に大きな論点はないと考えられるものの、柏崎刈羽 6 号炉及び 7 号炉原子炉建屋屋根トラス部材の評価への適用性については、十分に確認する必要があると考えられる。

以下では、修正若林モデルの概要を確認した上で、原子炉建屋屋根トラス部材への適用性を検討する。また、修正若林モデルを用いた弾塑性解析を実施することにより、一部部材の塑性化を考慮することとなるため、当該部材のクライテリアについても検討する。

表 2.4.1 屋根トラス部材の弾塑性特性について

評価部位		モデル要素	弾塑性特性
主トラス	上弦材	梁要素	考慮しない(弾性)
	下弦材		
	斜材	トラス要素	考慮しない(弾性)
	束材		
サブトラス	上弦材	梁要素	考慮しない(弾性)
	下弦材		
	斜材	トラス要素	弾塑性（修正若林モデル）
	束材		
水平ブレース	上弦面 水平ブレース	トラス要素	考慮しない(弾性)
	下弦面 水平ブレース		弾塑性（修正若林モデル）

2.4.2 弾塑性特性の設定の妥当性・適用性について

(1) 今回工認で採用予定の弾塑性特性（修正若林モデル）の概要

原子炉建屋屋根トラスを構成する部材のうち、軸力のみを負担するトラス要素としてモデル化した部材については、弾塑性特性として修正若林モデルを使用している。

修正若林モデルは、原子力発電所建屋（実機）を対象として実施された谷口らの研究^[1]に示される部材レベルの弾塑性特性である。修正若林モデルは、若林モデル^[2]を基本としているが、谷口らの研究^[1]で実施された実験のシミュレーション解析を踏まえて、繰り返し载荷による初期座屈以降の耐力低下を累積塑性歪の関数で表現し、実験との対応度を向上させた手法であり、式（1）により評価される。

$$n/n_0 = 1/(\bar{\zeta} - Pn)^{1/6} \leq 1 \quad (1)$$

$$n = N/N_y \quad N: \text{軸力} \quad N_y: \text{降伏軸力}$$

$$n_0: \text{無次元化初期座屈耐力} \quad \bar{\zeta}: \text{無次元化圧縮側累積塑性歪}$$

$$Pn = (n_E/4) - 5 \quad n_E = \pi^2 E/(\lambda e^2 \sigma_y) \quad \lambda e: \text{有効細長比}$$

修正若林モデルの弾塑性特性を図 2.4.1 に示す。

谷口らの研究^[1]においては、実機の特徴を反映した X 型ブレース架構の静的繰り返し実験を実施している。また、修正若林モデルの妥当性を確認するにあたって、ブレース部材の弾塑性特性として修正モデルを適用した解析モデルによる実験のシミュレーション解析を実施しており、解析結果は実験結果を概ねよくとらえているとしている。試験体の概要を図 2.4.2、解析モデルを図 2.4.3、解析結果と実験結果の比較を図 2.4.4 に示す。

なお、本復元力特性については、前述の通り、川内原子力発電所タービン建屋の解析で考慮したブレースの弾塑性特性として採用されており、認可実績がある。

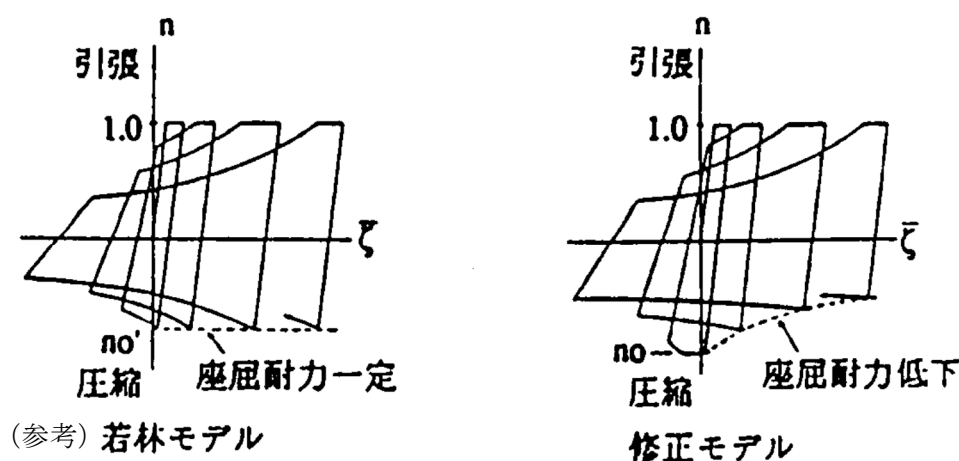


図 2.4.1 修正若林モデルの弾塑性特性（[1]より引用，一部加筆）

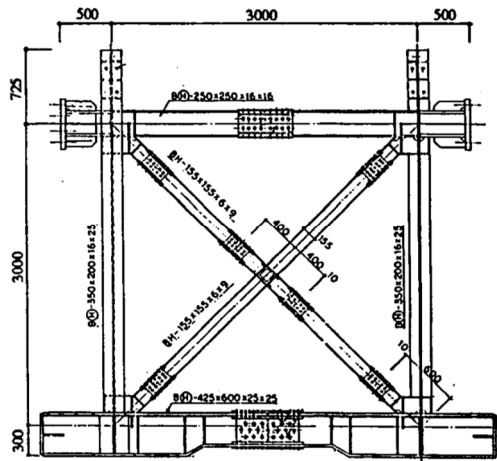
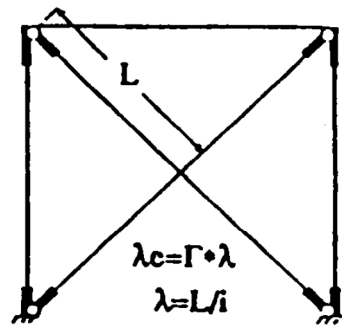
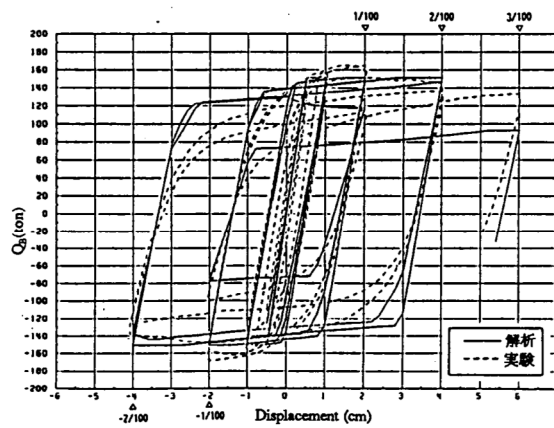


図 2.4.2 試験体の概要 ([1]より引用)

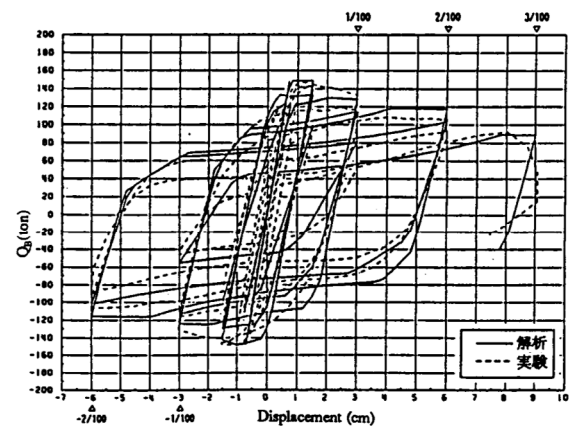


Γ : 等価座屈長さ係数
 λ_c : 有効細長比
 λ : 細長比(芯々)

図 2.4.3 解析モデル ([1]より引用)



SXII - 40.9 - B



SXIII - 60.9 - B

図 2.4.4 解析結果と実験結果の比較 ([1]より引用)

(2) 原子炉建屋屋根トラスに対する検証例

谷口らの研究^[1]は、X型ブレース架構を対象としたものであったが、原子炉建屋屋根トラスに対して本弾塑性特性を適用した検討例として、鈴木らの研究^[3]がある。

この研究は、原子炉建屋屋根トラスの終局耐力について検討したものであるが、実験結果を高精度にシミュレーションするために構築したモデルの中で本弾塑性特性が適用されている。

鈴木らの研究^[3]では、終局耐力を検討するにあたり原子炉建屋屋根トラスを模擬した縮小試験体を製作し、トラスの崩壊挙動に与える影響が大きい鉛直動的荷重を模擬した静的載荷試験により、その弾塑性挙動を確認している。なお、試験にあたっては、原子力発電所鉄骨屋根トラスがプラット形とワーレン形の2種類に分類されることを踏まえ、この2種類のトラス形式についての試験体を製作している。6、7号炉の原子炉建屋屋根トラスはこのうち、ワーレン形に該当する。試験体の概要を図2.4.5に示す。

実験のシミュレーション解析においては、トラス要素としてモデル化した部材の弾塑性特性として修正若林モデルが適用されており、実験結果とシミュレーション解析を比較し、精度良く実験結果を追跡できているとしている。結果の比較を図2.4.6に示す。

以上のように修正若林モデルは、提案当初のX型ブレース材に加えて、ワーレン形、プラット形の鉄骨トラスでも実験結果を精度良く追跡できていると、幅広い鉄骨架構形式において軸力のみを負担する部材の弾塑性特性として適用可能であると考えられる。

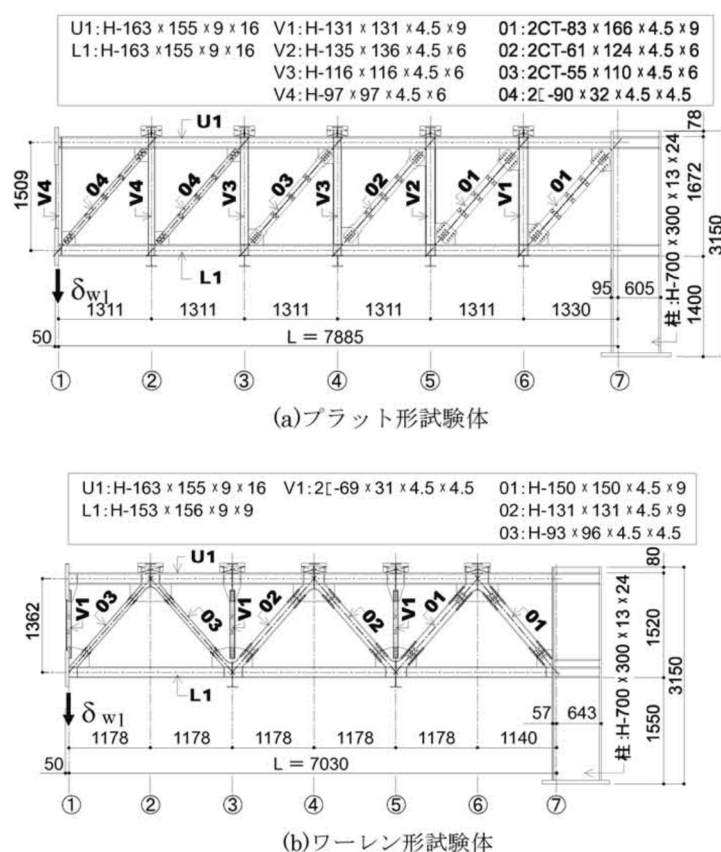


図 2.4.5 試験体の概要 ([3]より引用)

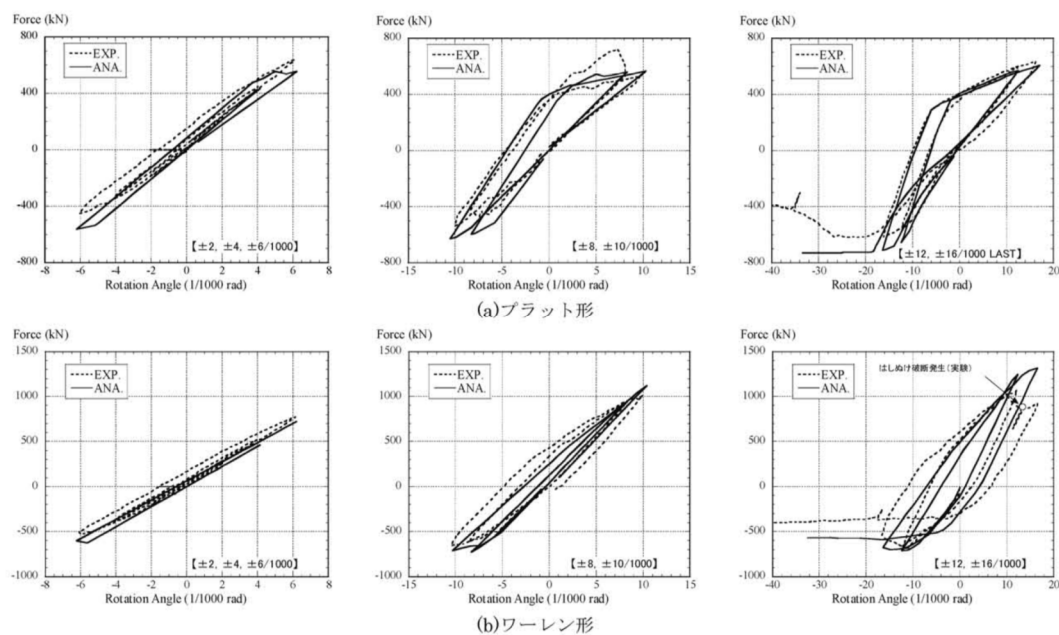


図 2.4.6 実験のシミュレーション解析結果 ([3]より引用)

(3) 原子力発電所鉄骨屋根トラスへの適用性

今回採用を予定している修正若林モデルについては、提案当初より、原子力発電所（実機）を対象として実施された実験により妥当性が検証されており、また、原子炉建屋鉄骨屋根トラスを模擬した加力実験のシミュレーション解析においてもその適用性・妥当性が検証されている。これより、原子炉建屋屋根トラスの鉄骨部材のうち、トラス要素としてモデル化した部材の弾塑性特性として、修正若林モデルを採用することは妥当であると考えられる。

2.4.3 各部材のクライテリアについて

入力地震動の増大に伴い鉄骨部材の一部が弾塑性領域に入ると考えられることから、今回工認においては、弾塑性解析による評価を実施し、弾塑性特性を適用した部材が破断しないことを確認する予定である。これらの塑性化を許容する部材は、既工認時には地震力を負担しない部材として取り扱われていたが、3次元挙動を適切に評価するという観点からモデルに取り入れた部材である。なお、主トラス等の主要構造部材については、既工認時より地震力を負担する部材として取り扱われており、今回工認においても既工認と同様に弾性範囲内にあることを確認する。表-2.4.1に各部材のクライテリアを示す。

塑性化する鉄骨部材が破断しないことの確認にあたっては、各部材の累積塑性変形倍率を整理した上で、累積塑性変形倍率が最も大きい部材について検討を実施する。検討は、当該部材の履歴ループを参照し、局部集中ひずみの繰返し回数が、中込他（1995）^{〔4〕}に基づき算定される、当該部材の最大ひずみ度に対する破断寿命（繰返し回数）を下回っていることを確認する。この手法は先行審査（川内原子力発電所タービン建屋）でも認可実績のある手法であることから、手法自体に技術的な論点はないものと考えられる。

表 2.4.1 今回工認における屋根トラス各部材のクライテリア

評価部位		評価方法
主トラス	上弦材	弾性範囲内であることを確認
	下弦材	
	斜材	
	束材	
サブトラス	上弦材	弾性範囲内であることを確認
	下弦材	
	斜材	破断しないことを確認
	束材	
水平 ブレース	屋根面 水平ブレース	弾性範囲内であることを確認
	下弦面 水平ブレース	破断しないことを確認

2.5 原子炉建屋屋根トラスの評価に関するまとめ

今回工認では、原子炉建屋屋根トラスの評価にあたって、3次元フレームモデルによる弾塑性解析（弾塑性特性としては修正若林モデルを考慮）を採用する予定である。修正若林モデルは先行審査で採用実績のある弾塑性特性であるが、X型ブレースを対象として検討されたものであったため、本検討においては、修正若林モデルの原子炉建屋屋根トラスへの適用性を検討する必要があると判断した。既往文献（原子炉建屋鉄骨屋根トラスを模擬した加力実験のシミュレーション解析）を参照し、その適用性・妥当性が検証されていることを確認した。また、弾塑性特性を考慮する部材のクライテリアについても検討し、妥当性を確認した。

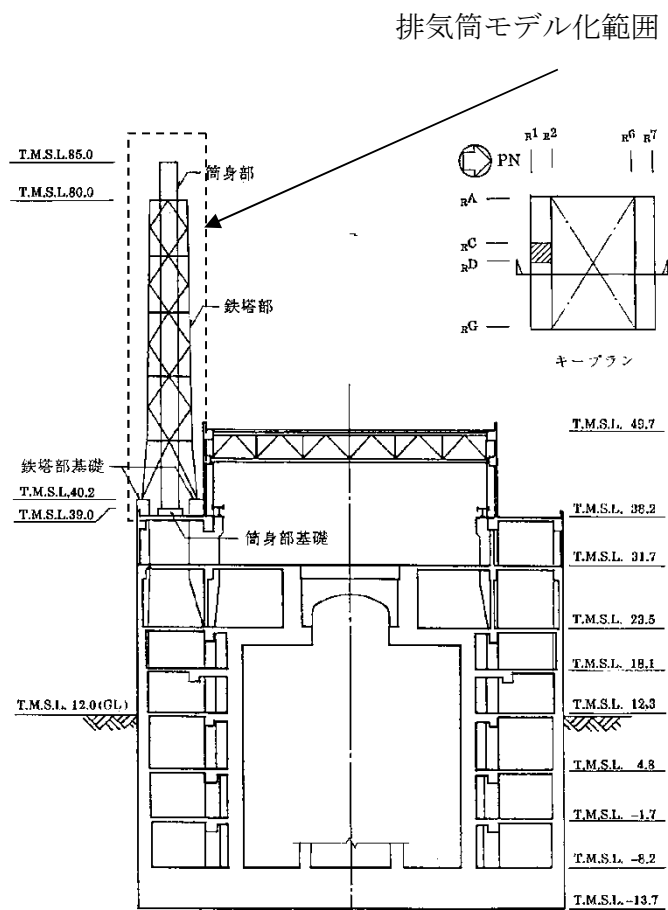
以上より、今回工認において原子炉建屋屋根トラスの評価に弾塑性解析を採用することは妥当であると考ええる。

なお、原子炉建屋屋根トラスは、原子炉建屋の地震応答解析結果に基づくオペフロレベルの応答を入力動として評価を実施しており、入力動の不確かさ（建屋応答の不確かさ）をふまえた場合でも許容値を満足することを確認することにより保守性に配慮した設計とする予定である。

3. 排気筒について

3.1 排気筒の概要

排気筒は、原子炉建屋の屋上（T.M.S.L. 38.2m）に位置し、内径 2.4m の鋼板製筒身（換気空調系用排気筒）を鋼管四角形鉄塔（制震装置付）で支えた鉄塔支持形排気筒である。また、筒身内部には、耐震 S クラス設備である非常用ガス処理系用排気筒が筒身に支持されている。排気筒の概要を図 3.1.1 に示す。表 3.1.1 に排気筒部材の諸元を示す。



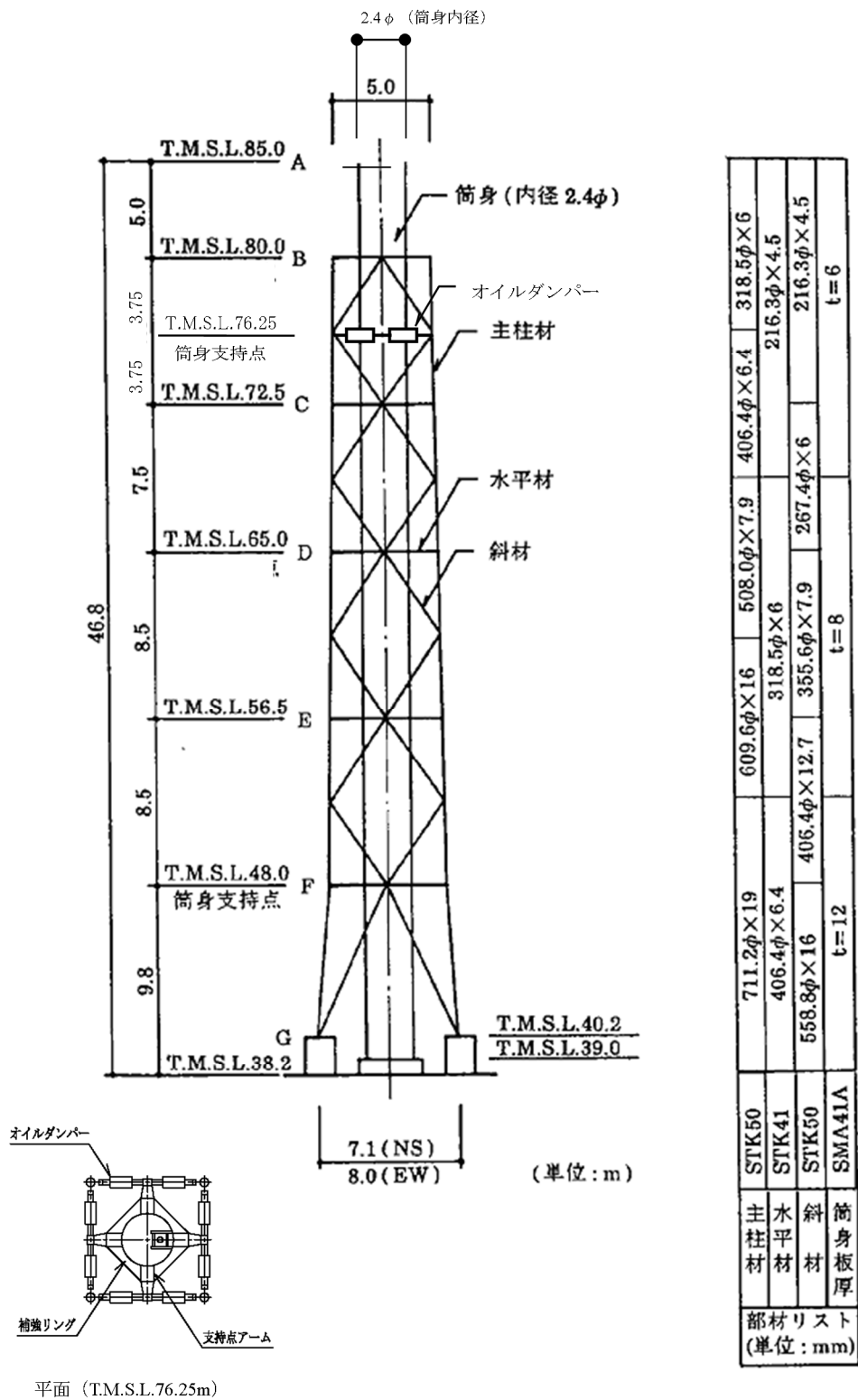


図 3.1.1 排気筒の概要 (その 2)

表 3.1.1 排気筒の部材諸元一覧

部位	部材間	寸法 (mm)
主柱材	B-C	318.5 ϕ \times 6
	C-D	406.4 ϕ \times 6.4
	D-E	508.0 ϕ \times 7.9
	E-F	609.6 ϕ \times 16
	F-G	711.2 ϕ \times 19
斜材	B-C	216.3 ϕ \times 4.5
	C-D	267.4 ϕ \times 6
	D-E	355.6 ϕ \times 7.9
	E-F	406.4 ϕ \times 12.7
	F-G	558.8 ϕ \times 16
水平材	B	216.3 ϕ \times 4.5
	C	216.3 ϕ \times 4.5
	D	318.5 ϕ \times 6
	E	318.5 ϕ \times 6
	F	406.4 ϕ \times 6.7
筒身部	A-B	2412 ϕ \times 6
	B-C	2412 ϕ \times 6
	C-D	2412 ϕ \times 6
	D-E	2416 ϕ \times 8
	E-F	2416 ϕ \times 8
	F-G	2424 ϕ \times 12

3.2 排気筒の地震応答解析モデル

排気筒は塔状構造物であり、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の同時入力の影響を受ける可能性があることから、3 次元モデルによる地震応答解析を実施する。

排気筒の地震応答解析モデルは、屋上 (T.M.S.L.38.2m) より上部を立体的にモデル化した立体架構モデルとし、部材に発生する応力を地震応答解析によって直接評価できるモデルとしている。解析モデルの概要を図 3.2.1 に、解析に用いる材料の物性値を表 3.2.1 に示す。

モデルの作成にあたっては、排気筒を構成する全ての構造部材をモデル化することを基本方針とする。構成部材のうち、筒身、鉄塔部の主柱および鉄骨鉄筋コンクリート造の基礎部については軸、曲げ変形を考慮した梁要素として、鉄塔斜材、水平材についてはトラス要素としてモデル化する。なお、全部材が基準地震動 S_s に対して弾性範囲内の応答となることから、弾塑性特性は考慮していない。

制振装置（オイルダンパー）の概要を図 3.2.2 に、諸元を表 3.2.3 に示す。オイルダンパーは、地震応答解析より求まる速度及び変位が許容値*の範囲内であることを確認することにより、その適用性を確認することとする。表 3.2.4 に基準地震動 S_s による応答（暫定条件に基づく試算値）を用いた確認結果を示す。ダンパーの最大応答は、許容値を下回っており、基準地震動 S_s レベルの入力に対しても適用可能であることが確認出来る。

解析モデルへの入力は、原子炉建屋の質点系モデルによる地震応答解析結果から得られる屋上レベル (T.M.S.L.38.2m) における応答結果（水平、鉛直、回転成分）を用いることとし、排気筒の基礎位置を固定として同時入力による地震応答解析を実施する。

また、地震応答解析における減衰評価は、剛性比例型減衰を用いており、水平方向の応答が排気筒の応答性状に支配的であることを踏まえて、水平方向（NS 方向）の鉄塔の 1 次固有周期 (3.69Hz) に対して減衰定数が $h=2\%$ となる減衰を与えることとしている。

※設計時に定めた許容値であり、既工認の耐震計算書においても同じ許容値を用いてダンパーの適用性を確認している。

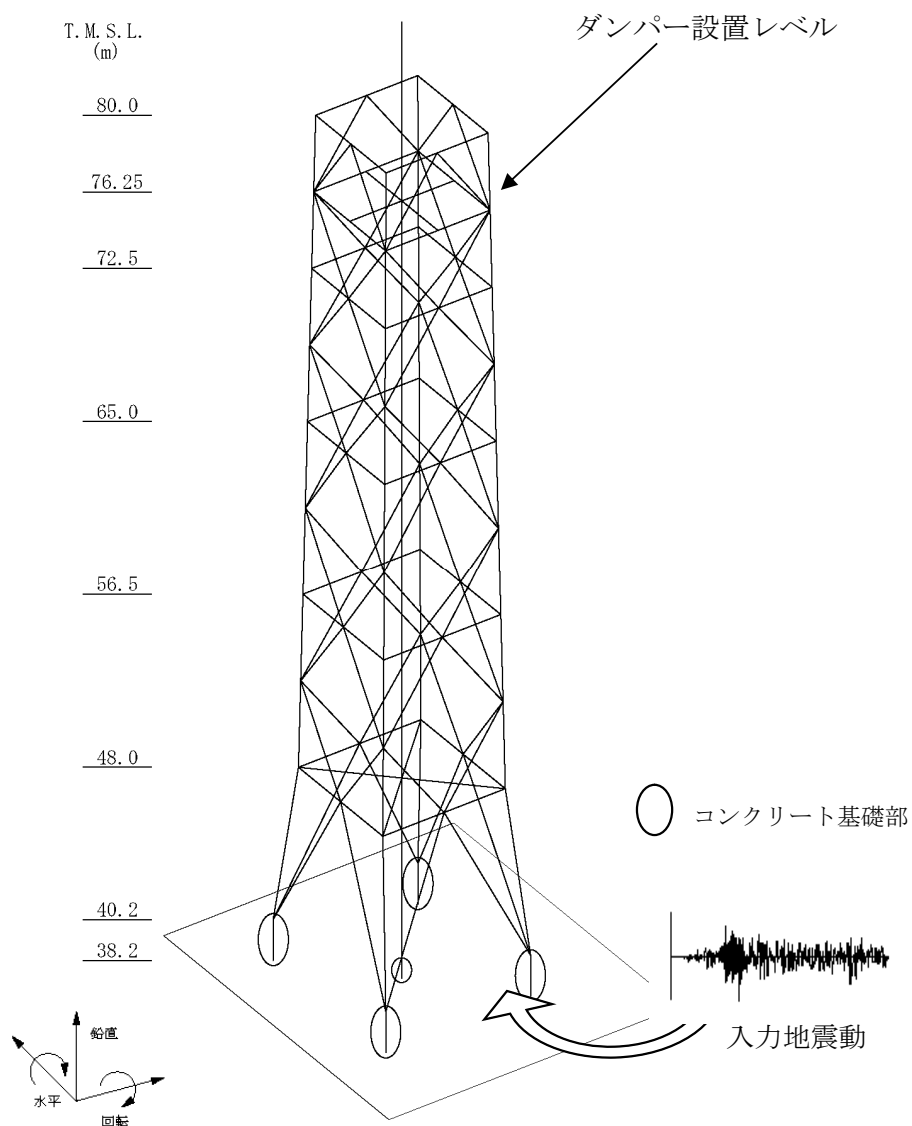
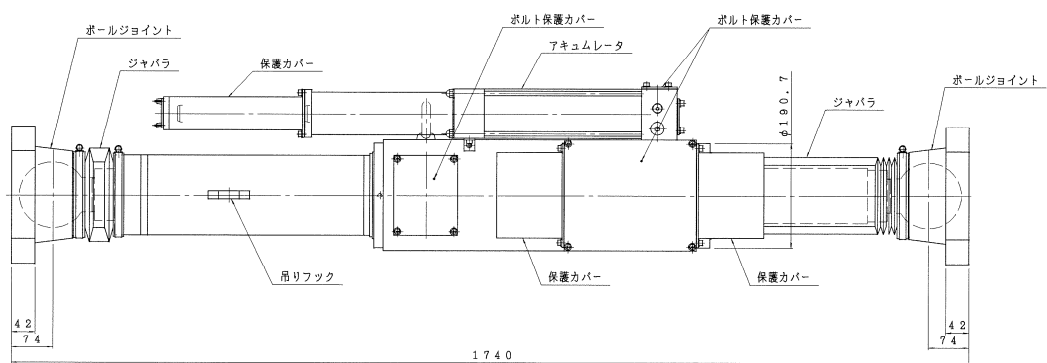
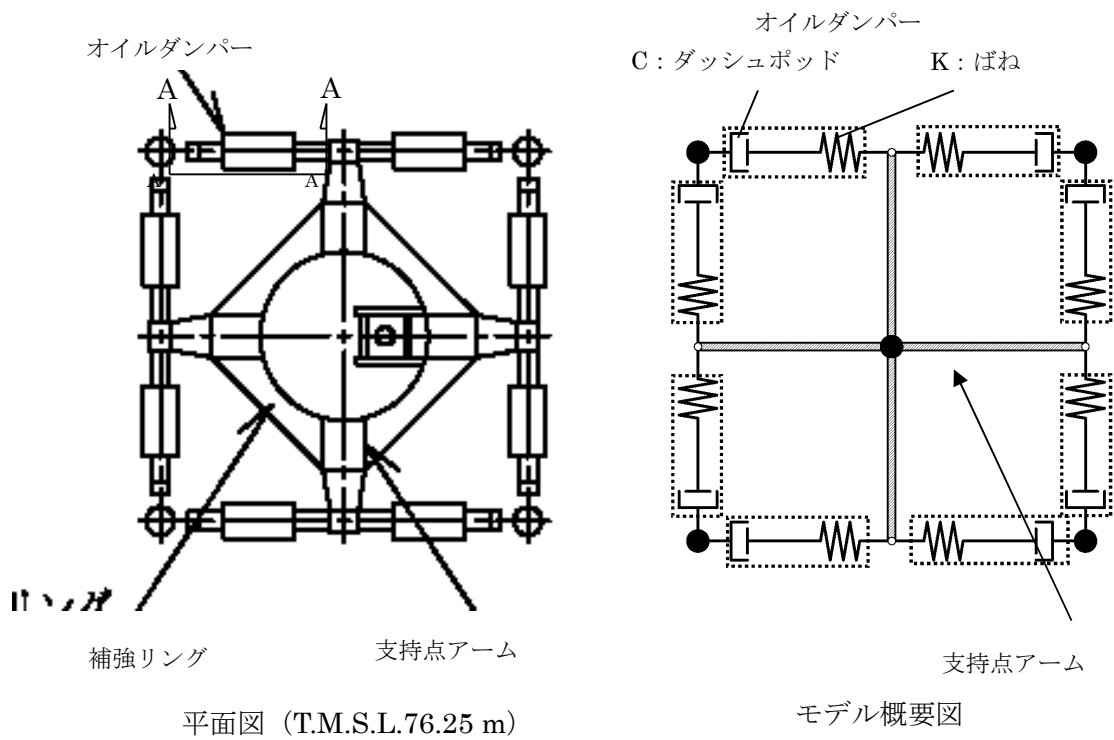


図 3.2.1 排気筒の地震応答解析モデルの概要

表 3.2.1 解析に用いる材料定数

部位	材料	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比	減衰定数
鉄塔, 筒身	鉄骨	2.05×10^5	0.3	0.02
基礎	コンクリート	2.88×10^4	0.2	0.05



A-A オイルダンパー詳細図 (単位 : mm)

図 3.2.2 オイルダンパーの概要

表 3.2.3 オイルダンパー諸元

重量	6.0	(kN/台)
ばね定数	$K=0.3 \times 10^8$	(N/m)
減衰係数	$C=1.2 \times 10^5$	(N・s/m)

表 3.2.4 オイルダンパーの適用性

	Ss 最大応答値 (暫定値)	許容値
速度(m/s)	1.88	2.60
変位 (mm)	131	175

3.3 既工認と今回工認における排気筒の解析モデルの比較

排気筒の解析モデルについて、既工認で採用した解析モデルと今回工認で採用する予定の解析モデルとの差異を整理する。改造工認における排気筒の解析モデルと今回工認で採用予定の解析モデルの比較表を表 3.3.1 に示す。

表 3.3.1 のうち、要素分割及び地震荷重、解析コードの差異については、解析手法を変更したことに伴う変更である。また、既工認では、鉄塔部と筒身部を質点系でモデル化して地震応答解析（水平）を実施し、地震荷重を算定している。筒身部の評価は地震応答解析結果から求まる応力及び静的な鉛直荷重を用いた構造検討を実施し、鉄塔部については地震応答解析結果から求まる地震荷重及び静的な鉛直荷重を 3 次元フレームモデルに入力することにより構造検討を実施している。今回工認では、3 次元フレームモデルによる時刻歴応力解析（水平及び鉛直）を実施し、鉄塔部の各部材も含めて時刻歴解析で直接応力を算定することにより構造検討を実施する方針である。3 次元フレームモデルによる時刻歴応力解析は先行審査でも適用されている手法である。

また、コンクリートのヤング係数及びポアソン比については、別資料（「別紙 1 建屋の地震応答解析におけるコンクリート実剛性の採用について」）にて考察しているため、ここでは差異として取り上げないこととする。

以上を踏まえると、既工認と今回工認における解析モデルの主要な論点となる項目はないと考えられる。

3.4 排気筒の評価のまとめ

柏崎刈羽原子力発電所第 6 号及び 7 号炉の排気筒について、既工認と今回工認における解析モデル及び解析手法を比較し、差異を抽出した結果、先行電力を含む既工認で採用実績がある手法であり、主要な論点となる項目はないことを確認した。

なお、排気筒は、原子炉建屋の地震応答解析結果に基づく屋上レベルの応答を入力動として評価を実施しており、入力動の不確かさ（建屋応答の不確かさ）をふまえた場合でも許容値を満足することを確認することにより保守性に配慮した設計とする予定である。

4. まとめ

柏崎刈羽原子力発電所第 6 号及び 7 号炉の原子炉建屋屋根トラス及び排気筒について、既工認と今回工認における解析モデル及び解析手法を比較した。その結果、既工認と差異が認められる部分についてはその妥当性・適用性について検討を行い、今回工認で使用する解析モデルとして妥当であることを確認した。

表 3.3.1 排気筒の解析モデルの比較

項目	既工認（改造工認）	今回工認
解析手法	<ul style="list-style-type: none"> ・地震応答解析（弾性解析） ・静的応力解析（弾性解析） 	<ul style="list-style-type: none"> ・時刻歴応力解析（弾性解析）
解析コード	<ul style="list-style-type: none"> ・DYNA2E（地震応答解析） ・NASTRAN（静的応力解析） 	<ul style="list-style-type: none"> ・DYNA2E
モデル化	<ul style="list-style-type: none"> ・質点系モデル（地震応答解析） ・3次元フレームモデル（静的応力解析） 	<ul style="list-style-type: none"> ・3次元フレームモデル
要素分割	<p>【地震応答解析】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・鉄塔部・筒身部を質点系でモデル化，ダンパー部はダッシュポッド要素とバネ要素でモデル化 <p>【応力解析】</p> <p>梁要素：鉄塔部（主柱材） トラス要素：鉄塔部（水平材，斜材）</p>	<p>梁要素：鉄塔部（主柱材），筒身部，基礎部 トラス要素：鉄塔部（水平材，斜材） ダッシュポッド要素、ばね要素：ダンパー</p>
材料物性	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼材のヤング係数： $E=2.05 \times 10^5 (\text{N/mm}^2)$ ・鉄骨のポアソン比：0.3 	<ul style="list-style-type: none"> ・鉄骨のヤング係数： $E=2.05 \times 10^5 (\text{N/mm}^2)$ ・鉄骨のポアソン比：0.3 ・コンクリートのヤング係数 $E=2.88 \times 10^4 \text{ kN/mm}^2$ ・コンクリートのポアソン比 $\nu=0.2$
評価方法	<ul style="list-style-type: none"> ・S_1 地震及び静的地震力に対して発生応力が許容限界を超えないことを確認 	<ul style="list-style-type: none"> ・S_s 地震に対し，発生応力が許容限界を超えないことを確認
地震荷重	<p>【地震応答解析】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水平：モデル脚部に質点系モデルの地震応答解析による水平方向の動的応答を入力 ・鉛直：実施せず <p>【応力解析】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水平：地震応答解析から求まる地震荷重を入力 ・鉛直：静的震度を鉛直力として入力 	<ul style="list-style-type: none"> ・水平及び鉛直：モデル脚部に質点系モデルの地震応答解析による水平及び鉛直方向の動的応答を同時入力

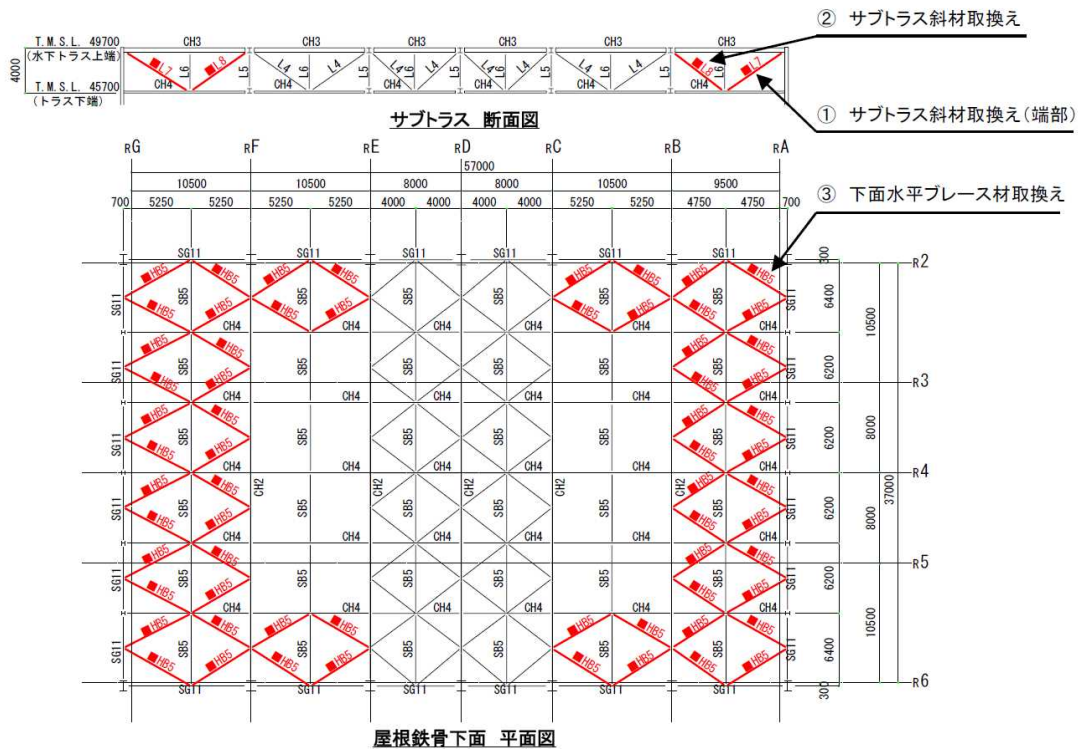
【参考文献】

- [1] 谷口他：鉄骨 X 型ブレース架構の復元力特性に関する研究，日本建築学会構造工学論文集
Vol.37B 号，1991 年 3 月，pp303-316
- [2] 柴田他：鉄骨筋違の履歴特性の定式化，日本建築学会構造工学論文集第 316 号，昭和 57 年 6
月，pp18-24
- [3] 鈴木他：原子力発電所鉄骨屋根トラスの終局限界に関する研究，日本建築学会構造系論文集
Vol.76 No.661，2011 年 3 月，P571-580
- [4] 中込他（1995）：繰返し力を受ける SM490 鋼の疲労性に関する研究 日本建築学会 構造系論文
集 No. 469, 127-136, 1995. 3

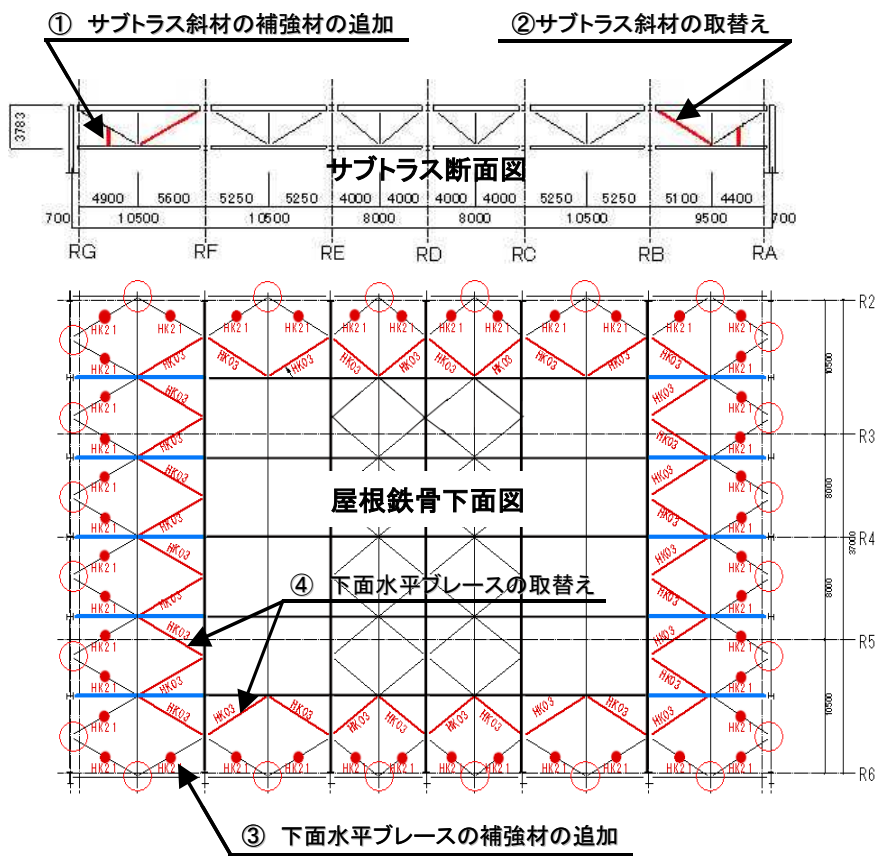
原子炉建屋屋根トラスの耐震補強について

柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉の原子炉建屋屋根トラスについては耐震補強工事を実施しており、本資料では、当該工事における補強の内容について説明する。

屋根トラスの補強については、主トラスについては余裕があることが確認されたものの、それと直交するサブトラスの一部や下面水平ブレースなどの余裕の少ない部材については、部材取替え及び補強材の追加による耐震補強工事を実施している。耐震補強の補強箇所を図―1 に、補強部材の詳細を表―1 に示す。

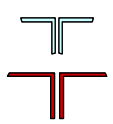

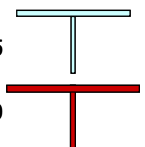


図一1 (a) 屋根トラスの補強箇所 (6号炉)

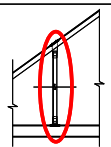
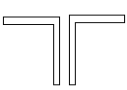
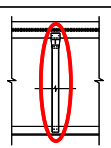



図一1 (b) 屋根トラスの補強箇所 (7号炉)

表－1 (a) 補強部材の詳細 (6 号炉)

No	箇所及び補強方法		
①	サブトラス斜材 取換え(端部)	補強前 2Ls-90×90×10 ↓ 補強後 2Ls-120×120×8	
②	サブトラス斜材 取換え	補強前 2Ls-90×90×10 ↓ 補強後 2Ls-130×130×9	
③	下面水平ブレース材 取換え	補強前 CT-150×300×10×15 ↓ 補強後 CT-175×350×12×19	

表－1 (b) 補強部材の詳細 (7 号炉)

No.	箇所及び補強方法		
①	サブトラス斜材 補強材の追加	 斜材 2Ls-90×90×10 補強材 L-75×75×6	
②	サブトラス斜材 取替え	 補強前 2Ls-90×90×10 補強後 2Ls-130×130×9	
③	下面水平 ブレース材 補強材の追加	 ブレース材 CT-150×300×10×15 補強材 [-150×75×6.5×10	
④	下面水平 ブレース材 取替え	 補強前 CT-150×300×10×15 補強後 CT-175×350×12×19	

剛性比例型減衰の妥当性について

1. はじめに

今回工認では、原子炉建屋屋根トラスの地震応答解析における減衰評価について、鉄骨造の構造物に対して一般的に適用している剛性比例型としている。

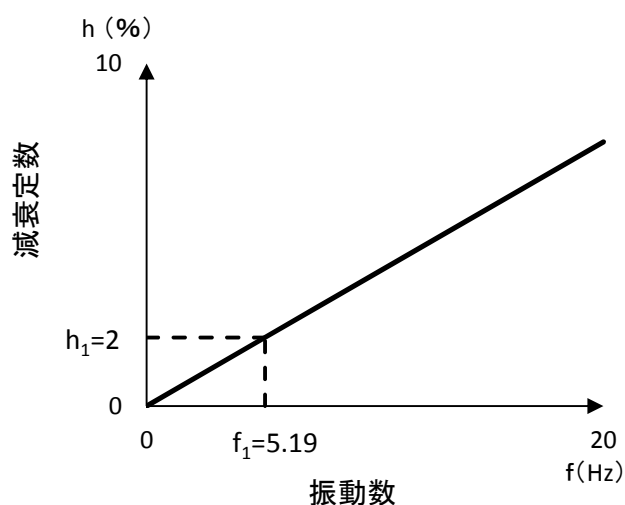
表－1 に 7 号炉原子炉建屋屋根トラスの固有値解析結果を、図－1 に剛性比例型減衰による減衰定数と振動数の関係を示す。

鉄骨造の屋根トラスは、水平材として鉛直方向の挙動が卓越すると考えられるため、水平材の応答に影響の大きい鉛直方向 1 次固有振動数（5.19Hz）に対して減衰定数が $h=2\%$ となる剛性比例型減衰を与えている。図－1 より、剛性比例型減衰の特徴として高次モードの減衰を大きくとることになるが、高次モードが屋根トラスの応答へ及ぼす影響は小さいため、剛性比例型減衰の採用が屋根トラスの応答へ与える影響は小さいと考える。

以下では、振動数、周期に加えて、刺激係数、有効質量比についても高次モードまで確認し、剛性比例型減衰の設定の妥当性を検討する。

表－1 固有値解析結果

次数	振動数 (Hz)	周期 (sec)	備考
1	5.19	0.193	鉛直方向一次
2	6.16	0.162	鉛直方向二次
3	7.07	0.141	
4	7.51	0.133	NS方向一次
5	8.10	0.123	
6	9.22	0.108	EW方向一次



図－1 剛性比例型減衰による減衰定数と振動数の関係

2. 剛性比例型減衰設定の妥当性の確認

屋根トラスについて、剛性比例型減衰の設定の妥当性を確認するために、振動数、周期に加えて、刺激係数、有効質量比を追加の上、固有値解析結果を高次モードまで確認した結果を表-2に示す。

屋根トラスの水平方向の1次固有振動数は、NS方向：7.51Hz、EW方向：9.22Hzであり、原子炉建屋の地盤-建屋連成系の水平方向の1次固有振動数（NS、EW方向共に2.3Hz程度）と開きがあることから、屋根トラスの評価においては、水平方向の入力による影響は小さいと考えられる。

一方、屋根トラスの鉛直方向の1次固有振動数は、5.19Hzであり、原子炉建屋鉛直方向の地盤-建屋連成系の1次固有振動数（4Hz程度）と近接しており、また構造面から考えても、屋根トラスの評価においては鉛直動の影響が大きいと考えられる。なお、鉛直方向については、固有振動数が近接している2次モード、3次モードの影響も考えられるが、1次モードが他の高次モードに対して刺激係数、有効質量比とも大きく、1次モードが全体応答に与える影響が大きいと考えられる。

また、参考として屋根トラスの各方向の固有振動数と解析モデルへの入力地震動の加速度応答スペクトルの関係を図-2に示す。これより、入力動の応答スペクトルにおけるピークと屋根トラスの固有振動数については、上記の考察と整合した関係になっていることが確認できる。

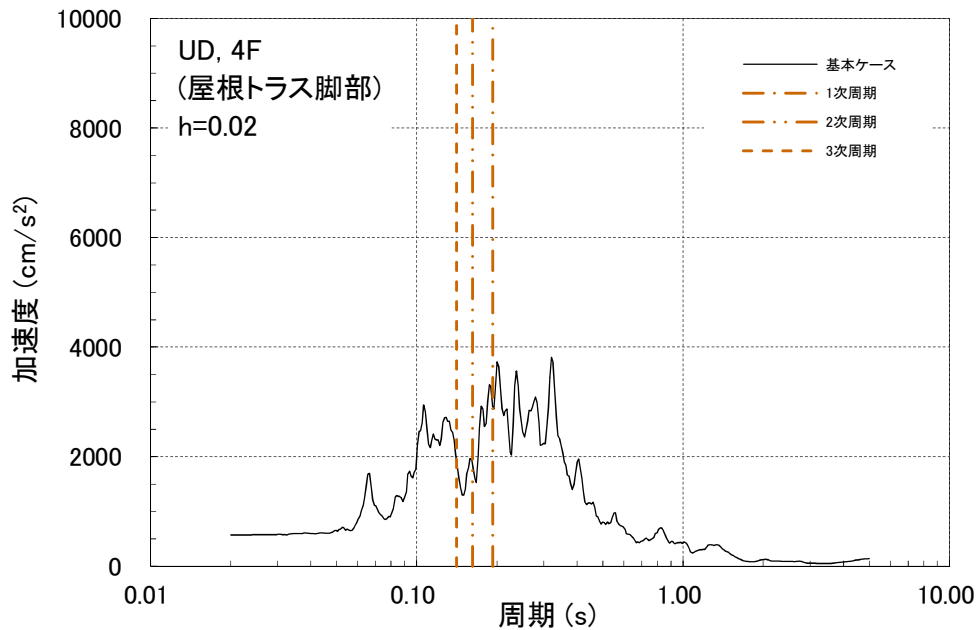
以上のことから、屋根トラスは、刺激係数、有効質量比とも他のモードに比較して大きく、固有振動数が建屋地盤連成系の1次固有振動数と近接している鉛直方向の1次モードが応答性状に支配的と考えられることから、鉛直方向1次固有振動数（5.19Hz）に対して減衰定数が $h=2\%$ となる剛性比例型減衰を設定することは妥当であると考えられる。

なお、詳細設計においては、必要に応じて剛性比例型以外の減衰を用いて、高次モードの影響を確認することとする。

表－2 固有値解析結果

固有周期、振動数、刺激係数、有効質量比(屋根トラス)

次数	振動数 (Hz)	周期 (sec)	刺激係数			有効質量比			備考
			X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向	
1	5.19	0.193	0.000	-0.001	1.596	0.000	0.000	0.065	鉛直方向一次
2	6.16	0.162	-0.004	-0.089	-0.073	0.000	0.000	0.000	鉛直方向二次
3	7.07	0.141	-0.002	0.004	0.416	0.000	0.000	0.003	鉛直方向三次
4	7.51	0.133	1.220	-0.004	-0.003	0.298	0.000	0.000	NS方向一次
5	8.10	0.123	-0.013	-0.473	-0.055	0.000	0.004	0.000	
6	9.22	0.108	0.003	1.811	-0.003	0.000	0.396	0.000	EW方向一次
7	10.16	0.098	1.414	0.011	0.007	0.032	0.000	0.000	
8	10.43	0.096	0.738	-0.011	-0.006	0.010	0.000	0.000	
9	10.44	0.096	-0.031	0.009	0.067	0.000	0.000	0.000	
10	11.08	0.090	-0.199	-0.007	-0.002	0.001	0.000	0.000	
11	11.81	0.085	0.010	0.027	0.008	0.000	0.000	0.000	
12	11.94	0.084	0.009	0.004	0.009	0.000	0.000	0.000	
13	13.58	0.074	0.017	-0.027	-0.069	0.000	0.000	0.000	
14	14.07	0.071	0.063	0.005	-0.003	0.000	0.000	0.000	
15	14.55	0.069	-0.011	0.024	-0.846	0.000	0.000	0.005	
16	14.90	0.067	-0.027	0.033	-0.935	0.000	0.000	0.007	
17	15.57	0.064	-0.007	-0.054	-0.301	0.000	0.000	0.002	
18	15.60	0.064	0.008	0.038	-0.050	0.000	0.000	0.000	
19	16.29	0.061	-0.004	0.289	0.040	0.000	0.001	0.000	
20	16.95	0.059	0.015	-0.264	0.000	0.000	0.010	0.000	



図－2 (a) 固有振動数と入力動の加速度応答スペクトルの関係 鉛直方向

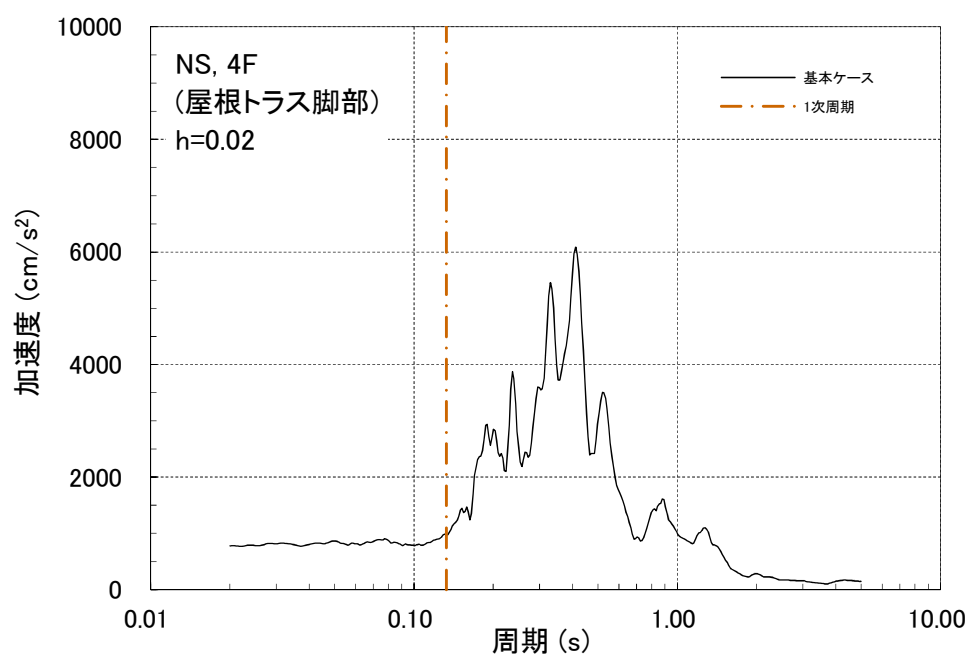


図-2 (b) 固有振動数と入力動の加速度応答スペクトルの関係 NS 方向

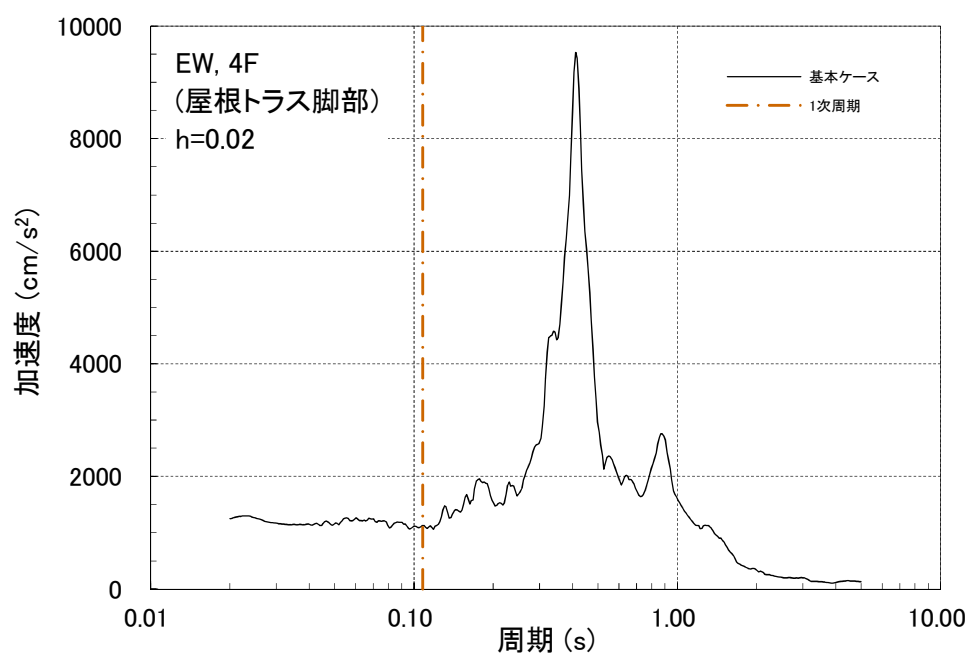


図-2 (c) 固有振動数と入力動の加速度応答スペクトルの関係 EW 方向

3. 排気筒の減衰の設定について

原子炉建屋屋根トラスと同様に、排気筒の地震応答解析における減衰評価についても、鉄骨造の構造物に対して一般的に適用している剛性比例型としている。

鉄骨造の排気筒は、塔状構造物であることから水平方向の挙動が卓越すると考えられるため、筒身部よりも応答に影響の大きい鉄塔部の水平（NS）方向 1 次固有振動数（3.69Hz）に対して減衰定数が $h=2\%$ となる剛性比例型減衰を与えている。

排気筒について、剛性比例型減衰の設定の妥当性を確認するために、振動数、周期に加えて、刺激係数、有効質量比を追加の上、固有値解析結果を高次モードまで確認した結果を表-3 に示す。

排気筒の水平方向の 1 次固有振動数は、筒身部では NS 方向：0.98Hz、EW 方向：0.98Hz、鉄塔部では NS 方向：3.69Hz、EW 方向：3.71Hz となっており、原子炉建屋の地盤-建屋連成系の水平方向の一次固有振動数（NS、EW 方向共に 2.3Hz 程度）と比較すると、両者とも近接しており、筒身部、鉄塔部それぞれの 1 次モードの影響が大きいと考えられる。刺激係数、有効質量比についても、鉄塔部、筒身部の 1 次モードは共に大きいため、筒身部、鉄塔部それぞれの 1 次モードの影響は大きいと考えられる。

また、1 次モード以外に刺激係数・有効質量比が比較的大きいモードとしては、筒身の NS 方向 2 次（固有振動数 6.63Hz）、筒身の EW 方向 2 次（固有振動数 6.67Hz）、鉄塔の NS 方向 2 次（10.74Hz）、鉄塔の EW 方向 2 次（11.15Hz）が挙げられるが、原子炉建屋の地盤-建屋連成系の水平方向の一次固有振動数（NS、EW 方向共に 2.3Hz 程度）とは開きがあることから、これらのモードの影響は小さいと考えられる。

一方、排気筒の鉛直方向の 1 次固有振動数は、筒身部 19.06Hz、鉄塔部 20.43Hz であり、原子炉建屋鉛直方向の地盤-建屋連成系の 1 次固有振動数（4Hz 程度）と開きがあることから、排気筒の評価においては、鉛直方向の入力による影響は小さいと考えられる。

また、参考として排気筒の各方向の固有振動数と解析モデルへの入力地震動の加速度応答スペクトルの関係を図-3 に示す。これより、入力動の応答スペクトルにおけるピークと排気筒の固有振動数については、上記の考察と整合した関係になっていることが確認できる。

以上のことから、排気筒は、刺激係数、有効質量比とも他のモードに比較して大きく、固有振動数が建屋地盤連成系の 1 次固有振動数と近接している筒身部及び鉄塔部の水平方向の 1 次モードが応答性状に支配的と考えられるが、より保守的な評価となる鉄塔部の水平方向 1 次固有振動数（3.69Hz）に対して減衰定数が $h=2\%$ となる剛性比例型減衰を設定しており、排気筒の評価で採用予定の剛性比例型減衰の設定は妥当であると考えられる。

表－3 固有値解析結果

固有周期、振動数、刺激係数、有効質量比(排気筒)

次数	振動数 (Hz)	周期 (sec)	刺激係数			有効質量比			備考
			X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向	
1	0.98	1.021	1.528	0.000	0.000	0.139	0.000	0.000	筒身NS方向1次
2	0.98	1.018	0.000	1.511	0.000	0.000	0.136	0.000	筒身EW方向1次
3	2.75	0.364	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	
4	3.69	0.271	-1.616	0.000	0.000	0.214	0.000	0.000	鉄塔NS方向1次
5	3.71	0.269	0.000	-1.538	0.000	0.000	0.197	0.000	鉄塔EW方向1次
6	6.63	0.151	-1.201	0.000	0.000	0.064	0.000	0.000	筒身NS方向2次
7	6.67	0.150	0.000	-1.186	0.000	0.000	0.061	0.000	筒身EW方向2次
8	7.73	0.129	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
9	9.71	0.103	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	
10	10.74	0.093	1.067	0.000	0.001	0.191	0.000	0.000	鉄塔NS方向2次
11	11.15	0.090	0.000	1.035	0.000	0.000	0.181	0.000	鉄塔EW方向2次
12	11.51	0.087	0.000	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000	
13	12.24	0.082	0.000	-0.369	0.000	0.000	0.007	0.000	
14	12.27	0.081	-0.290	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	
15	13.31	0.075	0.000	0.000	-0.010	0.000	0.000	0.000	
16	14.57	0.069	0.708	0.000	0.000	0.034	0.000	0.000	
17	14.58	0.069	0.000	0.843	0.000	0.000	0.046	0.000	
18	15.34	0.065	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
19	18.04	0.055	-0.661	0.000	-0.001	0.061	0.000	0.000	
20	18.24	0.055	0.000	-0.721	0.000	0.000	0.079	0.000	
21	18.55	0.054	0.000	-0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	
22	19.06	0.052	0.000	0.000	1.251	0.000	0.000	0.172	筒身鉛直方向1次
23	20.43	0.049	-0.001	0.000	1.615	0.000	0.000	0.324	鉄塔鉛直方向1次
24	22.68	0.044	0.000	-0.209	0.000	0.000	0.008	0.000	
25	22.76	0.044	-0.195	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000	
26	23.45	0.043	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
27	24.63	0.041	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
28	26.13	0.038	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
29	28.48	0.035	0.000	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	
30	28.49	0.035	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

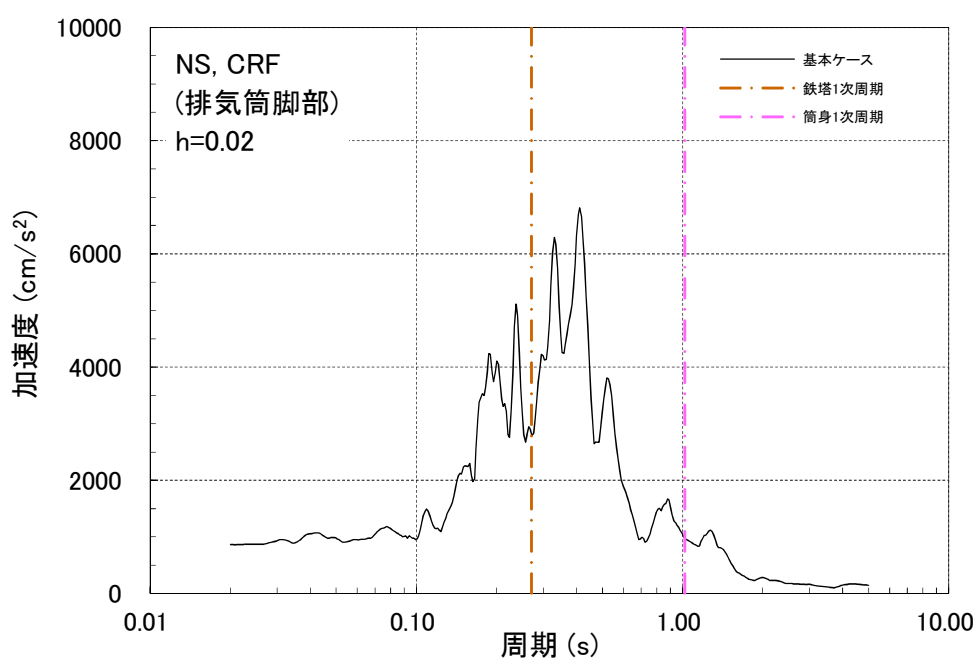


図-3 (a) 固有振動数と入力動の加速度応答スペクトルの関係 NS 方向

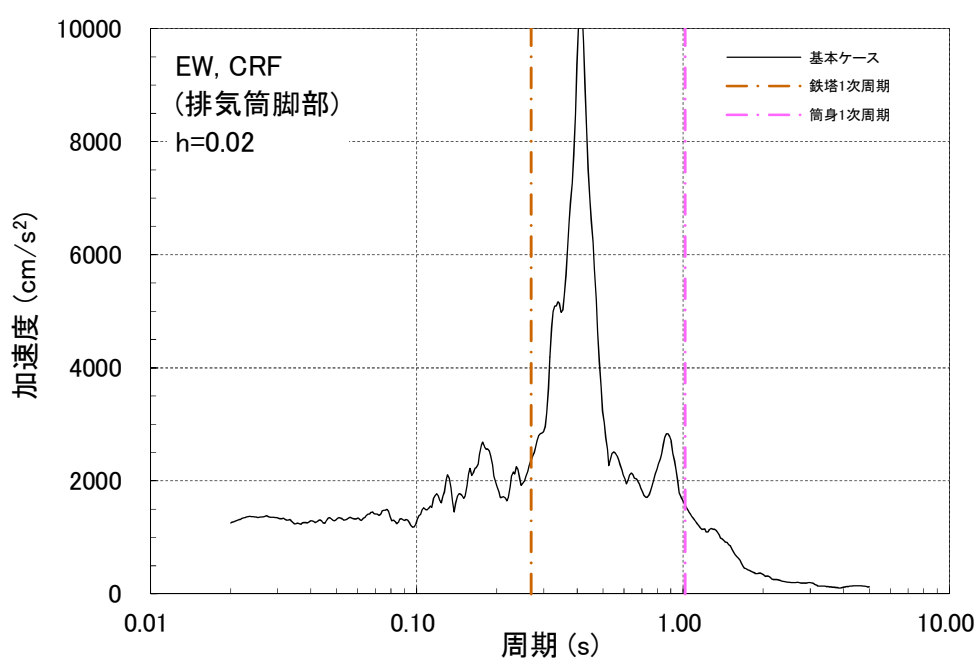


図-3 (b) 固有振動数と入力動の加速度応答スペクトルの関係 EW 方向

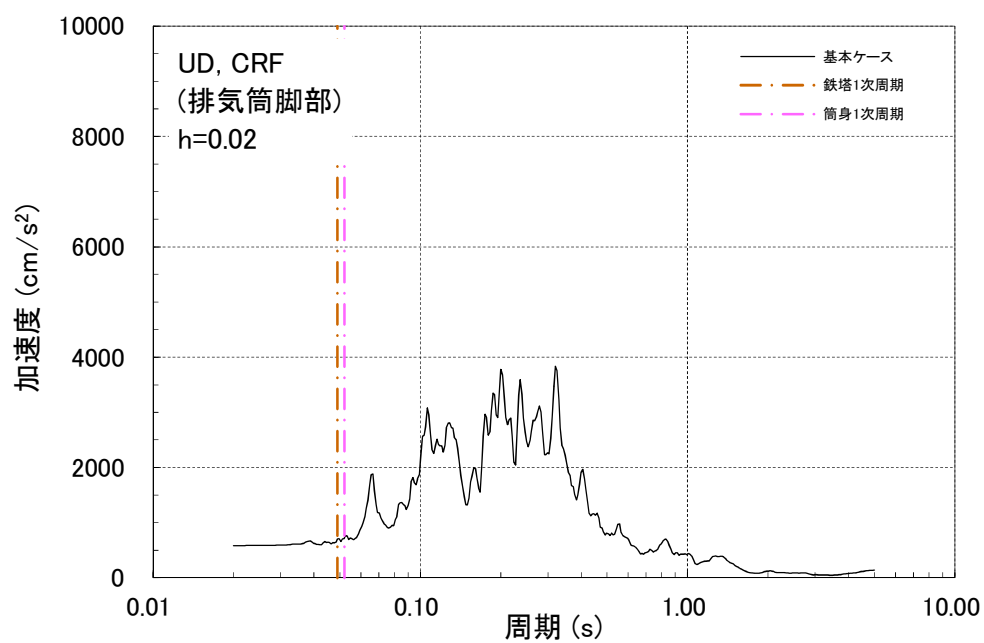


図-3 (c) 固有振動数と入力動の加速度応答スペクトルの関係 鉛直方向

排気筒の基礎部について

1. 基礎の概要

排気筒の基礎は、原子炉建屋と一体となった鉄骨鉄筋コンクリート造の立ち上がり部である。排気筒基礎の概要を図-1 に示す。

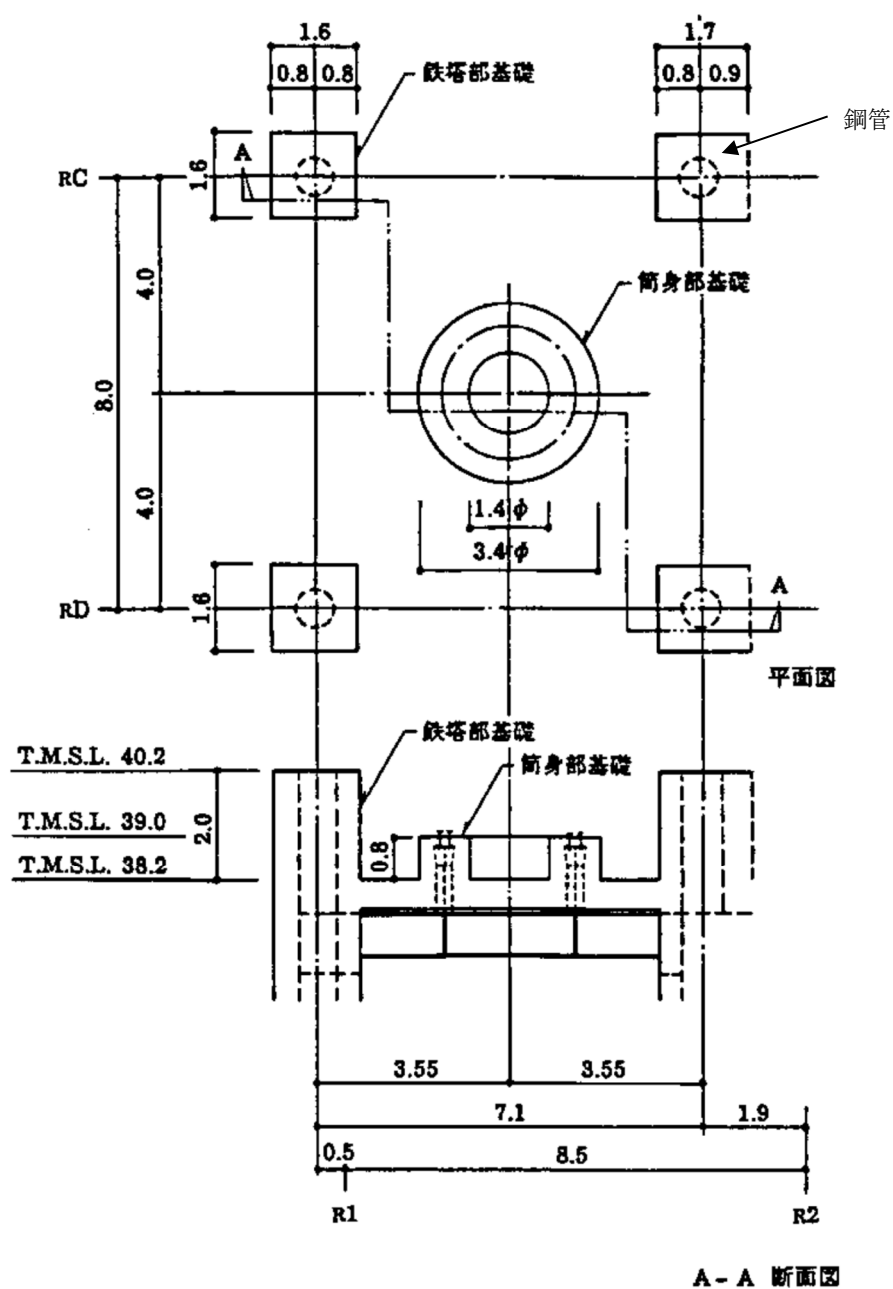


図-1 排気筒基礎の概要

2. 基礎部の評価について

今回工認における基礎部の評価は、既工認と同様に、鉄塔部基礎ボルト、鉄塔部基礎、筒身部基礎ボルトを対象として、実施する予定である。

(1) 鉄塔部基礎ボルト

鉄塔部基礎ボルトについては、基礎ボルト1本当たりに発生する応力を評価し、基礎ボルトの諸元から求まる短期許容応力度との比較を行うことにより評価を実施する。

(2) 鉄塔基礎部

鉄塔基礎部については、曲げモーメント、せん断力、軸力に対する評価を実施する。

曲げモーメントについては、鉄筋コンクリート部の鉄筋のみが負担すると仮定し、発生する応力が鉄筋の短期許容応力度を下回っていることを確認する。

せん断力については、コンクリートで負担すると仮定し、発生する応力がコンクリートの短期許容応力度を下回っていることを確認する。なお、評価に用いるコンクリート強度は既工認と同様に設計基準強度を用いるものとする。

軸力については鋼管のみが負担するものとして、発生する応力が鋼材の短期許容応力度を下回っていることを確認する。

(3) 筒身部基礎ボルト

筒身部基礎ボルトについては、基礎ボルト1本当たりに発生する応力を評価し、基礎ボルトの諸元から求まる短期許容応力度との比較を行うことにより評価を実施する。

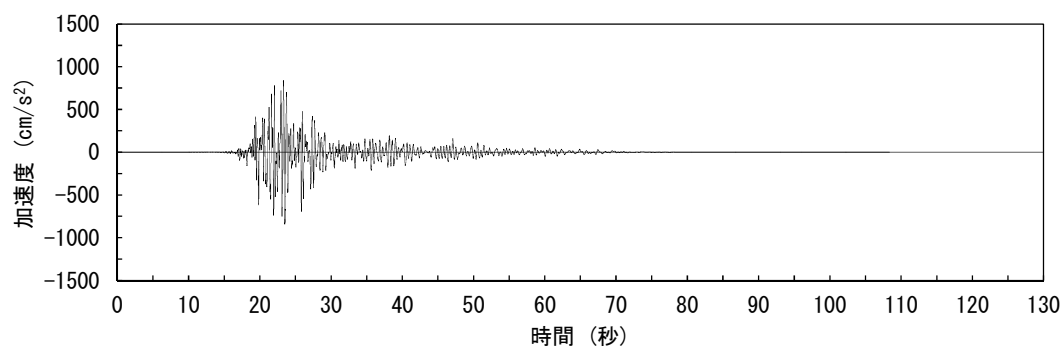
排気筒の入力地震動及び固有振動数・固有モードについて

排気筒は、原子炉建屋の屋上（T.M.S.L.38.2m）に位置し、内径 2.4m の鋼板製筒身（換気空調系用排気筒）を鋼管四角形鉄塔（制震装置付）で支えた鉄塔支持形排気筒である。

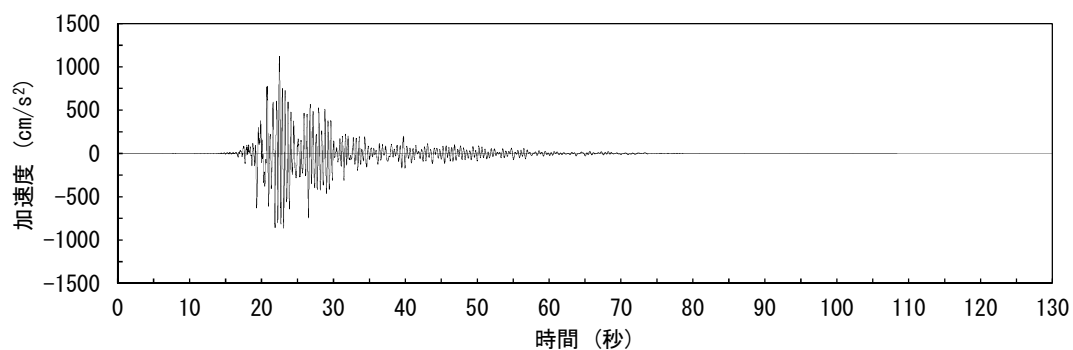
排気筒は塔状構造物であり、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の同時入力の影響を受ける可能性がある構造物であることから、3 次元モデルによる地震応答解析を実施する。解析モデルへの入力地震動は、原子炉建屋の質点系モデルによる地震応答解析結果から得られる屋上レベル（T.M.S.L.38.2m）における応答結果（水平、鉛直、回転成分）を用いている。

排気筒への入力として用いている入力動の時刻歴波形を Ss-2 を例として図-1 に示す。地震応答解析を実施する際には、水平、鉛直成分は加速度時刻歴波形を、回転成分は回転変位時刻歴波形を入力している。

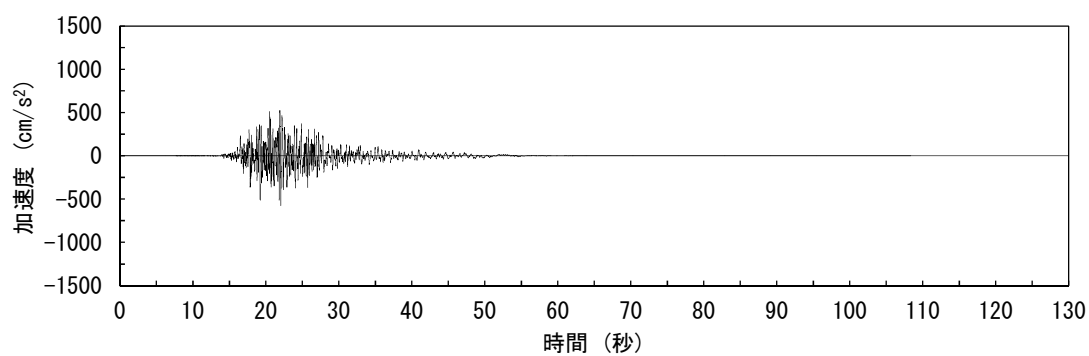
回転変位から求まる脚部鉛直変位は、鉄塔部主柱材の脚部において、最大で NS 方向 1.7mm 程度、EW 方向 2.9mm 程度となる。



(a) 南北方向（水平）

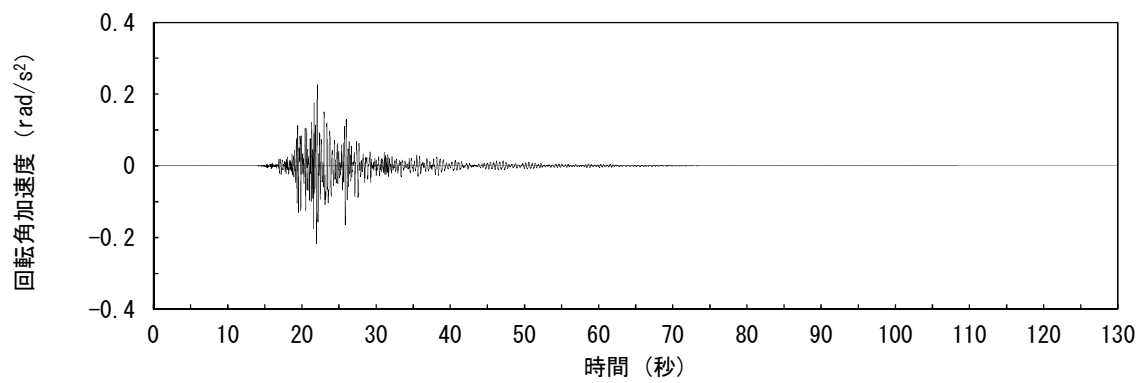


(b) 東西方向（水平）

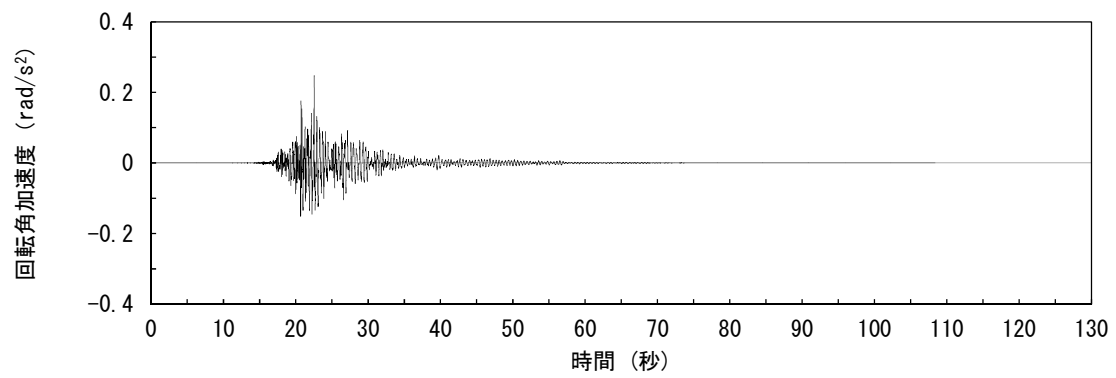


(c) 鉛直方向

図－1(1) 入力動の時刻歴波形
(加速度、水平、鉛直成分)

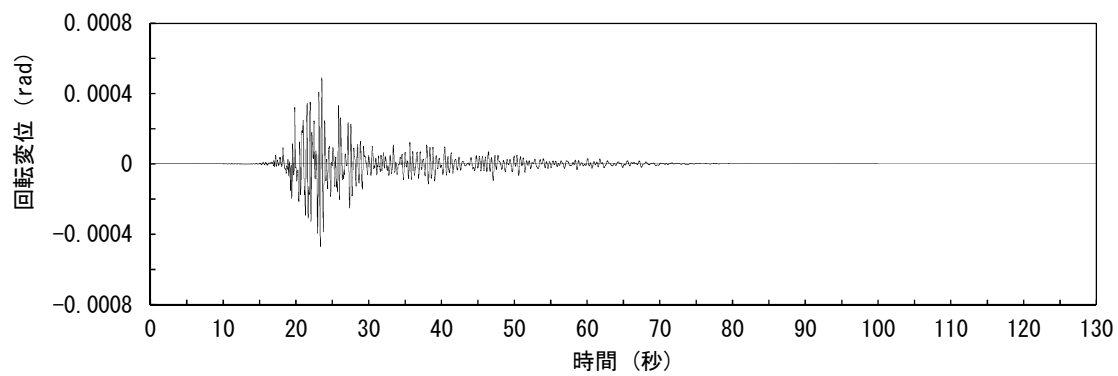


(d) 南北方向 (回転)

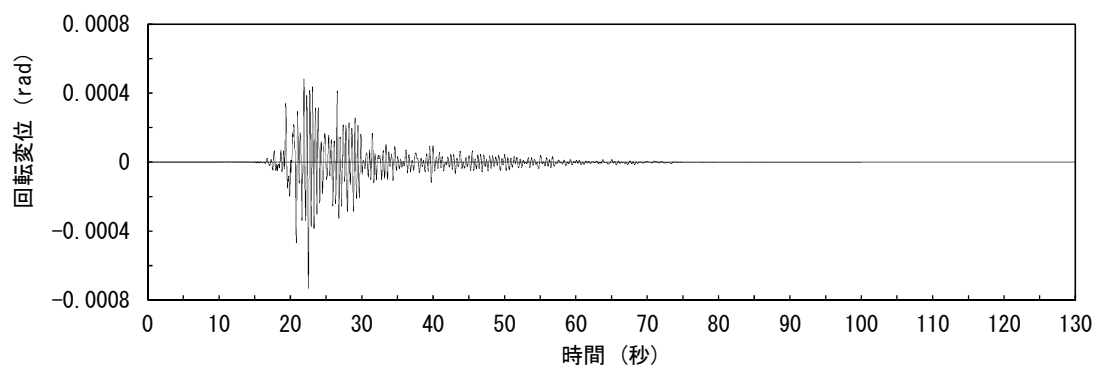


(e) 東西方向 (回転)

図一 1 (2) 入力動の時刻歴波形
(加速度、回転成分)



(f) 南北方向 (回転)



(g) 東西方向 (回転)

図－1(3) 入力動の時刻歴波形
(変位、回転成分)

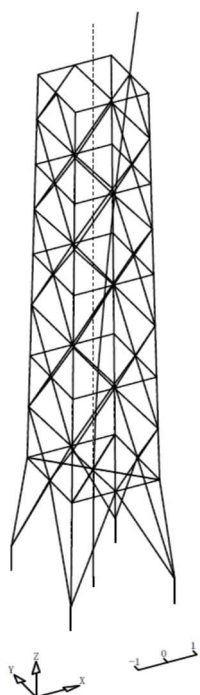
排気筒のモデル化にあたっては、鋼製材のうち、筒身、鉄塔部およびコンクリート造の基礎部については軸、曲げ変形を考慮した梁要素、鉄塔斜材、水平材についてはトラス要素としてモデル化する。固有値解析結果を表－1 および図－2 に示す。

筒身部の 1 次固有振動数は水平方向で 1Hz、鉛直方向で 19Hz となり、鉄塔部の 1 次固有振動数は水平方向で 3.7Hz、鉛直方向で 20Hz となる。

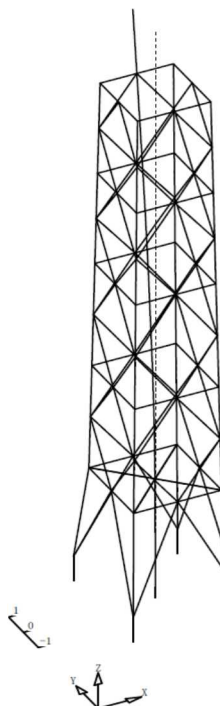
表－1 固有値解析結果

次数	振動数 (Hz)	周期 (sec)	刺激係数			備考
			X	Y	Z	
1	0.98	1.021	1.528	0.000	0.000	筒身NS方向 1 次
2	0.98	1.018	0.000	1.511	0.000	筒身EW方向 1 次
4	3.69	0.271	-1.616	0.000	0.000	鉄塔NS方向 1 次
5	3.71	0.269	0.000	-1.538	0.000	鉄塔EW方向 1 次
22	19.06	0.052	0.000	0.000	1.251	筒身鉛直方向 1 次
23	20.43	0.049	-0.001	0.000	1.615	鉄塔鉛直方向 1 次

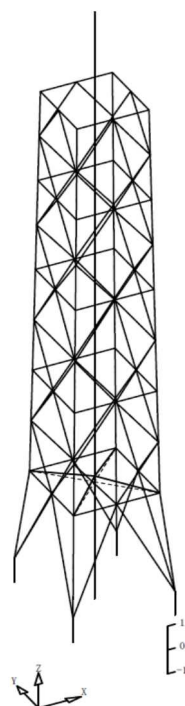
(筒身部)



筒身南北方向 1 次

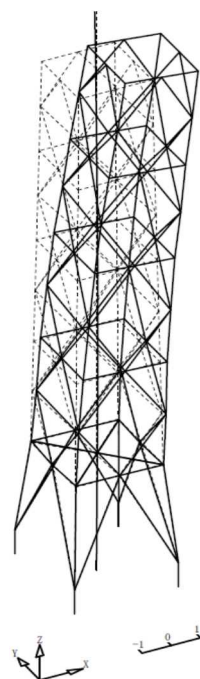


筒身東西方向 1 次

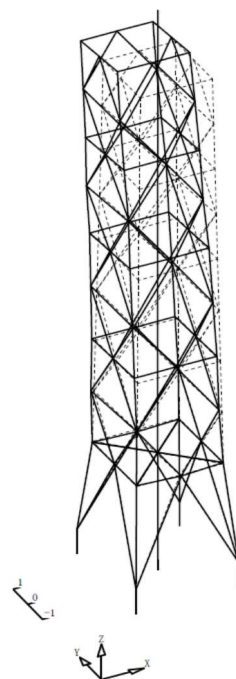


筒身鉛直方向 1 次

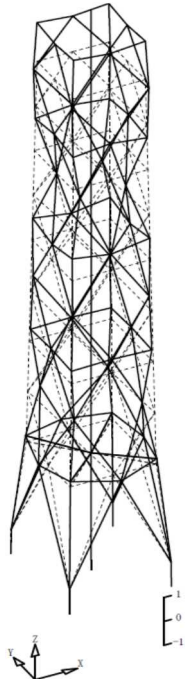
(鉄塔部)



鉄塔南北方向 1 次



鉄塔東西方向 1 次



鉄塔鉛直方向 1 次

図一2 固有値解析結果 (刺激係数)

排気筒の想定破損箇所及び破損モード，溶接箇所と筒身支持位置の関係について

排気筒の地震応答解析モデルは，屋上（T.M.S.L.38.2m）より上部を立体的にモデル化した立体架構モデルとしている。解析モデルの作成にあたっては，排気筒を構成する全ての構造部材をモデル化することを基本方針としている。

主要な基準地震動（Ss-1 および Ss-2）に対して，各部材の発生応力度と評価基準値に対する比率を図－1 に示す。基準地震動 Ss に対して，各部材は弾性範囲内におさまる。また，図－1 には鉄塔部と筒身部の接続位置や，鉄塔部および筒身部の溶接箇所も合わせて示す。最大応力は，鉄塔部，筒身部とも構造物の高さ方向の概ね中間部で発生し，かつ，溶接箇所とは異なる位置で発生しているため，排気筒脚部や溶接部での破断により崩壊する状態にはならない。

排気筒の破損モードとしては，図－1 に示す応力度比をみると，脚部の曲げヒンジより先に，鉄塔部の主柱材や筒身の局部座屈または主柱材端部に曲げヒンジが形成されることが想定されるため，倒壊に至るようなモードとはならないと考えられる。また，鉄塔部と筒身部の接続部近傍での応力度比は中間部に比べて小さく、鉄塔部及び筒身部の応力度比が大きい位置と一致していないことから，どちらかの破損から連鎖的な破壊が進行することは無いと考えられる。

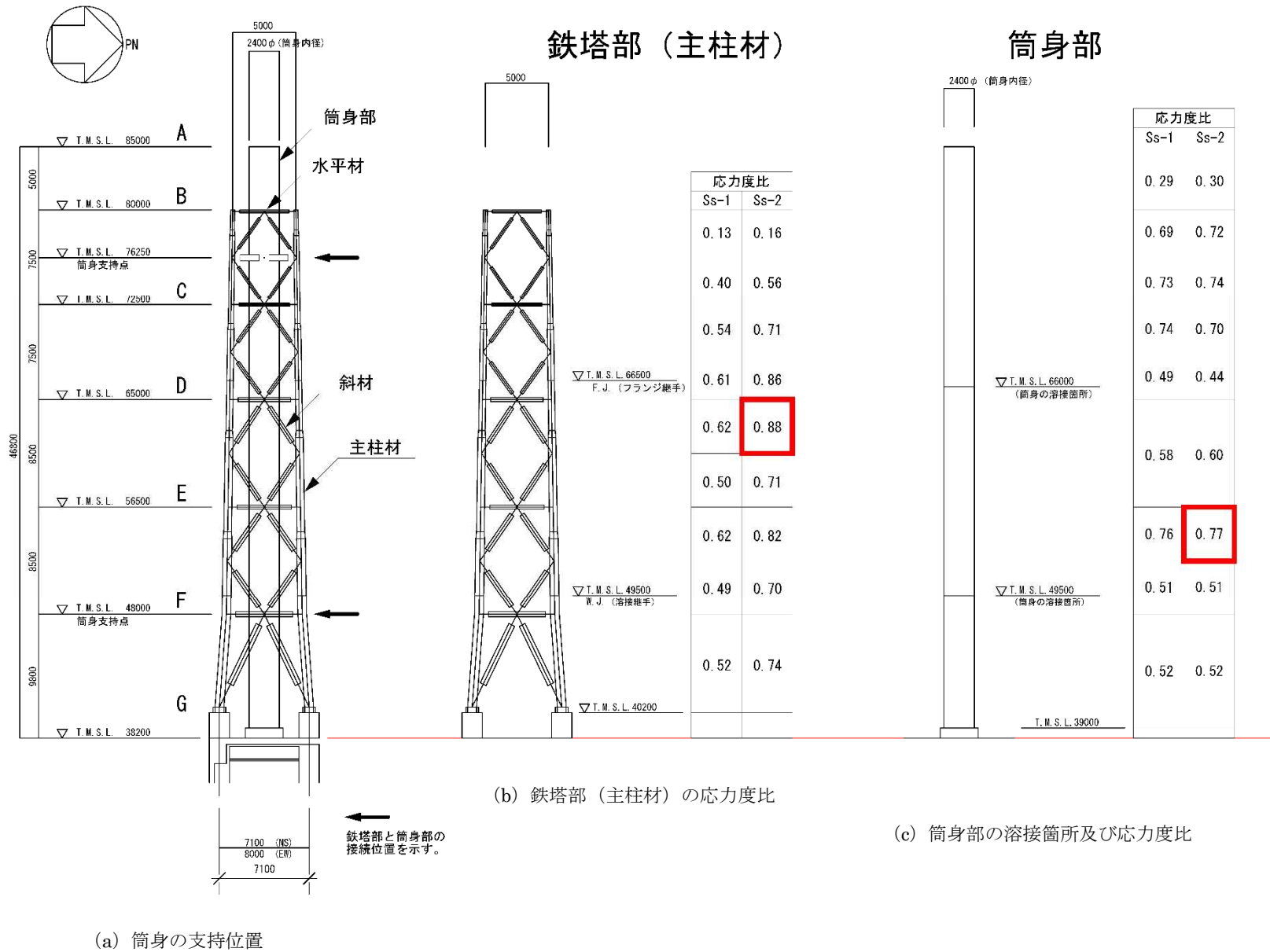
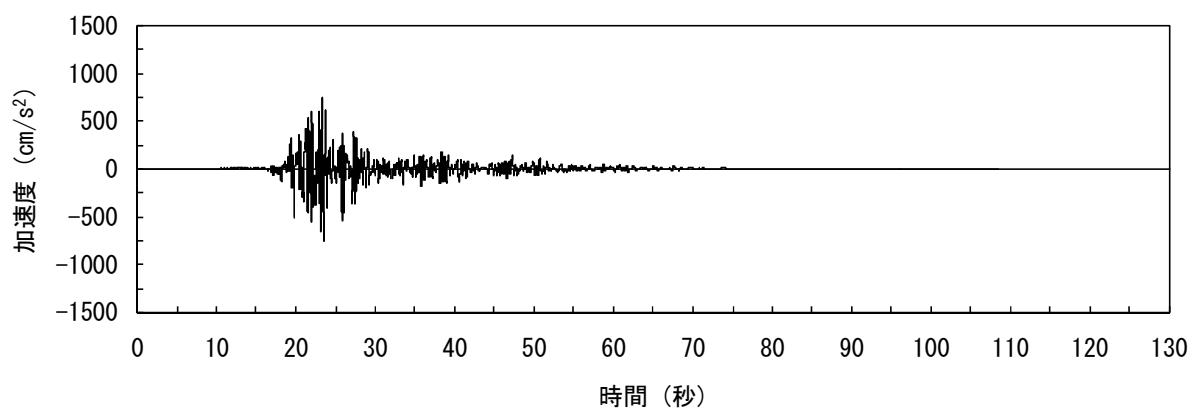


図-1 排気筒の評価結果 (暫定値) と溶接箇所

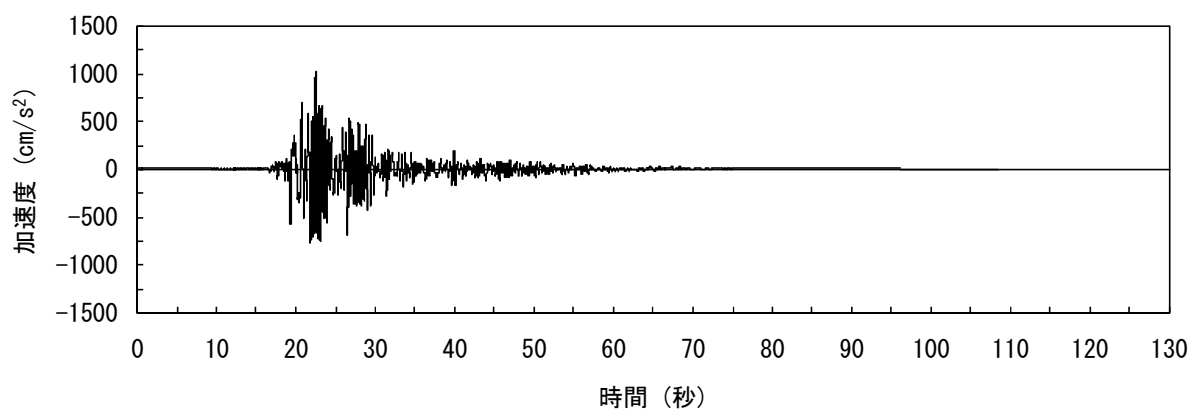
屋根トラスの入力地震動及び固有振動数・固有モードについて

1. 屋根トラスの入力地震動

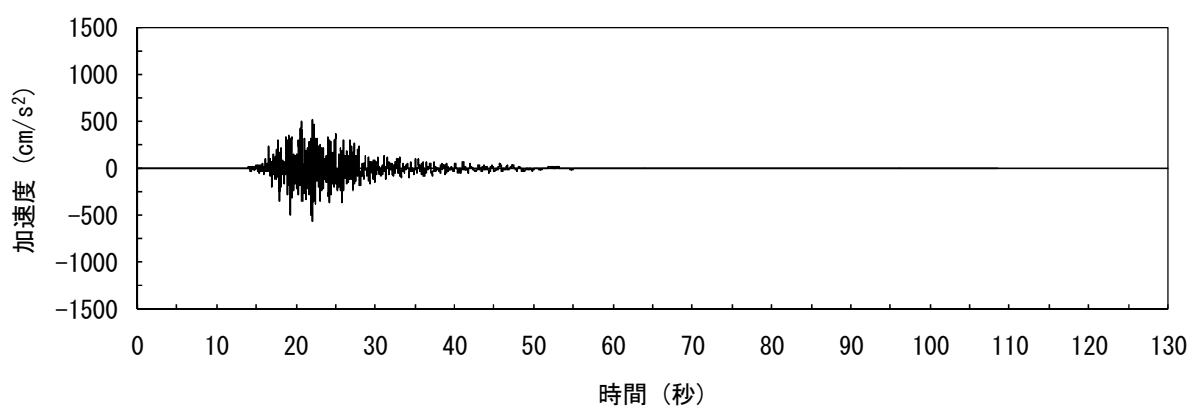
屋根トラスへの入力として用いている入力動の時刻歴波形(暫定応答)について、Ss-2 を例として図-1 に示す。地震応答解析を実施する際には、水平、鉛直成分は加速度時刻歴波形を、回転成分は回転変位時刻歴波形を入力している。



(a) 南北方向（水平）

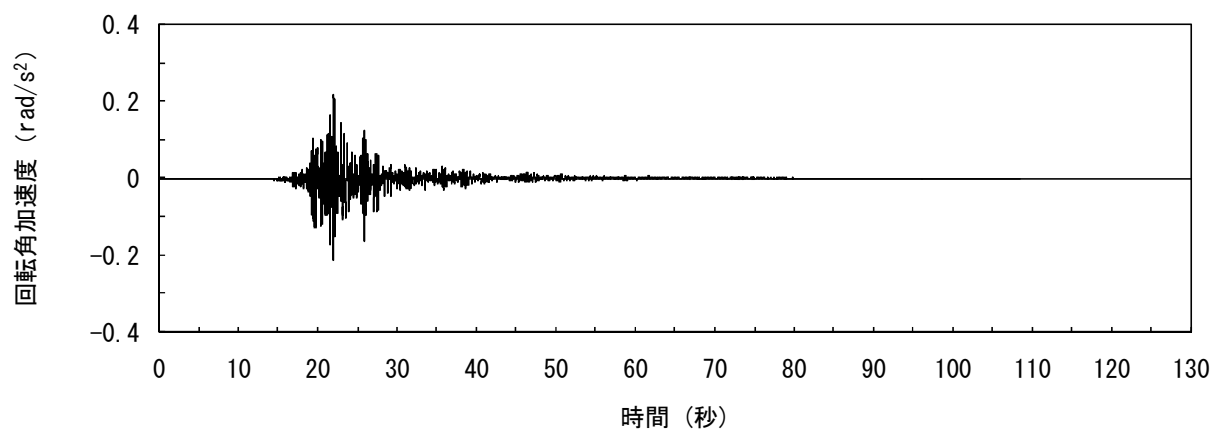


(b) 東西方向（水平）

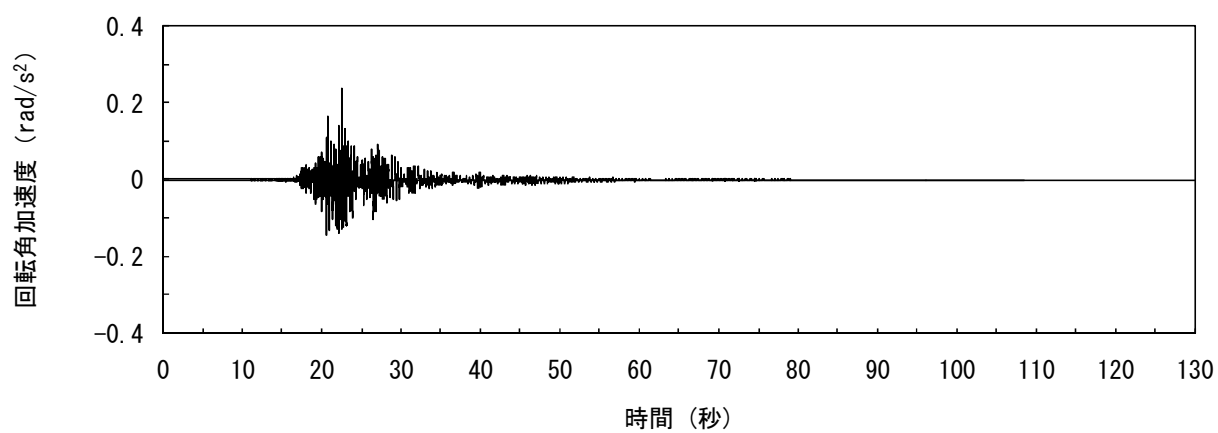


(c) 鉛直方向

図－1(1) 入力動の時刻歴波形
(加速度、水平、鉛直成分)



(d) 南北方向 (回轉)



(e) 東西方向 (回轉)

図一 1 (2) 入力動の時刻歴波形
(加速度、回轉成分)

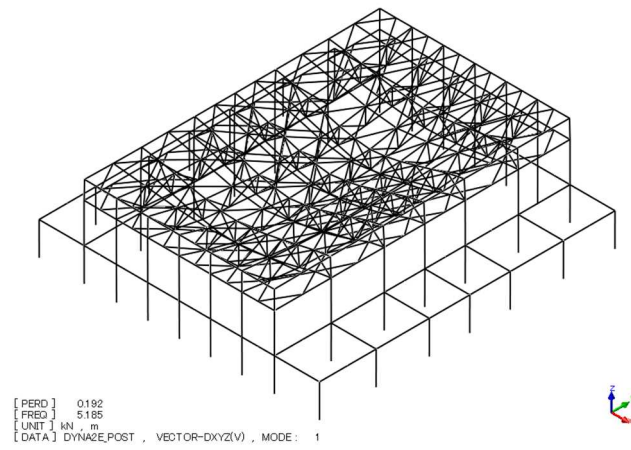
2. 屋根トラスの固有値解析結果

屋根トラスの固有値解析結果を表－1 および図－2 に示す。

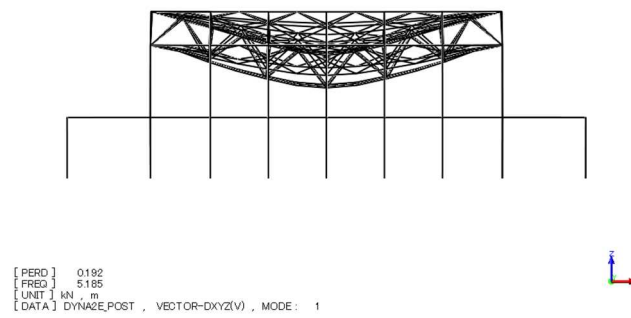
1 次固有振動数は鉛直方向で 5.19Hz、水平方向で 7.51Hz (NS 方向)、9.22Hz (EW 方向) となる。

表－1 固有値解析結果

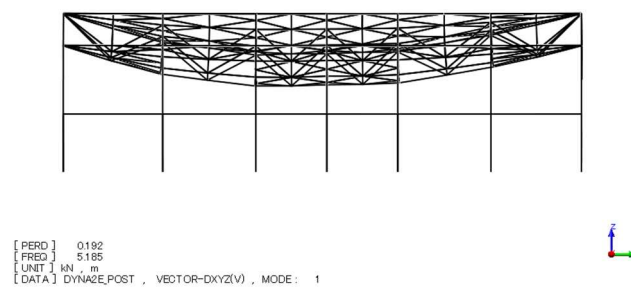
次数	振動数 (Hz)	周期 (sec)	刺激係数			備考
			水平方向(X)	水平方向(Y)	鉛直方向(Z)	
1	5.19	0.193	0.000	-0.001	1.596	鉛直方向一次
2	6.16	0.162	-0.004	-0.089	-0.073	鉛直方向二次
3	7.07	0.141	-0.002	0.004	0.416	
4	7.51	0.133	1.220	-0.004	-0.003	NS方向一次
5	8.10	0.123	-0.013	-0.473	-0.055	
6	9.22	0.108	0.003	1.811	-0.003	EW方向一次



(a) 鳥瞰図

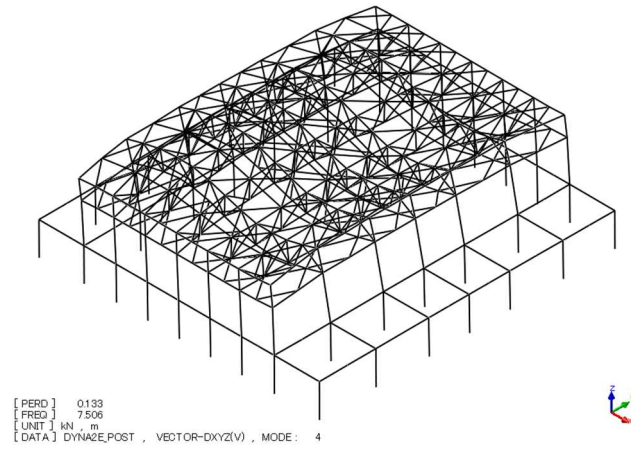


(b) ZX 面

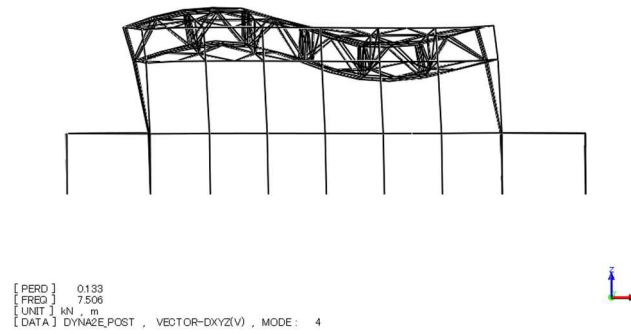


(c) YZ 面

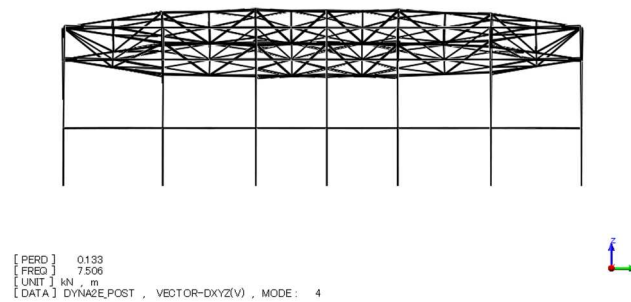
図-2 固有値解析結果（刺激係数）、UD 方向 1 次モード



(a) 鳥瞰図

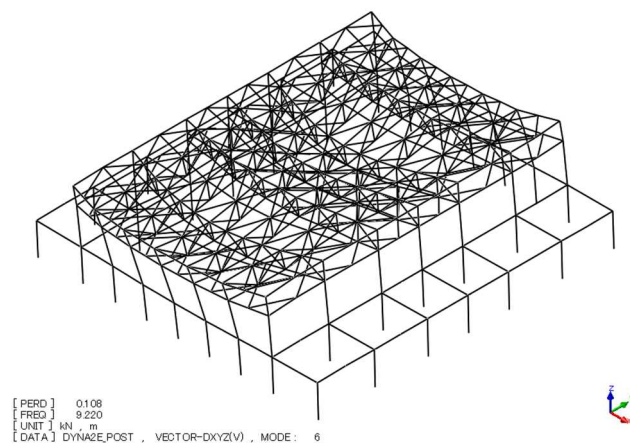


(b) ZX 面

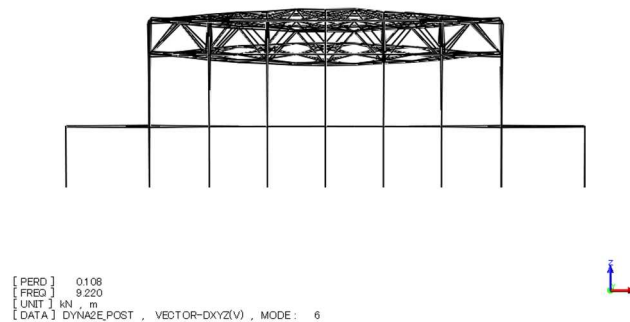


(c) YZ 面

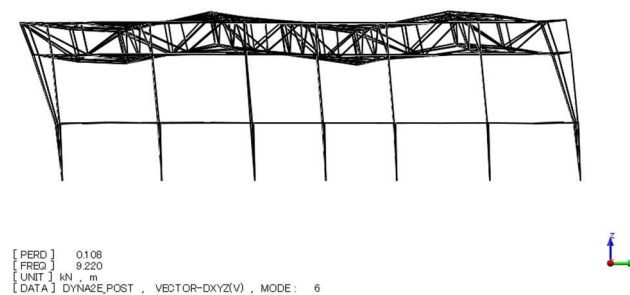
図-2 固有値解析結果（刺激係数）、NS 方向 1 次モード



(a) 鳥瞰図



(b) ZX 面

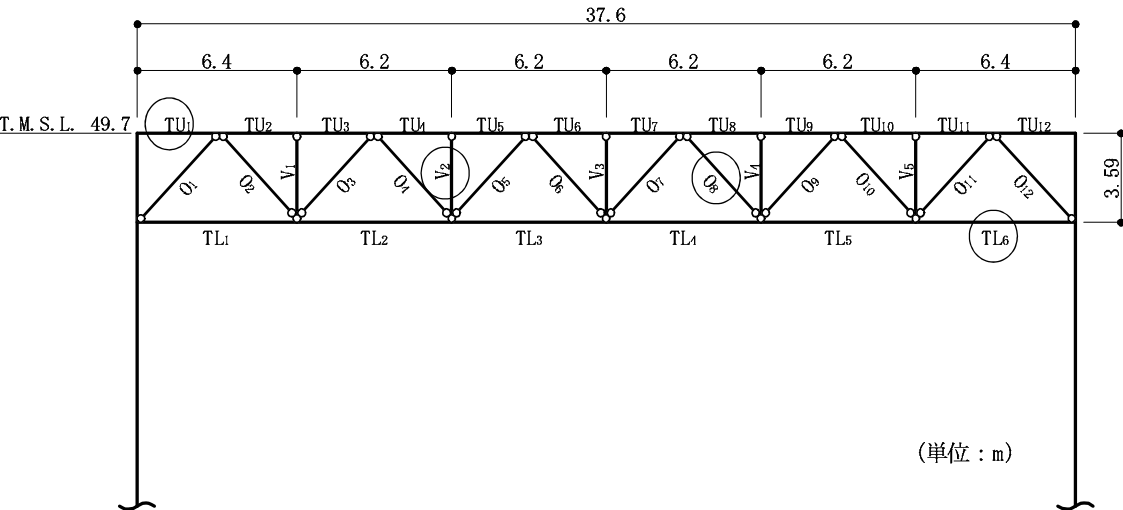


(c) YZ 面

図-2 固有値解析結果（刺激係数）、EW 方向 1 次モード

3. 屋根トラスの耐震評価の見通し

基準地震動 S_s による暫定応答を用いた評価結果のうち、屋根トラスを構成する主トラス方向の発生応力と評価基準値の比（発生応力／評価基準値）が最も大きい部材を含む RE 通りについて、評価部位を図-3 に、評価結果を表-3 に示す。屋根トラスについて各部材の発生応力は、評価基準値以下となっている。詳細な評価結果は、今回工認の時点で示す予定であるが、暫定応答による評価結果からは重大な課題が存在するとは考えられない。



○ : 最大応力度発生位置を示す。

図-3 評価部位

表-3 主トラスの評価結果（暫定値）

部材	評価結果 (発生応力/評価基準値)	位置	使用部材
上弦材	0.59	TU1	H-428×407×20×35
下弦材	0.66	TL6	H-400×408×21×21
斜材	0.62	O8	H-244×252×11×11
束材	0.42	V2	2[s-200×90×8×13.5

柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉

機器・配管系設備に関するその他手法の相違点について

(耐震)

1. はじめに

今回工認における機器・配管系設備の耐震評価において既工認から評価手法を変更する予定のもののうち、他プラントを含めた認可実績のあるものについて本資料にて整理する。

2. 手法の相違点

(1) 原子炉建屋クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用

原子炉建屋クレーンの解析では、より詳細な手法を用いる観点から、脱線防止ラグ等の構造変更を踏まえ、浮き上がり及び滑り条件を考慮した非線形時刻歴応答解析にて評価を実施する。原子炉建屋クレーンの非線形時刻歴応答解析の適用については、大間 1 号炉の建設工認において適用実績がある手法である。(添付 1 参照)

(2) 立形ポンプの解析モデルの精緻化

既工認において、立形ポンプについては設備の寸法、質量情報に基づき、ケーシング部とローター（軸）部を 2 軸でモデル化しているが、今回の評価では、JEAG4601-1991 追補版に基づき取付フランジ部を回転ばねとして考慮する等のモデルの精緻化を行っている。本解析モデルは、大間 1 号炉の建設工認において適用実績がある手法である。(添付 2 参照)

(3) 最新知見として得られた減衰定数の採用

最新知見として得られた減衰定数を採用する設備は以下のとおりであり、その値は、振動試験結果等を踏まえ、設計評価用として安全側に設定した減衰定数を採用したものである。また、鉛直方向の動的地震力を適用することに伴い、鉛直方向の設計用減衰定数についても新たに設定している。(添付 3 参照)

天井クレーン、燃料取替機及び配管系の減衰定数並びに鉛直方向の設計用減衰定数は大間 1 号炉において適用実績がある。

- ① 天井クレーンの減衰定数
- ② 燃料取替機の減衰定数
- ③ 配管系の減衰定数

(4) 水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根（SRSS）法による組み合わせ

今回工認の評価では、鉛直方向の動的地震力が導入されたことから、水平方向と鉛直方向の地震力の組み合わせとして、既往の研究等に基づき二乗和平方根（以下、「SRSS」という。）法を用いる。SRSS 法による荷重の組み合わせは、大間 1 号炉の建設工認において適用実績がある手法である。(添付 4 参照)

- (5) 水平方向応答解析モデルとは別に鉛直方向応答解析モデルを追加

今回工認では鉛直動的地震動が導入されたことから、原子炉本体及び炉内構造物について、鉛直方向応答を適切に評価する観点で、水平方向応答解析モデルとは別に鉛直方向応答解析モデルを新たに採用し鉛直地震動に対する評価を実施する。鉛直方向応答解析モデルは大間 1 号炉にて適用実績があるモデルである。(添付 5 参照)

3. 添付資料

- (1) 原子炉建屋クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用
- (2) 立形ポンプの解析モデルの精緻化
- (3) 最新知見として得られた減衰定数を採用するもの
- (4) 水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根（SRSS）法による組み合わせ
- (5) 鉛直方向応答解析モデルを追加したもの

添付資料 1 原子炉建屋クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用

1. 概要

原子炉建屋クレーン（図 1.1）の耐震評価は、既工認では鉛直方向は静的地震力のみであったことから簡便に手計算により実施していた。

今回工認では、鉛直動的地震力を考慮する必要があること及びクレーンの車輪部の構造変更によりレール上に固定されていないという構造上の特徴を踏まえ、鉛直方向の地震力に対する車輪部の浮き上がり挙動を考慮した解析モデル（図 1.2）を用いた非線形時刻歴応答解析により評価を実施する。

なお、本モデル及び評価手法は大間 1 号炉の建設工認にて適用例があり、大間 1 号炉と柏崎刈羽の 6 号及び 7 号炉の原子炉建屋クレーンは類似構造であることから、柏崎刈羽 6 号及び 7 号炉にも適用可能である。

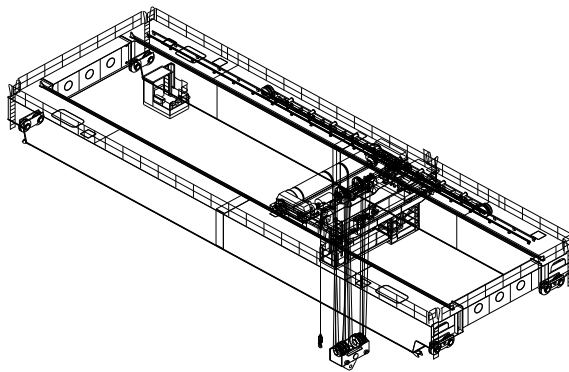


図 1.1 原子炉建屋クレーン（7号炉の例）

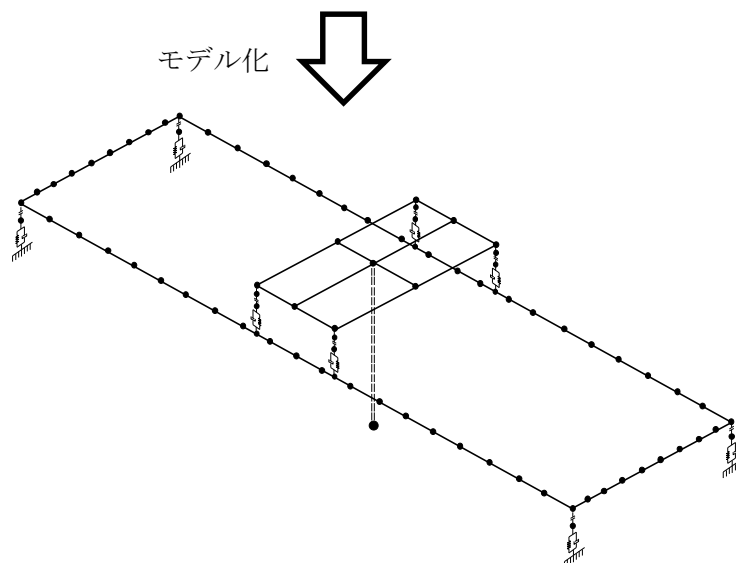


図 1.2 今回工認の解析モデル

2. 原子炉建屋クレーンの構造

大間1号炉と柏崎刈羽の6号及び7号炉の原子炉建屋クレーンは、図2.1に示すとおり原子炉建屋に設置された走行レール上をガーダ及びサドルが走行し、ガーダ上に設置された横行レール上をトロリが横行する構造であり、いずれも同様の構造（添付資料1）となっており、地震力に対し以下の挙動を示す。

(1) 走行方向の水平力

- (a) クレーンは走行レール上に乗っているだけで固定されていないため、走行方向の水平力がクレーンに加わっても、クレーンはレール上をすべるだけで、クレーン自身にはレールと走行車輪間の最大静止摩擦力以上の水平力は加わらない。
- (b) クレーンの走行車輪は、駆動輪又は従動輪である。
- (c) 駆動輪は、電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため、地震の加速度が車輪部に加わると回転部分が追従できず、最大静止摩擦力以上の力が加わればレール上をすべる。

(2) 横行方向の水平力

a. ガーダ関係

- (a) 横行方向は、走行レールに対して直角方向であるため、ガーダは建屋と固定されているものとし、水平力がそのままガーダに作用する。

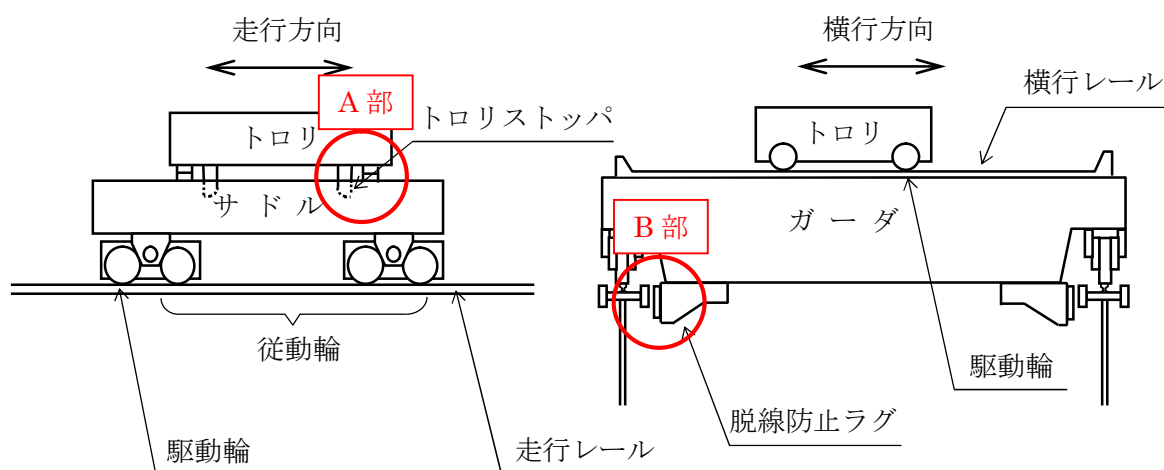
b. トロリ関係

- (a) トロリはガーダの上に乗っているだけでガーダとは固定されていないため、水平力がトロリに加わっても、トロリはレール上をすべるだけで、トロリ自身にはレールと横行車輪間の最大静止摩擦力以上の水平力は加わらない。
- (b) トロリの横行車輪は、駆動輪又は従動輪である。
- (c) トロリの駆動輪は、電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため、地震の加速度が車輪部に加わると回転部分が追従できず、最大静止摩擦力以上の力が加わればレール上をすべる。

(3) 鉛直力

ガーダ及びトロリは、レールと固定されていないことから、鉛直方向の地震力によってレールから浮き上がる可能性がある。

また、柏崎刈羽6号及び7号炉の原子炉建屋クレーンは、これまでに実施した耐震強化工事によりトロリストッパ及び脱線防止ラグの構造変更を行っており、車輪まわりのトロリストッパ及び脱線防止ラグとレールの間の取り合い構造は、認可実績のある大間原子力発電所の原子炉建屋クレーンと同様の構造となっていることから、車輪まわりを含めた地震応答解析モデルは大間原子力発電所と同様にモデル化することができる。(構造変更の概要は添付資料2参照。)



	大間	柏崎刈羽 6 号	柏崎刈羽 7 号
A 部	<p>トロリストッパ トロリ ガーダ</p>	<p>トロリ ガーダ トロリストッパ</p>	<p>トロリストッパ トロリ ガーダ</p>
B 部	<p>ガーダ 脱線防止ラグ</p>	<p>ガーダ 脱線防止ラグ</p>	<p>ガーダ 脱線防止ラグ</p>

図 2.1 車輪まわりの構造比較

3. 解析評価方針

(1) 評価方法

既工認、今回工認及び大間 1 号機建設工認の評価方法を表 3.1 に示す。今回工認では、鉛直動的地震力を考慮する必要があること及びクレーンの車輪部の構造を変更しておりレール上に固定されていないという構造上の特徴を踏まえ、鉛直方向の地震力に対する車輪部の浮き上がり挙動を考慮した 3 次元 FEM 解析モデルを用いた非線形時刻歴応答解析により評価を実施する。

表 3.1 既工認、今回工認及び大間 1 号機建設工認の評価方法の比較

項目		柏崎刈羽 6，7 号		大間 1 号機 (建設工認)
		既工認	今回工認	
解析手法		手計算による評価	非線形時刻歴応答解析	同左
解析モデル		—	3 次元 FEM 解析モデル	同左
車輪－レール間の境界条件		すべり考慮	すべり，浮き上がり，衝突考慮	同左
地震力	水平	動的地震力	動的地震力	同左
	鉛直	静的地震力		
入力する地震動		原子炉建屋におけるクレーン設置位置の床応答加速度	原子炉建屋におけるクレーン設置位置の床応答加速度時刻歴	同左
減衰定数	水平	1.0%※1	2.0%※2	同左
	鉛直	—		
解析プログラム		—	Abaqus (6 号：Ver.6.11-1) (7 号：Ver.6.5-4)	Abaqus (Ver.6.5-4)

※1：既工認では剛であることを確認した上で動的震度を適用しているため減衰定数は評価に使用していない。

※2：資料 3-2 の添付資料 3 にて適用性を説明。

(2) 地震応答解析モデル

クレーンを構成する主要部材をビーム要素でモデル化し、車輪部はレール上に乗っており固定されておらず、すべり及び浮き上がり挙動を考慮する構造であることから、ギャップ要素及びばね、減衰要素でモデル化する。クレーンの解析モデルを図 3.1 に示す。

なお、今回工認の原子炉建屋クレーンのモデル化は、大間 1 号炉と同一の設定方法とする。(車輪部の非線形要素については参考資料 1 参照。)

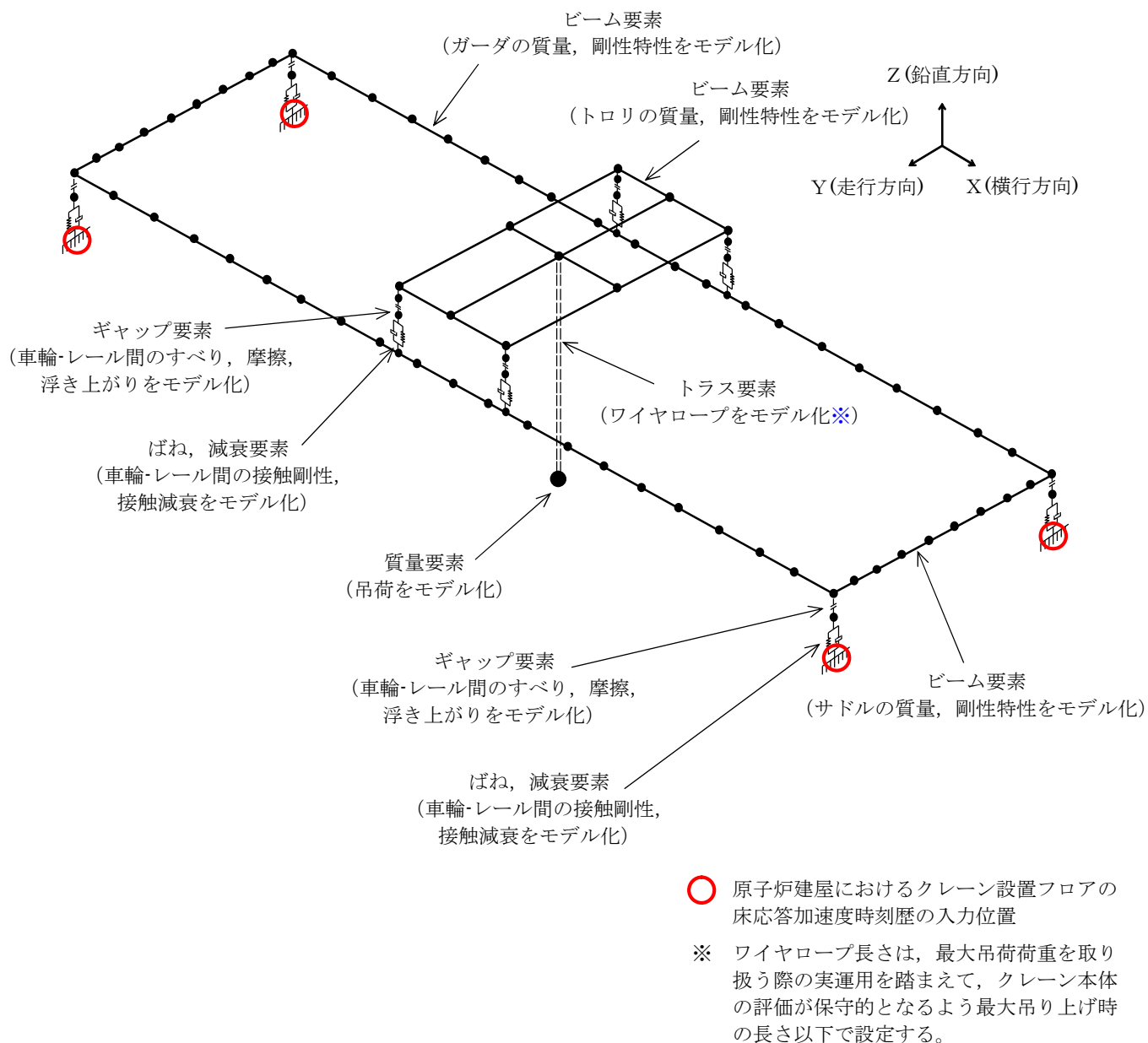


図 3.1 クレーン解析モデル (7号炉の例)

(3) 地盤物性等の不確かさに対する検討方針

スペクトルモーダル解析等では、床応答加速度は地盤物性等の不確かさによる固有周期のシフトを考慮して周期方向に $\pm 10\%$ 拡幅したものをを用いている。

本評価では設計用床応答スペクトルを用いない時刻歴応答解析を採用することから、今回工認では地盤物性等の不確かさによる建屋固有周期のシフトの影響も考慮し、機器評価への影響が大きい地震動に対し ASME Boiler and Pressure Vessel Code SECTION III, DIVISION 1-NONMANDATORY APPENDIX N (ARTICLE N-1222.3 Time History Broadening) に規定された、設計用床応答スペクトルで考慮されている拡幅 $\pm 10\%$ に相当する地震入力のゆらぎを仮定する手法等による検討を行う予定である。

なお、ゆらぎを考慮した設計用床応答スペクトルの谷間にクレーンの固有周期が存在する場合は、ASME の規程に基づきピーク位置が固有周期にあたるようにゆらぎを考慮した評価も行う。

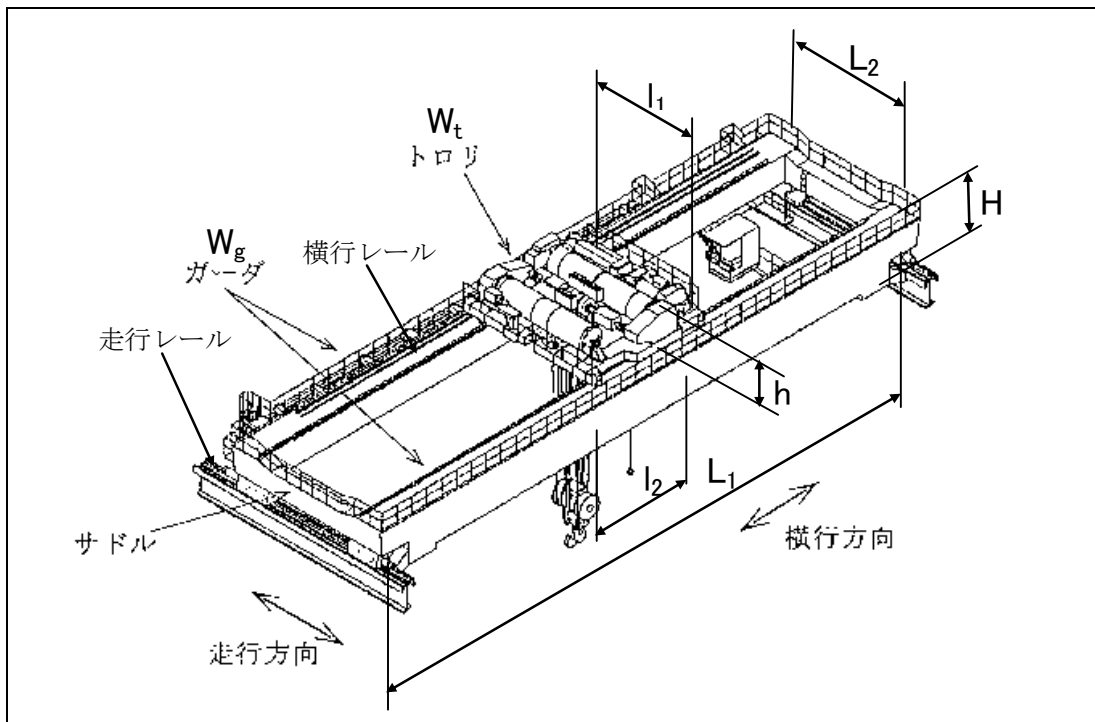
4. 添付資料

- (1) 原子炉建屋クレーンの主要諸元
- (2) 原子炉建屋クレーンの耐震強化工事による構造変更
- (3) クレーン車輪部の非線形要素（摩擦・接触・減衰）
- (4) 原子炉建屋クレーンの地震時挙動に関する補足説明

5. 参考文献

- (1) 平成 19 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験（クレーン類）に係る報告書（08 耐部報-0021,（独）原子力安全基盤機構）
- (2) 平成 20 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験（クレーン類）に係る報告書（09 耐部報-0008,（独）原子力安全基盤機構）

添付資料 1 原子炉建屋クレーンの主要諸元

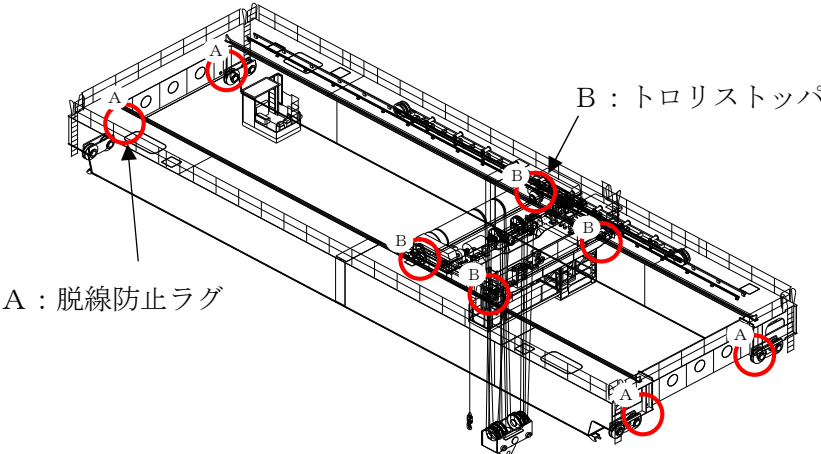
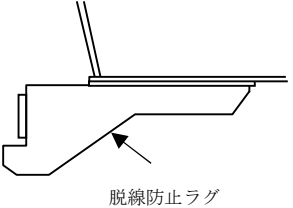
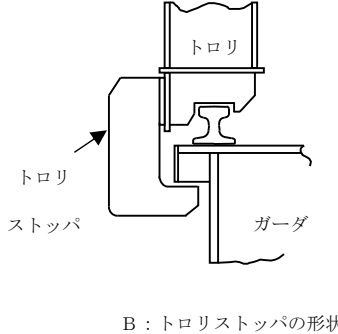
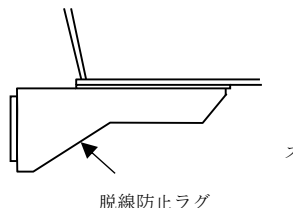
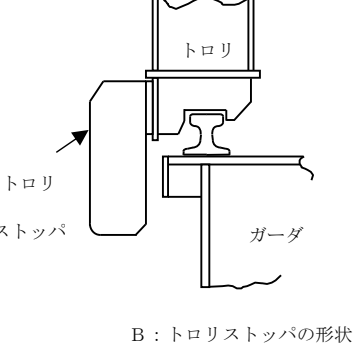


仕 様		大間	柏崎刈羽	
		1号炉	6号炉	7号炉
トロリ	質量 $W_t(\text{ton})$	80.0	86.5	80.0
	高さ $h(\text{m})$	2.815	2.405	2.515
	スパン $l_1(\text{m})$	7.7	5.8	7.7
	スパン $l_2(\text{m})$	4.6	5.4	4.6
ガーダ	質量 $W_g(\text{ton})$	190	226	190
	高さ $H(\text{m})$	2.5	2.6	2.8
	スパン $L_1(\text{m})$	34.9	34.9	34.9
	スパン $L_2(\text{m})$	9.38	6.47	9.38
総質量	$W(\text{ton})$	270.0	312.5	270.0

添付資料 2 (1 / 2) 原子炉建屋クレーンの耐震強化工事による構造変更 (6 号炉)

変 更 前	変 更 後	備 考
<p>耐震強化前</p> <p>脱線防止ラグ</p> <p>A : 脱線防止ラグの形状</p> <p>トロリストoppa</p> <p>B : トロリストoppaの形状</p>	<p>耐震強化後</p> <p>脱線防止ラグ</p> <p>A : 脱線防止ラグの形</p> <p>トロリストoppa</p> <p>B : トロリストoppaの形状</p>	脱線防止ラグおよびトロリストoppaの形状を変更

添付資料 2 （ 2 ／ 2 ） 原子炉建屋クレーンの耐震強化工事による構造変更（7 号炉）

変 更 前	変 更 後	備 考
<div data-bbox="526 335 1344 790"></div> <div data-bbox="197 861 918 1204"><p>耐震強化前</p><div data-bbox="235 949 526 1157"><p>脱線防止ラグ</p><p>A : 脱線防止ラグの形状</p></div><div data-bbox="571 869 907 1204"><p>トロリ ストッパ</p><p>トロリ</p><p>ガーダ</p><p>B : トロリストッパの形状</p></div></div>	<div data-bbox="974 861 1691 1236"><p>耐震強化後</p><div data-bbox="1041 949 1332 1157"><p>脱線防止ラグ</p><p>A : 脱線防止ラグの形状</p></div><div data-bbox="1332 869 1691 1220"><p>トロリ ストッパ</p><p>トロリ</p><p>ガーダ</p><p>B : トロリストッパの形状</p></div></div>	<p>脱線防止ラグおよびトロリストッパの形状を変更</p>

添付資料3 クレーン車輪部の非線形要素（摩擦・接触・減衰）

クレーン車輪部のモデル化では、すべり、浮き上がり及び衝突の挙動を模擬するためギャップ要素を用いる。また、接触部位の局所変形による接触剛性をばね要素で、衝突による減衰効果を減衰要素で模擬し、図 1.1 に示すように、ギャップ要素と直列に配置する。

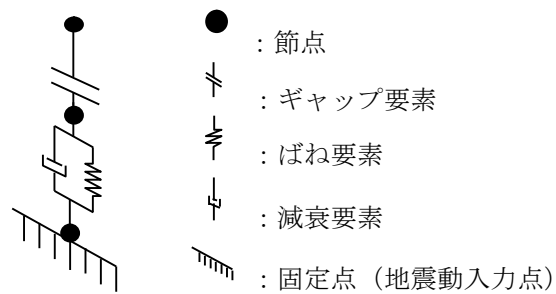


図 1.1 車輪部の非線形要素

a. 車輪とレール間の摩擦特性

クレーンの車輪には電動機及び減速機等の回転部分と連結された駆動輪と、回転部分と連結されていない従動輪の 2 種類がある。このうち駆動輪は回転が拘束されているため、地震の加速度を車輪部に入れると回転部分が追従できず、最大静止摩擦係数以上の力が加わればレール上をすべる。

ここで、摩擦係数は既工認と同様の 0.3 を用いる。

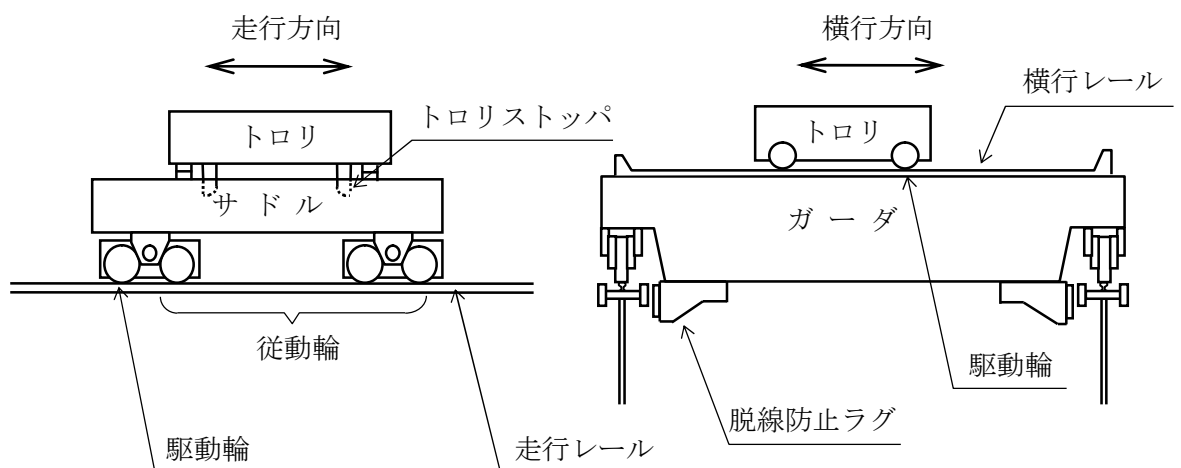


図 1.2 概要図（7号炉の例）

b. 車輪とレールの接触剛性

接触剛性は、「平成 20 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験（クレーン類）に係る報告書（09 耐部報-0008,（独）原子力安全基盤機構）」を参照し、車輪とレールの衝突時の剛性を模擬するものとして接触剛性を考慮したばね要素とクレーン質量で構成される 1 自由度系の固有振動数が 20Hz 相当になるよう設定する。

c. 車輪とレール間の衝突による減衰

衝突による減衰は、「平成 19 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験（クレーン類）に係る報告書（08 耐部報-0021,（独）原子力安全基盤機構）」にて実施した要素試験のうちの車輪反発係数試験結果から評価した反発係数から換算する。なお、減衰比と反発係数の関係式には次式を用いる。

$$e = \exp\left(-\frac{h \pi}{\sqrt{1-h^2}}\right)$$

ここで、 e は反発係数、 h は減衰比である。図 1.3 に、上記の式で表される反発係数と減衰比の関係を示す。

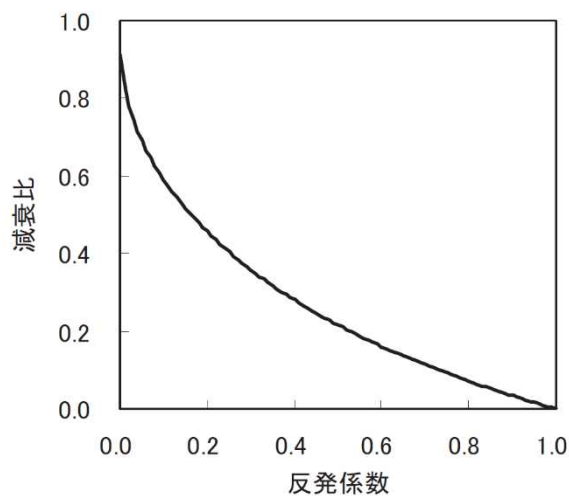


図 1.3 反発係数と減衰比の関係

添付資料 4 原子炉建屋クレーンの地震時挙動に関する補足説明

1. 車輪とレールとの摩擦力及び落下防止部材との接触による摩擦力の考慮について

クレーンはレール上を車輪で移動する構造であるため、建屋に固定されておらず、地震時にはレールに沿う方向にはすべりが発生し、摩擦力以上の荷重を受けない構造である。

クレーン本体とランウェイガード間の取り合い部を例とすると、すべりを想定する面としては、鉛直方向（車輪～レール間）と水平方向（脱線防止ラグ～ランウェイガード間）が挙げられる。（図 1）

鉛直方向には、自重が常時下向きに加わっており、地震による鉛直方向加速度が 1G を上回りクレーン本体が浮き上がりの挙動を示すごく僅かな時間帯を除き、常に車輪はレール上面に接触し垂直抗力 N が発生する状態であることから、摩擦係数 μ ($=0.30$) 一定の条件の下、垂直抗力 N を時々刻々変化させた摩擦力 f ($=\mu N$) を考慮している。

これに対して、水平方向には常時作用する荷重が無く、水平方向（横行方向）の地震力が作用し脱線防止ラグがランウェイガード側面に接触する際にのみ垂直抗力 R が発生する。しかしながら、地震力は交番荷重であること及び、接触後も部材間の跳ね返りが発生することから、側面の接触時間はごく僅かな時間となる。また、大きな摩擦力が発生するためには、横行方向の地震力により瞬間的に垂直抗力 R が発生する間に、走行方向の大きな地震力が同時に作用することが必要であることから、各方向地震動の非同時性を考慮し、側面の接触による摩擦力は考慮していない。側面の接触による摩擦力の影響を小さいと判断している妥当性については詳細設計段階にて念のため確認を行う。

なお、基準地震動 S_s による地震力に対して、駆動輪に接続される電動機及び減速機等の回転部分が破損し駆動輪が自由に回転する可能性も考えられるが、その場合は駆動輪が回転することにより摩擦力は低減することから、上記のように摩擦力を考慮した評価を行うことで保守的な評価となると言える。

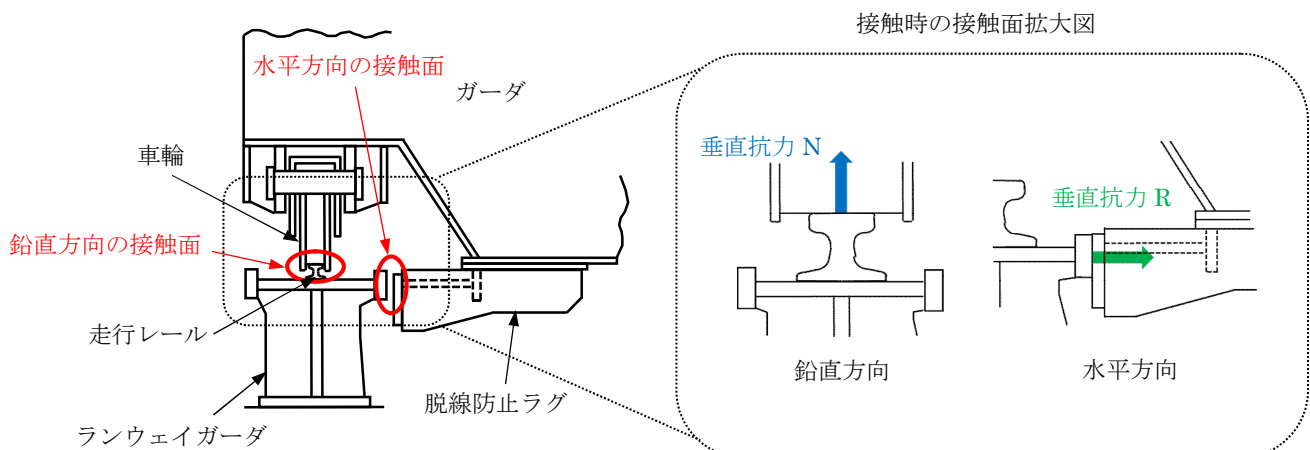


図 1 鉛直方向と水平方向の接触面

2. レール等の破損による解析条件への影響について

クレーンのモデル化にあたっては、車輪がレール上にあり、レール直角方向に対しては脱線防止ラグ又はトロリストoppaが接触して機能することを前提としている。

ここでは、地震応答解析モデルの前提としている「レール上に車輪が乗っていること」が、脱線防止ラグ又はトロリストoppaの健全性を確認することで満足されることを、クレーン本体とランウェイガーダ間の取り付け部を例として示す。

クレーン横行方向に地震力が作用する際は、車輪がレール上に乗り上がる挙動が想定されるが、脱線防止ラグがランウェイガーダに接触することで、横行方向の移動量は制限される。脱線防止ラグは構造強度部材として基準地震動 S_s によって生じる地震力に対して、許容応力を満足する設計としており、地震で破損することは無いため、脱線防止ラグとランウェイガーダ間のギャップ量に相当する移動量となった場合であっても、構造上車輪はレール上から落ちることは無い。(図 2)

本体ガーダとトロリストoppaの寸法も同様の関係となっている。

また、脱線防止ラグとランウェイガーダが接触するより前に、車輪からレールに荷重が伝わることとなるが、車輪のつばとレールが接触（移動量 12.5mm）してから脱線防止ラグとランウェイガーダが接触（移動量 35mm）し移動が制限されるまでの移動量は 22.5mm (=35mm-12.5mm) 程度であることから、脱線防止ラグが接触して機能する前に鋼製部材であるレールが大きく破損することは無いと考えられる。

以上より、地震時に脱線防止ラグがランウェイガーダに接触して機能する前に、車輪がすべり面であるレールから落下することや、レールが大きく破損することが無いことから、脱線防止ラグが機能する前に地震応答解析モデルの前提を満足しなくなるおそれはないと判断しているが、地震時に脱線防止ラグがランウェイガーダに接触して機能する前の車輪とレールの接触による影響については、詳細設計段階にて念のため確認を行う。

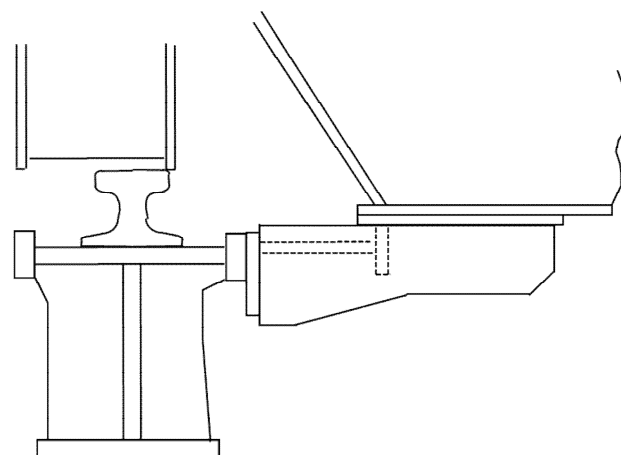
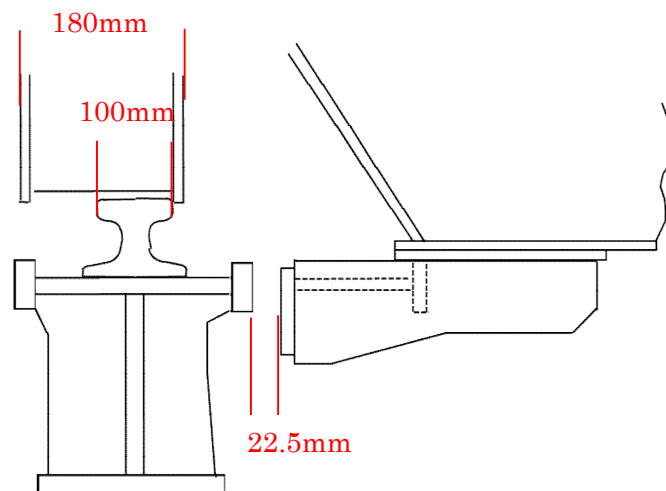
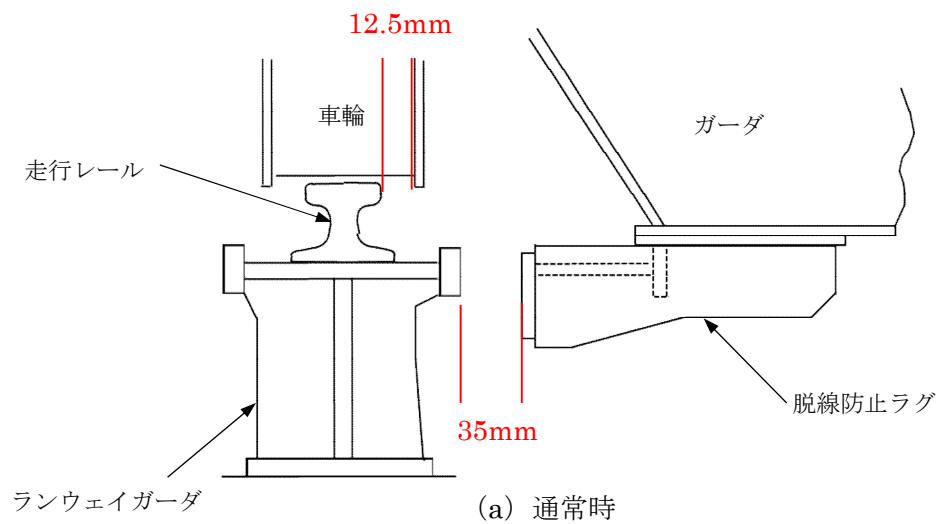


図 2 概念図（柏崎刈羽 7 号炉の例）

（本図は車輪がレールから外れないことを示すための概念図であり，構造物の大きさや間隙については実物とは異なる。）

添付資料 2 立形ポンプの解析モデルの精緻化

既工認における立形ポンプの解析モデルは、実機構造を踏まえた振動特性とするため、設備の寸法、質量情報に基づき、主要部であるローター、インナーケーシング及びディスチャージケーシングを相互にばね等で接続した多質点系モデルとして構築していた。

今回工認では、最新の知見に基づくモデル化を行う観点から、既工認モデルに対して JEAG4601-1991 追補版に基づくモデルの精緻化を行う。(図 1 参照)

なお、本解析モデルは大間 1 号炉の建設工認にて適用実績がある。

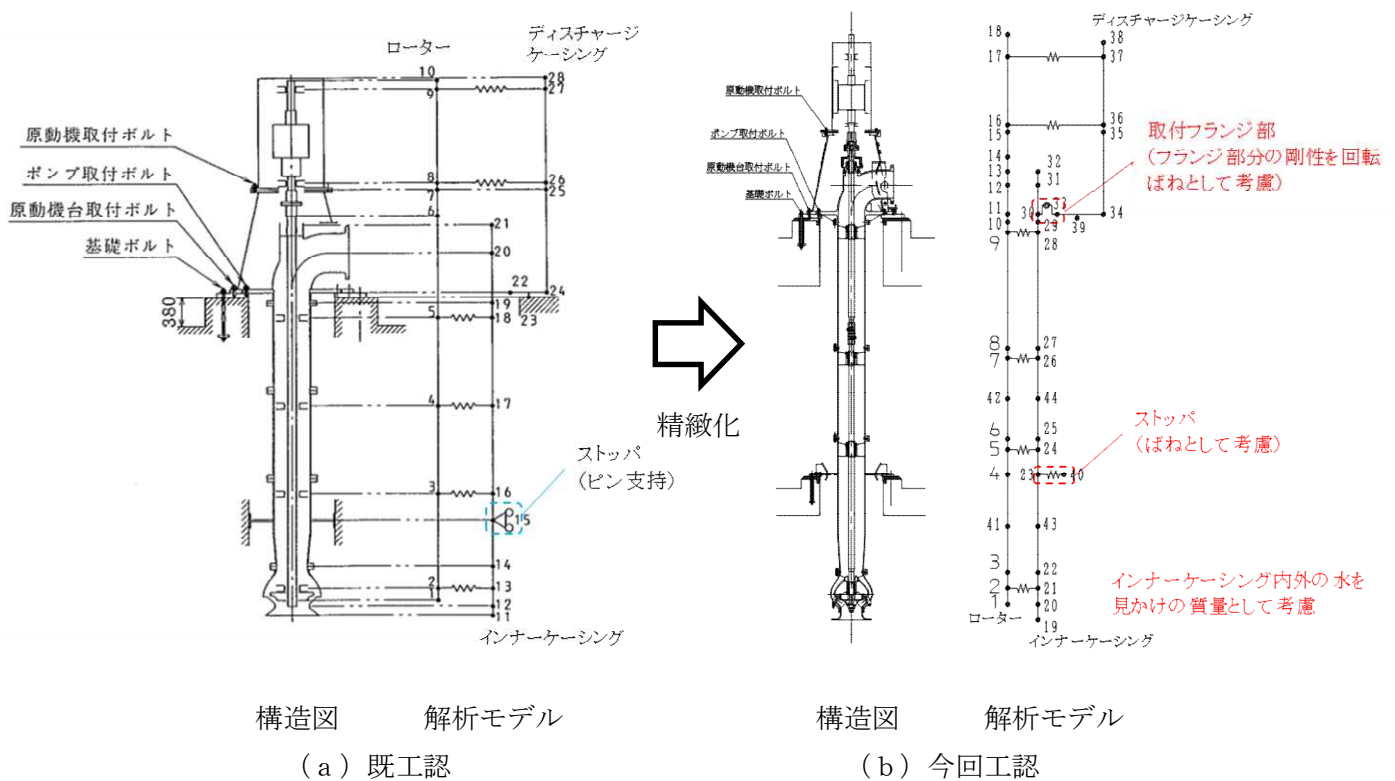


図 1 原子炉補機冷却海水ポンプ解析モデル図 (7 号炉の例)

添付 3 最新知見として得られた減衰定数を採用するもの

1. 概要

今回工認では、以下の設備について最新知見として得られた減衰定数を採用する。これらの変更は、振動試験結果を踏まえ設計評価用として安全側に設定した減衰定数を最新知見として反映したものであり、大間1号炉の建設工認において適用実績がある。

- ① 原子炉建屋クレーンの減衰定数※¹
- ② 燃料取替機の減衰定数※¹
- ③ 配管系の減衰定数※²

※1 電力共通研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究(H7～H10)」

※2 電力共通研究「機器・配管系に対する合理的耐震評価手法の研究(H12～H13)」

なお、本資料に記載する①～③の内容については、「大間原子力発電所1号機の工事計画認可申請に関わる意見聴取会」において聴取されたものである。

また、鉛直方向の動的地震力を適用することに伴い、鉛直方向の設計用減衰定数についても大間1号炉と同様に新たに設定している。

2. 今回の評価で用いた設計用減衰定数

最新知見として反映した原子炉建屋クレーン, 燃料取替機及び配管系の設計用減衰定数を表 1 及び表 2 に示す。

表 1 原子炉建屋クレーン及び燃料取替機の設計用減衰定数

設 備	設計用減衰定数 (%)			
	水平方向		鉛直方向	
	JEAG4601 ^{*1}	柏崎刈羽 ^{*2}	JEAG4601 ^{*1}	柏崎刈羽 ^{*2}
原子炉建屋クレーン	1.0	2.0	—	2.0
燃料取替機	1.0	2.0	—	1.5(2.0) ^{*3}

注記 *1:原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版(社団法人日本電気協会)

*2:柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉

*3:()外は, 燃料取替機のトリ位置が端部にある場合

()内は, 燃料取替機のトリ位置が中央部にある場合

表 2 配管系の設計用減衰定数

配管区分		設計用減衰定数 ^(注1) (%)			
		保温材無		保温材有 ^(注2)	
		JEAG 4601 ^{*1}	柏崎刈羽 ^{*2}	JEAG 4601 ^{*1}	柏崎刈羽 ^{*2}
I	支持具がスナバ及び架構レストレイント主体の配管系で、その数が4個以上のもの	2.0	同左	2.5	3.0
II	スナバ、架構レストレイント、ロッドレストレイント、ハンガ等を有する配管系で、アンカ及びUボルトを除いた支持具の数が4個以上であり、配管区分 I に属さないもの	1.0	同左	1.5	2.0
III ^{*3}	U字ボルトを有する配管系で、架構で水平配管の自重を受けるUボルトの数が4個以上のもの	—	2.0	—	3.0
IV	配管区分 I、II 及び III に属さないもの	0.5	同左	1.0	1.5

注記 *1:原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版(社団法人 日本電気協会)

*2:柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉

*3:区分 III (Uボルトを有する配管系)については、新たに設定したものであり、

現行 JEAG4601 では区分 IV に含まれている。

 : 新たに設定したもの

 : JEAG4601 から見直したもの

(注1) 水平方向及び鉛直方向の設計用減衰定数は同じ値を使用

(注2) 保温材による付加減衰定数は、配管全長に対する金属保温材使用割合が 40%以下の場合 1.0%を適用するが、金属保温材使用割合が 40%を超える場合は 0.5%とする。

(適用条件)

a) 適用対象がアンカからアンカまでの独立した振動系であること。

大口径管から分岐する小口径管は、その口径が大口径管の口径の 1/2 倍以下である場合、その分岐部をアンカ相当とする独立の振動系とみなしてよい。

b) 配管系全体として、配管系支持具の位置及び方向が局所的に集中していないこと。

c) 配管系の支持点間の間隔が次の条件を満たすこと。

配管系全長／(配管区分ごとに定められた支持具の支持点数) ≤ 15 (m／支持点)

ここで、支持点とは、支持具が取り付けられている配管節点をいい、複数の支持具が取り付けられている場合も 1 支持点とする。

d) 配管と支持構造物の間のガタの状態等が施工管理規程に基づき管理されていること。ここで、施工管理規程とは、支持装置の設計仕様に要求される内容を反映した施工要領等をいう。

3. 設計用減衰定数の考え方

(1) 原子炉建屋クレーン及び燃料取替機の設計用減衰定数

a. 既工認の設計用減衰定数

原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版(以下,「JEAG4601」という。)において原子炉建屋クレーン及び燃料取替機は溶接構造物として分類されているため,設計用減衰定数は1.0%と規定されている。既工認では,上記の設計用減衰定数1.0%を適用していた。

b. 設計用減衰定数の見直し

原子炉建屋クレーン及び燃料取替機の減衰定数に寄与する要素には,材料減衰と部材間に生じる構造減衰に加え,車輪とレール間のガタや摩擦による減衰があり,溶接構造物としての1.0%より大きな減衰定数を有すると考えられることから,実機を試験体とした振動試験が実施された。

振動試験の結果,原子炉建屋クレーンの減衰定数については水平2.0%,鉛直2.0%が得られた。また,燃料取替機の減衰定数については水平2.0%,鉛直1.5%(燃料取替機のトリ位置が端部にある場合),2.0%(燃料取替機のトリ位置が中央部にある場合)が得られた。

c. 柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉への適用性

振動試験の概略と,振動試験における試験体と柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉,並びに先行認可実績のある大間1号炉の実機との仕様の比較を参考資料1,2に示す。

柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉の原子炉建屋クレーン及び燃料取替機については,試験結果の適用性が確認されている大間1号炉の原子炉建屋クレーンと同等の基本仕様であり,重量比(トリ重量/総重量)との比較から振動特性は同等である。

ここで,原子炉建屋クレーン(トリ中央/端部)及び燃料取替機(トリ中央位置)の鉛直方向の減衰定数については,応答振幅の増加に伴い減衰比は増加する傾向が試験結果から得られており,柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉の応答振幅はこの試験における応答振幅よりも大きくなる。

一般的に構造物の減衰は,材料減衰及び構造減衰によるものが支配的であると考えられる。材料減衰は,材料が変形する際の内部摩擦による減衰であり,減衰比は振幅によらず一定となる。一方の構造減衰は,部材の接合部における摩擦現象によって発生し,振幅とともに増大すると言われている。

実機のクレーン類は,機上に駆動部品や搭載機器類(取付器具,電気盤,巻上機,ワイヤロープ,燃料取替機マストチューブ等)を多数持つ構造であり,振幅ともに増大する構造減衰を期待できると考えられる。

また,燃料取替機のトリ端部位置については,試験結果から明確な応答振幅に対する増加傾向は確認できていないものの,燃料取替機にはボルト締結部等の摩擦減衰を期待

できる電気盤等の上部構造物が多数設置されていることから、応答振幅の増加に伴い減衰比は少なくとも増加する傾向となり 1.5%以上で推移すると考えられる。

さらに、水平方向の減衰定数については原子炉建屋クレーン及び燃料取替機ともに鉛直方向よりも大きい減衰が得られている。

従って、今回の評価における原子炉建屋クレーンの減衰定数については水平 2.0%、鉛直 2.0%を用いる。また、燃料取替機の減衰定数については水平 2.0%、鉛直 1.5%(燃料取替機のトロリ位置が端部にある場合)、2.0%(燃料取替機のトロリ位置が中央部にある場合)を用いる。

(2)配管系の設計用減衰定数

a. 既工認の設計用減衰定数

JEAG4601における配管系の設計用減衰定数は、配管支持装置の種類や個数によって3区分に分類されており、さらに保温材を設置した場合の設計用減衰定数が規定されている。既工認では、上記の設計用減衰定数を適用していた。

b. 今回の評価で用いる設計用減衰定数

以下、(a)、(b)に示す項目については、配管系の振動試験の研究成果に基づき、JEAG4601に規定する値を見直し設定する。

(a) Uボルト支持配管系

JEAG4601におけるUボルト支持配管系の設計用減衰定数は、0.5%と規定されている。

Uボルト支持配管系の減衰に寄与する要素には、主に配管支持部における摩擦があり、架構レストレイントを支持具とする配管系と同程度の減衰定数を有すると考えられることから、振動試験等が実施され、減衰定数 2.0%が得られた。

振動試験で用いられたUボルトについては、原子力発電所で採用されている代表的なものを用いていることから、振動試験等により得られた減衰定数を適用できると判断し、今回の評価におけるUボルト支持配管系の設計用減衰定数は、振動試験結果から得られた減衰定数 2.0%を設定する。

なお、参考として振動試験結果の概略を参考資料3に示す。

(b) 保温材を設置した配管系

JEAG4601における保温材を設置した配管系の設計用減衰定数は、振動試験の結果に基づき、保温材を設置していない配管系に比べ設計用減衰定数を 0.5%付加できることが規定されている。

その後、保温材の有無に関する減衰定数の試験データが拡充され、保温材を設置した場合に付加できる設計用減衰定数を見直すための検討が行われた。

今回の評価における保温材を設置した場合に付加する設計用付加減衰定数は、振動試験結果から得られた減衰定数 1.0%を、保温材無の場合に比べて付加することとする。

なお、振動試験結果の概略を参考資料4に示す。

c. 柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉への適用性

減衰定数の検討においては、要素試験結果から減衰定数を算出するための評価式を求め、その上で、実機配管系の解析を行い、減衰定数を求めている。

まず要素試験においては、原子力発電所で採用されている代表的な 4 タイプ(参考資料3補足参照)を選定しており、柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉においても、この 4 タイプの U ボルトを採用している。

次に実機配管系の解析対象とした 28 モデルには、ABWR プラントと同一設計である BWR プラントの実機配管も含まれている。また配管仕様(口径、肉厚、材質)、支持間隔・配管ルートも異なっており、様々な配管剛性や振動モードに対応している。(参考資料3参照)

従って、今回検討した設計用減衰定数は柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉へ適用可能と判断し、柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉における配管の設計用減衰定数として設定する。

4. 鉛直方向の設計用減衰定数について

今回工認では、鉛直方向の動的地震力を適用することに伴い、鉛直方向の設計用減衰定数を新たに設定している。

鉛直方向の設計用減衰定数は、基本的に水平方向と同様とするが電気盤や燃料集合体等の鉛直地震動に対し剛体挙動する設備は 1.0%とする。また、原子炉建屋クレーン、燃料取替機及び配管系については、既往の試験等により確認されている値を用いる。

なお、これらの設計用減衰定数は、大間 1 号炉の建設工認にて適用例がある。

表 1 機器・配管系の設計用減衰定数

設 備	設計用減衰定数 (%)			
	水平方向		鉛直方向	
	既工認	今回工認	既工認	今回工認
溶接構造物	1.0	同左	—	1.0
ボルト及びリベット構造物	2.0	同左	—	2.0
ポンプ・ファン等の機械装置	1.0	同左	—	1.0
燃料集合体	7.0	同左	—	1.0
制御棒駆動機構	3.5	同左	—	1.0
電気盤	4.0	同左	—	1.0
使用済燃料貯蔵ラック	1.0	Ss:7.0 Sd:5.0	—	1.0
天井クレーン	1.0	2.0	—	2.0
燃料取替機	1.0	2.0	—	1.5(2.0)*
配管系	0.5～2.0	0.5～3.0	—	0.5～3.0

注記 *:()外は、燃料取替機のトリ位置が端部にある場合

()内は、燃料取替機のトリ位置が中央部にある場合

原子炉建屋クレーンの振動試験～減衰比の検討～設計用減衰定数の設定

実機を試験体とした振動試験から得られた、原子炉建屋クレーンの減衰特性に基づき、設計用減衰定数の検討を行った。

1. 代表試験体の選定

原子炉建屋天井クレーン8タイプ、一般用2タイプの基本仕様(トロリ及びガーダの質量、高さ、スパン)を調査。

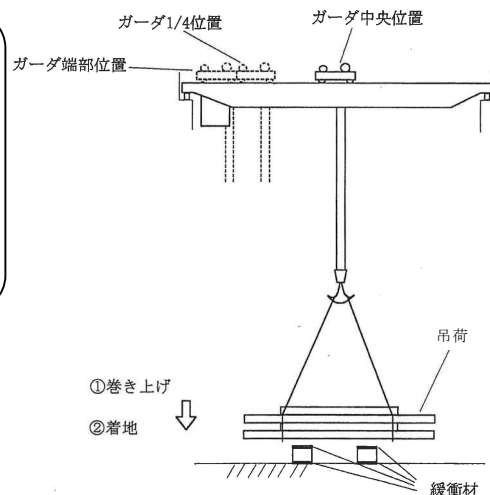
各天井クレーンの構成要素、基本構造及び減衰定数に影響を与えられられる天井クレーン全質量とトロリ質量の比、及び振動特性が同等であることを確認。

一般用天井クレーンを代表試験体とし、個体差、及びガーダ形状の相違の影響を確認するために、ガーダの断面形状が異なるタイプの同一仕様の試験体 No.1, No.2, 及びガーダの断面形状が同じタイプの試験体 No.3 を使用し、合計3機の試験体で実施。

2. 振動試験

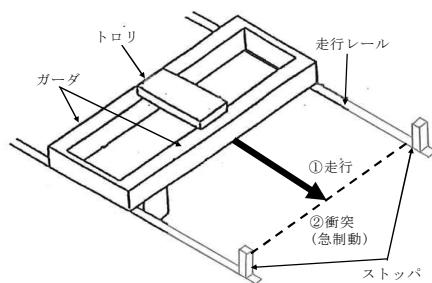
【鉛直方向の加振方法】

吊荷を床から50mm程度まで持ち上げた後、最大速度で下降させて床に着地させ、この時の自由振動を計測する。



【水平方向の加振方法】

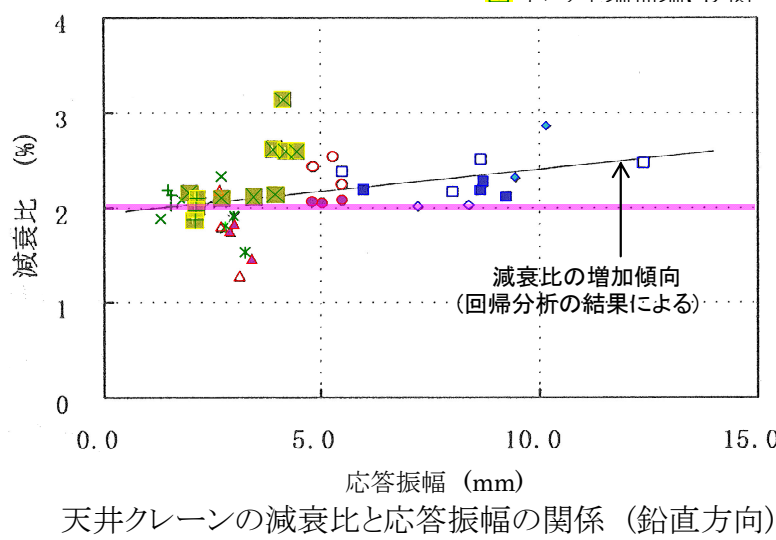
クレーンを1m程度走行させ、急停止することにより、自由振動を計測する。



3. 計測データの処理

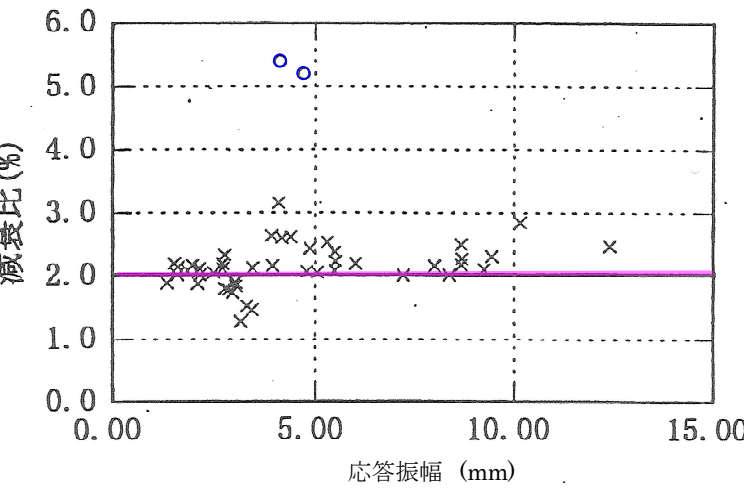
振動試験で得られた自由振動波形から減衰比を算定。

- 【凡 例】
- 試験体 No.1 (試験体 No.2)
<ガーダ形状が異なるタイプ>
(同一タイプ2機で試験を実施)
- (■) トロリ中央, 走行ギヤー側
 - (□) トロリ中央, 架線側
 - ▲(◆) トロリ1/4, 走行ギヤー側
 - △(◇) トロリ1/4, 架線側
- 試験体 No.3
<ガーダ形状が同一なタイプ>
- × トロリ主中補中, A側
 - ⊗ トロリ主中補中, B側
 - * トロリ主1/4補1/4, A側
 - ⊗ トロリ主1/4補1/4, B側
 - + トロリ主端補端, A側
 - ⊕ トロリ主端補端, B側



天井クレーンの減衰比と応答振幅の関係 (鉛直方向)

- 【凡 例】
- 試験体 No.2
○ 水平方向減衰比[トロリ中央部]
- 試験体 No.1～No.3
× 鉛直方向減衰比
(左図に示した鉛直方向の結果を参考として記載)



天井クレーンの減衰比と応答振幅の関係 (水平方向)

4. 設計用減衰定数の設定

【試験結果 (鉛直方向)】
応答振幅に対する減衰比の傾向は、応答振幅が比較的小さい場合には減衰比のばらつきが大きい、応答振幅が大きくなると、減衰比の発生源となる構造減衰が増加し、減衰比が徐々に増加するとともに、そのばらつきが小さくなる。
応答振幅5.0mmで減衰比2.0%以上が得られている。

【設計用減衰定数 (鉛直方向)】
応答振幅の増加に伴い減衰比は増加傾向にあり、設計応答振幅レベルで減衰比2.0%以上となっていることから、設計用減衰定数2.0%とした。

【試験結果 (水平方向)】
水平方向の減衰比は、応答振幅4.7mmにおいて5.2%という結果が得られている。

【設計用減衰定数 (水平方向)】
水平方向の減衰比は、応答振幅レベル4.7mmにおいて5%程度の減衰比が得られているが、データ点数が少ないため、鉛直方向と同じ2.0%を水平方向の設計用減衰定数とした。

■ 原子炉建屋クレーンの試験体と実機との仕様比較

原子炉建屋クレーンは、ガーダ 2 本上にトロリが設置されている構造である。表 2-1 に天井クレーン試験体、柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉並びに大間 1 号炉の原子炉建屋クレーンの主要な仕様を示す。

表 2-1 天井クレーン試験体と柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉並びに大間 1 号炉の原子炉建屋クレーン実機の仕様の比較

仕 様		試験体		実機 原子炉建屋クレーン			備 考
		一般用天井クレーン		柏崎刈羽		大間	
		No.1,2	No.3	6 号炉	7 号炉	1 号炉	
トロリ	質量 Wt(ton)	43.5	71.0	86.5	80.0	80.0	
	高さ h(m)	2.265	3.0	2.405	2.515	2.815	
	スパン l ₁ (m)	5.8	5.8	5.8	7.7	7.7	
	スパン l ₂ (m)	4.1	3 (主巻用) 2.5(補巻用)	5.4	4.6	4.6	
ガーダ	質量 Wg(ton)	104.5	191.5	226	190	190	
	高さ H(m)	1.32	2.3	2.6	2.8	2.5	
	スパン L ₁ (m)	33.0	33.0	34.9	34.9	34.9	
	スパン L ₂ (m)	7.06	8.9	6.47	9.38	9.38	
総質量	W(ton)	148.0	262.5	312.5	270.0	270.0	
トロリ質量と 総質量の比	Wt/WT	0.294	0.270	0.277	0.296	0.296	

■ 試験体と実機の比較の考え方

減衰比は、一般的に振動エネルギーと消散エネルギーの比で表される。消散エネルギーはガーダ等の構造部材の材料減衰、トロリ、ガーダ等のガタや摩擦による構造減衰により発生すると考えられ、天井クレーンにおいては、ガーダ、トロリは固定構造ではなく、レールと車輪間にすべりが発生する構造であることから、トロリとガーダとの微小な相対運動によるエネルギーの消散が減衰特性に最も影響が大きい因子と考えられる。

ここで、トロリとガーダとの相対運動による消散エネルギーはトロリ質量に比例し、振動エネルギーはクレーンの振動質量に比例する。天井クレーンは建屋に対して走行車輪部のみで支持された両端支持はりの構造をしており、地震時の振動モードは上下・水平方向共にガーダ中央のたわみが最大となる 1 次モードが支配的となる。そのため、振動質量はクレーンの総質量に比例し、減衰比はトロリ質量とクレーンの総質量の比に影響を受けることになる。

上表より、柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉の原子炉建屋クレーンのトロリ質量と総質量の比は、試験体及び先行認可実績のある大間 1 号炉の実機と同程度になることを確認している。
以上から、柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉の原子炉建屋クレーンの設計用減衰定数としては、水平 2.0%、鉛直 2.0%を適用する。

燃料取替機の振動試験～減衰比の検討～設計用減衰定数の設定

参考資料－2(1/2)

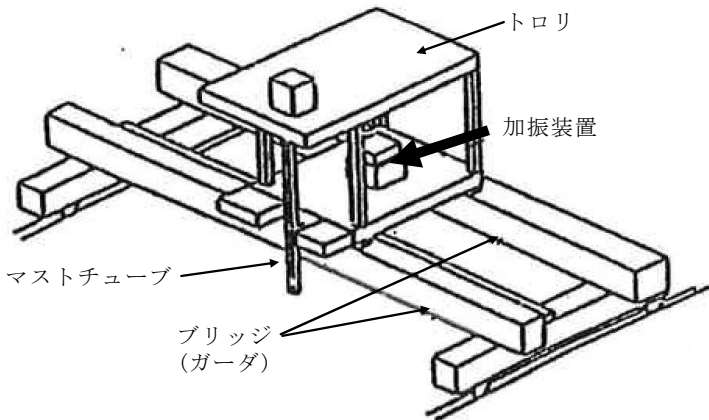
実機を試験体とした振動試験から得られた、燃料取替機の減衰特性に基づき、設計用減衰定数の検討を行った。

1. 代表試験体の選定

燃料取替機 5 機について、基本仕様(トロリ及びブリッジの質量, 高さ, スパン)を調査。
各燃料取替機の構成要素、基本構造、サイズ、質量及び振動特性が同等であることを確認。

燃料取替機 5 機の中から建設中プラントの燃料取替機を代表試験体として選定。

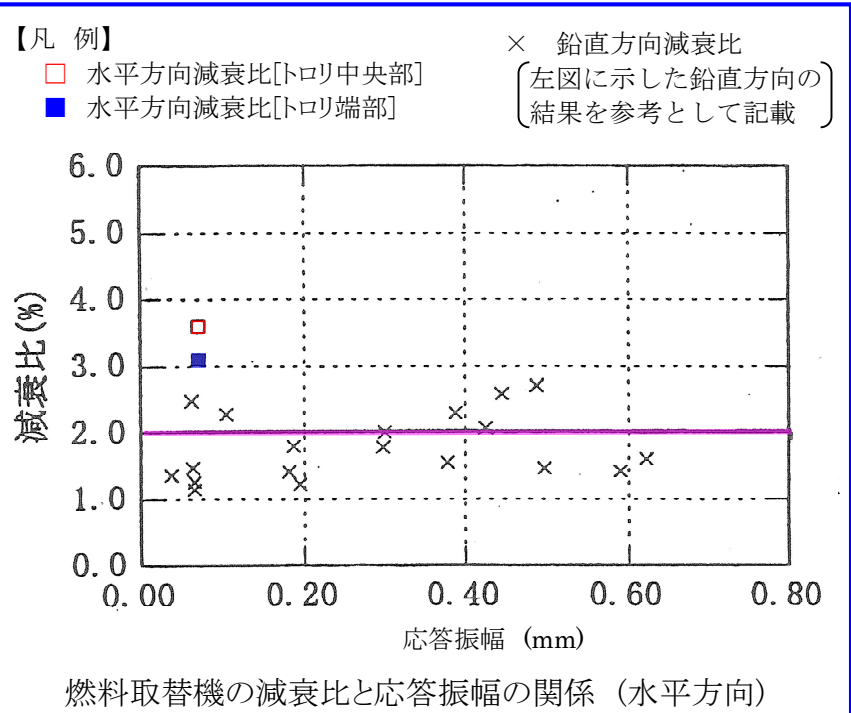
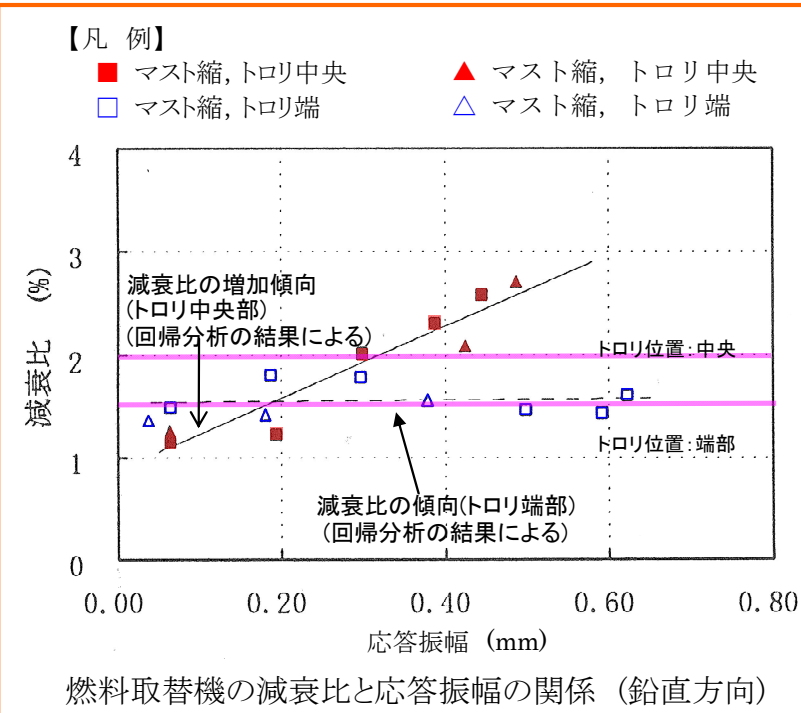
2. 振動試験



【加振方法(鉛直・水平方向)】
トロリ中央部に設置した加振装置による強制加振。
(正弦波 5Hz～20Hz)

3. 計測データの処理

振動試験で得られた周波数応答曲線からハーフパワー法で減衰比を算定。



4. 設計用減衰定数の設定

【試験結果 (鉛直方向)】
トロリ位置が中央部の場合では、応答振幅の増加にしたがって減衰比は増加する傾向を示している。応答振幅 0.40mm で減衰比 2.0%以上が得られている。
トロリ位置が端部の場合では、応答振幅に係らず 1.5%程度の減衰比が得られている。

【設計用減衰定数 (鉛直方向)】
トロリ位置が中央部の場合では、応答振幅の増加に伴い減衰比は増加傾向にあり、応答振幅レベル 0.40mm でも減衰比 2.0%以上となっていることから、設計用減衰定数 2.0%としたとしている。
トロリ位置が端部の場合では、応答振幅に係らず 1.5%程度の減衰比が得られていることから、設計用減衰定数 1.5%とした。

【試験結果 (水平方向)】
燃料取替機の水平方向の減衰比は、トロリ位置が中央部では応答振幅 0.07mm において 3.6%,トロリ位置が端部では応答振幅 0.07mm において 3.1%という結果が得られている。

【設計用減衰定数 (水平方向)】
水平方向の減衰比は、応答振幅レベル 0.07mm で 3.6%(トロリ中央部)及び 3.1%(トロリ端部)の減衰比が得られているが、データ点数が少ないため、鉛直方向と同じ 2.0%を水平方向の設計用減衰定数とした。

■ 燃料取替機の試験体と実機との仕様比較

燃料取替機は、フレーム構造のブリッジ上にトロリが設置されている構造である。表 3-1 に燃料取替機試験体、柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉並びに大間 1 号炉の燃料取替機の主要な仕様を示す。

表 3-1 燃料取替機試験体と柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉並びに大間 1 号炉の実機の仕様の比較

仕 様		試験体	実機			備 考
			柏崎刈羽		大間(参考)	
			6 号炉	7 号炉	1 号炉	
トロリ	質量 Wt(ton)	15.5	16.1	20.0	27.0	
	高さ h(m)	4.795	4.163	5.795	5.795	
	スパン l1(m)	3.0	2.8	3.0	3.0	
	スパン l2(m)	2.6	3.0	2.7	3.0	
ブリッジ	質量 Wg(ton)	23.6	30.4	28.5	40.0	
	高さ H(m)	2.005	2.917	2.005	2.075	
	スパン L1(m)	12.46	15.16	15.16	15.16	
	スパン L2(m)	4.6	4.8	4.6	4.43	
総質量	W(ton)	39.1	46.5	48.5	67.0	

■ 試験体と実機の比較の考え方

燃料取替機については、ブリッジ等の骨組み構造の材料減衰、トロリ、ブリッジ等のガタや摩擦による構造減衰が減衰比に影響を与えると考えられる。トロリの構造減衰はトロリ位置によって異なる。試験で得られた減衰比データとしては、ブリッジ中央にトロリがある場合、ブリッジの端部にトロリのある場合の 2 種類ある。鉛直方向に関しては、ブリッジの中央にトロリがある場合の方が、ブリッジの端部にトロリがある場合に比べて、減衰比は高くなっている。

ブリッジ中央にトロリがある場合、鉛直方向に関しては、応答振幅の増加に伴い減衰比は増加傾向にあり、応答振幅レベル 0.40mm で減衰比 2.0%以上となっていることから、設計用減衰定数を 2.0%とする。水平方向の減衰比は、応答振幅レベル 0.07mm で 3.6%の減衰比が得られているが、データ点数が少ないため、鉛直方向と同じ 2.0%を水平方向の設計用減衰定数とした。

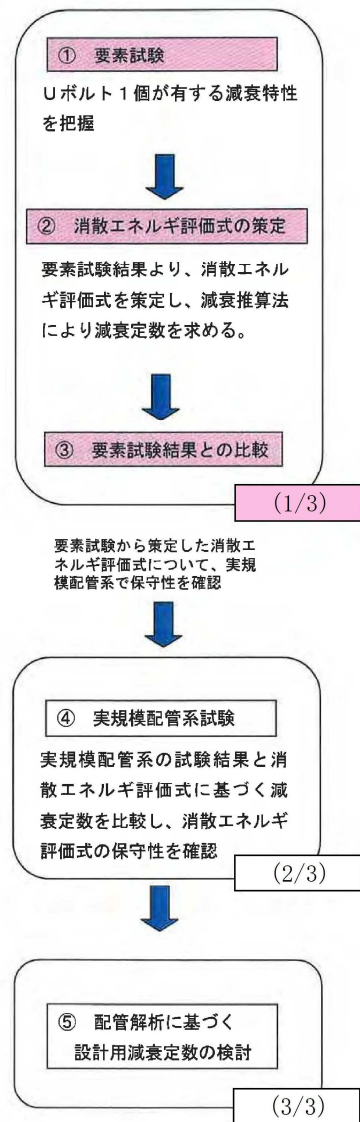
ブリッジ端部にトロリがある場合、鉛直方向に関しては、応答振幅に係らず 1.5%程度の減衰比が得られていることから、設計用減衰定数 1.5%とした。水平方向の減衰比は、応答振幅レベル 0.07mm で 3.1%の減衰比が得られているが、データ点数が少ないため、鉛直方向と同じ 2.0%を水平方向の設計用減衰定数とした。

実機への適用性の観点では、上表の試験体と柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉における燃料取替機の構造の比較から、ブリッジスパン、質量は同等以上となっており、振動特性として応答は大きくなる傾向にあると考えられる。また、試験では低加速度レベル（水平約 100Gal、鉛直約 200Gal）にて実施されているが、実際の基準地震動 Ss はそれよりも大きな加速度レベルとなる。試験結果から、応答の増加に伴い減衰比も増加傾向にあるため、上記の試験結果より得られた減衰比は適用可能と考えられる。

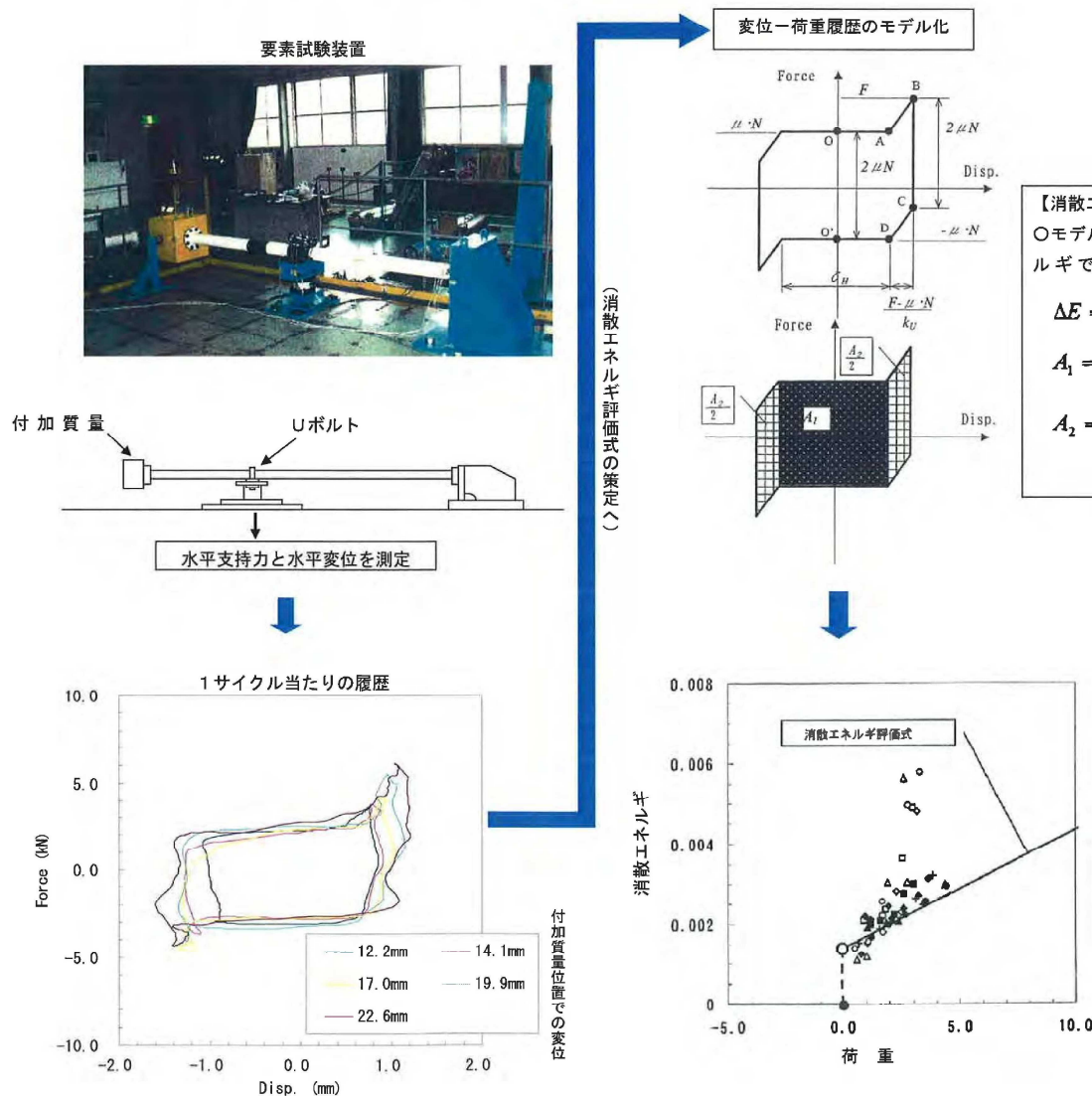
以上から、燃料取替機の設計用減衰定数として水平 2.0%、鉛直 1.5%(燃料取替機のトロリ位置が端部にある場合)、2.0%(燃料取替機のトロリ位置が中央部にある場合)を適用する。

Uボルト支持配管系の振動試験 (1/3) : ①要素試験～②消散エネルギー評価式の策定～③要素試験結果との比較

Uボルト支持配管系の研究の流れ



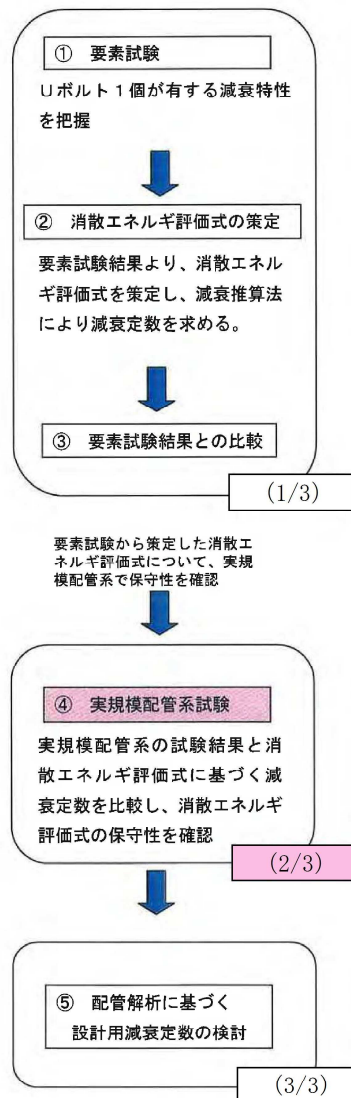
Uボルト支持部1箇所の減衰特性を把握するため、最も単純な試験体で振動試験を実施。



Uボルト支持配管系の減衰定数に関する研究の流れ (要素試験)

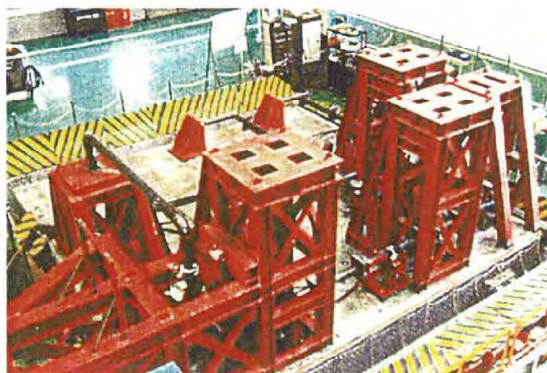
Uボルト支持配管系の振動試験 (2/3) : ④実規模配管系試験

Uボルト支持配管系の研究の流れ

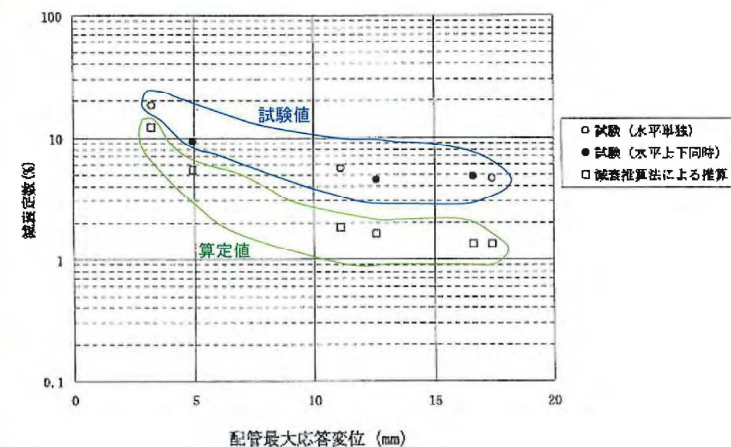


要素試験結果に基づき策定した消散エネルギー評価式の実機への適用性確認のため、実規模配管系試験による振動試験を実施し、試験結果より得られる減衰定数と消散エネルギー評価式より得られる減衰定数の比較検討を行った。

実規模配管系試験装置



試験結果と消散エネルギー評価式による減衰定数の比較



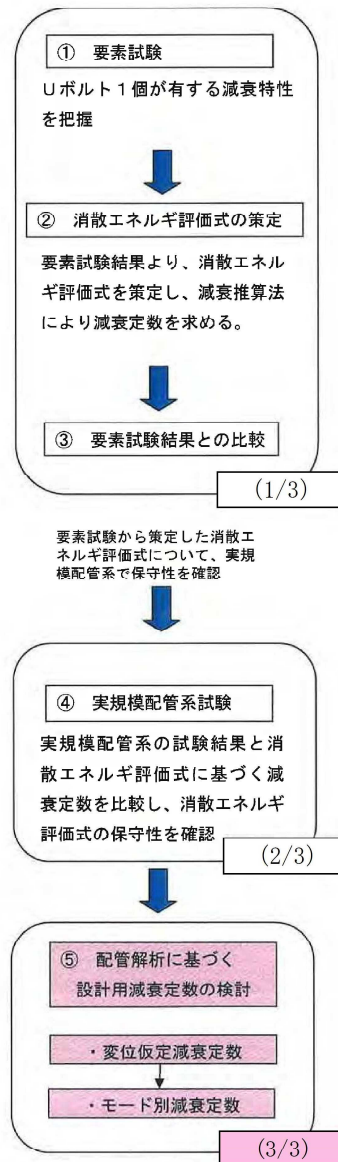
試験結果と消散エネルギー評価式による減衰定数を比較した結果、消散エネルギー評価式の方が全変位領域で下回っており、消散エネルギー評価式の保守性が確認された。

Uボルト支持配管系の減衰定数に関する研究の流れ (実規模配管系試験)

Uボルト支持配管系の振動試験 (3/3) : ⑤配管解析に基づく設計用減衰定数の検討

Uボルト支持配管系の研究の流れ

参考資料-3 (3/8)

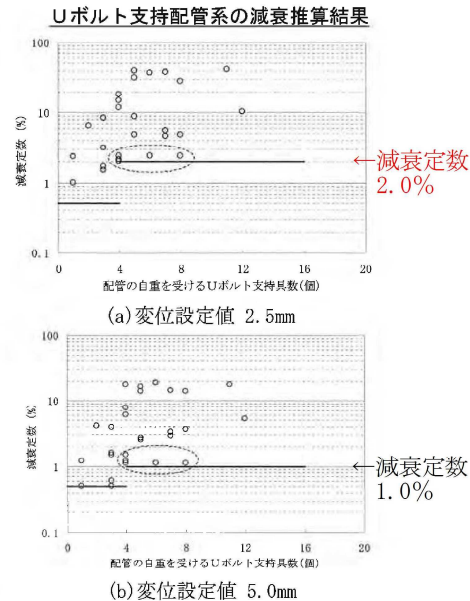


Uボルト支持配管系(28モデル)に対する解析による検討 (各振動モードが全て一律の変位が生じると仮定)

実規模配管系試験にて消散エネルギー評価式の保守性を確認したが、設計用減衰定数を設定するにあたっては、Uボルト支持具数や配管ルートなど様々な配管系について検討する必要がある。ここでは、消散エネルギー評価式による減衰定数が配管変位に依存するため、配管系の振動モード変位を一定と仮定した状態で減衰定数(変位仮定減衰定数)を算出した。対象はUボルト支持部を有する実機配管系(28モデル)とした。

解析の結果、Uボルト4個以上の配管系において

- ・ 仮定変位 2.5mm の場合、減衰定数 2.0%以上が得られた。
- ・ 仮定変位 5.0mm の場合、減衰定数 1.0%以上が得られた。



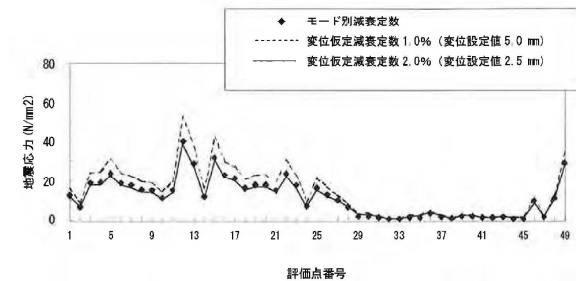
詳細計算による減衰定数の検討 (モード別減衰定数による検討)

変位仮定減衰定数は計算結果からも判るように「仮定する変位」に依存する。そこで、変位 2.5mm の減衰定数及び変位 5.0mm の減衰定数のそれぞれ 2%及び 1%を与える下限値を示した配管モデルに対して、より詳細な解析を行い、Uボルト支持配管系の設計用減衰定数を検討した。

比較検討の結果、詳細計算結果と変位 2.5mm を与えた場合の結果がよく一致していることがわかり、Uボルト支持配管系の設計用減衰定数を 2.0%に設定することとしたとしている。

なお、2.0%の適用に当たっては、以下の項目を条件とするとしている。

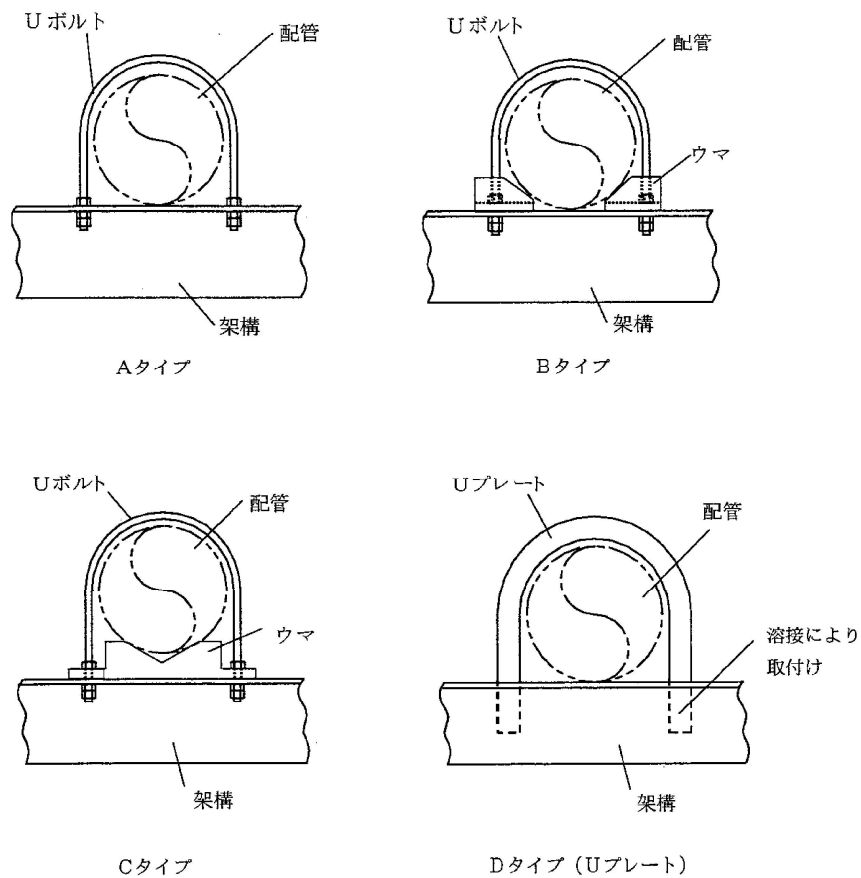
- Uボルトは、運転時に配管とボルト頂部との間に隙間があるよう施工されること。
- 今回、検討対象としたUボルトの据付状態であること(架構で水平配管の自重を受けるUボルト)。



Uボルト支持配管系の減衰定数に関する研究の流れ (設計用減衰定数の検討)

【補足】要素試験に用いたUボルト支持構造物のタイプ

試験に用いたUボルトは，原子力発電所で採用されている代表的な4タイプを選定した。



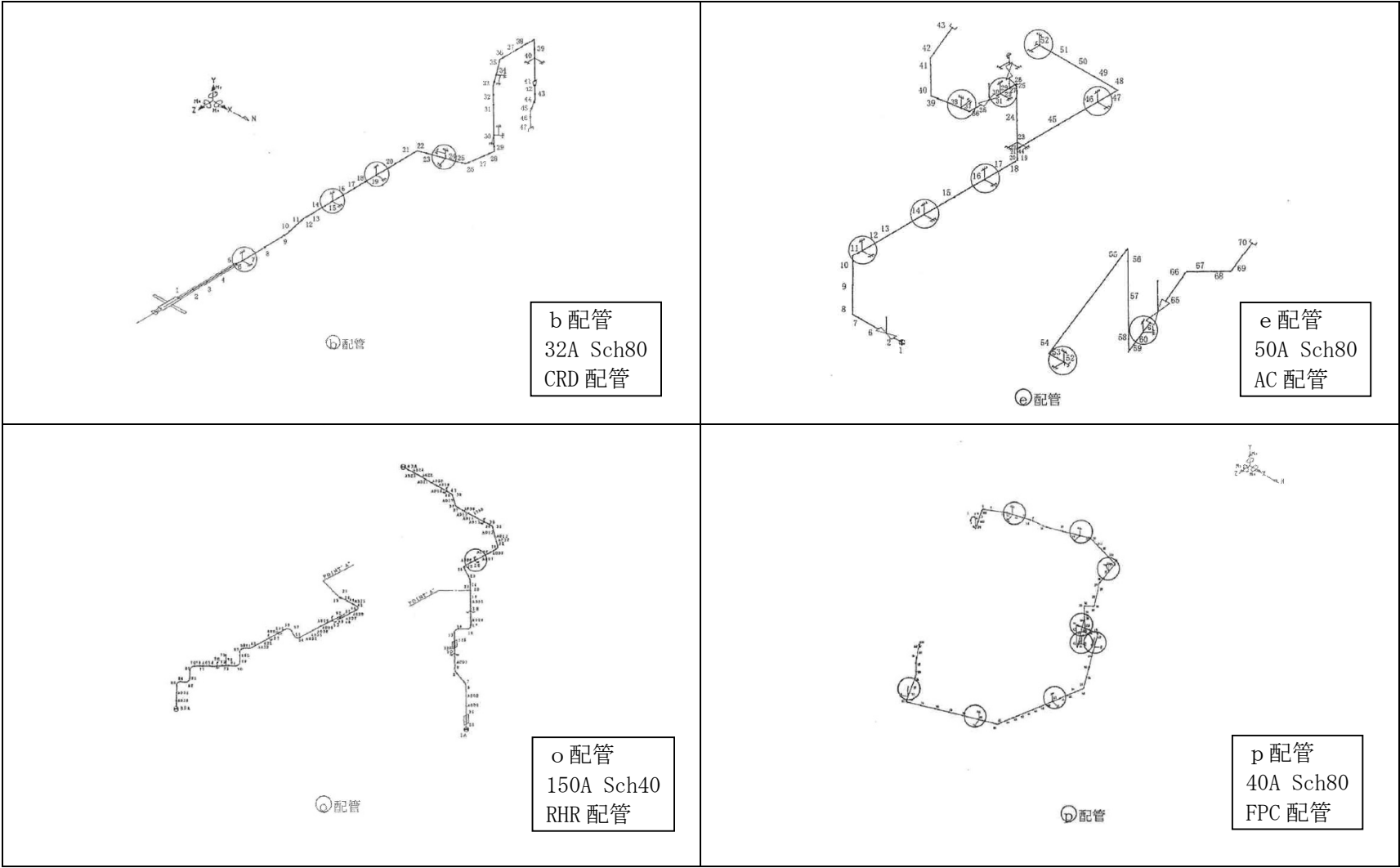
【解析を行った配管仕様】

- ・口径：20A～400A
- ・材質：ステンレス鋼，炭素鋼

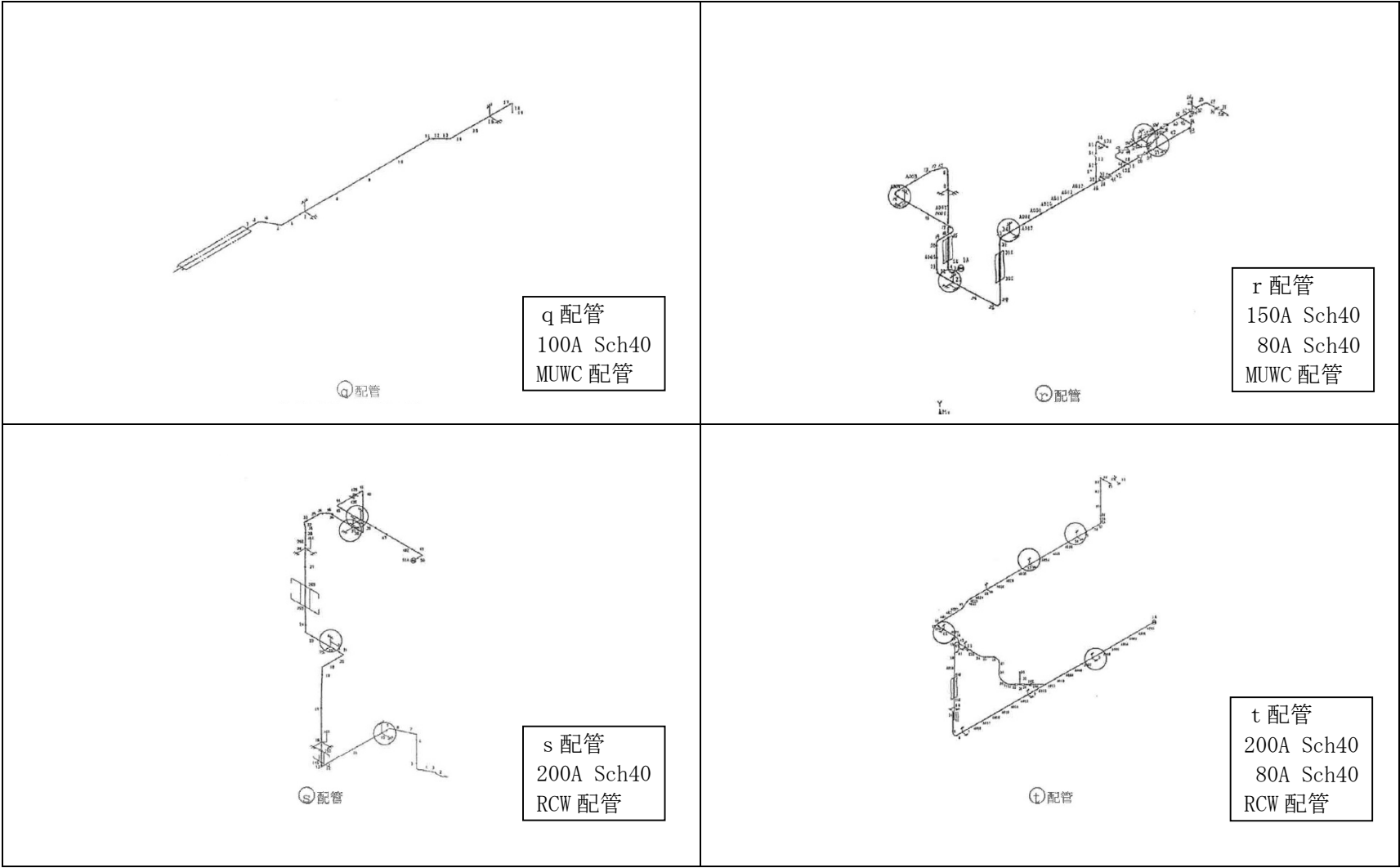
上記のうちBWR実機配管

	系統	口径
b 配管	CRD	32A
e 配管	AC	50A
o 配管	RHR	150A
p 配管	FPC	40A
q 配管	MUWC	100A
r 配管	MUWC	150A，80A
s 配管	RCW	200A
t 配管	RCW	200A，80A
u 配管	CRD	32A

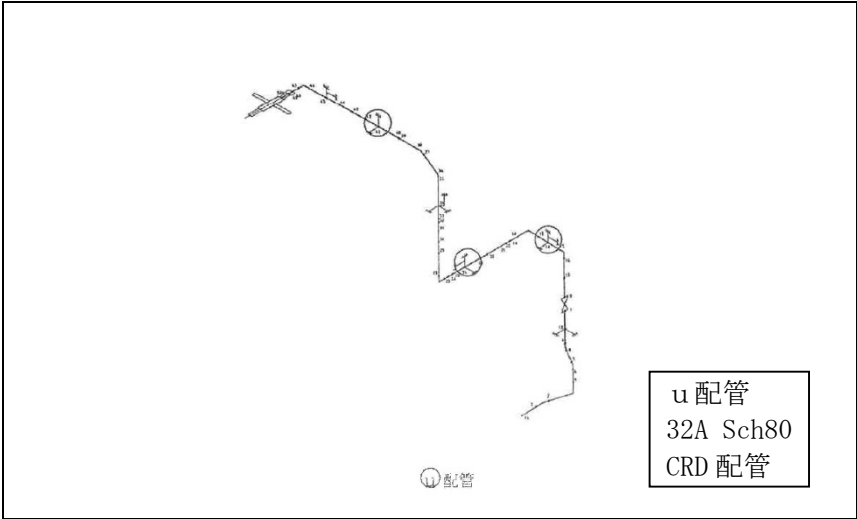
実機配管系の解析モデル図（b・e・o・p配管）



実機配管系の解析モデル図 (q・r・s・t配管)



実機配管系の解析モデル図（u 配管）



試験体を使用した振動試験から得られた、配管系の保温材による付加減衰定数に基づき、設計用減衰定数の検討を行った。

1. 試験体

3種類の配管口径

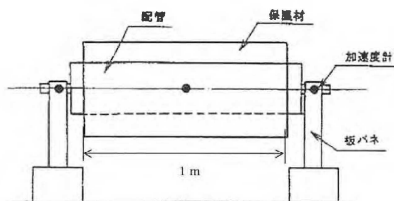
- ① 8B (200A)
- ② 12B (300A)
- ③ 20B (500A)

の試験体を用いて振動試験を実施



2. 振動試験

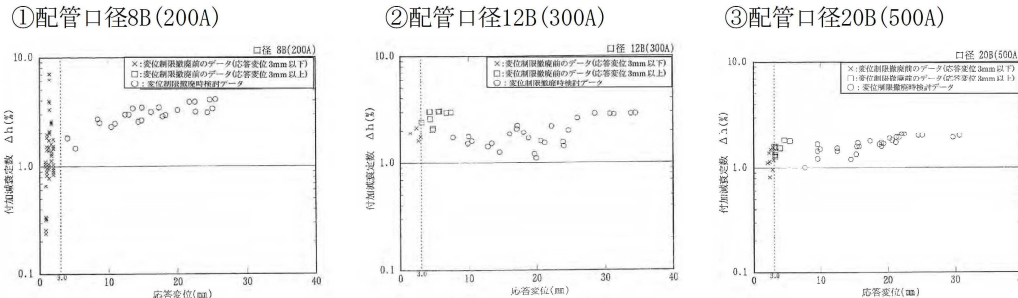
振動試験は保温材有りの場合／
保温材無しの場合について実施
(保温材厚さ75mm)



試験装置の概略図

3. 試驗結果

保温材有・無の結果を比較し、保温材が有る場合に付加できる減衰定数(以下、付加減衰定数という。)と変位との関係を示す。



4. 設計用減衰定数の設定

【試験結果 (8B, 12B, 20B)】

- 応答変位3mm以上の領域
保温材による付加減衰定数は1.0%以上、応答変位の増大に伴い漸増または一定の値を示す傾向
- 応答変位3mm以下の領域（小応答領域）
減衰データにばらつきあり、付加減衰定数1%以下の場合もある



【設計用減衰定数の設定】

小応答変位領域については、配管強度上問題とならないことから、保温材による付加減衰定数は1.0%とする。

※ただし、本試験において金属保温材が施工されている配管長さは配管全長に対し40%を超える割合であったことから、下記の適用条件を設定した。

- ①金属保温材が施工されている配管長さが配管全長に対して40%以下の場合・・・1.0%を付加する
②　　　　　　　　　　　〃　　　　　　　　　　　40%を超える場合・・・0.5%を付加する

添付資料 4

水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根（SRSS）法による組み合わせ

1. 概要

今回工認の耐震設計では、これまで静的な取扱いのみであった鉛直方向の地震力について、動的な地震力を考慮することとなるとともに、水平方向及び鉛直方向の動的な地震力による荷重を適切に組み合わせることが必要となる。

従来の水平方向及び鉛直方向の荷重の組み合わせは、静的な地震力による鉛直方向の荷重には地震継続時間や最大加速度の生起時刻のような時間の概念がなかったことから、水平方向及び鉛直方向の地震力による荷重の最大値同士の絶対値の和としていた。（以下、「絶対値和法」という。）

一方、水平方向及び鉛直方向の両者がともに動的な地震力である場合、両者の最大加速度の生起時刻に差があるという実挙動を踏まえると、従来と同じように絶対値和法を用いるのではなく、時間的な概念を取り入れた荷重の組み合わせ法を検討する必要がある。

本資料では、水平方向及び鉛直方向の動的地震力の組み合わせに関する既往研究⁽¹⁾をもとに、二乗和平方根法（以下、「SRSS 法（Square Root of the Sum of the Squares）」という。）による組み合わせ法の妥当性について説明するものである。

なお、SRSS 法による組み合わせは、大間 1 号炉の建設工認において適用実績のある手法である。

2. 柏崎刈羽原子力発電所で用いる荷重の組み合わせ法

柏崎刈羽原子力発電所では、静的な地震力による荷重の組合せについては、従来どおり絶対値和法を用いて評価を行う。また、動的な地震力による荷重の組合せについては、既往知見に基づき、SRSS 法を用いて評価を行うことも可能である。

3. 水平方向及び鉛直方向の地震力による荷重の組み合わせ法に関する研究の成果

3.1 荷重の組み合わせ法の概要

絶対値和法と SRSS 法の概要を以下に示す。

(1) 絶対値和法

本手法は、水平方向及び鉛直方向の地震力による最大荷重（又は応力）※を絶対値和で組み合わせる方法である

この方法は、水平方向及び鉛直方向の地震力による最大荷重が同時刻に同位相で生じることを仮定しており、組合せ法の中で最も大きな荷重を与える。本手法は、主に地震力について時間の概念がない静的地震力による荷重の組合せに使用する。

$$\text{組合せ荷重（又は応力）} = |M_H|_{\max} + |M_V|_{\max}$$

M_H ：水平方向地震力による荷重（又は応力）

M_V ：鉛直方向地震力による荷重（又は応力）

(2) SRSS 法

本手法は、水平方向及び鉛直方向の地震力による最大荷重（又は応力）※を二乗和平方根で組み合わせる方法である。

この方法は、水平方向及び鉛直方向の地震力による最大荷重の生起時刻に時間的なずれがあるという実挙動を考慮しており、水平方向及び鉛直方向地震動の同時入力による時刻歴応答解析結果との比較において平均的な荷重を与える。本手法は、動的な地震力による荷重同士の組合せに使用する。

$$\text{組合せ荷重(又は応力)} = \sqrt{(M_H)_{\max}^2 + (M_V)_{\max}^2}$$

M_H ：水平方向地震力による荷重（又は応力）

M_V ：鉛直方向地震力による荷重（又は応力）

※：荷重の段階で組み合わせる場合と、荷重により発生した応力の段階で組み合わせる場合がある。（次頁の「補足」参照）

応力で組み合わせる場合は、妥当性を確認した上で適用する。

(補足) 荷重または応力による組み合わせについて

水平方向及び鉛直方向の動的地震力を SRSS で組み合わせる際、評価対象の機器の形状や部位に応じて荷重の段階で組み合わせる場合と、荷重により発生した応力の段階で組み合わせる場合がある。ここでは、その使い分けについて具体例を用いて説明する。

A. 荷重の段階で組み合わせを行う場合

横形ポンプの基礎ボルトの引張応力の評価を例とすると、以下の式で示すように水平方向地震力と鉛直方向地震力の組み合わせは、荷重である水平方向地震力によるモーメント ($m \cdot g \cdot C_H \cdot h$) と鉛直方向地震力によるモーメント ($m \cdot g \cdot C_V \cdot l_1$) を組み合わせる。

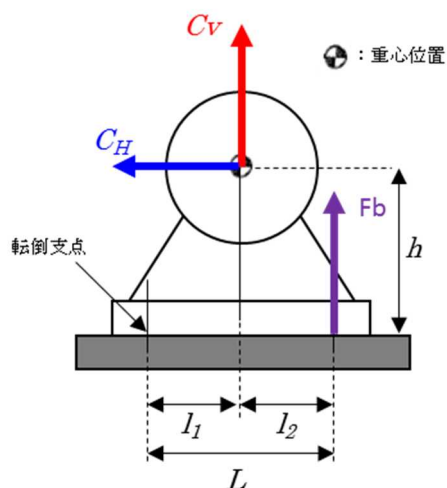
本手法については、非同時性を考慮する地震荷重についてのみ SRSS しており、実績のある妥当な手法である。

【絶対和】

$$F_b = \frac{1}{L} \{ mg[C_H h + C_V l_1] + mgC_p(h + l_1) + M_p - mgl_1 \} \quad \cdots \text{(式 A-1)}$$

【SRSS 法】

$$F_b = \frac{1}{L} \{ mg\sqrt{(C_H h)^2 + (C_V l_1)^2} + mgC_p(h + l_1) + M_p - mgl_1 \} \quad \cdots \text{(式 A-2)}$$



F_b : 基礎ボルトに生じる引張力
 C_H : 水平方向震度
 C_V : 鉛直方向震度
 C_P : ポンプ振動による震度
 g : 重力加速度
 h : 据付面から重心までの距離
 l_1, l_2 : 重心と基礎ボルト間の水平方向距離
 L : 支点としている基礎ボルトより最大引張応力がかかる基礎ボルトまでの距離
 m : 機器の運転時質量

図 A 横形ポンプに作用する震度

B. 応力による組み合わせを行う場合

横置円筒形容器の脚の組合せ応力の評価を例とすると、脚には、水平方向地震力による曲げモーメント M_{l1} 及び鉛直方向荷重 P_l 、鉛直方向地震力による鉛直荷重 $(R_1+m_{s1}g) C_v$ が作用する。(図 B-1)

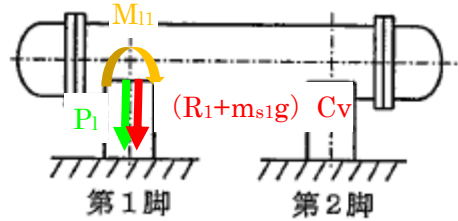


図 B-1 横置円筒容器の脚部に作用する荷重

水平地震力による圧縮応力 σ_{s2} 及び鉛直方向地震力による圧縮応力 σ_{s4} は式 B-1、式 B-2 で表され、脚の組合せ応力の評価の際はこれらの応力を SRSS 法により組み合わせて式 B-4 を用いて評価を行う。

$$\sigma_{s2} = \frac{M_{l1}}{Z_{sy}} + \frac{P_l}{A_s} \quad \dots \text{(式 B-1)}$$

σ_{s2} : 水平方向地震力により脚に生じる曲げ及び
圧縮応力の和
 M_{l1} : 水平方向地震力により脚底面に作用曲げモーメント
 P_l : 水平方向地震力により胴の脚つけ根部に作用する
鉛直方向荷重
 Z_{sy} : 脚の断面係数
 A_s : 脚の断面積

$$\sigma_{s4} = \frac{R_1 + m_{s1}g}{A_s} C_v \quad \dots \text{(式 B-2)}$$

σ_{s4} : 鉛直方向地震力により脚に生じる圧縮応力
 R_1 : 脚が受ける自重による荷重
 m_{s1} : 脚の質量

【絶対和】

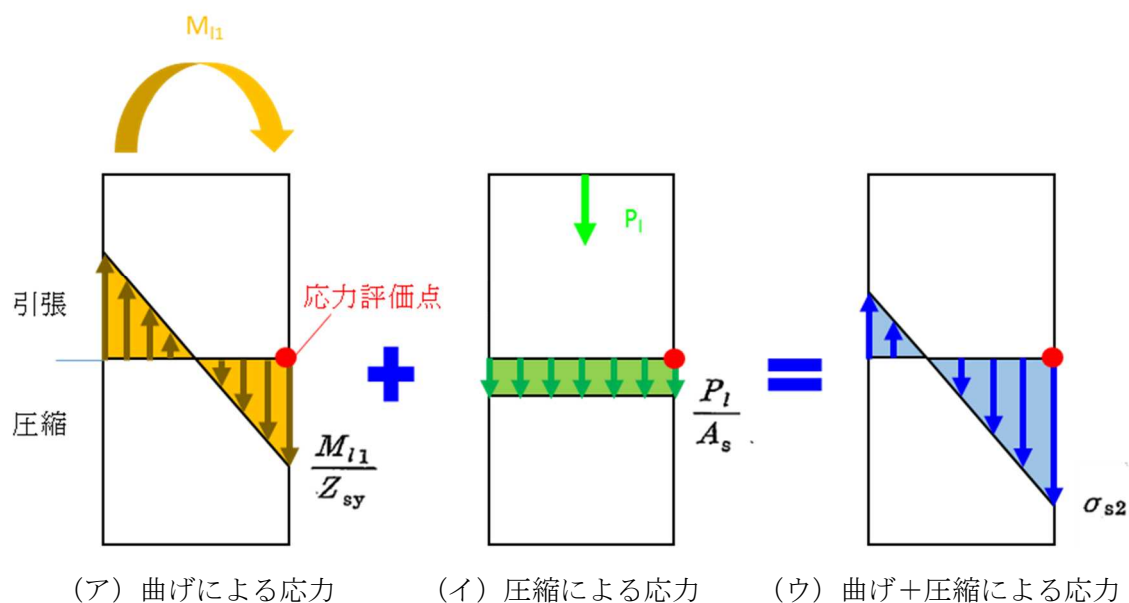
$$\sigma_{sl} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s4})^2 + 3\tau_{s2}^2} \quad \dots \text{(式 B-3)}$$

【SRSS 法】

$$\sigma_{sl} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s2}^2 + \sigma_{s4}^2})^2 + 3\tau_{s2}^2} \quad \dots \text{(式 B-4)}$$

σ_s : 水平方向地震力および鉛直方向地震力が作用した
場合の脚の組合せ応力
 σ_{s1} : 運転時質量により脚に生じる圧縮応力
 τ_{s2} : 水平方向地震力により脚に生じるせん断応力

ここで、水平地震力による圧縮応力 σ_{s2} 及び鉛直方向地震力による圧縮応力 σ_{s4} は図 B-2 に示すように、ともに脚の外表面の圧縮応力を表すものであり、脚の同一評価点、同一応力成分であることから、これらの組み合わせを SRSS 法により行うことは妥当である。



(a) 水平地震力による応力評価点の圧縮応力

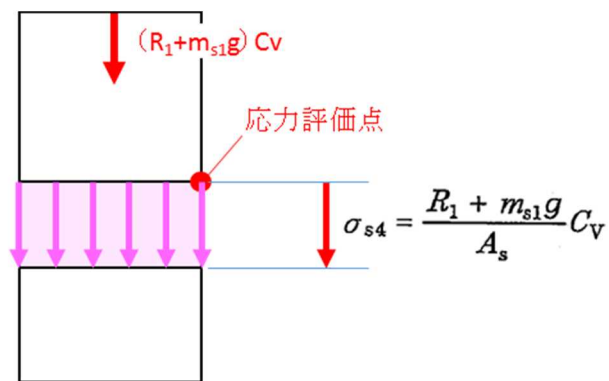


図 B-2 横置円筒容器の脚部に作用する地震力による応力概念図

3.2 SRSS 法の妥当性

既往研究では、実機配管系に対して、水平及び鉛直地震動による最大荷重を SRSS 法により組み合わせた場合と水平及び鉛直地震動の同時入力による時刻歴応答解析法により組み合わせた場合との比較検討を以下の通り行っている。

(1) 解析対象配管系モデル

解析対象とした配管は、代表プラントにおける格納容器内の配管系で給水系 (FDW) ×2 本、残留熱除去系 (RHR) 及び主蒸気系 (MS) の計 4 本の配管モデルである。当該配管系は、耐震 S クラスに分類されるものである。

(2) 入力地震動

解析に用いた入力地震動は、地震動の違いによる影響を確認するため、兵庫県南部地震 (松村組観測波)、人工波及びエルセントロ波の 3 波を用いた。機器・配管系への入力地震動となる原子炉建屋中間階の応答波の例を図 1-1～図 1-3 に示す。

(3) 解析結果

解析結果を図 2-1～図 2-4 に示す。図 2-1～図 2-4 は、水平方向及び鉛直方向の応力に対して、同時入力による時刻歴応答解析法及び SRSS 法により組み合わせた結果をまとめたものであり、参考までに絶対値和法による結果も併記した。

図 2-1～図 2-4 より、いずれの配管系においても最大応力発生点においては、時刻歴応答解析法に対して SRSS 法の方が約 1.1 倍から約 1.4 倍の比率で上回る結果となった。最大応力発生点における SRSS 法と同時入力による時刻歴応答解析法との評価結果の比較を表 1 に示す。また、最大応力発生点の部位を図 3-1～図 3-4 に示す。

さらに、配管系全体の傾向を確認するため、配管系の主要な部位における発生応力の比較を図 4 に示す。図 4 は、図 2-1～図 2-4 に基づき、各配管モデルの節点の応力値をプロットしたものである。図 4 より、SRSS 法は発生応力の低い領域では同時入力による時刻歴応答解析法に対して平均的な結果を与え、発生応力の増加に伴い保守的な結果を与える傾向にあることが確認できる。

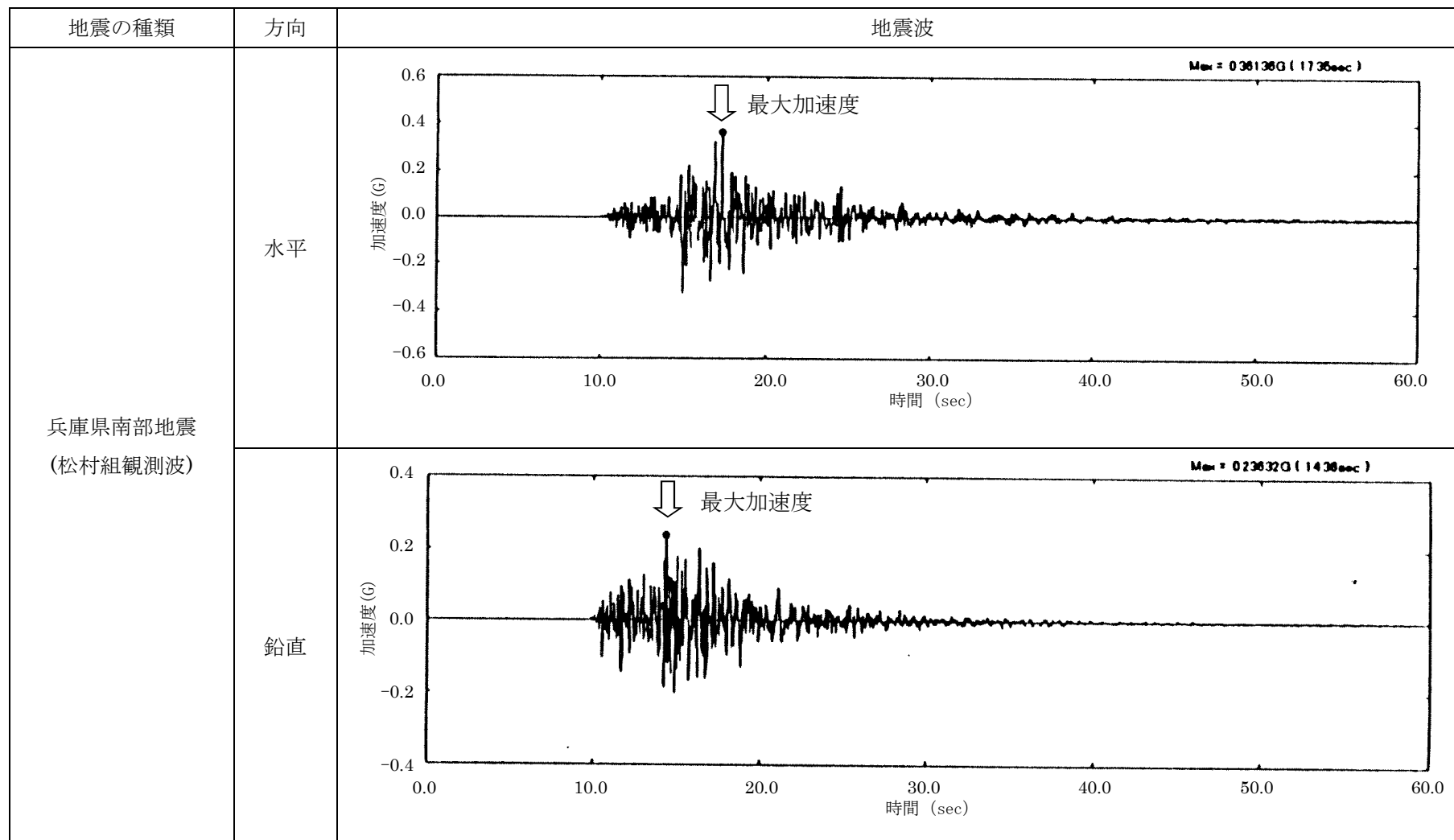


図 1-1 機器・配管系への入力地震動（兵庫県南部地震）

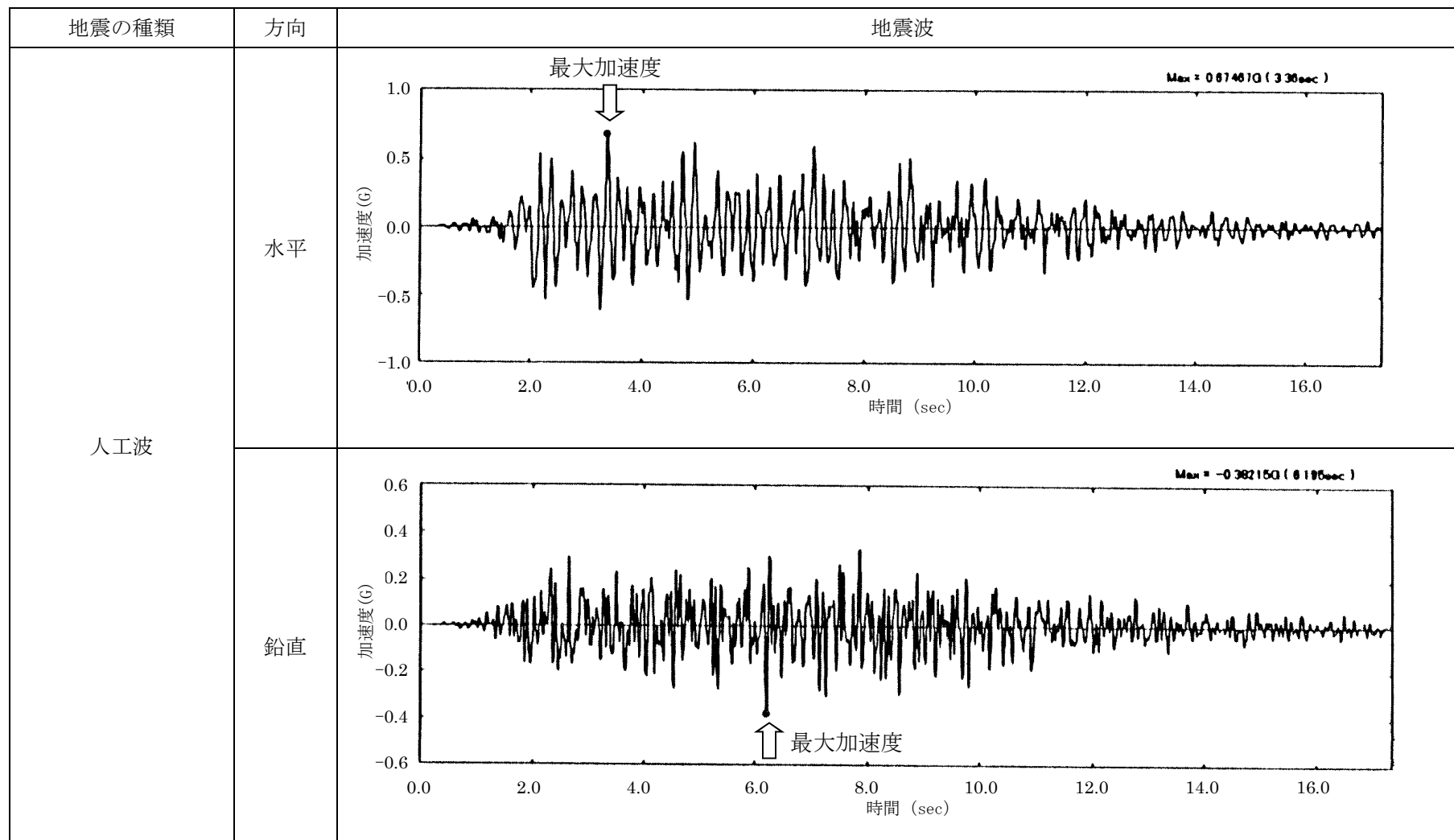


図 1-2 機器・配管系への入力地震動（人工波）

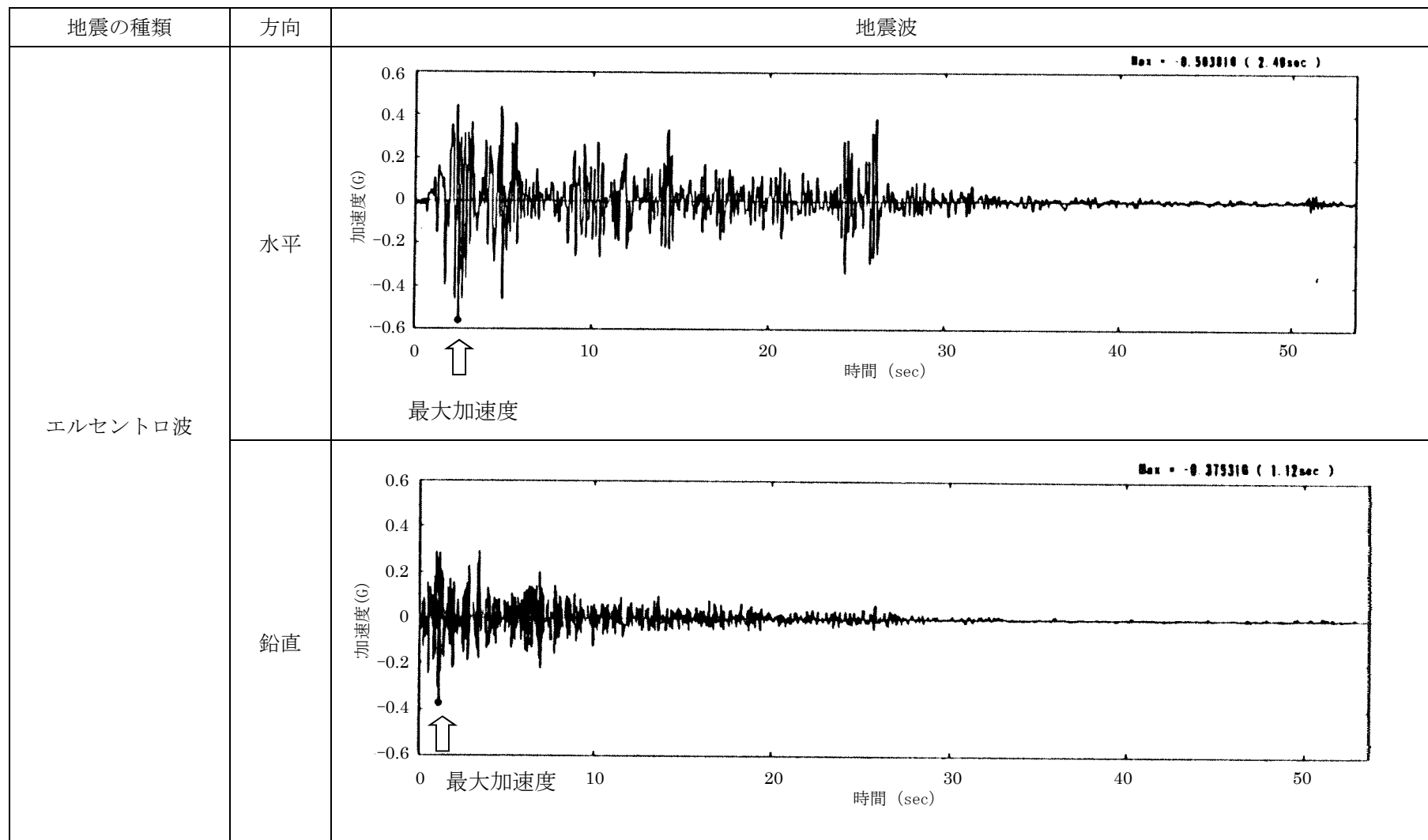
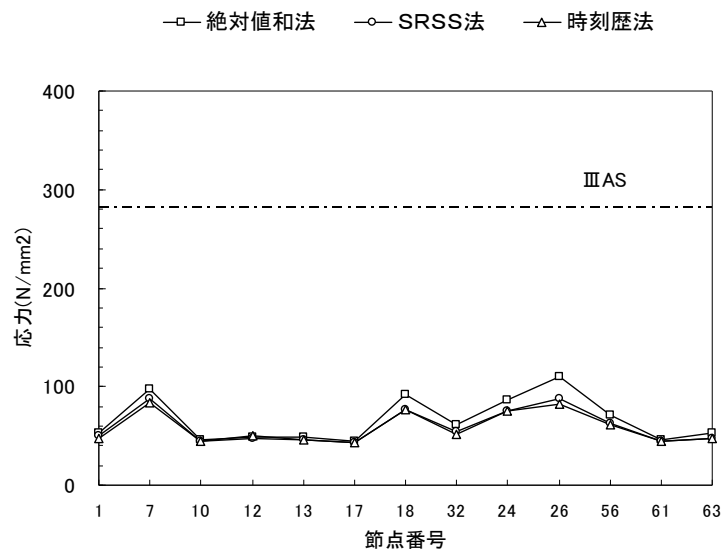
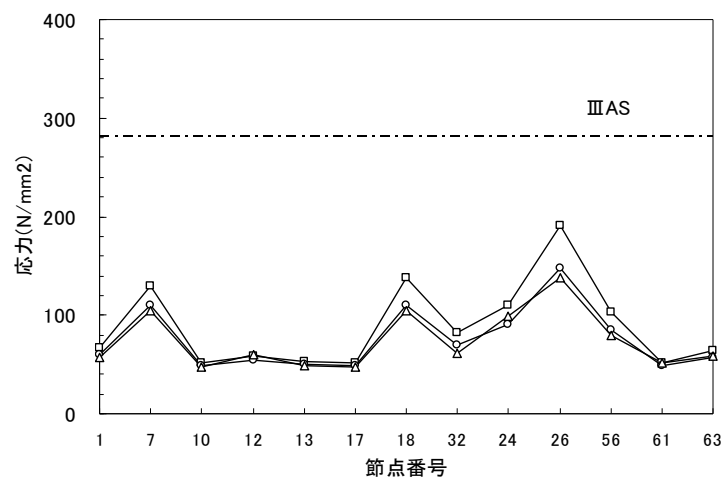


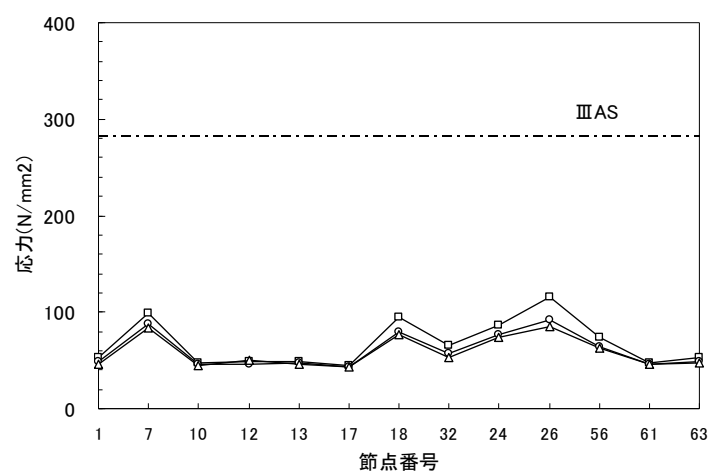
図 1-3 機器・配管系への入力地震動（エルセントロ波）



兵庫県南部地震（松村組観測波）

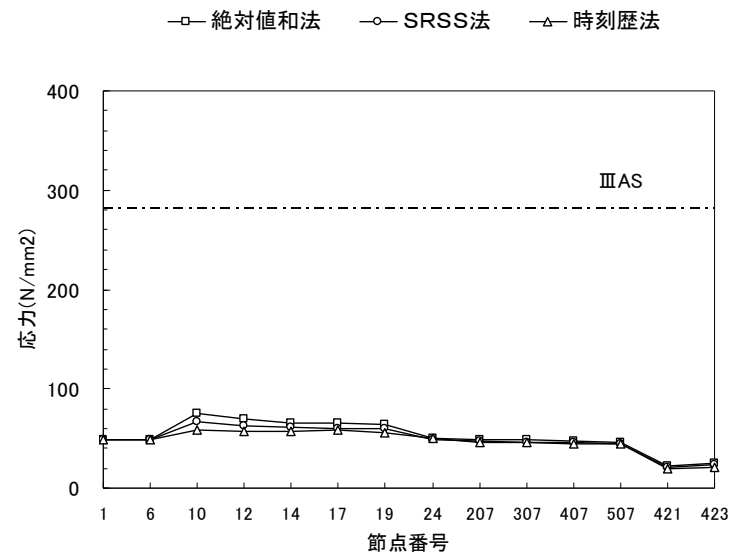


人工波

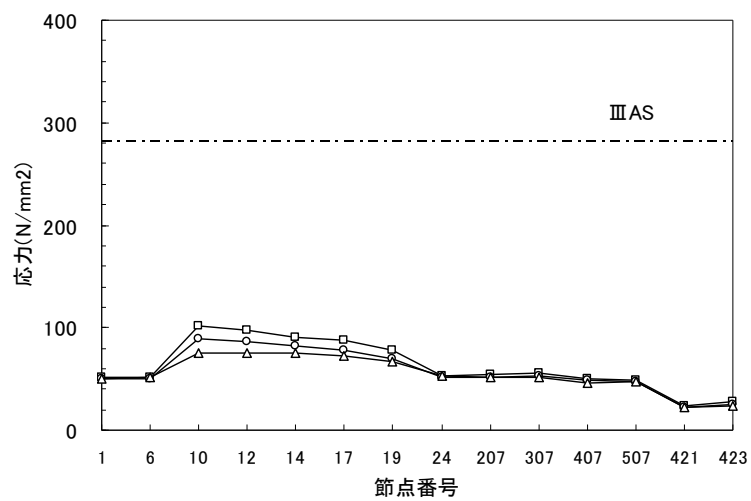


エルセントロ波

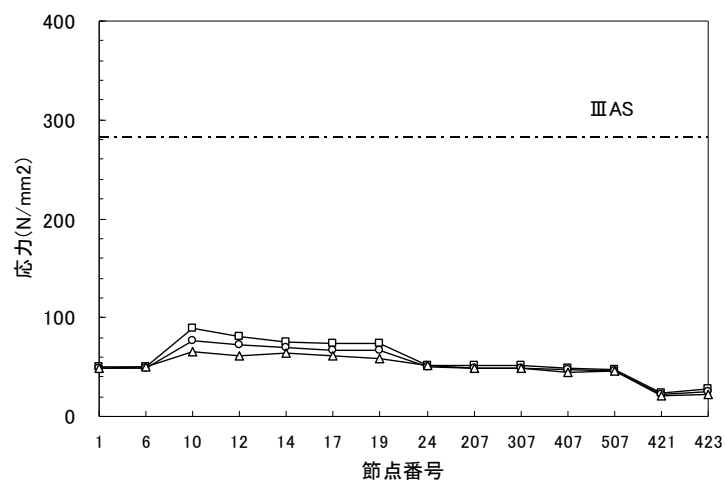
図 2-1 主要な部位における発生応力 (FDW-001 A プラント)



兵庫県南部地震（松村組観測波）

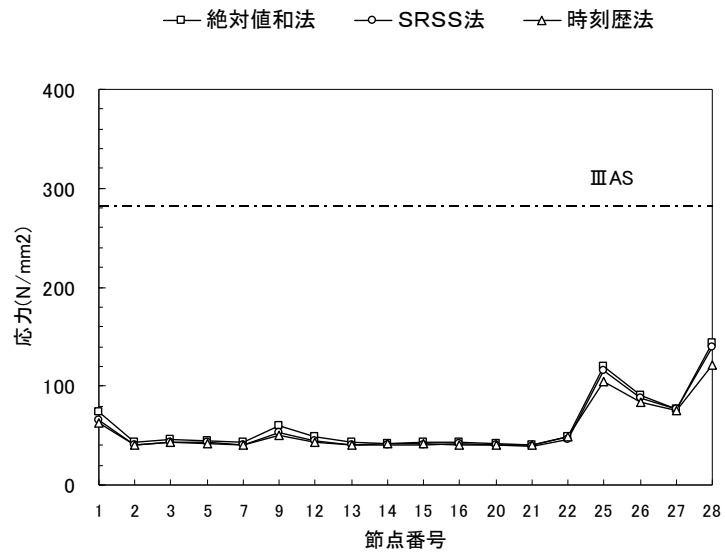


人工波

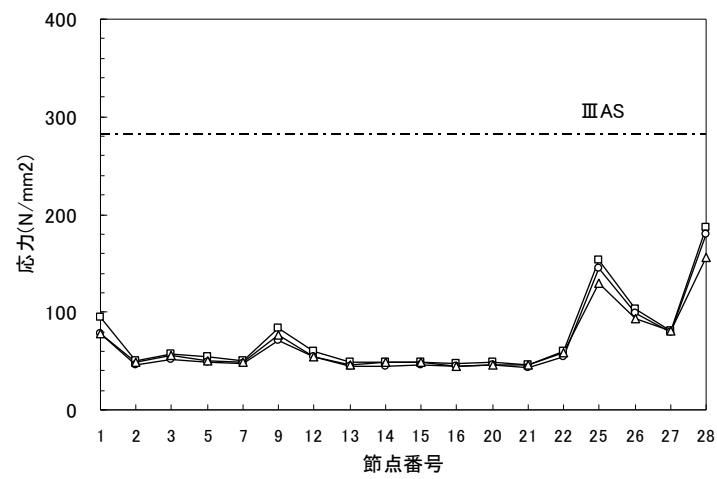


エルセントロ波

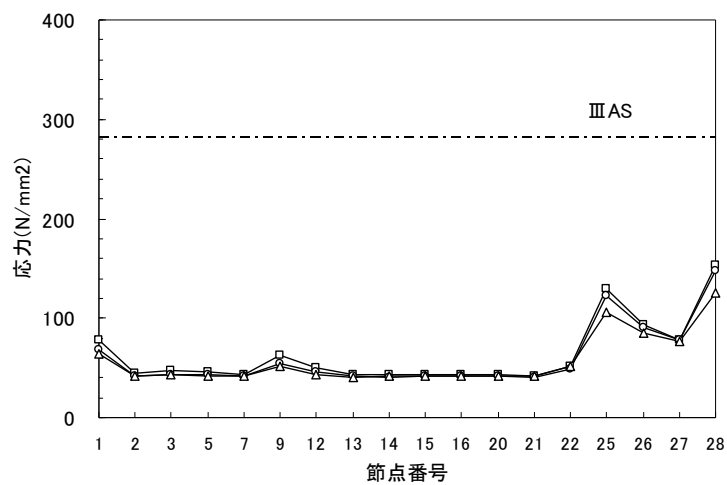
図 2-2 主要な部位における発生応力 (MS-001 A プラント)



兵庫県南部地震（松村組観測波）

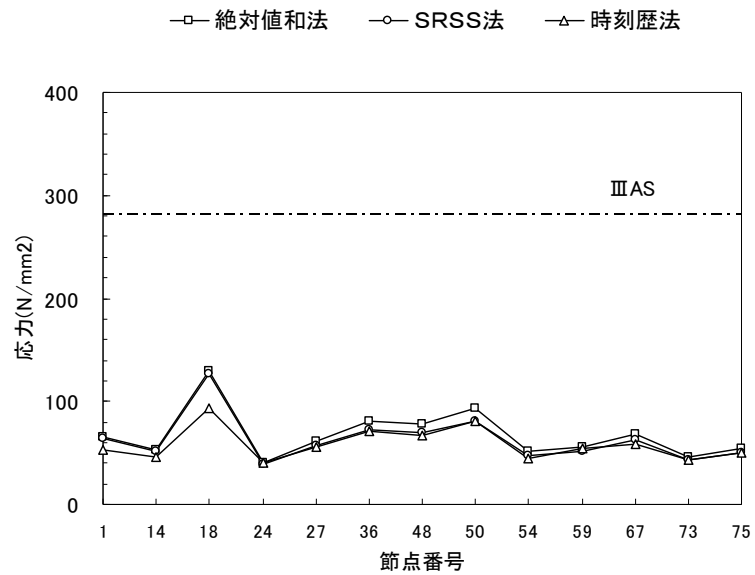


人工波

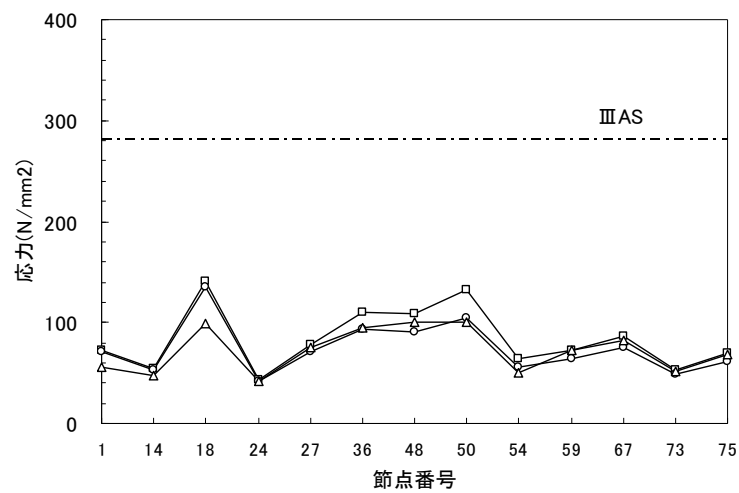


エルセントロ波

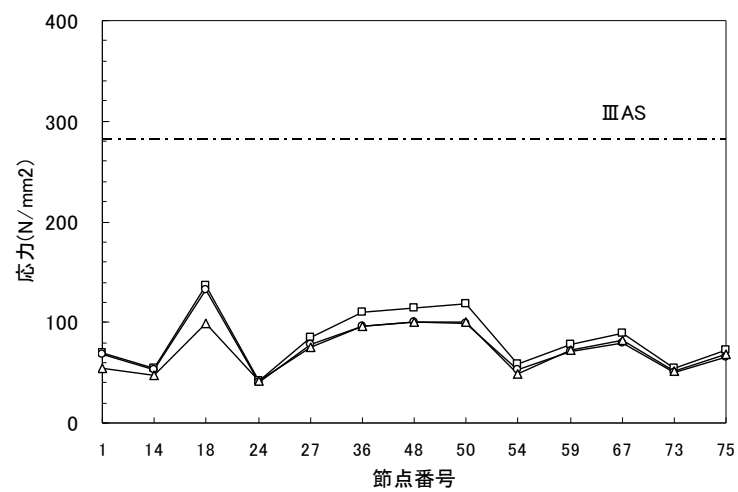
図 2-3 主要な部位における発生応力（RHR-001 A プラント）



兵庫県南部地震 (松村組観測波)



人工波



エルセントロ波

図 2-4 主要な部位における発生応力 (FDW-001 B プラント)

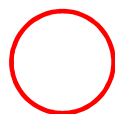
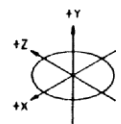
表 1 SRSS 法と同時入力による時刻歴応答解析法との比較（最大応力発生点）

解析対象配管	入力地震波	最大応力発生点	SRSS/同時入力
FDW-001 (A プラント)	松村組観測波	分岐部(節点 No26)	1.08
	人工波	分岐部(節点 No26)	1.08
	エルセントロ波	分岐部(節点 No26)	1.08
MS-001 (A プラント)	松村組観測波	分岐部(節点 No10)	1.15
	人工波	分岐部(節点 No10)	1.20
	エルセントロ波	分岐部(節点 No10)	1.18
RHR-001 (A プラント)	松村組観測波	拘束点(節点 No28)	1.15
	人工波	拘束点(節点 No28)	1.15
	エルセントロ波	拘束点(節点 No28)	1.18
FDW-001 (B プラント)	松村組観測波	拘束点(節点 No18)	1.35
	人工波	拘束点(節点 No18)	1.37
	エルセントロ波	拘束点(節点 No18)	1.34

FDW：給水系配管

MS：主蒸気系配管

RHR：残留熱除去系配管



最大応力発生点

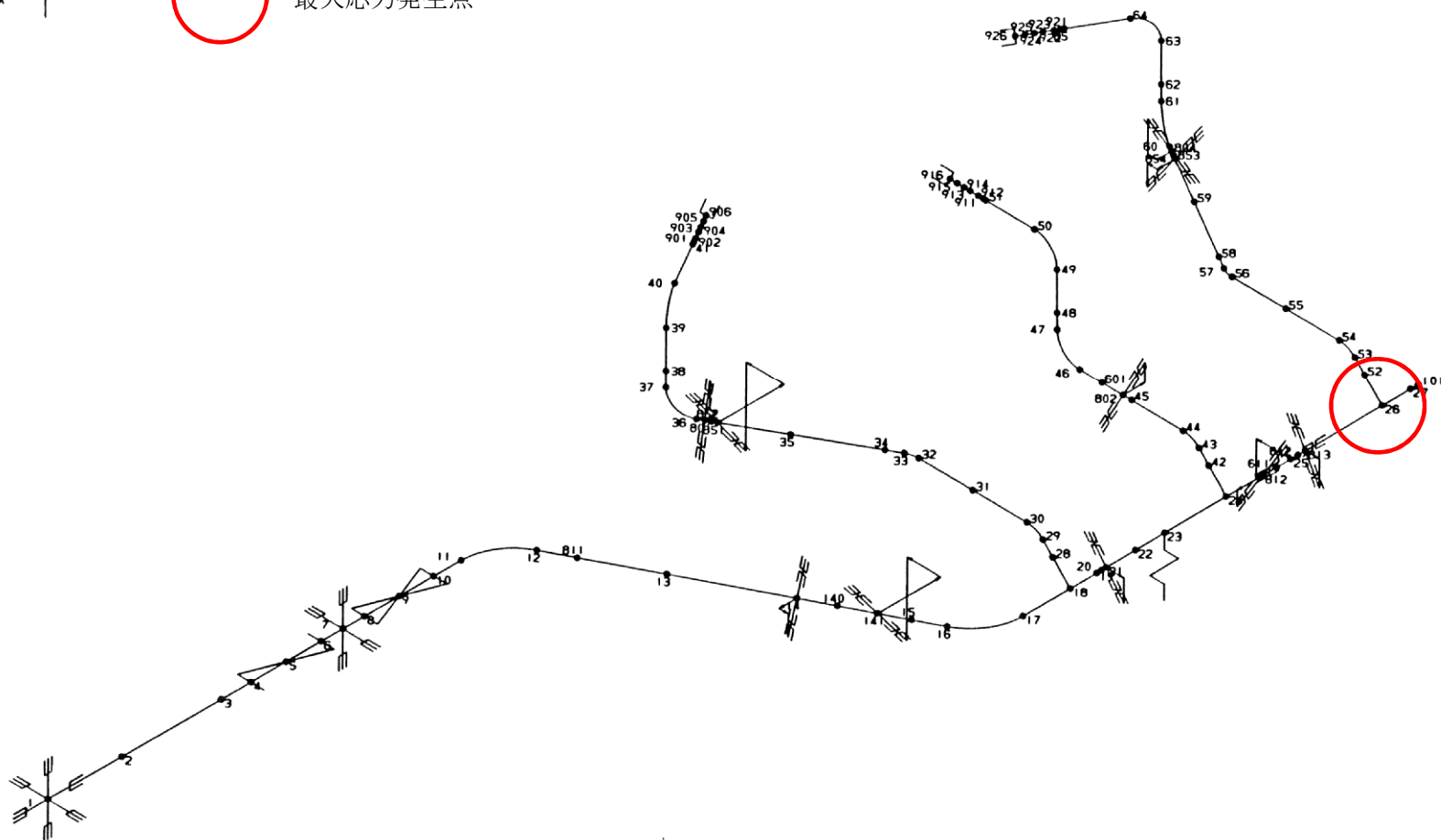


図 3-1 給水系配管 (FDW-001 A プラント)

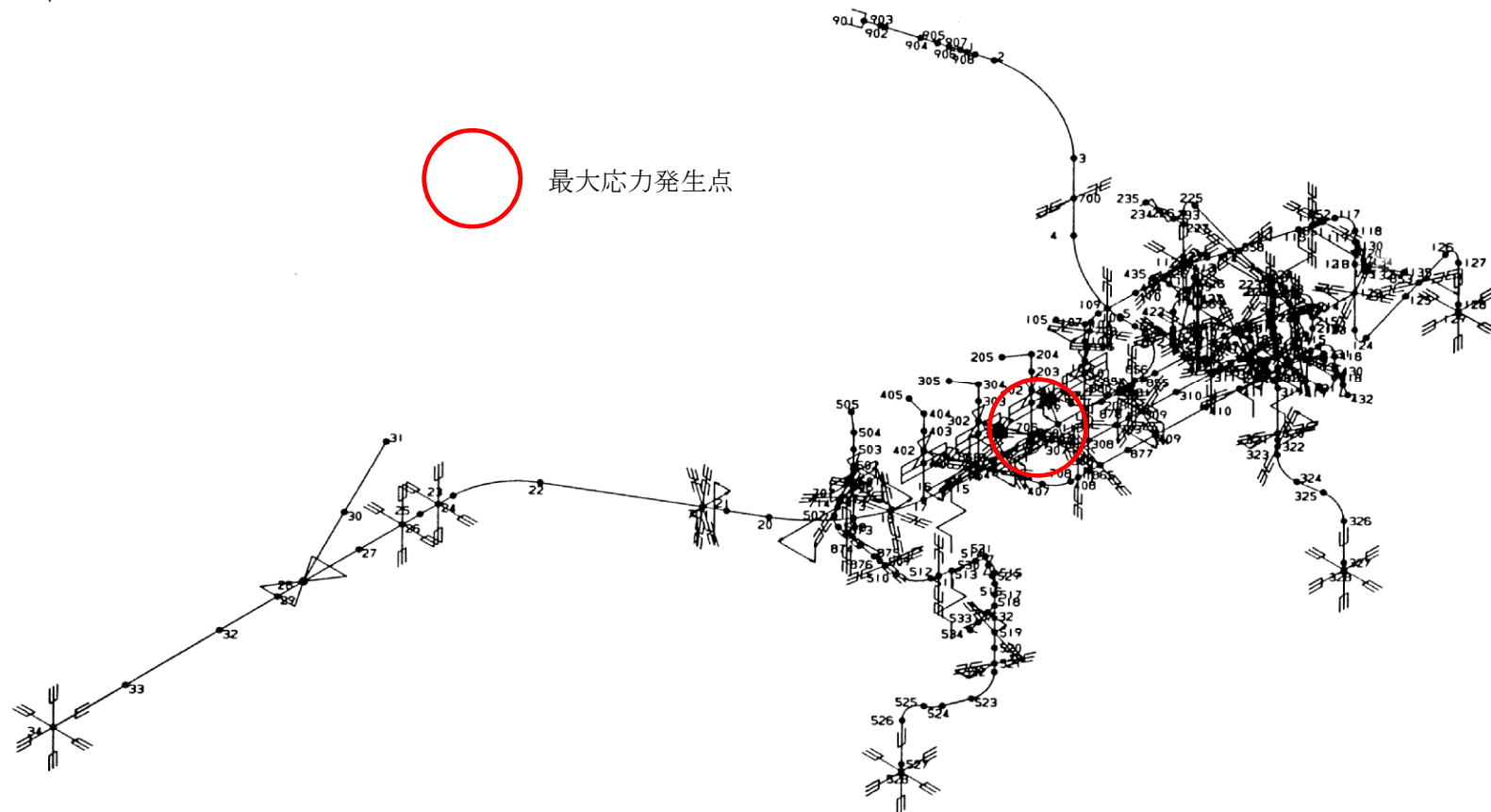
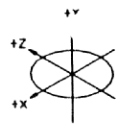


図 3-2 主蒸気系配管 (MS-001 A プラント)

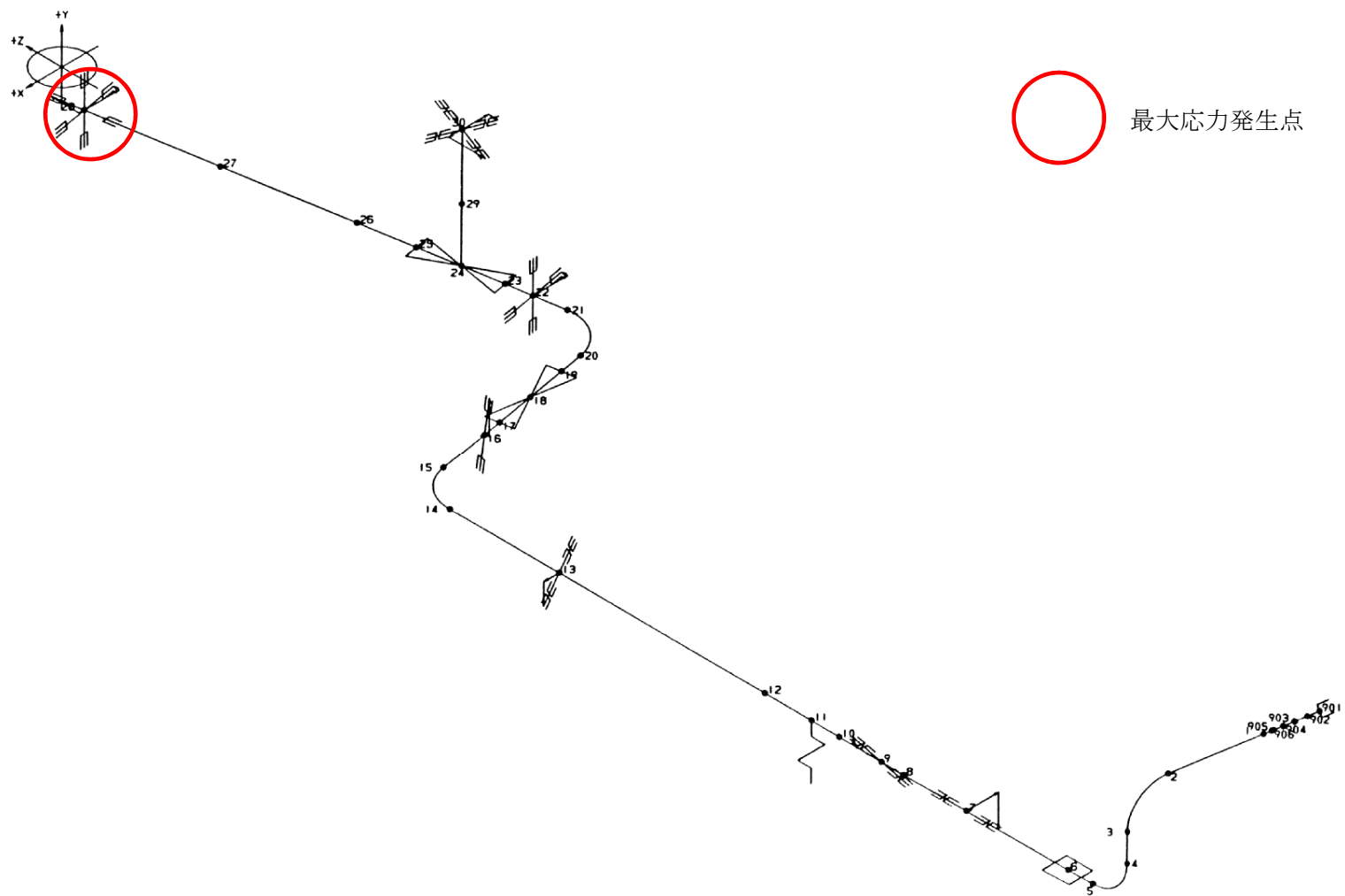


図 3-3 残留熱除去系配管 (RHR-001 A プラント)

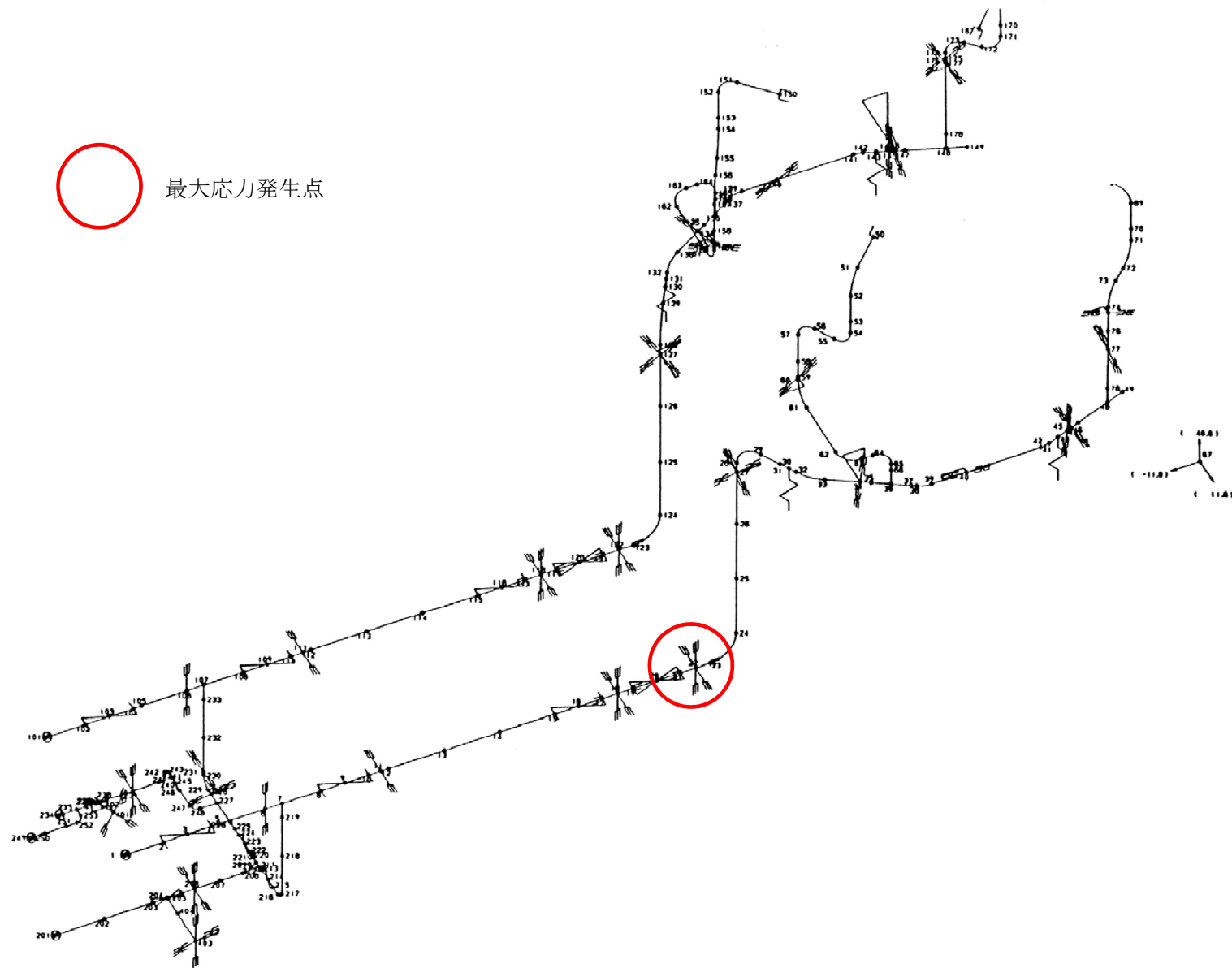
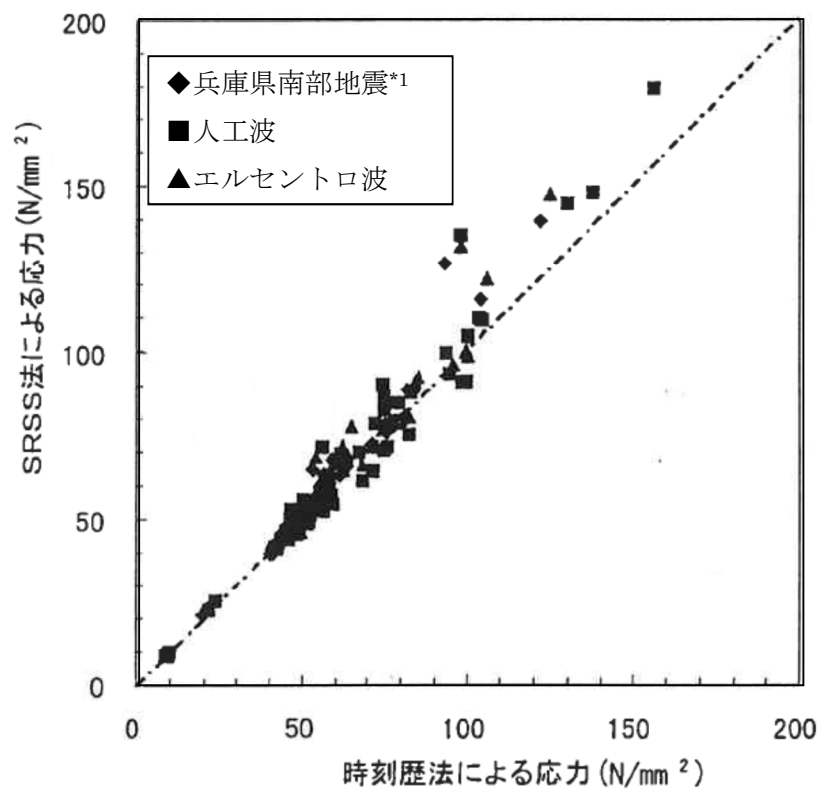


図 3-4 給水系配管 (FDW-001 Bプラント)



注記

* 1 : 松村組観測波

図 4 SRSS 法による応力と時刻歴応答解析法による応力の比較(主要部位)

4. 柏崎刈羽原子力発電所における水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差について

柏崎刈羽原子力発電所における水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差について、原子炉建屋を例に、柏崎刈羽原子力発電所の施設の耐震性評価において支配的な地震動である基準地震動 Ss-1, 2 に対する水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差を確認した。ここで、機器・配管系の耐震評価に用いる水平方向の設計用震度は、全ての地震動に対する南北方向と東西方向の最大応答加速度を包絡した値を用いることを踏まえ、水平方向の最大応答値の生起時刻については、Ss-1, 2 並びに南北方向及び東西方向を通じた最大応答加速度の生起時刻を用いた。

図 5 及び表 2 に示すように、水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻には約 6 秒～約 17 秒の差があり、柏崎刈羽原子力発電所においても水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻には差があることを確認した。

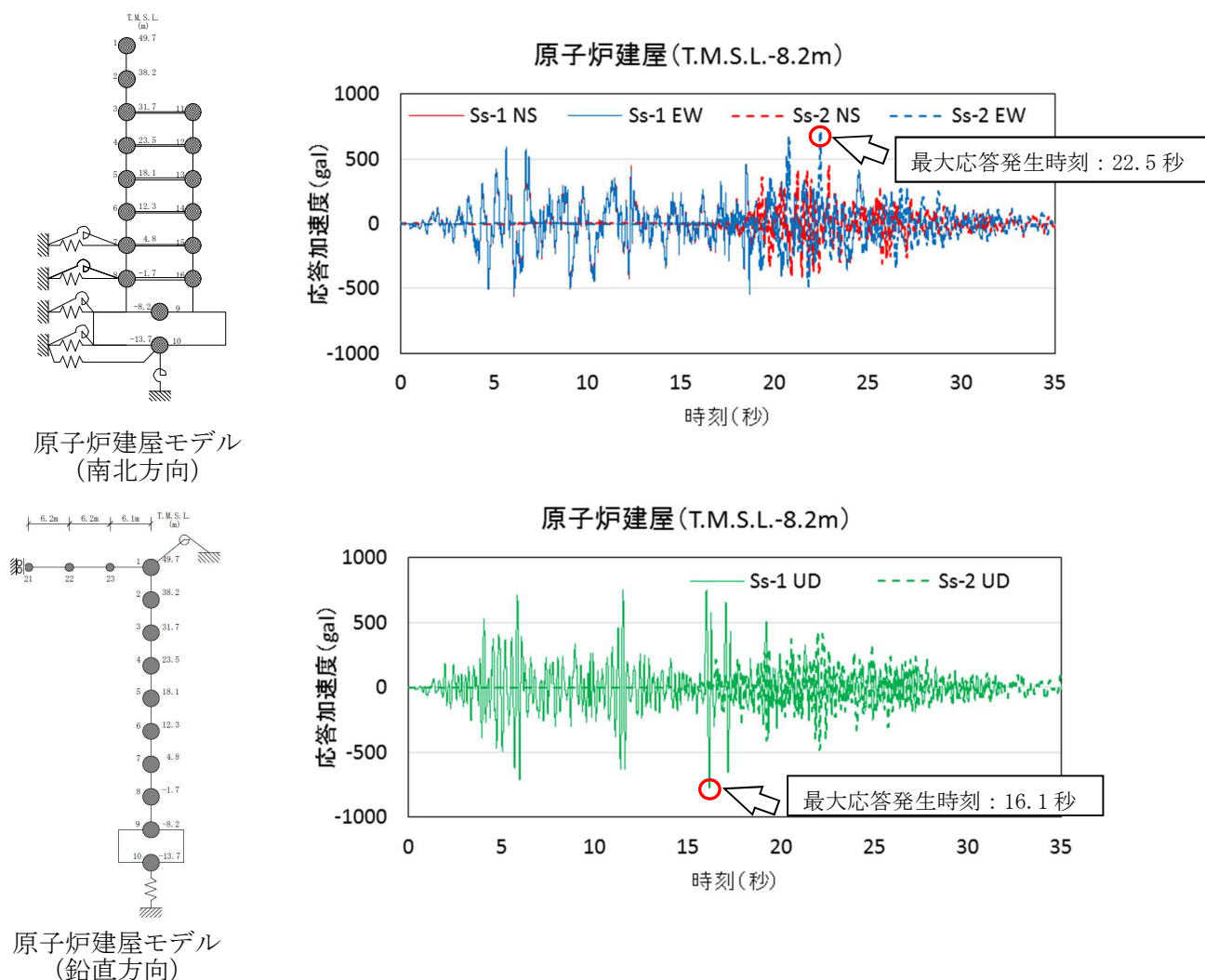


図 5 原子炉建屋の応答値 (T.M.S.L.-8.2m の例)

表 2 最大応答値の生起時刻の差

位 置 (m)	最大応答値の生起時刻 (秒)		生起時刻の差 (秒)
	水平方向	鉛直方向	
49.7	18.7	6.0	12.7
38.2	18.7	6.0	12.7
31.7	22.5	6.0	16.5
23.5	22.5	6.0	16.5
18.1	22.5	6.0	16.5
12.3	22.5	16.1	6.4
4.8	22.4	16.1	6.3
-1.7	22.4	16.1	6.3
-8.2	22.5	16.1	6.4
-13.7	22.5	16.1	6.4

5. まとめ

以上から、柏崎刈羽原子力発電所では、水平方向及び鉛直方向の動的な地震力の荷重の組み合わせ法として SRSS 法を用いることとする。

6. 参考文献

- (1) 電力共通研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究（ステップ2）」
(平成7年～平成10年)

7. 別紙

(参考) 新潟県中越沖地震による柏崎刈羽原子力発電所の水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差について

(参考) 新潟県中越沖地震による柏崎刈羽原子力発電所の水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差について

1. はじめに

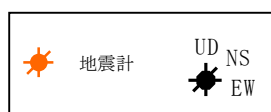
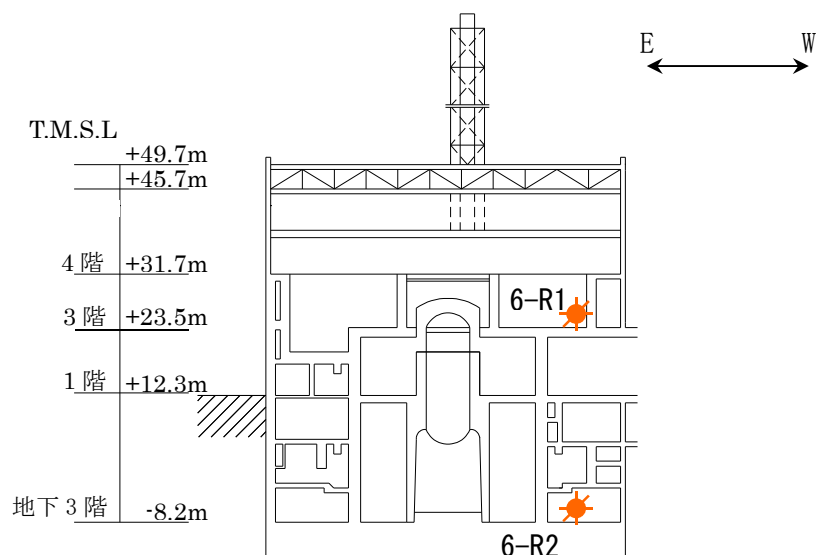
柏崎刈羽原子力発電所では、平成 19 年 7 月 16 日に新潟県中越沖地震による観測記録が得られている。本資料では、新潟県中越沖地震による柏崎刈羽原子力発電所の水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差について参考として確認する。

2. 確認結果

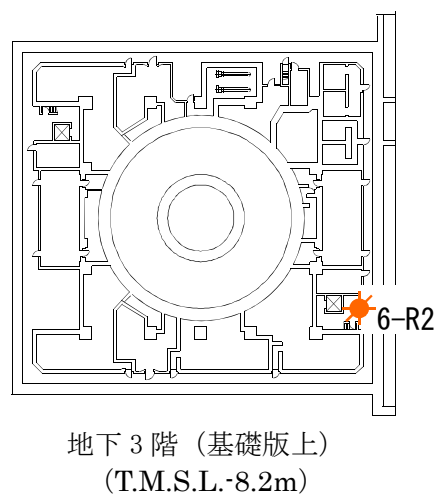
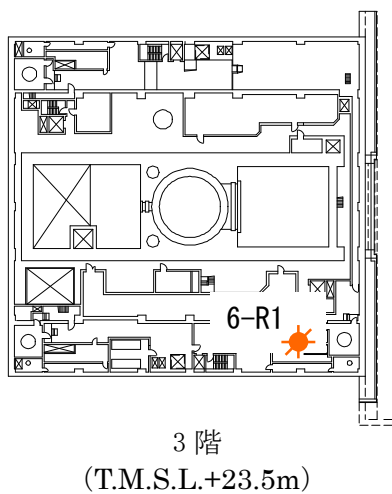
別紙表 1 に示すように、水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻には約 1 秒～約 4 秒の差があり、柏崎刈羽原子力発電所において観測された実地震についても、水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻には差があることを確認した。

別紙表 1 新潟県中越沖地震の観測記録における最大応答値の生起時刻の差

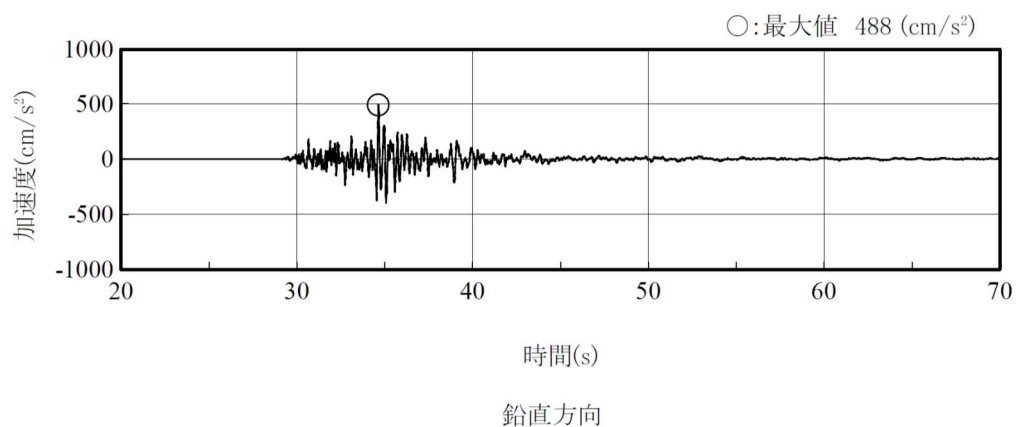
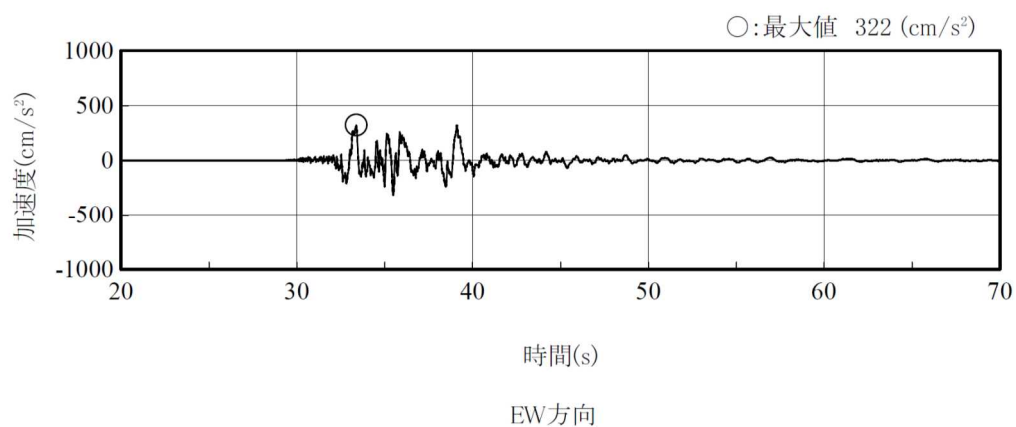
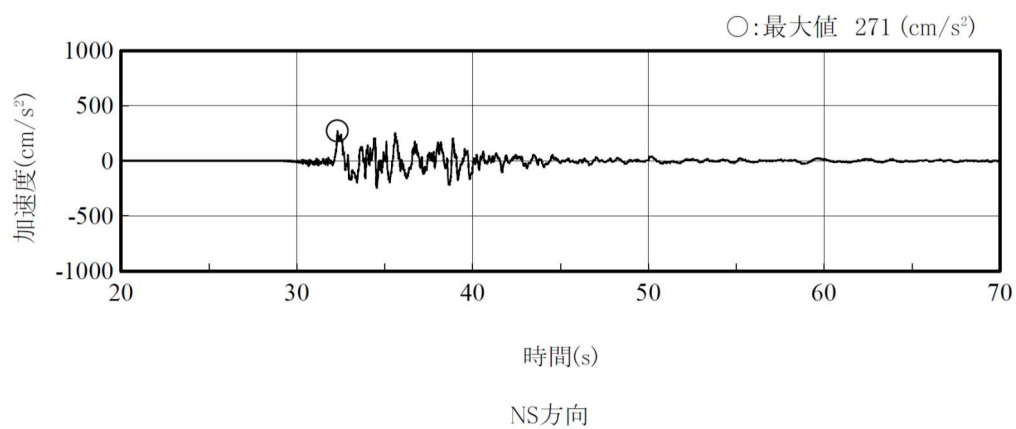
位 置 (m)	最大応答値の生起時刻 (秒)			生起時刻の差 (秒)	
	南北方向 (NS)	東西方向 (EW)	鉛直方向 (UD)	NS-UD	EW-UD
6 号炉 -8.2	32.3	33.4	34.6	2.3	1.2
7 号炉 -8.2	33.0	39.7	35.3	2.3	4.4



※T.M.S.L.とは、東京湾平均海面のことを指す。

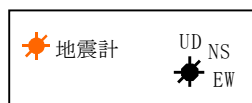
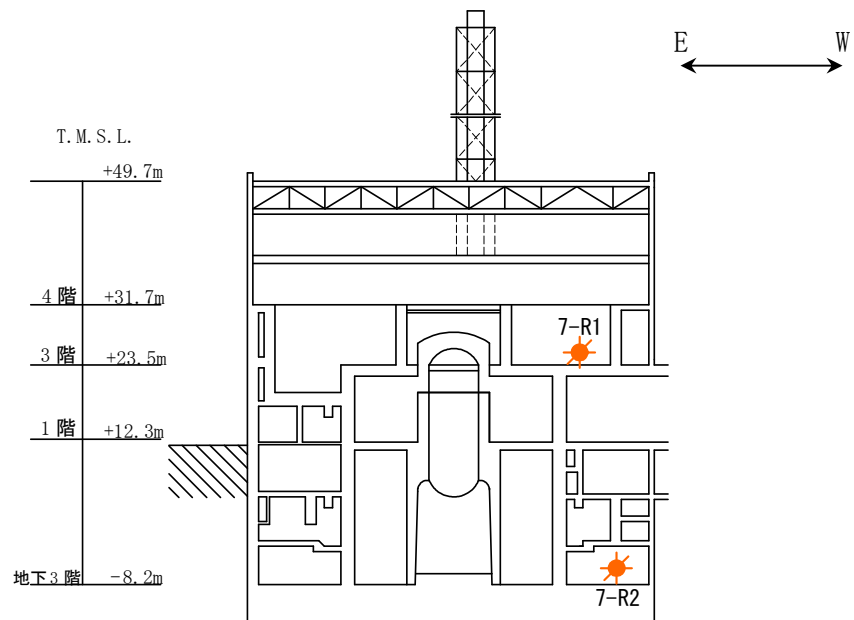


別紙図 1-1 6号炉原子炉建屋 地震計設置位置

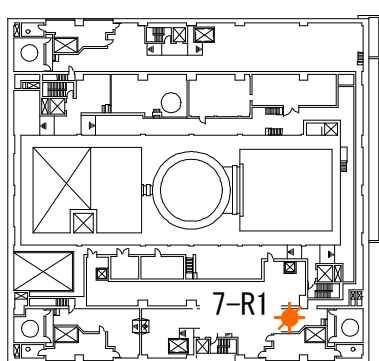


(記録の主要動を含む 50 秒間を表示)

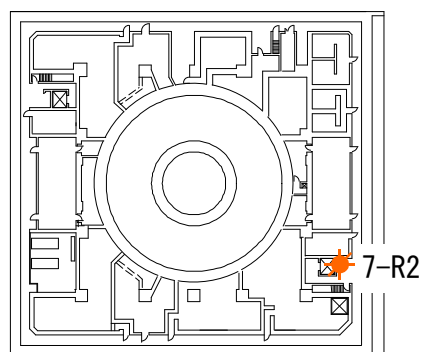
別紙図 1-2 原子炉建屋基礎上の観測記録 加速度時刻歴波形 (6 号炉)
(6-R2 : T. M. S. L. -8. 2m)



※T.M.S.L. とは、東京湾平均海面のことを指す。

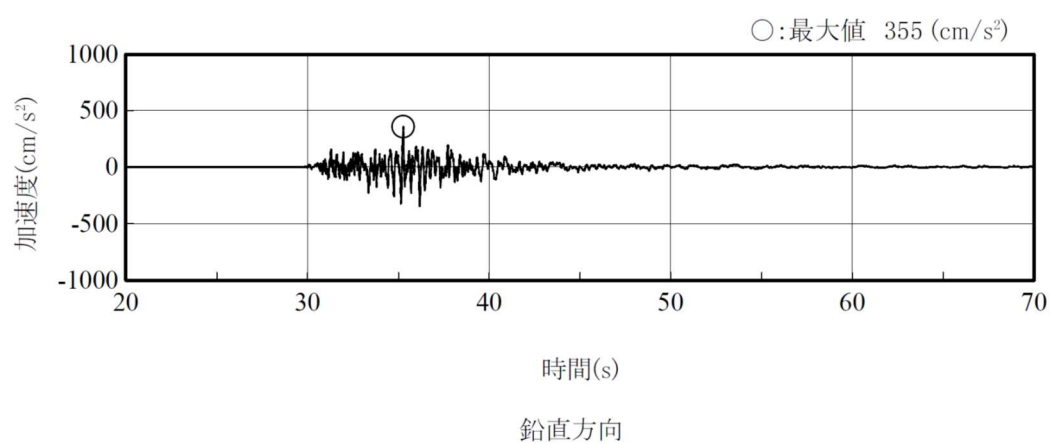
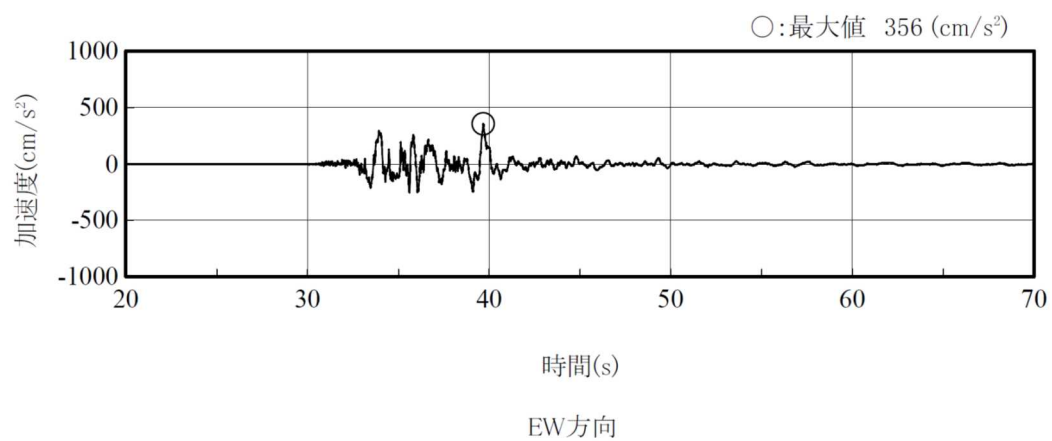
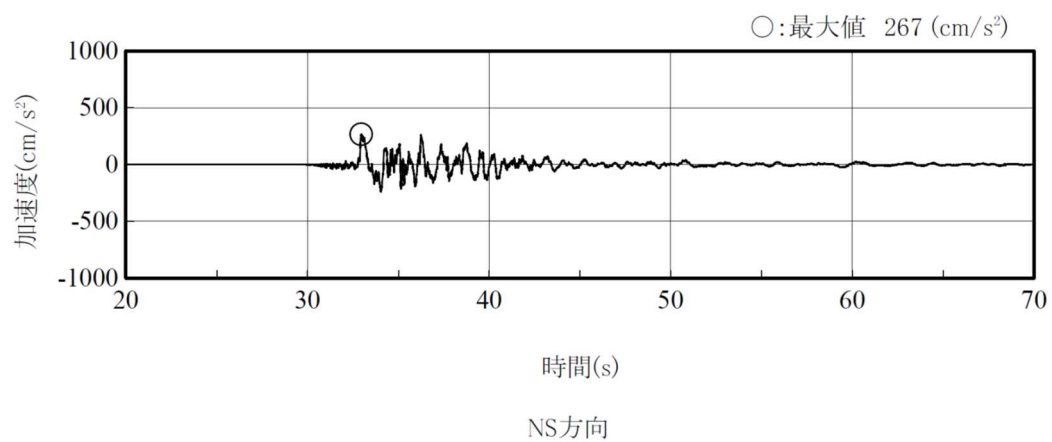


3 階 (T.M.S.L.+23.5m)



地下3階 (基礎版上)
(T.M.S.L.-8.2m)

別紙図 2-1 7号炉原子炉建屋 地震計設置位置



(記録の主要動を含む 50 秒間を表示)

別紙図 2-2 原子炉建屋基礎版上の地震観測記録 加速度時刻歴波形
(7-R2 : T. M. S. L. -8. 2m)

添付資料 5 鉛直方向応答解析モデルを追加したもの

1. 原子炉建屋－炉内構造物系連成 鉛直方向地震応答解析モデルの追加について

1.1 概 要

原子炉格納容器内の原子炉圧力容器等の大型機器は、一般機器や配管等に比べて質量が大きく、原子炉建屋との相互作用を考慮した地震応答の算定が必要である。そのため、既工認において、原子炉圧力容器（炉心支持構造物及び炉内構造物等含む）、原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎等の大型機器・構造物の耐震設計では、水平方向の動的地震力については原子炉建屋と大型機器を連成させた多質点モデルによる時刻歴応答解析を行うことで動的地震力を算定し、鉛直方向については静的震度による地震荷重を算定していた。

今回工認においては、耐震設計審査指針が改訂され、鉛直方向の動的地震力に対する考慮が必要となったことから、鉛直方向についても水平方向と同様に動的地震力の算定を行う。鉛直方向の地震応答解析モデルについては、鉛直方向の各応力評価点における軸力を算定するため、従来の水平方向モデルをベースに新たに多質点モデルを作成する。

なお、鉛直方向の地震応答解析モデルは、大間1号炉の建設工認において適用例がある。

1.2 地震応答解析モデルについて

原子炉建屋、原子力圧力容器及び原子炉本体基礎の概略断面図を図1、原子炉圧力容器内部構造物の構造図を図2に示す。

水平方向の解析モデルにおいては、原子炉圧力容器、原子炉遮蔽壁、原子炉本体基礎は図3、図4に示すような多質点モデルにてモデル化する。原子炉圧力容器は原子炉圧力容器スタビライザと等価なばねで原子炉遮蔽壁と結ばれ、原子炉本体基礎と剛に結合される。原子炉本体基礎はその下端において原子炉建屋基礎スラブ上端と剛に結合され、更にダイヤフラムフロアの剛性と等価なばねにより原子炉格納容器を介して原子炉建屋に支持される。

鉛直方向の解析モデルにおいても水平方向の解析モデルと同様に図5に示すような多質点モデルにてモデル化する。原子炉圧力容器は、原子炉本体基礎と剛に結合される。原子炉本体基礎は、その下端において原子炉建屋基礎スラブ上端と剛に結合され、原子炉建屋に支持される。

2. その他機器・配管系の鉛直方向地震応答解析モデルについて

その他機器・配管系の設備については、設備の構造上の特徴を踏まえ必要に応じて鉛直方向の地震応答解析モデルを作成する。

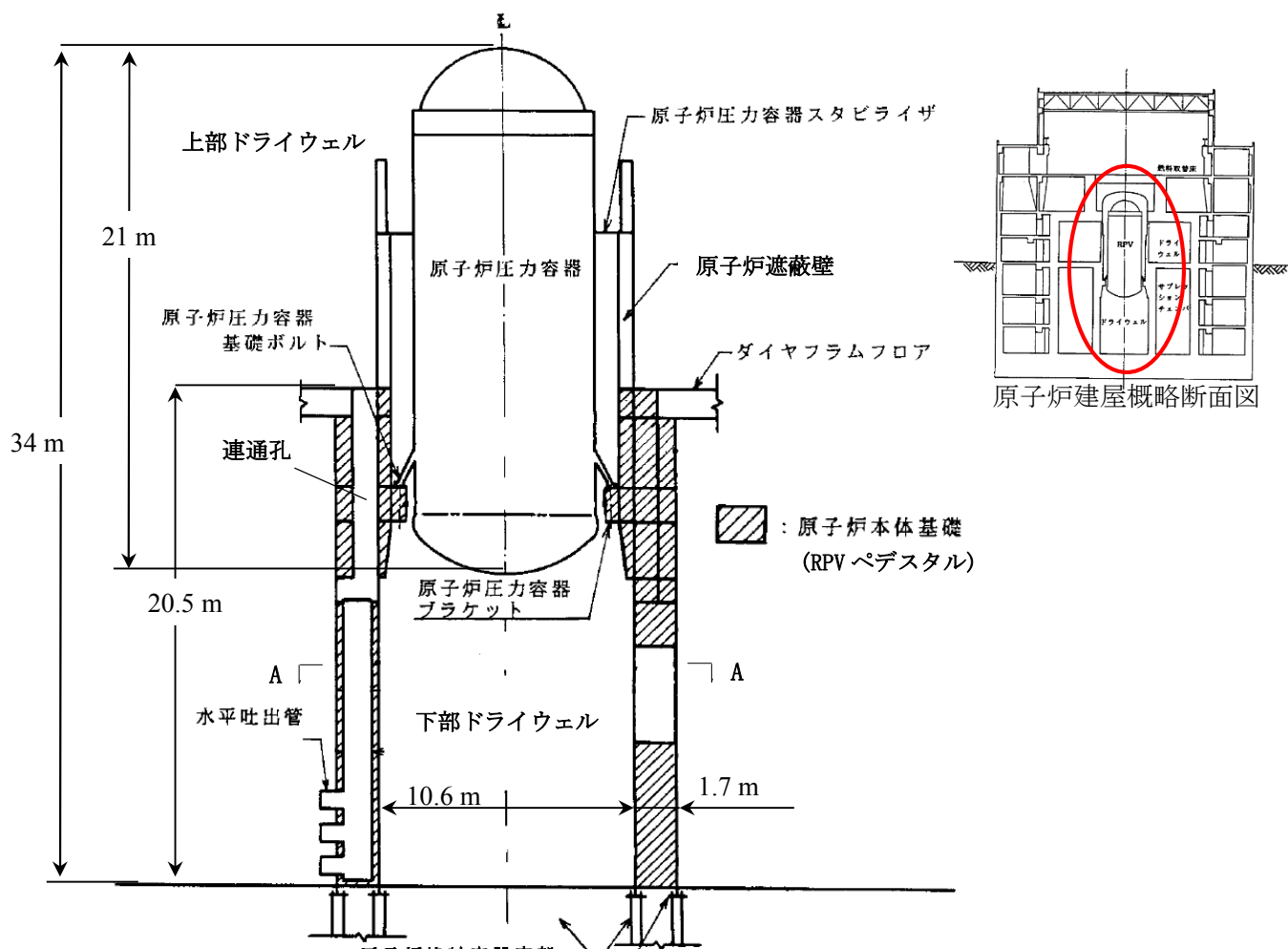


図1 原子炉圧力容器及び原子炉本体の基礎 概略断面図

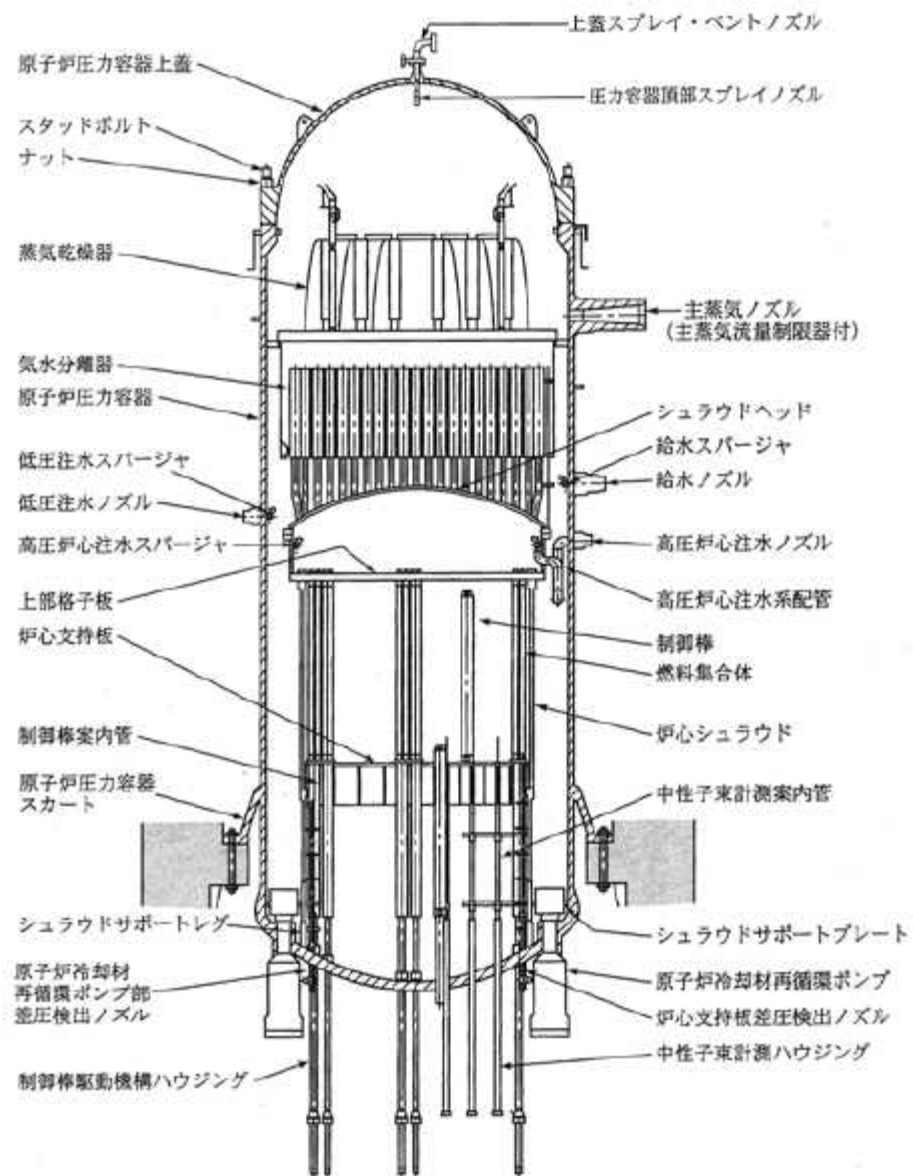


図 2 原子炉圧力容器内部構造物 構造図

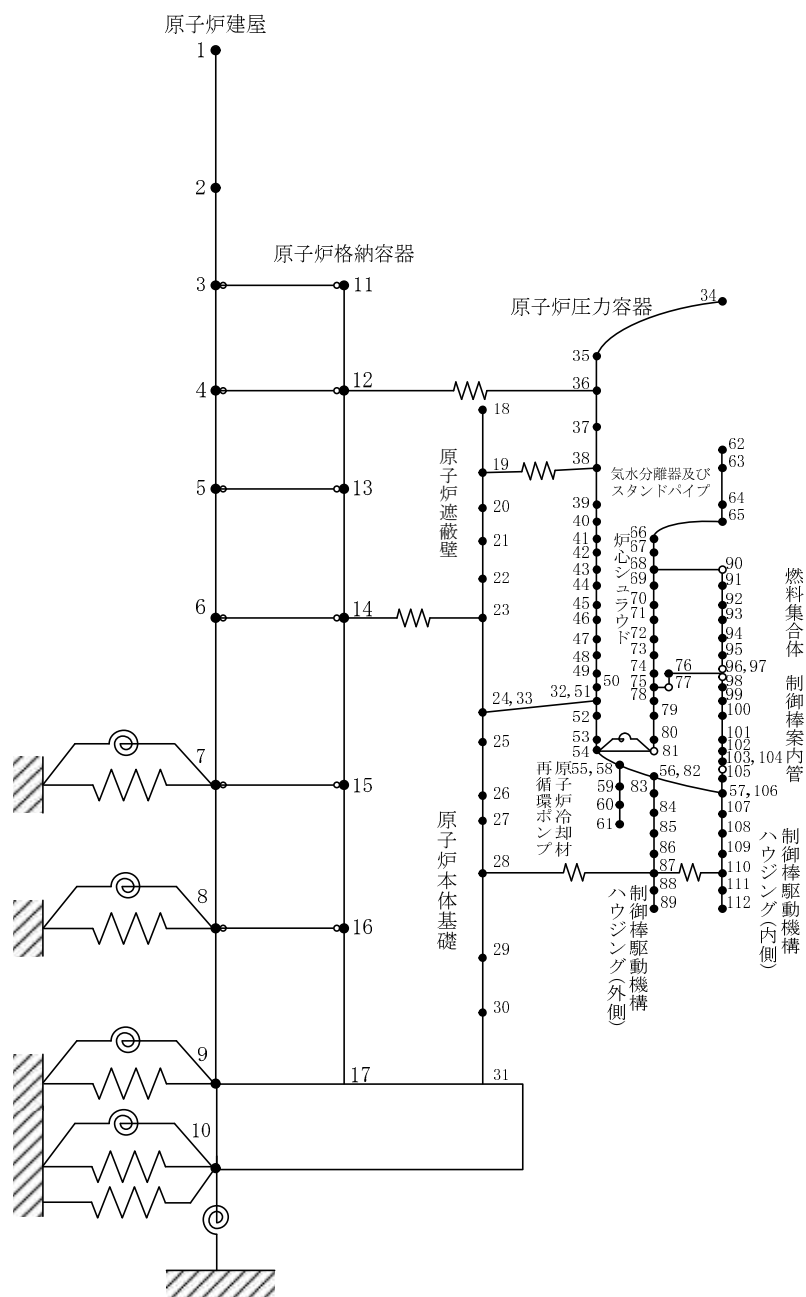


図 3 原子炉建屋－炉内構造物系連成 地震応答解析モデル（水平方向(NS））（7号炉の例）

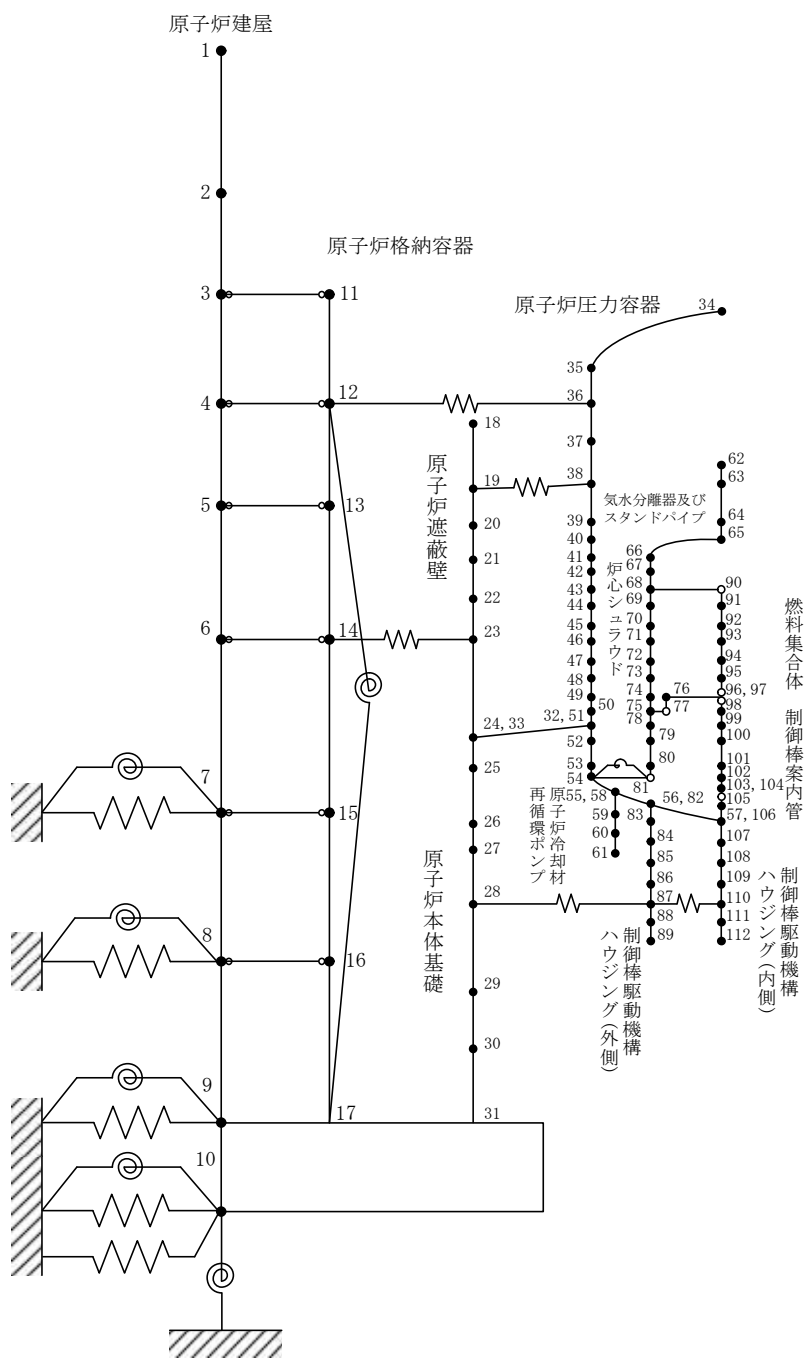


図 4 原子炉建屋－炉内構造物系連成 地震応答解析モデル（水平方向(EW)）（7号炉の例）

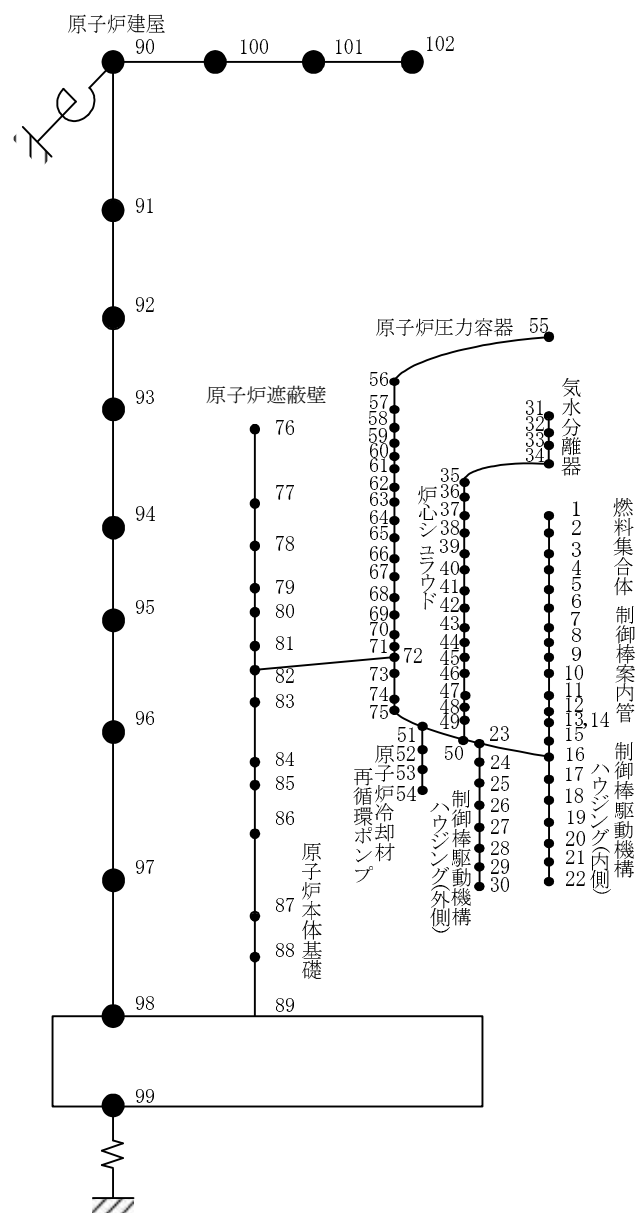


図 5 原子炉建屋－炉内構造物系連成 地震応答解析モデル（鉛直方向）（7 号炉の例）

柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉

機器・配管系の設備の工認からの構造変更について

(耐震)

1. はじめに

本資料では、柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉（以下、「柏崎刈羽 6 号及び 7 号炉」という。）の建設工認あるいは改造工認で認可されている構造からの変更点のうち、耐震性に影響のあるものをまとめている。

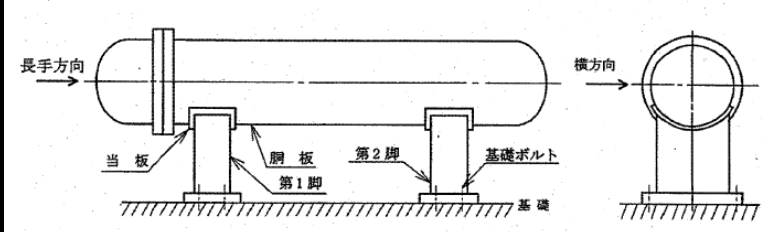
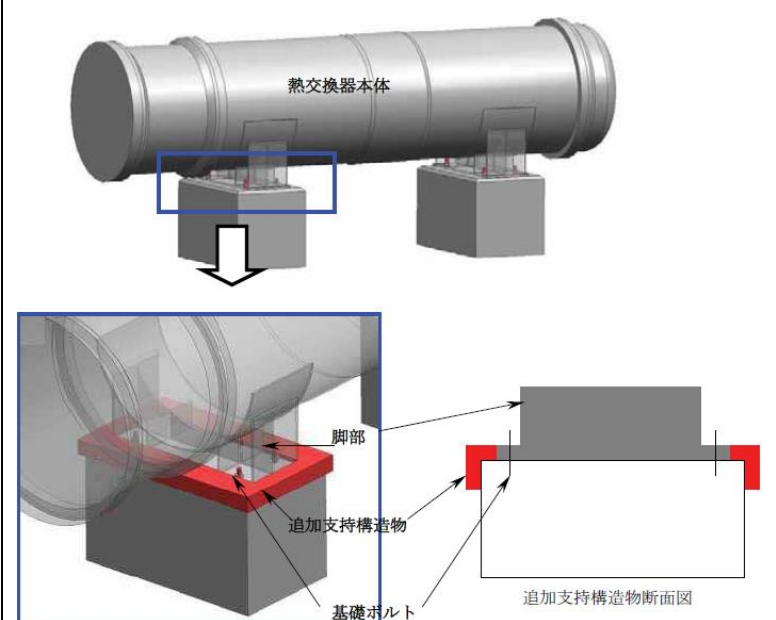
2. 機器・配管系の設備の既工認からの構造変更点について

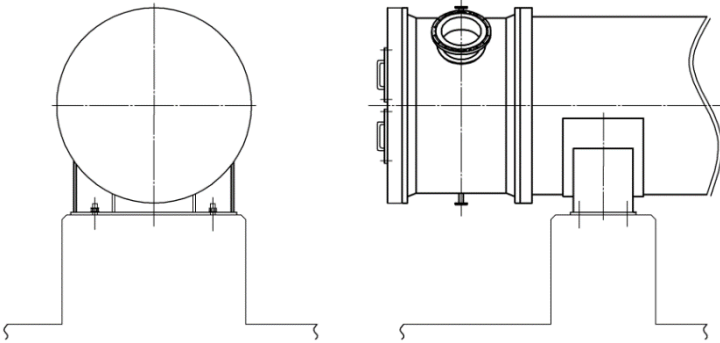
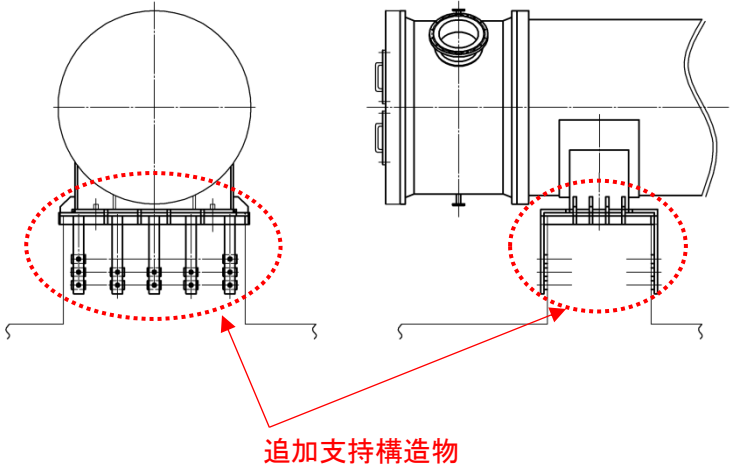
既工認から構造変更実績のある設備の一覧を添付-1 に示す。

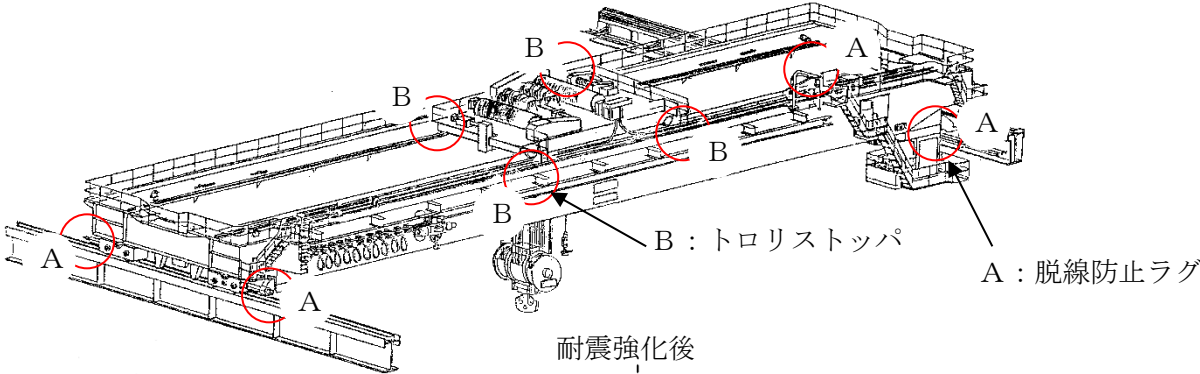
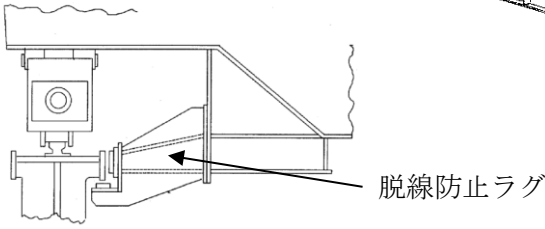
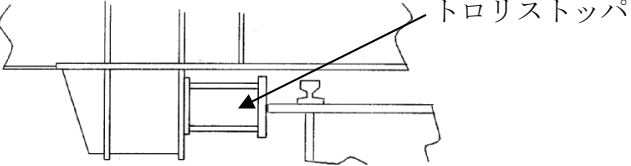
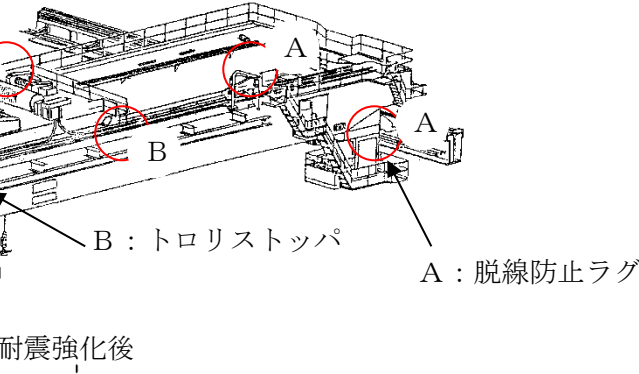
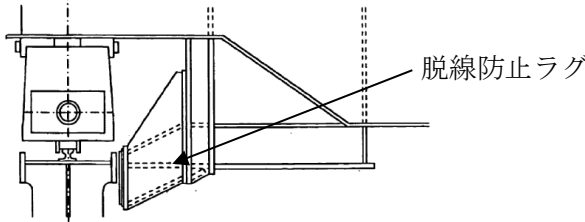
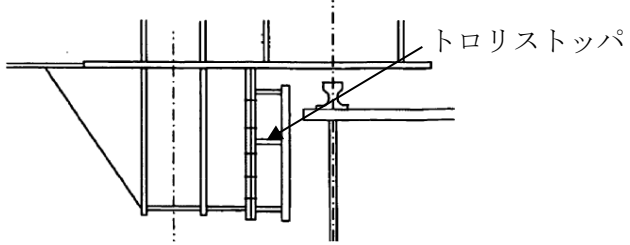
また、これらの構造変更実績のある設備について、変更点の概要を添付-2 に示す。今回の申請では、添付-2 に示した各設備の構造変更を反映し、耐震評価を行う。

柏崎刈羽 6 号及び 7 号炉 既工認からの構造変更の有無の整理表

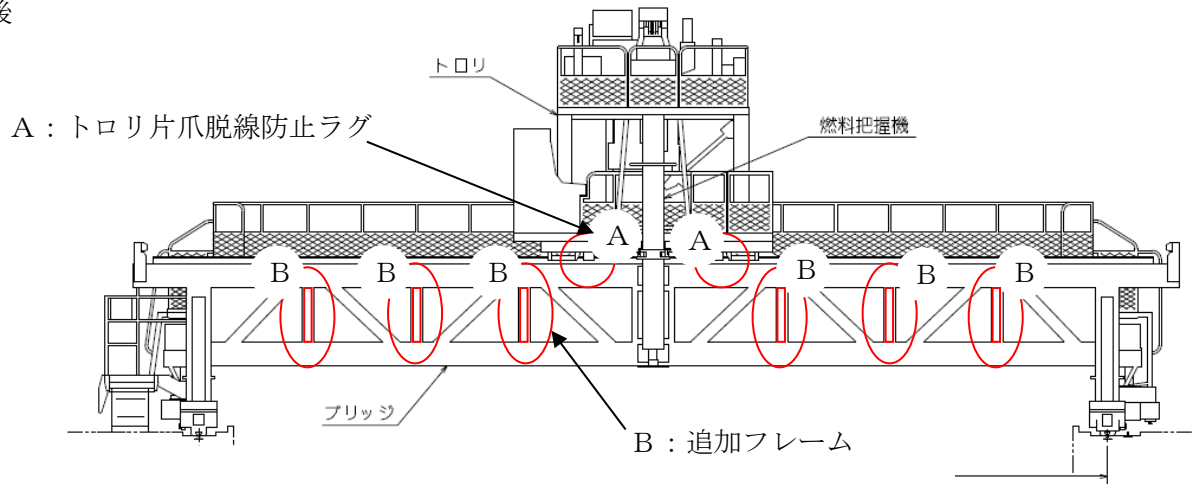


設備名称	柏崎刈羽 6 号および 7 号炉での既工認からの構造変更の有無		備考
	○：構造変更あり ×：構造変更なし (6 号炉／7 号炉)	工事概要	
原子炉補機冷却水系（原子炉補機冷却水系熱交換器）	○／○	熱交換器の脚部に支持構造物を追加設置	
燃料取扱装置（原子炉建屋クレーン）	○／○	本体ガード脱線防止ラグとトロリストッパの改造（大型化）	
燃料取扱装置（燃料取替機）	○／○	本体及びトロリの走行時の脱線を防止する措置を強化	
原子炉核計装（起動領域モニタドライチューブ）	○／○	材料及び溶接位置の変更	
非常用予備発電装置（直流 125V 蓄電池）	○／○	蓄電池の取替、支持構造の変更（ボルト本数等）	
燃料貯蔵設備（軽油タンク）	○／○	軽油タンクの取替（厚肉品に交換）、アニュラ板の材料変更	
格納容器圧力逃がし装置（フィルタベント配管及びサポート）	○／○	フィルタベント配管を追設	
代替循環冷却系（代替循環冷却系配管及びサポート）	○／○	残留熱除去系熱交換器(B)から復水移送ポンプへ向かう冷却系配管を新設	
格納容器 pH 制御設備（pH 制御設備配管及びサポート）	○／○	薬注ラインを追設	
残留熱除去系（残留熱除去系配管本体及びサポート） 原子炉冷却材浄化系（原子炉冷却材浄化系配管本体及びサポート）	【配管本体】×／× 【サポート】○／○	サポート強化・追設	配管系の耐震強化の例として示す
復水補給水系（復水補給水系配管及びサポート）	○／○	注水ライン（配管及びサポート）新設	
可燃性ガス濃度制御系（可燃性ガス濃度制御系配管及びサポート）	○／○	可燃性ガス濃度制御系ライン追設（二重化）	
高圧代替注水系（代替高圧注水系配管及びサポート、ポンプ）	○／○	高圧代替注水ポンプ及び注水ライン（配管及びサポート）新設	

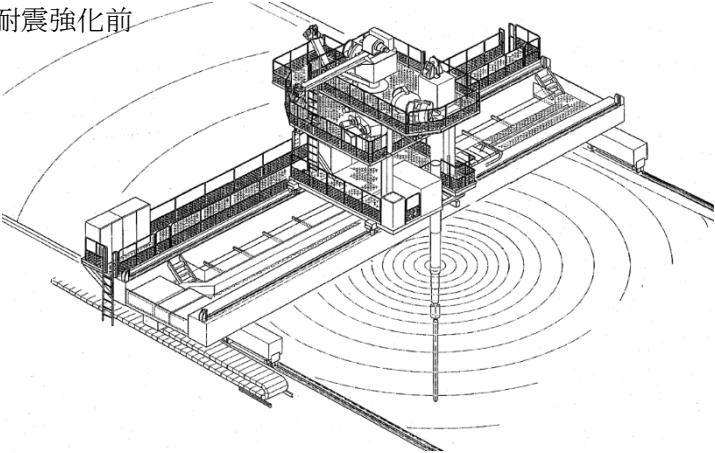
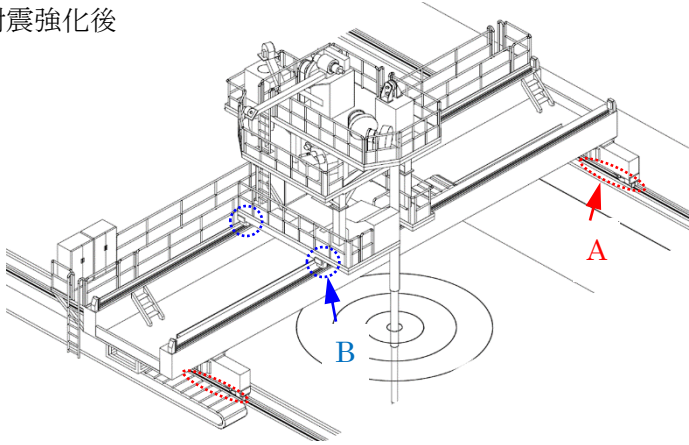
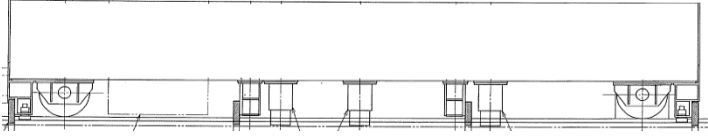
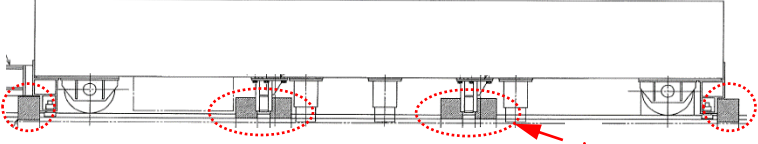
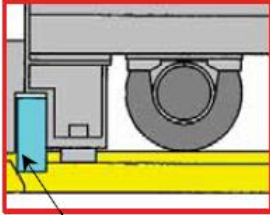
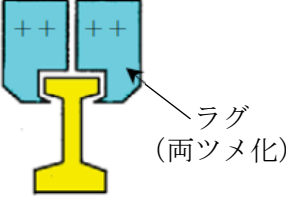
変 更 前	変 更 後	備 考
<p data-bbox="185 292 958 335">支持構造物追設前</p> <p data-bbox="185 335 958 438">原子炉補機冷却水系熱交換器は、図 1 に示すように、横置き一胴円筒形容器である。第一脚は基礎ボルトにより基礎に固定され、第二脚は長手方向にスライド可能とし、長手方向の荷重を受持たない構造である。</p>  <p data-bbox="403 694 739 718">図 1 原子炉補機冷却水系熱交換器 概要図</p>	<p data-bbox="958 292 1731 335">支持構造物追設後</p>  <p data-bbox="1030 1021 1657 1061">原子炉補機冷却水系熱交換器 耐震強化の概要</p>	<p data-bbox="1731 292 2054 335">支持構造物を追設</p>

変 更 前	変 更 後	備 考
<p data-bbox="185 295 958 335">支持構造物追設前</p> 	<p data-bbox="958 295 1731 335">支持構造物追設後</p>  <p data-bbox="1232 877 1433 917">追加支持構造物</p>	<p data-bbox="1731 295 2054 335">支持構造物を追設</p>

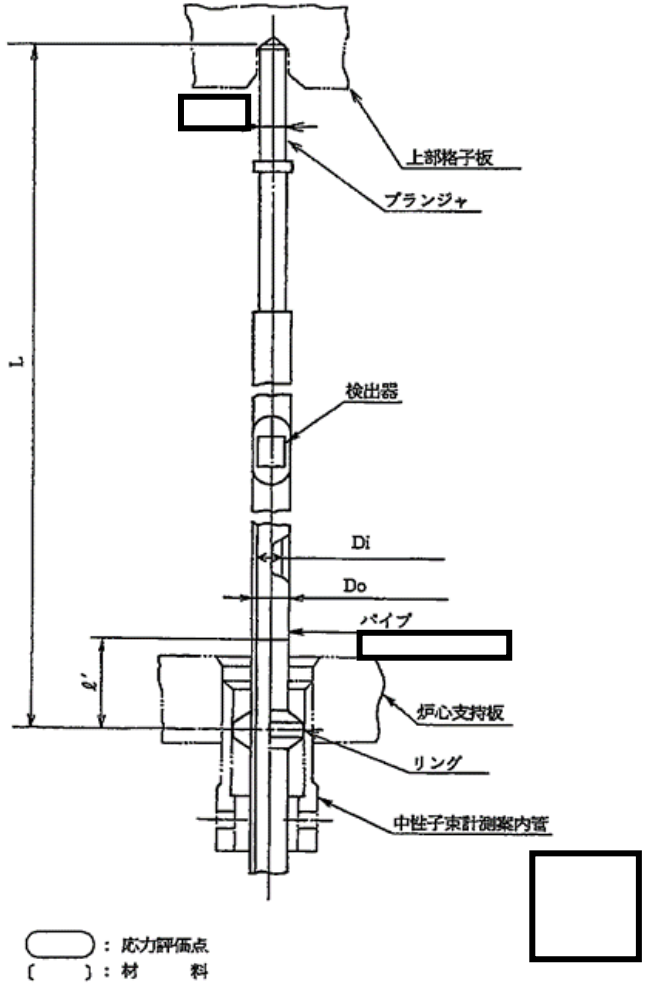
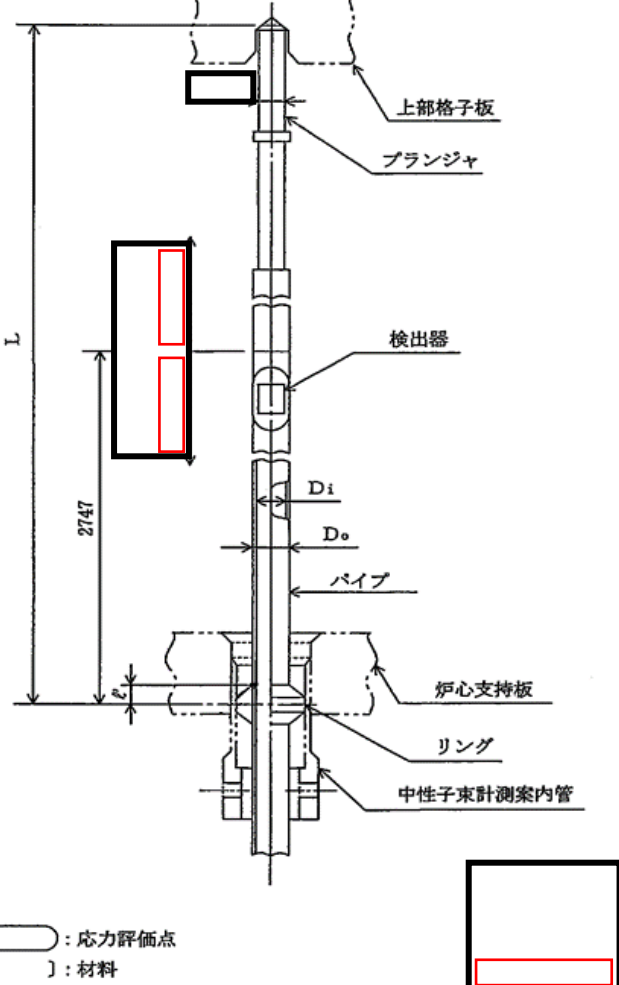
変 更 前	変 更 後	備 考
<div><p>耐震強化前</p><p>A : 脱線防止ラグの形状</p><p>B : トロリストッパの形状</p></div>	<div><p>耐震強化後</p><p>A : 脱線防止ラグの形</p><p>B : トロリストッパの形状</p></div>	脱線防止ラグおよびトロリストッパの形状を変更

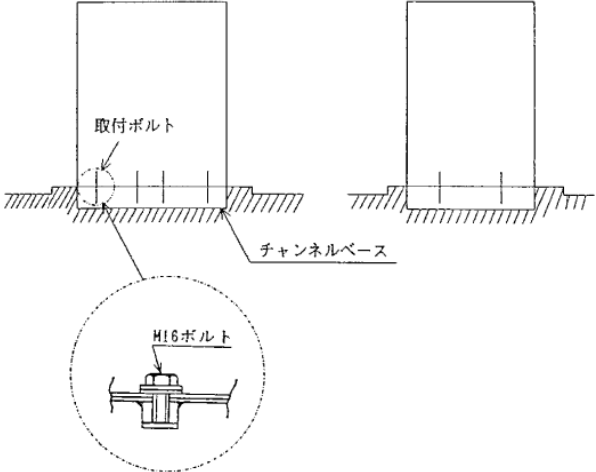
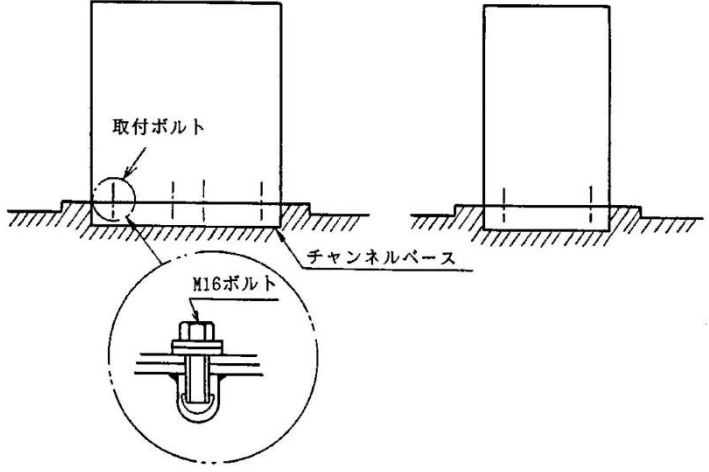
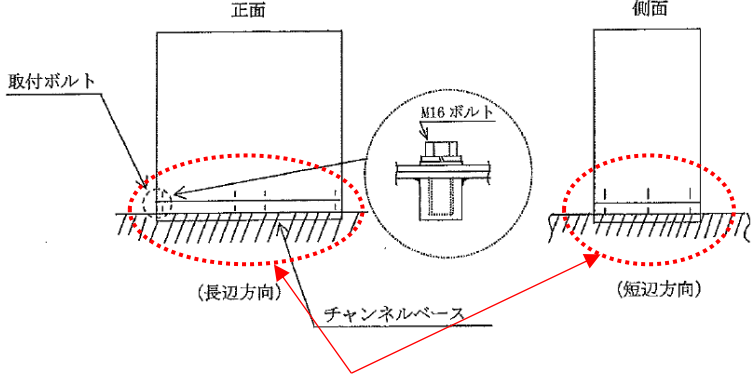
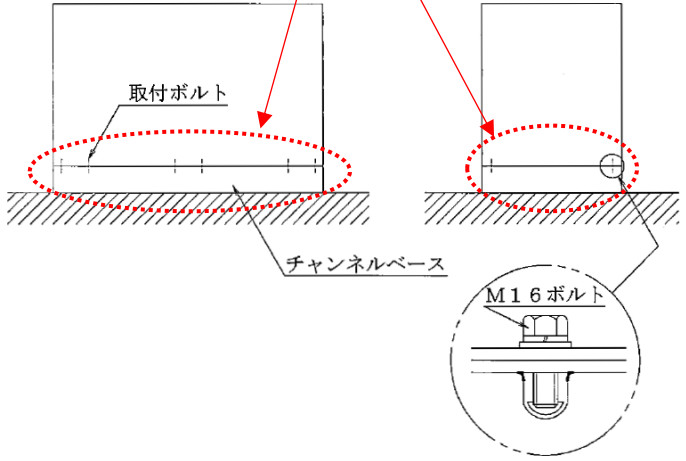
変 更 前	変 更 後	備 考
<div data-bbox="593 335 1321 798"></div> <div data-bbox="185 877 336 917">耐震強化前</div> <div data-bbox="224 941 515 1133"></div> <div data-bbox="302 1181 526 1212">A: 脱線防止ラグの形状</div> <div data-bbox="560 861 918 1133"></div> <div data-bbox="683 1181 918 1212">B: トロリストoppaの形状</div>	<div data-bbox="974 414 1243 454">B: トロリストoppa</div> <div data-bbox="593 622 739 654">A: 脱線防止ラグ</div> <div data-bbox="963 877 1120 917">耐震強化後</div> <div data-bbox="1030 941 1299 1133"></div> <div data-bbox="1075 1212 1299 1244">A: 脱線防止ラグの形状</div> <div data-bbox="1299 861 1680 1133"></div> <div data-bbox="1444 1181 1691 1220">B: トロリストoppaの形状</div>	<p>脱線防止ラグおよびトロリストoppaの形状を変更</p>



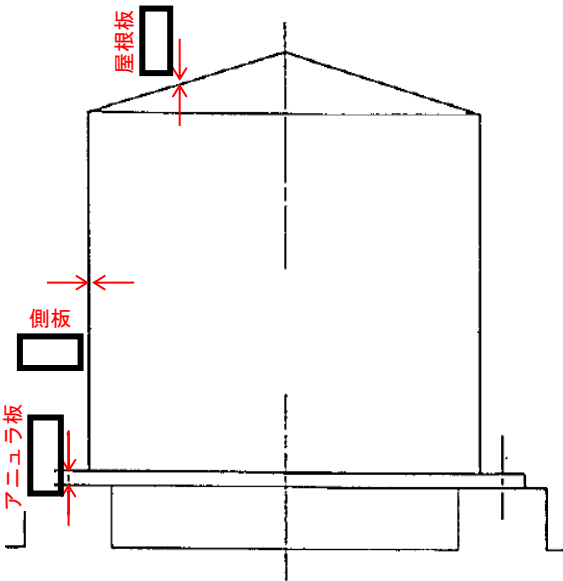
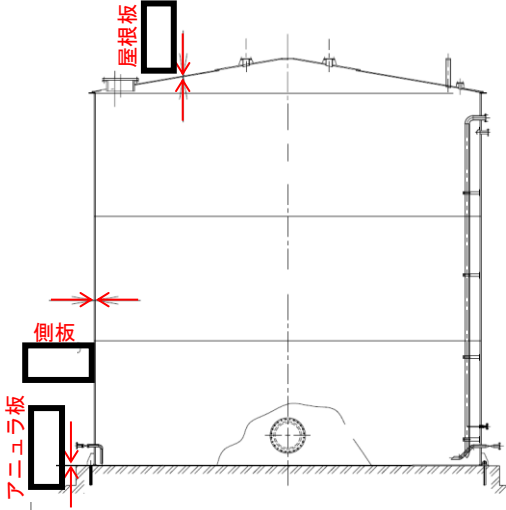
変 更 後	備 考
<p data-bbox="185 311 336 343">耐震強化後</p>  <div data-bbox="436 917 817 1204"></div> <p data-bbox="403 1212 862 1244">A : トロリ片爪脱線防止ラグの形状</p> <div data-bbox="1153 869 1500 1332"></div> <p data-bbox="1120 1340 1556 1372">B : 追加フレームの形状（塗装前）</p>	<p data-bbox="1731 303 2054 430">トロリ片爪脱線防止ラグ及び追加フレームの設置</p>

変 更 前	変 更 後	備 考
<p>耐震強化前</p> 	<p>耐震強化後</p> 	脱線防止ラグの追加・変更
<p>ブリッジ脱線防止ラグ部</p> 	<p>A : ブリッジ脱線防止ラグ部</p>  <p>B : トロリ脱線防止ラグ部</p> 	
<p>A : ブリッジ脱線防止ラグの追加・変更 : 片側 4 箇所→6 箇所、増厚及び両ツメ化</p> <p>B : トロリ脱線防止ラグの追加・変更 : 増厚及び両ツメ化</p>	 <p>断面図</p>	

変 更 前	変 更 後	備 考
<div><p>材料・溶接位置 (単位：mm)</p></div>	<div><p>材料・溶接位置 (単位：mm)</p></div>	材料・溶接位置の変更。2基は7号炉にて使用

変 更 前	変 更 後	備 考
 <p>材料・溶接位置 (単位：mm)</p>	 <p>材料・溶接位置 (単位：mm)</p>	<p>材料・溶接位置の変更</p>

変 更 前	変 更 後	備 考
<p>6号炉</p>  <p>7号炉</p> 	<p>6号炉</p>  <p>7号炉</p>  <p style="text-align: center;">支持構造変更</p>	<p>蓄電池の増容量化にともない、蓄電池を取替え、支持構造（取付ボルト本数）を一部変更</p>

変 更 前				変 更 後				備 考
3	屋根板			3	屋根板			アニュラ板, 側板, 屋根板の厚さ及びアニュラ板の材料を変更
2	側版			2	側版			
1	アニュラ板			1	アニュラ板			
番号	名称	寸法	材料	番号	名称	寸法	材料	
								

変 更 前	変 更 後	備 考
<p>--- : 撤去配管 — : SGTS 系 — : AC 系</p>	<p>— : 新設配管 ○ : 新設弁</p>	不活性ガス系 (AC) と非常用ガス処理系 (SGTS) の連絡部を改造し、フィルタ装置に向かう配管を追設 (6号炉にも同様な設備有り)

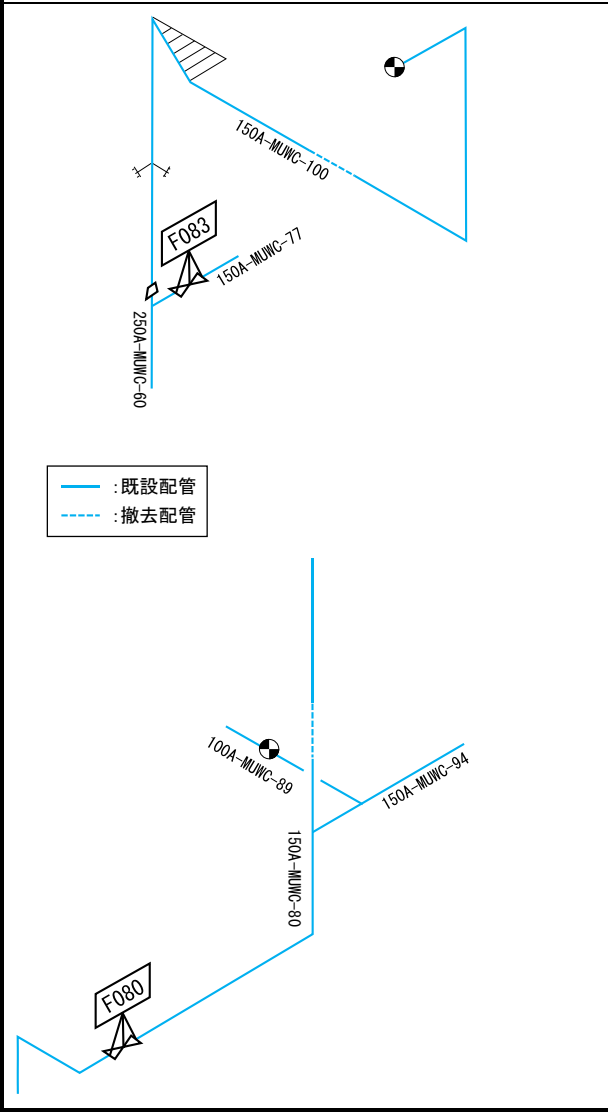
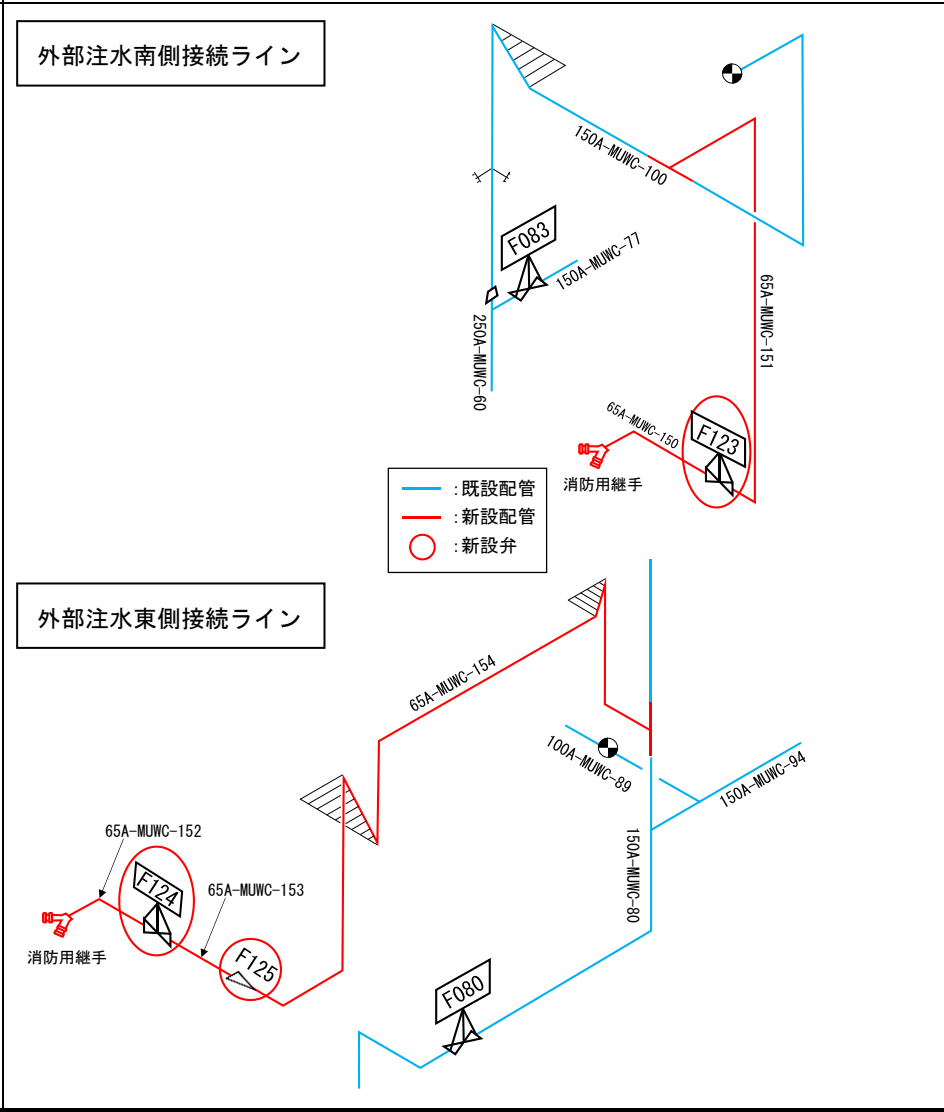
7 号炉 代替循環冷却系配管の新設による変更点

添付-2

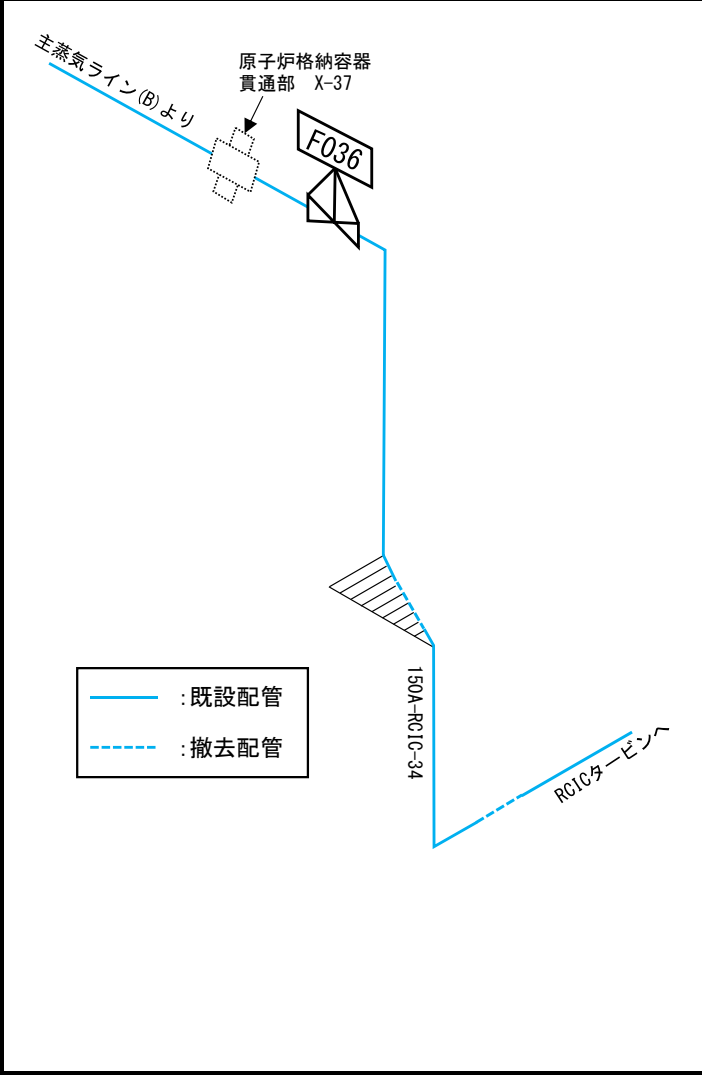
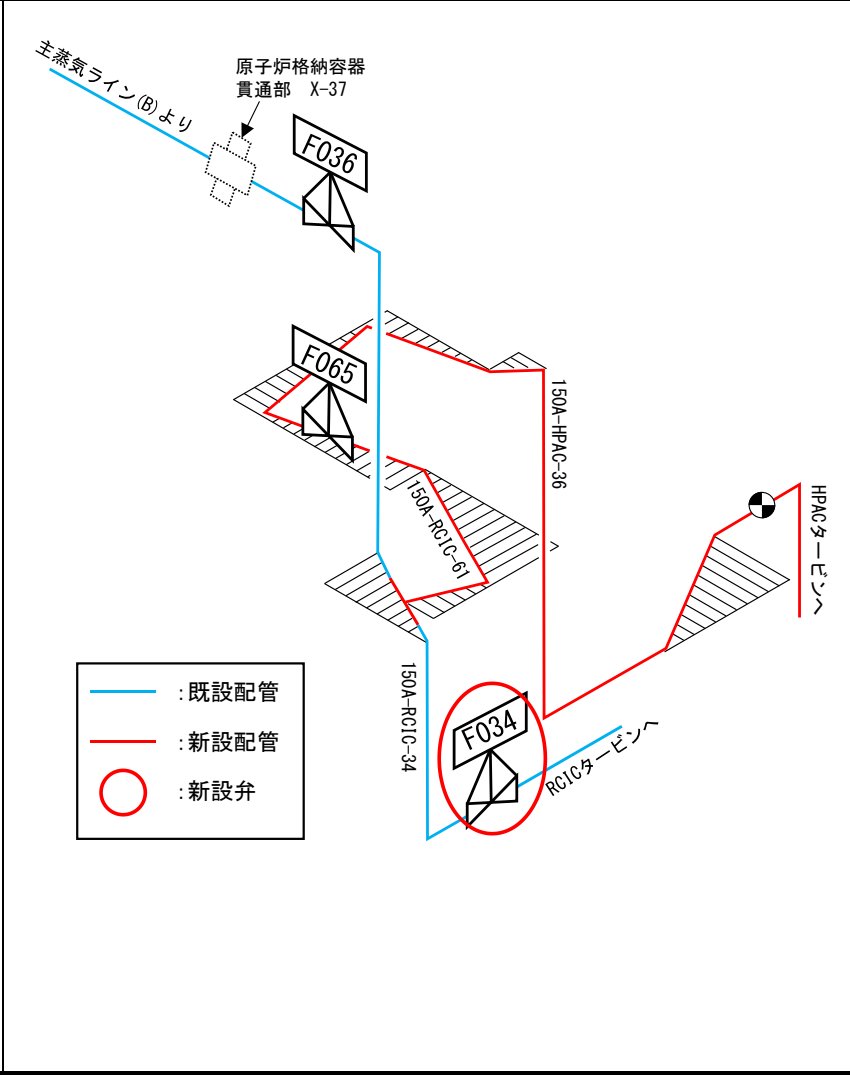
変 更 前	変 更 後	備 考
<div><div>----- : 撤去配管</div><div>— : HPCF 系</div><div>— : RHR 系</div></div>	<div><div>— : 新設配管</div><div>○ : 新設弁</div></div>	残留熱除去系から高圧炉心注水系を經由して復水移送ポンプへ向かう配管を新設 (6 号炉にも同様の配管新設有り)

変 更 前	変 更 後	備 考
		復水貯蔵槽タイライン へ pH 制御用薬液注入 ラインを繋ぎ込み

変 更 前	変 更 後	備 考
	<div data-bbox="1030 1005 1283 1114"><p>○: サポート強化 △: サポート追設</p></div>	<p>サポートの追設・強化 (配管の変更はなし) (配管系の耐震強化の例)</p>

変 更 前	変 更 後	備 考
 <p>— : 既設配管 - - : 撤去配管</p>	<p>外部注水南側接続ライン</p>  <p>— : 既設配管 — : 新設配管 ○ : 新設弁</p> <p>外部注水東側接続ライン</p>	<p>消防用継手から既設の復水補給水系に注水するラインを追設 (6号炉にも同様の配管新設有り)</p>

変 更 前	変 更 後	備 考
<p>原子炉格納容器貫通部 X-82</p> <p>100A-FCS-1</p> <p>100A-FCS-101</p> <p>100A-FCS-102</p> <p>100A-FCS-3</p> <p>100A-FCS-103</p> <p>再結合装置 (B)へ</p> <p>再結合装置 (A)へ</p> <p>— : 既設配管 - - : 撤去配管</p>	<p>原子炉格納容器貫通部 X-82</p> <p>100A-FCS-101</p> <p>100A-FCS-101</p> <p>100A-FCS-103</p> <p>100A-FCS-3</p> <p>100A-FCS-1</p> <p>“A”に接続</p> <p>“A”より接続</p> <p>再結合装置 (B)へ</p> <p>再結合装置 (A)へ</p> <p>— : 既設配管 — : 新設配管 ○ : 既設弁流用</p>	<p>原子炉格納容器から可燃性ガス濃度制御系再結合装置までのラインを分離 (6号炉にも同様の配管新設有り)</p>

変 更 前	変 更 後	備 考
 <p>主蒸気ライン(B)より</p> <p>原子炉格納容器貫通部 X-37</p> <p>F036</p> <p>150A-RCIC-34</p> <p>RCICタービンへ</p> <p>— : 既設配管</p> <p>- - - : 撤去配管</p>	 <p>主蒸気ライン(B)より</p> <p>原子炉格納容器貫通部 X-37</p> <p>F036</p> <p>F065</p> <p>150A-RCIC-61</p> <p>150A-HPAC-36</p> <p>150A-RCIC-34</p> <p>F034</p> <p>RCICタービンへ</p> <p>HPACタービンへ</p> <p>— : 既設配管</p> <p>— : 新設配管</p> <p>○ : 新設弁</p>	<p>既設の原子炉隔離時冷却系から分岐させ、高圧代替注水ポンプの駆動蒸気用配管を設置 (6号炉にも同様の配管新設有り)</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉

下位クラス施設の波及的影響の
検討について
(耐震)

目 次

	頁
1. 概要	1
2. 波及的影響に関する評価方針	2
2.1 基本方針	2
2.2 下位クラス施設の抽出方法	4
2.3 影響評価方法	4
2.4 プラント運転状態による評価対象の考え方	4
3. 事象検討	6
3.1 別記 2 に記載された事項に基づく事象検討	6
3.2 地震被害事例に基づく事象の検討	7
3.3 津波，火災，溢水による影響評価	9
3.4 周辺斜面の崩壊による影響評価	9
4. 上位クラス施設の確認	10
5. 下位クラス施設の抽出及び影響評価方法	29
5.1 相対変位又は不等沈下による影響	29
5.2 接続部における相互影響	33
5.3 建屋内における損傷，転倒及び落下等による影響	42
5.4 建屋外における損傷，転倒及び落下等による影響	44
6. 下位クラス施設の検討結果	46
6.1 相対変位又は不等沈下による影響検討結果	46
6.2 接続部における相互影響検討結果	60
6.3 建屋内における損傷，転倒及び落下等による影響検討結果	128
6.4 建屋外における損傷，転倒及び落下等による影響検討結果	238

添 付 資 料

- 添付資料 1-1 波及的影響評価に係る現地調査の実施要領
- 添付資料 1-2 波及的影響評価に係る現地調査記録
- 添付資料 2 海水ポンプ用天井クレーンの上位クラス施設への波及的影響評価について
- 添付資料 3-1 原子力発電所における地震被害事例の要因整理
- 添付資料 3-2 福島第二原子力発電所における地震被害事例の要因整理
- 添付資料 4 周辺斜面の崩落等による施設への影響について
- 添付資料 5 上位クラス施設に隣接する下位クラス施設の支持地盤について
- 添付資料 6 設置予定施設に対する波及的影響評価手法について

- 参考資料 1-1 上位クラス電路に対する下位クラス施設からの波及的影響の検討について
- 参考資料 1-2 上位クラス計装配管に対する下位クラス施設からの波及的影響（損傷・転倒・落下）の検討について
- 参考資料 1-3 廃棄物処理建屋内上位クラス施設に接続されている電路ルートについて
- 参考資料 1-4 第一ガスタービン発電機に接続されている電路ルートについて
- 参考資料 2 上位クラス施設と隔離されずに接続する下位クラスベント配管の閉塞影響について
- 参考資料 3 5号炉原子炉建屋内緊急時対策所関連施設の波及的影響検討について

1. 概要

柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉の設計基準対象施設のうち耐震重要度分類の S クラスに属する施設、その間接支持構造物及び屋外重要土木構造物（以下、「S クラス施設等」という。）が下位クラス施設の波及的影響によって、その安全機能を損なわないことについて、また、柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉の重大事故等対処施設のうち常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備並びにこれらが設置される常設重大事故等対処施設（以下「重要 SA 施設」という。）が、下位クラス施設の波及的影響によって、重大事故等に対処するために必要な機能を損なわないことについて、設計図書類を用いた机上検討及び現地調査（プラントウォークダウン）による敷地全体を俯瞰した調査・検討を行い、評価を実施する。

ここで、S クラス施設等と重要 SA 施設を合わせて「上位クラス施設」と定義し、S クラス施設等の安全機能と重要 SA 施設の重大事故等に対処するために必要な機能を合わせて「上位クラス施設の有する機能」と定義する。また、上位クラス施設に対する波及的影響の検討対象とする「下位クラス施設」とは、上位クラス施設以外の発電所内にある施設（資機材等含む）をいう。

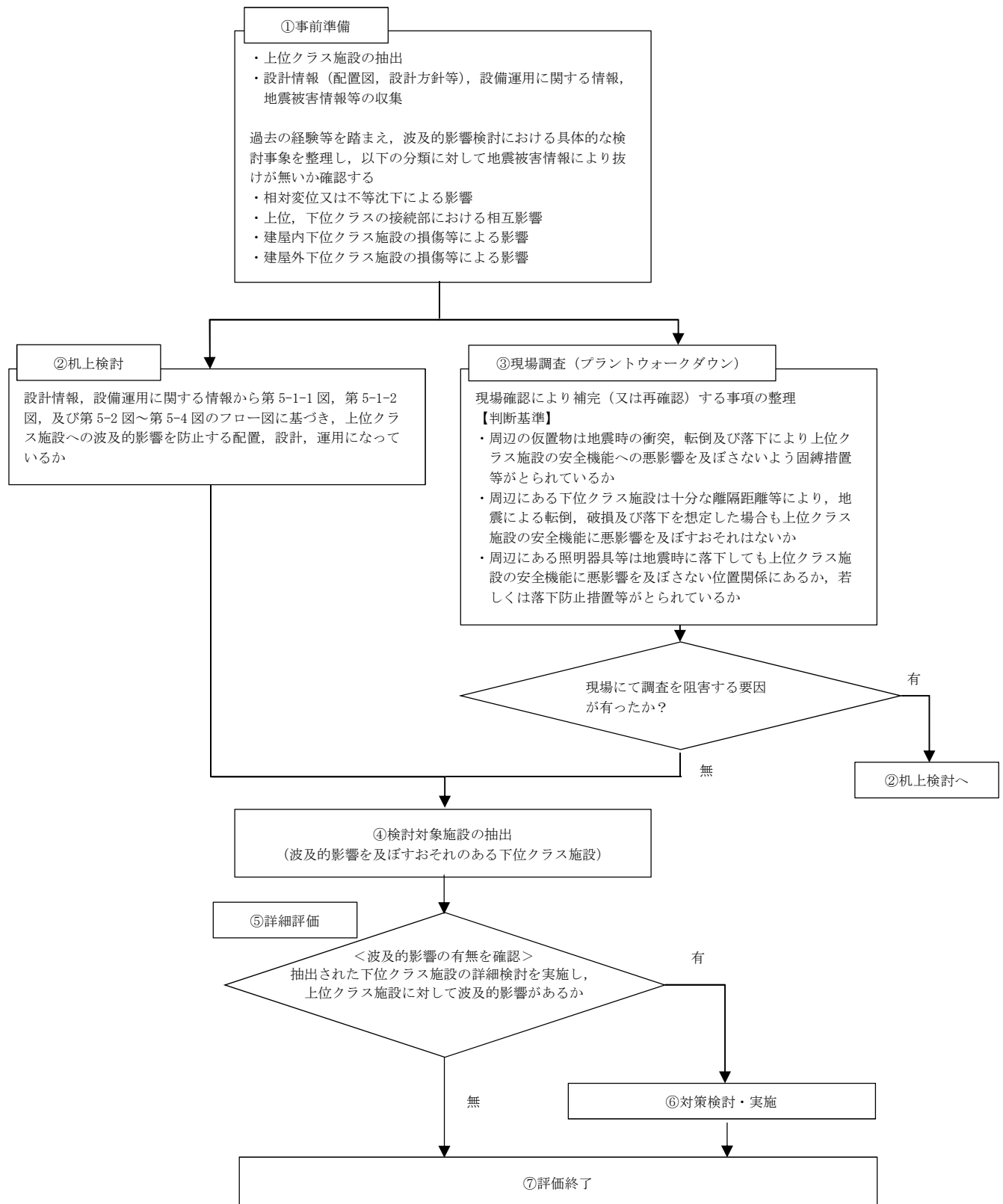
2. 波及的影響に関する評価方針

2.1 基本方針

波及的影響評価は以下に示す方針に基づき実施する。

- (1) 「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」の別記 2（以下「別記 2」という。）に記載された 4 つの事項を基に，検討すべき事象を整理する。また，原子力発電所の地震被害情報を基に，別記 2 の 4 つの事項以外に検討すべき事象の有無を確認する。
- (2) (1) で整理した検討事項をもとに，上位クラス施設に対して波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設を抽出する。
- (3) (2) で抽出された下位クラス施設について，配置，設計，運用上の観点から上位クラス施設への影響評価を実施する。

また，波及影響評価に係る検討フローを第 2-1 図に示す。



※フロー中の①～⑦の数字は第 5-1-1 図，第 5-1-2 図，及び第 5-2 図～第 5-4 図中の①～⑦に対応する。

第 2-1 図 波及的影響に係る検討フロー

2.2 下位クラス施設の抽出方法

上位クラス施設に対して波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の抽出は、設計図書類を用いた机上検討及び現地調査（プラントウォークダウン）による敷地全体を俯瞰した調査・検討により実施する。

(1) 机上検討

柏崎刈羽原子力発電所配置図、機器配置図、系統図等の設計図書類を用いて、建屋外及び建屋内の上位クラス施設を抽出し、その配置状況を確認する。

次に設計図書類を用いて、上位クラス施設周辺に位置する下位クラス施設、又は上位クラス施設に接続されている下位クラス施設のうち、波及的影響を及ぼすおそれのあるものを抽出する。

(2) 現地調査

机上検討で抽出された下位クラス施設の詳細な設置状況又は配置状況を確認すること、また、設計図書類では判別出来ない仮設設備、資機材等が影響防止対策を施工していない状態で上位クラス施設周辺に配置されていないことを確認することを目的として、建屋内外の上位クラス施設を対象として現地調査を実施する。

現地調査の実施要領を添付資料 1-1 に示す。また、現地調査記録の例を添付資料 1-2 に示す。

なお、現場にて調査を阻害する要因があった場合は、再度机上検討を実施する。

2.3 影響評価方法

波及的影響を及ぼすおそれがあるとして抽出された下位クラス施設について、影響評価により上位クラス施設の機能を損なわないことを確認する。

影響評価において、抽出された下位クラス施設が耐震性を有していることの確認によって上位クラス施設の機能を損なわないことを確認する場合、適用する地震動は、基準地震動 S_s とする。

2.4 プラント運転状態による評価対象の考え方

プラントの運転状態としては、通常運転時、事故対処時、定期検査時があり、各運転状態において要求される上位クラス施設の機能を考慮して波及的影響評価を実施する。

通常運転時は、ほぼ全ての上位クラス施設が供用状態（運転又は待機状態）にあり、下位クラス施設の波及的影響も考慮した上で、基準地震動 S_s に対して安全機能を損なわないことを確認する。また、事故対処時においても、通常運転時と同様である。

定期検査時は、工程に伴い、上位クラス施設の供用状態は除外され、系統も隔離される。その状態では当該施設の安全機能は期待しないことから、波及的影響評価の対象から除外する。なお、定期検査時においても補機冷却系統や電源系等、一部の系統は供用状態にあるため、これらの施設については波及的影響評価の対象となる。例として、海水ポンプ用天井クレーンの上位クラス施設への波及的影響評価について添付資料 2 に示す。また、定期検査時のオペレーションフロアレイドアウンエリアの資機材による使用済燃料貯蔵プールおよび開放された原子炉に対する影響評価は「燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設について（KK67-0075 改 03）」（平成 28 年 1 月 15 日ヒアリング実施）の検討により、影響がないことを確認している。

上記より、通常運転時において要求される上位クラス施設の機能を考慮した波及的影響評価に事故対処時及び定期検査時の評価は包含される。

3. 事象検討

3.1 別記2に記載された事項に基づく事象検討

別記2に記載された4つの事項を基に、具体的な検討事象を整理する。

- ① 設置地盤及び地震応答性状の相違等に起因する相対変位又は不等沈下による影響
 - (1) 地盤の不等沈下による影響
 - ・地盤の不等沈下による下位クラス施設の傾きや倒壊に伴う隣接した上位クラス施設への衝突
 - (2) 建屋の相対変位による影響
 - ・上位クラス施設と下位クラス施設の建屋の相対変位による隣接した上位クラス施設への衝突
- ② 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部における相互影響
 - ・機器・配管系において接続する下位クラス施設の損傷と隔離に伴う上位クラス施設側の系統のプロセス変化
 - ・電気計装設備において接続する下位クラス施設の損傷に伴う電気回路、信号伝送回路を介した悪影響
- ③ 建屋内における下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等による上位クラス施設への影響
 - ・下位クラス施設の転倒、落下、倒壊に伴う上位クラス施設への衝突
 - ・可燃物を内包した下位クラス施設の損傷に伴う火災
 - ・水・蒸気を内包した下位クラス施設の損傷に伴う溢水
- ④ 建屋外における下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等による上位クラス施設への影響
 - (1) 施設の損傷、転倒及び落下等による影響
 - ・下位クラス施設の転倒、落下、倒壊に伴う上位クラス施設への衝突
 - ・可燃物を内包した下位クラス施設の損傷に伴う火災
 - ・水・蒸気を内包した下位クラス施設の損傷に伴う溢水
 - (2) 周辺斜面の崩壊による影響
 - ・周辺斜面の崩壊による土塊の衝突

3.2 地震被害事例に基づく事象の検討

3.2.1 被害事例とその要因の整理

別記2に記載された事項の他に考慮すべき事項がないかを確認するため、原子力施設情報公開ライブラリ（NUCIA：ニューシア）から、同公開ライブラリに登録された以下の地震を対象に、原子力発電所の被害情報を抽出した。また、福島第二原子力発電所の不適合情報から地震による被害情報を抽出した。

これまでの被害事例において、下位クラス施設の破損等による波及的影響を含めて上位クラス施設の安全機能が損なわれる事象は確認されていないため、被害事例は全て上位クラス施設以外のものとなるが、これらの地震被害の発生要因（原因）を整理し、3.1項で検討した波及的影響の具体的な検討事象に加えるべき新たな被害要因が無いかを検討した。

被害事例とその要因を整理した結果を添付資料3-1及び3-2に示す。

（対象とした情報）

(1) 添付資料3-1

- ・宮城県沖地震（女川原子力発電所：平成17年8月）
 - ・能登半島地震（志賀原子力発電所：平成19年3月）
 - ・新潟県中越沖地震（柏崎刈羽原子力発電所：平成19年7月）
 - ・駿河湾地震（浜岡原子力発電所：平成21年8月）
 - ・東北地方太平洋沖地震（女川、東海第二原子力発電所：平成23年3月）
- ※NUCIA最終報告を対象とした。

(2) 添付資料3-2

- ・東北地方太平洋沖地震（福島第二原子力発電所：平成23年3月）

添付資料3-1及び3-2の整理の結果、地震被害の発生要因は以下のⅠ～Ⅵに分類された。

〔地震被害発生要因〕

- Ⅰ：地盤の不等沈下による損傷
- Ⅱ：建屋間の相対変位による損傷
- Ⅲ：地震の揺れによる施設の損傷・転倒・落下等
- Ⅳ：周辺斜面の崩壊
- Ⅴ：使用済燃料ピットのスロッシングによる溢水
- Ⅵ：その他（地震の揺れによる警報発信等、施設の損傷を伴わないⅠ～Ⅴ以外の要因等）

3.2.2 追加考慮すべき事象の検討

上記Ⅰ～Ⅵの要因が3.1項で整理した①～④の検討事項の対象となっているかを第3-1表に整理した。

第3-1表に示す通り、Ⅰ～Ⅴの要因は①～④の検討事項に分類されており、いずれの検討事項にも分類されなかった要因は、「Ⅵ：その他（地震の揺れによる警報発信等，施設の損傷を伴わないⅠ～Ⅴ以外の要因等）」であった。

要因Ⅵについては，地震の揺れによる警報発信，機器の誤動作，避圧弁の動作等の要因，並びに地震に起因する津波，火災，溢水による要因である。このうち警報発信，機器の誤動作，避圧弁の動作等については施設の損傷を伴わない要因であることから，波及的影響の観点で考慮すべき検討事項には当たらないと判断した。また，津波，火災，溢水による影響については，3.3項に示す通り別途影響評価を実施していることから，ここでは検討の対象外とする。

以上のことから，波及的影響評価における検討事項①～④について，地震による原子力発電所の被害情報から確認された被害要因を踏まえても，特に追加すべき事項がないことが確認された。

第3-1表 地震被害事例の要因と検討事象の整理

番号	波及的影響評価における検討事項		地震被害発生要因
①	設置地盤及び地震応答性状の相違等に起因する不等沈下又は相対変位による影響	地盤の不等沈下による影響	Ⅰ
		建屋間の相対変位による影響	Ⅱ
②	上位クラス施設と下位クラス施設との接続部における相互影響	接続部における相互影響	Ⅱ，Ⅲ
③	建物内における下位クラス施設の損傷，転倒及び落下等による上位クラス施設への影響	施設の損傷，転倒及び落下等による影響	Ⅲ，Ⅴ
④	建屋外における下位クラス施設の損傷，転倒及び落下等による上位クラス施設への影響	施設の損傷，転倒及び落下等による影響	Ⅰ，Ⅲ
		周辺斜面の崩壊による影響	Ⅳ

3.3 津波，火災，溢水による影響評価

地震に起因する津波，火災，溢水による安全機能又は重大事故等に対処するために必要な機能を有する施設への影響については，それぞれ津波側，火災側及び溢水側の説明書の中で影響評価を実施する。

津波の影響評価では，必要な津波防護対策（Sクラス）を講じることにより，基準津波に対して施設の安全機能又は重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないことを評価している。火災の影響評価では，地震による損傷の有無に関わらず，可燃物を内包している機器・配管系の全てが火災源となることを想定して，施設の安全機能への影響評価を実施している。また，溢水の影響評価では，水又は蒸気を内包している下位クラスの機器・配管系について，基準地震動 S_s に対する耐震性を確認できないものが溢水源となることを想定して，施設の安全機能への影響評価を実施することから，地震に起因する津波，火災，溢水による波及的影響については，これらの影響評価に包絡される。

3.4 周辺斜面の崩壊による影響評価

上位クラス施設については，基準地震動 S_s による地震力により周辺斜面の崩壊の影響がないことが確認された場所に設置する。具体的には「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-2008」及び「原子力発電所の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価技術」，「宅地防災マニュアルの解説」を参考に，個々の斜面高を踏まえて対象斜面を抽出する。

上記に基づく対象斜面の抽出とその耐震安全性評価については，「原子炉建屋等の基礎地盤及び周辺斜面の安定性（KK67-地 0084-3）」（平成 28 年 5 月 9 日ヒアリング実施）に記載しており，上位クラス施設の機能に対して影響ないことを確認している。また，上位クラス施設への波及的影響をおよぼすおそれのある下位クラス施設について，周辺斜面の崩壊による影響が無いことを確認している。確認内容について添付資料 4 に示す。

4. 上位クラス施設の確認

波及的影響評価を実施するに当たって、防護対象となる上位クラス施設は以下のとおりとする。

- (1) 設計基準対象施設のうち、耐震重要度分類の S クラスに属する施設
(津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を含む。)
- (2) (1)の間接支持構造物である建物・構築物
- (3) 屋外重要土木構造物
- (4) 重大事故等対処施設のうち、常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備
- (5) (4)が設置される常設重大事故等対処施設（間接支持構造物である建物・構築物）

なお、(2) 及び (5) に示した建物・構築物においては、基準地震動 S_s により生じる地震力に対して、必要な機能が維持されることについて、工事計画認可申請書に計算書を添付する。

建屋外の上位クラス施設一覧を第 4-1-1 表～第 4-1-3 表に建屋内の上位クラス施設一覧を第 4-2-1 表～第 4-2-3 表に示す。表中では、原子炉建屋を R/B、タービン建屋を T/B、コントロール建屋を C/B、及び廃棄物処理建屋を R_w/B と表記する。

第 4-1-1 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 建屋外上位クラス施設一覧表

整理 番号	建屋外上位クラス施設	区分
K6-0001	非常用ディーゼル発電設備 軽油タンク	S クラス SA 施設
K6-0002	非常用ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ	S クラス
K6-0003	非常用ディーゼル発電設備 燃料油系配管	S クラス
K6-0004	非常用ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ出口逆止弁	S クラス
K6-0005	格納容器圧力逃がし装置 フィルタ装置	SA 施設
K6-0006	格納容器圧力逃がし装置 よう素フィルタ	SA 施設
K6-0007	格納容器圧力逃がし装置 ドレンポンプ設備	SA 施設
K6-0008	格納容器圧力逃がし装置 ドレンタンク	SA 施設
K6-0009	格納容器圧力逃がし装置 ラプチャディスク	SA 施設
K6-0010	復水補給水系配管	SA 施設
K6-0011	燃料プール冷却浄化系配管	SA 施設
K6-0012	格納容器圧力逃がし装置配管	SA 施設
K6-0013	格納容器圧力逃がし装置放射線モニタ盤	SA 施設
K6-0014	原子炉建屋	S クラス施設及び SA 施設間接支持構造物
K6-0015	タービン建屋	S クラス施設及び SA 施設間接支持構造物
K6-0016	排気筒	S クラス施設間接支持構造物
K6-0017	格納容器圧力逃がし装置基礎	SA 施設間接支持構造物
K6-0018	海水貯留堰	S クラス 屋外重要土木構造物 SA 施設
K6-0019	スクリーン室	屋外重要土木構造物 SA 施設
K6-0020	取水路	屋外重要土木構造物 SA 施設
K6-0021	補機冷却用海水取水路	屋外重要土木構造物 SA 施設
K6-0022	軽油タンク基礎	屋外重要土木構造物 (S クラス施設及び SA 施設間接支持構造物)
K6-0023	燃料移送系配管ダクト	屋外重要土木構造物 (S クラス施設間接支持構造物)
K6-0024	原子炉補機冷却水系配管	SA 施設
K6-0025	非常用ガス処理系配管	S クラス SA 施設
K6-0026	代替格納容器圧力逃がし装置 フィルタ装置	SA 施設
K6-0027	代替格納容器圧力逃がし装置 よう素フィルタ	SA 施設
K6-0028	代替格納容器圧力逃がし装置室空調	SA 施設
K6-0029	代替格納容器圧力逃がし装置 ドレンポンプ設備	SA 施設
K6-0030	代替格納容器圧力逃がし装置 ドレンタンク	SA 施設

整理 番号	建屋外上位クラス施設	区分
K6-0031	代替格納容器圧力逃がし装置 薬液タンク	SA 施設
K6-0032	代替格納容器圧力逃がし装置 ラプチャディスク	SA 施設
K6-0033	代替格納容器圧力逃がし装置配管	SA 施設
K6-0034	代替格納容器圧力逃がし装置基礎	SA 施設間接支持構造物
K6-0035	無線連絡設備	SA 施設

第 4-1-2 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 建屋外上位クラス施設一覧表

整理 番号	建屋外上位クラス施設	区分
K7-0001	非常用ディーゼル発電設備 軽油タンク	S クラス SA 施設
K7-0002	非常用ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ	S クラス
K7-0003	非常用ディーゼル発電設備 燃料油系配管	S クラス
K7-0004	非常用ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ出口逆止弁	S クラス
K7-0005	格納容器圧力逃がし装置 フィルタ装置	SA 施設
K7-0006	格納容器圧力逃がし装置 よう素フィルタ	SA 施設
K7-0007	格納容器圧力逃がし装置 ドレンポンプ設備	SA 施設
K7-0008	格納容器圧力逃がし装置 ドレンタンク	SA 施設
K7-0009	格納容器圧力逃がし装置 ラプチャディスク	SA 施設
K7-0010	復水補給水系配管	SA 施設
K7-0011	燃料プール冷却浄化系配管	SA 施設
K7-0012	格納容器圧力逃がし装置配管	SA 施設
K7-0013	格納容器圧力逃がし装置放射線モニタ盤	SA 施設
K7-0014	原子炉建屋	S クラス施設及び SA 施設間接支持構造物
K7-0015	タービン建屋	S クラス施設及び SA 施設間接支持構造物
K7-0016	排気筒	S クラス施設間接支持構造物
K7-0017	格納容器圧力逃がし装置基礎	SA 施設間接支持構造物
K7-0018	海水貯留堰	S クラス 屋外重要土木構造物 SA 施設
K7-0019	スクリーン室	屋外重要土木構造物 SA 施設
K7-0020	取水路	屋外重要土木構造物 SA 施設
K7-0021	補機冷却用海水取水路	屋外重要土木構造物 SA 施設
K7-0022	軽油タンク基礎	屋外重要土木構造物 (S クラス施設及び SA 施設間接支持構造物)
K7-0023	燃料移送系配管ダクト	屋外重要土木構造物 (S クラス施設間接支持構造物)
K7-0024	原子炉補機冷却水系配管	SA 施設
K7-0025	非常用ガス処理系配管	S クラス SA 施設
K7-0026	代替格納容器圧力逃がし装置 フィルタ装置	SA 施設
K7-0027	代替格納容器圧力逃がし装置 よう素フィルタ	SA 施設
K7-0028	代替格納容器圧力逃がし装置室空調	SA 施設
K7-0029	代替格納容器圧力逃がし装置 ドレンポンプ設備	SA 施設
K7-0030	代替格納容器圧力逃がし装置 ドレンタンク	SA 施設

整理 番号	建屋外上位クラス施設	区分
K7-0031	代替格納容器圧力逃がし装置 薬液タンク	SA 施設
K7-0032	代替格納容器圧力逃がし装置 ラプチャディスク	SA 施設
K7-0033	代替格納容器圧力逃がし装置配管	SA 施設
K7-0034	代替格納容器圧力逃がし装置基礎	SA 施設間接支持構造物
K7-0035	無線連絡設備	SA 施設

第 4-1-3 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉
建屋外上位クラス施設一覧表

整理 番号	建屋外上位クラス施設	区分
共-0001	第一ガスタービン発電機	SA 施設
共-0002	第一ガスタービン発電機用燃料タンク	SA 施設
共-0003	第一ガスタービン発電機用燃料移送ポンプ	SA 施設
共-0004	第一ガスタービン発電機用燃料移送系配管	SA 施設
共-0005	第一ガスタービン発電機制御盤	SA 施設
共-0006	津波監視カメラ	S クラス SA 施設
共-0007	コントロール建屋	S クラス施設及び SA 施設間接支持構造物
共-0008	廃棄物処理建屋	SA 施設間接支持構造物
共-0009	第一ガスタービン発電機基礎	SA 施設間接支持構造物
共-0010	第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎	SA 施設間接支持構造物
共-0011	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所 (5 号炉原子炉建屋)	SA 施設間接支持構造物 SA 施設
共-0012	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所用無線連絡設備	SA 施設

第 4-2-1 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 建屋内上位クラス施設一覧表(1/7)

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	配置図 番号*
K6- E001	炉心支持構造物	S クラス	R/B	5
K6- E002	原子炉圧力容器	S クラス SA 施設	R/B	5
K6- E003	原子炉圧力容器支持構造物	S クラス	R/B	5
K6- E004	原子炉圧力容器付属構造物	S クラス	R/B	5
K6- E005	原子炉圧力容器内部構造物	S クラス	R/B	5
K6- E006	使用済燃料貯蔵プール	S クラス SA 施設	R/B	8
K6- E007	キャスクピット	S クラス	R/B	8
K6- E008	使用済燃料貯蔵ラック	S クラス	R/B	8
K6- E009	制御棒・破損燃料貯蔵ラック	S クラス	R/B	8
K6- E010	原子炉冷却材再循環ポンプ	S クラス	R/B	5
K6- E011	主蒸気逃がし安全弁自動減圧機 能用アキュムレータ	S クラス SA 施設	R/B	4
K6- E012	主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機 能用アキュムレータ	S クラス SA 施設	R/B	4
K6- E013	主蒸気隔離弁用アキュムレータ (原子炉格納容器内側)	S クラス	R/B	4
K6- E014	主蒸気隔離弁用アキュムレータ (原子炉格納容器外側)	S クラス	R/B	4
K6- E015	残留熱除去系熱交換器	S クラス SA 施設	R/B	1
K6- E016	残留熱除去系ポンプ	S クラス	R/B	1
K6- E017	残留熱除去系封水ポンプ	S クラス	R/B	1
K6- E018	残留熱除去系ストレーナ	S クラス	R/B	1
K6- E019	高圧炉心注水系ポンプ	S クラス	R/B	1
K6- E020	高圧炉心注水系ストレーナ	S クラス	R/B	1
K6- E021	原子炉隔離時冷却系ポンプ	S クラス	R/B	1
K6- E022	原子炉隔離時冷却系ポンプ駆動 用タービン	S クラス	R/B	1
K6- E023	原子炉隔離時冷却系真空タンク	S クラス	R/B	1
K6- E024	原子炉隔離時冷却系セパレータ	S クラス	R/B	1
K6- E025	原子炉隔離時冷却系バロメトリ ックコンデンサ	S クラス	R/B	1
K6- E026	原子炉隔離時冷却系蒸気タービ ン用潤滑油冷却器	S クラス	R/B	1
K6- E027	原子炉隔離時冷却系ポンプ用潤 滑油冷却器	S クラス	R/B	1
K6- E028	原子炉隔離時冷却系復水ポンプ	S クラス	R/B	1
K6- E029	原子炉隔離時冷却系真空ポンプ	S クラス	R/B	1
K6- E030	原子炉隔離時冷却系ストレーナ	S クラス	R/B	1
K6- E031	原子炉補機冷却水系熱交換器	S クラス	T/B	9, 11
K6- E032	原子炉補機冷却水ポンプ	S クラス	T/B	9, 11
K6- E033	原子炉補機冷却水系サージタン ク	S クラス SA 施設	R/B	8
K6- E034	原子炉補機冷却海水ポンプ	S クラス	T/B	11

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	配置図 番号*
K6- E035	原子炉補機冷却海水系ストレー ナ	S クラス	T/B	9, 11
K6- E036	原子炉補機冷却海水系ポンプ室 取水水位計測装置空気供給用アキ ュムレータ	S クラス	T/B	11
K6- E037	制御棒	S クラス	R/B	5
K6- E038	制御棒駆動機構	S クラス	R/B	5
K6- E039	水圧制御ユニット	S クラス	R/B	1
K6- E040	ほう酸水注入系ポンプ	S クラス SA 施設	R/B	6
K6- E041	ほう酸水注入系貯蔵タンク	S クラス SA 施設	R/B	6
K6- E042	非常用ガス処理系乾燥装置	S クラス	R/B	6
K6- E043	非常用ガス処理系排風機	S クラス	R/B	6
K6- E044	非常用ガス処理系フィルタ	S クラス	R/B	6
K6- E045	中央制御室送風機	S クラス	C/B	15
K6- E046	中央制御室再循環送風機	S クラス	C/B	15
K6- E047	中央制御室排風機	S クラス	C/B	15
K6- E048	中央制御室再循環フィルタ	S クラス	C/B	15
K6- E049	原子炉格納容器	S クラス SA 施設	R/B	5
K6- E050	機器搬出入口	S クラス SA 施設	R/B	5
K6- E051	エアロック	S クラス SA 施設	R/B	5
K6- E052	ダイヤフラムフロア	S クラス SA 施設	R/B	5
K6- E053	ベント管	S クラス SA 施設	R/B	5
K6- E054	原子炉格納容器貫通部	S クラス SA 施設	R/B	5
K6- E055	ドライウェルスブレイ管	S クラス SA 施設	R/B	5
K6- E056	サブプレッションチェンバースブ レイ管	S クラス SA 施設	R/B	5
K6- E057	可燃性ガス濃度制御系再結合装 置	S クラス	R/B	4
K6- E058	可燃性ガス濃度制御系再結合装 置加熱器	S クラス	R/B	4
K6- E059	可燃性ガス濃度制御系再結合装 置冷却器	S クラス	R/B	4
K6- E060	可燃性ガス濃度制御系再結合装 置ブロワ	S クラス	R/B	4
K6- E061	可燃性ガス濃度制御系再結合装 置気水分離器	S クラス	R/B	4
K6- E062	非常用ディーゼル発電設備 ディーゼル機関	S クラス	R/B	4
K6- E063	非常用ディーゼル発電設備 空気だめ	S クラス	R/B	4
K6- E064	非常用ディーゼル発電設備 空気圧縮機	S クラス	R/B	6
K6- E065	非常用ディーゼル発電設備 燃料ディタンク	S クラス	R/B	6
K6- E066	非常用ディーゼル発電設備 清水膨張タンク	S クラス	R/B	4
K6- E067	非常用ディーゼル発電設備 潤滑油補給タンク	S クラス	R/B	4
K6- E068	非常用ディーゼル発電設備 機関付空気冷却器	S クラス	R/B	4

※ 第 6-3-1 図で建屋内上位クラス施設が記載されている配置図の通し番号を示す。

第 4-2-1 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 建屋内上位クラス施設一覧表(2/7)

整理番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置建屋	配置図番号*	整理番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置建屋	配置図番号*
K6-E069	非常用ディーゼル発電設備潤滑油冷却器	S クラス	R/B	4	K6-E102	コントロール建屋計測制御電源盤区域給気処理装置	S クラス	C/B	13, 14, 15
K6-E070	非常用ディーゼル発電設備清水冷却器	S クラス	R/B	4	K6-E103	海水熱交換器エリア非常用給気処理装置	S クラス	T/B	9, 11, 12
K6-E071	非常用ディーゼル発電設備清水加熱器	S クラス	R/B	4	K6-E104	燃料プール冷却浄化系配管	S クラス SA 施設	R/B	—
K6-E072	非常用ディーゼル発電設備潤滑油加熱器	S クラス	R/B	4	K6-E105	原子炉冷却材再循環系配管	S クラス	R/B	—
K6-E073	非常用ディーゼル発電設備発電機軸受潤滑油冷却器	S クラス	R/B	4	K6-E106	主蒸気系配管	S クラス SA 施設	R/B	—
K6-E074	非常用ディーゼル発電設備清水加熱器ポンプ	S クラス	R/B	4	K6-E107	残留熱除去系配管	S クラス SA 施設	R/B	—
K6-E075	非常用ディーゼル発電設備機関付潤滑油ポンプ	S クラス	R/B	4	K6-E108	原子炉隔離時冷却系配管	S クラス SA 施設	R/B	—
K6-E076	非常用ディーゼル発電設備潤滑油ブライミングポンプ	S クラス	R/B	4	K6-E109	高圧炉心注水系配管	S クラス SA 施設	R/B	—
K6-E077	非常用ディーゼル発電設備機関付清水ポンプ	S クラス	R/B	4	K6-E110	復水給水系配管	S クラス SA 施設	R/B	—
K6-E078	非常用ディーゼル発電設備潤滑油補給ポンプ	S クラス	R/B	4	K6-E111	原子炉補機冷却水系配管	S クラス SA 施設	R/B T/B	—
K6-E079	非常用ディーゼル発電設備排気タービン過給機	S クラス	R/B	4	K6-E112	原子炉補機冷却海水系配管	S クラス SA 施設	T/B	—
K6-E080	非常用ディーゼル発電設備機関付潤滑油フィルタ	S クラス	R/B	4	K6-E113	原子炉冷却材浄化系配管	S クラス	R/B	—
K6-E081	非常用ディーゼル発電設備燃料フィルタ	S クラス	R/B	4	K6-E114	制御棒駆動系配管	S クラス	R/B	—
K6-E082	非常用ディーゼル発電設備発電機	S クラス	R/B	4	K6-E115	ほう酸水注入系配管	S クラス SA 施設	R/B	—
K6-E083	換気空調補機非常用冷却水系冷凍機	S クラス	C/B	13	K6-E116	放射性ドレン移送系配管	S クラス	R/B	—
K6-E084	換気空調補機非常用冷却水系ポンプ	S クラス	C/B	13	K6-E117	非常用ガス処理系配管	S クラス SA 施設	R/B	—
K6-E085	原子炉区域給気隔離弁アキュムレータタンク	S クラス	R/B	8	K6-E118	可燃性ガス濃度制御系配管	S クラス	R/B	—
K6-E086	原子炉区域排気隔離弁アキュムレータタンク	S クラス	R/B	6	K6-E119	不活性ガス系配管	S クラス SA 施設	R/B	—
K6-E087	残留熱除去系ポンプ室空調機	S クラス	R/B	1	K6-E120	換気空調補機非常用冷却水系配管	S クラス	C/B	—
K6-E088	高圧炉心注水系ポンプ室空調機	S クラス	R/B	1	K6-E121	復水補給水系配管	S クラス SA 施設	R/B Rw/B	—
K6-E089	原子炉隔離時冷却系ポンプ室空調機	S クラス	R/B	1	K6-E122	純水補給水系配管	S クラス	R/B	—
K6-E090	非常用ガス処理系室空調機	S クラス	R/B	6	K6-E123	タンクベント処理系配管	S クラス	R/B	—
K6-E091	可燃性ガス濃度制御系室空調機	S クラス	R/B	4	K6-E124	高圧窒素ガス供給系配管	S クラス SA 施設	R/B	—
K6-E092	非常用ディーゼル発電設備区域送風機	S クラス	R/B	7	K6-E125	弁グラント部漏えい処理系配管	S クラス	R/B	—
K6-E093	非常用ディーゼル発電設備区域排風機	S クラス	R/B	6, 8	K6-E126	試料採取系(ガス試料及び事故後サンプリング)配管	S クラス	R/B	—
K6-E094	非常用ディーゼル発電設備非常用送風機	S クラス	R/B	5	K6-E127	サブプレッションプール浄化系配管	S クラス	R/B	—
K6-E095	コントロール建屋計測制御電源盤区域送風機	S クラス	C/B	13, 14, 15	K6-E128	換気空調補機常用冷却水系配管	S クラス	R/B	—
K6-E096	コントロール建屋計測制御電源盤区域排風機	S クラス	C/B	14, 15	K6-E129	非常用ディーゼル発電設備燃料油系・潤滑油系・始動空気及び吸排気系・冷却水系配管	S クラス	R/B	—
K6-E097	海水熱交換器エリア非常用送風機	S クラス	T/B	9, 11, 12	K6-E130	所内用圧縮空気系配管	S クラス	R/B	—
K6-E098	格納容器内雰囲気モニタ系室空調機	S クラス	R/B	6, 7	K6-E131	計装用圧縮空気系配管	S クラス	R/B	—
K6-E099	非常用ディーゼル発電設備区域給気処理装置	S クラス	R/B	7	K6-E132	移動式炉内計装系配管	S クラス	R/B	—
K6-E100	非常用ディーゼル発電設備非常用給気処理装置	S クラス	R/B	6	K6-E133	耐圧漏えい試験設備系配管	S クラス	R/B	—
K6-E101	中央制御室給気処理装置	S クラス	C/B	15	K6-E134	原子炉・タービン区域換気空調系ダクト	S クラス	R/B	—

※ 第 6-3-1 図で建屋内上位クラス施設が記載されている配置図の通し番号を示す。

第 4-2-1 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 建屋内上位クラス施設一覧表(3/7)

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	配置図 番号 [※]
K6- E135	非常用電気品区域換気空調系ダクト	S クラス	R/B	—
K6- E136	コントロール建屋計測制御電源盤区域換気空調系ダクト	S クラス	C/B	—
K6- E137	中央制御室換気空調系ダクト	S クラス	C/B	—
K6- E138	海水熱交換器区域換気空調系ダクト	S クラス	T/B	—
K6- E139	閉止板	S クラス	T/B	11
K6- E140	水密扉	S クラス	T/B Rw/B	9, 10, 11
K6- E141	復水貯蔵槽	SA 施設	Rw/B	16
K6- E142	復水移送ポンプ	SA 施設	Rw/B	16
K6- E143	高圧代替注水系ポンプ	SA 施設	R/B	2
K6- E144	静的触媒式水素再結合器	SA 施設	R/B	8
K6- E145	耐圧強化ベント系配管	SA 施設	R/B	—
K6- E146	高圧代替注水系配管	SA 施設	R/B	—
K6- E147	格納容器圧力逃がし装置配管	SA 施設	R/B	—
K6- E148	納容器圧力逃がし装置／耐圧強化ベント系 遠隔手動弁操作設備	SA 施設	R/B	3, 5, 6
K6- E149	燃料プール冷却浄化系熱交換器	SA 施設	R/B	5
K6- E150	燃料プール冷却浄化系ポンプ	SA 施設	R/B	5
K6- E151	スキマーサージタンク	SA 施設	R/B	8
K6- E152	代替格納容器圧力逃がし装置 ラブチャディスク	SA 施設	R/B	—
K6- E153	代替格納容器圧力逃がし装置配管	SA 施設	R/B	—
K6- E154	代替格納容器圧力逃がし装置 遠隔手動弁操作設備	SA 施設	R/B	—
K6- E155	止水ハッチ	S クラス	T/B	11
K6- E156	貫通部止水処置	S クラス	T/B Rw/B	—
K6- E157	床ドレン浸水防止治具	S クラス	T/B	—
K7- E158	コリウムシールド	SA 施設	R/B	2

※ 第 6-3-1 図で建屋内上位クラス施設が記載されている配置図の通し番号を示す。

第 4-2-1 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 建屋内上位クラス施設一覧表(4/7)

整理番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	配置図 番号*	整理番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	配置図 番号*
K6-V001	主蒸気逃がし安全弁	S クラス SA 施設	R/B	4	K6-V034	高圧炉心注水系試験可能逆止弁	S クラス	R/B	4
K6-V002	主蒸気内側隔離弁	S クラス	R/B	4	K6-V035	高圧炉心注水系サブプレッション プール側吸込隔離弁	S クラス	R/B	1
K6-V003	主蒸気外側隔離弁	S クラス	R/B	4	K6-V036	高圧炉心注水系サブプレッション プール側吸込逆止弁	S クラス	R/B	1
K6-V004	主蒸気ドレンライン内側隔離弁	S クラス	R/B	4	K6-V037	高圧炉心注水系最小流量バイパス 弁	S クラス	R/B	2
K6-V005	主蒸気ドレンライン外側隔離弁	S クラス	R/B	4	K6-V038	原子炉隔離時冷却系復水貯蔵槽 側吸込弁	S クラス	R/B	1
K6-V006	原子炉給水ライン外側隔離弁	S クラス SA 施設	R/B	4	K6-V039	原子炉隔離時冷却系復水貯蔵槽 側吸込逆止弁	S クラス	R/B	1
K6-V007	原子炉給水ライン内側隔離弁	S クラス SA 施設	R/B	4	K6-V040	原子炉隔離時冷却系注入逆止弁	S クラス	R/B	1
K6-V008	原子炉給水ライン逆止弁	S クラス	R/B	4	K6-V041	原子炉隔離時冷却系注入弁	S クラス	R/B	2
K6-V009	スクラム弁	S クラス	R/B	1	K6-V042	原子炉隔離時冷却系試験可能逆 止弁	S クラス	R/B	4
K6-V010	ほう酸水注入系原子炉格納容器 外側逆止弁	S クラス SA 施設	R/B	4	K6-V043	原子炉隔離時冷却系サブプレッ ションプール側吸込隔離弁	S クラス	R/B	1
K6-V011	ほう酸水注入系原子炉格納容器 内側逆止弁	S クラス SA 施設	R/B	4	K6-V044	原子炉隔離時冷却系サブプレッ ションプール側吸込逆止弁	S クラス	R/B	1
K6-V012	残留熱除去系ポンプサブプレッ ションプール水吸込隔離弁	S クラス	R/B	1	K6-V045	原子炉隔離時冷却系最小流量バ イパス弁	S クラス	R/B	2
K6-V013	残留熱除去系ポンプ吐出ライン 逆止弁	S クラス	R/B	1	K6-V046	原子炉隔離時冷却系冷却水ライ ン止め弁	S クラス	R/B	1
K6-V014	残留熱除去系熱交換器出口弁	S クラス	R/B	1	K6-V047	原子炉隔離時冷却系冷却水ライ ン圧力調節弁	S クラス	R/B	1
K6-V015	残留熱除去系注入弁	S クラス SA 施設	R/B	4	K6-V048	原子炉隔離時冷却系復水ポンプ 吐出一次逆止弁	S クラス	R/B	1
K6-V016	残留熱除去系低圧注水試験可能 逆止弁	S クラス SA 施設	R/B	4	K6-V049	原子炉隔離時冷却系復水ポンプ 吐出二次逆止弁	S クラス	R/B	1
K6-V017	残留熱除去系試験用調節弁	S クラス	R/B	2	K6-V050	原子炉隔離時冷却系蒸気ライン 内側隔離弁	S クラス SA 施設	R/B	4
K6-V018	残留熱除去系停止時冷却内側隔 離弁	S クラス	R/B	4	K6-V051	原子炉隔離時冷却系蒸気ライン 外側隔離弁	S クラス SA 施設	R/B	4
K6-V019	残留熱除去系停止時冷却外側隔 離弁	S クラス	R/B	4	K6-V052	原子炉隔離時冷却系タービン止 め弁	S クラス	R/B	1
K6-V020	残留熱除去系ポンプ炉水吸込弁	S クラス	R/B	1	K6-V053	原子炉隔離時冷却系タービン排 気ライン逆止弁	S クラス	R/B	3
K6-V021	残留熱除去系熱交換器バイパス 弁	S クラス	R/B	1	K6-V054	原子炉隔離時冷却系タービン排 気ライン隔離弁	S クラス	R/B	3
K6-V022	残留熱除去系燃料プール側第一 出口弁	S クラス	R/B	3	K6-V055	原子炉隔離時冷却系真空ポンプ 吐出ライン逆止弁	S クラス	R/B	2
K6-V023	残留熱除去系燃料プール側第二 出口弁	S クラス	R/B	5	K6-V056	原子炉隔離時冷却系真空ポンプ 吐出ライン隔離弁	S クラス	R/B	2
K6-V024	残留熱除去系格納容器冷却流量 調節弁	S クラス	R/B	4	K6-V057	原子炉隔離時冷却系タービン排 気ライン真空破壊第一逆止弁	S クラス	R/B	3
K6-V025	残留熱除去系格納容器冷却ライ ン隔離弁	S クラス	R/B	4	K6-V058	原子炉隔離時冷却系タービン排 気ライン真空破壊第二逆止弁	S クラス	R/B	3
K6-V026	残留熱除去系サブプレッションプ ールスブレイ注入隔離弁	S クラス SA 施設	R/B	3	K6-V059	原子炉冷却材浄化系吸込ライン 内側隔離弁	S クラス	R/B	4
K6-V027	残留熱除去系最小流量逆止弁	S クラス	R/B	1	K6-V060	原子炉冷却材浄化系吸込ライン 外側隔離弁	S クラス	R/B	4
K6-V028	残留熱除去系最小流量バイパス 弁	S クラス	R/B	2	K6-V061	原子炉冷却材浄化系原子炉圧力 容器ヘッドスブレイ隔離弁	S クラス	R/B	4
K6-V029	残留熱除去系サブプレッションプ ール水排水系第一止め弁	S クラス	R/B	1	K6-V062	原子炉冷却材浄化系原子炉圧力 容器ヘッドスブレイ逆止弁	S クラス	R/B	5
K6-V030	残留熱除去系サブプレッションプ ール水排水系第二止め弁	S クラス	R/B	1, 2	K6-V063	燃料プール冷却浄化系使用済み 燃料貯蔵プール入口逆止弁	S クラス	R/B	5
K6-V031	高圧炉心注水系復水貯蔵槽側吸 込弁	S クラス	R/B	1	K6-V064	燃料プール冷却浄化系使用済み 燃料貯蔵プール散水管逆止弁	S クラス	R/B	8
K6-V032	高圧炉心注水系復水貯蔵槽側吸 込逆止弁	S クラス	R/B	1	K6-V065	燃料プール冷却浄化系残留熱除 去系戻りライン逆止弁	S クラス	R/B	5
K6-V033	高圧炉心注水系注入隔離弁	S クラス	R/B	4	K6-V066	燃料プールサブプレッションプ ール浄化系注入ライン逆止弁	S クラス	R/B	5

※ 第 6-3-1 図で建屋内上位クラス施設が記載されている配置図の通し番号を示す。

第 4-2-1 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 建屋内上位クラス施設一覧表(5/7)

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	配置図 番号*	整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	配置図 番号*
K6- V067	サブプレッションプール浄化系サブプレッションプール側吸込第一隔離弁	S クラス	R/B	1	K6- V100	原子炉格納容器バージ用室素供給隔離弁	S クラス	R/B	5
K6- V068	サブプレッションプール浄化系サブプレッションプール側吸込第二隔離弁	S クラス	R/B	1	K6- V101	ドライウエルベント用出口隔離弁	S クラス SA 施設	R/B	5
K6- V069	ドライウエル低電導度廃液系サンプ内側隔離弁	S クラス	R/B	2	K6- V102	非常用ガス処理系側原子炉格納容器ベント用隔離弁	S クラス	R/B	6
K6- V070	ドライウエル低電導度廃液系サンプ外側隔離弁	S クラス	R/B	2	K6- V103	換気空調系側原子炉格納容器ベント用隔離弁	S クラス	R/B	6
K6- V071	ドライウエル高電導度廃液系サンプ内側隔離弁	S クラス	R/B	2	K6- V104	サブプレッションチェンバベント用出口隔離弁	S クラス SA 施設	R/B	3
K6- V072	ドライウエル高電導度廃液系サンプ外側隔離弁	S クラス	R/B	2	K6- V105	可燃性ガス濃度制御系入口第一隔離弁	S クラス	R/B	5
K6- V073	原子炉補機冷却水系ポンプ吐出逆止弁	S クラス	T/B	9, 11	K6- V106	可燃性ガス濃度制御系入口流量調節弁	S クラス	R/B	4
K6- V074	原子炉補機冷却水系熱交換器冷却水出口弁	S クラス SA 施設	T/B	9, 11	K6- V107	可燃性ガス濃度制御系入口第二隔離弁	S クラス	R/B	5
K6- V075	原子炉補機冷却水系冷却水供給温度調整弁	S クラス SA 施設	T/B	9, 11	K6- V108	可燃性ガス濃度制御系再循環流量調節弁	S クラス	R/B	4
K6- V076	原子炉補機冷却水系常用冷却水緊急遮断弁	S クラス	R/B	2	K6- V109	可燃性ガス濃度制御系出口逆止弁	S クラス	R/B	2
K6- V077	原子炉補機冷却水系常用冷却水供給側隔離弁	S クラス	R/B	2	K6- V110	可燃性ガス濃度制御系冷却水入口弁	S クラス	R/B	4
K6- V078	原子炉補機冷却水系常用冷却水戻り側隔離弁	S クラス	R/B	2	K6- V111	可燃性ガス濃度制御系出口第二隔離弁	S クラス	R/B	2
K6- V079	原子炉補機冷却水系常用冷却水戻り側逆止弁	S クラス	R/B	2	K6- V112	可燃性ガス濃度制御系出口第一隔離弁	S クラス	R/B	2
K6- V080	原子炉補機冷却水系残留熱除去系熱交換器冷却水出口弁	S クラス SA 施設	R/B	2	K6- V113	可燃性ガス濃度制御系冷却水止め弁	S クラス	R/B	3
K6- V081	原子炉補機冷却水系非常用ディーゼル発電設備冷却水出口弁	S クラス SA 施設	R/B	3, 4	K6- V114	中央制御室非常時外気取入れ隔離ダンパ	S クラス SA 施設	C/B	15
K6- V082	原子炉補機冷却海水系ポンプ吐出逆止弁	S クラス	T/B	11	K6- V115	中央制御室排気隔離ダンパ	S クラス SA 施設	C/B	15
K6- V083	原子炉補機冷却海水系ポンプ吐出弁	S クラス	T/B	11	K6- V116	非常用ディーゼル発電設備(C)区域排気切換ダンパ	S クラス	R/B	8
K6- V084	原子炉補機冷却海水系ストレーナ入口弁	S クラス SA 施設	T/B	9, 11	K6- V117	コントロール建屋計測制御電源盤区域(C)排気切換ダンパ	S クラス	C/B	15
K6- V085	原子炉補機冷却海水系海水ストレーナブロー弁	S クラス	T/B	9, 11	K6- V118	原子炉格納容器耐圧強化ベント用連絡配管隔離弁	S クラス SA 施設	R/B	6
K6- V086	計装用圧縮空気系原子炉格納容器外側隔離弁	S クラス	R/B	5	K6- V119	中央制御室外気取入隔離ダンパ	S クラス SA 施設	C/B	15
K6- V087	高圧室素ガス供給系自動減圧系用室素ガス原子炉格納容器外側隔離弁	S クラス	R/B	5	K6- V120	復水補給水系下部ドライウエル注水流量調節弁	SA 施設	R/B	3
K6- V088	高圧室素ガス供給系逃がし弁用室素ガス原子炉格納容器外側隔離弁	S クラス	R/B	5	K6- V121	復水補給水系下部ドライウエル注水ライン隔離弁	SA 施設	R/B	3
K6- V089	非常用ガス処理系入口隔離弁	S クラス	R/B	6					
K6- V090	非常用ガス処理系乾燥装置入口弁	S クラス	R/B	6					
K6- V091	非常用ガス処理系フィルタ装置出口弁	S クラス	R/B	6					
K6- V092	非常用ガス処理系排風機グラビティダンパ	S クラス	R/B	6					
K6- V093	真空破壊弁	S クラス SA 施設	R/B	3					
K6- V094	原子炉格納容器バージ用空気供給隔離弁	S クラス	R/B	6					
K6- V095	ドライウエルバージ用入口隔離弁	S クラス	R/B	4					
K6- V096	サブプレッションチェンババージ用入口隔離弁	S クラス	R/B	3					
K6- V097	原子炉格納容器室素供給隔離弁	S クラス	R/B	4					
K6- V098	ドライウエル室素入口隔離弁	S クラス	R/B	4					
K6- V099	サブプレッションチェンバ室素入口隔離弁	S クラス	R/B	3					

※ 第 6-3-1 図で建屋内上位クラス施設が記載されている配置図の通し番号を示す。

第 4-2-1 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 建屋内上位クラス施設一覧表(6/7)

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	配置図 番号*
K6- B001	非常用所内電源補助盤	S クラス	C/B	31
K6- B002	安全系補助継電器盤	S クラス	C/B	31
K6- B003	安全保護系盤	S クラス SA 施設	C/B	31
K6- B004	工学的安全施設盤	S クラス SA 施設	C/B	31
K6- B005	中央運転監視盤	S クラス SA 施設	C/B	31
K6- B006	運転監視補助盤	S クラス SA 施設	C/B	31
K6- B007	メタルクラッドスイッチギア補助継電器盤	S クラス	C/B	31
K6- B008	中央制御室端子盤	S クラス	C/B	31
K6- B009	原子炉系伝送盤	S クラス	C/B	31
K6- B010	原子炉緊急停止系ロードドライバ盤	S クラス	C/B	31
K6- B011	主蒸気隔離系ロードドライバ盤	S クラス	C/B	31
K6- B012	原子炉隔離時冷却系タービン制御盤	S クラス	R/B	19
K6- B013	中央制御室外原子炉停止装置盤	S クラス	R/B	19
K6- B014	スクラムソレノイドヒューズ盤	S クラス	R/B	18
K6- B015	可燃性ガス濃度制御系サイリスタスイッチ盤	S クラス	R/B	19
K6- B016	原子炉補機冷却海水系ストレーナ制御盤	S クラス	T/B	25, 26, 28
K6- B017	安全系多重伝送現場盤	S クラス	R/B T/B C/B	19, 25, 26 28, 30
K6- B018	ほう酸水注入系現場操作箱	S クラス	R/B	22
K6- B019	メタルクラッドスイッチギア	S クラス SA 施設	R/B	19
K6- B020	パワーセンタ	S クラス SA 施設	R/B T/B	19, 25, 26 27
K6- B021	動力変圧器	S クラス SA 施設	R/B T/B	19, 24, 25 26, 27
K6- B022	モータコントロールセンタ	S クラス SA 施設	R/B T/B C/B	19, 22, 24 25, 26, 27 30
K6- B023	直流主母線盤	S クラス SA 施設	R/B C/B	24, 30
K6- B024	充電器盤	S クラス SA 施設	R/B C/B	24, 29, 30
K6- B025	蓄電池	S クラス SA 施設	R/B C/B	24, 29, 30
K6- B026	直流モータコントロールセンタ	S クラス SA 施設	R/B	19, 24
K6- B027	直流分電盤	S クラス SA 施設	C/B	30
K6- B028	直流切替盤	S クラス SA 施設	R/B C/B	19, 30
K6- B029	バイタル交流電源装置	S クラス SA 施設	C/B	30
K6- B030	交流バイタル分電盤	S クラス SA 施設	R/B C/B	23, 30
K6- B031	計測用電源切換盤	S クラス SA 施設	C/B	30
K6- B032	計測用分電盤	S クラス SA 施設	C/B	30
K6- B033	非常用ディーゼル発電機盤	S クラス	R/B	20, 21

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	配置図 番号*
K6- B034	換気空調補機非常用冷却水系冷凍機制御盤	S クラス	C/B	29
K6- B035	核計装／安全系プロセス放射線モニタ盤	S クラス SA 施設	R/B C/B	21, 31
K6- B036	格納容器内雰囲気モニタ盤	S クラス SA 施設	R/B C/B	22, 23, 31
K6- B037	使用済み燃料プール・津波監視カメラ制御架	S クラス SA 施設	C/B	31
K6- B038	核計装記録計盤	SA 施設	C/B	31
K6- B039	格納容器補助盤	SA 施設	C/B	31
K6- B040	原子炉系記録計盤	SA 施設	C/B	31
K6- B041	格納容器内水素モニタ盤	SA 施設	C/B	31
K6- B042	事故時放射線モニタ盤	S クラス SA 施設	C/B	31
K6- B043	緊急用電源切替箱	SA 施設	R/B	19
K6- B044	AM用電動弁電源切替盤	S クラス SA 施設	R/B	22
K6- B045	AM用電動弁操作箱	SA 施設	R/B	22
K6- B046	格納容器圧力逃がし装置制御盤	SA 施設	C/B	31
K6- B047	格納容器圧力逃がし装置無停電電源装置	SA 施設	R/B	21
K6- B048	格納容器圧力逃がし装置放射線モニタ前置増幅器盤	SA 施設	R/B	24
K6- B049	保安器盤	SA 施設	R/B	24
K6- B050	A T W S ／ R P T 盤	SA 施設	C/B	31
K6- B051	高圧代替注水設備制御盤	SA 施設	C/B	31

※ 第 6-3-1 図で建屋内上位クラス施設が記載されている配置図の通し番号を示す。

第 4-2-1 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 建屋内上位クラス施設一覧表(7/7)

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	配置図 番号*
K6- I001	鉛直方向地震加速度検出器	S クラス	R/B	17
K6- I002	水平方向地震加速度検出器	S クラス	R/B	17, 22
K6- I003	原子炉系炉心流量	S クラス	R/B	17
K6- I004	原子炉水位	S クラス SA 施設	R/B	17, 19
K6- I005	原子炉水位 (SA)	SA 施設	R/B	17, 19
K6- I006	原子炉圧力	S クラス SA 施設	R/B	19
K6- I007	原子炉圧力 (SA)	SA 施設	R/B	19
K6- I008	格納容器内圧力	S クラス	R/B	22, 23
K6- I009	格納容器内圧力 (D/W)	SA 施設	R/B	23
K6- I010	制御棒駆動機構充てん水圧力	S クラス	R/B	17
K6- I011	主蒸気管放射線モニタ	S クラス	R/B	22
K6- I012	原子炉区域換気空調系排気放射線モニタ	S クラス	R/B	23
K6- I013	燃料取替エリア排気放射線モニタ	S クラス	R/B	24
K6- I014	サブプレッションチェンバプール水位	S クラス SA 施設	R/B	17
K6- I015	高圧炉心注水系ポンプ吐出圧力	S クラス	R/B	17
K6- I016	主蒸気管流量	S クラス	R/B	19
K6- I017	主蒸気管トンネル温度	S クラス	R/B	20
K6- I018	取水槽水位計測用空気流量調節器	S クラス	T/B	26
K6- I019	取水槽水位	S クラス	T/B	26
K6- I020	サブプレッションチェンバプール水温度	S クラス SA 施設	R/B	17, 18
K6- I021	起動領域モニタ	S クラス SA 施設	R/B	23
K6- I022	平均出力領域モニタ	S クラス SA 施設	R/B	23
K6- I023	格納容器内水素濃度	S クラス SA 施設	R/B	22, 23
K6- I024	格納容器内酸素濃度	S クラス SA 施設	R/B	22, 23
K6- I025	格納容器内雰囲気放射線モニタ	S クラス SA 施設	R/B	19, 20
K6- I026	残留熱除去系系統流量	S クラス	R/B	17
K6- I027	残留熱除去系ポンプ吐出圧力	S クラス SA 施設	R/B	17
K6- I028	高圧炉心注水系系統流量	S クラス	R/B	17
K6- I029	原子炉隔離時冷却系系統流量	S クラス	R/B	17
K6- I030	使用済燃料貯蔵プール温度 (SA 広域) 使用済燃料貯蔵プール水位 (SA 広域)	SA 施設	R/B	24
K6- I031	データ伝送装置	S クラス	C/B	31
K6- I032	原子炉圧力容器温度	SA 施設	R/B	19
K6- I033	復水補給水系流量 (原子炉圧力容器)	SA 施設	R/B	19

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	配置図 番号*
K6- I034	復水補給系流量 (原子炉圧力容器), 復水補給水系流量 (原子炉格納容器)	SA 施設	R/B	19
K6- I035	使用済燃料貯蔵プール温度 (SA) 使用済燃料貯蔵プール水位 (SA)	SA 施設	R/B	24
K6- I036	使用済燃料貯蔵プール水位 (SA)	SA 施設	R/B	24
K6- I037	復水補給水系流量 (原子炉格納容器)	SA 施設	R/B	18
K6- I038	格納容器内圧力 (S/C)	SA 施設	R/B	20
K6- I039	サブプレッションチェンバ気体温度	SA 施設	R/B	19
K6- I040	ドライウェル雰囲気温度	SA 施設	R/B	18, 22
K6- I041	原子炉建屋水素濃度	SA 施設	R/B	18, 19, 21, 24
K6- I042	高圧代替注水系系統流量	SA 施設	R/B	18
K6- I043	格納容器下部水位	SA 施設	R/B	17
K6- I044	格納容器内水素濃度 (SA)	SA 施設	R/B	19, 21
K6- I045	耐圧強化ベント系放射線モニタ	SA 施設	R/B	24
K6- I046	使用済燃料貯蔵プール放射線モニタ (低レンジ)	SA 施設	R/B	24
K6- I047	使用済燃料貯蔵プール放射線モニタ (高レンジ)	SA 施設	R/B	24
K6- I048	静的触媒式水素再結合器 動作監視装置	SA 施設	R/B	24
K6- I049	復水貯蔵槽水位 (SA)	SA 施設	RW/B	32
K6- I050	復水移送ポンプ吐出圧力	SA 施設	RW/B	32
K6- I051	復水補給水系温度 (代替循環冷却)	SA 施設	R/B	17
K6- I052	通信連絡設備	SA 施設	C/B	31

※ 第 6-3-1 図で建屋内上位クラス施設が記載されている配置図の通し番号を示す。

第 4-2-2 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 建屋内上位クラス施設一覧表(1/7)

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	配置図 番号*
K7- E001	炉心支持構造物	S クラス	R/B	5
K7- E002	原子炉圧力容器	S クラス SA 施設	R/B	5
6K7- E003	原子炉圧力容器支持構造物	S クラス	R/B	5
K7- E004	原子炉圧力容器付属構造物	S クラス	R/B	5
K7- E005	原子炉圧力容器内部構造物	S クラス	R/B	5
K7- E006	使用済燃料貯蔵プール	S クラス SA 施設	R/B	8
K7- E007	キャスクピット	S クラス	R/B	8
K7- E008	使用済燃料貯蔵ラック	S クラス	R/B	8
K7- E009	制御棒・破損燃料貯蔵ラック	S クラス	R/B	8
K7- E010	原子炉冷却材再循環ポンプ	S クラス	R/B	5
K7- E011	主蒸気逃がし安全弁自動減圧機 能用アキュムレータ	S クラス SA 施設	R/B	4
K7- E012	主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機 能用アキュムレータ	S クラス SA 施設	R/B	4
K7- E013	主蒸気隔離弁用アキュムレータ (原子炉格納容器内側)	S クラス	R/B	4
K7- E014	主蒸気隔離弁用アキュムレータ (原子炉格納容器外側)	S クラス	R/B	4
K7- E015	残留熱除去系熱交換器	S クラス SA 施設	R/B	1
K7- E016	残留熱除去系ポンプ	S クラス	R/B	1
K7- E017	残留熱除去系封水ポンプ	S クラス	R/B	1
K7- E018	残留熱除去系ストレーナ	S クラス	R/B	1
K7- E019	高圧炉心注水系ポンプ	S クラス	R/B	1
K7- E020	高圧炉心注水系ストレーナ	S クラス	R/B	1
K7- E021	原子炉隔離時冷却系ポンプ	S クラス	R/B	1
K7- E022	原子炉隔離時冷却系ポンプ駆動 用タービン	S クラス	R/B	1
K7- E023	原子炉隔離時冷却系真空タンク	S クラス	R/B	1
K7- E024	原子炉隔離時冷却系セパレータ	S クラス	R/B	1
K7- E025	原子炉隔離時冷却系バロメトリ ックコンデンサ	S クラス	R/B	1
K7- E026	原子炉隔離時冷却系蒸気タービ ン用潤滑油冷却器	S クラス	R/B	1
K7- E027	原子炉隔離時冷却系ポンプ用潤 滑油冷却器	S クラス	R/B	1
K7- E028	原子炉隔離時冷却系復水ポンプ	S クラス	R/B	1
K7- E029	原子炉隔離時冷却系真空ポンプ	S クラス	R/B	1
K7- E030	原子炉隔離時冷却系ストレーナ	S クラス	R/B	1
K7- E031	原子炉補機冷却水系熱交換器	S クラス	T/B	9, 11
K7- E032	原子炉補機冷却水ポンプ	S クラス	T/B	9, 11
K7- E033	原子炉補機冷却水系サージタン ク	S クラス SA 施設	R/B	8
K7- E034	原子炉補機冷却海水ポンプ	S クラス	T/B	11

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	配置図 番号*
K7- E035	原子炉補機冷却海水系ストレー ナ	S クラス	T/B	9, 11
K7- E036	原子炉補機冷却海水系ポンプ室 取水水位計測装置空気供給用アキ ュムレータ	S クラス	T/B	11
K7- E037	制御棒	S クラス	R/B	5
K7- E038	制御棒駆動機構	S クラス	R/B	5
K7- E039	水圧制御ユニット	S クラス	R/B	1
K7- E040	ほう酸水注入系ポンプ	S クラス SA 施設	R/B	6
K7- E041	ほう酸水注入系貯蔵タンク	S クラス SA 施設	R/B	6
K7- E042	非常用ガス処理系乾燥装置	S クラス	R/B	6
K7- E043	非常用ガス処理系排風機	S クラス	R/B	6
K7- E044	非常用ガス処理系フィルタ	S クラス	R/B	6
K7- E045	中央制御室送風機	S クラス	C/B	15
K7- E046	中央制御室再循環送風機	S クラス	C/B	15
K7- E047	中央制御室排風機	S クラス	C/B	15
K7- E048	中央制御室再循環フィルタ	S クラス	C/B	15
K7- E049	原子炉格納容器	S クラス SA 施設	R/B	5
K7- E050	機器搬出入口	S クラス SA 施設	R/B	5
K7- E051	エアロック	S クラス SA 施設	R/B	5
K7- E052	ダイヤモンドフロア	S クラス SA 施設	R/B	5
K7- E053	ペント管	S クラス SA 施設	R/B	5
K7- E054	原子炉格納容器貫通部	S クラス SA 施設	R/B	5
K7- E055	ドライウェルスブレイ管	S クラス SA 施設	R/B	5
K7- E056	サブプレッションチェンバースブ レイ管	S クラス SA 施設	R/B	5
K7- E057	可燃性ガス濃度制御系再結合装 置	S クラス	R/B	4
K7- E058	可燃性ガス濃度制御系再結合装 置加熱器	S クラス	R/B	4
K7- E059	可燃性ガス濃度制御系再結合装 置冷却器	S クラス	R/B	4
K7- E060	可燃性ガス濃度制御系再結合装 置ブロー	S クラス	R/B	4
K7- E061	可燃性ガス濃度制御系再結合装 置気水分離器	S クラス	R/B	4
K7- E062	非常用ディーゼル発電設備 ディーゼル機関	S クラス	R/B	4
K7- E063	非常用ディーゼル発電設備 空気だめ	S クラス	R/B	4
K7- E064	非常用ディーゼル発電設備 空気圧縮機	S クラス	R/B	6
K7- E065	非常用ディーゼル発電設備 燃料ディタンク	S クラス	R/B	6
K7- E066	非常用ディーゼル発電設備 清水膨張タンク	S クラス	R/B	4
K7- E067	非常用ディーゼル発電設備 潤滑油補給タンク	S クラス	R/B	4
K7- E068	非常用ディーゼル発電設備 機関付空気冷却器	S クラス	R/B	4

※ 第 6-3-2 図で建屋内上位クラス施設が記載されている配置図の通し番号を示す。

第 4-2-2 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 建屋内上位クラス施設一覧表(2/7)

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	配置図 番号*	整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	配置図 番号*
K7- E069	非常用ディーゼル発電設備 潤滑油冷却器	S クラス	R/B	4	K7- E102	海水熱交換器エリア非常用給気 処理装置	S クラス	T/B	9, 11, 12
K7- E070	非常用ディーゼル発電設備 清水冷却器	S クラス	R/B	4	K7- E103	燃料プール冷却浄化系配管	S クラス SA 施設	R/B	—
K7- E071	非常用ディーゼル発電設備 清水加熱器	S クラス	R/B	4	K7- E104	原子炉冷却材再循環系配管	S クラス	R/B	—
K7- E072	非常用ディーゼル発電設備 潤滑油加熱器	S クラス	R/B	4	K7- E105	主蒸気系配管	S クラス SA 施設	R/B	—
K7- E073	非常用ディーゼル発電設備 発電機軸受潤滑油冷却器	S クラス	R/B	4	K7- E106	残留熱除去系配管	S クラス SA 施設	R/B	—
K7- E074	非常用ディーゼル発電設備 清水加熱器ポンプ	S クラス	R/B	4	K7- E107	原子炉隔離時冷却系配管	S クラス SA 施設	R/B	—
K7- E075	非常用ディーゼル発電設備 機関付潤滑油ポンプ	S クラス	R/B	4	K7- E108	高圧炉心注水系配管	S クラス SA 施設	R/B	—
K7- E076	非常用ディーゼル発電設備 潤滑油ブライミングポンプ	S クラス	R/B	4	K7- E109	復水給水系配管	S クラス SA 施設	R/B	—
K7- E077	非常用ディーゼル発電設備 機関付清水ポンプ	S クラス	R/B	4	K7- E110	原子炉補機冷却水系配管	S クラス SA 施設	R/B T/B	—
K7- E078	非常用ディーゼル発電設備 潤滑油補給ポンプ	S クラス	R/B	4	K7- E111	原子炉補機冷却海水系配管	S クラス SA 施設	T/B	—
K7- E079	非常用ディーゼル発電設備 排気タービン過給機	S クラス	R/B	4	K7- E112	原子炉冷却材浄化系配管	S クラス	R/B	—
K7- E080	非常用ディーゼル発電設備 機関付潤滑油フィルタ	S クラス	R/B	4	K7- E113	制御棒駆動系配管	S クラス	R/B	—
K7- E081	非常用ディーゼル発電設備 燃料フィルタ	S クラス	R/B	4	K7- E114	ほう酸水注入系配管	S クラス SA 施設	R/B	—
K7- E082	非常用ディーゼル発電設備 発電機	S クラス	R/B	4	K7- E115	放射性ドレン移送系配管	S クラス	R/B	—
K7- E083	換気空調補機非常用冷却水系冷 凍機	S クラス	C/B	13	K7- E116	非常用ガス処理系配管	S クラス SA 施設	R/B	—
K7- E084	換気空調補機非常用冷却水系ボ ンプ	S クラス	C/B	13	K7- E117	可燃性ガス濃度制御系配管	S クラス	R/B	—
K7- E085	原子炉区域給気隔離弁アキュム レータタンク	S クラス	R/B	8	K7- E118	不活性ガス系配管	S クラス SA 施設	R/B	—
K7- E086	原子炉区域排気隔離弁アキュム レータタンク	S クラス	R/B	7	K7- E119	換気空調補機非常用冷却水系配 管	S クラス	C/B	—
K7- E087	残留熱除去系ポンプ室空調機	S クラス	R/B	1	K7- E120	復水補給水系配管	S クラス SA 施設	R/B Rw/B	—
K7- E088	高圧炉心注水系ポンプ室空調機	S クラス	R/B	1	K7- E121	純水補給水系配管	S クラス	R/B	—
K7- E089	原子炉隔離時冷却系ポンプ室空 調機	S クラス	R/B	1	K7- E122	タンクベント処理系配管	S クラス	R/B	—
K7- E090	非常用ガス処理系室空調機	S クラス	R/B	6	K7- E123	高圧窒素ガス供給系配管	S クラス SA 施設	R/B	—
K7- E091	可燃性ガス濃度制御系室空調機	S クラス	R/B	4	K7- E124	弁グランド部漏えい処理系配管	S クラス	R/B	—
K7- E092	非常用ディーゼル発電設備区域 送風機	S クラス	R/B	7	K7- E125	試料採取系(ガス試料及び事故後 サンプリング)配管	S クラス	R/B	—
K7- E093	非常用ディーゼル発電設備区域 排風機	S クラス	R/B	6, 8	K7- E126	サブプレッションプール浄化系配 管	S クラス	R/B	—
K7- E094	非常用ディーゼル発電設備区域 非常用送風機	S クラス	R/B	5	K7- E127	換気空調補機常用冷却水系配管	S クラス	R/B	—
K7- E095	コントロール建屋計測制御電源 盤区域送風機	S クラス	C/B	13, 14, 15	K7- E128	非常用ディーゼル発電設備燃料 油系・潤滑油系・始動空気及び吸 排気系・冷却水系配管	S クラス	R/B	—
K7- E096	コントロール建屋計測制御電源 盤区域排風機	S クラス	C/B	13, 14, 15	K7- E129	所内用圧縮空気系配管	S クラス	R/B	—
K7- E097	海水熱交換器エリア非常用送風 機	S クラス	T/B	9, 11, 12	K7- E130	計装用圧縮空気系配管	S クラス	R/B	—
K7- E098	非常用ディーゼル発電設備区域 給気処理装置	S クラス	R/B	7	K7- E131	移動式炉内計装系配管	S クラス	R/B	—
K7- E099	非常用ディーゼル発電設備非常 用給気処理装置	S クラス	R/B	6	K7- E132	耐圧漏えい試験設備系配管	S クラス	R/B	—
K7- E100	中央制御室給気処理装置	S クラス	C/B	15	K7- E133	原子炉・タービン区域換気空調系 ダクト	S クラス	R/B	—
K7- E101	コントロール建屋計測制御電源 盤区域給気処理装置	S クラス	C/B	13, 14, 15	K7- E134	非常用電気品区域換気空調系ダ クト	S クラス	R/B	—

※ 第 6-3-2 図で建屋内上位クラス施設が記載されている配置図の通し番号を示す。

第 4-2-2 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 建屋内上位クラス施設一覧表(3/7)

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	配置図 番号*
K7- E135	コントロール建屋計測制御電源 盤区域換気空調系ダクト	S クラス	C/B	—
K7- E136	中央制御室換気空調系ダクト	S クラス	C/B	—
K7- E137	海水熱交換器区域換気空調系ダ クト	S クラス	T/B	—
K7- E138	閉止板	S クラス	T/B	11
K7- E139	水密扉	S クラス	T/B	9, 10, 11
K7- E140	浸水防止ダクト	S クラス	T/B	11
K7- E141	復水貯蔵槽	SA 施設	Rw/B	16
K7- E142	復水移送ポンプ	SA 施設	Rw/B	16
K7- E143	高圧代替注水系ポンプ	SA 施設	R/B	2
K7- E144	静的触媒式水素再結合器	SA 施設	R/B	8
K7- E145	耐圧強化ベント系配管	SA 施設	R/B	—
K7- E146	高圧代替注水系配管	SA 施設	R/B	—
K7- E147	格納容器圧力逃がし装置配管	SA 施設	R/B	—
K7- E148	納容器圧力逃がし装置／耐圧強 化ベント系 遠隔手動弁操作設備	SA 施設	R/B	3, 5, 7
K7- E149	燃料プール冷却浄化系熱交換器	SA 施設	R/B	5
K7- E150	燃料プール冷却浄化系ポンプ	SA 施設	R/B	5
K7- E151	スキマーサージタンク	SA 施設	R/B	8
K7- E152	代替格納容器圧力逃がし装置 ラプチャディスク	SA 施設	R/B	—
K7- E153	代替格納容器圧力逃がし装置配 管	SA 施設	R/B	—
K7- E154	代替格納容器圧力逃がし装置 遠隔手動弁操作設備	SA 施設	R/B	—
K7- E155	止水ハッチ	S クラス	T/B	11
K7- E156	貫通部止水処置	S クラス	T/B	—
K7- E157	床ドレン浸水防止治具	S クラス	T/B	—
K7- E158	コリウムシールド	SA 施設	R/B	2

※ 第 6-3-2 図で建屋内上位クラス施設が記載されている配置図の通し番号を示す。

第 4-2-2 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 建屋内上位クラス施設一覧表(4/7)

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	配置図 番号*
K7- V001	主蒸気逃がし安全弁	S クラス SA 施設	R/B	4
K7- V002	主蒸気内側隔離弁	S クラス	R/B	4
K7- V003	主蒸気外側隔離弁	S クラス	R/B	4
K7- V004	主蒸気ドレンライン内側隔離弁	S クラス	R/B	4
K7- V005	主蒸気ドレンライン外側隔離弁	S クラス	R/B	4
K7- V006	原子炉給水ライン外側隔離弁	S クラス SA 施設	R/B	4
K7- V007	原子炉給水ライン内側隔離弁	S クラス SA 施設	R/B	4
K7- V008	原子炉給水ライン逆止弁	S クラス	R/B	4
K7- V009	スクラム弁	S クラス	R/B	1
K7- V010	ほう酸水注入系原子炉格納容器 外側逆止弁	S クラス SA 施設	R/B	4
K7- V011	ほう酸水注入系原子炉格納容器 内側逆止弁	S クラス SA 施設	R/B	4
K7- V012	残留熱除去系ポンプサプレッショ ンプール水吸込隔離弁	S クラス	R/B	1
K7- V013	残留熱除去系ポンプ吐出逆止弁	S クラス	R/B	1
K7- V014	残留熱除去系熱交換器出口弁	S クラス	R/B	1
K7- V015	残留熱除去系注入弁	S クラス SA 施設	R/B	4
K7- V016	残留熱除去系低圧注水モード試 験可能逆止弁	S クラス SA 施設	R/B	4
K7- V017	残留熱除去系試験用調節弁	S クラス	R/B	2
K7- V018	残留熱除去系停止時冷却内側隔 離弁	S クラス	R/B	4
K7- V019	残留熱除去系停止時冷却外側隔 離弁	S クラス	R/B	4
K7- V020	残留熱除去系ポンプ炉水吸込弁	S クラス	R/B	1
K7- V021	残留熱除去系熱交換器バイパス 弁	S クラス	R/B	1
K7- V022	残留熱除去系燃料プール側第一 出口弁	S クラス	R/B	3
K7- V023	残留熱除去系燃料プール側第二 出口弁	S クラス	R/B	5
K7- V024	残留熱除去系格納容器冷却流量 調節弁	S クラス	R/B	4
K7- V025	残留熱除去系格納容器冷却ライ ン隔離弁	S クラス	R/B	4
K7- V026	残留熱除去系サプレッションプ ールスプレイ注入隔離弁	S クラス SA 施設	R/B	3
K7- V027	残留熱除去系ポンプ最小流量ラ イン逆止弁	S クラス	R/B	1, 2
K7- V028	残留熱除去系最小流量バイパス 弁	S クラス	R/B	2
K7- V029	残留熱除去系サプレッションプ ール水排水系第一止め弁	S クラス	R/B	1
K7- V030	高圧炉心注水系復水貯蔵槽側吸 込弁	S クラス	R/B	1
K7- V031	高圧炉心注水系復水貯蔵槽側吸 込試験可能逆止弁	S クラス	R/B	1
K7- V032	高圧炉心注水系注入隔離弁	S クラス	R/B	4
K7- V033	高圧炉心注水系試験可能逆止弁	S クラス	R/B	4

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	配置図 番号*
K7- V034	高圧炉心注水系サプレッション プール側吸込隔離弁	S クラス	R/B	1
K7- V035	高圧炉心注水系サプレッション プール側吸込逆止弁	S クラス	R/B	1
K7- V036	高圧炉心注水系最小流量バイパ ス弁	S クラス	R/B	2
K7- V037	原子炉隔離時冷却系復水貯蔵槽 側吸込弁	S クラス	R/B	1
K7- V038	原子炉隔離時冷却系復水貯蔵槽 側吸込試験可能逆止弁	S クラス	R/B	1
K7- V039	原子炉隔離時冷却系注入逆止弁	S クラス	R/B	1
K7- V040	原子炉隔離時冷却系注入弁	S クラス	R/B	3
K7- V041	原子炉隔離時冷却系試験可能逆 止弁	S クラス	R/B	4
K7- V042	原子炉隔離時冷却系サプレッ ションプール側吸込隔離弁	S クラス	R/B	1
K7- V043	原子炉隔離時冷却系サプレッ ションプール側吸込逆止弁	S クラス	R/B	1
K7- V044	原子炉隔離時冷却系最小流量バ イパス弁	S クラス	R/B	2
K7- V045	原子炉隔離時冷却系冷却水ライ ン止め弁	S クラス	R/B	1
K7- V046	原子炉隔離時冷却系冷却水ライ ン圧力制御弁	S クラス	R/B	1
K7- V047	原子炉隔離時冷却系復水ポンプ 吐出一次逆止弁	S クラス	R/B	1
K7- V048	原子炉隔離時冷却系復水ポンプ 吐出二次逆止弁	S クラス	R/B	1
K7- V049	原子炉隔離時冷却系蒸気ライン 内側隔離弁	S クラス SA 施設	R/B	4
K7- V050	原子炉隔離時冷却系蒸気ライン 外側隔離弁	S クラス SA 施設	R/B	4
K7- V051	原子炉隔離時冷却系タービン止 め弁	S クラス	R/B	1
K7- V052	原子炉隔離時冷却系タービン排 気ライン逆止弁	S クラス	R/B	3
K7- V053	原子炉隔離時冷却系タービン排 気ライン隔離弁	S クラス	R/B	3
K7- V054	原子炉隔離時冷却系真空ポンプ 吐出ライン逆止弁	S クラス	R/B	2
K7- V055	原子炉隔離時冷却系真空ポンプ 吐出ライン隔離弁	S クラス	R/B	2
K7- V056	原子炉隔離時冷却系タービン排 気ライン 1 次真空破壊弁	S クラス	R/B	3
K7- V057	原子炉隔離時冷却系タービン排 気ライン 2 次真空破壊弁	S クラス	R/B	3
K7- V058	原子炉冷却材浄化系吸込ライン 内側隔離弁	S クラス	R/B	4
K7- V059	原子炉冷却材浄化系吸込ライン 外側隔離弁	S クラス	R/B	4
K7- V060	原子炉冷却材浄化系原子炉圧力 容器ヘッドスプレイ隔離弁	S クラス	R/B	4
K7- V061	原子炉冷却材浄化系原子炉圧力 容器ヘッドスプレイ逆止弁	S クラス	R/B	5
K7- V062	燃料プール冷却浄化系使用済み 燃料貯蔵プール入口逆止弁	S クラス	R/B	5
K7- V063	燃料プール冷却浄化系使用済み 燃料貯蔵プール散水管逆止弁	S クラス	R/B	8
K7- V064	燃料プール冷却浄化系残留熱除 去系戻りライン逆止弁	S クラス	R/B	5
K7- V065	燃料プール冷却浄化系非常用補 給水逆止弁	S クラス	R/B	5
K7- V066	サプレッションプール浄化系サ プレッションプール側吸込第一 隔離弁	S クラス	R/B	1

※ 第 6-3-2 図で建屋内上位クラス施設が記載されている配置図の通し番号を示す。

第 4-2-2 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 建屋内上位クラス施設一覧表(5/7)

整理番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置建屋	配置図番号*	整理番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置建屋	配置図番号*
K7-V067	サブプレッションプール浄化系サブプレッションプール側吸込第二隔離弁	S クラス	R/B	1	K7-V100	非常用ガス処理系側原子炉格納容器ベント用隔離弁	S クラス	R/B	6
K7-V068	ドライウエル低電導度廃液系サンプ内側隔離弁	S クラス	R/B	2	K7-V101	換気空調系側原子炉格納容器ベント用隔離弁	S クラス	R/B	6
K7-V069	ドライウエル低電導度廃液系サンプ外側隔離弁	S クラス	R/B	2	V102	サブプレッションチェンバベント用出口隔離弁	S クラス SA 施設	R/B	3
K7-V070	ドライウエル高電導度廃液系サンプ内側隔離弁	S クラス	R/B	2	V103	可燃性ガス濃度制御系入口第一隔離弁	S クラス	R/B	4
K7-V071	ドライウエル高電導度廃液系サンプ外側隔離弁	S クラス	R/B	2	V104	可燃性ガス濃度制御系入口流量調節弁	S クラス	R/B	4
K7-V072	原子炉補機冷却水系ポンプ吐出逆止弁	S クラス	T/B	9, 11	V105	可燃性ガス濃度制御系入口第二隔離弁	S クラス	R/B	4
K7-V073	原子炉補機冷却水系熱交換器冷却水出口弁	S クラス SA 施設	T/B	9, 11	K7-V106	可燃性ガス濃度制御系再循環流量調節弁	S クラス	R/B	4
K7-V074	原子炉補機冷却水系冷却水供給温度調節弁	S クラス SA 施設	T/B	9, 11	K7-V107	可燃性ガス濃度制御系出口逆止弁	S クラス	R/B	3
K7-V075	原子炉補機冷却水系常用冷却水緊急遮断弁	S クラス	R/B	2	K7-V108	可燃性ガス濃度制御系冷却水入口弁	S クラス	R/B	4
K7-V076	原子炉補機冷却水系常用冷却水供給側分離弁	S クラス	R/B	2	K7-V109	可燃性ガス濃度制御系出口第二隔離弁	S クラス	R/B	2
K7-V077	原子炉補機冷却水系常用冷却水戻り側分離弁	S クラス	R/B	2	K7-V110	可燃性ガス濃度制御系出口第一隔離弁	S クラス	R/B	2
K7-V078	原子炉補機冷却水系常用冷却水戻り側逆止弁	S クラス	R/B	2	K7-V111	可燃性ガス濃度制御系冷却水止め弁	S クラス	R/B	3
K7-V079	原子炉補機冷却水系残留熱除去系熱交換器冷却水出口弁	S クラス SA 施設	R/B	2	K7-V112	中央制御室非常時外気取入れ隔離ダンパ	S クラス SA 施設	C/B	15
K7-V080	原子炉補機冷却水系非常用ディーゼル発電設備冷却水出口弁	S クラス SA 施設	R/B	5	K7-V113	中央制御室排気隔離ダンパ	S クラス SA 施設	C/B	15
K7-V081	原子炉補機冷却海水系ポンプ吐出逆止弁	S クラス	T/B	11	K7-V114	非常用ディーゼル発電設備(C)区域排気切換ダンパ	S クラス	R/B	8
K7-V082	原子炉補機冷却海水系ストレーナ入口弁	S クラス SA 施設	T/B	9, 11	K7-V115	コントロール建屋計測制御電源盤区域(C)排気切換ダンパ	S クラス	C/B	14
K7-V083	原子炉補機冷却海水系ストレーナブロー弁	S クラス	T/B	9, 11	K7-V116	原子炉格納容器耐圧強化ベント用連絡配管隔離弁	S クラス SA 施設	R/B	6
K7-V084	計装用圧縮空気系原子炉格納容器外側隔離弁	S クラス	R/B	5	K7-V117	中央制御室外気取入ダンパ	S クラス SA 施設	C/B	15
K7-V085	高圧窒素ガス供給系自動減圧系用窒素ガス原子炉格納容器外側隔離弁	S クラス	R/B	5	K7-V118	復水補給水系下部ドライウエル注水流量調節弁	SA 施設	R/B	2
K7-V086	高圧窒素ガス供給系逃がし弁用窒素ガス原子炉格納容器外側隔離弁	S クラス	R/B	5	K7-V119	復水補給水系下部ドライウエル注水ライン隔離弁	SA 施設	R/B	2
K7-V087	非常用ガス処理系入口隔離弁	S クラス	R/B	6					
K7-V088	非常用ガス処理系乾燥装置入口弁	S クラス	R/B	6					
K7-V089	非常用ガス処理系フィルタ装置出口弁	S クラス	R/B	6					
K7-V090	非常用ガス処理系グラビティダンパ	S クラス	R/B	6					
K7-V091	真空破壊弁	S クラス SA 施設	R/B	3					
K7-V092	原子炉格納容器バージ用空気供給隔離弁	S クラス	R/B	4					
K7-V093	ドライウエルバージ用入口隔離弁	S クラス	R/B	4					
K7-V094	サブプレッションチェンババージ用入口隔離弁	S クラス	R/B	3					
K7-V095	原子炉格納容器窒素供給隔離弁	S クラス	R/B	3					
K7-V096	ドライウエル窒素入口隔離弁	S クラス	R/B	4					
K7-V097	サブプレッションチェンバ窒素入口隔離弁	S クラス	R/B	3					
K7-V098	原子炉格納容器バージ用窒素供給隔離弁	S クラス	R/B	3					
K7-V099	ドライウエルベント用出口隔離弁	S クラス SA 施設	R/B	5					

※ 第 6-3-2 図で建屋内上位クラス施設が記載されている配置図の通し番号を示す。

第 4-2-2 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 建屋内上位クラス施設一覧表(6/7)

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	配置図 番号*
K7- B001	非常用所内電源補助盤	S クラス	C/B	31
K7- B002	安全系補助継電器盤	S クラス	C/B	31
K7- B003	安全保護系盤	S クラス SA 施設	C/B	31
K7- B004	工学的安全施設盤	S クラス SA 施設	C/B	31
K7- B005	中央運転監視盤	S クラス SA 施設	C/B	31
K7- B006	運転監視補助盤	S クラス SA 施設	C/B	31
K7- B007	中央制御室端子盤	S クラス	C/B	31
K7- B008	原子炉緊急停止系ロードドライ バ盤	S クラス	C/B	31
K7- B009	主蒸気隔離系ロードドライバ盤	S クラス	C/B	31
K7- B010	原子炉隔離時冷却系タービン制 御盤	S クラス	R/B	19
K7- B011	原子炉隔離時冷却系真空タンク 水位電送器用増幅器収納箱	S クラス	R/B	19
K7- B012	中央制御室外原子炉停止装置盤	S クラス	R/B	19
K7- B013	スクラムソレノイドヒューズ盤	S クラス	R/B	18
K7- B014	可燃性ガス濃度制御系サイリス タスイッチ盤	S クラス	R/B	19
K7- B015	原子炉補機冷却海水系ストレ ーナ制御盤	S クラス	T/B	25, 26, 28
K7- B016	安全系多重伝送現場盤	S クラス	R/B	19
K7- B017	ほう酸水注入系現場操作箱	S クラス	R/B	22
K7- B018	メタルクラッドスイッチギア	S クラス SA 施設	R/B	19
K7- B019	パワーセンタ	S クラス SA 施設	R/B T/B	19, 25, 26 27
K7- B020	動力変圧器	S クラス SA 施設	R/B T/B	19, 22, 25 26, 27
K7- B021	モータコントロールセンタ	S クラス SA 施設	R/B T/B C/B	19, 22, 24 25, 26, 27 30
K7- B022	直流主母線盤	S クラス SA 施設	C/B	30
K7- B023	充電器盤	S クラス SA 施設	R/B C/B	24, 30
K7- B024	蓄電池	S クラス SA 施設	R/B C/B	24, 29, 30
K7- B025	直流モータコントロールセンタ	S クラス SA 施設	R/B	19, 24
K7- B026	直流分電盤	S クラス SA 施設	C/B	30
K7- B027	直流切替盤	S クラス SA 施設	C/B	30
K7- B028	バイタル交流電源装置	S クラス SA 施設	C/B	30
K7- B029	交流バイタル分電盤	S クラス SA 施設	C/B	30
K7- B030	計測用主母線盤	S クラス SA 施設	C/B	30
K7- B031	計測用分電盤	S クラス SA 施設	C/B	30
K7- B032	非常用ディーゼル発電機盤	S クラス	R/B	20, 21
K7- B033	換気空調補機非常用冷却水系冷 凍機制御盤	S クラス	C/B	29
K7- B034	核計装／安全系プロセス放射線 モニタ盤	S クラス SA 施設	R/B C/B	21, 31

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	配置図 番号*
K7- B035	格納容器内雰囲気モニタ盤	S クラス SA 施設	R/B C/B	22, 31
K7- B036	使用済み燃料プール・津波監視カ メラ制御架	S クラス SA 施設	C/B	31
K7- B037	格納容器補助盤	SA 施設	C/B	31
K7- B038	原子炉系記録計盤	SA 施設	C/B	31
K7- B039	格納容器内水素モニタ盤	SA 施設	C/B	31
K7- B040	事故時放射線モニタ盤	S クラス SA 施設	C/B	31
K7- B041	緊急用電源切替箱	SA 施設	R/B	19, 21
K7- B042	AM用電動弁電源切替盤	S クラス SA 施設	R/B	22
K7- B043	AM用電動弁操作箱	SA 施設	R/B	22
K7- B044	格納容器圧力逃がし装置制御盤	SA 施設	C/B	31
K7- B045	格納容器圧力逃がし装置無停電 電源装置	SA 施設	R/B	21
K7- B046	格納容器圧力逃がし装置放射線 モニタ前置増幅器盤	SA 施設	R/B	24
K7- B047	保安器盤	SA 施設	R/B	24
K7- B048	A T W S ／ R P T 盤	SA 施設	C/B	31
K7- B049	高圧代替注水設備制御盤	SA 施設	C/B	31
K7- B050	使用済み燃料プール（広域）水位 監視制御盤	S クラス SA 施設	C/B	31

※ 第 6-3-2 図で建屋内上位クラス施設が記載されている配置図の通し番号を示す。

第 4-2-2 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 建屋内上位クラス施設一覧表(7/7)

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	配置図 番号*	整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	配置図 番号*
K7- I001	鉛直方向地震加速度検出器	S クラス	R/B	17	K7- I034	復水補給系流量（原子炉压力容器），復水補給水系流量（原子炉格納容器）	SA 施設	R/B	20
K7- I002	水平方向地震加速度検出器	S クラス	R/B	17, 22	K7- I035	使用済燃料貯蔵プール温度（SA） 使用済燃料貯蔵プール水位（SA）	SA 施設	R/B	24
K7- I003	原子炉系炉心流量	S クラス	R/B	17	K7- I036	使用済燃料貯蔵プール水位（SA）	SA 施設	R/B	24
K7- I004	原子炉水位	S クラス SA 施設	R/B	17, 19	K7- I037	復水補給水系流量（原子炉格納容器）	SA 施設	R/B	18
K7- I005	原子炉水位（SA）	SA 施設	R/B	18, 19	K7- I038	格納容器内圧力（S/C）	SA 施設	R/B	20
K7- I006	原子炉圧力	S クラス SA 施設	R/B	19	K7- I039	サブプレッションチェンバ気体温度	SA 施設	R/B	19
K7- I007	原子炉圧力（SA）	SA 施設	R/B	19	K7- I040	ドライウェル雰囲気温度	SA 施設	R/B	17, 22
K7- I008	格納容器内圧力	S クラス	R/B	22	K7- I041	原子炉建屋水素濃度	SA 施設	R/B	18, 19, 21, 24
K7- I009	格納容器内圧力（D/W）	SA 施設	R/B	22	K7- I042	高圧代替注水系系統流量	SA 施設	R/B	18
K7- I010	制御棒駆動機構充てん水圧力	S クラス	R/B	17	K7- I043	格納容器下部水位	SA 施設	R/B	17
K7- I011	主蒸気管放射線モニタ	S クラス	R/B	22	K7- I044	格納容器内水素濃度（SA）	SA 施設	R/B	19, 20
K7- I012	原子炉区域換気空調系排気放射線モニタ	S クラス	R/B	22	K7- I045	耐圧強化ベント系放射線モニタ	SA 施設	R/B	24
K7- I013	燃料取替エリア排気放射線モニタ	S クラス	R/B	24	K7- I046	使用済燃料貯蔵プール放射線モニタ（低レンジ）	SA 施設	R/B	24
K7- I014	サブプレッションチェンバプール水位	S クラス SA 施設	R/B	17	K7- I047	使用済燃料貯蔵プール放射線モニタ（高レンジ）	SA 施設	R/B	24
K7- I015	高圧炉心注水系ポンプ吐出圧力	S クラス	R/B	17	K7- I048	静的触媒式水素再結合器 動作監視装置	SA 施設	R/B	24
K7- I016	主蒸気管流量	S クラス	R/B	19	K7- I049	復水貯蔵槽水位（SA）	SA 施設	RW/B	32
K7- I017	主蒸気管トンネル温度	S クラス	R/B	21	K7- I050	復水移送ポンプ吐出圧力	SA 施設	RW/B	32
K7- I018	取水槽水位計測用空気流量調節器	S クラス	T/B	26	K7- I051	復水補給水系温度（代替循環冷却）	SA 施設	R/B	17
K7- I019	取水槽水位	S クラス	T/B	26	K7- I052	通信連絡設備	SA 施設	C/B	31
K7- I020	サブプレッションチェンバプール水温度	S クラス SA 施設	R/B	17, 18					
K7- I021	起動領域モニタ	S クラス SA 施設	R/B	23					
K7- I022	平均出力領域モニタ	S クラス SA 施設	R/B	23					
K7- I023	格納容器内水素濃度	S クラス SA 施設	R/B	23					
K7- I024	格納容器内酸素濃度	S クラス SA 施設	R/B	23					
K7- I025	格納容器内雰囲気放射線モニタ	S クラス SA 施設	R/B	19, 20					
K7- I026	残留熱除去系系統流量	S クラス	R/B	17					
K7- I027	残留熱除去系ポンプ吐出圧力	S クラス SA 施設	R/B	17					
K7- I028	高圧炉心注水系系統流量	S クラス	R/B	17					
K7- I029	原子炉隔離時冷却系系統流量	S クラス	R/B	17					
K7- I030	使用済燃料貯蔵プール温度(SA 広域) 使用済燃料貯蔵プール水位(SA 広域)	SA 施設	R/B	24					
K7- I031	データ伝送装置	S クラス	C/B	31					
K7- I032	原子炉压力容器温度	SA 施設	R/B	19					
K7- I033	復水補給水系流量（原子炉压力容器）	SA 施設	R/B	19					

※ 第 6-3-2 図で建屋内上位クラス施設が記載されている配置図の通し番号を示す。

第 4-2-3 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉
建屋内上位クラス施設一覧表

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	配置図 番号※
共- E001	中央制御室待避室空気ポンプ陽 圧化装置配管	SA 施設	C/B Rw/B	—
共- E002	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所 (対策本部) 陽圧化装置配管	SA 施設	5 号 R/B	—
共- E003	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所 (対策本部) 二酸化炭素吸収装置	SA 施設	5 号 R/B	1
共- E004	5 号炉原子炉建屋内高気密室 (対 策本部)	SA 施設	5 号 R/B	1
共- E005	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所 (待機場所) 陽圧化装置配管	SA 施設	5 号 R/B	—
共- B001	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所 用負荷変圧器	SA 施設	5 号 R/B	1
共- B002	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所 用交流分電盤	SA 施設	5 号 R/B	1
共- I001	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所 用無線連絡設備	SA 施設	5 号 R/B	1

※ 第 6-3-3 図で建屋内上位クラス施設が記載されている配置図の通し番号を示す。

5. 下位クラス施設の抽出及び影響評価方法

3. 項で整理した各検討事象を基に、上位クラス施設への波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の抽出及び評価フローを作成し、当該フローに基づき、影響評価を実施する。なお、建屋外の波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の抽出にあたっては、施設の設置地盤及び周辺地盤の液状化による影響を考慮する。

5.1 相対変位又は不等沈下による影響

(1) 地盤の不等沈下による影響

第 5-1-1 図のフローに従い、上位クラス施設及びそれらの間接支持構造物である建物・構築物の周辺に位置する波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設を抽出し、波及的影響の有無を検討する。

a. 下位クラス施設の抽出

地盤の不等沈下による下位クラス施設の傾きや倒壊を想定しても上位クラス施設に衝突しない程度の十分な離隔距離をとって配置されていることを確認し、離隔距離が十分でない下位クラス施設を抽出する。

b. 耐震性の確認

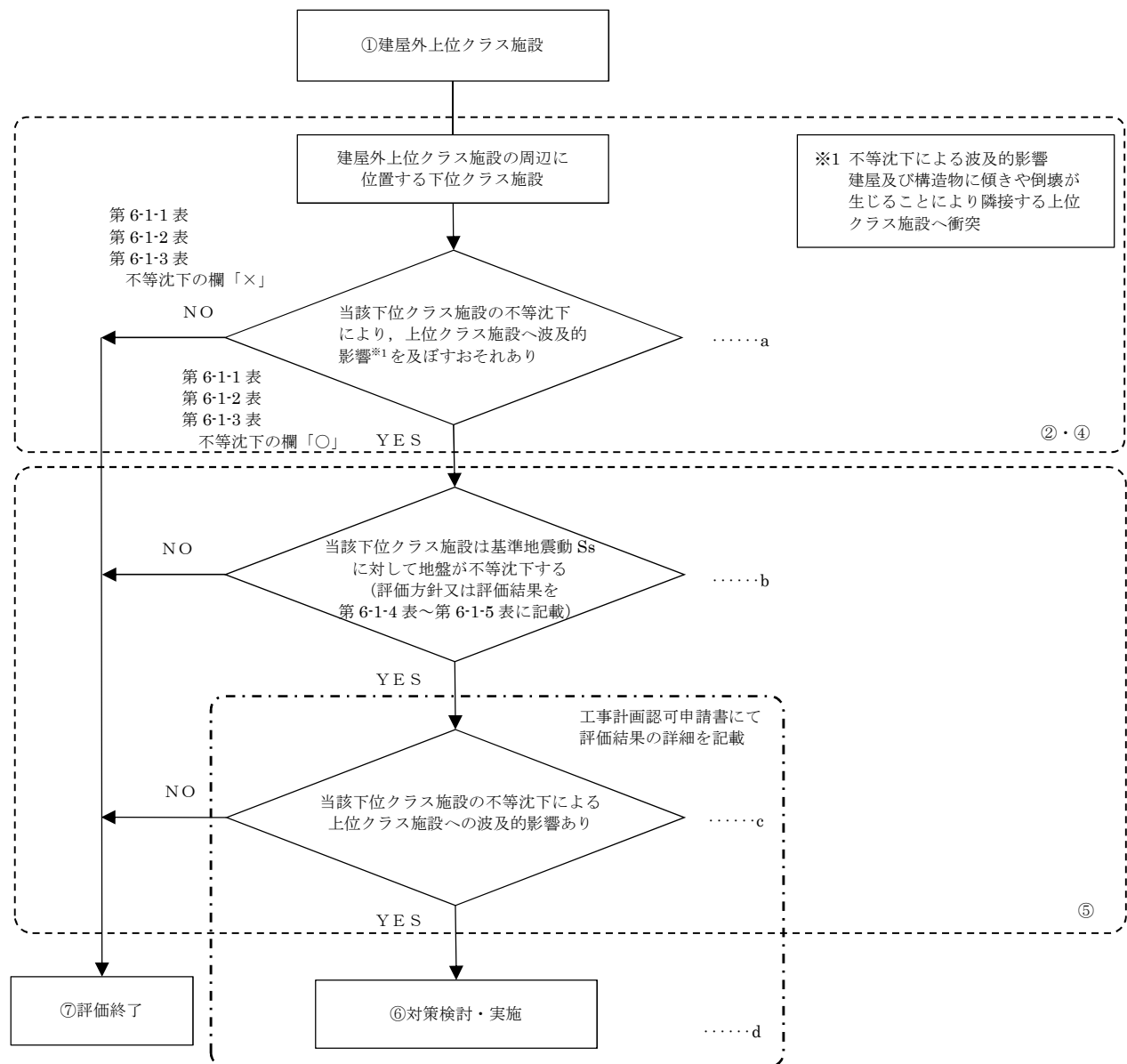
a. で抽出した下位クラス施設について、基準地震動 S_s に対して、基礎地盤が十分な支持性能を持つ岩盤に設置されていることの確認により、不等沈下しないことを確認する。支持層が岩盤でなく洪積層に設置されている場合や支持層に洪積層と岩盤が混在する場合は、基準地震動 S_s に対して、不等沈下が生じないことを確認する。

c. 不等沈下に伴う波及的影響の評価

b. で地盤の不等沈下のおそれが否定できない下位クラス施設については、傾きや倒壊を想定し、これらによる上位クラス施設への影響を確認し、上位クラス施設の有する機能を損なわないことを確認する。

d. 対策検討

c. で上位クラス施設の機能を損なうおそれが否定できない下位クラス施設に対して、基礎地盤の補強や周辺の地盤改良等を行い、不等沈下による下位クラス施設の波及的影響を防止する。



※フロー中の①，②，④～⑦の数字は第 2-1 図中の①，②，④～⑦に対応する。

第 5-1-1 図 不等沈下による建屋外上位クラス施設へ影響を及ぼすおそれのある
下位クラス施設の抽出及び評価フロー

(2) 建屋間の相対変位による影響

第 5-1-2 図のフローに従い、上位クラス施設及びそれらの間接支持構造物である建物・構築物の周辺に位置する波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設を抽出し、波及的影響の有無を検討する。

a. 下位クラス施設の抽出

地震による建屋の相対変位を想定しても上位クラス施設に衝突しない程度の十分な離隔距離をとって配置されていることを確認し、離隔距離が十分でない下位クラス施設を抽出する。

b. 耐震性の確認

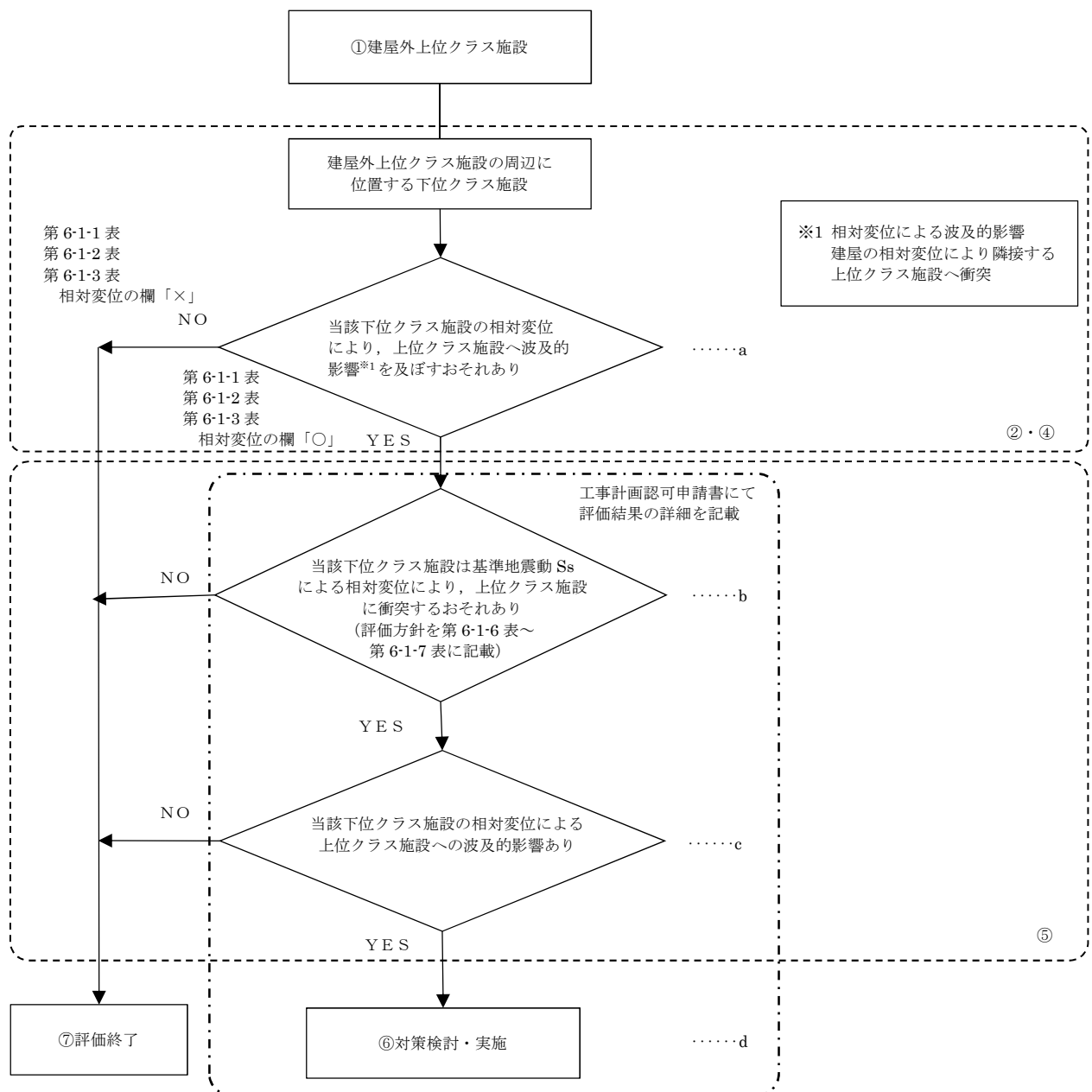
a. で抽出した下位クラス施設について、基準地震動 S_s に対して、建屋の相対変位による上位クラス施設への衝突がないことを確認する。

c. 相対変位に伴う波及的影響の評価

b. で衝突のおそれが否定できない下位クラス施設について、衝突部分の接触状況を確認し、建屋全体又は局部評価を実施し、衝突に伴い、上位クラス施設の機能を損なうおそれがないことを確認する。

d. 対策検討

c. で上位クラス施設の機能を損なうおそれが否定できない下位クラス施設に対して、建屋の補強等を行い、建屋の相対変位等による下位クラス施設の波及的影響を防止する。



※フロー中の①，②，④～⑦の数字は第2-1図中の①，②，④～⑦に対応する。

第5-1-2図 相対変位により建屋外上位クラス施設へ影響を及ぼすおそれのある
下位クラス施設の抽出及び評価フロー

5.2 接続部における相互影響

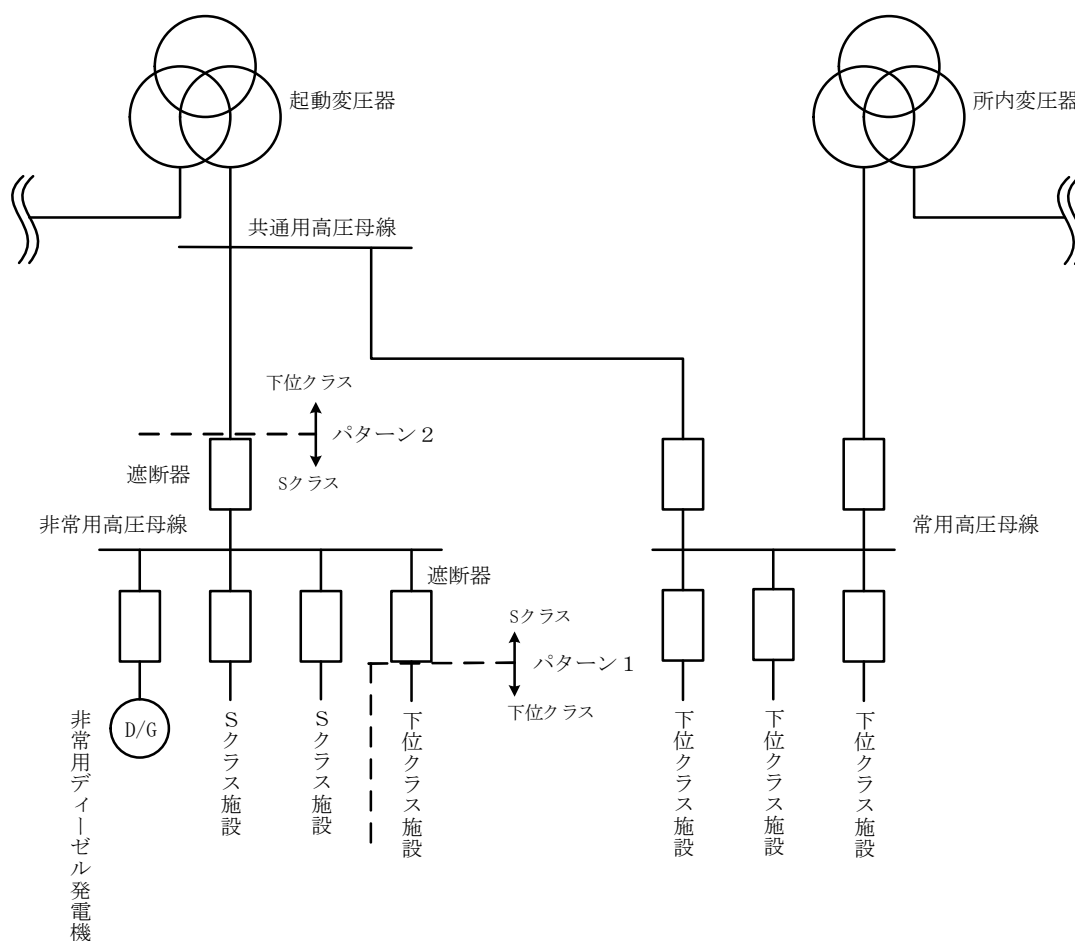
第 5-2 図のフローに従い、上位クラス施設と接続する下位クラス施設を抽出し、波及的影響を検討する。

a. 接続部の影響検討を要する上位クラス施設の抽出

接続部の影響検討を要する上位クラス施設を抽出するため、上位クラス施設と下位クラス施設との接続部における設計上の考慮を確認する。設計上考慮をしている設備としては、電気設備、計測制御設備、格納容器貫通部、空気駆動弁（以下、「A0 弁」という。）駆動用空気供給配管接続部及び弁グランド部漏えい検出配管接続部がある。

(a) 電気設備

受電系統について、上位クラス施設と下位クラス施設は基本的には系統的に分離した設計としているが、受電系統概念図にあるように一部の受電系統において上位クラス施設と下位クラス施設との接続がある。このため、上位クラス施設と下位クラス施設との接続するパターンを下記のように整理した。



受電系統概念図

<パターン1>

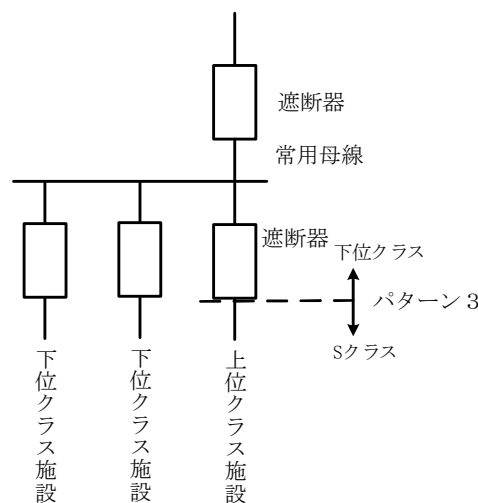
受電系統概念図のパターン1のように上位クラス電源盤と下位クラス施設が接続し，上位クラス電源盤から下位クラス施設に給電する場合，上位クラス電源盤と下位クラス施設は遮断器を介して接続されており，下位クラス施設の故障が生じた場合においても，上位クラス電源盤の遮断器が動作することで事故範囲を隔離し，上位クラス電源盤の機能に影響を与えない設計としている。

<パターン2>

受電系統概念図のパターン2のように上位クラス施設である非常用高圧母線と下位クラス施設が接続し，下位クラス施設から非常用高圧母線に給電する場合，上位クラス電源盤と下位クラス施設は遮断器を介して接続されており，下位クラス設備の故障が生じた場合には，上位クラス電源盤の遮断器が動作することにより事故範囲を隔離する。この際，非常用高圧母線が停電するが非常用ディーゼル発電機が自動起動し非常用高圧母線に給電するため，上位クラス施設である非常用高圧母線が機能喪失しない設計としている。

<パターン3>

パターン1，2以外に考えられる上位クラス施設と下位クラス施設が接続する組合せとして，下図のように下位クラス電源盤から上位クラス施設に給電するパターンが挙げられる。この場合，下位クラス電源盤が故障により上位クラス施設が機能喪失することとなるが，6号炉及び7号炉においてはこのようなパターンのものはない。



受電系統概念図（パターン1，2以外）

以上より，電気設備については上位クラス施設に接続する下位クラス施設の故障が上位クラス施設に波及することがない設計としている。

(b) 計測制御設備

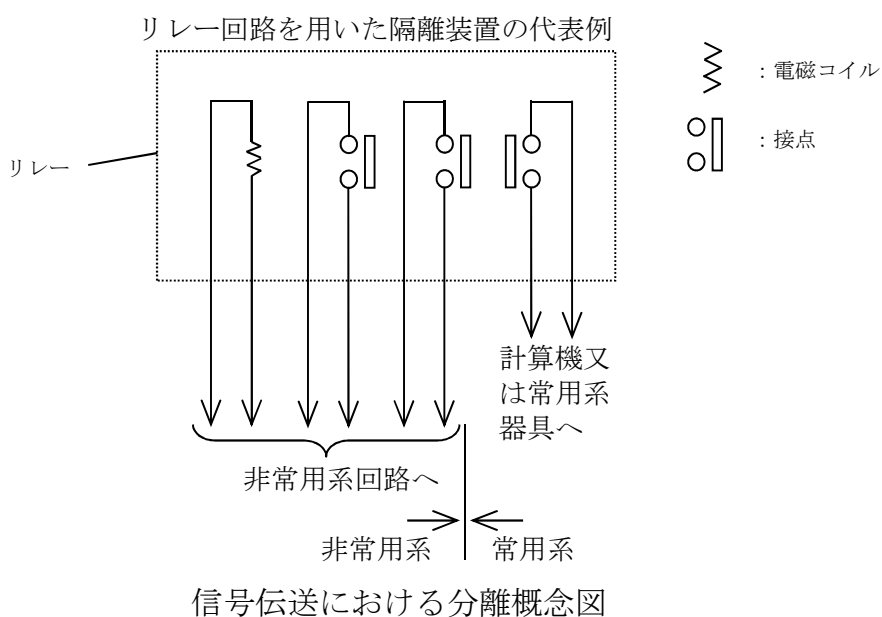
計測制御設備について，非常用系（上位クラス施設）と常用系（下位クラス施設）は原則物理的に分離しているが，制御信号および計装配管の一部に上位クラス施設と下位クラス施設との接続部がある。このため，上位クラス施設と下位クラス施設との接続するパターンを下記のように整理した。

i) 制御信号

制御信号について，上位クラス施設と下位クラス施設との接続部として存在する可能性が考えられるパターンとして，下記の２つがある。

- ①非常用系（上位クラス）から常用系（下位クラス）に伝送する
- ②常用系（下位クラス）から非常用系（上位クラス）に伝送する

このうち，②のパターンは6号炉及び7号炉においては存在しない。①の信号を非常用系（上位クラス）から常用系（下位クラス）に伝送するラインについては，信号伝送における分離概念図に示すとおり，フォトカップラやリレー回路などの隔離装置を介することにより，電氣的に分離されており，常用系の故障が非常用系に波及することがない設計としている。



ii) 計装配管

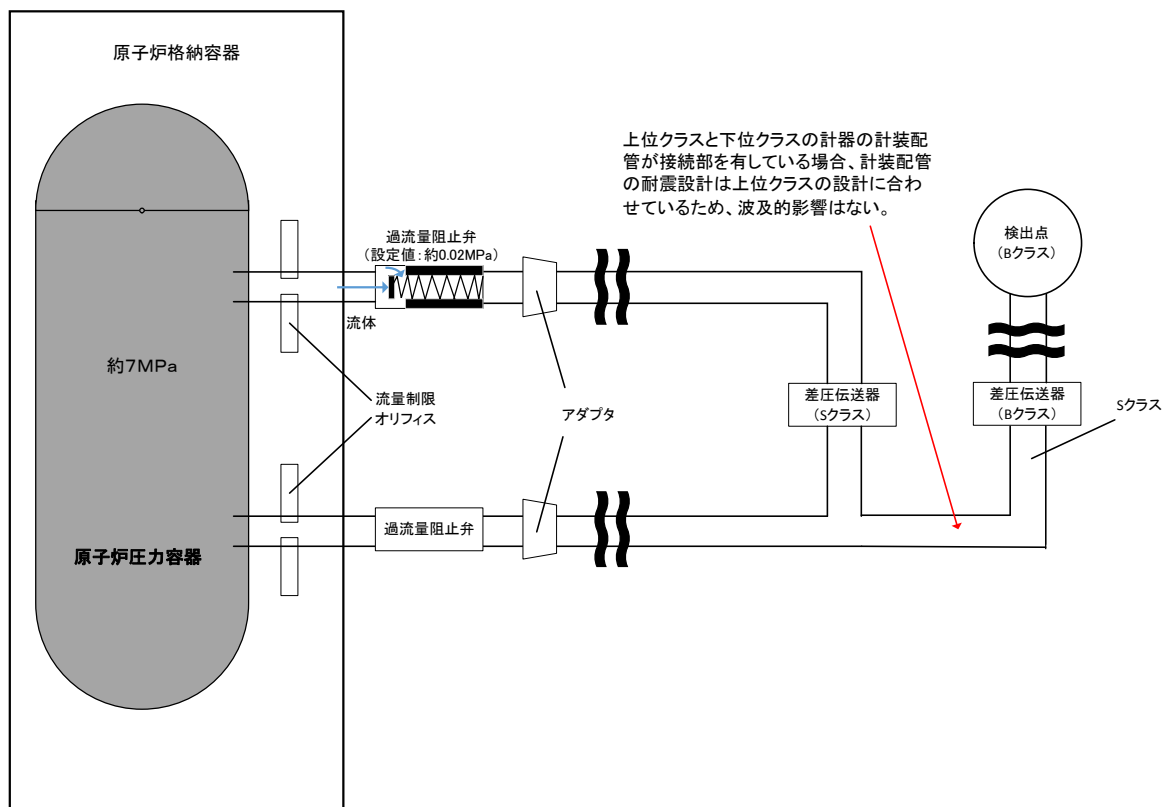
計装配管について、上位クラス施設と下位クラス施設との接続部として存在する可能性が考えられるパターンとして、下記の3つがある。

- ①上位クラスの機器に下位クラス計器の計装配管が接続されている
- ②下位クラスの機器に上位クラス計器の計装配管が接続されている
- ③上位クラス計器の常用時における計測のために、計装用圧縮空気系（下位クラス）が接続されている

このうち、②のパターンは6号炉及び7号炉においては存在しない。①については、上位クラスの計器と下位クラスの計器が接続されているパターンと上位クラスの機器（原子炉圧力容器）の計測装置として下位クラスの計器が接続されているパターンがあるため、それぞれパターン①-1，①-2と分類し，③についてはパターン③と分類して下記の通り検討した。

<パターン①-1>

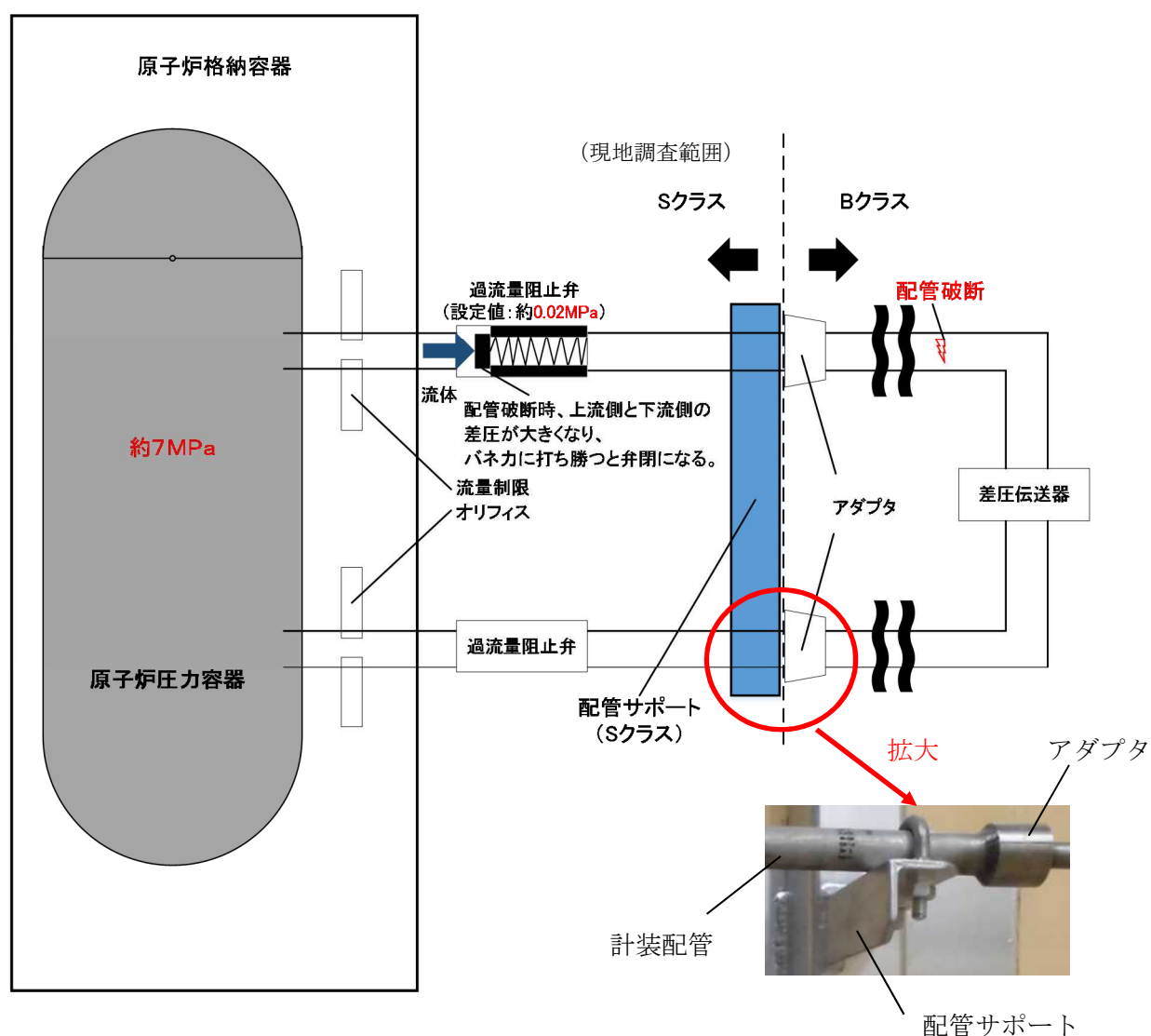
上位クラスと下位クラスの計装配管が接続部を有している場合、下記の概念図に示すとおり、計装配管の耐震設計は上位クラスの設計に合わせているため、波及的影響はない。



計装配管の耐震設計概念図

<パターン①-2>

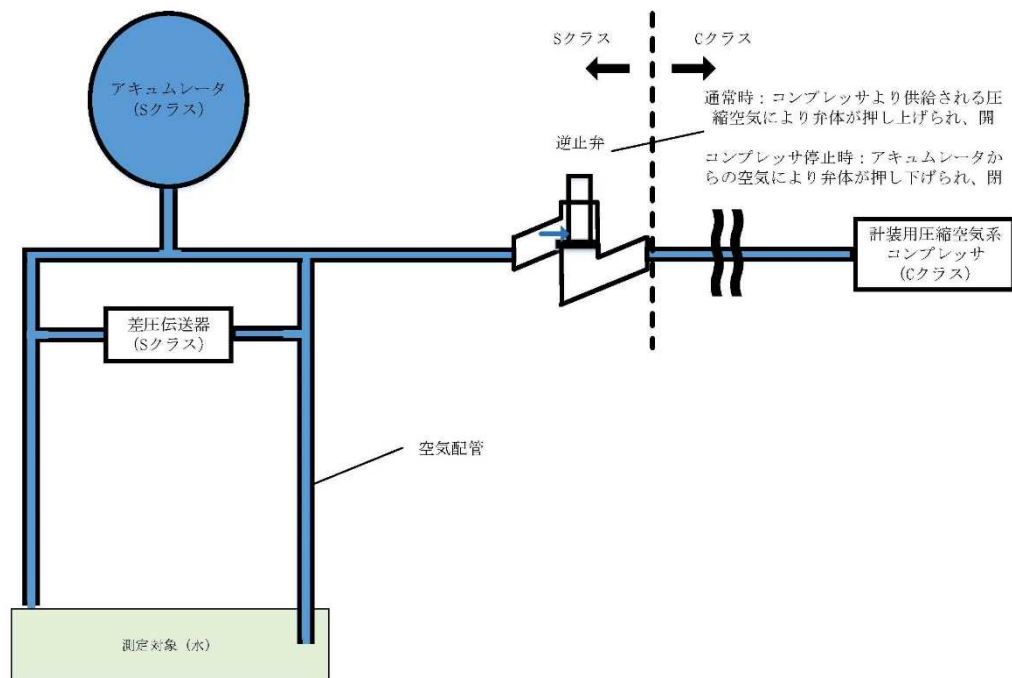
原子炉压力容器（上位クラス）に接続されている下位クラス計器については、原子炉压力容器からの計装ライン構成概念図に示すとおり、アダプタの下流側は下位クラスの設計としている。ただし、原子炉压力容器に接続されている計装配管には、原子炉格納容器内側に流量制限オリフィスを設けると共に、原子炉格納容器外側には過流量阻止弁を設置しており、万一、アダプタ～計器間が破損した場合においても、差圧大で瞬時に過流量阻止弁が閉となるため、原子炉一次冷却材の原子炉格納容器外への流出は殆どない。



原子炉压力容器からの計装ライン構成概念図

<パターン③>

上位クラス計器の常用時における測定のために、計装用圧縮空気系（下位クラス）を使用している場合、計装用圧縮空気系の機能喪失時には逆止弁により計装用圧縮空気系との接続を隔離し、上位クラスのアキュムレータにより計測を継続するため、波及的影響はない。



計装用圧縮空気系を上位クラス計器の計測に使用している例

以上より、計装制御設備については上位クラス施設に接続する下位クラス施設の故障が上位クラス施設に波及することがない設計としている。

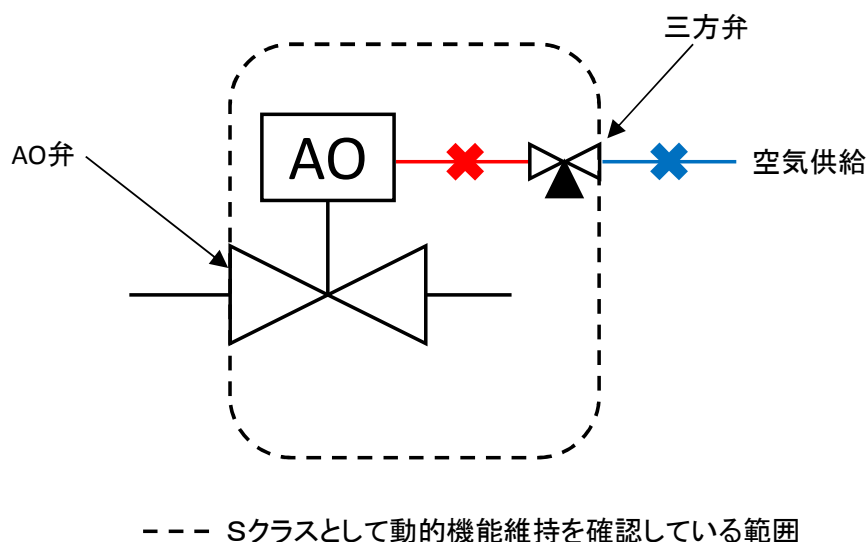
(c) 格納容器貫通部

格納容器貫通部については、前後の隔離弁を含めて上位クラス設計であり、接続する下位クラス配管が破損した場合においても隔離弁の健全性は保たれ、格納容器バウンダリとしての貫通部の機能に波及することがない設計としている。

(d) A0 弁駆動用空気供給配管接続部

上位クラス配管に設置される A0 弁駆動用の空気供給配管は上位クラス設計ではないが、仮に空気供給配管が破断した場合でも、A0 弁はフェイルセーフ側に動作するため、上位クラス施設の安全機能は喪失しないことから、抽出の対象外としている。なお、空気供給配管の供

給側（下図青色部）で閉塞が発生したとしても A0 弁はフェイルセーフ側に動作しないが，動作要求信号が発生すれば三方弁から支障なく排気されることから A0 弁の機能に影響を与えない。また，空気供給配管の A0 弁側（下図赤色部）については S クラスの A0 弁とあわせて動的機能維持を確認している範囲であるためそもそも閉塞しないと考えられる。



A0 弁概念図

(e) 弁グランド部漏えい検出配管接続部

上位クラス配管に設置される弁のグランド部に接続されるグランドドリーク検出ラインについては，上位クラス設計ではないが，仮にグランドドリーク検出ラインが破損した場合でも，上位クラス施設である弁の機能に影響が無いことから，抽出の対象外としている。

b. 接続部の抽出

上位クラス施設と下位クラス施設が接続する箇所を抽出する。

c. 影響評価対象の選定

b. で抽出した接続部のうち，上位クラス設計の弁又はダンパにより常時閉隔離されているものは，接続する下位クラス配管が破損した場合においても健全性は確保されるため，評価対象外とする。

d. 影響評価

c. で抽出した下位クラス施設について，下位クラス施設が損傷した場合の系統隔離等に伴うプロセス変化により，上位クラス施設の過渡条件が設計の想定範囲内であることを確認する。ここで，下位クラス施設の

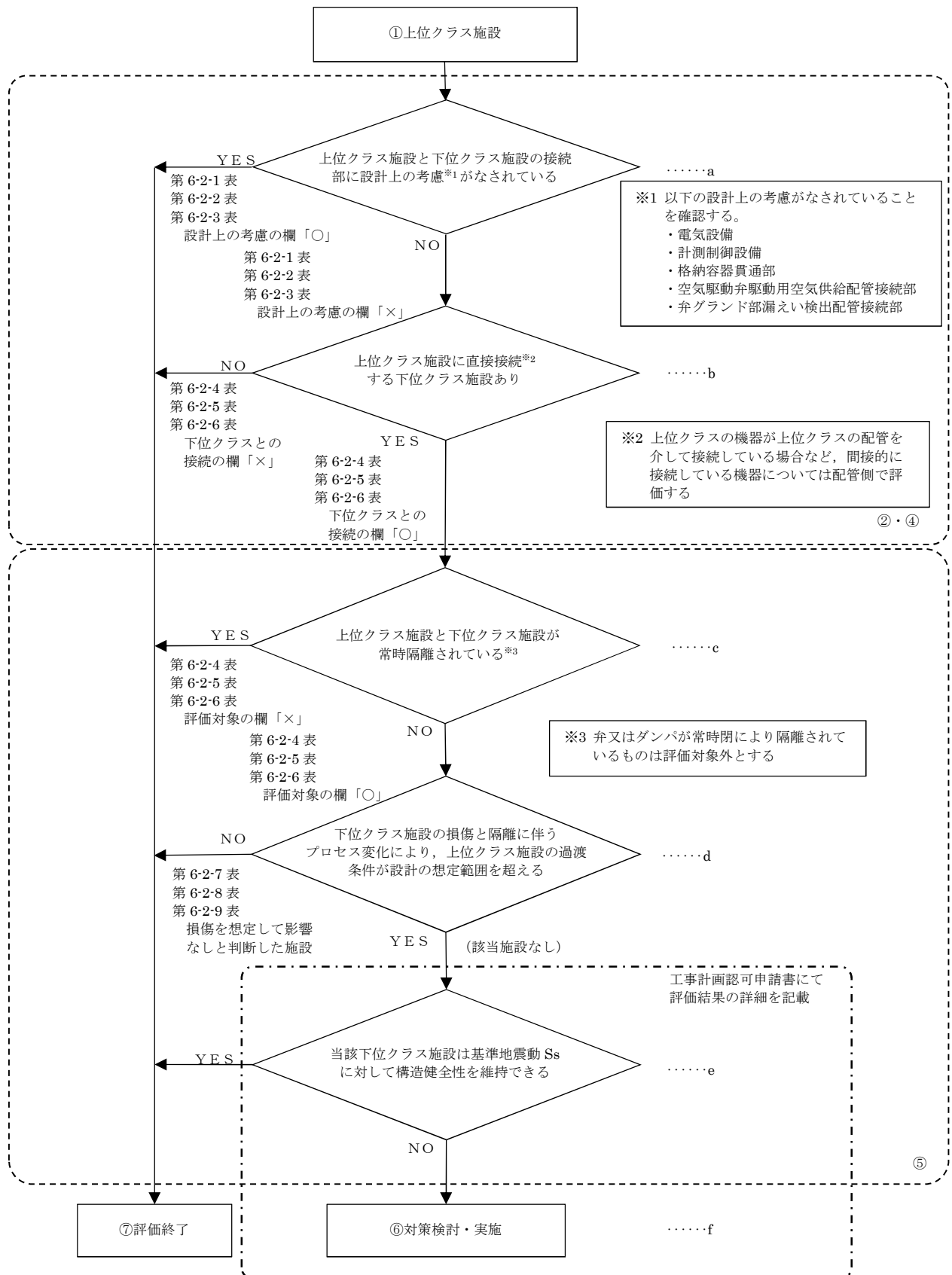
損傷には破損と閉塞が考えられる。下位クラス施設の破損による上位クラス施設への影響は下位クラス施設が破損することを前提として考慮する。一方、閉塞は配管等が軸直交方向の大きな荷重を受けることによって折れ曲がり、流路を完全に遮断することで発生するため、地震の慣性力のみでは発生しないと考えられるが、配管等周辺の下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等の影響により閉塞することは否定できない。したがって、閉塞することにより上位クラス施設の機能に影響するベント配管については他の下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等による影響の有無を現地調査することによって確認する。

e. 耐震性の確認

d. で設計の想定範囲を超えるものについて、基準地震動 S_s に対して、構造健全性が維持され、内部流体の内包機能等の必要な機能を維持できることを確認する。

f. 対策検討

e. で上位クラス施設の機能を損なうおそれが否定できない下位クラス施設について、基準地震動 S_s に対して健全性を維持できるような構造の改造、接続部から上位クラス施設の配管・ダクト側に同じく健全性を維持できる隔離弁の設置等により、波及的影響を防止する。



※フロー中の①，②，④～⑦の数字は第 2-1 図中の①，②，④～⑦に対応する。

第 5-2 図 上位クラス施設と接続する下位クラス施設の抽出及び評価フロー

5.3 建屋内における損傷、転倒及び落下等による影響

第 5-3 図のフローに従い、建屋内の上位クラス施設の周辺に位置する波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設を抽出し、波及的影響の有無を検討する。

a. 下位クラス施設の抽出

下位クラス施設の抽出にあたって、下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等を想定しても上位クラス施設に衝突しない程度の十分な距離をとって配置されていることを確認する。離隔距離が十分でない場合には、落下防止措置等の対策を適切に実施していることを確認する。

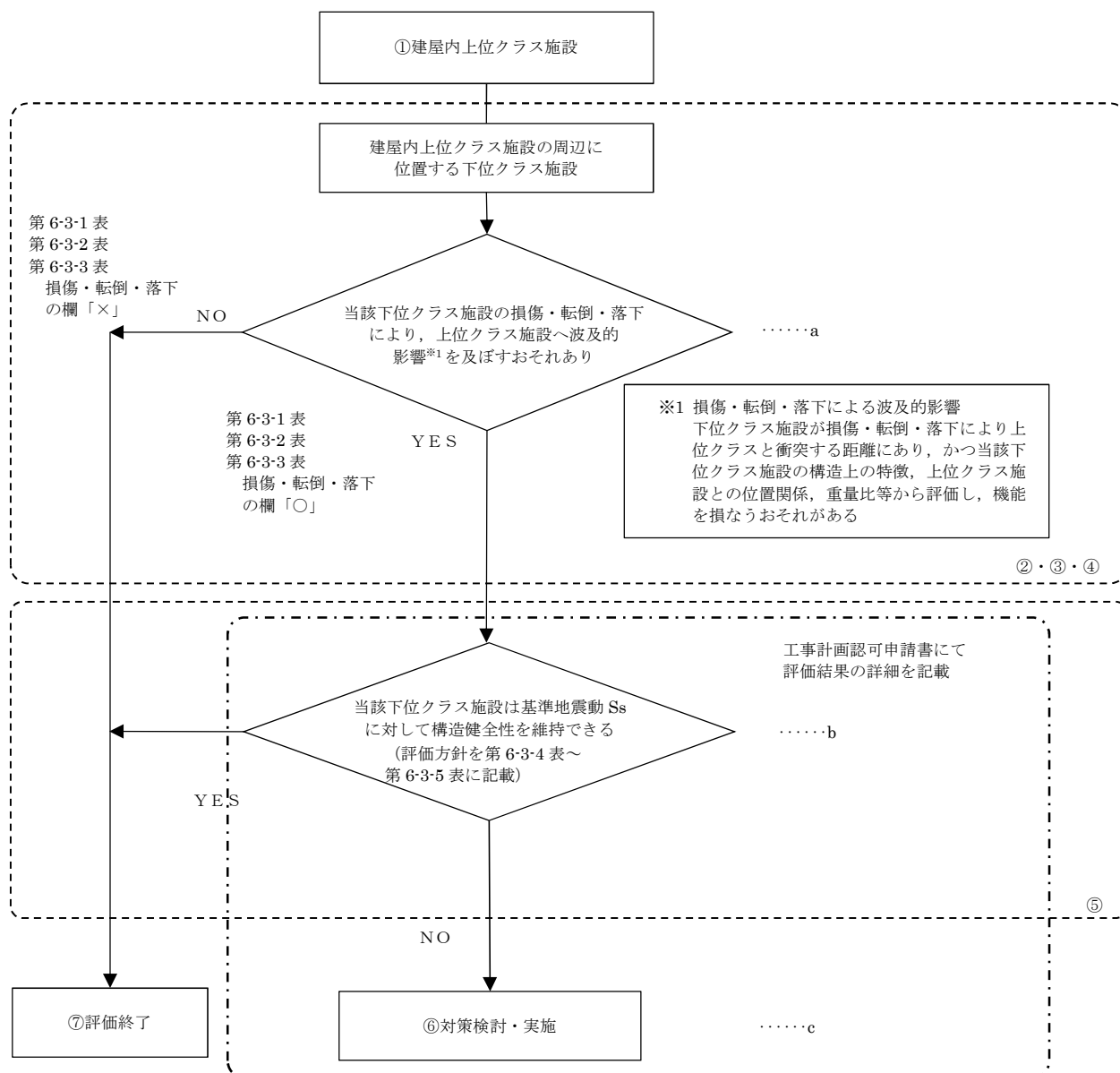
また、以上の確認ができなかった下位クラス施設について、構造上の特徴、上位クラス施設との位置関係、重量等を踏まえて、損傷、転倒及び落下等を想定した場合の上位クラス施設への影響を評価し、上位クラス施設の機能を損なうおそれがないことを確認する。

b. 耐震性の確認

a. で損傷、転倒及び落下等を想定した場合に上位クラス施設の機能への影響が否定できない下位クラス施設について、基準地震動 S_s に対して、損傷、転倒及び落下等が生じないように、構造健全性が維持できることを確認する。

c. 対策検討

b. で構造健全性の維持を確認できなかった下位クラス施設について、基準地震動 S_s に対して健全性を維持できるような構造の改造、上位クラス施設と下位クラス施設との間に衝撃に耐えうる緩衝体の設置、下位クラス施設の移設等により波及的影響を防止する。



※フロー中の①～⑦の数字は第 2-1 図中の①～⑦に対応する。

第 5-3 図 損傷、転倒及び落下により建屋内上位クラス施設へ影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の抽出及び評価フロー

5.4 建屋外における損傷、転倒及び落下等による影響

第 5-4 図のフローに従い、建屋外の上位クラス施設の周辺に位置する波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設を抽出し、波及的影響の有無を検討する。

a. 下位クラス施設の抽出

下位クラス施設の抽出にあたって、下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等を想定しても上位クラス施設に衝突しない程度の十分な距離をとって配置されていることを確認する。離隔距離が十分でない場合には、落下防止措置等を適切に実施していることを確認する。

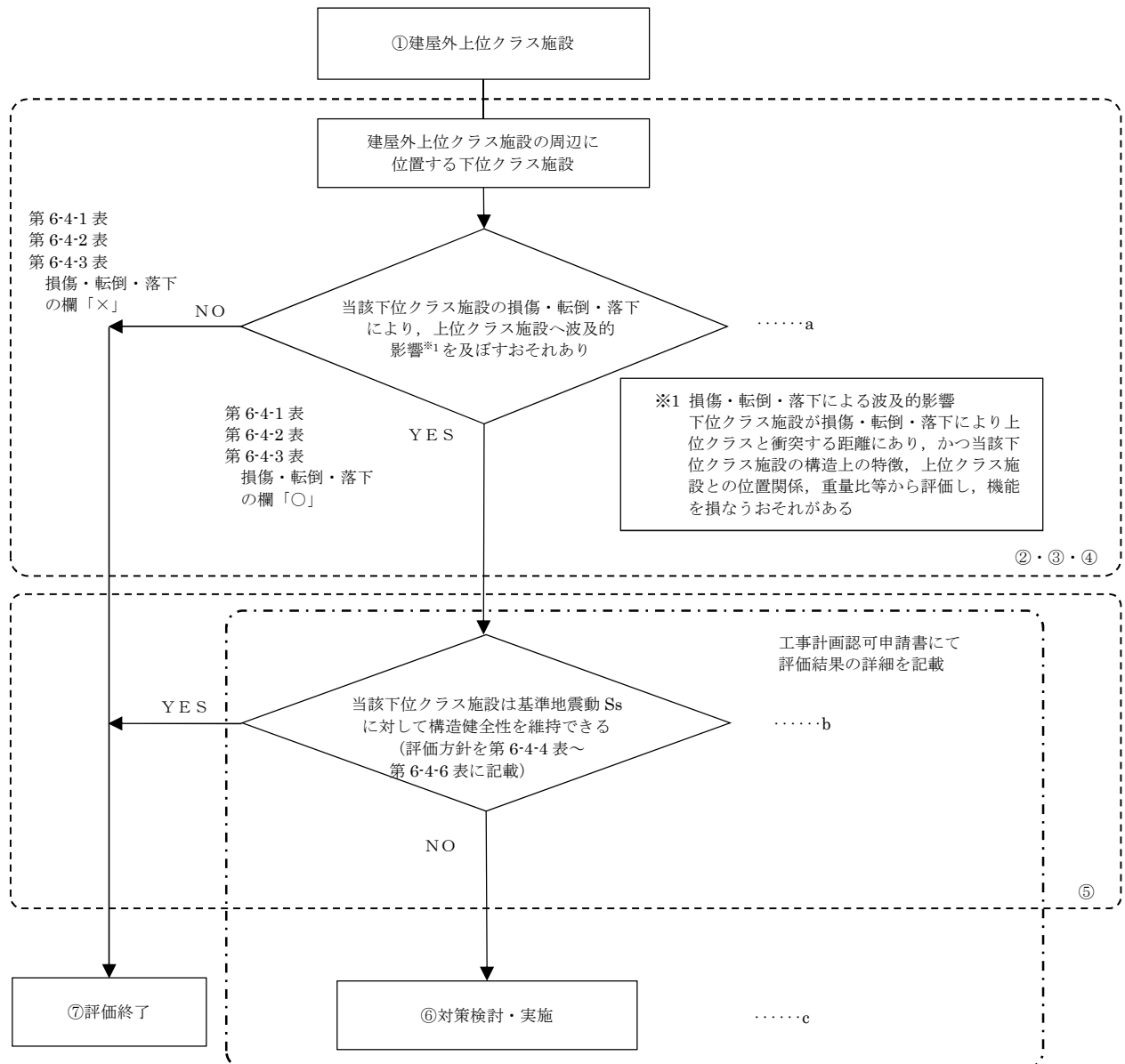
また、以上の確認ができなかった下位クラス施設について、構造上の特徴、上位クラス施設との位置関係、重量等を踏まえて、損傷、転倒及び落下等を想定した場合の上位クラス施設への影響を評価し、上位クラス施設の機能を損なうおそれがないことを確認する。

b. 耐震性の確認

a. で損傷、転倒及び落下等を想定した場合に上位クラス施設の機能への影響が否定できない下位クラス施設について、基準地震動 S_s に対して、損傷、転倒及び落下等が生じないように、構造健全性が維持できることを確認する。

c. 対策検討

b. で構造健全性の維持を確認できなかった下位クラス施設について、基準地震動 S_s に対して健全性を維持できるような構造の改造、上位クラス施設と下位クラス施設との間に衝撃に耐えうる緩衝体の設置、下位クラス施設の移設等により波及的影響を防止する。



※フロー中の①～⑦の数字は第 2-1 図中の①～⑦に対応する。

第 5-4 図 損傷、転倒及び落下により建屋外上位クラス施設へ影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の抽出及び評価フロー

6. 下位クラス施設の検討結果

5. 項で示したフローに基づき、上位クラス施設への波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設を抽出する。

6.1 相対変位又は不等沈下による影響検討結果

6.1.1 抽出手順

(1) 地盤の不等沈下による影響

机上検討をもとに、上位クラス施設及び上位クラス施設の間接支持構造物である建物・構築物に対して、地盤の不等沈下により波及的影響を及ぼすおそれがある下位クラス施設を抽出する。

(2) 建屋の相対変位による影響

机上検討をもとに、上位クラス施設及び上位クラス施設の間接支持構造物である建屋に対して、建屋の相対変位により波及的影響を及ぼすおそれがある下位クラス施設を抽出する。

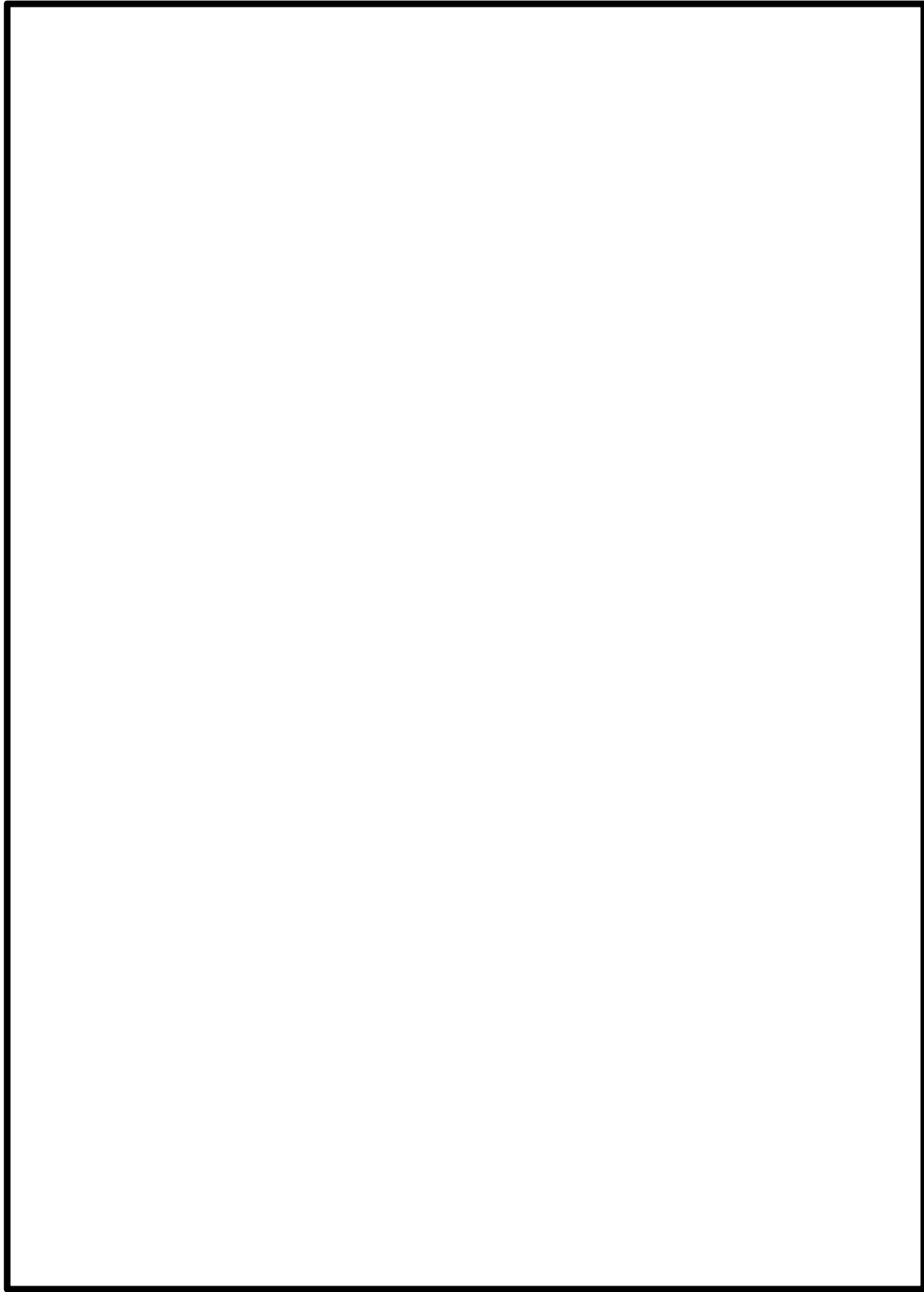
6.1.2 下位クラス施設の抽出結果

第 5-1-1 図および第 5-1-2 図のフローの a に基づいて影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設を抽出した結果を第 6-1-1 図～第 6-1-4 図及び第 6-1-1 表～第 6-1-3 表に示す（配置図上の番号は第 4-1-1 表～第 4-1-3 表の整理番号に該当する）。

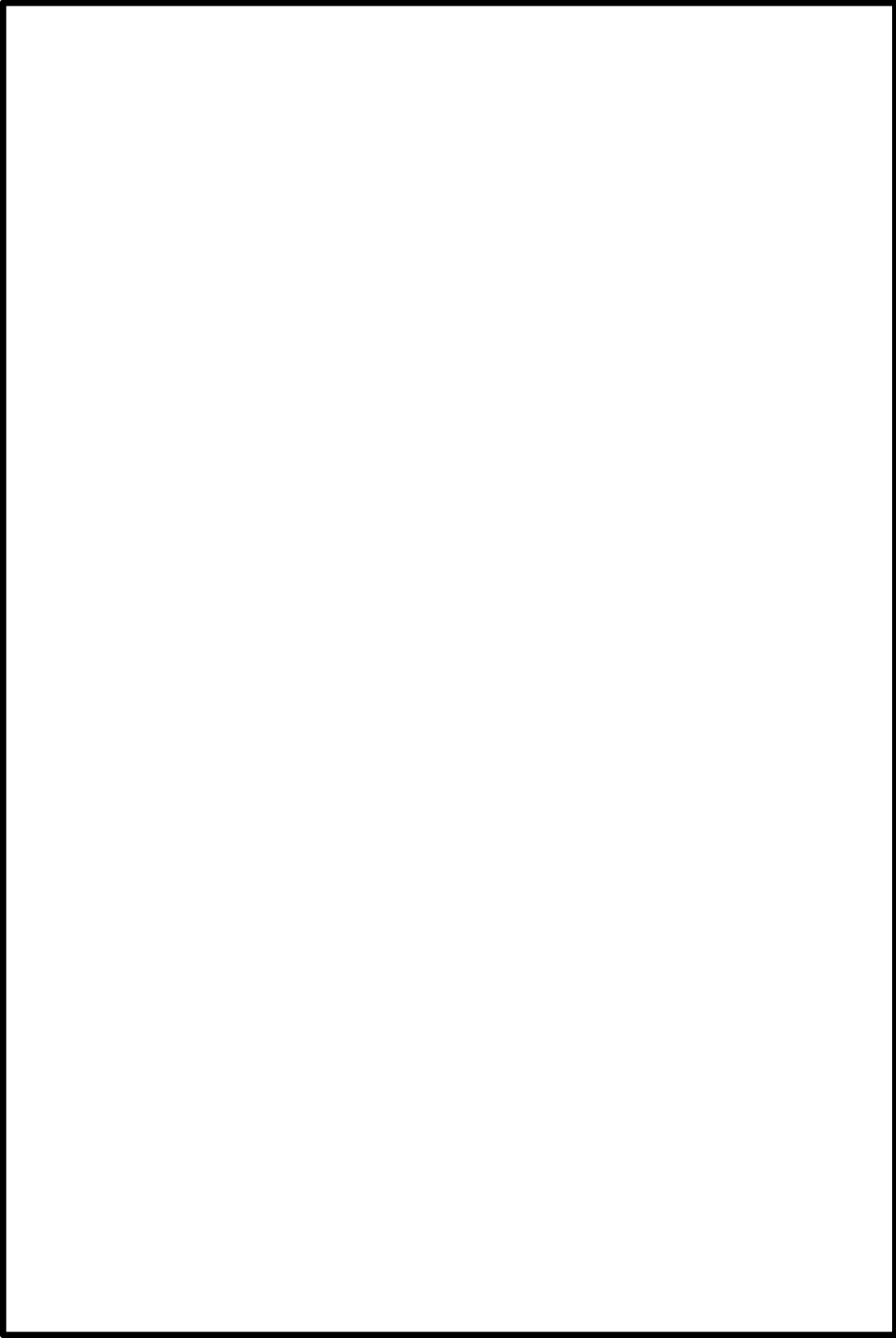
6.1.3 影響評価方針

6.1.2 で抽出した波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の評価結果または評価方針を第 6-1-4 表～第 6-1-7 表に示す。

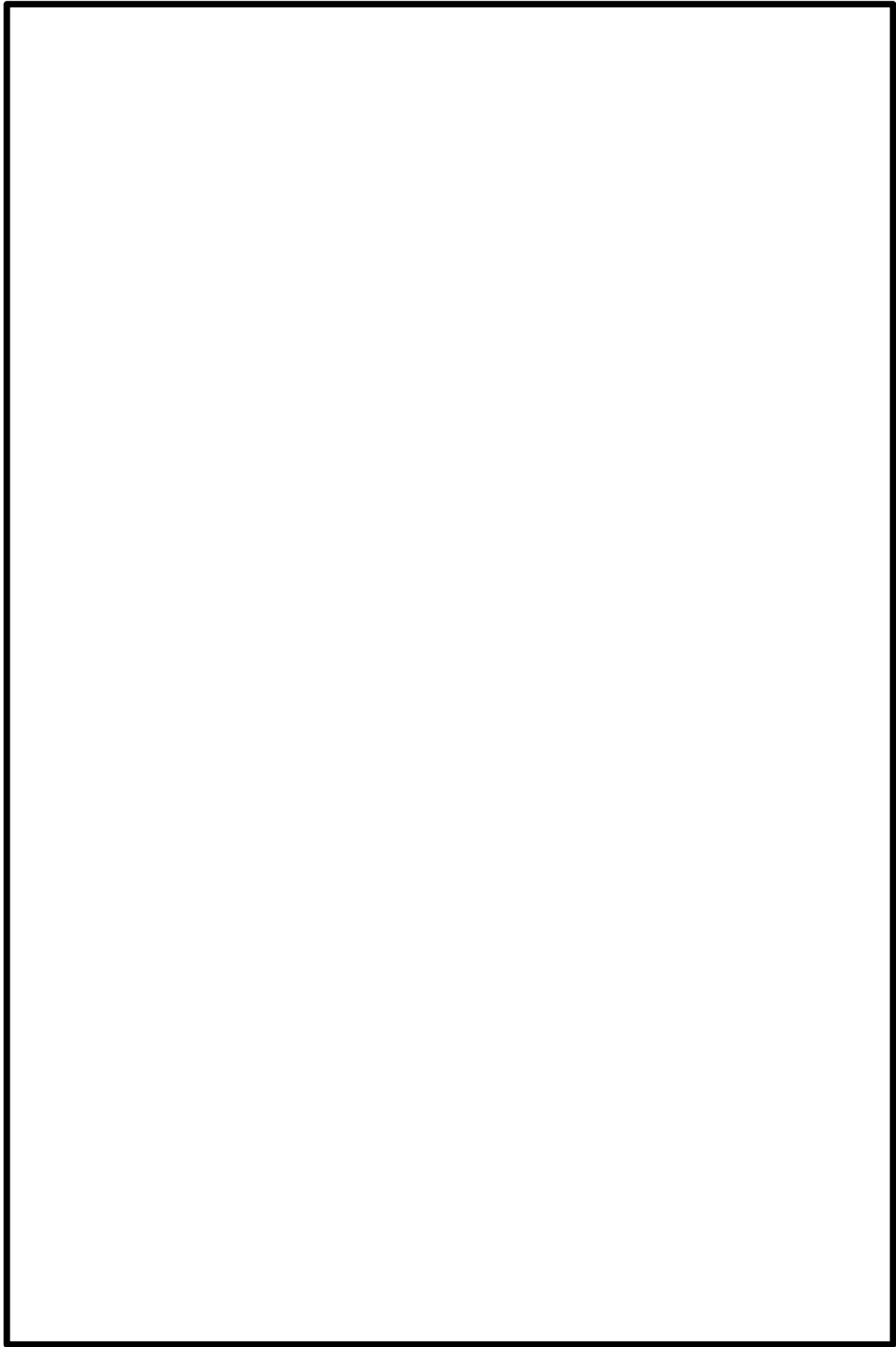
上記方針に基づいた検討結果は工事計画認可申請書において確認し、必要に応じて不等沈下または相対変位による影響を評価（第 5-1-1 図および第 5-1-2 図のフローの c に該当）する。



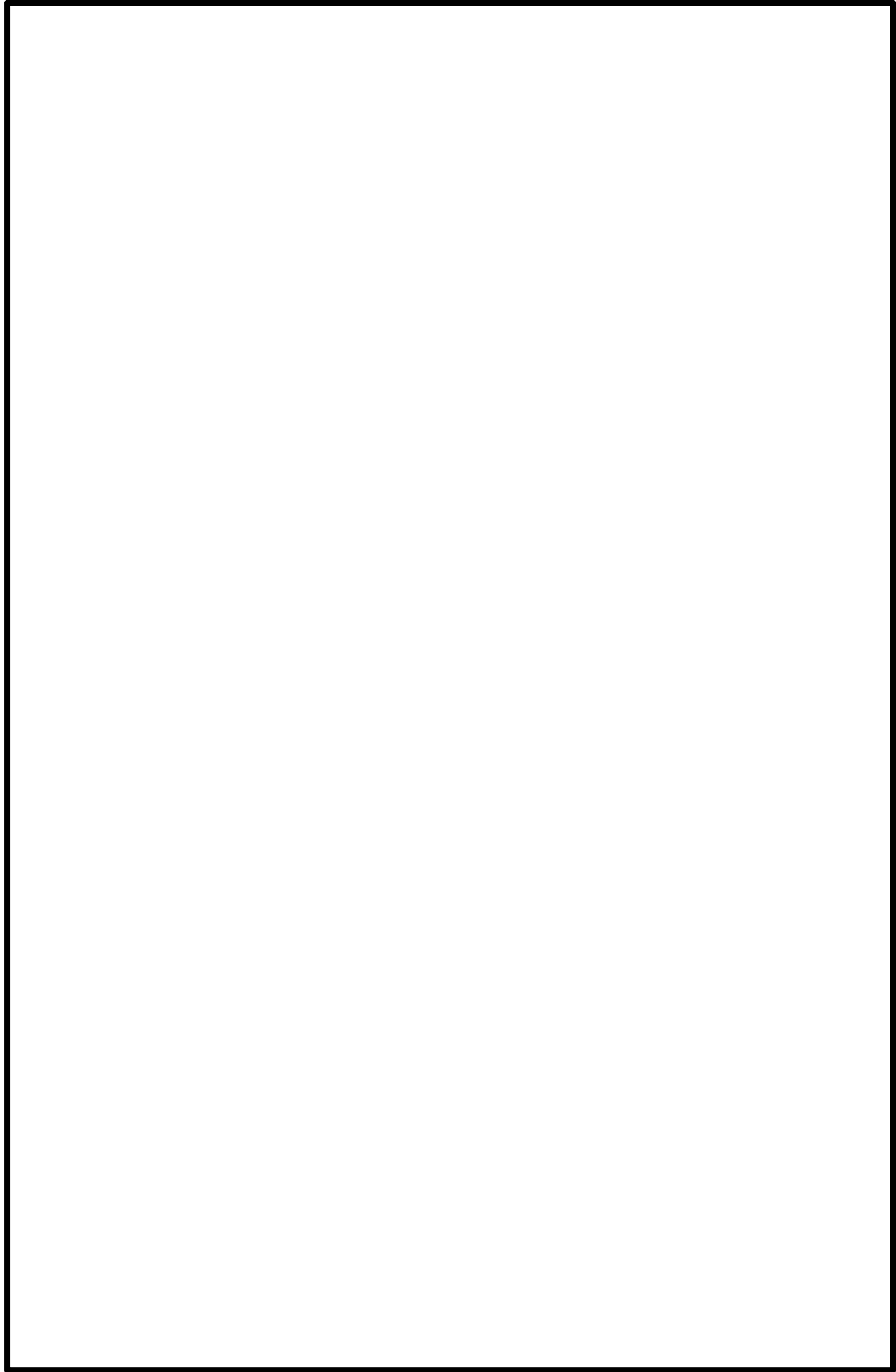
第 6-1-1 図 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 建屋外上位クラス施設配置図



第 6-1-2 図 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 建屋外上位クラス施設配置図



第6-1-3 図 柏崎刈羽原子力発電所6号炉及び7号炉 建屋外上位クラス施設配置図



第6-1-4 図 柏崎刈羽原子力発電所6号炉及び7号炉 建屋外上位クラス接続口配置図

第 6-1-1 表 6 号炉 建屋外上位クラス施設へ波及的影響（相対変位又は不等沈下）を及ぼすおそれのある下位クラス施設(1/2)

整理 番号	建屋外上位クラス施設	区分	波及的影響を及ぼすおそれのある 下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)		備考
				不等沈下	相対変位	
K6-0001	非常用ディーゼル発電設備 軽油タンク	S クラス SA 施設	5 号炉排気筒	○	×	
K6-0002	非常用ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ	S クラス	5 号炉排気筒	○	×	
K6-0003	非常用ディーゼル発電設備 燃料油系配管	S クラス	5 号炉排気筒	○	×	
K6-0004	非常用ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ出口逆止弁	S クラス	5 号炉排気筒	○	×	
K6-0005	格納容器圧力逃がし装置 フィルタ装置	SA 施設	5 号炉排気筒	○	×	
K6-0006	格納容器圧力逃がし装置 よう素フィルタ	SA 施設	5 号炉排気筒	○	×	
K6-0007	格納容器圧力逃がし装置 ドレンポンプ設備	SA 施設	5 号炉排気筒	○	×	
K6-0008	格納容器圧力逃がし装置 ドレンタンク	SA 施設	5 号炉排気筒	○	×	
K6-0009	格納容器圧力逃がし装置 ラプチャディスク	SA 施設	5 号炉排気筒	○	×	
K6-0010	復水補給水系配管	SA 施設	5 号炉排気筒	○	×	
K6-0011	燃料プール冷却浄化系配管	SA 施設	5 号炉排気筒	○	×	
K6-0012	格納容器圧力逃がし装置配管	SA 施設	5 号炉排気筒	○	×	
K6-0013	格納容器圧力逃がし装置放射 線モニタ盤	SA 施設	5 号炉排気筒	○	×	
K6-0014	原子炉建屋	S クラス施設及び SA 施 設間接支持構造物	5 号炉排気筒	○	×	
K6-0015	タービン建屋	S クラス施設及び SA 施 設間接支持構造物	5 号炉タービン建屋	○	×	
			5 号炉排気筒	○	×	
			6 号炉 CO ₂ ポンベ建屋	○	×	
			6 号炉連絡通路	○	○	
K6-0016	排気筒	S クラス施設間接支持構 造物	5 号炉排気筒	○	×	
K6-0017	格納容器圧力逃がし装置基礎	SA 施設間接支持構 造物	5 号炉排気筒	○	×	
K6-0018	海水貯留堰	S クラス 屋外重要土木構造物 SA 施設	—	×	×	
K6-0019	スクリーン室	屋外重要土木構造物 SA 施設	—	×	×	
K6-0020	取水路	屋外重要土木構造物 SA 施設	—	×	×	

第 6-1-1 表 6 号炉 建屋外上位クラス施設へ波及的影響（相対変位又は不等沈下）を及ぼすおそれのある下位クラス施設(2/2)

整理 番号	建屋外上位クラス施設	区分	波及的影響を及ぼすおそれのある 下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)		備考
				不等沈下	相対変位	
K6-0021	補機冷却用海水取水路	屋外重要土木構造物 SA 施設	—	×	×	
K6-0022	軽油タンク基礎	屋外重要土木構造物 (S クラス施設及び SA 施設間接支持構造 物)	5 号炉排気筒	○	×	
K6-0023	燃料移送系配管ダクト	屋外重要土木構造物 (S クラス施設間接支持 構造物)	—	×	×	
K6-0024	原子炉補機冷却水系配管	SA 施設	—	×	×	
K6-0025	非常用ガス処理系配管	S クラス SA 施設	5 号炉排気筒	○	×	
K6-0026	代替格納容器圧力逃がし装置 フィルタ装置	SA 施設				設置予定施設※
K6-0027	代替格納容器圧力逃がし装置 よう素フィルタ	SA 施設				同上
K6-0028	代替格納容器圧力逃がし装置 室空調	SA 施設				同上
K6-0029	代替格納容器圧力逃がし装置 ドレンポンプ設備	SA 施設				同上
K6-0030	代替格納容器圧力逃がし装置 ドレンタンク	SA 施設				同上
K6-0031	代替格納容器圧力逃がし装置 薬液タンク	SA 施設				同上
K6-0032	代替格納容器圧力逃がし装置 ラプチャディスク	SA 施設				同上
K6-0033	代替格納容器圧力逃がし装置 配管	SA 施設				同上
K6-0034	代替格納容器圧力逃がし装置 基礎	SA 施設間接支持構造 物				同上
K6-0035	無線連絡設備	SA 施設	—	×	×	

※対象上位クラス施設を設置する段階で、5.1 項に示す影響検討を実施する（添付資料 6 参照）。

第 6-1-2 表 7 号炉 建屋外上位クラス施設へ波及的影響（相対変位又は不等沈下）を及ぼすおそれのある下位クラス施設(1/2)

整理 番号	建屋外上位クラス施設	区分	波及的影響を及ぼすおそれのある 下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)		備考
				不等沈下	相対変位	
K7-0001	非常用ディーゼル発電設備 軽油タンク	S クラス SA 施設	—	×	×	
K7-0002	非常用ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ	S クラス	—	×	×	
K7-0003	非常用ディーゼル発電設備 燃料油系配管	S クラス	—	×	×	
K7-0004	非常用ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ出口逆止弁	S クラス	—	×	×	
K7-0005	格納容器圧力逃がし装置 フィルタ装置	SA 施設	—	×	×	
K7-0006	格納容器圧力逃がし装置 よう素フィルタ	SA 施設	—	×	×	
K7-0007	格納容器圧力逃がし装置 ドレンポンプ設備	SA 施設	—	×	×	
K7-0008	格納容器圧力逃がし装置 ドレンタンク	SA 施設	—	×	×	
K7-0009	格納容器圧力逃がし装置 ラプチャディスク	SA 施設	—	×	×	
K7-0010	復水補給水系配管	SA 施設	—	×	×	
K7-0011	燃料プール冷却浄化系配管	SA 施設	—	×	×	
K7-0012	格納容器圧力逃がし装置配管	SA 施設	—	×	×	
K7-0013	格納容器圧力逃がし装置放射 線モニタ盤	SA 施設	—	×	×	
K7-0014	原子炉建屋	S クラス施設及び SA 施 設間接支持構造物	—	×	×	
K7-0015	タービン建屋	S クラス施設及び SA 施 設間接支持構造物	—	×	×	
K7-0016	排気筒	S クラス施設間接支持構 造物	—	×	×	
K7-0017	格納容器圧力逃がし装置基礎	SA 施設間接支持構 造物	—	×	×	
K7-0018	海水貯留堰	S クラス 屋外重要土木構造物 SA 施設	—	×	×	
K7-0019	スクリーン室	屋外重要土木構造物 SA 施設	—	×	×	
K7-0020	取水路	屋外重要土木構造物 SA 施設	—	×	×	
K7-0021	補機冷却用海水取水路	屋外重要土木構造物 SA 施設	—	×	×	
K7-0022	軽油タンク基礎	屋外重要土木構造物 (S クラス施設及び SA 施設間接支持構 造物)	—	×	×	
K7-0023	燃料移送系配管ダクト	屋外重要土木構造物 (S クラス施設間接支持 構造物)	—	×	×	
K7-0024	原子炉補機冷却水系配管	SA 施設	—	×	×	

第 6-1-2 表 7 号炉 建屋外上位クラス施設へ波及的影響（相対変位又は不等沈下）を及ぼすおそれのある下位クラス施設(2/2)

整理 番号	建屋外上位クラス施設	区分	波及的影響を及ぼすおそれのある 下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)		備考
				不等沈下	相対変位	
K7-0025	非常用ガス処理系配管	S クラス SA 施設	—	×	×	
K7-0026	代替格納容器圧力逃がし装置 フィルタ装置	SA 施設				設置予定施設※
K7-0027	代替格納容器圧力逃がし装置 よう素フィルタ	SA 施設				同上
K7-0028	代替格納容器圧力逃がし装置 室空調	SA 施設				同上
K7-0029	代替格納容器圧力逃がし装置 ドレンポンプ設備	SA 施設				同上
K7-0030	代替格納容器圧力逃がし装置 ドレンタンク	SA 施設				同上
K7-0031	代替格納容器圧力逃がし装置 薬液タンク	SA 施設				同上
K7-0032	代替格納容器圧力逃がし装置 ラプチャディスク	SA 施設				同上
K7-0033	代替格納容器圧力逃がし装置 配管	SA 施設				同上
K7-0034	代替格納容器圧力逃がし装置 基礎	SA 施設間接支持構造 物				同上
K7-0035	無線連絡設備	SA 施設	—	×	×	

※対象上位クラス施設を設置する段階で、5.1 項に示す影響検討を実施する（添付資料 6 参照）。

第 6-1-3 表 6 号炉及び 7 号炉 建屋外上位クラス施設へ波及的影響（相対変位
又は不等沈下）を及ぼすおそれのある下位クラス施設

整理 番号	建屋外上位クラス施設	区分	波及的影響を及ぼすおそれのある 下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)		備考
				不等沈下	相対変位	
共-0001	第一ガスタービン発電機	SA 施設	—	×	×	
共-0002	第一ガスタービン発電機用燃料タンク	SA 施設	—	×	×	
共-0003	第一ガスタービン発電機用燃料移送ポンプ	SA 施設	—	×	×	
共-0004	第一ガスタービン発電機用燃料移送系配管	SA 施設	—	×	×	
共-0005	第一ガスタービン発電機制御盤	SA 施設	—	×	×	
共-0006	津波監視カメラ	S クラス SA 施設	—	×	×	
共-0007	コントロール建屋	S クラス施設及び SA 施設間接支持構造物	サービス建屋	○	○	
共-0008	廃棄物処理建屋	SA 施設間接支持構造物	—	×	×	
共-0009	第一ガスタービン発電機基礎	SA 施設間接支持構造物	—	×	×	
共-0010	第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎	SA 施設間接支持構造物	—	×	×	
共-0011	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所（5 号炉原子炉建屋）	SA 施設 SA 施設間接支持構造物	5 号炉タービン建屋	○	○	
			5 号炉サービス建屋	○	×	
			5 号炉排気筒	○	×	
			5 号炉連絡通路	○	○	
			5 号炉格納容器圧力逃がし装置基礎	○	×	
			5 号炉主排気モニタ建屋	○	○	
共-0012	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所用無線連絡設備	SA 施設	5 号炉排気筒	○	×	

第 6-1-4 表 6 号炉 建屋外施設の評価結果（地盤の不等沈下による影響）（1/2）

建屋外上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	評価結果	備考
<ul style="list-style-type: none"> ・非常用ディーゼル発電設備 軽油タンク ・非常用ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ ・非常用ディーゼル発電設備 燃料油系配管 ・非常用ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ出口逆止弁 ・格納容器圧力逃がし装置 フィルタ装置 ・格納容器圧力逃がし装置 よう素フィルタ ・格納容器圧力逃がし装置 ドレンポンプ設備 ・格納容器圧力逃がし装置 ドレンタンク ・格納容器圧力逃がし装置 ラプチャディスク ・復水補給水系配管 ・燃料プール冷却浄化系配管 ・格納容器圧力逃がし装置 配管 ・格納容器圧力逃がし装置 放射線モニタ盤 ・原子炉建屋 ・タービン建屋 ・排気筒 ・格納容器圧力逃がし装置 基礎 ・軽油タンク基礎 ・非常用ガス処理系配管 	5 号炉排気筒	5 号炉排気筒は原子炉建屋と連続した岩盤に杭を介して支持されており，不等沈下は生じない。	本資料 添付資料 5 参照

第 6-1-4 表 6 号炉 建屋外施設の評価結果（地盤の不等沈下による影響）（2/2）

建屋外上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	評価結果	備考
・タービン建屋	5 号炉タービン建屋	5 号炉タービン建屋はタービン建屋と連続した岩盤に直接支持されており，不等沈下は生じない	本資料 添付資料 5 参照
	6 号炉 CO ₂ ポンベ建屋	6 号炉 CO ₂ ポンベ建屋はマンメイドロック（MMR）を介して岩盤に支持されており，不等沈下は生じない	本資料 添付資料 5 参照
	6 号炉連絡通路	6 号炉連絡通路はマンメイドロック（MMR）を介して岩盤に支持されており，不等沈下は生じない。	本資料 添付資料 5 参照

第 6-1-5 表 6 号炉及び 7 号炉 建屋外施設の評価方針又は評価結果（地盤の不等沈下による影響）

建屋外上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	評価方針又は評価結果	備考
・コントロール建屋	サービス建屋	サービス建屋は岩盤（一部が洪積層）に支持されているため、基準地震動 Ss に対して、不等沈下が生じないことを確認する。	本資料 添付資料 5 参照 工認計算書 添付予定
・5 号炉原子炉建屋内緊急時 対策所（5 号炉原子炉建屋）	5 号炉タービン建屋	5 号炉タービン建屋は 5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所と連続した岩盤に直接支持されており、不等沈下は生じない	本資料 添付資料 5 参照
	5 号炉サービス建屋	5 号炉サービス建屋は地盤改良土を介して洪積層に支持されているため、基準地震動 Ss に対して、不等沈下が生じないことを確認する。	本資料 添付資料 5 参照 工認計算書 添付予定
	5 号炉排気筒	5 号炉排気筒は 5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所と連続した岩盤に杭を介して支持されており、不等沈下は生じない。	本資料 添付資料 5 参照
	5 号炉連絡通路	5 号炉連絡通路はマンメイドロック（MMR）を介して洪積層に支持されているため、基準地震動 Ss に対して、不等沈下が生じないことを確認する。	本資料 添付資料 5 参照 工認補足 説明資料に 記載予定
	5 号炉格納容器圧力逃がし装置基礎	5 号炉格納容器圧力逃がし装置基礎は 5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所と連続した岩盤に杭を介して支持されており、不等沈下は生じない。	本資料 添付資料 5 参照
・5 号炉原子炉建屋内緊急時 対策所用無線連絡設備	5 号炉主排気モニタ建屋	5 号炉主排気モニタ建屋は埋戻し土に支持されており、不等沈下による影響を受けるおそれがある。 5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所に対して構造物の規模が小さく軽量であることから、倒壊により 5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所に衝突したとしても影響は軽微であり、建屋の耐震性を損なうことはないことを確認する。	本資料 添付資料 5 参照 工認補足 説明資料に 記載予定
	5 号炉排気筒	5 号炉排気筒は 5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所と連続した岩盤に杭を介して支持されており、不等沈下は生じない。	本資料 添付資料 5 参照

第 6-1-6 表 6 号炉 建屋外施設の評価方針（建屋の相対変位による影響）

建屋外上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	評価方針	備考
・タービン建屋	6 号炉連絡通路	6 号炉連絡通路はタービン建屋に対して構造物の規模が小さく軽量であることから、倒壊によりタービン建屋に衝突したとしても影響は軽微であり、建屋の耐震性を損なうことはないことを確認する。	工認補足説明資料に記載予定

第 6-1-7 表 6 号炉及び 7 号炉 建屋外施設の評価方針（建屋の相対変位による影響）

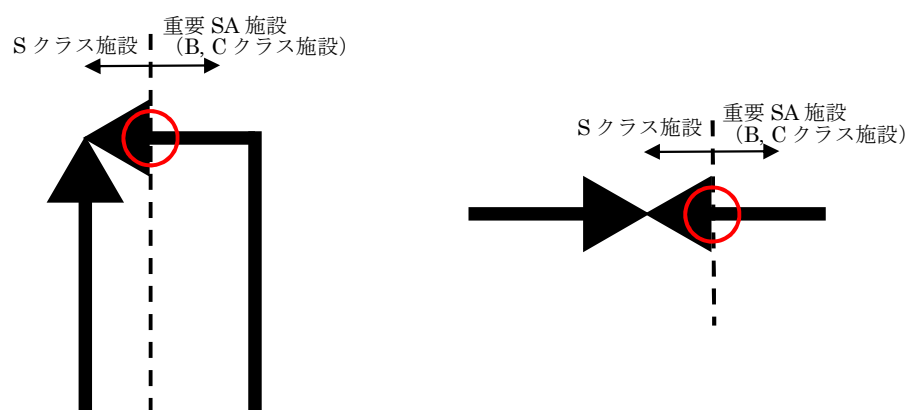
建屋外上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	評価方針	備考
・コントロール建屋	サービス建屋	コントロール建屋とサービス建屋の最小離隔は 100mm と小さく、建屋間相対変位によって建屋同士が接触する可能性がある。そのため、基準地震動 Ss に対する地震応答解析により、影響を確認する。	工認計算書添付予定
・5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所（5 号炉原子炉建屋）	5 号炉タービン建屋	5 号炉タービン建屋と 5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所の最小離隔は 100mm と小さく、建屋間相対変位によって建屋同士が接触する可能性がある。そのため、基準地震動 Ss に対する地震応答解析により、影響を確認する。	工認補足説明資料に記載予定
	5 号炉連絡通路	5 号炉連絡通路は 5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所に対して構造物の規模が小さく軽量であることから、倒壊により 5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所に衝突したとしても影響は軽微であり、建屋の耐震性を損なうことはないことを確認する。	工認補足説明資料に記載予定
	5 号炉主排気モニタ建屋	5 号炉主排気モニタ建屋は 5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所に対して構造物の規模が小さく軽量であることから、倒壊により 5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所に衝突したとしても影響は軽微であり、建屋の耐震性を損なうことはないことを確認する。	工認補足説明資料に記載予定

6.2 接続部における相互影響検討結果

6.2.1 抽出手順

机上検討をもとに、上位クラス施設と接続する下位クラス施設のうち、下位クラス施設の損傷または隔離によるプロセス変化により上位クラス施設に影響を及ぼす可能性がある下位クラス施設を抽出する。なお、Sクラス施設等と重要SA施設の接続部例のようなSクラス施設等と重要SA施設との接続部は上位クラス同士であるため、上位クラス施設と下位クラス施設との接続部として抽出しない。

接続部については、系統図等により網羅的に確認が可能であり、プラント建設時及び改造工事の際は、施工に伴う確認、系統図作成時における現場確認、使用前検査、試運転等から接続部が設計図書どおりであることを確認していることから、接続部の波及的影響については、机上検討により評価対象の抽出が可能である。



Sクラス施設等と重要SA施設の接続部例

6.2.2 接続部の抽出及び影響評価対象の選定結果

第5-2図のフローのa, b及びcに基づいて抽出された評価対象接続部について整理したものを第6-2-1表～第6-2-6表に示す。

6.2.3 影響評価結果

6.2.2で抽出した上位クラス施設と下位クラス施設との接続部について、第5-2図のフローのdに基づいて影響評価を行った結果を第6-2-7表～第6-2-9表に示す。

影響評価を行った結果、上位クラス施設と下位クラス施設との接続部が損傷することによって、上位クラスの機能に影響を及ぼすことはないことを確認した。なお、上位クラス施設と隔離されずに接続する下位クラスベント配管は、現地調査の結果、その他の下位クラス施設による波及的影響を受けないことを確認した。

第 6-2-1 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部における設計上の考慮一覧表（1/11）

整理番号	上位クラス施設	区分	設置場所	設計上の考慮 (有：○， 無：×)	分類※1	備考
K6-0001	非常用ディーゼル発電設備 軽油タンク	S クラス SA 施設	建屋外	×	—	
K6-0002	非常用ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ	S クラス	建屋外	×	—	
K6-0003	非常用ディーゼル発電設備 燃料油系配管	S クラス	建屋外	×	—	
K6-0005	格納容器圧力逃がし装置 フィルタ装置	SA 施設	建屋外	×	—	
K6-0006	格納容器圧力逃がし装置 よう素フィルタ	SA 施設	建屋外	×	—	
K6-0007	格納容器圧力逃がし装置 ドレンポンプ設備	SA 施設	建屋外	×	—	
K6-0008	格納容器圧力逃がし装置 ドレンタンク	SA 施設	建屋外	×	—	
K6-0009	格納容器圧力逃がし装置 ラプチャディスク	SA 施設	建屋外	×	—	
K6-0010	復水補給水系配管	SA 施設	建屋外	×	—	
K6-0011	燃料プール冷却浄化系配管	SA 施設	建屋外	×	—	
K6-0012	格納容器圧力逃がし装置配管	SA 施設	建屋外	×	—	
K6-0013	格納容器圧力逃がし装置放射線モニタ 盤	SA 施設	建屋外	○	(b) i	
K6-0024	原子炉補機冷却水系配管	SA 施設	建屋外	×	—	
K6-0025	非常用ガス処理系配管	S クラス SA 施設	建屋外	×	—	
K6-0026	代替格納容器圧力逃がし装置 フィルタ装置	SA 施設	建屋外			設置予定施設※2
K6-0027	代替格納容器圧力逃がし装置 よう素フィルタ	SA 施設	建屋外			同上
K6-0028	代替格納容器圧力逃がし装置室空調	SA 施設	建屋外			同上
K6-0029	代替格納容器圧力逃がし装置 ドレンポンプ設備	SA 施設	建屋外			同上
K6-0030	代替格納容器圧力逃がし装置 ドレンタンク	SA 施設	建屋外			同上
K6-0031	代替格納容器圧力逃がし装置 薬液タンク	SA 施設	建屋外			同上
K6-0032	代替格納容器圧力逃がし装置 ラプチャディスク	SA 施設	建屋外			同上
K6-0033	代替格納容器圧力逃がし装置配管	SA 施設	建屋外			同上
K6-0035	無線連絡設備	SA 施設	建屋外	○	(b) i	

※1 分類は 5.2 a の項目（(a)：電気設備 (b) i：制御信号 (b) ii：計装配管 (c)：格納容器貫通部 (d)：A0 弁駆動用空気供給配管接続部 (e)：弁グランド部漏えい検出配管接続部）に対応する。なお、電気設備及び計装設備のうち上位クラス施設同士の接続部は「接続部における相互影響」としては検討不要だが、設計上の考慮がなされているものとして整理する。

※2 対象上位クラス施設を設置する段階で、5.2 項に示す影響検討を実施する（添付資料 6 参照）。

第 6-2-1 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部における設計上の考慮一覧表 (2/11)

整理番号	上位クラス施設	区分	設置場所	設計上の考慮 (有：○， 無：×)	分類※1	備考
K6-E001	炉心支持構造物	S クラス	R/B	×	—	
K6-E002	原子炉圧力容器	S クラス SA 施設	R/B	×	—	
K6-E003	原子炉圧力容器支持構造物	S クラス	R/B	×	—	
K6-E004	原子炉圧力容器付属構造物	S クラス	R/B	×	—	
K6-E005	原子炉圧力容器内部構造物	S クラス	R/B	×	—	
K6-E006	使用済燃料貯蔵プール	S クラス SA 施設	R/B	×	—	
K6-E007	キャスクビット	S クラス	R/B	×	—	
K6-E008	使用済燃料貯蔵ラック	S クラス	R/B	×	—	
K6-E009	制御棒・破損燃料貯蔵ラック	S クラス	R/B	×	—	
K6-E010	原子炉冷却材再循環ポンプ	S クラス	R/B	×	—	
K6-E011	主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用 アキュムレータ	S クラス SA 施設	R/B	×	—	
K6-E012	主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用 アキュムレータ	S クラス SA 施設	R/B	×	—	
K6-E013	主蒸気隔離弁用アキュムレータ (原子炉格納容器内側)	S クラス	R/B	×	—	
K6-E014	主蒸気隔離弁用アキュムレータ (原子炉格納容器外側)	S クラス	R/B	×	—	
K6-E015	残留熱除去系熱交換器	S クラス SA 施設	R/B	×	—	
K6-E016	残留熱除去系ポンプ	S クラス	R/B	×	—	
K6-E017	残留熱除去系封水ポンプ	S クラス	R/B	×	—	
K6-E018	残留熱除去系ストレーナ	S クラス	R/B	×	—	
K6-E019	高圧炉心注水系ポンプ	S クラス	R/B	×	—	
K6-E020	高圧炉心注水系ストレーナ	S クラス	R/B	×	—	
K6-E021	原子炉隔離時冷却系ポンプ	S クラス	R/B	×	—	
K6-E022	原子炉隔離時冷却系ポンプ駆動用 蒸気タービン	S クラス	R/B	×	—	
K6-E023	原子炉隔離時冷却系真空タンク	S クラス	R/B	×	—	
K6-E024	原子炉隔離時冷却系セパレータ	S クラス	R/B	×	—	
K6-E025	原子炉隔離時冷却系 バロメトリックコンデンサ	S クラス	R/B	×	—	
K6-E026	原子炉隔離時冷却系 蒸気タービン用潤滑油冷却器	S クラス	R/B	×	—	
K6-E027	原子炉隔離時冷却系 ポンプ用潤滑油冷却器	S クラス	R/B	×	—	
K6-E028	原子炉隔離時冷却系復水ポンプ	S クラス	R/B	×	—	
K6-E029	原子炉隔離時冷却系真空ポンプ	S クラス	R/B	×	—	
K6-E030	原子炉隔離時冷却系ストレーナ	S クラス	R/B	×	—	

※1 分類は 5.2 a の項目 (a)：電気設備 (b)i：制御信号 (b)ii：計装配管 (c)：格納容器貫通部 (d)：A0 弁駆動用空気供給配管接続部 (e)：弁グランド部漏えい検出配管接続部) に対応する。なお、電気設備及び計装設備のうち上位クラス施設同士の接続部は「接続部における相互影響」としては検討不要だが、設計上の考慮がなされているものとして整理する。

第 6-2-1 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部における設計上の考慮一覧表 (3/11)

整理 番号	上位クラス施設	区分	設置場所	設計上の考慮 (有：○， 無：×)	分類※1	備考
K6- E031	原子炉補機冷却水系熱交換器	S クラス	T/B	×	—	
K6- E032	原子炉補機冷却水ポンプ	S クラス	T/B	×	—	
K6- E033	原子炉補機冷却水系サージタンク	S クラス SA 施設	R/B	×	—	
K6- E034	原子炉補機冷却海水ポンプ	S クラス	T/B	×	—	
K6- E035	原子炉補機冷却海水系ストレーナ	S クラス	T/B	×	—	
K6- E036	原子炉補機冷却海水系ポンプ室取水水位 計測装置空気供給用アキュムレータ	S クラス	T/B	×	—	
K6- E037	制御棒	S クラス	R/B	×	—	
K6- E038	制御棒駆動機構	S クラス	R/B	×	—	
K6- E039	水圧制御ユニット	S クラス	R/B	×	—	
K6- E040	ほう酸水注入系ポンプ	S クラス SA 施設	R/B	×	—	
K6- E041	ほう酸水注入系貯蔵タンク	S クラス SA 施設	R/B	×	—	
K6- E042	非常用ガス処理系乾燥装置	S クラス	R/B	×	—	
K6- E043	非常用ガス処理系排風機	S クラス	R/B	×	—	
K6- E044	非常用ガス処理系フィルタ	S クラス	R/B	×	—	
K6- E045	中央制御室送風機	S クラス	C/B	×	—	
K6- E046	中央制御室再循環送風機	S クラス	C/B	×	—	
K6- E047	中央制御室排風機	S クラス	C/B	×	—	
K6- E048	中央制御室再循環フィルタ	S クラス	C/B	×	—	
K6- E049	原子炉格納容器	S クラス SA 施設	R/B	×	—	
K6- E050	機器搬出入口	S クラス SA 施設	R/B	×	—	
K6- E051	エアロック	S クラス SA 施設	R/B	×	—	
K6- E052	ダイヤフラムフロア	S クラス SA 施設	R/B	×	—	
K6- E053	ベント管	S クラス SA 施設	R/B	×	—	
K6- E054	原子炉格納容器貫通部	S クラス SA 施設	R/B	×	—	
K6- E055	ドライウェルスプレイ管	S クラス SA 施設	R/B	×	—	
K6- E056	サプレッションチェンバースプレイ管	S クラス SA 施設	R/B	×	—	
K6- E057	可燃性ガス濃度制御系 再結合装置	S クラス	R/B	×	—	
K6- E058	可燃性ガス濃度制御系 再結合装置加熱器	S クラス	R/B	×	—	
K6- E059	可燃性ガス濃度制御系 再結合装置冷却器	S クラス	R/B	×	—	
K6- E060	可燃性ガス濃度制御系 再結合装置ブロア	S クラス	R/B	×	—	

※1 分類は 5.2 a の項目 (a)：電気設備 (b)i：制御信号 (b)ii：計装配管 (c)：格納容器貫通部 (d)：A0 弁駆動用空気供給配管接続部 (e)：弁グランド部漏えい検出配管接続部) に対応する。なお、電気設備及び計装設備のうち上位クラス施設同士の接続部は「接続部における相互影響」としては検討不要だが、設計上の考慮がなされているものとして整理する。

第 6-2-1 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部における設計上の考慮一覧表 (4/11)

整理番号	上位クラス施設	区分	設置場所	設計上の考慮 (有：○， 無：×)	分類※1	備考
K6-E061	可燃性ガス濃度制御系 再結合装置気水分離器	S クラス	R/B	×	—	
K6-E062	非常用ディーゼル発電設備 ディーゼル機関	S クラス	R/B	×	—	
K6-E063	非常用ディーゼル発電設備 空気だめ	S クラス	R/B	×	—	
K6-E064	非常用ディーゼル発電設備 空気圧縮機	S クラス	R/B	×	—	
K6-E065	非常用ディーゼル発電設備 燃料ディタンク	S クラス	R/B	×	—	
K6-E066	非常用ディーゼル発電設備 清水膨張タンク	S クラス	R/B	×	—	
K6-E067	非常用ディーゼル発電設備 潤滑油補給タンク	S クラス	R/B	×	—	
K6-E068	非常用ディーゼル発電設備 機関付空気冷却器	S クラス	R/B	×	—	
K6-E069	非常用ディーゼル発電設備 潤滑油冷却器	S クラス	R/B	×	—	
K6-E070	非常用ディーゼル発電設備 清水冷却器	S クラス	R/B	×	—	
K6-E071	非常用ディーゼル発電設備 清水加熱器	S クラス	R/B	×	—	
K6-E072	非常用ディーゼル発電設備 潤滑油加熱器	S クラス	R/B	×	—	
K6-E073	非常用ディーゼル発電設備 発電機軸受潤滑油冷却器	S クラス	R/B	×	—	
K6-E074	非常用ディーゼル発電設備 清水加熱器ポンプ	S クラス	R/B	×	—	
K6-E075	非常用ディーゼル発電設備 機関付潤滑油ポンプ	S クラス	R/B	×	—	
K6-E076	非常用ディーゼル発電設備 潤滑油ブライミングポンプ	S クラス	R/B	×	—	
K6-E077	非常用ディーゼル発電設備 機関付清水ポンプ	S クラス	R/B	×	—	
K6-E078	非常用ディーゼル発電設備 潤滑油補給ポンプ	S クラス	R/B	×	—	
K6-E079	非常用ディーゼル発電設備 排気タービン過給機	S クラス	R/B	×	—	
K6-E080	非常用ディーゼル発電設備 機関付潤滑油フォルダ	S クラス	R/B	×	—	
K6-E081	非常用ディーゼル発電設備 燃料フィルタ	S クラス	R/B	×	—	
K6-E082	非常用ディーゼル発電設備 発電機	S クラス	R/B	×	—	
K6-E083	換気空調補機非常用冷却水系冷凍機	S クラス	C/B	×	—	
K6-E084	換気空調補機非常用冷却水系ポンプ	S クラス	C/B	×	—	
K6-E085	原子炉区域給気隔離弁 アキュムレータタンク	S クラス	R/B	×	—	
K6-E086	原子炉区域排気隔離弁 アキュムレータタンク	S クラス	R/B	×	—	
K6-E087	残留熱除去系ポンプ室空調機	S クラス	R/B	×	—	
K6-E088	高圧炉心注水系ポンプ室空調機	S クラス	R/B	×	—	
K6-E089	原子炉隔離時冷却系ポンプ室空調機	S クラス	R/B	×	—	
K6-E090	非常用ガス処理系室空調機	S クラス	R/B	×	—	

※1 分類は 5.2 a の項目 (a)：電気設備 (b)i：制御信号 (b)ii：計装配管 (c)：格納容器貫通部 (d)：A0 弁駆動用空気供給配管接続部 (e)：弁グランド部漏えい検出配管接続部) に対応する。なお、電気設備及び計装設備のうち上位クラス施設同士の接続部は「接続部における相互影響」としては検討不要だが、設計上の考慮がなされているものとして整理する。

第 6-2-1 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部における設計上の考慮一覧表 (5/11)

整理番号	上位クラス施設	区分	設置場所	設計上の考慮 (有：○， 無：×)	分類※1	備考
K6-E091	可燃性ガス濃度制御系室空調機	S クラス	R/B	×	—	
K6-E092	非常用ディーゼル発電設備区域送風機	S クラス	R/B	×	—	
K6-E093	非常用ディーゼル発電設備区域排風機	S クラス	R/B	×	—	
K6-E094	非常用ディーゼル発電設備区域非常用送風機	S クラス	R/B	×	—	
K6-E095	コントロール建屋計測制御電源盤区域送風機	S クラス	C/B	×	—	
K6-E096	コントロール建屋計測制御電源盤区域排風機	S クラス	C/B	×	—	
K6-E097	海水熱交換器エリア非常用送風機	S クラス	T/B	×	—	
K6-E098	格納容器内雰囲気モニタ系室空調機	S クラス	R/B	×	—	
K6-E099	非常用ディーゼル発電設備給気処理装置	S クラス	R/B	×	—	
K6-E100	非常用ディーゼル発電設備非常用給気処理装置	S クラス	R/B	×	—	
K6-E101	中央制御室給気処理装置	S クラス	C/B	×	—	
K6-E102	コントロール建屋計測制御電源盤区域給気処理装置	S クラス	C/B	×	—	
K6-E103	海水熱交換器エリア非常用給気処理装置	S クラス	T/B	×	—	
K6-E104	燃料プール冷却浄化系配管	S クラス SA 施設	R/B	○	(d)	
				×	—	
K6-E105	原子炉冷却材再循環系配管	S クラス	R/B	○	(c)	
				×	—	
K6-E106	主蒸気系配管	S クラス SA 施設	R/B	○	(d), (e)	
				×	—	
K6-E107	残留熱除去系配管	S クラス SA 施設	R/B	○	(d), (e)	
				×	—	
K6-E108	原子炉隔離時冷却系配管	S クラス SA 施設	R/B	○	(d), (e)	
				×	—	
K6-E109	高圧炉心注水系配管	S クラス SA 施設	R/B	○	(d), (e)	
				×	—	
K6-E110	復水給水系配管	S クラス SA 施設	R/B	○	(d), (e)	
				×	—	
K6-E111	原子炉補機冷却水系配管	S クラス SA 施設	R/B T/B	○	(c), (d)	
				×	—	
K6-E112	原子炉補機冷却海水系配管	S クラス SA 施設	T/B	×	—	

※1 分類は 5.2 a の項目 (a)：電気設備 (b)i：制御信号 (b)ii：計装配管 (c)：格納容器貫通部 (d)：A0 弁駆動用空気供給配管接続部 (e)：弁グランド部漏えい検出配管接続部) に対応する。なお、電気設備及び計装設備のうち上位クラス施設同士の接続部は「接続部における相互影響」としては検討不要だが、設計上の考慮がなされているものとして整理する。

第 6-2-1 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部における設計上の考慮一覧表 (6/11)

整理 番号	上位クラス施設	区分	設置場所	設計上の考慮 (有：○， 無：×)	分類 ^{※1}	備考
K6- E113	原子炉冷却材浄化系配管	S クラス	R/B	○	(c), (d), (e)	
				×	—	
K6- E114	制御棒駆動系配管	S クラス	R/B	○	(d)	
				×	—	
K6- E115	ほう酸水注入系配管	S クラス SA 施設	R/B	×	—	
K6- E116	放射性ドレン移送系配管	S クラス	R/B	○	(c)	
				×	—	
K6- E117	非常用ガス処理系配管	S クラス SA 施設	R/B	○	(d)	
				×	—	
K6- E118	可燃性ガス濃度制御配管	S クラス	R/B	×	—	
K6- E119	不活性ガス系配管	S クラス SA 施設	R/B	○	(c), (d)	
				×	—	
K6- E120	換気空調補機非常用冷却水系配管	S クラス	C/B	○	(d)	
				×	—	
K6- E121	復水補給水系配管	S クラス SA 施設	R/B Rw/B	○	(d)	
				×	—	
K6- E122	純水補給水系配管	S クラス	R/B	○	(c)	
K6- E123	タンクベント処理系配管	S クラス	R/B	○	(d)	
				×	—	
K6- E124	高圧窒素ガス供給系配管	S クラス SA 施設	R/B	×	—	
K6- E125	弁グランド部漏えい処理系配管	S クラス	R/B	○	(c)	
K6- E126	試料採取系 (ガス試料及び事故後サンプリング配 管)	S クラス	R/B	○	(c)	
				×	—	
K6- E127	サブプレッションプール浄化系配管	S クラス	R/B	○	(c)	
				×	—	
K6- E128	換気空調補機常用冷却水系 配管	S クラス	R/B	○	(c)	
				×	—	
K6- E129	非常用ディーゼル発電設備燃料油系・ 潤滑油系・始動空気及び吸排気系・冷 却水系配管	S クラス	R/B	×	—	
K6- E130	所内用圧縮空気系配管	S クラス	R/B	○	(c)	
K6- E131	計装用圧縮空気系配管	S クラス	R/B	○	(c)	

※1 分類は 5.2 a の項目 ((a)：電気設備 (b)i：制御信号 (b)ii：計装配管 (c)：格納容器貫通部 (d)：A0 弁駆動用空気供給配管接続部 (e)：弁グランド部漏えい検出配管接続部) に対応する。なお、電気設備及び計装設備のうち上位クラス施設同士の接続部は「接続部における相互影響」としては検討不要だが、設計上の考慮がなされているものとして整理する。

第 6-2-1 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部における設計上の考慮一覧表（7/11）

整理 番号	上位クラス施設	区分	設置場所	設計上の考慮 (有：○， 無：×)	分類※1	備考
K6- E132	移動式炉内計装系配管	S クラス	R/B	○	(c)	
K6- E133	耐圧漏えい試験設備系配管	S クラス	R/B	○	(c)	
K6- E134	原子炉・タービン区域換気空調系 ダクト・配管	S クラス	R/B	○	(d)	
				×	—	
K6- E135	非常用電気品区域換気空調系 ダクト・配管	S クラス	R/B	×	—	
K6- E136	コントロール建屋計測制御電源盤区域 換気空調系ダクト・配管	S クラス	C/B	×	—	
K6- E137	中央制御室換気空調系 ダクト・配管	S クラス	C/B	×	—	
K6- E138	海水熱交換器区域空調系 ダクト・配管	S クラス	T/B	×	—	
K6- E141	復水貯蔵槽	SA 施設	Rw/B	×	—	
K6- E142	復水移送ポンプ	SA 施設	Rw/B	×	—	
K6- E143	高压代替注水系ポンプ	SA 施設	R/B	×	—	
K6- E144	静的触媒式水素再結合器	SA 施設	R/B	×	—	
K6- E145	耐圧強化ベント系配管	SA 施設	R/B	○	(d)	
				×	—	
K6- E146	高压代替注水系配管	SA 施設	R/B	×	—	
K6- E147	格納容器圧力逃がし装置配管	SA 施設	R/B	×	—	
K6- E148	格納容器圧力逃がし装置／耐圧強化ベ ント系 遠隔手動弁操作設備	SA 施設	R/B	×	—	
K6- E149	燃料プール冷却浄化系熱交換器	SA 施設	R/B	×	—	
K6- E150	燃料プール冷却浄化系ポンプ	SA 施設	R/B	×	—	
K6- E151	スキマーサージタンク	SA 施設	R/B	×	—	
K6- E152	代替格納容器圧力逃がし装置 ラブチャディスク	SA 施設	R/B			設置予定施設※2
K6- E153	代替格納容器圧力逃がし装置配管	SA 施設	R/B			同上
K6- E154	代替格納容器圧力逃がし装置 遠隔手動弁操作設備	SA 施設	R/B			同上

※1 分類は 5.2 a の項目（(a)：電気設備 (b)i：制御信号 (b)ii：計装配管 (c)：格納容器貫通部 (d)：A0 弁駆動用空気供給配管接続部 (e)：弁グランド部漏えい検出配管接続部）に対応する。なお、電気設備及び計装設備のうち上位クラス施設同士の接続部は「接続部における相互影響」としては検討不要だが、設計上の考慮がなされているものとして整理する。

※2 対象上位クラス施設を設置する段階で、5.2 項に示す影響検討を実施する（添付資料 6 参照）。

第 6-2-1 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部に係る設計上の考慮一覧表 (8/11)

整理 番号	上位クラス施設	区分	設置場所	設計上の考慮 (有：○， 無：×)	分類※1	備考
K6- B001	非常用所内電源補助盤	S クラス	C/B	○	(b) i	
K6- B002	安全系補助継電器盤	S クラス	C/B	○	(b) i	
K6- B003	安全保護系盤	S クラス SA 施設	C/B	○	(b) i	
K6- B004	工学的安全施設盤	S クラス SA 施設	C/B	○	(b) i	
K6- B005	中央運転監視盤	S クラス SA 施設	C/B	○	(b) i	
K6- B006	運転監視補助盤	S クラス SA 施設	C/B	○	(b) i	
K6- B007	メタルクラッドスイッチギア補助継電器盤	S クラス	C/B	○	(b) i	
K6- B008	中央制御室端子盤	S クラス	C/B	○	(b) i	
K6- B009	原子炉系伝送盤	S クラス	C/B	○	(b) i	
K6- B010	原子炉緊急停止系ロードドライバ盤	S クラス	C/B	○	(b) i	
K6- B011	主蒸気隔離系ロードドライバ盤	S クラス	C/B	○	(b) i	
K6- B012	原子炉隔離時冷却系タービン制御盤	S クラス	R/B	○	(b) i	
K6- B013	中央制御室外原子炉停止装置盤	S クラス	R/B	○	(b) i	
K6- B014	スクラムソレノイドヒューズ盤	S クラス	R/B	○	(b) i	
K6- B015	可燃性ガス濃度制御系サイリスタスイッチ盤	S クラス	R/B	○	(b) i	
K6- B016	原子炉補機冷却海水系ストレーナ制御盤	S クラス	T/B	○	(b) i	
K6- B017	安全系多重伝送現場盤	S クラス	R/B T/B C/B	○	(b) i	
K6- B018	ほう酸水注入系現場操作箱	S クラス	R/B	○	(b) i	
K6- B019	メタルクラッドスイッチギア	S クラス SA 施設	R/B	○	(a)	
K6- B020	パワーセンタ	S クラス SA 施設	R/B T/B	○	(a)	
K6- B021	動力変圧器	S クラス SA 施設	R/B T/B	○	(a)	
K6- B022	モータコントロールセンタ	S クラス SA 施設	R/B T/B C/B	○	(a)	
K6- B023	直流主母線盤	S クラス SA 施設	R/B C/B	○	(a)	
K6- B024	充電器盤	S クラス SA 施設	R/B C/B	○	(a)	
K6- B025	蓄電池	S クラス SA 施設	R/B C/B	○	(a)	
K6- B026	直流モータコントロールセンタ	S クラス SA 施設	R/B	○	(a)	
K6- B027	直流分電盤	S クラス SA 施設	C/B	○	(a)	
K6- B028	直流切替盤	S クラス SA 施設	R/B C/B	○	(a)	
K6- B029	バイタル交流電源装置	S クラス SA 施設	C/B	○	(a)	

※1 分類は 5.2 a の項目 (a)：電気設備 (b) i：制御信号 (b) ii：計装配管 (c)：格納容器貫通部 (d)：A0 弁駆動用空気供給配管接続部 (e)：弁グランド部漏えい検出配管接続部) に対応する。なお、電気設備及び計装設備のうち上位クラス施設同士の接続部は「接続部における相互影響」としては検討不要だが、設計上の考慮がなされているものとして整理する。

第 6-2-1 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部に係る設計上の考慮一覧表 (9/11)

整理番号	上位クラス施設	区分	設置場所	設計上の考慮 (有：○， 無：×)	分類※1	備考
K6-B030	交流バイタル分電盤	S クラス SA 施設	R/B C/B	○	(a)	
K6-B031	計測用電源切換盤	S クラス SA 施設	C/B	○	(a)	
K6-B032	計測用分電盤	S クラス SA 施設	C/B	○	(a)	
K6-B033	非常用ディーゼル発電機盤	S クラス	R/B	○	(b) i	
K6-B034	換気空調補機非常用冷却水系冷凍機制御盤	S クラス	C/B	○	(b) i	
K6-B035	核計装／安全系プロセス放射線モニター盤	S クラス SA 施設	R/B C/B	○	(b) i	
K6-B036	格納容器内雰囲気モニター盤	S クラス SA 施設	R/B C/B	○	(b) i	
K6-B037	使用済み燃料プール・津波監視カメラ制御架	S クラス SA 施設	C/B	○	(b) i	
K6-B038	核計装記録計盤	SA 施設	C/B	○	(b) i	
K6-B039	格納容器補助盤	SA 施設	C/B	○	(b) i	
K6-B040	原子炉系記録計盤	SA 施設	C/B	○	(b) i	
K6-B041	格納容器内水素モニター盤	SA 施設	C/B	○	(b) i	
K6-B042	事故時放射線モニター盤	S クラス SA 施設	C/B	○	(b) i	
K6-B043	緊急用電源切替箱	SA 施設	R/B	○	(a)	
K6-B044	AM用電動弁電源切替盤	S クラス SA 施設	R/B	○	(a)	
K6-B045	AM用電動弁操作箱	SA 施設	R/B	○	(b) i	
K6-B046	格納容器圧力逃がし装置制御盤	SA 施設	C/B	○	(b) i	
K6-B047	格納容器圧力逃がし装置無停電電源装置	SA 施設	R/B	○	(a)	
K6-B048	格納容器圧力逃がし装置放射線モニター前置増幅器盤	SA 施設	R/B	○	(b) i	
K6-B049	保安器盤	SA 施設	R/B	○	(b) i	
K6-B050	A T W S／R P T 盤	SA 施設	C/B	○	(b) i	
K6-B051	高圧代替注水設備制御盤	SA 施設	C/B	○	(b) i	

※1 分類は 5.2 a の項目 ((a)：電気設備 (b) i：制御信号 (b) ii：計装配管 (c)：格納容器貫通部 (d)：A0 弁駆動用空気供給配管接続部 (e)：弁グランド部漏えい検出配管接続部) に対応する。なお、電気設備及び計装設備のうち上位クラス施設同士の接続部は「接続部における相互影響」としては検討不要だが、設計上の考慮がなされているものとして整理する。

第 6-2-1 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部に係る設計上の考慮一覧表（10/11）

整理 番号	上位クラス施設	区分	設置場所	設計上の考慮 (有：○， 無：×)	分類※1	備考
K6-I001	鉛直方向地震加速度検出器	S クラス	R/B	○	(b) i	
K6-I002	水平方向地震加速度検出器	S クラス	R/B	○	(b) i	
K6-I003	原子炉系炉心流量	S クラス	R/B	○	(b) i, (b) ii	
K6-I004	原子炉水位	S クラス SA 施設	R/B	○	(b) i, (b) ii	
K6-I005	原子炉水位 (SA)	SA 施設	R/B	○	(b) i, (b) ii	
K6-I006	原子炉圧力	S クラス SA 施設	R/B	○	(b) i, (b) ii	
K6-I007	原子炉圧力 (SA)	SA 施設	R/B	○	(b) i, (b) ii	
K6-I008	格納容器内圧力	S クラス	R/B	○	(b) i, (b) ii	
K6-I009	格納容器内圧力 (D/W)	SA 施設	R/B	○	(b) i, (b) ii	
K6-I010	制御棒駆動機構充てん水圧力	S クラス	R/B	○	(b) i, (b) ii	
K6-I011	主蒸気管放射線モニタ	S クラス	R/B	○	(b) i	
K6-I012	原子炉区域換気空調系排気放射線モニタ	S クラス	R/B	○	(b) i	
K6-I013	燃料取替エリア排気放射線モニタ	S クラス	R/B	○	(b) i	
K6-I014	サブプレッションチェンバール水位	S クラス SA 施設	R/B	○	(b) i, (b) ii	
K6-I015	高圧炉心注水系ポンプ吐出圧力	S クラス	R/B	○	(b) i, (b) ii	
K6-I016	主蒸気管流量	S クラス	R/B	○	(b) i, (b) ii	
K6-I017	主蒸気管トンネル温度	S クラス	R/B	○	(b) i	
K6-I018	取水槽水位計測用空気流量調節器	S クラス	T/B	○	(b) i, (b) ii	
K6-I019	取水槽水位	S クラス	T/B	○	(b) i, (b) ii	
K6-I020	サブプレッションチェンバール水温度	S クラス SA 施設	R/B	○	(b) i	
K6-I021	起動領域モニタ	S クラス SA 施設	R/B	○	(b) i	
K6-I022	平均出力領域モニタ	S クラス SA 施設	R/B	○	(b) i	
K6-I023	格納容器内水素濃度	S クラス SA 施設	R/B	○	(b) i	
K6-I024	格納容器内酸素濃度	S クラス SA 施設	R/B	○	(b) i	
K6-I025	格納容器内雰囲気放射線モニタ	S クラス SA 施設	R/B	○	(b) i	
K6-I026	残留熱除去系系統流量	S クラス	R/B	○	(b) i, (b) ii	
K6-I027	残留熱除去系ポンプ吐出圧力	S クラス SA 施設	R/B	○	(b) i, (b) ii	
K6-I028	高圧炉心注水系系統流量	S クラス	R/B	○	(b) i, (b) ii	
K6-I029	原子炉隔離時冷却系系統流量	S クラス	R/B	○	(b) i, (b) ii	

※1 分類は 5.2 a の項目 (a)：電気設備 (b) i：制御信号 (b) ii：計装配管 (c)：格納容器貫通部 (d)：A0 弁駆動用空気供給配管接続部 (e)：弁グランド部漏えい検出配管接続部) に対応する。なお、電気設備及び計装設備のうち上位クラス施設同士の接続部は「接続部における相互影響」としては検討不要だが、設計上の考慮がなされているものとして整理する。

第 6-2-1 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部に係る設計上の考慮一覧表 (11/11)

整理番号	上位クラス施設	区分	設置場所	設計上の考慮 (有：○， 無：×)	分類※1	備考
K6-I030	使用済燃料貯蔵プール温度 (SA 広域) 使用済燃料貯蔵プール水位 (SA 広域)	SA 施設	R/B	○	(b) i	
K6-I031	データ伝送装置	S クラス	C/B	○	(b) i	
K6-I032	原子炉圧力容器温度	SA 施設	R/B	○	(b) i	
K6-I033	復水補給水系流量 (原子炉圧力容器)	SA 施設	R/B	○	(b) i, (b) ii	
K6-I034	復水補給系流量 (原子炉圧力容器)，復水補給水系流量 (原子炉格納容器)	SA 施設	R/B	○	(b) i, (b) ii	
K6-I035	使用済燃料貯蔵プール温度 (SA) 使用済燃料貯蔵プール水位 (SA)	SA 施設	R/B	○	(b) i	
K6-I036	使用済燃料貯蔵プール水位 (SA)	SA 施設	R/B	○	(b) i	
K6-I037	復水補給水系流量 (原子炉格納容器)	SA 施設	R/B	○	(b) i, (b) ii	
K6-I038	格納容器内圧力 (S/C)	SA 施設	R/B	○	(b) i, (b) ii	
K6-I039	サブプレッションチェンバ気体温度	SA 施設	R/B	○	(b) i	
K6-I040	ドライウェル雰囲気温度	SA 施設	R/B	○	(b) i	
K6-I041	原子炉建屋水素濃度	SA 施設	R/B	○	(b) i	
K6-I042	高圧代替注水系系統流量	SA 施設	R/B	○	(b) i, (b) ii	
K6-I043	格納容器下部水位	SA 施設	R/B	○	(b) i	
K6-I044	格納容器内水素濃度 (SA)	SA 施設	R/B	○	(b) i	
K6-I045	耐圧強化ベント系放射線モニタ	SA 施設	R/B	○	(b) i	
K6-I046	使用済燃料貯蔵プール放射線モニタ (低レンジ)	SA 施設	R/B	○	(b) i	
K6-I047	使用済燃料貯蔵プール放射線モニタ (高レンジ)	SA 施設	R/B	○	(b) i	
K6-I048	静的触媒式水素再結合器 動作監視装置	SA 施設	R/B	○	(b) i	
K6-I049	復水貯蔵槽水位 (SA)	SA 施設	RW/B	○	(b) i, (b) ii	
K6-I050	復水移送ポンプ吐出圧力	SA 施設	RW/B	○	(b) i, (b) ii	
K6-I051	復水補給水系温度 (代替循環冷却)	SA 施設	R/B	○	(b) i	
K6-I052	通信連絡設備	SA 施設	C/B	○	(b) i	

※1 分類は 5.2 a の項目 ((a)：電気設備 (b) i：制御信号 (b) ii：計装配管 (c)：格納容器貫通部 (d)：A0 弁駆動用空気供給配管接続部 (e)：弁グランド部漏えい検出配管接続部) に対応する。なお、電気設備及び計装設備のうち上位クラス施設同士の接続部は「接続部における相互影響」としては検討不要だが、設計上の考慮がなされているものとして整理する。

第 6-2-2 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部における設計上の考慮一覧表 (1/11)

整理番号	上位クラス施設	区分	設置場所	設計上の考慮 (有：○， 無：×)	分類※1	備考
K7-0001	非常用ディーゼル発電設備 軽油タンク	S クラス SA 施設	建屋外	×	—	
K7-0002	非常用ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ	S クラス	建屋外	×	—	
K7-0003	非常用ディーゼル発電設備 燃料油系配管	S クラス	建屋外	×	—	
K7-0005	格納容器圧力逃がし装置 フィルタ装置	SA 施設	建屋外	×	—	
K7-0006	格納容器圧力逃がし装置 よう素フィルタ	SA 施設	建屋外	×	—	
K7-0007	格納容器圧力逃がし装置 ドレンポンプ設備	SA 施設	建屋外	×	—	
K7-0008	格納容器圧力逃がし装置 ドレンタンク	SA 施設	建屋外	×	—	
K7-0009	格納容器圧力逃がし装置 ラプチャディスク	SA 施設	建屋外	×	—	
K7-0010	復水補給水系配管	SA 施設	建屋外	×	—	
K7-0011	燃料プール冷却浄化系配管	SA 施設	建屋外	×	—	
K7-0012	格納容器圧力逃がし装置配管	SA 施設	建屋外	×	—	
K7-0013	格納容器圧力逃がし装置放射線モニタ 盤	SA 施設	建屋外	○	(b) i	
K7-0024	原子炉補機冷却水系配管	SA 施設	建屋外	×	—	
K7-0025	非常用ガス処理系配管	S クラス SA 施設	建屋外	×	—	
K7-0026	代替格納容器圧力逃がし装置 フィルタ装置	SA 施設	建屋外			設置予定施設※2
K7-0027	代替格納容器圧力逃がし装置 よう素フィルタ	SA 施設	建屋外			同上
K7-0028	代替格納容器圧力逃がし装置室空調	SA 施設	建屋外			同上
K7-0029	代替格納容器圧力逃がし装置 ドレンポンプ設備	SA 施設	建屋外			同上
K7-0030	代替格納容器圧力逃がし装置 ドレンタンク	SA 施設	建屋外			同上
K7-0031	代替格納容器圧力逃がし装置 薬液タンク	SA 施設	建屋外			同上
K7-0032	代替格納容器圧力逃がし装置 ラプチャディスク	SA 施設	建屋外			同上
K7-0033	代替格納容器圧力逃がし装置配管	SA 施設	建屋外			同上
K7-0035	無線連絡設備	SA 施設	建屋外	○	(b) i	

※1 分類は 5.2 a の項目 ((a)：電気設備 (b) i：制御信号 (b) ii：計装配管 (c)：格納容器貫通部 (d)：A0 弁駆動用空気供給配管接続部 (e)：弁グランド部漏えい検出配管接続部) に対応する。なお、電気設備及び計装設備のうち上位クラス施設同士の接続部は「接続部における相互影響」としては検討不要だが、設計上の考慮がなされているものとして整理する。

※2 対象上位クラス施設を設置する段階で、5.2 項に示す影響検討を実施する（添付資料 6 参照）。

第 6-2-2 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部における設計上の考慮一覧表 (2/11)

整理 番号	上位クラス施設	区分	設置場所	設計上の考慮 (有：○、 無：×)	分類※1	備考
K7- E001	炉心支持構造物	S クラス	R/B	×	—	
K7- E002	原子炉圧力容器	S クラス SA 施設	R/B	×	—	
K7- E003	原子炉圧力容器支持構造物	S クラス	R/B	×	—	
K7- E004	原子炉圧力容器付属構造物	S クラス	R/B	×	—	
K7- E005	原子炉圧力容器内部構造物	S クラス	R/B	×	—	
K7- E006	使用済燃料貯蔵プール	S クラス SA 施設	R/B	×	—	
K7- E007	キャスクビット	S クラス	R/B	×	—	
K7- E008	使用済燃料貯蔵ラック	S クラス	R/B	×	—	
K7- E009	制御棒・破損燃料貯蔵ラック	S クラス	R/B	×	—	
K7- E010	原子炉冷却材再循環ポンプ	S クラス	R/B	×	—	
K7- E011	主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用 アキュムレータ	S クラス SA 施設	R/B	×	—	
K7- E012	主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用 アキュムレータ	S クラス SA 施設	R/B	×	—	
K7- E013	主蒸気隔離弁用アキュムレータ (原子炉格納容器内側)	S クラス	R/B	×	—	
K7- E014	主蒸気隔離弁用アキュムレータ (原子炉格納容器外側)	S クラス	R/B	×	—	
K7- E015	残留熱除去系熱交換器	S クラス SA 施設	R/B	×	—	
K7- E016	残留熱除去系ポンプ	S クラス	R/B	×	—	
K7- E017	残留熱除去系封水ポンプ	S クラス	R/B	×	—	
K7- E018	残留熱除去系ストレーナ	S クラス	R/B	×	—	
K7- E019	高圧炉心注水系ポンプ	S クラス	R/B	×	—	
K7- E020	高圧炉心注水系ストレーナ	S クラス	R/B	×	—	
K7- E021	原子炉隔離時冷却系ポンプ	S クラス	R/B	×	—	
K7- E022	原子炉隔離時冷却系ポンプ 駆動用蒸気タービン	S クラス	R/B	×	—	
K7- E023	原子炉隔離時冷却系 真空タンク	S クラス	R/B	×	—	
K7- E024	原子炉隔離時冷却系 セパレータ	S クラス	R/B	×	—	
K7- E025	原子炉隔離時冷却系 パロメトリックコンデンサ	S クラス	R/B	×	—	
K7- E026	原子炉隔離時冷却系 蒸気タービン用潤滑油冷却器	S クラス	R/B	×	—	
K7- E027	原子炉隔離時冷却系 ポンプ用潤滑油冷却器	S クラス	R/B	×	—	
K7- E028	原子炉隔離時冷却系 復水ポンプ	S クラス	R/B	×	—	
K7- E029	原子炉隔離時冷却系 真空ポンプ	S クラス	R/B	×	—	
K7- E030	原子炉隔離時冷却系 ストレーナ	S クラス	R/B	×	—	

※1 分類は 5.2 a の項目 (a)：電気設備 (b)i：制御信号 (b)ii：計装配管 (c)：格納容器貫通部 (d)：A0 弁駆動用空気供給配管接続部 (e)：弁グランド部漏えい検出配管接続部) に対応する。なお、電気設備及び計装設備のうち上位クラス施設同士の接続部は「接続部における相互影響」としては検討不要だが、設計上の考慮がなされているものとして整理する。

第 6-2-2 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部における設計上の考慮一覧表 (3/11)

整理 番号	上位クラス施設	区分	設置場所	設計上の考慮 (有：○， 無：×)	分類※1	備考
K7- E031	原子炉補機冷却水系熱交換器	S クラス	T/B	×	—	
K7- E032	原子炉補機冷却水ポンプ	S クラス	T/B	×	—	
K7- E033	原子炉補機冷却水系 サージタンク	S クラス SA 施設	R/B	×	—	
K7- E034	原子炉補機冷却海水ポンプ	S クラス	T/B	×	—	
K7- E035	原子炉補機冷却海水系 ストレーナ	S クラス	T/B	×	—	
K7- E036	原子炉補機冷却海水系ポンプ室取水水位 計測装置空気供給用アキュムレータ	S クラス	T/B	×	—	
K7- E037	制御棒	S クラス	R/B	×	—	
K7- E038	制御棒駆動機構	S クラス	R/B	×	—	
K7- E039	水圧制御ユニット	S クラス	R/B	×	—	
K7- E040	ほう酸水注入系ポンプ	S クラス SA 施設	R/B	×	—	
K7- E041	ほう酸水注入系貯蔵タンク	S クラス SA 施設	R/B	×	—	
K7- E042	非常用ガス処理系 乾燥装置	S クラス	R/B	×	—	
K7- E043	非常用ガス処理系 排風機	S クラス	R/B	×	—	
K7- E044	非常用ガス処理系 フィルタ	S クラス	R/B	×	—	
K7- E045	中央制御室送風機	S クラス	C/B	×	—	
K7- E046	中央制御室再循環送風機	S クラス	C/B	×	—	
K7- E047	中央制御室排風機	S クラス	C/B	×	—	
K7- E048	中央制御室再循環フィルタ	S クラス	C/B	×	—	
K7- E049	原子炉格納容器	S クラス SA 施設	R/B	×	—	
K7- E050	機器搬出入口	S クラス SA 施設	R/B	×	—	
K7- E051	エアロック	S クラス SA 施設	R/B	×	—	
K7- E052	ダイヤフラムフロア	S クラス SA 施設	R/B	×	—	
K7- E053	ベント管	S クラス SA 施設	R/B	×	—	
K7- E054	原子炉格納容器貫通部	S クラス SA 施設	R/B	×	—	
K7- E055	ドライウェルスプレイ管	S クラス SA 施設	R/B	×	—	
K7- E056	サプレッションチェンバスプレイ管	S クラス SA 施設	R/B	×	—	
K7- E057	可燃性ガス濃度制御系 再結合装置	S クラス	R/B	×	—	
K7- E058	可燃性ガス濃度制御系 再結合装置加熱器	S クラス	R/B	×	—	
K7- E059	可燃性ガス濃度制御系 再結合装置冷却器	S クラス	R/B	×	—	
K7- E060	可燃性ガス濃度制御系 再結合装置ブロア	S クラス	R/B	×	—	

※1 分類は 5.2 a の項目 (a)：電気設備 (b)i：制御信号 (b)ii：計装配管 (c)：格納容器貫通部 (d)：A0 弁駆動用空気供給配管接続部 (e)：弁グランド部漏えい検出配管接続部) に対応する。なお、電気設備及び計装設備のうち上位クラス施設同士の接続部は「接続部における相互影響」としては検討不要だが、設計上の考慮がなされているものとして整理する。

第 6-2-2 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部における設計上の考慮一覧表 (4/11)

整理番号	上位クラス施設	区分	設置場所	設計上の考慮 (有：○， 無：×)	分類※1	備考
K7-E061	可燃性ガス濃度制御系 再結合装置気水分離器	S クラス	R/B	×	—	
K7-E062	非常用ディーゼル発電設備 ディーゼル機関	S クラス	R/B	×	—	
K7-E063	非常用ディーゼル発電設備 空気だめ	S クラス	R/B	×	—	
K7-E064	非常用ディーゼル発電設備 空気圧縮機	S クラス	R/B	×	—	
K7-E065	非常用ディーゼル発電設備 燃料ディタンク	S クラス	R/B	×	—	
K7-E066	非常用ディーゼル発電設備 清水膨張タンク	S クラス	R/B	×	—	
K7-E067	非常用ディーゼル発電設備 潤滑油補給タンク	S クラス	R/B	×	—	
K7-E068	非常用ディーゼル発電設備 機関付空気冷却器	S クラス	R/B	×	—	
K7-E069	非常用ディーゼル発電設備 潤滑油冷却器	S クラス	R/B	×	—	
K7-E070	非常用ディーゼル発電設備 清水冷却器	S クラス	R/B	×	—	
K7-E071	非常用ディーゼル発電設備 清水加熱器	S クラス	R/B	×	—	
K7-E072	非常用ディーゼル発電設備 潤滑油加熱器	S クラス	R/B	×	—	
K7-E073	非常用ディーゼル発電設備 発電機軸受潤滑油冷却器	S クラス	R/B	×	—	
K7-E074	非常用ディーゼル発電設備 清水加熱器ポンプ	S クラス	R/B	×	—	
K7-E075	非常用ディーゼル発電設備 機関付潤滑油ポンプ	S クラス	R/B	×	—	
K7-E076	非常用ディーゼル発電設備 潤滑油ブライミングポンプ	S クラス	R/B	×	—	
K7-E077	非常用ディーゼル発電設備 機関付清水ポンプ	S クラス	R/B	×	—	
K7-E078	非常用ディーゼル発電設備 潤滑油補給ポンプ	S クラス	R/B	×	—	
K7-E079	非常用ディーゼル発電設備 排気タービン過給機	S クラス	R/B	×	—	
K7-E080	非常用ディーゼル発電設備 機関付潤滑油フォルダ	S クラス	R/B	×	—	
K7-E081	非常用ディーゼル発電設備 燃料フィルタ	S クラス	R/B	×	—	
K7-E082	非常用ディーゼル発電設備 発電機	S クラス	R/B	×	—	
K7-E083	換気空調補機非常用冷却水系冷凍機	S クラス	C/B	×	—	
K7-E084	換気空調補機非常用冷却水系ポンプ	S クラス	C/B	×	—	
K7-E085	原子炉区域給気隔離弁 アキュムレータタンク	S クラス	R/B	×	—	
K7-E086	原子炉区域排気隔離弁 アキュムレータタンク	S クラス	R/B	×	—	
K7-E087	残留熱除去系ポンプ室空調機	S クラス	R/B	×	—	
K7-E088	高圧炉心注水系ポンプ室空調機	S クラス	R/B	×	—	
K7-E089	原子炉隔離時冷却系ポンプ室空調機	S クラス	R/B	×	—	
K7-E090	非常用ガス処理系室空調機	S クラス	R/B	×	—	

※1 分類は 5.2 a の項目 (a)：電気設備 (b)i：制御信号 (b)ii：計装配管 (c)：格納容器貫通部 (d)：A0 弁駆動用空気供給配管接続部 (e)：弁グランド部漏えい検出配管接続部) に対応する。なお、電気設備及び計装設備のうち上位クラス施設同士の接続部は「接続部における相互影響」としては検討不要だが、設計上の考慮がなされているものとして整理する。

第 6-2-2 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部における設計上の考慮一覧表 (5/11)

整理 番号	上位クラス施設	区分	設置場所	設計上の考慮 (有：○， 無：×)	分類※1	備考
K7- E091	可燃性ガス濃度制御系室空調機	S クラス	R/B	×	—	
K7- E092	非常用ディーゼル発電設備区域送風機	S クラス	R/B	×	—	
K7- E093	非常用ディーゼル発電設備区域排風機	S クラス	R/B	×	—	
K7- E094	非常用ディーゼル発電設備区域非常用 送風機	S クラス	R/B	×	—	
K7- E095	コントロール建屋計測制御電源盤区域 送風機	S クラス	C/B	×	—	
K7- E096	コントロール建屋計測制御電源盤区域 排風機	S クラス	C/B	×	—	
K7- E097	海水熱交換器エリア非常用送風機	S クラス	T/B	×	—	
K7- E098	非常用ディーゼル発電設備給気処理装 置	S クラス	R/B	×	—	
K7- E099	非常用ディーゼル発電設備非常用給気 処理装置	S クラス	R/B	×	—	
K7- E100	中央制御室給気処理装置	S クラス	C/B	×	—	
K7- E101	コントロール建屋計測制御電源盤区域 給気処理装置	S クラス	C/B	×	—	
K7- E102	海水熱交換器エリア非常用給気処理装 置	S クラス	T/B	×	—	
K7- E103	燃料プール冷却浄化系配管	S クラス SA 施設	R/B	○	(d)	
				×	—	
K7- E104	原子炉冷却材再循環系配管	S クラス	R/B	○	(c)	
				×	—	
K7- E105	主蒸気系配管	S クラス SA 施設	R/B	○	(d), (e)	
				×	—	
K7- E106	残留熱除去系配管	S クラス SA 施設	R/B	○	(d), (e)	
				×	—	
K7- E107	原子炉隔離時冷却系配管	S クラス SA 施設	R/B	○	(d), (e)	
				×	—	
K7- E108	高圧炉心注水系配管	S クラス SA 施設	R/B	○	(d), (e)	
				×	—	
K7- E109	復水給水系配管	S クラス SA 施設	R/B	○	(d), (e)	
				×	—	
K7- E110	原子炉補機冷却水系配管	S クラス SA 施設	R/B T/B	○	(c), (d)	
				×	—	
K7- E111	原子炉補機冷却海水系配管	S クラス SA 施設	T/B	×	—	

※1 分類は 5.2 a の項目 (a)：電気設備 (b)i：制御信号 (b)ii：計装配管 (c)：格納容器貫通部 (d)：A0 弁駆動用空気供給配管接続部 (e)：弁グランド部漏えい検出配管接続部) に対応する。なお、電気設備及び計装設備のうち上位クラス施設同士の接続部は「接続部における相互影響」としては検討不要だが、設計上の考慮がなされているものとして整理する。

第 6-2-2 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部における設計上の考慮一覧表 (6/11)

整理 番号	上位クラス施設	区分	設置場所	設計上の考慮 (有：○， 無：×)	分類 ^{※1}	備考
K7- E112	原子炉冷却材浄化系配管	S クラス	R/B	○	(c), (d), (e)	
				×	—	
K7- E113	制御棒駆動系配管	S クラス	R/B	○	(d)	
				×	—	
K7- E114	ほう酸水注入系配管	S クラス SA 施設	R/B	×	—	
K7- E115	放射性ドレン移送系配管	S クラス	R/B	○	(c)	
				×	—	
K7- E116	非常用ガス処理系配管	S クラス SA 施設	R/B	○	(d)	
				×	—	
K7- E117	可燃性ガス濃度制御配管	S クラス	R/B	×	—	
K7- E118	不活性ガス系配管	S クラス SA 施設	R/B	○	(c), (d)	
				×	—	
K7- E119	換気空調補機非常用冷却水系配管	S クラス	C/B	○	(d)	
				×	—	
K7- E120	復水補給水系配管	S クラス SA 施設	R/B Rw/B	○	(d)	
				×	—	
K7- E121	純水補給水系配管	S クラス	R/B	○	(c)	
K7- E122	タンクベント処理系配管	S クラス	R/B	○	(d)	
				×	—	
K7- E123	高圧窒素ガス供給系配管	S クラス SA 施設	R/B	×	—	
K7- E124	弁グランド部漏えい処理系配管	S クラス	R/B	○	(c)	
K7- E125	試料採取系 (ガス試料及び事故後サンプリング) 配管	S クラス	R/B	○	(c), (d)	
				×	—	
K7- E126	サブプレッションプール浄化系配管	S クラス	R/B	○	(c)	
				×	—	
K7- E127	換気空調補機常用冷却水系配管	S クラス	R/B	○	(c)	
				×	—	
K7- E128	非常用ディーゼル発電設備燃料油系・ 潤滑油系・始動空気及び吸排気系・冷 却水系配管	S クラス	R/B	×	—	
K7- E129	所内用圧縮空気系配管	S クラス	R/B	○	(c)	

※1 分類は 5.2 a の項目 (a)：電気設備 (b)i：制御信号 (b)ii：計装配管 (c)：格納容器貫通部 (d)：A0 弁駆動用空気供給配管接続部 (e)：弁グランド部漏えい検出配管接続部) に対応する。なお、電気設備及び計装設備のうち上位クラス施設同士の接続部は「接続部における相互影響」としては検討不要だが、設計上の考慮がなされているものとして整理する。

第 6-2-2 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部における設計上の考慮一覧表 (7/11)

整理 番号	上位クラス施設	区分	設置場所	設計上の考慮 (有：○， 無：×)	分類※1	備考
K7- E130	計装用圧縮空気系配管	S クラス	R/B	○	(c)	
				×	—	
K7- E131	移動式炉内計装系配管	S クラス	R/B	○	(c)	
K7- E132	耐圧漏えい試験設備系配管	S クラス	R/B	○	(c)	
K7- E133	原子炉・タービン区域換気 空調系ダクト・配管	S クラス	R/B	○	(d)	
				×	—	
K7- E134	非常用電気品区域換気空調系 ダクト・配管	S クラス	R/B	×	—	
K7- E135	コントロール建屋計測制御電源盤区域 換気空調系ダクト・配管	S クラス	C/B	×	—	
K7- E136	中央制御室換気空調系 ダクト・配管	S クラス	C/B	×	—	
K7- E137	海水熱交換器区域空調系 ダクト・配管	S クラス	T/B	×	—	
K7- E141	復水貯蔵槽	SA 施設	Rw/B	×	—	
K7- E142	復水移送ポンプ	SA 施設	Rw/B	×	—	
K7- E143	高圧代替注水系ポンプ	SA 施設	R/B	×	—	
K7- E144	静的触媒式水素再結合器	SA 施設	R/B	×	—	
K7- E145	耐圧強化ベント系配管	SA 施設	R/B	○	(d)	
				×	—	
K7- E146	高圧代替注水系配管	SA 施設	R/B	○	(e)	
				×	—	
K7- E147	格納容器圧力逃がし装置配管	SA 施設	R/B	×	—	
K7- E148	格納容器圧力逃がし装置／耐圧強化ベ ント系 遠隔手動弁操作設備	SA 施設	R/B	×	—	
K7- E149	燃料プール冷却浄化系熱交換器	SA 施設	R/B	×	—	
K7- E150	燃料プール冷却浄化系ポンプ	SA 施設	R/B	×	—	
K7- E151	スキマーサージタンク	SA 施設	R/B	×	—	
K7- E152	代替格納容器圧力逃がし装置 ラプチャディスク	SA 施設	R/B			設置予定施設※2
K7- E153	代替格納容器圧力逃がし装置配管	SA 施設	R/B			同上
K7- E154	代替格納容器圧力逃がし装置 遠隔手動弁操作設備	SA 施設	R/B			同上

※1 分類は 5.2 a の項目 (a)：電気設備 (b)i：制御信号 (b)ii：計装配管 (c)：格納容器貫通部 (d)：A0 弁駆動用空気供給配管接続部 (e)：弁グランド部漏えい検出配管接続部) に対応する。なお、電気設備及び計装設備のうち上位クラス施設同士の接続部は「接続部における相互影響」としては検討不要だが、設計上の考慮がなされているものとして整理する。

※2 対象上位クラス施設を設置する段階で、5.2 項に示す影響検討を実施する (添付資料 6 参照)。

第 6-2-2 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部に係る設計上の考慮一覧表 (8/11)

整理 番号	上位クラス施設	区分	設置場所	設計上の考慮 (有：○， 無：×)	分類※1	備考
K7- B001	非常用所内電源補助盤	S クラス	C/B	○	(b) i	
K7- B002	安全系補助継電器盤	S クラス	C/B	○	(b) i	
K7- B003	安全保護系盤	S クラス SA 施設	C/B	○	(b) i	
K7- B004	工学的安全施設盤	S クラス SA 施設	C/B	○	(b) i	
K7- B005	中央運転監視盤	S クラス SA 施設	C/B	○	(b) i	
K7- B006	運転監視補助盤	S クラス SA 施設	C/B	○	(b) i	
K7- B007	中央制御室端子盤	S クラス	C/B	○	(b) i	
K7- B008	原子炉緊急停止系ロードドライバ盤	S クラス	C/B	○	(b) i	
K7- B009	主蒸気隔離系ロードドライバ盤	S クラス	C/B	○	(b) i	
K7- B010	原子炉隔離時冷却系タービン制御盤	S クラス	R/B	○	(b) i	
K7- B011	原子炉隔離時冷却系真空タンク水位電 送器用増幅器収納箱	S クラス	R/B	○	(b) i	
K7- B012	中央制御室外原子炉停止装置盤	S クラス	R/B	○	(b) i	
K7- B013	スクラムソレノイドヒューズ盤	S クラス	R/B	○	(b) i	
K7- B014	可燃性ガス濃度制御系サイリスタスイ ッチ盤	S クラス	R/B	○	(b) i	
K7- B015	原子炉補機冷却海水系ストレーナ制御 盤	S クラス	T/B	○	(b) i	
K7- B016	安全系多重伝送現場盤	S クラス	R/B	○	(b) i	
K7- B017	ほう酸水注入系現場操作箱	S クラス	R/B	○	(b) i	
K7- B018	メタルクラッドスイッチギア	S クラス SA 施設	R/B	○	(a)	
K7- B019	パワーセンタ	S クラス SA 施設	R/B T/B	○	(a)	
K7- B020	動力変圧器	S クラス SA 施設	R/B T/B	○	(a)	
K7- B021	モータコントロールセンタ	S クラス SA 施設	R/B T/B C/B	○	(a)	
K7- B022	直流主母線盤	S クラス SA 施設	C/B	○	(a)	
K7- B023	充電器盤	S クラス SA 施設	R/B C/B	○	(a)	
K7- B024	蓄電池	S クラス SA 施設	R/B C/B	○	(a)	
K7- B025	直流モータコントロールセンタ	S クラス SA 施設	R/B	○	(a)	
K7- B026	直流分電盤	S クラス SA 施設	C/B	○	(a)	
K7- B027	直流切替盤	S クラス SA 施設	C/B	○	(a)	
K7- B028	バイタル交流電源装置	S クラス SA 施設	C/B	○	(a)	
K7- B029	交流バイタル分電盤	S クラス SA 施設	C/B	○	(a)	

※1 分類は 5.2 a の項目 ((a)：電気設備 (b)i：制御信号 (b)ii：計装配管 (c)：格納容器貫通部 (d)：A0 弁駆動用空気供給配管接続部 (e)：弁グラント部漏えい検出配管接続部) に対応する。なお、電気設備及び計装設備のうち上位クラス施設同士の接続部は「接続部における相互影響」としては検討不要だが、設計上の考慮がなされているものとして整理する。

第 6-2-2 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部に係る設計上の考慮一覧表 (9/11)

整理 番号	上位クラス施設	区分	設置場所	設計上の考慮 (有：○， 無：×)	分類※1	備考
K7- B030	計測用主母線盤	S クラス SA 施設	C/B	○	(a)	
K7- B031	計測用分電盤	S クラス SA 施設	C/B	○	(a)	
K7- B032	非常用ディーゼル発電機盤	S クラス	R/B	○	(b) i	
K7- B033	換気空調補機非常用冷却水系冷凍機制御盤	S クラス	C/B	○	(b) i	
K7- B034	核計装／安全系プロセス放射線モニタ盤	S クラス SA 施設	R/B C/B	○	(b) i	
K7- B035	格納容器内雰囲気モニタ盤	S クラス SA 施設	R/B C/B	○	(b) i	
K7- B036	使用済み燃料プール・津波監視カメラ制御架	S クラス SA 施設	C/B	○	(b) i	
K7- B037	格納容器補助盤	SA 施設	C/B	○	(b) i	
K7- B038	原子炉系記録計盤	SA 施設	C/B	○	(b) i	
K7- B039	格納容器内水素モニタ盤	SA 施設	C/B	○	(b) i	
K7- B040	事故時放射線モニタ盤	S クラス SA 施設	C/B	○	(b) i	
K7- B041	緊急用電源切替箱	SA 施設	R/B	○	(a)	
K7- B042	AM用電動弁電源切替盤	S クラス SA 施設	R/B	○	(a)	
K7- B043	AM用電動弁操作箱	SA 施設	R/B	○	(a)	
K7- B044	格納容器圧力逃がし装置制御盤	SA 施設	C/B	○	(b) i	
K7- B045	格納容器圧力逃がし装置無停電電源装置	SA 施設	R/B	○	(a)	
K7- B046	格納容器圧力逃がし装置放射線モニタ前置増幅器盤	SA 施設	R/B	○	(b) i	
K7- B047	保安器盤	SA 施設	R/B	○	(b) i	
K7- B048	ATWS／RPT盤	SA 施設	C/B	○	(b) i	
K7- B049	高圧代替注水設備制御盤	SA 施設	C/B	○	(b) i	
K7- B050	使用済み燃料プール（広域）水位監視制御盤	S クラス SA 施設	C/B	○	(b) i	

※1 分類は 5.2 a の項目 ((a)：電気設備 (b) i：制御信号 (b) ii：計装配管 (c)：格納容器貫通部 (d)：A0 弁駆動用空気供給配管接続部 (e)：弁グランド部漏えい検出配管接続部) に対応する。なお、電気設備及び計装設備のうち上位クラス施設同士の接続部は「接続部における相互影響」としては検討不要だが、設計上の考慮がなされているものとして整理する。

第 6-2-2 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部に係る設計上の考慮一覧表 (10/11)

整理番号	上位クラス施設	区分	設置場所	設計上の考慮 (有：○， 無：×)	分類※1	備考
K7-I001	鉛直方向地震加速度検出器	S クラス	R/B	○	(b) i	
K7-I002	水平方向地震加速度検出器	S クラス	R/B	○	(b) i	
K7-I003	原子炉系炉心流量	S クラス	R/B	○	(b) i, (b) ii	
K7-I004	原子炉水位	S クラス SA 施設	R/B	○	(b) i, (b) ii	
K7-I005	原子炉水位 (SA)	SA 施設	R/B	○	(b) i, (b) ii	
K7-I006	原子炉圧力	S クラス SA 施設	R/B	○	(b) i, (b) ii	
K7-I007	原子炉圧力 (SA)	SA 施設	R/B	○	(b) i, (b) ii	
K7-I008	格納容器内圧力	S クラス	R/B	○	(b) i, (b) ii	
K7-I009	格納容器内圧力 (D/W)	SA 施設	R/B	○	(b) i, (b) ii	
K7-I010	制御棒駆動機構充てん水圧力	S クラス	R/B	○	(b) i, (b) ii	
K7-I011	主蒸気管放射線モニタ	S クラス	R/B	○	(b) i	
K7-I012	原子炉区域換気空調系排気放射線モニタ	S クラス	R/B	○	(b) i	
K7-I013	燃料取替エリア排気放射線モニタ	S クラス	R/B	○	(b) i	
K7-I014	サブプレッションチェンバール水位	S クラス SA 施設	R/B	○	(b) i, (b) ii	
K7-I015	高圧炉心注水系ポンプ吐出圧力	S クラス	R/B	○	(b) i, (b) ii	
K7-I016	主蒸気管流量	S クラス	R/B	○	(b) i, (b) ii	
K7-I017	主蒸気管トンネル温度	S クラス	R/B	○	(b) i	
K7-I018	取水槽水位計測用空気流量調節器	S クラス	T/B	○	(b) i, (b) ii	
K7-I019	取水槽水位	S クラス	T/B	○	(b) i, (b) ii	
K7-I020	サブプレッションチェンバール水温度	S クラス SA 施設	R/B	○	(b) i	
K7-I021	起動領域モニタ	S クラス SA 施設	R/B	○	(b) i	
K7-I022	平均出力領域モニタ	S クラス SA 施設	R/B	○	(b) i	
K7-I023	格納容器内水素濃度	S クラス SA 施設	R/B	○	(b) i	
K7-I024	格納容器内酸素濃度	S クラス SA 施設	R/B	○	(b) i	
K7-I025	格納容器内雰囲気放射線モニタ	S クラス SA 施設	R/B	○	(b) i	
K7-I026	残留熱除去系系統流量	S クラス	R/B	○	(b) i, (b) ii	
K7-I027	残留熱除去系ポンプ吐出圧力	S クラス SA 施設	R/B	○	(b) i, (b) ii	
K7-I028	高圧炉心注水系系統流量	S クラス	R/B	○	(b) i, (b) ii	
K7-I029	原子炉隔離時冷却系系統流量	S クラス	R/B	○	(b) i, (b) ii	

※1 分類は 5.2 a の項目 ((a)：電気設備 (b) i：制御信号 (b) ii：計装配管 (c)：格納容器貫通部 (d)：A0 弁駆動用空気供給配管接続部 (e)：弁グランド部漏えい検出配管接続部) に対応する。なお、電気設備及び計装設備のうち上位クラス施設同士の接続部は「接続部における相互影響」としては検討不要だが、設計上の考慮がなされているものとして整理する。

第 6-2-2 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部に係る設計上の考慮一覧表 (11/11)

整理 番号	上位クラス施設	区分	設置場所	設計上の考慮 (有：○， 無：×)	分類※1	備考
K7-I030	使用済燃料貯蔵プール温度 (SA 広域) 使用済燃料貯蔵プール水位 (SA 広域)	SA 施設	R/B	○	(b) i	
K7-I031	データ伝送装置	S クラス	C/B	○	(b) i	
K7-I032	原子炉圧力容器温度	SA 施設	R/B	○	(b) i	
K7-I033	復水補給水系流量 (原子炉圧力容器)	SA 施設	R/B	○	(b) i, (b) ii	
K7-I034	復水補給系流量 (原子炉圧力容器)，復 水補給水系流量 (原子炉格納容器)	SA 施設	R/B	○	(b) i, (b) ii	
K7-I035	使用済燃料貯蔵プール温度 (SA) 使用済燃料貯蔵プール水位 (SA)	SA 施設	R/B	○	(b) i	
K7-I036	使用済燃料貯蔵プール水位 (SA)	SA 施設	R/B	○	(b) i	
K7-I037	復水補給水系流量 (原子炉格納容器)	SA 施設	R/B	○	(b) i, (b) ii	
K7-I038	格納容器内圧力 (S/C)	SA 施設	R/B	○	(b) i, (b) ii	
K7-I039	サブプレッションチェンバ気体温度	SA 施設	R/B	○	(b) i	
K7-I040	ドライウェル雰囲気温度	SA 施設	R/B	○	(b) i	
K7-I041	原子炉建屋水素濃度	SA 施設	R/B	○	(b) i	
K7-I042	高圧代替注水系系統流量	SA 施設	R/B	○	(b) i, (b) ii	
K7-I043	格納容器下部水位	SA 施設	R/B	○	(b) i	
K7-I044	格納容器内水素濃度 (SA)	SA 施設	R/B	○	(b) i	
K7-I045	耐圧強化ベント系放射線モニタ	SA 施設	R/B	○	(b) i	
K7-I046	使用済燃料貯蔵プール放射線モニタ (低レンジ)	SA 施設	R/B	○	(b) i	
K7-I047	使用済燃料貯蔵プール放射線モニタ (高レンジ)	SA 施設	R/B	○	(b) i	
K7-I048	静的触媒式水素再結合器 動作監視装 置	SA 施設	R/B	○	(b) i	
K7-I049	復水貯蔵槽水位 (SA)	SA 施設	RW/B	○	(b) i, (b) ii	
K7-I050	復水移送ポンプ吐出圧力	SA 施設	RW/B	○	(b) i, (b) ii	
K7-I051	復水補給水系温度 (代替循環冷却)	SA 施設	R/B	○	(b) i	
K7-I052	通信連絡設備	SA 施設	C/B	○	(b) i	

※1 分類は 5.2 a の項目 (a)：電気設備 (b) i：制御信号 (b) ii：計装配管 (c)：格納容器貫通部 (d)：A0 弁駆動用空気供給配管接続部 (e)：弁グランド部漏えい検出配管接続部) に対応する。なお、電気設備及び計装設備のうち上位クラス施設同士の接続部は「接続部における相互影響」としては検討不要だが、設計上の考慮がなされているものとして整理する。

第 6-2-3 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部における設計上の考慮一覧表

整理 番号	上位クラス施設	区分	設置場所	設計上の考慮 (有：○， 無：×)	分類※1	備考
共-0001	第一ガスタービン発電機	SA 施設	建屋外	×	—	
共-0002	第一ガスタービン発電機用燃料タンク	SA 施設	建屋外	×	—	
共-0003	第一ガスタービン発電機用燃料移送ポンプ	SA 施設	建屋外	×	—	
共-0004	第一ガスタービン発電機用燃料移送系配管	SA 施設	建屋外	×	—	
共-0005	第一ガスタービン発電機制御盤	SA 施設	建屋外	○	(b) i	
共-0006	津波監視カメラ	S クラス SA 施設	建屋外	○	(b) i	
共-0012	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所用無線連絡設備	SA 施設	建屋外	○	(b) i	
共-E001	中央制御室待避室空気ボンベ陽圧化装置配管	SA 施設	C/B Rw/B	×	—	
共-E002	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所（対策本部）陽圧化装置配管	SA 施設	5 号 R/B	×	—	
共-E003	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所（対策本部）二酸化炭素吸収装置	SA 施設	5 号 R/B	×	—	
共-E004	5 号炉原子炉建屋内高気密室（対策本部）	SA 施設	5 号 R/B	×	—	
共-E005	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所（待避場所）陽圧化装置配管	SA 施設	5 号 R/B	×	—	
共-B001	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所用負荷変圧器	SA 施設	5 号 R/B	○	(a)	
共-B002	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所用交流分電盤	SA 施設	5 号 R/B	○	(a)	
共-I001	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所用無線連絡設備	SA 施設	5 号 R/B	○	(b) i	

※1 分類は 5.2 a の項目 (a)：電気設備 (b) i：制御信号 (b) ii：計装配管 (c)：格納容器貫通部 (d)：A0 弁駆動用空気供給配管接続部 (e)：弁グランド部漏えい検出配管接続部) に対応する。なお、電気設備及び計装設備のうち上位クラス施設同士の接続部は「接続部における相互影響」としては検討不要だが、設計上の考慮がなされているものとして整理する。

第 6-2-4 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部一覧表 (1/11)

整理番号	上位クラス施設	区分	設置場所	下位クラスとの接続※1 (有：○， 無：×)	評価対象 (対象：○， 対象外：×)	接続配管等	備考
K6-0001	非常用ディーゼル発電設備 軽油タンク	S クラス SA 施設	建屋外	○	○	大気開放ライン	
K6-0002	非常用ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ	S クラス	建屋外	×	—		
K6-0003	非常用ディーゼル発電設備 燃料油系配管	S クラス	建屋外	○	×	ドレンライン， ベントライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	予備ノズル	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
K6-0005	格納容器圧力逃がし装置 フィルタ装置	SA 施設	建屋外	×	—		
K6-0006	格納容器圧力逃がし装置 よう素フィルタ	SA 施設	建屋外	×	—		
K6-0007	格納容器圧力逃がし装置 ドレンポンプ設備	SA 施設	建屋外	×	—		
K6-0008	格納容器圧力逃がし装置 ドレンタンク	SA 施設	建屋外	×	—		
K6-0009	格納容器圧力逃がし装置 ラプチャディスク	SA 施設	建屋外	×	—		
K6-0010	復水補給水系配管	SA 施設	建屋外	×	—		
K6-0011	燃料プール冷却浄化系配管	SA 施設	建屋外	×	—		
K6-0012	格納容器圧力逃がし装置配管	SA 施設	建屋外	○	×	ドレンライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	N ₂ パージライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
K6-0024	原子炉補機冷却水系配管	SA 施設	建屋外	×	—		
K6-0025	非常用ガス処理系配管	S クラス SA 施設	建屋外	×	—		
K6-0026	代替格納容器圧力逃がし装置 フィルタ装置	SA 施設	建屋外				設置予定施設※2
K6-0027	代替格納容器圧力逃がし装置 よう素フィルタ	SA 施設	建屋外				同上
K6-0028	代替格納容器圧力逃がし装置室空調	SA 施設	建屋外				同上
K6-0029	代替格納容器圧力逃がし装置 ドレンポンプ設備	SA 施設	建屋外				同上
K6-0030	代替格納容器圧力逃がし装置 ドレンタンク	SA 施設	建屋外				同上
K6-0031	代替格納容器圧力逃がし装置 薬液タンク	SA 施設	建屋外				同上
K6-0032	代替格納容器圧力逃がし装置 ラプチャディスク	SA 施設	建屋外				同上
K6-0033	代替格納容器圧力逃がし装置配管	SA 施設	建屋外				同上

※1 S クラス施設等と重要 SA 施設との接続部は上位クラス同士であるため，上位クラス施設と下位クラス施設との接続部として抽出しない。

※2 対象上位クラス施設を設置する段階で，5.2 項に示す影響検討を実施する（添付資料 6 参照）。

第 6-2-4 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部一覧表 (2/11)

整理番号	上位クラス施設	区分	設置場所	下位クラスとの接続※1 (有：○， 無：×)	評価対象 (対象：○， 対象外：×)	接続配管等	備考
K6-E001	炉心支持構造物	S クラス	R/B	×	—		
K6-E002	原子炉圧力容器	S クラス SA 施設	R/B	×	—		
K6-E003	原子炉圧力容器支持構造物	S クラス	R/B	×	—		
K6-E004	原子炉圧力容器付属構造物	S クラス	R/B	×	—		
K6-E005	原子炉圧力容器内部構造物	S クラス	R/B	×	—		
K6-E006	使用済燃料貯蔵プール	S クラス SA 施設	R/B	×	—		
K6-E007	キャスクビット	S クラス	R/B	×	—		
K6-E008	使用済燃料貯蔵ラック	S クラス	R/B	×	—		
K6-E009	制御棒・破損燃料貯蔵ラック	S クラス	R/B	×	—		
K6-E010	原子炉冷却材再循環ポンプ	S クラス	R/B	○	○	原子炉補機冷却水系ライン	
					○	冷却水ドレンライン	
K6-E011	主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用 アキュムレータ	S クラス SA 施設	R/B	×	—		
K6-E012	主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用 アキュムレータ	S クラス SA 施設	R/B	×	—		
K6-E013	主蒸気隔離弁用アキュムレータ (原子炉格納容器内側)	S クラス	R/B	×	—		
K6-E014	主蒸気隔離弁用アキュムレータ (原子炉格納容器外側)	S クラス	R/B	×	—		
K6-E015	残留熱除去系熱交換器	S クラス SA 施設	R/B	×	—		
K6-E016	残留熱除去系ポンプ	S クラス	R/B	○	○	メカニカルシールドドレン ライン	
					○	ベデスタルドレンライン	
K6-E017	残留熱除去系封水ポンプ	S クラス	R/B	○	○	ブラケットドレンライン	
K6-E018	残留熱除去系ストレーナ	S クラス	R/B	×	—		
K6-E019	高圧炉心注水系ポンプ	S クラス	R/B	○	○	メカニカルシールドドレン ライン	
					○	ベデスタルドレンライン	
K6-E020	高圧炉心注水系ストレーナ	S クラス	R/B	×	—		
K6-E021	原子炉隔離時冷却系ポンプ	S クラス	R/B	○	○	ブラケットドレンライン	
K6-E022	原子炉隔離時冷却系ポンプ駆動用 蒸気タービン	S クラス	R/B	×	—		
K6-E023	原子炉隔離時冷却系真空タンク	S クラス	R/B	×	—		
K6-E024	原子炉隔離時冷却系セパレータ	S クラス	R/B	×	—		
K6-E025	原子炉隔離時冷却系 パロメトリックコンデンサ	S クラス	R/B	×	—		
K6-E026	原子炉隔離時冷却系 蒸気タービン用潤滑油冷却器	S クラス	R/B	×	—		
K6-E027	原子炉隔離時冷却系 ポンプ用潤滑油冷却器	S クラス	R/B	×	—		
K6-E028	原子炉隔離時冷却系復水ポンプ	S クラス	R/B	×	—		
K6-E029	原子炉隔離時冷却系真空ポンプ	S クラス	R/B	×	—		

※1 S クラス施設等と重要 SA 施設との接続部は上位クラス同士であるため，上位クラス施設と下位クラス施設との接続部として抽出しない。

第 6-2-4 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部一覧表 (3/11)

整理 番号	上位クラス施設	区分	設置場所	下位クラスと の接続※1 (有：○， 無：×)	評価対象 (対象：○， 対象外：×)	接続配管等	備考
K6- E030	原子炉隔離時冷却系ストレーナ	S クラス	R/B	×	—		
K6- E031	原子炉補機冷却水系熱交換器	S クラス	T/B	×	—		
K6- E032	原子炉補機冷却水ポンプ	S クラス	T/B	○	○	メカニカルシールドレン ライン	
K6- E033	原子炉補機冷却水系サージタンク	S クラス SA 施設	R/B	○	○	純水補給水ライン	
					○	大気開放ライン	
					○	オーバーフローライン	
K6- E034	原子炉補機冷却海水ポンプ	S クラス	T/B	○	○	グラントドレンライン	
K6- E035	原子炉補機冷却海水系ストレーナ	S クラス	T/B	×	—		
K6- E036	原子炉補機冷却海水系ポンプ室取水水位 計測装置空気供給用アキュムレータ	S クラス	T/B	×	—		
K6- E037	制御棒	S クラス	R/B	×	—		
K6- E038	制御棒駆動機構	S クラス	R/B	○	○	制御棒駆動機構漏えい 検出ライン	
K6- E039	水圧制御ユニット	S クラス	R/B	×	—		
K6- E040	ほう酸水注入系ポンプ	S クラス SA 施設	R/B	○	○	グラントドレンライン	
K6- E041	ほう酸水注入系貯蔵タンク	S クラス SA 施設	R/B	○	○	オーバーフローライン	
					○	大気開放ライン	
					○	純水補給水ライン	
K6- E042	非常用ガス処理系乾燥装置	S クラス	R/B	×	—		
K6- E043	非常用ガス処理系排風機	S クラス	R/B	×	—		
K6- E044	非常用ガス処理系フィルタ	S クラス	R/B	×	—		
K6- E045	中央制御室送風機	S クラス	C/B	×	—		
K6- E046	中央制御室再循環送風機	S クラス	C/B	×	—		
K6- E047	中央制御室排風機	S クラス	C/B	×	—		
K6- E048	中央制御室再循環フィルタ	S クラス	C/B	×	—		
K6- E049	原子炉格納容器	S クラス SA 施設	R/B	×	—		
K6- E050	機器搬出入口	S クラス SA 施設	R/B	×	—		
K6- E051	エアロック	S クラス SA 施設	R/B	×	—		
K6- E052	ダイヤフラムフロア	S クラス SA 施設	R/B	×	—		
K6- E053	ベント管	S クラス SA 施設	R/B	×	—		
K6- E054	原子炉格納容器貫通部	S クラス SA 施設	R/B	×	—		
K6- E055	ドライウェルスブレイ管	S クラス SA 施設	R/B	×	—		
K6- E056	サブプレッションチェンバスブレイ管	S クラス SA 施設	R/B	×	—		

※1 S クラス施設等と重要 SA 施設との接続部は上位クラス同士であるため、上位クラス施設と下位クラス施設との接続部として抽出しない。

第 6-2-4 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部一覧表 (4/11)

整理番号	上位クラス施設	区分	設置場所	下位クラスとの接続※1 (有：○， 無：×)	評価対象 (対象：○， 対象外：×)	接続配管等	備考
K6-E057	可燃性ガス濃度制御系 再結合装置	S クラス	R/B	×	—		
K6-E058	可燃性ガス濃度制御系 再結合装置加熱器	S クラス	R/B	×	—		
K6-E059	可燃性ガス濃度制御系 再結合装置冷却器	S クラス	R/B	×	—		
K6-E060	可燃性ガス濃度制御系 再結合装置ブロア	S クラス	R/B	×	—		
K6-E061	可燃性ガス濃度制御系 再結合装置気水分離器	S クラス	R/B	×	—		
K6-E062	非常用ディーゼル発電設備 ディーゼル機関	S クラス	R/B	○	○	ミスト管	
					○	燃料油ドレン回収ライン	
					○	吸気ドレンセパレータドレンライン， ベントライン	
					○	シリンダ内部浸水測定ライン	
K6-E063	非常用ディーゼル発電設備 空気だめ	S クラス	R/B	×	—		
K6-E064	非常用ディーゼル発電設備 空気圧縮機	S クラス	R/B	○	○	アンローダー弁ドレンライン	
K6-E065	非常用ディーゼル発電設備 燃料ディタンク	S クラス	R/B	○	○	ミスト管	
					○	燃料油ドレン回収ライン	
K6-E066	非常用ディーゼル発電設備 清水膨張タンク	S クラス	R/B	○	○	オーバーフローライン	
					○	大気開放ライン	
K6-E067	非常用ディーゼル発電設備 潤滑油補給タンク	S クラス	R/B	○	○	ミスト管	
K6-E068	非常用ディーゼル発電設備 機関付空気冷却器	S クラス	R/B	×	—		
K6-E069	非常用ディーゼル発電設備 潤滑油冷却器	S クラス	R/B	×	—		
K6-E070	非常用ディーゼル発電設備 清水冷却器	S クラス	R/B	×	—		
K6-E071	非常用ディーゼル発電設備 清水加熱器	S クラス	R/B	×	—		
K6-E072	非常用ディーゼル発電設備 潤滑油加熱器	S クラス	R/B	×	—		
K6-E073	非常用ディーゼル発電設備 発電機軸受潤滑油冷却器	S クラス	R/B	×	—		
K6-E074	非常用ディーゼル発電設備 清水加熱器ポンプ	S クラス	R/B	○	○	メカニカルシールドレンライン	
K6-E075	非常用ディーゼル発電設備 機関付潤滑油ポンプ	S クラス	R/B	×	—		
K6-E076	非常用ディーゼル発電設備 潤滑油ブライミングポンプ	S クラス	R/B	×	—		
K6-E077	非常用ディーゼル発電設備 機関付清水ポンプ	S クラス	R/B	○	○	メカニカルシールドレンライン	
K6-E078	非常用ディーゼル発電設備 潤滑油補給ポンプ	S クラス	R/B	×	—		
K6-E079	非常用ディーゼル発電設備 排気タービン過給機	S クラス	R/B	×	—		
K6-E080	非常用ディーゼル発電設備 機関付潤滑油フォルダ	S クラス	R/B	×	—		
K6-E081	非常用ディーゼル発電設備 燃料フィルタ	S クラス	R/B	×	—		

※1 S クラス施設等と重要 SA 施設との接続部は上位クラス同士であるため，上位クラス施設と下位クラス施設との接続部として抽出しない。

第 6-2-4 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部一覧表 (5/11)

整理番号	上位クラス施設	区分	設置場所	下位クラスとの接続※1 (有：○， 無：×)	評価対象 (対象：○， 対象外：×)	接続配管等	備考
K6-E082	非常用ディーゼル発電設備 発電機	S クラス	R/B	×	—		
K6-E083	換気空調補機非常用冷却水系冷凍機	S クラス	C/B	×	—		
K6-E084	換気空調補機非常用冷却水系ポンプ	S クラス	C/B	○	○	ベースドレンライン	
K6-E085	原子炉区域給気隔離弁 アキュムレータタンク	S クラス	R/B	×	—		
K6-E086	原子炉区域排気隔離弁 アキュムレータタンク	S クラス	R/B	×	—		
K6-E087	残留熱除去系ポンプ室空調機	S クラス	R/B	×	—		
K6-E088	高圧炉心注水系ポンプ室空調機	S クラス	R/B	×	—		
K6-E089	原子炉隔離時冷却系ポンプ室空調機	S クラス	R/B	×	—		
K6-E090	非常用ガス処理系室空調機	S クラス	R/B	×	—		
K6-E091	可燃性ガス濃度制御系室空調機	S クラス	R/B	×	—		
K6-E092	非常用ディーゼル発電設備区域送風機	S クラス	R/B	×	—		
K6-E093	非常用ディーゼル発電設備区域排風機	S クラス	R/B	×	—		
K6-E094	非常用ディーゼル発電設備区域非常用 送風機	S クラス	R/B	×	—		
K6-E095	コントロール建屋計測制御電源盤区域 送風機	S クラス	C/B	×	—		
K6-E096	コントロール建屋計測制御電源盤区域 排風機	S クラス	C/B	×	—		
K6-E097	海水熱交換器エリア非常用送風機	S クラス	T/B	×	—		
K6-E098	格納容器内雰囲気モニタ系室空調機	S クラス	R/B	×	—		
K6-E099	非常用ディーゼル発電設備給気処理装 置	S クラス	R/B	○	○	結露水ドレンライン	
K6-E100	非常用ディーゼル発電設備非常用給気 処理装置	S クラス	R/B	○	○	結露水ドレンライン	
K6-E101	中央制御室給気処理装置	S クラス	C/B	○	○	結露水ドレンライン	
K6-E102	コントロール建屋計測制御電源盤区域 給気処理装置	S クラス	C/B	○	○	結露水ドレンライン	
K6-E103	海水熱交換器エリア 非常用給気処理装置	S クラス	T/B	○	○	結露水ドレンライン	
K6-E104	燃料プール冷却浄化系配管	S クラス SA 施設	R/B	○	○	試料採取系ライン	
					○	燃料プール冷却浄化系 ろ過脱塩装置入ロライン	
					×	燃料プール冷却浄化系 ろ過脱塩装置出ロライン	逆止弁を介して接 続されているため 評価対象外
					×	サプレッションプール浄 化系戻りライン	逆止弁を介して接 続されているため 評価対象外
					×	残留熱除去系ライン	通常閉の弁を介し て接続されている ため評価対象外
					×	原子炉ウェルドレンライ ン	逆止弁を介して接 続されているため 評価対象外
					×	ドレンライン、 ベントライン	通常閉の弁を介し て接続されている ため評価対象外
					×	スキマーサージタンク復 水補給水ライン	逆止弁を介して接 続されているため 評価対象外

※1 S クラス施設等と重要 SA 施設との接続部は上位クラス同士であるため、上位クラス施設と下位クラス施設との接続部として抽出しない。

第 6-2-4 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部一覧表 (6/11)

整理 番号	上位クラス施設	区分	設置場所	下位クラスと の接続※1 (有：○， 無：×)	評価対象 (対象：○， 対象外：×)	接続配管等	備考
K6- E105	原子炉冷却材再循環系配管	S クラス	R/B	○	×	ポンプモーター二次シール系ライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	ドレンライン， ベントライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
K6- E106	主蒸気系配管	S クラス SA 施設	R/B	○	○	主蒸気ライン	
					○	主蒸気ドレンライン	
					×	原子炉圧力容器ベントライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	主蒸気隔離弁アキュムレータ空気供給ライン	逆止弁を介して接続されているため評価対象外
					×	主蒸気隔離弁漏えい試験設備ライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	ドレンライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
K6- E107	残留熱除去系配管	S クラス SA 施設	R/B	○	×	テストライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	燃料プール冷却浄化系ライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	サブプレッションプール排水系移送ライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	事故時サンプリングライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	試料採取系ライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	ドレンライン， ベントライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
K6- E108	原子炉隔離時冷却系配管	S クラス SA 施設	R/B	○	×	テストライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	油圧調整ライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	建屋内開放ライン	ラプチャディスク（通常閉）を介して接続しているため評価対象外
					○	蒸気ドレンライン	
					○	真空タンクドレンライン	
					×	ドレンライン， ベントライン	通常閉の弁または安全弁（通常閉）を介して接続しているため評価対象外

※1 S クラス施設等と重要 SA 施設との接続部は上位クラス同士であるため，上位クラス施設と下位クラス施設との接続部として抽出しない。

第 6-2-4 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部一覧表 (7/11)

整理 番号	上位クラス施設	区分	設置場所	下位クラスと の接続※1 (有：○， 無：×)	評価対象 (対象：○， 対象外：×)	接続配管等	備考
K6- E109	高圧炉心注水系配管	S クラス SA 施設	R/B	○	×	残留熱除去系タイライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					○	サブプレッションプール浄化系ライン	
					×	ドレンライン、 ベントライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	テストライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
K6- E110	復水給水系配管	S クラス SA 施設	R/B	○	×	給水ライン	逆止弁を介して接続されているため評価対象外
					×	原子炉冷却材浄化系戻り ライン	逆止弁を介して接続されているため評価対象外
					×	ドレンライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	テストライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
K6- E111	原子炉補機冷却水系配管	S クラス SA 施設	R/B T/B	○	×	防食材注入タンク入口ラ イン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	防食材注入タンク戻りラ イン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					○	常用負荷ライン	
					○	常用負荷戻りライン	
					×	試料採取系ライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	ドレンライン、 ベントライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	テストライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
K6- E112	原子炉補機冷却海水系配管	S クラス SA 施設	T/B	○	○	屋外放水ビットライン	
					×	鉄イオン注入装置ライン	逆止弁を介して接続されているため評価対象外
					×	雑用水ライン	逆止弁を介して接続されているため評価対象外
					×	ドレンライン、ベントラ イン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	テストライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
K6- E113	原子炉冷却材浄化系配管	S クラス	R/B	○	×	ろ過脱塩装置ライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	ドレンライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	テストライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	試料採取系ライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外

※1 S クラス施設等と重要 SA 施設との接続部は上位クラス同士であるため、上位クラス施設と下位クラス施設との接続部として抽出しない。

第 6-2-4 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部一覧表 (8/11)

整理 番号	上位クラス施設	区分	設置場所	下位クラスと の接続※1 (有：○， 無：×)	評価対象 (対象：○， 対象外：×)	接続配管等	備考
K6- E114	制御棒駆動系配管	S クラス	R/B	○	×	充填水ライン	逆止弁を介して接続されているため評価対象外
					×	バージ水ライン	逆止弁を介して接続されているため評価対象外
					×	フリクションテストライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	ドレンライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
K6- E115	ほう酸水注入系配管	S クラス SA 施設	R/B	○	○	純水補給水系封水ライン	
					×	純水補給水系封水ライン (バイパス)	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	ほう酸水注入系テストライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	ほう酸水注入系テスト戻りライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	試料採取系ライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	ドレンライン、ペントライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
K6- E116	放射性ドレン移送系配管	S クラス	R/B	○	×	テストライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
				○	×	ドレンライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
K6- E117	非常用ガス処理系配管	S クラス SA 施設	R/B	○	×	U シール補給水ライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
K6- E118	可燃性ガス濃度制御配管	S クラス	R/B	○	×	純水補給水系除染水ライン	逆止弁を介して接続されているため評価対象外
					×	ドレンライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	テストライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
K6- E119	不活性ガス系配管	S クラス SA 施設	R/B	○	×	換気空調系ライン	通常閉の弁を介して接続しているため対象外
					×	窒素ガス供給ライン	通常閉の弁を介して接続しているため対象外
					×	テストライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	空気供給ライン	逆止弁を介して接続されているため評価対象外
					×	建屋内開放ライン	安全弁（通常閉）を介して接続されているため対象外

※1 S クラス施設等と重要 SA 施設との接続部は上位クラス同士であるため、上位クラス施設と下位クラス施設との接続部として抽出しない。

第 6-2-4 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部一覧表 (9/11)

整理 番号	上位クラス施設	区分	設置場所	下位クラスと の接続※1 (有：○， 無：×)	評価対象 (対象：○， 対象外：×)	接続配管等	備考
K6- E120	換気空調補機非常用冷却水系配管	S クラス	C/B	○	×	防食材注入タンク出口ライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	防食材注入タンク出口バイパスライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	防食材注入タンク戻りライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	防食材注入タンク戻りバイパスライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	試料採取系ライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	ドレンライン、 ベントライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	テストライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
K6- E121	復水補給水系配管	S クラス SA 施設	R/B Rw/B	○	×	プール水張りライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	スキマーサージタンク補給ライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					○	復水補給水系ライン	
					×	復水補給水系ライン	通常閉の弁または逆止弁を介して接続されているため評価対象外
					○	制御棒駆動系供給ライン	
					○	制御棒駆動系戻りライン	
					○	試料採取系ライン	
					×	燃料プール冷却浄化ろ過 脱塩器洗浄ライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	廃スラッジ系ライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	ドレンライン、 ベントライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	テストライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					○	原子炉冷却材浄化系・燃料 プール冷却浄化系ろ過脱 塩器補給ライン	
					×	系外除染設備系ライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	純水補給水系ライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
K6- E123	タンクベント処理系配管	S クラス	R/B	○	○	タンクベント処理系ライン (二次格納施設バウンダリ)	
					×	テストライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外

※1 S クラス施設等と重要 SA 施設との接続部は上位クラス同士であるため、上位クラス施設と下位クラス施設との接続部として抽出しない。

第 6-2-4 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部一覧表 (10/11)

整理 番号	上位クラス施設	区分	設置場所	下位クラスと の接続※1 (有：○， 無：×)	評価対象 (対象：○， 対象外：×)	接続配管等	備考
K6- E124	高圧窒素ガス供給系配管	S クラス SA 施設	R/B	○	○	窒素ガスボンベ接続配管	
					×	窒素ガスボンベ接続ライン（予備）	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	不活性ガス系ライン	逆止弁を介して接続されているため評価対象外
					×	屋外大気開放ライン	安全弁（通常閉）を介して接続されているため対象外
K6- E126	試料採取系 （ガス試料及び事故後サンプリング） 配管	S クラス	R/B	○	×	テストライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
K6- E127	サブプレッションプール浄化系配管	S クラス	R/B	○	×	原子炉冷却材浄化系配管	逆止弁を介して接続されているため評価対象外
					×	サブプレッションプール浄化系配管	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	ドレンライン、 ベントライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
K6- E128	換気空調補機常用冷却水系 配管	S クラス	R/B	○	×	テストライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
K6- E129	非常用ディーゼル発電設備燃料油系・ 潤滑油系・始動空気及び吸排気系・冷 却水系配管	S クラス	R/B	○	×	ドレンライン、 ベントライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	清水膨張タンク純水補給 水ライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	清水膨張タンク純水補給 水ライン（バイパス）	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					○	排気ライン（建屋外）	
K6- E134	原子炉・タービン区域換気空調系 ダクト・配管	S クラス	R/B	○	○	原子炉建屋空調ダクト （二次格納施設バウンダ リ）	
K6- E135	非常用電気品区域換気空調系 ダクト・配管	S クラス	R/B	×	—		
K6- E136	コントロール建屋計測制御電源盤区域 換気空調系ダクト・配管	S クラス	C/B	×	—		
K6- E137	中央制御室換気空調系 ダクト・配管	S クラス	C/B	×	—		
K6- E138	海水熱交換器区域空調系 ダクト・配管	S クラス	T/B	×	—		

※1 S クラス施設等と重要 SA 施設との接続部は上位クラス同士であるため、上位クラス施設と下位クラス施設との接続部として抽出しない。

第 6-2-4 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部一覧表 (11/11)

整理 番号	上位クラス施設	区分	設置場所	下位クラスと の接続※1 (有：○， 無：×)	評価対象 (対象：○， 対象外：×)	接続配管等	備考
K6- E141	復水貯蔵槽	SA 施設	Rw/B	○	○	外部補給水ライン	
					○	大気開放ライン	
					○	オーバーフローライン	
K6- E142	復水移送ポンプ	SA 施設	Rw/B	○	○	メカニカルシールドレン ライン	
K6- E143	高圧代替注水系ポンプ	SA 施設	R/B	×	—		
K6- E144	静的触媒式水素再結合器	SA 施設	R/B	×	—		
K6- E145	耐圧強化ベント系配管	SA 施設	R/B	○	×	テストライン	通常閉の弁を介して 接続されているため 評価対象外
K6- E146	高圧代替注水系配管	SA 施設	R/B	○	×	建屋内開放ライン	ラプチャディスク (通 常閉) を介して接続し ているため評価対象 外
					×	ドレンライン， ベントライン	通常閉の弁を介して 接続されているため 評価対象外
					○	タービン排気側蒸気ドレ ンライン	
K6- E147	格納容器圧力逃がし装置配管	SA 施設	R/B	×	—		
K6- E148	格納容器圧力逃がし装置／耐圧強化ベ ント系 遠隔手動弁操作設備	SA 施設	R/B	×	—		
K6- E149	燃料プール冷却浄化系熱交換器	SA 施設	R/B	×	—		
K6- E150	燃料プール冷却浄化系ポンプ	SA 施設	R/B	○	○	メカニカルシールドレン ライン	
K6- E151	スキマーサージタンク	SA 施設	R/B	×	—		
K6- E152	代替格納容器圧力逃がし装置 ラプチャディスク	SA 施設	R/B				設置予定施設※2
K6- E153	代替格納容器圧力逃がし装置配管	SA 施設	R/B				同上
K6- E154	代替格納容器圧力逃がし装置 遠隔手動弁操作設備	SA 施設	R/B				同上

※1 S クラス施設等と重要 SA 施設との接続部は上位クラス同士であるため，上位クラス施設と下位クラス施設との接続部として抽出しない。

※2 対象上位クラス施設を設置する段階で，5.2 項に示す影響検討を実施する（添付資料 6 参照）。

第 6-2-5 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部一覧表 (1/11)

整理番号	上位クラス施設	区分	設置場所	下位クラスとの接続※1 (有：○， 無：×)	評価対象 (対象：○， 対象外：×)	接続配管等	備考
K7-0001	非常用ディーゼル発電設備 軽油タンク	S クラス SA 施設	建屋外	○	○	大気開放ライン	
					○	外部補給ロライン	
K7-0002	非常用ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ	S クラス	建屋外	×	—		
K7-0003	非常用ディーゼル発電設備 燃料油系配管	S クラス	建屋外	○	×	ドレンライン， ベントライン	通常閉の弁を介して 接続されているため 評価対象外
					×	予備ノズル	通常閉の弁を介して 接続されているため 評価対象外
K7-0005	格納容器圧力逃がし装置 フィルタ装置	SA 施設	建屋外	×	—		
K7-0006	格納容器圧力逃がし装置 よう素フィルタ	SA 施設	建屋外	×	—		
K7-0007	格納容器圧力逃がし装置 ドレンポンプ設備	SA 施設	建屋外	×	—		
K7-0008	格納容器圧力逃がし装置 ドレンタンク	SA 施設	建屋外	×	—		
K7-0009	格納容器圧力逃がし装置 ラプチャディスク	SA 施設	建屋外	×	—		
K7-0010	復水補給水系配管	SA 施設	建屋外	×	—		
K7-0011	燃料プール冷却浄化系配管	SA 施設	建屋外	×	—		
K7-0012	格納容器圧力逃がし装置配管	SA 施設	建屋外	○	×	ドレンライン	通常閉の弁を介して 接続されているため 評価対象外
				○	×	N ₂ パージライン	通常閉の弁を介して 接続されているため 評価対象外
K7-0024	原子炉補機冷却水系配管	SA 施設	建屋外	×	—		
K7-0025	非常用ガス処理系配管	S クラス SA 施設	建屋外	×	—		
K7-0026	代替格納容器圧力逃がし装置 フィルタ装置	SA 施設	建屋外				設置予定施設※2
K7-0027	代替格納容器圧力逃がし装置 よう素フィルタ	SA 施設	建屋外				同上
K7-0028	代替格納容器圧力逃がし装置室空調	SA 施設	建屋外				同上
K7-0029	代替格納容器圧力逃がし装置 ドレンポンプ設備	SA 施設	建屋外				同上
K7-0030	代替格納容器圧力逃がし装置 ドレンタンク	SA 施設	建屋外				同上
K7-0031	代替格納容器圧力逃がし装置 薬液タンク	SA 施設	建屋外				同上
K7-0032	代替格納容器圧力逃がし装置 ラプチャディスク	SA 施設	建屋外				同上
K7-0033	代替格納容器圧力逃がし装置配管	SA 施設	建屋外				同上

※1 S クラス施設等と重要 SA 施設との接続部は上位クラス同士であるため，上位クラス施設と下位クラス施設との接続部として抽出しない。

※2 対象上位クラス施設を設置する段階で，5.2 項に示す影響検討を実施する（添付資料 6 参照）。

第 6-2-5 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部一覧表 (2/11)

整理番号	上位クラス施設	区分	設置場所	下位クラスとの接続※1 (有：○， 無：×)	評価対象 (対象：○， 対象外：×)	接続配管等	備考
K7-E001	炉心支持構造物	S クラス	R/B	×	—		
K7-E002	原子炉圧力容器	S クラス SA 施設	R/B	×	—		
K7-E003	原子炉圧力容器支持構造物	S クラス	R/B	×	—		
K7-E004	原子炉圧力容器付属構造物	S クラス	R/B	×	—		
K7-E005	原子炉圧力容器内部構造物	S クラス	R/B	×	—		
K7-E006	使用済燃料貯蔵プール	S クラス SA 施設	R/B	×	—		
K7-E007	キャスクビット	S クラス	R/B	×	—		
K7-E008	使用済燃料貯蔵ラック	S クラス	R/B	×	—		
K7-E009	制御棒・破損燃料貯蔵ラック	S クラス	R/B	×	—		
K7-E010	原子炉冷却材再循環ポンプ	S クラス	R/B	○	○	原子炉補機冷却水系ライン	
					○	冷却水ドレンライン	
K7-E011	主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用 アキュムレータ	S クラス SA 施設	R/B	×	—		
K7-E012	主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用 アキュムレータ	S クラス SA 施設	R/B	×	—		
K7-E013	主蒸気隔離弁用アキュムレータ (原子炉格納容器内側)	S クラス	R/B	×	—		
K7-E014	主蒸気隔離弁用アキュムレータ (原子炉格納容器外側)	S クラス	R/B	×	—		
K7-E015	残留熱除去系熱交換器	S クラス SA 施設	R/B	×	—		
K7-E016	残留熱除去系ポンプ	S クラス	R/B	○	○	メカニカルシールド ドレンライン	
K7-E017	残留熱除去系封水ポンプ	S クラス	R/B	○	○	ブラケットドレン ライン	
K7-E018	残留熱除去系ストレーナ	S クラス	R/B	×	—		
K7-E019	高圧炉心注水系ポンプ	S クラス	R/B	○	○	メカニカルシールド ドレンライン	
K7-E020	高圧炉心注水系ストレーナ	S クラス	R/B	×	—		
K7-E021	原子炉隔離時冷却系ポンプ	S クラス	R/B	○	○	メカニカルシールド ドレンライン	
K7-E022	原子炉隔離時冷却系ポンプ 駆動用蒸気タービン	S クラス	R/B	×	—		
K7-E023	原子炉隔離時冷却系 真空タンク	S クラス	R/B	×	—		
K7-E024	原子炉隔離時冷却系 セパレータ	S クラス	R/B	×	—		
K7-E025	原子炉隔離時冷却系 パロメトリックコンデンサ	S クラス	R/B	×	—		
K7-E026	原子炉隔離時冷却系 蒸気タービン用潤滑油冷却器	S クラス	R/B	×	—		
K7-E027	原子炉隔離時冷却系 ポンプ用潤滑油冷却器	S クラス	R/B	×	—		
K7-E028	原子炉隔離時冷却系 復水ポンプ	S クラス	R/B	○	○	ベースドレンライン	
K7-E029	原子炉隔離時冷却系 真空ポンプ	S クラス	R/B	○	○	ベースドレンライン	

※1 S クラス施設等と重要 SA 施設との接続部は上位クラス同士であるため、上位クラス施設と下位クラス施設との接続部として抽出しない。

第 6-2-5 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部一覧表 (3/11)

整理番号	上位クラス施設	区分	設置場所	下位クラスとの接続※1 (有：○， 無：×)	評価対象 (対象：○， 対象外：×)	接続配管等	備考
K7-E030	原子炉隔離時冷却系 ストレーナ	S クラス	R/B	×	—		
K7-E031	原子炉補機冷却水系熱交換器	S クラス	T/B	×	—		
K7-E032	原子炉補機冷却水ポンプ	S クラス	T/B	○	○	メカニカルシールド ドレンライン	
K7-E033	原子炉補機冷却水系 サージタンク	S クラス SA 施設	R/B	○	○	純水補給水ライン	
						サブプレッションプール 浄化系補給ライン	
						大気開放ライン	
						オーバーフローライン	
K7-E034	原子炉補機冷却海水ポンプ	S クラス	T/B	○	○	グラントドレンライン	
K7-E035	原子炉補機冷却海水系 ストレーナ	S クラス	T/B	×	—		
K7-E036	原子炉補機冷却海水系ポンプ室取水 計測装置空気供給用アキュムレータ	S クラス	T/B	×	—		
K7-E037	制御棒	S クラス	R/B	×	—		
K7-E038	制御棒駆動機構	S クラス	R/B	○	○	制御棒駆動機構漏えい 検出ライン	
K7-E039	水圧制御ユニット	S クラス	R/B	×	—		
K7-E040	ほう酸水注入系ポンプ	S クラス SA 施設	R/B	○	○	グラントドレンライン	
K7-E041	ほう酸水注入系貯蔵タンク	S クラス SA 施設	R/B	○	○	オーバーフローライン	
					○	大気開放ライン	
					○	純水補給水ライン	
K7-E042	非常用ガス処理系 乾燥装置	S クラス	R/B	×	—		
K7-E043	非常用ガス処理系 排風機	S クラス	R/B	×	—		
K7-E044	非常用ガス処理系 フィルタ	S クラス	R/B	×	—		
K7-E045	中央制御室送風機	S クラス	C/B	×	—		
K7-E046	中央制御室再循環送風機	S クラス	C/B	×	—		
K7-E047	中央制御室排風機	S クラス	C/B	×	—		
K7-E048	中央制御室再循環フィルタ	S クラス	C/B	×	—		
K7-E049	原子炉格納容器	S クラス SA 施設	R/B	×	—		
K7-E050	機器搬出入口	S クラス SA 施設	R/B	×	—		
K7-E051	エアロック	S クラス SA 施設	R/B	×	—		
K7-E052	ダイヤフラムフロア	S クラス SA 施設	R/B	×	—		
K7-E053	ベント管	S クラス SA 施設	R/B	×	—		
K7-E054	原子炉格納容器貫通部	S クラス SA 施設	R/B	×	—		
K7-E055	ドライウェルスブレイ管	S クラス SA 施設	R/B	×	—		
K7-E056	サブプレッションチェンバースブレイ管	S クラス SA 施設	R/B	×	—		

※1 S クラス施設等と重要 SA 施設との接続部は上位クラス同士であるため、上位クラス施設と下位クラス施設との接続部として抽出しない。

第 6-2-5 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部一覧表 (4/11)

整理番号	上位クラス施設	区分	設置場所	下位クラスとの接続※1 (有：○， 無：×)	評価対象 (対象：○， 対象外：×)	接続配管等	備考
K7-E057	可燃性ガス濃度制御系再結合装置	S クラス	R/B	×	—		
K7-E058	可燃性ガス濃度制御系再結合装置加熱器	S クラス	R/B	×	—		
K7-E059	可燃性ガス濃度制御系再結合装置冷却器	S クラス	R/B	×	—		
K7-E060	可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロア	S クラス	R/B	×	—		
K7-E061	可燃性ガス濃度制御系再結合装置気水分離器	S クラス	R/B	×	—		
K7-E062	非常用ディーゼル発電設備 ディーゼル機関	S クラス	R/B	○	○	ミスト管	
					○	燃料油ドレン回収ライン	
					○	吸気ドレンライン	
					○	シリンダ内部浸水測定ライン	
K7-E063	非常用ディーゼル発電設備 空気だめ	S クラス	R/B	×	—		
K7-E064	非常用ディーゼル発電設備 空気圧縮機	S クラス	R/B	○	○	アンローダー弁ドレンライン	
K7-E065	非常用ディーゼル発電設備 燃料デिटタンク	S クラス	R/B	○	○	ミスト管	
					○	燃料油ドレン回収ライン	
K7-E066	非常用ディーゼル発電設備 清水膨張タンク	S クラス	R/B	○	○	オーバーフローライン	
					○	大気開放ライン	
					○	純水補給水ライン	
					○	純水補給水ライン (パイパス)	
K7-E067	非常用ディーゼル発電設備 潤滑油補給タンク	S クラス	R/B	○	○	ミスト管	
K7-E068	非常用ディーゼル発電設備 機関付空気冷却器	S クラス	R/B	×	—		
K7-E069	非常用ディーゼル発電設備 潤滑油冷却器	S クラス	R/B	×	—		
K7-E070	非常用ディーゼル発電設備 清水冷却器	S クラス	R/B	×	—		
K7-E071	非常用ディーゼル発電設備 清水加熱器	S クラス	R/B	×	—		
K7-E072	非常用ディーゼル発電設備 潤滑油加熱器	S クラス	R/B	×	—		
K7-E073	非常用ディーゼル発電設備 発電機軸受潤滑油冷却器	S クラス	R/B	×	—		
K7-E074	非常用ディーゼル発電設備 清水加熱器ポンプ	S クラス	R/B	○	○	メカニカルシールド ンライン	
K7-E075	非常用ディーゼル発電設備 機関付潤滑油ポンプ	S クラス	R/B	×	—		
K7-E076	非常用ディーゼル発電設備 潤滑油ブライミングポンプ	S クラス	R/B	×	—		
K7-E077	非常用ディーゼル発電設備 機関付清水ポンプ	S クラス	R/B	○	○	メカニカルシールド ンライン	
K7-E078	非常用ディーゼル発電設備 潤滑油補給ポンプ	S クラス	R/B	×	—		
K7-E079	非常用ディーゼル発電設備 排気タービン過給機	S クラス	R/B	×	—		
K7-E080	非常用ディーゼル発電設備 機関付潤滑油フォルダ	S クラス	R/B	×	—		
K7-E081	非常用ディーゼル発電設備 燃料フィルタ	S クラス	R/B	×	—		

※1 S クラス施設等と重要 SA 施設との接続部は上位クラス同士であるため，上位クラス施設と下位クラス施設との接続部として抽出しない。

第 6-2-5 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部一覧表 (5/11)

整理番号	上位クラス施設	区分	設置場所	下位クラスとの接続※1 (有：○， 無：×)	評価対象 (対象：○， 対象外：×)	接続配管等	備考
K7-E082	非常用ディーゼル発電設備 発電機	S クラス	R/B	×	—		
K7-E083	換気空調補機非常用冷却水系冷凍機	S クラス	C/B	×	—		
K7-E084	換気空調補機非常用冷却水系ポンプ	S クラス	C/B	○	○	ベースドレンライン	
K7-E085	原子炉区域給気隔離弁 アキュムレータタンク	S クラス	R/B	×	—		
K7-E086	原子炉区域排気隔離弁 アキュムレータタンク	S クラス	R/B	×	—		
K7-E087	残留熱除去系ポンプ室空調機	S クラス	R/B	×	—		
K7-E088	高圧炉心注水系ポンプ室空調機	S クラス	R/B	×	—		
K7-E089	原子炉隔離時冷却系ポンプ室空調機	S クラス	R/B	×	—		
K7-E090	非常用ガス処理系室空調機	S クラス	R/B	×	—		
K7-E091	可燃性ガス濃度制御系室空調機	S クラス	R/B	×	—		
K7-E092	非常用ディーゼル発電設備区域送風機	S クラス	R/B	×	—		
K7-E093	非常用ディーゼル発電設備区域排風機	S クラス	R/B	×	—		
K7-E094	非常用ディーゼル発電設備区域非常用 送風機	S クラス	R/B	×	—		
K7-E095	コントロール建屋計測制御電源盤区域 送風機	S クラス	C/B	×	—		
K7-E096	コントロール建屋計測制御電源盤区域 排風機	S クラス	C/B	×	—		
K7-E097	海水熱交換器エリア非常用送風機	S クラス	T/B	×	—		
K7-E098	非常用ディーゼル発電設備給気処理装 置	S クラス	R/B	○	○	結露水ドレンライン	
K7-E099	非常用ディーゼル発電設備非常用給気 処理装置	S クラス	R/B	○	○	結露水ドレンライン	
K7-E100	中央制御室給気処理装置	S クラス	C/B	○	○	結露水ドレンライン	
K7-E101	コントロール建屋計測制御電源盤区域 給気処理装置	S クラス	C/B	○	○	結露水ドレンライン	
					○	換気空調補機常用冷却 水ライン	
K7-E102	海水熱交換器エリア非常用給気処理装 置	S クラス	T/B	○	○	結露水ドレンライン	
K7-E103	燃料プール冷却浄化系配管	S クラス SA 施設	R/B	○	○	試料採取系ライン	
					○	燃料プール冷却浄化系 ろ過脱塩装置入口ライ ン	
					×	燃料プール冷却浄化系 ろ過脱塩装置出口ライ ン	逆止弁を介して接続 されているため評価 対象外
					×	サブプレッションプール 浄化系戻りライン	逆止弁を介して接続 されているため評価 対象外
					×	残留熱除去系ライン	通常閉の弁を介して 接続されているため 評価対象外
					×	原子炉ウェルドレンラ イン	逆止弁を介して接続 されているため評価 対象外
					×	ドレンライン， ベントライン	通常閉の弁を介して 接続されているため 評価対象外

※1 S クラス施設等と重要 SA 施設との接続部は上位クラス同士であるため，上位クラス施設と下位クラス施設との接続部として抽出しない。

第 6-2-5 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部一覧表 (6/11)

整理 番号	上位クラス施設	区分	設置場所	下位クラスと の接続※1 (有：○， 無：×)	評価対象 (対象：○， 対象外：×)	接続配管等	備考
K7- E104	原子炉冷却材再循環系配管	S クラス	R/B	○	×	ポンプモーター二次シ ール系ライン	通常閉の弁を介して 接続されているため 評価対象外
					×	ドレンライン， ベントライン	通常閉の弁を介して 接続されているため 評価対象外
K7- E105	主蒸気系配管	S クラス SA 施設	R/B	○	○	主蒸気ライン	
					○	主蒸気ドレンライン	
					×	原子炉圧力容器ベント ライン	通常閉の弁を介して 接続されているため 評価対象外
					×	主蒸気隔離弁アキュム レータ空気供給ライン	逆止弁を介して接続 されているため評価 対象外
					×	主蒸気隔離弁漏えい試 験設備ライン	通常閉の弁を介して 接続されているため 評価対象外
					×	ドレンライン	通常閉の弁を介して 接続されているため 評価対象外
					×	テストライン	通常閉の弁を介して 接続されているため 評価対象外
K7- E106	残留熱除去系配管	S クラス SA 施設	R/B	○	×	燃料プール冷却浄化系 ライン	通常閉の弁を介して 接続されているため 評価対象外
					×	復水補給水系洗浄ライ ン	逆止弁を介して接続 されているため評価 対象外
					×	サブプレッションプール 排水系移送ライン	通常閉の弁を介して 接続されているため 評価対象外
					×	事故時サンプリングラ イン	通常閉の弁を介して 接続されているため 評価対象外
					×	試料採取系ライン	通常閉の弁を介して 接続されているため 評価対象外
					×	ドレンライン， ベントライン	通常閉の弁を介して 接続されているため 評価対象外
					×	テストライン	通常閉の弁を介して 接続されているため 評価対象外
K7- E107	原子炉隔離時冷却系配管	S クラス SA 施設	R/B	○	○	真空ポンプ吐出ライン (サブプレッションチェ ンバ側)	
					×	油圧調整ライン	通常閉の弁を介して 接続されているため 評価対象外
					×	建屋内開放ライン	ラプチャディスク（通 常閉）を介して接続し ているため評価対象 外
					○	蒸気ドレンライン	
					○	真空タンクドレンライ ン	
					×	ドレンライン， ベントライン	通常閉の弁または安全 弁（通常閉）を介し て接続されているた め評価対象外

※1 S クラス施設等と重要 SA 施設との接続部は上位クラス同士であるため，上位クラス施設と下位クラス施設との接続部として抽出しない。

第 6-2-5 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部一覧表 (7/11)

整理 番号	上位クラス施設	区分	設置場所	下位クラスと の接続※1 (有：○， 無：×)	評価対象 (対象：○， 対象外：×)	接続配管等	備考
K7- E108	高圧炉心注水系配管	S クラス SA 施設	R/B	○	×	残留熱除去系タイライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					○	サブプレッションプール 浄化系ライン	
					×	ドレンライン， ベントライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	テストライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
K7- E109	復水給水系配管	S クラス SA 施設	R/B	○	×	給水ライン	逆止弁を介して接続されているため評価対象外
					×	原子炉冷却材浄化系戻り ライン	逆止弁を介して接続されているため評価対象外
					×	ドレンライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	テストライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
K7- E110	原子炉補機冷却水系配管	S クラス SA 施設	R/B T/B	○	×	防食材注入タンク入口 ライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	防食材注入タンク戻り ライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					○	常用負荷ライン	
					○	常用負荷戻りライン	
					×	試料採取系ライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	ドレンライン， ベントライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	テストライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
K7- E111	原子炉補機冷却海水系配管	S クラス SA 施設	T/B	○	○	屋外放水ビットライン	
					×	鉄イオン注入装置ライ ン	逆止弁を介して接続されているため評価対象外
					×	雑用水ライン	逆止弁を介して接続されているため評価対象外
					×	ドレンライン， ベントライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	テストライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
K7- E112	原子炉冷却材浄化系配管	S クラス	R/B	○	×	ろ過脱塩装置ライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	ドレンライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	テストライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	試料採取系ライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外

※1 S クラス施設等と重要 SA 施設との接続部は上位クラス同士であるため，上位クラス施設と下位クラス施設との接続部として抽出しない。

第 6-2-5 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部一覧表 (8/11)

整理 番号	上位クラス施設	区分	設置場所	下位クラスと の接続※1 (有：○， 無：×)	評価対象 (対象：○， 対象外：×)	接続配管等	備考
K7- E113	制御棒駆動系配管	S クラス	R/B	○	×	充填水ライン	逆止弁を介して接続されているため評価対象外
					×	バージ水ライン	逆止弁を介して接続されているため評価対象外
					×	フリクションテストライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	ドレンライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
K7- E114	ほう酸水注入系配管	S クラス SA 施設	R/B	○	○	純水補給水系封水ライン	
					×	純水補給水系封水ライン (バイパス)	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	ほう酸水注入系テストライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	ほう酸水注入系テスト戻りライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	試料採取系ライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	ドレンライン， ベントライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
K7- E115	放射性ドレン移送系配管	S クラス	R/B	○	×	テストライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
K7- E116	非常用ガス処理系配管	S クラス SA 施設	R/B	○	×	Uシール補給水ライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	ドレンライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					○	Uシールベントライン	
K7- E117	可燃性ガス濃度制御配管	S クラス	R/B	○	×	純水補給水系除染水ライン	逆止弁を介して接続されているため評価対象外
					×	ドレンライン， ベントライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
K7- E118	不活性ガス系配管	S クラス SA 施設	R/B	○	×	換気空調系ライン	通常閉の弁を介して接続しているため対象外
					×	窒素ガス供給ライン	通常閉の弁を介して接続しているため対象外
					×	テストライン	通常閉の弁を介して接続されているため評価対象外
					×	空気供給ライン	逆止弁を介して接続されているため評価対象外
					×	建屋内開放ライン	安全弁（通常閉）を介して接続されているため対象外

※1 S クラス施設等と重要 SA 施設との接続部は上位クラス同士であるため，上位クラス施設と下位クラス施設との接続部として抽出しない。

第 6-2-5 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部一覧表 (9/11)

整理 番号	上位クラス施設	区分	設置場所	下位クラスと の接続※1 (有：○， 無：×)	評価対象 (対象：○， 対象外：×)	接続配管等	備考
K7- E119	換気空調補機非常用冷却水系配管	S クラス	C/B	○	×	防食材注入タンク 出口 ライン	通常閉の弁を介して接 続されているため評価 対象外
					×	防食材注入タンク 出口 バイパスライン	通常閉の弁を介して接 続されているため評価 対象外
					×	防食材注入タンク 戻り ライン	通常閉の弁を介して接 続されているため評価 対象外
					×	防食材注入タンク 戻り バイパスライン	通常閉の弁を介して接 続されているため評価 対象外
					×	試料採取ライン	通常閉の弁を介して接 続されているため評価 対象外
					×	ドレンライン， ベントライン	通常閉の弁を介して接 続されているため評価 対象外
					×	テストライン	通常閉の弁を介して接 続されているため評価 対象外
K7- E120	復水補給水系配管	S クラス SA 施設	R/B Rw/B	○	×	残留熱除去系ライン	通常閉の弁を介して接 続されているため評価 対象外
					×	プール水張りライン	通常閉の弁を介して接 続されているため評価 対象外
					×	スキマーサージタンク 補給ライン	通常閉の弁を介して接 続されているため評価 対象外
					○	復水補給水系ライン	
					×	復水補給水系ライン	通常閉の弁または逆止 弁を介して接続されて いるため評価対象外
					○	制御棒駆動系供給ライ ン	
					○	制御棒駆動系戻りライ ン	
					○	試料採取系ライン	
					×	燃料プール冷却浄化ろ 過脱塩器洗浄ライン	通常閉の弁を介して接 続されているため評価 対象外
					×	廃スラッジ系ライン	通常閉の弁を介して接 続されているため評価 対象外
					×	放射性ドレン移送系ラ イン	通常閉の弁を介して接 続されているため評価 対象外
					×	ドレンライン， ベントライン	通常閉の弁を介して接 続されているため評価 対象外
					×	テストライン	通常閉の弁を介して接 続されているため評価 対象外
					×	予備ライン	通常閉の弁を介して接 続されているため評価 対象外
K7- E122	タンクベント処理系配管	S クラス	R/B	○	○	タンクベント処理系ラ イン (二次格納施設バウン ダリ)	

※1 S クラス施設等と重要 SA 施設との接続部は上位クラス同士であるため，上位クラス施設と下位クラス施設との接続部として抽出しない。

第 6-2-5 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部一覧表 (10/11)

整理 番号	上位クラス施設	区分	設置場所	下位クラスと の接続※1 (有：○， 無：×)	評価対象 (対象：○， 対象外：×)	接続配管等	備考
K7- E123	高圧窒素ガス供給系配管	S クラス SA 施設	R/B	○	○	窒素ボンベ接続配管	
					×	窒素ボンベ接続ライン (予備側)	通常閉の弁を介して 接続されているため 評価対象外
					×	不活性ガス系ライン	通常閉の弁を介して 接続されているため 評価対象外
					×	屋外大気開放ライン	安全弁（通常閉）を介 して接続されている ため対象外
K7- E125	試料採取系 (ガス試料及び事故後サンプリング) 配管	S クラス	R/B	○	×	テストライン	通常閉の弁を介して 接続されているため 評価対象外
K7- E126	サブプレッションプール浄化系配管	S クラス	R/B	○	×	燃料プール補給ライン	通常閉の弁を介して 接続されているため 評価対象外
					×	サブプレッションプール浄 化系ライン	通常閉の弁、逆止弁を 介して接続されてい るため評価対象外
					×	原子炉補機冷却水系ライ ン	通常閉の弁を介して 接続されているため 評価対象外
					×	ドレンライン、 ベントライン	通常閉の弁を介して 接続されているため 評価対象外
K7- E127	換気空調補機常用冷却水系配管	S クラス	R/B	○	×	テストライン	通常閉の弁を介して 接続されているため 評価対象外
K7- E128	非常用ディーゼル発電設備燃料油 系・潤滑油系・始動空気及び吸排気 系・冷却水系配管	S クラス	R/B	○	×	ドレンライン、 ベントライン	通常閉の弁を介して 接続されているため 評価対象外
				○	○	排気ライン（建屋外）	
K7- E130	計装用圧縮空気系配管	S クラス	R/B	○	×	テストライン	通常閉の弁を介して 接続されているため 評価対象外
K7- E133	原子炉・タービン区域換気 空調系ダクト・配管	S クラス	R/B	○	○	原子炉建屋空調ダクト (二次格納施設パウンダ リ)	
K7- E134	非常用電気品区域換気空調系 ダクト・配管	S クラス	R/B	○	○	排気側ダクト	
K7- E135	コントロール建屋計測制御電源盤区 域換気空調系ダクト・配管	S クラス	C/B	○	○	排気側ダクト	
K7- E136	中央制御室換気空調系 ダクト・配管	S クラス	C/B	×	—		
K7- E137	海水熱交換器区域空調系 ダクト・配管	S クラス	T/B	×	—		

※1 S クラス施設等と重要 SA 施設との接続部は上位クラス同士であるため、上位クラス施設と下位クラス施設との接続部として抽出しない。

第 6-2-5 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部一覧表 (11/11)

整理 番号	上位クラス施設	区分	設置場所	下位クラスと の接続※1 (有：○， 無：×)	評価対象 (対象：○， 対象外：×)	接続配管等	備考
K7- E141	復水貯蔵槽	SA 施設	Rw/B	○	○	復水補給水ライン	
					○	外部補給水ライン	
					○	大気開放ライン	
					○	オーバーフローライン	
K7- E142	復水移送ポンプ	SA 施設	Rw/B	○	○	メカニカルシールドレン ライン	
K7- E143	高圧代替注水系ポンプ	SA 施設	R/B	×	—		
K7- E144	静的触媒式水素再結合器	SA 施設	R/B	×	—		
K7- E145	耐圧強化ベント系配管	SA 施設	R/B	○	×	テストライン	通常閉の弁を介して 接続されているため 評価対象外
K7- E146	高圧代替注水系配管	SA 施設	R/B	○	○	タービン排気側蒸気ドレ ンライン	
					×	ドレンライン， ベントライン	通常閉の弁を介して 接続されているため 評価対象外
					×	試運転用所内蒸気系接続 ライン	通常閉の弁を介して 接続されているため 評価対象外
					×	建屋内開放ライン	ラプチャディスク（通 常閉）を介して接続し ているため評価対象 外
K7- E147	格納容器圧力逃がし装置配管	SA 施設	R/B	×	—		
K7- E148	格納容器圧力逃がし装置／耐圧強化 ベント系 遠隔手動弁操作設備	SA 施設	R/B	×	—		
K7- E149	燃料プール冷却浄化系熱交換器	SA 施設	R/B	×	—		
K7- E150	燃料プール冷却浄化系ポンプ	SA 施設	R/B	○	○	メカニカルシールドレン ライン	
K7- E151	スキマーサージタンク	SA 施設	R/B	○	○	復水補給水ライン	
K7- E152	代替格納容器圧力逃がし装置 ラプチャディスク	SA 施設	R/B				設置予定施設※2
K7- E153	代替格納容器圧力逃がし装置配管	SA 施設	R/B				同上
K7- E154	代替格納容器圧力逃がし装置 遠隔手動弁操作設備	SA 施設	R/B				同上

※1 S クラス施設等と重要 SA 施設との接続部は上位クラス同士であるため，上位クラス施設と下位クラス施設との接続部として抽出しない。

※2 対象上位クラス施設を設置する段階で，5.2 項に示す影響検討を実施する（添付資料 6 参照）。

第 6-2-6 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部一覧表

整理 番号	上位クラス施設	区分	設置場所	下位クラスと の接続※1 (有：○， 無：×)	評価対象 (対象：○， 対象外：×)	接続配管等	備考
共- 0001	第一ガスタービン発電機	SA 施設	建屋外	×	—		
共- 0002	第一ガスタービン発電機用燃料タンク	SA 施設	建屋外	×	—		
共- 0003	第一ガスタービン発電機用燃料移送ポンプ	SA 施設	建屋外	×	—		
共- 0004	第一ガスタービン発電機用燃料移送系配管	SA 施設	建屋外	×	—		
共- E001	中央制御室待避室空気ボンベ陽圧化装置配管	SA 施設	C/B Rw/B	○	○	中央制御室待避室 空気ボンベ陽圧化装置 (空気ボンベ)	
					×	予備ボンベ接続ライン	通常閉の弁を介して 接続されているため 評価対象外
共- E002	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所(対策本部) 陽圧化装置配管	SA 施設	5 号 R/B	○	○	5 号炉原子炉建屋内 緊急時対策所(対策本部) 陽圧化装置 (空気ボンベ)	
					×	予備ボンベ接続ライン	通常閉の弁を介して 接続されているため 評価対象外
共- E003	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所 (対策本部) 二酸化炭素吸収装置	SA 施設	5 号 R/B	×	—		
共- E004	5 号炉原子炉建屋内高気密室(対策本部)	SA 施設	5 号 R/B	×	—		
共- E005	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所(待避場所) 陽圧化装置配管	SA 施設	5 号 R/B	○	○	5 号炉原子炉建屋内 緊急時対策所(待避場所) 陽圧化装置 (空気ボンベ)	

※1 S クラス施設等と重要 SA 施設との接続部は上位クラス同士であるため、上位クラス施設と下位クラス施設との接続部として抽出しない。

第 6-2-7 表 6 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部の評価結果 (1/10)

建屋外上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス接続配管等 【 】：耐震クラス	評価結果	備考
非常用ディーゼル発電設備 軽油タンク	大気開放ライン【C】	大気開放ラインが破損しても、ベントの機能を損なうことが無いことから上位クラス施設(軽油タンク)の機能に影響を与えない。	—

第 6-2-7 表 6 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部の評価結果 (2/10)

建屋内上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス接続配管等 【 】：耐震クラス	評価結果	備考
原子炉冷却材再循環ポンプ	原子炉補機冷却水系ライン 【C】	原子炉冷却材再循環ポンプは地震スクラム後には動作機能要求がなく，原子炉圧力容器バウンダリとしての機能のみが要求される。原子炉補機冷却水系ライン及び冷却水ドレンラインが破損した場合でも，原子炉圧力容器バウンダリとしての機能に影響を与えない。	—
	冷却水ドレンライン 【C】		
残留熱除去系ポンプ	メカニカルシールドドレンライン 【C】	メカニカルシールドドレンライン及びペデスタルドレンラインが破損した場合でも，上位クラス施設（ポンプ）の機能に影響を与えない。	—
	ペデスタルドレンライン 【C】		
残留熱除去系封水ポンプ	ブラケットドレンライン 【C】	ブラケットドレンラインが破損した場合でも，上位クラス施設（ポンプ）の機能に影響を与えない。	—
高圧炉心注水系ポンプ	メカニカルシールドドレンライン 【C】	メカニカルシールドドレンライン及びペデスタルドレンラインが破損した場合でも，上位クラス施設（ポンプ）の機能に影響を与えない。	—
	ペデスタルドレンライン 【C】		
原子炉隔離時冷却系ポンプ	ブラケットドレンライン 【C】	ブラケットドレンラインが破損した場合でも，上位クラス施設（ポンプ）の機能に影響を与えない。	—
原子炉補機冷却水ポンプ	メカニカルシールドドレンライン 【C】	メカニカルシールドドレンラインが破損した場合でも，上位クラス施設（ポンプ）の機能に影響を与えない。	—

第 6-2-7 表 6 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部の評価結果 (3/10)

建屋内上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス接続配管等【 】：耐震クラス	評価結果	備考
原子炉補機冷却水系サージタンク	純水補給水ライン【C】	純水補給水ラインはタンク上部（通常水位より上部）に接続しており、破損した場合でも、タンクの機能に影響を及ぼすことはない（タンク内の水が流出することはない）。	—
	大気開放ライン【C】	大気開放ラインはタンク上部（通常水位より上部）に接続しており、破損した場合でも、タンクの機能に影響を及ぼすことはない（タンク内の水が流出することはない）。 かつ、当該ラインが破損した場合でも、タンクのベント機能に影響を与えない。	—
	オーバーフローライン【C】	オーバーフローラインはタンク上部（通常水位より上部）に接続しており、破損した場合でも、タンクの機能に影響を及ぼすことはない（タンク内の水が流出することはない）。	—
原子炉補機冷却海水ポンプ	グラントドレンライン【C】	グラントドレンラインが破損した場合でも、上位クラス施設（ポンプ）の機能に影響を与えない。	—
制御棒駆動機構	制御棒駆動機構漏えい検出ライン【C】	漏えい検出ラインは制御棒駆動機構の動作機能とは無関係であり、かつ原子炉圧力容器バウンダリ外であることから破損した場合でも、上位クラス施設（制御棒駆動機構）の機能に影響を与えない。	—
ほう酸水注入系ポンプ	グラントドレンライン【C】	グラントドレンラインが破損した場合でも、上位クラス施設（ポンプ）の機能に影響を与えない。	—

第 6-2-7 表 6 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部の評価結果 (4/10)

建屋内上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス接続配管等 【 】：耐震クラス	評価結果	備考
ほう酸水注入系貯蔵タンク	オーバーフローライン 【C】	オーバーフローラインはタンク上部（通常水位より上部）に接続しており、破損した場合でも、タンクの機能に影響を及ぼすことはない（タンク内の水が流出することはない）。	—
	大気開放ライン 【C】	大気開放ラインはタンク上部（通常水位より上部）に接続しており、破損した場合でも、タンクの機能に影響を及ぼすことはない（タンク内の水が流出することはない）。 かつ、当該ラインが破損した場合でも、タンクのベント機能に影響を与えない。	—
	純水補給水ライン 【C】	純水補給水ラインはタンク上部（通常水位より上部）に接続しており、破損した場合でも、タンクの機能に影響を及ぼすことはない（タンク内の水が流出することはない）。	—
非常用ディーゼル発電設備 ディーゼル機関	ミスト管 【C】	ディーゼル機関本体のミスト管が破損してもオイルミストの排出機能を損なうことが無いことから、上位クラス施設（ディーゼル機関）の機能に影響を与えない。	—
	燃料油ドレン回収ライン 【C】	燃料油ドレン回収ラインが破損した場合でも、上位クラス施設（ディーゼル機関）の機能に影響を与えない。	—
	吸気ドレンセパレータドレンライン【C】 吸気ドレンセパレータベントライン【C】	燃料油ドレンセパレータドレンライン及びベントラインが破損した場合でも、上位クラス施設（給気ドレンセパレータ（ディーゼル機関））の機能に影響を与えない。	—
	シリンダ内部浸水測定ライン 【C】	シリンダ内部へ浸水しているか否かを測定するためのラインであり、破損したとしても上位クラス施設（ディーゼル機関）の機能に影響を与えない。	—
非常用ディーゼル発電設備 空気圧縮機	アンローダー弁ドレンライン 【C】	アンローダー弁ドレンラインが破損した場合でも、上位クラス施設（空気圧縮機）の機能に影響を与えない。	—

第 6-2-7 表 6 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部の評価結果 (5/10)

建屋内上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス接続配管等 【 】：耐震クラス	評価結果	備考
非常用ディーゼル発電設備 燃料ディタンク	ミスト管【C】	ミスト管が破損してもオイルミストの排出機能及びベント機能を損なうことが無いことから、上位クラス施設（燃料ディタンク）の機能に影響を与えない。	—
	燃料油ドレン回収ライン【C】	ドレン回収ラインはタンクの通常水位より上部に接続されていることから、破損した場合でも、タンクの機能に影響を及ぼすことはない（タンク内の燃料油が流出することはない）。	—
非常用ディーゼル発電設備 清水膨張タンク	オーバーフローライン【C】	オーバーフローラインは清水膨張タンクの通常水位より上部に接続しており、破損した場合でも、上位クラス施設の機能に影響を及ぼすことはない（タンク内の水が流出することはない）。	—
	大気開放ライン【C】	大気開放ラインは、破損してもベントの機能を損なうことが無いことから、上位クラス施設（清水膨張タンク）の機能に影響を与えない。	—
非常用ディーゼル発電設備 潤滑油補給タンク	ミスト管【C】	ミスト管が破損してもオイルミストの排出機能及びベント機能を損なうことが無いことから、上位クラス施設（潤滑油補給タンク）の機能に影響を与えない。	—

第 6-2-7 表 6 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部の評価結果 (6/10)

建屋内上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス接続配管等 【 】：耐震クラス	評価結果	備考
非常用ディーゼル発電設備 清水加熱器ポンプ	メカニカルシールドレンライン【C】	清水加熱器ポンプのメカニカルシール部漏えい確認用ラインであり、配管が破損しても上位クラス施設（ポンプ）の機能に影響を与えない。	—
非常用ディーゼル発電設備 機関付清水ポンプ	メカニカルシールドレンライン【C】	機関付清水ポンプのメカニカルシール部漏えい確認用ラインであり、配管が破損しても上位クラス施設（ポンプ）の機能に影響を与えない。	—
換気空調補機非常用冷却水系ポンプ	ベースドレンライン【C】	ベースドレンラインが破損した場合でも、上位クラス施設（ポンプ）の機能に影響を与えない。	—
非常用ディーゼル発電設備区域給 気処理装置	結露水ドレンライン【C】	結露水ドレンラインが破損した場合でも、上位クラス施設（給気処理装置）の機能に影響を与えない。	—
非常用ディーゼル発電設備非常用 給気処理装置			
中央制御室給気処理装置			
コントロール建屋計測制御電源盤 区域給気処理装置			
海水熱交換器エリア非常用給気処 理装置			
燃料プール冷却浄化系配管	試料採取系ライン【B】	小口径配管のため、損傷しても影響は軽微であることから上位クラス施設（燃料プール冷却浄化配管）への影響はない。	—
	燃料プール冷却浄化系 ろ過脱塩装置入口ライン【B】	S A 運用時に当該配管の隔離弁を閉めるため、上位クラス施設（燃料プール冷却浄化系配管）への機能に影響を与えない。	—

第 6-2-7 表 6 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部の評価結果 (7/10)

建屋内上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス接続配管等 【 】：耐震クラス	評価結果	備考
主蒸気系配管	主蒸気ライン 【B】	第二主蒸気隔離弁の下流側で主蒸気系配管が完全破断した場合、破断口からは、破断管及び主蒸気ヘッダを介した健全管より冷却材が外部に流出する。冷却材の流出量は原子炉圧力容器ノズルに設置されている流量制限器により、破断した配管の本数に係わらず定格主蒸気流量の 200%に制限される。その際に、主蒸気流量大信号により主蒸気隔離弁が 5 秒で全閉し、流出は食い止められるが、事故解析においては、この間に流出した冷却水によって原子炉圧力容器内の水位が炉心頂部よりも低下することはない。このことから、波及的影響により第二主蒸気隔離弁の下流側の配管が破損した場合の影響は、原子炉格納容器外で主蒸気系配管が破断を想定した場合の安全解析結果に包絡される。	—
	主蒸気ドレンライン 【B】	主蒸気ドレンラインが破損しても、MS トンネル室内の漏えい検知により隔離弁で隔離できることから、上位の施設(主蒸気ドレン配管)の機能(原子炉圧力容器バウンダリ)に影響は与えない。	—
原子炉隔離時冷却系配管	蒸気ドレンライン 【B】	原子炉隔離時冷却系ポンプ起動時は隔離弁が閉となるため、下位クラス施設が破損したとしても上位クラス施設(原子炉隔離時冷却系配管)の機能に影響を与えない。	—
	真空タンクドレンライン 【C】	上流側第一隔離弁が通常閉であり、下位クラス施設が破損したとしても上位クラス施設(真空タンクドレンライン)の機能に影響を与えない。	—

第 6-2-7 表 6 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部の評価結果 (8/10)

建屋内上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス接続配管等 【 】：耐震クラス	評価結果	備考
高圧炉心注水系配管	サプレッションプール浄化系ライン 【B】	S A運用時に当該配管の隔離弁を閉めるため、下位クラス施設（サプレッションプール浄化ライン）が破損したとしても上位クラス施設（高圧炉心注水系配管）の機能に影響を与えない。	—
原子炉補機冷却水系配管	常用負荷ライン 【C】	原子炉補機冷却水系サージタンクの“水位低”による信号により、下流側の弁（緊急遮断弁）により常用系と非常用系が分離できることから波及的影響は生じない。	—
	常用負荷戻りライン 【C】	下流側の逆止弁により常用系と非常用系が分離できることから、下位クラス施設（原子炉補機冷却水配管（常用系））が損傷したとしても、上位クラス施設（原子炉補機冷却水系配管（非常用系））の機能に影響を与えない。	—
	サプレッションプール浄化系ポンプ軸受冷却ライン 【B】	小口径配管のため、損傷しても影響は軽微であることから上位クラス施設（原子炉補機冷却水系配管）への影響はない。	—
原子炉補機冷却海水系配管	屋外放水ピットライン 【C】	放水ピットに流出する配管が破損しても放水ピットに流れ出るだけであり、上位の機能（原子炉補機冷却海水系配管）に影響を与えない。	—
ほう酸水注入系配管	純水補給水系封水ライン 【C】	上流側の純水補給ラインの弁を貯蔵タンクオーバーフローレベル及びポンプより上に設置しており、破損した場合でも、系統内の水が流出することはないことから、上位クラス施設（ほう酸水注入系配管）の系統内封水機能に影響を及ぼすことはない。	—

第 6-2-7 表 6 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部の評価結果 (9/10)

建屋内上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス接続配管等 【 】：耐震クラス	評価結果	備考
復水補給水系配管	復水補給水系ライン 【B】	S A時に隔離弁を“閉”運用となることから、上位クラス施設（復水補給水系配管）の機能に影響を及ぼすことはない。	—
	制御棒駆動系供給ライン 【B】	S A時に隔離弁を“閉”運用となることから、上位クラス施設（復水補給水系配管）の機能に影響を与えない。	—
	制御棒駆動系戻りライン 【B】	制御棒駆動系戻りラインは、エレベーション的にそれ以上先まで系統水がいかないことから、上位クラス施設（復水補給水系配管）の機能に影響を与えない。	—
	試料採取系ライン 【C】	S A時に当該サンプリングライン元弁は“閉”運用となることから、上位クラス施設（復水補給水系配管）の機能に影響を与えない。	—
	原子炉冷却材浄化系・燃料プール冷却浄化系ろ過脱塩器補給ライン 【B】	S A時に隔離弁を“閉”運用となることから、上位クラス施設（復水補給水系配管）の機能に影響を与えない。	—
タンクベント処理系配管	タンクベント処理系ライン （二次格納施設バウンダリ） 【C】	タンクベント処理系配管が破損しても、原子炉区域換気空調系隔離信号により隔離弁が“閉”となり、二次格納施設は隔離されるため、二次格納施設のバウンダリ機能に影響は与えない。	—
高圧窒素ガス供給系配管	窒素ガスポンベ接続配管 【-】	接続部より窒素ガスポンベ側については可搬式であり、可搬ポンベ接続前は“閉”運用であることから、上位クラス施設に影響はない。	—
非常用ディーゼル発電設備燃料油系・潤滑油系・始動空気及び吸排気系・冷却水系配管	排気ライン（建屋外） 【C】	排気ラインが破損しても屋外に排気する機能を損なうものではないことから、上位クラス施設（非常用ディーゼル発電設備 始動空気及び吸排気系配管）の機能に影響を与えない。	—

第 6-2-7 表 6 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部の評価結果 (10/10)

建屋内上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス接続配管等 【 】：耐震クラス	評価結果	備考
原子炉・タービン区域換気空調系 ダクト・配管	原子炉建屋空調ダクト (二次格納施設バウンダリ) 【C】	空調ダクトが破損しても隔離弁により二次格納施設は隔離されるため、二次格納施設バウンダリの機能に影響はない。	—
復水貯蔵槽	外部補給水ライン 【C】	外部補給水ラインがタンクの通常水位より上部に接続されていることから、純水補給水ラインが破損した場合でも、上位クラス施設に影響を及ぼすことはない(タンク内の水が流出することはない)。	—
	大気開放ライン 【C】	大気開放ラインは、破損してもベントの機能を損なうことが無いことから、上位クラス施設(復水貯蔵槽)の機能に影響を与えない。	—
	オーバーフローライン 【C】	オーバーフローラインは復水貯蔵槽の通常水位より上部に接続しており、破損した場合でも、上位クラス施設の機能に影響を及ぼすことはない(タンク内の水が流出することはない)。	—
復水移送ポンプ	メカニカルシールドレンライン 【C】	メカニカルシールドレンラインが破損した場合でも、上位クラス施設(ポンプ)の機能に影響を与えない。	—
燃料プール冷却浄化系ポンプ			
高圧代替注水系配管	タービン排気側蒸気ドレンライン 【C】	タービン排気側のドレンであり、下位クラス施設が破損したとしても上位クラス施設(高圧代替注水系ポンプ)の機能に影響を与えない。	—

第 6-2-8 表 7 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部の評価結果 (1/10)

建屋外上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス接続配管等 【 】：耐震クラス	評価結果	備考
非常用ディーゼル発電設備 軽油タンク	大気開放ライン 【C】	大気開放ラインが破損しても、ベントの機能を損なうことが無いことから上位クラス施設(軽油タンク)の機能に影響を与えない。	—
	外部補給ロライン 【C】	外部補給ロラインは、軽油タンクの通常水位より上部に接続しており、破損した場合でも、上位クラス施設(軽油タンク)の機能に影響を及ぼすことはない(タンク内の燃料が流出することはない)。	—

第 6-2-8 表 7 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部の評価結果 (2/10)

建屋内上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス接続配管等 【 】：耐震クラス	評価結果	備考
原子炉冷却材再循環ポンプ	原子炉補機冷却水系ライン 【C】	原子炉冷却材再循環ポンプは地震スクラム後には動作機能要求がなく、原子炉圧力容器バウンダリとしての機能のみが要求される。原子炉補機冷却水系ライン及び冷却水ドレンラインが破損した場合でも、原子炉圧力容器バウンダリとしての機能に影響を与えない。	—
	冷却水ドレンライン 【C】		
残留熱除去系ポンプ	メカニカルシールドレンライン 【C】	メカニカルシールドレンラインが破損した場合でも、上位クラス施設（ポンプ）の機能に影響を与えない。	—
残留熱除去系封水ポンプ	ブラケットドレンライン 【C】	ブラケットドレンラインが破損した場合でも、上位クラス施設（ポンプ）の機能に影響を与えない。	—
高圧炉心注水系ポンプ	メカニカルシールドレンライン 【C】	メカニカルシールドレンラインが破損した場合でも、上位クラス施設（ポンプ）の機能に影響を与えない。	—
原子炉隔離時冷却系ポンプ			
原子炉隔離時冷却系復水ポンプ	ベースドレンライン 【C】	ベースドレンラインが破損した場合でも、上位クラス施設（ポンプ）の機能に影響を与えない。	—
原子炉隔離時冷却系真空ポンプ			
原子炉補機冷却水ポンプ	メカニカルシールドレンライン 【C】	メカニカルシールドレンラインが破損した場合でも、上位クラス施設（ポンプ）の機能に影響を与えない。	—

第 6-2-8 表 7 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部の評価結果 (3/10)

建屋内上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス接続配管等 【 】：耐震クラス	評価結果	備考
原子炉補機冷却水系サージタンク	純水補給水ライン【C】	純水補給水ラインはタンク上部（通常水位より上部）に接続しており、破損した場合でも、タンクの機能に影響を及ぼすことはない（タンク内の水が流出することはない）。	—
	サプレッションプール冷却浄化系補給水ライン【B】	サプレッションプール冷却浄化系補給水ラインはタンク上部（通常水位より上部）に接続しており、破損した場合でも、タンクの機能に影響を及ぼすことはない（タンク内の水が流出することはない）。	—
	大気開放ライン【C】	大気開放ラインはタンク上部（通常水位より上部）に接続しており、破損した場合でも、タンクの機能に影響を及ぼすことはない（タンク内の水が流出することはない）。 かつ、当該ラインが破損した場合でも、タンクのベント機能に影響を与えない。	—
	オーバーフローライン【C】	オーバーフローラインはタンク上部（通常水位より上部）に接続しており、破損した場合でも、タンクの機能に影響を及ぼすことはない（タンク内の水が流出することはない）。	—
原子炉補機冷却海水ポンプ	グラントドレンライン【C】	グラントドレンラインが破損した場合でも、上位クラス施設（ポンプ）の機能に影響を与えない。	—
制御棒駆動機構	制御棒駆動機構漏えい検出ライン【C】	漏えい検出ラインは制御棒駆動機構の動作機能とは無関係であり、かつ原子炉圧力容器バウンダリ外であることから破損した場合でも、上位クラス施設（制御棒駆動機構）の機能に影響を与えない。	—
ほう酸水注入系ポンプ	グラントドレンライン【C】	グラントドレンラインが破損した場合でも、上位クラス施設（ポンプ）の機能に影響を与えない。	—

第 6-2-8 表 7 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部の評価結果 (4/10)

建屋内上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス接続配管等 【 】：耐震クラス	評価結果	備考
ほう酸水注入系貯蔵タンク	オーバーフローライン 【C】	オーバーフローラインはタンク上部（通常水位より上部）に接続しており、破損した場合でも、タンクの機能に影響を及ぼすことはない（タンク内の水が流出することはない）。	—
	大気開放ライン 【C】	大気開放ラインはタンク上部（通常水位より上部）に接続しており、破損した場合でも、タンクの機能に影響を及ぼすことはない（タンク内の水が流出することはない）。 かつ、当該ラインが破損した場合でも、タンクのベント機能に影響を与えない。	—
	純水補給水ライン 【C】	純水補給水ラインはタンク上部（通常水位より上部）に接続しており、破損した場合でも、タンクの機能に影響を及ぼすことはない（タンク内の水が流出することはない）。	—
非常用ディーゼル発電設備 ディーゼル機関	ミスト管 【C】	ディーゼル機関本体のミスト管が破損してもオイルミストの排出機能を損なうことが無いことから、上位クラス施設（ディーゼル機関）の機能に影響を与えない。	—
	燃料油ドレン回収ライン 【C】	燃料油ドレン回収ラインが破損した場合でも、上位クラス施設（ディーゼル機関）の機能に影響を与えない。	—
	吸気ドレンライン 【C】	吸気ドレンラインが破損した場合でも、上位クラス施設（ディーゼル機関）の機能に影響を与えない。	—
	シリンダ内部浸水測定ライン 【C】	シリンダ内部へ浸水しているか否かを測定するためのラインであり、破損したとしても上位クラス施設（ディーゼル機関）の機能に影響を与えない。	—
非常用ディーゼル発電設備 空気圧縮機	アンローダー弁ドレンライン 【C】	アンローダー弁ドレンラインが破損した場合でも、上位クラス施設（空気圧縮機）の機能に影響を与えない。	—

第 6-2-8 表 7 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部の評価結果 (5/10)

建屋内上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス接続配管等 【 】：耐震クラス	評価結果	備考
非常用ディーゼル発電設備 燃料ディタンク	ミスト管 【C】	ミスト管が破損してもオイルミストの排出機能及びベント機能を損なうことが無いことから、上位クラス施設（燃料ディタンク）の機能に影響を与えない。	—
	燃料油ドレン回収ライン 【C】	ドレン回収ラインはタンクの通常水位より上部に接続されていることから、破損した場合でも、タンクの機能に影響を及ぼすことはない（タンク内の燃料油が流出することはない）。	—
非常用ディーゼル発電設備 清水膨張タンク	オーバーフローライン 【C】	オーバーフローラインは清水膨張タンクの通常水位より上部に接続しており、破損した場合でも、上位クラス施設の機能に影響を及ぼすことはない（タンク内の水が流出することはない）。	—
	大気開放ライン 【C】	大気開放ラインは、破損してもベントの機能を損なうことが無いことから、上位クラス施設（清水膨張タンク）の機能に影響を与えない。	—
	純水補給水ライン 【C】	純水補給水ラインがタンクの通常水位より上部に接続されていることから、純水補給水ラインが破損した場合でも、上位クラス施設に影響を及ぼすことは無い（タンク内の水が流出することはない）。	—
	純水補給水ラインバイパスライン 【C】	純水補給水ラインバイパスラインがタンクの通常水位より上部に接続されていることから、純水補給水ラインバイパスラインが破損した場合でも、上位クラス施設に影響を及ぼすことは無い（タンク内の水が流出することはない）。	
非常用ディーゼル発電設備 潤滑油補給タンク	ミスト管 【C】	ミスト管が破損してもオイルミストの排出機能及びベント機能を損なうことが無いことから、上位クラス施設（潤滑油補給タンク）の機能に影響を与えない。	—

第 6-2-8 表 7 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部の評価結果 (6/10)

建屋内上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス接続配管等 【 】：耐震クラス	評価結果	備考
非常用ディーゼル発電設備 清水加熱器ポンプ	メカニカルシールドレンライン【C】	清水加熱器ポンプのメカニカルシール部漏えい確認用ラインであり、配管が破損しても上位クラス施設（ポンプ）の機能に影響を与えない。	—
非常用ディーゼル発電設備 機関付清水ポンプ	メカニカルシールドレンライン【C】	機関付清水ポンプのメカニカルシール部漏えい確認用ラインであり、配管が破損しても上位クラス施設（ポンプ）の機能に影響を与えない。	—
換気空調補機非常用冷却水系ポンプ	ベースドレンライン【C】	ベースドレンラインが破損した場合でも、上位クラス施設（ポンプ）の機能に影響を与えない。	—
非常用ディーゼル発電設備区域給 気処理装置	結露水ドレンライン【C】	結露水ドレンラインが破損した場合でも、上位クラス施設（給気処理装置）の機能に影響を与えない。	—
非常用ディーゼル発電設備非常用 給気処理装置			
中央制御室給気処理装置			
コントロール建屋計測制御電源盤 区域給気処理装置			
海水熱交換器エリア非常用給気処 理装置			
コントロール建屋計測制御電源盤 区域給気処理装置	換気空調補機常用冷却水系ライン【C】	冷却水ラインが損傷しても給気機能を損なうものではないことから、上位クラス施設（給気処理装置）の機能に影響を与えない。	—
燃料プール冷却浄化系配管	試料採取系ライン【B】	小口径配管のため、損傷しても影響は軽微であることから上位クラス施設（燃料プール冷却浄化配管）への影響はない。	—
	燃料プール冷却浄化系 ろ過脱塩装置側入ライン【B】	S A 運用時に当該配管の隔離弁を閉めるため、上位クラス施設（燃料プール冷却浄化系配管）への機能に影響を与えない。	—

第 6-2-8 表 7 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部の評価結果 (7/10)

建屋内上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス接続配管等 【 】：耐震クラス	評価結果	備考
主蒸気系配管	主蒸気ライン 【B】	第二主蒸気隔離弁の下流側で主蒸気系配管が完全破断した場合、破断口からは、破断管及び主蒸気ヘッダを介した健全管より冷却材が外部に流出する。冷却材の流出量は原子炉圧力容器ノズルに設置されている流量制限器により、破断した配管の本数に係わらず定格主蒸気流量の200%に制限される。その際に、主蒸気流量大信号により主蒸気隔離弁が5秒で全閉し、流出は食い止められるが、事故解析においては、この間に流出した冷却水によって原子炉圧力容器内の水位が炉心頂部よりも低下することはない。このことから、波及的影響により第二主蒸気隔離弁の下流側の配管が破損した場合の影響は、原子炉格納容器外で主蒸気系配管が破断を想定した場合の安全解析結果に包絡される。	—
	主蒸気ドレンライン 【B】	主蒸気ドレンラインが破損しても、MSトンネル室内の漏えい検知により隔離弁で隔離できることから、上位の施設(主蒸気ドレン配管)の機能(原子炉圧力容器バウンダリ)に影響は与えない。	—
原子炉隔離時冷却系配管	真空ポンプ吐出ライン (サブプレッションチェンバ側) 【C】	原子炉格納容器貫通部以降の真空ポンプ吐出ラインが破損しても、サブプレッション・チェンバ内に排出されることになることから、上位クラス施設(原子炉隔離時冷却系配管)の機能に影響は与えない。	—
	蒸気ドレンライン 【B】	原子炉隔離時冷却系ポンプ起動時は隔離弁が閉となるため、下位クラス施設が破損したとしても上位クラス施設(原子炉隔離時冷却系配管)の機能に影響を与えない。	—
	真空タンクドレンライン 【C】	上流側第一隔離弁が通常閉であり、下位クラス施設が破損したとしても上位クラス施設(真空タンクドレンライン)の機能に影響を与えない。	—

第 6-2-8 表 7 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部の評価結果 (8/10)

建屋内上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス接続配管等 【 】：耐震クラス	評価結果	備考
高圧炉心注水系配管	サブプレッションプール浄化系ライン 【B】	S A 運用時に当該配管の隔離弁を閉めるため、下位クラス施設（サブプレッションプール浄化ライン）が破損したとしても上位クラス施設（高圧炉心注水系配管）の機能に影響を与えない。	—
原子炉補機冷却水系配管	常用負荷ライン 【C】	原子炉補機冷却水系サージタンクの“水位低”による信号により、下流側の弁（緊急遮断弁）により常用系と非常用系が分離できることから波及的影響は生じない。	—
	常用負荷戻りライン 【C】	下流側の逆止弁により常用系と非常用系が分離できることから、下位クラス施設（原子炉補機冷却水配管（常用系））が損傷したとしても、上位クラス施設（原子炉補機冷却水系配管（非常用系））の機能に影響を与えない。	—
原子炉補機冷却海水系配管	屋外放水ピットライン 【C】	放水ピットに流出する配管が破損しても放水ピットに流れ出ただけであり、上位の機能（原子炉補機冷却海水系配管）に影響を与えない。	—
ほう酸水注入系配管	純水補給水系封水ライン 【C】	上流側の純水補給ラインの弁を貯蔵タンクオーバーフローレベル及びポンプより上に設置しており、破損した場合でも、系統内の水が流出することはないことから、上位クラス施設（ほう酸水注入系配管）の系統内封水機能に影響を及ぼすことはない。	—
非常用ガス処理系配管	U シールベントライン 【C】	接続部が水位管理レベルより上部であるため、下位クラス施設（ベントライン）が破損したとしても上位クラス施設（非常用ガス処理系配管）の機能に影響を与えない。	—

第 6-2-8 表 7 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部の評価結果 (9/10)

建屋内上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス接続配管等 【 】：耐震クラス	評価結果	備考
復水補給水系配管	復水補給水系ライン【B】	S A時に隔離弁を“閉”運用となることから、上位クラス施設（復水補給水系配管）の機能に影響を及ぼすことはない。	—
	制御棒駆動系供給ライン【B】	S A時に隔離弁を“閉”運用となることから、上位クラス施設（復水補給水系配管）の機能に影響を与えない。	—
	制御棒駆動系戻りライン【B】	制御棒駆動系戻りラインは、エレベーション的にそれ以上先まで系統水がいかないことから、上位クラス施設（復水補給水系配管）の機能に影響を与えない。	—
	試料採取系ライン【C】	S A時に当該サンプリングライン元弁は“閉”運用となることから、上位クラス施設（復水補給水系配管）の機能に影響を与えない。	—
タンクベント処理系配管	タンクベント処理系ライン （二次格納施設バウンダリ）【C】	タンクベント処理系配管が破損しても、原子炉区域換気空調系隔離信号により隔離弁が“閉”となり、二次格納施設は隔離されるため、二次格納施設のバウンダリ機能に影響は与えない。	—
高圧窒素ガス供給系配管	窒素ボンベ接続配管【-】	接続部より窒素ボンベ側については可搬式であり、可搬ボンベ接続前は“閉”運用であることから、上位クラス施設に影響はない。	—
非常用ディーゼル発電設備燃料油系・潤滑油系・始動空気及び吸排気系・冷却水系配管	排気ライン（建屋外）【C】	排気ラインが破損しても屋外に排気する機能を損なうものではないことから、上位クラス施設（非常用ディーゼル発電設備 始動空気及び吸排気系配管）の機能に影響を与えない。	—

第 6-2-8 表 7 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部の評価結果 (10/10)

建屋内上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス接続配管等 【 】：耐震クラス	評価結果	備考
原子炉・タービン区域換気空調系ダクト・配管	原子炉建屋空調ダクト (二次格納施設バウンダリ) 【C】	空調ダクトが破損しても隔離弁により二次格納施設は隔離されるため、二次格納施設バウンダリの機能に影響はない。	—
非常用電気品区域換気空調系ダクト・配管	排気側ダクト 【C】	排風機排気側ダンパ下流側のダクトが破損しても排気の機能を損なうものではないため、上位の施設に影響はない。	—
コントロール建屋計測制御電源盤 区域換気空調系ダクト・配管			
復水貯蔵槽	復水補給水ライン 【C】	復水補給水ライン及び外部補給水ラインがタンクの通常水位より上部に接続されていることから、復水補給水ラインが破損した場合でも、上位クラス施設に影響を及ぼすことはない(タンク内の水が流出することはない)。	—
	外部補給水ライン 【C】		
	大気開放ライン 【C】	大気開放ラインは、破損してもベントの機能を損なうことが無いことから、上位クラス施設(復水貯蔵槽)の機能に影響を与えない。	—
	オーバーフローライン 【C】	オーバーフローラインは復水貯蔵槽の通常水位より上部に接続しており、破損した場合でも、上位クラス施設の機能に影響を及ぼすことはない(タンク内の水が流出することはない)。	—
復水移送ポンプ	メカニカルシールドレンライン 【C】	メカニカルシールドレンラインが破損した場合でも、上位クラス施設(ポンプ)の機能に影響を与えない。	—
燃料プール冷却浄化系ポンプ			
高圧代替注水系配管	タービン排気側蒸気ドレンライン 【C】	タービン排気側のドレンであり、下位クラス施設が破損したとしても上位クラス施設(高圧代替注水系ポンプ)の機能に影響を与えない。	—
スキマーサージタンク	復水補給水ライン 【B】	復水補給水ラインはタンクの通常水位より上部に接続されていることから、復水補給水ラインが破損した場合でも、上位クラス施設に影響を及ぼすことはない(タンク内の水が流出することはない)。	—

第 6-2-9 表 6 号炉及び 7 号炉 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部の評価結果

建屋内上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス接続配管等 【 】：耐震クラス	評価結果	備考
中央制御室待避室 空気ポンベ陽圧化装置配管	中央制御室待避室 空気ポンベ陽圧化装置(空気ポンベ)【-】	接続部より空気ポンベ側については可搬式であり，系統側圧力低下が確認されれば隔離してポンベを交換可能であることから，上位クラス施設（空気ポンベ陽圧化装置配管）の機能に影響はない。	—
5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所（対策本部）陽圧化装置配管	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所（対策本部）陽圧化装置（空気ポンベ）【-】	接続部より空気ポンベ側については可搬式であり，系統側圧力低下が確認されれば隔離してポンベを交換可能であることから，上位クラス施設（陽圧化装置配管）の機能に影響はない。	—
5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所（待避場所）陽圧化装置配管	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所（待避場所）陽圧化装置（空気ポンベ）【-】	接続部より空気ポンベ側については可搬式であり，系統側圧力低下が確認されれば隔離してポンベを交換可能であることから，上位クラス施設（陽圧化装置配管）の機能に影響はない。	—

6.3 建屋内における損傷、転倒及び落下等による影響検討結果

6.3.1 抽出手順

机上検討及び現地調査をもとに、建屋内上位クラス施設に対して、損傷、転倒及び落下等により影響を及ぼす可能性のある下位クラス施設を抽出する。なお、机上検討は上位クラス施設周辺の下位クラス施設の転倒及び落下を想定した場合にも上位クラス施設に衝突しないだけの離隔距離をとって配置されていることを確認する。また、上位クラス施設に対して、下位クラス施設が明らかに影響を及ぼさない程度の大きさ、重量等である場合は影響無しと判断する。

建屋内上位クラス施設の配置図を第 6-3-1 図～第 6-3-3 図に示す（配置図上の番号は第 4-2-1 表～第 4-2-3 表の整理番号に該当する）。原子炉建屋クレーンの 6 号炉の位置関係概要図を第 6-3-4 図に、7 号炉の位置関係概要図を第 6-3-5 図に示す。燃料取替機の 6 号炉の位置関係概要図を第 6-3-6 図に、7 号炉の位置関係概要図を第 6-3-7 図に示す。原子炉ウェル遮蔽プラグの 6 号炉の位置関係概要図を第 6-3-8 図に、7 号炉の位置関係概要図を第 6-3-9 図に示す。原子炉遮蔽壁の位置関係概要図を第 6-3-10 図に示す。

6.3.2 下位クラス施設の抽出結果

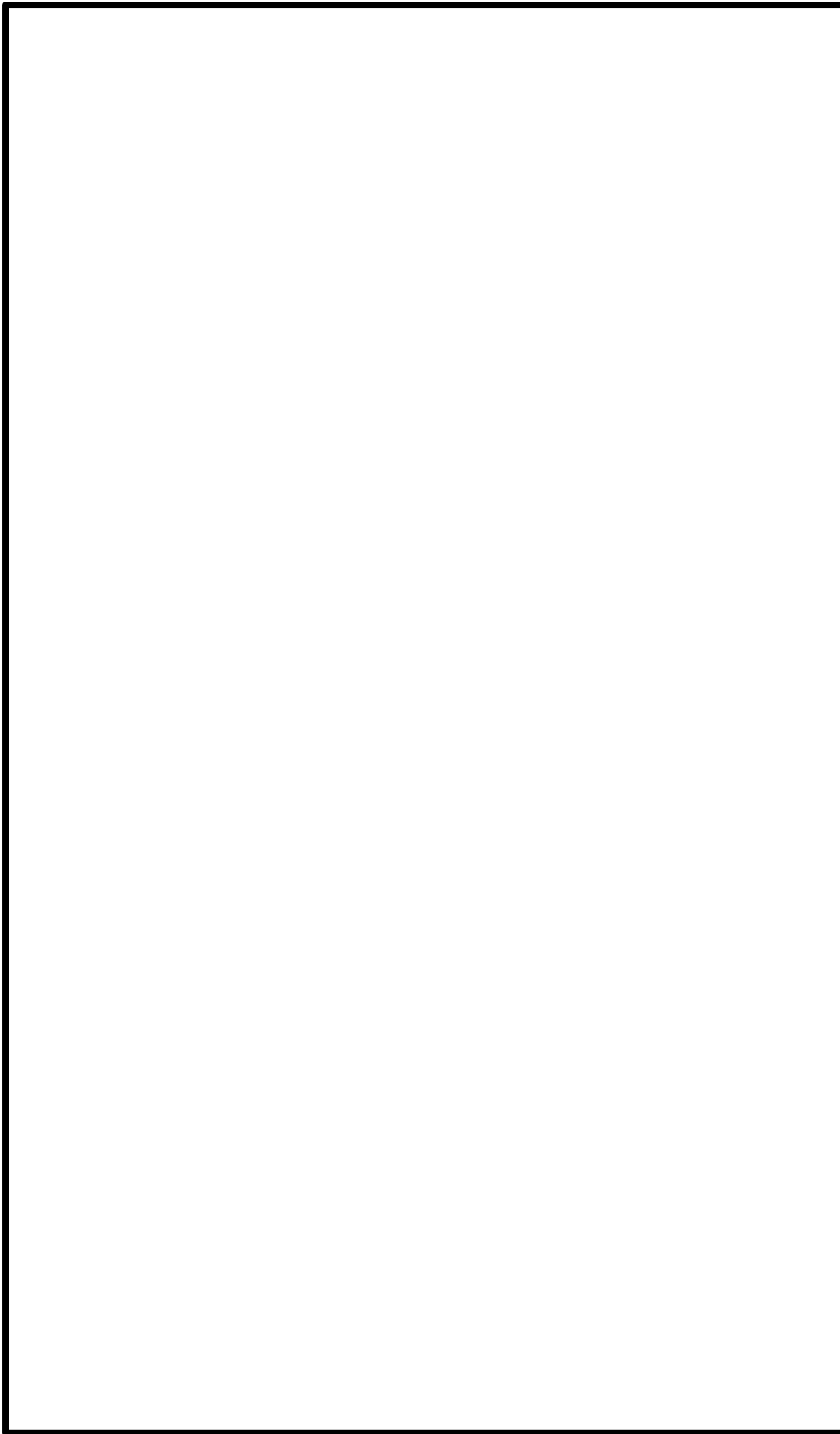
第 5-3 図のフローの a に基づいて抽出された下位クラス施設について抽出したものを第 6-3-1 表～第 6-3-3 表に示す。なお、机上検討のみにより評価した施設を第 6-3-1 表～第 6-3-3 表の備考にて示す。

6.3.3 耐震評価方針

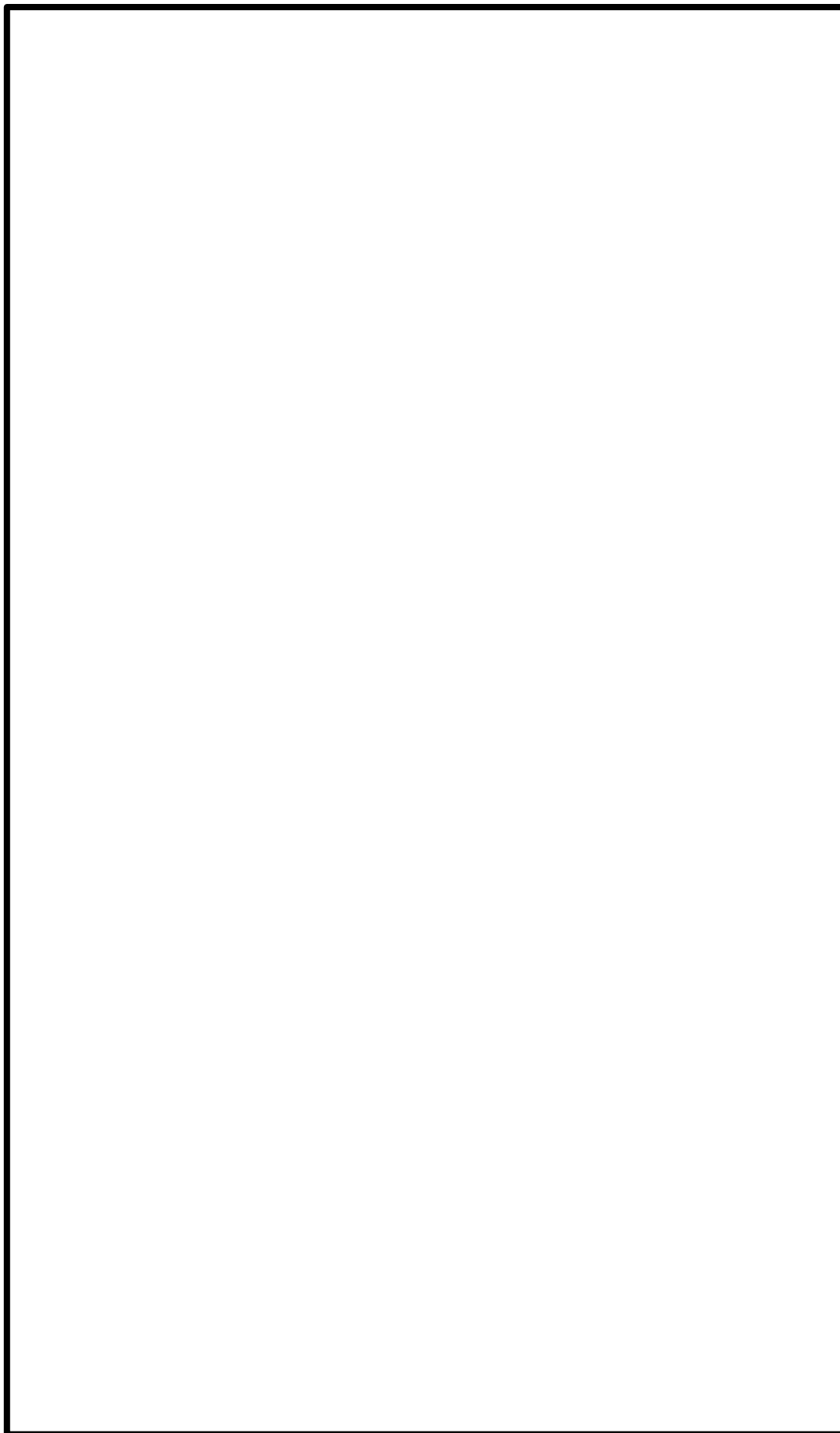
6.3.2 で抽出した建屋内下位クラス施設の評価方針について、第 6-3-4 表及び第 6-3-5 表に示す。



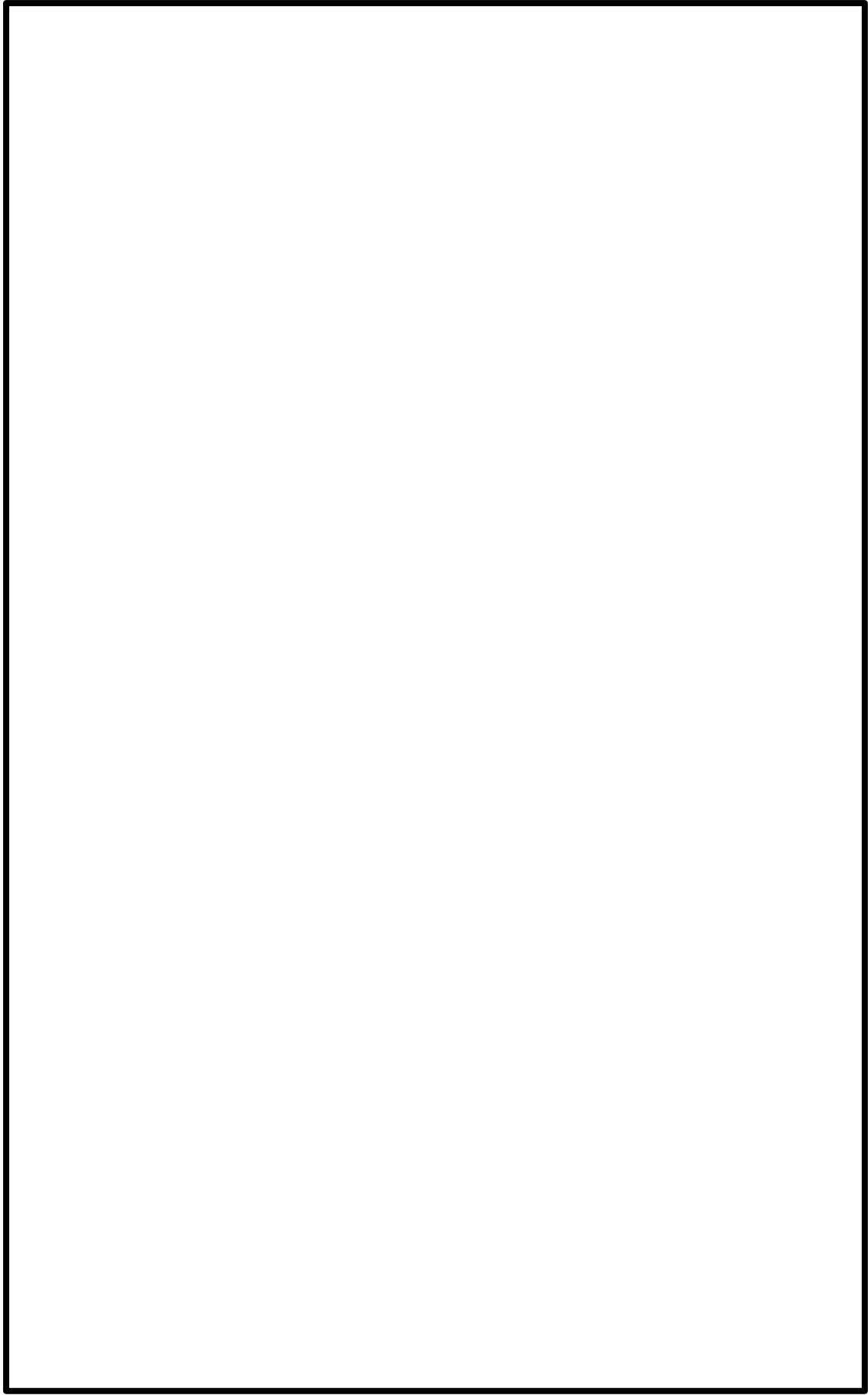
第 6-3-1 図 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (1/32)



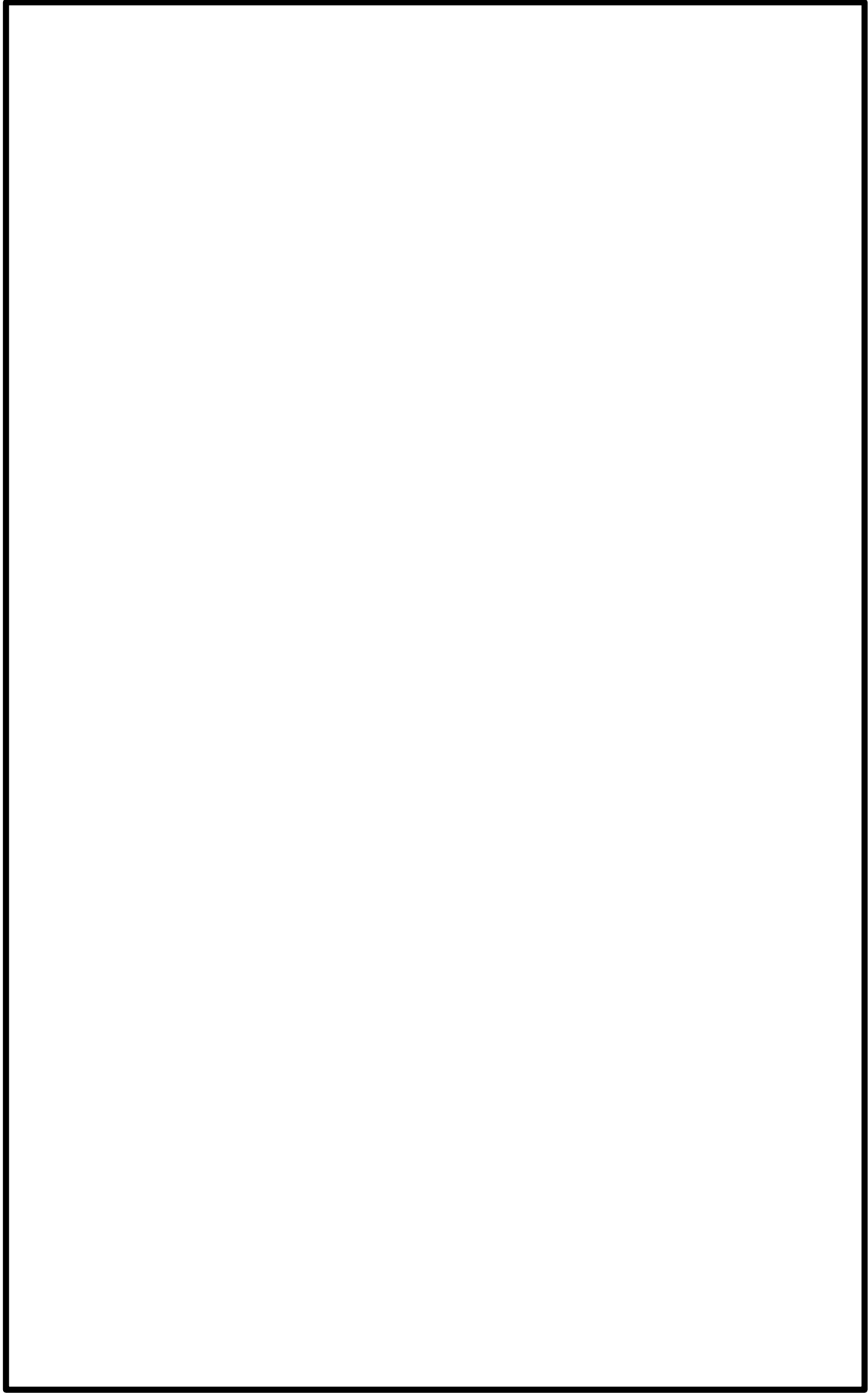
第 6-3-1 図 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (2/32)



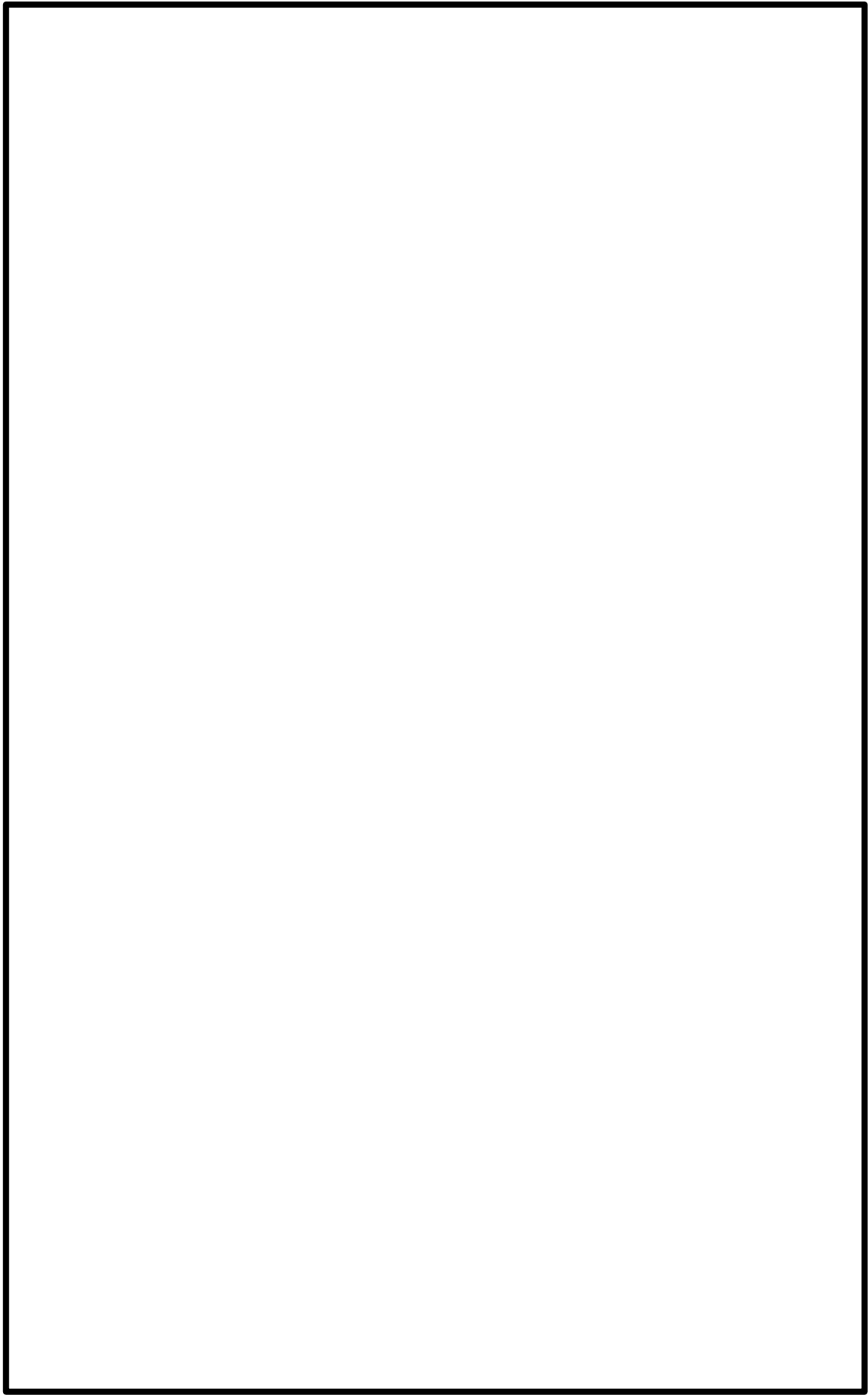
第6-3-1 図 柏崎刈羽原子力発電所6号炉 屋内上位クラス施設配置図 (3/32)



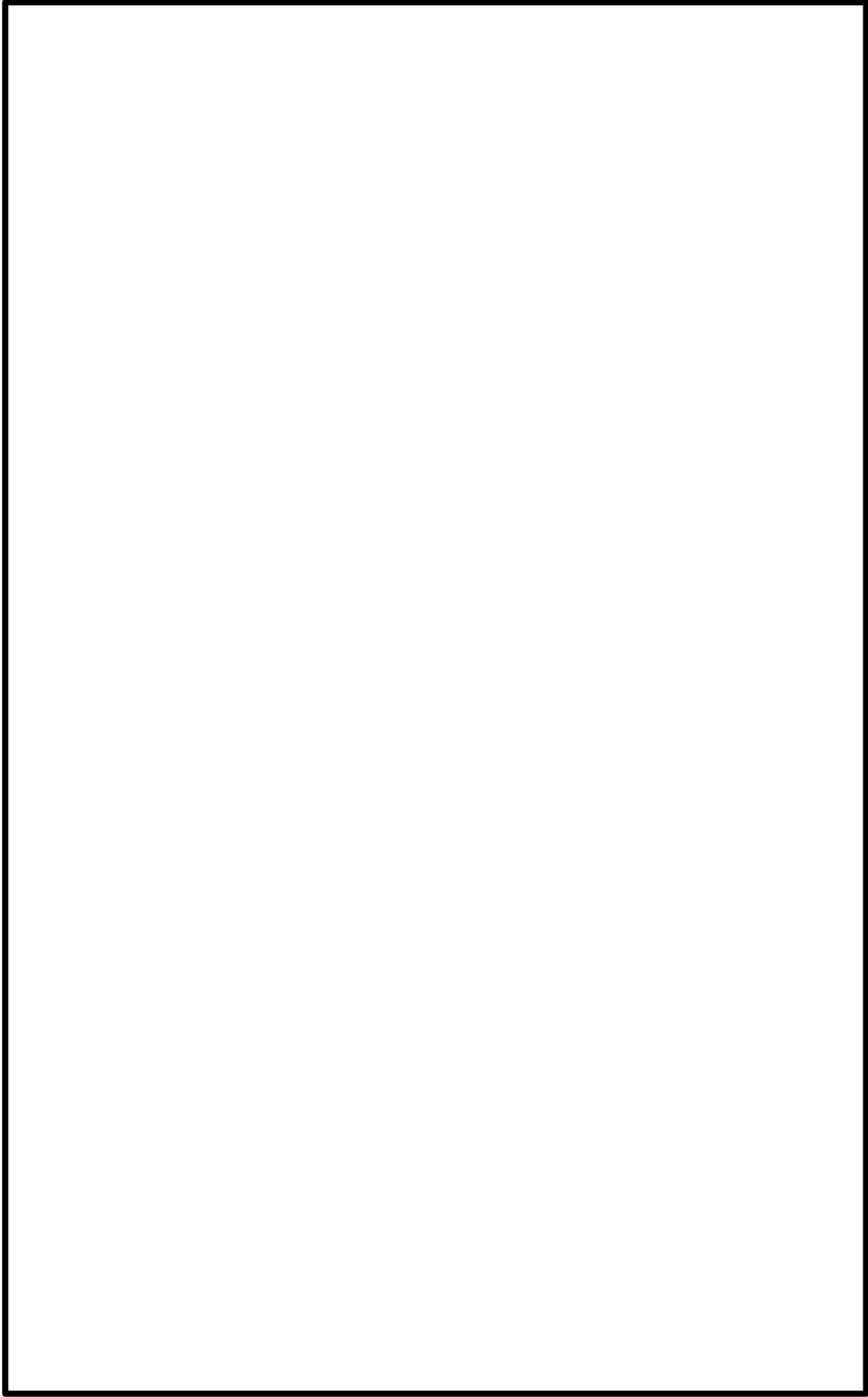
第 6-3-1 図 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (4/32)



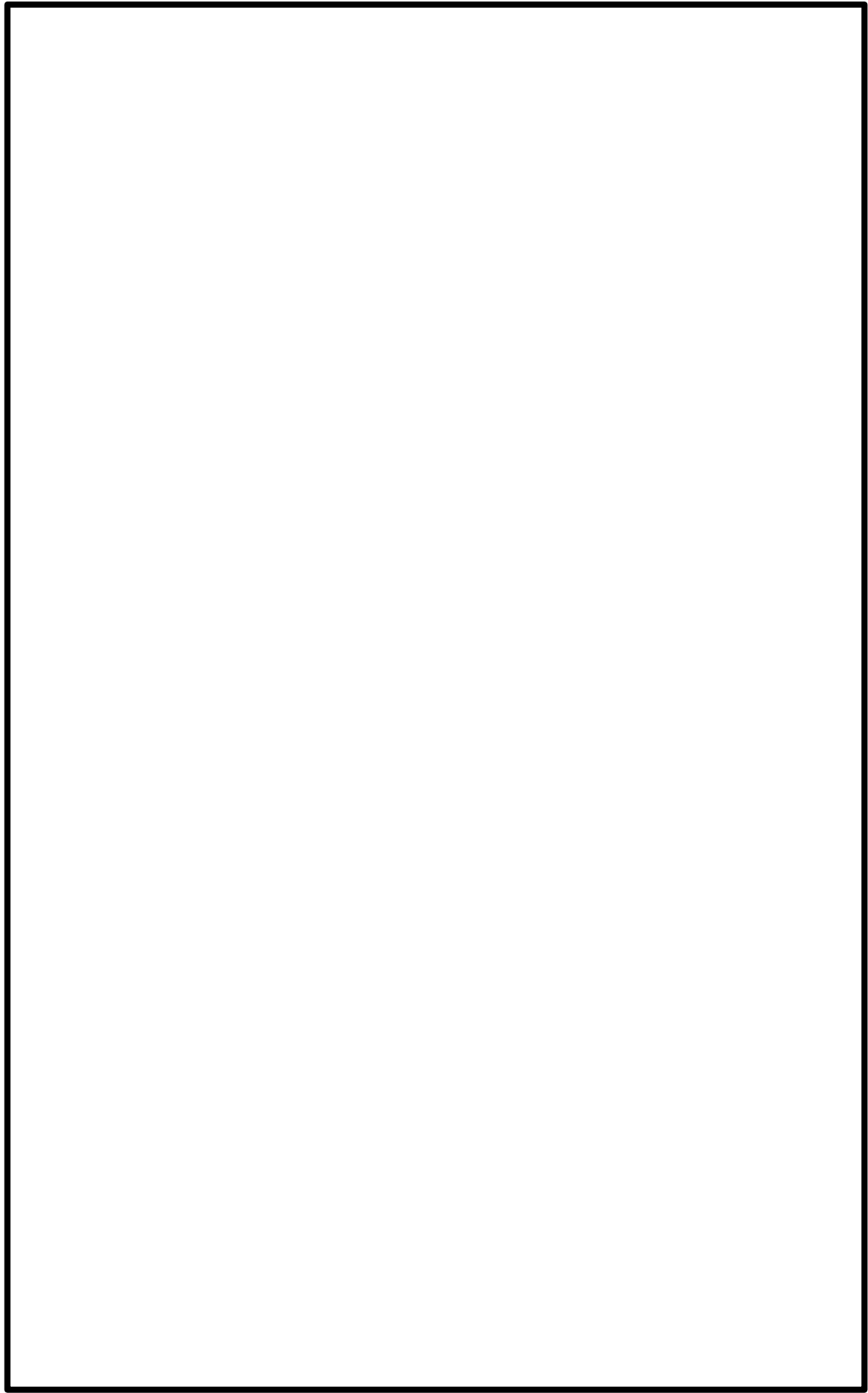
第 6-3-1 図 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (5/32)



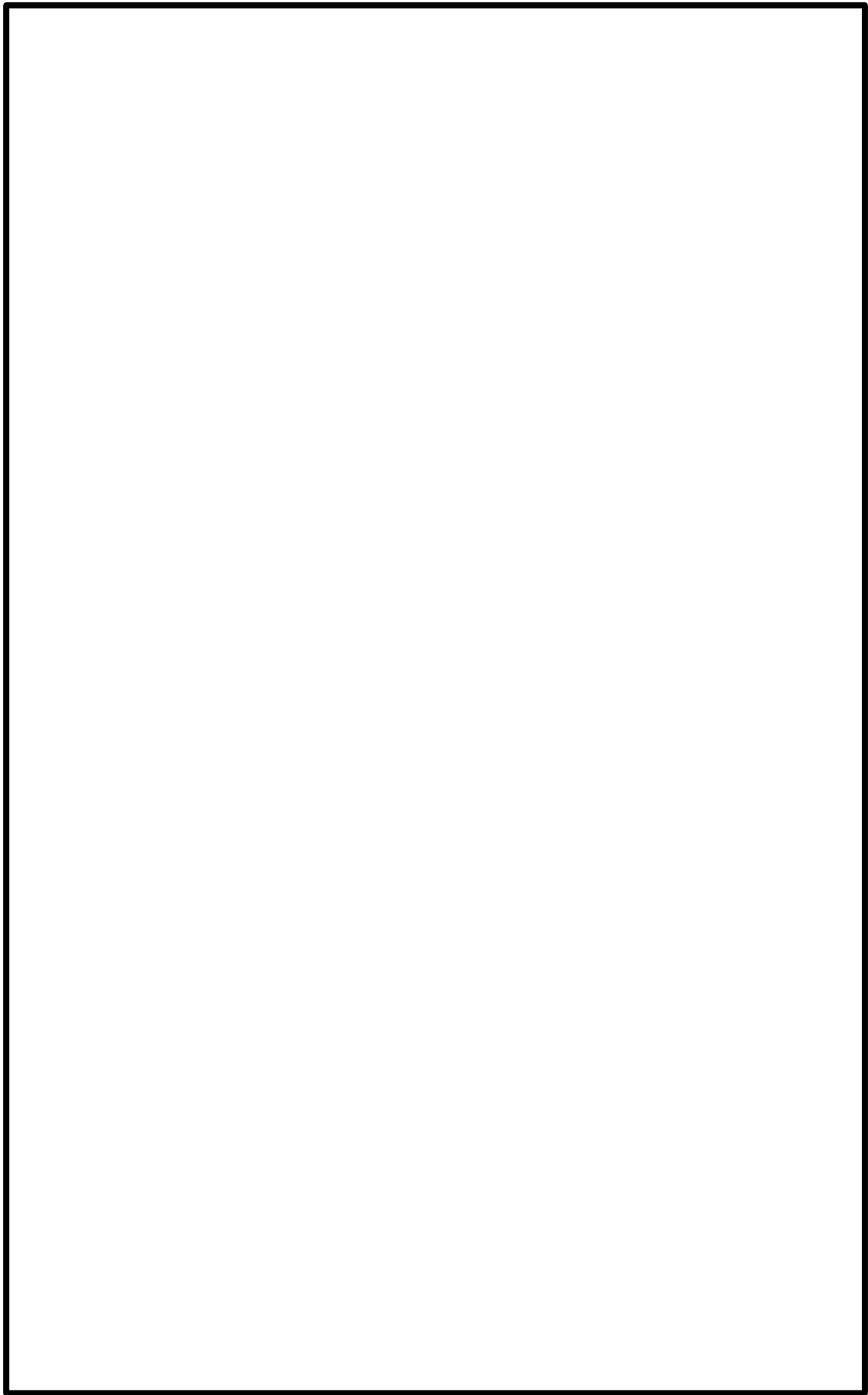
第 6-3-1 図 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (6/32)



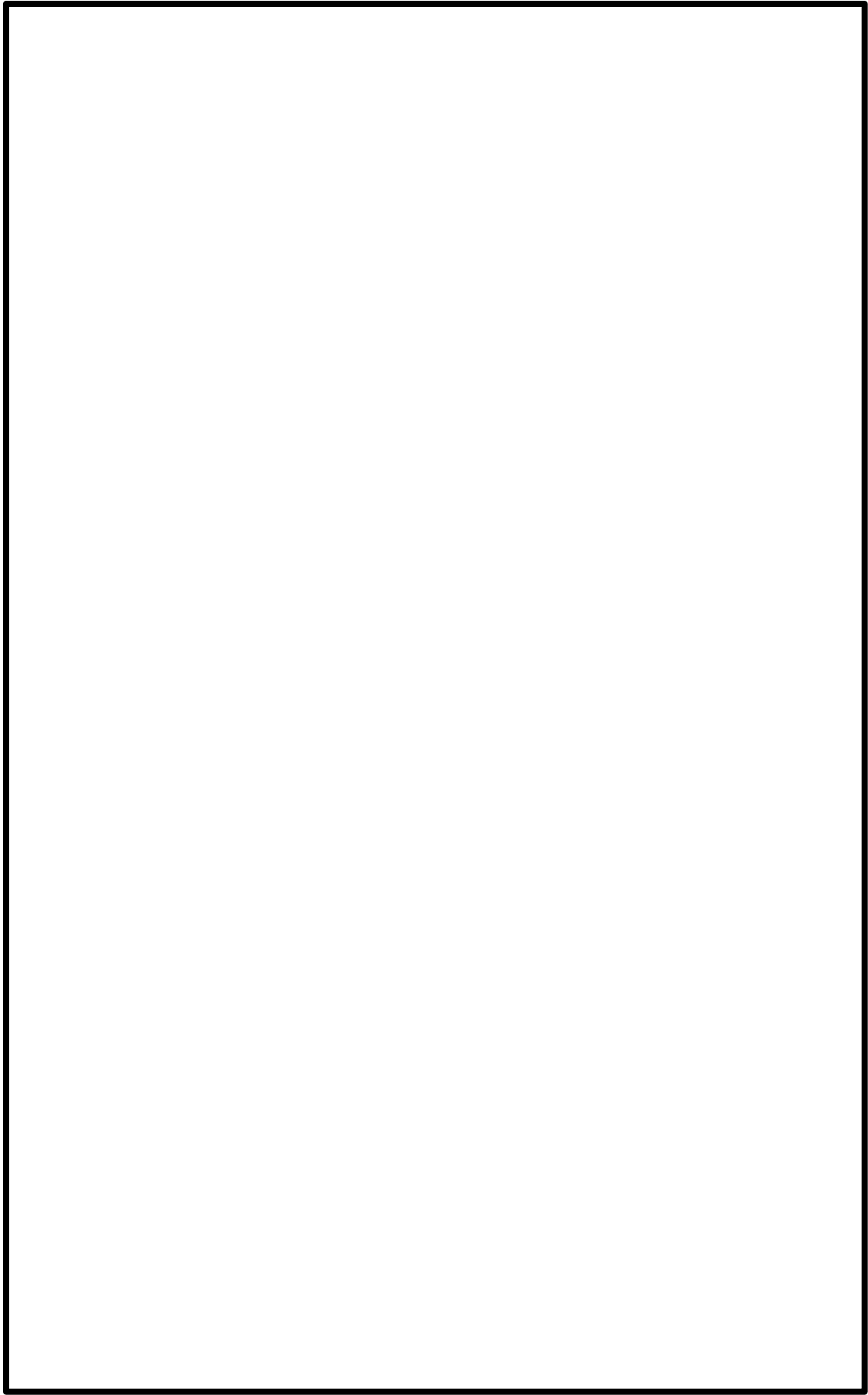
第 6-3-1 図 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (7/32)



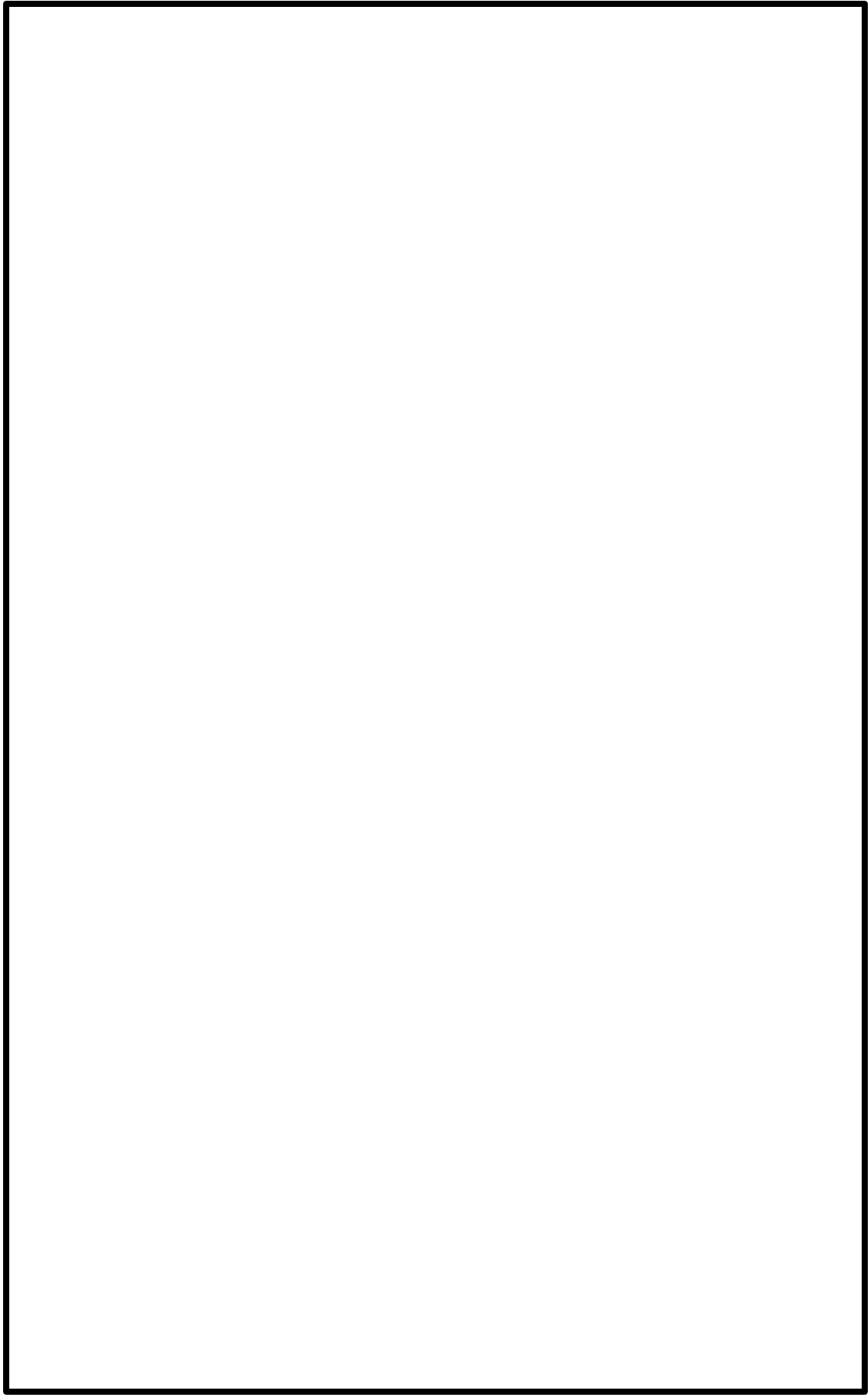
第 6-3-1 図 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (8/32)



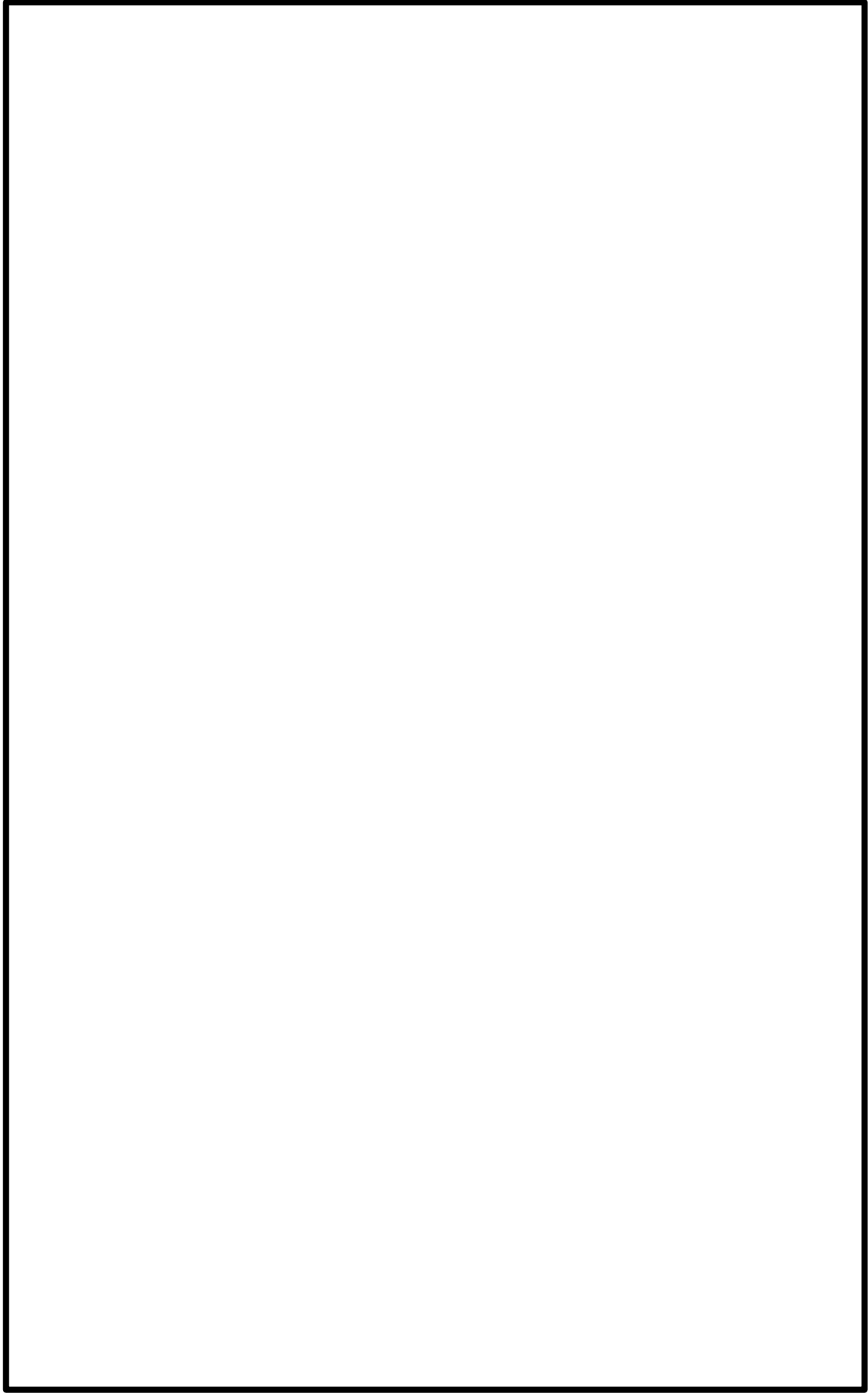
第6-3-1 図 柏崎刈羽原子力発電所6号炉 屋内上位クラス施設配置図 (9/32)



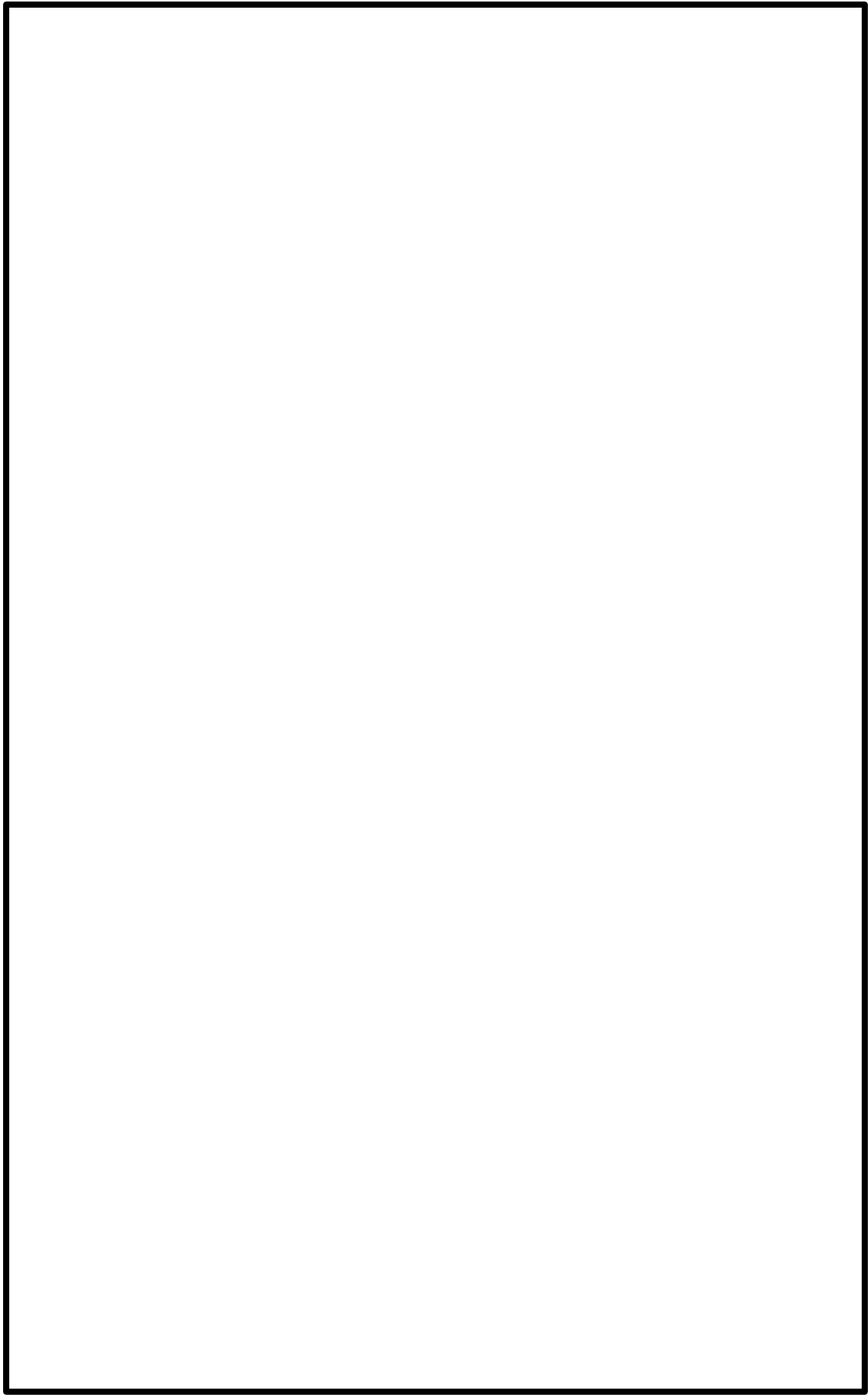
第 6-3-1 図 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (10/32)



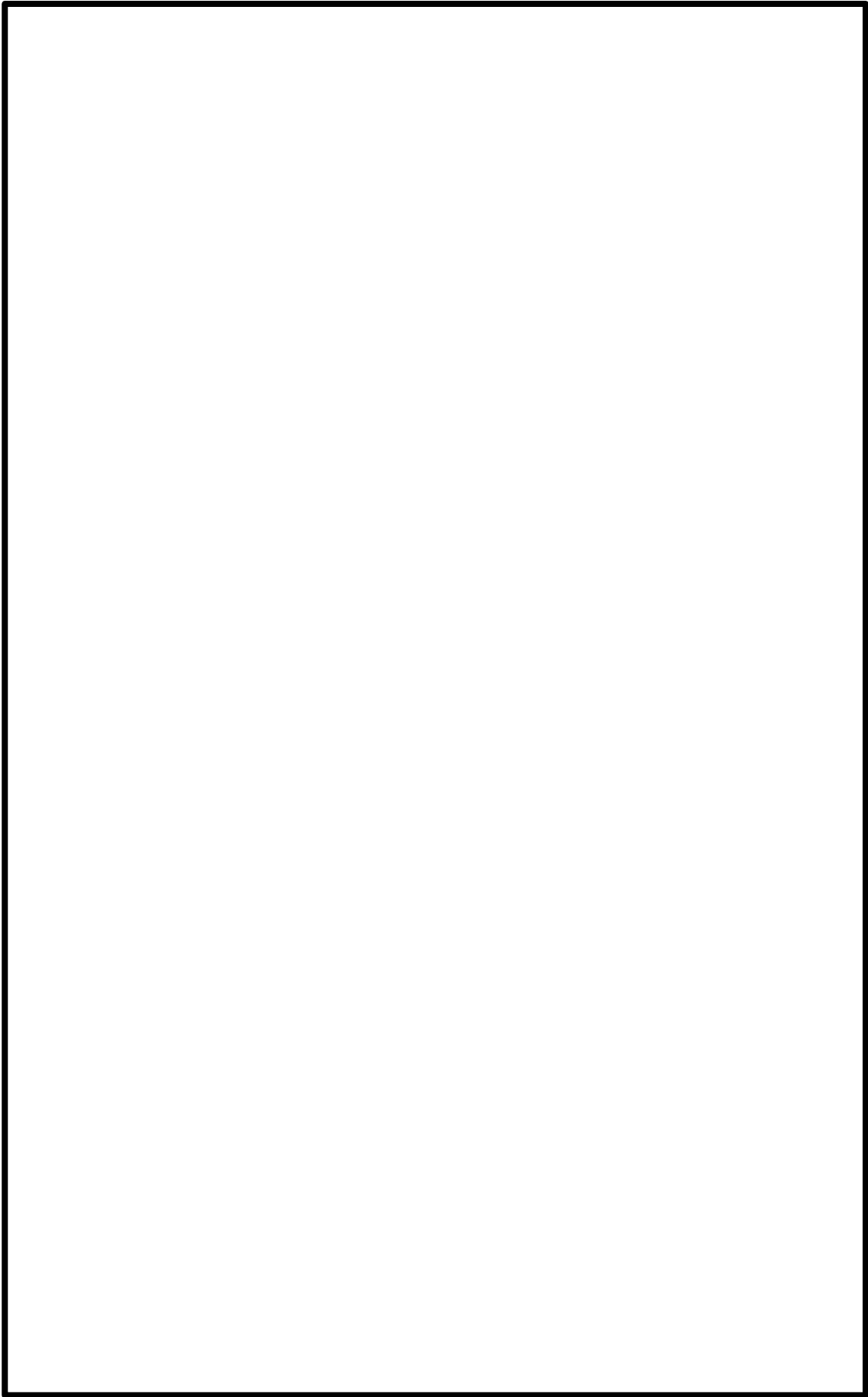
第 6-3-1 図 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (11/32)



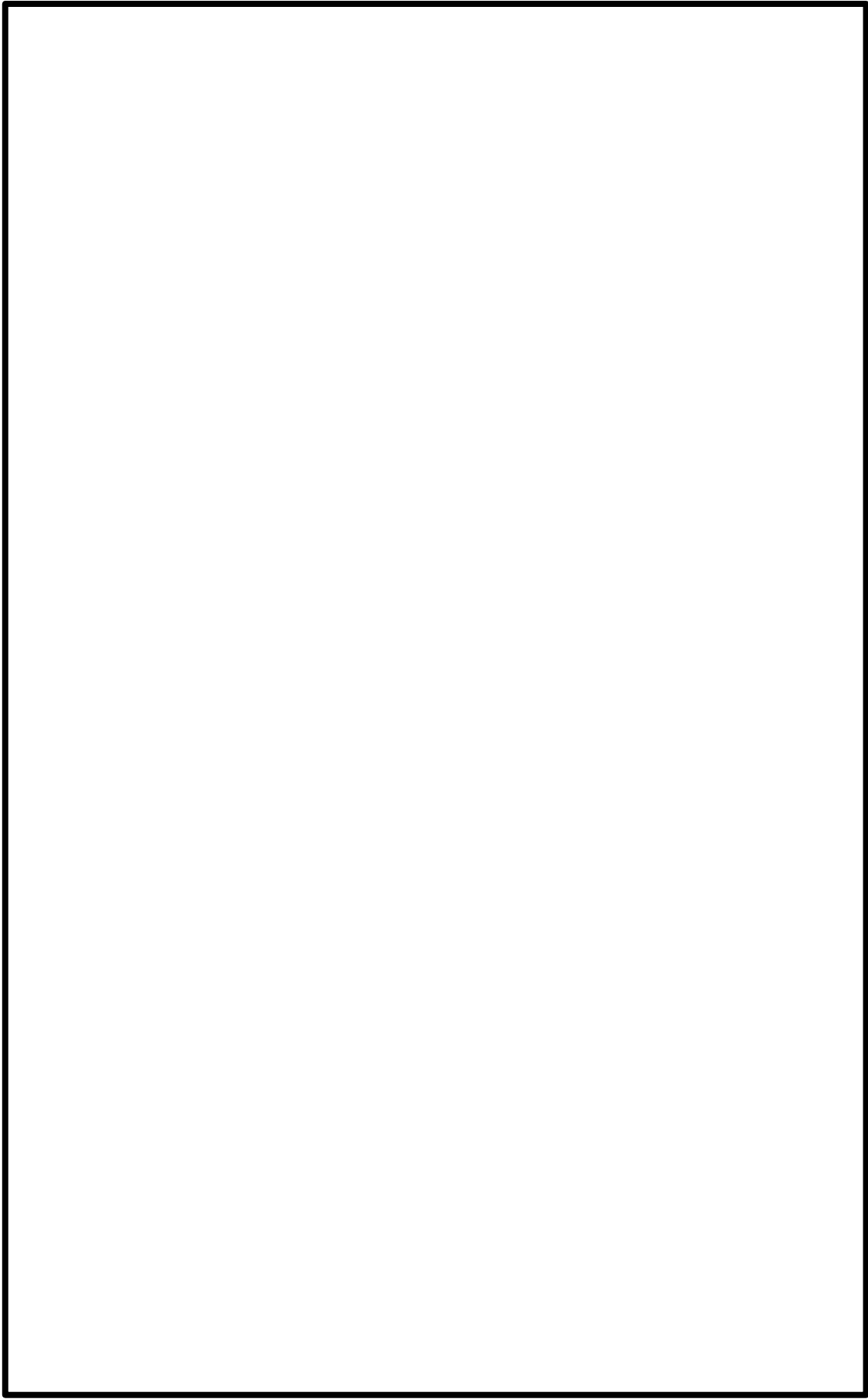
第 6-3-1 図 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (12/32)



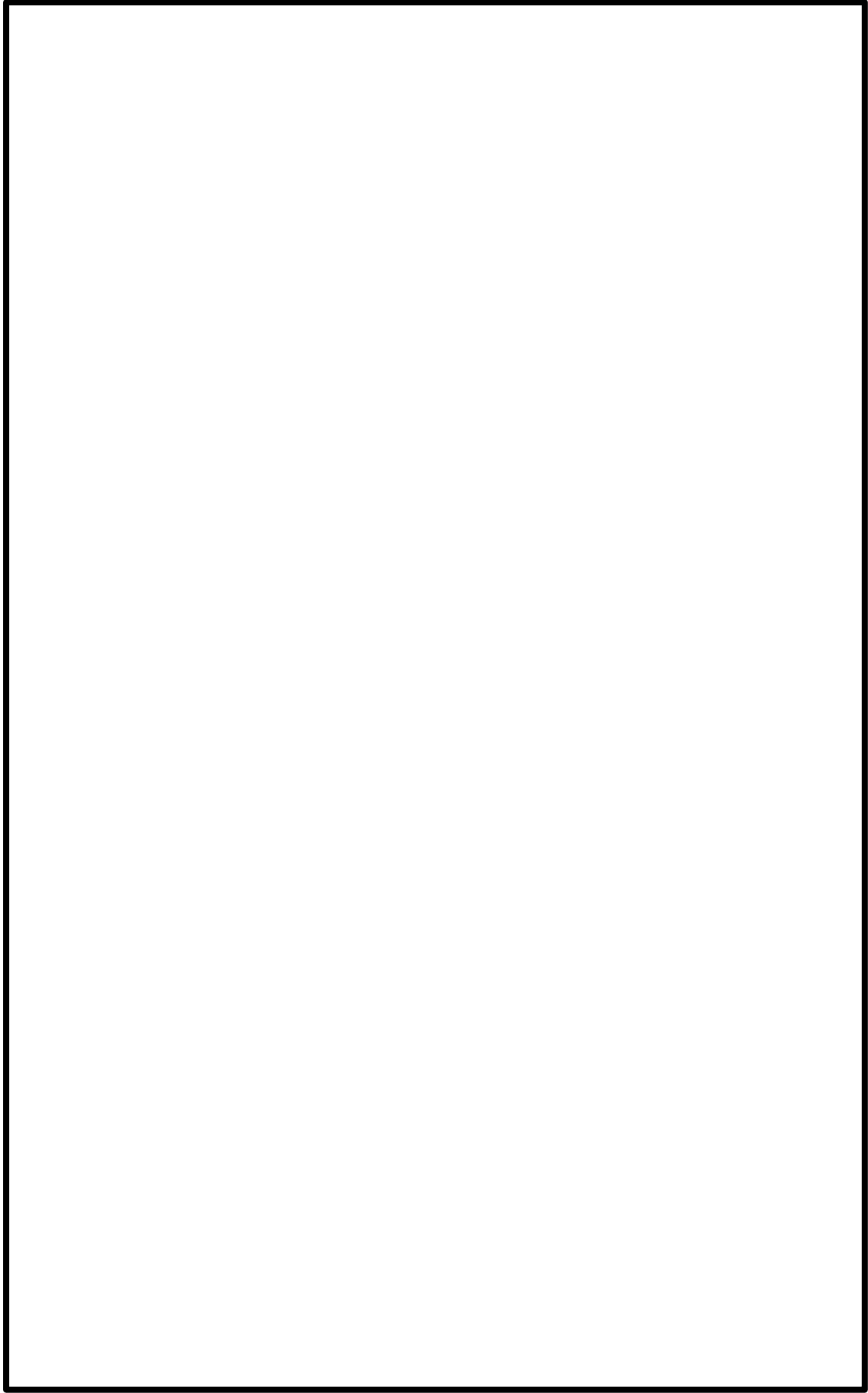
第 6-3-1 図 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (13/32)



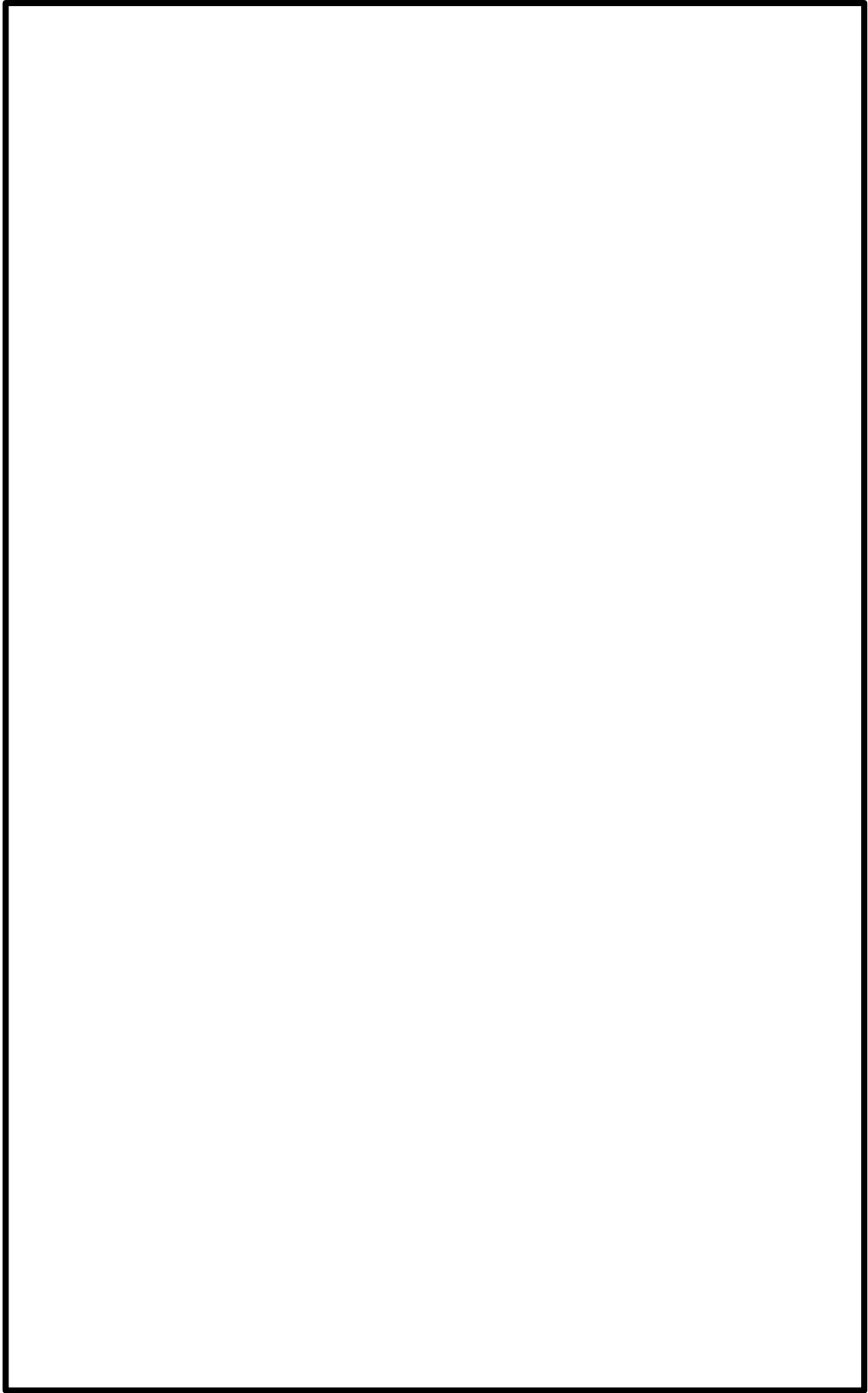
第 6-3-1 図 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (14/32)



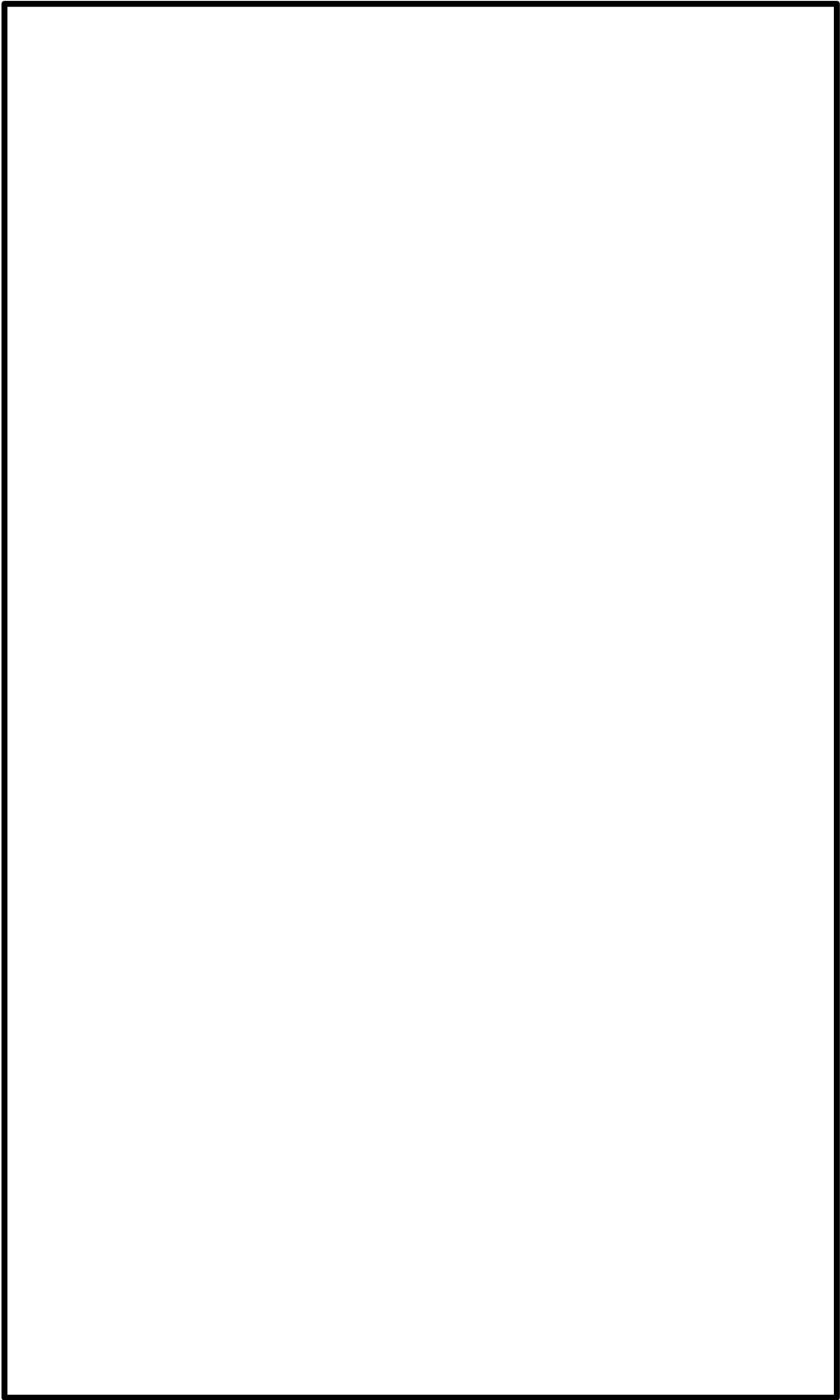
第 6-3-1 図 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (15/32)



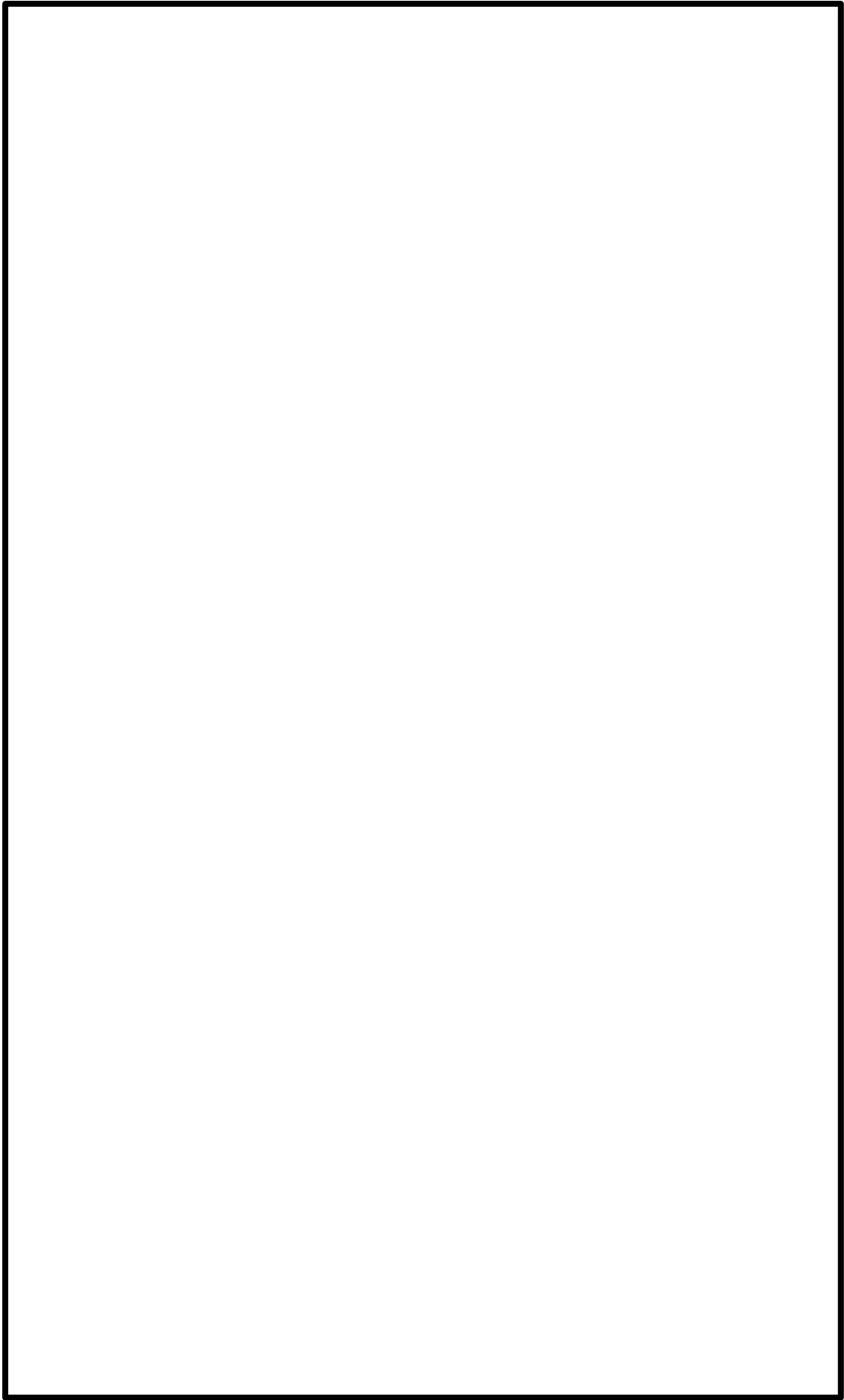
第 6-3-1 図 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (16/32)



第 6-3-1 図 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (17/32)



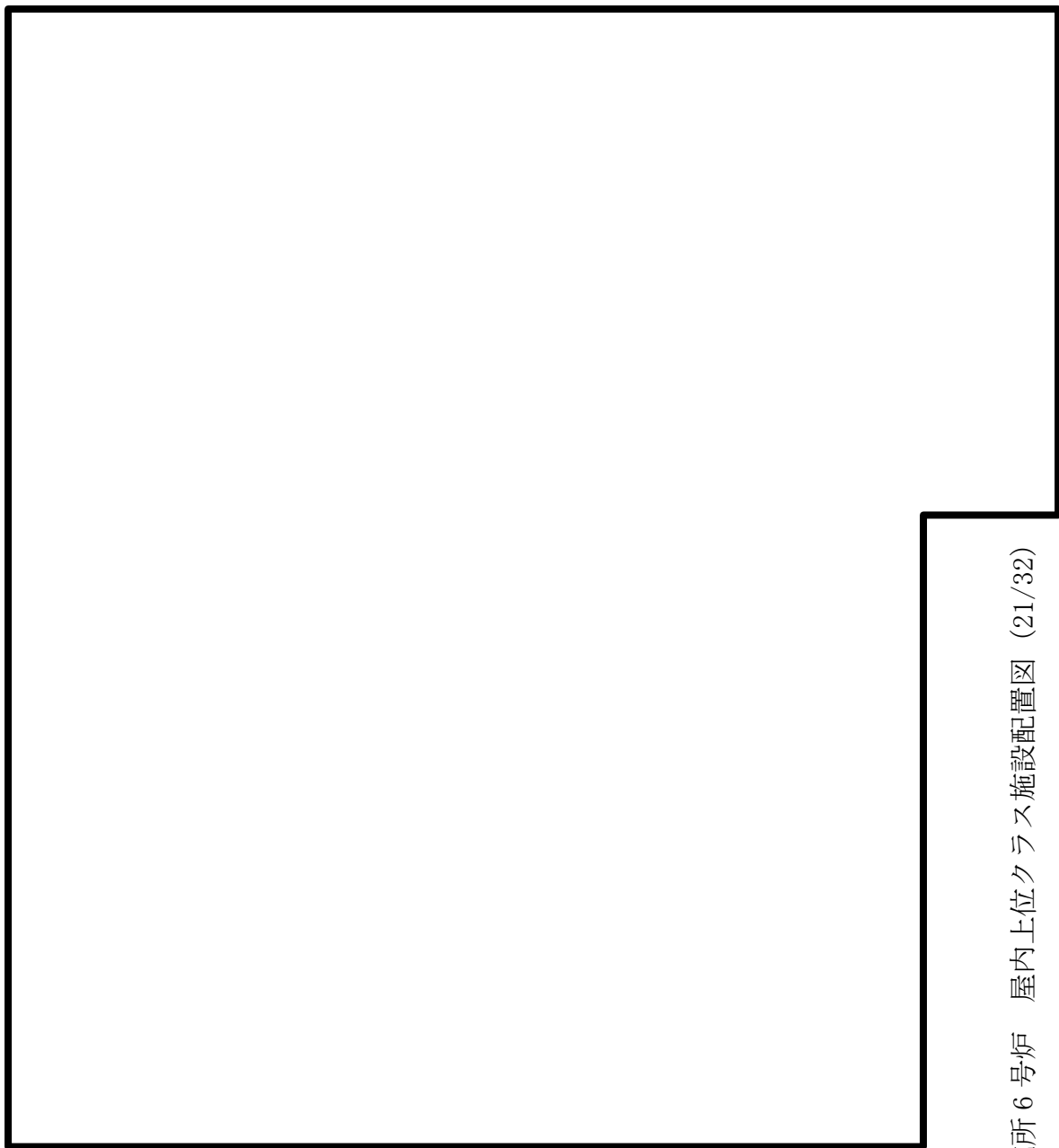
第 6-3-1 図 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (18/32)



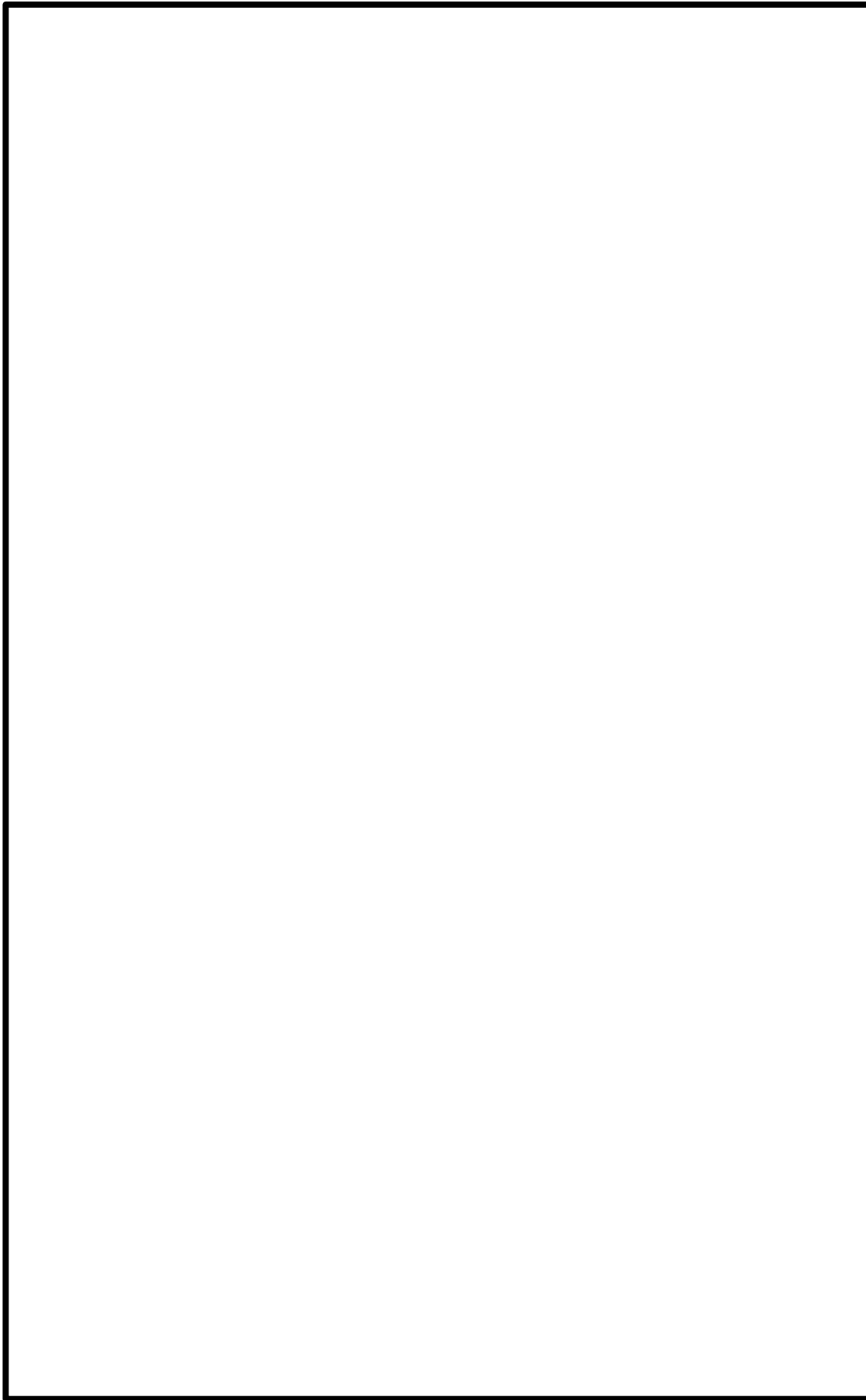
第 6-3-1 図 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (19/32)



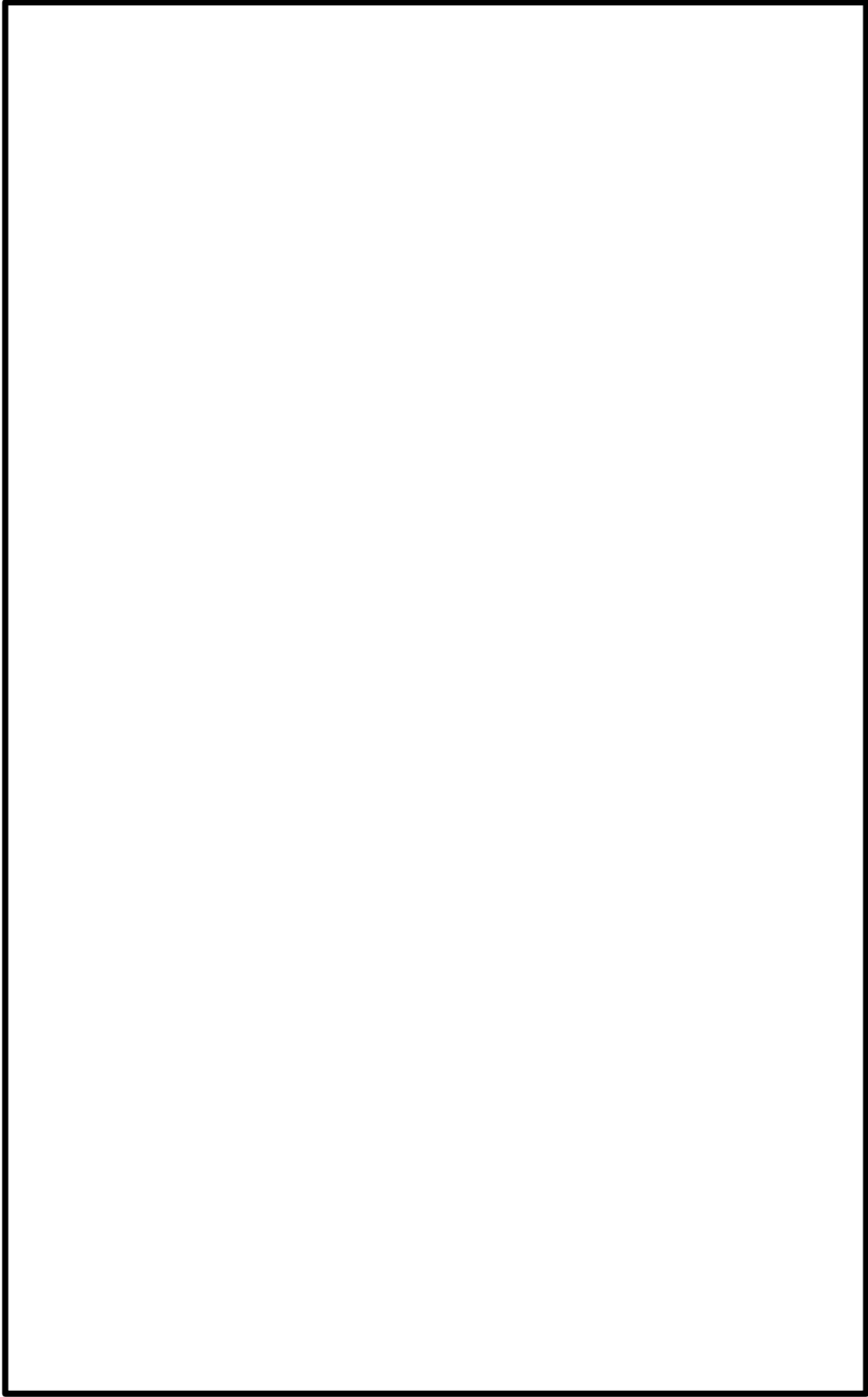
第 6-3-1 図 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (20/32)



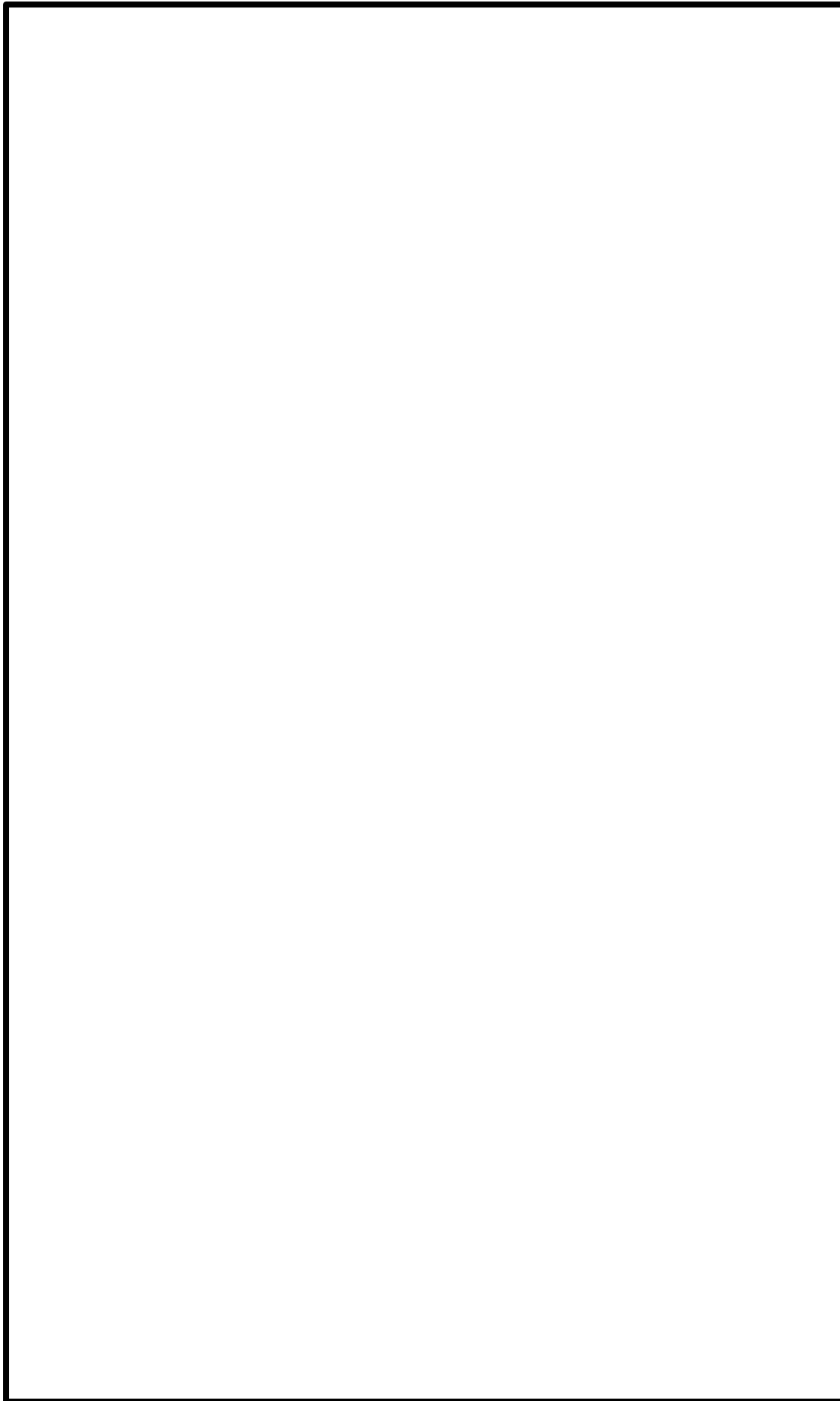
第 6-3-1 図 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (21/32)



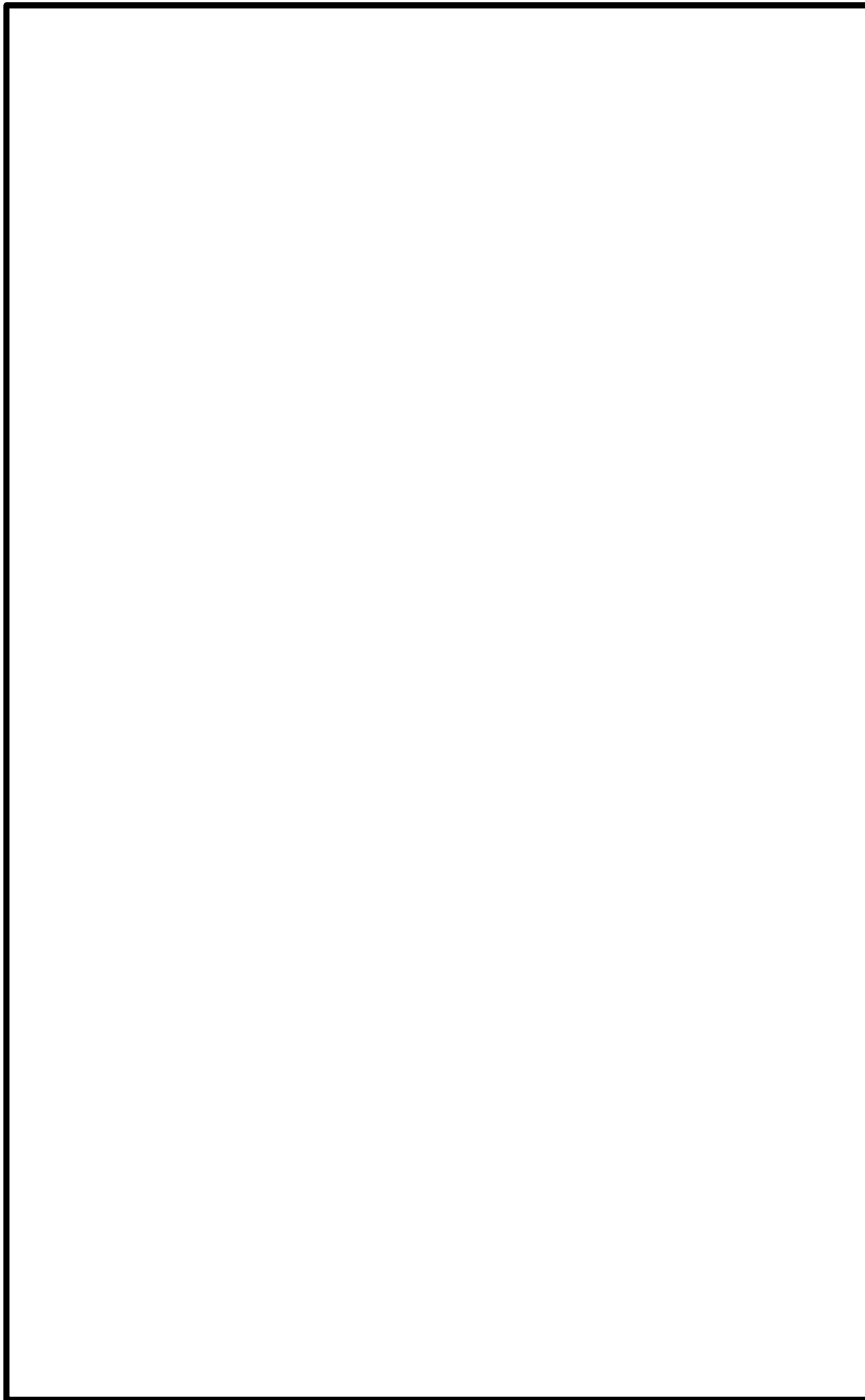
第 6-3-1 図 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (22/32)



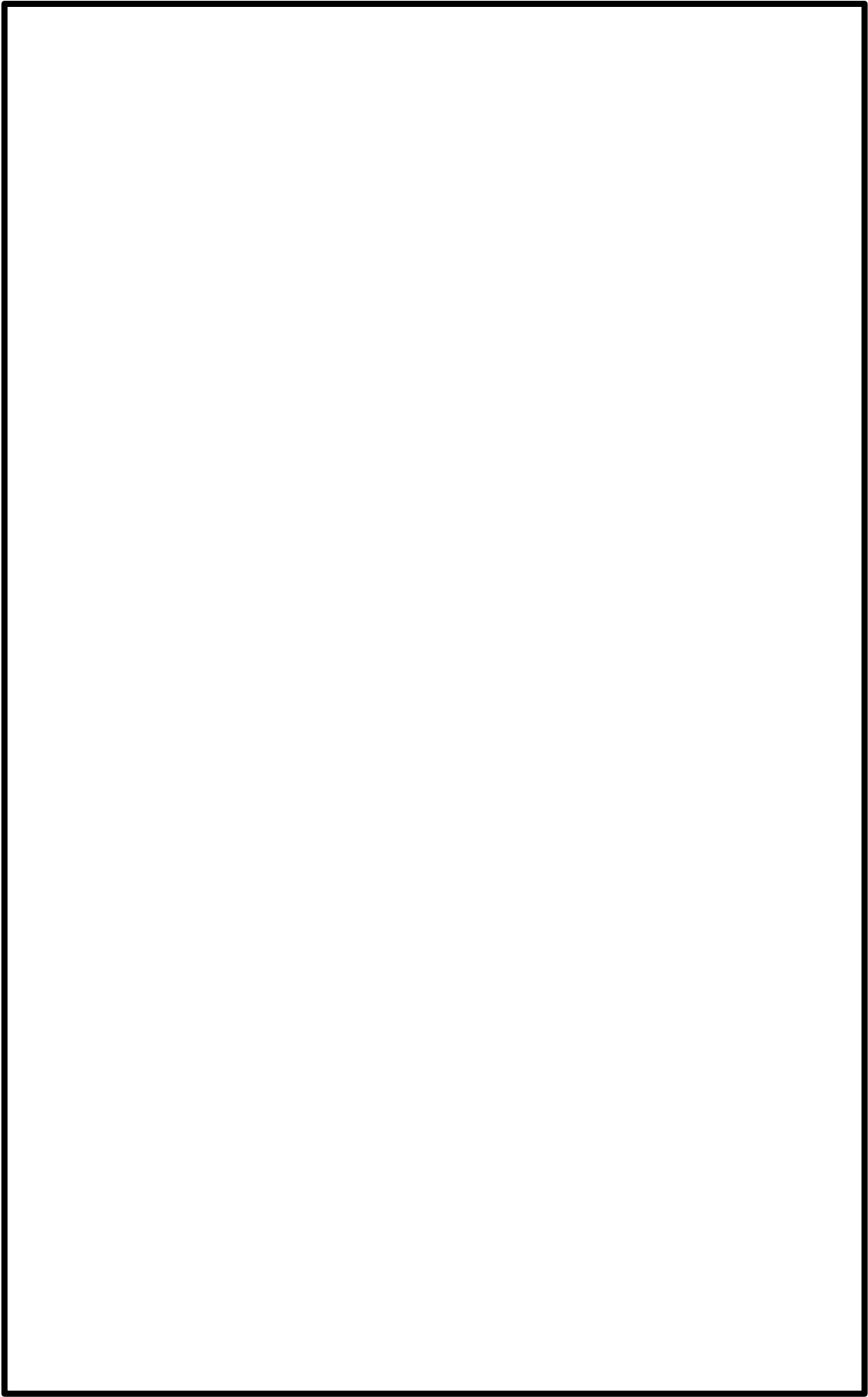
第 6-3-1 図 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (23/32)



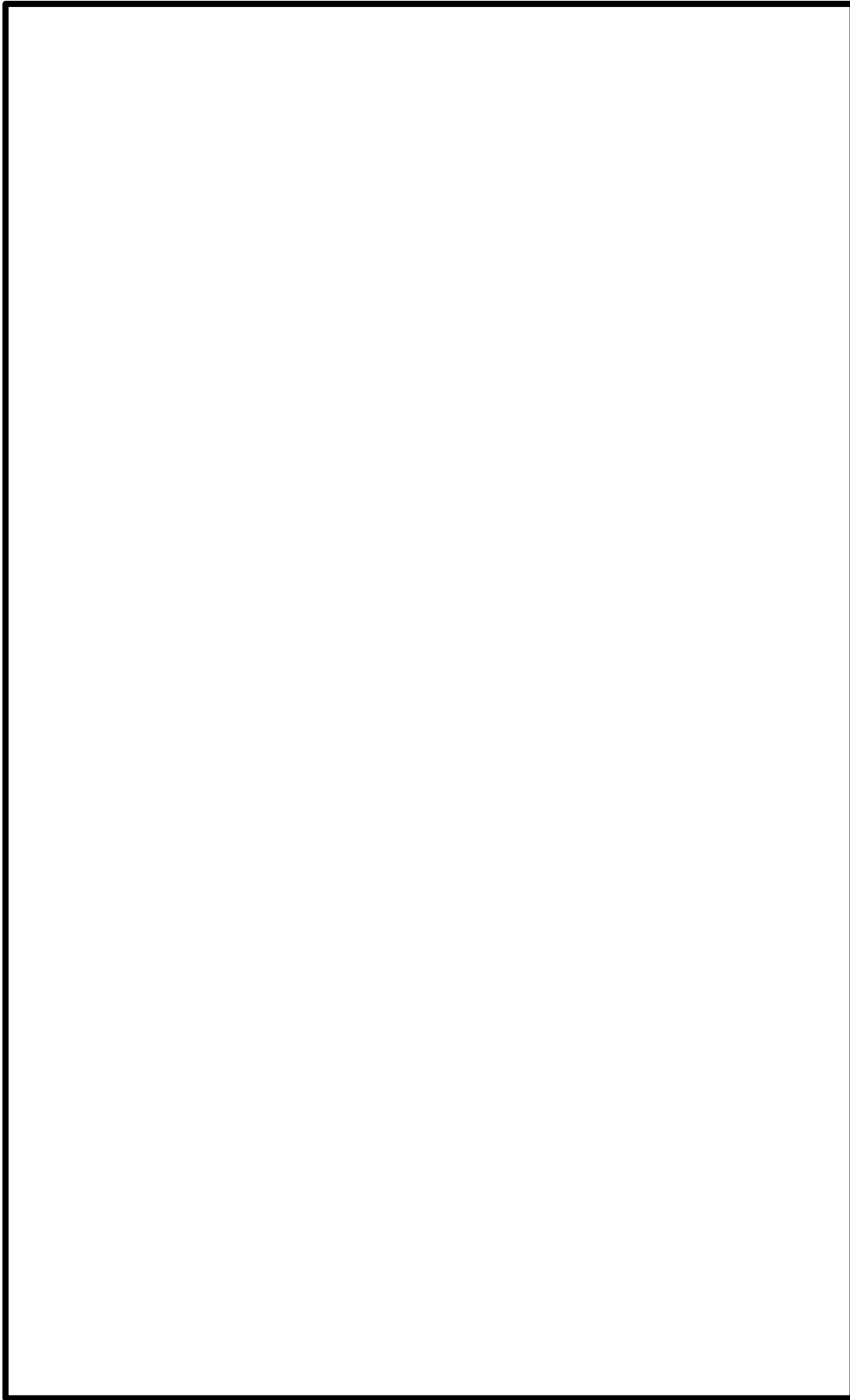
第 6-3-1 図 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (24/32)



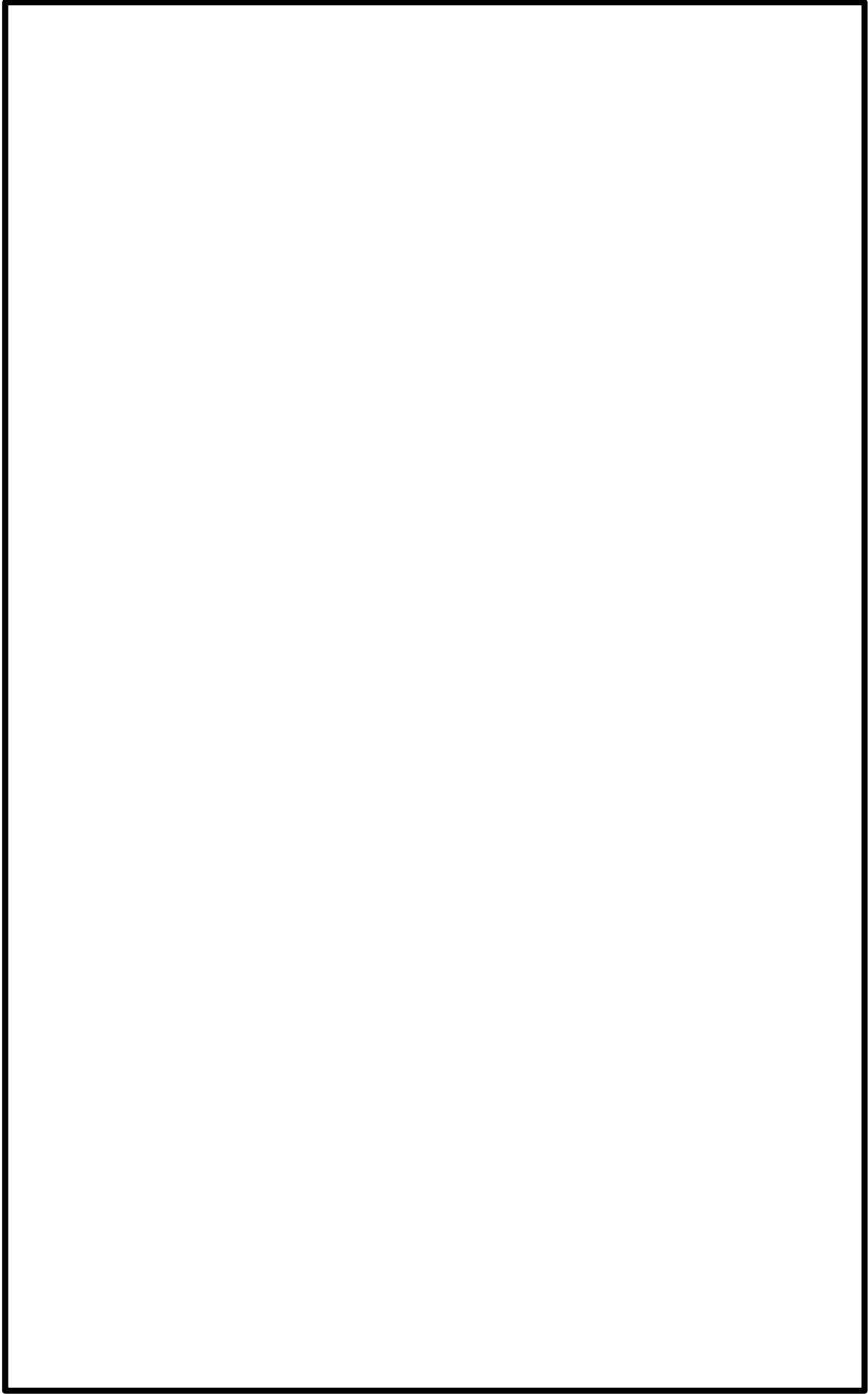
第 6-3-1 図 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (25/32)



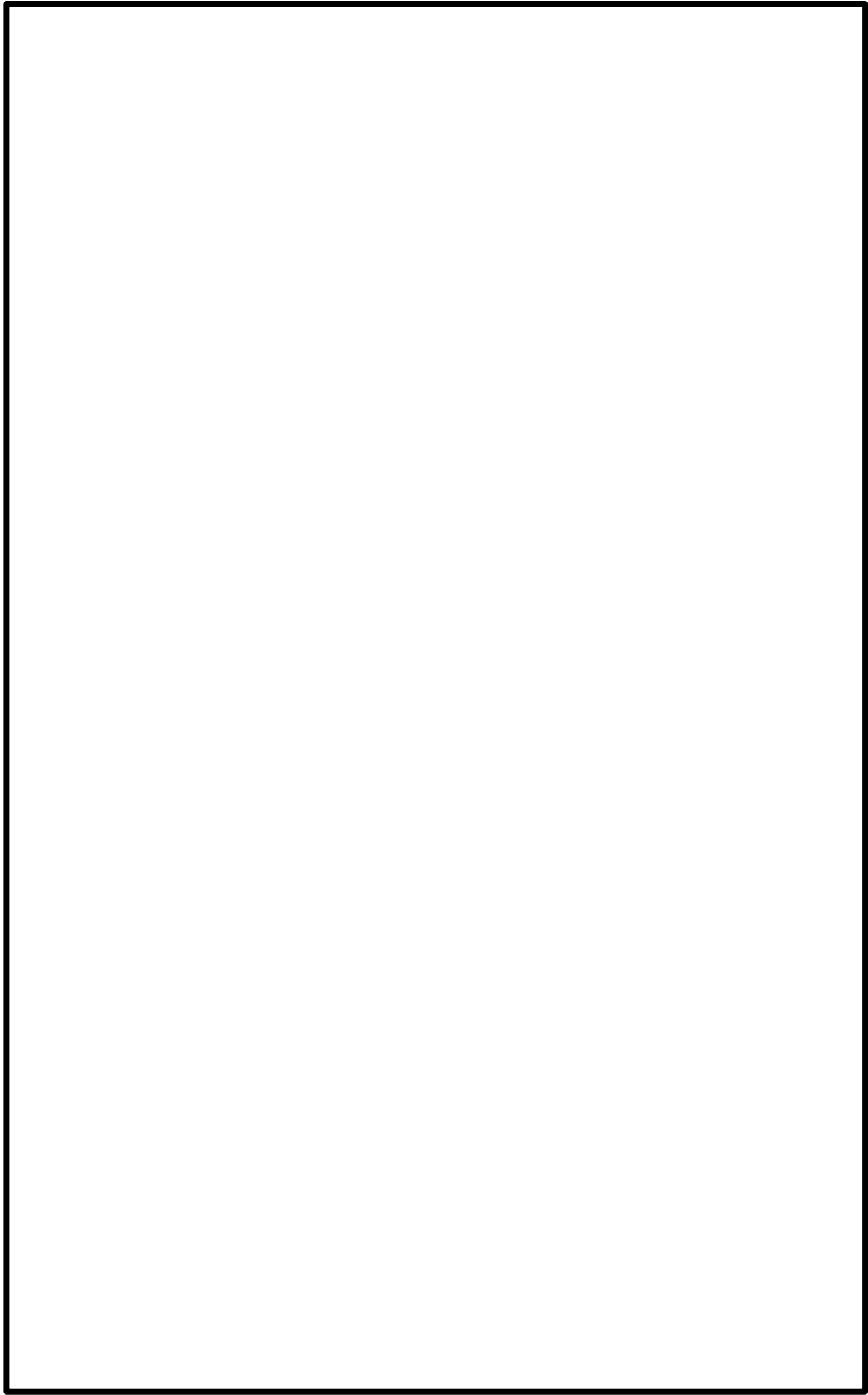
第 6-3-1 図 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (26/32)



第 6-3-1 図 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (27/32)

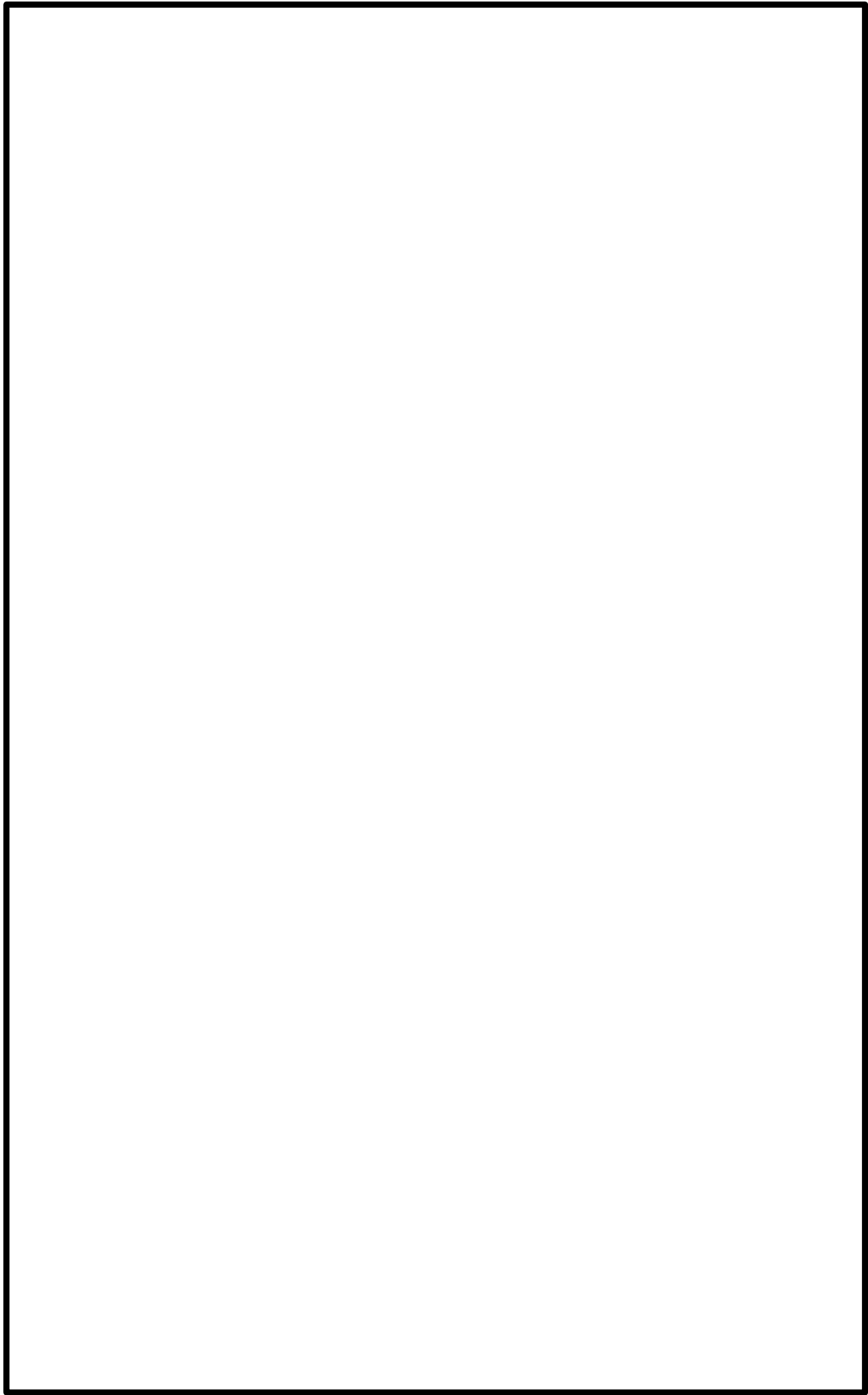


第 6-3-1 図 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (28/32)

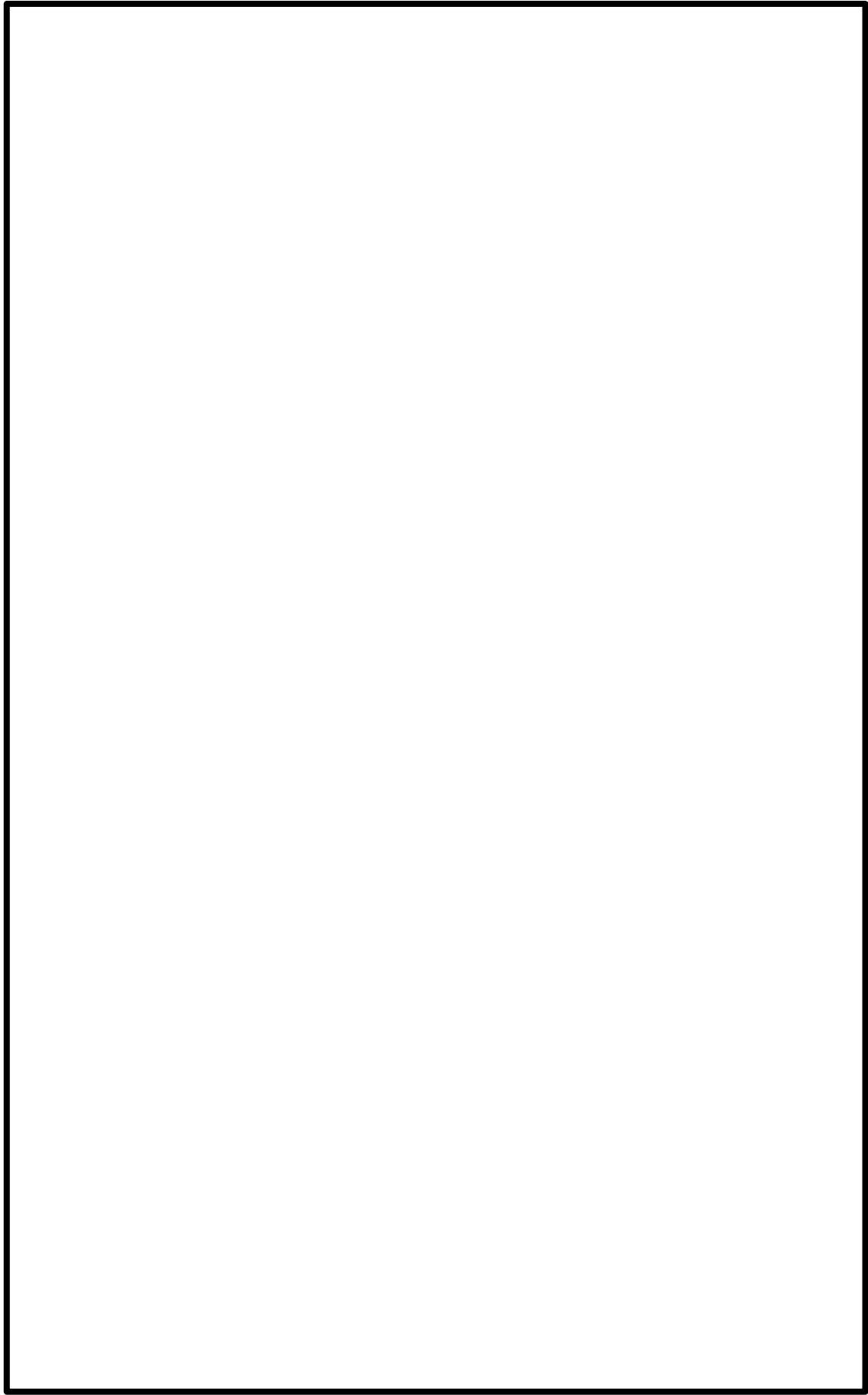


第 6-3-3-1 図 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (29/32)

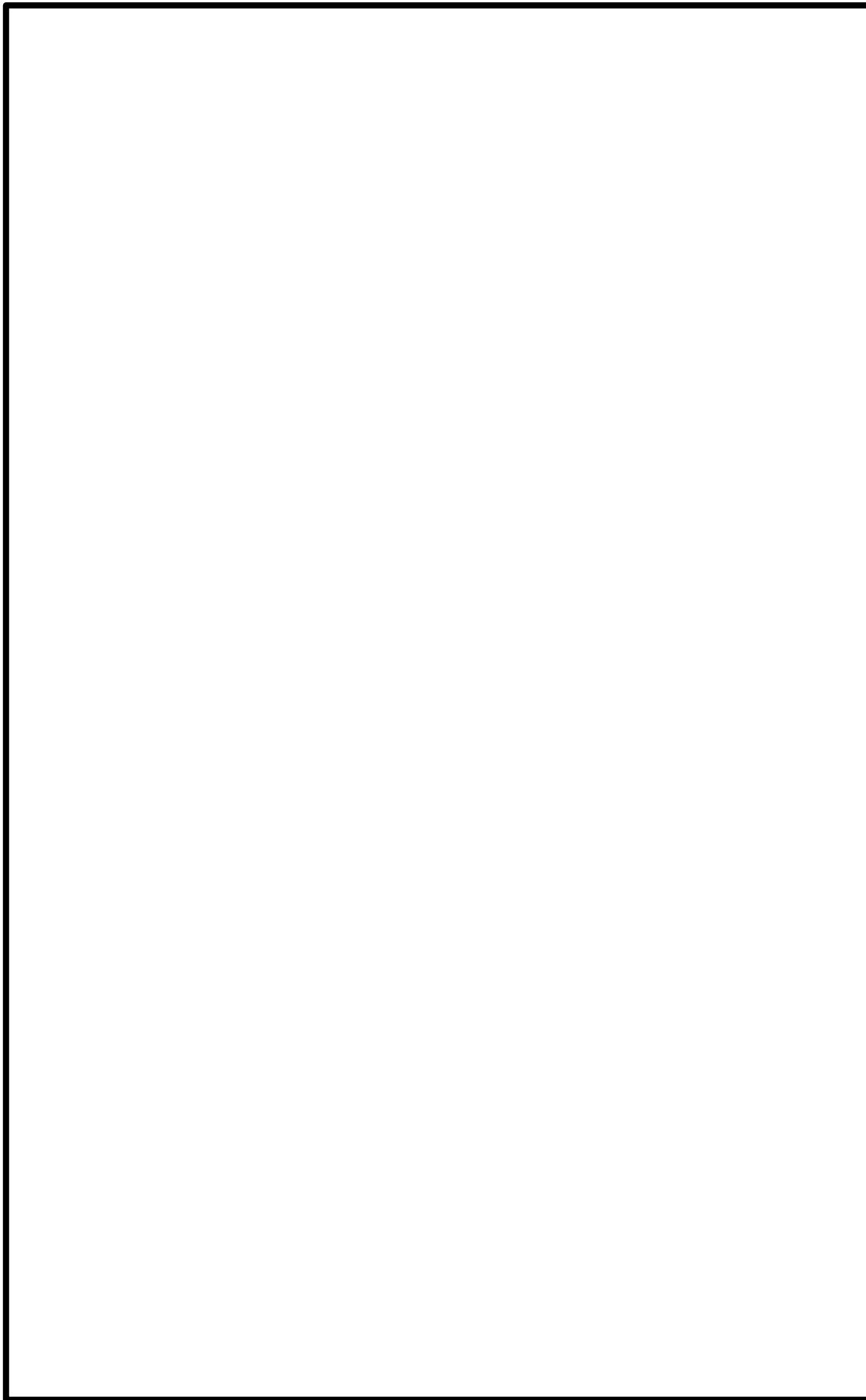
第 6-3-1 図 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (30/32)



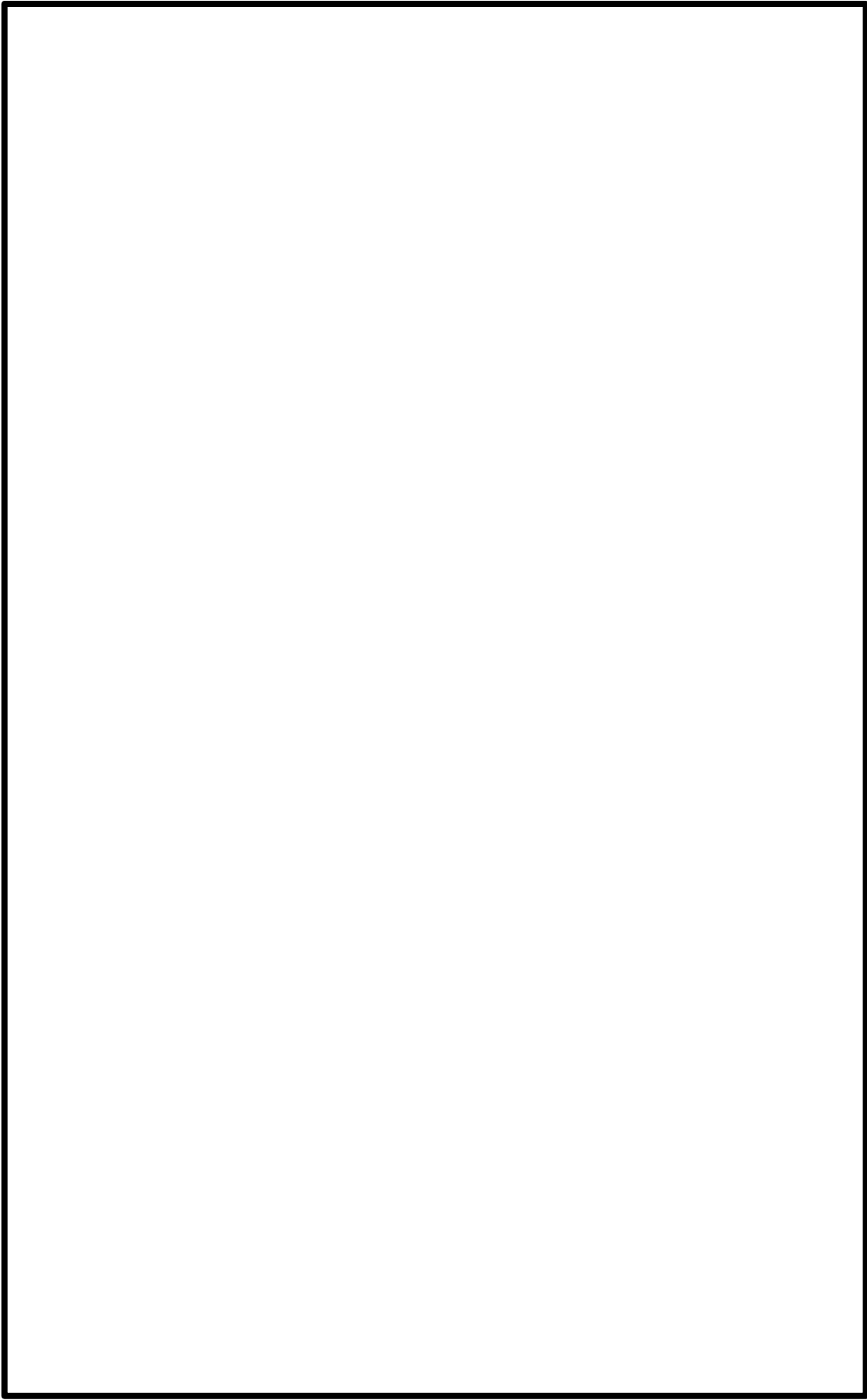
第 6-3-1 図 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (31/32)



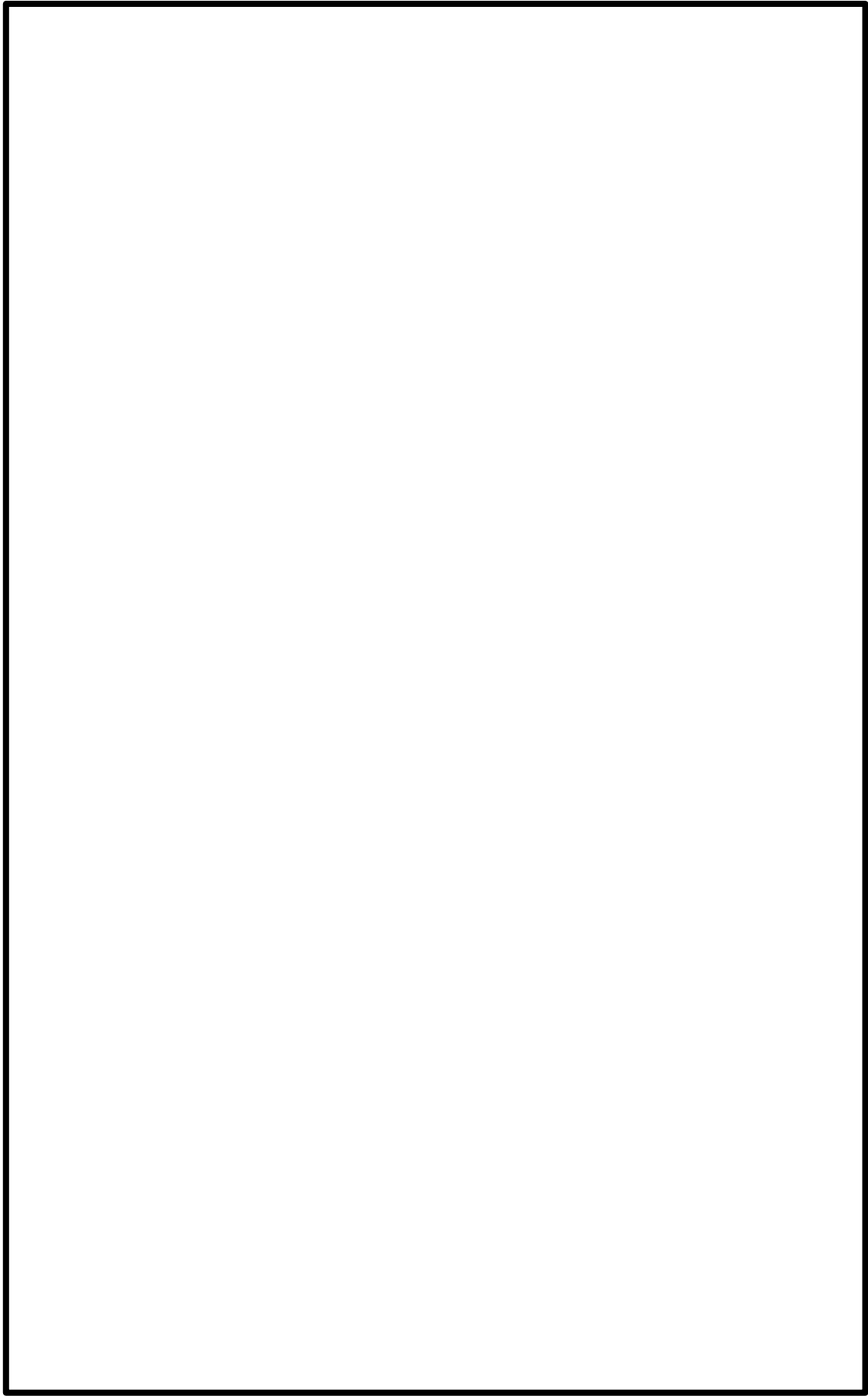
第 6-3-1 図 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (32/32)



第 6-3-2 図 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (1/32)



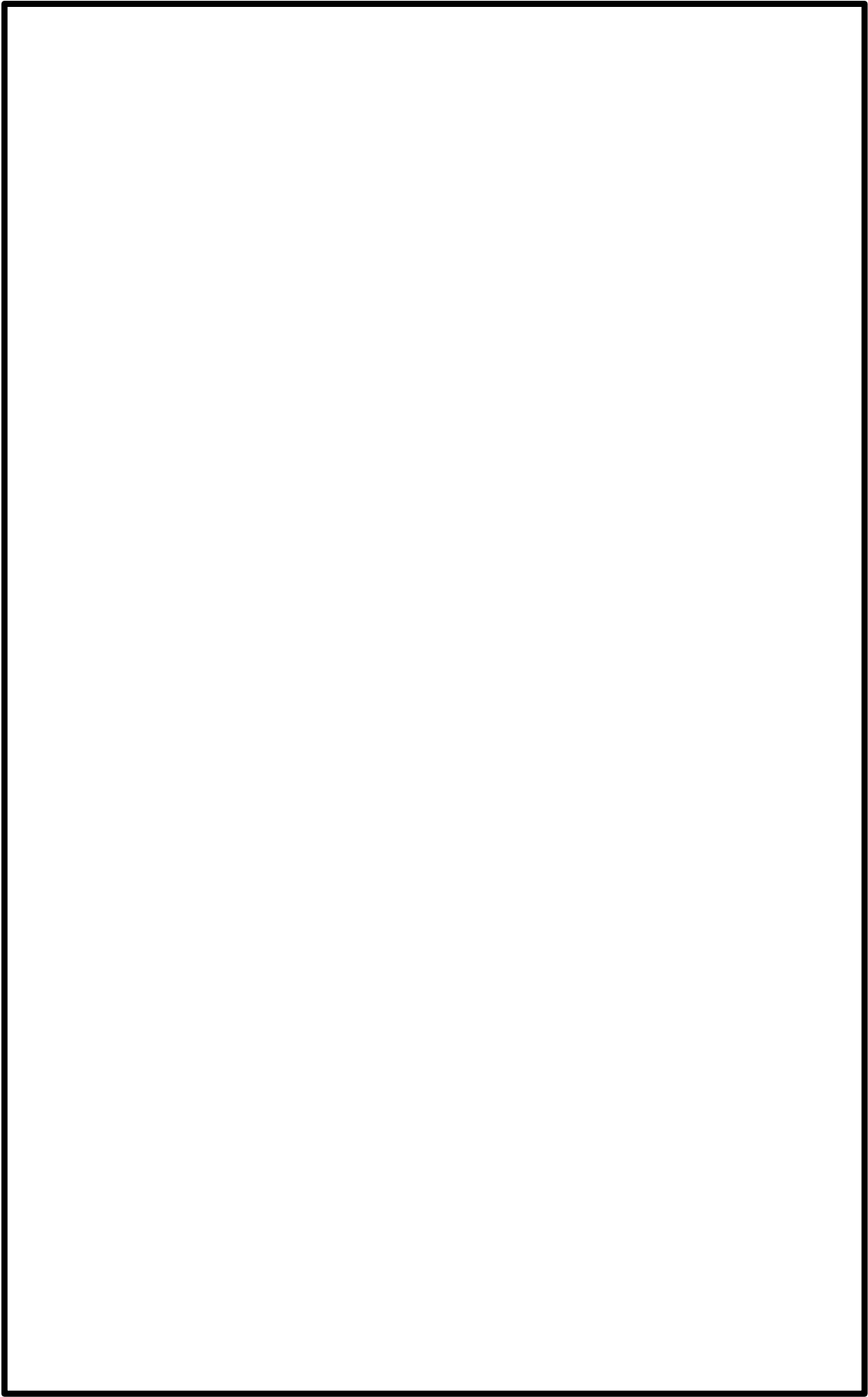
第 6-3-2 図 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (2/32)



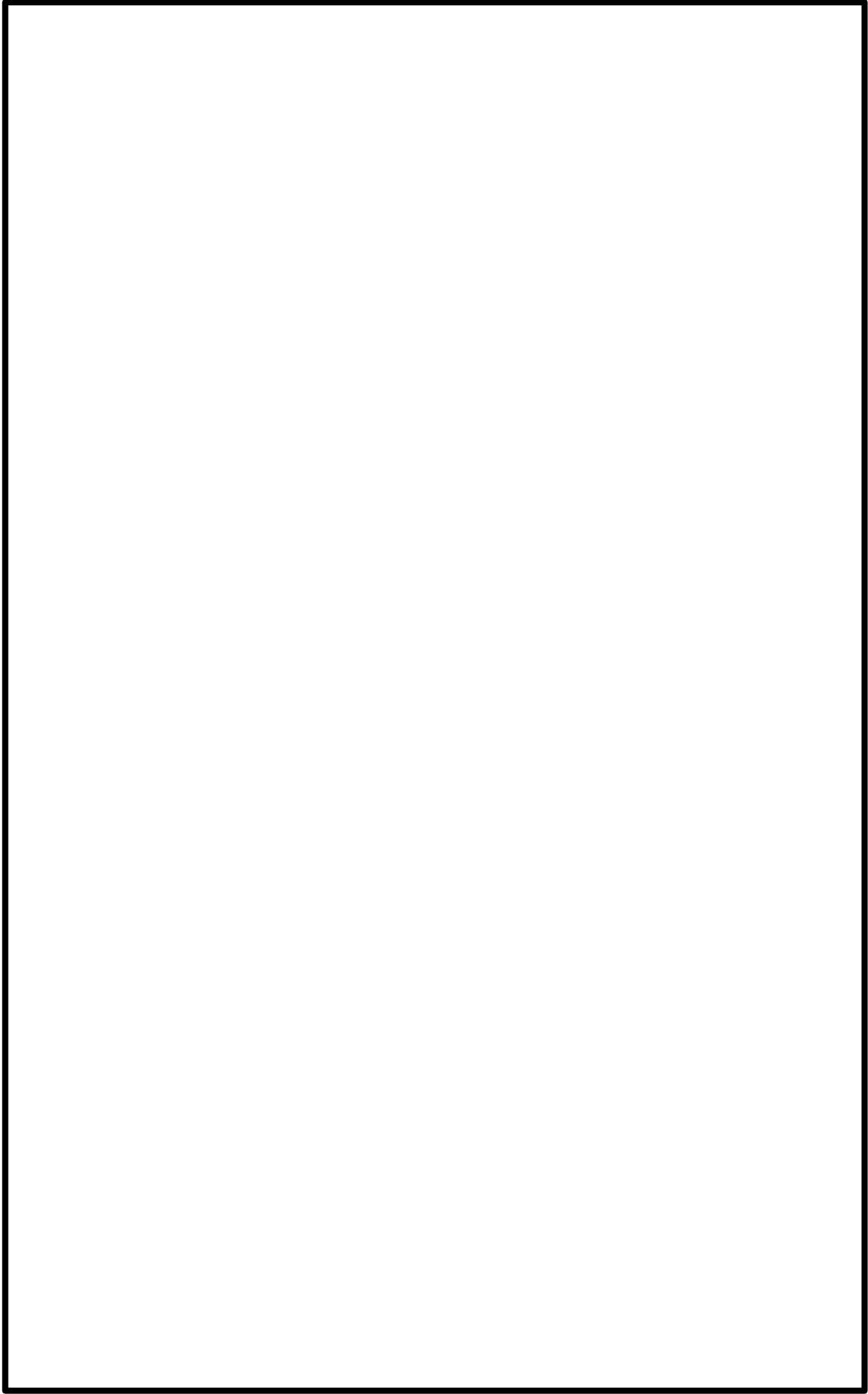
第 6-3-2 図 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (3/32)



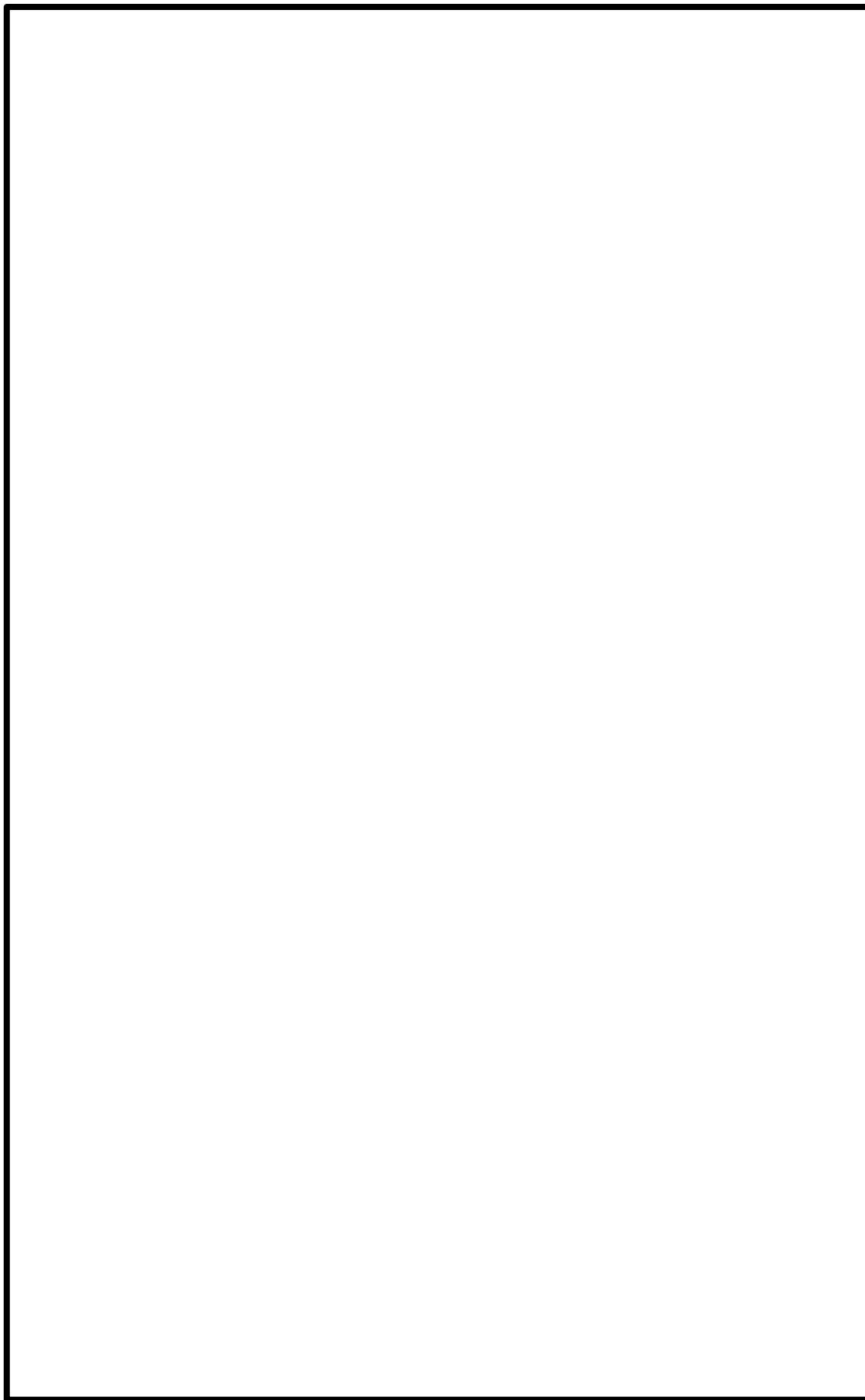
第 6-3-2 図 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (4/32)



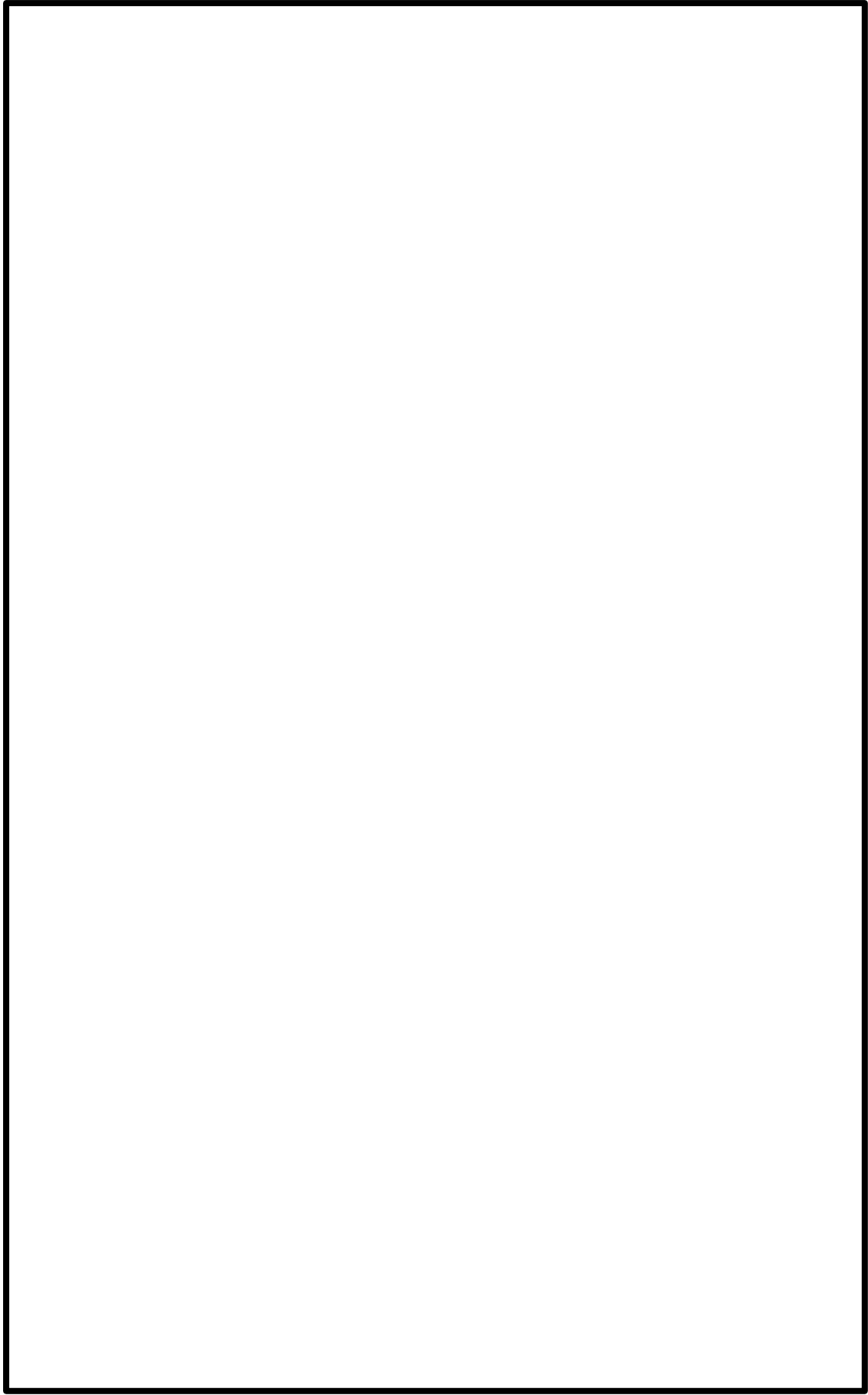
第 6-3-2 図 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (5/32)



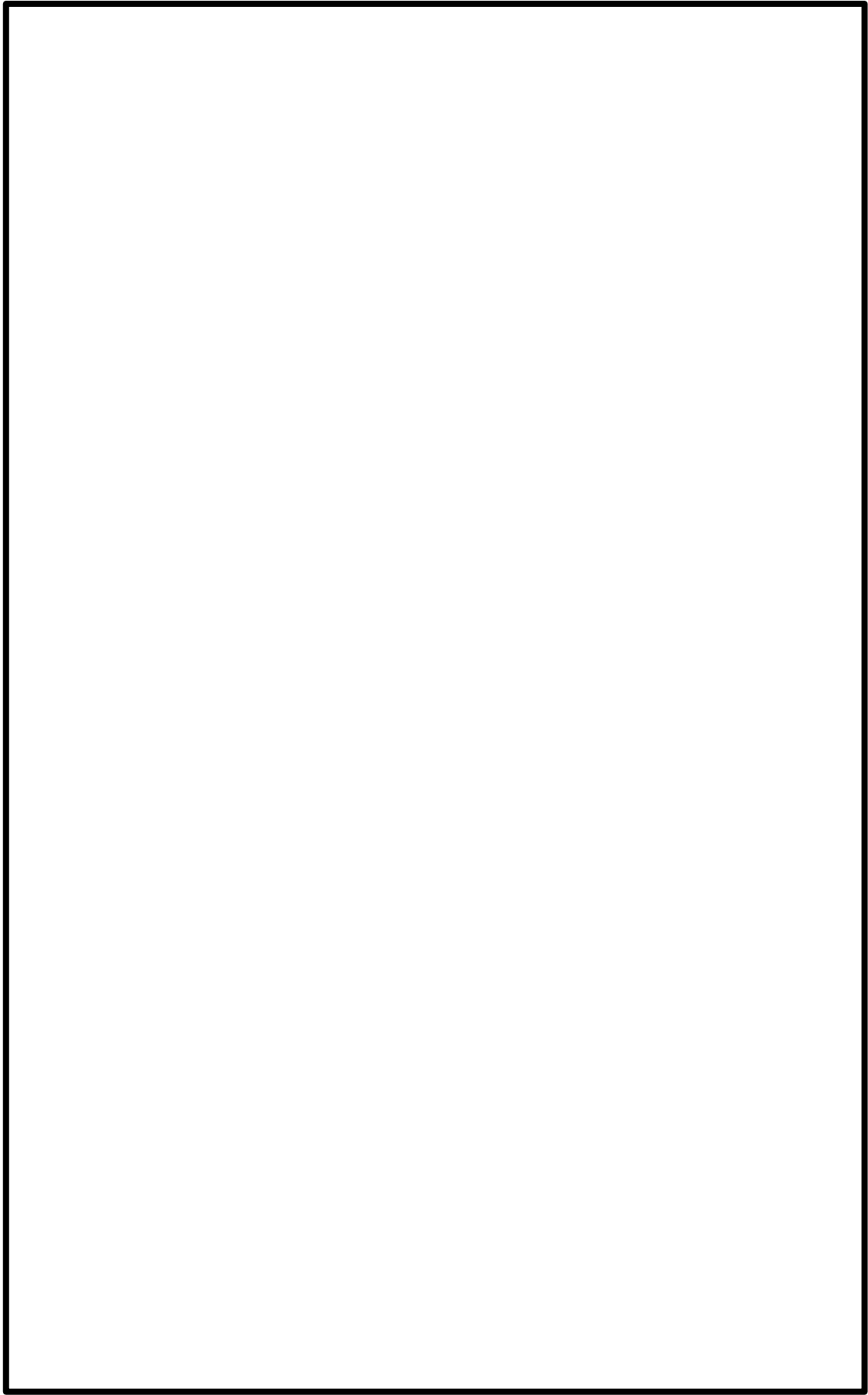
第 6-3-2 図 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (6/32)



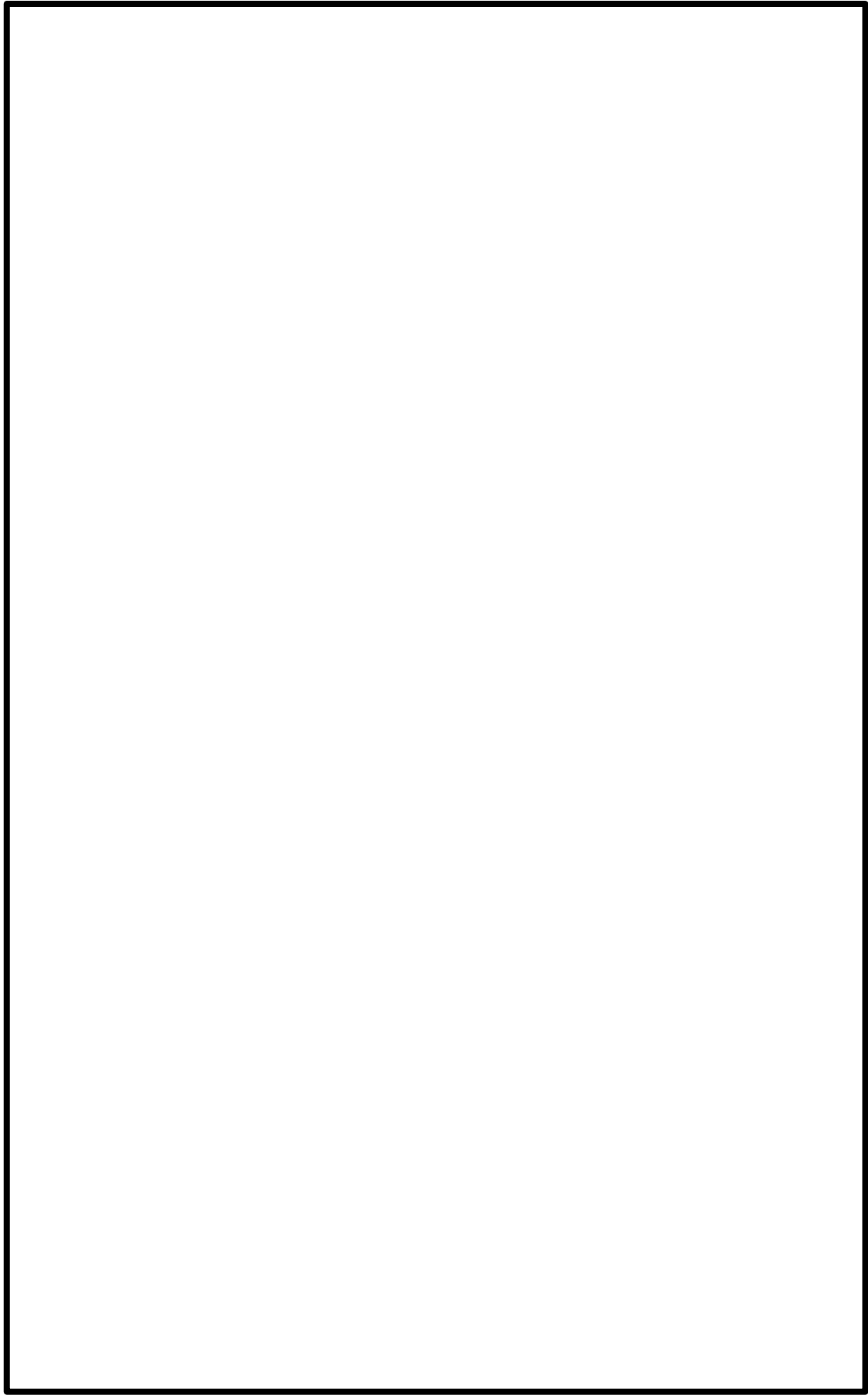
第 6-3-2 図 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (7/32)



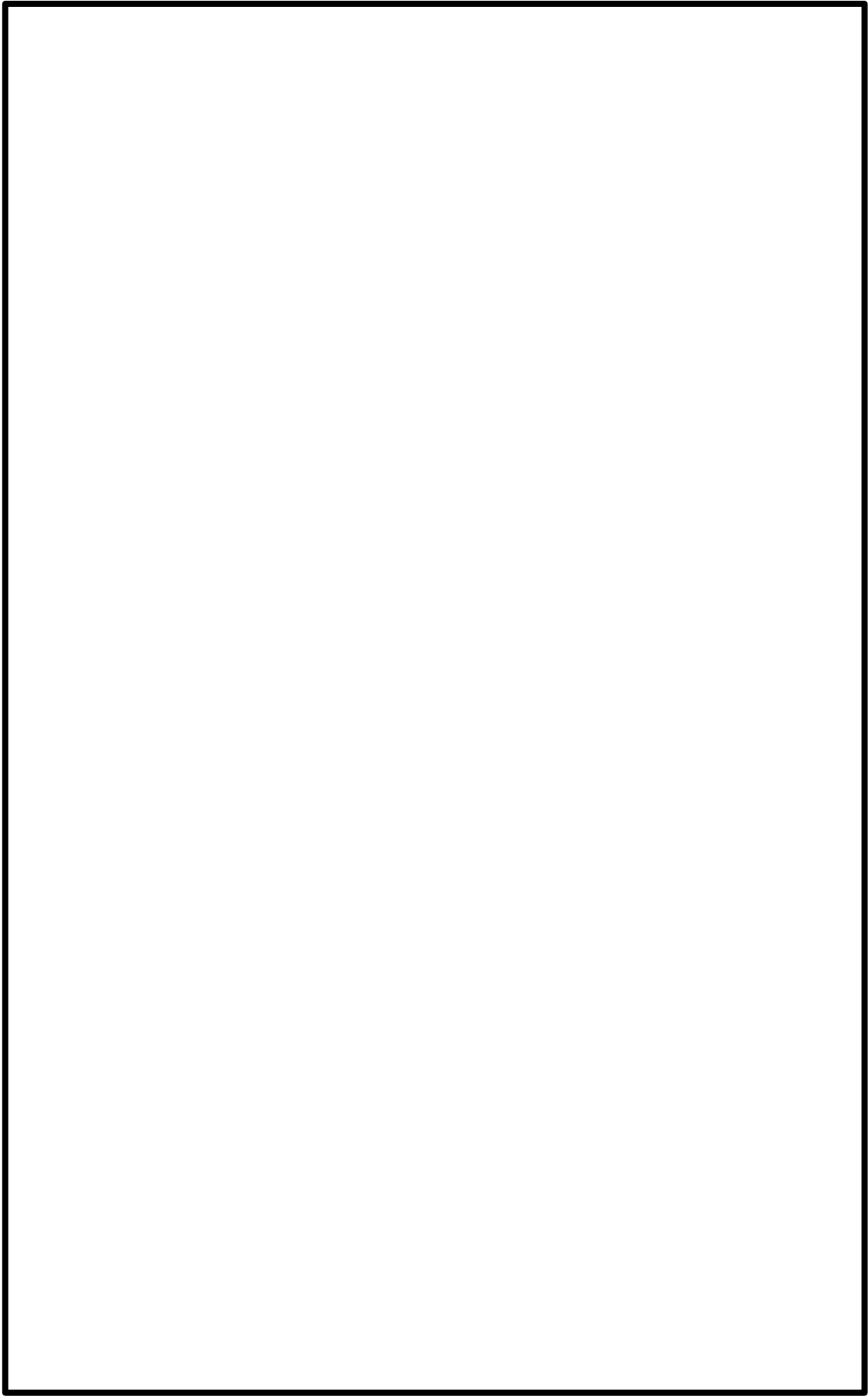
第 6-3-2 図 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (8/32)



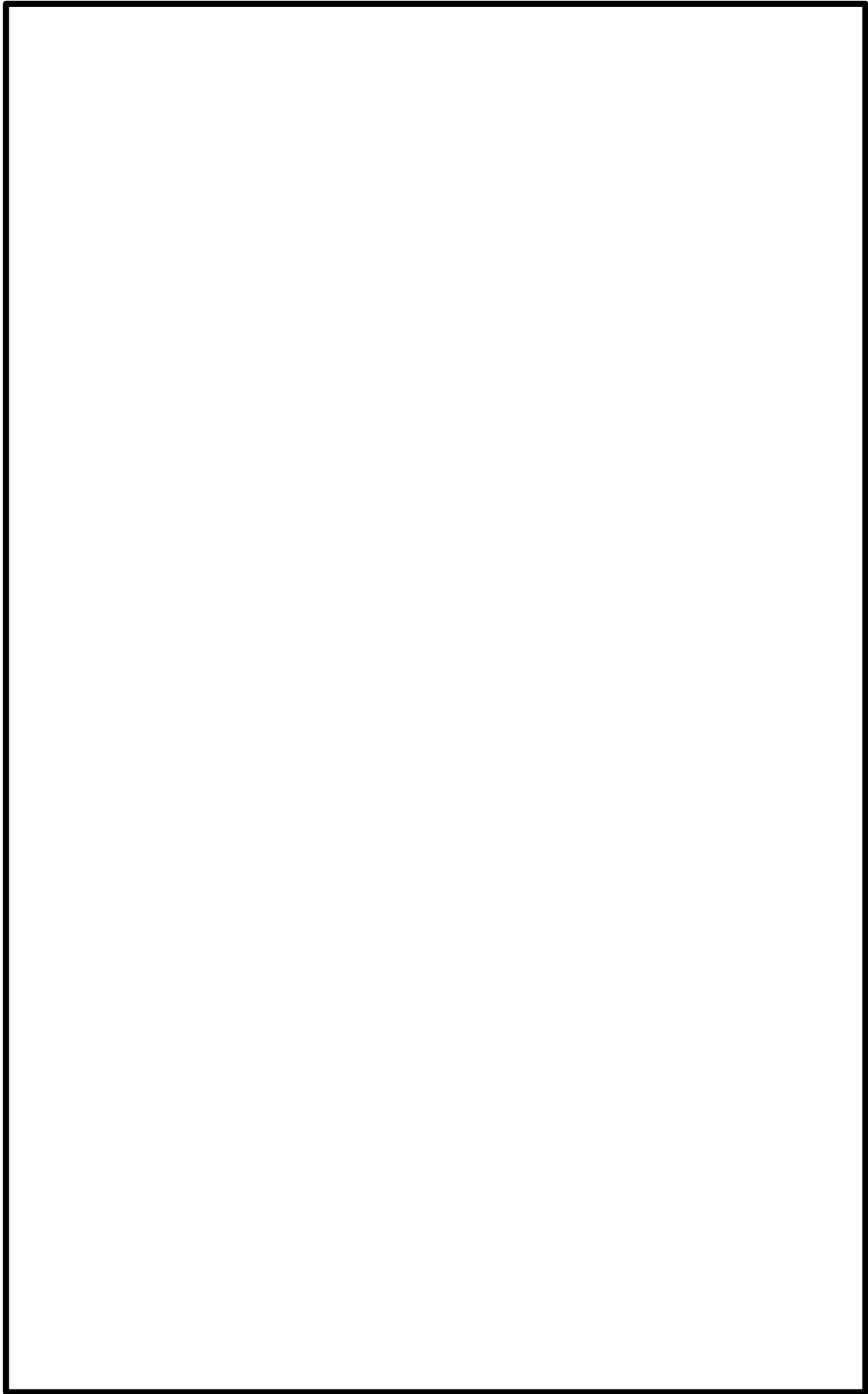
第 6-3-2 図 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (9/32)



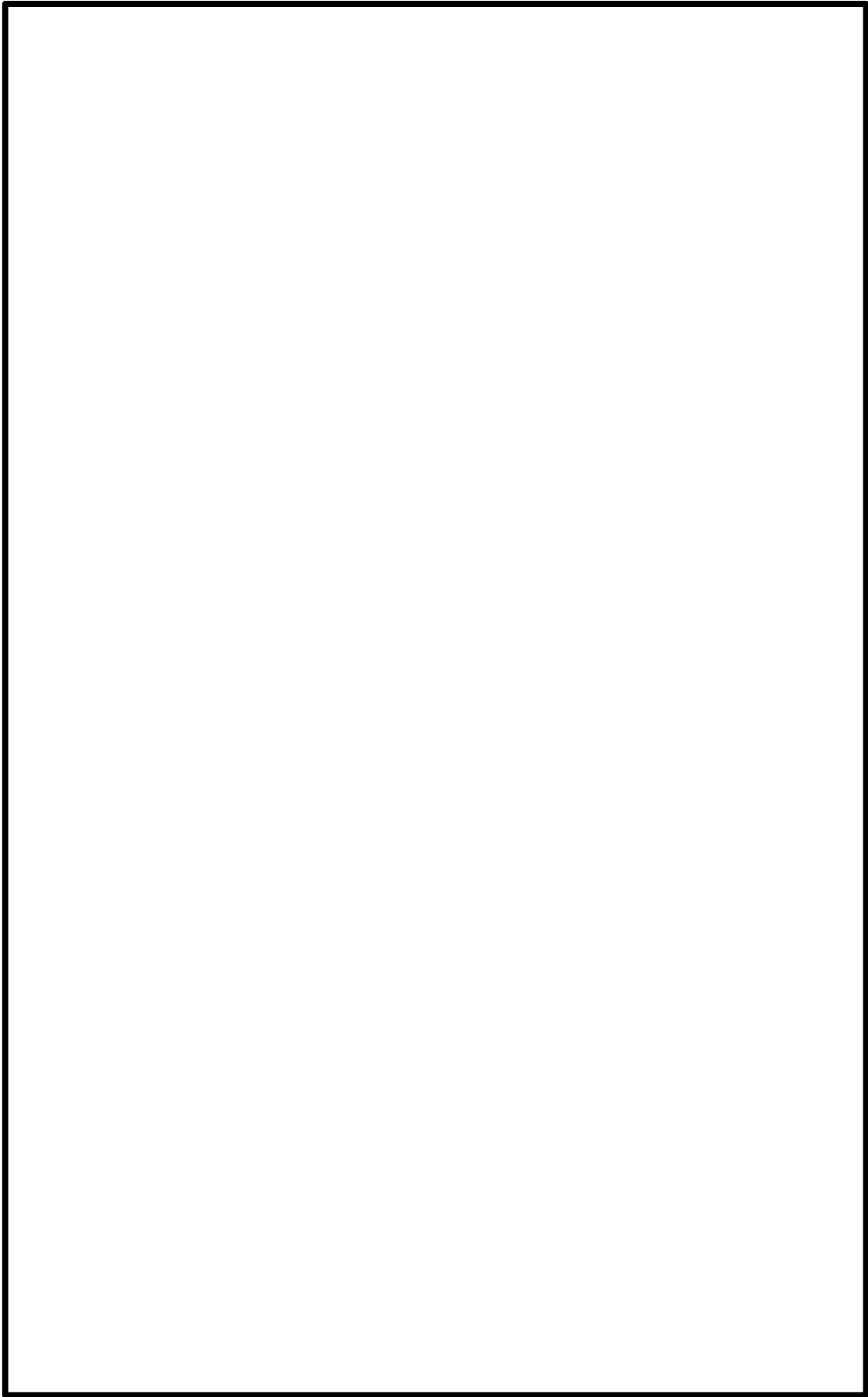
第 6-3-2 図 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (10/32)



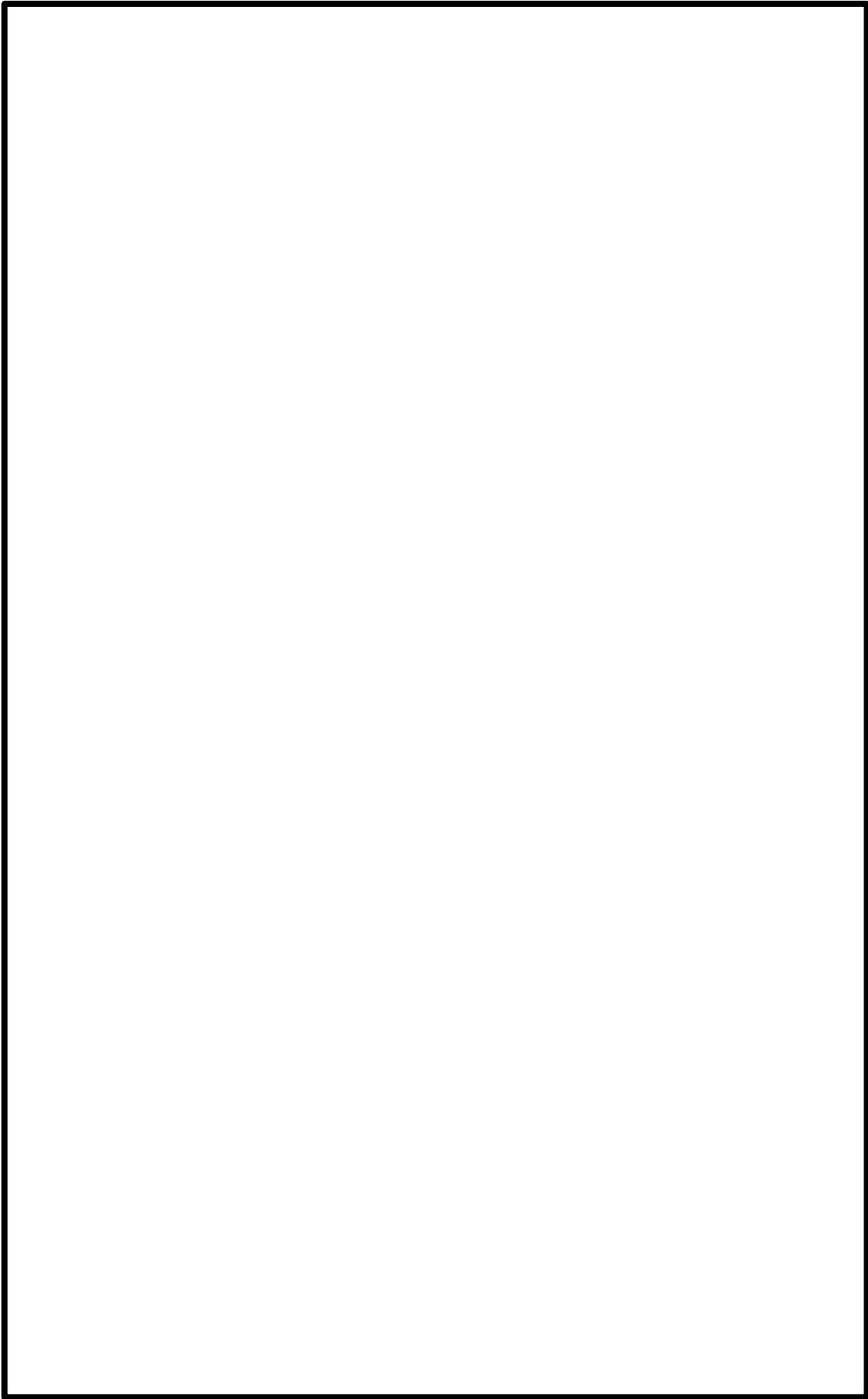
第 6-3-2 図 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (11/32)



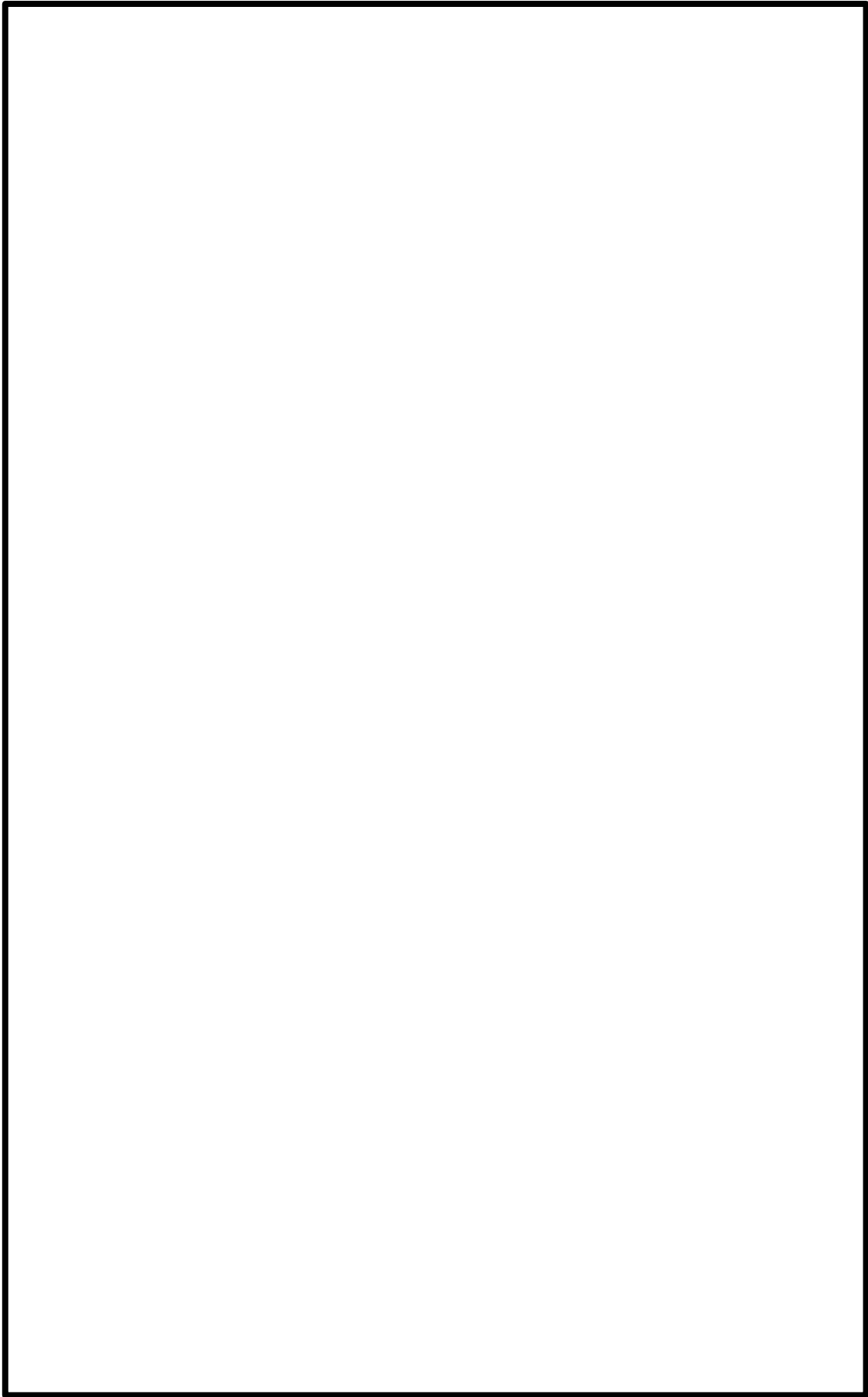
第 6-3-2 図 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (12/32)



第 6-3-2 図 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (13/32)



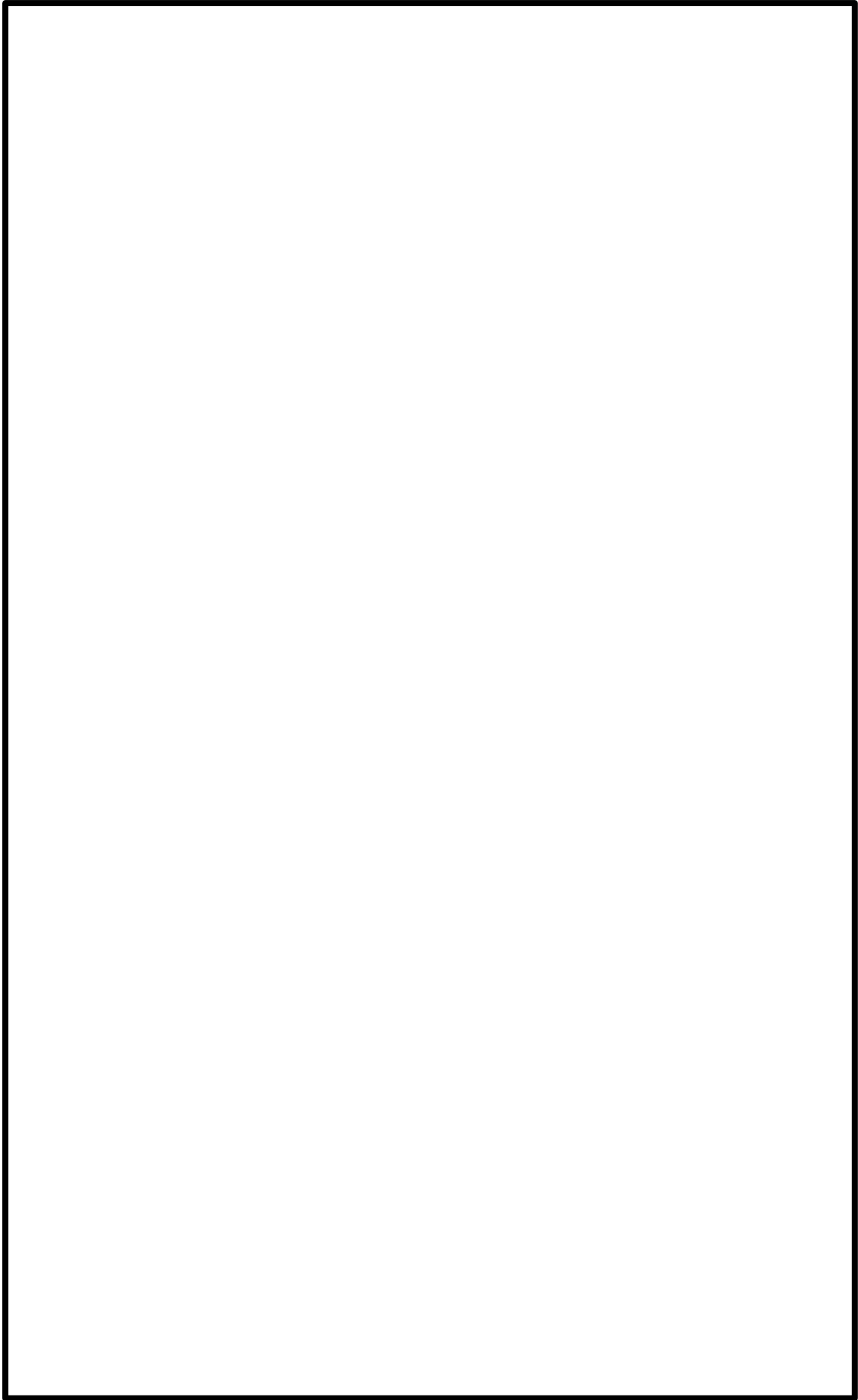
第 6-3-2 図 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (14/32)



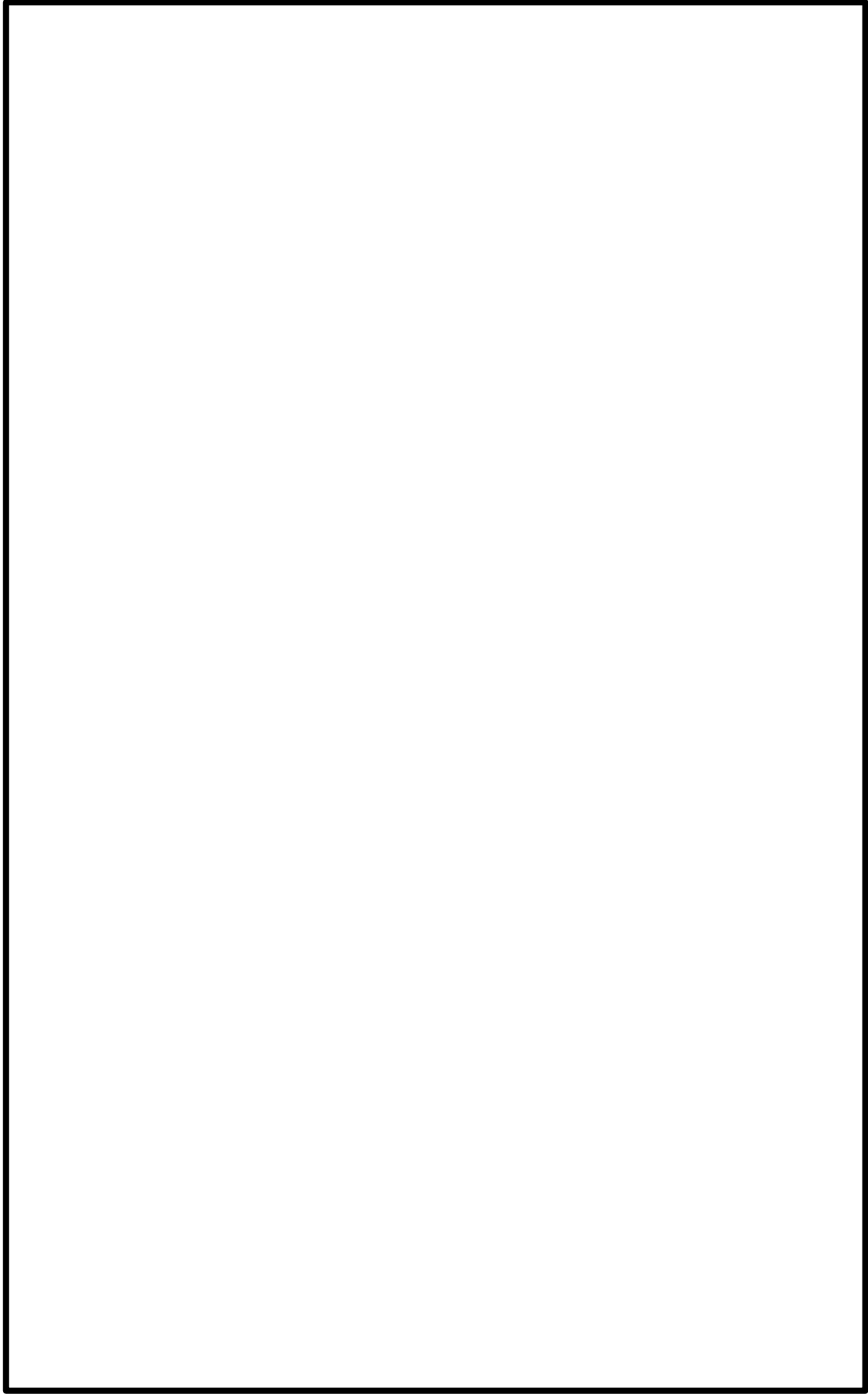
第 6-3-2 図 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (15/32)



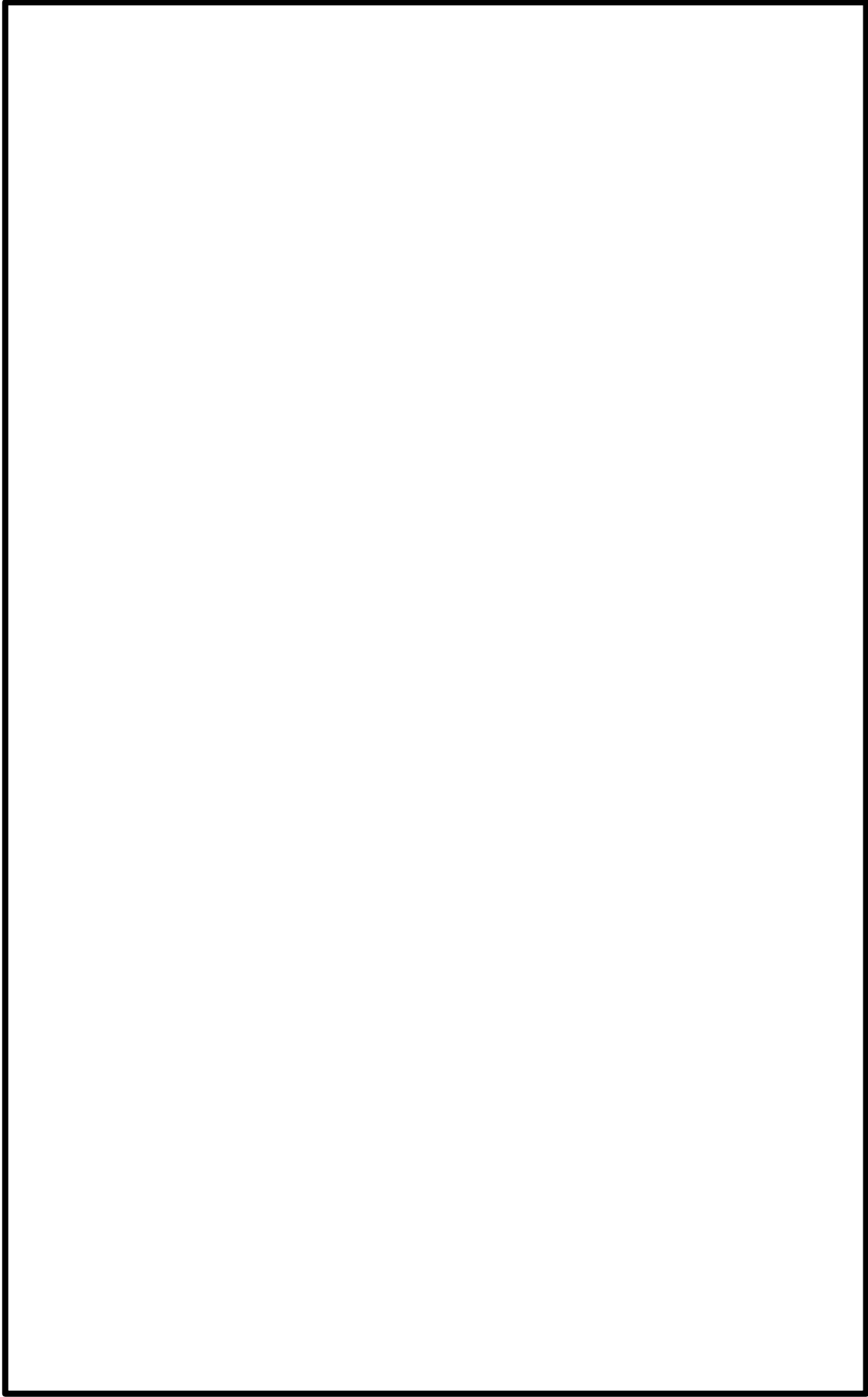
第 6-3-2 図 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (16/32)



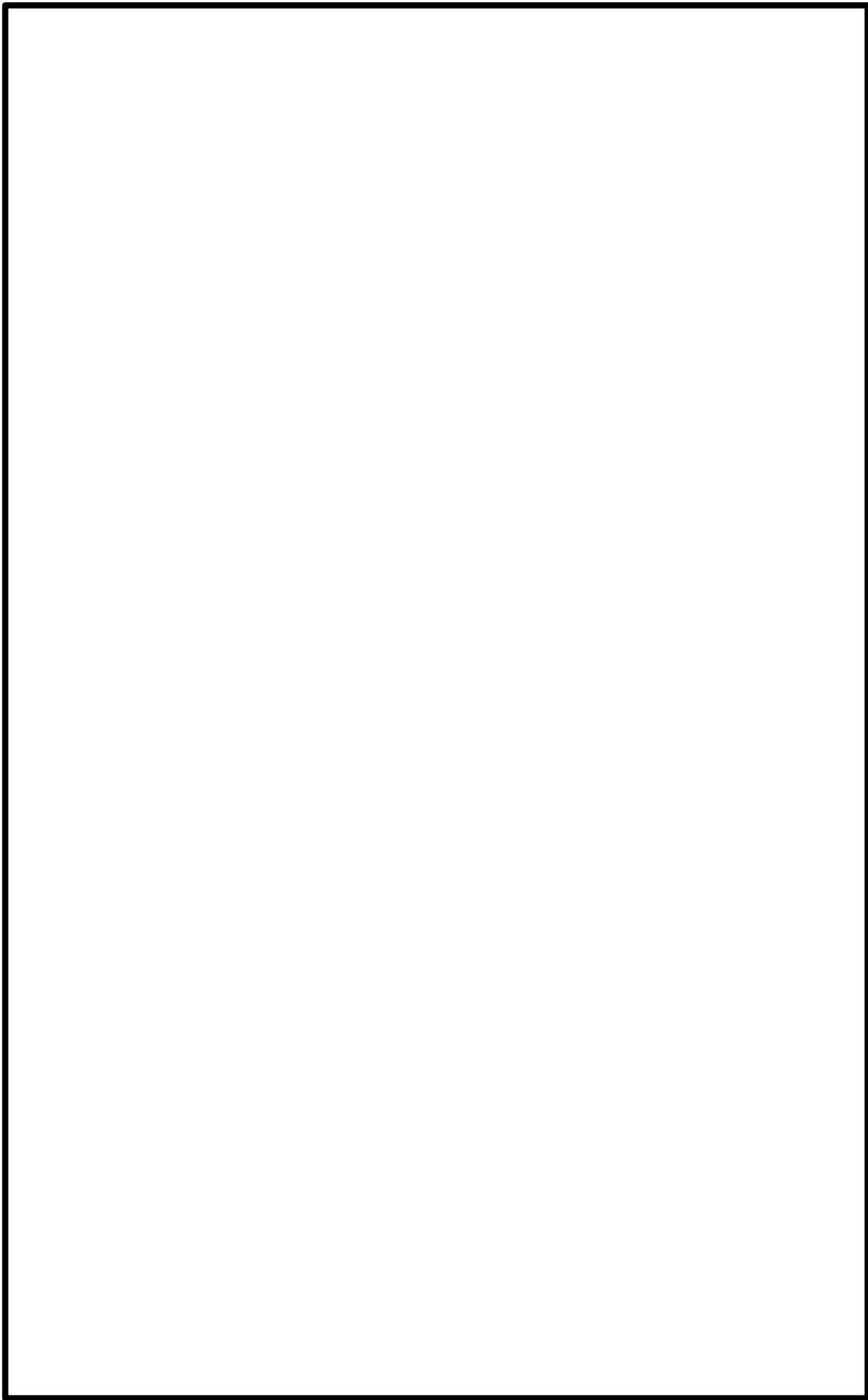
第 6-3-2 図 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (17/32)



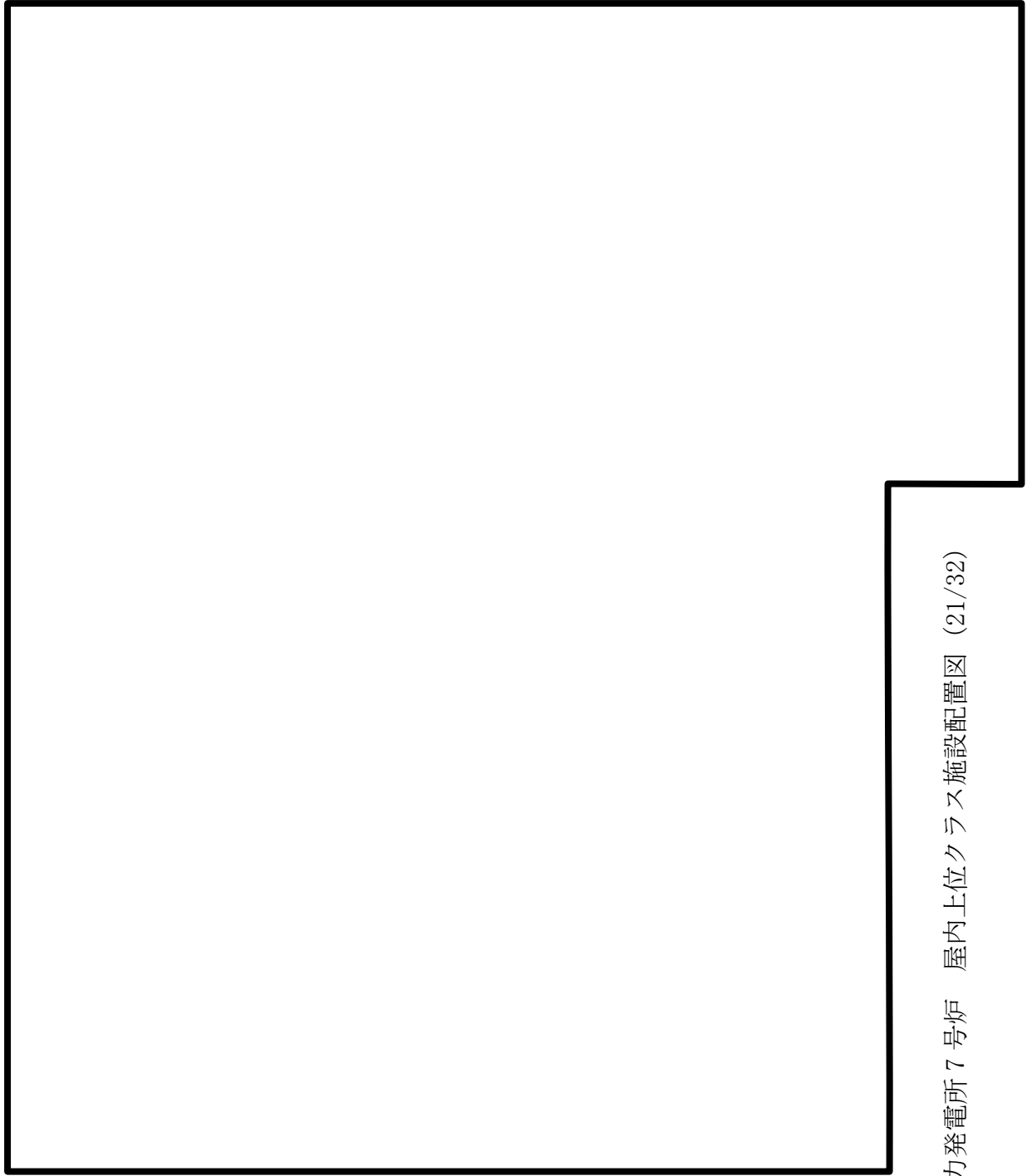
第 6-3-2 図 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (18/32)



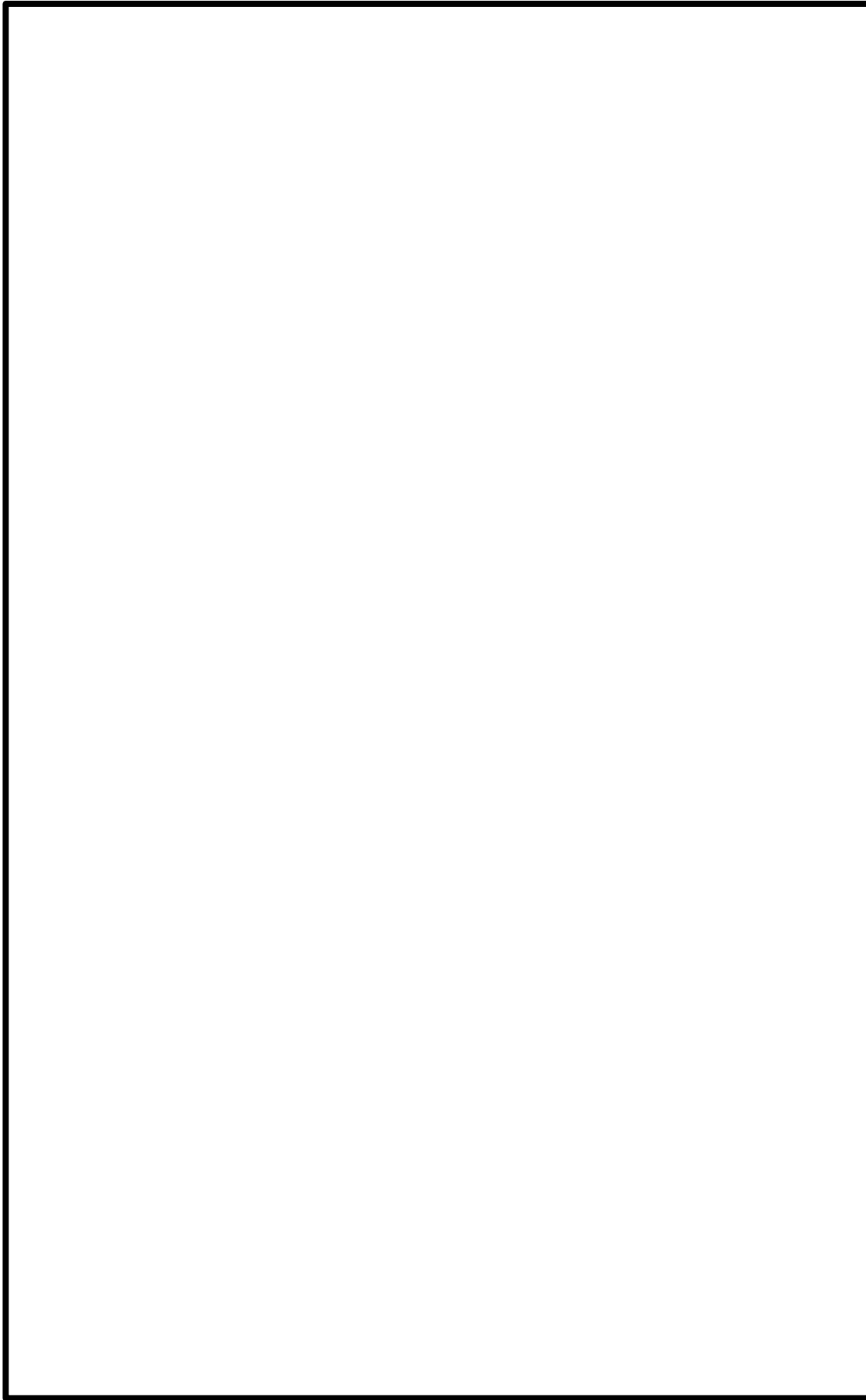
第 6-3-2 図 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (19/32)



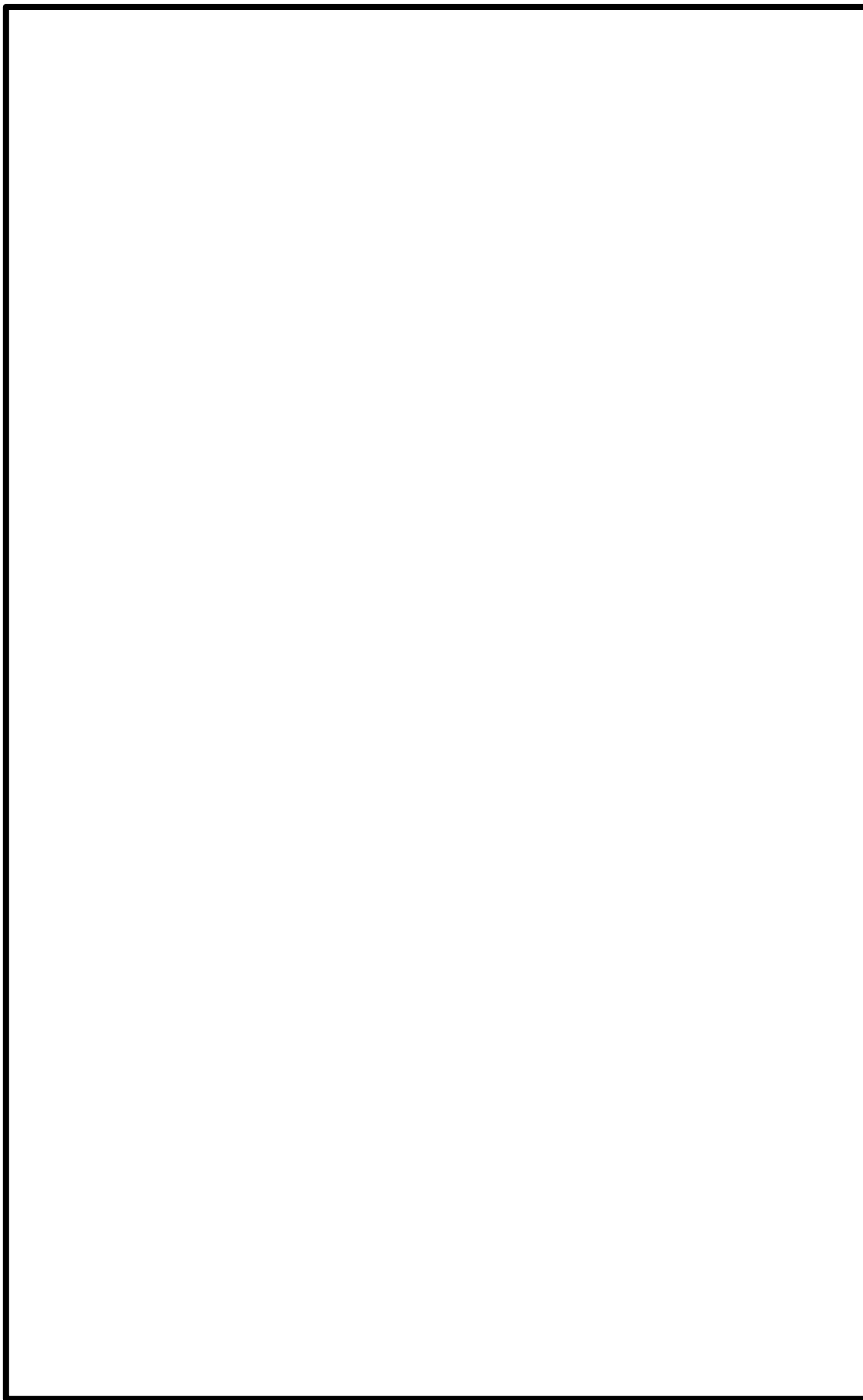
第 6-3-2 図 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (20/32)



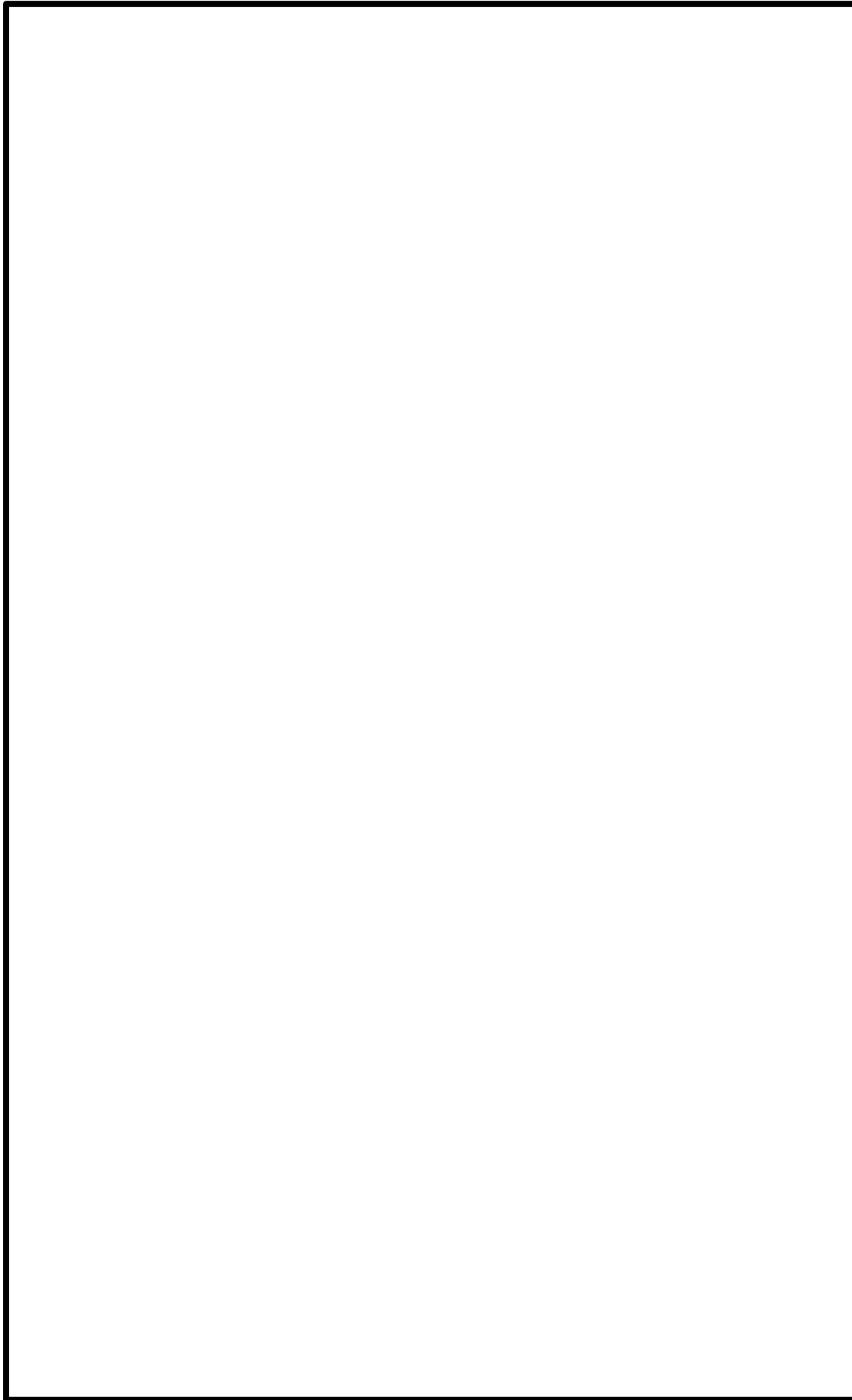
第 6-3-2 図 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (21/32)



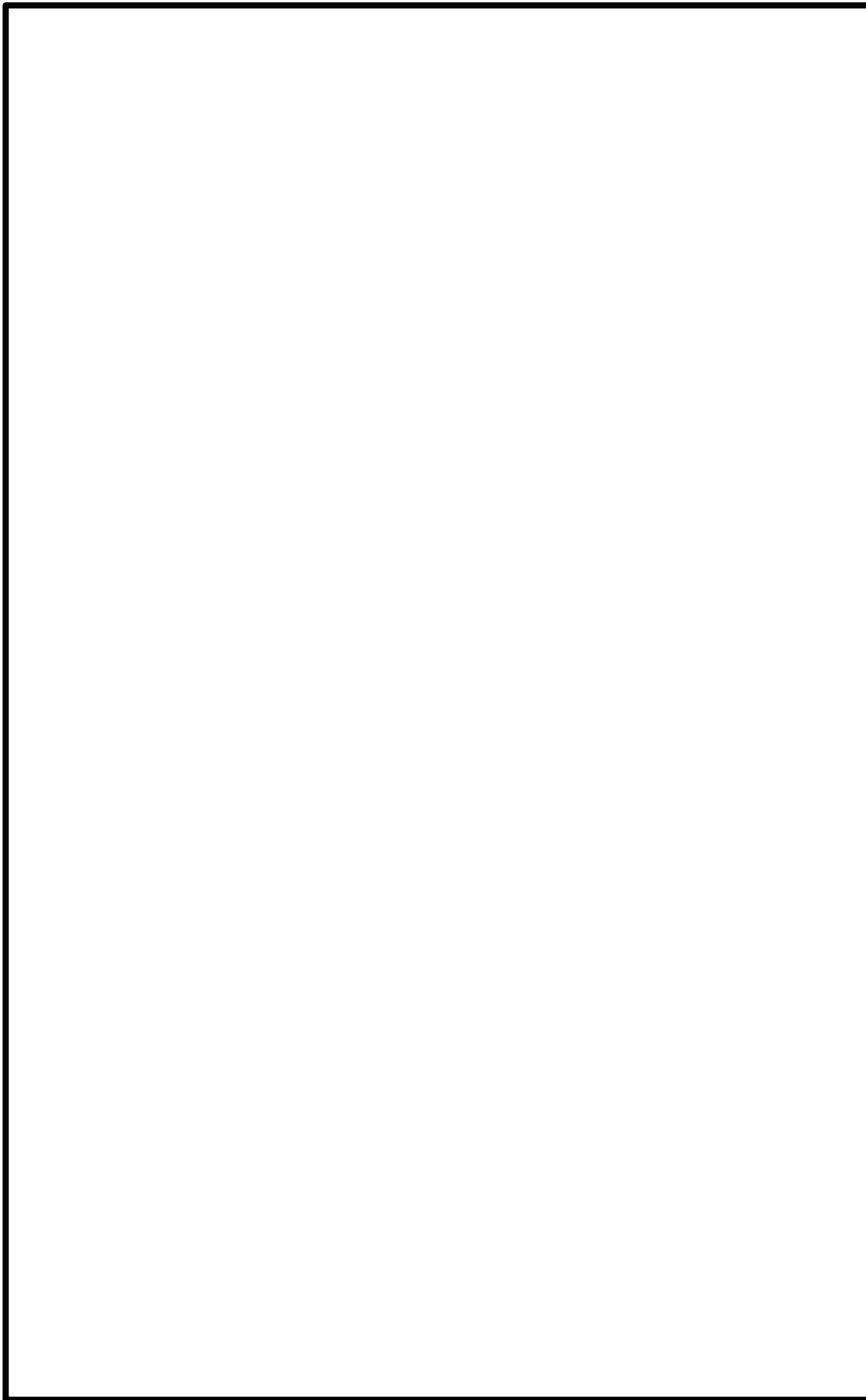
第 6-3-2 図 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (22/32)



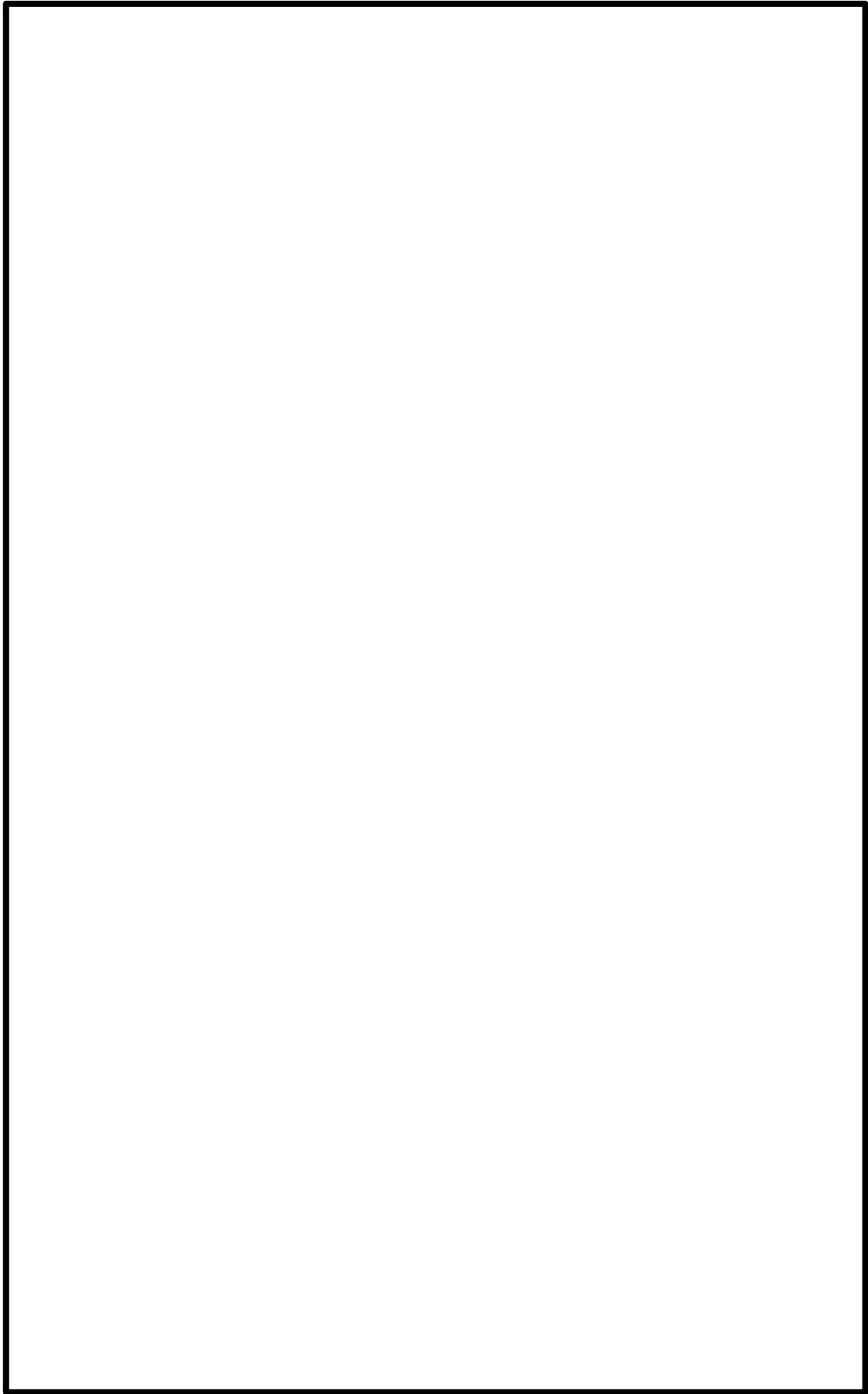
第 6-3-2 図 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (23/32)



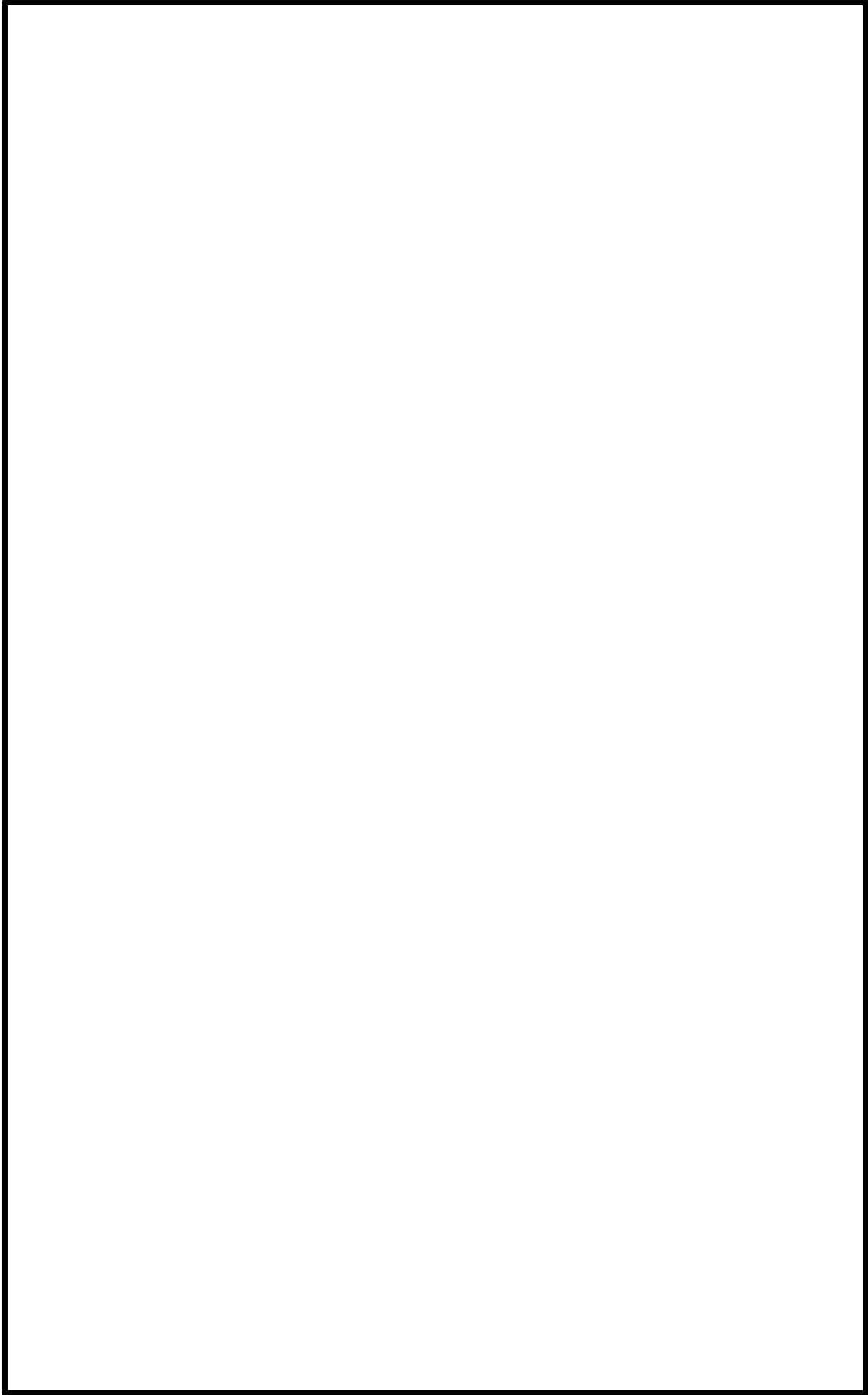
第 6-3-2 図 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (24/32)



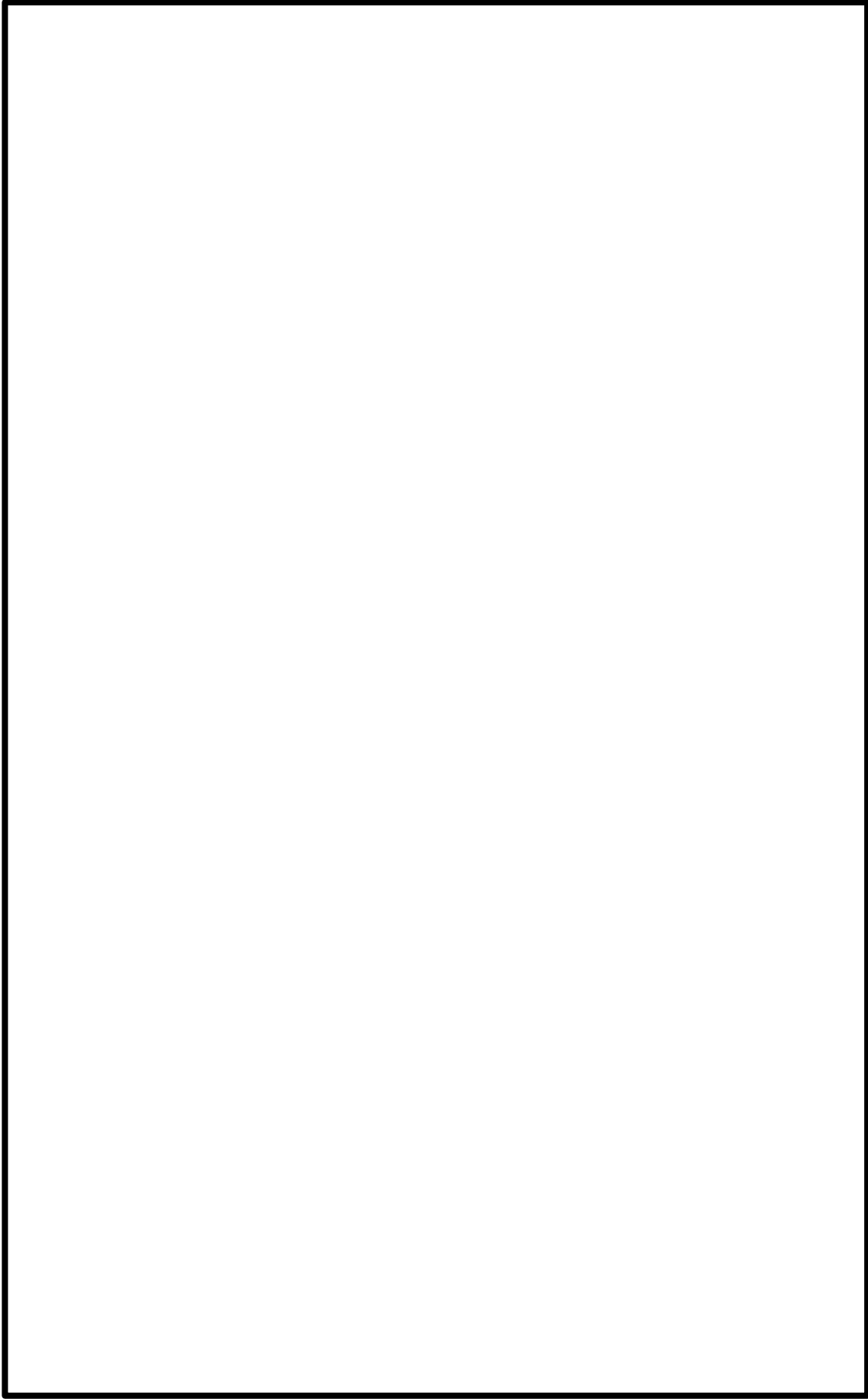
第 6-3-2 図 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (25/32)



第 6-3-2 図 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (26/32)



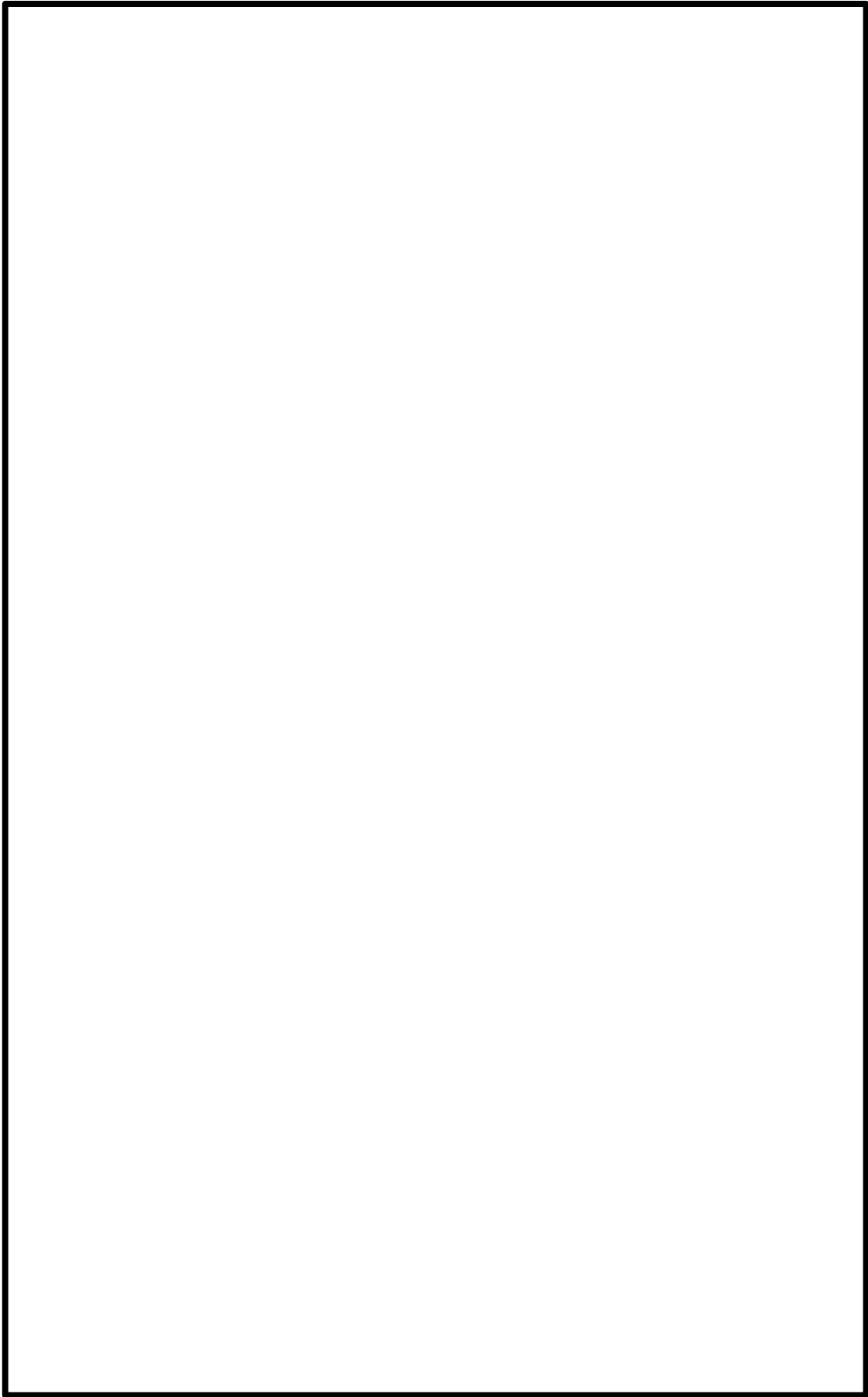
第 6-3-2 図 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (27/32)



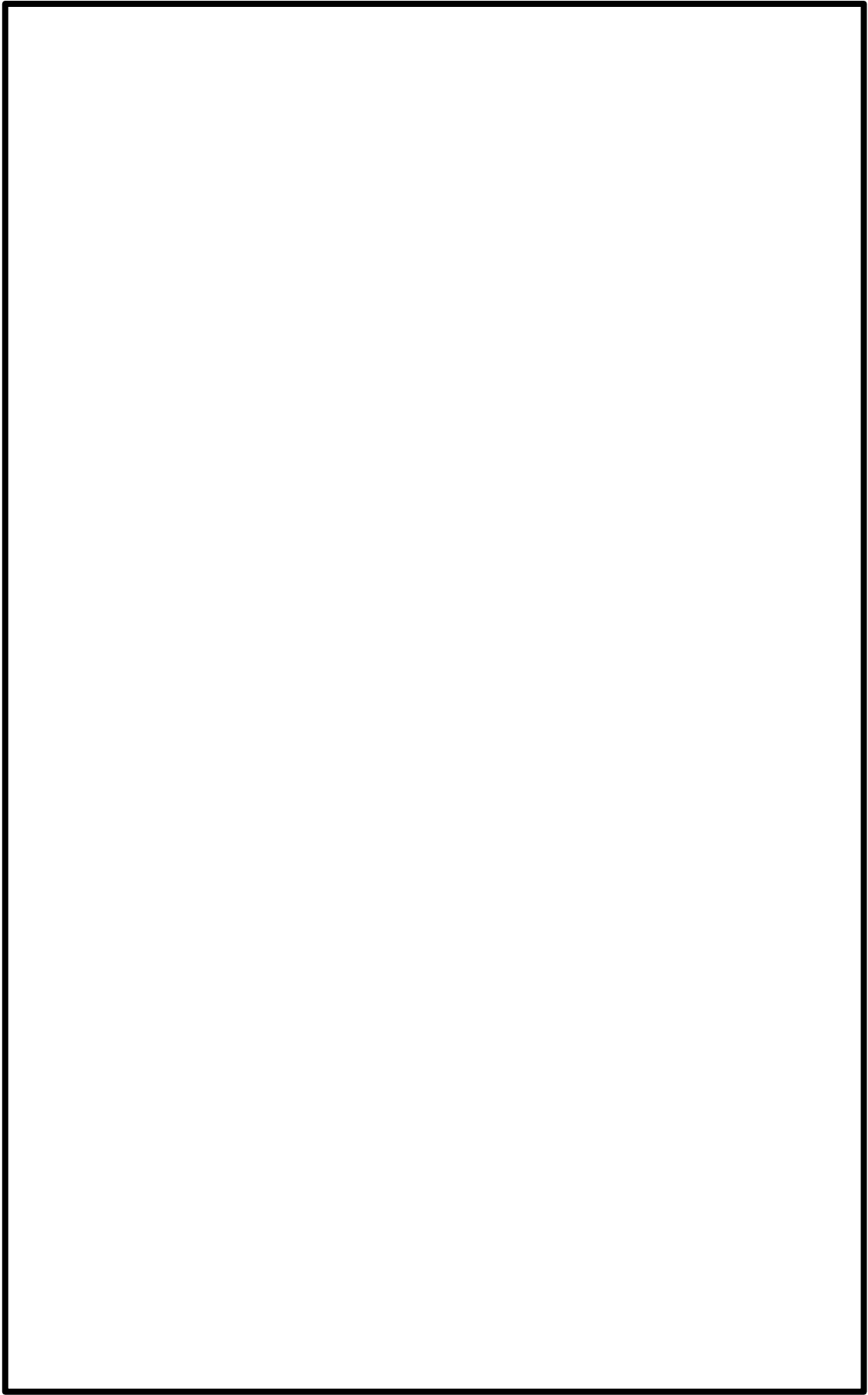
第 6-3-2 図 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (28/32)



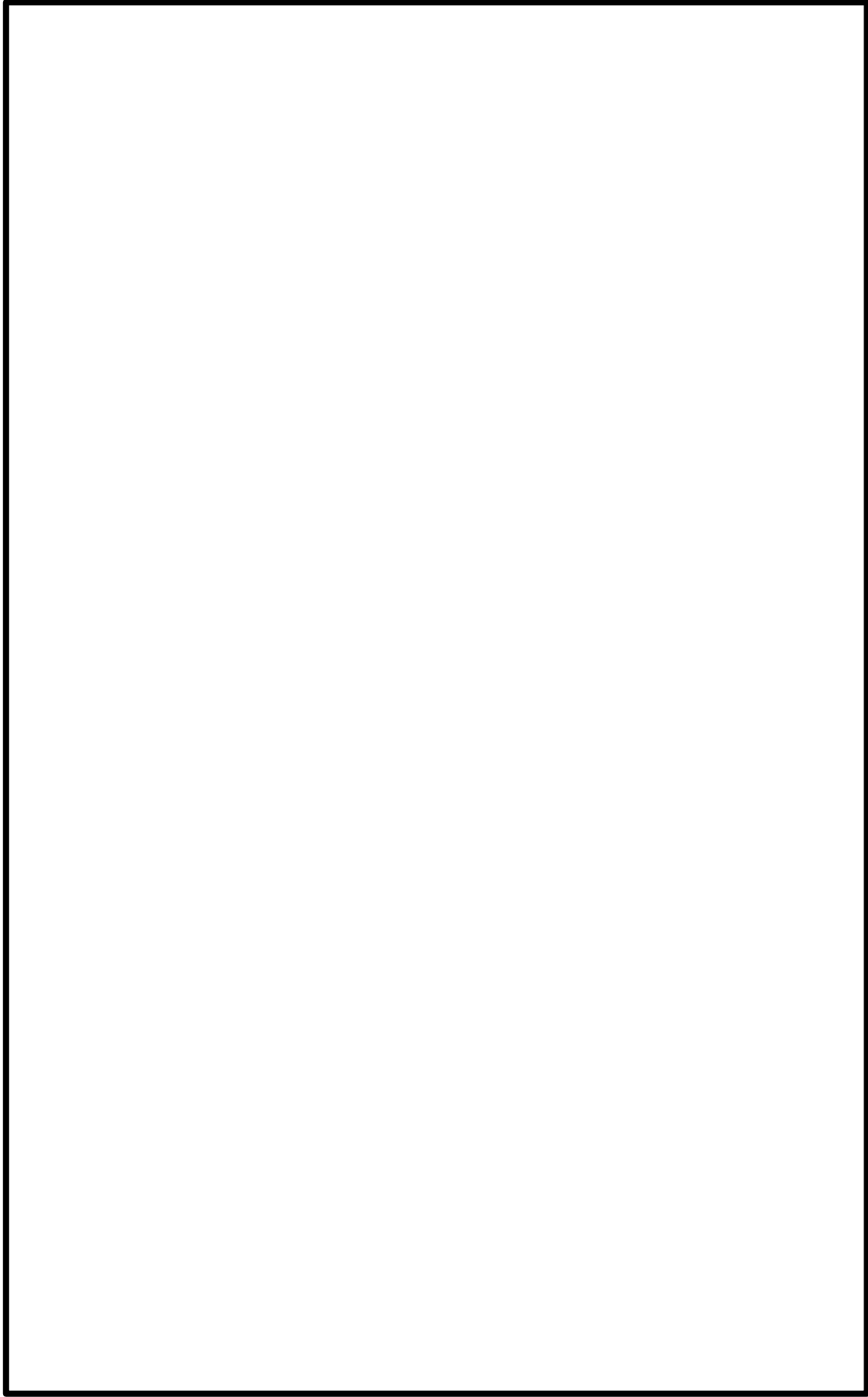
第 6-3-2 図 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (29/32)



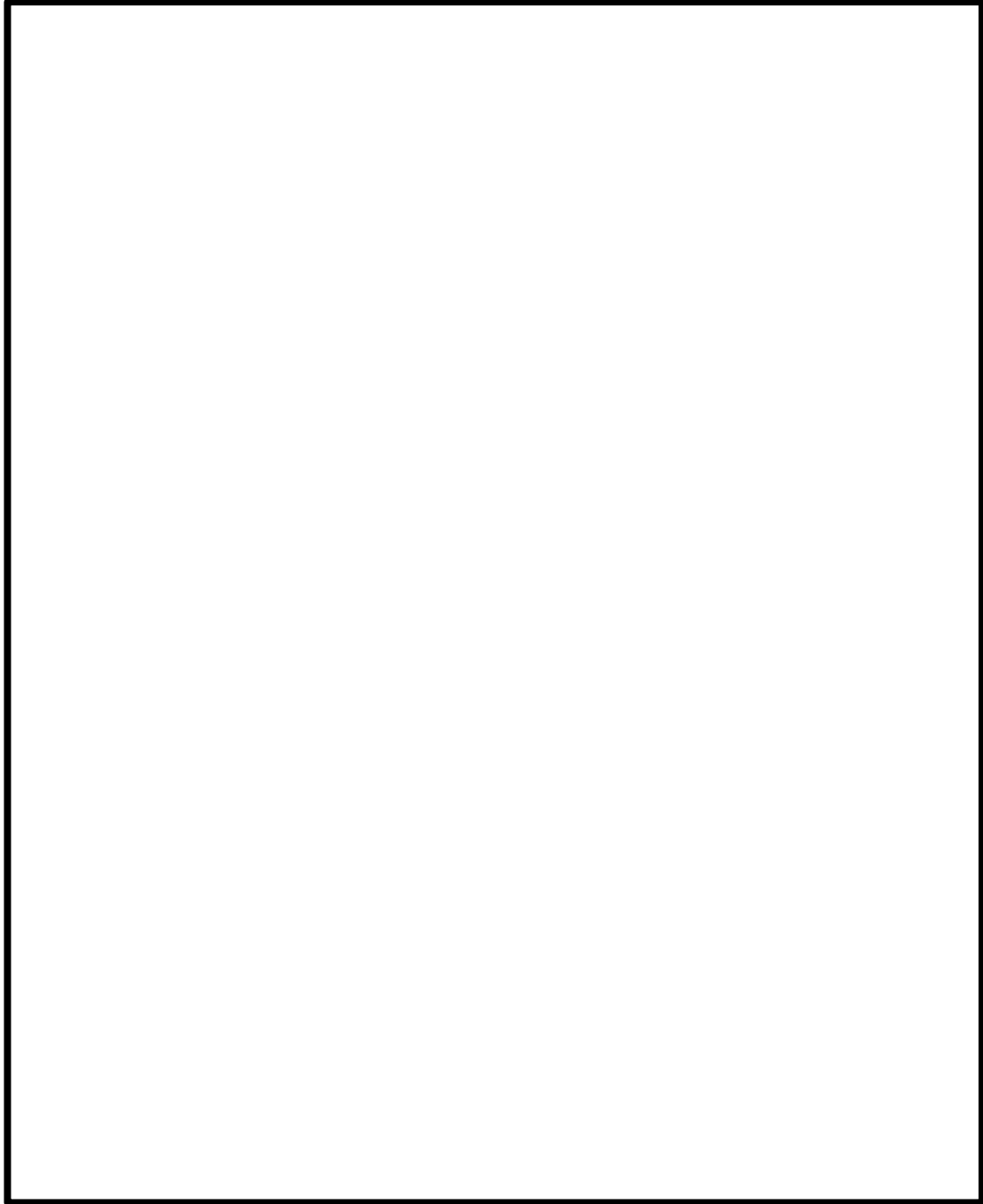
第 6-3-2 図 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (30/32)



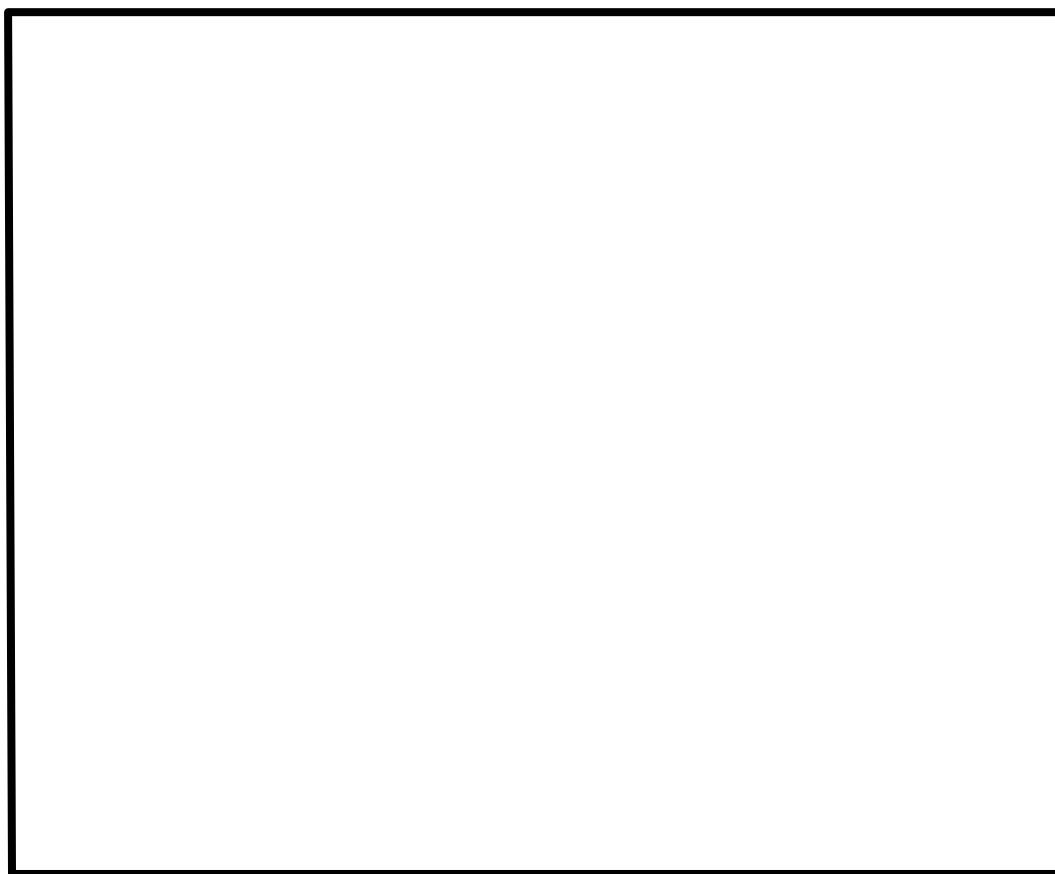
第 6-3-2 図 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (31/32)



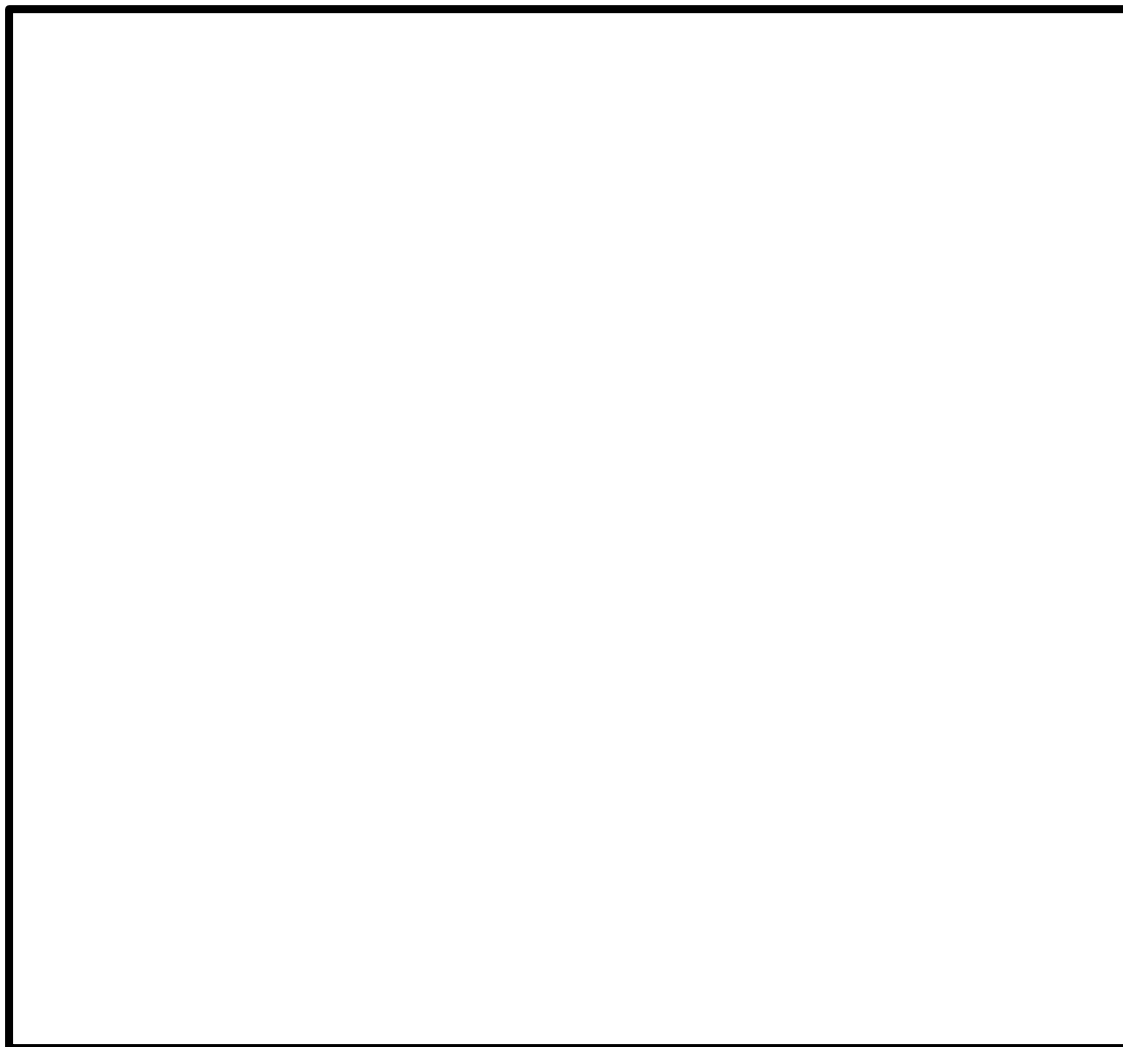
第 6-3-2 図 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 屋内上位クラス施設配置図 (32/32)



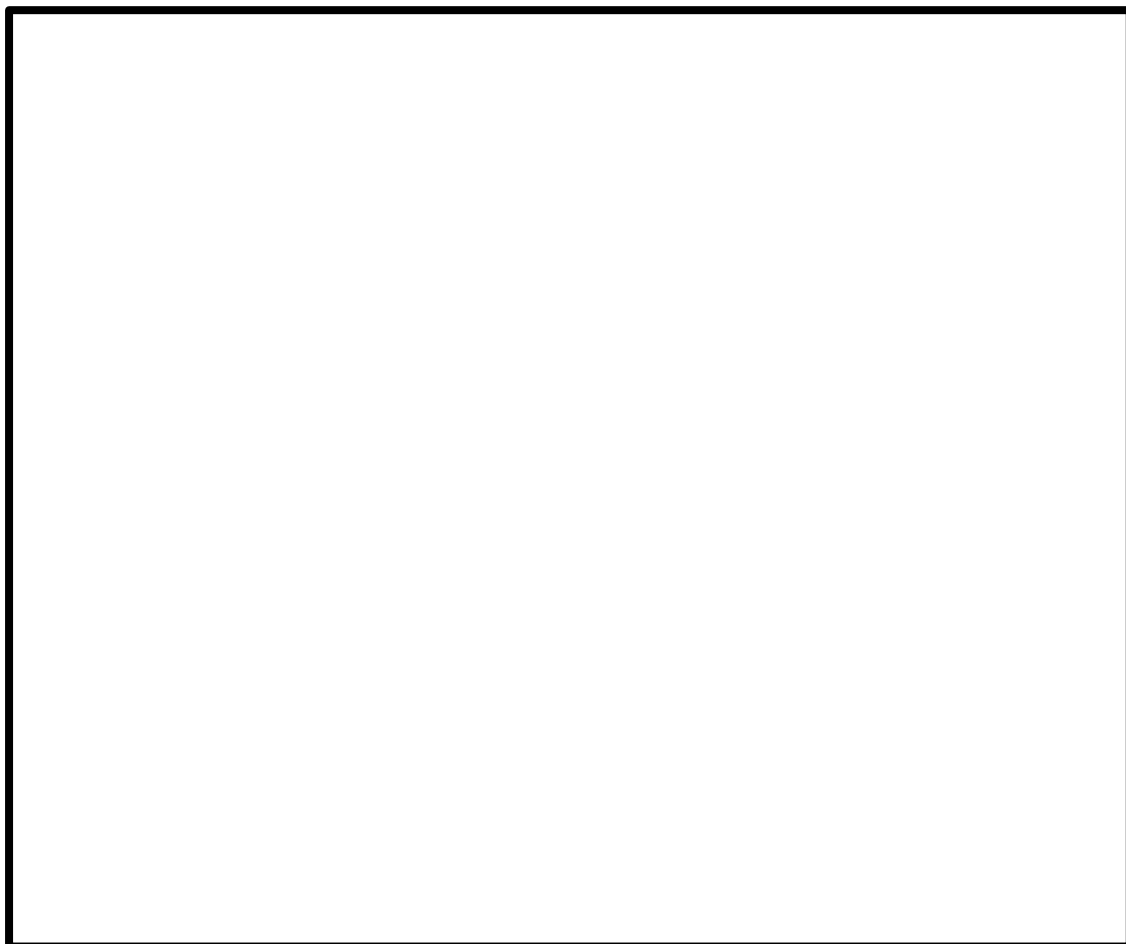
第 6-3-3 図 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉建屋内上位クラス施設配置図 (1/1)



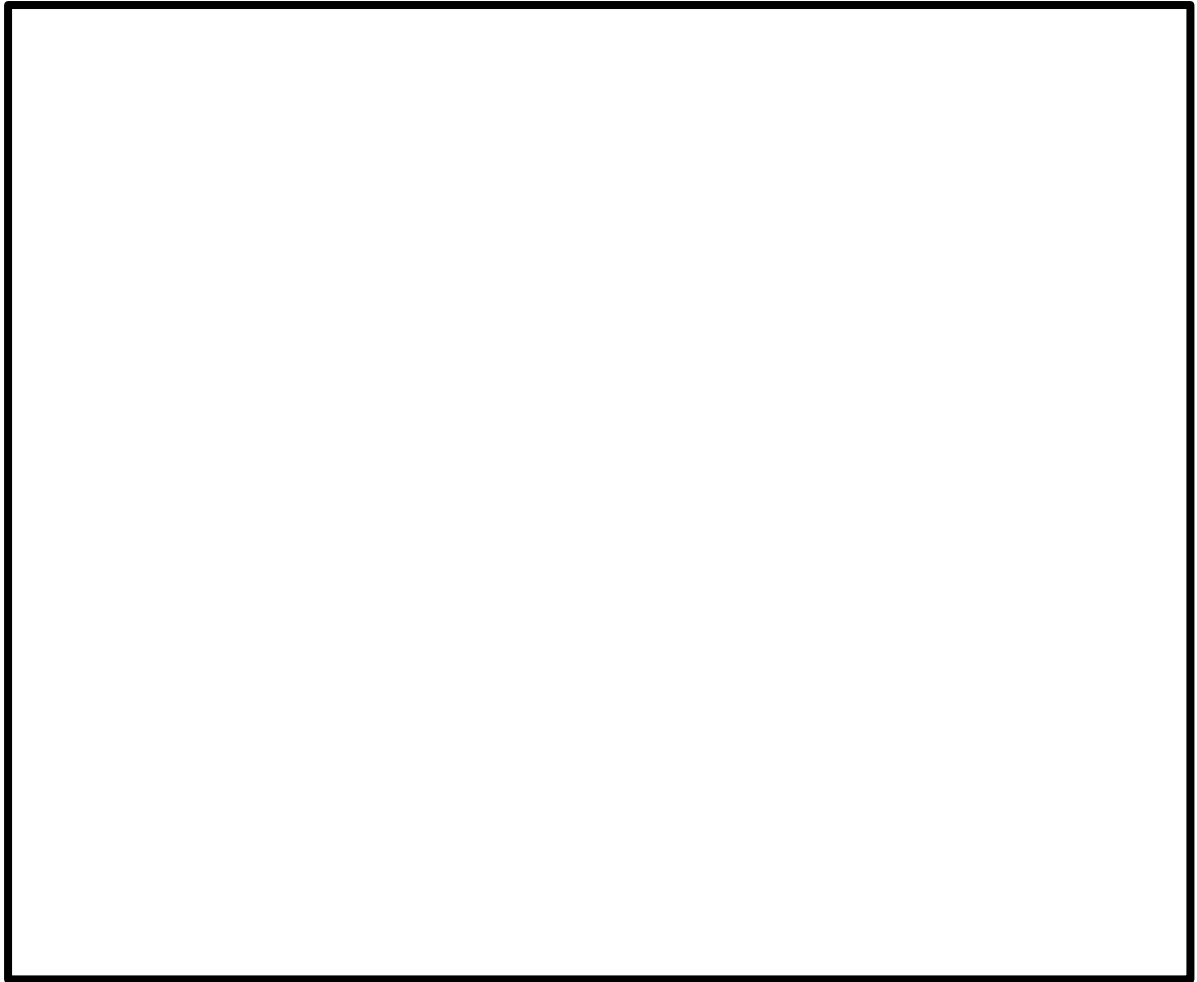
第 6-3-4 図 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 原子炉建屋クレーン位置関係概要図



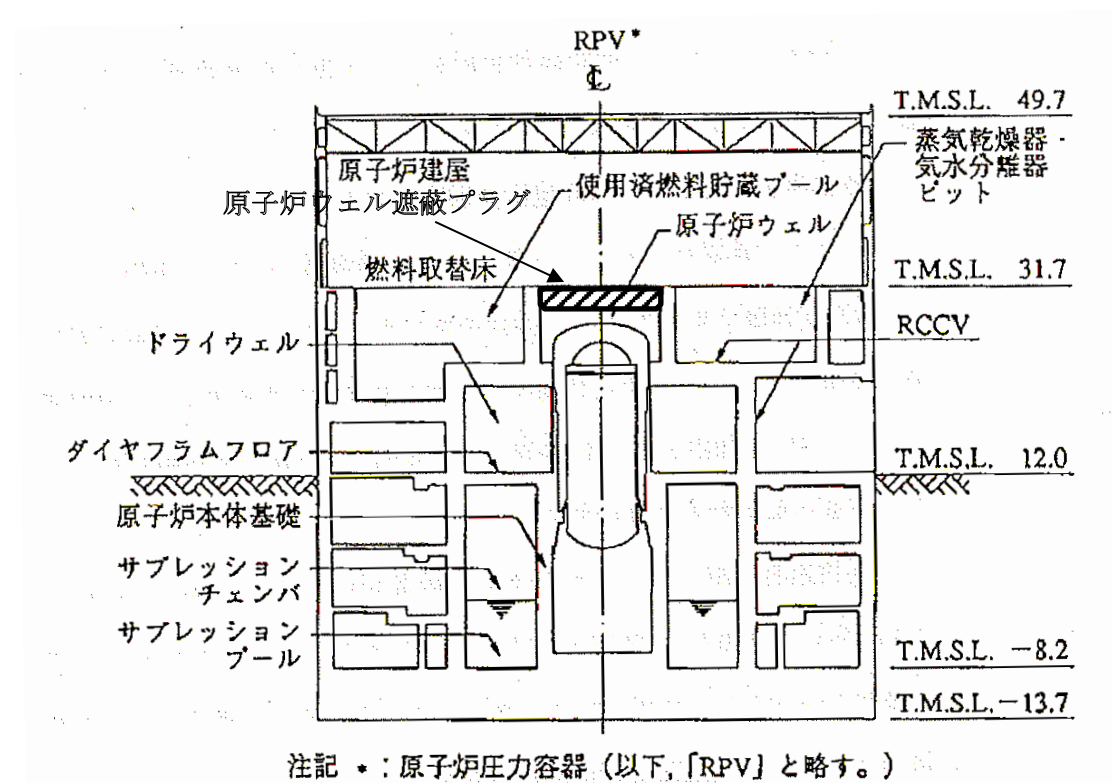
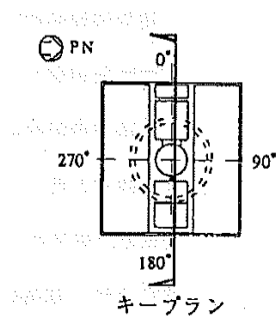
第 6-3-5 図 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 原子炉建屋クレーン位置関係概要図



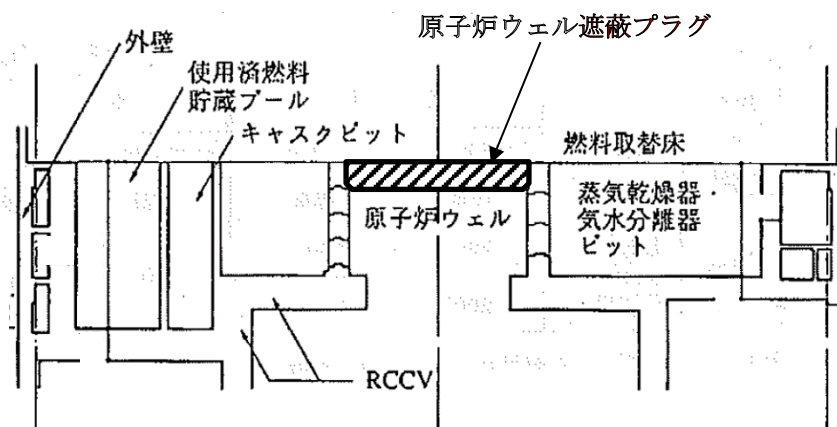
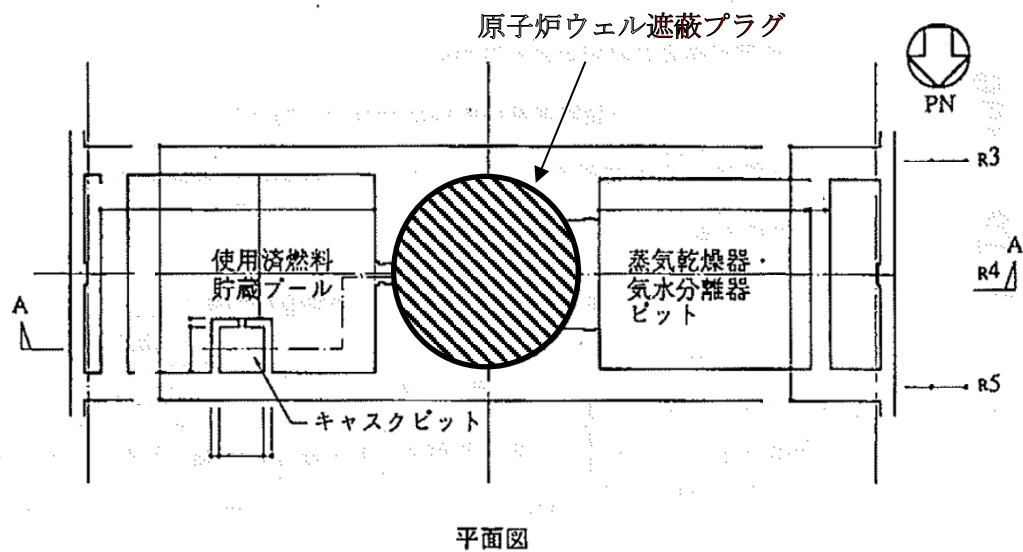
第 6-3-6 図 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 燃料取替機位置関係概要図



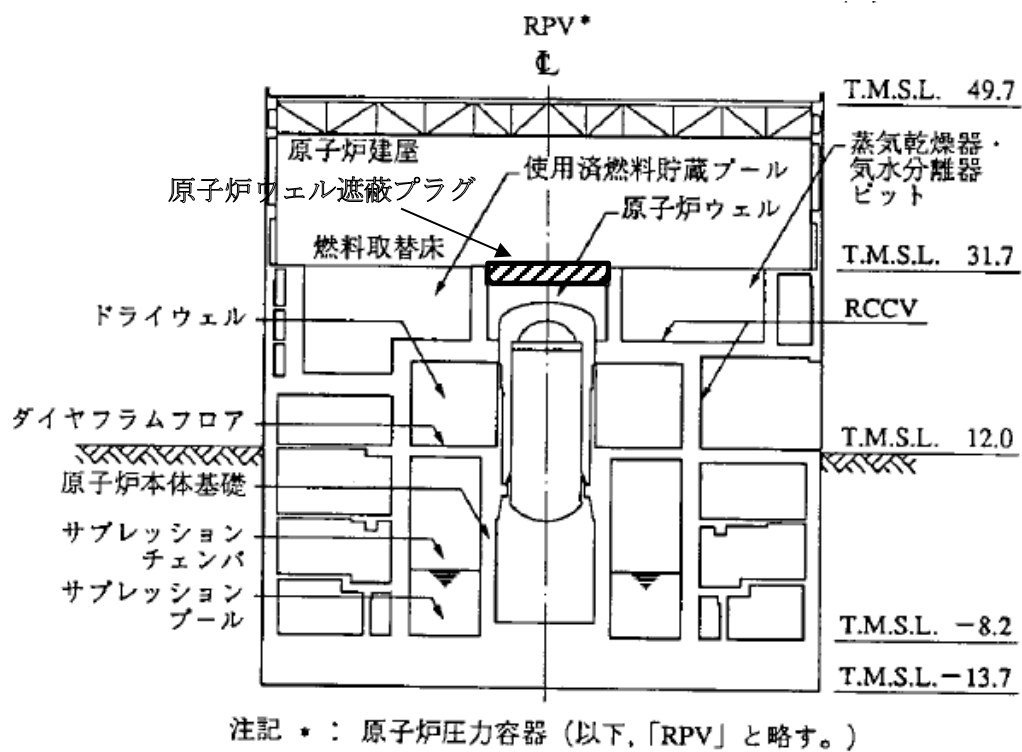
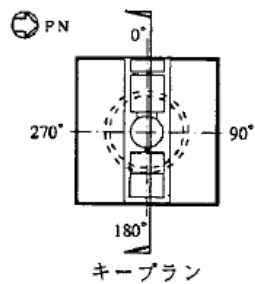
第 6-3-7 図 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 燃料取替機位置関係概要図



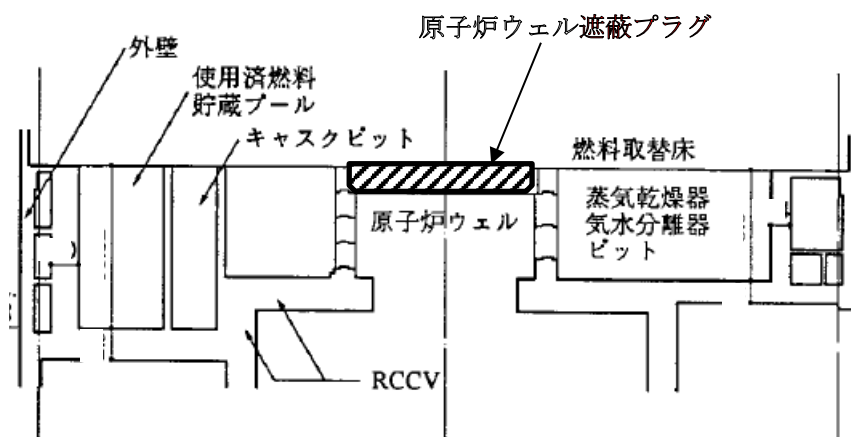
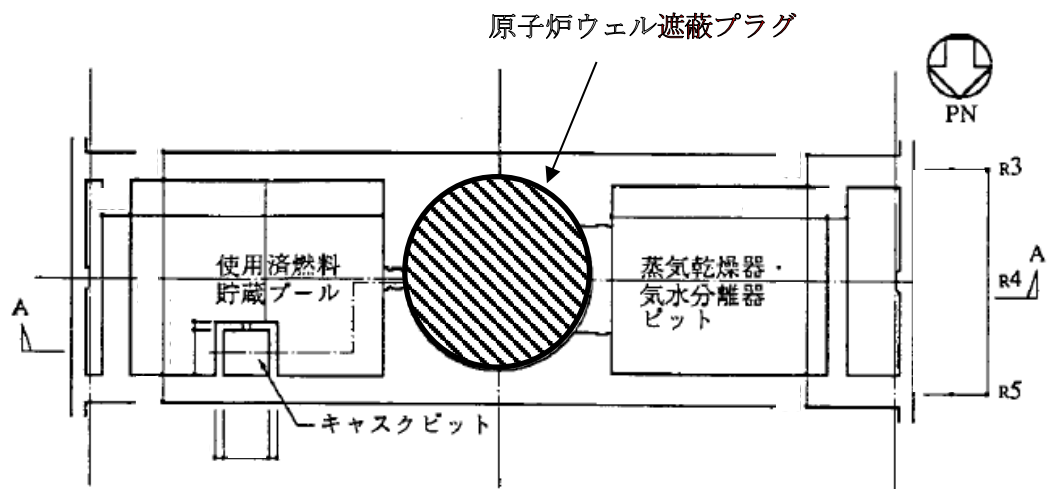
第 6-3-8 図 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉
原子炉ウェル遮蔽プラグ位置関係概要図 (1/2)



第 6-3-8 図 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉
原子炉ウェル遮蔽プラグ位置関係概要図 (2/2)

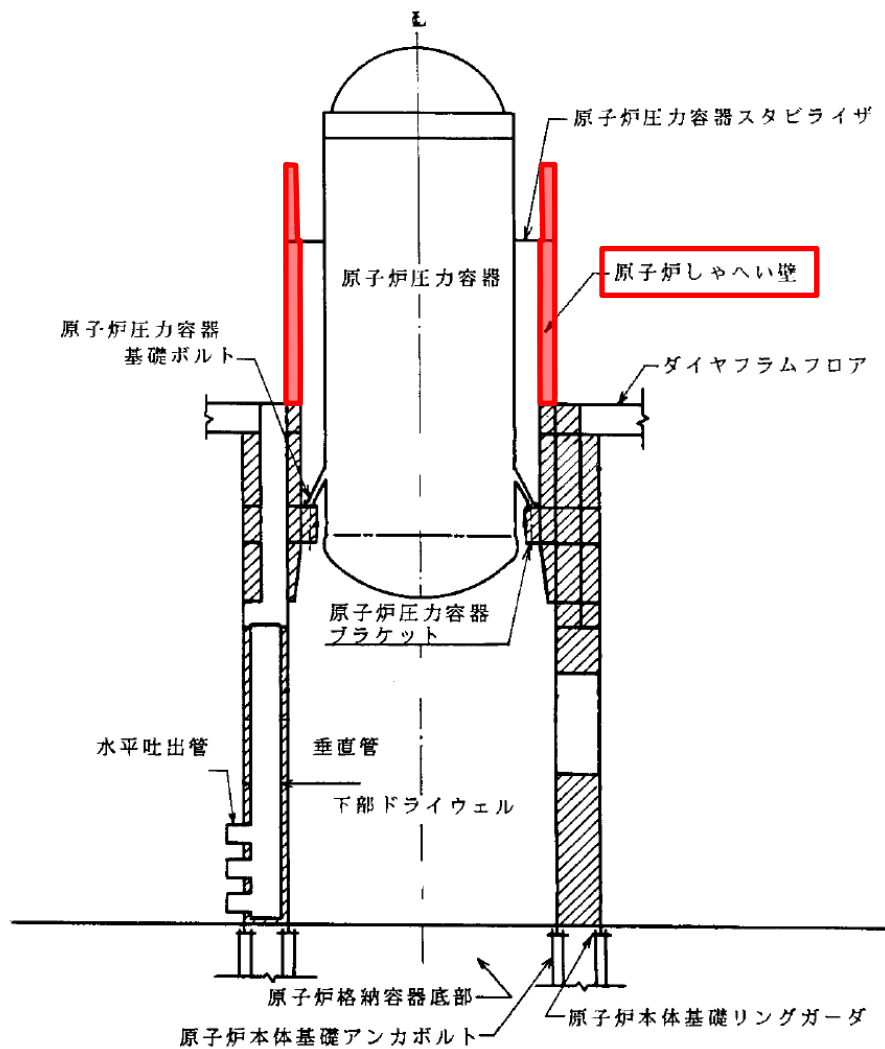


第 6-3-9 図 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉
原子炉ウェル遮蔽プラグ位置関係概要図 (1/2)



A-A 断面図

第 6-3-9 図 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉
原子炉ウェル遮蔽プラグ位置関係概要図 (2/2)



第 6-3-10 図 原子炉遮蔽壁位置関係概要図

第 6-3-1 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 建屋内上位クラス施設へ波及的影響
を及ぼすおそれのある下位クラス施設 (1/15)

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
					損傷・転倒・落下	
K6-E001	炉心支持構造物	S クラス	R/B	—	×	※1
K6-E002	原子炉圧力容器	S クラス SA 施設	R/B	原子炉遮蔽壁	○	※1
K6-E003	原子炉圧力容器支持構造物	S クラス	R/B	—	×	※1
K6-E004	原子炉圧力容器付属構造物	S クラス	R/B	—	×	※2
K6-E005	原子炉圧力容器内部構造物	S クラス	R/B	—	×	※1
K6-E006	使用済燃料貯蔵プール	S クラス SA 施設	R/B	原子炉建屋クレーン	○	
				燃料取替機	○	
K6-E007	キャスクビット	S クラス	R/B	原子炉建屋クレーン	○	
				燃料取替機	○	
K6-E008	使用済燃料貯蔵ラック	S クラス	R/B	原子炉建屋クレーン	○	
				燃料取替機	○	
K6-E009	制御棒・破損燃料貯蔵ラック	S クラス	R/B	原子炉建屋クレーン	○	
				燃料取替機	○	
K6-E010	原子炉冷却材再循環ポンプ	S クラス	R/B	—	×	
K6-E011	主蒸気逃がし安全弁自動減圧機 能用アキュムレータ	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-E012	主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機 能用アキュムレータ	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-E013	主蒸気隔離弁用アキュムレータ (原子炉格納容器内側)	S クラス	R/B	—	×	
K6-E014	主蒸気隔離弁用アキュムレータ (原子炉格納容器外側)	S クラス	R/B	—	×	
K6-E015	残留熱除去系熱交換器	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-E016	残留熱除去系ポンプ	S クラス	R/B	—	×	
K6-E017	残留熱除去系封水ポンプ	S クラス	R/B	—	×	
K6-E018	残留熱除去系ストレーナ	S クラス	R/B	—	×	
K6-E019	高圧炉心注水系ポンプ	S クラス	R/B	—	×	
K6-E020	高圧炉心注水系ストレーナ	S クラス	R/B	—	×	
K6-E021	原子炉隔離時冷却系ポンプ	S クラス	R/B	—	×	
K6-E022	原子炉隔離時冷却系ポンプ駆動 用タービン	S クラス	R/B	—	×	
K6-E023	原子炉隔離時冷却系真空タンク	S クラス	R/B	—	×	
K6-E024	原子炉隔離時冷却系セパレータ	S クラス	R/B	—	×	
K6-E025	原子炉隔離時冷却系バロメトリ ックコンデンサ	S クラス	R/B	—	×	

第 6-3-1 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 建屋内上位クラス施設へ波及的影響
を及ぼすおそれのある下位クラス施設 (2/15)

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
					損傷・転倒・落下	
K6-E026	原子炉隔離時冷却系蒸気タービン用潤滑油冷却器	S クラス	R/B	—	×	
K6-E027	原子炉隔離時冷却系ポンプ用潤滑油冷却器	S クラス	R/B	—	×	
K6-E028	原子炉隔離時冷却系復水ポンプ	S クラス	R/B	—	×	
K6-E029	原子炉隔離時冷却系真空ポンプ	S クラス	R/B	—	×	
K6-E030	原子炉隔離時冷却系ストレーナ	S クラス	R/B	—	×	
K6-E031	原子炉補機冷却水系熱交換器	S クラス	T/B	—	×	
K6-E032	原子炉補機冷却水ポンプ	S クラス	T/B	—	×	
K6-E033	原子炉補機冷却水系サージタンク	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-E034	原子炉補機冷却海水ポンプ	S クラス	T/B	—	×	
K6-E035	原子炉補機冷却海水系ストレーナ	S クラス	T/B	—	×	
K6-E036	原子炉補機冷却海水系ポンプ室取水水位計測装置空気供給用アキუმレータ	S クラス	T/B	—	×	
K6-E037	制御棒	S クラス	R/B	—	×	※1
K6-E038	制御棒駆動機構	S クラス	R/B	—	×	
K6-E039	水圧制御ユニット	S クラス	R/B	—	×	
K6-E040	ほう酸水注入系ポンプ	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-E041	ほう酸水注入系貯蔵タンク	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-E042	非常用ガス処理系乾燥装置	S クラス	R/B	—	×	
K6-E043	非常用ガス処理系排風機	S クラス	R/B	—	×	
K6-E044	非常用ガス処理系フィルタ	S クラス	R/B	—	×	
K6-E045	中央制御室送風機	S クラス	C/B	—	×	
K6-E046	中央制御室再循環送風機	S クラス	C/B	—	×	
K6-E047	中央制御室排風機	S クラス	C/B	—	×	
K6-E048	中央制御室再循環フィルタ	S クラス	C/B	—	×	
K6-E049	原子炉格納容器	S クラス SA 施設	R/B	原子炉ウエル遮蔽プラグ	○	※1
K6-E050	機器搬出入口	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-E051	エアロック	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-E052	ダイヤフラムフロア	S クラス SA 施設	R/B	—	×	※1
K6-E053	ベント管	S クラス SA 施設	R/B	—	×	※1
K6-E054	原子炉格納容器貫通部	S クラス SA 施設	R/B	—	×	※1
K6-E055	ドライウエルスブレイ管	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-E056	サブプレッションチェンバスブレイ管	S クラス SA 施設	R/B	—	×	

第 6-3-1 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 建屋内上位クラス施設へ波及的影響
を及ぼすおそれのある下位クラス施設 (3/15)

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
					損傷・転倒・落下	
K6-E057	可燃性ガス濃度制御系再結合装 置	S クラス	R/B	—	×	
K6-E058	可燃性ガス濃度制御系再結合装 置加熱器	S クラス	R/B	—	×	※1
K6-E059	可燃性ガス濃度制御系再結合装 置冷却器	S クラス	R/B	—	×	※1
K6-E060	可燃性ガス濃度制御系再結合装 置ブロワ	S クラス	R/B	—	×	
K6-E061	可燃性ガス濃度制御系再結合装 置気水分離器	S クラス	R/B	—	×	
K6-E062	非常用ディーゼル発電設備 デ ィーゼル機関	S クラス	R/B	—	×	
K6-E063	非常用ディーゼル発電設備 空 気だめ	S クラス	R/B	—	×	
K6-E064	非常用ディーゼル発電設備 空 気圧縮機	S クラス	R/B	—	×	
K6-E065	非常用ディーゼル発電設備 燃 料ディタンク	S クラス	R/B	—	×	
K6-E066	非常用ディーゼル発電設備 清 水膨張タンク	S クラス	R/B	—	×	
K6-E067	非常用ディーゼル発電設備 潤 滑油補給タンク	S クラス	R/B	—	×	
K6-E068	非常用ディーゼル発電設備 機 関付空気冷却器	S クラス	R/B	—	×	
K6-E069	非常用ディーゼル発電設備 潤 滑油冷却器	S クラス	R/B	—	×	
K6-E070	非常用ディーゼル発電設備 清 水冷却器	S クラス	R/B	—	×	
K6-E071	非常用ディーゼル発電設備 清 水加熱器	S クラス	R/B	—	×	
K6-E072	非常用ディーゼル発電設備 潤 滑油加熱器	S クラス	R/B	—	×	
K6-E073	非常用ディーゼル発電設備 発 電機軸受潤滑油冷却器	S クラス	R/B	—	×	
K6-E074	非常用ディーゼル発電設備 清 水加熱器ポンプ	S クラス	R/B	—	×	
K6-E075	非常用ディーゼル発電設備 機 関付潤滑油ポンプ	S クラス	R/B	—	×	
K6-E076	非常用ディーゼル発電設備 潤 滑油プライミングポンプ	S クラス	R/B	—	×	
K6-E077	非常用ディーゼル発電設備 機 関付清水ポンプ	S クラス	R/B	—	×	
K6-E078	非常用ディーゼル発電設備 潤 滑油補給ポンプ	S クラス	R/B	—	×	
K6-E079	非常用ディーゼル発電設備 排 気タービン過給機	S クラス	R/B	—	×	
K6-E080	非常用ディーゼル発電設備 機 関付潤滑油フィルタ	S クラス	R/B	—	×	
K6-E081	非常用ディーゼル発電設備 燃 料フィルタ	S クラス	R/B	—	×	
K6-E082	非常用ディーゼル発電設備 発 電機	S クラス	R/B	—	×	
K6-E083	換気空調補機非常用冷却水系冷 凍機	S クラス	C/B	—	×	
K6-E084	換気空調補機非常用冷却水系ボ ンプ	S クラス	C/B	—	×	

第 6-3-1 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 建屋内上位クラス施設へ波及的影響
を及ぼすおそれのある下位クラス施設 (4/15)

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
					損傷・転倒・落下	
K6-E085	原子炉区域給気隔離弁アキュム レータタンク	S クラス	R/B	—	×	
K6-E086	原子炉区域排気隔離弁アキュム レータタンク	S クラス	R/B	—	×	
K6-E087	残留熱除去系ポンプ室空調機	S クラス	R/B	—	×	
K6-E088	高圧炉心注水系ポンプ室空調機	S クラス	R/B	—	×	
K6-E089	原子炉隔離時冷却系ポンプ室空 調機	S クラス	R/B	—	×	
K6-E090	非常用ガス処理系室空調機	S クラス	R/B	—	×	
K6-E091	可燃性ガス濃度制御系室空調機	S クラス	R/B	—	×	
K6-E092	非常用ディーゼル発電設備区域 送風機	S クラス	R/B	—	×	
K6-E093	非常用ディーゼル発電設備区域 排風機	S クラス	R/B	—	×	
K6-E094	非常用ディーゼル発電設備非常 用送風機	S クラス	R/B	—	×	
K6-E095	コントロール建屋計測制御電源 盤区域送風機	S クラス	C/B	—	×	
K6-E096	コントロール建屋計測制御電源 盤区域排風機	S クラス	C/B	—	×	
K6-E097	海水熱交換器エリア非常用送風 機	S クラス	T/B	—	×	
K6-E098	格納容器内雰囲気モニタ系室空 調機	S クラス	R/B	—	×	
K6-E099	非常用ディーゼル発電設備区域 給気処理装置	S クラス	R/B	—	×	
K6-E100	非常用ディーゼル発電設備非常 用給気処理装置	S クラス	R/B	—	×	
K6-E101	中央制御室給気処理装置	S クラス	C/B	—	×	
K6-E102	コントロール建屋計測制御電源 盤区域給気処理装置	S クラス	C/B	—	×	
K6-E103	海水熱交換器エリア非常用給気 処理装置	S クラス	T/B	—	×	
K6-E104	燃料プール冷却浄化系配管	S クラス SA 施設	R/B	原子炉建屋クレーン	○	
				燃料取替機	○	
K6-E105	原子炉冷却材再循環系配管	S クラス	R/B	—	×	
K6-E106	主蒸気系配管	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-E107	残留熱除去系配管	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-E108	原子炉隔離時冷却系配管	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-E109	高圧炉心注水系配管	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-E110	復水給水系配管	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-E111	原子炉補機冷却水系配管	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-E112	原子炉補機冷却海水系配管	S クラス SA 施設	T/B	—	×	
K6-E113	原子炉冷却材浄化系配管	S クラス	R/B	—	×	

第 6-3-1 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 建屋内上位クラス施設へ波及的影響
を及ぼすおそれのある下位クラス施設 (5/15)

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
					損傷・転倒・落下	
K6-E114	制御棒駆動系配管	S クラス	R/B	—	×	
K6-E115	ほう酸水注入系配管	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-E116	放射性ドレン移送系配管	S クラス	R/B	—	×	
K6-E117	非常用ガス処理系配管	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-E118	可燃性ガス濃度制御系配管	S クラス	R/B	—	×	
K6-E119	不活性ガス系配管	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-E120	換気空調補機非常用冷却水系配 管	S クラス	C/B	—	×	
K6-E121	復水補給水系配管	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
			Rw/B	—	×	
K6-E122	純水補給水系配管	S クラス	R/B	—	×	
K6-E123	タンクベント処理系配管	S クラス	R/B	—	×	
K6-E124	高圧窒素ガス供給系配管	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-E125	弁グランド部漏えい処理系配管	S クラス	R/B	—	×	
K6-E126	試料採取系(ガス試料及び事故 後サンプリング)配管	S クラス	R/B	—	×	
K6-E127	サブプレッションプール浄化系配 管	S クラス	R/B	—	×	
K6-E128	換気空調補機常用冷却水系配管	S クラス	R/B	—	×	
K6-E129	非常用ディーゼル発電設備燃料 油系・潤滑油系・始動空気及び吸 排気系・冷却水系配管	S クラス	R/B	—	×	
K6-E130	所内用圧縮空気系配管	S クラス	R/B	—	×	
K6-E131	計装用圧縮空気系配管	S クラス	R/B	—	×	
K6-E132	移動式炉内計装系配管	S クラス	R/B	—	×	
K6-E133	耐圧漏えい試験設備系配管	S クラス	R/B	—	×	
K6-E134	原子炉・タービン区域換気空調 系ダクト	S クラス	R/B	—	×	
K6-E135	非常用電気品区域換気空調系ダ クト	S クラス	R/B	—	×	
K6-E136	コントロール建屋計測制御電源 盤区域換気空調系ダクト	S クラス	C/B	—	×	
K6-E137	中央制御室換気空調系ダクト	S クラス	C/B	—	×	
K6-E138	海水熱交換器区域換気空調系ダ クト	S クラス	T/B	—	×	
K6-E139	閉止板	S クラス	T/B	—	×	
K6-E140	水密扉	S クラス	T/B	—	×	
			Rw/B	—	×	
K6-E141	復水貯蔵槽	SA 施設	Rw/B	—	×	
K6-E142	復水移送ポンプ	SA 施設	Rw/B	—	×	

第 6-3-1 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 建屋内上位クラス施設へ波及的影響
を及ぼすおそれのある下位クラス施設 (6/15)

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
					損傷・転倒・落下	
K6-E143	高圧代替注水系ポンプ	SA 施設	R/B	—	×	
K6-E144	静的触媒式水素再結合器	SA 施設	R/B	原子炉建屋クレーン	○	
K6-E145	耐圧強化ベント系配管	SA 施設	R/B	—	×	
K6-E146	高圧代替注水系配管	SA 施設	R/B	—	×	
K6-E147	格納容器圧力逃がし装置配管	SA 施設	R/B	—	×	
K6-E148	納容器圧力逃がし装置／耐圧強化ベント系 遠隔手動弁操作設備	SA 施設	R/B	—	×	
K6-E149	燃料プール冷却浄化系熱交換器	SA 施設	R/B	—	×	
K6-E150	燃料プール冷却浄化系ポンプ	SA 施設	R/B	—	×	
K6-E151	スキマーサージタンク	SA 施設	R/B	原子炉建屋クレーン	○	
				燃料取替機	○	
K6-E152	代替格納容器圧力逃がし装置ラ ブチャディスク	SA 施設	R/B			※3
K6-E153	代替格納容器圧力逃がし装置配 管	SA 施設	R/B			※3
K6-E154	代替格納容器圧力逃がし装置 遠隔手動弁操作設備	SA 施設	R/B			※3
K6-E155	止水ハッチ	S クラス	T/B	—	×	
K6-E156	貫通部止水処置	S クラス	T/B Rw/B	—	×	
K6-E157	床ドレン浸水防止治具	S クラス	T/B	—	×	※1
K6-E158	コリウムシールド	SA 施設	R/B	—	×	

※1 机上検討のみ実施

※2 一部机上検討のみ実施

※3 対象上位クラス施設を設置する段階で、5.3 項に示す影響検討を実施する（添付資料 6 参照）。

第 6-3-1 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 建屋内上位クラス施設へ波及的影響
を及ぼすおそれのある下位クラス施設 (7/15)

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
					損傷・転倒・落下	
K6-V001	主蒸気逃がし安全弁	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-V002	主蒸気内側隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V003	主蒸気外側隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V004	主蒸気ドレンライン内側隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V005	主蒸気ドレンライン外側隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V006	原子炉給水ライン外側隔離弁	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-V007	原子炉給水ライン内側隔離弁	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-V008	原子炉給水ライン逆止弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V009	スクラム弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V010	ほう酸水注入系原子炉格納容器 外側逆止弁	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-V011	ほう酸水注入系原子炉格納容器 内側逆止弁	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-V012	残留熱除去系ポンプサブプレッ ションプール水吸込隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V013	残留熱除去系ポンプ吐出ライン 逆止弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V014	残留熱除去系熱交換器出口弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V015	残留熱除去系注入弁	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-V016	残留熱除去系低圧注水試験可能 逆止弁	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-V017	残留熱除去系試験用調節弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V018	残留熱除去系停止時冷却内側隔 離弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V019	残留熱除去系停止時冷却外側隔 離弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V020	残留熱除去系ポンプ炉水吸込弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V021	残留熱除去系熱交換器バイパス 弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V022	残留熱除去系燃料プール側第一 出口弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V023	残留熱除去系燃料プール側第二 出口弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V024	残留熱除去系格納容器冷却流量 調節弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V025	残留熱除去系格納容器冷却ライ ン隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V026	残留熱除去系サブプレッションプ ールスプレイ注入隔離弁	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-V027	残留熱除去系最小流量逆止弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V028	残留熱除去系最小流量バイパス 弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V029	残留熱除去系サブプレッションプ ール水排水系第一止め弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V030	残留熱除去系サブプレッションプ ール水排水系第二止め弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V031	高圧炉心注水系復水貯蔵槽側吸 込弁	S クラス	R/B	—	×	

第 6-3-1 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 建屋内上位クラス施設へ波及的影響
を及ぼすおそれのある下位クラス施設 (8/15)

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
					損傷・転倒・落下	
K6-V032	高压炉心注水系復水貯蔵槽側吸 込逆止弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V033	高压炉心注水系注入隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V034	高压炉心注水系試験可能逆止弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V035	高压炉心注水系サプレッション プール側吸込隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V036	高压炉心注水系サプレッション プール側吸込逆止弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V037	高压炉心注水系最小流量バイパ ス弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V038	原子炉隔離時冷却系復水貯蔵槽 側吸込弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V039	原子炉隔離時冷却系復水貯蔵槽 側吸込逆止弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V040	原子炉隔離時冷却系注入逆止弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V041	原子炉隔離時冷却系注入弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V042	原子炉隔離時冷却系試験可能逆 止弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V043	原子炉隔離時冷却系サプレッシ ョンプール側吸込隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V044	原子炉隔離時冷却系サプレッシ ョンプール側吸込逆止弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V045	原子炉隔離時冷却系最小流量バ イパス弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V046	原子炉隔離時冷却系冷却水ライ ン止め弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V047	原子炉隔離時冷却系冷却水ライ ン圧力調節弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V048	原子炉隔離時冷却系復水ポンプ 吐出一次逆止弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V049	原子炉隔離時冷却系復水ポンプ 吐出二次逆止弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V050	原子炉隔離時冷却系蒸気ライン 内側隔離弁	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-V051	原子炉隔離時冷却系蒸気ライン 外側隔離弁	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-V052	原子炉隔離時冷却系タービン止 め弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V053	原子炉隔離時冷却系タービン排 気ライン逆止弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V054	原子炉隔離時冷却系タービン排 気ライン隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V055	原子炉隔離時冷却系真空ポンプ 吐出ライン逆止弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V056	原子炉隔離時冷却系真空ポンプ 吐出ライン隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V057	原子炉隔離時冷却系タービン排 気ライン真空破壊第一逆止弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V058	原子炉隔離時冷却系タービン排 気ライン真空破壊第二逆止弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V059	原子炉冷却材浄化系吸込ライン 内側隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V060	原子炉冷却材浄化系吸込ライン 外側隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V061	原子炉冷却材浄化系原子炉圧力 容器ヘッドスプレイ隔離弁	S クラス	R/B	—	×	

第 6-3-1 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 建屋内上位クラス施設へ波及的影響
を及ぼすおそれのある下位クラス施設 (9/15)

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
					損傷・転倒・落下	
K6-V062	原子炉冷却材浄化系原子炉圧力 容器ヘッドスプレイ逆止弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V063	燃料プール冷却浄化系使用済み 燃料貯蔵プール入口逆止弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V064	燃料プール冷却浄化系使用済み 燃料貯蔵プール散水管逆止弁	S クラス	R/B	原子炉建屋クレーン	○	
				燃料取替機	○	
K6-V065	燃料プール冷却浄化系残留熱除 去系戻りライン逆止弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V066	燃料プールサブプレッションプー ル浄化系注入ライン逆止弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V067	サブプレッションプール浄化系サ ブプレッションプール側吸込第一 隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V068	サブプレッションプール浄化系サ ブプレッションプール側吸込第二 隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V069	ドライウェル低電導度廃液系サ ンプ内側隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V070	ドライウェル低電導度廃液系サ ンプ外側隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V071	ドライウェル高電導度廃液系サ ンプ内側隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V072	ドライウェル高電導度廃液系サ ンプ外側隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V073	原子炉補機冷却水系ポンプ吐出 逆止弁	S クラス	T/B	—	×	
K6-V074	原子炉補機冷却水系熱交換器冷 却水出口弁	S クラス SA 施設	T/B	—	×	
K6-V075	原子炉補機冷却水系冷却水供給 温度調整弁	S クラス SA 施設	T/B	—	×	
K6-V076	原子炉補機冷却水系常用冷却水 緊急遮断弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V077	原子炉補機冷却水系常用冷却水 供給側分離弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V078	原子炉補機冷却水系常用冷却水 戻り側分離弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V079	原子炉補機冷却水系常用冷却水 戻り側逆止弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V080	原子炉補機冷却水系残留熱除去 系熱交換器冷却水出口弁	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-V081	原子炉補機冷却水系非常用ディ ーゼル発電設備冷却水出口弁	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-V082	原子炉補機冷却海水系ポンプ吐 出逆止弁	S クラス	T/B	—	×	
K6-V083	原子炉補機冷却海水系ポンプ吐出 弁	S クラス	T/B	—	×	
K6-V084	原子炉補機冷却海水系ストレー ナ入口弁	S クラス SA 施設	T/B	—	×	
K6-V085	原子炉補機冷却海水系海水スト レーナブロー弁	S クラス	T/B	—	×	
K6-V086	計装用圧縮空気系原子炉格納容 器外側隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V087	高圧窒素ガス供給系自動減圧系 用窒素ガス原子炉格納容器外側 隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V088	高圧窒素ガス供給系逃がし弁用 窒素ガス原子炉格納容器外側隔 離弁	S クラス	R/B	—	×	

第 6-3-1 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 建屋内上位クラス施設へ波及的影響
を及ぼすおそれのある下位クラス施設 (10/15)

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
					損傷・転倒・落下	
K6-V089	非常用ガス処理系入口隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V090	非常用ガス処理系乾燥装置入口弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V091	非常用ガス処理系フィルタ装置出口弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V092	非常用ガス処理系排風機グラビティダンパ	S クラス	R/B	—	×	
K6-V093	真空破壊弁	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-V094	原子炉格納容器バージ用空気供給隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V095	ドライウェルバージ用入口隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V096	サブプレッションチェンババージ用入口隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V097	原子炉格納容器室素供給隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V098	ドライウェル室素入口隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V099	サブプレッションチェンバ室素入口隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V100	原子炉格納容器バージ用室素供給隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V101	ドライウェルベント用出口隔離弁	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-V102	非常用ガス処理系側原子炉格納容器ベント用隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V103	換気空調系側原子炉格納容器ベント用隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V104	サブプレッションチェンバベント用出口隔離弁	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-V105	可燃性ガス濃度制御系入口第一隔離弁	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-V106	原子炉格納容器バージ用空気供給隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V107	可燃性ガス濃度制御系入口第二隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V108	可燃性ガス濃度制御系再循環流量調節弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V109	可燃性ガス濃度制御系出口逆止弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V110	可燃性ガス濃度制御系冷却水入口弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V111	可燃性ガス濃度制御系出口第二隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V112	可燃性ガス濃度制御系出口第一隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V113	可燃性ガス濃度制御系冷却水止め弁	S クラス	R/B	—	×	
K6-V114	中央制御室非常時外気取入れ隔離ダンパ	S クラス SA 施設	C/B	—	×	
K6-V115	中央制御室排気隔離ダンパ	S クラス SA 施設	C/B	—	×	
K6-V116	非常用ディーゼル発電設備 (C) 区域排気切換ダンパ	S クラス	R/B	—	×	
K6-V117	コントロール建屋計測制御電源盤区域 (C) 排気切換ダンパ	S クラス	C/B	—	×	
K6-V118	原子炉格納容器耐圧強化ベント用連絡配管隔離弁	S クラス SA 施設	R/B	—	×	

第 6-3-1 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 建屋内上位クラス施設へ波及的影響
を及ぼすおそれのある下位クラス施設 (11/15)

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
					損傷・転倒・落下	
K6-V119	中央制御室外気取入隔離ダンパ	S クラス SA 施設	C/B	—	×	
K6-V120	復水補給水系下部ドライウエル 注水流量調節弁	SA 施設	R/B	—	×	
K6-V121	復水補給水系下部ドライウエル 注水ライン隔離弁	SA 施設	R/B	—	×	

第 6-3-1 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 建屋内上位クラス施設へ波及的影響
を及ぼすおそれのある下位クラス施設 (12/15)

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
					損傷・転倒・落下	
K6-B001	非常用所内電源補助盤	S クラス	C/B	—	×	
K6-B002	安全系補助継電器盤	S クラス	C/B	—	×	
K6-B003	安全保護系盤	S クラス SA 施設	C/B	—	×	
K6-B004	工学的安全施設盤	S クラス SA 施設	C/B	—	×	
K6-B005	中央運転監視盤	S クラス SA 施設	C/B	中央制御室天井照明	○	
K6-B006	運転監視補助盤	S クラス SA 施設	C/B	中央制御室天井照明	○	
K6-B007	メタルクラッドスイッチギア補 助継電器盤	S クラス	C/B	—	×	
K6-B008	中央制御室端子盤	S クラス	C/B	—	×	
K6-B009	原子炉系伝送盤	S クラス	C/B	—	×	
K6-B010	原子炉緊急停止系ロードライ バ盤	S クラス	C/B	—	×	
K6-B011	主蒸気隔離系ロードライバ盤	S クラス	C/B	—	×	
K6-B012	原子炉隔離時冷却系タービン制 御盤	S クラス	R/B	—	×	
K6-B013	中央制御室外原子炉停止装置盤	S クラス	R/B	—	×	
K6-B014	スクラムソレノイドヒューズ盤	S クラス	R/B	—	×	
K6-B015	可燃性ガス濃度制御系サイリス タスイッチ盤	S クラス	R/B	—	×	
K6-B016	原子炉補機冷却海水系ストレ ーナ制御盤	S クラス	T/B	—	×	
K6-B017	安全系多重伝送現場盤	S クラス	R/B	—	×	
			T/B	—	×	
			C/B	—	×	
K6-B018	ほう酸水注入系現場操作箱	S クラス	R/B	—	×	
K6-B019	メタルクラッドスイッチギア	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-B020	パワーセンタ	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
			T/B	—	×	
K6-B021	動力変圧器	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
			T/B	—	×	
K6-B022	モータコントロールセンタ	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
			T/B	—	×	
			C/B	—	×	
K6-B023	直流主母線盤	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
			C/B	—	×	
K6-B024	充電器盤	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
			C/B	—	×	

第 6-3-1 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 建屋内上位クラス施設へ波及的影響
を及ぼすおそれのある下位クラス施設 (13/15)

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
					損傷・転倒・落下	
K6-B025	蓄電池	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
			C/B	—	×	
K6-B026	直流モータコントロールセンタ	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-B027	直流分電盤	S クラス SA 施設	C/B	—	×	
K6-B028	直流切替盤	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
			C/B	—	×	
K6-B029	バイタル交流電源装置	S クラス SA 施設	C/B	—	×	
K6-B030	交流バイタル分電盤	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
			C/B	—	×	
K6-B031	計測用電源切換盤	S クラス SA 施設	C/B	—	×	
K6-B032	計測用分電盤	S クラス SA 施設	C/B	—	×	
K6-B033	非常用ディーゼル発電機盤	S クラス	R/B	—	×	
K6-B034	換気空調補機非常用冷却水系冷凍機制御盤	S クラス	C/B	—	×	
K6-B035	核計装／安全系プロセス放射線 モニタ盤	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
			C/B	—	×	
K6-B036	格納容器内雰囲気モニタ盤	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
			C/B	—	×	
K6-B037	使用済み燃料プール・津波監視カメラ制御架	S クラス SA 施設	C/B	—	×	
K6-B038	核計装記録計盤	SA 施設	C/B	—	×	
K6-B039	格納容器補助盤	SA 施設	C/B	—	×	
K6-B040	原子炉系記録計盤	SA 施設	C/B	—	×	
K6-B041	格納容器内水素モニタ盤	SA 施設	C/B	—	×	
K6-B042	事故時放射線モニタ盤	S クラス SA 施設	C/B	—	×	
K6-B043	緊急用電源切替箱	SA 施設	R/B	—	×	
K6-B044	AM用電動弁電源切替盤	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-B045	AM用電動弁操作箱	SA 施設	R/B	—	×	
K6-B046	格納容器圧力逃がし装置制御盤	SA 施設	C/B	—	×	
K6-B047	格納容器圧力逃がし装置無停電 電源装置	SA 施設	R/B	—	×	
K6-B048	格納容器圧力逃がし装置放射線 モニタ前置増幅器盤	SA 施設	R/B	—	×	
K6-B049	保安器盤	SA 施設	R/B	—	×	
K6-B050	A T W S／R P T 盤	SA 施設	C/B	—	×	
K6-B051	高圧代替注水設備制御盤	SA 施設	C/B	—	×	

第 6-3-1 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 建屋内上位クラス施設へ波及的影響
を及ぼすおそれのある下位クラス施設 (14/15)

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
					損傷・転倒・落下	
K6-I001	鉛直方向地震加速度検出器	S クラス	R/B	—	×	
K6-I002	水平方向地震加速度検出器	S クラス	R/B	—	×	
K6-I003	原子炉系炉心流量	S クラス	R/B	—	×	
K6-I004	原子炉水位	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-I005	原子炉水位 (SA)	SA 施設	R/B	—	×	
K6-I006	原子炉圧力	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-I007	原子炉圧力 (SA)	SA 施設	R/B	—	×	
K6-I008	格納容器内圧力	S クラス	R/B	—	×	
K6-I009	格納容器内圧力 (D/W)	SA 施設	R/B	—	×	
K6-I010	制御棒駆動機構充てん水圧力	S クラス	R/B	—	×	
K6-I011	主蒸気管放射線モニタ	S クラス	R/B	—	×	
K6-I012	原子炉区域換気空調系排気放射 線モニタ	S クラス	R/B	—	×	
K6-I013	燃料取替エリア排気放射線モニ タ	S クラス	R/B	原子炉建屋クレーン	×	
K6-I014	サブプレッションチェンバプール 水位	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-I015	高圧炉心注水系ポンプ吐出圧力	S クラス	R/B	—	×	
K6-I016	主蒸気管流量	S クラス	R/B	—	×	
K6-I017	主蒸気管トンネル温度	S クラス	R/B	—	×	
K6-I018	取水槽水位計測用空気流量調節 器	S クラス	T/B	—	×	
K6-I019	取水槽水位	S クラス	T/B	—	×	
K6-I020	サブプレッションチェンバプール 水温度	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-I021	起動領域モニタ	S クラス SA 施設	R/B	—	×	※ 1
K6-I022	平均出力領域モニタ	S クラス SA 施設	R/B	—	×	※ 1
K6-I023	格納容器内水素濃度	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-I024	格納容器内酸素濃度	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-I025	格納容器内雰囲気放射線モニタ	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-I026	残留熱除去系系統流量	S クラス	R/B	—	×	
K6-I027	残留熱除去系ポンプ吐出圧力	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K6-I028	高圧炉心注水系系統流量	S クラス	R/B	—	×	
K6-I029	原子炉隔離時冷却系系統流量	S クラス	R/B	—	×	
K6-I030	使用済燃料貯蔵プール温度 (SA 広域)	SA 施設	R/B	原子炉建屋クレーン	○	
	使用済燃料貯蔵プール水位 (SA 広域)			燃料取替機	○	
K6-I031	データ伝送装置	S クラス	C/B	—	×	

第 6-3-1 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 建屋内上位クラス施設へ波及的影響
を及ぼすおそれのある下位クラス施設 (15/15)

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
					損傷・転倒・落下	
K6-I032	原子炉圧力容器温度	SA 施設	R/B	—	×	
K6-I033	復水補給水系流量 (原子炉圧力容器)	SA 施設	R/B	—	×	
K6-I034	復水補給系流量 (原子炉圧力容器)，復水補給水系流量 (原子炉格納容器)	SA 施設	R/B	—	×	
K6-I035	使用済燃料貯蔵プール温度 (SA) 使用済燃料貯蔵プール水位 (SA)	SA 施設	R/B	原子炉建屋クレーン	○	
				燃料取替機	○	
K6-I036	使用済燃料貯蔵プール水位 (SA)	SA 施設	R/B	原子炉建屋クレーン	○	
				燃料取替機	○	
K6-I037	復水補給水系流量 (原子炉格納容器)	SA 施設	R/B	—	×	
K6-I038	格納容器内圧力 (S/C)	SA 施設	R/B	—	×	
K6-I039	サブプレッションチェンバ氣體温度	SA 施設	R/B	—	×	
K6-I040	ドライウェル雰囲気温度	SA 施設	R/B	—	×	
K6-I041	原子炉建屋水素濃度	SA 施設	R/B	—	×	
K6-I042	高圧代替注水系系統流量	SA 施設	R/B	—	×	
K6-I043	格納容器下部水位	SA 施設	R/B	—	×	
K6-I044	格納容器内水素濃度 (SA)	SA 施設	R/B	—	×	
K6-I045	耐圧強化ベント系放射線モニタ	SA 施設	R/B	—	×	
K6-I046	使用済燃料貯蔵プール放射線モニタ (低レンジ)	SA 施設	R/B	原子炉建屋クレーン	○	
K6-I047	使用済燃料貯蔵プール放射線モニタ (高レンジ)	SA 施設	R/B	原子炉建屋クレーン	○	
K6-I048	静的触媒式水素再結合器 動作監視装置	SA 施設	R/B	原子炉建屋クレーン	○	
K6-I049	復水貯蔵槽水位 (SA)	SA 施設	RW/B	—	×	
K6-I050	復水移送ポンプ吐出圧力	SA 施設	RW/B	—	×	
K6-I051	復水補給水系温度 (代替循環冷却)	SA 施設	R/B	—	×	
K6-I052	通信連絡設備	SA 施設	C/B	—	×	

※1 机上検討のみ実施

第 6-3-2 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 建屋内上位クラス施設へ波及的影響
を及ぼすおそれのある下位クラス施設 (1/15)

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
					損傷・転倒・落下	
K7-E001	炉心支持構造物	S クラス	R/B	—	×	※1
K7-E002	原子炉圧力容器	S クラス SA 施設	R/B	原子炉遮蔽壁	○	※1
K7-E003	原子炉圧力容器支持構造物	S クラス	R/B	—	×	※1
K7-E004	原子炉圧力容器付属構造物	S クラス	R/B	—	×	※2
K7-E005	原子炉圧力容器内部構造物	S クラス	R/B	—	×	※1
K7-E006	使用済燃料貯蔵プール	S クラス SA 施設	R/B	原子炉建屋クレーン	○	
				燃料取替機	○	
K7-E007	キャスクビット	S クラス	R/B	原子炉建屋クレーン	○	
				燃料取替機	○	
K7-E008	使用済燃料貯蔵ラック	S クラス	R/B	原子炉建屋クレーン	○	
				燃料取替機	○	
K7-E009	制御棒・破損燃料貯蔵ラック	S クラス	R/B	原子炉建屋クレーン	○	
				燃料取替機	○	
K7-E010	原子炉冷却材再循環ポンプ	S クラス	R/B	—	×	
K7-E011	主蒸気逃がし安全弁自動減圧機 能用アキュムレータ	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-E012	主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機 能用アキュムレータ	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-E013	主蒸気隔離弁用アキュムレータ (原子炉格納容器内側)	S クラス	R/B	—	×	
K7-E014	主蒸気隔離弁用アキュムレータ (原子炉格納容器外側)	S クラス	R/B	—	×	
K7-E015	残留熱除去系熱交換器	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-E016	残留熱除去系ポンプ	S クラス	R/B	—	×	
K7-E017	残留熱除去系封水ポンプ	S クラス	R/B	—	×	
K7-E018	残留熱除去系ストレーナ	S クラス	R/B	—	×	
K7-E019	高圧炉心注水系ポンプ	S クラス	R/B	—	×	
K7-E020	高圧炉心注水系ストレーナ	S クラス	R/B	—	×	
K7-E021	原子炉隔離時冷却系ポンプ	S クラス	R/B	—	×	
K7-E022	原子炉隔離時冷却系ポンプ駆動 用タービン	S クラス	R/B	—	×	
K7-E023	原子炉隔離時冷却系真空タンク	S クラス	R/B	—	×	
K7-E024	原子炉隔離時冷却系セパレータ	S クラス	R/B	—	×	
K7-E025	原子炉隔離時冷却系バロメトリ ックコンデンサ	S クラス	R/B	—	×	
K7-E026	原子炉隔離時冷却系蒸気タービ ン用潤滑油冷却器	S クラス	R/B	—	×	
K7-E027	原子炉隔離時冷却系ポンプ用潤 滑油冷却器	S クラス	R/B	—	×	
K7-E028	原子炉隔離時冷却系復水ポンプ	S クラス	R/B	—	×	

第 6-3-2 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 建屋内上位クラス施設へ波及的影響
を及ぼすおそれのある下位クラス施設 (2/15)

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
					損傷・転倒・落下	
K7-E029	原子炉隔離時冷却系真空ポンプ	S クラス	R/B	—	×	
K7-E030	原子炉隔離時冷却系ストレーナ	S クラス	R/B	—	×	
K7-E031	原子炉補機冷却水系熱交換器	S クラス	T/B	—	×	
K7-E032	原子炉補機冷却水ポンプ	S クラス	T/B	—	×	
K7-E033	原子炉補機冷却水系サージタンク	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-E034	原子炉補機冷却海水ポンプ	S クラス	T/B	—	×	
K7-E035	原子炉補機冷却海水系ストレーナ	S クラス	T/B	—	×	
K7-E036	原子炉補機冷却海水系ポンプ室 取水計測装置空気供給用アキ ュムレータ	S クラス	T/B	—	×	
K7-E037	制御棒	S クラス	R/B	—	×	※1
K7-E038	制御棒駆動機構	S クラス	R/B	—	×	
K7-E039	水圧制御ユニット	S クラス	R/B	—	×	
K7-E040	ほう酸水注入系ポンプ	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-E041	ほう酸水注入系貯蔵タンク	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-E042	非常用ガス処理系乾燥装置	S クラス	R/B	—	×	
K7-E043	非常用ガス処理系排風機	S クラス	R/B	—	×	
K7-E044	非常用ガス処理系フィルタ	S クラス	R/B	—	×	
K7-E045	中央制御室送風機	S クラス	C/B	—	×	
K7-E046	中央制御室再循環送風機	S クラス	C/B	—	×	
K7-E047	中央制御室排風機	S クラス	C/B	—	×	
K7-E048	中央制御室再循環フィルタ	S クラス	C/B	—	×	
K7-E049	原子炉格納容器	S クラス SA 施設	R/B	原子炉ウェル遮蔽ブラグ	○	※1
K7-E050	機器搬出入口	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-E051	エアロック	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-E052	ダイヤフラムフロア	S クラス SA 施設	R/B	—	×	※1
K7-E053	ベント管	S クラス SA 施設	R/B	—	×	※1
K7-E054	原子炉格納容器貫通部	S クラス SA 施設	R/B	—	×	※1
K7-E055	ドライウェルスブレイ管	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-E056	サブプレッションチェンバスブレイ管	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-E057	可燃性ガス濃度制御系再結合装置	S クラス	R/B	—	×	
K7-E058	可燃性ガス濃度制御系再結合装置加熱器	S クラス	R/B	—	×	※1
K7-E059	可燃性ガス濃度制御系再結合装置冷却器	S クラス	R/B	—	×	※1

第 6-3-2 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 建屋内上位クラス施設へ波及的影響
を及ぼすおそれのある下位クラス施設 (3/15)

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
					損傷・転倒・落下	
K7-E060	可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブローア	S クラス	R/B	—	×	
K7-E061	可燃性ガス濃度制御系再結合装置気水分離器	S クラス	R/B	—	×	
K7-E062	非常用ディーゼル発電設備 ディーゼル機関	S クラス	R/B	—	×	
K7-E063	非常用ディーゼル発電設備 空気だめ	S クラス	R/B	—	×	
K7-E064	非常用ディーゼル発電設備 空気圧縮機	S クラス	R/B	—	×	
K7-E065	非常用ディーゼル発電設備 燃料ディタンク	S クラス	R/B	—	×	
K7-E066	非常用ディーゼル発電設備 清水膨張タンク	S クラス	R/B	—	×	
K7-E067	非常用ディーゼル発電設備 潤滑油補給タンク	S クラス	R/B	—	×	
K7-E068	非常用ディーゼル発電設備 機関付空気冷却器	S クラス	R/B	—	×	
K7-E069	非常用ディーゼル発電設備 潤滑油冷却器	S クラス	R/B	—	×	
K7-E070	非常用ディーゼル発電設備 清水冷却器	S クラス	R/B	—	×	
K7-E071	非常用ディーゼル発電設備 清水加熱器	S クラス	R/B	—	×	
K7-E072	非常用ディーゼル発電設備 潤滑油加熱器	S クラス	R/B	—	×	
K7-E073	非常用ディーゼル発電設備 発電機軸受潤滑油冷却器	S クラス	R/B	—	×	
K7-E074	非常用ディーゼル発電設備 清水加熱器ポンプ	S クラス	R/B	—	×	
K7-E075	非常用ディーゼル発電設備 機関付潤滑油ポンプ	S クラス	R/B	—	×	
K7-E076	非常用ディーゼル発電設備 潤滑油プライミングポンプ	S クラス	R/B	—	×	
K7-E077	非常用ディーゼル発電設備 機関付清水ポンプ	S クラス	R/B	—	×	
K7-E078	非常用ディーゼル発電設備 潤滑油補給ポンプ	S クラス	R/B	—	×	
K7-E079	非常用ディーゼル発電設備 排気タービン過給機	S クラス	R/B	—	×	
K7-E080	非常用ディーゼル発電設備 機関付潤滑油フィルタ	S クラス	R/B	—	×	
K7-E081	非常用ディーゼル発電設備 燃料フィルタ	S クラス	R/B	—	×	
K7-E082	非常用ディーゼル発電設備 発電機	S クラス	R/B	—	×	
K7-E083	換気空調補機非常用冷却水系冷凍機	S クラス	C/B	—	×	
K7-E084	換気空調補機非常用冷却水系ポンプ	S クラス	C/B	—	×	
K7-E085	原子炉区域給気隔離弁アキュムレータタンク	S クラス	R/B	—	×	
K7-E086	原子炉区域排気隔離弁アキュムレータタンク	S クラス	R/B	—	×	
K7-E087	残留熱除去系ポンプ室空調機	S クラス	R/B	—	×	
K7-E088	高圧炉心注水系ポンプ室空調機	S クラス	R/B	—	×	
K7-E089	原子炉隔離時冷却系ポンプ室空調機	S クラス	R/B	—	×	

第 6-3-2 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 建屋内上位クラス施設へ波及的影響
を及ぼすおそれのある下位クラス施設 (4/15)

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
					損傷・転倒・落下	
K7-E090	非常用ガス処理系室空調機	S クラス	R/B	—	×	
K7-E091	可燃性ガス濃度制御系室空調機	S クラス	R/B	—	×	
K7-E092	非常用ディーゼル発電設備区域 送風機	S クラス	R/B	—	×	
K7-E093	非常用ディーゼル発電設備区域 排風機	S クラス	R/B	—	×	
K7-E094	非常用ディーゼル発電設備区域 非常用送風機	S クラス	R/B	—	×	
K7-E095	コントロール建屋計測制御電源 盤区域送風機	S クラス	C/B	—	×	
K7-E096	コントロール建屋計測制御電源 盤区域排風機	S クラス	C/B	—	×	
K7-E097	海水熱交換器エリア非常用送風 機	S クラス	T/B	—	×	
K7-E098	非常用ディーゼル発電設備区域 給気処理装置	S クラス	R/B	—	×	
K7-E099	非常用ディーゼル発電設備非常 用給気処理装置	S クラス	R/B	—	×	
K7-E100	中央制御室給気処理装置	S クラス	C/B	—	×	
K7-E101	コントロール建屋計測制御電源 盤区域給気処理装置	S クラス	C/B	—	×	
K7-E102	海水熱交換器エリア非常用給気 処理装置	S クラス	T/B	—	×	
K7-E103	燃料プール冷却浄化系配管	S クラス SA 施設	R/B	原子炉建屋クレーン	○	
				燃料取替機	○	
K7-E104	原子炉冷却材再循環系配管	S クラス	R/B	—	×	
K7-E105	主蒸気系配管	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-E106	残留熱除去系配管	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-E107	原子炉隔離時冷却系配管	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-E108	高圧炉心注水系配管	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-E109	復水給水系配管	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-E110	原子炉補機冷却水系配管	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
			T/B	—	×	
K7-E111	原子炉補機冷却海水系配管	S クラス SA 施設	T/B	—	×	
K7-E112	原子炉冷却材浄化系配管	S クラス	R/B	—	×	
K7-E113	制御棒駆動系配管	S クラス	R/B	—	×	
K7-E114	ほう酸水注入系配管	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-E115	放射性ドレン移送系配管	S クラス	R/B	—	×	
K7-E116	非常用ガス処理系配管	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-E117	可燃性ガス濃度制御系配管	S クラス	R/B	—	×	
K7-E118	不活性ガス系配管	S クラス SA 施設	R/B	—	×	

第 6-3-2 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 建屋内上位クラス施設へ波及的影響
を及ぼすおそれのある下位クラス施設 (5/15)

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
					損傷・転倒・落下	
K7-E119	換気空調補機非常用冷却水系配管	S クラス	C/B	—	×	
K7-E120	復水補給水系配管	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
			Rw/B	—	×	
K7-E121	純水補給水系配管	S クラス	R/B	—	×	
K7-E122	タンクベント処理系配管	S クラス	R/B	—	×	
K7-E123	高圧窒素ガス供給系配管	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-E124	弁グランド部漏えい処理系配管	S クラス	R/B	—	×	
K7-E125	試料採取系(ガス試料及び事故後 サンプリング)配管	S クラス	R/B	—	×	
K7-E126	サブプレッションプール浄化系配管	S クラス	R/B	—	×	
K7-E127	換気空調補機常用冷却水系配管	S クラス	R/B	—	×	
K7-E128	非常用ディーゼル発電設備燃料 油系・潤滑油系・始動空気及び吸 排気系・冷却水系配管	S クラス	R/B	—	×	
K7-E129	所内用圧縮空気系配管	S クラス	R/B	—	×	
K7-E130	計装用圧縮空気系配管	S クラス	R/B	—	×	
K7-E131	移動式炉内計装系配管	S クラス	R/B	—	×	
K7-E132	耐圧漏えい試験設備系配管	S クラス	R/B	—	×	
K7-E133	原子炉・タービン区域換気空調系 ダクト	S クラス	R/B	—	×	
K7-E134	非常用電気品区域換気空調系ダ クト	S クラス	R/B	—	×	
K7-E135	コントロール建屋計測制御電源 盤区域換気空調系ダクト	S クラス	C/B	—	×	
K7-E136	中央制御室換気空調系ダクト	S クラス	C/B	—	×	
K7-E137	海水熱交換器区域換気空調系ダ クト	S クラス	T/B	—	×	
K7-E138	閉止板	S クラス	T/B	—	×	
K7-E139	水密扉	S クラス	T/B	—	×	
K7-E140	浸水防止ダクト	S クラス	T/B	—	×	
K7-E141	復水貯蔵槽	SA 施設	Rw/B	—	×	
K7-E142	復水移送ポンプ	SA 施設	Rw/B	—	×	
K7-E143	高圧代替注水系ポンプ	SA 施設	R/B	—	×	
K7-E144	静的触媒式水素再結合器	SA 施設	R/B	原子炉建屋クレーン	○	
K7-E145	耐圧強化ベント系配管	SA 施設	R/B	—	×	
K7-E146	高圧代替注水系配管	SA 施設	R/B	—	×	
K7-E147	格納容器圧力逃がし装置配管	SA 施設	R/B	—	×	
K7-E148	納容器圧力逃がし装置／耐圧強 化ベント系 遠隔手動弁操作設備	SA 施設	R/B	—	×	

第 6-3-2 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 建屋内上位クラス施設へ波及的影響
を及ぼすおそれのある下位クラス施設 (6/15)

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
					損傷・転倒・落下	
K7-E149	燃料プール冷却浄化系熱交換器	SA 施設	R/B	—	×	
K7-E150	燃料プール冷却浄化系ポンプ	SA 施設	R/B	—	×	
K7-E151	スキマーサージタンク	SA 施設	R/B	原子炉建屋クレーン	○	
				燃料取替機	○	
K7-E152	代替格納容器圧力逃がし装置 ラプチャディスク	SA 施設	R/B			※3
K7-E153	代替格納容器圧力逃がし装置配 管	SA 施設	R/B			※3
K7-E154	代替格納容器圧力逃がし装置 遠隔手動弁操作設備	SA 施設	R/B			※3
K7-E155	止水ハッチ	S クラス	T/B	—	×	
K7-E156	貫通部止水処置	S クラス	T/B	—	×	
K7-E157	床ドレン浸水防止治具	S クラス	T/B	—	×	※1
K7-E158	コリウムシールド	SA 施設	R/B	—	×	

※1 机上検討のみ実施

※2 一部机上検討のみ実施

※3 対象上位クラス施設を設置する段階で、5.3 項に示す影響検討を実施する（添付資料 6 参照）。

第 6-3-2 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 建屋内上位クラス施設へ波及的影響
を及ぼすおそれのある下位クラス施設 (7/15)

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
					損傷・転倒・落下	
K7-V001	主蒸気逃がし安全弁	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-V002	主蒸気内側隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V003	主蒸気外側隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V004	主蒸気ドレンライン内側隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V005	主蒸気ドレンライン外側隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V006	原子炉給水ライン外側隔離弁	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-V007	原子炉給水ライン内側隔離弁	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-V008	原子炉給水ライン逆止弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V009	スクラム弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V010	ほう酸水注入系原子炉格納容器 外側逆止弁	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-V011	ほう酸水注入系原子炉格納容器 内側逆止弁	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-V012	残留熱除去系ポンプサブプレッ ションプール水吸込隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V013	残留熱除去系ポンプ吐出逆止弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V014	残留熱除去系熱交換器出口弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V015	残留熱除去系注入弁	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-V016	残留熱除去系低圧注水モード試 験可能逆止弁	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-V017	残留熱除去系試験用調節弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V018	残留熱除去系停止時冷却内側隔 離弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V019	残留熱除去系停止時冷却外側隔 離弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V020	残留熱除去系ポンプ炉水吸込弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V021	残留熱除去系熱交換器バイパス 弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V022	残留熱除去系燃料プール側第一 出口弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V023	残留熱除去系燃料プール側第二 出口弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V024	残留熱除去系格納容器冷却流量 調節弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V025	残留熱除去系格納容器冷却ライ ン隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V026	残留熱除去系サブプレッションプ ールスプレイ注入隔離弁	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-V027	残留熱除去系ポンプ最小流量ラ イン逆止弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V028	残留熱除去系最小流量バイパス 弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V029	残留熱除去系サブプレッションプ ール水排水系第一止め弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V030	高圧炉心注水系復水貯蔵槽側吸 込弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V031	高圧炉心注水系復水貯蔵槽側吸 込試験可能逆止弁	S クラス	R/B	—	×	

第 6-3-2 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 建屋内上位クラス施設へ波及的影響
を及ぼすおそれのある下位クラス施設 (8/15)

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
					損傷・転倒・落下	
K7-V032	高圧炉心注水系注入隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V033	高圧炉心注水系試験可能逆止弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V034	高圧炉心注水系サブプレッション プール側吸込隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V035	高圧炉心注水系サブプレッション プール側吸込逆止弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V036	高圧炉心注水系最小流量バイパス 弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V037	原子炉隔離時冷却系復水貯蔵槽 側吸込弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V038	原子炉隔離時冷却系復水貯蔵槽 側吸込試験可能逆止弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V039	原子炉隔離時冷却系注入逆止弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V040	原子炉隔離時冷却系注入弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V041	原子炉隔離時冷却系試験可能逆 止弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V042	原子炉隔離時冷却系サブプレッシ ョンプール側吸込隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V043	原子炉隔離時冷却系サブプレッシ ョンプール側吸込逆止弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V044	原子炉隔離時冷却系最小流量バ イパス弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V045	原子炉隔離時冷却系冷却水ライ ン止め弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V046	原子炉隔離時冷却系冷却水ライ ン圧力制御弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V047	原子炉隔離時冷却系復水ポンプ 吐出一次逆止弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V048	原子炉隔離時冷却系復水ポンプ 吐出二次逆止弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V049	原子炉隔離時冷却系蒸気ライン 内側隔離弁	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-V050	原子炉隔離時冷却系蒸気ライン 外側隔離弁	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-V051	原子炉隔離時冷却系タービン止 め弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V052	原子炉隔離時冷却系タービン排 気ライン逆止弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V053	原子炉隔離時冷却系タービン排 気ライン隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V054	原子炉隔離時冷却系真空ポンプ 吐出ライン逆止弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V055	原子炉隔離時冷却系真空ポンプ 吐出ライン隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V056	原子炉隔離時冷却系タービン排 気ライン 1 次真空破壊弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V057	原子炉隔離時冷却系タービン排 気ライン 2 次真空破壊弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V058	原子炉冷却材浄化系吸込ライン 内側隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V059	原子炉冷却材浄化系吸込ライン 外側隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V060	原子炉冷却材浄化系原子炉圧力 容器ヘッドスプレイ隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V061	原子炉冷却材浄化系原子炉圧力 容器ヘッドスプレイ逆止弁	S クラス	R/B	—	×	

第 6-3-2 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 建屋内上位クラス施設へ波及的影響
を及ぼすおそれのある下位クラス施設 (9/15)

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
					損傷・転倒・落下	
K7-V062	燃料プール冷却浄化系使用済み 燃料貯蔵プール入口逆止弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V063	燃料プール冷却浄化系使用済み 燃料貯蔵プール散水管逆止弁	S クラス	R/B	原子炉建屋クレーン	○	
				燃料取替機	○	
K7-V064	燃料プール冷却浄化系残留熱除 去系戻りライン逆止弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V065	燃料プール冷却浄化系非常用補 給水逆止弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V066	サブプレッションプール浄化系サ ブプレッションプール側吸込第一 隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V067	サブプレッションプール浄化系サ ブプレッションプール側吸込第二 隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V068	ドライウェル低電導度廃液系サ ンプ内側隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V069	ドライウェル低電導度廃液系サ ンプ外側隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V070	ドライウェル高電導度廃液系サ ンプ内側隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V071	ドライウェル高電導度廃液系サ ンプ外側隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V072	原子炉補機冷却水系ポンプ吐出 逆止弁	S クラス	T/B	—	×	
K7-V073	原子炉補機冷却水系熱交換器冷 却水出口弁	S クラス SA 施設	T/B	—	×	
K7-V074	原子炉補機冷却水系冷却水供給 温度調節弁	S クラス SA 施設	T/B	—	×	
K7-V075	原子炉補機冷却水系常用冷却水 緊急遮断弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V076	原子炉補機冷却水系常用冷却水 供給側分離弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V077	原子炉補機冷却水系常用冷却水 戻り側分離弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V078	原子炉補機冷却水系常用冷却水 戻り側逆止弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V079	原子炉補機冷却水系残留熱除去 系熱交換器冷却水出口弁	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-V080	原子炉補機冷却水系非常用ディ ーゼル発電設備冷却水出口弁	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-V081	原子炉補機冷却海水系ポンプ吐 出逆止弁	S クラス	T/B	—	×	
K7-V082	原子炉補機冷却海水系ストレ ーナ入口弁	S クラス SA 施設	T/B	—	×	
K7-V083	原子炉補機冷却海水系ストレ ーナブロー弁	S クラス	T/B	—	×	
K7-V084	計装用圧縮空気系原子炉格納容 器外側隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V085	高圧窒素ガス供給系自動減圧系 用窒素ガス原子炉格納容器外側 隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V086	高圧窒素ガス供給系逃がし弁用 窒素ガス原子炉格納容器外側隔 離弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V087	非常用ガス処理系入口隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V088	非常用ガス処理系乾燥装置入口 弁	S クラス	R/B	—	×	

第 6-3-2 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 建屋内上位クラス施設へ波及的影響
を及ぼすおそれのある下位クラス施設 (10/15)

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
					損傷・転倒・落下	
K7-V089	非常用ガス処理系フィルタ装置 出口弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V090	非常用ガス処理系グラビティダ ンバ	S クラス	R/B	—	×	
K7-V091	真空破壊弁	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-V092	原子炉格納容器バージ用空気供 給隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V093	ドライウエルバージ用入口隔離 弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V094	サブプレッションチェンババージ 用入口隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V095	原子炉格納容器窒素供給隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V096	ドライウエル窒素入口隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V097	サブプレッションチェンバ窒素入 口隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V098	原子炉格納容器バージ用窒素供 給隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V099	ドライウエルベント用出口隔離 弁	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-V100	非常用ガス処理系側原子炉格納 容器ベント用隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V101	換気空調系側原子炉格納容器ベ ント用隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V102	サブプレッションチェンバベント 用出口隔離弁	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-V103	可燃性ガス濃度制御系入口第一 隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V104	可燃性ガス濃度制御系入口流量 調節弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V105	可燃性ガス濃度制御系入口第二 隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V106	可燃性ガス濃度制御系再循環流 量調節弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V107	可燃性ガス濃度制御系出口逆止 弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V108	可燃性ガス濃度制御系冷却水入 口弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V109	可燃性ガス濃度制御系出口第二 隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V110	可燃性ガス濃度制御系出口第一 隔離弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V111	可燃性ガス濃度制御系冷却水止 め弁	S クラス	R/B	—	×	
K7-V112	中央制御室非常時外気取入れ隔 離ダンバ	S クラス SA 施設	C/B	—	×	
K7-V113	中央制御室排気隔離ダンバ	S クラス SA 施設	C/B	—	×	
K7-V114	非常用ディーゼル発電設備 (C) 区 域排気切換ダンバ	S クラス	R/B	—	×	
K7-V115	コントロール建屋計測制御電源 盤区域 (C) 排気切換ダンバ	S クラス	C/B	—	×	
K7-V116	原子炉格納容器耐圧強化ベント 用連絡配管隔離弁	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-V117	中央制御室外気取入ダンバ	S クラス SA 施設	C/B	—	×	
K7-V118	復水補給水系下部ドライウエル 注水流量調節弁	SA 施設	R/B	—	×	

第 6-3-2 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 建屋内上位クラス施設へ波及的影響
を及ぼすおそれのある下位クラス施設 (11/15)

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
					損傷・転倒・落下	
K7-V119	復水補給水系下部ドライウエル 注水ライン隔離弁	SA 施設	R/B	—	×	

第 6-3-2 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 建屋内上位クラス施設へ波及的影響
を及ぼすおそれのある下位クラス施設 (12/15)

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
					損傷・転倒・落下	
K7-B001	非常用所内電源補助盤	S クラス	C/B	—	×	
K7-B002	安全系補助継電器盤	S クラス	C/B	—	×	
K7-B003	安全保護系盤	S クラス SA 施設	C/B	—	×	
K7-B004	工学的安全施設盤	S クラス SA 施設	C/B	—	×	
K7-B005	中央運転監視盤	S クラス SA 施設	C/B	中央制御室天井照明	○	
K7-B006	運転監視補助盤	S クラス SA 施設	C/B	中央制御室天井照明	○	
K7-B007	中央制御室端子盤	S クラス	C/B	—	×	
K7-B008	原子炉緊急停止系ロードドライ バ盤	S クラス	C/B	—	×	
K7-B009	主蒸気隔離系ロードドライバ盤	S クラス	C/B	—	×	
K7-B010	原子炉隔離時冷却系タービン制 御盤	S クラス	R/B	—	×	
K7-B011	原子炉隔離時冷却系真空タンク 水位電送器用増幅器収納箱	S クラス	R/B	—	×	
K7-B012	中央制御室外原子炉停止装置盤	S クラス	R/B	—	×	
K7-B013	スクラムソレノイドヒューズ盤	S クラス	R/B	—	×	
K7-B014	可燃性ガス濃度制御系サイリス タスイッチ盤	S クラス	R/B	—	×	
K7-B015	原子炉補機冷却海水系ストレ ーナ制御盤	S クラス	T/B	—	×	
K7-B016	安全系多重伝送現場盤	S クラス	R/B	—	×	
K7-B017	ほう酸水注入系現場操作箱	S クラス	R/B	—	×	
K7-B018	メタルクラッドスイッチギア	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-B019	パワーセンタ	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
			T/B	—	×	
K7-B020	動力変圧器	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
			T/B	—	×	
K7-B021	モータコントロールセンタ	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
			T/B	—	×	
			C/B	—	×	
K7-B022	直流主母線盤	S クラス SA 施設	C/B	—	×	
K7-B023	充電器盤	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
			C/B	—	×	
K7-B024	蓄電池	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
			C/B	—	×	
K7-B025	直流モータコントロールセンタ	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-B026	直流分電盤	S クラス SA 施設	C/B	—	×	

第 6-3-2 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 建屋内上位クラス施設へ波及的影響
を及ぼすおそれのある下位クラス施設 (13/15)

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
					損傷・転倒・落下	
K7-B027	直流切替盤	S クラス SA 施設	C/B	—	×	
K7-B028	バイタル交流電源装置	S クラス SA 施設	C/B	—	×	
K7-B029	交流バイタル分電盤	S クラス SA 施設	C/B	—	×	
K7-B030	計測用主母線盤	S クラス SA 施設	C/B	—	×	
K7-B031	計測用分電盤	S クラス SA 施設	C/B	—	×	
K7-B032	非常用ディーゼル発電機盤	S クラス	R/B	—	×	
K7-B033	換気空調補機非常用冷却水系冷凍機制御盤	S クラス	C/B	—	×	
K7-B034	核計装／安全系プロセス放射線 モニタ盤	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
			C/B	—	×	
K7-B035	格納容器内雰囲気モニタ盤	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
			C/B	—	×	
K7-B036	使用済み燃料プール・津波監視カメラ制御架	S クラス SA 施設	C/B	—	×	
K7-B037	格納容器補助盤	SA 施設	C/B	—	×	
K7-B038	原子炉系記録計盤	SA 施設	C/B	—	×	
K7-B039	格納容器内水素モニタ盤	SA 施設	C/B	—	×	
K7-B040	事故時放射線モニタ盤	S クラス SA 施設	C/B	—	×	
K7-B041	緊急用電源切替箱	SA 施設	R/B	—	×	
K7-B042	AM用電動弁電源切替盤	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-B043	AM用電動弁操作箱	SA 施設	R/B	—	×	
K7-B044	格納容器圧力逃がし装置制御盤	SA 施設	C/B	—	×	
K7-B045	格納容器圧力逃がし装置無停電電源装置	SA 施設	R/B	—	×	
K7-B046	格納容器圧力逃がし装置放射線 モニタ前置増幅器盤	SA 施設	R/B	—	×	
K7-B047	保安器盤	SA 施設	R/B	—	×	
K7-B048	A T W S／R P T 盤	SA 施設	C/B	—	×	
K7-B049	高圧代替注水設備制御盤	SA 施設	C/B	—	×	
K7-B050	使用済み燃料プール（広域）水位 監視制御盤	S クラス SA 施設	C/B	—	×	

第 6-3-2 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 建屋内上位クラス施設へ波及的影響
を及ぼすおそれのある下位クラス施設 (14/15)

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
					損傷・転倒・落下	
K7-I001	鉛直方向地震加速度検出器	S クラス	R/B	—	×	
K7-I002	水平方向地震加速度検出器	S クラス	R/B	—	×	
K7-I003	原子炉系炉心流量	S クラス	R/B	—	×	
K7-I004	原子炉水位	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-I005	原子炉水位 (SA)	SA 施設	R/B	—	×	
K7-I006	原子炉圧力	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-I007	原子炉圧力 (SA)	SA 施設	R/B	—	×	
K7-I008	格納容器内圧力	S クラス	R/B	—	×	
K7-I009	格納容器内圧力 (D/W)	SA 施設	R/B	—	×	
K7-I010	制御棒駆動機構充てん水圧力	S クラス	R/B	—	×	
K7-I011	主蒸気管放射線モニタ	S クラス	R/B	—	×	
K7-I012	原子炉区域換気空調系排気放射 線モニタ	S クラス	R/B	—	×	
K7-I013	燃料取替エリア排気放射線モニ タ	S クラス	R/B	原子炉建屋クレーン	○	
K7-I014	サブプレッションチェンパール 水位	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-I015	高圧炉心注水系ポンプ吐出圧力	S クラス	R/B	—	×	
K7-I016	主蒸気管流量	S クラス	R/B	—	×	
K7-I017	主蒸気管トンネル温度	S クラス	R/B	—	×	
K7-I018	取水槽水位計測用空気流量調節 器	S クラス	T/B	—	×	
K7-I019	取水槽水位	S クラス	T/B	—	×	
K7-I020	サブプレッションチェンパール 水温度	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-I021	起動領域モニタ	S クラス SA 施設	R/B	—	×	※ 1
K7-I022	平均出力領域モニタ	S クラス SA 施設	R/B	—	×	※ 1
K7-I023	格納容器内水素濃度	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-I024	格納容器内酸素濃度	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-I025	格納容器内雰囲気放射線モニタ	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-I026	残留熱除去系系統流量	S クラス	R/B	—	×	
K7-I027	残留熱除去系ポンプ吐出圧力	S クラス SA 施設	R/B	—	×	
K7-I028	高圧炉心注水系系統流量	S クラス	R/B	—	×	
K7-I029	原子炉隔離時冷却系系統流量	S クラス	R/B	—	×	
K7-I030	使用済燃料貯蔵プール温度 (SA 広 域)	SA 施設	R/B	原子炉建屋クレーン	○	
	使用済燃料貯蔵プール水位 (SA 広 域)			燃料取替機	○	
K7-I031	データ伝送装置	S クラス	C/B	—	×	

第 6-3-2 表 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 建屋内上位クラス施設へ波及的影響
を及ぼすおそれのある下位クラス施設 (15/15)

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
					損傷・転倒・落下	
K7-I032	原子炉圧力容器温度	SA 施設	R/B	—	×	
K7-I033	復水補給水系流量 (原子炉圧力容 器)	SA 施設	R/B	—	×	
K7-I034	復水補給系流量 (原子炉圧力容 器)，復水補給水系流量 (原子炉 格納容器)	SA 施設	R/B	—	×	
K7-I035	使用済燃料貯蔵プール温度 (SA) 使用済燃料貯蔵プール水位 (SA)	SA 施設	R/B	原子炉建屋クレーン	○	
				燃料取替機	○	
K7-I036	使用済燃料貯蔵プール水位 (SA)	SA 施設	R/B	原子炉建屋クレーン	○	
				燃料取替機	○	
K7-I037	復水補給水系流量 (原子炉格納容 器)	SA 施設	R/B	—	×	
K7-I038	格納容器内圧力 (S/C)	SA 施設	R/B	—	×	
K7-I039	サブプレッションチェンバ気体温 度	SA 施設	R/B	—	×	
K7-I040	ドライウェル雰囲気温度	SA 施設	R/B	—	×	
K7-I041	原子炉建屋水素濃度	SA 施設	R/B	—	×	
K7-I042	高圧代替注水系系統流量	SA 施設	R/B	—	×	
K7-I043	格納容器下部水位	SA 施設	R/B	—	×	
K7-I044	格納容器内水素濃度 (SA)	SA 施設	R/B	—	×	
K7-I045	耐圧強化ベント系放射線モニタ	SA 施設	R/B	—	×	
K7-I046	使用済燃料貯蔵プール放射線モ ニタ (低レンジ)	SA 施設	R/B	原子炉建屋クレーン	○	
K7-I047	使用済燃料貯蔵プール放射線モ ニタ (高レンジ)	SA 施設	R/B	原子炉建屋クレーン	○	
K7-I048	静的触媒式水素再結合器 動作 監視装置	SA 施設	R/B	原子炉建屋クレーン	○	
K7-I049	復水貯蔵槽水位 (SA)	SA 施設	RW/B	—	×	
K7-I050	復水移送ポンプ吐出圧力	SA 施設	RW/B	—	×	
K7-I051	復水補給水系温度 (代替循環冷 却)	SA 施設	R/B	—	×	
K7-I052	通信連絡設備	SA 施設	C/B	—	×	

※1 机上検討のみ実施

第 6-3-3 表 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉共用 建屋内上位クラス施設
 設へ波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設

整理 番号	建屋内上位クラス施設	区分	設置 建屋	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
					損傷・転倒・落下	
共-E001	中央制御室待避室空気ポンプ陽 圧化装置配管	SA 施設	C/B	—	×	
			Rw/B	—	×	
共-E002	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所 (対策本部) 陽圧化装置配管	SA 施設	5 号 R/B	—	×	
共-E003	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所 二酸化炭素吸収装置 (対策本部)	SA 施設	5 号 R/B	—	×	
共-E004	5 号炉原子炉建屋内高気密室 (対 策本部)	SA 施設	5 号 R/B	—	×	
共-E005	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所 (待機場所) 陽圧化装置配管	SA 施設	5 号 R/B	—	×	
共-B001	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所 用負荷変圧器	SA 施設	5 号 R/B	—	×	
共-B002	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所 用交流分電盤	SA 施設	5 号 R/B	—	×	
共-I001	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所 用無線連絡設備	SA 施設	5 号 R/B	—	×	

第 6-3-4 表 6 号炉 建屋内施設の評価方針 (1/2)

建屋内上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	評価方針	備考
・原子炉圧力容器	原子炉遮蔽壁	基準地震動 S_s に対する構造健全性評価により、原子炉遮蔽壁が転倒しないことを確認する。	工認計算書添付予定
<ul style="list-style-type: none"> ・使用済燃料貯蔵プール ・キャスクビット ・使用済燃料貯蔵ラック ・制御棒・破損燃料貯蔵ラック ・燃料プール冷却浄化系配管 ・静的触媒式水素再結合器 ・スキマーサージタンク ・燃料プール冷却浄化系使用済み燃料・貯蔵プール散水管逆止弁 ・燃料取替エリア排気放射線モニタ ・使用済燃料貯蔵プール温度 (SA) ・使用済燃料貯蔵プール水位 (SA) ・使用済燃料貯蔵プール温度 (SA 広域) ・使用済燃料貯蔵プール水位 (SA 広域) ・使用済燃料貯蔵プール放射線モニタ (低レンジ) ・使用済燃料貯蔵プール放射線モニタ (高レンジ) ・静的触媒式水素再結合器動作監視装置 	原子炉建屋クレーン	基準地震動 S_s に対する構造健全性評価により、原子炉建屋クレーンが転倒及び落下しないことを確認する。	工認計算書添付予定
<ul style="list-style-type: none"> ・使用済燃料貯蔵プール ・キャスクビット ・使用済燃料貯蔵ラック ・制御棒・破損燃料貯蔵ラック ・燃料プール冷却浄化系配管 ・スキマーサージタンク ・燃料プール冷却浄化系使用済み燃料貯蔵プール散水管逆止弁 ・使用済燃料貯蔵プール温度 (SA) ・使用済燃料貯蔵プール水位 (SA) ・使用済燃料貯蔵プール温度 (SA 広域) ・使用済燃料貯蔵プール水位 (SA 広域) 	燃料取替機	基準地震動 S_s に対する構造健全性評価により、燃料取替機が転倒及び落下しないことを確認する。	工認計算書添付予定

第 6-3-4 表 6 号炉 建屋内施設の評価方針 (2/2)

建屋内上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	評価方針	備考
・ 原子炉格納容器	原子炉ウェル遮蔽プラグ	基準地震動 S_s に対する構造健全性評価により、原子炉ウェル遮蔽プラグが落下しないことを確認する。	工認計算書添付予定
・ 中央運転監視盤 ・ 運転監視補助盤	中央制御室天井照明	基準地震動 S_s に対する構造健全性評価により、天井照明が落下しないことを確認する。	工認計算書添付予定

第 6-3-5 表 7 号炉 建屋内施設の評価方針 (1/2)

建屋内上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	評価方針	備考
・原子炉圧力容器	原子炉遮蔽壁	基準地震動 S_s に対する構造健全性評価により、原子炉遮蔽壁が転倒しないことを確認する。	工認計算書添付予定
<ul style="list-style-type: none"> ・使用済燃料貯蔵プール ・キャスクピット ・使用済燃料貯蔵ラック ・制御棒・破損燃料貯蔵ラック ・燃料プール冷却浄化系配管 ・静的触媒式水素再結合器 ・スキマーサージタンク ・燃料プール冷却浄化系使用済み燃料貯蔵プール散水管逆止弁 ・燃料取替エリア排気放射線モニタ ・使用済燃料貯蔵プール温度 (SA) ・使用済燃料貯蔵プール水位 (SA) ・使用済燃料貯蔵プール温度 (SA 広域) ・使用済燃料貯蔵プール水位 (SA 広域) ・使用済燃料貯蔵プール放射線モニタ (低レンジ) ・使用済燃料貯蔵プール放射線モニタ (高レンジ) ・静的触媒式水素再結合器動作監視装置 	原子炉建屋クレーン	基準地震動 S_s に対する構造健全性評価により、原子炉建屋クレーンが転倒及び落下しないことを確認する。	工認計算書添付予定
<ul style="list-style-type: none"> ・使用済燃料貯蔵プール ・キャスクピット ・使用済燃料貯蔵ラック ・制御棒・破損燃料貯蔵ラック ・燃料プール冷却浄化系配管 ・スキマーサージタンク ・燃料プール冷却浄化系使用済み燃料貯蔵プール散水管逆止弁 ・使用済燃料貯蔵プール温度 (SA) ・使用済燃料貯蔵プール水位 (SA) ・使用済燃料貯蔵プール温度 (SA 広域) ・使用済燃料貯蔵プール水位 (SA 広域) 	燃料取替機	基準地震動 S_s に対する構造健全性評価により、燃料取替機が転倒及び落下しないことを確認する。	工認計算書添付予定

第 6-3-5 表 7 号炉 建屋内施設の評価方針 (2/2)

建屋内上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	評価方針	備考
・ 原子炉格納容器	原子炉ウエル遮蔽プラグ	基準地震動 S_s に対する構造健全性評価により，原子炉ウエル遮蔽プラグが落下しないことを確認する。	工認計算書添付予定
・ 中央運転監視盤 ・ 運転監視補助盤	中央制御室天井照明	基準地震動 S_s に対する構造健全性評価により，天井照明が落下しないことを確認する。	工認計算書添付予定

6.4 建屋外における損傷、転倒及び落下等による影響検討結果

6.4.1 抽出手順

机上検討及び現地調査をもとに、建屋外上位クラス施設及び建屋外上位クラス施設の間接支持構造物である建物・構築物に対して、損傷、転倒及び落下等により影響を及ぼす可能性のある下位クラス施設を抽出した。なお、机上検討は上位クラス施設周辺の下位クラス施設の転倒及び落下を想定した場合にも上位クラス施設に衝突しないだけの離隔距離をとって配置されていることを確認する。また、上位クラス施設に対して、下位クラス施設が明らかに影響を及ぼさない程度の大きさ、重量等である場合は影響無しと判断する。

6.4.2 下位クラス施設の抽出結果

第 5-4 図のフローの a に基づいて抽出された下位クラス施設について抽出したものを第 6-4-1 表～第 6-4-3 表に示す。なお、机上検討のみにより評価した施設を第 6-4-1 表～第 6-4-3 表の備考にて示す。

6.4.3 耐震評価を実施する施設

6.4.2 で抽出した建屋外下位クラス施設の評価方針について、第 6-4-4 表～第 6-4-6 表に示す。

第 6-4-1 表 6 号炉 建屋外上位クラス施設へ波及的影響（損傷・転倒・落下等）を及ぼすおそれのある下位クラス施設(1/2)

整理 番号	建屋外上位クラス施設	区分	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
				損傷・転倒・落下	
K6-0001	非常用ディーゼル発電設備 軽油タンク	S クラス SA 施設	5 号炉排気筒	○	
K6-0002	非常用ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ	S クラス	5 号炉排気筒	○	
			燃料移送ポンプエリア竜巻防護壁	○	
K6-0003	非常用ディーゼル発電設備 燃料油系配管	S クラス	5 号炉排気筒	○	
			燃料移送ポンプエリア竜巻防護壁	○	
K6-0004	非常用ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ出口逆止弁	S クラス	5 号炉排気筒	○	
			燃料移送ポンプエリア竜巻防護壁	○	
K6-0005	格納容器圧力逃がし装置 フィルタ装置	SA 施設	5 号炉排気筒	○	
K6-0006	格納容器圧力逃がし装置 よう素フィルタ	SA 施設	5 号炉排気筒	○	
K6-0007	格納容器圧力逃がし装置 ドレンポンプ設備	SA 施設	5 号炉排気筒	○	
K6-0008	格納容器圧力逃がし装置 ドレンタンク	SA 施設	5 号炉排気筒	○	
K6-0009	格納容器圧力逃がし装置 ラブチャディスク	SA 施設	5 号炉排気筒	○	
K6-0010	復水補給水系配管	SA 施設	5 号炉排気筒	○	
K6-0011	燃料プール冷却浄化系配管	SA 施設	5 号炉排気筒	○	
K6-0012	格納容器圧力逃がし装置 配管	SA 施設	5 号炉排気筒	○	
K6-0013	格納容器圧力逃がし装置 放射線モニタ盤	SA 施設	5 号炉排気筒	○	
K6-0014	原子炉建屋	S クラス施設及び SA 施設間接支持構造物	5 号炉排気筒	○	※1
K6-0015	タービン建屋	S クラス施設及び SA 施設間接支持構造物	5 号炉タービン建屋	○	※1
			5 号炉排気筒	○	
K6-0016	排気筒	S クラス施設間接支持構造物	5 号炉排気筒	○	※1
K6-0017	格納容器圧力逃がし装置 基礎	SA 施設間接支持構造物	5 号炉排気筒	○	※1
K6-0018	海水貯留堰	S クラス 屋外重要土木構造物 SA 施設	取水護岸	○	※1
K6-0019	スクリーン室	屋外重要土木構造物 SA 施設	—	×	※1

第 6-4-1 表 6 号炉 建屋外上位クラス施設へ波及的影響（損傷・転倒・落下等）を及ぼすおそれのある下位クラス施設(2/2)

整理 番号	建屋外上位クラス施設	区分	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
				損傷・転倒・落下	
K6-0020	取水路	屋外重要土木構造物 SA 施設	—	×	※1
K6-0021	補機冷却用海水取水路	屋外重要土木構造物 SA 施設	—	×	※1
K6-0022	軽油タンク基礎	屋外重要土木構造物 (S クラス施設及び SA 施設間 接支持構造物)	5 号炉排気筒	○	※1
K6-0023	燃料移送系配管ダクト	屋外重要土木構造物 (S クラス施設間接支持構 造物)	—	×	※1
K6-0024	原子炉補機冷却水系配管	SA 施設	—	×	
K6-0025	非常用ガス処理系配管	S クラス SA 施設	5 号炉排気筒	○	
K6-0026	代替格納容器圧力逃がし 装置フィルタ装置	SA 施設			※2
K6-0027	代替格納容器圧力逃がし 装置よう素フィルタ	SA 施設			※2
K6-0028	代替格納容器圧力逃がし 装置室空調	SA 施設			※2
K6-0029	代替格納容器圧力逃がし 装置ドレンポンプ設備	SA 施設			※2
K6-0030	代替格納容器圧力逃がし 装置ドレンタンク	SA 施設			※2
K6-0031	代替格納容器圧力逃がし 装置薬液タンク	SA 施設			※2
K6-0032	代替格納容器圧力逃がし 装置ラプチャディスク	SA 施設			※2
K6-0033	代替格納容器圧力逃がし 装置配管	SA 施設			※2
K6-0034	代替格納容器圧力逃がし 装置基礎	SA 施設間接支持構造物			※2
K6-0035	無線連絡設備	SA 施設	—	×	

※1 机上検討のみ実施

※2 対象上位クラス施設を設置する段階で、5.4 項に示す影響検討を実施する（添付資料 6 参照）。

第 6-4-2 表 7 号炉 建屋外上位クラス施設へ波及的影響（損傷・転倒・落下等）を及ぼすおそれのある下位クラス施設(1/2)

整理 番号	建屋外上位クラス施設	区分	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
				損傷・転倒・落下	
K7-0001	非常用ディーゼル発電設備 軽油タンク	S クラス SA 施設	—	×	
K7-0002	非常用ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ	S クラス	燃料移送ポンプエリア竜巻 防護壁	○	
K7-0003	非常用ディーゼル発電設備 燃料油系配管	S クラス	燃料移送ポンプエリア竜巻 防護壁	○	
K7-0004	非常用ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ出口 逆止弁	S クラス	燃料移送ポンプエリア竜巻 防護壁	○	
K7-0005	格納容器圧力逃がし装置 フィルタ装置	SA 施設	—	×	
K7-0006	格納容器圧力逃がし装置 よう素フィルタ	SA 施設	—	×	
K7-0007	格納容器圧力逃がし装置 ドレンポンプ設備	SA 施設	—	×	
K7-0008	格納容器圧力逃がし装置 ドレンタンク	SA 施設	—	×	
K7-0009	格納容器圧力逃がし装置 ラプチャディスク	SA 施設	—	×	
K7-0010	復水補給水系配管	SA 施設	—	×	
K7-0011	燃料プール冷却浄化系配 管	SA 施設	—	×	
K7-0012	格納容器圧力逃がし装置 配管	SA 施設	—	×	
K7-0013	格納容器圧力逃がし装置 放射線モニタ盤	SA 施設	—	×	
K7-0014	原子炉建屋	S クラス施設及び SA 施設 間接支持構造物	—	×	※1
K7-0015	タービン建屋	S クラス施設及び SA 施設 間接支持構造物	—	×	※1
K7-0016	排気筒	S クラス施設間接支持構造物	—	×	※1
K7-0017	格納容器圧力逃がし装置 基礎	SA 施設間接支持構造物	—	×	※1
K7-0018	海水貯留堰	S クラス 屋外重要土木構造物 SA 施設	取水護岸	○	※1
K7-0019	スクリーン室	屋外重要土木構造物 SA 施設	—	×	※1

第 6-4-2 表 7 号炉 建屋外上位クラス施設へ波及的影響（損傷・転倒・落下等）を及ぼすおそれのある下位クラス施設(2/2)

整理 番号	建屋外上位クラス施設	区分	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
				損傷・転倒・落下	
K7-0020	取水路	屋外重要土木構造物 SA 施設	—	×	※1
K7-0021	補機冷却用海水取水路	屋外重要土木構造物 SA 施設	—	×	※1
K7-0022	軽油タンク基礎	屋外重要土木構造物 (S クラス施設及び SA 施設間 接支持構造物)	—	×	※1
K7-0023	燃料移送系配管ダクト	屋外重要土木構造物 (S クラス施設間接支持構 造物)	—	×	※1
K7-0024	原子炉補機冷却水系配管	SA 施設	—	×	
K7-0025	非常用ガス処理系配管	S クラス SA 施設	—	×	
K7-0026	代替格納容器圧力逃がし 装置フィルタ装置	SA 施設			※2
K7-0027	代替格納容器圧力逃がし 装置よう素フィルタ	SA 施設			※2
K7-0028	代替格納容器圧力逃がし 装置室空調	SA 施設			※2
K7-0029	代替格納容器圧力逃がし 装置ドレンポンプ設備	SA 施設			※2
K7-0030	代替格納容器圧力逃がし 装置ドレンタンク	SA 施設			※2
K7-0031	代替格納容器圧力逃がし 装置 薬液タンク	SA 施設			※2
K7-0032	代替格納容器圧力逃がし 装置 ラブチャディスク	SA 施設			※2
K7-0033	代替格納容器圧力逃がし 装置配管	SA 施設			※2
K7-0034	代替格納容器圧力逃がし 装置基礎	SA 施設間接支持構造物			※2
K7-0035	無線連絡設備	SA 施設	—	×	

※1 机上検討のみ実施

※2 対象上位クラス施設を設置する段階で、5.4 項に示す影響検討を実施する（添付資料 6 参照）。

第 6-4-3 表 6 号炉及び 7 号炉 建屋外上位クラス施設へ波及的影響（損傷・転倒・落下等）を及ぼすおそれのある下位クラス施設

整理 番号	建屋外上位クラス施設	区分	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
				損傷・転倒・落下	
共-0001	第一ガスタービン発電機	SA 施設	—	×	
共-0002	第一ガスタービン発電機 用燃料タンク	SA 施設	—	×	
共-0003	第一ガスタービン発電機 用燃料移送ポンプ	SA 施設	—	×	
共-0004	第一ガスタービン発電機 用燃料移送系配管	SA 施設	—	×	
共-0005	第一ガスタービン発電機 制御盤	SA 施設	—	×	
共-0006	津波監視カメラ	S クラス SA 施設	—	×	
共-0007	コントロール建屋	S クラス施設及び SA 施設 間接支持構造物	サービス建屋	○	※1
共-0008	廃棄物処理建屋	SA 施設間接支持構造物	—	×	※1
共-0009	第一ガスタービン発電機 基礎	SA 施設間接支持構造物	—	×	※1
共-0010	第一ガスタービン発電機 用燃料タンク基礎	SA 施設間接支持構造物	—	×	※1
共-0011	5 号炉原子炉建屋内緊急 時対策所 (5 号炉原子炉建 屋)	SA 施設 SA 施設間接支持構造物	5 号炉タービン建屋	○	※1
			5 号炉サービス建屋	○	
			5 号炉排気筒	○	
			5 号炉格納容器圧力逃がし 装置基礎	○	
共-0012	5 号炉原子炉建屋内緊急 時対策所用無線連絡設備	SA 施設	5 号炉排気筒	○	

※1 机上検討のみ実施

第 6-4-4 表 6 号炉 建屋外施設の評価方針又は評価結果（損傷，転倒及び落下等による影響）（1/2）

建屋外上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	評価方針又は評価結果	備考
<ul style="list-style-type: none"> ・非常用ディーゼル発電設備 軽油タンク ・非常用ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ ・非常用ディーゼル発電設備 燃料油系配管 ・非常用ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ出口逆止弁 ・格納容器圧力逃がし装置 フィルタ装置 ・格納容器圧力逃がし装置 よう素フィルタ ・格納容器圧力逃がし装置 ドレンポンプ設備 ・格納容器圧力逃がし装置 ドレンタンク ・格納容器圧力逃がし装置 ラブチャディスク ・復水補給水系配管 ・燃料プール冷却浄化系配管 ・格納容器圧力逃がし装置 配管 ・格納容器圧力逃がし装置 放射線モニタ盤 ・原子炉建屋 ・タービン建屋 ・排気筒 ・格納容器圧力逃がし装置 基礎 ・軽油タンク基礎 ・非常用ガス処理系配管 	5 号炉排気筒	<p>基準地震動 S_s に対する地震応答解析を実施し，5 号炉排気筒が上位クラス施設に与える影響を確認する。なお，影響の確認にあたっては地盤の液状化による影響を考慮する。</p> <p>また，5 号炉排気筒は周辺斜面からの影響を受けない十分な離隔距離を保持していることを確認した。</p>	<p>工認補足説明資料に記載予定 本資料 添付資料 4 参照</p>

第 6-4-4 表 6 号炉 建屋外施設の評価方針又は評価結果（損傷、転倒及び落下等による影響）（2/2）

建屋外上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	評価方針又は評価結果	備考
<ul style="list-style-type: none"> ・非常用ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ ・非常用ディーゼル発電設備 燃料油系配管 ・非常用ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ出口逆止弁 	燃料移送ポンプエリア竜巻防護壁	基準地震動 S_s に対する地震応答解析を実施し、燃料移送ポンプエリア竜巻防護壁が上位クラス施設に与える影響を確認する。なお、影響の確認にあたっては地盤の液状化による影響を考慮する。 また、燃料移送ポンプエリア竜巻防護壁は周辺斜面からの影響を受けない十分な離隔距離を保持していることを確認した。	工認計算書 添付予定 本資料 添付資料 4 参照
<ul style="list-style-type: none"> ・タービン建屋 	5 号炉タービン建屋	基準地震動 S_s に対する地震応答解析を実施し、5 号炉タービン建屋が上位クラス施設に与える影響を確認する。なお、影響の確認にあたっては地盤の液状化による影響を考慮する。 また、5 号炉タービン建屋は周辺斜面からの影響を受けない十分な離隔距離を保持していることを確認した。	工認補足説明資料に記載予定 本資料 添付資料 4 参照
<ul style="list-style-type: none"> ・海水貯留堰 	取水護岸	基準地震動 S_s に対する地震応答解析を実施し、上位クラス施設に与える影響を確認する。なお、影響の確認にあたっては地盤の液状化による影響を考慮する。 また、取水護岸は周辺斜面からの影響を受けない十分な離隔距離を保持していることを確認した。	工認計算書 添付予定 本資料 添付資料 4 参照

第 6-4-5 表 7 号炉 建屋外施設の評価方針又は評価結果（損傷，転倒及び落下等による影響）

建屋外上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	評価方針又は評価結果	備考
<ul style="list-style-type: none"> ・非常用ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ ・非常用ディーゼル発電設備 燃料油系配管 ・非常用ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ出口逆止弁 	燃料移送ポンプエリア竜巻防護壁	<p>基準地震動 S_s に対する地震応答解析を実施し，燃料移送ポンプエリア竜巻防護壁が上位クラス施設に与える影響を確認する。なお，影響の確認にあたっては地盤の液状化による影響を考慮する。</p> <p>また，燃料移送ポンプエリア竜巻防護壁は周辺斜面からの影響を受けない十分な離隔距離を保持していることを確認した。</p>	工認計算書 添付予定 本資料 添付資料 4 参照
<ul style="list-style-type: none"> ・海水貯留堰 	取水護岸	<p>基準地震動 S_s に対する地震応答解析を実施し，取水護岸が上位クラス施設に与える影響を確認する。なお，影響の確認にあたっては地盤の液状化による影響を考慮する。</p> <p>また，取水護岸は周辺斜面からの影響を受けない十分な離隔距離を保持していることを確認した。</p>	工認計算書 添付予定 本資料 添付資料 4 参照

第 6-4-6 表 6 号炉及び 7 号炉 建屋外施設の評価方針又は評価結果（損傷、転倒及び落下等による影響）

建屋外上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	評価方針又は評価結果	備考
・コントロール建屋	サービス建屋	基準地震動 Ss に対する地震応答解析を実施し、サービス建屋が上位クラス施設に与える影響を確認する。なお、影響の確認にあたっては地盤の液状化による影響を考慮する。 また、サービス建屋は周辺斜面からの影響を受けない十分な離隔距離を保持していることを確認した。	工認計算書 添付予定 本資料 添付資料 4 参照
・ 5 号炉原子炉建屋内緊急時 対策所（5 号炉原子炉建屋）	5 号炉タービン建屋	基準地震動 Ss に対する地震応答解析を実施し、5 号炉タービン建屋が上位クラス施設に与える影響を確認する。なお、影響の確認にあたっては地盤の液状化による影響を考慮する。 また、5 号炉タービン建屋は周辺斜面からの影響を受けない十分な離隔距離を保持していることを確認した。	工認補足説明資料に記載予定 本資料 添付資料 4 参照
	5 号炉サービス建屋	基準地震動 Ss に対する地震応答解析を実施し、5 号炉サービス建屋が上位クラス施設に与える影響を確認する。なお、影響の確認にあたっては地盤の液状化による影響を考慮する。 また、5 号炉サービス建屋は周辺斜面からの影響を受けない十分な離隔距離を保持していることを確認した。	工認計算書 添付予定 本資料 添付資料 4 参照
	5 号炉排気筒	基準地震動 Ss に対する地震応答解析を実施し、5 号炉排気筒が上位クラス施設に与える影響を確認する。なお、影響の確認にあたっては地盤の液状化による影響を考慮する。 また、5 号炉排気筒は周辺斜面からの影響を受けない十分な離隔距離を保持していることを確認した。	工認補足説明資料に記載予定 本資料 添付資料 4 参照
	5 号炉格納容器圧力逃がし装置基礎	基準地震動 Ss に対する地震応答解析を実施し、5 号炉格納容器圧力逃がし装置基礎が上位クラス施設に与える影響を確認する。なお、影響の確認にあたっては地盤の液状化による影響を考慮する。 また、5 号炉格納容器圧力逃がし装置基礎は周辺斜面からの影響を受けない十分な離隔距離を保持していることを確認した。	工認補足説明資料に記載予定 本資料 添付資料 4 参照
・ 5 号炉原子炉建屋内緊急時 対策所用無線連絡設備	5 号炉排気筒	基準地震動 Ss に対する地震応答解析を実施し、5 号炉排気筒が上位クラス施設に与える影響を確認する。なお、影響の確認にあたっては地盤の液状化による影響を考慮する。 また、5 号炉排気筒は周辺斜面からの影響を受けない十分な離隔距離を保持していることを確認した。	工認補足説明資料に記載予定 本資料 添付資料 4 参照

波及的影響評価に係る現地調査の実施要領

1. 目的

建屋内外の上位クラス施設への下位クラス施設の波及的影響評価のため、現地調査を実施し、上位クラス施設周辺の下位クラス施設の位置、構造及び影響防止措置等の状況を確認し、下位クラス施設による波及的影響のおそれの有無等を調査する。

2. 調査対象

2. 1 調査対象施設

以下に示す上位クラス施設を現地調査の対象とする。

- (1) 設計基準対象施設のうち、耐震 S クラス施設（津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を含む。）
- (2) 重大事故等対処施設のうち、常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備

なお、狭暗部、内部構造物等機器の内部、コンクリート埋設、地下、高所及び水中については、現地調査が困難であるが、狭暗部（原子炉压力容器支持構造物等）については、外部から閉ざされた区域にあり、元々耐震 S クラス施設しかないこと、内部構造物等機器の内部（原子炉压力容器内部構造物等）はその物全体が上位クラス施設であること、コンクリート埋設、地下については、周囲に波及的影響を与えるものはないと推定されることから、これらの箇所に設置されている上位クラス施設に対する波及的影響はないと判断する。

高所については、施設下方から周辺機器の位置関係を俯瞰的に見ることで波及的影響の有無を確認する。

水中については、対象上位クラス施設として使用済燃料貯蔵プール、使用済燃料貯蔵ラック、制御棒・破損燃料貯蔵ラック等が該当するが、使用済燃料プール内に設置されている下位クラス施設は設計図書類で網羅的に確認できることから、現地調査では使用済燃料貯蔵プール等の上部を俯瞰的に見ることで波及的影響の有無を確認する。

ケーブルについては、各階の天井付近等の高所に設置することで下位クラス施設の損傷・転倒・落下による波及的影響を考慮した配置としている。トレイ等から機器や計器に接続する場合は、電線管等で保護し波及的影響を防止している。

2. 2 現地調査にて確認する検討事象

別記 2 に記載された事項に基づく検討事象に対する現地調査による確認項目を

第1表に示す。

第1表 別記2に記載された事項に基づく検討事象に対する現地調査による確認項目

調査対象施設	建屋外施設		接続部 (建屋内外)	建屋内施設
検討事象	別記2①	別記2④	別記2②	別記2③
現地調査による 確認項目	×※1	○	×※2	○

※1 不等沈下又は相対変位の観点として、上位クラス施設の建物・構築物と下位クラス施設の位置関係が机上検討で確認したところであることを現地で確認。

※2 接続部については、系統図等により網羅的に確認が可能であり、プラント建設時及び改造工事の際は、施工に伴う確認、系統図作成時における現場確認、使用前検査、試運転等から接続部が設計図書どおりであることを確認していることから、接続部の波及的影響については、机上検討により評価対象の抽出が可能である。

3. 調査要員

調査要員の要件は、以下のとおりとする。

- (1) 柏崎刈羽原子力発電所の耐震設計、構造設計又は機械・電気計装設計等に関する専門的な知識・技能及び経験を有する者。
- (2) 柏崎刈羽原子力発電所の保修業務等に従事し、施設の構造、機能及び特性等に関する専門的な知識・技能及び経験を有する者。

上記(1)または(2)の要件に該当する者の複数名でチームを編成し、現地調査を実施する。

4. 現地調査実施日

平成27年4月3日～平成29年1月20日

5. 調査方法

5.1 調査手順

調査対象施設について、別紙の「プラントウォークダウンチェックシート」に従い、周辺の下位クラス施設の位置、構造及び影響防止措置（落下防止措置、固縛措置等）等の状況から、波及的影響のおそれの有無を確認する。

5.2 確認項目及び判断基準

各確認項目に対する波及的影響のおそれの有無の判断基準を第2表に示す。

なお、対象となる上位クラス施設に対して、下位クラス施設が明らかに影響を及ぼさない程度の大きさ、重量等である場合（小口径配管、照明器具等）は影響無しと判

断する。

第 2 表 確認項目及び判断基準

確認項目	判断基準
○B, C クラス施設等との十分な離隔距離をとる等により, 当該設備に与える影響はない。	・周辺のB, C クラス施設の転倒・落下を想定した場合にも上位クラス施設に衝突しないだけの離隔距離をとって配置・保管されていること。
○周辺に作業用ホイスﾄ・ﾚｰﾙ, グﾚｰﾁﾝｸﾞ, 手すり等がある場合, 落下防止措置等により, 当該設備に与える影響はない。	・作業用ホイスﾄ・ﾚｰﾙ, グﾚｰﾁﾝｸﾞ, 手すり等について, 離隔距離が十分でない場合は, 適切な落下防止措置等が講じられていること。 ・離隔距離をとっていても地震により移動する可能性があるもの(ﾁｬｰﾝﾌﾞﾛｯｸ等)は移動防止措置が講じられていること。
○周辺に仮置き機器がある場合, 固縛措置等により, 当該設備に与える影響はない。	・仮置き機器について, 離隔距離が十分でない場合は, 固縛措置等により落下防止または移動防止措置が講じられていること。
○上部に照明器具がある場合, 落下防止措置等により, 当該設備に与える影響はない。	・照明器具について, 離隔距離が十分でない場合は, 適切な落下防止措置等が講じられていること。

柏崎刈羽原子力発電所 プラントウォークダウンチェックシート（建屋外）
（耐震重要施設）

実施日：平成 年 月 日

実施者：_____

号機 : _____

機器名称：_____

機器No：_____ 設置場所：_____

	波及的影響について	Y	N	U	N/A
1	建屋外における下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等による耐震重要施設への影響はない。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1-1	・下位クラス施設等との十分な離隔距離をとる等により、当該設備に与える影響はない。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1-2	・周辺に仮置機器がある場合、固縛措置等により、当該設備に与える影響はない。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	その他（ ）	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	耐震重要施設について	Y	N	U	N/A
1	対象機器と支持構造物との接合部に外見上の異常（ボルトの緩み、腐食、き裂等）はない。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

（記号の説明） Y：YES、N：NO、U：調査不可、N/A：対象外

総合評価（機器周辺の状況についての記載）

柏崎刈羽原子力発電所 プラントウォークダウンチェックシート（建屋内）
（耐震重要施設）

実施日：平成 年 月 日

実施者：_____

号機：_____

機器名称：_____

機器No：_____ 設置建屋：_____ 設置高さ：_____

	波及的影響について	Y	N	U	N/A
1	建屋内における下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等による耐震重要施設への影響はない。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1-1	・下位クラス施設等との十分な離隔距離をとる等により、当該設備に与える影響はない。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1-2	・周辺に作業用ホイス・レール、グレーチング、手すり等がある場合、落下防止措置等により、当該設備に与える影響はない。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1-3	・周辺に仮置機器がある場合、固縛措置等により、当該設備に与える影響はない。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1-4	・上部に照明器具がある場合、落下防止措置等により、当該設備に与える影響はない。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	その他（ ）	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	耐震重要施設について	Y	N	U	N/A
1	対象機器と支持構造物との接合部に外見上の異常（ボルトの緩み、腐食、き裂等）はない。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

（記号の説明） Y：YES、N：NO、U：調査不可、N/A：対象外

総合評価（機器周辺の状況についての記載）

柏崎刈羽原子力発電所 プラントウォークダウンチェックシート（建屋外）
（常設耐震重要重大事故防止設備または常設重大事故緩和設備）

実施日：平成 年 月 日

実施者：_____

号機：_____

機器名称：_____

機器No：_____ 設置場所：_____

	波及的影響について	Y	N	U	N/A
1	建屋外における下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等による常設耐震重要重大事故防止設備または常設重大事故緩和設備への影響はない。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1-1	・下位クラス施設等との十分な離隔距離をとる等により、当該設備に与える影響はない。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1-2	・周辺に仮置機器がある場合、固縛措置等により、当該設備に与える影響はない。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	その他（ ）	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	常設耐震重要重大事故防止設備または常設重大事故緩和設備について	Y	N	U	N/A
1	対象機器と支持構造物との接合部に外見上の異常（ボルトの緩み、腐食、き裂等）はない。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

（記号の説明） Y：YES、N：NO、U：調査不可、N/A：対象外

総合評価（機器周辺の状況についての記載）

柏崎刈羽原子力発電所 プラントウォークダウンチェックシート（建屋内）
（常設耐震重要重大事故防止設備または常設重大事故緩和設備）

実施日：平成 年 月 日

実施者：_____

号機：_____

機器名称：_____

機器No：_____ 設置建屋：_____ 設置高さ：_____

	波及的影響について	Y	N	U	N/A
1	建屋内における下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等による常設耐震重要重大事故防止設備または常設重大事故緩和設備への影響はない。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1-1	・下位クラス施設等との十分な離隔距離をとる等により、当該設備に与える影響はない。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1-2	・周辺に作業用ホイス・レール、グレーチング、手すり等がある場合、落下防止措置等により、当該設備に与える影響はない。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1-3	・周辺に仮置機器がある場合、固縛措置等により、当該設備に与える影響はない。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1-4	・上部に照明器具がある場合、落下防止措置等により、当該設備に与える影響はない。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	その他（ ）	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	常設耐震重要重大事故防止設備または常設重大事故緩和設備について	Y	N	U	N/A
1	対象機器と支持構造物との接合部に外見上の異常（ボルトの緩み、腐食、き裂等）はない。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

（記号の説明） Y：YES、N：NO、U：調査不可、N/A：対象外

総合評価（機器周辺の状況についての記載）

波及的影響評価に係る現地調査記録

柏崎刈羽原子力発電所 プラントウォークダウン・チェックシート（建屋内）
（耐震重要施設）

実施日：平成27年 6月 9日

実施者：_____

号機： 6号機

機器名称： 使用済燃料貯蔵プール

機器No： E006 設置建屋： R/B 設置高さ： 31.7m

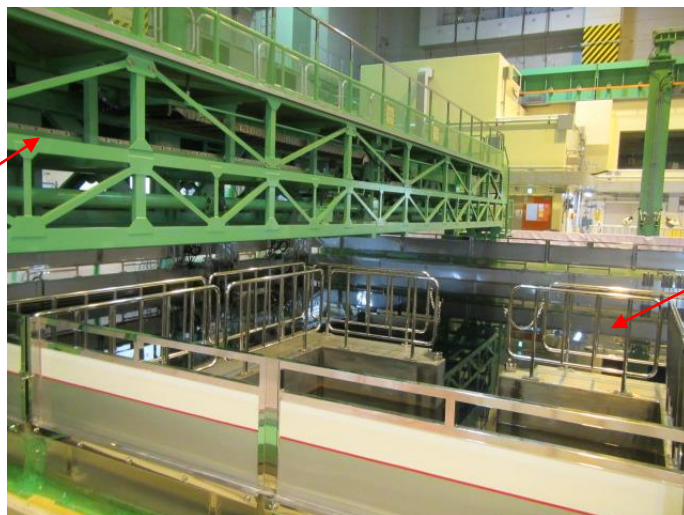
	波及的影響について	Y	N	U	N/A
1	建屋内における下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等による耐震重要施設への影響はない。	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1-1	・下位クラス施設等との十分な離隔距離をとる等により、当該設備に与える影響はない。	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1-2	・周辺に作業用ホイス・レール、グレーチング、手すり等がある場合、落下防止措置等により、当該設備に与える影響はない。	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1-3	・周辺に仮置機器がある場合、固縛措置等により、当該設備に与える影響はない。	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1-4	・上部に照明器具がある場合、落下防止措置等により、当該設備に与える影響はない。	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	その他（ ）	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

	耐震重要施設について	Y	N	U	N/A
1	対象機器と支持構造物との接合部に外見上の異常（ボルトの緩み、腐食、き裂等）はない。	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

（記号の説明） Y：YES、N：NO、U：調査不可、N/A：対象外

総合評価（機器周辺の状況についての記載）
FHMが直上にて待機。

燃料取替機



使用済燃料貯蔵プール

使用済燃料貯蔵プール



燃料取替機

現場調査時、使用済燃料貯蔵プールの直上に耐震Bクラスの燃料取替機が待機しており、地震時に落下する可能性があるものとして抽出された。現状は、使用済燃料貯蔵プールへの重量物落下防止の観点から、燃料取替機は使用済燃料貯蔵プール上に待機配置は行わないこととしているが、使用時には使用済燃料貯蔵プール上に位置することから、基準地震動 S_s による評価を実施する。

海水ポンプ用天井クレーンの上位クラス施設への波及的影響評価について

海水ポンプ用天井クレーンは、タービン建屋熱交換器エリア地上 1 階の天井部に設置されており、原子炉補機冷却海水ポンプは地下 1 階に設置されている。

(第 1 図～第 4 図参照)

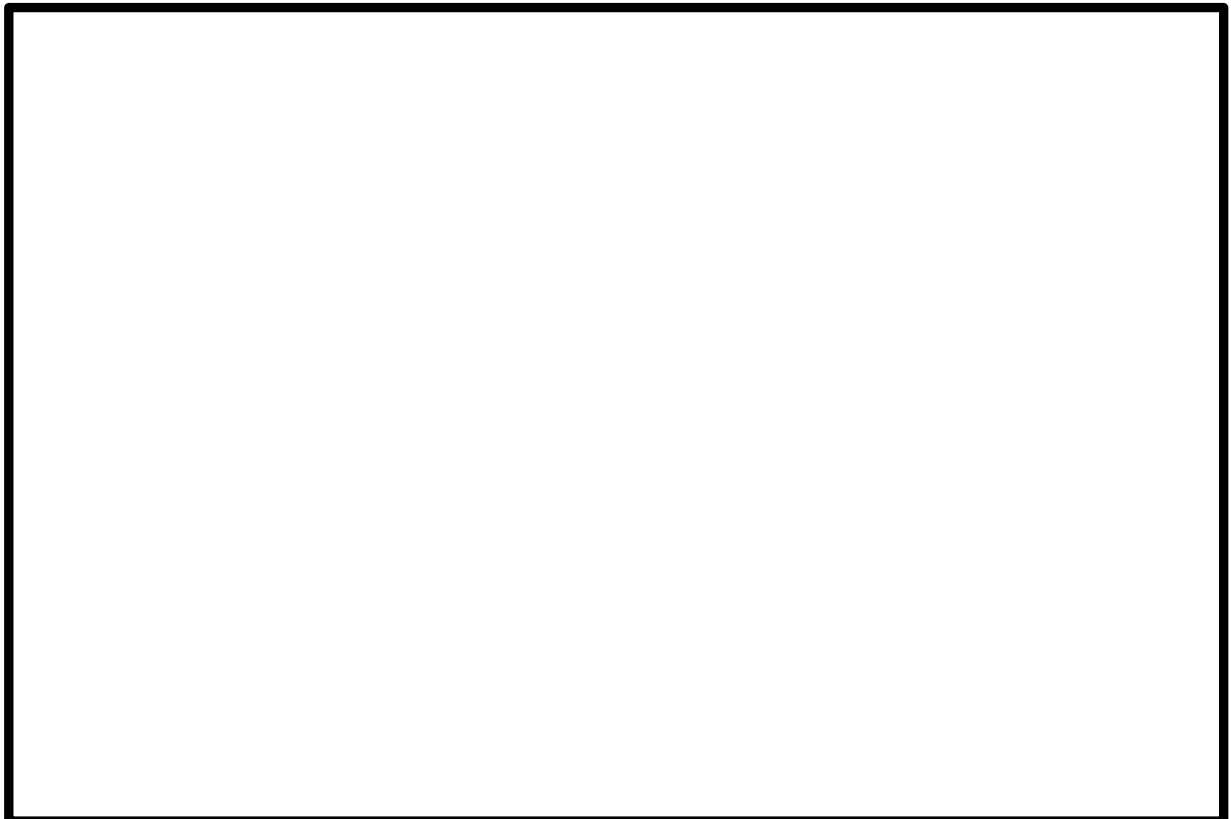
通常運転時は天井クレーンとポンプを隔てるハッチは閉鎖されている。一方で、定期検査時にポンプ点検のためにハッチを開放した場合は、地震等によってハッチ下部に設置されているポンプに対して天井クレーンが落下する影響が懸念される。しかし、ハッチ開放中は点検対象となるポンプ以外のポンプにて当該系統の持つ冷却機能を確保し、各系統のポンプ同士は物理的に隔離されている。そのため、仮に天井クレーンが落下し、点検中のポンプを損傷させたとしても安全機能が損なわれることはない。また、ハッチ開口部は天井クレーンと比べて十分に小さいことから、天井クレーンの落下によってポンプを損傷させる可能性は十分に低い。(第 5 図参照)

以上のことから、海水ポンプ用天井クレーンは、波及的影響評価の対象外である。



T/B B1FL (T.M.S.L. 4900)

第 1 図 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 原子炉補機冷却海水ポンプ配置図



T/B 1FL (T.M.S.L. 12300)

第 2 図 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 海水ポンプ用天井クレーン配置図



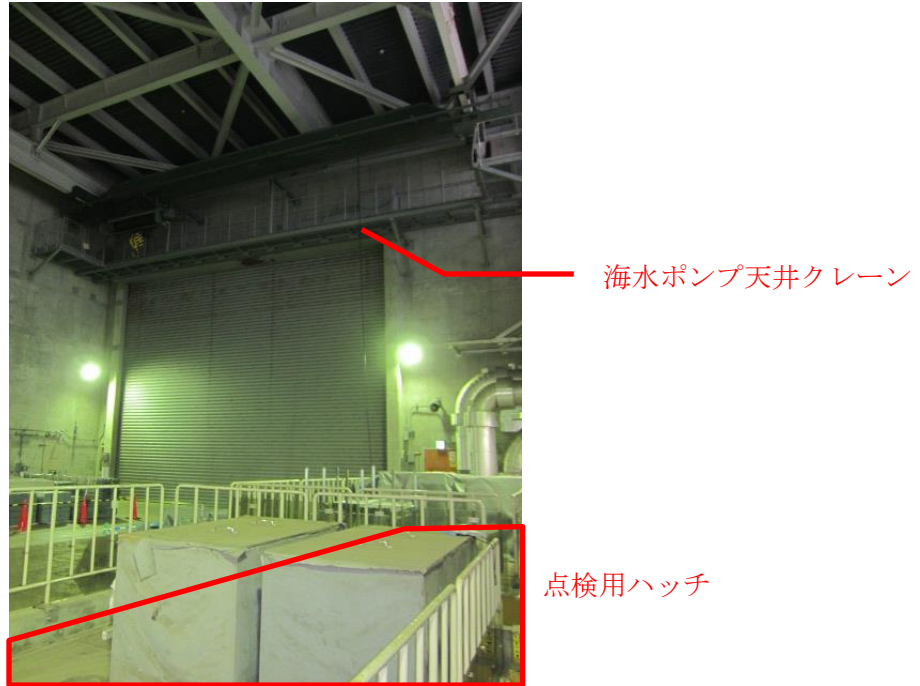
T/B B1FL (T.M.S.L. 4900)

第 3 図 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 原子炉補機冷却海水ポンプ配置図



T/B 1FL (T.M.S.L. 12300)

第 4 図 柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉 海水ポンプ用天井クレーン配置図



第 5 図 海水ポンプ天井クレーン設置状況（7 号炉北側）

添付資料 3-1

原子力発電所における地震被害事例の要因整理(1/13)

地震被害に関する NUCIA 情報の検討内容					
No.	対象地震 (発電所)	件 名	号炉	地震被害事象及び発生要因の概要	地震被害 発生要因
地震被害発生要因 I			※下線は要因 I 相当箇所		
1	宮城沖(女川)	8・16 宮城地震による女川原子力発電所全プラント停止について	1 号炉 2 号炉 3 号炉	地震による安全上重要となる被害なし。以下の軽微な被害が発生。 ○女川 1 号炉 ・主変圧器, 起動用変圧器の避圧弁動作 ・サイトバンカ建屋プールに水銀灯落下 ○女川 2 号炉 ・主変圧器, 起動用変圧器, 補助ボイラー変圧器 (A) (B) の避圧弁動作 ○女川 3 号炉 ・原子炉建屋内見学者用ギャラリー室のガラスのひび ・主変圧器の避圧弁動作 ○その他構内 ・環境放射能測定センターの希硫酸 (5%濃度) 貯蔵施設が漏えいおよび苛性ソーダの一部滴下 ・建屋エレベータ停止 ・排気筒航空障害灯レンズカバー破損 ・構内道路アスファルト亀裂・波うち・段差発生	<u>I</u> , III, VI
2	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】HTr3B 火災発生	3 号炉	・変圧器と周囲の基礎面沈下により, 沈下量に差が発生し, 二次側接続母線部ダクトが変圧器側接続部より落下して変圧器二次ブッシング端子部に接触。 ・この際の衝撃及び二次側接続母線部側導体の変位により変圧器ブッシング碍管が損傷し漏油が発生。 ・二次側接続母線部ダクトが落下し, ブッシング端子部と接触し三相地絡・短絡を引き起こし, 大電流のアーク放電により変圧器火災が発生。 ・変圧器二次側と二次側接続母線部ダクトの接続部が損傷開口し, 着火した絶縁油が基礎面上に流出し, 延焼。	I
3	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】スタックへのダクト配管ズレ	1 号炉	周辺地盤及びダクト基礎部の沈下による主排気ダクトのズレ(ペロローズの変形)。	I
4	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】スタックへのダクト配管ズレ	2 号炉		
5	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】スタックへのダクト配管ズレ	3 号炉		
6	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】スタックへのダクト配管ズレ	4 号炉		
7	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】スタックと主排気ダクトカバーのゆがみ確認	5 号炉		
8	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】K3 励磁用変圧器基礎ボルト切断・相非分割母線沈下有り	3 号炉	地震の揺れによる変圧器及び励磁電源用変圧器の基礎ボルトの切断, 相非分割母線基礎の沈下。	<u>I</u> , III
9	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】C/S B5F 浸水及び MWC 全停	1 号炉	・建屋周辺の地盤沈下等の要因による地中埋設の消火配管の損傷, それに伴う深さ約 40cm の浸水。 ・浸水による MWC の全停	I
10	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】軽油タンク B 前の消火配管破断し水漏れ	1 号炉	不等沈下により消火配管が破断したことによる漏水。なお, 当該不等沈下は液状化による影響を否定できない。	I
11	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】1S/B 北側屋外消火配管が破断し漏水	その他		
12	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】消火設備 4 箇所配管損傷・漏水	その他		
13	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】軽油タンク前他屋外消火配管が破断し漏水	その他		
14	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】500kV 新新潟線 2L シャ断器付近のエアリーク	その他	地盤沈下により当該回線の現場操作盤の基礎が傾斜したことによる, シャ断器操作用の配管からの空気漏れ。	I
15	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】取水設備スクリーン洗浄ポンプ A 吐出フランジ連続滴下・配管サポート変形	5 号炉	地震の影響により地盤が変形したことによる配管及びサポートの変形。	I
16	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】RW/B/RW 制御室制御盤各系制御電源喪失	RW 設備	・建屋周辺の地盤沈下等の要因による地中埋設の消火配管の損傷, それに伴う深さ約 40cm の浸水。 ・浸水による低電導度廃液系等の制御電源喪失。	I
17	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】1 号炉 変圧器防油堤の沈下・傾き, コンクリートのひび割れ・はく離, 目地部の開き	1 号炉	地震による変圧器防油堤の被害は以下のとおり。 ・1 号炉 沈下・傾き, コンクリートのひび割れ・はく離, 目地部の開き ・2 号炉 沈下, 横ズレ ・3 号炉 ひび割れ, 段差発生 ・4 号炉 沈下, 大きな傾斜 (一部目地部の開き) ・5 号炉 底板部のひび割れ, 目地部の開き, 陥没 ・7 号炉 沈下, 外側への開き, 目地部のズレ, 目地部の開き, 目地部の段差	I
18	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】2 号炉 変圧器防油堤の沈下, 横ズレ	2 号炉		I
19	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】3 号炉 変圧器防油堤のひび割れ, 段差	3 号炉		I
20	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】4 号炉 変圧器防油堤の沈下, 大きな傾斜 (一部目地部の開き)	4 号炉		I
21	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】5 号炉 変圧器防油堤のひび割れ	5 号炉		I
22	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】7 号炉 変圧器防油堤の沈下, 外側への開き, 目地部のズレ, 目地部の開き, 目地部の段差	7 号炉		I
23	駿河湾(浜岡)	【駿河湾の地震】取水槽まわりの地盤沈下等	1 号炉	地震により, 取水槽まわりに地盤沈下 (30m×20m, 最大 15cm 程度), 隆起 (35m×15m, 最大 20cm 程度) 及び法面波打ち (30m×5m, 最大 10cm 程度) が発生。	<u>I</u> , IV
24	駿河湾(浜岡)	【駿河湾の地震】道路および法面のひび割れ	他	地震により以下の被害が発生。 ①5 号見晴台道路き裂 ②片平山周辺よう壁目開き, 道路き裂 ③平場ヤード舗装地き裂 ④5 号放水口モニタ室東側よう壁(ブロック積み)き裂 ⑤固体廃棄物貯蔵庫(第 2 棟)周辺よう壁(ブロック積み)および道路のき裂 ⑥発電所東側点検ヤード舗装き裂 ⑦発電所東側海岸道路き裂	<u>I</u> , IV

地震被害発生要因: I: 地震の不等沈下による損傷 II: 建物間の相対変位による損傷 III: 地震の揺れによる施設の損傷・転倒・落下等 IV: 周辺斜面の崩落 V: 使用済燃料ピットスロッシングによる溢水 VI: その他(地震の揺れによる警報発信等, 施設の損傷を伴わない I~V 以外の要因等)

原子力発電所における地震被害事例の要因整理 (2/13)

地震被害に関する NUCIA 情報の検討内容					
No.	対象地震 (発電所)	件 名	号炉	地震被害事象及び発生要因の概要	地震被害 発生要因
25	駿河湾 (浜岡)	【駿河湾の地震】御前崎港の当社専用岸壁に段差 (40m×2cm, 最大 3cm 程度の段差)	他	地震による岸壁の段差。	I
26	駿河湾 (浜岡)	【駿河湾の地震】タービン建屋の東側屋外エリアの地盤沈下	5 号炉	地震によるタービン建屋の東側屋外エリアの地盤沈下 (15m×15m, 10cm 程度)。	I
27	東北地方 太平洋沖 (東海第二)	【東日本大震災関連】ランドリーボイラ重油タンク油漏れ	—	地震により, ランドリーボイラー用重油サービスタンクの基礎が沈下したことによる, 接続配管ユニオン部からの油漏れ。	I

地震被害発生要因：Ⅰ：地震の不等沈下による損傷 Ⅱ：建物間の相対変位による損傷 Ⅲ：地震の揺れによる施設の損傷・転倒・落下等 Ⅳ：周辺斜面の崩落 Ⅴ：使用済燃料ピットスロッシングによる溢水 Ⅵ：その他（地震の揺れによる警報発信等，施設の損傷を伴わないⅠ～Ⅴ以外の要因等）

原子力発電所における地震被害事例の要因整理(3/13)

地震被害に関する NUCIA 情報の検討内容					
No.	対象地震 (発電所)	件 名	号炉	地震被害事象及び発生要因の概要	地震被害 発生要因
地震被害発生要因 II			※下線は要因 II 相当箇所		
28	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】固体廃棄物貯蔵庫地下 1 階管理棟-第 1 棟接続部 通路部付近漏水	その他	地震により後続部エキスパンションとドレンピットが破損し、建屋内に湧水が発生。	<u>II</u> , III
29	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】柏崎刈羽原子力発電所 1, 3 号炉における排気筒 サンプリングラインの損傷について	1 号炉 3 号炉	・地震の揺れによる主排気筒放射線モニタサンプリング配管の破損。 ・地震の影響でモニタ建屋と配管（屋外）の位置がずれたことによる当該配管接続部のズレ。	<u>II</u> , III
30	駿河湾(浜岡)	【駿河湾の地震】補助建屋東側雨樋の亀裂	5 号炉	補助建屋と風除室屋上の地震による揺れの違いによる、補助建屋と風除室屋上で固定された雨樋の亀 裂。	II

地震被害発生要因：Ⅰ：地震の不等沈下による損傷 Ⅱ：建物間の相対変位による損傷 Ⅲ：地震の揺れによる施設の損傷・転倒・落下等 Ⅳ：周辺斜面の崩落 Ⅴ：使用済燃料ピットスロ
ッシングによる溢水 Ⅵ：その他（地震の揺れによる警報発信等、施設の損傷を伴わないⅠ～Ⅴ以外の要因等）

原子力発電所における地震被害事例の要因整理(4/13)

地震被害に関する NUCIA 情報の検討内容					
No.	対象地震 (発電所)	件 名	号炉	地震被害事象及び発生要因の概要	地震被害 発生要因
地震被害発生要因 III			※下線は要因Ⅲ相当箇所		
31	宮城沖(女川)	8・16 宮城地震による女川原子力発電所全プラント停止について	1 号炉 2 号炉 3 号炉	地震による安全上重要となる被害なし。以下の軽微な被害が発生。 ○女川 1 号炉 ・ 主変圧器、起動用変圧器の避圧弁動作 ・ サイトバンカ建屋プールに水銀灯落下 ○女川 2 号炉 ・ 主変圧器、起動用変圧器、補助ボイラー変圧器(A)(B)の避圧弁動作 ○女川 3 号炉 ・ 原子炉建屋内見学者用ギャラリー室のガラスのひび ・ 主変圧器の避圧弁動作 ○その他構内 ・ 環境放射能測定センターの希硫酸(5%濃度)貯蔵施設が漏えいおよび苛性ソーダの一部滴下 ・ 建屋エレベータ停止 ・ 排気筒航空障害灯レンズカバー破損 ・ 構内道路アスファルト亀裂・波うち・段差発生	I, Ⅲ, VI
32	能登半島 (志賀)	能登半島地震に伴う低圧タービン組み立て中のタービンロータの位置ずれ	2 号炉	地震による低圧タービンの被害は以下のとおり。 ・ 組み立て中の低圧タービンロータを仮止めていた治具の変形による、ロータのわずかな位置ずれ。 ・ 動翼の微小な接触痕。	Ⅲ
33	能登半島 (志賀)	能登半島地震に伴う水銀灯の落下	2 号炉	地震時の振動による水銀灯の損傷・落下。	Ⅲ
34	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】R/B オペフロ R/B 天井クレーンユニバーサルジョイントに破損確認	6 号炉	地震動により、走行車輪と電動期間のユニバーサルジョイントに過大なトルクが発生したことによる、ユニバーサルジョイントのクロスビンの破損。	Ⅲ
35	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】所内変圧器 1A と相分離母線のずれによる基礎ボルトの切断	1 号炉	地震の振動により、所内変圧器と相分離母線接続部がずれたことによる基礎ボルトの切断。	Ⅲ
36	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】励磁変圧器からの油漏れ及び基礎ベースからのズレ	1 号炉	地震の振動により、一次ブッシング端子が破損したことによる漏油。 地震の振動による変圧器本体の基礎ベースからのズレ。	Ⅲ
37	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】主変圧器基礎ボルト折損及びクーラー母管と本体間からの油リーク	2 号炉	地震の振動により主変圧器基礎ボルトが折損し、クーラー母管と本体間が破損したことによる油流出。	Ⅲ
38	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】励磁用変圧器基礎部・バスダクト横ずれ	2 号炉	地震の振動による励磁用変圧器の基礎部及びバスダクトの横ずれ。	Ⅲ
39	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】K3 励磁用変圧器基礎ボルト切断・相非分離母線沈下有り	3 号炉	地震の揺れによる主変圧器及び励磁電源用変圧器の基礎ボルトの切断、相非分離母線基礎の沈下。	I, Ⅲ
40	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】No.4 ろ過水タンク配管破断	5 号炉	地震の振動によるタンク配管の伸縮継手部の損傷。	Ⅲ
41	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】R/B 使用済燃料プール内ワーキングテーブル燃料上に落下	4 号炉	地震による使用済燃料プールの被害は以下のとおり。 ・ 4 号炉、7 号炉 使用済燃料貯蔵プール内に取り付けられている水中作業台が外れ、使用済燃料上に落下。 ・ 6 号炉 水中作業台の固定位置からの外れ。	Ⅲ
42	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】R/B 使用済燃料プール内ワーキングテーブルがラック上(燃料あり)に落下	7 号炉		Ⅲ
43	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】6 号炉使用済燃料プール内の水中作業台の固定位置からのはずれ	6 号炉		Ⅲ
44	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】C/S B1F D/G-A 北側付近「RW 固化エリア」扉 S1-15D から漏水	1 号炉	地震による屋外消火配管の損傷により発生した水が、原子炉複合建屋の電線管貫通口を経て流入したことによる漏水。	Ⅲ
45	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】T/B 復水器水室 B1-B2 連絡弁フランジ部漏えい・エキスパンション亀裂	4 号炉	地震による復水器水室間の過大な変位による伸縮継手の損傷・漏えい。	Ⅲ
46	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】500kV 南新潟線 2L 黒相ブッシング油漏れによる南新潟線 2L 停止	その他	地震により送電線引込架線が上下に振れ、ブッシング端子部のフランジ面が変形したことによる漏油。	Ⅲ
47	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】Hx/B B1F FP-40 ラインから漏水	2 号炉	地震の振動により、熱交換器建屋の消火配管引き込み部ラバーブーツが損傷したことによる漏水。	Ⅲ
48	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】荒浜側避雷鉄塔の斜材が 5 本破断	その他	地震の振動による斜材の破断。	Ⅲ
49	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】固体廃棄物貯蔵庫内のドラム缶数百本が転倒し、内数十本のドラム缶の蓋が開いていることを確認	その他	地震の影響によりドラム缶が転倒したことによる蓋の開放。	Ⅲ
50	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】事務本館常用電源断、緊急時対策室電源等は非常用電源より供給	その他	地震の影響により、常用系の高圧受変電盤とチャンネルベースをとめているボルトが切断し、高圧受変電盤が移動したため常用系電源が断となったことによる非常用電源への切替。	Ⅲ
51	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】ヤード T/B サブドレン No. 8 流入水油混入および K1~4 放水庭に微量の油膜確認について	1 号炉	地震の振動で変圧器防油堤が損傷したことによる、変圧器からの絶縁湯の流出。	Ⅲ
52	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】7 号原子炉ウェルライナーからの漏洩について	7 号炉	建設時に原子炉ウェルライナーの溶接余盛り部を平滑化するためにグラインダで除去していたため、残存板厚が薄くなっており、地震により残存板厚が薄くなっていた部分に過大な荷重がかかり貫通したことによる漏えい。	Ⅲ, VI

地震被害発生要因：Ⅰ：地震の不等沈下による損傷 Ⅱ：建物間の相対変位による損傷 Ⅲ：地震の揺れによる施設の損傷・転倒・落下等 Ⅳ：周辺斜面の崩落 Ⅴ：使用済燃料ピットスロッシングによる溢水 VI：その他（地震の揺れによる警報発信等、施設の損傷を伴わないⅠ～Ⅴ以外の要因等）

原子力発電所における地震被害事例の要因整理(5/13)

地震被害に関する NUCIA 情報の検討内容					
No.	対象地震 (発電所)	件 名	号炉	地震被害事象及び発生要因の概要	地震被害 発生要因
53	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】T/B ブローアウトパネル破損	2 号炉	地震によるブローアウトパネルを固定する止め板の変形・外れ。	Ⅲ
54	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】R/B ブローアウトパネル破損	3 号炉		Ⅲ
55	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】T/B 海側・山側ブローアウトパネル外れ・脱落	3 号炉		Ⅲ
56	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】スクリーン起動不可	2 号炉	地震によりケーブルトレイが脱落し、ケーブルが損傷して地絡したことによる起動不可。	Ⅲ
57	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】K1 S/B 環境ミニコン県テレメータ等伝送不能	その他	地震時の振動により中央処理装置とディスプレイを繋ぐケーブルコネクタに接触不良が発生したことによる中央処理装置の停止。	Ⅲ
58	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】重油タンク防油堤での目地の開き(貫通)	その他	地震による目地部の開き。	Ⅲ
59	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】重油タンク用泡消火設備の現場盤損傷	その他	地震による現場盤の支柱と盤 BOX の接合部分の破断。	Ⅲ
60	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】Ax/B B1F 北西側壁面亀裂部より雨水漏えい	その他	地震の影響により、連絡通路が建屋と衝突し、建屋の壁面に亀裂が生じたことによる雨水の流入。	Ⅲ
61	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】固体廃棄物貯蔵庫地下 1 階管理棟-第 1 棟接続部通路部付近漏水	その他	地震により接続部エキスパンションとドレンピットが破損し、建屋内に湧水が発生したことによる漏水。	Ⅱ、Ⅲ
62	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】C/B 2F 中操天井の地震による脱落・ひび割れ・非常灯ずれ・点検口開放を確認について	7 号炉	地震の振動による、飾り照明の落下、天井化粧板の脱落・ひび、非常灯ズレ、点検口開放。	Ⅲ
63	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】R/B オペフロスタッドテンショナー除染パン内油漏れ・油圧制御ホース切断について	4 号炉	地震の揺れにより、スタッドテンショナーと構造フレームとの間に油圧ホースが挟まれ切断されたことによる油漏れ。	Ⅲ
64	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】R/B 2F 南壁面(SFP 側)よりの水漏れ	7 号炉	地震による、原子炉建屋管理区域内 2 階のエレベータ付近の壁面の鉄筋コンクリート継ぎ目部に生じた微細なひびからの水のにじみ。	Ⅲまたは V
65	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】R/B 3F ISI 試験片室からの水漏れ	7 号炉	地震による、原子炉建屋管理区域内 3 階北側の床面コンクリート継ぎ目部からのわずかな水のしみ出し。	Ⅲまたは V
66	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】平均出力領域モニタ制御盤の電源装置の位置ずれについて	4 号炉	地震水平力による当該電源装置の位置ずれ。	Ⅲ
67	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】原子炉建屋 原子炉ウエルライニング面(ウエルカバー着座面)のすり傷について	7 号炉	地震によりウエルカバーが動いたことによる着座面のすり傷。	Ⅲ
68	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】柏崎刈羽原子力発電所 1, 3 号炉における排気筒サンプリングラインに損傷について	1 号炉 3 号炉	・地震の揺れによる主排気筒放射線モニタサンプリング配管の破損。 ・地震の影響でモニタ建屋と配管(屋外)の位置がずれたことによる当該配管接続部のズレ。	I、Ⅲ
69	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】各サービス建屋退域モニタ故障について	全号炉	地震の振動による各サービス建屋の退域モニタ検出器のズレ、及び駆動部の故障	Ⅲ
70	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】3 号炉原子炉建屋地下 2 階 SLC 系注入ライン(格納容器外側貫通部)板金保温へこみについて	3 号炉	地震により点検機材(ISI 用 PRV 模擬ノズル)が移動し、当該配管の板金保温材に接触したことによるへこみ	Ⅲ
71	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】3 号炉原子炉圧力容器遮へい体の地震による移動について	3 号炉	・スライド式遮へい体が正規位置に取り付けられておらず、地震により移動して接触したことによる、RPV 水位計装配管の保温材の変形。 ・スライド式遮へい体のストッパーが取り付けられておらず、地震によりスライド式遮へい体が移動して遮へいブロックが崩れたことによる、遮へいブロックの RPV 水位計装配管への接触。	Ⅲ、VI
72	駿河湾(浜岡)	【駿河湾の地震】原子炉建屋 1 階(放射線管理区域外)の扉の閉不能	1 号炉	地震の揺れにより扉枠が干渉したことによる閉止不能。	Ⅲ
73	駿河湾(浜岡)	【駿河湾の地震】タービン建屋 1 階(放射線管理区域内)の扉金具の落下(1 箇所)	1 号炉	地震の揺れによる、ドアクローザー付属の温度ヒューズの破損・落下。	Ⅲ
74	駿河湾(浜岡)	【駿河湾の地震】タービン建屋 2 階(放射線管理区域内)コンクリート片(親指大)確認	2 号炉	地震の揺れによる、タービン建屋側躯体とタービン建屋ベデスタル躯体間の境界部のコンクリートの表面破損。	Ⅲ
75	駿河湾(浜岡)	【駿河湾の地震】非常用ディーゼル発電機(A)排気消音器の吸音材カバー固定金具の外れ	2 号炉	地震の揺れによる、非常用ディーゼル発電機(A)排気消音器の吸音材カバー固定金具の一部外れ。	Ⅲ
76	駿河湾(浜岡)	【駿河湾の地震】温水タンクまわりの構内配電線電柱の支線外れ(1 箇所)	他	地震により、支線と支線アンカーを接続するターンバックルが破損したことによる支線の外れ。	Ⅲ
77	駿河湾(浜岡)	【駿河湾の地震】275kV 開閉所壁面の鉄骨耐火被覆材のひび割れ	他	地震の揺れによる 275kV 開閉所壁面の鉄骨耐火被覆材のひび割れ。	Ⅲ
78	駿河湾(浜岡)	【駿河湾の地震】275kV 開閉所内の構内放送用スピーカーの脱落	他	地震の揺れにより、留め具が破損したことによる構内放送用スピーカーの脱落。	Ⅲ
79	駿河湾(浜岡)	【駿河湾の地震】非常用ディーゼル発電機の排気消音器の吸音材カバー固定金具の外れおよび台座シール材の劣化	3 号炉	屋外の塩害環境による固定金具の腐食と地震の揺れによる影響による、非常用ディーゼル発電機(A)排気消音器の吸音材カバー固定金具の一部外れ、及び非常用ディーゼル発電機(B)の排気消音器台座シール材の劣化。	Ⅲ、VI

地震被害発生要因：Ⅰ：地震の不等沈下による損傷 Ⅱ：建物間の相対変位による損傷 Ⅲ：地震の揺れによる施設の損傷・転倒・落下等 Ⅳ：周辺斜面の崩落 V：使用済燃料ピットスロッシングによる溢水 VI：その他(地震の揺れによる警報発信等、施設の損傷を伴わないⅠ～Ⅴ以外の要因等)

4 条-別紙 8- 添付資料 3-1 (5/13)

原子力発電所における地震被害事例の要因整理(6/13)

地震被害に関する NUCIA 情報の検討内容					
No.	対象地震 (発電所)	件 名	号炉	地震被害事象及び発生要因の概要	地震被害 発生要因
80	駿河湾 (浜岡)	【駿河湾の地震】タービン系配管の保温材のずれ	4 号炉	地震の揺れによるタービン系配管の保温材のずれ。	Ⅲ
81	駿河湾 (浜岡)	【駿河湾の地震】低圧タービン軸の接触痕	4 号炉	地震の揺れによる、低圧タービン(A)～(C) 軸の軸受油切り部との接触痕。	Ⅲ
82	駿河湾 (浜岡)	【駿河湾の地震】組合せ中間弁(C)室内の間仕切板の脱落	4 号炉	地震の揺れによる、タービン建屋 3 階(放射線管理区域内)の組合せ中間弁(C)室内の間仕切板の一部脱落。	Ⅲ
83	駿河湾 (浜岡)	【駿河湾の地震】発電機励磁電源用バスダクト支持部材の接続板の亀裂	4 号炉	地震の揺れによる、タービン建屋屋外(放射線管理区域外)の発電機励磁電源用バスダクトの支持部材とバスダクトをつなぐ接続板の亀裂。	Ⅲ
84	駿河湾 (浜岡)	【駿河湾の地震】空調ダクトからの空気の微少な漏れ	4 号炉	地震の揺れによる空調ダクト(フランジ部)からの空気の微少な漏れ。	Ⅲ
85	駿河湾 (浜岡)	【駿河湾の地震】発電機ブラシホルダの接触痕について	4 号炉	地震の揺れによる、発電機ブラシホルダの一部とコレクタリング(集電環)との軽微な接触痕、及びコレクタリング表面の茶色の変色。	Ⅲ
86	駿河湾 (浜岡)	【駿河湾の地震】非常用ディーゼル発電機(A)排気消音器の吸音材カバー固定金具等の外れ	4 号炉	屋外の塩害環境による固定金具の腐食と地震の揺れによる影響による、非常用ディーゼル発電機(A)排気消音器の吸音材カバー固定金具の一部外れ、及び一部カバーのずれ。	Ⅲ, VI
87	駿河湾 (浜岡)	【駿河湾の地震】主タービンスラスト軸受摩耗トリップ警報点灯	5 号炉	地震の揺れによる主タービンの被害は以下のとおり。 ・タービン基礎の揺れに伴う中間軸受箱取付ボルトの損傷。 ・中間軸受箱取付ボルトの損傷による、中間軸受箱の軸方向固定キーの傾き及びキー溝の変形。 ・中間軸受箱の振動により、スラスト軸受の振動タービンロータの軸方向移動、及び低圧内部車室のスラストキー部の変形による動翼(回転体)とダイヤフラム(静止体)の接触、及びロータと油切り等の接触。 ・中間軸受箱の揺動、及びタービンロータの軸受方向移動によるスラスト保護装置の動作(「主タービンスラスト軸受摩耗トリップ」信号発信)	Ⅲ
88	駿河湾 (浜岡)	【駿河湾の地震】タービン建屋 3 階タービンスラスト装置まわりのデッキプレート取り付け用ネジ折損	5 号炉	地震の揺れによる、タービンスラスト保護装置まわりの作業床用デッキプレートの取り付け用ネジの折損。	Ⅲ
89	駿河湾 (浜岡)	【駿河湾の地震】発電機回転数検出装置の揺動痕	5 号炉	地震の揺れによる、発電機回転数検出装置歯車と検出器の接触による揺動痕。	Ⅲ
90	駿河湾 (浜岡)	【駿河湾の地震】原子炉格納容器の機器搬入口遮へい扉の固定金具破損	5 号炉	地震の揺れによる、原子炉格納容器の機器搬入口に設置されている金属製造へい扉の固定用金具アンカー一部(床面)の破損。	Ⅲ
91	駿河湾 (浜岡)	【駿河湾の地震】No. 3 脱塩水タンク基礎部の防食テープの剥がれ	5 号炉	地震によりタンク端部が一時的に浮き上がったことによる、タンク基礎部の防食テープの一部剥離。	Ⅲ
92	駿河湾 (浜岡)	【駿河湾の地震】タービン振動位相角計の損傷	5 号炉	地震の揺れの影響により、ロータが接触したことによる振動位相角計の先端の欠損。	Ⅲ
93	駿河湾 (浜岡)	【駿河湾の地震】原子炉建屋 2 階(放射線管理区域内)東側壁面の仕上げモルタルの剥がれと浮き(30cm×5cm 程度)	5 号炉	地震の揺れによる仕上げモルタルの剥がれと浮き。	Ⅲ
94	駿河湾 (浜岡)	【駿河湾の地震】タービン建屋 2 階(放射線管理区域内)高圧第 2 ヒータまわり床面に、配管貫通部に詰められていた仕上げモルタルの一部剥がれ(5cm×5cm 程度)	5 号炉	地震の揺れによる仕上げモルタル表面の剥がれ。	Ⅲ
95	駿河湾 (浜岡)	【駿河湾の地震】化学分析室内の放射能測定装置の固定ボルトの浮き上がり	5 号炉	地震の揺れによる、化学分析室内に設置している放射能測定装置(波高分析装置)の固定用アンカーボルトの浮き上がり。	Ⅲ
96	駿河湾 (浜岡)	【駿河湾の地震】発電機ブラシホルダ等の接触痕について	5 号炉	地震の揺れによる、発電機ブラシホルダの一部とコレクタリングとの軽微な接触痕、コレクタリング表面の茶色の変色、及び回転子とコレクタハウジングとの軽微な接触痕。	Ⅲ
97	駿河湾 (浜岡)	【駿河湾の地震】タービン建屋内の蛍光灯不点について	5 号炉	地震による蛍光管とソケット部の接触不良。	Ⅲ
98	駿河湾 (浜岡)	【駿河湾の地震】非常用ディーゼル発電機(B)排気消音器の吸音材カバー固定金具等の外れ	5 号炉	屋外の塩害環境による固定金具の腐食と地震の揺れによる影響による、非常用ディーゼル発電機(B)排気消音器の吸音材カバー固定金具の一部外れ、及び一部カバーのずれ。	Ⅲ, VI
99	駿河湾 (浜岡)	【駿河湾の地震】タービン建屋内部のビス(5 個)の発見	5 号炉	地震の揺れによる、照明器具用電線管つなぎ部固定用及び配管保温材の外装板用のビスの落下。	Ⅲ
100	駿河湾 (浜岡)	【駿河湾の地震】変圧器消火配管建屋貫通部のシール材の一部損傷	5 号炉	地震の揺れによる、屋外(放射線管理区域外)連絡ダクト貫通部付近の変圧器消火配管貫通部シール材の一部損傷、及びフランジ部からの微少なリーク。	Ⅲ
101	駿河湾 (浜岡)	【駿河湾の地震】原子炉格納容器内の点検結果	5 号炉	地震の揺れによる原子炉格納容器内(放射線管理区域内)の被害は以下のとおり。 ・主蒸気遮し安全弁排気管のバネ式支持構造物の動作(揺動痕)。 ・作業用ターンテーブルの車軸位置ずれ。 ・空調ダクト接合部の位置ずれ。	Ⅲ
102	駿河湾 (浜岡)	【駿河湾の地震】発電機固定子固定キーの隙間の拡大	5 号炉	地震による発電機の被害は以下のとおり。 ・発電機固定子固定キーの両サイドの隙間の拡大。 ・ベースボルトの一部塗装剥がれ。 ・発電機固定子固定キーの軽微な傷。 ・発電機固定子固定キーとの接触による発電機本体脚部及びベースのへこみ・段差。	Ⅲ
103	駿河湾 (浜岡)	【駿河湾の地震】タービン開放点検の結果	5 号炉	地震の揺れによる主タービンの被害は以下のとおり。 ・タービン基礎の揺れに伴う中間軸受箱取付ボルトの損傷。 ・中間軸受箱取付ボルトの損傷による、中間軸受箱の軸方向固定キーの傾き及びキー溝の変形。 ・中間軸受箱の振動により、スラスト軸受の振動タービンロータの軸方向移動、及び低圧内部車室のスラストキー部の変形による動翼(回転体)とダイヤフラム(静止体)の接触、及びロータと油切り等の接触。	Ⅲ

地震被害発生要因：Ⅰ：地震の不等沈下による損傷 Ⅱ：建物間の相対変位による損傷 Ⅲ：地震の揺れによる施設の損傷・転倒・落下等 Ⅳ：周辺斜面の崩落 Ⅴ：使用済燃料ピットスロッシングによる溢水 Ⅵ：その他（地震の揺れによる警報発信等、施設の損傷を伴わないⅠ～Ⅴ以外の要因等）

4 条-別紙 8- 添付資料 3-1 (6/13)

原子力発電所における地震被害事例の要因整理(7/13)

地震被害に関する NUCIA 情報の検討内容					
No.	対象地震 (発電所)	件 名	号炉	地震被害事象及び発生要因の概要	地震被害 発生要因
104	駿河湾 (浜岡)	【駿河湾の地震】 主要変圧器上部グレーチングと相分離母線箱との接触痕	5 号炉	地震の揺れによる、屋外(放射線管理区域外)主要変圧器用の相分離母線箱と点検用のグレーチングの手すりボルト部分との接触痕。	Ⅲ
105	駿河湾 (浜岡)	【駿河湾の地震】 原子炉格納容器内作業用ターンテーブルの点検結果	5 号炉	地震の揺れによる、作業用ターンテーブルの車軸位置ずれ、車軸カバーの一部割れ、及び回転角検出装置歯車のレールからの外れ。	Ⅲ
106	駿河湾 (浜岡)	【駿河湾の地震】 原子炉機器冷却水系の配管支持構造物の手動痕	5 号炉	地震の揺れによる、原子炉機器冷却水系配管(海水熱交換器建屋から原子炉機器冷却水系連絡ダクト間)の支持構造物の撓動痕(塗装の剥離)。	Ⅲ
107	駿河湾 (浜岡)	【駿河湾の地震】 タービン駆動給水ポンプベース部のライナシム変形	5 号炉	地震の揺れによる、タービン駆動給水ポンプ(A)(B)ポンプのベース部に取り付けられているライナシムの変形。	Ⅲ
108	駿河湾 (浜岡)	【駿河湾の地震】 原子炉建屋内の主蒸気系配管、給水系配管および配管支持構造物の点検結果	5 号炉	地震の揺れによる原子炉建屋内の主蒸気配管及び給水配管の被害は以下のとおり。 ・配管支持構造物の配管自重受け部のわずかな隙間。 ・給水配管の壁貫通部の養生用のラバーブーツと保温外装板の一部ずれ。 ・主蒸気配管の配管ラグの撓動痕。	Ⅲ
109	駿河湾 (浜岡)	【駿河湾の地震】 発電機シールリング油切りの撓動痕	5 号炉	地震の揺れによる第 9、10 軸受のシールリング油切りと発電機ロータの軽微な撓動痕。	Ⅲ
110	東北地方 太平洋沖 (女川)	【東日本大震災関連】 タービン建屋地下 1 階高圧電源盤火災	1 号炉	地震による振動により、タービン建屋地下 1 階の高圧電源盤内のしゃ断器(吊り下げ設置型)が大きく揺れ、当該しゃ断器の断路部が破損し、高圧電源盤内で周知の構造物と接触して短絡等が生じ、ケーブルの絶縁被覆が溶けたことによる発煙。	Ⅲ
111	東北地方 太平洋沖 (女川)	【東日本大震災関連】 牡鹿幹線 2 号線避雷器の一部損傷	全号炉	地震による大きな揺れにより、避雷器内部に部分放電が発生したことによる牡鹿幹線 2 号線避雷器の一部損傷。	Ⅲ
112	東北地方 太平洋沖 (女川)	【東日本大震災関連】 牡鹿 1 号線避雷器の損傷	全号炉	地震による大きな揺れにより、避雷器内部に部分放電が発生したことによる牡鹿幹線 1 号線避雷器の一部損傷。	Ⅲ
113	東北地方 太平洋沖 (女川)	【東日本大震災関連】 蒸気タービン中間軸受箱の浮き上がり	3 号炉	地震の揺れにより、タービン主軸が移動して中間軸受箱に力が加わったことによる、蒸気タービン中間軸受箱の浮き上がり、及び締付けボルトの変形。	Ⅲ
114	東北地方 太平洋沖 (女川)	【東日本大震災関連】 蒸気タービン中間軸受基礎部の損傷	2 号炉	地震の揺れにより、タービン主軸が移動して中間軸受箱及びソールプレート(中間軸受箱を設置する平板)に力が加わり、ソールプレートが動いたことによる、蒸気タービン中間軸受箱の基礎部の損傷。	Ⅲ
115	東北地方 太平洋沖 (女川)	【東日本大震災関連】 制御棒駆動系ハウジング支持金具サポーターのずれ	1 号炉 2 号炉 3 号炉	地震の影響による、制御棒駆動機構ハウジングのハウジング支持金具(グリッド)のずれ。	Ⅲ
116	東北地方 太平洋沖 (女川)	【東日本大震災関連】 使用済燃料プールにおけるゲート押さえの脱落	3 号炉	地震の揺れによる、使用済燃料プールのゲート押さえ金具のスイングボルトの外れ。	Ⅲ
117	東北地方 太平洋沖 (女川)	【東日本大震災関連】 使用済燃料キャスクピットにおけるゲート押さえの一部脱落	3 号炉	地震の揺れによる、使用済燃料キャスクピットのゲート押さえ金具のスイングボルトの外れ。	Ⅲ
118	東北地方 太平洋沖 (女川)	【東日本大震災関連】 当社モニタリングステーション(4 局)の停電および伝送回線停止に伴う欠測	全号炉	地震・津波の影響により、牡鹿半島周辺の配電設備および伝送回線が損傷したことによる、モニタリングステーション(4 局)の欠測。	Ⅲ、Ⅵ
119	東北地方 太平洋沖 (女川)	【東日本大震災関連】 高圧電源盤しゃ断器の投入不可	1 号炉	地震の振動により、高圧電源盤内のしゃ断器が傾いたことによる、インターロックローラーの正常位置からの外れ。	Ⅲ
120	東北地方 太平洋沖 (女川)	【東日本大震災関連】 燃料交換機制御室内の地上操作装置落下	3 号炉	地震の影響による、燃料交換機制御室内の地上操作装置の机上から床面に落下したことによる、端子部の破損。	Ⅲ
121	東北地方 太平洋沖 (女川)	【東日本大震災関連】 燃料交換機の配線ケーブルの脱線	3 号炉	地震の揺れによる、燃料交換機ブリッジ給電装置のケーブル支持具のガードレールからの外れ。	Ⅲ
122	東北地方 太平洋沖 (女川)	【東日本大震災関連】 地下 1 階電動ステップバック遮へい扉の旋錠装置の破損	2 号炉	地震の影響による、電動ステップバック遮へい扉の旋錠装置の破損。	Ⅲ
123	東北地方 太平洋沖 (女川)	【東日本大震災関連】 モニタリングポスト(チャンネル 6)信号変換器の故障に伴う指示不良	全号炉	地震により、ケーブルコネクタのロック部分が破損してケーブルコネクタが緩んだことによる、モニタリングポストのチャンネル 6 指示値の一時的変動。	Ⅲ
124	東北地方 太平洋沖 (女川)	【東日本大震災関連】 燃料交換機入出力装置の破損	1 号炉	地震により、燃料交換機入出力装置盤内の表示装置及びキーボード(各運転状態表示、手順データの入力および編集作業)がラックから落下したことによる、燃料交換機入出力装置の故障。	Ⅲ
125	東北地方 太平洋沖 (女川)	【東日本大震災関連】 主蒸気逃し安全弁(C)リミットスイッチの接点不良	1 号炉	地震の揺れによる、主蒸気逃しが安全弁(C)の位置検出スイッチの位置ズレによる接点不良。	Ⅲ
126	東北地方 太平洋沖 (女川)	【東日本大震災関連】 原子炉格納容器内遮へい扉 留め具の外れ	1 号炉	地震の揺れにより、原子炉格納容器内原子炉遮へい開口部扉と遮へいカーテンの押さえ板が接触したことによる、遮へい材カーテンの押さえ板の変形。	Ⅲ
127	東北地方 太平洋沖 (女川)	【東日本大震災関連】 原子炉格納容器内遮へい扉 留め具の変形	2 号炉 3 号炉	地震の揺れにより、原子炉格納容器内原子炉遮へい壁の開口部扉の留め具のバーとステーが接触したことによる、開口部扉の留め具の変形。	Ⅲ
128	東北地方 太平洋沖 (女川)	【東日本大震災関連】 補助ボイラー(A)蒸気だめ基礎部の損傷	2 号炉	地震による荷重により、補助ボイラー(A)蒸気だめがわずかに移動したことによる、蒸気だめ基礎部の損傷。	Ⅲ
129	東北地方 太平洋沖 (女川)	【東日本大震災関連】 蒸気タービン中間軸受箱の基礎ボルト曲がり	2 号炉	地震の揺れにより、タービン主軸が移動して中間軸受箱及びソールプレート(中間軸受箱に設置する平板)に力が加わったことによる、ソールプレートの基礎ボルトの曲がり。	Ⅲ

地震被害発生要因：Ⅰ：地震の不等沈下による損傷 Ⅱ：建物間の相対変位による損傷 Ⅲ：地震の揺れによる施設の損傷・転倒・落下等 Ⅳ：周辺斜面の崩落 Ⅴ：使用済燃料ピットスロッシングによる溢水 Ⅵ：その他(地震の揺れによる警報発信等、施設の損傷を伴わないⅠ～Ⅴ以外の要因等)

原子力発電所における地震被害事例の要因整理(8/13)

地震被害に関する NUCIA 情報の検討内容					
No.	対象地震 (発電所)	件 名	号炉	地震被害事象及び発生要因の概要	地震被害 発生要因
130	東北地方 太平洋沖 (女川)	【東日本大震災関連】起動用変圧器放熱器油漏れ	2 号炉	地震による、起動用変圧器放熱器の数ミリ程度のき裂による絶縁油の漏れ。	Ⅲ
131	東北地方 太平洋沖 (女川)	【東日本大震災関連】天井クレーン運転席鋼材等の損傷	2 号炉	地震の影響により、原子炉建屋天井クレーンの運転席の鋼材溶接部の一部損傷。	Ⅲ
132	東北地方 太平洋沖 (女川)	【東日本大震災関連】天井クレーン走行部等のすり傷	3 号炉	地震の影響により、原子炉建屋天井クレーンの走行レール上の車輪が揺れたことによる、走行レールと走行車輪の接触面の局部的なすり傷。	Ⅲ
133	東北地方 太平洋沖 (東海第二)	【東日本大震災関連】原子炉格納容器ハッチ遮へい扉止め金具破損	—	地震による原子炉格納容器機器ハッチ遮へい扉の止め金具（スライド固定）の破損。	Ⅲ
134	東北地方 太平洋沖 (東海第二)	【東日本大震災関連】格納容器雰囲気計測系サンプル昇圧ポンプ B 異音	—	地震による、格納容器雰囲気計測系(CAMS)のサンプル昇圧ポンプのモータとポンプの芯ずれ。	Ⅲ
135	東北地方 太平洋沖 (東海第二)	【東日本大震災関連】使用済燃料プール小ゲート取付けボルトの位置ズレ	—	地震の揺れによる、使用済燃料プール小ゲートの取付けボルトの位置ズレ。	Ⅲ
136	東北地方 太平洋沖 (東海第二)	【東日本大震災関連】地震による水処理建屋構造材の損傷	—	地震の影響による、水処理建屋のブレース（筋交い）の切断。	Ⅲ
137	東北地方 太平洋沖 (東海第二)	【東日本大震災関連】津波による取水口電気室建屋の損傷	—	地震・津波による、取水口電気室の建具（窓、シャッター）の割れ・歪み。	Ⅲ、Ⅵ

地震被害発生要因：Ⅰ：地震の不等沈下による損傷 Ⅱ：建物間の相対変位による損傷 Ⅲ：地震の揺れによる施設の損傷・転倒・落下等 Ⅳ：周辺斜面の崩落 Ⅴ：使用済燃料ピットスロッシングによる溢水 Ⅵ：その他（地震の揺れによる警報発信等、施設の損傷を伴わないⅠ～Ⅴ以外の要因等）

原子力発電所における地震被害事例の要因整理(9/13)

地震被害に関する NUCIA 情報の検討内容					
No.	対象地震 (発電所)	件 名	号炉	地震被害事象及び発生要因の概要	地震被害 発生要因
地震被害発生要因 IV			※下線は要因IV相当箇所		
138	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】土捨て場一部崩落(北側斜面)等	その他	地震の震動による土捨て場北側斜面の一部崩落。	IV
139	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】開閉所東側法面一部滑り出し	その他	地震の震動のよる開閉所東側法面の一部滑り出し, 及び約 10cm のひび割れ。	IV
140	駿河湾(浜岡)	【駿河湾の地震】取水槽まわりの地盤沈下等	1 号炉	地震により, 取水槽まわりに地盤沈下(30m×20m, 最大 15cm 程度), 隆起(35m×15m, 最大 20cm 程度)及び法面波打ち(30m×5m, 最大 10cm 程度)が発生。	I <u>IV</u>
141	駿河湾(浜岡)	【駿河湾の地震】道路及び法面のひび割れ	他	地震により以下の被害が発生。 ①5 号見晴台道路き裂 ②片平山周辺よう壁目開き, 道路き裂 ③平場ヤード舗装他き裂 ④5 号放水ロモニタ室東側よう壁(ブロック積み)き裂 ⑤固体廃棄物貯蔵庫(第 2 棟)周辺よう壁(ブロック積み)および道路のき裂 ⑥発電所東側点検ヤード舗装き裂 ⑦発電所東側海岸道路き裂	I <u>IV</u>

地震被害発生要因：Ⅰ：地震の不等沈下による損傷 Ⅱ：建物間の相対変位による損傷 Ⅲ：地震の揺れによる施設の損傷・転倒・落下等 Ⅳ：周辺斜面の崩落 Ⅴ：使用済燃料ピットスロッシングによる溢水 Ⅵ：その他（地震の揺れによる警報発信等，施設の損傷を伴わないⅠ～Ⅴ以外の要因等）

原子力発電所における地震被害事例の要因整理 (10/13)

地震被害に関する NUCIA 情報の検討内容					
No.	対象地震 (発電所)	件 名	号炉	地震被害事象及び発生要因の概要	地震被害 発生要因
地震被害発生要因 V					※下線は要因 V 相当箇所
142	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】R/B 3F オペフロ全域水浸し	1 号炉	地震による使用済燃料プールのスロッシングによる溢水。	V
143	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】R/B 使用済燃料プール水飛散	2 号炉		
144	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】R/B オペフロ床への使用済燃料プール水飛散	3 号炉		
145	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】R/B 使用済燃料プール水散逸による R/B オペフロ水浸し・SFP 混濁不可視	4 号炉		
146	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】R/B オペフロほぼ全域への使用済燃料プール水飛散	5 号炉		
147	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】R/B(管理)オペフロほぼ全域への使用済燃料プール水飛散	6 号炉		
148	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】R/B4F オペフロ全域水たまり有り	7 号炉		
149	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】R/B3 階、中 3 階の非管理区域への放射能含む水の漏えい・海への放射能放出	6 号炉	地震による使用済燃料プールのスロッシングによる被害は以下のとおり。 ・原子炉建屋 4 階オペレーティングフロア(管理区域)への溢水。 ・上記溢水が燃料交換機給電ボックスへ流入し、設計上の考慮不足あるいは施工不良による当該給電ボックス内電線貫通部のシール材の隙間を通り電線管へ流入。 ・当該電線管へ流入した水が原子炉建屋 3 階(非管理区域)への滴下。 ・滴下した水が床面の排水口を通じて原子炉建屋地下 1 階(非管理区域)の非放射性排水収集タンクに流入し排水ポンプにより海に放出。	<u>V</u> VI
150	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】1 号炉使用済燃料プールの水位低による運転上制限の逸脱及び復帰	1 号炉	地震によるスロッシングにより溢水したことによる使用済燃料プールの水位低下。	V
151	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】2 号炉使用済燃料プールの水位低による運転上制限の逸脱及び復帰	2 号炉		
152	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】3 号炉使用済燃料プールの水位低による運転上制限の逸脱及び復帰	3 号炉		
153	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】R/B 2F 南壁東(SFP 側)より水漏れ	7 号炉	地震による、原子炉建屋管理区域内 2 階のエレベータ付近の壁面の鉄筋コンクリートの継ぎ目部に生じた微細なひびからの水のにじみ。	Ⅲまたは V
154	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】R/B 3FISI 試験片室からの水漏れ	7 号炉	地震による、原子炉建屋管理区域内 3 階北側の床面コンクリート継ぎ目部からのわずかな水のしみ出し。	Ⅲまたは V
155	東北地方 太平洋沖 (東海第二)	【東日本大震災関連】東海第二発電所 使用済燃料プール水飛散	-	地震による使用済燃料プールのスロッシングにより、プール水が侵入して制御棒位置指示系信号コネクタ部が絶縁低下したことによる、制御棒位置指示表示の不良。	V

地震被害発生要因：Ⅰ：地震の不等沈下による損傷 Ⅱ：建物間の相対変位による損傷 Ⅲ：地震の揺れによる施設の損傷・転倒・落下等 Ⅳ：周辺斜面の崩落 V：使用済燃料ピットスロッシングによる溢水 VI：その他（地震の揺れによる警報発信等，施設の損傷を伴わないⅠ～Ⅴ以外の要因等）

原子力発電所における地震被害事例の要因整理(11/13)

地震被害に関する NUCIA 情報の検討内容					
No.	対象地震 (発電所)	件 名	号炉	地震被害事象及び発生要因の概要	地震被害 発生要因
地震被害発生要因 VI			※下線は要因VI相当箇所		
156	宮城沖(女川)	8・16 宮城沖地震による女川原子力発電所全プラント停止について	1 号炉 2 号炉 3 号炉	地震による安全上需要となる被害なし。以下の軽微な被害が発生。 ○女川 1 号炉 ・ <u>主変圧器、起動用変圧器の避圧弁動作</u> ・ サイトバンカ建屋プールに水銀灯落下 (b) 女川 2 号炉 ・ <u>主変圧器、起動用変圧器、補助ボイラー変圧器(A)(B)の避圧弁動作</u> ○女川 3 号炉 ・ 原子炉建屋内見学者用ギャラリー室のガラスひび ・ <u>主変圧器の避圧弁動作</u> ○その他構内 ・ 環境放射能測定センターの希硫酸(5%濃度)貯蔵施設が漏えい及び苛性ソーダの一部滴下 ・ 建屋エレベータ停止 ・ 排気筒航空障害等レンズカバー破損 ・ 構内道路アスファルトき裂・波打ち・段差発生	I III VI
157	能登半島(志賀)	能登半島地震観測データ波形記録の一部消失について	その他	短時間に多くの余震を連続して記録したこと、及び地震観測用強度計の収録装置の容量が少なかったことから、一旦保存した本震記録等をサーバーに転送する前に、新たな余震記録により上書きされたもの。	VI
158	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】R/B 3 階、中 3 階の非管理区域への放射能含む水の漏えい・海への放射能放出	6 号炉	地震による使用済燃料プールのスロッシングによる被害は以下のとおり。 ・ 原子炉建屋 4 階オペレーティングフロア(管理区域)への溢水。 ・ 上記溢水が燃料交換機給電ボックスへ流入し、設計上の考慮不足あるいは施工不良による当該給電ボックス内電線貫通部のシール部の隙間を通り電線管へ流入。 ・ 当該電線管へ流入した水が原子炉建屋 3 階(非管理区域)へ滴下。 ・ 滴下した水が床面の排水口を通じて原子炉建屋地下 1 階(非管理区域)の非放射性排水収集タンクに流入し、排水ポンプにより海へ放出。	V VI
159	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】低起動変圧器 3SB「放圧装置動作」及び放圧装置油リーク	3 号炉	地震の揺れにより放圧装置が動作したことによる噴油。	VI
160	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】低圧起動変圧器 6SB 放圧装置油リークによる低起動変圧器 6SB 停止	6 号炉	地震の揺れにより放圧装置が動作したことによる噴油。	VI
161	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】T/B RFP-T 主油タンク(B)タンク室床に油たまり	2 号炉	地震の影響により RFP-T(B)油ブースターポンプの電源が喪失したことによる、RFP-T(B)油タンクのオーバーフロー。	VI
162	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】地震記録装置データ上書き	その他	短時間に多くの余震が連続して発生したこと等により、観測装置内に記録・保存されていた本震の記録等を転送する前に、新たな余震記録により本震記録が上書きされたもの。	VI
163	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】主排気筒の定期測定(1 回/週)においてヨウ素及び粒子状放射性物質(クロム 51、コバルト 60)の検出について	7 号炉	地震スクラム後の原子炉の冷温停止操作が輻輳し、タービンランド蒸気排風機の手動停止操作が遅れたことによる。復水器内の放射性ヨウ素及び粒子状放射性物質の放出。	VI
164	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】6 号炉 R/B より海に放出された放射線量の評価・通報連絡の遅延	6 号炉	管理区域に隣接する非管理区域における放射性物質を含む水の漏えいのリスクを考慮した放射線管理プロセスが構築されておらず、原子炉建屋非放射性スチームドレンサンプの起動阻止が遅れたことによる。サンプに流入した放射能を含む水の放出等。	VI
165	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】7 号原子炉ウエルライナーからの漏洩について	7 号炉	建設時に原子炉ウエルライナーの溶接余盛り部を平滑化するためにグラインダで除去していたため、残存板厚が薄くなっており、地震により残存板厚が薄くなっていた部分に過大な荷重がかかり貫通したことによる漏えい。	III VI
166	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】R/B 1F 北西側二重原電源喪失のため内外開放	1 号炉	二重原の電源である「MCCISA-1-1」に漏えいした水がかかっていたため、当直員が MCC を停止させた等による、二重原動作不能。	VI
167	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】R/B オペフロ原子炉ウエル内バルクヘッド上に赤靴を確認	1 号炉	使用済燃料プール及び原子炉ウエルから溢れた水による、ウエル開口部付近にあった C 靴の移動。	VI
168	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】「6 号炉の放射性物質の漏えいについて」における海に放出された放射線量の訂正について	6 号炉	放射能の測定結果を記録した帳票において記載された合計値がすべての放射性核種の湿度の合計値と誤解したことによる。海に放出された水の放射線量の計算の誤り。	VI
169	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】T/B B2F T/BHCW サンプ(B)・LPC(A)～(C)室雨水流入	1 号炉	タービン建屋・海水熱交換器建屋・補助ボイラー建屋・ランドリー建屋グクトで発生した漏水が近傍のファンネルへ大量に流入し、目詰まりを起こして高電導度廃液サンプに流入したことによるサンプからの溢水。	VI
170	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】T/BI/BB1F(管)南側壁上部 5m(ヤード HTr 奥のセグ室)より雨水流入	3 号炉	タービン建屋に隣接したピットに水がたまり、電線管貫通部を通してタービン建屋内に流入。	VI
171	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】5 号炉燃料取替機荷重異常発生に伴う自動除外	5 号炉	燃料交換機の不適切な設定度標により、燃料集合体の下部先端が燃料支持金具の外側に乗り上げた状態であったため、地震により燃料集合体が燃料支持金具からさらに外れたことによるもの。	VI
172	中越沖(柏崎)	【中越沖地震】3 号炉原子炉圧力容器遮へい体の地震による移動について	3 号炉	・ スライド式遮へい体が正規位置に取り付けられておらず、地震により移動して接触したことによる、RPV 水位計装配管の保温材の変形。 ・ スライド式遮へい体のストッパーが取り付けられておらず、地震によりスライド式遮へい体が移動して遮へいブロックが崩れたことによる。遮へいブロックの RPV 水位計装配管への接触。	III VI
173	駿河湾(浜岡)	【駿河湾の地震】廃棄物減容処理建屋「復水パッチタンク水位高高」警報点灯	2 号炉	地震により復水パッチタンク水位が変動し、補給水系統からタンクへの自動補給が行われたことにより水位が上昇したことによる水位高高警報の発信。	VI
174	駿河湾(浜岡)	【駿河湾の地震】原子炉建屋 3 階(放射線管理区域内)燃料プール冷却浄化系ポンプ室の放射線モニタ指示の上昇	2 号炉	地震の揺れにより、燃料集合体表面の放射性物質を含んだ鉄錆び等が燃料プールに遊離したことによる、燃料プール水の放射能の上昇。	VI
175	駿河湾(浜岡)	【駿河湾の地震】非常用ディーゼル発電機の排気消音器の吸音材カバー固定金具の外れおよび台座シール材の劣化	3 号炉	屋外の塩害環境による固定金具の腐食と地震の揺れによる影響による、非常用ディーゼル発電機(A)排気消音器の吸音材カバー固定金具の一部外れ、及び非常用ディーゼル発電機(B)の排気消音器台座シール材の劣化。	III VI
176	駿河湾(浜岡)	【駿河湾の地震】非常用ディーゼル発電機(A)排気消音器の吸音材カバー固定金具等の外れ	4 号炉	屋外の塩害環境による固定金具の腐食と地震の揺れによる影響による、非常用ディーゼル発電機(A)排気消音器の吸音材カバー固定金具の一部外れ、及び一部カバーずれ。	III VI
177	駿河湾(浜岡)	【駿河湾の地震】補助変圧器過電流トリップ	5 号炉	地震の振動でトリップ接点が接触したことによる保護継電器の誤作動。	VI
178	駿河湾(浜岡)	【駿河湾の地震】制御棒駆動機構モータ制御ユニットの故障警報点灯について	5 号炉	上記、補助変圧器過電流トリップ事象により、制御棒駆動機構モータ制御装置が一時停止したことによる警報発信。	VI
179	駿河湾(浜岡)	【駿河湾の地震】原子炉建屋管理区域区分の変更	5 号炉	地震の揺れで原子炉建屋 5 階オペフロ高所に蓄積していた放射性物質が落下し、原子炉建屋全体に拉散したことによる。燃料交換エリア床面の放射性物質密度上昇に伴う放射線管理区分の変更。	VI

地震被害発生要因：Ⅰ：地震の不等沈下による損傷 Ⅱ：建物間の相対変位による損傷 Ⅲ：地震の揺れによる施設の損傷・転倒・落下等 Ⅳ：周辺斜面の崩落 Ⅴ：使用済燃料ピットスロッシングによる溢水 VI：その他(地震の揺れによる警報発信等、施設の損傷を伴わないⅠ～Ⅴ以外の要因等)

4 条-別紙 8- 添付資料 3-1 (11/13)

原子力発電所における地震被害事例の要因整理 (12/13)

地震被害に関する NUCIA 情報の検討内容					
No.	対象地震 (発電所)	件 名	号炉	地震被害事象及び発生要因の概要	地震被害 発生要因
180	駿河湾 (浜岡)	【駿河湾の地震】計測制御系定電圧定周波数電源装置のインバーター過電流による電源切替(通常→予備)	5号炉	地震により、4,5号炉が原子炉スクラムした瞬間の発電機出力低下を、5号炉の系統安定化装置が検知し、発電機電圧を上昇させた際の過渡的な電圧上昇及び過電流による、計測制御系定電圧定周波数電源装置の電源切替。	Ⅵ
181	駿河湾 (浜岡)	【駿河湾の地震】原子炉建屋 5 階(放射線管理区域内)燃料交換エリア換気放射線モニタ指示の一時的な上昇	5号炉	地震の揺れにより、燃料集合体表面の放射性物質を含んだ鉄錆び等が燃料プール水に遊離したことによる、プール表面からの放射線線量率の上昇。	Ⅵ
182	駿河湾 (浜岡)	【駿河湾の地震】燃料プール水の放射能の上昇	5号炉		Ⅵ
183	駿河湾 (浜岡)	【駿河湾の地震】原子炉建屋 3 階(放射線管理区域内)燃料プール冷却浄化系ポンプ室の放射線モニタ指示の上昇	5号炉		Ⅵ
184	駿河湾 (浜岡)	【駿河湾の地震】非常用ガス処理系(B)放射線モニタ下限点灯	5号炉	地震の振動による補助変圧器トリップに伴う、電圧の一時的な低下によるモニタ指示値の一時的な低下。	Ⅵ
185	駿河湾 (浜岡)	【駿河湾の地震】非常用ディーゼル発電機(B)排気消音器の吸音材カバー固定金具等の外れ	5号炉	屋外の塩害環境による固定金具の腐食と地震の揺れによる影響による、非常用ディーゼル発電機(B)排気消音器の吸音材カバー固定金具の一部外れ、及び一部カバーのずれ。	ⅢⅥ
186	東北地方 太平洋沖 (女川)	【東日本大震災関連】屋外重油タンクの倒壊	1号炉	津波の影響による、補助ボイラー用重油タンクの倒壊、重油移送ポンプの浸水及び油輸送管の損傷。	Ⅵ
187	東北地方 太平洋沖 (女川)	【東日本大震災関連】原子炉補機冷却水系熱交換器(B)室、高圧炉心スプレイ補機冷却水系熱交換器室および海水ポンプ室への浸水	2号炉	津波の影響による、原子炉建屋地下3階の非管理区域の RCW 熱交換器(A)(B)室、HPCW 熱交換器室、エレベーターエリアにアクセスする階段室及び海水ポンプ室への海水の流入、RCW ポンプ(B)、(D)及びHPCW ポンプの浸水。	Ⅵ
188	東北地方 太平洋沖 (女川)	【東日本大震災関連】1,2,3号炉放水口モニターの津波による浸水及び破損	1号炉 2号炉 3号炉	津波による、放水口モニターの測定・データ伝送設備の水没・破損。	Ⅵ
189	東北地方 太平洋沖 (女川)	【東日本大震災関連】当社モニタリングステーション(4局)の停電および伝送回線停止に伴う欠測	全号炉	地震・津波の影響により、牡鹿半島周辺の配電設備および伝送回線が損壊したことによる全局欠測。	ⅢⅥ
190	東北地方 太平洋沖 (女川)	【東日本大震災関連】海水温度モニタリング装置の津波による破損に伴う全局欠測	全号炉	津波により、海水温度モニタリング装置のデータ伝送設備が冠水し破損したことによる全局欠測。	Ⅵ
191	東北地方 太平洋沖 (女川)	【東日本大震災関連】母連しゃ断器の制御電源喪失	1号炉	地震により火災が発生した高圧電源盤の制御電源回路の溶損による地絡及び短絡の影響により、母連しゃ断器用制御電源回路の電圧が変動したことによる、リレーの動作及び「制御電源喪失」警報発信。	Ⅵ
192	東北地方 太平洋沖 (女川)	【東日本大震災関連】変圧器遮圧弁の油面変動に伴う動作	1号炉	地震の揺れにより、主変圧器、起動用変圧器及び所内用変圧器内の絶縁油の油面が変動して内部圧力が上昇したことによる、遮圧弁の動作。	Ⅵ
193	東北地方 太平洋沖 (女川)	【東日本大震災関連】燃料取替エリア放射線モニタ(A)記録計の指示不良	3号炉	指示不良による、燃料取替エリア放射線モニタ(A)記録計の指示値の一時的な変動。	Ⅵ
194	東北地方 太平洋沖 (女川)	【東日本大震災関連】変圧器遮圧弁の油面変動に伴う動作	3号炉	地震の揺れにより、主変圧器及び所内変圧器内の絶縁油の油面が変動して内部圧力が上昇したことによる、遮圧弁の動作。	Ⅵ
195	東北地方 太平洋沖 (女川)	【東日本大震災関連】125V 直流主母線盤の地絡(計2件発見)	1号炉	火災により配線が地絡したことによる、125V 直流分電盤の地絡警報発信。	Ⅵ
196	東北地方 太平洋沖 (女川)	【東日本大震災関連】125V 直流主母線盤の地絡(計4件発見)	3号炉	津波により、除塵装置制御盤が水没して地絡したことによる、125V 直流電源設備の地絡警報発信。	Ⅵ
197	東北地方 太平洋沖 (女川)	【東日本大震災関連】ほう酸水貯蔵タンク水位指示回路不良	1号炉	火災による高圧電源盤の地絡電流により、電源フューズが断線して電源がなくなったことによる、ほう酸水貯蔵タンク水位指示計のスケールダウン。	Ⅵ
198	東北地方 太平洋沖 (女川)	【東日本大震災関連】変圧器遮圧弁の油面変動に伴う動作(計7件)	2号炉	地震の揺れにより、主変圧器、起動変圧器、所内変圧器及び補助ボイラー用変圧器内の絶縁油の油面が変動して内部圧力が上昇したことによる、遮圧弁の動作。	Ⅵ
199	東北地方 太平洋沖 (女川)	【東日本大震災関連】125V 直流主母線盤の地絡	2号炉	津波により、原子炉補機冷却系/原子炉補機冷却海水系(B)制御回路の電動弁、非放射性ドレン移送系のサンプポンプ操作箱、及び除塵装置制御盤が水没して地絡したことによる、125V 直流電源設備の地絡警報発信。	Ⅵ
200	東北地方 太平洋沖 (女川)	【東日本大震災関連】非常用ディーゼル発電機(A)界磁回路の損傷	1号炉	火災により、同期検出継電器と接続している制御ケーブルが溶損して地絡し、地絡に伴い DG(A)しゃ断器が自動投入されたため界磁過電圧が生じたことによる、バリスタの損傷、断線及びダイオードの短絡。	Ⅵ
201	東北地方 太平洋沖 (女川)	【東日本大震災関連】高圧炉心スプレイ系圧力抑制室吸込弁自動での全開動作動作不能	3号炉	地震により、高圧炉心スプレイ系圧力抑制室吸込弁の開閉指示を行うスイッチ等が誤作動したことによる自動での全開動作不能。	Ⅵ
202	東北地方 太平洋沖 (東海第二)	【東日本大震災関連】非常用ディーゼル発電機 2C 用海水ポンプの自動停止について	-	津波により、非常用ディーゼル発電機 2C 用海水ポンプ電動機が水没したことによる、当該海水ポンプの自動停止。	Ⅵ
203	東北地方 太平洋沖 (東海第二)	【東日本大震災関連】125V 蓄電池 2B 室における溢水について	-	実験室サンプ(管理区域内)と 125V 蓄電池 2B 室(非管理区域内)のドレンファンネルを接続する配管が存在していたこと、及び当該ファンネルに高低差がなく逆流防止処置が講じられていなかったことにより、当該サンプ水が当該ファンネルへ流入したことによる、125V 蓄電池 2B 室における溢水。	Ⅵ
204	東北地方 太平洋沖 (東海第二)	【東日本大震災関連】東海第二発電所 固体廃棄物貯蔵用サイトバンカプール水飛散	-	地震による、廃棄物処理建屋固体廃棄物貯蔵用サイトバンカプールの溢水。	Ⅵ
205	東北地方 太平洋沖 (東海第二)	【東日本大震災関連】D/W 床及び機器ドレンサンプレベルスイッチの地絡	-	流入水による、床ドレン及び機器ドレンサンプレベルスイッチが被水したことによる、当該サンプレベルスイッチ回路の地絡。	Ⅵ
206	東北地方 太平洋沖 (東海第二)	【東日本大震災関連】T/B 機器ドレンサンプ B からの水漏れ	-	サンプ電源喪失中における、電動機駆動原子炉給水ポンプシール水の流入による、タービン建屋機器ドレンサンプ(B)からの水漏れ。	Ⅵ

地震被害発生要因：Ⅰ：地震の不等沈下による損傷 Ⅱ：建物間の相対変位による損傷 Ⅲ：地震の揺れによる施設の損傷・転倒・落下等 Ⅳ：周辺斜面の崩落 Ⅴ：使用済燃料ピットスロッシングによる溢水 Ⅵ：その他（地震の揺れによる警報発信等、施設の損傷を伴わないⅠ～Ⅴ以外の要因等）

原子力発電所における地震被害事例の要因整理 (13/13)

地震被害に関する NUCIA 情報の検討内容					
No.	対象地震 (発電所)	件 名	号炉	地震被害事象及び発生要因の概要	地震被害 発生要因
207	東北地方 太平洋沖 (東海第二)	【東日本大震災関連】主変圧器, 起動変圧器 (2A, 2B) 放圧管からの絶縁油漏えい	-	地震動により, 主変圧器及び起動変圧器 (2A, 2B) 内の絶縁油の油面が変動して放圧板に漏れが生じたことによる, 放圧管からの絶縁油の漏えい。	Ⅵ
208	東北地方 太平洋沖 (東海第二)	【東日本大震災関連】津波による屋外機器の被水 (安重設備以外)	-	津波による, CWP 潤滑水ポンプ等の屋外機器の被水。	Ⅵ
209	東北地方 太平洋沖 (東海第二)	【東日本大震災関連】津波による取水口電気室建屋の損傷	-	地震・津波による, 取水口電気室の建具 (窓, シャッター) の割れ・歪み。	ⅢⅥ

地震被害発生要因：Ⅰ：地震の不等沈下による損傷 Ⅱ：建物間の相対変位による損傷 Ⅲ：地震の揺れによる施設の損傷・転倒・落下等 Ⅳ：周辺斜面の崩落 Ⅴ：使用済燃料ピットスロッシングによる溢水 Ⅵ：その他（地震の揺れによる警報発信等，施設の損傷を伴わないⅠ～Ⅴ以外の要因等）

福島第二原子力発電所における地震被害事例の要因整理 (1/13)

No.	件 名	号機	地震被害事象及び発生要因の概要	地震被害発生要因
地震被害発生要因 I		※下線は要因 I 相当箇所		
1	【太平洋沖地震】 水素注入設備の水素注入設備廻り全体的に地盤沈下	4 号機	水素注入設備廻りが全体的に地盤沈下 エリア：山一水素注入設備	I
2	【太平洋沖地震】 開閉所南側オーブントレンチ 周辺埋戻部沈下、 亀裂あり	その他	地震によりトレンチ周辺埋め戻し部沈下、亀裂あり	I

地震被害発生要因：Ⅰ：地震の不等沈下による損傷 Ⅱ：建物間の相対変位による損傷 Ⅲ：地震の揺れによる施設の損傷・転倒・落下等 Ⅳ：周辺斜面の崩落 Ⅴ：使用済燃料ピットスロッシングによる溢水 Ⅵ：その他（地震の揺れによる警報発信等，施設の損傷を伴わないⅠ～Ⅴ以外の要因等）

福島第二原子力発電所における地震被害事例の要因整理 (2/13)

No.	件 名	号機	地震被害事象及び発生要因の概要	地震被害発生要因
地震被害発生要因 II			※下線は要因 II 相当箇所	
3	【太平洋沖地震】2uR/B-T/B 間エキスパンションジョイントのコーキング損傷 (3箇所)	2号機	原子炉建屋-タービン建屋間エキスパンションジョイントのコーキング損傷 エリア：原子炉建屋	<u>II</u> , III
4	【太平洋沖地震】2uR/B 大物搬入口のエキスパンションジョイントのコンクリート剥落	2号機	原子炉建屋大物搬入口のエキスパンションジョイントのコンクリート剥落 エリア：原子炉建屋	<u>II</u> , III
5	【太平洋沖地震】3uR/B-T/B 間のエキスパンションジョイントのコンクリート剥落	3号機	原子炉建屋-タービン建屋間のエキスパンションジョイントのコンクリート剥落 エリア：原子炉建屋	<u>II</u> , III
6	【太平洋沖地震】3uT/B-C/B 間 (1F)エキスパンションジョイントのコンクリート剥落	3号機	タービン建屋-コントロール建屋間エキスパンションジョイントのコンクリート剥落 エリア：タービン建屋	<u>II</u> , III
7	【太平洋沖地震】3uT/B-C/B 間 (2F)エキスパンションジョイントのコンクリート剥落	4号機	タービン建屋-コントロール建屋間エキスパンションジョイントのコンクリート剥落 エリア：タービン建屋	<u>II</u> , III
8	【太平洋沖地震】3uS/B-C/B 間エキスパンションジョイントのシール破断	3号機	サービス建屋-コントロール建屋間エキスパンションジョイントのシール破断 エリア：サービス建屋	<u>II</u> , III
9	【太平洋沖地震】1uCH/B-R/B 間 (2F)エキスパンションジョイントのコンクリート剥落	1号機	チャコール建屋-原子炉建屋間エキスパンションジョイントのコンクリート剥落 エリア：チャコール建屋	<u>II</u> , III
10	【太平洋沖地震】1uCH/B-R/B 間 (B1)エキスパンションジョイントのコンクリート剥落	1号機	チャコール建屋-原子炉建屋間エキスパンションジョイントのコンクリート剥落 エリア：チャコール建屋	<u>II</u> , III
11	【太平洋沖地震】3uCH/B-C/B 間エキスパンションジョイントのコンクリート剥離	3号機	チャコール建屋-コントロール建屋間エキスパンションジョイントのコンクリート剥離 エリア：チャコール建屋	<u>II</u> , III

地震被害発生要因：Ⅰ：地震の不等沈下による損傷 Ⅱ：建物間の相対変位による損傷 Ⅲ：地震の揺れによる施設の損傷・転倒・落下等 Ⅳ：周辺斜面の崩落 Ⅴ：使用済燃料ピットスロッシングによる溢水 Ⅵ：その他（地震の揺れによる警報発信等，施設の損傷を伴わないⅠ～Ⅴ以外の要因等）

福島第二原子力発電所における地震被害事例の要因整理 (3/13)

No.	件 名	号機	地震被害事象及び発生要因の概要	地震被害発生要因
地震被害発生要因 Ⅲ			※下線は要因Ⅲ相当箇所	
12	【太平洋沖地震】2uR/B-T/B 間エキスパンションジョイントのコーキング損傷 (3箇所)	2号機	原子炉建屋-タービン建屋間エキスパンションジョイントのコーキング損傷 エリア：原子炉建屋	Ⅱ, Ⅲ
13	【太平洋沖地震】2uR/B 大物搬入口のエキスパンションジョイントのコンクリート剥落	2号機	原子炉建屋大物搬入口のエキスパンションジョイントのコンクリート剥落 エリア：原子炉建屋	Ⅱ, Ⅲ
14	【太平洋沖地震】3uR/B-T/B 間のエキスパンションジョイントのコンクリート剥落	3号機	原子炉建屋-タービン建屋間のエキスパンションジョイントのコンクリート剥落 エリア：原子炉建屋	Ⅱ, Ⅲ
15	【太平洋沖地震】3uT/B-C/B 間(1F)エキスパンションジョイントのコンクリート剥落	3号機	タービン建屋-コントロール建屋間エキスパンションジョイントのコンクリート剥落 エリア：タービン建屋	Ⅱ, Ⅲ
16	【太平洋沖地震】3uT/B-C/B 間(2F)エキスパンションジョイントのコンクリート剥落	4号機	タービン建屋-コントロール建屋間エキスパンションジョイントのコンクリート剥落 エリア：タービン建屋	Ⅱ, Ⅲ
17	【太平洋沖地震】3uS/B-C/B 間エキスパンションジョイントのシール破断	3号機	サービス建屋-コントロール建屋間エキスパンションジョイントのシール破断 エリア：サービス建屋	Ⅱ, Ⅲ
18	【太平洋沖地震】1uCH/B-R/B 間 (2F)エキスパンションジョイントのコンクリート剥落	1号機	チャコール建屋-原子炉建屋間エキスパンションジョイントのコンクリート剥落 エリア：チャコール建屋	Ⅱ, Ⅲ
19	【太平洋沖地震】1uCH/B-R/B 間 (B1)エキスパンションジョイントのコンクリート剥落	1号機	チャコール建屋-原子炉建屋間エキスパンションジョイントのコンクリート剥落 エリア：チャコール建屋	Ⅱ, Ⅲ
20	【太平洋沖地震】3uCH/B-C/B 間エキスパンションジョイントのコンクリート剥離	3号機	チャコール建屋-コントロール建屋間エキスパンションジョイントのコンクリート剥離 エリア：チャコール建屋	Ⅱ, Ⅲ
21	【太平洋沖地震】3uCH/B-C/B 間エキスパンションジョイントのコンクリート割れ	3号機	チャコール建屋-コントロール建屋間エキスパンションジョイントのコンクリート割れ エリア：チャコール建屋	Ⅱ, Ⅲ
22	【太平洋沖地震】FPC ポンプ A 室の床にコンクリート片散乱 (壁にヒビ有)	1号機	床にコンクリート片散乱、壁にヒビ有り エリア：原子炉建屋	Ⅲ
23	【太平洋沖地震】ISI 検査室空調機の扉が外れている	1号機	空調機の扉外れ エリア：原子炉建屋	Ⅲ
24	【太平洋沖地震】CRD 運搬用台車の固定治具外れ	1号機	搬用台車の固定治具外れ エリア：原子炉建屋	Ⅲ
25	【太平洋沖地震】R/B 南側階段室前 ダクトのボルト脱落	1号機	ダクトのボルト脱落 エリア：原子炉建屋	Ⅲ
26	【太平洋沖地震】RHRCHx (A, C) 点検用架台の散乱	1号機	残留熱除去冷却系海水熱交換器建屋 (A, C) 点検用架台の散乱 エリア：残留熱除去冷却系海水熱交換器建屋	Ⅲ
27	【太平洋沖地震】大物搬入口前非常口表示灯の上部カバー外れ	1号機	表示灯の上部カバー外れ エリア：原子炉建屋	Ⅲ
28	【太平洋沖地震】D/G1A 用工具箱の転倒・倒壊	1号機	非常用ディーゼル発電機 1A 用工具箱の転倒・倒壊 エリア：原子炉建屋	Ⅲ
29	【太平洋沖地震】原子炉建屋入口の床・壁に損傷あり	1号機	床・壁に損傷有り エリア：原子炉建屋	Ⅲ
30	【太平洋沖地震】原子炉建屋連絡通路の壁に損傷有り	1号機	壁に損傷有り エリア：原子炉建屋	Ⅲ
31	【太平洋沖地震】蛍光灯の配線用カバー外れ箇所有り (東側3箇所)	1号機	蛍光灯配線用カバーの外れ有り エリア：原子炉建屋	Ⅲ
32	【太平洋沖地震】R/B 排風機(A) 架台のズレ有り	1号機	原子炉建屋排風機(A) 架台のズレ有り エリア：タービン建屋	Ⅲ
33	【太平洋沖地震】溢水フェンスの転倒	1号機	溢水フェンスの転倒 エリア：原子炉建屋	Ⅲ
34	【太平洋沖地震】CRD 運搬用台車の固定治具外れ	1号機	制御棒駆動系運搬用台車の固定治具外れ エリア：原子炉建屋	Ⅲ
35	【太平洋沖地震】EECW ポンプ (B) 付近に蛍光灯の割れ有り	2号機	蛍光灯の非常用補機冷却系ポンプ (B) 付近に蛍光灯の割れ有り エリア：海水熱交換器建屋	Ⅲ
36	【太平洋沖地震】北側 通路の移動物あり	2号機	通路の移動物あり エリア：原子炉建屋	Ⅲ
37	【太平洋沖地震】北東側 通路の移動物あり	2号機	通路の移動物あり エリア：原子炉建屋	Ⅲ

地震被害発生要因：Ⅰ：地震の不等沈下による損傷 Ⅱ：建物間の相対変位による損傷 Ⅲ：地震の揺れによる施設の損傷・転倒・落下等 Ⅳ：周辺斜面の崩落 Ⅴ：使用済燃料ピットスロッシングによる溢水 Ⅵ：その他 (地震の揺れによる警報発信等, 施設の損傷を伴わないⅠ～Ⅴ以外の要因等)

福島第二原子力発電所における地震被害事例の要因整理(4/13)

No.	件 名	号機	地震被害事象及び発生要因の概要	地震被害発生要因
38	【太平洋沖地震】FDW パルプ室のブローアウトパネル破損あり	2号機	ブローアウトパネル破損あり エリア：原子炉建屋	Ⅲ
39	【太平洋沖地震】北側 通路の移動物あり	2号機	通路の移動物あり エリア：原子炉建屋	Ⅲ
40	【太平洋沖地震】西側 通路の移動物あり	2号機	通路の移動物あり エリア：原子炉建屋	Ⅲ
41	【太平洋沖地震】南側 通路の蛍光灯落下	2号機	蛍光灯落下 エリア：原子炉建屋	Ⅲ
42	【太平洋沖地震】東側 通路の移動物あり	2号機	通路の移動物あり エリア：原子炉建屋	Ⅲ
43	【太平洋沖地震】R/B MCC 2B-1-1 前の移動物あり	2号機	モータコントロールセンタ 2B-1-1 前の移動物あり エリア：原子炉建屋	Ⅲ
44	【太平洋沖地震】西側 通路の移動物あり	2号機	通路の移動物あり エリア：原子炉建屋	Ⅲ
45	【太平洋沖地震】CUW 再生熱交換機の蛍光灯の破損、その他散乱物あり	2号機	原子炉冷却材浄化系再生熱交換機の蛍光灯の破損、その他散乱物あり エリア：原子炉建屋	Ⅲ
46	【太平洋沖地震】RHS ラブチャディスク（A）の破損可能性有り（流出跡らしきもの確認）	2号機	残留熱除去海水系ラブチャディスク（A）の破損可能性有り（流出跡らしきもの確認） エリア：海水熱交換器建屋・ヤド	Ⅲ
47	【太平洋沖地震】CRD 搬出入口（エレベータ前）のCRD 搬出入口ハッチの旋錠破損（ハッチ開放状態）	3号機	制御棒駆動系搬出入口ハッチの旋錠破損（ハッチ開放状態） エリア：原子炉建屋	Ⅲ
48	【太平洋沖地震】オペフロのサービストール転倒（ドライヤ吊り具）	3号機	サービストール転倒（ドライヤ吊り具） エリア：原子炉建屋	Ⅲ
49	【太平洋沖地震】燃料交換床空調機室資材ラックが地震により転倒	3号機	資材ラックが地震により転倒 エリア：原子炉建屋	Ⅲ
50	【太平洋沖地震】南東側廊下ハッチ付近の金属製落下物あり（5 cm × 5 cm）	3号機	金属製落下物あり（5 cm × 5 cm） エリア：原子炉建屋	Ⅲ
51	【太平洋沖地震】5 階南西側廊下の仮置き品（固縛あり）が地震により移動	3号機	仮置き品（固縛あり）が地震により移動 エリア：原子炉建屋	Ⅲ
52	【太平洋沖地震】CRD 補修室の仮置き治具が地震により移動	3号機	仮置き治具が地震により移動 エリア：原子炉建屋	Ⅲ
53	【太平洋沖地震】北側廊下の仮置き資材（足場材・フェンス）転倒	3号機	仮置き資材（足場材・フェンス）転倒 エリア：原子炉建屋	Ⅲ
54	【太平洋沖地震】I S I テストピースの地震によりテストピースが移動	3号機	地震によりテストピースが移動 エリア：原子炉建屋	Ⅲ
55	【太平洋沖地震】I S I 検査室内ラックの地震により室内のラックが移動	3号機	地震により室内のラックが移動 エリア：原子炉建屋	Ⅲ
56	【太平洋沖地震】S L C 受けタンクの地震により移動	3号機	ほう酸水注入系受けタンクが地震により移動 エリア：原子炉建屋	Ⅲ
57	【太平洋沖地震】西側廊下の仮置き品（フェンス等）が転倒	3号機	仮置き品（フェンス等）が転倒 エリア：原子炉建屋	Ⅲ
58	【太平洋沖地震】S R V ハッチ前コンクリート遮へいの地震により移動	3号機	コンクリート遮へいが地震により移動 エリア：原子炉建屋	Ⅲ
59	【太平洋沖地震】バイスタの地震により移動	3号機	地震によりバイスタが移動 エリア：原子炉建屋	Ⅲ
60	【太平洋沖地震】屋上パネルの破損有り	3号機	屋上パネルの破損有り エリア：コントロール建屋	Ⅲ
61	【太平洋沖地震】R/B 天井クレーン（ケーブルトロリ）のケーブルトロリ脱線	3号機	原子炉建屋天井クレーンケーブルトロリ脱線 エリア：原子炉建屋	Ⅲ
62	【太平洋沖地震】北東側給気ダクトのコンクリートダクト間から水漏れ有り	4号機	コンクリートダクト間から水漏れ有り（給気ダクトは外観異常なし） エリア：原子炉建屋	Ⅲ
63	【太平洋沖地震】CRD 貯蔵室（旋錠部破損）	4号機	旋錠部破損有り（可燃性ガス濃度制御系 再結合器(B) 他）の外観異常なし） エリア：原子炉建屋	Ⅲ
64	【太平洋沖地震】RHR-66 配管床貫通部板金破損	4号機	RHR 配管床貫通部板金破損有り エリア：原子炉建屋	Ⅲ
65	【太平洋沖地震】RHS ラブチャディスク（A）（B）の破損有り	4号機	残留熱除去海水系ラブチャディスク（A）（B）の破損有り エリア：海水熱交換器建屋・ヤド	Ⅲ

地震被害発生要因：Ⅰ：地震の不等沈下による損傷 Ⅱ：建物間の相対変位による損傷 Ⅲ：地震の揺れによる施設の損傷・転倒・落下等 Ⅳ：周辺斜面の崩落 Ⅴ：使用済燃料ピットスロッシングによる溢水 Ⅵ：その他（地震の揺れによる警報発信等、施設の損傷を伴わないⅠ～Ⅴ以外の要因等）

4 条-別紙 8- 添付資料 3-2 (4/13)

福島第二原子力発電所における地震被害事例の要因整理 (5/13)

No.	件 名	号機	地震被害事象及び発生要因の概要	地震被害発生要因
66	【太平洋沖地震】 HPCSSラプチャーディスクの破損有り	4号機	高圧炉心スプレィ補機冷却海水系ラプチャーディスクの破損有り エリア：海水熱交換器建屋・ヤード	Ⅲ
67	【太平洋沖地震】 低圧タービンA 軸受油切とローターの接触痕あり	1号機	低圧タービンA軸受油切の軸受油切とローターの接触痕あり エリア：タービン建屋	Ⅲ
68	【太平洋沖地震】 低圧タービンB 軸受油切とローターの接触痕あり	1号機	低圧タービンB軸受油切の軸受油切とローターの接触痕あり エリア：タービン建屋	Ⅲ
69	【太平洋沖地震】 低圧タービンC 軸受油切とローターの接触痕あり	1号機	低圧タービンC軸受油切の軸受油切とローターの接触痕あり エリア：タービン建屋	Ⅲ
70	【太平洋沖地震】 ミドルスタンダードの基礎コンクリート表面にひび あり 基礎ボルト移動（ズレ）あとあり（2mm）	1号機	・ミドルスタンダードの基礎コンクリート表面にひびあり ・基礎ボルト移動（ズレ）あとあり（2mm） エリア：タービン建屋	Ⅲ
71	【太平洋沖地震】 復水器（C）北側通路のコンクリ破片有り	1号機	コンクリ破片有り エリア：タービン建屋	Ⅲ
72	【太平洋沖地震】 第5給水加熱器（C）付近 壁面・床面の壁にひび割れ有り	1号機	・壁面ひび割れ有り ・床面コンクリ破片有り エリア：タービン建屋	Ⅲ
73	【太平洋沖地震】 排ガス予冷器（A）室の床面にコンクリ破片有り	1号機	排ガス予冷器（A）の床面にコンクリ破片有り エリア：タービン建屋	Ⅲ
74	【太平洋沖地震】 排ガス予冷器（B）室の床面にコンクリ破片有り	1号機	排ガス予冷器（B）の床面にコンクリ破片有り エリア：タービン建屋	Ⅲ
75	【太平洋沖地震】 高圧復水ポンプAの上部壁に損傷あり	1号機	高圧復水ポンプAの上部壁に損傷あり エリア：タービン建屋	Ⅲ
76	【太平洋沖地震】 主排気ダクトの床ブロックの浮き上がり有 塀の剥離有り	1号機	・主排気ダクトの床ブロックの浮き上がり有り ・塀の剥離有り エリア：コントロール建屋	Ⅲ
77	【太平洋沖地震】 本体置換用室素ガスボンベ出口弁の当該弁ユニオン 部より漏洩	1号機	本体置換用室素ガスボンベ出口弁の当該弁ユニオン部より漏洩 エリア：ヤード	Ⅲ
78	【太平洋沖地震】 復水脱塩塔Fの壁面にひび割れ有り	2号機	復水脱塩塔Fの壁面にひび割れ有り エリア：タービン建屋	Ⅲ
79	【太平洋沖地震】 復水脱塩塔Hの壁面にひび割れ有り	2号機	復水脱塩塔Hの壁面にひび割れ有り エリア：タービン建屋	Ⅲ
80	【太平洋沖地震】 復水脱塩塔Jの壁面にひび割れ有り	2号機	復水脱塩塔Jの壁面にひび割れ有り エリア：タービン建屋	Ⅲ
81	【太平洋沖地震】 低圧タービンA／B／Cの軸受油切とローターの接 触痕あり	2号機	低圧タービンA／B／C軸受油切の軸受油切とローターの接触痕あり エリア：タービン建屋	Ⅲ
82	【太平洋沖地震】 I A空気圧縮機ユニットA用サイトグラスの破損（白 濁） D210A	2号機	計装用圧縮空気系空気圧縮機ユニットA用サイトグラスの破損（白濁） D210A エリア：タービン建屋	Ⅲ
83	【太平洋沖地震】 I A空気圧縮機ユニットA用サイトグラスの破損（白 濁） D211A	2号機	計装用圧縮空気系空気圧縮機ユニットA用サイトグラスの破損（白濁） D211A エリア：タービン建屋	Ⅲ
84	【太平洋沖地震】 I A空気圧縮機ユニットB用サイトグラスの破損（白 濁） D210B	2号機	計装用圧縮空気系空気圧縮機ユニットB用サイトグラスの破損（白濁） D210B エリア：タービン建屋	Ⅲ
85	【太平洋沖地震】 I A空気圧縮機ユニットB用サイトグラスの破損（白 濁） D211B	2号機	計装用圧縮空気系空気圧縮機ユニットB用サイトグラスの破損（白濁） D211B エリア：タービン建屋	Ⅲ
86	【太平洋沖地震】 湿分離器Aの①壁の剥離 ②保温材一部落下 ③オ イルスナッパー油漏れ	3号機	・壁の剥離 ・保温材一部落下 ・オイルスナッパー油漏れ エリア：タービン建屋	Ⅲ

地震被害発生要因：Ⅰ：地震の不等沈下による損傷 Ⅱ：建物間の相対変位による損傷 Ⅲ：地震の揺れによる施設の損傷・転倒・落下等 Ⅳ：周辺斜面の崩落 Ⅴ：使用済燃料ピットスロッシングによる溢水 Ⅵ：その他（地震の揺れによる警報発信等、施設の損傷を伴わないⅠ～Ⅴ以外の要因等）

福島第二原子力発電所における地震被害事例の要因整理 (6/13)

No.	件 名	号機	地震被害事象及び発生要因の概要	地震被害発生要因
87	【太平洋沖地震】 グランド蒸気蒸化器の保温材一部落下	3号機	グランド蒸気蒸化器の保温材一部落下 エリア：タービン建屋	Ⅲ
88	【太平洋沖地震】 高圧シールド、シールド支柱の支柱脇壁のコンクリート剥がれ（海側） 遮蔽板支柱基礎ボルトにゆるみ有り	3号機	・高圧シールド、シールド支柱の支柱脇壁のコンクリート剥がれ（海側） ・遮蔽板支柱基礎ボルトにゆるみ有り エリア：タービン建屋	Ⅲ
89	【太平洋沖地震】 低圧タービンA／B／C軸受油切の軸受油切とローターの接触痕あり	3号機	低圧タービンA／B／C軸受油切の軸受油切とローターの接触痕あり エリア：タービン建屋	Ⅲ
90	【太平洋沖地震】 ミドルスタンダードのコンクリート表面に割れあり ズレ跡(2mm程度)あり センターキーズズレ跡あり	3号機	・コンクリート表面に割れあり ・ズレ跡(2mm程度)あり ・センターキーズズレ跡あり エリア：タービン建屋	Ⅲ
91	【太平洋沖地震】 低圧シールドの破片あり 基礎ボルトゆるみ有り	3号機	・低圧シールドの破片あり ・基礎ボルトゆるみ有り エリア：タービン建屋	Ⅲ
92	【太平洋沖地震】 IA除湿装置(A)の制御盤内基礎部にヒビ1mm×300mm（幅×長さ）	3号機	計装用圧縮空気系除湿装置(A)の制御盤内基礎部にヒビ有り（1mm×300mm（幅×長さ）） エリア：タービン建屋	Ⅲ
93	【太平洋沖地震】 IA除湿装置(B)の制御盤内基礎部にヒビ1～2mm×300mm（幅×長さ）	3号機	計装用圧縮空気系除湿装置(B)の制御盤内基礎部にヒビ有り（1～2mm×300mm（幅×長さ）） エリア：タービン建屋	Ⅲ
94	【太平洋沖地震】 P./C-3B-2付近の保温材が落下	3号機	パワーセンター3B-2付近の保温材落下 エリア：コントロール建屋	Ⅲ
95	【太平洋沖地震】 I P B冷却装置室の入口右側（西側）ひび有り（他2件）	3号機	・壁ひび有り ・コンクリート破片有り ・壁剥がれ有り エリア：タービン建屋	Ⅲ
96	【太平洋沖地震】 東側ダスト放射線モニタ装置室の上部ダクトからと思われる破片有り	3号機	上部ダクトからと思われる破片有り エリア：タービン建屋	Ⅲ
97	【太平洋沖地震】 T/B入口壁の壁にひび、剥離有り	3号機	壁にひび、剥離有り エリア：タービン建屋	Ⅲ
98	【太平洋沖地震】 湿分離器Aの①壁の剥離 ②保温材一部落下 ③オイルスナッパ油漏れ	3号機	・壁の剥離 ・保温材一部落下 ・オイルスナッパ油漏れ エリア：タービン建屋	Ⅲ
99	【太平洋沖地震】 湿分離器Bの壁の剥離あり	3号機	湿分離器Bの壁の剥離あり エリア：タービン建屋	Ⅲ
100	【太平洋沖地震】 高圧シールド、シールド支柱の支柱脇壁のコンクリート剥がれ（海側） 遮蔽板支柱基礎ボルトにゆるみ有り	3号機	・高圧シールド、シールド支柱の支柱脇壁のコンクリート剥がれ（海側） ・遮蔽板支柱基礎ボルトにゆるみ有り エリア：タービン建屋	Ⅲ
101	【太平洋沖地震】 PLR ボンプインペラ展示室の遮蔽材（ガラス）破損	3号機	PLR ボンプインペラ展示室の遮蔽材（ガラス）破損 エリア：タービン建屋	Ⅲ
102	【太平洋沖地震】 IA除湿装置(A)の制御盤内基礎部にヒビ1mm×300mm（幅×長さ）	3号機	計装用圧縮空気系除湿装置(A)の制御盤内基礎部にヒビ有り（1mm×300mm（幅×長さ）） エリア：タービン建屋	Ⅲ
103	【太平洋沖地震】 IA除湿装置(B)の制御盤内基礎部にヒビ1～2mm×300mm（幅×長さ）	3号機	計装用圧縮空気系除湿装置(B)の制御盤内基礎部にヒビ有り（1～2mm×300mm（幅×長さ）） エリア：タービン建屋	Ⅲ
104	【太平洋沖地震】 P./C-3B-2付近ケーブルトレイのケーブルトレイ廻りのカバーが外れている。	3号機	パワーセンター3B-2付近ケーブルトレイのカバー外れ エリア：コントロール建屋	Ⅲ
105	【太平洋沖地震】 低圧タービンA／B／Cの軸受油切とローターの接触痕あり	4号機	低圧タービンA／B／C軸受油切の軸受油切とローターの接触痕あり エリア：タービン建屋	Ⅲ

地震被害発生要因：Ⅰ：地震の不等沈下による損傷 Ⅱ：建物間の相対変位による損傷 Ⅲ：地震の揺れによる施設の損傷・転倒・落下等 Ⅳ：周辺斜面の崩落 Ⅴ：使用済燃料ピットスロッシングによる溢水 Ⅵ：その他（地震の揺れによる警報発信等、施設の損傷を伴わないⅠ～Ⅴ以外の要因等）

福島第二原子力発電所における地震被害事例の要因整理(7/13)

No.	件 名	号機	地震被害事象及び発生要因の概要	地震被害発生要因
106	【太平洋沖地震】ミドルスタンダードのコンクリート表面に割れあり ズレ跡(2mm程度)あり センターキーズレ跡あり	4号機	・コンクリート表面に割れあり ・ズレ跡(2mm程度)あり ・センターキーズレ跡あり エリア：タービン建屋	Ⅲ
107	【太平洋沖地震】壁捨て型枠脱落（ヒーターA北東側）	4号機	壁捨て型枠脱落 エリア：タービン建屋	Ⅲ
108	【太平洋沖地震】壁捨て型枠脱落（ヒーターB南西側）	4号機	壁捨て型枠脱落 エリア：タービン建屋	Ⅲ
109	【太平洋沖地震】N21-F314A（T/DRFP再循環流量調節弁 南側壁の壁捨て型枠脱落	4号機	T/DRFP再循環流量調節弁南側壁の壁捨て型枠脱落 エリア：タービン建屋	Ⅲ
110	【太平洋沖地震】N21-F314A（T/DRFP再循環流量調節弁 北側壁の壁捨て型枠脱落	4号機	T/DRFP再循環流量調節弁北側壁の壁捨て型枠脱落 エリア：タービン建屋	Ⅲ
111	【太平洋沖地震】シャワー滅菌装置バイパス弁の地震によりフランジ部パッキン不良、水が大量に飛散	その他	地震によりシャワー滅菌装置バイパス弁のフランジ部パッキン不良、水が大量に飛散 エリア：廃棄物処理建屋	Ⅲ
112	【太平洋沖地震】純水タンクNo. 1 & No. 2タンク側面に膨らみあり等。	その他	・純水タンクNo. 1タンク基礎部に亀裂&ボルト折損あり。 ・純水タンクNo. 1 & No. 2タンク側面に膨らみあり。 エリア：廃棄物処理建屋	Ⅲ
113	【太平洋沖地震】前処理 ソーダ灰溶解用昇降階段の脚部損傷	その他	ソーダ灰溶解用昇降階段脚部損傷 エリア：廃棄物処理建屋	Ⅲ
114	【太平洋沖地震】水処理 純水タンクB水位計(Y42-LI-221B)指示針の脱落	その他	純水タンクB水位計(Y42-LI-221B)の指示針が脱落 エリア：廃棄物処理建屋	Ⅲ
115	【太平洋沖地震】前処理 A-MVF圧力損失検出配管(LS-008A)の亀裂発	その他	A-MVF圧力損失検出配管(LS-008A)に亀裂が生じ水漏れ エリア：廃棄物処理建屋	Ⅲ
116	【太平洋沖地震】前処理 B-MVF圧力損失検出配管(LS-008B)の亀裂発生	その他	B-MVF圧力損失検出配管(LS-008B)に亀裂が生じ水漏れ エリア：廃棄物処理建屋	Ⅲ
117	【太平洋沖地震】RW1A圧縮機B気水分離器のフランジ部よりエアリーク	全号機	RW計装用圧縮空気系圧縮機B気水分離器フランジ部よりエアリーク エリア：廃棄物処理建屋	Ⅲ
118	【太平洋沖地震】3・4RW焼却設備廃油タンクレベル計の指示不良	全号機	3・4RW焼却設備廃油タンクレベル計の指示が38%→8%に下降し、復帰しない。 エリア：廃棄物処理建屋	Ⅲ
119	【太平洋沖地震】3・4RW濃縮廃液タンクC液位計ケーブルの断線による、指示不良	全号機	3・4RW濃縮廃液タンクC液位計ケーブルの断線により、指示不良となっている。 エリア：廃棄物処理建屋	Ⅲ
120	【太平洋沖地震】中央操作室,RW/Bの天井ダクト落下	全号機	天井ダクト落下 エリア：廃棄物処理建屋	Ⅲ
121	【太平洋沖地震】蛍光灯脱落および球切れ	2号機	蛍光灯脱落および球切れ エリア：原子炉建屋	Ⅲ
122	【太平洋沖地震】P11-FQ055のCSTタンク水張り時、流れる音がしなくなり、カウントしていなかった。	1号機	復水貯蔵タンク水張り時、流れる音がしなくなり、カウントしていなかった。 エリア：ヤードー水処理建屋	Ⅲ
123	【太平洋沖地震】APRM ch C, Dのスクラム後、記録計及びモジュールにて指示が残っていることを確認	1号機	平均出力領域モニタ ch C, Dのスクラム後、記録計及びモジュールにて指示が残っていることを確認 エリア：コントロール建屋	Ⅲ
124	【太平洋沖地震】G41-FIS-031の地震発生により、OSにて固着	2号機	地震発生により、G41-FIS-031がオーバースケールにて固着していると思われる。 エリア：原子炉建屋	Ⅲ
125	【太平洋沖地震】照明器具の架台からの落下（中釣り状態）	1号機	照明器具の架台からの落下（中釣り状態） エリア：原子炉建屋	Ⅲ
126	【太平洋沖地震】2uR/B 塔CUW再生熱交換機室照明器具の脱落	2号機	照明器具の脱落 エリア：原子炉建屋	Ⅲ
127	【太平洋沖地震】引き戸の施錠装置破損およびレールカバー変形	2号機	引き戸の施錠装置破損およびレールカバー変形 エリア：原子炉建屋	Ⅲ
128	【太平洋沖地震】2uR/B B2北東側LCWサンブ室の壁貫通配管廻りモルタル剥離	2号機	壁貫通配管廻りモルタル剥離 エリア：原子炉建屋	Ⅲ

地震被害発生要因：Ⅰ：地震の不等沈下による損傷 Ⅱ：建物間の相対変位による損傷 Ⅲ：地震の揺れによる施設の損傷・転倒・落下等 Ⅳ：周辺斜面の崩落 Ⅴ：使用済燃料ピットスロッシングによる溢水 Ⅵ：その他（地震の揺れによる警報発信等、施設の損傷を伴わないⅠ～Ⅴ以外の要因等）

福島第二原子力発電所における地震被害事例の要因整理 (8/13)

No.	件 名	号機	地震被害事象及び発生要因の概要	地震被害発生要因
129	【太平洋沖地震】3uR/BCRD 貯蔵庫引き戸の施錠装置破損	3号機	引き戸の施錠装置破損 エリア：原子炉建屋	Ⅲ
130	【太平洋沖地震】3uR/BB1 階北西側 M/C 室壁貫通配管廻りから漏水	3号機	壁貫通配管廻りから漏水 エリア：原子炉建屋	Ⅲ
131	【太平洋沖地震】4uR/B1 階北側 RW/A 給気ファン室空調ダクトのガラリ脱落	4号機	空調ダクトのガラリ脱落 エリア：原子炉建屋	Ⅲ
132	【太平洋沖地震】1uタービンベダスタルのエキスパンションジョイントの床塗装剥離	1号機	エキスパンションジョイントの床塗装剥離 エリア：タービン建屋	Ⅲ
133	【太平洋沖地震】1uT/B1 階大物搬入口大物搬入口のシャッターボックス点検カバー外れ	1号機	シャッターボックス点検カバー外れ エリア：タービン建屋	Ⅲ
134	【太平洋沖地震】1uT/B 湿分分離器 A 付近エキスパンションジョイントのコンクリート剥落	1号機	エキスパンションジョイントのコンクリート剥落 エリア：タービン建屋	Ⅲ
135	【太平洋沖地震】4uT/BB1 階復水器付近床コンクリート剥離	1号機	床コンクリート剥離 エリア：タービン建屋	Ⅲ
136	【太平洋沖地震】2uT/B2F 南側エキスパンションジョイントのコンクリート剥落	2号機	エキスパンションジョイントのコンクリート剥落 エリア：タービン建屋	Ⅲ
137	【太平洋沖地震】2uT/B1F 南側エキスパンションジョイントのコンクリート剥落	2号機	エキスパンションジョイントのコンクリート剥落 エリア：タービン建屋	Ⅲ
138	【太平洋沖地震】エキスパンションジョイントの金具変形	3号機	エキスパンションジョイントの金具変形 エリア：タービン建屋	Ⅲ
139	【太平洋沖地震】3uT/B2 階タービンベダスタル上部壁コンクリート脱落	3号機	壁コンクリート脱落 エリア：タービン建屋	Ⅲ
140	【太平洋沖地震】3uT/B1 階西側配管廻りモルタル脱落	3号機	配管廻りモルタル脱落 エリア：タービン建屋	Ⅲ
141	【太平洋沖地震】3uT/B1F1PB 冷却装置付近の壁コンクリート脱落	3号機	壁コンクリート脱落 エリア：タービン建屋	Ⅲ
142	【太平洋沖地震】3uT/B1 階 IPB 冷却装置付近上部エキスパンション部コンクリート片および緩衝材脱落	3号機	上部エキスパンション部コンクリート片および緩衝材脱落 エリア：タービン建屋	Ⅲ
143	【太平洋沖地震】3uT/B エレベーターの乗り場床コンクリート剥離	3号機	床コンクリート剥離 エリア：タービン建屋	Ⅲ
144	【太平洋沖地震】3uT/B B1 復水ポンプ室の上部エキスパンション部緩衝材脱落	3号機	上部エキスパンション部緩衝材脱落 エリア：タービン建屋	Ⅲ
145	【太平洋沖地震】4uT/B1 階大物搬入口大物搬入口のシャッターボックス点検カバー外れ	4号機	シャッターボックス点検カバー外れ エリア：タービン建屋	Ⅲ
146	【太平洋沖地震】4uT/B 1F 給水加熱器室 (B) の壁コンクリートブロック破片あり	4号機	壁コンクリートブロック破片あり エリア：タービン建屋	Ⅲ
147	【太平洋沖地震】4uT/B 1F 給水加熱器室付近の上部エキスパンション部コンクリート片および緩衝材脱落	4号機	上部エキスパンション部コンクリート片および緩衝材脱落 エリア：タービン建屋	Ⅲ
148	【太平洋沖地震】4uT/B B1 給水ポンプ室 (B) の柱・梁コンクリート剥落 (2箇所)	4号機	柱・梁コンクリート剥落 エリア：タービン建屋	Ⅲ
149	【太平洋沖地震】4uT/B B1 制御盤室の梁コンクリート剥落	4号機	梁コンクリート剥落 エリア：タービン建屋	Ⅲ
150	【太平洋沖地震】1uHx/B 北棟南側給気ルーバーの変形	1号機	給気ルーバーの変形 エリア：海水熱交換器建屋	Ⅲ
151	【太平洋沖地震】3uHx/B 南棟南側シャッターの破損	3号機	シャッターの破損 エリア：海水熱交換器建屋	Ⅲ

地震被害発生要因：Ⅰ：地震の不等沈下による損傷 Ⅱ：建物間の相対変位による損傷 Ⅲ：地震の揺れによる施設の損傷・転倒・落下等 Ⅳ：周辺斜面の崩落 Ⅴ：使用済燃料ピットスロッシングによる溢水 Ⅵ：その他（地震の揺れによる警報発信等、施設の損傷を伴わないⅠ～Ⅴ以外の要因等）

福島第二原子力発電所における地震被害事例の要因整理(9/13)

No.	件 名	号機	地震被害事象及び発生要因の概要	地震被害 発生要因
152	【太平洋沖地震】4uHx/B 北棟東側シャッターの破損	4号機	シャッターの破損 エリア：海水熱交換器建屋	Ⅲ
153	【太平洋沖地震】1uC/B3F 中央操作室の天井ボード落下	1号機	天井ボード落下 エリア：コントロール建屋	Ⅲ
154	【太平洋沖地震】12C/B3 階中央操作室照明器具のカバー脱落	1号機	照明器具のカバー脱落 エリア：コントロール建屋	Ⅲ
155	【太平洋沖地震】1 2 C/B3 階中央操作室空調吹出口のアネモ脱落	1号機	空調吹出口のアネモ脱落 エリア：コントロール建屋	Ⅲ
156	【太平洋沖地震】1 2 C/B3 階中央操作室空調吹出口のアネモ脱落	3号機	天井ボード落下 エリア：コントロール建屋	Ⅲ
157	【太平洋沖地震】3C/B3 階中央操作室照明器具のカバー脱落	3号機	照明器具のカバー脱落 エリア：コントロール建屋	Ⅲ
158	【太平洋沖地震】3uC/B3F 中央操作室の天井・梁取り付け部破損	3号機	天井・梁取り付け部破損 エリア：コントロール建屋	Ⅲ
159	【太平洋沖地震】12S/B3 階通路照明器具のカバー脱落	1号機	照明器具のカバー脱落 エリア：サービス建屋	Ⅲ
160	【太平洋沖地震】12S/B3 階通路空調吹出口のアネモ脱落	1号機	空調吹出口のアネモ脱落 エリア：サービス建屋	Ⅲ
161	【太平洋沖地震】1uS/B3F 電算機資料室の天井ボード落下	1号機	天井ボード落下 エリア：サービス建屋	Ⅲ
162	【太平洋沖地震】12S/B3 階2号過度現象空調吹出口のアネモ脱落	1号機	空調吹出口のアネモスタット脱落 エリア：サービス建屋	Ⅲ
163	【太平洋沖地震】12S/B3 階測定器室空調吹出口のアネモ脱落	1号機	空調吹出口のアネモスタット脱落 エリア：サービス建屋	Ⅲ
164	【太平洋沖地震】12S/B3 階No2 計器室空調吹出口のアネモ脱落	1号機	空調吹出口のアネモスタット脱落 エリア：サービス建屋	Ⅲ
165	【太平洋沖地震】12S/B3 階計算機室空調吹出口のアネモ脱落	1号機	空調吹出口のアネモスタット脱落 エリア：サービス建屋	Ⅲ
166	【太平洋沖地震】34S/B3 階放管用 CVCF 室空調ダクトのガラリ脱落	1号機	空調ダクトのガラリ脱落 エリア：サービス建屋	Ⅲ
167	【太平洋沖地震】12S/B3 階放管用 CVCF 室消防設備の排煙口脱落	1号機	消防設備の排煙口脱落 エリア：サービス建屋	Ⅲ
168	【太平洋沖地震】S12/B2 階チェックポイント空調吹出口のアネモ脱落	1号機	空調吹出口のアネモスタット脱落 エリア：サービス建屋	Ⅲ
169	【太平洋沖地震】12S/B2 階更衣所排煙口廻り天井ボード落下	1号機	排煙口廻り天井ボード落下 エリア：サービス建屋	Ⅲ
170	【太平洋沖地震】12uS/B 待合室の壁保安電話機火災跡	1号機	保安電話機火災跡有り エリア：サービス建屋	Ⅲ
171	【太平洋沖地震】1uS/B B2 シャワードレン受けタンク室の壁貫通配管廻りから漏水	1号機	壁貫通配管廻りから漏水 エリア：サービス建屋	Ⅲ
172	【太平洋沖地震】34S/B3 階操作員ロッカー室照明器具のカバー脱落	3号機	照明器具のカバー脱落 エリア：サービス建屋	Ⅲ
173	【太平洋沖地震】34S/B3 階女子トイレ壁タイル割れおよび剥離	3号機	壁タイル割れおよび剥離 エリア：サービス建屋	Ⅲ
174	【太平洋沖地震】34S/B3 階電気レー室照明器具のカバー脱落	3号機	照明器具のカバー脱落 エリア：サービス建屋	Ⅲ

地震被害発生要因：Ⅰ：地震の不等沈下による損傷 Ⅱ：建物間の相対変位による損傷 Ⅲ：地震の揺れによる施設の損傷・転倒・落下等 Ⅳ：周辺斜面の崩落 Ⅴ：使用済燃料ピットスロッシングによる溢水 Ⅵ：その他（地震の揺れによる警報発信等、施設の損傷を伴わないⅠ～Ⅴ以外の要因等）

福島第二原子力発電所における地震被害事例の要因整理(10/13)

No.	件 名	号機	地震被害事象及び発生要因の概要	地震被害 発生要因
175	【太平洋沖地震】34S/B3 階保安管理室照明器具のカバー脱落	3号機	照明器具のカバー脱落 エリア：サービス建屋	Ⅲ
176	【太平洋沖地震】34S/B3 階 No1 計器室照明器具のカバー脱落	3号機	照明器具のカバー脱落 エリア：サービス建屋	Ⅲ
177	【太平洋沖地震】34S/B2 階チェックポイント照明器具のカバー脱落	3号機	照明器具のカバー脱落 エリア：サービス建屋	Ⅲ
178	【太平洋沖地震】34S/B2 階更衣室照明器具のカバー脱落	3号機	照明器具のカバー脱落 エリア：サービス建屋	Ⅲ
179	【太平洋沖地震】34S/BB1 階温水ボイラー室壁貫通配管廻りから漏水	3号機	壁貫通配管廻りから漏水 エリア：サービス建屋	Ⅲ
180	【太平洋沖地震】Rw/B3 階中央操作室空調吹出口のアネモ脱落	全号機	空調吹出口のアネモスタット脱落 エリア：廃棄物処理建屋	Ⅲ
181	【太平洋沖地震】Rw/B1 階電気品室照明器具の照明用支持金物脱落	全号機	照明器具の照明用支持金物脱落 エリア：廃棄物処理建屋	Ⅲ
182	【太平洋沖地震】Rw/BB2 階天井コンクリート剥離	全号機	天井コンクリート剥離 エリア：廃棄物処理建屋	Ⅲ
183	【太平洋沖地震】空調吹出口のアネモ脱落	全号機	空調吹出口のアネモスタット脱落 エリア：廃棄物処理建屋	Ⅲ
184	【太平洋沖地震】Sh/B2F 共用プールの屋根鉄骨部パッキン損傷	その他	屋根鉄骨部パッキン損傷 エリア：サイトバンカ建屋	Ⅲ
185	【太平洋沖地震】Cs/B1F 階段室の壁貫通配管廻りコンクリート剥落	その他	壁貫通配管廻りコンクリート剥落 エリア：キャスク建屋	Ⅲ
186	【太平洋沖地震】500kV 開閉所シャッターの破損（6箇所）	その他	シャッターの破損 エリア：500kV 開閉所	Ⅲ
187	【太平洋沖地震】500kV 開閉所シャッターのシャッターボックスカバー脱落	その他	シャッターのシャッターボックスカバー脱落 エリア：500kV 開閉所	Ⅲ
188	【太平洋沖地震】ALC 板落下	その他	ALC 板落下 エリア：500kV 開閉所	Ⅲ
189	【太平洋沖地震】66kV 開閉所の ALC 板落下	その他	ALC 板落下 エリア：66kV 開閉所	Ⅲ
190	【太平洋沖地震】66kV 開閉所フレキ板破損	その他	フレキ板破損 エリア：66kV 開閉所	Ⅲ
191	【太平洋沖地震】仮設 T/C ブームの破損	その他	仮設トラックレーンブームの破損 エリア：排気筒	Ⅲ
192	【太平洋沖地震】1u ガスボンベ庫 1 階入口扉の破損	1号機	扉の破損 エリア：ガスボンベ庫	Ⅲ
193	【太平洋沖地震】4u ガスボンベ庫 1 階入口扉の破損	4号機	扉の破損 エリア：ガスボンベ庫	Ⅲ
194	【太平洋沖地震】CF 制御盤の CF プログラムタイマー表示カバーが破損	1号機	復水ろ過装置制御盤の CF プログラムタイマー表示カバー破損 エリア：タービン建屋	Ⅲ
195	【太平洋沖地震】M/C 1A-2 の M/C1A-2(8)(9) の扉ハンドルが破損している	1号機	メタルクラッドスイッチギア 1A-2 のメタルクラッドスイッチギア 1A-2(8)(9) の扉ハンドル破損 エリア：コントロール建屋	Ⅲ
196	【太平洋沖地震】M/C 1B-2 の M/C1B-2(9)(10) の扉ハンドルが破損している	1号機	メタルクラッドスイッチギア 1B-2 のメタルクラッドスイッチギア 1B-2(9)(10) の扉ハンドル破損 エリア：コントロール建屋	Ⅲ
197	【太平洋沖地震】OP 9 5 0 0 扉の右下部に破損有り	2号機	扉の右下部に破損有り エリア：原子炉建屋	Ⅲ

地震被害発生要因：Ⅰ：地震の不等沈下による損傷 Ⅱ：建物間の相対変位による損傷 Ⅲ：地震の揺れによる施設の損傷・転倒・落下等 Ⅳ：周辺斜面の崩落 Ⅴ：使用済燃料ビットスロッシングによる溢水 Ⅵ：その他（地震の揺れによる警報発信等，施設の損傷を伴わないⅠ～Ⅴ以外の要因等）

福島第二原子力発電所における地震被害事例の要因整理(11/13)

No.	件 名	号機	地震被害事象及び発生要因の概要	地震被害 発生要因
198	【太平洋沖地震】R／B 2 F L 南側照明破損の建屋照明（蛍光灯）が脱落している	2号機	建屋照明（蛍光灯）が脱落している エリア：原子炉建屋	Ⅲ
199	【太平洋沖地震】M/C1SB-1 のM/C 1 SB-1 (1)の扉ハンドルが破損している	2号機	メタルラッドスイッチギア 1SB-1 のメタルラッドスイッチギア 1 SB-1 (1)の扉ハンドル破損 エリア：コントロール建屋	Ⅲ
200	【太平洋沖地震】M/C1SB-2 のM/C 1 SB-2 (4), (12)の扉ハンドルが破損している	2号機	メタルラッドスイッチギア 1SB-2 のメタルラッドスイッチギア 1 SB-2 (4), (12)の扉ハンドル破損 エリア：コントロール建屋	Ⅲ
201	【太平洋沖地震】CRD 搬出入口壁破損の CRD 搬出入口の壁面が破損している	3号機	壁面が破損している エリア：原子炉建屋	Ⅲ
202	【太平洋沖地震】壁コンクリート損壊の IPB 冷却装置室の壁コンクリートが損壊	3号機	壁コンクリートが損壊している (1.5m×0.5m) エリア：タービン建屋	Ⅲ
203	【太平洋沖地震】RW/A 給気ファン(A), (B) 電動機の給気ファンダクト吹き出し口落下	4号機	RW/A 給気ファン(A), (B) 電動機の給気ファンダクト吹き出し口落下 エリア：原子炉建屋	Ⅲ
204	【太平洋沖地震】全ての天井から落下物多数	1号機	全ての天井から落下物多数 エリア：6 6 k V 開閉所	Ⅲ
205	【太平洋沖地震】全ての天井から落下物多数 全てのシャッターが破損 雨水の浸入（富岡線 1 号WB 赤白間）	1号機	・全ての天井から落下物多数 全てのシャッターが破損 ・雨水の浸入（富岡線 1 号ウォールブッシング赤白間） エリア：5 0 0 k V 開閉所	Ⅲ
206	【太平洋沖地震】主変圧器 の放圧管から油漏洩（故障警報発生）及び I P B 架台の損傷	4号機	・主変圧器 の放圧管から油漏洩（故障警報発生） ・相分離母線架台曲がり ・相分離母線架台 ボルト折損 エリア：ヤード地上トランスヤード	Ⅲ, VI
207	【太平洋沖地震】高起動変圧器のコンサベータ油面低の警報発生及び油漏れ	1号機	高起動変圧器（HST r）のコンサベータ油面低（油面計 0）、本体・ケーブル接続箱放圧装置動作、ガス検出、 <u>約 3000 リットル油漏れ</u> エリア：5 0 0 k V 開閉所	Ⅲ, VI

地震被害発生要因：Ⅰ：地震の不等沈下による損傷 Ⅱ：建物間の相対変位による損傷 Ⅲ：地震の揺れによる施設の損傷・転倒・落下等 Ⅳ：周辺斜面の崩落 Ⅴ：使用済燃料ピットスロッシングによる溢水 Ⅵ：その他（地震の揺れによる警報発信等、施設の損傷を伴わないⅠ～Ⅴ以外の要因等）

福島第二原子力発電所における地震被害事例の要因整理(12/13)

No.	件 名	号機	地震被害事象及び発生要因の概要	地震被害 発生要因
地震被害発生要因 V			※下線は要因V相当箇所	
208	【太平洋沖地震】6F全域フロア全体に水溜まり有り	4号機	フロア全体に水溜まり有り（天井クレーンの外観異常なし） エリア：原子炉建屋	V
209	【太平洋沖地震】燃交機制御室水溜まり	4号機	水溜まり有り（燃交機、燃料プールの外観異常なし） エリア：原子炉建屋	V
210	【太平洋沖地震】R／B 6階 N L P－2 R 6 2 Bの分電盤が被水、 また、CKT-6, 10 がトリップ	2号機	分電盤に水が掛かっている。また、ブレーカがトリップしている。 エリア：原子炉建屋	V

地震被害発生要因：Ⅰ：地震の不等沈下による損傷 Ⅱ：建物間の相対変位による損傷 Ⅲ：地震の揺れによる施設の損傷・転倒・落下等 Ⅳ：周辺斜面の崩落 V：使用済燃料ピットスロッシングによる溢水 VI：その他（地震の揺れによる警報発信等，施設の損傷を伴わないⅠ～Ⅴ以外の要因等）

福島第二原子力発電所における地震被害事例の要因整理(13/13)

No.	件 名	号機	地震被害事象及び発生要因の概要	地震被害発生要因
地震被害発生要因 VI			※下線は要因VI相当箇所	
211	【太平洋沖地震】主変圧器 の放圧管から油漏洩（故障警報発生）及び I P B 架台の損傷	4号機	・主変圧器の放圧管から油漏洩（故障警報発生） ・相分離母線架台曲がり ・相分離母線架台 ボルト折損 エリア：ヤード地上トランスヤード	Ⅲ, Ⅵ
212	【太平洋沖地震】高起動変圧器のコンサベータ油面低の警報発生及び油漏れ	1号機	高起動変圧器（HST r）のコンサベータ油面低（油面計0）、本体・ケーブル接続箱放圧装置動作、ガス検出、 約3000リットル油漏れ エリア：500kV開閉所	Ⅲ, Ⅵ
213	【太平洋沖地震】CRD 温度監視盤の内部よりアラームあり	2号機	制御棒駆動系温度監視盤の内部よりアラームあり エリア 原子炉建屋 2 階制御棒駆動系温度監視盤	Ⅵ
214	【太平洋沖地震】C/S LCW サンプ(A)のポンプ水没（中操警報あり）	2号機	低電導度廃液系サンプ(A)のポンプ水没（中操警報あり） エリア：原子炉建屋	Ⅵ
215	【太平洋沖地震】C/S HCW サンプ(A)のタンクオーバーフロー（中操警報あり）	2号機	高電導度廃液系サンプ(A)のタンクオーバーフロー（中操警報あり） エリア：原子炉建屋	Ⅵ
216	【太平洋沖地震】C/S HCW サンプ(C)のタンクオーバーフロー（中操警報あり）	2号機	高電導度廃液系サンプ(C)のタンクオーバーフロー（中操警報あり） エリア：原子炉建屋	Ⅵ
217	【太平洋沖地震】R/B LCW サンプ(A)のタンクオーバーフロー（中操警報あり）	2号機	低電導度廃液系サンプ(A)のタンクオーバーフロー（中操警報あり） エリア：原子炉建屋	Ⅵ
218	【太平洋沖地震】CRDポンプ（B）一部床浸水有り（SDサンプからのオーバーフロー？）	3号機	一部床浸水有り（制御棒駆動系ポンプ（B）の外観異常なし） エリア：原子炉建屋	Ⅵ
219	【太平洋沖地震】CRDポンプ（A）の外観異常なし／一部床浸水有り（SDサンプからのオーバーフロー？）	3号機	一部床浸水有り（制御棒駆動系ポンプ（A）の外観異常なし） エリア：原子炉建屋	Ⅵ
220	【太平洋沖地震】CRDマスターコントロールエリア他の3F 南西通路床スラッジ有り	4号機	通路床にスラッジ有り エリア：原子炉建屋	Ⅵ
221	【太平洋沖地震】C/S HCW（C）LCW（A）タンクよりオーバーフロー	4号機	高電導度廃液系（C）低電導度廃液系（A）タンクよりオーバーフロー エリア：原子炉建屋	Ⅵ
222	【太平洋沖地震】R/B LCW(A)タンクよりオーバーフロー	4号機	低電導度廃液系(A)タンクよりオーバーフロー エリア：原子炉建屋	Ⅵ
223	【太平洋沖地震】CRD 温度監視盤のバッテリーよりアラーム発生	2号機	制御棒駆動系温度監視盤のバッテリーよりアラーム発生 エリア：原子炉建屋	Ⅵ
224	【太平洋沖地震】主変圧器の放圧管から油漏洩	1号機	主変圧器の放圧管から油漏洩 エリア：ヤードトランスヤード	Ⅵ
225	【太平洋沖地震】主変圧器の放圧管から油漏洩	2号機	主変圧器の放圧管から油漏洩 エリア：ヤード西側トランスヤード	Ⅵ
226	【太平洋沖地震】主変圧器の放圧管から油漏洩	3号機	主変圧器の放圧管から油漏洩 エリア：ヤードトランスヤード	Ⅵ

地震被害発生要因：Ⅰ：地震の不等沈下による損傷 Ⅱ：建物間の相対変位による損傷 Ⅲ：地震の揺れによる施設の損傷・転倒・落下等 Ⅳ：周辺斜面の崩落 Ⅴ：使用済燃料ピットスロッシングによる溢水 Ⅵ：その他（地震の揺れによる警報発信等，施設の損傷を伴わないⅠ～Ⅴ以外の要因等）

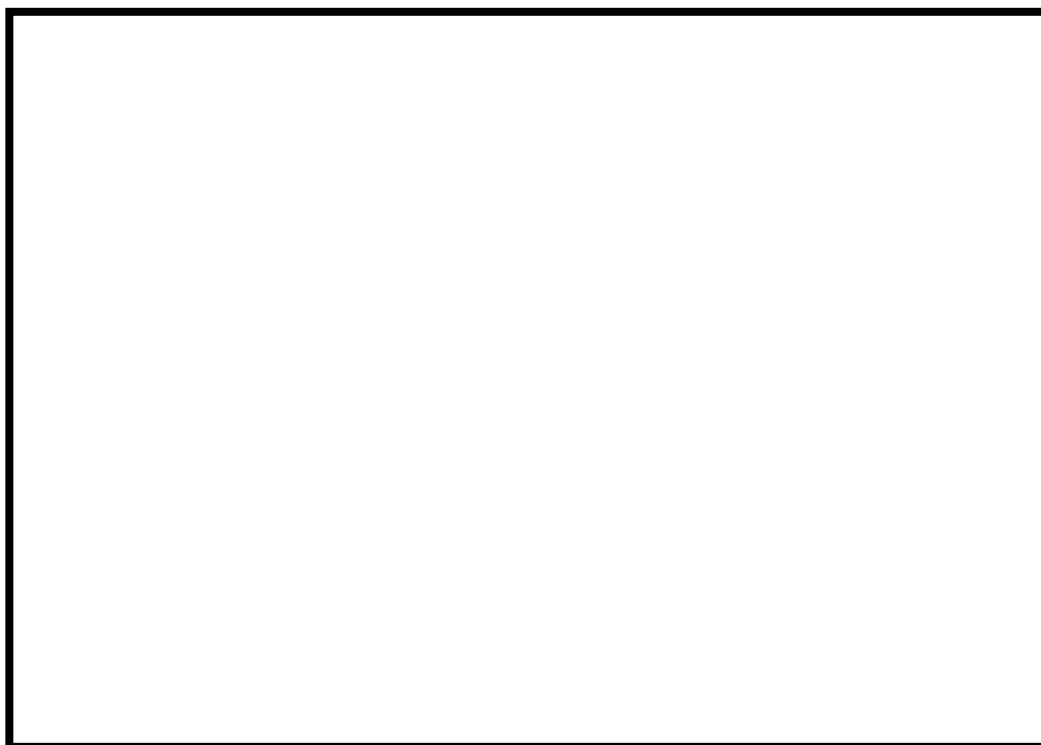
周辺斜面の崩落等による施設への影響について

「上位クラス施設」及び「上位クラス施設への波及的影響をおよぼすおそれのある下位クラス施設」について、周辺斜面の崩落等による影響について検討した。なお、下位クラス施設については、「6. 下位クラス施設の検討結果」に基づき抽出された施設とする。

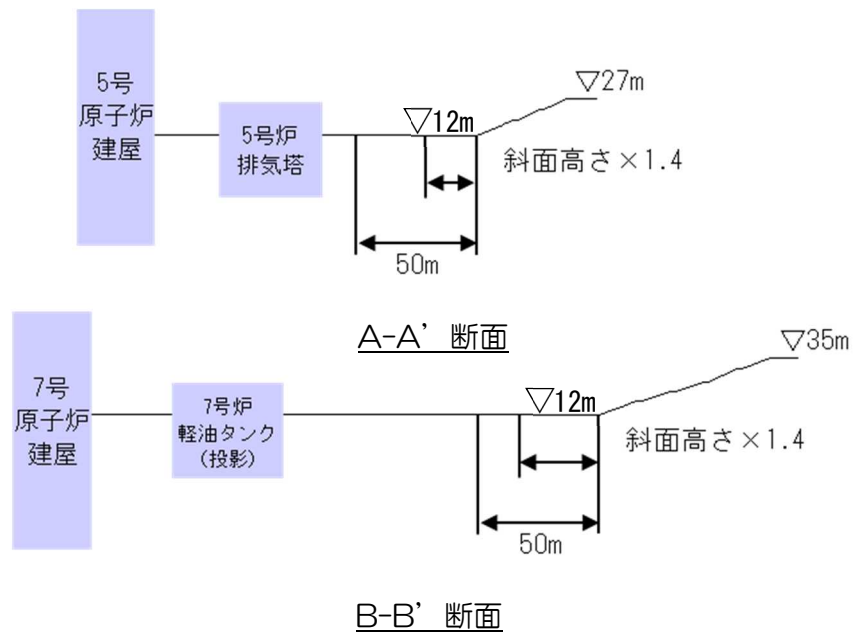
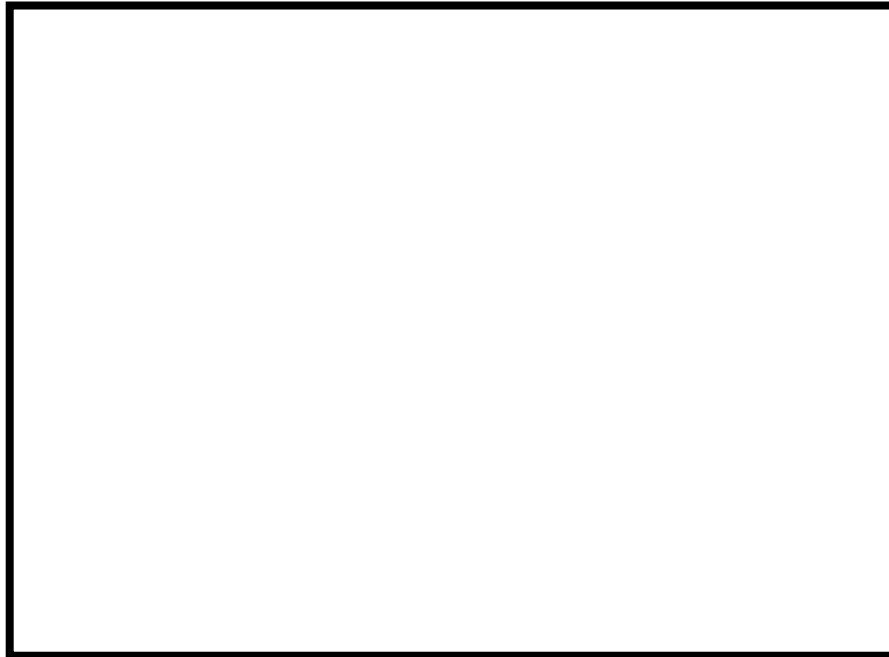
周辺斜面との離隔距離を考慮して、耐震評価の対象とすべき斜面のスクリーニングを行う。周辺斜面としては、切土及び盛土斜面を対象とし、離隔距離の考慮については、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」及び「原子力発電所の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価技術」、「宅地防災マニュアルの解説」を参考とし、周辺斜面との離隔距離が、「斜面高さの 1.4 倍もしくは 50m」もしくは「斜面高さの 2 倍（上限 50m）」が確保されていれば、評価対象斜面ではないと評価する。

第 1 図に敷地平面図を示した。「上位クラス施設」としては、「6, 7 号炉軽油タンク及び 5 号炉緊急時対策所（5 号炉原子炉建屋）」が、「上位クラス施設への波及的影響をおよぼすおそれのある下位クラス施設」としては、「5 号炉排気筒」が周辺斜面と比較的距離に近い。第 2 図に 6, 7 号炉軽油タンク周辺の拡大図及び断面図をそれぞれ示す。

この結果から、「上位クラス施設」及び「上位クラス施設への波及的影響をおよぼすおそれのある下位クラス施設」と周辺斜面には、十分な離隔距離が確保されており、敷地内には評価対象となる斜面はない。



第 1 図 敷地平面図



第2図 抽出された周辺斜面 （上段：拡大平面図，下段：A-A'，B-B'断面図）

上位クラス施設に隣接する下位クラス施設の支持地盤について

本資料では、柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉において、上位クラス施設に隣接する下位クラス施設の支持地盤の状況について確認を行う。

発電所敷地内における下位クラス施設の配置を第 1 図に、各下位クラス施設の接地状況を第 2 図～第 5 図に示す。

5 号炉排気筒については、第 2 図より、6 号炉原子炉建屋と連続した岩盤（西山層）に杭を介して支持されていることを確認した。

5 号炉タービン建屋については、第 3 図より、6 号炉タービン建屋と連続した岩盤（西山層）に支持されていることを確認した。

6 号炉 CO₂ ボンベ建屋・6 号炉連絡通路については、第 4 図、第 5 図より、マンメイドロック（MMR）を介して岩盤（西山層）に支持されていることを確認した。

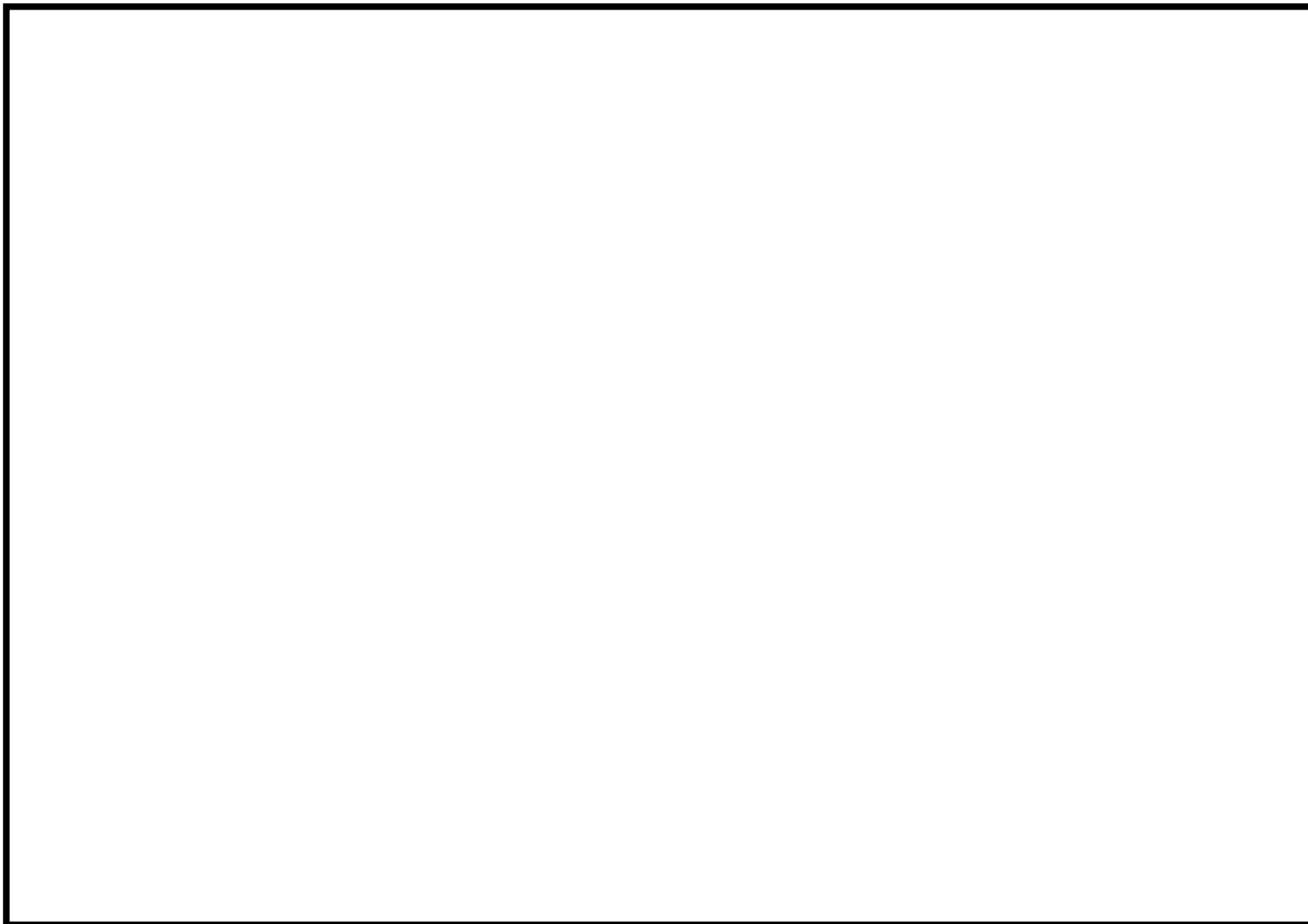
サービス建屋については、第 6 図より、大部分が岩盤（西山層）に支持されており、一部が洪積層（古安田層）に支持されていることを確認した。

5 号炉サービス建屋については、第 7 図より、地盤改良土を介して洪積層（古安田層）に支持されていることを確認した。

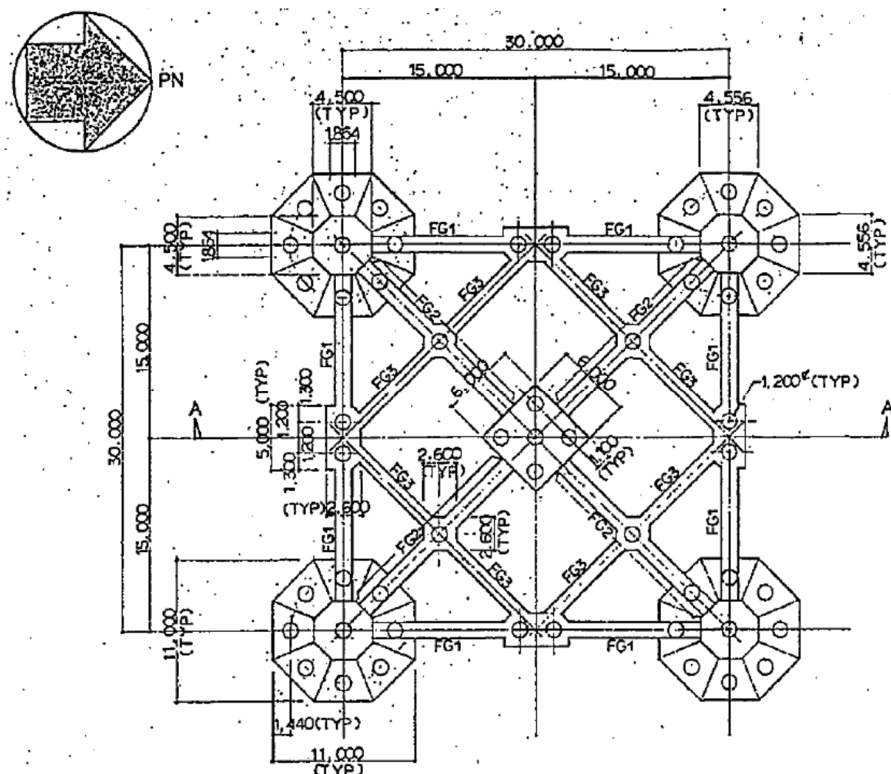
5 号炉連絡通路については、第 8 図より、マンメイドロック（MMR）を介して洪積層（古安田層）に支持されていることを確認した。

5 号炉格納容器圧力逃がし装置基礎については、第 9 図より、5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所と連続した岩盤（西山層）に杭を介して支持されていることを確認した。

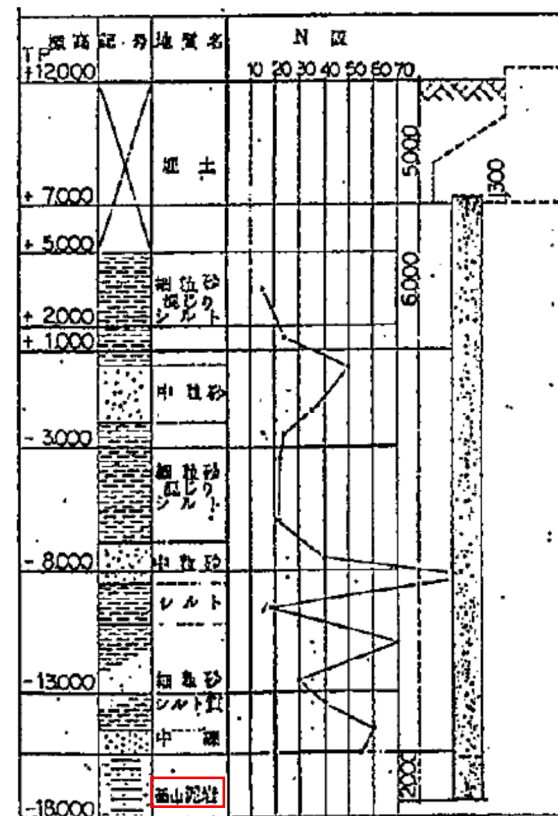
5 号炉主排気モニタ建屋については、第 10 図より、埋め戻し土に支持されていることを確認した。



第 1 図 柏崎刈羽原子力発電所 建屋外下位クラス施設配置図

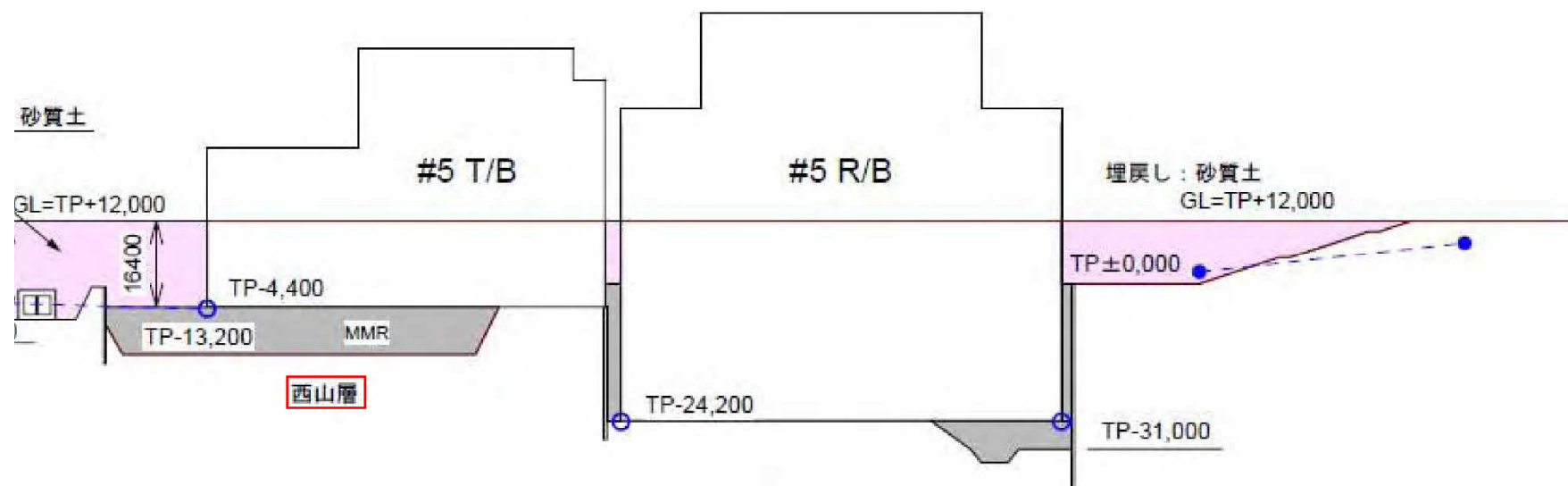


(a) 基礎伏図

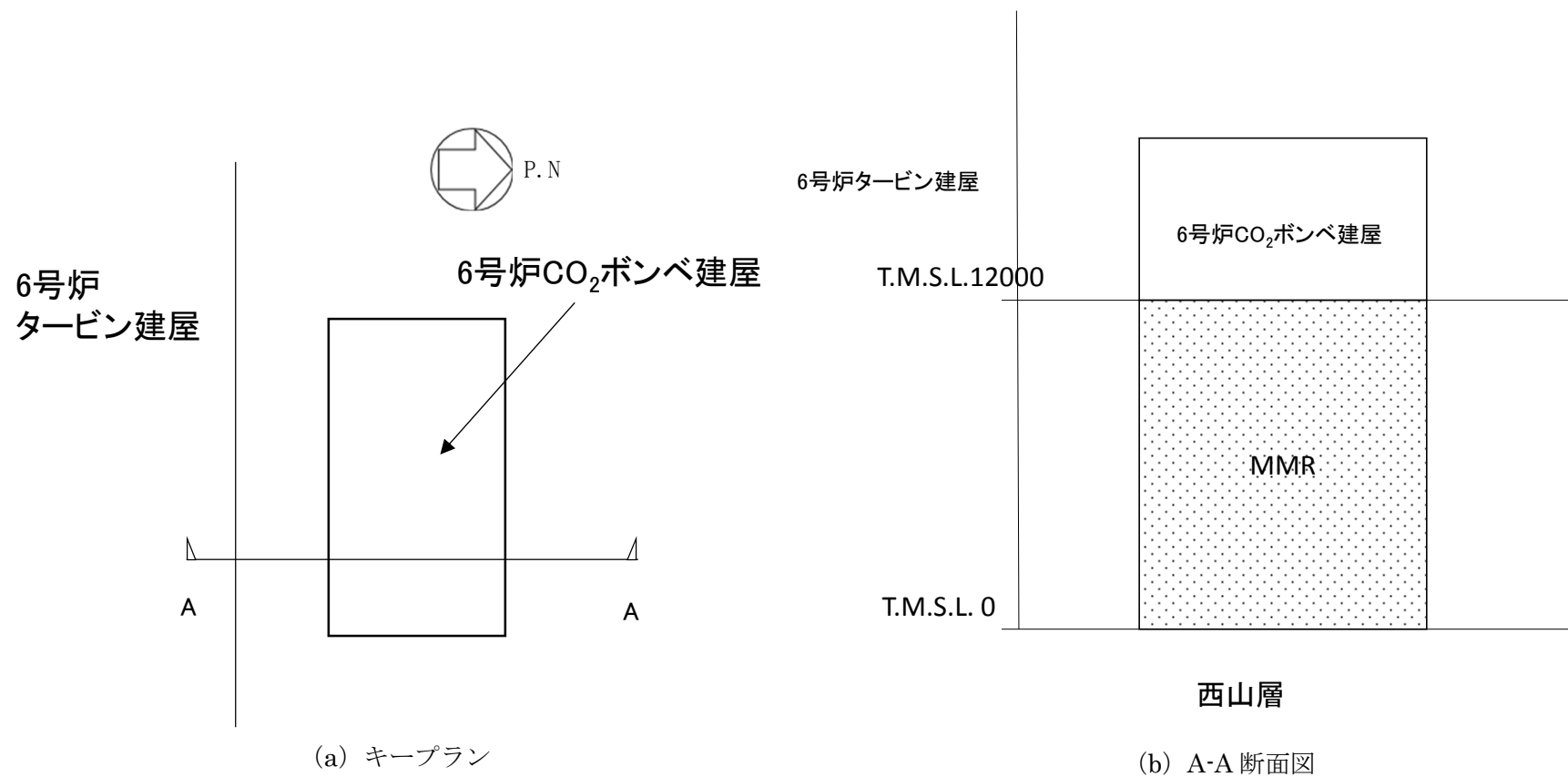


(b) 杭の根入れ状況

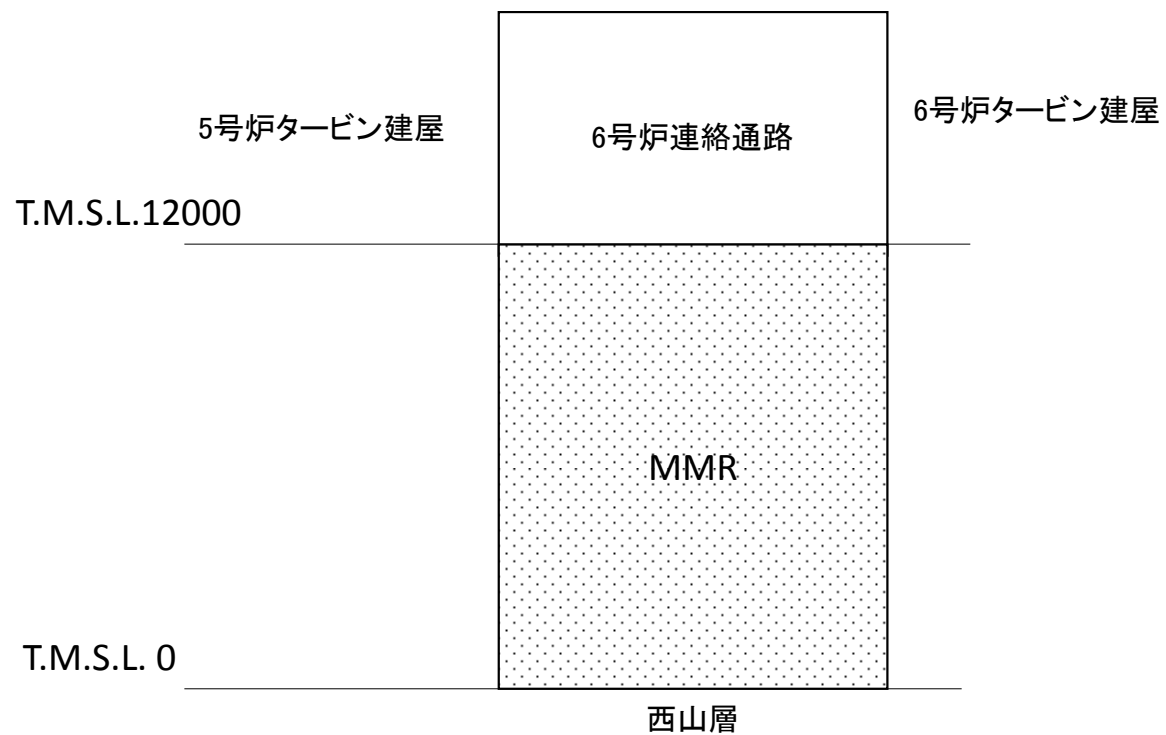
第2図 5号炉排気筒の接地状況



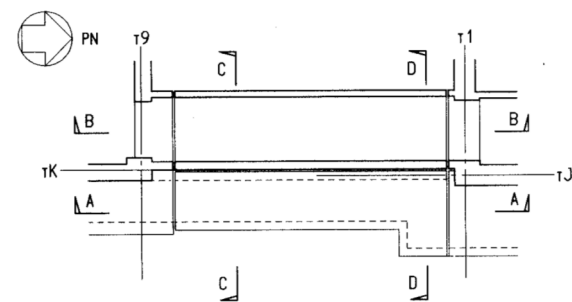
第3図 5号炉タービン建屋の接地状況



第4図 6号炉CO₂ポンベ建屋の接地状況

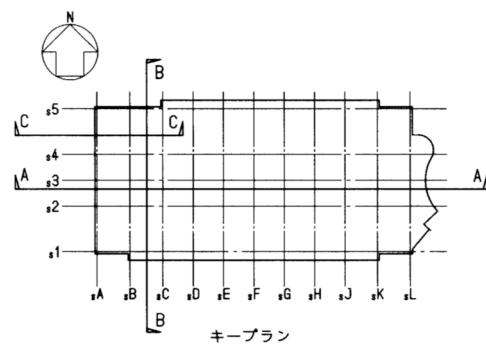


(a) B-B 断面図

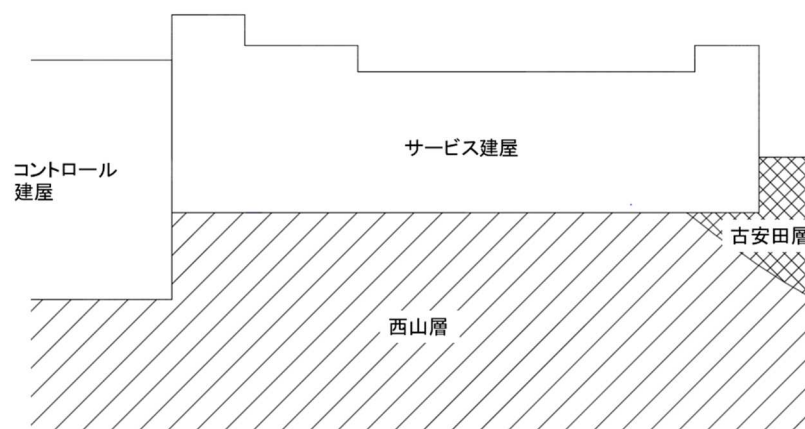


(b) キープラン

第5図 6号炉連絡通路の接地状況

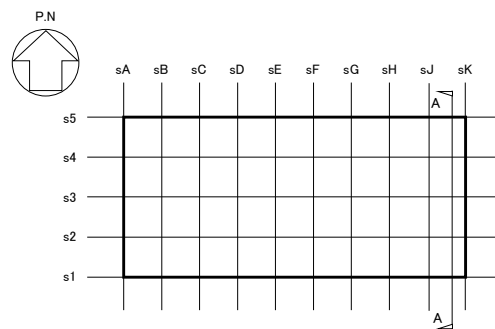


(a) キープラン

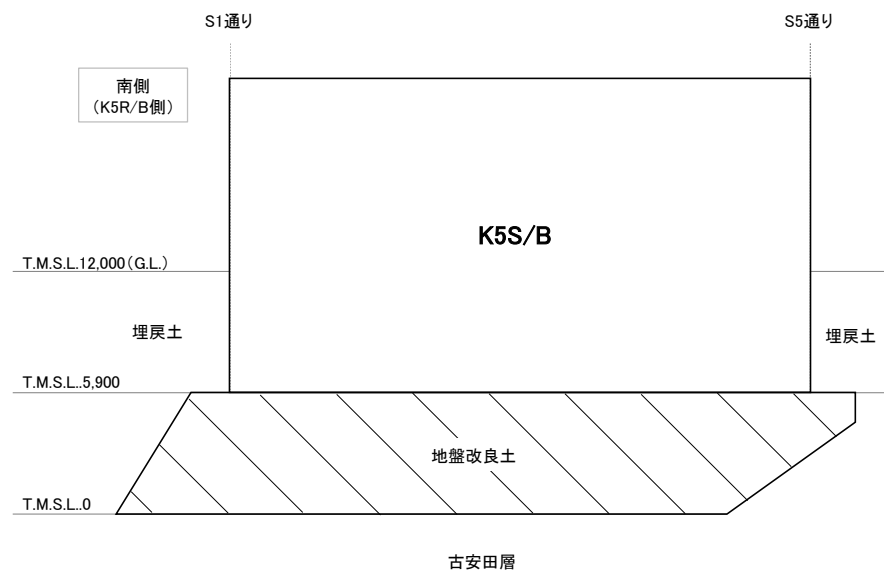


(b) A-A 断面図

第6図 サービス建屋の接地状況

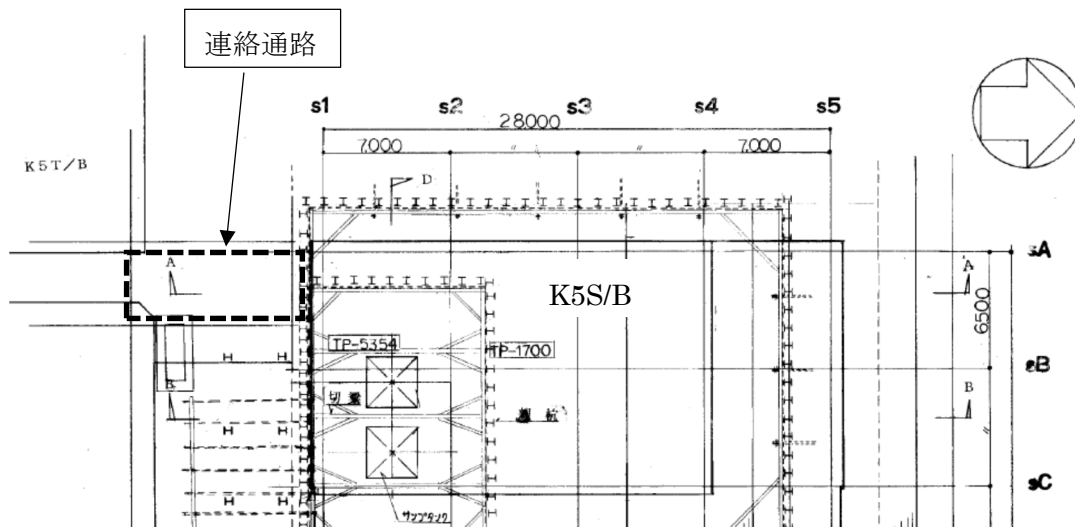


(a) キープラン



(b) A-A 断面図(南北方向)

第7図 5号炉サービス建屋の接地状況



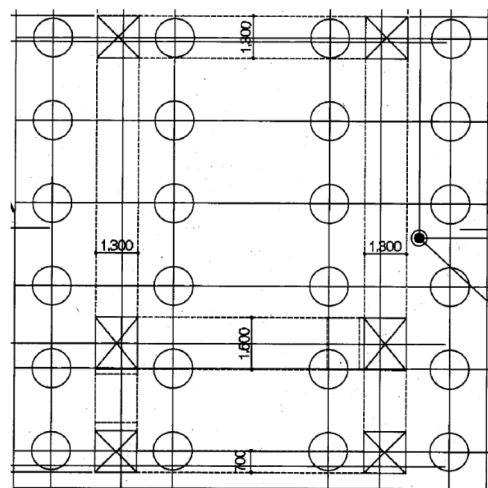
(a) 平面図



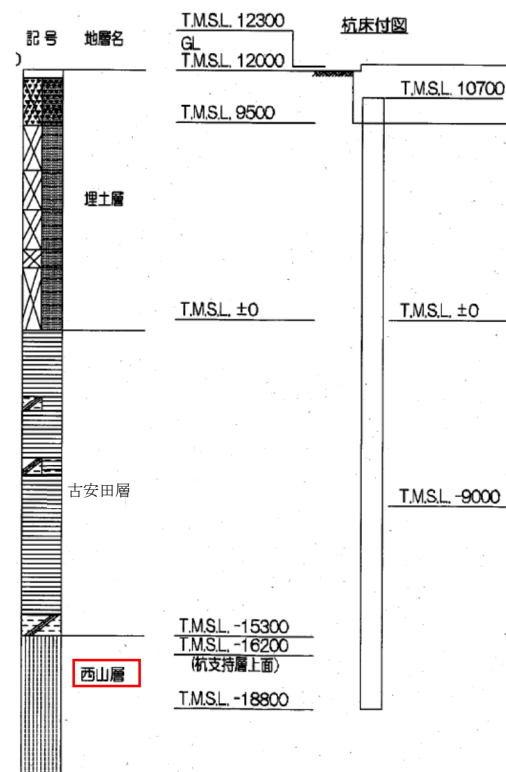
古安田層

(b) 断面図 (南北方向)

第 8 図 5 号炉連絡通路の接地状況

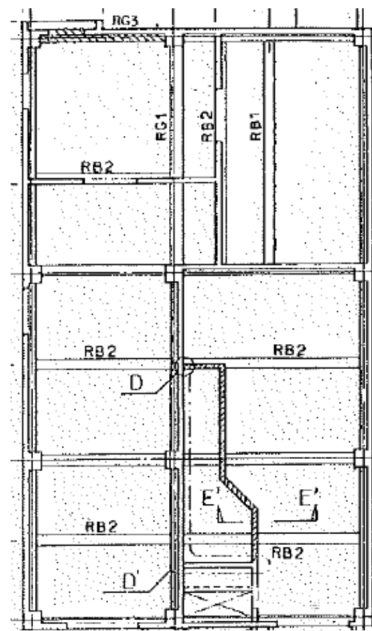


(a) 基礎伏図

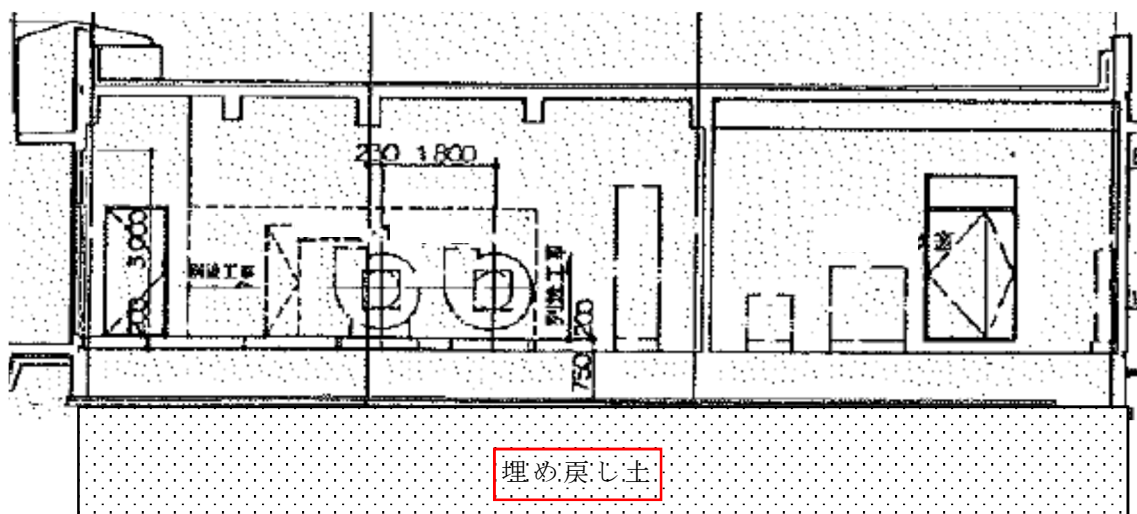


(b) 杭の根入れ状況

第 9 図 5 号炉格納容器圧力逃がし装置基礎の接地状況



(平面図)



第 10 図 5 号炉主排気モニタ建屋の接地状況

設置予定施設に対する波及的影響評価手法について

施設を設置する際に、既設下位クラス施設から受ける波及的影響、及び既設上位クラス施設に与える波及的影響の手法については、以下の通り実施するものとする。

1. 設置予定施設が上位クラス施設の場合

設置予定施設が上位クラス施設の場合には、当該施設に対して波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設を抽出した上で、影響評価を実施する。抽出された下位クラス施設については、「5. 下位クラス施設の抽出及び影響評価方法」に基づき、相対変位又は不等沈下による影響、接続部による影響、建屋内及び建屋外における損傷、転倒及び落下等による影響の観点から、設置予定施設が機能を損なうおそれの有無を確認する。

その結果、設置予定施設が波及的影響により機能を損なうおそれがある場合には、設置予定施設に対して配置の見直し、構造変更等の設計の見直しを行う。設置予定施設の設計にて波及的影響を回避できない場合には、波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設に対して耐震強化や移設等の対策を実施する。

2. 設置予定施設が下位クラス施設の場合

設置予定施設が下位クラス施設の場合には、1. 同様の観点から当該施設が既設上位クラス施設に対して波及的影響を及ぼすおそれの有無を確認する。

その結果、設置予定施設による波及的影響によって既設上位クラス施設の機能を損なうおそれがある場合には、設置予定施設に対して配置の見直し、耐震性の確保等の設計の見直しを行う。

3. 設置予定の個別設備の対応方針

設置予定施設として例示するが、波及的影響に対する対応方針としては上記方針に従って以下の通り実施する。

3. 1 代替格納容器圧力逃がし装置

代替格納容器圧力逃がし装置は、上位クラス施設として設置するものとし、上記1.に基づき当該施設周辺に設置されている下位クラス施設による波及的影響を及ぼすおそれのない設計とする。

3. 2 竜巻防護施設

竜巻防護施設は、下位クラス施設として設置する設備であり、周囲に上位クラス施設が設置されている場合においては2. に基づき評価を行ったうえで必要に応じて対策を実施する。

3. 3 火災防護設備

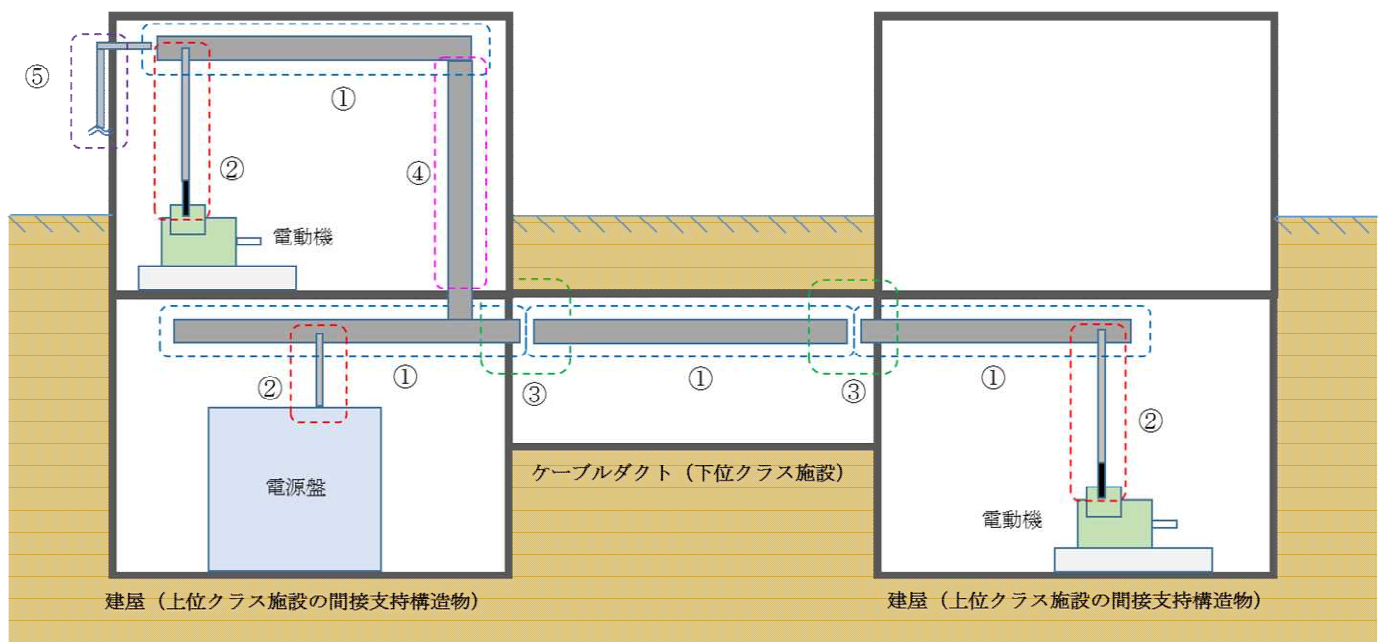
火災防護設備は、下位クラス施設として設置する設備であり、周囲に上位クラス施設が設置されている場合においては2. に基づき評価を行ったうえで必要に応じて対策を実施する。

上位クラス電路に対する下位クラス施設からの波及的影響の検討について

1. 評価概要

下位クラス施設からの波及的影響によって上位クラス電路の機能が損なわれないことを確認するために、上位クラス電路の敷設方法から第 1 図のように五つの敷設パターンに分類し、それぞれの敷設パターンについて波及的影響の有無を検討した。

- ① ケーブルトレイ水平部
- ② 上位クラスの盤等～ケーブルトレイ間電路
- ③ 建屋間渡り部
- ④ ケーブルトレイ床貫通部
- ⑤ 建屋外露出電路



第 1 図 上位クラス電路の敷設方法及び評価部位

2. 下位クラス施設の抽出及び影響評価方法

以下の五つの敷設パターンについて、上位クラス電路へ波及的影響をおよぼすおそれのある下位クラス施設を抽出する。なお、現地調査を実施する場合は添付資料 1-1 の実施要領に従って実施する。

2.1 ケーブルトレイ水平部（第 1 図の①）

ケーブルトレイ水平部は、第 1 図の①のように各階の天井付近等の高所に設置することで下位クラス施設の損傷・転倒及び落下等による波及的影響を考慮した配置としているため、上位クラス電路に対して下位クラス施設の損傷・転倒及び落下等による波及的影響のおそれは無い。

2.2 上位クラスの盤等～ケーブルトレイ間電路（第 1 図の②）

上位クラスの盤等～ケーブルトレイ間電路は、第 1 図の②のように盤等から天井付近まで電路が立ち上がって設置されており、上位クラスの盤等と同様に周辺に位置する下位クラス施設から波及的影響を及ぼされるおそれがある。このため、本文の第 5-3 図及び第 5-4 図のフローに従い、建屋内外の上位クラス電路の周辺に位置する波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設を現場調査により抽出し、波及的影響の有無を検討する。

2.3 建屋間渡り部（第 1 図の③）

上位クラス施設の間接支持構造物である建物・構築物と下位クラス施設の上位クラス電路渡り部（以下、「建屋間渡り部」という。）は、第 1 図の③のように下位クラス施設の不等沈下や上位クラス施設の間接支持構造物である建物・構築物と下位クラス施設間での相対変位により、波及的影響を及ぼされるおそれがある。このため、建屋間渡り部を抽出し、波及的影響の有無を検討する。

a. 建屋間渡り部の抽出

建屋間渡り部の上位クラス施設の間接支持構造物である建物・構築物と下位クラス施設を第 2-1 表に示す。

b. 耐震性の確認

a. で抽出した下位クラス施設について、基準地震動 S_s に対して上位クラス施設の間接支持構造物である建物・構築物との間に相対変位が生じないことを確認する。

第 2-1 表 上位クラス施設の間接支持構造物である建物・構築物と下位クラス施設を渡って敷設されている上位クラス電路

上位クラス施設の 間接支持構造物	下位クラス施設
コントロール建屋	ケーブルダクトⅠ ケーブルダクトⅡ ケーブルダクトⅢ ケーブルダクトⅣ
6号炉原子炉建屋	ケーブルダクトⅡ ケーブルダクトⅢ ケーブルダクトⅣ
6号炉タービン建屋	ケーブルダクトⅠ
第一ガスタービン発電機基礎	第一ガスタービン発電機用ケーブルダクト
7号炉タービン建屋	第一ガスタービン発電機用ケーブルダクト
5号炉原子炉建屋	5号炉格納容器圧力逃がし装置基礎

2.4 ケーブルトレイ床貫通部（第1図の④）

ケーブルトレイ床貫通部は、第1図の④及び第2-1図のように床面から天井付近までケーブルトレイが立ち上がって設置されており、2.2と同様に床貫通部の周辺に位置する下位クラス施設から波及的影響を及ぼされるおそれがある。このため、本文の第5-3図のフローに従い、上位クラス電路の床貫通部周辺に位置する波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設を抽出し、波及的影響の有無を検討する。

a. 上位クラス電路床貫通部の抽出

上位クラス電路床貫通部一覧を第2-2表に、上位クラス電路床貫通部の配置図を第2-2図及び第2-3図に示す。

b. 波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の抽出

現場調査をもとに、上位クラス電路床貫通部に対して、損傷、転倒及び落下等により波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設を抽出する。

c. 耐震性の確認

b.で抽出した下位クラス施設について、基準地震動 S_s に対して損傷、転倒及び落下等が生じないように構造健全性が維持出来ることを確認する。



第2-1図 ケーブルトレイ床貫通部外観

第 2-2 表 上位クラス電路床貫通部一覧表

整理 番号	6 号炉 上位クラス電路床貫通部	配置図 番号※	整理 番号	7 号炉 上位クラス電路床貫通部	配置図 番号※
K6-C001	原子炉建屋 地下 2 階電路床貫通部	1	K7-C001	原子炉建屋 地下 2 階電路床貫通部	1
K6-C002	原子炉建屋 地下 1 階電路床貫通部	2	K7-C002	原子炉建屋 地下 1 階電路床貫通部	2
K6-C003	原子炉建屋 地上 1 階電路床貫通部	3	K7-C003	原子炉建屋 地上 1 階電路床貫通部	3
K6-C004	原子炉建屋 地上 2 階電路床貫通部	4	K7-C004	原子炉建屋 地上 2 階電路床貫通部	4
K6-C005	原子炉建屋 地上 3 階電路床貫通部	5	K7-C005	原子炉建屋 地上 3 階電路床貫通部	5
K6-C006	原子炉建屋 地上 3 階（中間階）電路床貫通部	6	K7-C006	原子炉建屋 地上 3 階（中間階）電路床貫通部	6
K6-C007	原子炉建屋 地上 4 階電路床貫通部	7	K7-C007	原子炉建屋 地上 4 階電路床貫通部	7
K6-C008	タービン建屋 地下 1 階電路床貫通部	8	K7-C008	タービン建屋 地下 1 階電路床貫通部	8
K6-C009	タービン建屋 地上 1 階電路床貫通部	9	K7-C009	タービン建屋 地上 1 階電路床貫通部	9
K6-C010	コントロール建屋 地下 1 階電路床貫通部	10	K7-C010	コントロール建屋 地上 1 階電路床貫通部	10
K6-C011	コントロール建屋 地上 1 階電路床貫通部	11	K7-C011	廃棄物処理建屋 地下 2 階電路床貫通部	11
			K7-C012	廃棄物処理建屋 地下 1 階電路床貫通部	12

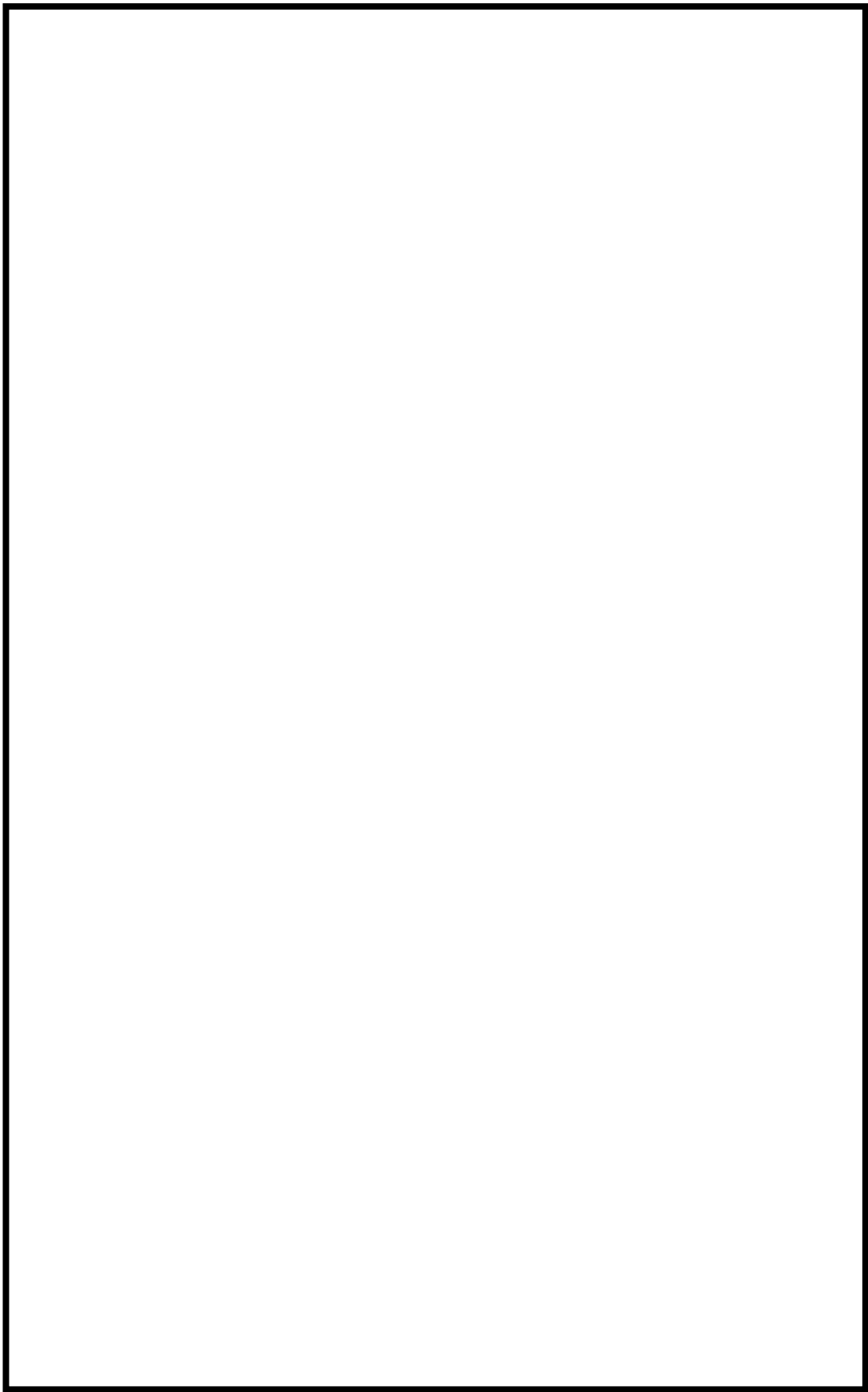
※ 第 3-1 図及び第 3-2 図で上位クラス床貫通部が記載されている配置図の通し番号を示す。



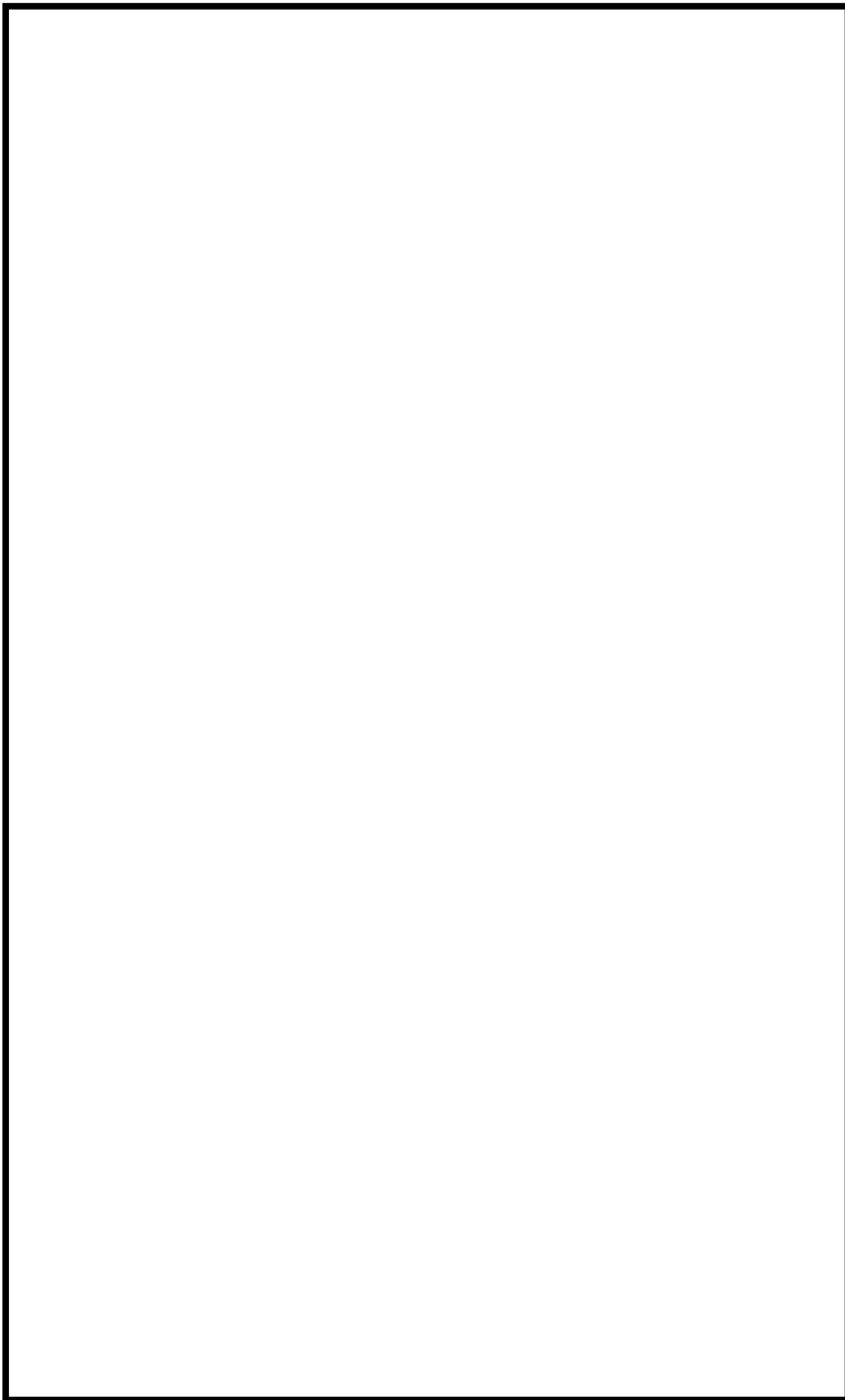
第2-2図 柏崎刈羽原子力発電所6号炉 上位クラス電路貫通部配置図 (1/11)



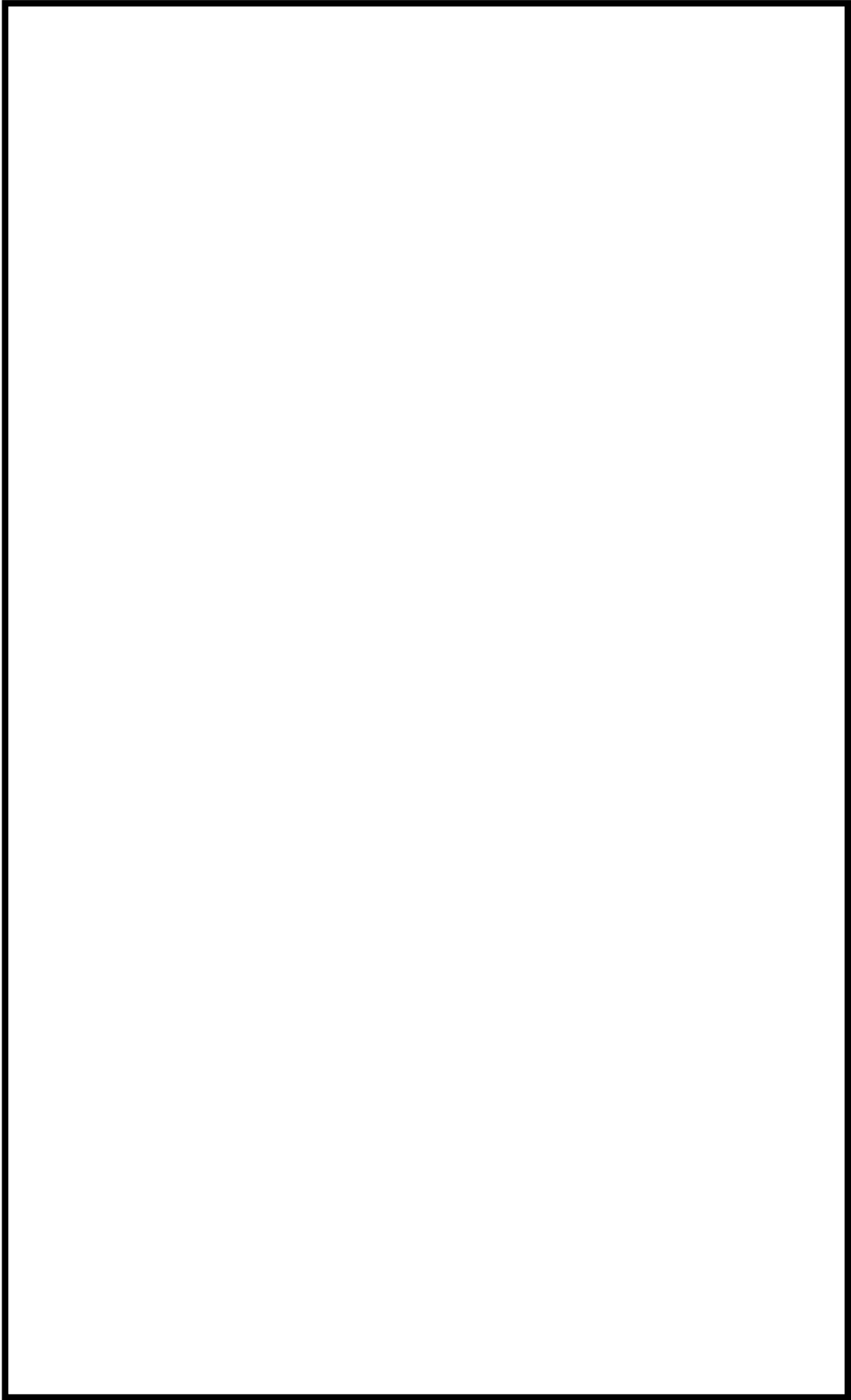
第2-2図 柏崎刈羽原子力発電所6号炉 上位クラス電路貫通部配置図 (2/11)



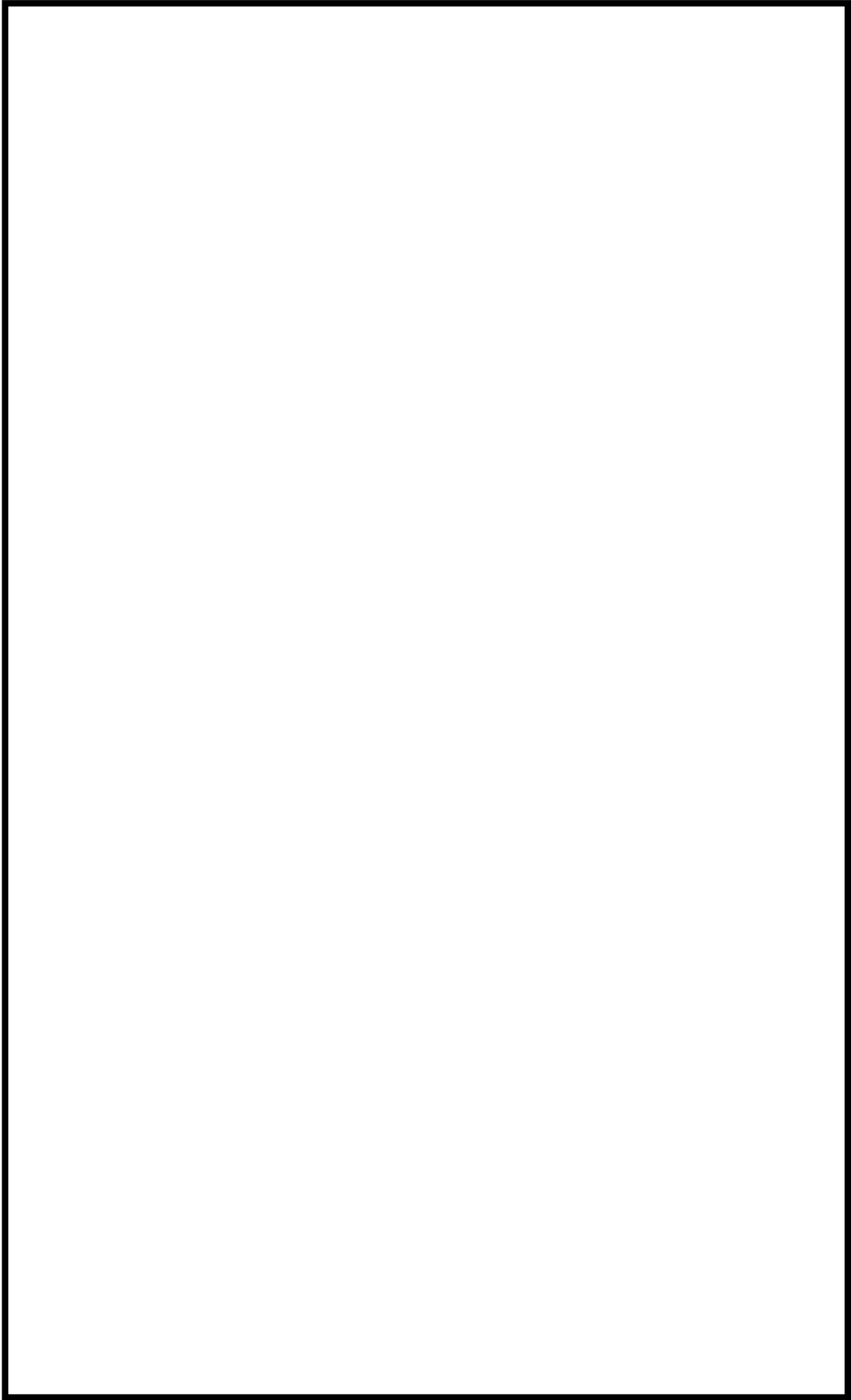
第2-2図 柏崎刈羽原子力発電所6号炉 上位クラス電路貫通部配置図 (3/11)



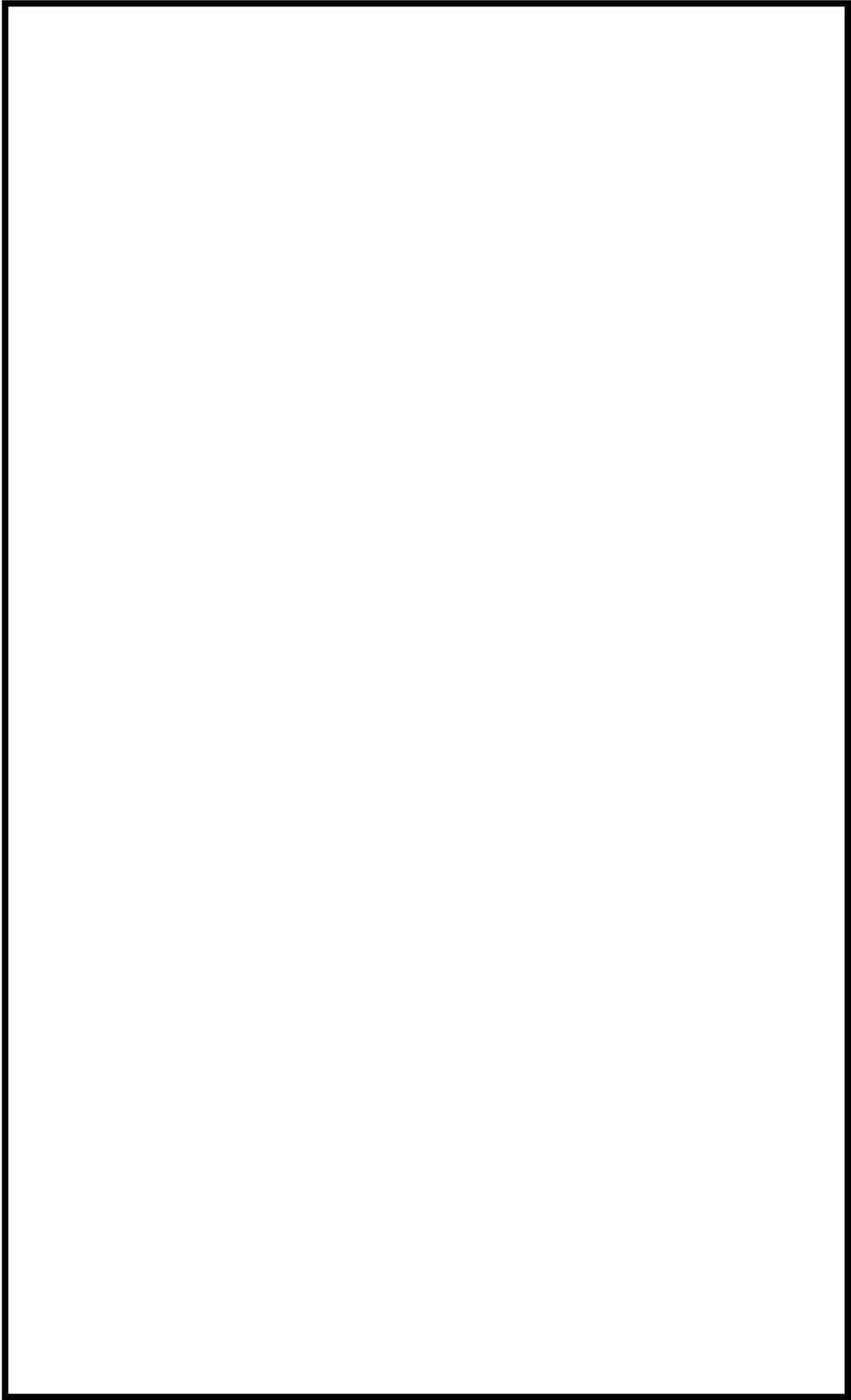
第2-2図 柏崎刈羽原子力発電所6号炉 上位クラス電路貫通部配置図 (4/11)



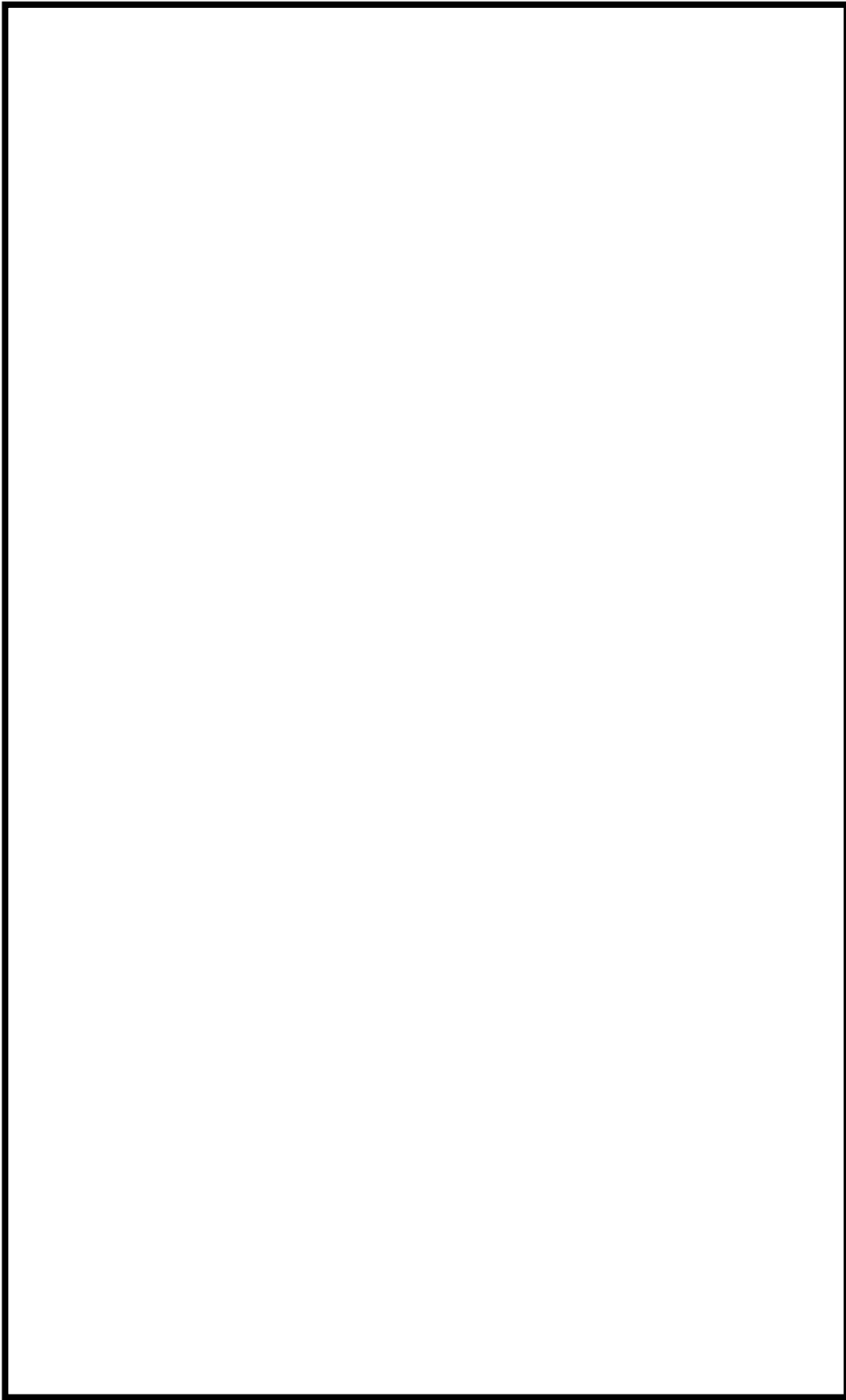
第 2-2 図 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 上位クラス電路貫通部配置図 (5/11)



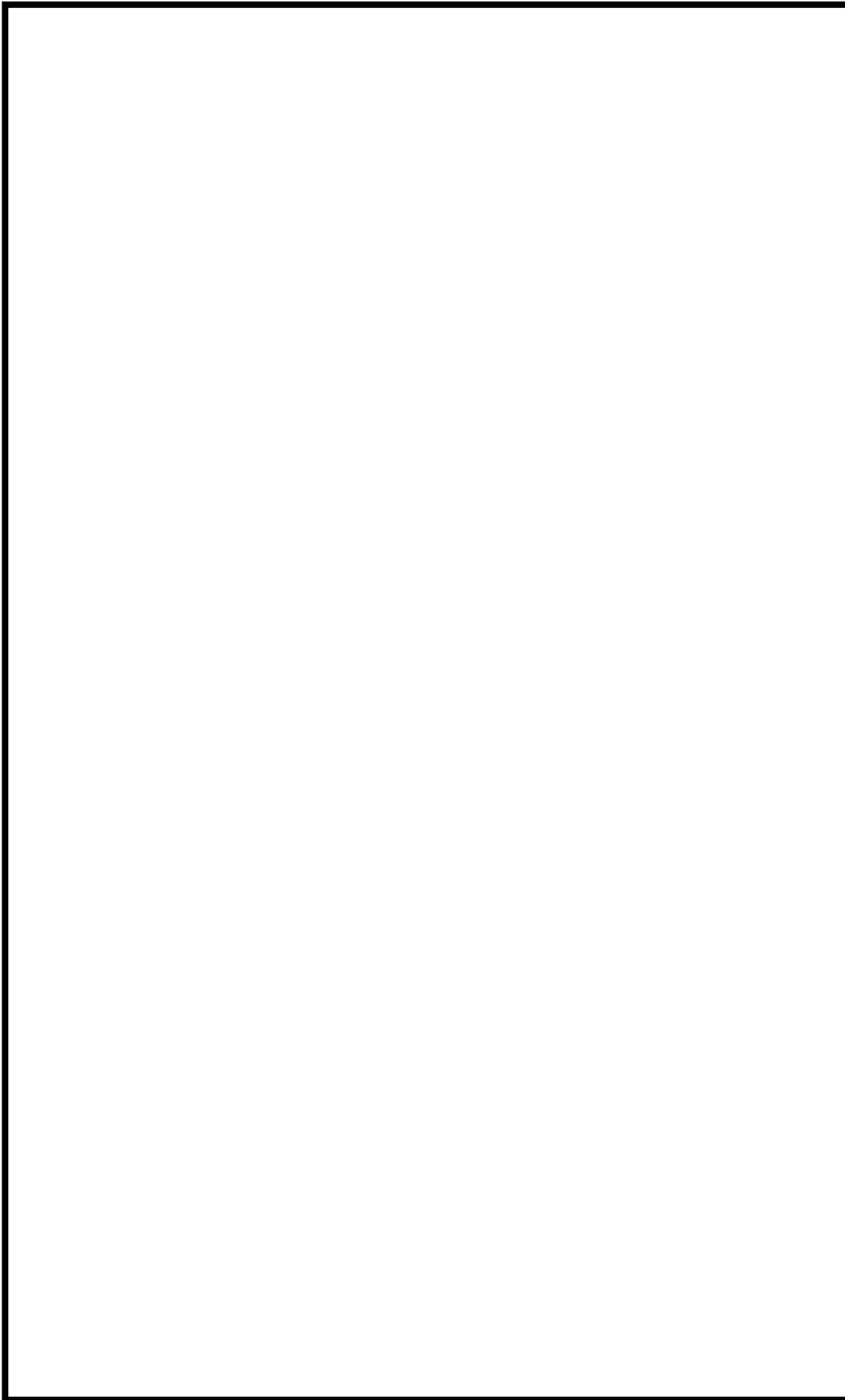
第 2-2 図 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 上位クラス電路貫通部配置図 (6/11)



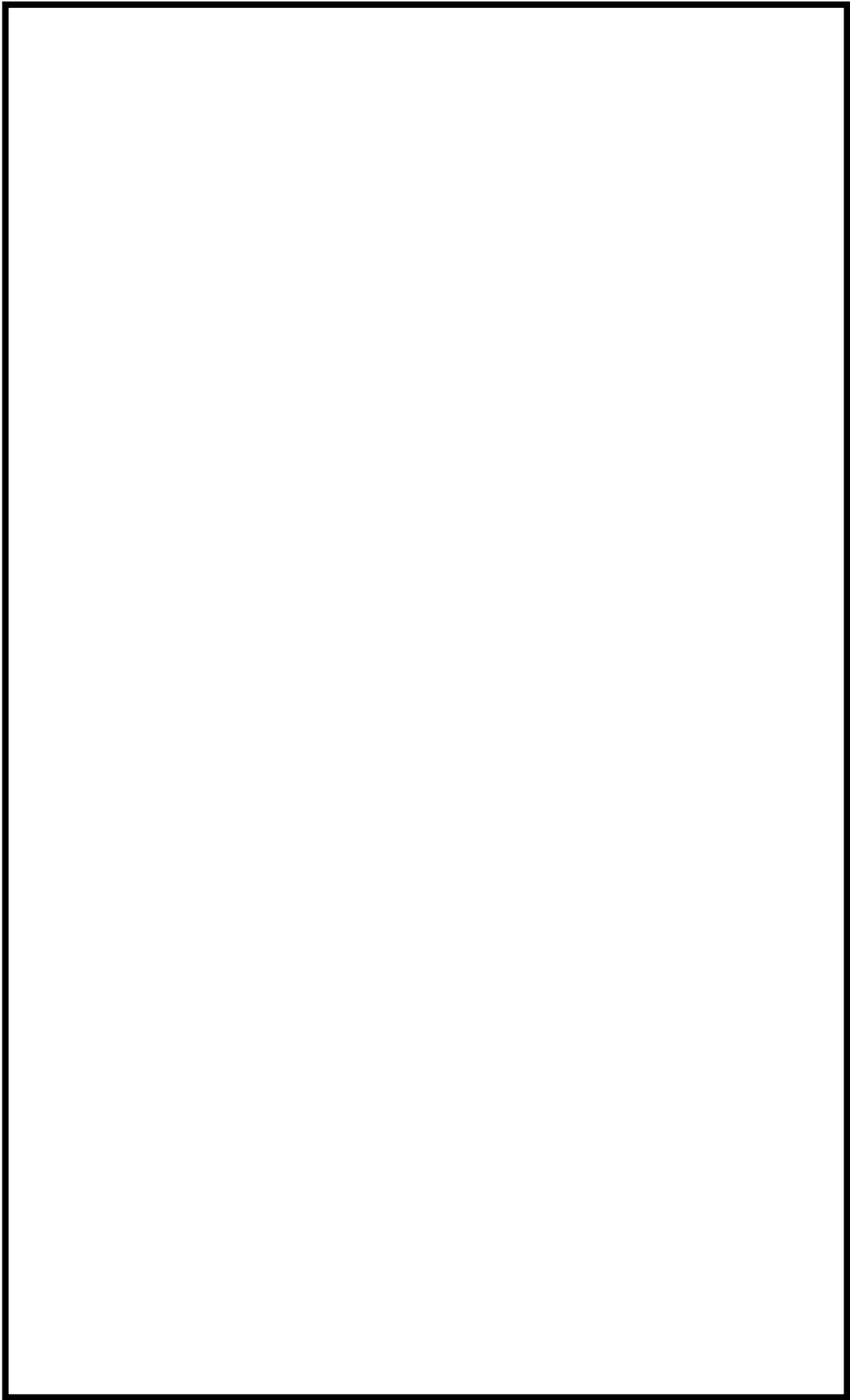
第 2-2 図 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 上位クラス電路貫通部配置図 (7/11)



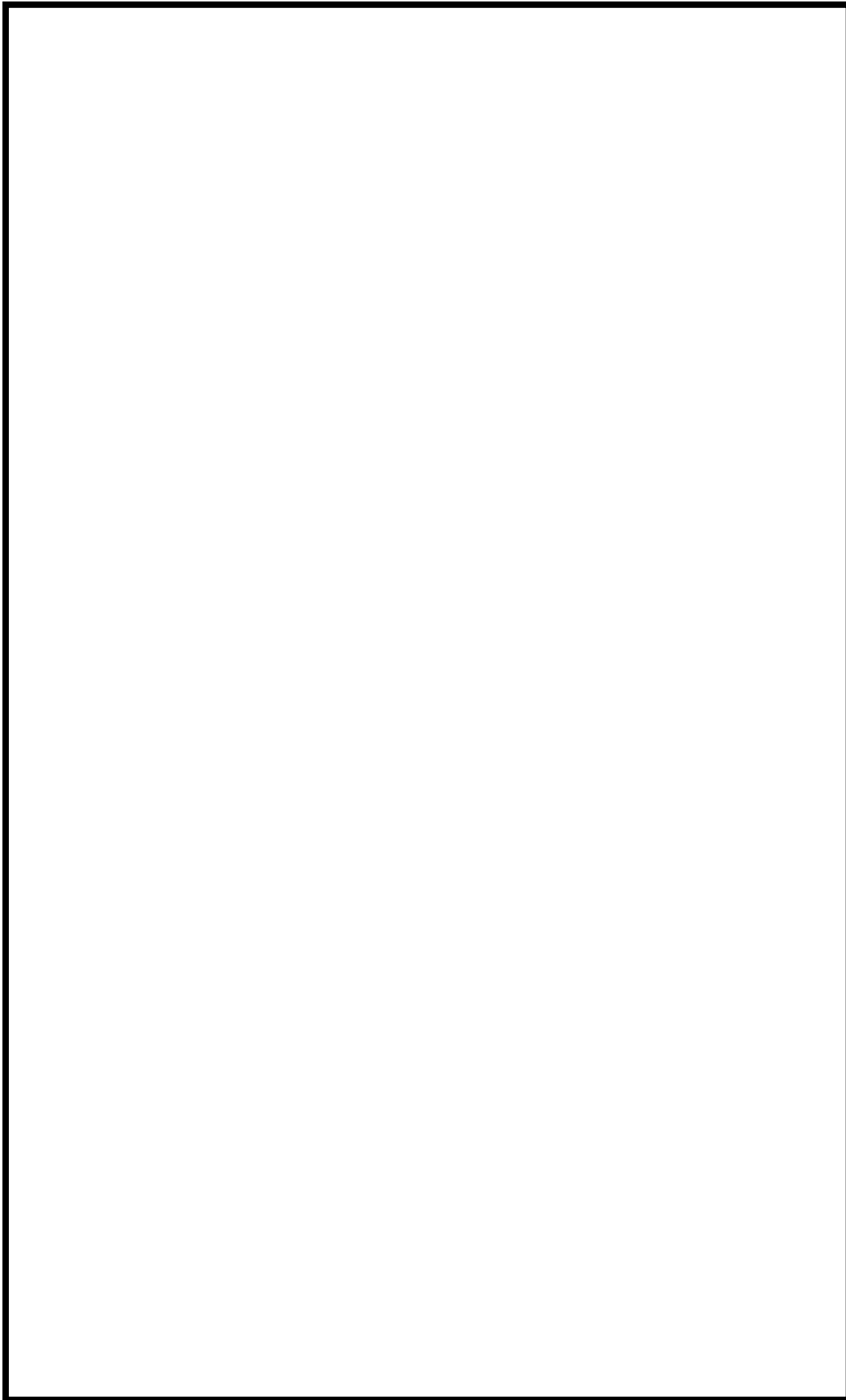
第2-2図 柏崎刈羽原子力発電所6号炉 上位クラス電路貫通部配置図 (8/11)



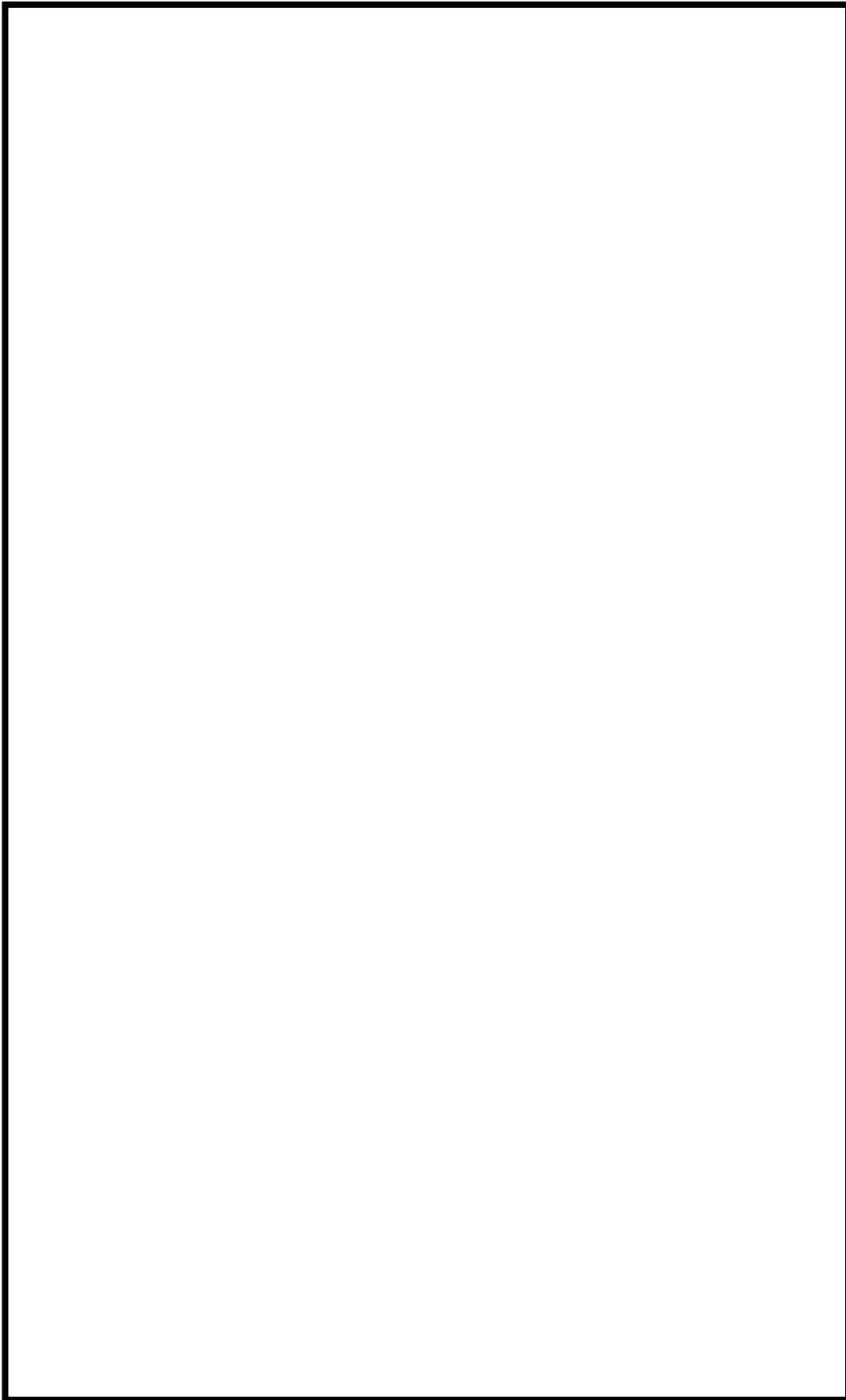
第2-2図 柏崎刈羽原子力発電所6号炉 上位クラス電路貫通部配置図 (9/11)



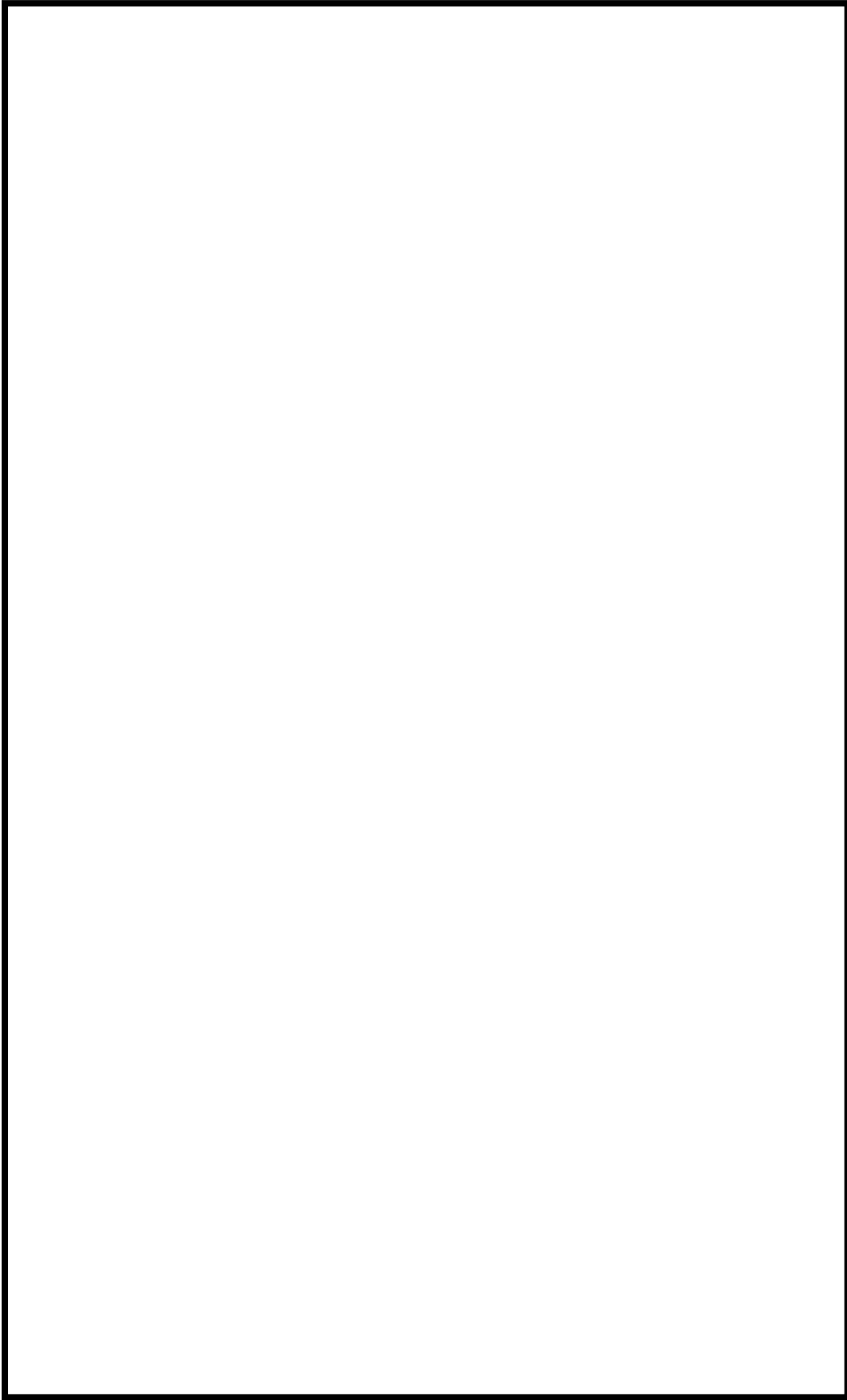
第2-2図 柏崎刈羽原子力発電所6号炉 上位クラス電路貫通部配置図(10/11)



第2-2 図 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉 上位クラス電路貫通部配置図 (11/11)



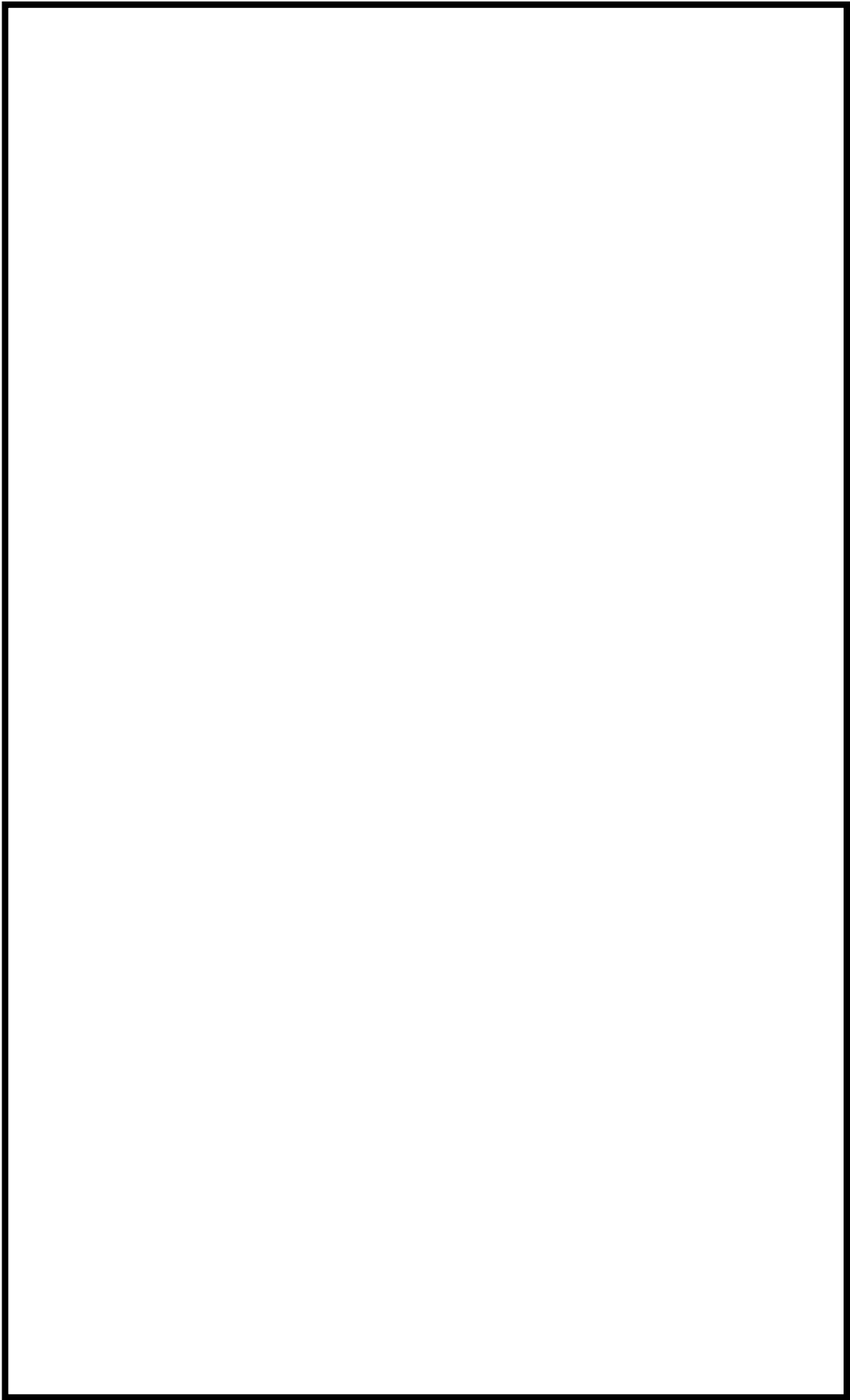
第2-3 図 柏崎刈羽原子力発電所7号炉 上位クラス電路貫通部配置図 (1/12)



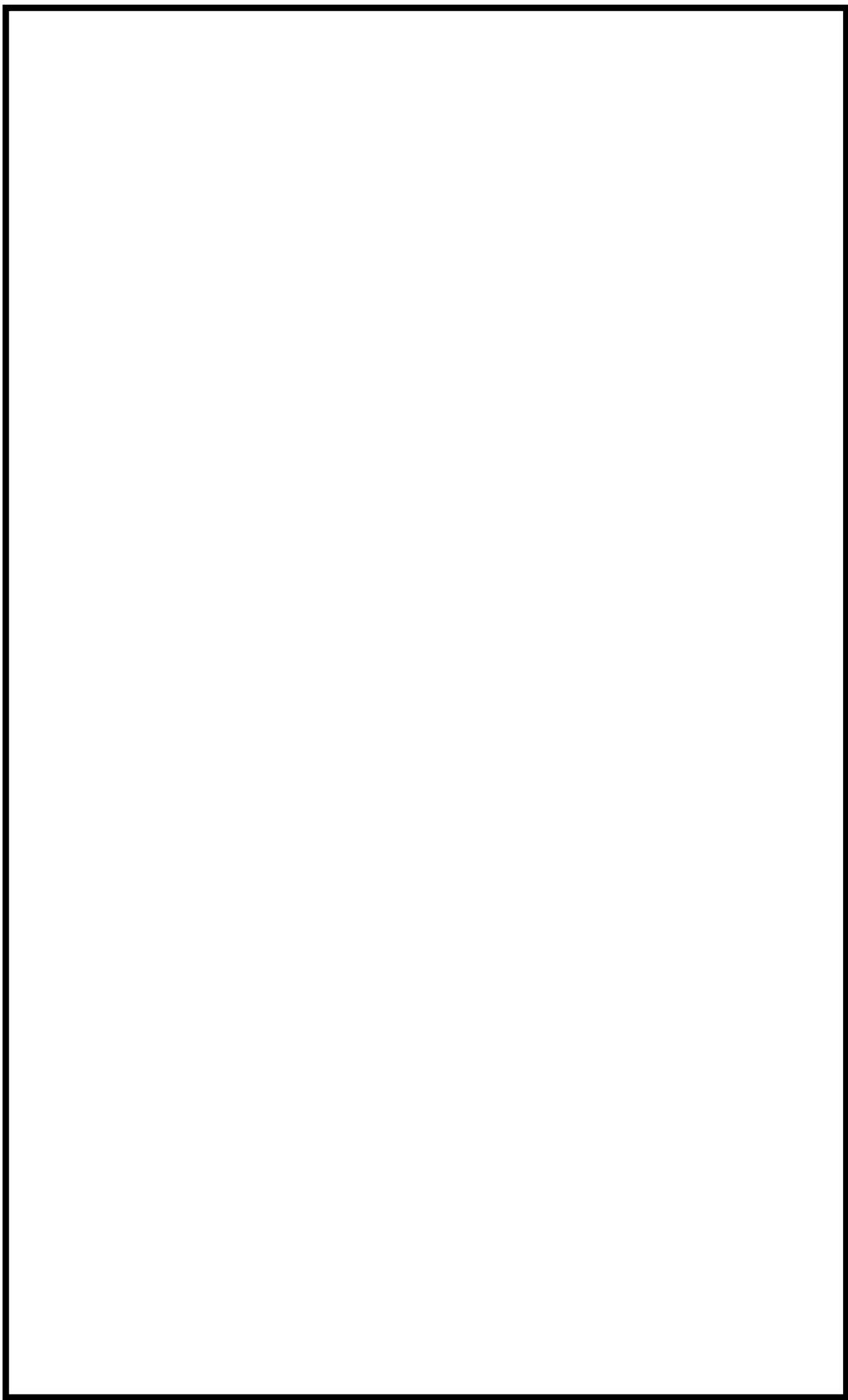
第2-3 図 柏崎刈羽原子力発電所7号炉 上位クラス電路貫通部配置図 (2/12)



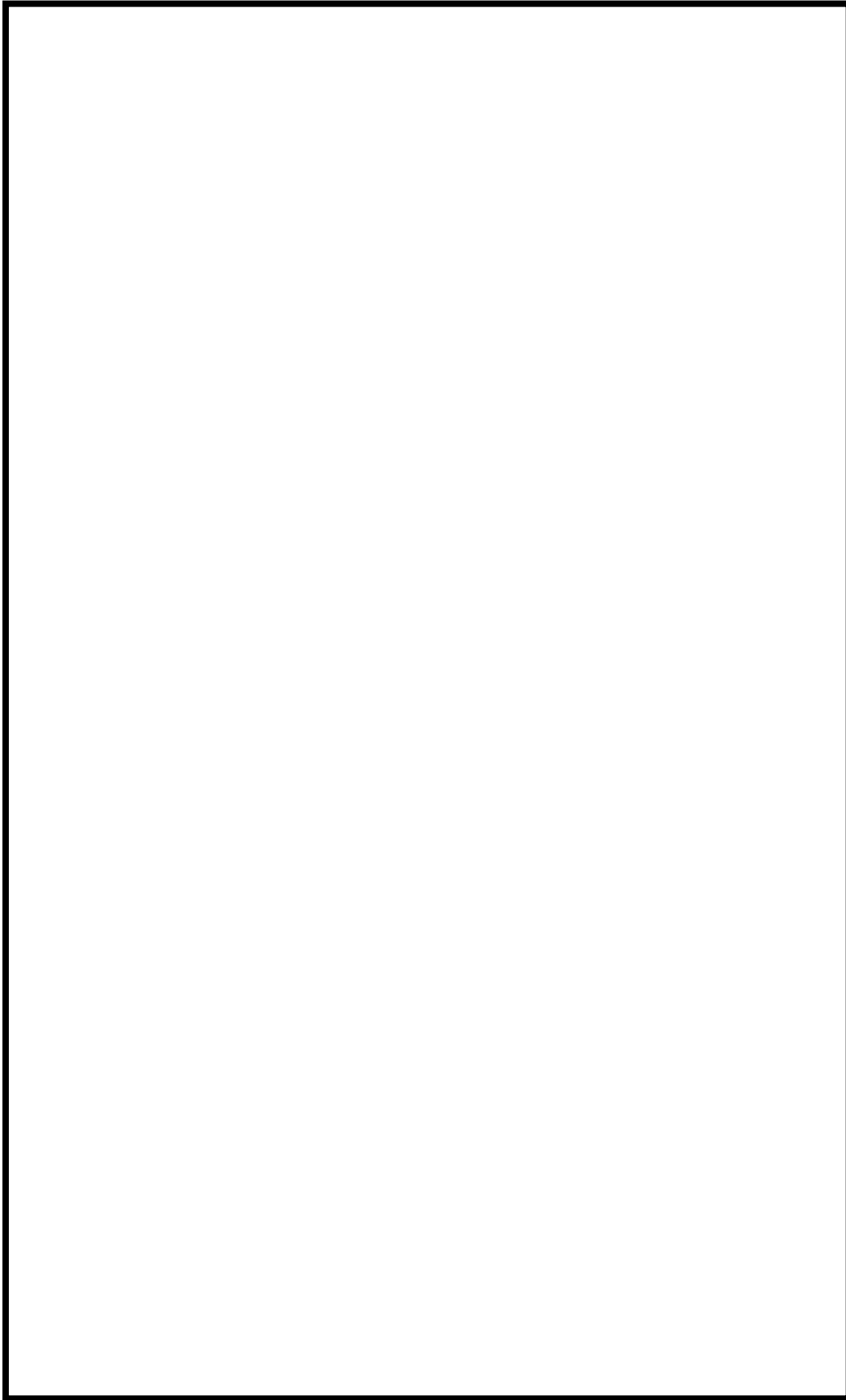
第2-3 図 柏崎刈羽原子力発電所7号炉 上位クラス電路貫通部配置図 (3/12)



第2-3図 柏崎刈羽原子力発電所7号炉 上位クラス電路貫通部配置図 (4/12)



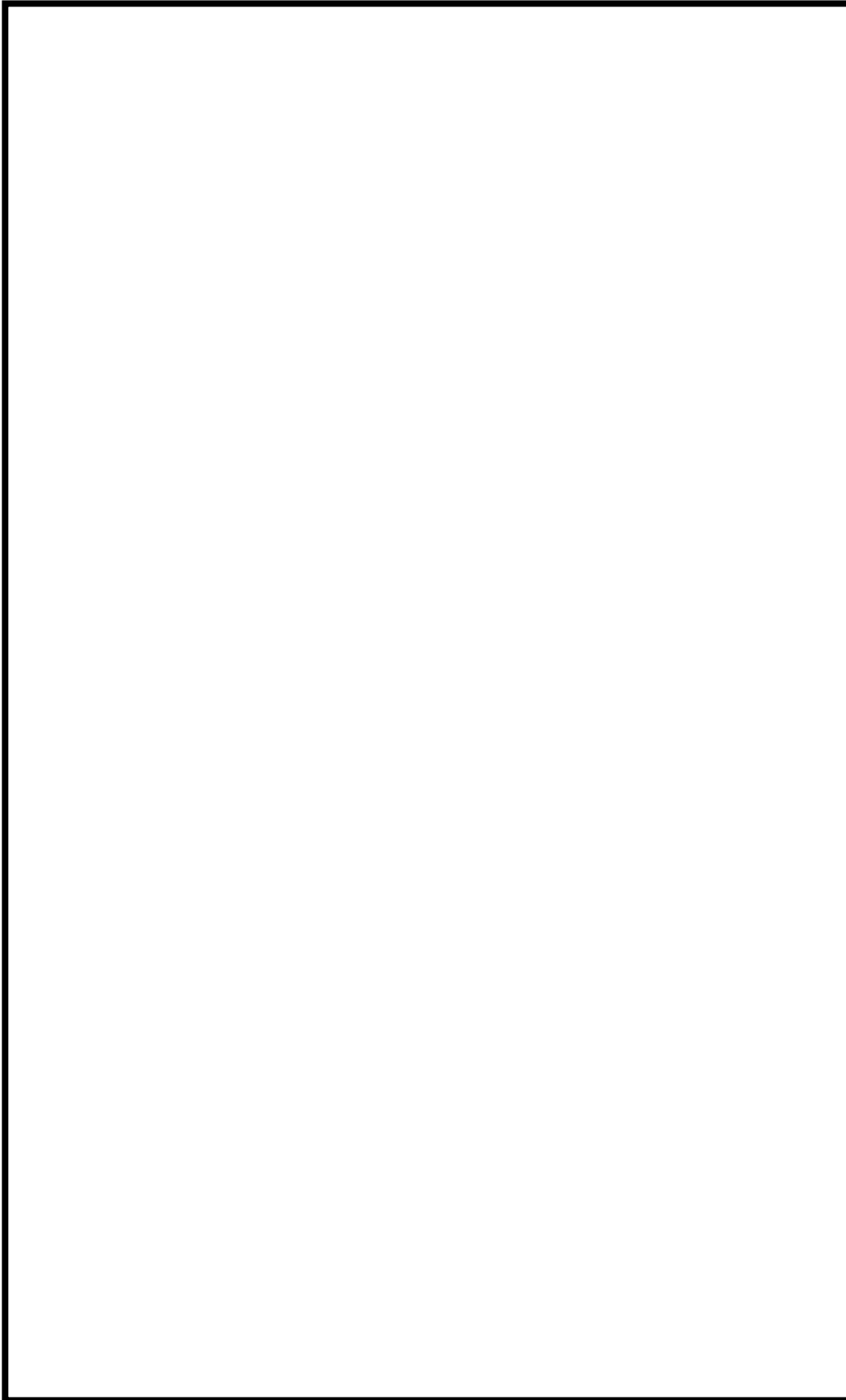
第2-3 図 柏崎刈羽原子力発電所7号炉 上位クラス電路貫通部配置図 (5/12)



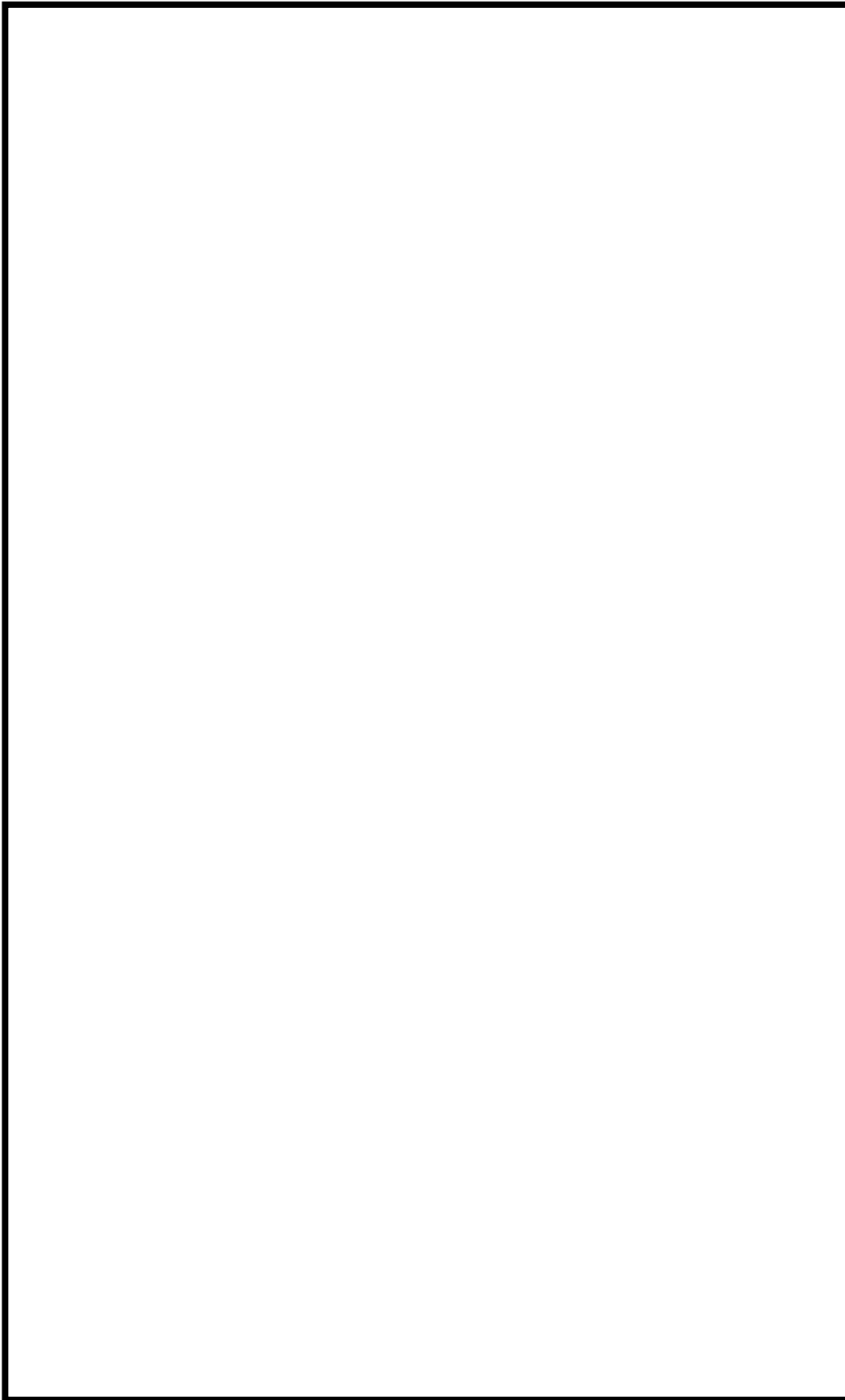
第2-3 図 柏崎刈羽原子力発電所7号炉 上位クラス電路貫通部配置図 (6/12)



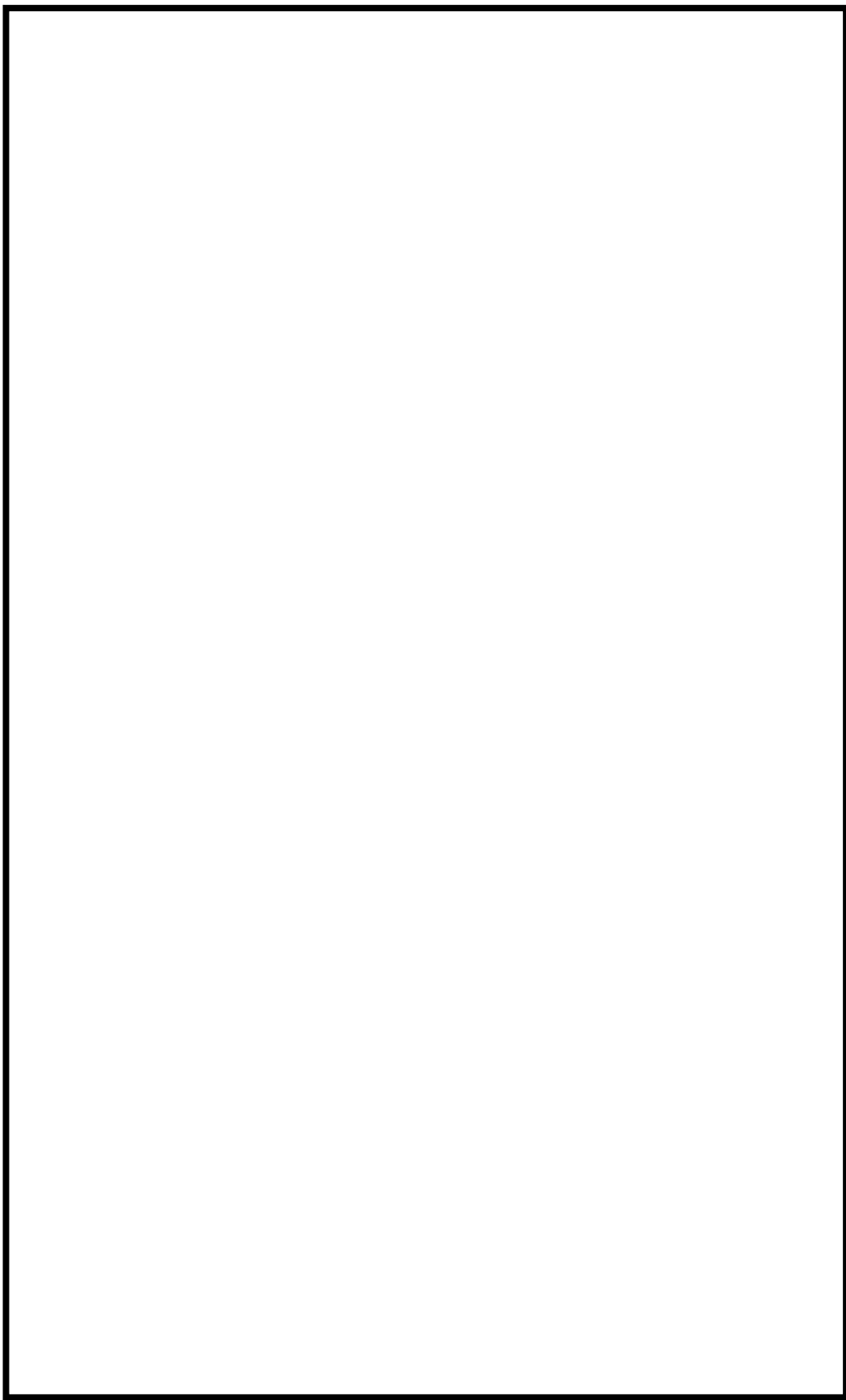
第2-3 図 柏崎刈羽原子力発電所7号炉 上位クラス電路貫通部配置図 (7/12)



第2-3 図 柏崎刈羽原子力発電所7号炉 上位クラス電路貫通部配置図 (8/12)



第2-3 図 柏崎刈羽原子力発電所7号炉 上位クラス電路貫通部配置図 (9/12)



第2-3 図 柏崎刈羽原子力発電所7号炉 上位クラス電路貫通部配置図 (10/12)



第2-3 図 柏崎刈羽原子力発電所7号炉 上位クラス電路貫通部配置図 (11/12)



第2-3図 柏崎刈羽原子力発電所7号炉 上位クラス電路貫通部配置図 (12/12)

2.5 建屋外露出電路部（第1図の⑤）

建屋外露出電路は、第1図の⑤のように建屋の側壁等に敷設されており、周辺に位置する建屋外下位クラス施設から波及的影響を及ぼされるおそれがある。このため、下記の検討事項を基に上位クラス電路への波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設を抽出し、波及的影響の有無を検討する。

2.5.1 不等沈下による影響

本文の第5-1-1図のフローに従い、上位クラス電路の周辺に位置する波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設を抽出し、波及的影響の有無を検討する。

a. 建屋外露出電路の抽出

建屋外露出電路一覧を第2-3表に、建屋外露出電路の配置図を第2-4図に示す。

b. 下位クラス施設の抽出

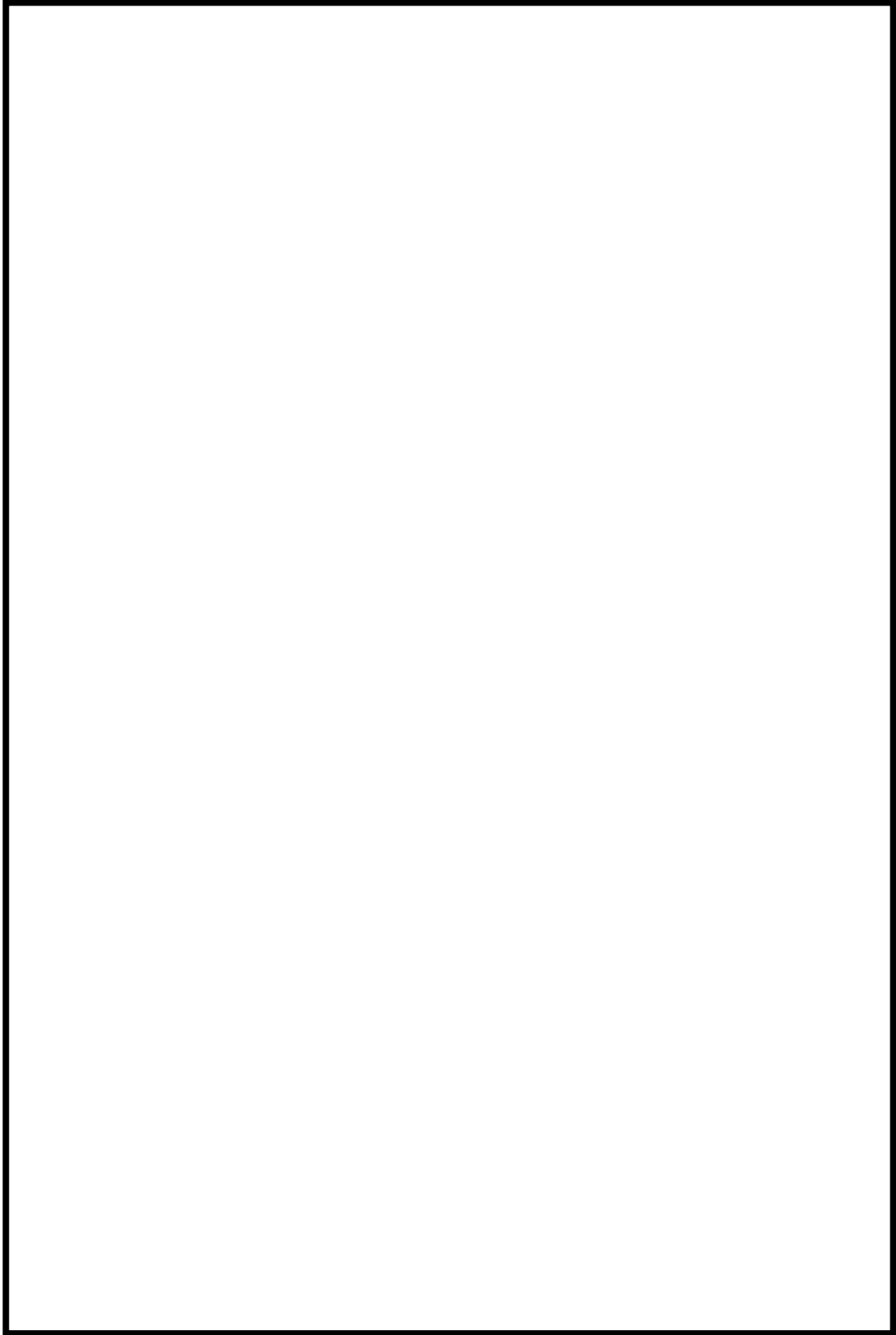
地盤の不等沈下による下位クラス施設の傾きや倒壊を想定しても上位クラス施設に衝突しない程度の十分な離隔距離をとって配置されていることを確認し、離隔距離が十分でない下位クラス施設を抽出する。

c. 耐震性の確認

b.で抽出した下位クラス施設について、基準地震動 S_s に対して、基礎地盤が十分な支持性能を持つ岩盤に設置されていることの確認により、不等沈下しないことを確認する。

第 2-3 表 建屋外露出上位クラス電路一覧表

整理 番号	建屋外露出上位クラス電路
共-電 001	第一ガスタービン発電機用電路
共-電 002	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所用電路



第 2-4 図 建屋外露出上位クラス電路配置図

2.5.2 建屋外における損傷、転倒及び落下等による影響

本文の第 5-4 図のフローに従い、上位クラス電路の周辺に位置する波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設を抽出し、波及的影響の有無を検討する。

a. 下位クラス施設の抽出

下位クラス施設の抽出にあたって、下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等を想定しても上位クラス電路に衝突しない程度の十分な距離をとって配置されていることを確認する。離隔距離が十分でない場合には、落下防止措置等を適切に実施していることを確認する。

また、以上の確認ができなかった下位クラス施設について、構造上の特徴、上位クラス施設との位置関係、重量等を踏まえて、損傷、転倒及び落下等を想定した場合の上位クラス電路への影響を評価し、上位クラス施設の機能を損なうおそれがないことを確認する。

b. 耐震性の確認

a. で損傷、転倒及び落下等を想定した場合に上位クラス電路の機能への影響が否定できない下位クラス施設について、基準地震動 S_s に対して、損傷、転倒及び落下等が生じないように、構造健全性が維持できることを確認する。

3. 下位クラス施設の抽出及び影響評価結果

3.1 上位クラスの盤等～ケーブルトレイ間電路（第1図の②）

上位クラスの盤等からケーブルトレイ間の電路については、本文 6.3 及び 6.4 の建屋内及び建屋外における損傷、転倒及び落下等による影響検討結果の中で上位クラス施設である盤等を含んで影響検討を実施する。

3.2 建屋間渡り部（第1図の③）

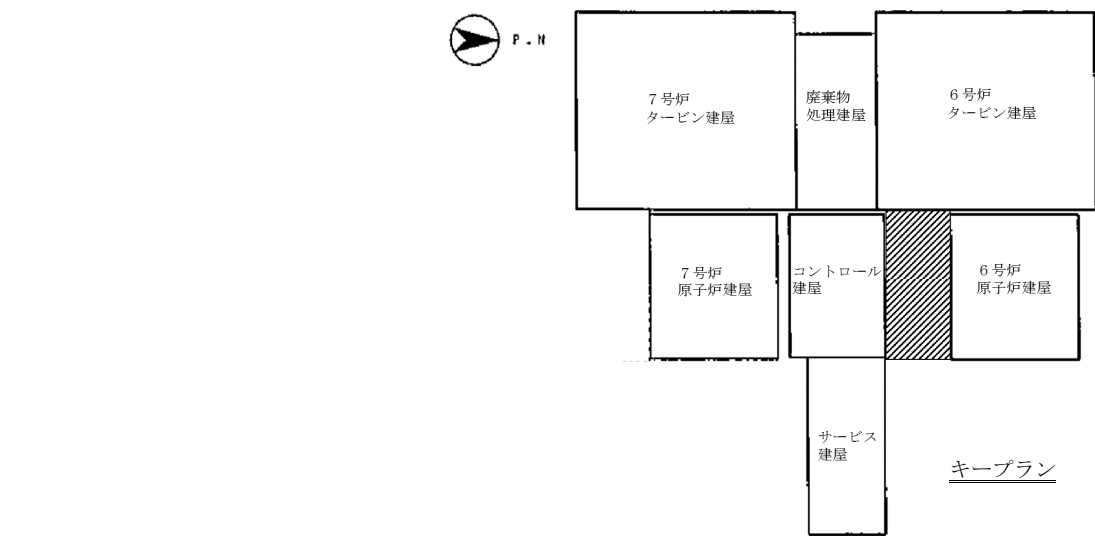
上位クラス施設の間接支持構造物である建物・構築物と下位クラス施設を渡って敷設されている上位クラス電路への影響評価結果は第 3-1 表の通りであり、上位クラス電路に対して不等沈下及び相対変位により波及的影響を及ぼすおそれがないことを確認した。

第 3-1 表 上位クラス施設の間接支持構造物と下位クラス施設を渡って敷設されている上位クラス電路の影響評価結果(1/2)

上位クラス施設の 間接支持構造物	下位クラス施設	不等沈下 有：○、無：×	相対変位 有：○、無：×	評価結果
コントロール建屋	ケーブルダクトⅠ ケーブルダクトⅡ ケーブルダクトⅢ ケーブルダクトⅣ	×	×	ケーブルダクトⅠ～Ⅳはマンメイドロック（MMR）に支持されているため、不等沈下及び相対変位による影響はない。（第 3-1 図参照）
6 号炉原子炉建屋	ケーブルダクトⅡ ケーブルダクトⅢ ケーブルダクトⅣ	×	×	ケーブルダクトⅡ～Ⅳはマンメイドロック（MMR）に支持されているため、不等沈下及び相対変位による影響はない。（第 3-1 図参照）
6 号炉タービン建屋	ケーブルダクトⅠ	×	×	ケーブルダクトⅠはマンメイドロック（MMR）に支持されているため、不等沈下及び相対変位による影響はない。（第 3-1 図参照）
第一ガスタービン発電機 基礎	第一ガスタービン発電 機用ケーブルダクト	×	×	ケーブルダクトは第一ガスタービン発電機 基礎と連続した岩盤に杭を介して支持され ており、不等沈下及び相対変位による影響は ない。（第 3-2 図参照）
7 号炉タービン建屋	第一ガスタービン発電 機用ケーブルダクト	×	×	第一ガスタービン発電機用ケーブルダクト は岩盤に杭を介して支持されており、不等沈 下及び相対変位による影響はない。（第 3-2 図参照）

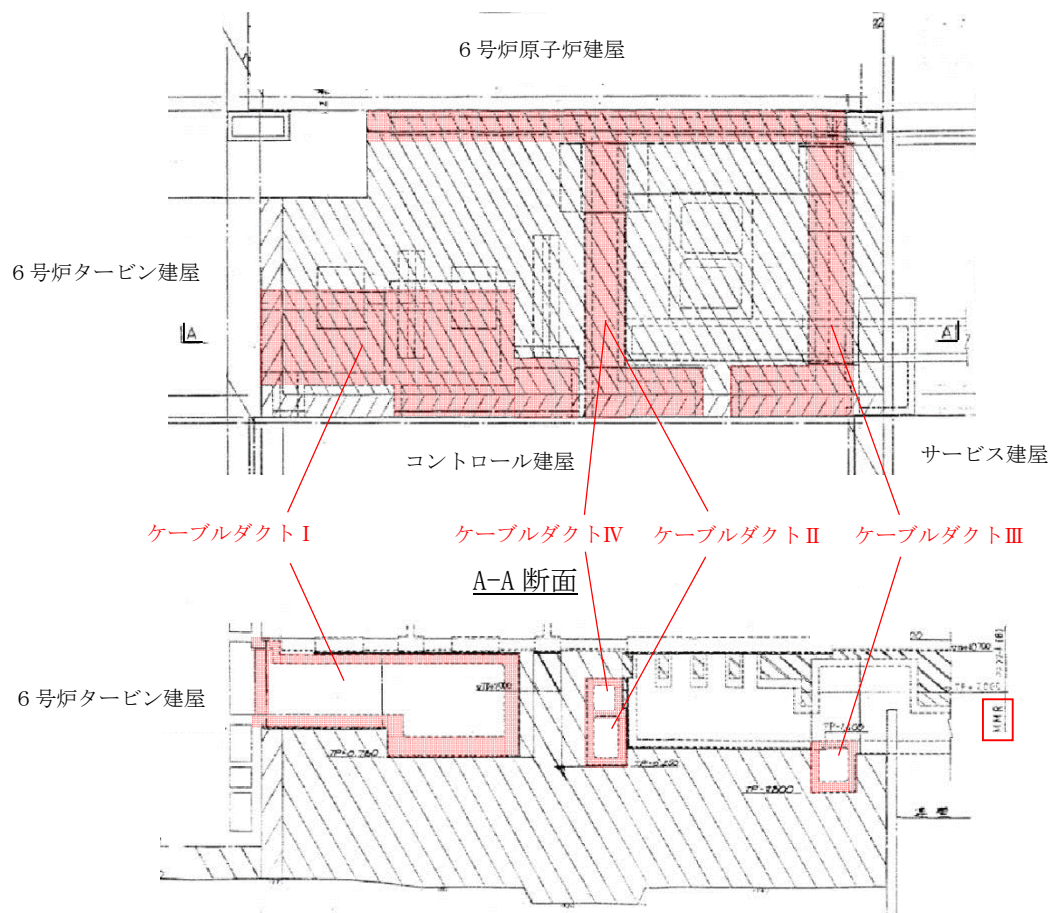
第 3-1 表 上位クラス施設の間接支持構造物と下位クラス施設を渡って敷設されている上位クラス電路の影響評価結果 (2/2)

上位クラス施設の 間接支持構造物	下位クラス施設	不等沈下 有：○、無：×	相対変位 有：○、無：×	評価結果
5 号炉原子炉建屋	5 号炉格納容器圧力逃 がし装置基礎	×	×	5 号炉格納容器圧力逃がし装置基礎は 5 号炉 原子炉建屋と連続した岩盤に直接支持され ており、不等沈下及び相対変位による影響は ない。（本資料添付資料 5 参照）

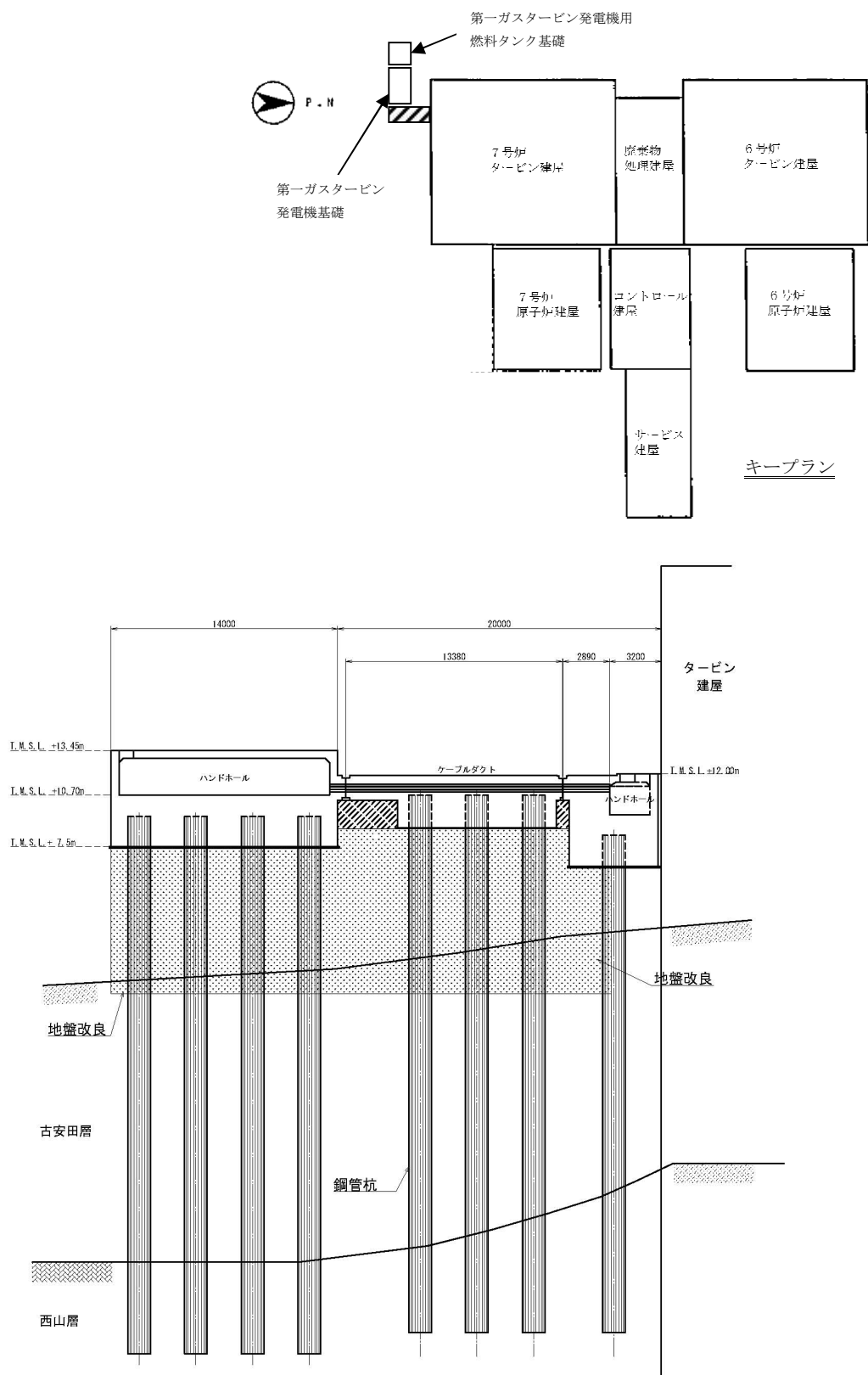


MMR 範囲

平面図



第 3-1 図 ケーブルダクト接地状況



第 3-2 図 第一ガスタービン発電機用ケーブルダクト接地状況

3.3 ケーブルトレイ床貫通部（第1図の④）

上位クラス電路の床貫通部に対して波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の抽出結果は第3-2表及び第3-3表の通りであり、上位クラス電路の床貫通部に対して下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等により波及的影響を及ぼすおそれがないことを確認した。

第3-2表 6号炉上位クラス電路貫通部へ波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設

整理 番号	6号炉 上位クラス電路貫通部	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
			損傷・転倒・落下	
K6-C001	原子炉建屋 地下2階電路貫通部	—	×	
K6-C002	原子炉建屋 地下1階電路貫通部	—	×	
K6-C003	原子炉建屋 地上1階電路貫通部	—	×	
K6-C004	原子炉建屋 地上2階電路貫通部	—	×	
K6-C005	原子炉建屋 地上3階電路貫通部	—	×	
K6-C006	原子炉建屋 地上3階（中間階）電路貫通部	—	×	
K6-C007	原子炉建屋 地上4階電路貫通部	—	×	
K6-C008	タービン建屋 地下1階電路貫通部	—	×	
K6-C009	タービン建屋 地上1階電路貫通部	—	×	
K6-C010	コントロール建屋 地下1階電路貫通部	—	×	
K6-C011	コントロール建屋 地上1階電路貫通部	—	×	

第3-3表 7号炉上位クラス電路貫通部へ波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設

整理 番号	7号炉 上位クラス電路貫通部	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
			損傷・転倒・落下	
K7-C001	原子炉建屋 地下2階電路貫通部	—	×	
K7-C002	原子炉建屋 地下1階電路貫通部	—	×	
K7-C003	原子炉建屋 地上1階電路貫通部	—	×	
K7-C004	原子炉建屋 地上2階電路貫通部	—	×	
K7-C005	原子炉建屋 地上3階電路貫通部	—	×	
K7-C006	原子炉建屋 地上3階（中間階）電路貫通部	—	×	
K7-C007	原子炉建屋 地上4階電路貫通部	—	×	
K7-C008	タービン建屋 地下1階電路貫通部	—	×	
K7-C009	タービン建屋 地上1階電路貫通部	—	×	
K7-C010	コントロール建屋 地上1階電路貫通部	—	×	
K7-C011	廃棄物処理建屋 地下2階電路貫通部	—	×	
K7-C012	廃棄物処理建屋 地下1階電路貫通部	—	×	

3.4 建屋外露出電路部（第1図の⑤）

3.4.1 不等沈下による影響検討結果

（1）下位クラス施設の抽出結果

本文の第5-1-1図のフローのaに基づいて影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設を抽出した結果を第3-4表に示す。

（2）影響評価結果

（1）で抽出した波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の評価結果は第3-5表の通りであり，上位クラス電路に対して下位クラス施設の不等沈下により波及的影響を及ぼすおそれがないことを確認した。

第 3-4 表 建屋外露出上位クラス電路へ波及的影響（不等沈下）を及ぼすおそれのある下位クラス施設

整理 番号	建屋外上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある 下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
			不等沈下	
共-電 001	第一ガスタービン発電機用電路	—	×	
共-電 002	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所用電路	5 号炉タービン建屋	○	
		5 号炉排気筒	○	
		5 号炉格納容器圧力逃がし装置基礎	○	

第 3-5 表 建屋外施設の評価結果（地盤の不等沈下による影響）

建屋外上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	評価結果	備考
・ 5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所用電路	5 号炉タービン建屋	5 号炉タービン建屋は 5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所と連続した岩盤に直接支持されており，不等沈下は生じない	本資料 添付資料 5 参照
	5 号炉排気筒	5 号炉排気筒は 5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所と連続した岩盤に杭を介して支持されており，不等沈下は生じない。	本資料 添付資料 5 参照
	5 号炉格納容器圧力逃がし装置基礎	5 号炉格納容器圧力逃がし装置基礎は 5 号炉原子炉建屋と連続した岩盤に直接支持されており，不等沈下は生じない。	本資料 添付資料 5 参照

3.4.2 建屋外における損傷，転倒及び落下等による影響検討結果

(1) 下位クラス施設の抽出結果

本文の第 5-4 図のフローの a に基づいて抽出された下位クラス施設について抽出したものを第 3-6 表に示す。

(2) 耐震評価を実施する施設

(1) で抽出した建屋外下位クラス施設の評価方針について、第 3-7 表に示す。

第 3-6 表 建屋外露出上位クラス電路へ波及的影響（損傷・転倒・落下等）を
及ぼすおそれのある下位クラス施設

整理 番号	建屋外上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
			損傷・転倒・落下	
共-電 001	第一ガスタービン発電機用電路	－	×	
共-電 002	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所 用電路	5 号炉タービン建屋	○	
		5 号炉排気筒	○	
		5 号炉格納容器圧力逃がし装置基礎	○	

第 3-7 表 建屋外施設の評価方針又は評価結果（損傷、転倒及び落下等による影響）

建屋外上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	評価方針又は評価結果	備考
・ 5 号炉原子炉建屋内緊急時 対策所用電路	5 号炉タービン建屋	基準地震動 S_s に対する地震応答解析を実施し、5 号炉タービン建屋が上位クラス施設に与える影響を確認する。なお、影響の確認にあたっては地盤の液状化による影響を考慮する。 また、5 号炉タービン建屋は周辺斜面からの影響を受けない十分な離隔距離を保持していることを確認した。	工認補足説明資料に記載予定 本資料 添付資料 4 参照
	5 号炉排気筒	基準地震動 S_s に対する地震応答解析を実施し、5 号炉排気筒が上位クラス施設に与える影響を確認する。なお、影響の確認にあたっては地盤の液状化による影響を考慮する。 また、5 号炉排気筒は周辺斜面からの影響を受けない十分な離隔距離を保持していることを確認した。	工認補足説明資料に記載予定 本資料 添付資料 4 参照
	5 号炉格納容器圧力逃がし装置基礎	基準地震動 S_s に対する地震応答解析を実施し、5 号炉格納容器圧力逃がし装置基礎が上位クラス施設に与える影響を確認する。なお、影響の確認にあたっては地盤の液状化による影響を考慮する。 また、5 号炉格納容器圧力逃がし装置基礎は周辺斜面からの影響を受けない十分な離隔距離を保持していることを確認した。	工認補足説明資料に記載予定 本資料 添付資料 4 参照

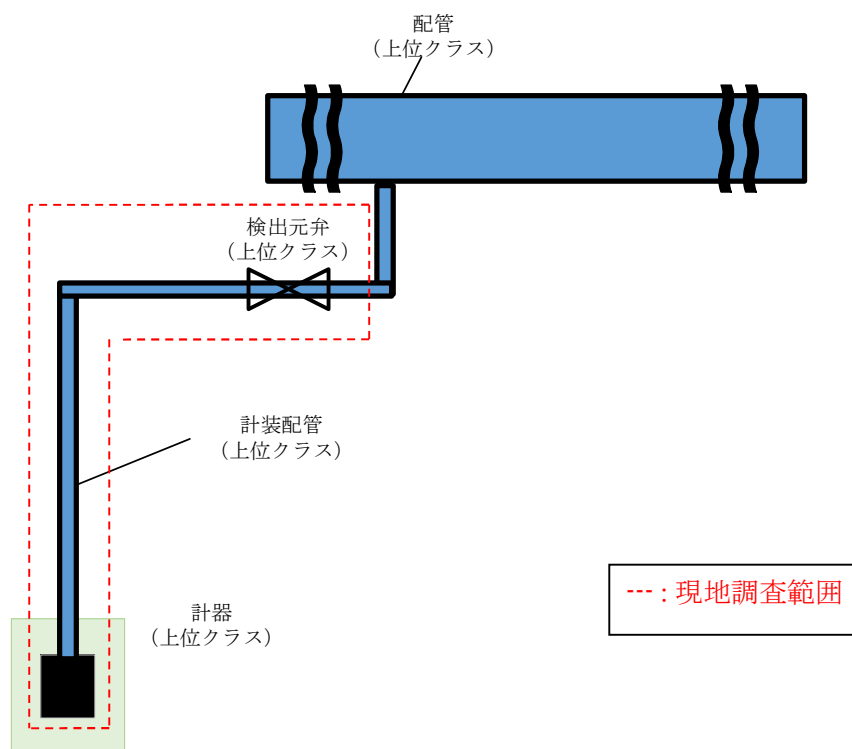
上位クラス計装配管に対する下位クラス施設からの波及的影響（損傷・転倒・落下）の検討について

計装配管の敷設パターンは次の 2 つに分類される。

（１）上位クラス計器の計装配管

第 1 図に上位クラス計器に接続する計装配管の敷設概念図を示す。計装配管敷設箇所について、本文の第 5-3 図のフローに従い、建屋内の上位クラス計装配管の周辺に位置する波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設を現地調査（プラントウォークダウン）により抽出し、波及的影響の有無を検討する。

上記検討については、本文 6.3 の建屋内における損傷、転倒及び落下等による影響検討結果の中で、計装配管が接続される上位クラス施設（計器）の一部として実施している。



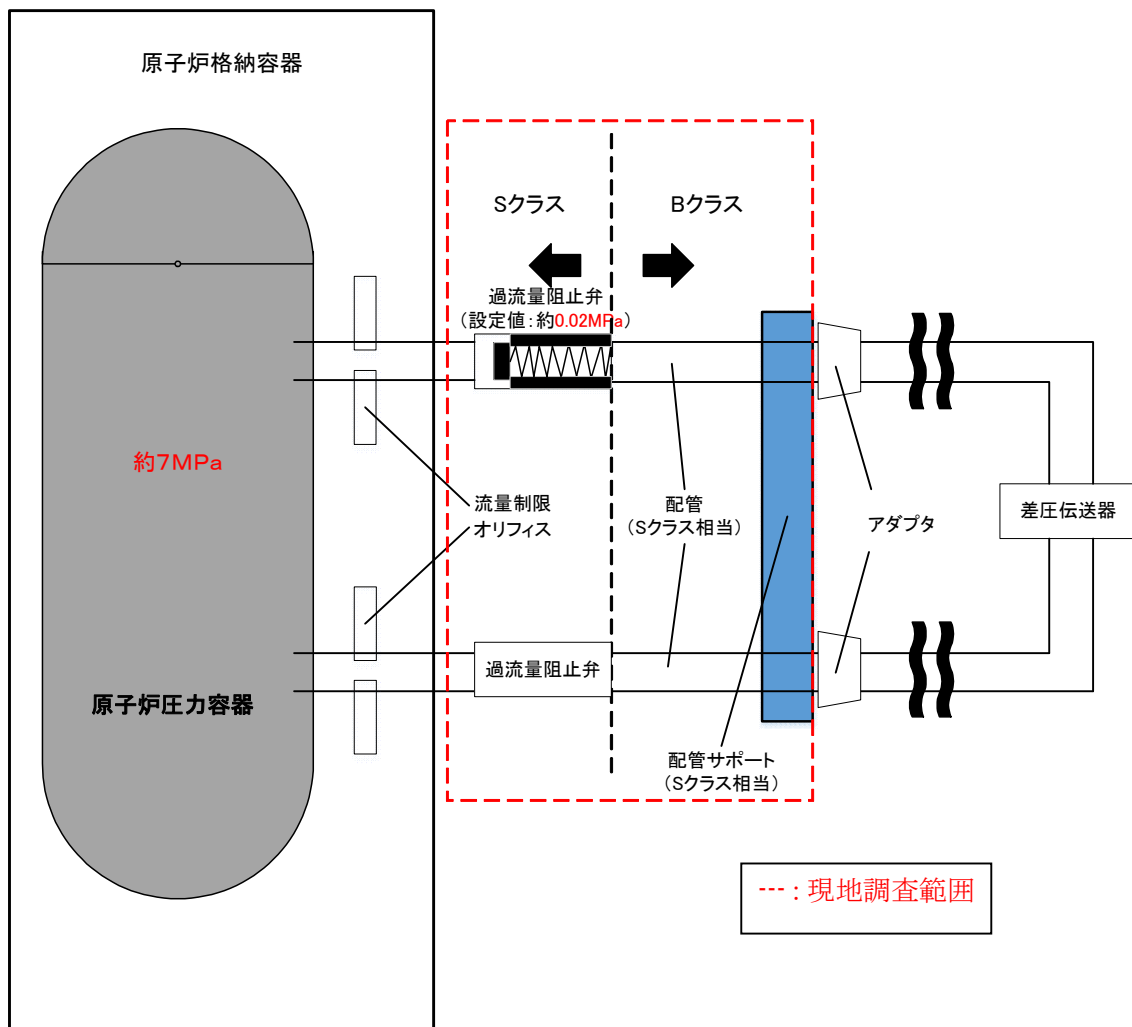
第 1 図 上位クラス計器に接続する計装配管の敷設概念図及び現地調査範囲

(2) 原子炉压力容器（上位クラス）に接続する下位クラス計器の計装配管

第2図に原子炉压力容器に接続されているBクラス計器の計装配管の例を示す。6号炉、7号炉の原子炉压力容器に接続されている計器の中で、耐震Bクラス設計の箇所を有しているのは、6号炉の炉心流量計（原子炉内蔵型再循環ポンプの流量計測用）のみであることを確認している。この計器に接続されている過流量阻止弁については、上位クラス施設の一部として、本文の第5-3図のフローに従い、建屋内の上位クラス計装配管の周辺に位置する波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設を現地調査（プラントウォークダウン）により抽出し、波及的影響の有無を検討している。

なお、耐震Sクラスの機能が要求されるのは原子炉压力容器から過流量阻止弁の間であるが、過流量阻止弁から計装配管を接続するアダプタの間にある配管サポートまでSクラス相当の設計としている。このことから、配管サポートが地震により構造健全性を失うことはなく、Bクラス配管が破断したとしても、その機械的荷重が過流量阻止弁の機能に影響を及ぼすことはないと考えられる。

また、耐震Bクラスの計装配管が破断することにより、配管に内包されている流体が流出することによる影響については、本文3.3項に示すとおり、溢水側の説明書の中で影響評価を実施する。



第2図 原子炉圧力容器（上位クラス）に接続する下位クラス計器の計装配管敷設概念図及び現地調査範囲

廃棄物処理建屋内上位クラス施設に接続されている電路ルートについて

1. 上位クラス施設の抽出

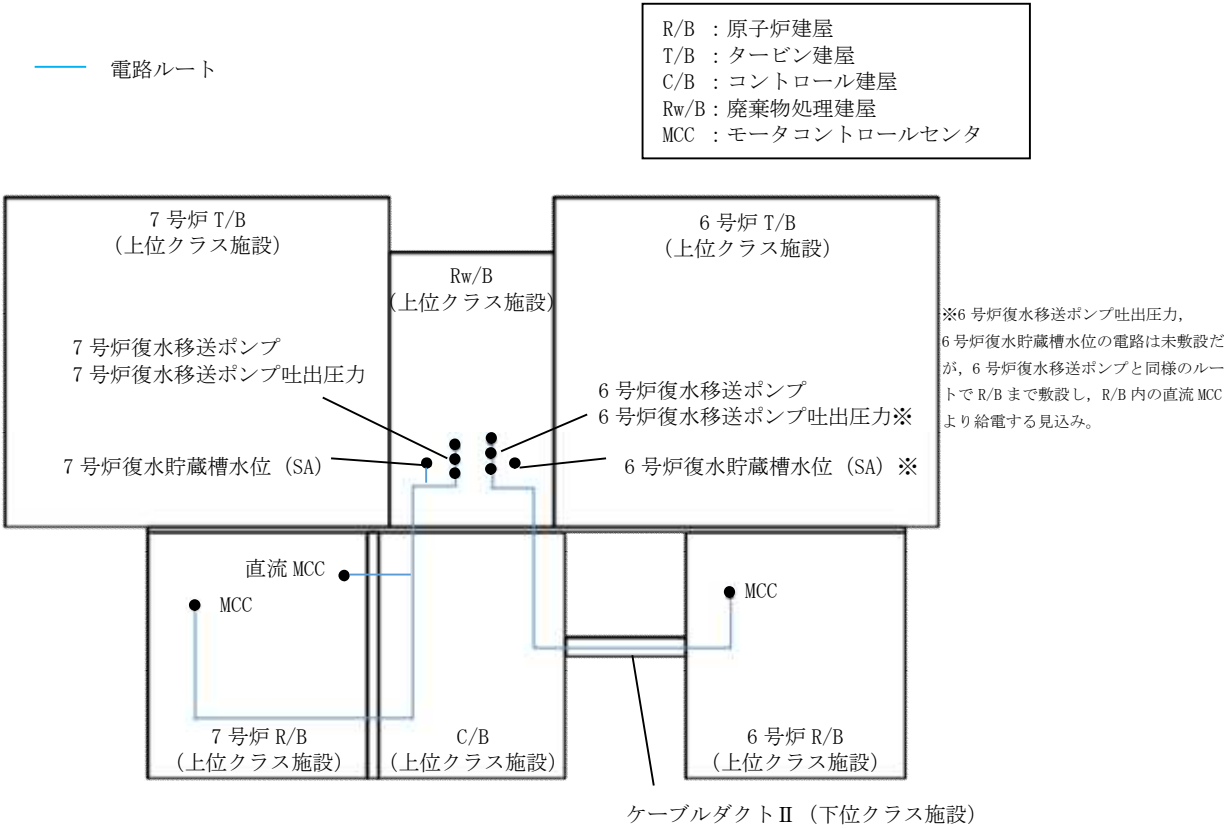
廃棄物処理建屋に設置されている上位クラス施設を第 1 表に示す。

第 1 表 廃棄物処理建屋内上位クラス施設一覧表

整理番号	6 号炉上位クラス施設	整理番号	7 号炉上位クラス施設
K6-E142	復水移送ポンプ	K7-E142	復水移送ポンプ
K6-I049	復水貯蔵槽水位（SA）	K7-I049	復水貯蔵槽水位（SA）
K6-I050	復水移送ポンプ吐出圧力	K7-I050	復水移送ポンプ吐出圧力

2. 電路ルート

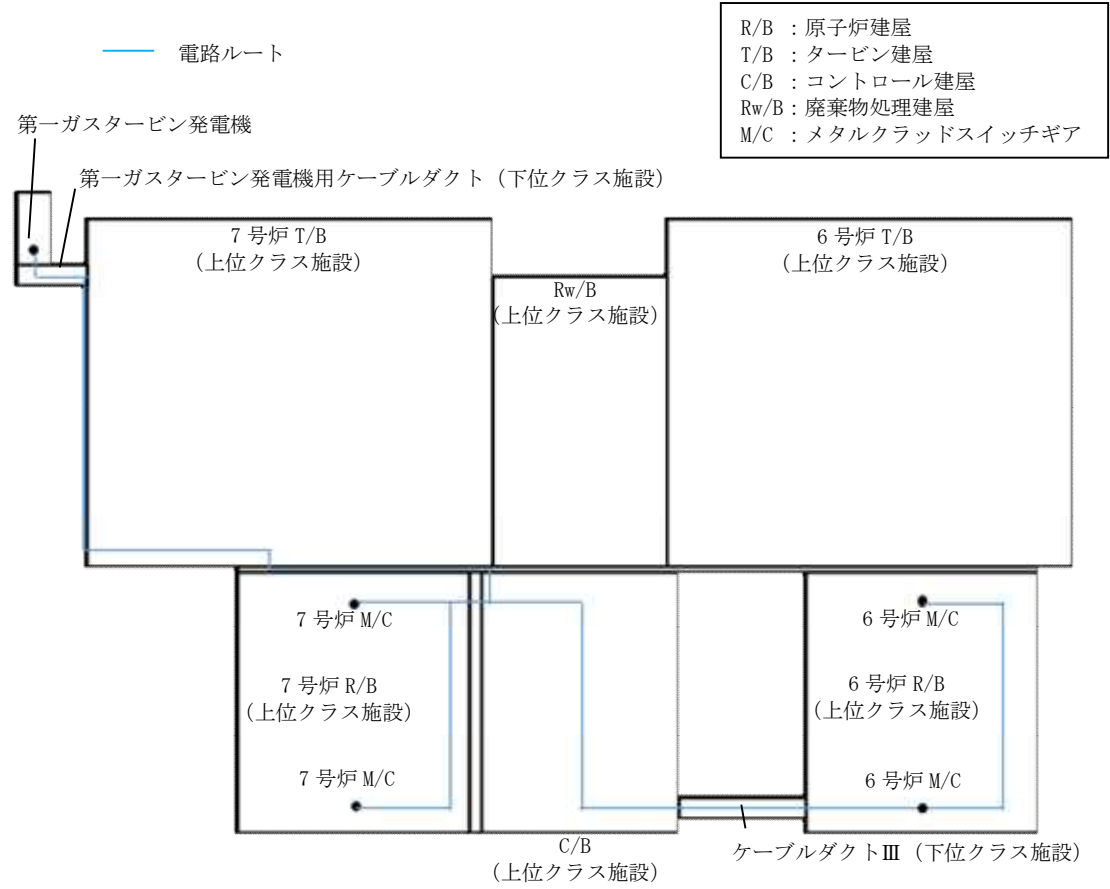
1. で抽出した廃棄物処理建屋内上位クラス施設に接続されている電路のルート図を第 1 図に示す。第 1 図の通り，上位クラス施設である廃棄物処理建屋から下位クラス施設に渡って敷設されている電路がないことを確認した。



第 1 図 廃棄物処理建屋内上位クラス施設に接続されている電路ルート図

第一ガスタービン発電機に接続されている電路ルートについて

第一ガスタービン発電機に接続されている電路の概略ルート図を第 1 図に示す。第 1 図の通り、第一ガスタービン発電機に接続されている電路のうち、上位クラス施設と下位クラス施設を渡って敷設されている箇所は、7 号炉タービン建屋と第一ガスタービン発電機用ケーブルダクト間、コントロール建屋とケーブルダクトⅢ間、及び 6 号炉原子炉建屋とケーブルダクトⅢ間であることを確認した。



第 1 図 第一ガスタービン発電機に接続されている電路概略ルート図

上位クラス施設と隔離されずに接続する下位クラスベント配管の閉塞影響について

1. 概要

上位クラス施設と隔離されずに接続する下位クラスベント配管に対して他の下位クラス施設の波及的影響による閉塞の影響を検討する。

2. 評価方法

本文第 5-3 図及び第 5-4 図のフローの「上位クラス施設」を「上位クラス施設と隔離されずに接続する下位クラスベント配管」, 「下位クラス施設」を「上位クラス施設と隔離されずに接続する下位クラスベント配管以外の下位クラス施設」と読み替えて損傷, 転倒及び落下等による影響評価を実施する。評価対象の上位クラス施設と隔離されずに接続する下位クラスベント配管を第 1 表に示す。なお, 上位クラス施設と隔離されずに接続する下位クラスベント配管のうち上位クラス施設近傍にのみ敷設される配管は上位クラスの現地調査にて確認しているため, 本検討対象からは除外している。

第 1 表 上位クラス施設と隔離されずに接続する下位クラスベント配管

整理番号	6 号炉 下位クラスベント配管	設置場所	整理番号	7 号炉 下位クラスベント配管	設置場所
K6-M001	非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関ミスト管	R/B	K7-M001	非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関ミスト管	R/B
K6-M002	非常用ディーゼル発電設備燃料ディタンクミスト管	R/B	K7-M002	非常用ディーゼル発電設備燃料ディタンクミスト管	R/B
K6-M003	非常用ディーゼル発電設備潤滑油補給タンクミスト管	R/B	K7-M003	非常用ディーゼル発電設備潤滑油補給タンクミスト管	R/B

3. 評価結果

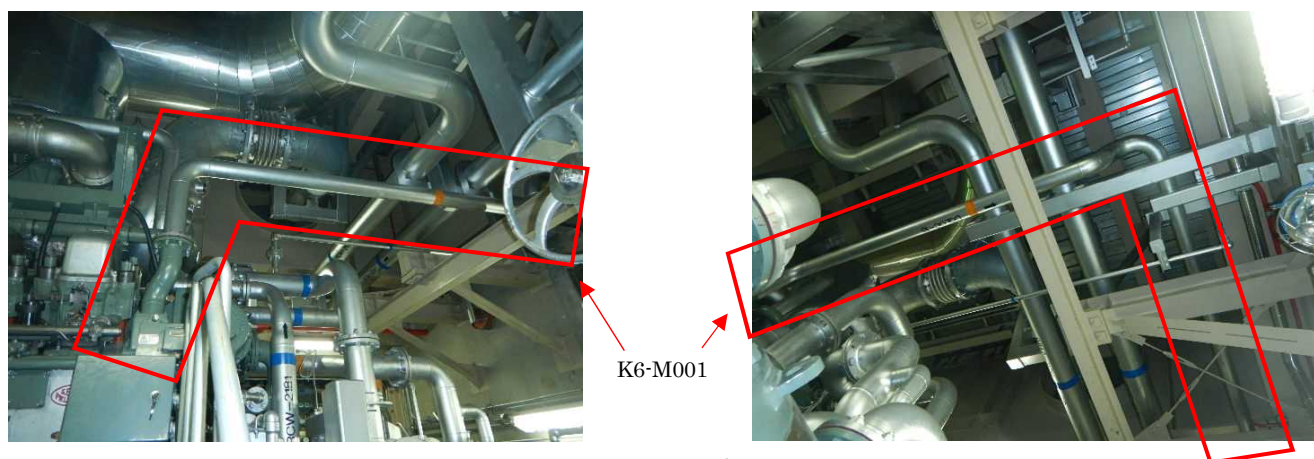
上位クラス施設と隔離されずに接続する下位クラスベント配管に対して波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の有無を添付資料 1-1 の「上位クラス施設」を「上位クラス施設と隔離されずに接続する下位クラスベント配管」, 「下位クラス施設」を「上位クラス施設と隔離されずに接続する下位クラスベント配管以外の下位クラス施設」と読み替え, 現地調査にて確認した。評価結果を第 2-1 表及び第 2-2 表に, 現場の状況写真を第 1-1 図～第 1-4 図に示す。上位クラス施設と隔離されずに接続する下位クラスベント配管に対して, 他の下位クラス施設の損傷, 転倒及び落下等により波及的影響を及ぼすおそれがないことを確認した。

第 2-1 表 6 号炉下位クラスベント配管へ波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設

整理 番号	6 号炉 下位クラスベント配管	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
			損傷・転倒・落下	
K6-M001	非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関 ミスト管	—	×	
K6-M002	非常用ディーゼル発電設備燃料ディタンク ミスト管	—	×	
K6-M003	非常用ディーゼル発電設備潤滑油補給タンク ミスト管	—	×	

第 2-2 表 7 号炉下位クラスベント配管へ波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設

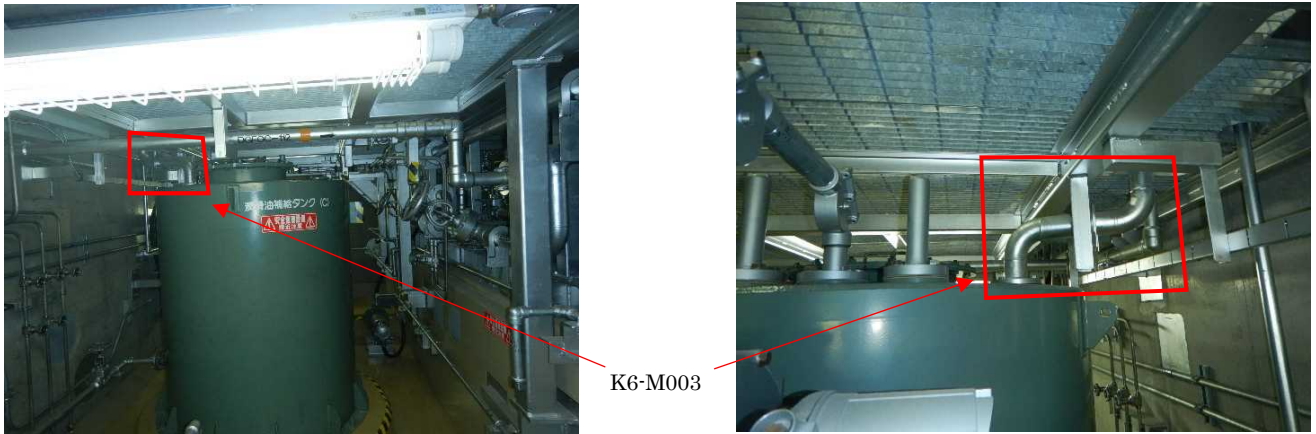
整理 番号	7 号炉 下位クラスベント配管	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
			損傷・転倒・落下	
K7-M001	非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関 ミスト管	—	×	
K7-M002	非常用ディーゼル発電設備燃料ディタンク ミスト管	—	×	
K7-M003	非常用ディーゼル発電設備潤滑油補給タンク ミスト管	—	×	



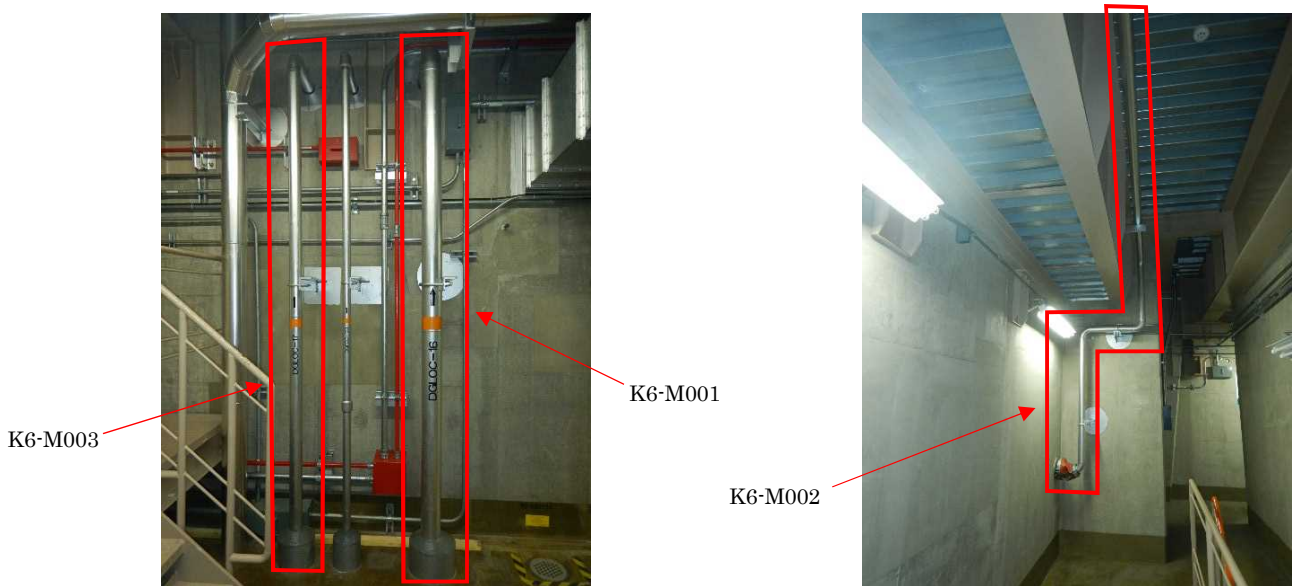
第 1-1 図 現場状況写真（ディーゼル機関周辺）



第 1-2 図 現場状況写真（燃料ディタンク周辺）



第 1-3 図 現場状況写真（潤滑油補給タンク周辺）



第 1-4 図 現場状況写真（配管敷設状況）

※上位クラス施設に対する波及的影響検討の現地調査結果は、影響のおそれがある場合のみ詳細な記録を残している

5号炉原子炉建屋内緊急時対策所関連施設の波及的影響検討について

1. 検討対象

「柏崎刈羽原子力発電所 6号及び7号炉 重大事故等対処設備について（補足説明資料）（5号炉原子炉建屋内緊急時対策所）（平成29年2月9日，第441回審査会合資料1-2-3）」に記載している5号炉原子炉建屋内緊急時対策所関連の重大事故対処設備のうち，波及的影響の検討対象となる施設を抽出した。緊急時対策所が3号炉原子炉建屋内から5号炉原子炉建屋内に変更したことに伴い，波及的影響の検討対象から削除した施設を第1表に，追加した施設を第2表に示す。

第1表 波及的影響検討対象から削除した3号炉原子炉建屋内緊急時対策所関連施設

旧整理番号※	上位クラス施設	設置場所
共-O001	閉止板	建屋外（荒浜側）
共-O002	止水壁	建屋外（荒浜側）
共-O008	3号炉原子炉建屋内緊急時対策所用電源車	建屋外（荒浜側）
共-O009	3号炉原子炉建屋内緊急時対策所用負荷変圧器	建屋外（荒浜側）
共-O013	3号炉原子炉建屋内緊急時対策所	建屋外（荒浜側）
共-O016	荒浜側防潮堤	建屋外（荒浜側）
共-O017	荒浜側取水路	建屋外（荒浜側）
共-O018	荒浜側放水路	建屋外（荒浜側）
共-O019	荒浜側放水庭	建屋外（荒浜側）
共-V001	3号炉原子炉建屋内緊急時対策所中央制御室非常時外気取入れ隔離ダンパ	3号炉原子炉建屋内
共-V002	3号炉原子炉建屋内緊急時対策所中央制御室排気隔離ダンパ	3号炉原子炉建屋内
共-V003	3号炉原子炉建屋内緊急時対策所中央制御室外気取入れ隔離ダンパ	3号炉原子炉建屋内
共-B001	3号炉原子炉建屋内緊急時対策所用交流分電盤	3号炉原子炉建屋内
共-I001	3号炉原子炉建屋内緊急時対策所無線連絡設備	3号炉原子炉建屋内

※ 「柏崎刈羽原子力発電所 6号及び7号炉 地震による損傷の防止について（補足説明資料）」（平成28年8月30日，第395回審査会合資料1）の記載に対応

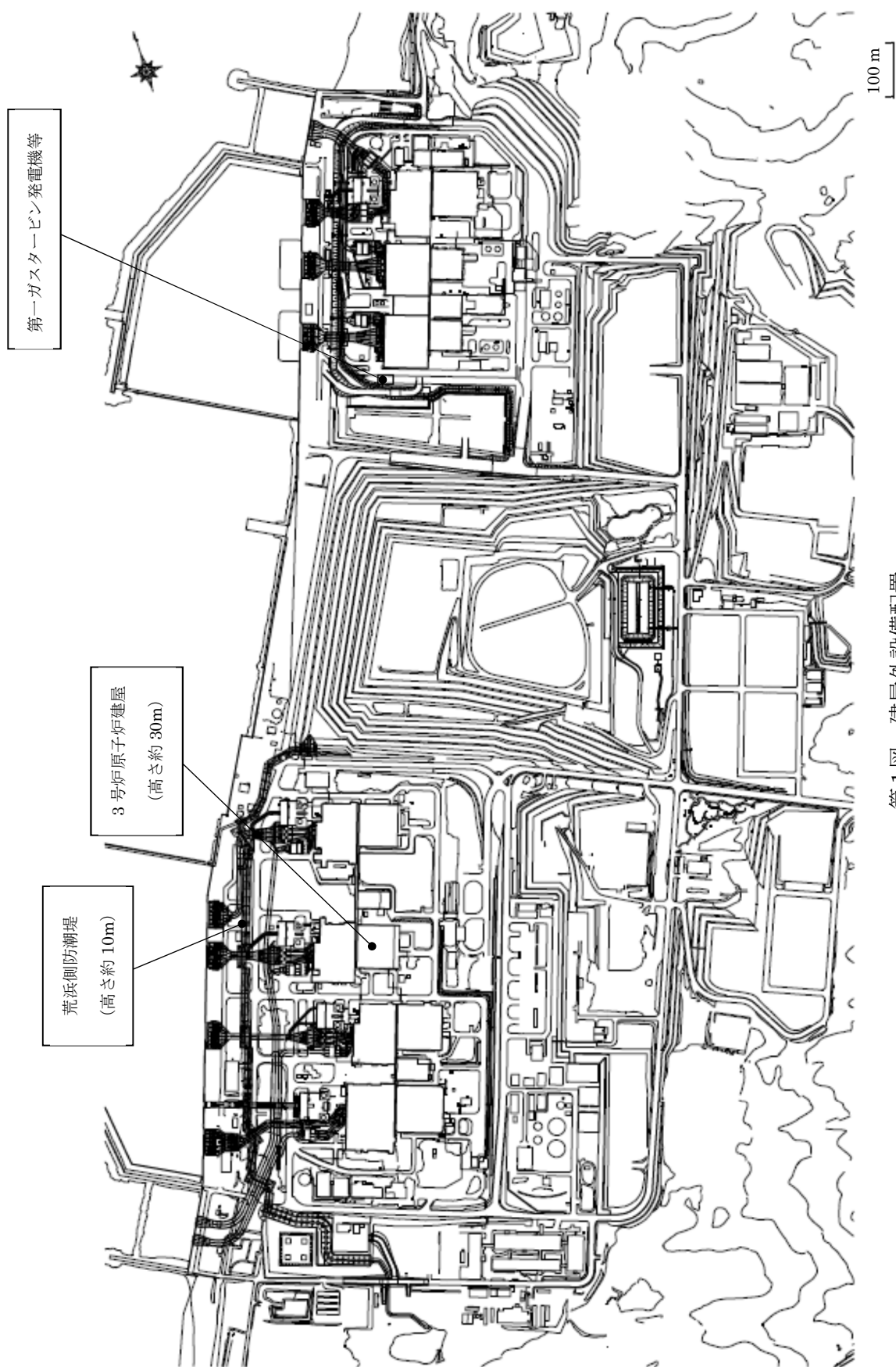
第 2 表 波及的影響検討対象として追加した 5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所関連施設

整理番号	上位クラス施設	設置場所
共-O011	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所（5 号炉原子炉建屋）	建屋外（大湊側）
共-O012	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所用無線連絡設備	建屋外（大湊側）
共-E002	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所（対策本部）陽圧化装置配管	5 号炉原子炉建屋内
共-E003	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所（対策本部）二酸化炭素吸収装置	5 号炉原子炉建屋内
共-E004	5 号炉原子炉建屋内高気密室（対策本部）	5 号炉原子炉建屋内
共-E005	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所（待機場所）陽圧化装置配管	5 号炉原子炉建屋内
共-B001	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所用負荷変圧器	5 号炉原子炉建屋内
共-B002	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所用交流分電盤	5 号炉原子炉建屋内
共-I001	5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所用無線連絡設備	5 号炉原子炉建屋内

2. 影響評価方法

第 2 表の検討対象に対して、設置場所に応じ、本文 5 項に示す通りの検討を行う。建屋外施設であれば、本文の第 5-1 図、第 5-2 図及び第 5-4 図のフローに、建屋内施設であれば本文の第 5-2 図及び第 5-3 図のフローに従い、上位クラス施設に対する下位クラス施設の波及的影響を検討する。

なお、緊急時対策所が 3 号炉原子炉建屋内から 5 号炉原子炉建屋内に変更したことに伴い、荒浜側防潮堤及び 3 号炉原子炉建屋（3 号炉原子炉建屋内緊急時対策所）が下位クラス施設となったが、第 1 図に示す通り、波及的影響のおそれのある施設とならないことを確認している。荒浜側防潮堤及び 3 号炉原子炉建屋から最も近い上位クラス施設として第一ガスタービン発電機等があるが、荒浜側防潮堤及び 3 号炉原子炉建屋から十分な離隔を有している。



第1図 建屋外設備配置

3. 影響評価進捗状況

5号炉原子炉建屋内緊急時対策所関連施設の影響評価進捗状況を第3表に示す。

第3表 5号炉原子炉建屋内緊急時対策所関連施設の影響評価進捗状況

整理番号	上位クラス施設	設置場所	配置設計	波及的影響検討		
				相対変位又は不等沈下※1	接続部における相互影響※2	損傷、転倒及び落下※3
共-O011	5号炉原子炉建屋内緊急時対策所（5号炉原子炉建屋）	建屋外（大湊側）	設置済	・波及的影響を与えるおそれのある下位クラス施設を抽出済 ・評価については工認で実施	—	・波及的影響を与えるおそれのある下位クラス施設を抽出済 ・評価については工認で実施
共-O012	5号炉原子炉建屋内緊急時対策所用無線連絡設備	建屋外（大湊側）	設置予定場所決定済	・波及的影響を与えるおそれのある下位クラス施設を抽出済 ・評価については工認で実施	・設計上の考慮がなされることを確認済	・波及的影響を与えるおそれのある下位クラス施設を抽出済 ・評価については工認で実施
共-E002	5号炉原子炉建屋内緊急時対策所（対策本部）陽圧化装置配管	5号炉原子炉建屋内	設置予定場所決定済	—	・波及的影響を与えないような設備構成となることを確認済	・波及的影響を与えるおそれのある下位クラス施設が無いことを確認済
共-E003	5号炉原子炉建屋内緊急時対策所（対策本部）二酸化炭素吸収装置	5号炉原子炉建屋内	設置予定場所決定済	—	・接続部なしとなることを確認済	・波及的影響を与えるおそれのある下位クラス施設が無いことを確認済
共-E004	5号炉原子炉建屋内高気密室（対策本部）	5号炉原子炉建屋内	設置予定場所決定済	—	・接続部なしとなることを確認済	・波及的影響を与えるおそれのある下位クラス施設が無いことを確認済
共-E005	5号炉原子炉建屋内緊急時対策所（待機場所）陽圧化装置配管	5号炉原子炉建屋内	設置予定場所決定済	—	・波及的影響を与えないような設備構成となることを確認済	・波及的影響を与えるおそれのある下位クラス施設が無いことを確認済
共-B001	5号炉原子炉建屋内緊急時対策所用負荷変圧器	5号炉原子炉建屋内	設置予定場所決定済	—	・設計上の考慮がなされることを確認済	・波及的影響を与えるおそれのある下位クラス施設が無いことを確認済
共-B002	5号炉原子炉建屋内緊急時対策所用交流分電盤	5号炉原子炉建屋内	設置予定場所決定済	—	・設計上の考慮がなされることを確認済	・波及的影響を与えるおそれのある下位クラス施設が無いことを確認済
共-I001	5号炉原子炉建屋内緊急時対策所用無線連絡設備	5号炉原子炉建屋内	設置予定場所決定済	—	・設計上の考慮がなされることを確認済	・波及的影響を与えるおそれのある下位クラス施設が無いことを確認済

※1 本文第6-1-3表、第6-1-5表及び第6-1-7表に検討結果を記載

※2 本文第6-2-3表、第6-2-6表及び第6-2-9表に検討結果を記載

※3 本文第6-3-3表、第6-4-3表及び第6-4-6表に検討結果を記載

柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉

水平 2 方向及び鉛直方向の
適切な組合せに関する検討について
(耐震)

目次

1. はじめに	1
2. 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価に用いる地震動	1
2.1 柏崎刈羽原子力発電所の基準地震動	1
2.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価に用いる地震動	4
3. 各施設における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価	5
3.1 建物構築物	5
3.1.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計手法の考え方	5
3.1.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方法	7
3.1.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価部位の抽出	10
3.1.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価部位の抽出結果	36
3.1.5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針	38
3.2 機器・配管系	39
3.2.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計の考え方	39
3.2.2 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価方針	40
3.2.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せ影響評価方法	41
3.2.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出	44
3.2.5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果	45
3.3 屋外重要土木構造物	55
3.3.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計の考え方	55
3.3.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針	57
3.3.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方法	58
3.3.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出	61
3.3.5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果	72
3.4. 浸水防止設備及び津波監視設備	73
3.4.1 浸水防止設備及び津波監視設備における評価対象構造物の抽出	73

別紙ー 1 機器・配管系に関する説明資料

参考資料ー 1 荷重の組み合わせによる応答特性が想定される部位の抽出に関する
補足説明

参考資料ー 2 水平 2 方向及び鉛直方向の適切な組合せに対する梁の力学的特性

参考資料ー 3 平 2 方向及び鉛直方向地震力の組み合わせの影響評価に用いる模擬
地震波の作成方針

1. はじめに

今回、新たに水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる耐震設計に係る技術基準が制定されたことから、従来の設計手法における水平 1 方向及び鉛直方向地震力を組合せた耐震設計に対して、施設の構造特性から水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性のあるものを抽出し、施設が有する耐震性に及ぼす影響を評価する。本資料は、検討対象施設における評価対象部位の抽出方法と抽出結果、並びに影響評価の方針について記すものである。

2. 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価に用いる地震動

2.1 柏崎刈羽原子力発電所の基準地震動

柏崎刈羽原子力発電所の基準地震動 S_s は、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」と「震源を特定せず策定する地震動」を評価して、これらの評価結果に基づき策定している。「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」としては、応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた手法による地震動評価を実施し、その結果を踏まえ、応答スペクトルに基づく地震動として基準地震動 S_s-1 及び S_s-3 、断層モデルを用いた地震動として S_s-2 、 S_s-4 ～ S_s-7 を策定している。また、「震源を特定せず策定する地震動」として基準地震動 S_s-8 を策定している。

基準地震動 S_s-1 ～ S_s-8 のスペクトル図（水平方向）を図 2.1-1 に、基準地震動 S_s-1 ～ S_s-8 のスペクトル図（鉛直方向）を図 2.1-2 に示す。

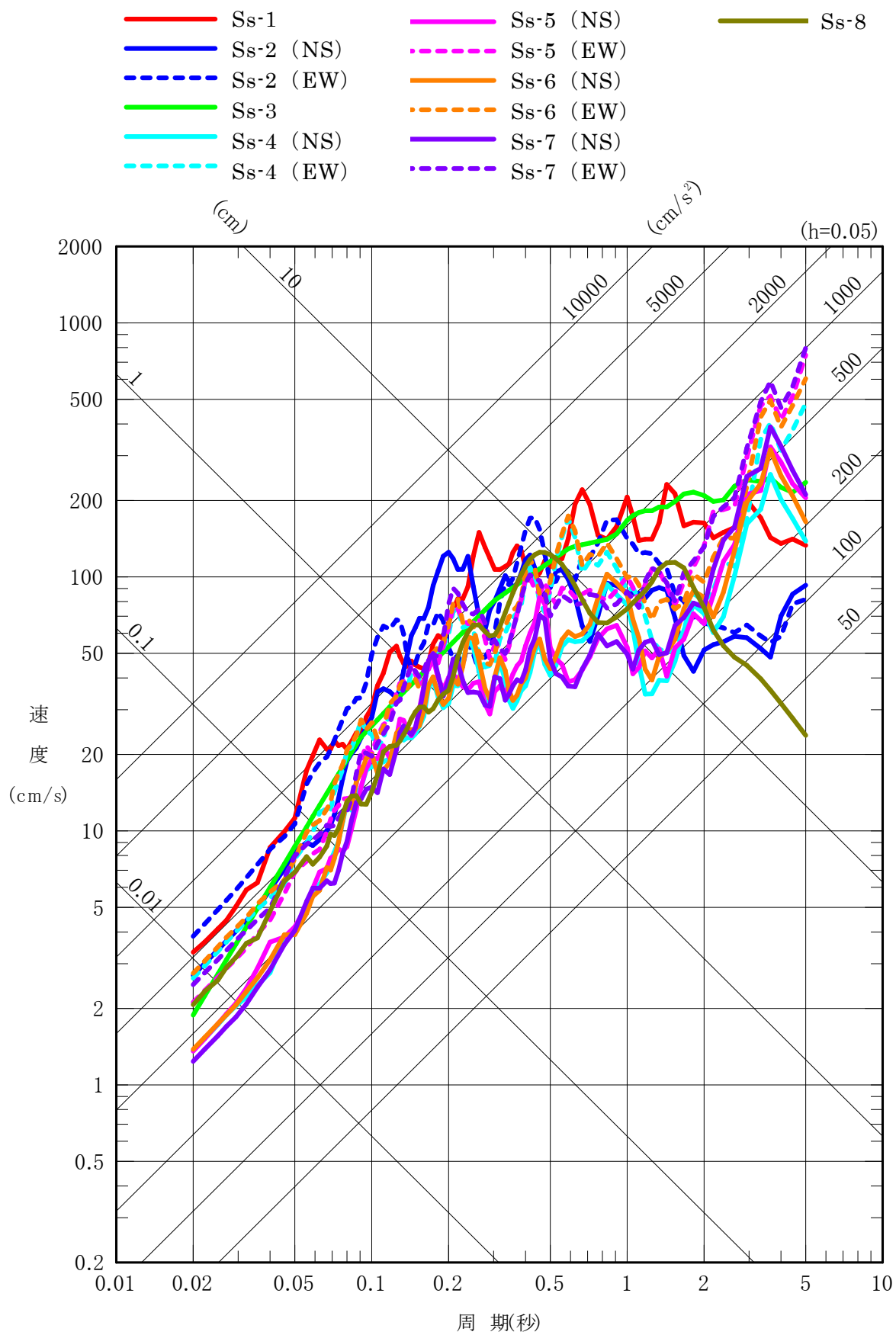


図 2.1-1 基準地震動の応答スペクトル（水平方向）（大湊側）

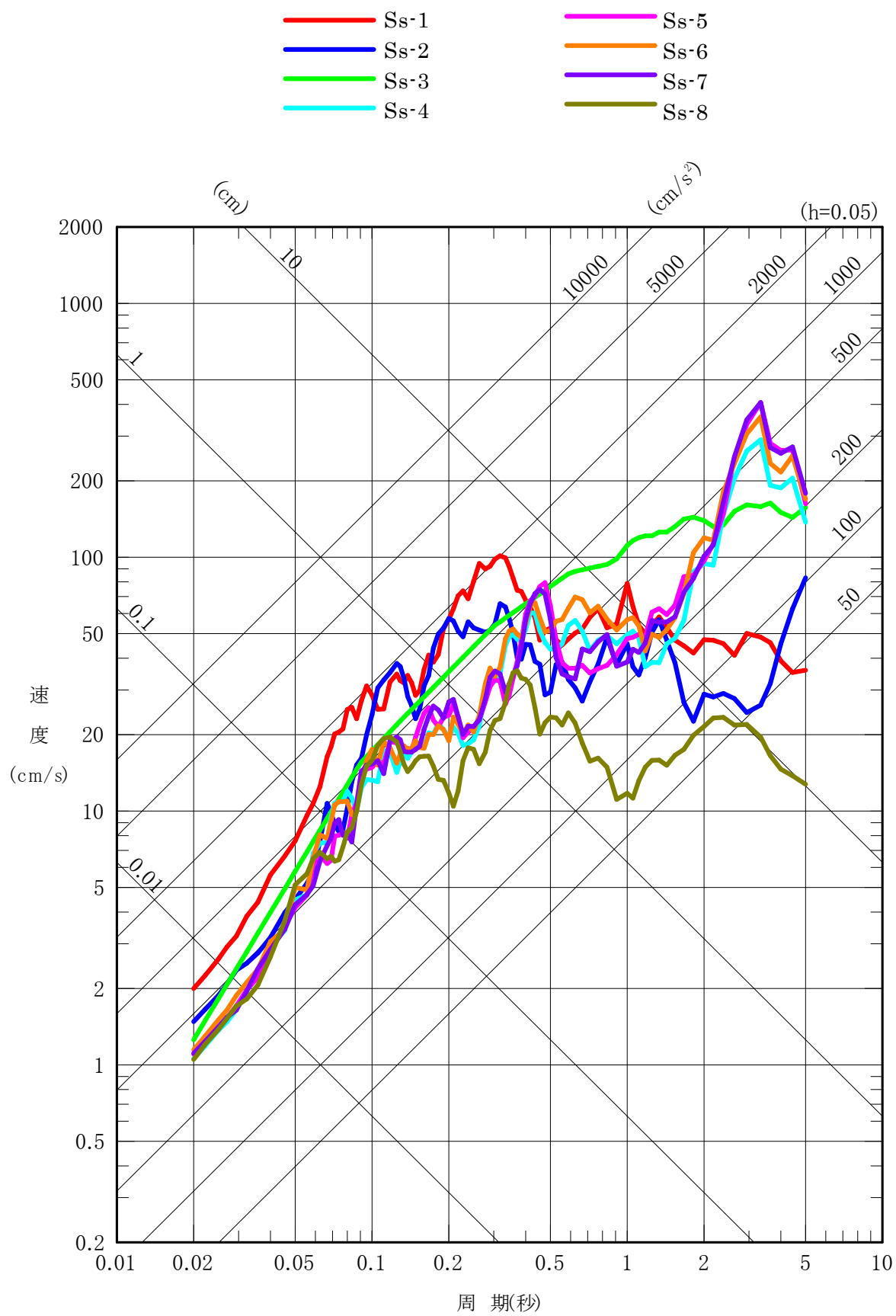


図 2.1-2 基準地震動の応答スペクトル（鉛直方向）（大湊側）

2.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価に用いる地震動

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる基準地震動は、複数の基準地震動における地震動の特性及び包絡関係と施設の特性による影響も考慮した上で選定し、本影響評価に用いる。

3. 各施設における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価

3.1 建物・構築物

3.1.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計手法の考え方

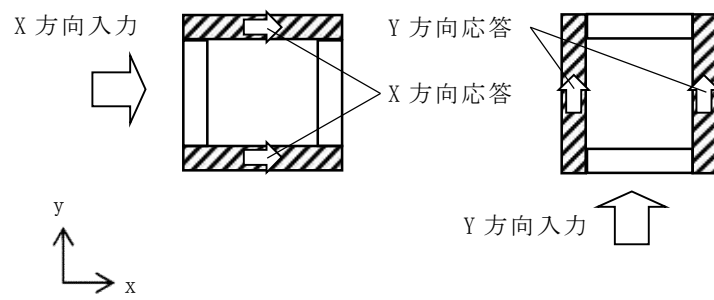
従来の設計手法では、建物・構築物の地震応答解析において、水平方向及び鉛直方向の地震動を質点系モデルに方向ごとに入力し、解析を行っている。また、原子炉格納施設等における建物・構築物は、全体形状及び平面レイアウトから、地震力を主に耐震壁で負担する構造であり、剛性の高い設計としている。

水平方向の地震力に対しては、せん断力について評価することを基本とし、建物・構築物に生じるせん断力に対して、地震時の力の流れが明解となるように、直交する 2 方向に釣合いよく配置された鉄筋コンクリート造耐震壁を主な耐震要素として構造計画を行う。地震応答解析は、水平 2 方向の耐震壁に対して、それぞれ剛性を評価し、各水平方向に対して解析を実施している。したがって、建物・構築物に対し、水平 2 方向の入力がある場合、各方向から作用するせん断力を負担する部位が異なるため、水平 2 方向の入力がある場合の評価は、水平 1 方向にのみ入力がある場合と同等な評価となる。

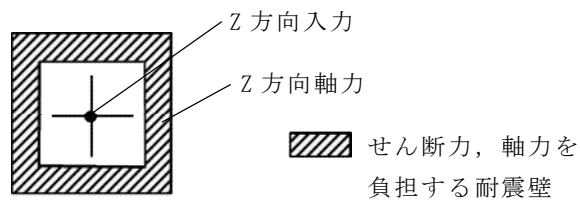
鉛直方向の地震力に対しては、軸力について評価することを基本としている。建物・構築物に生じる軸力に対して、鉄筋コンクリート造耐震壁を主な耐震要素として構造計画を行う。

入力方向ごとの耐震要素について、図 3.1.1-1 及び図 3.1.1-2 に示す。

従来設計手法における建物・構築物の応力解析による評価は、上記の考え方を踏まえた地震応答解析により算出された応答を、水平 1 方向及び鉛直方向に組み合わせて行っている。

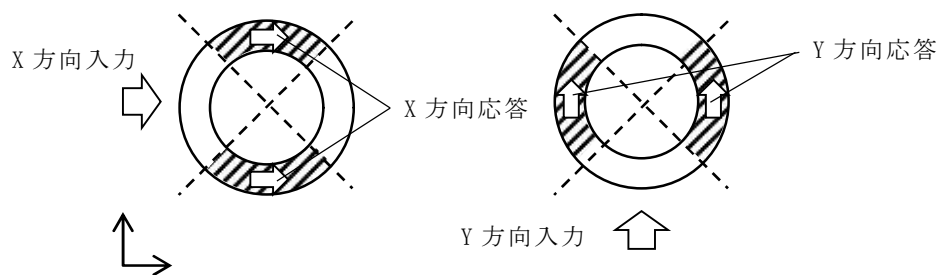


(a) 水平方向

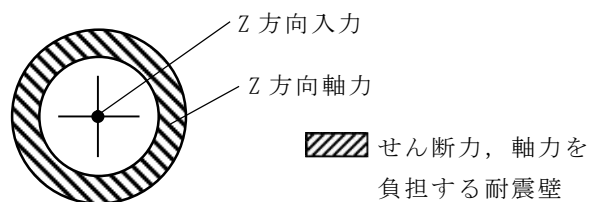


(b) 鉛直方向

図 3.1.1-1 入力方向ごとの耐震要素（矩形）



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

図 3.1.1-2 入力方向ごとの耐震要素（円筒形）

3.1.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方法

建物・構築物において、従来設計手法に対して水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した場合に影響を受ける可能性がある部位の評価を行う。

評価対象は、耐震重要施設及びその間接支持構造物、常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設並びにこれらの施設への波及的影響防止のために耐震評価を実施する部位とする。

対象とする部位について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性から、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を受ける可能性のある部位を抽出する。

応答特性から抽出された、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を受ける可能性のある部位は、既往の評価結果の荷重又は応力の算出結果等を水平 2 方向及び鉛直方向に組み合わせ、各部位に発生する荷重や応力を算出し、各部位が有する耐震性への影響を確認する。

各部位が有する耐震性への影響があると確認された場合は、詳細な手法を用いた検討等、新たな設計上の対応策を講じる。

影響評価のフローを図 3.1.2-1 に示す。

(1) 耐震評価上の構成部位の整理

建物・構築物における耐震評価上の構成部位を整理し、各建屋・構築物において、該当する耐震評価上の構成部位を網羅的に確認する。

(2) 応答特性の整理

建物・構築物における耐震評価上の構成部位について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性を整理する。応答特性は、荷重の組合せによる影響が想定されるもの及び 3 次元的な建屋挙動から影響が想定されるものに分けて整理する。

(3) 荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出

整理した耐震評価上の構成部位について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性のうち、荷重の組合せによる応答特性により、耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

(4) 3 次元的な応答特性が想定される部位の抽出

従来設計手法における応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、3 次元的な応答特性により、耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

(5) 3次元解析モデルによる精査

3次元的な応答特性が想定される部位として抽出された部位について、3次元解析モデルを用いた精査を実施し、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにより、耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

また、3次元的な応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位についても、局所応答の観点から、3次元解析モデルによる精査を実施し、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにより、耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

局所応答に対する3次元解析モデルによる精査は、施設の重要性、建屋規模及び構造特性を考慮し、原子炉建屋（6/7号炉）及び原子炉格納容器（6/7号炉）の3次元解析モデルを用いた地震応答解析又は応力解析による精査を代表させて行う。

(6) 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価においては、従来設計手法の水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる局部評価の荷重又は応力の算出結果等を用い、水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせる方法として、米国 REGULATORY GUIDE 1.92（注）の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として、組合せ係数法（1.0：0.4：0.4）に基づいて地震力を設定する。

評価対象として抽出した耐震評価上の構成部位について、構造部材の発生応力等を適切に組み合わせることで、各部位の設計上の許容値に対する評価を実施し、各部位の耐震性への影響を評価する。

（注）REGULATORY GUIDE（RG）1.92 “COMBINING MODAL RESPONSES AND SPATIAL COMPONENTS IN SEISMIC RESPONSE ANALYSIS”

(7) 機器・配管系への影響検討

評価対象として抽出された部位が、耐震重要施設、常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設の機器・配管系の間接支持機能を有する場合、機器・配管系に対し、水平2方向及び鉛直方向入力時と水平1方向入力時の加速度応答スペクトルを比較するなど応答値への影響を確認する。

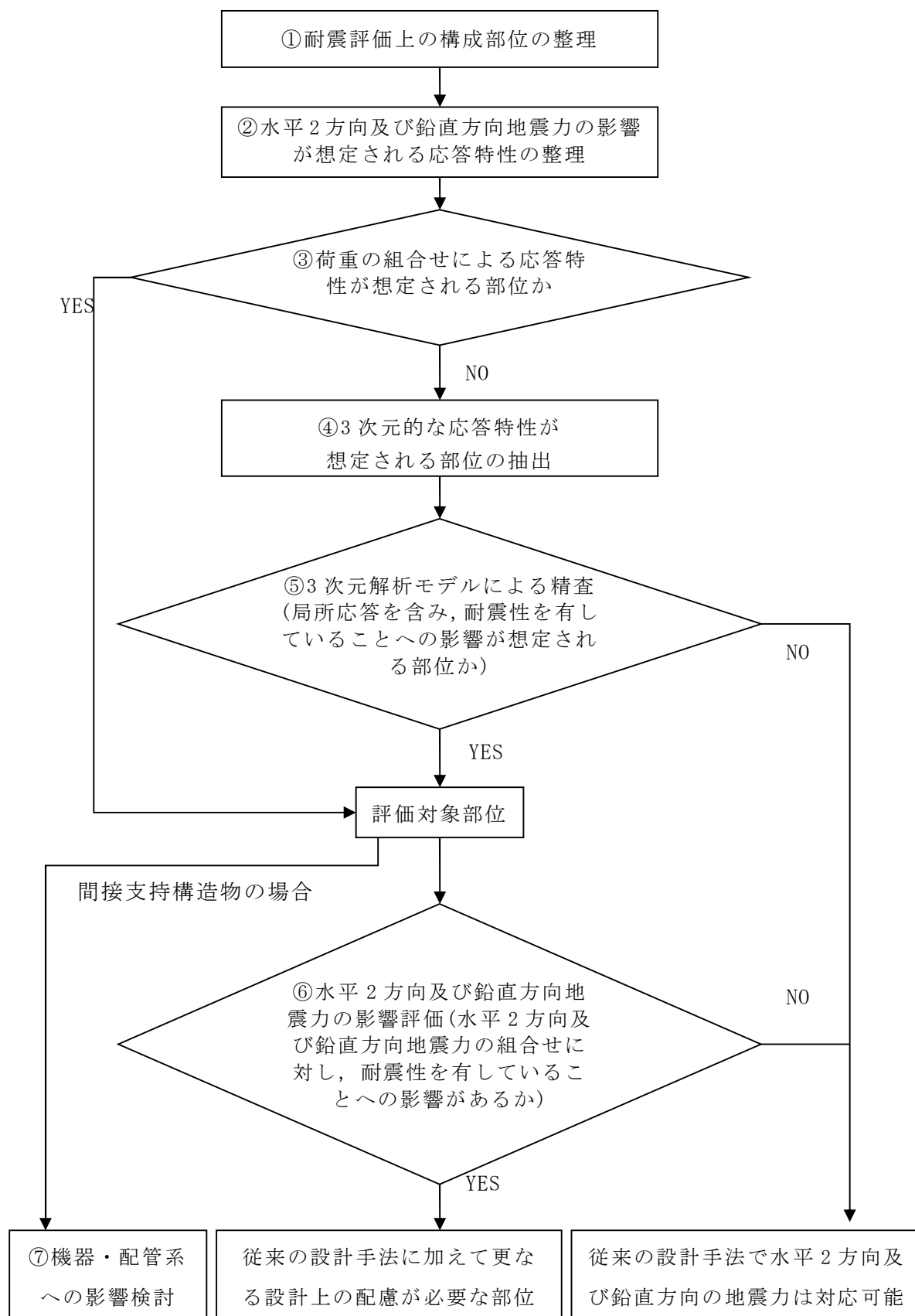


図 3.1.2-1 水平2方向及び鉛直方向地震力による影響検討のフロー

3.1.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価部位の抽出

(1) 耐震評価上の構成部位の整理

建物・構築物の耐震評価上の構成部位を整理し、各建物・構築物において、該当する耐震評価上の構成部位を網羅的に確認した。確認した結果を表 3.1.3-1 に示す。

表 3.1.3-1 建物・構築物における耐震評価上の構成部材の整理（6号炉）（1/4）

耐震性評価部位		原子炉建屋				タービン建屋		排気筒	格納容器 圧力逃がし 装置基礎
			原子炉 格納容器	使用済燃料 貯蔵プール	上部鉄骨		上部鉄骨		
		RC 造	RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造	S 造, RC 造	RC 造
柱	一般部	○	—	—	○	○	○	—	—
	隅部	○	—	—	○	○	○	○	—
	地下部	○	—	—	—	○	—	—	—
梁	一般部	○	—	—	○	○	○	○	—
	地下部	○	—	—	—	○	—	—	—
	鉄骨トラス	—	—	—	○	—	○	—	—
壁	一般部	○	○	○	○	○	—	—	○
	地下部	○	—	—	—	○	—	—	—
	鉄骨ブレース	—	—	—	—	—	○	○	—
床 屋根	一般部	○	○	○	○	○	○	—	—
基礎	矩形	○		—	—	○	—	○	○
	杭基礎	—		—	—	—	—	—	○

凡例 ○：対象の構造部材有り，—：対象の部材なし

※本表は、今後の審査進捗（詳細設計）に応じて見直しを行います。

表 3.1.3-1 建物・構築物における耐震評価上の構成部材の整理（7号炉）（2/4）

耐震性評価部位		原子炉建屋				タービン建屋		排気筒	格納容器 圧力逃がし 装置基礎
			原子炉 格納容器	使用済燃料 貯蔵プール	上部鉄骨		上部鉄骨		
		RC 造	RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造		
柱	一般部	○	—	—	○	○	○	—	—
	隅部	○	—	—	○	○	○	○	—
	地下部	○	—	—	—	○	—	—	—
梁	一般部	○	—	—	○	○	○	○	—
	地下部	○	—	—	—	○	—	—	—
	鉄骨トラス	—	—	—	○	—	○	—	—
壁	一般部	○	○	○	○	○	—	—	○
	地下部	○	—	—	—	○	—	—	—
	鉄骨ブレース	—	—	—	—	—	○	○	—
床 屋根	一般部	○	○	○	○	○	○	—	—
基礎	矩形	○		—	—	○	—	○	○
	杭基礎	—		—	—	—	—	—	○

凡例 ○：対象の構造部材有り，—：対象の部材なし

表 3.1.3-1 建物・構築物における耐震評価上の構成部材の整理（6号炉及び7号炉）（3/4）

耐震性評価部位		コントロール 建屋	5 号炉原子炉建屋		廃棄物処理建屋			サービス 建屋
				上部鉄骨		復水貯蔵槽	上部鉄骨	
		RC 造	RC 造	S 造，SRC 造， RC 造	RC 造	RC 造	S 造，SRC 造， RC 造	RC 造
柱	一般部	○	○	○	○	—	○	○
	隅部	○	○	○	○	—	○	○
	地下部	○	○	—	○	—	—	○
梁	一般部	○	○	○	○	—	○	○
	地下部	○	○	—	○	—	—	○
	鉄骨トラス	—	—	○	—	—	○	—
壁	一般部	○	○	○	○	○	○	○
	地下部	○	○	—	○	—	—	○
	鉄骨ブレース	—	—	—	—	—	○	—
床 屋根	一般部	○	○	○	○	○	○	○
基礎	矩形	○	○	—	○	—	—	○
	杭基礎	—	—	—	—	—	—	—

凡例 ○：対象の構造部材有り，—：対象の部材なし

表 3.1.3-1 建物・構築物における耐震評価上の構成部材の整理（6号炉及び7号炉）（4/4）

耐震性評価部位		5号炉タービン建屋		5号炉 サービス 建屋	5号炉 排気筒	5号炉 格納容器 圧力逃がし 装置基礎
		RC造	上部鉄骨			
			S造, SRC造 RC造			
柱	一般部	○	○	○	—	—
	隅部	○	○	○	○	—
	地下部	○	—	○	—	—
梁	一般部	○	○	○	○	—
	地下部	○	—	○	—	—
	鉄骨トラス	—	○	—	—	—
壁	一般部	○	—	○	—	○
	地下部	○	—	○	—	—
	鉄骨フレース	—	○	—	○	—
床 屋根	一般部	○	○	○	—	—
基礎	矩形	○	—	○	○	○
	杭基礎	—	—	—	○	○

凡例 ○：対象の構造部材有り，—：対象の部材なし

(2) 応答特性の整理

建物・構築物における耐震評価上の構成部位について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される応答特性を整理した。応答特性は、荷重の組合せによる影響が想定されるもの及び 3 次元的な建屋挙動から影響が想定されるものに分けて整理した。整理した結果を表 3.1.3-2 及び表 3.1.1-3 に示す。また、応答特性を踏まえ、耐震評価上の構成部位に対する水平 2 方向入力のかえ方を表 3.1.3-4 に示す。

表 3.1.3-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される応答特性
(荷重の組合せによる応答特性)

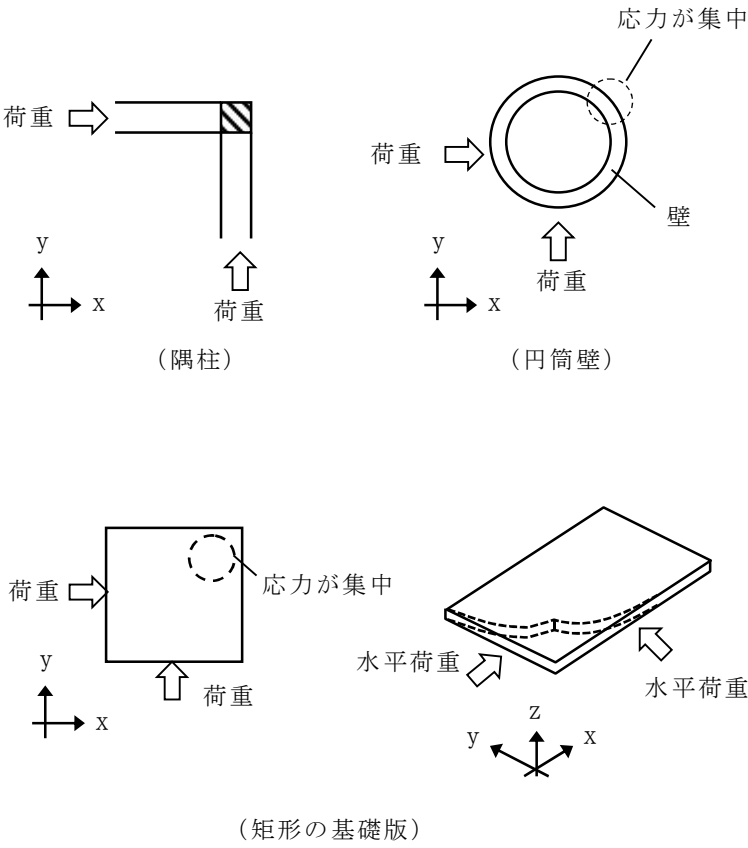
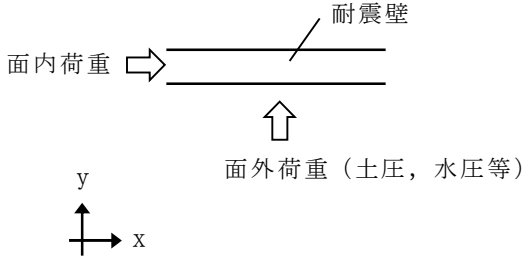
荷重の組合せによる 応答特性		影響想定部位
①-1	直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中	<p>応力の集中する隅柱等</p> <p>(例)</p>  <p>荷重 → 隅柱 (隅柱) 荷重 → 円筒壁 (円筒壁) 荷重 → 矩形の基礎版 (矩形の基礎版)</p> <p>応力が集中する部位は、隅柱の隅、円筒壁の隅、および矩形の基礎版の隅に示されています。</p>
①-2	面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用	<p>土圧を負担する地下耐震壁等 水圧を負担するプール壁等</p> <p>(例)</p>  <p>面内荷重 → 耐震壁 面外荷重 (土圧, 水圧等) ↑</p> <p>面内方向の荷重は、壁の面に沿って作用し、面外方向の荷重は、壁の面に垂直に作用します。</p>

表 3.1.3-3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される応答特性
(3 次元的な応答特性)

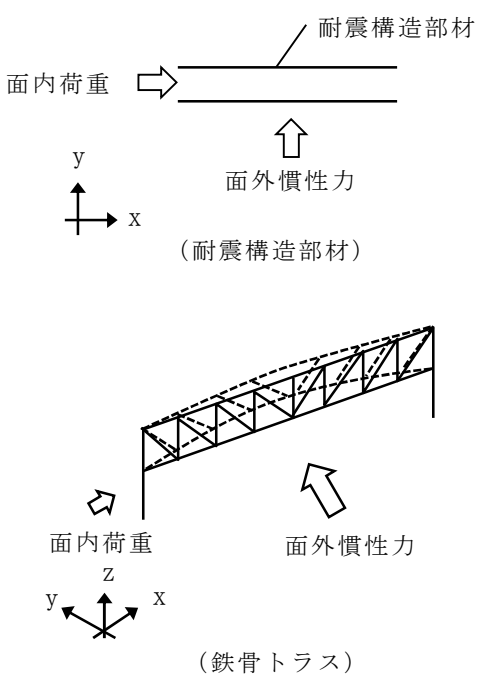
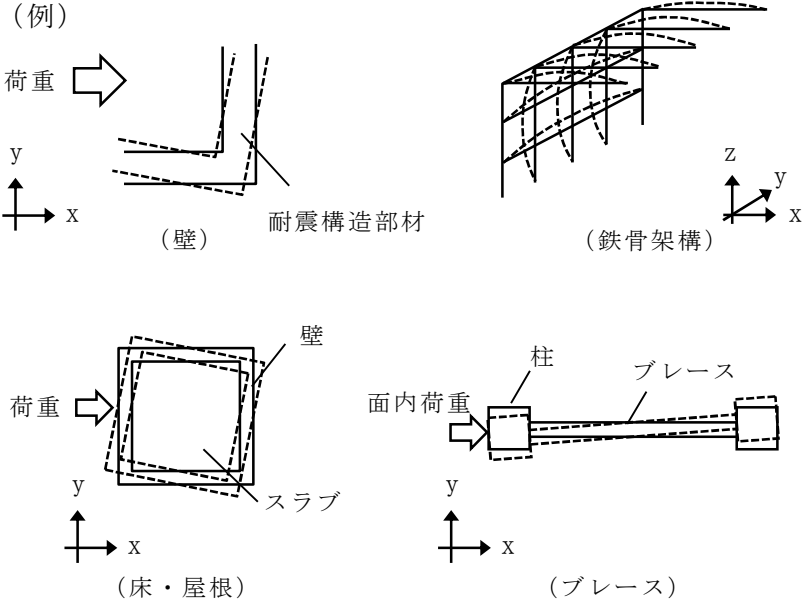
3 次元的な応答特性	影響想定部位
<p>②-1</p> <p>面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい</p>	<p>大スパン又は吹き抜け部に設置された部位 (例)</p> 
<p>②-2</p> <p>加振方向以外の方向に励起される振動</p>	<p>塔状構造物など含む、ねじれ挙動が想定される建物・構築物 (例)</p> 

表 3.1.3-4 耐震評価上の構成部位に対する水平 2 方向入力のかえ方 (1/2)

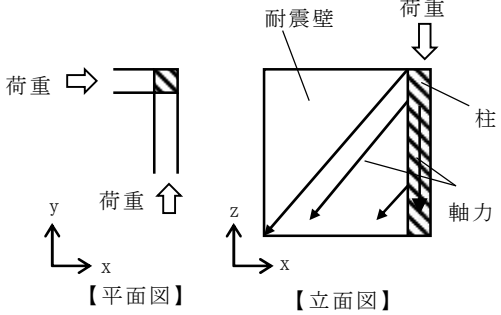
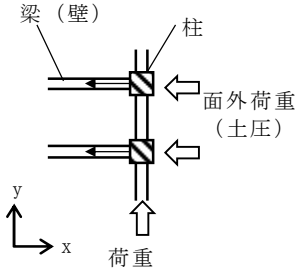
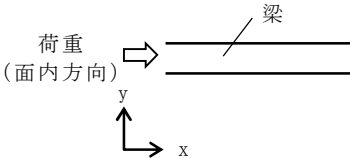
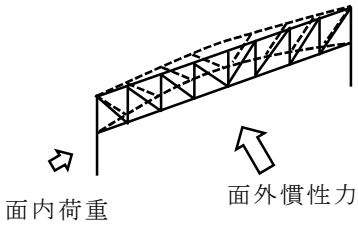
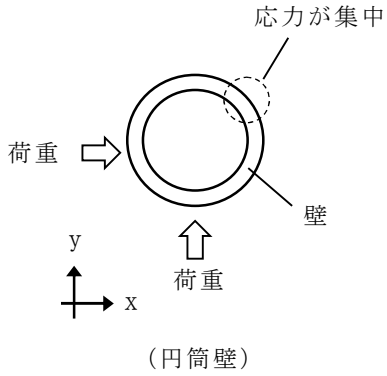
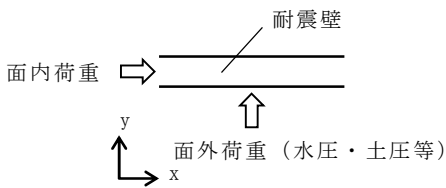
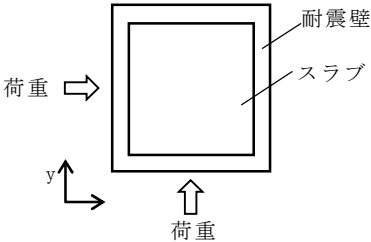
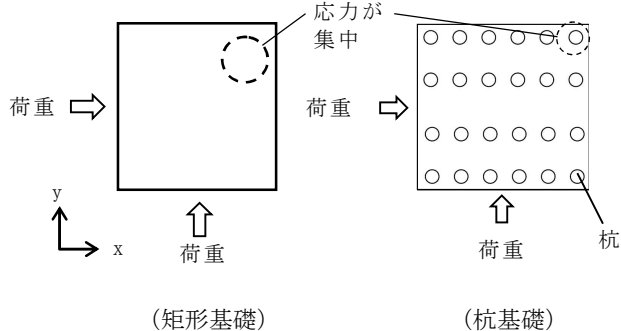
耐震評価上の構成部材		水平 2 方向入力のかえ方
柱	一般部	耐震壁付構造の場合、水平入力による影響は小さい。
	隅部（端部含む）	<p>独立した隅柱は、直交する地震荷重が同時に作用する。ただし、耐震壁付きの隅柱は、軸力が耐震壁に分散されることで影響は小さい。</p>  <p>【平面図】 【立面図】</p>
	地下部	<p>地下外周柱は面内方向の荷重を負担しつつ面外方向（土圧）の荷重が作用する。ただし、外周部耐震壁付のため、水平入力による影響は小さい。また、土圧が作用する方向にある梁および壁が応力を負担することで、水平面外入力による影響は小さい。</p> 
梁	一般部	<p>大スパンや吹抜け部では面内方向の荷重に加え、面外慣性力が作用する。ただし、1 方向のみ地震荷重を負担することが基本であり、また、床および壁の拘束により面外荷重負担による影響は小さい。</p> 
	地下部	<p>地下外周梁は面内方向の荷重を負担しつつ面外方向（土圧）の荷重が作用する。ただし、1 方向のみ地震荷重を負担することが基本であり、また、床および壁の拘束により面外荷重負担による影響は小さい。</p>
	鉄骨トラス	<p>大スパンや吹抜け部では面内方向の荷重に加え、面外慣性力が作用する。ただし、1 方向のみ地震荷重を負担することが基本であり、また、床による拘束があるため、面外荷重負担による影響は小さい。</p> 

表 3.1.3-4 耐震評価上の構成部位に対する水平 2 方向入力のかえ方 (2/2)

耐震評価上の構成部材		水平 2 方向入力のかえ方
壁	一般部	<p>1 方向のみ地震荷重を負担することが基本。 円筒壁は直交する水平 2 方向の地震力により、集中応力が作用する。</p>  <p>(円筒壁)</p>
	地下部 プール壁	<p>地下部分の耐震壁は、直交する方向からの地震時面外土圧荷重も受ける。同様にプール部の壁については水圧を面外方向から受ける。</p>  <p>(耐震壁)</p>
	鉄骨 ブレース	<p>1 方向のみ地震荷重を負担することが基本であり、ねじれによる荷重増分は軽微と考えられ影響は小さい。</p>
床 屋根	一般部	<p>スラブは四辺が壁及び梁で拘束されており、水平方向に変形しにくい構造となっており、水平地震力の影響は小さい。</p>  <p>(耐震壁)</p> <p>(スラブ)</p>
基礎	矩形 杭基礎	<p>直交する水平 2 方向の地震力により、集中応力が作用する。</p>  <p>(矩形基礎)</p> <p>(杭基礎)</p>

(3) 荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出

表 3.1.3-1 に示す耐震評価上の構成部位のうち、表 3.1.3-2 に示す荷重の組合せによる応答特性により、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される部位を抽出した。抽出した結果を表 3.1.3-5 に示す。

a. 柱

柱は、①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位としては、隅柱が考えられる。

建屋（RC 造）並びに原子炉建屋、タービン建屋及び廃棄物処理建屋の上部鉄骨の隅柱は、耐震壁又は鉄骨ブレース付きの隅柱であり、軸力が耐震壁に分散されることから応力集中による影響は小さいと考えられるため、該当しない。

排気筒の隅柱が①-1 に該当するものとして抽出した。

①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位としては、土圧が作用する地下外周柱が考えられるが、耐震壁に囲まれており、面内の荷重を負担しないことから、影響は小さいと考えられるため、該当しない。

b. 梁

梁の一般部及び鉄骨トラス部については、地震力の負担について方向性を持っており、①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位は存在しない。

①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位としては、土圧が作用する地下外周梁が考えられるが、床および壁による面外方向の拘束があるため、該当しない。

c. 壁

矩形の壁は、地震力の負担について方向性を持っており、①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位は存在しない。円筒壁は応力の集中が考えられるため、原子炉格納容器（6/7 号炉）の一般部の壁を①-1 に該当するものとして抽出した。

①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位としては、土圧や水圧が作用する地下部やプール部が考えられ、各建屋の地下外壁、使用済燃料貯蔵プール（6/7 号炉）・復水貯蔵槽（6/7 号炉）の一般部の壁を、①-2 に該当するものとして抽出した。

d. 床及び屋根

床及び屋根については、地震力の負担について方向性を持っており、①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位は存在しない。また①-2「面

内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位も存在しない。

e. 基礎

①－1「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中」する部位としては、矩形の基礎及び杭基礎が考えられる。

矩形の基礎を有する各建屋、排気筒（5/6/7号炉）及び格納容器圧力逃がし装置基礎（5/6/7号炉）については、隅部への応力集中が考えられるため、①－1に該当するものとして抽出した。また杭基礎を有する格納容器圧力逃がし装置基礎（5/6/7号炉）及び排気筒（5号炉）の基礎についても、①－1に該当するものとして抽出した。なお、原子炉格納容器の基礎については、原子炉建屋の基礎として抽出することとした。

また、①－2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位としては、基礎は該当しない。

表 3.1.3-5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる影響の確認が必要な部位の抽出（6 号炉）（1/4）
（荷重の組み合わせによる応答特性を踏まえたスクリーニング）

耐震性評価部位		原子炉建屋				タービン建屋		排気筒	格納容器 圧力逃がし 装置基礎
			原子炉 格納容器	使用済燃料 貯蔵プール	上部鉄骨		上部鉄骨		
		RC 造	RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造		
柱	一般部	該当なし	—	—	該当なし	該当なし	該当なし	—	—
	隅部	該当なし	—	—	該当なし	該当なし	該当なし	①-1	—
	地下部	該当なし	—	—	—	該当なし	—	—	—
梁	一般部	該当なし	—	—	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	—
	地下部	該当なし	—	—	—	該当なし	—	—	—
	鉄骨トラス	—	—	—	該当なし	—	該当なし	—	—
壁	一般部	該当なし	①-1	①-2	該当なし	該当なし	—	—	該当なし
	地下部	①-2	—	—	—	①-2	—	—	—
	鉄骨ブレース	—	—	—	—	—	該当なし	該当なし	—
床 屋根	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	—	—
基礎	矩形	①-1		—	—	①-1	—	①-1	①-1
	杭基礎	—		—	—	—	—	—	①-1

凡例 ・「①-1」：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中」
・「①-2」：応答特性「面内荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

※本表は、今後の審査進捗（詳細設計）に応じて見直しを行います。

表 3.1.3-5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる影響の確認が必要な部位の抽出（7 号炉）（2/4）
（荷重の組み合わせによる応答特性を踏まえたスクリーニング）

耐震性評価部位		原子炉建屋				タービン建屋		排気筒	格納容器 圧力逃がし 装置基礎
			原子炉 格納容器	使用済燃料 貯蔵プール	上部鉄骨		上部鉄骨		
		RC 造	RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造		
柱	一般部	該当なし	—	—	該当なし	該当なし	該当なし	—	—
	隅部	該当なし	—	—	該当なし	該当なし	該当なし	①-1	—
	地下部	該当なし	—	—	—	該当なし	—	—	—
梁	一般部	該当なし	—	—	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	—
	地下部	該当なし	—	—	—	該当なし	—	—	—
	鉄骨トラス	—	—	—	該当なし	—	該当なし	—	—
壁	一般部	該当なし	①-1	①-2	該当なし	該当なし	—	—	該当なし
	地下部	①-2	—	—	—	①-2	—	—	—
	鉄骨ブレース	—	—	—	—	—	該当なし	該当なし	—
床 屋根	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	—	—
基礎	矩形	①-1		—	—	①-1	—	①-1	①-1
	杭基礎	—		—	—	—	—	—	①-1

凡例 ・「①-1」：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中」
・「①-2」：応答特性「面内荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

表 3.1.3-5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる影響の確認が必要な部位の抽出（6 号炉及び 7 号炉）（3/4）
（荷重の組み合わせによる応答特性を踏まえたスクリーニング）

耐震性評価部位		コントロール 建屋	5 号炉原子炉建屋		廃棄物処理建屋			サービ ス 建屋
				上部鉄骨		復水貯蔵槽	上部鉄骨	
		RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造	RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造	RC 造
柱	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	—	該当なし	該当なし
	隅部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	—	該当なし	該当なし
	地下部	該当なし	該当なし	—	該当なし	—	—	該当なし
梁	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	—	該当なし	該当なし
	地下部	該当なし	該当なし	—	該当なし	—	—	該当なし
	鉄骨トラス	—	—	該当なし	—	—	該当なし	—
壁	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	①－2	該当なし	該当なし
	地下部	①－2	①－2	—	①－2	—	—	①－2
	鉄骨ブレース	—	—	—	—	—	該当なし	—
床 屋根	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし
基礎	矩形	①－1	①－1	—	①－1	—	—	①－1
	杭基礎	—	—	—	—	—	—	—

凡例 ・「①-1」：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中」
・「①-2」：応答特性「面内荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

表 3.1.3-5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる影響の確認が必要な部位の抽出（6 号炉及び 7 号炉）（4/4）
（荷重の組み合わせによる応答特性を踏まえたスクリーニング）

耐震性評価部位		5 号炉タービン建屋		5 号炉 サービス 建屋	5 号炉 排気筒	5 号炉 格納容器 圧力逃がし 装置基礎
		RC 造	上部鉄骨 S 造, SRC 造 RC 造			
柱	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	—	—
	隅部	該当なし	該当なし	該当なし	①－1	—
	地下部	該当なし	—	該当なし	—	—
梁	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	—
	地下部	該当なし	—	該当なし	—	—
	鉄骨トラス	—	該当なし	—	—	—
壁	一般部	該当なし	—	該当なし	—	該当なし
	地下部	①－2	—	①－2	—	—
	鉄骨フレース	—	該当なし	—	該当なし	—
床 屋根	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	—	—
基礎	矩形	①－1	—	①－1	①－1	①－1
	杭基礎	—	—	—	①－1	①－1

- 凡例
- ・「①－1」：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中」
 - ・「①－2」：応答特性「面内荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

(4) 3次元的な応答特性が想定される部位の抽出

表 3.1.3-1 に示す耐震評価上の構成部位のうち、荷重の組合せによる応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位について、表 3.1.3-3 に示す 3 次元的な応答特性により、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される部位を抽出した。抽出した結果を表 3.1.3-6 に示す。

a. 柱

(3) で抽出されている以外の各建屋の柱は各部とも、両方向に対して断面算定を実施しており、面外慣性力の影響も考慮済みであるため、②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」の部位には該当しない。

各建屋は、鉄筋コンクリート造耐震壁又は鉄骨造ブレースを主な耐震要素として扱っており、地震力のほとんどを耐震壁又はブレースが負担する。ねじれ振動の影響が想定される部位についても、ねじれを加味した構造計画を行っており、②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」に関しても該当しない。

b. 梁

各建屋(RC 造)の梁一般部および地下部は剛性の高い床や耐震壁が付帯するため、面外方向の変形を抑制することから、②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」及び②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」には該当しない。

原子炉建屋(5/6/7 号炉)、タービン建屋(5/6/7 号炉)及び廃棄物処理建屋の上部鉄骨部の梁一般部および鉄骨トラス部は、面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きいと考えられることから、②-1 の挙動が発生する部位に該当するものとして抽出した。また、排気筒(5/6/7 号炉)の梁一般部(水平材)については、塔状構造物としてねじれ挙動が想定されることから、②-2 に該当するものとして抽出した。

c. 壁

(3) で抽出されている以外の各建屋の壁については、複数スパンにまたがって直交方向に壁や大梁のない連続した壁が存在せず、ねじれのない構造であるため、②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」及び②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」に該当しない。

排気筒(5/6/7 号炉)の鉄骨ブレースについては、塔状構造物としてねじれ挙動が想定されるため、②-2 に該当するものとして抽出した

d. 床及び屋根

各建屋の床及び屋根については、釣合いよく壁が配置されているため、②-1「面

内方向の荷重に加え，面外慣性力の影響が大きい」及び②－2「加振方向以外の方向に励起される振動」に該当しない。

e. 基礎

矩形の基礎及び杭基礎は，（3）の荷重の組合せによる応答特性を踏まえたスクリーニングで抽出されている。

表 3.1.3-6 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる影響の確認が必要な部位の抽出（6 号炉）（1/4）
（3 次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング）

耐震性評価部位		原子炉建屋				タービン建屋		排気筒	格納容器 圧力逃がし 装置基礎
			原子炉 格納容器	使用済燃料 貯蔵プール	上部鉄骨		上部鉄骨		
		RC 造	RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造		
柱	一般部	不要	—	—	不要	不要	不要	—	—
	隅部	不要	—	—	不要	不要	不要	要①-1	—
	地下部	不要	—	—	—	不要	—	—	—
梁	一般部	不要	—	—	②-1	不要	不要（注 1）	②-2	—
	地下部	不要	—	—	—	不要	—	—	—
	鉄骨トラス	—	—	—	②-1	—	不要（注 1）	—	—
壁	一般部	不要	要①-1	要①-2	不要	不要	—	—	不要
	地下部	要①-2	—	—	—	要①-2	—	—	—
	鉄骨ブレース	—	—	—	—	—	不要	②-2	—
床 屋根	一般部	不要	不要	不要	②-1	不要	不要（注 1）	—	—
基礎	矩形	要①-1		—	—	要①-1	—	要①-1	要①-1
	杭基礎	—		—	—	—	—	—	要①-1

凡例 ・ 要：荷重組み合わせによる応答特性でのスクリーニングで抽出済み、
 ・ 不要：評価不要
 ・ 「①-1」：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中」
 ・ 「①-2」：応答特性「面内荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」
 ・ 「②-1」：応答特性「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」
 ・ 「②-2」：応答特性「加振方向以外の方向に励起される振動」

（注 1）大スパン架構であるが、下部に上位クラス施設がないため不要とする。

※本表は、今後の審査進捗（詳細設計）に応じて見直しを行います。

表 3.1.3-6 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる影響の確認が必要な部位の抽出（7 号炉）（2/4）
（3 次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング）

耐震性評価部位		原子炉建屋				タービン建屋		排気筒	格納容器 圧力逃がし 装置基礎
			原子炉 格納容器	使用済燃料 貯蔵プール	上部鉄骨		上部鉄骨		
		RC 造	RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造		
柱	一般部	不要	—	—	不要	不要	不要	—	—
	隅部	不要	—	—	不要	不要	不要	要①-1	—
	地下部	不要	—	—	—	不要	—	—	—
梁	一般部	不要	—	—	②-1	不要	不要（注 1）	②-2	—
	地下部	不要	—	—	—	不要	—	—	—
	鉄骨トラス	—	—	—	②-1	—	不要（注 1）	—	—
壁	一般部	不要	要①-1	要①-2	不要	不要	—	—	不要
	地下部	要①-2	—	—	—	要①-2	—	—	—
	鉄骨ブレース	—	—	—	—	—	不要	②-2	—
床 屋根	一般部	不要	不要	不要	②-1	不要	不要（注 1）	—	—
基礎	矩形	要①-1		—	—	要①-1	—	要①-1	要①-1
	杭基礎	—		—	—	—	—	—	要①-1

凡例 ・ 要：荷重組み合わせによる応答特性でのスクリーニングで抽出済み
 ・ 不要：評価不要
 ・ 「①-1」：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中」
 ・ 「①-2」：応答特性「面内荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」
 ・ 「②-1」：応答特性「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」
 ・ 「②-2」：応答特性「加振方向以外の方向に励起される振動」
 （注 1）大スパン架構であるが、下部に上位クラス施設がないため不要とする。

表 3.1.3-6 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる影響の確認が必要な部位の抽出（6 号炉及び 7 号炉）（3/4）
（3 次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング）

耐震性評価部位		コントロール 建屋	5 号炉原子炉建屋		廃棄物処理建屋			サービス 建屋
			RC 造	上部鉄骨	RC 造	RC 造	上部鉄骨	
				S 造, SRC 造, RC 造			S 造, SRC 造, RC 造	RC 造
柱	一般部	不要	不要	不要	不要	—	不要	不要
	隅部	不要	不要	不要	不要	—	不要	不要
	地下部	不要	不要	—	不要	—	—	不要
梁	一般部	不要	不要	不要（注 1）	不要	—	不要（注 1）	不要
	地下部	不要	不要	—	不要	—	—	不要
	鉄骨トラス	—	—	不要（注 1）	—	—	不要（注 1）	—
壁	一般部	不要	不要	不要	不要	要①-2	不要	不要
	地下部	要①-2	要①-2	—	要①-2	—	—	要①-2
	鉄骨フレーム	—	—	—	—	—	不要	—
床 屋根	一般部	不要	不要	不要（注 1）	不要	不要	不要（注 1）	不要
基礎	矩形	要①-1	要①-1	—	要①-1	—	—	要①-1
	杭基礎	—	—	—	—	—	—	—

- 凡例
- ・要：荷重組み合わせによる応答特性でのスクリーニングで抽出済み
 - ・不要：評価不要
 - ・「①-1」：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中」
 - ・「①-2」：応答特性「面内荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」
 - ・「②-1」：応答特性「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」
 - ・「②-2」：応答特性「加振方向以外の方向に励起される振動」
- （注 1）大スパン架構であるが、下部に上位クラス施設がないため不要とする。

表 3.1.3-6 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる影響の確認が必要な部位の抽出（6 号炉及び 7 号炉）（4/4）
（3 次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング）

耐震性評価部位		5 号炉タービン建屋		5 号炉 サービス 建屋	5 号炉 排気筒	5 号炉 格納容器 圧力逃がし 装置基礎
		RC 造	上部鉄骨 S 造, SRC 造 RC 造			
柱	一般部	不要	不要	不要	—	—
	隅部	不要	不要	不要	要①-1	—
	地下部	不要	—	不要	—	—
梁	一般部	不要	不要（注 1）	不要	②-2	—
	地下部	不要	—	不要	—	—
	鉄骨トラス	—	不要（注 1）	—	—	—
壁	一般部	不要	—	不要	—	不要
	地下部	要①-2	—	要①-2	—	—
	鉄骨フレーム	—	不要	—	②-2	—
床 屋根	一般部	不要	不要（注 1）	不要	—	—
基礎	矩形	要①-1	—	要①-1	要①-1	要①-1
	杭基礎	—	—	—	要①-1	要①-1

凡例 ・ 要：荷重組み合わせによる応答特性でのスクリーニングで抽出済み

・ 不要：評価不要

・ 「①-1」：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中」

・ 「①-2」：応答特性「面内荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

・ 「②-1」：応答特性「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」

・ 「②-2」：応答特性「加振方向以外の方向に励起される振動」

（注 1）大スパン架構であるが、下部に上位クラス施設がないため不要とする。

(5) 3次元的な応答特性が想定される部位の抽出結果

建物・構築物において、3次元的な応答特性が想定されるとして抽出した部位を表3.1.3-7に示す。また、各耐震評価部位の代表評価部位の抽出方法について下記に示す。

- a. 応答特性②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい部位」
梁（一般部・鉄骨トラス）について、下部に上位クラス施設がある、原子炉建屋（6/7号炉）の3次元的な応答特性について精査を行う。
- b. 応答特性②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」
梁（一般部）について、重要設備である非常用ガス処理系用内筒を支持する排気筒（6/7号炉）の3次元的な応答特性について精査を行う。
- c. 局所的な応答
耐震評価部位全般に対して、局所的な応答について精査を行う。精査は、3.1.2（5）3次元解析モデルに基づく精査に基づき、原子炉建屋（6/7号炉）及び原子炉格納容器（6/7号炉）を代表として評価する。

表 3.1.3-7 3次元解析モデルを用いた精査が必要な部位

応答特性	耐震評価部位		対象建物	代表評価部位
②-1	梁	一般部・ 鉄骨トラス	・原子炉建屋（6/7号炉）	鉄骨トラスの下部に上位クラス設備がある，原子炉建屋（6/7号炉）の鉄骨トラスを評価する
②-2	梁	一般部	・排気筒（6/7号炉） ・排気筒（5号炉）	重要設備である非常用ガス処理系用内筒を支持する排気筒の主柱材を評価する。
	壁	鉄骨 ブレース	・排気筒（6/7号炉） ・排気筒（5号炉）	重要設備である非常用ガス処理系用内筒を支持する排気筒の主柱材を評価する。
局所的な応答	耐震評価部位全般		・原子炉建屋（6/7号炉） ・原子炉格納容器（6/7号炉）	施設の重要性，建屋規模及び構造特性を考慮し，原子炉建屋（6/7号炉）及び原子炉格納容器（6/7号炉）を代表として評価する

（注）下線部は代表として評価する建物・構築物を示す。

凡例 ・「②-1」：応答特性「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」

・「②-2」：応答特性「加振方向以外の方向に励起される振動」

※本表は、今後の審査進捗（詳細設計）に応じて見直しを行います。

(6) 3次元解析モデルによる精査の方針

3次元的な応答特性が想定さる部位として抽出した代表評価部位について、3次元FEMモデルによる精査を行う。精査の方針を表3.1.3-8に示す。

3次元FEMモデルを用いた精査方法として、水平2方向及び鉛直方向を同時入力時の応答の、水平1方向入力時の応答に対する増分が小さい事を確認する。評価に用いる地震動については2.2 水平2方向及び鉛直方向地震力による影響評価に用いる地震動に基づき、複数の基準地震動における地震動の特性及び包絡関係と施設の特性による影響も考慮した上で選定し、本影響評価に用いる

表 3.1.3-8 3次元解析モデルを用いた精査の方針

応答特性	耐震評価部位		対象建物	3次元解析モデルを用いた精査方法	3次元解析モデルを用いた精査結果
②-1	梁	一般部・鉄骨トラス	・原子炉建屋 (6/7号炉)	水平2方向及び鉛直方向入力時の応答の、水平1方向入力時の応答に対する増分が小さいことを確認する。	工認の補足説明資料で準備
②-2	梁	一般部	・排気筒 (6/7号炉)	同上	同上
	壁	鉄骨ブレース	・排気筒 (6/7号炉)	同上	同上
局所的な応答	耐震評価部位全般		・原子炉建屋 (6/7号炉) ・原子炉格納容器 (6/7号炉)	同上	同上

凡例 ・「②-1」：応答特性「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」

・「②-2」：応答特性「加振方向以外の方向に励起される振動」

※本表は、今後の審査進捗（詳細設計）に応じて見直しを行います。

3.1.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価部位の抽出結果

建物・構築物において、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定されるとして抽出した部位を表 3.1.4-1 に示す。また、各耐震評価部位の代表評価部位の抽出方法について下記に示す。

(1) 応答特性①-1 「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中する部位」

柱（隅部）について、重要設備である非常用ガス処理系用内筒を支持する排気筒（6/7 号炉）の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。

壁（一般部）について、円筒壁であり直交する水平 2 方向の荷重により応力が集中すると考えられ原子炉格納容器（6/7 号炉）の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。

基礎（矩形・杭基礎）について、対象建物・構築物の中で規模が比較的大きく、重要な設備を多く内包している原子炉建屋基礎（6/7 号炉）の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。また、重要設備である非常用ガス処理系用内筒を支持する排気筒（6/7 号炉）の基礎については、3 次元解析モデルによる精査にて、3 次元的な応答特性を考慮した影響評価を行う。

(2) 応答特性①-2 「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用する部位」

壁（水圧・土圧作用部）について、対象建物・構築物の中で、上部に床などの拘束がなく、面外荷重（水圧）の影響が大きいと考えられる使用済燃料プール（6/7 号炉）の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。

表 3.1.4-1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響の確認が必要な部位

応答特性	耐震評価部位		対象建物・構築物	代表評価部位
①-1	柱	隅部	<ul style="list-style-type: none"> ・排気筒（6/7 号炉） ・排気筒（5 号炉） 	重要設備である非常用ガス処理系用内筒を支持する排気筒の支柱材を代表として評価する。
	壁	一般部	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉格納容器（6/7 号炉） 	円筒壁であり直交する水平 2 方向の荷重により応力が集中するため原子炉格納容器を代表として評価する。
	基礎	矩形・杭基礎	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋（6/7 号炉） ・タービン建屋（6/7 号炉） ・排気筒（6/7 号炉） ・格納容器圧力逃がし装置基礎（5/6/7 号炉） ・コントロール建屋 ・原子炉建屋（5 号炉） ・廃棄物処理建屋 ・サービス建屋（5/6/7 号炉） ・タービン建屋（5 号炉） ・排気筒（5 号炉） 	建物規模が比較的大きく、重要な設備を多く内包している等の留意すべき特徴を有している原子炉建屋の基礎を代表として評価する。また、搭状構造物で重要設備である非常用ガス処理系用内筒を支持する排気筒の基礎を代表として評価する。
①-2	壁	水圧作用部 地下部	<ul style="list-style-type: none"> ・使用済燃料貯蔵プール（6/7 号炉） ・復水貯蔵槽 ・原子炉建屋（6/7 号炉） ・タービン建屋（6/7 号炉） ・コントロール建屋 ・原子炉建屋（5 号炉） ・廃棄物処理建屋 ・サービス建屋（5/6/7 号炉） ・タービン建屋（5 号炉） 	上部に床などの拘束がなく、面外荷重（水圧）が作用する使用済燃料貯蔵プールの壁を評価する。

（注）下線部は代表として評価する建物・構築物を示す。

凡例 ①-1：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」

①-2：応答特性「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

※本表は、今後の審査進捗（詳細設計）に応じて見直しを行います。

3.1.5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価部位として抽出された部位について、基準地震動 S_s を用い、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を評価する。評価にあたっては、従来設計手法による各部位の解析モデル及び鉛直方向地震力の組合せによる評価結果を用いることとする。評価に用いる地震動を表 3.1.5-1 に示す。

また影響評価は、水平 2 方向及び鉛直方向を同時に入力する時刻歴応答解析による評価、または、基準地震動 S_s の各方向地震成分により、個別に計算した最大応答値を用い、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を組み合わせる方法として、米国 REGULATORY GUIDE1.92 の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考に、組み合わせ係数法（1.0 : 0.4 : 0.4）に基づいた評価により実施する。

表 3.1.5-1 評価に用いる地震動

耐震評価部位		対象建物・構築物	評価に用いる地震動
柱	隅部	・排気筒（6/7 号炉）	基準地震動 S_s -1～8 までは用いることを基本とする。 なお、代表波による検討を実施する場合は、従来手法による解析結果の値に対する許容値の割合が最も小さい地震動を選定する。
壁	一般部	・原子炉格納容器（6/7 号炉）	同上
基礎	矩形	・原子炉建屋（6/7 号炉） ・排気筒（6/7 号炉）	同上
壁	水圧作用部	・使用済燃料貯蔵プール（6/7 号炉）	同上

※本表は、今後の審査進捗（詳細設計）に応じて見直しを行います。

3.2 機器・配管系

3.2.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計の考え方

機器・配管系における従来の水平方向及び鉛直方向の組合せによる設計手法では、建物・構築物の振動特性を考慮し、変形するモードが支配的となり応答が大きくなる方向（応答軸方向）に基準地震動を入力して得られる各方向の地震力（床応答）を用いている。

応答軸（強軸・弱軸）が明確となっている設備の耐震評価においては、水平各方向の地震力を包絡し、変形モードが支配的となる応答軸方向に入力するなど、従来評価において保守的な取り扱いを基本としている。

一方、応答軸が明確となっていない設備で 3 次元的な広がりを持つ設備の耐震評価においては、基本的に 3 次元のモデル化を行っており、建物・構築物の応答軸方向の地震力をそれぞれ入力し、この入力により算定される荷重や応力のうち大きい方を用いて評価を実施している。

さらに、応答軸以外の振動モードが生じにくい構造の採用、応答軸以外の振動モードが生じ難いサポート設計の採用といった構造上の配慮など、水平方向の入力に対して配慮した設計としている。

3.2.2 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価方針

機器・配管系において、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した場合に影響を受ける可能性がある設備（部位）の評価を行う。

評価対象は、耐震重要施設、常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設の機器・配管系並びにこれらの施設への波及的影響防止のために耐震評価を実施する設備とする。また、耐震 B クラス設備については共振の恐れのあるものを評価対象とする。

対象とする設備を機種毎に分類し、それぞれの構造上の特徴により荷重の伝達方向、その荷重を受ける構造部材の配置及び構成等により水平 2 方向の地震力による影響を受ける可能性のある設備（部位）を抽出する。

構造上の特徴により影響の可能性のある設備（部位）は、水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響の検討を実施する。水平各方向の地震力が 1 : 1 で入力された場合の発生値を従来の評価結果の荷重又は算出応力等を水平 2 方向及び鉛直方向に整理して組み合わせる又は新たな解析等により高度化した手法を用いる等により、水平 2 方向の地震力による設備（部位）に発生する荷重や応力を算出する。

これらの検討により、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた荷重や応力の結果が従来の発生値と同等である場合は影響がある設備として抽出せず、従来の発生値を超えて耐震性への影響が懸念される場合は、設備が有する耐震性への影響を確認する。

設備が有する耐震性への影響が確認された場合は、詳細な手法を用いた検討等、新たに設計上の対応策を講じる。

水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価は、基準地震動 $S_s - 1 \sim 8$ を対象とするが、複数の基準地震動における地震動の特性及び包絡関係、地震力の包絡関係を確認し、代表可能である場合は代表の基準地震動にて評価する。また、水平各方向の地震動は、それぞれの位相を変えた地震動を用いることを基本とするが、保守的な手法を用いる場合もある。

3.2.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せ影響評価方法

機器・配管系において、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響を受ける可能性があり、水平 1 方向及び鉛直方向の従来評価に加え、更なる設計上の配慮が必要な設備について、構造及び発生値の増分の観点から抽出し、影響を評価する。影響評価は従来設計で用いている質点系モデルによる評価結果を用いて行うことを基本とする。影響評価のフローを第 3.2.3-1 図に示す。

なお、耐震評価は基本的に概ね弾性範囲で留まる体系であることに加え、国内と海外の機器の耐震解析は、基本的に線形モデルにて実施している等類似であり、水平 2 方向及び鉛直方向の位相差は機器の応答にも現れることから、米国 Regulatory Guide1.92 の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of Earthquake」を参考として、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を検討する際は、地震時に水平 2 方向及び鉛直方向それぞれの最大応答が同時に発生する可能性は極めて低いとした考え方である Square-Root-of-the-Sum-of-the-Squares 法（以下「最大応答の非同時性を考慮した SRSS 法」という。）または組合せ係数法（1.0 : 0.4 : 0.4）を適用し、各方向からの地震入力による各方向の応答を組み合わせる。

①評価対象となる設備の整理

耐震重要施設、常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設の機器・配管系並びにこれらの施設への波及的影響防止のために耐震評価を実施する設備を評価対象とし、代表的な機種毎に分類し整理する。（第 3.2.3-1 図①）

②構造上の特徴による抽出

機種毎に構造上の特徴から水平 2 方向の地震力が重複する観点、もしくは応答軸方向以外の振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点にて検討を行い、水平 2 方向の地震力による影響の可能性のある設備を抽出する。（第 3.2.3-1 図②）

③発生値の増分による抽出

水平 2 方向の地震力による影響の可能性のある設備に対して、水平 2 方向の地震力が各方向 1 : 1 で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め、従来の水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した発生値の増分を用いて影響を検討し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出する。

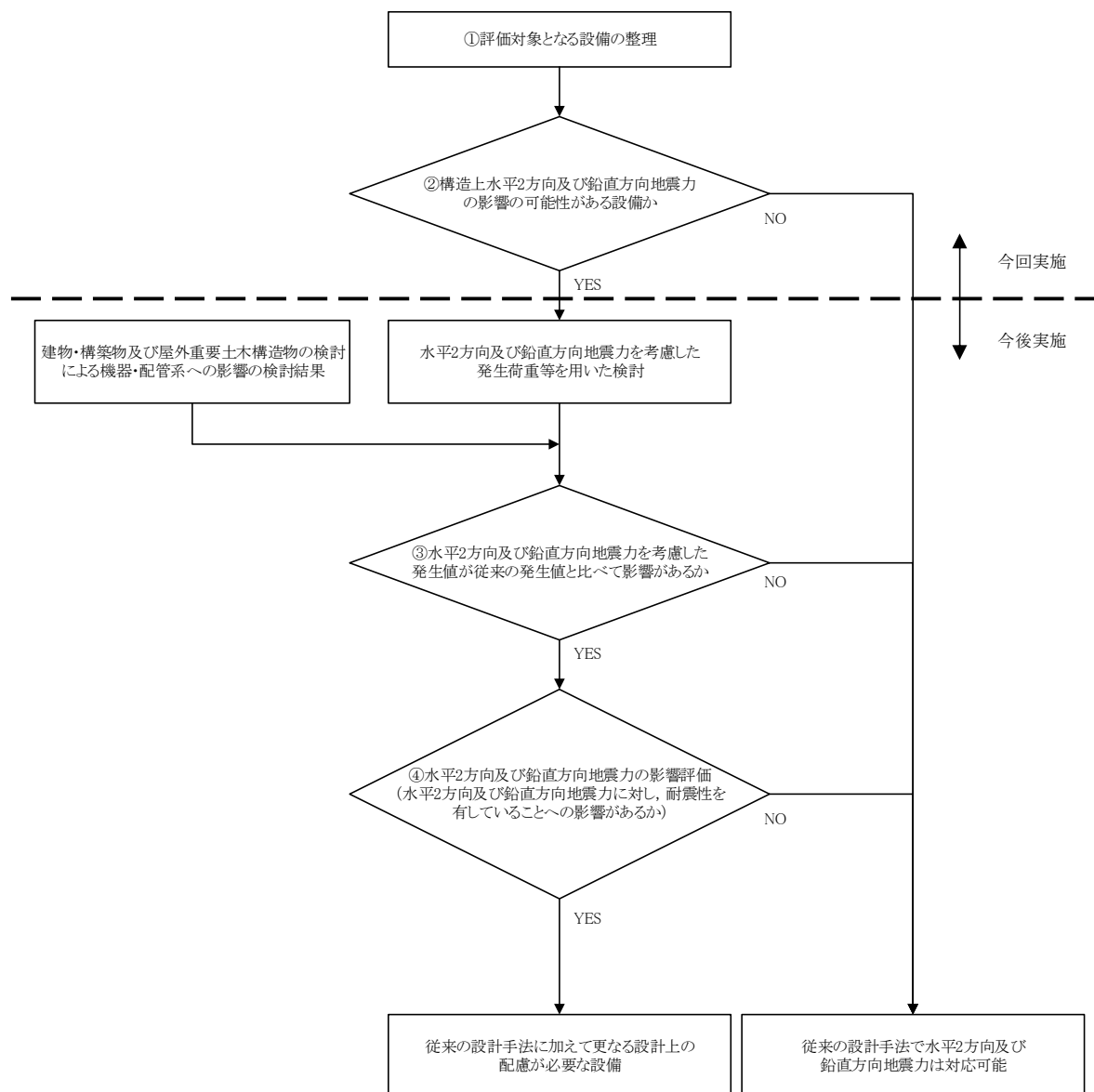
また、建物・構築物及び屋外重要土木構築物の検討により、機器・配管系への影響の可能性のある部位が抽出された場合は、機器・配管系への影響を評価し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出する。

影響の検討は、機種毎の分類に対して地震力の寄与度に配慮し耐震裕度が小さい設備（部位）を対象とする。（第 3.2.3-1 図③）

④水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価

③の検討において算出された荷重や応力を用いて、設備の耐震性への影響を確認する。（第 3.2.3-1 図④）

なお、現時点においては各機器の耐震性に関する詳細検討が完了していないことから、上記①及び②を実施し、今後、詳細検討の進捗に伴い③及び④を実施することとする。



第 3.2.3-1 図 水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した影響評価フロー

3.2.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出

評価対象設備を機種毎に分類した結果を、第 3.2.4-1 表に示す。機種毎に分類した設備の各評価部位、応力分類に対し構造上の特徴から水平 2 方向の地震力による影響を以下の項目により検討し、影響の可能性のある設備を抽出した。

（1）水平 2 方向の地震力が重複する観点

水平 1 方向の地震力に加えて、さらに水平直交方向に地震力が重複した場合、水平 2 方向の地震力による影響を検討し、影響が軽微な設備以外の影響検討が必要となる可能性があるものを抽出する。以下の場合、水平 2 方向の地震力により影響が軽微な設備であると整理した。なお、ここでの影響が軽微な設備とは、構造上の特徴から発生応力への影響に着目し、その増分が 1 割程度以下となる機器を分類しているが、今後の詳細検討において水平 1 方向地震力による裕度（許容応力/発生応力）が 1.1 未満の機器については、個別に安全側となるように最大応答の非同時性を考慮した SRSS 法、組合せ係数法、3 軸時刻歴解析等の手法を用いて水平 2 方向の影響について検討を行うこととする。また、影響の分類基準としている 1 割の増分についても、詳細検討において必要に応じて見直しを検討することとする。

A. 水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、その構造により水平 1 方向の地震力しか負担しないもの

制御棒・破損燃料貯蔵ラックのサポートや横置き等の容器等は、水平 2 方向の地震力を想定した場合、水平 1 方向を拘束する構造であることや水平各方向で振動性状及び荷重の負担断面が異なる構造であることにより、特定の方向の地震力の影響を受ける部位であるため、水平 1 方向の地震力しか負担しないものとして分類した。（別紙 1 参照）

B. 水平 2 方向の地震力を受けた場合、その構造により最大応力の発生箇所が異なるもの

一様断面を有する容器類の胴板等は、水平 2 方向の地震力を想定した場合、それぞれの水平方向地震力に応じて応力が最大となる箇所があることから、最大応力の発生箇所が異なり、水平 2 方向の地震力を組み合わせても影響が軽微であるものとして分類した。その他の設備についても同様の理由から最大応力の発生箇所が異なり、水平 2 方向の地震力を組み合わせても影響が軽微であるものを分類した。（別紙 1 参照）

- C. 水平 2 方向の地震力を組み合わせても水平 1 方向の地震による応力と同等と言えるもの

原子炉圧力容器スタビライザは、周方向 8 箇所を支持する構造で配置されており、水平 1 方向の地震力を 6 体で支持する設計としており、水平 2 方向の地震力を想定した場合、地震力を負担する部位が増え、また、最大反力を受けもつ部位が異なることで、水平 1 方向の地震力による荷重と水平 2 方向の地震力を想定した場合における荷重が同等になるものであり、水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等のものと分類した。その他の設備についても、同様の理由から水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同様のものと分類した。(別紙 1 参照)

- D. 従来評価において、水平 2 方向の考慮をした評価を行っているもの

蒸気乾燥器支持ブラケット等は、従来評価において、水平 2 方向地震を考慮した評価を行っているため、水平 2 方向の影響を考慮済みとして分類した。(別紙 1 参照)

- (2) 水平 2 方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点

水平方向とその直交方向が相関する振動モードが生じることで有意な影響が生じる可能性のある設備を抽出する。

機器・配管系設備のうち、水平方向の各軸方向に対して均等な構造となっている機器は、評価上有意なねじれ振動は発生しない。

一方、3 次元的な広がりを持つ配管系等は、系全体として考えた場合有意なねじれ振動が発生する可能性がある。しかし、水平方向とその直交方向が相関する振動モードが想定される設備は、従来設計より 3 次元のモデル化を行っており、その振動モードは適切に考慮した評価としているため、この観点から抽出される機器は無かった。

3.2.5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果及び今後の評価方針

3.2.4 で抽出した結果を別紙 1 に示す。これらの設備に関して、今後、3.2.3③「発生値の増分による抽出」に記載の方法に従い発生値の増分の観点から評価対象部位の抽出を行った上で、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。また、建築・構造物及び屋外土木重要構造物の検討結果より機器・配管系の耐震性への影響を与えると判断された設備についても同様に発生値の増分の観点から評価対象部位の抽出を行った上で、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。

第 3. 2. 4-1 表 水平 2 方向入力の影響検討対象設備

設備※1		部位	応力分類
炉心支持構造物	炉心シュラウド	上部フランジ	一次一般膜応力
		下部フランジ	一次膜応力+一次曲げ応力
		炉心支持板支持面	支圧応力
	シュラウドサポート	レグ	一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力
			軸圧縮応力
		シリンダプレート 下部胴	一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力
	上部格子板	リム胴板	一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力
		グリッドプレート	一次一般膜応力 一次膜応力+一次曲げ応力
	炉心支持板	補強ビーム 支持板	一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力
	中央燃料支持金具 周辺燃料支持金具	中央燃料支持金具 周辺燃料支持金具	一次一般膜応力 一次膜応力+一次曲げ応力
	制御棒案内管	下部溶接部 長手中央部	一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力
原子炉圧力容器	胴板 下部鏡板	各部位	一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力
			一次+二次応力
			一次+二次+ピーク応力
	制御棒駆動機構ハウジング貫通孔	スタブチューブ ハウジング 下部鏡板リガメント	一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力
			一次+二次応力
			一次+二次+ピーク応力
	原子炉冷却材再循環ポンプ貫通孔 (N1)	各部位	座屈（軸圧縮）
			一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力
			一次+二次応力
			一次+二次+ピーク応力
			座屈（軸圧縮）

※1 本表は、今後の審査進捗（詳細設計）に応じて見直しを行います。

設備※1		部位	応力分類
原子炉圧力容器	ノズル	各部位	一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力
			一次+二次応力
			一次+二次+ピーク応力
			座屈（軸圧縮）
	ブラケット類	原子炉圧力容器スタビライザブラケット	一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力
		蒸気乾燥器支持ブラケット	一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力
		蒸気乾燥器ホールダウンブラケット ガイドロッドブラケット	一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力
		給水スパージャブラケット 低圧注水スパージャブラケット	一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力 純せん断応力
原子炉圧力容器支持構造物	原子炉圧力容器スカート	スカート	一次膜応力+一次曲げ応力
			一次+二次応力
			一次+二次+ピーク応力
			座屈（軸圧縮）
	原子炉圧力容器基礎ボルト	基礎ボルト	一次応力（引張）
			一次応力（せん断）
原子炉圧力容器付属構造物	原子炉圧力容器スタビライザ	ロッド	一次応力（引張）
		ブラケット	一次応力（せん断）
			一次応力（曲げ）
	制御棒駆動機構ハウジングレストレントビーム	プレート	一次応力（せん断）
			一次応力（圧縮）
			一次応力（曲げ）
	原子炉冷却材再循環ポンプモータケーシング	ケーシング	一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力
			一次+二次応力
			一次+二次+ピーク応力
			支圧応力 座屈（軸圧縮）

設備※1		部位	応力分類
原子炉圧力容器内部構造物	蒸気乾燥器ユニット及び蒸気乾燥器ハウジング	ユニットサポート	一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力
		耐震用ブロックせん断面	純せん断応力
		耐震用ブロック支圧面	支圧応力
	気水分離器及びスタンドパイプ シュラウドヘッド 中性子束計測案内管	各部位	一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力
	スパージャ 炉内配管	各部位	一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力
	使用済燃料貯蔵ラック	角管及びプレート シートプレート及びベース	一次応力（引張）
			一次応力（せん断）
			一次応力（組合せ）
		基礎ボルト	一次応力（引張）
			一次応力（せん断）
			一次応力（組合せ）
制御棒・破損燃料貯蔵ラック	ラック部材		一次応力（引張）
			一次応力（せん断）
			一次応力（組合せ）
	サポート部材 サポート部基礎ボルト		一次応力（引張）
			一次応力（せん断）
			一次応力（組合せ）
	底部基礎ボルト		一次応力（引張）
			一次応力（せん断）
			一次応力（組合せ）
原子炉冷却材再循環ポンプ	モータカバー 補助カバー		一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力
			一次+二次応力
			一次+二次+ピーク応力
	スタッドボルト 補助カバー取付ボルト		平均引張応力

設備 ^{※1}	部位	応力分類
主蒸気逃がし安全弁逃がし安全弁機能用アキュムレータ（6号炉） 主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ（6号炉）	Uバンド及びリブ	一次応力（せん断）
		一次応力（曲げ）
		一次応力（組合せ）
	ボルト	一次応力（引張）
		一次応力（せん断）
	支柱（H形鋼）	一次応力（せん断）
		一次応力（曲げ）
		一次応力（組合せ）
主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ（7号炉） 主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ（7号炉）	胴板	一次一般膜応力
		一次膜応力+一次曲げ応力
		一次+二次応力
	脚	一次応力（組合せ）
横置円筒形容器	胴板	一次一般膜応力
		一次膜応力+一次曲げ応力
		一次+二次応力
	脚	一次応力（組合せ）
		一次応力（引張）
		一次応力（せん断）
	基礎ボルト	一次応力（組合せ）
		一次応力（引張）
		一次応力（せん断）
	耐震強化サポート（7号炉のみ）	一次応力（組合せ）
		一次応力（せん断）
立形ポンプ	アンカボルト（7号炉のみ）	一次応力（せん断）
		一次一般膜応力
	コラムパイプ バレルケーシング	一次応力（引張）
		一次応力（せん断）
		一次応力（組合せ）
ECCS ストレーナ	基礎ボルト 取付ボルト	一次応力（引張）
	各部位（ボルト以外）	一次膜応力+一次曲げ応力
横形ポンプ ポンプ駆動用タービン 補機海水ストレーナ 空調ファン 空調ユニット 空気圧縮機	ボルト	一次応力（引張）
		一次応力（せん断）
		一次応力（組合せ）
		一次応力（引張）

設備※1		部位	応力分類
水圧制御ユニット	フレーム		一次応力（引張）
			一次応力（せん断）
			一次応力（圧縮）
			一次応力（曲げ）
			一次応力（組合せ）
	取付ボルト		一次応力（引張）
			一次応力（せん断）
			一次応力（組合せ）
平底たて置円筒容器	胴板		一次一般膜応力
			一次+二次応力
	基礎ボルト		一次応力（引張）
			一次応力（せん断）
			一次応力（組合せ）
核計装設備	各部位		一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力
伝送器（矩形壁掛）	取付ボルト		一次応力（引張）
			一次応力（せん断）
			一次応力（組合せ）
伝送器（円形壁掛）	取付ボルト		一次応力（引張）
伝送器（円形吊下）	取付ボルト		一次応力（引張）
制御盤	取付ボルト		一次応力（引張）
			一次応力（せん断）
			一次応力（組合せ）
原子炉格納容器	原子炉格納容器ライナ部	ライナプレート	圧縮ひずみ
			引張ひずみ
		ライナアンカ ライナアンカ	荷重
			変位
	ドライウェル上鏡	上鏡球殻部とナックル部の結合部 上鏡円筒部とフランジプレートとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力
			一次+二次応力
		フランジプレート	せん断
			曲げ
		ガセットプレート	せん断
		コンクリート部	圧縮

設備 ^{※1}		部位	応力分類
原子炉格納容器	下部ドライウエルアクセストンネルスリーブ及び鏡板（機器搬入用ハッチ付） 下部ドライウエルアクセストンネルスリーブ及び鏡板（所員用エアロック付）	鏡板 鏡板のスリーブとの取付部 スリーブのフランジプレートとの取付部	一次膜応力+一次曲げ応力 一次+二次応力
		フランジプレート	せん断 曲げ
		ガセットプレート	せん断
		コンクリート部	圧縮
	クエンチャサポート基礎	ベースプレート	引張
		下部サポートパイプ (7号炉のみ)	せん断 圧縮
		ガセットプレート ベアリングプレート	せん断 曲げ
		基礎ボルト	引張
		コンクリート	圧縮 基礎ボルト引張荷重
	下部ドライウエルアクセストンネル	各部位	組合せ
	上部ドライウエル機器搬入用ハッチ サブプレッションチェンバ出入口 上部ドライウエル所員用エアロック	胴板 胴板のフランジプレートとの結合部	一次一般膜応力 一次膜応力+一次曲げ応力 一次+二次応力
		フランジプレート	せん断 曲げ
		ガセットプレート	せん断
		コンクリート部	圧縮
	下部ドライウエル機器搬入用ハッチ 下部ドライウエル所員用エアロック	胴板	一次一般膜応力 一次膜応力+一次曲げ応力 一次+二次応力
		胴板と鏡板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力 一次+二次応力
	原子炉格納容器配管貫通部	スリーブ スリーブのフランジプレートとの取付部 端板	一次一般膜応力 一次膜応力+一次曲げ応力 一次+二次応力
		フランジプレート	せん断 曲げ
		ガセットプレート	せん断
		コンクリート部	圧縮

設備※1		部位	応力分類
原子炉格納容器	原子炉格納容器電気配線貫通部	スリーブ スリーブのフランジプレートとの取付部	一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力
			一次+二次応力
		フランジプレート	せん断
			曲げ
		ガセットプレート	せん断
ダイヤフラムフロア		鉄筋コンクリートスラブ	引張
			せん断
			圧縮
		鉄筋コンクリート製原子炉格納容器接合部（地震時水平力伝達用シアプレート） 原子炉本体基礎接合部（地震時水平力伝達用シアプレート）	せん断
			曲げ
		原子炉本体基礎接合部（半径方向水平力伝達用頭付きスタッド）	せん断
ベント管		垂直管支持部 水平吐出管の垂直管との結合部 水平吐出管支持部 リターンラインの垂直管との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力
			一次+二次応力
ドライウェルスプレイ管 サプレッションチェンバースプレイ管		スプレイ管 スプレイ管とスプレイ管案内管との接続部 スプレイ管案内管	一次膜応力+一次曲げ応力
			一次+二次応力
可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ		ブレース	一次応力（圧縮）
		ベース取付溶接部	一次応力（引張）
			一次応力（せん断）
		基礎ボルト 取付ボルト	一次応力（引張）
			一次応力（せん断）
			一次応力（組合せ）
非常用ディーゼル発電機		基礎ボルト 取付ボルト	一次応力（引張）
			一次応力（せん断）
			一次応力（組合せ）

設備※1	部位	応力分類
スカート支持たて置円筒形容器	胴板	一次一般膜応力
		一次+二次応力
	スカート	一次応力（組合せ）
		一次+二次応力（座屈）
	基礎ボルト	一次応力（引張）
		一次応力（せん断）
		一次応力（組合せ）
その他電源設備	取付ボルト	一次応力（引張）
		一次応力（せん断）
		一次応力（組合せ）
配管本体，サポート（多質点梁モデル解析）	配管，サポート	一次応力
		一次+二次応力
矩形構造の架構設備（静的触媒式水素再結合装置，架台を含む）	各部位	各応力分類
ガスタービン発電機	転倒評価	応答変位
	取付ボルト	一次応力（引張）
		一次応力（せん断）
		一次応力（組合せ）
通信連絡設備（アンテナ類）	ボルト	一次応力（引張）
		一次応力（せん断）
		一次応力（組合せ）
取水槽水位計	取付ボルト	一次応力（引張）
		一次応力（せん断）
		一次応力（組合せ）
監視カメラ	据付ボルト	一次応力（引張）
		一次応力（せん断）
		一次応力（組合せ）
	据付部材	一次応力（組合せ）
貫通部止水処置	シール材	シール材に生じる変位
浸水防止ダクト	各部位	各応力分類
床ドレンライン浸水防止治具	各部位	各応力分類
原子炉ウェル遮へいプラグ	本体	せん断応力度

設備※1		部位	応力分類
原子炉圧力容器支持構造	原子炉本体の基礎	円筒部(内筒)	せん断
		円筒部(外筒)	組合せ
		円筒部(たてリブ)	せん断
			組合せ
		アンカボルト	引張
		コンクリート	基礎ボルトの引張荷重
		ベアリングプレート	曲げ
		ブラケット部	せん断
燃料取替機			曲げ
		燃料取替機構造物フレーム	一次応力（せん断）
		ブリッジ脱線防止ラグ（本体）	一次応力（曲げ）
		トロリ脱線防止ラグ（本体）	一次応力（組合せ）
		走行レール	
		横行レール	一次応力（せん断）
		ブリッジ脱線防止ラグ（取付ボルト）	
原子炉建屋クレーン		トロリ脱線防止ラグ（取付ボルト）	一次応力（せん断）
		吊具	
		吊具	吊具荷重
		クレーン本体ガード	一次応力（せん断）
			一次応力（曲げ）
			浮上り量
		脱線防止ラグ	一次応力（圧縮）
		トロリストoppa	一次応力（せん断）
			一次応力（曲げ）
			一次応力（組合せ）
原子炉遮蔽壁		トロリ	浮上り量
			吊具荷重
		一般胴部 開口集中部	せん断
			圧縮
			曲げ
			組合せ

3.3 屋外重要土木構造物

3.3.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計の考え方

屋外重要土木構造物における従来設計手法の考え方について、取水路を例に表 3.3.1-1 に示す。一般的な地上構造物では、躯体の慣性力が主たる荷重であるのに対し、屋外重要土木構造物は概ね地中に埋設されているため、動土圧や動水圧等の外力が主たる荷重となる。また、屋外重要土木構造物は、比較的単純な構造部材の配置で構成され、ほぼ同一の断面が奥行き方向に連続する構造的特徴を有することから、3 次元的な応答の影響は小さいため、2 次元断面での耐震評価を行っている。

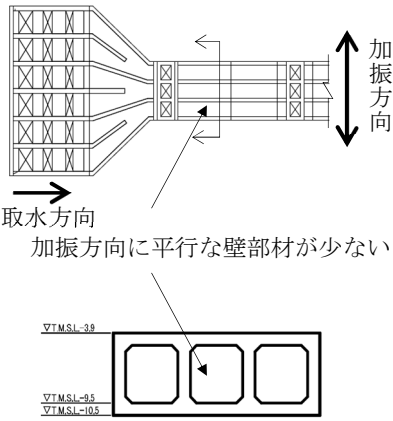
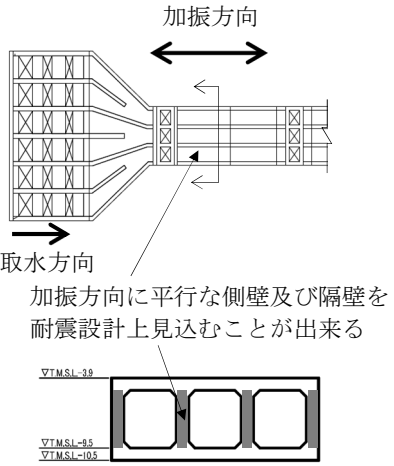
屋外重要土木構造物は、主に海水の通水機能や配管等の間接支持機能を維持するため、通水方向や管軸方向に対して空間を保持できるように構造部材が配置されることから、構造上の特徴として、明確な弱軸、強軸を有する。

強軸方向の地震時挙動は、弱軸方向に対して顕著な影響を及ぼさないことから、従来設計手法では、弱軸方向を評価対象断面として、耐震設計上求められる水平 1 方向及び鉛直方向地震力による耐震評価を実施している。

図 3.3.1-1 に示すとおり、従来設計手法では、屋外重要土木構造物の構造上の特徴から、弱軸方向の地震荷重に対して、保守的に加振方向に平行な壁部材を見込まず、垂直に配置された構造部材のみで受け持つよう設計している。

屋外重要土木構造物のうち軽油タンク基礎は、海水の通水機能や配管等の間接支持機能を有する構造物と比較して、強軸及び弱軸が明確ではないことから、従来設計では、長軸方向及び短軸方向ともに評価対象断面として、耐震設計上求められる水平 1 方向及び鉛直方向地震力による耐震評価を実施している。

表 3. 3. 1-1 従来設計における評価対象断面の考え方（取水路の例）

	横断方向の加振	縦断方向の加振
従来設計 の評価対象断面の 考え方	 <p>取水方向 加振方向に平行な壁部材が少ない</p> <p>⇒弱軸方向を評価対象断面とする</p>	 <p>加振方向 取水方向 加振方向に平行な側壁及び隔壁を耐震設計上見込むことが出来る</p> <p>⇒強軸方向</p>

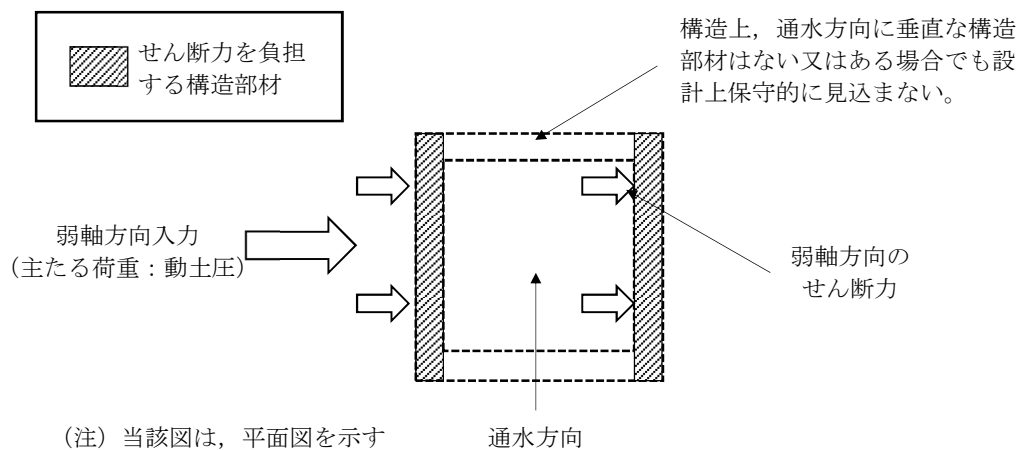


図 3. 3. 1-1 従来設計手法の考え方

3.3.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針

屋外重要土木構造物において、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した場合に影響を受ける可能性がある構造物の評価を行う。

評価対象は、軽油タンク基礎、燃料移送系配管ダクト、海水貯留堰、スクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路及び波及的影響防止のために耐震評価を実施する土木構造物（取水護岸、燃料移送ポンプエリア竜巻防護壁）とする。また、常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設の間接支持構造物のうち第一ガスタービン発電機基礎及び第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎も本評価では屋外重要土木構造物として扱うこととし、評価対象に含める。

屋外重要土木構造物を構造形式毎に分類し、構造形式毎に作用すると考えられる荷重を整理し、荷重が作用する構造部材の配置等から水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響を受ける可能性のある構造物を抽出する。

抽出された構造物については、従来設計手法での評価対象断面（弱軸方向）の地震応答解析に基づく構造部材の照査において、評価対象断面（弱軸方向）に直交する断面（強軸方向）の地震応答解析に基づく構造部材の発生応力等を適切に組み合わせることで、水平 2 方向及び鉛直方向地震力による構造部材の発生応力を算出し、構造物が有する耐震性への影響を確認する。

構造物が有する耐震性への影響が確認された場合は詳細な手法を用いた検討等、新たに設計上の対応策を講じる。

3.3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方法

屋外重要土木構造物において、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響を受ける可能性があり、水平1方向及び鉛直方向の従来評価に加え、更なる設計上の配慮が必要な構造物について、構造形式及び作用荷重の観点から影響評価の対象とする構造物を抽出し、構造物が有する耐震性への影響を評価する。影響評価のフローを図3.3.3-1に示す。

(1) 影響評価対象構造物の抽出

① 構造形式の分類

屋外重要土木構造物について、各構造物の構造上の特徴や従来設計手法の考え方を踏まえ、構造形式毎に大別する。

② 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の整理

従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重を抽出する。

③ 荷重の組合せによる応答特性が想定される構造物形式の抽出

②で整理した荷重に対して、構造形式毎にどのように作用するかを整理し、耐震性を与える影響程度を検討した上で、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される構造形式を抽出する。

④ 従来設計手法における評価対象断面以外の3次元的な応答特性が想定される箇所の抽出

③で抽出されなかった構造形式について、従来設計手法における評価対象断面以外の箇所で、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響により3次元的な応答が想定される箇所を抽出する。

⑤ 従来設計手法の妥当性の確認

④で抽出された箇所が、水平2方向及び鉛直方向地震力に対して、従来設計手法における評価対象断面の耐震評価で満足できるか検討を行う。

(2) 影響評価手法

⑥ 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価

評価対象として抽出された構造物について、従来設計手法での評価対象断面（弱軸方向）の地震応答解析に基づく構造部材の照査において、評価対象断面（弱軸方向）に直交する断面（強軸方向）の地震応答解析に基づく構造部材の発生応力等を適切に組合せることで、構造部材の設計上の許容値に対する評価を実施し、構造部材が有する耐震性への影響を確認する。

評価対象部位については、屋外重要土木構造物が明確な弱軸・強軸を示し、地震時における構造物のせん断変形方向が明確であることを考慮し、従来設計手法における評価対象断面（弱軸方向）における構造部材の耐震評価結果及び水平 2 方向の影響の程度を踏まえて選定する。

⑦ 機器・配管系への影響検討

③及び⑤にて、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響が確認された構造物が、耐震重要施設、常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設の機器・配管系の間接支持構造物である場合には、機器・配管系に対して、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響を確認する。

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響が確認された場合、機器・配管系の影響評価に反映する。

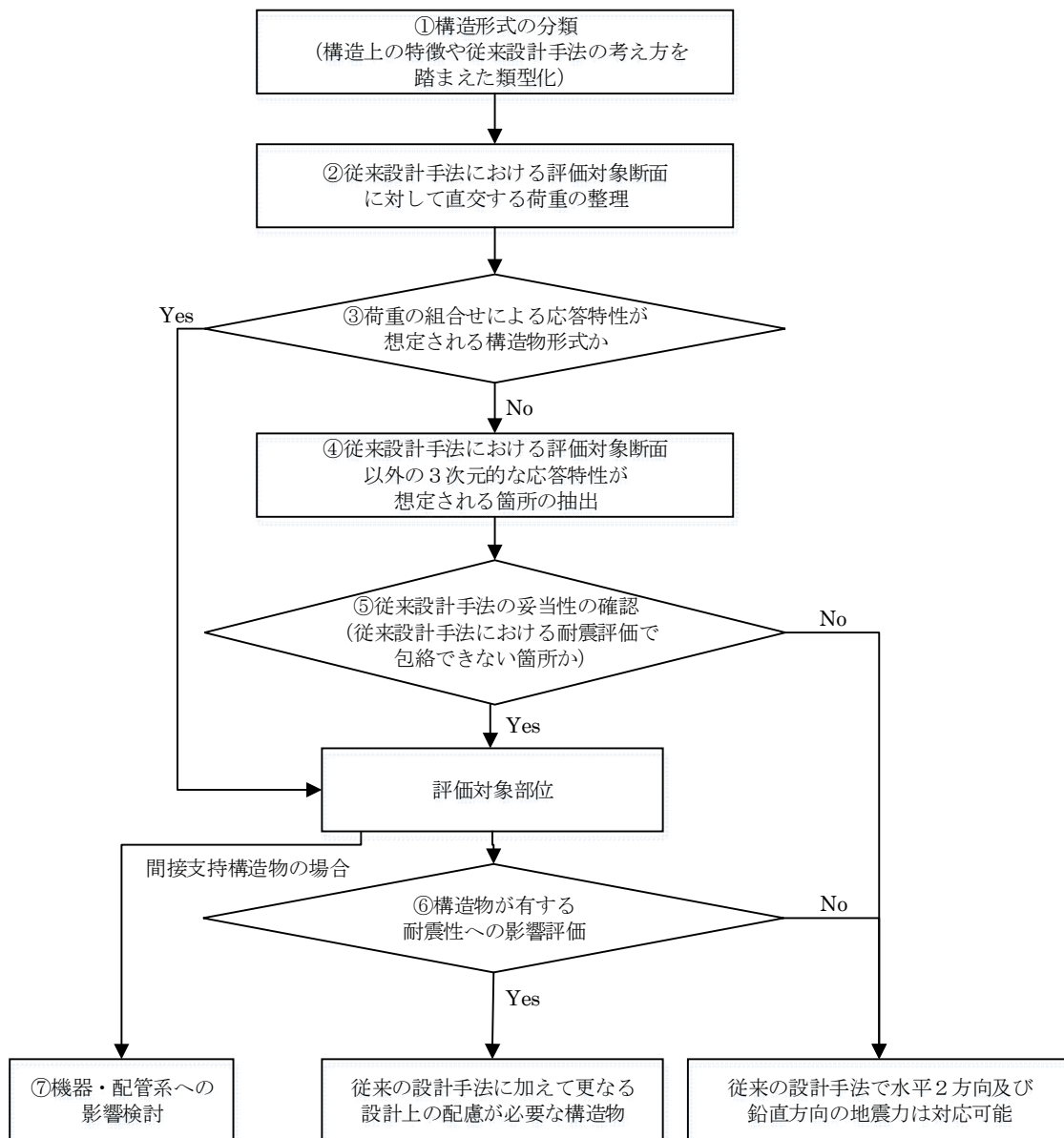


図 3. 3. 3-1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価のフロー

3.3.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出

(1) 構造形式の分類

図 3.3.4-1 に屋外重要土木構造物の配置図を示す。屋外重要土木構造物は、その構造形式より①燃料移送系配管ダクト、海水貯留堰、スクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路のような同一断面が連続する線状構造物、②軽油タンク基礎、第一ガスタービン発電機基礎、第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎のような基礎構造物、③取水護岸のような護岸構造物、④燃料移送ポンプエリア竜巻防護壁のような壁構造物の4つの構造形式に大別される。

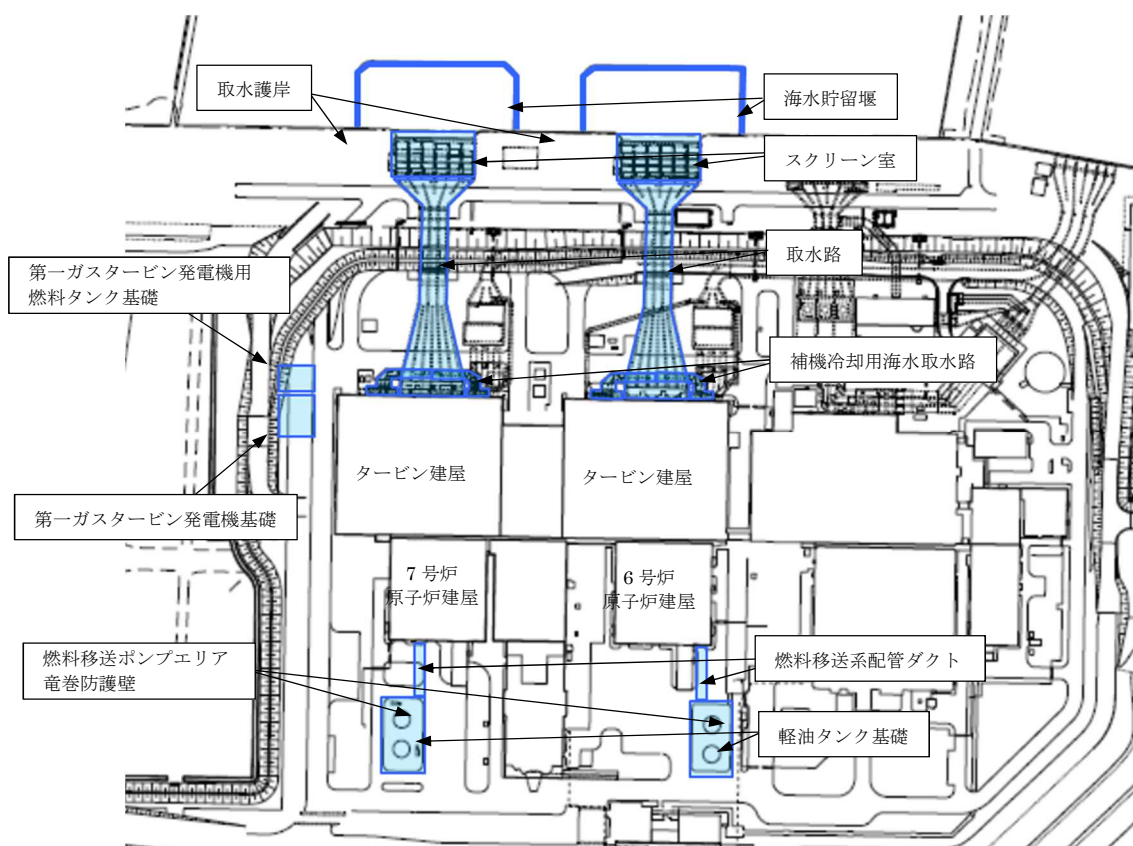


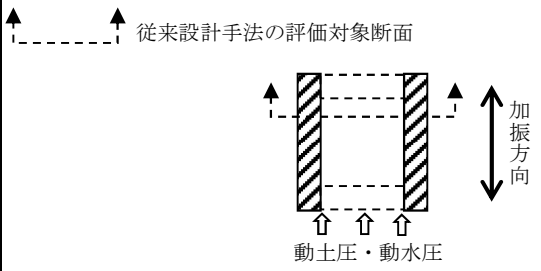
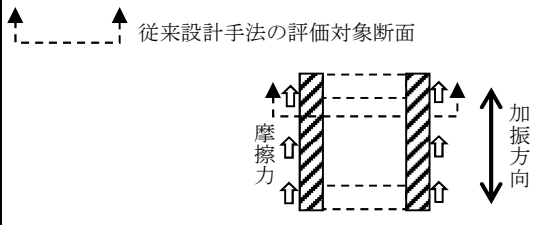
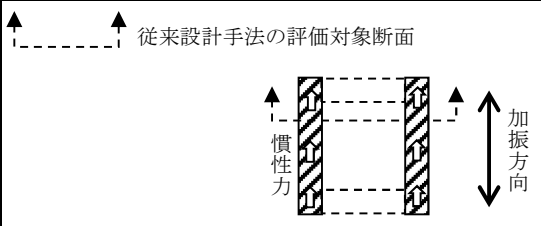
図 3.3.4-1 屋外重要土木構造物配置図

(2) 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の整理

表 3.3.4-1 に、従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重を示す。

従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重として、動土圧及び動水圧、摩擦力、慣性力が挙げられる。

表 3.3.4-1 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重

作用荷重		作用荷重のイメージ
①動土圧及び動水圧	従来設計手法における評価対象断面に対して、平行に配置される構造部材に作用する動土圧及び動水圧	 <p>従来設計手法の評価対象断面</p> <p>加振方向</p> <p>動土圧・動水圧</p>
②摩擦力	周辺の埋戻土と躯体間で生じる相対変位に伴い発生する摩擦力	 <p>従来設計手法の評価対象断面</p> <p>加振方向</p> <p>摩擦力</p>
③慣性力	躯体に作用する慣性力	 <p>従来設計手法の評価対象断面</p> <p>加振方向</p> <p>慣性力</p>

(注) 作用荷重のイメージ図は平面図を示す

(3) 荷重の組合せによる応答特性が想定される構造形式の抽出

表 3.3.4-2 に 3.3.4(1) で整理した構造形式毎に 3.3.4(2) で整理した荷重作用による影響程度を示す。

屋外重要土木構造物の地震時の挙動は、屋外重要土木構造物が概ね地中に埋設されることから、周辺地盤の挙動に大きく影響される。②や③は、①と比較するとその影響は小さいことから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響検討の対象とする構造物の抽出では、①による影響を考慮する。

線状構造物、護岸構造物及び壁構造物については、その構造上の特徴として、大部分は従来設計手法における評価対象断面に対して直交する①は作用しないが、取水路及び補機冷却用海水取水路の一部には水路上部に点検用立坑が存在するとともに、スクリーン室及び補機冷却用海水取水路には妻壁部が存在する。当該箇所には立坑及び妻壁を介して評価対象断面に対して直交する①が作用する。

基礎構造物は、従来評価手法における評価対象断面に対して直交する①とタンク等の機器重量に起因する③が作用する。

以上のことから、荷重の組合せによる応答特性が想定される構造形式として、従来評価手法における評価対象断面に対して直交する①が作用する取水路立坑部及び妻壁部と、①と③が作用する基礎構造物を抽出する。

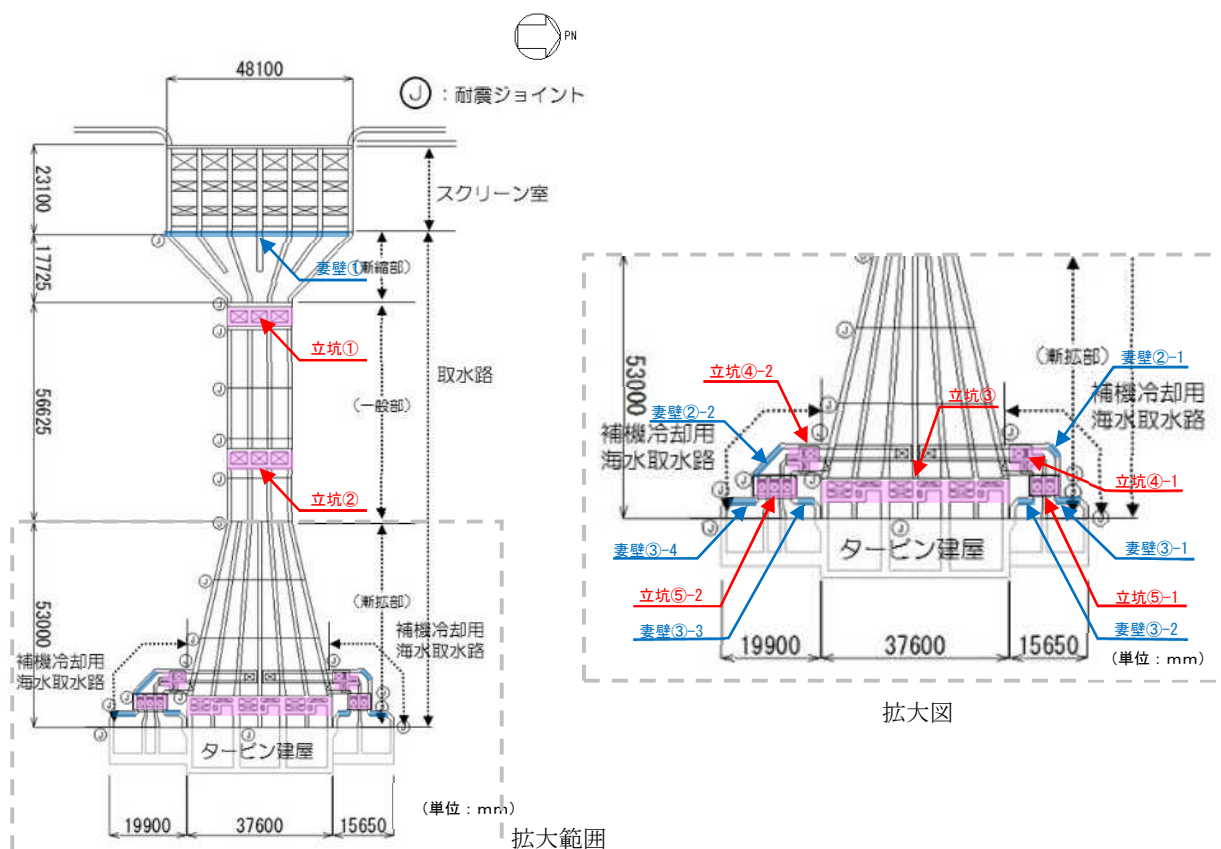


図 3.3.4-2 7号炉スクリーン室，取水路，補機冷却用海水取水路平面図

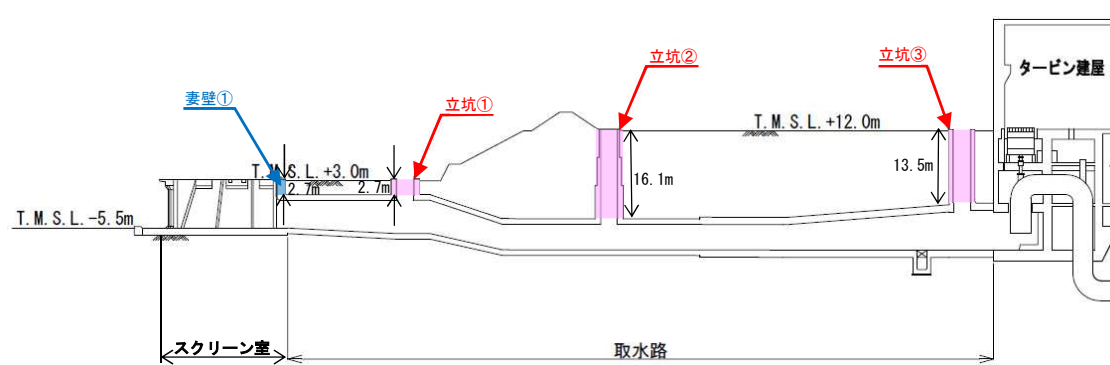


図 3.3.4-3 7号炉スクリーン室，取水路縦断図

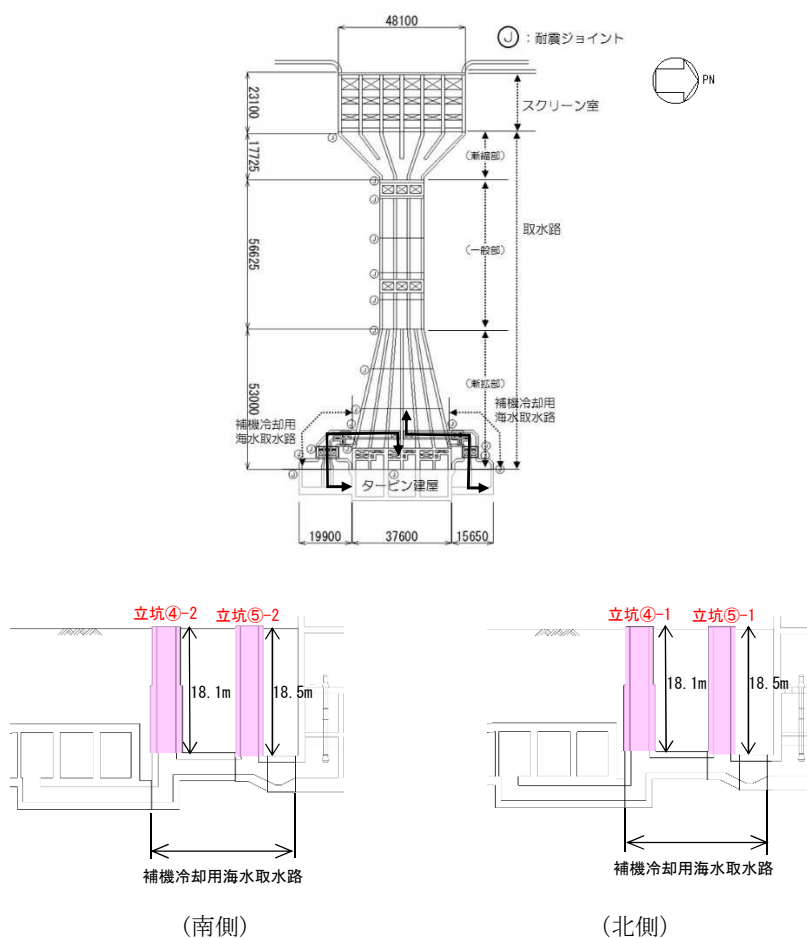
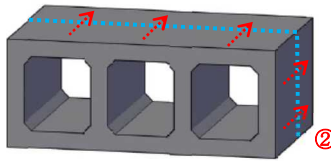
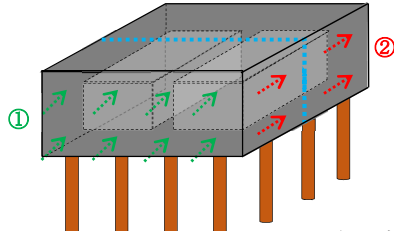


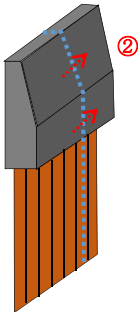
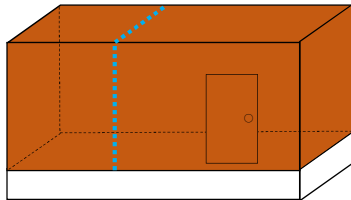
図 3.3.4-4 7号炉補機冷却用海水取水路縦断図

表 3.3.4-2 (1/2) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出

3.3.4(1)で整理した構造形式の分類 (対象構造物)	①線状構造物 (燃料移送系配管ダクト, 海水貯留堰, スクリーン室, 取水路, 補機冷却用海水取水路)		②基礎構造物 (軽油タンク基礎, 第一ガスタービン発電機基礎, 第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎)	
3.3.4(2)で整理した荷重の作用状況	<p>..... 従来設計手法での評価対象断面</p>  <p>(注) ③慣性力は全ての部材に作用</p>		<p>..... 従来設計手法での評価対象断面</p>  <p>※短辺方向加振時の例</p> <p>(注) ③慣性力は全ての部材に作用</p>	
	①動土圧及び動水圧	作用しない	①動土圧及び動水圧	従来設計手法における評価対象断面に対して平行する側面に作用
	②摩擦力	側壁, 頂版に作用	②摩擦力	従来設計手法における評価対象断面に対して直交する側面に作用
	③慣性力	全ての部材に作用	③慣性力	全ての部材に作用
従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の影響程度	<p>(一般部) 従来設計手法における評価対象断面に対して平行に配置される構造部材を有さず, ①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響小。 (立坑部, 妻壁部) 取水路及び補機冷却用海水取水路の一部には水路上部に点検用立坑が存在するとともに, スクリーン室及び補機冷却用海水取水路には妻壁部が存在する。立坑及び妻壁を介して①動土圧及び動水圧による荷重が作用するため影響大。</p>		<p>従来設計手法における評価対象断面に対して平行する側面に, ①動土圧及び動水圧による荷重が, 底面にタンク等の機器重量に起因する③慣性力が作用するため影響大。</p>	
抽出結果	一般部: × 立坑部: ○ 妻壁部: ○		○	

(○: 影響検討実施)

表 3.3.4-2 (2/2) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出

3. 3. 4(1)で整理した構造形式の分類 (対象構造物)	③護岸構造物 (取水護岸)		④壁構造物 (燃料移送ポンプエリア竜巻防護壁)	
3. 3. 4(2)で整理した荷重の作用状況	<p>..... 従来設計手法での評価対象断面</p> 		<p>..... 従来設計手法での評価対象断面</p> 	
	(注) ③慣性力は全ての部材に作用		(注) ③慣性力は全ての部材に作用	
	①動土圧及び動水圧	作用しない	①動土圧及び動水圧	作用しない
	②摩擦力	上部工背面に作用	②摩擦力	作用しない
	③慣性力	全ての部材に作用	③慣性力	全ての部材に作用
従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の影響程度	従来設計手法における評価対象断面に対して平行に配置される構造部材を有さず、①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響小。		従来設計手法における評価対象断面に対して平行に配置される構造部材を有するが、地上構造物であり①動土圧及び動水圧ならびに②摩擦力による荷重が作用しないため影響小。	
抽出結果	×		×	

(4) 従来設計手法における評価対象断面以外の 3 次元的な応答特性が想定される箇所の抽出

線状構造物として大別した補機冷却用海水取水路は、構造物の配置上、屈曲部を有する。線状構造物の屈曲部では、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響として、弱軸方向のせん断変形や強軸方向の曲げ変形への影響が想定される。

以上のことから、補機冷却用海水取水路の屈曲部について水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を検討する。

(5) 従来設計手法の妥当性の確認

補機冷却用海水取水路の従来設計では、図 3.3.4-5 に示すとおり、屈曲部（妻壁②）における 3 次元的な拘束効果（評価対象断面のせん断変形を抑制する箇所や構造部材）を期待せず、評価対象断面に直交する部材のみで荷重を受け持たせる設計であり、十分に保守的な評価となっている。また、補機冷却用海水取水路はマンメイドロックを介して岩盤に直接設置されており、躯体が底版で拘束されていることから、屈曲部における強軸方向の曲げの影響はない。

以上のことから、補機冷却用海水取水路における屈曲部での水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は、従来設計手法における評価対象断面での耐震評価で担保される。

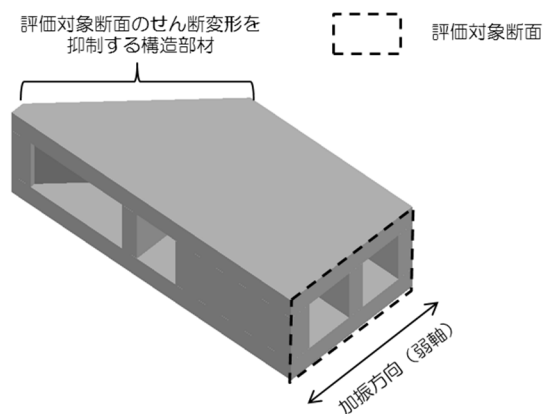


図 3.3.4-5 屈曲部における 3 次元的な拘束効果

(6) 構造物が有する耐震性への影響評価（評価対象部位の抽出）

3.3.4(3)の検討を踏まえ、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響検討すべき構造物として、構造及び作用荷重の観点から、従来評価における評価対象断面に対して垂直な荷重が作用する線状構造物の立坑部及び妻壁部と基礎構造物を対象とする。

a. 立坑部

スクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路の立坑部は、水路上部に複数箇所存在（立坑①～⑤）する。このうち、従来評価における評価対象断面に対して垂直な荷重として支配的な動土圧及び動水圧を受ける立坑の高さに着目すると、表 3.3.4-3 に示すとおり、立坑②～⑤と比較し、立坑①は高さが低い。

表 3.3.4-3 立坑の高さ

立坑	高さ (m)
①	2.7
②	16.1
③	13.5
④-1, 2	18.1
⑤-1, 2	18.5

立坑②～⑤は、立坑の高さ（土被り厚さ）に大きな差が無いことから、動土圧の主要因である地盤変位に着目し、立坑の水路接続位置と地表面間の地盤の最大相対水平変位を比較する。

地盤変位は、液状化の影響を考慮するために二次元有効応力解析（解析コード「FLIP Ver. 7.2.3_5」）により算定する。図 3.3.4-6 の解析モデルに示す通り、解析断面は 6 号炉の汀線直交断面とし、タービン建屋及び地盤をモデル化している。地盤の物性値は、「柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉 液状化影響の検討方針について（H28.9.8 第 398 回審査会合、資料 1-1）」の検討方針に基づく。液状化の評価対象として取り扱う埋戻土層、及び洪積砂質土層Ⅰ、Ⅱ(0-1)の有効応力解析に用いる液状化パラメーターは、液状化試験結果に基づき、地盤のばらつき等を考慮し、保守的に設定した。なお、地盤変位の算定方法は、「柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉津波による損傷の防止について、添付資料 2 地震時の地形等の変化による津波遡上経路への影響について（H29.1.11, KK67-0094 改 09）」に示す通りである。

地盤変位の算定結果を表 3.3.4-4 に示す。地盤の最大相対水平変位は、立坑③～⑤と比較し、立坑②が大きいことから、立坑の評価は立坑②を代表させて水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を実施する。

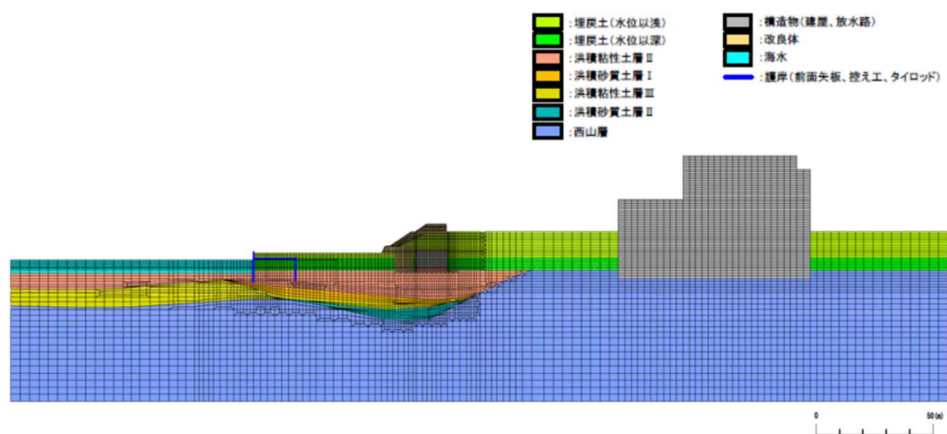


図 3.3.4-6 地盤変位解析モデル図

※解析モデルでは、取水路構造物をモデル化していないことから、立坑位置の地盤変位を抽出

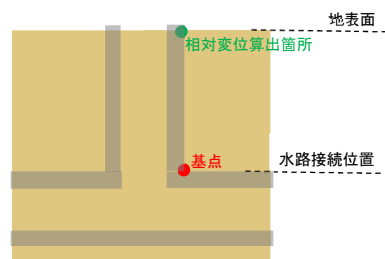


図 3.3.4-7 地盤変位算定の概要

表 3.3.4-4 立坑部の地盤変位

地震動	地盤の最大相対水平変位 (m)			
	立坑②	立坑③	立坑④-1, 2	立坑⑤-1, 2
SS-1	0.595	0.233	0.361	0.269
SS-3	0.586	0.236	0.370	0.272
SS-7	0.827	0.448	0.612	0.514

b. 妻壁部

スクリーン室、補機冷却用海水取水路には、スクリーン室の妻壁①と補機冷却用海水取水路の妻壁②、③が存在する。補機冷却用海水取水路の妻壁②については、3.3.4(5)に示した通り、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は、従来設計手法における評価対象断面での耐震評価で担保されるため、評価対象から除く。

妻壁①、③について、表 3.3.4-5 に示す通り、妻壁①と比較し妻壁③は設置位置が深く、妻壁部に作用する動土圧及び動水圧の影響が大きいことから、妻壁③を選定する。

4 箇所存在する妻壁③は、設置位置及び妻壁の内法高さが同じであり、動土圧及び動水圧の影響に大きな差は無いと考えられることから、「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説―許容応力度設計法―（日本建築学会，1999）」（以下、「RC 規準」とする。）を参考に壁部材の耐力に着目し代表を選定する。RC 規準における壁部材のコンクリートの許容水平せん断力算定式を図 3.3.4-9 に示す。表 3.3.4-6 に示す通り、妻壁③-1～4 は、壁部材の厚さが同じであり、壁の幅が最も小さい妻壁③-2 が最も許容水平せん断力が小さくなることから、妻壁③-2 を代表として水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を実施する。

表 3.3.4-5 妻壁の設置深さ※

妻壁	深さ (m)
①	2.5
③-1	22.5
③-2	22.5
③-3	22.5
③-4	22.5

※地表面～妻壁下端の高さ

水平荷重を受ける耐震壁のコンクリートの許容水平せん断力 Q_A は(1)式による。

$$Q_A = r t l f_s \dots \dots \dots (1)$$

ただし、 r ：開口に対する低減率で、(2)式の r_1 と r_2 のうちいずれか小さい方による。

$$\left. \begin{aligned} r_1 &= 1 - \frac{l_0}{l} \\ r_2 &= 1 - \sqrt{\frac{h_0 l_0}{h l l}} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (2)$$

$$\left(\text{適用範囲 } \sqrt{\frac{h_0 l_0}{h l l}} \leq 0.4 \right)$$

- 記号 t : 壁板の厚さ
 l : 壁板周辺の柱中心間距離
 h : 壁板中心の梁中心間距離
 l_0 : 開口部の長さ
 h_0 : 開口部の高さ
 l' : 壁板の内法長さ
 h' : 壁板の内法高さ
 f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度

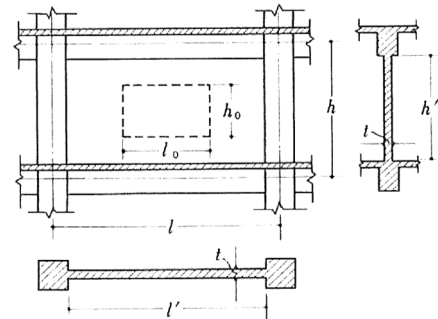
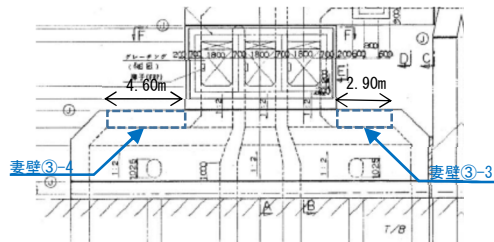
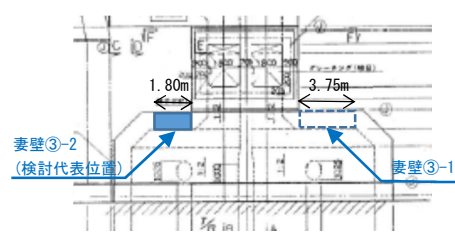


図 3.3.4-9 壁部材のコンクリートの許容水平せん断力の算定式



(補機冷却用海水取水路南側平面図)



(補機冷却用海水取水路北側平面図)

図 3.3.4-10 補機冷却用海水取水路平面図

表 3.3.4-6 補機冷却用海水取水路妻壁部の構造諸元

妻壁	厚さ (m)	幅 (m)
③-1	1.03	3.75
③-2	1.03	1.80
③-3	1.03	2.90
③-4	1.03	4.60

c. 基礎構造物

基礎構造物である第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎は、動土圧及び動水圧を受ける部位である基礎側面の高さが軽油タンク基礎および第一ガスタービン発電機基礎の側面高さに比べて大きいため、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響は大きいと考えられる。従って、基礎構造物の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価は、第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎に代表させて実施する。

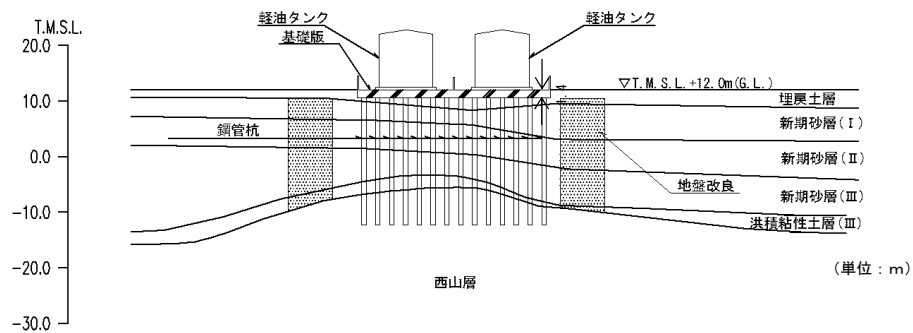


図 3.3.4-9 7号炉軽油タンク基礎断面図 (EW 断面)

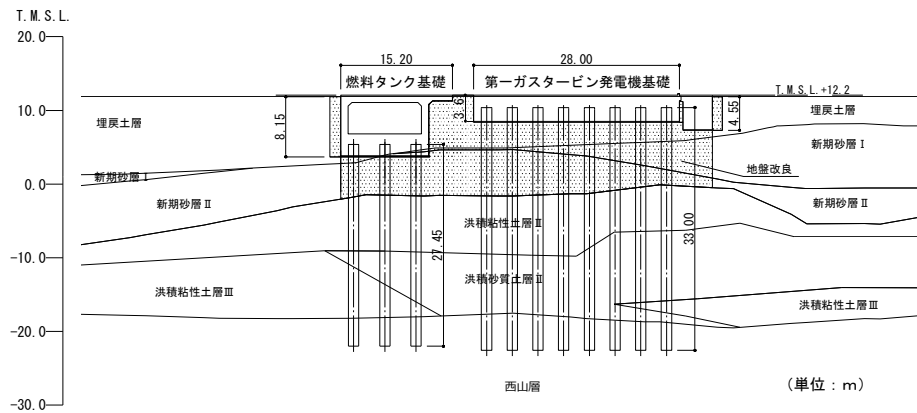


図 3.3.4-10 第一ガスタービン発電機基礎及び燃料タンク基礎断面図 (EW 断面)

3.3.5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果

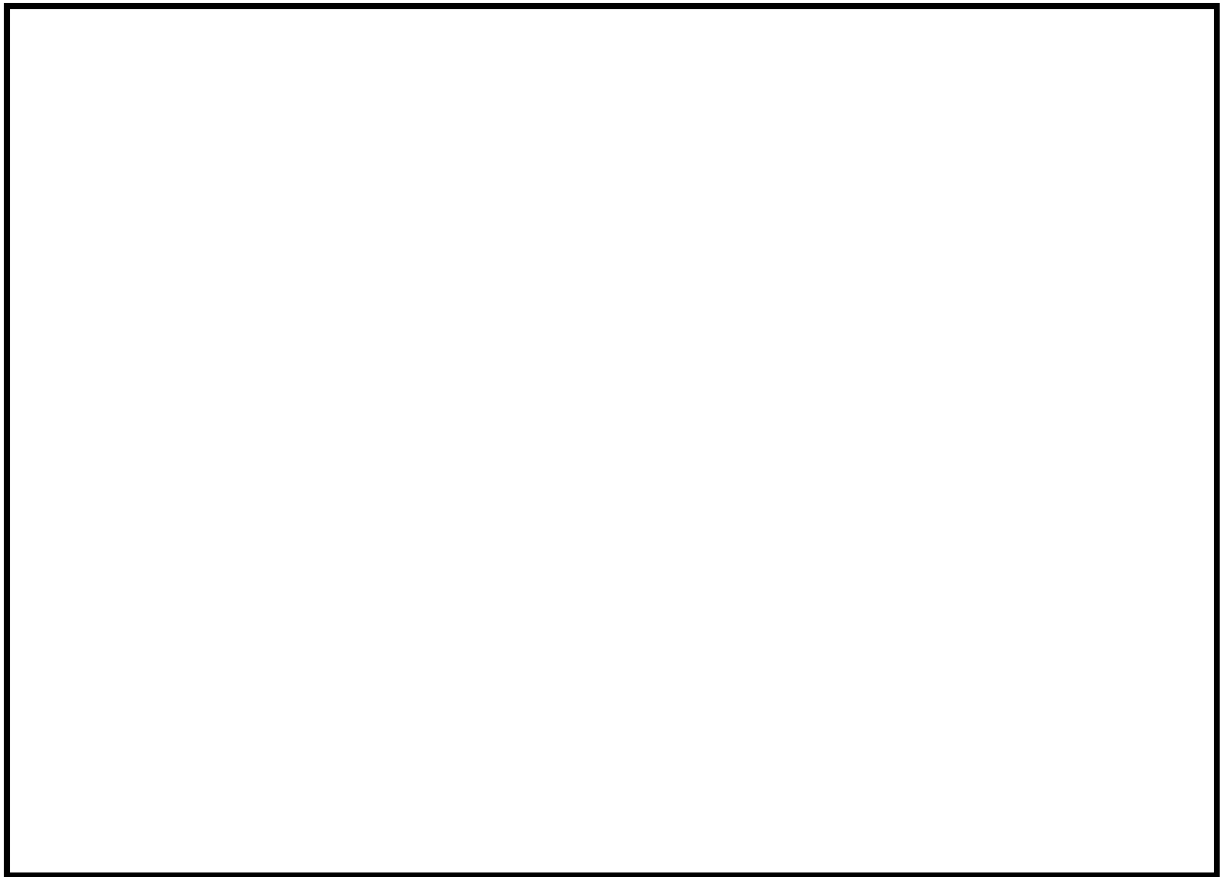
3.3.4 の検討を踏まえ、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価は、スクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路の立坑部は立坑②、妻壁部は妻壁③-2、基礎構造物は第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎（躯体、杭）を代表として行う。

3.4 浸水防止設備及び津波監視設備

3.4.1 浸水防止設備及び津波監視設備における評価対象構造物の抽出

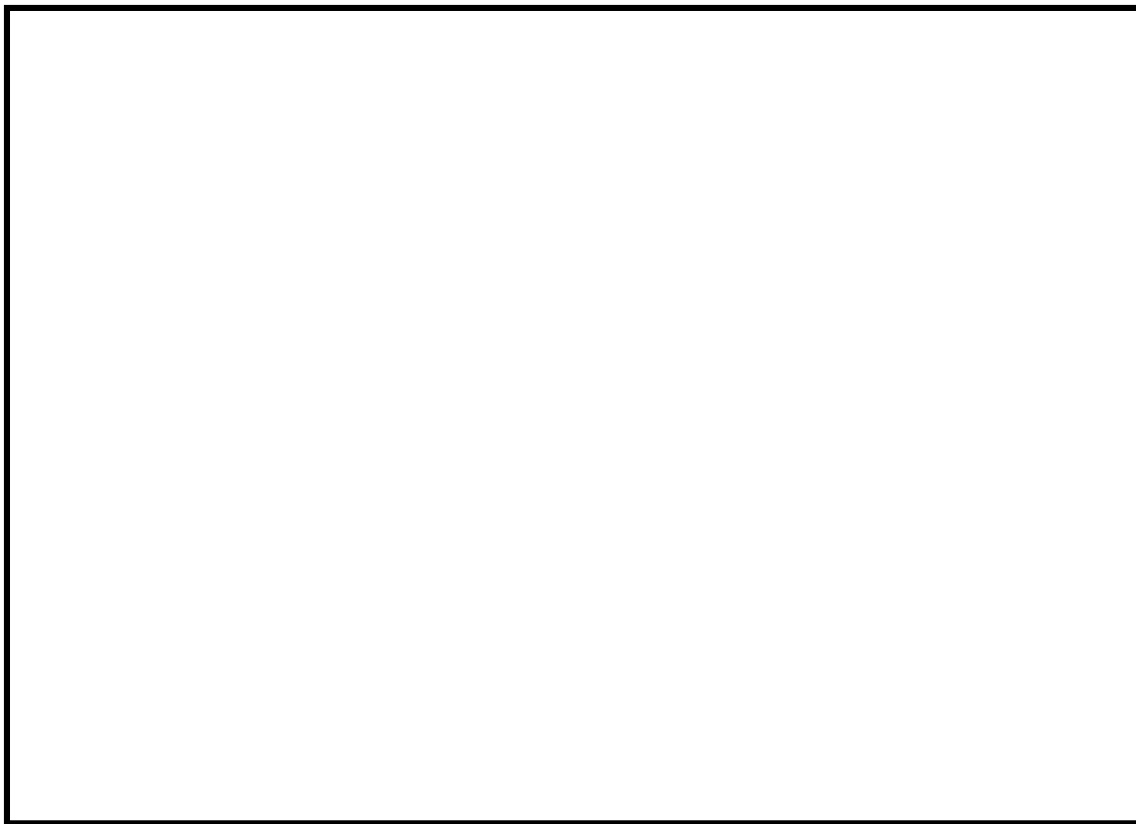
(1) 評価対象となる設備の整理

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価を実施する対象設備は、浸水防止設備である閉止板、水密扉、浸水防止ダクト、止水ハッチ、貫通部止水処置、床ドレン浸水防止治具、津波監視設備における津波監視カメラ、取水槽水位計とする。各構造物の位置図を図 3.4.1-1 に示す。



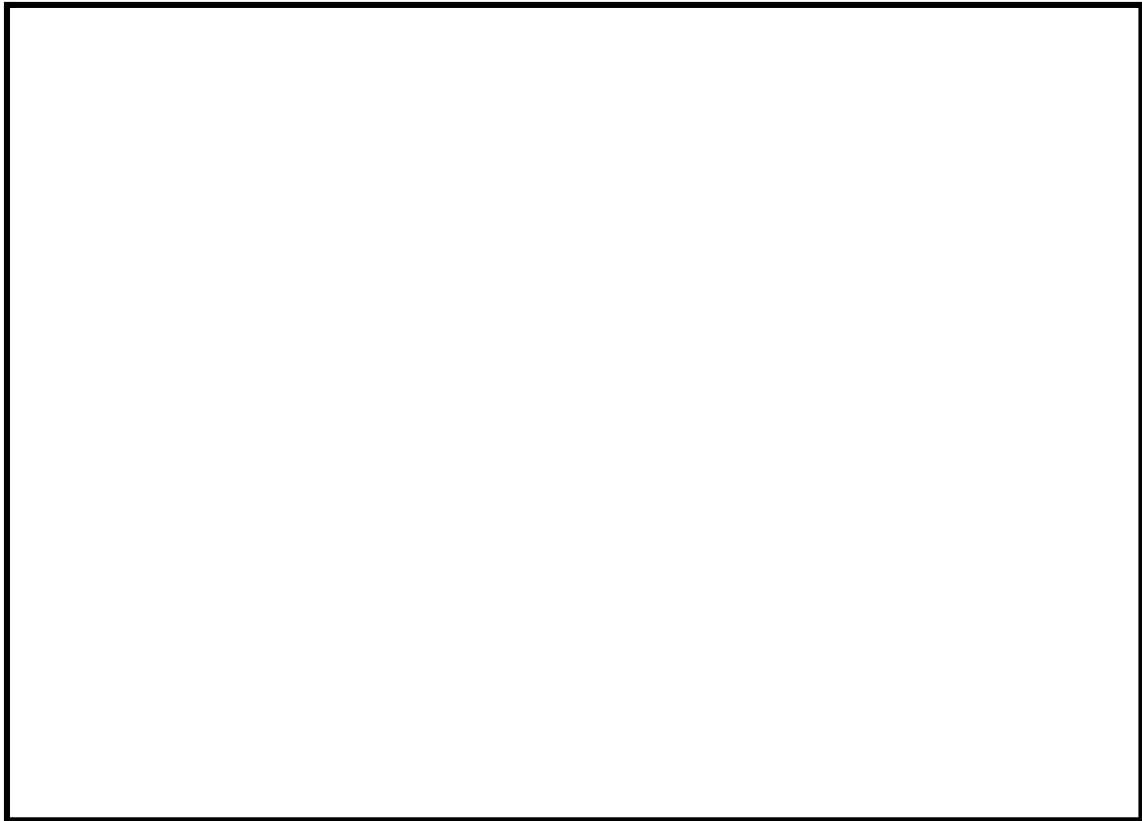
(屋内：6号炉 T/B T.M.S.L.-5100)

図 3.4.1-1 浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (1/7)



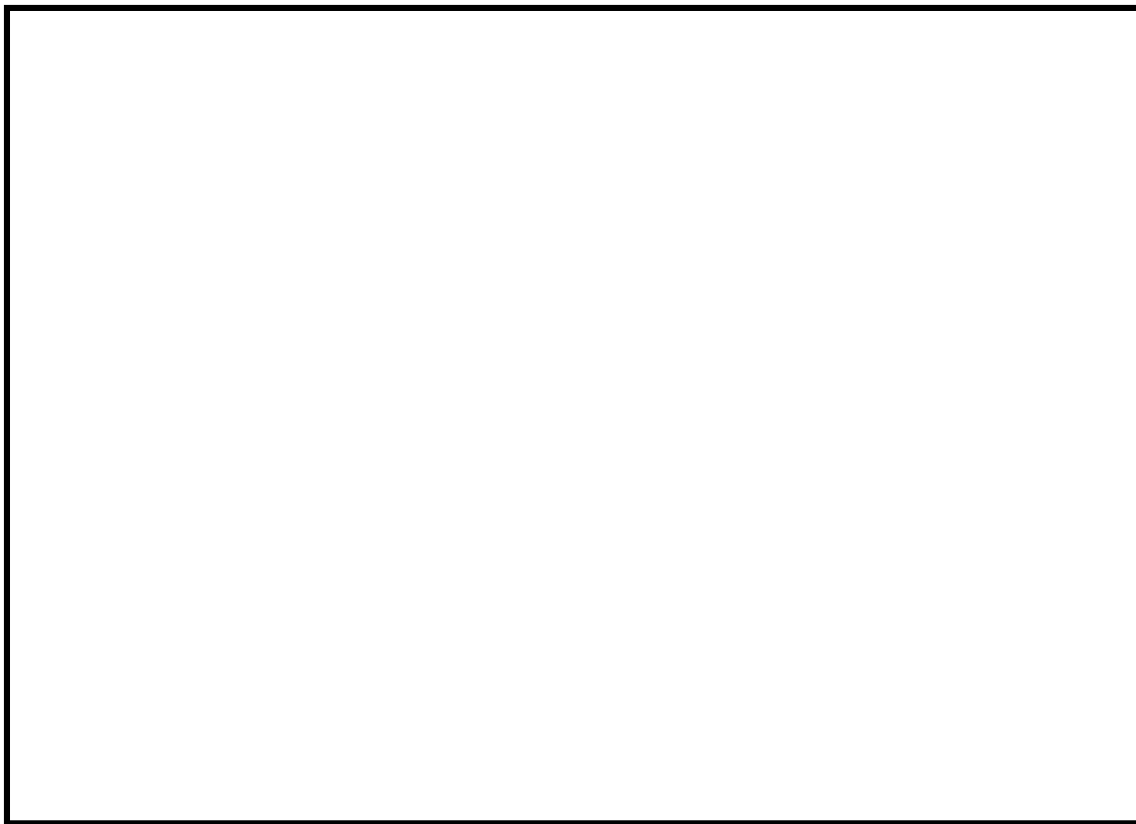
(屋内：6号炉 T/B T.M.S.L.-1100)

図 3.4.1-1 浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (2/7)



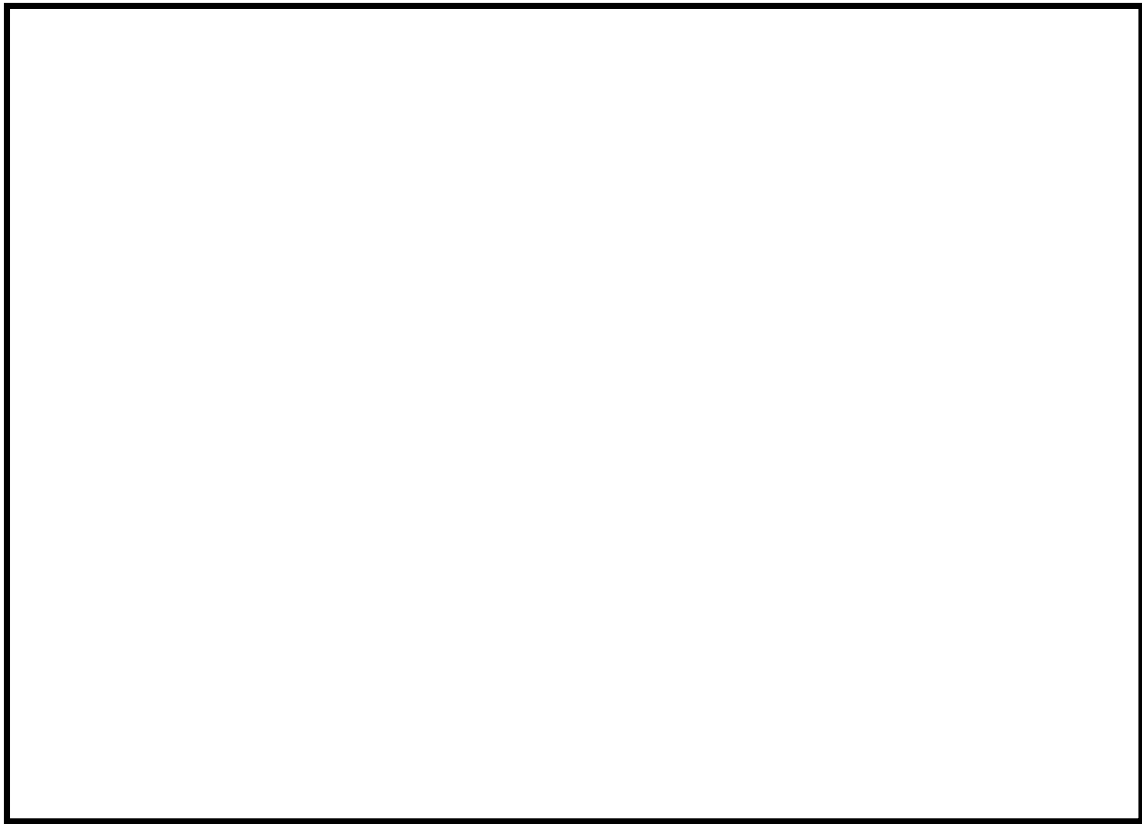
(屋内：6号炉 T/B T.M.S.L. 4900)

図 3.4.1-1 浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (3/7)



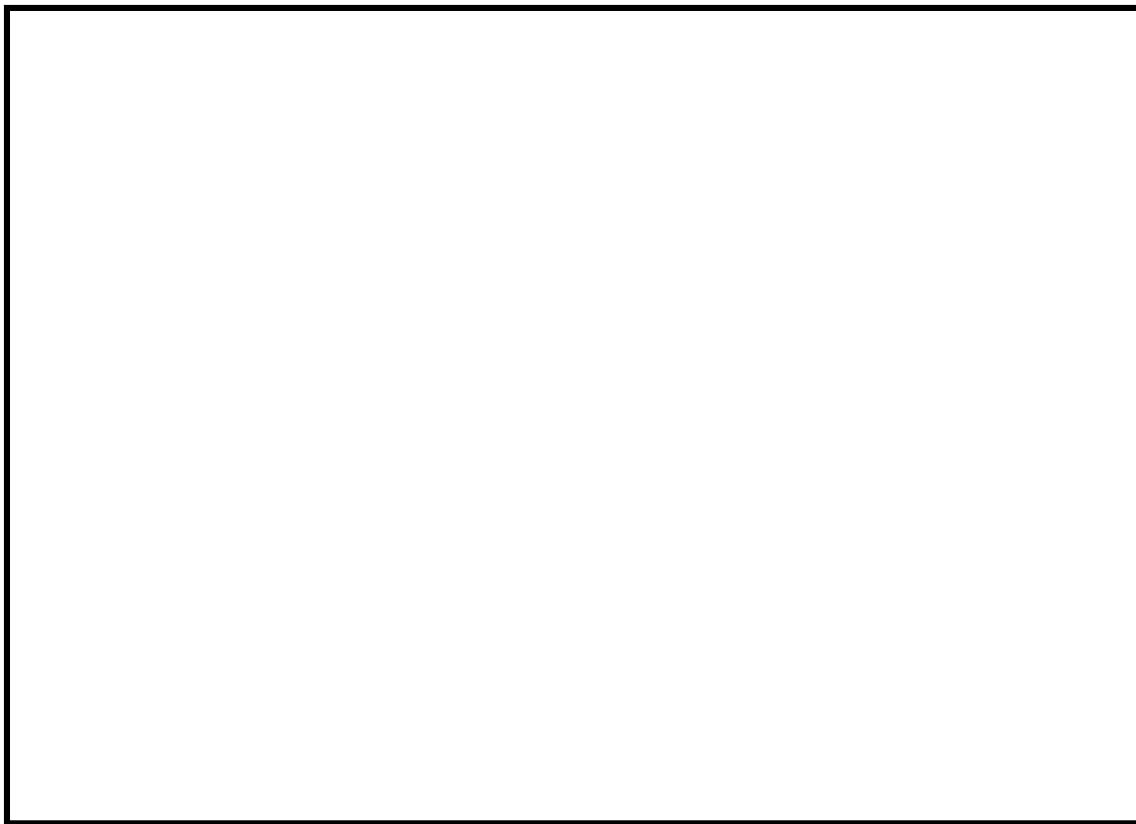
(屋内 : 7 号炉 T/B T.M.S.L. -5100)

図 3.4.1-1 浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (4/7)



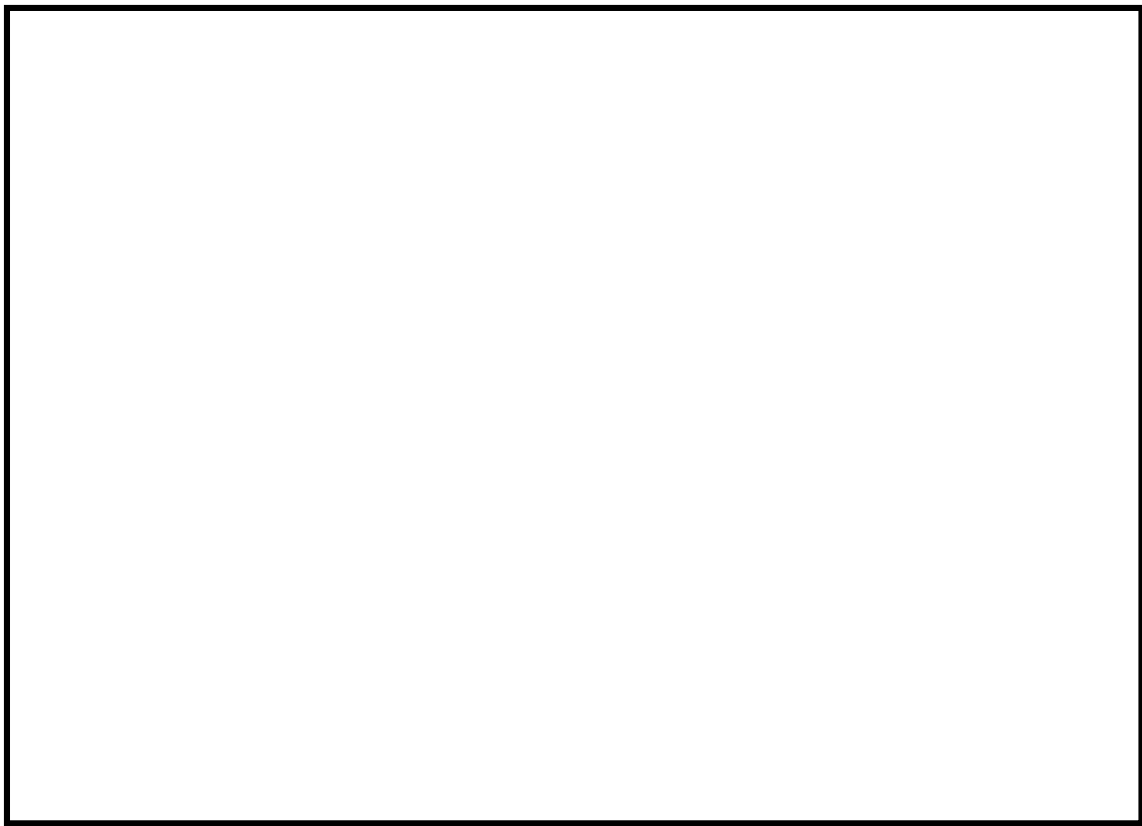
(屋内 : 7 号炉 T/B T.M.S.L. -1100)

図 3.4.1-1 浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (5/7)



(屋内 : 7 号炉 T/B T.M.S.L. 4900)

図 3.4.1-1 浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (6/7)



(屋外)

図 3. 4. 1-1 浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (7/7)

(2)評価対象物の抽出

評価対象構造物のうち、閉止板、止水ハッチ及び水密扉については「3.1 建物・構築物」、浸水防止ダクト、貫通部止水処置、床ドレン浸水防止治具、津波監視カメラ、取水槽水位計については、「3.2 機器・配管系」に準じて設計されていることから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については、その方針に基づいて実施する。浸水防止設備の分類を表3.4.1-1に示す。

表 3.4.1-1 浸水防止施設及び津波監視設備の分類

施設、設備分類	施設、設備名称	区分
浸水防止設備	閉止板	建物・構築物
浸水防止設備	止水ハッチ	建物・構築物
浸水防止設備	水密扉	建物・構築物
浸水防止設備	浸水防止ダクト	機器・配管系
浸水防止設備	貫通部止水処置	機器・配管系
浸水防止設備	床ドレン浸水防止治具	機器・配管系
津波監視設備	津波監視カメラ	機器・配管系
津波監視設備	取水槽水位計	機器・配管系

表 1 構造強度評価

設備※1		部位	応力分類	①-1 水平 2 方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4 項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平 1 方向の地震力しか負担しないもの B：水平 2 方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平 2 方向の地震力を考慮しているもの	①-1 の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相關する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点（3.2.4 項(2)に対応）	
							振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないことの理由 新たな応力成分が発生しないことの理由
炉心支持構造物	炉心シュラウド	上部フランジ 下部フランジ	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向毎に最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。		
		炉心支持板支持面	支圧応力	△	C	鉛直方向荷重のみ作用し、水平方向荷重が作用しない構造となっている。したがって、水平 2 方向入力の影響はない。	×	—
	シュラウドサポート	レグ	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円周配置であるため水平地震動の方向毎に最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。		
			軸圧縮応力	△	B	同上。		
		シリンダプレート 下部胴	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向毎に最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。		
	上部格子板	リム胴板	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向毎に最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。		
		グリッドプレート	一次一般膜応力	△	B	評価部位は格子構造であるため水平地震動の方向毎に最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。		
	炉心支持板	補強ビーム 支持板	一次一般膜応力	△	B	水平地震動の方向毎に最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。		
	中央燃料支持金具 周辺燃料支持金具	中央燃料支持金具 周辺燃料支持金具	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向毎に最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。		
	制御棒案内管	下部溶接部 長手中央部	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向毎に最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。		

※1 本表は、今後の審査進捗（詳細設計）に応じて見直しを行います。

設備※1		部位	応力分類	①-1 水平 2 方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4 項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平 1 方向の地震力しか負担しないもの B：水平 2 方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平 2 方向の地震力を考慮しているもの	①-1 の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点（3.2.4 項(2)に対応）	
							振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないことの理由 新たな応力成分が発生しないことの理由
原子炉圧力容器	胴板 下部鏡板	各部位	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向毎に最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。		
			一次+二次応力	△	B	同上。		
			一次+二次+ピーク応力	△	B	同上。		
	制御棒駆動機構ハウジング貫通孔	スタブチューブハウジング 下部鏡板リガメント	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向毎に最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。		
			一次+二次応力	△	B	同上。		
			一次+二次+ピーク応力	△	B	同上。		
			座屈（軸圧縮）	△	B	同上。		
	原子炉冷却材再循環ポンプ貫通孔(N1)	各部位	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向毎に最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。		
			一次+二次応力	△	B	同上。		
			一次+二次+ピーク応力	△	B	同上。		
			座屈（軸圧縮）	△	B	同上。		
	ノズル	各部位	一次一般膜応力	○	—	評価においては 3 次元的に配置されている接続配管の応答を使用しており、接続配管において地震入力方向に対する直角方向の応答が生じるため、水平 2 方向入力の影響がある。	○	3 次元はりモデルの応答解析結果（配管反力）を用い、耐震評価を実施している。
			一次膜応力+一次曲げ応力	○	—	同上。		
			一次+二次応力	○	—	同上。		
			一次+二次+ピーク応力	○	—	同上。		
			座屈（軸圧縮）	○	—	同上。		
	ブラケット類	原子炉圧力容器スタビライザブラケット	一次一般膜応力	△	C	水平方向の地震荷重を分散して負担する多角形配置の構造となっていることから、水平 2 方向の地震荷重が同時に作用した場合においても方向毎にその地震荷重は分担される。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。【補足説明資料 1】	×	—
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	C	同上。		
		蒸気乾燥器支持ブラケット	一次一般膜応力	△	D	水平 2 方向入力時の地震力を 4 つのブラケットのうち 2 つで分担した荷重を方向毎に考慮した評価を行っている。したがって、水平 2 方向入力により 4 つのブラケットにより荷重を分担するとした場合、ブラケット 1 つあたりの荷重は小さくなるため、水平 2 方向入力の影響は軽微である。【補足説明資料 2】	×	—
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	D	同上。		
		蒸気乾燥器ホールドダウンブラケット ガイドロッドブラケット	一次一般膜応力	△	C	地震時の機能要求が無いことから地震荷重を考慮しない評価（構造評価）を実施しているため影響はない。	×	—
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	C	同上。		

設備※1		部位	応力分類	①-1 水平 2 方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4 項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平 1 方向の地震力しか負担しないもの B：水平 2 方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平 2 方向の地震力を考慮しているもの	①-1 の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点（3.2.4 項(2)に対応）	
原子炉圧力容器	ブラケット類	給水スパージャブラケット 低圧注水スパージャブラケット	一次一般膜応力	○	—	評価においては 3 次元的に配置されている炉内配管の応答を使用しており、炉内配管において地震入力方向に対する直角方向の応答が生じるため、水平 2 方向入力の影響がある。	×	—
			一次膜応力+一次曲げ応力	○	—	同上。		
			純せん断応力	○	—	同上。		
原子炉圧力容器支持構造物	原子炉圧力容器スカート	スカート	一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向毎に最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—
			一次+二次応力	△	B	同上。		
			一次+二次+ピーク応力	△	B	同上。		
			座屈（軸圧縮）	△	B	同上。		
	原子炉圧力容器基礎ボルト	基礎ボルト	一次応力（引張）	△	B	ボルトは円周状に配置され、水平地震動の方向毎に最大応力の発生点異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—
			一次応力（せん断）	△	C	水平 2 方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。		
			一次応力（組合せ）	△	C	上記の引張応力及びせん断応力は水平 2 方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平 2 方向の影響は軽微である。		
原子炉圧力容器付属構造物	原子炉圧力容器スタビライザ	ロッド	一次応力（引張）	△	C	水平方向の地震荷重を分散して負担する多角形配置の構造となっていることから、水平 2 方向の地震荷重が同時に作用した場合においても方向毎にその地震荷重は分担される。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。【補足説明資料 1】	×	—
		ブラケット	一次応力（せん断）	△	C	水平方向の地震荷重を分散して負担する多角形配置の構造となっていることから、水平 2 方向の地震荷重が同時に作用した場合においても方向毎にその地震荷重は分担される。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。【補足説明資料 1】		
			一次応力（曲げ）	△	C	同上。		
	制御棒駆動機構ハウジングレストレントビーム	プレート	一次応力（せん断）	△	B	水平方向地震力が作用する際に、加震軸上に最大応力が発生する。水平 2 方向の地震力が同時に作用した場合においても、それぞれの方向の加震軸上に最大応力が発生する。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—
			一次応力（圧縮）	△	B	同上。		
			一次応力（曲げ）	△	B	同上。		

設備※1		部位	応力分類	①-1 水平 2 方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4 項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平 1 方向の地震力しか負担しないもの B：水平 2 方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平 2 方向の地震力を考慮しているもの	①-1 の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点（3.2.4 項(2)に対応）	
							振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないことの理由 新たな応力成分が発生しないことの理由
原子炉圧力容器付属構造物	原子炉冷却材再循環ポンプモータケーシング	ケーシング	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向毎に最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。		
			一次+二次応力	△	B	同上。		
			一次+二次+ピーク応力	△	B	同上。		
			支圧応力	△	C	鉛直方向荷重のみ作用し、水平方向荷重が作用しない構造となっている。したがって、水平 2 方向入力の影響はない。		
			座屈（軸圧縮）	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向毎に最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
原子炉圧力容器内部構造物	蒸気乾燥器ユニット及び蒸気乾燥器ハウジング	ユニットサポート	一次一般膜応力	△	C	従来評価で評価が厳しくなる方向に地震荷重を与えているため、水平 2 方向の地震力が作用した場合において、水平 1 方向の地震荷重と同等となる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	C	同上。		
		耐震用ブロックせん断面	純せん断応力	△	C	鉛直方向荷重のみ作用し、水平方向荷重が作用しない構造となっている。したがって、水平 2 方向入力の影響はない。	×	—
		耐震用ブロック支圧面	支圧応力	△	C	地震の水平力は 4 箇所の耐震用ブロックのうち相対する 2 箇所で受けるものとして評価しているが、水平 2 方向入力では 4 箇所の耐震用ブロックに荷重が分担されるため、水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
	気水分離器及びスタンドパイプシュラウドヘッド 中性子束計測案内管	各部位	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向毎に最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。		
	スパージャ炉内配管	各部位	一次一般膜応力	○	—	3 次元的に配置されているため、水平それぞれの方向の地震力に対し、各方向で応力が発生する。したがって、水平 2 方向入力の影響がある。	○	従来より、3 次元はりモデルの応答解析結果を用い、耐震評価を実施しており、ねじれる状態についても耐震評価に用いる同種の荷重として算出される。
			一次膜応力+一次曲げ応力	○	—	同上。		

設備※1	部位	応力分類	①-1 水平 2 方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4 項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平 1 方向の地震力しか負担しないもの B：水平 2 方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平 2 方向の地震力を考慮しているもの	①-1 の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相關する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点（3.2.4 項(2)に対応）	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないことの理由 新たな応力成分が発生しないことの理由
使用済燃料貯蔵ラック	角管及びプレート シートプレート及びベース	一次応力（引張）	○	—	水平それぞれの方向における評価において、最大応力発生箇所は異なるものの、円形状の一樣断面でないため、発生応力は積算される。したがって、水平 2 方向入力の影響がある。	○	3次元FEMモデルを作成し、耐震評価を実施している。
		一次応力（せん断）	○	—	同上。		
		一次応力（組合せ）	○	—	同上。		
	基礎ボルト	一次応力（引張）	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【補足説明資料 7】		
		一次応力（せん断）	△	C	水平 2 方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【補足説明資料 7】		
		一次応力（組合せ）	△	C	上記の引張応力及びせん断応力は水平 2 方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平 2 方向の影響は軽微である。		
制御棒・破損燃料貯蔵ラック	ラック部材	一次応力（引張）	○	—	水平それぞれの方向における評価において、最大応力発生箇所は異なるものの、円形状の一樣断面でないため、発生応力は積算される。したがって、水平 2 方向入力の影響がある。	×	—
		一次応力（せん断）	○	—	同上。		
		一次応力（組合せ）	○	—	同上。		
	サポート部材 サポート部基礎ボルト	一次応力（引張）	△	C	水平 1 方向の地震力の応答が支配的であり、他の水平方向の地震力による応答は小さいため、水平 2 方向の地震力が作用した場合においても水平 1 方向の応答が支配的となる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。【補足説明資料 3】		
		一次応力（せん断）	△	A	水平 1 方向の地震力のみを負担し、他の水平方向の地震力は負担しない構造となっている。したがって、水平 2 方向入力の影響はない。【補足説明資料 3】		
		一次応力（組合せ）	△	C	水平 1 方向の地震力の応答が支配的であり、他の水平方向の地震力による応答は小さいため、水平 2 方向の地震力が作用した場合においても水平 1 方向の応答が支配的となる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。【補足説明資料 3】		
	底部基礎ボルト	一次応力（引張）	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【補足説明資料 7】		
		一次応力（せん断）	△	C	水平 2 方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【補足説明資料 7】		
		一次応力（組合せ）	△	C	上記の引張応力及びせん断応力は水平 2 方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平 2 方向の影響は軽微である。		

設備※1	部位	応力分類	①-1 水平 2 方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4 項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平 1 方向の地震力しか負担しないもの B：水平 2 方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平 2 方向の地震力を考慮しているもの	①-1 の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点（3.2.4 項(2)に対応）	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないことの理由 新たな応力成分が発生しないことの理由
原子炉冷却材再循環ポンプ	モータカバー 補助カバー	一次一般膜応力	△	C	鉛直方向荷重の影響が支配的であるため、水平方向地震荷重は荷重条件として考慮していない。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	C	同上。		
		一次+二次応力	△	C	同上。		
		一次+二次+ピーク応力	△	C	同上。		
	スタッドボルト 補助カバー取付ボルト	平均引張応力	△	C	鉛直方向荷重の影響が支配的であるため、水平方向地震荷重は荷重条件として考慮していない。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
主蒸気逃がし安全弁逃がし安全弁機能用アキュムレータ（6 号炉） 主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ（6 号炉）	Uーバンド及びリブ	一次応力（せん断）	△	A	構造上水平 1 方向の地震力のみを負担し、他の水平方向の地震力は負担しないため、水平 2 方向入力の影響はない。	×	—
		一次応力（曲げ）	△	C	従来評価では鉛直方向とより有意な応力が発生する水平 1 方向との組合せを考慮しており、他の水平方向の地震力により発生する応力は小さいため、水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
		一次応力（組合せ）	△	C	同上。		
	ボルト	一次応力（引張）	△	C	従来評価では鉛直方向とより有意な応力が発生する水平 1 方向との組合せを考慮しており、他の水平方向の地震力により発生する応力は小さいため、水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
		一次応力（せん断）	△	A	構造上水平 1 方向の地震力のみを負担し、他の水平方向の地震力は負担しないため、水平 2 方向入力の影響はない。		
	支柱（H形鋼）	一次応力（せん断）	○	—	水平 2 方向の影響がある。		
		一次応力（曲げ）	○	—	同上。		
		一次応力（組合せ）	○	—	同上。		
	主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ（7 号炉） 主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ（7 号炉）	胴板	一次一般膜応力	△	A		
一次膜応力+一次曲げ応力			△	A	同上。		
一次+二次応力			△	A	同上。		
脚		一次応力（組合せ）	△	A	水平 2 方向が同時に作用した場合においても、強軸と弱軸の関係が明確であり、斜め方向に変形するのではなく、支持構造物の強軸側と弱軸側に変形するため、最大応力発生部位は変わらない。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。		

設備※1	部位	応力分類	①-1 水平 2 方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4 項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平 1 方向の地震力しか負担しないもの B：水平 2 方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平 2 方向の地震力を考慮しているもの	①-1 の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点（3.2.4 項(2)に対応）	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	
横置円筒形容器	胴板	一次一般膜応力	△	A	水平 2 方向が同時に作用した場合においても、強軸と弱軸の関係が明確であり、斜め方向に変形するのではなく、支持構造物の強軸側と弱軸側に変形するため、最大応力発生部位は変わらない。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	A	同上。		
		一次+二次応力	△	A	同上。		
	脚	一次応力（組合せ）	△	A	水平 2 方向が同時に作用した場合においても、強軸と弱軸の関係が明確であり、斜め方向に変形するのではなく、支持構造物の強軸側と弱軸側に変形するため、最大応力発生部位は変わらない。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
	基礎ボルト	一次応力（引張）	△	A	水平 2 方向が同時に作用した場合においても、強軸と弱軸の関係が明確であり、斜め方向に変形するのではなく、支持構造物の強軸側と弱軸側に変形するため、最大応力発生部位は変わらない。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
		一次応力（せん断）	△	C	水平 2 方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。		
		一次応力（組合せ）	△	C	上記の引張応力及びせん断応力は水平 2 方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平 2 方向の影響は軽微である。		
	耐震強化サポート（7 号炉のみ）	一次応力（引張）	△	A	水平 2 方向が同時に作用した場合においても、強軸と弱軸の関係が明確であり、斜め方向に変形するのではなく、支持構造物の強軸側と弱軸側に変形するため、最大応力発生部位は変わらず影響は軽微である。		
		一次応力（せん断）	△	A	同上。		
		一次応力（組合せ）	△	A	同上。		
	アンカボルト（7 号炉のみ）	一次応力（せん断）	○	—	水平 2 方向が同時に作用した場合に、一部のアンカボルトで強軸側と弱軸側の荷重を合わせて負担するため、2 方向入力の影響がある。		
立形ポンプ	コラムパイプ バレルケーシング	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向毎に最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。	○	現在考慮している，X,Y 方向振動モードではねじれ振動モードは現れない。よって、ねじれ振動モードが高次にて現れる可能性はあるが，有意な応答ではないため，影響がないと考えられる。
	基礎ボルト 取付ボルト	一次応力（引張）	△	B	ボルトは円周状に配置され、水平地震動の方向毎に最大応力の発生点が異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
		一次応力（せん断）	△	C	水平 2 方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。		
		一次応力（組合せ）	△	C	上記の引張応力及びせん断応力は水平 2 方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平 2 方向の影響は軽微である。		
ECCS ストレーナ	各部位（ボルト以外）	一次膜応力+一次曲げ応力	△	D	水平 2 方向の組合せを考慮した評価を実施している。	×	—
	ボルト	一次応力（引張）	△	D	同上		

設備※1	部位	応力分類	①-1 水平 2 方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4 項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平 1 方向の地震力しか負担しないもの B：水平 2 方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平 2 方向の地震力を考慮しているもの	①-1 の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相關する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点（3.2.4 項(2)に対応）	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないことの理由 新たな応力成分が発生しないことの理由
横形ポンプ ポンプ駆動用タービン 補機海水ストレーナ 空調ファン 空調ユニット 空気圧縮機	基礎ボルト 取付ボルト	一次応力（引張）	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【補足説明資料 7】	×	—
		一次応力（せん断）	△	C	水平 2 方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【補足説明資料 7】		
		一次応力（組合せ）	△	C	上記の引張応力及びせん断応力は水平 2 方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平 2 方向の影響は軽微である。		
水圧制御ユニット	フレーム	一次応力（引張）	○	—	非対象構造であるため 3 次元モデルを用いた解析を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向毎に異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響がある。	○	3 次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
		一次応力（せん断）	○	—	同上。		
		一次応力（圧縮）	○	—	同上。		
		一次応力（曲げ）	○	—	同上。		
		一次応力（組合せ）	○	—	同上。		
	取付ボルト	一次応力（引張）	○	—	非対象構造であるため 3 次元モデルを用いた解析を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向毎に異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響がある。		
		一次応力（せん断）	○	—	同上。		
		一次応力（組合せ）	○	—	同上。		
平底たて置円筒容器	胴板	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向毎に最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。【補足説明資料 4】	×	—
		一次+二次応力	△	B	同上。		
	基礎ボルト	一次応力（引張）	△	B	ボルトは円周状に配置され、水平地震動の方向毎に最大応力の発生点異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
		一次応力（せん断）	△	C	水平 2 方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。		
		一次応力（組合せ）	△	C	上記の引張応力及びせん断応力は水平 2 方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平 2 方向の影響は軽微である。		
核計装設備	各部位	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向毎に最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上		
伝送器（矩形壁掛）	取付ボルト	一次応力（引張）	○	—	水平 2 方向入力の影響がある。	×	—
		一次応力（せん断）	△	A	壁掛けのボルトは、壁と平行方向の水平地震力と鉛直地震力のみによりせん断力が発生するため、水平 2 方向入力の影響はない。		
		一次応力（組合せ）	○	—	水平 2 方向入力の影響がある。		
伝送器（円形壁掛）	取付ボルト	一次応力（引張）	△	A	水平 1 方向の地震力のみを負担し、他の水平方向の地震力は負担しない構造となっている。したがって、水平 2 方向入力の影響はない。	×	—
伝送器（円形吊下）	取付ボルト	一次応力（引張）	△	C	鉛直方向荷重のみ作用し、水平方向荷重が作用しない構造となっている。したがって、水平 2 方向入力の影響はない。	×	—

設備※1		部位	応力分類	①-1 水平 2 方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4 項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平 1 方向の地震力しか負担しないもの B：水平 2 方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平 2 方向の地震力を考慮しているもの	①-1 の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相關する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点（3.2.4 項(2)に対応）	
							振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないことの理由 新たな応力成分が発生しないことの理由
制御盤		取付ボルト	一次応力（引張）	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【補足説明資料 7】	×	—
			一次応力（せん断）	△	C	水平 2 方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【補足説明資料 7】		
			一次応力（組合せ）	△	C	上記の引張応力及びせん断応力は水平 2 方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平 2 方向の影響は軽微である。		
原子炉格納容器	原子炉格納容器ライナ部	ライナプレート	圧縮ひずみ	○	—	水平 2 方向入力の影響がある。	×	—
			引張ひずみ	○	—	同上。		
		ライナアンカ	変位	○	—	水平 2 方向入力の影響がある。		
	ドライウェル上鏡	上鏡球殻部とナックル部の結合部 上鏡円筒部とフランジプレートとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向毎に最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—
			一次+二次応力	△	B	同上。		
		フランジプレート	せん断	△	C	鉛直方向の荷重（死荷重または圧力荷重）が支配的であり、水平方向の地震力の影響は小さい。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
			曲げ	△	C	同上。		
		ガセットプレート	せん断	△	C	鉛直方向の荷重（死荷重または圧力荷重）が支配的であり、水平方向の地震力の影響は小さい。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
		コンクリート部	圧縮	△	C	鉛直方向の荷重（死荷重または圧力荷重）が支配的であり、水平方向の地震力の影響は小さい。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
		下部ドライウェルアクセストンネルスリーブ及び鏡板（機器搬入用ハッチ付） 下部ドライウェルアクセストンネルスリーブ及び鏡板（所用エアロック付）	鏡板 鏡板のスリーブとの取付部 スリーブのフランジプレートとの取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	○	—		
	一次+二次応力			○	—	同上。		
	フランジプレート		せん断	○	—	3 次元モデルを用いた解析を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向毎に異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響がある。		
			曲げ	○	—	同上。		
	ガセットプレート		せん断	○	—	3 次元モデルを用いた解析を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向毎に異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響がある。		
	コンクリート部		圧縮	○	—	3 次元モデルを用いた解析を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向毎に異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響がある。		

設備※1		部位	応力分類	①-1 水平 2 方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4 項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平 1 方向の地震力しか負担しないもの B：水平 2 方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平 2 方向の地震力を考慮しているもの	①-1 の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点（3.2.4 項(2)に対応）	
							振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないことの理由 新たな応力成分が発生しないことの理由
原子炉格納容器	クエンチャサポート基礎	ベースプレート	引張	○	—	評価においては 3 次元的に配置されている接続配管の応答を使用しており、接続配管において地震入力方向に対する直角方向の応答が生じるため、水平 2 方向入力の影響がある。	○	配管反力に基づいて評価を実施しており、従来よりねじれを考慮した評価を実施している。
		下部サポートパイプ（7 号炉のみ）	せん断	○	—	評価においては 3 次元的に配置されている接続配管の応答を使用しており、接続配管において地震入力方向に対する直角方向の応答が生じるため、水平 2 方向入力の影響がある。		
			圧縮	○	—	同上。		
		ガセットプレート ベアリングプレート	せん断	○	—	同上。		
			曲げ	○	—	同上。		
		基礎ボルト	引張	○	—	同上。		
		コンクリート	圧縮	○	—	同上。		
			基礎ボルト引張荷重	○	—	同上。		
	下部ドライウエルアクセストンネル	各部位	組合せ	○	—	3 次元モデルを用いた解析を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向毎に異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響がある。	×	—
	上部ドライウエル機器搬入用ハッチ サブプレッションチェンパ出入口 上部ドライウエル所員用エアロック	胴板 胴板のフランジプレートとの結合部	一次一般膜応力	△ ○	D —	水平 2 方向を考慮した評価を実施している（K6）。 手計算により機器の軸と軸直方向の各々の評価を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向毎に異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響がある。（K7）。	×	—
			一次膜応力+一次曲げ応力	△ ○	D —	同上。		
			一次+二次応力	△ ○	D —	同上。		
		フランジプレート	せん断	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。		
			曲げ	△	D	同上。		
		ガセットプレート	せん断	△	D	同上。		
		コンクリート部	圧縮	△	D	同上。		
	下部ドライウエル機器搬入用ハッチ 下部ドライウエル所員用エアロック	胴板	一次一般膜応力	△ ○	D —	水平 2 方向を考慮した評価を実施している（K6）。 3 次元モデルを用いた解析を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向毎に異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響がある。（K7）。	×	—
			一次膜応力+一次曲げ応力	△ ○	D —	同上。		
			一次+二次応力	△ ○	D —	同上。		
		胴板と鏡板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	○	—	3 次元モデルを用いた解析を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向毎に異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響がある。		
			一次+二次応力	○	—	同上。		

設備※1		部位	応力分類	①-1 水平 2 方向の地震力の重複による影響の有無 (3. 2. 4 項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平 1 方向の地震力しか負担しないもの B：水平 2 方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平 2 方向の地震力を考慮しているもの	①-1 の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相關する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点（3. 2. 4 項(2)に対応）	
							振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないことの理由 新たな応力成分が発生しないことの理由
原子炉格納容器	原子炉格納容器配管貫通部	スリーブ スリーブのフランジプレートとの取付部 端板	一次一般膜応力	○	—	評価においては 3 次元的に配置されている接続配管の応答を使用しており、接続配管において地震入力方向に対する直角方向の応答が生じるため、水平 2 方向入力の影響がある。	○	3 次元はりモデルの応答解析結果（配管反力）を用い、耐震評価を実施している。
			一次膜応力+一次曲げ応力	○	—	同上。		
			一次+二次応力	○	—	同上。		
		フランジプレート	せん断	○	—	評価においては 3 次元的に配置されている接続配管の応答を使用しており、接続配管において地震入力方向に対する直角方向の応答が生じるため、水平 2 方向入力の影響がある。		
			曲げ	○	—	同上。		
		ガセットプレート	せん断	○	—	評価においては 3 次元的に配置されている接続配管の応答を使用しており、接続配管において地震入力方向に対する直角方向の応答が生じるため、水平 2 方向入力の影響がある。		
		コンクリート部	圧縮	○	—	評価においては 3 次元的に配置されている接続配管の応答を使用しており、接続配管において地震入力方向に対する直角方向の応答が生じるため、水平 2 方向入力の影響がある。		
	原子炉格納容器電気配線貫通部	スリーブ スリーブのフランジプレートとの取付部	一次一般膜応力	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。	×	—
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	D	同上。		
			一次+二次応力	△	D	同上。		
		フランジプレート	せん断	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。		
			曲げ	△	D	同上。		
		ガセットプレート	せん断	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。		
		コンクリート部	圧縮	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。		
ダイヤフラムフロア	鉄筋コンクリートスラブ	引張	△	C	鉛直方向荷重の影響が支配的であるため、水平方向荷重の影響が小さい。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—	
		せん断	△	C	同上。			
		圧縮	△	C	同上。			
	鉄筋コンクリート製原子炉格納容器接合部（地震時水平力伝達用シアプレート） 原子炉本体基礎接合部（地震時水平力伝達用シアプレート）	せん断	△	C	水平方向の地震荷重を分散して負担する多角形配置の構造となっていることから、水平 2 方向の地震荷重が同時に作用した場合においても方向毎にその地震荷重は分担される。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。【補足説明資料 5】			
		曲げ	△	C	同上。			
	原子炉本体基礎接合部（半径方向水平力伝達用頭付きスタッド）	せん断	△	C	水平方向の地震荷重を分散して負担する多角形配置の構造となっていることから、水平 2 方向の地震荷重が同時に作用した場合においても方向毎にその地震荷重は分担される。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。【補足説明資料 5】			

設備※1	部位	応力分類	①-1 水平 2 方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4 項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平 1 方向の地震力しか負担しないもの B：水平 2 方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平 2 方向の地震力を考慮しているもの	①-1 の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点（3.2.4 項(2)に対応）	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないことの理由 新たな応力成分が発生しないことの理由
ベント管	垂直管支持部 水平吐出管の垂直管との結合部 水平吐出管支持部 リターンラインの垂直管との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	○	—	非対象構造であるため 3 次元モデルを用いた解析を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向毎に異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響がある。	○	3 次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
		一次+二次応力	○	—	同上。		
ドライウェルスブレイ管 サブプレッションチェンバースブレイ管	スブレイ管 スブレイ管とスブレイ管案内管との接続部 スブレイ管案内管	一次膜応力+一次曲げ応力	○	—	非対象構造であるため 3 次元モデルを用いた解析を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向毎に異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響がある。	○	3 次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
		一次+二次応力	○	—	同上。		
可燃性ガス濃度制御系再結合装置 ブロワ	ブレース	一次応力（圧縮）	△	A	ブレースはブロワの重心とサポートプレート設置位置のずれによる軸方向転倒防止のため設置している。そのためブレースが受けもつ荷重は現在評価対象としている軸方向の転倒モーメント分のみであり、軸直方向の水平地震荷重はベース溶接部のせん断で受けもつと考えられる。したがって、水平 2 方向入力の影響は受けない。	×	—
		一次応力（引張）	△	A	溶接部の配置は矩形であり、水平 2 方向の入力で対角方向に転倒することではなく、2 方向入力の影響は軽微である。		
	ベース取付溶接部	一次応力（せん断）	○	—	ベース溶接部で水平方向のそれぞれの水平荷重を負担する。したがって、水平 2 方向入力の影響がある。		
		一次応力（引張）	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【補足説明資料 7】		
	基礎ボルト 取付ボルト	一次応力（せん断）	△	C	水平 2 方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【補足説明資料 7】		
		一次応力（組合せ）	△	C	上記の引張応力及びせん断応力は水平 2 方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平 2 方向の影響は軽微である。		
非常用ディーゼル発電機	基礎ボルト 取付ボルト	一次応力（引張）	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【補足説明資料 7】	×	—
		一次応力（せん断）	△	C	水平 2 方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【補足説明資料 7】		
		一次応力（組合せ）	△	C	上記の引張応力及びせん断応力は水平 2 方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平 2 方向の影響は軽微である。		

設備※1	部位	応力分類	①-1 水平 2 方向の地震力の重複による影響の有無 (3. 2. 4 項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平 1 方向の地震力しか負担しないもの B：水平 2 方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平 2 方向の地震力を考慮しているもの	①-1 の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相關する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点（3. 2. 4 項(2)に対応）	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないことの理由 新たな応力成分が発生しないことの理由
スカート支持たて置円筒形容器	胴板	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向毎に最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—
		一次+二次応力	△	B	同上。		
	スカート	一次応力（組合せ）	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向毎に最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
		一次+二次応力（座屈）	△	B	支配的な応力は水平地震による曲げ応力であり、曲げ応力の最大点は地震方向で異なるため影響は軽微である。		
	基礎ボルト	一次応力（引張）	△	B	ボルトは円周状に配置され、水平地震動の方向毎に最大応力の発生点が異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
		一次応力（せん断）	△	C	水平 2 方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。		
		一次応力（組合せ）	△	C	上記の引張応力及びせん断応力は水平 2 方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平 2 方向の影響は軽微である。		
	その他電源設備	取付ボルト	一次応力（引張）	△	C		
一次応力（せん断）			△	C	水平 2 方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【補足説明資料 7】		
一次応力（組合せ）			△	C	上記の引張応力及びせん断応力は水平 2 方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平 2 方向の影響は軽微である。		
配管本体，サポート（多質点梁モデル解析）	配管，サポート	一次応力	○	—	水平 2 方向入力の影響がある。	○	3 次元のモデルを用いた解析により，従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
		一次+二次応力	○	—	同上。		
矩形構造の架構設備（静的触媒式水素再結合装置，架台を含む）	各部位	各応力分類	○	—	水平 2 方向入力の影響がある。	×	—

設備※1	部位	応力分類	①-1 水平 2 方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4 項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平 1 方向の地震力しか負担しないもの B：水平 2 方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平 2 方向の地震力を考慮しているもの	①-1 の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相關する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点（3.2.4 項(2)に対応）	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないことの理由 新たな応力成分が発生しないことの理由
ガスタービン発電機	転倒評価	応答変位	△	C	車輛の転倒は、走行直角方向のみが対象となるため、水平 1 方向のみの地震力が支配的であり、水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—
	取付ボルト	一次応力（引張）	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【補足説明資料 7】		
		一次応力（せん断）	△	C	水平 2 方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【補足説明資料 7】		
		一次応力（組合せ）	△	C	上記の引張応力及びせん断応力は水平 2 方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平 2 方向の影響は軽微である。		
通信連絡設備（アンテナ類）	ボルト	一次応力（引張）	△	B	ボルトは円周状に配置され、水平地震動の方向毎に最大応力の発生点異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—
		一次応力（せん断）	△	C	水平 2 方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。		
		一次応力（組合せ）	△	C	上記の引張応力及びせん断応力は水平 2 方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平 2 方向の影響は軽微である。		
取水槽水位計	取付ボルト	一次応力（引張）	○	—	水平 2 方向の影響がある。	×	—
		一次応力（せん断）	△	A	水平 1 方向及び鉛直方向の地震力のみを負担し、他の水平方向の地震力は負担しないため、水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
		一次応力（組合せ）	○	—	水平 2 方向の影響がある。		
監視カメラ	据付ボルト	一次応力（引張）	○	—	水平 2 方向入力の影響がある。	×	—
		一次応力（せん断）	△	A	壁掛けのボルトは、壁と平行方向の水平地震力と鉛直地震力のみによりせん断力が発生するため、水平 2 方向入力の影響はない。		
		一次応力（組合せ）	○	—	水平 2 方向入力の影響がある。		
	据付部材	一次応力（組合せ）	○	—	水平 2 方向入力の影響がある。		
貫通部止水処置	シール材	シール材に生じる変位	△	C	対象となる貫通部は建屋軸に沿った配置となっていることから、シール材に加わるせん断方向及び圧縮方向の変位は、水平 1 方向の地震力の応答が支配的であり、他の水平方向の地震力による応答は小さいため、水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—
浸水防止ダクト	各部位	各応力分類	○	—	水平 2 方向入力の影響がある。	×	—
床ドレンライン浸水防止治具	各部位	各応力分類	○	—	水平 2 方向入力の影響がある。	×	—
原子炉ウェル遮へいブラグ	本体	せん断応力度	△	C	鉛直方向荷重が支配的であるため、水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—

設備※1		部位	応力分類	①-1 水平 2 方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4 項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平 1 方向の地震力しか負担しないもの B：水平 2 方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平 2 方向の地震力を考慮しているもの	①-1 の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点（3.2.4 項(2)に対応）	
							振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないことの理由 新たな応力成分が発生しないことの理由
原子炉圧力容器支持構造	原子炉本体の基礎	円筒部(内筒) 円筒部(外筒)	せん断	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向毎に最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—
			組合せ	△	B	支配的な応力は水平地震による曲げ応力であり、曲げ応力の最大応力点は地震方向で異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
		円筒部(たてリブ)	せん断	△	B	円筒形状であり水平地震の方向毎に最大応力発生箇所が異なるため、水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
			組合せ	△	B	支配的な応力は水平地震による曲げ応力であり、曲げ応力の最大応力点は地震方向で異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
		アンカボルト	引張	△	B	ボルトは円周状に配置され、水平地震動の方向毎に最大応力の発生点が異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
		コンクリート	基礎ボルトの引張荷重	△	B	ボルトは円周状に配置され、水平地震動の方向毎に最大応力の発生点が異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
		ベアリングプレート	曲げ	△	B	ボルトは円周状に配置され、水平地震動の方向毎に最大応力の発生点が異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
		ブラケット部	せん断	△	B	円筒形状であり水平地震の方向毎に最大応力発生箇所が異なるため、水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
			曲げ	△	B	支配的な応力は水平地震による曲げ応力であり、曲げ応力の最大応力点は地震方向で異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
		ブラケット部下面の水平プレート	曲げ	△	A	支配的な応力は水平地震による曲げ応力であり、曲げ応力の最大応力点は地震方向で異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
	燃料取替機	燃料取替機構造物フレーム ブリッジ脱線防止ラグ（本体） トロリ脱線防止ラグ（本体） 走行レール 横行レール	一次応力（せん断）	△	A	すべり方向とすべり直角方向では、それぞれの水平方向地震力を受けた場合の挙動が異なるため、方向毎に発生応力が異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。【補足説明資料 6】	○	3 次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
			一次応力（曲げ）	△	A	同上。		
			一次応力（組合せ）	△	A	同上。		
		ブリッジ脱線防止ラグ（取付ボルト） トロリ脱線防止ラグ（取付ボルト）	一次応力（せん断）	△	A	すべり方向とすべり直角方向では、それぞれの水平方向地震力を受けた場合の挙動が異なるため、方向毎に発生応力が異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。【補足説明資料 6】		
		吊具	吊具荷重	△	C	鉛直荷重のみ作用し、水平荷重が作用しないため、水平 2 方向入力の影響はない。	×	—

設備※1	部位	応力分類	①-1 水平 2 方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4 項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平 1 方向の地震力しか負担しないもの B：水平 2 方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平 2 方向の地震力を考慮しているもの	①-1 の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点（3.2.4 項(2)に対応）	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないことの理由 新たな応力成分が発生しないことの理由
原子炉建屋クレーン	クレーン本体ガード	一次応力（せん断）	△	D	水平 2 方向及び鉛直方向の地震力を組み合わせた評価を実施している。	○	3 次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
		一次応力（曲げ）	△	D	同上。		
		浮上り量	△	D	同上。		
	脱線防止ラグ	一次応力（圧縮）	△	A	すべり方向とすべり直角方向では水平 2 方向で異なる挙動を示すため、水平 2 方向の影響は軽微である。	×	—
	トロリストッパ	一次応力（せん断）	△	A	同上。		
		一次応力（曲げ）	△	D	水平 2 方向及び鉛直方向の地震力を組み合わせた評価を実施している。	○	3 次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
		一次応力（組合せ）	△	D	同上。		
	トロリ	浮上り量	△	D	水平 2 方向及び鉛直方向の地震力を組み合わせた評価を実施している。		
	吊具	吊具荷重	△	D	水平 2 方向及び鉛直方向の地震力を組み合わせた評価を実施している。		
	原子炉遮蔽壁	一般胴部 開口集中部	せん断	△	B	×	—
			圧縮	△	C		
			曲げ	△	B		
			組合せ	△	B		

表 2 動的／電氣的機能維持評価

機種	①-1 水平 2 方向の地震力の重複による影響の有無（3.2.4 項(1)に対応） ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平 1 方向の地震力しか負担しないもの B：水平 2 方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて保守性を考慮しており水平 2 方向の地震力を考慮しても影響が軽微であるもの	①-1 の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点（3.2.4 項(2)に対応）	
				振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないことの理由 新たな応力成分が発生しないことの理由
立形ポンプ	○	－	軸受は円周に均等に地震力を受け持つため、水平 2 方向入力の影響を受ける。	○	現在考慮している、X,Y 方向振動モードではねじれ振動モードは現れない。よって、ねじれ振動モードが高次にて現れる可能性はあるが、有意な応答ではないため、影響がないと考えられる。
横形ポンプ	△	A	現行の機能維持確認済加速度における詳細評価*で最弱部である軸系に対して、曲げに対して軸直角方向の水平 1 方向の地震力のみを負担し、他の水平方向の地震力は負担しないため、水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	－
ポンプ駆動用タービン	△	B	現行の機能維持確認済加速度における詳細評価*で最弱部である弁箱（主蒸気止め弁ヨーク部（立置き））に対して、水平 2 方向による最大応力の発生箇所が異なるため影響は軽微である。	×	－
立形機器用電動機	△	D	最弱部である軸受に対し、現行の機能維持確認済加速度における詳細評価*において十分な裕度が確認されており、水平 2 方向入力による応答増加の影響は軽微である。	×	－
横形機器用電動機	△	D	最弱部であるフレームに対し、現行の機能維持確認済加速度における詳細評価*において十分な裕度が確認されており、水平 2 方向入力による応答増加の影響は軽微である。	×	－
空調ファン	△	A	現行の機能維持確認済加速度における詳細評価*で最弱部である軸系に対して、曲げに対して軸直角方向の水平 1 方向の地震力のみを負担し、他の水平方向の地震力は負担しないため、水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	－
非常用ディーゼル発電機（機関本体）	△	A	現行の機能維持確認済加速度における詳細評価*で最弱部である軸系に対して、曲げに対して軸直角方向の水平 1 方向の地震力のみを負担し、他の水平方向の地震力は負担しないため、水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	－
非常用ディーゼル発電機（ガバナ）	○	－	ガバナについては水平 2 方向合成による応答増加の影響がある。ただし、JEAG4601 に記載の機能確認済加速度は 1.8G であるが、旧 JNES 試験より 4G までの機能維持を確認しているため、2 方向合成加速度が 4G 未満であれば問題ない。	×	－
弁	○	－	弁については水平 2 方向合成による応答増加の影響があるが、2 方向合成応答加速度が試験にて確認した機能維持確認済加速度未満であれば問題ない。	×	－
制御棒挿入性	○	－	水平 2 方向の影響がある。	×	－
電気盤	△	A	電気盤、制御盤等に取付けられているリレー、遮断器等の電気品は、基本的に 1 次元的な接点の ON－OFF に関わる比較的単純な構造をしている。加えて、基本的には全ては梁、扉等の強度部材に強固に固定されているため、器具の非線形応答はないと考えられる。したがって、電気品は水平 1 方向の地震力のみを負担し、他の水平方向の地震力は負担しないため、水平 2 方向入力の影響は軽微である。【補足説明資料 8】	×	－
伝送器・指示計	△	A	伝送器・指示計の掃引試験結果において、X、Y 各成分に共振点はなく、出力変動を生じないことを確認していることから、X、Y2 方向成分にも共振点は無いと考えられる。よって、X、Y2 方向入力に対しても応答増加は生じないものと考えられることから、水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	－
取水槽水位計	△	A	水位計の掃引試験結果において、X、Y 各成分に共振点はなく、出力変動を生じないことを確認していることから、X、Y2 方向成分にも共振点は無いと考えられる。よって、X、Y2 方向入力に対しても応答増加は生じないものと考えられることから、水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	－
監視カメラ	△	A	監視カメラ本体の掃引試験結果において、X、Y 各成分に共振点はなく、出力変動を生じないことを確認していることから、X、Y2 方向成分にも共振点は無いと考えられる。よって、X、Y2 方向入力に対しても応答増加は生じないものと考えられることから、水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	－
ガスタービン発電機	○	－	水平 2 方向の影響がある。	×	－
通信連絡設備（アンテナ類）	○	－	水平 2 方向の影響がある。	×	－

※JEAG4601 で定められた評価部位の裕度評価

別紙 1 補足説明資料

目次

1. 水平 2 方向同時加振の影響評価について（原子炉圧力容器スタビライザ）	1
2. 水平 2 方向同時加振の影響評価について（蒸気乾燥器支持ブラケット）	4
3. 水平 2 方向同時加振の影響評価について（制御棒・破損燃料貯蔵ラック）	6
4. 水平 2 方向同時加振の影響評価について（円筒形容器）	8
5. 水平 2 方向同時加振の影響評価について（ダイヤフラムフロア）	20
6. 水平 2 方向同時加振の影響評価について（燃料取替機）	24
7. 水平 2 方向同時加振の影響評価について（矩形配置されたボルト）	25
8. 水平 2 方向同時加振の影響評価について（電気盤）	31

1 水平2方向同時加振の影響評価について（原子炉圧力容器スタビライザ）

1.1 はじめに

本項は、原子炉圧力容器スタビライザ（以下「RPV スタビライザ」という。）に対する水平2方向同時加振の影響についてまとめたものである。

1.2 現行評価の手法

RPV スタビライザは、周方向 45° 間隔で 8 体配置されており、図 1-1 に地震荷重と各 RPV スタビライザが分担する荷重の関係を示す。

水平方向の地震荷重に関して現行評価では、RPV スタビライザ 6 体に各水平方向地震力（X 方向、Y 方向）の最大地震力が負荷されるものとしている。

$$f = \text{MAX} \left(\frac{F_X}{4}, \frac{F_Y}{4} \right)$$

ここで、

f : RPV スタビライザ 1 個が受けもつ最大地震荷重

F_X : X 方向地震よりスタビライザ全体に発生する荷重

F_Y : Y 方向地震よりスタビライザ全体に発生する荷重

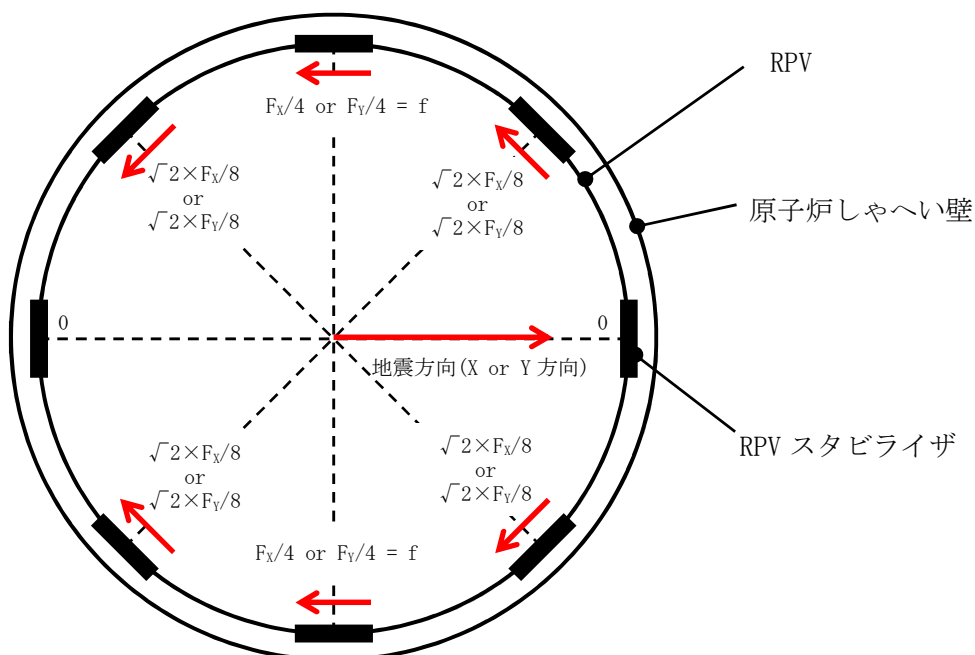


図 1-1 原子炉圧力容器スタビライザの水平地震荷重の分担（水平 1 方向）

1.3 水平2方向同時加振の影響

RPV スタビライザは、水平2方向の地震力を受けた場合においても、図 1-2 及び表 1-1 に示す通り方向別地震荷重 F (F_X または F_Y) に対する最大反力を受け持つ部位が異なる。

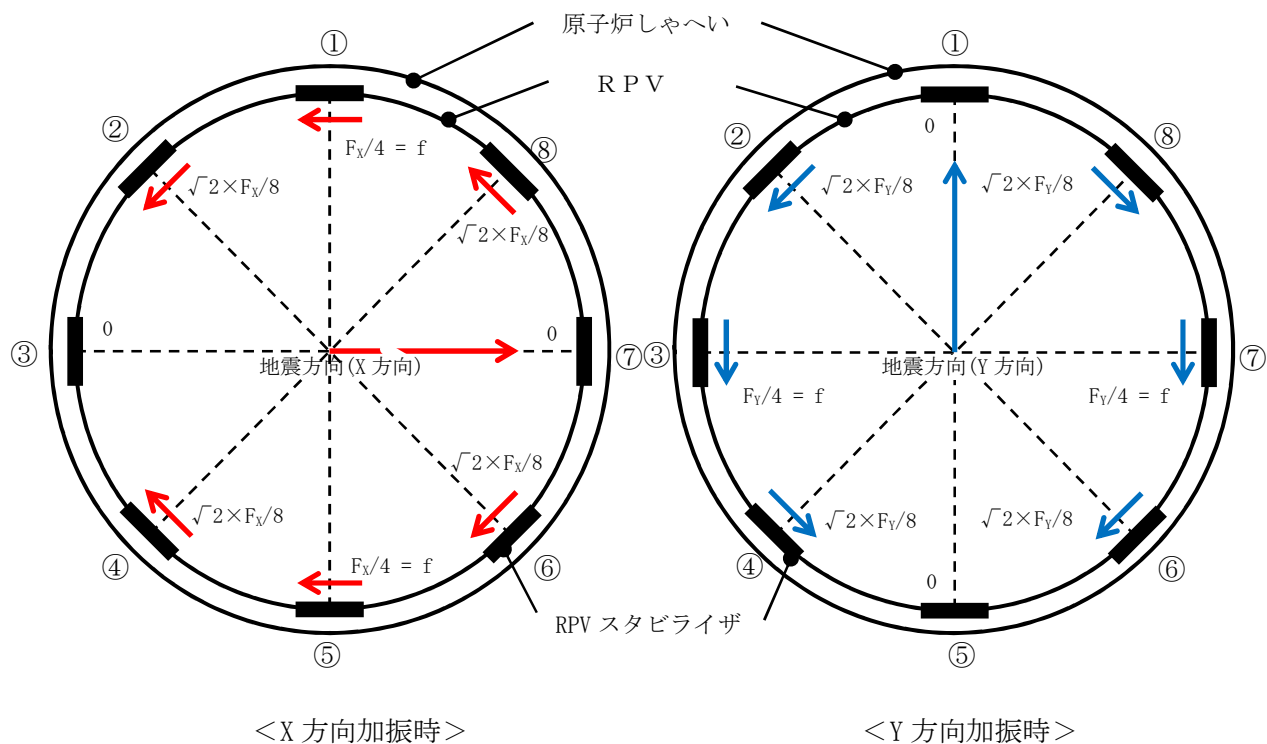


図 1-2 原子炉圧力容器スタビライザの水平地震荷重の分担

表 1-1 原子炉圧力容器スタビライザ各点での分担荷重

位置		方向別地震力 F に対する反力	
		X 方向	Y 方向
①	0°	$F_X/4$	0
②	45°	$\sqrt{2} \times F_X/8$	$\sqrt{2} \times F_Y/8$
③	90°	0	$F_Y/4$
④	135°	$\sqrt{2} \times F_X/8$	$\sqrt{2} \times F_Y/8$
⑤	180°	$F_X/4$	0
⑥	225°	$\sqrt{2} \times F_X/8$	$\sqrt{2} \times F_Y/8$
⑦	270°	0	$F_Y/4$
⑧	315°	$\sqrt{2} \times F_X/8$	$\sqrt{2} \times F_Y/8$
最大		$F_X/4=f$	$F_Y/4=f$

水平 2 方向地震力の組合せの考慮については、表 1-1 に示した水平 1 方向反力を用いて、X 方向・Y 方向同時には最大の地震力が発生しないと仮定し、以下の 2 つの方法にて検討を行った。

- ① 組合せ係数法： $F_Y=0.4F_X$ と仮定し、X 方向・Y 方向のそれぞれの水平 1 方向応答結果を算術和する
- ② 最大応答の非同時性を考慮した SRSS 法： $F_Y=F_X$ と仮定し、X 方向・Y 方向のそれぞれの水平 1 方向応答結果を二乗和平方根にて合成する

上記検討の結果を表 1-2 に示す。いずれの検討方法を用いても、水平 2 方向反力の組合せ結果の最大値は f となり、これは水平 1 方向反力の最大値と同値である。

したがって、RPV スタビライザに対して水平 2 方向の影響はない。

表 1-2 原子炉压力容器スタビライザ各点における水平 2 方向の考慮

位置		①組合せ係数法を用いた 水平 2 方向反力の組合せ ($F_Y=0.4F_X$)	②SRSS 法を用いた 水平 2 方向反力の組合せ ($F_Y=F_X$)
①	0°	$F_X/4=f$	$F_X/4=f$
②	45°	$\sqrt{2} \times F_X/8 + \sqrt{2} \times F_Y/8 = \sqrt{2} \times 1.4 \times F_X/8$ $=0.990 \times F_X/4 < f$	$\sqrt{((\sqrt{2} \times F_X/8)^2 + (\sqrt{2} \times F_Y/8)^2)}$ $F_X/4=f$
③	90°	$F_Y/4=0.4 \times F_X/4 < f$	$F_Y/4=F_X/4=f$
④	135°	$\sqrt{2} \times F_X/8 + \sqrt{2} \times F_Y/8 = \sqrt{2} \times 1.4 \times F_X/8$ $=0.990 \times F_X/4 < f$	$\sqrt{((\sqrt{2} \times F_X/8)^2 + (\sqrt{2} \times F_Y/8)^2)}$ $F_X/4=f$
⑤	180°	$F_X/4=f$	$F_X/4=f$
⑥	225°	$\sqrt{2} \times F_X/8 + \sqrt{2} \times F_Y/8 = \sqrt{2} \times 1.4 \times F_X/8$ $=0.990 \times F_X/4 < f$	$\sqrt{((\sqrt{2} \times F_X/8)^2 + (\sqrt{2} \times F_Y/8)^2)}$ $F_X/4=f$
⑦	270°	$F_Y/4=0.4 \times F_X/4 < f$	$F_Y/4=F_X/4=f$
⑧	315°	$\sqrt{2} \times F_X/8 + \sqrt{2} \times F_Y/8 = \sqrt{2} \times 1.4 \times F_X/8$ $=0.990 \times F_X/4 < f$	$\sqrt{((\sqrt{2} \times F_X/8)^2 + (\sqrt{2} \times F_Y/8)^2)}$ $F_X/4=f$
最大		f	f

2 水平2方向同時加振の影響評価について（蒸気乾燥器支持ブラケット）

2.1 はじめに

本項は、蒸気乾燥器支持ブラケットに対する水平2方向同時加振の影響についてまとめたものである。

2.2 現行評価の手法

蒸気乾燥器支持ブラケットは、4体配置されており、位置関係は図2-1の通りとなる。

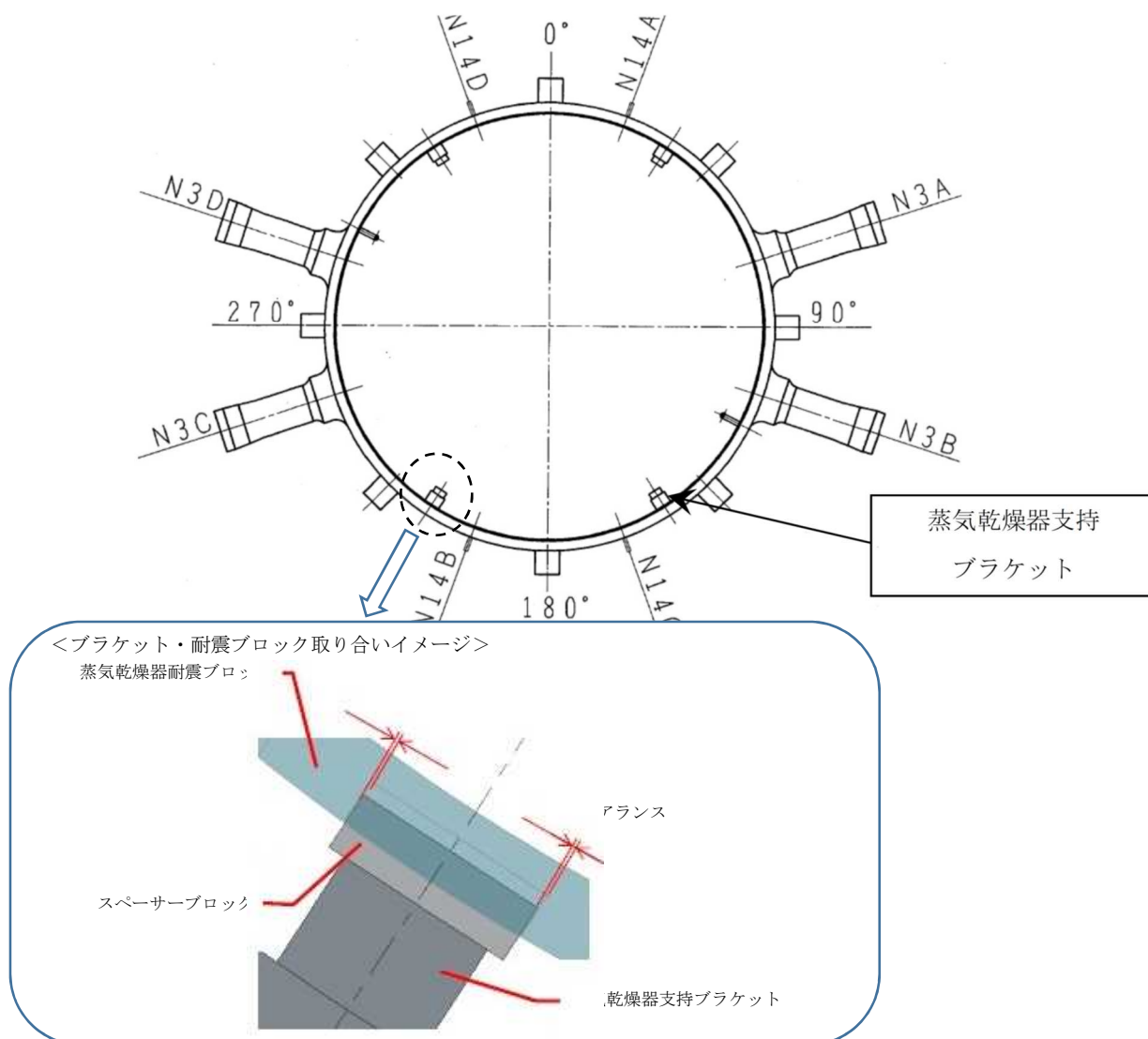


図2-1 蒸気乾燥器支持ブラケットの位置

蒸気乾燥器支持ブラケットは、4体で耐震用ブロックを介し蒸気乾燥器を支持する設計である。しかし、耐震用ブロックと蒸気乾燥器支持ブラケットの間にはクリアランスが存在し、水平地震動の入力方向によっては、4体のうち対角のブラケット2体のみはその荷重を負担する可能性があるため、現行評価では対角のブラケット2体により、水平2方向の地震荷重を支持するものとして評価している。

図 2-2 に評価においてブラケットに負荷される水平方向の地震荷重を示す。

$$F = \max\left(\frac{F_x}{2}, \frac{F_y}{2}\right)$$

F : 蒸気乾燥器から受ける地震荷重

F_x : X 方向地震よりブラケットに発生する荷重

F_y : Y 方向地震よりブラケットに発生する荷重

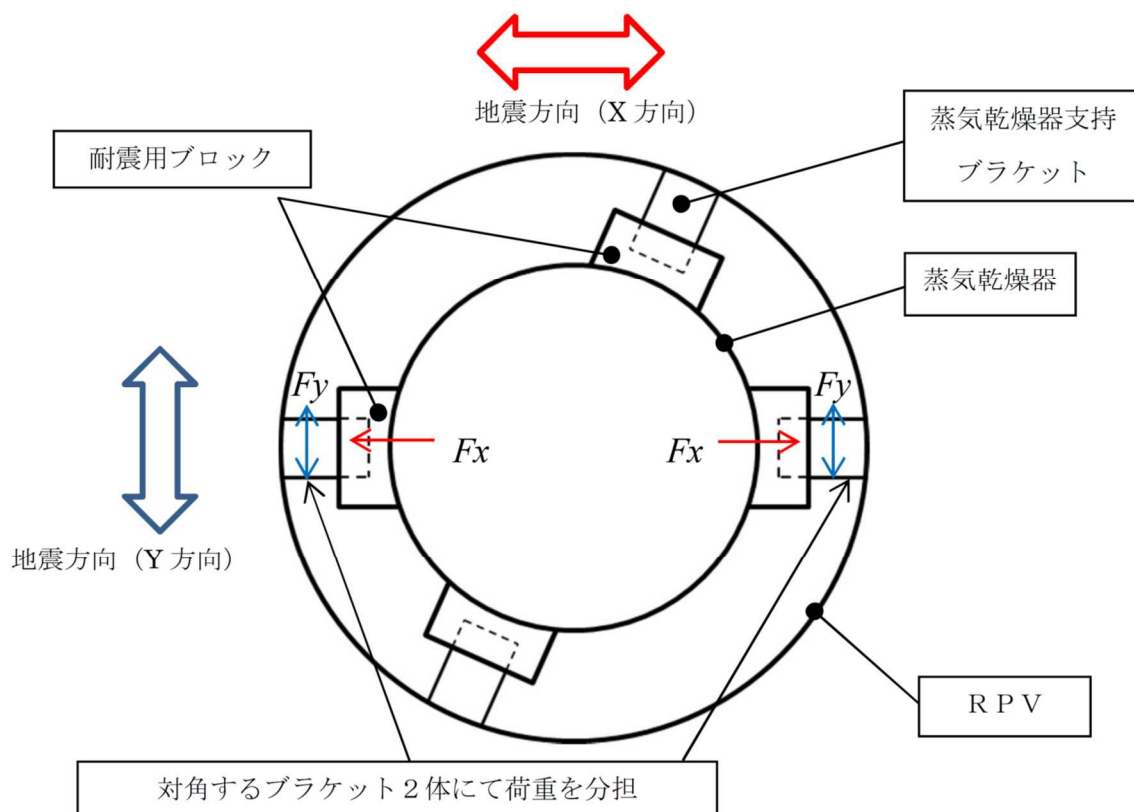


図 2-2 評価におけるブラケットの負荷荷重

2.3 水平 2 方向同時加振の影響

蒸気乾燥器支持ブラケットは、現行評価において、水平 2 方向の地震荷重を同時に考慮し、ブラケットと耐震ブロックの接触状態として想定される最も厳しい状態として 4 体のブラケットのうち 2 体でその荷重を支持すると評価しており、水平 2 方向同時加振による現行の評価結果への影響はない。

3 水平 2 方向同時加振の影響評価について（制御棒・破損燃料貯蔵ラック）

3.1 はじめに

本項は、制御棒・破損燃料貯蔵ラック（以下「ラック」という。）のサポートに対する水平 2 方向同時加振の影響についてまとめたものである。

3.2 サポートの構造

本サポートは、ラックの耐震上弱軸方向となる短辺方向の転倒防止を目的として、使用済燃料貯蔵プール壁面から腕を張り出す形で設置されており、ラックの短辺方向側を支持し、長辺方向側は荷重を受けない構造となっている（図 3-1）。

3.3 水平 2 方向の地震力による影響について

現行評価において、サポートの応力は、地震力によりラックから入力される荷重(反力)、サポート自身の荷重(自重及び自身の慣性力)と、部材の断面特性を用いて下記の地震条件時のそれぞれについて求めている。

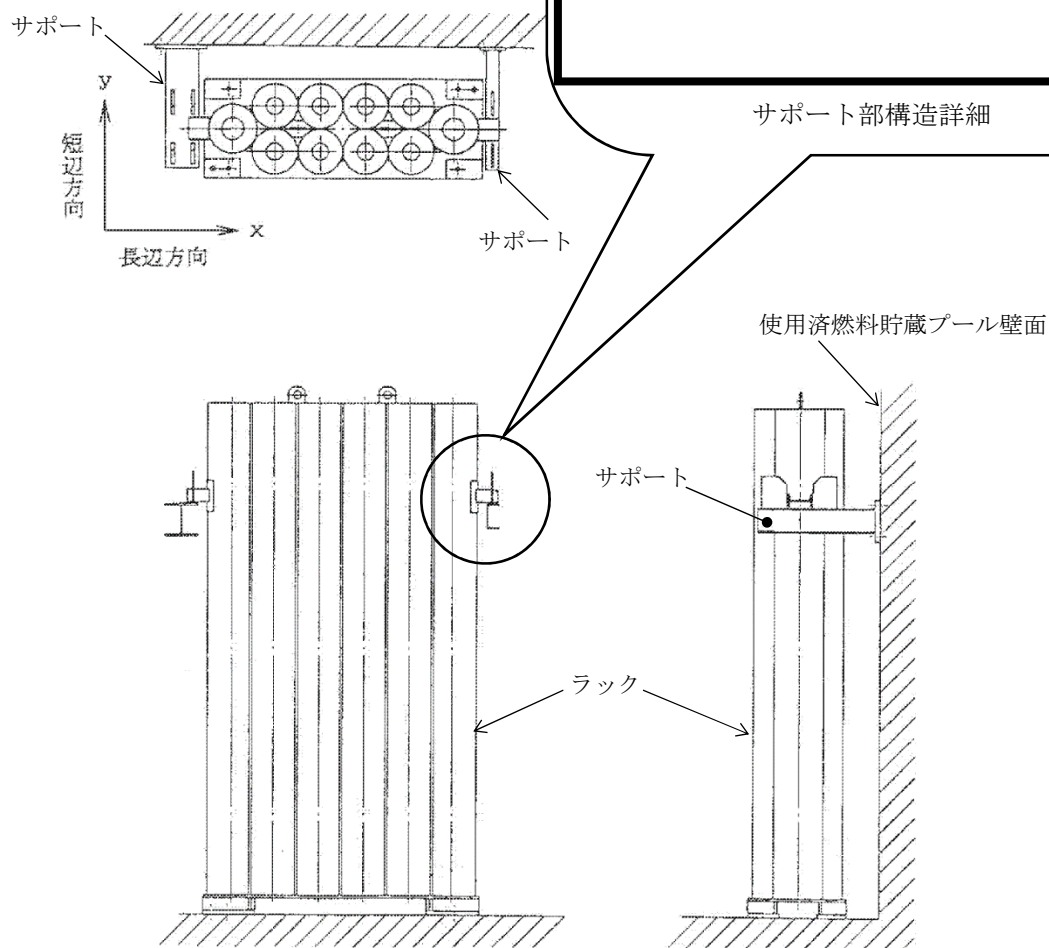
- ・長辺方向(水平 x 方向)＋鉛直方向
- ・短辺方向(水平 y 方向)＋鉛直方向

長辺方向(x 方向)の地震の場合、サポートはラックを支持していないため、ラックから入力される荷重(反力)は生じず、サポート自身の慣性力による応力のみが発生する。短辺方向(y 方向)の地震の場合、サポートには、ラックからの反力と自身の慣性力による応力が発生する。ラック自身の慣性力は、いずれの方向の地震においても、ラックからの反力と比較して小さい。

したがって、サポートの応力は、水平 1 方向（短辺方向(y 方向)）の地震力の応答が支配的であり、他の水平方向の地震力による応答は小さいため、水平 2 方向入力の影響は軽微である。

〔サポート取合部の説明〕

- ・短辺方向側は、ラック付のサポート座を支持用プレートではさみ込むように拘束して支持されている。
- ・長辺方向側は、拘束する構造となっていない。



全景

図 3-1 制御棒・破損燃料貯蔵ラック設置状態

4 水平 2 方向同時加振の影響評価について（円筒形容器）

4.1 はじめに

本項は、水平地震動が水平 2 方向に作用した場合の円筒容器に対する影響検討結果を FEM で確認した結果をまとめたものである。

容器については、別紙 2 にて説明している通り、X 方向地震と Y 方向地震とでは最大応力点が異なるため、それぞれの地震による応力を組合せても影響軽微としている。本項には、別紙 2 にて説明していることを解析にて確認することを目的として、円筒形容器の FEM モデルを用いた解析を実施した結果を示す。ここで、本検討は軸方向応力、周方向応力及びせん断応力の組合せに基づく胴の応力強さを対象としたものである。

具体的な確認項目として、以下 2 点を確認した。

- ① X 方向地震と Y 方向地震とで最大応力点が異なることの確認
- ② 最大応力点以外に、X 方向地震と Y 方向地震による応力を組合せた場合に影響のあるような点があるかを確認

4.2 影響評価検討

評価検討モデルを図 4-1 に示す。検討方法を以下に示す。

- ・ 検討方法 : 水平地震力 1G を X 方向へ入力し、周方向の 0° 方向から 90° 方向にかけて応力分布を確認する。また、水平 1 方向地震による応力を用いて水平 2 方向地震による応力を評価する。
- ・ 検討モデル : たて置き円筒形容器をシェル要素にてモデル化
- ・ 拘束点 : 容器基部を拘束
- ・ 荷重条件 : モデル座標の X 方向に水平地震力 1G を負荷
- ・ 解析手法 : 静的解析
- ・ 対象部位及び応力 : 容器基部における応力強さ
- ・ 水平 2 方向同時加振時の考慮方法
 - ・ 組合せ係数法（最大応答の非同時性を考慮）
 - ・ SRSS 法（最大応答の非同時性を考慮）

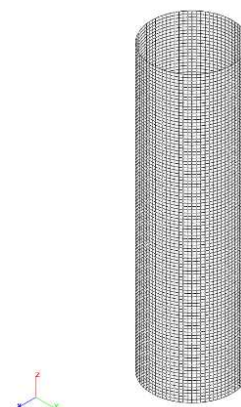


図 4-1 評価検討モデル

4.3 検討結果

4.3.1 軸方向応力 σ_x

容器基部における水平地震時の軸方向応力コンター図を図 4-2 に示す。

この結果より、最大応力点は $0^\circ / 180^\circ$ 位置に発生していることが分かる。円筒形容器のため評価部位が円形の一様断面であることから、Y 方向から水平地震力を入力した場合においても、最大応力点は $90^\circ / 270^\circ$ 位置に発生することは明白であるため、水平方向地震動の入力方向により最大応力点は異なる。

また、表 4-1 に X 方向、Y 方向、2 方向入力時の軸方向応力分布を示す。

中間部 ($0^\circ / 90^\circ$ 方向以外) において 2 方向入力時の影響が確認できる。なお、組合せ係数法及び SRSS 法のそれぞれを用いた水平 2 方向入力時の応力 $\sigma_{x,c}(\theta)$ 及び $\sigma_{x,s}(\theta)$ は、水平 1 方向入力時の軸方向応力解析結果 (X 方向入力時応力 $\sigma_{x,X}(\theta)$ 、Y 方向入力時応力 $\sigma_{x,Y}(\theta)$) により、以下の通り算出する。

<組合せ係数法>

$$\sigma_{x,c}(\theta) = \max(\sigma_{x,c(X)}(\theta), \sigma_{x,c(Y)}(\theta))$$

ただし、 $\sigma_{x,c(X)}(\theta)$ は $\sigma_{x,X}(\theta)$ に 1、 $\sigma_{x,Y}(\theta)$ に 0.4 の係数を乗じて X・Y 方向入力時それぞれの軸応力を組合せた応力、 $\sigma_{x,c(Y)}(\theta)$ は $\sigma_{x,Y}(\theta)$ に 1、 $\sigma_{x,X}(\theta)$ に 0.4 の係数を乗じて X・Y 方向入力時それぞれの応力を組合せた応力であり、以下のように表される。

$$\sigma_{x,c(X)}(\theta) = \sigma_{x,X}(\theta) + 0.4 \times \sigma_{x,Y}(\theta)$$

$$\sigma_{x,c(Y)}(\theta) = 0.4 \times \sigma_{x,X}(\theta) + \sigma_{x,Y}(\theta)$$

<SRSS 法>

$$\sigma_{x,s}(\theta) = \sqrt{\sigma_{x,X}(\theta)^2 + \sigma_{x,Y}(\theta)^2}$$

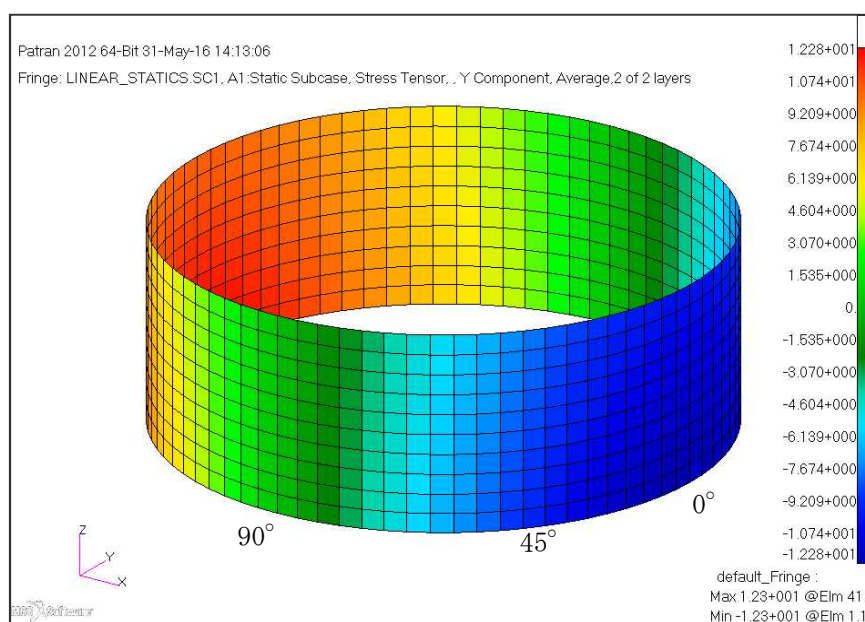


図 4-2 水平地震時軸方向応力コンター図

表 4-1 水平地震時の軸方向応力分布

角度	x 方向入力時 応力 (MPa) $\sigma_{x,x}(\theta)$	y 方向入力時 応力 (MPa) $\sigma_{x,y}(\theta)$	2 方向入力時応力 (MPa)	
			組合せ係数法 $\sigma_{x,c}(\theta)$	SRSS 法 $\sigma_{x,s}(\theta)$
0° 方向	12.28	0.00	12.28 $\sigma_{x,c(X)}(0^\circ)=12.28$ $\sigma_{x,c(Y)}(0^\circ)=4.91$	12.28
22.5° 方向	11.34	4.70	13.22 $\sigma_{x,c(X)}(22.5^\circ)=13.22$ $\sigma_{x,c(Y)}(22.5^\circ)=9.24$	12.28
45° 方向	8.68	8.68	12.15 $\sigma_{x,c(X)}(45^\circ)=12.15$ $\sigma_{x,c(Y)}(45^\circ)=12.15$	12.28
67.5° 方向	4.70	11.34	13.22 $\sigma_{x,c(X)}(67.5^\circ)=9.24$ $\sigma_{x,c(Y)}(67.5^\circ)=13.22$	12.28
90° 方向	0.00	12.28	12.28 $\sigma_{x,c(X)}(90^\circ)=4.91$ $\sigma_{x,c(Y)}(90^\circ)=12.28$	12.28

4.3.2 周方向応力 σ_ϕ

容器基部における水平地震時の周方向応力コンター図を図 4-3 に、周方向応力分布を表 4-2 に示す。軸方向応力同様に最大応力点は 0°/180°位置に発生しており、最大応力点が異なることについて確認できる。

また、2 方向入力時の影響についても軸方向応力と同様に中間部 (0° /90° 方向以外) において 2 方向入力時の影響が確認できる。なお、組合せ係数法及び SRSS 法のそれぞれを用いた水平 2 方向入力時の応力 $\sigma_{\phi,c}(\theta)$ 及び $\sigma_{\phi,s}(\theta)$ は、水平 1 方向入力時の軸方向応力解析結果 (X 方向入力時応力 $\sigma_{\phi,x}(\theta)$ 、Y 方向入力時応力 $\sigma_{\phi,y}(\theta)$) により、以下の通り算出する。

<組合せ係数法>

$$\sigma_{\phi,c}(\theta) = \max(\sigma_{\phi,c(X)}(\theta), \sigma_{\phi,c(Y)}(\theta))$$

ただし、 $\sigma_{\phi,c(X)}(\theta)$ は $\sigma_{\phi,x}(\theta)$ に 1、 $\sigma_{\phi,y}(\theta)$ に 0.4 の係数を乗じて X・Y 方向入力時それぞれの軸応力を組合せた応力、 $\sigma_{\phi,c(Y)}(\theta)$ は $\sigma_{\phi,y}(\theta)$ に 1、 $\sigma_{\phi,x}(\theta)$ に 0.4 の係数を乗じて X・Y 方向入力時それぞれの応力を組合せた応力であり、以下のように表される。

$$\sigma_{\phi,c(X)}(\theta) = \sigma_{\phi,x}(\theta) + 0.4 \times \sigma_{\phi,y}(\theta)$$

$$\sigma_{\phi,c(Y)}(\theta) = 0.4 \times \sigma_{\phi,x}(\theta) + \sigma_{\phi,y}(\theta)$$

<SRSS 法>

$$\sigma_{\phi,s}(\theta) = \sqrt{\sigma_{\phi,X}(\theta)^2 + \sigma_{\phi,Y}(\theta)^2}$$

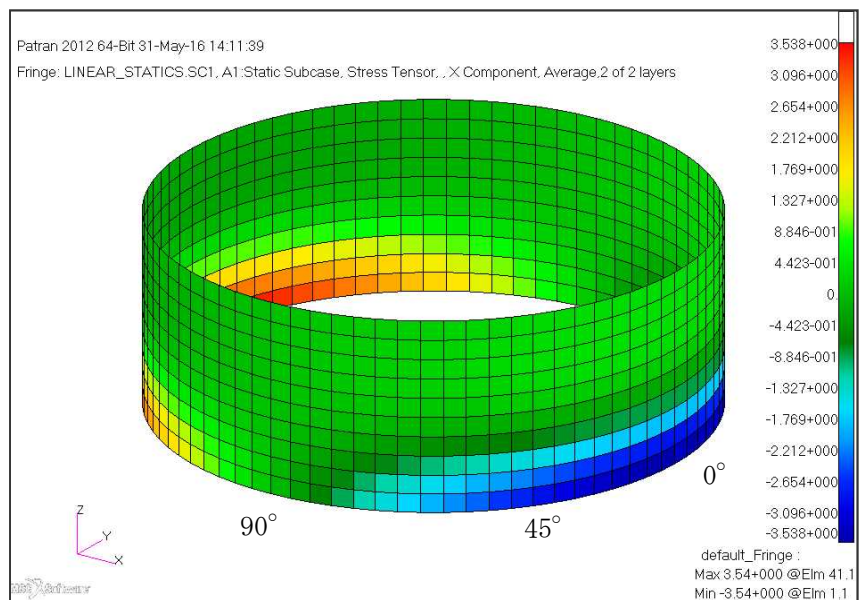


図 4-3 水平地震時周方向応力コンター図

表 4-2 水平地震時の周方向応力分布

角度	X 方向入力時 応力 (MPa) $\sigma_{\phi,X}(\theta)$	Y 方向入力時 応力 (MPa) $\sigma_{\phi,Y}(\theta)$	2 方向入力時応力 (MPa)	
			組合せ係数法 $\sigma_{\phi,c}(\theta)$	SRSS 法 $\sigma_{\phi,s}(\theta)$
0° 方向	3.54	0.00	3.54 $\sigma_{x,c(X)}(0^\circ)=3.54$ $\sigma_{x,c(Y)}(0^\circ)=1.42$	3.54
22.5° 方向	3.27	1.35	3.81 $\sigma_{x,c(X)}(22.5^\circ)=3.81$ $\sigma_{x,c(Y)}(22.5^\circ)=2.66$	3.54
45° 方向	2.50	2.50	3.50 $\sigma_{x,c(X)}(45^\circ)=3.50$ $\sigma_{x,c(Y)}(45^\circ)=3.50$	3.54
67.5° 方向	1.35	3.27	3.81 $\sigma_{x,c(X)}(67.5^\circ)=2.66$ $\sigma_{x,c(Y)}(67.5^\circ)=3.81$	3.54
90° 方向	0.00	3.54	3.54 $\sigma_{x,c(X)}(90^\circ)=1.42$ $\sigma_{x,c(Y)}(90^\circ)=3.54$	3.54

4.3.3 セン断応力 τ

容器基部における水平地震時のせん断応力コンター図を図 4-4 に示し、せん断応力分布を表 4-3 に示す。せん断応力は軸方向及び周方向応力とは異なり、最大応力は $90^\circ / 270^\circ$ 位置に生じているが、最大応力と最小応力の生じる点が回転しているのみで応力の傾向として最大応力点が異なることについて確認できる。

また、2 方向入力時の影響についても軸方向応力、周方向応力と同様に中間部 ($0^\circ / 90^\circ$ 方向以外) において 2 方向入力時の影響が確認できる。なお、組合せ係数法及び SRSS 法のそれぞれを用いた水平 2 方向入力時の応力 $\tau_c(\theta)$ 及び $\tau_s(\theta)$ は、水平 1 方向入力時の軸方向応力解析結果 (X 方向入力時応力 $\tau_X(\theta)$ 、Y 方向入力時応力 $\tau_Y(\theta)$) により、以下の通り算出する。

<組合せ係数法>

$$\tau_c(\theta) = \max(\tau_{c(X)}(\theta), \tau_{c(Y)}(\theta))$$

ただし、 $\tau_{c(X)}(\theta)$ は $\tau_X(\theta)$ に 1、 $\tau_Y(\theta)$ に 0.4 の係数を乗じて X・Y 方向入力時それぞれの軸応力を組合せた応力、 $\tau_{c(Y)}(\theta)$ は $\tau_Y(\theta)$ に 1、 $\tau_X(\theta)$ に 0.4 の係数を乗じて X・Y 方向入力時それぞれの応力を組合せた応力であり、以下のように表される。

$$\tau_{c(X)}(\theta) = \tau_X(\theta) + 0.4 \times \tau_Y(\theta)$$

$$\tau_{c(Y)}(\theta) = 0.4 \times \tau_X(\theta) + \tau_Y(\theta)$$

<SRSS 法>

$$\tau_s(\theta) = \sqrt{\tau_X(\theta)^2 + \tau_Y(\theta)^2}$$

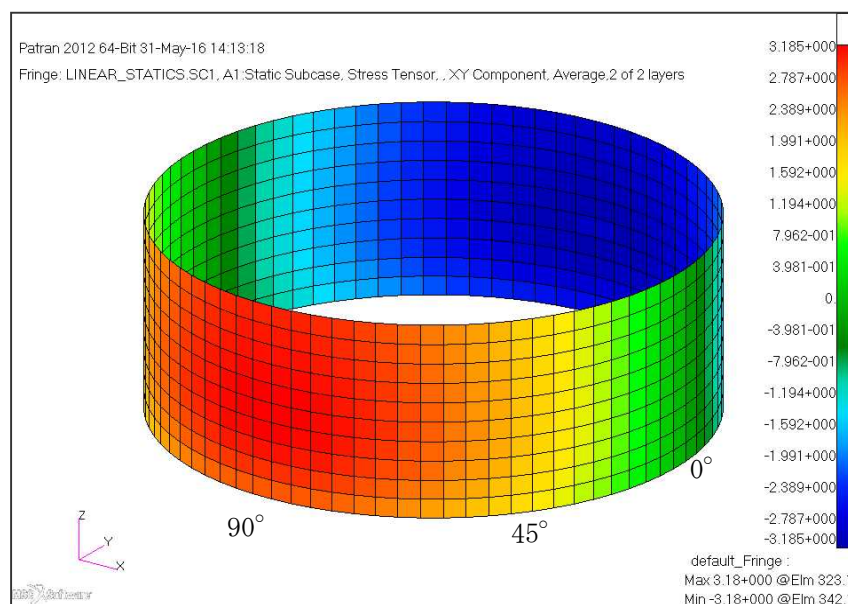


図 4-4 水平地震時せん断応力コンター図

表 4-3 水平地震時のせん断応力分布

角度	X 方向入力時 応力 (MPa) $\tau_x(\theta)$	Y 方向入力時 応力 (MPa) $\tau_y(\theta)$	2 方向入力時応力 (MPa)	
			組合せ係数法 $\tau_c(\theta)$	SRSS 法 $\tau_s(\theta)$
0° 方向	0.00	2.70	2.70 $\tau_{c(X)}(0^\circ)=1.08$ $\tau_{c(Y)}(0^\circ)=2.70$	2.70
22.5° 方向	1.03	2.49	2.91 $\tau_{c(X)}(22.5^\circ)=2.03$ $\tau_{c(Y)}(22.5^\circ)=2.91$	2.70
45° 方向	1.91	1.91	2.67 $\tau_{c(X)}(45^\circ)=2.67$ $\tau_{c(Y)}(45^\circ)=2.67$	2.70
67.5° 方向	2.49	1.03	2.91 $\tau_{c(X)}(67.5^\circ)=2.91$ $\tau_{c(Y)}(67.5^\circ)=2.03$	2.70
90° 方向	2.70	0.00	2.70 $\tau_{c(X)}(90^\circ)=2.70$ $\tau_{c(Y)}(90^\circ)=1.08$	2.70

4.3.4 組合せ応力強さ σ

胴の組合せ応力強さ σ は、表 4-1～3 に示した X 方向、Y 方向、2 方向入力時それぞれの軸方向応力 σ_x 、周方向応力 σ_ϕ 及びせん断応力 τ を組合せ、耐震評価結果として用いている。

< 水平 1 方向のうち、X 方向入力時の組合せ応力強さ $\sigma_x(\theta)$ >

主応力 $\sigma_{1,X}(\theta)$ 、 $\sigma_{2,X}(\theta)$ 、 $\sigma_{3,X}(\theta)$ は以下の通りに表される。

$$\begin{aligned}\sigma_{1,X}(\theta) &= \frac{1}{2} \left(\sigma_{x,X}(\theta) + \sigma_{\phi,X}(\theta) + \sqrt{(\sigma_{x,X}(\theta) - \sigma_{\phi,X}(\theta))^2 + 4\tau_x(\theta)^2} \right) \\ \sigma_{2,X}(\theta) &= \frac{1}{2} \left(\sigma_{x,X}(\theta) + \sigma_{\phi,X}(\theta) - \sqrt{(\sigma_{x,X}(\theta) - \sigma_{\phi,X}(\theta))^2 + 4\tau_x(\theta)^2} \right) \\ \sigma_{3,X}(\theta) &= 0\end{aligned}$$

各主応力により、応力強さ $\sigma_x(\theta)$ は以下の通りとなる。

$$\sigma_x(\theta) = \max(|\sigma_{1,X}(\theta) - \sigma_{2,X}(\theta)|, |\sigma_{2,X}(\theta) - \sigma_{3,X}(\theta)|, |\sigma_{3,X}(\theta) - \sigma_{1,X}(\theta)|)$$

なお、Y 方向入力時の組合せ応力強さ $\sigma_y(\theta)$ は、上記の式における X を Y に置き換えた式により算出する。

ここで $\theta=0^\circ$ の場合、表 4-1 より $\sigma_{x,x}(0^\circ)=12.28$ 、表 4-2 より $\sigma_{\phi,x}(0^\circ)=3.54$ 、表 4-3 より $\tau_x(0^\circ)=0$ であるため

$$\sigma_{1,x}(0^\circ)=\frac{1}{2}\left(12.28+3.54+\sqrt{(12.28-3.54)^2+4(0)^2}\right)=12.28$$

$$\sigma_{2,x}(0^\circ)=\frac{1}{2}\left(12.28+3.54-\sqrt{(12.28-3.54)^2+4(0)^2}\right)=3.54$$

$$\sigma_{3,x}(0^\circ)=0$$

となる。したがって、

$$\sigma_x(0^\circ)=\max(|12.28-3.54|, |3.54-0|, |0-12.28|)=12.28$$

＜組合せ係数法による、水平 2 方向同時加振を考慮した組合せ応力強さ $\sigma_c(\theta)$ ＞
 $\sigma_c(\theta)$ の算出フローを図 4-5 に示す。

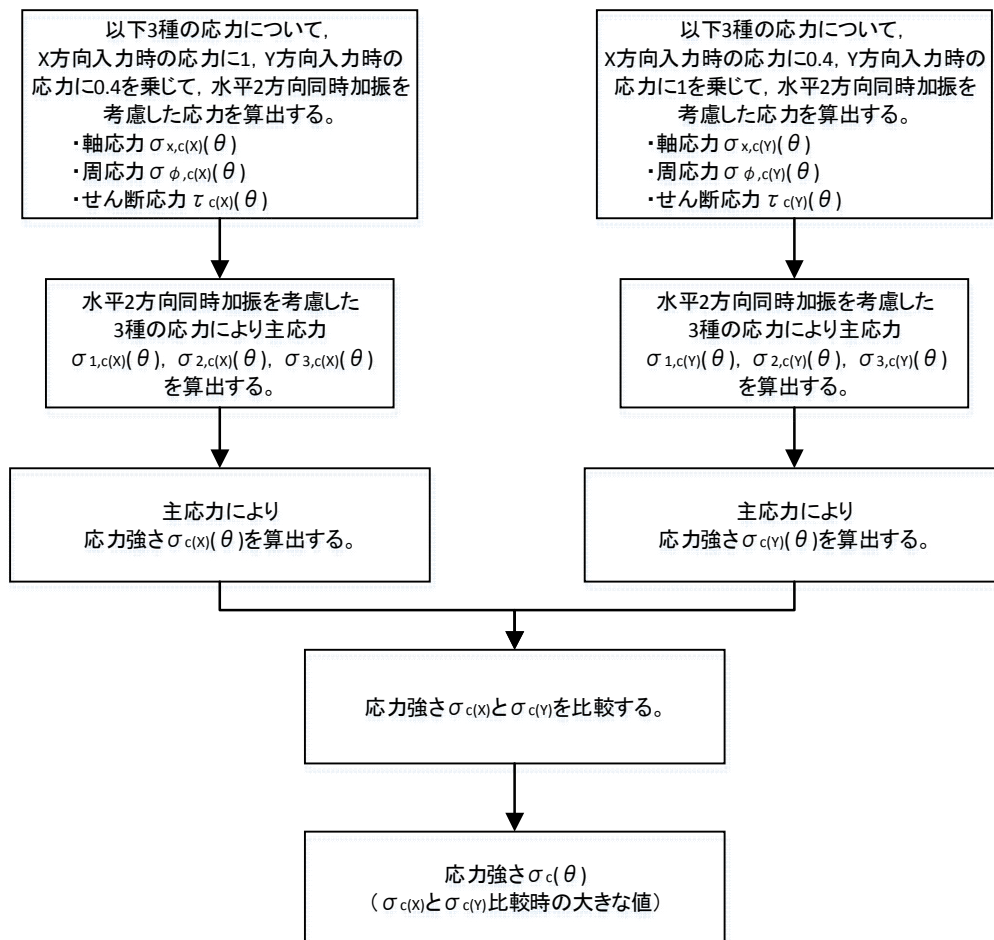


図 4-5 組合せ係数法による組合せ応力算出フロー

X 方向入力時の応力に 1, Y 方向入力時の応力に 0.4 を乗じて組み合わせた水平 2 方向同時加振を考慮した応力は以下の通りとなる。

$$\begin{aligned}\sigma_{x,c(X)}(\theta) &= \sigma_{x,X}(\theta) + 0.4 \times \sigma_{x,Y}(\theta) \\ \sigma_{\phi,c(X)}(\theta) &= \sigma_{\phi,X}(\theta) + 0.4 \times \sigma_{\phi,Y}(\theta) \\ \tau_{c(X)}(\theta) &= \tau_X(\theta) + 0.4 \times \tau_Y(\theta)\end{aligned}$$

水平 2 方向同時加振を考慮した各応力により, 主応力強さ $\sigma_{1,c(X)}(\theta)$, $\sigma_{2,c(X)}(\theta)$, $\sigma_{3,c(X)}(\theta)$ は以下の通りに表される。

$$\begin{aligned}\sigma_{1,c(X)}(\theta) &= \frac{1}{2} \left(\sigma_{x,c(X)}(\theta) + \sigma_{\phi,c(X)}(\theta) + \sqrt{(\sigma_{x,c(X)}(\theta) - \sigma_{\phi,c(X)}(\theta))^2 + 4\tau_{c(X)}(\theta)^2} \right) \\ \sigma_{2,c(X)}(\theta) &= \frac{1}{2} \left(\sigma_{x,c(X)}(\theta) + \sigma_{\phi,c(X)}(\theta) - \sqrt{(\sigma_{x,c(X)}(\theta) - \sigma_{\phi,c(X)}(\theta))^2 + 4\tau_{c(X)}(\theta)^2} \right) \\ \sigma_{3,c(X)}(\theta) &= 0\end{aligned}$$

各主応力により, 応力強さ $\sigma_{c(X)}(\theta)$ は以下の通りとなる。

$$\sigma_{c(X)}(\theta) = \max(|\sigma_{1,c(X)}(\theta) - \sigma_{2,c(X)}(\theta)|, |\sigma_{2,c(X)}(\theta) - \sigma_{3,c(X)}(\theta)|, |\sigma_{3,c(X)}(\theta) - \sigma_{1,c(X)}(\theta)|)$$

同様に, Y 方向入力時の応力に 1, X 方向入力時の応力に 0.4 を乗じて組み合わせた水平 2 方向同時加振を考慮した応力により, 応力強さ $\sigma_{c(Y)}(\theta)$ を算出する。

この応力強さ $\sigma_{c(X)}(\theta)$ と $\sigma_{c(Y)}(\theta)$ を比較し, 大きな値を $\sigma_c(\theta)$ とする。

$$\sigma_c(\theta) = \max(\sigma_{c(X)}(\theta), \sigma_{c(Y)}(\theta))$$

ここで $\theta=0^\circ$ の場合, 表 4-1 より $\sigma_{x,X}(0^\circ)=12.28$, 表 4-2 より $\sigma_{\phi,X}(0^\circ)=3.54$, 表 4-3 より $\tau_X(0^\circ)=1.08$ であるため,

$$\begin{aligned}\sigma_{1,c(X)}(0^\circ) &= \frac{1}{2} \left(12.28 + 3.54 + \sqrt{(12.28 - 3.54)^2 + 4(1.08)^2} \right) = 12.41 \\ \sigma_{2,c(X)}(0^\circ) &= \frac{1}{2} \left(12.28 + 3.54 - \sqrt{(12.28 - 3.54)^2 + 4(1.08)^2} \right) = 3.41 \\ \sigma_{3,c(X)}(0^\circ) &= 0\end{aligned}$$

となる。したがって, 応力強さ $\sigma_{c(X)}(0^\circ)$ は以下のように算出される。

$$\sigma_{c(X)}(0^\circ) = \max(|12.41 - 3.41|, |3.41 - 0|, |0 - 12.41|) = 12.41$$

同様に, 表 4-1 より $\sigma_{x,Y}(0^\circ)=4.91$, 表 4-2 より $\sigma_{\phi,Y}(0^\circ)=1.42$, 表 4-3 より $\tau_Y(0^\circ)=2.70$ であるため

$$\begin{aligned}\sigma_{1,c(Y)}(0^\circ) &= \frac{1}{2} \left(4.91 + 1.42 + \sqrt{(4.91 - 1.42)^2 + 4(2.70)^2} \right) = 6.38 \\ \sigma_{2,c(Y)}(0^\circ) &= \frac{1}{2} \left(4.91 + 1.42 - \sqrt{(4.91 - 1.42)^2 + 4(2.70)^2} \right) = -0.05 \\ \sigma_{3,c(Y)}(0^\circ) &= 0\end{aligned}$$

となる。したがって、応力強さ $\sigma_{c(Y)}(0^\circ)$ は以下のように算出される。

$$\sigma_{c(Y)}(0^\circ) = \max(|6.38 - (-0.05)|, |-0.05 - 0|, |0 - 6.38|) = 6.43$$

応力強さ $\sigma_{c(X)}(0^\circ)$ と $\sigma_{c(Y)}(0^\circ)$ により、組合せ係数法による水平 2 方向同時加振時を考慮した応力強さ $\sigma_c(0^\circ)$ は

$$\sigma_c(0^\circ) = \max(12.41, 6.43) = 12.41$$

となる。

<SRSS 法による、水平 2 方向同時加振を考慮した組合せ応力強さ $\sigma_s(\theta)$ >

主応力 $\sigma_{1,s}(\theta)$, $\sigma_{2,s}(\theta)$, $\sigma_{3,s}(\theta)$ を以下の通りに表される。

$$\begin{aligned}\sigma_{1,s}(\theta) &= \frac{1}{2} \left(\sigma_{x,s}(\theta) + \sigma_{\phi,s}(\theta) + \sqrt{(\sigma_{x,s}(\theta) - \sigma_{\phi,s}(\theta))^2 + 4\tau_s(\theta)^2} \right) \\ \sigma_{2,s}(\theta) &= \frac{1}{2} \left(\sigma_{x,s}(\theta) + \sigma_{\phi,s}(\theta) - \sqrt{(\sigma_{x,s}(\theta) - \sigma_{\phi,s}(\theta))^2 + 4\tau_s(\theta)^2} \right) \\ \sigma_{3,s} &= 0\end{aligned}$$

各主応力により、応力強さ $\sigma_s(\theta)$ は以下の通りとなる。

$$\sigma_s(\theta) = \max(|\sigma_{1,s}(\theta) - \sigma_{2,s}(\theta)|, |\sigma_{2,s}(\theta) - \sigma_{3,s}(\theta)|, |\sigma_{3,s}(\theta) - \sigma_{1,s}(\theta)|)$$

ここで $\theta = 0^\circ$ の場合には、表 4-1 より $\sigma_{x,s}(0^\circ) = 12.28$ 、表 4-2 より $\sigma_{\phi,s}(0^\circ) = 3.54$ 、表 4-3 より $\tau_s(0^\circ) = 2.70$ であるため、

$$\begin{aligned}\sigma_{1,s}(0^\circ) &= \frac{1}{2} \left(12.28 + 3.54 + \sqrt{(12.28 - 3.54)^2 + 4(2.70)^2} \right) = 13.05 \\ \sigma_{2,s}(0^\circ) &= \frac{1}{2} \left(12.28 + 3.54 - \sqrt{(12.28 - 3.54)^2 + 4(2.70)^2} \right) = 2.77 \\ \sigma_{3,s}(0^\circ) &= 0\end{aligned}$$

となる。したがって、

$$\sigma_s(0^\circ) = \max(|13.05 - 2.77|, |2.77 - 0|, |0 - 13.05|) = 13.05$$

$\theta = 0^\circ$ の場合に SRSS 法、組合せ係数法を用いて算出した応力強さを表 4-4 にまとめる。

表 4-4 SRSS 法，組合せ係数法を用いて算出した応力強さ（ $\theta=0^\circ$ ）

	X	Y	SRSS 法	組合せ係数法	
				$1.0 \times X + 0.4 \times Y$	$0.4 \times X + 1.0 \times Y$
$\sigma_x(\theta)$	12.28	0.00	$\sqrt{(12.28^2 + 0.00^2)} =$ 12.28	$12.28 \times 1.0 + 0.00 \times 0.4 =$ 12.28	$12.28 \times 1.0 + 0.00 \times 0.4 =$ 4.91
$\sigma_\phi(\theta)$	3.54	0.00	$\sqrt{(3.54^2 + 0.00^2)} =$ 3.54	$3.54 \times 1.0 + 0.00 \times 0.4 =$ 3.54	$3.54 \times 1.0 + 0.00 \times 0.4 =$ 1.42
$\sigma_\tau(\theta)$	0.00	2.70	$\sqrt{(0.00^2 + 2.70^2)} =$ 2.70	$0.00 \times 1.0 + 2.70 \times 0.4 =$ 1.08	$0.00 \times 1.0 + 2.70 \times 0.4 =$ 2.70
$\sigma_1(\theta)$	-	-	$1/2 \times [12.28 + 3.54 +$ $\sqrt{\{(12.28 - 3.54)^2 + 4 \times 2.70^2\}}] =$ 13.04	$1/2 \times [12.28 + 3.54 +$ $\sqrt{\{(12.28 - 3.54)^2 + 4 \times 1.08^2\}}] =$ 3.41	$1/2 \times [4.91 + 1.42 +$ $\sqrt{\{(4.91 - 1.42)^2 + 4 \times 2.70^2\}}] =$ 6.38
$\sigma_2(\theta)$	-	-	$1/2 \times [12.28 + 3.54 -$ $\sqrt{\{(12.28 - 3.54)^2 + 4 \times 2.70^2\}}] =$ 2.77	$1/2 \times [12.28 + 3.54 -$ $\sqrt{\{(12.28 - 3.54)^2 + 4 \times 1.08^2\}}] =$ 12.41	$1/2 \times [4.91 + 1.42 -$ $\sqrt{\{(4.91 - 1.42)^2 + 4 \times 2.70^2\}}] =$ -0.05
$\sigma_3(\theta)$	-	-	0	0	0
$\sigma(\theta)$	-	-	MAX ($ 13.04 - 2.77 $, $ 2.77 - 0 $, $ 0 - 13.04 $) = 13.04	MAX ($ 3.41 - 12.41 $, $ 12.41 - 0 $, $ 0 - 3.41 $) = 12.41	MAX ($ -0.05 - 6.38 $, $ 6.38 - 0 $, $ 0 - (-0.05) $) = 6.43
				Max(12.41, 6.43) = 12.41	

算出した応力強さの分布及び分布図を表 4-5、図 4-6 に示す。

表 4-5 水平地震時の組合せ応力強さ分布

角度	X 方向入力時 応力強さ (MPa) $\sigma_x(\theta)$	Y 方向入力時 応力強さ (MPa) $\sigma_y(\theta)$	2 方向入力時応力強さ (MPa)	
			組合せ係数法 $\sigma_c(\theta)$	SRSS 法 $\sigma_s(\theta)$
0° 方向	12.28	5.40	12.41	13.04
22.5° 方向	11.47	6.03	13.64	13.04
45° 方向	9.22	9.22	12.91	13.04
67.5° 方向	6.03	11.47	13.64	13.04
90° 方向	5.40	12.28	12.41	13.04

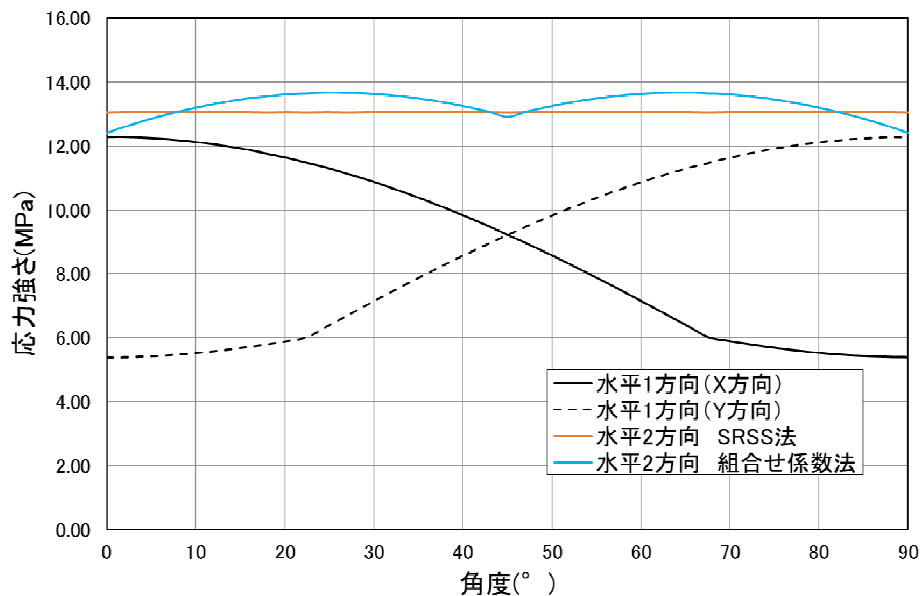


図 4-6 水平地震時組合せ応力強さ分布図

組合せ応力強さは SRSS 法では全方向において一定であるのに対して、組合せ係数法では 24.75°/65.25° 方向に 2 つのピークをもつ分布となった。組合せ応力強さは 0°/45°/90° 方向付近では SRSS 法の方が組合せ係数法に比べ大きな値となるのに対して、組合せ係数法がピークを持つ 24.75°/65.25° 方向付近では SRSS 法を約 5% 上回る結果となった。

水平 2 方向入力時の SRSS 法による組合せ最大応力強さは水平 1 方向入力時の最大応力強さに対して 6% 上回る程度であり（表 4-6 参照）、水平 2 方向による影響は軽微と言える。一方、水平 2 方向入力時の組合せ係数法による組合せ最大応力強さについては、水平 1 方向入力時の最大応力強さに対して 11% 上回る結果となった。これは水平 2 方向の影響軽微と

判断する基準（応力の増分が1割）を超えているが、本検討においては水平地震力のみを考慮しており、実際の耐震評価においては水平地震力以外に自重、内圧及び鉛直地震力等を考慮して評価を実施することから、水平2方向を考慮した際の応力強さの増分は小さくなる。このため、水平2方向による影響は軽微であると考えられる。

表 4-6 水平地震時の最大組合せ応力強さ及び水平2方向による影響

		最大組合せ応力強さ [MPa]	水平2方向／水平1方向 最大応力強さ比
水平1方向入力		12.28	1.00
水平2方向入力	SRSS 法	13.04	1.06
	組合せ係数法	13.67	1.11

5 水平 2 方向同時加振の影響評価について（ダイヤフラムフロア）

5.1 はじめに

本項は、ダイヤフラムフロアに対する水平 2 方向同時加振の影響についてまとめたものである。

5.2 ダイヤフラムフロアの構造

ダイヤフラムフロアは鉄筋コンクリート製格納容器（以下、「RCCV」と呼ぶ。）をドライウエルとサプレッションチェンバに仕切る構造物である。ダイヤフラムフロアは鉄筋コンクリート製のスラブであり、RCCV 及び原子炉本体基礎で支持されている。ダイヤフラムフロアと RCCV の接合部にはシアプレートが放射状に設置されており、円周方向及び鉛直方向の力の伝達を行う。原子炉本体基礎との接合部には、ダイヤフラムフロアが原子炉本体基礎に上載する構造とし、原子炉本体基礎上面にシアプレート及び頭付きスタッドが放射状に設置されており、円周・半径方向力の伝達を行う（図 5-1）。

5.3 現行評価の手法

ダイヤフラムフロアに作用する地震力は、NS、EW 方向のうち最大となるものを用いる。

鉄筋コンクリートスラブは軸力、曲げ応力により発生する引張応力度、圧縮応力度と面外せん断力について評価を実施している。

シアプレート及び頭付きスタッドは、地震時の水平力または鉛直力によるせん断応力度と曲げモーメントによる曲げ応力度について評価を実施している。

5.4 水平 2 方向同時加振の影響

鉄筋コンクリートスラブに作用する荷重は鉛直方向の荷重が支配的であり、水平 2 方向の地震を組み合わせた場合でも、引張応力度、圧縮応力度及び面外せん断力に与える影響は軽微である。

地震時にダイヤフラムフロア全体に加わる水平力 Q とした場合、ダイヤフラムフロア端部に加わる水平力 q は \sin 分布として与えている（図 5-2）ため、地震方向との角度 θ が 90° の位置で最大となることから、NS、EW 方向で最大となる地震力の位置は異なる（図 5-3）。

さらに、水平 2 方向同時加振時の水平力の合力は、水平 1 方向加振時の最大の水平力と比較し、SRSS 法を用いた場合は同値、組合せ係数法を用いた場合は最大で約 1.08 倍の値となる（図 5-4）ため、水平 2 方向同時加振の影響は軽微である。

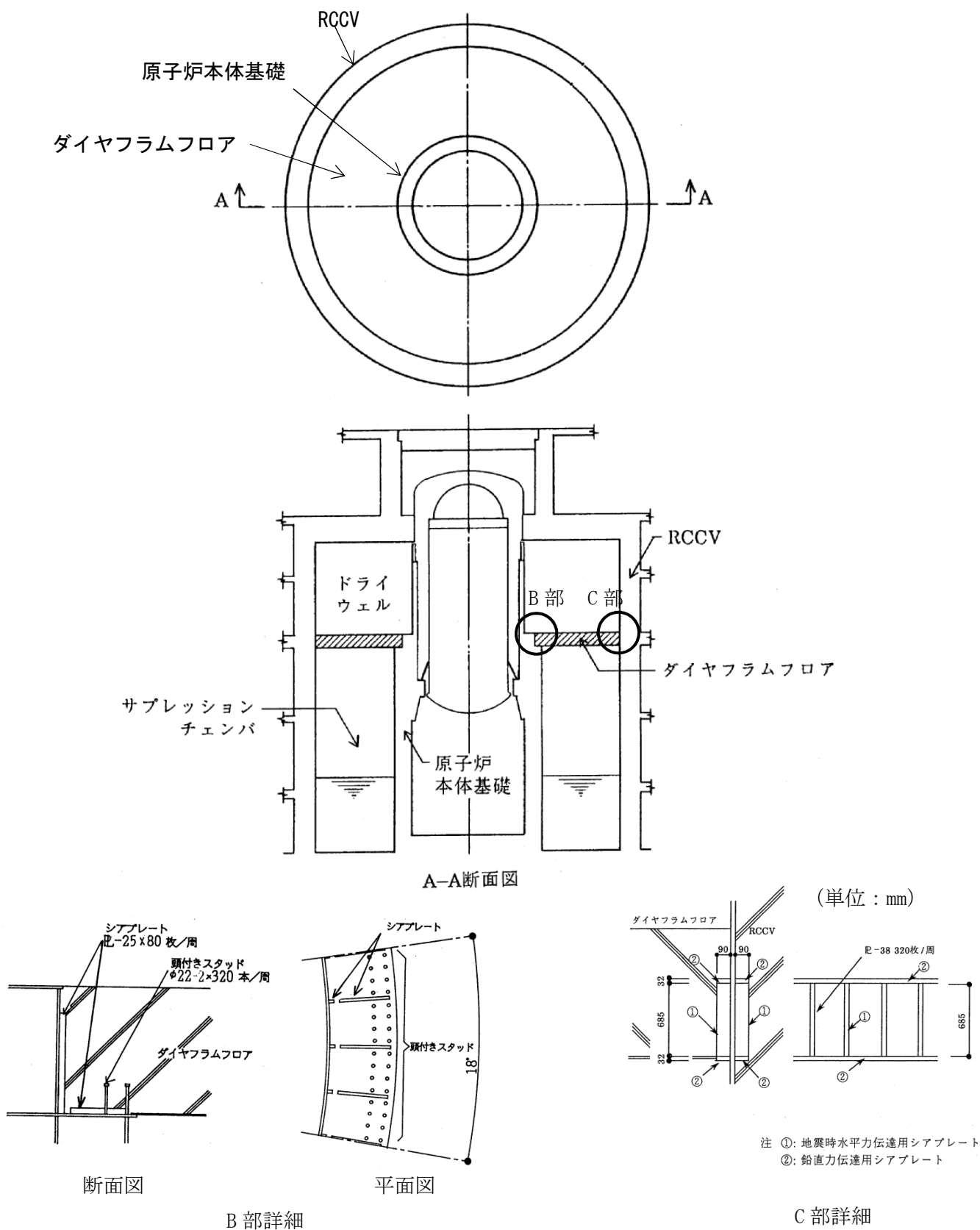
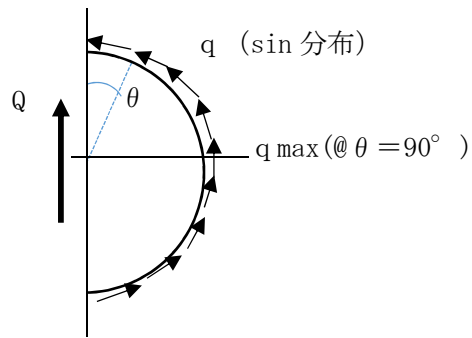


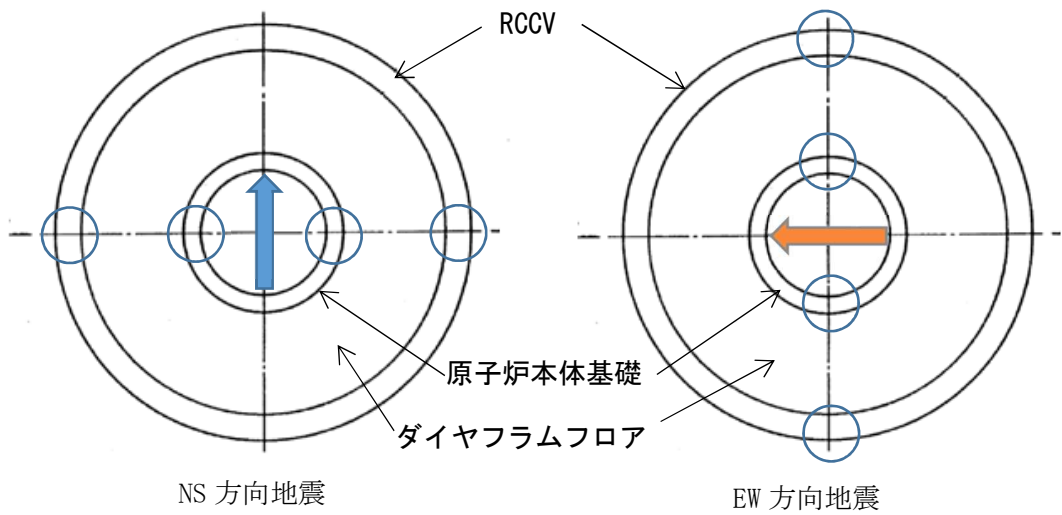
図 5-1 ダイヤフラムフロアの構造



Q :地震時にダイヤフラムフロア全体が受ける水平力

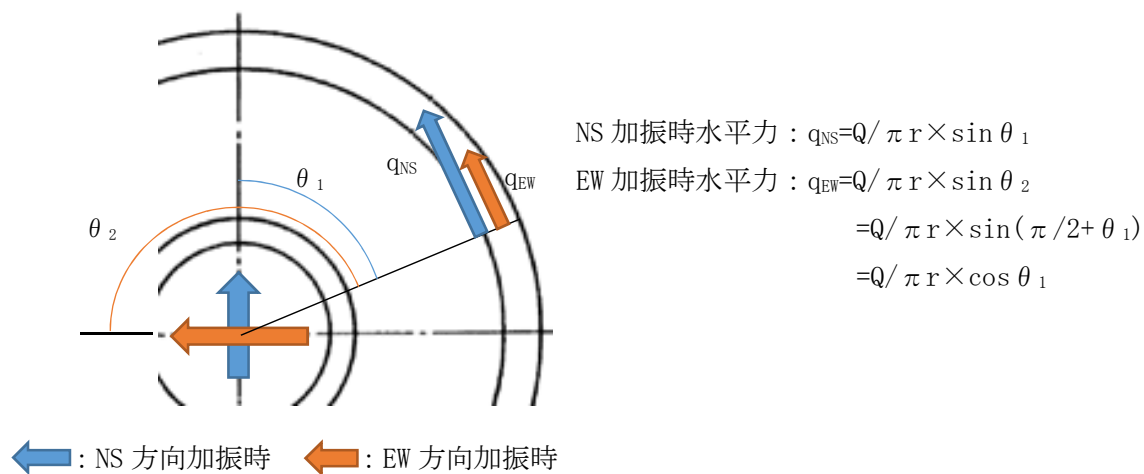
q :ダイヤフラム端部に作用する水平力

図 5-2 ダイヤフラムフロア端部における水平力の分布



○ 地震時にシアプレート及び頭付きスタッドが受ける水平力が最大となる位置

図 5-3 シアプレート及び頭付きスタッドに与える各方向地震による最大水平力発生点



< 組合せ係数法を用いた 2 方向加振時水平力 >

$$q = \max(q_{NS} + 0.4 \times q_{EW}, 0.4 \times q_{NS} + q_{EW})$$

$$= Q / \pi r \times \max(\sin \theta_1 + 0.4 \times \cos \theta_1, 0.4 \times \sin \theta_1 + \cos \theta_1)$$

< SRSS 法を用いた 2 方向加振時水平力 >

$$q = \sqrt{(q_{NS}^2 + q_{EW}^2)}$$

$$= \sqrt{((Q / \pi r \times \sin \theta_1)^2 + (Q / \pi r \times \cos \theta_1)^2)}$$

$$= Q / \pi r$$

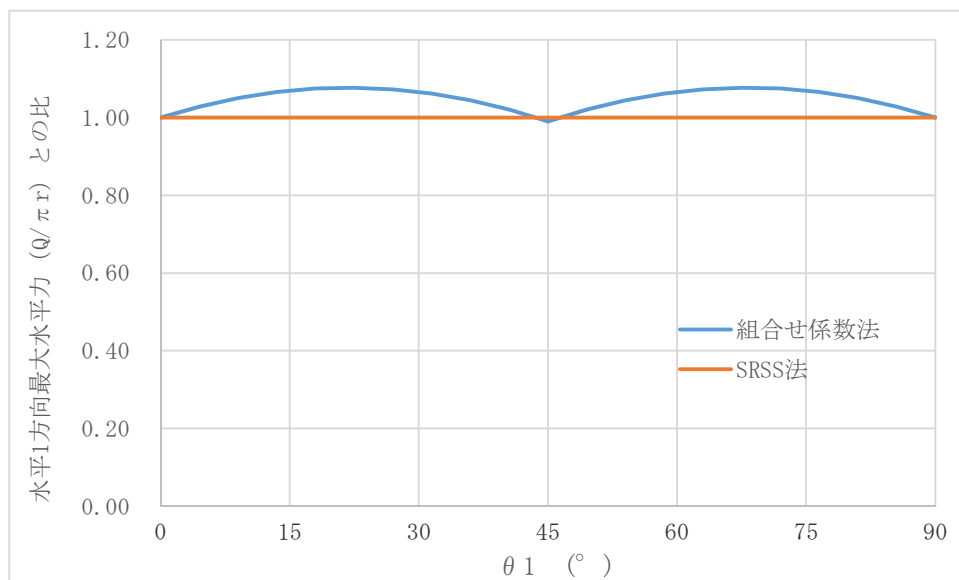


図 5-4 水平 2 方向同時加振時の水平力分布について

6 水平2方向同時加振の影響評価について（燃料取替機）

6.1 はじめに

本項は、燃料取替機（以下、FHM という。）に対する水平2方向同時加振の影響についてまとめたものである。

6.2 現行評価の手法

FHM はレール上を車輪で移動する構造であるため、基本的には建屋との固定はないが、地震時に横行方向（走行レールに対し直角方向）にすべりが生じた場合は、レールに沿って取り付けられている脱線防止ラグがレールの側面と接触し、FHM のすべりを制限する構造となっている。つまり、ラグとレールが接触し、FHM が横行方向に建屋と固定された体系では、地震入力（FHM 本体へそのまま伝達されることが想定される。

一方、走行方向（走行レールの長手方向）については、FHM の車輪とレールの接触面（踏面）を介して FHM 本体へと荷重が伝達される構造であり、その荷重は摩擦力により制限されるため、地震入力により生じる荷重は軽微（FHM 本体への影響は軽微）と考えられる。

上記より、FHM 本体の耐震評価では横行方向に対する地震応答が支配的であり、走行方向に対しては比較的軽微であると考えられるため、水平2方向同時加振の考慮として、耐震性評価で走行方向の地震応答を追加で組み合わせたとしても、従来評価の応答結果への影響は小さいと考えられる。

なお、FHM については、鉛直地震動が従来の静的地震力から動的地震力へ変更となっていることを踏まえ、水平2方向及び鉛直方向同時加振を想定した場合の現行評価の妥当性について今後の詳細検討において行うこととする。

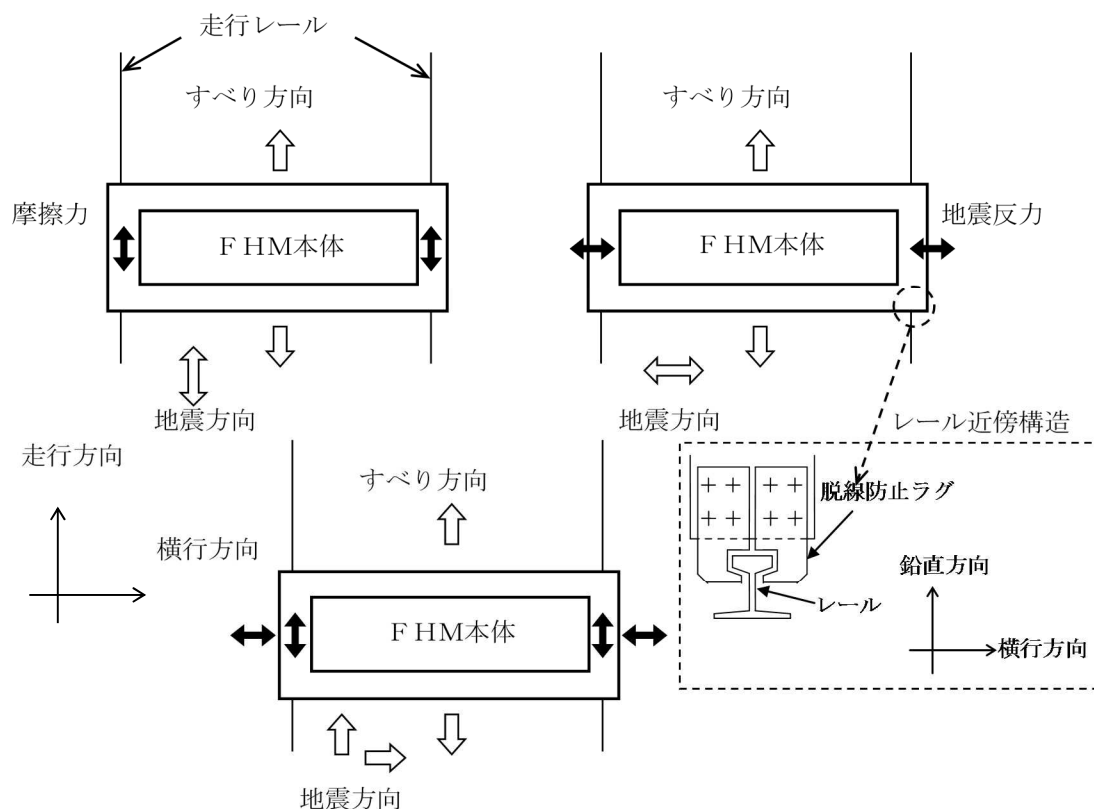


図 6-1 燃料取替機の負担する水平地震荷重

7 水平 2 方向同時加振の影響評価について（矩形配置されたボルト）

7.1 はじめに

本項は、水平 2 方向に地震力が作用した場合の矩形配置されたボルトに対する影響検討結果をまとめたものである。強軸・弱軸が明確なものについては、弱軸方向に応答し水平 2 方向地震力による影響が軽微であるため、機器の形状を正方形として検討をおこなった。

7.2 引張応力への影響

水平 1 方向に地震力が作用する場合と水平 2 方向に地震力が作用する場合のボルトへの引張力の違いを考察する。なお、簡単のため機器の振動による影響は考えないこととする。

（1）水平 1 方向に地震力が作用する場合

図 7-1 のように X 方向に震度 C_H が与えられる場合を考慮する。

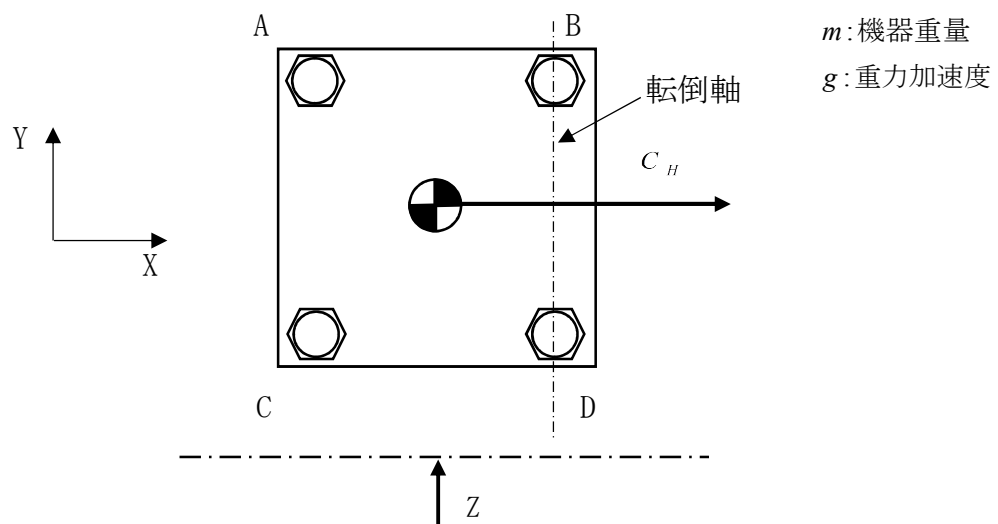


図 7-1 水平 1 方向の地震力による応答（概要）

この場合、対象としている系の重心に作用する水平方向の力 F_H は

$$F_H = mgC_H$$

と表せ、 F_H によりボルト B とボルト D の中心を結んだ軸を中心に転倒モーメントを生じる。この転倒モーメントはボルト A, C により負担される。

このとき、系の重心に生じる力は、図 7-2 に示すとおりである。

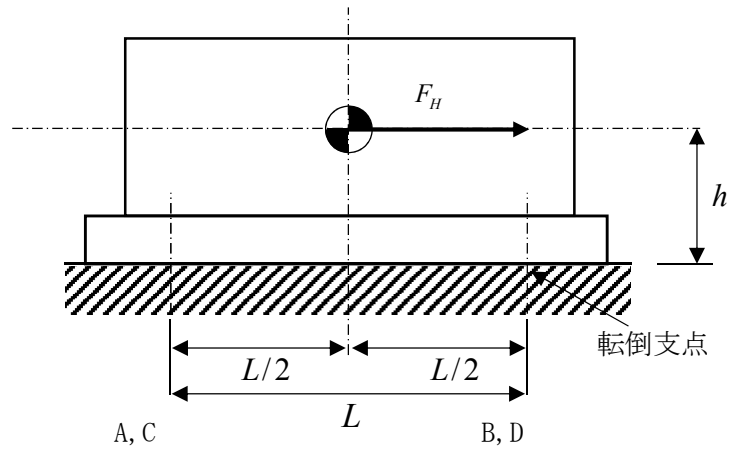


図 7-2 水平 1 方向の地震力による力 (Z 矢視図)

図 7-2 より、水平方向地震動による引張力は

$$F_b = \frac{1}{L}(mgC_H h)$$

である。

ボルトに掛かる引張応力 σ_b は全引張力を断面積 A_b のボルト n_f 本で受けると考え、

$$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f A_b}$$

である。水平 1 方向地震力を考慮する場合、ボルト A, C で全引張力を負担することから、

$n_f = 2$ であるため、ボルトに掛かる引張応力 σ_b は

$$\sigma_b = \frac{F_b}{2A_b} = \frac{mgC_H h}{2A_b L}$$

となる。

(2) 水平2方向に地震力が作用する場合

図7-3のようにX方向とY方向にそれぞれ震度 C_X 、 C_Y が作用する場合を考慮する。なお、本検討においては、X方向とY方向に同時に最大震度が発生する可能性は低いと考え、X方向の震度とY方向の震度を1:0.4 ($0.4C_X = C_Y$) と仮定する。

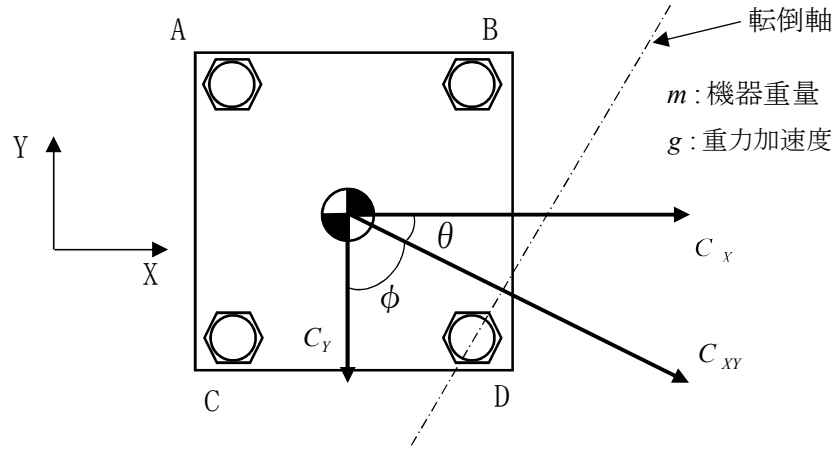


図7-3 水平2方向の地震力による応答（概要）

この時 $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{4}{10}\right)$ であることから、水平方向の震度 C_{XY} は

$$\begin{aligned} C_{XY} &= C_X \cos \theta + C_Y \cos \phi \\ &= \frac{5}{\sqrt{29}} C_X + 0.4 \times \frac{2}{\sqrt{29}} C_X \\ &= \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_X \end{aligned}$$

と表せる。この時、対象としている系の重心に作用する水平方向の力 F_H は

$$F_H = mg C_{XY} = mg \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_X$$

となる。この F_H により、転倒軸を中心に転倒モーメントが生じ、ボルトA,B,Cにより負担される。

水平2方向の地震力を受け対角方向に応答する場合、各ボルトにかかる引張力を F_A 、 F_B 、 F_C とし、図7-5に示すようにボルトDの中心を通る直線を転倒軸とすると、

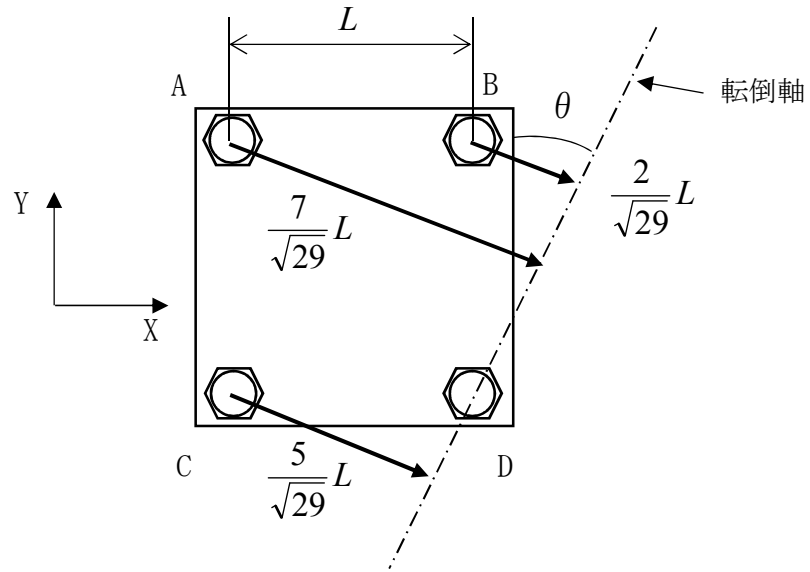


図 7-5 対角方向に応答する場合の転倒軸からの距離

転倒軸からの距離により，

$$F_A : F_B : F_C = 7 : 2 : 5$$

であり，転倒軸周りのボルトの軸力により発生するモーメント M は，

$$\begin{aligned} M &= \frac{7}{\sqrt{29}} L F_A + \frac{2}{\sqrt{29}} L F_B + \frac{5}{\sqrt{29}} L F_C \\ &= \frac{7}{\sqrt{29}} L \times F_A + \frac{2}{\sqrt{29}} L \times \frac{2}{7} F_A + \frac{5}{\sqrt{29}} L \times \frac{5}{7} F_A \\ &= \frac{78}{7\sqrt{29}} L F_A \end{aligned}$$

である。

転倒しない場合，転倒軸周りのボルトの軸力により発生するモーメント M と，水平方向地震力によるモーメントが釣り合っているので，

$$mg C_{xy} h = \frac{78}{7\sqrt{29}} L F_A$$

であり，引張力 F_A は以下の通りとなる。

$$F_A = \frac{7\sqrt{29}}{78L} (mg C_{xy} h)$$

以上より，最も発生応力の大きいボルト A に発生する応力 σ_b' は

$$\sigma_b' = \frac{F_A}{A_b} = \frac{7\sqrt{29}}{78A_bL} (mgC_{xy}h)$$

であり，水平 1 方向地震動を考慮した場合のボルトにかかる応力 σ_b

$$\sigma_b = \frac{F_b}{2A_b} = \frac{1}{2A_bL} (mgC_Hh)$$

に対して，震度 $C_{XY} = \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_H$ であることから

$$\begin{aligned} \sigma_b' &= \frac{7\sqrt{29}}{39 \times 2A_bL} (mgC_{xy}h) \\ &= \frac{7\sqrt{29}}{39 \times 2A_bL} \times \frac{5.8}{\sqrt{29}} (mgC_Hh) \\ &= \frac{40.6}{39} \sigma_b \\ &\cong 1.04\sigma_b \end{aligned}$$

となる。したがって，水平 2 方向地震を考慮した場合，ボルトに発生する引張応力は増加するが，その影響は軽微である。

7.3 セン断応力への影響

せん断力は全基礎ボルト断面で負担するが，全ボルトに対するせん断力 Q_b は，

$$Q_b = F_H$$

であり，せん断応力 τ_b は断面積 A_b のボルト全本数 n でせん断力 Q_b を受けるため，

$$\tau_b = \frac{Q_b}{nA_b}$$

となる。

水平 1 方向の地震力を考慮した場合のせん断力 Q_b 及び水平 2 方向の地震力を考慮した場合

のせん断力 Q_b' はそれぞれ

$$Q_b = mgC_X$$

$$Q_b' = mg \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_X \cong 1.08 mg C_X$$

となる。水平 1 方向及び水平 2 方向地震時に断面積 A_b 及びボルト全本数 n は変わらないため、水平 2 方向地震を考慮した場合、ボルトに発生するせん断応力は増加するが、その影響は軽微である。

8 水平 2 方向同時加振の影響評価について（電気盤）

8.1 はじめに

本項は、電気盤に取り付けられている器具に対する水平 2 方向入力の影響をまとめたものである。

8.2 水平 2 方向加振の影響について

電気盤に取り付けられている器具については、1 次元的な接点の ON-OFF に関わる比較的単純な構造をしている。加えて、基本的にはすべて梁、扉等の強度部材に強固に固定されているため、器具の非線形応答もなく、水平 2 方向の加振に対しては独立に扱うことで問題ないものとする。さらに器具の誤動作モードは、水平 1 方向を起因としたモードであるため、水平 2 方向加振による影響は軽微であるとする。

次頁より、メタクラ取付器具を代表とし、器具の構造から検討した結果をまとめる。

なお、メタクラ以外の器具については、今後の詳細検討において構造・型式等の観点から網羅的に整理し、影響が軽微であることを確認することとする。

8.2.1 補助リレー

(1) 構造，作動機構の概要

図 8-1 に補助リレーの構造及び作動機構を示す。補助リレーはコイルに通電されることにより生じる電磁力でアマチュア部を動作させ，接点の開閉を行うものである。

補助リレーのうち，固定鉄心，固定接点（A，B 接点）はいずれも強固に固定されており，可動接点は左右方向にのみ動くことのできる構造になっている。

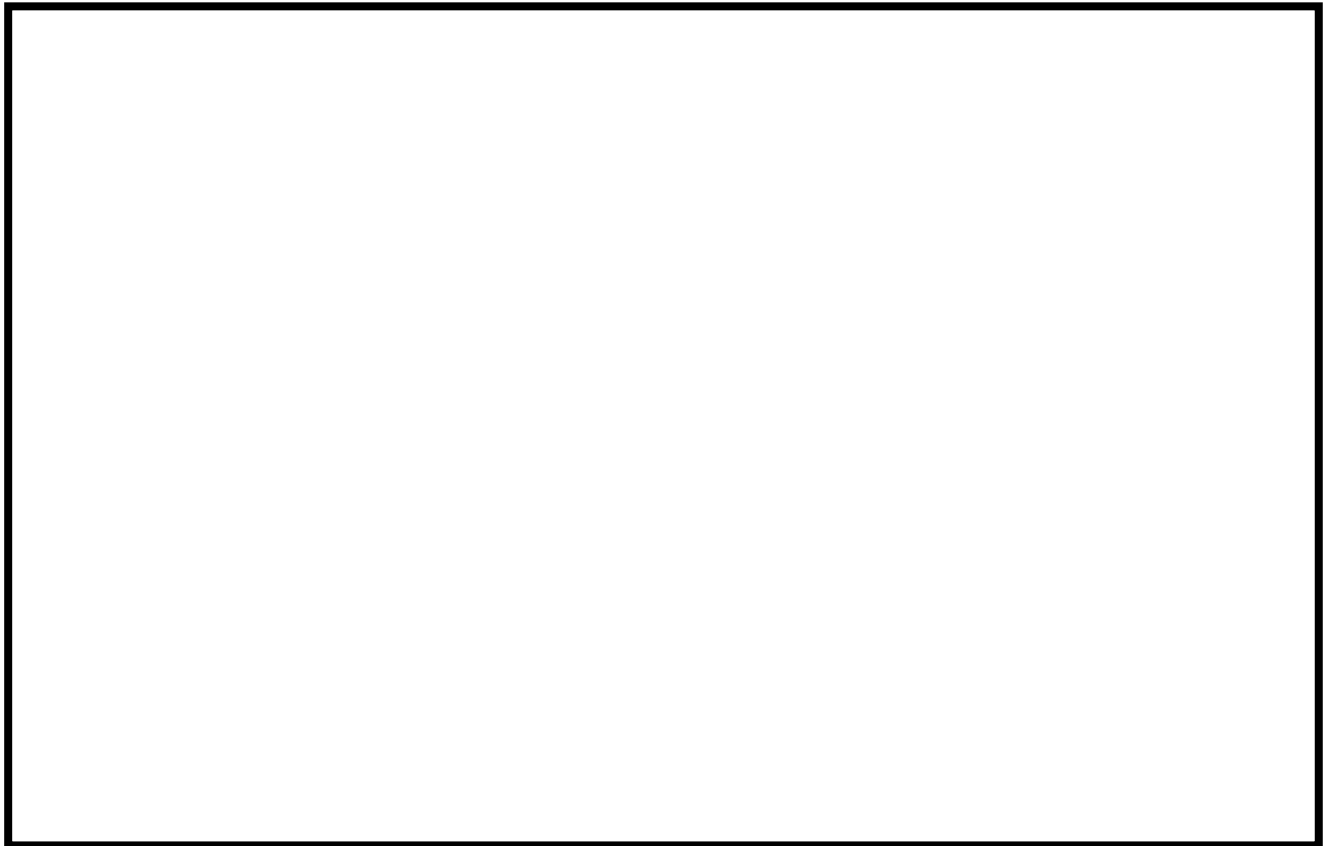


図 8-1 補助リレー構造図

(2) 水平 2 方向地震力に対する影響検討

図 8-1 から，器具の誤動作モードとして以下が考えられる。

- ・地震力で可動接点が振動することにより，接点が誤接触，または誤開放（左右方向）

ただし，補助リレーは取付部をボルト固定していること，また，器具の可動部は左右方向にのみ振動することから，誤動作にいたる事象に多次元的な影響はないと考えられる。

(3) 機能確認済加速度

参考として、発生加速度と補助リレーの既往試験での確認済加速度及び試験結果を表 8-1 に示す。

表 8-1 補助リレーの発生加速度及び機能確認済加速度

方向	前後	左右	上下
発生加速度 (G)	0.70	0.83	0.83
確認済加速度 (G)			

8.2.2 ノーヒューズブレーカ（MCCB）

（１）構造，作動機構の概要

図 8-2 に MCCB の構造及び作動機構を示す。配線用遮断器には熱動電磁式と完全電磁式がある。下記に代表して熱動電磁式の動作原理と内部構造を示す。

熱動電磁式は，過電流が流れるとバイメタルが彎曲し，トリップ桿によりラッチの掛け合いが外れ，キャッチがバネにより回転し，リンクに連結された可動接点が作動し回路を遮断する。また，短絡電流等の大電流が流れた場合は，固定鉄心の電磁力で可動鉄心が吸引されトリップ桿が作動し，以降は上述と同じ動作により回路を遮断する。

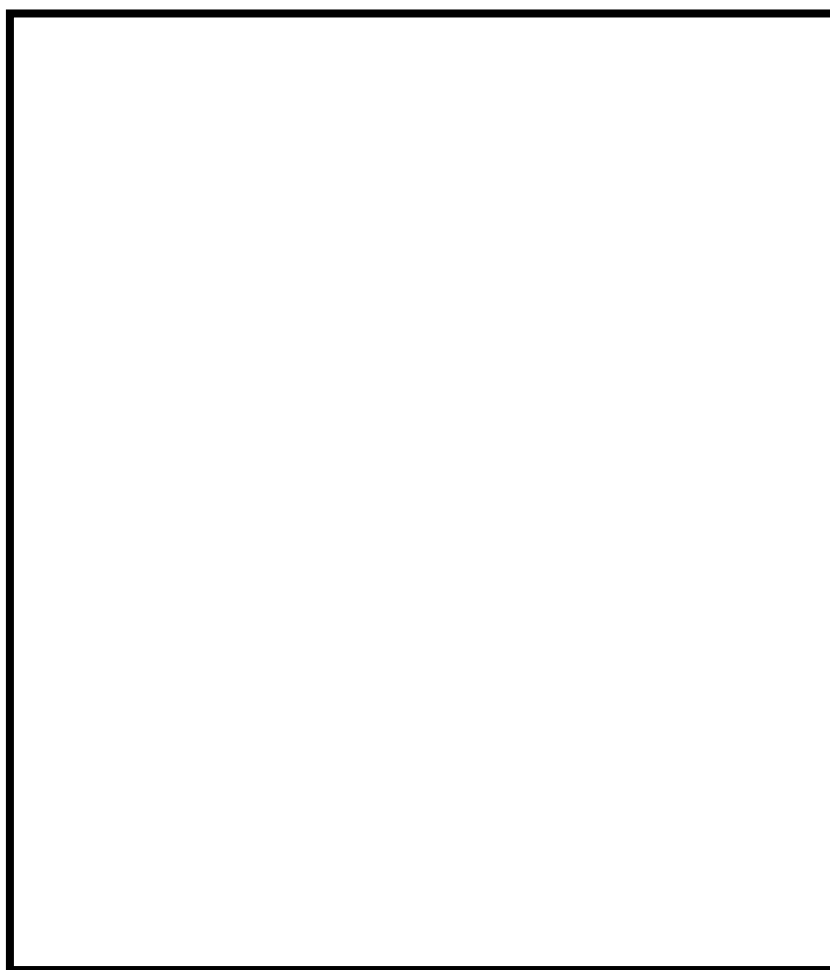


図 8-2 MCCB 構造図

(2) 水平 2 方向地震力に対する影響検討

図 8-2 から、器具の誤動作モードとして以下が考えられる。

- ・ ハンドルが逆方向へ動作する（上下方向）
- ・ 接点が乖離する（前後方向、左右方向）
- ・ ラッチが外れてトリップする（前後方向、上下方向）

上記より、MCCB の誤動作として 2 方向の振動の影響が考えられる。ただし、ハンドルは 1 方向にしか振動できないこと、前後－左右の接点乖離は各々独立であること（前後方向は接触－非接触、左右方向はずれによる）から、これらについては誤動作に至る事象は多次元的な影響はないものと考えられる。

ラッチ外れについては 2 軸（前後方向、上下方向）の影響は無視できないと考えられるが、左右方向はラッチ外れに影響を与える誤動作モードではないため、水平 2 方向の影響はないものと考えられる。

なお、既往試験においては、ハンドルの移動に起因する誤動作事象は発生していない。

(3) 機能確認済加速度

参考として、発生加速度と MCCB の既往試験での確認済加速度及び試験結果を表 8-2 に示す。

表 8-2 MCCB の発生加速度及び機能確認済加速度

方向	前後	左右	上下
発生加速度 (G)	0.70	0.83	0.83
確認済加速度 (G)			

8.2.3 過電流リレー（保護リレー）

（１）構造，作動機構の概要

図 8-3 に過電流リレー（保護リレー）の構造を示す。過電流リレーは，電流コイル 1 個を持つ電磁石が動作トルクを発生し，永久磁石の制動により限時特性を得る円板形リレーであり，タップ値以上の過電流が流れると接点が動作し，警報や遮断器引き外しを行う。なお，過電流リレーはボルトにて，盤の扉面に強固に取り付けられている。



図 8-3 過電流リレー構造図

(2) 水平 2 方向地震力に対する影響検討

図 8-3 から、器具の誤動作モードとして以下が考えられる。

- ・誘導円板が接触し、固渋する（上下方向）
- ・可動接点が振動し、接点の誤接触が生じる（前後、左右方向）

誘導円板の固渋については上下方向のため、水平 2 方向の影響はない。

接点の誤接触については、昭和 56 年の日本機械学会講演論文集「誘導円板型リレーの地震時誤動作に関する研究」において、誘導円板が水平 2 方向入力により、回転し接点接触により、誤動作が生じることが報告されている。しかし、平成 13 年度に行われた電力共通研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究」において、水平 2 方向加振時に鉛直方向加振を加えた試験を実施しており、正弦波加振試験では誘導円板の回転挙動が発生したが、地震波加振試験では誘導円板の回転挙動が発生しないことを確認している。したがって、地震波による水平 2 方向の影響はないものと考えられる。

(3) 機能確認済加速度

参考として、発生加速度と過電流リレーの既往試験での確認済加速度及び試験結果を表 8-3 に示す。

表 8-3 過電流リレーの発生加速度及び機能確認済加速度

方向	前後	左右	上下
発生加速度 (G)	0.70	0.83	0.83
確認済加速度 (G)			

荷重の組み合わせによる応答特性が想定される部位の抽出に関する補足説明

1. はじめに

本資料は、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の適切な組み合わせに関する検討において、荷重の組み合わせによる応答特性が想定される部位の抽出について、部材の特性より影響を考慮しないとした部位について、抽出根拠が明確になるよう、代表的な建屋について、対象部位の図面を示すものである。

対象部位の図面を示す建屋として、原子炉建屋（6 号炉）及びタービン建屋（6/号炉）を代表として示す。

2. 荷重の組み合わせによる応答特性が想定される部位の抽出に関する補足説明

2－1. 原子炉建屋（6 号炉）

原子炉建屋（6 号炉）の断面図及び平面図を図 2-1-1 及び図 2-1-2 に示す。なお、平面図については基準階として 1 階（T.M.S.L. 12.3）並びに上部構造のクレーン取付階伏図（T.M.S.L. 38.2）を代表として示す。

a. 柱

独立した隅柱は直交する地震荷重が同時に作用するが、図 2-1-2 に示すとおり、原子炉建屋の隅柱は耐震壁付きの隅柱であり直交する水平 2 方向の荷重による影響は小さい。

b. 梁

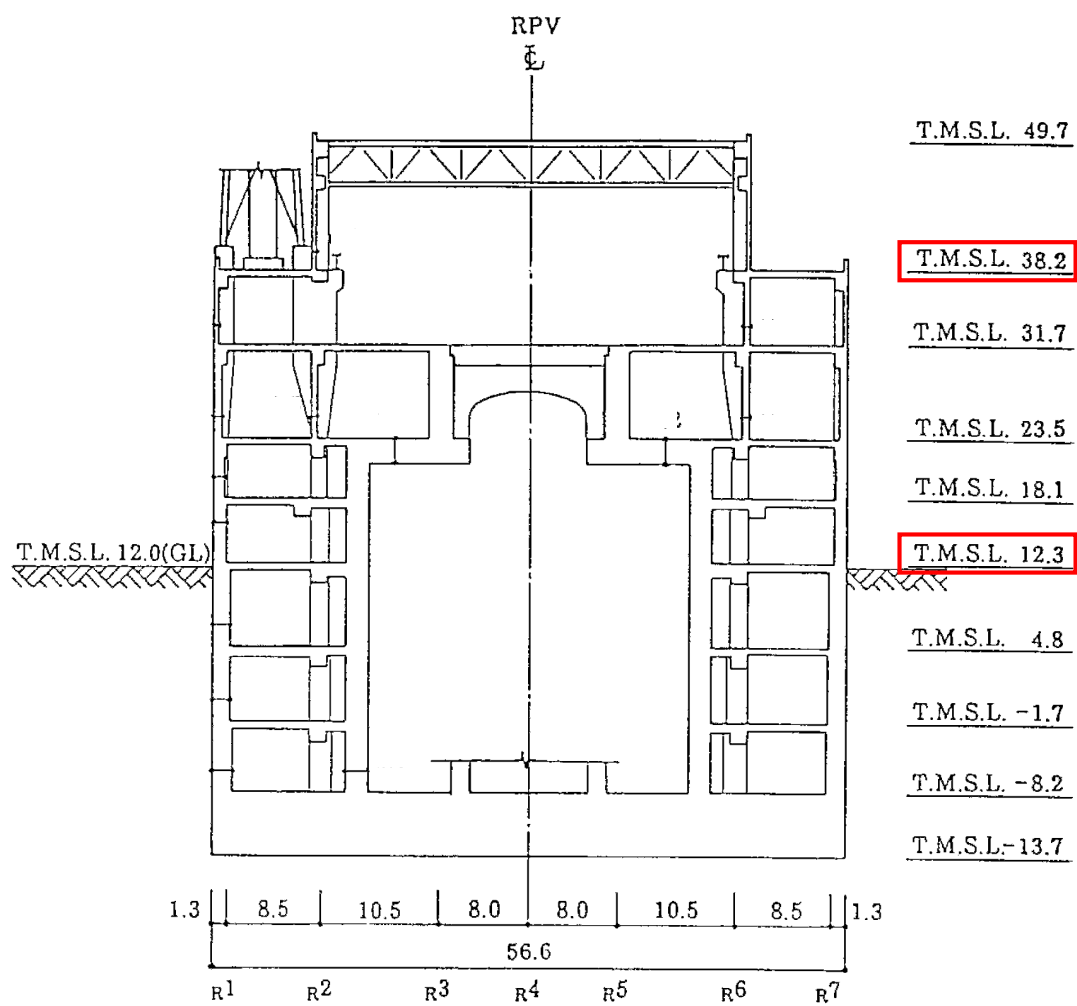
梁については、1 方向のみ荷重を負担することが基本であり、また図 2-1-2 に示す通り原子炉建屋の梁は床および壁に拘束されているため、面外荷重負担による影響は小さい。

c. 壁

壁については、1 方向のみ荷重を負担することが基本であり、また、図 2-1-2 に示す通り原子炉建屋の耐震壁は直交方向に釣り合いよく配置されているため、直交する水平 2 方向の荷重による影響は小さい。

d. 床及び屋根

床及び屋根については、図 2-1-2 に示す通り四辺を壁及び梁で拘束されているため、水平方向に変形しにくい構造となっており、水平地震力の影響は小さい。



赤枠内の平面図を示す

図 2-1-1 原子炉建屋（6 号炉）断面図（単位：m）

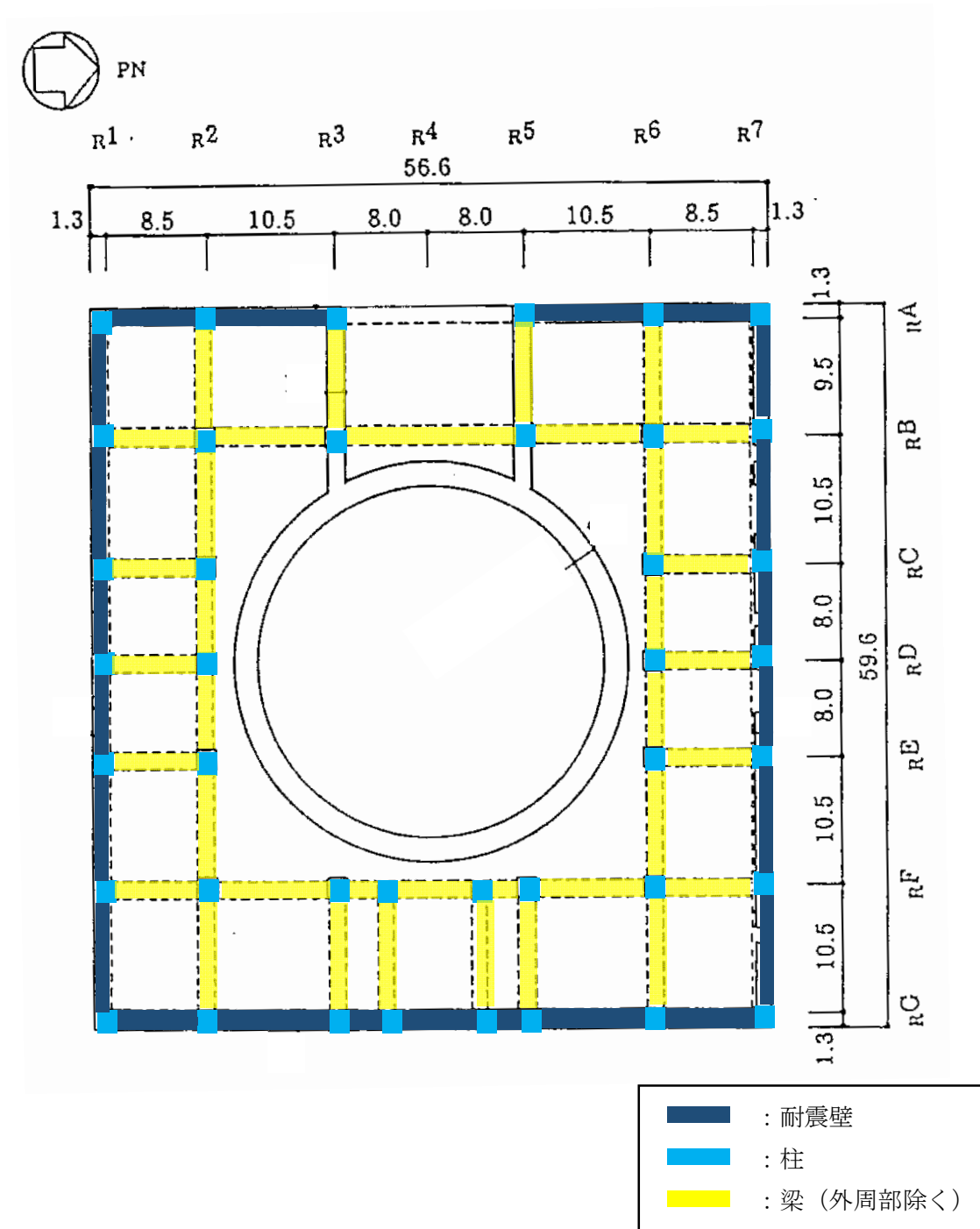


図 2-1-2 原子炉建屋 1 階伏図 (T.M.S.L.12.3) (単位：m)

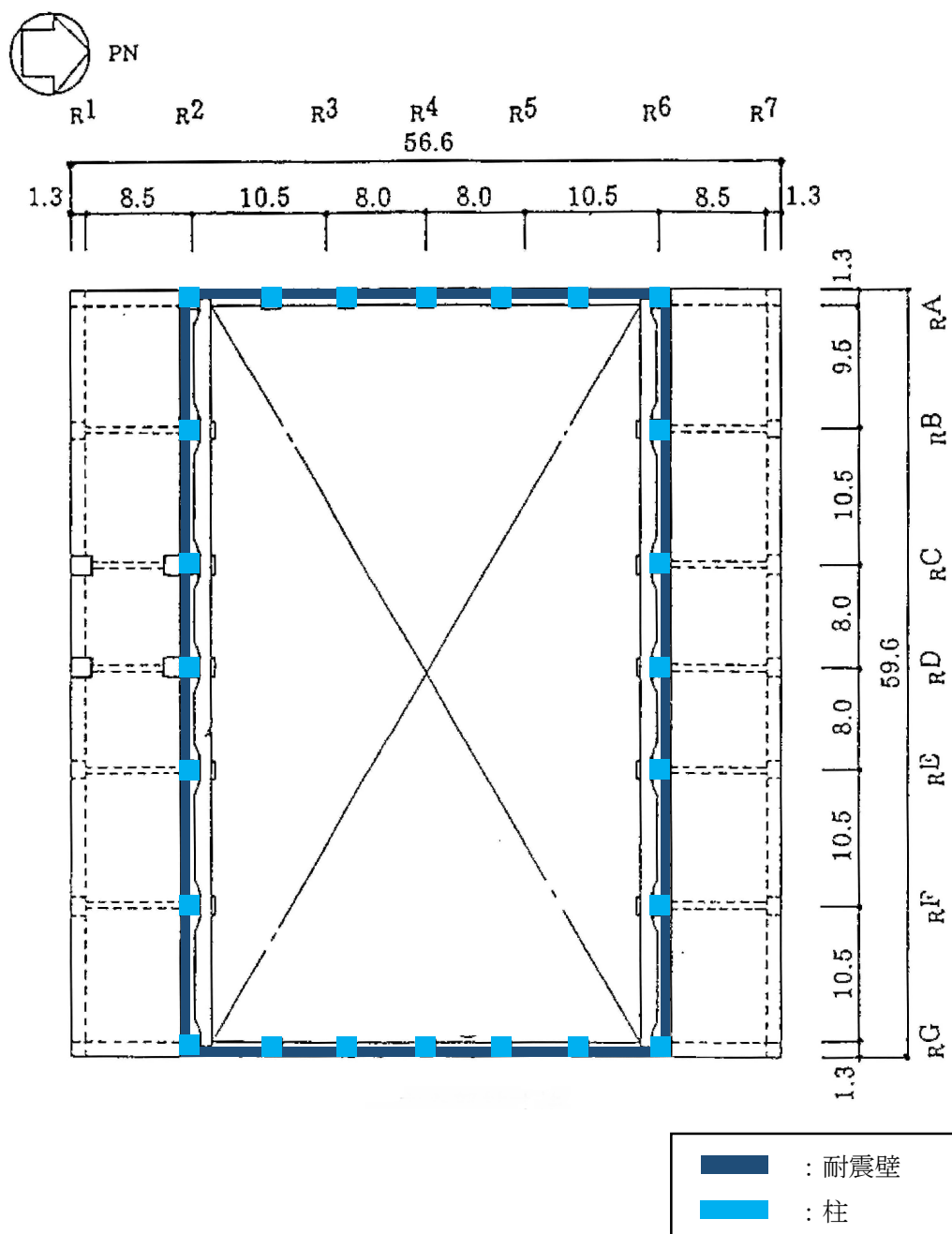


図 2-1-2 原子炉建屋 クレーン取付階伏図 (T.M.S.L.38.2) (単位：m)

2-2. タービン建屋（6号炉）

タービン建屋（6号炉）の断面図及び平面図を図 2-2-1 及び図 2-2-2 に示す。なお、平面図については基準階として 1 階（T.M.S.L. 12.3）並びに上部構造の 3 階（T.M.S.L. 30.9）を代表として示す。

a. 柱

独立した隅柱は直交する地震荷重が同時に作用するが、図 2-2-2 に示すとおり、タービン建屋（6号炉）の隅柱は耐震壁又は鉄骨ブレース付きの隅柱であり直交する水平 2 方向の荷重による影響は小さい。

b. 梁

梁については、1 方向のみ荷重を負担することが基本であり、また図 2-2-2 に示す通りタービン建屋（6号炉）の梁は床および壁に拘束されているため、面外荷重負担による影響は小さい。

c. 壁

壁については、1 方向のみ荷重を負担することが基本であり、また、図 2-2-2 に示す通りタービン建屋（6号炉）の耐震壁は直交方向に釣り合いよく配置されているため、直交する水平 2 方向の荷重による影響は小さい。

d. 床及び屋根

床及び屋根については、図 2-2-2 に示す通り四辺を壁及び梁で拘束されているため、水平方向に変形しにくい構造となっており、水平地震力の影響は小さい。

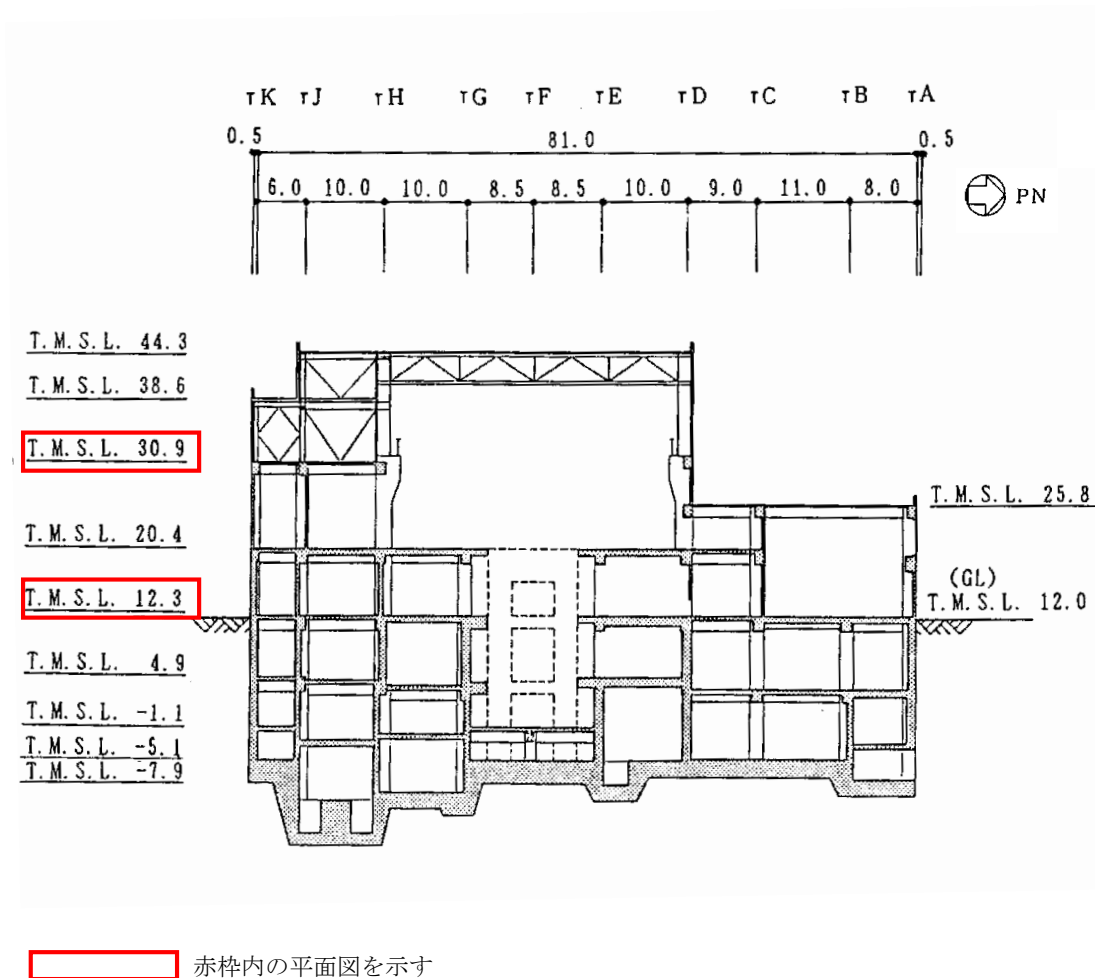


図 2-2-1 タービン建屋（6 号炉）断面図（単位：m）

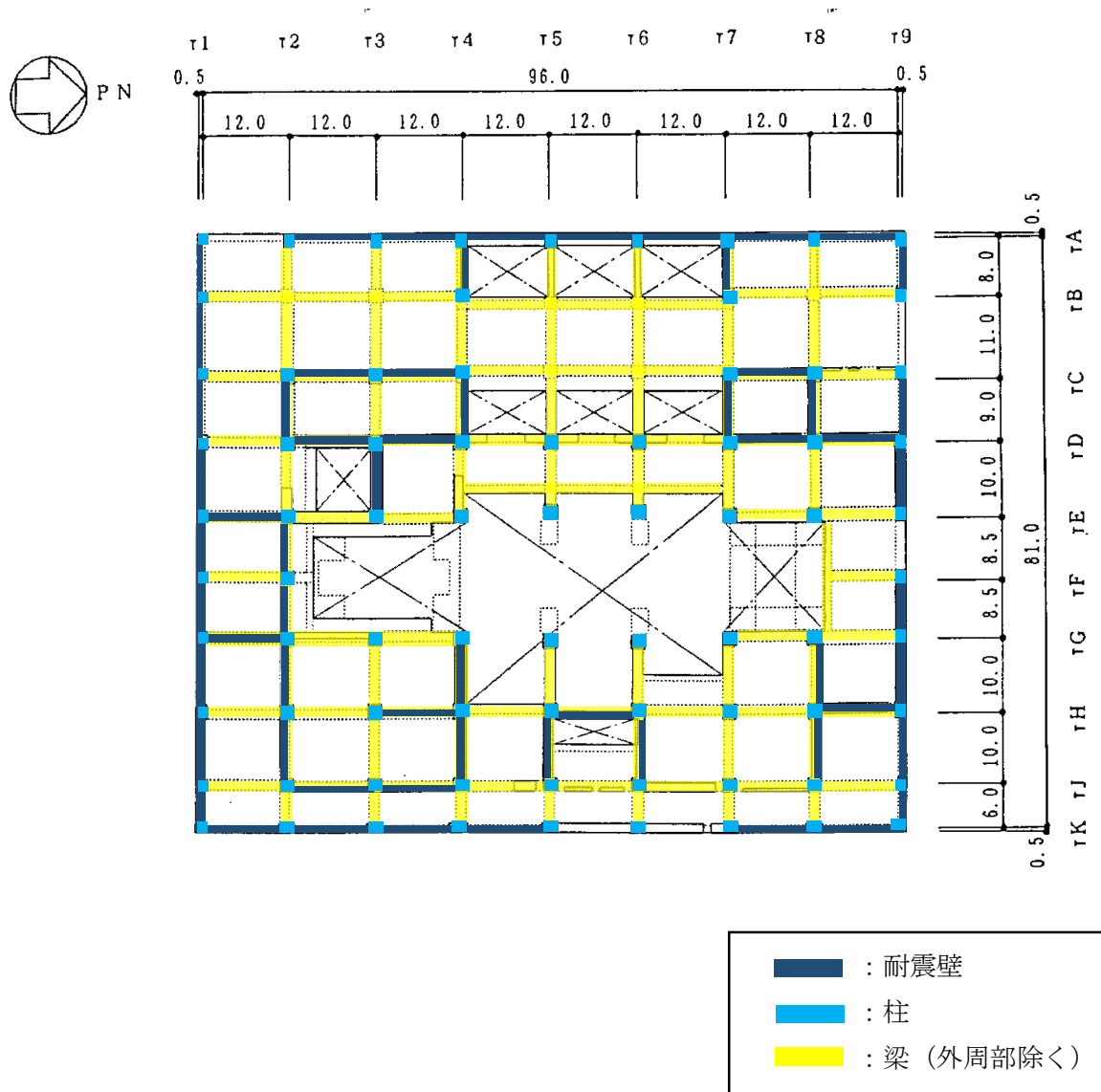


図 2-2-2 タービン建屋 (6 号炉) 1 階伏図 (T.M.S.L. 12.3) (単位 : m)

水平 2 方向及び鉛直方向の適切な組合わせに対する梁の力学的特性

1. はじめに

本資料は、水平 2 方向及び鉛直方向の適切な組合わせに対する評価対象部位として梁（一般部・鉄骨トラス）を抽出しない理由について、梁の力学的特性を補足説明するものである。

2. 梁の力学的特性

(1) 梁（一般部）

鉛直方向の地震荷重に対して設計されており、直交する水平方向の地震荷重に対しては床スラブで拘束されているため、梁には大きな応力は生じない。

(2) 鉄骨トラス

鉛直方向の地震荷重に対して設計されており、直交する水平方向の地震荷重に対しては床スラブやつなぎばりで拘束されているため、鉄骨トラスには大きな応力は生じない。

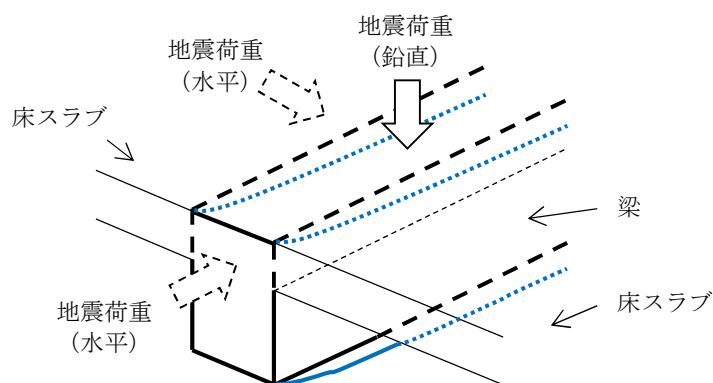


図1 地震荷重に対する梁の力学的特性

3. まとめ

梁は直交方向の地震力に対しては有効となる直交部材が存在することから、「荷重の組合せによる応答特性が想定される部位」として抽出しない。

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組み合わせの影響評価に用いる 模擬地震波の作成方針

1. はじめに

応答スペクトルに基づく地震動として策定された基準地震動 Ss-1 及び Ss-3 並びに「震源を特定せず策定する地震動」として策定された基準地震動 Ss-8 については、水平方向の地震動に方向性がないことから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の同時入力による影響検討を行う場合、水平 2 方向のうち 1 方向について模擬地震波を作成し入力する等の方法が考えられる。本資料は、模擬地震波の作成方針を示すものである。

2. 模擬地震波の作成方針

応答スペクトルに基づく地震動として策定された基準地震動 Ss-1 及び Ss-3 並びに「震源を特定せず策定する地震動」として策定された基準地震動 Ss-8 の水平方向の模擬地震波の作成方針を下記に示す。

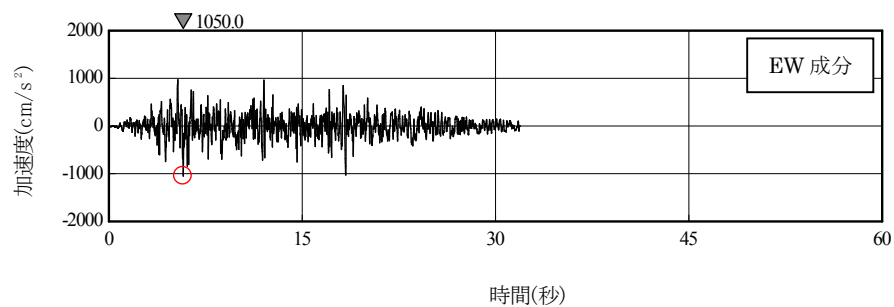
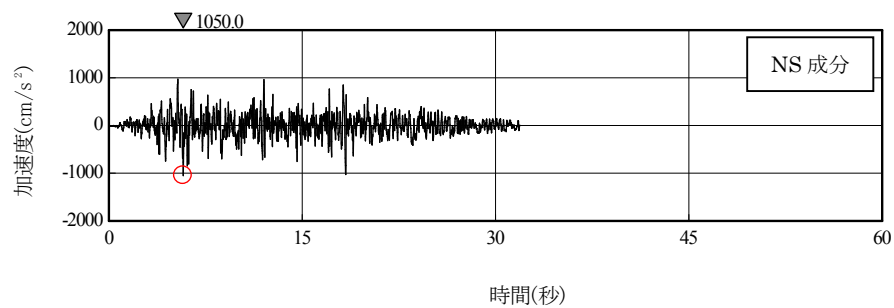
(1) 応答スペクトルに基づく地震動として策定された基準地震動に対する模擬地震波

基準地震動 Ss-1 及び Ss-3 の模擬地震波について、全く同じ地震動が同時に水平 2 方向に入力されることは現実的に考えにくいことから、基準地震動を作成した方法と同一の方法で、位相角を一様乱数とした正弦波を重ね合わせ、目標とする応答スペクトルに適合する位相の異なる模擬地震波を作成する。

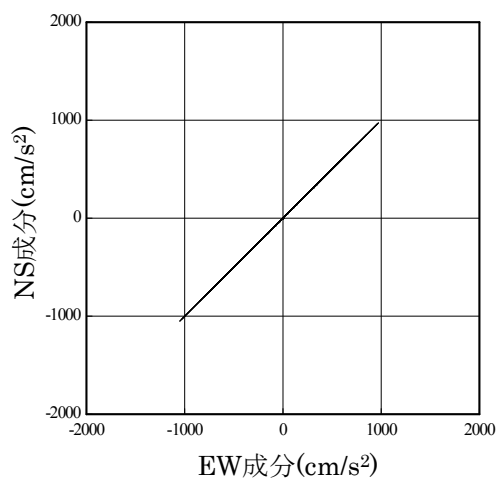
なお、念のために大湊側鉛直アレイ観測点 (T.M.S.L.-180m) の観測記録より、当該サイトにおいて、水平 2 方向の地震波で位相差が生じる傾向を確認した。確認の方法として、基準地震動 Ss-1 を同時に水平 2 方向に入力した場合のオービット (図 1) と、観測記録の水平 2 方向のオービット (図 2,3) との比較を行った。図 1 より、全く同じ地震動を同時に水平 2 方向に入力した場合、オービットは現実的に考えにくい 45° 方向に直線的な軌跡を示す。一方、図 2,3 より観測記録ではオービットは位相差によって生じるランダムな軌跡を示すことを確認した。

(2) 「震源を特定せず策定する地震動」として策定された基準地震動に対する模擬地震波

基準地震動 Ss-8 は「震源を特定せず策定する地震動」として、2004 年北海道留萌支庁南部地震の観測記録より策定された地震動である。基準地震動 Ss-8 における水平方向の地震動は、観測記録から推定される解放基盤相当位置の地震動に基づき敷地地盤の物性等を踏まえて作成されている。模擬地震波については、基準地震動 Ss-8 の作成方法と同一の方法で、基準地震動 Ss-8 で用いた観測記録と水平方向に直交する観測記録から作成する。

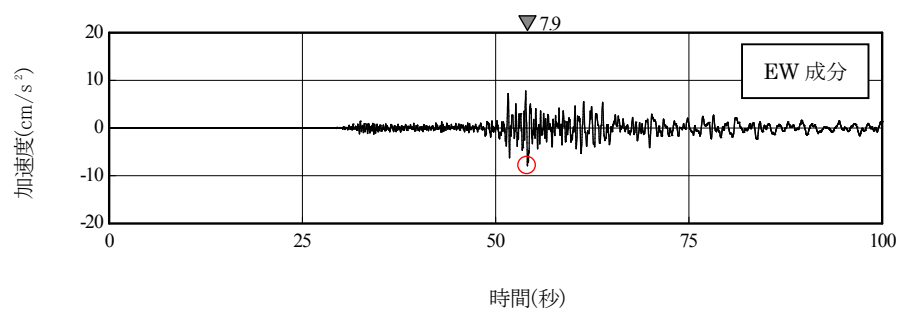
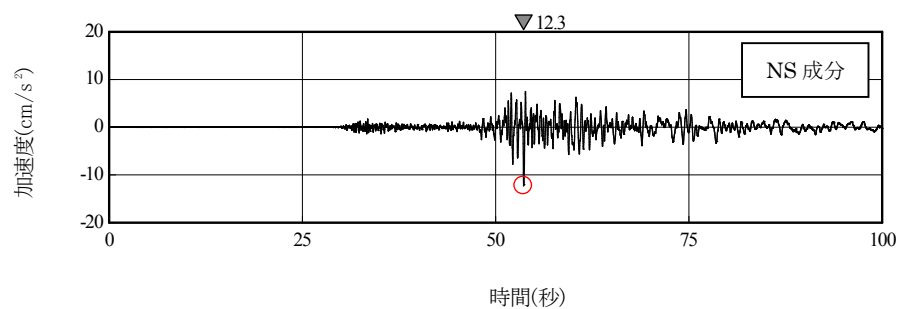


(a) 加速度時刻歴波形

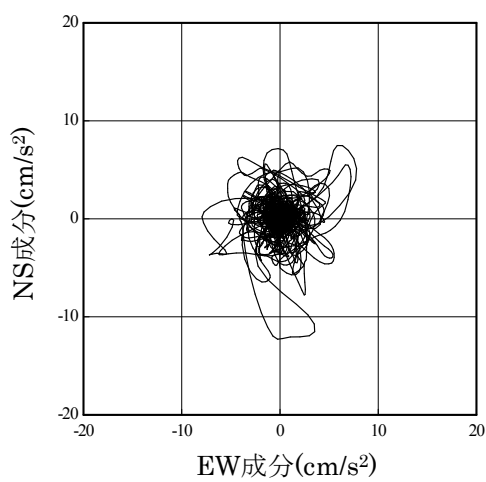


(b) 水平 2 方向の加速度成分のオービット

図 1 基準地震動 Ss-1H

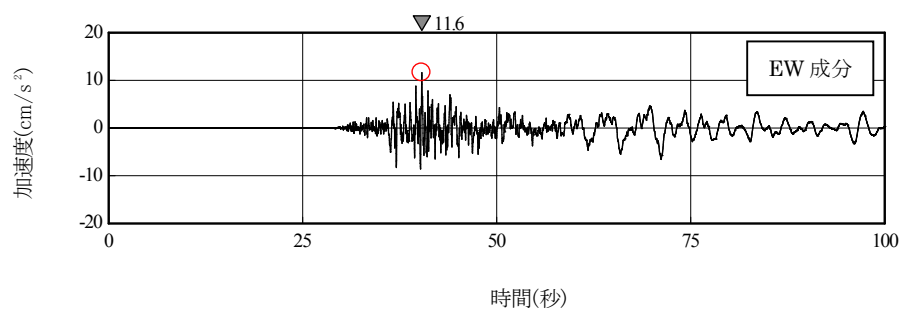
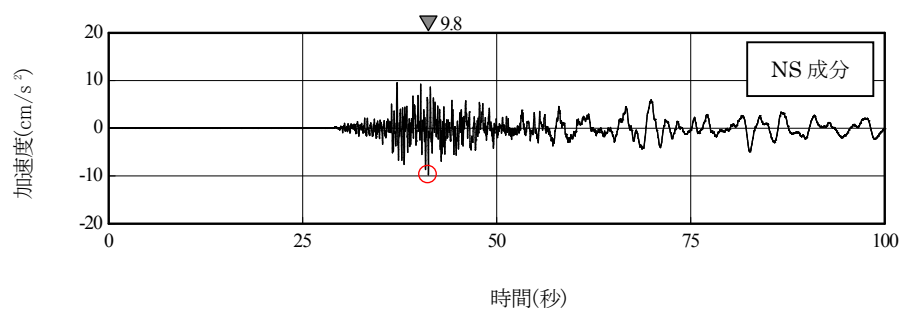


(a) 加速度時刻歴波形

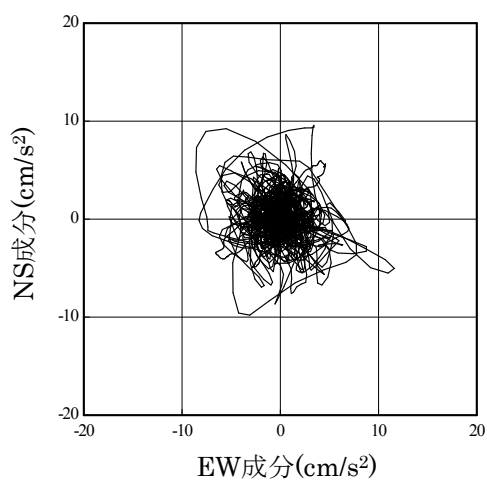


(b) 水平 2 方向の加速度成分のオービット

図 2 2007 年能登半島地震観測記録 (大湊側鉛直アレイ観測点 T.M.S.L.-180m)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 水平 2 方向の加速度成分のオービット

図 3 2011 年長野県北部地震観測記録 (大湊側鉛直アレイ観測点 T.M.S.L.-180m)

柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉

基礎地盤傾斜が 1/2,000 を超えることに
対する耐震設計方針について
(耐震)

1. 概要

「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に係る審査ガイド」に「許容される傾斜が各建物及び構築物に対する要求性能に応じて設定されており、動的解析の結果に基づいて求められた基礎の最大不等沈下量及び残留不等沈下量による傾斜が許容値を超えてないことを確認する。一般建築物の構造的な障害が発生する限界（亀裂の発生率、発生区間等により判断）として建物の変形角を施設の傾斜に対する評価の目安に、 $1/2,000$ 以下となる旨の評価していることを確認する。なお、これは、基本設計段階での目安値であり、機器、設備等の仕様が明らかになる詳細設計段階において詳細に評価を行うこととなる。」との記載があるが、柏崎刈羽原子力発電所6号炉及び7号炉において、基礎地盤の安定性評価の結果、原子炉建屋の傾斜が基準地震動 S_s に対し一時的に $1/2,000$ を超える結果となっていることから建物・構築物及び機器・配管系が傾斜する影響を検討する。

2. 基礎地盤傾斜に対する影響検討

2. 1 影響検討対象

基礎地盤傾斜の影響は、以下を対象として検討する。

- (1) 設計基準対象施設のうち、耐震重要度分類の S クラスに属する設備
- (2) (1)の間接支持構造物である建物・構築物
- (3) 屋外重要土木構造物
- (4) 重大事故等対処施設のうち、常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備
- (5) (4)の間接支持構造物である建物・構築物
- (6) (1)～(5)に対する波及的影響防止のために耐震性評価を実施する施設

2. 2 影響検討方針

基礎地盤傾斜の影響検討フローを図 1 に示す。

検討対象に対して、基準地震動による地震時の最大傾斜と地殻変動による傾斜を算定し、合算値が目安値である $1/2,000$ を超えるかを判断する。ただし、応答スペクトルに基づく基準地震動 (S_s-1 , S_s-3) 及び震源を特定せず策定する基準地震動 (S_s-8) については、地殻変動による最大傾斜が想定できないことから、基準地震動の最大傾斜のみで判断する。傾斜が $1/2,000$ を超える対象については、傾斜の影響を考慮した耐震性評価を実施する。なお、表 1 に示す通り、地殻変動による傾斜は建屋を問わず、各基準地震動で同程度の大きさであること、検討対象は全て大湊側の建物・構築物であることから、検討用の地殻変動による傾斜として各基準地震動における 5 号炉、6 号炉又は 7 号炉原子炉建屋傾斜の最大値を用いる。

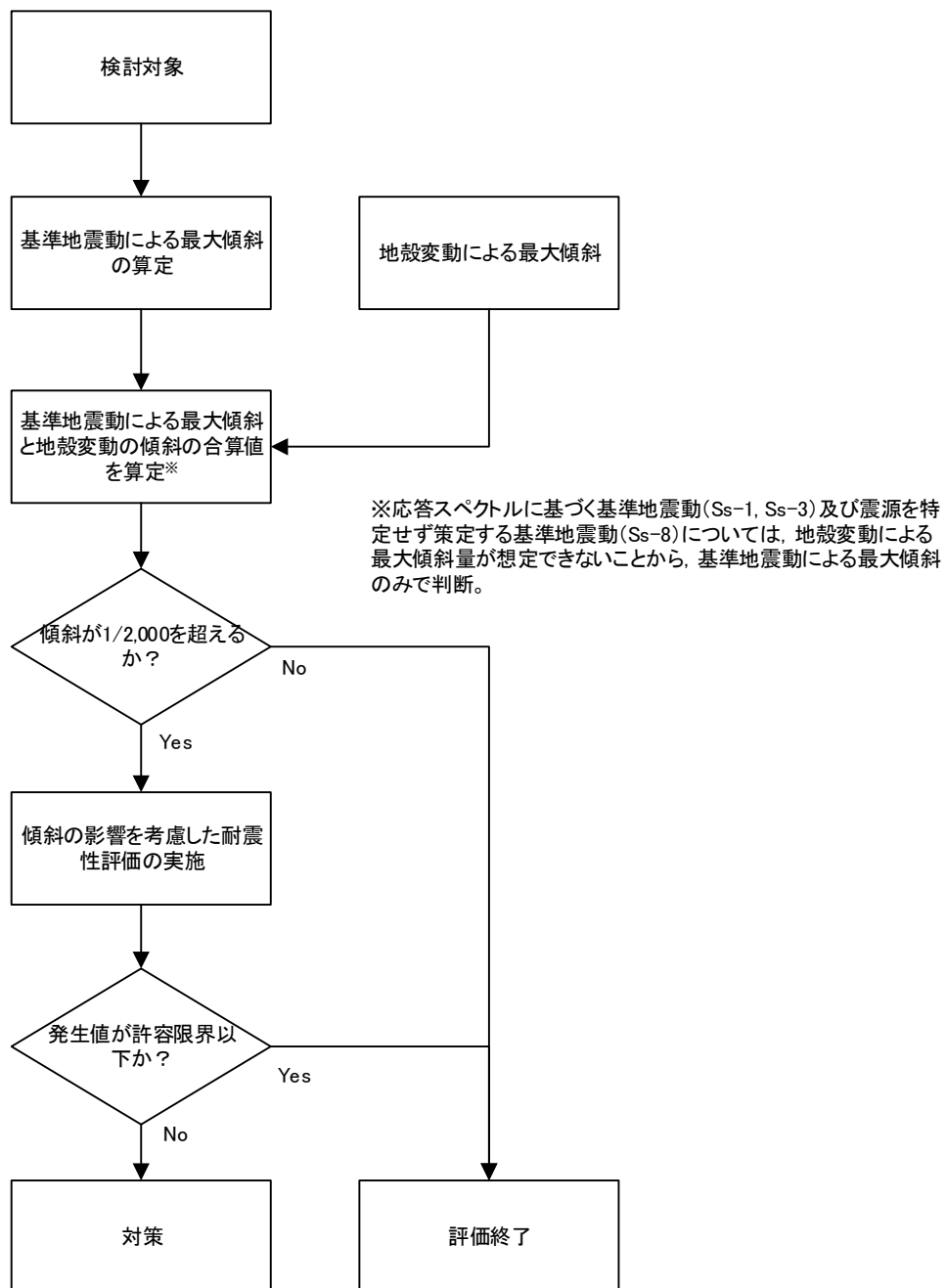


図1 基礎地盤傾斜の影響検討フロー

表 1 地殻変動の傾斜*

断層	F-B断層 〔Ss-2〕	長岡平野西縁断層帯 (傾斜角50度) 〔Ss-4〕	長岡平野西縁断層帯 (傾斜角35度) 〔Ss-5〕	長岡平野西縁断層～山 本山断層～十日町断層 帯西部の運動 (傾斜角50度) 〔Ss-6〕	長岡平野西縁断層～山 本山断層～十日町断層 帯西部の運動 (傾斜角35度) 〔Ss-7〕
6号炉 原子炉建屋	1/19,900	1/13,200	1/6,100	1/9,100	1/5,000
7号炉 原子炉建屋	1/20,000	1/13,300	1/6,000	1/9,200	<u>1/4,900</u>
5号炉 原子炉建屋	1/19,800	1/13,200	1/6,100	1/9,400	1/5,100

* 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉 原子炉建屋等の基礎地盤及び周辺斜面の安定性について（平成 28 年 12 月 26 日，第 425 回審査会合資料 1－3－1）より抜粋

3. 原子炉建屋を例とした基礎地盤傾斜に対する影響検討

6 号炉及び 7 号炉原子炉建屋を例とした基礎地盤傾斜に対する影響検討を示す。

原子炉建屋の基礎地盤の安定性評価結果を表 2 及び表 3 に示す。表 2 に示す基準地震動による地震時の最大傾斜と地殻変動による傾斜の合算値の最大値 1/1,900 及び表 3 に示す基準地震動による最大傾斜の 6 号炉の最大値 1/1,600，7 号炉の最大値 1/1,700 を包絡する 1/1,000 を検討用の傾斜とする。また，建屋傾斜が 1/2,000 を超えるのは最大不等沈下による一時的なものである（図 2 及び図 3 参照）が，基礎地盤の残留不等沈下が 1/1,000 という仮定で行う。

表 2 原子炉建屋の基準地震動による最大傾斜と地殻変動による傾斜の合算値*

断層		F-B断層	長岡平野西縁断層帯 (傾斜角50度)	長岡平野西縁断層帯 (傾斜角35度)	長岡平野西縁断層帯～ 山本山断層～十日町 断層帯西部の連動 (傾斜角50度)	長岡平野西縁断層帯～ 山本山断層～十日町 断層帯西部の連動 (傾斜角35度)
		[Ss-2]	[Ss-4]	[Ss-5]	[Ss-6]	[Ss-7]
6号炉 原子炉建屋	①地殻変動による 最大傾斜	1/19,900	1/13,200	1/6,100	1/9,100	1/5,000
	②地震動による 最大傾斜	1/2,500	1/4,200	1/4,100	1/4,000	1/4,200
	①+② 最大傾斜	1/2,200	1/3,200	1/2,500	1/2,800	1/2,300
7号炉 原子炉建屋	①地殻変動による 最大傾斜	1/20,000	1/13,300	1/6,000	1/9,200	1/4,900
	②地震動による 最大傾斜	1/2,700	1/3,200	1/3,500	1/2,900	1/3,000
	①+② 最大傾斜	1/2,400	1/2,600	1/2,200	1/2,200	1/1,900
5号炉 原子炉建屋	①地殻変動による 最大傾斜	1/19,800	1/13,200	1/6,100	1/9,400	1/5,100
	②地震動による 最大傾斜	1/4,000	1/5,200	1/4,400	1/5,600	1/5,300
	①+② 最大傾斜	1/3,300	1/3,700	1/2,600	1/3,500	1/2,600

※ ② 地震動による最大傾斜は、各断層モデルに対応する基準地震動Ssを入力地震動としたケースの最大傾斜

表 3 原子炉建屋の基準地震動による最大傾斜*

評価対象	上段：最大相対変位 (cm)， 下段：最大傾斜										
	Ss-1		Ss-2	Ss-3		Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8	
6号炉 原子炉建屋 汀線平行断面	2.8 〔6.79〕	3.0 (正,逆) 〔6.78〕	2.2 〔23.56〕	2.4 〔35.69〕	—	1.3 〔51.87〕	1.4 〔51.88〕	1.4 〔51.87〕	1.2 〔51.43〕	3.5 〔8.01〕	—
	1/2,000	1/1,800	1/2,500	1/2,300	—	1/4,200	1/4,100	1/4,000	1/4,700	1/1,600	—
6号炉 原子炉建屋 汀線直交断面	1.5 〔5.76〕	—	1.4 〔22.52〕	1.2 〔25.00〕	1.5 (正,逆) 〔17.49〕	1.2 〔51.96〕	1.1 〔46.56〕	1.2 〔54.60〕	1.4 〔46.97〕	1.7 〔8.02〕	1.7 (逆,正) 〔8.01〕
	1/3,900	—	1/4,300	1/4,900	1/4,000	1/5,000	1/5,100	1/5,000	1/4,200	1/3,500	1/3,400
7号炉 原子炉建屋 汀線平行断面	3.3 〔5.77〕	—	1.9 〔21.54〕	2.8 〔19.15〕	—	1.2 〔51.91〕	1.4 〔46.56〕	1.6 〔51.92〕	1.2 〔46.58〕	3.3 〔8.07〕	—
	1/1,700	—	1/2,900	1/2,000	—	1/4,500	1/4,100	1/3,600	1/4,600	1/1,700	—
7号炉 原子炉建屋 汀線直交断面	2.4 〔5.74〕	—	2.2 〔20.83〕	1.9 〔19.12〕	2.1 (正,逆) 〔17.50〕	1.8 〔52.57〕	1.7 〔46.54〕	2.0 〔51.94〕	1.9 〔46.95〕	2.5 〔8.03〕	—
	1/2,500	—	1/2,700	1/3,000	1/2,800	1/3,200	1/3,500	1/2,900	1/3,000	1/2,400	—
5号炉 原子炉建屋 汀線平行断面	2.5 〔18.79〕	—	1.9 〔23.54〕	2.1 〔36.55〕	2.1 (正,逆) 〔19.61〕	1.3 〔51.87〕	1.4 〔46.49〕	1.1 〔51.88〕	1.0 〔46.49〕	3.0 〔8.00〕	3.1 (逆,正) 〔7.99〕
	1/3,200	—	1/4,400	1/3,900	1/3,900	1/6,300	1/5,900	1/7,500	1/8,200	1/2,700	1/2,700
5号炉 原子炉建屋 汀線直交断面	2.3 〔9.18〕	—	2.1 〔22.53〕	1.6 〔37.21〕	1.8 〔17.51〕	1.6 〔51.96〕	1.9 〔46.56〕	1.5 〔51.96〕	1.6 〔46.96〕	2.3 〔8.03〕	—
	1/3,600	—	1/4,000	1/5,200	1/4,500	1/5,200	1/4,400	1/5,600	1/5,300	1/3,600	—

※ 下線は、各号炉における最大相対変位及び最大傾斜の最大値を示す。 ※ Ss-1, 3, 8の左側に、位相反転なしの場合の最大相対変位及び最大傾斜を記載。
 ※ Ss-1, 3, 8の右側に、位相反転ありの場合の最大相対変位及び最大傾斜が位相反転なしの場合の最大相対変位及び最大傾斜を上回った場合の最大相対変位及び最大傾斜を記載。
 ※ Ss-1, 3, 8の右側に記載の、(逆,正)は水平反転、(正,逆)は鉛直反転、(逆,逆)は水平反転かつ鉛直反転を示す。 ※〔〕は、発生時刻(秒)を示す。

* 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉 原子炉建屋等の基礎地盤及び周辺斜面の安定性について(平成 28 年 12 月 26 日、第 425 回審査会合資料 1－3－1)より抜粋

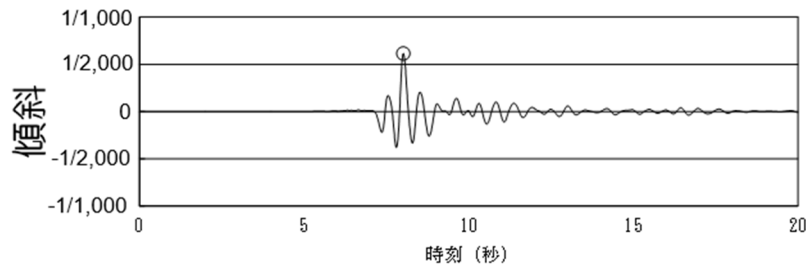


図2 6号炉原子炉建屋の傾斜 (Ss-8) *

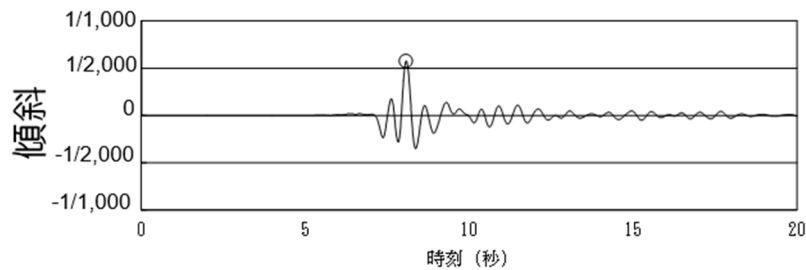


図3 7号炉原子炉建屋の傾斜 (Ss-8) *

* 柏崎刈羽原子力発電所6号炉及び7号炉 原子炉建屋等の基礎地盤及び周辺斜面の安定性について（平成28年12月26日，第425回審査会合資料1-3-1）より抜粋

3. 1 基礎地盤傾斜による地震荷重及び地震と組み合わせるべき荷重への影響

基準地震動 Ss と組み合わせるべき荷重は死荷重, 圧力荷重及び機械的荷重が挙げられる。以降で各荷重に対する建屋傾斜の影響を検討する。

3. 1. 1 基準地震動 Ss により定まる地震力への影響

耐震性評価用のせん断力，曲げモーメント及び床応答スペクトル等の地震力は地震による加速度を入力として算定される。そこで，建屋傾斜の有無による地震加速度への影響を検討する。

建屋傾斜が発生している状況の地震加速度を図4に示す。検討用の傾斜（1/1,000）により水平方向，鉛直方向の地震加速度はそれぞれ以下のように表される。

○傾斜時に発生する水平地震加速度：

$$C_H \cos \theta + C_V \sin \theta = \frac{1000}{\sqrt{1^2 + 1000^2}} C_H + \frac{1}{\sqrt{1^2 + 1000^2}} C_V \cong 0.999 C_H + 0.001 C_V \cong C_H$$

○傾斜時に発生する鉛直地震加速度：

$$C_V \cos \theta - C_H \sin \theta = \frac{1000}{\sqrt{1^2 + 1000^2}} C_V - \frac{1}{\sqrt{1^2 + 1000^2}} C_H \cong 0.999 C_V - 0.001 C_H \cong C_V$$

傾斜が発生している場合の水平地震加速度及び鉛直地震加速度は傾斜が発生していない

場合の地震加速度と同等であり，傾斜が発生している場合の地震力についても，傾斜が発生していない場合と同等になると考えられる。

傾斜が発生していない状況

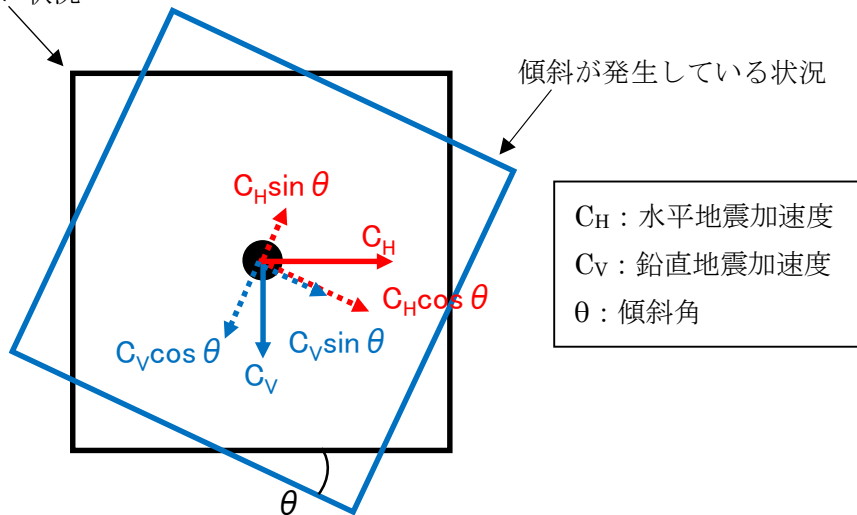


図4 傾斜が発生している状況での地震加速度概念図

3. 1. 2 死荷重への影響

建屋傾斜が発生している状況での死荷重を図5に示す。傾斜が発生していない場合，死荷重は鉛直方向のみに作用する。傾斜が発生している場合，水平方向に自重の分力が発生し，鉛直方向は水平方向に分力されるため，従来作用していた荷重より小さくなる。すなわち，傾斜を考慮すると水平方向の曲げモーメント及びせん断力が新たに発生し，鉛直方向の荷重は $mg \cos \theta$ となり，従来作用していた荷重 mg よりも減少する。

○傾斜時に新たに発生する曲げモーメント： $mg \sin \theta \times h$

○傾斜時に新たに発生するせん断力： $mg \sin \theta$

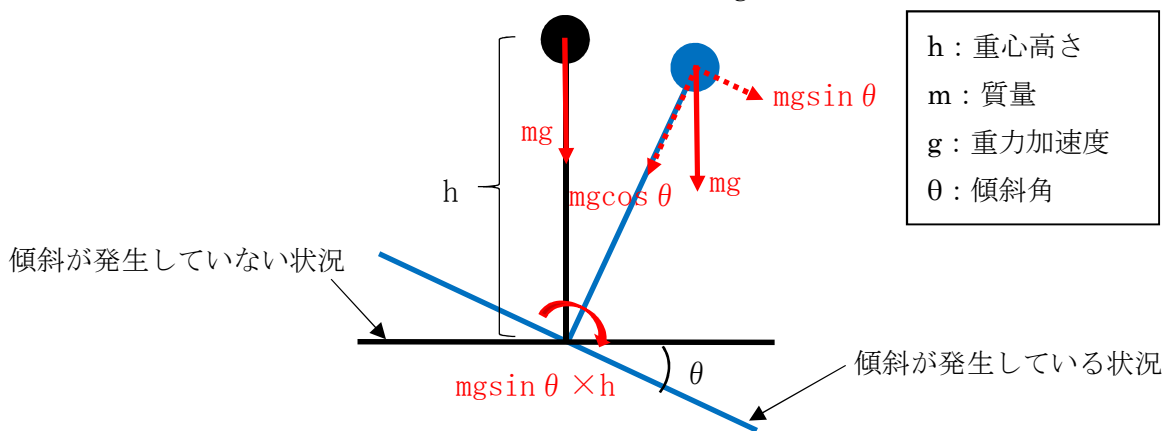


図5 傾斜が発生している状況での荷重概念図

3. 1. 3 圧力荷重及び機械的荷重への影響

圧力荷重は傾斜による影響が無いため変化しない。また、機械的荷重は、安全弁吹出し時の反力荷重、スクラム反力及びポンプの振動等があるが傾斜による影響が無いため変化しない。

3. 1. 4 建屋傾斜による荷重への影響検討結果

建屋傾斜による荷重への影響検討結果を表4に示す。建屋傾斜が発生している状況では、死荷重による曲げモーメント及びせん断力が水平方向に新たに発生する。

表4 建屋傾斜による荷重への影響検討結果

	水平方向	鉛直方向
Ss による地震力	地震加速度は傾斜が発生している場合と傾斜が発生していない場合を比較すると同等であるため、Ss による地震力も同等である。	同左
死荷重	基礎地盤が傾くことにより新たに、曲げモーメント ($mg\sin\theta \times h$)、せん断力 ($mg\sin\theta$) が発生する。	軸力が mg から $mg\cos\theta$ に減少する。
圧力荷重 機械的荷重	変化なし	変化なし

3. 2 耐震設計における原子炉建屋基礎地盤傾斜による影響の考慮方針の検討

残留不等沈下による基礎地盤の傾斜が 1/1,000 という仮定をした場合に、死荷重により新たに発生する曲げモーメント及びせん断力を耐震設計で考慮する。建屋傾斜を考慮すべき対象について耐震性評価手法を分類し、評価手法毎に基礎地盤の傾きにより新たに発生する荷重の反映方針を検討する。なお、傾斜時の死荷重による鉛直方向の荷重については傾斜がない場合よりも小さくなるため、設計で考慮しない。評価手法の分類を図6に示す。

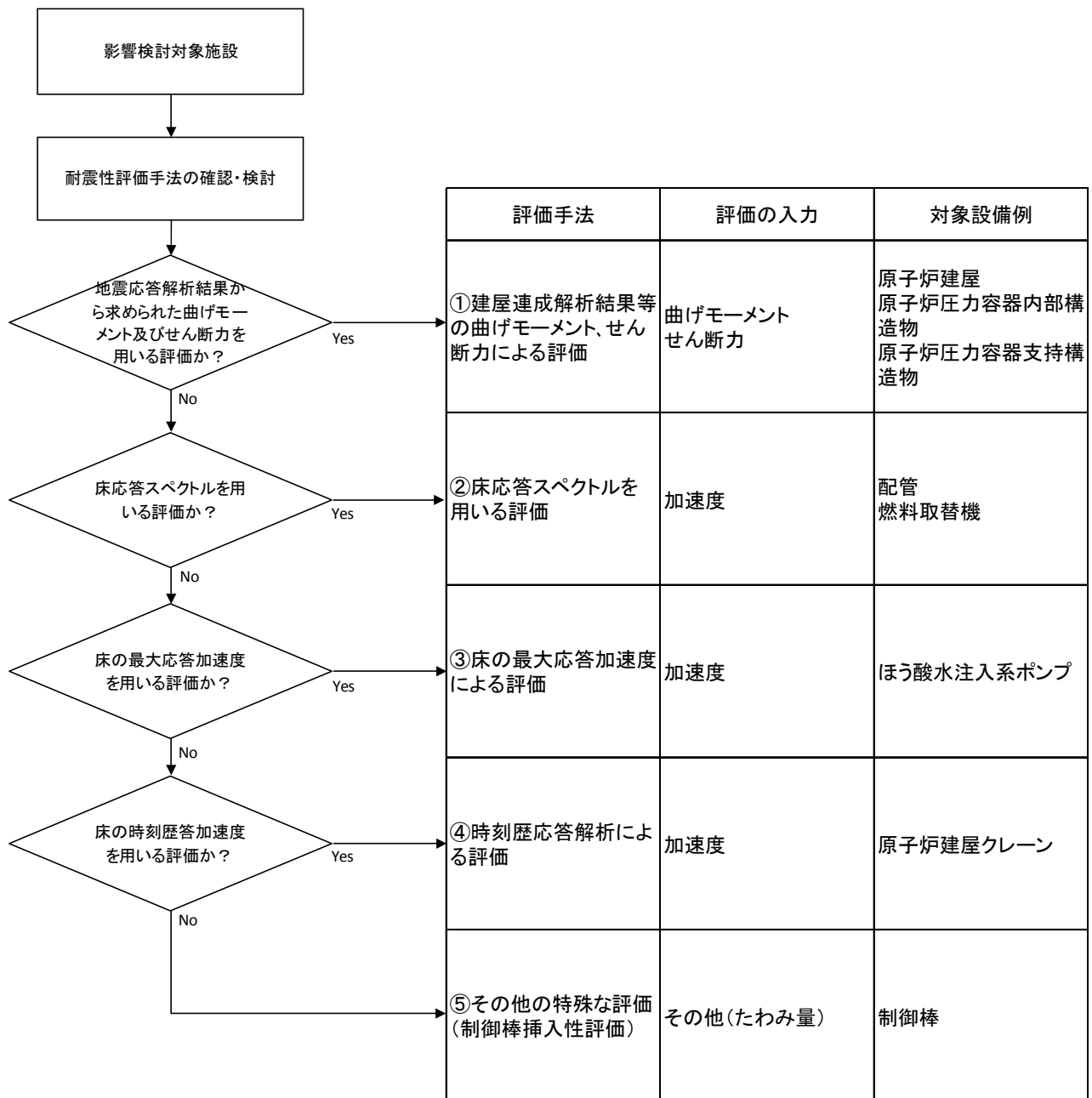


図6 耐震性評価手法の分類

3. 2. 1 入力条件毎の反映方法の検討

評価手法を整理した結果、耐震性評価の入力として曲げモーメント及びせん断力を用いる評価と加速度を用いる評価に大きく分類される。それぞれに対する反映方法を検討する。

3. 2. 1. 1 曲げモーメント及びせん断力を入力とする評価

基礎地盤の傾きにより新たに発生する曲げモーメント及びせん断力を算定し、傾斜を考

慮せずに算定した曲げモーメント及びせん断力に上乗せする。

3. 2. 1. 2 加速度を入力とする評価

基礎地盤の傾きにより新たに発生するせん断力及び曲げモーメントは図7に示す通り、水平方向に加速度 $g \sin \theta$ が発生した状態と等価であることから、傾斜を考慮せずに算定した水平加速度に $g \sin \theta$ を上乗せする。

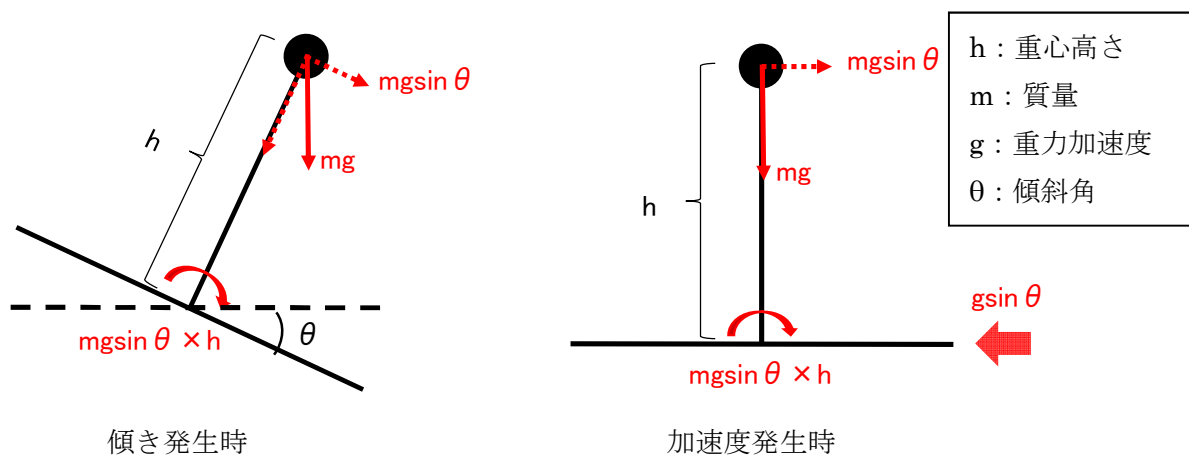


図7 傾き発生時と加速度発生時の荷重状態

3. 2. 2 耐震性評価手法毎の反映方法の検討

図6にて分類した評価手法毎の反映方法を検討する。

3. 2. 2. 1 建屋連成解析結果等の曲げモーメント及びせん断力による評価(図6の①)

原子炉建屋内の原子炉压力容器, 原子炉遮蔽壁, 原子炉本体基礎等の大型機器・構造物は, 原子炉建屋基礎版やダイヤフラムフロアを介して原子炉建屋からの地震の入力があることを考慮して, 図8に示すように連成させたモデルを使用し, 基準地震動 S_s による地震応答解析を実施することによって大型機器・構造物の評価用曲げモーメントやせん断力を算定している。

原子炉本体基礎を例として算定した曲げモーメントやせん断力が伝達されるイメージと基礎地盤の傾きにより発生する曲げモーメント及びせん断力を図9に示す。

建屋傾斜による影響の反映方法として, 基礎地盤の傾きにより新たに発生する曲げモーメントやせん断力を地震応答解析で算定した値に加算する。なお, 基礎地盤の傾きにより新たに発生する曲げモーメントやせん断力は水平方向に加速度 $g \sin \theta$ が負荷されている状態と等価であるため, $g \sin \theta$ を入力とした静的解析を実施することにより算定する。

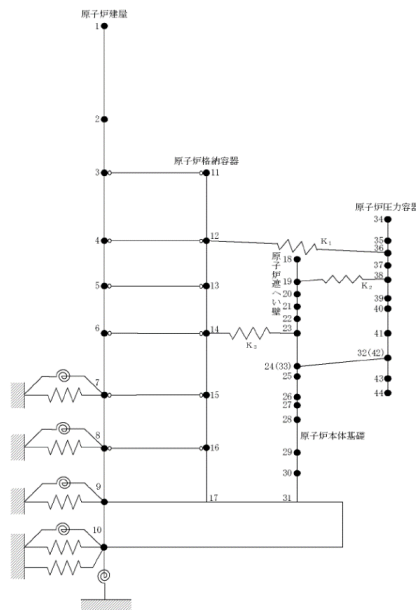


図8 原子炉建屋と大型機器を連成させた地震応答解析モデル例

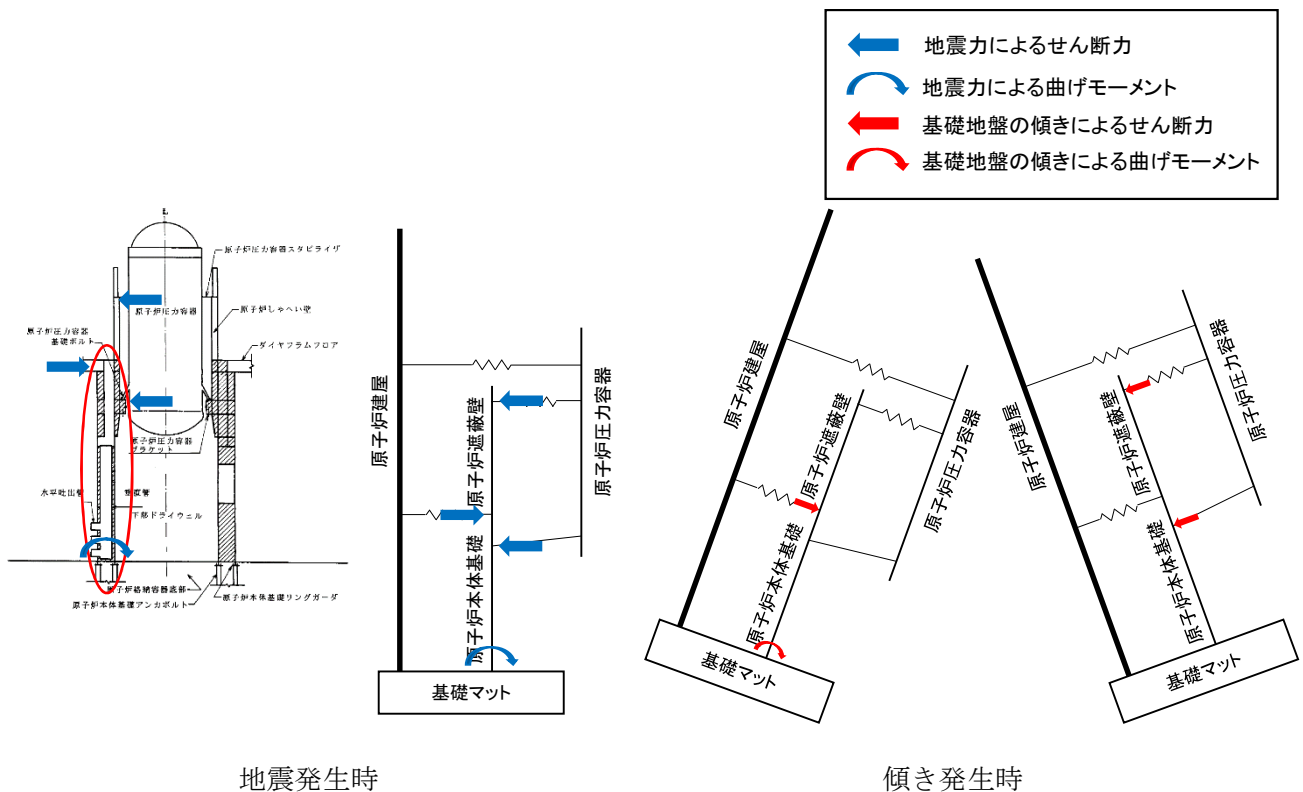


図9 原子炉本体基礎に作用する曲げモーメント及びせん断力のイメージ

3. 2. 2. 2 床応答スペクトルを用いる評価 (図6の②)

配管や燃料取替機は床応答スペクトルを入力として評価している。建屋傾斜による影響の反映方法として、基礎地盤の傾きにより新たに発生する曲げモーメント及びせん断力を、

加速度として水平方向の床応答スペクトルの全周期に $g \sin \theta$ を加算する。加算するイメージを図 10 に示す。

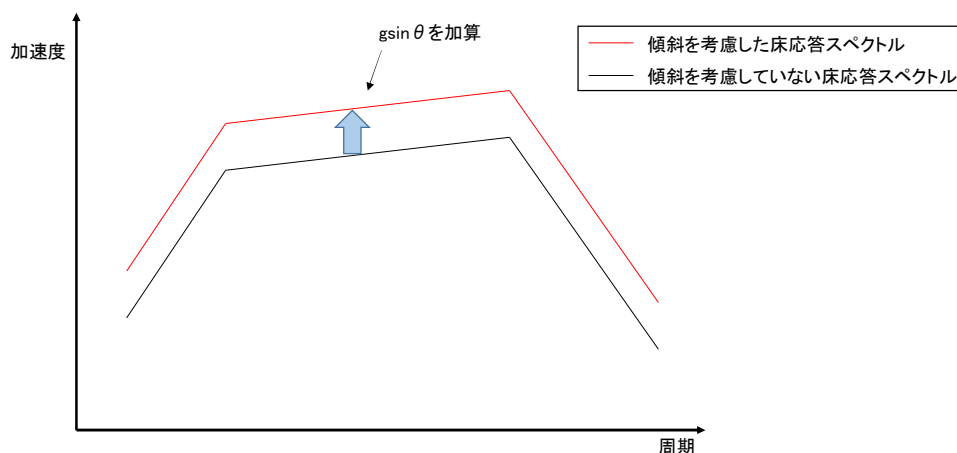


図 10 傾斜を考慮した床応答スペクトルのイメージ

3. 2. 2. 3 床の最大応答加速度による評価 (図 6 の③)

剛な設備の構造健全性評価や動的機器の機能維持評価に床の最大応答加速度を用いている。建屋傾斜による影響の反映方法として、基礎地盤の傾きにより新たに発生する曲げモーメント及びせん断力を、水平方向加速度として床の最大応答加速度に $g \sin \theta$ を加算する。

3. 2. 2. 4 時刻歴応答解析による評価 (図 6 の④)

原子炉建屋クレーンは浮き上がりを考慮するため、クレーンガーダの各車輪にギャップ要素を持つ非線形 FEM 解析モデルを用いて時刻歴応答解析を行う。建屋傾斜による影響の反映方法として、基礎地盤の傾きにより新たに発生する曲げモーメント及びせん断力を加速度として上乗せするために、入力として用いる時刻歴応答加速度を係数倍する。係数倍するイメージを図 11 に示す。

係数については、図 12 に示すように、建屋傾斜の影響を考慮した時刻歴応答加速度による床応答スペクトルが、建屋傾斜の影響を考慮していない時刻歴応答加速度による床応答スペクトルより、設備に影響を与える周期帯において $g \sin \theta$ 以上大きくなるように設定する。

なお、原子炉建屋クレーンについては、自重解析及び時刻歴応答解析を実施するが、自重解析に傾斜を考慮すると鉛直方向の荷重が小さくなるため、建屋傾斜の影響は時刻歴応答解析の入力条件として考慮する。

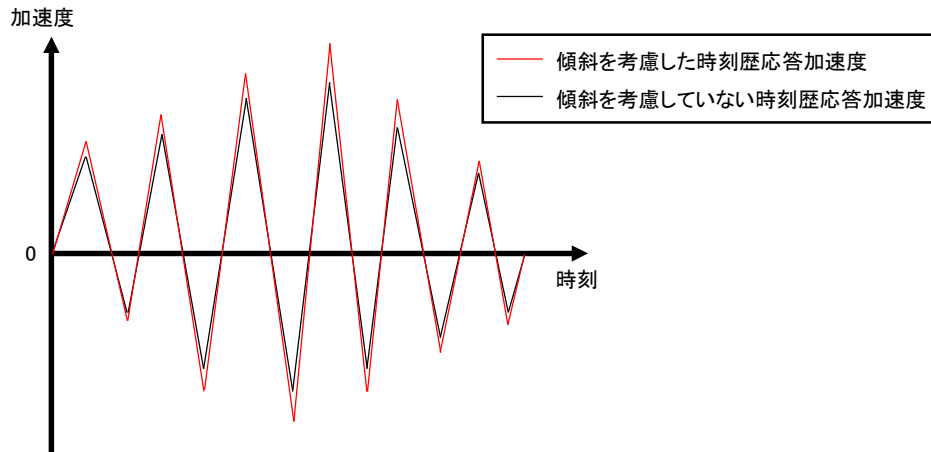


図 1 1 傾斜を考慮した時刻歴応答加速度のイメージ

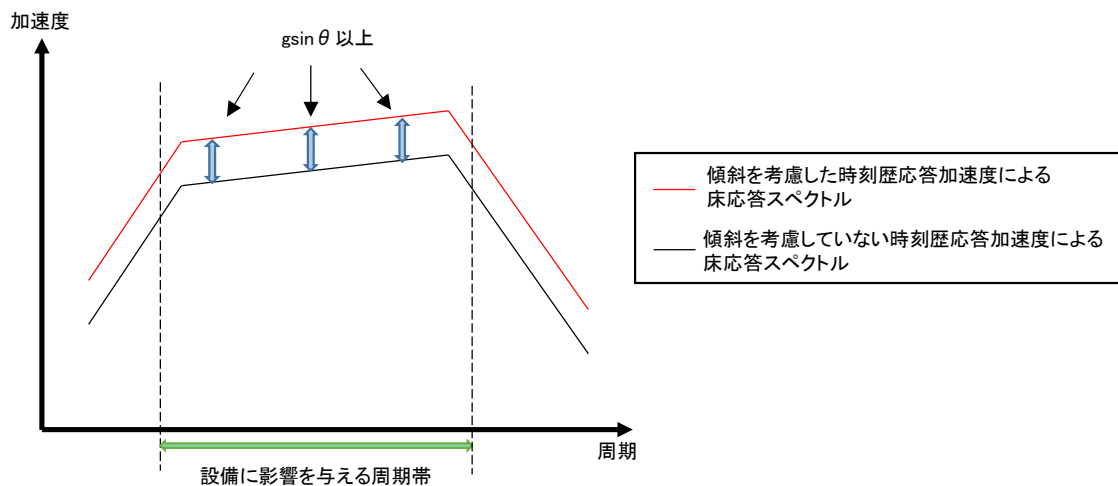


図 1 2 傾斜を考慮した時刻歴応答加速度による床応答スペクトルのイメージ

3. 2. 2. 5 その他の特殊な評価（制御棒挿入性評価）（図 6 の⑤）

制御棒挿入ラインを形成する各機器の設置状況を図 1 3 に示す。燃料集合体は下部では燃料支持金具に、上部では上部格子板で支持され、燃料支持金具は制御棒案内管上に設置され、制御棒案内管は制御棒駆動機構ハウジングを介して原子炉圧力容器に接続され、制御棒駆動機構ハウジングは原子炉圧力容器に溶接接続されている。また、制御棒は制御棒駆動機構ハウジングに内蔵された制御棒駆動機構によって駆動する。なお、柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉では改良型制御棒駆動機構（図 1 4 参照）が使用されている。改良型制御棒駆動機構は、通常時はモータによってボールネジを回転させることでボールナット・中空ピストンを上昇させ制御棒を挿入し、スクラム時は水圧によって中空ピストンを上昇させ制御棒を挿入する精密な駆動機構となっており、制御棒と制御棒駆動機構はボールネジ、ボールナット及び中空ピストンを介して接続されていることから、1/1,000 程度の建屋傾斜に

よる影響はないと考えられる。

したがって、燃料集合体、燃料支持金具、制御棒案内管、制御棒駆動機構ハウジング、制御棒駆動機構、制御棒、原子炉压力容器は、一体的な構造となっている。

なお、制御棒挿入性を確保するため周辺機器には下記のクリアランスが設定されている。

- ① 制御棒挿入ラインとしての燃料集合体間のクリアランス（図 1 3 中①）

（制御棒の厚さ：）

- ② 制御棒挿入ラインとしての燃料支持金具内の空隙の幅（図 1 3 中②）

（制御棒の幅：）

- ③ 制御棒挿入ラインとしての制御棒案内管の内径（図 1 3 中③）

（制御棒の幅：）

制御棒は通常運転時の全引抜状態においても、その頂部が燃料集合体に一部挿入されている状態であり、スクラム時には原子炉緊急停止系からのスクラム信号によりアキユムレータに充填された高圧水によって、制御棒は約 4m のストロークを 2.8 秒以内に強制的に挿入される。

スクラムにおける制御棒挿入時の主な抵抗要因としては以下が挙げられる。

- ① 地震時の燃料集合体のたわみによる燃料集合体と制御棒間の摩擦力

制御棒は燃料集合体間に挿入されるため、地震力により燃料集合体がたわみ制御棒挿入ラインが変形することで、制御棒と燃料集合体の摩擦力が増加し、制御棒挿入時の抵抗となる。

- ② 制御棒挿入ラインにおける機器のガタつきによる抵抗

制御棒挿入ラインとそれを形成する各機器の中心軸のズレ（ガタつき）が、制御棒挿入時の抵抗となる。

制御棒挿入性評価においては、図 1 5 に示すような燃料集合体、原子炉建屋、原子炉格納容器、原子炉遮蔽壁、原子炉本体基礎、原子炉压力容器、原子炉压力容器内部構造物及び原子炉压力容器支持構造物等を連成させたモデルを用いて基準地震動 S_s に対する地震応答解析により燃料集合体の最大たわみ量を計算する。別途、実機の制御棒挿入ラインを形成する各機器の中心軸のズレを模擬した実規模試験体での加振試験で規定時間内に制御棒が全挿入されることが確認されたたわみ量を許容たわみ量とする（図 1 6 参照）。解析により求めた最大たわみ量と試験にて設定した許容たわみ量を比較することで、制御棒挿入性評価を行う。

以上より、制御棒挿入性に対する建屋傾斜の影響検討は、前述したスクラム時における制御棒挿入時の 2 つの抵抗要因に対して行うこととする。

- ① 燃料集合体のたわみによる燃料集合体と制御棒間の摩擦力への影響検討

建屋傾斜の影響により燃料集合体のたわみが新たに発生することにより、燃料集合体

と制御棒の摩擦が増えると考えられるが、両機器が制御棒のローラを介して接触している場合は摩擦自体が小さく、ローラ以外で接触する場合でもスクラム力と比較してその摩擦は十分に小さい値となると考えられる。

建屋傾斜の影響により新たに発生する燃料集合体のたわみ量を地震応答解析で算定した最大たわみ量に加算し評価することで建屋傾斜の影響を考慮した評価となる。建屋傾斜により新たに発生するたわみのイメージを図 17 に示す。なお、建屋傾斜により新たに発生するたわみ量は水平方向に加速度 $g \sin \theta$ が負荷されている状態と等価であるため、 $g \sin \theta$ を入力とした静的解析を実施することにより算定する。

試験にて規定時間内の制御棒挿入性が確認されている燃料集合体のたわみ量は 40mm である。一方、基準地震動 S_s による燃料集合体の最大たわみ量は 30mm 程度(暫定値)、1/1,000 の建屋傾斜による加速度 $g \sin \theta$ が約 $0.01m/s^2$ であり、燃料集合体のたわみ量は 0.1mm 未満と見込まれるため、燃料集合体のたわみによる燃料集合体と制御棒間の摩擦力への影響は小さく制御棒挿入性は確保され则认为られる。

② 制御棒挿入ラインにおける機器のガタつきによる抵抗

制御棒挿入ラインにおける機器のうち制御棒案内管と制御棒駆動機構ハウジングの接合部は芯出しを目的としてテーパ形状及び球面座にて接触しているため、建屋傾斜の影響によりその相対位置がずれることは無い(図 18 参照)。

一方、制御棒案内管と炉心支持板孔との接合部は、の嵌め合い公差が存在するため(図 19 参照)、建屋傾斜によって機器が片寄せとなる可能性がある(図 20 参照)ものの、制御棒挿入試験での動的な加振力は 1/1,000 程度の傾斜にて発生するわずかな力よりはるかに大きいものであり、従来の試験にて包絡されているとみなせる。また、嵌め合い公差は機器自体の形状によって定まる値であり、建屋傾斜の影響を受けるものではない。

そもそも、制御棒挿入ラインには、制御棒のサイズに対して数 mm 程度のクリアランスが存在しており(図 13 参照)、の嵌め合い公差によるガタつきが制御棒挿入性に影響を及ぼすことはない。

以上を踏まえて、建屋傾斜による制御棒挿入性への影響については軽微であり、基準地震動 S_s における制御棒挿入性は確保され则认为られるが、上記検討内容の詳細については今後の詳細設計において説明を行うこととする。

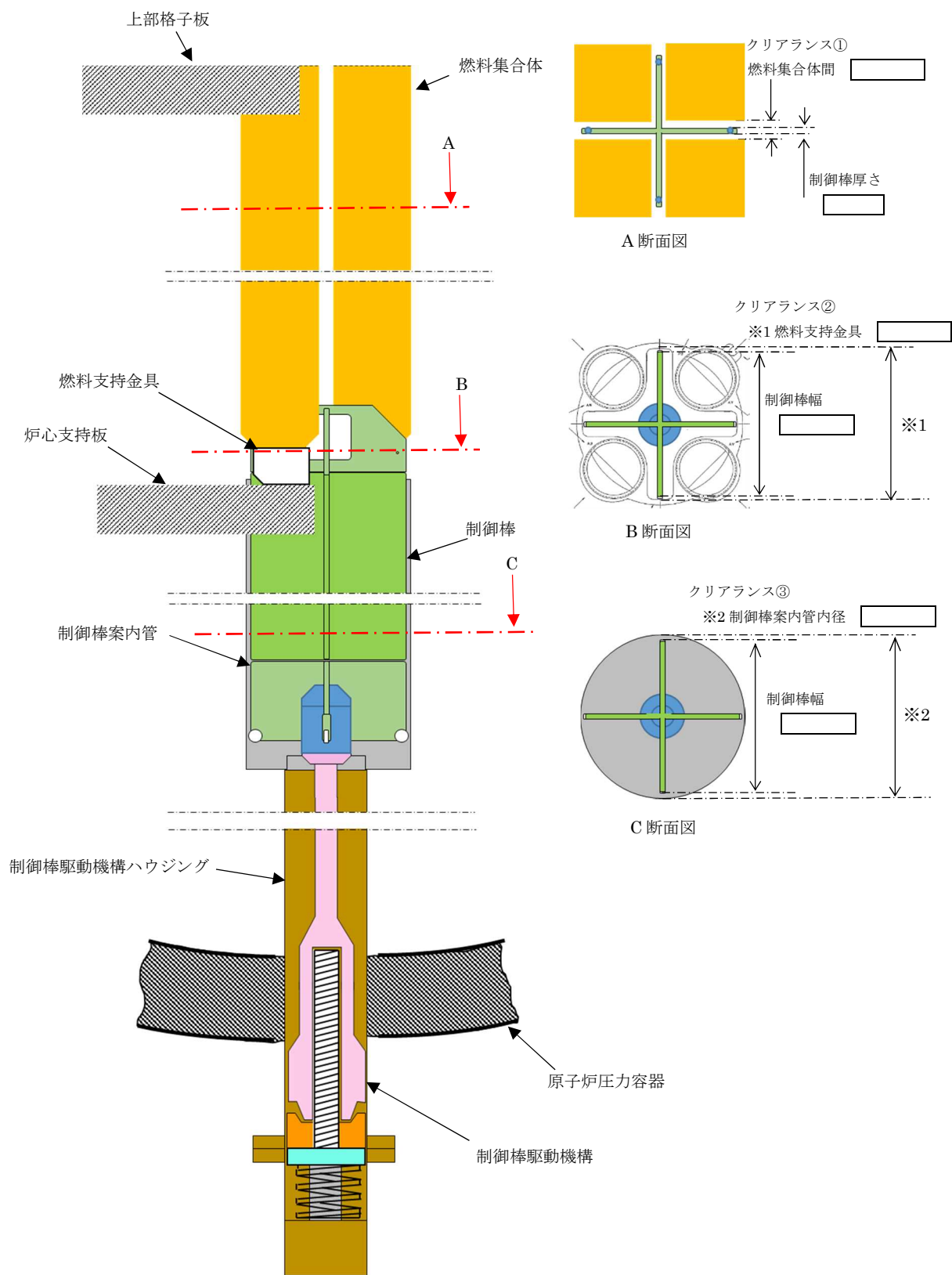


図 1 3 制御棒挿入ライン関連機器配置概念図

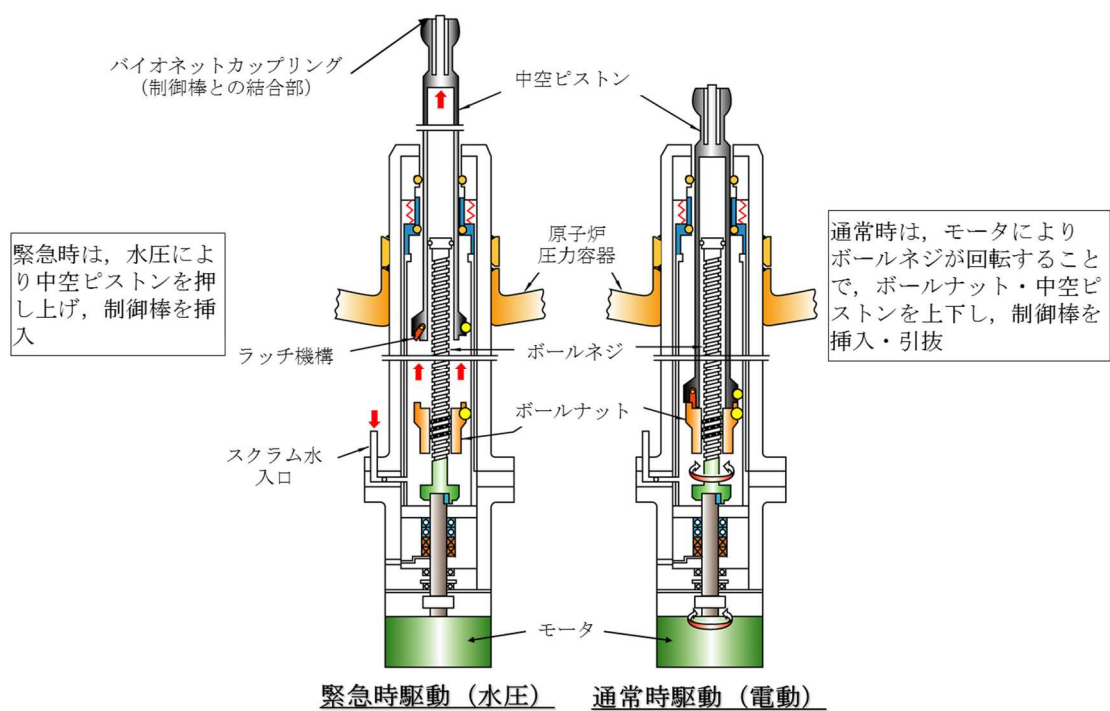


図 1 4 改良型制御棒駆動機構 動作概念図

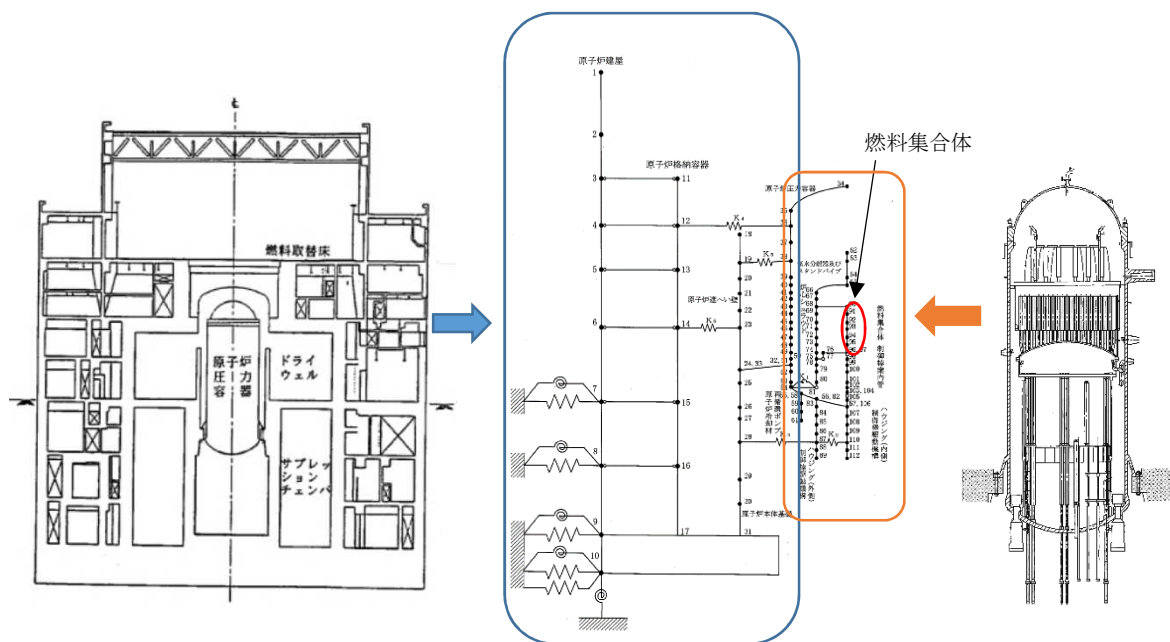
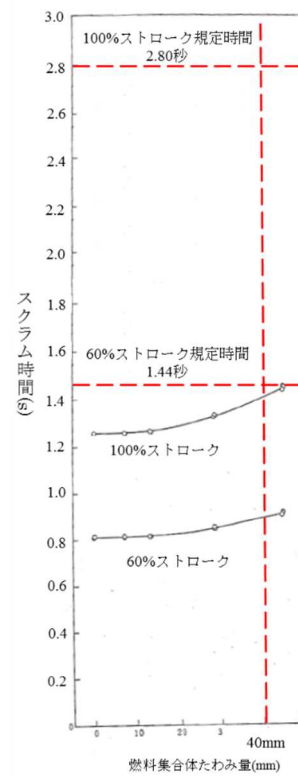
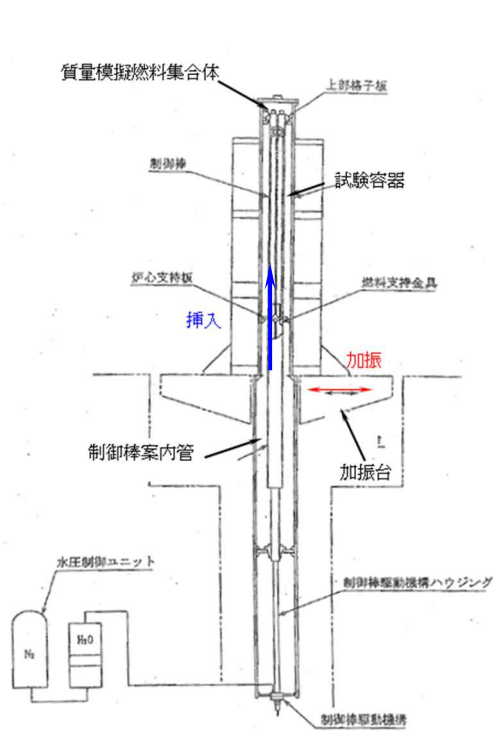


図 1 5 原子炉圧力容器及び原子炉圧力容器内部構造物の地震応答解析モデル例



<試験装置例>

<試験結果イメージ>

図 1 6 制御棒挿入試験の概要

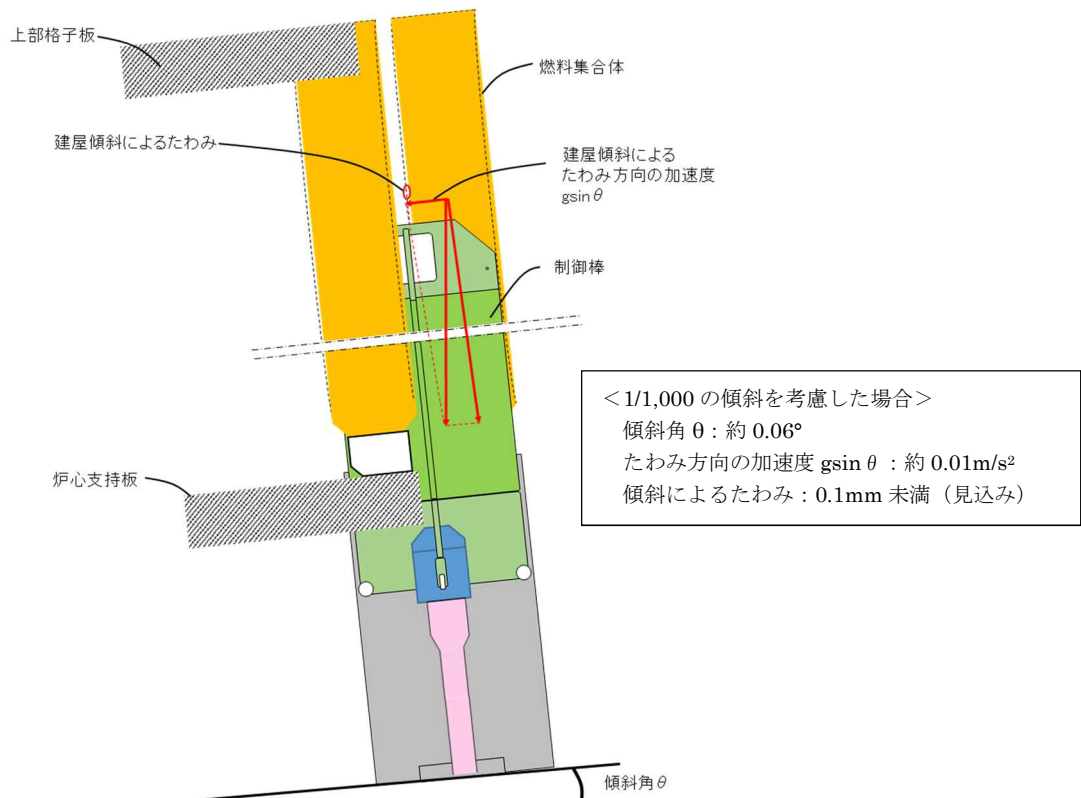


図 1 7 建屋傾斜が発生している状況での燃料集合体のたわみのイメージ

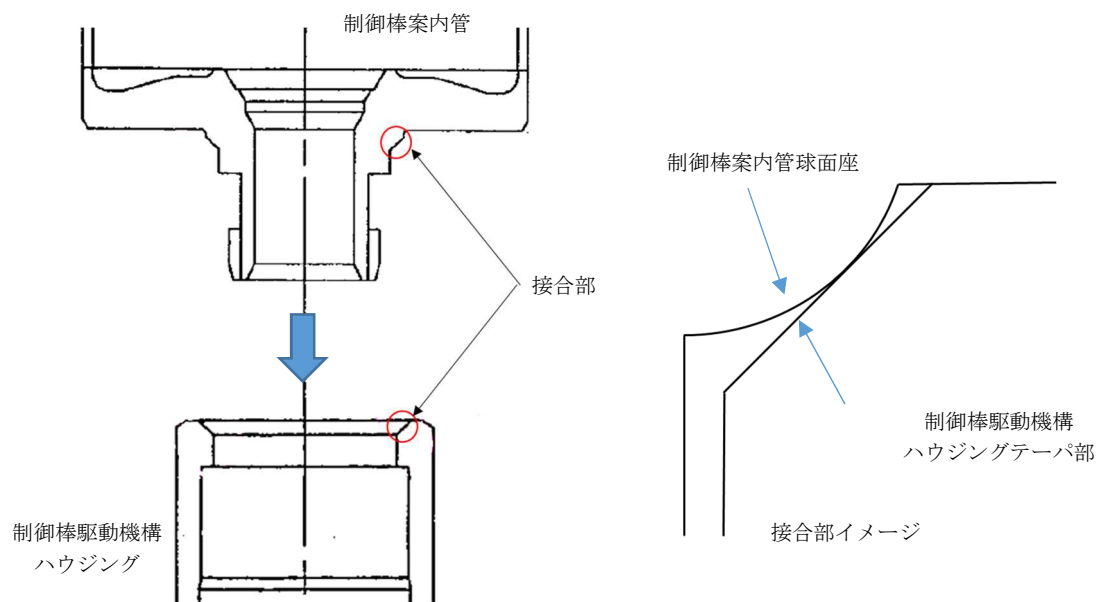


図 1 8 制御棒案内管・制御棒駆動機構ハウジング接合部概念図

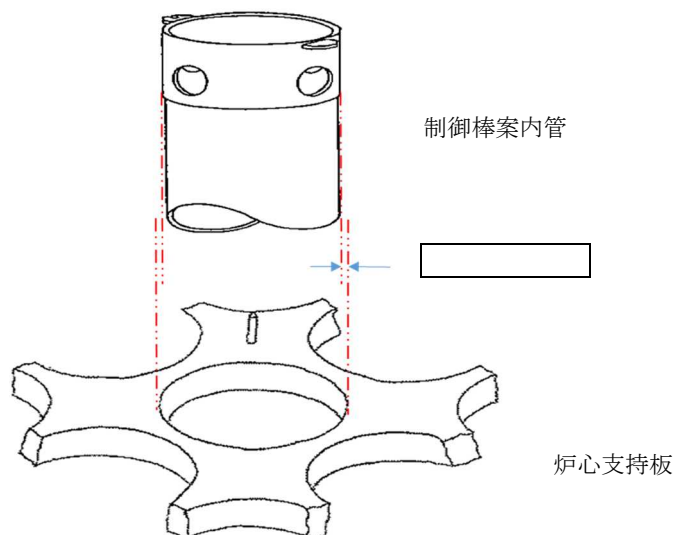


図 1 9 制御棒案内管・炉心支持板接合部概念図

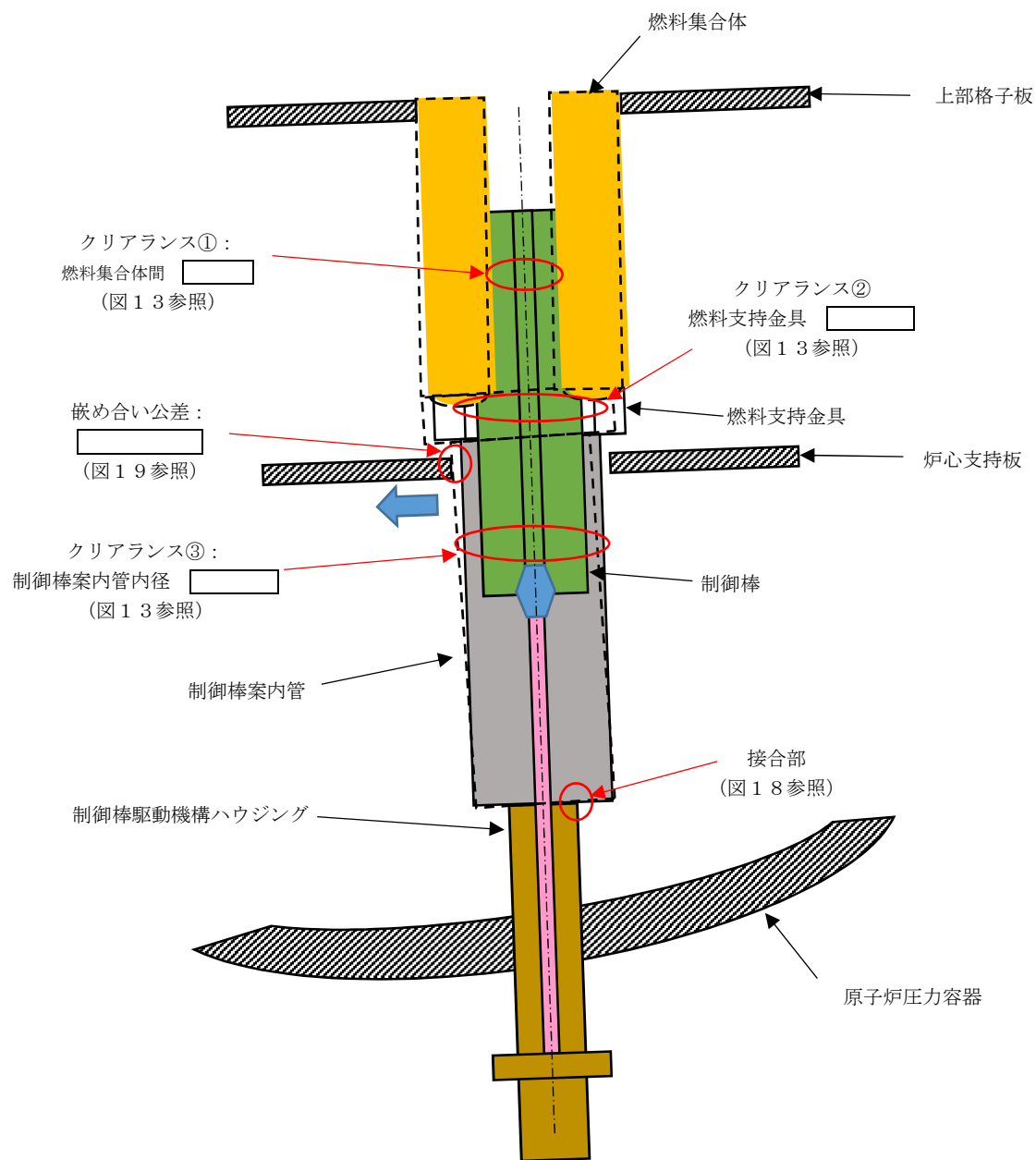


図 2 0 建屋傾斜時における機器のガタつきの発生状況 (イメージ)

柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉

液状化影響の検討方針について
(耐震)

これまでの経緯および本検討の位置づけ

第 336 回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合（平成 28 年 3 月 4 日）の原子炉建屋等の基礎地盤及び周辺斜面の安定性において、取水路などを支持する古安田層※に対する支持性能の補足として、以下のようにご説明をしている。

- 支持地盤（古安田層）は、シルト主体の地層であり、液状化が懸念される地盤ではないと判断できる。
- 道路橋示方書・同解説（H14）や建築基礎構造設計指針（2001）では、地表面から 20m 以浅の沖積層を液状化判定が必要な土層としており、古安田層の一部に分布する砂層は、中期更新世の地層かつ深度 20m 以深の非常に密な地盤であることから、その対象とはならない。
- ただし、この古安田層の砂層については、詳細設計段階において基準地震動 S_s に対する液状化に関する詳細な検討を行う。

本検討は、耐震設計・耐津波設計基本方針における液状化の構造物への影響評価の考え方についてとりまとめたものである。また、構造物影響評価の考え方をご説明する上で、詳細設計段階における評価の前提となる液状化試験結果についてあわせてご説明する。なお、液状化に対する構造物への影響評価の見通しについてもご説明する。

※ 安田層下部層の MIS10～MIS7 と MIS6 の境界付近の堆積物については、本資料では『古安田層』と仮称する。

目次

1. 液状化評価の基本方針	・・・ 3
2. 液状化評価対象層の抽出	・・・ 7
3. 液状化試験位置とその代表性	
3. 1 液状化試験位置の選定	・・・ 19
3. 2 液状化試験選定箇所の代表性確認	・・・ 25
3. 3 追加調査	・・・ 50
4. 液状化試験結果	
4. 1 液状化試験方法	・・・ 54
4. 2 液状化試験結果の分類に対する基本的考え方	・・・ 58
4. 3 試験結果の分類	・・・ 63
5. 基準地震動 S_s に対する液状化判定 (FL 法)	・・・ 83
6. 基準地震動 S_s に対する液状化試験の妥当性確認	・・・ 89
7. 液状化強度特性の設定	・・・ 104
8. 液状化影響の検討方針	・・・ 113
9. 設置許可段階における構造物評価の見通し	
9. 1 代表構造物の抽出	・・・ 115
9. 2 取水路	・・・ 117
9. 3 常設代替交流電源設備基礎	・・・ 149
10. 参考文献	・・・ 171
11. 参考資料	
11. 1 評価対象構造物の断面図	・・・ 172
11. 2 荒浜側の古安田層中の砂層に関する補足	・・・ 181
11. 3 液状化に関連する基本物性に関する補足	・・・ 190
11. 4 液状化関連の文献整理	・・・ 196
11. 5 新潟県中越沖地震時の地盤変状	・・・ 215

1. 液状化評価の基本方針

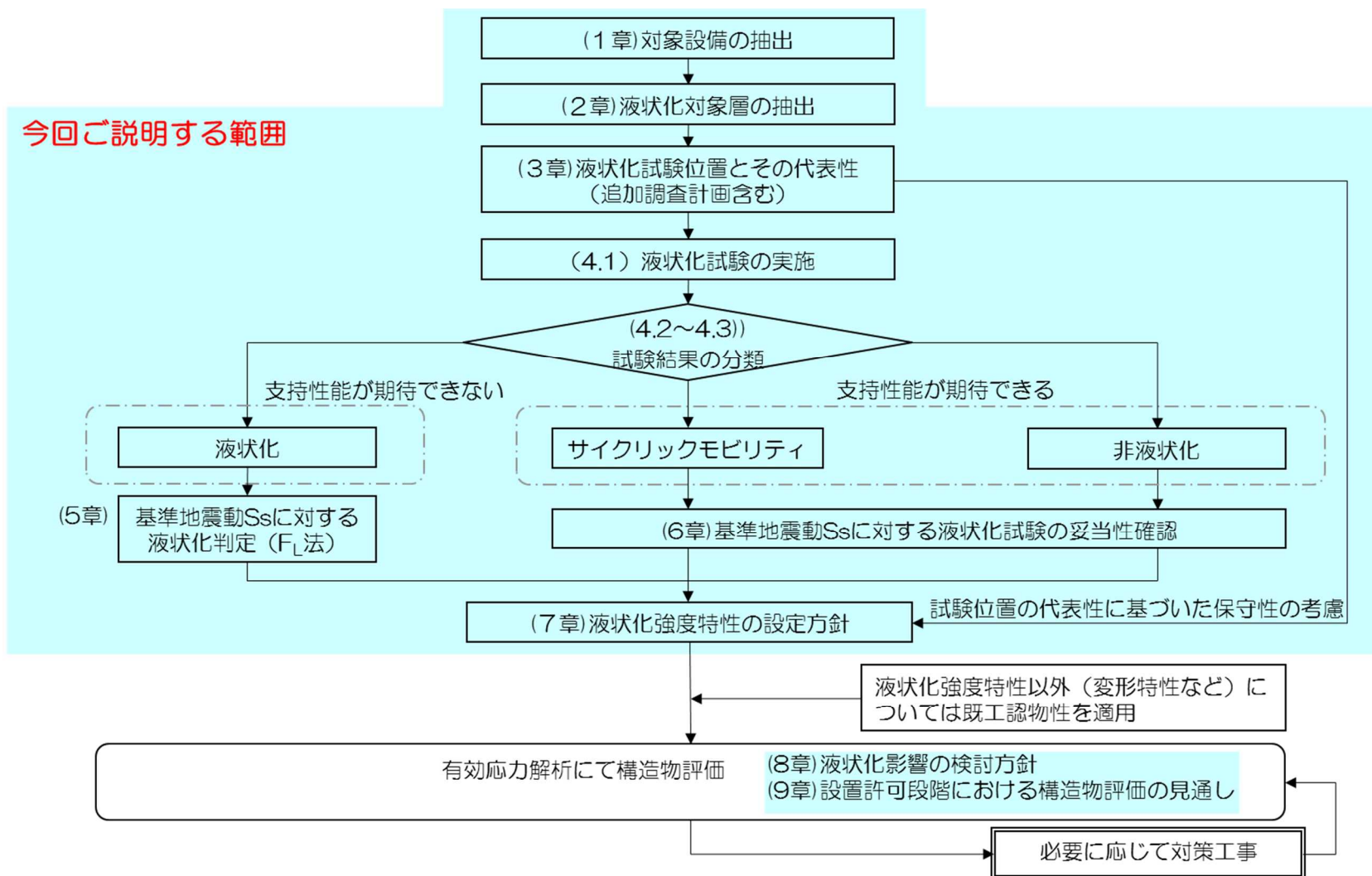
第 11-1-1 図に液状化評価の流れ，第 11-1-1 表に液状化評価の基本方針を示す。

液状化評価については道路橋示方書を基本として，道路橋示方書において液状化評価の対象外となっている洪積層についても液状化試験を実施し，液状化の有無を確認することで保守的な評価を実施する。液状化試験に基づいて，地震時の地盤の状態を『液状化』、『サイクリックモビリティ』および『非液状化』と判定する。

それぞれの試験結果に基づいて液状化強度特性を設定し，構造物への影響評価を実施する。なお，試験結果が非液状化となる土層も，念のため液状化強度特性を設定して保守的な構造物評価を実施する。設定した液状化強度特性については，試験結果を基本に設定するが，基本物性のバラツキも考慮して保守的な設定とする。

液状化評価の対象となる施設は，屋外の設計基準対象施設（屋外重要土木構造物，津波防護施設）および重大事故等対処施設を対象に抽出した。第 11-1-2 表に液状化評価の対象設備を示す。また，荒浜側には液状化評価の対象となる施設はないが，津波評価の前提となる液状化に伴う地盤の沈下などを評価するために，荒浜側に分布する砂層については，荒浜側防潮堤の縦断方向の地質断面図を代表例として，液状化対象層の抽出を行った。

なお，波及的影響評価において抽出される屋外下位クラス施設に対する基本方針は，波及的影響評価の中で整理を行う。



第 11-1-1 図 液状化評価の流れ

第 11-1-1 表 液状化評価の基本方針

本検討の対象砂層			道路橋示方書における液状化評価の対象	当社評価		
地層名	堆積年代	調査地点名 土層名		液状化試験による判定	液状化強度特性の設定の考え方	液状化強度特性の保守性
埋戻土層	—	A-1 埋戻土層	○ 対象	液状化	試験結果に基づいて液状化強度特性を設定する。	試験結果を基本として、基本物性のバラツキも考慮して保守的な設定とする。
新期砂層 ・沖積層	完新世 (沖積層)	A-3 新期砂層・沖積層		サイクリック モビリティ		
古安田層 (古安田層 中の砂層が 対象)	更新世 (洪積層)	新しい	× 対象外	非液状化	※	
		A-1 洪積砂層Ⅰ 洪積砂層Ⅱ				
		A-2 洪積砂層Ⅰ				
		古い			非液状化であると考えられるが、保守的な構造物評価を実施するため、液状化強度特性を設定する。	
		A-2 洪積砂層Ⅱ				
		0-1 洪積砂質土層Ⅰ 洪積砂質土層Ⅱ				

※ A-2 地点の洪積砂層Ⅰについては非液状化であると考えられるが、A-1 地点の洪積砂層Ⅰ・Ⅱと同時代に堆積した地層であること、N 値が A-1 地点の洪積砂層Ⅱと同程度であることを踏まえ、A-1 地点の洪積砂層Ⅱの試験結果に基づいて液状化強度特性を設定する。

第 11-1-2 表 液状化評価の対象設備

設備分類		設備名称	構造概要	支持層
設計基準対象施設	屋外重要土木構造物	スクリーン室	鉄筋コンクリート構造	古安田層
		取水路	鉄筋コンクリート構造	古安田層
		補機冷却用海水取水路 ^{※1}	鉄筋コンクリート構造	西山層
		海水貯留堰 ^{※2}	鋼管矢板構造	古安田層，西山層
		軽油タンク基礎	鉄筋コンクリート ＋ 杭基礎構造	西山層
		燃料移送系配管ダクト	鉄筋コンクリート ＋ 杭基礎構造	西山層
	津波防護施設	海水貯留堰 ^{※2}	鋼管矢板構造	古安田層，西山層
重大事故等対処施設		常設代替交流電源設備基礎	鉄筋コンクリート ＋ 杭基礎構造	西山層
		格納容器圧力逃がし装置基礎	鉄筋コンクリート ＋ 杭基礎構造	西山層

※1：マンメイドロックを介して西山層に直接支持，※2：海水貯留堰は屋外重要土木構造物と津波防護施設の兼用。海水貯留堰の周辺には液状化評価対象層は存在しないことから，液状化評価対象設備からは除外する。

2. 液状化評価対象層の抽出

第 11-2-1 表に敷地の地質層序表を示す。敷地の地質は、下位から新第三系の寺泊層及び椎谷層、新第三系鮮新統～第四系下部更新統の西山層、下部更新統の灰爪層、それらを不整合で覆う中部更新統の古安田層、上部更新統の大湊砂層及び番神砂層、完新統の新时期砂層・沖積層からなる。

評価対象範囲の地盤に分布する砂層としては、古安田層中の砂層、新时期砂層・沖積層、埋戻土層がある。

古安田層は、敷地のほぼ全域にわたって分布し、主に粘土～シルトからなり、砂、砂礫等を挟在する。また、本層は、MIS10～MIS7 と MIS6 との境界付近の海進、海退に伴う堆積物を含むものと推定され、中部更新統と判断される。

敷地の古安田層は全域に広く分布しており、古安田層中の砂層は、主に Ata-Th テフラを含むシルト主体の MIS7 の地層に挟在している。また、MIS7 の堆積物の基底には砂礫層が分布している。第 11-2-1 図に古安田層上限面図およびボーリング柱状図を示す。

新时期砂層・沖積層は、敷地のほぼ全域にわたって下位層を覆って分布している。下位層上限面に刻まれた谷を埋めるように堆積したため、場所により層厚が大きく変化している。本層は、主に未固結の淘汰の良い細粒～中粒砂からなる。現在の海浜、砂丘を形成しており、下位層を不整合に覆う。

液状化評価対象層については、道路橋示方書・同解説（V 耐震設計編）（（社）日本道路協会、H24.3）（以下、「道路橋示方書」という）に基づいて対象層を抽出した。第 11-2-2 図に液状化評価対象層の抽出フローを示す。

道路橋示方書では、沖積層を液状化評価対象層としているが、本評価では洪積層（古安田層）についても、同様に抽出対象とした。また、地表面から 20m 以深は対象外となっているが、本評価では地表から 20m 以深の砂層も抽出対象とした。

対象設備のうち、スクリーン室、取水路、軽油タンク基礎、燃料移送系配管ダクト、常設代替交流電源設備基礎の地盤には砂層が分布している。これらの施設に着目して地質断面図を作成し、砂層の分布状況について第 11-2-3 図に整理した。

6 号炉および 7 号炉の取水路及び常設代替交流電源設備基礎の周辺地盤については、シルト主体の古安田層中に挟在する砂層が広く分布している。この砂層が挟在するシルト層内の上部には Ata-Th テフラが同程度の標高で広く確認されること、その下部には砂層が同程度の標高に分布していることから、MIS7 の同時期に堆積した地層である。

常設代替交流電源設備及び 7 号炉軽油タンク基礎等の周辺地盤には、細粒～中粒砂からなる新时期砂層・沖積層が分布している。

6 号炉軽油タンク基礎等の周辺地盤には、古安田層中の砂層が一部分布している。この砂

層は、取水路付近の砂層からは西山層の高まり等により連続していないものの、古安田層中に挟在する砂層が同様に分布していることから、取水路付近の砂層と同様に MIS7 の同時期に堆積した地層である。

6 号炉および 7 号炉の取水路の地盤については、シルト主体の古安田層中に挟在する砂層が広く分布している。この砂層が挟在するシルト層内の上部には Ata-Th テフラが同程度の標高で広く確認されること、その下部には砂層が同程度の標高に分布していることから、MIS7 の同時期に堆積した地層である。

以上より、大湊側の液状化評価対象層として、砂層の分布状況から、古安田層中の砂層、新期砂層・沖積層及び埋戻土層を抽出した。

荒浜側に分布する砂層については、荒浜側防潮堤の縦断方向の地質断面図を代表例として、砂層の分布状況について第 11-2-4 図に整理した。

3 号炉および 4 号炉海側の地盤には、シルト主体の古安田層中に挟在する砂層が広く分布している。この砂層が挟在するシルト層内の上部には Ata-Th テフラが広く確認されること、その下部には砂層が同程度の標高に分布していることから、大湊側と同様に MIS7 の同時期に堆積した地層である。

4 号炉海側には、古安田層の上位に新期砂層・沖積層が連続して分布している。

1 号炉および 2 号炉海側の地盤には、3 号炉および 4 号炉海側から連続するシルト主体の地層の上位に位置する砂層が概ね 10m 以上の厚さで連続して分布していることから、この砂層は同時期に堆積した砂層である。なお、古安田層の基底に一部分布する砂層は、3 号炉および 4 号炉海側に分布する MIS7 の砂層と同じ地層と想定される。

1 号炉海側の防潮堤端部には、4 号炉海側と同様に新期砂層・沖積層が分布している。

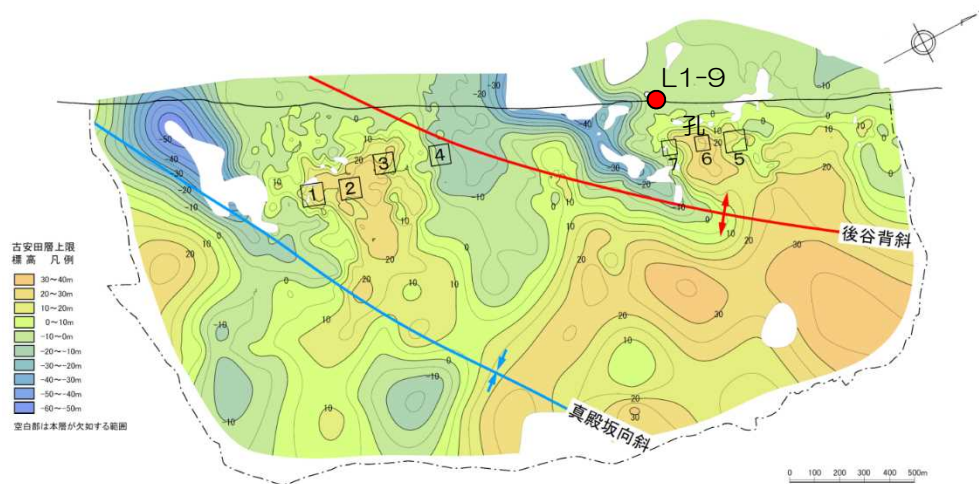
以上より、荒浜側の液状化評価対象層として、砂層の分布状況から、主に 3 号炉および 4 号炉海側に分布する古安田層中の砂層、主に 1 号炉および 2 号炉海側に分布する古安田層中の砂層、新期砂層・沖積層及び埋戻土層を抽出した。

第 11-2-1 表 敷地の地質層序表

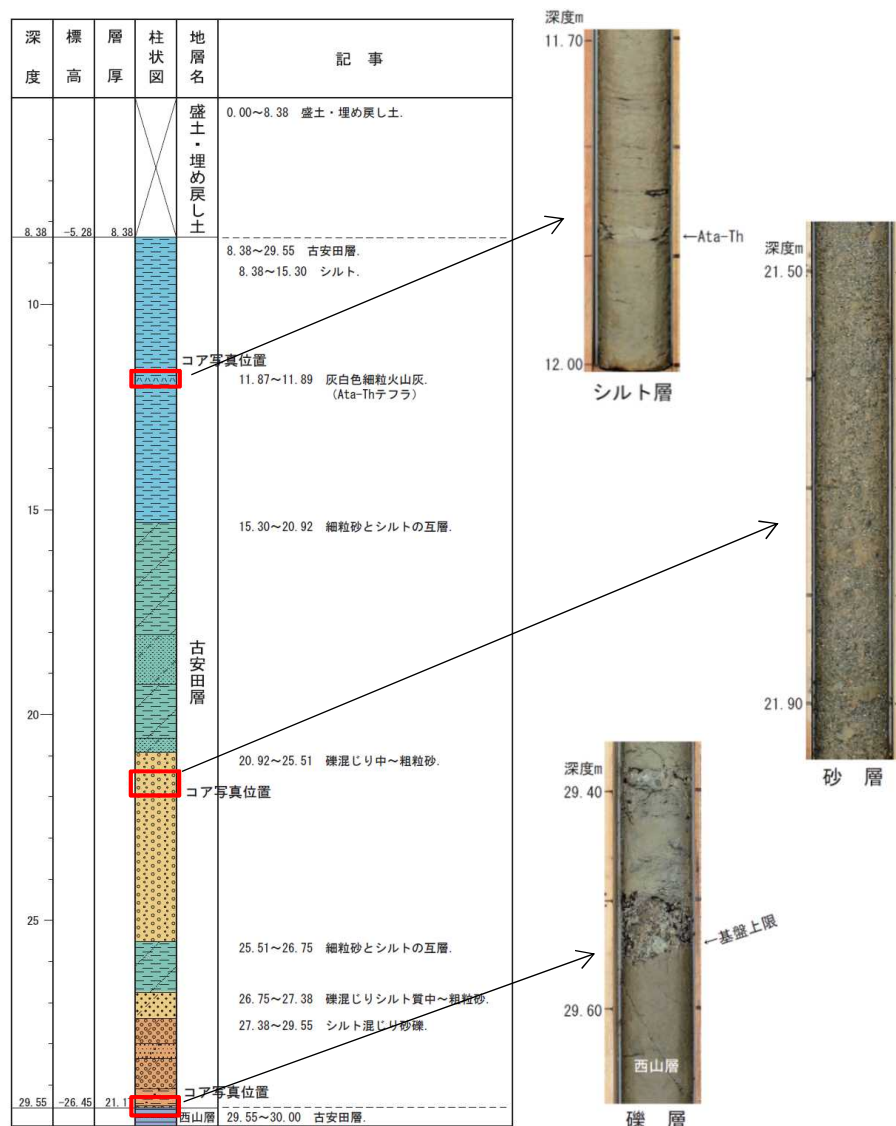
時 代		地 層 名		主な層相・岩質	テフラ・放射年代
第 四 紀	完新世	新期砂層・沖積層		上部は灰白色の細～中粒砂 下部は茶褐色の細～中粒砂，腐植物を含む	腐植（6, 150±170年）
		番神砂層		灰白色～赤褐色の中～粗粒砂	
	後期	大湊砂層		褐色～黄褐色の中～粗粒砂， シルトの薄層を含む	NG（約13万年前）
		中期	古 安 田 層	A ₄ 部層	最上部は砂 粘土～シルト，砂を多く挟む
	A ₃ 部層			粘土～シルト 縞状粘土，有機物，砂を伴う，貝化石を含む	
	A ₂ 部層			粘土～シルト 砂，厚い砂礫，有機物を挟む	Ata-Th（約24万年前）
	A ₁ 部層			粘土～シルト 砂，砂礫を挟む	Kkt（約33-34万年前）
	前期	灰 爪 層		凝灰質泥岩，凝灰質砂岩，凝灰岩	Iz（約1.5Ma）
		西 山 層	N ₃ 部層	砂質泥岩 砂岩，凝灰岩，ノジュールを挟む 貝化石を含む	
			N ₂ 部層	シルト質泥岩 縞状泥岩，凝灰岩，ノジュールを多く挟む	Fup（約2.2Ma） Tsp（約2.3Ma） Az（約2.4Ma）
			N ₁ 部層	シルト質～粘土質泥岩 砂岩，凝灰岩，ノジュールを挟む 珪質海綿化石を含む	Nt-17（340±20万年） Nt-7（350±20万年）
	新 第 三 紀	鮮 新 世	後期	椎 谷 層	砂岩，砂岩・泥岩互層，細礫岩等を挟む
前期			寺 泊 層	黒色泥岩，砂岩・泥岩互層	
中 新 世		後期			
		中期			

~~~~~ 不整合

※ MIS : 海洋酸素同位体ステージ (Marine oxygen Isotope Stage)



(a)古安田層上限面図



(b)古安田層ボーリング柱状図 (L1-9 孔)

第 11-2-1 図 古安田層中の砂層について

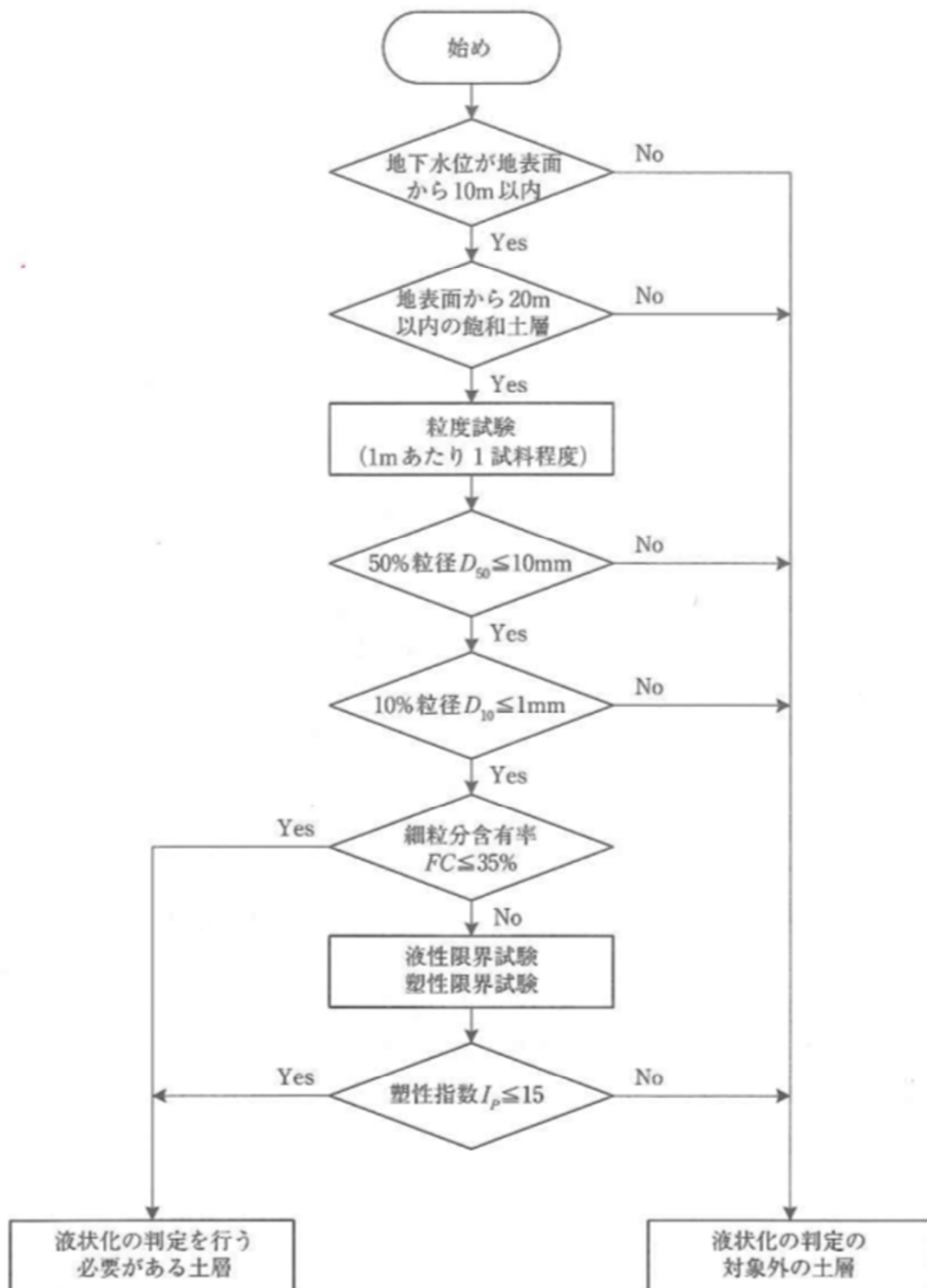
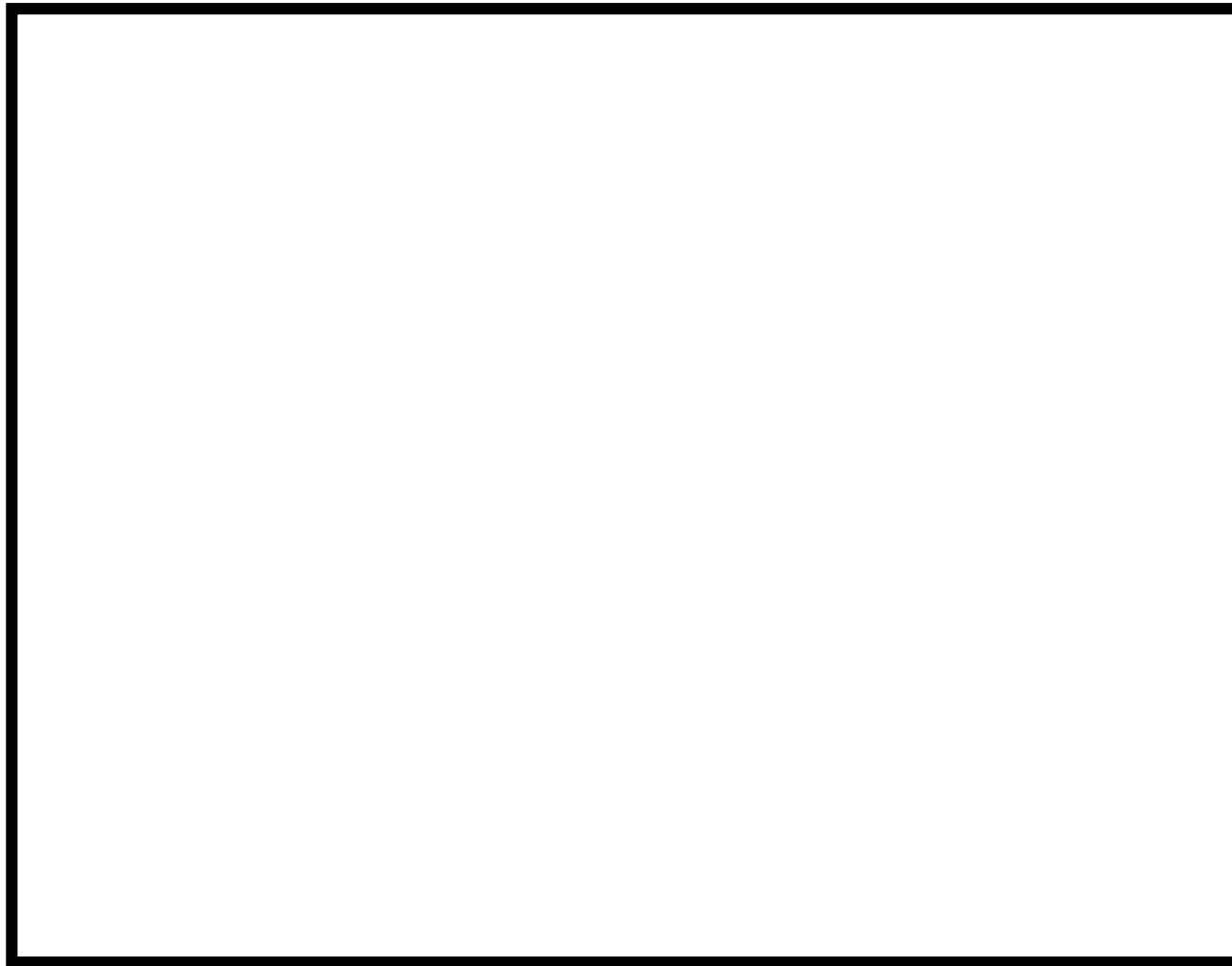


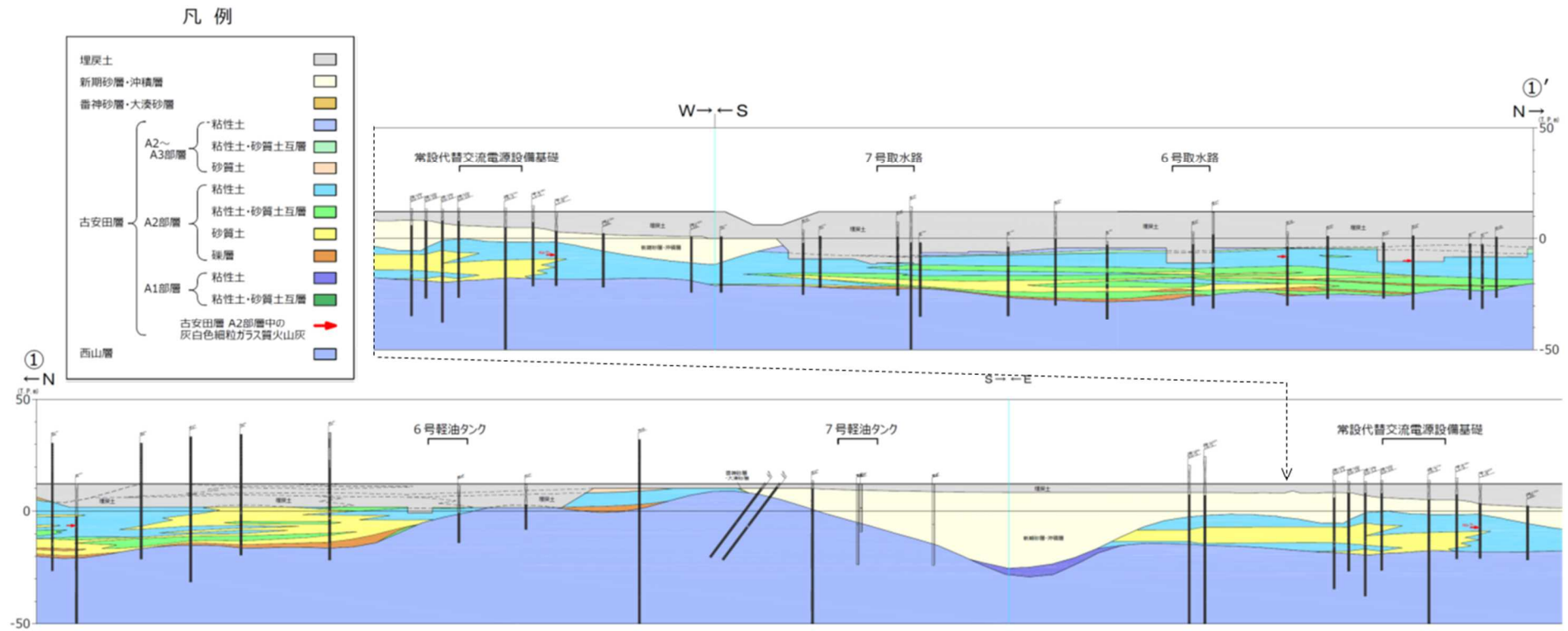
図-解8.2.1 液状化の判定を行う必要がある土層の評価の手順

第 11-2-2 図 液状化評価の対象層の抽出フロー

道路橋示方書・同解説（V 耐震設計編）（社）日本道路協会， H24.3 ）

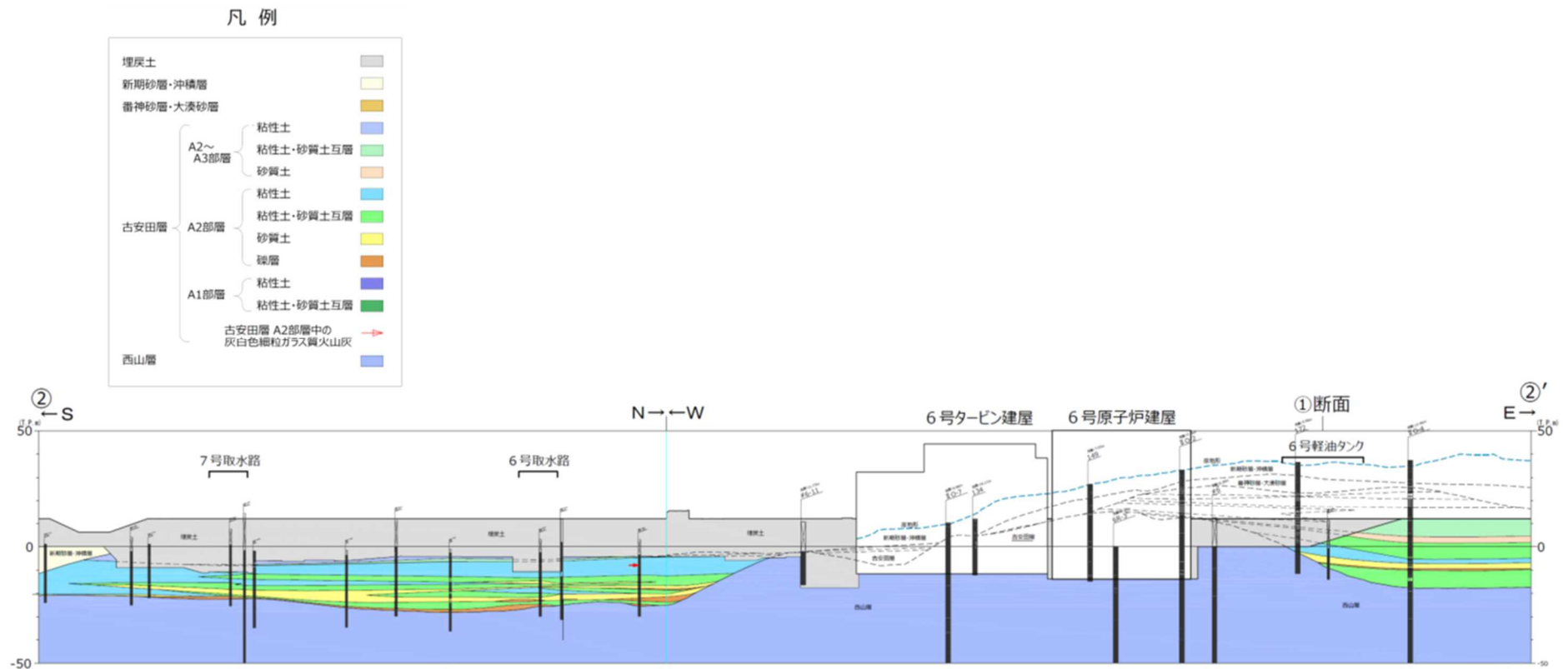


第 11-2-3 図 大湊側の砂層分布  
(a) 大湊側 全体平面図

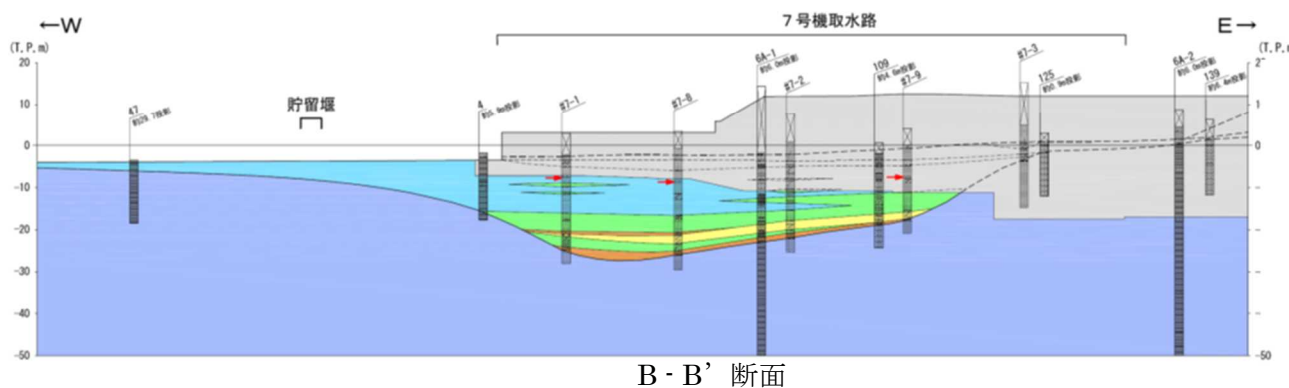
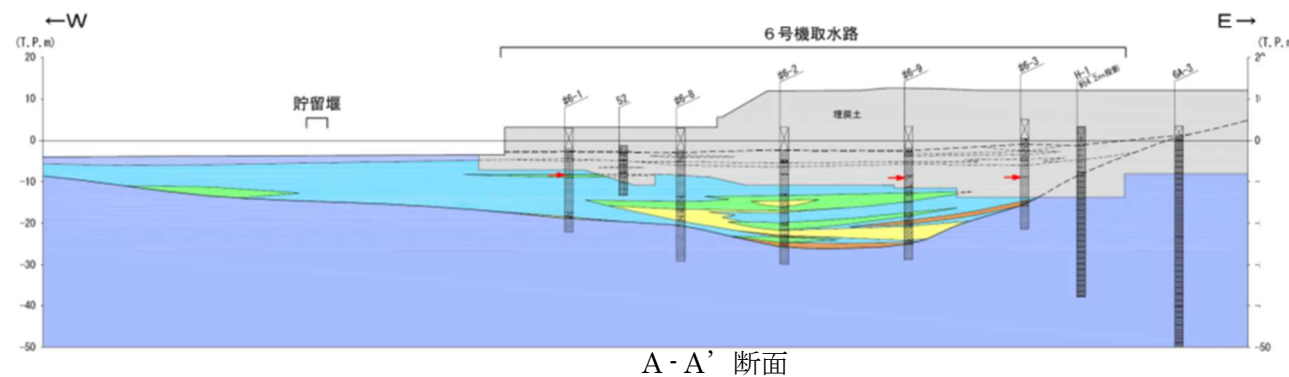


第 11-2-3 図 大湊側の砂層分布

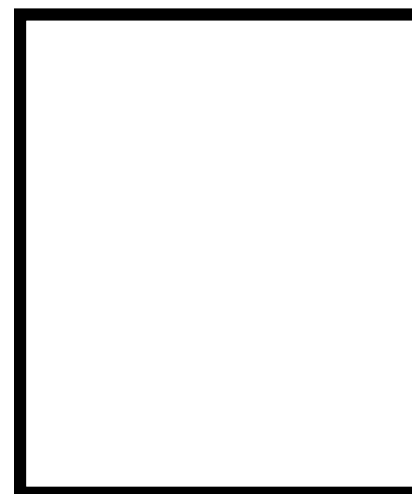
(b) 地質断面図 ① - ①' 断面



第 11-2-3 図 大湊側の砂層分布  
(c) 地質断面図 ② - ②' 断面

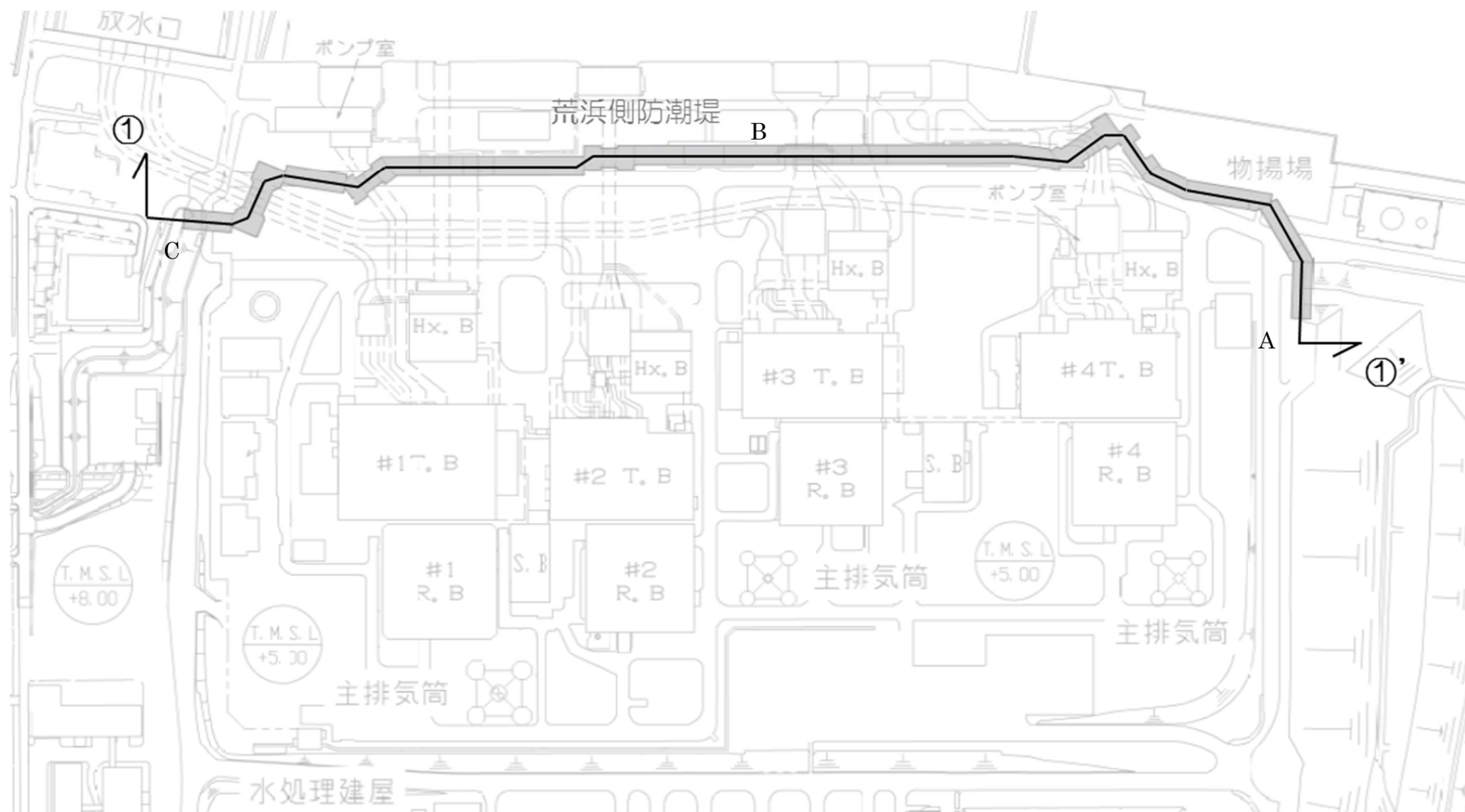


第 11-2-3 図 大湊側の砂層分布 (c) 地質断面図 取水路縦断面



凡 例

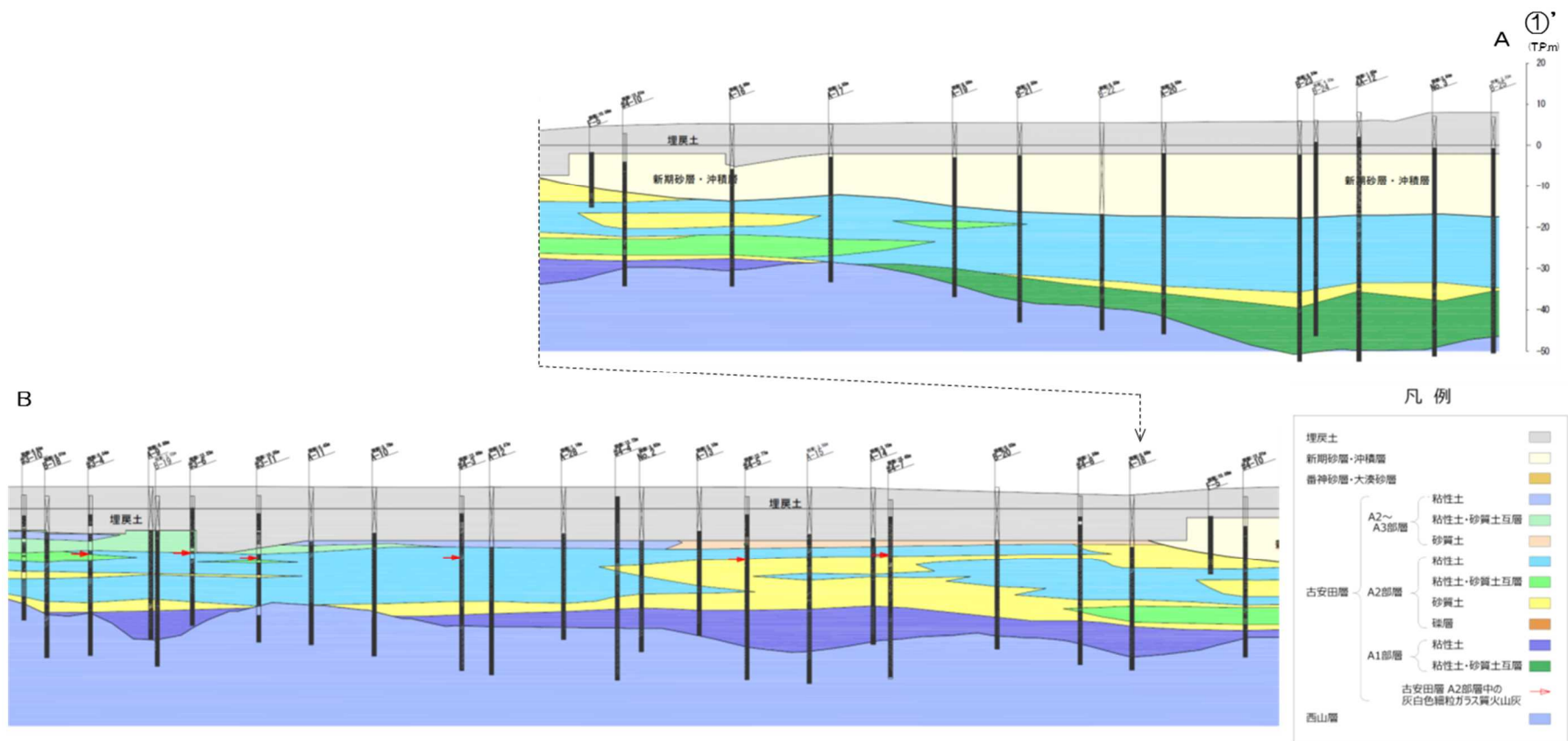




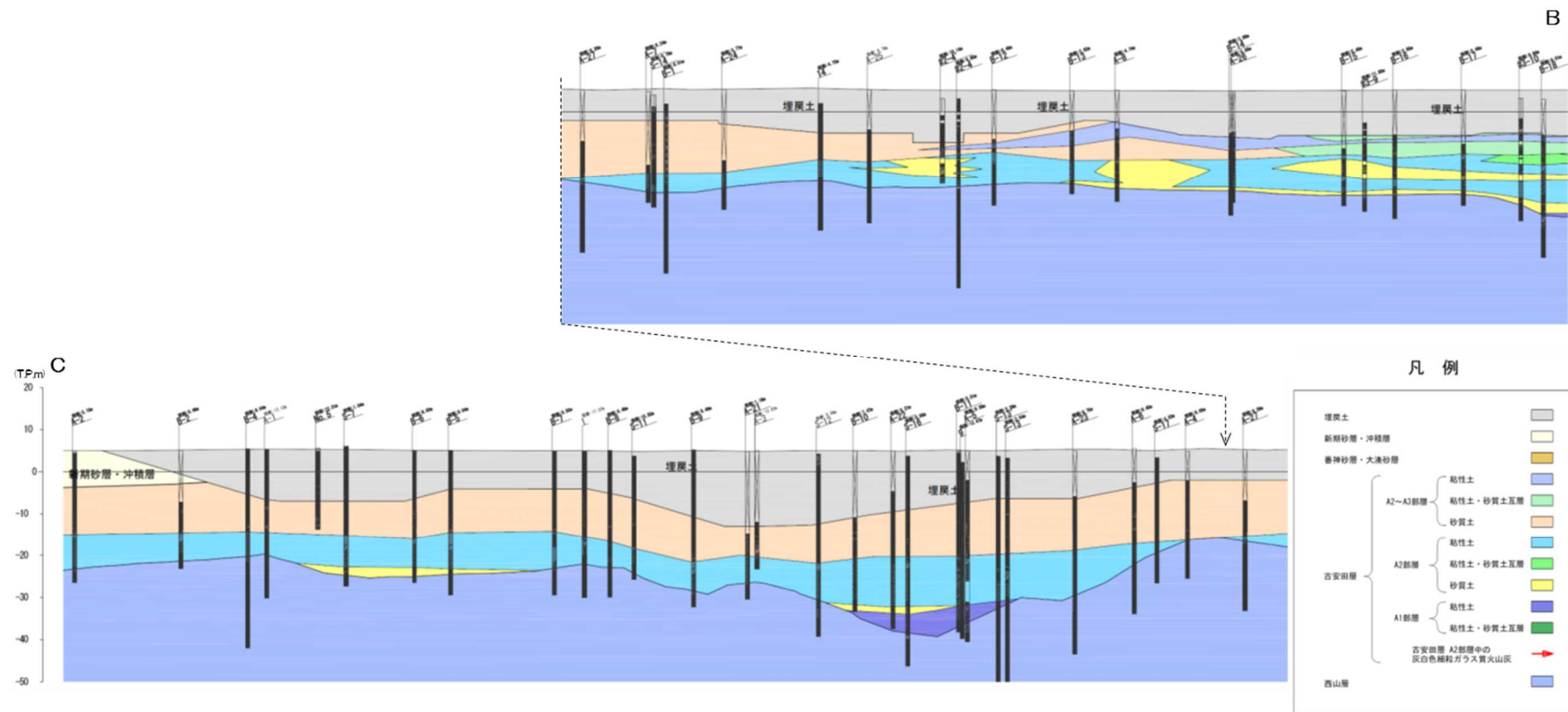
第 11-2-4 図 荒浜側の砂層分布

(a) 荒浜側 全体平面図





第 11-2-4 図 荒浜側の砂層分布  
(b) ① - ①' (A～B) 断面



第 11-2-4 図 荒浜側の砂層分布

(c) ① - ①' (B~C) 断面

### 3. 液状化試験位置とその代表性

#### 3.1 液状化試験位置の選定

大湊側の液状化評価対象層として、砂層の分布状況から、古安田層中の砂層、新期砂層・沖積層及び埋戻土層を抽出した。

液状化試験については、砂層の分布状況から比較的砂層が厚く堆積している6号炉取水路付近の地点を選定し（O－1）、試料を採取して液状化試験を実施した。

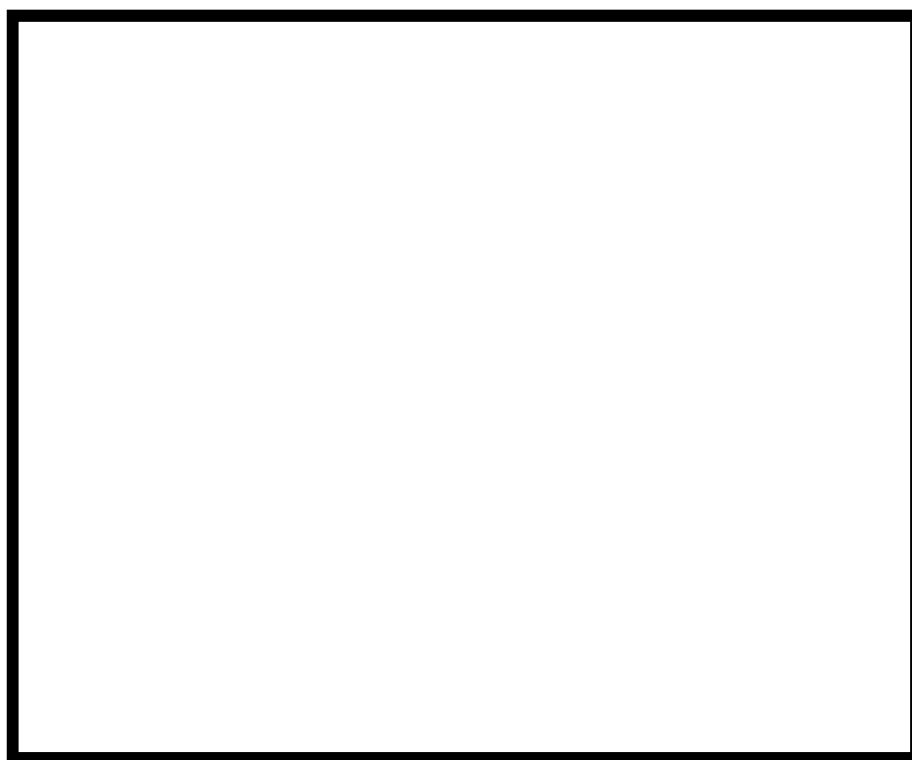
常設代替交流電源設備基礎や7号炉軽油タンク基礎等の周辺地盤に分布している新期砂層・沖積層については、敷地の全域に分布していることから4号炉で確認している新期砂層・沖積層と連続する地層であると想定される。

第11-3-1図に大湊側の試料採取地点位置図（O－1）を示す。

荒浜側の液状化評価対象層として、砂層の分布状況から、主に3～4号炉海側に分布する古安田層中の砂層、主に1～2号炉海側に分布する古安田層中の砂層、新期砂層・沖積層及び埋戻土層を抽出した。

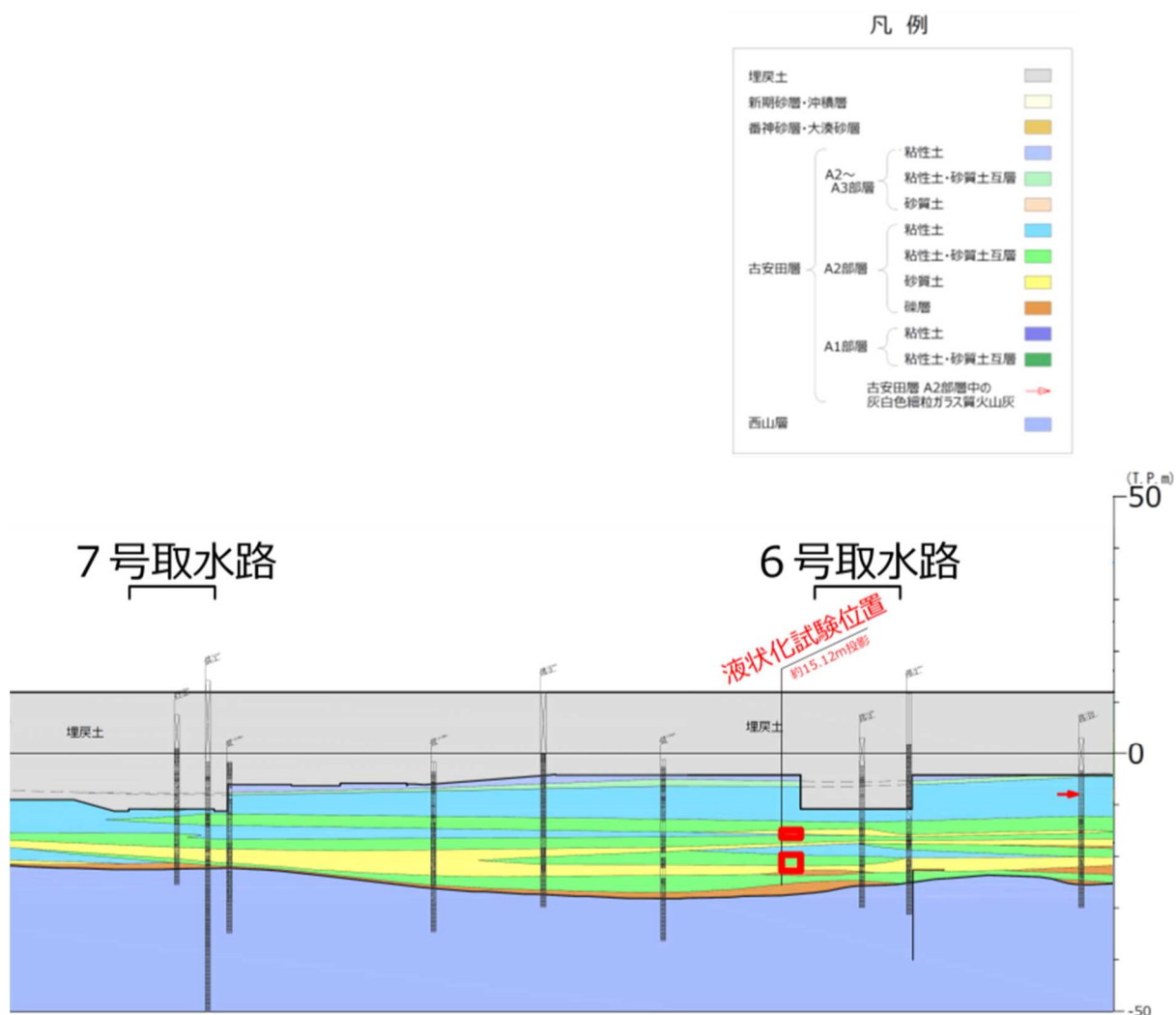
荒浜側については、砂層の分布状況から以下のとおり地点を選定し、試料を採取して液状化試験を実施した。

- 1～2号炉海側の古安田層中の砂層は、3～4号炉海側から連続するシルト主体の地層の上位に位置する砂層が連続して分布していることから、1号側の比較的砂層が厚く堆積している地点を選定した（A－1）。
- 3～4号炉海側の古安田層中の砂層は、その分布状況から4号側の比較的砂層が厚く堆積している地点を選定した（A－2）。
- 新期砂層・沖積層は、10m以上の層厚で連続して分布していることから、比較的砂層が厚く堆積している地点を選定した（A－3）。

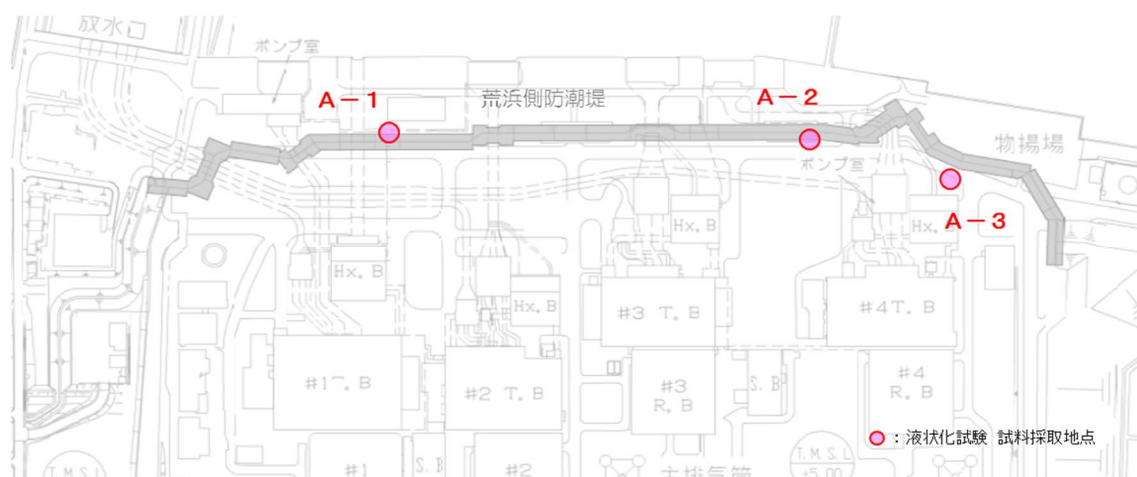


(a) 平面図

第 11-3-1 図 大湊側 試料採取地点位置図 (O－1)

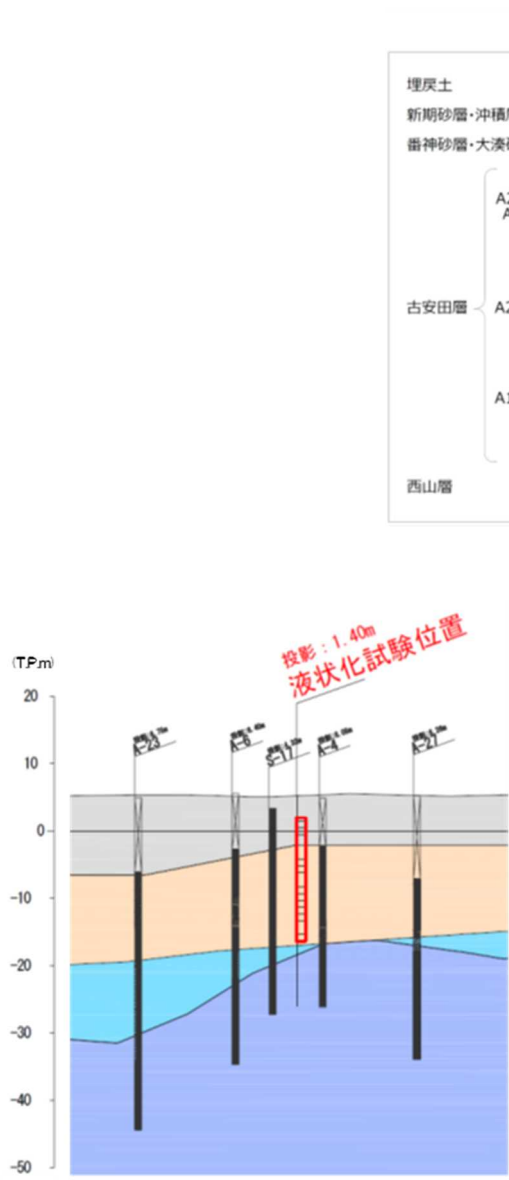


第 11-3-1 図 大湊側 試料採取地点位置図 (O-1)



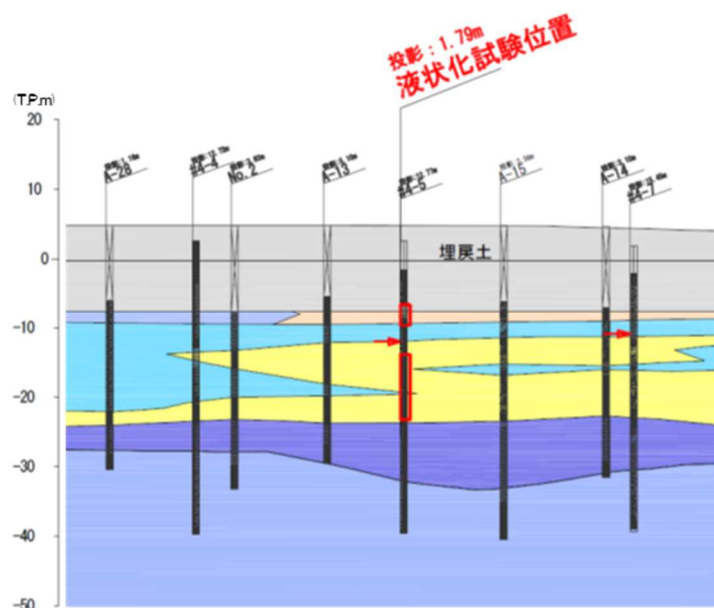
(a) 平面図

第 11-3-2 図 荒浜側 試料採取地点位置図 (A-1, 2, 3)



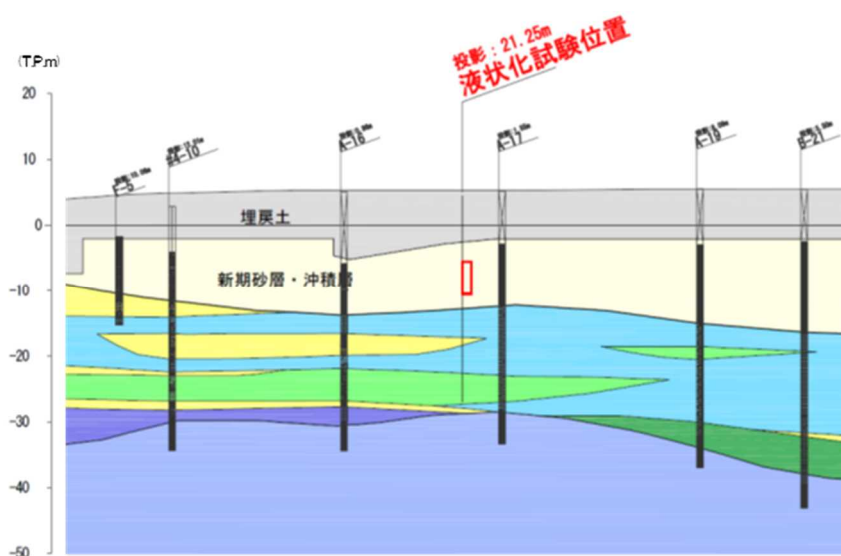
(b) 断面図 (A－1)

第 11-3-2 図 荒浜側 試料採取地点位置図 (A－1, 2, 3)



(c) 断面図 (A-2)

第 11-3-2 図 荒浜側 試料採取地点位置図 (A-1, 2, 3)



(d) 断面図 (A-3)

第 11-3-2 図 荒浜側 試料採取地点位置図 (A-1, 2, 3)



### 3.2 液状化試験選定箇所の代表性確認

液状化試験箇所における基本物性（粒径加積曲線，N値・細粒分含有率・乾燥密度・相対密度）について，第 11-3-3～6 図に示す。

これらの基本物性について，液状化試験選定箇所の代表性確認を目的に，液状化試験箇所と周辺調査箇所の比較，検討を行った。比較する指標としては，N 値，細粒分含有率を選定し，参考指標として粒径加積曲線及び密度（相対密度，乾燥密度）を選定した。第 11-3-1 表に各基準類における液状化強度比  $R_L$  と基本物性の相関性を示す。

N 値は，各基準類の液状化判定における液状化強度比  $R_L$  の算定式がいずれも N 値をパラメータとした式であり，また，有効応力解析（FLIP）の簡易パラメータ設定法に N 値がパラメータとして用いられており，液状化強度比との相関が最も高いと考えられることから，指標として選定した。

細粒分含有率は，各基準類の液状化判定における液状化強度比  $R_L$  の算定式において，液状化強度比  $R_L$  を補正するパラメータとして用いられており，液状化強度比との相関が高いと考えられることから，指標として選定した。

粒径加積曲線や密度（相対密度，乾燥密度）は，基本的な土の物性値であることから，参考指標として選定した。

各基準における設計で設定する地盤物性値のばらつきに対する考え方は，「地盤工学会基準 JGS4001：性能設計概念に基づいた基礎構造物等に関する設計原則（2006）」や「港湾の施設の技術上の基準・同解説（2007）」，「道路橋示方書・同解説（2012）」によると，平均値を原則とし，ばらつきを考慮する場合は変動係数などに応じて設定するという考え方が示されている。

液状化試験箇所と周辺調査箇所の N 値等の比較に際しては，各基準における地盤物性値のばらつきに対する考え方を参考に，「平均値」及び平均値から標準偏差  $\sigma$  を減じた「平均値-1 $\sigma$ （以下，「-1 $\sigma$  値」と称す）」について整理した。

【地盤工学会基準 JGS4001：性能設計概念に基づいた基礎構造物等に関する設計原則（2006）】

- 設計に用いる「特性値」の決定にあたっては，過去の経験にもとづき，地盤パラメータのばらつきや単純化したモデルの適用性に十分留意しなければならない。
- この特性値は，原則として導出値の平均値（期待値）である。この平均値は単なる機械的な平均値ではなく，統計的な平均値の推定誤差を勘案したものでなければならない。
- 特性値を示すにあたっては，地盤の特性を記述するために，特性値に加えて，導出値のばらつきの指標（たとえば標準誤差や変動係数）を含めることが望ましい。

## 【港湾の施設の技術上の基準・同解説（2007）】

- 性能照査に用いる地盤定数の設計用値は、原則として地盤工学会基準 JGS4001 に基づき、推定する。
- 地盤定数の代表値である特性値は、データ数が十分かつ導出値のばらつきが小さい場合には、原則として導出値の平均値をもって算定することができる。ただし、データ数が不足している場合（10 個未満）及び導出値のばらつきが大きい場合には、導出値の平均値を補正した上で、特性値を設定する必要がある。
- 特性値は、導出値のばらつきに関する補正係数  $b_1$  を標準偏差として定義される変動係数に応じて設定することにする。

## 【道路橋示方書・同解説（2012）】

- 地盤は複雑でばらつきの大きい材料であるが、設計に用いる地盤定数は、基礎に作用する荷重に対して、その条件下で最も高い確率で起こり得る基礎の挙動を推定するものである。したがって、地盤定数は、計算式の精度や特性を顧慮したうえで、当該地盤の平均的な値と考えられるものを求めることが原則である。
- 自然地盤から得られる計測データは多様で、しかもばらつくのがふつうである。データのばらつきだけでなく、データ数を合理的に評価して設計に用いる地盤定数を定める必要がある。

各液状化試験箇所とその対象地層の周辺調査箇所における基本物性を整理した。第 11-3-7 図に液状化試験箇所と周辺調査箇所の位置図、第 11-3.8～14 図に各土層の基本物性の比較結果を示す。なお、各種試験は、JIS に基づき実施した。

A－1 地点の洪積砂層Ⅰは、周辺調査箇所と比べて、N 値が同程度であり細粒分含有率が小さいこと、A－1 の洪積砂層Ⅱは、細粒分含有率が若干大きいものの N 値が小さいことから、代表性を有していると評価した。ただし、当該地層は層厚が厚く分布範囲が広いことを踏まえ、データ拡充を目的とした追加調査を実施する。

A－2 地点の洪積砂層Ⅰは、周辺調査箇所と比べて、N 値及び細粒分含有率の  $-1\sigma$  値が大きいものの、液状化強度との相関が最も高い N 値の平均値は小さいことから、代表性を有していると評価した。ただし、A－2 地点の洪積砂層Ⅰは、A－1 地点の洪積砂層Ⅰ、Ⅱと同時代に堆積した地層であること、N 値が A－1 地点の洪積砂層Ⅱと同程度であることを踏まえ、後述する液状化試験結果から非液状化層と評価しているものの、物性設定においては保守的にサイクリックモビリティを示す A－1 地点の洪積砂層Ⅱの試験結果を用いる方針とする。

A－2 地点の洪積砂層Ⅱは、周辺調査箇所と比べて、N 値及び細粒分含有率が同程度もしくは小さいことから、代表性を有していると評価した。なお、後述する液状化試験結果から非液状化層と評価している A－2 地点の洪積砂層Ⅱは、主にサイクリックモビリティ

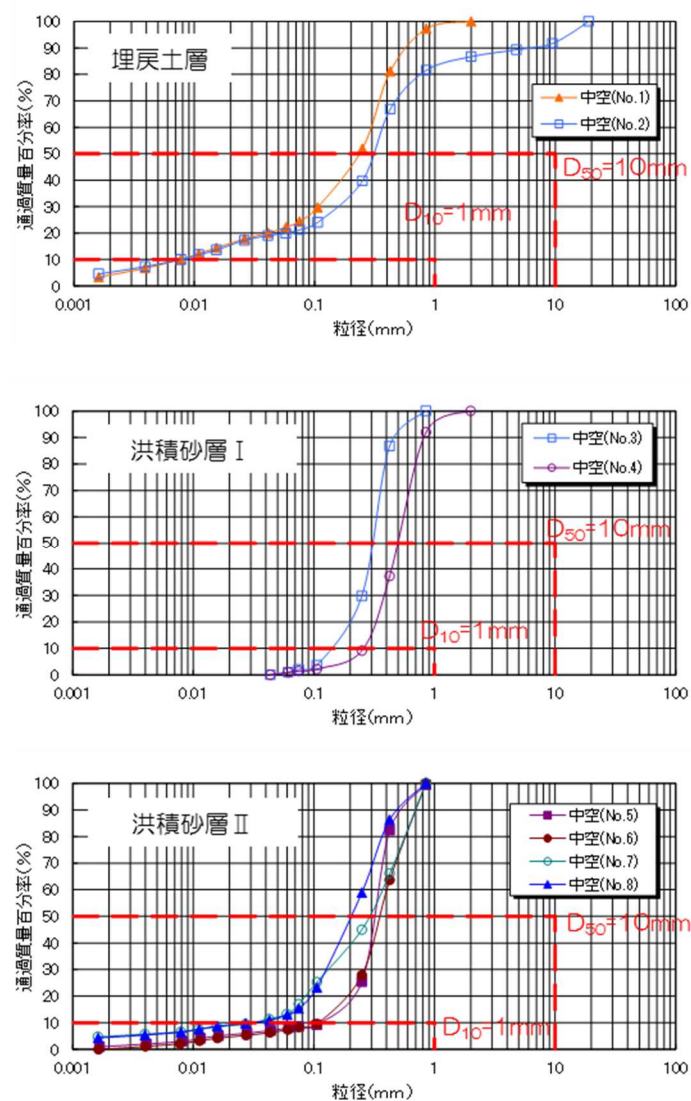
ィを示すA－1地点の洪積砂層Ⅰ，Ⅱ及びA－2地点の洪積砂層Ⅰの下位に分布する砂層であり，より古い時代に堆積した砂層である。

〇－1地点の洪積砂質土層Ⅰ，Ⅱは，周辺調査箇所と比べて，細粒分含有率の大きい試料が1試料あることで平均値が若干大きいもののN値が同程度であることから，代表性を有していると評価した。ただし，液状化試験箇所の粒径加積曲線が周辺調査箇所よりばらつきが大きいこと，6，7号炉の申請であることも踏まえ，N値のデータが少ない7号取水路周辺でデータ拡充を目的とした追加調査を実施する。

A－3地点の新期砂層・沖積層は，荒浜側の周辺調査箇所と比べて，N値及び細粒分含有率がいずれも小さく下限付近であることから，試験は保守的な箇所で実施していると評価した。

A－3地点の新期砂層・沖積層は，大湊側の周辺調査箇所と比べて，細粒分含有率が小さいものの，N値が大きいことから，大湊側の新期砂層・沖積層の液状化強度を確認することを目的とした追加調査を実施する。

A－1地点の埋戻土層は，N値のみの比較ではあるものの，液状化強度との相関が最も高いN値が周辺調査箇所と比べて小さく下限付近であることから，試験は保守的な箇所で実施していると評価した。

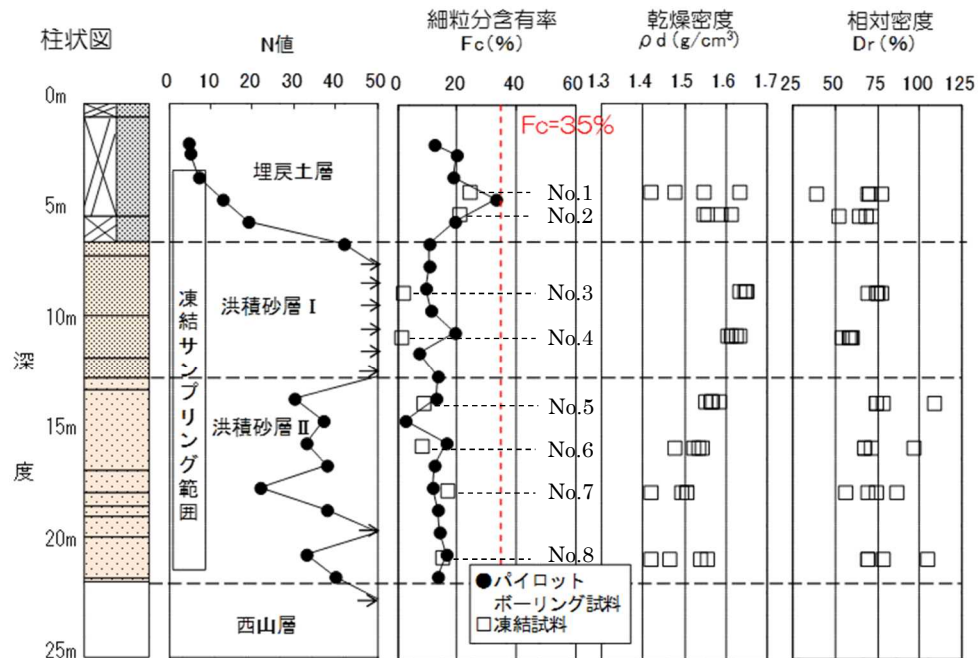


(a) 粒径加積曲線

第 11-3-3 図 液状化試験箇所の基本物性 (A－1)

細粒分含有率：粒度0.075mm未満の土粒子の質量百分率

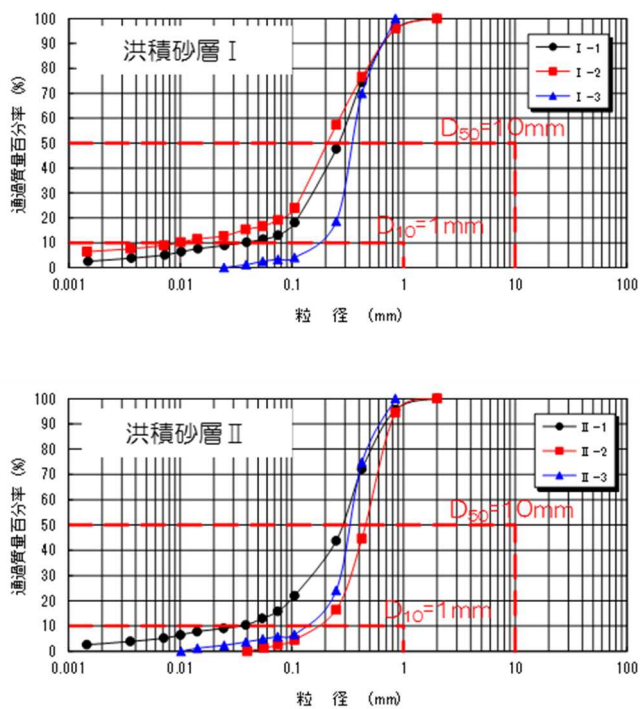
相対密度： $D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}$ ， $e_{\max}$ ：最大間隙比， $e_{\min}$ ：最小間隙比，  
 $e$ ：間隙比（間隙の体積÷土粒子の体積）



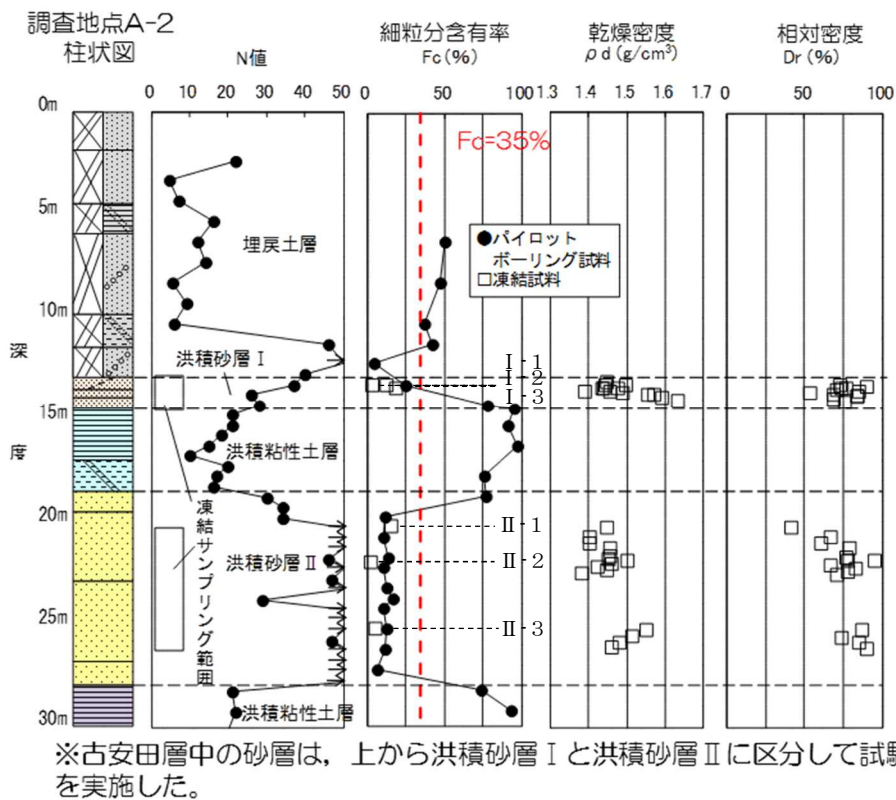
※古安田層中の砂層は、N値50以上の砂層（洪積砂層 I）とN値50以下の地層（洪積砂層 II）に区分して試験を実施した。

(b) 基本物性（N値・細粒分含有率・乾燥密度・相対密度）の深度分布

第 11-3-3 図 液状化試験箇所の基本物性（A－1）

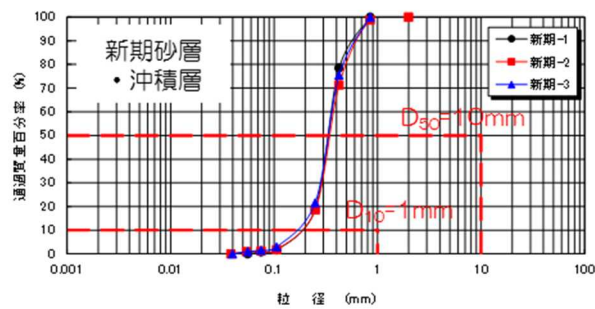


(a) 粒径加積曲線

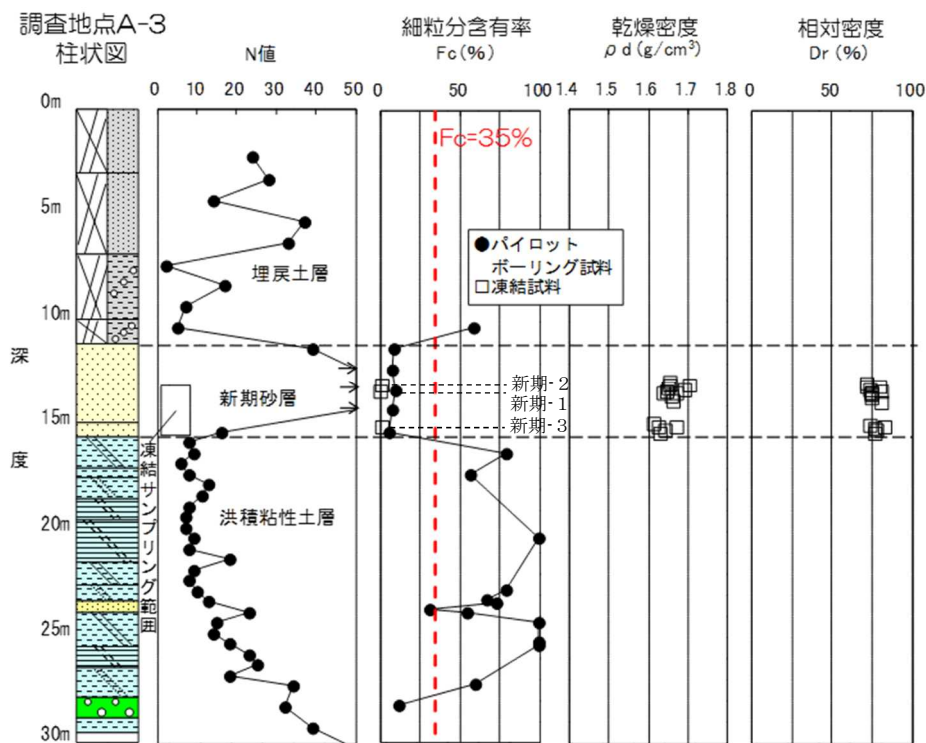


※古安田層中の砂層は、上から洪積砂層Ⅰと洪積砂層Ⅱに区分して試験を実施した。

(b) 基本物性（N値・細粒分含有率・乾燥密度・相対密度）の深度分布  
第 11-3-4 図 液状化試験箇所の基本物性（A－2）

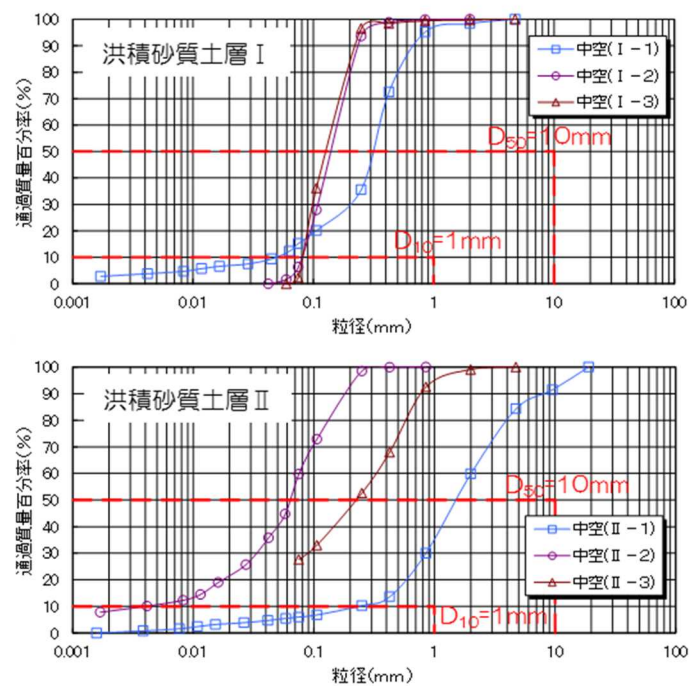


(a) 粒径加積曲線

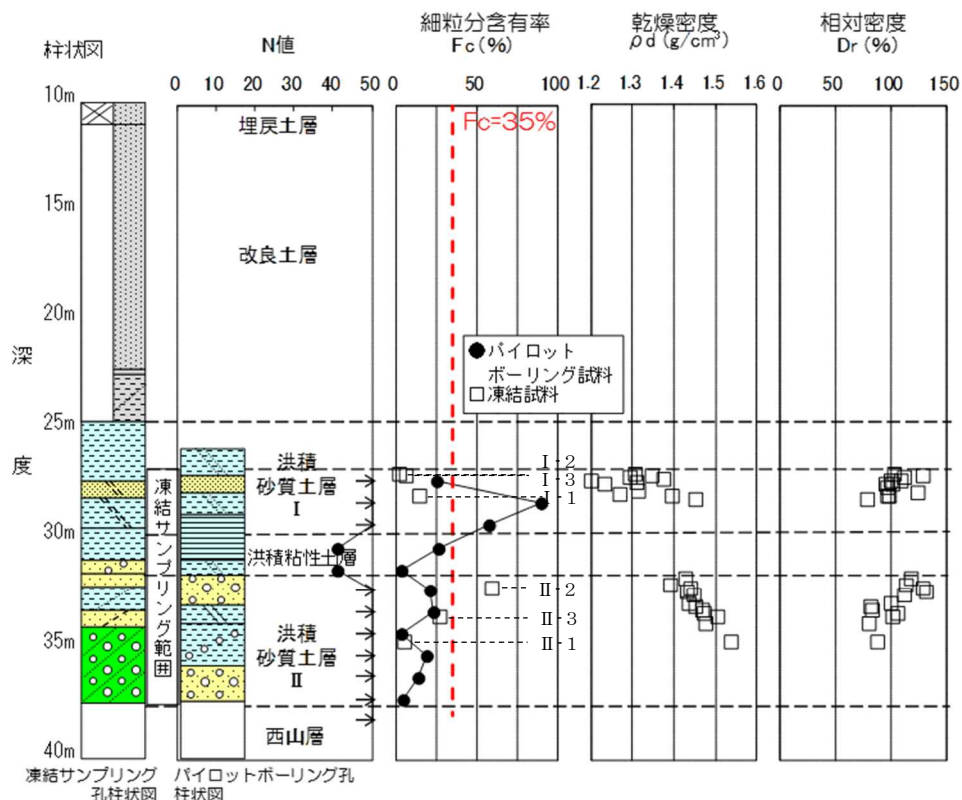


(b) 基本物性（N値・細粒分含有率・乾燥密度・相対密度）の深度分布  
第 11-3-5 図 液状化試験箇所の基本物性（A－3）





(a) 粒径加積曲線



※古安田層中の砂層は同時代の地層であるが、上位を洪積砂質土層 I、下位を洪積砂質土層 II と区分し、それぞれの拘束圧に応じて液状化試験を実施した。

(b) 基本物性 (N 値・細粒分含有率・乾燥密度・相対密度) の深度分布

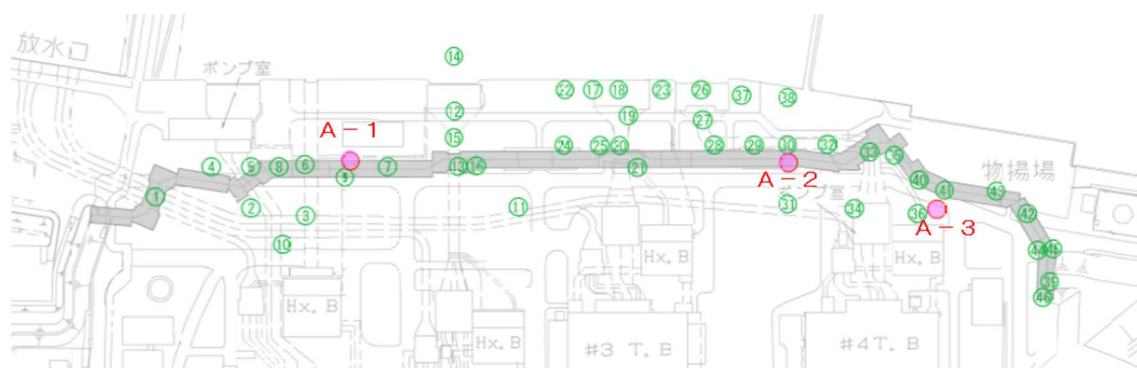
第 11-3-6 図 液状化試験箇所の基本物性 (O-1)



第 11-3-1 表 各基準類における液状化強度比  $R_L$  と基本物性の相関性

| 基準類名                                                                                                                                               | 液状化強度比 $R_L$ の算定<br>に用いる主物性     | 液状化強度比の補正に<br>用いる物性           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，日本道路協会，2012<br><br>（下水道施設の耐震対策指針と解説，日本下水道協会，2006）<br><br>（河川砂防技術基準（案）同解説 設計編，日本河川協会編，1997）<br><br>（高圧ガス設備等耐震設計指針，高圧ガス保安協会，2000） | <b>N 値</b><br>（有効上載圧を考慮した補正を行う） | 細粒分含有率 $F_c$                  |
| 港湾の施設の耐震設計に係る当面の措置（その 2），日本港湾協会，2007<br>（部分改訂，2012）                                                                                                |                                 | 細粒分含有率 $F_c$                  |
| 建築基礎構造設計指針，日本建築学会，2001<br><br>（水道施設耐震工法指針・同解説，日本水道協会，1997）                                                                                         |                                 | 細粒分含有率 $F_c$                  |
| 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，（財）鉄道総合技術研究所，2012                                                                                                              |                                 | 細粒分含有率 $F_c$<br>平均粒径 $D_{50}$ |

- ：液状化試験 試料採取位置  
 ○：標準貫入試験位置または物理特性試料採取位置  
 (○内数値は位置番号, 荒浜側①～④⑥, 大湊側④⑨～⑥②)

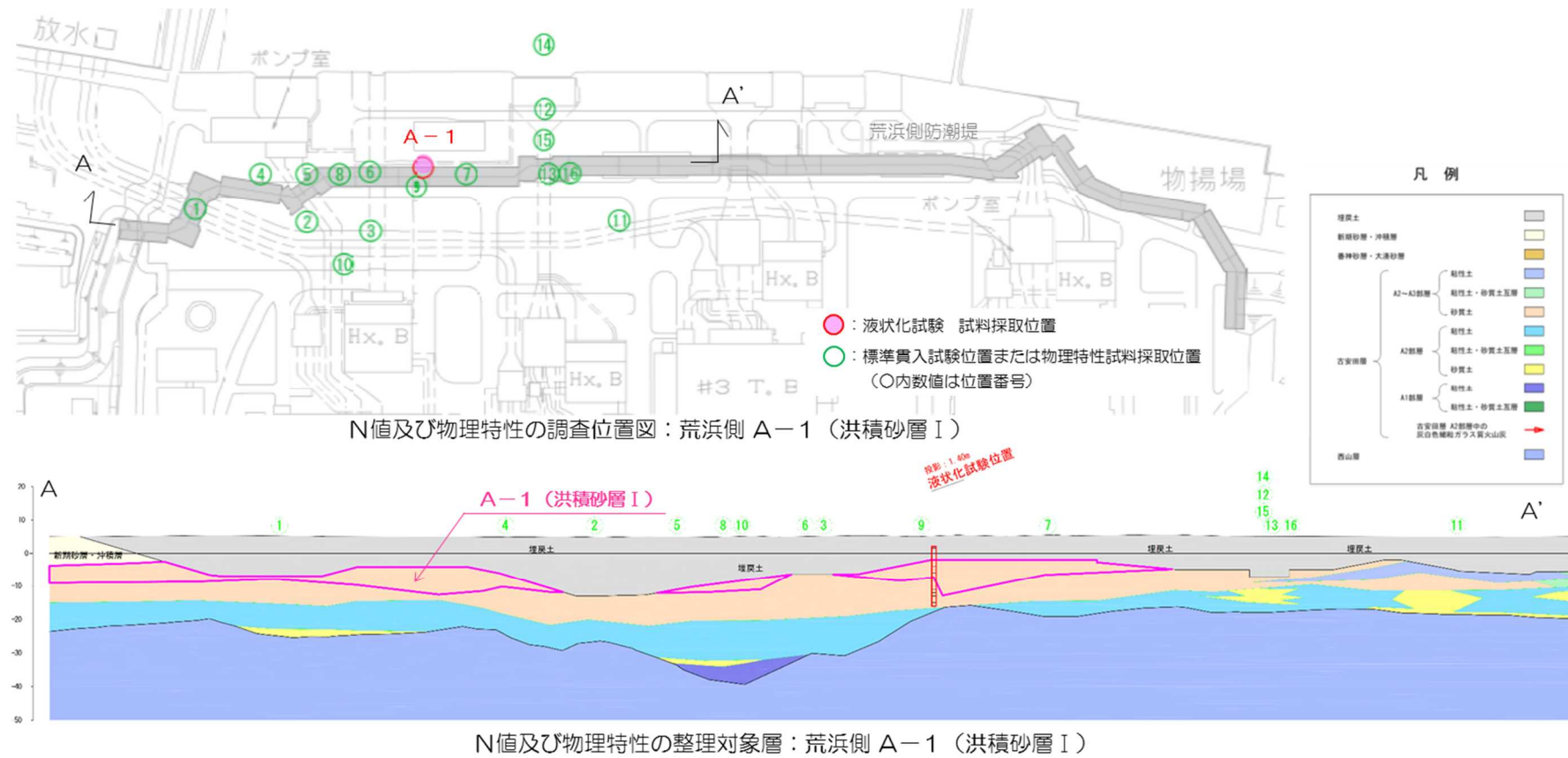


(a) 荒浜側



(b) 大湊側

第 11-3-7 図 液状化試験箇所と周辺調査箇所の位置図



(a) 比較対象位置図

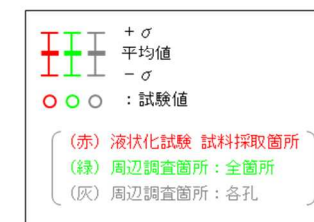
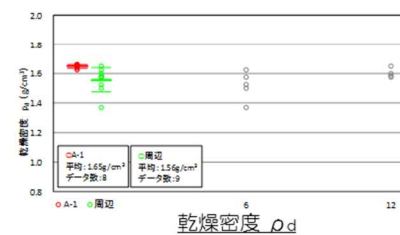
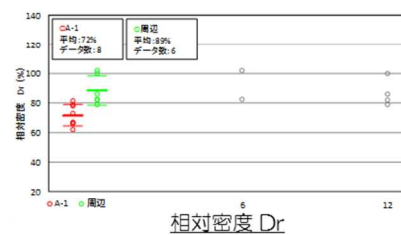
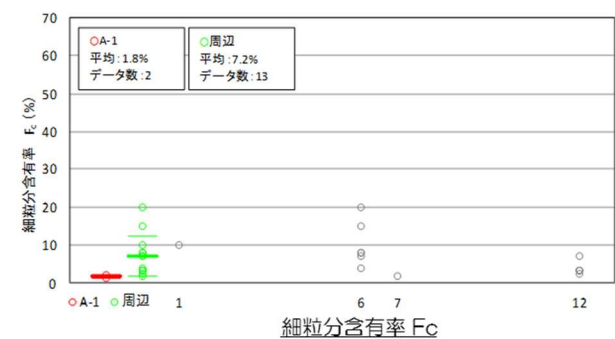
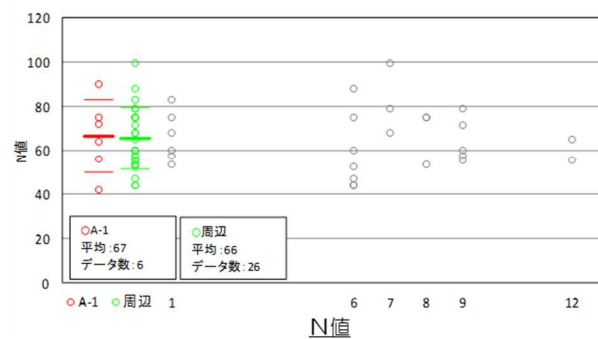
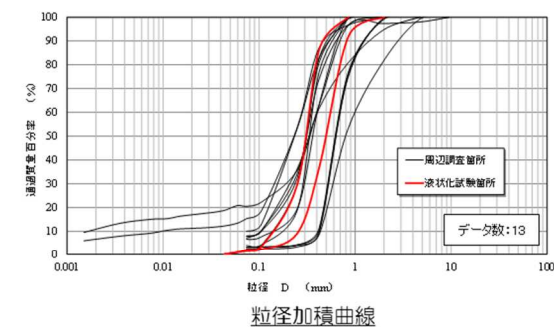
第 11-3-8 図 液状化試験箇所と周辺調査箇所の基本物性比較 (A-1 地点の洪積砂層 I)

- **N値**：液状化試験箇所と周辺調査箇所の平均値及び-1 $\sigma$ 値は同程度である。
- **細粒分含有率**：液状化試験箇所の平均値及び-1 $\sigma$ 値は、周辺調査箇所より小さい。

（参考）粒径加積曲線：液状化試験箇所は周辺調査箇所のばらつきの範囲内に入っている。

相対密度：液状化試験箇所の平均値及び-1 $\sigma$ 値は、周辺調査箇所より小さい。

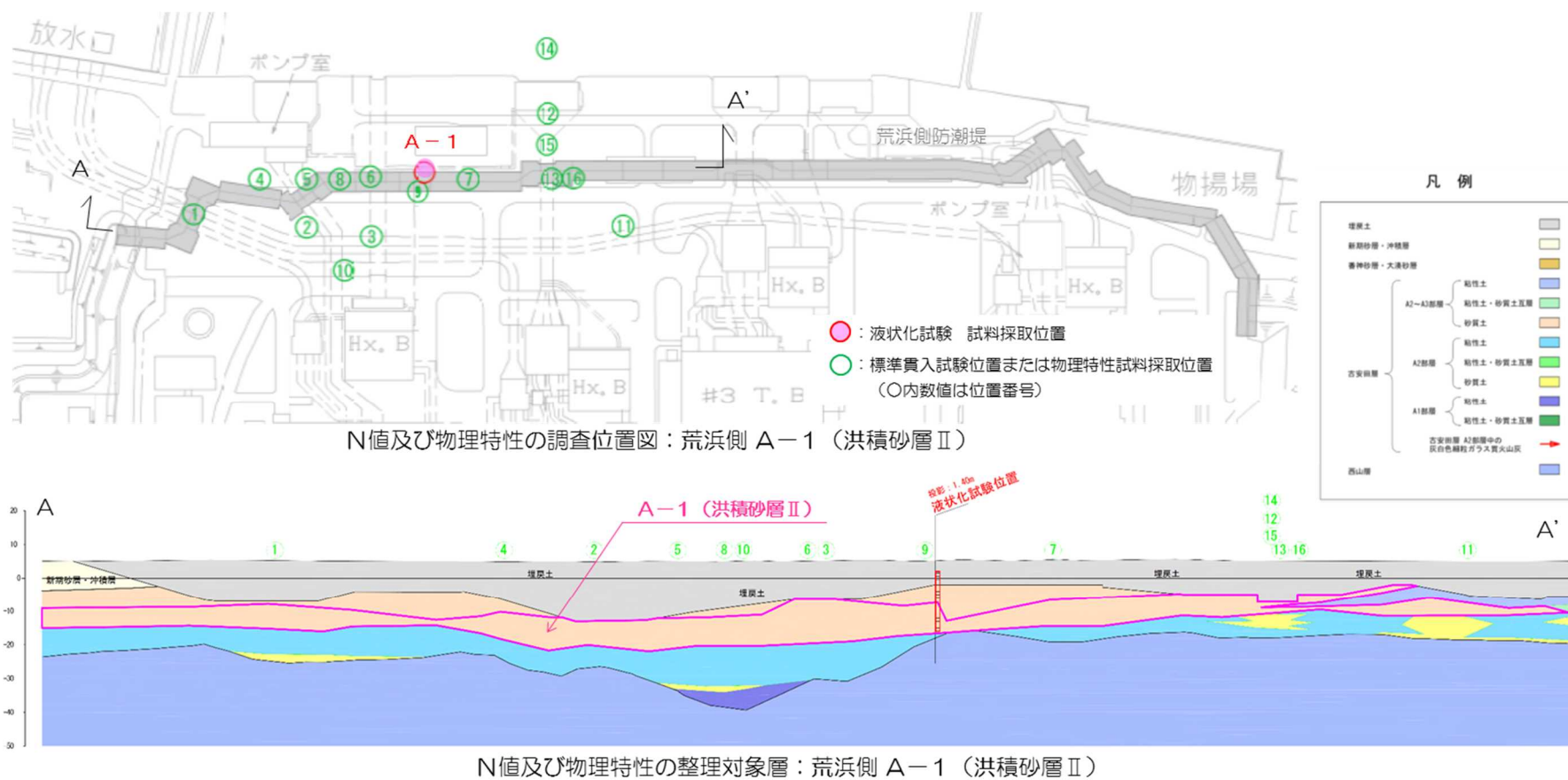
乾燥密度：液状化試験箇所の平均値及び-1 $\sigma$ 値は、周辺調査箇所より大きい。



N値及び物理特性の比較 荒浜側 A-1（洪積砂層Ⅰ）

## (b) 基本物性比較

第 11-3-8 図 液状化試験箇所と周辺調査箇所の基本物性比較（A-1 地点の洪積砂層Ⅰ）



(a) 比較対象位置図

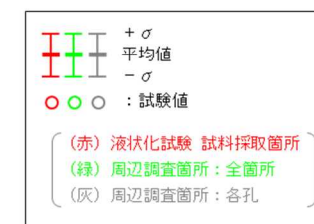
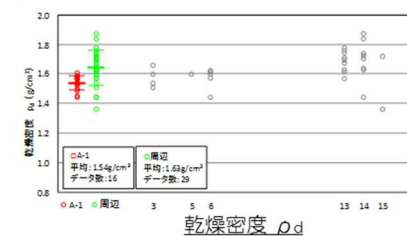
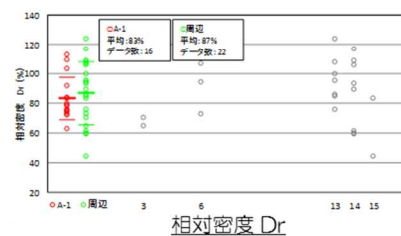
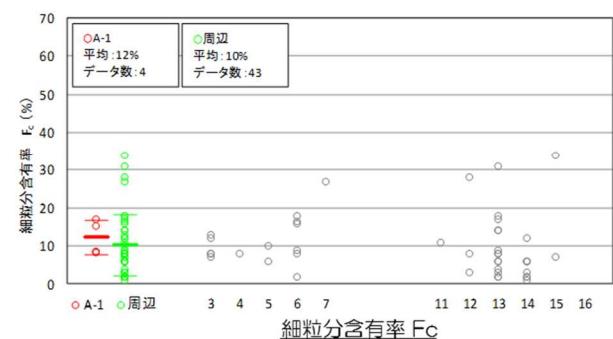
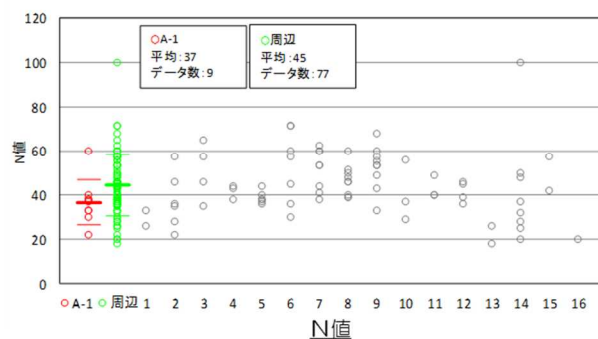
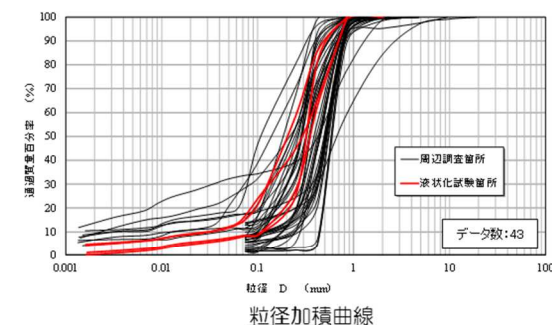
第 11-3-9 図 液状化試験箇所と周辺調査箇所の基本物性比較 (A-1 地点の洪積砂層Ⅱ)

- **N値**：液状化試験箇所の平均値及び $-1\sigma$ 値は、周辺調査箇所より小さい。
- **細粒分含有率**：液状化試験箇所の平均値及び $-1\sigma$ 値は周辺調査箇所より若干大きい（ばらつきが小さい）。

（参考）粒径加積曲線：液状化試験箇所は周辺調査箇所のばらつきの範囲内に入っている。

相対密度：液状化試験箇所の平均値及び $-1\sigma$ 値は、周辺調査箇所と同程度である。

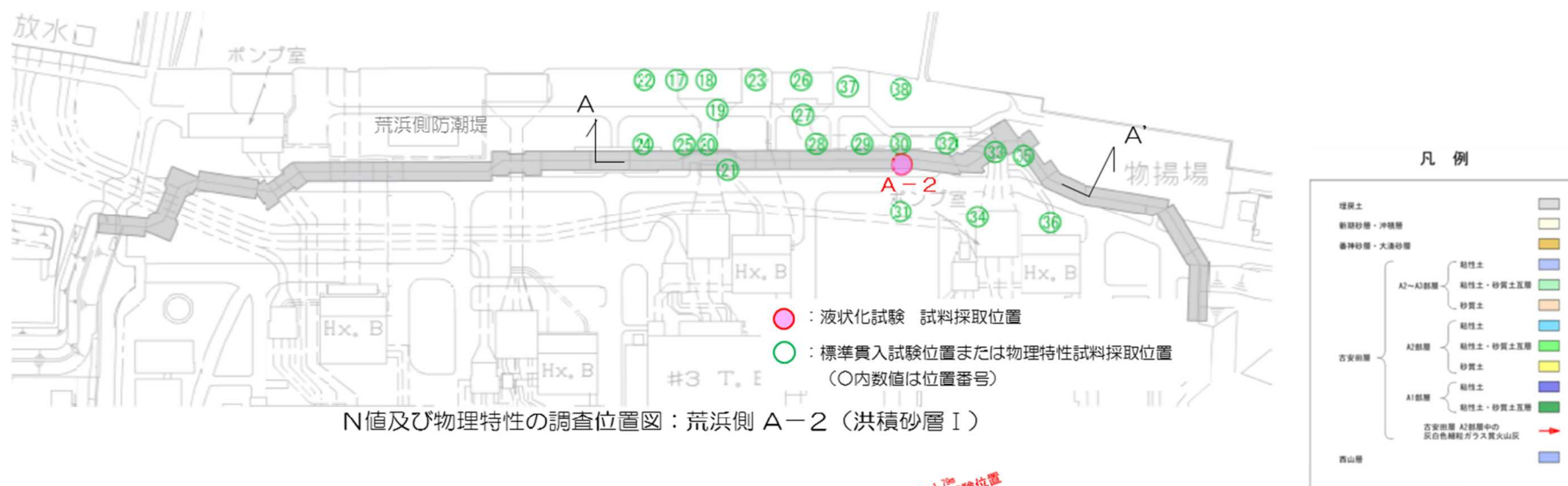
乾燥密度：液状化試験箇所の平均値及び $-1\sigma$ 値は、周辺調査箇所より小さい。



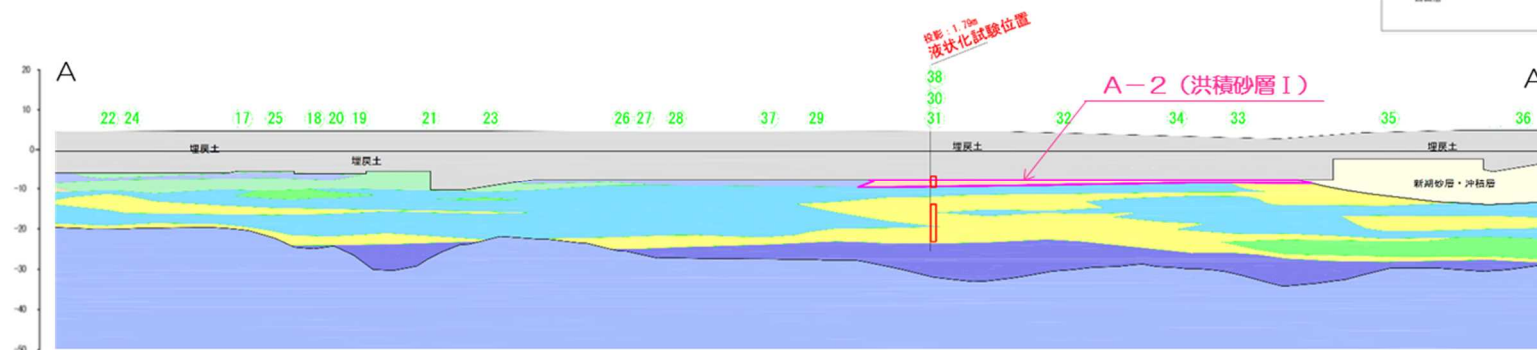
N値及び物理特性の比較 荒浜側 A-1（洪積砂層Ⅱ）

#### (b) 基本物性比較

第 11-3-9 図 液状化試験箇所と周辺調査箇所の基本物性比較（A-1 地点の洪積砂層Ⅱ）



N値及び物理特性の調査位置図：荒浜側 A-2（洪積砂層Ⅰ）



N値及び物理特性の整理対象層：荒浜側 A-2（洪積砂層Ⅰ）

(a) 比較対象位置図

第 11-3-10 図 液状化試験箇所と周辺調査箇所の基本物性比較（A-2 地点の洪積砂層 I）

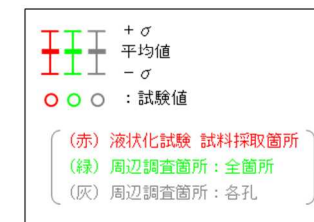
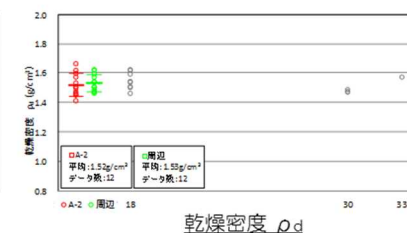
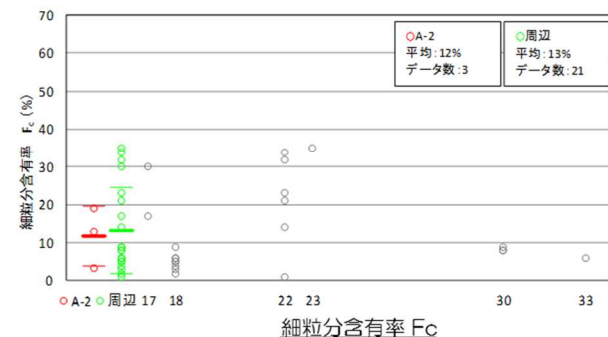
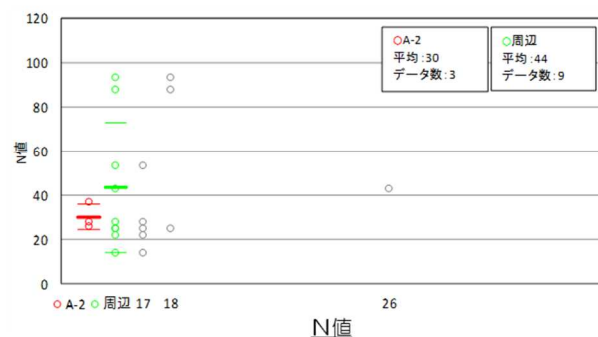
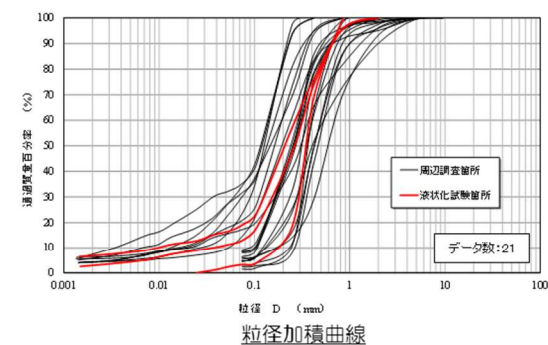


- **N値**：液状化試験箇所の平均値は周辺調査箇所より小さく、 $-1\sigma$ 値は周辺調査箇所より大きい（ばらつきが小さい）。
- **細粒分含有率**：液状化試験箇所の平均値は、周辺調査箇所と同程度であり、 $-1\sigma$ 値は周辺調査箇所より若干大きい。

（参考）粒径加積曲線：液状化試験箇所は周辺調査箇所のばらつきの範囲内に入っている。

相対密度：液状化試験箇所の平均値及び $-1\sigma$ 値は、周辺調査箇所と同程度である。

乾燥密度：液状化試験箇所の平均値及び $-1\sigma$ 値は、周辺調査箇所より若干小さい。

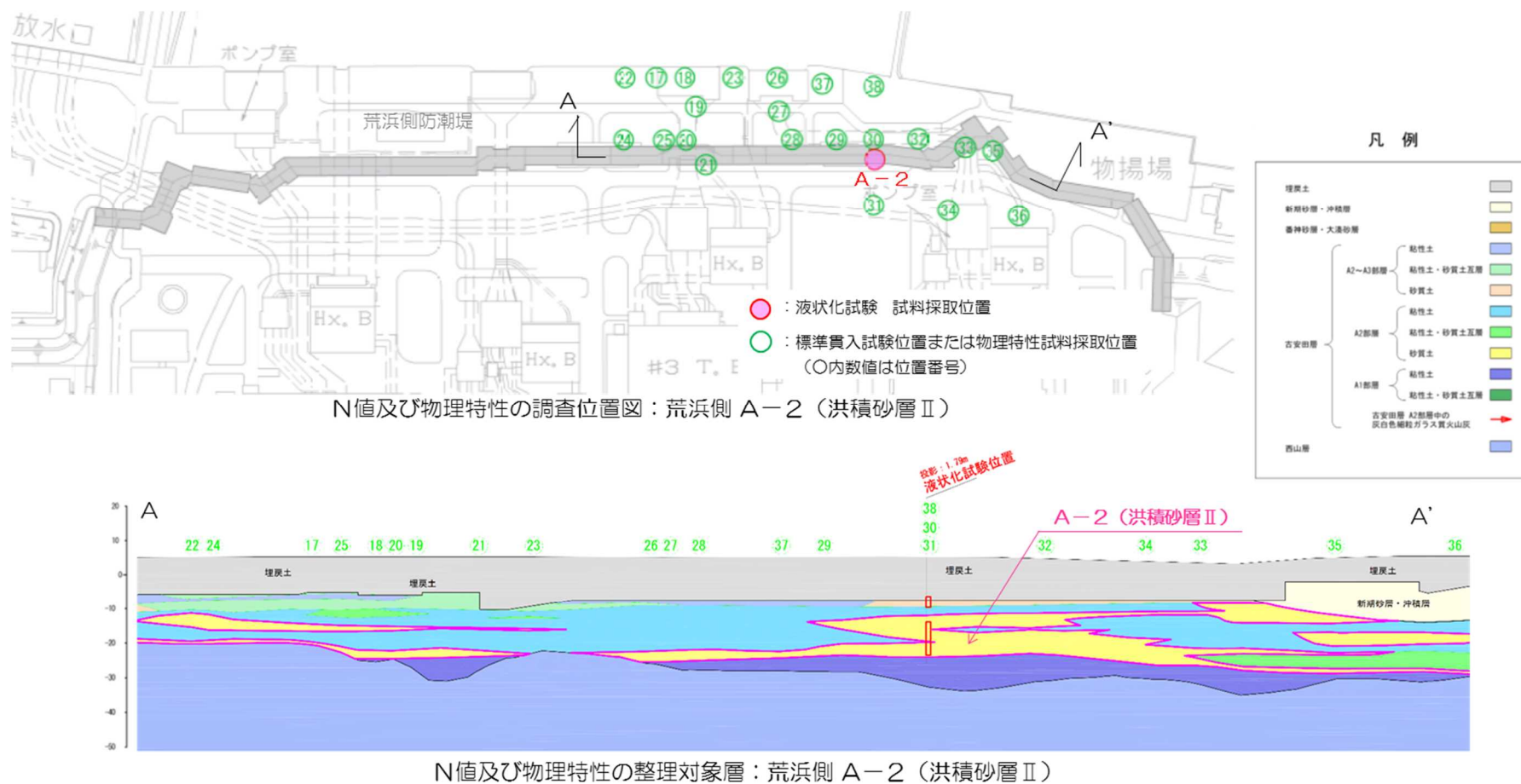


N値及び物理特性の比較 荒浜側 A-2（洪積砂層Ⅰ）

## (b) 基本物性比較

第 11-3-10 図 液状化試験箇所と周辺調査箇所の基本物性比較（A-2 地点の洪積砂層Ⅰ）





(a) 比較対象位置図

第 11-3-11 図 液状化試験箇所と周辺調査箇所の基本物性比較（A－2 地点の洪積砂層Ⅱ）

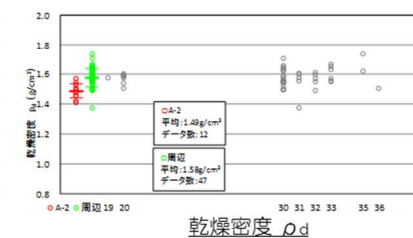
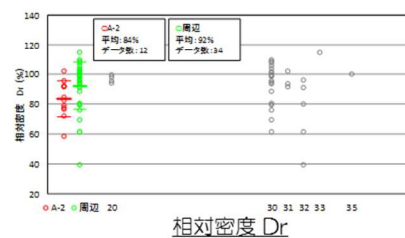
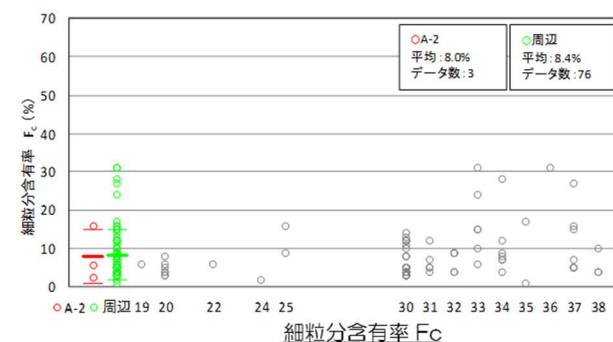
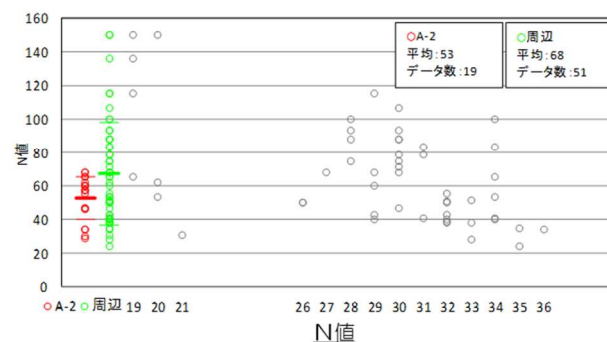
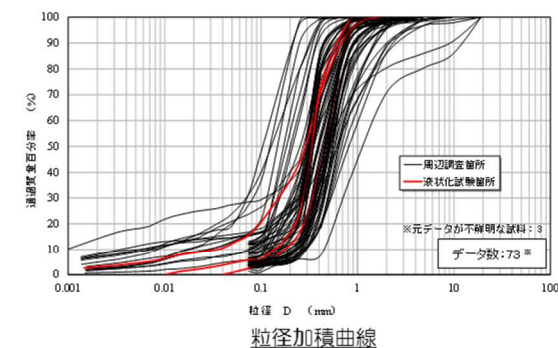
■ **N値**：液状化試験箇所の平均値は周辺調査箇所より小さく、 $-1\sigma$ 値は周辺調査箇所と同程度である。

■ **細粒分含有率**：液状化試験箇所の平均値は周辺調査箇所と同程度であり、 $-1\sigma$ 値は周辺調査箇所より小さい。

(参考) 粒径加積曲線：液状化試験箇所は周辺調査箇所のばらつきの範囲内に入っている。

相対密度：液状化試験箇所の平均値及び $-1\sigma$ 値は、周辺調査箇所より小さい。

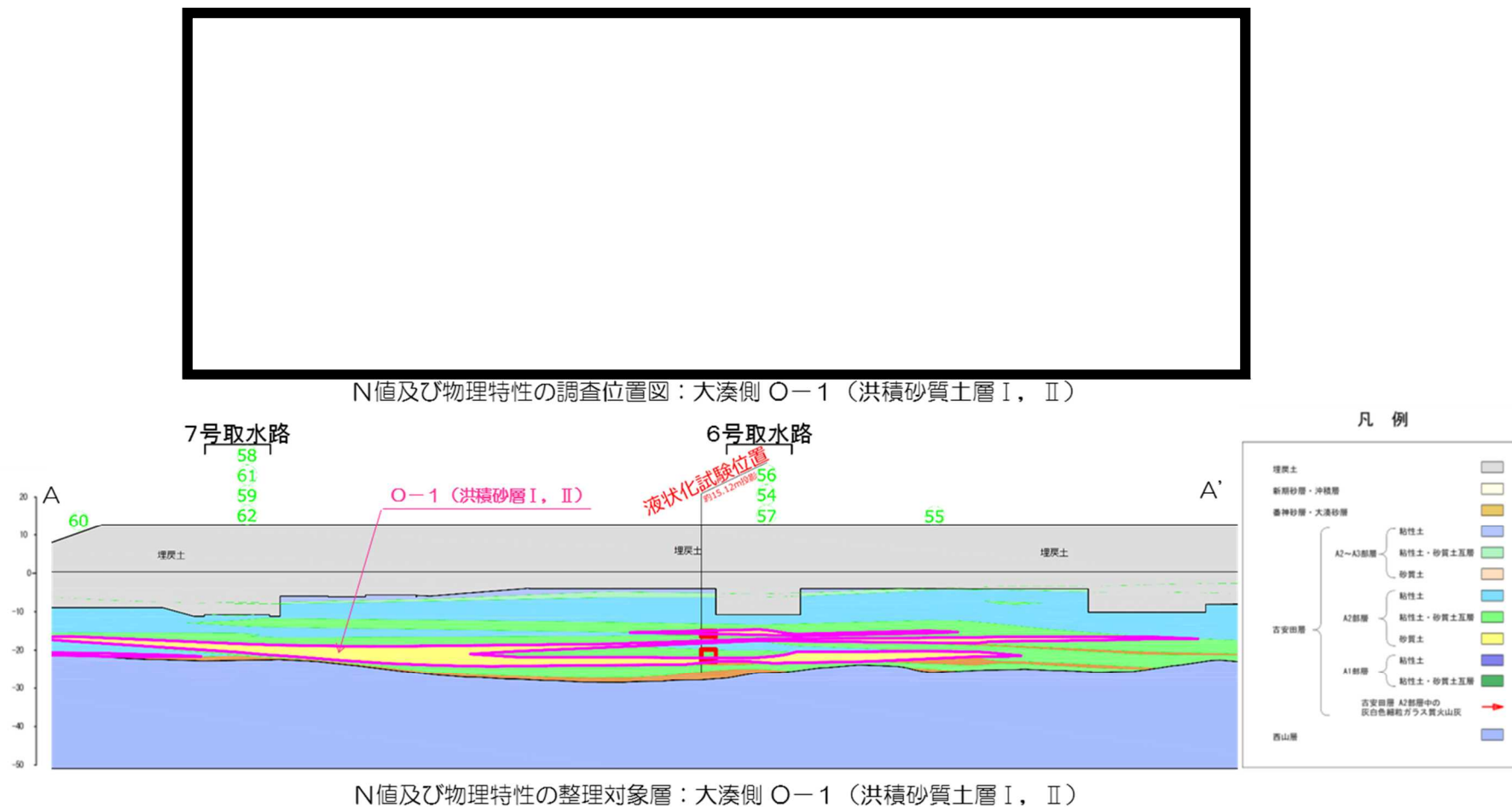
乾燥密度：液状化試験箇所の平均値及び $-1\sigma$ 値は、周辺調査箇所より小さい。



N値及び物理特性の比較 荒浜側 A-2 (洪積砂層Ⅱ)

(b) 基本物性比較

第 11-3-11 図 液状化試験箇所と周辺調査箇所の基本物性比較 (A-2 地点の洪積砂層Ⅱ)



(a) 比較対象位置図

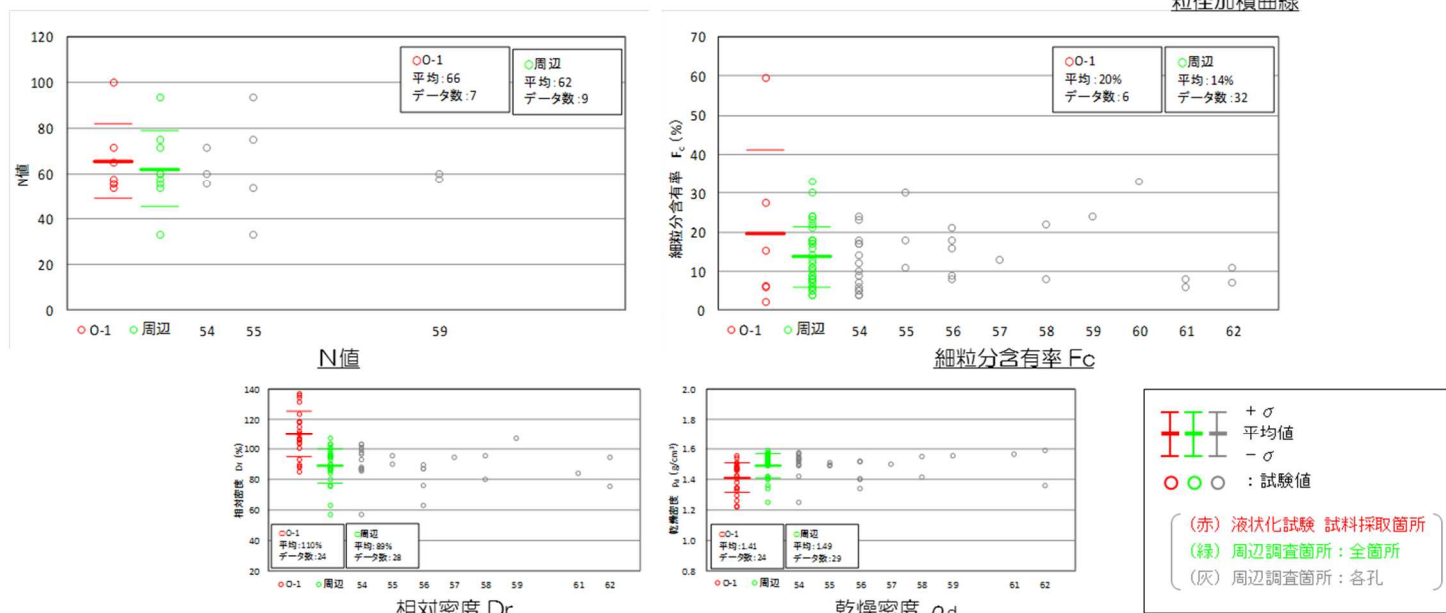
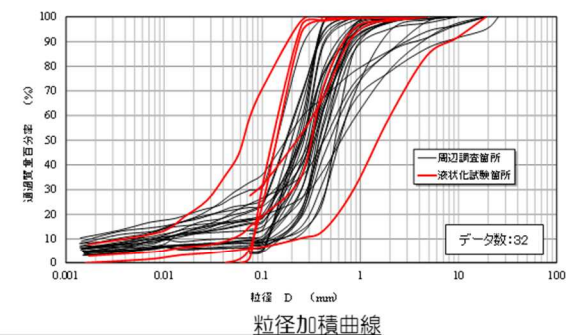
第 11-3-12 図 液状化試験箇所と周辺調査箇所の基本物性比較（O－1 地点の洪積砂質土層 I，II）

- **N値**：液状化試験箇所の平均値及び $-1\sigma$ 値は、周辺調査箇所と同程度である。
- **細粒分含有率**：液状化試験箇所の平均値は周辺調査箇所より大きく、 $-1\sigma$ 値は周辺調査箇所より小さい（ばらつきが大きい）。

（参考）粒径加積曲線：液状化試験箇所はばらつきが大きく、周辺調査箇所のばらつきの範囲に入っていないデータがある。

相対密度：液状化試験箇所の平均値及び $-1\sigma$ 値は、周辺調査箇所より大きい。

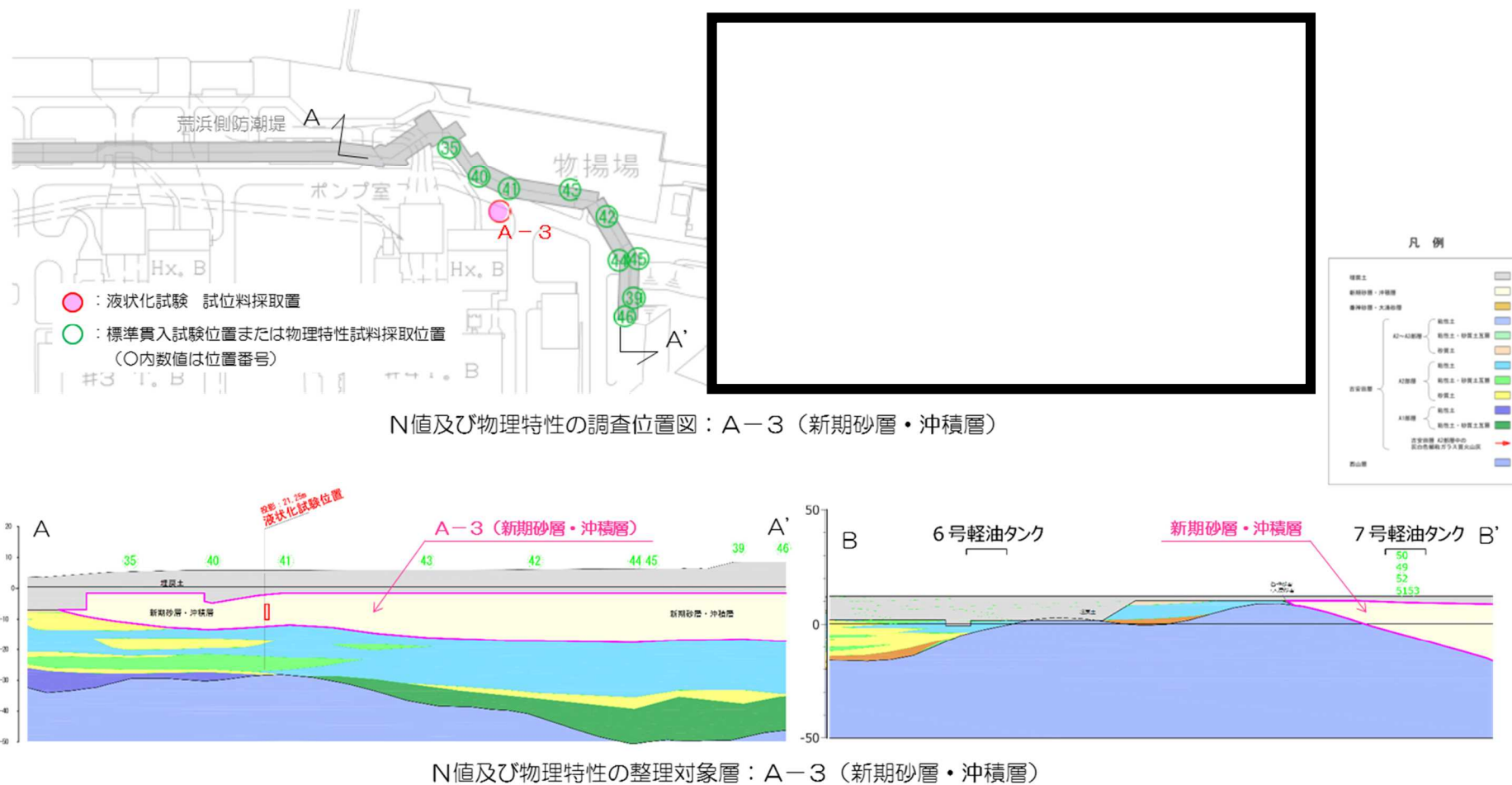
乾燥密度：液状化試験箇所の平均値及び $-1\sigma$ 値は、周辺調査箇所より小さい。



N値及び物理特性の比較 大湊側 O-1（洪積砂質土層 I，II）

(b) 基本物性比較

第 11-3-12 図 液状化試験箇所と周辺調査箇所の基本物性比較（O-1 地点の洪積砂質土層 I，II）



(a) 比較対象位置図

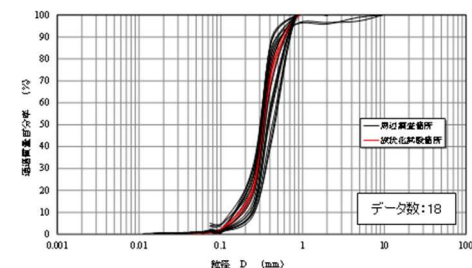
第 11-3-13 図 液状化試験箇所と周辺調査箇所の基本物性比較 (A-3 地点の新期砂層・沖積層)

- **N値**：液状化試験箇所のN値は，荒浜側周辺調査箇所より小さく下限付近であり，大湊側の周辺調査箇所より大きい。
- **細粒分含有率**：液状化試験箇所の平均値は周辺調査箇所より小さく， $-1\sigma$ 値は荒浜側の周辺調査箇所と同程度であり，大湊側の周辺調査箇所より小さい。

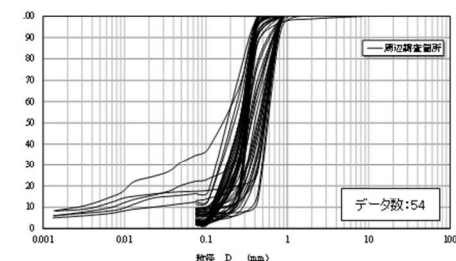
（参考）粒径加積曲線：液状化試験箇所は周辺調査箇所のばらつきの範囲内に入っており，荒浜側はばらつきが小さく，よく一致している。

相対密度：液状化試験箇所の平均値及び $-1\sigma$ 値は，周辺調査箇所より小さい。

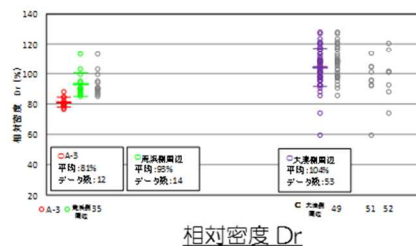
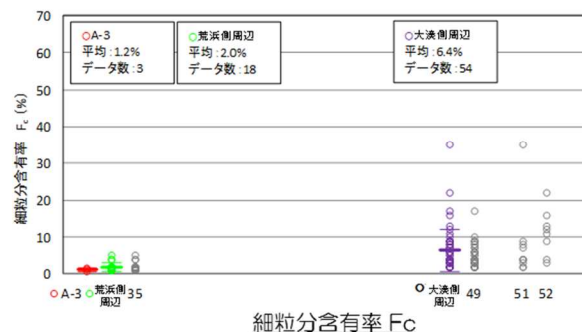
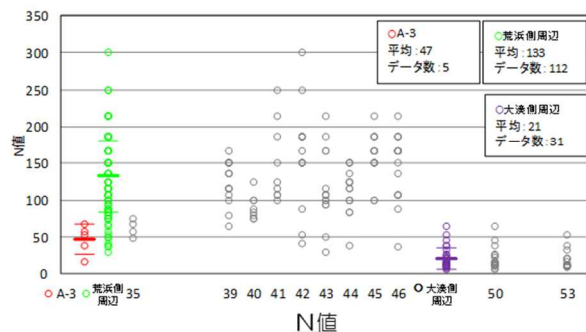
乾燥密度：液状化試験箇所の平均値及び $-1\sigma$ 値は，荒浜側の周辺調査箇所より小さく，大湊側の周辺調査箇所より大きい。



粒径加積曲線（荒浜側）



粒径加積曲線（大湊側）

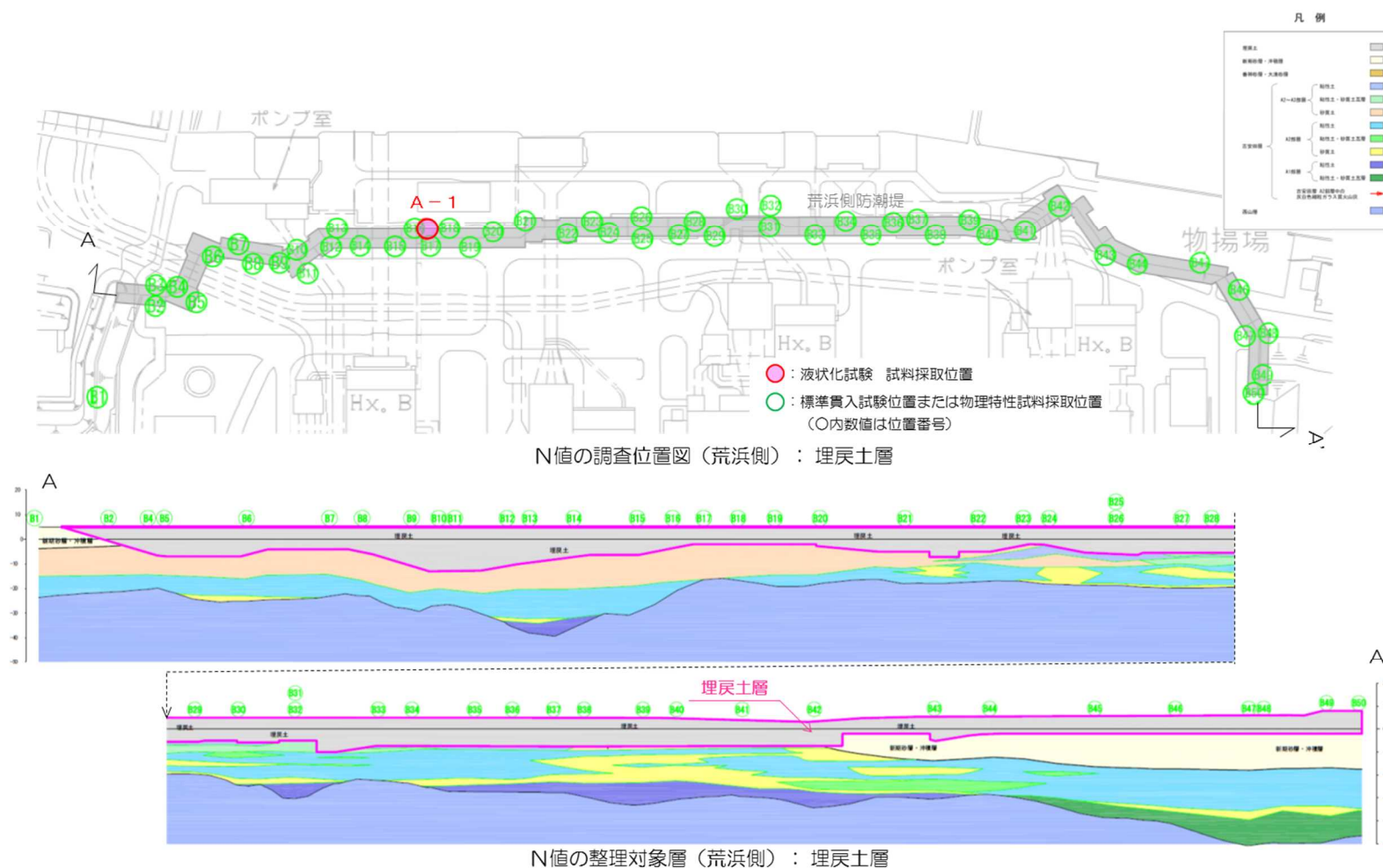


N値及び物理特性の比較 A-3（新期砂層・沖積層）

(b) 基本物性比較

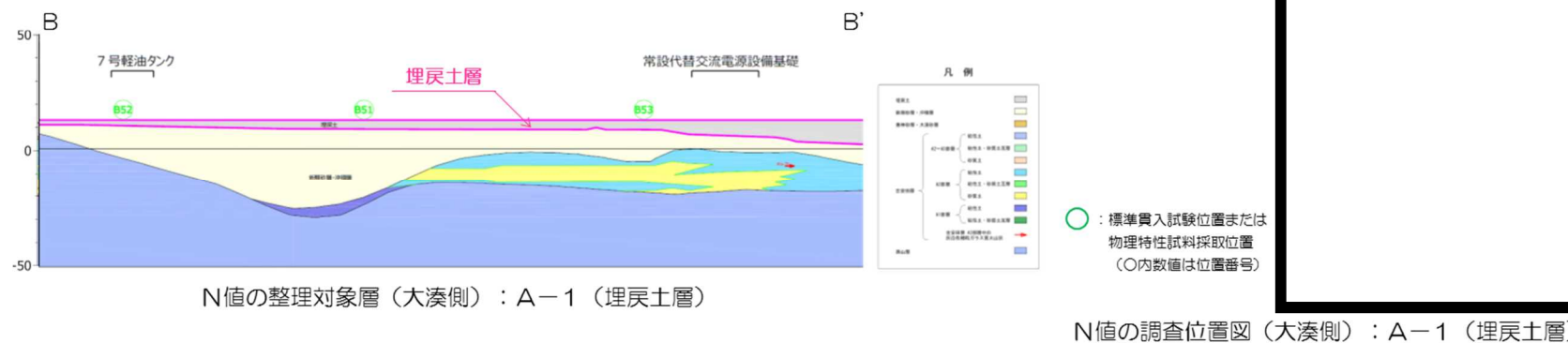
第 11-3-13 図 液状化試験箇所と周辺調査箇所の基本物性比較（A-3 地点の新期砂層・沖積層）





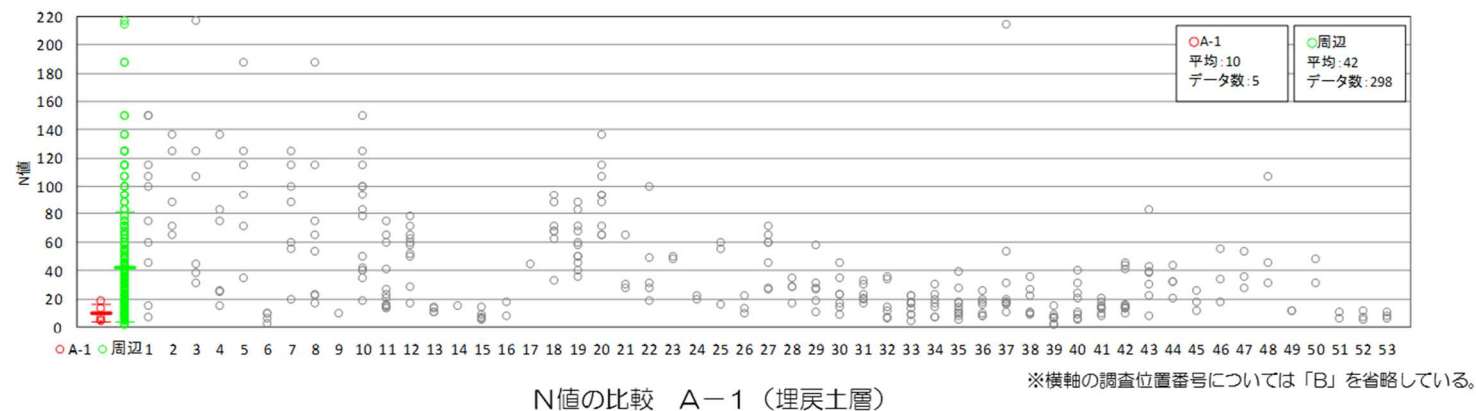
(a) 比較対象位置図（荒浜側）

第 11-3-14 図 液状化試験箇所と周辺調査箇所の基本物性比較（A－1 の埋戻土層）



(b) 比較対象位置図（大湊側）

■ **N値**：液状化試験箇所は、周辺調査箇所より小さく、下限付近である。



(b) 基本物性比較

第 11-3-14 図 液状化試験箇所と周辺調査箇所の基本物性比較（A－1 の埋戻土層）



第 11-3-2 表 液状化試験箇所と周辺調査箇所の基本物性比較のまとめ

| 地層区分                     |               | N 値 | 細粒分<br>含有率 | 追加<br>調査<br>実施 |
|--------------------------|---------------|-----|------------|----------------|
| A－1<br>洪積砂層Ⅰ             | 平均値           |     |            | ○              |
|                          | -1 $\sigma$ 値 |     |            |                |
| A－1<br>洪積砂層Ⅱ             | 平均値           |     |            | ○              |
|                          | -1 $\sigma$ 値 |     |            |                |
| A－2<br>洪積砂層Ⅰ             | 平均値           |     |            | ※              |
|                          | -1 $\sigma$ 値 |     |            |                |
| A－2<br>洪積砂層Ⅱ             | 平均値           |     |            | －              |
|                          | -1 $\sigma$ 値 |     |            |                |
| O－1<br>洪積砂質土層Ⅰ，<br>Ⅱ     | 平均値           |     |            | ○              |
|                          | -1 $\sigma$ 値 |     |            |                |
| A－3<br>新期砂層・沖積層<br>(荒浜側) | 平均値           |     |            | －              |
|                          | -1 $\sigma$ 値 |     |            |                |
| A－3<br>新期砂層・沖積層<br>(大湊側) | 平均値           |     |            | ○              |
|                          | -1 $\sigma$ 値 |     |            |                |
| A－1<br>埋戻土層              | 平均値           |     | －          | ○              |
|                          | -1 $\sigma$ 値 |     | －          |                |

：周辺調査箇所に対して液状化試験箇所が小さい  
(変動率 < -10%)

：周辺調査箇所と液状化試験箇所が同程度  
(-10% ≤ 変動率 ≤ 10%)

：周辺調査箇所に対して液状化試験箇所が大きい  
(変動率 > 10%)

※ 液状化強度特性の設定は、保守的に A－1（洪積砂層Ⅱ）の液状化試験結果を用いる。

### 3.3 追加調査

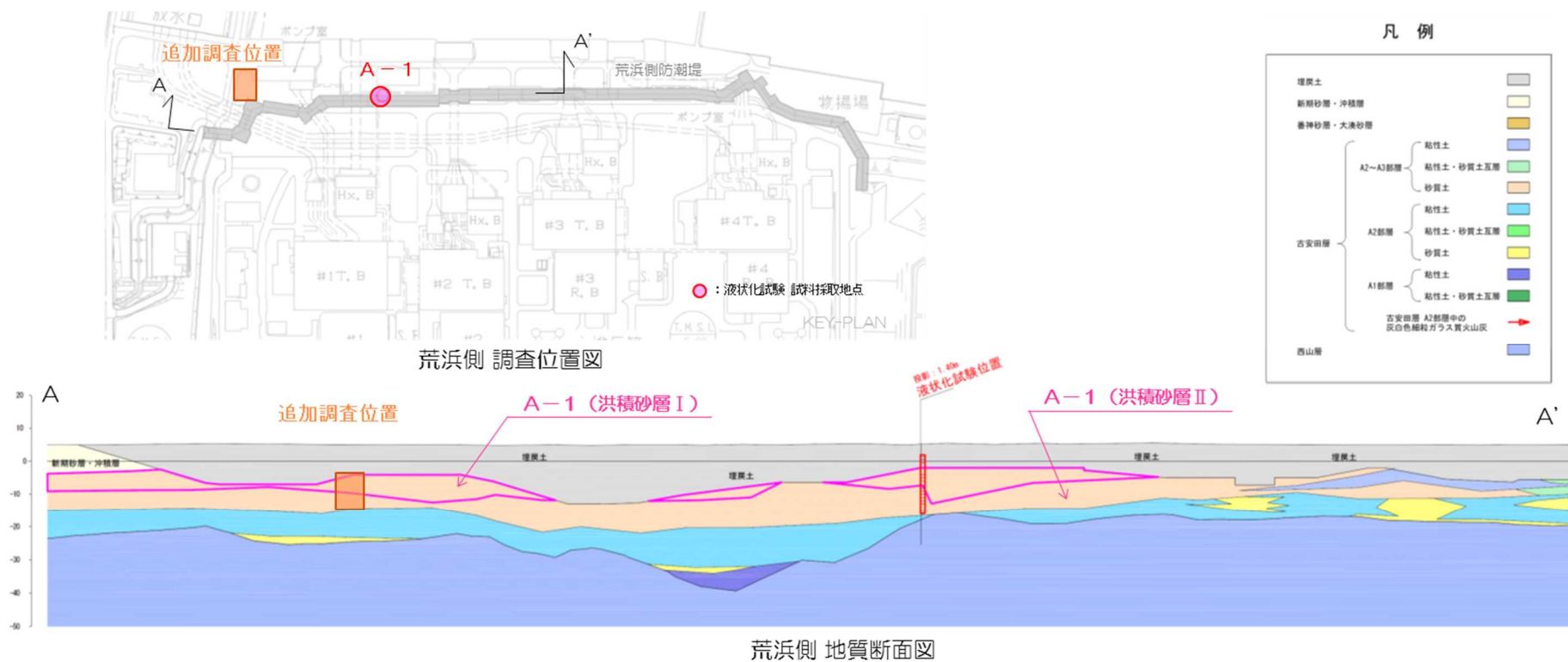
3.1 および 3.2 の検討結果を踏まえて、第 11-3-15 図に追加調査実施予定地を示す。

荒浜側における A－1 地点の洪積砂層Ⅰ、Ⅱ及び A－2 地点の洪積砂層Ⅰは、地質の連続性等の評価や周辺調査箇所 の N 値や細粒分含有率の比較から代表性を有していると評価した。ただし、層厚が厚く分布範囲が広いことを踏まえ、データ拡充を目的とした追加調査を実施する。なお、A－2 地点の洪積砂層Ⅰは、A－1 地点の洪積砂層Ⅰ、Ⅱと同時代に堆積した地層であること、N 値が A－1 地点の洪積砂層Ⅱと同程度であることを踏まえ、物性設定においては保守的に A－1 地点の洪積砂層Ⅱの試験結果を用いる方針とする。追加調査位置は、事前調査を実施し、A－1 地点の洪積砂層Ⅰ、Ⅱの両層を採取できる場所を選定する。

O－1 地点の洪積砂質土層Ⅰ、Ⅱは、地質の連続性等の評価や周辺調査箇所 の N 値や細粒分含有率の比較から代表性を有していると評価した。ただし、6、7 号炉の申請であることを踏まえ、7 号取水路周辺でデータ拡充を目的とした追加調査を実施する。追加調査位置は、事前調査を実施し、古安田層中に挟在する砂層から試料が確実に採取できる場所を選定する。

A－3 地点の新期砂層・沖積層は、大湊側の周辺調査箇所と比べて、細粒分含有率が小さいものの、N 値が大きいことから、大湊側の新期砂層・沖積層の液状化強度を確認することを目的とした追加調査を実施する。追加調査位置は、事前調査を実施し、新期砂層・沖積層から試料が確実に採取できる場所を選定する。

埋戻土層については、液状化試験を実施した A－1 地点の N 値が周辺調査箇所に比べて小さく下限付近であることから、試験は保守的な箇所で実施している評価した。ただし、大湊側での N 値のデータが少ないことから、大湊側の埋戻土層の液状化強度を確認することを目的とした追加調査を実施する。追加調査位置は、事前調査を実施し、埋戻土層から試料が確実に採取できる場所を選定する。

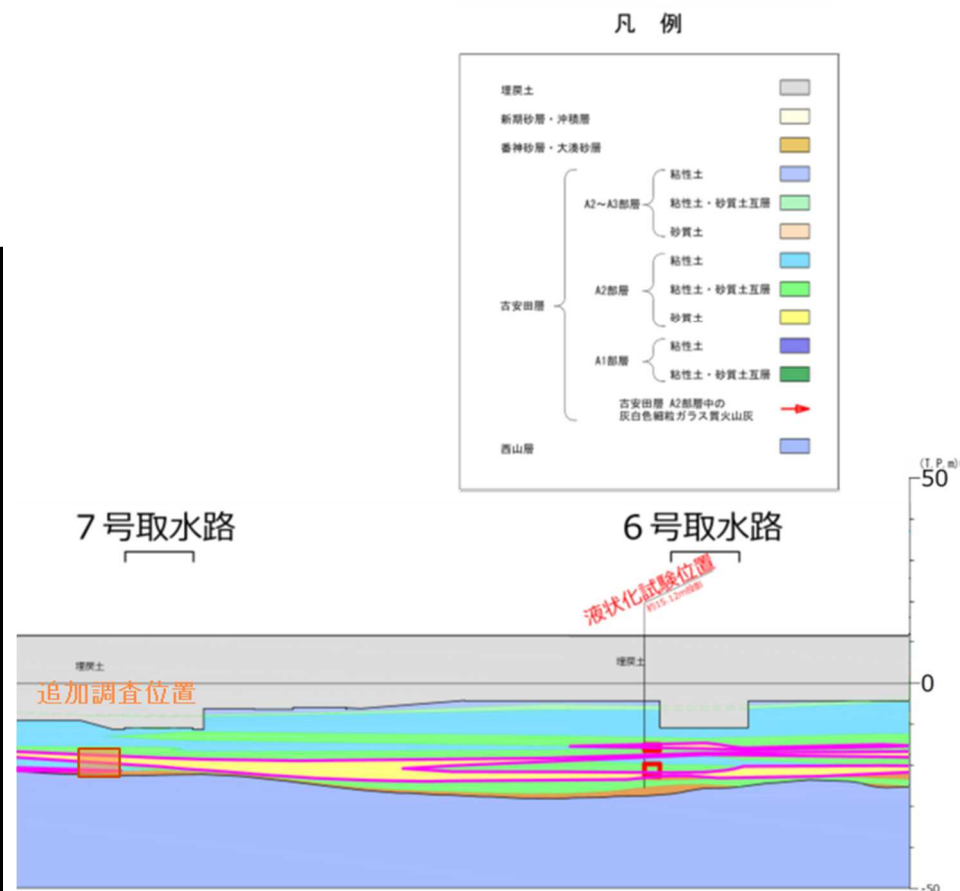


(a) 荒浜側：A－1 地点の洪積砂層 I，II および A－2 地点の洪積砂層 I

第 11-3-15 図 追加調査実施予定地



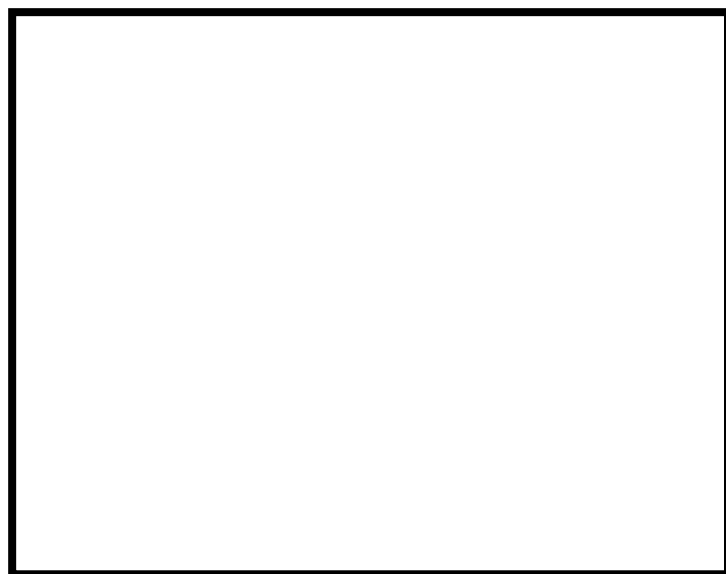
大湊側 調査位置図



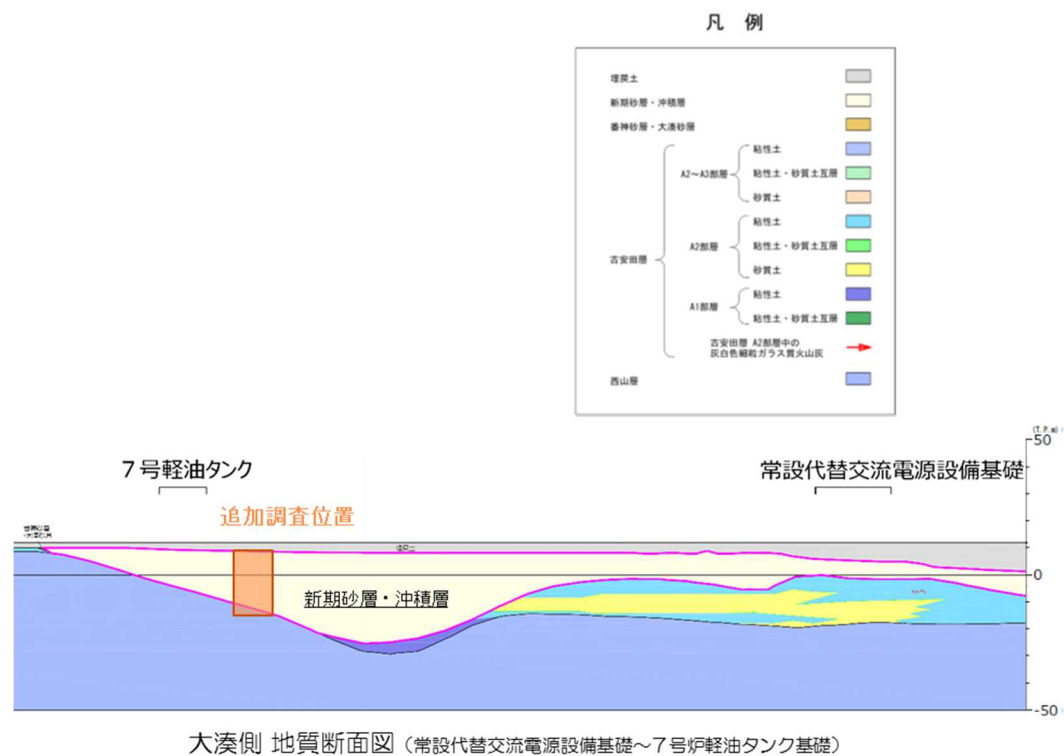
大湊側 地質断面図 (6号～7号炉取水路)

(b) 大湊側：O－1地点の洪積砂質土層Ⅰ，Ⅱおよび大湊側の埋戻土層

第 11-3-15 図 追加調査実施予定地



大湊側 調査位置図



(c) 大湊側：新期砂層・沖積層

第 11-3-15 図 追加調査実施予定地

#### 4. 液状化試験結果

##### 4.1 液状化試験方法

地盤工学会では、地盤の液状化強度特性を求めるための繰返し非排水三軸試験方法（JGS 0541）が規程されている。実務的には、地盤の液状化強度特性を求める試験方法として、繰返し非排水三軸試験のほかに、中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験などが用いられる。（安田，1991） 第 11-4-1 図に一般的な液状化試験方法の例を示す。

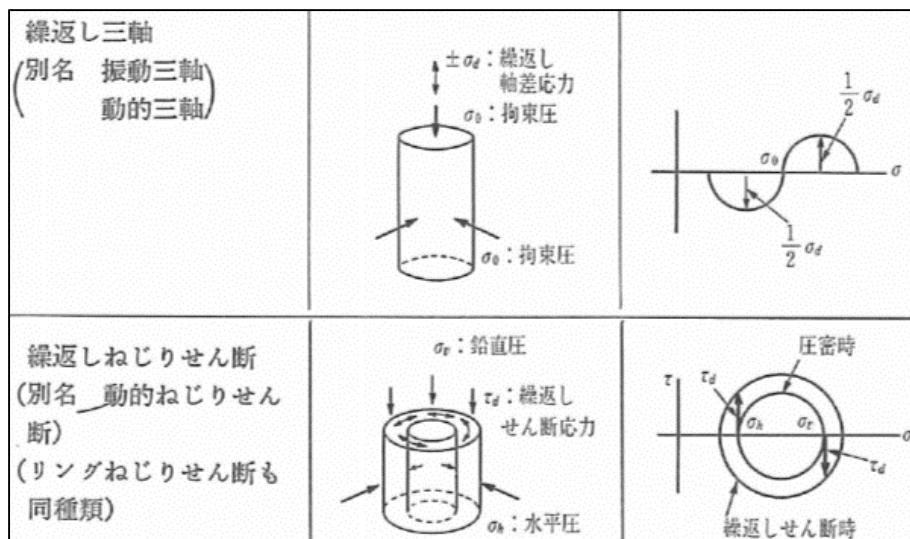
三軸試験に代表される間接型せん断試験と比較して、ねじりせん断試験は比較的広範囲な応力経路またはひずみ経路を供試体に与えられる。（地盤工学会，2009） 三軸試験では圧縮側と引張側で挙動が異なり、応力経路は上下では対称ではないし、ひずみの発生量も異なる。これに対してねじり試験では応力-ひずみ関係、応力経路ともほぼ対称な形をしている。（土木学会，2003：第 11-4-2 図）

以上を踏まえ、洪積層である古安田層中の砂層や N 値の比較的大きい新期砂層・沖積層を対象とした試験を実施するにあたり、高せん断応力比の液状化試験を実施する必要があることから、中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験を採用した。

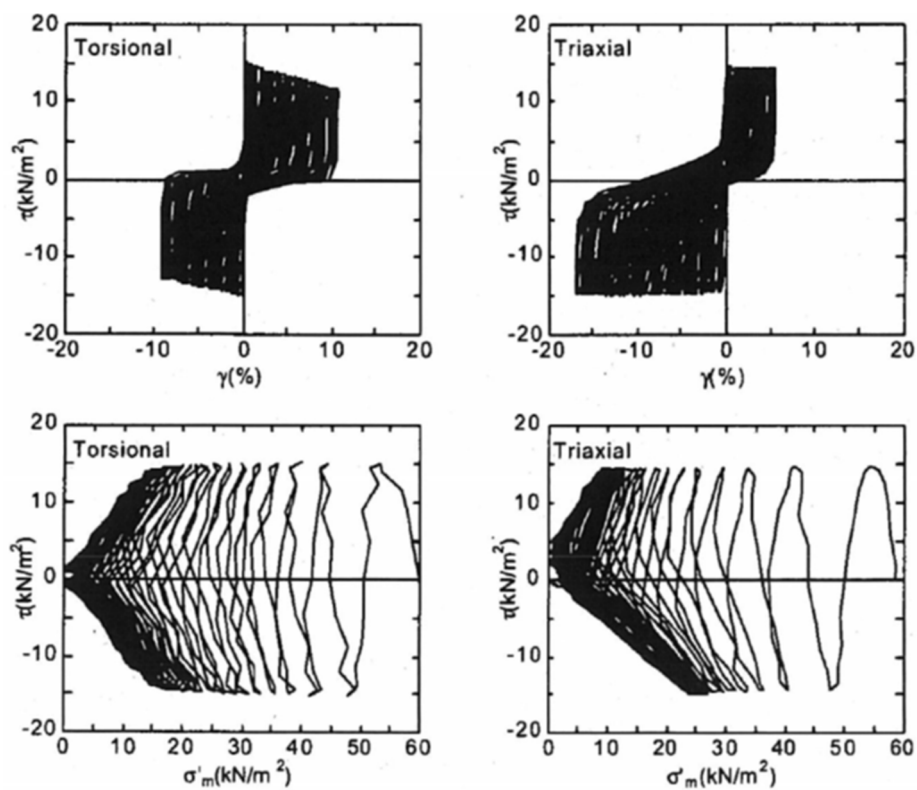
実施した中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験の概要を第 11-4-3 図に、試料採取に用いた凍結サンプリングの概要を第 11-4-4 図に示す。

載荷状況

応力状態



第 11-4-1 図 一般的な液状化試験方法の例  
(安田, 1991 抜粋)



(a) 繰返しねじりせん断試験

(b) 繰返し三軸試験

第 11-4-2 図 液状化試験結果の例

[上図: 応力-ひずみ関係, 下図: 応力経路]

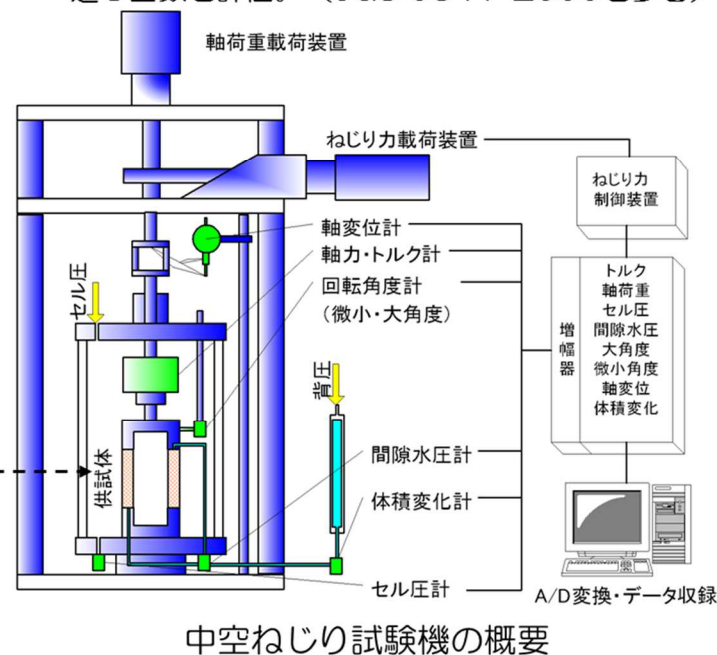
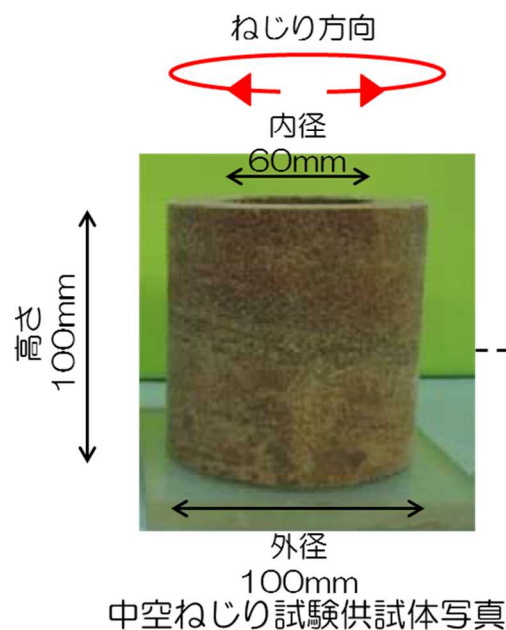
(土木学会, 2003)

## 【試験の概要】

- 土の変形特性を求めるための中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験方法（地盤工学会：JGS 0543-2000）（以下、中空ねじり試験という。）を参考に実施。

## 【試験条件】

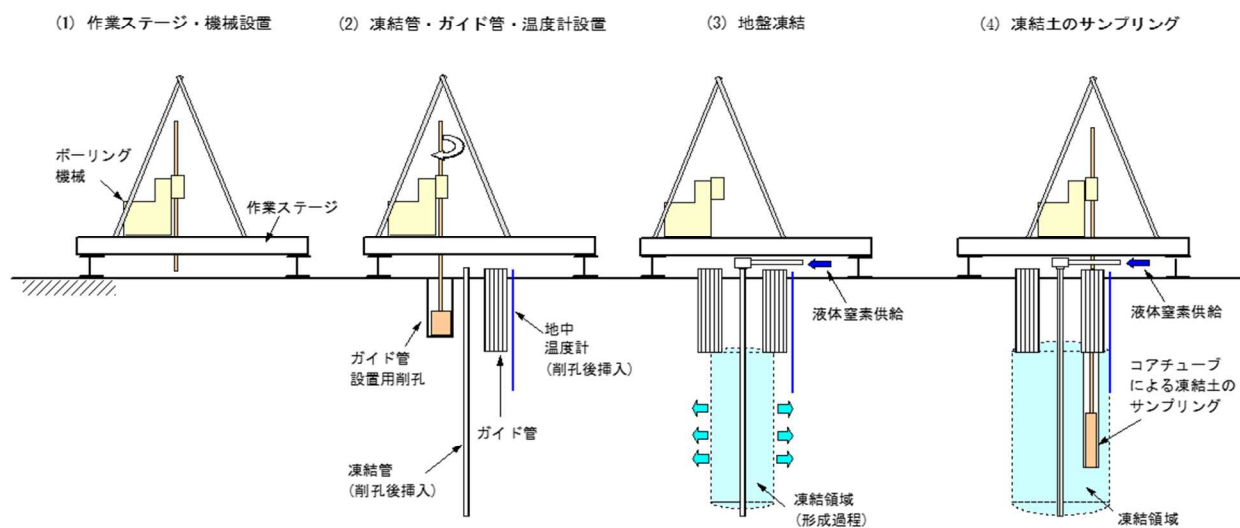
- 供試体寸法：外径100mm（内径60mm），高さ100mm（一部供試体は，外径70mm（内径30mm），高さ100mm）
- 载荷波形：正弦波（0.1Hz）
- 拘束圧：供試体平均深度の有効土被り圧を考慮して設定
- 繰返し回数200回を上限として，過剰間隙水圧比0.95および両振幅せん断ひずみ15%に達するまで試験を実施。（JGS 0541-2000を参考）
- 所定の両振幅せん断ひずみ（1.5%，2%，3%，7.5%，15%）および過剰間隙水圧比0.95の繰返し回数を評価。（JGS 0541-2000を参考）



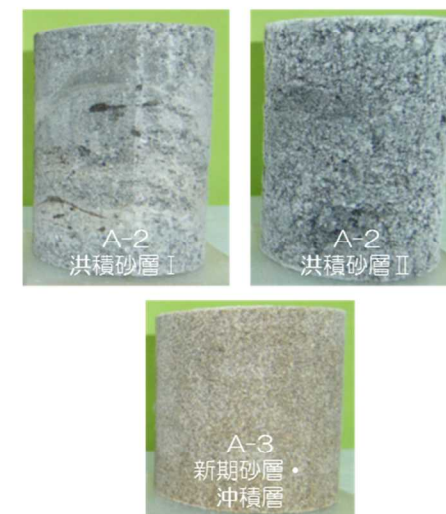
第 11-4-3 図 中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験の概要



- ・凍結サンプリングは、砂・砂質土地盤や砂礫地盤を対象に高品質な不攪乱試料を採取する手法。
- ・凍結管に液体窒素を流し込み、ゆっくりと地盤を凍結させた後に、コアサンプリングを行う。
- ・サンプリング手順は以下の通り
  - ① 既往調査より対象土層の厚い箇所を確認し、凍結サンプリング計画地点を決定。
  - ② 凍結サンプリング計画地点近傍にてパイロットボーリング（孔径φ86mm）を行い、サンプリング対象層の深度を確認。
  - ③ 液体窒素を流し込み、地中温度計が0度付近になるまで地盤の凍結を行う。
  - ④ 凍結が確認された後、コアチューブによる試料のサンプリングを行う。



凍結サンプリングの概要



試験供試体例  
 （左上：洪積砂層Ⅰ 右上：洪積砂層Ⅱ  
 下：新期砂層・沖積層）

第 11-4-4 図 凍結サンプリングの概要

#### 4.2 液状化試験結果の分類に対する基本的考え方

レベル2地震動による液状化研究小委員会活動成果報告書（土木学会，2003）では，地盤の液状化およびそれに関連する事象の定義として，以下のように記載されている。第11-4-5図に地盤の液状化およびそれに関連する事象の概念図，第11-4-6図に地盤の強度とダイレイタンス特性の概要を示す。

##### 【液状化】

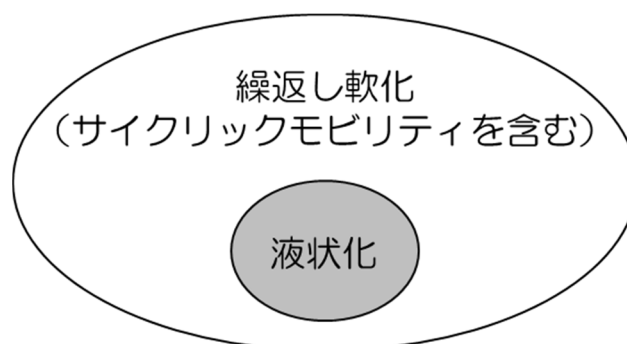
地震の繰返しせん断力などによって，飽和した砂や砂礫などの緩い非粘性土からなる地盤内での間隙水圧が上昇・蓄積し，有効応力がゼロまで低下し液体状となり，その後地盤の流動を伴う現象。

##### 【サイクリックモビリティ】

繰返し载荷において土が「繰返し軟化」する過程で，限られたひずみ範囲ではせん断抵抗が小さくなっても，ひずみが大きく成長しようとする時，正のダイレイタンス特性のためにせん断抵抗が急激に作用し，せん断ひずみの成長に歯止めがかかる現象。主に，密な砂や礫質土，過圧密粘土のように正のダイレイタンス特性が著しい土において顕著に現れる。

##### 【繰返し軟化】

繰返し载荷による間隙水圧上昇と剛性低下によりせん断ひずみが発生し，それが繰返し回数とともに徐々に増大するが，土のもつダイレイタンス特性や粘性のためにひずみは有限の大きさにとどまり，大きなひずみ範囲にいたるまでの流動は起きない。

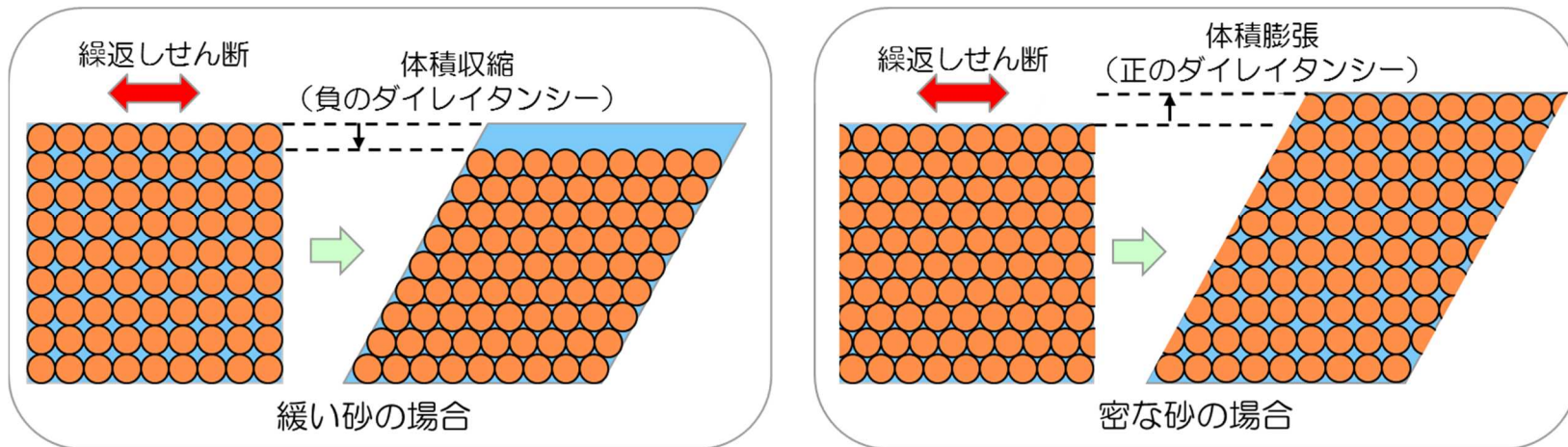
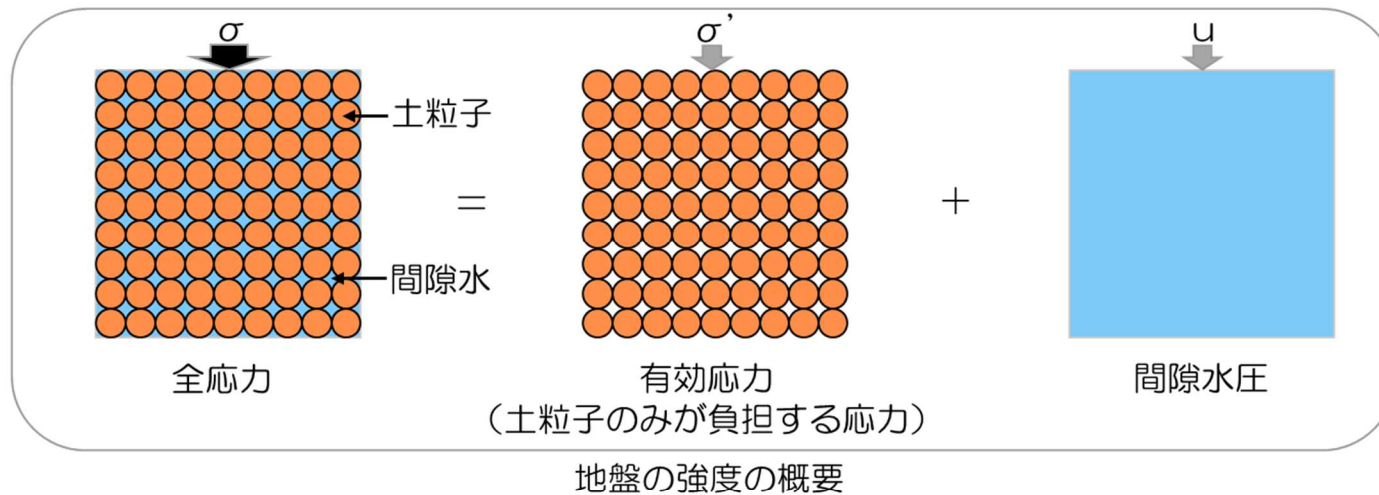


第11-4-5図 地盤の液状化およびそれに関連する事象の概念図

これらの事象のうちサイクリックモビリティは、その現象の違いから一般的に液状化とは区別されている。以下に既往文献におけるサイクリックモビリティの記述を示す。また、第 11-4-7 図および第 11-4-8 図に緩い砂と密な砂の液状化試験結果の比較を示し、液状化とサイクリックモビリティの違いを整理した。

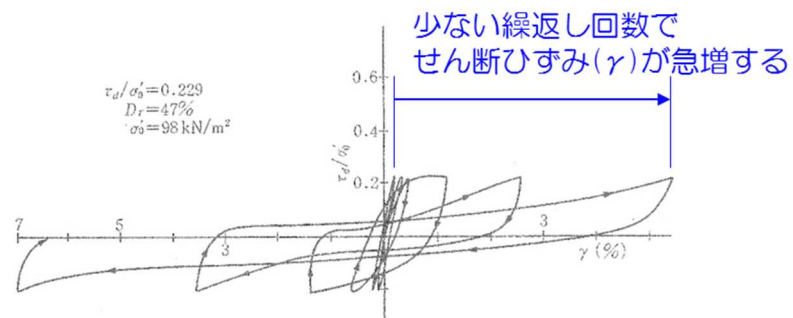
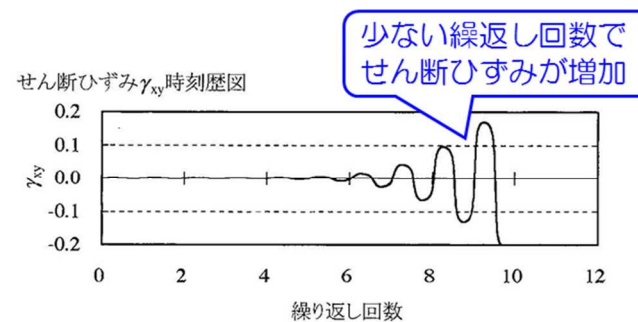
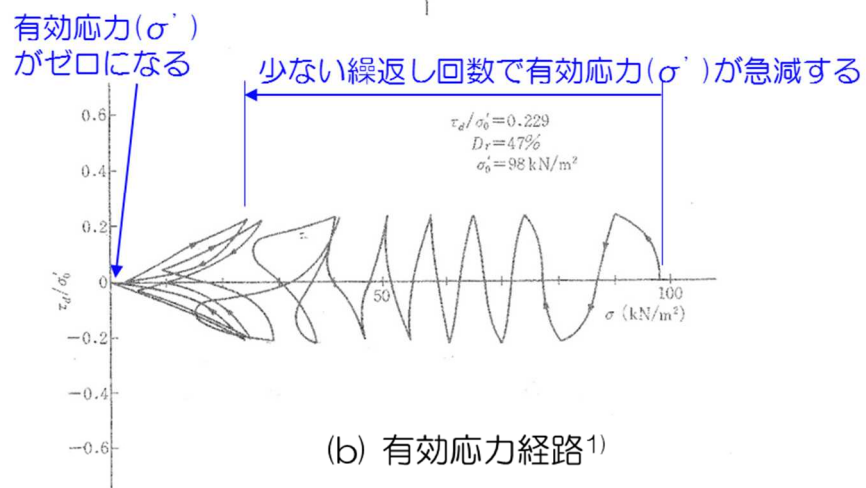
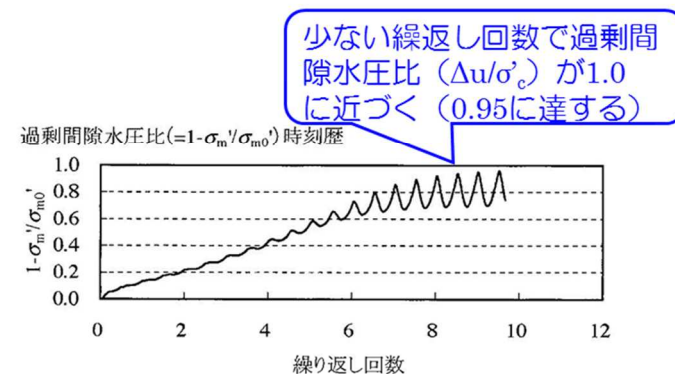
- サイクリックモビリティとは、砂などの繰返し載荷において、有効拘束圧がゼロに近づいてから、載荷時にせん断剛性の回復、除荷時に有効応力の減少を繰り返していくが、ひずみは有限の大きさととどまる現象であり、液状化とは区別して用いられることがある。（地盤工学会，2006）
- 地盤の液状化は、ゆるい砂地盤が繰返しせん断を受け、せん断振幅が急増し、地盤全体が泥水状態となり、噴砂や噴水を伴うことが多いので、現象的にサイクリックモビリティとは異なる。（井合，2008）
- サイクリックモビリティにおいて、有効応力がゼロになるのは、せん断応力がゼロになる瞬間だけであり、せん断応力が作用している間には有効応力が存在するので、間隙水圧比が 100%に達した後でも、繰返しせん断に対して相当な剛性を保持する。（吉見，1991）
- 密詰めの場合には大ひずみは生じない。一時的に有効拘束圧が 0 になっても、その後にはせん断力を加えると負の過剰間隙水圧が発生して有効拘束圧が増加（回復）し、有限の小さなひずみ振幅しか発生しない。この現象を“サイクリックモビリティ”と呼んで液状化と区別することもある。（安田，1991）

これらの知見を踏まえて、液状化試験結果を、「液状化」、「サイクリックモビリティ」および「非液状化」の 3 つに大別することとした。



第 11-4-6 図 地盤の強度とダイレイタンス特性の概要

## 【液状化試験のイメージ (1)】

(a) せん断応力-せん断ひずみ関係<sup>1)</sup>(c) せん断ひずみ<sup>2)</sup>(b) 有効応力経路<sup>1)</sup>(d) 過剰間隙水圧比<sup>2)</sup>

## 液状化試験の例 (液状化する場合)

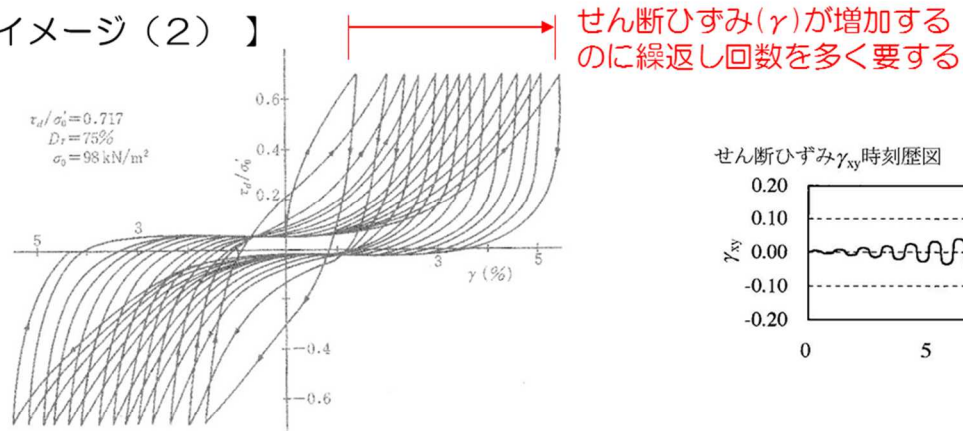
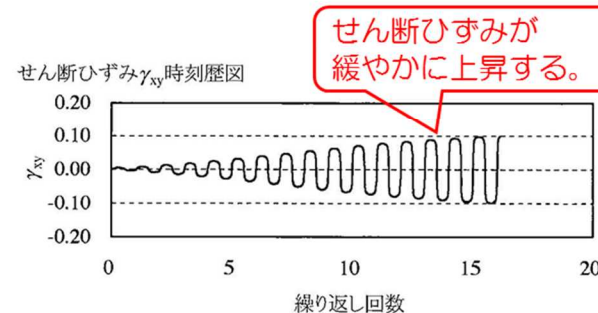
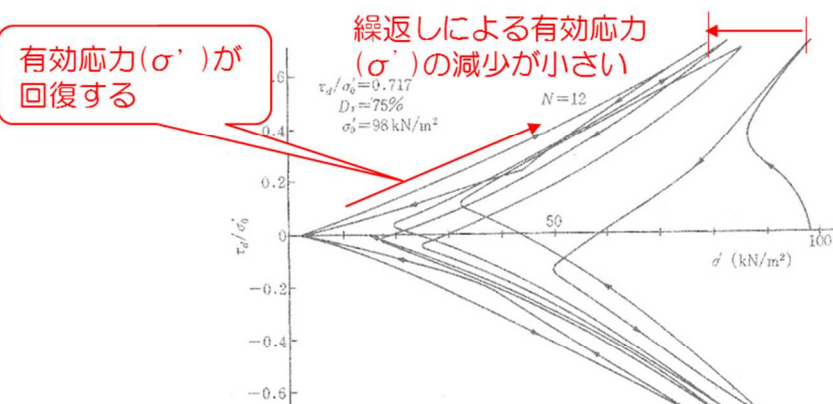
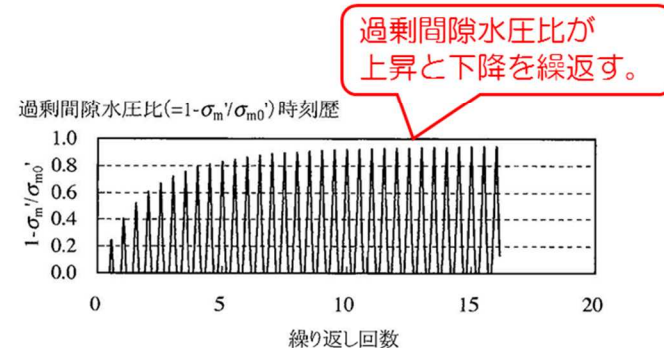
1) 永瀬英生：多方向の不規則荷重を受ける砂の変形強度特性，東京大学博士論文，1984

2) 井合進，飛田哲男，小堤治：砂の繰返し載荷時の挙動モデルとしてのひずみ空間多重モデルにおけるストレスダイレイタンスー関係，京都大学防災研究所年報，第51号，pp.291-304，2008

第 11-4-7 図 緩い砂の液状化試験結果



## 【液状化試験のイメージ (2)】

(a) せん断応力-せん断ひずみ関係<sup>1)</sup>(c) せん断ひずみ<sup>2)</sup>(b) 有効応力経路<sup>1)</sup>(d) 過剰間隙水圧比<sup>2)</sup>

## 液状化試験の例 (サイクリックモビリティの場合)

1) 永瀬英生：多方向の不規則荷重を受ける砂の変形強度特性，東京大学博士論文，1984

2) 井合進，飛田哲男，小堤治：砂の繰返し載荷時の挙動モデルとしてのひずみ空間多重モデルにおけるストレスダイレイタンスー関係，京都大学防災研究所年報，第51号，pp.291-304，2008.

第 11-4-8 図 密な砂の液状化試験結果

#### 4.3 試験結果の分類

第 11-4-1～8 表に各土層の液状化試験結果を、第 11-4-9～16 図に各土層の液状化試験結果の例を、第 11-4-9 表に液状化試験結果のまとめを、第 11-4-17 図に液状化試験後の供試体状況を示す。

A-1 地点の埋戻土層の液状化試験結果は、過剰間隙水圧比が 1.0 に近づき (0.95 を上回り)、有効応力がゼロとなる。また、その繰り返しせん断を受けても、有効応力の回復はみられず、せん断ひずみが急激に上昇する。これらの状況から、この試験結果は液状化していると判断した。

A-3 地点の新期砂層・沖積層および A-1 地点の洪積砂層 I・II の液状化試験結果は、過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰り返し、上昇時に 1.0 に近づく (0.95 を上回る)。これに伴って、有効応力は減少するが、繰り返しせん断を受けることで回復する。また、せん断ひずみは緩やかに上昇する。これらの状況から、この試験結果はサイクリックモビリティであると判断した。

A-2 地点の洪積砂層 I・II および 0-1 地点の洪積砂質土層 I・II の液状化試験結果は、過剰間隙水圧比が 0.95 を上回ることがなく、試験実施の間、有効応力を保持している。また、せん断ひずみが緩やかに上昇し、試験終了直前で急激にせん断ひずみが増大する傾向である。A-2 地点の洪積砂層 I・II の液状化試験後の供試体状況をみると、明確なせん断破壊が確認され、このせん断ひずみの増大はせん断破壊によって発生したものと考えられる。これらの状況から、この試験結果は非液状化であると判断した。

これらの区分を整理して、第 11-4-10 表に示す。

埋戻土層以外の土層は、比較的 N 値が高く、液状化試験結果はサイクリックモビリティあるいは非液状化を示している。このことは、道路橋示方書において、一般に N 値が高く、続成作用を受けている洪積層などは、液状化に対する抵抗が高いため、一般には液状化の可能性は低いという記載に整合する。

埋戻土層については試験結果が液状化を示していることから道路橋示方書の液状化判定法 (FL 法) を実施し、基準地震動  $S_s$  作用時の液状化の有無を判定する。埋戻土層以外の土層については液状化を示さず、道路橋示方書の液状化判定方法が適用出来ないと考えられることから、液状化試験が基準地震動  $S_s$  相当の地盤の状態を模擬していることを確認する。

第 11-4-1 表 液状化試験結果 (A-1 地点の埋戻土層)

| 試 料 番 号                               |                          |                | #1-0-1    |      |      |      | #1-0-2    |      |      |      |
|---------------------------------------|--------------------------|----------------|-----------|------|------|------|-----------|------|------|------|
| 深 度 G.L.- (m)                         |                          |                | 3.50~4.50 |      |      |      | 4.50~5.50 |      |      |      |
| 土 質 材 料                               |                          |                | 埋戻土層      |      |      |      | 埋戻土層      |      |      |      |
| 供 試 体 No.                             |                          |                | 1         | 2    | 3    | 4    | 1         | 2    | 3    | 4    |
| 土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )  |                          |                | 2.710     |      |      |      | 2.720     |      |      |      |
| 圧密圧力 $\sigma'_c$ (kN/m <sup>2</sup> ) |                          |                | 50        |      |      |      | 100       |      |      |      |
| せん断応力比 $\tau_d/\sigma'_c$             |                          |                | 0.25      | 0.30 | 0.20 | 0.35 | 0.26      | 0.21 | 0.24 | 0.29 |
| 繰返回数                                  | せん断ひずみ<br>両振幅            | $r_{DA}=1.5\%$ | 7.5       | 5.5  | 103  | 3.5  | 4.5       | 54   | 29   | 5.5  |
|                                       |                          | $r_{DA}=2.0\%$ | 8.5       | 7    | 106  | 5    | 5         | 56   | 32   | 6.5  |
|                                       |                          | $r_{DA}=3.0\%$ | 10        | 9    | 111  | 7.5  | 6         | 59   | 36   | 8    |
|                                       |                          | $r_{DA}=7.5\%$ | 16        | 15   | 119  | 27   | 8         | 64   | 46   | 12   |
|                                       |                          | $r_{DA}=15\%$  | 21        | 23   | 127  | 109  | 10        | 68   | 54   | 15   |
|                                       | 過剰間隙水圧比 95%<br>$N_{U95}$ |                | 15        | 16   | 116  | 35   | 9         | 64   | 45   | 14   |

     : 最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく (0.95を越えるもの)  
 下線 : 次ページに例示する試験結果

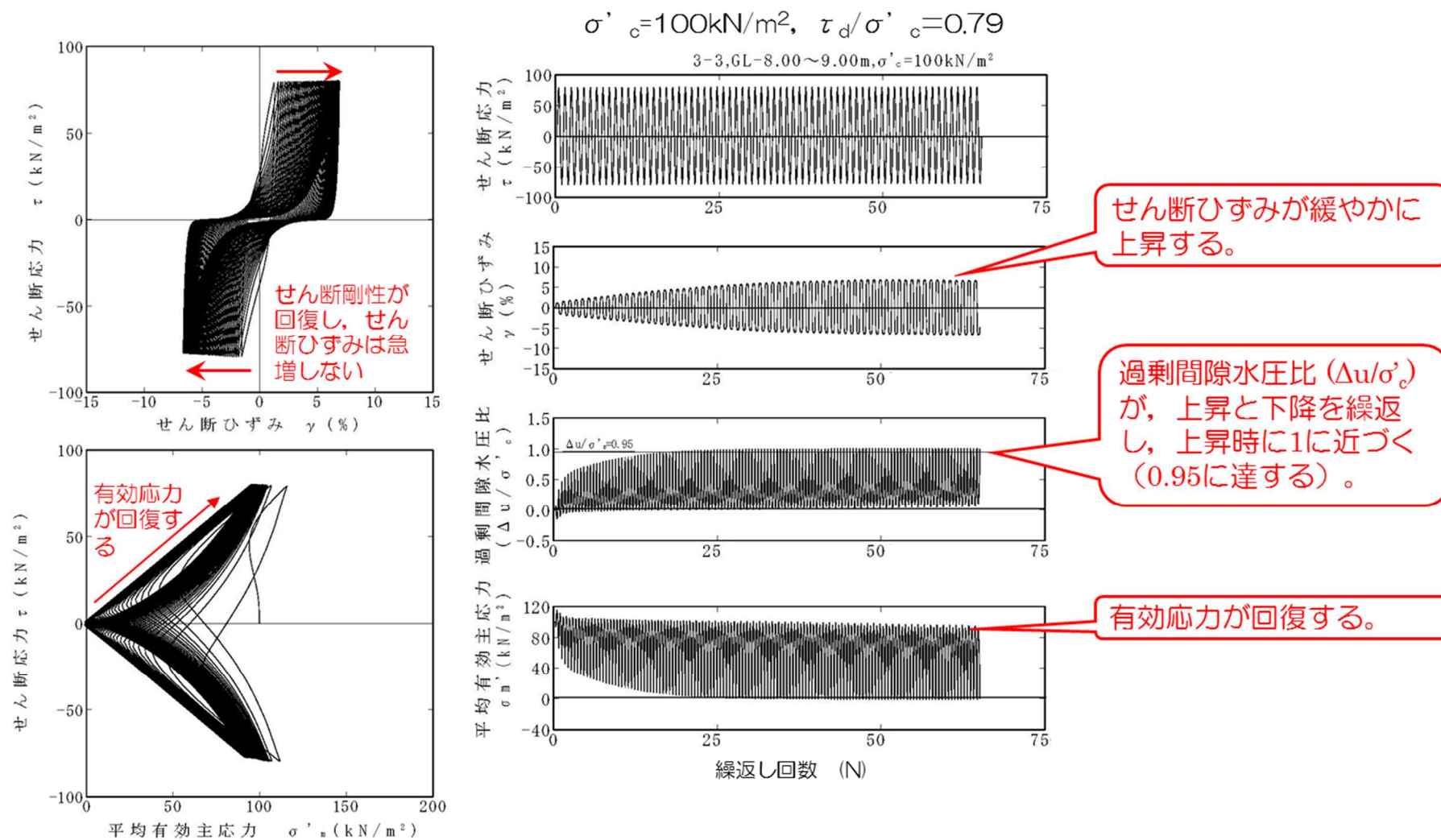




第 11-4-2 表 液状化試験結果（A-1 地点の洪積砂層Ⅰ）

| 試 料 番 号                               |                         |                     | #1-1-1    |      |      |      | #1-1-2      |      |      |      |
|---------------------------------------|-------------------------|---------------------|-----------|------|------|------|-------------|------|------|------|
| 深 度 G.L.- (m)                         |                         |                     | 8.00~9.00 |      |      |      | 10.00~11.00 |      |      |      |
| 土 質 材 料                               |                         |                     | 洪積砂層Ⅰ     |      |      |      | 洪積砂層Ⅰ       |      |      |      |
| 供 試 体 No.                             |                         |                     | 1         | 2    | 3    | 4    | 1           | 2    | 3    | 4    |
| 土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )  |                         |                     | 2.739     |      |      |      | 2.732       |      |      |      |
| 圧密圧力 $\sigma'_c$ (kN/m <sup>2</sup> ) |                         |                     | 100       |      |      |      | 150         |      |      |      |
| せん断応力比 $\tau_d/\sigma'_c$             |                         |                     | 0.47      | 0.59 | 0.79 | 0.97 | 0.48        | 0.61 | 0.44 | 0.39 |
| 繰返回数                                  | せん断両面振幅<br>ひずみ          | $\gamma_{DA}=1.5\%$ | 4         | 0.9  | 0.5  | 0.3  | 1.5         | 0.5  | 0.9  | 3    |
|                                       |                         | $\gamma_{DA}=2.0\%$ | 6.5       | 2    | 0.7  | 0.5  | 2.5         | 0.6  | 1.5  | 5    |
|                                       |                         | $\gamma_{DA}=3.0\%$ | 14        | 6.5  | 1    | 0.7  | 5           | 0.9  | 4    | 8.5  |
|                                       |                         | $\gamma_{DA}=7.5\%$ | 48        | 32   | 14   | 9    | 18          | 7.5  | 17   | 25   |
|                                       |                         | $\gamma_{DA}=15\%$  | 102       | 96   | —    | 41   | 53          | 23   | 41   | 48   |
|                                       | 過剰間隙水圧比 95%<br>$N_{95}$ |                     | 40        | 31   | 18   | 19   | 21          | 15   | 22   | 25   |

     : 最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく（0.95を越えるもの）  
 下線：次ページに例示する試験結果

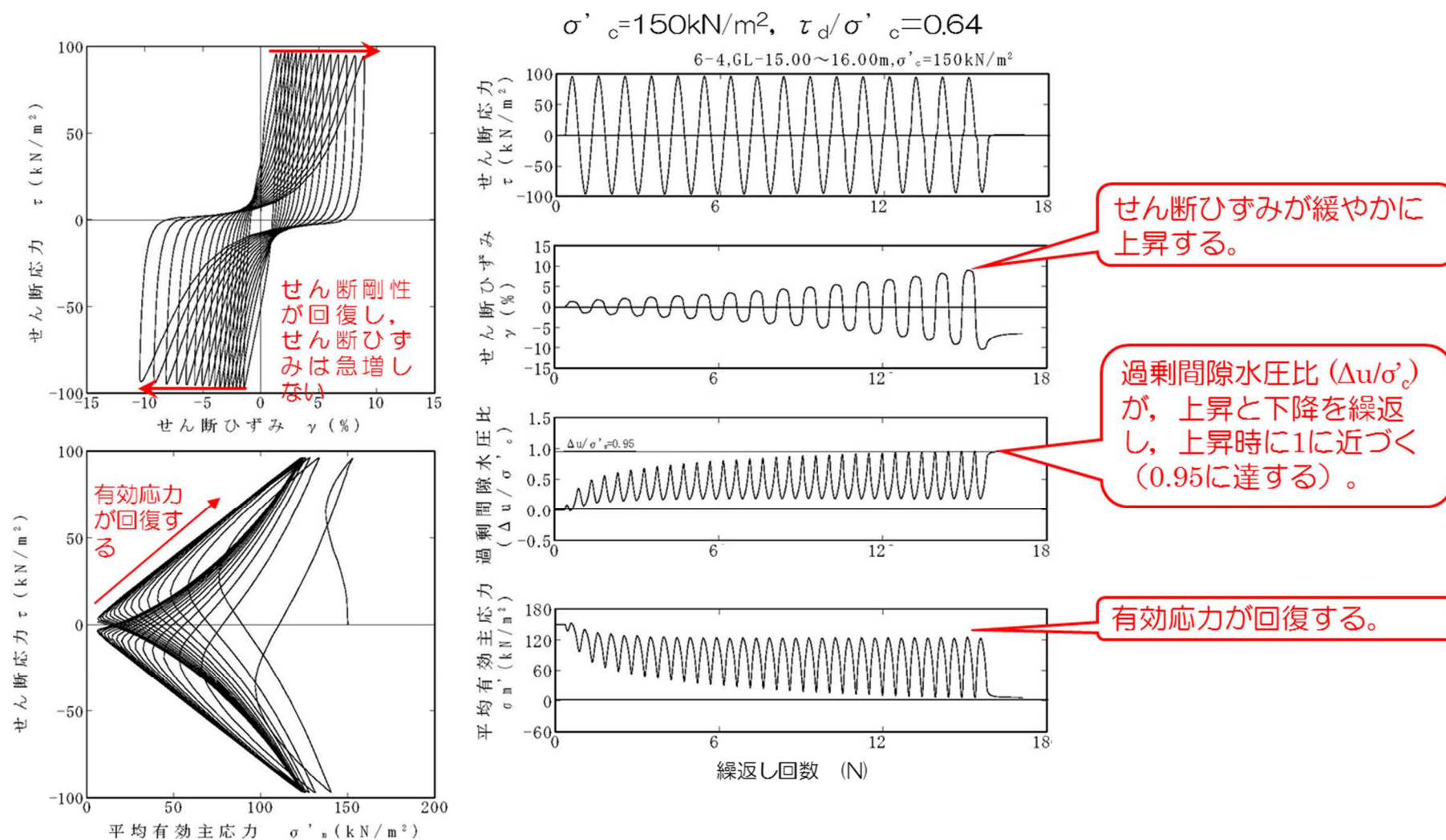


第 11-4-10 図 液状化試験結果の例 (A-1 地点の洪積砂層 I)

第 11-4-3 表 液状化試験結果（A-1 地点の洪積砂層Ⅱ）

| 試 料 番 号                               |                                |                     | #1-2-1      |      |      |      | #1-2-2      |      |      |      | #1-2-3      |      |      |      | #1-2-4      |      |      |      |
|---------------------------------------|--------------------------------|---------------------|-------------|------|------|------|-------------|------|------|------|-------------|------|------|------|-------------|------|------|------|
| 深 度 G.L.- (m)                         |                                |                     | 13.00~14.00 |      |      |      | 15.00~16.00 |      |      |      | 17.00~18.00 |      |      |      | 20.00~21.00 |      |      |      |
| 土 質 材 料                               |                                |                     | 洪積砂層Ⅱ       |      |      |      | 洪積砂層Ⅱ       |      |      |      | 洪積砂層Ⅱ       |      |      |      | 洪積砂層Ⅱ       |      |      |      |
| 供 試 体 No.                             |                                |                     | 1           | 2    | 3    | 4    | 1           | 2    | 3    | 4    | 1           | 2    | 3    | 4    | 1           | 2    | 3    | 4    |
| 土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )  |                                |                     | 2.714       |      |      |      | 2.688       |      |      |      | 2.684       |      |      |      | 2.685       |      |      |      |
| 圧密圧力 $\sigma_c'$ (kN/m <sup>2</sup> ) |                                |                     | 150         |      |      |      | 150         |      |      |      | 200         |      |      |      | 200         |      |      |      |
| せん断応力比 $\tau_d/\sigma_c'$             |                                |                     | 0.51        | 0.41 | 0.46 | 0.36 | 0.39        | 0.45 | 0.50 | 0.64 | 0.40        | 0.35 | 0.48 | 0.38 | 0.40        | 0.46 | 0.50 | 0.62 |
| 繰返回数                                  | せん断振幅<br>ひずみ                   | $\gamma_{DA}=1.5\%$ | 0.4         | 0.8  | 1    | 10   | 2           | 1.5  | 0.8  | 0.5  | 2           | 4.5  | 0.6  | 7    | 2           | 0.9  | 0.8  | 0.6  |
|                                       |                                | $\gamma_{DA}=2.0\%$ | 0.6         | 1    | 2    | 11   | 2.5         | 3.5  | 1    | 0.7  | 3.5         | 7.5  | 0.8  | 12   | 3.5         | 1.5  | 1.5  | 0.7  |
|                                       |                                | $\gamma_{DA}=3.0\%$ | 0.9         | 4    | 2.5  | 20   | 6           | 7    | 4    | 1    | 6.5         | 14   | 2    | 20   | 7           | 4.5  | 5    | 1.5  |
|                                       |                                | $\gamma_{DA}=7.5\%$ | 7           | 30   | 17   | 65   | 26          | 20   | 18   | 7    | 15          | 30   | 7    | 39   | 27          | 16   | 19   | 9    |
|                                       |                                | $\gamma_{DA}=15\%$  | 16          | 56   | 32   | 102  | 48          | 37   | 33   | 13   | 22          | 43   | 13   | 56   | 52          | 25   | 31   | 18   |
|                                       | 過剰間隙水圧比 95%<br>N <sub>95</sub> |                     | 16          | 40   | 22   | 61   | 31          | 27   | 24   | 14   | 19          | 33   | 13   | 42   | 31          | 22   | 30   | —    |

: 最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく（0.95を越えるもの）  
 下線：次ページに例示する試験結果

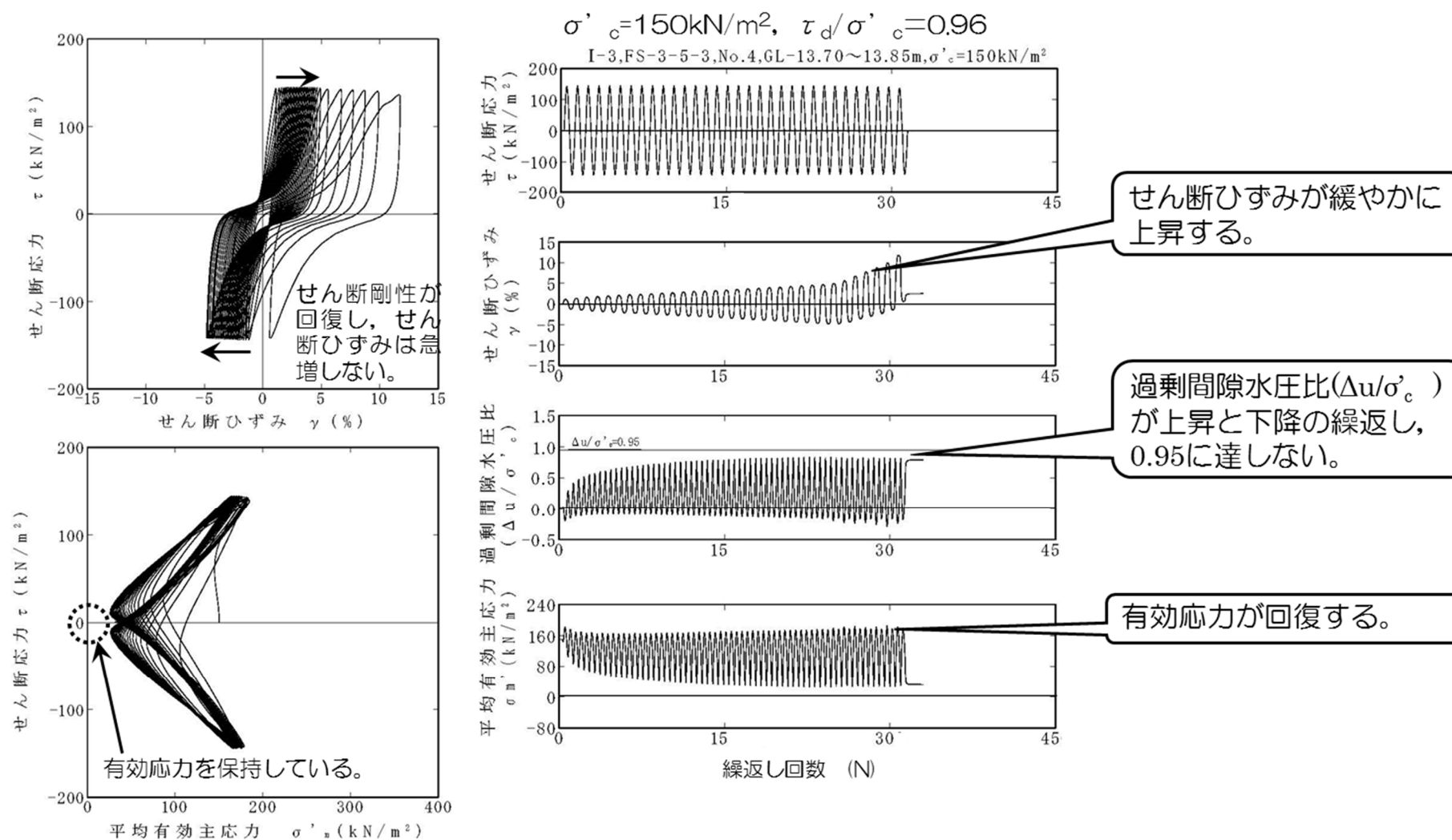


第 11-4-11 図 液状化試験結果の例 (A-1 地点の洪積砂層Ⅱ)

第 11-4-4 表 液状化試験結果（A-2 地点の洪積砂層 I）

| 試 料 番 号                               |                       |                | #4-1-1      |      |      |      | #4-1-2      |      |      |      | #4-1-3             |      |      |             |
|---------------------------------------|-----------------------|----------------|-------------|------|------|------|-------------|------|------|------|--------------------|------|------|-------------|
| 深 度 G.L.- (m)                         |                       |                | 13.20~14.14 |      |      |      | 13.36~13.99 |      |      |      | <u>13.21~13.85</u> |      |      |             |
| 土 質 材 料                               |                       |                | 洪積砂層 I      |      |      |      | 洪積砂層 I      |      |      |      | <u>洪積砂層 I</u>      |      |      |             |
| 供 試 体 No.                             |                       |                | 1           | 2    | 3    | 4    | 1           | 2    | 3    | 4    | 1                  | 2    | 3    | 4           |
| 土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )  |                       |                | 2.665       |      |      |      | 2.656       |      |      |      | <u>2.754</u>       |      |      |             |
| 圧密圧力 $\sigma'_c$ (kN/m <sup>2</sup> ) |                       |                | 150         |      |      |      | 150         |      |      |      | <u>150</u>         |      |      |             |
| せん断応力比 $\tau_d/\sigma'_c$             |                       |                | 0.60        | 0.43 | 0.92 | 1.18 | 0.79        | 1.03 | 1.20 | 0.61 | 1.01               | 0.71 | 0.81 | <u>0.96</u> |
| 繰返回数                                  | せん断振幅<br>すみ           | $r_{DA}=1.5\%$ | 10          | 5    | 0.7  | 0.4  | 0.9         | 0.5  | 0.4  | 9    | 0.5                | 0.9  | 0.6  | <u>0.6</u>  |
|                                       |                       | $r_{DA}=2.0\%$ | 23          | 9    | 1    | 0.5  | 3           | 0.6  | 0.6  | 18   | 0.7                | 2    | 0.8  | <u>0.9</u>  |
|                                       |                       | $r_{DA}=3.0\%$ | 44          | 21   | 4    | 0.7  | 13          | 0.9  | 0.9  | 37   | 1                  | 8    | 2    | <u>2.5</u>  |
|                                       |                       | $r_{DA}=7.5\%$ | 60          | 56   | 23   | 5    | 51          | 4.5  | 6.5  | 91   | 5                  | 43   | 17   | <u>18</u>   |
|                                       |                       | $r_{DA}=15\%$  | 71          | 62   | 35   | —    | 63          | 7    | 9    | —    | 7                  | —    | 29   | —           |
|                                       | 過剰間隙水圧比 95% $N_{u95}$ |                | —           | —    | —    | —    | —           | —    | —    | —    | —                  | —    | —    | —           |

下線：次ページに例示する試験結果



第 11-4-12 図 液状化試験結果の例 (A-2 地点の洪積砂層 I)

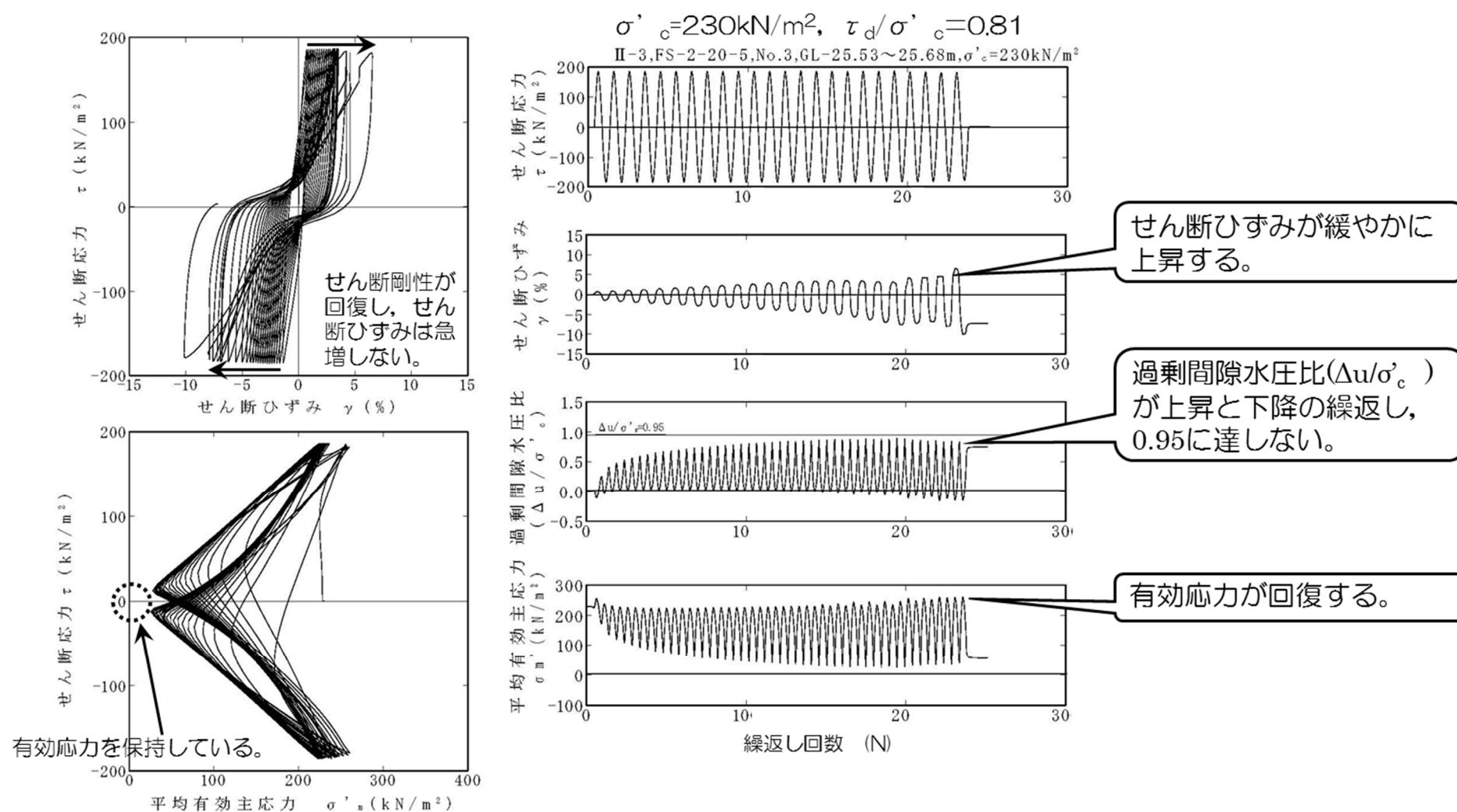


第 11-4-5 表 液状化試験結果（A-2 地点の洪積砂層Ⅱ）

| 試料番号                                  |                       |                | #4-2-1      |      |      |      | #4-2-2      |      |      |      | #4-2-3      |      |      |      |
|---------------------------------------|-----------------------|----------------|-------------|------|------|------|-------------|------|------|------|-------------|------|------|------|
| 深度 G.L.- (m)                          |                       |                | 20.20~21.96 |      |      |      | 21.96~22.62 |      |      |      | 25.15~26.23 |      |      |      |
| 土質材料                                  |                       |                | 洪積砂層Ⅱ       |      |      |      | 洪積砂層Ⅱ       |      |      |      | 洪積砂層Ⅱ       |      |      |      |
| 供試体 No.                               |                       |                | 1           | 2    | 3    | 4    | 1           | 2    | 3    | 4    | 1           | 2    | 3    | 4    |
| 土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )  |                       |                | 2.680       |      |      |      | 2.679       |      |      |      | 2.721       |      |      |      |
| 圧密圧力 $\sigma_c'$ (kN/m <sup>2</sup> ) |                       |                | 230         |      |      |      | 230         |      |      |      | 230         |      |      |      |
| せん断応力比 $\tau_d/\sigma_c'$             |                       |                | 0.42        | 0.80 | 0.63 | 0.36 | 0.57        | 0.66 | 0.80 | 0.70 | 0.71        | 0.86 | 0.81 | 0.76 |
| 繰<br>返<br>回<br>数                      | せん断ひすみ<br>両振幅         | $r_{DA}=1.5\%$ | 1.5         | 0.3  | 0.8  | 200  | 2.5         | 0.9  | 0.3  | 0.3  | 2           | 0.8  | 0.7  | 0.9  |
|                                       |                       | $r_{DA}=2.0\%$ | 3.5         | 0.4  | 1.5  | —    | 6           | 2    | 0.5  | 0.4  | 5.5         | 1.5  | 1    | 2.5  |
|                                       |                       | $r_{DA}=3.0\%$ | 7           | 0.7  | 3.5  | —    | 14          | 5.5  | 0.7  | 0.6  | 17          | 4.5  | 3    | 6    |
|                                       |                       | $r_{DA}=7.5\%$ | 20          | 3    | 15   | —    | 46          | 22   | 3.5  | 2    | 74          | 17   | 14   | 22   |
|                                       |                       | $r_{DA}=15\%$  | —           | 7.5  | —    | —    | 78          | —    | 6.5  | 4.5  | 110         | —    | 24   | 36   |
|                                       | 過剰間隙水圧比 95% $N_{u95}$ |                | —           | —    | —    | —    | 61          | —    | —    | —    | 87          | —    | —    | —    |

  ：最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく（0.95を越えるもの）  
 下線：次ページに例示する試験結果



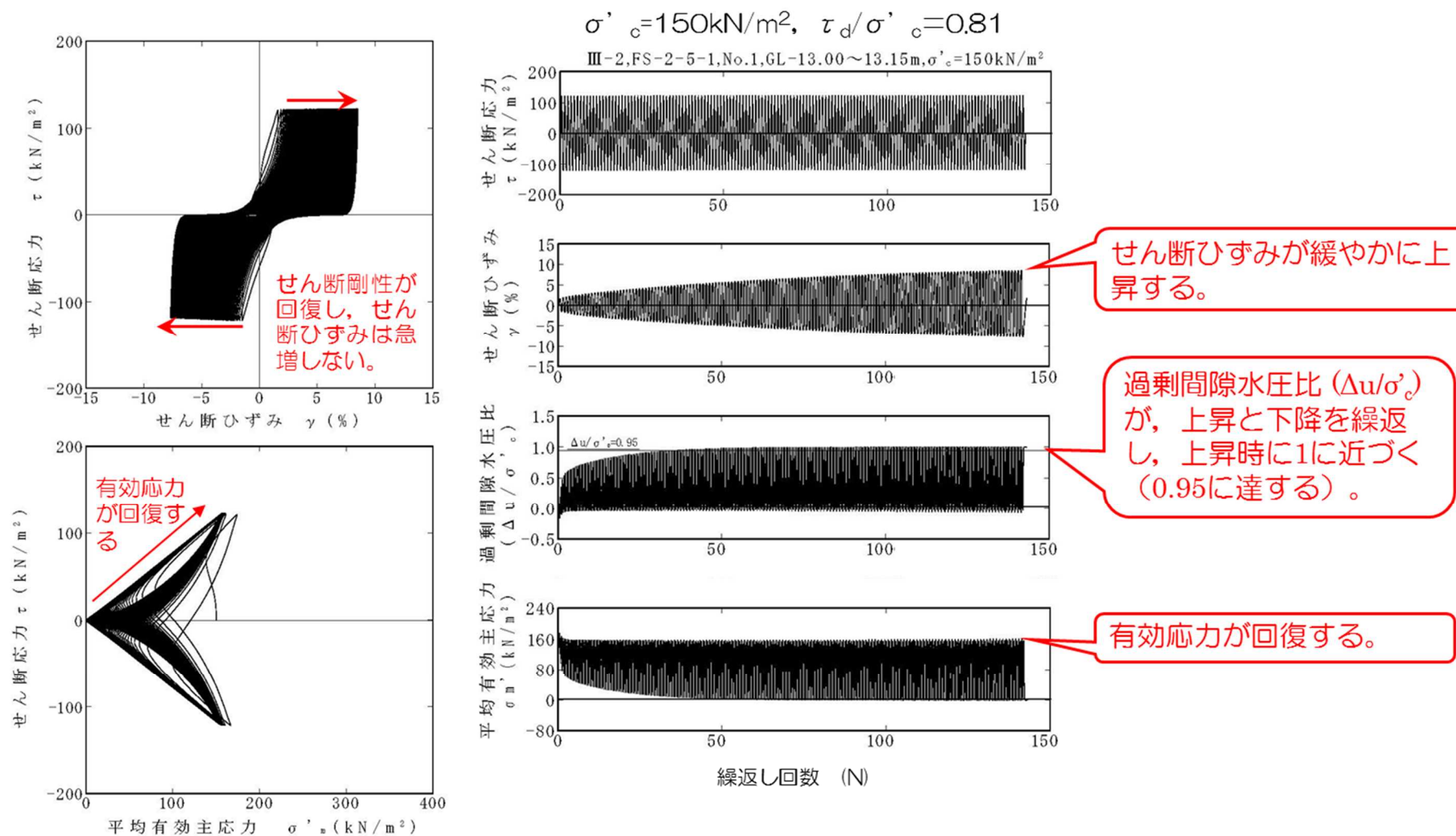


第 11-4-13 図 液状化試験結果の例 (A-2 地点の洪積砂層 II)

第 11-4-6 表 液状化試験結果 (A-3 地点の新期砂層・沖積層)

| 試 料 番 号                               |                       |                | #4-3-1      |      |      |      | #4-3-2             |      |      |      | #4-3-3      |      |      |      |
|---------------------------------------|-----------------------|----------------|-------------|------|------|------|--------------------|------|------|------|-------------|------|------|------|
| 深 度 G.L.- (m)                         |                       |                | 13.04~13.51 |      |      |      | <u>13.00~13.68</u> |      |      |      | 14.96~15.43 |      |      |      |
| 土 質 材 料                               |                       |                | 新期砂層・沖積層    |      |      |      | 新期砂層・沖積層           |      |      |      | 新期砂層・沖積層    |      |      |      |
| 供 試 体 No.                             |                       |                | 1           | 2    | 3    | 4    | <u>1</u>           | 2    | 3    | 4    | 1           | 2    | 3    | 4    |
| 土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )  |                       |                | 2.719       |      |      |      | <u>2.780</u>       |      |      |      | 2.685       |      |      |      |
| 圧密圧力 $\sigma'_c$ (kN/m <sup>2</sup> ) |                       |                | 150         |      |      |      | <u>150</u>         |      |      |      | 150         |      |      |      |
| せん断応力比 $\tau_d/\sigma'_c$             |                       |                | 0.81        | 0.70 | 0.62 | 0.49 | <u>0.81</u>        | 0.91 | 0.72 | 0.54 | 0.60        | 0.81 | 0.70 | 1.02 |
| 繰返回数                                  | せん断ひずみ<br>両振幅         | $r_{DA}=1.5\%$ | 0.5         | 0.6  | 0.7  | 2    | <u>0.5</u>         | 0.3  | 0.6  | 0.9  | 0.8         | 0.3  | 0.7  | 0.3  |
|                                       |                       | $r_{DA}=2.0\%$ | 0.6         | 0.8  | 0.9  | 3.5  | <u>0.7</u>         | 0.4  | 0.8  | 1.5  | 1.5         | 0.5  | 0.9  | 0.4  |
|                                       |                       | $r_{DA}=3.0\%$ | 0.9         | 2    | 2    | 8.5  | <u>1</u>           | 0.6  | 2    | 4    | 5           | 0.7  | 3    | 0.5  |
|                                       |                       | $r_{DA}=7.5\%$ | 15          | 19   | 18   | 50   | <u>24</u>          | 9    | 24   | 21   | 32          | 9    | 22   | 8    |
|                                       |                       | $r_{DA}=15\%$  | 76          | 96   | 53   | 146  | <u>112</u>         | 91   | 77   | 65   | 94          | 43   | 60   | 77   |
|                                       | 過剰間隙水圧比 95% $N_{u95}$ |                | 28          | 28   | 30   | 40   | <u>38</u>          | 44   | 34   | 24   | 38          | 25   | 28   | 39   |

: 最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく (0.95を越えるもの)  
 下線: 次ページに例示する試験結果

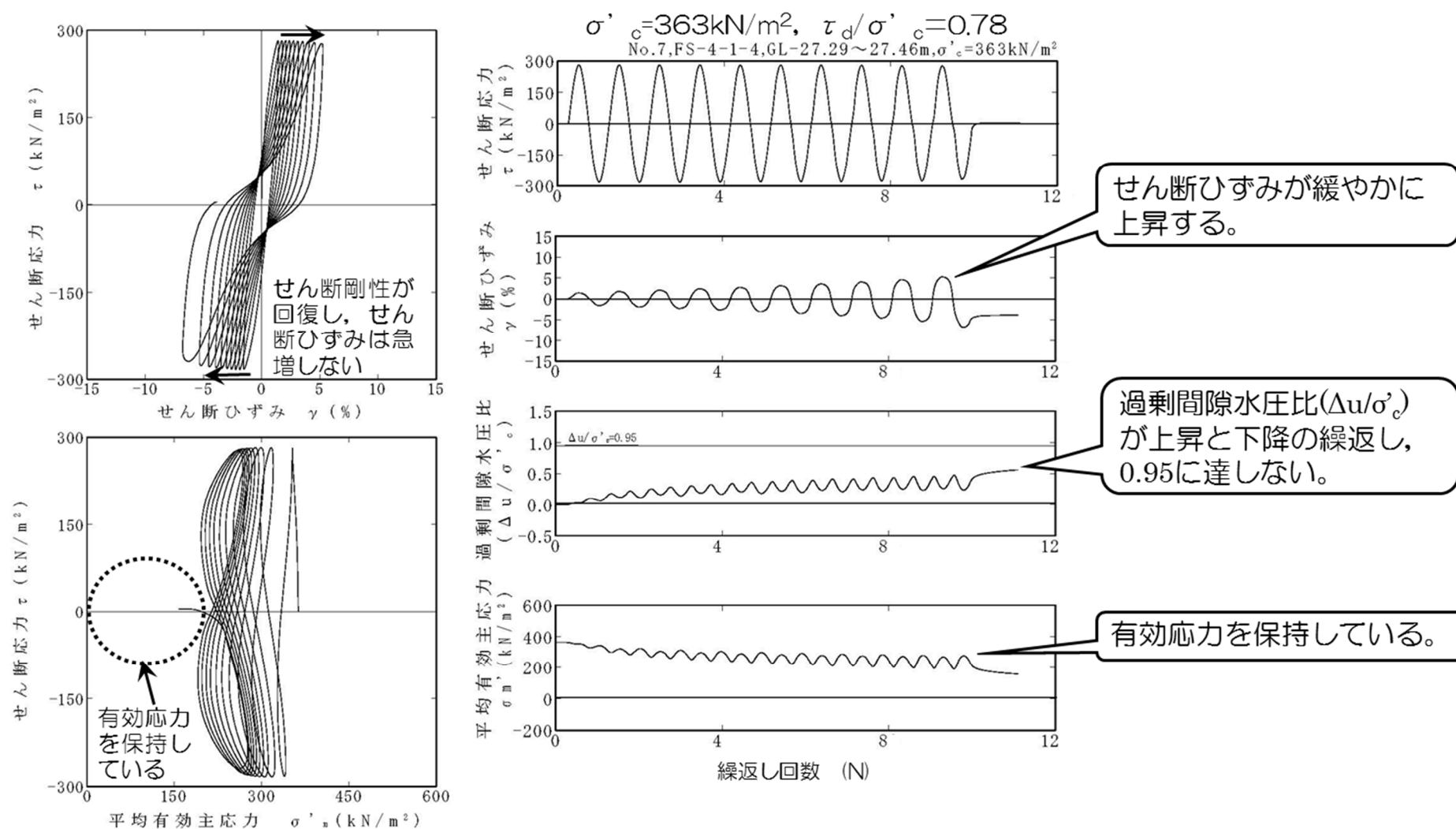


第 11-4-14 図 液状化試験結果の例 (A-3 地点の新期砂層・沖積層)

第 11-4-7 表 液状化試験結果（O-1 地点の洪積砂質土層 I）

| 試 料 番 号                               |                       |                | #6-1-1      |      |      |      | #6-1-2             |      |             |      | #6-1-3      |      |      |      |
|---------------------------------------|-----------------------|----------------|-------------|------|------|------|--------------------|------|-------------|------|-------------|------|------|------|
| 深 度 G.L.- (m)                         |                       |                | 27.68~28.16 |      |      |      | <u>26.95~27.63</u> |      |             |      | 26.88~27.48 |      |      |      |
| 土 質 材 料                               |                       |                | 洪積砂質土層 I    |      |      |      | <u>洪積砂質土層 I</u>    |      |             |      | 洪積砂質土層 I    |      |      |      |
| 供 試 体 No.                             |                       |                | 1           | 2    | 3    | 4    | 1                  | 2    | <u>3</u>    | 4    | 1           | 2    | 3    | 4    |
| 土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )  |                       |                | 2.649       |      |      |      | <u>2.677</u>       |      |             |      | 2.669       |      |      |      |
| 圧密圧力 $\sigma'_c$ (kN/m <sup>2</sup> ) |                       |                | 363         |      |      |      | <u>363</u>         |      |             |      | 363         |      |      |      |
| せん断応力比 $\tau_d/\sigma'_c$             |                       |                | 0.51        | 0.60 | 0.78 | 0.64 | 0.51               | 0.61 | <u>0.78</u> | 0.68 | 0.51        | 0.46 | 0.35 | 0.64 |
| 繰返回数                                  | せん断振幅<br>ひすみ          | $r_{DA}=1.5\%$ | 8.5         | 0.9  | 0.5  | 0.7  | 0.9                | 0.7  | <u>0.5</u>  | 0.5  | 0.5         | 42   | 200> | 0.9  |
|                                       |                       | $r_{DA}=2.0\%$ | 18          | 5.5  | 0.7  | 0.9  | 6                  | 1    | <u>0.7</u>  | 0.7  | 0.7         | 200> | -    | 3.5  |
|                                       |                       | $r_{DA}=3.0\%$ | 30          | 26   | 1.5  | 2    | 35                 | 12   | <u>1</u>    | 1    | 1           | -    | -    | 15   |
|                                       |                       | $r_{DA}=7.5\%$ | 54          | 71   | 5    | 7    | 121                | 46   | <u>7</u>    | 6    | 8.5         | -    | -    | 45   |
|                                       |                       | $r_{DA}=15\%$  | -           | -    | -    | -    | 127                | 53   | -           | -    | 12          | -    | -    | -    |
|                                       | 過剰間隙水圧比 95% $N_{u95}$ |                | -           | -    | -    | -    | -                  | -    | -           | -    | -           | -    | -    | -    |


     : 最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく（0.95を越えるもの）  
 下線：次ページに例示する試験結果

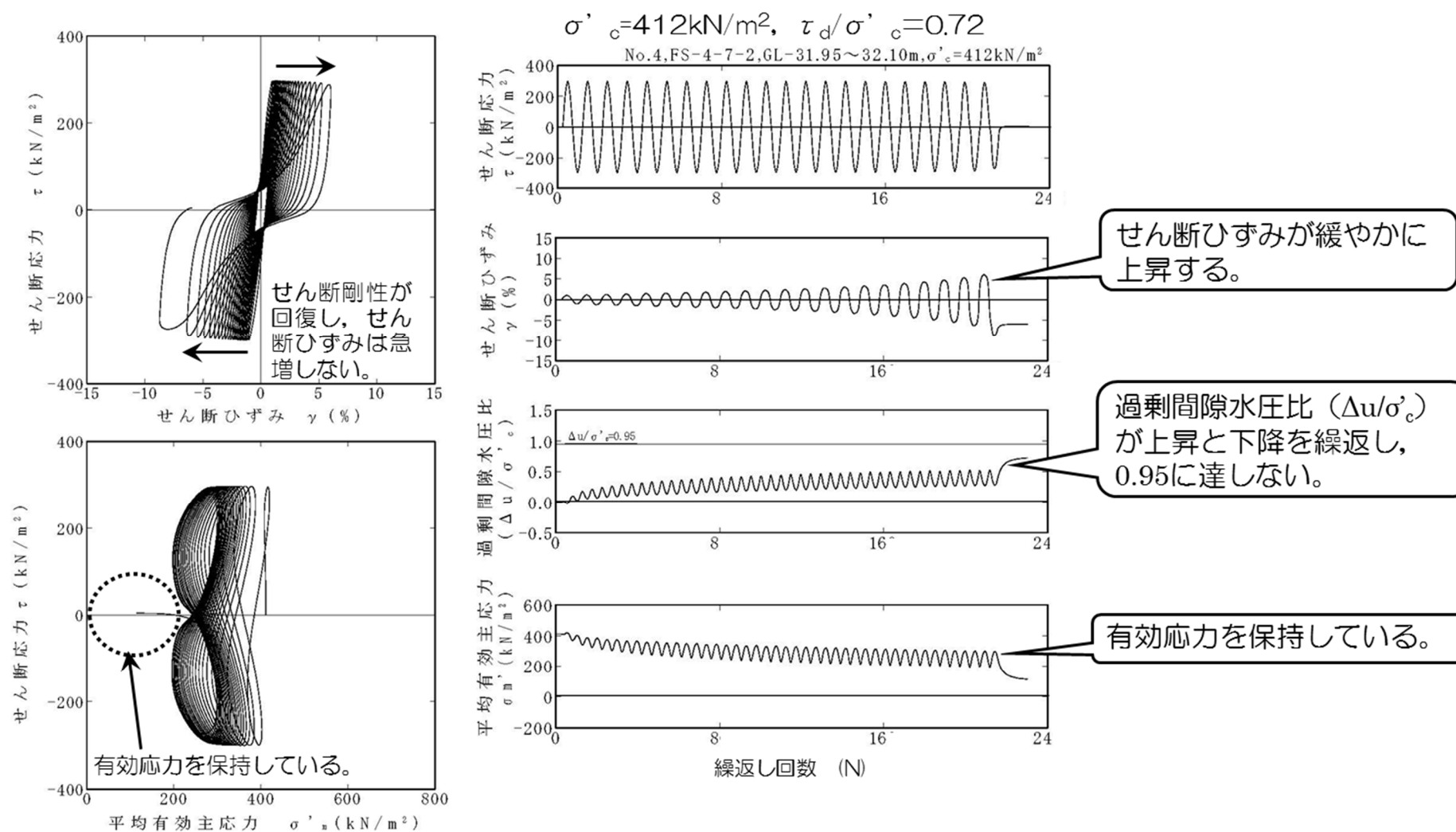


第 11-4-15 図 液状化試験結果の例 (O-1 地点の洪積砂質土層 I)

第 11-4-8 表 液状化試験結果 (O-1 地点の洪積砂質土層Ⅱ)









| 試 料 番 号                               |                          |                | #6-2-1      |      |      |      | #6-2-2      |      |      |      | #6-2-3      |      |      |      |
|---------------------------------------|--------------------------|----------------|-------------|------|------|------|-------------|------|------|------|-------------|------|------|------|
| 深 度 G.L.- (m)                         |                          |                | 31.65~34.75 |      |      |      | 32.10~32.95 |      |      |      | 32.95~33.55 |      |      |      |
| 土 質 材 料                               |                          |                | 洪積砂質土層Ⅱ     |      |      |      | 洪積砂質土層Ⅱ     |      |      |      | 洪積砂質土層Ⅱ     |      |      |      |
| 供 試 体 No.                             |                          |                | 1           | 2    | 3    | 4    | 1           | 2    | 3    | 4    | 1           | 2    | 3    | 4    |
| 土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )  |                          |                | 2.664       |      |      |      | 2.646       |      |      |      | 2.672       |      |      |      |
| 圧密圧力 $\sigma'_c$ (kN/m <sup>2</sup> ) |                          |                | 412         |      |      |      | 412         |      |      |      | 412         |      |      |      |
| せん断応力比 $\tau_d/\sigma'_c$             |                          |                | 0.59        | 0.52 | 0.79 | 0.72 | 0.51        | 0.58 | 0.69 | 0.64 | 0.57        | 0.53 | 0.70 | 0.65 |
| 繰返回数                                  | せん断振幅<br>面振幅<br>ひずみ      | $r_{DA}=1.5\%$ | 1.5         | 6.5  | 0.3  | 0.7  | 5.5         | 0.8  | 0.6  | 1    | 1           | 2    | 0.7  | 0.9  |
|                                       |                          | $r_{DA}=2.0\%$ | 5           | 11   | 0.5  | 1    | 24          | 1.5  | 0.9  | 5.5  | 4           | 6    | 1    | 2    |
|                                       |                          | $r_{DA}=3.0\%$ | 13          | 19   | 1    | 5    | 61          | 7    | 2.5  | 17   | 14          | 15   | 3.5  | 5    |
|                                       |                          | $r_{DA}=7.5\%$ | 36          | 38   | 2    | 17   | 111         | 25   | 8.5  | 38   | 37          | 34   | 9.5  | 16   |
|                                       |                          | $r_{DA}=15\%$  | -           | -    | -    | -    | 116         | 30   | -    | -    | 43          | 43   | 11   | -    |
|                                       | 過剰間隙水圧比 95%<br>$N_{u95}$ |                | -           | -    | -    | -    | -           | -    | -    | -    | -           | -    | -    | -    |

 : 最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく (0.95を越えるもの)  
 下線 : 次ページに例示する試験結果



第 11-4-16 図 液状化試験結果の例 (O-1 地点の洪積砂質土層 II)



| A-1 (埋戻土層)                                                                         | A-3 (新期砂層・沖積層)                                                                      | A-1 (洪積砂層Ⅰ)                                                                          | A-1 (洪積砂層Ⅱ)                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|   |   |   |   |
| 供試体側面にしわが確認される。                                                                    | 供試体側面にしわが確認される。                                                                     | 供試体側面にしわが確認される。                                                                      | 供試体側面に大きな変状は認められない。                                                                  |
| A-2 (洪積砂層Ⅰ)                                                                        | A-2 (洪積砂層Ⅱ)                                                                         | O-1 (洪積砂質土層Ⅰ)                                                                        | O-1 (洪積砂質土層Ⅱ)                                                                        |
|  |  |  |  |
| 供試体側面にせん断破壊による変状が認められる。                                                            | 供試体側面にせん断破壊による変状が認められる。                                                             | 供試体側面に大きな変状は認められない。                                                                  | 供試体側面に大きな変状は認められない。                                                                  |

第 11-4-17 図 液状化試験後の供試体状況



第 11-4-9 表 液状化試験結果のまとめ

|                          | A-1<br>埋戻<br>土層 | A-3<br>新期砂層<br>・沖積層                                        | A-1<br>洪積砂層Ⅰ    | A-1<br>洪積砂層Ⅱ    | A-2<br>洪積砂層Ⅰ    | A-2<br>洪積砂層Ⅱ    | O-1<br>洪積砂質土<br>層Ⅰ | O-2<br>洪積砂質土<br>層Ⅱ |
|--------------------------|-----------------|------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------|--------------------|
| 形成時期                     | -               | <div>新しい</div> <div>沖積層</div> <div>洪積層</div> <div>古い</div> |                 |                 |                 |                 |                    |                    |
| N値おおむね50以上               | ×               | ○                                                          | ○               | ×               | ×               | ○               | ○                  | ○                  |
| 平均相対密度80%以上              | ×               | ○                                                          | ○               | ○               | ○               | ○               | ○                  | ○                  |
| 液状化試験試料<br>採取深度 (GL m)   | -3.5～<br>-5.5   | -13.0～<br>-15.4                                            | -8.0～<br>-11.0  | -13.0～<br>-21.0 | -13.2～<br>-14.1 | -20.2～<br>-26.2 | -26.9～<br>-28.2    | -31.7～<br>-34.8    |
| 過剰間隙水圧比が<br>0.95※を上回らない。 | ×               | ×                                                          | ×               | ×               | ○               | ○               | ○                  | ○                  |
| 過剰間隙水圧比が回復<br>する。        | ×               | ○                                                          | ○               | ○               | ○               | ○               | ○                  | ○                  |
| せん断破壊発生の有無               | ×               | ×                                                          | ×               | ×               | ○               | ○               | ○                  | ○                  |
| 現象の整理                    | 液状化             | サイクリック<br>モビリティ                                            | サイクリックモ<br>ビリティ | サイクリックモ<br>ビリティ | 非液状化            | 非液状化            | 非液状化               | 非液状化               |

※JGS 0541-2000において過剰間隙水圧比0.95を液状化の目安としていることによる。

第 11-4-10 表 液状化試験結果の分類

| 対象層              | A-1（埋戻土層）                                                                                                               | A-1（洪積砂層Ⅰ）<br>A-1（洪積砂層Ⅱ）<br>A-3（新期砂層・沖積層）                                                                                                   | A-2（洪積砂層Ⅰ）<br>A-2（洪積砂層Ⅱ）<br>O-1（洪積砂質土層Ⅰ）<br>O-1（洪積砂質土層Ⅱ）                                                           |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 液状化試験の状況         | <ul style="list-style-type: none"> <li>過剰間隙水圧比が1.0に近づく（0.95を上回る）。</li> <li>有効応力がゼロになる。</li> <li>ひずみが急激に上昇する。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し、上昇時に1.0に近づく（0.95を上回る）。</li> <li>有効応力が減少するが、回復する。</li> <li>ひずみが緩やかに上昇する。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>過剰間隙水圧比が0.95を上回らない。</li> <li>有効応力を保持している。</li> <li>ひずみが緩やかに上昇する。</li> </ul> |
| 試験結果の分類          | 試験結果は、液状化である。                                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>試験結果は、サイクリックモビリティである。</li> <li>有効応力が回復するため支持力が期待できる。</li> </ul>                                      | 試験結果は、非液状化である。                                                                                                     |
| 基準地震動Ssに対する液状化判定 | 基準地震動Ssに対する液状化判定（F <sub>L</sub> 法）を実施                                                                                   | 基準地震動Ssに対する液状化試験の妥当性確認                                                                                                                      |                                                                                                                    |

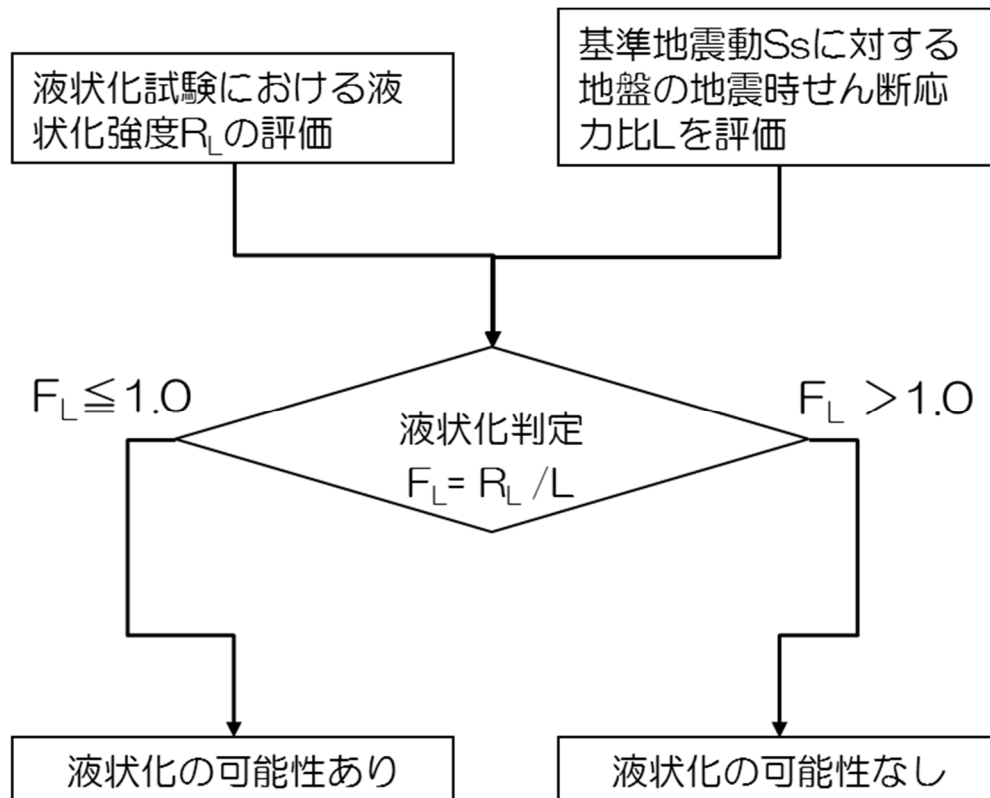
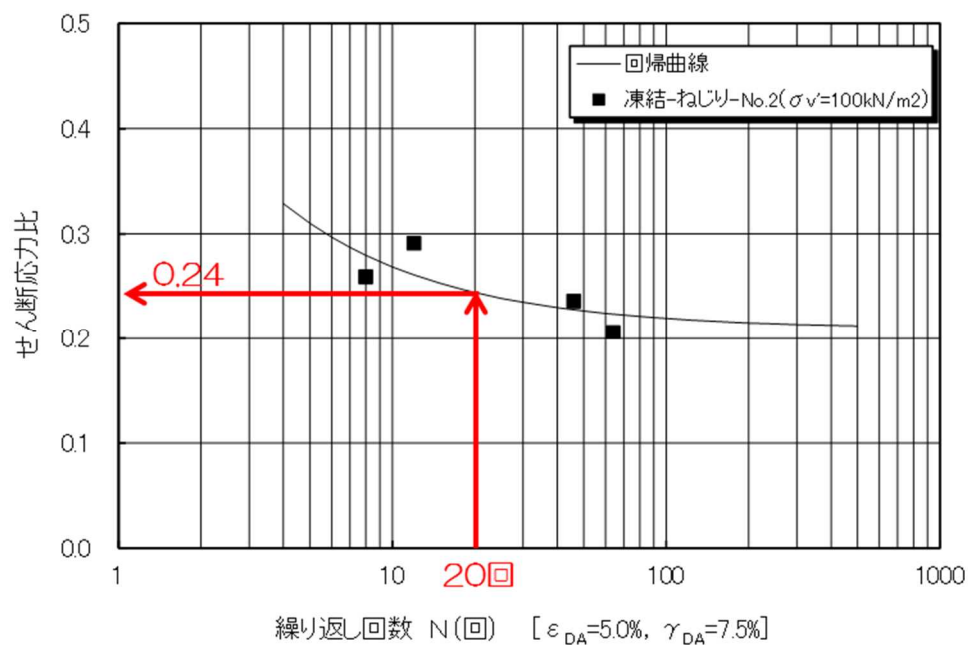
## 5. 基準地震動 $S_s$ に対する液状化判定（ $F_L$ 法）

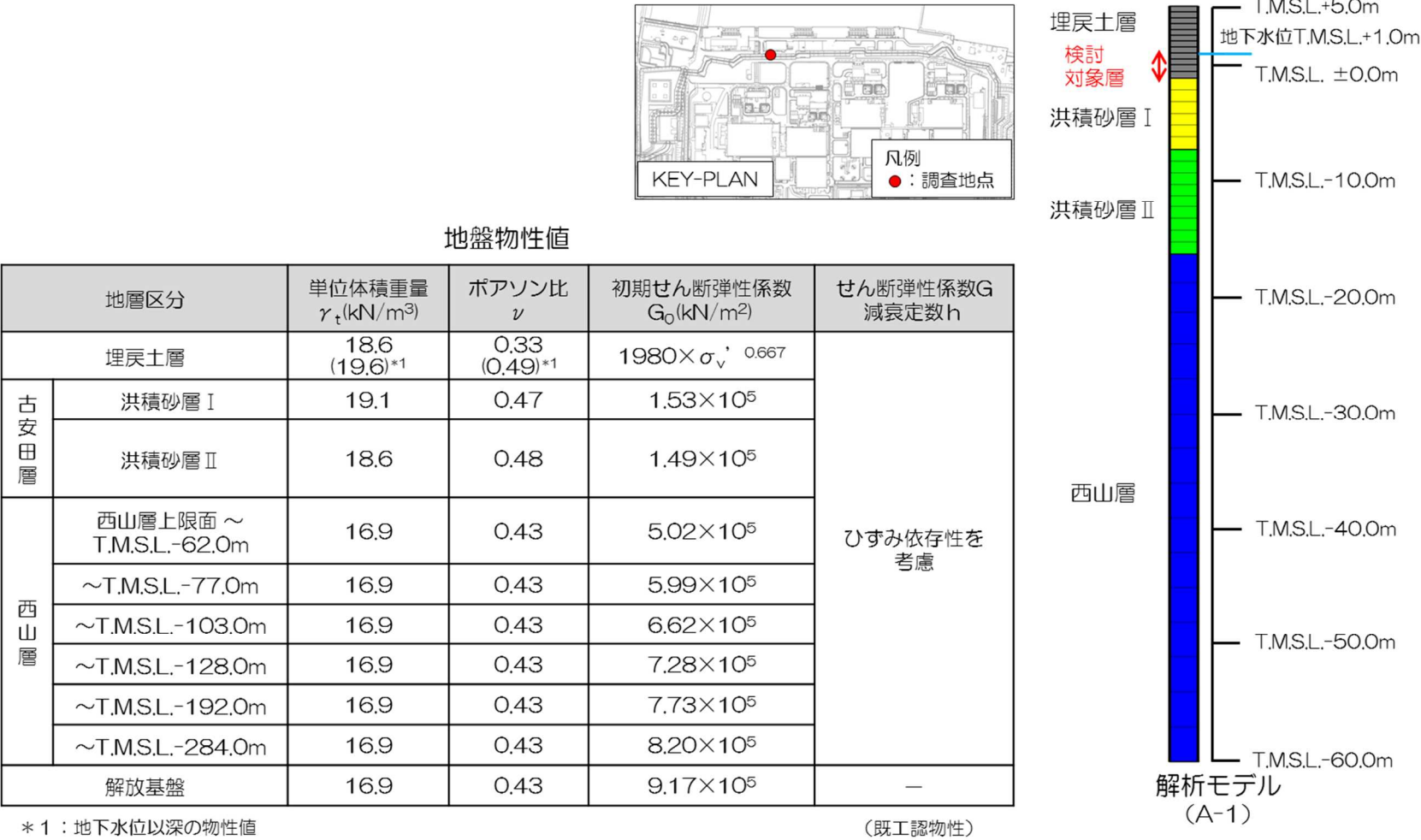
A-1 地点の埋戻土層については液状化試験結果が液状化を示していることから道路橋示方書の液状化判定（ $F_L$  法）を実施し、基準地震動  $S_s$  作用時の液状化の有無を判定する。第 11-5-1 図に  $F_L$  法による液状化判定のフローを示す。

液状化判定（ $F_L$  法）に用いる A-1 地点の埋戻土層の液状化強度  $R_L$  は、先述の液状化試験結果に基づいて設定する。第 11-5-2 図に液状化試験結果に基づく液状化強度  $R_L$  を示す。

基準地震動  $S_s$  が作用した際の A-1 地点の埋戻土層に発生するせん断応力比を一次元逐次非線形解析より求める。第 11-5-3 図に解析用物性値および解析モデルを、第 11-5-4 図に地震応答解析結果を示す。

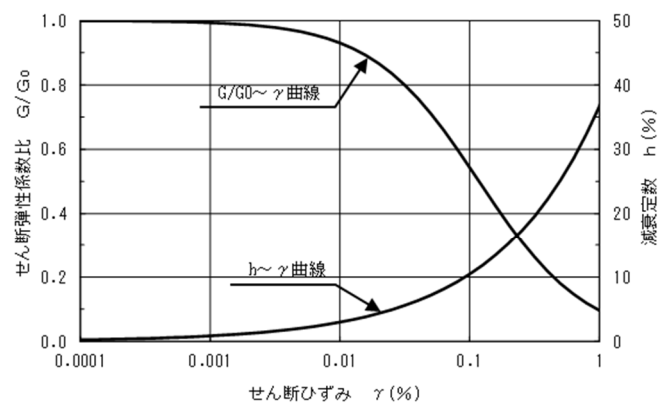
地震応答解析結果における最大せん断応力と液状化試験から求まる液状化強度  $R_L$  を比較し、第 11-5-1 表に示す。液状化判定（ $F_L$  法）の結果、A-1 地点の埋戻土層は、全ての基準地震動  $S_s$  に対して液状化する可能性があるとは判断される。

第 11-5-1 図  $F_L$  法による液状化判定のフロー第 11-5-2 図 液状化試験結果に基づく液状化強度  $R_L$  (埋戻土層)

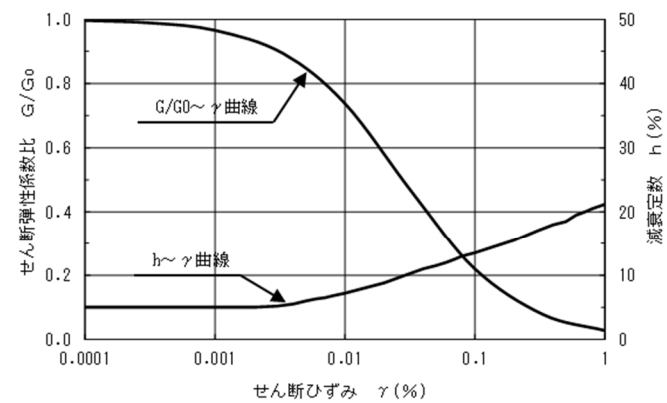


(a) 基本物性

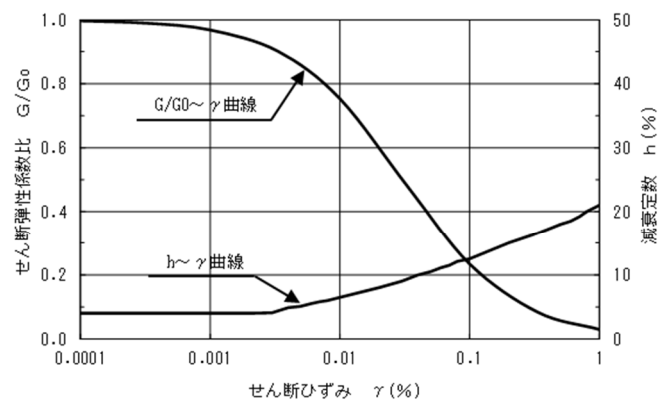
第 11-5-3 図 解析用物性値および解析モデル (A-1 地点)



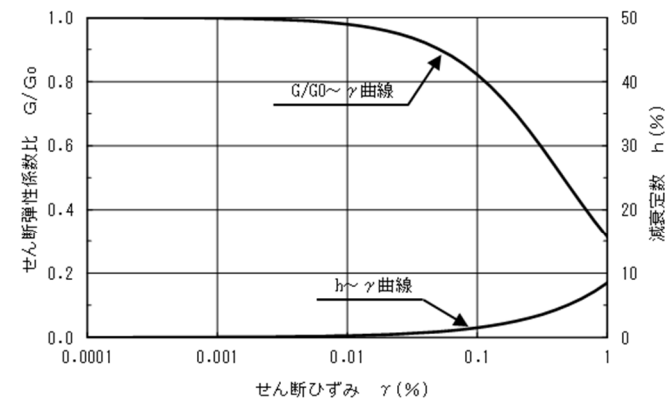
埋戻土層



洪積砂層 I



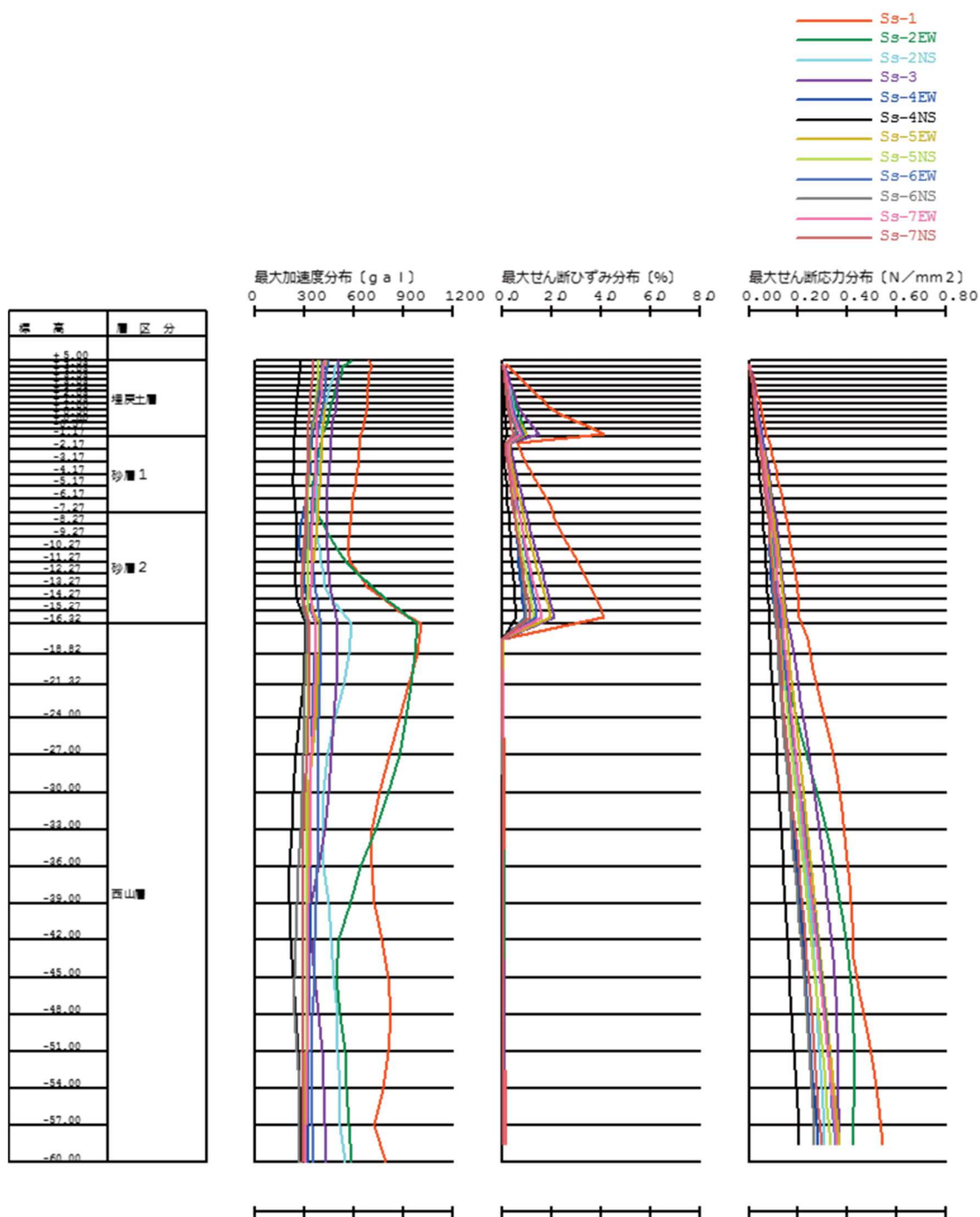
洪積砂層 II



西山層

(b) せん断剛性および減衰のひずみ依存性

第 11-5-3 図 解析用物性値および解析モデル (A-1 地点)



第 11-5-1 表 埋戻土層の液状化判定（F<sub>L</sub>法）結果

| 基準<br>地震動 Ss | 最大せん断応力比<br>L | 液状化強度<br>R <sub>L</sub> | F <sub>L</sub> 値<br>=R <sub>L</sub> /L | 評価  |
|--------------|---------------|-------------------------|----------------------------------------|-----|
| Ss1          | 0.76          | 0.24                    | 0.32                                   | 液状化 |
| Ss2EW        | 0.51          |                         | 0.47                                   | 液状化 |
| Ss2NS        | 0.47          |                         | 0.51                                   | 液状化 |
| Ss3          | 0.57          |                         | 0.42                                   | 液状化 |
| Ss4EW        | 0.44          |                         | 0.55                                   | 液状化 |
| Ss4NS        | 0.30          |                         | 0.80                                   | 液状化 |
| Ss5EW        | 0.51          |                         | 0.47                                   | 液状化 |
| Ss5NS        | 0.44          |                         | 0.55                                   | 液状化 |
| Ss6EW        | 0.49          |                         | 0.49                                   | 液状化 |
| Ss6NS        | 0.43          |                         | 0.56                                   | 液状化 |
| Ss7EW        | 0.47          |                         | 0.51                                   | 液状化 |
| Ss7NS        | 0.40          |                         | 0.60                                   | 液状化 |



## 6. 基準地震動 Ss に対する液状化試験の妥当性確認

新期砂層・沖積層および古安田層中の砂層については、試験結果が液状化を示さず、道路橋示方書の液状化判定方法が適用出来ないと考えられる。このため、液状化試験が基準地震動 Ss 相当の地盤の状態（繰返し応力および繰返し回数）を模擬していることを確認する。第 11-6-1 図に累積損傷度理論に基づく評価のフローを、第 11-6-2 図に累積損傷度理論に基づく等価繰返し回数の評価方法を示す。

なお、埋戻土層においては、5 章に示した FL 法の判定結果から、基準地震動 Ss において地盤に発生するせん断応力比よりも小さいせん断応力比で液状化する結果となっている。

評価にあつて、液状化試験箇所である A-1 地点、A-2 地点、A-3 地点および O-1 地点の地盤モデルを用いて、一次元逐次非線形解析を実施した。第 11-5-3 図、第 11-6-3 図および第 11-6-4 図に各地点の解析用物性値および解析モデルを示す。また、評価結果を第 11-6-1 表および第 11-6-5～11 図に示す。

A-1 地点の洪積砂層 I について、解析結果による最大せん断応力比と等価繰返し回数は、試験で実施したせん断応力および繰返し回数と同程度であり、概ね基準地震動 Ss 相当の試験が実施出来ていると考える。低拘束圧部の基準地震動 Ss-4NS で地盤に発生するせん断応力比は、試験結果の回帰曲線で設定した下限値（繰返し回数 200 回のせん断応力比）以下となっており、等価繰返し回数の評価対象外であるが、液状化試験はこのせん断応力比を上回るレベルで実施出来ている。（第 11-6-5 図参照）

A-1 地点の洪積砂層 II について、解析結果による最大せん断応力比と等価繰返し回数は、試験で実施したせん断応力および繰返し回数と同程度であり、概ね基準地震動 Ss 相当の試験が実施出来ていると考える。（第 11-6-6 図参照）

A-2 地点の洪積砂層 I について、解析結果による最大せん断応力比と等価繰返し回数は、試験で実施したせん断応力および繰返し回数と同程度であり、概ね基準地震動 Ss 相当の試験が実施出来ていると考える。Ss-1、Ss-3 および Ss-5EW 以外の基準地震動 Ss で地盤に発生するせん断応力比は、試験結果の回帰曲線で設定した下限値（繰返し回数 200 回のせん断応力比）以下となっており、等価繰返し回数の評価対象外であるが、液状化試験はこのせん断応力比を上回るレベルで実施出来ている。（第 11-6-7 図参照）

A-2 地点の洪積砂層 II について、解析結果による最大せん断応力比と等価繰返し回数は、試験で実施したせん断応力および繰返し回数と同程度であり、概ね基準地震動 Ss 相当の試験が実施出来ていると考える。Ss-2NS、Ss-4EW、Ss-4NS、Ss-5NS、Ss-6EW、Ss-6NS および Ss-7NS で地盤に発生するせん断応力比は、試験結果の回帰曲線で設定した下限値（繰返し回数 200 回のせん断応力比）以下となっており、等価繰返し回数の評価対象外である

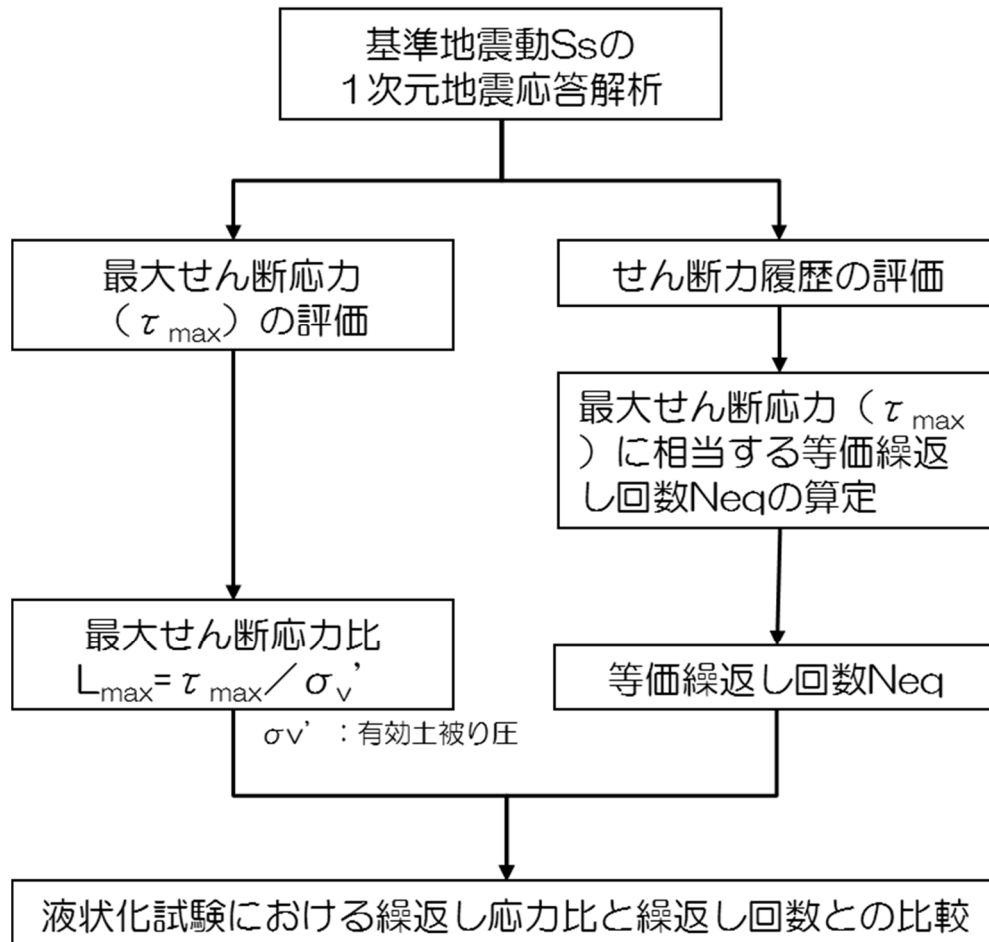
が、液状化試験はこのせん断応力比を上回るレベルで実施出来ている。(第 11-6-8 図参照)

A-3 地点の新期砂層・沖積層について、解析結果による最大せん断応力比と等価繰返し回数は、試験で実施したせん断応力および繰返し回数と同程度であり、概ね基準地震動 Ss 相当の試験が実施出来ていると考える。Ss-4NS で地盤に発生するせん断応力比は、試験結果の回帰曲線で設定した下限値（繰返し回数 200 回のせん断応力比）以下となっており、等価繰返し回数の評価対象外であるが、液状化試験はこのせん断応力比を上回るレベルで実施出来ている。(第 11-6-9 図参照)

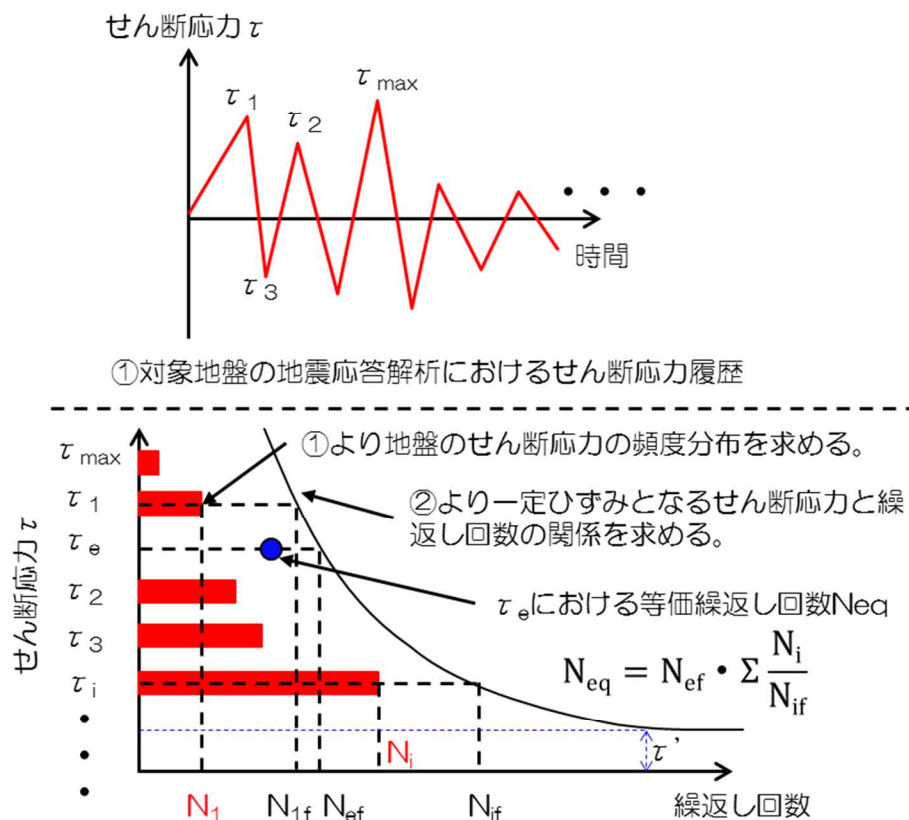
O-1 地点の洪積砂質土層 I について、全ての基準地震動 Ss で地盤に発生するせん断応力比は、試験結果の回帰曲線で設定した下限値（繰返し回数 200 回のせん断応力比）以下となっており、等価繰返し回数の評価対象外であるが、液状化試験はこのせん断応力比を上回るレベルで実施出来ている。(第 11-6-10 図参照)

O-1 地点の洪積砂質土層 II について、全ての基準地震動 Ss で地盤に発生するせん断応力比は、試験結果の回帰曲線で設定した下限値（繰返し回数 200 回のせん断応力比）以下となっており、等価繰返し回数の評価対象外であるが、液状化試験はこのせん断応力比を上回るレベルで実施出来ている。(第 11-6-11 図参照)

新期砂層・沖積層および古安田層中の砂層における液状化試験の結果は、基準地震動 Ss 時の最大せん断応力比および等価繰返し回数と同程度である。よって、今回実施した試験は、当該地盤に基準地震動 Ss 相当が作用した状態を概ね再現できている判断される。

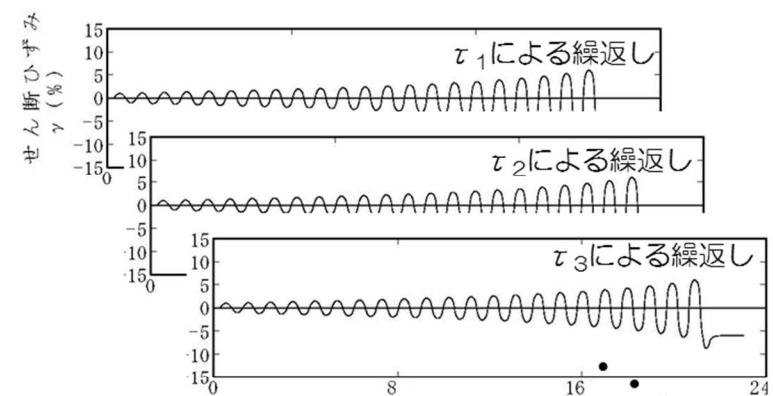


第 11-6-1 図 累積損傷度理論に基づく等価繰返し回数の評価のフロー

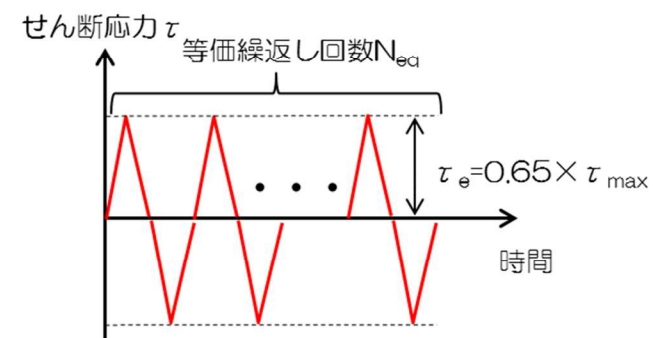


③累積損傷度理論に基づく等価繰返し回数の評価方法

$\tau'$  : あるレベル以下のせん断応力については、累積損傷度に寄与しないため、評価対象外とする。本検討では、液状化試験の最大繰返し回数 200 回に相当するせん断応力を設定した。

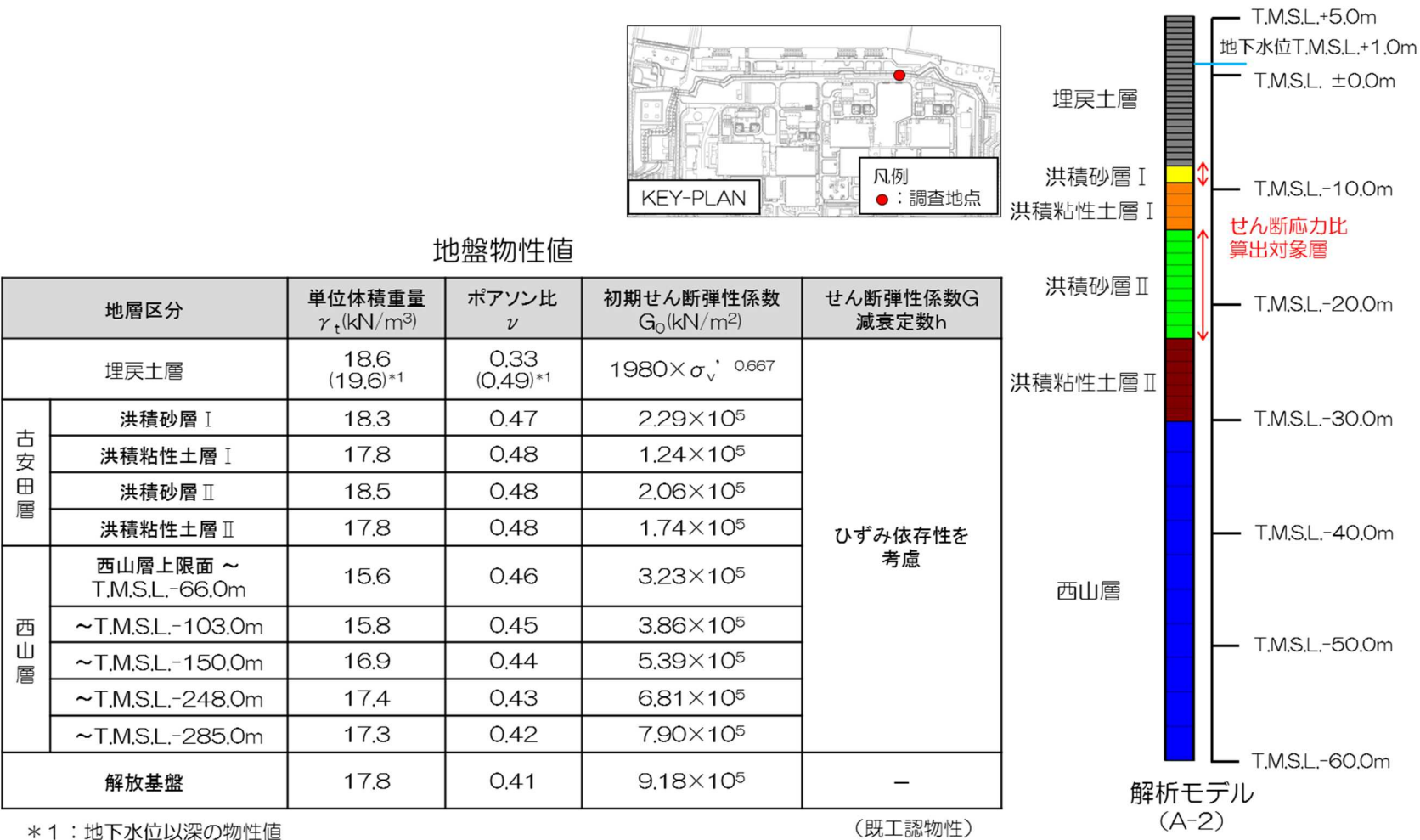


②試験による一定せん断応力振幅時の繰返し回数とせん断ひずみ



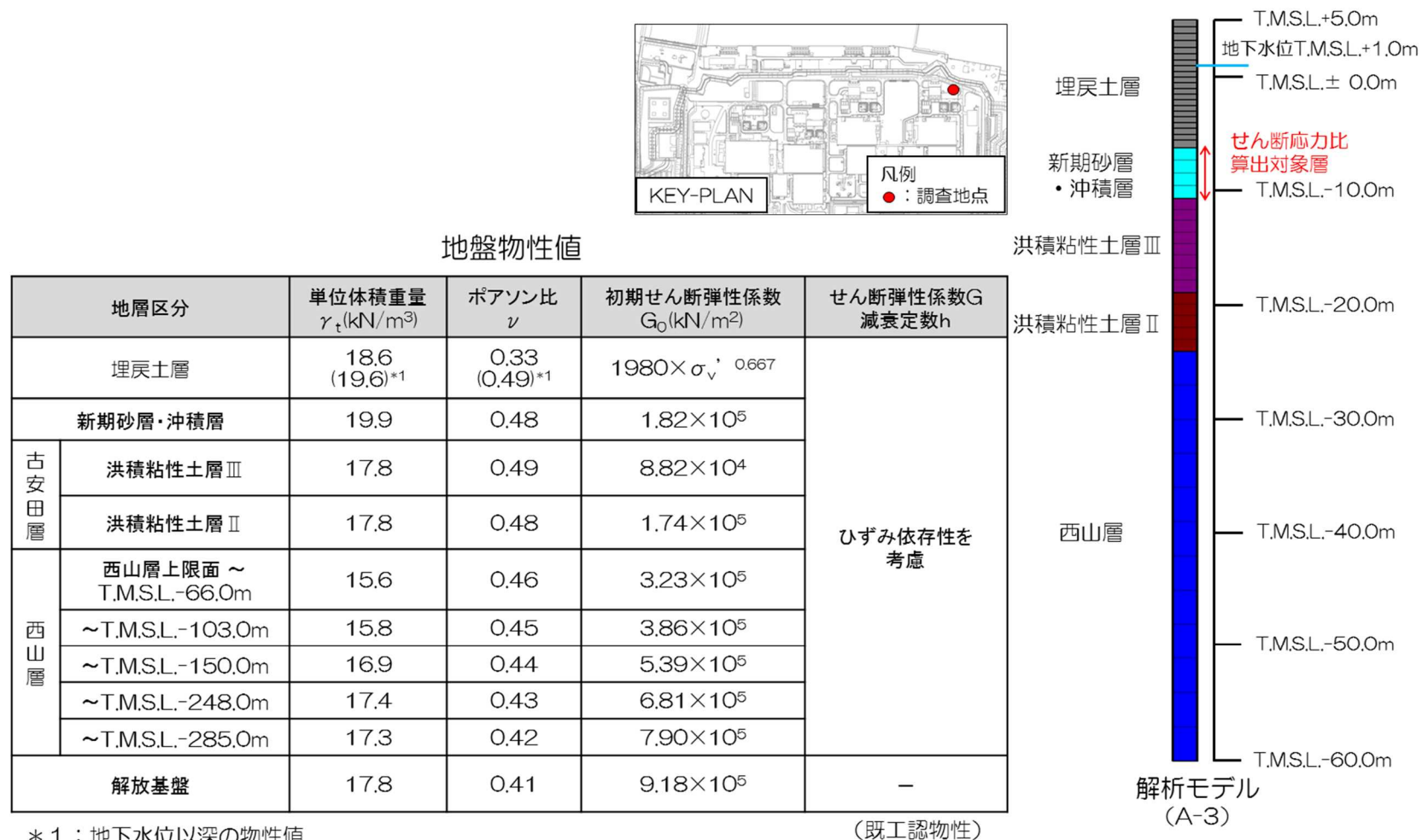
④対象地盤の地震応答解析と等価な一定せん断応力比と等価繰返し回数

第 11-6-2 図 累積損傷度理論に基づく等価繰返し回数の評価方法



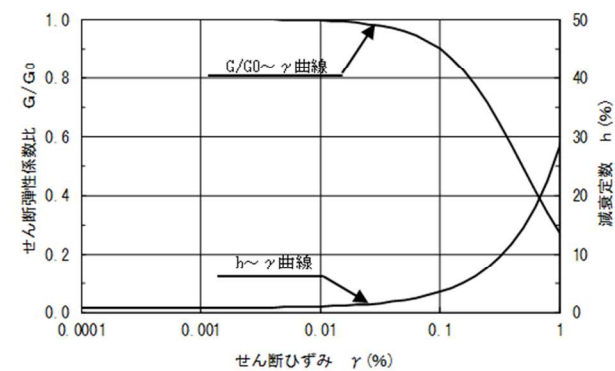
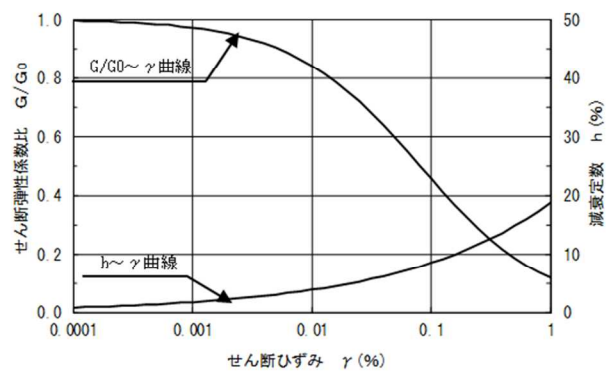
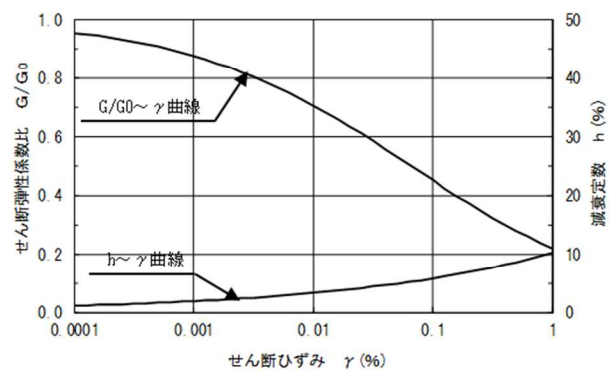
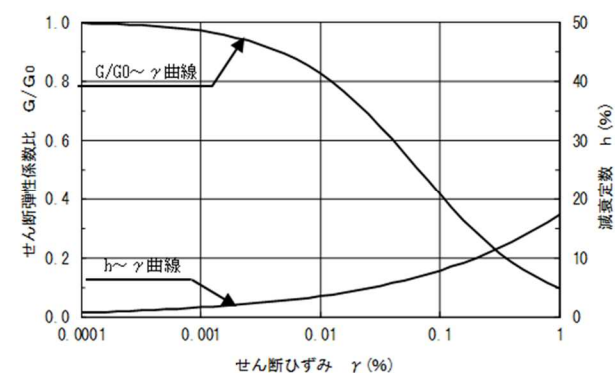
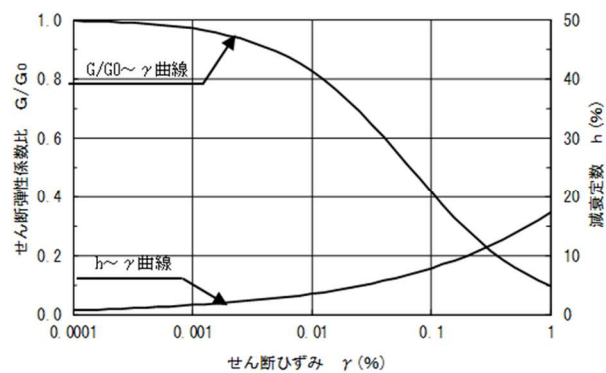
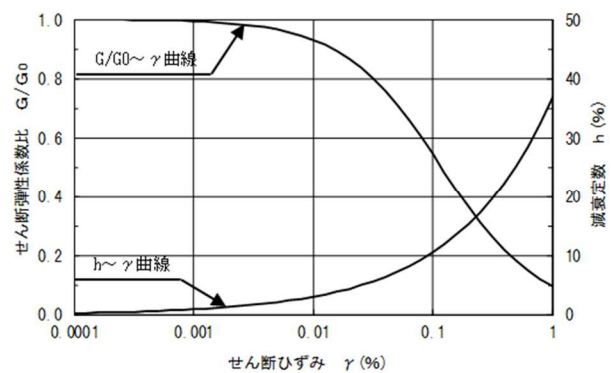
(a) 基本物性 (A-2 地点)

第 11-6-3 図 解析用物性値および解析モデル



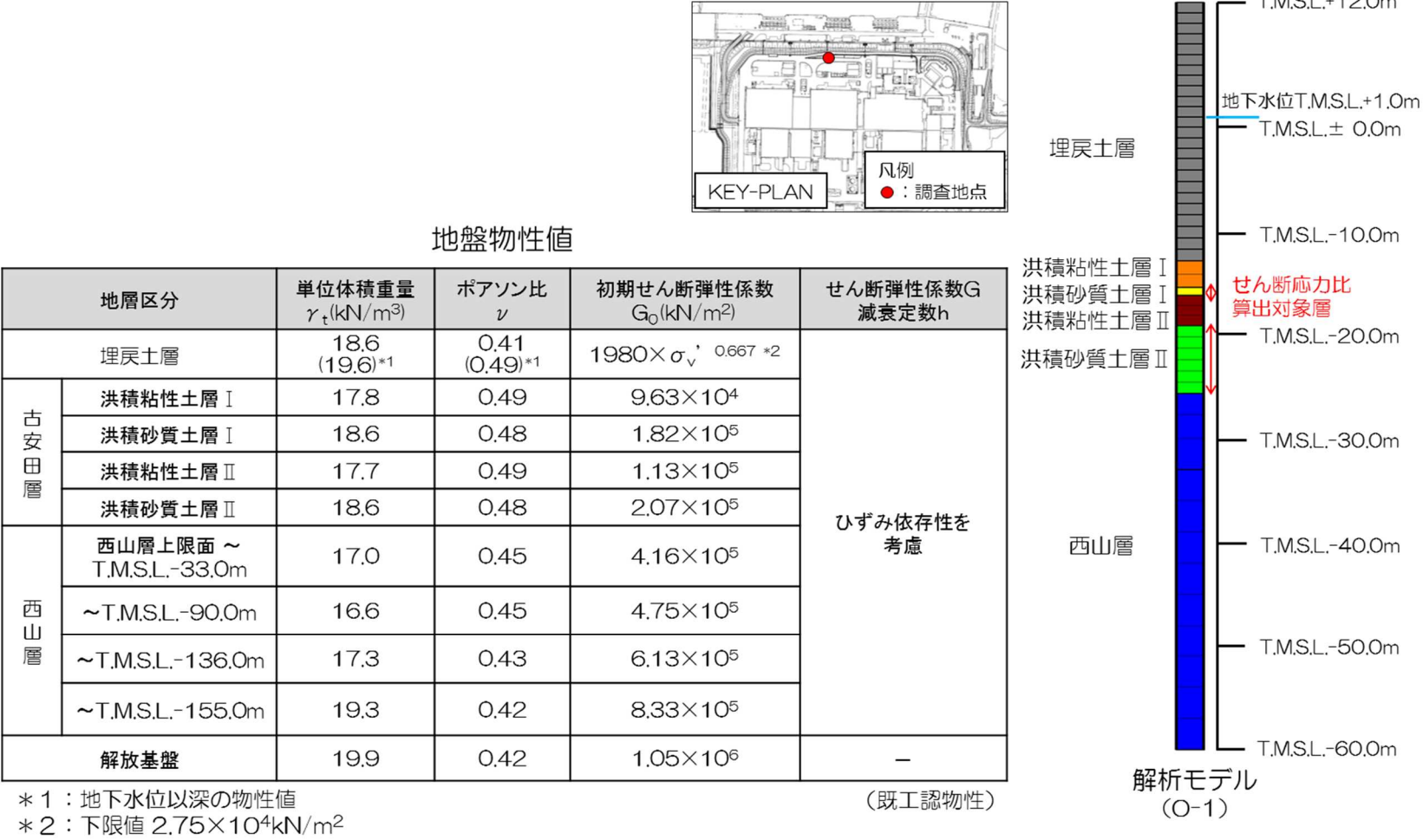
(b) 基本物性 (A-3 地点)

第 11-6-3 図 解析用物性値および解析モデル



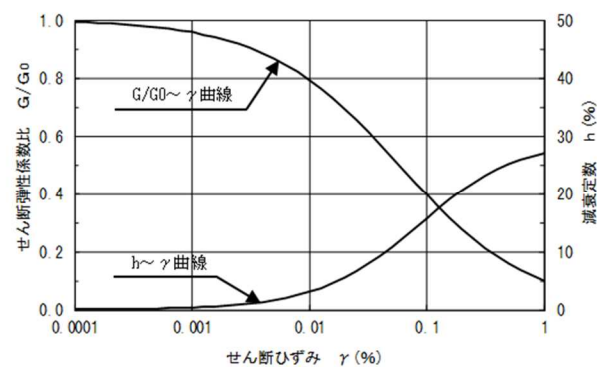
(c) せん断剛性および減衰のひずみ依存性 (A-2 および A-3 地点)

第 11-6-3 図 解析用物性値および解析モデル

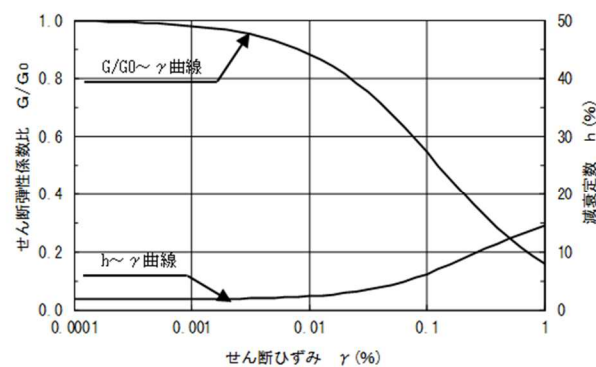


(a) 基本物性 (O-1 地点)  
第 11-6-4 図 解析用物性値および解析モデル

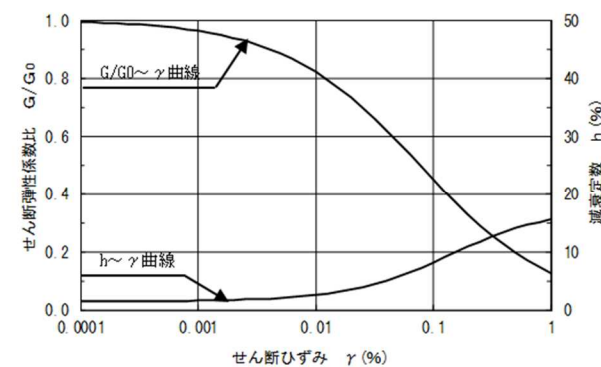




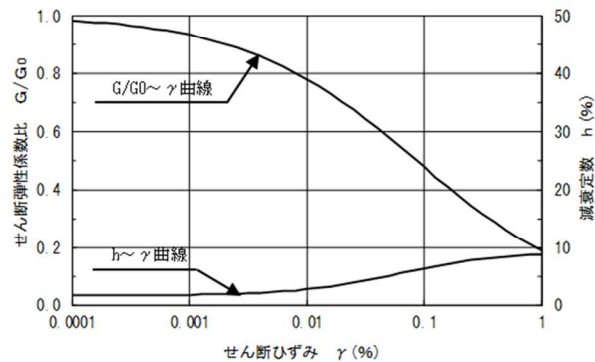
埋戻土層



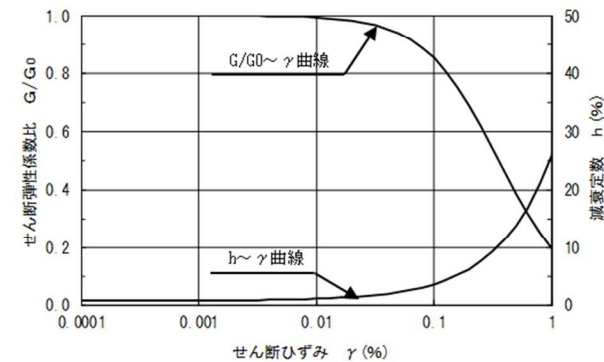
洪積粘性土層 I



洪積砂質土層 I, II



洪積粘性土層 II



西山層

(b) セン断剛性および減衰のひずみ依存性 (O-1 地点)

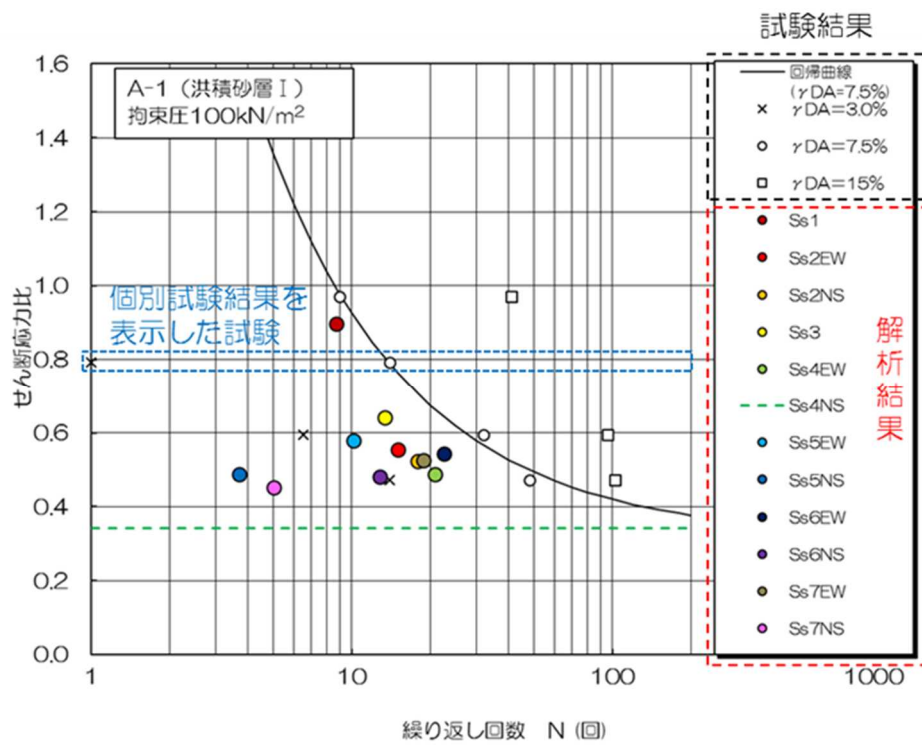
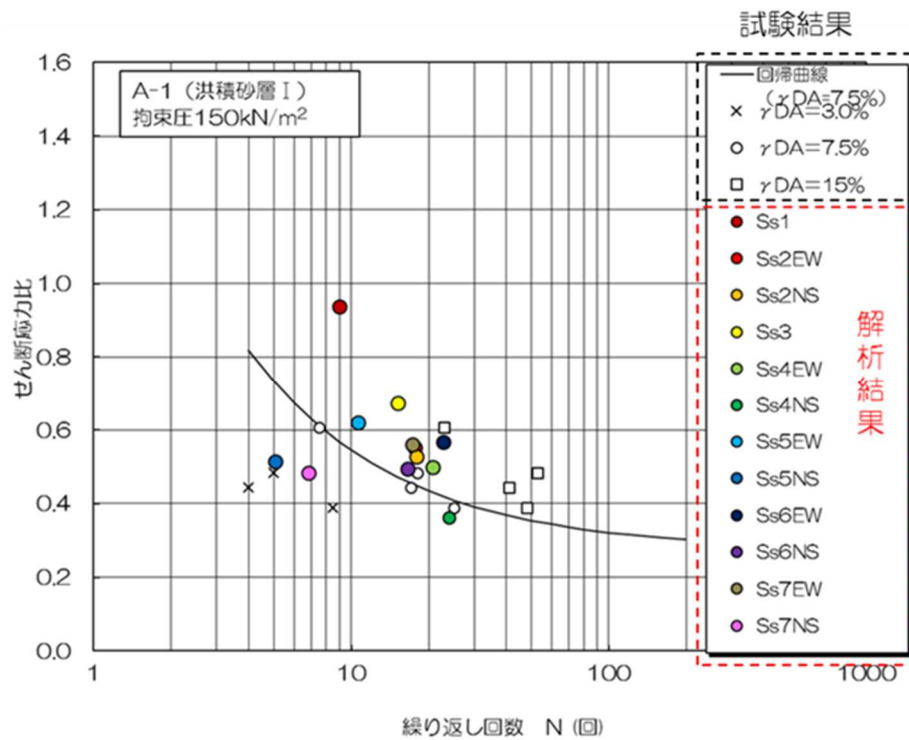
第 11-6-4 図 解析用物性値および解析モデル

第 11-6-1 表 地震応答解析における最大せん断応力と等価繰返し回数

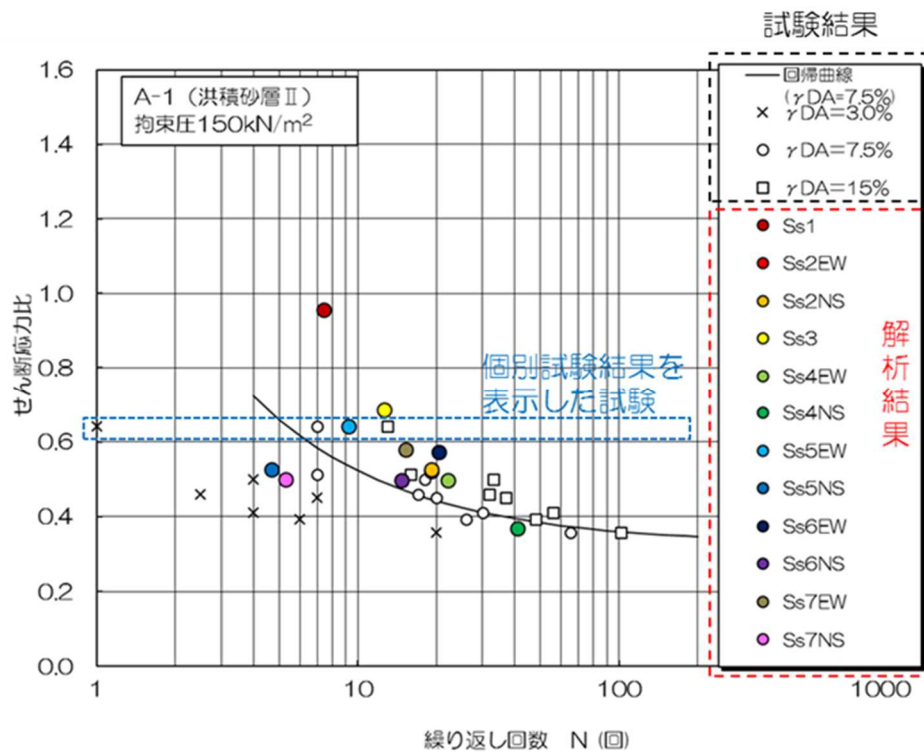
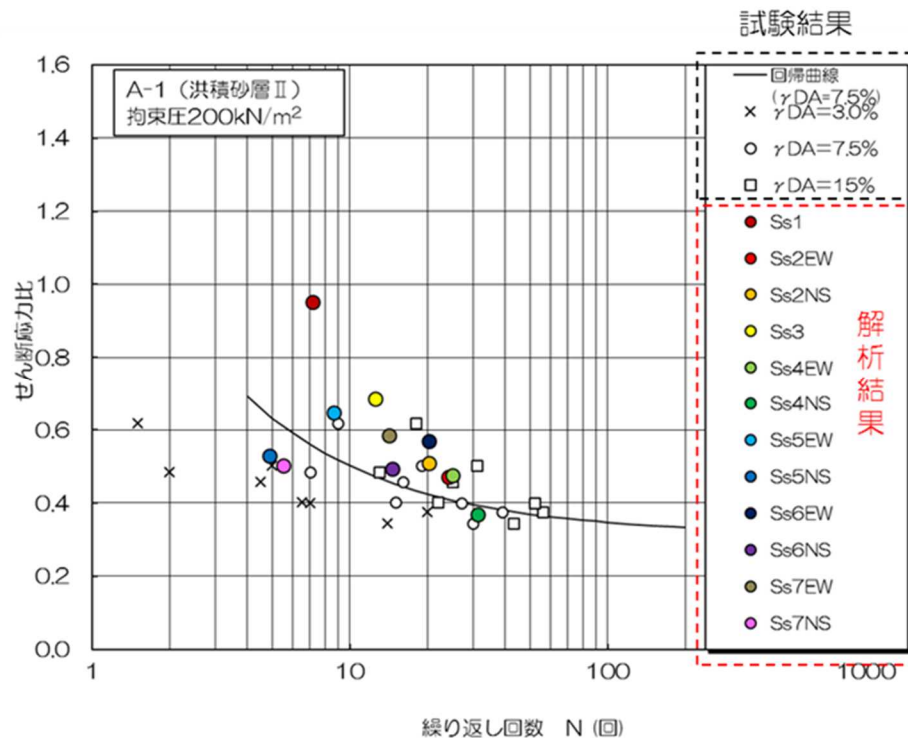
| 基準地震動Ss | A-1                                        |                 |                                            |                 |                                            |                 |                                            |                 | A-2              |                 |                  |                 | A-3              |                 | O-1              |                 |                  |                 |
|---------|--------------------------------------------|-----------------|--------------------------------------------|-----------------|--------------------------------------------|-----------------|--------------------------------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|
|         | 洪積砂層Ⅰ<br>(土被り圧<br>100kN/m <sup>2</sup> 相当) |                 | 洪積砂層Ⅰ<br>(土被り圧<br>150kN/m <sup>2</sup> 相当) |                 | 洪積砂層Ⅱ<br>(土被り圧<br>150kN/m <sup>2</sup> 相当) |                 | 洪積砂層Ⅱ<br>(土被り圧<br>200kN/m <sup>2</sup> 相当) |                 | 洪積砂層Ⅰ            |                 | 洪積砂層Ⅱ            |                 | 新期砂層・沖積層         |                 | 洪積砂質土層Ⅰ          |                 | 洪積砂質土層Ⅱ          |                 |
|         | L <sub>max</sub>                           | N <sub>eq</sub> | L <sub>max</sub>                           | N <sub>eq</sub> | L <sub>max</sub>                           | N <sub>eq</sub> | L <sub>max</sub>                           | N <sub>eq</sub> | L <sub>max</sub> | N <sub>eq</sub> | L <sub>max</sub> | N <sub>eq</sub> | L <sub>max</sub> | N <sub>eq</sub> | L <sub>max</sub> | N <sub>eq</sub> | L <sub>max</sub> | N <sub>eq</sub> |
| Ss1     | 0.90                                       | 8.7             | 0.94                                       | 9.0             | 0.96                                       | 7.4             | 0.95                                       | 7.2             | 0.88             | 6.1             | 0.91             | 8.2             | 0.98             | 6.0             | 0.43             | －※1             | 0.46             | －※1             |
| Ss2EW   | 0.55                                       | 15.0            | 0.55                                       | 17.6            | 0.52                                       | 19.1            | 0.47                                       | 24.2            | 0.53             | －※1             | 0.64             | 126.8           | 0.55             | 20.4            | 0.32             | －※1             | 0.34             | －※1             |
| Ss2NS   | 0.52                                       | 17.8            | 0.53                                       | 17.9            | 0.53                                       | 19.1            | 0.51                                       | 20.3            | 0.53             | －※1             | 0.60             | －※1             | 0.56             | 20.9            | 0.25             | －※1             | 0.25             | －※1             |
| Ss3     | 0.64                                       | 13.3            | 0.67                                       | 15.1            | 0.68                                       | 12.6            | 0.69                                       | 12.5            | 0.68             | 22.1            | 0.72             | 16.6            | 0.73             | 11.2            | 0.43             | －※1             | 0.44             | －※1             |
| Ss4EW   | 0.49                                       | 20.9            | 0.50                                       | 20.7            | 0.50                                       | 22.1            | 0.47                                       | 25.1            | 0.48             | －※1             | 0.53             | －※1             | 0.48             | 60.9            | 0.34             | －※1             | 0.37             | －※1             |
| Ss4NS   | 0.34                                       | －※1             | 0.36                                       | 23.9            | 0.37                                       | 40.9            | 0.37                                       | 31.3            | 0.39             | －※1             | 0.42             | －※1             | 0.40             | －※1             | 0.22             | －※1             | 0.23             | －※1             |
| Ss5EW   | 0.58                                       | 10.1            | 0.62                                       | 10.6            | 0.64                                       | 9.2             | 0.65                                       | 8.6             | 0.64             | 53.1            | 0.70             | 13.5            | 0.68             | 8.2             | 0.44             | －※1             | 0.48             | －※1             |
| Ss5NS   | 0.49                                       | 3.7             | 0.51                                       | 5.1             | 0.53                                       | 4.7             | 0.53                                       | 4.9             | 0.52             | －※1             | 0.61             | －※1             | 0.54             | 4.4             | 0.24             | －※1             | 0.25             | －※1             |
| Ss6EW   | 0.54                                       | 22.5            | 0.57                                       | 22.7            | 0.57                                       | 20.4            | 0.57                                       | 20.3            | 0.57             | －※1             | 0.62             | －※1             | 0.59             | 22.6            | 0.40             | －※1             | 0.44             | －※1             |
| Ss6NS   | 0.48                                       | 12.8            | 0.50                                       | 16.5            | 0.50                                       | 14.8            | 0.49                                       | 14.7            | 0.52             | －※1             | 0.57             | －※1             | 0.53             | 10.8            | 0.27             | －※1             | 0.27             | －※1             |
| Ss7EW   | 0.53                                       | 18.8            | 0.56                                       | 17.3            | 0.58                                       | 15.3            | 0.59                                       | 14.2            | 0.58             | －※1             | 0.67             | 38.7            | 0.62             | 15.1            | 0.48             | －※1             | 0.51             | －※1             |
| Ss7NS   | 0.45                                       | 5.0             | 0.48                                       | 6.8             | 0.50                                       | 5.3             | 0.50                                       | 5.5             | 0.51             | －※1             | 0.56             | －※1             | 0.52             | 7.1             | 0.29             | －※1             | 0.31             | －※1             |
| Ss8     |                                            |                 |                                            |                 |                                            |                 |                                            |                 |                  |                 |                  |                 |                  |                 | 0.33             | －※1             | 0.35             | －※1             |

最大せん断応力比： $L_{\max} = \tau_{\max} / \sigma_v'$ ， $\tau_{\max}$ ：最大せん断応力， $\sigma_v'$ ：有効土被り圧， $N_{eq}$ ：等価繰返し回数

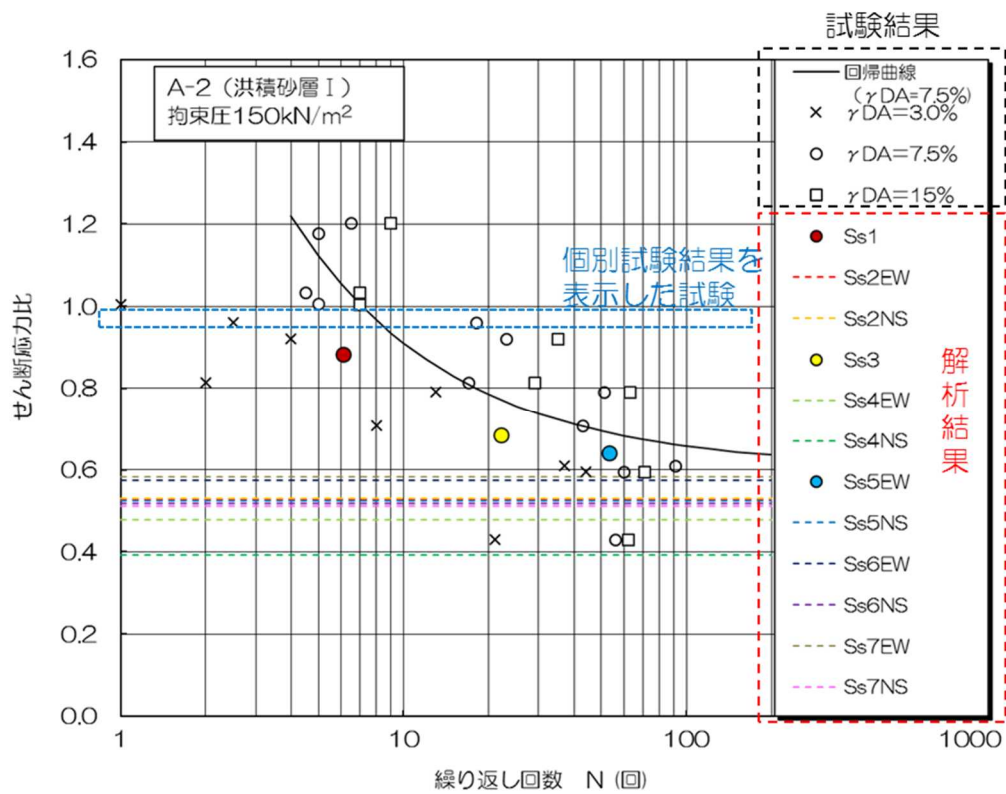
- ※1 解析から得られる最大せん断応力比 ( $L_{\max}$ ) が、試験結果から設定した回帰曲線の繰返し回数200回の値よりも小さいものについては、累積損傷度理論にも基づく等価繰返し回数の評価対象外であるため「－」と表記
- ※2 試験は等方等圧試験であり、実地盤と応答解析を比較するため、静止土圧係数 ( $K_0$ ：一般値0.5) により、等価せん断応力を補正して最大せん断応力を等価繰返し回数と対比する。 $\tau_e \times 3 / (1 + 2K_0) = 0.65 \times 3 / 2 \times \tau_{\max} \div \tau_{\max}$ ， $\tau_e$ ：等価せん断応力

(a) 拘束圧  $100 \text{ kN/m}^2$ (b) 拘束圧  $150 \text{ kN/m}^2$ 

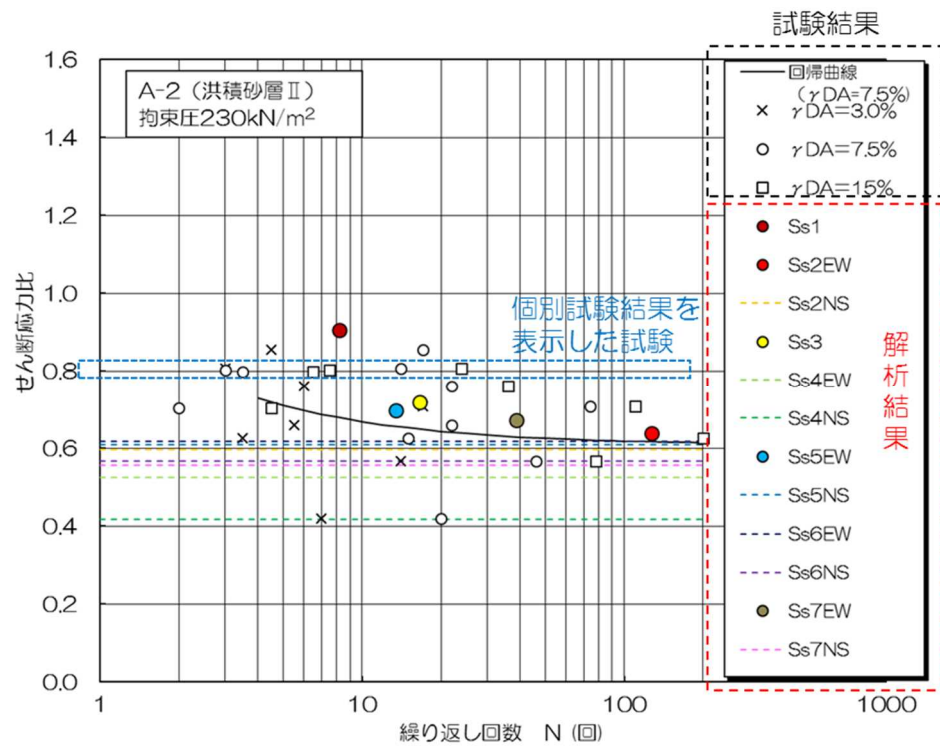
第 11-6-5 図 累積損傷度理論に基づく評価結果 (A-1 地点の洪積砂層 I)

(a) 拘束圧 150kN/m<sup>2</sup>(b) 拘束圧 200kN/m<sup>2</sup>

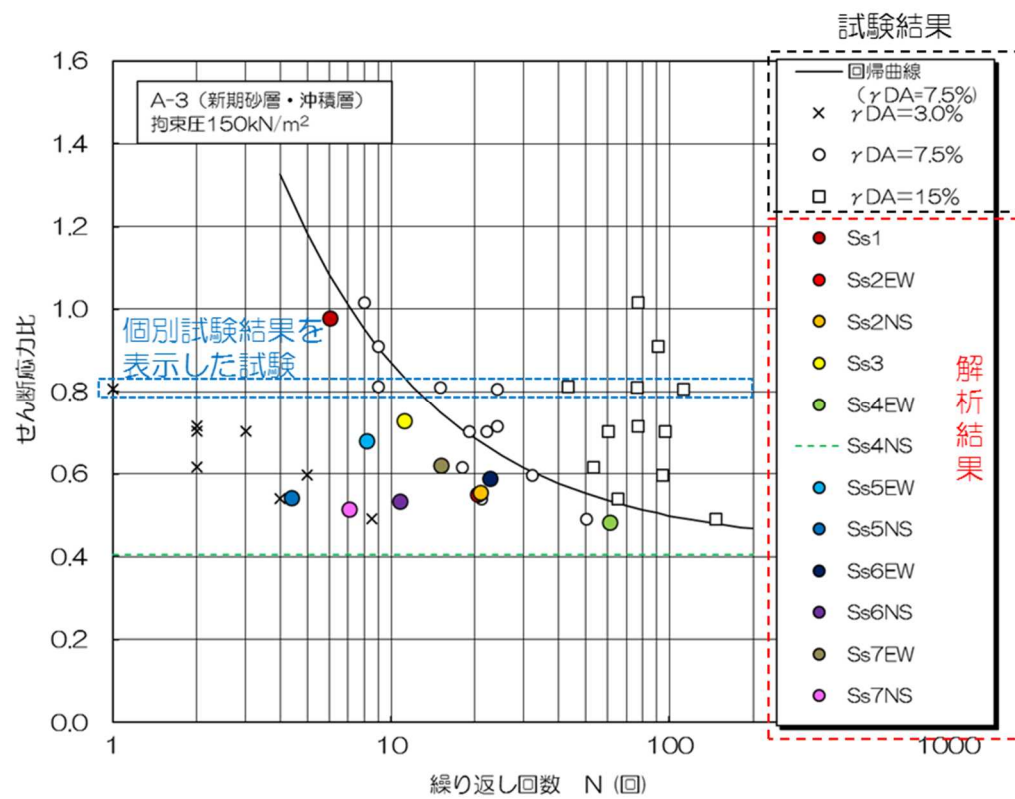
第 11-6-6 図 累積損傷度理論に基づく評価結果 (A-1 地点の洪積砂層Ⅱ)



第 11-6-7 図 累積損傷度理論に基づく評価結果 (A-2 地点の洪積砂層 I)

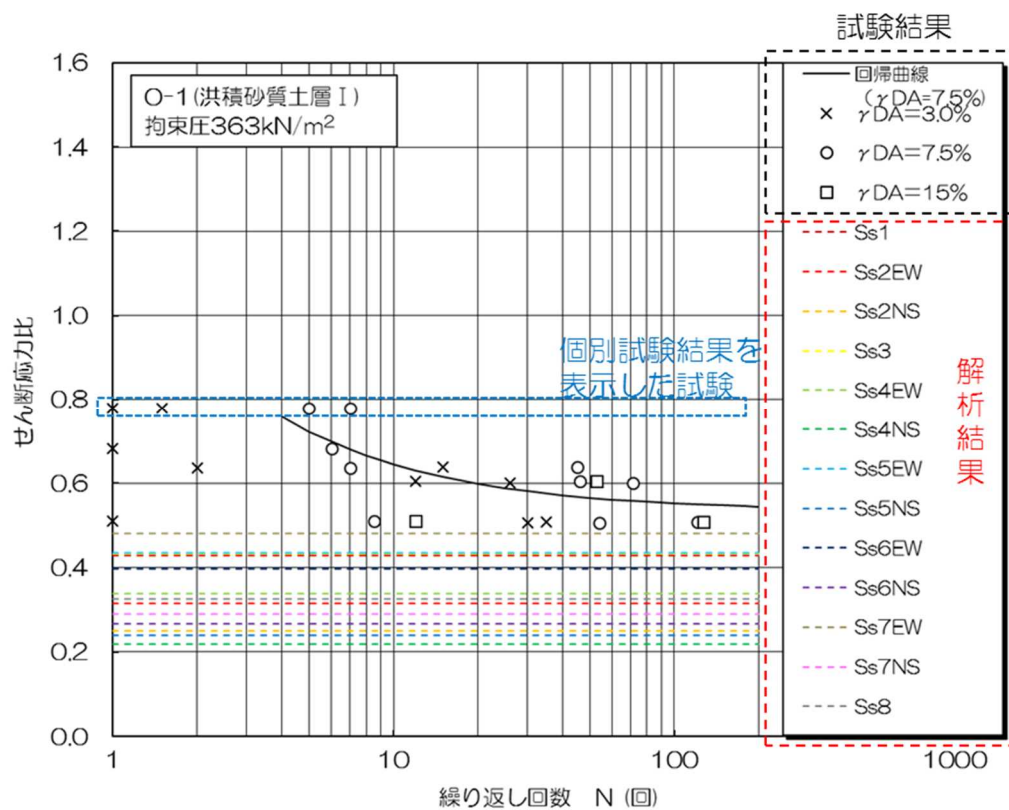


第 11-6-8 図 累積損傷度理論に基づく評価結果 (A-2 地点の洪積砂層 II)

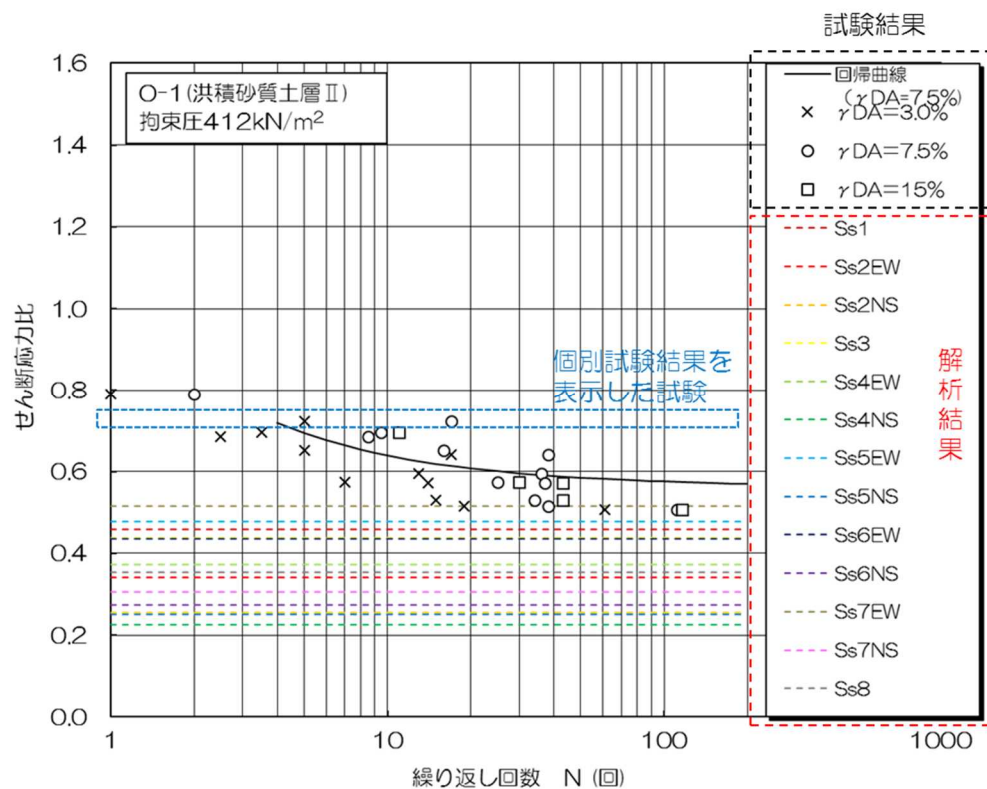


第 11-6-9 図 累積損傷度理論に基づく評価結果 (A-3 地点の新期砂層・沖積層)





第 11-6-10 図 累積損傷度理論に基づく評価結果 (O-1 地点の洪積砂質土層 I)



第 11-6-11 図 累積損傷度理論に基づく評価結果 (O-1 地点の洪積砂質土層 II)

## 7. 液状化強度特性の設定

第2章で示した地層の同一性および第3章で示した液状化試験箇所の保守性・代表性の結果に基づいて、各土層で実施した液状化試験結果をそれぞれに適用し、各土層の液状化強度特性を設定して、構造物の影響評価を実施する。第11-7-1図に液状化強度特性の設定のフローを、第11-7-2図に地質断面の概要と調査位置の概要を、第11-7-1表に液状化強度特性を設定する土層と設定の基となる液状化試験箇所の関係を示す。

なお、試験結果が非液状化となる土層についても、念のため試験結果に基づいて液状化強度特性を設定し、保守的な構造物影響評価を実施する。3/4号炉側の古安田層中の砂層のうち比較的新しい砂層（A-2地点の洪積砂層Ⅰ）については、試験結果が非液状化であるが、地層の同一性を考慮して、A-1地点の洪積砂層Ⅱの試験結果に基づいて液状化強度特性を設定する。古安田層中の砂層のうち比較的古い砂層（A-2地点の洪積砂層ⅡおよびO-1地点の洪積砂質土層Ⅰ・Ⅱ）については、試験結果が非液状化であるが、それぞれの試験で得られたせん断ひずみと繰返し回数の関係に基づいて、液状化強度特性を設定する。

各土層での液状化強度特性は、液状化試験を基本として、各土層で得られた基本物性のバラツキも考慮することで、保守的な設定とする。設定の方法について、第3章の液状化試験箇所の代表性の結果に基づいて、液状化試験箇所が周辺調査箇所に対して保守的な箇所で行われていると考えられる土層（埋戻土層、新期砂層・沖積層（荒浜側））と、液状化試験箇所が周辺調査箇所に対する代表性を有していると考えられる土層（古安田層中の砂層）に大別して設定する。

液状化試験箇所が周辺調査箇所に対して保守的な箇所で行われていると考えられる土層（埋戻土層、新期砂層・沖積層（荒浜側））については、液状化試験箇所の基本物性が、周辺調査箇所の下限相当となっていることから、試験結果を各土層の代表値とすることが保守的と考えられる。ただし、試験結果の下限に相当する液状化強度  $R_L$  を評価して、これを満足する液状化強度特性を設定することで、さらに保守的な設定とする。具体的には、試験結果においてせん断ひずみ両振幅が7.5%となる点に対して回帰曲線の評価し、この回帰曲線を下方に移動し、試験値の下限を通る曲線と、繰返し回数20回との交点を求め、液状化試験の下限値に相当する液状化強度  $R_L$  として評価する。なお、道路橋示方書では、繰返し回数20回で軸ひずみ両振幅が5%（せん断ひずみ両振幅7.5%）に達するのに要するせん断応力振幅を初期有効拘束圧で除した値を液状化強度  $R_L$  として定義している。第11-7-3図に液状化試験結果の下限に相当する液状化強度  $R_L$  の評価結果を示す。

液状化試験の下限値に相当する液状化強度  $R_L$  は、A-1地点の埋戻土層で0.19、A-3地点の新期砂層・沖積層で0.55となり、構造物影響評価の解析においては、これを満足するように液状化強度特性を設定する。

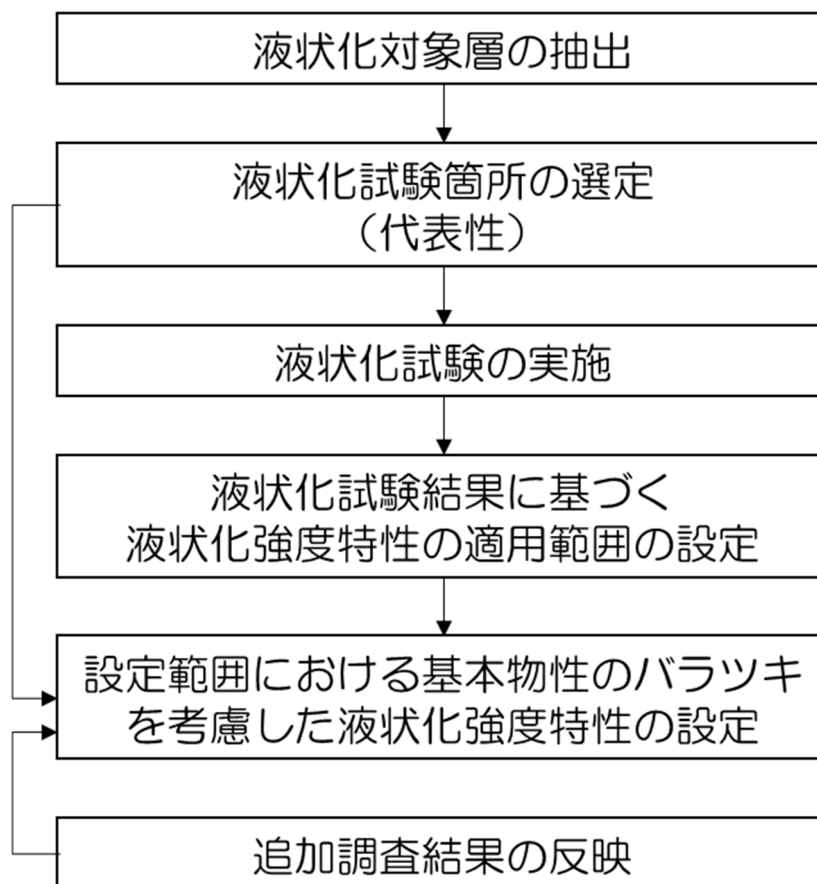
液状化試験箇所が周辺調査箇所に対する代表性を有していると考えられる土層（古安田層中の砂層）については、液状化試験箇所の基本物性が、周辺調査箇所と同程度になっている



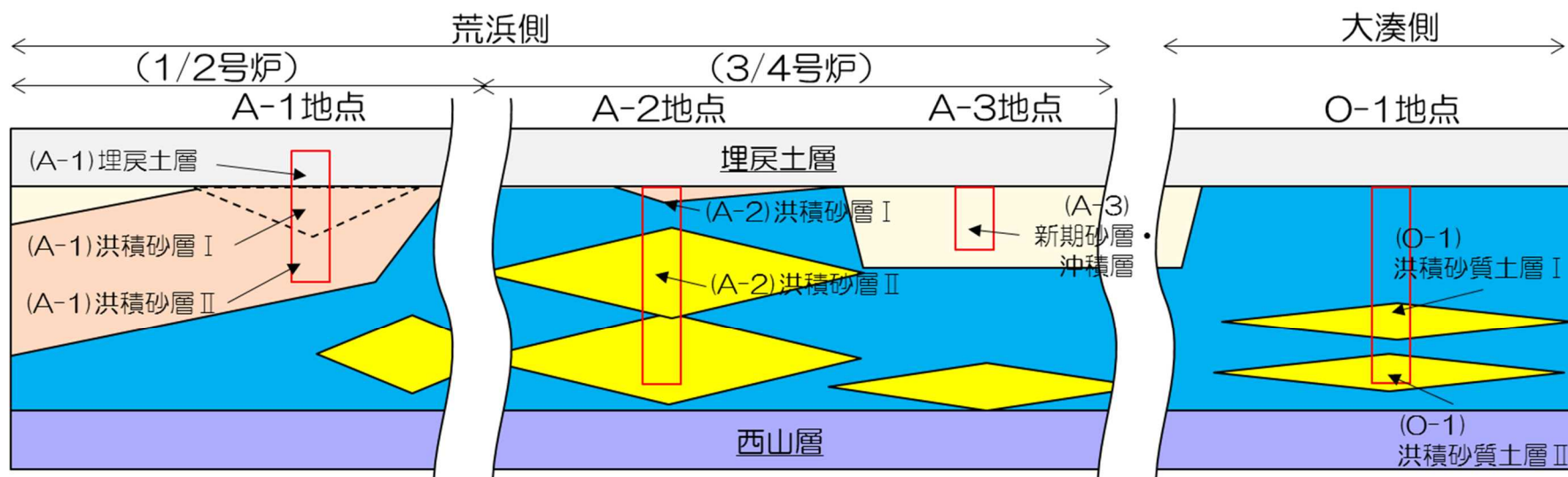
るところから、試験結果を各土層の代表値とすることは妥当であると考えられる。ただし、N 値のバラツキを液状化試験のバラツキと仮定して液状化強度  $R_L$  を保守的に低減させ、これを満足する液状化強度特性を設定する。具体的には、試験結果においてせん断ひずみ両振幅が 7.5% となる点に対して回帰曲線を求め、繰返し回数 20 回とせん断応力比を評価し、当該地層の N 値の平均値に対する平均値・ $1\sigma$  の値の比を乗して、N 値のバラツキに基づいて低減した液状化強度  $R_L$  として評価する。第 11-7-4 図に N 値のバラツキに基づいて低減した液状化強度  $R_L$  の評価結果を示す。

N 値のバラツキに基づいて低減した液状化強度  $R_L$  は、A-1 地点の洪積砂層Ⅰで 0.53 (拘束圧  $100\text{kN/m}^2$ ) および 0.34 (拘束圧  $150\text{kN/m}^2$ )、A-1 地点の洪積砂層Ⅱで 0.30 (拘束圧  $150\text{kN/m}^2$ ) および 0.29 (拘束圧  $200\text{kN/m}^2$ )、A-2 地点の洪積砂層Ⅱで 0.36、0-1 地点の洪積砂質土層Ⅰで 0.45、0-1 地点の洪積砂質土層Ⅱで 0.45 となり、構造物影響評価の解析においては、これを満足するように液状化強度特性を設定する。

なお、第 3 章および第 9 章で述べるように追加試験を計画しており、追加調査の結果を適切に反映し、設定した液状化強度特性の保守性を確認する。また、必要に応じて液状化強度特性の見直しを実施する。



第 11-7-1 図 液状化強度特性の設定のフロー



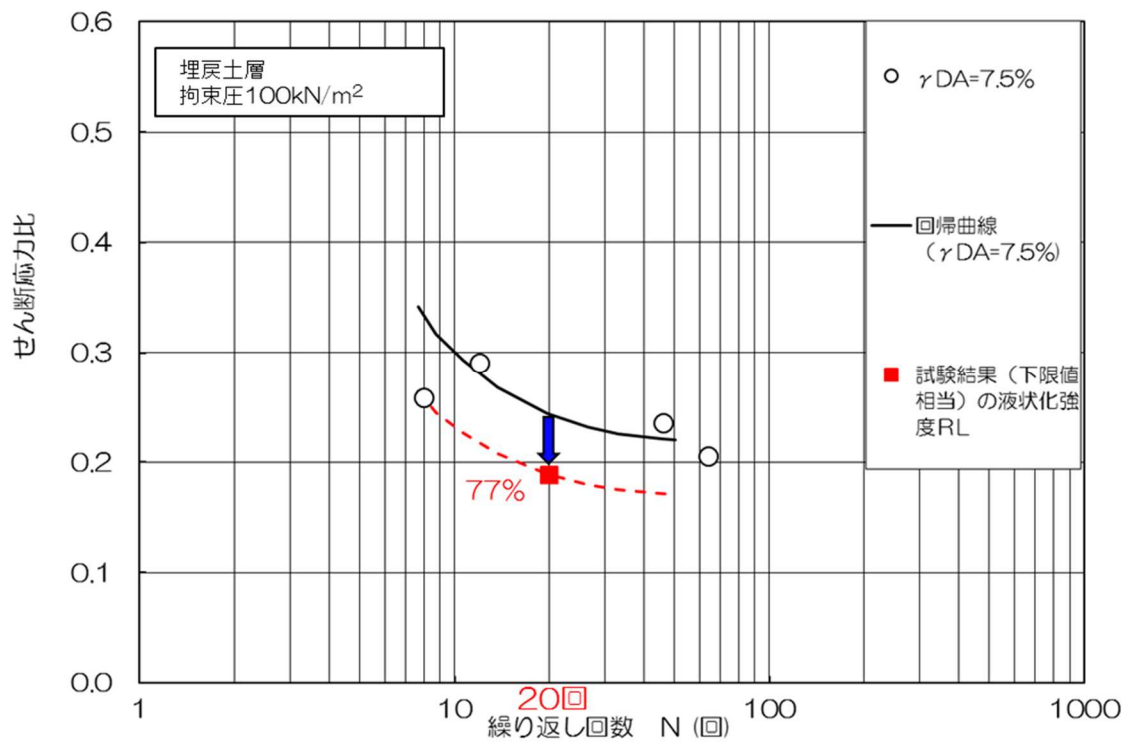
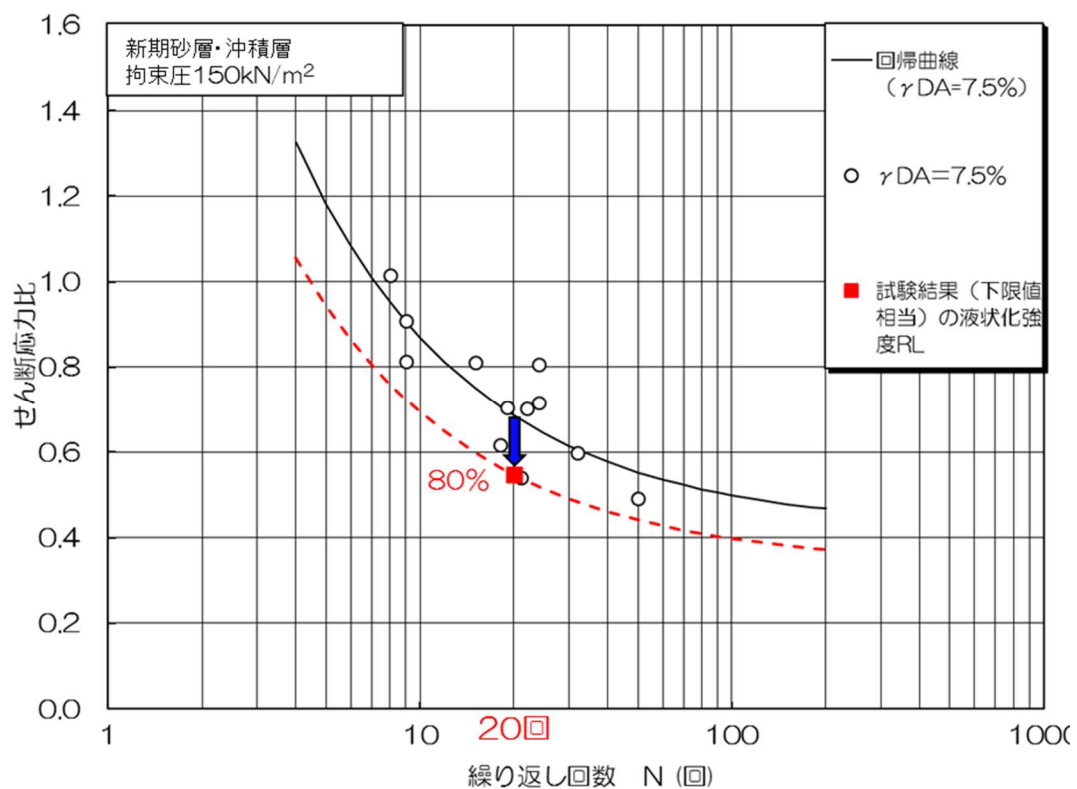
第 11-7-2 図 地質断面の概要と調査位置の概要

第 11-7-1 表 液状化強度特性を設定する土層と設定の基となる液状化試験箇所の関係

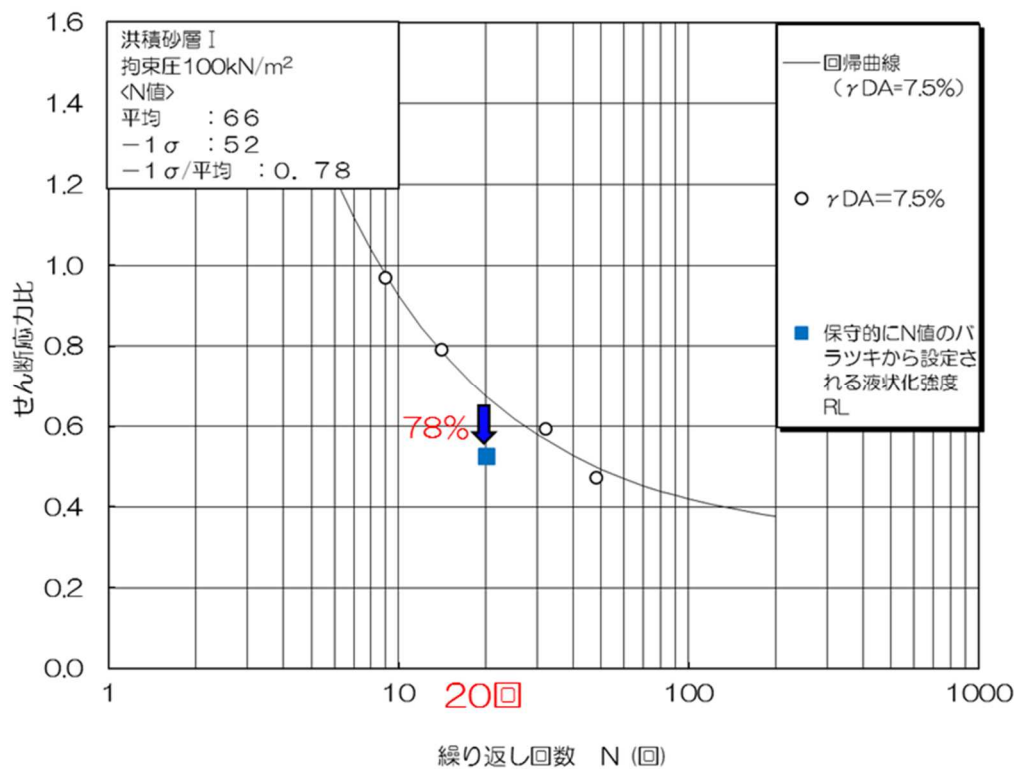
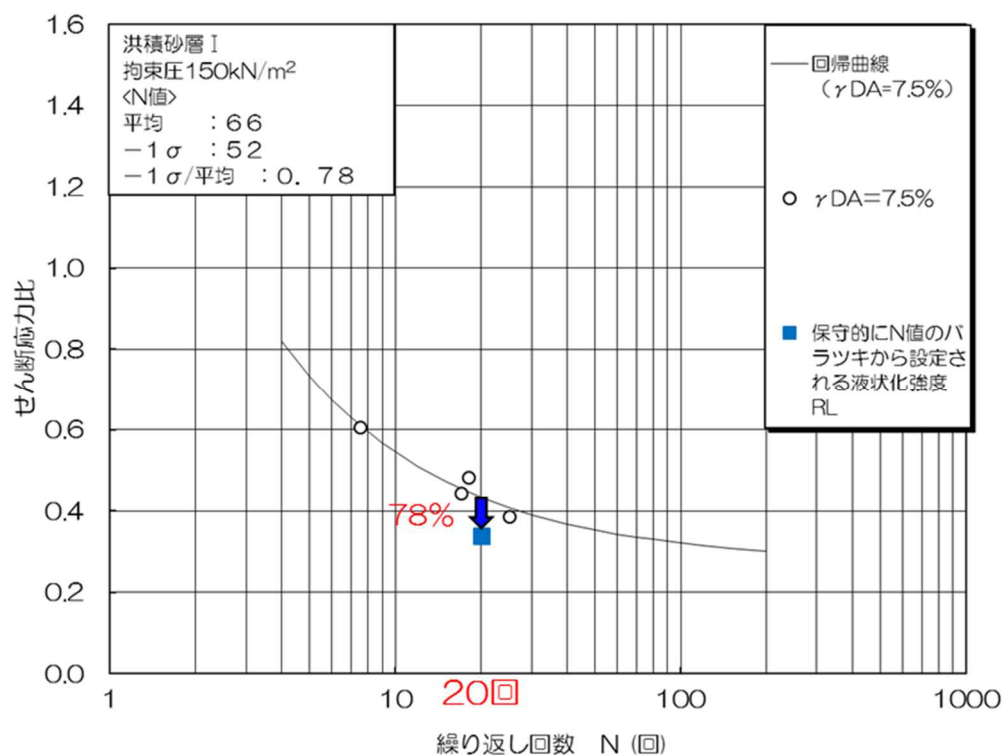
| 今回対象構造物 |          |                  | (1 号炉)          | (2 号炉側)           | (3/4 号炉側)          | 6/7 号炉<br>取水路・軽油タンク基礎・GTG 基礎など |      |
|---------|----------|------------------|-----------------|-------------------|--------------------|--------------------------------|------|
| 対象土層    | 埋戻土層     |                  | A-1<br>埋戻土層     |                   |                    |                                |      |
|         | 新期砂層・沖積層 |                  | A-3<br>新期砂層・沖積層 |                   | [追加調査]<br>新期砂層・沖積層 |                                |      |
|         | 古安田層     | 比較的<br>新しい<br>砂層 | N 値<br>平均 50 以上 | A-1<br>洪積砂層Ⅰ      | (出現しない)            |                                |      |
|         |          |                  | N 値<br>平均 50 以下 | A-1<br>洪積砂層Ⅱ      |                    |                                | (※1) |
|         |          | 比較的古い砂層          |                 | A-2<br>洪積砂層Ⅱ (※2) |                    | O-1<br>洪積砂質土層Ⅰ・Ⅱ (※2)          |      |
|         |          | 洪積粘性土層           |                 | (非液状化層)           |                    |                                |      |
|         | 西山層      |                  | (非液状化層)         |                   |                    |                                |      |

※1：3/4 号炉側の古安田層中の砂層のうち比較的新しい砂層については、試験結果が非液状化であるが、地層の同一性を考慮して、A-1 地点の洪積砂層Ⅱの試験結果に基づいて液状化強度特性を設定する。

※2：古安田層中の砂層のうち比較的古い砂層については、試験結果が非液状化であるが、念のため液状化強度特性を設定した構造物影響評価を実施する。液状化強度特性は、荒浜側については A-2 地点の洪積砂層Ⅱ、大湊側については 0-1 地点の洪積砂質土層Ⅰ・Ⅱの試験結果に基づいて液状化強度特性を設定する。

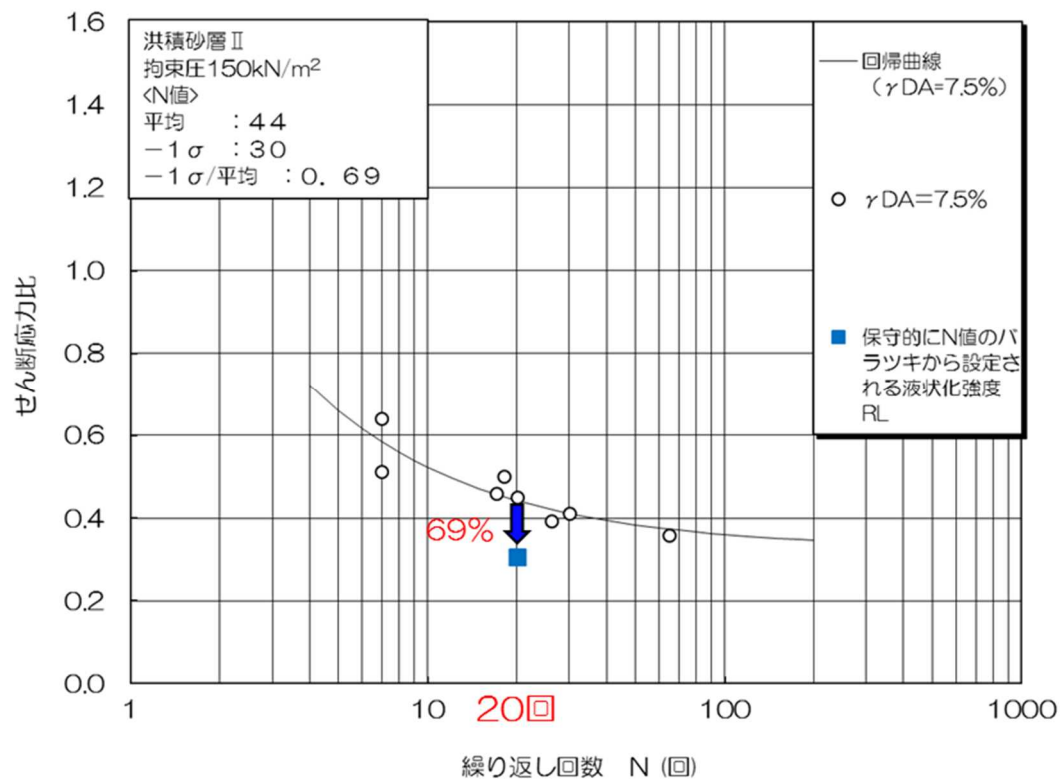
(a) 埋戻土層 (拘束圧  $100\text{kN/m}^2$ )(b) 新期砂層・沖積層 (拘束圧  $150\text{kN/m}^2$ )

第 11-7-3 図 液状化強度特性の設定  
(液状化試験結果の下限に相当する液状化強度  $R_L$ )

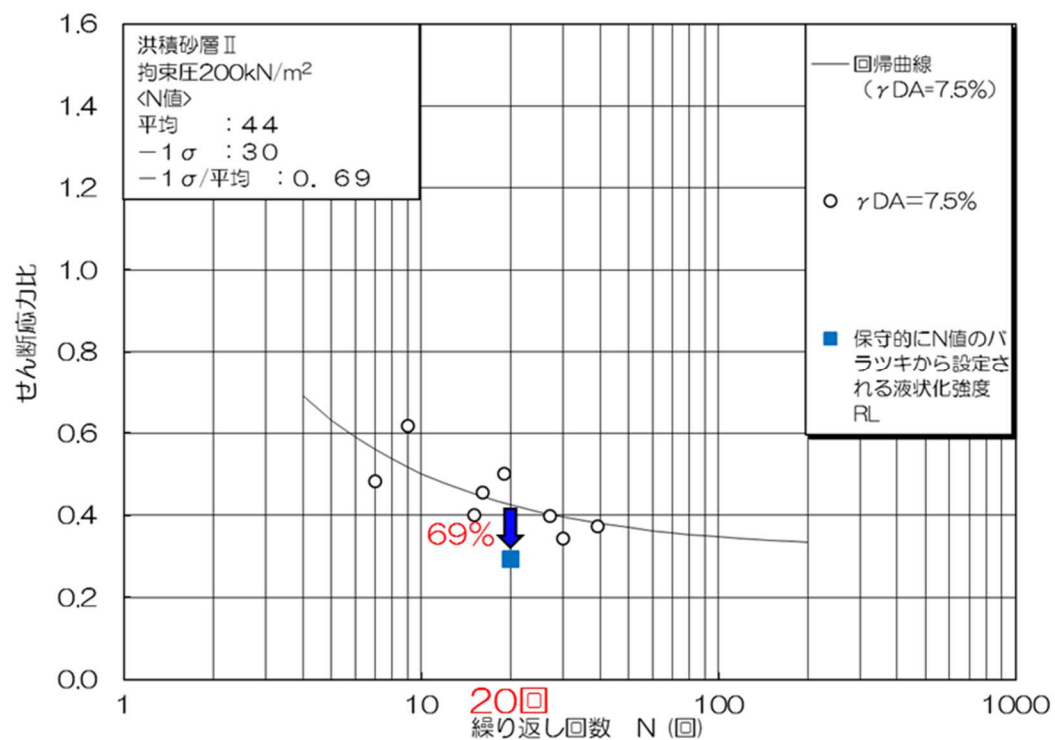
(a) A-1 地点の洪積砂層 I (拘束圧 100kN/m<sup>2</sup>)(b) A-1 地点の洪積砂層 I (拘束圧 150kN/m<sup>2</sup>)

第 11-7-4 図 液状化強度特性の設定

(N 値のバラツキに基づいて低減した液状化強度  $R_L$ )



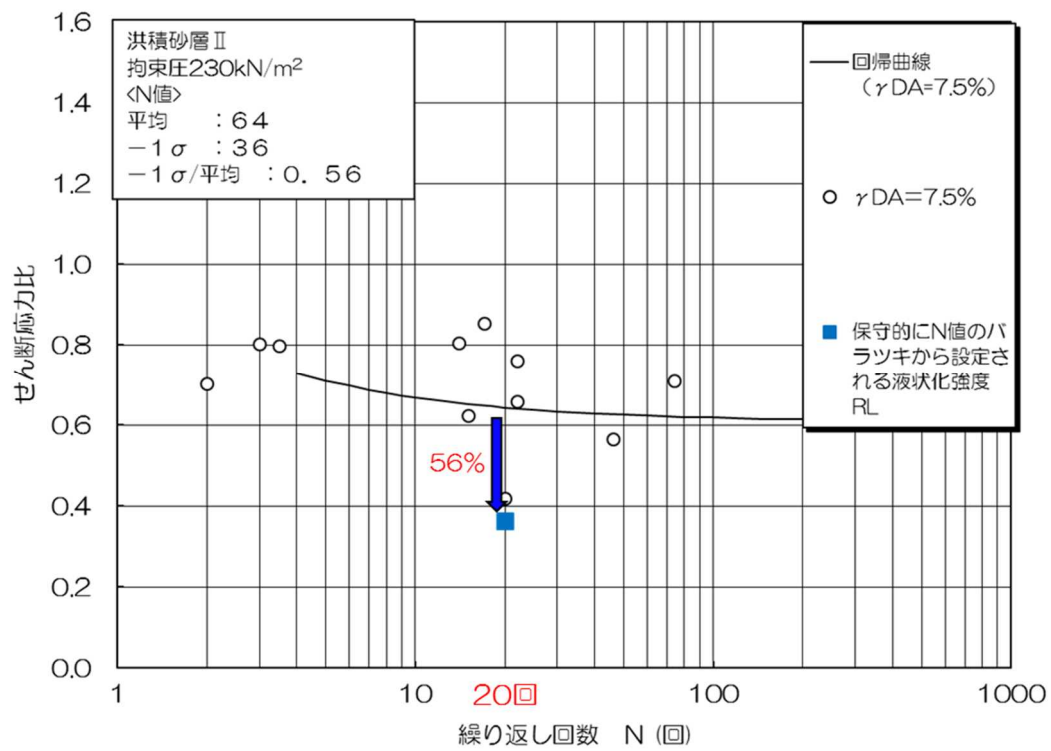
(c) A-1 地点の洪積砂層Ⅱ (拘束圧 150kN/m²)



(d) A-1 地点の洪積砂層Ⅱ (拘束圧 200kN/m²)

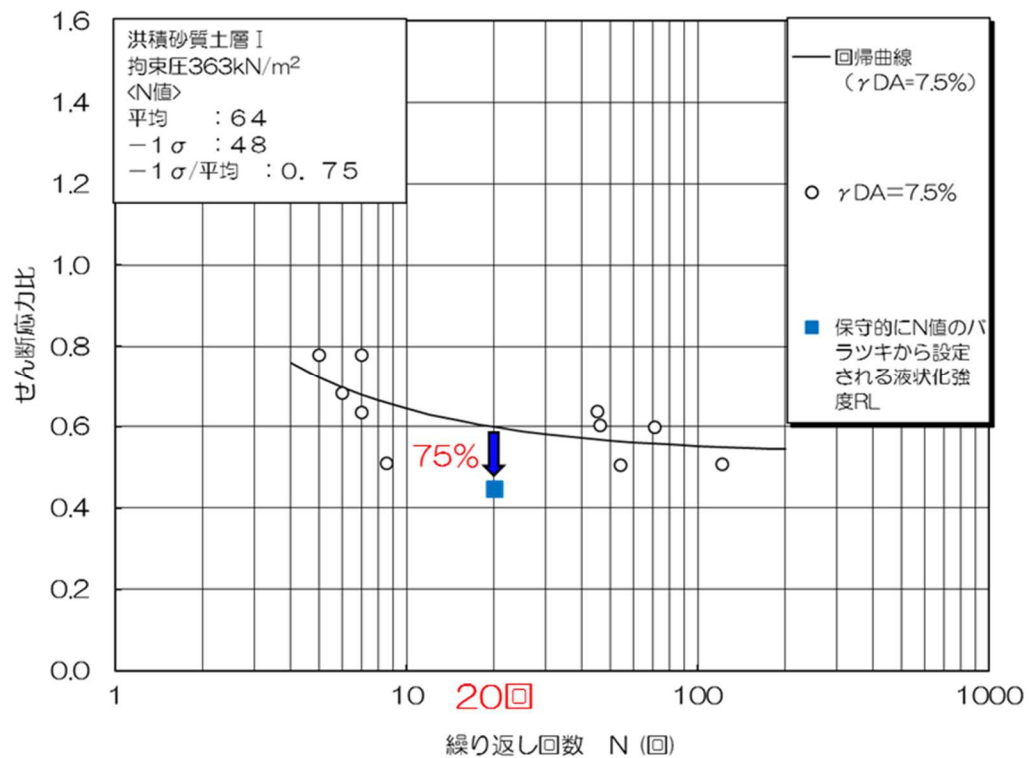
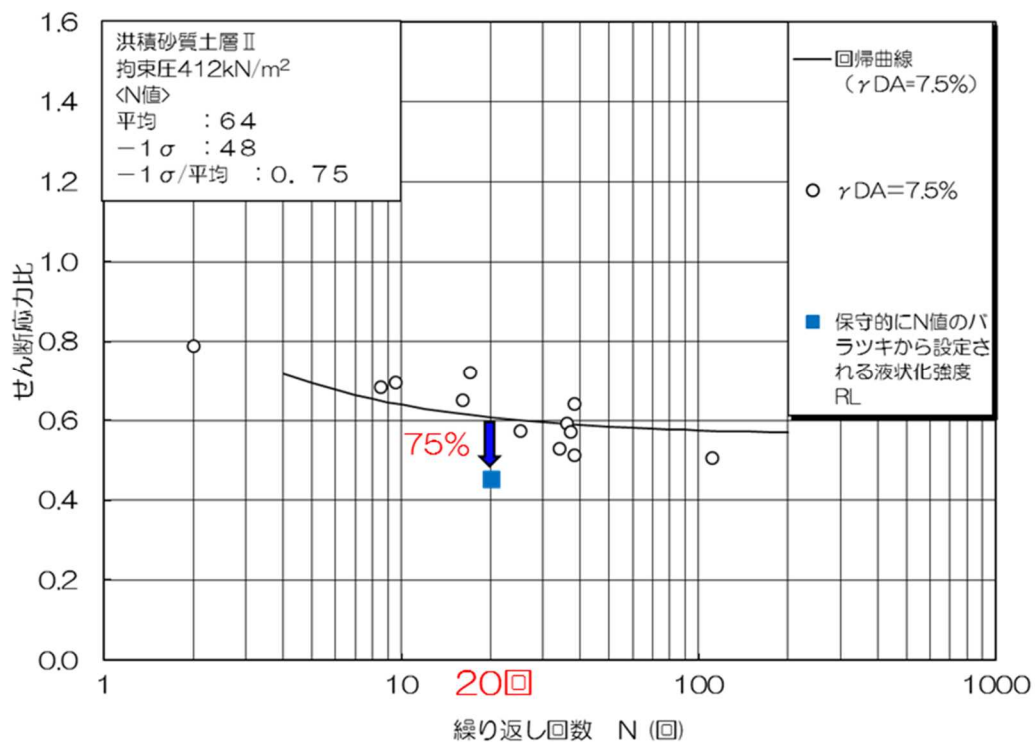
第 11-7-4 図 液状化強度特性の設定

(N 値のパラツキに基づいて低減した液状化強度  $R_L$ )

(e) A-2 地点の洪積砂層Ⅱ (拘束圧 230kN/m<sup>2</sup>)

第 11-7-4 図 液状化強度特性の設定

(N 値のバラツキに基づいて低減した液状化強度  $R_L$ )

(f) O-1 地点の洪積砂質土層 I (拘束圧 363kN/m<sup>2</sup>)(g) O-1 地点の洪積砂質土層 II (拘束圧 412kN/m<sup>2</sup>)

第 11-7-4 図 液状化強度特性の設定

(N 値のバラツキに基づいて低減した液状化強度  $R_L$ )



## 8. 液状化影響の検討方針

液状化評価については道路橋示方書を基本として、道路橋示方書において液状化評価の対象外となっている洪積層についても液状化試験を実施し、液状化の有無を確認することで保守的な評価を実施した。液状化試験に基づいて、地震時の地盤の状態を『液状化』、『サイクリックモビリティ』および『非液状化』と判定した。それぞれの試験結果に基づいて液状化強度特性を設定し、構造物への影響評価を実施する。なお、試験結果が非液状化となる土層も、念のため液状化強度特性を設定して保守的な構造物評価を実施する。設定した液状化強度特性については、試験結果を基本に設定するが、基本物性のバラツキも考慮して保守的な設定とする。

構造物の影響評価については、液状化に伴う影響を考慮するため、有効応力解析を実施する。有効応力解析においては、解析コード「FLIP」などを用いる。液状化試験結果に基づいて保守的に設定した液状化強度  $R_L$  を満足するように、有効応力解析の液状化パラメータを設定し、構造物の影響評価を実施する。解析コード「FLIP」については、Iai et.al(1992) および Iai et.al(1995)において、液状化およびサイクリックモビリティを示す地層についての適用性が検証されている。Iai et.al(1992)においては、サイクリックモビリティが観察された砂の繰返しねじり試験結果に対して、解析コード「FLIP」を用いた解析を実施し、解析結果が室内試験結果と良い対応を示したと報告している。Iai et.al(1995)においては、解析コード「FLIP」を用いて、1993 年釧路沖地震の再現解析を実施している。1993 年釧路沖地震の観測波はサイクリックモビリティの影響を示すスパイク状の地震波となっており、解析コード「FLIP」において地震観測値の密な地盤の液状化パラメータを設定することで、サイクリックモビリティの影響を示す観測値を再現することができたと報告している。よって、設置許可段階における構造物評価の見通しについては、解析コード「FLIP」を用いることとした。

なお、工事認可段階における構造物評価にあたっては、今回ご説明した液状化強度特性の妥当性および採用した解析コードの適用性について、2007 年新潟県中越沖地震における取水路の鉛直変位など構造物の被害状況の再現性を検証することで確認する。また、構造物評価によっては、必要に応じて追加対策を実施する。

第 11-8-1 表 液状化評価の基本方針

| 本検討の対象砂層                      |              |                           | 道路橋示方書における液状化評価の対象 | 当社評価            |                                               |                                     |
|-------------------------------|--------------|---------------------------|--------------------|-----------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------|
| 地層名                           | 堆積年代         | 調査地点名<br>土層名              |                    | 液状化試験による判定      | 液状化強度特性の設定の考え方                                | 液状化強度特性の保守性                         |
| 埋戻土層                          | —            | A-1<br>埋戻土層               | ○<br>対象            | 液状化             | 試験結果に基づいて液状化強度特性を設定する。                        | 試験結果を基本として、基本物性のバラツキも考慮して保守的な設定とする。 |
| 新期砂層<br>・沖積層                  | 完新世<br>(沖積層) | A-3<br>新期砂層・沖積層           |                    | サイクリック<br>モビリティ |                                               |                                     |
| 古安田層<br>(古安田層<br>中の砂層が<br>対象) | 更新世<br>(洪積層) | 新しい                       | ×<br>対象外           | 非液状化            | ※                                             |                                     |
|                               |              | A-1<br>洪積砂層Ⅰ<br>洪積砂層Ⅱ     |                    |                 |                                               |                                     |
|                               |              | A-2<br>洪積砂層Ⅰ              |                    |                 |                                               |                                     |
|                               | 古い           | A-2<br>洪積砂層Ⅱ              |                    |                 | 非液状化であると考えられるが、保守的な構造物評価を実施するため、液状化強度特性を設定する。 |                                     |
|                               |              | 0-1<br>洪積砂質土層Ⅰ<br>洪積砂質土層Ⅱ |                    |                 |                                               |                                     |

※ A-2 地点の洪積砂層Ⅰについては非液状化であると考えられるが、A-1 地点の洪積砂層Ⅰ・Ⅱと同時代に堆積した地層であること、N 値が A-1 地点の洪積砂層Ⅱと同程度であることを踏まえ、A-1 地点の洪積砂層Ⅱの試験結果に基づいて液状化強度特性を設定する

## 9. 設置許可段階における構造物評価の見通し

### 9.1 代表構造物の抽出

設置許可段階における構造物評価の見通しについて、代表構造物を選定した。第 11-9-1 表に設置許可段階における構造物評価の見通しを検討する代表構造物の選定を示す。

地盤の液状化による構造物評価への影響としては、地中に埋設した構造物への影響が考えられることから、代表構造物の選定にあたっては基礎形式に着目し、直接基礎形式及び杭基礎形式のそれぞれから選定する。

直接基礎構造物には、取水路・スクリーン室、補機冷却用海水取水路がある。補機冷却用海水取水路はマンメイドロックを介して西山層に支持しているため、直接基礎の代表構造物としては、支持地盤が古安田層である「取水路・スクリーン室」を抽出する。

杭基礎構造物には、軽油タンク基礎、燃料移送系配管ダクト、常設代替交流電源設備基礎及び格納容器圧力逃がし装置基礎がある。地盤が液状化した場合には変形が大きくなる傾向となることから、杭基礎構造物が地盤の変形の影響を受ける程度に着目すると、杭部は杭長が長いほど、鉄筋コンクリート部は地中部の側面高さが高いほど影響が大きくなると考えられる。このため、杭基礎の代表構造物としては、杭長が他の構造物よりも長く、鉄筋コンクリート部の地中高さが高い「常設代替交流電源設備基礎」を抽出する。

選定した代表構造物について代表断面を選定し、代表断面について構造物影響評価を実施する。構造物評価の成立性および必要に応じた追加対策は、代表断面における構造物評価の結果をそれ以外の位置・構造物の見通しに展開する。

第 11-9-1 表 設置許可段階における構造物評価の見通しを検討する代表構造物の選定

| 設備分類      |           | 設備名称          | 基礎形式（杭長）   | 支持地盤              | 鉄筋コンクリート部の地中部の側面高さ | 構造概要       |
|-----------|-----------|---------------|------------|-------------------|--------------------|------------|
| 設計基準対象施設  | 屋外重要土木構造物 | 取水路・スクリーン室    | 直接基礎       | 古安田層              | －                  | 鉄筋コンクリート構造 |
|           |           | 補機冷却用海水取水路    | 直接基礎       | 西山層 <sup>※1</sup> | －                  | 鉄筋コンクリート構造 |
|           |           | 軽油タンク基礎       | 杭基礎（約 20m） | 西山層               | 約 1.5m             | 鉄筋コンクリート構造 |
|           |           | 燃料移送系配管ダクト    | 杭基礎（約 25m） | 西山層               | 約 3 m              | 鉄筋コンクリート構造 |
| 重大事故等対処施設 |           | 常設代替交流電源設備基礎  | 杭基礎（約 30m） | 西山層               | 約 8 m              | 鉄筋コンクリート構造 |
|           |           | 格納容器圧力逃がし装置基礎 | 杭基礎（約 30m） | 西山層               | 約 2.5m             | 鉄筋コンクリート構造 |

※1：マンメイドロックを介して西山層に支持

## 9.2 取水路

### 9.2.1 構造概要及び評価断面

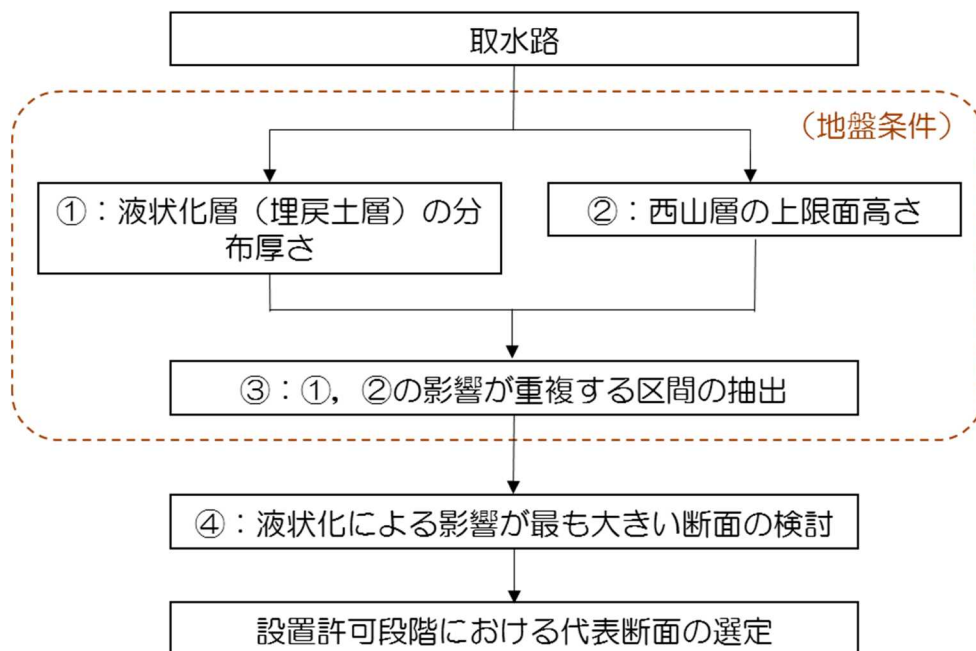
「取水路・スクリーン室」について液状化による設備への影響の見通しとして、液状化現象の影響が最も大きいと考えられる断面を選定し、構造物の評価を実施する。第 11-9-1 図に取水路における代表断面の選定フローを示す。

構造物評価への液状化の影響として、地盤条件の観点から①液状化層（埋戻土層）の分布厚さ、西山層より浅部の地盤での地震動増幅特性の観点から②西山層の上限面の高さに着目し、代表断面を選定する。

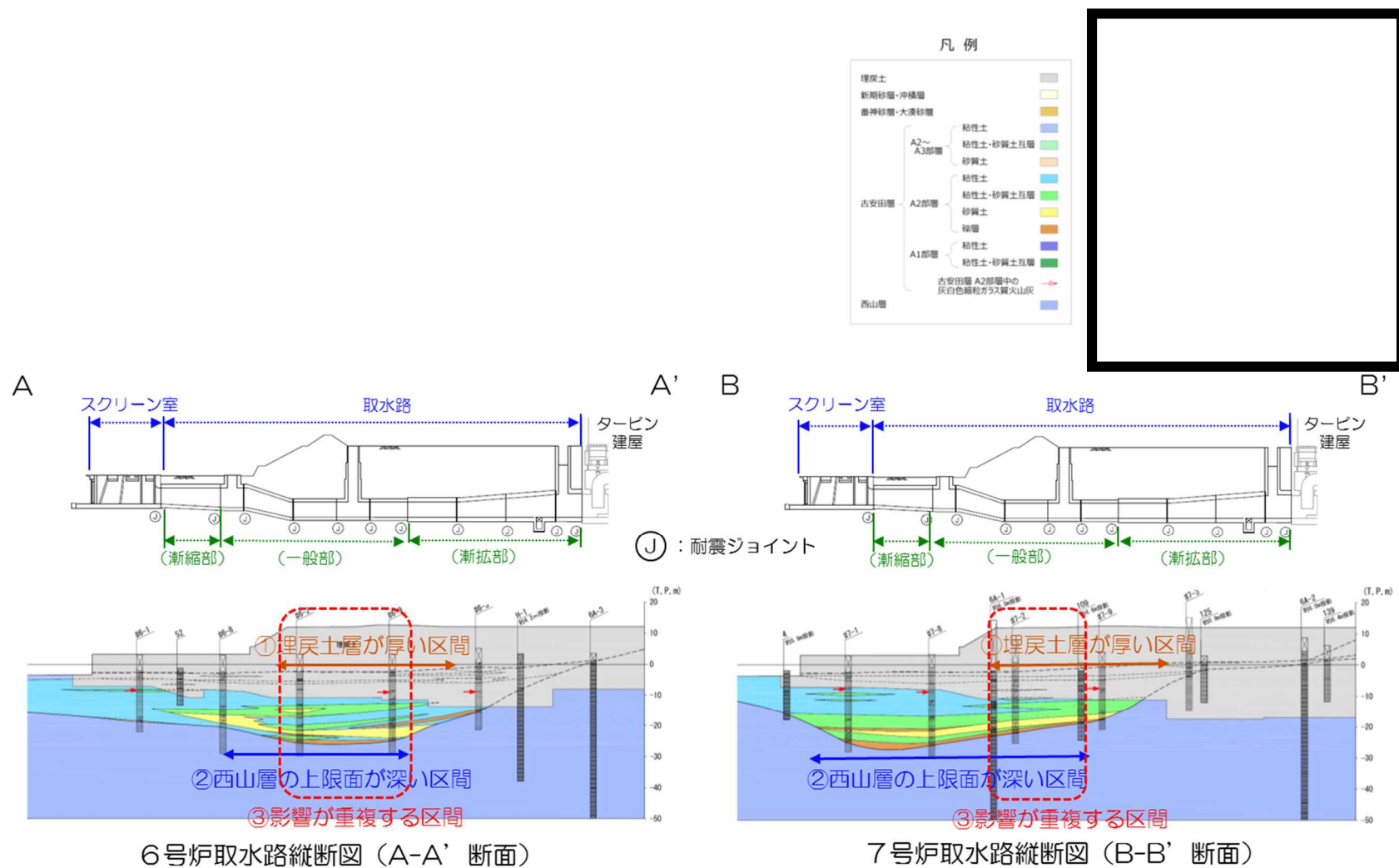
液状化層（埋戻土層）の分布厚さは、6/7 号炉ともに取水路（一般部）から取水路（漸拡部）にかけて厚くなっている。西山層の上限面高さは、6 号炉では取水路（一般部）において、7 号炉ではスクリーン室から取水路（一般部）にかけて、深くなっている。両者の影響が重複する区間として、6/7 号炉ともに取水路のうち一般部の区間が抽出される。詳細を第 11-9-2 図に示す。

6/7 号炉の取水路（一般部）を比較すると、双方ともに取水路（一般部）の断面は古安田層を掘り込んでいるものの、7 号炉の南側の側方は埋戻土層となっている。構造物側方に分布する古安田層の変形抑制効果を考慮すると、取水路（一般部）は、6 号炉よりも 7 号炉の方が、液状化現象が構造物の耐震性に与える影響が大きいと考えられる。詳細を第 11-9-3 図に示す。

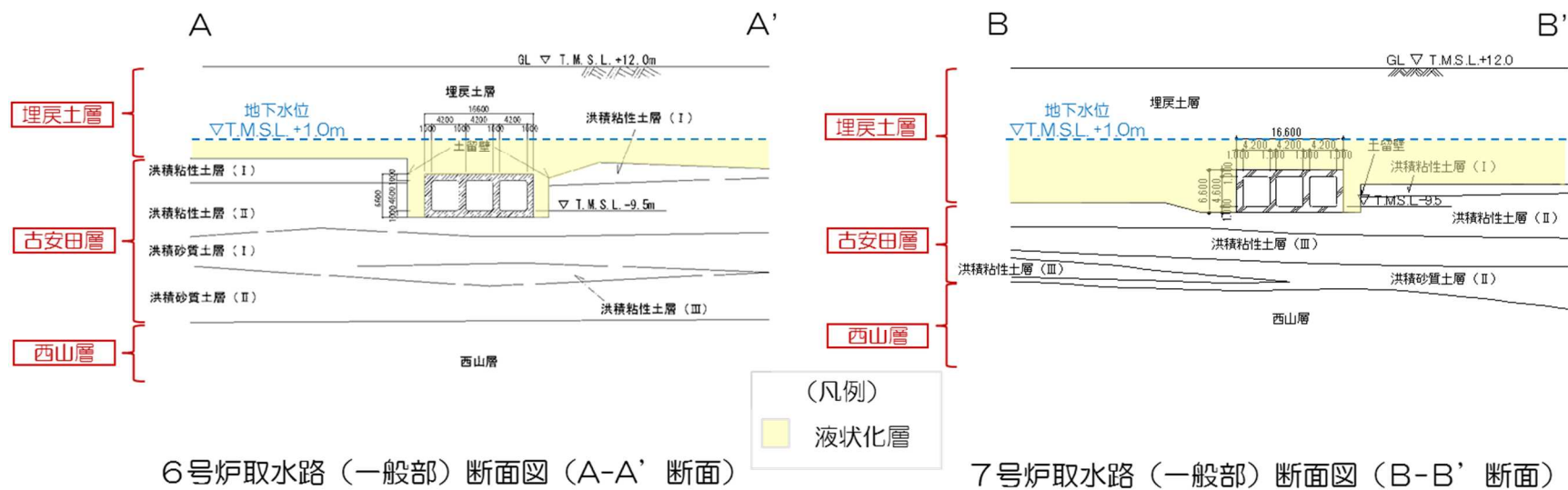
以上のことから、代表断面として、7 号炉取水路（一般部）を選定し、2 次元有効応力解析（FLIP）による評価を実施する。



第 11-9-1 図 取水路における代表断面の選定フロー



第 11-9-2 図 取水路における代表断面



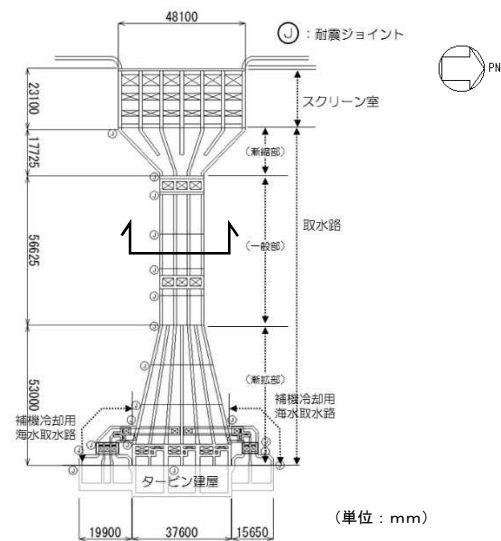
第 11-9-3 図 取水路における代表断面

### 9.2.2 評価方針

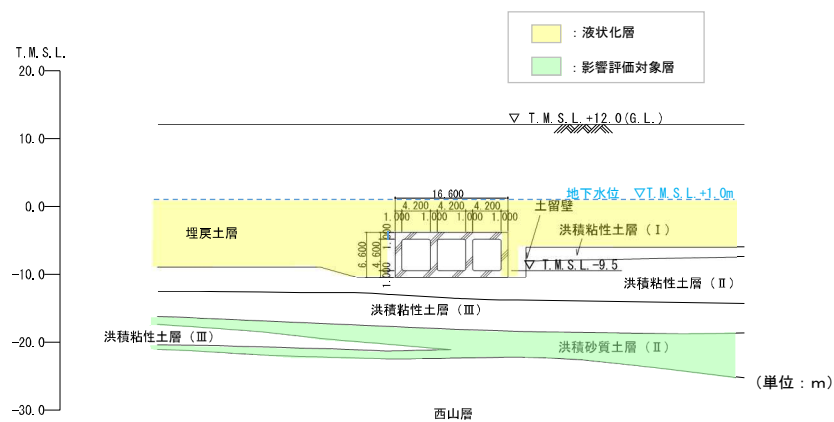
取水路は、設計基準対象施設のうち屋外重要土木構造物に分類される鉄筋コンクリート製の地中埋設構造物である。7号炉取水路の平面図を第11-9-4図に、一般部の断面図を第11-9-5図に示す。

取水路の耐震評価では、設計基準対象施設として第11-9-2表の項目に示す評価を行う。

構造部材の健全性評価については、地震応答解析に基づく鉄筋コンクリートの発生応力等が許容限界を超えないことを確認する。また、基礎地盤の支持性能については、鉛直方向の最大合力（最大鉛直力）が許容限界を超えないことを確認する。取水路の評価フローを第11-9-6図に示す。



第11-9-4図 7号炉取水路平面図

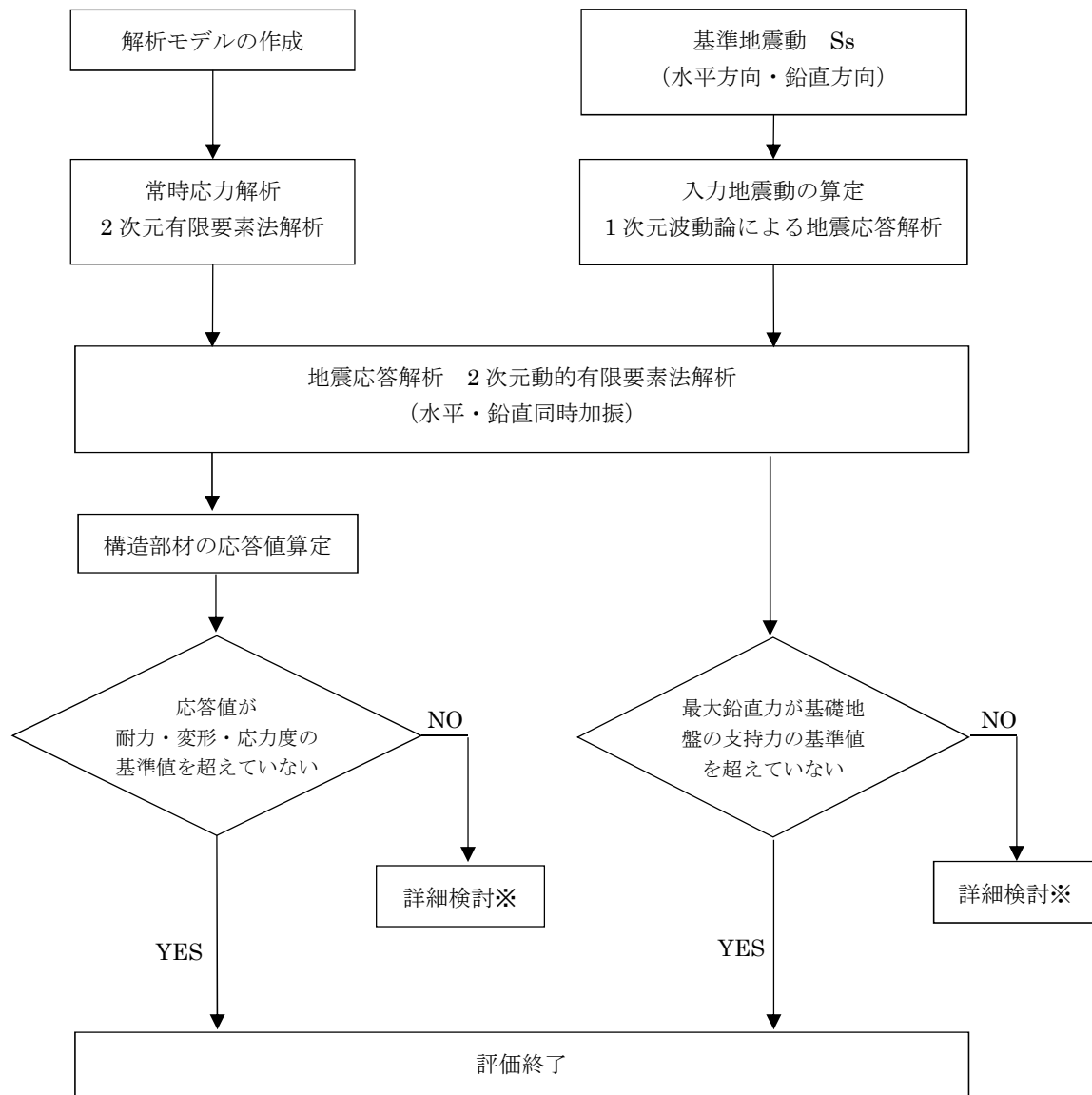


第11-9-5図 7号炉取水路（一般部）断面図



第 11-9-2 表 取水路の評価項目

| 評価方針       | 評価項目      | 地震力         | 部位       | 評価方法                     | 許容限界          |
|------------|-----------|-------------|----------|--------------------------|---------------|
| 構造強度を有すること | 構造部材の健全性  | 基準地震動<br>Ss | 鉄筋コンクリート | 発生応力等が許容限界を超えないことを確認     | 限界層間変形角，せん断耐力 |
|            | 基礎地盤の支持性能 | 基準地震動<br>Ss | 基礎地盤     | 鉛直方向の最大合力が許容限界を超えないことを確認 | 極限支持力         |



※検討の内容に応じて、必要なプロセスへ戻る

第 11-9-6 図 取水路の評価フロー

### 9.2.3 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル，土木学会原子力土木委員会，2005 年 6 月
- ・ コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（(社) 土木学会，2002 年制定）
- ・ 道路橋示方書（Ⅰ 共通編・Ⅳ 下部構造編）・同解説（(社) 日本道路協会，平成 14 年 3 月）
- ・ 港湾の施設の技術上の基準・同解説（(社) 日本港湾協会，2007 年版）

### 9.2.4. 評価条件

#### 9.2.4.1 解析方法

地震応答解析は，構造物と地盤の動的相互作用を考慮できる 2 次元動的有限要素法解析を用いて，基準地震動  $S_s$  に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴非線形応答解析を行う。取水路の側方及び上方は埋戻土層で囲まれていることから，過剰間隙水圧の上昇を適切に評価するため，有効応力モデルを用いる。

地震応答解析は，埋戻土層の液状化の影響を考慮する必要があるため，解析コード「FLIP Ver.7.2.3\_5」を使用する。

#### (1) 構造部材

取水路の構造部材は，非線形はり要素でモデル化し，曲げモーメントー曲率関係の非線形性を修正武田モデルで考慮する。

#### (2) 地盤

地盤は，Hardin-Drnevich モデルを適用し，動せん断弾性係数及び減衰定数の非線形特性を考慮する。

#### (3) 減衰定数

減衰特性は，固有値解析にて求まる固有振動数及び減衰比に基づく Rayleigh 減衰と，地盤及び構造物の履歴減衰を考慮する。

9.2.4.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、以下の通り設定する。

(1) 耐震安全性評価上考慮する状態

取水路の耐震安全性評価において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

a. 運転時の状態

発電用原子炉施設が運転状態にあり、通常の条件下におかれている状態とする。  
ただし、運転時の異常な過渡変化時の影響を受けないことから考慮しない。

b. 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

c. 設計用自然条件

地中埋設構造物であることから、積雪及び風は考慮しない。

d. 重大事故時の状態

重大事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(2) 荷重

地震応答解析において考慮する荷重を以下に示す。

a. 固定荷重 (G)

固定荷重として、構造物及び内水の自重を考慮する。

b. 地震荷重 ( $K_{Ss}$ )

地震荷重として、基準地震動  $S_s$  による地震力を考慮する。

(3) 荷重の組合せ

荷重の組合せを第 11-9-3 表に示す。

第 11-9-3 表 荷重の組合せ

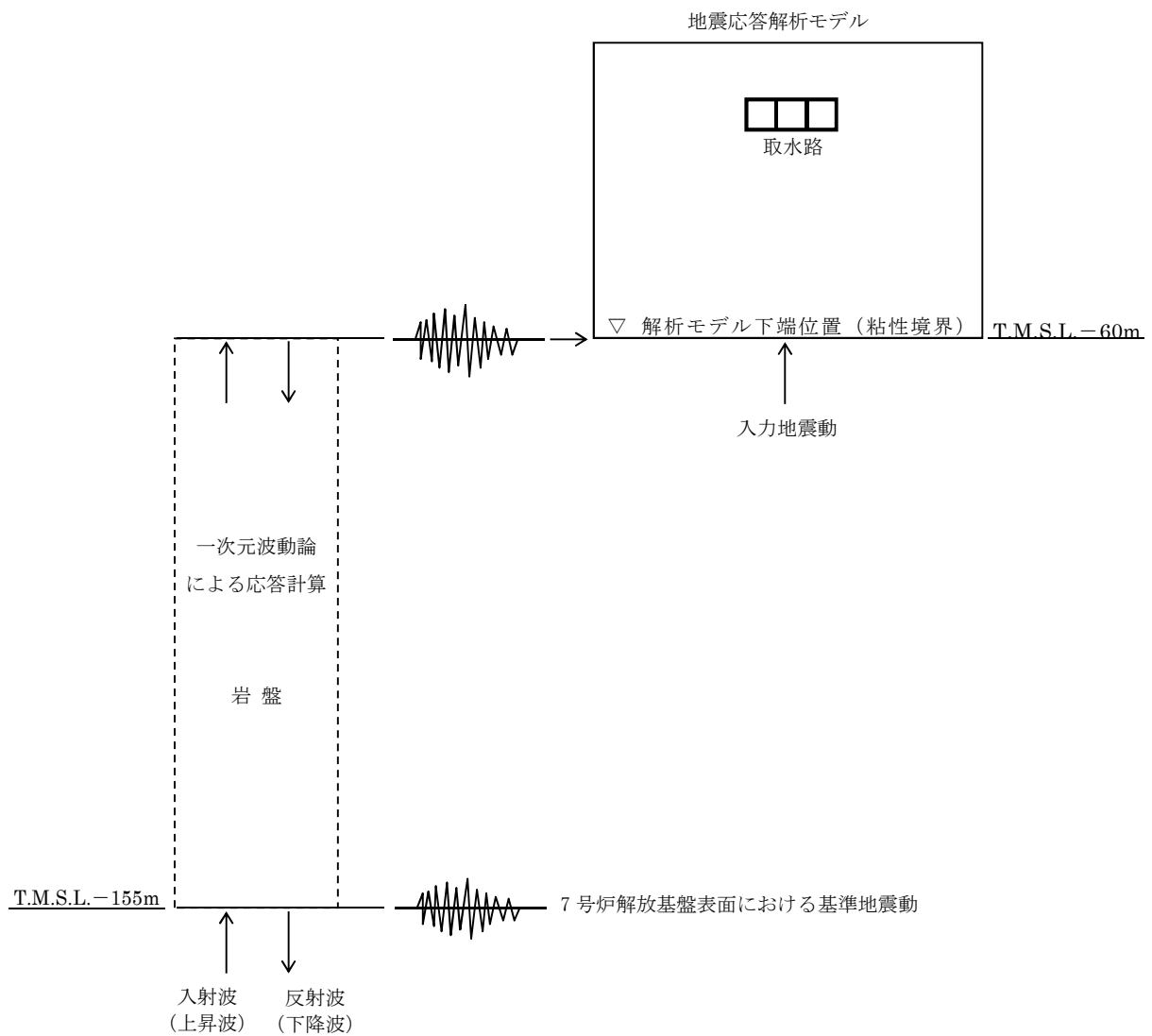
| 外力の状態         | 荷重の組合せ       |
|---------------|--------------|
| 地震時 ( $S_s$ ) | $G + K_{Ss}$ |

ここで、 $G$  : 固定荷重  
 $K_{Ss}$  : 地震荷重

### 9.2.4.3 入力地震動

地震応答解析に用いる入力地震動は，解放基盤表面で定義される基準地震動  $S_s$  を，1次元波動論によって地震応答解析モデルの下端位置で評価したものをを用いる。

入力地震動の算定には，解析コード「SLOK Ver2.0」を使用する。入力地震動算定の概念図を第 11-9-7 図に示す。



第 11-9-7 図 入力地震動算定の概念図

#### 9.2.4.4 解析モデル

地震応答解析モデルを第 11-9-8 図に示す。

##### (1) 解析領域

解析領域は、側面境界及び底面境界が、構造物の応答に影響しないよう、構造物と側面境界及び底面境界との距離を十分に広く設定する。

##### (2) 境界条件

解析領域の側面及び底面には、エネルギーの逸散効果を評価するため、粘性境界を設ける。

##### (3) 構造物のモデル化

構造物は、非線形はり要素でモデル化する。

##### (4) 地盤のモデル化

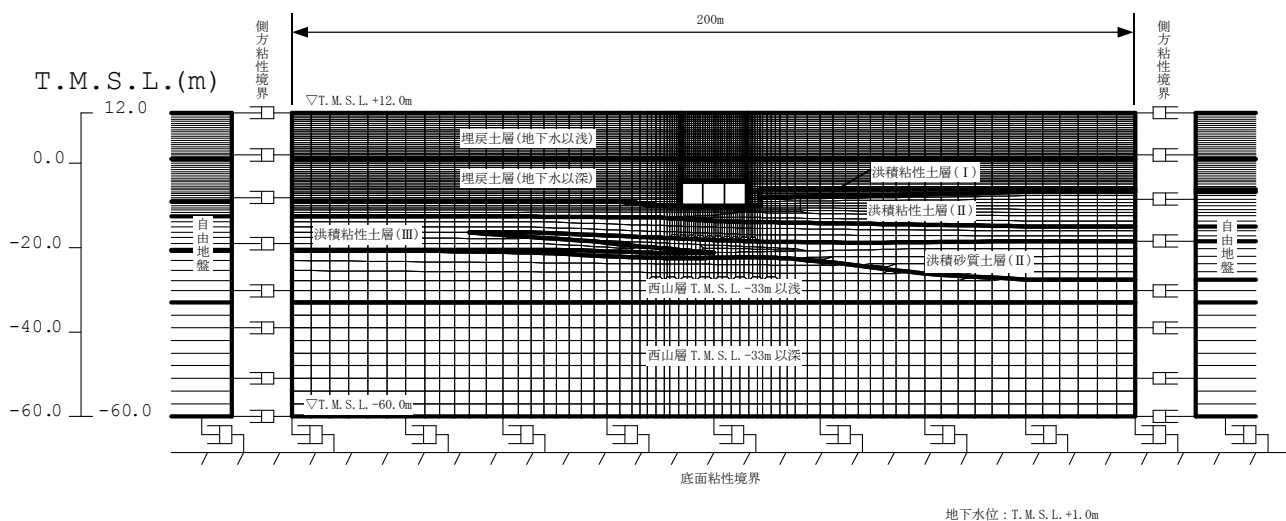
地盤は、地質区分に基づき、平面ひずみ要素でモデル化する。

##### (5) ジョイント要素

構造物と地盤の境界部にジョイント要素を設けることにより、構造物と地盤の剥離・すべりを考慮する。

##### (6) 水位条件

取水路周辺の残留水位は、地震荷重に伴う液状化による変形を保守的に考慮するために、朔望平均満潮位 (T.M.S.L.+0.49m) に余裕を考慮した T.M.S.L.+1.00m とする。



第 11-9-8 図 地震応答解析モデル

## 9.2.4.5 使用材料及び材料の物性値

## (1) 構造物の物性値

使用材料を第 11-9-4 表に，材料の物性値を第 11-9-5 表に示す。

第 11-9-4 表 使用材料

| 材料     | 諸元                                                     |
|--------|--------------------------------------------------------|
| コンクリート | 設計基準強度 23.5N/mm <sup>2</sup> (240kgf/cm <sup>2</sup> ) |
| 鉄筋     | SD345 相当 (SD35)                                        |

第 11-9-5 表 材料の物性値

| 材料     | 単位体積重量<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | ヤング係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) | ポアソン比             |
|--------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------|
| コンクリート | 24 <sup>※1</sup>               | 25 <sup>※2</sup>               | 0.2 <sup>※2</sup> |
| 鉄筋     |                                | 200 <sup>※2</sup>              | 0.3 <sup>※2</sup> |

※1 鉄筋コンクリートとしての単位体積重量

※2 「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（（社）土木学会，2002 年制定）」に基づき設定する

## (2) 地盤の物性値

## a. 液状化試験の結果

液状化層と判定する埋戻土層と非液状化層と判定するが念のため液状化強度特性を設定する洪積砂質土層（Ⅱ）の有効応力解析に用いる液状化パラメータは、繰返しねじりせん断試験結果より設定する。

埋戻土層及び洪積砂質土層（Ⅱ）の物性値を第 11-9-6 表に示す。

試験結果から設定した解析上の液状化強度曲線を第 11-9-9 図に、液状化パラメータを第 11-9-7 表に示す。なお、液状化特性が保守的（液状化しやすい）に評価されるように、液状化パラメータを設定する（試験結果より繰返し回数が少ない状態で同程度のひずみが発生するように設定することから、液状化が発生しやすい設定となっている）。

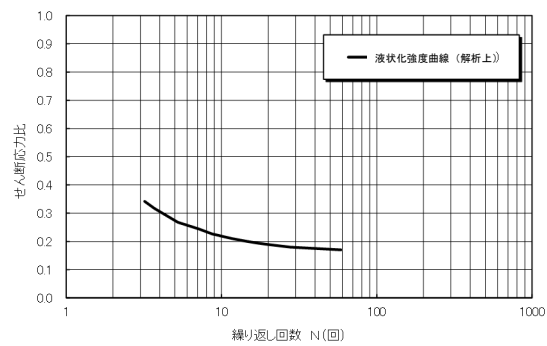
第 11-9-6 表 試験結果  
(埋戻土層)

|           | 必要とする物性値              |                  |                 | 物性値             |
|-----------|-----------------------|------------------|-----------------|-----------------|
|           | 名称                    | 記号               | 単位              |                 |
| 物理的<br>性質 | 単位体積重量                | $\rho$           | $\text{t/m}^3$  | 2.00            |
|           | 間隙率                   | $n$              | —               | 0.41            |
| 力学的<br>性質 | 液状化強度曲線<br>(液状化パラメータ) | —                | —               | 第 9.2.9 図<br>参照 |
|           | せん断弾性係数               | $G_{\text{ma}}$  | $\text{kN/m}^2$ | 5.11E+04        |
|           | 内部摩擦角                 | $\phi$           | °               | 41.1            |
|           | 粘着力                   | $C$              | $\text{kN/m}^2$ | 0.0             |
|           | 履歴減衰上限値               | $h_{\text{max}}$ | —               | 0.271           |

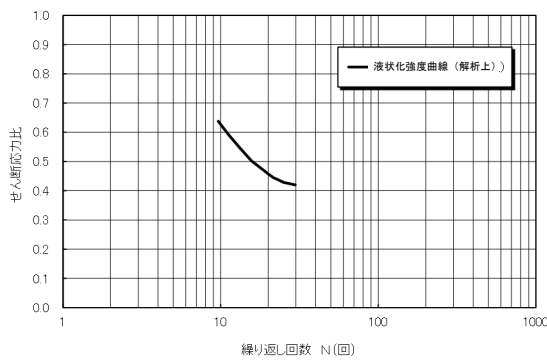
(洪積砂質土層（Ⅱ）)

|           | 必要とする物性値              |                  |                 | 物性値             |
|-----------|-----------------------|------------------|-----------------|-----------------|
|           | 名称                    | 記号               | 単位              |                 |
| 物理的<br>性質 | 単位体積重量                | $\rho$           | $\text{t/m}^3$  | 1.90            |
|           | 間隙率                   | $n$              | —               | 0.53            |
| 力学的<br>性質 | 液状化強度曲線<br>(液状化パラメータ) | —                | —               | 第 9.2.9 図<br>参照 |
|           | せん断弾性係数               | $G_{\text{ma}}$  | $\text{kN/m}^2$ | 2.07E+05        |
|           | 内部摩擦角                 | $\phi$           | °               | 45.0            |
|           | 粘着力                   | $C$              | $\text{kN/m}^2$ | 0.0             |
|           | 履歴減衰上限値               | $h_{\text{max}}$ | —               | 0.155           |





(埋戻土層)



(洪積砂質土層 (Ⅱ))

第 11-9-9 図 液状化強度曲線

第 11-9-7 表 液状化パラメータ

| 液状化パラメータ  | $\phi_p(^{\circ})$ | $w_l$ | $p_l$ | $p_2$ | $c_1$ | $S_l$ |
|-----------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 埋戻土層      | 28.0               | 2.400 | 0.500 | 0.800 | 1.920 | 0.005 |
| 洪積砂質土層(Ⅱ) | 28.0               | 4.600 | 0.500 | 0.600 | 3.910 | 0.005 |

## b. 解析用地盤物性値

地盤の物性値を第 11-9-8 表に示す。埋戻土層及び洪積砂質土層（Ⅱ）の物性値については、地震時における過剰間隙水圧の上昇を適切に評価するため、繰返しねじりせん断試験を基に設定した液状化特性を設定する。

第 11-9-8 表 地盤の物性値

| パラメータ  |                                            | 埋戻土層<br>(地下水以浅) | 埋戻土層<br>(地下水以深) | #67洪積<br>粘性土層Ⅰ | #67洪積<br>粘性土層Ⅱ | #67洪積<br>粘性土層Ⅲ | #67洪積<br>砂質土層Ⅱ | 西山層TMSL<br>-33m以浅 | 西山層TMSL<br>-33m以深 |
|--------|--------------------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|-------------------|
| 動的変形特性 | 単位体積重量 $\rho$ ( $\text{t/m}^3$ )           | 1.90            | 2.00            | 1.82           | 1.80           | 1.86           | 1.90           | 1.73              | 1.69              |
|        | 間隙率 $n$                                    | 0.41            | 0.41            | 0.51           | 0.51           | 0.48           | 0.53           | 0.56              | 0.56              |
|        | せん断波速度 $V_s$ ( $\text{m/sec}$ )            | —               | —               | 230            | 250            | 290            | 330            | 490               | 530               |
|        | せん断弾性係数 $G_{ms}$ ( $\text{kN/m}^2$ )       | 5.11E+04        | 5.11E+04        | 9.63E+04       | 1.13E+05       | 1.56E+05       | 2.07E+05       | 4.15E+05          | 4.75E+05          |
|        | 体積弾性係数 $K_{ms}$ ( $\text{kN/m}^2$ )        | 1.33E+05        | 1.33E+05        | 2.51E+05       | 2.95E+05       | 4.07E+05       | 5.40E+05       | 1.08E+06          | 1.24E+06          |
|        | 基準化拘束圧 $\sigma_{ms}^*$ ( $\text{kN/m}^2$ ) | 98.0            | 98.0            | 98.0           | 98.0           | 98.0           | 190.0          | 98.0              | 98.0              |
|        | 拘束圧依存の係数 $m_{C/m_K}$                       | 0.667           | 0.667           | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0.500          | 0.000             | 0.000             |
|        | ポアソン比 $\nu$                                | 0.33            | 0.33            | 0.33           | 0.33           | 0.33           | 0.33           | 0.33              | 0.33              |
|        | 粘着力 $C$ ( $\text{kN/m}^2$ )                | 10.8            | 0.0             | 0.0            | 191.0          | 218.0          | 0.0            | —                 | —                 |
|        | 内部摩擦角 $\phi$ ( $^\circ$ )                  | 33.8            | 41.1            | 33.0           | 27.3           | 27.9           | 45.0           | Cu=1370-5.04Z     | Cu=1370-5.04Z     |
|        | 履歴減衰上限値 $h_{max}$                          | 0.271           | 0.271           | 0.144          | 0.087          | 0.087          | 0.155          | 0.257             | 0.257             |
|        | 変相角 $\phi_p$ ( $^\circ$ )                  | —               | 28.0            | —              | —              | —              | 28.0           | —                 | —                 |
| 液状化特性  | 液状化パラメータ                                   | w1              | —               | 2.400          | —              | —              | —              | 4.600             | —                 |
|        |                                            | p1              | —               | 0.500          | —              | —              | —              | 0.500             | —                 |
|        |                                            | p2              | —               | 0.800          | —              | —              | —              | 0.600             | —                 |
|        |                                            | c1              | —               | 1.920          | —              | —              | —              | 3.910             | —                 |
|        |                                            | S1              | —               | 0.005          | —              | —              | —              | 0.005             | —                 |

## c. ジョイント要素の設定

構造物と地盤の境界部にジョイント要素を設けることにより、構造物と地盤の剥離・すべりを考慮する。ジョイント要素の特性は法線方向、接線方向に分けて設定する。法線方向では、常時状態における鉛直応力以上の引張が生じた場合、剛性及び応力をゼロとして剥離を考慮する。接線方向では、構造物と地盤のせん断抵抗力以上のせん断応力が発生した場合、剛性をゼロとし、すべりを考慮する。静止摩擦角  $\tau_f$  は Mohr-Coulomb 式により規定される。 $C, \phi$  は「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会、平成 14 年 3 月）」（第 11-9-9 表）に基づき、第 11-9-10 表に示すとおり設定する。

第 11-9-9 表 摩擦角と付着力（日本道路協会）

| 条 件                | 摩擦角 $\phi_B$ (摩擦係数 $\tan \phi_B$ )             | 付着力 $c_B$ |
|--------------------|------------------------------------------------|-----------|
| 土とコンクリート           | $\phi_B = \frac{2}{3} \phi$                    | $c_B = 0$ |
| 土とコンクリートの間に栗石を敷く場合 | $\tan \phi_B = 0.6$<br>$\phi_B = \phi$ } の小さい方 | $c_B = 0$ |
| 岩とコンクリート           | $\tan \phi_B = 0.6$                            | $c_B = 0$ |
| 土と土又は岩と岩           | $\phi_B = \phi$                                | $c_B = c$ |

ただし、 $\phi$ : 支持地盤のせん断抵抗角 ( $^\circ$ )  $c$ : 支持地盤の粘着力 ( $\text{kN/m}^2$ )

第 11-9-10 表 ジョイント要素の強度特性

|           | 粘着力 $C$ ( $\text{kN/m}^2$ ) | 内部摩擦角 ( $^\circ$ ) |
|-----------|-----------------------------|--------------------|
| 埋戻土層      | 0                           | 27.4               |
| 洪積粘性土層（Ⅱ） | 0                           | 18.2               |

ジョイント要素のばね定数は、数値解析上不安定な挙動を起こさない程度に十分に大きな値として、港湾構造物設計事例集（沿岸開発技術センター）に従い、 $k_n=k_s=1.0 \times 10^6(\text{kN/m}^3)$ とする。

### (3) 荷重の入力方法

#### a. 固定荷重

固定荷重である自重は、鉄筋コンクリートの単位体積重量を踏まえ、構造物の断面の大きさに応じて算定する。

#### b. 地震荷重

地震荷重である地震力は 9.2.4.3 章にて設定している入力地震動をモデル底面に入力する。

## 9.2.4.6 許容限界

## (1) 曲げに対する許容限界

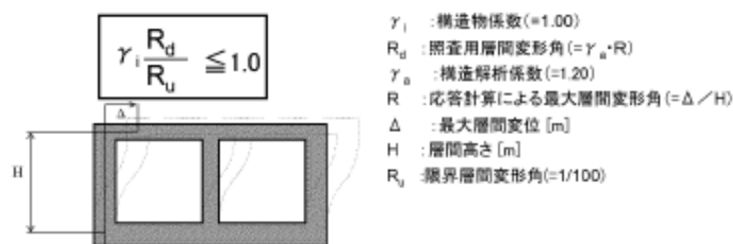
曲げに対する照査は第 11-9-10 図に示す通り、「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル，土木学会原子力土木委員会，2005 年 6 月」（以下，「土木学会マニュアル」とする）に基づき，照査用層間変形角が限界層間変形角を下回ることを確認する。

土木学会マニュアルでは，曲げ系の破壊に対する限界状態は，コンクリートの圧縮縁のかぶりが剥落しないこととされている。

圧縮縁コンクリートひずみが 1%の状態及び層間変形角 1/100 に至る状態は，かぶりコンクリートの剥落が発生する前の状態であることが，屋外重要土木構造物を模したラーメン構造の破壊実験及び数値シミュレーション等の結果より確認されている。これらの状態を限界値とすることで構造全体としての安定性が確保できるとして設定されたものである。土木学会マニュアルに従い，層間変形角が 1/100 以下であれば，圧縮縁コンクリートひずみが 1%の状態以下であると判断できるため，許容限界を 1/100 と設定する。

また，曲げ照査に用いる照査用層間変形角は，地震応答解析により得られた層間変形角に安全係数（構造物解析係数）1.2 を乗じる。従って，当該値を許容限界として設定することで，曲げ破壊に対して安全余裕を見込んだ評価を実施することが可能である。

なお，曲げに対する照査については，最大の水平相対変位が生じる時刻について，層間変形角による評価を実施する。



第 11-9-10 図 層間変形角による曲げ照査

## (2) せん断に対する許容限界

せん断に対する許容限界は，土木学会マニュアルに基づき，「せん断耐力評価式（等価せん断スパン比）を用いた方法」により算定する。

## a. せん断耐力評価式を用いたせん断耐力評価

## 1) 棒部材式

$$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$$

ここに，  $V_{cd}$ ：コンクリートが分担するせん断耐力

$V_{sd}$ ：せん断補強筋が分担するせん断耐力

$$V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{bc}$$

$$f_{vcd} = 0.20 \sqrt[3]{f'_{cd}}$$

ただし，  $f_{vcd} > 0.72(\text{N/mm}^2)$  となる場合は  $f_{vcd} = 0.72(\text{N/mm}^2)$

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d}$$

ただし，  $\beta_d > 1.5$  となる場合は  $\beta_d = 1.5$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100P_v}$$

ただし，  $\beta_p > 1.5$  となる場合は  $\beta_p = 1.5$

$$\beta_n = 1 + M_o / M_d (N'_d \geq 0)$$

ただし，  $\beta_n > 2.0$  となる場合は  $\beta_n = 2.0$

$$= 1 + 2M_o / M_d (N'_d < 0)$$

ただし，  $\beta_n < 0$  となる場合は  $\beta_n = 0$

$$\beta_a = 0.75 + \frac{1.4}{\alpha/d}$$

ただし，  $\beta_a < 1.0$  となる場合は  $\beta_a = 1.0$

$f'_{cd}$ ：コンクリート圧縮強度の設計用値( $\text{N/mm}^2$ )で設計基準強度 $f'_{ck}$ を材料係数 $\gamma_{mc}(1.3)$ で除したもの

$P_v = A_s / (b_w \cdot d)$ ：引張鉄筋比

$A_s$ ：引張側鋼材の断面積

$b_w$ ：部材の有効幅

$d$ ：部材の有効高さ

$N'_d$ ：設計軸圧縮力

$M_d$ ：設計曲げモーメント

$M_o = N'_d \cdot D/6$ ： $M_d$ に対する引張縁において，軸方向力によって発生する応力を打消すのに必要なモーメント（デコンプレッションモーメント）

$D$ ：断面高さ

$a/d$ ：せん断スパン比

$\gamma_{bc}$ ：部材係数(1.3)

$$V_{sd} = \{A_w f_{wyd} (\sin \alpha + \cos \alpha) / s\} z / \gamma_{bs}$$

$A_w$ ：区間  $s$  におけるせん断補強鉄筋の総断面積

$f_{wyd}$ ：せん断補強鉄筋の降伏強度を材料係数 $\gamma_{ms}(1.0)$ で除したもので，400N/

$\text{mm}^2$ 以下とする。ただし、コンクリートの圧縮強度の特性値 $f'_{ck}$ が  $60\text{N/mm}^2$ 以上のときは、 $800\text{N/mm}^2$ 以下とする。

$\alpha$  : せん断補強鉄筋と部材軸のなす角

$s$  : せん断補強鉄筋の配置間隔

$z$  : 圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までの距離で  $d/1.15$  とする。

$\gamma_{bs}$  : 部材係数(1.1)

## 2) デープビーム式

$$V_{yda} = V_{cda} + V_{sda}$$

ここに、  $V_{cda}$  : コンクリートが分担するせん断耐力

$V_{sda}$  : せん断補強筋が分担するせん断耐力

$$V_{cda} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_a \cdot f_{da} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{bc}$$

$$f_{da} = 0.19 \sqrt{f'_{cd}}$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d}$$

ただし、 $\beta_d > 1.5$ となる場合は $\beta_d = 1.5$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100P_v}$$

ただし、 $\beta_p > 1.5$ となる場合は $\beta_p = 1.5$

$$\beta_a = \frac{5}{1+(\alpha/d)^2}$$

$\gamma_{bc}$  : 部材係数(1.3)

$$V_{sda} = \varphi \cdot V_{sd}$$

$$\varphi = -0.17 + 0.3a/d + 0.33/p_{wb} \quad \text{ただし、} 0 \leq \varphi \leq 1$$

$p_{wb}$  : せん断補強鉄筋比(%)

土木学会マニュアルでは、コンクリート標準示方書におけるせん断耐力式のうち棒部材式において等価せん断スパンにより設定可能な $\beta_a$ を考慮している。これは、地中に埋設されたラーメン構造で、分布荷重が卓越、スパン内に曲げモーメントの反曲点が存在する等の载荷形態にある条件下では、せん断耐力が増大するという実験的知見を踏まえ、より合理的なせん断耐力を与えるよう、コンクリート標準示方書のせん断耐力式を精緻化したものである。

また、土木学会マニュアルにおけるせん断耐力式における評価においては、複数の安全係数（部材係数、構造解析係数）を見込む。

なお、せん断に対する照査については、地震応答解析において部材のせん断照査が厳しくなる時刻（層間変形角最大時刻）について、土木学会マニュアルに基づき、等価せん断スパンを考慮した照査手法を用いて評価を実施する。層間変形角が最大となる時刻と、せん断力が最大となる時刻の整合性は、補足確認する。

### (3) 安全係数の考え方

耐震安全性評価にあたっては、構造部材の曲げ照査については限界層間変形角を、構造部材のせん断照査についてはせん断耐力を許容限界値とした終局状態を想定した評価を実施する。

耐震安全性評価では、当該許容限界値に対して、妥当な安全余裕を確保するため、構造部材の照査の過程において複数の安全係数を考慮する。

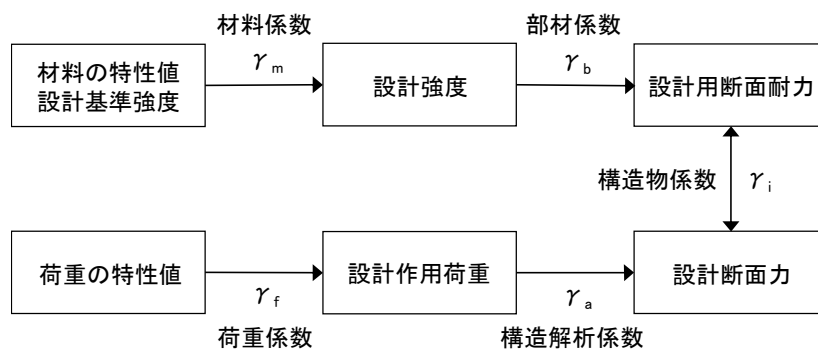
安全係数は、材料係数、部材係数、荷重係数、構造解析係数及び構造物係数の5種に分けられる。それぞれの安全係数の考え方を第11-9-11図に示す。

安全係数の設定については、取水路の構造的な特徴を踏まえ、その適用性を判断した上で参考とする規格・基準類を9.2.3章から選定した。

第11-9-11表に、曲げ及びせん断照査に用いる安全係数とその設定の考え方を示す。

安全係数については、各規格・基準類で、必ずしも一定の値が定められているわけではないことから、取水路の特徴、耐震評価における解析手法及び物性値の設定根拠等を考慮し、第11-9-11表に示すとおり設定する。

また、地盤物性のばらつきの考慮として、周辺地盤の変形特性について、平均値を基本ケースとした場合に、平均値 $\pm 1.0 \times$ 標準偏差( $\sigma$ )のケースにおける影響の程度を安全係数として考慮した照査を、工事計画認可段階において実施する。



※上記に加えて、地盤物性のばらつきに関する安全係数を考慮する

第11-9-11図 安全係数の考え方

第 11-9-11 表(1) 曲げ評価において考慮する安全係数

| 安全係数   |            | 値    | 設定根拠                                                |
|--------|------------|------|-----------------------------------------------------|
| 材料係数   | $\gamma_m$ | 1.00 | 地震応答解析により応答値を求めていることから、照査手法に整合する適用規格より設定            |
| 部材係数   | $\gamma_b$ | 1.00 | 適用規格に基づき、限界層間変形角の設定にあたっては保守的な配慮が行われていることから設定        |
| 構造物係数  | $\gamma_i$ | 1.00 | 適用規格に基づき、基準地震動 $S_s$ による地震力を適用することで十分に考慮されていることから設定 |
| 荷重係数   | $\gamma_f$ | 1.00 | 適用規格より設定                                            |
| 構造解析係数 | $\gamma_a$ | 1.20 | 適用規格より設定                                            |

第 11-9-11 表(2) せん断評価において考慮する安全係数

| 安全係数               |        |               | 値    | 設定根拠                                               |
|--------------------|--------|---------------|------|----------------------------------------------------|
| 材料係数<br>$\gamma_m$ | コンクリート | $\gamma_{mc}$ | 1.30 | 適用規格より設定                                           |
|                    | 鉄筋     | $\gamma_{ms}$ | 1.00 | 適用規格より設定                                           |
| 部材係数<br>$\gamma_b$ | コンクリート | $\gamma_{bc}$ | 1.30 | 適用規格より設定                                           |
|                    | 鉄筋     | $\gamma_{bs}$ | 1.10 | 適用規格より設定                                           |
| 構造物係数              |        | $\gamma_i$    | 1.00 | 適用規格に基づき、基準地震動 $S_s$ による地震力を適用することで十分に考慮されているとして設定 |
| 荷重係数               |        | $\gamma_f$    | 1.00 | 適用規格より設定                                           |
| 構造解析係数             |        | $\gamma_a$    | 1.05 | 適用規格より設定                                           |



## (4) 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

基礎地盤の支持性能に対する照査は、取水路底版下の地盤に作用する鉛直方向の最大合力（最大鉛直力）が「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）」に基づき算定した極限支持力を下回ることを確認する。

極限支持力算定式（直接基礎）

$$Q_u = A_e \left\{ \alpha \kappa c N_c S_c + \kappa q N_q S_q + \frac{1}{2} \gamma_1 \beta B_e N_\gamma S_\gamma \right\}$$

ここに、

$Q_u$ ：荷重の偏心傾斜，支持力係数の寸法効果を考慮した地盤の極限支持力（kN）

$c$ ：地盤の粘着力（kN/m<sup>2</sup>）

$q$ ：上載荷重（kN/m<sup>2</sup>）で、 $q = \gamma_2 D_f$

$A_e$ ：有効載荷面積（m<sup>2</sup>）

$\gamma_1, \gamma_2$ ：支持地盤及び根入れ地盤の単位体積重量（kN/m<sup>3</sup>）

ただし、地下水位以下では水中単位体積重量を用いる。

$B_e$ ：荷重の偏心を考慮した基礎の有効載荷幅（m）

$$B_e = B - 2e_B$$

$B$ ：基礎幅（m）

$e_B$ ：荷重の偏心量（m）

$D_f$ ：基礎の有効根入れ深さ（m）

$\alpha, \beta$ ：基礎の形状係数（=1，帯状基礎の係数を適用）

$\kappa$ ：根入れ効果に対する割増係数（=1）

$N_c, N_q, N_\gamma$ ：荷重の傾斜を考慮した支持力係数

$S_c, S_q, S_\gamma$ ：支持力係数の寸法効果に関する補正係数

## 9.2.5. 評価結果

### 9.2.5.1 曲げに対する照査結果

曲げに対する照査結果を第 11-9-12 表に示す。取水路（一般部）の照査用層間変形角は、いずれも許容限界値（限界層間変形角）以下である。

第 11-9-12 表 曲げに対する照査結果

| 基準地震動 | 評価位置  | 照査用層間変形角<br>$R_d^{※1}$ | 限界層間変形角<br>$R_u$ | 照査値<br>$R_d/R_u$ |
|-------|-------|------------------------|------------------|------------------|
| Ss-1  | 頂版～底版 | 0.25/100               | 1/100            | 0.25             |
| Ss-2  | 頂版～底版 | 0.15/100               | 1/100            | 0.15             |
| Ss-3  | 頂版～底版 | 0.30/100               | 1/100            | 0.30             |
| Ss-4  | 頂版～底版 | 0.13/100               | 1/100            | 0.13             |
| Ss-5  | 頂版～底版 | 0.23/100               | 1/100            | 0.23             |
| Ss-6  | 頂版～底版 | 0.22/100               | 1/100            | 0.22             |
| Ss-7  | 頂版～底版 | 0.27/100               | 1/100            | 0.27             |
| Ss-8  | 頂版～底版 | 0.18/100               | 1/100            | 0.18             |

※1 照査用層間変形角  $R_d$  = 最大層間変形角  $R$  × 構造解析係数  $\gamma_a$

地盤物性のばらつきに関する安全係数を乗じていない値

### 9.2.5.2 せん断に対する照査結果

せん断に対する照査結果を第 11-9-13 表に示す。取水路（一般部）の照査用せん断力は、いずれもせん断耐力評価式を用いた方法による許容限界値（せん断耐力）以下である。

なお、照査用せん断力がせん断耐力評価式を用いた方法によるせん断耐力を上回る場合は、「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル，土木学会原子力土木委員会，2005 年 6 月」に基づき，構造部材の形状，作用荷重及び鉄筋コンクリートの非線形特性を踏まえた材料非線形解析を実施することにより，より高い精度で求めたせん断耐力で照査を行うと，せん断に対する照査結果は，十分な裕度を有している。

第 11-9-13 表 セン断に対する照査結果

| 基準地震動 | 評価位置 | 照査用せん断力<br>$V_d(\text{kN})^{※1}$ | せん断耐力<br>$V_{yd}(\text{kN})$ | 照査値<br>$V_d / V_{yd}$    |
|-------|------|----------------------------------|------------------------------|--------------------------|
| Ss-1  | 頂版   | 1032                             | 2758                         | 0.37                     |
|       | 底版   | 1172                             | 3085                         | 0.38                     |
|       | 側壁   | 1177                             | 1708                         | 0.69                     |
|       | 隔壁   | 725                              | 898                          | 0.81                     |
| Ss-2  | 頂版   | 759                              | 2776                         | 0.27                     |
|       | 底版   | 832                              | 2894                         | 0.29                     |
|       | 側壁   | 750                              | 1588                         | 0.47                     |
|       | 隔壁   | 556                              | 913                          | 0.61                     |
| Ss-3  | 頂版   | 864                              | 2683                         | 0.32                     |
|       | 底版   | 1005                             | 3008                         | 0.33                     |
|       | 側壁   | 1077                             | 1574                         | 0.68                     |
|       | 隔壁   | 829(833) <sup>※2</sup>           | 875(1941) <sup>※2</sup>      | 0.95(0.43) <sup>※2</sup> |
| Ss-4  | 頂版   | 735                              | 2749                         | 0.27                     |
|       | 底版   | 833                              | 2941                         | 0.28                     |
|       | 側壁   | 717                              | 1571                         | 0.46                     |
|       | 隔壁   | 498                              | 920                          | 0.54                     |
| Ss-5  | 頂版   | 836                              | 2646                         | 0.32                     |
|       | 底版   | 1003                             | 2952                         | 0.34                     |
|       | 側壁   | 739                              | 1389                         | 0.53                     |
|       | 隔壁   | 689                              | 891                          | 0.77                     |
| Ss-6  | 頂版   | 825                              | 2741                         | 0.30                     |
|       | 底版   | 946                              | 2993                         | 0.32                     |
|       | 側壁   | 1050                             | 1689                         | 0.62                     |
|       | 隔壁   | 652                              | 891                          | 0.73                     |
| Ss-7  | 頂版   | 802                              | 2680                         | 0.30                     |
|       | 底版   | 956                              | 3016                         | 0.32                     |
|       | 側壁   | 1048                             | 1625                         | 0.64                     |
|       | 隔壁   | 766                              | 871                          | 0.88                     |
| Ss-8  | 頂版   | 755                              | 2685                         | 0.28                     |
|       | 底版   | 838                              | 2858                         | 0.29                     |
|       | 側壁   | 648                              | 1400                         | 0.46                     |
|       | 隔壁   | 607                              | 878                          | 0.69                     |

※1 照査用せん断力  $V_d$  = 発生せん断力  $\times$  構造解析係数  $\gamma_a$

地盤物性のばらつきに関する安全係数を乗じていない値

※2 材料非線形解析を用いた方法による結果を（ ）内に示す

### 9.2.5.3 基礎地盤の支持性能に対する照査結果

基礎地盤の支持性能に対する照査結果を第 11-9-14 表に示す。最大鉛直力は、いずれも許容限界値（極限支持力）以下である。

第 11-9-14 表 基礎地盤の支持性能に対する照査結果

| 基準地震動 | 最大鉛直力<br>V (kN) ※1 | 極限支持力<br>Q <sub>u</sub> (kN) | 照査値<br>V/Q <sub>u</sub> |
|-------|--------------------|------------------------------|-------------------------|
| Ss-1  | 5750               | 24000                        | 0.24                    |
| Ss-2  | 5120               | 29600                        | 0.17                    |
| Ss-3  | 5690               | 25800                        | 0.22                    |
| Ss-4  | 4880               | 52900                        | 0.09                    |
| Ss-5  | 4890               | 48400                        | 0.10                    |
| Ss-6  | 5130               | 24200                        | 0.21                    |
| Ss-7  | 5200               | 19000                        | 0.27                    |
| Ss-8  | 5080               | 29300                        | 0.17                    |

※1 地盤物性のばらつきに関する安全係数を乗じていない値

### 9.2.6 まとめ

設置許可段階において液状化に伴う構造物の影響を検討する代表構造物として選定した 7 号炉取水路（一般部）の基準地震動 Ss に対する構造物評価の見通しについて確認した。

地震応答解析（有効応力解析）の結果、取水路（一般部）は、基準地震動 Ss に対し、構造部材の曲げ、せん断及び基礎地盤に作用する最大鉛直力が許容限界値以下であることから、十分な構造強度を有している見通しを得た。

## 構造物の浮き上がりに係る評価方針について

本資料では、中空断面を有する構造物における液状化発生時の浮き上がりについて、評価の方針を示す。

地盤の液状化に伴う構造物の浮き上がりに対する主な簡易評価手法としては、浮き上がり計算法がある。

浮き上がり計算法は、液状化による過剰間隙水圧の上昇に伴う揚圧力の増加を考慮した、力の釣り合いに基づく方法であり、共同溝設計指針（日本道路協会，1986）、トンネル標準示方書（土木学会，2006）、鉄道構造物等設計標準・同解説（鉄道総合技術研究所，2012）及び水道施設耐震工法指針・解説（1997）に示されている。

各指針の概要を第 11-9-15 表に整理する。

浮き上がりに対する安全率  $F_s$  の算定は、共同溝設計指針、トンネル標準示方書及び鉄道構造物等設計標準・同解説では、いずれも同じ評価方法が採用されている。これは、水道施設耐震工法指針・解説は円形の管路を対象としており、他 3 者は矩形構造物を対象としているためと考えられる。柏崎刈羽地点の評価対象構造物は、矩形のボックスカルバート構造であることから、共同溝設計指針、トンネル標準示方書及び鉄道構造物等設計標準・同解説に示される以下の式を用いて評価を実施する。

$$F_s = (W_s + W_B + Q_s + Q_B) / (U_s + U_D)$$

$W_s$ ：上載土の荷重（水の重量を含む）

$W_B$ ：構造物の自重

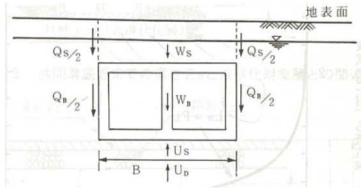
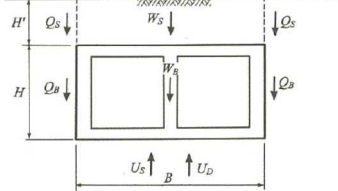
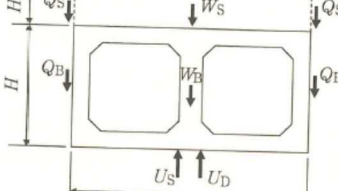
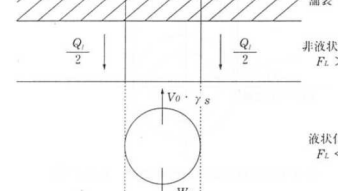
$Q_s$ ：上載土のせん断抵抗

$Q_B$ ：構造物側面の摩擦抵抗

$U_s$ ：構造物底面に作用する静水圧による揚圧力

$U_D$ ：構造物底面に作用する過剰間隙水圧による揚圧力

第 11-9-15 表 浮き上がり計算法の比較

|                     | 共同溝設計指針<br>(日本道路協会, 1986)                                                         | トンネル標準示方書<br>(土木学会, 2006)                                                          | 鉄道構造物等<br>設計標準・同解説<br>(鉄道総合技術研究所, 2012)                                             | 水道施設耐震工法<br>指針・解説<br>(日本水道協会, 1997)                                                 |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 安全率 $F_S$ の<br>算定式※ | $\frac{W_S + W_B + Q_S + Q_B}{U_S + U_D}$                                         | $\frac{W_S + W_B + 2Q_S + 2Q_B}{\gamma_i (U_S + U_D)}$                             | $\frac{W_S + W_B + 2Q_S + 2Q_B}{\gamma_i (U_S + U_D)}$                              | $\frac{W_B + Q_1}{V_0 \cdot \gamma_S}$                                              |
| 力の定義※               |  |  |  |  |
| 適用構造物               | 共同溝（矩形）                                                                           | 開削トンネル（矩形）                                                                         | 開削トンネル（矩形）                                                                          | 管路（円形）                                                                              |
| 所要安全率               | 1.1                                                                               | 1.0                                                                                | $\leq 1.0$                                                                          | 1.0                                                                                 |

 $\gamma_i$  : 構造物係数

※共同溝設計指針とトンネル標準示方書，鉄道構造物等設計標準・同解説の算定式の相違は，力の定義におけるせん断抵抗  $Q_S$ ・摩擦抵抗  $Q_B$  を，片側で「 $Q$ 」とするか「 $Q/2$ 」とするかの表記上の相違であり，算定内容は同一。

非液状化層におけるせん断抵抗 $Q_S$ 及び摩擦抵抗 $Q_B$ の算定は、柏崎刈羽地点の評価対象地盤は、砂質土に限らず粘性土や地盤改良層が分布しており、せん断抵抗角 $\phi$ と粘着力 $c$ を用いた回帰式が最も適していること、地盤改良の効果は主に粘着力 $c$ として表現されることから、トンネル標準示方書に示される以下の式を用いて評価を実施する。

$$Q_S = f_{uw} (c + K_0 \cdot \sigma'_v \cdot \tan \phi) H'$$
$$Q_B = f_{us} (c + K_0 \cdot \sigma'_v \cdot \tan \phi) H$$

$c$ ：粘着力  
 $\phi$ ：せん断抵抗角  
 $K_0$ ：静止土圧定数  
 $\sigma'_v$ ：有効上載圧  
 $H'$ ：上載土の厚さ  
 $H$ ：構造物の高さ  
 $f_{uw}$ 、 $f_{us}$ ：液状化時の浮き上がりに関する安全係数  
( $f_{uw}=1.0$ 、 $f_{us}=1.0$  が示されている)

所要安全率は、最も保守的な設定としている共同溝設計指針を踏まえ、1.1とする。

また、評価の結果を踏まえ、必要に応じて構造物周辺の地盤改良などの浮き上がり防止対策を実施する。

浮き上がり防止対策の設計方針を第 11-9-16 表に示す。

第 11-9-16 表 浮き上がり防止対策の設計方針

|             | 上載土のせん断抵抗 $Q_S$ の<br>増加 | 構造物側面の摩擦抵抗 $Q_B$<br>の増加 | 1m を超える根入れ※ |
|-------------|-------------------------|-------------------------|-------------|
| 概<br>念<br>図 |                         |                         |             |

※共同溝設計指針において、粘性土層への根入れが 1m 以下の場合には安全側の配慮から過剰間隙水圧による揚圧力を底面に作用させること、粘性土層への根入れが 1m を越える場合には浮き上がりの検討の対象外とすること、とされている。

【参考文献】

- ・ 日本道路協会：共同溝設計指針，1986.
- ・ 土木学会：トンネル標準示方書 開削工法・同解説，2006.
- ・ 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，2012.
- ・ 日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解説 1997 年版，1997.



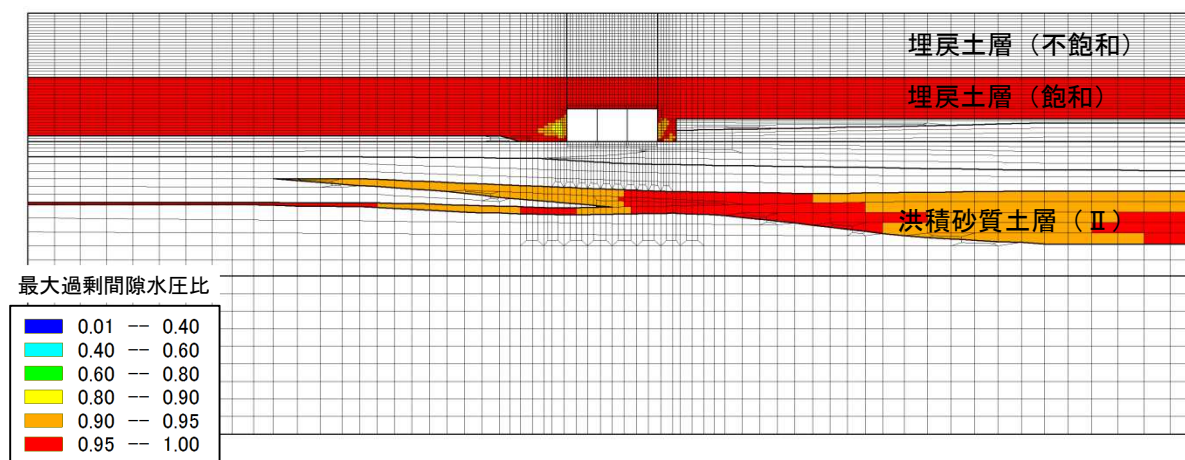
### 洪積砂質土層の液状化の有無について

7号炉取水路（一般部）の基準地震動  $S_s$  に対する地震応答解析（有効応力解析 FLIP）の結果から、洪積砂質土層の液状化の有無について示す。

本検討における液状化パラメータは、液状化層と判定する埋戻土層と、非液状化層と判定するが念のため液状化強度特性を設定する洪積砂質土層（Ⅱ）とに設定する。さらに、液状化特性が保守的に評価されるよう、液状化パラメータを設定している。（9.2.4.5 章参照）

最大過剰間隙水圧比について、曲げ及びせん断の照査が最も厳しい結果となった基準地震動  $S_s$ -3 の解析結果を第 11-9-12 図に示す。埋戻土層においては、構造物周辺以外の領域では最大過剰間隙水圧比が 0.95 を超えていることから、液状化が生じる解析結果となっている。洪積砂質土層（Ⅱ）においても、最大過剰間隙水圧比が 0.95 を超える領域があることから、部分的に液状化が生じる解析結果となっている。

以上のことから、保守的な液状化パラメータにおける結果としては、洪積砂質土層は部分的に液状化が生じる評価となる見通しである。



第 11-9-12 図 7号炉取水路（一般部）の最大過剰間隙水圧比（ $S_s$ -3）

### 取水路の沈下量について

7号炉取水路（一般部）の基準地震動 Ss に対する地震応答解析（有効応力解析 FLIP）の結果から、取水路の沈下量について示す。

本検討における液状化パラメータは、液状化層と判定する埋戻土層と、非液状化層と判定するが念のため液状化強度特性を設定する洪積砂質土層（Ⅱ）とに設定する。さらに、液状化特性が保守的に評価されるよう、液状化パラメータを設定している。（9.2.4.5 章参照）

取水路の変位量について、曲げ及びせん断の照査が最も厳しい結果となった基準地震動 Ss-3 の解析結果を第 11-9-17 表に示す。沈下量は、時刻歴最大で約 2cm、残留で約 1cm 程度となっている。また、水平変位量は、時刻歴最大で約 20cm、残留で 1cm 以下程度となっている。

なお、上述の変位量は、評価断面における対象ブロック単体の変位量であるが、耐震ジョイントの健全性評価にあたっては、隣接ブロックとの相対変位量により評価を実施する。

第 11-9-17 表 7号炉取水路（一般部）の変位量（Ss-3）

#### (1) 鉛直変位量（沈下量）

| 地震動  | 算定位置 | 時刻歴最大 (cm) | 残留 (cm) |
|------|------|------------|---------|
| Ss-3 | 底版中央 | 2.07       | 0.86    |

#### (2) 水平変位量

| 地震動  | 変位方向      | 時刻歴最大 (cm) | 残留 (cm) |
|------|-----------|------------|---------|
| Ss-3 | 右変形時（北向き） | 11.6       | —       |
|      | 左変形時（南向き） | 20.6       | 0.54    |

# 取水路の取水機能維持に関する評価方針

取水路の取水機能に係る基本設計方針として、検討項目を第 11-9-18 表に示す。検討に際しては、地盤の液状化の影響を考慮する。

構造部材の健全性及び基礎地盤の支持性能に係る評価は、本編資料に示した見通しのとおりである。

耐震ジョイントの健全性は、工事計画認可の段階において、隣接ブロックとの相対変位として確認を行う方針としている。耐震ジョイントの限界変位量は、モックアップ試験による変形許容限界の確認を行う方針としている。

発生変位量（水平変位、沈下）は、補足資料 3 に示すとおり、基準地震動  $S_s$  に対する地震応答解析（有効応力解析 FLIP）の結果を参照する。

浮き上がり量は、補足資料 1 に示すとおり、浮き上がりが発生しないことを確認することから、変位量は小さい見通しである。

以上のとおり、構造部材の健全性、基礎地盤の支持性能に加えて、発生変位量（水平、沈下、浮き上がり）がジョイント変形許容限界を超えないことを確認することにより、取水機能維持を確認する方針としている。

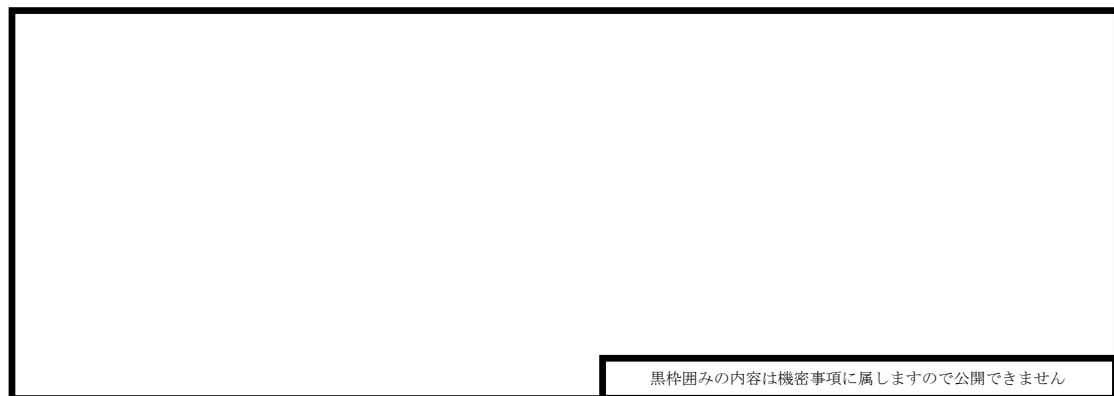
第 11-9-18 表 取水路の取水機能に係る検討項目

| 評価方針        | 評価項目        | 地震力         | 部位       | 評価方法                                           | 許容限界          |
|-------------|-------------|-------------|----------|------------------------------------------------|---------------|
| 通水断面を維持すること | 構造部材の健全性    | 基準地震動 $S_s$ | 鉄筋コンクリート | 発生応力等が許容限界を超えないことを確認                           | 限界層間変形角，せん断耐力 |
|             | 基礎地盤の支持性能   | 基準地震動 $S_s$ | 基礎地盤     | 鉛直方向の最大合力が許容限界を超えないことを確認                       | 極限支持力         |
|             | 耐震ジョイントの健全性 | 基準地震動 $S_s$ | ジョイント    | ブロック間の相対変位量（水平，沈下，浮き上がり）がジョイント変形許容限界を超えないことを確認 | 変形許容限界        |

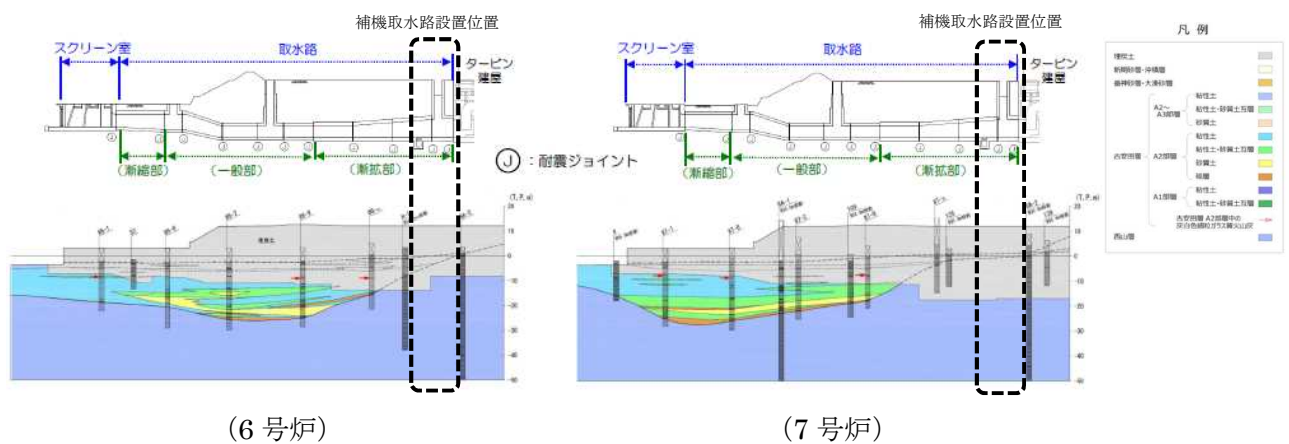
なお、取水路ブロック間の相対変位に伴い取水路に勾配が生じる可能性については、第 11-9-18 表に示す通水断面を維持することを確認することにより、取水機能に影響がないことを確認できる見通しである。

津波水位低下時については、原子炉補機冷却海水ポンプの継続運転が可能となるよう、ポンプの取水可能水位が 6 号炉 T.M.S.L.-5.24m, 7 号炉 T.M.S.L.-4.92m に対して、設置高さ T.M.S.L.-3.5m の海水貯留堰を設置し、十分な量の海水を貯留する。(第 11-9-13 図)

また、補機冷却用海水取水路は、西山層またはMMR（マンメイドロック）に設置していることから、タービン建屋との相対変位量は小さい見通しである。(第 11-9-14 図)



第 11-9-13 図 取水路の概要（6 号炉の例）



第 11-9-14 図 取水路の地質縦断図

### 9.3 常設代替交流電源設備基礎

#### 9.3.1 構造概要及び評価断面

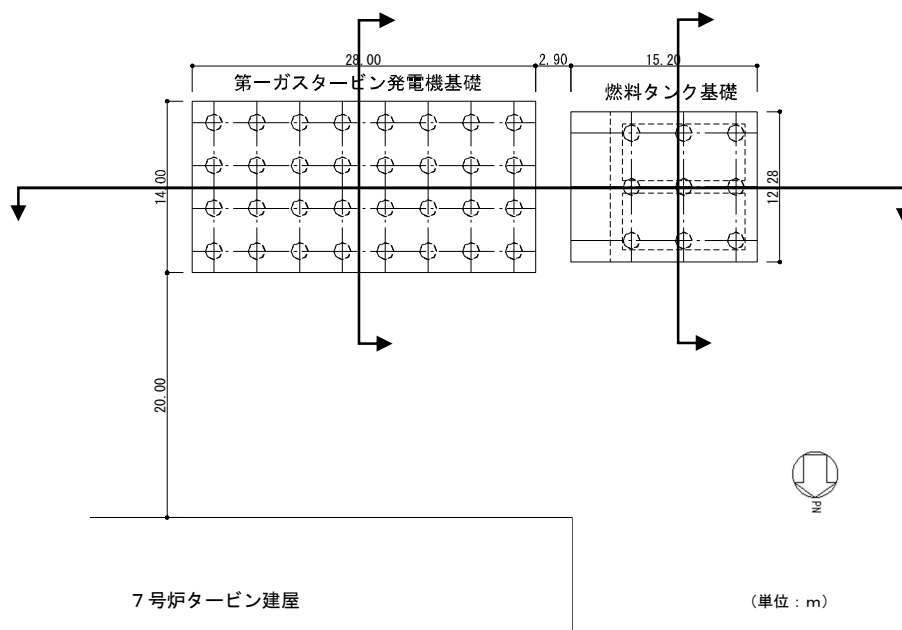
常設代替交流電源設備基礎について液状化による設備への影響の見通しとして、液状化現象の影響が最も大きいと考えられる断面を選定し、構造物の評価を実施する。

常設代替交流電源設備基礎は、第一ガスタービン発電機基礎と燃料タンク基礎で構成され、鉄筋コンクリート構造の躯体（基礎版及びタンク格納槽）と、それを支持する鋼管杭からなる。常設代替交流電源設備基礎の平面図を第 11-9-15 図に、常設代替交流電源設備基礎のうち第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎の断面図（NS 断面）を第 11-9-16 図に示す。

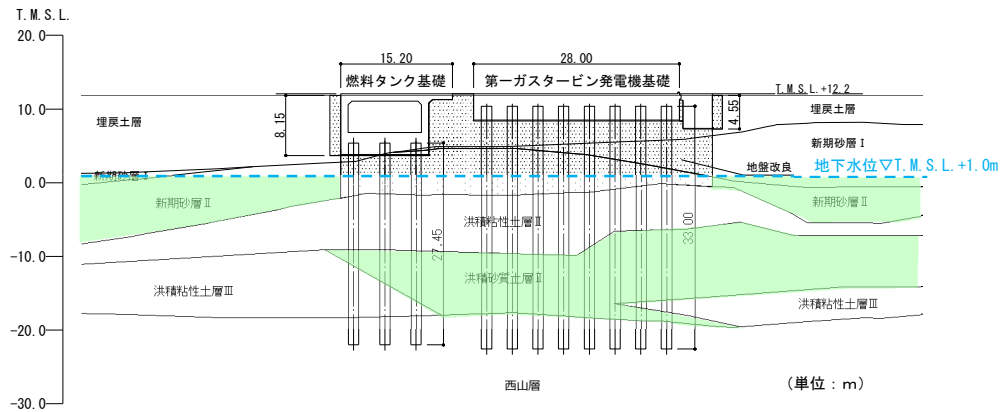
常設代替交流電源設備基礎は基礎構造物であり、各断面で地盤条件に大きな差異は無いことから、近接構造物に着目し、代表断面を選定する。

第一ガスタービン発電機基礎と燃料タンク基礎は東西方向に隣接して配置されており、EW 断面では、互いの変形抑制効果が期待できる。第一ガスタービン発電機基礎の北側に 7 号炉タービン建屋があることから、NS 断面の評価ではこの変形抑制効果が期待できるが、燃料タンク基礎の北側はタービン建屋よりも海側のエリアとなるため、NS 断面の評価ではタービン建屋の変形抑制効果が期待できない。

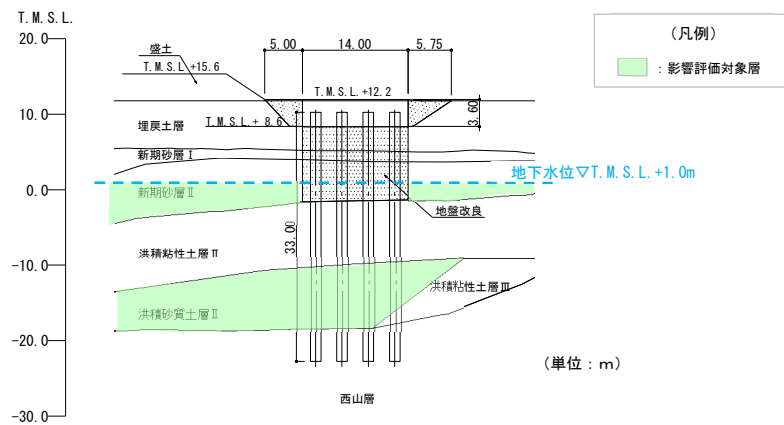
以上のことから、代表断面として、第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎 NS 断面を選定し、2 次元有効応力解析（FLIP）による評価を実施する。評価は、基準地震動  $S_s$  に対して第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎に要求される機能の維持を確認するために、地震応答解析（有効応力解析）に基づき実施する。



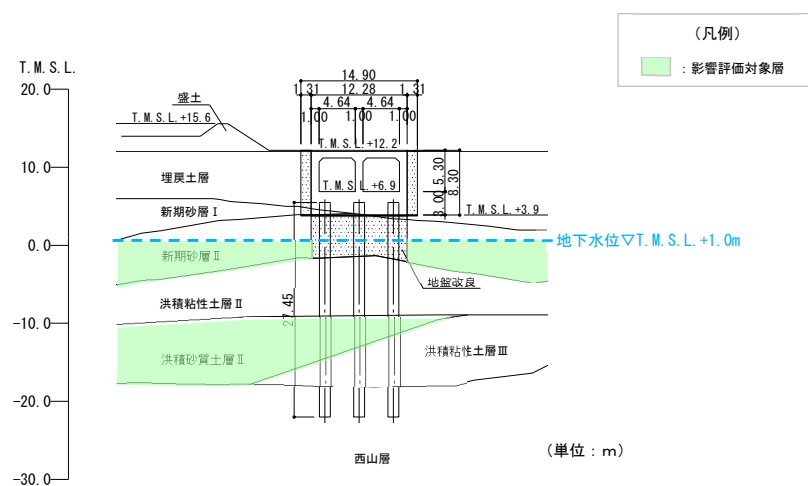
第 11-9-15 図 常設代替交流電源設備基礎 平面図



(1) 第一ガスタービン発電機基礎及び燃料タンク基礎 (EW 断面)



(2) 第一ガスタービン発電機基礎 (NS 断面)



(3) 第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎 (NS 断面)

第 11-9-16 図 常設代替交流電源設備基礎断面図

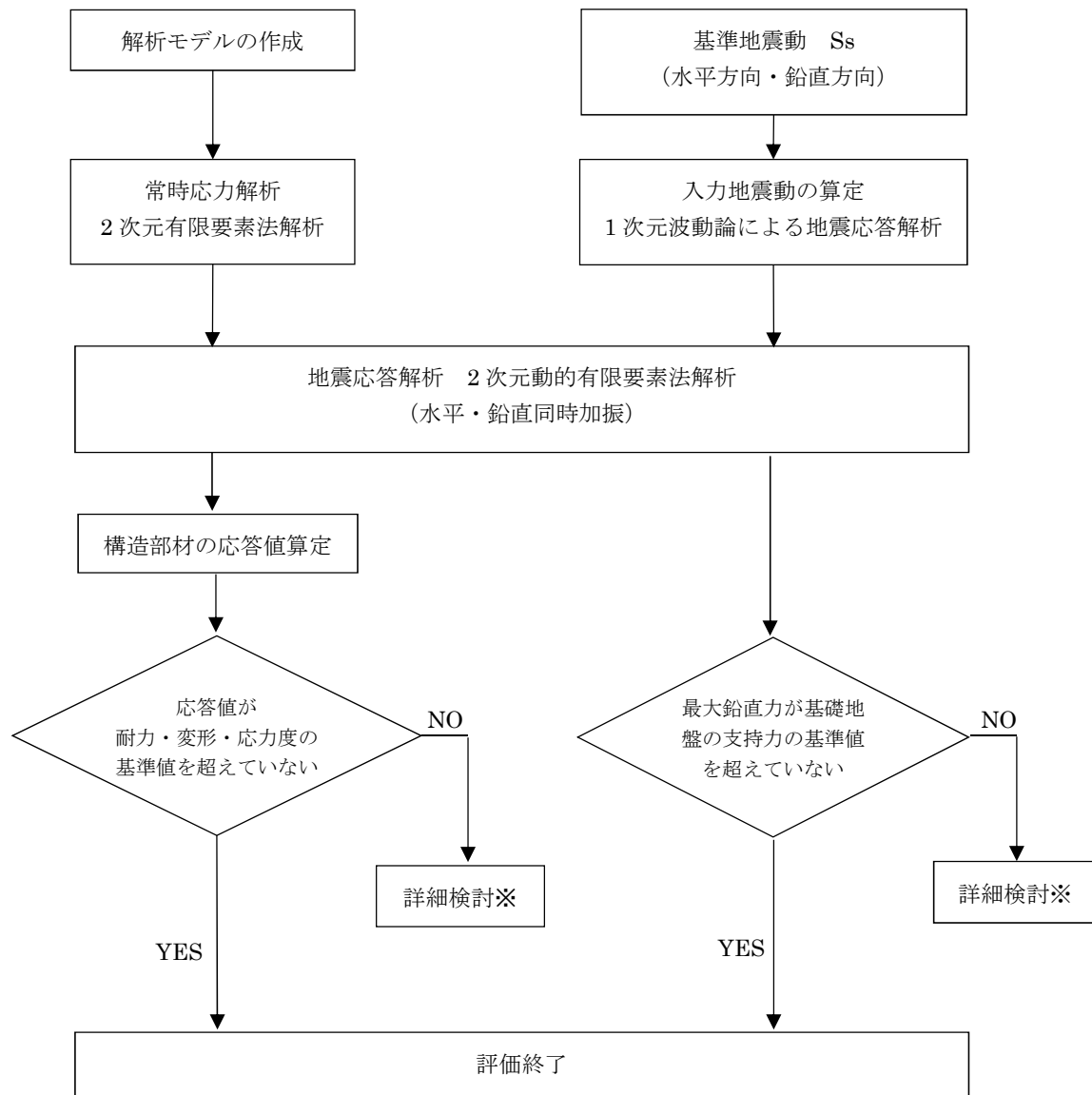
## 9.3.2 評価方針

第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎の耐震評価では、基礎構造物として第 11-9-19 表の項目に示す評価を行う。

構造部材の健全性評価については、地震応答解析に基づく鉄筋コンクリート及び鋼管杭の発生応力等が許容限界を超えないことを確認する。また、基礎地盤の支持性能については、最大鉛直力が許容限界を超えないことを確認する。第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎の評価フローを第 11-9-17 図に示す。

第 11-9-19 表 第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎の評価項目

| 評価方針       | 評価項目      | 地震力      | 部位           | 評価方法                 | 許容限界           |
|------------|-----------|----------|--------------|----------------------|----------------|
| 構造強度を有すること | 構造部材の健全性  | 基準地震動 Ss | 鉄筋コンクリート（躯体） | 発生応力等が許容限界を超えないことを確認 | 限界層間変形角，せん断耐力  |
|            |           | 基準地震動 Ss | 鋼管杭          | 発生応力等が許容限界を超えないことを確認 | 終局曲げ強度，終局せん断強度 |
|            | 基礎地盤の支持性能 | 基準地震動 Ss | 基礎地盤         | 最大鉛直力が許容限界を超えないことを確認 | 極限支持力          |



※検討の内容に応じて、必要なプロセスへ戻る

第 11-9-17 図 第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎の評価フロー



### 9.3.3 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル，土木学会原子力土木委員会，2005 年 6 月
- ・ コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（（社）土木学会，2002 年制定）
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，1999 改訂）
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2010 改訂）
- ・ 道路橋示方書（Ⅰ 共通編・Ⅳ 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）
- ・ 港湾の施設の技術上の基準・同解説（（社）日本港湾協会，2007 年版）
- ・ 乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程 JEAC4616-2009，日本電気協会原子力規格委員会，2009 年 12 月

### 9.3.4 評価条件

#### 9.3.4.1 解析方法

地震応答解析は，構造物と地盤の動的相互作用を考慮できる 2 次元動的有限要素法解析を用いて，基準地震動  $S_s$  に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴非線形応答解析を行う。第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎周辺には埋戻土層，新期砂層及び洪積砂質土層が存在することから，過剰間隙水圧の上昇を適切に評価するため，有効応力モデルを用いる。

地震応答解析は，埋戻土層，新期砂層及び洪積砂質土層の液状化の影響を考慮する必要があるため，解析コード「FLIP Ver.7.2.3\_5」を使用する。

#### (1) 構造部材

箱形構造である鉄筋コンクリート構造の躯体及び前背面の妻壁は等価剛性の平面ひずみ要素で，鋼管杭は非線形はり要素でモデル化する。

#### (2) 地盤

地盤は，Hardin-Drnevich モデルを適用し，動せん断弾性係数及び減衰定数の非線形特性を考慮する。

#### (3) 減衰定数

減衰特性は，固有値解析にて求まる固有振動数及び減衰比に基づく Rayleigh 減衰と，地盤及び構造物の履歴減衰を考慮する。

9.3.4.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、以下の通り設定する。

(1) 耐震安全性評価上考慮する状態

第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎の耐震安全性評価において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

a. 運転時の状態

発電用原子炉施設が運転状態にあり、通常の条件下におかれている状態とする。  
ただし、運転時の異常な過渡変化時の影響を受けないことから考慮しない。

b. 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

c. 設計用自然条件

地中埋設構造物であることから、積雪及び風は考慮しない。

d. 重大事故時の状態

重大事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(2) 荷重

地震応答解析において考慮する荷重を以下に示す。

a. 固定荷重 (G)

固定荷重として、構造物の自重及び機器荷重を考慮する。

b. 地震荷重 ( $K_{Ss}$ )

地震荷重として、基準地震動  $S_s$  による地震力を考慮する。

(3) 荷重の組合せ

荷重の組合せを第 11-9-20 表に示す。

第 11-9-20 表 荷重の組合せ

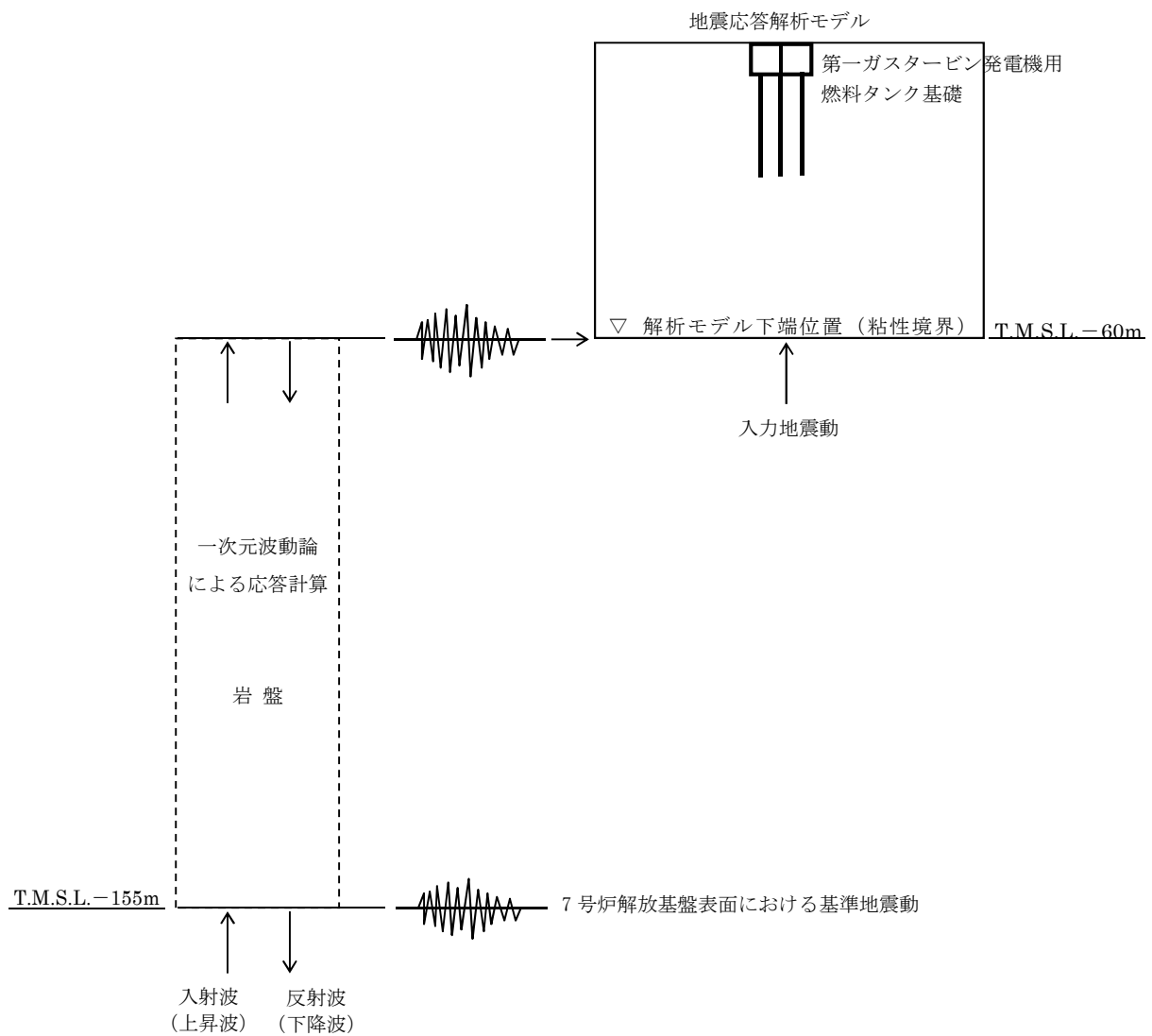
| 外力の状態         | 荷重の組合せ       |
|---------------|--------------|
| 地震時 ( $S_s$ ) | $G + K_{Ss}$ |

ここで、 $G$  : 固定荷重  
 $K_{Ss}$  : 地震荷重

### 9.3.4.3 入力地震動

地震応答解析に用いる入力地震動は，解放基盤表面で定義される基準地震動  $S_s$  を，1次元波動論によって地震応答解析モデルの下端位置で評価したものをを用いる。

入力地震動の算定には，解析コード「SLOK Ver2.0」を使用する。入力地震動算定の概念図を第 11-9-18 図に示す。



第 11-9-18 図 入力地震動算定の概念図

#### 9.3.4.4 解析モデル

地震応答解析モデルを第 11-9-19 図に示す。

##### (1) 解析領域

解析領域は、側面境界及び底面境界が、構造物の応答に影響しないよう、構造物と側面境界及び底面境界との距離を十分に広く設定する。

##### (2) 境界条件

解析領域の側面及び底面には、エネルギーの逸散効果を評価するため、粘性境界を設ける。

##### (3) 構造物のモデル化

鉄筋コンクリート構造物の躯体は平面ひずみ要素で、鋼管杭は非線形はり要素でモデル化する。

##### (4) 地盤のモデル化

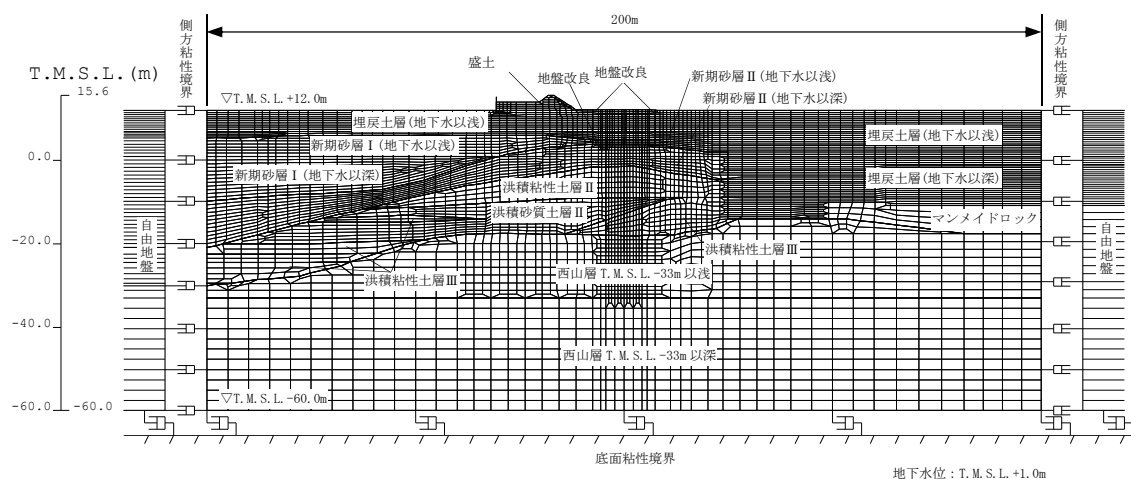
地盤は、地質区分に基づき、平面ひずみ要素でモデル化する。

##### (5) ジョイント要素

構造物と地盤改良の境界部及び地盤改良と地盤の境界部にジョイント要素を設けることを基本とし、境界部での剥離・すべりを考慮する。

##### (6) 水位条件

第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎周辺の地下水位は、地震荷重に伴う液状化による変形を保守的に考慮するために、朔望平均満潮位（T.M.S.L.+0.49m）に余裕を考慮した T.M.S.L.+1.00m とする。



第 11-9-19 図 地震応答解析モデル

## 9.3.4.5 使用材料及び材料の物性値

## (1) 構造物の物性値

使用材料を第 11-9-21 表に，材料の物性値を第 11-9-22 表に示す。

第 11-9-21 表 使用材料

| 材料     | 諸元                         |
|--------|----------------------------|
| コンクリート | 設計基準強度 30N/mm <sup>2</sup> |
| 鉄筋     | SD490                      |
| 鋼管杭    | SKK490                     |

第 11-9-22 表 材料の物性値

| 材料     | 単位体積重量<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | ヤング係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) | ポアソン比 |
|--------|--------------------------------|--------------------------------|-------|
| コンクリート | 24※1                           | 28※2                           | 0.2※2 |
| 鉄筋     |                                | 200※2                          | 0.3※2 |
| 鋼管杭    | 77                             | 200                            | 0.3   |

※1 鉄筋コンクリートとしての単位体積重量

※2 「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（（社）土木学会，2002 年制定）」に基づき設定する

## (2) 地盤の物性値

## a. 液状化試験の結果

液状化層と判定する埋戻土層と非液状化層と判定するが念のため液状化強度特性を設定する洪積砂質土層（Ⅱ）の有効応力解析に用いる液状化パラメータは、繰返しねじりせん断試験結果より設定する。

新期砂層（Ⅰ）（Ⅱ）の有効応力解析に用いる液状化パラメータ及び地盤物性値は、追加調査を実施することとしているため、設置許可段階における見通しを得るための構造物評価においては、埋戻土層の値を用いる。

埋戻土層及び洪積砂質土層（Ⅱ）の物性値を第 11-9-23 表に示す。

試験結果から設定した解析上の液状化強度曲線を第 11-9-20 図に、液状化パラメータを第 11-9-24 表に示す。なお、液状化特性が保守的（液状化しやすい）に評価されるように、液状化パラメータを設定する（試験結果より繰返し回数が少ない状態で同程度のひずみが発生するように設定することから、液状化が発生しやすい設定となっている）。

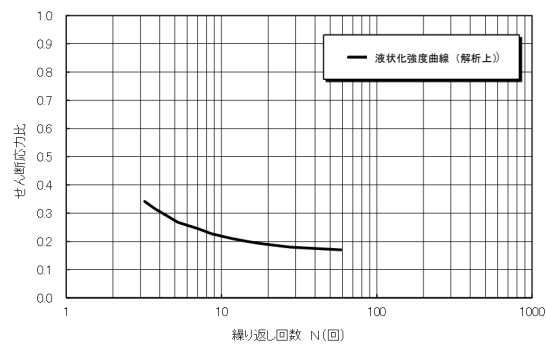
第 11-9-23 表 試験結果

(埋戻土層)

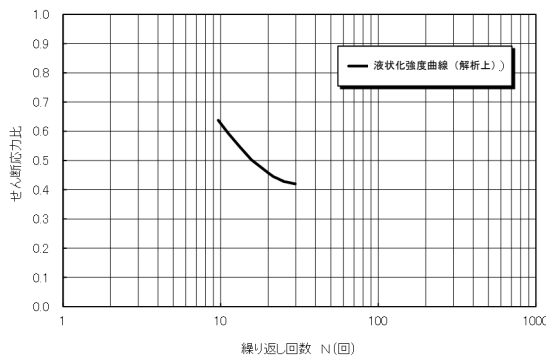
|           | 必要とする物性値              |                  |                 | 物性値             |
|-----------|-----------------------|------------------|-----------------|-----------------|
|           | 名称                    | 記号               | 単位              |                 |
| 物理的<br>性質 | 単位体積重量                | $\rho$           | $\text{t/m}^3$  | 2.00            |
|           | 間隙率                   | $n$              | —               | 0.41            |
| 力学的<br>性質 | 液状化強度曲線<br>(液状化パラメータ) | —                | —               | 第 9.3.6 図<br>参照 |
|           | せん断弾性係数               | $G_{\text{ma}}$  | $\text{kN/m}^2$ | 5.11E+04        |
|           | 内部摩擦角                 | $\phi$           | °               | 41.1            |
|           | 粘着力                   | $C$              | $\text{kN/m}^2$ | 0.0             |
|           | 履歴減衰上限値               | $h_{\text{max}}$ | —               | 0.271           |

(洪積砂質土層（Ⅱ）)

|           | 必要とする物性値              |                  |                 | 物性値             |
|-----------|-----------------------|------------------|-----------------|-----------------|
|           | 名称                    | 記号               | 単位              |                 |
| 物理的<br>性質 | 単位体積重量                | $\rho$           | $\text{t/m}^3$  | 1.90            |
|           | 間隙率                   | $n$              | —               | 0.53            |
| 力学的<br>性質 | 液状化強度曲線<br>(液状化パラメータ) | —                | —               | 第 9.3.6 図<br>参照 |
|           | せん断弾性係数               | $G_{\text{ma}}$  | $\text{kN/m}^2$ | 2.07E+05        |
|           | 内部摩擦角                 | $\phi$           | °               | 45.0            |
|           | 粘着力                   | $C$              | $\text{kN/m}^2$ | 0.0             |
|           | 履歴減衰上限値               | $h_{\text{max}}$ | —               | 0.155           |



(埋戻土層)



(洪積砂質土層 (Ⅱ))

第 11-9-20 図 液状化強度曲線

第 11-9-24 表 液状化パラメータ

| 液状化パラメータ  | $\phi_p(^{\circ})$ | $w_l$ | $p_l$ | $p_2$ | $c_1$ | $S_l$ |
|-----------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 埋戻土層      | 28.0               | 2.400 | 0.500 | 0.800 | 1.920 | 0.005 |
| 洪積砂質土層(Ⅱ) | 28.0               | 4.600 | 0.500 | 0.600 | 3.910 | 0.005 |

## b. 解析用地盤物性値

地盤の物性値を第 11-9-25 表に示す。埋戻土層及び洪積砂質土層（Ⅱ）の物性値については、地震時における過剰間隙水圧の上昇を適切に評価するため、繰返しねじりせん断試験結果を基に設定した液状化特性を設定する。

第 11-9-25 表 地盤の物性値

| パラメータ  |                                                 | 埋戻土層<br>(地下水以浅) | 埋戻土層<br>(地下水以深) | #67洪積<br>粘性土層Ⅰ | #67洪積<br>粘性土層Ⅱ | #67洪積<br>粘性土層Ⅲ | #67洪積<br>砂質土層Ⅱ | 西山層TMSL<br>-33m以浅 | 西山層TMSL<br>-33m以深 | マンメイドロック | 地盤改良     | 盛土       |
|--------|-------------------------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|-------------------|----------|----------|----------|
| 動的変形特性 | 単位体積重量 $\rho$ ( $\text{t/m}^3$ )                | 1.90            | 2.00            | 1.82           | 1.80           | 1.86           | 1.90           | 1.73              | 1.69              | 1.75     | 1.98     | 1.82     |
|        | 間隙率 $n$                                         | 0.41            | 0.41            | 0.51           | 0.51           | 0.48           | 0.53           | 0.56              | 0.56              | 0.45     | 0.45     | 0.45     |
|        | せん断波速度 $V_s$ (m/sec)                            | —               | —               | 230            | 250            | 290            | 330            | 490               | 530               | 1040     | 570      | 1000     |
|        | せん断弾性係数 $G_{\text{max}}$ ( $\text{kN/m}^2$ )    | 5.11E+04        | 5.11E+04        | 9.63E+04       | 1.13E+05       | 1.56E+05       | 2.07E+05       | 4.15E+05          | 4.75E+05          | 1.91E+06 | 6.43E+05 | 1.82E+06 |
|        | 体積弾性係数 $K_{\text{max}}$ ( $\text{kN/m}^2$ )     | 1.33E+05        | 1.33E+05        | 2.51E+05       | 2.95E+05       | 4.07E+05       | 5.40E+05       | 1.08E+06          | 1.24E+06          | 4.98E+06 | 1.68E+06 | 4.75E+06 |
|        | 基準化拘束圧 $\sigma_{\text{ms}}$ ( $\text{kN/m}^2$ ) | 98.0            | 98.0            | 98.0           | 98.0           | 98.0           | 190.0          | 98.0              | 98.0              | 98.0     | 98.0     | 98.0     |
|        | 拘束圧依存の係数 $m_{\text{vs}}, m_{\text{vs}}$         | 0.667           | 0.667           | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0.500          | 0.000             | 0.000             | 0.000    | 0.000    | 0.000    |
|        | ポアソン比 $\nu$                                     | 0.33            | 0.33            | 0.33           | 0.33           | 0.33           | 0.33           | 0.33              | 0.33              | 0.33     | 0.33     | 0.33     |
|        | 粘着力 $C$ ( $\text{kN/m}^2$ )                     | 10.8            | 0.0             | 0.0            | 191.0          | 218.0          | —              | —                 | —                 | 1840.0   | 2530.0   | 1300.0   |
|        | 内部摩擦角 $\phi$ ( $^\circ$ )                       | 33.8            | 41.1            | 33.0           | 27.3           | 27.9           | 45.0           | Cu=1370-5.04Z     | Cu=1370-5.04Z     | —        | —        | —        |
| 液状化特性  | 履歴減衰上限値 $h_{\text{max}}$                        | 0.271           | 0.271           | 0.144          | 0.087          | 0.087          | 0.155          | 0.257             | 0.257             | 0.190    | 0.061    | 0.083    |
|        | 変相角 $\phi_p$ ( $^\circ$ )                       | —               | 28.0            | —              | —              | —              | 28.0           | —                 | —                 | —        | —        | —        |
|        | 液状化パラメータ                                        | $w_L$           | —               | 2.400          | —              | —              | 4.600          | —                 | —                 | —        | —        | —        |
|        |                                                 | $p_1$           | —               | 0.500          | —              | —              | 0.500          | —                 | —                 | —        | —        | —        |
|        |                                                 | $p_2$           | —               | 0.800          | —              | —              | 0.600          | —                 | —                 | —        | —        | —        |
|        |                                                 | $c_L$           | —               | 1.920          | —              | —              | 3.910          | —                 | —                 | —        | —        | —        |
|        |                                                 | $S_L$           | —               | 0.005          | —              | —              | 0.005          | —                 | —                 | —        | —        | —        |

## c. ジョイント要素の設定

構造物と地盤改良の境界部及び地盤改良と地盤の境界部にジョイント要素を設けることを基本とし、境界部での剥離・すべりを考慮する。ジョイント要素の特性は法線方向、接線方向に分けて設定する。法線方向では、引張応力が生じた場合、剛性及び応力をゼロとして剥離を考慮する。接線方向では、構造物と地盤改良の境界部及び地盤改良と地盤の境界部のせん断抵抗力以上のせん断応力が発生した場合、剛性をゼロとし、すべりを考慮する。静止摩擦係数  $\tau_f$  は Mohr-Coulomb 式により規定される。構造物と地盤改良との境界部の  $C, \phi$  は「港湾の施設の技術上の基準・同解説（（社）日本港湾協会、2007 年版）」に基づき、 $C=0, \phi=15^\circ$  とする。また、地盤改良と地盤との境界部の  $C, \phi$  は「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会、平成 14 年 3 月）（第 11-9-26 表）」に基づき、第 11-9-27 表に示すとおり設定する。

第 11-9-26 表 摩擦角と付着力（日本道路協会）

| 条 件                | 摩擦角 $\phi_B$ (摩擦係数 $\tan \phi_B$ )             | 付着力 $c_B$ |
|--------------------|------------------------------------------------|-----------|
| 土とコンクリート           | $\phi_B = \frac{2}{3} \phi$                    | $c_B = 0$ |
| 土とコンクリートの間に栗石を敷く場合 | $\tan \phi_B = 0.6$<br>$\phi_B = \phi$ } の小さい方 | $c_B = 0$ |
| 岩とコンクリート           | $\tan \phi_B = 0.6$                            | $c_B = 0$ |
| 土と土又は岩と岩           | $\phi_B = \phi$                                | $c_B = c$ |

ただし、 $\phi$ ：支持地盤のせん断抵抗角 ( $^\circ$ )  $c$ ：支持地盤の粘着力 ( $\text{kN/m}^2$ )



第 11-9-27 表 ジョイント要素の強度特性

|         | 粘着力 C (kN/m <sup>2</sup> ) | 内部摩擦角 (°) |
|---------|----------------------------|-----------|
| 構造物－地盤間 | 0                          | 15.0      |
| 改良体－地盤間 | 0                          | 41.1      |

ジョイント要素のばね定数は、数値解析上不安定な挙動を起こさない程度に十分に大きな値として、港湾構造物設計事例集（沿岸開発技術センター）に従い、 $k_n=k_s=1.0 \times 10^6(\text{kN/m}^3)$ とする。

### (3) 荷重の入力方法

#### a. 固定荷重

固定荷重である自重は、鉄筋コンクリート及び鋼管杭の単位体積重量を踏まえ、構造物の断面の大きさに応じて算定する。機器荷重は、機器の設置位置で付加重量として考慮する。

#### b. 地震荷重

地震荷重である地震力は 9.3.4.3 章にて設定している入力地震動をモデル底面に入力する。

## 9.3.4.6 許容限界

## (1) 鋼管杭に対する許容限界

## a. 曲げ

鋼管杭の曲げに対する許容限界は、「乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程 JEAC4616-2009, 日本電気協会原子力規格委員会, 2009 年 12 月」(以下,「キャスク指針」とする)に基づき算定する終局曲げ強度に対応する曲率(終局曲率)とする。

## b. せん断

鋼管杭のせん断に対する許容限界は、「キャスク指針」に基づき算定する終局せん断強度とする。

## (2) 躯体に対する許容限界

## a. 曲げ

躯体の曲げに対する許容限界は、「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル, 土木学会原子力土木委員会, 2005 年 6 月」(以下,「土木学会マニュアル」とする)に基づき, 層間変形角 1/100 とする。

## b. せん断

躯体のせん断に対する許容限界は, 工事計画認可における設計では,「土木学会マニュアル」に基づき算定したせん断耐力等とするが, 設置許可段階における見通しを得るための構造物評価においては, コンクリート標準示方書[構造性能照査編]((社)土木学会, 2002 年制定)及び壁部材は鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説ー許容応力度設計法ー((社)日本建築学会, 1999 改訂)に基づき, 保守的に鉄筋コンクリートの短期許容せん断応力度とする。

## (3) 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

基礎地盤の支持性能に対する照査は, 杭頭に作用する最大鉛直力が「道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編)・同解説 ((社)日本道路協会, 平成 14 年 3 月)」に基づき算定した極限支持力とする。

極限支持力算定式(杭基礎)

$$R_a = \frac{\gamma}{n}(R_u - W_s) + W_s - W$$

ここに,

$R_a$  : 杭頭における杭の軸方向許容押込み支持力 (kN)

$n$  : 安全率 (=1.2, キャスク指針に従い  $S_s$  地震時を適用)

$\gamma$  : 極限支持力推定法の相違による安全率の補正係数 (=1.0, 支持力推定式を適用)

$R_u^{※1}$ ：地盤から決まる杭の極限支持力（kN）

$W_s$ ：杭で置換えられる部分の土の有効重量（kN）

$W$ ：杭及び杭内部の土の有効重量（kN）

※1  $R_u = q_d A + U \sum L_i f_i$

ここに、

$R_u$ ：地盤から決まる杭の極限支持力（kN）

$A$ ：杭先端面積（m<sup>2</sup>）

$q_d$ ：杭先端における単位面積当たりの極限支持力度（kN/m<sup>2</sup>）

$U$ ：杭の周長（m）

$L_i$ ：周面摩擦力を考慮する層の層厚（m）

（液状化影響評価対象層の周面摩擦力は考慮しない）

$f_i$ ：周面摩擦力を考慮する層の最大周面摩擦力度（kN/m<sup>2</sup>）

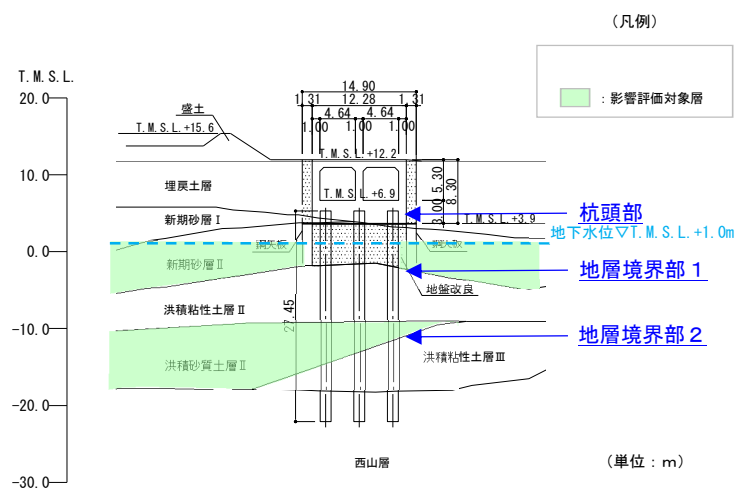
### 9.3.5 評価結果

#### 9.3.5.1 鋼管杭に対する照査結果

鋼管杭の照査位置は、第 11-9-21 図に示すとおり、杭頭部、地層境界部 1（地盤改良と洪積粘性土層Ⅱとの境界）ならびに地層境界部 2（洪積砂質土層Ⅱと洪積粘性土層Ⅲとの境界）を選定する。

鋼管杭の曲げに対する照査結果を第 11-9-28 表に示す。鋼管杭の照査用応答値は、いずれも許容限界値（終局曲率）以下である。

せん断に対する照査結果を第 11-9-29 表に示す。鋼管杭の照査用応答値は、いずれも許容限界値（終局せん断強度）以下である。



第 11-9-21 図 鋼管杭の照査位置図

第 11-9-28 表 鋼管杭の曲げに対する照査結果

| 基準地震動 | 評価位置※1  | 照査用曲率※2<br>$\phi$ (1/m) | 終局曲率<br>$\phi$ u(1/m) | 照査値  |
|-------|---------|-------------------------|-----------------------|------|
| Ss-1  | 杭頭部     | 3.123E-04               | 6.666E-03             | 0.05 |
|       | 地層境界部 1 | 1.285E-03               | 6.627E-03             | 0.19 |
|       | 地層境界部 2 | 1.339E-03               | 6.619E-03             | 0.20 |
| Ss-2  | 杭頭部     | 1.639E-04               | 8.966E-03             | 0.02 |
|       | 地層境界部 1 | 4.096E-04               | 9.150E-03             | 0.04 |
|       | 地層境界部 2 | 4.570E-04               | 9.103E-03             | 0.05 |
| Ss-3  | 杭頭部     | 4.281E-04               | 6.189E-03             | 0.07 |
|       | 地層境界部 1 | 1.936E-03               | 6.462E-03             | 0.30 |
|       | 地層境界部 2 | 3.365E-03               | 6.171E-03             | 0.55 |
| Ss-4  | 杭頭部     | 2.127E-04               | 8.563E-03             | 0.02 |
|       | 地層境界部 1 | 5.862E-04               | 8.021E-03             | 0.07 |
|       | 地層境界部 2 | 4.283E-04               | 8.040E-03             | 0.05 |
| Ss-5  | 杭頭部     | 2.170E-04               | 8.367E-03             | 0.03 |
|       | 地層境界部 1 | 6.139E-04               | 7.840E-03             | 0.08 |
|       | 地層境界部 2 | 4.892E-04               | 7.855E-03             | 0.06 |
| Ss-6  | 杭頭部     | 2.601E-04               | 7.597E-03             | 0.03 |
|       | 地層境界部 1 | 7.302E-04               | 7.582E-03             | 0.10 |
|       | 地層境界部 2 | 5.358E-04               | 7.565E-03             | 0.07 |
| Ss-7  | 杭頭部     | 2.525E-04               | 7.722E-03             | 0.03 |
|       | 地層境界部 1 | 7.874E-04               | 7.712E-03             | 0.10 |
|       | 地層境界部 2 | 5.255E-04               | 7.645E-03             | 0.07 |
| Ss-8  | 杭頭部     | 2.334E-04               | 7.467E-03             | 0.03 |
|       | 地層境界部 1 | 8.224E-04               | 7.452E-03             | 0.11 |
|       | 地層境界部 2 | 5.265E-04               | 7.467E-03             | 0.07 |

※1 地層境界部 1：地盤改良と洪積粘性土層Ⅱとの境界

地層境界部 2：洪積砂質土層Ⅱと洪積粘性土層Ⅲとの境界

※2 地盤物性のばらつきに関する安全係数を乗じていない値

第 11-9-29 表 鋼管杭のせん断に対する照査結果

| 基準地震動 | 評価位置※1  | 照査用せん断力※2<br>Q (kN) | 終局せん断強度<br>Qu(kN) | 照査値<br>Q/Qu |
|-------|---------|---------------------|-------------------|-------------|
| Ss-1  | 杭頭部     | 499                 | 9420              | 0.05        |
|       | 地層境界部 1 | 3580                | 9420              | 0.38        |
|       | 地層境界部 2 | 2802                | 9420              | 0.30        |
| Ss-2  | 杭頭部     | 358                 | 9420              | 0.04        |
|       | 地層境界部 1 | 1745                | 9420              | 0.19        |
|       | 地層境界部 2 | 594                 | 9420              | 0.06        |
| Ss-3  | 杭頭部     | 599                 | 9420              | 0.06        |
|       | 地層境界部 1 | 3344                | 9420              | 0.36        |
|       | 地層境界部 2 | 2528                | 9420              | 0.27        |
| Ss-4  | 杭頭部     | 411                 | 9420              | 0.04        |
|       | 地層境界部 1 | 2083                | 9420              | 0.22        |
|       | 地層境界部 2 | 347                 | 9420              | 0.04        |
| Ss-5  | 杭頭部     | 423                 | 9420              | 0.04        |
|       | 地層境界部 1 | 2091                | 9420              | 0.22        |
|       | 地層境界部 2 | 371                 | 9420              | 0.04        |
| Ss-6  | 杭頭部     | 455                 | 9420              | 0.05        |
|       | 地層境界部 1 | 2955                | 9420              | 0.31        |
|       | 地層境界部 2 | 361                 | 9420              | 0.04        |
| Ss-7  | 杭頭部     | 428                 | 9420              | 0.05        |
|       | 地層境界部 1 | 2955                | 9420              | 0.31        |
|       | 地層境界部 2 | 329                 | 9420              | 0.03        |
| Ss-8  | 杭頭部     | 405                 | 9420              | 0.04        |
|       | 地層境界部 1 | 2599                | 9420              | 0.28        |
|       | 地層境界部 2 | 455                 | 9420              | 0.05        |

※1 地層境界部 1：地盤改良と洪積粘性土層Ⅱとの境界

地層境界部 2：洪積砂質土層Ⅱと洪積粘性土層Ⅲとの境界

※2 地盤物性のばらつきに関する安全係数を乗じていない値

## 9.3.5.2 躯体に対する照査結果

躯体の曲げに対する照査結果を第 11-9-30 表に示す。躯体の照査用応答値は、いずれも許容限界値（限界層間変形角）以下である。

せん断に対する照査結果を第 11-9-31 表に示す。躯体の照査用応答値は、いずれも許容限界値（せん断耐力）以下である。

第 11-9-30 表 躯体の曲げに対する照査結果

| 基準地震動 | 評価位置  | 照査用層間変形角<br>$R_d^{※1}$ | 限界層間変形角<br>$R_u$ | 照査値<br>$R_d / R_u$ |
|-------|-------|------------------------|------------------|--------------------|
| Ss-1  | 頂版～底版 | 0.015/100              | 1/100            | 0.02               |
| Ss-2  | 頂版～底版 | 0.007/100              | 1/100            | 0.01               |
| Ss-3  | 頂版～底版 | 0.015/100              | 1/100            | 0.02               |
| Ss-4  | 頂版～底版 | 0.008/100              | 1/100            | 0.01               |
| Ss-5  | 頂版～底版 | 0.010/100              | 1/100            | 0.01               |
| Ss-6  | 頂版～底版 | 0.010/100              | 1/100            | 0.01               |
| Ss-7  | 頂版～底版 | 0.010/100              | 1/100            | 0.01               |
| Ss-8  | 頂版～底版 | 0.013/100              | 1/100            | 0.01               |

※1 照査用層間変形角  $R_d$  = 最大層間変形角  $R$  × 構造解析係数  $\gamma_a$

地盤物性のばらつきに関する安全係数を乗じていない値

第 11-9-31 表 躯体のせん断に対する照査結果（頂版，底版，側壁，隔壁）

| 基準地震動 | 評価位置 | 照査用せん断応力<br>$\tau_d$ (N/mm <sup>2</sup> )※1 | 短期許容せん断応力<br>$\tau_a$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 照査値<br>$\tau_d / \tau_a$ |
|-------|------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------|
| Ss-1  | 頂版   | 0.20                                        | 1.12                                       | 0.18                     |
|       | 底版   | 1.19                                        | 2.09                                       | 0.57                     |
|       | 側壁   | 0.42                                        | 1.40                                       | 0.30                     |
|       | 隔壁   | 0.55                                        | 1.12                                       | 0.49                     |
| Ss-2  | 頂版   | 0.09                                        | 1.12                                       | 0.08                     |
|       | 底版   | 0.47                                        | 2.09                                       | 0.22                     |
|       | 側壁   | 0.34                                        | 1.40                                       | 0.24                     |
|       | 隔壁   | 0.27                                        | 1.12                                       | 0.24                     |
| Ss-3  | 頂版   | 0.22                                        | 1.12                                       | 0.20                     |
|       | 底版   | 1.36                                        | 2.09                                       | 0.65                     |
|       | 側壁   | 0.47                                        | 1.40                                       | 0.34                     |
|       | 隔壁   | 0.54                                        | 1.12                                       | 0.48                     |
| Ss-4  | 頂版   | 0.09                                        | 1.12                                       | 0.08                     |
|       | 底版   | 0.57                                        | 2.09                                       | 0.27                     |
|       | 側壁   | 0.32                                        | 1.40                                       | 0.23                     |
|       | 隔壁   | 0.33                                        | 1.12                                       | 0.29                     |
| Ss-5  | 頂版   | 0.11                                        | 1.12                                       | 0.10                     |
|       | 底版   | 0.63                                        | 2.09                                       | 0.30                     |
|       | 側壁   | 0.34                                        | 1.40                                       | 0.24                     |
|       | 隔壁   | 0.37                                        | 1.12                                       | 0.33                     |
| Ss-6  | 頂版   | 0.11                                        | 1.12                                       | 0.10                     |
|       | 底版   | 0.62                                        | 2.09                                       | 0.30                     |
|       | 側壁   | 0.37                                        | 1.40                                       | 0.26                     |
|       | 隔壁   | 0.37                                        | 1.12                                       | 0.33                     |
| Ss-7  | 頂版   | 0.12                                        | 1.12                                       | 0.11                     |
|       | 底版   | 0.67                                        | 2.09                                       | 0.32                     |
|       | 側壁   | 0.41                                        | 1.40                                       | 0.29                     |
|       | 隔壁   | 0.37                                        | 1.12                                       | 0.33                     |
| Ss-8  | 頂版   | 0.15                                        | 1.12                                       | 0.13                     |
|       | 底版   | 0.73                                        | 2.09                                       | 0.35                     |
|       | 側壁   | 0.44                                        | 1.40                                       | 0.31                     |
|       | 隔壁   | 0.48                                        | 1.12                                       | 0.43                     |

※1 照査用せん断応力  $\tau_d$  = 発生せん断応力 × 構造解析係数  $\gamma_a$ 

地盤物性のばらつきに関する安全係数を乗じていない値



第 11-9-31 表 躯体のせん断に対する照査結果（妻壁）

| 基準地震動 | 照査用せん断応力<br>$\tau_d$ (N/mm <sup>2</sup> )※1 | 短期許容せん断応力<br>$\tau_a$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 照査値<br>$\tau_d / \tau_a$ |
|-------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------|
| Ss-1  | 0.95                                        | 2.10                                       | 0.45                     |
| Ss-2  | 0.58                                        | 2.10                                       | 0.28                     |
| Ss-3  | 1.26                                        | 2.10                                       | 0.60                     |
| Ss-4  | 0.63                                        | 2.10                                       | 0.30                     |
| Ss-5  | 0.69                                        | 2.10                                       | 0.33                     |
| Ss-6  | 0.72                                        | 2.10                                       | 0.34                     |
| Ss-7  | 0.63                                        | 2.10                                       | 0.30                     |
| Ss-8  | 1.07                                        | 2.10                                       | 0.51                     |

※1 地盤物性のばらつきに関する安全係数を乗じていない値

### 9.3.5.3 基礎地盤の支持性能に対する照査結果

基礎地盤の支持性能に対する照査結果を第 11-9-32 表に示す。最大鉛直力は、いずれも許容限界値（極限支持力）以下である。

第 11-9-32 表 基礎地盤の支持性能に対する照査結果

| 基準地震動 | 最大鉛直力※1<br>V (kN) | 極限支持力<br>Q <sub>u</sub> (kN) | 照査値<br>V/Q <sub>u</sub> |
|-------|-------------------|------------------------------|-------------------------|
| Ss-1  | 15600             | 34100                        | 0.46                    |
| Ss-2  | 5750              | 34100                        | 0.17                    |
| Ss-3  | 19400             | 34100                        | 0.57                    |
| Ss-4  | 7170              | 34100                        | 0.21                    |
| Ss-5  | 8550              | 34100                        | 0.25                    |
| Ss-6  | 10100             | 34100                        | 0.30                    |
| Ss-7  | 9970              | 34100                        | 0.29                    |
| Ss-8  | 10800             | 34100                        | 0.32                    |

※1 地盤物性のばらつきに関する安全係数を乗じていない値

### 9.3.6 まとめ

設置許可段階において液状化に伴う構造物の影響を検討する代表構造物として選定した第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎の基準地震動  $S_s$  に対する構造物評価の見通しについて確認した。

地震応答解析（有効応力解析）の結果，第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎は，基準地震動  $S_s$  に対し，構造部材の曲げ，せん断及び基礎地盤に作用する最大鉛直力が許容限界値以下であることから，十分な構造強度を有している見通しを得た。

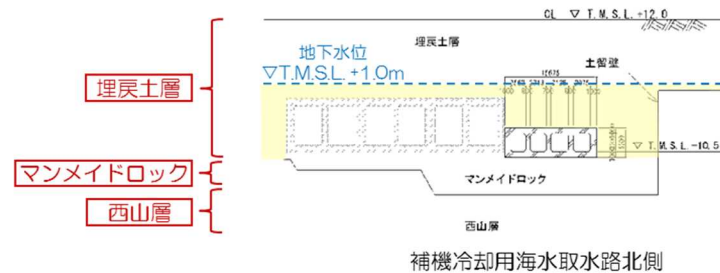
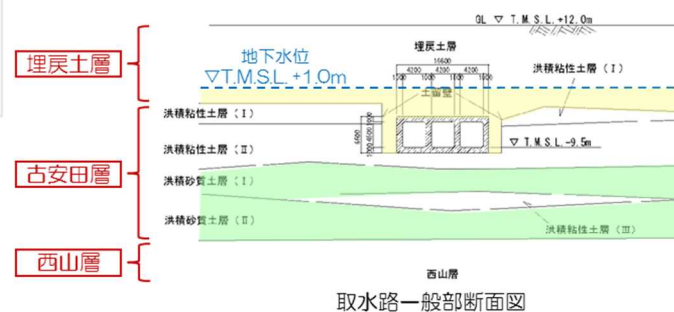
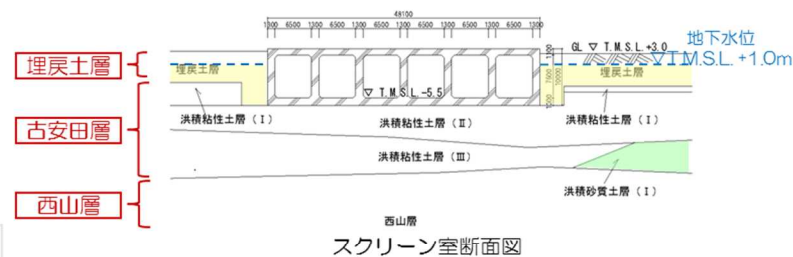
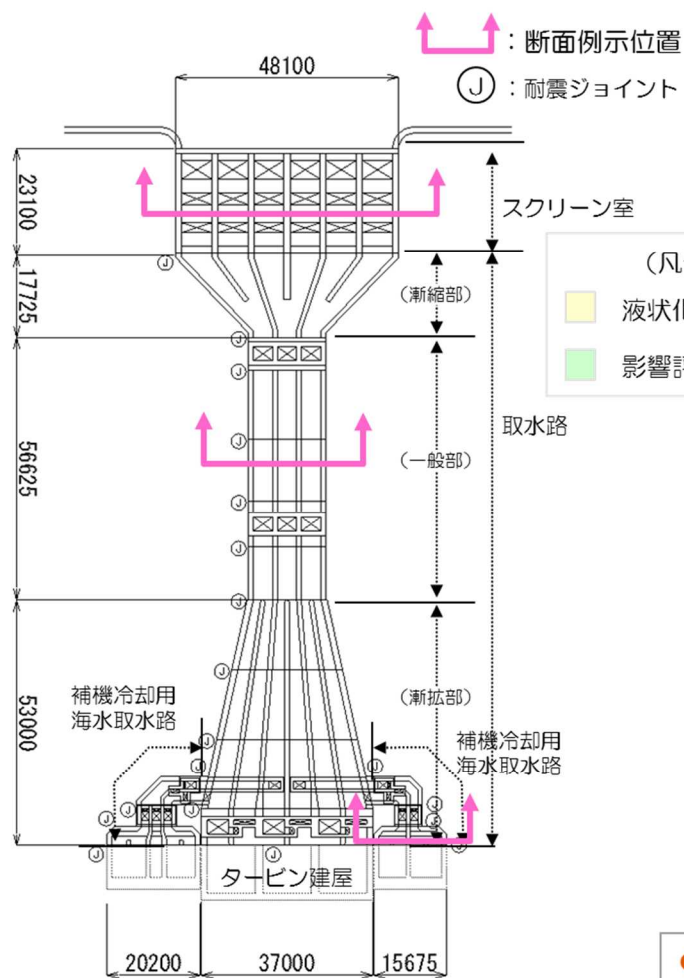
## 10. 参考文献

- ・(社)日本道路協会(2012):道路橋示方書・同解説(V耐震設計編),平成24年3月
- ・安田進(1991):液状化の調査から対策工まで,鹿島出版会,1991年5月
- ・地盤工学会(2009):地盤材料試験の方法と解説,平成21年11月
- ・土木学会(2003):過剰間隙水圧の発生過程が地盤の地震応答に与える影響,土木学会地震工学委員会レベル2地震動による液状化研究小委員会 レベル2地震動による液状化に関するシンポジウム論文集, pp397-400, 2003年6月
- ・地盤工学会(2000):土質試験の方法と解説(第一回改訂版),平成12年3月
- ・地盤工学会(2006):地盤工学用語辞典, pp219-220, 平成18年3月
- ・井合進(2008):サイクリックモビリティ Cyclic Mobility, 地盤工学会誌, 56-8, 2008年8月
- ・吉見吉昭(1991):砂地盤の液状化(第二版),技報堂出版,1991年,5月
- ・永瀬英生(1984):多方向の不規則荷重を受ける砂の変形強度特性,東京大学博士論文,1984
- ・井合進,飛田哲男,小堤治(2008):砂の繰返し載荷時の挙動モデルとしてのひずみ空間多重モデルにおけるストレスダイレイタンスー関係,京都大学防災研究所年報,第51号, pp.291-304, 2008.
- ・日本港湾協会(2007):港湾の施設の技術上の基準・同解説,平成19年7月
- ・Iai, S., Matsunaga, Y. and Kameoka, T. (1992): STRAIN SPACE PLASTICITY MODEL FOR CYCLIC MOBILITY, SOILS AND FOUNDATIONS, Vol.32, No. 2, pp.1-15.
- ・Iai, S., Morita, T., Kameoka, T., Matsunaga, Y. and Abiko, K. (1995): RESPONSE OF A DENSE SAND DEPOSIT DURING 1993 KUSHIRO-OKI EARTHQUAKE, SOILS AND FOUNDATIONS, Vol.35, No. 1, pp.115-131.
- ・龍岡文夫(1980):サイクリック・モビリティ(Cyclic Mobility),土と基礎, 28-6, 1980年6月
- ・国生剛治,吉田保夫,西好一,江刺靖行(1983):密な砂地盤の地震時安定性評価法の検討(その1)密な砂の動的強度特性,電力中央研究所報告 研究報告:383025,昭和58年10月
- ・鉄道総合技術研究所(2012):鉄道構造物等設計標準・同解説,平成24年9月
- ・亀井祐聡,森本巖,安田進,清水善久,小金井健一,石田栄介(2002):東京低地における沖積砂質土の粒度特性と細粒分が液状化強度に及ぼす影響,地盤工学会論文報告集, Vol.42, No.4, 101-110
- ・吉見吉昭(1994):砂の乱さない試料の液状化抵抗～N値～相対密度関係,土と基礎, Vol. 42, No. 4, pp. 63-67, 1994.
- ・Imai T. & Tonouchi K. (1982): Correlation of N Value with ESOP II S-wave Velocity and shear Modulus.

## 11. 参考資料

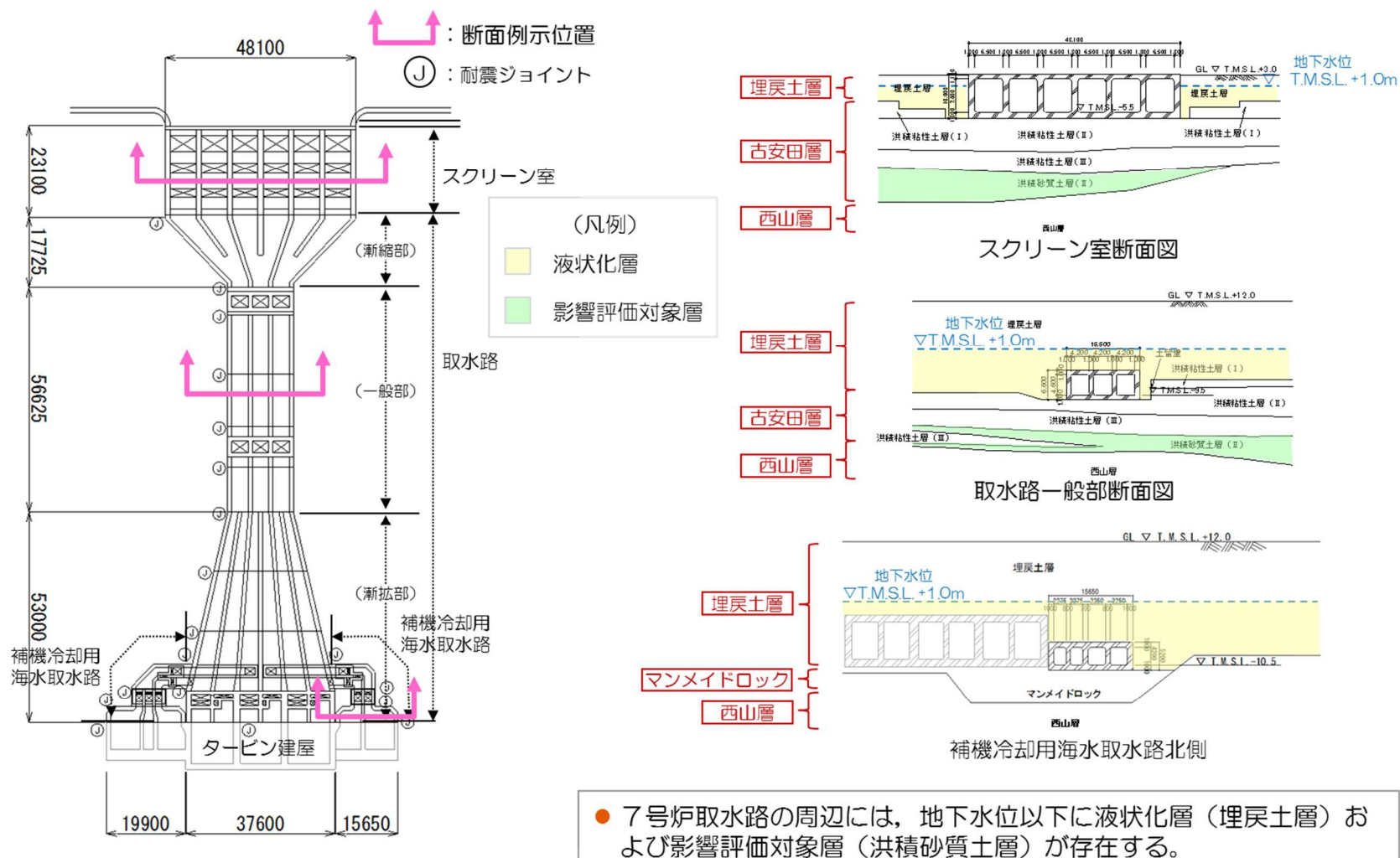
### 11.1 評価対象構造物の断面図

液状化評価の対象となる構造物の断面図を第 11-11-1～9 図に示す。

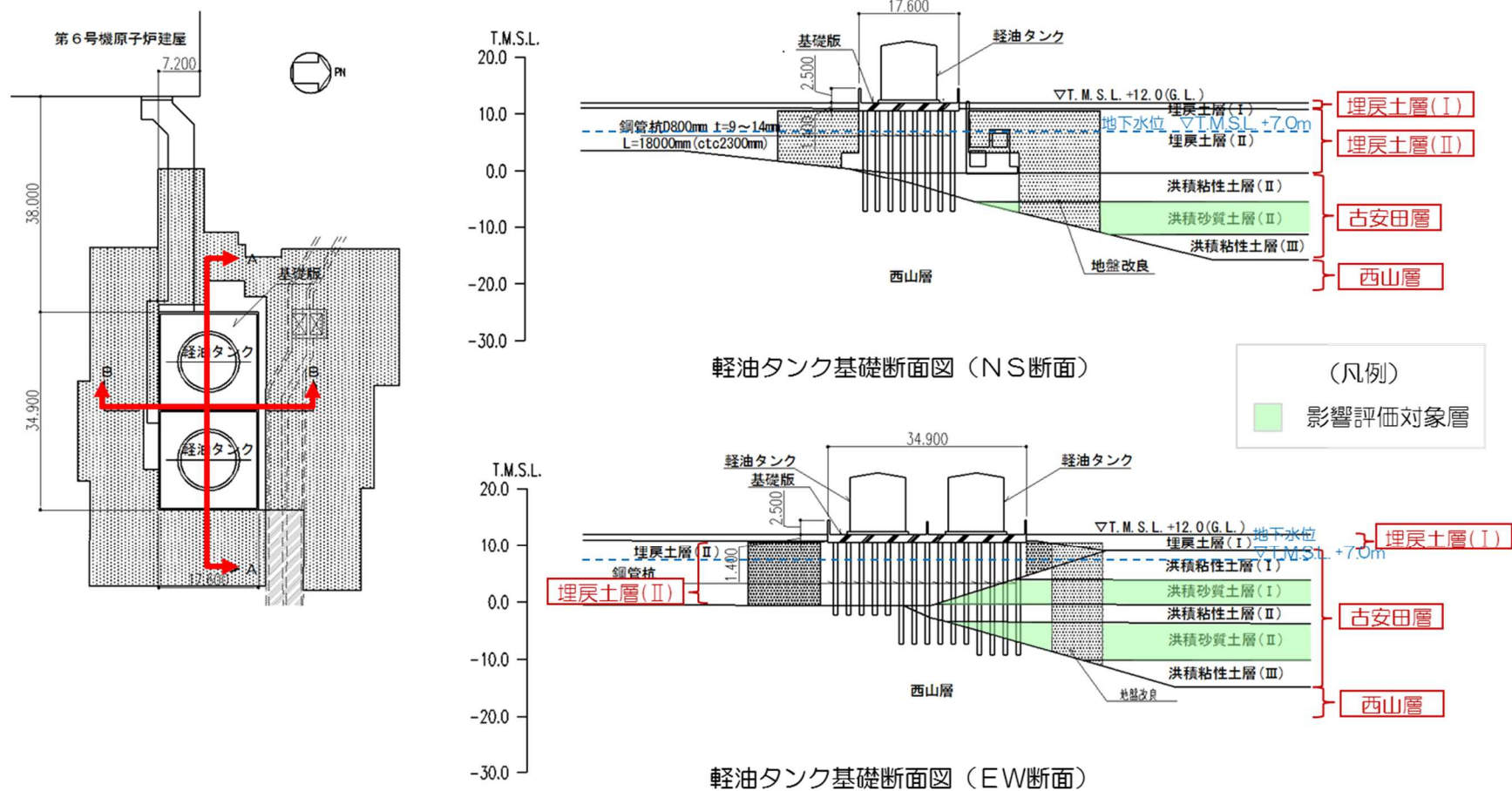


- 6号炉取水路の周辺には、地下水位以下に液状化層（埋戻土層）および影響評価対象層（洪積砂質土層）が存在する。

第 11-11-1 図 6 号炉取水路断面図

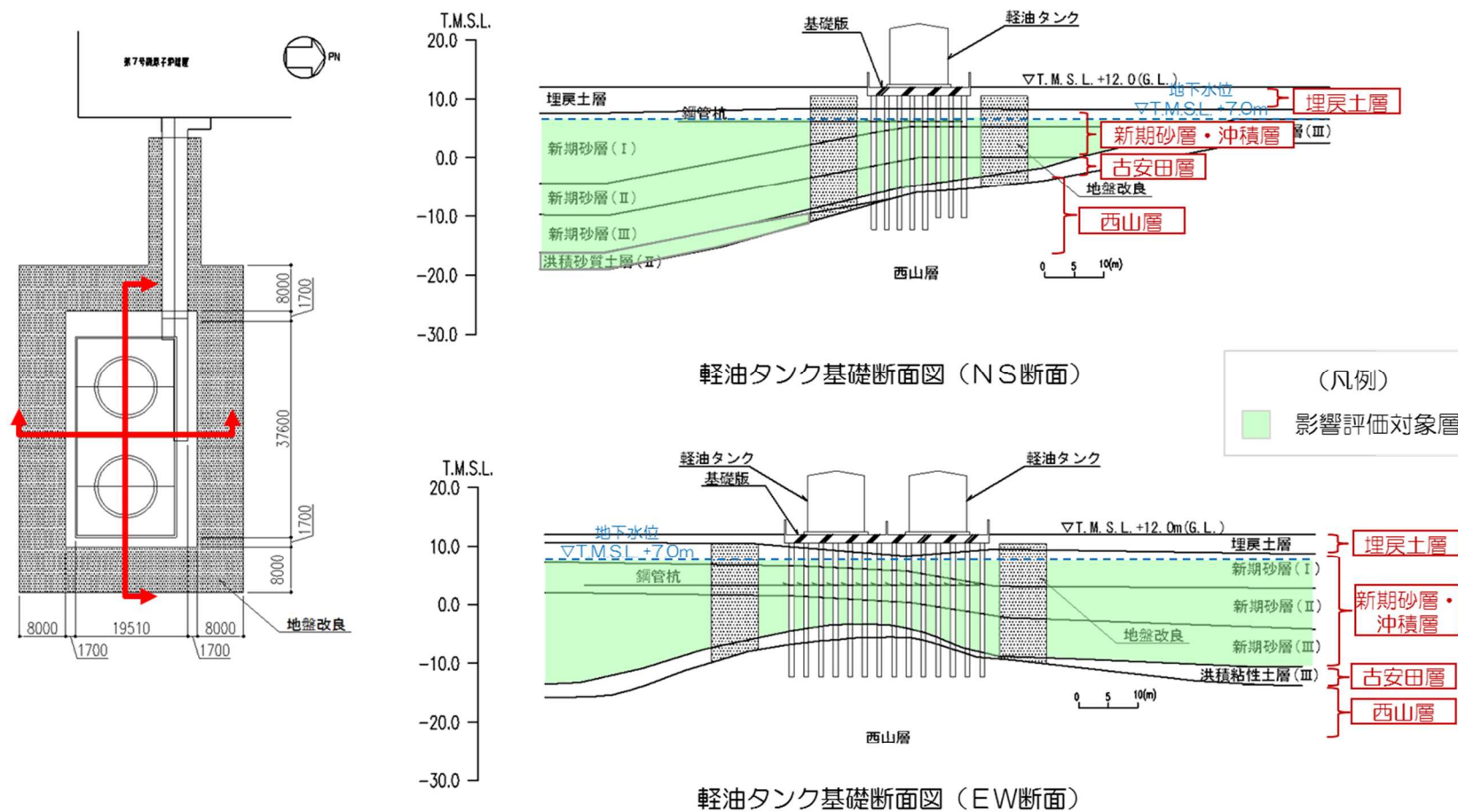


第 11-11-2 図 7 号炉取水路断面図



- 6号炉軽油タンク基礎の周辺には、地下水位以下に影響評価対象層（洪積砂質土層）が存在する。  
※埋戻土層(II)は、建設時に掘削した西山層（泥岩）を埋め戻したものである。

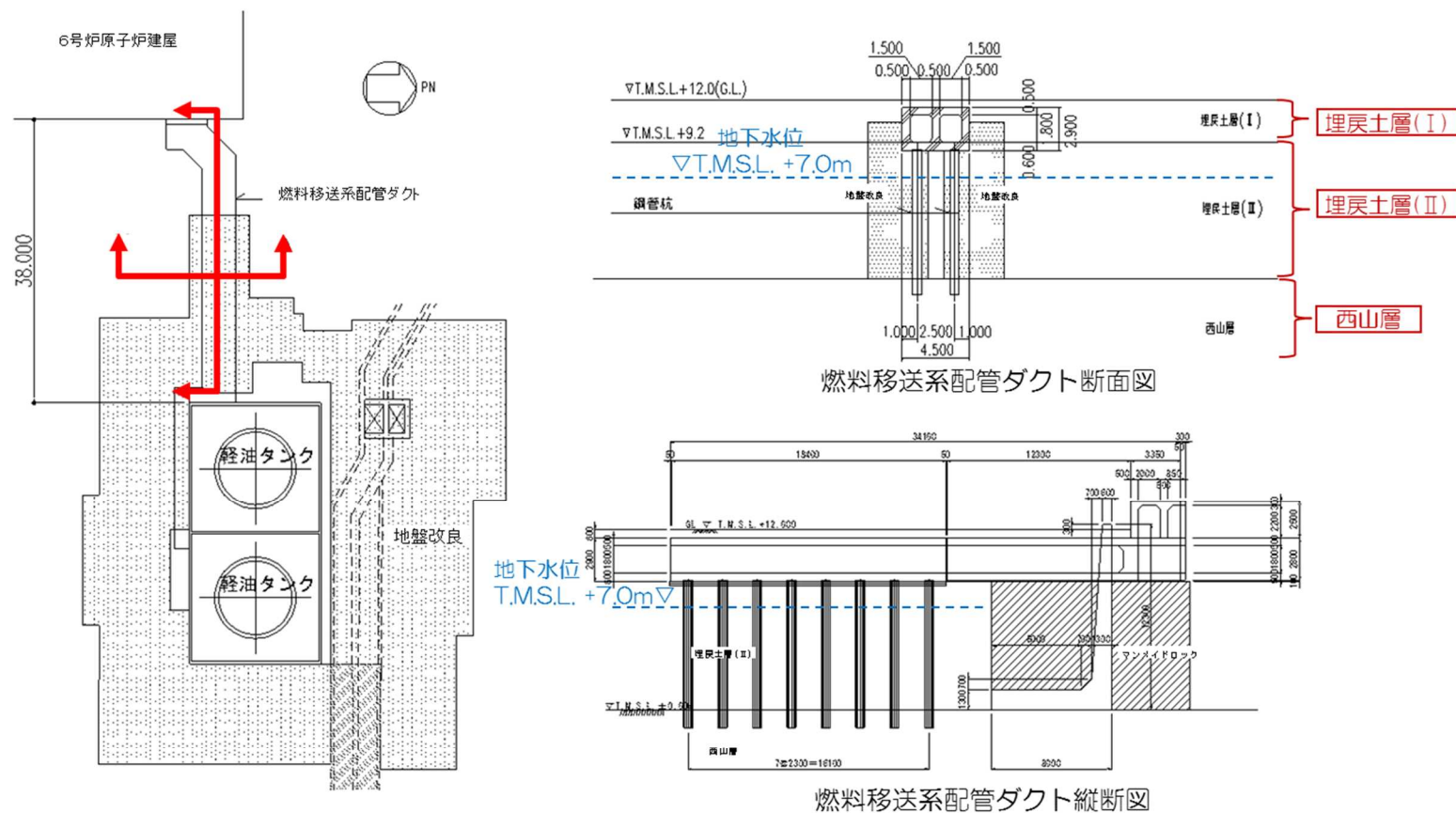
第 11-11-3 図 6号炉軽油タンク基礎



- 7号炉軽油タンク基礎の周辺には、地下水位以下に影響評価対象層（新期砂層・沖積層，洪積砂質土層）が存在する。

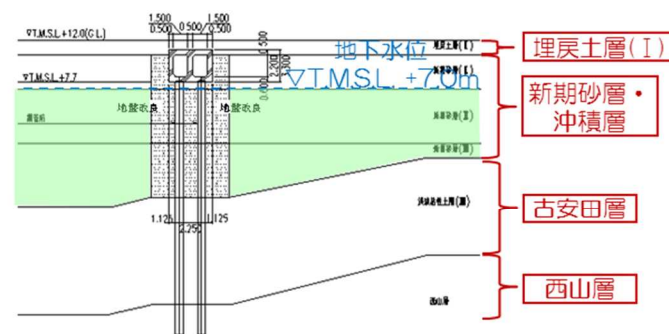
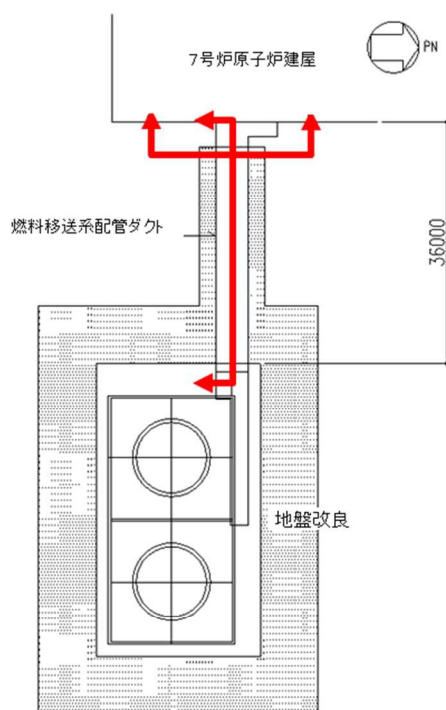
第 11-11-4 図 7号炉軽油タンク基礎





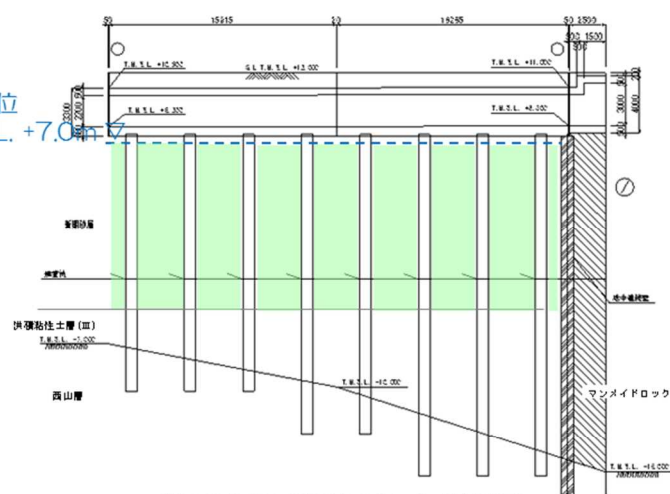
- 6号炉燃料移送系配管ダクトの周辺には、地下水位以下に液状化層および影響評価対象層は存在しない。  
※埋戻土層(II)は、建設時に掘削した西山層（泥岩）を埋め戻したものである。

第 11-11-5 図 6号炉燃料移送系配管ダクト断面図



燃料移送系配管ダクト断面図

地下水位  
T.M.S.L. +7.0m

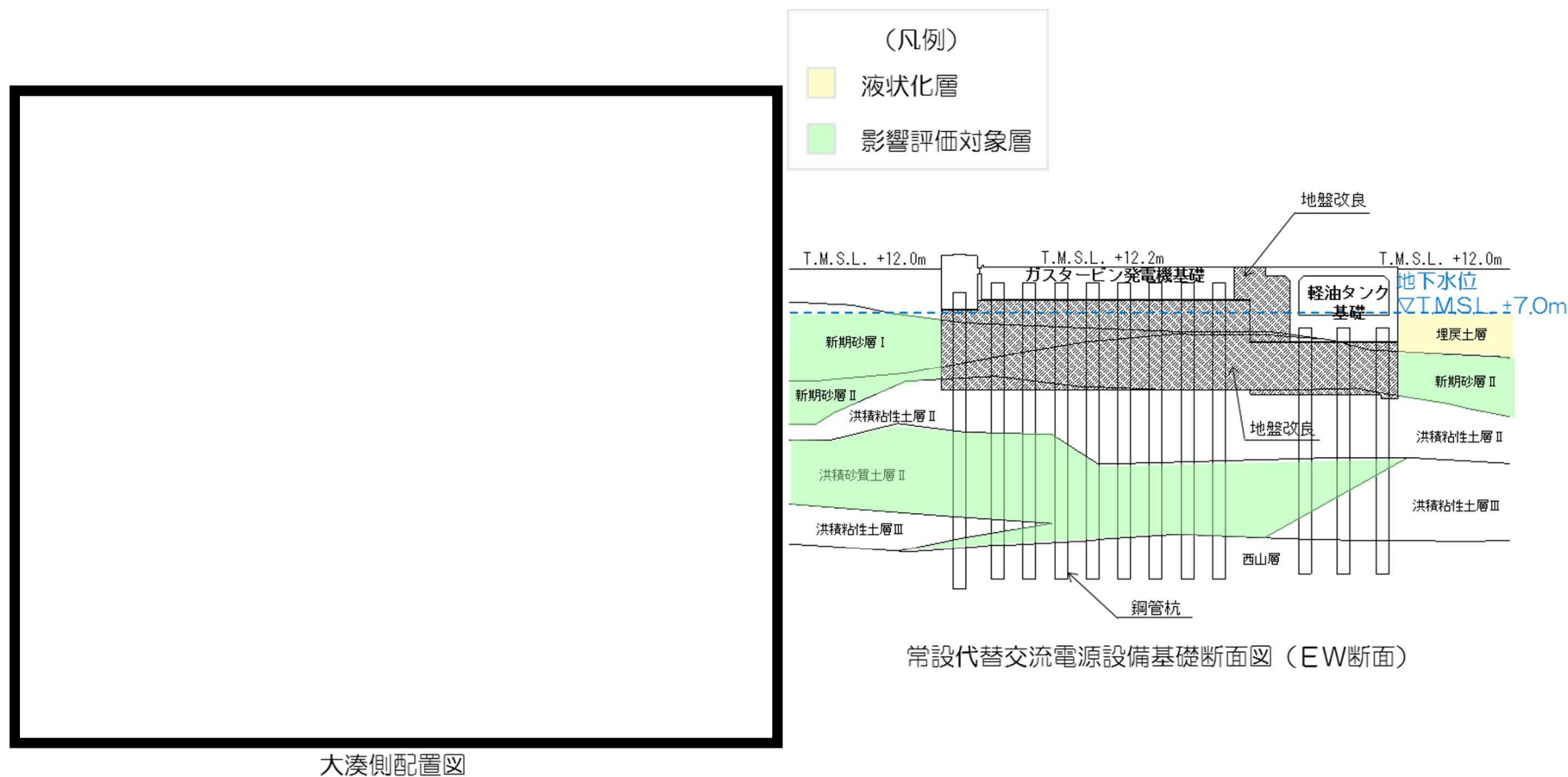


燃料移送系配管ダクト縦断面図

(凡例)  
影響評価対象層

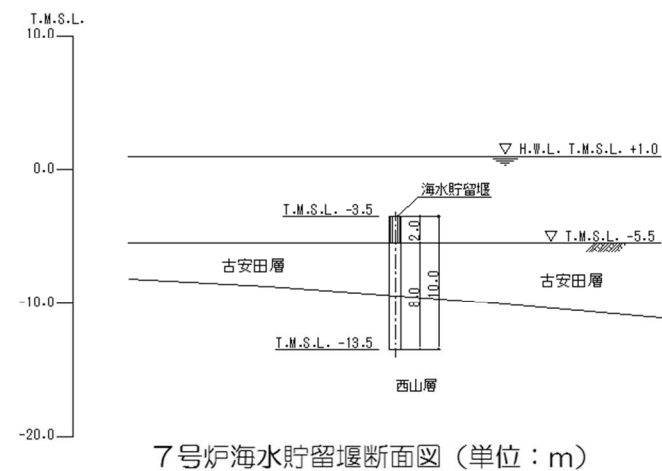
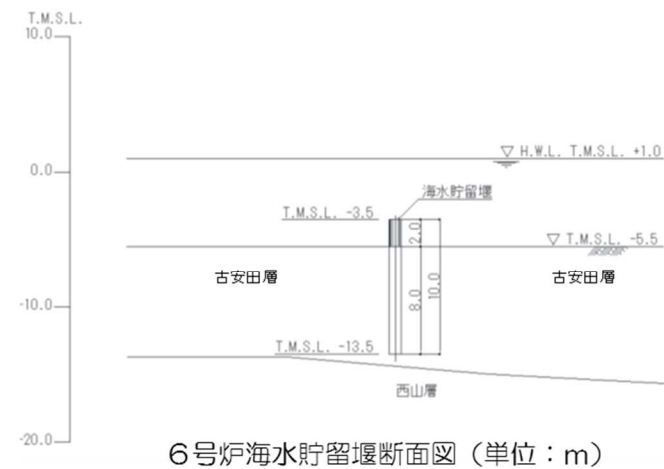
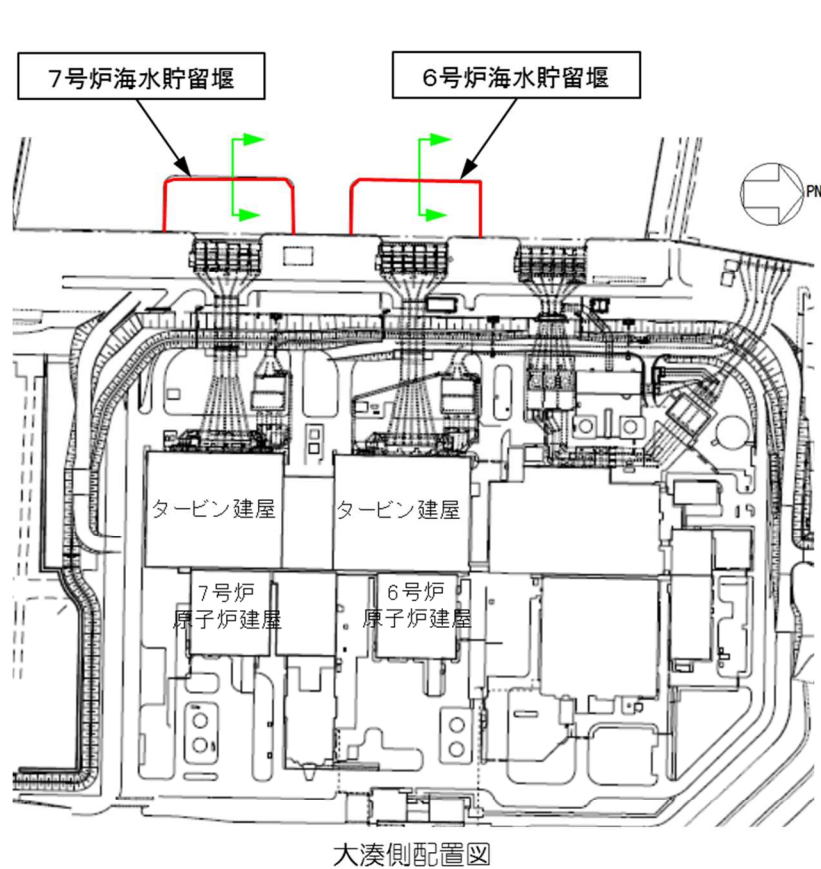
- 7号炉燃料移送系配管ダクトの周辺には、地下水位以下に影響評価対象層（新期砂層・沖積層）が存在する。

第 11-11-6 図 7号炉燃料移送系配管ダクト断面図



- 常設代替交流電源設備基礎の周辺には、地下水位以下に液状化層（埋戻土層）および影響評価対象層（新期砂層・沖積層，洪積砂質土層）が存在する。

第 11-11-7 図 常設代替交流電源設備基礎断面図



- 海水貯留堰の周辺には、液状化層および影響評価対象層は存在しない。

第 11-11-8 図 海水貯留堰

## 11.2 荒浜側の古安田層中の砂層に関する補足

新期砂層・沖積層は、敷地のほぼ全域にわたって下位層を覆って分布している。下位層上限面に刻まれた谷を埋めるように堆積したため、場所により層厚が大きく変化している。本層は、主に未固結の淘汰の良い細粒～中粒砂からなる。現在の海浜、砂丘を形成しており、下位層を不整合に覆う。新期砂層・沖積層は、荒浜側防潮堤付近で確認されており、比較的淘汰が良く、固結の程度が低い。第 11-11-1 表に敷地の地質層序表を、第 11-11-9 図に敷地の地質図を、第 11-11-10 図に新期砂層・沖積層の露頭状況を示す。

1 号海水機器建屋南側法面では、古安田層中に砂質土が確認されている。この砂質土には最上部に腐植質シルトを挟在する箇所があり、上位の新期砂層・沖積層と不整合で境している。ここでは新期砂層・沖積層と古安田層の不整合が、T.M.S.L.-2m 付近に確認されている。古安田層中の砂層には、葉理が認められ、新期砂層・沖積層に比べシルト質で固結の程度が高い。第 11-11-11 図に古安田層中の砂層の露頭状況を示す。

以上より、荒浜側にみられる新期砂層・沖積層を古安田層中の砂層の層位関係を直接確認しており、これらの対比は可能である。

一方、新期砂層・沖積層および古安田層中の砂層の N 値の差異について検討を実施した。検討にあたっては、N 値に影響のある物性として、細粒分含有率 ( $F_c$ )、相対密度 ( $D_r$ ) および初期せん断弾性係数 ( $G_0$ ) を抽出し、N 値への影響について比較した。

亀井ほか (2002) では、東京低地における沖積砂質土を対象に、細粒分と N 値の関係を整理しており、これによると、細粒分が減少するほど N 値が大きくなる傾向が認められる。第 11-11-12 図に A-3 地点における N 値と細粒分含有率の関係を示すが、A-3 地点における調査結果でも亀井ほか (2002) と同様の傾向が認められる。第 11-11-13 図に各層における粒径加積曲線の結果を示す。新期砂層・沖積層には細粒分がほとんど含まれておらず、細粒分含有率は洪積砂層より小さいことから、粒度組成の違いが N 値に影響していると考えられる。

第 11-11-14 図に N 値と相対密度の関係を示す。吉見 (1994) では、相対密度と N 値の関係を整理しており、相対密度が増加するほど N 値が大きくなる傾向が認められる。新期砂層・沖積層の相対密度は洪積砂層と比較してやや大きい傾向にあり、相対密度の違いが N 値の違いに影響している可能性があると考えられる。

第 11-11-15 図に N 値と初期せん断弾性係数の関係を示す。新期砂層・沖積層の初期せん断弾性係数は洪積砂層と比較してやや大きい傾向にあり、初期せん断弾性係数の違いが N 値の違いに影響している可能性があると考えられる。

第 11-11-2 表に各物性の N 値への影響について、整理して示す。N 値に影響のある物性として、細粒分含有率、相対密度、初期せん断弾性係数を抽出し、検討した結果、新期砂層・沖積層と洪積砂層の各物性の関係は、N 値の関係と整合しており、特に細粒分含有率の違いが N 値の違いに影響していると考えられる。

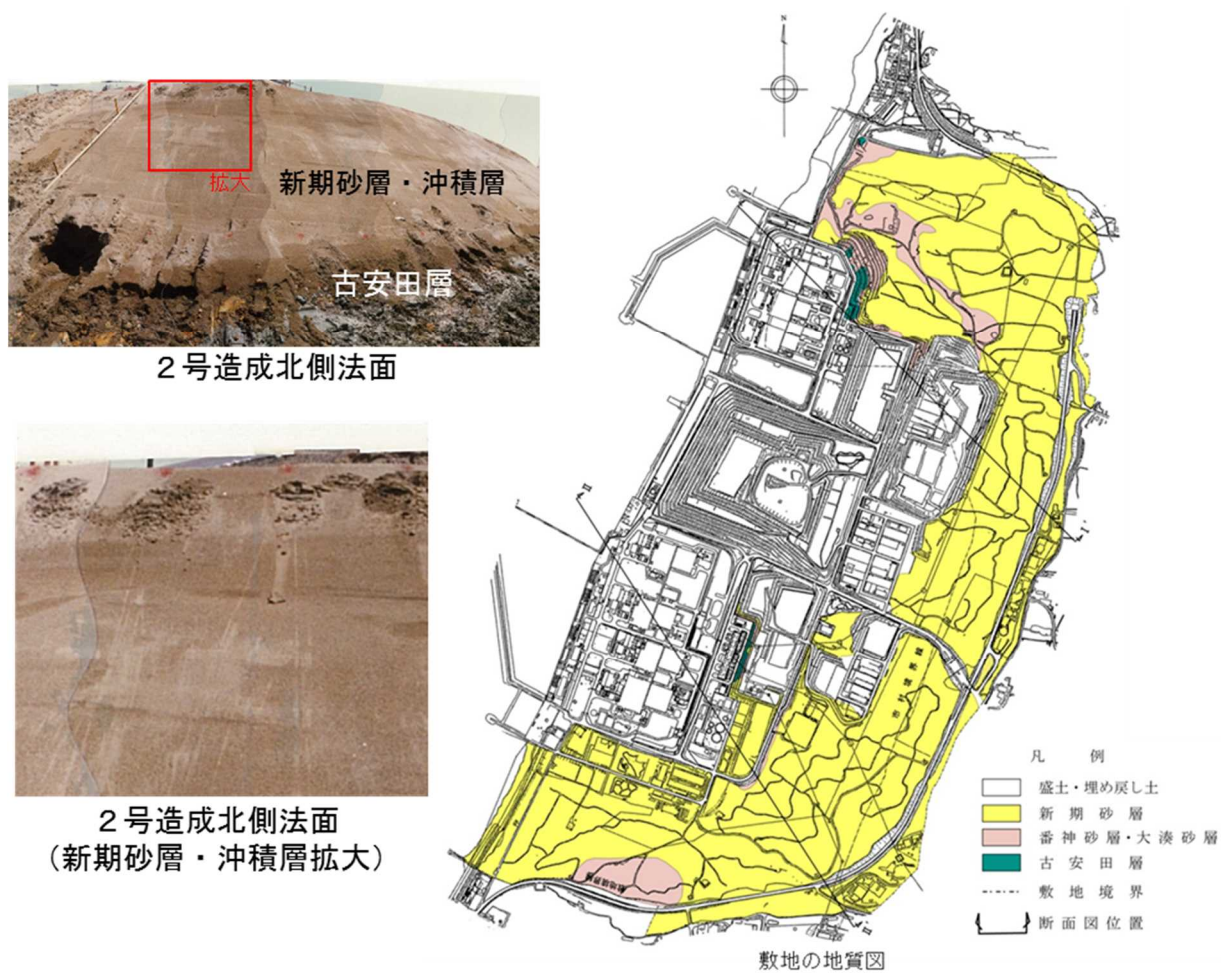
また、第 11-11-16 図に新期砂層・沖積層のコア写真の一例を示すが、新期砂層・沖積

層のボーリングコアは形状を維持して採取できているため、現世の砂丘砂と比較して続成作用が進んでいると考えられる。

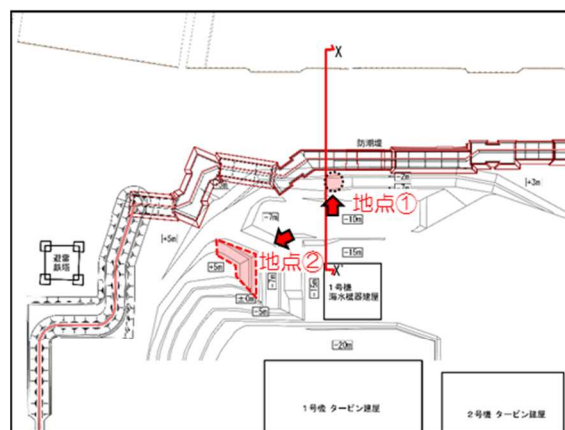
第 11-11-1 表 敷地の地質層序表

| 時 代              | 地 層 名 | 主な層相・岩質           | テフラ・放射年代                                                                              |
|------------------|-------|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 第<br>四<br>紀      | 完新世   | 新期砂層・沖積層          | 上部は灰白色の細～中粒砂<br>下部は茶褐色の細～中粒砂、腐植物を含む<br>← 腐植 (6, 150±170年)                             |
|                  |       | 番神砂層              | 灰白色～赤褐色の中～粗粒砂                                                                         |
|                  | 後期    | 大湊砂層              | 褐色～黄褐色の中～粗粒砂、<br>シルトの薄層を含む<br>← NG(約13万年前)                                            |
|                  |       | A <sub>i</sub> 部層 | 最上部は砂<br>粘土～シルト、砂を多く挟む<br>← y-l(約20万年前)                                               |
|                  | 中期    | A <sub>2</sub> 部層 | 粘土～シルト<br>塊状粘土、有機物、砂を伴う、貝化石を含む                                                        |
|                  |       | A <sub>3</sub> 部層 | 粘土～シルト<br>砂、厚い砂礫、有機物を挟む<br>← Ata-Th(約24万年前)                                           |
|                  |       | A <sub>4</sub> 部層 | 粘土～シルト<br>砂、砂礫を挟む<br>← Kkt(約33-34万年前)                                                 |
|                  |       | 灰 爪 層             | 凝灰質泥岩、凝灰質砂岩、凝灰岩<br>← Iz (約1.5Ma)                                                      |
|                  | 前期    | N <sub>1</sub> 部層 | 砂質泥岩<br>砂岩、凝灰岩、ノジュールを挟む<br>貝化石を含む                                                     |
|                  |       | N <sub>2</sub> 部層 | シルト質泥岩<br>塊状泥岩、凝灰岩、ノジュールを多く挟む<br>← Fup (約2.2Ma)<br>← Tsp (約2.3Ma)<br>← Az (約2.4Ma)    |
|                  |       | N <sub>3</sub> 部層 | シルト質～粘土質泥岩<br>砂岩、凝灰岩、ノジュールを挟む<br>珪質海綿化石を含む<br>← Nt-17 (340±20万年)<br>← Nt-7 (350±20万年) |
|                  |       | 推 谷 層             | 砂岩、砂岩・泥岩互層、細礫岩等を挟む                                                                    |
| 新<br>第<br>三<br>紀 | 鮮新世   | 後期                |                                                                                       |
|                  | 前期    |                   |                                                                                       |
| 中<br>新<br>世      | 後期    |                   |                                                                                       |
|                  | 中期    | 寺 泊 層             | 黒色泥岩、砂岩・泥岩互層                                                                          |

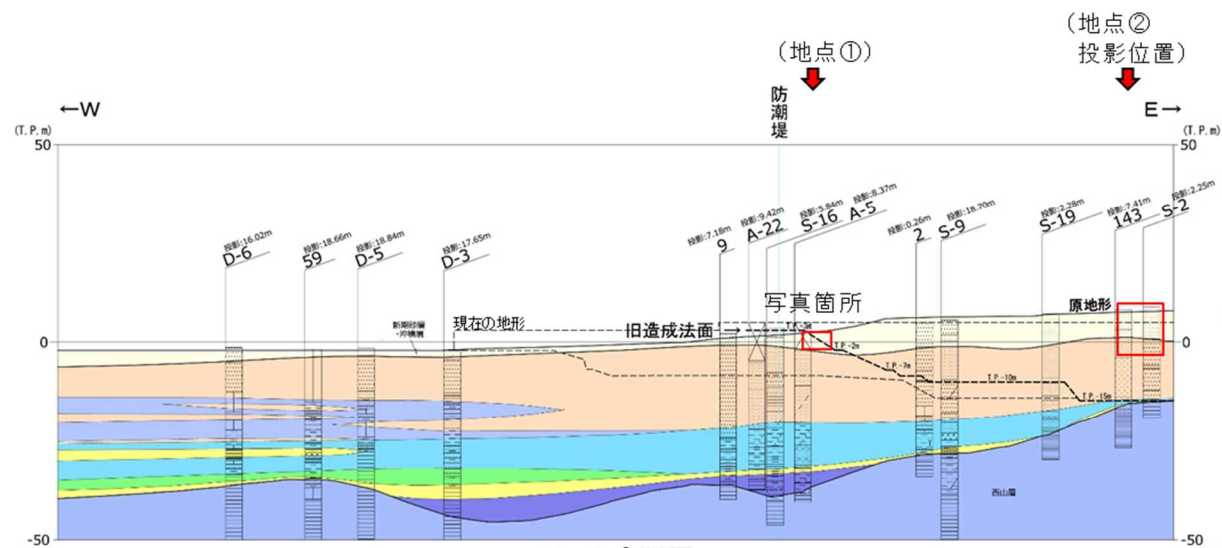
~~~~~ 不整合

第 11-11-9 図 敷地の地質図



位置図



X-X' 断面

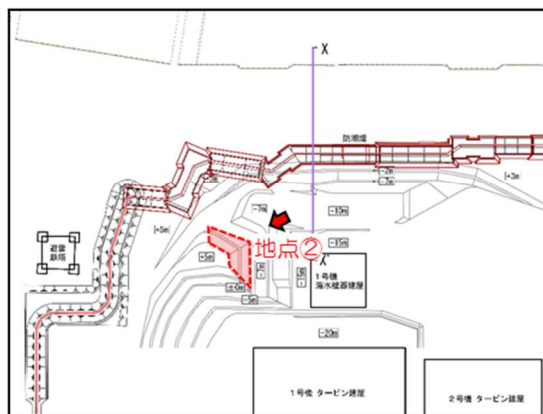
地質凡例

| | |
|-----------------------------------|-----------|
| 埋戻土 | |
| 新期砂層・沖積層 | |
| 番神砂層・大湊砂層 | |
| A ₂ ~A ₃ 部層 | 粘性土 |
| | 粘性土・砂質土互層 |
| | 砂質土 |
| 古安田層 | 粘性土 |
| A ₂ 部層 | 粘性土・砂質土互層 |
| | 砂質土 |
| A ₁ 部層 | 粘性土 |
| | 粘性土・砂質土互層 |
| | 砂質土 |
| 西山層 | |

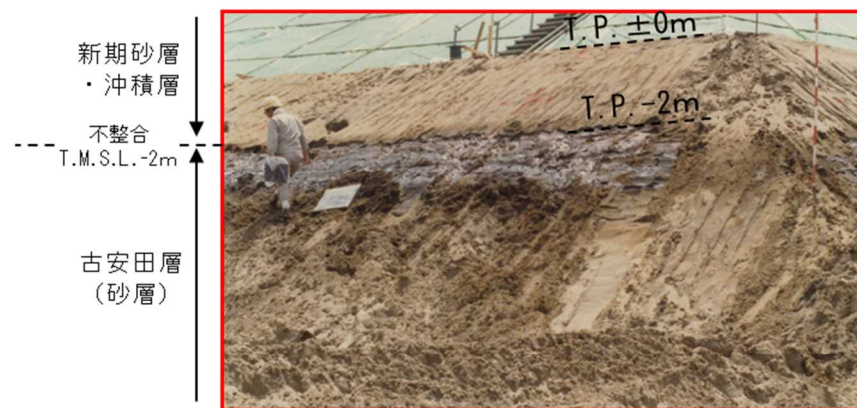


1号海水機器建屋西側法面 T.M.S.L.+3m~-2m
新期砂層・沖積層 (地点①)

第 11-11-10 図 新期砂層・沖積層の露頭状況



位置図



新期砂層・沖積層と古安田層（砂層）地層境界

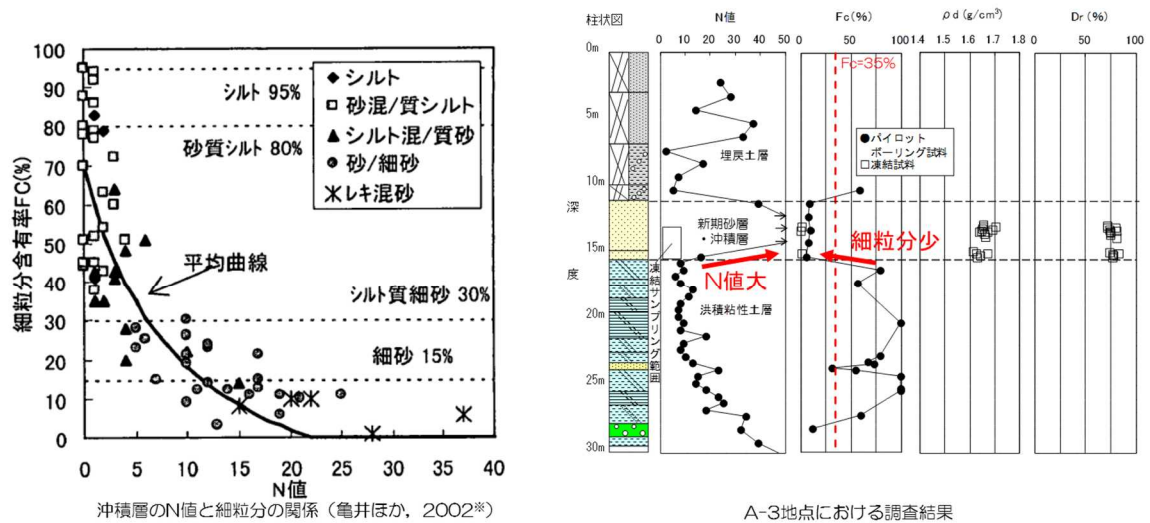


1号海水機器建屋南側法面 T.M.S.L. ±0～-5m全景（地点②）

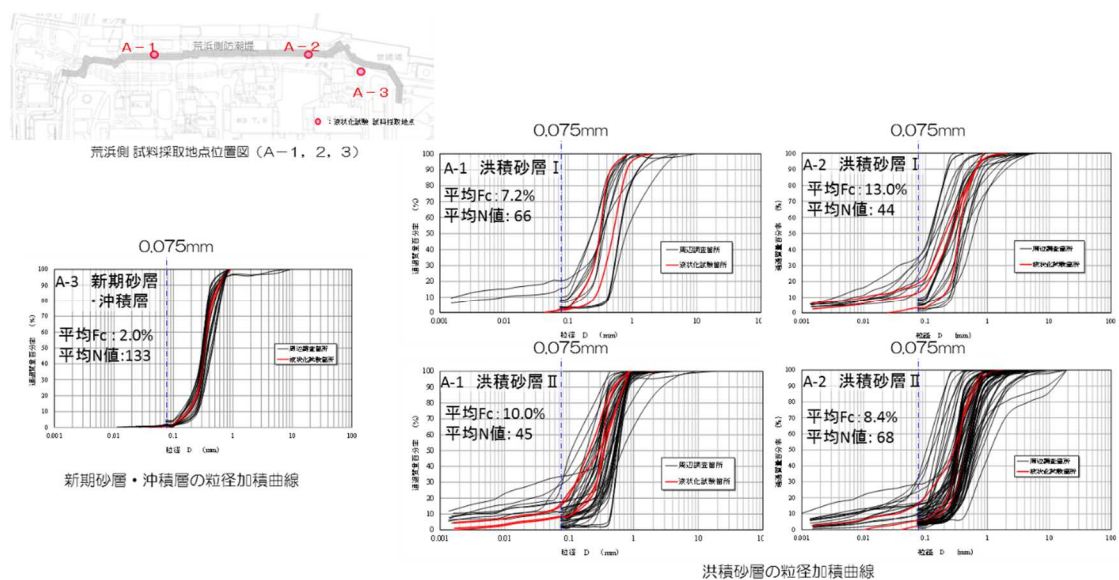


1号海水機器建屋南側法面 T.M.S.L. -5m～-7m
古安田層中の砂層（地点②）

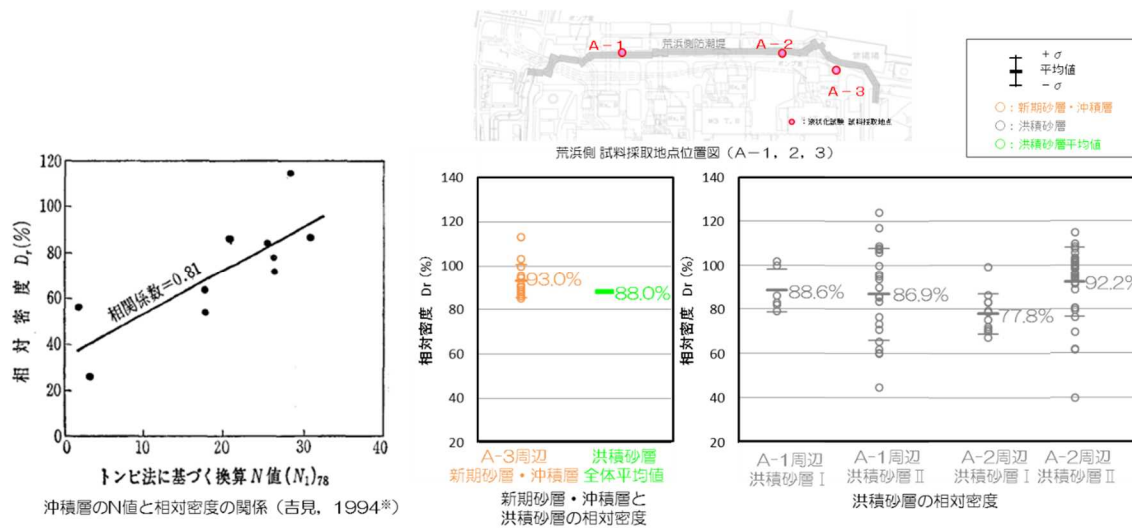
第 11-11-11 図 古安田層中の砂層の露頭状況



第 11-11-12 図 N 値と細粒分含有率の関係 (A－3 地点)



第 11-11-13 図 各層における粒径加積曲線



第 11-11-14 図 N 値と相対密度の関係

- 道路橋示方書・同解説V 耐震設計編では、せん断弾性速度 (V_s) を下式によってN値から推定してもよいとしている。($G_0 = \rho V_s^2$)

砂質土の場合

$$V_{si}=80N_i^{1/3} \quad (1 \leq N_i \leq 50)$$

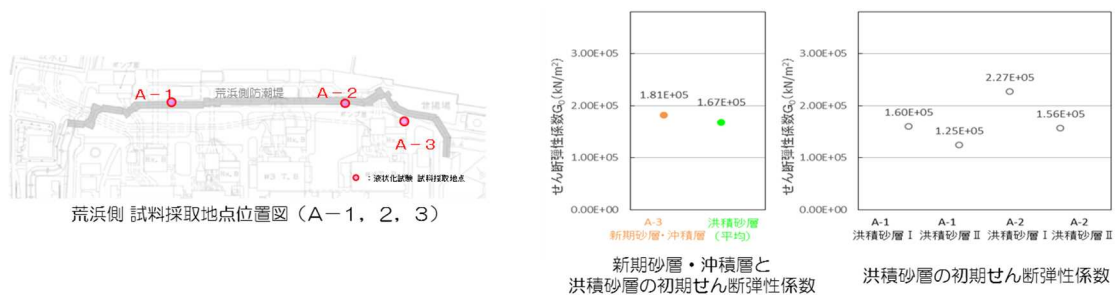
ここに、 V_{si} ：i 番目の地層の平均せん断弾性速度

 N_i : 標準貫入試験による i 番目の地層の平均 N 値

- Imai et al. (1982) ※によると、N値とせん断弾性係数との間には、下式のような関係にあるとしている。

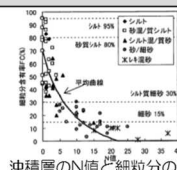
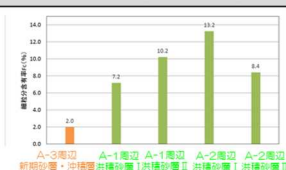
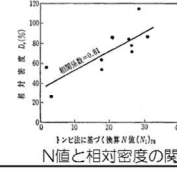
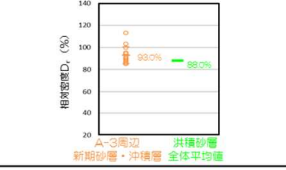
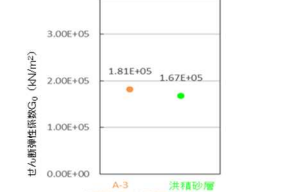
$$G_m = 144 N^{0.88}$$

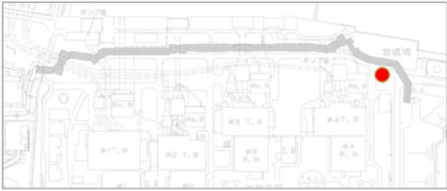
ここに、 G_m ：せん断弾性係数



第 11-11-15 図 N 値と初期せん断弾性係数の関係

第 11-11-2 表 各物性の N 値への影響

| 物性 | N値との関係 | 検討結果（物性の比較） | N値への影響 |
|---|---|---|--------|
| 細粒分含有率
(F_c) | <p>細粒分が減少するほど
N値が大きくなる傾向
が認められる。</p>  <p>沖積層のN値と細粒分の関係</p> |  <p>○</p> | |
| 相対密度
(D_r) | <p>相対密度が増加するほど
N値が大きくなる傾向
が認められる。</p>  <p>N値と相対密度の関係</p> |  <p>△</p> | |
| 初期せん断弾性係数
(G_0)
($G_0 = \rho Vs^2$) | <p>せん断弾性速度 (V_s)
を右式によってN値から
推定してもよいとして
いる。</p> <p>(砂質土の場合)
$V_{si} = 80N_i^{1/3}$ ($1 \leq N_i \leq 50$)
V_{si} : i 番目の地層の平均せん断弾性速度
N_i : 標準貫入試験による i 番目の地層の平均N値</p> <p>$G_m = 144N^{0.88}$
G_m : せん断弾性係数</p> |  <p>△</p> | |



F5-16 孔ボーリング位置図

- 防潮堤付近で行ったボーリングによると、新期砂層・沖積層のボーリングコアは形状を維持して採取できているため、現世の砂丘砂と比較して続成作用が進んでいると考えられる。

第 11-11-16 図 新期砂層・沖積層のコア写真 (F5-16 孔)

11.3 液状化に関連する基本物性に関する補足

液状化に関連する基本物性に関して、第 11-11-17 図にN値（標準貫入試験）について、第 11-11-18 図に細粒分含有率（Fc）について、第 11-11-19 図に乾燥密度及び間隙比について、第 11-11-20 図に相対密度（Dr）について、第 11-11-21 図に粒径加積曲線について示す。

N値とは

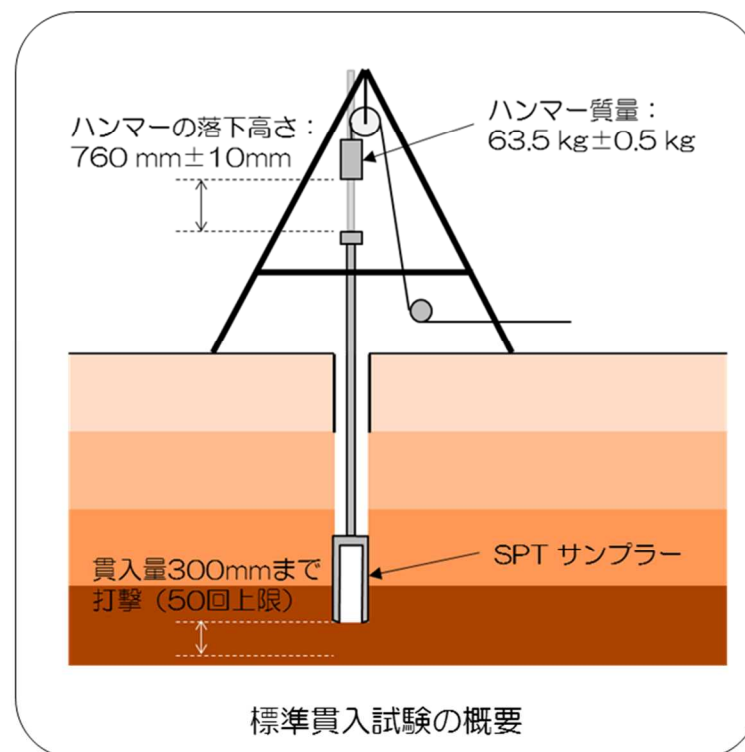
- N値は、原位置で行う標準貫入試験により求まる値であり、地盤の硬さ・強度や締まりの程度の評価に用いられる。N値が高い方が地盤が硬く・密であり、小さい方が地盤が軟らかく・疎である。
- N値は、地盤上または地盤中に構築する構造物の設計等において、地盤の強度（内部摩擦角 ϕ 、粘着力 c 、支持力度、液状化強度など）や地盤の剛性（S波速度、弾性係数など）を推定するために一般的に用いられている。

試験方法

- 標準貫入試験は、「標準貫入試験方法」(JIS A 1219:2001)に基づいて実施する。
- 試験は、質量 $63.5\text{ kg} \pm 0.5\text{ kg}$ のハンマーを $760\text{ mm} \pm 10\text{ mm}$ の高さから落下させて、SPT サンプラーを打ち込む。50回を打撃回数の限度として、300mm貫入するに必要な打撃回数（N値）を求める。
- また、打撃回数50回において、貫入量が300mm未満のものについては、以下の換算によりN値を評価した。

$$N\text{値} = \frac{300\text{mm}}{\text{打撃回数50回における打ち込み深度(mm)}} \times 50$$

（例）打撃回数50回において打ち込み深度が200mmの場合のN値は75となる。



第 11-11-17 図 N値（標準貫入試験）について

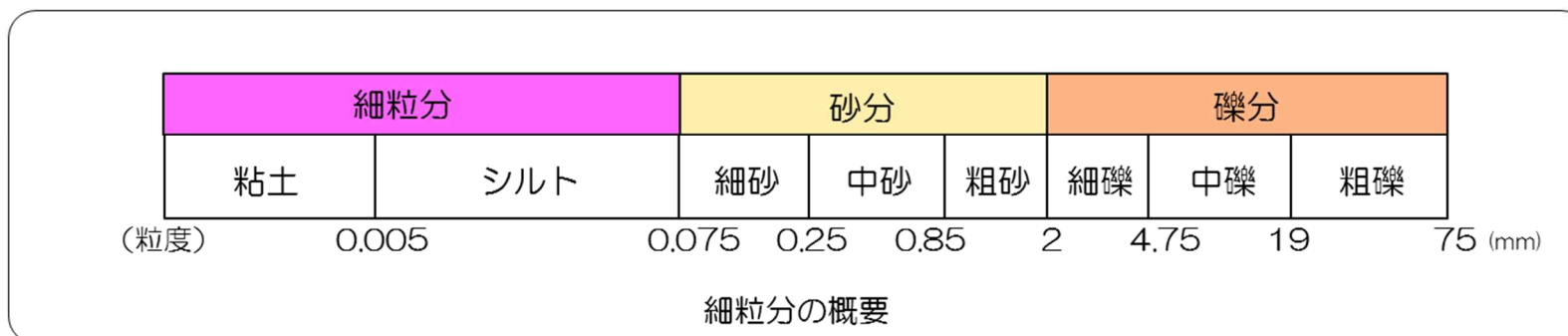
細粒分含有率（Fc）とは

- 細粒分含有率（Fc）は、地盤を構成する土粒子の全質量に対する細粒分（粒径0.075mm未満）の質量割合であり、土質材料を分類する際の指標として用いられ、液状化判定の対象層選定の指標としても用いられる。
- 細粒分含有率（Fc）は、土質材料の分類以外にも、液状化強度の推定など地盤の工学的性質に及ぼす細粒分の影響を検討する際のパラメータとしてよく用いられている。また、盛土材の適否を検討する際にも細粒分含有率が用いられる。

試験方法

- 細粒分含有率試験は、「土の細粒分含有率試験方法」（JIS A 1223:2000）に基づいて実施する。
- 試料の乾燥質量（ m_s ）を測定する。次に、ふるい目開き0.075mmに残った試料の乾燥質量（ m_{0s} ）を測定し、細粒分含有率（Fc）を評価する。

$$F_c = \frac{m_s - m_{0s}}{m_s} \times 100$$



第 11-11-18 図 細粒分含有率（Fc）について

乾燥密度、間隙比とは

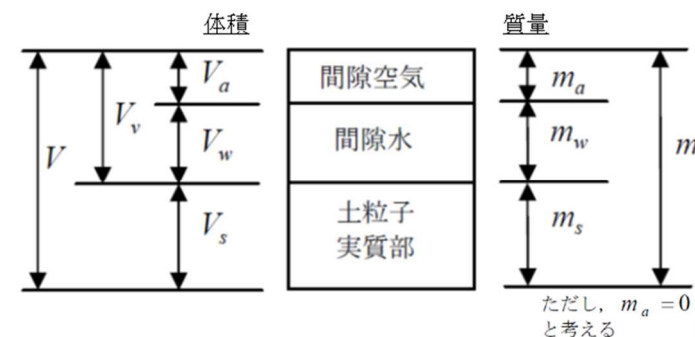
- 乾燥密度、間隙比は、土の湿潤密度、含水比試験及び土粒子の密度試験から求まる湿潤密度、含水比及び土粒子の密度から算出され、土の締め具合を表す基本的な土の物性値である。なお、間隙比は相対密度の算出にも用いられる。

試験方法

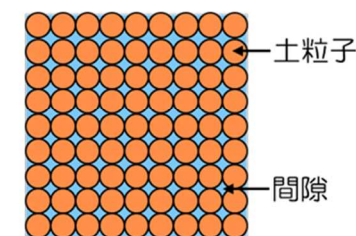
- 湿潤密度は「土の湿潤密度試験方法」(JIS A 1225:2009)に、含水比は「土の含水比試験方法」(JIS A 1203:2009)に、土粒子の密度は「土粒子の密度試験方法」(JIS A 1202:2009)に基づいて実施する。
- 「土の湿潤密度試験方法」においては、乱さない供試体の質量と体積を室内で直接測定して求める。「土の含水比試験方法」においては、試料の乾燥前後の質量を測定して求める。「土粒子の密度試験方法」においては、土粒子の質量と体積を測定して求める。
- 乾燥密度(ρ_d)及び間隙比(e)は、下式により算出する。

$$\rho_d = (\rho_t / (1 + w/100)) = m_s / V$$

$$e = (\rho_s / \rho_d) - 1 = V_v / V_s$$



| | |
|------------|----------------------------------|
| 土の湿潤密度 | $\rho_t = m / V$ |
| 土の乾燥密度 | $\rho_d = m_s / V$ |
| 土粒子の(質量)密度 | $\rho_s = m_s / V_s$ |
| 含水比(%) | $w = \frac{m_w}{m_s} \times 100$ |
| 間隙比 | $e = \frac{V_v}{V_s}$ |



地盤内の土粒子と間隙のイメージ

第 11-11-19 図 乾燥密度及び間隙比について

相対密度とは

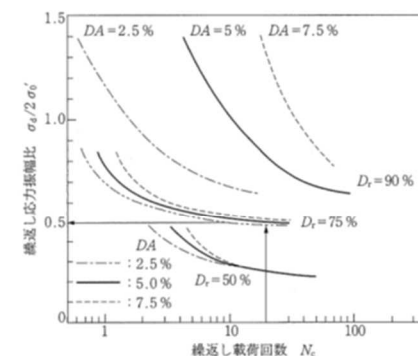
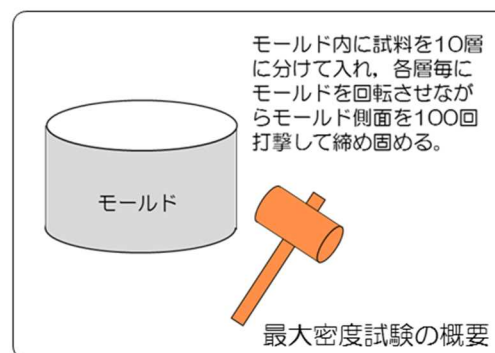
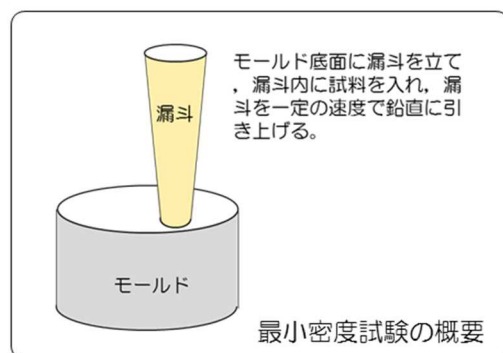
- 相対密度は、下式で定義される地盤の締めりを表す指標である。相対的に、相対密度が大きい方が地盤は密で、小さい方が疎である。
- 砂の相対密度は、力学特性を表すパラメータとして利用されている。なお、相対密度はそれぞれの密度の誤差が相対密度に大きな誤差となって反映されるという特徴を持っており、特に細粒分を多く含む場合には誤差が大きくなる特性がある。

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}$$

e : 試料の間隙比（間隙の体積÷土粒子の体積）
 e_{\max} : 最小密度試験による試料の間隙比
 e_{\min} : 最大密度試験による試料の間隙比

試験方法

- 最大、最小密度の試験は、「砂の最小密度・最大密度試験方法」(JIS A 1224:2000)に基づいて実施する。
- 「砂の最小密度・最大密度試験方法」においては、「2mmふるいを通し、75 μ mふるいに95%以上残留する砂」を基本としており、採取した試料のうち粒径2mm以上の礫を除去して試験を実施した。
- 地盤工学会(2000)によれば、「更新世中期や前期に堆積した砂のように極めて密な砂の場合、相対密度は100%を越えることが普通である。」とされている。



液状化強度曲線の形状と土の特性の関係
(地盤材料試験の方法と解説 (社) 地盤工学会, 2009)

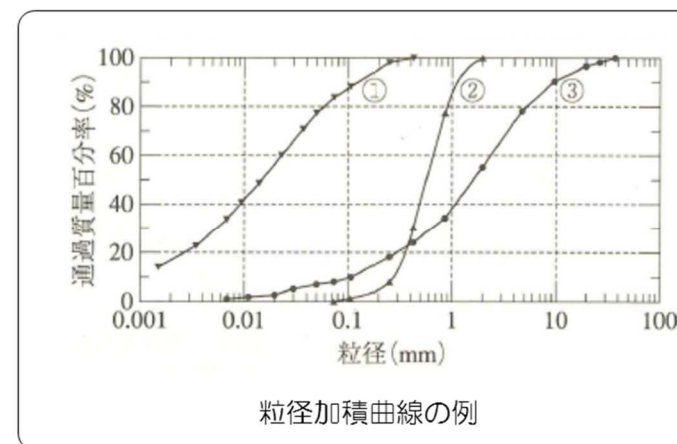
第 11-11-20 図 相対密度 (D_r) について

粒径加積曲線とは

- 土を構成する土粒子の粒度の分布状態を粒度といい、土粒子の分布状態を粒径とその粒径より小さい粒子の質量百分率の関係を示した曲線を粒径加積曲線という。
- 粒径加積曲線は、土の締固め特性や透水性及び液状化強度などの力学的性質の推定、建設材料としての適性の判定や掘削工・基礎工などの施工法の決定などに利用されている。

試験方法

- 土の粒度試験は、「土の粒度試験方法」(JIS A 1204:2009)に基づいて実施する。
- 「土の粒度試験方法」においては、粒径2mm以上の土粒子はふるい分析を、2mm未満の土粒子は沈降分析を行った後に古い分析を行う。



第 11-11-21 図 粒径加積曲線について

11.4 液状化関連の文献整理

液状化に関連した文献を整理して，第 11-11-22 図に中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験方法について，第 11-11-23 図にサイクリックモビリティについて，第 11-11-24 図に有効応力解析について示す。

表 3-3 室内液状化試験装置の種類と特徴

| 項目
種類 | 応力状態 | モ ー ル 円 | 応力経路
(全応力)
1→2→3→4 | 拘束状態 | ひずみ状態 | 繰返し荷重 |
|---|-----------------|---------|--------------------------|--|------------------|------------------------|
| 原地盤 | | | | 異方応力状態
(K_0 圧密)
(初期せん断応力
が加わることも
ある) | 平面ひずみ
単純せん断変形 | 多方向ランダム
波 |
| 繰返し三軸
(別名 振動三軸)
動的三軸) | | | | 等方応力状態 | 軸対称変形 | 一方向正弦波 |
| 繰返しねじりせん断
(別名 動的ねじりせん断)
(リングねじりせん断も
同種類) | | | | 等方または異方
応力状態
(K_0 圧密可)
(初期せん断応
力も加えられる) | 平面ひずみ
単純せん断変形 | 一方向
正弦波またはラ
ンダム波 |
| 繰
返
し
単
純
せん
断 | NGI 型
 | | | 異方応力状態
(準 K_0 圧密;
K_0 未知)
(初期せん断応
力も可) | 平面ひずみ
単純せん断変形 | 多方向
正弦波またはラ
ンダム波 |
| | Cambridge 型
 | | | 異方応力状態
(K_0 圧密)
(初期せん断応
力も可) | 平面ひずみ
単純せん断変形 | 一方向
正弦波またはラ
ンダム波 |

(a) 安田 (1991)

第 11-11-22 図 中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験方法について

繰返しねじりせん断装置（動的ねじりせん断装置）

- 繰返しねじりせん断試験では中空円筒や中実円柱の供試体を用い、これにねじりせん断力を加える。
- 円筒や円柱では半径方向にせん断ひずみの値が異なってくるため、その影響をなるべく少なくするため、中空円筒の供試体の方がよく用いられる。
- 供試体には図3-8 (a) に示したように初期の拘束圧や初期せん断力を加えておいた後、繰返しせん断力を加える。
- 地盤内での応力状態に合わせて異方応力（軸圧と側圧が異なる）にしたり、斜面内や構造物下の地盤の状態を再現するために初期せん断力を加えたり、さらに、側圧でも外圧と内圧とを違って三主応力が異なるようにすることができる。

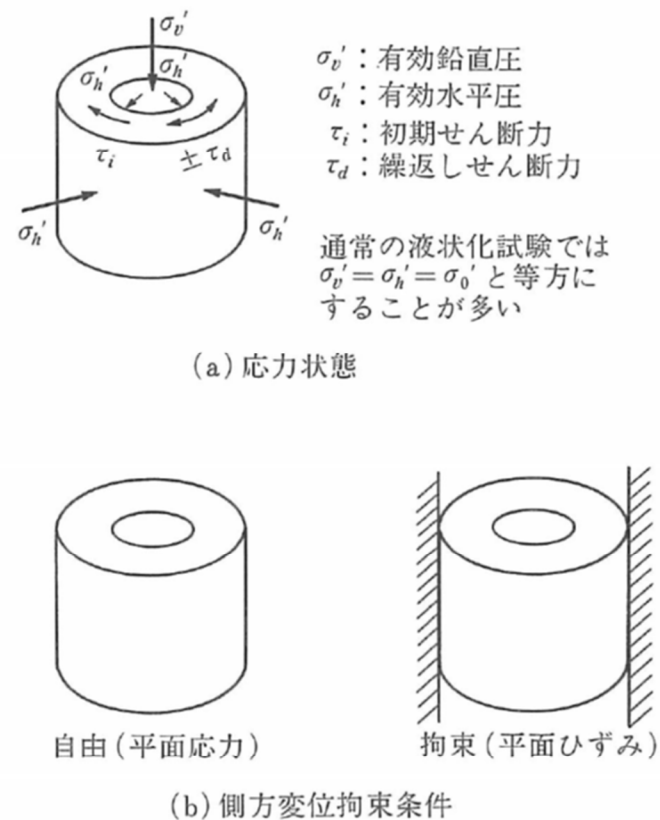
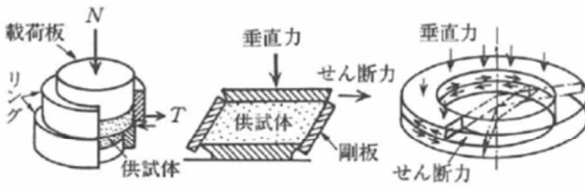
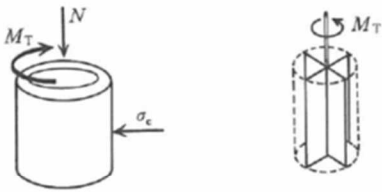
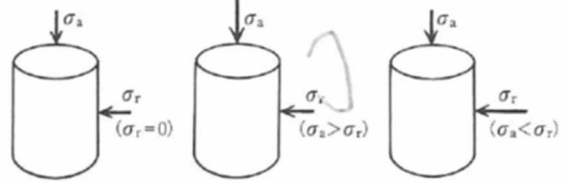
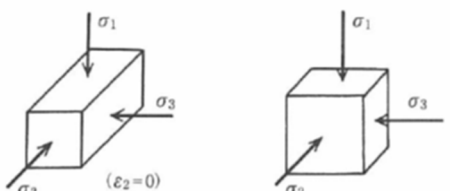


図 3-8 繰返しねじりせん断試験における応力、側方変位拘束条件

(b) 安田 (1991)

第 11-11-22 図 中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験方法について

表-7.1.1 せん断試験の種類

| 種 類 | | 試 験 の 原 理 | 応力の載荷方法 |
|----------|---|---|---|
| せん断応力載荷型 | 側方変位拘束型
土の一面せん断試験（第4章）
単純せん断試験（第8章）
リングせん断試験（第8章）
岩盤不連続面の一面せん断試験（第12章） |  | 特定のせん断または供試体の境界面に垂直力とせん断力を直接載荷（主応力方向変化） |
| | 側方変位非拘束型
ねじりせん断試験（第5章）
繰返しねじりせん断試験（第7章）
室内ペーンせん断試験（第8章） |  | |
| 主応力載荷型 | 軸対称型
土の一軸圧縮試験（第2章）
三軸圧縮試験（第3章）
三軸伸張試験（第3章）
繰返し三軸試験（第6, 7章）
岩石の一軸圧縮試験（第9章）
岩（岩石）の三軸圧縮試験（第10章）
圧裂による岩石の引張り強さ試験（第11章） |  | 供試体の境界面に主応力を載荷し、結果として生じるせん断断面上の垂直応力・せん断応力を算定（主応力方向固定） |
| | 三主応力型
平面ひずみ試験（第8章）
三主応力制御試験（第8章） |  | |

(b) 地盤工学会（2009）

第 11-11-22 図 中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験方法について

第5章 ねじりせん断試験

- ねじりせん断試験は、中空円筒供試体の上または下端にトルクを加えて円周方向にねじることによって供試体全体にせん断変形を与える試験であり、直接型せん断試験の一種である。
- 他の直接型せん断試験と比較すると、供試体の側方応力条件が明確であることと供試体の水平・鉛直面に共役なせん断応力を確実に作用させることができるという利点を有する。したがって、供試体に作用する主応力の大きさと方向が容易に求められる。
- 三軸試験に代表される間接型せん断試験と比較して以下のような利点を有する。
 - ①主応力方向が連続的に回転するような応力状態も再現することができる。
 - ②軸方向に対して直角方向にせん断できる。
 - ③比較的広範囲な応力経路またはひずみ経路を供試体に与えられる。
- ねじりせん断試験では、制御できる応力の自由度が大きいことから、さまざまな応力状態のもとでの土の基本的な挙動を明らかにすることができる。

(d) 地盤工学会 (2009)

第 11-11-22 図 中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験方法について

- ▶ 現在液化強度を求めるために最も普通に行われている振動三軸試験では、図2.1 (b)に示すように側圧を一定に保ったまま軸力を変動させせん断応力を変動させるものであり、せん断応力の変動とともに有効拘束圧も変化する。
- ▶ より原位置に近い応力状態を再現できる試験機に中空ねじり試験機がある。この試験では図2.1 (c)に示すように軸力、側圧を一定に保ったまません断応力を加えるので、試料の半径方向の応力変動が無視できるとすればほぼ実地盤に対応している。
- ▶ 三軸試験では圧縮側と引っ張り側で挙動が異なり、応力経路は上下では対象ではないし、ひずみの発生量も異なる。これに対してねじり試験では応力-ひずみ関係、応力経路ともほぼ対称な形をしている。

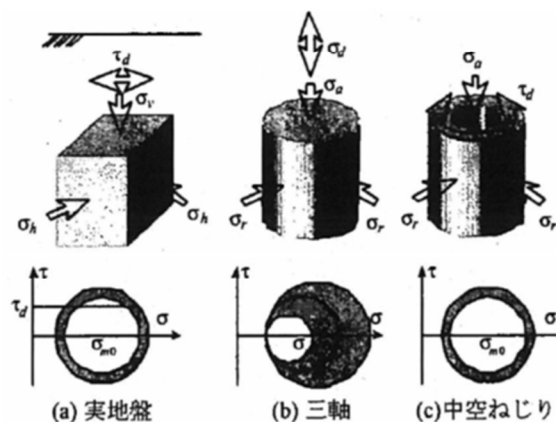


図2.1 室内試験における応力状態

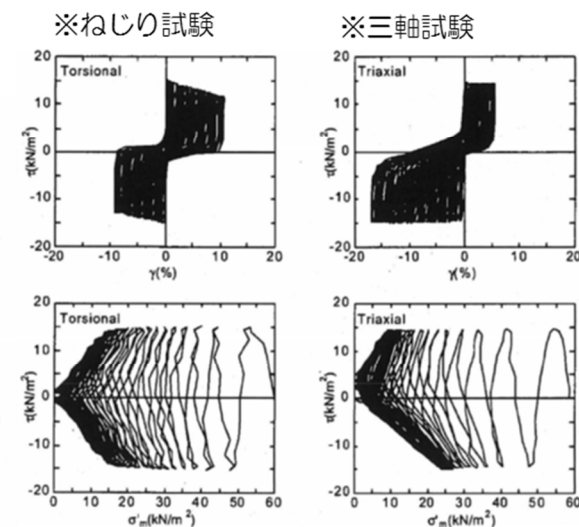


図3.3 三軸試験と中空ねじり試験の代表的な応力-ひずみ関係と応力経路

(e) 澤田ほか (2003)

第 11-11-22 図 中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験方法について

サイクリックモビリティー

cyclic mobility

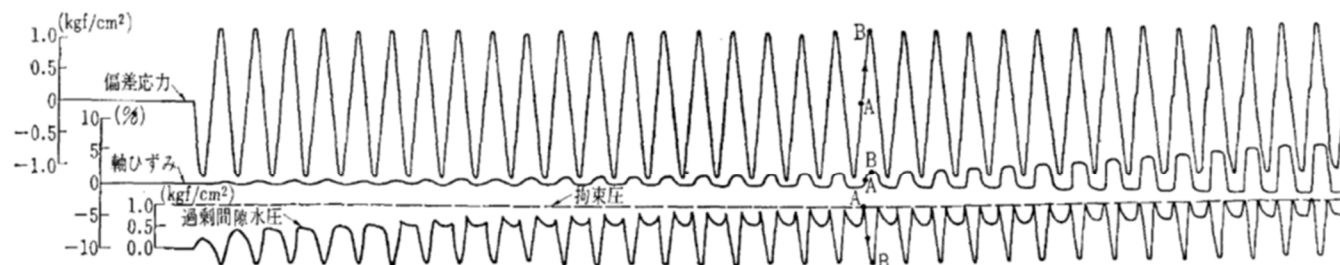
砂などの繰返し載荷において、有効拘束圧（effective confining pressure）がゼロに近づいてから、載荷時にせん断剛性（shear modulus）の回復、除荷時に有効応力*の減少を繰り返していくが、ひずみ*は有限の大きさにとどまる現象をサイクリックモビリティーといい、液状化*とは区別して用いられることがある。地震のような繰返しせん断応力を受ける場合には、有効拘束圧がゼロかそれに近いところで大きなひずみが生じる。一方ではひずみが大きくなると、再び剛性が回復してくるので、いわゆる液状化状態ではなくなる。有効拘束圧がゼロの付近でどの程度大きなひずみが発生するかは、主に砂の密度と繰返し載荷でのせん断応力の大きさや繰返し回数（number of cycles）に依存しており、密度が小さいほど、また、液状化以後に繰返しせん断応力が大きく、繰返し回数が多いほど大きなひずみが発生する。逆に、密度の大きい砂では、一時的に有効拘束圧がゼロまたはその近くになっても、引き続き載荷に対して大きなひずみが発生しない。

(a) 地盤工学会（2006）

第 11-11-23 図 サイクリックモビリティーについて

液状化（密な砂の場合）

- ▶ やや密な砂では、図－1に示すように一時的に σ' がゼロになっても、図－1中のA→Bのように引き続きせん断応力を供試体に加えても、供試体のひずみが無限に大きくなるわけではない。
- ▶ 密な砂では、せん断応力が働いていない時に、一時的に有効拘束圧がゼロになってもせん断応力が加わり、せん断ひずみが生ずると体積が膨張しようとするダイレイタンスーの現象が生じる。
- ▶ 非排水状態にある飽和砂のように等体積状態であれば、体積膨張しようとするれば、負の過剰間隙水圧が発生することになり、有効拘束圧が増加することになる。図－1の場合でもA→Bのプロセスで過剰間隙水圧が大幅に減少している。したがって、有効拘束圧の増加に伴うせん断抵抗力の増加が生ずることになる。この傾向は密な砂ほど大きくなる。
- ▶ 非排水状態での繰返し荷重に対する飽和砂の強度は密になるほど、特に間隙水圧の上昇そのもので定義するのは適切ではなく、発生したひずみの大きさで、定義する方がよりよいということになる。



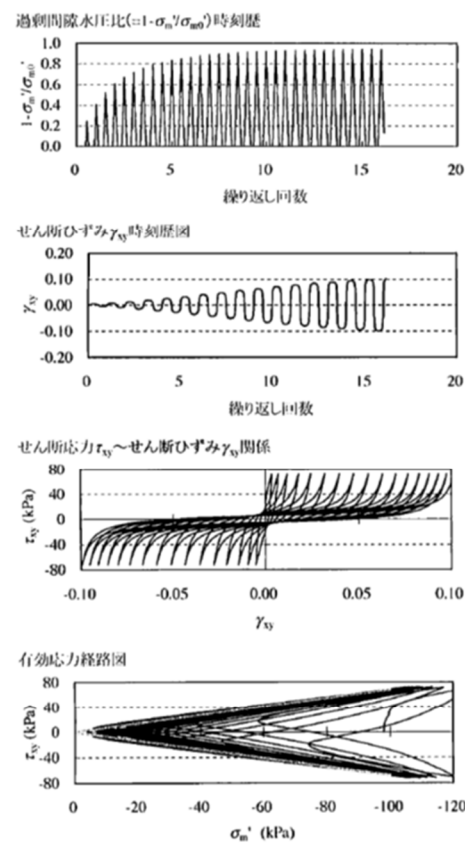
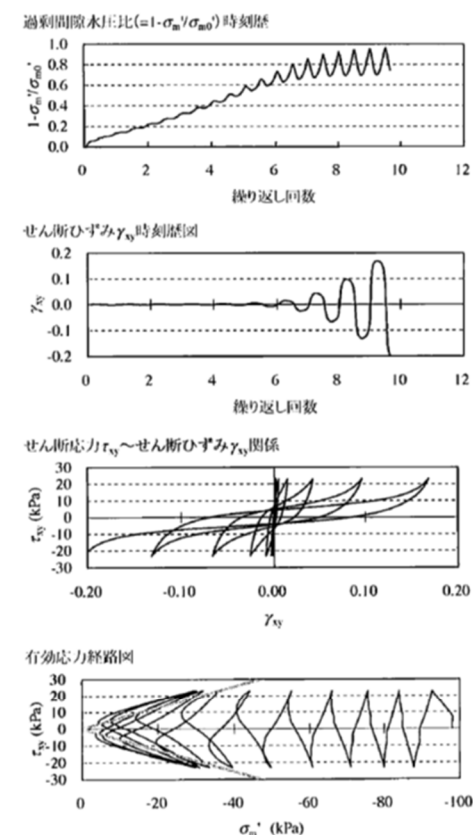
図－1 不飽和状態 ($w=8\%$) でタンピングして作製した Monterey No. 0 砂の振動三軸試験結果 ($D_r=79\%$, 背圧 1 kgf/cm^2 , 初期圧密応力 $\sigma'_c=1 \text{ kgf/cm}^2$, 偏差応力比 $\sigma_{dp}/2\sigma'_c=0.55$, 供試体寸法: 高さ 153 mm , 直径 61 mm , 空圧式繰返し荷重 (1 Hz))。

(b) 龍岡 (1980)

第 11-11-23 図 サイクリックモビリティについて

液状化（密な砂の場合）

- サイクリックモビリティとは、「密な砂地盤が繰返しせん断を受け、過剰間隙水圧の増加に伴って、せん断ひずみ振幅が徐々に増大する現象である。」としている（図－1）。
- 地盤の液状化は、ゆるい砂地盤が繰返しせん断を受け、せん断振幅が急増し、地盤全体が泥水状態となり、噴砂や噴水を伴うことが多いので、現象的にサイクリックモビリティとは異なる。
- 密な砂では、ゆるい砂でみられるようなひずみの急増は見られず、変形が限定される傾向が著しい。この点で、サイクリックモビリティ現象を示す密な砂地盤は、構造設計における ductility（ねばり）の効果と同等の工学的特性を有するものと評価される。

図－1 密な砂の非排水繰返しせん断挙動の例¹⁾図－2 ゆるい砂の非排水繰返しせん断挙動の例¹⁾

(c) 井合（2008）

第 11-11-23 図 サイクリックモビリティについて

間隙水圧上昇を伴う繰返しせん断変形（サイクリックモビリティ）

- ゆるい砂の液状化と異なる点は、密な砂では、せん断ひずみがある限度を超えると、せん断によって堆積が膨張しようとする傾向（正のダイレタンス）が現れるので、非排水条件のもとでは、せん断ひずみが大きくなると間隙水圧が減少し、したがって有効応力が回復することである。
- その結果、間隙水圧比が100%に達した後の過剰間隙水圧は、図-2.11に示すような変動を示す。
- すなわち、有効応力がゼロになるのは、せん断応力がゼロになる瞬間だけであり、せん断応力が作用している間は有効応力が存在するので、間隙水圧比が100%に達した後でも、繰返しせん断に対して相当な剛性を保持する。
- 密な砂では、緩い砂でみられるような破局的なクイックサンドは起こらず、有限なひずみ振幅をもつせん断変形が繰り返されるにすぎない。

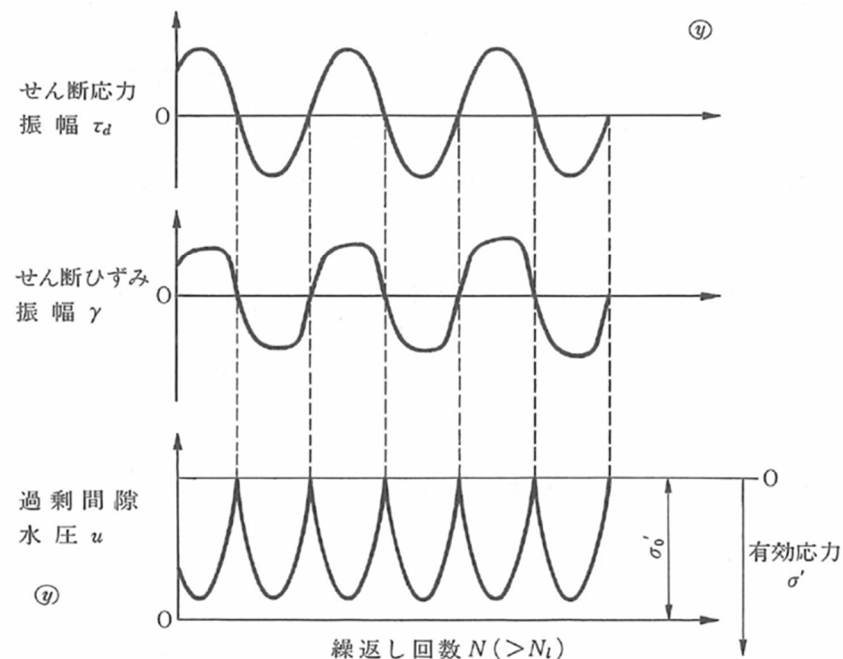


図-2.11 密な飽和砂の繰返し単純せん断試験において、間隙水圧比が100%に達した後のせん断ひずみと過剰間隙水圧の変化(模式図)

(d) 吉見 (1991)

第 11-11-23 図 サイクリックモビリティについて

サイクリックモビリティ

- ゆる詰めと密詰めでの応力経路と応力～ひずみ関係を示すと図4-5となる。ゆる詰めの場合は応力経路が原点に近づいてゆき有効拘束圧が0になった後、せん断力が加わると、大きなひずみが発生する。
- 密詰めの場合には大ひずみは生じない。
一時的に有効拘束圧が0になっても、その後
にせん断力を加えると負の過剰間隙水
圧が発生して有効拘束圧が増加（回復）
し、有限の小さなひずみ振幅しか発生し
ない。この現象を“サイクリックモビリ
ティー”と呼んで液状化と区別すること
もある。

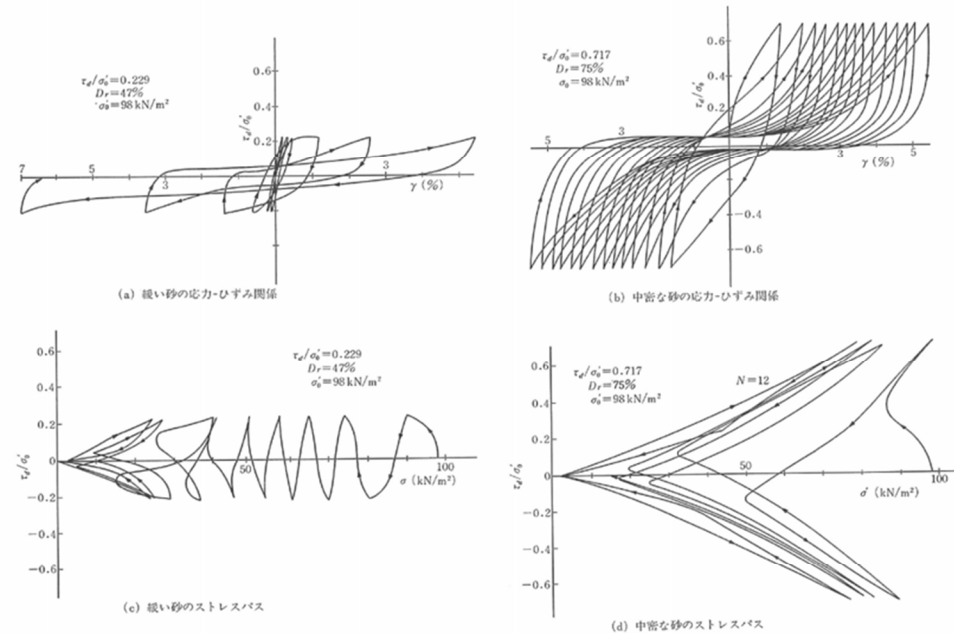


図 4-5 ゆる詰めと密な試料の応力経路および応力～ひずみ関係の比較（繰返しねじりせん断試験，富士川砂）³⁾

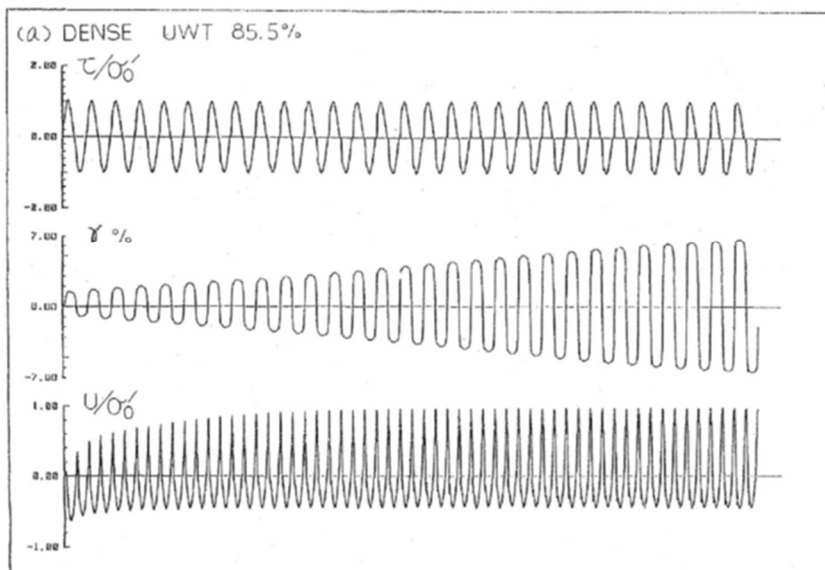
(e) 安田 (1991)

第 11-11-23 図 サイクリックモビリティについて

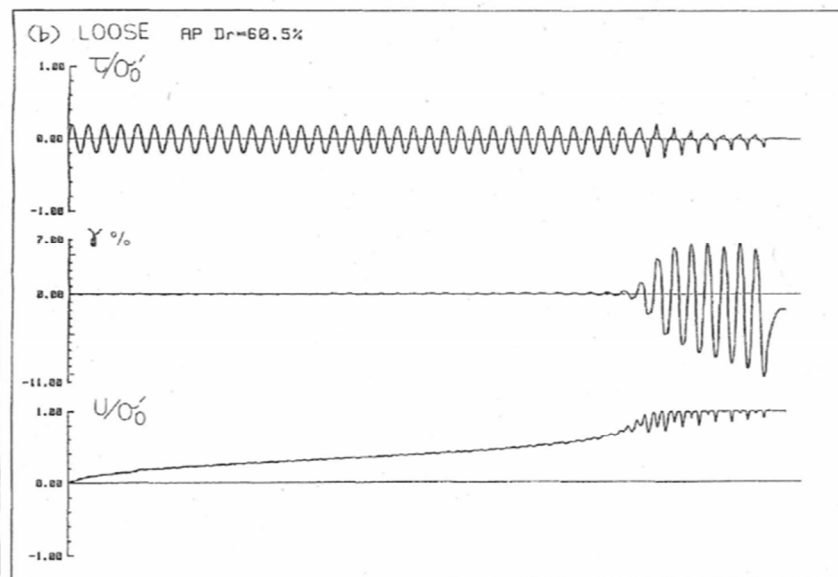
液状化（密な砂の特徴）

- ゆるい砂では応力径路がいわゆる「変相線」を越えた時点から除荷される時に砂が言わば泥水液体状となり、流動性を帯びてひずみが無限に生じる。
- 密な砂では応力径路が「変相角」を越えてからも液体状にならずせん断応力の除荷載荷に応じて破壊線に平行に応力径路が移動し有効応力がくり返し回復するようないわゆる“Cyclic Mobility”現象を示す。

※密な砂



※ゆるい砂



(f) 国生ほか (1983)

第 11-11-23 図 サイクリックモビリティについて

液状化（密な砂の特徴）

- ▶ あるひずみ振幅の範囲内ではせん断抵抗が非常に低下し、一見、ゆるい砂と同様な挙動を示すが、その範囲を越えると有効応力が回復してくるために急激にせん断抵抗が増すことになる。载荷のくり返し数が増すに従って、このひずみ範囲は徐々に増大するが、ゆるい砂のようにひずみが急激にのびることは決していない。

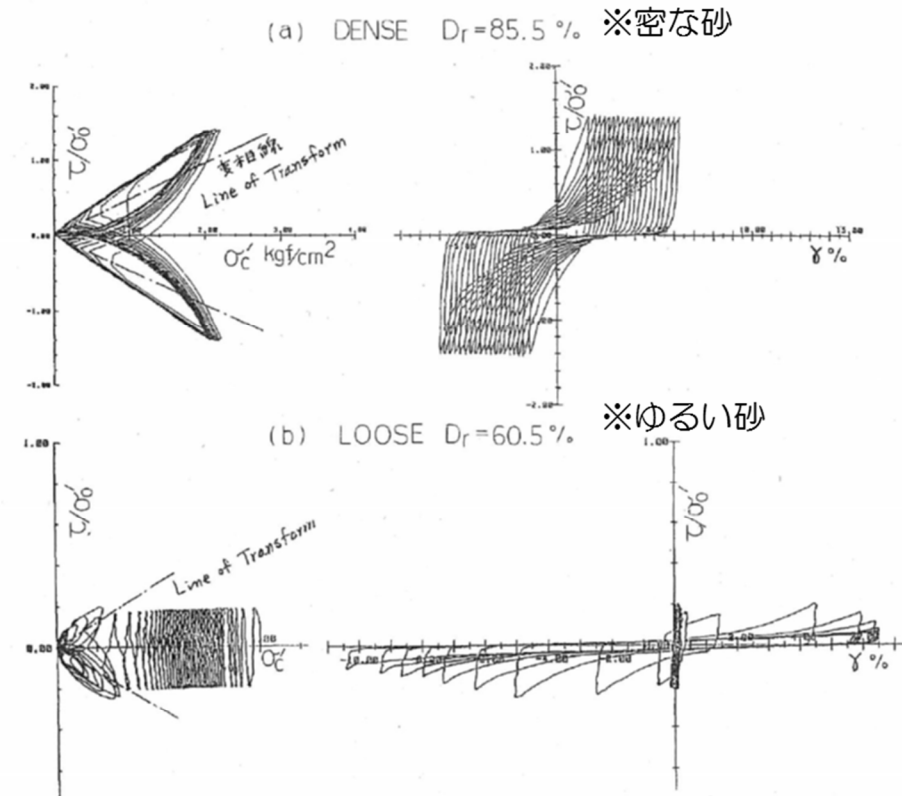


図3-2 密な砂(a)とゆるい砂(b)の中空ねじりせん断試験による有効応力経路（左側）と応力・ひずみ関係
Effective Stress Path and Stress - Strain Curve for Dense Sand (a) and Loose Sand (b)

(g) 国生ほか (1983)

第 11-11-23 図 サイクリックモビリティについて

第5章 係留施設

1 総説

【省令】（通則）

第二十五条 係留施設は、船舶の安全かつ円滑な利用を図るものとして、地象、気象、海象その他の自然状況及び船舶の航行その他の当該施設周辺の水域の利用状況に照らし、適切な場所に設置するものとする。

【省令】（係留施設に関し必要な事項）

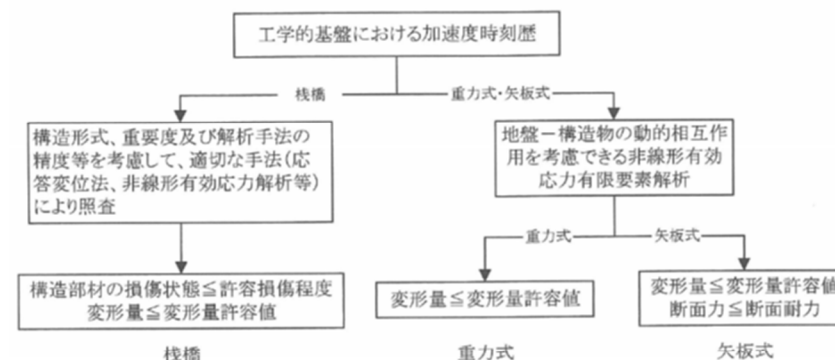
第三十四条 この章に規定する国土交通大臣が定める要件その他の係留施設の要求性能に関し必要な事項は、告示で定める。

【告示】（係留施設）

第四十七条 係留施設の要求性能に関し省令第三十四条の告示で定める事項は、次条から第七十三条までに定めるとおりとする。

1. 1 総論

- (1) 係留施設には、岸壁、棧橋、物揚場、浮桟橋、船揚場、係船浮標、係船杭、ドルフィン、デタッチドピア及びエアークッション艇発着施設等がある。岸壁、棧橋及び物揚場のうち、地震対策の観点から特に重要な施設でその耐震性能を強化する必要がある施設を耐震強化施設といい、地震動の作用後に当該施設に求められる機能に応じて、耐震強化施設（特定（緊急物資輸送対応））、耐震強化施設（特定（幹線貨物輸送対応））、耐震強化施設（標準（緊急物資輸送対応））に分類される。
- (2) 係留施設の構造形式は、自然条件、利用条件、施工条件及び経済性等を考慮して決定する。係留施設の構造形式は、重力式係船岸、矢板式係船岸、自立矢板式係船岸、二重矢板式係船岸、柵式係船岸、根入れを有するセル式係船岸、置きセル式係船岸、直杭式横桟橋、斜め組杭式横桟橋、ジャケット式桟橋等に分類される。
- (3) 係留施設のレベル1地震動及びレベル2地震動に対する標準的な性能照査順序の例を図－1.1.1及び図－1.1.2に示す。なお、詳細については、構造形式ごとの記述を参照することができる。



図－1.1.2 レベル2地震動に対する性能照査順序の例

(a) 日本港湾協会（2007）

第 11-11-24 図 有効応力解析について

第5章 係留施設

1 総説

【省令】（通則）

第二十五条 係留施設は、船舶の安全かつ円滑な利用を図るものとして、地象、気象、海象その他の自然状況及び船舶の航行その他の当該施設周辺の水域の利用状況に照らし、適切な場所に設置するものとする。

【省令】（係留施設に関し必要な事項）

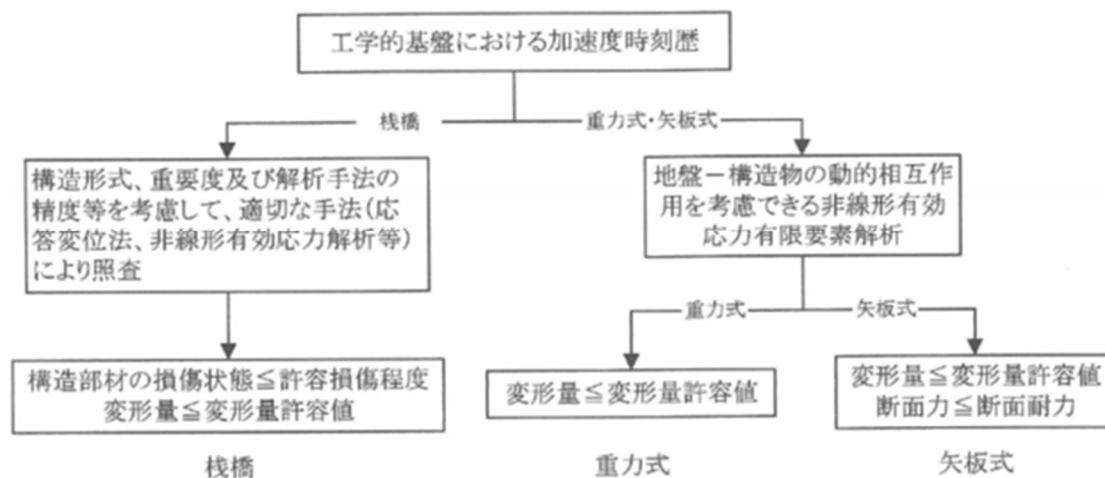
第三十四条 この章に規定する国土交通大臣が定める要件その他の係留施設の要求性能に関し必要な事項は、告示で定める。

【告示】（係留施設）

第四十七条 係留施設の要求性能に関し省令第三十四条の告示で定める事項は、次条から第七十三条までに定めるとおりとする。

1. 1 総論

- (1) 係留施設には、岸壁、棧橋、物揚場、浮棧橋、船揚場、係船浮標、係船杭、ドルフィン、デタッチドピア及びエアークッション艇発着施設等がある。岸壁、棧橋及び物揚場のうち、地震対策の観点から特に重要な施設でその耐震性能を強化する必要がある施設を耐震強化施設といい、地震動の作用後に当該施設に求められる機能に応じて、耐震強化施設（特定（緊急物資輸送対応））、耐震強化施設（特定（幹線貨物輸送対応））、耐震強化施設（標準（緊急物資輸送対応））に分類される。
- (2) 係留施設の構造形式は、自然条件、利用条件、施工条件及び経済性等を考慮して決定する。係留施設の構造形式は、重力式係船岸、矢板式係船岸、自立矢板式係船岸、二重矢板式係船岸、欄式係船岸、根入れを有するセル式係船岸、置きセル式係船岸、直杭式横棧橋、斜め組杭式横棧橋、ジャケット式棧橋等に分類される。
- (3) 係留施設のレベル1地震動及びレベル2地震動に対する標準的な性能照査順序の例を図－1.1.1及び図－1.1.2に示す。なお、詳細については、構造形式ごとの記述を参照することができる。



図－1.1.2 レベル2地震動に対する性能照査順序の例

(a) 日本港湾協会（2007）

第 11-11-24 図 有効応力解析について

(9) 地震動に対する性能照査（詳細法）

① 重力式岸壁のレベル2地震動に対する耐震性能照査は、適切な地震応答解析あるいは実験により具体的に施設の変形量等を算定して行う。なお、レベル2地震動に関する偶発状態における変形量の標準的な限界値については、本編第5章1.4 耐震強化施設のレベル2地震動に対する変形量の限界値の標準的な考え方を参照して、適切に設定することができる。

施設の変形等に対する性能照査手法は、大別すると、地震応答解析による方法と、振動台等による振動実験による方法の二種類がある。

(a) 地震応答解析による方法

地震応答解析は表－2.2.3 のように分類できる。以下に、この分類にしたがって、各種の地震応答解析法を説明する。地震応答解析手法によっては、変形等の照査を行う目的には適さないものもあるため、下記の説明を踏まえて、目的に応じた解析手法を選択する必要がある。

表－2.2.3 地震応答解析の分類

| | |
|--------------------|-------------------------------|
| 解析法
(飽和地盤の取り扱い) | 有効応力解析法、全応力解析法
(固層及び液層、固層) |
| 計算対象領域（次元） | 一次元、二次元、三次元 |
| 一般的な計算モデル | 重複反射モデル、質点モデル、有限要素モデル |
| 材料特性 | 線形、等価線形、非線型 |
| 計算領域 | 時間領域解析法、周波数領域解析法 |

1) 有効応力解析法と全応力解析法

液状化の予測・判定という観点や、土の変形挙動の予測という観点から見ると、地震応答解析は有効応力解析法に基づくものと全応力解析法に基づくものに分けることができる。特に、地震動作用時の港湾の施設の変形予測に際しては、地盤内の過剰間隙水圧の発生に伴う有効応

力の減少（その極端な状態が液状化である）を考慮する必要がある場合が多い。これは、有効応力の減少など土の応力状態の変化に伴い、土の応力－ひずみ関係や減衰特性などが変化する、地盤の変形特性や応答特性が変化するためである。有効応力解析法は地盤に発生する過剰間隙水圧を計算により直接求めることができる方法であるが、全応力解析法では過剰間隙水圧の変化が計算されない。このため、例えば地盤の地震応答の計算において、ある程度以上の過剰間隙水圧（条件にもよるが、過剰間隙水圧比で概ね 0.5 以上）が発生する場合には、全応力解析法による計算結果は実際の地震応答とかなり異なる可能性が大きい。

単なる地震応答計算であれば、簡便な全応力解析法を実務で用いることも多いが、液状化の発生が懸念されるような港湾の施設の変形照査においては、有効応力解析法を用いることが基本である。

(b) 日本港湾協会（2007）

第 11-11-24 図 有効応力解析について

7.3 地盤応答解析

7.3.1 一般

地点依存の動的解析により、表層地盤の挙動を算定する際は、建設地点の土の動力学特性や地層構成などに基づき、動的解析により求めるものとする。ただし、詳細な検討を必要としない場合等は、簡易解析法により算定してもよい。

7.3.3 動的解析による方法

7.3.3.1 一般

動的解析による方法により表層地盤の挙動を算定する場合は、土の動力学特性および地盤を適切にモデル化した時刻歴非線形動的解析法によるのがよい。

7.3.3.4 地盤の液状化の可能性のある場合

液状化の可能性のある地盤では、過剰間隙水圧の上昇に伴う有効応力の低下を考慮した有効応力解析による動的解析法を用いて表層地盤の挙動を評価するのがよい。

【解説】

液状化の可能性のある地盤における地盤の動的解析手法は、基本的には有効応力法による時刻歴動的解析法を用いるのがよい。有効応力法では、地盤を土と水とに分けて考える。有効応力法に用いられる基礎

方程式は、土に関する釣合方程式、水に関する釣合方程式、および水の流入・流出と土骨格の体積変化の関係などを考慮している。

液状化は、過剰間隙水圧の上昇に伴い地盤の有効応力が減少し、地盤の剛性や強度が極端に低下する現象である。しかし、密度の大きい地盤では過剰間隙水圧が上昇して一時的に有効応力が減少してもサイクリックモビリティにより、地盤の剛性や強度が回復する。このように液状化は複雑な現象であり、これを表現するため、様々な地盤構成則が提案されている。それらには大きく分けて以下のタイプがある。

- 1) ひずみを弾性成分と塑性成分に分け、降伏、塑性化および硬化に関する三つの関数により、応力-ひずみ関係とダイレイタンス関係を一体化して考慮する。
- 2) ひずみを弾性・塑性成分に分けず、せん断応力とせん断ひずみの関係を一つの数式で表現し、ダイレイタンス特性は別途モデル化する^{例として1),2)}。そのため、2)の方法は1)の方法に比べて理論的な厳密さに欠ける点があるが、必要なパラメータの設定方法が比較的容易であるなどの利点があり、適切に用いれば実務上十分な精度を有している。

上述したように、有効応力解析は地盤を土と水とに分けて考えるので、原理的には最も精度が高い解析法であるが、解析に用いられるパラメータの数が多く、その設定には精緻な地盤諸数値を必要とする。そのため、原位置でサンプリングした乱れの少ない試料を用いた詳細な室内土質試験を実施してパラメータを設定しなければ、解析手法と解析条件の精度のバランスに差が生じることもある。したがって、有効応力解析を実施して地盤の挙動を評価する際には、各パラメータが解析結果に与える感度を十分に勘案する必要がある。

参考文献

- 1) Iai, S., Matsunaga, Y. and Kameoka, T.: Strain space plasticity model for cyclic mobility, Soils and Foundations, Vol. 32, No. 2, pp. 1-15, 1992.
- 2) 福武毅芳・松岡元：任意方向繰返し単純せん断における応力・ひずみ関係，土木学会論文集，No. 463/III-22号，pp. 75-84, 1993.

(c) 鉄道総合技術研究所（2012）

第 11-11-24 図 有効応力解析について

Iai et.al(1992)は、サイクリックモビリティが観察された砂の繰返しねじり試験結果に対して、有効応力解析プログラムFLIPを用いた解析を実施した。その結果、FLIPによる解析結果は、室内試験結果と良い対応を示したと報告している。

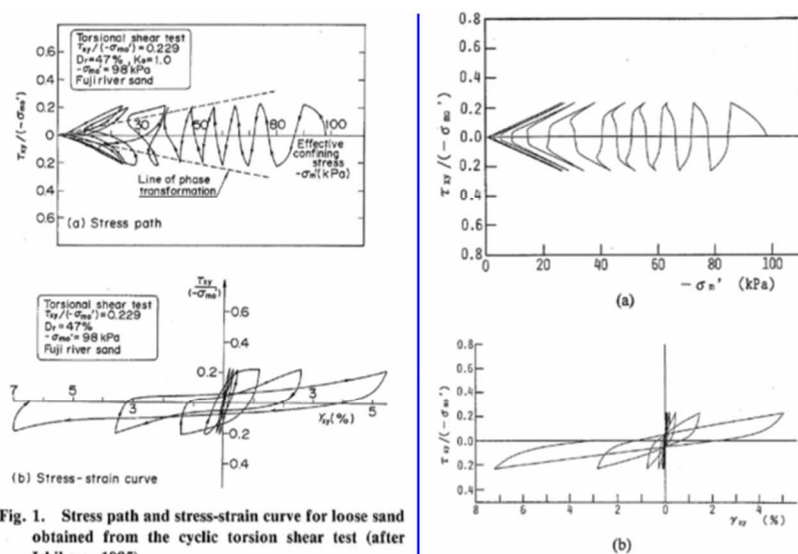


Fig. 1. Stress path and stress-strain curve for loose sand obtained from the cyclic torsion shear test (after Ishihara, 1985)

実験結果

ゆるい砂 (相対密度 $D_r=47\%$)

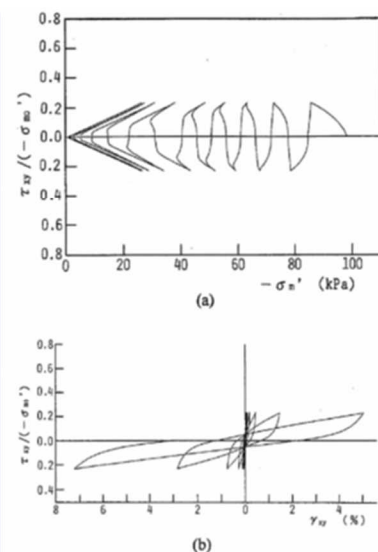


Fig. 9. Computed results of loose sand to be compared with the laboratory results in Fig. 1. (a) Stress path, (b) Stress strain curve

解析結果

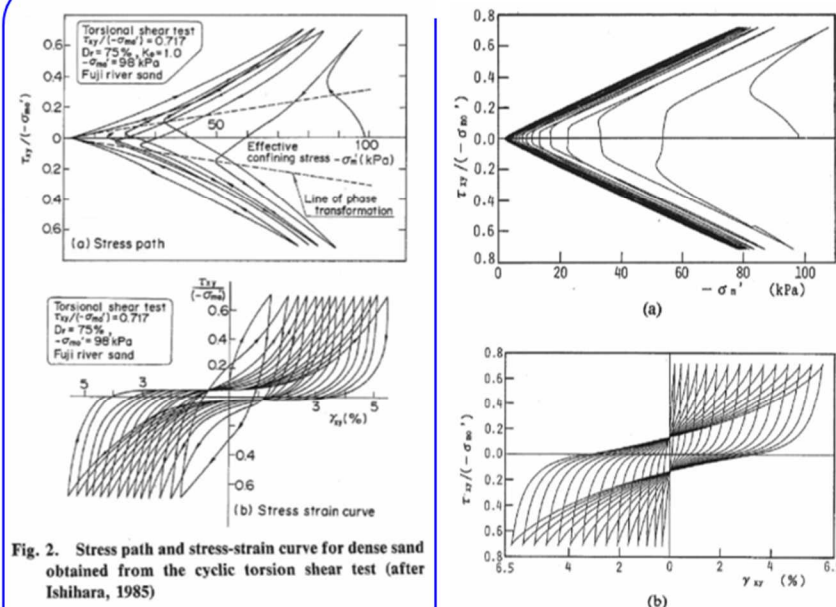


Fig. 2. Stress path and stress-strain curve for dense sand obtained from the cyclic torsion shear test (after Ishihara, 1985)

実験結果

密な砂 (相対密度 $D_r=75\%$)

Fig. 10. Computed results of dense sand to be compared with the laboratory results in Fig. 2. (a) Stress path, (b) Stress strain curve

解析結果

(d)Iai et.al(1992)

第 11-11-24 図 有効応力解析について

4 条-別紙 11-213

Iai et.al(1995)は、有効応力解析プログラムFLIPを用いて、1993年釧路沖地震のシミュレーション解析を実施した。本検討では、密な地盤に対して液状化パラメータを設定している。FLIPによる地表面加速度は、サイクリックモビリティの影響を示す観測値を再現することができたと報告している。

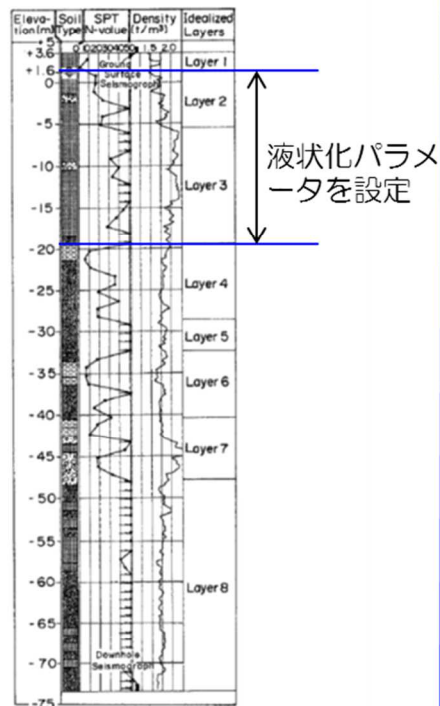


Fig. 21. Idealized soil layers for response analysis
解析モデル

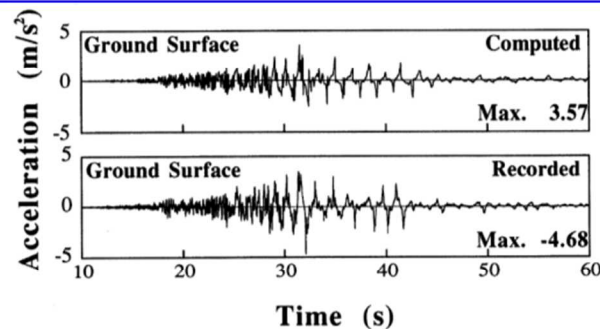


Fig. 24. Recorded and computed accelerations at the ground surface

地表面加速度の比較（上段：解析値，下段：観測値）

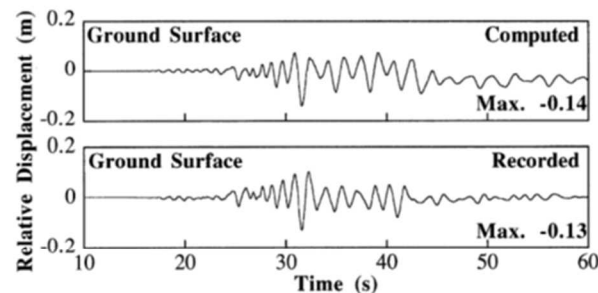


Fig. 25. Recorded and computed displacements at the ground surface relative to the base at a depth of 77 meters

地表面変位の比較（上段：解析値，下段：観測値）

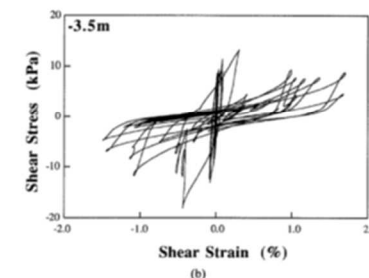
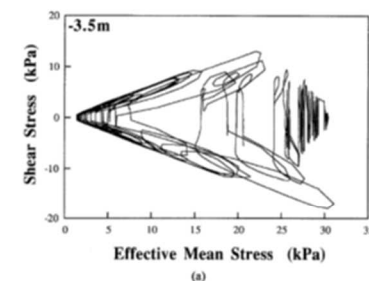


Fig. 26. Computed stress path and stress-strain relation at a depth of 3.5 meters in Layer 2; (a) stress paths and (b) stress strain relation

解析値の一例

（上段：有効応力経路，下段：せん断応力-せん断ひずみ関係）

(e)Iai et.al(1992)

第 11-11-24 図 有効応力解析について

11.5 新潟県中越沖地震の地盤変状

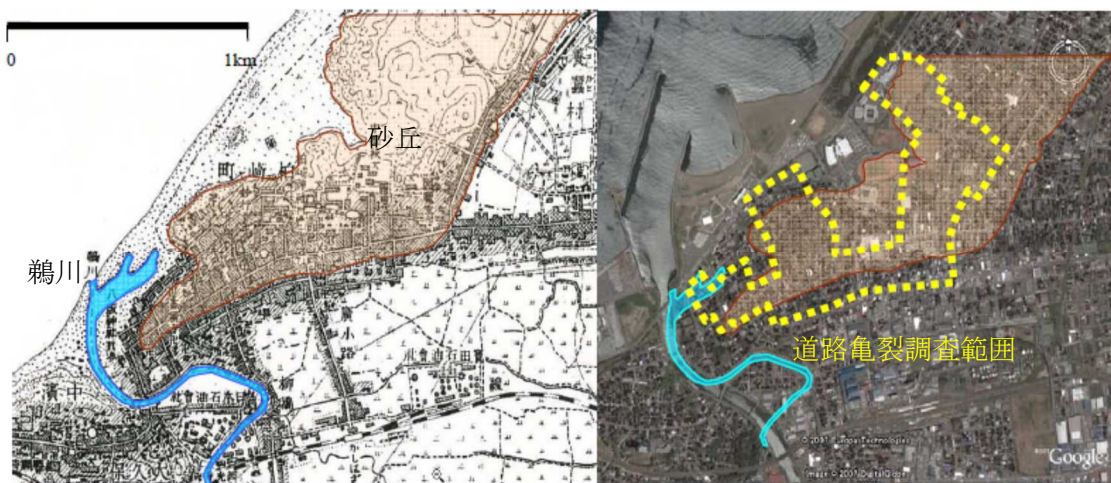
(1) 敷地周辺の被災状況

2007年7月16日に発生した新潟県中越沖地震の被災状況について、土木学会は調査団を派遣し、報告書「2007年新潟県中越沖地震の被害とその特徴」をまとめている。以下にその概要を示す。

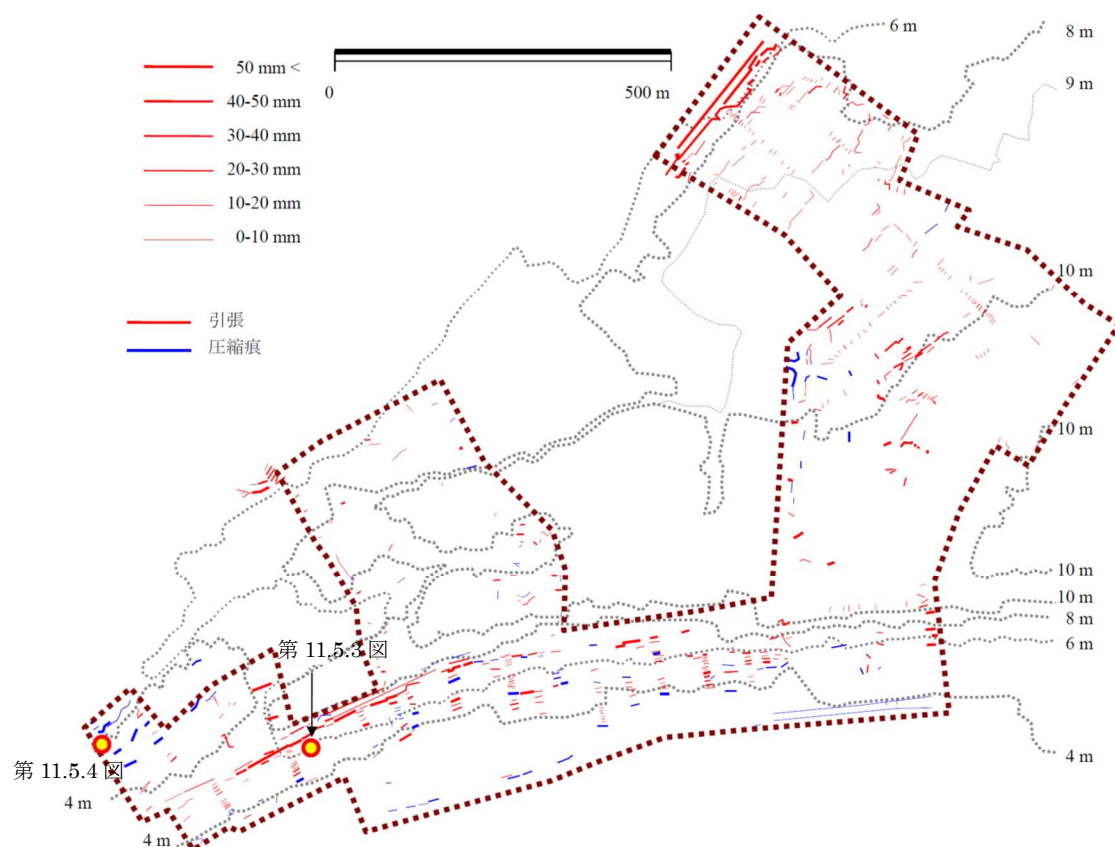
第11-11-25図は、2007年の柏崎とその周辺の衛星写真と1912年（明治45年）当時の地形図とを比較したものである。1912年の地形図には日本海側に連続する砂丘が示されている。当該部分において道路亀裂調査を実施（第11-11-26～28図）しており、一般に道路の亀裂の密度は道路幅や舗装厚さの影響を受け必ずしも下位の地盤の変状を直接表すものではないが、亀裂の大きさや密度が大きい部分で地盤変状が顕著であることが推測できるとし、これらの亀裂は砂丘斜面が低い部分に向かってわずかながら移動したことを示す痕跡と捉えられると考察している。

第11-11-29図は柏崎市の北東部の鯖石川下流の1912年と2007年の状況を比較したものである。かつての鯖石川は下流部に向かって次第にその周期を長くするような蛇行が発達しており、この旧河道に沿って地盤変状と被害（例えば、旧三日月湖跡の道路被害（第11-11-30図）など）が目立っているとしている。

第11-11-32図は、柏崎市と刈羽村を中心に、液状化によって宅地の被害が集中した地区を示したものである。鯖石川氾濫原と旧河道及び荒浜新砂丘後背地で液状化が著しかった。この地域は1964年の新潟地震でも液状化の被害を蒙り、2004年新潟県中越地震によっても深刻な被害を受けた家屋が多かったとしている。



第11-11-25図 1912年頃の柏崎（左）と2007年の柏崎（右）
（土木学会（2010）に一部加筆）



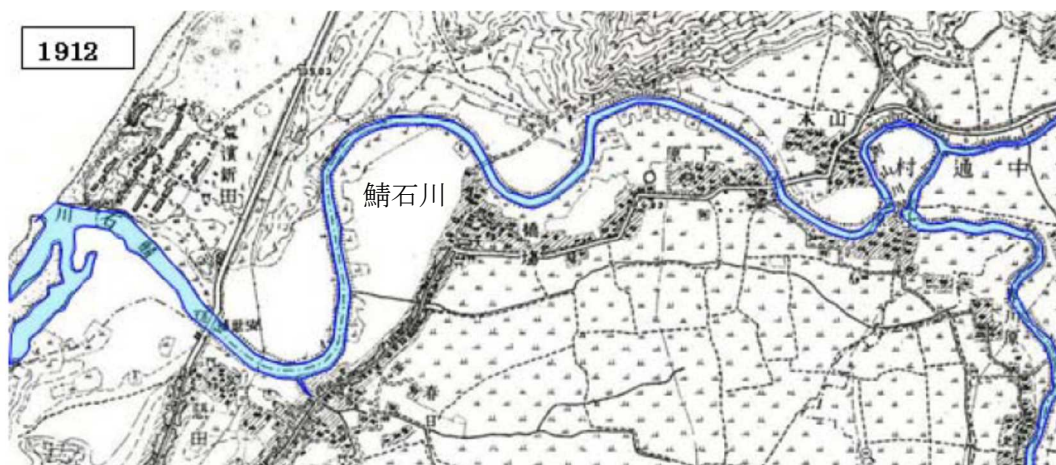
第 11-11-26 図 柏崎市街地の舗装道路に現れた亀裂
(土木学会 (2010) に一部加筆)



第 11-11-27 図 砂丘肩部分に現れた亀裂開口
(土木学会 (2010) に一部修正)



第 11-11-28 図 砂丘麓部分の圧縮痕
(土木学会 (2010) に一部修正)



第 11-11-29 図 鯖石川下流部分の 1912 年（上）と 2007（下）の状況
（土木学会（2010）に一部加筆）



第 11-11-30 図 旧三日月湖跡の道路被害
（土木学会（2010））



第 11-11-31 図 河道沿いの道路被害
（土木学会（2010））

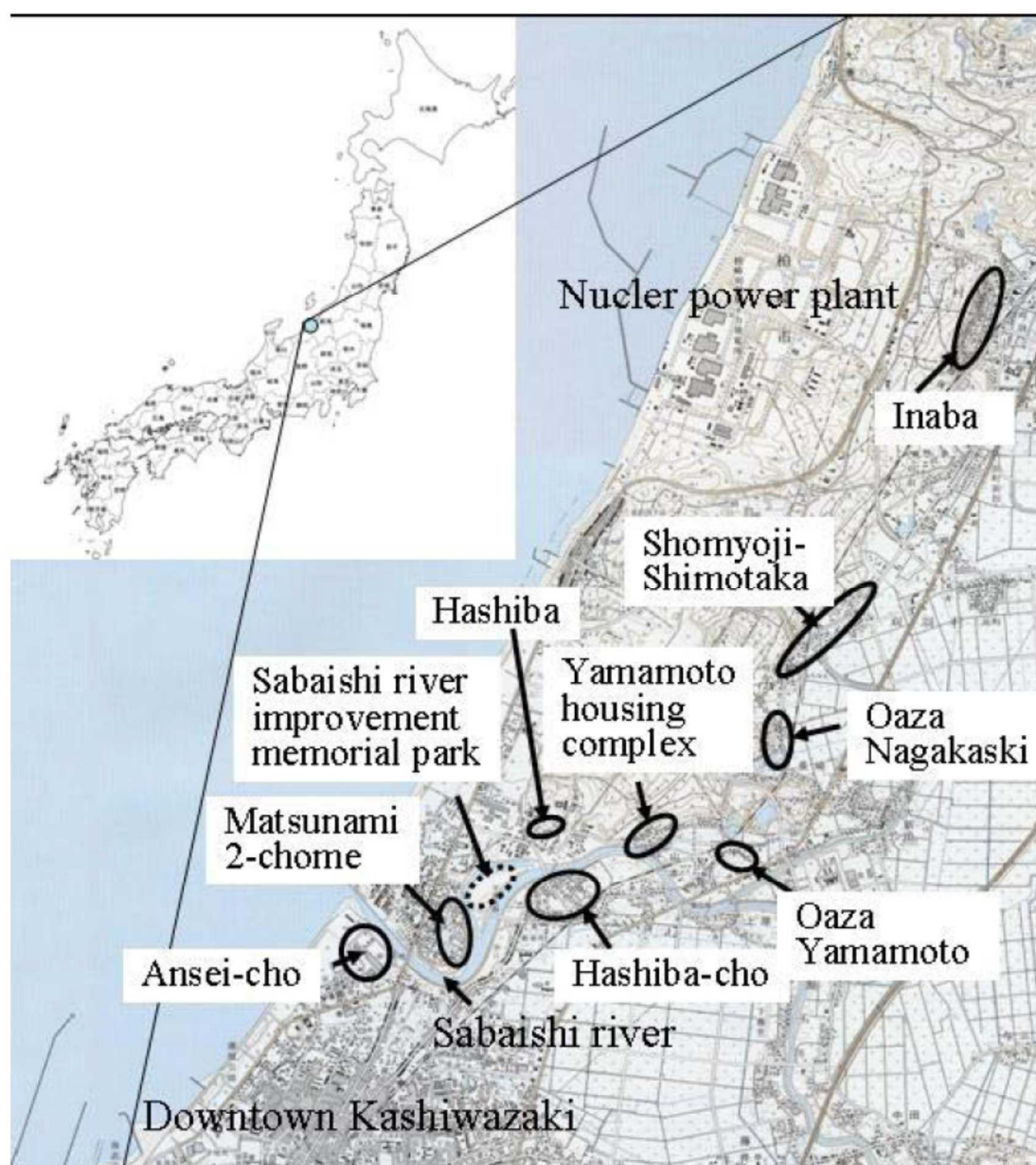


図 11-11-32 図 液状化被害が集中した主な住宅地域
(土木学会 (2010))

(2) 敷地内の地盤変状

2007 年 7 月 16 日に発生した新潟県中越沖地震における敷地内の地盤変状について、地震前後に撮影された航空写真測量データに基づき作成した図のうち、第 11-11-33 図および第 11-11-34 図に地盤鉛直変動、第 11-11-35 図および第 11-11-36 図に亀裂・噴砂位置を示す。亀裂および噴砂が発生している状況を拡大した航空写真の一例を、第 11-11-37 図に示す。

a) 地盤鉛直変動

荒浜側における特徴的な地盤変状としては、1 号炉海水機器建屋近傍で最大で約 1.6m の沈下が確認されている。海側エリアにおいては、3m 盤と 5m 盤の段差位置におけるブロック積み擁壁の損傷によって顕著な沈下が確認されている。

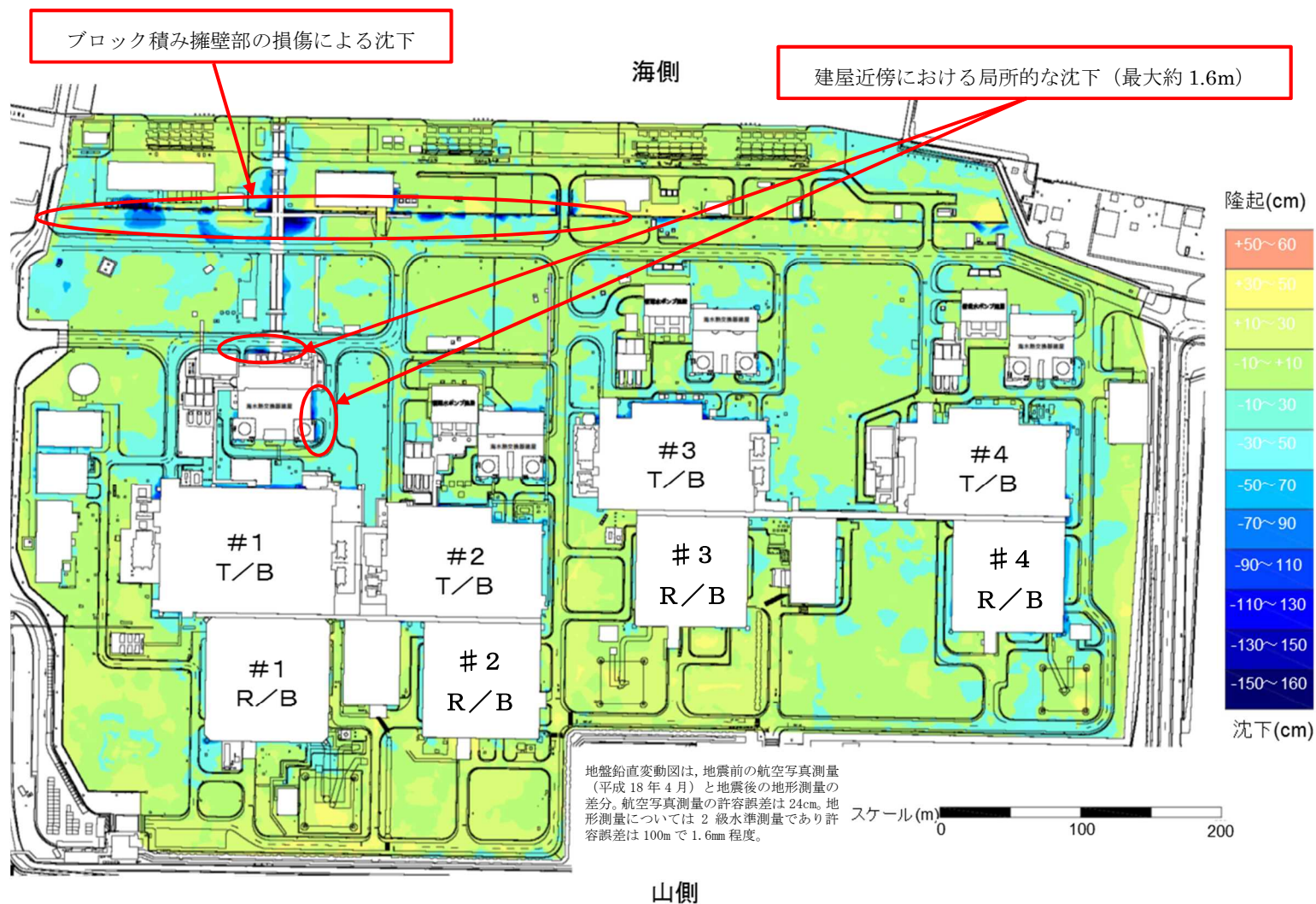
大湊側における特徴的な地盤変状としては、5 号炉海水熱交換機器建屋近傍で最大約 1.0m の沈下が確認されている。6 号および 7 号炉の原子炉建屋およびタービン建屋周囲の地下部分は連続地中壁で囲まれており、荒浜側のような埋戻土が無いため、これらの建屋周辺地盤では顕著な沈下はなかった。海側エリアにおいては、荒浜側ほどの顕著な沈下はなかった。

建屋近傍や段差箇所などの局所的な沈下を除けば、沈下量は荒浜側、大湊側ともに最大で 0.3～0.5m 程度であった。

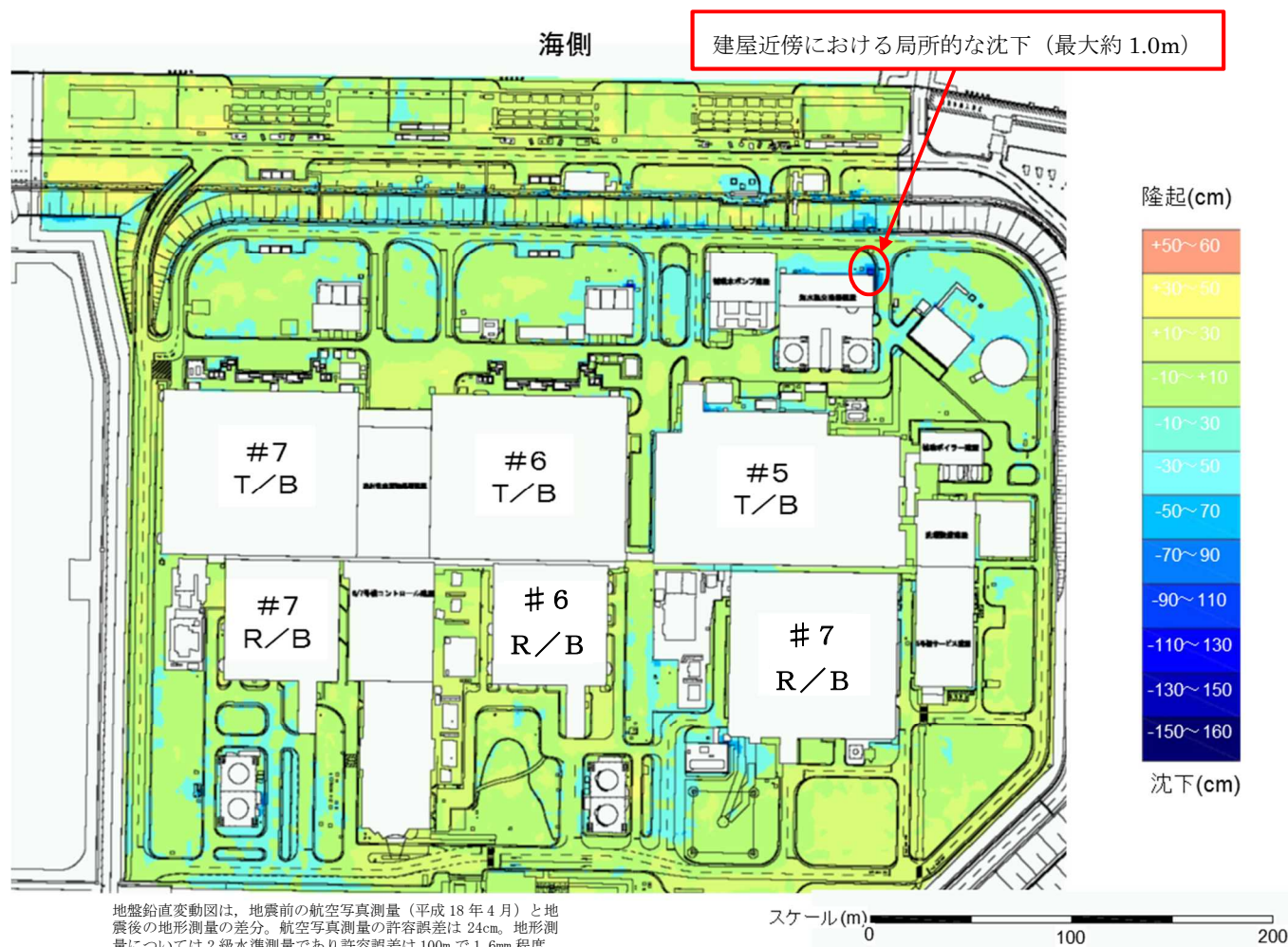
b) 亀裂・噴砂

噴砂は荒浜側では海側エリアに多くが確認されており、大湊側では敷地山側の駐車場付近に確認されている。海側エリアでは護岸のはらみ出しが確認されており、地下水位以下にある飽和した埋戻土層の液状化に起因するものと考えられる。

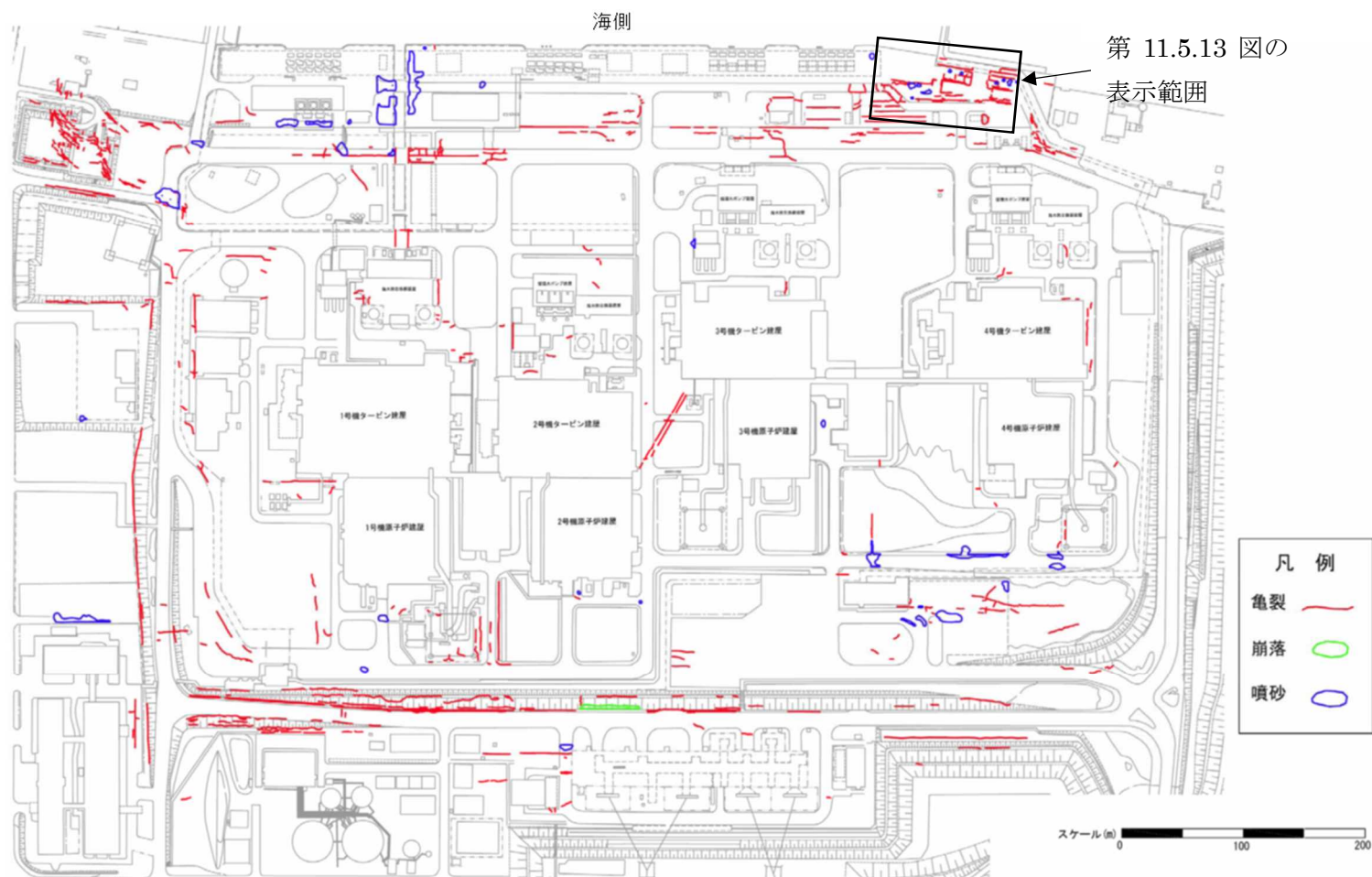
地表面に発生した亀裂の多くは直線状であり、地中埋設物の存在による埋戻土の相対沈下や法面の変状の影響であると考えられる。



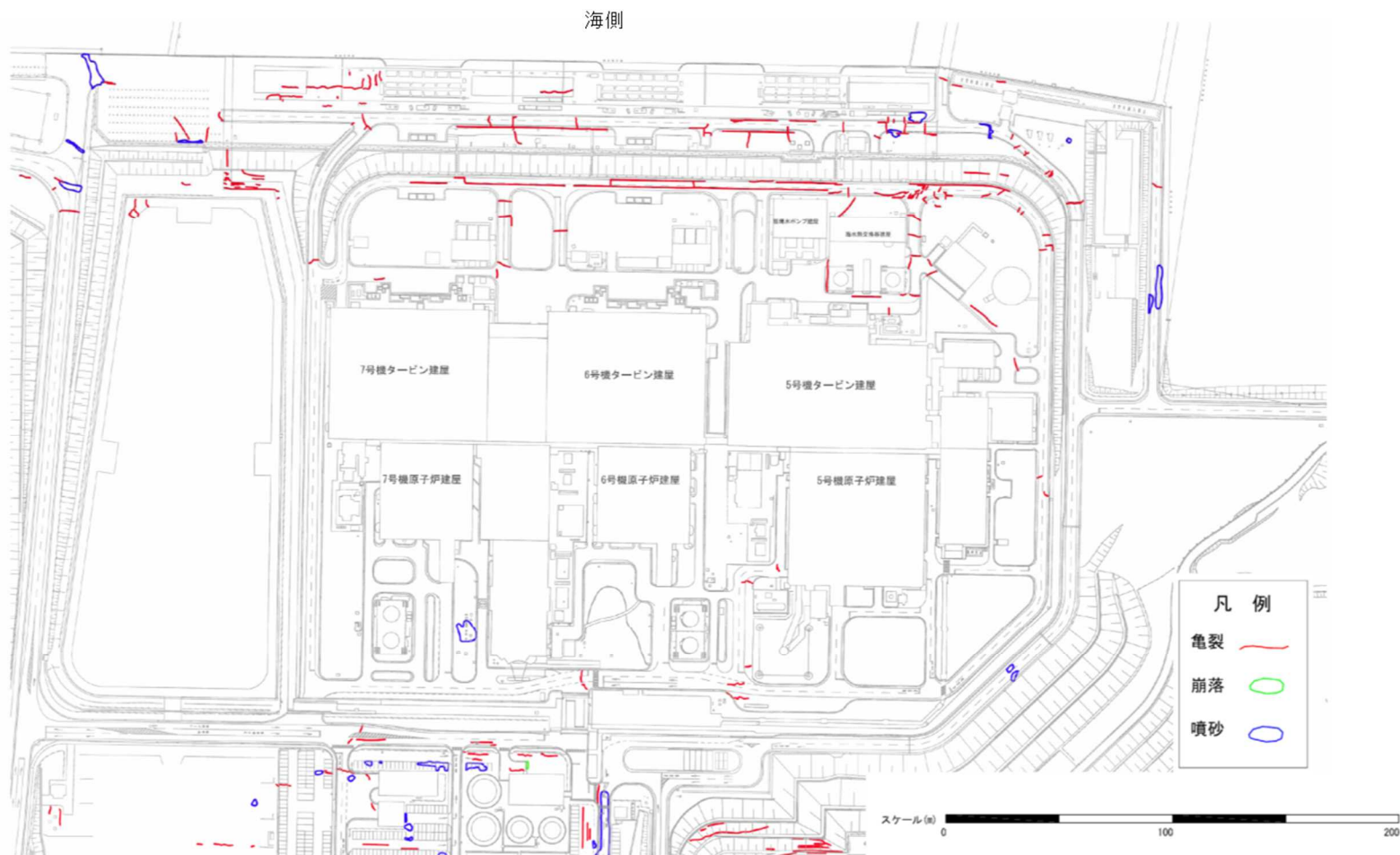
第 11-11-33 図 新潟県中越沖地震における敷地内の地盤鉛直変動 (a) 荒浜側
 (耐震・構造設計小委員会 地震・津波，地質・地盤合同 WG（第 4 回）（2008）に一部加筆)



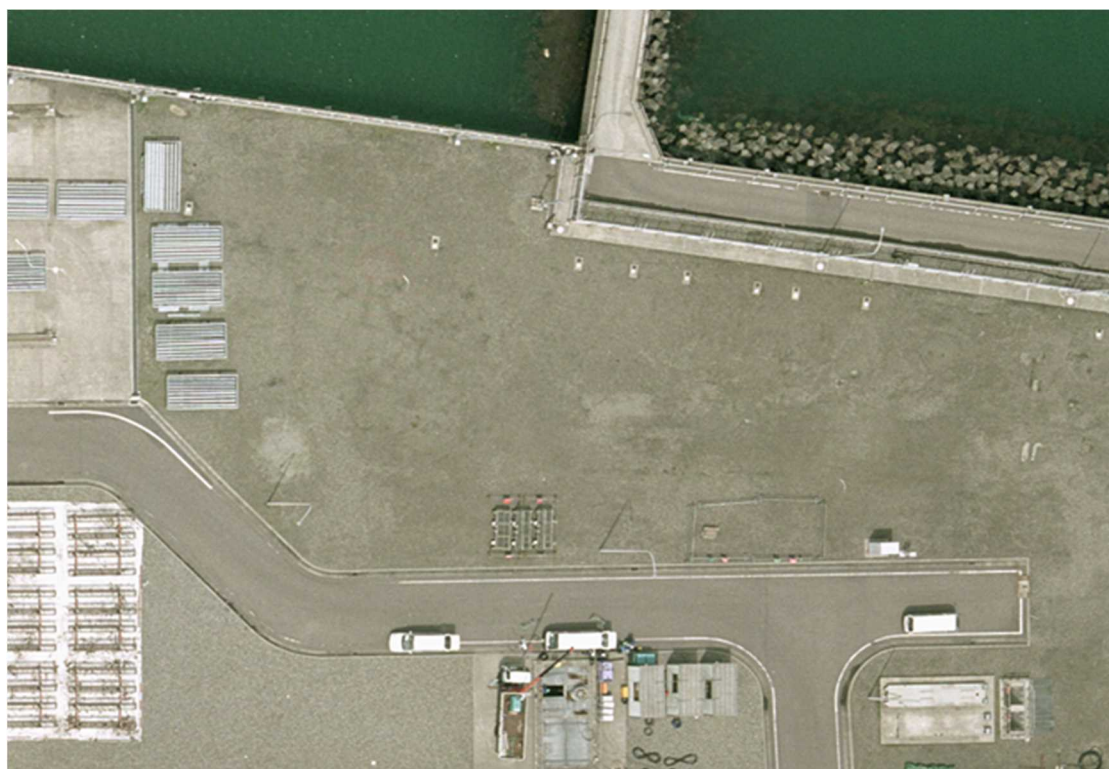
第 11-11-34 図 新潟県中越沖地震における敷地内の地盤鉛直変動図 (b)大湊側
 (耐震・構造設計小委員会 地震・津波、地質・地盤合同 WG (第 4 回) (2008) に一部加筆)



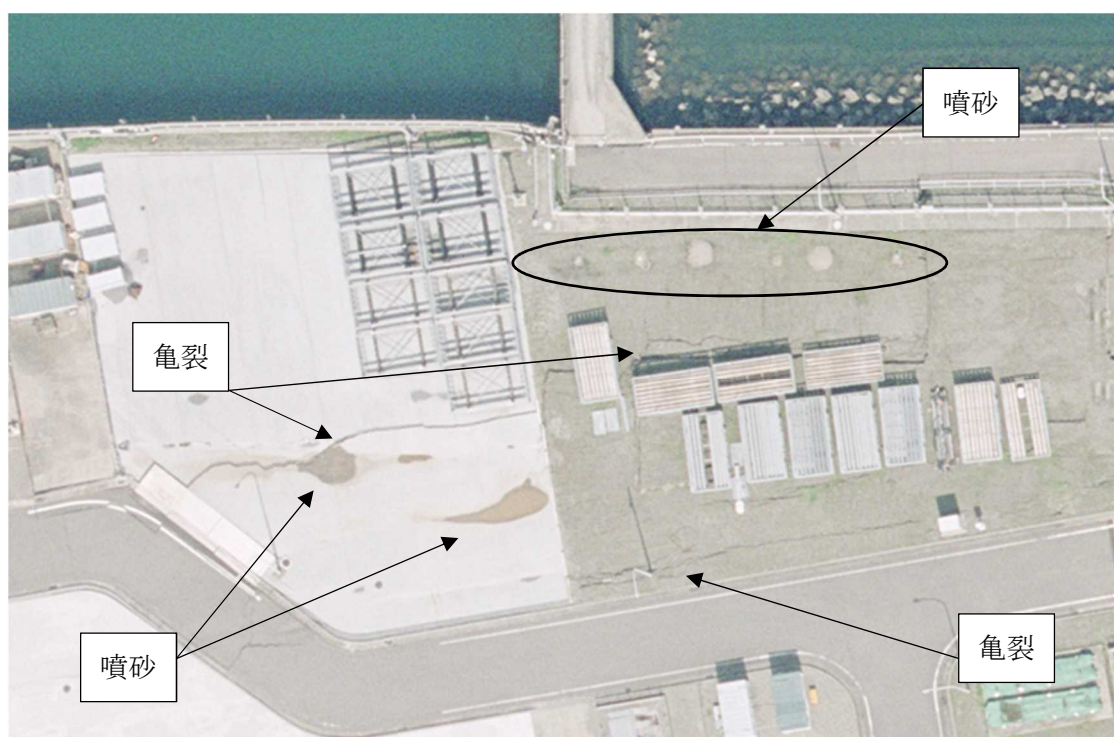
第 11-11-35 図 新潟県中越沖地震における敷地内の亀裂・噴砂位置 (a)荒浜側
(耐震・構造設計小委員会 地震・津波, 地質・地盤合同 WG (第 3 回) (2007))



第 11-11-36 図 新潟県中越沖地震における敷地内の亀裂・噴砂位置 (b)大湊側
(耐震・構造設計小委員会 地震・津波, 地質・地盤合同 WG (第 3 回) (2007))



(a) 新潟県中越地震前（平成 18 年撮影）



(b) 新潟県中越地震後（平成 19 年撮影）

第 11-11-37 図 新潟県中越沖地震における敷地内の亀裂および噴砂の状況
(耐震・構造設計小委員会 地震・津波，地質・地盤合同 WG（第 3 回）（2007））

(3) 参考文献

- 1) 小長井ほか：2007年新潟県中越沖地震の被害とその特徴，2010 土木学会地震被害調査小委員会，2006年～2010年に発生した国内外の地震被害報告書，2010
- 2) 東京電力（株）：新潟県中越沖地震に対する柏崎刈羽原子力発電所の耐震安全性の検討状況について，経済産業省総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会耐震・構造設計小委員会 地震・津波，地質・地盤合同WG，第3回会合配布資料（合同 W3-1），pp7-9，2007.12.25
- 3) 東京電力（株）：新潟県中越沖地震に対する柏崎刈羽原子力発電所の耐震安全性の検討状況について，経済産業省総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会耐震・構造設計小委員会 地震・津波，地質・地盤合同WG，第4回会合配布資料（合同 W4-1-1），pp10-11，2008.2.15

柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉

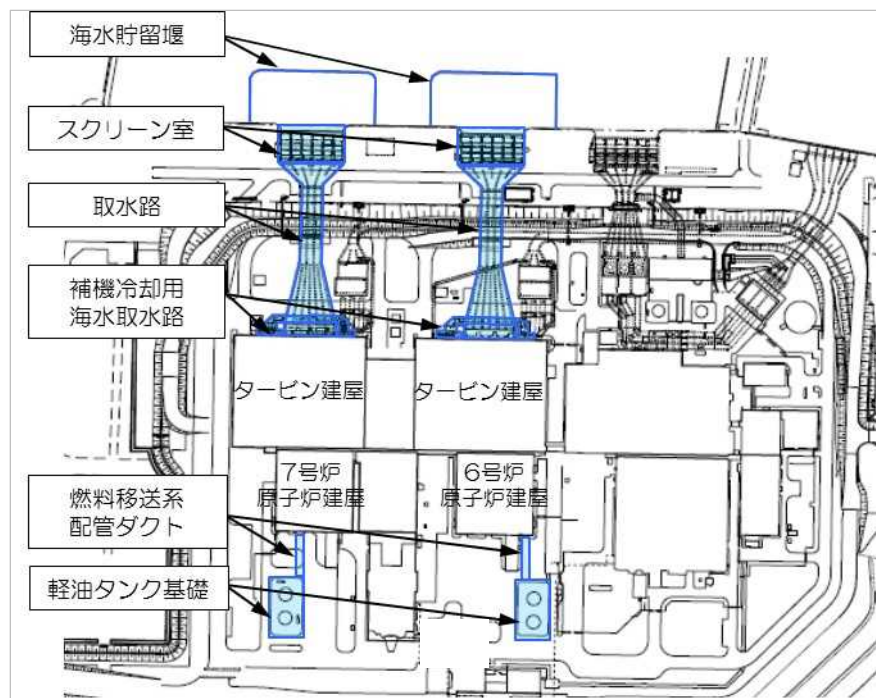
屋外重要土木構造物の耐震評価における
断面選定について
(耐震)

1. 屋外重要土木構造物の耐震評価における断面選定の考え方

1.1 方針

屋外重要土木構造物の評価対象断面については、構造物の配置、荷重条件及び地盤条件を考慮し、耐震評価上最も厳しくなると考えられる位置を評価対象断面とする。

柏崎刈羽発電所 6 号及び 7 号炉での対象構造物は、スクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路、軽油タンク基礎、燃料移送系配管ダクト、海水貯留堰である。各施設の平面配置図を第 12-1-1 図に示す。



第 12-1-1 図 平面配置図

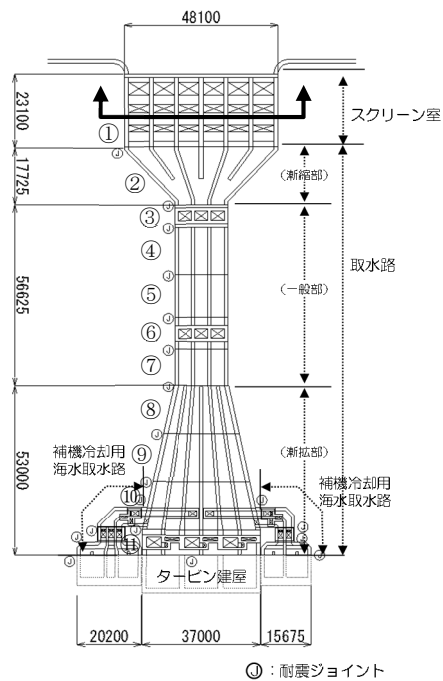
1.2 スクリーン室の断面選定の考え方

第 12-1-2 図，第 12-1-3 図及び第 12-1-4 図にスクリーン室の平面図，断面図及び縦断図を示す。

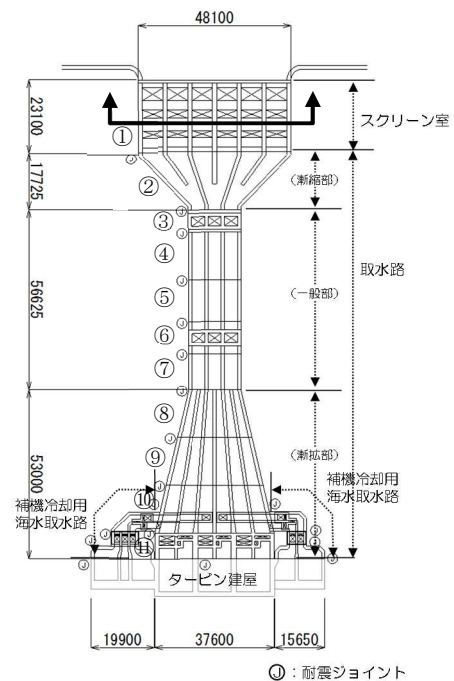
スクリーン室は，6 号及び 7 号炉ともに，延長約 23m の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり，取水方向に対して内空寸法が一樣で，頂版には取水方向に概ね規則的に開口が存在する。また，スクリーン室は，古安田層洪積粘性土層に直接設置されている。

今回の工認では，スクリーン室の取水方向全長で開口を含めた平均的な剛性及び上載荷重を考慮し，基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。

スクリーン室の検討断面では，地下水位以下に，液状化層（埋戻土層）および液状化影響評価対象層（古安田層洪積砂質土層）が分布することから，耐震評価では有効応力解析を実施する。

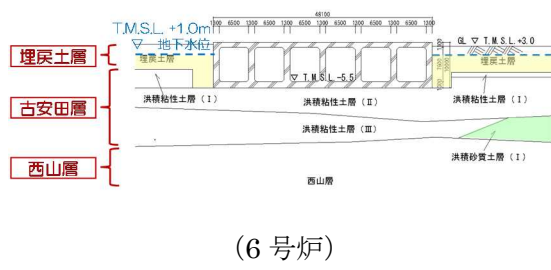


(6号炉)

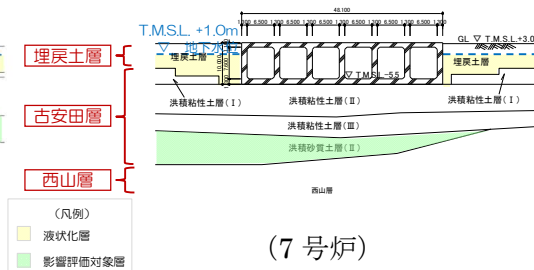


(7号炉)

第 12-1-2 図 スクリーン室 平面図

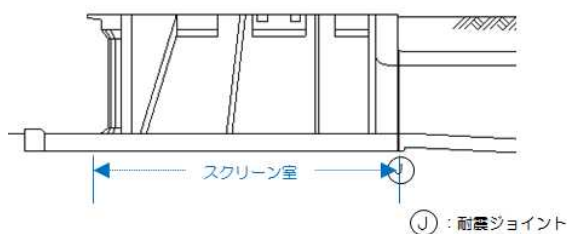


(6号炉)

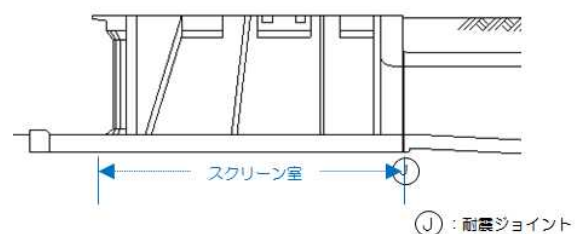


(7号炉)

第 12-1-3 図 スクリーン室 断面図



(6号炉)



(7号炉)

第 12-1-4 図 スクリーン室 縦断面図

1.3 取水路の断面選定の考え方

第 12-1-5 図に取水路の平面図を示す。

取水路は、6 号及び 7 号炉ともに、延長約 127m の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、取水方向に対して複数の断面形状を示し、海側から大きく漸縮部、一般部、漸拡部に分けられる。また、取水路は、古安田層洪積粘性土層に直接設置もしくはマンメイドロックを介して西山層に設置されている。

今回の工認では、構造物の構造的特徴や地盤条件等を考慮した上で断面を選定し、基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。

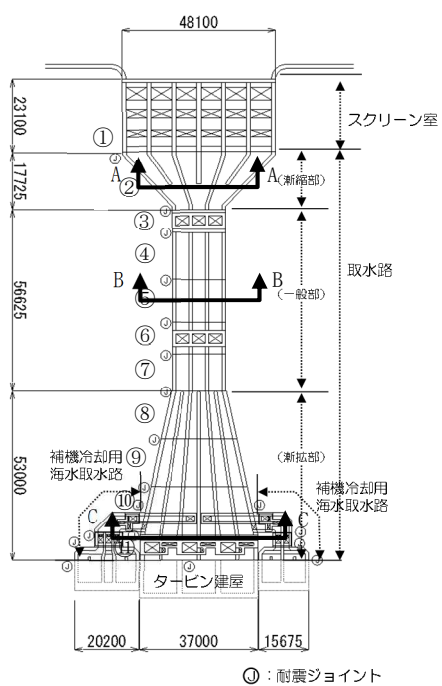
第 12-1-6 図～第 12-1-8 図及び第 12-1-1 表、第 12-1-2 表に取水路の縦断図、断面図及び構造諸元を示す。

取水路漸縮部は、一体の構造物であるが、取水方向に幅が漸縮するとともに、6 連のボックスカルバート形状から 3 連のボックスカルバート形状に変わる構造となっている。また、縦断方向で土被り厚は同じであり、その他の設置地盤条件もほぼ一様となっている。以上のことから、スクリーン室とほぼ同等の設置条件にあるものの、構造的特徴として 6 連から 3 連のボックスカルバート形状に変わることを踏まえ、構造物の幅に対する鉛直部材の割合が少なく耐震上厳しいと判断される A - A 断面を耐震評価の対象として選定する。

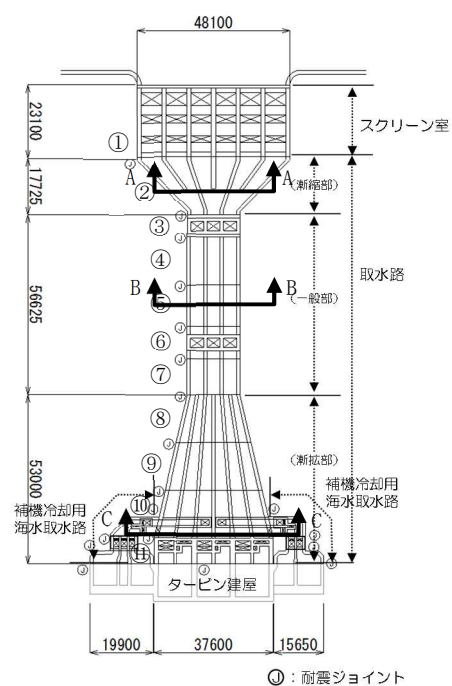
取水路一般部は、取水方向に幅が一様な 3 連のボックスカルバート形状の構造となっていることから、耐震評価の対象は、設置地盤条件に着目し、西山層の上限面の高さが深い区間で最も土被り厚が大きく耐震上厳しいと判断されるブロック⑤の B - B 断面を選定する。

取水路漸拡部は、取水方向に幅が漸拡する 6 連のボックスカルバート形状の構造となっている。また、縦断方向で土被り厚はほぼ同等であり、その他の設置地盤条件もほぼ一様となっている。以上のことから、耐震評価の対象は、構造的特徴を踏まえ、構造物の幅に対する鉛直部材の割合が最も少なく耐震上厳しいと判断されるブロック⑩のタービン建屋側の C - C 断面を選定する。

取水路の検討断面では、地下水位以下に、液状化層（埋戻土層）および液状化影響評価対象層（古安田層洪積砂質土層）が分布することから、耐震評価では有効応力解析を実施する。



(6号炉)



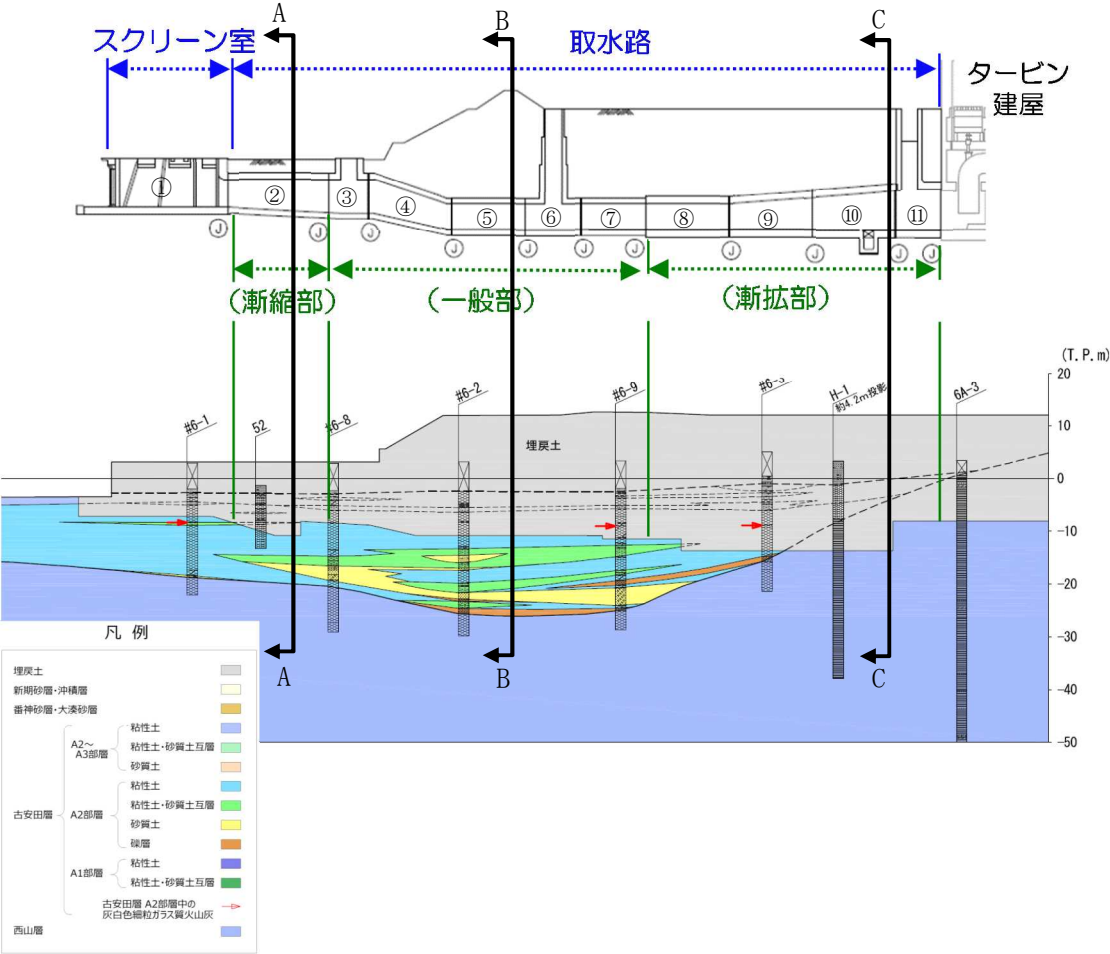
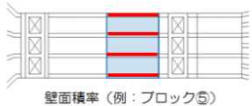
(7号炉)

第 12-1-5 図 取水路 平面図

第 12-1-1 表 6 号炉取水路 構造諸元

| ブロック番号 | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ | ⑨ | ⑩ | ⑪ |
|----------|--------|--------------|--------------|----------|-----------|----|--------------|-----------|-----------|-----------|----|
| 設備区分 | スクリーン室 | 取水路
(漸縮部) | 取水路
(一般部) | | | | 取水路
(漸拡部) | | | | |
| 幅 (m) | 48.1 | 48.1~16.6 | 立坑 | 16.6 | 16.6 | 立坑 | 16.6 | 17.3~24.0 | 24.0~30.9 | 30.9~37.6 | 立坑 |
| 高さ (m) | 10.0 | 7.0~8.0 | | 8.0~6.6 | 6.6 | | 6.6 | 7.2 | 7.2~8.3 | 8.3~9.5 | |
| 壁面積率 | 0.19 | 0.20 | | 0.24 | 0.24 | | 0.24 | 0.37 | 0.28 | 0.23 | |
| 頂部開口 | 有 | 無 | | 無 | 無 | | 無 | 無 | 無 | 無 | |
| 機器荷重 | 有 | 無 | | 無 | 無 | | 無 | 無 | 無 | 無 | |
| 土被り厚 (m) | 0 | 2.5 | | 2.5~15.2 | 15.2~19.2 | | 15.9 | 15.6 | 15.6~14.5 | 14.5~13.3 | |

※ここで壁面積率とは、横断面のせん断変形が鉛直部材の壁面に
依存することを考慮して、構造物各ブロックの全体平面積（青色
部分）に対する鉛直部材の平面積（赤色部分）と定義する



第 12-1-6 図 6 号炉取水路 縦断面図

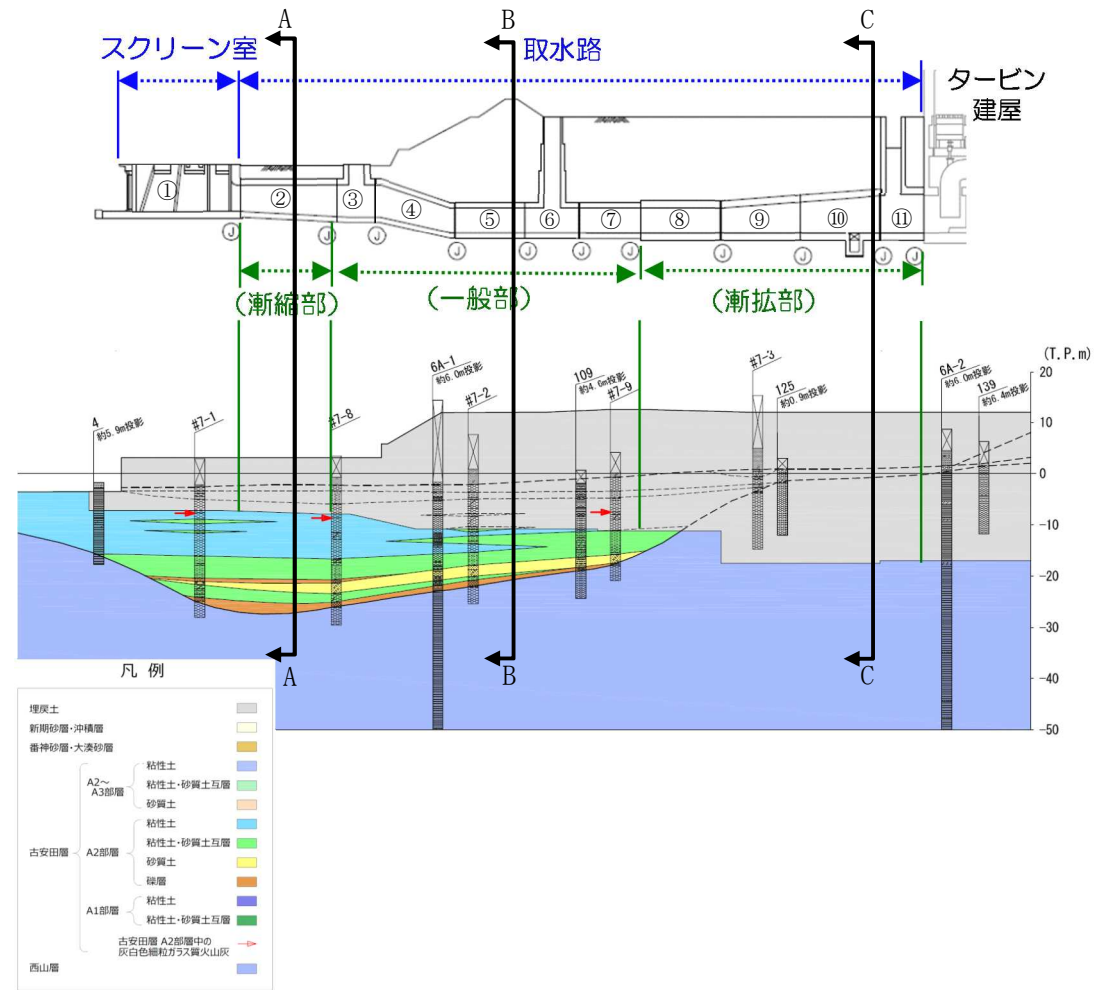
第 12-1-2 表 7 号炉取水路 構造諸元

| ブロック番号 | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ | ⑨ | ⑩ | ⑪ |
|----------|--------|--------------|--------------|----------|-----------|----|--------------|-----------|-----------|-----------|----|
| 設備区分 | スクリーン室 | 取水路
(漸縮部) | 取水路
(一般部) | | | | 取水路
(漸拡部) | | | | |
| 幅 (m) | 48.1 | 48.1~16.6 | 立坑 | 16.6 | 16.6 | 立坑 | 16.6 | 17.3~24.0 | 24.0~30.9 | 30.9~37.6 | 立坑 |
| 高さ (m) | 10.0 | 7.0~8.0 | | 8.0~6.6 | 6.6 | | 6.6 | 7.2 | 7.2~8.3 | 8.3~9.5 | |
| 壁面積率 | 0.19 | 0.20 | | 0.24 | 0.24 | | 0.24 | 0.37 | 0.28 | 0.23 | |
| 頂部開口 | 有 | 無 | | 無 | 無 | | 無 | 無 | 無 | 無 | |
| 機器荷重 | 有 | 無 | | 無 | 無 | | 無 | 無 | 無 | 無 | |
| 土被り厚 (m) | 0 | 2.5 | | 2.5~15.2 | 15.2~19.2 | | 15.9 | 15.6 | 15.6~14.5 | 14.5~13.3 | |

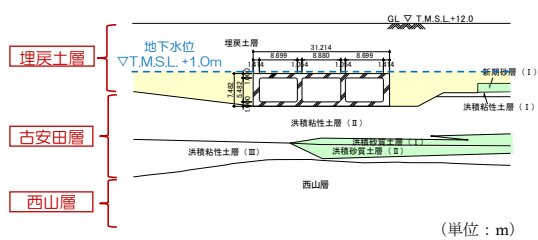
※ここで壁面積率とは、横断面のせん断変形が鉛直部材の壁厚に依存することを考慮して、構造物各ブロックの全体平面積（青色部分）に対する鉛直部材の平面積（赤色部分）と定義する



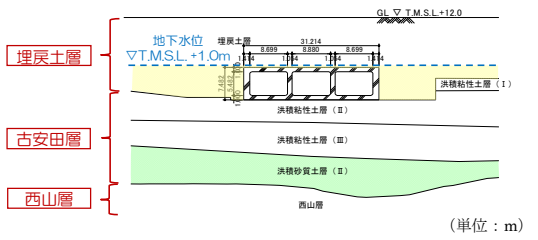
壁面積率（例：ブロック⑤）



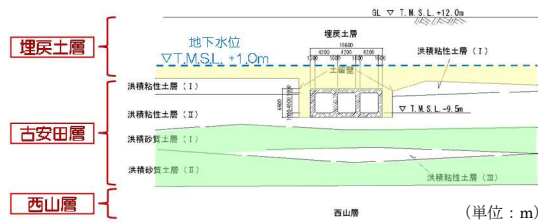
第 12-1-7 図 7 号炉取水路 縦断図



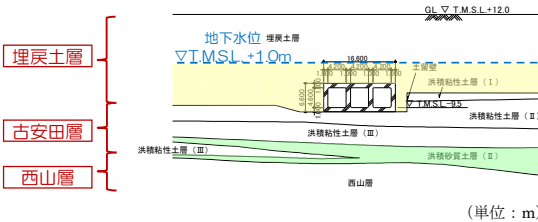
(6号炉取水路漸縮部)



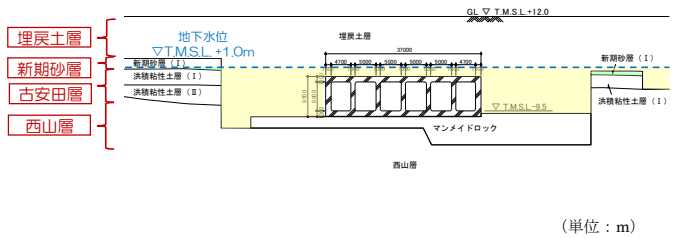
(7号炉取水路漸縮部)



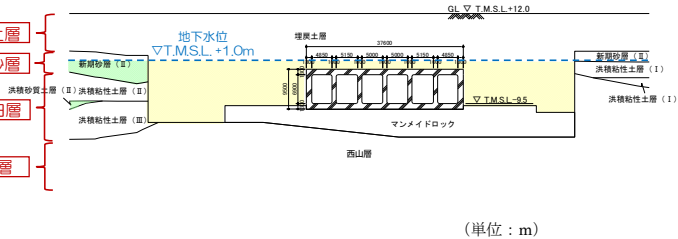
(6号炉取水路一般部)



(7号炉取水路一般部)



(6号炉取水路漸拡部)



(7号炉取水路漸拡部)

第 12-1-8 図 取水路 断面図

1.4 補機冷却用海水取水路の断面選定の考え方

第 12-1-9 図～第 12-1-11 図に補機冷却用海水取水路の平面図, 縦断図及び断面図を示す。

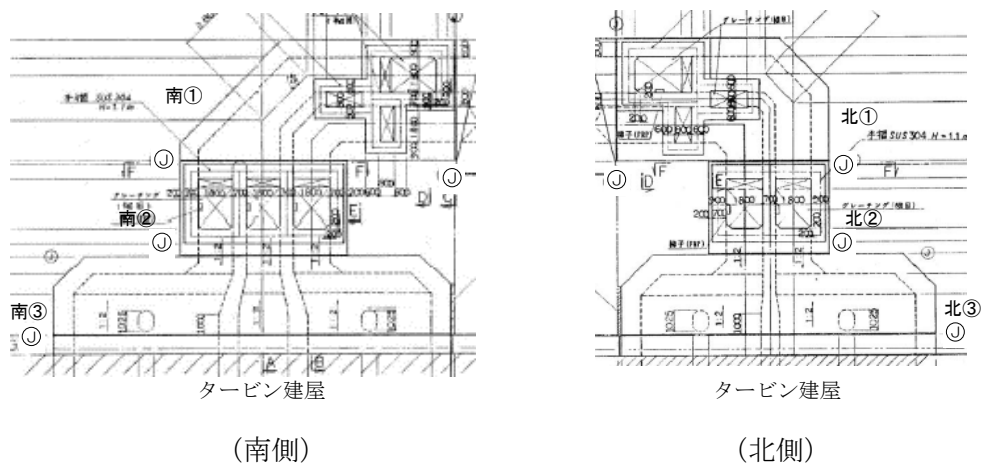
補機冷却用海水取水路は, 6 号及び 7 号炉ともに, 取水路漸拡部からそれぞれ北側, 南側に分岐した鉄筋コンクリート造の地中構造物であり, 取水方向に対して複数の断面形状を示し, 直接もしくはマンメイドロックを介して西山層に設置されている。

今回の工認では, 構造物の構造的特徴や地盤条件等を考慮した上で断面を選定し, 基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。

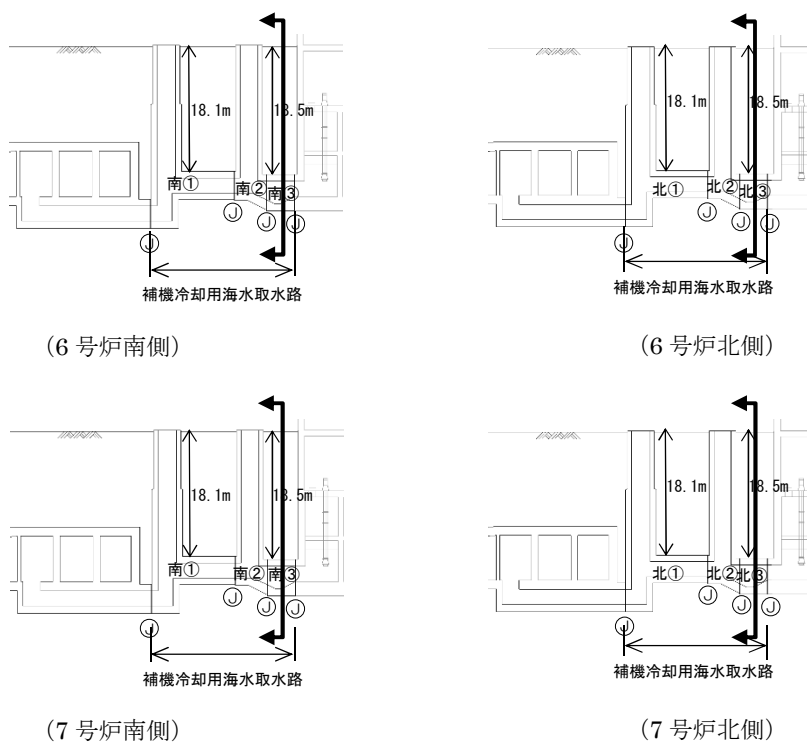
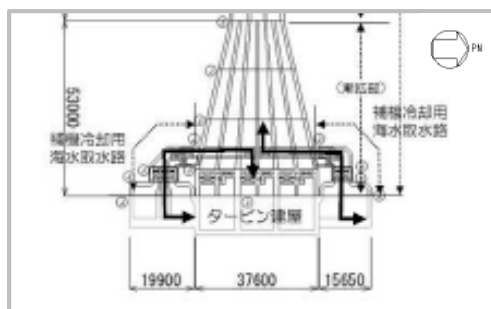
補機冷却用海水取水路（北側）は, 取水路漸拡部から 2 連のボックスカルバート形状で分岐し, 2 連から 4 連（柱部 2 本）のボックスカルバート形状に変わるとともに, タービン建屋近傍で幅が大きくなる構造である。また, 補機冷却用海水取水路（南側）は, 取水路漸拡部から 2 連のボックスカルバート形状で分岐し, 2 連から 5 連（柱部 2 本）のボックスカルバート形状に変わるとともに, タービン建屋近傍で幅が大きくなる構造である。

以上のことから, 耐震評価の対象は, 構造的特徴を踏まえ, 構造物の幅に対する鉛直部材の割合が最も少なく耐震上厳しいと判断されるタービン建屋接続位置を選定し, 北側 4 連（柱部 2 本）ボックスカルバート部のブロック北③及び南側 5 連（柱部 2 本）ボックスカルバート部のブロック南③を選定する。モデル化においては, ブロック全体の妻壁及び柱部を含めた平均的な剛性を考慮し, 基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。

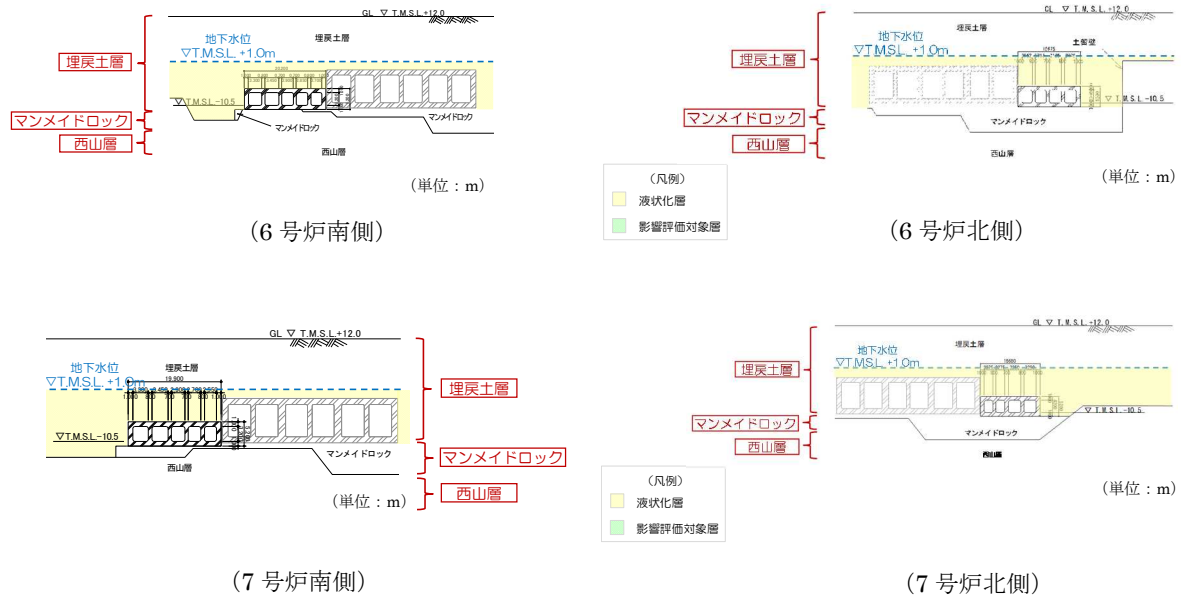
補機冷却用海水取水路の検討断面では, 地下水位以下に, 液状化層（埋戻土層）が分布することから, 耐震評価では有効応力解析を実施する。



第 12-1-9 図 補機冷却用海水取水路 平面図 (例：7 号炉)



第 12-1-10 図 補機冷却用海水取水路 縦断図



第 12-1-11 図 補機冷却用海水取水路 断面図

1.5 軽油タンク基礎の断面選定の考え方

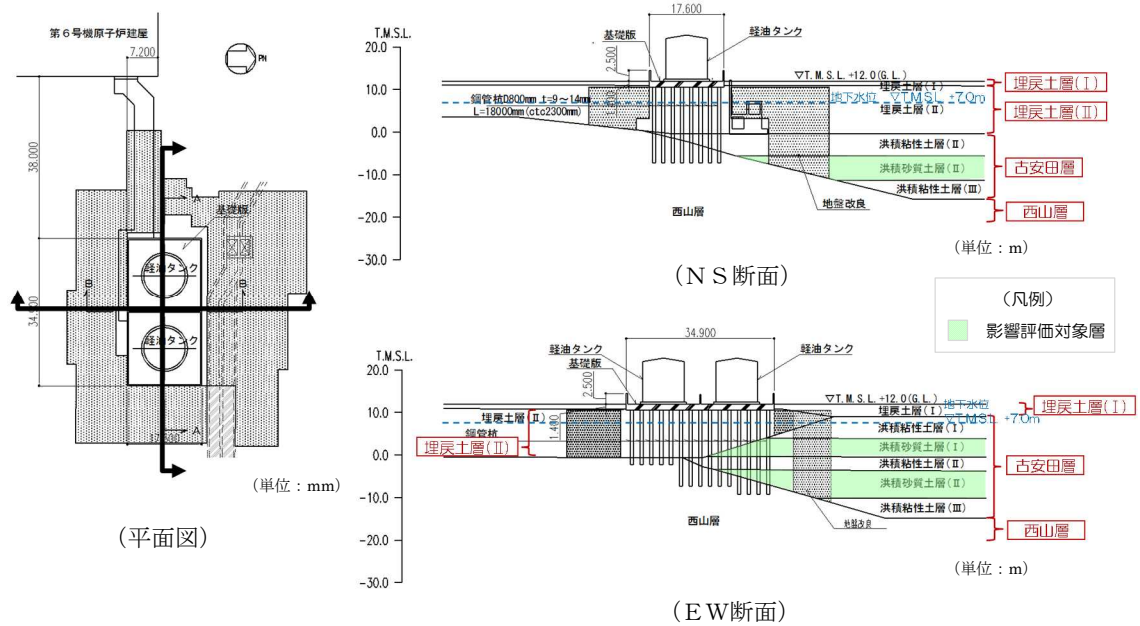
第 12-1-12 図及び第 12-1-13 図に軽油タンク基礎の平面図及び断面図を示す。

軽油タンク基礎は、6 号及び 7 号炉ともに、鉄筋コンクリート造の基礎版と杭を介して西山層に支持する地中構造物で、幅約 18m（NS 方向）×約 35m（EW 方向）、高さ約 1.4m の基礎版を等間隔に配置した杭で支持する比較的単純な基礎構造物であり、評価対象断面方向に一樣な構造となっている。また、基礎版及び杭の周辺には地震時における変形抑制対策として地盤改良を実施しているため周辺の地盤が構造物に与える影響はどの断面も大きな差は無いと考えられる。

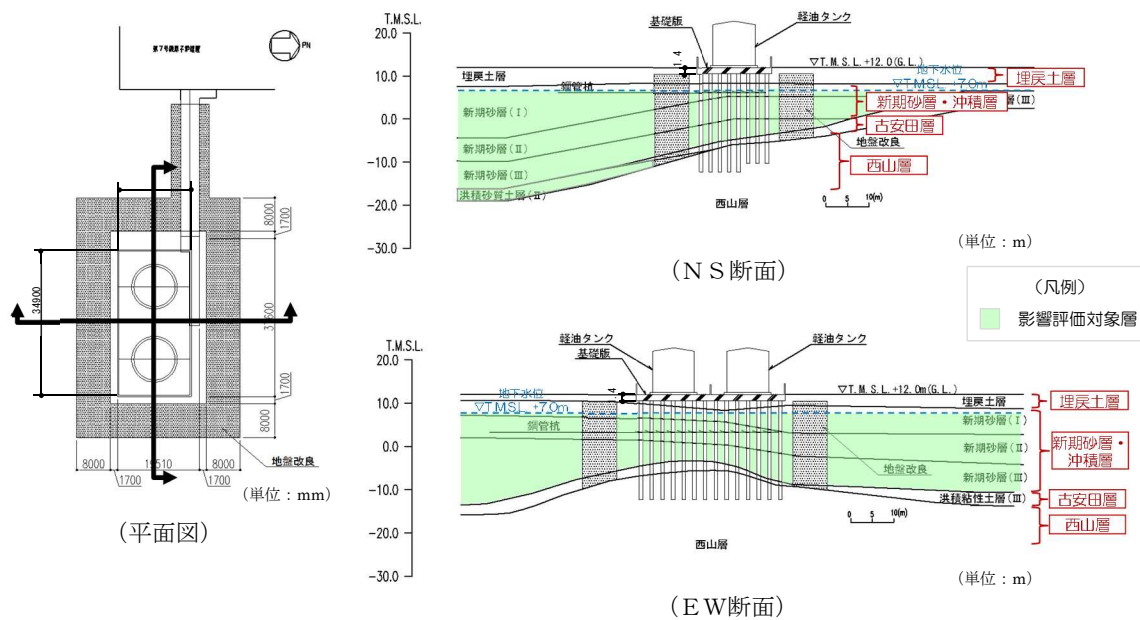
今回の工認では、基礎版の長軸方向及び短軸方向の 2 断面を選定し、基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。

6 号炉軽油タンク基礎の検討断面では、地下水位以下に、液状化影響評価対象層（古安田層洪積砂質土層）が分布することから、耐震評価では有効応力解析を実施する。埋戻土層（Ⅱ）は、建設時に掘削した西山層泥岩を材料として埋め戻した粘性土であり、性状の確認を目的とした物理試験を実施した上で、非液状化層として扱う。

7 号炉軽油タンク基礎の検討断面では、地下水位以下に、液状化影響対象層（新期砂層・沖積層、古安田層洪積砂質土層）が分布することから、耐震評価では有効応力解析を実施する。



第 12-1-12 図 6 号炉軽油タンク基礎 平面図・断面図



第 12-1-13 図 7 号炉軽油タンク基礎 平面図・断面図

1.6 燃料移送系配管ダクトの断面選定の考え方

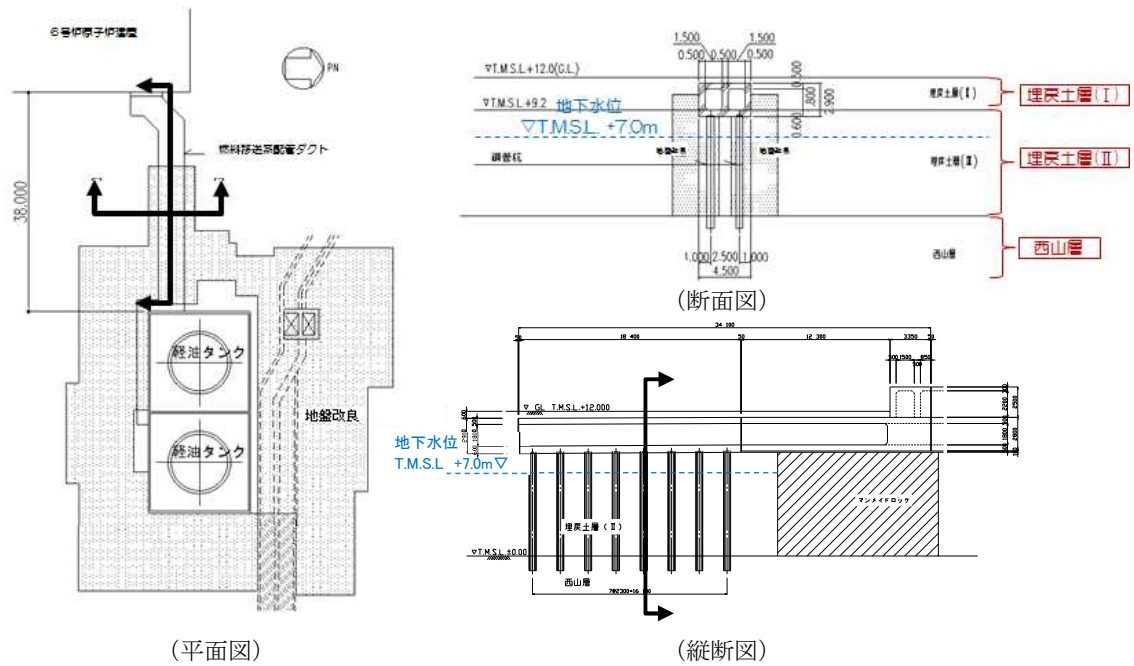
第 12-1-14 図及び第 12-1-15 図に燃料移送系配管ダクトの平面図, 断面図及び縦断面図を示す。

6 号炉燃料移送系配管ダクトは, 軽油タンク側は鉄筋コンクリート造のダクトと杭を介して, 6 号炉原子炉建屋側はマンメイドロックを介して西山層に支持する地中構造物である。7 号炉燃料移送系配管ダクトは, 鉄筋コンクリート造のダクトと杭を介して西山層に支持する地中構造物である。また, 6 号及び 7 号炉ともにダクト及び杭の周辺には地震時における変形抑制対策として地盤改良を実施している。

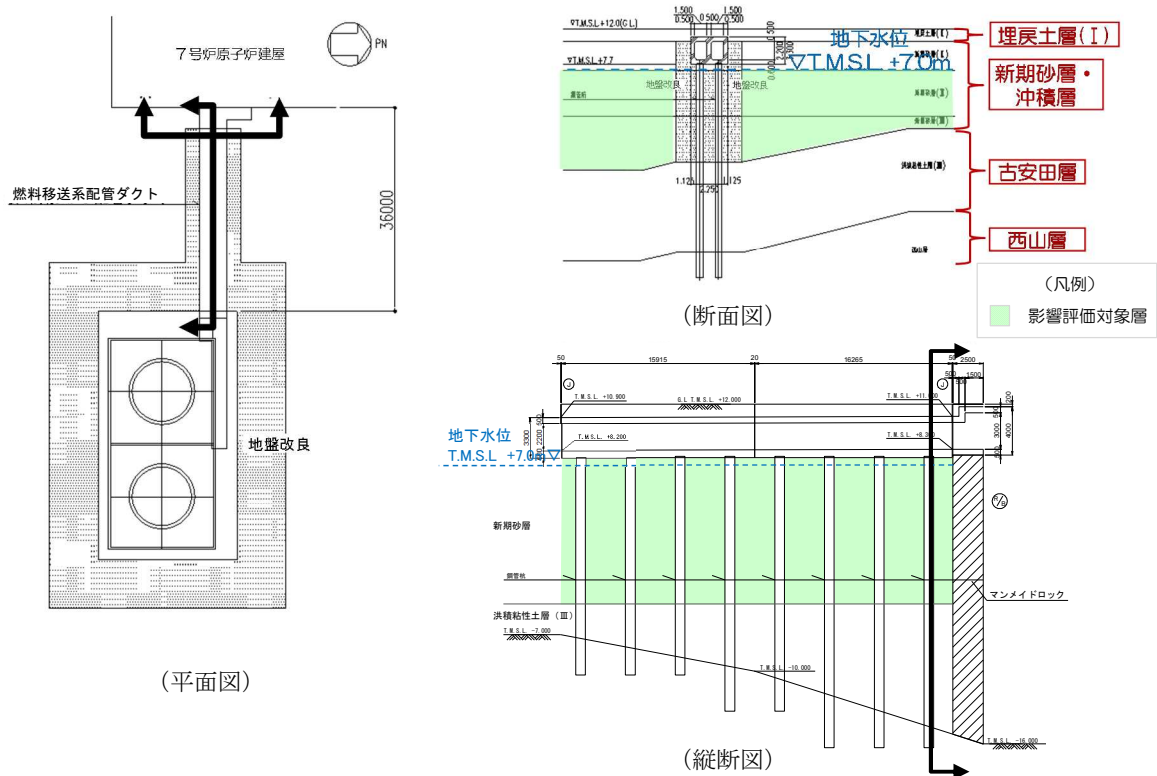
今回の工認では, 6 号炉は, 軸方向に一樣なダクト形状を示すことから, 支持構造に着目し, 杭基礎部とマンメイドロックに直接設置するダクトのうち, より曲げ変形が大きくなると考えられる杭基礎部の断面を選定し, 基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。7 号炉は, 軸方向に一樣な杭支持構造のダクト形状を示しており, ダクトが接する側方及び下方の地盤は軸方向にほぼ同じ条件であることから, 杭部分の曲げ変形がより大きくなると考えられる最も杭長が長い断面を選定し, 基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。

6 号炉燃料移送系配管ダクトの検討断面では, 地下水位以下に, 液状化層及び液状化影響評価対象層は分布しない。埋戻土層 (Ⅱ) は, 建設時に掘削した西山層泥岩を材料として埋め戻した粘性土であり, 性状の確認を目的とした物理試験を実施した上で, 非液状化層として扱う。

7 号炉燃料移送系配管ダクトの検討断面では, 地下水位以下に, 液状化影響対象層 (新期砂層・沖積層, 古安田層洪積砂質土層) が分布することから, 耐震評価では有効応力解析を実施する。



第 12-1-14 図 6 号炉燃料移送系配管ダクト 平面図・断面図・縦断面図



第 12-1-15 図 7 号炉燃料移送系配管ダクト 平面図・断面図・縦断面図

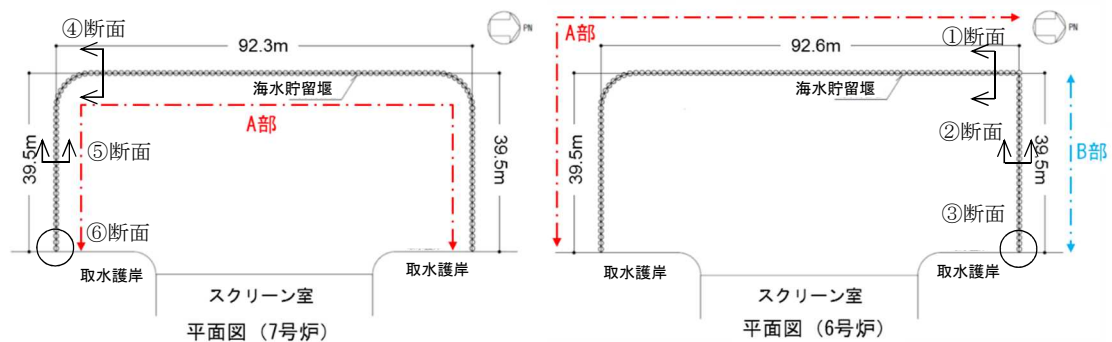
1.7 海水貯留堰の断面選定の考え方

第 12-1-16 図に海水貯留堰の断面位置図，第 12-1-17 図に海水貯留堰の断面図，第 12-1-18 図に古安田層基底面図を示す。

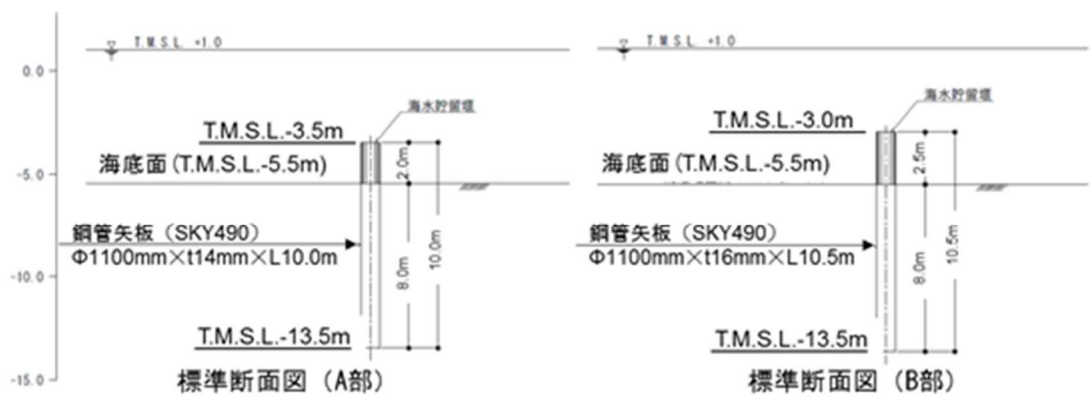
海水貯留堰は，取水口前面の海中に設置する鋼管矢板を連結した構造物であり，取水護岸に接続している。鋼管矢板の根入れは 8m であり，西山層および古安田層洪積粘性土層に直接設置される。鋼管矢板は，海水を貯留するために海底面から A 部で 2.0m，B 部で 2.5m 突出している。

海水貯留堰の断面選定においては，海水貯留堰の配置を考慮して鋼管矢板が汀線直交方向に連結した部分，汀線平行方向に連結した部分および取水護岸との接続部から選定する。また，地震時の影響を考慮して海底面から突出した部分が長い B 部を優先する。地盤条件としては，地震時の応答が大きくなると考えられる古安田層の基底面が深い位置を選定する。

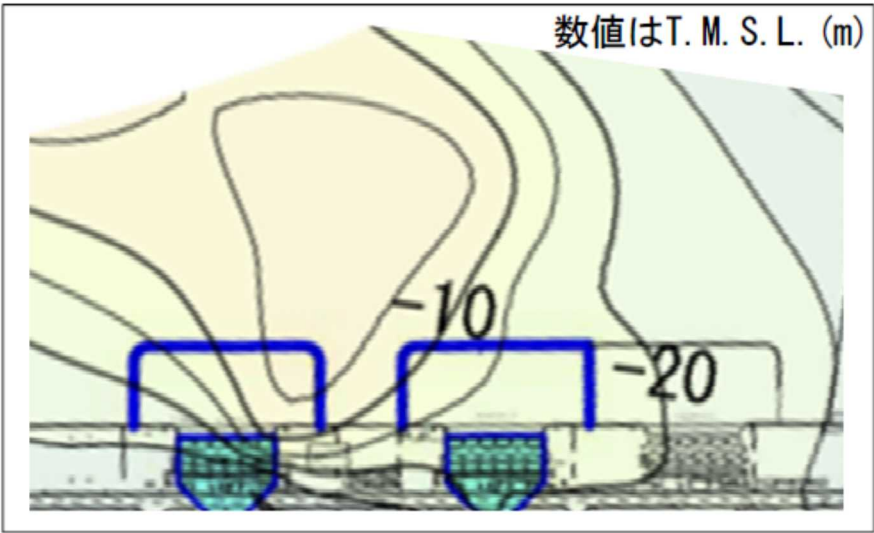
以上の観点から，選定した断面位置を第 12-1-16 図に示す。6 号炉海水貯留堰においては汀線平行方向で古安田層の基底面が深い①断面を，汀線直交方向で古安田層の基底面が深く突出長が長い②断面を，取水護岸部との接続部として③断面を選定する。7 号炉海水貯留堰においては，汀線平行方向および汀線直交工法において古安田層の基底面が深い④断面および⑤断面を，取水護岸部との接続部として⑥断面を選定する。



第 12-1-16 図 海水貯留堰 断面位置図



第 12-1-17 図 海水貯留堰 断面図



第 12-1-18 図 古安田層基底面図

2. 重大事故等対処施設の土木構造物の耐震評価における断面選定の考え方

2.1 方針

重大事故等対処施設の土木構造物の評価対象断面については、構造物の配置や荷重条件及び地盤条件を考慮し、耐震評価上最も厳しくなると考えられる位置を評価対象断面とする。

柏崎刈羽発電所 6 号及び 7 号炉での対象構造物は、第一ガスタービン発電機基礎及び第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎である。各施設の平面配置図を第 12-2-1 図に示す。

2.2 第一ガスタービン発電機基礎及び第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎の断面選定の考え方

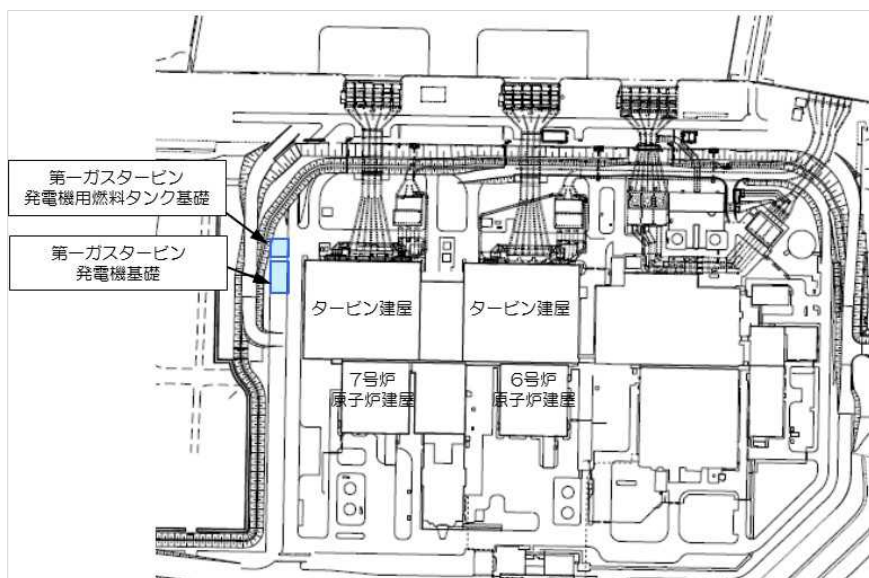
第 12-2-2 図に第一ガスタービン発電機基礎及び第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎の断面図を示す。

第一ガスタービン発電機基礎は、鉄筋コンクリート造の基礎版と杭を介して西山層に支持する地中埋設構造物で、幅約 14m (NS 方向) × 約 28m (EW 方向)、高さ約 3.6m の基礎版を等間隔に配置した杭で支持する比較的単純な基礎構造物であり、評価対象断面方向に様な構造となっている。また、基礎版及び杭の周辺には地震時における変形抑制対策として地盤改良を実施しているため周辺の地盤が構造物に与える影響はどの断面も大きな差は無いと考えられる。

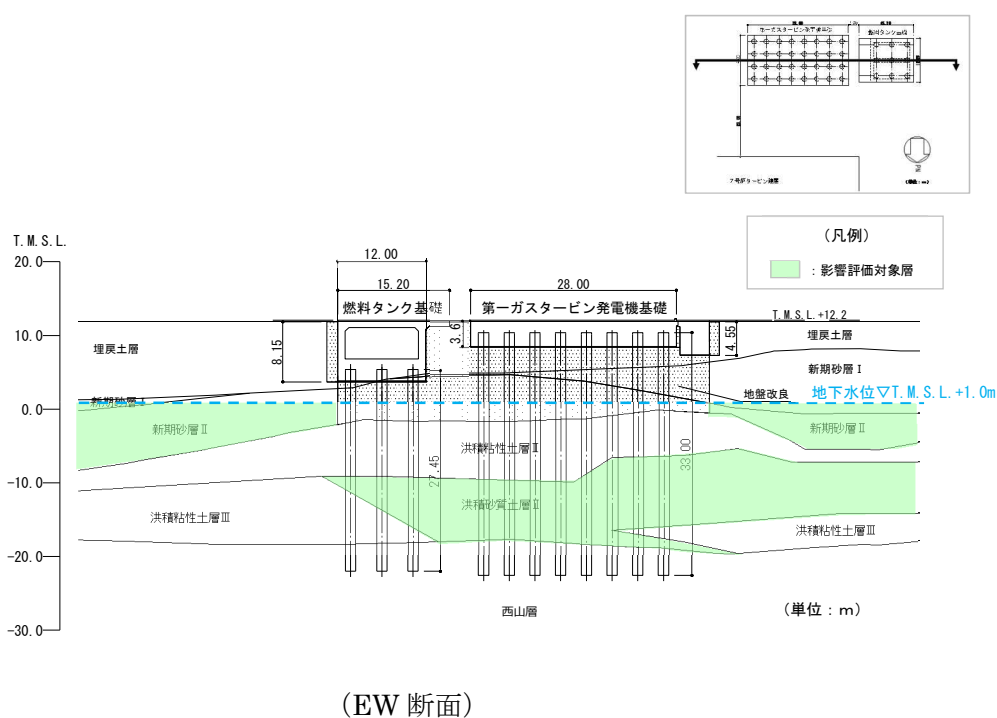
第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎は、鉄筋コンクリート造のピットと杭を介して西山層に支持する地中構造物で、幅約 12m (NS 方向) × 約 12m (EW 方向)、高さ約 8.2m のピットを等間隔に配置した杭で支持する比較的単純な基礎構造物であり、評価対象断面方向に様な構造となっている。また、ピット及び杭の周辺には地震時における変形抑制対策として地盤改良を実施しているため周辺の地盤が構造物に与える影響はどの断面も大きな差は無いと考えられる。

今回の工認では、基礎版及びピットの長軸方向及び短軸方向の 2 断面を選定し、基準地震動 Ss による耐震評価を実施する。

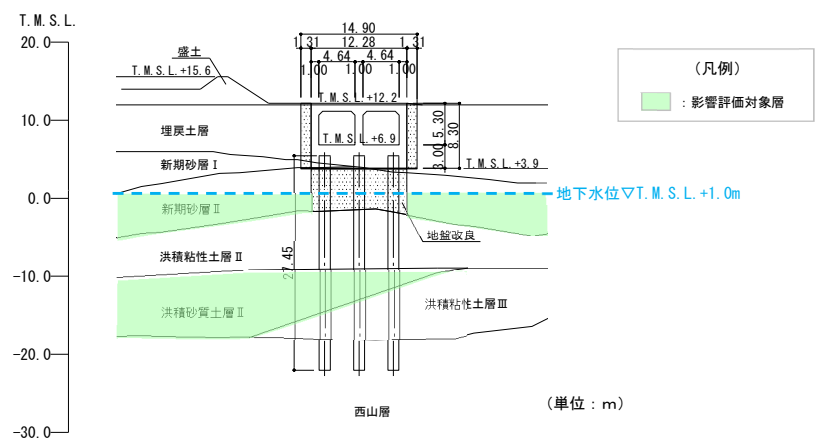
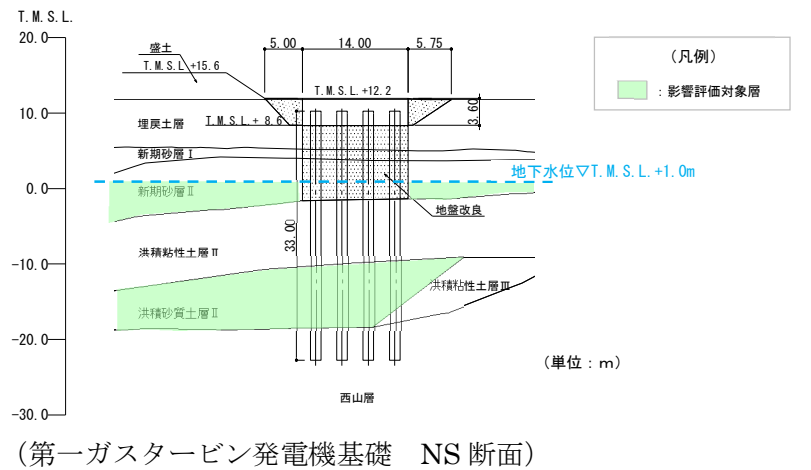
第一ガスタービン発電機基礎及び第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎の検討断面では、地下水位以下に、液状化影響対象層（新期砂層・沖積層，古安田層洪積砂質土層）が分布することから、耐震評価では有効応力解析を実施する。



第 12-2-1 図 平面配置図



第 12-2-2 図 第一ガスタービン発電機及び第一ガスタービン発電機用
燃料タンク基礎断面図 (1/2)



第 12-2-2 図 第一ガスタービン発電機及び第一ガスタービン発電機用
燃料タンク基礎断面図 (2/2)