

## 7. 安全上重要な機器・配管系の耐震安全性評価

## 【目 次】

7.1. 評価方針.....	7-1
7.1.1 評価対象.....	7-1
7.1.2 耐震安全性評価の概要.....	7-3
7.1.3 構造強度の評価方法.....	7-5
7.1.3.1 応答倍率法による評価.....	7-5
7.1.3.2 詳細評価.....	7-6
7.1.4 動的機能維持の評価方法.....	7-9
7.1.4.1 機能確認済加速度との比較.....	7-9
7.1.4.2 詳細評価.....	7-9
7.2. 地震応答解析.....	7-11
7.2.1 地震応答解析モデル.....	7-11
7.2.2 大型機器の地震応答解析.....	7-11
7.2.2.1 大型機器解析モデル.....	7-12
7.2.2.2 炉内構造物解析モデル.....	7-12
7.2.2.3 固有値解析結果.....	7-17
7.2.2.4 地震応答解析結果.....	7-19
7.2.3 床応答スペクトル.....	7-29
7.2.3.1 水平方向.....	7-29
7.2.3.2 鉛直方向.....	7-29
7.2.4 減衰定数.....	7-34
7.3. 荷重の組み合わせ.....	7-35
7.3.1 運転状態と地震動との組み合わせ.....	7-35
7.4. 評価基準.....	7-39
7.4.1 構造強度の評価基準.....	7-39
7.4.2 動的機能維持の評価基準.....	7-40

7.5. 評価結果.....	7-42
7.5.1 構造強度の評価結果.....	7-42
7.5.2 動的機能維持の評価結果.....	7-53
7.6. 参考文献.....	7-57

## 【添付】

- 添付 7.1 配管系の減衰定数について
- 添付 7.2 燃料取替機および原子炉建屋クレーンの減衰定数について
- 添付 7.3 使用済燃料貯蔵ラックの水平方向の減衰定数について
- 添付 7.4 機器・配管系の構造強度の評価基準値について
- 添付 7.5 動的機器の地震時機能確認済加速度について
- 添付 7.6 設計時の制御棒挿入試験について

## 【参考資料】

- 参考資料 7.1 使用済燃料貯蔵プールスロッシングに対する影響検討について
- 参考資料 7.2 大型機器解析モデルおよび炉内構造物解析モデルによる  
地震応答解析結果（詳細）
- 参考資料 7.3 原子炉本体基礎の復元力特性について
- 参考資料 7.4 原子炉建屋各床面の応答加速度比
- 参考資料 7.5 炉内構造物の振動モード図の例
- 参考資料 7.6 特定の時刻での地震応答分布図について
- 参考資料 7.7 構造強度の評価例
- 参考資料 7.8 原子炉建屋クレーンの評価について

## 7. 安全上重要な機器・配管系の耐震安全性評価

### 7.1. 評価方針

#### 7.1.1. 評価対象

「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」、「原子炉停止後、または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」、「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」等の安全機能が保持されることを確認するため、Sクラスの設備について構造強度評価を実施するとともに、ポンプ、弁および制御棒等の地震時の動的機能が要求される設備については動的機能維持評価を実施する。評価に当たり、同一仕様・同一設計の複数の設備が存在する場合は、代表設備について評価する。また、配管系のように類似設備が多数存在する場合は、仕様、使用条件等の観点から耐震安全評価上適切にグループ化し、その代表設備について評価する。

BクラスおよびCクラス設備のうち、その破損がSクラス設備に波及的破損を生じさせるおそれのある設備については、波及的影響評価を実施する。

Sクラスの設備は具体的には、第7.1.1-1表に示す主要設備に属するポンプ、タービン、容器、熱交換器等の機器、配管系、および補助設備である原子炉補機冷却水系、原子炉補機冷却海水系、電気計装設備等、ならびにそれらの支持構造物である。

BクラスおよびCクラス設備のうち、燃料取替機、原子炉建屋クレーンおよび原子炉遮へい壁は、使用目的上、Sクラス設備の上部を通過する等、その破損がSクラス設備に波及的破損を生じさせる可能性があるため評価を実施する。

第 7.1.1-1 表 柏崎刈羽 5 号機 S クラス主要設備一覧

S クラスの定義		主要設備
i	原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管等	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉圧力容器</li> <li>原子炉冷却材圧力バウンダリに属する系統<sup>*1</sup></li> </ul>
ii	使用済燃料を貯蔵するための施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>使用済燃料貯蔵設備</li> </ul>
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、および原子炉の停止状態を維持するための施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>制御棒</li> <li>制御棒駆動機構</li> <li>制御棒駆動系</li> </ul>
iv	原子炉停止後、炉心から崩壊熱を除去するための施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉隔離時冷却系</li> <li>高圧炉心スプレイ系</li> <li>残留熱除去系</li> <li>サプレッションチェンバ</li> </ul>
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	<ul style="list-style-type: none"> <li>高圧炉心スプレイ系</li> <li>低圧炉心スプレイ系</li> <li>残留熱除去系</li> <li>自動減圧系</li> <li>サプレッションチェンバ</li> </ul>
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放散を防ぐための施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉格納容器</li> <li>原子炉格納容器バウンダリに属する系統<sup>*2</sup></li> </ul>
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上記 vi 以外の施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>残留熱除去系</li> <li>可燃性ガス濃度制御系</li> <li>非常用ガス処理系</li> <li>サプレッションチェンバ</li> </ul>

※ 1 主蒸気系，給水系，原子炉冷却材再循環系，残留熱除去系，ほう酸水注入系，原子炉冷却材浄化系，原子炉隔離時冷却系，低圧炉心スプレイ系，高圧炉心スプレイ系

※ 2 主蒸気系，給水系，残留熱除去系，ほう酸水注入系，原子炉冷却材浄化系，原子炉隔離時冷却系，低圧炉心スプレイ系，高圧炉心スプレイ系，不活性ガス系，原子炉補機冷却水系，非常用ガス処理系，可燃性ガス濃度制御系，放射性ドレン移送系

### 7.1.2 耐震安全性評価の概要

地震時の安全性評価は、基準地震動  $S_s$  を用いた動的解析によることを基本とし、機器・配管系の応答性状を適切に表現できるモデルを設定した上で応答解析を行い、その結果求められた応力値、または応答加速度値をもとに評価する。基準値地震動  $S_s$  を第 7.1.2-1 表に示す。

原子炉建屋内の大型機器である原子炉格納容器（以下「PCV」という。）、原子炉圧力容器（以下「RPV」という。）、および炉内構造物等の安全性評価に当たっては、水平地震動と鉛直地震動による建屋・機器連成応答解析を行い、それぞれの応答結果を用いる。また、比較的小型の機器や配管系等の安全性評価に当たっては、当該設備の据付床の水平方向および鉛直方向それぞれの床応答を用いた応答解析等を行う。なお、水平方向、鉛直方向それぞれの応答結果を二乗和平方根（SRSS）法等により組み合わせる場合もある。<sup>(1)</sup>

構造強度評価に際しては、当該設備の耐震安全機能を確認する観点から耐震構造上重要な評価箇所を、既往評価の評価箇所を参考に選定する。本報告書には、当該設備の評価箇所のうち、計算値が評価基準値に対して比較的近い箇所を記載している。また、選定した評価箇所に対して、基準地震動  $S_s$  による地震慣性力と、設計時の地震以外の荷重との組合せによる 1 次応力評価を基本として構造強度評価を行う。

動的機能維持評価に際しては、地震時に動的機能が要求される動的機器を選定する。また、選定した動的機器の設置位置における応答加速度と機能確認済加速度との比較を基本として動的機能維持評価を行う。

第 7.1.2-1 表 基準地震動 Ss

地震動	概要
Ss-1	F－B断層による地震 (応答スペクトル法)
Ss-2	F－B断層による地震 (断層モデル)
Ss-3	長岡平野西縁断層帯による地震 (応答スペクトル法, 断層傾斜角 50° /応力降下量 1.5 倍および断層傾斜角 35° /応力降下量 1.0 倍の 2 つのケースを包絡)
Ss-4	長岡平野西縁断層帯による地震 (断層モデル, 断層傾斜角 50° /応力降下量 1.5 倍)
Ss-5	長岡平野西縁断層帯による地震 (断層モデル, 断層傾斜角 35° /応力降下量 1.0 倍)



### 7.1.3 構造強度の評価方法

構造強度に関する評価は、以下に示す応答倍率法による評価、または詳細評価により実施する。構造強度の評価手順を第 7.1.3-1 図に示す。

#### 7.1.3.1 応答倍率法による評価

大型機器である PCV, RPV, および炉内構造物等については、基準地震動  $S_s$  による地震力（加速度，せん断力，モーメント，軸力）と設計時における地震力との比を求め，設計時の応力に乘じることにより，基準地震動  $S_s$  による応力（以下，「計算値」という）を算定し，評価基準値と比較する。

また，比較的小型の機器については，剛構造の場合は基準地震動  $S_s$  による床の最大応答加速度と設計時における床の最大応答加速度の比，剛構造でない場合はそれぞれの床応答スペクトルの比を求め，設計時の応力に乘じることにより，計算値を算定し，評価基準値と比較する。

### 7.1.3.2 詳細評価

応答倍率法以外の評価手法は全て詳細評価に分類される。

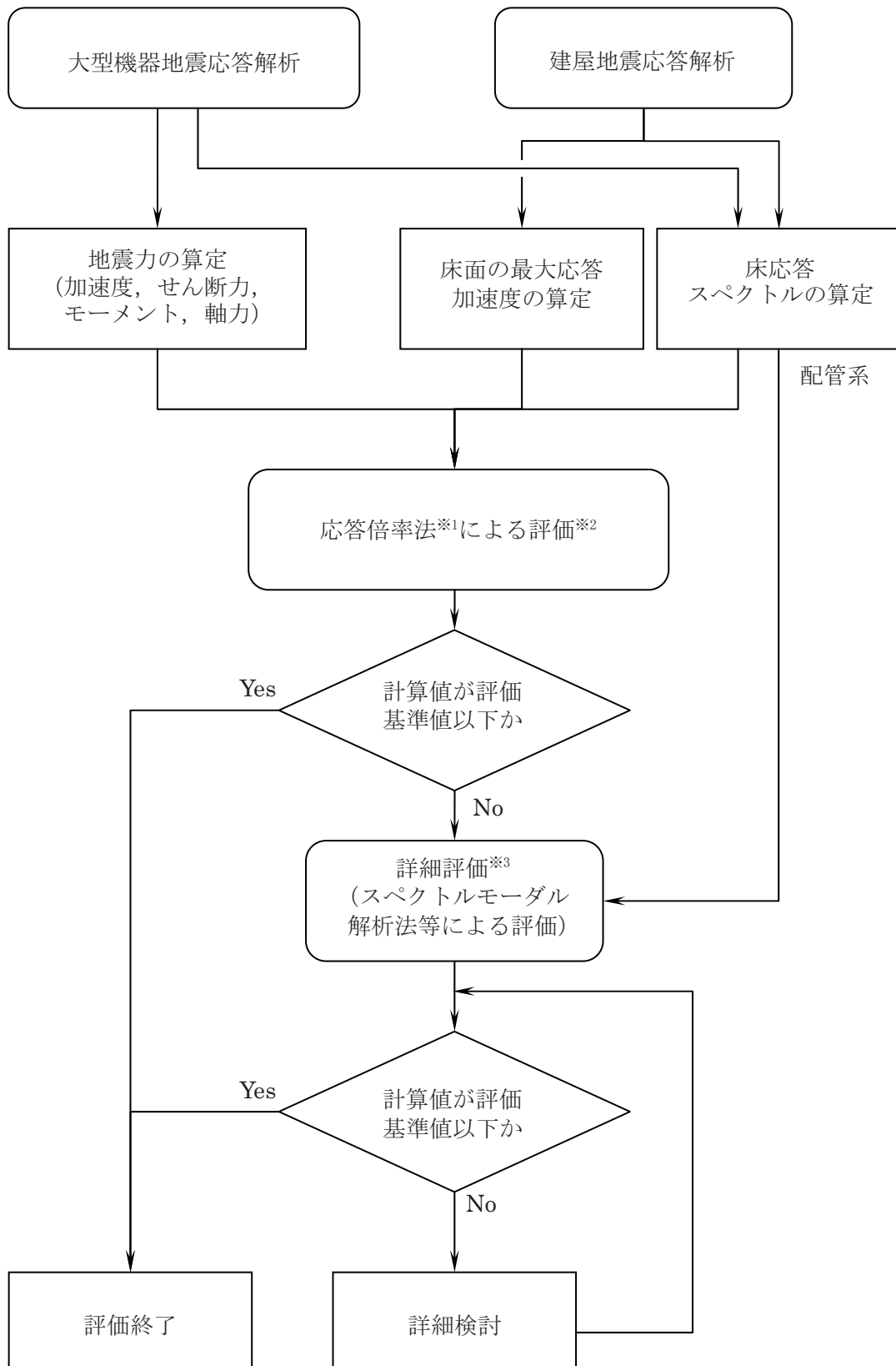
配管系は、スペクトルモーダル解析法等による詳細評価を行い、計算値を算定し評価基準値と比較する。

応答倍率法による評価の結果、詳細評価が必要と判断された設備は、設計時の評価方法を参考に以下の a. ～ c. に示す解析法から選択して評価を行い、計算値を算定し評価基準値と比較する。

また、設備によっては応答倍率法による評価によらず、以下の a. ～ c. に示す解析法から選択して評価を行い、計算値を算定し評価基準値と比較する場合がある。詳細評価においても、荷重の算定過程等において応答比を用いている場合もある。

- a. スペクトルモーダル解析法
- b. 時刻歴応答解析法
- c. 定式化された評価式を用いた解析法（床置き機器等）

なお、上記の詳細評価は、工事計画認可申請時と同等の評価手法である。



※1 次ページの※1 に詳細説明を記載。

※2 応答倍率法による評価によらず，詳細評価する場合がある。

※3 次ページの※2 に詳細説明を記載。

第 7.1.3-1 図 構造強度の評価手順

## ※1 応答倍率法による評価

設計時の耐震計算書等の既往評価条件と基準地震動 Ss の評価条件の比率（応答比）を算定して、その応答比を既往評価値（地震荷重による応力と地震以外の荷重による応力の合計値）に乗じることにより、基準地震動 Ss に対する評価対象設備の計算値が、評価基準値を上回らないことを確認する。

### ※応答比

#### A1：応答荷重比を用いた評価

設備の計算値を算定するにあたり、せん断力、モーメント、軸力を用いる機器は、基準地震動 Ss による地震力と既往評価の地震力との比を応答比とする。

#### A2：応答加速度比を用いた評価

設備の計算値を算定するにあたり、水平加速度、鉛直加速度を用いる機器は基準地震動 Ss による床応答スペクトル等と、既往評価で用いた床応答スペクトル等から水平加速度と鉛直加速度の比をそれぞれ求め、大きい方の値を応答比とする。

$$\text{応答比} = \text{MAX} \left( \frac{C_H}{C_{H0}}, \frac{C_V}{C_{V0}} \right)$$

$C_{H0}$ ：既往評価による水平加速度  
 $C_H$ ：基準地震動 Ss による水平加速度  
 $C_{V0}$ ：既往評価による鉛直加速度  
 $C_V$ ：基準地震動 Ss による鉛直加速度

## ※2 詳細評価

応答倍率法以外の評価。詳細評価においても、荷重の算定過程等において応答比を用いている場合もある。

**B1**：既往評価の地震荷重と地震以外の荷重を区別し、地震荷重による応力のみに応答比を乗じ、地震以外の荷重による応力を組み合わせて、計算値を求める方法。

既往評価の地震荷重による応力に応答比を乗じて Ss 時の地震荷重による応力とし、計算値を求める手法。（地震以外による応力には応答比は乗じていないことから、応答倍率法とは異なる。）

**B2**：スペクトルモーダル解析法等による評価

- ・スペクトルモーダル解析を用いた手法
- ・時刻歴応答解析を用いた手法
- ・連成解析から得られる地震荷重や床応答スペクトル等から得られる加速度を用いて計算値を求める方法。（設計時と同じ手法）

#### 7.1.4 動的機能維持の評価方法

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、または詳細評価により実施する。動的機能維持の評価手順を第 7.1.4-1 図に示す。

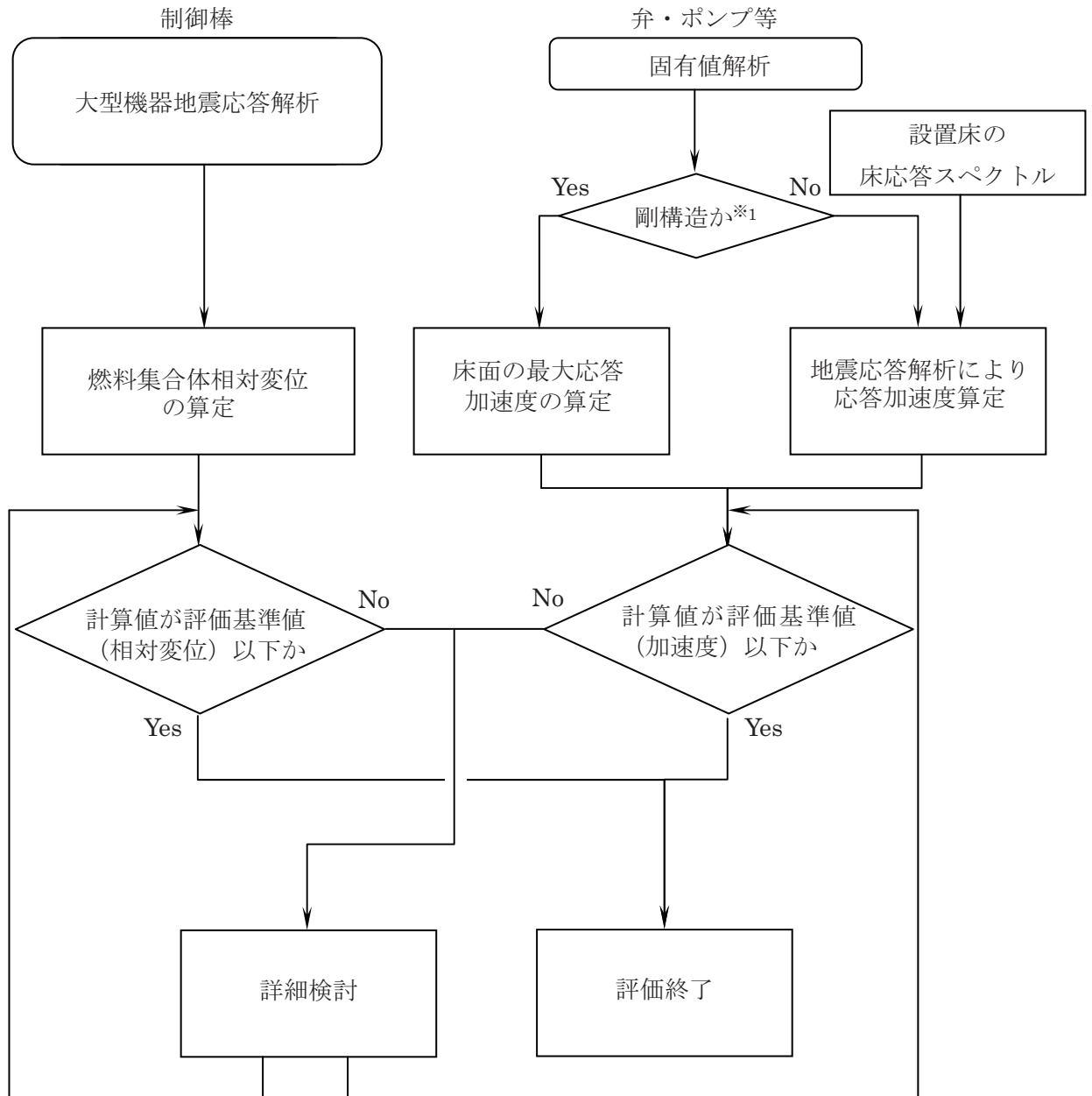
##### 7.1.4.1 機能確認済加速度との比較

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、横形ポンプおよ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については、基準地震動  $S_s$  による燃料集合体の相対変位を求め、その相対変位が、試験により挿入性が確認された相対変位以下であることを確認する。

##### 7.1.4.2 詳細評価

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 JEAG4601-1991 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、計算値が評価基準値以下であることを確認する。<sup>(1)</sup>



※1 1次固有周期が0.05 [秒] 以下（固有振動数が20 [Hz] 以上）の場合。

第 7.1.4-1 図 動的機能維持の評価手順

## 7.2 地震応答解析

### 7.2.1 地震応答解析モデル

機器・配管系の動的解析のモデルは、その振動特性に応じて、代表的な振動モードが適切に表現でき、応力評価等に用いる地震荷重を適切に算定できるものを使用する。また、解析モデルは既往評価で用いられたものの他、有限要素法等実績がある手法によるモデルを使用する。モデル化に当たって使用する物性値等については、既往評価で用いられたものの他、施設運用上の管理値や実測値等を考慮して設定する。

### 7.2.2 大型機器の地震応答解析

原子炉建屋内の大型機器（PCV、RPV および炉内構造物等）は、大規模構造物でしかも建屋から各点で支持されているため、建屋からの各入力をより厳密に評価することを目的とし、地盤・建屋と連成した解析モデルにより基準地震動  $S_s$  による地震応答解析を時刻歴応答解析で実施する。

解析は水平方向（NS および EW の両方向）および鉛直方向について実施する。

地震応答解析モデルは、以下に示す大型機器解析モデルと炉内構造物解析モデルがある。

### 7.2.2.1 大型機器解析モデル

PCV, RPV, 原子炉遮へい壁, および原子炉本体の基礎等の地震力を算定する解析モデルである。

水平方向の解析モデルは, 多質点系でモデル化し, それぞれの質点間を曲げ, せん断剛性を有する無質量のはり, またはばねにより結合する。

鉛直方向の解析モデルは, 質点間を軸剛性 (圧縮, 引張りに対する剛性) を有するばねにより結合する。<sup>(1)</sup>

原子炉建屋模式図を第 7.2.2.1-1 図に, 水平方向の解析モデルを第 7.2.2.1-2 図および第 7.2.2.1-3 図に, 鉛直方向の解析モデルを第 7.2.2.1-4 図に示す。

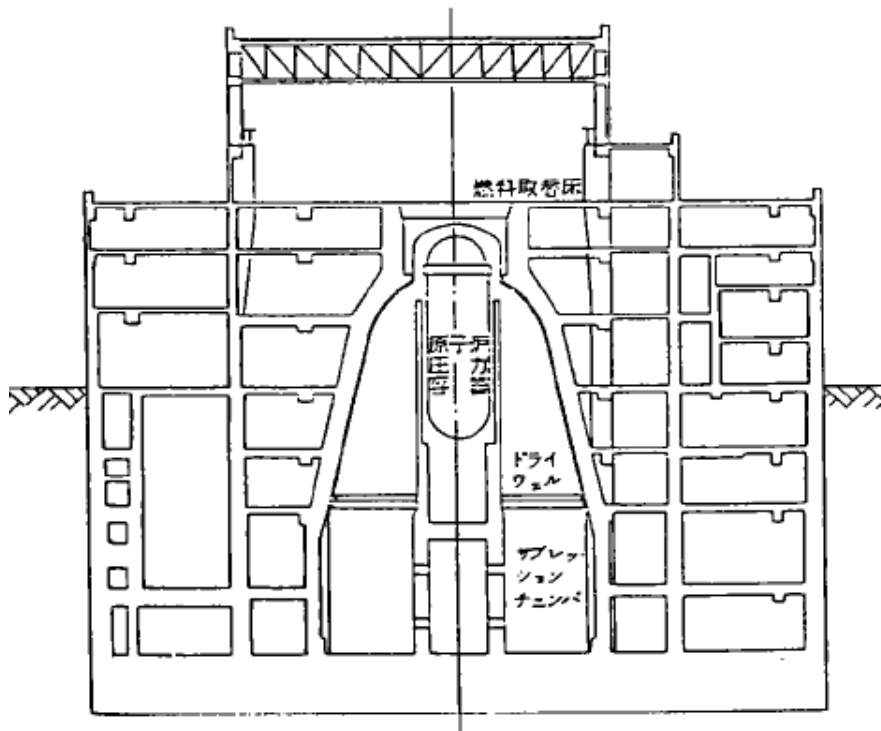
### 7.2.2.2 炉内構造物解析モデル

RPV 内の気水分離器, 燃料集合体, 炉心シュラウド, および制御棒案内管等の地震力を算定する解析モデルである。

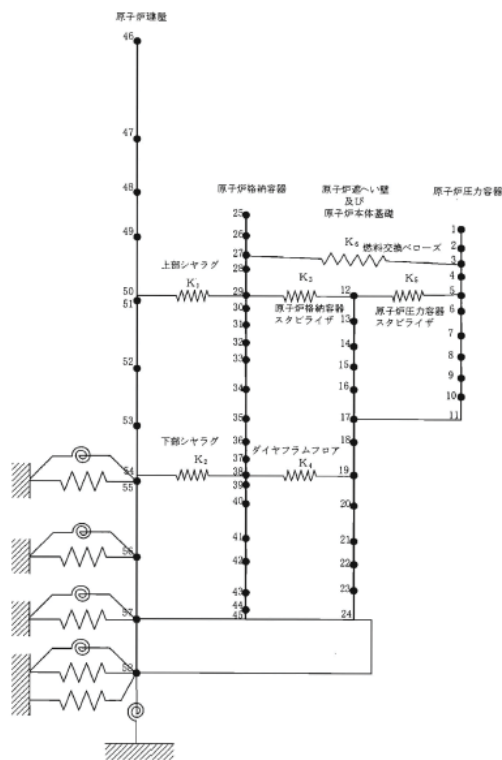
モデル化の考え方は, 大型機器解析モデルと同じである。

炉内構造物模式図を第 7.2.2.2-1 図に, 水平方向の解析モデルを第 7.2.2.2-2 図および第 7.2.2.2-3 図に, 鉛直方向の解析モデルを第 7.2.2.2-4 図に示す。

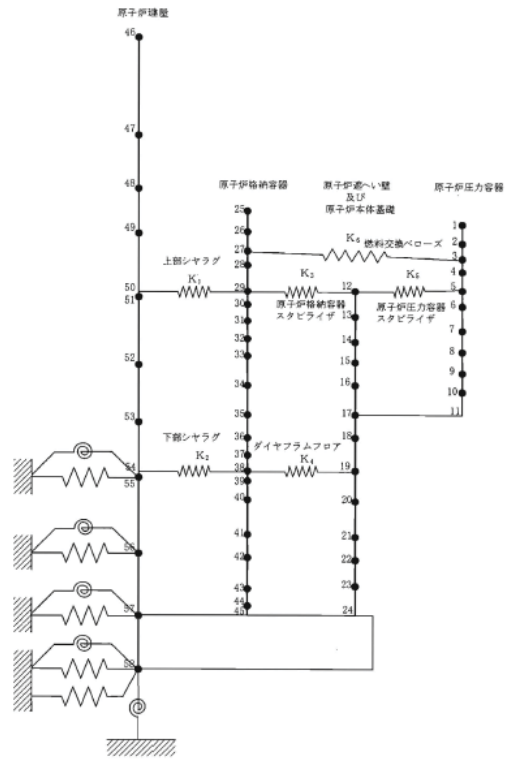




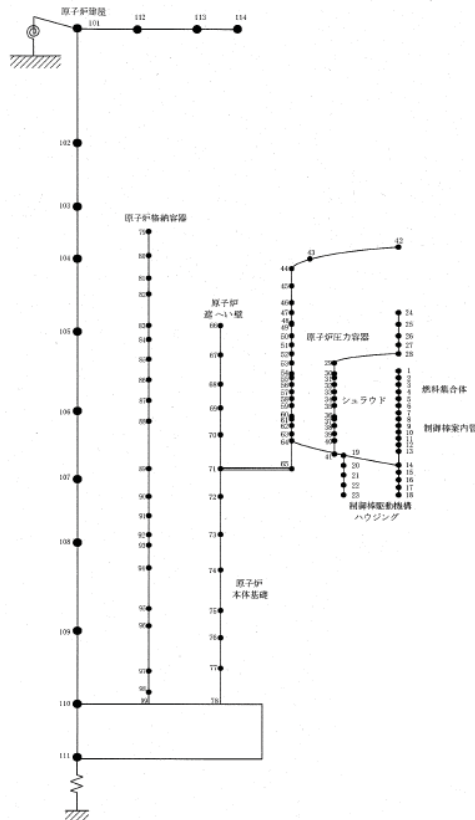
第 7.2.2.1-1 図 原子炉建屋模式図



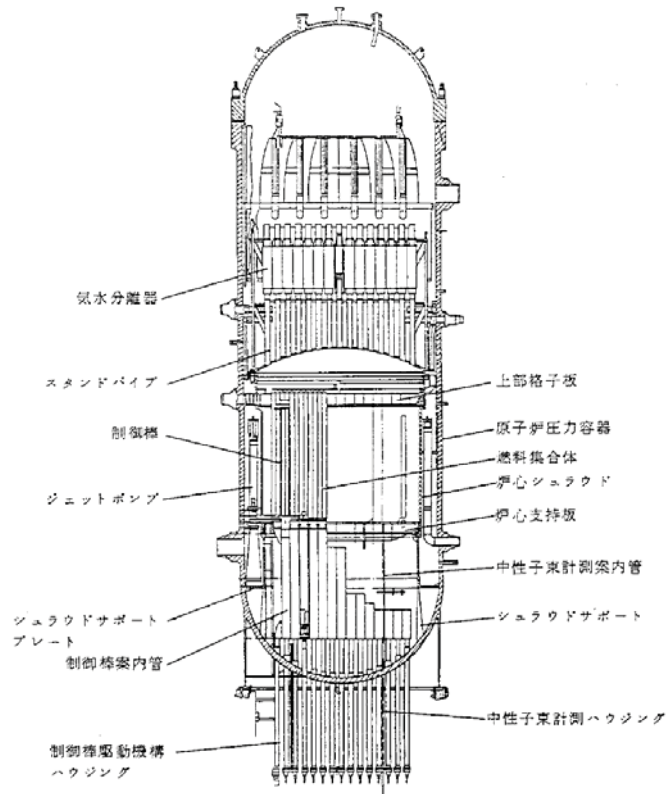
第 7.2.2.1-2 図 大型機器水平方向解析モデル (NS 方向)



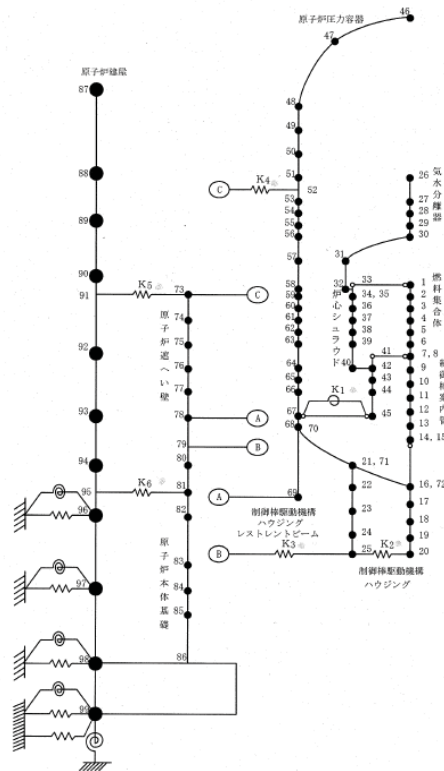
第 7.2.2.1-3 図 大型機器水平方向解析モデル (EW 方向)



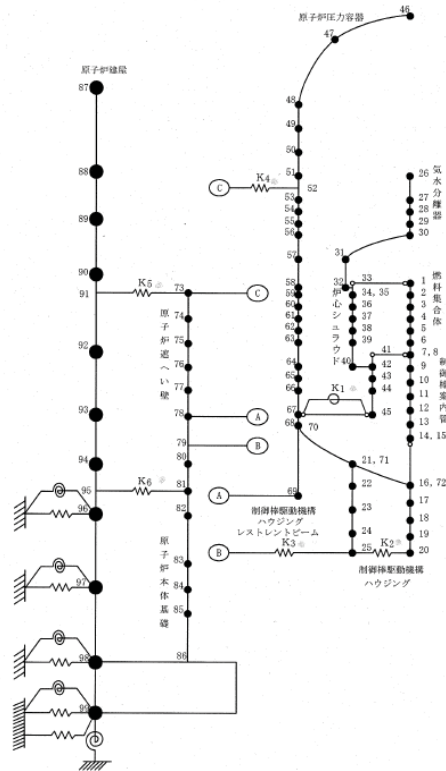
第 7.2.2.1-4 図 大型機器鉛直方向解析モデル



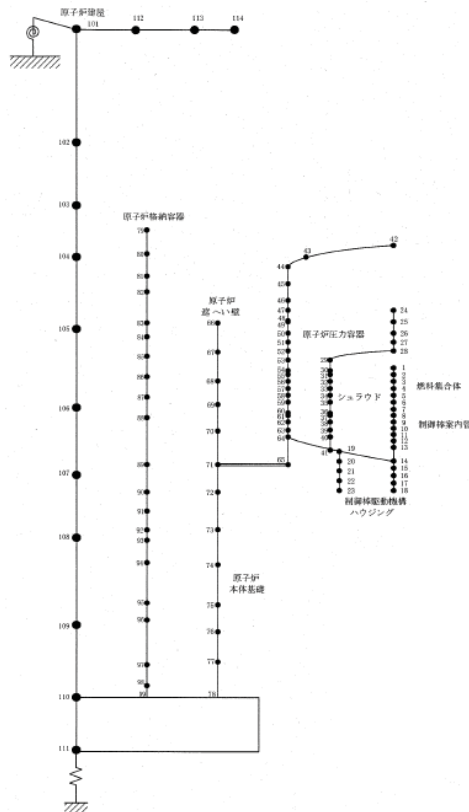
第 7.2.2.2-1 図 炉内構造物模式図



第 7.2.2.2-2 図 炉内構造物水平方向解析モデル (NS 方向)



第 7.2.2.2-3 図 炉内構造物水平方向解析モデル (EW 方向)



第 7.2.2.2-4 図 炉内構造物鉛直方向解析モデル

### 7.2.2.3 固有値解析結果

炉内構造物解析モデルによる固有値解析結果を以下に示す。

#### (1) 水平方向（NS 方向）

水平方向（NS 方向）の固有周期を第 7.2.2.3-1 表に示す。

第 7.2.2.3-1 表 固有周期（水平方向（NS 方向））

次数	固有周期（秒）	卓越部位
1	0.491	建屋地盤連成系 1 次
2	0.237	建屋地盤連成系 2 次
3	0.215	燃料集合体
4	0.146	原子炉压力容器
5	0.119	炉心シュラウド
9	0.075	制御棒案内管

#### (2) 水平方向（EW 方向）

水平方向（EW 方向）の固有周期を第 7.2.2.3-2 表に示す。

第 7.2.2.3-2 表 固有周期（水平方向（EW 方向））

次数	固有周期（秒）	卓越部位
1	0.491	建屋地盤連成系 1 次
2	0.236	建屋地盤連成系 2 次
3	0.215	燃料集合体
4	0.146	原子炉压力容器
5	0.119	炉心シュラウド
9	0.075	制御棒案内管

(3) 鉛直方向

鉛直方向の固有周期を第 7.2.2.3-3 表に示す。

第 7.2.2.3-3 表 固有周期（鉛直方向）

次数	固有周期（秒）	卓越部位
1	0.324	建屋地盤連成系 1 次
4	0.066	原子炉遮へい壁および 原子炉本体基礎
7	0.050	原子炉格納容器

#### 7.2.2.4 地震応答解析結果

大型機器解析モデルおよび炉内構造物解析モデルによる地震応答解析結果を以下に示す。

なお、評価に当たっては、基準地震動  $S_s$  による地震力を包絡させた値を用いる。

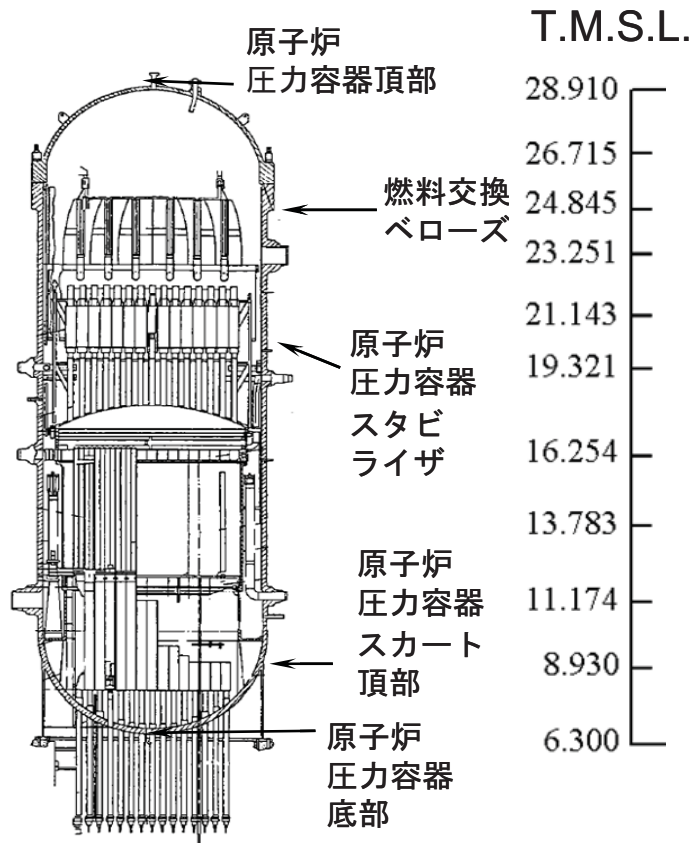
##### (1) 大型機器解析モデルによる解析結果

RPV の標高を第 7.2.2.4-1 図に、基準地震動  $S_s$  による地震応答解析結果を第 7.2.2.4-2 図～第 7.2.2.4-9 図に示す。

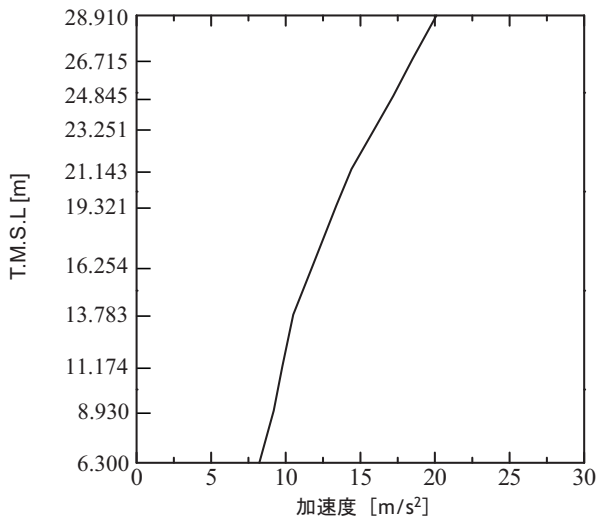
原子炉遮へい壁および原子炉本体基礎の標高を第 7.2.2.4-10 図に、基準地震動  $S_s$  による地震応答解析結果を第 7.2.2.4-11 図～第 7.2.2.4-18 図に示す。

##### (2) 炉内構造物解析モデルによる解析結果

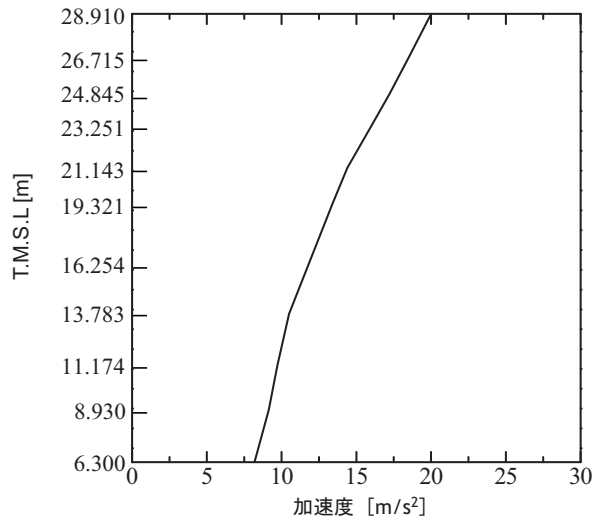
炉内構造物の標高を第 7.2.2.4-19 図に、基準値振動  $S_s$  による地震応答解析結果を第 7.2.2.4-20 図～第 7.2.2.4-27 図に示す。



第 7.2.2.4-1 図 RPV 標高

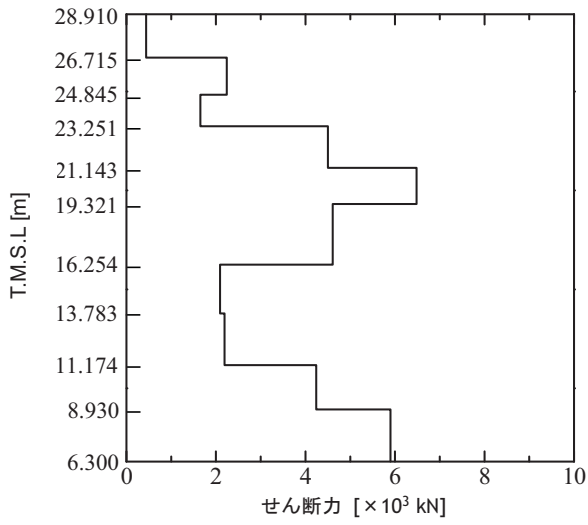


第 7.2.2.4-2 図 RPV 水平方向  
最大応答加速度 (NS 方向)

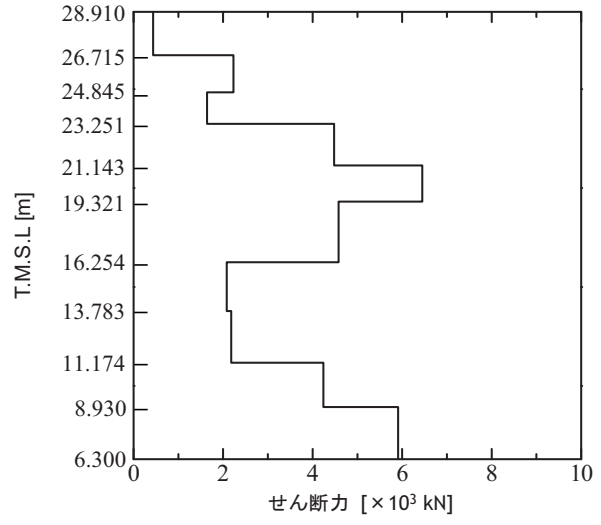


第 7.2.2.4-3 図 RPV 水平方向  
最大応答加速度 (EW 方向)

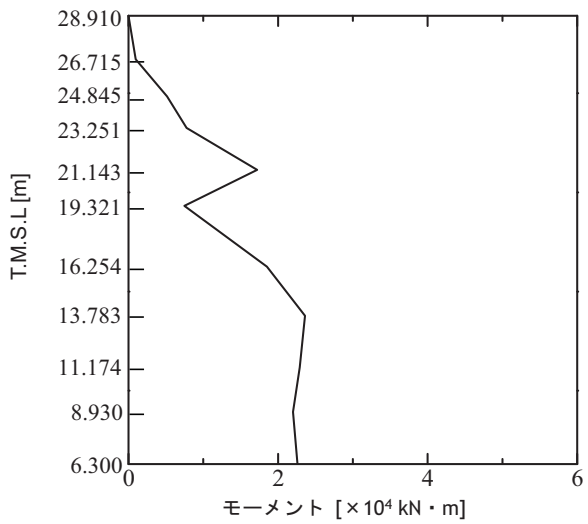




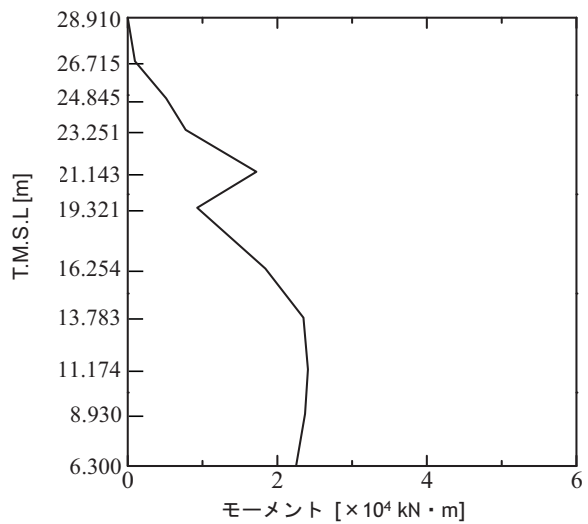
第 7.2.2.4-4 図 RPV 水平方向  
最大応答せん断力 (NS 方向)



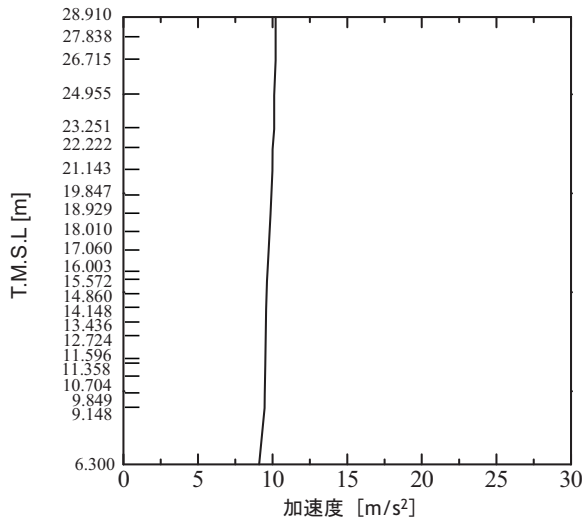
第 7.2.2.4-5 図 RPV 水平方向  
最大応答せん断力 (EW 方向)



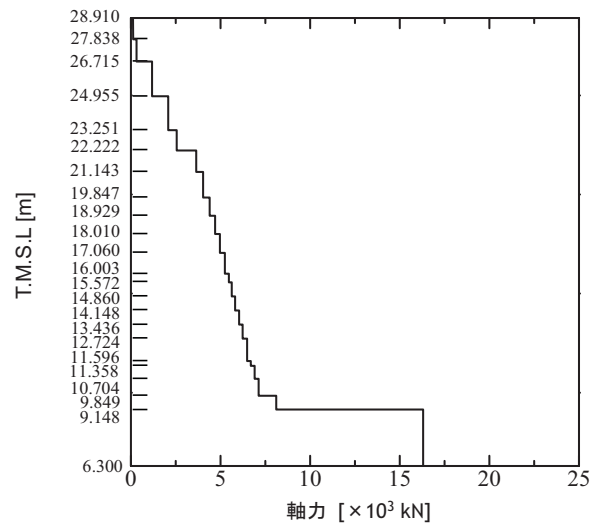
第 7.2.2.4-6 図 RPV 水平方向  
最大応答モーメント (NS 方向)



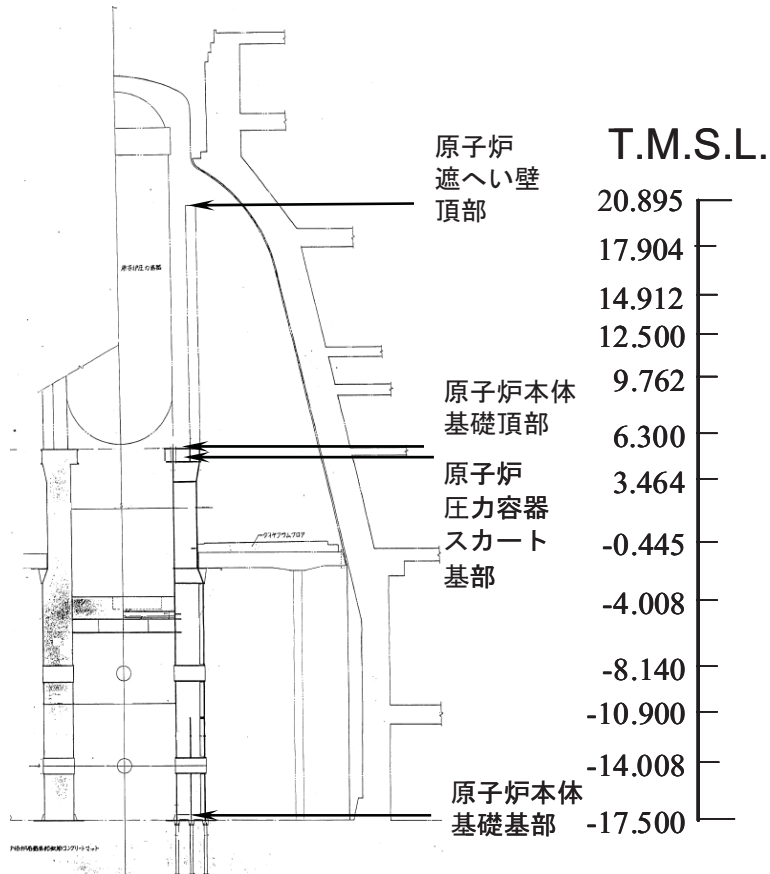
第 7.2.2.4-7 図 RPV 水平方向  
最大応答モーメント (EW 方向)



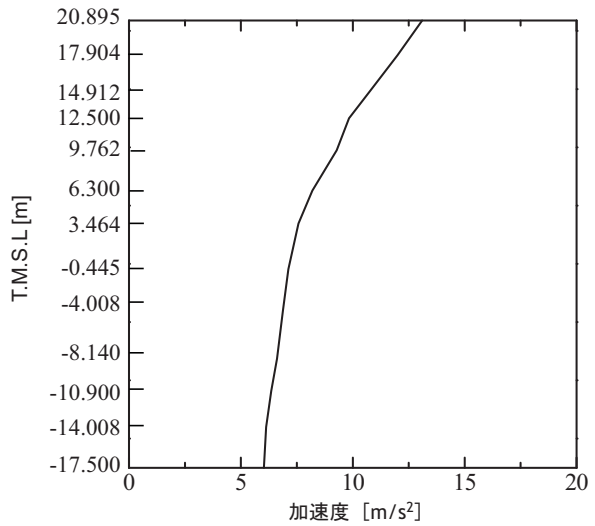
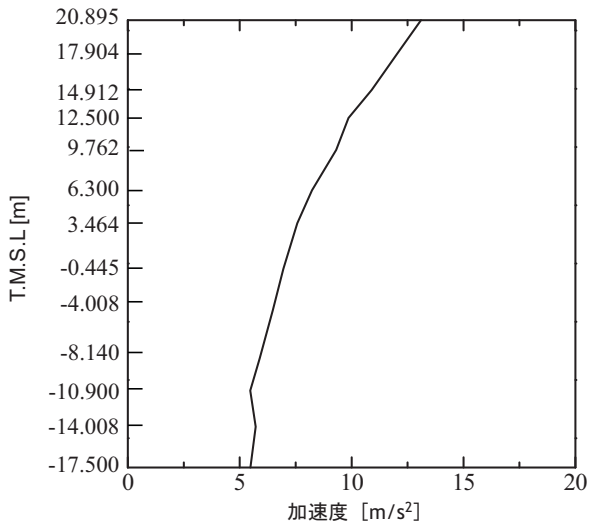
第 7.2.2.4-8 図 RPV 鉛直方向  
最大応答加速度



第 7.2.2.4-9 図 RPV 鉛直方向  
最大応答軸力

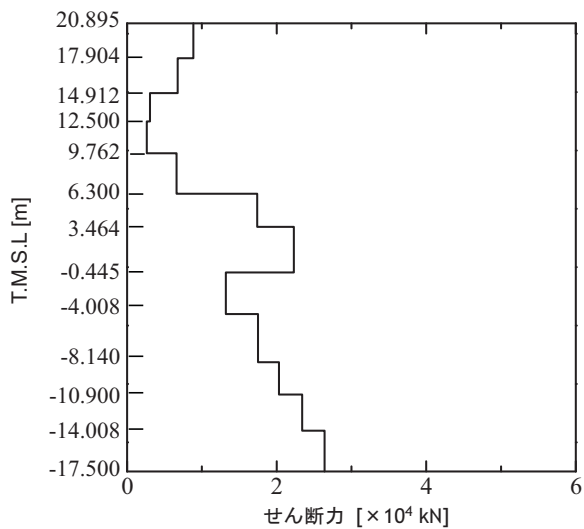


第 7.2.2.4-10 図 原子炉遮へい壁および原子炉本体基礎標高

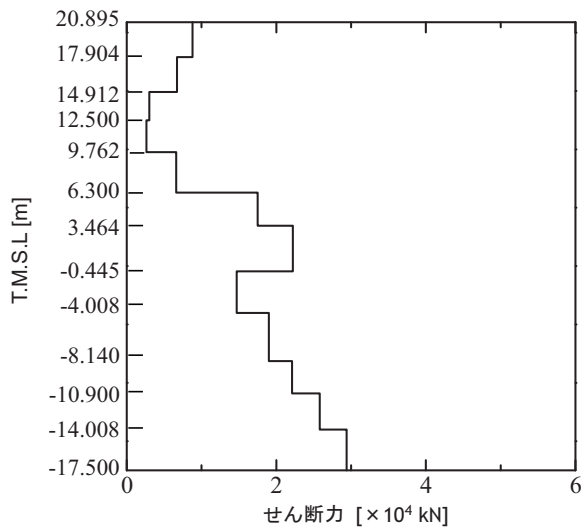


第 7.2.2.4-11 図 原子炉遮へい壁および原子炉本体基礎  
水平方向最大応答加速度 (NS 方向)

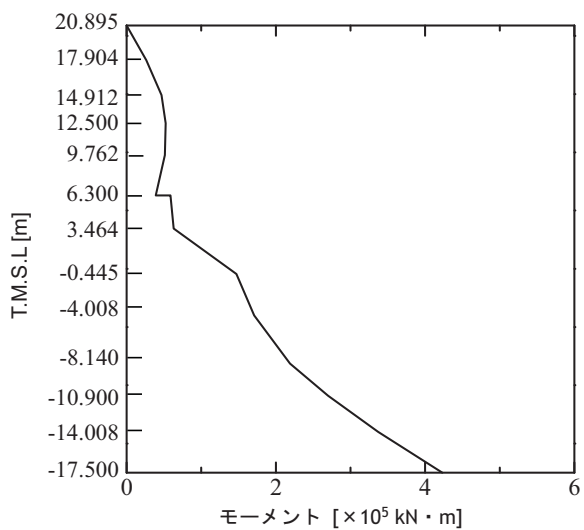
第 7.2.2.4-12 図 原子炉遮へい壁および原子炉本体基礎  
水平方向最大応答加速度 (EW 方向)



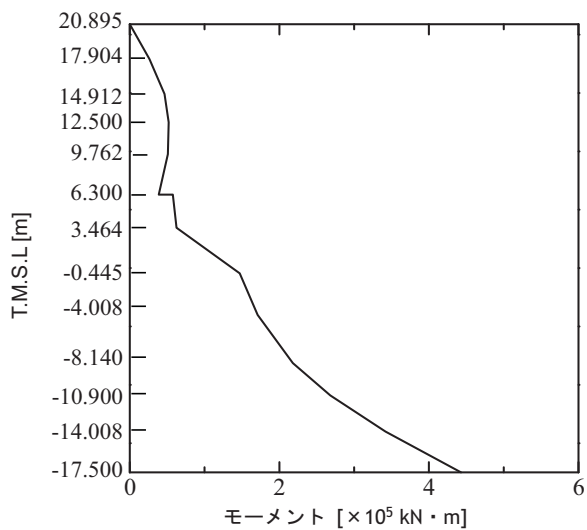
第 7.2.2.4-13 図 原子炉遮へい壁および原子炉本体基礎  
水平方向最大応答せん断力 (NS 方向)



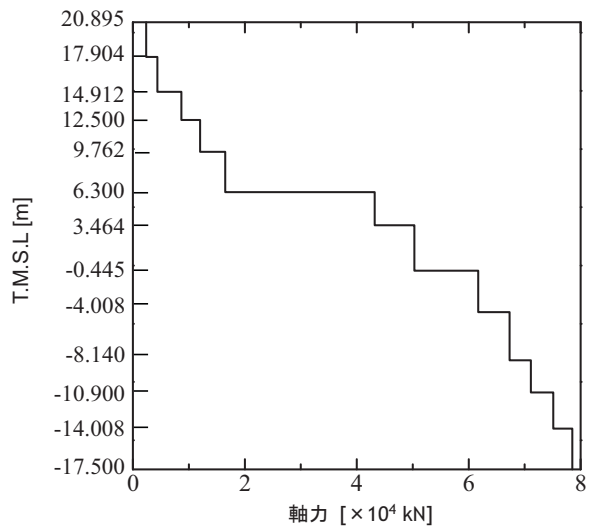
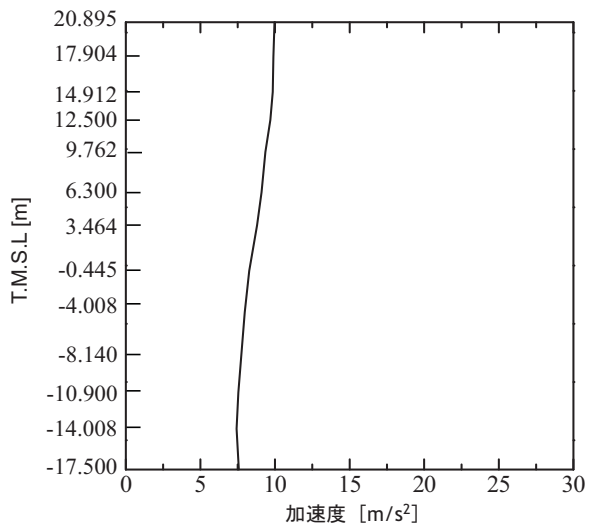
第 7.2.2.4-14 図 原子炉遮へい壁および原子炉本体基礎  
水平方向最大応答せん断力 (EW 方向)



第 7.2.2.4-15 図 原子炉遮へい壁および原子炉本体基礎  
水平方向最大応答モーメント (NS 方向)

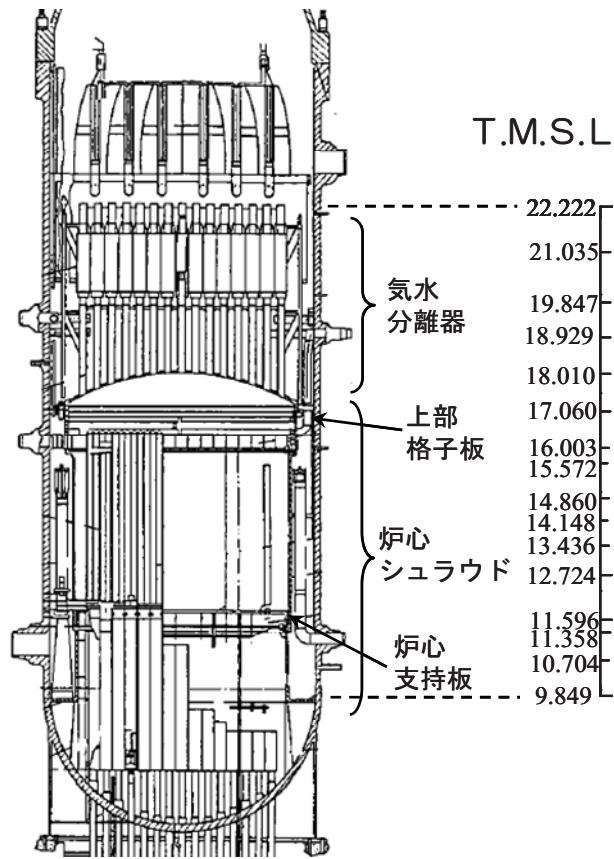


第 7.2.2.4-16 図 原子炉遮へい壁および原子炉本体基礎  
水平方向最大応答モーメント (EW 方向)

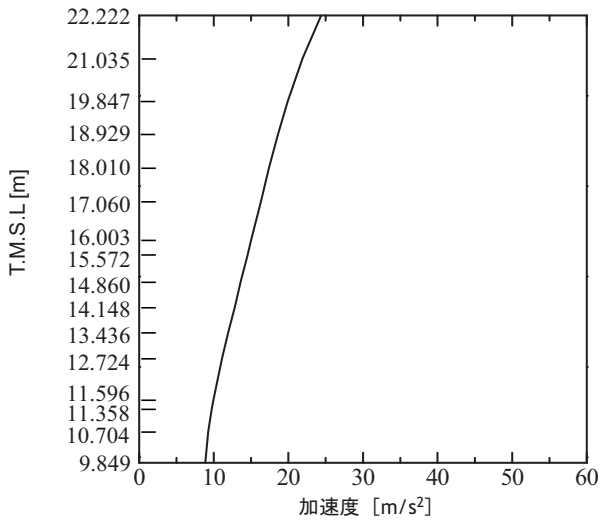


第 7.2.2.4-17 図 原子炉遮へい壁および原子炉本体基礎鉛直方向最大応答加速度

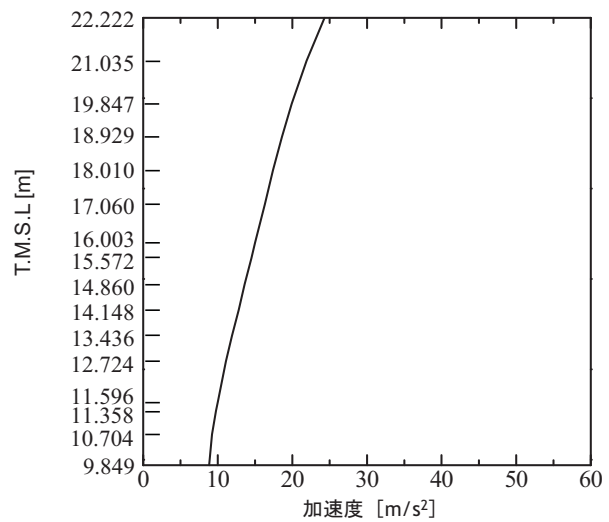
第 7.2.2.4-18 図 原子炉遮へい壁および原子炉本体基礎鉛直方向最大応答軸力



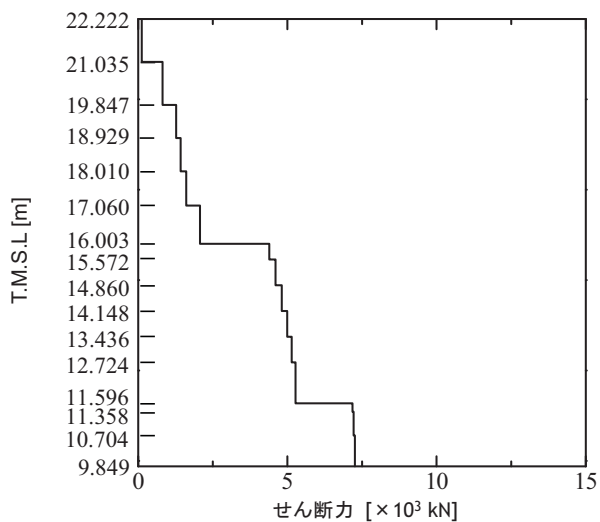
第 7.2.2.4-19 図 炉内構造物標高



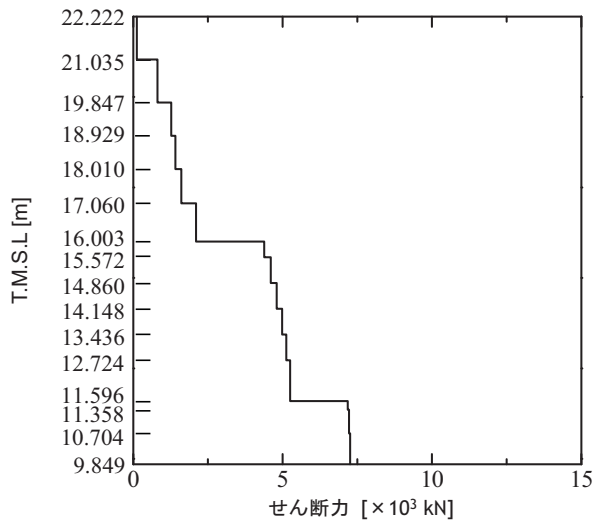
第 7.2.2.4-20 図 炉内構造物水平方向  
最大応答加速度 (NS 方向)



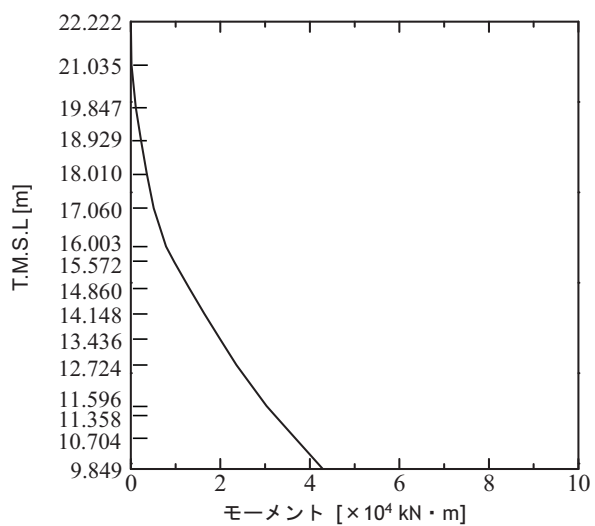
第 7.2.2.4-21 図 炉内構造物水平方向  
最大応答加速度 (EW 方向)



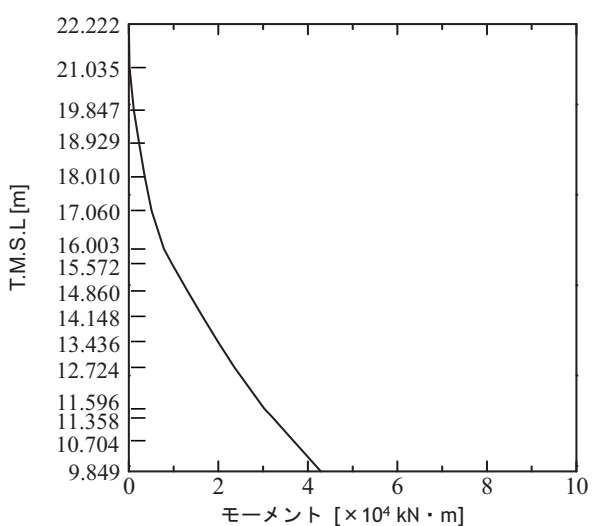
第 7.2.2.4-22 図 炉内構造物水平方向  
最大応答せん断力 (NS 方向)



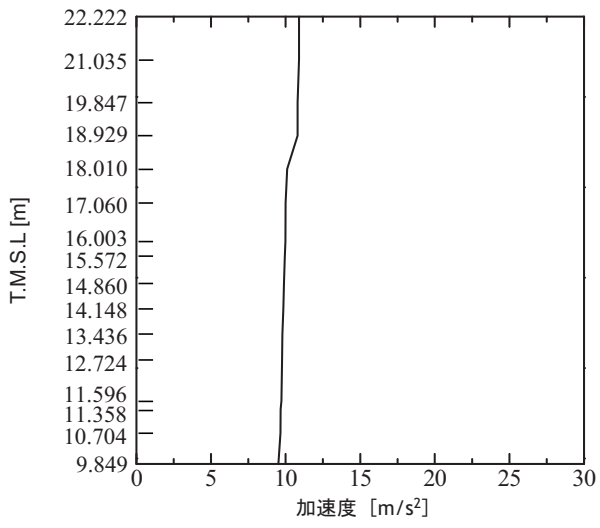
第 7.2.2.4-23 図 炉内構造物水平方向  
最大応答せん断力 (EW 方向)



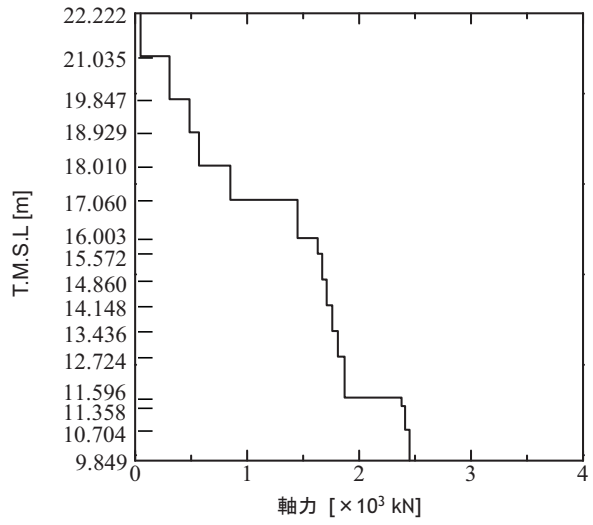
第 7.2.2.4-24 図 炉内構造物水平方向  
最大応答モーメント (NS 方向)



第 7.2.2.4-25 図 炉内構造物水平方向  
最大応答モーメント (EW 方向)



第 7.2.2.4-26 図 炉内構造物鉛直方向  
最大応答加速度



第 7.2.2.4-27 図 炉内構造物鉛直方向  
最大応答軸力



### 7.2.3 床応答スペクトル

床応答スペクトルは、建物・構築物、大型機器の地震応答解析で得られた床応答時刻歴を用いて水平方向および鉛直方向について算定する。

床応答スペクトルの算定に当たっては、地盤や建屋の物性等のばらつきが床応答に与える影響を考慮し、「原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601－1987」等を参考に周期軸方向に±10%拡幅する。<sup>(1)</sup>

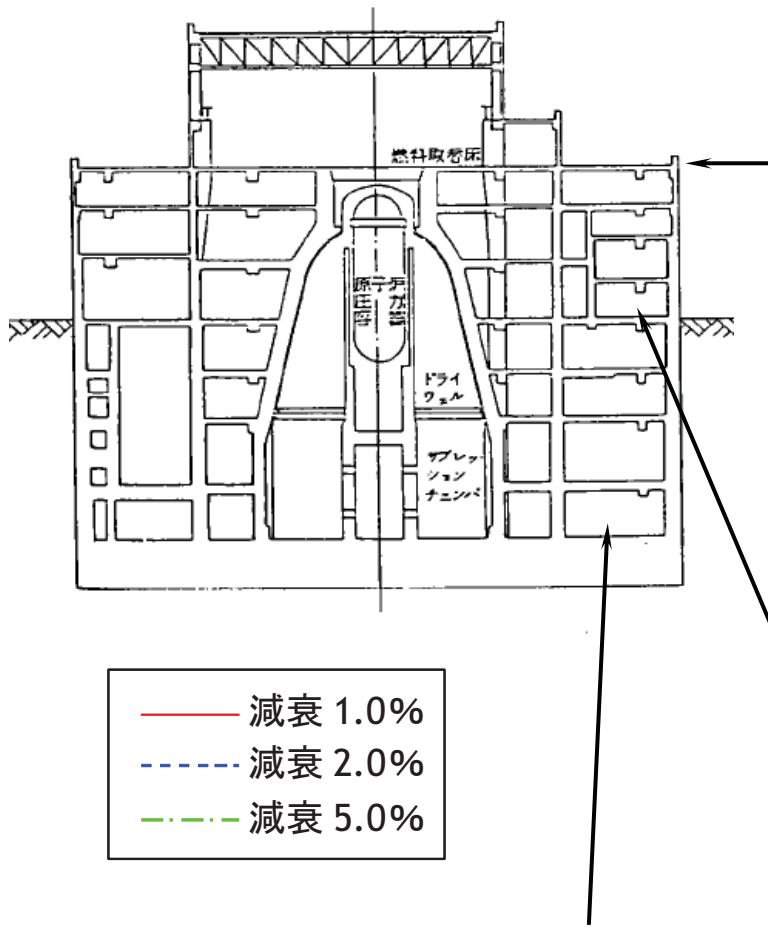
また、配管系等の評価に当たっては、基準地震動  $S_s$  による全ての床応答スペクトルを重ね合わせた包絡スペクトルにより評価を行う。

#### 7.2.3.1 水平方向

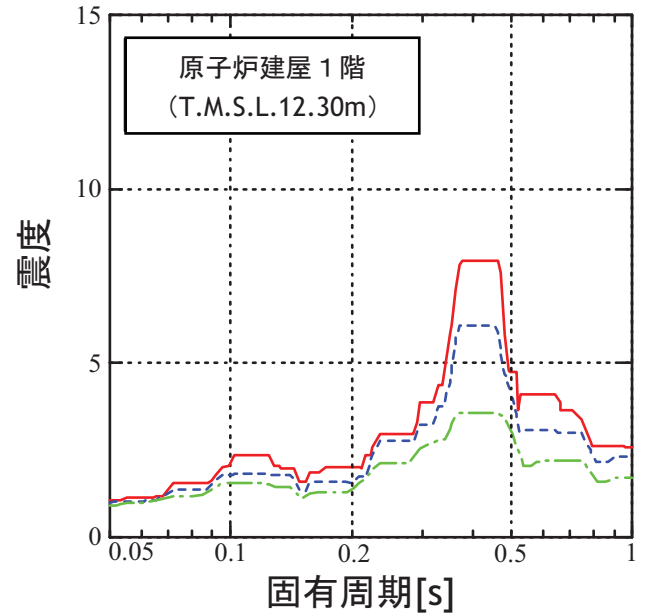
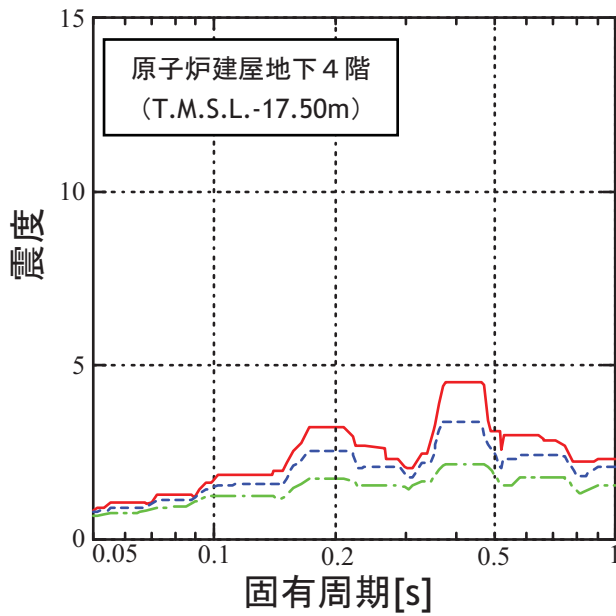
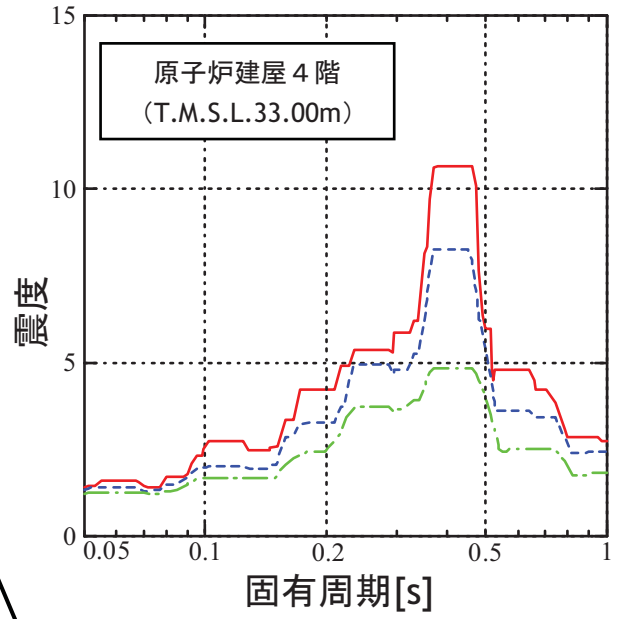
基準地震動  $S_s$  による水平方向の床応答スペクトルの例を第 7.2.3.1-1 図～第 7.2.3.1-2 図に示す。

#### 7.2.3.2 鉛直方向

基準地震動  $S_s$  による鉛直方向の床応答スペクトルの例を第 7.2.3.2-1 図～第 7.2.3.2-2 図に示す。

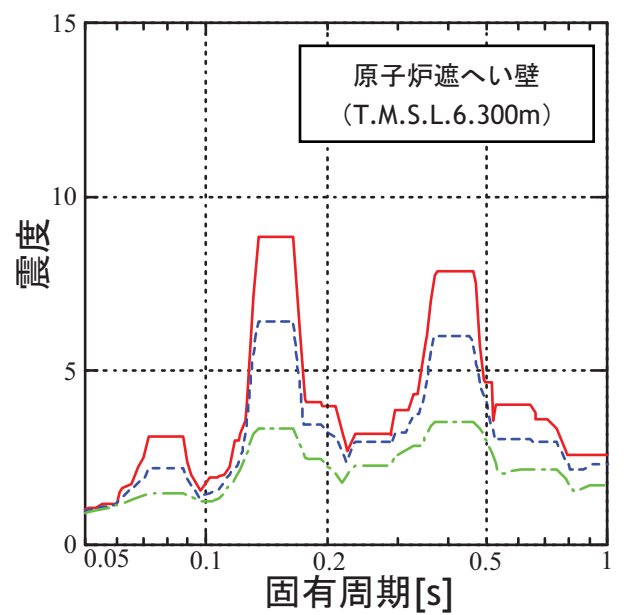
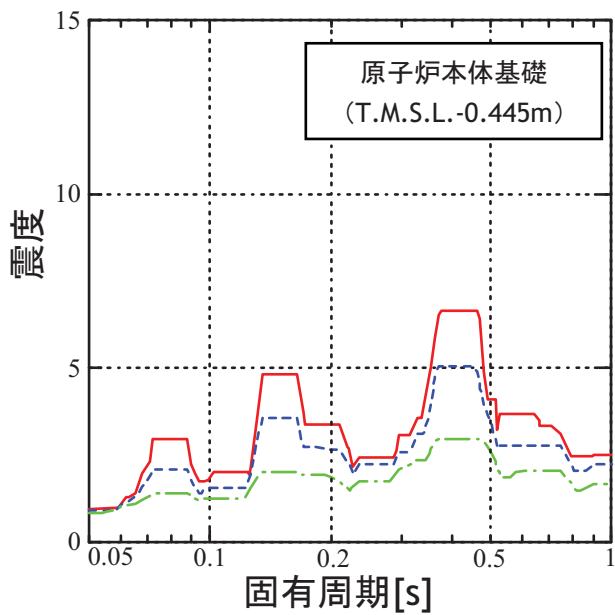
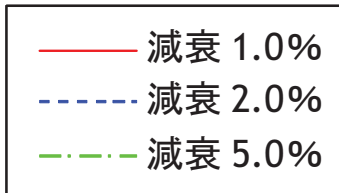
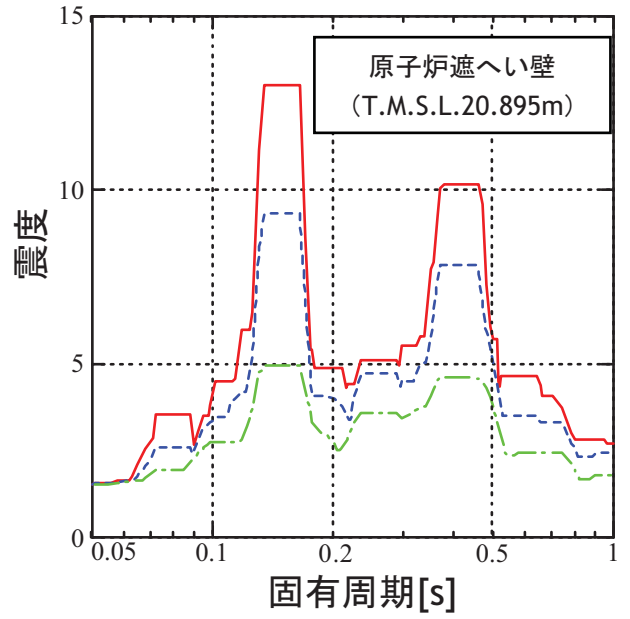
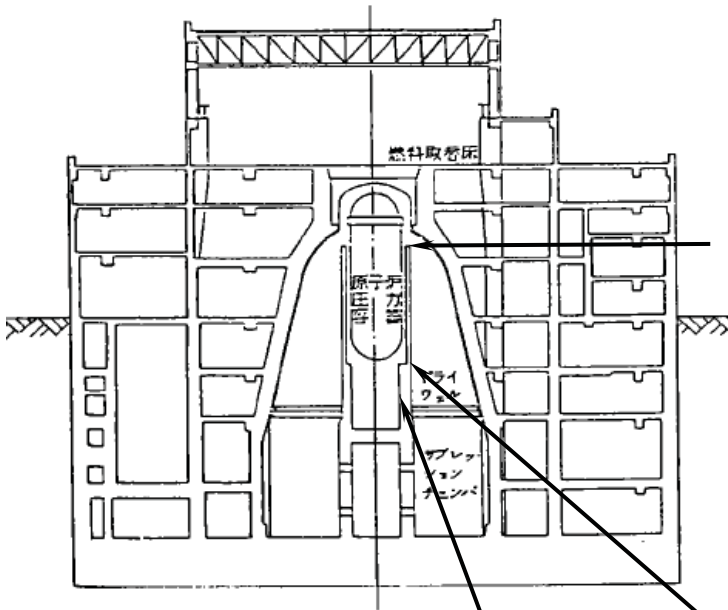


※T.M.S.L：東京湾平均海面

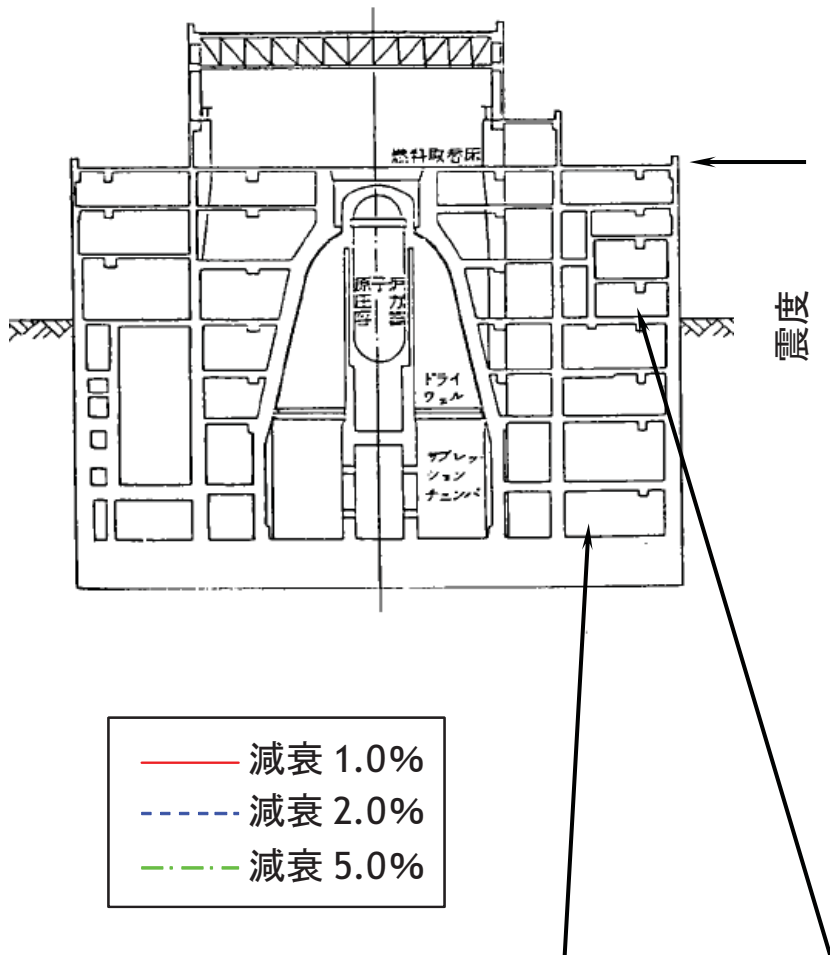


第 7.2.3.1-1 図 原子炉建屋水平方向床応答スペクトル (NS/EW 包絡)

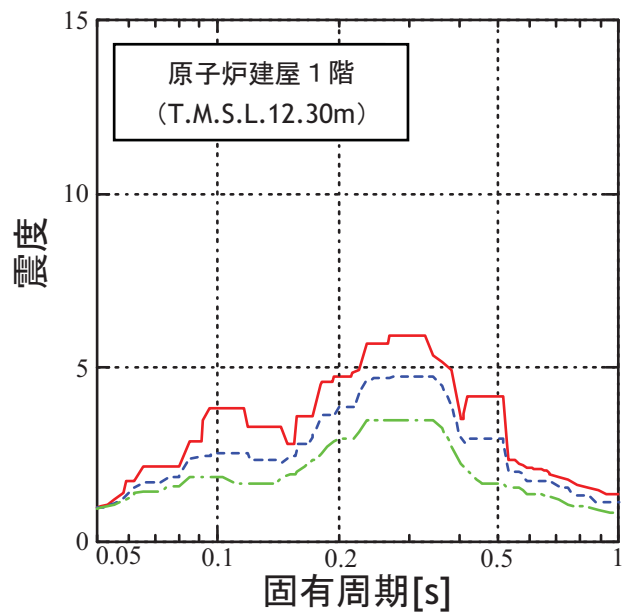
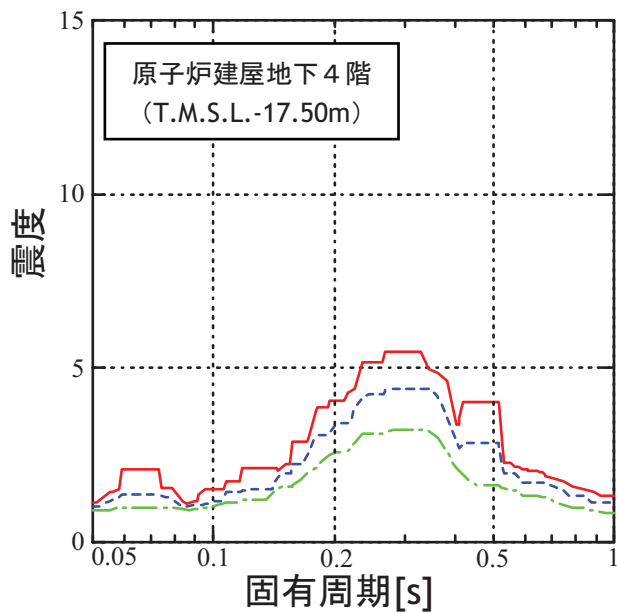
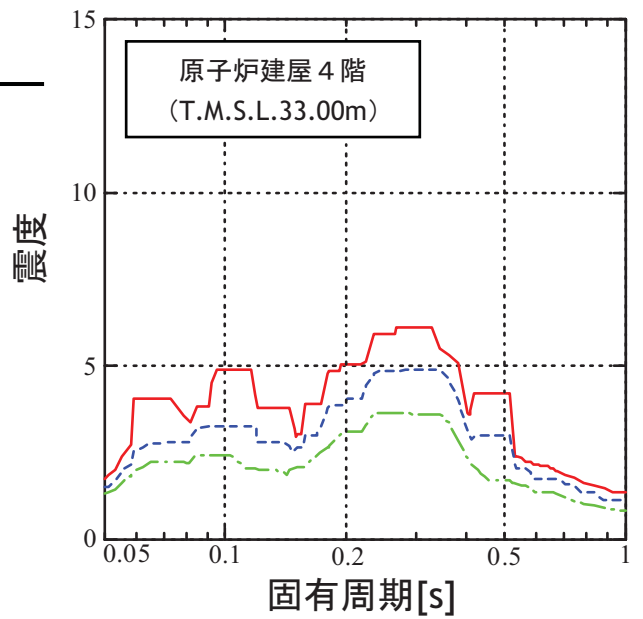
※T.M.S.L：東京湾平均海面



第 7.2.3.1-2 図 原子炉遮へい壁および原子炉本体基礎水平方向床応答スペクトル (NS/EW 包絡)

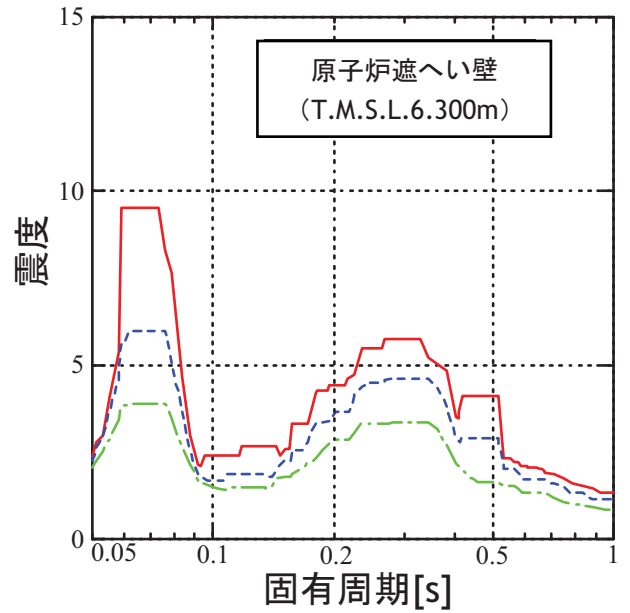
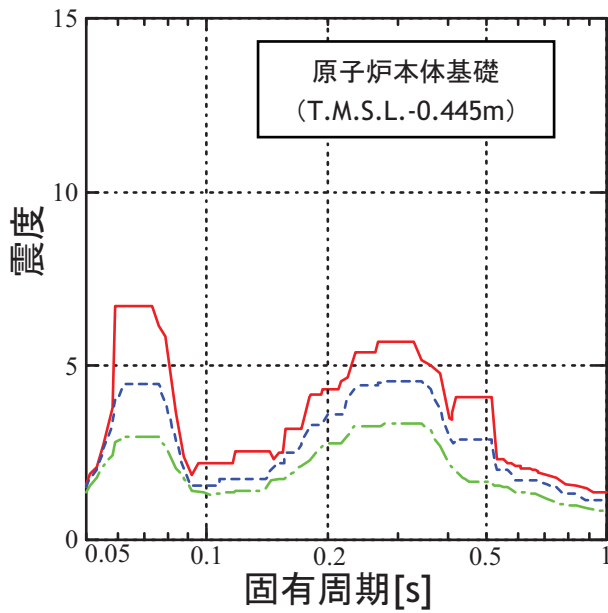
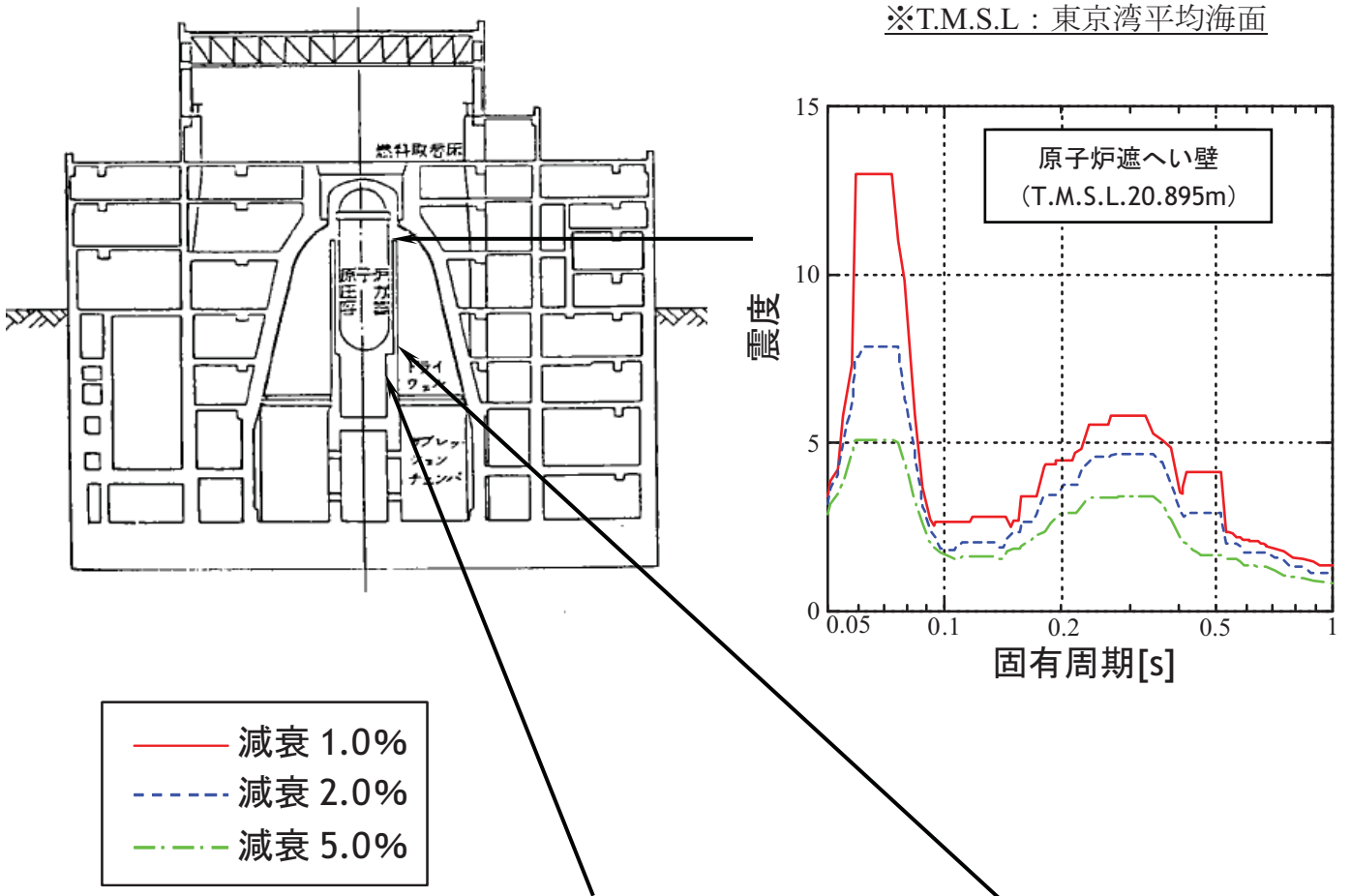


※T.M.S.L：東京湾平均海面



第 7.2.3.2-1 図 原子炉建屋鉛直方向床応答スペクトル

※T.M.S.L：東京湾平均海面



第 7.2.3.2-2 図 原子炉遮へい壁および原子炉本体基礎鉛直方向床応答スペクトル

## 7.2.4 減衰定数

機器・配管系の地震応答解析に用いる減衰定数を第 7.2.4-1 表に示す。

水平方向の減衰定数は、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601－1991 追補版」に規定された値を基本とし、配管系、使用済燃料貯蔵ラック、燃料取替機、および原子炉建屋クレーンについては、試験等で妥当性が確認された値も評価に用いる。(添付 7.1～7.3 参照)

鉛直方向の減衰定数は、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鉛直地震動に対し剛体挙動する設備は 1%とする。

第 7.2.4-1 表 機器・配管系の減衰定数

対象設備	減衰定数(%)	
	水平方向	鉛直方向
溶接構造物	1.0	1.0
ボルトおよびリベット構造物	2.0	2.0
ポンプ・ファン等の機械装置	1.0	1.0
原子炉冷却材再循環ポンプ	3.0	1.0
電気盤	4.0	1.0
燃料集合体	7.0	1.0
制御棒駆動装置	3.5	1.0
配管系	<u>0.5～3.0</u>	<u>0.5～3.0</u>
使用済燃料貯蔵ラック	<u>7.0</u>	1.0
燃料取替機	<u>2.0</u>	<u>1.5, 2.0</u>
原子炉建屋クレーン	<u>2.0</u>	<u>2.0</u>

※ 試験結果等に基づき設定した値を下線で示す。

## 7.3. 荷重の組み合わせ

### 7.3.1 運転状態と地震動との組み合わせ

通常運転時に生じる荷重および運転時の異常な過渡変化時に生じる荷重と基準地震動  $S_s$  による地震力を組み合わせて評価する。

事故時に生じる荷重と組み合わせる地震動は、事故事象の発生確率と継続時間および基準地震動  $S_s$  の年超過確率を踏まえ、両者が同時に発生する可能性が極めて小さい場合、具体的には「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1984」に基づき  $10^{-7}$ /年以下であれば、基準地震動  $S_s$  ではなく弾性設計用地震動  $S_d$  とする。(第 7.3.1-1 図参照)

柏崎刈羽原子力発電所 (5~7 号機) における基準地震動  $S_s$  の年超過確率は、第 7.3.1-2 図に示すとおり試算値において概ね  $10^{-4}$ /年から  $10^{-5}$ /年であることより、事故(「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG4601・補-1984」に基づき、発生確率は  $10^{-4}$ /年以下を想定)の同時発生を想定しても  $10^{-7}$ /年を下回るため、事故時に生じる荷重と組合せる地震動は弾性設計用地震動  $S_d$  とする。

事故時に生じる荷重条件としては、JEAG4601・補-1984 に従い、冷却材喪失事故後の最大内圧、又は、冷却材喪失事故後  $10^{-1}$ 年 (30 日 : 720 時間) 後の原子炉格納容器内圧を用いている。

弾性設計用地震動  $S_d$  は、基準地震動  $S_s$  による安全機能保持をより確実なものとする観点から、第 7.3.1-3 図に示すとおり基準地震動  $S_s$  を 0.5 倍した地震動とする。

なお、弾性設計用地震動  $S_d$  の年超過確率は、第 7.3.1-3 図に示すとおり試算値において概ね  $10^{-3}$ /年から  $10^{-4}$ /年である\*。

\* 機器・配管系の評価における入力条件は、基準地震動  $0.5 \times S_s-1 \sim 0.5 \times S_s-5$  により得られる地震力の最大値(床応答スペクトルは  $0.5 \times S_s-1 \sim 0.5 \times S_s-5$  を包絡して振幅)を用いている。

$0.5 \times S_s-5$  等では一部の周期帯で年超過確率が  $10^{-2}$ /年に近づくものの、 $0.5 \times S_s-1, 0.5 \times S_s-2$  が地震動の大きさでは上回っており、その年超過確率は概ね  $10^{-3}$ /年~ $10^{-4}$ /年である。

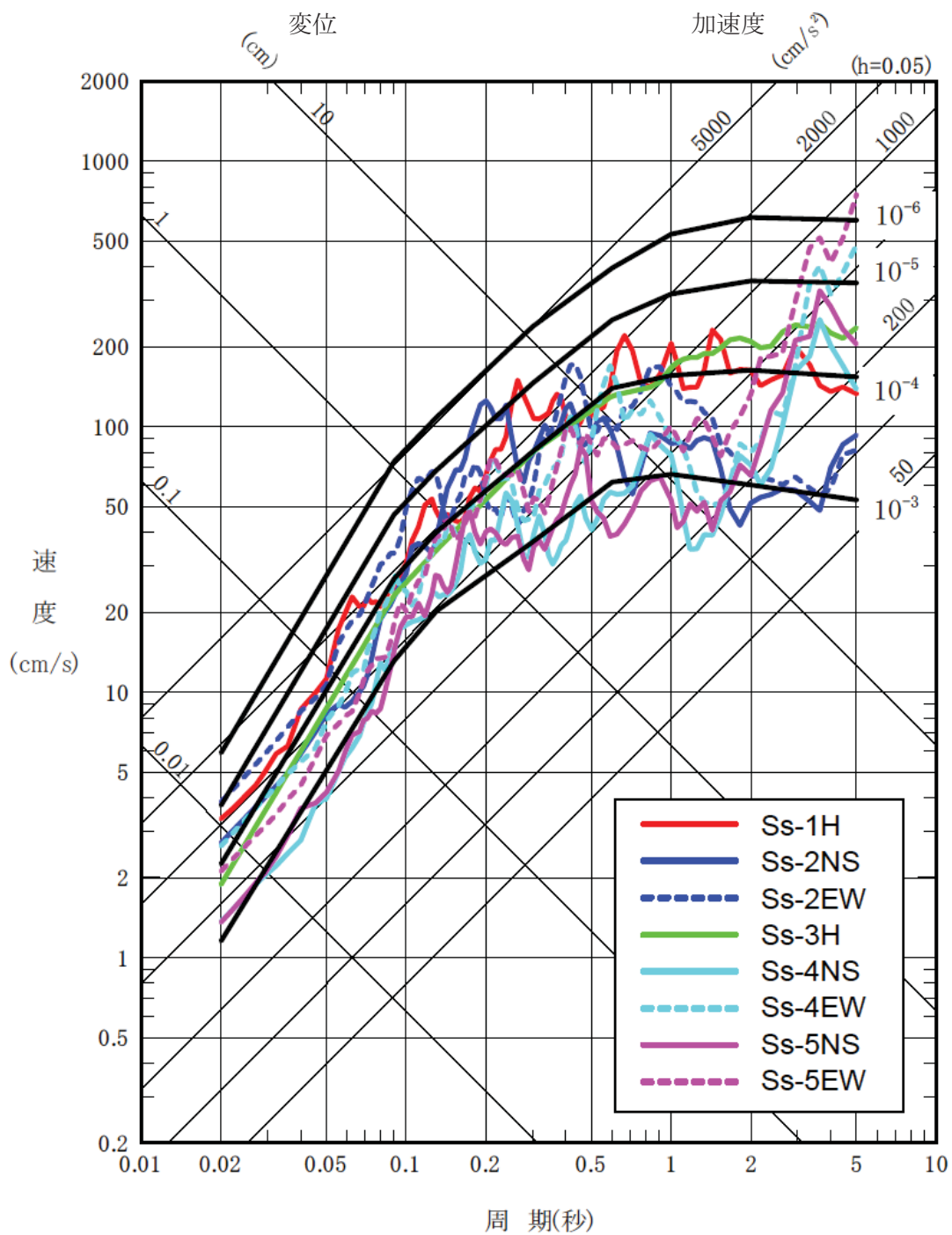
発生確率		1	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$
運転状態の発生確率 (1/年)		I	II	III	IV						
基準地震動の発生確率 (1/年)				$S_1$	$S_2$						
基準地震動 $S_1$ との 組合せ	従属事象	$S_1$ 従属									
	独立事象										
	1分以内										$S_1 + II$
	1時間以内						$S_1 + II$			$S_1 + III$	
	1日以内					$S_1 + II$		$S_1 + III$		$S_1 + IV$	
1年以内			$S_1 + II$		$S_1 + III$		$S_1 + IV$				
基準地震動 $S_2$ との 組合せ	従属事象	$S_2$ 従属									
	独立事象										
	1分以内	( $S_2 + II$ は $10^{-9}$ 以下となる)									
	1時間以内									$S_2 + II$	$S_2 + III$
	1日以内						$S_2 + II$			$S_2 + III$	
1年以内			$S_2 + II$		$S_2 + III$		$S_2 + IV$				

- 注：(1) 発生確率から見て  
 ← 組合せが必要なもの。  
 ←···· 発生確率が $10^{-7}$ 以下となり組合せが不要となるもの。
- (2) 基準地震動 $S_2$ の発生確率は $10^{-4} \sim 10^{-5}$ /サイト・年と推定されるが、ここでは $5 \times 10^{-4} \sim 10^{-5}$ /サイト・年を用いた。
- (3) 表に示す発生確率は現在の知見によるものである。

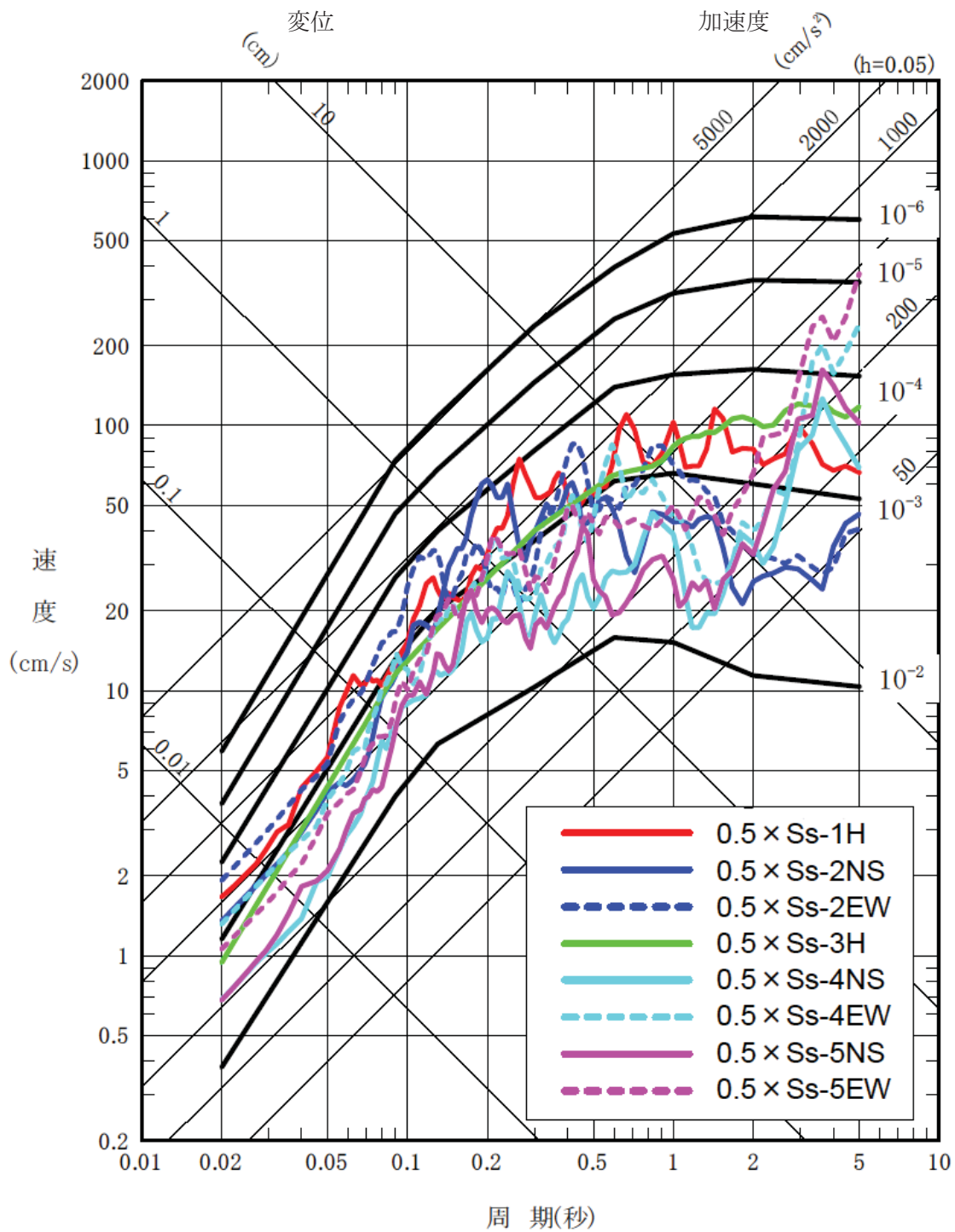
※ 図中の基準地震動 $S_1$ および基準地震動 $S_2$ は、それぞれ弾性設計用地震動 $S_d$ および基準地震動 $S_s$ と読み替える。

第 7.3.1-1 図 運転状態と地震動との組合せの確率的評価  
 (原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601・補-1984 P.38 より引用)





第 7.3.1-2 図 基準地震動 Ss の年超過確率 (5~7 号機)



第 7.3.1-3 図 弾性設計用地震動 Sd の年超過確率 (5~7 号機)

## 7.4. 評価基準

### 7.4.1 構造強度の評価基準

構造強度評価の評価基準値は、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601・補-1984, JEAG4601-1987, JEAG4601-1991 追補版」および「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2005」（以下「設計・建設規格」という。）に準拠するとともに、ほかの規格基準で規定されている値および実験等で妥当性が確認されている値等も用いる。

機器・配管系の評価基準値は、材料の過度な変形や破損に対して裕度をもった値に設定されている。機器・配管系の評価基準値を添付 7.4 に示す。

## 7.4.2 動的機能維持の評価基準

機能確認済加速度は、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版」に準拠するとともに、試験等で妥当性が確認された値も用いる。(添付 7.5)

機能確認済加速度を第 7.4.2-1 表に示す。

詳細評価における構造強度評価の評価基準値は、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版」等による。また、部位ごとの動的機能維持の評価基準値は、個別に試験等で妥当性が確認されている値を用いる。

第 7.4.2-1 表 機能確認済加速度 (1/3)

種別	機種	加速度 確認部位	機能確認済加速度	
			水平方向 (G※1)	鉛直方向 (G※1)
立形ポンプ	ピットバレル形ポンプ	コラム 先端部	10.0	※2
	立形斜流ポンプ			
	立形単段床置形ポンプ	ケーシング 下端部		
横形ポンプ	横形単段遠心式ポンプ	軸位置	3.2 (軸直角方向)	※2
	横形多段遠心式ポンプ		1.4 (軸方向)	
ポンプ駆動用 タービン	R C I Cタービン	重心位置	2.4	※2
電動機	横形ころがり軸受電動機	軸受部	4.7	※2
	横形すべり軸受電動機		2.6	
	立形ころがり軸受電動機		2.5	
	立形すべり軸受電動機			

※1  $G=9.80665(m/s^2)$

※2 内部部品の浮き上がりを考慮する必要のない鉛直方向加速度 1.0G とする。

第 7.4.2-1 表 機能確認済加速度 (2/3)

種別	機種	加速度 確認部位	機能確認済加速度	
			水平方向 (G <sup>※1</sup> )	鉛直方向 (G <sup>※1</sup> )
ファン	遠心直結型ファン	軸受部および メカニカルシールケーシング <sup>※</sup>	2.3	※2
	遠心直動型ファン	軸受部	2.6	
	軸流式ファン		2.4	
非常用 ディーゼル 発電機	高速形・中速形 ディーゼル機関	機関 重心位置	1.1	※2
		ガバナ 取付位置	1.8	
往復動式 ポンプ	横形 3 連往復動式ポンプ	重心位置	1.6	※2
弁 (一般弁およ び特殊弁)	一般弁 (グローブ弁, ゲート弁, バタフライ弁, 逆止弁)	駆動部	6.0	6.0
	主蒸気隔離弁 <sup>※3</sup>		10.0	6.2
	主蒸気逃がし安全弁		9.6	6.1
	制御棒駆動系スクラム弁		6.0	6.0

※1  $G=9.80665(m/s^2)$

※2 内部部品の浮き上がりを考慮する必要のない鉛直方向加速度 1.0G とする。

※3 主蒸気隔離弁については BWR5 と ABWR で口径やストロークの違いはあるものの、基本的な構造は同じである。動的機能維持の観点からは、閉鎖時間についてストロークの長いほうが条件が厳しいため、BWR5 よりもストロークが長い ABWR の主蒸気隔離弁を模擬した測定試験により機能維持を確認している。そのため BWR5 と ABWR では同じ機能確認済加速度を用いている。

第 7.4.2-1 表 機能確認済加速度 (3/3)

種別	機能確認済相対変位 (mm)
制御棒挿入性	40.0 <sup>※1</sup>

※1 確認済相対変位とは、加振時の挿入性試験により、規定時間内に制御棒が挿入されたことが確認された値である。

## 7.5. 評価結果

### 7.5.1 構造強度の評価結果

選定した重要な評価箇所に対する構造強度の評価結果を第 7.5.1-1 表に示す。

機器・配管系の計算値は、いずれも評価基準値以下であることを確認した。

なお、耐震強化工事を実施した設備については、工事終了後の状況を反映して評価を実施した。

第 7.5.1-1 表 構造強度評価結果 (1/10)

評価対象設備		評価部位	応力分類	計算値	評価基準値	評価方法 ※1	備考	
				MPa	MPa			
原子炉本体	原子炉圧力容器	RPV 円筒胴	胴板	一次一般膜応力	171	320	B2	
		制御棒駆動機構ハウジング貫通孔	スタブチューブ	一次膜+一次曲げ応力	185	460	B2	
		下部鏡板	下部鏡板	一次膜+一次曲げ応力	236	418	B2	
		再循環水出口ノズル (N1)	ノズルエンド	一次膜+一次曲げ応力	127	428	B2	
		主蒸気ノズル (N3)	ノズルセーフエンド	一次一般膜応力	88	292	B2	
		給水ノズル (N4)	ノズルセーフエンド	一次膜+一次曲げ応力	118	390	B2	
		低圧炉心スプレイノズル (N5)	ノズルセーフエンド	一次膜+一次曲げ応力	225	390	B2	
		ブラケット類	蒸気乾燥器支持ブラケット	一次膜+一次曲げ応力	289	427	B2	
	原子炉圧力容器支持構造物	支持スカート	支持スカート	軸圧縮応力	0.16	1	B2	座屈に対する評価式により、計算値は評価基準値に対する比率で示す。
		原子炉圧力容器基礎ボルト	基礎ボルト	引張応力	89	499	B2	
	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	ブラケット	曲げ応力	184	207	B2	
		原子炉格納容器スタビライザ	パイプ	圧縮応力	196	314	B2	※2
		制御棒駆動機構ハウジング支持金具	レストレイントビーム (一般部)	曲げ応力	86	273	B2	

第 7.5.1-1 表 構造強度評価結果 (2/10)

評価対象設備		評価部位	応力分類	計算値	評価基準値	評価方法 ※1	備考	
				MPa	MPa			
原子炉本体	炉内構造物	蒸気乾燥器	耐震用ブロック	平均せん断応力	56	68	B2	
		シュラウドヘッド	シュラウドヘッド	一次一般膜+一次曲げ応力	187	222	B2	
		気水分離器	スタンドパイプ	一次一般膜+一次曲げ応力	78	137	B2	
		給水スパージャ	ティ	一次一般膜応力	12	148	B1	
		高圧/低圧炉心スプレイスパージャ	ヘッド	一次一般膜+一次曲げ応力	43	222	B1	
		高圧/低圧炉心スプレイ系配管(原子炉圧力容器内部)	低圧炉心スプレイ系配管	一次一般膜応力	23	102	B1	
		残留熱除去系配管(原子炉圧力容器内部)	リング	一次一般膜応力	12	228	B1	
		ジェットポンプ	ライザブレース	一次一般膜+一次曲げ応力	116	277	B2	
		中性子束計測案内管	中性子束計測案内管	一次一般膜+一次曲げ応力	146	222	B1	
		差圧検出/ほう酸水注入系配管(原子炉圧力容器内部)	ほう酸水注入管	一次一般膜+一次曲げ応力	80	154	B1	
	炉心支持構造物	炉心シュラウド	中間胴	一次一般膜応力	50	148	B2	
		シュラウドサポート	レグ	軸圧縮応力	115	247	B2	
		上部格子板	グリッドプレート	一次一般膜+一次曲げ応力	119	343	B1	
		炉心支持板	支持板	一次一般膜+一次曲げ応力	156	343	B1	
		制御棒案内管	ボディ	一次一般膜応力	34	228	B1	
		燃料支持金具	周辺燃料支持金具	一次一般膜応力	9	91	B2	



第 7.5.1-1 表 構造強度評価結果 (3/10)

評価対象設備		評価部位	応力分類	計算値	評価基準値	評価方法 ※1	備考	
				MPa	MPa			
原子炉本体	原子炉本体の基礎	円筒部	円筒部	組合せ応力	178	315	B2	
		アンカボルト	アンカボルト	引抜力	3084	5451	B2	単位 : kN/6.7°
計測制御系統設備	駆動系	水圧制御ユニット	フレーム	組合せ応力	142	246	B2	
	ほう酸水注入系	ほう酸水注入系ポンプ	基礎ボルト	せん断応力	30	159	A2	
		ほう酸水注入系貯蔵タンク	基礎ボルト	せん断応力	34	159	B2	
	核計測装置	中性子源領域計測装置/ 中間領域計測装置 ドライチューブ	パイプ	一次一般膜+一次曲げ応力	219	343	B2	
		局部出力領域モニタ 検出器集合体	LPRM 検出器集合体 カバートューブ	一次一般膜+一次曲げ応力	181	227	B2	
	盤	ベンチ形制御盤	取付ボルト	せん断応力	4	159	A2	
		直立形制御盤	取付ボルト	引張応力	11	207	A2	
		原子炉系 IA 計装ラック	取付ボルト	せん断応力	4	159	A2	

第 7.5.1-1 表 構造強度評価結果 (4/10)

評価対象設備		評価部位	応力分類	計算値	評価基準値	評価方法 ※1	備考	
				MPa	MPa			
原子炉冷却系統設備	主蒸気系	主蒸気逃がし安全弁 逃がし弁機能用 アキュムレータ	胴板	一次 一般膜 応力	83	296	A2	
		主蒸気逃がし安全弁 自動減圧機能用 アキュムレータ	胴板	一次 一般膜 応力	108	296	A2	
	残留熱除去系	残留熱除去系 熱交換器	胴板	一次膜＋ 一次曲げ 応力	108	380	B2	
		残留熱除去系 ポンプ	基礎 ボルト	せん断 応力	16	342	A2	
		残留熱除去系 ストレーナ	フランジ	曲げ 応力	172	468	A2	
	原子炉隔離時 冷却系	原子炉隔離時冷却系 ポンプ	基礎 ボルト	せん断 応力	45	350	A2	
		原子炉隔離時冷却系 蒸気駆動タービン	タービン 取付ボルト	引張 応力	55	444	A2	
	スプレイ系 高圧炉心	高圧炉心スプレイ系 ポンプ	基礎 ボルト	せん断 応力	20	342	A2	
		高圧炉心スプレイ系 ストレーナ	フランジ	曲げ 応力	129	468	B2	
	スプレイ系 低圧炉心	低圧炉心スプレイ系 ポンプ	基礎 ボルト	せん断 応力	26	342	A2	
	冷却水系 原子炉補機	原子炉補機冷却水系 熱交換器	耐震強化 サポ-ト アンカ-ボルト	せん断 応力	91	159	B2	※2
		原子炉補機冷却水 ポンプ	ポンプ 取付ボルト	せん断 応力	37	347	A2	
	冷却海水系 原子炉補機	原子炉補機冷却海水 ポンプ	原動機 取付ボルト	引張 応力	34	153	B2	
		原子炉補機冷却海水系 ストレーナ	基礎 ボルト	せん断 応力	8	366	A2	

第 7.5.1-1 表 構造強度評価結果 (5/10)

評価対象設備		評価部位	応力分類	計算値	評価基準値	評価方法 ※1	備考	
				MPa	MPa			
原子炉格納施設	原子炉格納容器	格納容器胴	円筒部	一次局部膜＋一次曲げ応力	115	549	B1	
		サブプレッションチェンバ	サブプレッションチェンバ基部	座屈	0.38	1	B2	座屈に対する評価式により，計算値は評価基準値に対する比率で示す。
		上部シヤラグ	ベースプレート	曲げ応力	212	354	B2	
		下部シヤラグ	ベースプレート	曲げ応力	165	366	B2	
		原子炉格納容器配管貫通部	貫通部スリーブ	一次局部膜＋一次曲げ応力	106	331	B1	
		原子炉格納容器電気配線貫通部	X-104A	一次局部膜＋一次曲げ応力	42	383	B2	
		ダイヤフラムフロア	シヤコネクタ(原子炉本体基礎側)	せん断力	78	114	B2	単位：kN/本
		サブプレッションチェンバスプレイ管	ティー部	一次応力	122	342	B2	
		ベント管	ベント管と上部プレッシングの結合部	一次応力	82	360	B1	
	可燃性ガス濃度制御系	再結合装置	基礎ボルト	せん断応力	122	350	A2	
再結合装置ブロワ		ベース取付溶接部	せん断応力	22	70	B2		

第 7.5.1-1 表 構造強度評価結果 (6/10)

評価対象設備		評価部位	応力分類	計算値	評価基準値	評価方法 ※1	備考		
				MPa	MPa				
放射線管理設備	生体遮へい装置	原子炉遮へい壁	開口集中部	組合せ応力	106	235	B2		
	非常用ガス処理系	非常用ガス処理系排風機	排風機取付ボルト	引張応力	52	187	B2		
		非常用ガス処理系前置ガス処理装置	据付ボルト	せん断応力	211	341	B2		
		非常用ガス処理系後置ガス処理装置	据付ボルト	せん断応力	159	341	B2		
	放射線管理用計測装置	燃料取替エリア排気放射線モニタ	検出器取付ボルト	せん断応力	4	161	A2		
	中央制御室換気空調系	MCR 送風機	ケーシング取付ボルト	引張応力	60	206	A2		
		MCR 排風機	ケーシング取付ボルト	引張応力	19	206	A2		
		MCR 再循環送風機	ケーシング取付ボルト	引張応力	68	206	A2		
		MCR 再循環フィルタ装置	基礎ボルト	せん断応力	60	159	A2		
	燃料設備	燃料取扱装置	燃料取替機	ブリッジ	組合せ応力	158	275	B2	※2
			原子炉建屋クレーン	トロリ	浮き上がり量	103	350	B2	弾性設計用地震動 Sd による浮き上がり量評価 単位：mm ※2
		使用済燃料貯蔵設備	使用済燃料貯蔵ラック	据付用ベース基礎ボルト	引張応力	138	184	B2	
			制御棒・破損燃料貯蔵ラック	底部基礎ボルト	引張応力	139	182	B2	

第 7.5.1-1 表 構造強度評価結果 (7/10)

評価対象設備		評価部位	応力分類	計算値	評価基準値	評価方法 ※1	備考	
				MPa	MPa			
附帯設備	非常用ディーゼル発電設備	ディーゼル機関	基礎ボルト	引張応力	55	292	A2	
		空気だめ	胴板	一次一般膜応力	92	262	B2	
		燃料ディタンク	スカート	座屈	0.37	1.0	A2	座屈に対する評価式により、計算値は評価基準値に対する比率で示す。
		発電機	軸受台取付ボルト	せん断応力	38	140	A2	
	高圧炉心スプレイセルディーゼル発電設備	ディーゼル機関	基礎ボルト	せん断応力	45	225	A2	
		空気だめ	胴板	一次一般膜応力	92	262	B2	
		燃料ディタンク	スカート	座屈	0.37	1.0	A2	座屈に対する評価式により、計算値は評価基準値に対する比率で示す。
		発電機	軸受台取付ボルト	せん断応力	24	140	A2	
	高圧炉心スプレイセル補機冷却水系	高圧炉心スプレイセル補機冷却水系熱交換器	耐震強化サポートアンカーボルト	せん断応力	77	159	B2	※2
		高圧炉心スプレイセル補機冷却水ポンプ	原動機取付ボルト	せん断応力	11	141	A2	
		高圧炉心スプレイセル補機冷却海水ポンプ	原動機取付ボルト	せん断応力	10	118	B2	
	高圧炉心スプレイセル補機冷却海水系	高圧炉心スプレイセル補機冷却海水系ストレーナ	基礎ボルト	せん断応力	33	366	A2	
		蓄電池	取付ボルト	せん断応力	16	159	A2	
	充電器	充電器	取付ボルト	せん断応力	12	159	A2	
		バイタル交流電源設備	取付ボルト	せん断応力	16	159	A2	

第 7.5.1-1 表 構造強度評価結果 (8/10)

評価対象設備		評価部位	応力分類	計算値	評価基準値	評価方法 ※1	備考	
				MPa	MPa			
配管	主蒸気系	主蒸気系配管本体	配管本体	一次応力	311	374	B2	※2
		主蒸気系配管サポート	サポート部材	ワイド耐荷重	173	280	B2	単位：kN ※2
	原子炉冷却材再循環系	原子炉冷却材再循環系配管本体	配管本体	一次応力	225	364	B2	※2
		原子炉冷却材再循環系配管サポート	サポート部材	組合せ応力	87	136	B2	※2
	給水系	給水系配管本体	配管本体	一次応力	114	380	B2	※2
		給水系配管サポート	サポート部材	組合せ応力	221	242	B2	※2
	原子炉冷却材浄化系	原子炉冷却材浄化系配管本体	配管本体	一次応力	114	363	B2	
		原子炉冷却材浄化系配管サポート	サポート部材	組合せ応力	100	280	B2	
	放射性ドレン移送系	放射性ドレン移送系配管本体	配管本体	一次応力	71	443	B2	※2
		放射性ドレン移送系配管サポート	サポート部材	組合せ応力	47	280	B2	※2
	制御棒駆動系	制御棒駆動系配管本体	配管本体	一次応力	160	413	B2	
		制御棒駆動系配管サポート	サポート部材	組合せ応力	88	280	B2	
	ほう酸水注入系	ほう酸水注入系配管本体	配管本体	一次応力	94	335	B2	※2
		ほう酸水注入系配管サポート	サポート部材	組合せ応力	72	280	B2	※2
	残留熱除去系	残留熱除去系配管本体	配管本体	一次応力	144	327	B2	※2
		残留熱除去系配管サポート	サポート部材	組合せ応力	237	280	B2	※2

第 7.5.1-1 表 構造強度評価結果 (9/10)

評価対象設備		評価部位	応力分類	計算値	評価基準値	評価方法 ※1	備考	
				MPa	MPa			
配管	冷却系 原子炉隔離時	原子炉隔離時冷却系配管本体	配管本体	一次応力	68	364	B2	
		原子炉隔離時冷却系配管サポート	サポート部材	スナッチバ耐荷重	28	75	B2	単位 : kN
	スプレイ系 高圧炉心	高圧炉心スプレイ系配管本体	配管本体	一次応力	219	376	B2	※2
		高圧炉心スプレイ系配管サポート	サポート部材	組合せ応力	106	132	B2	※2
	スプレイ系 低圧炉心	低圧炉心スプレイ系配管本体	配管本体	一次応力	206	300	B2	※2
		低圧炉心スプレイ系配管サポート	サポート部材	組合せ応力	200	280	B2	※2
	冷却浄化系 燃料プール	燃料プール冷却浄化系配管本体	配管本体	一次応力	63	431	B2	
		燃料プール冷却浄化系配管サポート	サポート部材	組合せ応力	128	205	B2	
	処理系 非常用ガス	非常用ガス処理系配管本体	配管本体	一次応力	62	363	B2	※2
		非常用ガス処理系配管サポート	サポート部材	組合せ応力	70	280	B2	※2
	制御系 可燃性ガス濃度	可燃性ガス濃度制御系配管本体	配管本体	一次応力	72	367	B2	
		可燃性ガス濃度制御系配管サポート	サポート部材	組合せ応力	168	280	B2	
	不活性ガス系	不活性ガス系配管本体	配管本体	一次応力	90	366	B2	※2
		不活性ガス系配管サポート	サポート部材	組合せ応力	230	280	B2	※2
	冷却水系 原子炉補機	原子炉補機冷却水系配管本体	配管本体	一次応力	140	344	B2	※2
		原子炉補機冷却水系配管サポート	サポート部材	組合せ応力	229	280	B2	※2

第 7.5.1-1 表 構造強度評価結果 (10/10)

評価対象設備		評価部位	応力分類	計算値	評価基準値	評価方法 ※1	備考	
				MPa	MPa			
配管	冷却海水系 原子炉補機	原子炉補機冷却海水系 配管本体	配管本体	一次 応力	154	328	B2	※2
		原子炉補機冷却海水系 配管サポート	サポート 部材	レストレイント 耐荷重	146	202	B2	単位 : kN ※2
	補機冷却水系 高圧炉心スプレイ デライゼール	高圧炉心スプレイ デライゼール 補機冷却水系 配管本体	配管本体	一次 応力	155	366	B2	
		高圧炉心スプレイ デライゼール 補機冷却水系 配管サポート	サポート 部材	組合せ 応力	128	153	B2	
	補機冷却海水系 高圧炉心スプレイ デライゼール	高圧炉心スプレイ デライゼール 補機冷却海水系 配管本体	配管本体	一次 応力	222	368	B2	
		高圧炉心スプレイ デライゼール 補機冷却海水系 配管サポート	サポート 部材	組合せ 応力	203	280	B2	

※1 「評価方法」の欄に記載されている[A1], [A2], [B1], [B2]の凡例は、以下のとおり。

A1 : 応答倍率法において、基準地震動 Ss による地震力と既往評価の地震力との応答比を用いた評価方法

A2 : 応答倍率法において、基準地震動 Ss による床応答スペクトル等と、既往評価で用いた床応答スペクトル等から水平加速度と鉛直加速度の比をそれぞれ求め、大きい方の値を用いた評価方法

B1 : 詳細評価 (既往評価の地震荷重と地震以外の荷重を区別し、地震荷重による応力のみに応答比を乗じ、地震以外の荷重による応力を組み合わせて、計算値を求める手法)

B2 : 詳細評価 (スペクトルモーダル解析法等による評価)

※2 耐震強化工事実施



## 7.5.2. 動的機能維持の評価結果

動的機能維持の評価結果を第 7.5.2-1 表に示す。

各機器の応答加速度が評価基準値（機能確認済加速度）以下であることを確認した。

制御棒の地震時挿入性について、基準地震動  $S_s$  による燃料集合体の相対変位が、試験により挿入性が確認された相対変位以下であることを確認した。

第 7.5.2-1 表 動的機能維持評価結果 (1/3)

評価対象設備	評価基準値との比較					詳細評価 <sup>※2</sup>
	加速度 確認部位	水平加速度 (G <sup>※1</sup> )		上下加速度 (G <sup>※1</sup> )		
		応答 加速度	評価 基準値	応答 加速度	評価 基準値	
ほう酸水注入系ポンプ	重心位置	0.80	1.6	0.82	1.0	—
残留熱除去系ポンプ	コラム 先端部	0.62	10.0	0.78	1.0	—
原子炉補機冷却水ポンプ	軸位置	1.05	1.4	0.90	1.0	—
原子炉隔離時冷却系ポンプ	軸位置	0.62	1.4	0.78	1.0	—
原子炉隔離時冷却系ポンプ 駆動用蒸気タービン	重心位置	0.61	2.4	0.78	1.0	—
高圧炉心スプレイ系ポンプ	コラム 先端部	0.62	10.0	0.78	1.0	—
低圧炉心スプレイ系ポンプ	コラム 先端部	0.62	10.0	0.78	1.0	—
原子炉補機冷却海水ポンプ	コラム 先端部	1.05	10.0	0.90	1.0	—
可燃性ガス濃度制御系 再結合装置ブロワ	軸受部	0.95	2.6	0.89	1.0	—
非常用ガス処理系排風機	軸受部	1.05	2.3	0.93	1.0	—
MCR 送風機	軸受部	1.05	2.3	0.93	1.0	—
MCR 排風機	軸受部	1.05	2.6	0.93	1.0	—
MCR 再循環送風機	軸受部	1.05	2.3	0.93	1.0	—
非常用ディーゼル 発電設備	機関 重心位置	0.86	1.1	0.84	1.0	—
	ガバナ 取付位置	0.86	1.8	0.84	1.0	—
高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電設備	機関 重心位置	0.86	1.1	0.84	1.0	—
	ガバナ 取付位置	0.86	1.8	0.84	1.0	—
高圧炉心スプレイディーゼル 補機冷却水ポンプ	軸位置	1.05	1.4	0.90	1.0	—
高圧炉心スプレイディーゼル 補機冷却海水ポンプ	コラム 先端部	2.11	10.0	0.90	1.0	—

※1 G=9.80665 (m/s<sup>2</sup>)

※2 応答加速度が評価基準値を上回る場合に実施する。

第 7.5.2-1 表 動的機能維持評価結果 (2/3)

評価対象設備		評価基準値との比較				詳細評価※2	
		加速度 確認部位	水平加速度 (G※1)		上下加速度 (G※1)		
			応答 加速度	評価 基準値	応答 加速度		評価 基準値
弁	主蒸気系 (主蒸気外側隔離弁)	弁駆動部	4.5	10.0	3.5	6.2	—
	主蒸気系 (主蒸気逃がし安全弁)	弁駆動部	8.6	9.6	2.1	6.1	—
	原子炉冷却材再循環系 (CUW 吸込ライン内側隔離弁)	弁駆動部	1.5	6.0	2.5	6.0	—
	給水系 (FDW 原子炉給水ライン外側隔離弁)	弁駆動部	1.3	6.0	3.9	6.0	—
	原子炉冷却材浄化系 (CUW 吸込ライン外側隔離弁)	弁駆動部	2.2	6.0	1.4	6.0	—
	放射性ドレン移送系 (D/W サンプライン隔離弁)	弁駆動部	1.9	6.0	1.0	6.0	—
	ほう酸水注入系 (SLC 系注入ライン逆止弁)	弁駆動部	1.6	6.0	1.0	6.0	—
	残留熱除去系 (RHR 熱交換器バイパス弁)	弁駆動部	2.5	6.0	1.8	6.0	—
	原子炉隔離時冷却系 (RCIC 内側試験可能逆止弁)	弁駆動部	1.3	6.0	1.4	6.0	—
	高圧炉心スプレイ系 (HPCS S/C 側吸込隔離弁)	弁駆動部	2.2	6.0	1.0	6.0	—
	低圧炉心スプレイ系 (LPCS ポンプ吸込隔離弁)	弁駆動部	1.7	6.0	1.0	6.0	—
	非常用ガス処理系 (SGTS トレイン出口隔離弁)	弁駆動部	4.5	6.0	1.2	6.0	—
	可燃性ガス濃度制御系 (FCS 入口隔離弁)	弁駆動部	2.2	6.0	1.4	6.0	—
	不活性ガス系 (AC 格納容器負圧防止用隔離弁)	弁駆動部	0.9	6.0	1.0	6.0	—
	原子炉補機冷却水系 (RCW 常用冷却水供給側分離弁)	弁駆動部	2.7	6.0	1.0	6.0	—
	原子炉補機冷却海水系 (RSW RCW 熱交換器 RSW 出口弁)	弁駆動部	2.2	6.0	1.5	6.0	—
高圧炉心スプレイディーゼル 補機冷却海水系 (HPSW ポンプ出口逆止弁)	弁駆動部	1.4	6.0	1.1	6.0	—	

※1 G=9.80665 (m/s<sup>2</sup>)

※2 応答加速度が評価基準値を上回る場合に実施する。

第 7.5.2-1 表 動的機能維持評価結果 (3/3)

評価対象設備	燃料集合体の地震時 相対変位 (mm)	確認済 相対変位 (mm)
制御棒 (地震時の挿入性)	20.9	40.0

## 7.6. 参考文献

- (1) (財) 原子力発電技術機構(2001)：耐震設計高度化調査原子炉建屋・機器の水平・上下応答評価法の調査報告書

## 配管系の減衰定数について

配管系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」に規定されているが、新たに実施した振動試験等をもとに、保温材の付加減衰定数およびUボルトを用いた支持具を有する配管系の減衰定数を定め、配管系の耐震安全性評価に用いる（表-1）。

保温材とUボルト支持配管系の減衰定数に関する検討結果<sup>(1)</sup>を以下に示す。

## (1) 保温材の付加減衰定数

現行の保温材による設計用付加減衰定数(0.5%)を設定するために用いられたデータと、その後実施された無機多孔質保温材を対象とした試験データを再整理した結果、配管強度上問題とならない小変位領域を除き、付加減衰比が1.0%以上確保されていることから、保温材の付加減衰定数として1.0%を使用する。

金属保温材については、原子力工学試験センター（現（財）原子力発電技術機構）の耐震信頼性実証試験において、無機多孔質保温材と金属保温材が混在する配管系の振動試験が行われており、その試験結果を調査したところ、金属保温施工範囲が配管全長の40%以下の場合には付加減衰定数を1.0%として問題ないことを確認したことから、これを使用する。なお、金属保温施工範囲が配管全長の40%を超える配管系については、従来の付加減衰定数0.5%を使用する。

(2) Uボルトを用いた支持具を有する配管系の減衰定数

現行のスナップ及び架構レストレイント支持主体の配管系の減衰定数は、消散エネルギー評価式を用いた減衰推算法により設定されているが、Uボルト支持配管系についてはこのような検討がされていない。そこで、Uボルト支持配管系の消散エネルギー評価法を用いた減衰推算法を策定し、実規模配管系による振動試験により、その妥当性を確認した。

この減衰推算法により、実機のUボルト支持配管系の解析評価を行った結果、配管の自重を受けるUボルト支持具が4個以上の配管系に対する減衰定数が2.0%であったことから、これを使用する。

表-1 耐震安全性評価に使用する配管系の減衰定数

配管区分		減衰定数 (%) ※1	
		保温材有	保温材無
I	スナップ及び架構レストレイント支持主体の配管系で、その支持具（スナップ又は架構レストレイント）の数が4個以上のもの	<u>3.0</u>	2.0
II	スナップ、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	<u>2.0</u>	1.0
III	Uボルトを有する配管で、架構で水平配管の自重を受けるUボルトの数が4以上のも	<u>3.0</u>	<u>2.0</u>
IV	配管区分I、IIおよびIIIに属さないもの	<u>1.5</u>	0.5

※1 「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版」から変更した箇所を下線で示す。

参考文献

- (1) (社)日本電気協会(2006)：配管系設計用減衰定数適正化に関する検討，第9回機器・配管系検討会資料 No. 9-3-2-2(5)，平成18年5月12日

## 燃料取替機および原子炉建屋クレーンの減衰定数について

燃料取替機および原子炉建屋クレーンについては、振動試験で得られた減衰比に基づき、水平・鉛直それぞれの方向の減衰定数を定め、耐震安全性評価に用いる。

原子炉建屋クレーンおよび燃料取替機の減衰定数に関する検討結果<sup>(1)</sup>を以下に示す。

現行の燃料取替機および原子炉建屋クレーンの減衰定数は、溶接構造物の設計用減衰定数である 1.0%を用いているが、実際には、各構造部材の材料減衰および摩擦やガタに起因する構造減衰が期待できると考えられる。

そこで燃料取替機および原子炉建屋クレーンそれぞれについて、実機構造を模擬した試験体により振動試験を行い、減衰比を確認した。

その結果、鉛直方向については、燃料取替機のトロリがガーダ端部にある場合を除き、振幅の増加に従い減衰比が増加する傾向を示した。また、強度上問題とならない小振幅領域を除き、減衰比は 2.0%以上が確保されていた。燃料取替機のトロリがガーダ端部にある場合では、振幅が増加しても減衰比が大きくなりにくい傾向を示し、その減衰比は 1.5%以上であった。

水平方向については、鉛直方向に比べて大きな減衰比が得られており、またトロリ位置が減衰比に与える影響が小さいことを確認した。

これらの試験結果に基づき、燃料取替機および原子炉建屋クレーンの減衰定数として表-1 に示す値を使用する。



表-1 耐震安全性評価に使用する燃料取替機および  
原子炉建屋クレーンの減衰定数

対象設備	減衰定数 (%)	
	水平方向	鉛直方向
燃料取替機	2.0	トリ位置中央 2.0 トリ位置端部 1.5
原子炉建屋クレーン	2.0	2.0

参考文献

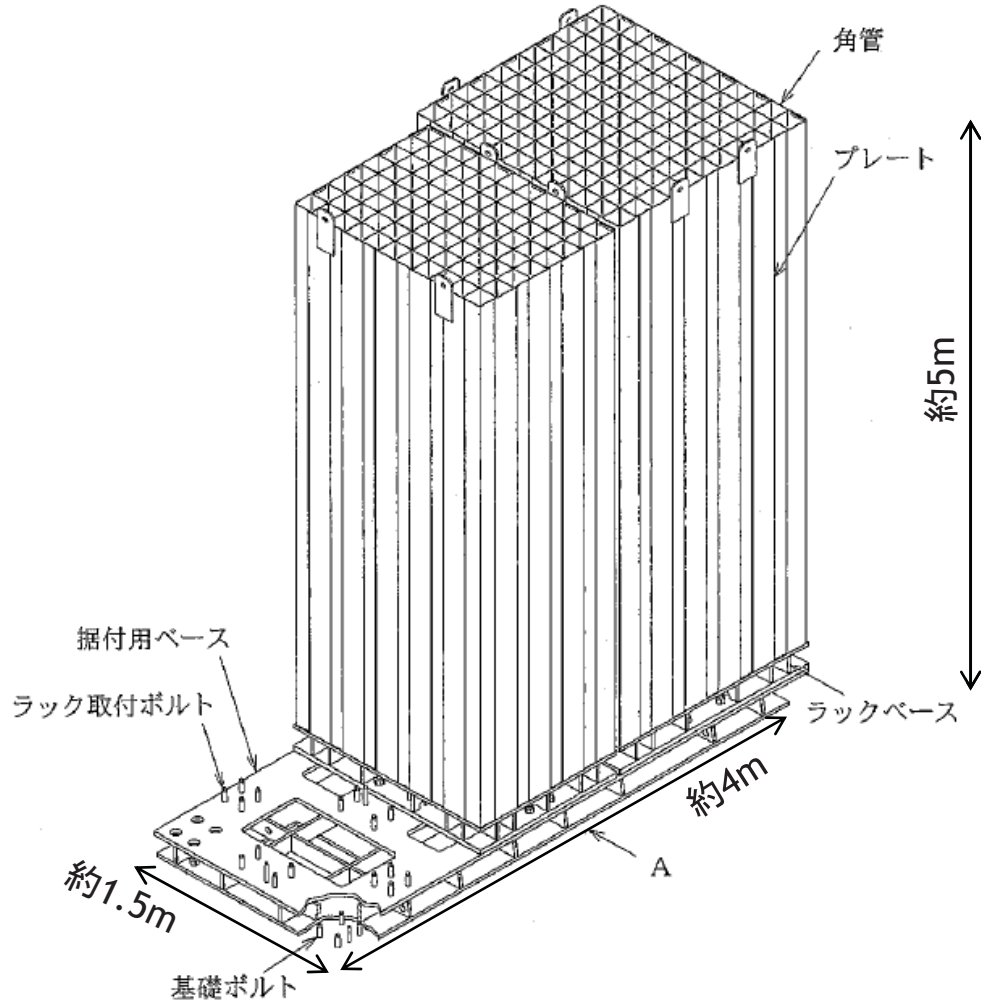
- (1) (社) 日本電気協会(2006)：クレーン類の設計用減衰定数に関する検討，第9回機器・配管系検討会資料 No. 9-3-2-2(2)，平成18年5月12日

### 使用済燃料貯蔵ラックの水平方向の減衰定数について

使用済燃料貯蔵ラックの設計用減衰定数は、従来、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版」に示されている溶接構造物の設計用減衰定数 1% を用いているが、使用済燃料貯蔵ラックの耐震安全性評価では、既往の試験研究等をもとに水平方向の減衰定数を定め、耐震安全性評価に用いた。

柏崎刈羽原子力発電所 5 号機には、図 1 に示す構造の使用済燃料貯蔵ラック（角管市松型）が設置されており、使用済燃料貯蔵ラックの減衰定数に関する検討結果を添 7.3-3 頁以降に示す。

<角管市松型 (B-SUS\*) >



\* : ボロン添加ステンレス鋼

図1 柏崎刈羽原子力発電所5号機の使用済燃料貯蔵ラック構造概略  
(88体ラック, 132体ラックタイプII)

## 1. 試験装置

試験体の概略を図 2 に示す。長辺方向は実機での標準列数の 10 列とし、短辺方向は自立型での最小幅として 5 列とした。試験体は角管を市松模様（チェッカーボード）に配列した構造（角管市松型）である。

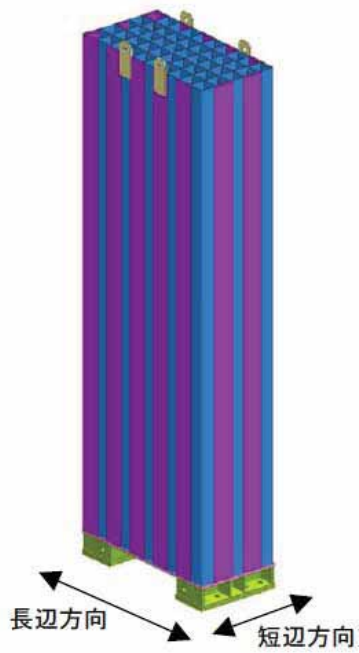


図 2 試験体概略



図 3 試験体設置状況



図 4 試験水槽

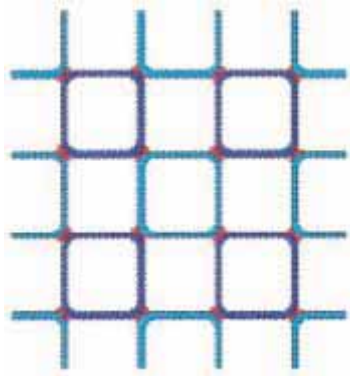


図 5 角管市松型ラック

## 2. 加振方法

試験体に模擬燃料を装荷し、試験水槽に水を注入した状態にて以下の加振条件に基づく加振試験を実施した。試験は、試験体の長辺方向及び短辺方向それぞれについておこなった。

加振レベルの小さい範囲では正弦波による掃引試験とし、試験装置の損傷を防止する観点から、加振レベルの大きい範囲では半波の加振試験とした。

表 2 加振条件

	加振条件	加振周波数
正弦波掃引試験	短辺方向：50gal～100gal 長辺方向：75gal～125gal	5Hz～70Hz
半波加振試験	振動台変位：3mm～5mm	10Hz

## 3. 試験結果

正弦波掃引試験の減衰比は、加振レベル 3 ケースで求めた伝達関数よりハーフパワー法で評価した。半波加振試験の減衰比は、振動台変位レベルを 3 ケースとした自由振動波形より減衰比を評価した。試験の結果のまとめを図 6 に示す。

図 6 に示すように、長辺方向における正弦波掃引試験では、加速度レベルの低い範囲では一部 7%を下回るデータが存在するものの、加速度レベルの増大に伴い大きな減衰比が得られる傾向が見られている。短辺方向における正弦波掃引試験では、加速度レベルの低い範囲では若干の減衰比の低下傾向が見られるが、その傾向は加速度レベルの増大に伴いゆるやかとなっており、半波加振試験の結果では加速度レベルの高い範囲では 7%を十分上回っている。

以上の結果から、実機の加速度レベルに相当する高い範囲に対しては、減衰定数 7%の適用性を確認した。

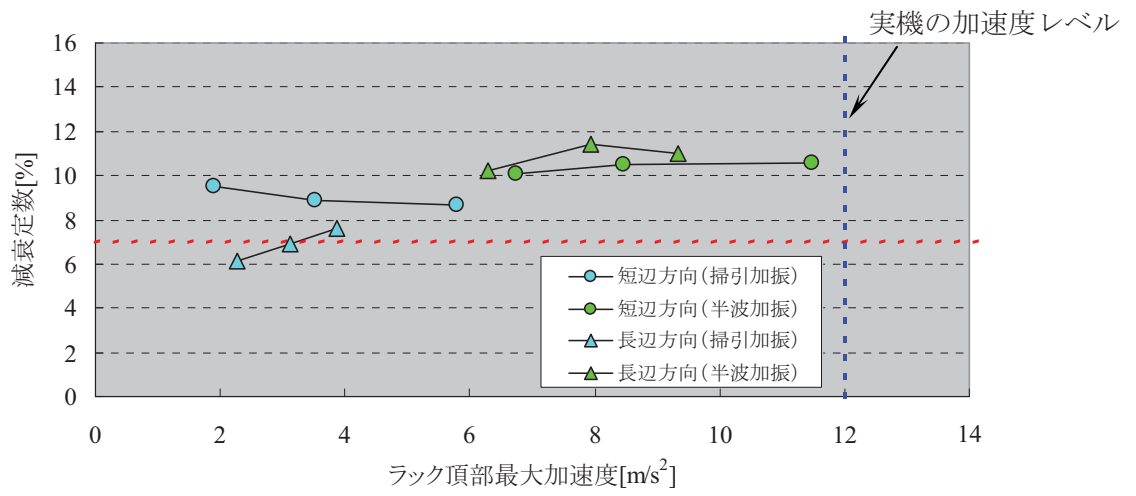


図 6 燃料ラック頂部の応答加速度と減衰定数の関係  
 (試験条件：水中，燃料体 100%挿荷)

## 機器・配管系の構造強度の評価基準値について

機器・配管系の構造強度の評価基準値は、材料の過度な変形や破損に対して裕度をもった値に設定されている。機器・配管系の構造強度の評価基準値を以下に示す。

なお、供用状態および材質の表記については以下とする。

D (IVAS) : 「原子力発電所耐震設計技術指針」において規定される許容応力状態 (「設計・建設規格」の供用状態 D に相当)

C (IIIAS) : 「原子力発電所耐震設計技術指針」において規定される許容応力状態 (「設計・建設規格」の供用状態 C に相当)

ASS : オーステナイト系ステンレス鋼

HNA : 高ニッケル合金

## 1. 容器の評価基準値

## (1) クラス 1 容器の評価基準値

クラス 1 容器の評価基準値を表 1-1 に示す。

表 1-1 クラス 1 容器の評価基準値

応力分類		一次一般膜応力	一次膜 + 一次曲げ応力	軸圧縮応力
供用状態	D(IVAS)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ASS および HNA : Min[2.4S<sub>m</sub>, (2/3)S<sub>u</sub>]</li> <li>・ それ以外の材料 : (2/3)S<sub>u</sub></li> </ul>	左欄の α <sup>※1</sup> 倍	1.5Min[S <sub>m</sub> , B <sup>※2</sup> ]

※1 α : 形状係数

※2 B : 「設計・建設規格」付録材料図表 Part7 より求めた値

(2) クラス MC 容器の評価基準値

クラス MC 容器の評価基準値を表 1-2 に示す。

表 1-2 クラス MC 容器の評価基準値

応力分類		一次一般膜応力	一次膜 + 一次曲げ応力
供 用 状 態	D(IV <sub>A</sub> S)	(1) 構造上の連続部 ・ ASSおよびHNA : Min[2S,0.6S <sub>u</sub> ] ・ それ以外の材料 : 0.6S <sub>u</sub> (2) 不連続部分 ・ ASS および HNA : 1.2S ・ それ以外の材料 : Min[S <sub>y</sub> , 0.6S <sub>u</sub> ]	左欄の α <sup>※1</sup> 倍

※1 α : 形状係数

(3) クラス MC 容器の座屈の防止

軸圧縮荷重と曲げモーメントが負荷されるクラスMC容器は、供用状態 C(III<sub>A</sub>S)およびD(IV<sub>A</sub>S)において次の不等式を満足しなければならない。

$$\frac{\alpha(P/A)}{f_c} + \frac{\alpha(M/Z)}{f_b} \leq 1$$

上記式は  $\ell/R \leq 5$  の場合に適用できる。ただし、強め輪等により  $\ell/R \leq 0.5$  となる場合は、強め輪の効果を考慮することができる。ここで、

- P : 軸圧縮荷重 (N)
- A : 断面積 (mm<sup>2</sup>)
- M : 曲げモーメント (N・mm)
- Z : 断面係数(mm<sup>3</sup>)
- f<sub>c</sub> : 軸圧縮荷重に対する座屈応力(MPa)
- f<sub>b</sub> : 曲げモーメントに対する座屈応力 (MPa)
- α : 安全率
- ℓ : 胴長(mm)
- R : 円筒の平均半径(mm)



a. 軸圧縮荷重に対する座屈応力 (  $f_c$  )

$$f_c = \begin{cases} F & (\eta \leq \eta_1) \\ F \times \left\{ 1 - \frac{1}{6800g} (F - \Phi_c\{\eta_2\})(\eta - \eta_1) \right\} & (\eta_1 < \eta < \eta_2) \\ \Phi_c\{\eta\} & (\eta_2 \leq \eta \leq 800) \end{cases}$$

ここに,

$$\Phi_c\{\eta\} = 0.6 \frac{E}{\eta} \left[ 1 - 0.901 \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16}\sqrt{\eta}\right) \right\} \right]$$

b. 曲げモーメントに対する座屈応力(  $f_b$  )

$$f_b = \begin{cases} F & (\eta \leq \eta_1) \\ F \times \left\{ 1 - \frac{1}{8400g} (F - \Phi_b\{\eta_3\})(\eta - \eta_1) \right\} & (\eta_1 < \eta < \eta_3) \\ \Phi_b\{\eta\} & (\eta_3 \leq \eta \leq 800) \end{cases}$$

ここに,

$$\Phi_b\{\eta\} = 0.6 \frac{E}{\eta} \left[ 1 - 0.731 \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16}\sqrt{\eta}\right) \right\} \right]$$

c. 安全率( $\alpha$ )

安全率は、供用状態C(Ⅲ<sub>A</sub>S)およびD(Ⅳ<sub>A</sub>S)に対して、

$$\alpha = \begin{cases} 1.0 & (\eta \leq \eta_1) \\ 1.0 + \frac{F}{13600g} (\eta - \eta_1) & (\eta_1 < \eta < \eta_2) \\ 1.5 & (\eta_2 \leq \eta) \end{cases}$$

ここに,

F : 設計・建設規格 SSB-3121.1 において定める F の値(MPa)

E : 材料の縦弾性係数(MPa)

t : 円筒の板厚(mm)

g : 重力加速度(=9.80665m/s<sup>2</sup>)

$\eta = R/t$ ,  $\eta_1 = 1200g/F$ ,  $\eta_2 = 8000g/F$ ,  $\eta_3 = 9600g/F$

(4) クラス 2, 3 容器の評価基準値

クラス 2, 3 容器の評価基準値を表 1-3 に示す。

表 1-3 クラス 2, 3 容器の評価基準値

応力分類		一次一般膜応力	一次膜 + 一次曲げ応力
供用状態	D(IV <sub>AS</sub> )	0.6S <sub>u</sub>	左欄の 1.5 倍

2. 管の評価基準値

(1) クラス 1 配管の評価基準値

クラス 1 配管の評価基準値を表 2-1 に示す。

表 2-1 クラス 1 配管の評価基準値

応力分類		一次応力 (膜+曲げ)
供用状態	D(IV <sub>AS</sub> )	Min[3S <sub>m</sub> , 2S <sub>y</sub> ]

(2) クラス 2, 3 配管の評価基準値

クラス 2, 3 配管の評価基準値を表 2-2 に示す。

表 2-2 クラス 2, 3 配管の評価基準値

応力分類		一次応力 (膜+曲げ)
供用状態	D(IV <sub>AS</sub> )	・地震以外の短期機械的荷重を含む場合 Min[3S <sub>h</sub> , 2S <sub>y</sub> ]
		・地震以外の短期機械的荷重を含まない場合 0.9S <sub>u</sub>

(3) クラス 4 配管の評価基準値

非常用ガス処理系のように管を使用する場合には、クラス 2 配管の評価基準値を準用する。

3. 炉心支持構造物の評価基準値

炉心支持構造物の評価基準値を表 3-1 に示す。

表 3-1 炉心支持構造物の評価基準値

応力分類		一次一般膜応力	一次膜 + 一次曲げ応力	平均せん断 応力
供 用 状 態	D( $IV_{AS}$ )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ASS および HNA : <math>\text{Min}[2.4S_m, (2/3)S_u]</math></li> <li>• それ以外の材料 : <math>(2/3)S_u</math></li> </ul>	左欄の 1.5 倍	$1.2 S_m$

4. 炉内構造物の評価基準値

炉内構造物については、炉心支持構造物の評価基準値を準用する。

5. 支持構造物の評価基準値

支持構造物の評価基準値で使用する記号の意味は以下のとおりである。

- $f_t^{(注)}$  : 許容引張応力 (MPa)
- $f_s^{(注)}$  : 許容せん断応力 (MPa)
- $f_c^{(注)}$  : 許容圧縮応力 (MPa)
- $f_b^{(注)}$  : 許容曲げ応力 (MPa)
- $f_p^{(注)}$  : 許容支圧応力 (MPa)

(注) クラス 3 支持構造物およびその他支持構造物に対する  $f_t$ ,  $f_s$ ,  $f_c$ ,  $f_b$ ,  $f_p$  の値の算出においては、F値として次の値を用いる。

$$F = \text{Min}[S_y, 0.7S_u]$$

ただし、使用温度が 40°C を超える ASS および HNA は、

$$F = \text{Min}[1.35S_y, 0.7S_u, S_y(\text{RT})]$$

$f_t^*$ ,  $f_s^*$ ,  $f_c^*$ ,  $f_b^*$ ,  $f_p^*$

：供用状態 D(IV<sub>A</sub>S) に対する評価基準値を算出する際に  $f_t$ ,  $f_s$ ,  $f_c$ ,  $f_b$ ,  $f_p$  の値を算出する際において、 $S_y$  および  $S_y(\text{RT})$  をそれぞれ  $1.2S_y$  および  $1.2S_y(\text{RT})$  と読み替えて算出した値 (MPa)

クラス 1, 2, 3, MC 支持構造物の評価基準値は以下の (1), (2) によるものとする。

(1) クラス 1 支持構造物の評価基準値

a. 容器に溶接により取付けられる支持構造物

容器に溶接により取付けられる支持構造物であって、その損壊が耐圧部の損壊を生じさせるおそれのあるものについては容器の耐圧部と同じ評価基準値とする。

b. 上記以外の支持構造物(ボルト等を除く)

ボルト等を除く評価基準値を表 6-1 に示す。

表 6-1 クラス 1 支持構造物の評価基準値—ボルト等を除く

応力 分類 供用 状態	一 次 応 力 <sup>※1</sup>				
	引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧
D(IV <sub>A</sub> S)	$1.5f_t^*$	$1.5f_s^*$	$1.5f_c^*$	$1.5f_b^*$	$1.5f_p^*$

※1 応力の組合せが考えられる場合、組合せ応力に対しても評価を行うこと。

c. ボルト等

ボルト等の評価基準値を表 6-2 に示す。

表 6-2 クラス 1 支持構造物の評価基準値—ボルト等

供用 状態	応力 分類	一次応力 <sup>※1</sup>	
		引張	せん断
	D(IV <sub>A</sub> S)	1.5f <sub>t</sub> <sup>*</sup>	1.5f <sub>s</sub> <sup>*</sup>

※1 応力の組合せが考えられる場合、組合せ応力に対しても評価を行うこと。

(2) クラス MC, 2, 3 支持構造物の評価基準値

前頁(1)クラス 1 支持構造物の評価基準値を準用する。

(3) スナッパの評価基準値

スナッパの評価基準値は、以下に示す①～③のいずれかを用いる。

- ①スナッパメーカーによる保証値
- ②試験による許容基準値
- ③スナッパ構成部品の構造強度評価に基づく許容基準値

(4) 構築物（原子炉本体の基礎，原子炉遮へい壁等）の評価基準値

構築物（原子炉本体の基礎，原子炉遮へい壁等）の評価基準値を表 6-3 に示す。

表 6-3 構築物(原子炉本体の基礎，原子炉遮へい壁等)の評価基準値

施設名	部位	供用状態	評価基準値
原子炉本体の基礎 原子炉遮へい壁 等	鋼材	D(IV <sub>A</sub> S)	「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」(社団法人 日本建築学会(2005年9月))における短期許容応力度

(5) 原子炉本体の基礎（アンカボルト）の評価基準値

コンクリート躯体がコーン状破壊する場合の基礎ボルト 1 本当りの許容引張荷重を以下に示す。

$$1.5 \times 0.31 \times K_1 A_C \sqrt{F_C}$$

$K_1$  : コーン状破壊する場合の引張耐力の低減係数

$F_C$  : コンクリートの設計基準強度 (MPa)

$A_C$  : コンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積 (mm<sup>2</sup>)

## 動的機器の地震時機能確認済加速度について

動的機器の地震時機能確認済加速度は、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版」に規定されているが、水平方向のみであり、鉛直方向については規定されていない。

既往の試験研究等をもとに鉛直方向の機能確認済加速度を定めるとともに、水平方向の機能確認済加速度についても見直しを行い、耐震安全性評価に用いる。

動的機器の機能確認済加速度に関する検討結果<sup>(1)</sup>を以下に示す。

## (1) 鉛直方向の機能確認済加速度の設定

## a) 弁を除く機器

いずれの機器も鉛直方向の剛性が高く応答増幅が小さいことから、鉛直方向の内部品の浮き上がりによる非線形特性を考慮する必要のない限界値(1.0G)を鉛直方向の機能確認済加速度とする。

## b) 一般弁(グローブ弁, ゲート弁, バタフライ弁, 逆止弁)

グローブ弁, ゲート弁およびバタフライ弁は, 配管系の応答増幅により鉛直方向の応答加速度も水平方向と同様に大きくなる。そこで, 既往研究において, 弁最弱部の応力の余裕度が小さい空気作動グローブ弁および空気作動バタフライ弁について振動試験を行い, 鉛直方向については 6.0G を上回る加速度まで機能維持を確認した。従って, グローブ弁, ゲート弁およびバタフライ弁の鉛直方向の機能確認済加速度は 6.0G とする。

逆止弁は、内部流体の圧力により作動状態を維持しようとする力が強く、地震力による影響を受けにくい構造である。構造が単純であることから、水平方向および鉛直方向加速度 6.0G に対して、内部流体の圧力とディスクに作用する地震力との釣り合いを評価し、地震時において開状態または閉状態が維持されることが確認できた。従って、逆止弁の鉛直方向の機能確認済加速度は、6.0G とする。

c) 特殊弁（主蒸気隔離弁，主蒸気逃し安全弁，制御棒駆動系スクラム弁）

主蒸気隔離弁の駆動装置については、水平方向加速度 10G、鉛直方向加速度 6.2G の同時加振試験が行われ、機能維持が確認されている。また、弁全体の機能維持評価として弁の最弱部であるヨークロッド付根部について、上記の駆動装置の健全性が確認された加速度により応力を算出し、許容応力以下であることを確認した。従って、鉛直方向の機能確認済加速度は 6.2G とした。

主蒸気逃し安全弁の鉛直方向の機能確認済加速度は、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版」策定時に参照した振動試験結果をもとに 6.1G とした。

制御棒駆動系スクラム弁は、一般弁の空気作動グローブ弁と同様の構造である。そこで、一般弁の機能確認済加速度と同様に、水平方向加速度 6.0G、鉛直方向加速度 6.0G に対して、弁最弱部であるヨーク部の評価を行い、許容応力以下であることを確認した。従って、制御棒駆動系スクラム弁の鉛直方向の機能確認済加速度は、6.0G とする。



(2) 水平方向の機能確認済加速度の見直し

水平方向の機能確認済加速度を設定する際に参照した既往の試験データの精査等を行い、水平方向の機能確認済加速度の見直しが可能である以下の機器について、新たに水平方向の機能確認済加速度を設定した。

a) 非常用ディーゼル発電機（ガバナ部）

原子力発電技術機構で行われた耐震信頼性実証試験にて、ガバナリンク機構の振動試験が行われ、水平方向加速度 1761Gal(約 1.8G)まで機能維持することが確認されている。従って、非常用ディーゼル発電機ガバナ部の水平方向の機能確認済加速度を 1.8G とする。

b) 主蒸気隔離弁

(1) c)に示した弁駆動装置の振動試験結果および弁最弱部の強度評価結果から、水平方向の機能確認済加速度を 10.0G とする。

c) 制御棒駆動スクラム弁

(1) c)に示した弁最弱部の強度評価結果から、水平方向の機能確認済加速度を 6.0G とする。

(3) 機能確認済加速度

各機器の機能確認済加速度を表-1 に示す。

表-1 機能確認済加速度 (1/2)

種別	機種	加速度 確認部位	機能確認済加速度 <sup>※1</sup>	
			水平方向 (G <sup>※2</sup> )	鉛直方向 (G <sup>※2</sup> )
立形ポンプ	ピットバレル形ポンプ	コラム 先端部	10.0	※3
	立形斜流ポンプ			
	立形単段床置形ポンプ	ケーシング 下端部		
横形ポンプ	横形単段遠心式ポンプ	軸位置	3.2 (軸直角方向)	※3
	横形多段遠心式ポンプ		1.4 (軸方向)	
ポンプ駆動用 タービン	R C I Cタービン	重心位置	2.4	※3
電動機	横形ころがり軸受電動機	軸受部	4.7	※3
	横形すべり軸受電動機		2.6	
	立形ころがり軸受電動機		2.5	
	立形すべり軸受電動機			
ファン	遠心直結型ファン	軸受部およびメカニカルシール ケーシング <sup>g</sup>	2.3	※3
	遠心直動型ファン	軸受部	2.6	
	軸流式ファン		2.4	

※1 「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版」に追加および変更した箇所を下線で示す。

※2  $G=9.80665 \text{ (m/s}^2\text{)}$

※3 内部部品の浮き上がりを考慮する必要のない鉛直方向加速度 1.0G とする。

表-1 機能確認済加速度 (2/2)

種別	機種	加速度 確認部位	機能確認済加速度 <sup>※1</sup>	
			水平方向 (G <sup>※2</sup> )	鉛直方向 (G <sup>※2</sup> )
非常用 ディーゼル 発電機	高速形・中速形 ディーゼル機関	機関 重心位置	1.1	※3
		ガバナ 取付位置	<u>1.8</u>	
往復動式 ポンプ	横形3連往復動式ポンプ	重心位置	1.6	※3
弁 (一般弁およ び特殊弁)	一般弁 (グローブ弁, ゲート弁, バタフライ弁, 逆止弁)	駆動部	6.0	<u>6.0</u>
	主蒸気隔離弁 <sup>※4</sup>		<u>10.0</u>	<u>6.2</u>
	主蒸気逃がし安全弁		9.6	<u>6.1</u>
	制御棒駆動系スクラム弁		<u>6.0</u>	<u>6.0</u>

※1 「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版」に追加および変更した箇所を下線で示す。

※2  $G=9.80665 \text{ (m/s}^2\text{)}$

※3 内部部品の浮き上がりを考慮する必要のない鉛直方向加速度 1.0G とする。

※4 主蒸気隔離弁については BWR5 と ABWR で口径やストロークの違いはあるものの、基本的な構造は同じである。動的機能維持の観点からは、閉鎖時間についてストロークの長いほうが条件が厳しいため、BWR5 よりもストロークが長い ABWR の主蒸気隔離弁を模擬した測定試験により機能維持を確認している。そのため BWR5 と ABWR では同じ機能確認済加速度を用いている。

#### 参考資料

- (1) (社) 日本電気協会(2006) : 水平・鉛直地震動に対する動的機器の地震時機能維持評価法の改定案について, 第 15 回機器・配管系検討会資料 No. 15-4-4-2, 平成 18 年 9 月 11 日

## 設計時の制御棒挿入試験について

地震時は燃料集合体の中央部が変位することにより、制御棒の挿入時間が通常運転時に比べて増加することが予想される。よって、地震時においても規定時間内に制御棒が挿入可能であることを確認するために、設計時に制御棒の挿入性試験を室温条件下にて実施した。本試験において、燃料集合体相対変位と制御棒挿入時間の関係が確認され、健全性が確認された燃料集合体相対変位を制御棒挿入性の許容値とした。


制御棒の耐震安全性評価としては、基準地震動  $S_s$  に対する燃料集合体の相対変位を算定し、上記の試験結果により確認された許容値以内であることを確認した。

以下に、制御棒挿入性の試験方法について示す。

## 1. 試験条件

試験は実際に用いられているボロンカーバイド型およびハフニウム型の制御棒について行った。

試験条件を図 1-1 に、試験装置例を図 1-2 に示す。加振機により装置を加振し、制御棒を挿入することで燃料集合体の相対変位とスクラム時間の関係を確認した。

項 目	条 件
温 度	室 温
圧 力	常 圧*
加 振 条 件	<p>加振方向 : 水平方向</p>  <p>加振振幅 : 燃料集合体の最大振幅が 0～40mmの範囲</p> <p>加振振動数 : 約5～6Hz (燃料集合体の 水中固有振動数相当)</p> <p>加振波形 : 正弦波</p>
スクラム開始時 の制御棒位置	全引き抜き状態

注記 \* : アキュムレータ圧力の調整により原子炉定格圧力 (6.93MPa[gage])  
時のスクラムを模擬

図 1-1 試験条件

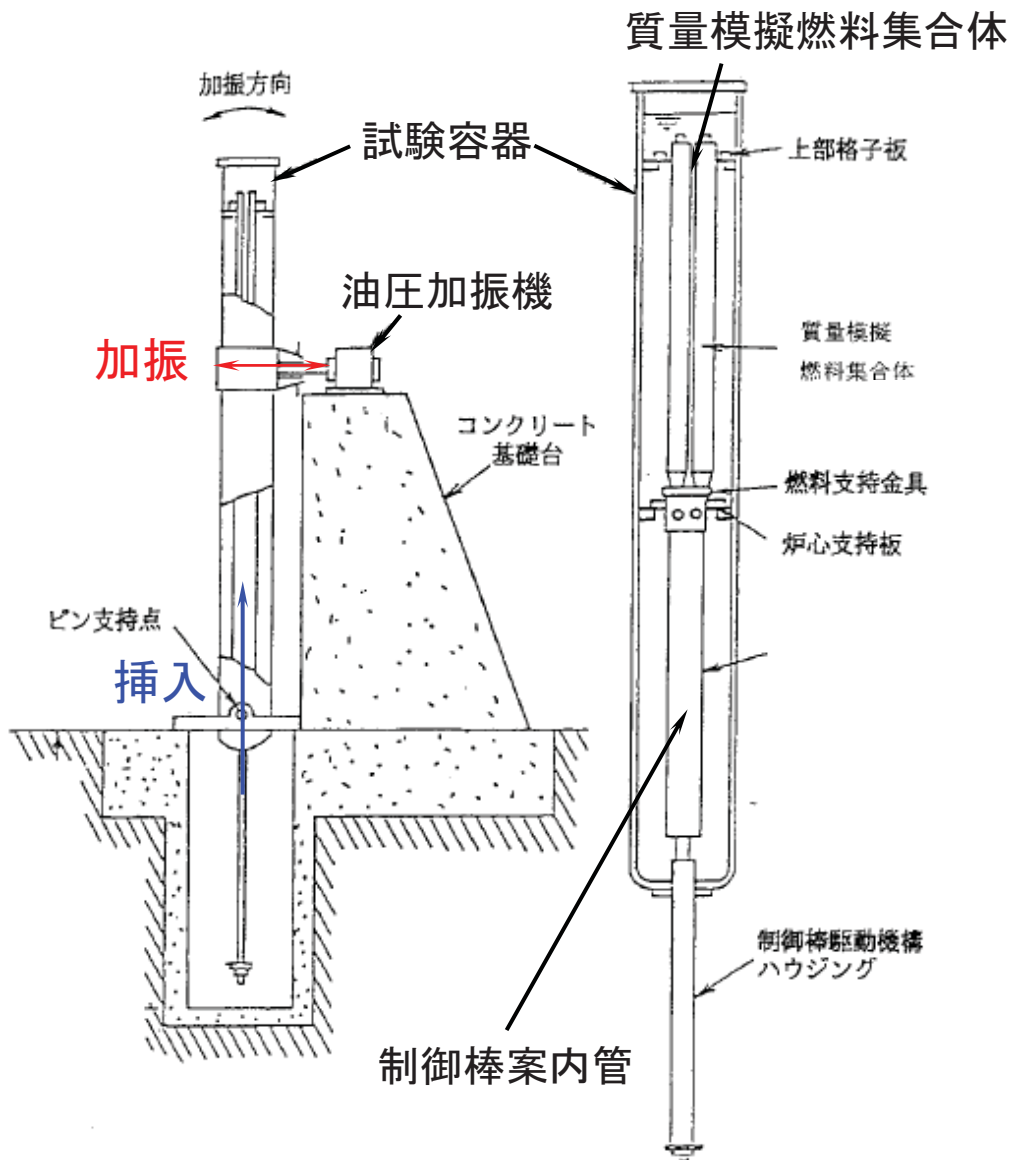


図 1-2 試験装置例

## 2. 試験結果

試験結果を図 2-1 に示す。燃料集合体の相対変位が約 40mm において、通常のスクラム仕様である 75%ストローク 1.62 秒以内であることが確認できたので、燃料集合体相対変位 40mm を制御棒挿入性の許容値とした。

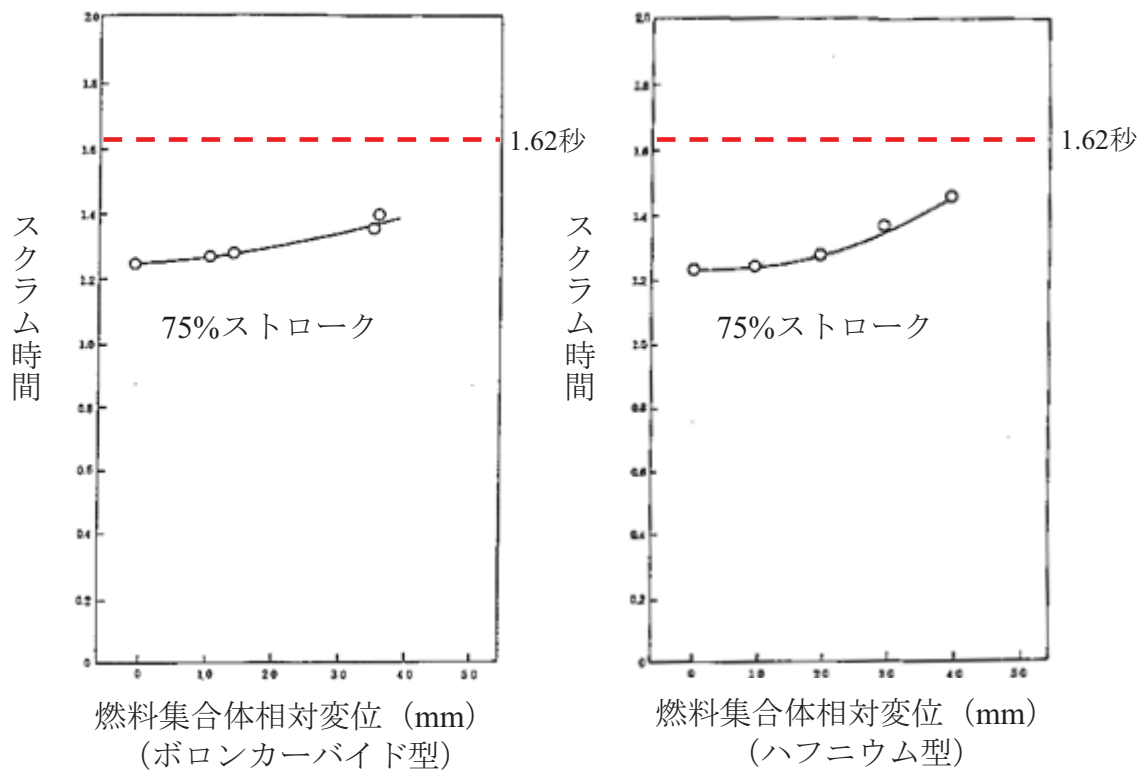


図 2-1 燃料集合体相対変位のスクラム時間に与える影響

## 使用済燃料貯蔵プールスロッシングに対する影響検討について

### 1. 検討方針

基準地震動  $S_s$  による使用済燃料貯蔵プールのスロッシング評価を行い，使用済燃料貯蔵プールからの溢水量を推定し，使用済燃料貯蔵プール内の使用済燃料および下階の安全系機器への影響がないことを確認する。

具体的には，使用済燃料貯蔵プールスロッシングによる溢水事象に対し，以下の検討を行う。

- ・ 基準地震動  $S_s$  による使用済燃料貯蔵プールからの溢水量の推定
- ・ 溢水による使用済燃料貯蔵プール水位低下に対する使用済燃料の冷却能力への影響確認
- ・ 溢水による下階の安全系機器への影響確認

### 2. 検討結果

#### 2.1 基準地震動 $S_s$ による溢水量の推定

##### 2.1.1 検討に用いる地震動

使用済燃料貯蔵プールのスロッシング周期は 4 秒から 5 秒の長周期領域である。本検討では，基準地震動  $S_s$  の中から，スロッシング周期における応答スペクトル値が最大となる  $S_{s-5}$  を用いる。

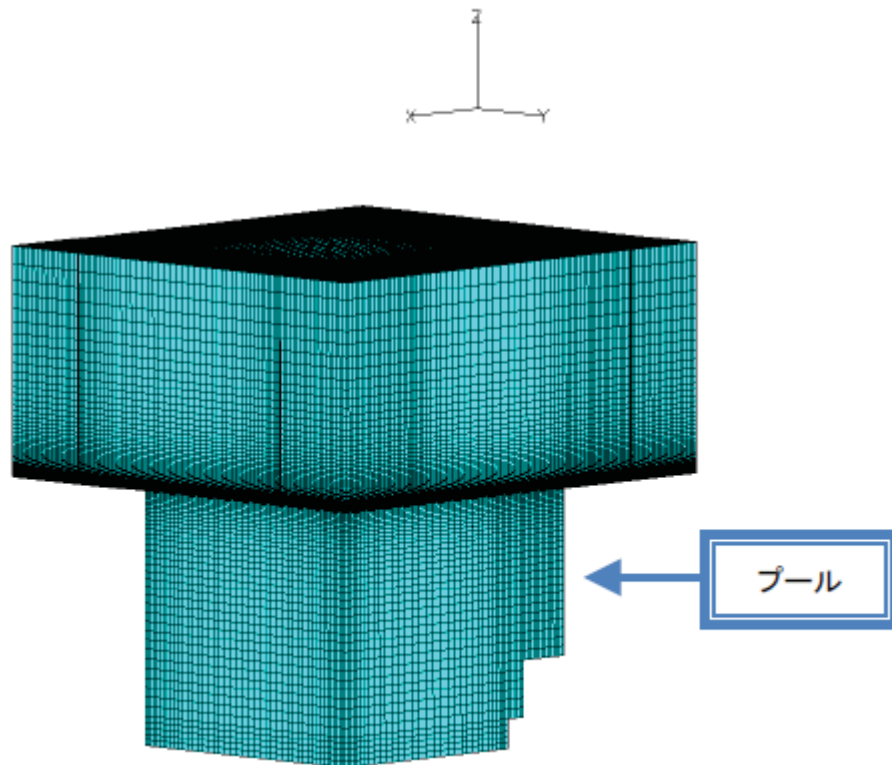
##### 2.1.2 溢水量の推定方法

使用済燃料貯蔵プールのスロッシング評価は，参図-7.1.1 の解析モデルを用いて，参図-7.1.2 に示す NS 方向，EW 方向の加速度により時刻歴解析を行い，

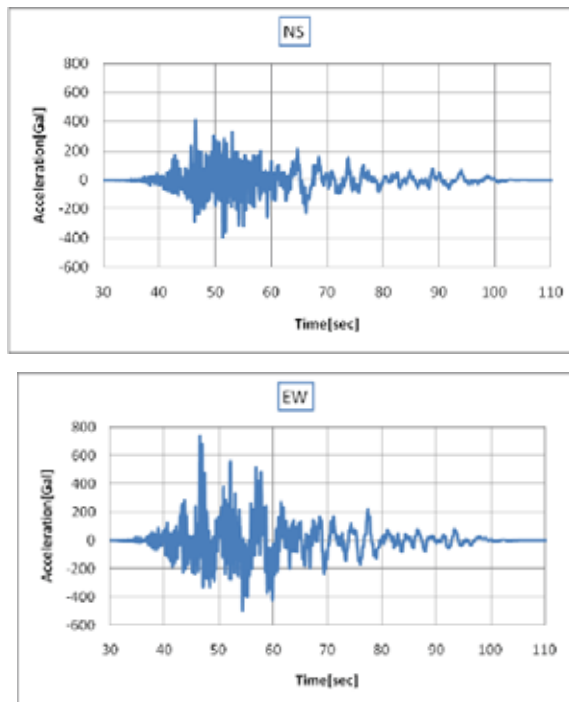


溢水量を算定する。

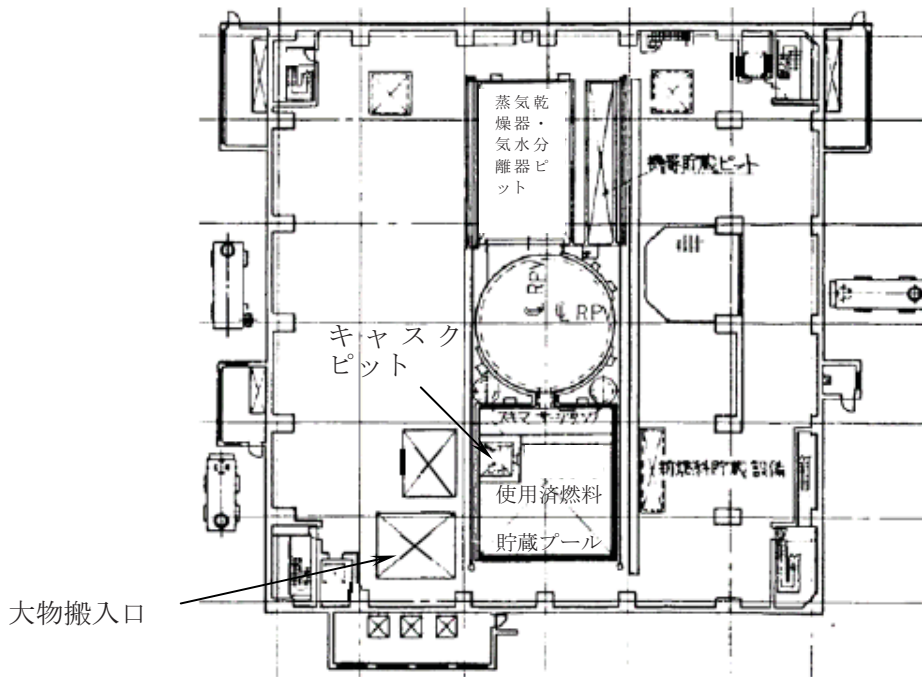
柏崎刈羽原子力発電所 5 号機原子炉建屋 4 階の機器配置および断面，並びに使用済燃料貯蔵プールの概要をそれぞれ参図-7.1.3～参図-7.1.5 に示す。



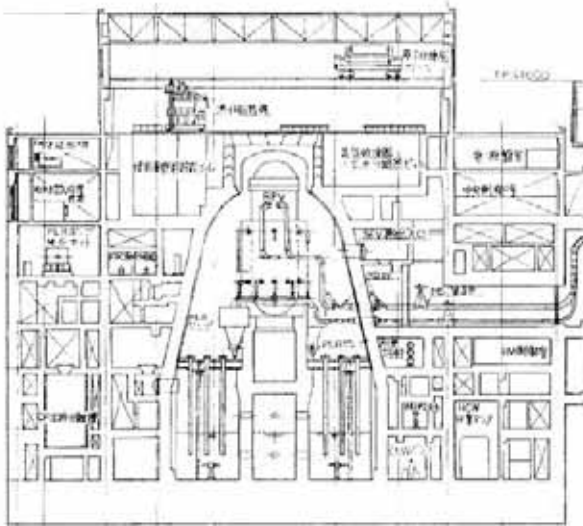
参図-7.1.1 使用済燃料貯蔵プールの解析モデル概要



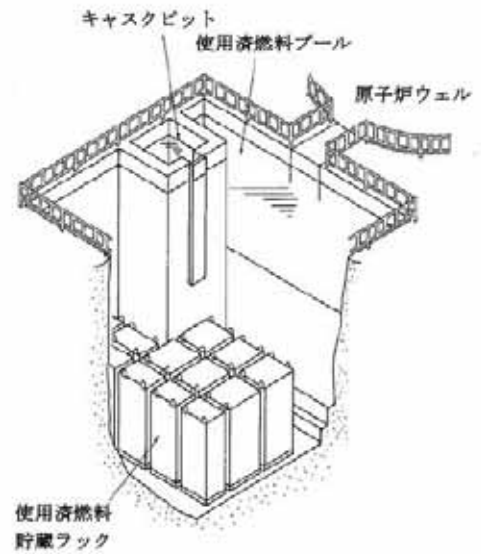
参図-7.1.2 加速度時刻歴



参図-7.1.3 原子炉建屋4階機器配置図



参図-7.1.4 原子炉建屋断面図 (EW 断面)



参図-7.1.5 使用済燃料プール概要図

### 2.1.3 溢水量の推定結果

上記方法にて推定した基準地震動 Ss における使用済燃料貯蔵プールスロッシングによる溢水量を参表-7.1.1 に示す。

参表-7.1.1 基準地震動 Ss における使用済燃料貯蔵プールスロッシングによる溢水量

NS 方向	EW 方向
288m <sup>3</sup>	471m <sup>3</sup>

〈参考〉

新潟県中越沖地震における溢水量は、簡易的な手法により 90m<sup>3</sup>と評価されている。

## 2.2 溢水による使用済燃料の冷却能力への影響確認

推定した溢水量は、使用済燃料を冷却する能力に影響を与えない。すなわち、溢水の補給は、サプレッションプールから残留熱除去系を通じて補給可能であり、燃料が露出するものではない。

参表-7.1.2 溢水時の燃料プール水位確認結果

	NS 方向	EW 方向
推定溢水量	288m <sup>3</sup>	471m <sup>3</sup>
使用済燃料貯蔵プール面積	約 166.0m <sup>2</sup>	
通常時使用済燃料貯蔵プール水位	11.5m	
水位低下量	約 1.8m	約 2.9m
溢水後使用済燃料貯蔵プール水位	約 9.7m	約 8.6m
使用済燃料貯蔵ラック高さ	4.49m	

## 2.3 溢水による安全系機器への影響確認

### 2.3.1 溢水に対する設計上の考慮について

安全上重要な系統および機器は多重性、多様性を有するとともに、必要に

応じて互いに離隔距離をとる等の配置上の考慮がなされており、その安全機能が喪失しないよう設計されている。

機器、配管系の破損による異常漏えい等の溢水に対しても、安全上重要な系統および機器の安全機能を確保できるように、配置上の考慮や、床カーブ(せき、勾配)の設置、漏えい検出系の設置等がなされている。

### 2.3.2 溢水に対する安全系機器の影響確認

使用済燃料貯蔵プール内から溢水した水は、床に設定されているファンネルより最下階の高電導度廃液系サンプタンクに流入し、流入した水は当該サンプタンクに設置されているサンプポンプにて収集タンクへ送水される。万が一、当該サンプポンプが機能せず当該フロアに水が溜まったとしても、安全上重要な系統および機器の安全機能を確保できるように、非常用系エリアは隔壁で分離区画(3区画)され、配置上の分離独立がなされている。なお、溜まった水は必要に応じて拭き取り作業、仮設ポンプにて汲み出す作業により対応することになると考えている。

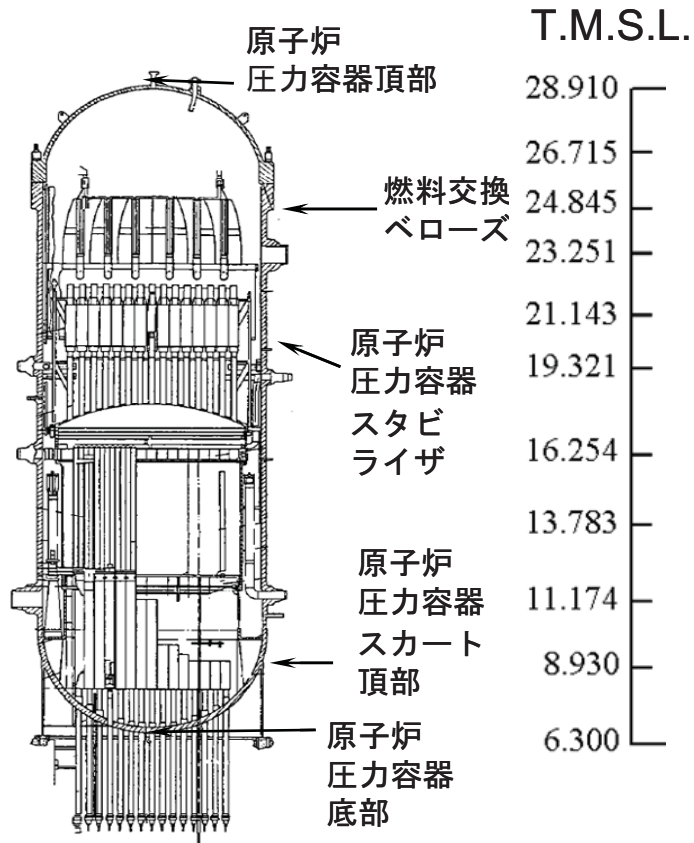
以上により、スロッシングによる使用済燃料貯蔵プールからの溢水に対する安全系機器への影響はない。

## 2.4 溢水の低減措置

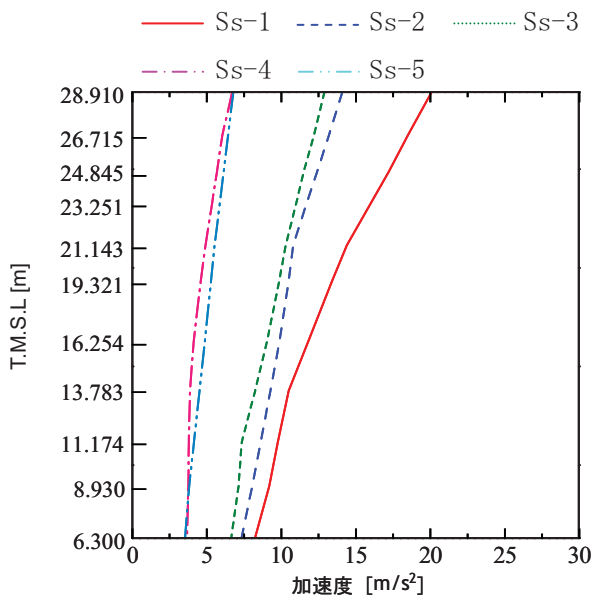
使用済燃料貯蔵プール水の地震による溢水を低減する措置として、使用済燃料貯蔵プール周囲に柵を設置した。ただし、今回の溢水量評価は、柵を考慮していないので保守的な評価になっている。

大型機器解析モデルおよび炉内構造物解析モデルによる  
地震応答解析結果（詳細）

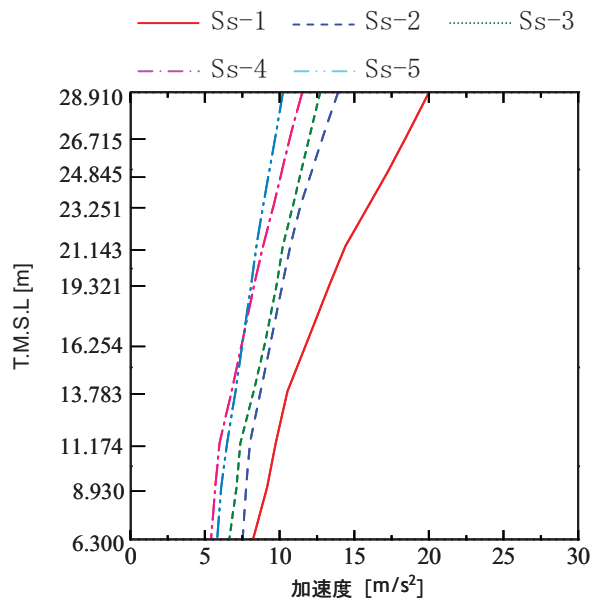
7.2.2.4 項に示した大型機器解析モデルおよび炉内構造物解析モデルによる地震  
応答解析結果（第 7.2.2.4-1 図～第 7.2.2.4-27 図）の詳細について，参図-7.2.1～  
参図-7.2.27 に示す。



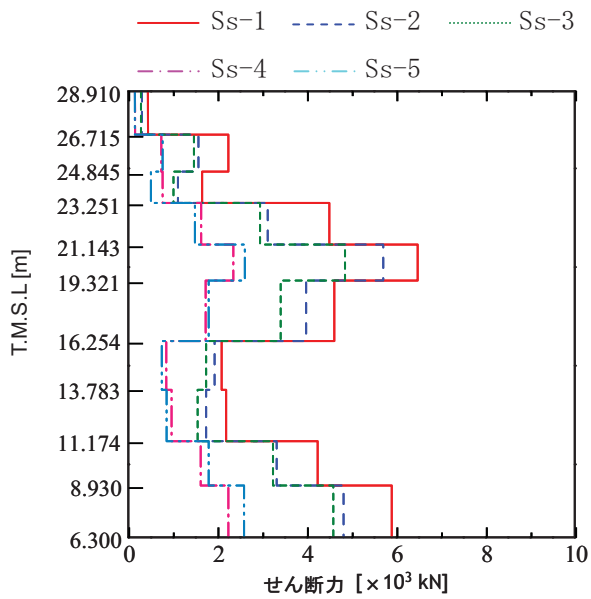
参図-7.2.1 RPV 標高



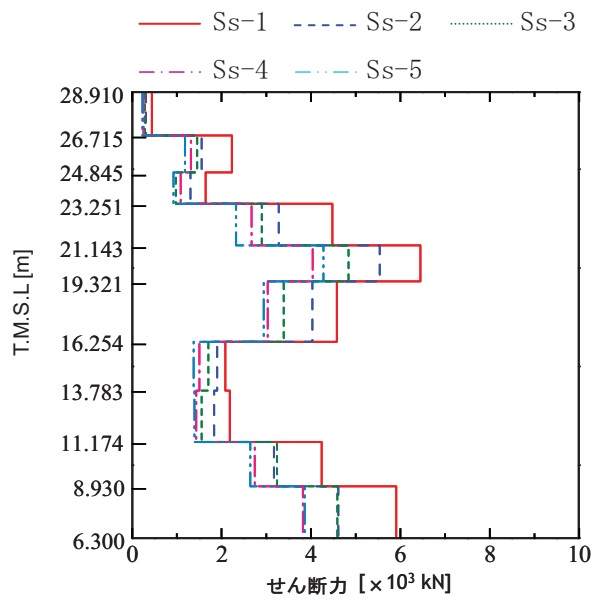
参図-7.2.2 RPV 水平方向  
最大応答加速度 (NS 方向)



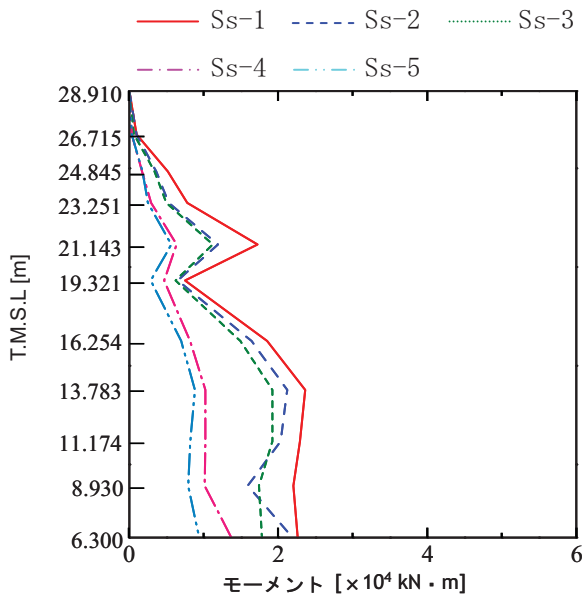
参図-7.2.3 RPV 水平方向  
最大応答加速度 (EW 方向)



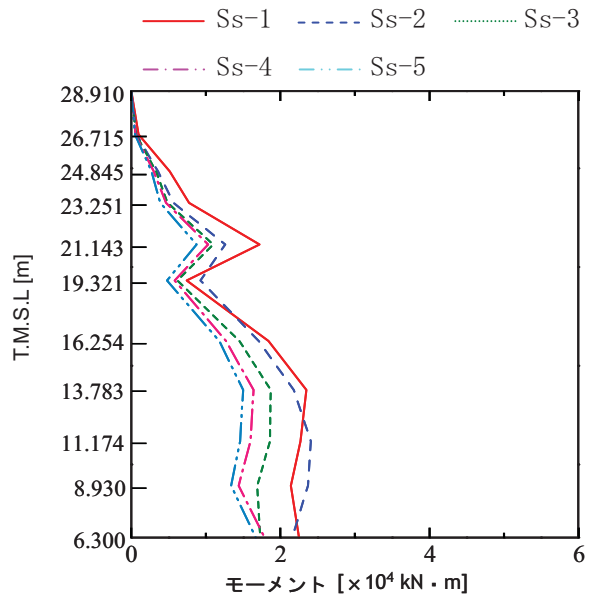
参図-7.2.4 RPV 水平方向  
最大応答せん断力 (NS 方向)



参図-7.2.5 RPV 水平方向  
最大応答せん断力 (EW 方向)

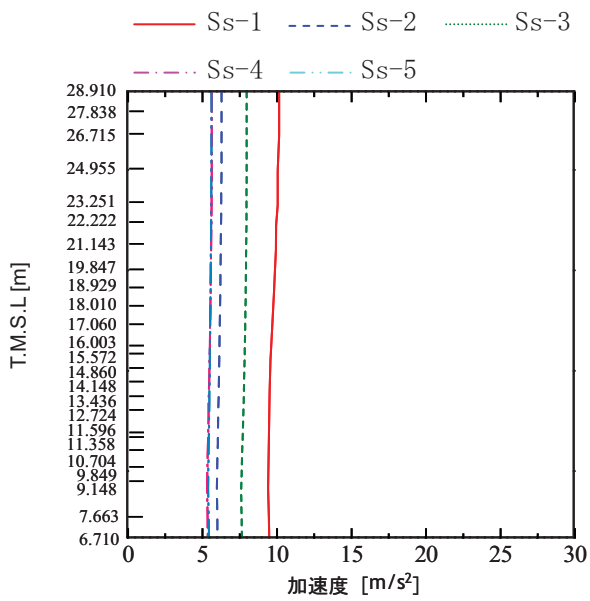


参図-7.2.6 RPV 水平方向  
最大応答モーメント (NS 方向)

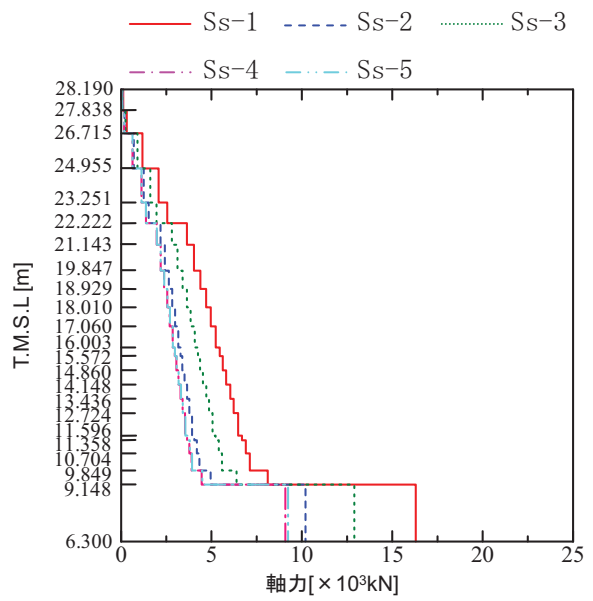


参図-7.2.7 RPV 水平方向  
最大応答モーメント (EW 方向)

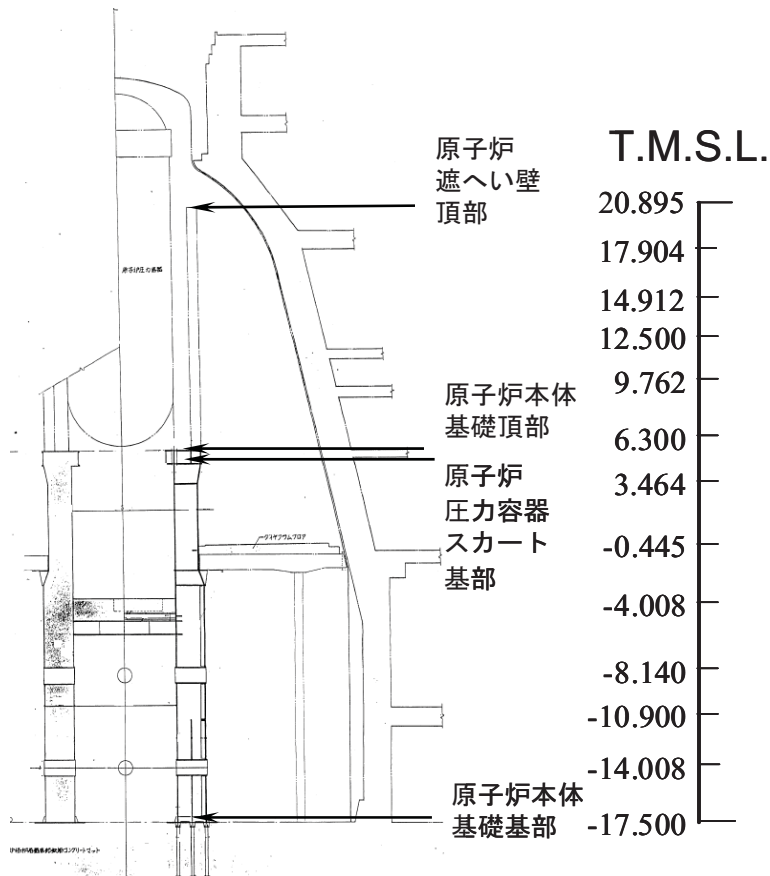




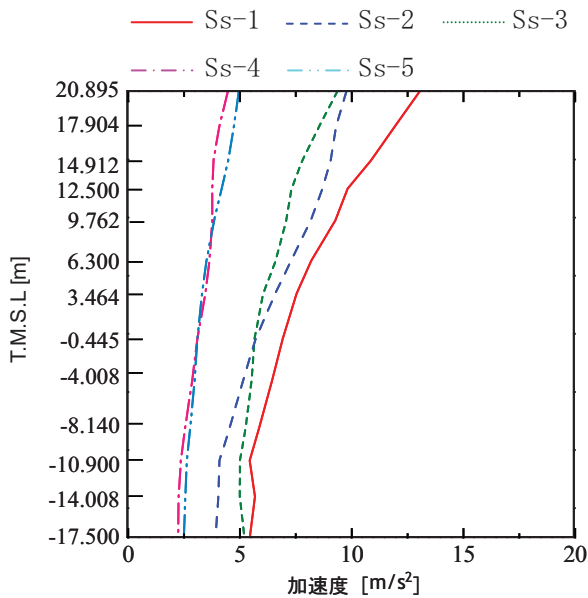
参图-7.2.8 RPV 鉛直方向  
最大応答加速度



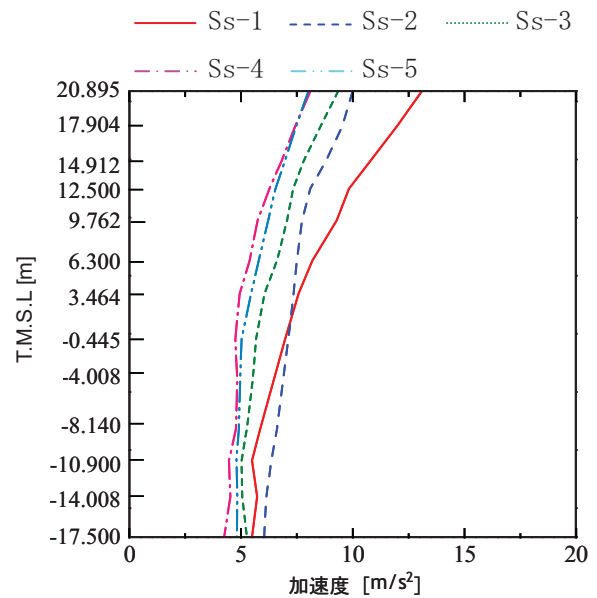
参图-7.2.9 RPV 鉛直方向  
最大応答軸力



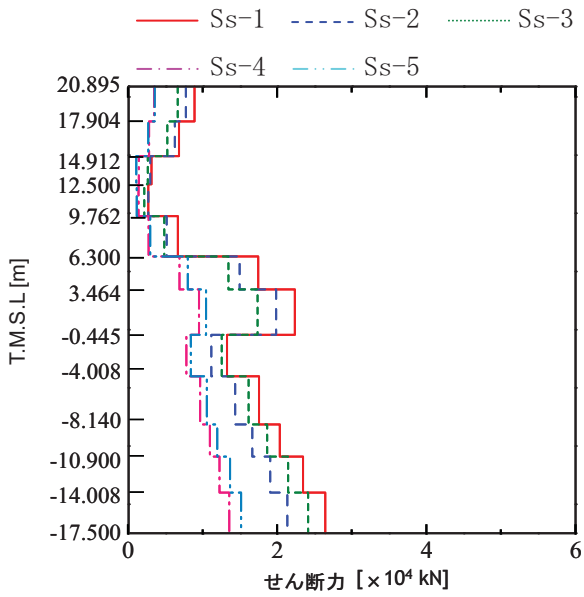
参図-7.2.10 原子炉遮へい壁および原子炉本体基礎標高



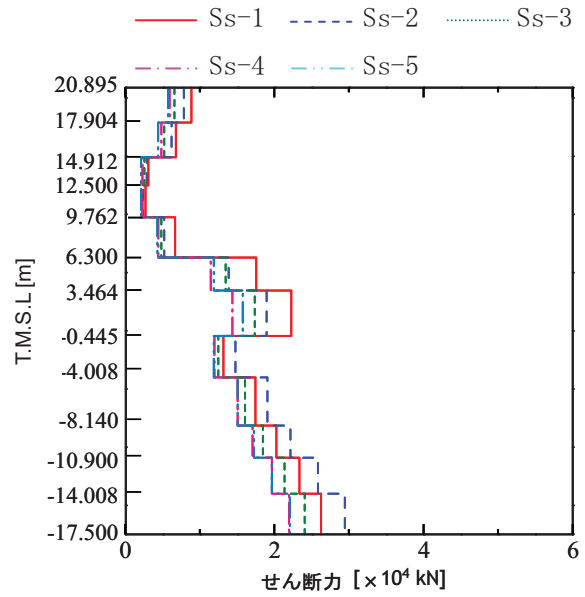
参図-7.2.11 原子炉遮へい壁および原子炉本体基礎  
水平方向最大応答加速度 (NS 方向)



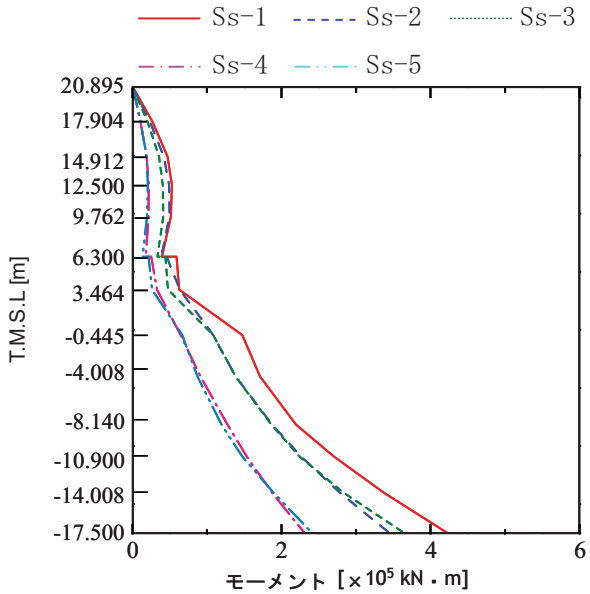
参図-7.2.12 原子炉遮へい壁および原子炉本体基礎  
水平方向最大応答加速度 (EW 方向)



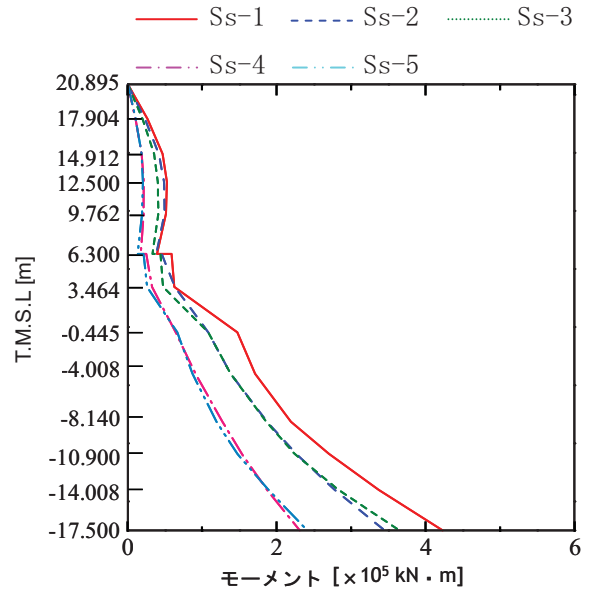
参図-7.2.13 原子炉遮へい壁および原子炉本体基礎  
水平方向最大応答せん断力 (NS 方向)



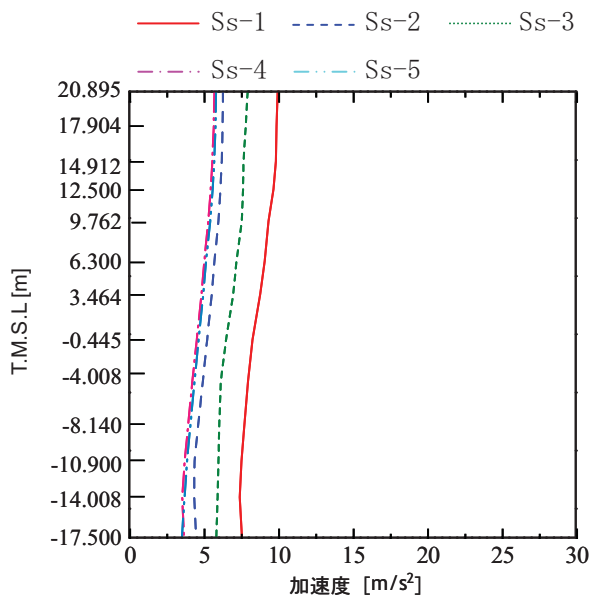
参図-7.2.14 原子炉遮へい壁および原子炉本体基礎  
水平方向最大応答せん断力 (EW 方向)



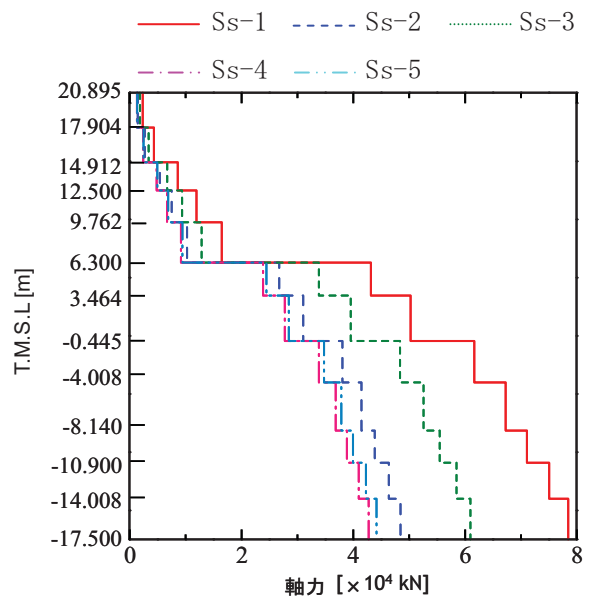
参図-7.2.15 原子炉遮へい壁および原子炉本体基礎  
水平方向最大応答モーメント (NS 方向)



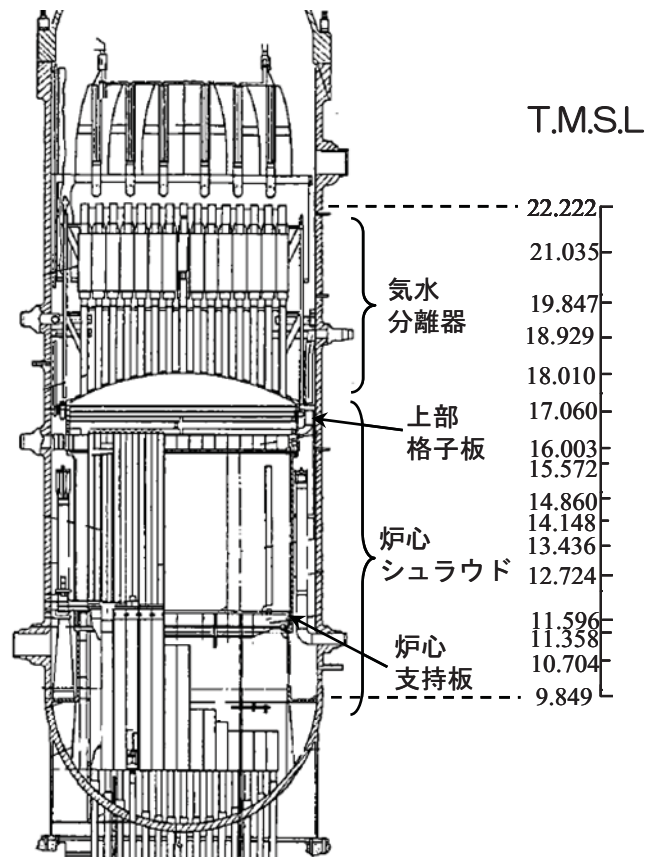
参図-7.2.16 原子炉遮へい壁および原子炉本体基礎  
水平方向最大応答モーメント (EW 方向)



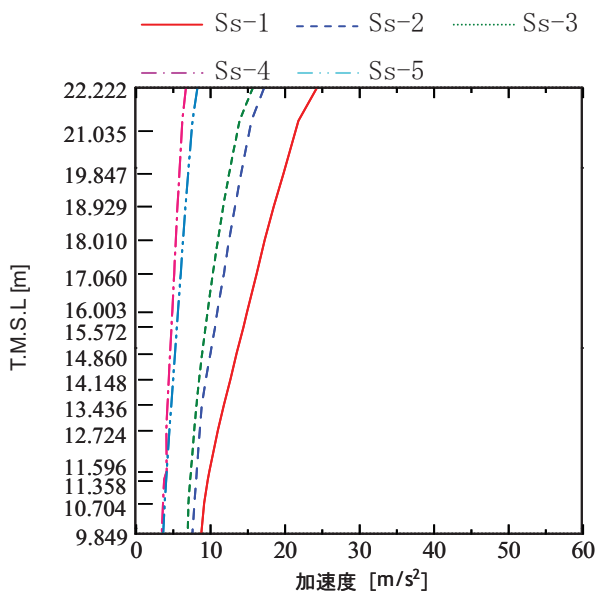
参図-7.2.17 原子炉遮へい壁および原子炉本体基礎  
鉛直方向最大応答加速度



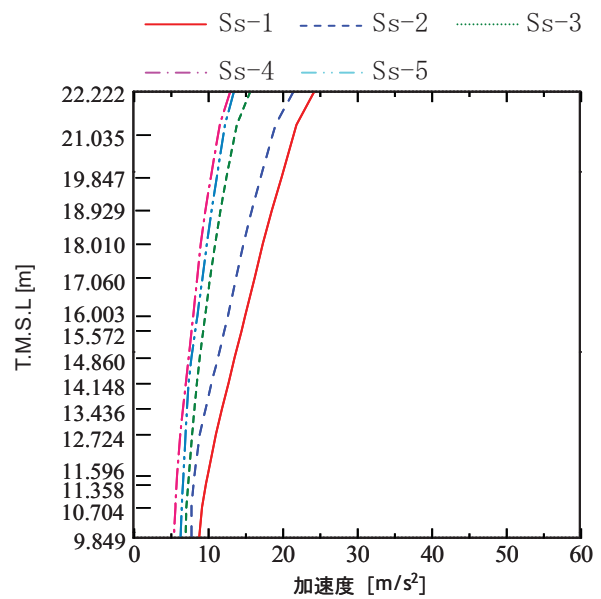
参図-7.2.18 原子炉遮へい壁および原子炉本体基礎  
鉛直方向最大応答軸力



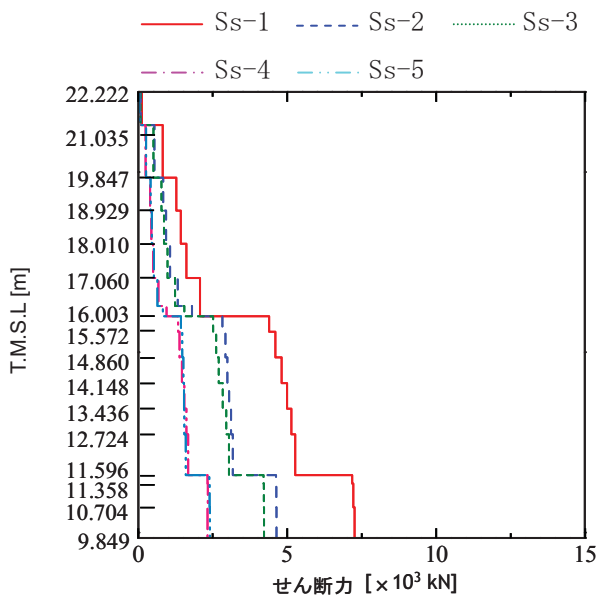
参図-7.2.19 炉内構造物標高



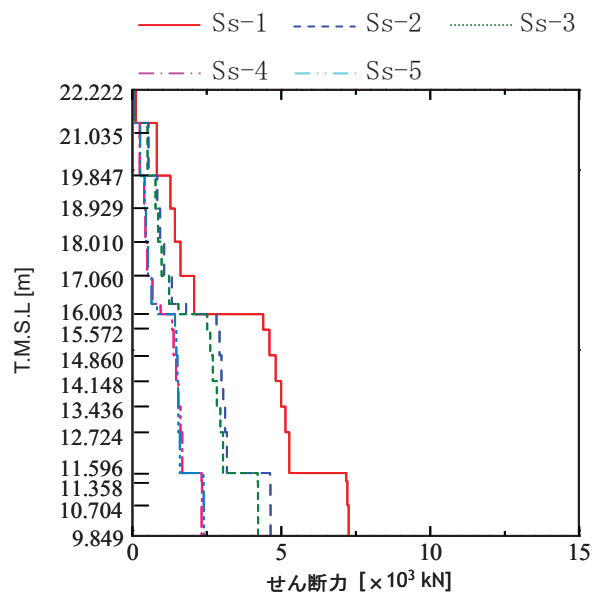
参図-7.2.20 炉内構造水平方向  
最大応答加速度 (NS 方向)



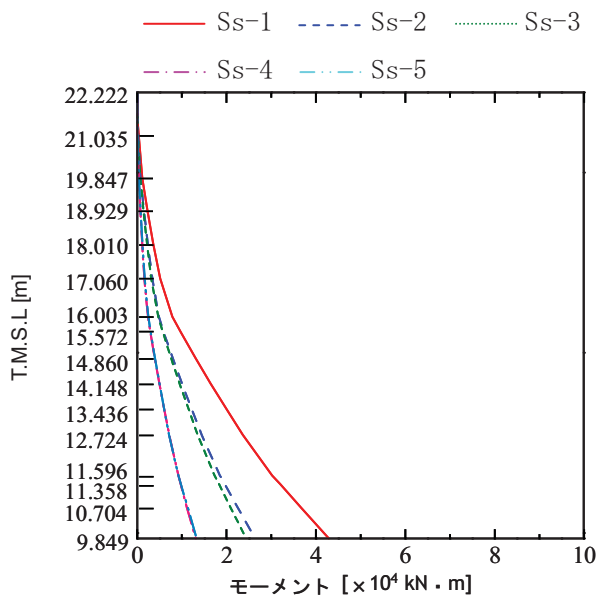
参図-7.2.21 炉内構造水平方向  
最大応答加速度 (EW 方向)



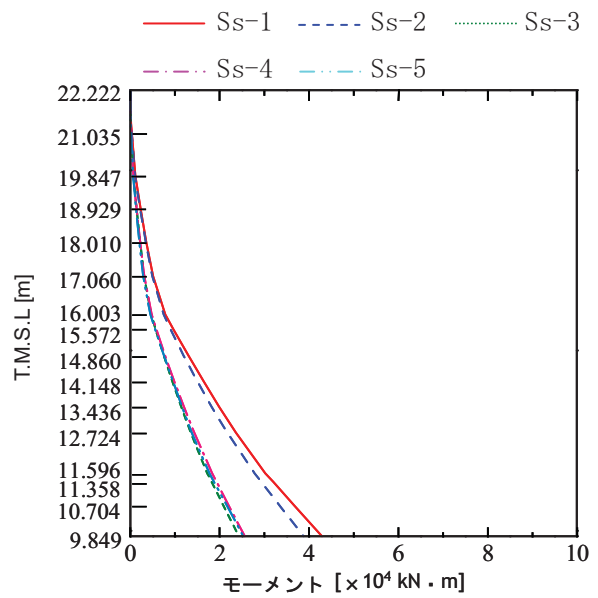
参図-7.2.22 炉内構造水平方向  
最大応答せん断力 (NS 方向)



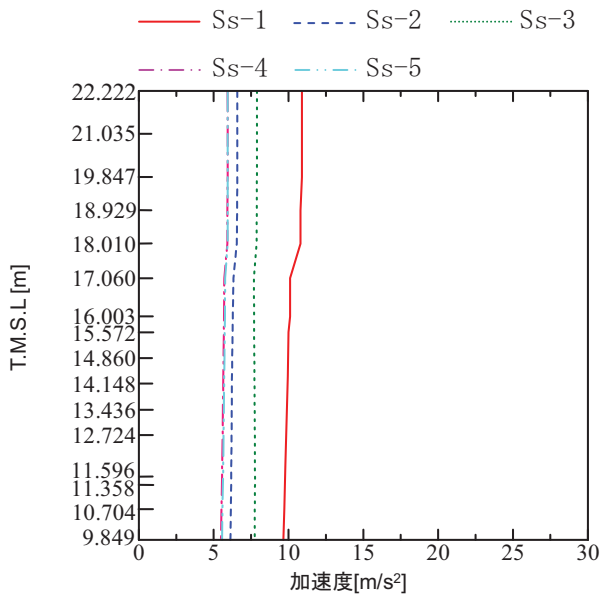
参図-7.2.23 炉内構造水平方向  
最大応答せん断力 (EW 方向)



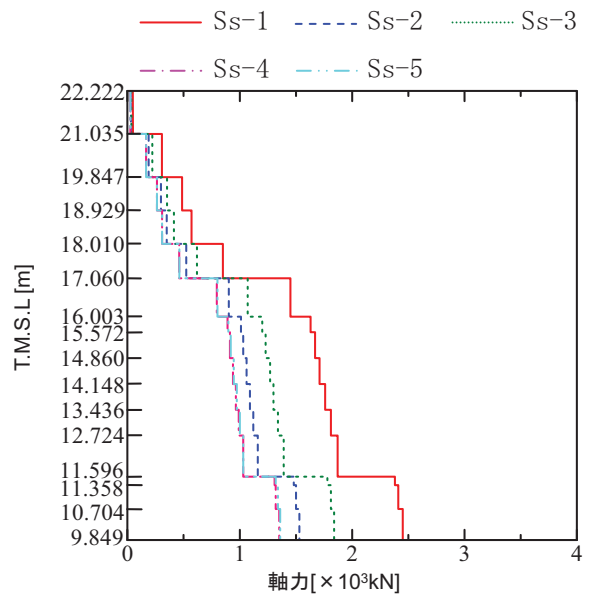
参図-7.2.24 炉内構造水平方向  
最大応答モーメント (NS 方向)



参図-7.2.25 炉内構造水平方向  
最大応答モーメント (EW 方向)



参图-7.2.26 炉内構造鉛直方向  
最大応答加速度



参图-7.2.27 炉内構造鉛直方向  
最大応答軸力

## 原子炉本体基礎の復元力特性について

## 1. 原子炉本体基礎の復元力特性について

柏崎刈羽原子力発電所各号機の原子炉本体基礎（以下、「RPV ペデスタル」という）は、いずれも鋼板円筒殻の内部にコンクリートを充填した構造となっている。現行の耐震設計では、RPV ペデスタルは線形仮定をおいて地震応答解析を実施している。

原子炉建屋に作用する地震慣性力は、剛性比に応じて建屋系と機器系に配分される。柏崎刈羽原子力発電所の耐震安全性評価において原子炉設備の地震応答解析をおこなう際に、原子炉建屋は弾塑性応答解析モデルを用いているが、これは原子力発電所において十分に実績のある手法であり一般化された手法である。一方、従来は、RPV ペデスタルは線形仮定をおいて地震応答解析をおこなっている。大きな地震力に対して弾塑性モデルの建屋系と弾性モデルの RPV ペデスタルを組み合わせた地震応答解析モデルを用いると、解析上、弾性モデルの RPV ペデスタルが大きな荷重を負担することになる。

そこで、「鋼板コンクリート構造耐震設計技術指針 建物・構築物編 JEAG4618-2005」（以下 SC 指針という）を参照し、RPV ペデスタルの地震時の挙動を実態に合わせる弾塑性モデルを適用した。



## 2. RPV ペDESTALの構造

RPV ペDESTALは内外にある2枚の円筒鋼板（内筒，外筒）から構成されている。これらの鋼板は縦リブ鋼板（隔壁）により一体化され，鋼板間にコンクリートを充填した構造物であり，隔壁方式の鋼板コンクリート構造物（以下，SC 構造という）である。（図1，図2 参照）。

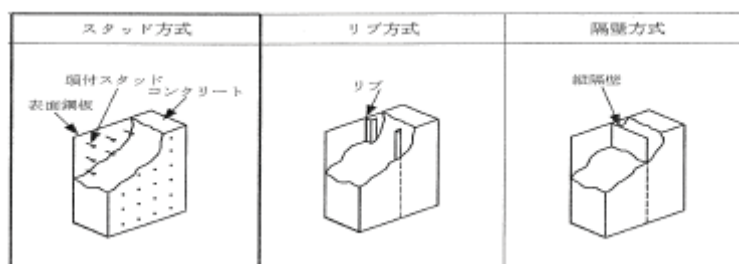


図1 SC 構造物の方式イメージ図

（出典：「鋼板コンクリート構造耐震設計技術指針 建物・構築物編 JEAG4618-2005」）

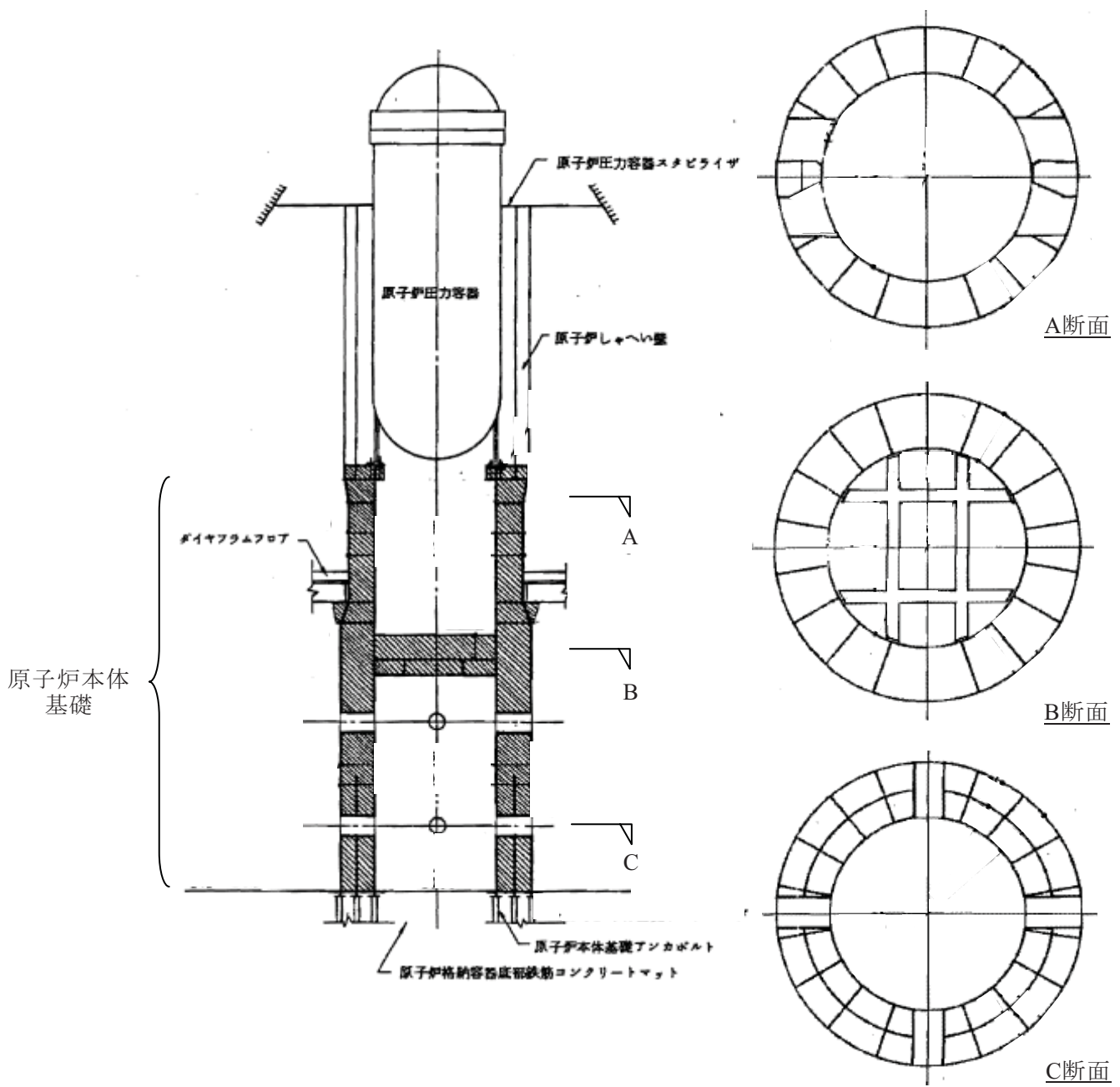


図2 5号機 RPV ペデスタル概要図

### 3. 地震応答解析モデル

RPV ペDESTALは、RPV と同様に、多質点でモデル化する。断面形状の違いを考慮して分割し、質点間を等価な曲げ、せん断剛性を有する無質量のはり又は無質量のばねで結合する（図3）。

2. で述べた構造を踏まえ、ダイア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と結合し、RPV と RPV ペDESTALは、RPV 設置位置で剛に結合して相互影響を考慮している。また、RPV ペDESTALは原子炉建屋基礎版と剛に結合されている。なお、RPV ペDESTALは、減衰定数を 5%としている。

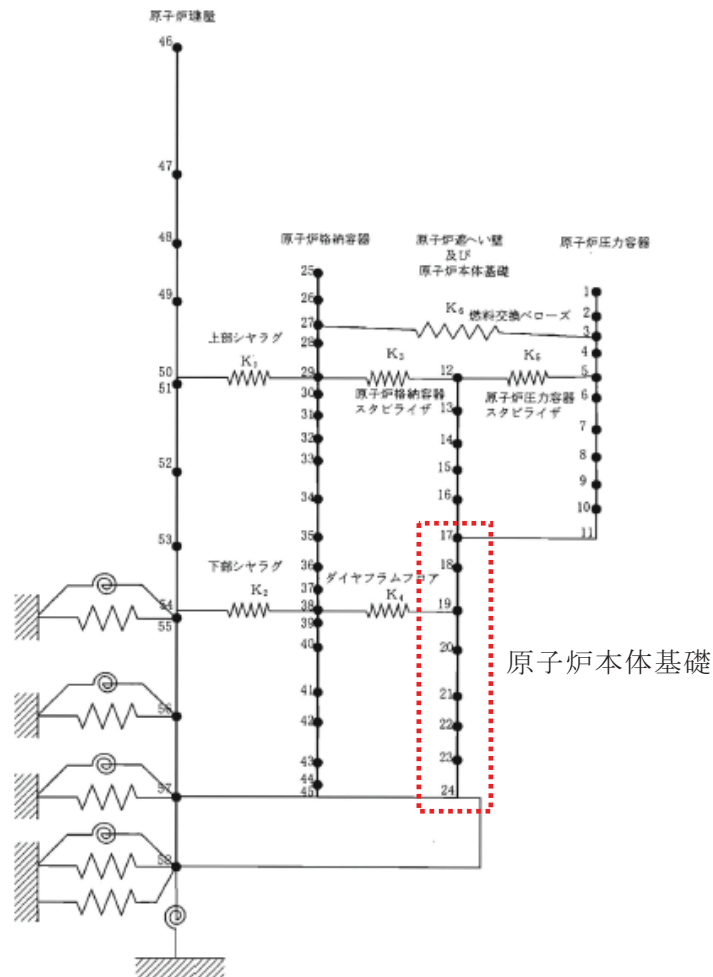
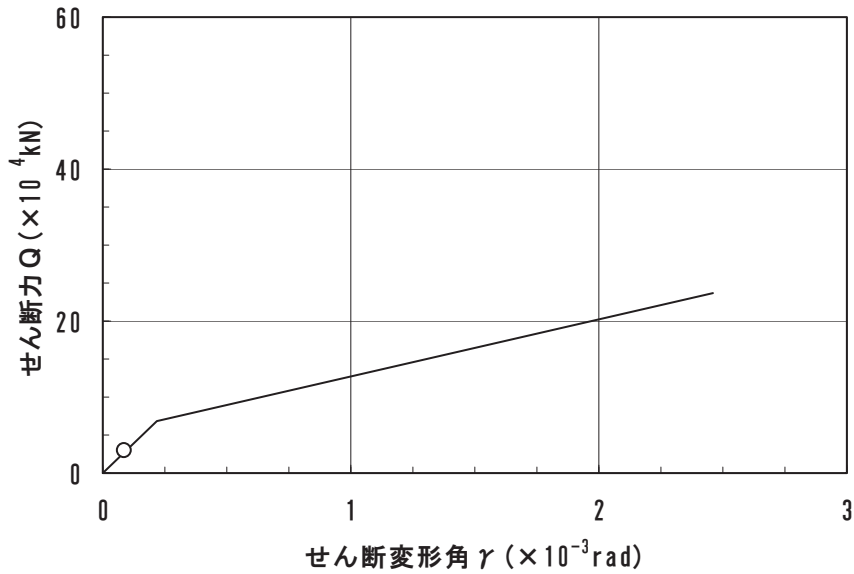


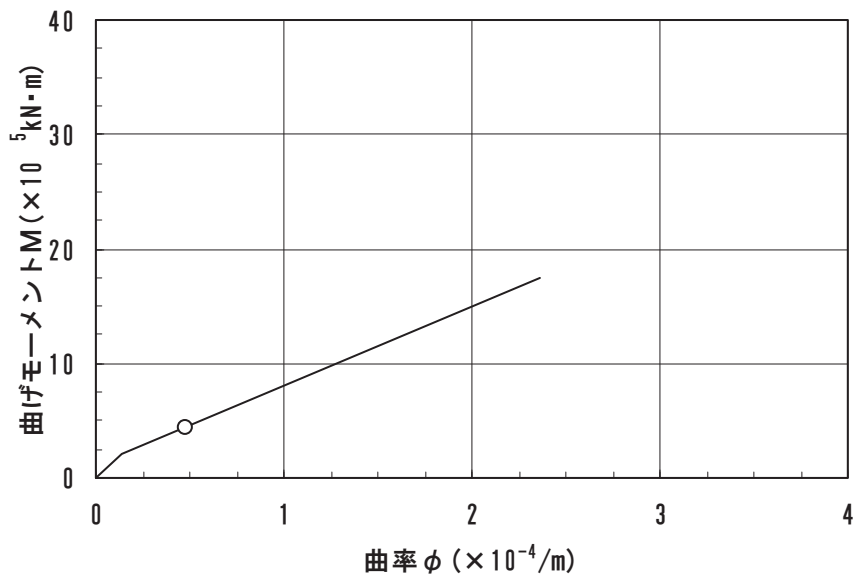
図3 RPV ペDESTAL部の地震応答解析モデル（水平方向の例）

#### 4. RPV ペDESTALの地震応答解析結果

RPV ペDESTALの地震荷重は、3. で述べた地震応答解析を用いて、時刻歴地震応答解析を行うことで算出される。評価用の地震荷重は、地震応答解析によって得られる時刻歴荷重の最大値を用いる。地震応答解析により得られた荷重を図4に示す。



(a) せん断



(b) 曲げ

図4 RPV ペDESTAL基部の最大応答せん断力及び最大応答曲げモーメント  
(基準地震動  $S_s$  NS, EW 包絡値)

<参考> RPV ペデスタル復元力特性

<基本方針>

1. 鋼板が降伏する第2折点までを設定範囲とした。
2. SC 指針の復元力特性の評価を参考に，RPV ペデスタルの特徴を踏まえて，復元力特性を評価した。

(1) SC 指針の復元力特性の評価

SC 構造物に関する復元力特性の評価手法として，SC 指針を参考にした。SC 指針で述べられている復元力特性評価式はスタッド方式を対象としたものであるが，RPV ペデスタルは隔壁方式の構造物であるため，SC 指針の評価式に RPV ペデスタルの構造上の特徴を考慮して，RPV ペデスタルの復元力特性を評価した。

(2) せん断変形（せん断力  $Q$ —せん断ひずみ度  $\gamma$ ）

a. 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

$Q1$  : (コンクリートの断面積 + 鋼板の等価断面積)

×コンクリートのせん断ひび割れ強度

$\gamma 1$  : コンクリートのせん断ひび割れ強度 / コンクリートのせん断弾性係数

b. 第2折点

鋼板の降伏により剛性が変化する点

$Q2$  : 鋼板降伏時せん断力。鋼板負担分のせん断力とコンクリート負担分のせん断力の累加による。なお，コンクリート負担分のせん断力は，ひび割

れ後のコンクリートの有効せん断剛性を考慮

$\gamma_2 : Q_2 /$  (鋼板のせん断剛性+ひび割れ後のコンクリートの有効せん断剛性)

(違いを考慮したポイント)

RPV ペデスタルは、二重円筒の空隙を、たてリブで一定の間隔に区切った隔壁構造である。この構造を考慮してひび割れ後のコンクリートの有効せん断剛性を既往の文献\*に基づき設定。

\* : 松尾 他 : 鋼板コンクリート耐震壁に関する研究 その3. せん断荷重-変形関係の解析, 日本建築学会学術講演梗概集 (1992 年)

5号機のRPV ペデスタルに設定したせん断変形スケルトンカーブを図5に示す。

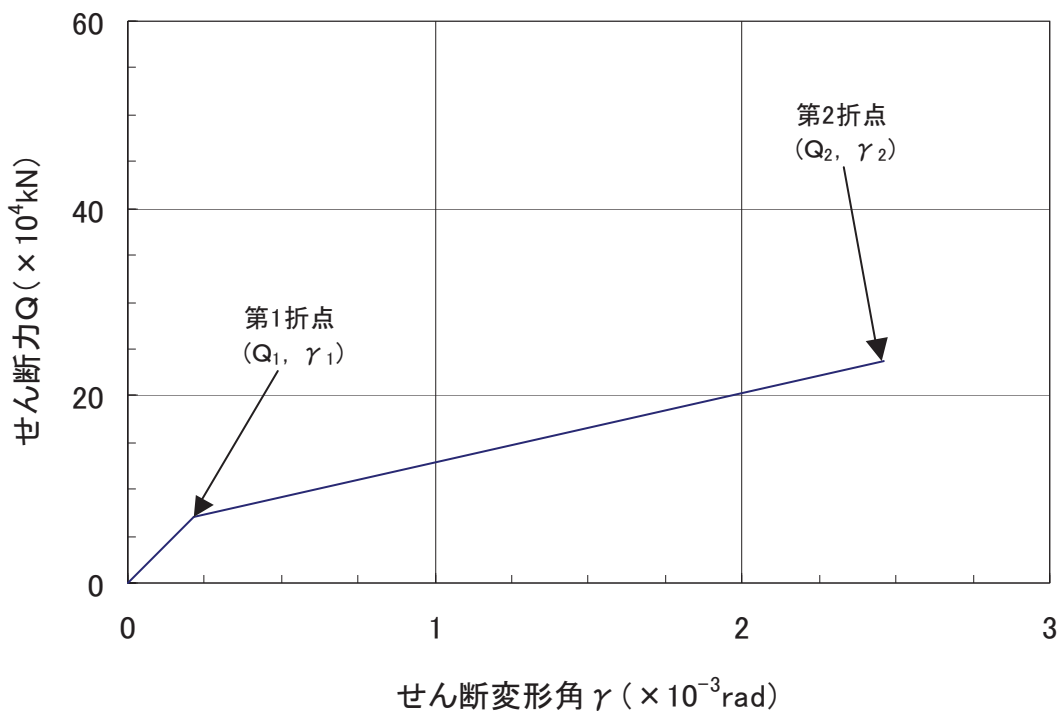


図5 5号機 RPV ペデスタル脚部 せん断変形スケルトンカーブ

(3) 曲げ変形 (モーメント  $M$  - 曲率  $\varphi$ )

a. 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

$M1$  : 鋼板を考慮した断面係数  $\times$  コンクリートの曲げ引張強度

$\varphi1$  :  $M1 / (\text{コンクリートのヤング係数} \times \text{鋼板を考慮した断面 2 次モーメント})$

b. 第 2 折点

鋼板の降伏により剛性が変化する点

$M2$  : 引張鋼板降伏時モーメント

$\varphi2$  : 引張鋼板降伏時曲率

(違いを考慮したポイント ; 第 1, 第 2 折点共通)

ベースプレートによりコンクリートが分断されているため, RPV ペデスタル脚部ではコンクリートの曲げ引張強度を無視する (基本となる評価式は, 【参考】SC 指針における復元力特性評価式 参照)。

5 号機の RPV ペデスタルに設定した曲げ変形スケルトンカーブを, 図 6 に示す。

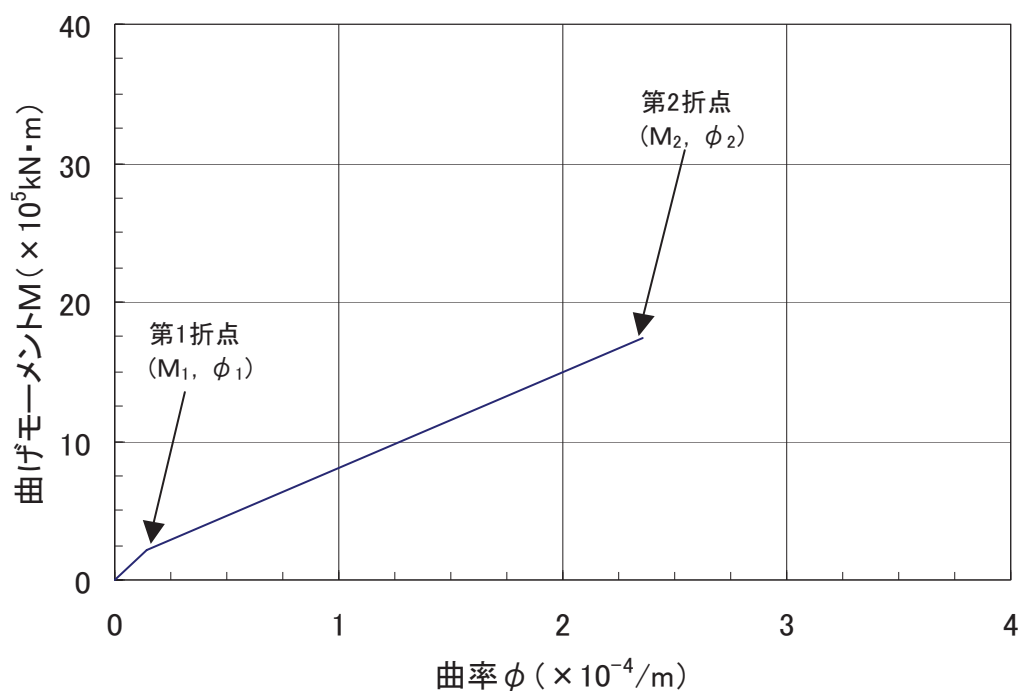


図6 5号機 RPV ペDESTAL脚部 曲げ変形スケルトンカーブ



【参考】SC 指針における復元力特性評価式

<せん断変形>

(第1折点) コンクリートのせん断ひびわれにより剛性が変化する点

$$Q_1 = (A_c + (G_s/G_c) \cdot A_s) \cdot \tau_\sigma \quad \dots\dots\dots (2.2.1)$$

$$\gamma_1 = \tau_\sigma / G_c \quad \dots\dots\dots (2.2.2)$$

$$\text{ただし, } \tau_\sigma = \sqrt{0.31 \sqrt{\sigma_B} \cdot (0.31 \sqrt{\sigma_B} + \sigma_v)}$$

(第2折点) 鋼板の降伏により剛性が変化する点

$$Q_2 = (K_\alpha + K_\beta) / \sqrt{(3K_\alpha^2 + K_\beta^2)} \cdot A_s \cdot \sigma_y \quad \dots\dots\dots (2.2.3)$$

$$\gamma_2 = Q_2 / (K_\alpha + K_\beta) \quad \dots\dots\dots (2.2.4)$$

$$\text{ただし, } K_\alpha = A_s \cdot G_s$$

$$K_\beta = 1 / \{4 / (A_c \cdot E_c') + 2 \cdot (1 - \nu_s) / (A_s \cdot E_s)\}$$

$A_s$  : 鋼板のせん断断面積 (mm<sup>2</sup>)

$A_c$  : コンクリートのせん断断面積 (mm<sup>2</sup>)

$G_s$  : 鋼板のせん断弾性係数 (N/mm<sup>2</sup>)

$G_c$  : コンクリートのせん断弾性係数 (N/mm<sup>2</sup>)

$E_s$  : 鋼板のヤング係数 (N/mm<sup>2</sup>)

$E_c'$  : コンクリートのひびわ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もよい (N/mm<sup>2</sup>)

$\nu_s$  : 鋼板のポアソン比

$\sigma_v$  : 鋼板を考慮した鉛直方向軸応力度 (圧縮を正, N/mm<sup>2</sup>)

$K_\alpha$  : 鋼板のせん断剛性

$K_\beta$  : ひびわ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

$\sigma_y$  : 鋼板の降伏点強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_B$  : 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<sup>2</sup>)

$\nu_1$  : コンクリート圧縮強度の有効係数で,  $0.7 - \sigma_B / 200$  を用いてよい

< 曲げ変形 >

(第1折点) コンクリートの曲げひびわれにより剛性が変化する点

$$M_1 = Z_e \cdot (f_t + \sigma_v) \dots\dots\dots (2.2.7)$$

$$\phi_1 = M_1 / (E_c \cdot I_e) \dots\dots\dots (2.2.8)$$

ただし,  $f_t = 0.38 \cdot \sqrt{\sigma_B}$

(第2折点) 鋼板の降伏により剛性が変化する点

$$M_2 = M_y \dots\dots\dots (2.2.9)$$

$$\phi_2 = \phi_y \dots\dots\dots (2.2.10)$$

$I_e$  : 鋼板を考慮した断面2次モーメント (mm<sup>4</sup>)

$Z_e$  : 鋼板を考慮した断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$f_t$  : コンクリートの曲げ引張強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_v$  : 鋼板を考慮した鉛直方向軸応力度 (圧縮を正, N/mm<sup>2</sup>)

$E_c$  : コンクリートのヤング係数 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_B$  : 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<sup>2</sup>)

$M_y$  : 鋼板降伏時モーメント (N・mm)

$\phi_y$  : 鋼板降伏時曲率 (1/mm)

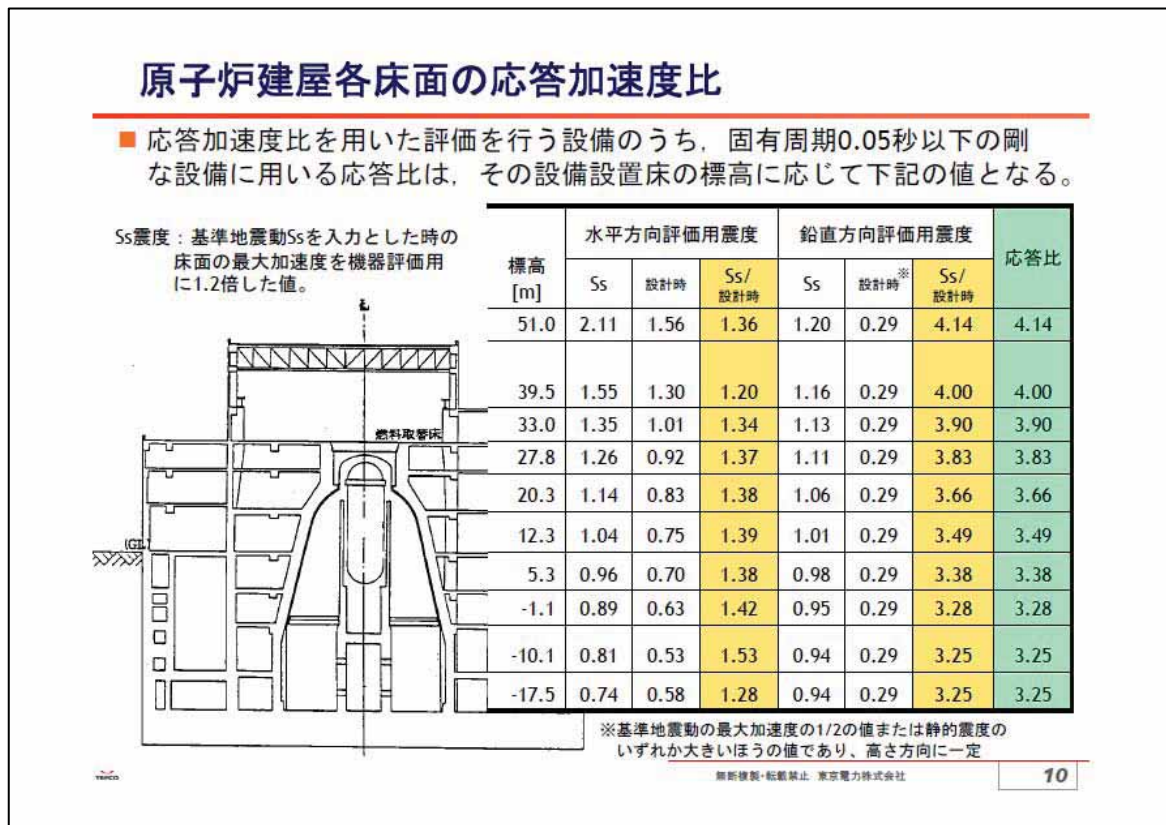
以上は, SC 指針より抜粋

### 原子炉建屋各床面の応答加速度比

応答加速度比を用いた応答倍率法（A2 手法）に用いる原子炉建屋各床面の応答加速度比を以下に示す。

（構造 WG\*資料「構造 W51-3-3」より抜粋）

\*：総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会構造ワーキンググループ

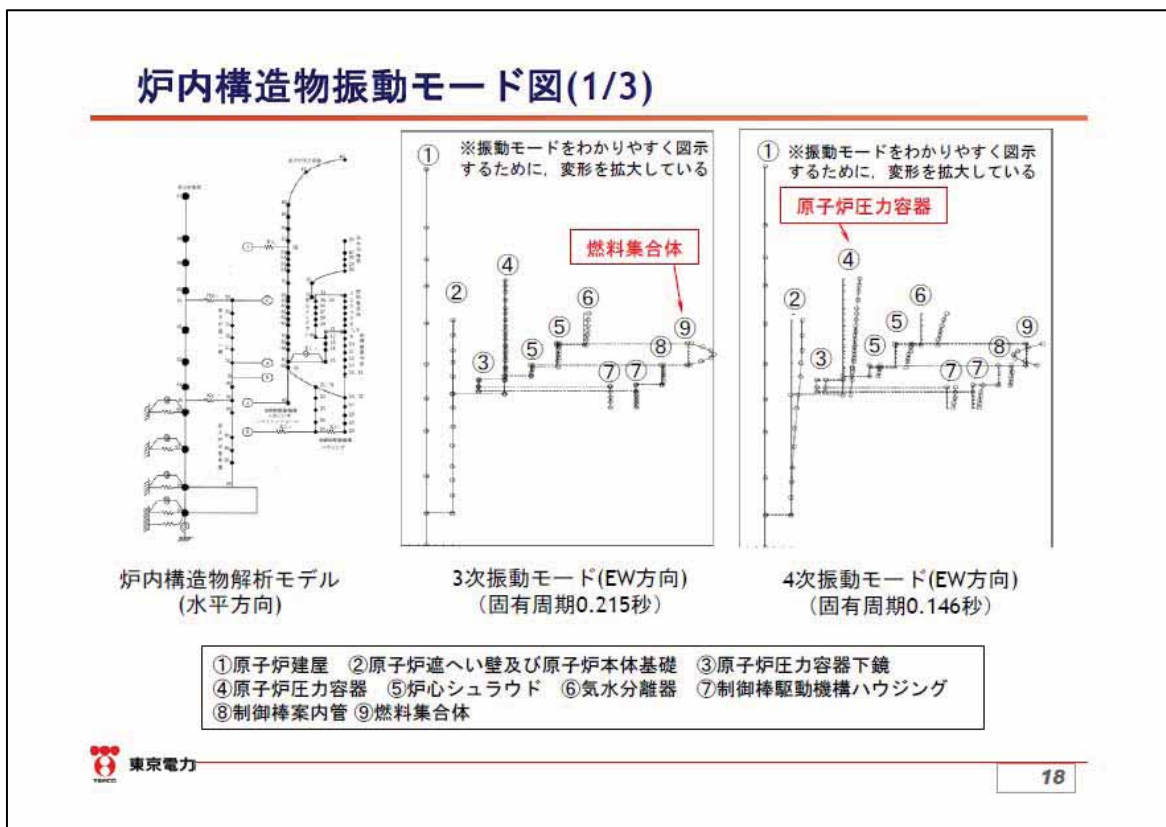


炉内構造物の振動モード図の例

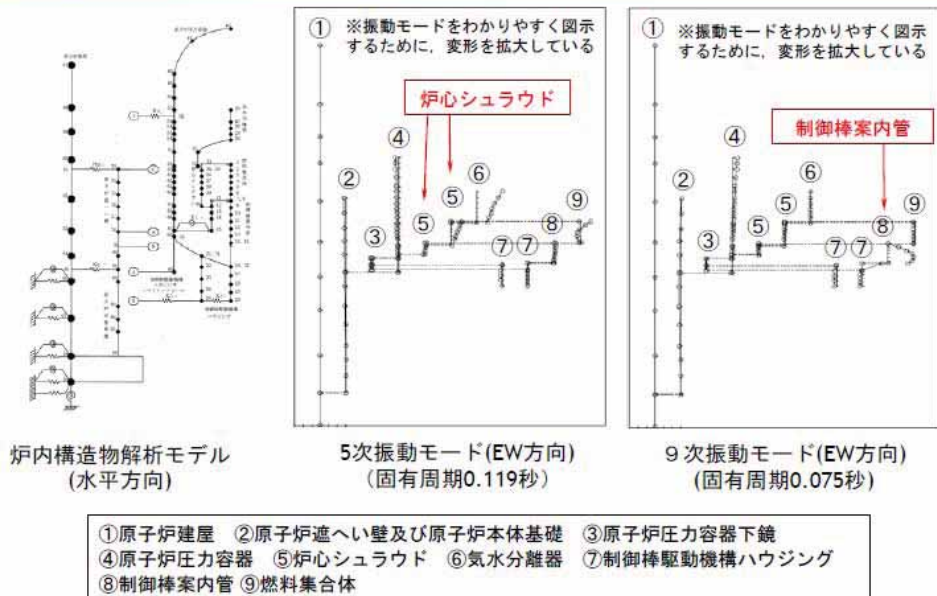
炉内構造物解析モデルによる固有値解析結果から得られるモード図の例を以下に示す。

(構造 WG\*資料「構造 W51-3-3」より抜粋)

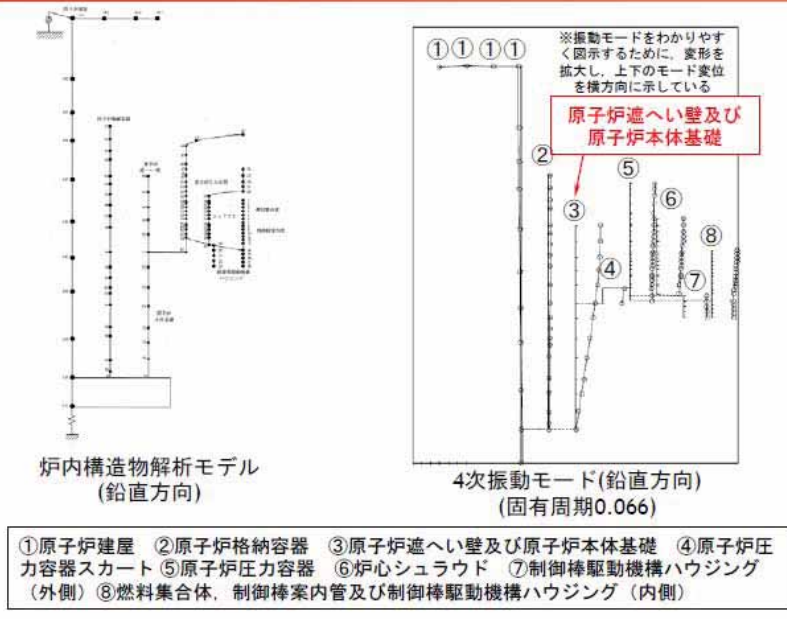
\*：総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会構造ワーキンググループ



## 炉内構造物振動モード図(2/3)



## 炉内構造物振動モード図(3/3)



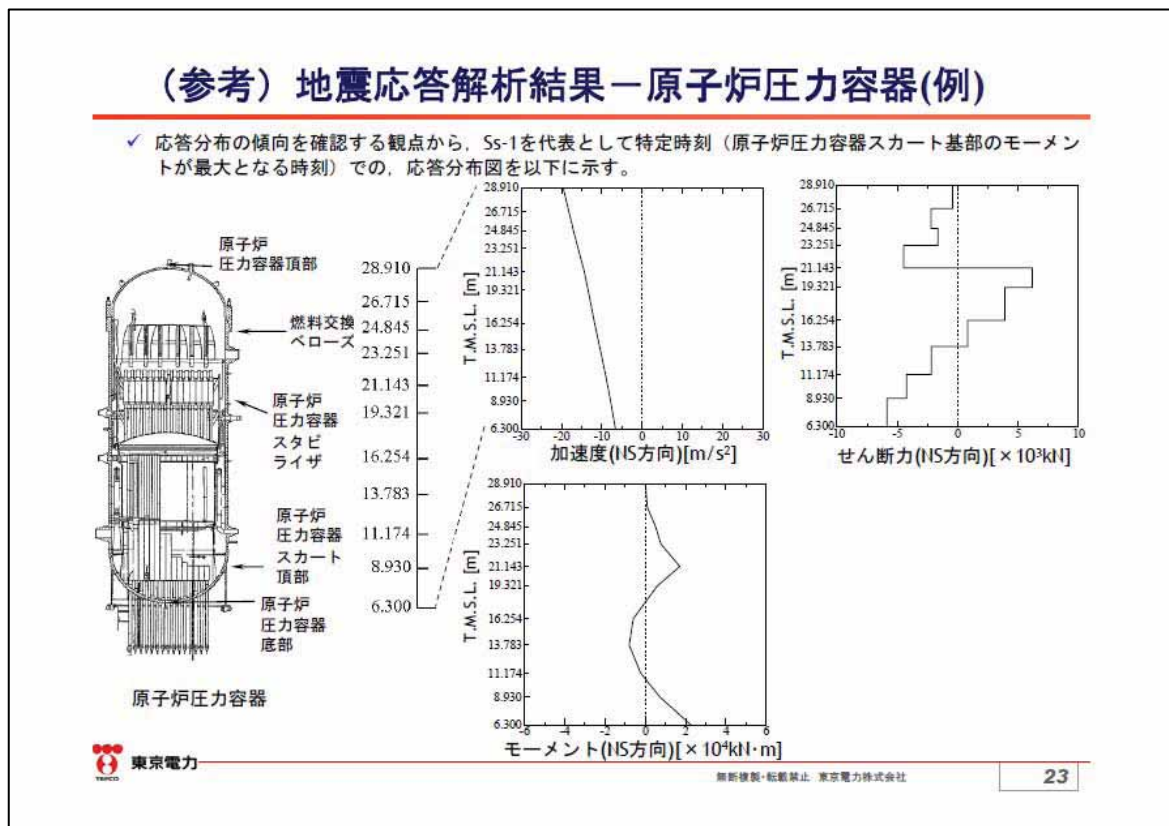


特定の時刻での地震応答分布図について

7.2.2.4 項に示した大型機器解析モデルおよび炉内構造物解析モデルによる地震応答解析結果は、基準地震動 Ss-1～5 ごとに算出した最大応答値を包絡したものである。そのため、応答分布の傾向を確認する観点から、Ss-1 を代表として、特定時刻での応答分布図の例を示す。

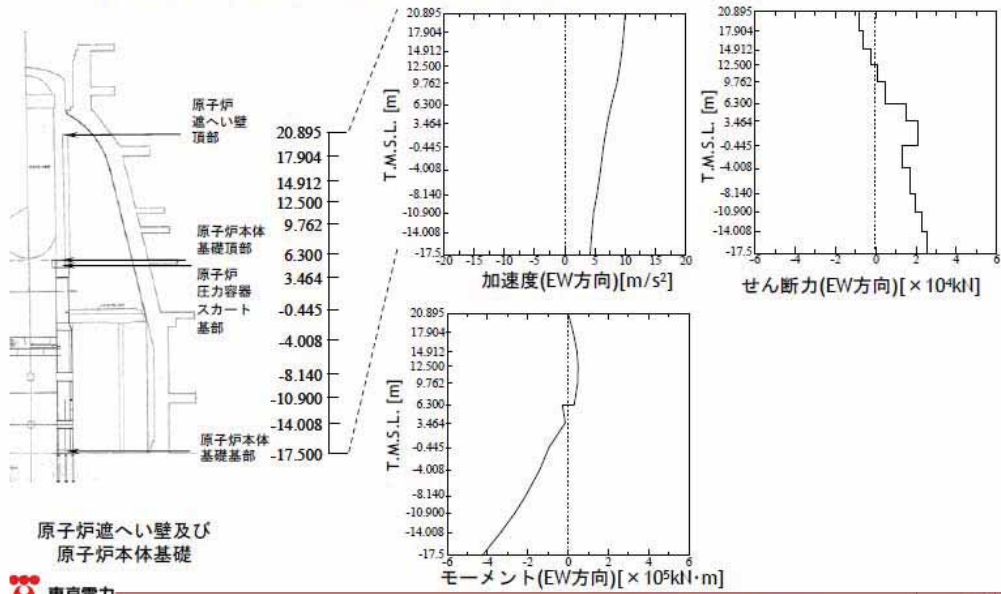
(構造 WG\*資料「構造 W51-3-3」より抜粋)

\*：総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会構造ワーキンググループ



### (参考) 地震応答解析結果—原子炉遮へい壁及び原子炉本体基礎(例)

✓ 応答分布の傾向を確認する観点から、Ss-1を代表として特定時刻（原子炉本体基礎基部のモーメントが最大となる時刻）での、応答分布図を以下に示す。



### 構造強度の評価例

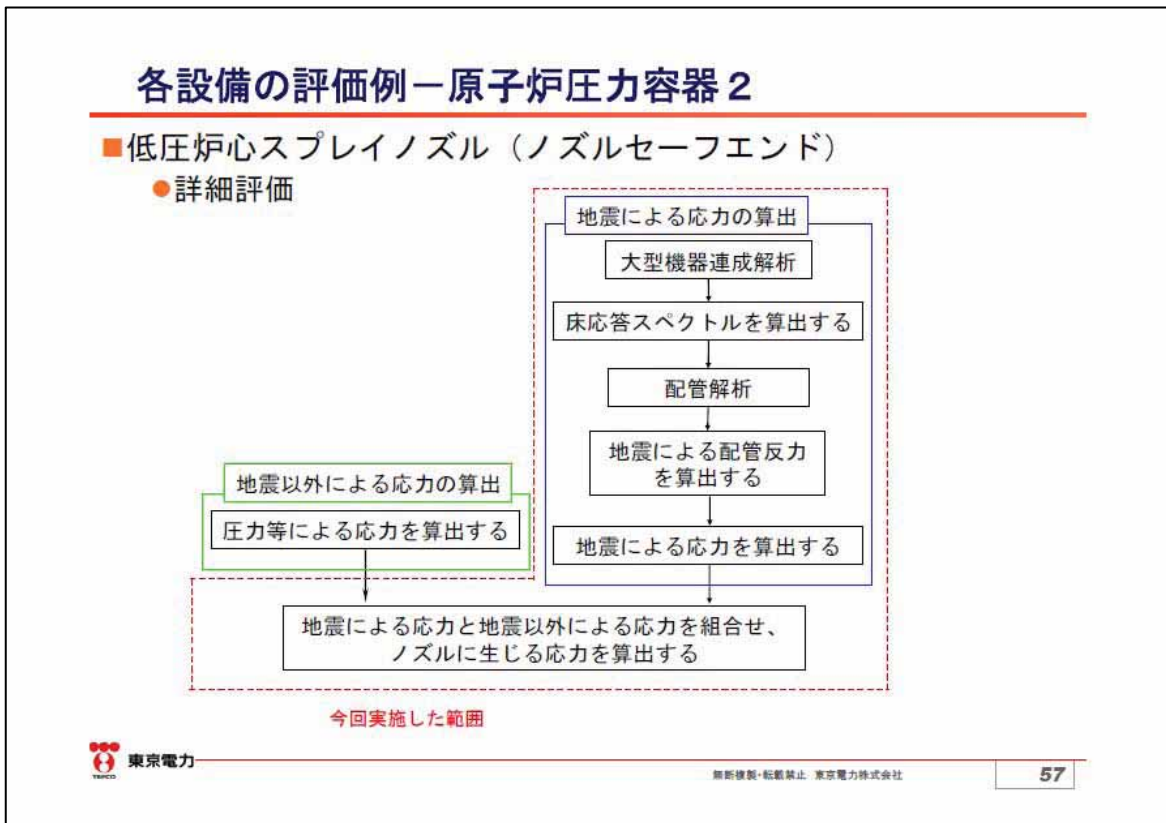
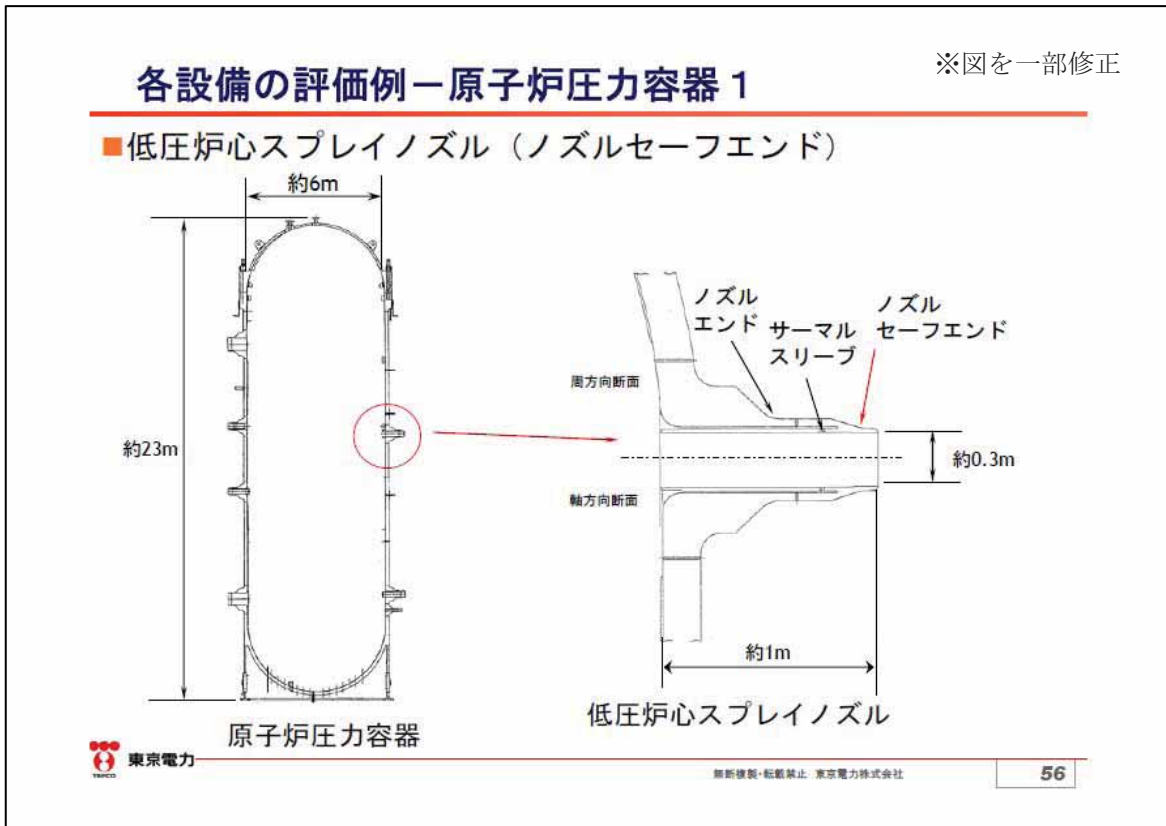
今回評価を実施した設備のうち、評価基準値に対して発生値が比較的近い設備を代表として、評価例を示す。

- ・ 低圧炉心スプレイノズル
- ・ シュラウドヘッド
- ・ 原子炉圧力容器スタビライザ
- ・ ダイヤフラムフロア
- ・ 使用済燃料貯蔵ラック
- ・ 主蒸気系配管



(構造 WG\*資料「構造 W51-3-3」より抜粋)

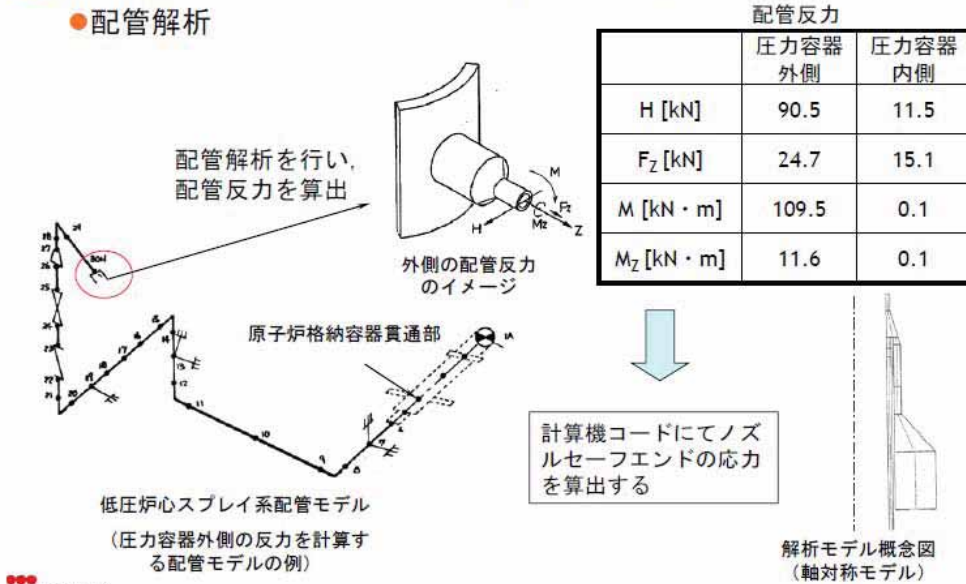
\*：総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会構造ワーキンググループ



## 各設備の評価例－原子炉压力容器 3

### ■ 低圧炉心スプレイノズル（ノズルセーフエンド）

#### ● 配管解析



## 各設備の評価例－原子炉压力容器 4

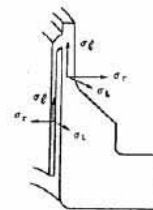
### ■ 低圧炉心スプレイノズル（ノズルセーフエンド）

#### ● ノズルセーフエンドに生じる応力の算出

- ✓ 地震による応力と地震以外による応力を組合せ、主応力、応力強さを算出する。

$$\text{主応力} \begin{cases} \sigma_1, \sigma_2 = \frac{\sigma_t + \sigma_l}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_t - \sigma_l}{2}\right)^2 + \tau_{tl}^2} \\ \sigma_3 = \sigma_r \end{cases}$$

$$\text{応力強さ} \quad \sigma = \text{MAX} \{ |\sigma_1 - \sigma_2|, |\sigma_2 - \sigma_3|, |\sigma_3 - \sigma_1| \}$$



ノズルセーフエンドの評価結果

応力分類	応力強さ [MPa]	評価基準値 [MPa]
一次膜+ 一次曲げ応力	225	390

σ<sub>t</sub> : 周方向応力  
 σ<sub>l</sub> : 軸方向応力  
 σ<sub>r</sub> : 径方向応力  
 τ<sub>tl</sub> : せん断応力  
 σ<sub>1</sub>, σ<sub>2</sub>, σ<sub>3</sub> : 主応力  
 σ : 応力強さ

## 各設備の評価例－原子炉压力容器 5

### ■ 低圧炉心スプレインズル（ノズルセーフエンド）

#### ● 評価基準値の算出

設計・建設規格<sup>(※1)</sup>における、クラス1容器の評価基準値を適用。  
「一次膜＋一次曲げ応力」の評価基準値は、設計・建設規格より、

$$\alpha \times (2/3) \times Su$$

$\alpha$  : 形状係数 ( $\alpha=1.339$ )  
 $Su$  : 設計引張強さ

材料の種類と評価温度条件から、設計・建設規格より $Su$ を求めると、  
 $Su=438$  (MPa)

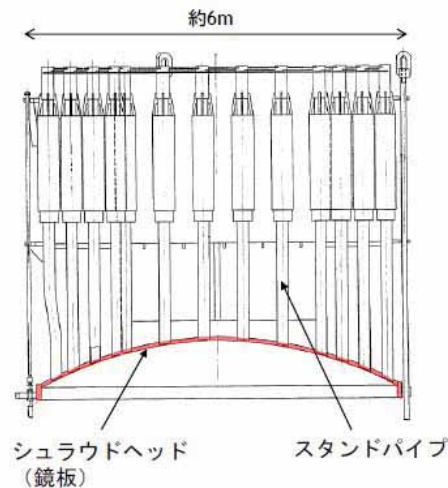
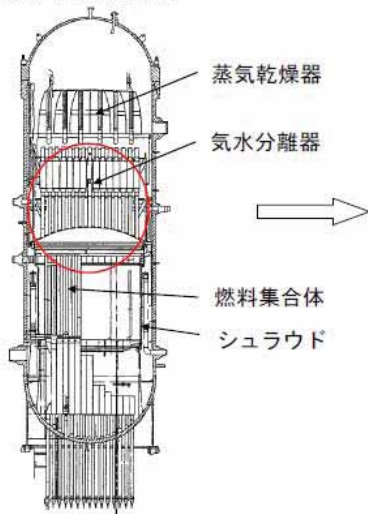
以上より、評価基準値は以下となる。

$$\alpha \times (2/3) \times Su = 1.339 \times (2/3) \times 438 = 390 \text{ (MPa)}$$

## 各設備の評価例－炉内構造物 1

### ■ シュラウドヘッド（シュラウドヘッド）

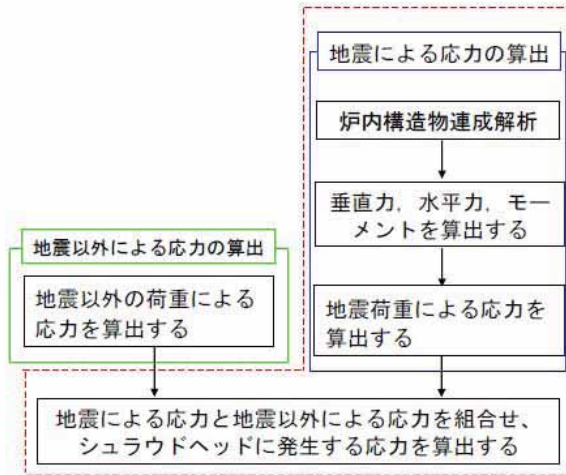
原子炉压力容器



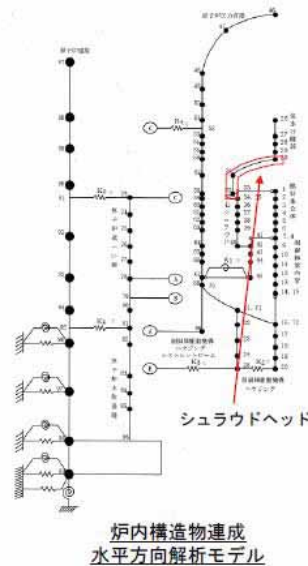
## 各設備の評価例－炉内構造物 2

### ■ シュラウドヘッド（シュラウドヘッド）

#### ● 詳細評価



今回実施した範囲



## 各設備の評価例－炉内構造物 3

### ■ シュラウドヘッド（シュラウドヘッド）

#### ● シュラウドヘッドの応力

$$\tau_{\theta r} = \frac{V}{A} + \frac{H}{A}, \quad A = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot ts$$

地震荷重による応力

$$\sigma_l = \frac{B \cdot b \cdot M}{a^2 \cdot ts^2}$$

地震荷重による応力と地震以外の荷重による応力を足し合わせ、主応力、応力強さを算出する。

$$\sigma_{1,2} = \frac{(\sigma_t + \sigma_l) \pm \sqrt{(\sigma_t - \sigma_l)^2 + 4\tau_{\theta r}^2}}{2}$$

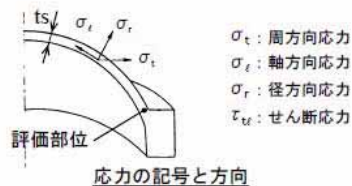
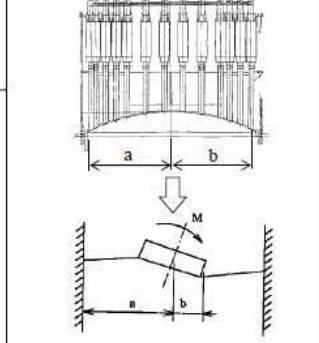
$$\sigma_3 = \sigma_r$$

$$\text{応力強さ} \quad \text{MAX}(|\sigma_1 - \sigma_2|, |\sigma_2 - \sigma_3|, |\sigma_3 - \sigma_1|)$$

V : 地震による垂直力      a : 鏡板の半径  
 H : 地震による水平力      b : モーメントの作用する半径  
 M : 地震によるモーメント      B : b/aにより定まる定数  
 A : 断面特性      ts : 鏡板の厚さ

V (kN)	H (kN)	M (kN・m)	応力強さ (MPa)	評価基準値 (MPa)
1460	2100	5120	187	222

シュラウドヘッドを下図のようにモデル化し、Roarkの式によりσを算出する





## 各設備の評価例－炉内構造物 4

### ■ シュラウドヘッド

#### ● 評価基準値の算出

設計・建設規格における、炉内構造物の評価基準値を適用。  
「一次一般膜＋一次曲げ応力」の評価基準値は、設計・建設規格より、

$$1.5 \times \min [ 2.4S_m, (2/3) S_u ]$$

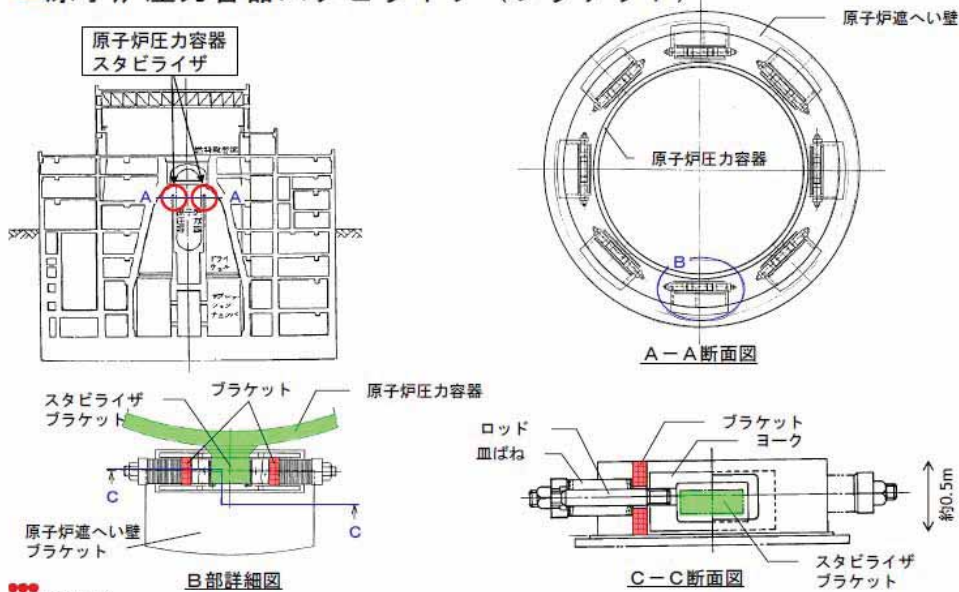
Sm : 設計応力強さ  
Su : 設計引張強さ

材料の種類と評価温度条件から、設計・建設規格よりSm, Suを求めると、  
Sm=95 (MPa)  
Su=375 (MPa)  
(この場合、 $2.4S_m < (2/3) S_u$  となるため、 $2.4S_m$ を採用する)

評価基準値は、母材の評価基準値に溶接継手効率 ( $\eta = 0.65$ ) を乗じた値となり、  
 $\eta \times 1.5 \times 2.4S_m = 0.65 \times 1.5 \times 2.4 \times 95$   
=222 (MPa)

## 各設備の評価例－圧力容器付属構造物 1

### ■ 原子炉圧力容器スタビライザ (ブラケット)



## 各設備の評価例－圧力容器付属構造物 2

### ■原子炉圧力容器スタビライザ（ブラケット）

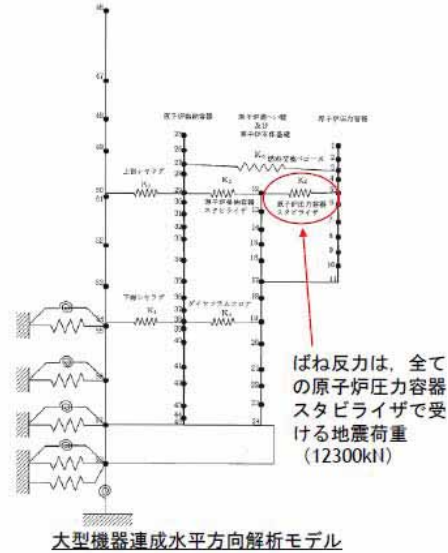
#### ●詳細評価

大型機器連成解析により、8  
箇所全ての原子炉圧力容器  
スタビライザで受ける地震荷  
重を算出する

原子炉圧力容器スタビライ  
ザ1箇所あたりの地震荷重を  
算出する

原子炉圧力容器スタビライザ  
が受ける地震荷重と初期締付  
荷重より、ブラケットに作用す  
る曲げ応力を算出する

今回実施した範囲



## 各設備の評価例－圧力容器付属構造物 3

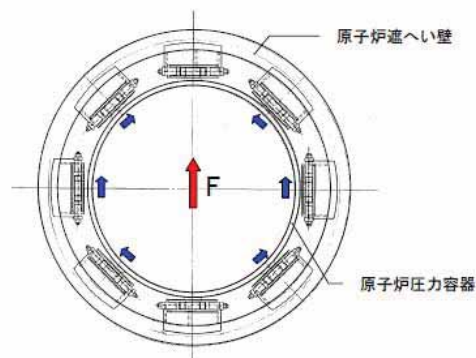
### ■原子炉圧力容器スタビライザ（ブラケット）

#### ●原子炉圧力容器スタビライザ1箇所あたりの地震荷重

水平方向の地震荷重  $F$  が作用した時の、各原子炉圧力容器スタビライザが受ける地震荷重を幾何学的な配置より算出する

1箇所あたりの荷重のうち、最大の荷重  $F_H$  は

$$F_H = \frac{1}{4} F$$



原子炉圧力容器スタビライザ配置図

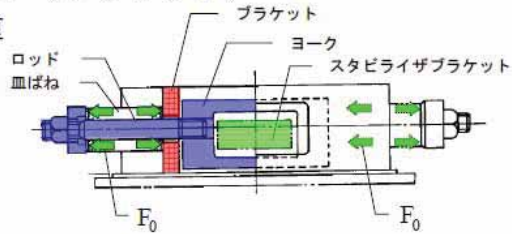
## 各設備の評価例－圧力容器付属構造物 4

### ■原子炉圧力容器スタビライザ（ブラケット）

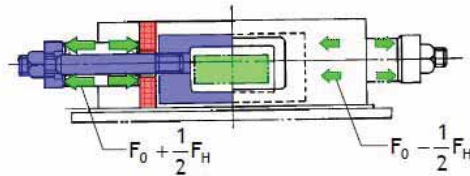
#### ●ブラケットに作用する荷重

原子炉圧力容器スタビライザは、あらかじめ初期締め付荷重を与えた2組の皿ばねによって、スタビライザブラケットを両側から押さえつけている。

原子炉圧力容器スタビライザに地震荷重が作用し、右下図のようにヨークが右方向に移動すると左側の皿ばねが縮み、ブラケットには初期締め付け荷重と地震荷重の1/2が作用する。



地震荷重により、スタビライザブラケット及びヨークが右方向に変位した場合



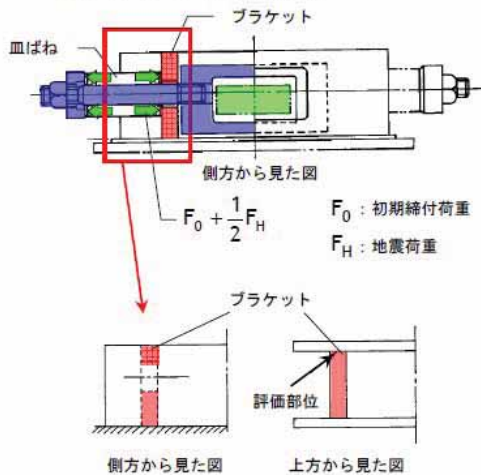
$F_0$  : 初期締め付荷重

$F_H$  : 地震荷重

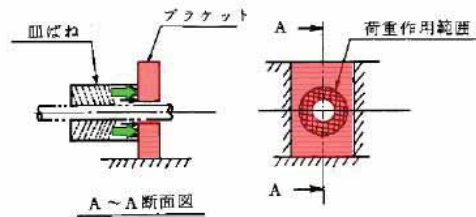
## 各設備の評価例－圧力容器付属構造物 5

### ■原子炉圧力容器スタビライザ（ブラケット）

#### ●ブラケットの応力



ブラケットに生じる応力は、下図に示すモデルを用いて計算機コードにより算出する。



$F_0$ (kN)	$F_H$ (kN)	曲げ応力 (MPa)	評価基準値 (MPa)
1691	3075	184	207

## 各設備の評価例－圧力容器付属構造物 6

### ■ 評価結果（参考）

✓ ブラケット以外の評価部位における計算値を示す。

評価部位	応力分類	計算値 (MPa)	評価基準値 (MPa)
ロッド	引張応力	446	587

## 各設備の評価例－圧力容器付属構造物 7

### ■ 原子炉圧力容器スタビライザ（ブラケット）

#### ● 評価基準値の算出

設計・建設規格における、その他の支持構造物の評価基準値を適用。  
「曲げ応力」の評価基準値は、設計・建設規格より、

$$1.5 \times \min [ 1.2S_y, 0.7S_u ] / 1.3$$

S<sub>y</sub> : 設計降伏点  
S<sub>u</sub> : 設計引張強さ

材料の種類と評価温度条件から、設計・建設規格より S<sub>y</sub>、S<sub>u</sub> を求めると、  
S<sub>y</sub> = 150 (MPa)  
S<sub>u</sub> = 373 (MPa)  
(この場合、1.2S<sub>y</sub> < 0.7S<sub>u</sub> となるため、1.2S<sub>y</sub> を採用する)

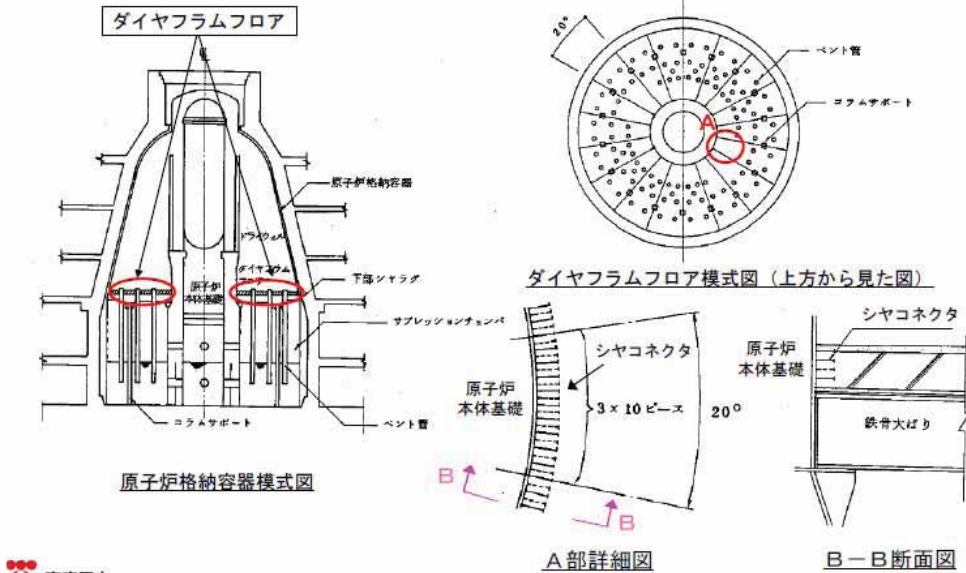
以上より評価基準値は以下となる。

$$1.5 \times 1.2S_y / 1.3 = 1.5 \times 1.2 \times 150 / 1.3 \\ = 207 \text{ (MPa)}$$



## 各設備の評価例—格納施設 1

### ■ダイヤフラムフロア（シヤコネクタ（原子炉本体基礎側））



## 各設備の評価例—格納施設 2

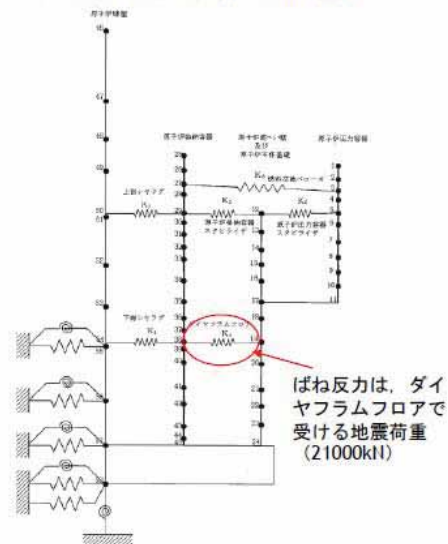
### ■ダイヤフラムフロア（シヤコネクタ（原子炉本体基礎側））

#### ●詳細評価

大型機器連成解析により、ダイヤフラムフロアで受ける地震荷重を算出する

ダイヤフラムフロアが受ける地震荷重から、シヤコネクタに発生するせん断力を求める

今回実施した範囲



大型機器連成水平方向解析モデル

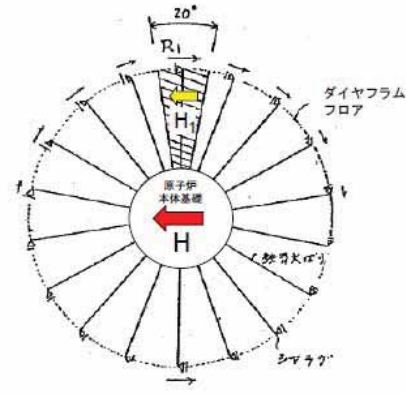
### 各設備の評価例－格納施設 3

- ダイヤフラムフロア（シヤコネクタ（原子炉本体基礎側））
  - ダイヤフラムフロアに作用する地震荷重

水平方向の地震荷重が作用した時の、ダイヤフラムフロア(20°あたり)が受ける地震荷重を算出する

ダイヤフラムフロア(20°あたり)が受ける荷重のうち、最大の荷重は

$$H_1 = \frac{1}{9} H$$



ダイヤフラムフロア配置図

### 各設備の評価例－格納施設 4

- ダイヤフラムフロア（シヤコネクタ（原子炉本体基礎側））
  - シヤコネクタに作用するせん断力

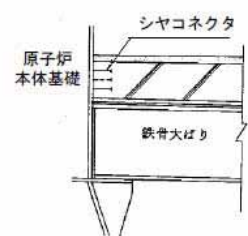
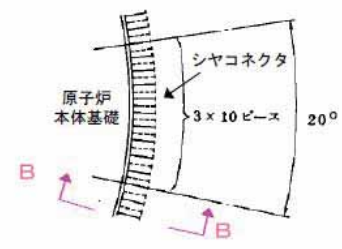
ダイヤフラムフロア(20°あたり)が受ける荷重のうち、最大の荷重は

$$H_1 = \frac{1}{9} H = \frac{1}{9} \times 21000 = 2333.3 \text{ kN}$$

シヤコネクタは20°あたり30本なので、1本あたりのせん断力は、

$$Q = \frac{H_1}{30} = \frac{2333.3}{30} = 77.78 \text{ kN/本}$$

せん断力 (kN/本)	評価基準値 (kN/本)
78	114



B-B断面図

## 各設備の評価例—格納施設 5

### ■ 評価結果（参考）

✓ シヤコネクタ（原子炉本体基礎側）以外の評価部位における計算値を示す。

評価部位	応力分類	計算値	評価基準値
鉄筋コンクリートスラブ（半径方向）	必要鉄筋比	0.546	0.938
鉄筋コンクリートスラブ（放射方向）	引張ひずみ	$728 \times 10^{-6}$	$5000 \times 10^{-6}$
鉄筋コンクリートスラブ（円周方向）	引張ひずみ	$750 \times 10^{-6}$	$5000 \times 10^{-6}$
シヤコネクタ（格納容器側）	せん断力	65 <sup>※1</sup>	114 <sup>※1</sup>
コラムサポートベース（アンカボルト）	引張応力度	50 <sup>※2</sup>	686 <sup>※2</sup>
コラムサポートベース（アンカボルトの定着）	引張荷重	535 <sup>※3</sup>	22455 <sup>※3</sup>
ベアリングプレート（ベースプレート）	曲げ応力度	104 <sup>※2</sup>	265 <sup>※2</sup>
ベアリングプレート（コンクリート部）	圧縮応力度	6 <sup>※4</sup>	28 <sup>※4</sup>

※1 単位：kN/本  
 ※2 単位：N/mm<sup>2</sup>  
 ※3 単位：kN/20°  
 ※4 単位：N/mm<sup>2</sup>

## 各設備の評価例—格納施設 6

### ■ ダイヤフラムフロア（シヤコネクタ（原子炉本体基礎側））

#### ● 評価基準値の算出

通常の等厚な場所打ち鉄筋コンクリートスラブ中のスタッドコネクタ 1 本当りのせん断力の評価基準値は、合成ばり構造設計指針より、

$$q_s = 0.5_{sc} a \sqrt{F_c E_c}$$

$q_s$ : スタッドコネクタのせん断耐力(N)  
 $a$ : スタッドコネクタの軸部断面積(mm<sup>2</sup>)  
 $E_c$ : コンクリートのヤング率(N/mm<sup>2</sup>)  
 $F_c$ : コンクリートの設計基準強度(N/mm<sup>2</sup>)

シヤコネクタの外径がφ19であることより、

$$a = \frac{1}{4} \pi \times 19^2$$

また、

$$E_c = 23707(\text{N/mm}^2)$$

$$F_c = 27.45(\text{N/mm}^2)$$

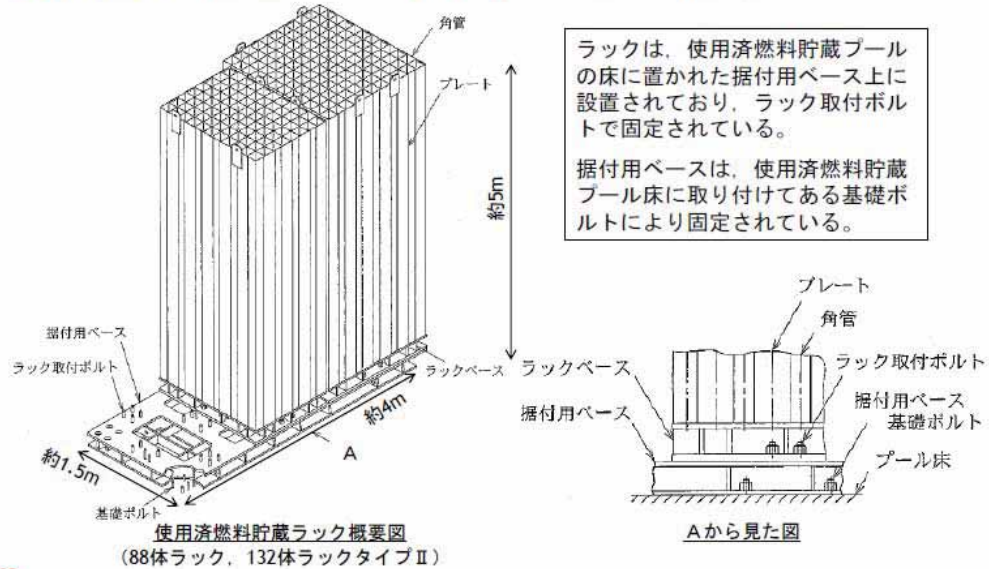
以上より評価基準値は以下となる。

$$q_s = 0.5 \times \frac{1}{4} \pi \times 19^2 \times \sqrt{27.45 \times 23707}$$

$$= 114 \text{ kN/本}$$

## 各設備の評価例－燃料設備 1

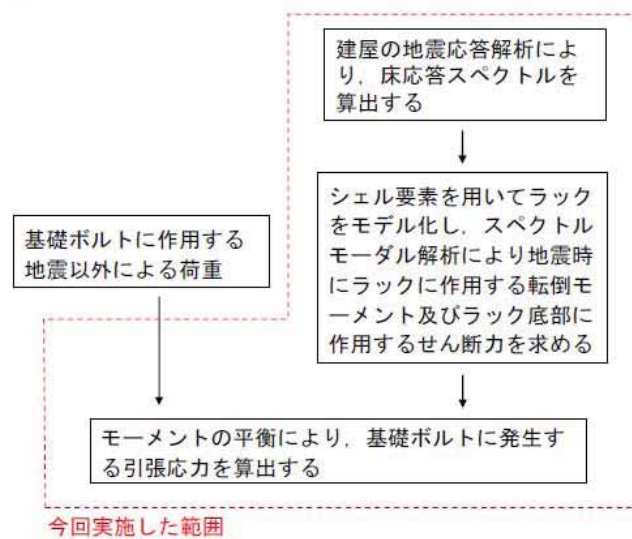
### ■使用済燃料貯蔵ラック（据付用ベース基礎ボルト）



## 各設備の評価例－燃料設備 2

### ■使用済燃料貯蔵ラック(据付用ベース基礎ボルト)

#### ●詳細評価





## 各設備の評価例－燃料設備 3

### ■ 使用済燃料貯蔵ラック (据付用ベース基礎ボルト)

#### ● 基礎ボルトの引張応力

モーメントの釣り合いより、基礎ボルトに発生する引張応力を算出する

$$\sigma_b = \frac{f_1}{A_b}$$

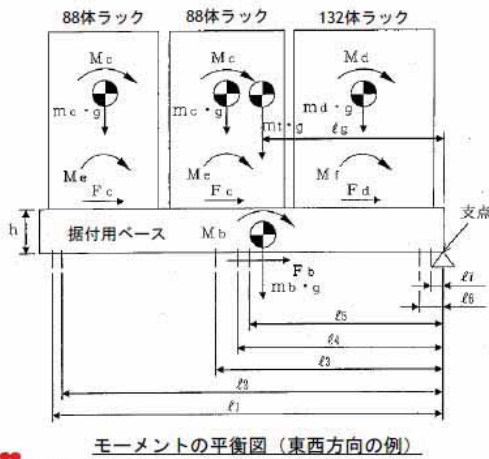
$$f_1 = \frac{\ell_1 \cdot (Mt - (1 - C_v) \cdot mt \cdot g \cdot (g))}{n_1 \cdot (\ell_1^2 + n_2 \cdot \ell_2^2 + \dots + n_7 \cdot \ell_7^2)}$$

$$Mt = Mb + 2 \cdot Mc + Md + 2 \cdot Me + Mf$$

$$Mb = C_H \cdot mb \cdot g \cdot h / 2$$

$$Me = F_c \cdot h$$

$$Mf = F_d \cdot h$$



- $C_H$  : 水平方向震度
- $C_v$  : 鉛直方向震度
- $M_b$  : 据付用ベースの転倒モーメント
- $M_c$  : 88体ラックの転倒モーメント
- $M_d$  : 132体ラックの転倒モーメント
- $M_e$  : 88体ラックにより据付用ベースに作用する転倒モーメント
- $M_f$  : 132体ラックにより据付用ベースに作用する転倒モーメント
- $M_t$  : ラック3体と据付用ベースに作用する合計転倒モーメント
- $F_c$  : 88体ラックの底部せん断力
- $F_d$  : 132体ラックの底部せん断力
- $A_b$  : 基礎ボルト断面積
- $mt$  : 貯蔵時のラック全質量及び据付ベース全質量
- $mb$  : 据付用ベースの質量
- $g$  : 重力加速度
- $h$  : 据付用ベースの高さ
- $n_i$  : 支点から  $\ell_i$  の距離にあるボルト本数
- $\ell_i$  : 支点から各ボルトまでの距離
- $\ell_g$  : 据付用ベース端から重心までの距離
- $f_1$  : 支点から  $\ell_1$  の距離にあるボルトに作用する引張力

$M_c$ (kN・m)	$M_d$ (kN・m)	$M_b$ (kN・m)	引張応力 (MPa)	評価基準値 (MPa)
670.1	1002	3.184	138	184

## 各設備の評価例－燃料設備 4

### ■ 評価結果 (参考)

✓ 据付用ベース基礎ボルト以外の評価部位における計算値を示す。

評価部位	応力分類	計算値 (MPa)	評価基準値 (MPa)
使用済燃料貯蔵ラック (88体) 本体	引張応力	48	246
使用済燃料貯蔵ラック (88体) 取付ボルト	引張応力	121	184
使用済燃料貯蔵ラック (132体タイプⅡ) 本体	組合せ応力	49	246
使用済燃料貯蔵ラック (132体タイプⅡ) 取付ボルト	引張応力	130	184

## 各設備の評価例－燃料設備 5

### ■使用済燃料貯蔵ラック(据付用ベース基礎ボルト)

#### ●評価基準値の算出

- 設計・建設規格における、クラス1支持構造物（ボルト）の評価基準値を用いる。「引張応力」の評価基準値は、設計・建設規格より、

$$F^* / 2 \times 1.5$$

ここで、 $F^* = \min [ 1.25S_y(\text{室温}), 1.35S_y, 0.75S_u ]$

Sy: 設計降伏点  
Su: 設計引張強さ

材料の種類と評価温度条件から、設計・建設規格よりSy, Suを求めると、  
 $S_y(\text{室温})=205 \text{ (MPa)}$  ,  $S_y=188 \text{ (MPa)}$  ,  $S_u=479 \text{ (MPa)}$   
 $F^* = \min [ 1.25S_y(\text{室温})=246 \text{ (MPa)}, 1.35S_y=253 \text{ (MPa)}, 0.75S_u=335 \text{ (MPa)} ]$   
 から、 $F^*=246$ となる

以上より評価基準値は、 $F^* / 2 \times 1.5 = 246 / 2 \times 1.5$   
 $= 184 \text{ (MPa)}$

## 各設備の評価例－配管系 1

### ■配管系の評価

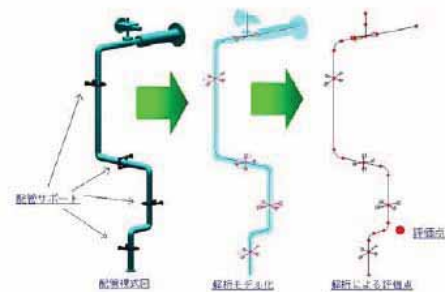
#### (1) モデル化

- ✓3次元多質点系モデルとする。
- ✓同一モデルに含める範囲は、アンカ※点からアンカ点までとする。

#### (2) 評価方法

- ✓スペクトルモーダル解析法を用いる。

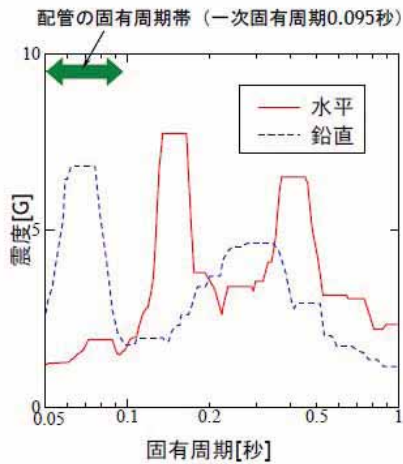
※アンカは3方向の動きや回転を拘束するもの



配管の解析モデル化の例

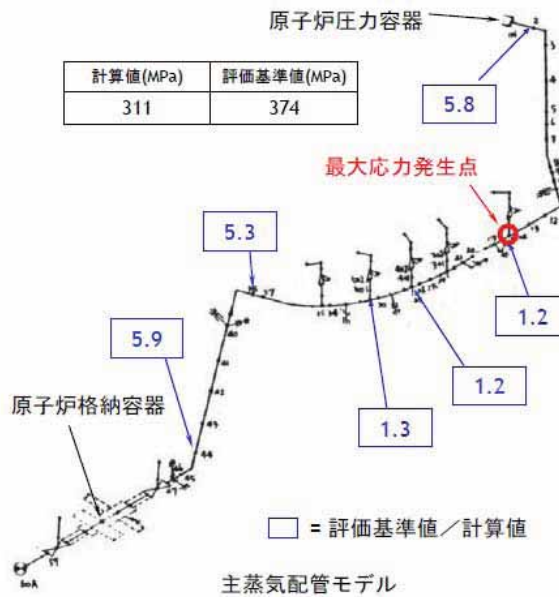
## 各設備の評価例－配管系 2

### ■主蒸気配管



床応答スペクトル（減衰定数2%）

計算値(MPa)	評価基準値(MPa)
311	374



## 各設備の評価例－配管系 3

### ■主蒸気配管

#### ●評価基準値の算出

設計・建設規格における、クラス1配管の評価基準値を適用。

「一次応力（膜＋曲げ）」の評価基準値は、設計・建設規格より、

$$\min [ 3S_m, 2S_y ]$$

$S_m$  : 設計応力強さ  
 $S_y$  : 設計降伏点

材料の種類と評価温度条件から、設計・建設規格より $S_m$ 、 $S_y$ を求めると、

$$S_m = 125 \text{ (MPa)}$$

$$S_y = 187 \text{ (MPa)}$$

（この場合、 $3S_m > 2S_y$  となるため、 $2S_y$ を採用する）

以上より、評価基準値は以下となる。

$$2S_y = 2 \times 187$$

$$= 374 \text{ (MPa)}$$

## 原子炉建屋クレーンの評価について

原子炉建屋クレーン（以下、「クレーン」）は、耐震 S クラス設備に対して波及的影響を及ぼす可能性のある耐震 B クラス設備である。そのように位置づけされている理由は、クレーンの設置場所が、耐震 S クラス設備である使用済燃料貯蔵設備の上部に配置されているためである。

ただし、クレーンは使用時のみ耐震 S クラス設備の上を走行する場合があるが、通常時は耐震 S クラス設備があるエリアの外に待機している。また、原子力発電所耐震設計技術指針～重要度分類・許容応力編～JEAG4601・補-1984 でも、クレーンは基準地震動 S1 に対して落下しないことを確認することと例示している。そのため、耐震安全性評価においては、弾性設計用地震動  $S_d$  を用いた浮き上がり量の評価をおこなっている。

ここでは、参考として、基準地震動  $S_s$  による浮き上がり量評価と落下防止ラグおよびトロリストッパの構造強度評価を示す。浮き上がり量は、落下防止ラグおよびトロリストッパの構造長さを下回ること、落下防止ラグおよびトロリストッパの計算値はいずれも評価基準値以下であることを確認した。

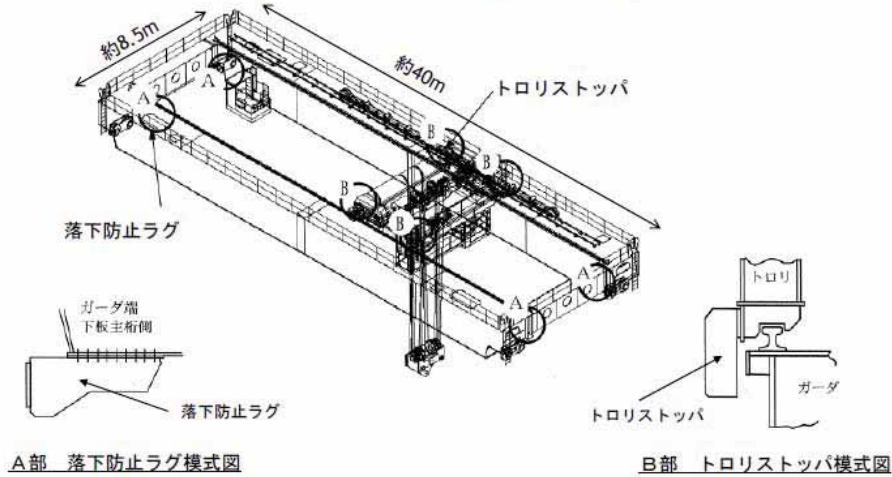


(構造 WG\*資料「構造 W51-3-3」より抜粋)

\*：総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会構造ワーキンググループ

### (参考) 原子炉建屋クレーンの浮き上がり評価について (1)

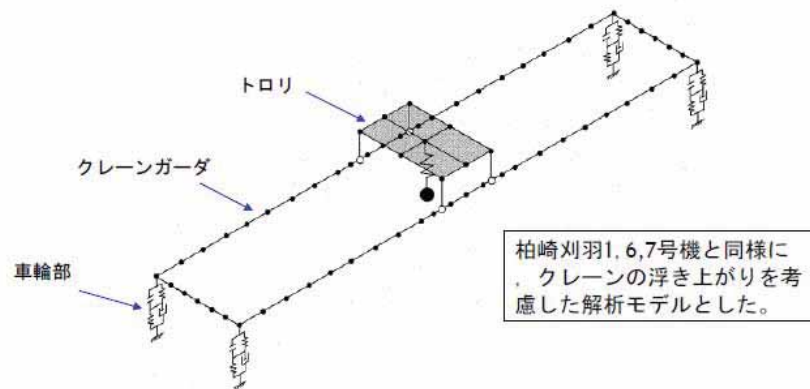
- クレーンが**基準地震動 $S_s$** に対して**落下しないことを確認**するため、クレーンガーダおよびトロリの浮き上がり量を算出し、落下防止ラグおよびトロリストッパの当たり面の長さとの比較を行った。



### (参考) 原子炉建屋クレーンの浮き上がり評価について (2)

#### ■ 評価手法

- 解析モデルはクレーンの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解析モデルとした。



(参考) 原子炉建屋クレーンの浮き上がり評価について (3)

■ 評価結果

- ガーダおよびトロリの浮き上がり量は評価基準値を下回ることから、基準地震動Ssに対して落下しないことが確認できた。

部材	浮き上がり量 (mm)	許容浮き上がり長さ (mm)
クレーンガーダ	138	200
トロリ	257	350

※ Ss-1からSs-5の最大値を示す。

※ トロリの浮き上がり量は、クレーンガーダのたわみ量を考慮した保守的な値。  
(考慮しない場合の浮き上がり量は、172mm)

参表-7.7.1 基準地震動 Ss による脱線防止ラグ，トロリストoppaの評価結果

評価部位	応力	計算値 (MPa)	評価基準値 (MPa)
落下防止ラグ	圧縮応力	163	275
トロリストoppa	曲げ応力	20	253
	せん断応力	3	146
	組合せ応力	21	253

## 8. 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価

## 【目 次】

8. 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価.....	8-1
8.1. 評価方針 .....	8-1
8.1.1. 対象設備 .....	8-1
8.1.2. 設備概要 .....	8-3
8.2. 耐震安全性評価 .....	8-10
8.2.1. 評価方法 .....	8-10
8.2.2. 地震応答解析 .....	8-16
8.2.3. 評価基準 .....	8-29
8.2.4. 評価結果 .....	8-31
8.3. 非常用取水路の軸方向に対する検討.....	8-34
8.3.1. 検討方針 .....	8-34
8.3.2. 応力度に関する検討.....	8-36
8.3.3. ブロック間相対変位に関する検討 .....	8-41
8.4. 非常用取水路の設置地盤の支持性能に対する検討.....	8-44
8.4.1. 検討方針 .....	8-44
8.4.2. 検討手法 .....	8-44
8.4.3. 検討結果 .....	8-44

## 【参考資料】

参考資料 8.1 曲げ系の破壊に対する照査について

参考資料 8.2 せん断耐力の算定方法について

参考資料 8.3 補機冷却用海水取水路の放水路交差部に関する検討

参考資料 8.4 屋外重要土木構造物の地盤改良による補強効果について

## 8. 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価

### 8.1. 評価方針

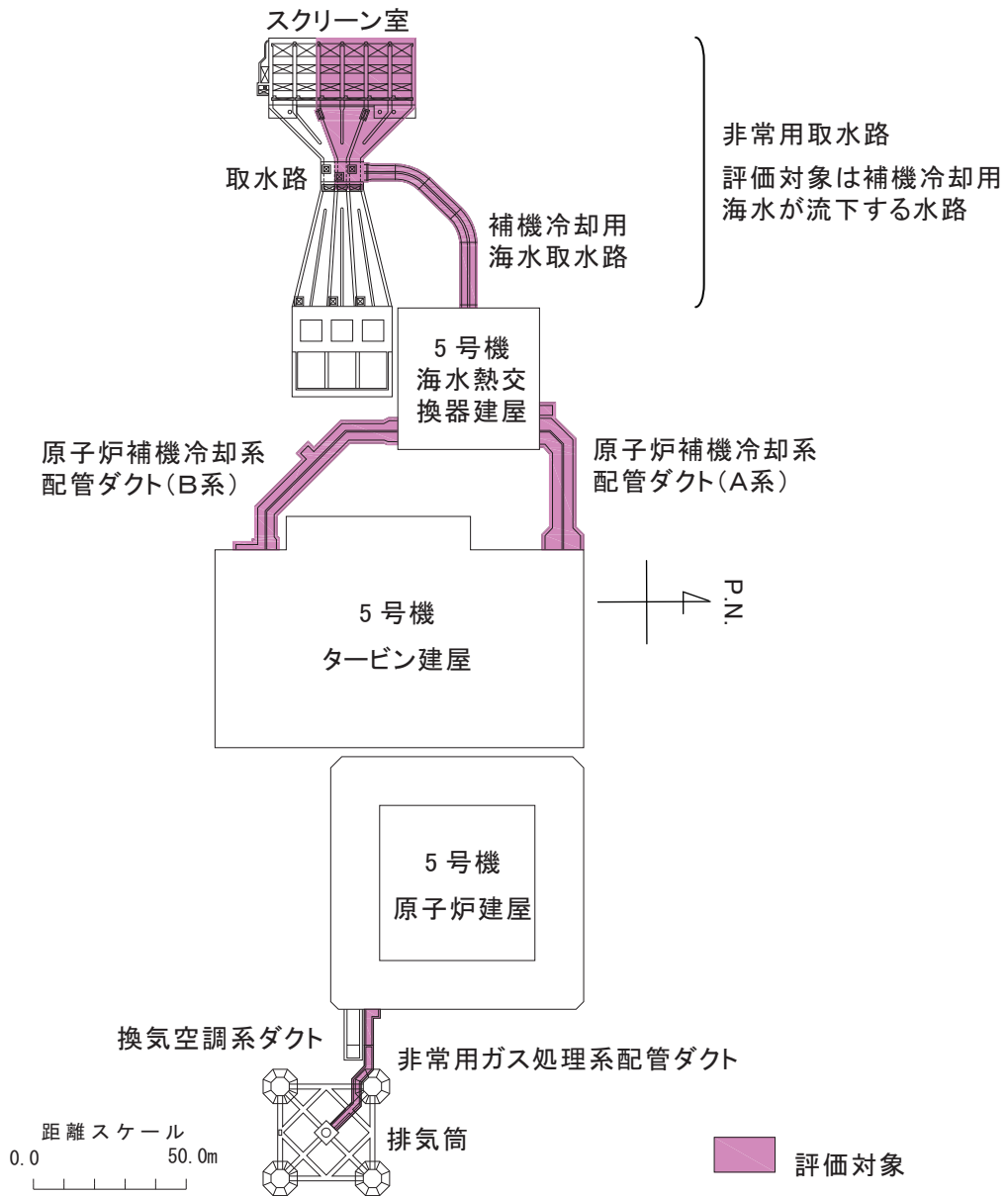
#### 8.1.1. 対象設備

屋外重要土木構造物について，その機能が保持されることを確認する。

評価対象は非常用取水路，原子炉補機冷却系配管ダクトおよび非常用ガス処理系配管ダクトとする。

非常用取水路はスクリーン室，取水路，補機冷却用海水取水路で構成されており，原子炉補機冷却系配管ダクトはA系，B系からなる。

屋外重要土木構造物の配置図を第 8.1.1-1 図に示す。



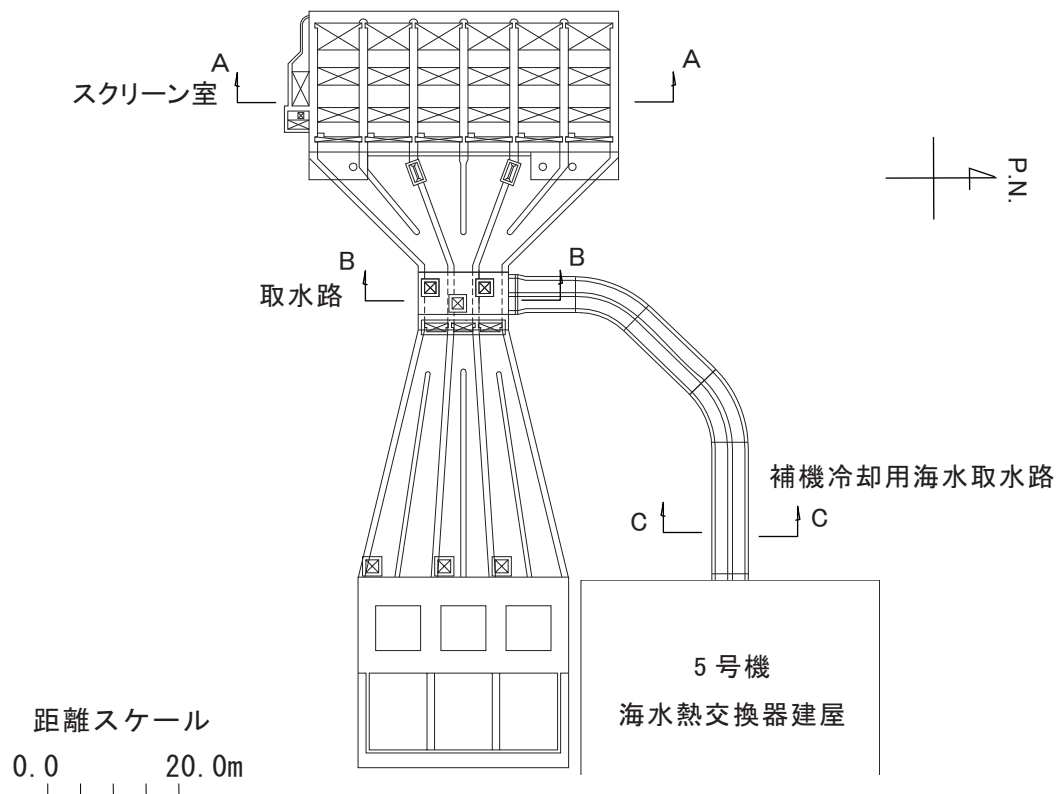
第 8.1.1-1 図 屋外重要土木構造物の配置図

## 8.1.2. 設備概要

### (1) 非常用取水路

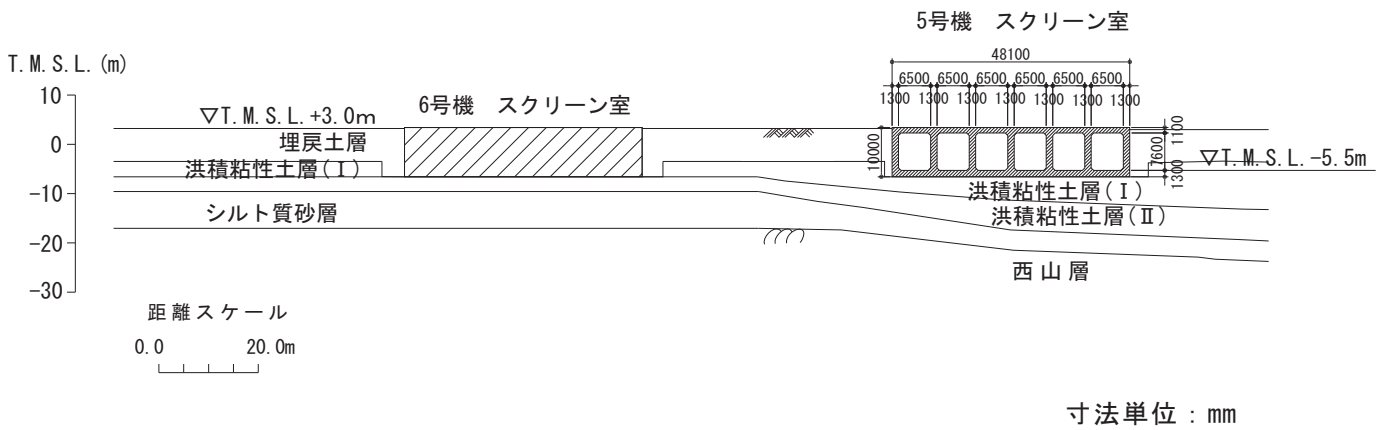
非常用取水路は鉄筋コンクリート造の地中構造物であり，新第三紀鮮新世の西山層泥岩の上位に分布する洪積層に直接設置されている。

非常用取水路の平面図を第 8.1.2-1 図に，スクリーン室，取水路および補機冷却用海水取水路の各断面図を第 8.1.2-2 図～第 8.1.2-4 図に示す。

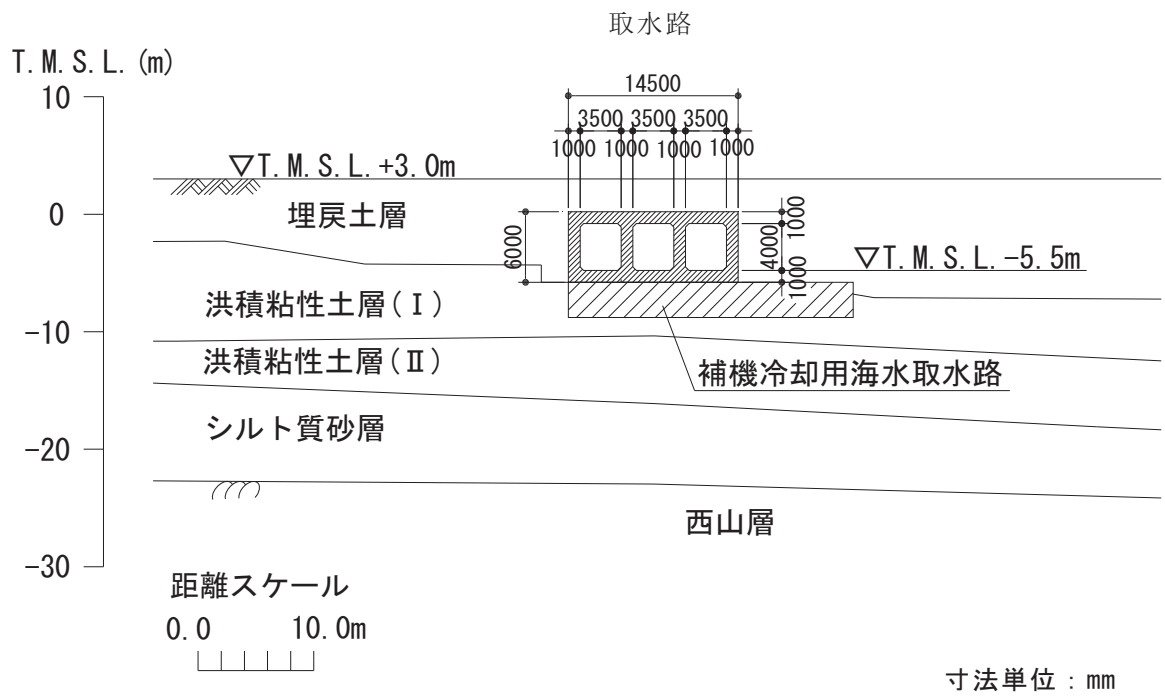


第 8.1.2-1 図 非常用取水路平面図

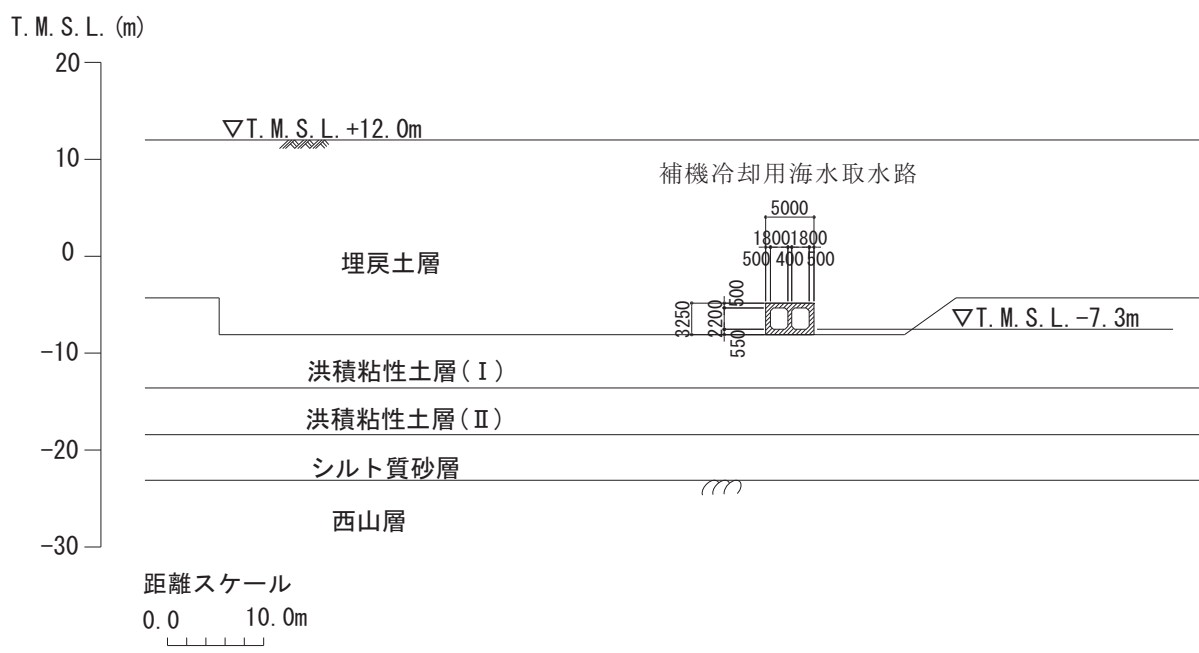




第 8.1.2-2 図 スクリーン室断面図 (A-A 断面)



第 8.1.2-3 図 取水路断面図 (B-B 断面)



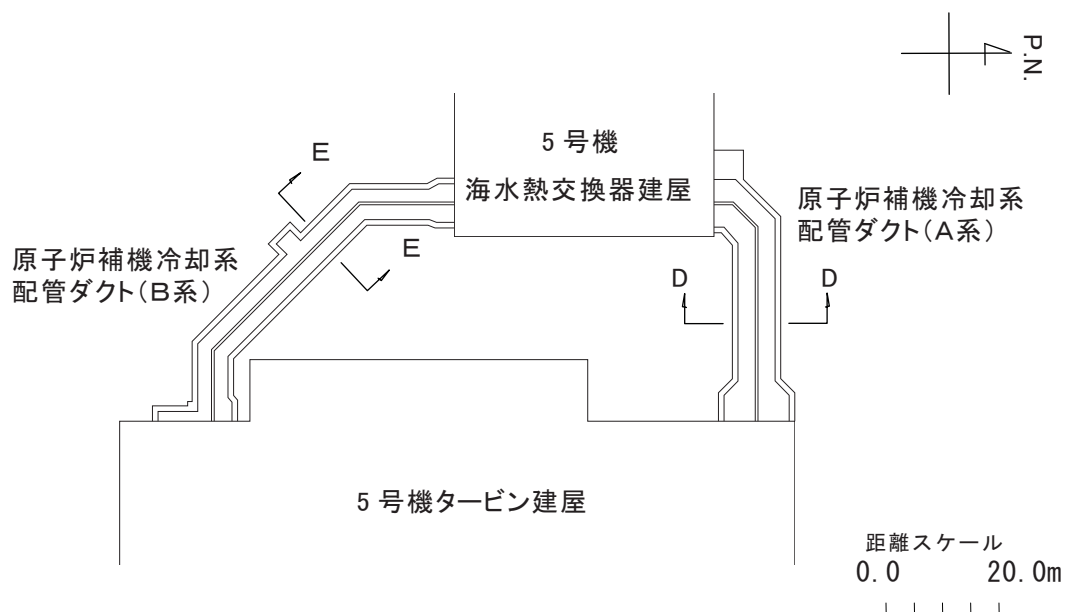
寸法単位 : mm

第 8. 1. 2-4 図 補機冷却用海水取水路断面図 (C - C 断面)

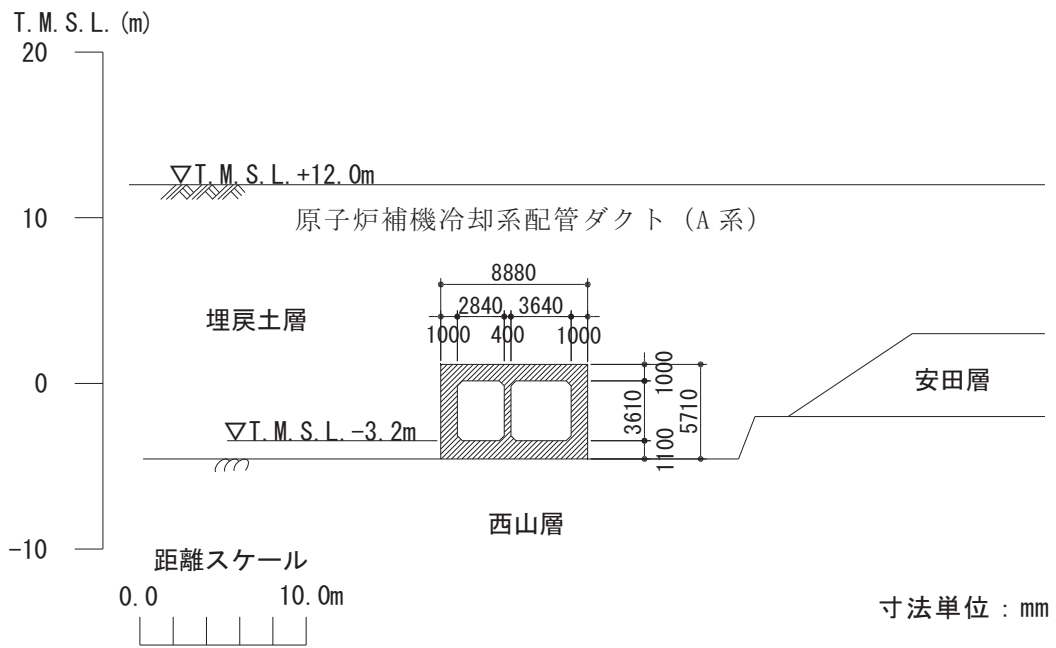
(2) 原子炉補機冷却系配管ダクト

原子炉補機冷却系配管ダクトはタービン建屋と海水熱交換器建屋を連絡している配管等を収容する鉄筋コンクリート造の地中埋設ダクトでA系，B系からなり，新第三紀鮮新世の西山層に設置されている。

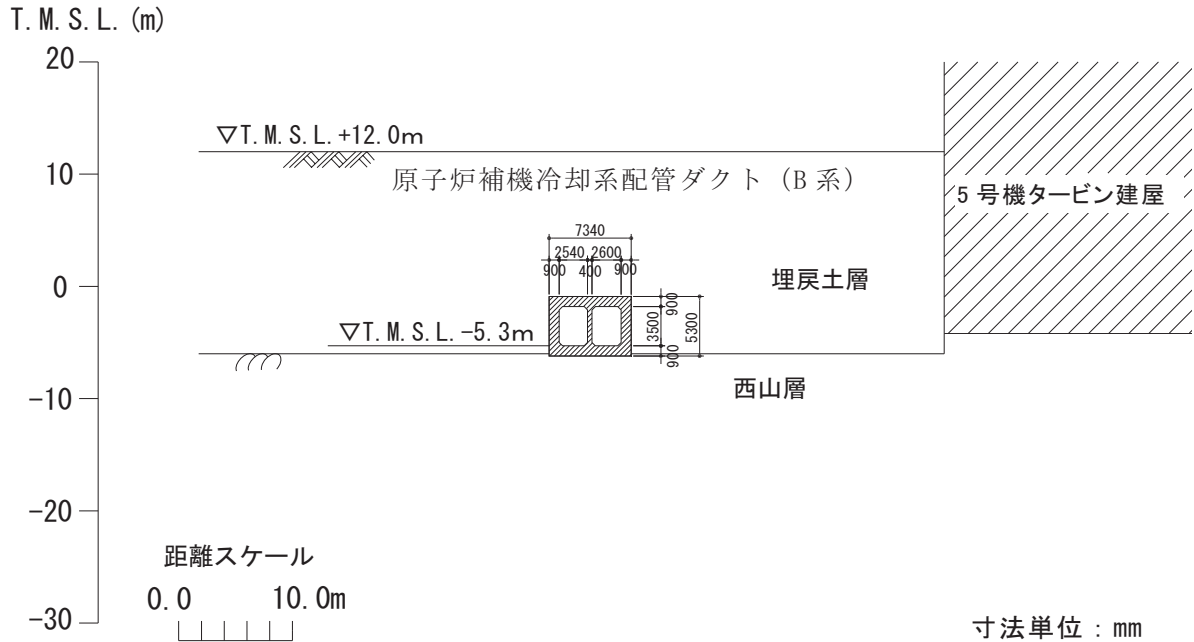
原子炉補機冷却系配管ダクトの平面図を第 8.1.2-5 図に，配管ダクトのA系，B系の各断面図を第 8.1.2-6 図，第 8.1.2-7 図に示す。



第 8.1.2-5 図 原子炉補機冷却系配管ダクト平面図



第 8.1.2-6 図 原子炉補機冷却系配管ダクト (A系) 断面図 (D-D 断面)

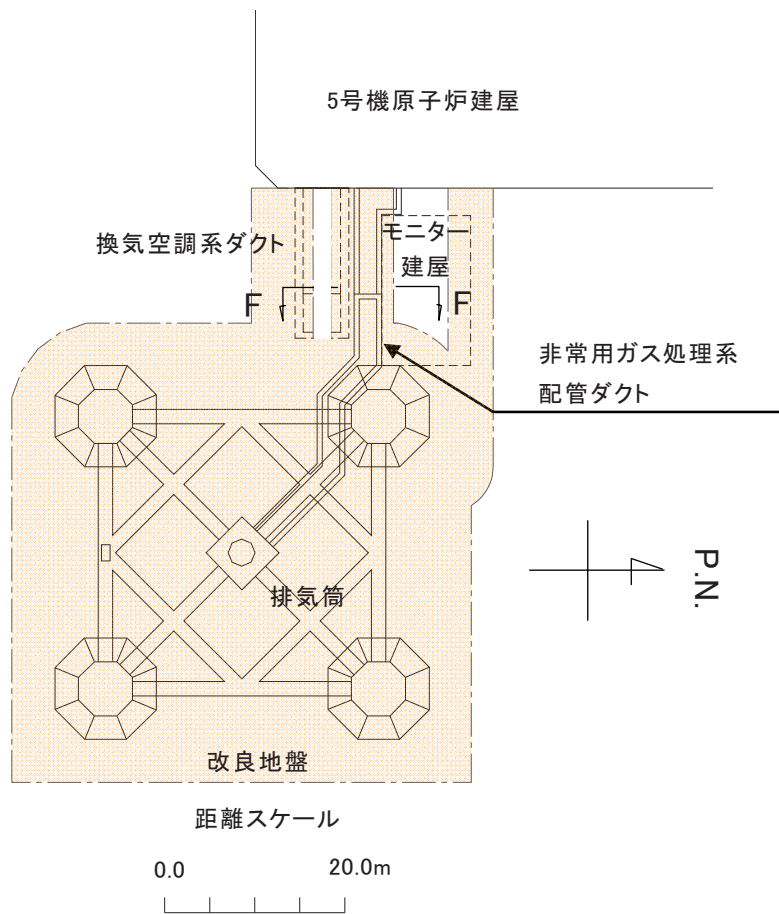


第 8.1.2-7 図 原子炉補機冷却系配管ダクト (B系) 断面図 (E-E 断面)

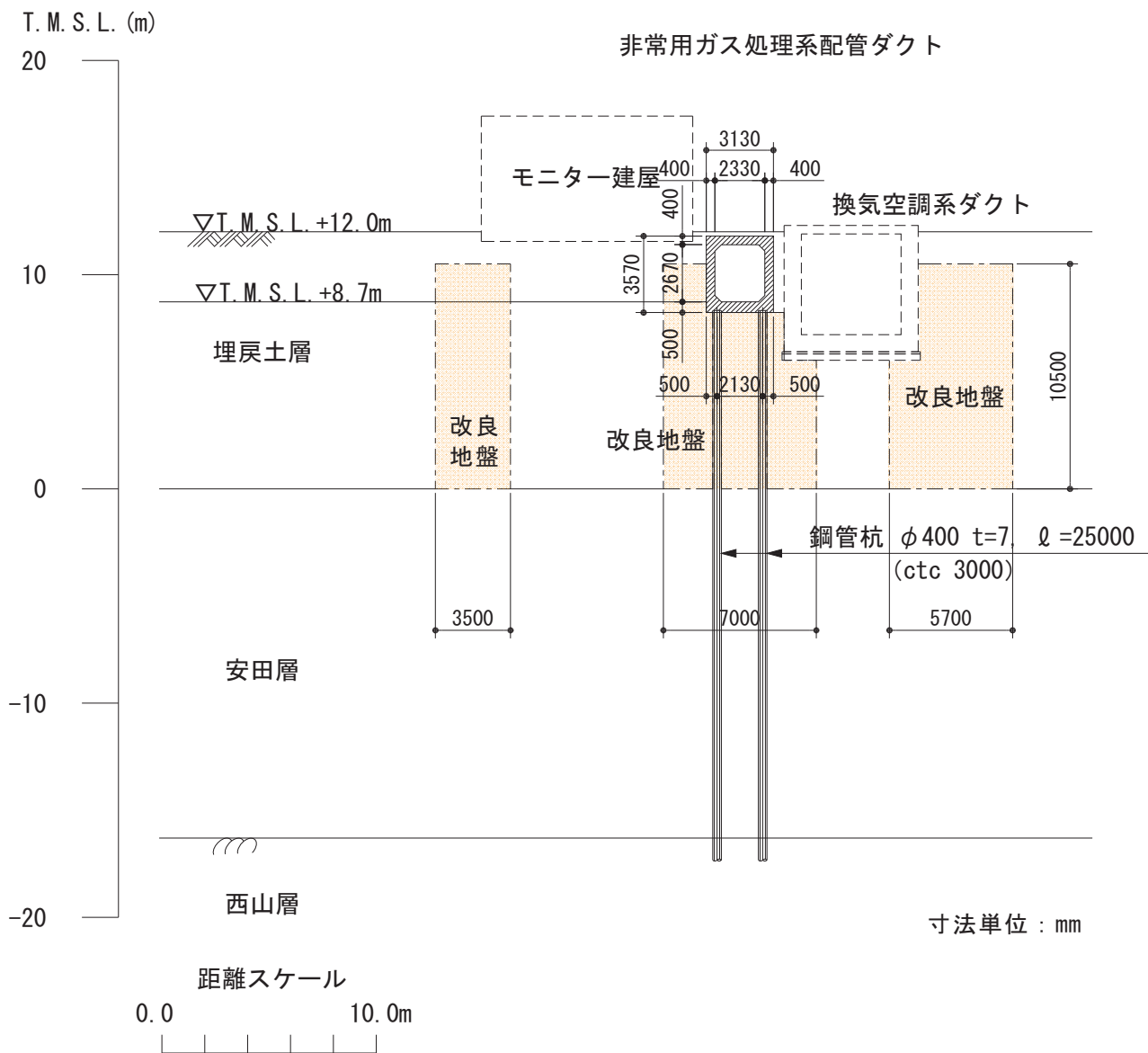
(3) 非常用ガス処理系配管ダクト

非常用ガス処理系配管ダクトは、原子炉建屋と排気筒を連絡している配管等を収容する鉄筋コンクリート造の地中埋設ダクトであり、基礎杭（鋼管杭）を介して新第三紀鮮新世の西山層に支持されている。

非常用ガス処理系配管ダクトの平面図を第 8.1.2-8 図に、断面図を第 8.1.2-9 図に示す。



第 8.1.2-8 図 非常用ガス処理系配管ダクト平面図



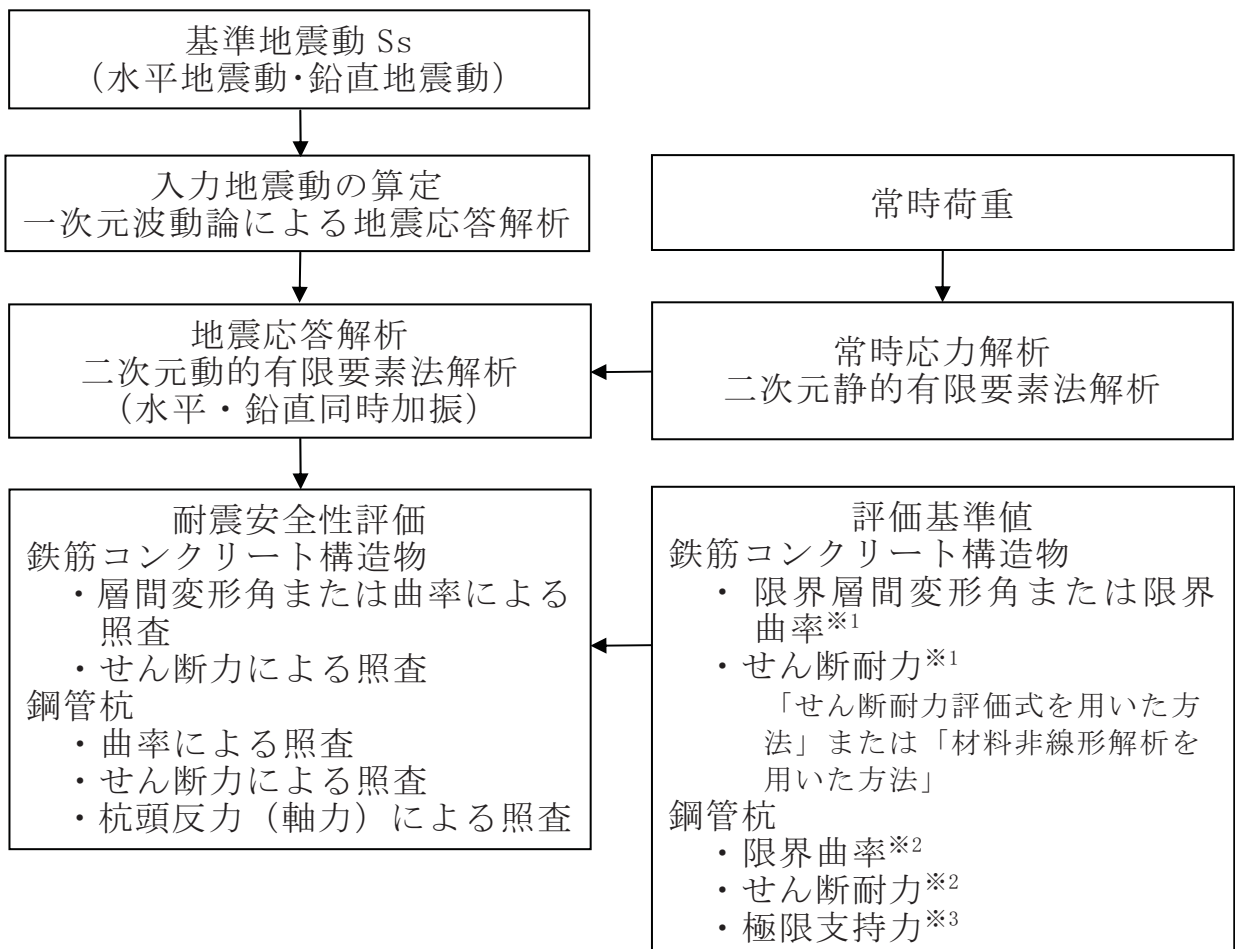
第 8.1.2-9 図 非常用ガス処理系配管ダクト断面図 (F-F 断面)

## 8.2. 耐震安全性評価

### 8.2.1. 評価方法

#### 8.2.1.1. 一般事項

屋外重要土木構造物の耐震安全性評価では、鉄筋コンクリート構造物および鋼管杭の基準地震動  $S_s$  による照査用応答値が評価基準値を下回ることを確認する。屋外重要土木構造物の評価フローを第 8.2.1-1 図に示す。



※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 原子力土木委員会，2005年6月」による

※2 「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」による

※3 「道路橋示方書・同解説 下部構造編，日本道路協会，平成14年3月」による

第 8.2.1-1 図 屋外重要土木構造物の評価フロー

### 8.2.1.2. 評価条件

地震応答解析に必要な地盤および屋外重要土木構造物の諸定数は、各種材料試験、地盤調査や文献調査の結果をもとに設定された設計時の値を用いる。

#### (1) 使用材料

使用材料を第 8.2.1-1 表に示す。

#### (2) 材料の物性値

材料の物性値を第 8.2.1-2 表に示す。

#### (3) 地盤の物性値

地盤の物性値を第 8.2.1-3 表に示す。

#### (4) 荷重

##### a. 常時荷重

常時荷重として、自重、内水圧、機器・配管荷重、土被り荷重、静止土圧および地下水圧を考慮する。

##### b. 地震時荷重

地震時荷重として、基準地震動  $S_s$  ( $S_s-1 \sim S_s-5$  の 5 波) による地震応答解析により求まる荷重を考慮する。

第 8.2.1-1 表 使用材料

コンクリート	設計基準強度 $23.5\text{N/mm}^2$ ( $240\text{kgf/cm}^2$ )
鉄筋	SD345 相当 (SD35)
鋼管杭	SKK400 相当 (SKK41, 腐食しろ 1mm)

第 8.2.1-2 表 材料の物性値

材料	単位体積重量 ( $\text{kN/m}^3$ )	ヤング係数 ( $\text{kN/mm}^2$ )	ポアソン比
コンクリート	24*	25.0	0.2
鉄筋		200	0.3
鋼管杭	77	200	0.3

※ 鉄筋コンクリートとしての単位体積重量



第 8.2.1-3(1)表 地盤物性値 (非常用取水路)

地層区分		単位体積重量 $\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比 $\nu$	初期せん断 弾性係数 $G_0$ (kN/m <sup>2</sup> )	せん断弾性係数と 減衰定数のひずみ依存性 $G/G_0 \sim \gamma \quad h \sim \gamma$
埋戻土層		19.6 <sup>※1</sup>	0.33	$1980 \times \sigma_v^{0.667\text{※2}}$	第 8.2.1-2(1)図による
洪積粘性土層 (I)		17.7	0.49	$9.90 \times 10^4$	第 8.2.1-2(1)図による
洪積粘性土層 (II)		17.7	0.48	$1.41 \times 10^5$	第 8.2.1-2(1)図による
シルト質砂層		18.1	0.48	$1.95 \times 10^5$	第 8.2.1-2(2)図による
西山層	西山層上限面～ T. M. S. L. -60.0m	16.7	0.45	$4.09 \times 10^5$	第 8.2.1-2(2)図による
	～T. M. S. L. -100.0m	17.2	0.44	$5.49 \times 10^5$	
	～T. M. S. L. -134.0m	18.0	0.43	$6.85 \times 10^5$	
解放基盤		19.9	0.43	$1.02 \times 10^6$	—

※1 地下水位以浅は 18.6kN/m<sup>3</sup> (湿潤単位体積重量)

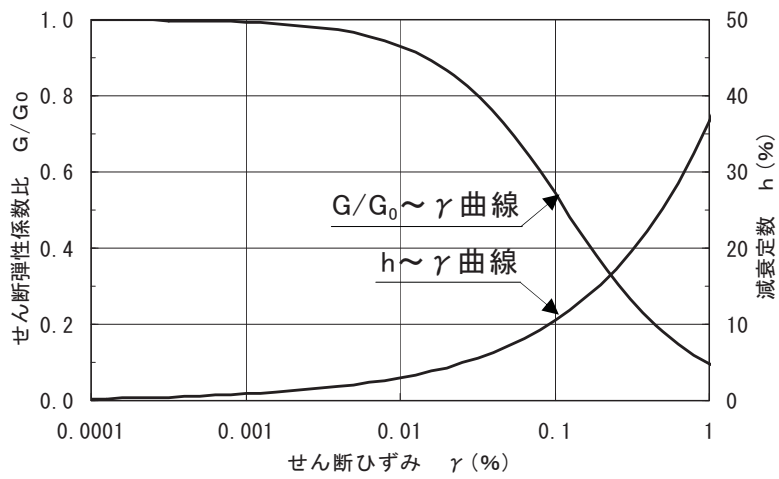
※2  $\sigma_v$  : 有効上載圧 (kN/m<sup>2</sup>)

第 8.2.1-3(2)表 地盤物性値  
(原子炉補機冷却系配管ダクト, 非常用ガス処理系配管ダクト)

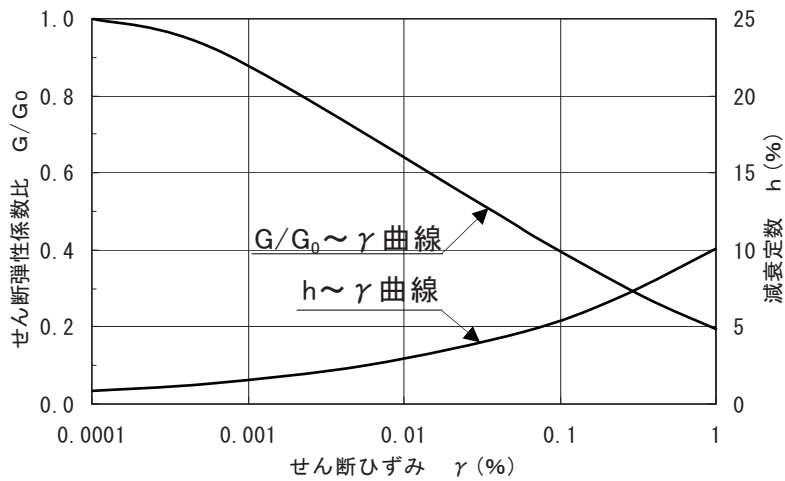
地層区分		単位体積重量 $\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比 $\nu$	初期せん断 弾性係数 $G_0$ (kN/m <sup>2</sup> )	せん断弾性係数と 減衰定数のひずみ依存性 $G/G_0 \sim \gamma \quad h \sim \gamma$
埋戻土層		19.6 <sup>※1</sup>	0.33	$1980 \times \sigma_v^{0.667\text{※2}}$	第 8.2.1-2(1)図による
安田層		17.5	0.48	$1.72 \times 10^5$	第 8.2.1-2(2)図による
西山層	西山層上限面～ T. M. S. L. -60.0m	16.7	0.45	$4.09 \times 10^5$	第 8.2.1-2(2)図による
	～T. M. S. L. -100.0m	17.2	0.44	$5.49 \times 10^5$	
	～T. M. S. L. -134.0m	18.0	0.43	$6.85 \times 10^5$	
解放基盤		19.9	0.43	$1.02 \times 10^6$	—
改良地盤		18.6	0.31	$1.22 \times 10^6$	第 8.2.1-2(3)図による

※1 地下水位以浅は 18.6kN/m<sup>3</sup> (湿潤単位体積重量)

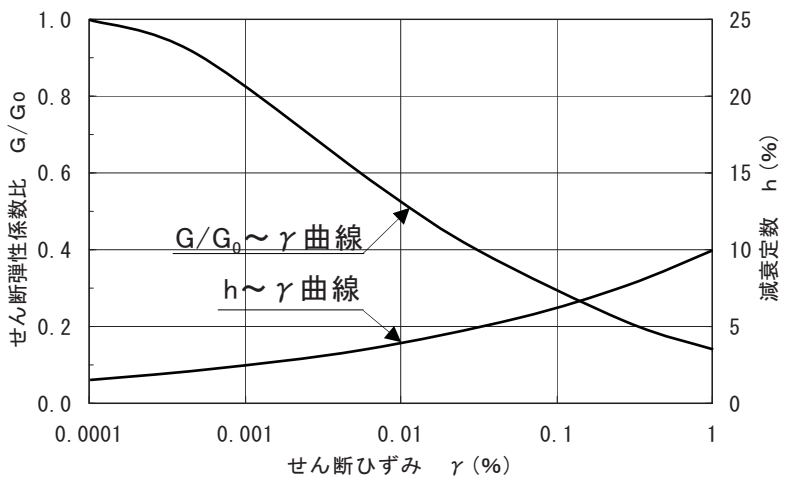
※2  $\sigma_v$  : 有効上載圧 (kN/m<sup>2</sup>)



埋戻土層

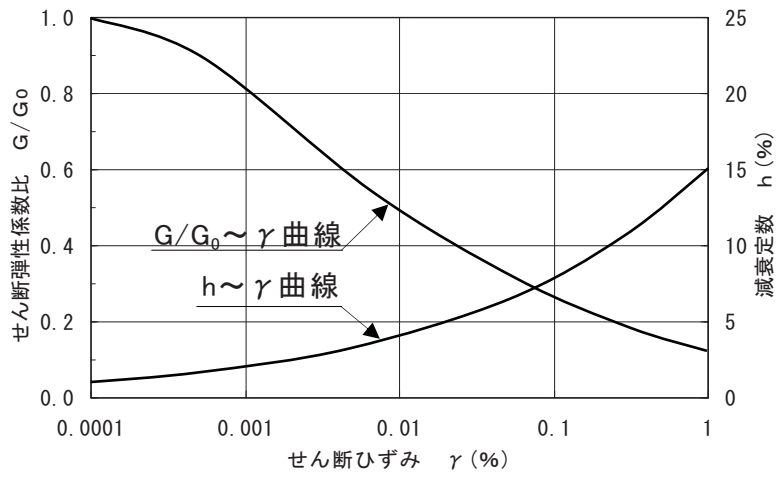


洪積粘性土層 ( I )

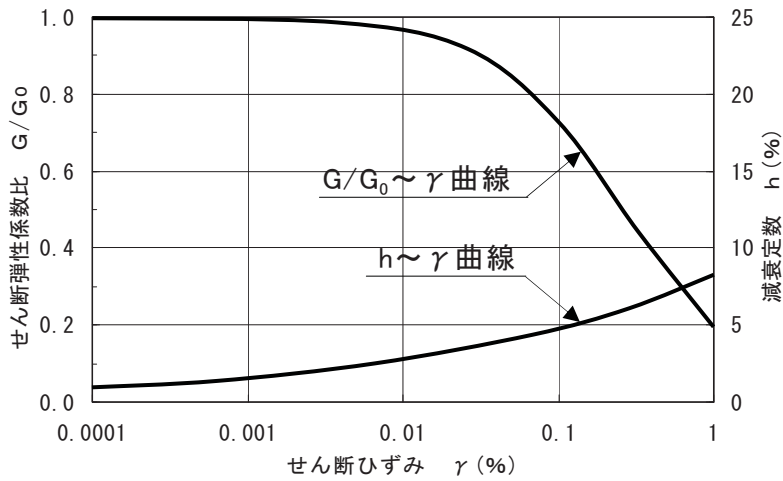


洪積粘性土層 ( II )

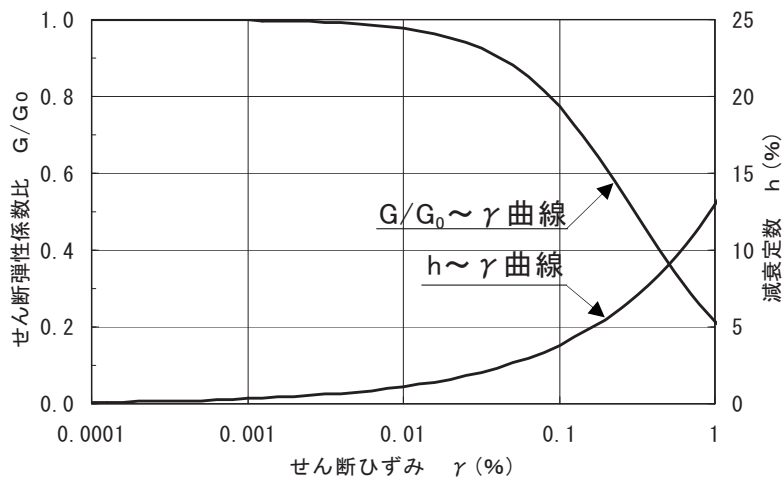
第 8.2.1-2(1) 図 地盤のせん断弾性係数および減衰定数のひずみ依存性



シルト質砂層

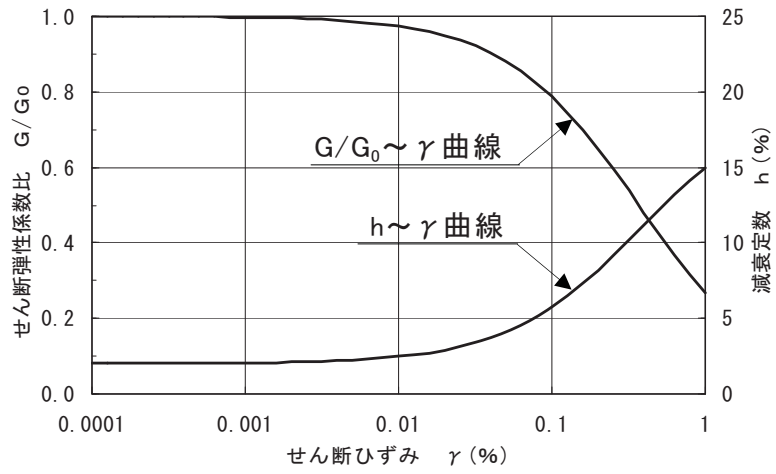


安田層



西山層

第 8.2.1-2(2) 図 地盤のせん断弾性係数および減衰定数のひずみ依存性



改良地盤（非常用ガス処理系配管ダクト）

第 8.2.1-2(3) 図 地盤のせん断弾性係数および減衰定数のひずみ依存性

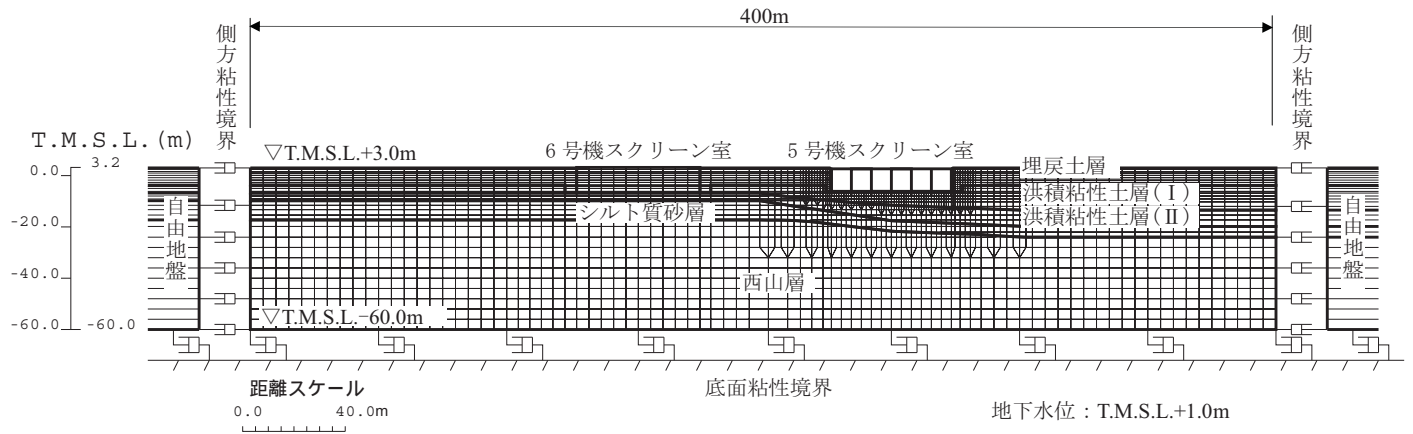
## 8.2.2. 地震応答解析

### 8.2.2.1. 解析手法

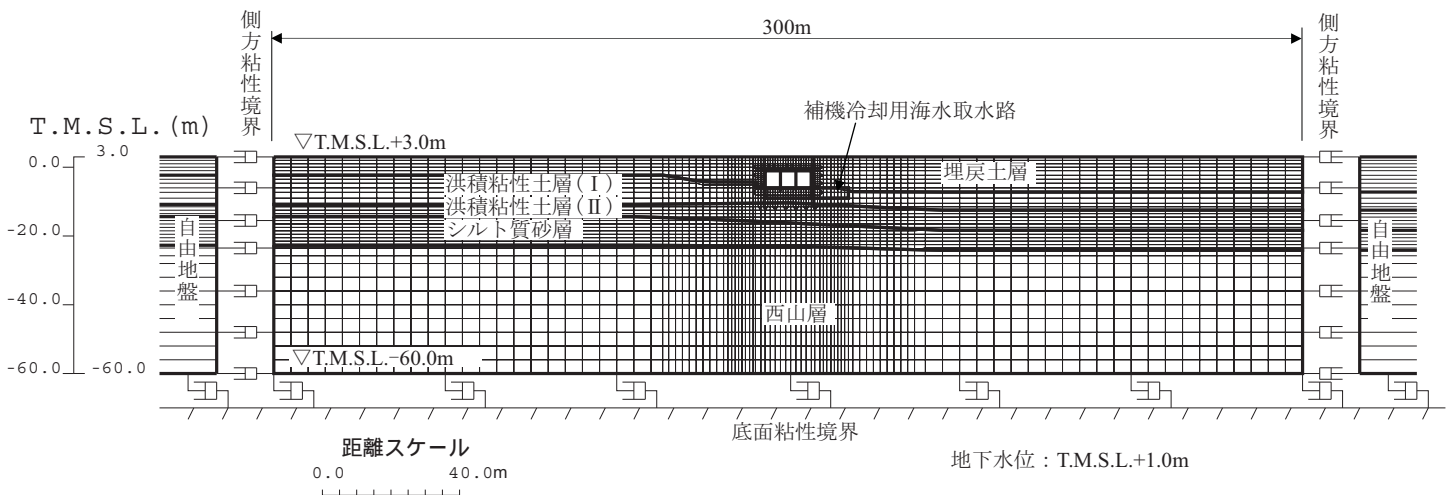
地震応答解析手法は、構造物と地盤の動的相互作用を考慮できる二次元動的有限要素法解析（部材非線形解析）を用いる。部材非線形解析では、水平地震動と鉛直地震動を同時入力とした時刻歴応答解析を行う。

### 8.2.2.2. 解析モデル

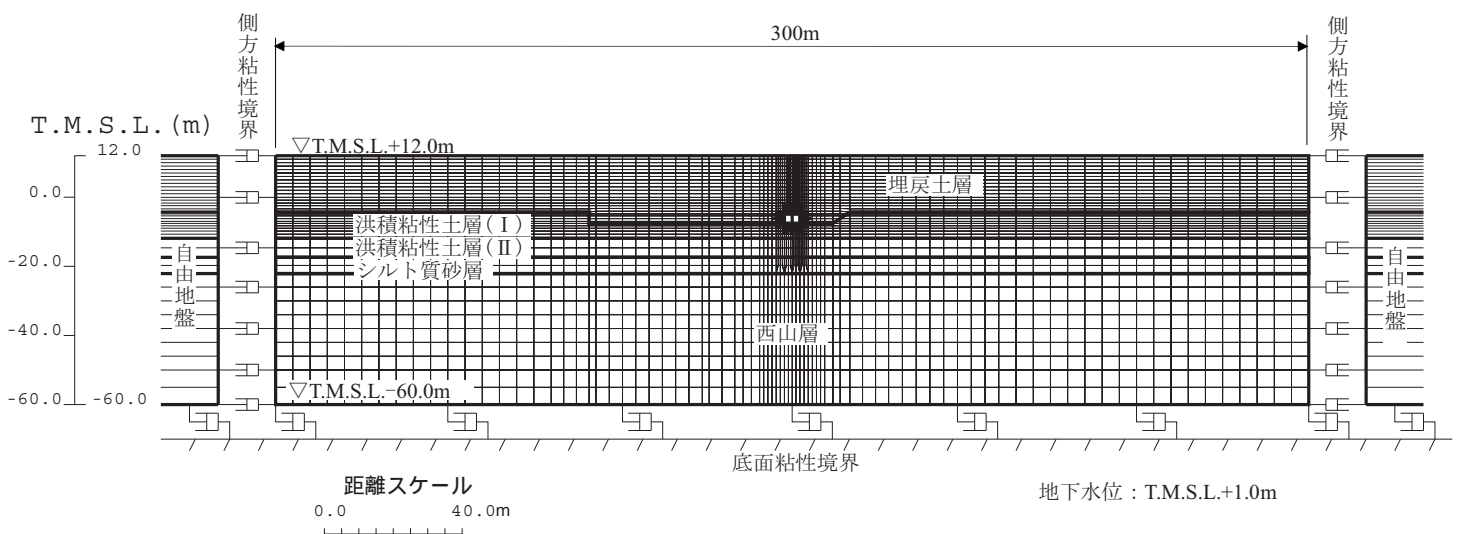
非常用取水路（スクリーン室，取水路，補機冷却用海水取水路），原子炉補機冷却系配管ダクト（A系，B系），および非常用ガス処理系配管ダクトの地震応答解析モデルを第 8.2.2-1 図～第 8.2.2-6 図に示す。この地震応答解析モデルでは，鉄筋コンクリート構造物および鋼管杭を部材の非線形性を考慮した線材要素（梁要素），周辺地盤および改良地盤を平面要素でモデル化し，鉄筋コンクリート構造物と地盤との境界部分にはジョイント要素を設けることにより，鉄筋コンクリート構造物と地盤との剥離等を考慮する。



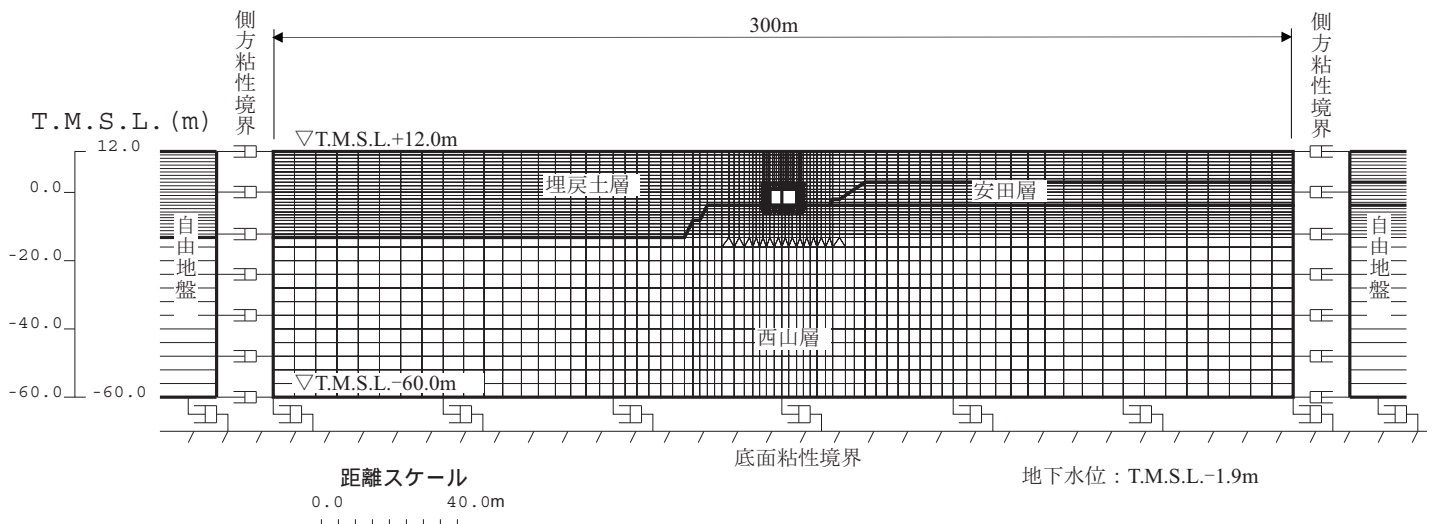
第 8.2.2-1 図 スクリーン室 地震応答解析モデル



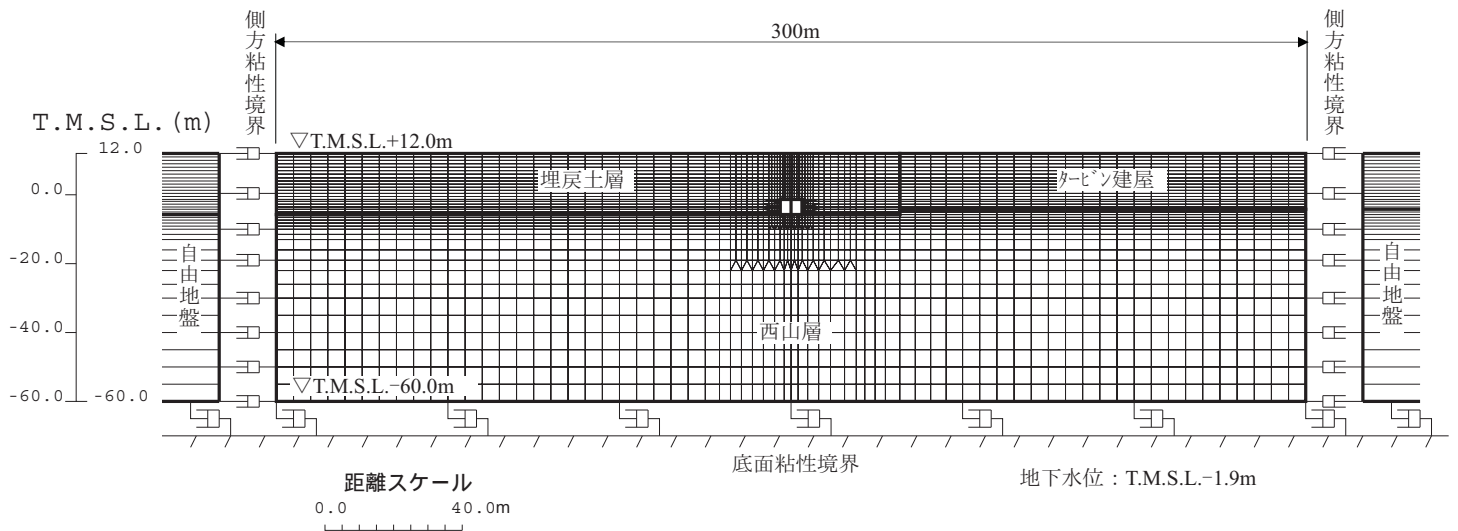
第 8.2.2-2 図 取水路 地震応答解析モデル



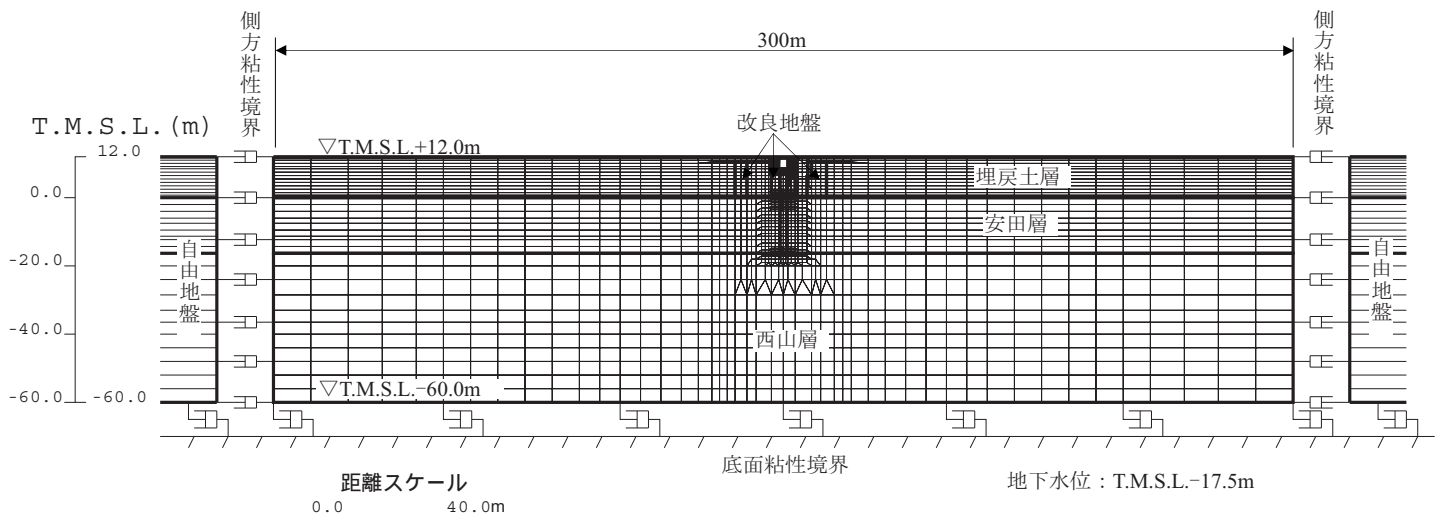
第 8.2.2-3 図 補機冷却用海水取水路 地震応答解析モデル



第 8. 2. 2-4 図 原子炉補機冷却系配管ダクト (A系) 地震応答解析モデル



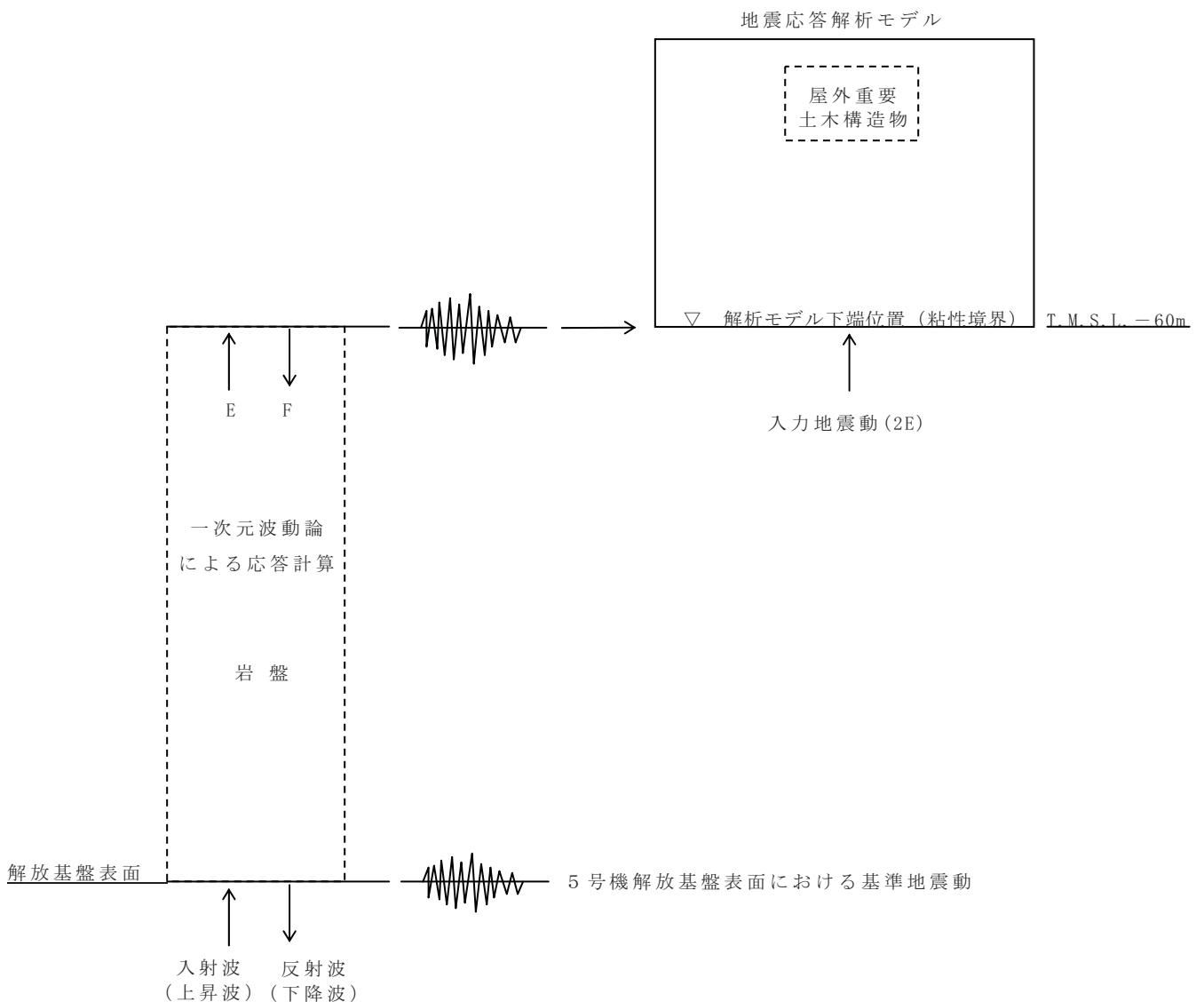
第 8. 2. 2-5 図 原子炉補機冷却系配管ダクト (B系) 地震応答解析モデル



第 8. 2. 2-6 図 非常用ガス処理系配管ダクト 地震応答解析モデル

### 8.2.2.3. 入力地震動

地震応答解析モデルへの入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動  $S_s$  を用いて一次元波動論による地震応答解析を行い、地盤－構造物連成系の地震応答解析モデル下端位置で評価したものを用いる。入力地震動の作成モデルを第 8.2.2-7 図に示す。



第 8.2.2-7 図 入力地震動の作成モデル



#### 8.2.2.4. 解析結果

非常用取水路（スクリーン室，取水路，補機冷却用海水取水路），原子炉補機冷却系配管ダクト（A系，B系）および非常用ガス処理系配管ダクトの鉄筋コンクリート構造物について，地震応答解析から求めた構造物頂底版間の最大相対変位およびその発生時刻を第 8.2.2-1 表に，構造物頂底版間の相対変位が最大となる基準地震動  $S_s$  による地震応答解析から求められる断面力図を第 8.2.2-8 図～第 8.2.2-13 図に示す。

また，非常用ガス処理系配管ダクトの基礎杭（鋼管杭）について，地震応答解析から求めた鋼管杭の断面力の最大値を第 8.2.2-2 表に，鋼管杭の断面力が最大となる基準地震動  $S_s$  による断面力図を第 8.2.2-14 図に示す。

第 8.2.2-1(1)表 頂底板間の最大相対変位（非常用取水路）

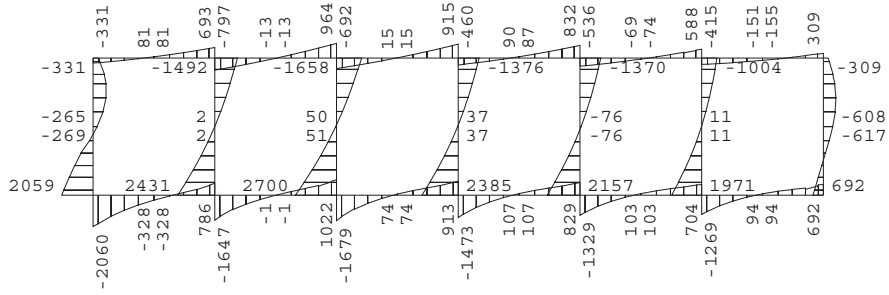
基準 地震動	スクリーン室		取水路		補機冷却用 海水取水路	
	最大相対 変位 (mm)	時刻 (秒)	最大相対 変位 (mm)	時刻 (秒)	最大相対 変位 (mm)	時刻 (秒)
Ss-1	29.7	9.23	18.3	9.28	28.6	6.62
Ss-2	9.1	21.33	6.5	21.33	7.8	21.04
Ss-3	27.8	17.58	26.2	17.72	38.1	37.49
Ss-4	7.0	51.91	5.8	51.93	5.5	51.72
Ss-5	5.2	46.58	5.5	46.58	6.1	46.63

第 8.2.2-1(2)表 頂底板間の最大相対変位  
(原子炉補機冷却系配管ダクト, 非常用ガス処理系配管ダクト)

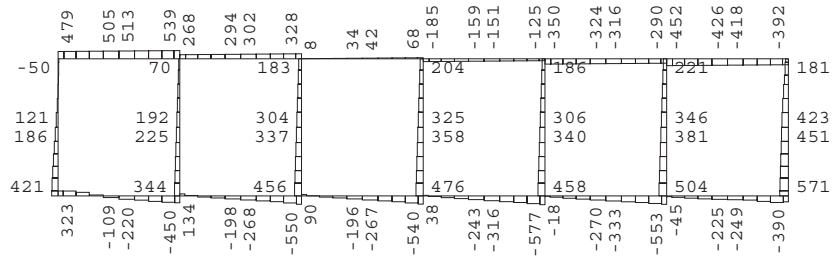
基準 地震動	原子炉補機冷却系 配管ダクト (A系)		原子炉補機冷却系 配管ダクト (B系)		非常用ガス処理系 配管ダクト	
	最大相対 変位 (mm)	時刻 (秒)	最大相対 変位 (mm)	時刻 (秒)	最大相対 変位 (mm)	時刻 (秒)
Ss-1	17.8	18.57	22.2	18.57	11.9	9.17
Ss-2	9.4	21.25	12.8	21.89	6.7	23.35
Ss-3	19.6	19.31	24.7	17.65	8.2	21.25
Ss-4	5.5	51.83	14.0	51.94	4.3	51.87
Ss-5	7.9	46.54	23.0	46.54	3.0	46.46

第 8.2.2-2 表 非常用ガス処理系配管ダクト鋼管杭の最大断面力

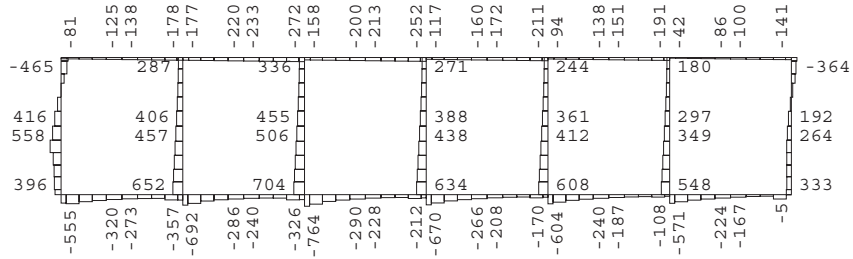
基準 地震動	最大曲げモーメント		最大せん断力		最大軸力
	杭頭部 (kN・m)	地中部 (kN・m)	杭頭部 (kN)	地中部 (kN)	
Ss-1	60	65	170	164	399
Ss-2	21	41	90	104	400
Ss-3	43	61	164	152	372
Ss-4	24	30	88	76	322
Ss-5	17	28	67	71	336



曲げモーメント (kN・m)

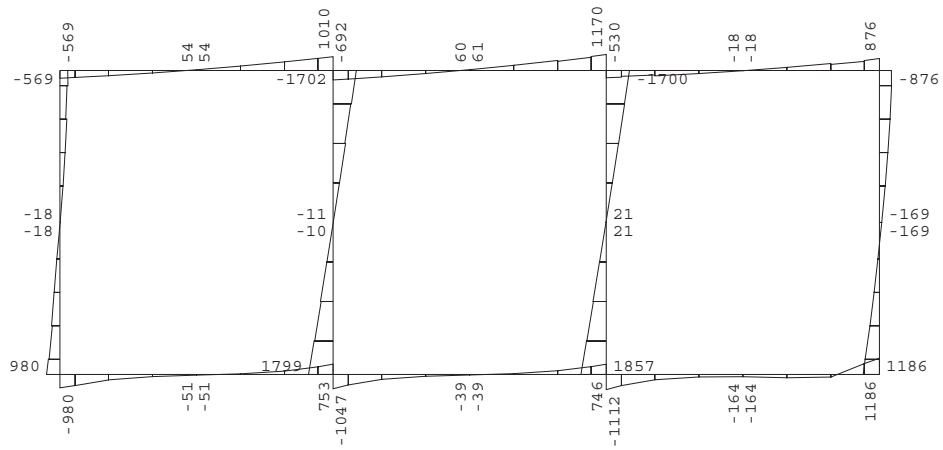


軸力 (kN)

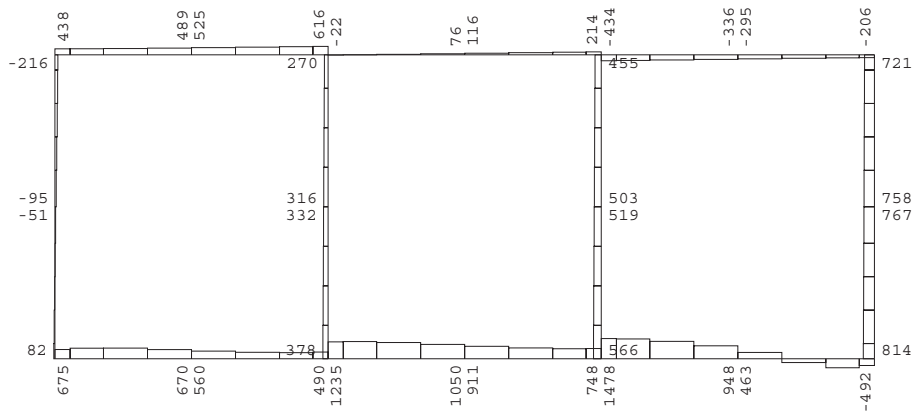


せん断力 (kN)

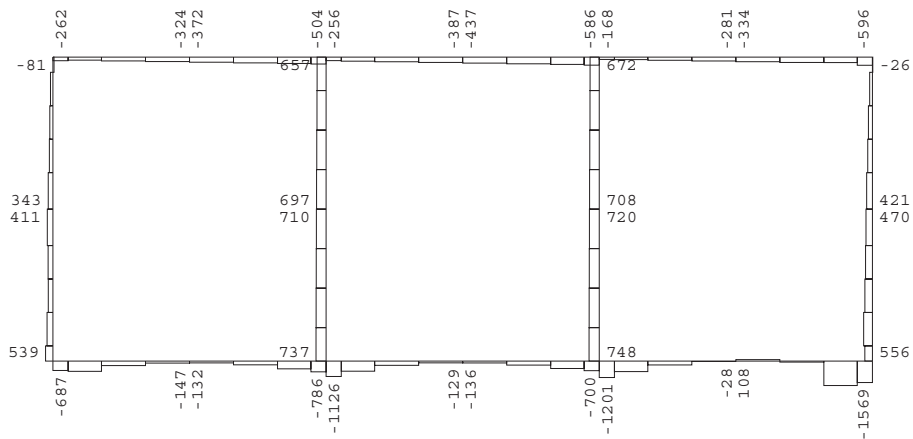
第 8.2.2-8 図 スクリーン室断面力図 (Ss-1, T=9.23 秒)



曲げモーメント (kN・m)

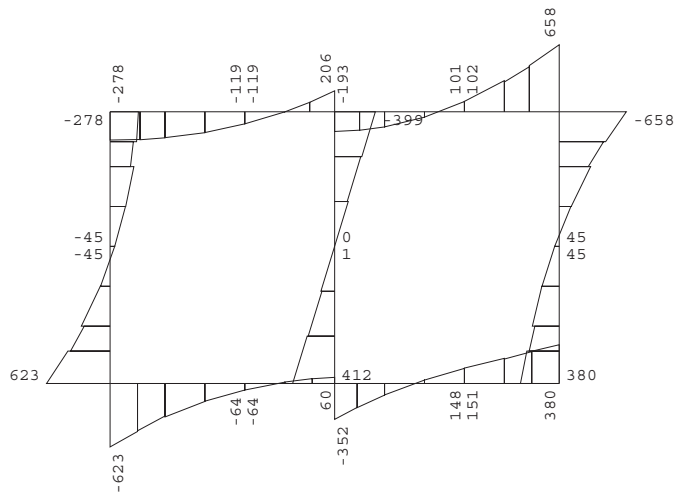


軸力 (kN)

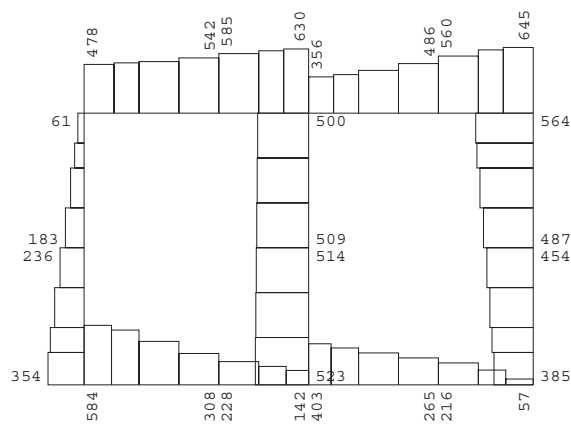


せん断力 (kN)

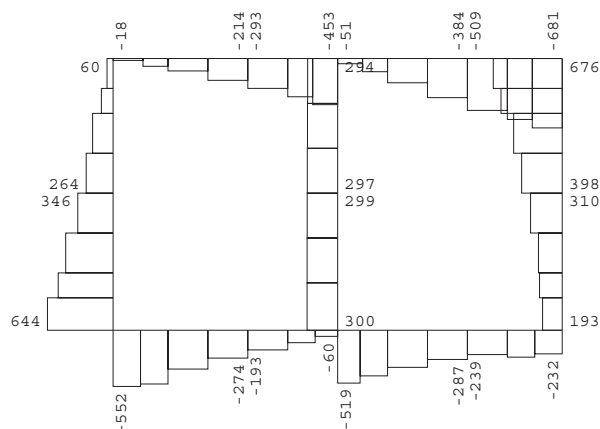
第 8.2.2-9 図 取水路断面力図 (S<sub>s</sub>-3, T=17.72 秒)



曲げモーメント (kN·m)

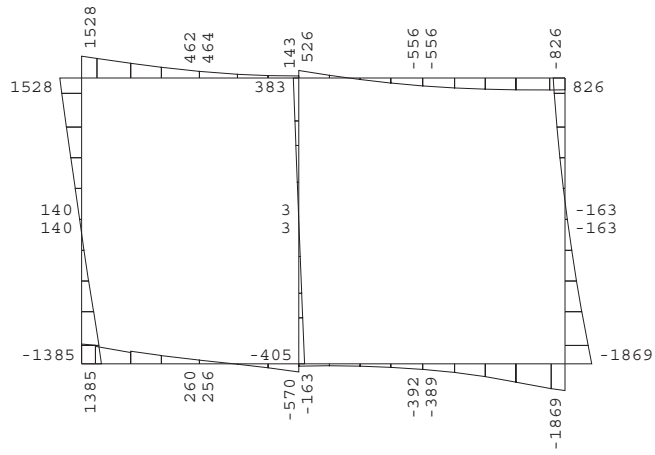


軸力 (kN)

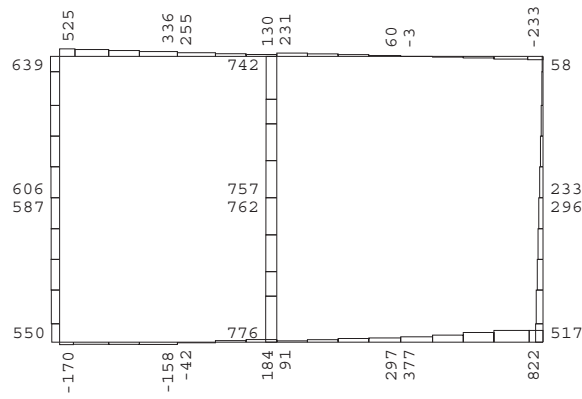


せん断力 (kN)

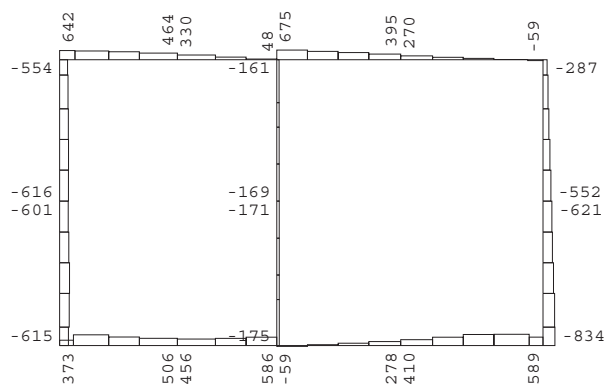
第 8.2.2-10 図 補機冷却用海水取水路断面力図 (Ss-3, T=37.49 秒)



曲げモーメント (kN・m)



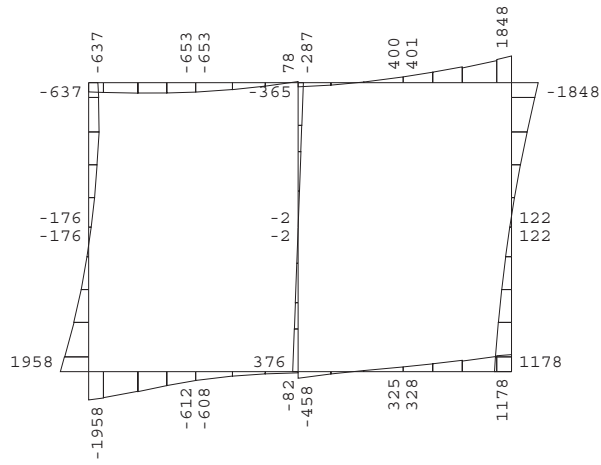
軸力 (kN)



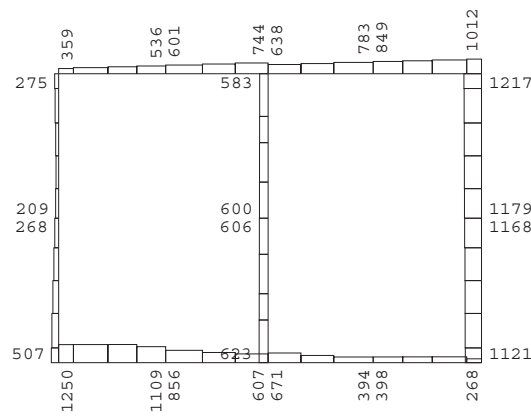
せん断力 (kN)

第 8.2.2-11 図 原子炉補機冷却系配管ダクト (A系) 断面力図

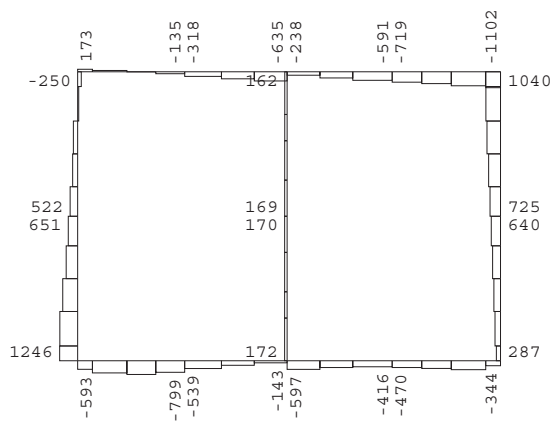
(Ss-3, T=19.31 秒)



曲げモーメント (kN・m)



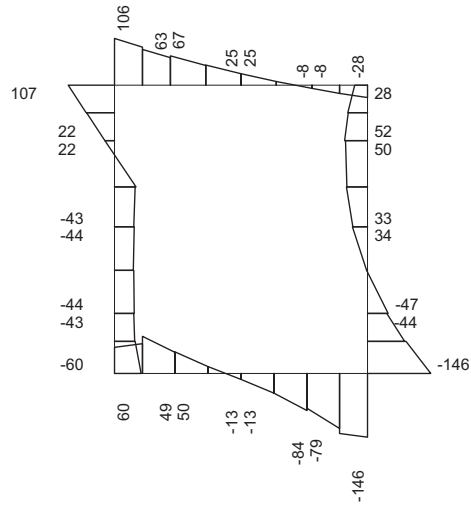
軸力 (kN)



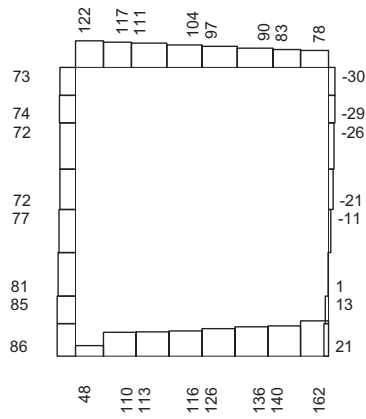
せん断力 (kN)

第 8.2.2-12 図 原子炉補機冷却系配管ダクト (B系) 断面力図

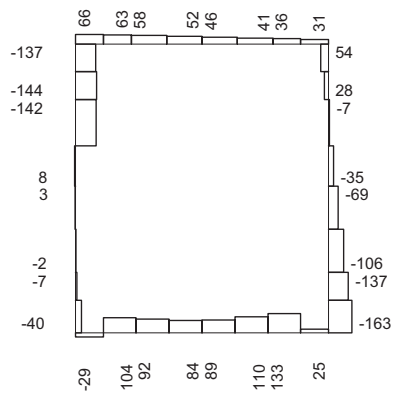
(Ss-3, T=17.65 秒)



曲げモーメント (kN・m)



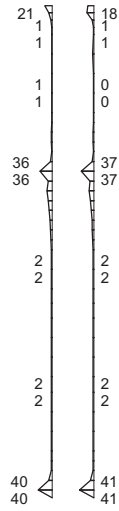
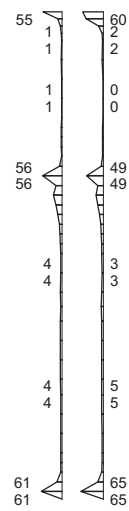
軸力 (kN)



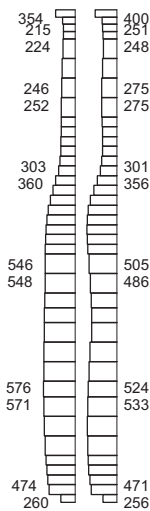
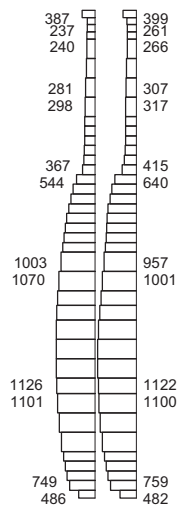
せん断力 (kN)

第 8.2.2-13 図 非常用ガス処理系配管ダクト断面力図  
( $S_s=1$ ,  $T=9.17$  秒)

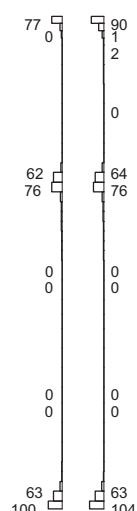
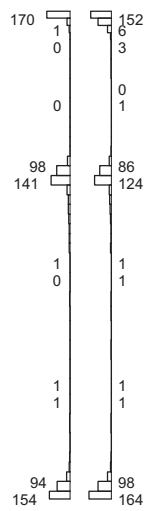




曲げモーメント (kN・m)



軸力 (kN)



せん断力 (kN)

(a) Ss-1

(b) Ss-2

第 8.2.2-14 図 非常用ガス処理系配管ダクト鋼管杭の最大断面力図

## 8.2.3. 評価基準

### 8.2.3.1. 評価手法

耐震安全性評価では、基準地震動  $S_s$  を用いた地震応答解析を実施し、評価位置において、応答値が評価基準値を満足することを確認する。

鉄筋コンクリート構造物である非常用取水路（スクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路）、原子炉補機冷却系配管ダクト（A系、B系）および非常用ガス処理系配管ダクトの応答値については、第 8.2.2-1 表に示す構造物頂底版間の相対変位が最大となる基準地震動  $S_s$  による地震応答解析から求められるものを用いる。

また、鋼管杭である非常用ガス処理系配管ダクトの基礎杭の応答値については、第 8.2.2-2 表に示す断面力が最大となる基準地震動  $S_s$  による地震応答解析から求められるものを用いる。

### 8.2.3.2. 評価基準値

鉄筋コンクリート構造物（非常用取水路（スクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路）、原子炉補機冷却系配管ダクト（A系、B系）および非常用ガス処理系配管ダクト）の耐震安全性評価では、曲げ（層間変形角または曲率）およびせん断力について評価を行う。

鉄筋コンクリート構造物の曲げによる評価は、「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、「耐震性能照査指針」という。）に基づき、層間変形角に関する照査を基本とする。ただし、その照査の結果、裕度が比較的小さい場合には、各部材断面の曲率に関する照査を行う。層間変形角の評価基準値（限界層間変形角）は、「耐震性能照査指針」に基づき部材断面の圧縮縁コンクリートひずみが1.0%を下回ることを保証したものとみなされる1/100とし、曲率の

評価基準値（限界曲率）は、「耐震性能照査指針」に基づき算定した圧縮縁コンクリートひずみ 1.0%に対応する曲率とする（「参考資料 8.1」参照）。

鉄筋コンクリート構造物のせん断力による評価は、「耐震性能照査指針」に基づき算定した評価基準値（せん断耐力）を用いた照査を行う。せん断耐力の算定にあたっては、「せん断耐力評価式を用いた方法」を用いることを基本とし、裕度が比較的小さい場合には、部材のせん断耐力を高い精度で評価できる材料非線形解析（以下、「材料非線形解析を用いた方法」という。）を用いる（「参考資料 8.2」参照）。

また、鋼管杭（非常用ガス処理系配管ダクトの基礎杭）の耐震安全性評価では、曲げ（曲率）、せん断力および支持力について評価を行う。

鋼管杭の曲げによる評価は、「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，平成 21 年 12 月」（以下、「キャスク技術規程」という。）に基づき、曲率に関する照査を行う。曲率の評価基準値（限界曲率）は、「キャスク技術規程」に基づき、鉛直および水平方向の荷重に対する保持能力を喪失しないようにするため、局部座屈に至る縁ひずみが発生する点に相当する曲率とする。

鋼管杭のせん断力による評価は、「キャスク技術規程」に基づき算定した評価基準値（せん断耐力）を用いた照査を行い、鋼管杭の支持力による評価は、「道路橋示方書・同解説 下部構造編，日本道路協会，平成 14 年 3 月」（以下、「道路橋示方書下部構造編」という。）に基づき算定した評価基準値（極限支持力）を用いた照査を行う。

## 8.2.4. 評価結果

### 8.2.4.1. 鉄筋コンクリート構造物の照査結果

#### (1) 層間変形角または曲率による照査結果

評価位置における層間変形角または曲率の照査用応答値は、評価基準値(限界層間変形角または限界曲率)を下回ることを確認した。層間変形角または曲率による照査結果を第8.2.4-1表に示す。

第8.2.4-1表 層間変形角または曲率による照査結果  
(鉄筋コンクリート構造物)

		評価位置	照査用 応答値	評価基準値	照査用応答値 ／評価基準値
非常用 取水 水路	スクリーン室※ 1	頂版～ 底版	0.405/100	1/100	0.41
	取水路※1	頂版～ 底版	0.629/100	1/100	0.63
	補機冷却用 海水取水路※2	頂版	0.0314	0.0990	0.32
		底版	0.0250	0.100	0.25
		側壁	0.0379	0.100	0.38
		隔壁	0.0693	0.118	0.59
	原子炉補機冷却系 配管ダクト(A系)※1		頂版～ 底版	0.505/100	1/100
原子炉補機冷却系 配管ダクト(B系)※1		頂版～ 底版	0.674/100	1/100	0.67
非常用ガス処理系 配管ダクト※1		頂版～ 底版	0.458/100	1/100	0.46

※1 層間変形角に関する照査  
(照査用応答値：層間変形角，評価基準値：限界層間変形角)

※2 曲率に関する照査  
(照査用応答値：曲率，評価基準値：限界曲率)

## (2) せん断力による照査結果

評価位置におけるせん断力の照査用応答値は評価基準値を下回ることを確認した。せん断力による照査結果を第 8.2.4-2 表に示す。

第 8.2.4-2 表 せん断力による照査結果（鉄筋コンクリート構造物）

		評価位置	照査用 応答値 (kN)	評価基準値 (kN)	照査用応答値 ／評価基準値
非常用 取水路	スクリーン室	頂版	240	420 <sup>※1</sup>	0.57
		底版	405	1,055 <sup>※1</sup>	0.38
		側壁	561	1,203 <sup>※1</sup>	0.47
		隔壁	686	1,071 <sup>※1</sup>	0.64
	取水路	頂版	490	901 <sup>※1</sup>	0.54
		底版	464	838 <sup>※1</sup>	0.55
		側壁	557	938 <sup>※1</sup>	0.59
		隔壁	780	2,074 <sup>※2</sup>	0.38
	補機冷却用 海水取水路	頂版	635	1,035 <sup>※2</sup>	0.61
		底版	351	493 <sup>※1</sup>	0.71
		側壁	573	1,067 <sup>※2</sup>	0.54
		隔壁	315	590 <sup>※2</sup>	0.53
原子炉補機冷却系 配管ダクト（A系）		頂版	642	995 <sup>※1</sup>	0.65
		底版	580	1,047 <sup>※1</sup>	0.55
		側壁	1,220	2,666 <sup>※2</sup>	0.46
		隔壁	207	401 <sup>※1</sup>	0.52
原子炉補機冷却系 配管ダクト（B系）		頂版	976	2,178 <sup>※2</sup>	0.45
		底版	938	1,957 <sup>※2</sup>	0.48
		側壁	1,265	2,413 <sup>※2</sup>	0.52
		隔壁	181	395 <sup>※1</sup>	0.46
非常用ガス処理系 配管ダクト		頂版	71	323 <sup>※1</sup>	0.22
		底版	140	400 <sup>※1</sup>	0.35
		側壁	128	361 <sup>※1</sup>	0.35

※1 せん断耐力評価式を用いた方法

※2 材料非線形解析を用いた方法

### 8.2.4.2. 鋼管杭の照査結果

評価位置における曲率，せん断力，支持力の照査用応答値は評価基準値を下回ることを確認した。照査結果を第 8.2.4-3 表～第 8.2.4-5 表に示す。

第 8.2.4-3 表 曲率による照査結果（鋼管杭）

	評価位置	照査用 応答値 (1/m)	評価基準値 (1/m)	照査用応答値 ／評価基準値
非常用ガス処理系 配管ダクト	杭頭部	0.00228	0.0573	0.040
	地中部	0.00170	0.0286	0.059

第 8.2.4-4 表 せん断力による照査結果（鋼管杭）

	評価位置	照査用 応答値 (kN)	評価基準値 (kN)	照査用応答値 ／評価基準値
非常用ガス処理系 配管ダクト	杭頭部	170	502	0.34
	地中部	164	502	0.33

第 8.2.4-5 表 支持力による照査結果（鋼管杭）

	評価位置	照査用 応答値 (kN)	評価基準値 (kN)	照査用応答値 ／評価基準値
非常用ガス処理系 配管ダクト	杭頭部	400	3,135	0.13

以上のとおり，屋外重要土木構造物の耐震安全性評価の結果，照査用応答値は評価基準値を下回っており，機能が保持されることを確認した。

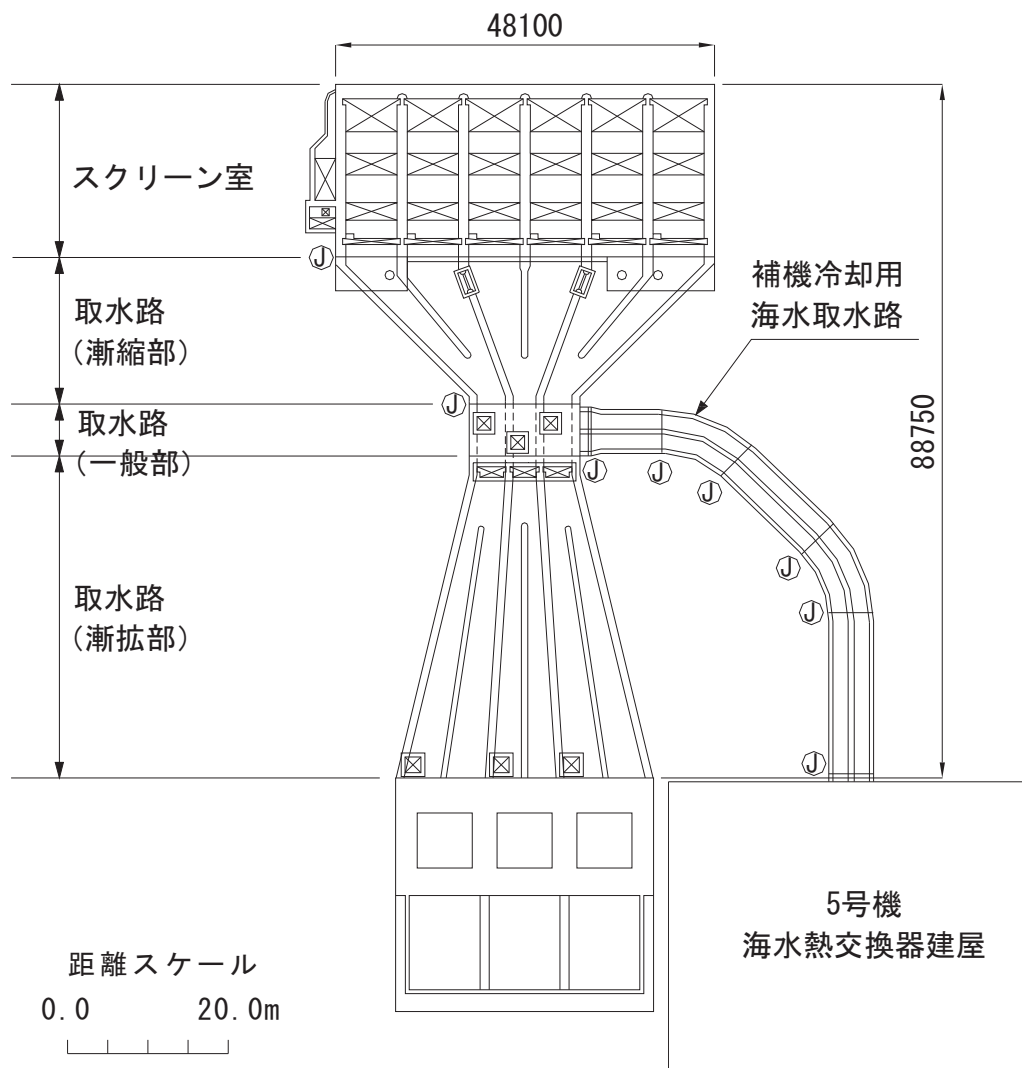
## 8.3. 非常用取水路の軸方向に対する検討

### 8.3.1. 検討方針

屋外重要土木構造物は、軸方向における構造の変化等を考慮してブロック分割し、その間に耐震ジョイントや伸縮目地を設置することによって、軸方向について構造的に問題となるような応力が生じないように設計されているが、念のため、洪積層に設置されている非常用取水路を対象として、軸方向の応力度とブロック間相対変位について検討する。

非常用取水路のブロック分割を、第 8.3.1-1 図に示す。

なお、検討対象とする地震動は、「8.2. 耐震安全性評価」において、構造物の変位が比較的大きかった基準地震動  $S_s-1$ 、 $S_s-3$  とする。



Ⓧ：耐震ジョイント

第 8.3.1-1 図 非常用取水路のブロック分割



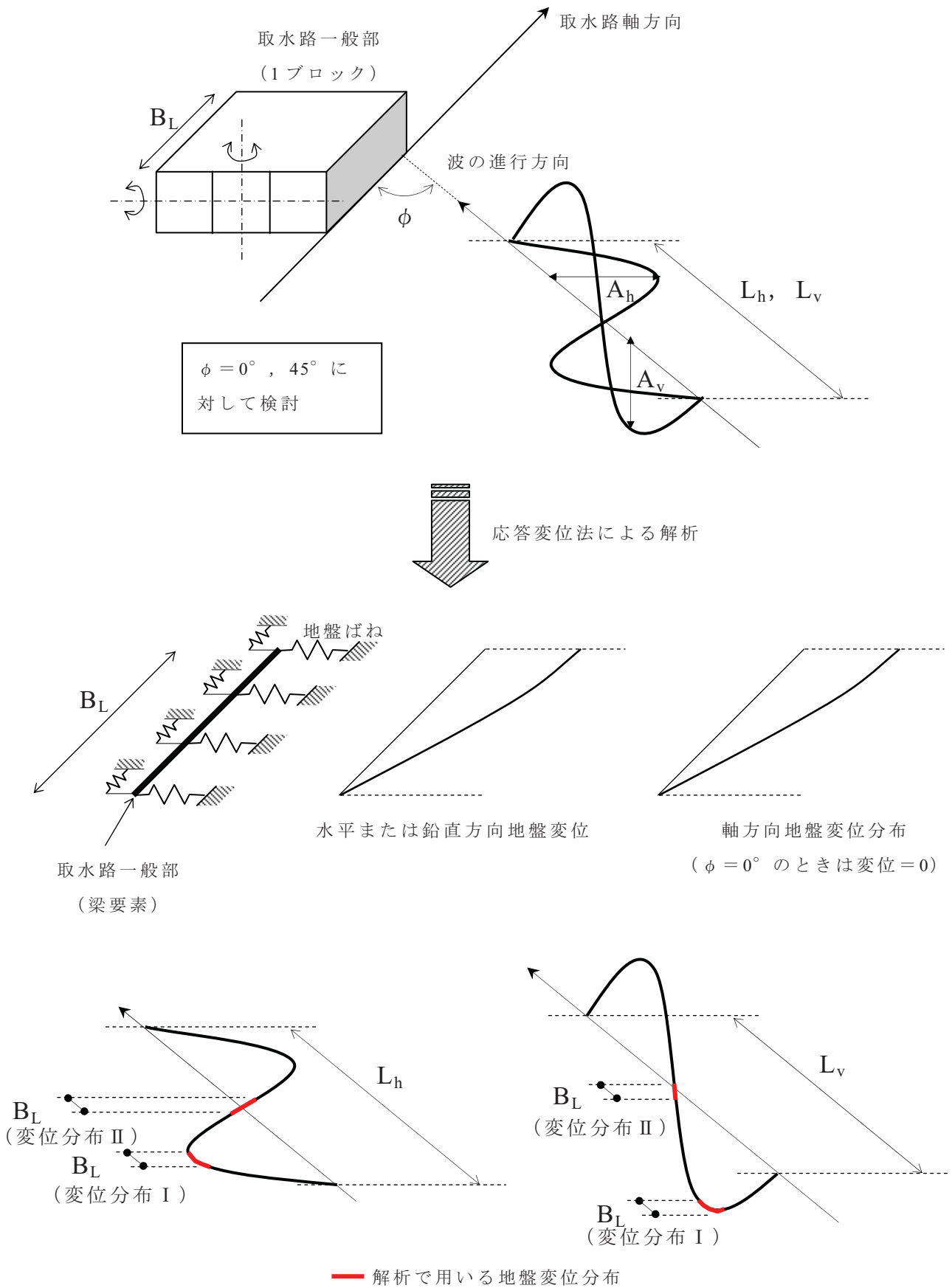
## 8.3.2. 応力度に関する検討

### 8.3.2.1. 検討手法

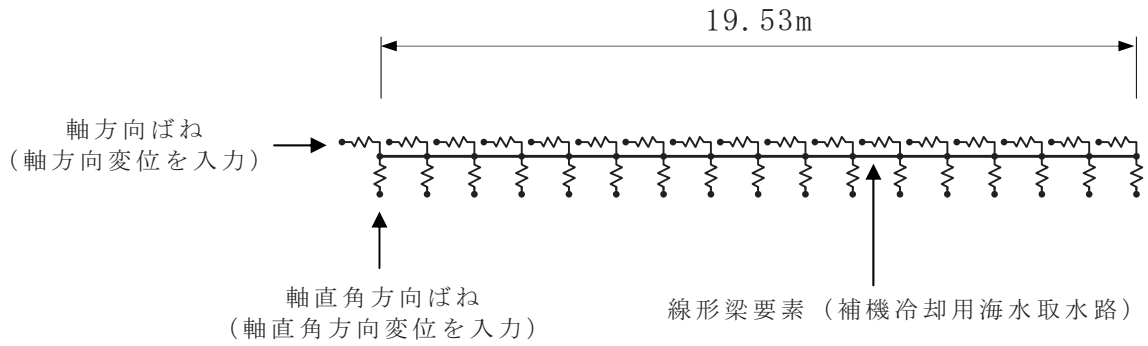
非常用取水路の応力度に関する検討では、梁要素と地盤ばねからなる解析モデル（第 8.3.2-1 図）を用いて、静的に水平方向および鉛直方向の地盤変位分布を与えて断面力を求め、曲げ・軸力およびせん断力の発生応力度を算出する。このように算出した応力度について、曲げ・軸力については、「耐震性能照査指針」に基づき算出したコンクリート引張強度を、せん断力については、「耐震性能照査指針」のせん断耐力評価式による評価値を下回ることを確認する。

解析モデルを第 8.3.2-2 図に、地盤ばねを第 8.3.2-1 表に、地盤の波長と最大変位振幅を第 8.3.2-2 表に示す。

地盤ばねは「道路橋示方書下部構造編」に基づき、地盤物性値から推定される地盤反力係数を用いて経験式から算定する。また、地盤ばねを介して与える地盤変位は「共同溝設計指針，日本道路協会，昭和 61 年 3 月」の考え方に従い、地盤振動の波長と最大変位振幅を用いて算定する。なお、最大変位振幅は、「8.2. 耐震安全性評価」において実施した非常用取水路の地震応答解析結果に基づき、構造物中心－西山層上面間の最大相対変位（水平方向および鉛直方向）とする。



第 8.3.2-1 図 軸方向の検討方法の概念 (水平方向, 鉛直方向)



※ 別途算定した変位分布に従い、軸直角方向変位および軸方向変位を各節点の地盤ばねを介して入力。

第 8.3.2-2 図 解析モデル

第 8.3.2-1 表 解析に用いた地盤ばね

基準地震動	方向	軸方向ばね定数 $K_1$ (kN/m)	軸直角方向ばね定数 $K_2$ (kN/m)
Ss-1	水平変位 入力モデル	$8.66 \times 10^4$	$9.96 \times 10^4$
	鉛直変位 入力モデル	$8.66 \times 10^4$	$1.31 \times 10^5$
Ss-3	水平変位 入力モデル	$7.98 \times 10^4$	$9.06 \times 10^4$
	鉛直変位 入力モデル	$7.98 \times 10^4$	$1.22 \times 10^5$

第 8.3.2-2 表 解析に用いた地盤振動の波長と最大変位振幅

基準地震動	方向	波長 $L$ (m)	最大変位振幅 $A$ (cm)
Ss-1	水平変位	222	11.9
	鉛直変位	222	0.569
Ss-3	水平変位	230	12.9
	鉛直変位	230	0.242

### 8.3.2.2. 検討結果

#### (1) 曲げ・軸力に関する検討

曲げ・軸力については，水平方向および鉛直方向変位に対して軸方向に生じる応力度がコンクリート引張強度を下回ることを確認した。曲げ・軸力による検討結果を第 8.3.2-3 表に示す。

第 8.3.2-3 表 曲げ・軸力に関する検討結果

	構造物と地震波進行方向のなす角度 $\phi$ (°)	変位分布	発生応力度 $\sigma_d$ (N/mm <sup>2</sup> )	コンクリート引張強度 $f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_d / f_t$
水平方向変位	0	I	0.395	1.45	0.27
		II	0.00676	1.45	0.0047
	45	I	0.143	1.45	0.099
		II	0.819	1.45	0.56
鉛直方向変位	0	I	0.0302	1.45	0.021
		II	0.000560	1.45	0.00039
	45	I	0.0109	1.45	0.0075
		II	0.0392	1.45	0.027

(2) せん断力に関する検討

せん断力については, 水平方向および鉛直方向変位に対して軸方向に生じるせん断力がせん断耐力を下回ることを確認した。せん断力による検討結果を第 8.3.2-4 表に示す。

第 8.3.2-4 表 せん断力に関する検討結果

	構造物と地震波進行方向のなす角度 $\phi$ (°)	変位分布	発生せん断力 $V_d$ (kN)	せん断耐力 $V_{yd}$ (kN)	$V_d / V_{yd}$
水平方向変位	0	I	543	9,870	0.055
		II	20.7	9,870	0.0021
	45	I	193	9,560	0.020
		II	4.87	9,140	0.00053
鉛直方向変位	0	I	31.6	7,480	0.0042
		II	1.35	7,480	0.00018
	45	I	11.2	7,580	0.0015
		II	0.320	6,620	0.000048

以上の検討の結果, 非常用取水路の軸方向に生じる応力度およびせん断力は基準値を下回ることから, 取水機能に影響を及ぼすものではない。

### 8.3.3. ブロック間相対変位に関する検討

#### 8.3.3.1. 検討手法

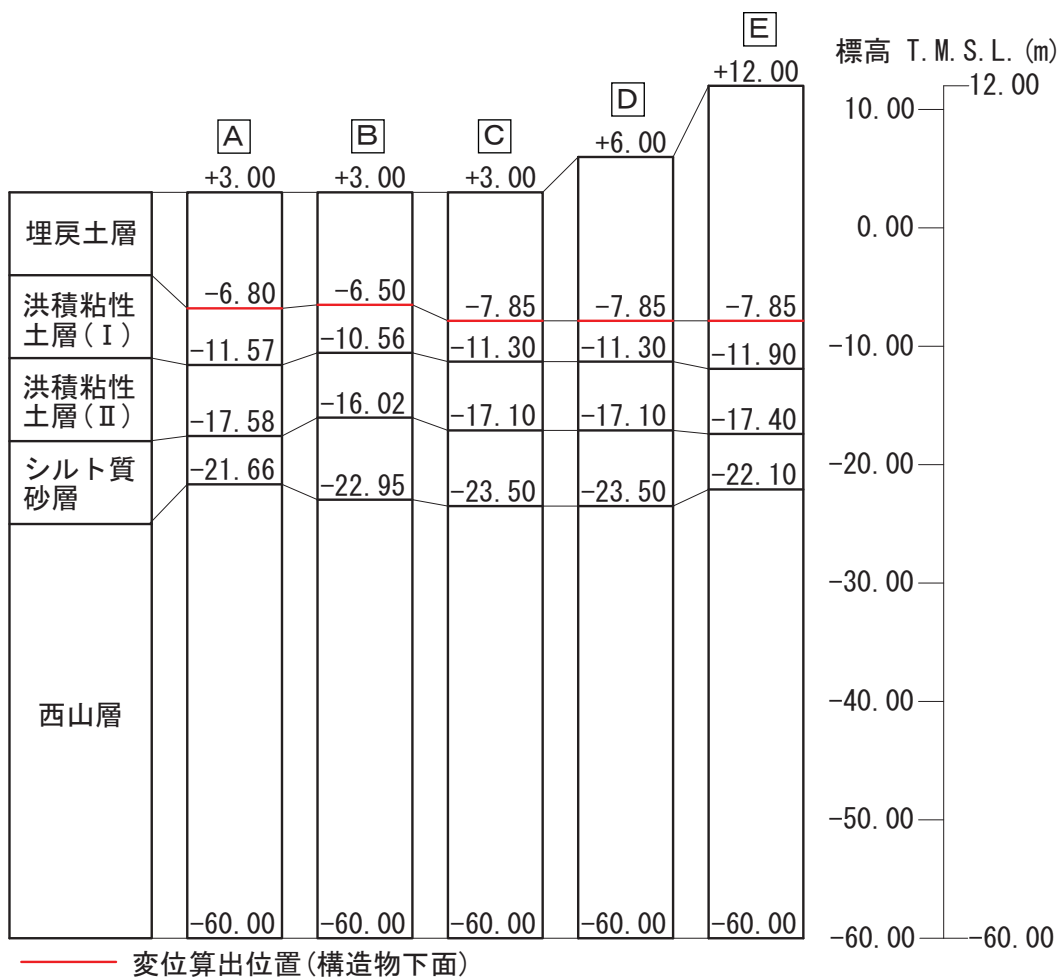
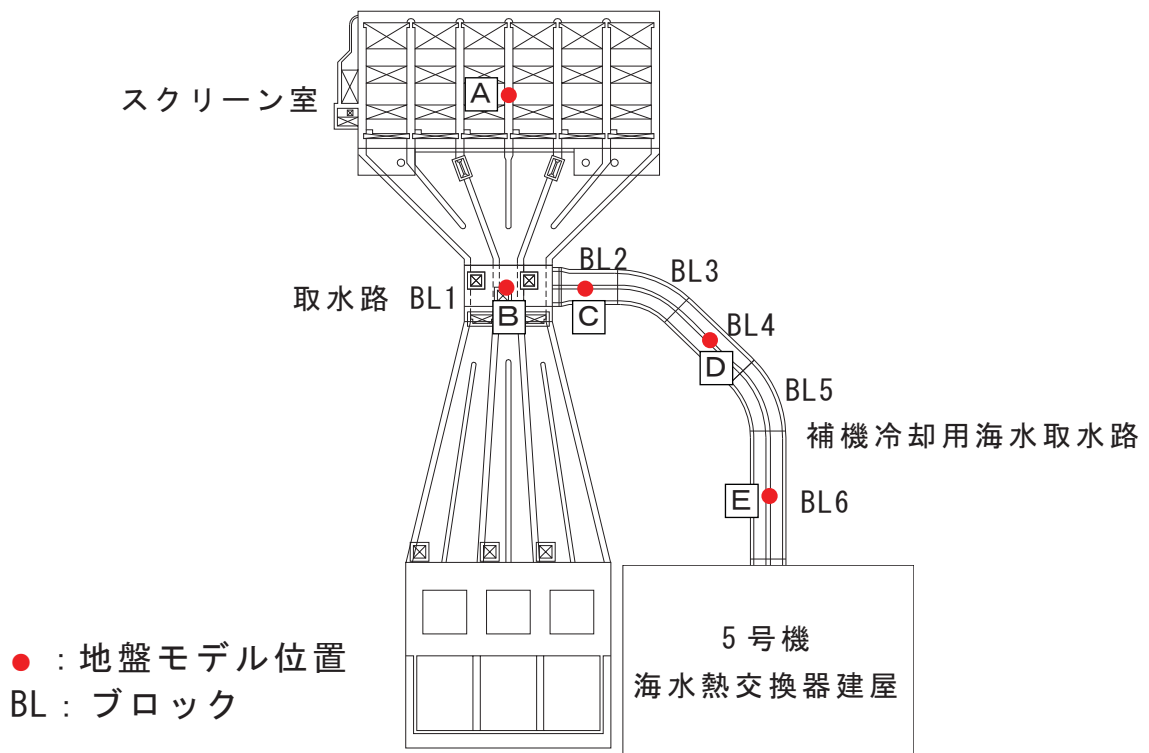
非常用取水路のブロック間相対変位について、地盤の非線形性を考慮した一次元地震応答解析によって検討する。

一次元地震応答解析モデルは、スクリーン室、取水路および補機冷却用海水取水路の設置位置における地層構成に基づき地盤をモデル化する。補機冷却用海水取水路については、全体が5つのブロックに分割されており、海側から山側に向かって地表面レベルが3.0m, 6.0m, 12.0mと変化するため、地表面レベルが異なる位置で5つの地盤モデルを作成する。一次元地震応答解析モデルA～Eの位置と地層構成を第8.3.3-1図に示す。

ブロック間の相対変位量は、一次元地震応答解析の結果から、各モデルの構造物設置レベルの変位時刻歴によってブロック間の相対変位量を算出し、ブロック間に発生する相対変位が取水機能に影響を及ぼさないことを確認する。

#### 8.3.3.2. 検討結果

非常用取水路の各ブロック間の最大相対変位を第8.3.3-1表に示す。隣接するブロック間の最大相対変位量は、耐震ジョイントの限界性能（伸び30cm, ずれ40cm）を下回ることから、取水機能に影響を及ぼすものではない。



第 8.3.3-1 図 一次元地盤モデル

第 8.3.3-1 表 最大相対変位量

単位 [mm]

区 間		軸方向および軸直交方向	
ブロック	地盤モデル	最大水平相対変位	最大鉛直相対変位
スクリーン室 - BL1	A - B	9.8	0.2
BL1 - BL2	B - C	17.8	0.8
BL2 - BL3	C - D	20.6	1.3
BL3 - BL4	C - D	20.6	1.3
BL4 - BL5	D - E	33.6	2.9
BL5 - BL6	D - E	33.6	2.9



## 8.4. 非常用取水路の設置地盤の支持性能に対する検討

### 8.4.1. 検討方針

非常用取水路の各断面の等価な単位体積重量は  $14.7\sim 17.5\text{kN/m}^3$  であり、埋戻土層の単位体積重量  $18.6\text{kN/m}^3$  と比べて小さいことから、設置地盤の支持性能は問題にならないと考えられるが、念のため、「8.2. 耐震安全性評価」において実施した地震応答解析結果に基づき、非常用取水路の設置地盤の支持性能について検討する。

### 8.4.2. 検討手法

構造物から地盤に作用する鉛直方向の合力 ( $V$ ) が最大となる時刻について、鉛直方向の合力が設置地盤の極限支持力 ( $Q_u$ ) を下回ることを確認する。設置地盤の極限支持力は「道路橋示方書下部構造編」に基づき算定する。

また、構造物から地盤に作用する鉛直方向の合力および構造物の底版に接する地盤要素の鉛直応力 ( $\sigma_v$ ) が最大となるそれぞれの時刻について、要素ごとの安全係数分布およびモビライズド面から、連続したすべり線が形成されないことを確認する。

### 8.4.3. 検討結果

構造物から地盤に作用する鉛直方向の合力が極限支持力を下回ることを確認した。鉛直方向の合力と極限支持力を比較した結果を第 8.4.3-1 表に示す。

また、要素ごとの安全係数分布およびモビライズド面から、破壊に至る要素が連続せず、すべり線が形成されないことを確認した。代表的なケースの地盤反力分布、要素ごとの安全係数分布、モビライズド面を第 8.4.3-1 図～第 8.4.3-3 図に示す。

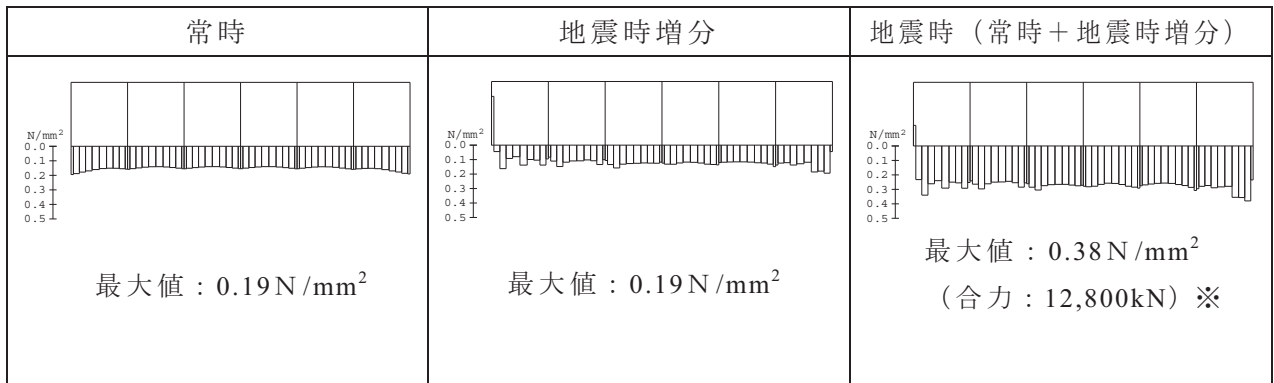
第 8.4.3-1 表 極限支持力に関する検討結果

		鉛直力 <sup>※1</sup> V (kN)	極限支持力 <sup>※1</sup> Q <sub>u</sub> (kN)	Q <sub>u</sub> /V
非常用 取水 水路	スクリーン室	12,800	60,200 <sup>※2</sup>	4.7
	取水路	5,000	26,400 <sup>※2</sup>	5.3
	補機冷却用 海水取水路	2,600	12,500 <sup>※2</sup>	4.8

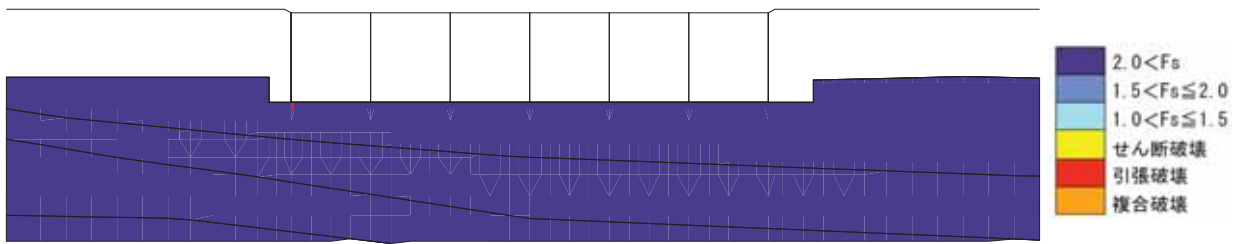
※1 奥行き 1m 当り

※2 「道路橋示方書下部構造編」に基づき算出（支持層の物性値は建設当時に実施した試験結果（ $c=172.6\text{kN/m}^2$ ,  $\phi=28.9^\circ$ ））

## 接地圧分布

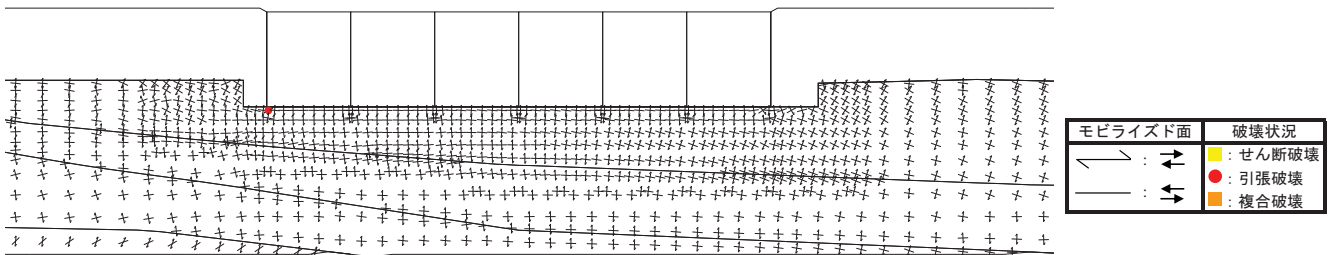


※ 奥行き 1m 当たりの値



要素ごとの安全係数

破壊表示は当該時刻で判定

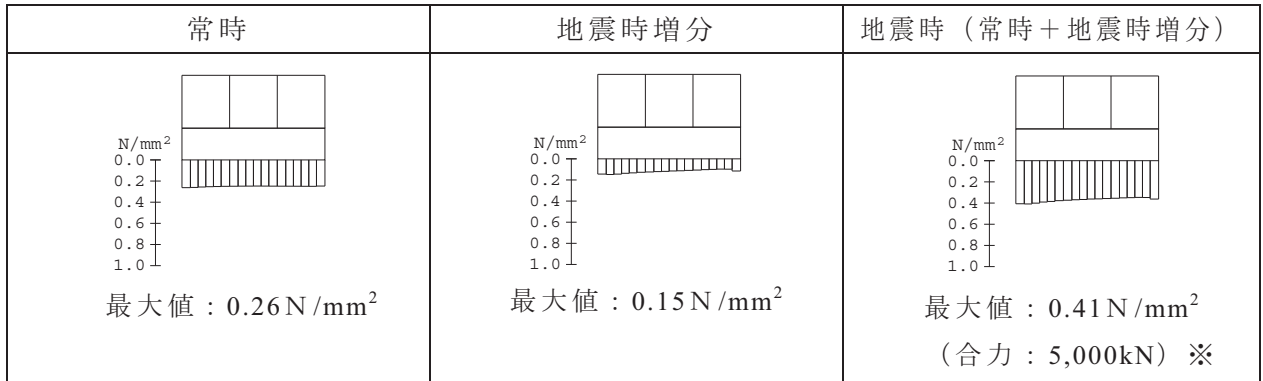


破壊表示は当該時刻で判定

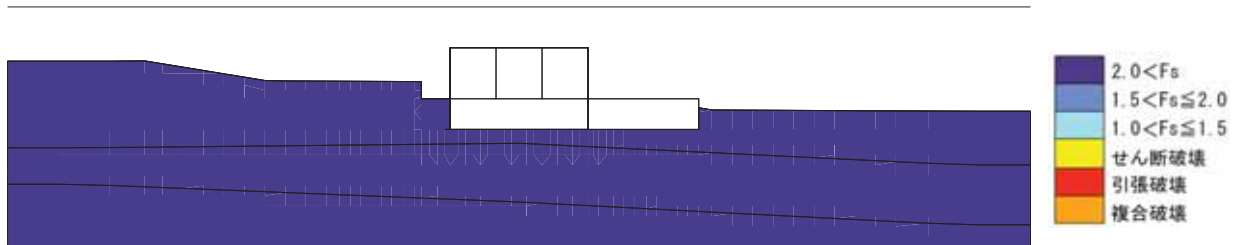
モビライズド面

第 8.4.3-1 図 要素ごとの安全係数分布およびモビライズド面  
(スクリーン室, Ss-1, 鉛直合力・要素鉛直応力最大時 T=16.20 秒)

## 接地圧分布

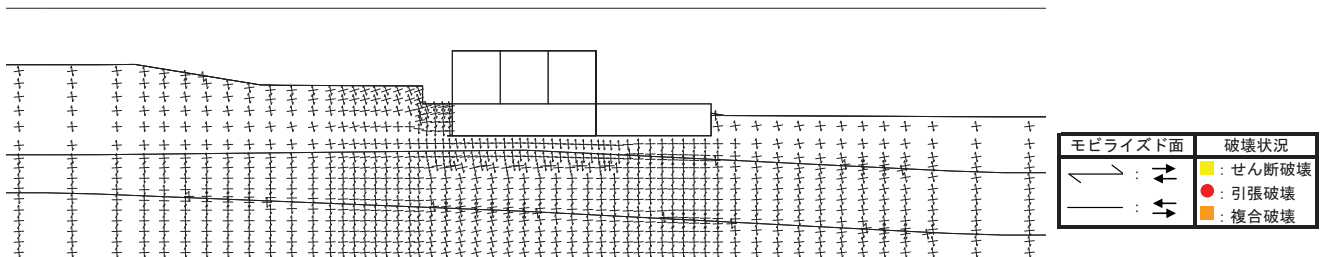


※ 奥行き 1m 当たりの値



破壊表示は当該時刻で判定

## 要素ごとの安全係数

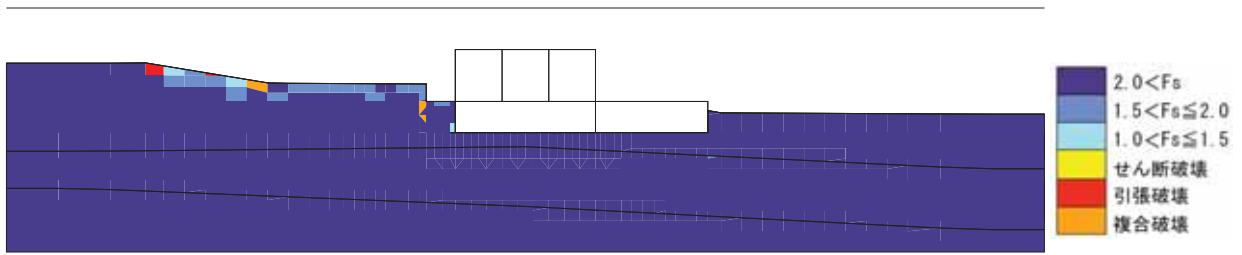
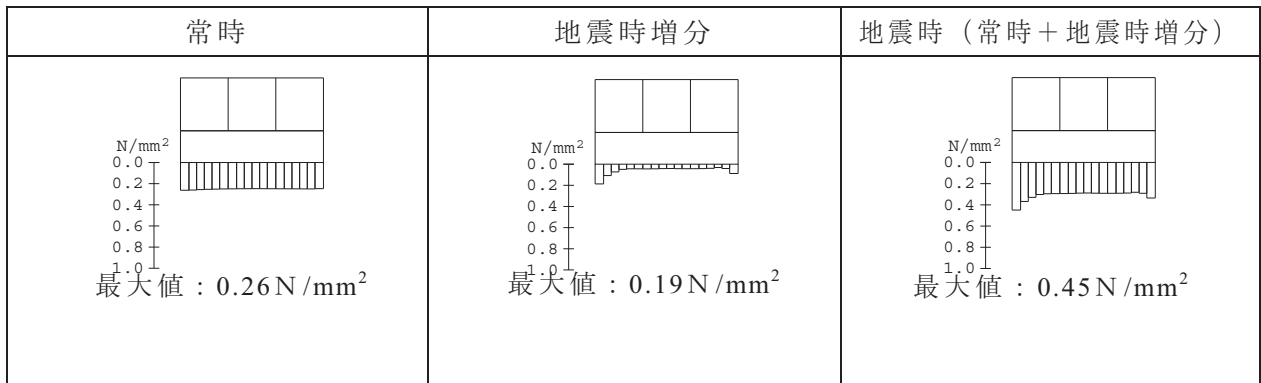


破壊表示は当該時刻で判定

## モビライズド面

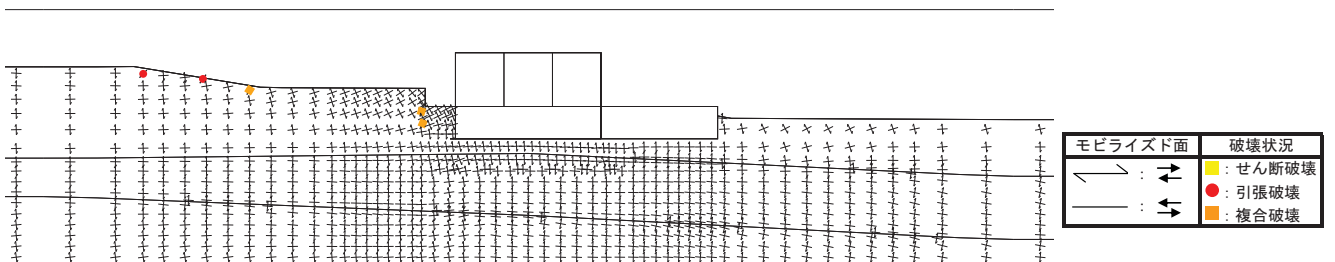
第 8.4.3-2 図 要素ごとの安全係数分布およびモビライズド面  
（取水路，S<sub>s</sub>-3，鉛直合力最大時 T=11.89 秒）

## 接地圧分布



### 要素ごとの安全係数

破壊表示は当該時刻で判定



破壊表示は当該時刻で判定

### モビライズド面

第 8.4.3-3 図 要素ごとの安全係数分布およびモビライズド面  
（取水路，S<sub>s</sub>-3，要素鉛直応力最大時 T=43.81 秒）

## 参考資料 8.1 曲げ系の破壊に対する照査について※

※ 柏崎刈羽原子力発電所 1 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価 報告書（原管発官 2 1 第 4 8 9 号 平成 2 2 年 3 月 2 4 日）再掲

屋外重要土木構造物の耐震安全性評価において、曲げ系の破壊の限界状態は、「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、「耐震性能照査指針」という。）に基づき、「部材断面の圧縮縁コンクリートひずみが 1.0%（ $10000 \times 10^{-6}$ ）に至った状態」とし、これに対応する限界値として、以下に示す 4 通りの中から選択することができるとしている。

### 1. 圧縮縁コンクリートひずみ 1.0%

材料非線形解析（ファイバーモデルを含む）によって応答を求める場合、ひずみを直接出力することが可能なので、上記を直接限界値とすることができる。

### 2. 圧縮縁コンクリートひずみ 1.0%に対応する曲率

部材非線形解析によって応答を求める場合、圧縮縁コンクリートひずみ 1.0%に対応する曲率を断面計算等によって算定し、それを限界値とすることができる。

### 3. 圧縮縁コンクリートひずみ 1.0%に対応する層間変形角

部材非線形解析によって応答を求める場合、圧縮縁コンクリートひずみ 1.0%に対応する層間変形角の算定式によって算定し、それを限界値とすることができる。

### 4. 層間変形角 1/100

部材非線形、材料非線形を問わず、応答層間変形角が 1/100 以下であれば上記の基準を保証したものとみなすことができる。

## 参考資料 8.2 セン断耐力の算定方法について※

※ 柏崎刈羽原子力発電所 1 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価 報告書（原管発官 2 1 第 4 8 9 号 平成 2 2 年 3 月 2 4 日）再掲

屋外重要土木構造物の耐震安全性評価において、部材のせん断耐力は、「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、「耐震性能照査指針」という。）に基づき、「せん断耐力評価式を用いた方法」により算定することを基本とし、裕度が比較的小さい場合には、部材のせん断耐力を高い精度で評価できる材料非線形解析（以下、「材料非線形解析を用いた方法」という。）により算定している。

せん断耐力の算定方法について、以下に示す。

### 1. セン断耐力評価式を用いた方法

「せん断耐力評価式を用いた方法」では、耐震性能照査指針に基づき、棒部材式あるいはディープビーム式によりせん断耐力を算定する。棒部材式およびディープビーム式を以下に示す。

#### 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

$$V_{cd}^* = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{bc}$$

$$V_{sd}^* = \{ A_w \cdot f_{wyd} \cdot (\sin \alpha + \cos \alpha) / s \} z / \gamma_{bs}$$

※ 詳細は「耐震性能照査指針」を参照

## ②. ディープビーム式

$$V_{ydd} = V_{cdd} + V_{sdd}$$

ここに、 $V_{cdd}$ : コンクリートが分担するせん断耐力

$V_{sdd}$ : せん断補強筋が分担するせん断耐力

$$V_{cdd}^* = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_a \cdot f_{dd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{bc}$$

$$V_{sdd}^* = \phi \cdot V_{sd}$$

※詳細は「耐震性能照査指針」を参照



## 2. 材料非線形解析を用いた方法

「材料非線形解析を用いた方法」では、耐震性能照査指針に基づき材料非線形解析を行い、部材のせん断耐力を算定している。

材料非線形解析を用いたせん断耐力については、以下の解析により得られた結果を用いて、荷重ステップ毎の変位増分の拡大状況などを参照して判断している。

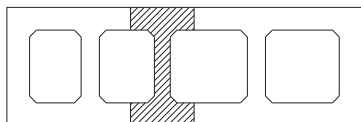
### ①. 解析手順

材料非線形解析は検討対象部材を有限要素でモデル化し（参図-8.2.1）、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、同荷重比率を維持しながら漸増载荷する（参図-8.2.2）。

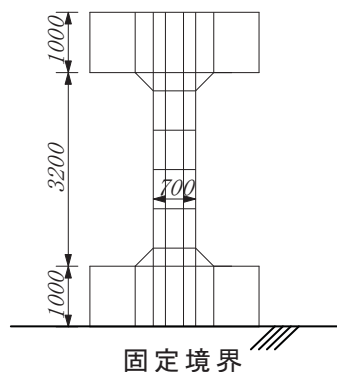
### ②. 材料特性

コンクリートの圧縮応力下の応力-ひずみ関係は、最大応力点を越えた軟化域まで表す曲線とし、残留塑性ひずみと除荷再載荷時の剛性低下を表すものを用いる。また、引張応力下の応力-ひずみ関係には、鉄筋コンクリートにおけるコンクリートと鉄筋の付着効果等による相互作用を包含している（「別紙」を参照）。

補機冷却用海水取水路(北側)



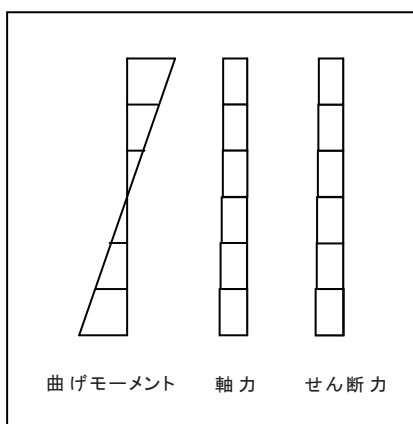
照査対象部  
材をモデル化



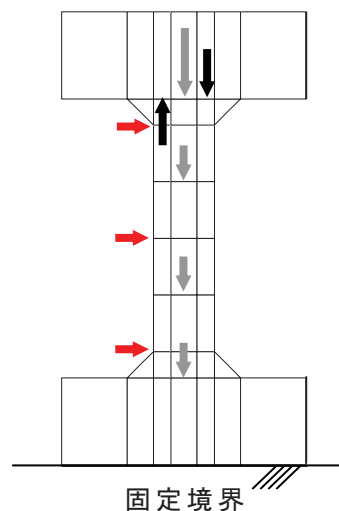
(単位: mm)

参図-8.2.1 材料非線形解析モデル  
(例: 6号機非常用取水路 補機冷却用海水取水路(北側) 隔壁部)

(部材非線形解析で得られた  
照査時刻の断面力分布)



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

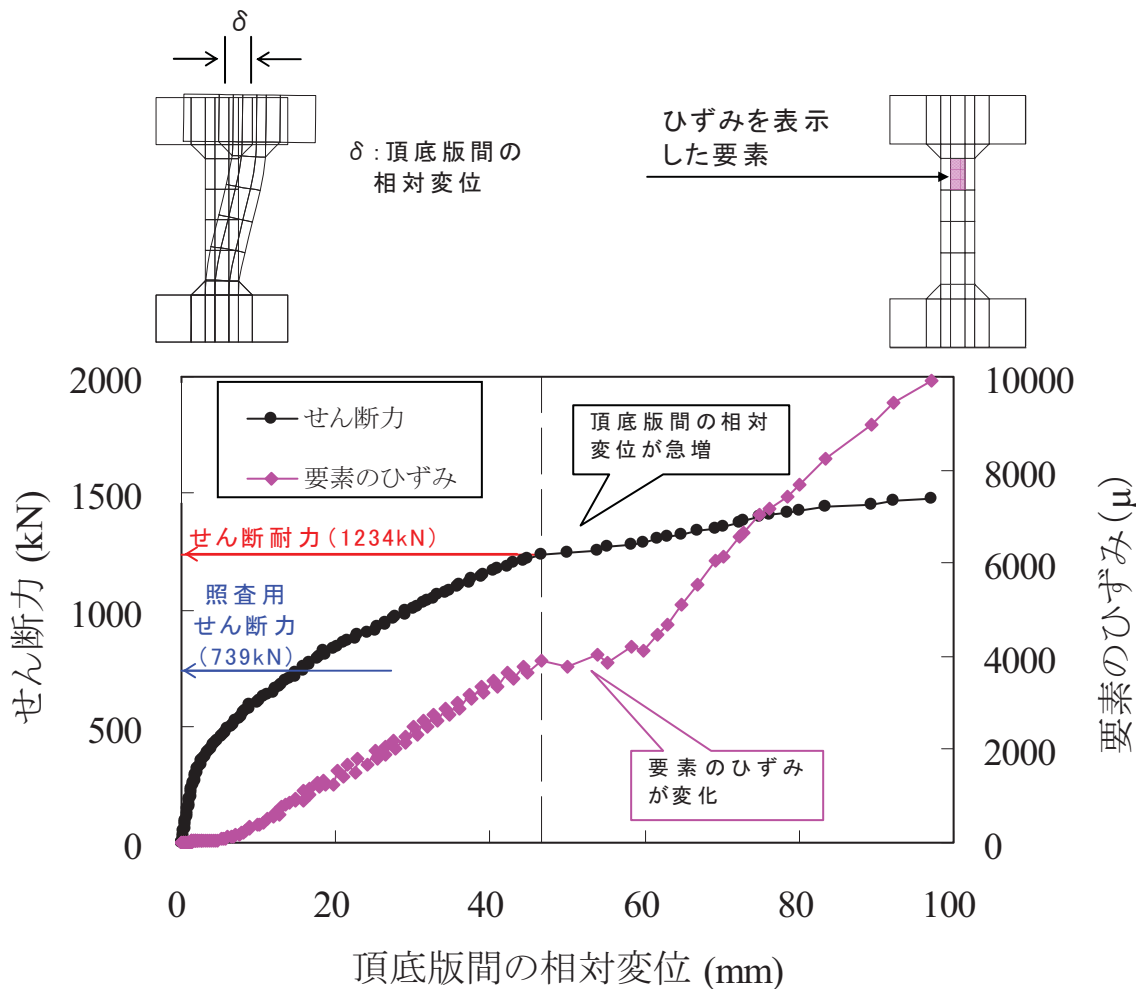


参図-8.2.2 材料非線形解析手法における载荷方法の概念図

### ③. 部材のせん断耐力の算定例

6号機非常用取水路のうち補機冷却用海水取水路の隔壁部の耐震安全性評価を例に、材料非線形解析手法を用いた部材のせん断耐力の算定結果を示す。

参図-8.2.3 に、材料非線形解析から得られたせん断力～頂底板間の相対変位関係、および下図に示す要素のひずみ～頂底板間の相対変位関係を示す。解析の結果から、せん断力～頂底板間の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の増分が急増しており、これ以降、要素のひずみの増分も変化している点を部材のせん断耐力と判断している。



参図-8.2.3 材料非線形解析結果  
(例：6号機非常用取水路 補機冷却用海水取水路（北側）隔壁部)

## 材料非線形解析の非線形特性について

部材のせん断耐力の算定に用いた材料非線形解析の非線形特性について、以下に示す。

## 1. 材料の非線形特性

## ①. コンクリート

コンクリートの非線形特性を図-1 に示す。

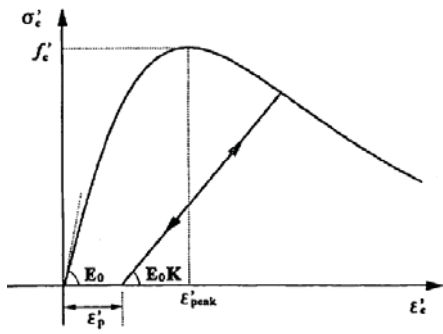
圧縮領域の応力-ひずみの骨格曲線は最大応力点を越えた軟化領域も表し、応力履歴については残留塑性ひずみと除荷再載荷時の剛性低下を考慮している。

また、引張領域に適用する軸方向の平均応力-平均ひずみの骨格曲線は鉄筋との付着作用を包含し、ひび割れ発生以降もひび割れ間のコンクリートが引張応力を分担することを考慮している。

## ②. 鉄筋

鉄筋の非線形特性を図-2 に示す。

鉄筋の応力-ひずみ骨格曲線は鉄筋降伏以後の部材の変形を算定するため、ひずみ硬化を考慮している。



$$\sigma'_c = E_0 K (\epsilon'_c - \epsilon'_p) \geq 0$$

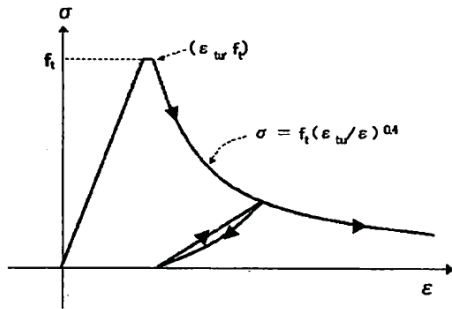
$$E_0 = \frac{2 \cdot f'_c}{\epsilon_{peak}}$$

$$K = \exp \left\{ -0.73 \frac{\epsilon'_{max}}{\epsilon_{peak}} \left[ 1 - \exp \left( -1.25 \frac{\epsilon'_{max}}{\epsilon_{peak}} \right) \right] \right\}$$

$$\epsilon'_p = \epsilon'_{max} - 2.86 \cdot \epsilon'_{peak} (1 - \exp(-0.35 \frac{\epsilon'_{max}}{\epsilon_{peak}}))$$

ここに、 $\epsilon'_{peak}$  : 圧縮強度に対応するひずみ  
 $\epsilon'_{max}$  : 過去に受けた圧縮ひずみの最大値  
 $\epsilon'_p$  : 塑性ひずみ  
 $K$  : 弾性剛性残存率

(圧縮応力下の履歴モデル)

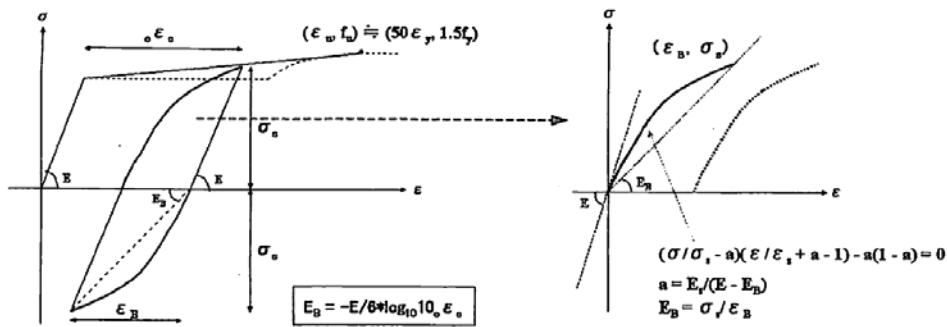


ここに、

$\sigma_t$  : 引張応力  
 $\epsilon_t$  : 引張ひずみ  
 $f_t$  : 引張強度  
 $\epsilon_{tu}$  : ひび割れ発生限界ひずみ

(引張応力下の履歴モデル)

図-1 コンクリートの履歴モデル (1)



$$(\sigma / \sigma_s - a)(\epsilon / \epsilon_s + a - 1) - a(1 - a) = 0$$

$$a = E_y / (E - E_B)$$

$$E_B = \sigma_y / \epsilon_B$$

$$E_B = -(E/6) \cdot \log_{10} 10 \cdot \epsilon_s$$

ここに、 $\epsilon_0$  : 骨格曲線部の経験ひずみの総和  
 なお、引張から圧縮に向かう逆側のループは、対称

図-2 鉄筋の履歴モデル (1)

## 2. 鉄筋コンクリートとしてのモデル化

鉄筋とコンクリートの界面の付着特性をテンションステイフィニング効果（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モデルとする。

鉄筋コンクリートの引張応力下の平均応力は，次式<sup>(2)</sup>で表せる。

$$\bar{\sigma}_{RC} = \frac{A_s}{A_{RC}} \bar{\sigma}_s + \frac{A_c}{A_{RC}} \bar{\sigma}_c$$

ここに， $\bar{\sigma}_s$ ， $\bar{\sigma}_c$ ：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， $A_{RC} = A_s + A_c$

## 3. 参考文献

(1) 「2007年制定 コンクリート標準示方書（設計編）」

土木学会

(2) 「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

### 参考資料 8.3 補機冷却用海水取水路の放水路交差部に関する検討

非常用取水路のうち補機冷却用海水取水路と6・7号機放水路が交差する位置において、新潟県中越沖地震により最大0.5mmひび割れが発生していることが確認されたため、その発生原因を検討した結果、地震時に補機冷却用海水取水路の放水路交差部において、上部にある6・7号機放水路から下方向に荷重が作用し、底版に引張となる曲げ変形が発生したためと推定された。

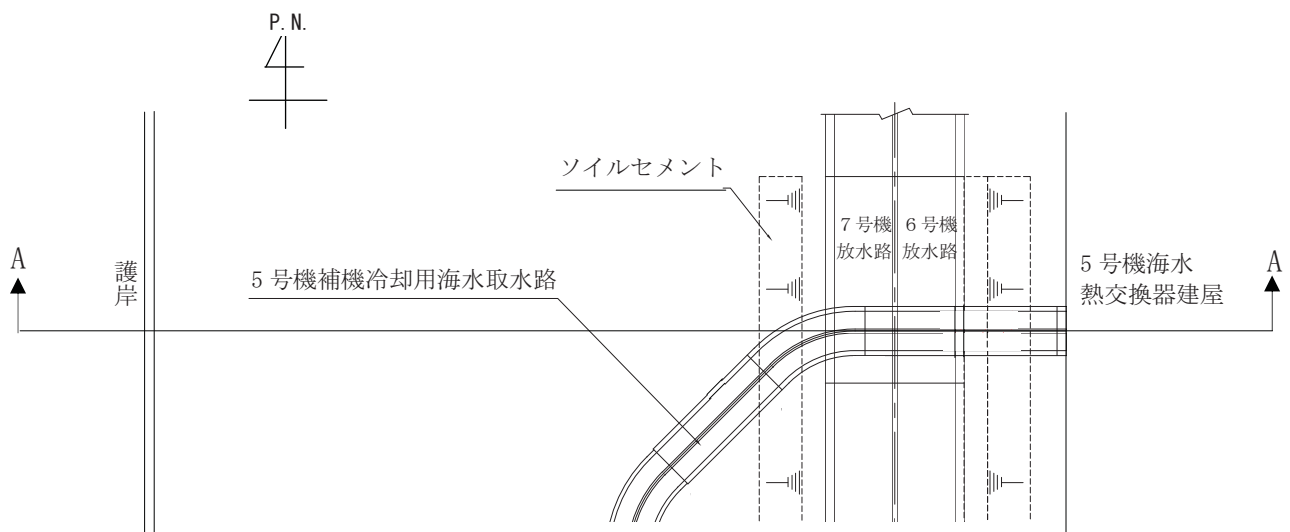
ここでは、補機冷却用海水取水路の放水路交差部について、基準地震動  $S_s$  を用いた地震応答解析による検討を行う。

なお、中越沖地震後に確認されたひび割れについては、エポキシ樹脂などによる注入補修を実施している。

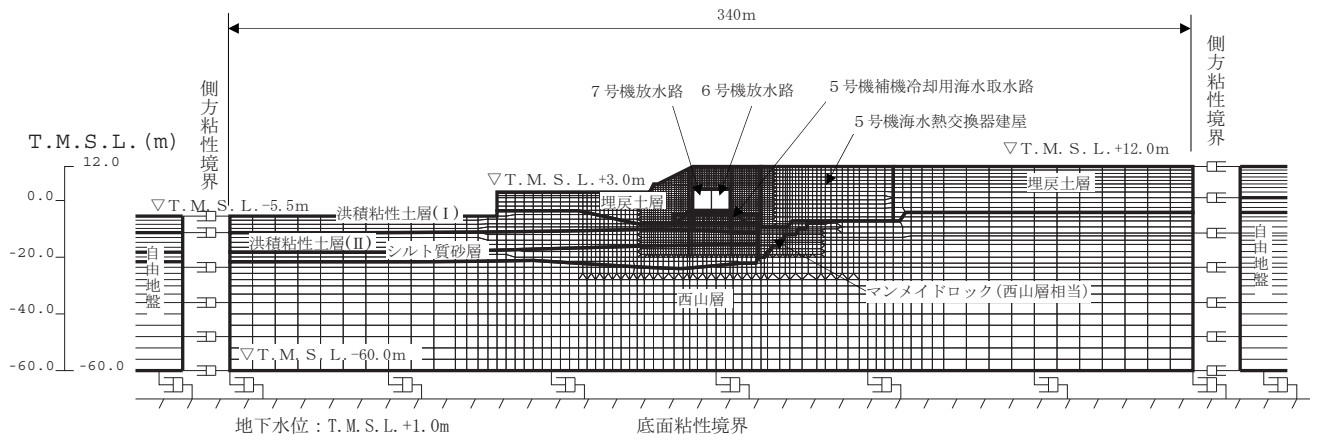
#### 1. 検討方法

補機冷却用海水取水路の放水路交差部について、参図-8.3.1に示す汀線直交断面(A-A断面)の二次元地震応答解析モデル(参図-8.3.2および参図-8.3.3)を用いて、地震応答解析を行う。5号機補機冷却用海水取水路周辺のモデル化にあたっては、参図-8.3.4に示すとおり、上部にある放水路の1ブロック(21m)を等価剛性に換算してモデル化している。

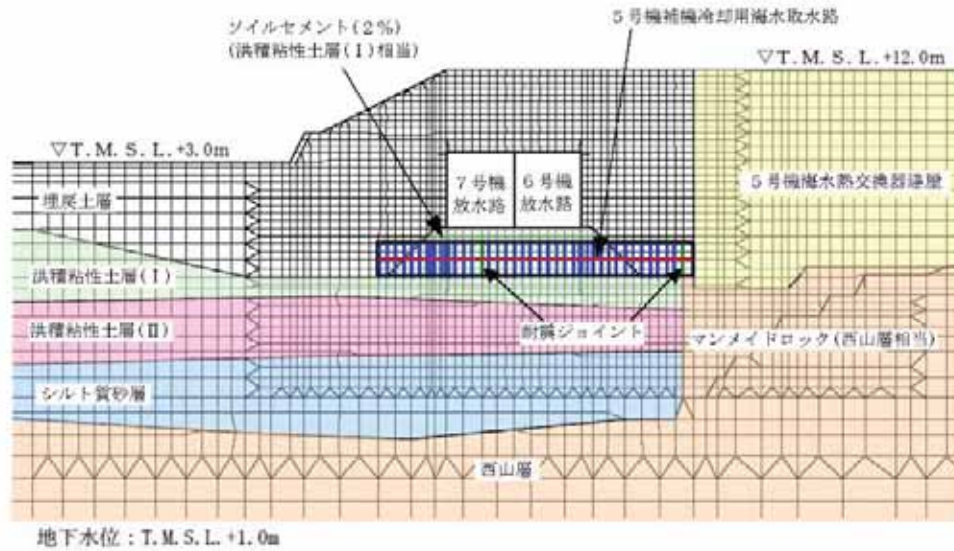
なお、検討対象とする地震動は、「8.2. 耐震安全性評価」において、構造物の変位が比較的大きかった基準地震動  $S_s-1$ 、 $S_s-3$  とする。



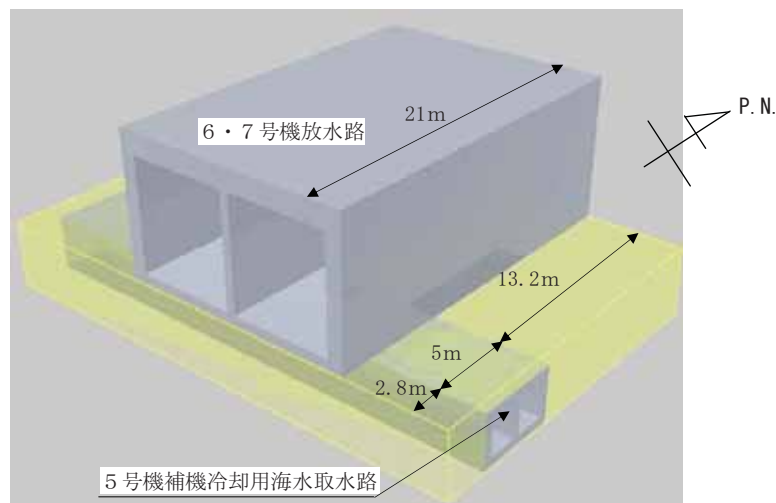
参図-8.3.1 補機冷却用海水取水路平面図および検討断面位置



参図-8.3.2 補機冷却用海水取水路の地震時応答解析モデル(A-A断面)



参図-8.3.3 補機冷却用海水取水路周辺の地震時応答解析モデル(A-A断面, 拡大図)



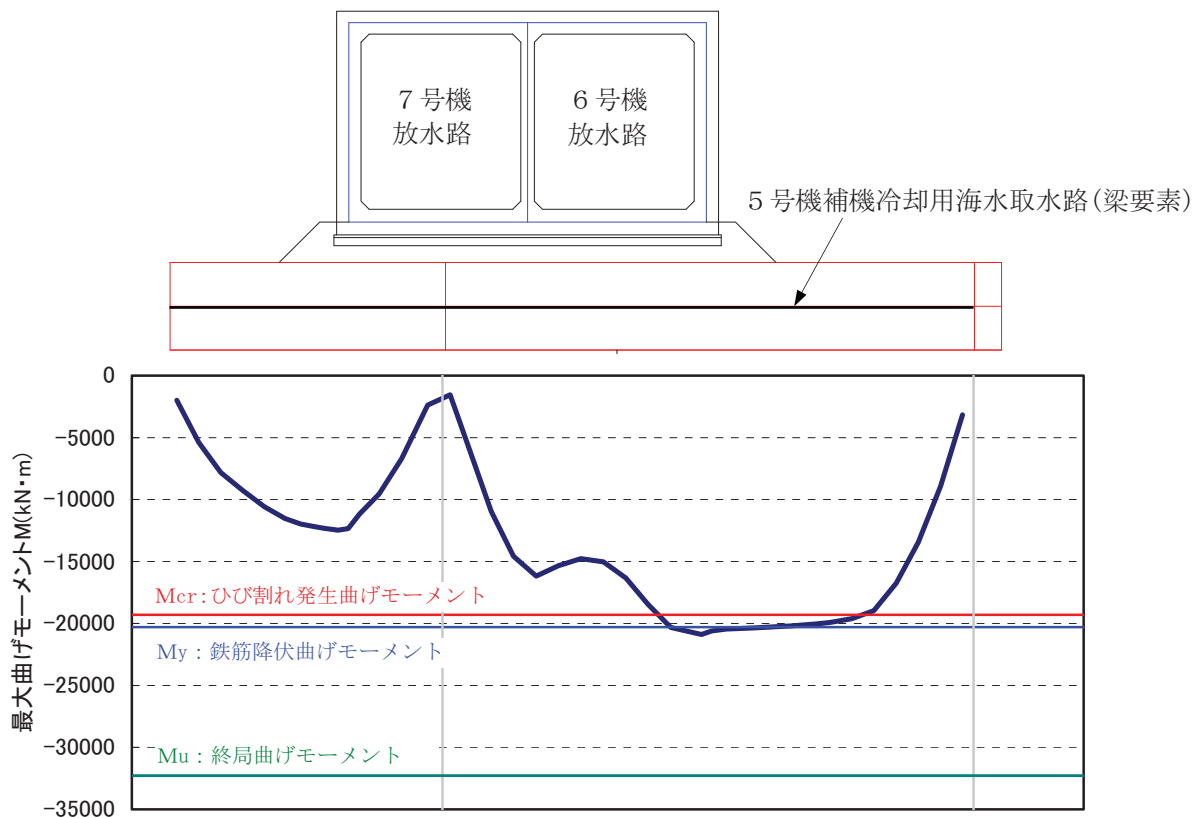
参図-8.3.4 補機冷却用海水取水路周辺のモデル化概要



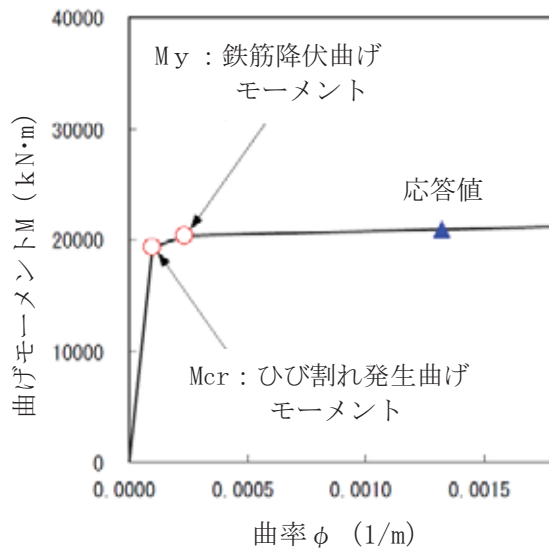
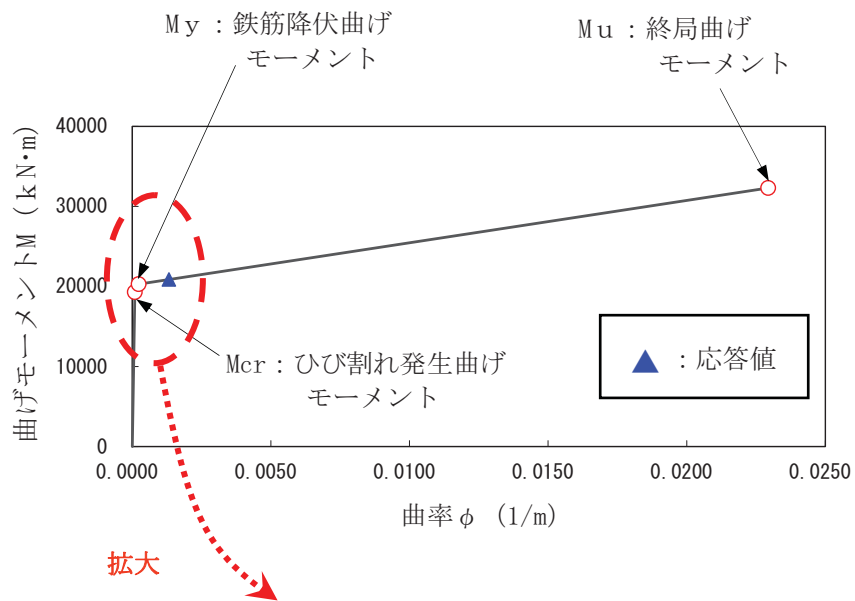
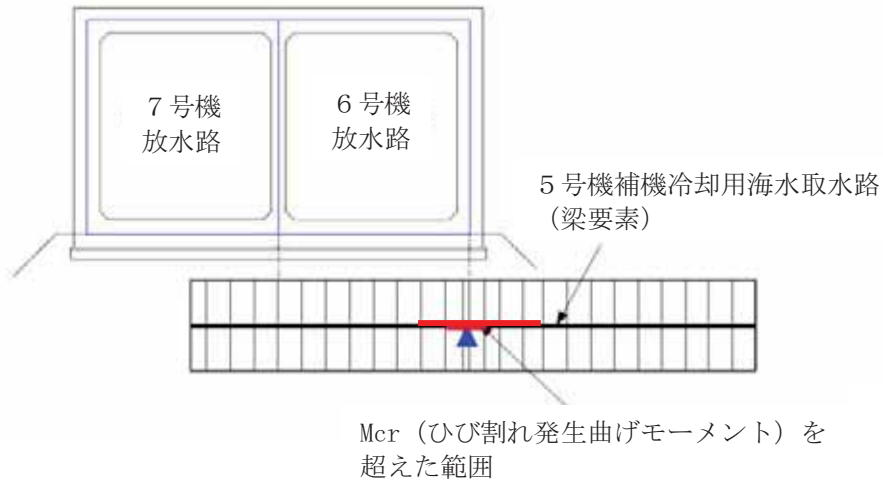
## 2. 検討結果

補機冷却用海水取水路の放水路交差部について、地震応答解析から求めた軸方向の底板側引張の最大曲げモーメント分布を図-8.3.5に、補機冷却用海水取水路の放水路交差部における軸方向のひび割れ発生曲げモーメントを超えた範囲およびM- $\phi$ スケルトン関係図を参図-8.3.6に示す。

補機冷却用海水取水路の放水路交差部において、軸方向の曲げモーメントが $M_{cr}$ （ひび割れ発生曲げモーメント）を超える範囲は6・7号機放水路右側壁の下部付近に限られ、軸方向の最大曲げモーメントは $M_y$ （鉄筋降伏曲げモーメント）を超えるものの、 $M_u$ （終局曲げモーメント）には至っていないことを確認した。



参図-8.3.5 補機冷却系海水取水路に発生した最大曲げモーメント分布図(Ss-1)



参図-8. 3. 6 補機冷却用海水取水路の放水路交差部における軸方向のひび割れ発生曲げモーメントを超えた範囲およびM- $\phi$ スケルトン関係図(Ss-1)

## 参考資料 8.4 屋外重要土木構造物の地盤改良による補強効果について

### 1. 補強の基本的な考え方

非常用ガス処理系配管ダクトについては、余裕が少ないことが確認されたため、周辺の埋戻土層についてセメント系固化材による地盤改良を実施した。この補強を行うことにより、周辺地盤の変形が抑制され、屋外重要土木構造物の安全余裕が向上する。

### 2. 補強の効果

地盤改良による補強効果を参表-8.5.1，参表-8.5.2 に示す。

参表-8.5.1 地盤改良による補強効果（鉄筋コンクリート構造物）

設備名		照査用応答値／評価基準値	
		層間変形角	せん断力
非常用ガス処理系 配管ダクト	補強前	0.85	0.62
	補強後	0.46	0.35

参表-8.5.2 地盤改良による補強効果（鋼管杭）

設備名		照査用応答値／評価基準値		
		曲率	せん断力	支持力
非常用ガス処理系 配管ダクト	補強前	1.87	0.86	0.52
	補強後	0.059	0.34	0.13

## 9. 弾性設計用地震動 $S_d$ に対する検討

## 【目 次】

9.1.	検討方針 .....	9-1
9.2.	弾性設計用地震動 $S_d$ について .....	9-1
9.2.1.	弾性設計用地震動 $S_d$ の設定方針 .....	9-1
9.2.2.	耐震安全性評価における弾性設計用地震動 $S_d$ .....	9-2
9.3.	原子炉建屋の弾性設計用地震動 $S_d$ による評価 .....	9-4
9.3.1.	地震応答解析 .....	9-4
9.4.	機器・配管系の弾性設計用地震動 $S_d$ による評価 .....	9-38
9.4.1.	弾性設計用地震動 $S_d$ による耐震評価条件について .....	9-38
9.4.2.	弾性設計用地震動 $S_d$ に対する重要な機器・配管系の耐震性 評価結果 .....	9-43
9.5.	まとめ .....	9-45

## 9. 弾性設計用地震動 $S_d$ に対する検討

### 9.1. 検討方針

代表施設について弾性設計用地震動  $S_d$  および静的地震力に対する弾性設計評価を行う。

建物・構築物については原子炉建屋を代表施設として、弾性設計用地震動  $S_d$  による最大応答値および最大応答せん断力の確認を行う。また、機器・配管系については原子炉を「止める」「冷やす」「閉じ込める」の観点から、代表的な設備を選定し、弾性設計用地震動  $S_d$  に対する応力を確認する。

### 9.2. 弾性設計用地震動 $S_d$ について

#### 9.2.1. 弾性設計用地震動 $S_d$ の設定方針

「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」で述べられている  $S_d$  の設定に関する記述は次の通りである。

#### (6. 耐震設計方針 (解説) III (2) より抜粋)

当該係数の設定に当たっては、基準地震動 $S_s$ の策定の際に参照した超過確率を参考とすることができる。・・・・・・(中略)・・・・・・弾性設計用地震動 $S_d$ と基準地震動 $S_s$ の応答スペクトルの比率 ( $S_d/S_s$ ) の値は、弾性設計用地震動 $S_d$ に求められる性格上、ある程度以上の大きさであるべきであり、めやすとして、0.5 を下回らないような値で求められることが望ましい。
--

このことを踏まえ、弾性設計用地震動  $S_d$  の設定に際しては、事故時荷重と地震荷重を組み合わせる観点から、原子力発電所耐震設計技術指針～重要度分類・許容応力編～JEAG4601・補-1984 (以下、JEAG4601 という) に記載のある基準地震動  $S_1$  と事故時荷重の組合せの考え方を参考に、基準地震動  $S_s$  の超過確率を参照することとした。

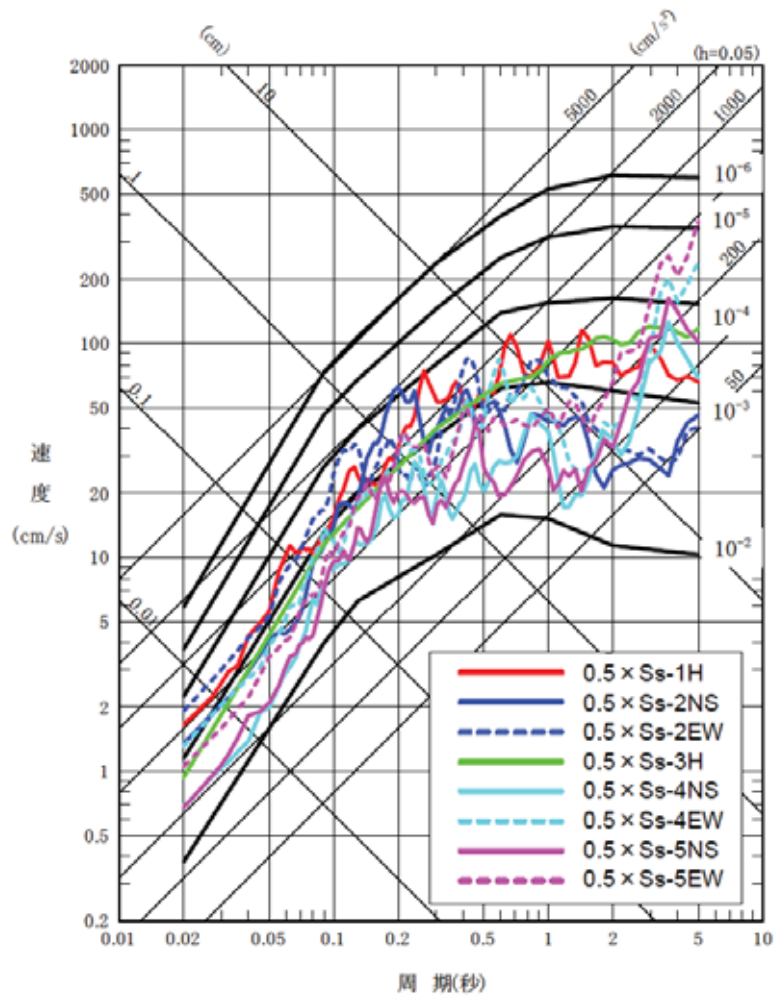
## 9.2.2. 耐震安全性評価における弾性設計用地震動 Sd

### (1) 地震動との組合せを想定すべき荷重状態の考え方

JEAG4601 の参考資料では、運転状態と地震の関連について述べられている。ここでは、地震動と同時に発生する確率が  $10^{-7}$  回／炉・年を下回ると判断される事象は、地震との組合せが不要となるとしている。

### (2) 弾性設計用地震動 Sd の設定

Sd/Ss の比率は、0.5 を下回らないこととされている。その 0.5 を採用して年超過確率を参照したところ、年超過確率が概ね  $10^{-3} \sim 10^{-4}$  であった。JEAG4601 で想定している事故発生確率が  $10^{-4}$ /年以下であることを考慮すると、Sd/Ss の比率を 0.5 を超えて設定すると、地震と事故が同時に発生する確率が  $10^{-7}$ /年を下回り、耐震安全性評価において考慮すべき事象とはいえなくなる。このことから、本評価においては、Sd/Ss の比率を 0.5 とした。



第 9.2.2-1 図 0.5Ss の年超過確率



## 9.3. 原子炉建屋の弾性設計用地震動 Sd による評価

### 9.3.1. 地震応答解析

#### 9.3.1.1. 地震応答解析モデル

弾性設計用地震動 Sd による評価に対する地震応答解析モデルは基準地震動 Ss に対する地震応答解析に用いた解析モデルと同様とし、水平方向および鉛直方向の解析ともに建屋剛性は線形とする。

地盤は、弾性設計用地震動 Sd による等価線形解析を実施し、地盤定数を設定する。第 9.3.1-1 表に地盤定数を示す。

地盤ばねは、基準地震動 Ss に対する地震応答解析時と同様に、水平方向解析時は側面および底面地盤ばねともに水平成分と回転成分を考慮する。鉛直方向解析時は底面地盤ばねの鉛直成分を考慮する。第 9.3.1-2 表に地震応答解析に用いる地盤のばね定数と減衰係数を示す。

#### 9.3.1.2. 地震応答解析結果

地震応答解析モデルの固有値（固有周期，固有振動数）および刺激係数を第 9.3.1-3 表および第 9.3.1-4 表に示す。

弾性設計用地震動 Sd（水平）による最大応答値を、それぞれ第 9.3.1-1 図～第 9.3.1-6 図に示す。

弾性設計用地震動 Sd（鉛直）による最大応答値を、それぞれ第 9.3.1-7 図～第 9.3.1-8 図に示す。

弾性設計用地震動 Sd による応答の代表として、Sd-1，Sd -2，Ss-1 および Ss-2 のせん断スケルトン曲線上の最大応答値比較を第 9.3.1-9 図～第 9.3.1-10 図に示す。参考に、工認設計時の動的地震力  $S_1$ ， $S_2$ ，静的地震力および設計用地震力も併せて示す。

Sd-1 および Sd-2 による最大応答せん断力を、工認設計時の動的地震力  $S_1$ ， $S_2$  静的地震力および設計用地震力と比較し、第 9.3.1-11 図～第 9.3.1-12 図に示す。

第 9.3.1-1 表(1) 地盤定数

(Sd-1)

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 <sup>3</sup> )	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G (N/mm <sup>2</sup> )	初期せん断 弾性係数 G <sub>0</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	剛性 低下率 G/G <sub>0</sub>	ヤング 係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
+12.0	〔砂層〕	140	17.9	0.41	21	35	0.60	58	9	4.0
+8.0		170	17.9	0.40	22	55	0.40	61	13	4.0
+4.0		200	17.9	0.40	26	70	0.38	73	13	4.0
±0.0	安田層	310	17.5	0.48	143	171	0.84	423	4	9.0
-9.0	西山層	490	16.7	0.45	368	409	0.90	1,067	3	51.0
-60.0		560	17.2	0.44	495	550	0.90	1,425	3	40.0
-100.0		610	18.0	0.43	607	683	0.89	1,736	3	34.0
-134.0	〔解放 基盤〕	710	19.9	0.42	1,020	1,020	1.00	2,896	-	-

第 9.3.1-1 表(2) 地盤定数

(Sd-2)

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 <sup>3</sup> )	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G (N/mm <sup>2</sup> )	初期せん断 弾性係数 G <sub>0</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	剛性 低下率 G/G <sub>0</sub>	ヤング 係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
+12.0	〔砂層〕	140	17.9	0.41	21	35	0.61	59	7	4.0
+8.0		170	17.9	0.40	21	55	0.38	58	9	4.0
+4.0		200	17.9	0.40	24	70	0.34	66	10	4.0
±0.0	安田層	310	17.5	0.48	141	171	0.83	417	3	9.0
-9.0	西山層	490	16.7	0.45	372	409	0.91	1,078	3	51.0
-60.0		560	17.2	0.44	511	550	0.93	1,471	3	40.0
-100.0		610	18.0	0.43	635	683	0.93	1,816	3	34.0
-134.0	〔解放 基盤〕	710	19.9	0.42	1,020	1,020	1.00	2,896	-	-

第 9.3.1-1 表(3) 地盤定数

(Sd-3)

標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比 $\nu$	せん断 弾性係数 G (N/mm <sup>2</sup> )	初期せん断 弾性係数 G <sub>0</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	剛性 低下率 G/G <sub>0</sub>	ヤング 係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
+12.0	〔砂層〕	140	17.9	0.41	24	35	0.70	68	7	4.0
+8.0		170	17.9	0.40	28	55	0.51	78	10	4.0
+4.0		200	17.9	0.40	33	70	0.47	91	11	4.0
±0.0	安田層	310	17.5	0.48	145	171	0.85	429	3	9.0
-9.0	西山層	490	16.7	0.45	368	409	0.90	1,067	3	51.0
-60.0		560	17.2	0.44	478	550	0.87	1,376	3	40.0
-100.0		610	18.0	0.43	601	683	0.88	1,718	3	34.0
-134.0	〔解放 基盤〕	710	19.9	0.42	1,020	1,020	1.00	2,896	-	-

第 9.3.1-1 表(4) 地盤定数

(Sd-4)

標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比 $\nu$	せん断 弾性係数 G (N/mm <sup>2</sup> )	初期せん断 弾性係数 G <sub>0</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	剛性 低下率 G/G <sub>0</sub>	ヤング 係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
+12.0	〔砂層〕	140	17.9	0.41	24	35	0.69	67	5	4.0
+8.0		170	17.9	0.40	30	55	0.54	82	8	4.0
+4.0		200	17.9	0.40	33	70	0.47	91	8	4.0
±0.0	安田層	310	17.5	0.48	145	171	0.85	429	3	9.0
-9.0	西山層	490	16.7	0.45	380	409	0.93	1,102	3	51.0
-60.0		560	17.2	0.44	511	550	0.93	1,471	3	40.0
-100.0		610	18.0	0.43	635	683	0.93	1,816	3	34.0
-134.0	〔解放 基盤〕	710	19.9	0.42	1,020	1,020	1.00	2,896	-	-

第 9.3.1-1 表(5) 地盤定数

(Sd-5)

標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比 $\nu$	せん断 弾性係数 G (N/mm <sup>2</sup> )	初期せん断 弾性係数 G <sub>0</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	剛性 低下率 G/G <sub>0</sub>	ヤング 係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
+12.0	〔砂層〕	140	17.9	0.41	24	35	0.70	68	5	4.0
+8.0		170	17.9	0.40	27	55	0.50	76	7	4.0
+4.0		200	17.9	0.40	33	70	0.47	91	8	4.0
±0.0	〔安田層〕	310	17.5	0.48	147	171	0.86	435	3	9.0
-9.0	西山層	490	16.7	0.45	376	409	0.92	1,090	3	51.0
-60.0		560	17.2	0.44	506	550	0.92	1,457	3	40.0
-100.0		610	18.0	0.43	621	683	0.91	1,776	3	34.0
-134.0	〔解放 基盤〕	710	19.9	0.42	1,020	1,020	1.00	2,896	-	-

第 9.3.1-2 表(1) 地震応答解析に用いる基礎地盤のばね定数と減衰係数

(NS 方向, Sd-1)

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね		減衰	
			ばね定数 <sup>(*1)</sup> K <sub>c</sub>	採用振動数 (Hz)	減衰係数 <sup>(*2)</sup> C <sub>c</sub>	採用振動数 <sup>(*3)</sup> f <sub>1</sub> (Hz)
K1	8	側面・並進	3.52×10 <sup>6</sup>	0.44	1.78×10 <sup>6</sup>	2.11
K2	8	側面・回転	5.51×10 <sup>9</sup>	0.01	8.55×10 <sup>8</sup>	2.11
K3	9	側面・並進	9.71×10 <sup>6</sup>	0.44	3.16×10 <sup>6</sup>	2.11
K4	9	側面・回転	1.55×10 <sup>10</sup>	0.01	1.57×10 <sup>9</sup>	2.11
K5	10	側面・並進	1.10×10 <sup>7</sup>	0.84	3.02×10 <sup>6</sup>	2.11
K6	10	側面・回転	1.76×10 <sup>10</sup>	0.01	1.52×10 <sup>9</sup>	2.11
K7	11	側面・並進	5.13×10 <sup>6</sup>	0.84	1.41×10 <sup>6</sup>	2.11
K8	11	側面・回転	8.21×10 <sup>9</sup>	0.01	7.13×10 <sup>8</sup>	2.11
K9	11	底面・並進	1.08×10 <sup>8</sup>	0.00	5.90×10 <sup>6</sup>	2.11
K10	11	底面・回転	2.28×10 <sup>11</sup>	0.00	3.58×10 <sup>9</sup>	2.11

(EW 方向, Sd-1)

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね		減衰	
			ばね定数 <sup>(*1)</sup> K <sub>c</sub>	採用振動数 (Hz)	減衰係数 <sup>(*2)</sup> C <sub>c</sub>	採用振動数 <sup>(*3)</sup> f <sub>1</sub> (Hz)
K1	8	側面・並進	3.52×10 <sup>6</sup>	0.44	1.78×10 <sup>6</sup>	2.11
K2	8	側面・回転	5.51×10 <sup>9</sup>	0.01	8.55×10 <sup>8</sup>	2.11
K3	9	側面・並進	9.71×10 <sup>6</sup>	0.44	3.16×10 <sup>6</sup>	2.11
K4	9	側面・回転	1.55×10 <sup>10</sup>	0.01	1.57×10 <sup>9</sup>	2.11
K5	10	側面・並進	1.10×10 <sup>7</sup>	0.84	3.02×10 <sup>6</sup>	2.11
K6	10	側面・回転	1.76×10 <sup>10</sup>	0.01	1.52×10 <sup>9</sup>	2.11
K7	11	側面・並進	5.13×10 <sup>6</sup>	0.84	1.41×10 <sup>6</sup>	2.11
K8	11	側面・回転	8.21×10 <sup>9</sup>	0.01	7.13×10 <sup>8</sup>	2.11
K9	11	底面・並進	1.08×10 <sup>8</sup>	0.00	5.90×10 <sup>6</sup>	2.11
K10	11	底面・回転	2.28×10 <sup>11</sup>	0.00	3.58×10 <sup>9</sup>	2.11

(\*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

(\*3) f<sub>1</sub>は連成系の1次固有振動数

(鉛直方向, Sd-1)

ばね定数	質点番号	地盤ばね成分	ばね		減衰	
			ばね定数 K <sub>c</sub> (kN/m)	採用振動数 (Hz)	減衰係数 C <sub>c</sub> (kNs/m)	採用振動数 <sup>(*1)</sup> f <sub>1</sub> (Hz)
k1	11	底面・鉛直	1.97×10 <sup>8</sup>	0.00	1.43×10 <sup>7</sup>	3.15

(\*1) f<sub>1</sub>は連成系の1次固有振動数

第 9.3.1-2 表(2) 地震応答解析に用いる基礎地盤のばね定数と減衰係数

(NS 方向, Sd-2)

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね		減衰	
			ばね定数 <sup>(*1)</sup> K <sub>c</sub>	採用振動数 (Hz)	減衰係数 <sup>(*2)</sup> C <sub>c</sub>	採用振動数 <sup>(*3)</sup> f <sub>1</sub> (Hz)
K1	8	側面・並進	3.47×10 <sup>6</sup>	0.43	1.77×10 <sup>6</sup>	2.12
K2	8	側面・回転	5.44×10 <sup>9</sup>	0.01	8.50×10 <sup>8</sup>	2.12
K3	9	側面・並進	9.79×10 <sup>6</sup>	0.43	3.17×10 <sup>6</sup>	2.12
K4	9	側面・回転	1.56×10 <sup>10</sup>	0.01	1.58×10 <sup>9</sup>	2.12
K5	10	側面・並進	1.11×10 <sup>7</sup>	0.87	3.04×10 <sup>6</sup>	2.12
K6	10	側面・回転	1.78×10 <sup>10</sup>	0.01	1.53×10 <sup>9</sup>	2.12
K7	11	側面・並進	5.20×10 <sup>6</sup>	0.87	1.42×10 <sup>6</sup>	2.12
K8	11	側面・回転	8.32×10 <sup>9</sup>	0.01	7.17×10 <sup>8</sup>	2.12
K9	11	底面・並進	1.09×10 <sup>8</sup>	0.00	5.95×10 <sup>6</sup>	2.12
K10	11	底面・回転	2.33×10 <sup>11</sup>	0.00	3.60×10 <sup>9</sup>	2.12

(EW 方向, Sd-2)

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね		減衰	
			ばね定数 <sup>(*1)</sup> K <sub>c</sub>	採用振動数 (Hz)	減衰係数 <sup>(*2)</sup> C <sub>c</sub>	採用振動数 <sup>(*3)</sup> f <sub>1</sub> (Hz)
K1	8	側面・並進	3.47×10 <sup>6</sup>	0.43	1.78×10 <sup>6</sup>	2.13
K2	8	側面・回転	5.44×10 <sup>9</sup>	0.01	8.50×10 <sup>8</sup>	2.13
K3	9	側面・並進	9.79×10 <sup>6</sup>	0.43	3.17×10 <sup>6</sup>	2.13
K4	9	側面・回転	1.56×10 <sup>10</sup>	0.01	1.58×10 <sup>9</sup>	2.13
K5	10	側面・並進	1.11×10 <sup>7</sup>	0.87	3.04×10 <sup>6</sup>	2.13
K6	10	側面・回転	1.78×10 <sup>10</sup>	0.01	1.54×10 <sup>9</sup>	2.13
K7	11	側面・並進	5.20×10 <sup>6</sup>	0.87	1.42×10 <sup>6</sup>	2.13
K8	11	側面・回転	8.32×10 <sup>9</sup>	0.01	7.18×10 <sup>8</sup>	2.13
K9	11	底面・並進	1.09×10 <sup>8</sup>	0.00	5.95×10 <sup>6</sup>	2.13
K10	11	底面・回転	2.33×10 <sup>11</sup>	0.00	3.62×10 <sup>9</sup>	2.13

(\*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

(\*3) f<sub>1</sub>は連成系の1次固有振動数

(鉛直方向, Sd-2)

ばね定数	質点番号	地盤ばね成分	ばね		減衰	
			ばね定数 K <sub>c</sub> (kN/m)	採用振動数 (Hz)	減衰係数 C <sub>c</sub> (kNs/m)	採用振動数 <sup>(*1)</sup> f <sub>1</sub> (Hz)
k1	11	底面・鉛直	2.01×10 <sup>8</sup>	0.00	1.44×10 <sup>7</sup>	3.18

(\*1) f<sub>1</sub>は連成系の1次固有振動数

第 9.3.1-2 表(3) 地震応答解析に用いる基礎地盤のばね定数と減衰係数

(NS 方向, Sd-3)

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね		減衰	
			ばね定数 <sup>(※1)</sup> K <sub>c</sub>	採用振動数 (Hz)	減衰係数 <sup>(※2)</sup> C <sub>c</sub>	採用振動数 <sup>(※3)</sup> f <sub>1</sub> (Hz)
K1	8	側面・並進	3.57×10 <sup>6</sup>	0.44	1.79×10 <sup>6</sup>	2.11
K2	8	側面・回転	5.59×10 <sup>9</sup>	0.01	8.60×10 <sup>8</sup>	2.11
K3	9	側面・並進	9.75×10 <sup>6</sup>	0.44	3.17×10 <sup>6</sup>	2.11
K4	9	側面・回転	1.55×10 <sup>10</sup>	0.01	1.58×10 <sup>9</sup>	2.11
K5	10	側面・並進	1.10×10 <sup>7</sup>	0.84	3.02×10 <sup>6</sup>	2.11
K6	10	側面・回転	1.76×10 <sup>10</sup>	0.01	1.52×10 <sup>9</sup>	2.11
K7	11	側面・並進	5.13×10 <sup>6</sup>	0.84	1.41×10 <sup>6</sup>	2.11
K8	11	側面・回転	8.21×10 <sup>9</sup>	0.01	7.13×10 <sup>8</sup>	2.11
K9	11	底面・並進	1.07×10 <sup>8</sup>	0.00	5.88×10 <sup>6</sup>	2.11
K10	11	底面・回転	2.25×10 <sup>11</sup>	0.00	3.58×10 <sup>9</sup>	2.11

(EW 方向, Sd-3)

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね		減衰	
			ばね定数 <sup>(※1)</sup> K <sub>c</sub>	採用振動数 (Hz)	減衰係数 <sup>(※2)</sup> C <sub>c</sub>	採用振動数 <sup>(※3)</sup> f <sub>1</sub> (Hz)
K1	8	側面・並進	3.57×10 <sup>6</sup>	0.44	1.79×10 <sup>6</sup>	2.11
K2	8	側面・回転	5.59×10 <sup>9</sup>	0.01	8.60×10 <sup>8</sup>	2.11
K3	9	側面・並進	9.75×10 <sup>6</sup>	0.44	3.17×10 <sup>6</sup>	2.11
K4	9	側面・回転	1.55×10 <sup>10</sup>	0.01	1.58×10 <sup>9</sup>	2.11
K5	10	側面・並進	1.10×10 <sup>7</sup>	0.84	3.02×10 <sup>6</sup>	2.11
K6	10	側面・回転	1.76×10 <sup>10</sup>	0.01	1.52×10 <sup>9</sup>	2.11
K7	11	側面・並進	5.13×10 <sup>6</sup>	0.84	1.41×10 <sup>6</sup>	2.11
K8	11	側面・回転	8.21×10 <sup>9</sup>	0.01	7.13×10 <sup>8</sup>	2.11
K9	11	底面・並進	1.07×10 <sup>8</sup>	0.00	5.88×10 <sup>6</sup>	2.11
K10	11	底面・回転	2.25×10 <sup>11</sup>	0.00	3.58×10 <sup>9</sup>	2.11

(※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

(※3) f<sub>1</sub>は連成系の1次固有振動数

(鉛直方向, Sd-3)

ばね定数	質点番号	地盤ばね成分	ばね		減衰	
			ばね定数 K <sub>c</sub> (kN/m)	採用振動数 (Hz)	減衰係数 C <sub>c</sub> (kNs/m)	採用振動数 <sup>(※1)</sup> f <sub>1</sub> (Hz)
k1	11	底面・鉛直	1.95×10 <sup>8</sup>	0.00	1.42×10 <sup>7</sup>	3.14

(※1) f<sub>1</sub>は連成系の1次固有振動数

第 9.3.1-2 表(4) 地震応答解析に用いる基礎地盤のばね定数と減衰係数

(NS 方向, Sd-4)

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね		減衰	
			ばね定数 <sup>(*1)</sup> K <sub>c</sub>	採用振動数 (Hz)	減衰係数 <sup>(*2)</sup> C <sub>c</sub>	採用振動数 <sup>(*3)</sup> f <sub>1</sub> (Hz)
K1	8	側面・並進	3.57×10 <sup>6</sup>	0.44	1.80×10 <sup>6</sup>	2.14
K2	8	側面・回転	5.59×10 <sup>9</sup>	0.01	8.61×10 <sup>8</sup>	2.14
K3	9	側面・並進	1.00×10 <sup>7</sup>	0.44	3.21×10 <sup>6</sup>	2.14
K4	9	側面・回転	1.59×10 <sup>10</sup>	0.01	1.59×10 <sup>9</sup>	2.14
K5	10	側面・並進	1.14×10 <sup>7</sup>	0.86	3.07×10 <sup>6</sup>	2.14
K6	10	側面・回転	1.82×10 <sup>10</sup>	0.01	1.55×10 <sup>9</sup>	2.14
K7	11	側面・並進	5.31×10 <sup>6</sup>	0.86	1.43×10 <sup>6</sup>	2.14
K8	11	側面・回転	8.50×10 <sup>9</sup>	0.01	7.25×10 <sup>8</sup>	2.14
K9	11	底面・並進	1.11×10 <sup>8</sup>	0.00	5.99×10 <sup>6</sup>	2.14
K10	11	底面・回転	2.36×10 <sup>11</sup>	0.00	3.69×10 <sup>9</sup>	2.14

(EW 方向, Sd-4)

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね		減衰	
			ばね定数 <sup>(*1)</sup> K <sub>c</sub>	採用振動数 (Hz)	減衰係数 <sup>(*2)</sup> C <sub>c</sub>	採用振動数 <sup>(*3)</sup> f <sub>1</sub> (Hz)
K1	8	側面・並進	3.57×10 <sup>6</sup>	0.44	1.80×10 <sup>6</sup>	2.14
K2	8	側面・回転	5.59×10 <sup>9</sup>	0.01	8.61×10 <sup>8</sup>	2.14
K3	9	側面・並進	1.00×10 <sup>7</sup>	0.44	3.21×10 <sup>6</sup>	2.14
K4	9	側面・回転	1.59×10 <sup>10</sup>	0.01	1.59×10 <sup>9</sup>	2.14
K5	10	側面・並進	1.14×10 <sup>7</sup>	0.86	3.07×10 <sup>6</sup>	2.14
K6	10	側面・回転	1.82×10 <sup>10</sup>	0.01	1.55×10 <sup>9</sup>	2.14
K7	11	側面・並進	5.31×10 <sup>6</sup>	0.86	1.43×10 <sup>6</sup>	2.14
K8	11	側面・回転	8.50×10 <sup>9</sup>	0.01	7.25×10 <sup>8</sup>	2.14
K9	11	底面・並進	1.11×10 <sup>8</sup>	0.00	5.99×10 <sup>6</sup>	2.14
K10	11	底面・回転	2.36×10 <sup>11</sup>	0.00	3.69×10 <sup>9</sup>	2.14

(\*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

(\*3) f<sub>1</sub>は連成系の1次固有振動数

(鉛直方向, Sd-4)

ばね定数	質点番号	地盤ばね成分	ばね		減衰	
			ばね定数 K <sub>c</sub> (kN/m)	採用振動数 (Hz)	減衰係数 C <sub>c</sub> (kNs/m)	採用振動数 <sup>(*1)</sup> f <sub>1</sub> (Hz)
k1	11	底面・鉛直	2.02×10 <sup>8</sup>	0.00	1.45×10 <sup>7</sup>	3.19

(\*1) f<sub>1</sub>は連成系の1次固有振動数



第 9.3.1-2 表(5) 地震応答解析に用いる基礎地盤のばね定数と減衰係数

(NS 方向, Sd-5)

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね		減衰	
			ばね定数 <sup>(*1)</sup> K <sub>c</sub>	採用振動数 (Hz)	減衰係数 <sup>(*2)</sup> C <sub>c</sub>	採用振動数 <sup>(*3)</sup> f <sub>1</sub> (Hz)
K1	8	側面・並進	3.62×10 <sup>6</sup>	0.45	1.81×10 <sup>6</sup>	2.13
K2	8	側面・回転	5.67×10 <sup>9</sup>	0.01	8.66×10 <sup>8</sup>	2.13
K3	9	側面・並進	9.94×10 <sup>6</sup>	0.45	3.20×10 <sup>6</sup>	2.13
K4	9	側面・回転	1.58×10 <sup>10</sup>	0.01	1.59×10 <sup>9</sup>	2.13
K5	10	側面・並進	1.12×10 <sup>7</sup>	0.85	3.05×10 <sup>6</sup>	2.13
K6	10	側面・回転	1.79×10 <sup>10</sup>	0.01	1.54×10 <sup>9</sup>	2.13
K7	11	側面・並進	5.24×10 <sup>6</sup>	0.85	1.43×10 <sup>6</sup>	2.13
K8	11	側面・回転	8.39×10 <sup>9</sup>	0.01	7.21×10 <sup>8</sup>	2.13
K9	11	底面・並進	1.10×10 <sup>8</sup>	0.00	5.96×10 <sup>6</sup>	2.13
K10	11	底面・回転	2.34×10 <sup>11</sup>	0.00	3.62×10 <sup>9</sup>	2.13

(EW 方向, Sd-5)

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね		減衰	
			ばね定数 <sup>(*1)</sup> K <sub>c</sub>	採用振動数 (Hz)	減衰係数 <sup>(*2)</sup> C <sub>c</sub>	採用振動数 <sup>(*3)</sup> f <sub>1</sub> (Hz)
K1	8	側面・並進	3.62×10 <sup>6</sup>	0.45	1.81×10 <sup>6</sup>	2.13
K2	8	側面・回転	5.67×10 <sup>9</sup>	0.01	8.66×10 <sup>8</sup>	2.13
K3	9	側面・並進	9.94×10 <sup>6</sup>	0.45	3.20×10 <sup>6</sup>	2.13
K4	9	側面・回転	1.58×10 <sup>10</sup>	0.01	1.59×10 <sup>9</sup>	2.13
K5	10	側面・並進	1.12×10 <sup>7</sup>	0.85	3.05×10 <sup>6</sup>	2.13
K6	10	側面・回転	1.79×10 <sup>10</sup>	0.01	1.54×10 <sup>9</sup>	2.13
K7	11	側面・並進	5.24×10 <sup>6</sup>	0.85	1.43×10 <sup>6</sup>	2.13
K8	11	側面・回転	8.39×10 <sup>9</sup>	0.01	7.21×10 <sup>8</sup>	2.13
K9	11	底面・並進	1.10×10 <sup>8</sup>	0.00	5.96×10 <sup>6</sup>	2.13
K10	11	底面・回転	2.34×10 <sup>11</sup>	0.00	3.62×10 <sup>9</sup>	2.13

(\*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

(\*3) f<sub>1</sub>は連成系の1次固有振動数

(鉛直方向, Sd-5)

ばね定数	質点番号	地盤ばね成分	ばね		減衰	
			ばね定数 K <sub>c</sub> (kN/m)	採用振動数 (Hz)	減衰係数 C <sub>c</sub> (kNs/m)	採用振動数 <sup>(*1)</sup> f <sub>1</sub> (Hz)
k1	11	底面・鉛直	2.01×10 <sup>8</sup>	0.00	1.44×10 <sup>7</sup>	3.18

(\*1) f<sub>1</sub>は連成系の1次固有振動数

第 9.3.1-3 表(1) 固有値（固有周期，固有振動数）および刺激係数  
（水平方向）

(NS 方向, Sd-1)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 *	備考
1	0.473	2.11	1.560	地盤建屋連成一次
2	0.228	4.38	-0.608	
3	0.100	10.00	-0.098	
4	0.083	12.01	0.242	
5	0.065	15.36	-0.109	

(NS 方向, Sd-2)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 *	備考
1	0.471	2.12	1.561	地盤建屋連成一次
2	0.227	4.41	-0.609	
3	0.100	10.01	-0.098	
4	0.083	12.01	0.245	
5	0.065	15.36	-0.110	

(NS 方向, Sd-3)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 *	備考
1	0.475	2.11	1.560	地盤建屋連成一次
2	0.229	4.37	-0.606	
3	0.100	9.99	-0.098	
4	0.083	12.01	0.240	
5	0.065	15.36	-0.108	

注\*：モードごとに固有ベクトルの最大値を1に基準化して得られる刺激係数を示す。

第 9.3.1-3 表(2) 固有値（固有周期，固有振動数）および刺激係数  
（水平方向）

(NS 方向, Sd-4)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 *	備考
1	0.468	2.14	1.564	地盤建屋連成一次
2	0.225	4.44	-0.613	
3	0.100	10.02	-0.100	
4	0.083	12.02	0.250	
5	0.065	15.37	-0.112	

(NS 方向, Sd-5)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 *	備考
1	0.469	2.13	1.563	地盤建屋連成一次
2	0.226	4.43	-0.611	
3	0.100	10.02	-0.099	
4	0.083	12.02	0.247	
5	0.065	15.36	-0.111	

注\*：モードごとに固有ベクトルの最大値を1に基準化して得られる刺激係数を示す。

第 9.3.1-3 表(3) 固有値（固有周期，固有振動数）および刺激係数  
（水平方向）

(EW 方向, Sd-1)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 *	備考
1	0.473	2.11	1.553	地盤建屋連成一次
2	0.228	4.39	-0.595	
3	0.099	10.08	-0.082	
4	0.081	12.39	0.207	
5	0.062	16.12	-0.096	

(EW 方向, Sd-2)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 *	備考
1	0.471	2.13	1.553	地盤建屋連成一次
2	0.226	4.42	-0.596	
3	0.099	10.09	-0.082	
4	0.081	12.39	0.209	
5	0.062	16.13	-0.097	

(EW 方向, Sd-3)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 *	備考
1	0.474	2.11	1.552	地盤建屋連成一次
2	0.229	4.37	-0.593	
3	0.099	10.07	-0.082	
4	0.081	12.38	0.205	
5	0.062	16.12	-0.095	

注\*：モードごとに固有ベクトルの最大値を1に基準化して得られる刺激係数を示す。

第 9.3.1-3 表(4) 固有値（固有周期，固有振動数）および刺激係数  
（水平方向）

(EW 方向, Sd-4)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 *	備考
1	0.467	2.14	1.556	地盤建屋連成一次
2	0.225	4.45	-0.600	
3	0.099	10.10	-0.083	
4	0.081	12.40	0.213	
5	0.062	16.13	-0.099	

(EW 方向, Sd-5)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 *	備考
1	0.469	2.13	1.555	地盤建屋連成一次
2	0.226	4.43	-0.598	
3	0.099	10.10	-0.083	
4	0.081	12.39	0.211	
5	0.062	16.13	-0.098	

注\*：モードごとに固有ベクトルの最大値を1に基準化して得られる刺激係数を示す。

第 9.3.1-4 表(1) 固有値(固有周期, 固有振動数)および刺激係数  
(鉛直方向)

(Sd-1)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 *	備考
1	0.317	3.15	5.501	地盤建屋連成一次
2	0.277	3.61	-4.552	
3	0.081	12.37	0.098	
4	0.058	17.12	-0.337	
5	0.057	17.53	0.349	

(Sd-2)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 *	備考
1	0.314	3.18	5.870	地盤建屋連成一次
2	0.277	3.61	-4.923	
3	0.081	12.37	0.100	
4	0.058	17.12	-0.341	
5	0.057	17.54	0.353	

(Sd-3)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 *	備考
1	0.319	3.14	5.330	地盤建屋連成一次
2	0.277	3.61	-4.381	
3	0.081	12.37	0.097	
4	0.058	17.11	-0.335	
5	0.057	17.53	0.347	

注\* : モードごとに固有ベクトルの最大値を1に基準化して得られる刺激係数を示す。

第 9.3.1-4 表(2) 固有値(固有周期, 固有振動数)および刺激係数  
(鉛直方向)

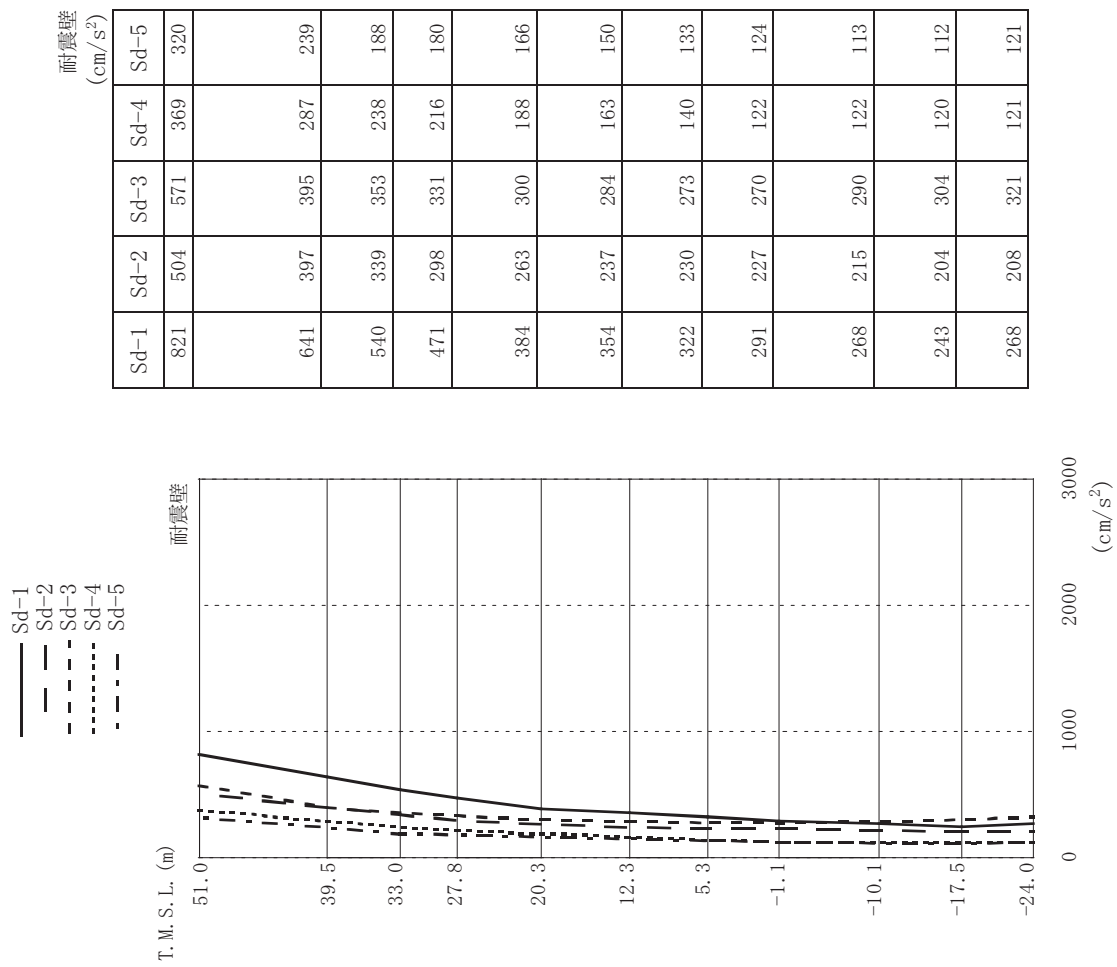
(Sd-4)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 *	備考
1	0.314	3.19	5.969	地盤建屋連成一次
2	0.277	3.61	-5.022	
3	0.081	12.37	0.100	
4	0.058	17.12	-0.342	
5	0.057	17.54	0.354	

(Sd-5)

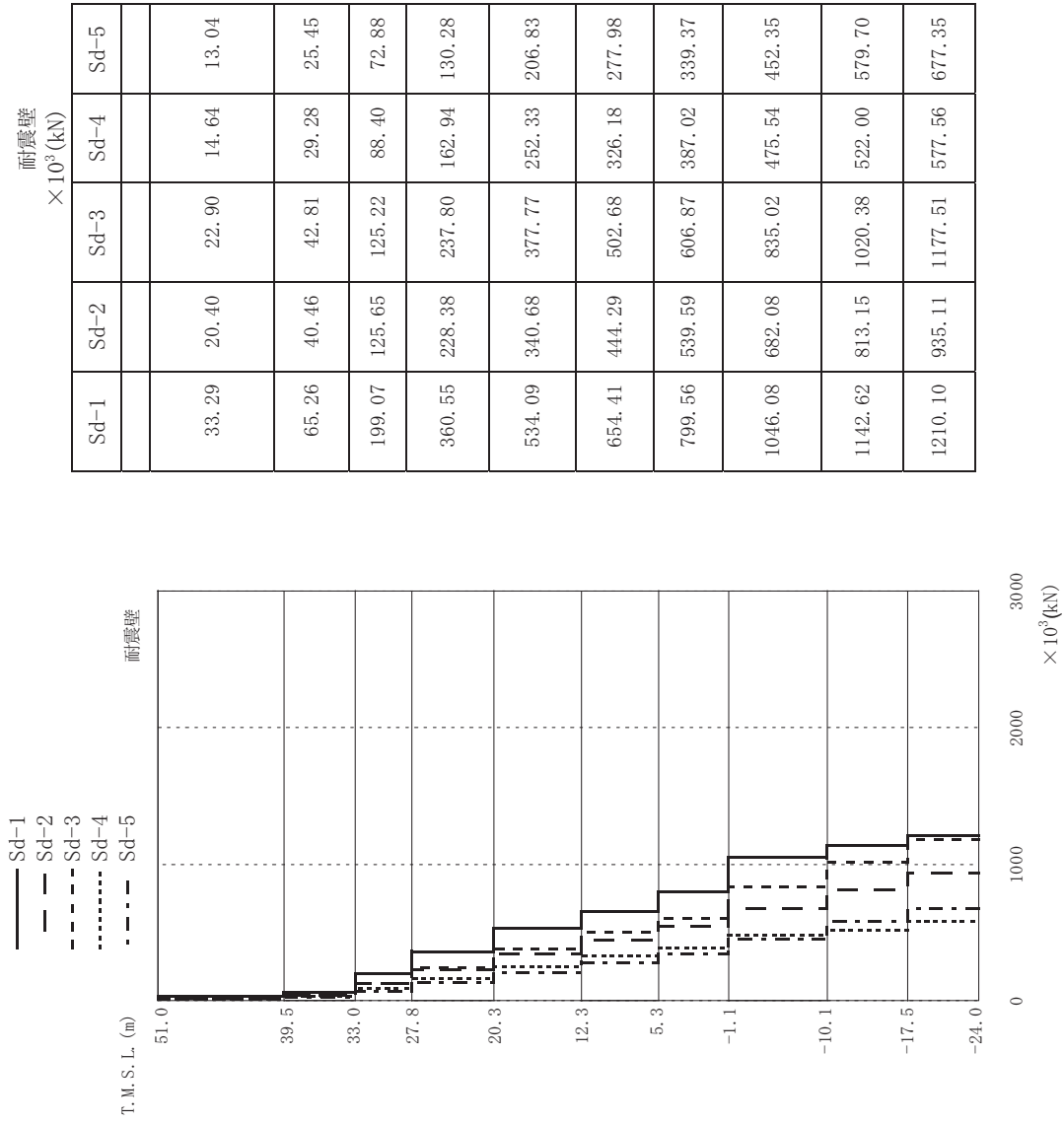
次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 *	備考
1	0.314	3.18	5.870	地盤建屋連成一次
2	0.277	3.61	-4.923	
3	0.081	12.37	0.100	
4	0.058	17.12	-0.341	
5	0.057	17.54	0.353	

注\* : モードごとに固有ベクトルの最大値を1に基準化して得られる刺激係数を示す。

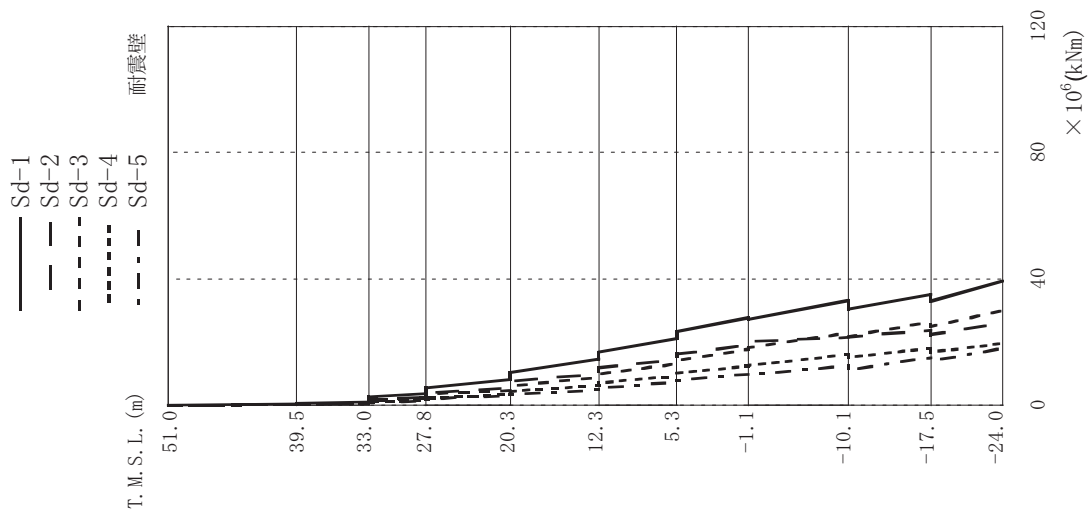


第 9.3.1-1 図 最大応答加速度 (NS 方向)

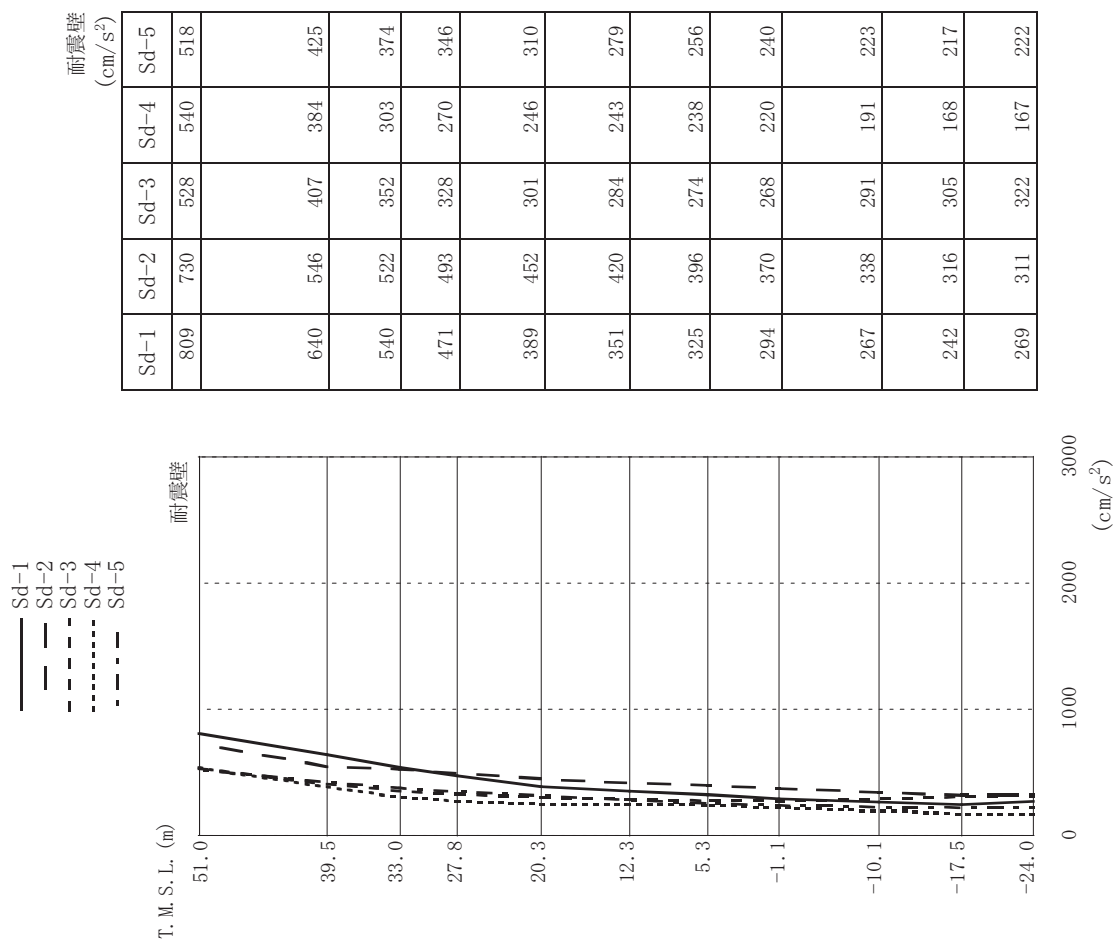




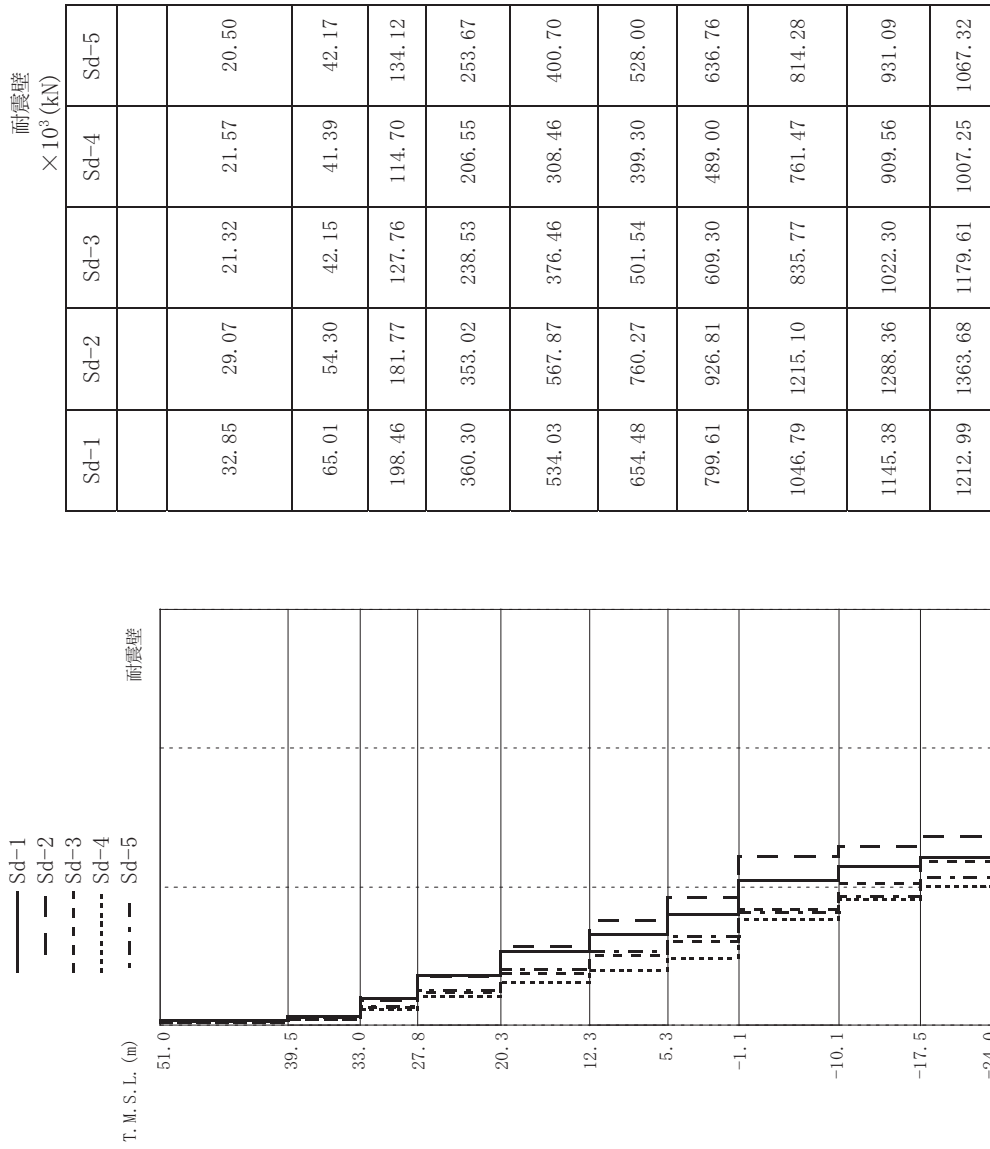
第 9.3.1-2 図 最大芯管せん断力 (NS 方向)



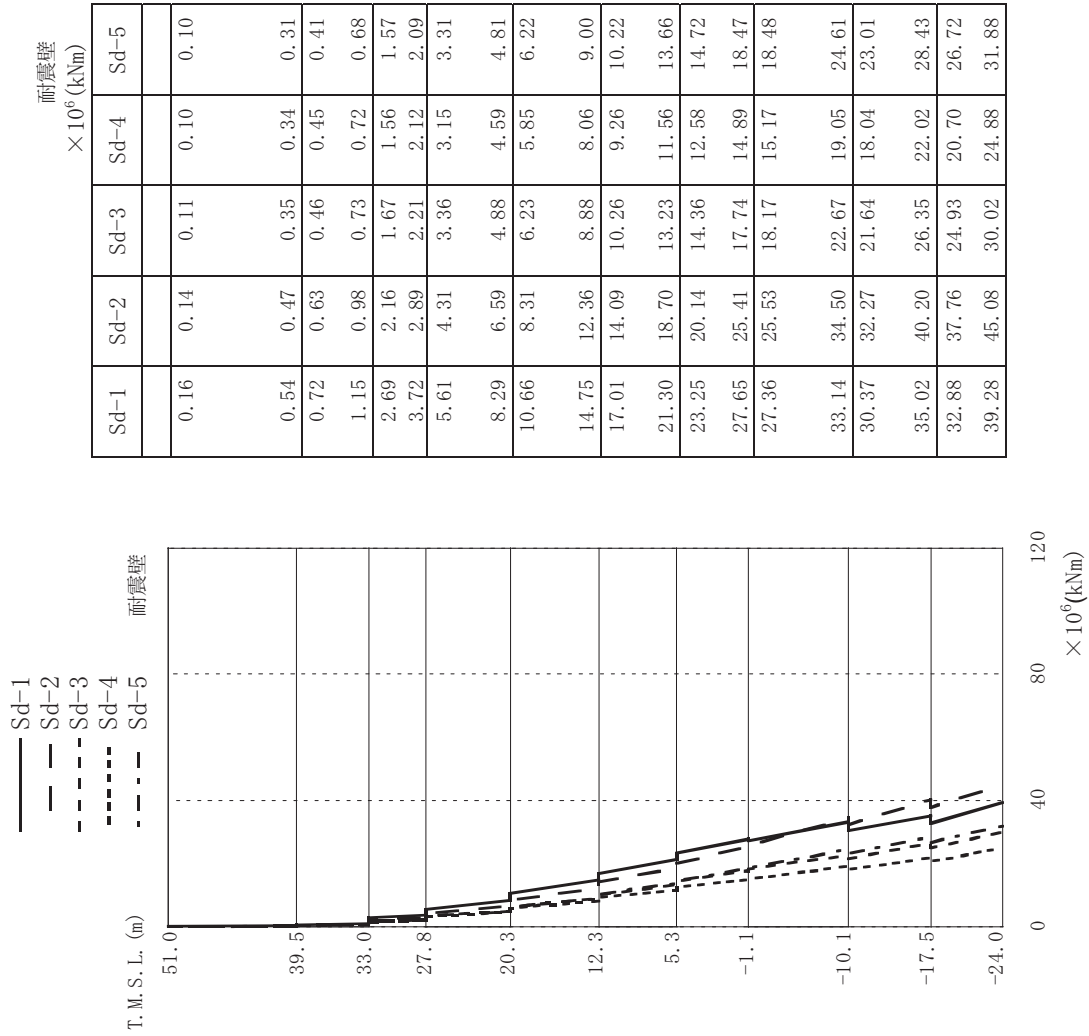
第 9.3.1-3 図 最大応答曲げモーメント (NS 方向)



第 9.3.1-4 図 最大応答加速度 (EW 方向)

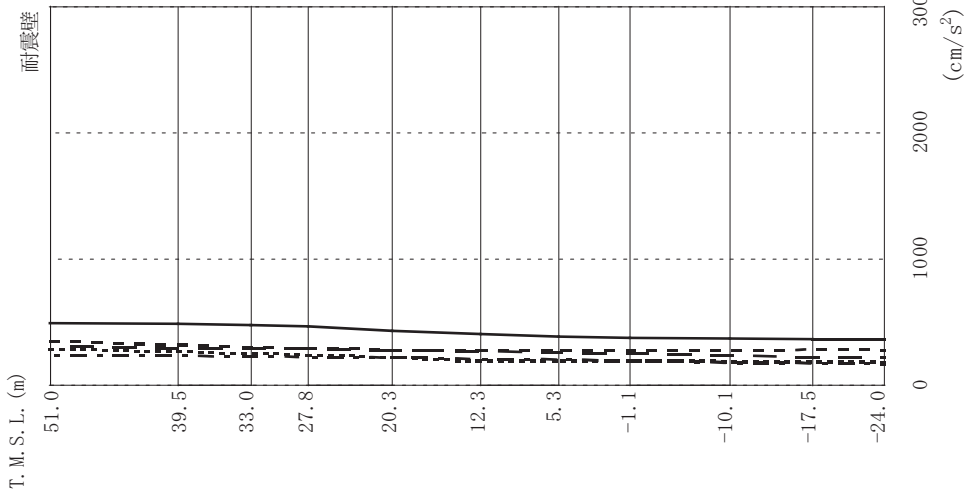


第 9.3.1-5 図 最大応答せん断力 (EW 方向)



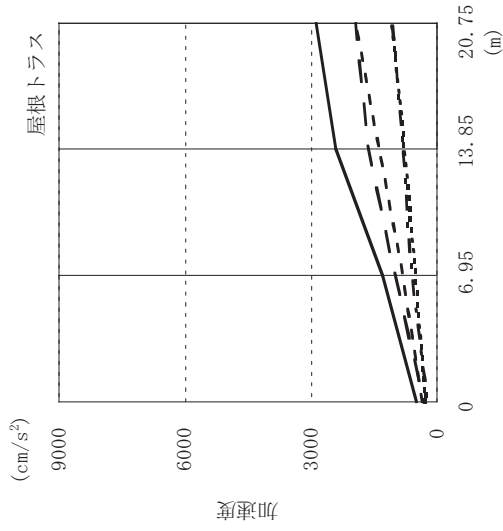
第 9.3.1-6 図 最大応答曲げモーメント (EW 方向)

Sd-1  
 Sd-2  
 Sd-3  
 Sd-4  
 Sd-5



耐震壁  
( $\text{cm/s}^2$ )

Sd-1	Sd-2	Sd-3	Sd-4	Sd-5
493	307	350	286	235
485	296	316	265	231
474	292	302	250	228
464	289	291	241	225
434	280	281	216	217
407	268	281	190	207
388	259	283	189	199
374	251	283	189	192
372	238	283	187	182
365	225	284	184	173
364	222	283	183	171

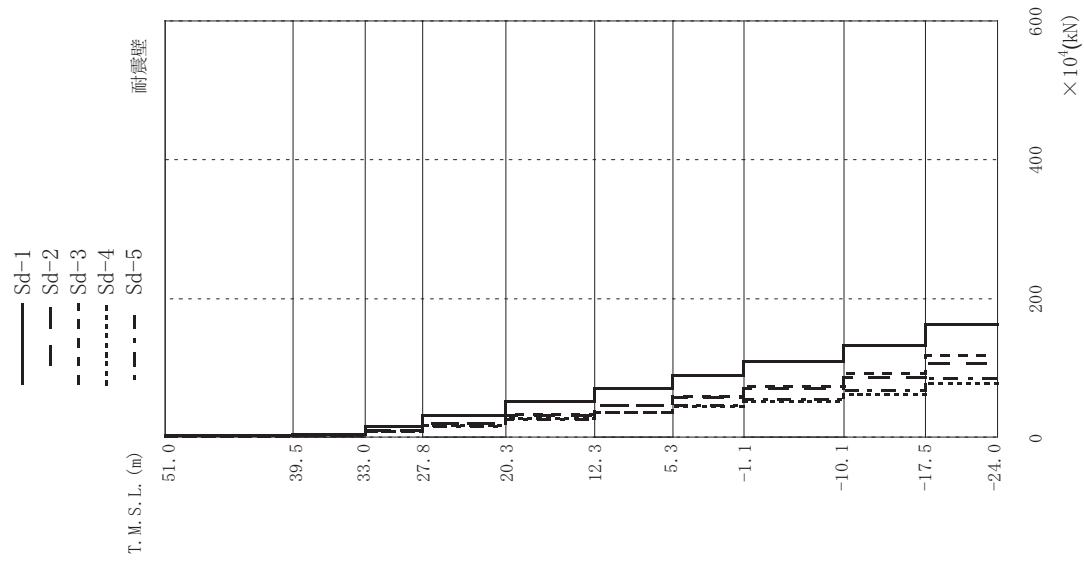


屋根トラス  
( $\text{cm/s}^2$ )

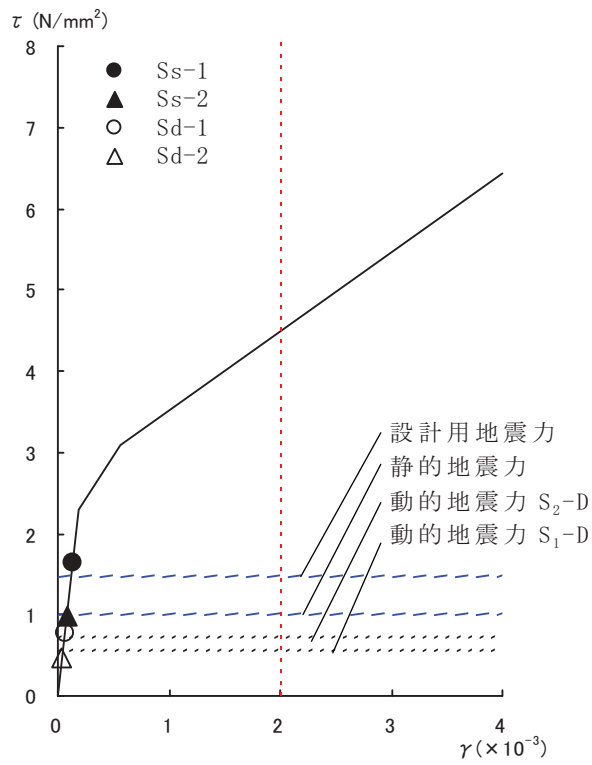
Sd-1	Sd-2	Sd-3	Sd-4	Sd-5
493	307	350	286	235
1296	1003	817	527	610
2411	1637	1374	776	809
2880	1936	1939	1076	1057

第9.3.1-7図 最大応答加速度 (鉛直方向)

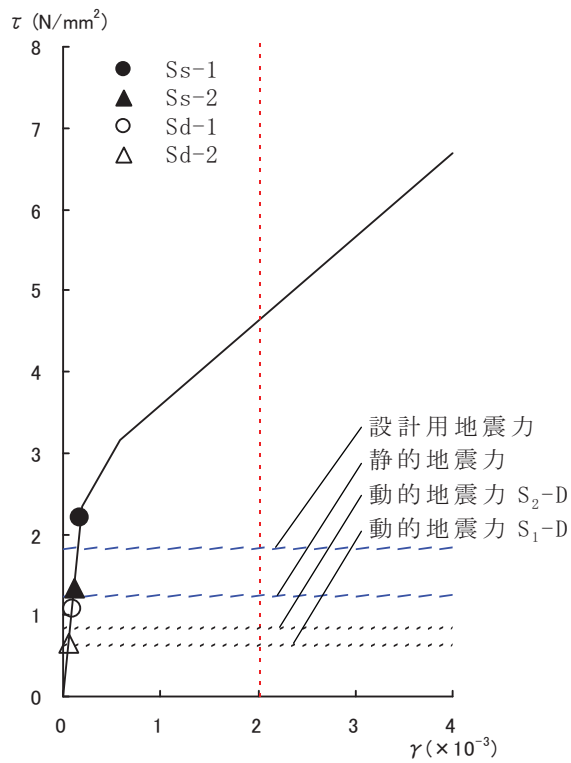
		耐震壁 × 10 <sup>4</sup> (kN)				
		Sd-1	Sd-2	Sd-3	Sd-4	Sd-5
		2.35	1.78	1.69	1.25	1.25
		4.51	2.71	3.30	2.50	2.44
		15.93	9.47	10.52	8.67	8.18
		31.88	19.56	20.36	17.00	16.09
		51.47	32.24	32.57	26.72	25.94
		71.05	45.17	45.90	35.85	35.95
		88.70	57.08	58.77	43.68	45.19
		108.69	70.82	74.21	52.13	55.92
		131.40	85.90	92.39	61.54	67.69
		162.05	106.37	118.38	78.41	83.56



第 9.3.1-8 図 最大応答軸力 (鉛直方向)

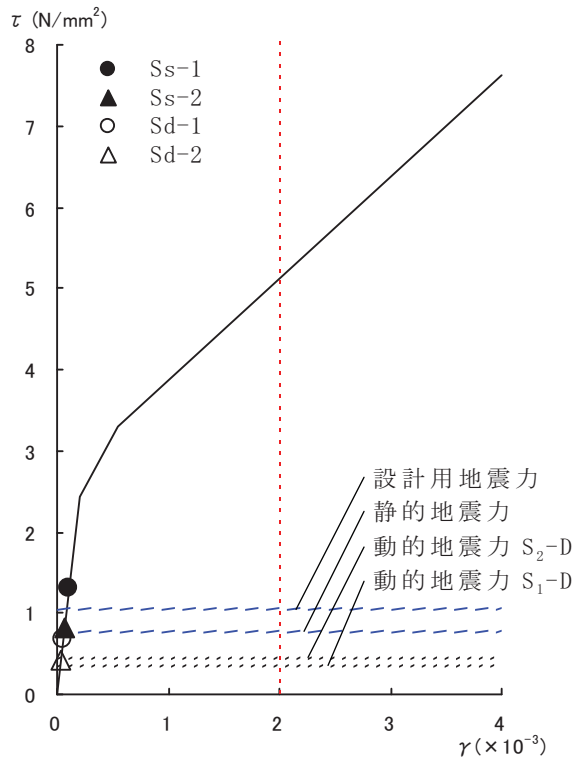


第 9.3.1-9 図(a) せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (NS 方向,

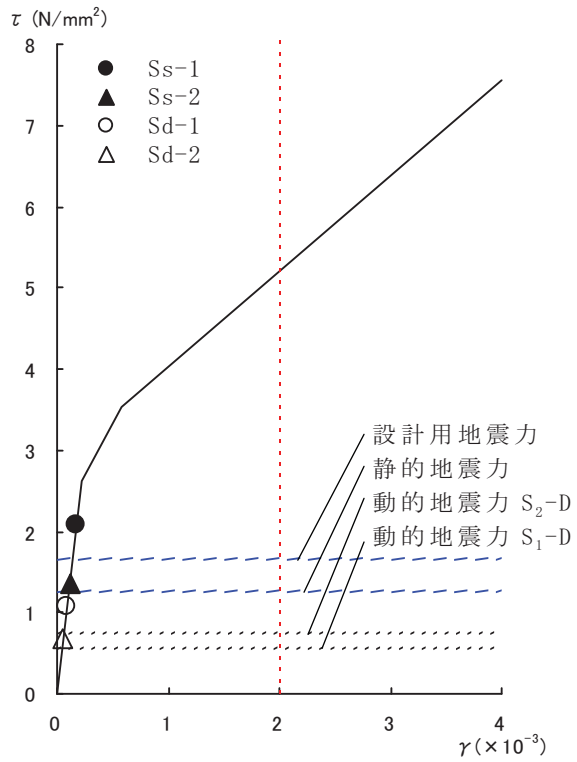


第 9.3.1-9 図(b) せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (NS 方向, 4F)

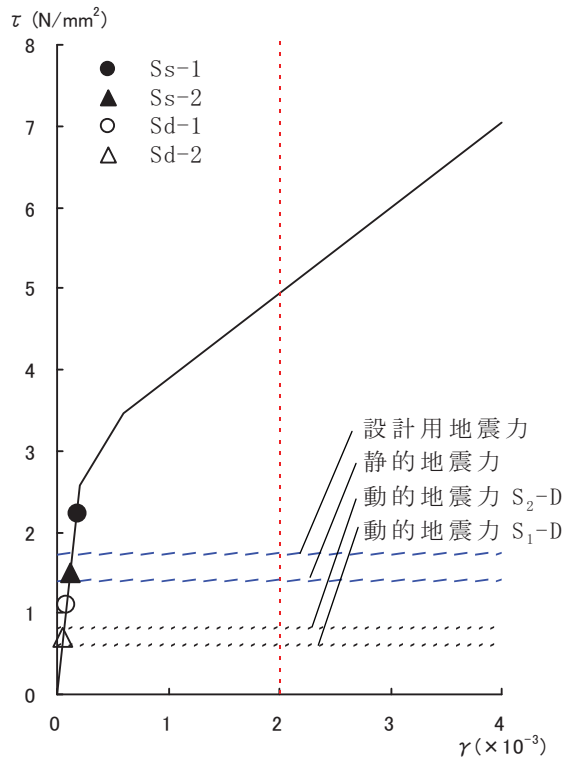




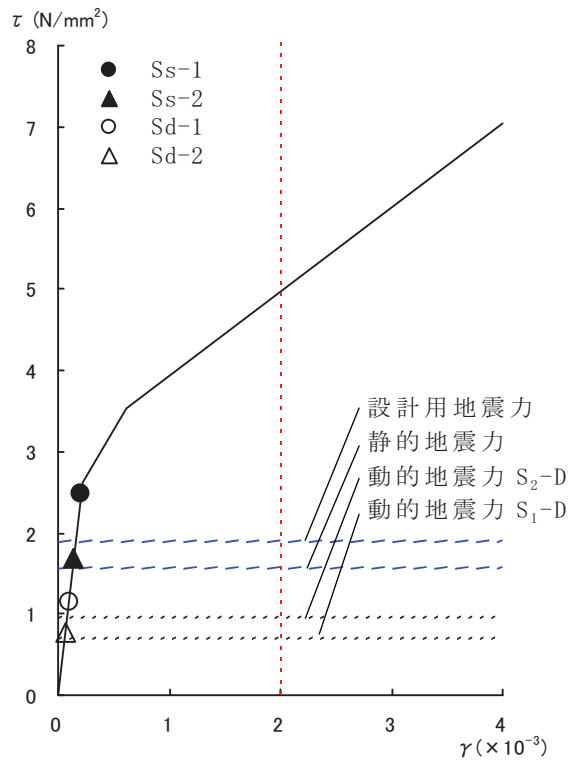
第 9.3.1-9 図(c) せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (NS 方向, 3F)



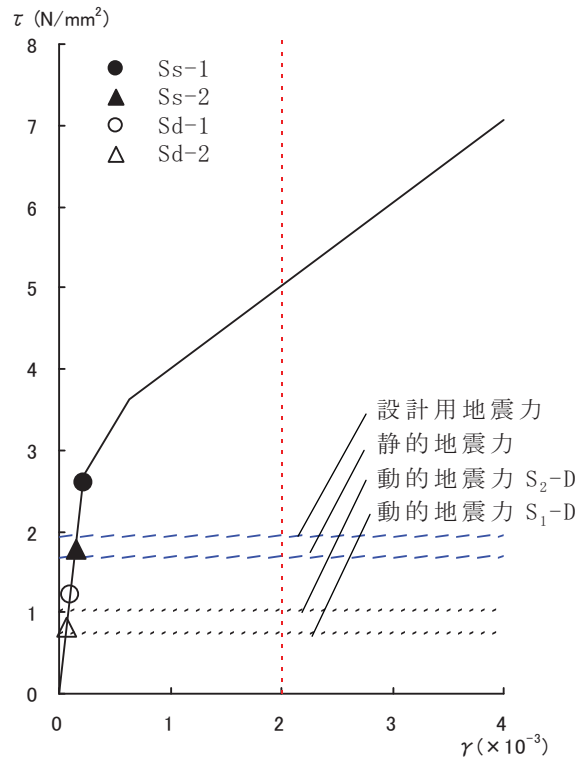
第 9.3.1-9 図(d) せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (NS 方向, 2F)



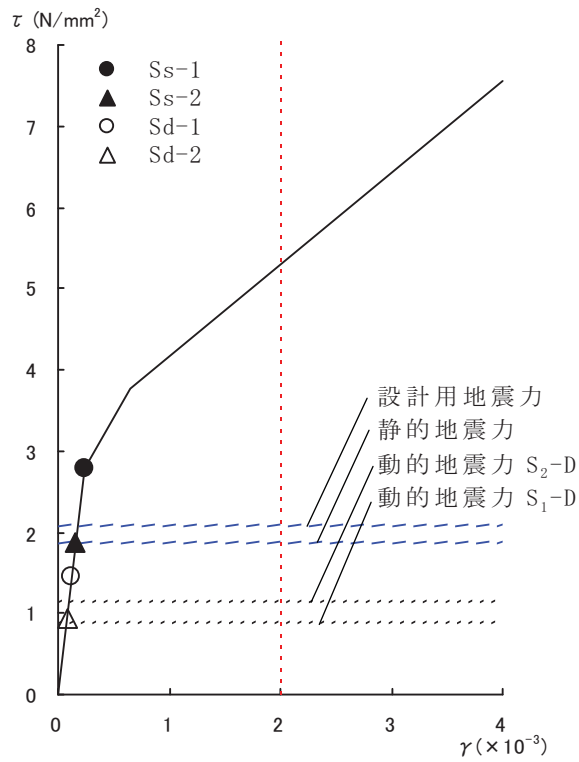
第 9.3.1-9 図(e) せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (NS 方向, 1F)



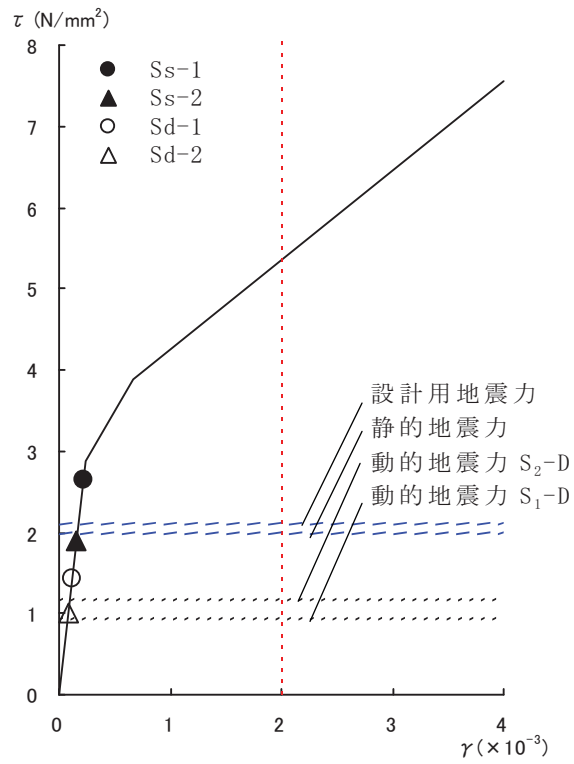
第 9.3.1-9 図(f) せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (NS 方向, B1F)



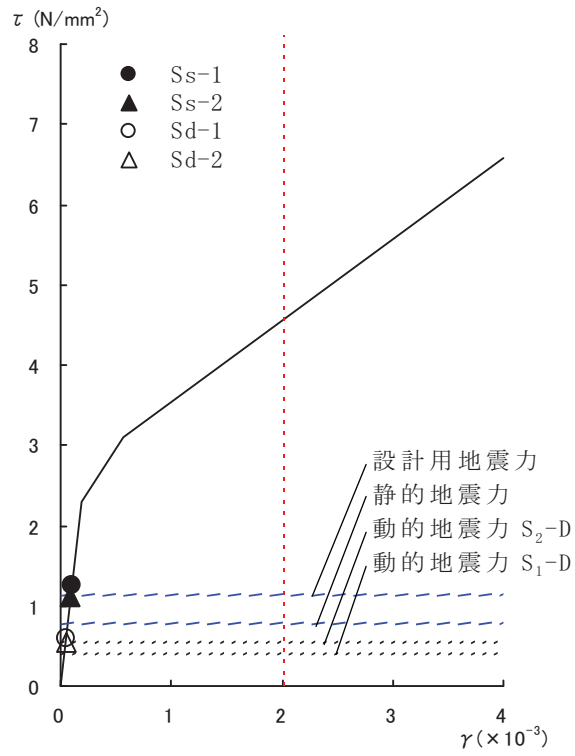
第 9.3.1-9 図(g) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(NS 方向, B2F)



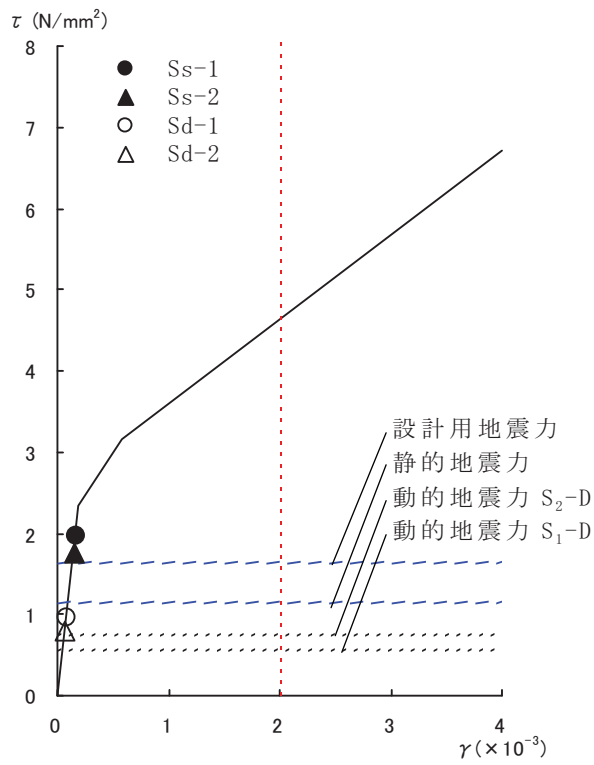
第 9.3.1-9 図(h) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(NS 方向, B3F)



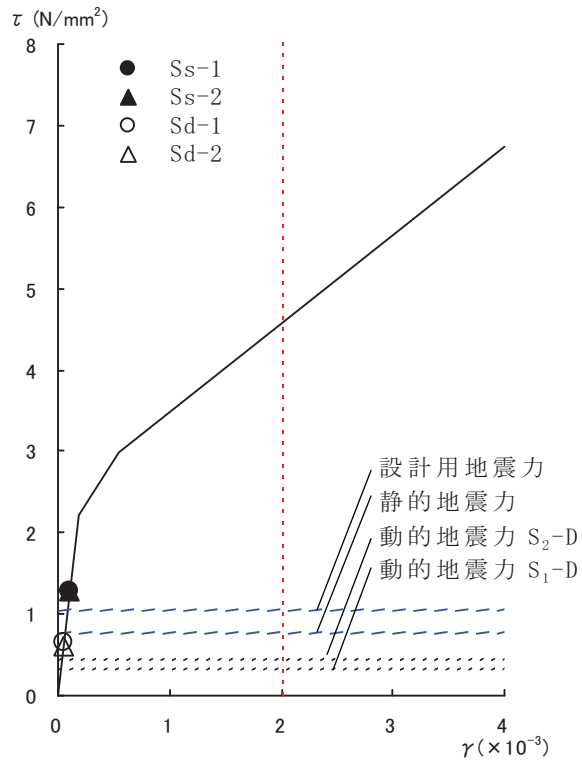
第 9.3.1-9 図(i) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(NS 方向, B4F)



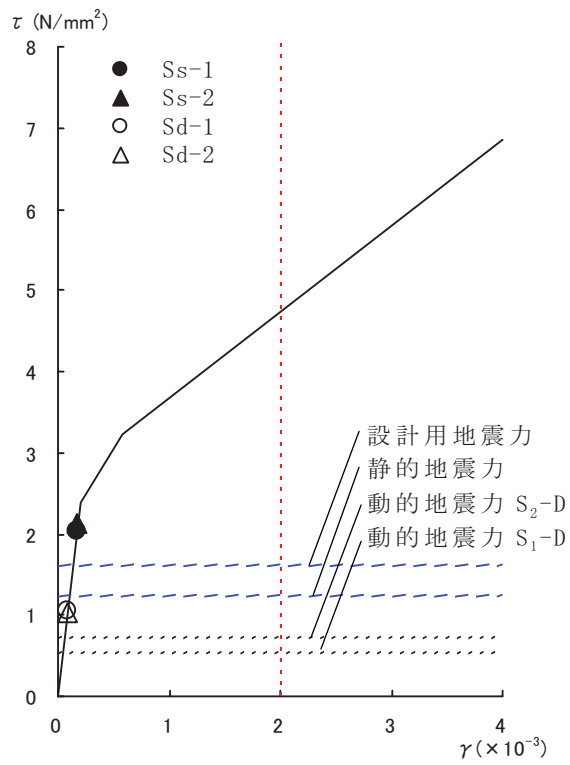
第 9.3.1-10 図(a) せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (EW 方向, CRF)



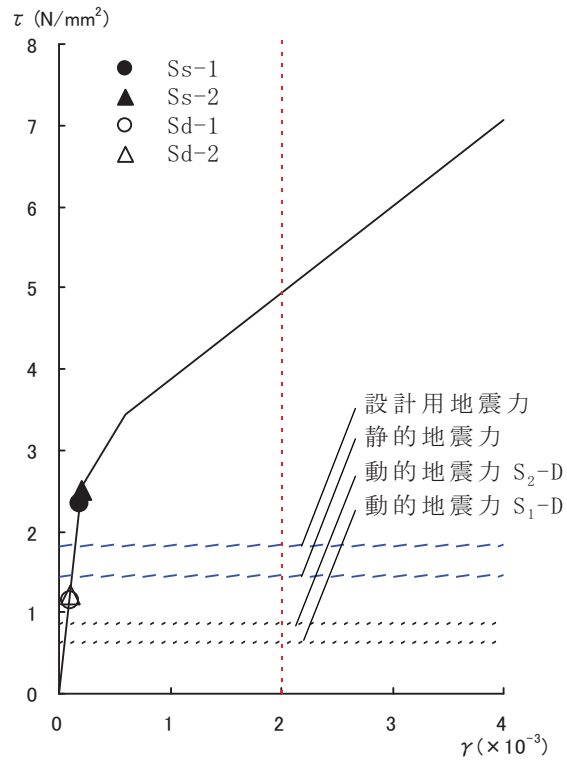
第 9.3.1-10 図(b) せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (EW 方向, 4F)



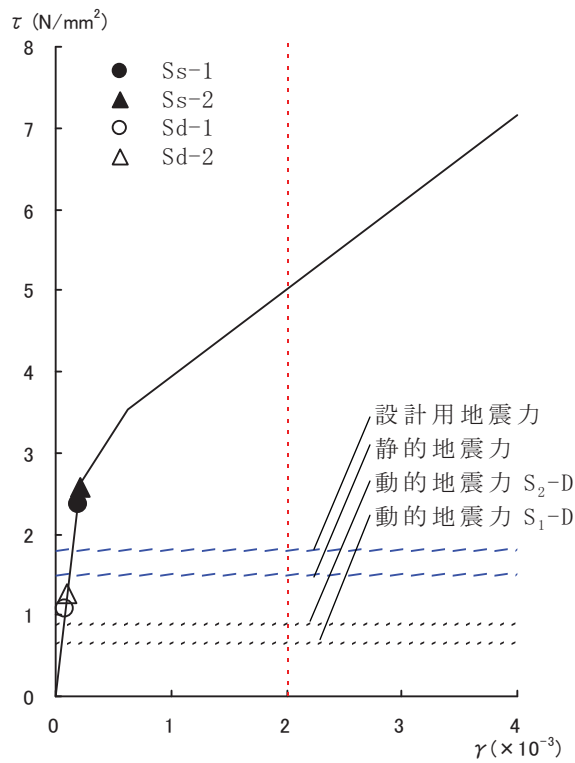
第 9.3.1-10 図(c) せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (EW 方向, 3F)



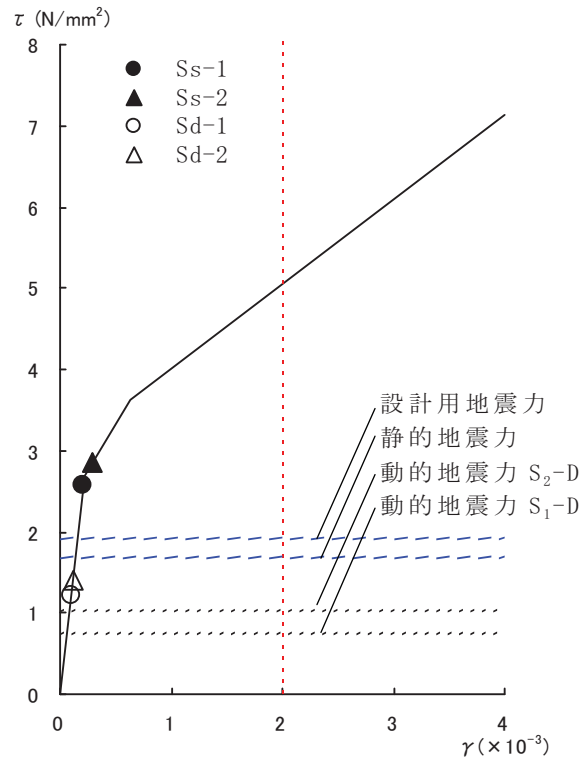
第 9.3.1-10 図(d) せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (EW 方向, 2F)



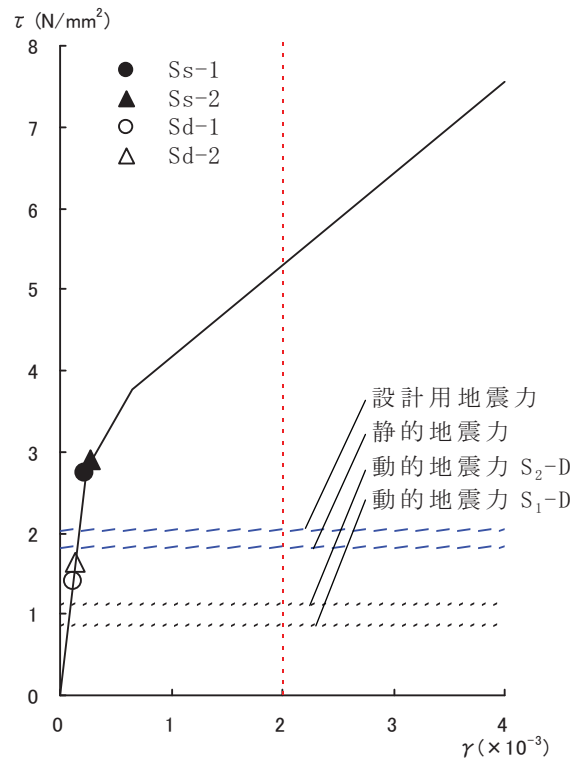
第 9.3.1-10 図(e) せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (EW 方向, 1F)



第 9.3.1-10 図(f) せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (EW 方向, B1F)

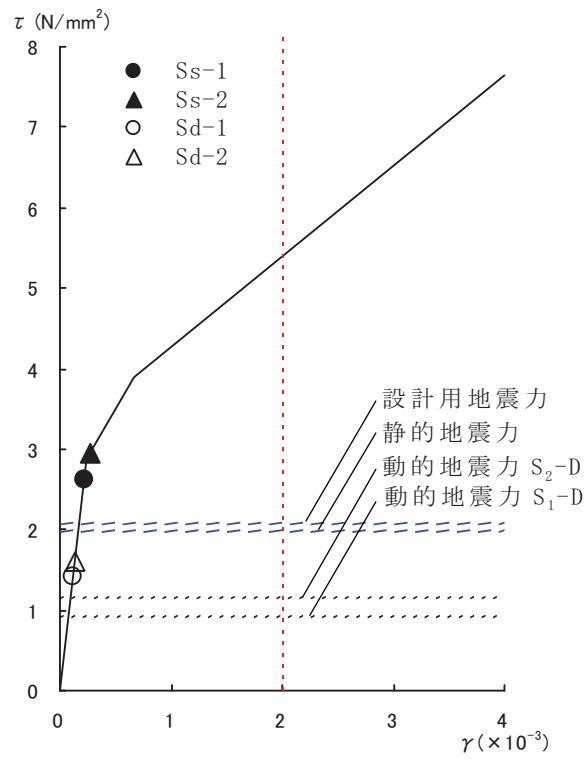


第 9.3.1-10 図(g) せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (EW 方向, B2F)

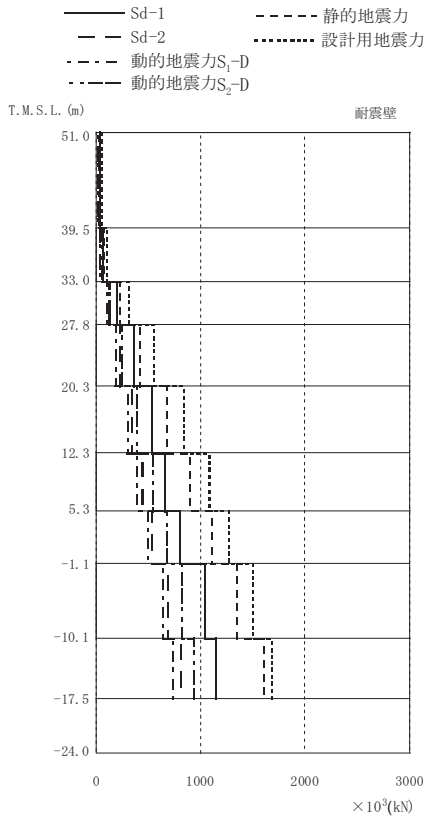


第 9.3.1-10 図(h) せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (EW 方向, B3F)



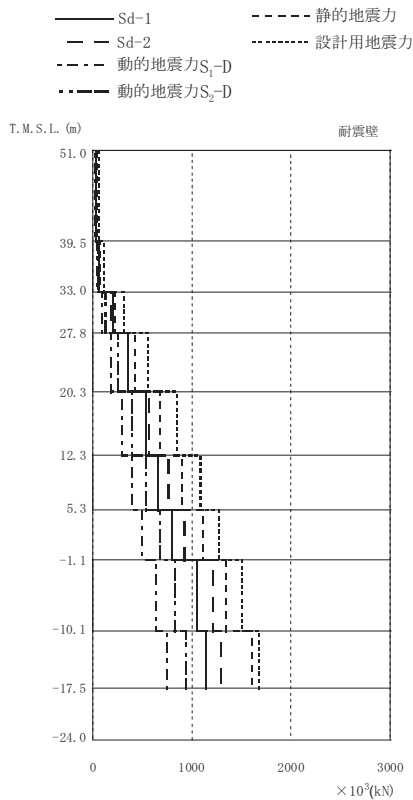


第 9.3.1-10 図(i) せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (EW 方向, B4F)



第 9.3.1-11 図 最大応答せん断力比較 (NS 方向)

$\times 10^3$ (kN)					
Sd-1	Sd-2	動的 地震力 $S_1-D$	動的 地震力 $S_2-D$	静的 地震力	設計用 地震力
33.29	20.40	23.44	30.79	42.36	62.56
65.26	40.46	39.23	50.90	75.90	110.64
199.07	125.65	103.56	131.41	227.42	314.74
360.55	228.38	188.78	251.44	425.51	554.92
534.09	340.68	298.42	400.31	675.09	843.26
654.41	444.29	398.64	541.62	899.76	1082.14
799.56	539.59	496.90	677.64	1107.86	1273.01
1046.08	682.08	639.79	826.50	1349.59	1500.43
1142.62	813.15	744.03	935.65	1601.72	1680.26



第 9.3.1-12 図 最大応答せん断力比較 (EW 方向)

$\times 10^3$ (kN)					
Sd-1	Sd-2	動的 地震力 $S_1-D$	動的 地震力 $S_2-D$	静的 地震力	設計用 地震力
32.85	29.07	21.97	29.13	42.36	62.56
65.01	54.30	37.76	50.50	76.88	110.64
198.46	181.77	100.42	129.45	227.42	314.74
360.30	353.02	188.48	248.21	425.51	554.92
534.03	567.87	297.34	397.66	675.09	843.26
654.48	760.27	398.25	538.88	899.76	1082.14
799.61	926.81	496.22	675.48	1107.86	1273.01
1046.79	1215.10	639.88	826.01	1349.59	1500.43
1145.38	1288.36	745.21	936.44	1601.72	1680.26

## 9.4. 機器・配管系の弾性設計用地震動 $S_d$ による評価

9.2 で設定された弾性設計用地震動  $S_d$  と、9.3 で検討された弾性設計用地震動  $S_d$  による原子炉建屋地震応答解析結果を用いて、弾性設計用地震動  $S_d$  に対する機器・配管系の応答に関する検討を行った。

### 9.4.1. 弾性設計用地震動 $S_d$ による耐震評価条件について

9.2 で設定した弾性設計用地震動  $S_d$  が、機器・配管系に対してどの程度の影響を及ぼすかを把握するために、建設時における静的震度、基準地震動  $S_1$  および基準地震動  $S_2$  による耐震性評価条件と、弾性設計用地震動  $S_d$  による耐震性評価条件の比較を行った。

耐震性評価条件には、主に次の3つの条件がある。

地震応答荷重：大型機器地震応答解析により得られる、地震動に対する大型機器（例えば原子炉本体）の地震応答荷重（モーメント、せん断力、軸力等）。原子炉本体や原子炉格納容器、炉内構造物などの大型機器の耐震性評価に用いる。

評価用震度：大型機器地震応答解析や原子炉建屋地震応答解析結果から得られる地震応答加速度に基づき設定されるもの。主に剛な構造の設備の耐震性評価に用いられる。

床応答スペクトル：大型機器地震応答解析や原子炉建屋地震応答解析結果から得られる地震応答加速度に基づき設定されるもの。主に柔な構造の設備の耐震性評価に用いられる。

本検討では、上記の耐震評価用条件を比較することで、弾性設計用地震動  $S_d$  に対する原子炉建屋に設置されている機器の耐震性への影響について、網羅的に把握する。

(1) 大型機器の水平方向応答荷重の比較

代表的な大型機器について下記の地震動等による応答荷重を第 9.4.1-1 表に示す。第 9.4.1-1 表に示す通り、 $S_s$  の 0.5 倍で設定した  $S_d$  による応答荷重は、設計時の  $S_1^*$  又は  $S_2$  荷重とほぼ同等の大きさの荷重を与えるものとなっている。

- ・ 基準地震動  $S_1$  又は静的震度による荷重の最大値（以下、 $S_1^*$  という）
- ・ 基準地震動  $S_2$ （以下、 $S_2$  という）
- ・ 弾性設計用地震動  $S_d$ （以下、 $S_d$  という）
- ・ 基準地震動  $S_s$ （以下、 $S_s$  という）

第 9.4.1-1 表 大型機器の地震応答荷重

水平方向評価用地震荷重		$S_1^*$	$S_2$	$S_d$	$S_s$
原子炉圧力容器スカート	モーメント (kN・m)	10,800	15,900	17,900	22,600
	せん断力 (kN)	4,160	4,430	3,620	5,910
遮へい壁	モーメント (kN・m)	18,700	26,800	16,700	39,200
	せん断力 (kN)	3,830	5,010	4,070	6,620
原子炉本体基礎	モーメント (kN・m)	499,000	344,000	298,000	443,000
	せん断力 (kN)	29,500	17,300	18,100	29,400

<p>&lt;参考&gt; S クラス施設に対する静的地震力          建物・構築物：<math>3.0C_1</math>により算定          機器・配管系：<math>3.6C_1</math>により算定</p>
--

## (2) 水平方向評価用震度の比較

建屋床に設置されている設備に適用する評価用震度について(1)と同様のケースで比較したものを第 9.4.1-2 表に示す。Ss の 0.5 倍で設定した Sd による評価用震度は、設計時の S<sub>1</sub>\*又は S<sub>2</sub> とほぼ同等の大きさとなっている。

第 9.4.1-2 表 原子炉建屋設置機器の評価用震度

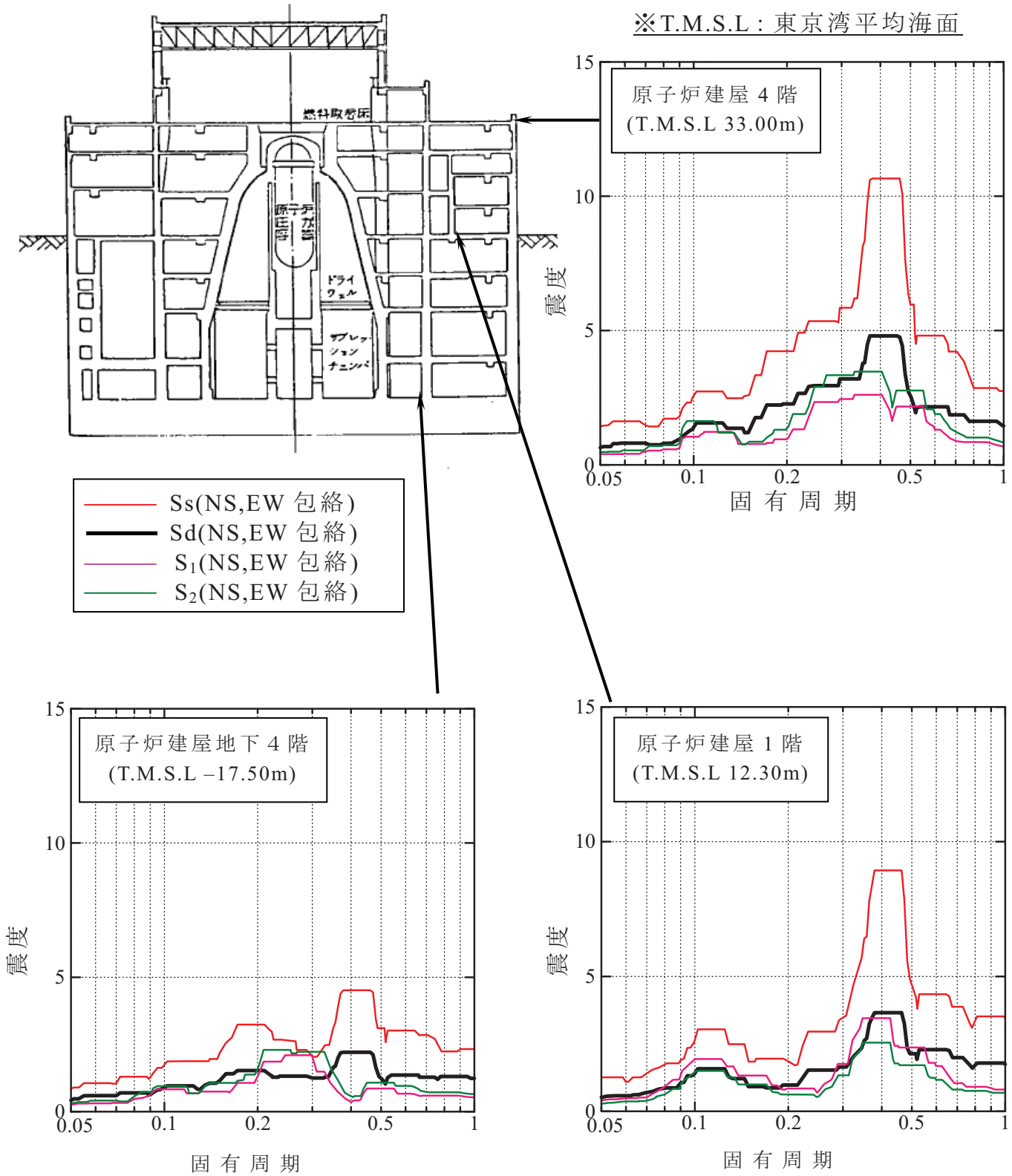
標高 T.M.S.L (m)	震 度			
	S <sub>1</sub> *	S <sub>2</sub>	Sd	Ss
51.0	1.56	0.84	1.01	2.11
39.5	1.30	0.51	0.79	1.55
33.0	1.01	0.46	0.66	1.35
27.8	0.92	0.44	0.61	1.26
20.3	0.83	0.39	0.56	1.14
12.3	0.75	0.35	0.52	1.04
5.3	0.70	0.33	0.49	0.96
-1.1	0.63	0.31	0.46	0.89
-10.1	0.58	0.30	0.42	0.81
-17.5	0.58	0.32	0.39	0.74

## (3) 床応答スペクトル（水平方向）の比較

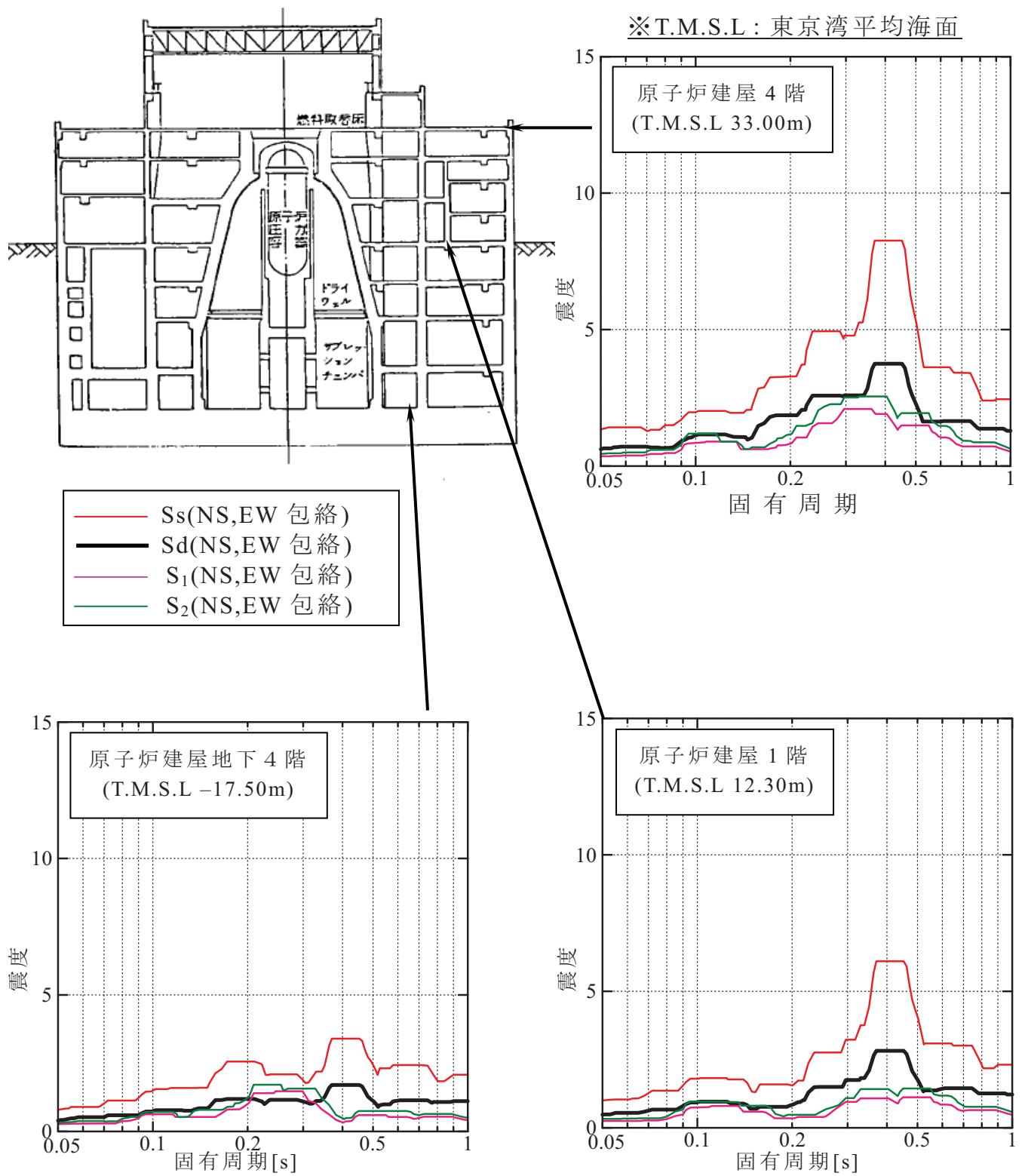
原子炉建屋の代表床における機器・配管系評価用の床応答スペクトルを(1)と同様のケースで比較したものを次頁の第 9.4.1-1 図および第 9.4.1-2 図に示す。なお、比較に用いた床応答スペクトルは、溶接構造物に適用する減衰定数 1%（第 9.4.1-1 図）と配管系に適用する減衰定数 2%（第 9.4.1-2 図）とした。

Ss の 0.5 倍で設定した Sd による評価用床応答スペクトルは、設計時の S<sub>1</sub> 又は S<sub>2</sub> とほぼ同等の大きさとなっている。

※T.M.S.L : 東京湾平均海面



第 9.4.1-1 図 原子炉建屋水平方向床応答スペクトル (減衰 1%, 水平)



第 9.4.1-2 図 原子炉建屋水平方向床応答スペクトル (減衰 2%, 水平)

#### 9.4.2. 弾性設計用地震動 $S_d$ に対する重要な機器・配管系の耐震性評価結果

5号機の原子炉施設のうち、主要でかつ重要な設備について、弾性設計用地震動  $S_d$  に対する耐震性の評価を行った。評価対象設備は、原子炉を「止める」「冷やす」「閉じ込める」という観点から、代表的な設備を選定した。耐震性の評価に当たっては、構造強度評価を行うこととした。また、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」では、弾性設計用地震動  $S_d$  に対して施設が概ね弾性状態にあることとしていることから、本検討における評価基準値はⅢ<sub>A</sub>S相当の値とした。

第9.4.2-1表に示したとおり、今回の評価対象機器は、弾性設計用地震動  $S_d$  に対して、発生値がⅢ<sub>A</sub>S相当の許容基準値を下回ることを確認した。なお、今回の評価対象機器は、地震応答荷重を用いて強度評価を行う設備、評価用震度を用いて強度評価を行う設備、床応答スペクトルを用いて強度評価を行う設備のそれぞれの設備について、弾性設計用地震動  $S_d$  に対する耐震性の確保が確認できていることを付け加えておく。



第 9.4.2-1 表 弾性設計用地震動 Sd による主要設備の耐震性評価結果

機能	評価対象設備	評価部位	応力分類	発生値 (Sd)	評価基準値 (III <sub>A</sub> S)	評価条件 (※1)	評価方法 (注)
止める	炉心支持構造物	シュラウドサポート	一次一般膜	68	246	荷重	B2
冷やす	残留熱除去ポンプ	基礎ボルト	せん断	13	342	震度	A2
	残留熱除去系配管	配管	一次	97	191	FRS	B2
閉じ込める	原子炉圧力容器	基礎ボルト	引張	49	499	荷重	B2
	主蒸気系配管	配管	一次	243	281	FRS	B2
	原子炉格納容器	格納容器胴	一次局部膜＋一次曲げ	121※ <sup>2</sup>	380※ <sup>3</sup>	荷重	B1

※1 評価条件における「荷重」は、大型機器地震応答解析結果から得られる荷重に基づき評価したものを示す。

「震度」は、原子炉建屋や大型機器の地震応答解析結果から得られる震度に基づき評価したものを示す。

「FRS」は、原子炉建屋や大型機器の地震応答解析結果から得られる床応答スペクトルに基づき評価したものを示す。

※2 事故時荷重と弾性用設計用地震動 Sd を組み合わせた評価結果である。

※3 評価基準値は IV<sub>A</sub>S である。

注：評価方法については、第 7 章の第 7.5.1-1 表における評価方法の凡例と同様である。

A1：応答倍率法において、基準地震動 S<sub>s</sub> による地震力と既往評価の地震力との応答比を用いた評価法

A2：応答倍率法において、基準地震動 S<sub>s</sub> による床応答スペクトル等と、既往評価で用いた床応答スペクトル等から水平加速度と鉛直加速度の比をそれぞれ求め、大きい方の値を用いた評価方法

B1：詳細評価（既往評価の地震荷重と地震以外の荷重を区別し、地震荷重による応力のみに応答比を乗じ、地震以外の荷重による応力を組み合わせて、発生値を求める手法）

B2：詳細評価（スペクトルモーダル解析法等による評価）

## 9.5. まとめ

本検討で定めた弾性設計用地震動  $S_d$  は、原子炉建屋および機器・配管系に対して概ね従前の基準地震動  $S_1$  と同等の耐震評価条件を与えることを確認した。また、主要な設備に対して弾性設計用地震動  $S_d$  に対する耐震性評価を行ったところ、すべての評価対象設備の発生値が評価基準値を下回ることを確認した。

なお、主要な設備には、地震応答荷重、評価用震度および床応答スペクトルを用いる評価が網羅されていたが、そのいずれにおいても、評価基準値を下回る評価結果が得られた。

## 10. 地震随件事象に対する考慮（周辺斜面の安定性）

## 【目 次】

10. 地震随伴事象の考慮（周辺斜面の安定性） .....	10-1
10.1. 評価方針 .....	10-1
10.2. 5号機周辺の状況 .....	10-1
10.3. 参考文献 .....	10-1

## 10. 地震随件事象の考慮（周辺斜面の安定性）

### 10.1. 評価方針

耐震安全上重要な機器・配管系を内包する建物・構築物（以下「対象施設」という）の周辺斜面が施設の安全機能に重大な影響を与えるおそれがないことについて、以下により評価する。

対象施設と周辺斜面の離間距離に基づき、地震時における安定性評価の対象とすべき斜面の有無を確認する。安定性評価の対象とすべき斜面は、「原子力発電耐震設計技術指針 JEAG4601-2008」<sup>(1)</sup> に従い、斜面法尻と対象施設の離間距離が約 50m 以内あるいは斜面高さの約 1.4 倍以内の斜面とする。安定性評価の対象とすべき斜面がある場合は、基準地震動  $S_s$  による地震力に対して、当該斜面が施設の安全機能に重大な影響を与えるおそれがないことを確認する。

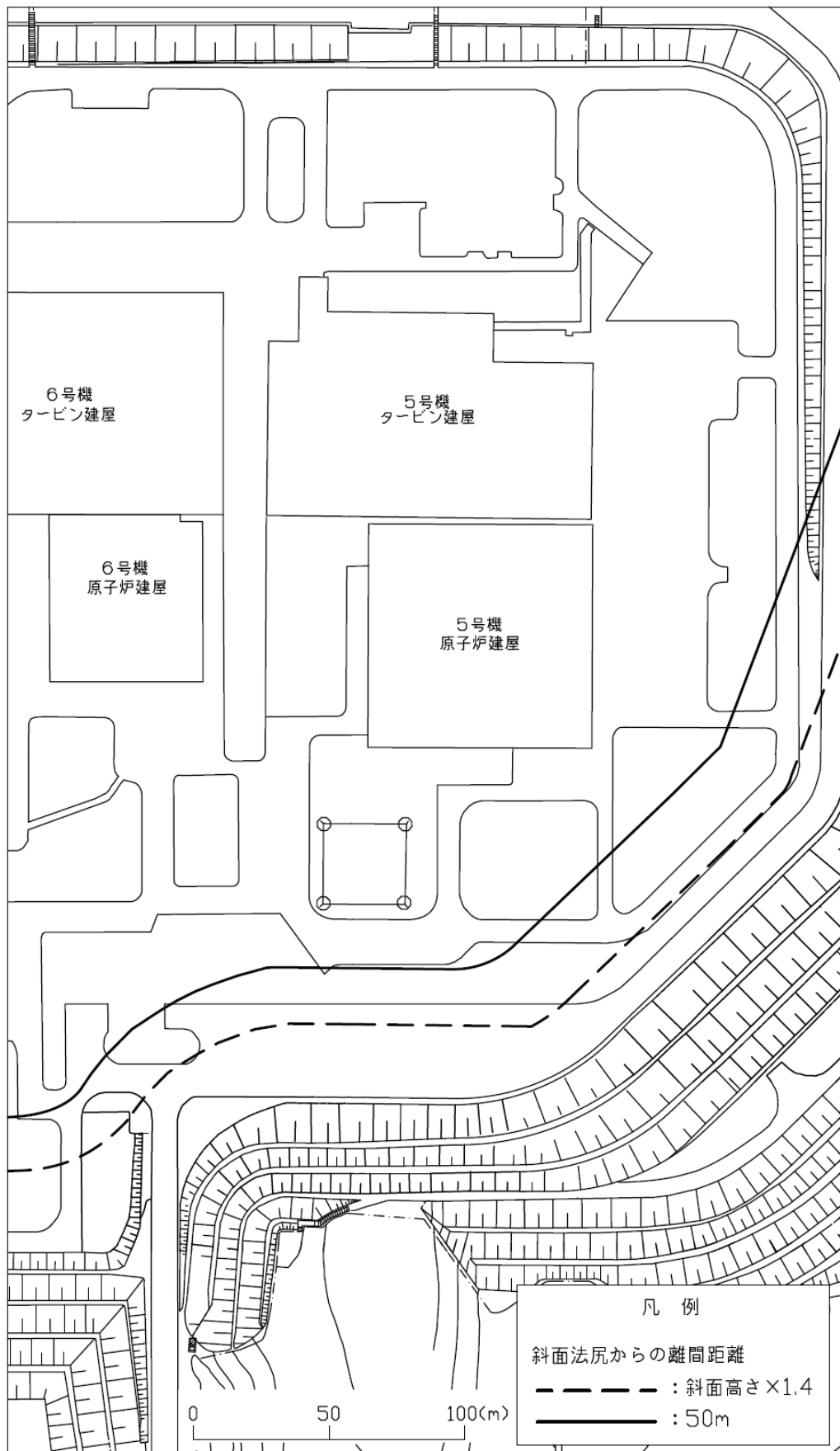
### 10.2. 5号機周辺の状況

第 10.2-1 図に 5 号機敷地周辺平面図を示す。同図に斜面法尻から 50m の範囲および斜面高さの 1.4 倍の範囲を示す。

第 10.2-1 図より 5 号機の施設の周辺には安定性評価の対象とすべき斜面がないことを確認した。

### 10.3. 参考文献

- (1) 「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-2008」 社団法人 日本電気協会 原子力規格委員会，184p，2008



第 10.2-1 図 5号機敷地周辺平面図  
10-2

## 1 1. 地震随件事象に対する考慮（津波に対する安全性）

## 【目 次】

11. 地震随件事象に対する考慮（津波に対する安全性） .....	11-1
11.1. 評価方針 .....	11-1
11.2. 評価方法 .....	11-1
11.3. 津波の想定及び数値シミュレーション .....	11-1
11.4. 津波に対する安全性の評価 .....	11-1
11.4.1 津波水位の評価 .....	11-2
11.4.2 津波に対する安全性の評価 .....	11-2
11.5. 二次的な影響に対する評価 .....	11-4
11.6. 評価結果 .....	11-4
11.7. 参考文献 .....	11-4



## 【参考資料】

- 参考資料 11.1 日本海東縁部の地震活動領域のうち，新潟～山形沖の領域を詳細パラメータスタディの対象とすることの妥当性について
- 参考資料 11.2 日本海東縁部の地震活動域における基準断層モデルの設定について
- 参考資料 11.3 浮遊砂濃度の上限値 5%による砂移動解析
- 参考資料 11.4 強震動モデルによる津波水位評価
- 参考資料 11.5 新潟県中越沖地震津波の再現計算による解析コード及び解析モデルの妥当性検証
- 参考資料 11.6 砂移動評価における解析時間に関する検討

## 11. 地震随件事象に対する考慮（津波に対する安全性）

### 11.1. 評価方針

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書（改訂 1）（原管発官 2 0 第 4 4 1 号 平成 21 年 1 月 9 日付け, 原管発官 2 1 第 4 0 号 平成 21 年 4 月 24 日付けで「柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱いの不適合」に伴う再評価結果等を反映）に示すとおり。

### 11.2. 評価方法

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書（改訂 1）（原管発官 2 0 第 4 4 1 号 平成 21 年 1 月 9 日付け, 原管発官 2 1 第 4 0 号 平成 21 年 4 月 24 日付けで「柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱いの不適合」に伴う再評価結果等を反映）に示すとおり。

### 11.3. 津波の想定及び数値シミュレーション

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書（改訂 1）（原管発官 2 0 第 4 4 1 号 平成 21 年 1 月 9 日付け, 原管発官 2 1 第 4 0 号 平成 21 年 4 月 24 日付けで「柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱いの不適合」に伴う再評価結果等を反映）に示すとおり。

### 11.4. 津波に対する安全性の評価

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震

設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書（改訂 1）  
（原管発官 20 第 441 号 平成 21 年 1 月 9 日付け, 原管発官 21  
第 40 号 平成 21 年 4 月 24 日付けで「柏崎刈羽原子力発電所 7 号  
機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱  
いの不適合」に伴う再評価結果等を反映）に示すとおり。

#### 11.4.1 津波水位の評価

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震  
設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書（改訂 1）  
（原管発官 20 第 441 号 平成 21 年 1 月 9 日付け, 原管発官 21  
第 40 号 平成 21 年 4 月 24 日付けで「柏崎刈羽原子力発電所 7 号  
機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱  
いの不適合」に伴う再評価結果等を反映）に示すとおり。

#### 11.4.2 津波に対する安全性の評価

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震  
設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書（改訂 1）  
（原管発官 20 第 441 号 平成 21 年 1 月 9 日付け, 原管発官 21  
第 40 号 平成 21 年 4 月 24 日付けで「柏崎刈羽原子力発電所 7 号  
機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱  
いの不適合」に伴う再評価結果等を反映）に示すとおり。

##### 11.4.2.1. 津波による水位上昇に対する安全性

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震  
設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書（改訂 1）  
（原管発官 20 第 441 号 平成 21 年 1 月 9 日付け, 原管発官 21  
第 40 号 平成 21 年 4 月 24 日付けで「柏崎刈羽原子力発電所 7 号

機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱いの不適合」に伴う再評価結果等を反映) に示すとおり。

#### 11.4.2.2. 津波による水位低下に対する安全性

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書(改訂 1) (原管発官 20 第 441 号 平成 21 年 1 月 9 日付け, 原管発官 21 第 40 号 平成 21 年 4 月 24 日付けで「柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱いの不適合」に伴う再評価結果等を反映) に示すとおり。

#### 11.4.2.3. 取水施設の水利特性による水位変動への影響 (5 号機)

想定津波による 5 号機の取水施設の水利特性による水位変動について, 数値シミュレーションにより以下のとおり検討した。

##### (1) 数値シミュレーションの手法

数値シミュレーションは, 取水口からスクリーン室, 取水路, 取水路分岐, 補機系取水路を経て補機冷却海水ポンプ室に至る取水路系について検討した。数値シミュレーションの計算条件を第 11.4.2-1 表に, 5 号機の取水施設の概要図を第 11.4.2-1 図に示す。

##### (2) 対象津波

5 号機取水口前面において最低水位を示す長岡平野西縁断層帯 ( $\delta = 35^\circ$ ) による津波を対象とした。

##### (3) 検討結果

想定津波を対象とした 5 号機取水施設の水利特性による水位変

動について、数値シミュレーションを実施した結果、補機冷却海水ポンプ室における津波による最低水位は、非常用補機海水ポンプの吸い込み可能レベルより上方であることから、必要な取水は十分確保できる。

取水設備の水理特性による水位変動の検討結果を第 11.4.2-2 図に示す。

### 11.5. 二次的な影響に対する評価

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書（改訂 1）（原管発官 20 第 441 号 平成 21 年 1 月 9 日付け, 原管発官 21 第 40 号 平成 21 年 4 月 24 日付けで「柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱いの不適合」に伴う再評価結果等を反映）に示すとおり。

### 11.6. 評価結果

以上により、津波に対して、柏崎刈羽原子力発電所 5 号機の原子炉施設の安全性に問題とならないことを確認した。なお、同じ日本海沖で発生した 1993 年北海道南西沖地震のように V 字型の谷地形や岬のような地形において津波が増幅して高くなることがあるが、敷地周辺の沿岸にはそのような地形はない。

### 11.7. 参考文献

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書（改訂 1）（原管発官 20 第 441 号 平成 21 年 1 月 9 日付け, 原管発官 21 第 40 号 平成 21 年 4 月 24 日付けで「柏崎刈羽原子力発電所 7 号

機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱いの不適合」に伴う再評価結果等を反映) に示すとおり。

第 11.4.2-1 表 水位変動の数値シミュレーションの計算条件

項目	計算条件
計算領域	取水口～スクリーン室～取水路～取水ピット 取水路分岐～補機取水路
計算時間間隔	0.005sec
基礎方程式	非定常管路及び開水路流れの連続式及び運動方程式
取水量	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 循環水ポンプ (CWP) : 停止</li> <li>・ 原子炉補機冷却海水ポンプ (RSW) : 2,500 (m<sup>3</sup>/h/台) × 4 台</li> <li>・ タービン補機冷却海水ポンプ (TSW) : 2,700 (m<sup>3</sup>/h/台) × 3 台</li> <li>・ 高圧炉心スプレイトーセル補機冷却海水ポンプ (HPSW) : 400 (m<sup>3</sup>/h/台) × 1 台</li> </ul>
摩擦損失係数	マンニングの粗度係数 (n=0.02m <sup>-1/3</sup> s)
貝の付着代	貝代 10cm を考慮
局所損失係数	電力土木技術(1995) <sup>(32)</sup> , 千秋(1967) <sup>(33)</sup> , 及び土木学会(1999) <sup>(34)</sup> による
初期水位	下降側 : L.W.L (= T.M.S.L.-0.02m)
計算時間	断層変位後 4 時間

開水路の連続式及び運動方程式

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gA \left( \frac{n^2 |v|v}{R^{4/3}} + \frac{1}{\Delta x} f \frac{|v|v}{2g} \right) = 0$$

管路の連続式及び運動方程式

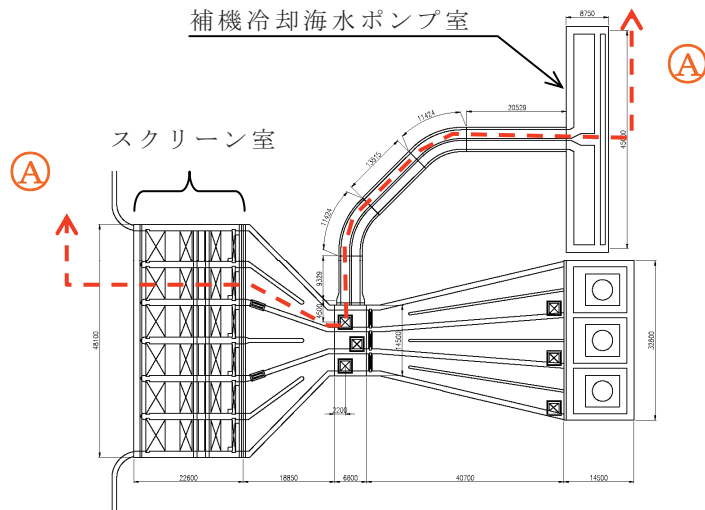
$$\frac{\partial Q}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gA \left( \frac{n^2 |v|v}{R^{4/3}} + \frac{1}{\Delta x} f \frac{|v|v}{2g} \right) = 0$$

ここに,  $t$  : 時間,  $Q$  : 流量,  $v$  : 流速,  $x$  : 管底に沿った座標  
 $A$  : 流水断面積  
 $H$  : 圧力水頭+位置水頭(管路の場合), 位置水頭(開水路の場合)  
 $z$  : 管底高,  $g$  : 重力加速度,  $n$  : マニングの粗度係数  
 $R$  : 径深,  $\Delta x$  : 管路の流れ方向の長さ,  $f$  : 局所損失係数

水槽および立坑部

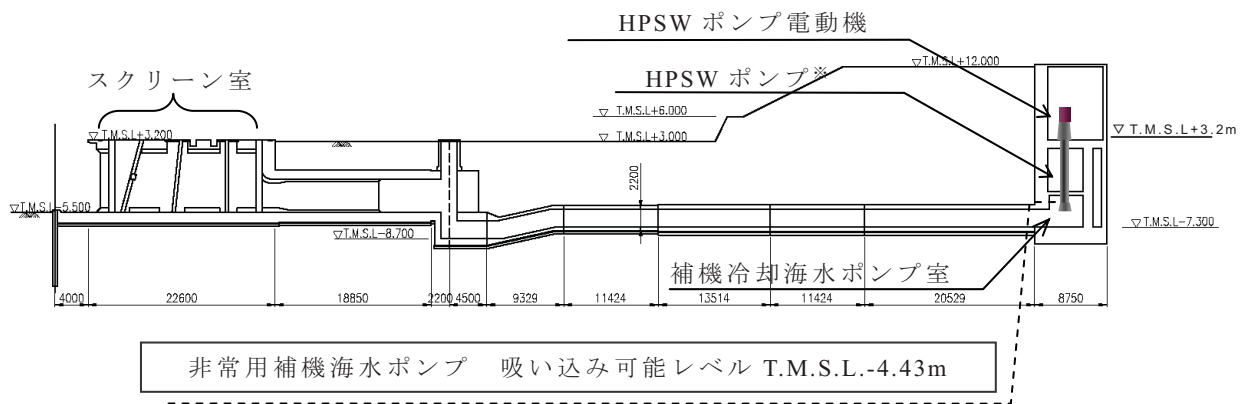
$$A_p \frac{dH_p}{dt} = Q_s$$

ここに,  $A_p$  : 水槽の平面積 (水位の関数となる),  $H_p$  : 水槽水位  
 $Q_s$  : 水槽へ流入する流量の総和,  $t$  : 時間



取水施設平面図

Ⓐ - Ⓐ 断面

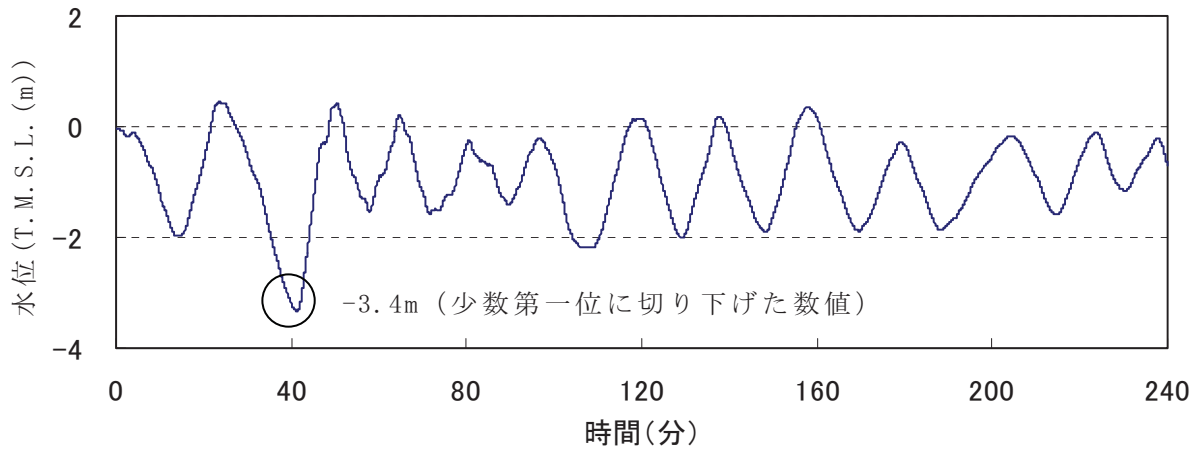


※非常用補機海水ポンプのうち，吸い込み可能レベルの最も厳しいHPSWを代表とした

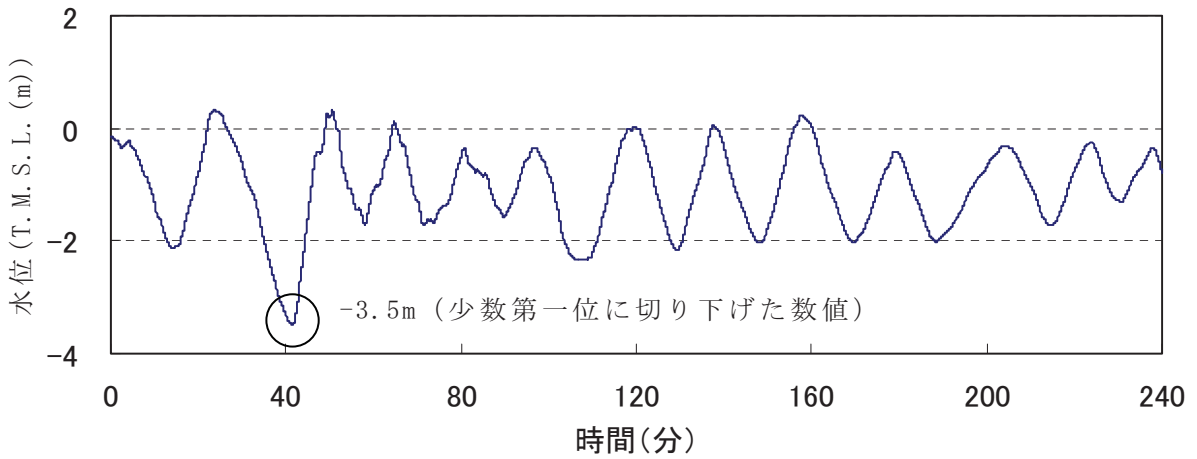
補機冷却海水取水施設断面図

第 11.4.2-1 図 5号機取水施設概要図





取水口前面の津波水位変動



補機冷却海水ポンプ室の津波水位変動

(単位：T. M. S. L. (m))

プラント	最低水位	非常用補機海水ポンプ 吸い込み可能レベル*)
5号機	-3.5	-4.43

\*) 地盤の隆起を考慮

第 11.4.2-2 図 取水施設の水利特性による検討結果

## 参考資料 11.1 日本海東縁部の地震活動領域のうち、新潟～山形沖の領域を詳細パラメータスタディの対象とすることの妥当性について

柏崎刈羽原子力発電所7号機 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書(改訂1)  
(原管発官20第441号 平成21年1月9日付け,原管発官21第40号 平成21年4月24日付けで「柏崎刈羽原子力発電所7号機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱いの不適合」に伴う再評価結果等を反映)に示すとおり。

## 参考資料 11.2 日本海東縁部の地震活動域における基準断層モデルについて

柏崎刈羽原子力発電所7号機 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書(改訂1)  
(原管発官20第441号 平成21年1月9日付け,原管発官21第40号 平成21年4月24日付けで「柏崎刈羽原子力発電所7号機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱いの不適合」に伴う再評価結果等を反映)に示すとおり。

### 参考資料 11.3 浮遊砂濃度の上限値 5%による砂移動解析

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書（改訂 1）（原管発官 20 第 441 号 平成 21 年 1 月 9 日付け, 原管発官 21 第 40 号 平成 21 年 4 月 24 日付けで「柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱いの不適合」に伴う再評価結果等を反映）に示すとおり。

### 参考資料 11.4 強震動モデルによる津波水位評価

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書（改訂 1）（原管発官 20 第 441 号 平成 21 年 1 月 9 日付け, 原管発官 21 第 40 号 平成 21 年 4 月 24 日付けで「柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱いの不適合」に伴う再評価結果等を反映）に示すとおり。

### 参考資料 11.5 新潟県中越沖地震津波の再現計算による解析コード及び解析モデルの妥当性検証

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書（改訂 1）（原管発官 20 第 441 号 平成 21 年 1 月 9 日付け, 原管発官 21 第 40 号 平成 21 年 4 月 24 日付けで「柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱いの不適合」に伴う再評価結果等を反映）に示すとおり。

## 参考資料 11.6 砂移動評価における解析時間に関する検討

柏崎刈羽原子力発電所 6 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書（改訂版）（原管発官 2 1 第 1 0 5 号 平成 21 年 6 月 16 日付け）に示すとおり。

1 2 . 地震随伴事象に対する考慮  
(活断層の変位に伴う建屋基礎地盤の変形評価)

## 【目 次】

12. 地震随伴事象に対する考慮（活断層の変位に伴う建屋基礎地盤の変形評価） .....	12-1
12.1. 検討目的 .....	12-1
12.2. 評価方針 .....	12-1
12.3. 評価方法 .....	12-2
12.3.1. くいちがいの弾性論に基づく解析値と実測値の比較 .....	12-2
12.3.2. 局所的な地盤変動量のばらつきの評価 .....	12-2
12.3.3. 地震に伴う地盤変動量と建屋傾斜の検討方法 .....	12-3
12.3.4. 検討対象モデル .....	12-3
12.4. 評価結果 .....	12-3
12.5. 参考文献 .....	12-4

## 12. 地震随件事象の考慮（活断層の変位に伴う建屋基礎地盤の変形評価）

### 12.1. 検討目的

新潟県中越沖地震では地震に伴う地盤変動が生じ、柏崎刈羽原子力発電所敷地内においても最大 10cm 程度の隆起が認められた。

この地盤変動に伴い、機器・配管系の健全性に影響を与えるものではなかったものの、原子炉建屋等重要施設に最大 1/4,000 程度の傾きが生じた。

そこで、今後さらなる地震が生じた場合の地盤変動による建屋傾斜を評価し、施設の安全機能が損なわれることがないことを確認する。

なお、新潟県中越沖地震で生じた地盤変動および原子炉建屋等重要施設の傾斜については、「柏崎刈羽原子力発電所敷地及び敷地周辺の地質・地質構造に係わる報告書、東京電力株式会社、平成 20 年 10 月 22 日」に詳述している。

### 12.2. 評価方針

耐震設計上考慮する活断層について、くいちがいの弾性論<sup>(1)</sup>に基づく解析によって地盤の変形を算定する。その際、新潟県中越沖地震で原子炉建屋等重要施設の水準変動が測量されていることから、ここで得られた結果をくいちがいの弾性論の解析結果に反映する。

最終的に原子炉建屋の傾斜量を評価し、設備の健全性との関係を検討する。

## 12.3. 評価方法

### 12.3.1. くいちがいの弾性論に基づく解析値と実測値の比較

中越沖地震で生じた建屋位置の地盤変動について、新潟県中越沖地震国土地理院モデル<sup>(2)</sup>に基づいた解析値と水準測量による実測値を比較した。解析結果および建屋の測点位置を第 12.3.1-1 図に、また、解析値と実測値の関係を第 12.3.1-2 図に示す。

解析値と実測値の関係は概ね  $45^\circ$  線を中心にばらついており、全体的な傾斜の傾向は整合している。

一方、実測値は解析値に比べ 60mm 程度、全体的に大きい傾向がある。これは、当該モデルが広域の地殻変動データ（GPS、干渉 SAR、水準測量）をもとにした逆解析により断層面上のすべり分布を推定したものであり、敷地の地盤変動の再現を目的としたものではないこと、モデルのスケールに比べて敷地のスケールが小さいこと等の影響が考えられる（第 12.3.1-3 図）。建屋の傾斜は建屋端部の鉛直変動量の差分で評価されることから、この影響は特に問題にならないと考えられる。

### 12.3.2. 局所的な地盤変動量のばらつきの評価

局所的な地盤変動量のばらつきを評価するため、解析値と実測値の平均的な変動量の差（第 12.3.1-2 図における回帰直線の y 切片）を考慮して、これをあらかじめ実測値から差し引き、この値と解析値の差分（以下、「回帰直線からの差」という。）を整理した結果を第 12.3.2-1 図に示す。回帰直線からの差は概ね正規分布となり、標準偏差は 8.8mm 程度である。



### 12.3.3. 地震に伴う地盤変動量と建屋傾斜の検討方法

地震に伴う地盤変動量および建屋傾斜は次の方法で検討することとする。

- ① 各震源断層のモデルに応じたくいちがいの弾性論に基づく解析により建屋四隅の鉛直変動量を計算
- ② 中越沖地震のデータに基づいた地盤変動のばらつき（標準偏差  $\sigma$  : 8.8mm）を考慮し、各々の辺の最大傾斜を計算
- ③ 現状の建屋の傾斜（実測値）を各々の辺に加算

### 12.3.4. 検討対象モデル

本検討を行うにあたっては、基準地震動策定の際に用いた断層モデル、地質調査結果及び地盤変動を評価する点を踏まえて、断層上端を地表付近に設定した、すべり量を均一とした断層モデルを用いる。なお、新潟県中越沖地震を対象とした国土地理院モデルを拡張（断層長さ比例:36/27倍）したものについても検討した。検討条件を第 12.3.4-1 表に示す。

また、断層がすべて破壊しない場合の方が敷地の傾斜が大きくなることも考えられることから、断層の長さまたは幅を変化させた場合の影響についても検討した。

## 12.4. 評価結果

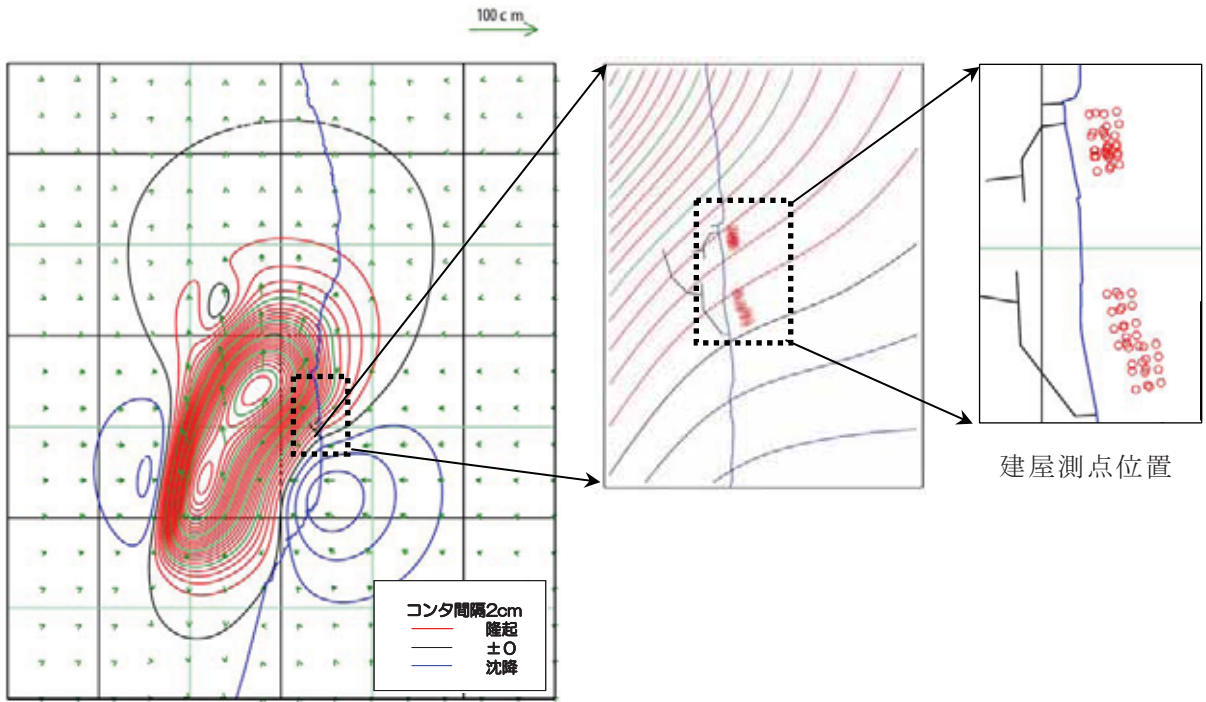
くいちがいの弾性論による解析結果を第 12.4-1 図に、断層の長さまたは幅を変化させた場合の影響を第 12.4-2 図に示す。また、中越沖地震のデータに基づいた地盤変動のばらつきを考慮した建屋傾斜（方向性を考

慮して最大となるもの) を第 12.4-1 表に示す。

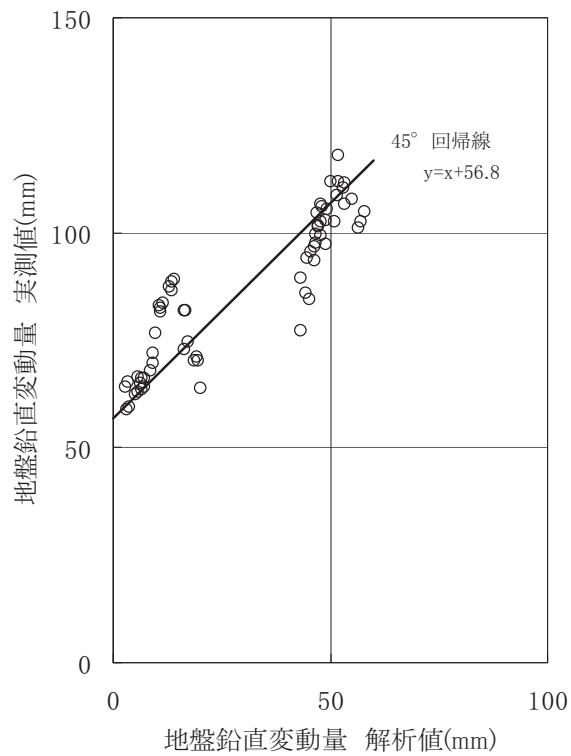
建屋の傾斜は最大でも 1/1,600 程度と 1/1,000 以下であり建屋および機器・配管系の機能を損なうものではない(運営管理・設備健全性評価WG 設備健全性評価SWG (第6回), H20.3.7)。

## 12.5. 参考文献

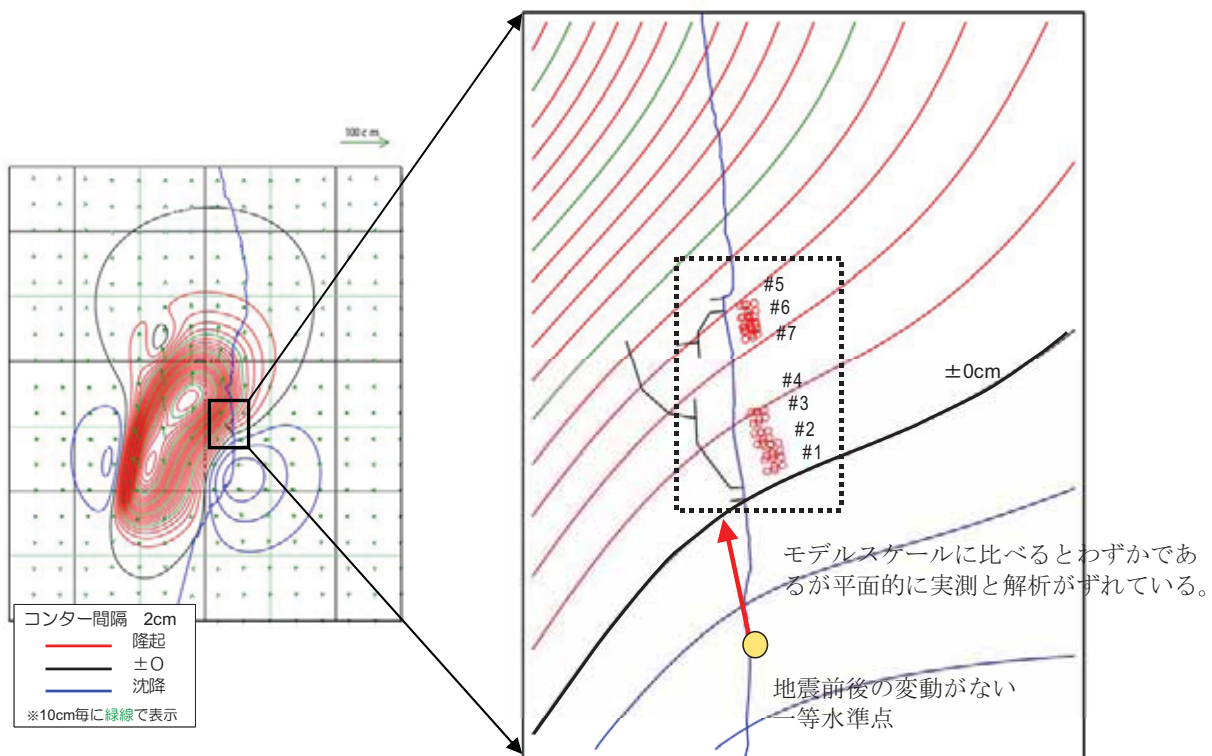
- (1) Rongjiang Wang, Francisco Lorenzo Martin, Frank Roth(2003) :  
Computation of deformation induced by earthquakes in a multi-layered elastic crust—FORTRAN programs, Computers & Geosciences 29
- (2)国土地理院(2008) : 「平成 19 年(2007 年)新潟県中越沖地震」の震源断層モデルを更新 (主に断層面に関する評価)  
<http://www.gsi.go.jp/cais/topics-topic080111-index.html>



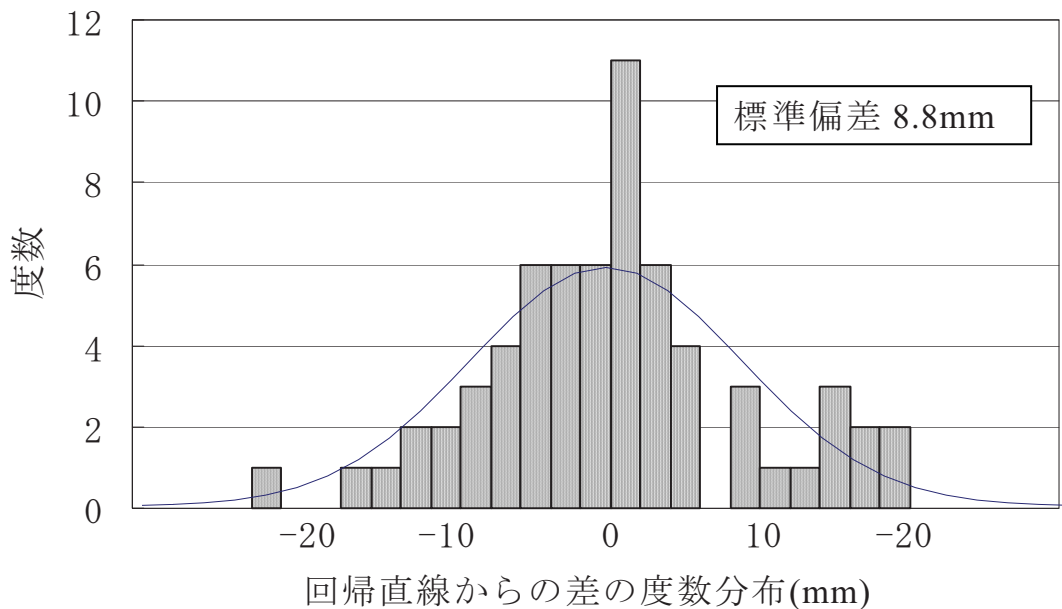
第 12.3.1-1 図 くいちがいの弾性論（新潟県中越沖地震国土地理院モデル）に基づく解析結果と水準測量による建屋測点位置



第 12.3.1-2 図 くいちがいの弾性論による解析値と水準測量による実測値の関係



第 12.3.1-3 図 くいちがいの弾性論による解析値と水準測量による実測値の平面的なずれ



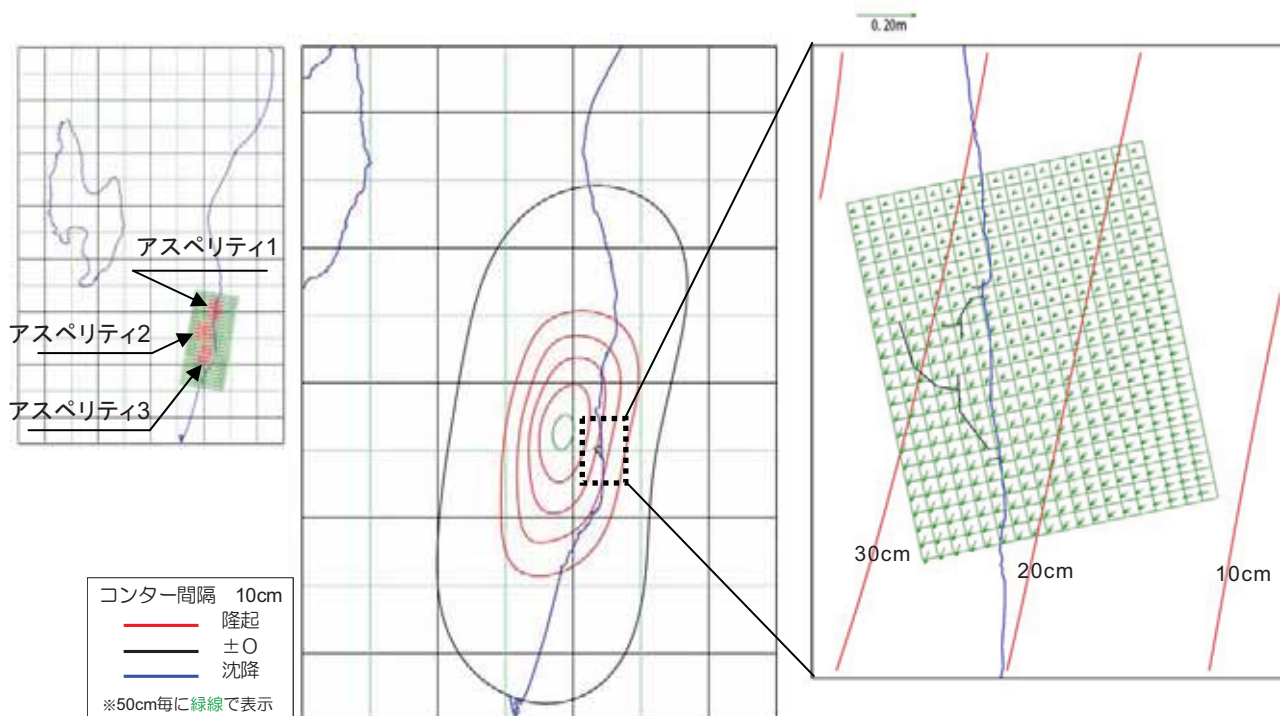
第 12.3.2-1 図 回帰直線からの差の度数分布

第 12.3.4-1 表 くいちがいの弾性論に基づく解析の検討条件

断層モデル		解析条件						地殻変動評価のための補正 <sup>*2</sup>	
		長さ (km)	傾斜角 (°)	上端深さ (km)	下端深さ (km)	幅 (km)	すべり量 (m)	地震モーメント (N・m)	すべり量 (m)
基準地震動策定に用いた断層モデル	F-B断層	36	35	6	17	20.0	アスペリティ1: 2.49 アスペリティ2: 2.30 アスペリティ3: 1.95 背景領域: 0.38	-	-
	長岡平野西縁断層帯 (傾斜角50度)	91	50	6	17	15.0	アスペリティ: 4.87 背景領域: 1.52	-	-
	長岡平野西縁断層帯 (傾斜角35度)	91	35	6	17	20.0	アスペリティ: 6.49 背景領域: 2.17	-	-
断層上端を地表付近に設定した断層モデル <sup>*1</sup>	F-B断層	36	35	0.1	17	29.5	1.0	$1.7 \times 10^{19}$	0.51
	長岡平野西縁断層帯 (傾斜角50度)	91	50	0.1	17	22.1	1.0	$1.0 \times 10^{20}$	1.6
	長岡平野西縁断層帯 (傾斜角35度)	91	35	0.1	17	29.5	1.0	$1.8 \times 10^{20}$	2.2
新潟県中越沖地震 国土地理院拡張モデル		国土地理院モデルの1.33倍	国土地理院モデルと同様				国土地理院モデルの1.33倍	-	-

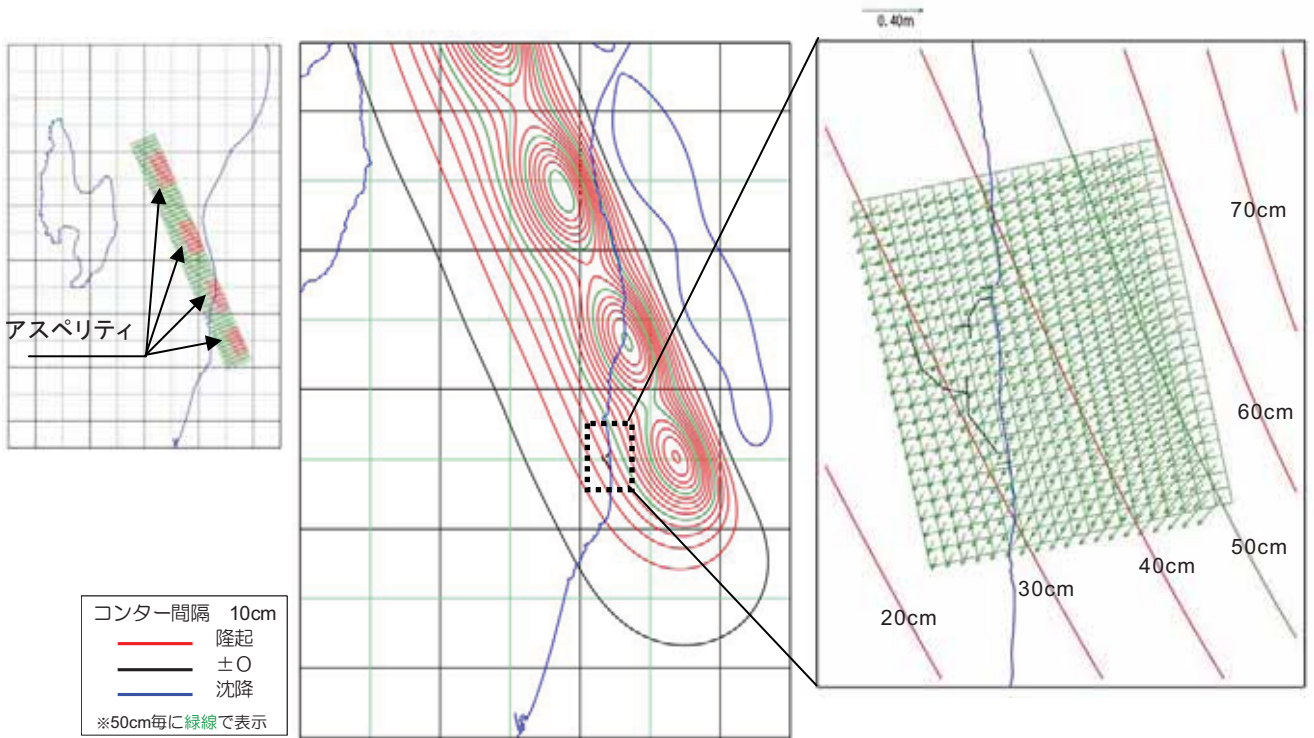
\*1: 基準地震動策定に用いた断層モデルを対象とし、地質調査結果等を踏まえて、上端深さ及びすべり量を設定したモデル。

\*2: 「断層上端を地表付近に設定したモデル」による地殻変動量の評価においては、「基準地震動策定に用いた断層モデル」の地震モーメント(Mo)と同じになるように算定したすべり量を用いた結果を使用。

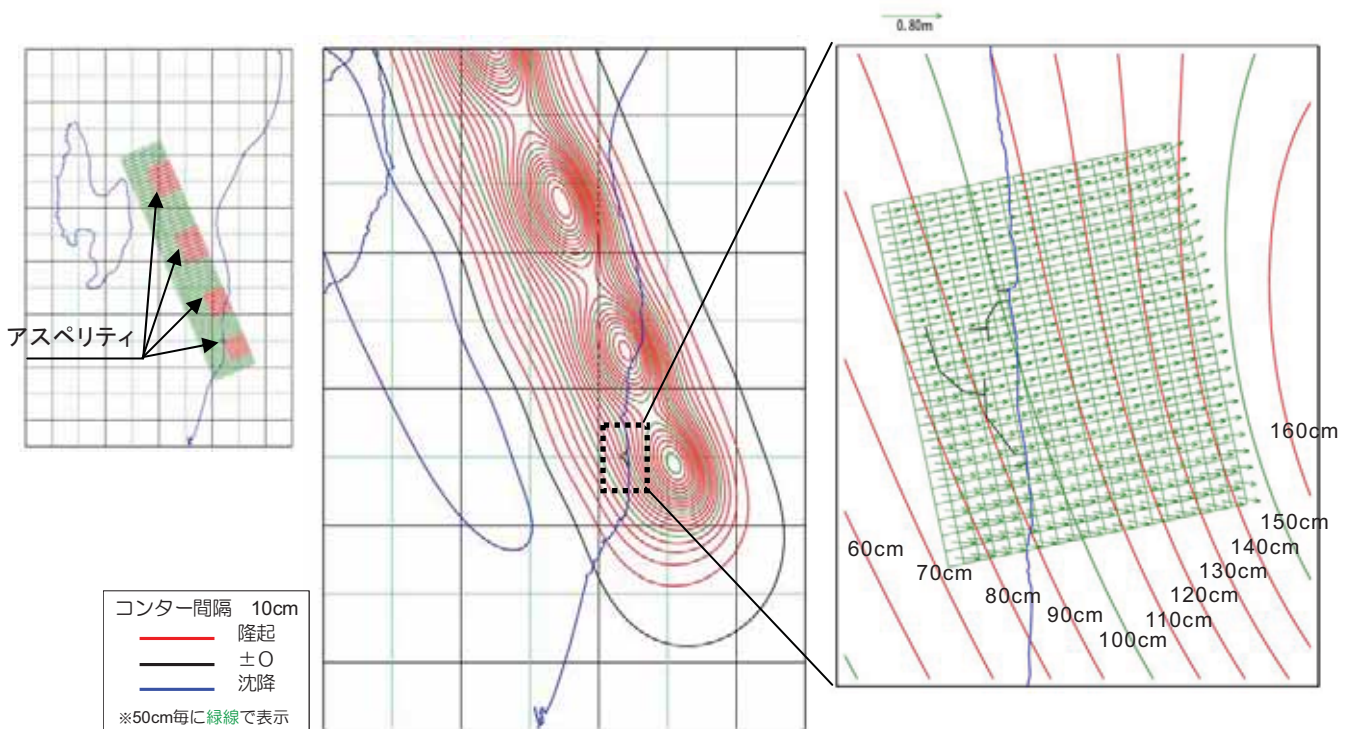


第 12.4-1 図(1) くいちがいの弾性論による敷地周辺の地殻変動量 (F-B 断層, 基準地震動策定に用いた断層モデル)

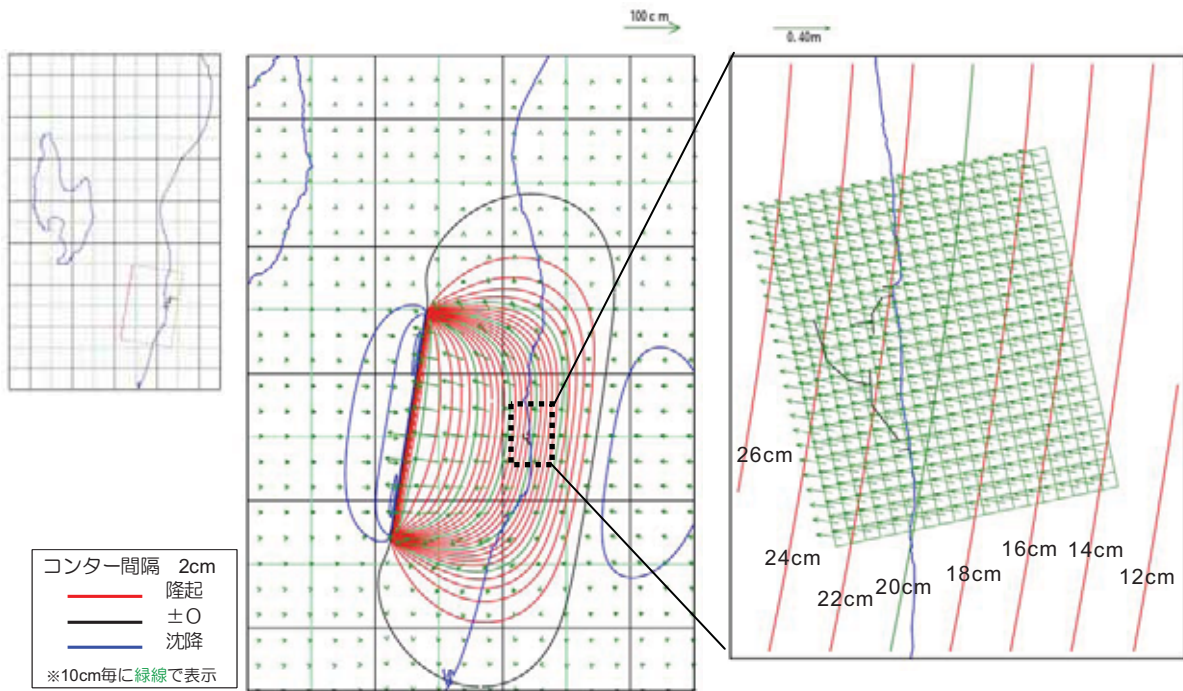




第 12.4-1 図(2) くいちがいの弾性論による敷地周辺の地殻変動量  
 (長岡平野西縁断層帯：傾斜 50 度，基準地震動策定に用いた断層モデル)

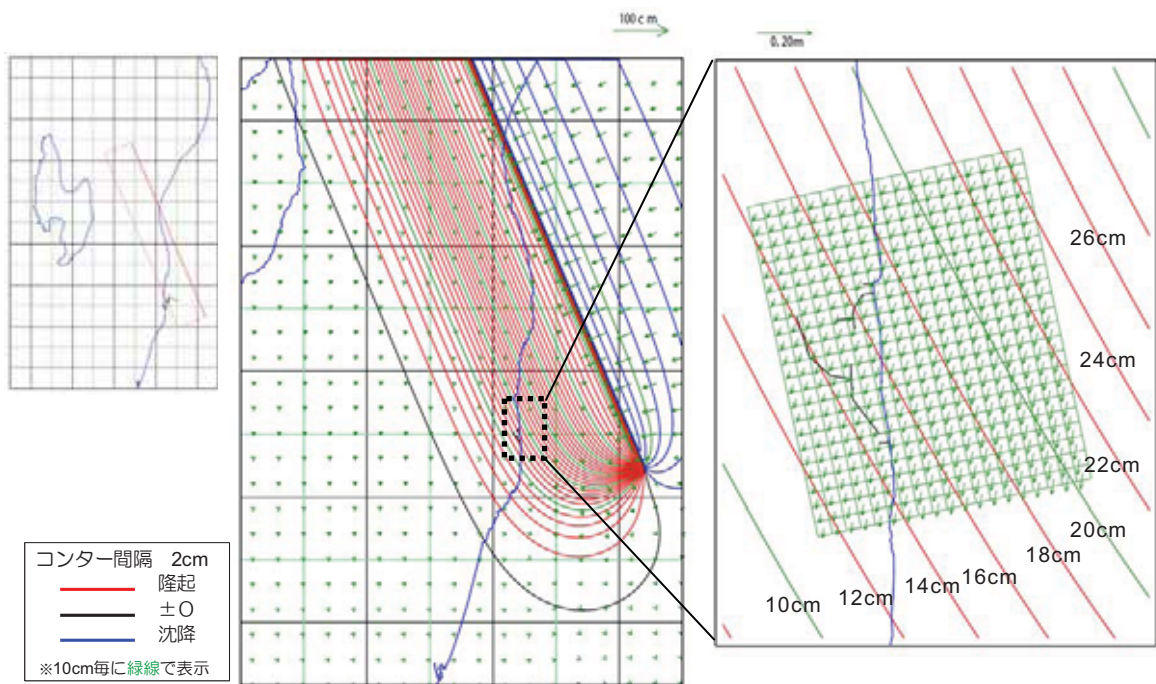


第 12.4-1 図(3) くいちがいの弾性論による敷地周辺の地殻変動量  
 (長岡平野西縁断層帯：傾斜 35 度，基準地震動策定に用いた断層モデル)



注)建屋傾斜算定に用いる地盤変動量の評価においては、強震動モデルの地震モーメント( $M_0$ )と同じになるようすべり量を 0.51 倍している。

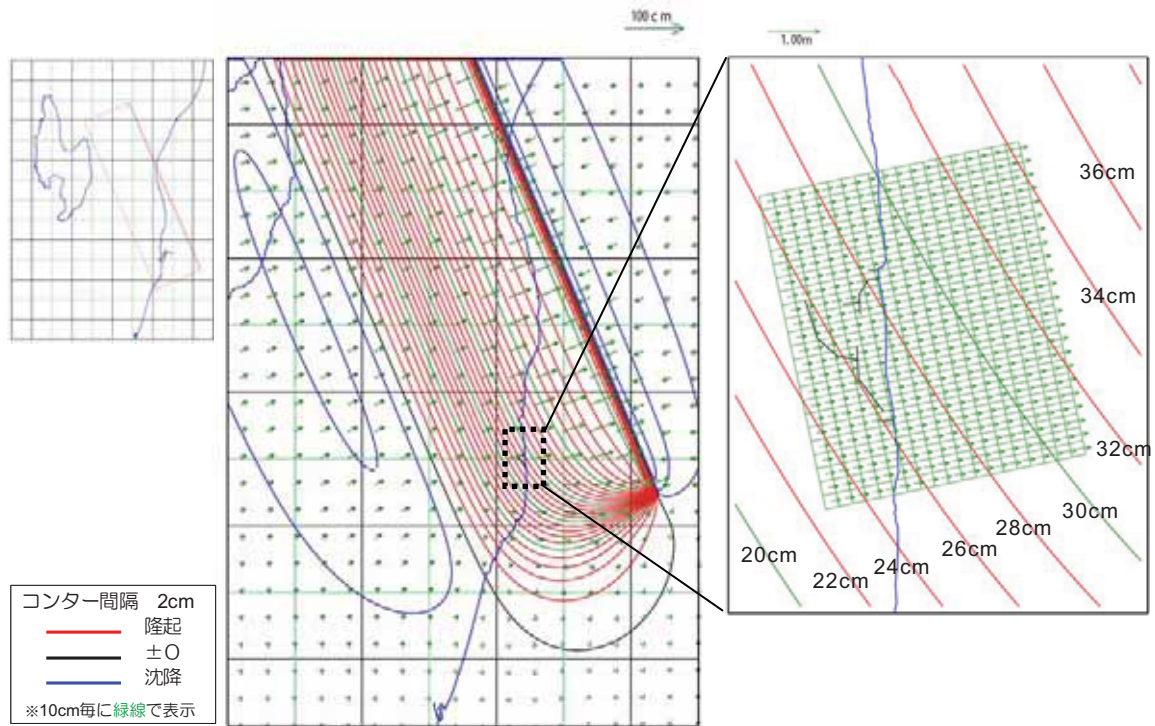
第 12.4-1 図(4) くいちがいの弾性論による敷地周辺の地殻変動量 (F-B 断層, 断層上端を地表付近に設定した断層モデル)



注)建屋傾斜算定に用いる地盤変動量の評価においては、強震動モデルの地震モーメント( $M_0$ )と同じになるようすべり量を 1.6 倍している。

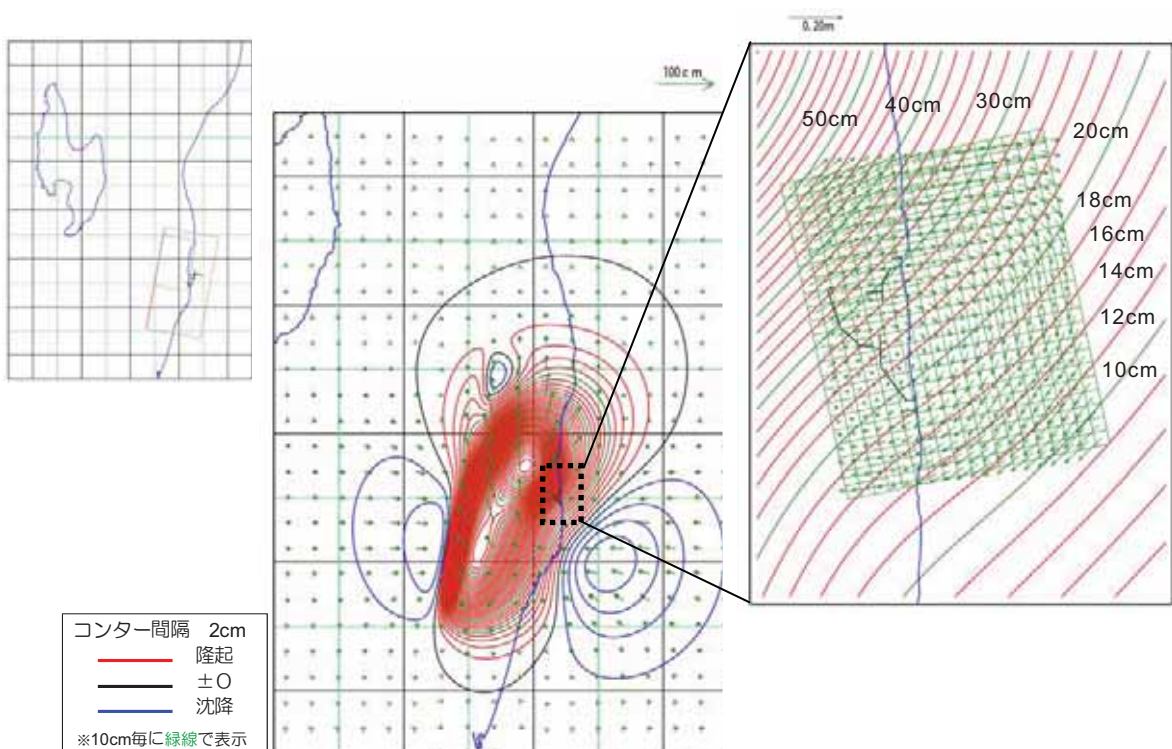
第 12.4-1 図(5) くいちがいの弾性論による敷地周辺の地殻変動量 (長岡平野西縁断層帯: 傾斜 50 度, 断層上端を地表付近に設定した断層モデル)





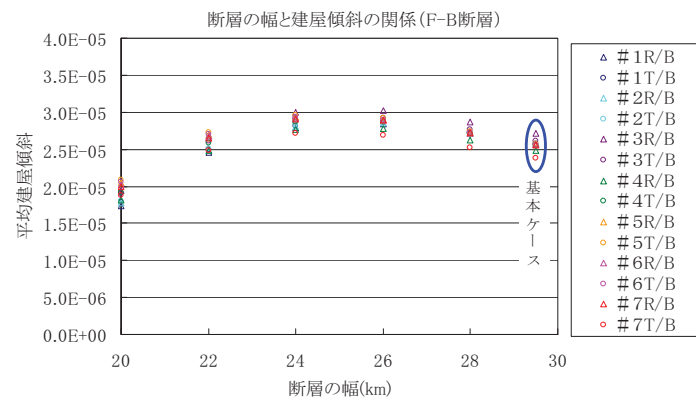
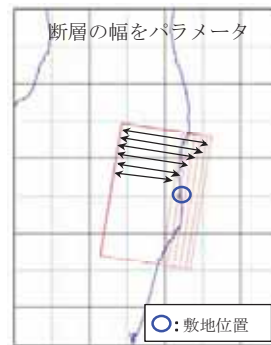
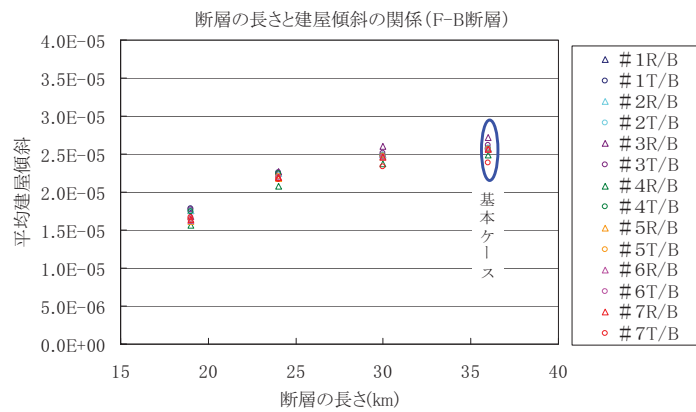
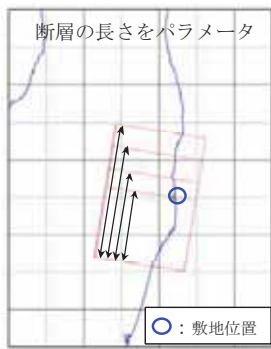
注)建屋傾斜算定に用いる地盤変動量の評価においては、強震動モデルの地震モーメント ( $M_0$ )と同じになるようすべり量を 2.2 倍している。

第 12.4-1 図(6) くいちがいの弾性論による敷地周辺の地殻変動量  
 (長岡平野西縁断層帯：傾斜 35 度，断層上端を地表付近に設定した断層モデル)

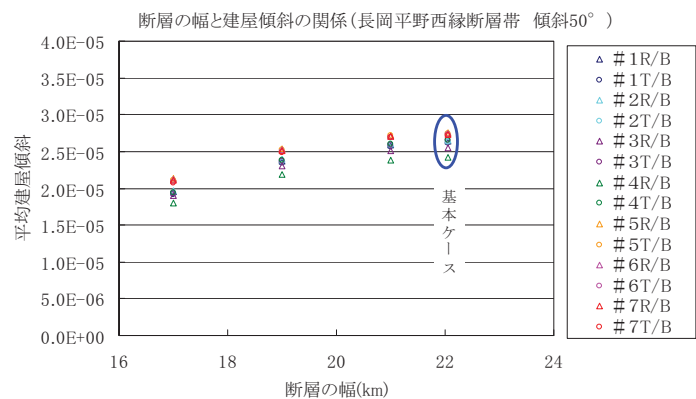
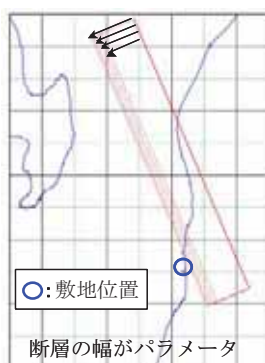
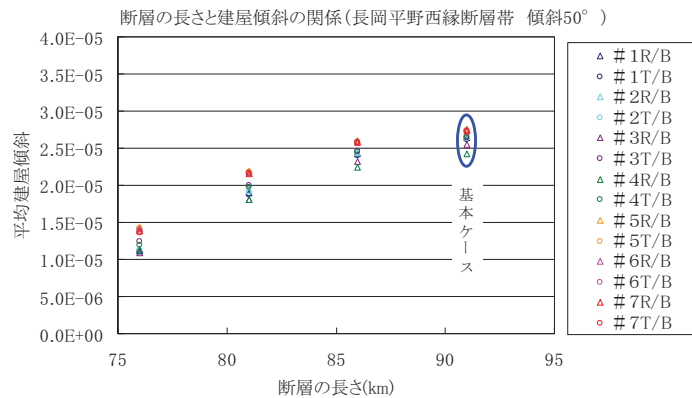
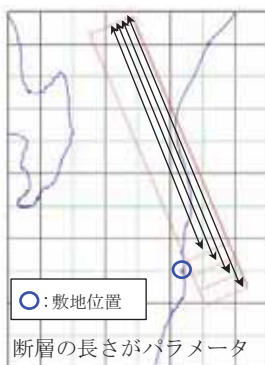


第 12.4-1 図(7) くいちがいの弾性論による敷地周辺の地殻変動量  
 (新潟県中越沖地震国土地理院拡張モデル)

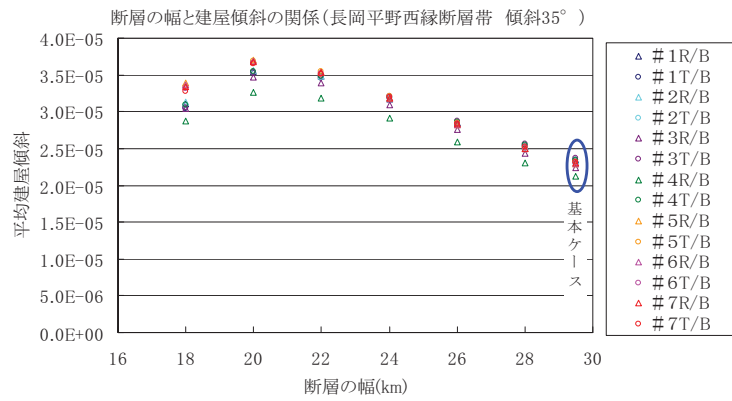
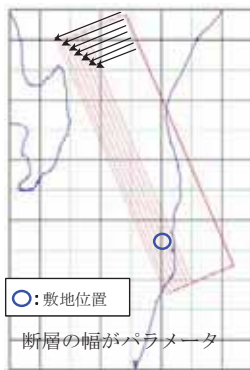
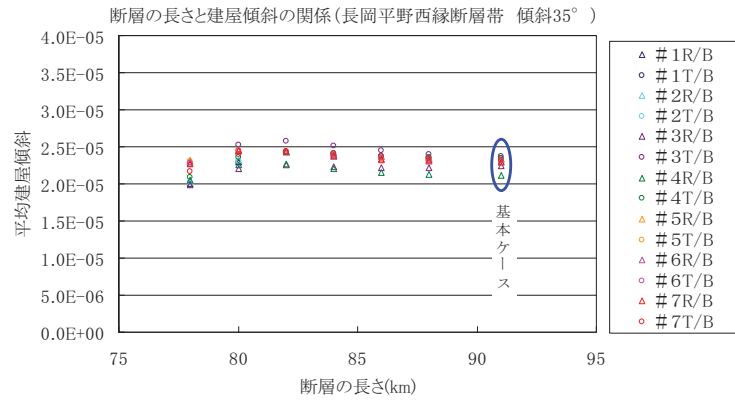
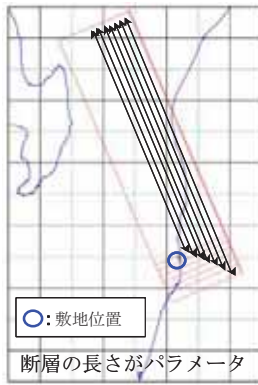




第 12.4-2 図(1) 断層長さまたは幅の敷地内傾斜への影響 (F-B 断層)



第 12.4-2 図(2) 断層長さまたは幅の敷地内傾斜への影響  
(長岡平野西縁断層帯 傾斜 50°)



第 12.4-2 図(3) 断層長さまたは幅の敷地内傾斜への影響  
(長岡平野西縁断層帯 傾斜 35°)

第 12.4-1 表 建屋傾斜検討結果

対象建屋	基準地震動策定に用いた断層モデル			断層上端を地表付近に設定した断層モデル			断層長さ及び幅の影響を考慮した断層モデル*		新潟県中越沖地震国土地理院拡張モデル
	F-B断層	長岡(傾斜50度)	長岡(傾斜35度)	F-B断層	長岡(傾斜50度)	長岡(傾斜35度)	F-B断層	長岡(傾斜35度)	
1号機	原子炉建屋	1/3600	1/3400	1/2500	1/3700	1/3600	1/3800	1/3400	1/3200
	タービン建屋	1/2900	1/2700	1/2100	1/3000	1/2900	1/3200	1/2700	1/3100
2号機	原子炉建屋	1/2900	1/2700	1/2100	1/3000	1/2900	1/3300	1/2700	1/2900
	タービン建屋	1/2800	1/2600	1/2100	1/2800	1/2800	1/3100	1/2600	1/2900
3号機	原子炉建屋	1/2900	1/2700	1/2100	1/2900	1/2900	1/3200	1/2700	1/3000
	タービン建屋	1/2600	1/2400	1/2000	1/2700	1/2600	1/2900	1/2400	1/2700
4号機	原子炉建屋	1/3000	1/2900	1/2300	1/3100	1/3100	1/3300	1/2800	1/3200
	タービン建屋	1/2500	1/2400	1/2000	1/2600	1/2600	1/2800	1/2400	1/2700
5号機	原子炉建屋	1/2600	1/2400	1/2000	1/2600	1/2600	1/2900	1/2400	1/2600
	タービン建屋	1/2000	1/1900	1/1600	1/2000	1/2000	1/2200	1/1900	1/2000
6号機	原子炉建屋	1/1900	1/1800	1/1500	1/1900	1/1900	1/2000	1/1800	1/1900
	タービン建屋	1/3100	1/2900	1/2300	1/3200	1/3100	1/3500	1/2800	1/3100
6, 7号機コントロール建屋	1/1400	1/1500	1/1500	1/1500	1/1500	1/1500	1/1500	1/1500	1/1400
7号機	原子炉建屋	1/2000	1/1900	1/1600	1/2000	1/2000	1/2100	1/1900	1/2000
	タービン建屋	1/2600	1/2400	1/2000	1/2600	1/2600	1/2900	1/2400	1/2700

：各建屋における最大傾斜

\*) 「断層上端を地表付近に設定した断層モデル」を対象に、敷地内傾斜が最大となる断層長さ及び幅を変更した断層モデル

### 13. まとめ

### 13. まとめ

各種調査・評価結果を踏まえ、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」および「震源を特定せず策定する地震動」を考慮して、基準地震動  $S_s$  を策定した。

この基準地震動  $S_s$  を用いて評価した結果、これまでに評価が完了した柏崎刈羽原子力発電所5号機の耐震Sクラス施設の耐震安全性が確保されていること、および原子炉建屋等主要建屋基礎地盤が十分な支持性能を持つことを確認した。

また、地震随件事象についても、原子炉施設の安全性に問題としないことを確認した。

以 上