廃 炉 発 官 Ｒ ７ 第 ８８ 号
令 和 ７ 年 ９ 月 １ 日

原 子 力 規 制 委 員 会　殿

東京都千代田区内幸町１丁目１番３号
東京電力ホールディングス株式会社
代表執行役社長　　小早川　智明

福島第一原子力発電所　特定原子力施設に係る実施計画　変更認可申請書の
一部補正について

令和６年３月２６日付け廃炉発官Ｒ５第１８５号をもって申請しました福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係る実施計画 変更認可申請書を別紙の通り一部補正をいたします。

以　上

「福島第一原子力発電所　特定原子力施設に係る実施計画」及び「福島第一原子力発電所　特定原子力施設に係る実施計画　別冊集」について，下記の箇所を別添の通りとする。

補正箇所，補正理由及びその内容は以下の通り。

○福島第一原子力発電所　特定原子力施設に係る実施計画

１号機燃料取り出し関連設備の設置に関して，審査の進捗を踏まえ，下記の通り補正を行う。

併せて，原規規発第2405173号，原規規発第2407194号，原規規発第2409172号，原規規発第2508201号にて認可されて実施計画の反映を行う。

Ⅱ　特定原子力施設の設計，設備

2.11 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備

本文

・１号燃料取扱設備及び燃料取り出し付帯設備の設置に伴う記載の追加
・記載の適正化
・原規規発第2405173号にて認可された実施計画の反映

添付資料－１－１

・審査状況を踏まえ，記載の追加

添付資料－１－２

・１号機燃料取り出し付帯設備の設置に伴う記載の追加
・記載の適正化

添付資料－３－１

・審査状況を踏まえ，記載の追加及び変更
・原規規発第2407194号にて認可された実施計画の反映

添付資料－４－１

・審査状況を踏まえ，記載の追加及び変更

添付資料－４－２

・審査状況を踏まえ，記載の追加及び変更
・記載の適正化
・原規規発第2409172号にて認可された実施計画の反映

添付資料－５

・変更なし

Ⅲ　特定原子力施設の保安

第１編　（１号炉，２号炉，３号炉及び４号炉に係る保安措置）

第７章　放射線管理

第６０条

・１号炉原子炉建屋５階エリアモニタ設置に伴う変更

第６１条

・１号炉原子炉建屋５階エリアモニタ設置に伴う変更

附則

・１号炉原子炉建屋５階エリアモニタ設置に伴う変更

・原規規発番2508201号にて認可された実施計画の反映

○福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係る実施計画 別冊集

目次

・「Ⅱ　２．１１　使用済燃料プールからの燃料取り出し設備」へ移管に伴う記載の削除

別冊３０　１号機使用済燃料プールからの燃料取り出し設備に係る補足説明

Ⅰ　１号機燃料取扱設備の構造強度及び耐震性について

・「Ⅱ　２．１１　使用済燃料プールからの燃料取り出し設備」へ移管に伴う記載の削除

以　上

别添

2.11 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備

2.11.1 基本設計

2.11.1.1 設置の目的

使用済燃料プールからの燃料取り出しは，燃料取り出し用カバー（構台及び換気設備含む）の設置による作業環境の整備，燃料等を取り扱う燃料取扱設備の設置を行い，燃料を使用済燃料プール内の使用済燃料貯蔵ラックから取り出し原子炉建屋から搬出することを目的とする。

使用済燃料プールからの燃料取り出し設備（以下，「燃料取り出し設備」という。）は，燃料取扱設備，構内用輸送容器，燃料取り出し用カバーで構成される。燃料取扱設備は，燃料取扱機，クレーンで構成され，燃料取り出し用カバーにより支持される。なお，燃料の原子炉建屋外への搬出には，構内用輸送容器を使用する。

また，クレーンはオペレーティングフロア上での資機材運搬や揚重等にも使用する。

2.11.1.2 要求される機能

(1) 燃料取扱設備

燃料取扱設備は，二重のワイヤなどにより落下防止を図る他，駆動源喪失時にも燃料集合体を落下させない設計とする。

また，遮蔽，臨界防止を考慮した設計とする。

(2) 構内用輸送容器

構内用輸送容器は，除熱，密封，遮蔽，臨界防止を考慮した設計とする。また，破損燃料集合体を収納して輸送する容器については，燃料集合体の破損形態に応じて輸送中に放射性物質の飛散・拡散を防止できる設計とする。

(3) 燃料取り出し用カバー

燃料取り出し用カバーは，燃料取扱設備の支持，作業環境の整備及び放射性物質の飛散・拡散防止ができる設計とする。

2.11.1.3 設計方針

燃料取り出し設備は，「特定原子力施設への指定に際し東京電力株式会社福島第一原子力発電所に対して求める措置を講ずべき事項について（平成 24 年 11 月 7 日原子力規制委員会決定。以下，「措置を講ずべき事項」という。）」等の規制基準を満たす設計とする。

その上で，燃料取り出し設備の設計において特に留意すべき点は，以下のとおり。

(1) 燃料取扱設備

a. 落下防止

(a) 使用済燃料貯蔵ラック上には，重量物を吊ったクレーンを通過できないようにインターロックを設け，貯蔵燃料への重量物の落下を防止できる設計とする。

(b) 燃料取扱機の燃料把握機は，二重のワイヤや種々のインターロックを設け，また，

クレーンの主要要素は，二重化を施すことなどにより，燃料移送操作中の燃料集合体等の落下を防止できる設計とする。

b. 遮蔽

燃料取扱設備は，使用済燃料プールから構内用輸送容器への燃料集合体の収容操作を，燃料の遮蔽に必要な水深を確保した状態で，水中で行うことができる設計とするか，放射線防護のための適切な遮蔽を設けて行う設計とする。

c. 臨界防止

燃料取扱設備は，燃料集合体を一体ずつ取り扱う構造とすることにより，燃料の臨界を防止する設計とする。

d. 放射線モニタリング

燃料取扱エリアの放射線モニタリングのため，放射線モニタを設け放射線レベルを測定し，これを免震重要棟集中監視室に表示すると共に，過度の放射線レベルを検出した場合には警報を発し，放射線業務従事者に伝える設計とする。

e. 単一故障

(a) 燃料取扱機の燃料把握機は，二重のワイヤや燃料集合体を確実につかんでいない場合には吊上げができない等のインターロックを設け，圧縮空気等の駆動源が喪失した場合にも，フックから燃料集合体が外れない設計とする。

(b) 燃料取扱機の安全運転に係わるインターロックは電源喪失，ケーブル断線で安全側になる設計とする。

(c) クレーンの主要要素は，二重化を施すことなどにより，移送操作中の構内用輸送容器等の落下を防止できる設計とする。

f. 試験検査

燃料取扱設備のうち安全機能を有する機器は，適切な定期的試験及び検査を行うことができる設計とする。

また，破損燃料を取り扱う場合，燃料取扱設備は，破損形態に応じた適切な取扱手法により，移送中の放射性物質の飛散・拡散を防止できる設計とする。

(2) 構内用輸送容器

a. 除熱

使用済燃料の健全性及び構内用輸送容器構成部材の健全性が維持できるように，使用済燃料の崩壊熱を適切に除去できる設計とする。

b. 密封

周辺公衆及び放射線業務従事者に対し，放射線被ばく上の影響を及ぼすことのないよう，使用済燃料が内包する放射性物質を適切に閉じ込める設計とする。

c. 遮蔽

内部に燃料を入れた場合に放射線障害を防止するため，使用済燃料の放射線を適切に遮蔽する設計とする。

d. 臨界防止

想定されるいかなる場合にも，燃料が臨界に達することを防止できる設計とする。

また，破損燃料集合体を収納して輸送する容器は燃料集合体の破損形態に応じて輸送中に放射性物質の飛散・拡散を防止できる設計とする。

(3) 燃料取り出し用カバー

a. 燃料取り出し作業環境の整備

燃料取り出し用カバーは，燃料取り出し作業に支障が生じることのないよう，風雨を遮る設計とする。

また，必要に応じ燃料取り出し用カバー内にローカル空調機を設置し，カバー内の作業環境の改善を図るものとする。

b. 放射性物質の飛散・拡散防止

燃料取り出し用カバーは，原子炉建屋から大気への開放部分を低減するとともに，換気設備を設け，排気はフィルタユニットを通じて大気へ放出することにより，カバー内の放射性物質の大気への放出を抑制し，敷地周辺の線量への影響を達成できる限り低減できる設計とする。

(4) 大型カバー（燃料取り出し用カバー）

大型カバーは，その必要な安全機能について，十分に高い信頼性を確保し，かつ，維持し得る設計とする。

大型カバーは，その健全性及び能力を確認するため，適切な方法により，その必要な安全機能を検査ができる設計とする。

2.11.1.4 供用期間中に確認する項目

(1) 燃料取扱設備

燃料取扱設備は，動力源がなくなった場合においても吊り荷を保持し続けること。

(2) 構内用輸送容器

構内用輸送容器は，除熱，密封，遮蔽，臨界防止の安全機能が維持されていること。

(3) 燃料取り出し用カバー

対象外とする。

2.11.1.5　主要な機器

(1) 燃料取扱設備

燃料取扱設備は，燃料取扱機，クレーンで構成する。なお，２号機の燃料取扱設備には，これらに加えてジブクレーンを備える。

a. 燃料取扱機

燃料取扱機は，使用済燃料プール及びキャスクピット上を水平に移動するブリッジ並びにその上を移動するトロリで構成する。なお，２号機の燃料取扱機は，低床ジブクレーンとし，原子炉建屋オペレーティングフロア，燃料取り出し用カバー間を水平に移動する走行台車とその上に設置する旋回体で構成する。

b. クレーン

クレーンは，オペレーティングフロア上部を水平に移動するガーダ及びその上を移動するトロリで構成する。なお，２号機のクレーンは，低床ジブクレーンとし，原子炉建屋オペレーティングフロア，燃料取り出し用カバー間を水平に移動する走行台車とその上に設置する旋回体で構成する。

(2) 構内用輸送容器

構内用輸送容器は，容器本体，蓋，バスケット等で構成する。

(3) 燃料取り出し用カバー

燃料取り出し用カバーは，２号機を除き使用済燃料プールを覆う構造としており，必要により，燃料取扱機支持用架構及びクレーン支持用架構を有する。

なお，２号機については，燃料取扱機支持用架構及びクレーン支持用架構を有する燃料取り出し用構台を新設し，既存の原子炉建屋に新たに設ける開口部から，燃料取扱設備を出し入れする構造とする。

また，燃料取り出し用カバーは換気設備及びフィルタユニットを有する。

なお，換気設備の運転状態やフィルタユニット出入口で監視する放射性物質濃度等の監視状態は現場制御盤及び免震重要棟集中監視室に表示され，異常時は警報を発するなどの管理を行う。

2.11.1.6　自然災害対策等

(1) 津波

燃料取扱設備は，東北地方太平洋沖地震津波相当の津波が到達しないと考えられる原子炉建屋オペレーティングフロア上（地上からの高さ約 30m）に設置する。

燃料取り出し用カバーは鉄骨構造と鋼製の外装材により構成されているが，閉空間になっておらず，津波襲来時には，水は燃料取り出し用カバーの裏側に回り込み，津波による影響を受けない。

(2) 豪雨，台風，竜巻，落雷

燃料取り出し用カバーは，建築基準法及び関係法令に基づいた風圧力に対し耐えら

れるよう設計する。

燃料取扱設備は，建築基準法及び関係法令に基づいた風圧力に対し耐えられるよう設計している燃料取り出し用カバー内に設置する。

燃料取出し用カバーは外装材で覆うことにより風雨を遮る設計とする。燃料取扱設備は，風雨を遮る設計である燃料取出し用カバー内に設置する。

燃料取扱設備および燃料取り出し用構台は建築基準法及び関連法令に従い必要に応じて避雷設備を設ける。

(3) 外部人為事象

外部人為事象に対する設計上の考慮については，Ⅱ.1.14　参照。

(4) 火災

燃料取り出し用カバー及び燃料取り出し用カバー内外の主要構成部材は不燃性のものを使用し，電源盤については不燃性又は難燃性，ケーブルについては難燃性のものを可能な限り使用し，火災が発生することを防止する。火災の発生が考えられる箇所について，火災の早期検知に努めるとともに，消火器を設置することで初期消火活動を可能にし，火災による影響を軽減する。

(5) 環境条件

燃料取扱設備については，燃料取り出し用カバーに換気設備を設け，排気はフィルタユニットを通じて大気へ放出することとしている。

燃料取り出し用カバーの外部にさらされている鉄骨部及び機器等は，劣化防止を目的に，塗装を施す。

(6) 被ばく低減対策

放射線業務従事者が立ち入る場所の外部放射線に係る線量率を把握し，作業時間等を管理することで，作業時の被ばく線量が法令に定められた線量限度を超えないようにする。

また，放射線業務従事者の被ばく線量低減策として，大組した構造物をクレーンにてオペレーティングフロアへ吊り込むことにより，オペレーティングフロア上での有人作業の削減を図る。

2.11.1.7　運用

(1) 燃料集合体の健全性確認

使用済燃料プールに貯蔵されている燃料集合体について，移送前に燃料集合体の機械的健全性を確認する。

(2) 破損燃料の取り扱い

燃料集合体の機械的健全性確認において，破損が確認された燃料集合体を移送する場合には，破損形態に応じた適切な取扱手法及び収納方法により，放射性物質の飛散・拡散を防止する。

2.11.1.8　構造強度及び耐震性

(1) 構造強度

a. 燃料取扱設備

燃料取扱設備は，設計，材料の選定，製作及び検査について，適切と認められる規格及び基準による。

燃料取扱設備は，地震荷重等の適切な組合せを考慮しても強度上耐え得る設計とする。

b. 構内用輸送容器

構内用輸送容器は取扱中における衝撃，熱等に耐え，かつ，容易に破損しない設計とする。

構内用輸送容器は，設計，材料の選定，製作及び検査について適切と認められる規格及び基準によるものとする。

c. 燃料取り出し用カバー

燃料取り出し用カバーは，設計，材料の選定，製作及び検査について，適切と認められる規格及び基準を原則とするが，特殊な環境下での設置となるため，必要に応じ解析や試験等を用いた評価により確認する。

燃料取り出し用カバーは，燃料取扱設備を支持するために必要な構造強度を有する設計とする。

(2) 耐震性

a. 燃料取扱設備

(a) 燃料取扱機

燃料取扱機は，2021 年 9 月 8 日及び 2022 年 11 月 16 日の原子力規制委員会で示された耐震設計の考え方を踏まえ，その安全機能の重要度，地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響（公衆への被ばく影響）や廃炉活動への影響等を考慮した上で，核燃料物質を非密封で扱う燃料加工施設や使用施設等における耐震クラス分類を参考にして適切な耐震設計上の区分を行うとともに，適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられる設計とする。

ただし，2021 年 9 月 8 日以前に認可された設備については，「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」を参考にして耐震クラスを分類している。

(b) クレーン

クレーンは，2021 年 9 月 8 日及び 2022 年 11 月 16 日の原子力規制委員会で示された耐震設計の考え方を踏まえ，その安全機能の重要度，地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響（公衆への被ばく影響）や廃炉活動への影響等を考慮した上で，核燃料物質を非密封で扱う燃料加工施設や使用施設等における耐震クラス分類を参考にして適切な耐震設計上の区分を行うとともに，適切と考

えられる設計用地震力に十分耐えられる設計とする。

ただし，2021 年 9 月 8 日以前に認可された設備については，「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」を参考にして耐震クラスを分類している。

b. 燃料取り出し用カバー

燃料取り出し用カバーは，2021 年 9 月 8 日及び 2022 年 11 月 16 日の原子力規制委員会で示された耐震設計の考え方を踏まえ，その安全機能の重要度，地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響（公衆への被ばく影響）や廃炉活動への影響等を考慮した上で，核燃料物質を非密封で扱う燃料加工施設や使用施設等における耐震クラス分類を参考にして適切な耐震設計上の区分を行うとともに，適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられる設計とする。

ただし，2021 年 9 月 8 日以前に認可された設備については，「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」を参考にして耐震クラスを分類している。

2.11.2　基本仕様

2.11.2.1　主要仕様

(1) 燃料取扱設備

（4号機）

a. クレーン

型式	天井走行式	
基数	1基	
定格荷重	主巻	：100t
	補巻	：5t
	ホイスト	：10t

b. エリア放射線モニタ

検出器の種類	半導体検出器
計測範囲	10^{-3}～10mSv/h
個数	2個
取付箇所	4号機　原子炉建屋5FL（燃料取り出し用カバーオペフロ階）

（３号機）

a. 燃料取扱機

型式	燃料把握機付移床式	
基数	1 基	
定格荷重	燃料把握機	：1t
	西側補助ホイスト	：4.9t
	東側補助ホイスト	：4.9t
	テンシルトラス	：1.5t

b. クレーン

型式	床上走行式	
基数	1 基	
定格荷重	主巻	：50t
	補巻	：5t

c. エリア放射線モニタ

検出器の種類	半導体検出器
計測範囲	10^{-2}～10^{2}mSv/h
個数	2 個
取付箇所	3 号機　燃料取り出し用カバー　燃料取り出し作業フロア

（２号機）

a. 燃料取扱機

型式	低床ジブクレーン
基数	1 基
定格荷重	：1t

b. クレーン

型式	低床ジブクレーン
基数	1 基
定格荷重	：47t

c. ジブクレーン

型式	低床ジブクレーン
基数	1 基
定格荷重	：3.9t

d. エリア放射線モニタ

検出器の種類	半導体検出器
計測範囲	10^{-2}～10^{2}mSv/h
個数	2 個
取付箇所	2 号機　燃料取り出し用構台作業エリア

（1 号機）

a. 燃料取扱機

型式	燃料把握機付移床式	
基数	1 基	
定格荷重	燃料把握機	：450kg

b. クレーン

型式	床上走行式	
基数	1 基	
定格荷重	主巻	：80t
	補巻	：5t
	ホイスト	：10t

c. エリア放射線モニタ

検出器の種類	半導体検出器
計測範囲	10^{-4}～1mSv/h
個数	2 個
取付箇所	1 号機　大型カバー燃料取り出し作業エリア

(2) 構内用輸送容器

（３号機及び４号機を除く）

基数	1 式

（４号機）

型式	NFT-22B 型
収納体数	22 体
基数	2 基

型式	NFT-12B 型
収納体数	12 体
基数	2 基

（３号機）

種類	密封式円筒形
収納体数	7 体
基数	2 基

種類	密封式円筒形
収納体数	2 体
基数	1 基

(3) 燃料取り出し用カバー（構台及び換気設備含む）

（４号機）

a. 燃料取り出し用カバー

種類	鉄骨造
寸法	約 69m（南北）×約 31m（東西）×約 53m（地上高） （作業環境整備区画） 約 55m（南北）×約 31m（東西）×約 23m（オペレーティングフロア上部高さ）
個数	1 個

b. 送風機（給気フィルタユニット）

種類	遠心式
容量	25,000m^3/h
台数	3 台

c. プレフィルタ（給気フィルタユニット）

種類	中性能フィルタ（袋型）
容量	25,000m^3/h
台数	3 台

d. 高性能粒子フィルタ（給気フィルタユニット）

種類	高性能粒子フィルタ
容量	25,000m^3/h
効率	97%（粒径 0.3μm）以上
台数	3 台

e. 排風機（排気フィルタユニット）

種類	遠心式
容量	25,000m^3/h
台数	3 台

f. プレフィルタ（排気フィルタユニット）

種類	中性能フィルタ（袋型）
容量	25,000m^3/h
台数	3 台

g. 高性能粒子フィルタ（排気フィルタユニット）

種類	高性能粒子フィルタ
容量	25,000m^3/h
効率	97%（粒径 0.3μm）以上
台数	3 台

h. 放射性物質濃度測定器（排気フィルタユニット出入口）

(a) 排気フィルタユニット入口

検出器の種類	シンチレーション検出器
計測範囲	10^0～10^4s^{-1}
台数	1 台

(b) 排気フィルタユニット出口

排気フィルタユニット出口については，Ⅱ2.15 放射線管理関係設備等参照

i. ダクト

(a) カバー内ダクト

種類	長方形はぜ折りダクト／鋼板ダクト
材質	溶融亜鉛めっき鋼板（SGCC 又は SGHC）／SS400

(b) 屋外ダクト

種類	長方形はぜ折りダクト／鋼板ダクト
材質	溶融亜鉛めっき鋼板 （SGCC 又は SGHC，ガルバニウム付着）／SS400

(c) 柱架構ダクト

種類	柱架構
材質	鋼材

（３号機）

a. 燃料取り出し用カバー

種類	鉄骨造
寸法	約 19m（南北）×約 57m（東西）×約 54m（地上高） （作業環境整備区画） 約 19m（南北）×約 57m（東西）×約 24m（オペレーティングフロア上部高さ）
個数	1 個

b. 排風機

種類	遠心式
容量	30,000m^3/h
台数	2 台

c. プレフィルタ（排気フィルタユニット）

種類	中性能フィルタ
容量	10,000m^3/h
台数	4 台

d. 高性能粒子フィルタ（排気フィルタユニット）

種類	高性能粒子フィルタ
容量	10,000m^3/h
効率	97%（粒径 0.3μm）以上
台数	4 台

e. 放射性物質濃度測定器（排気フィルタユニット出入口）

(a) 排気フィルタユニット入口

検出器の種類	シンチレーション検出器
計測範囲	10^{-1}～$10^{5}s^{-1}$
台数	1 台

(b) 排気フィルタユニット出口

排気フィルタユニット出口については，Ⅱ2.15 放射線管理関係設備等参照

f. ダクト

種類	はぜ折りダクト／鋼板ダクト
材質	ガルバリウム鋼板／SS400

（２号機）

a. 燃料取り出し用構台

種類	鉄骨造
寸法	約 33m（南北）×約 27m（東西）×約 45m（地上高） （作業環境整備区画） 約 33m（南北）×約 27m（東西）×約 17m（オペレーティングフロア上部高さ）
個数	1 個

b. 排風機

種類	遠心式
容量	30,000m^3/h
台数	2 台

c. プレフィルタ（排気フィルタユニット）

種類	中性能フィルタ
容量	10,000m^3/h
台数	4 台

d. 高性能粒子フィルタ（排気フィルタユニット）

種類	高性能粒子フィルタ
容量	10,000m^3/h
効率	97%（粒径 0.3μm）以上
台数	4 台

e. 放射性物質濃度測定器（排気フィルタユニット出入口）

(a) 排気フィルタユニット入口

検出器の種類	シンチレーション検出器
計測範囲	10^{-1}～$10^{5}s^{-1}$
台数	4 台

(b) 排気フィルタユニット出口

排気フィルタユニット出口については，Ⅱ2.15 放射線管理関係設備等参照

f. ダクト

種類	はぜ折りダクト／鋼板ダクト
材質	ガルバリウム鋼板／SS400

（1 号機）

a. 大型カバー

種類	鉄骨造
寸法	約 66m（南北）×約 56m（東西）×約 68m（地上高） （作業環境整備区画） 約 66m（南北）×約 56m（東西）×約 40m（オペレーティングフロア上部高さ）
個数	1 個

b. 送風機

種類	遠心式
容量	30,000m^3/h
台数	2 台（うち 1 台予備）

c. プレフィルタ（給気フィルタユニット）

種類	中性能フィルタ
容量	30,000m^3/h
台数	2 台（うち 1 台予備）

d. 排風機

種類	遠心式
容量	30,000m^3/h
台数	2 台（うち 1 台予備）

e. プレフィルタ（排気フィルタユニット）

種類	中性能フィルタ
容量	30,000m^3/h
台数	2台（うち1台予備）

f. 高性能粒子フィルタ（排気フィルタユニット）

種類	高性能粒子フィルタ
容量	30,000m^3/h
効率	97%（粒径0.3μm）以上
台数	2台（うち1台予備）

g. ダスト放射線モニタ

(a) 排気フィルタユニット入口

検出器の種類	シンチレーション検出器
計測範囲	10^0～10^4s^{-1}
台数	2台

(b) 大型カバー換気設備出口

大型カバー換気設備出口については，Ⅱ2.15 放射線管理関係設備等参照

h. ダクト

種類	はぜ折りダクト／鋼板ダクト
材質	ガルバリウム鋼板／SS400

2.11.3　添付資料

添付資料－１　燃料取扱設備の設計等に関する説明書

添付資料－１－１　燃料の落下防止，臨界防止に関する説明書

添付資料－１－２　放射線モニタリングに関する説明書

添付資料－１－３　燃料の健全性確認及び取り扱いに関する説明書※2

添付資料－２　構内用輸送容器の設計等に関する説明書

添付資料－２－１　構内用輸送容器に係る安全機能及び構造強度に関する説明書※2

添付資料－２－２　破損燃料用輸送容器に係る安全機能及び構造強度に関する説明書※2

添付資料－２－３　構内輸送時の措置に関する説明書※2

添付資料－３　燃料取り出し用カバーの設計等に関する説明書

添付資料－３－１　放射性物質の飛散・拡散を防止するための機能に関する説明書

添付資料－３－２　移送操作中の燃料集合体の落下※1

添付資料－４　構造強度及び耐震性に関する説明書

添付資料－４－１　燃料取扱設備の構造強度及び耐震性に関する説明書

添付資料－４－２　燃料取り出し用カバーの構造強度及び耐震性に関する説明書

添付資料－４－３　燃料取り出し用カバー換気設備の構造強度及び耐震性に関する説明書

添付資料－５　使用済燃料プールからの燃料取り出し工程表

添付資料－６　福島第一原子力発電所第１号機原子炉建屋カバーに関する説明書

添付資料－７　福島第一原子力発電所第２号機原子炉建屋外壁の開口設置について

添付資料－７－１　福島第一原子力発電所第２号機原子炉建屋西側外壁の開口設置について

添付資料－７－２　福島第一原子力発電所第２号機原子炉建屋南側外壁の開口設置について

※1（２号機，３号機及び４号機を除く）及び※2（３号機及び４号機を除く）の説明書については，別途申請する。

燃料の落下防止，臨界防止に関する説明書

1　4 号機燃料取り扱いに関する概要

1.1　概要

燃料取扱設備は，燃料取扱機及びクレーンで構成し，新燃料及び使用済燃料を使用済燃料貯蔵プールから取り出し，燃料取り出し用カバーから搬出するまでの取り扱いを行うものである。

なお，燃料の搬出には構内用輸送容器を使用する。

また，燃料取扱機は燃料集合体を 1 体ずつ取り扱う構造とすることにより，燃料の臨界を防止できる設計とし，燃料集合体の構内用輸送容器への収容操作が使用済燃料の遮蔽に必要な水深を確保した状態で，水中で行うことができる設計とする。

さらに，燃料取扱設備は地震荷重等の適切な組み合わせを考慮しても強度上耐え得る設計とするとともに，燃料取扱機は二重のワイヤロープや種々のインターロック等を設け，クレーンの主要要素は種々の二重化を行うこと等により，移送操作中の燃料集合体の落下を防止する設計とする。

また，燃料取扱設備はその機能の健全性を確認するため，定期的に試験及び検査を行う。

燃料取り扱いに使用する燃料取扱機及びクレーンの概要を以下に示す。

(1) 4 号機　燃料取扱機

燃料取扱機は使用済燃料貯蔵プール，キャスクピット上を走行し，ブリッジ，トロリ，燃料把握機，補助ホイストで構成されている。

トロリには運転台及び 1 体の燃料集合体をつかむ燃料把握機があり，燃料集合体を使用済燃料貯蔵プール内の適当な位置に移送することができる。

燃料把握機のフックは空気作動式であり，燃料集合体をつかんだ状態で空気源が喪失しても，フックが開とならないようにする機械的機構を有しているため，燃料集合体を確実に保持できる。また，燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造である。さらに燃料取扱中に過荷重となった場合に上昇を阻止するため，燃料把握機にインターロックを設ける。

本装置は走行，横行，昇降を安全かつ確実に行うため，各装置にインターロックを設ける。

また，地震時にも転倒することがない構造であり，走行部はレールを抱え込む構造である。

なお，燃料取扱機は崩壊熱により燃料が溶融しないよう，使用済燃料を使用済燃料貯蔵プール水中で取り扱う設計とする。

(2) 4 号機　クレーン

クレーンは，燃料取り出し用カバー内及びオペレーションフロア上で構内用輸送容器の移送を行うものである。

本クレーンは，地震時にも落下することがない構造であり，構内用輸送容器の移送中において駆動源が喪失しても確実に保持できる。

また重量物を移送する主巻フックは二重のワイヤロープで保持する構造である。

フックは玉掛け用ワイヤロープ等が当該フックから外れることを防止するための装置を設ける。

さらに，重量物を吊った状態で使用済燃料貯蔵ラック上を通過できないようインターロックを設ける。

1.2　4 号機　燃料落下防止対策

燃料取り扱いに使用する燃料取扱機及びクレーンは，以下に示す落下防止対策により燃料集合体を安全かつ確実に取り扱うことができる設計とする。

燃料集合体の落下防止対策を表 1.2-1 に示す。

表 1.2-1　燃料集合体の落下防止対策

機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1)　ホイストは電源断時に電磁ブレーキで保持する構造 (2)　燃料把握機は空気源喪失時にフックが開かない構造 (3)　燃料把握機の機械的インターロック (4)　燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (5)　燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1)　巻上装置は電源断時に電動油圧押上機ブレーキで保持する構造 (2)　主巻フックは二重のワイヤロープで保持する構造 (3)　主巻フックは外れ止め装置を有する構造

上記の落下防止対策の概要を次紙以降に示す

1.3　4 号機　燃料取扱設備の未臨界性

燃料取扱機は，燃料集合体を 1 体ずつ取り扱う構造とすることにより，未臨界性は確保される。

また，クレーンは未臨界性について評価されている構内用輸送容器に燃料集合体を収納して取り扱う。

機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1)　ホイストは電源断時に電磁ブレーキで保持する構造 (2)　燃料把握機は空気源喪失時にフックが開かない構造 (3)　燃料把握機の機械的インターロック (4)　燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (5)　燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1)　巻上装置は電源断時に電動油圧押上機で保持する構造 (2)　主巻フックは二重のワイヤロープで保持する構造 (3)　主巻フックは外れ止め装置を有する構造

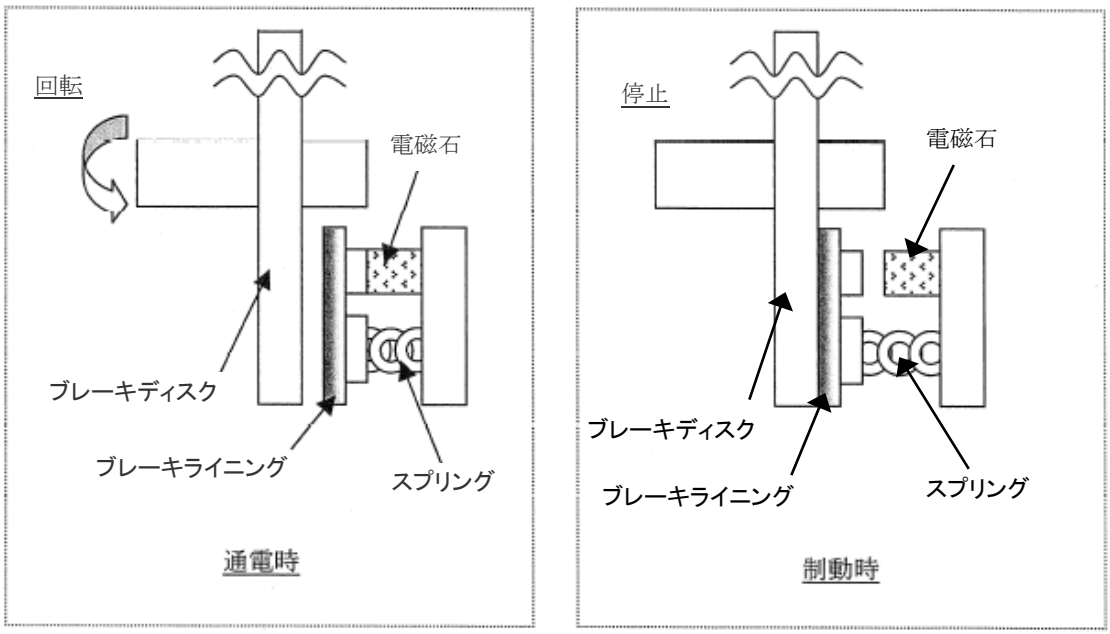
電磁ブレーキは，電源断時にバネによりブレーキがかかり保持できる機構を有している。

○電磁ブレーキ（電磁ディスクブレーキ）の動作原理

電磁ディスクブレーキは，スプリング力によってブレーキライニングをブレーキディスクに押しつけて電動機の回転を制動している。電動機に通電すると，電磁コイルに電流が流れ，電磁石がスプリングの力に逆らってブレーキを解放する。

電動機を停止させると，再びスプリング力によってブレーキライニングがブレーキディスクを押しつけて制動する。電磁ディスクブレーキは，ホイストの巻上装置等に使用されている。

以下に通電（回転）時と，制動時の模式図を示す。



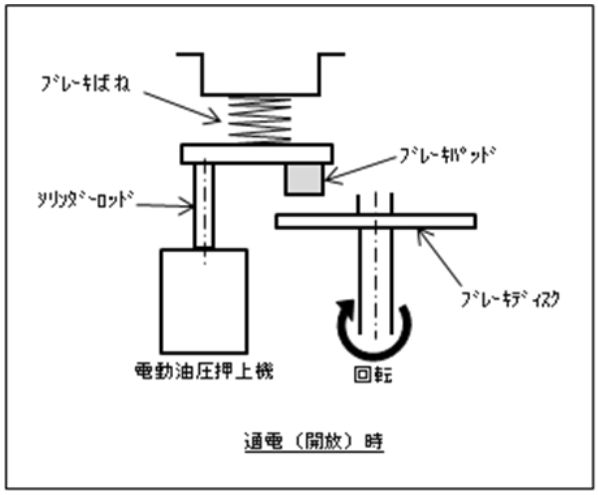
電動油圧押上機ブレーキは，電源断時にブレーキばねによりブレーキがかかり保持できる機構を有している。

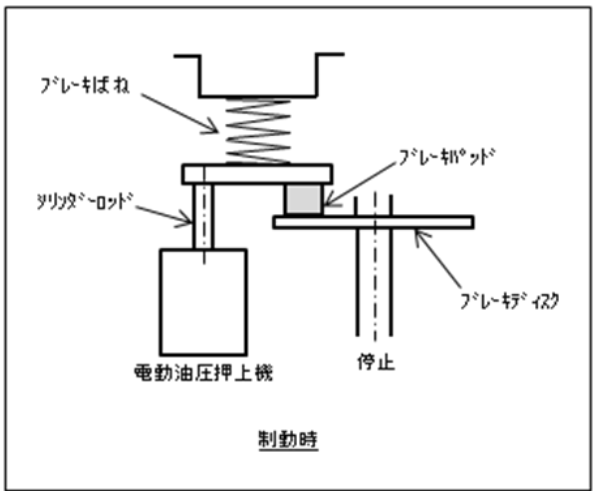
○電動油圧押上機ブレーキ（電動油圧押上機ディスクブレーキ）の動作原理

電動油圧押上機ブレーキは，ブレーキばねの力によってブレーキパッドをブレーキディスクに押しつけて電動機の回転を制動している。巻上モータに通電すると，同時に電動油圧押上機にも通電され，内蔵モータにより油圧が発生し，シリンダーロッドを押上げ，ブレーキばねを縮めることによりブレーキを開放する。

巻上モータを停止させると，電動油圧押上機も停止するため，再びブレーキばねの力によってブレーキパッドがブレーキディスクを押しつけて制動する。

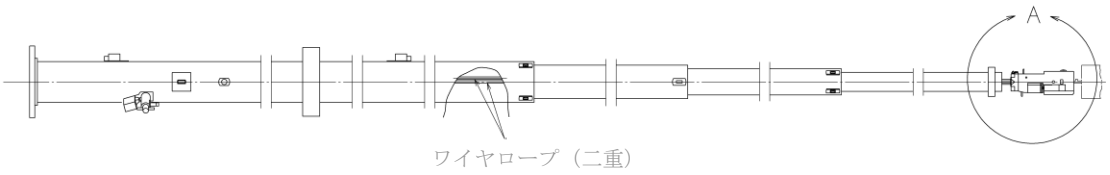
以下に通電(開放)時と，制動時の模式図を示す。

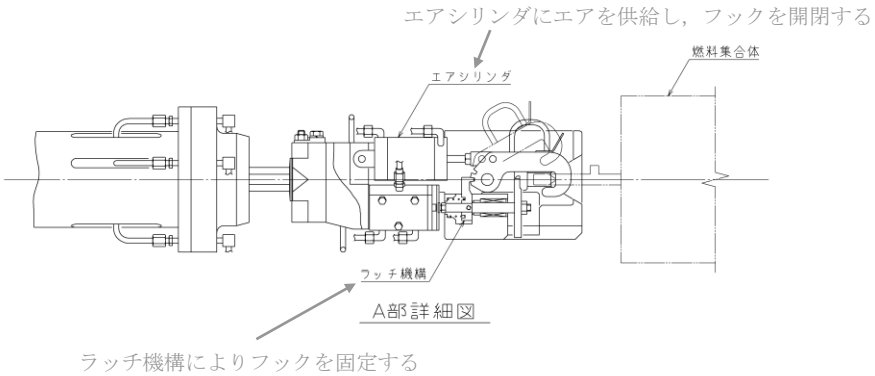




機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1)　ホイストは電源断時に電磁ブレーキで保持する構造 (2)　燃料把握機は空気源喪失時にフックが開かない構造 (3)　燃料把握機の機械的インターロック (4)　燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (5)　燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1)　巻上装置は電源断時に電動油圧押上機ブレーキで保持する構造 (2)　主巻フックは二重のワイヤロープで保持する構造 (3)　主巻フックは外れ止め装置を有する構造

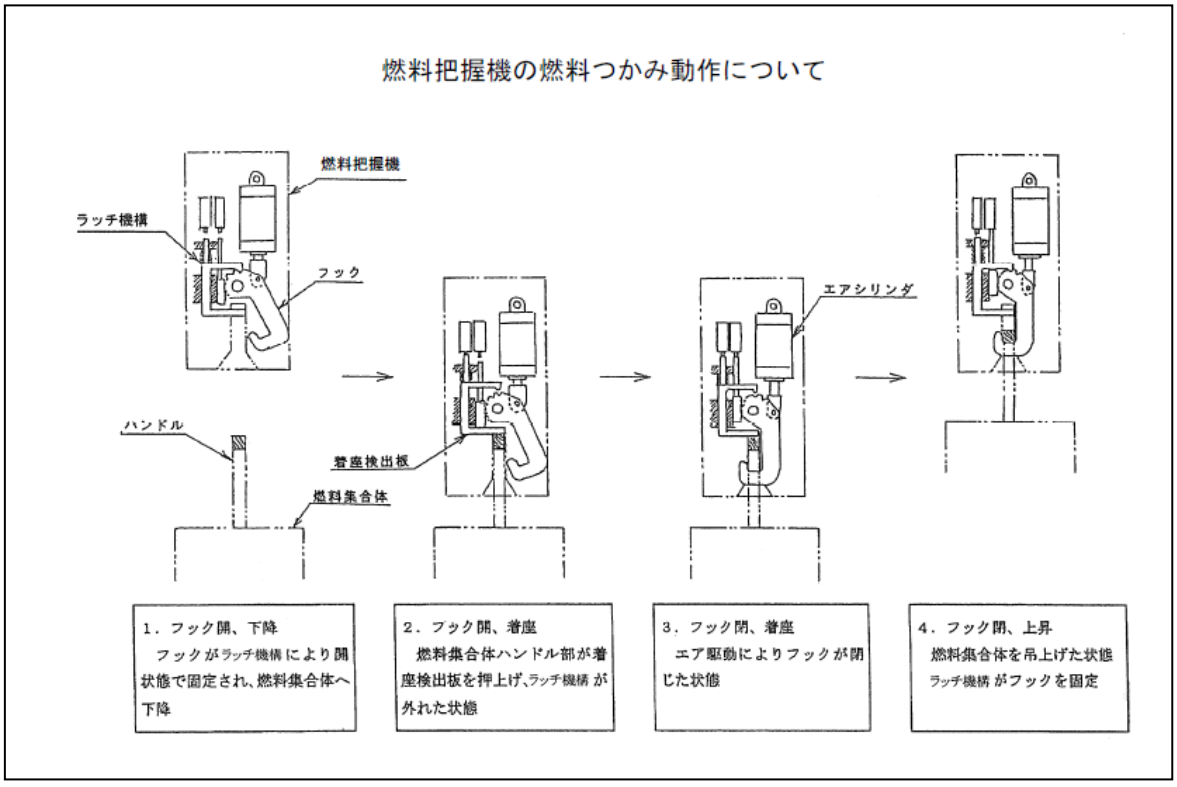
燃料把握機は，フックの駆動に用いる空気源が喪失しても，ラッチ機構によりフックが開かないような設計としている。





機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1)　ホイストは電源断時に電磁ブレーキで保持する構造 (2)　燃料把握機は空気源喪失時にフックが開かない構造 (3)　燃料把握機の機械的インターロック (4)　燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (5)　燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1)　巻上装置は電源断時に電動油圧押上機ブレーキで保持する構造 (2)　主巻フックは二重のワイヤロープで保持する構造 (3)　主巻フックは外れ止め装置を有する構造

燃料集合体を吊った状態においては，燃料把握機はラッチ機構により固定されフックを開くことができない。また，燃料把握時には燃料集合体ハンドル部が着座検出板を押し上げるとラッチ機構が外れる機械的インターロックを備えている。

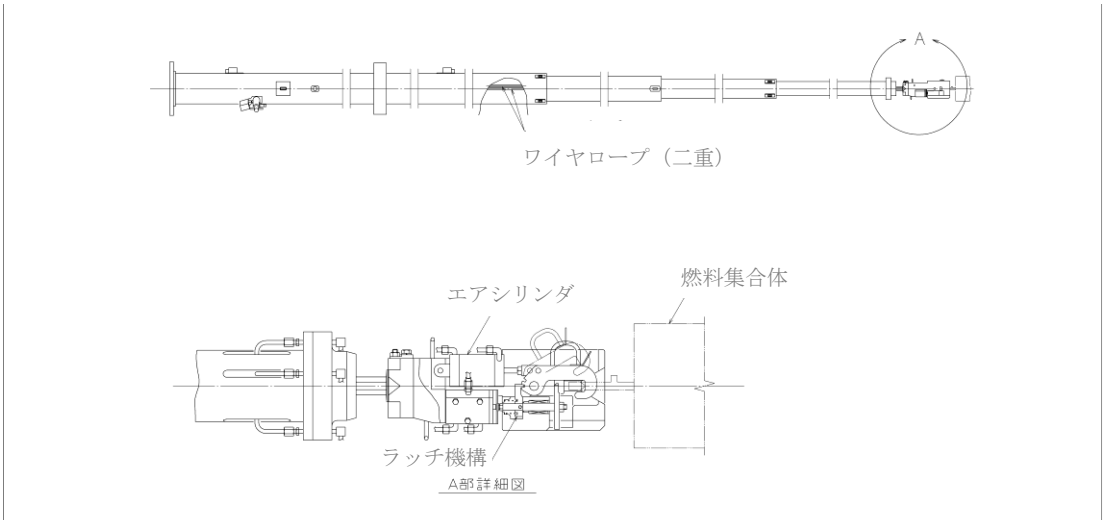


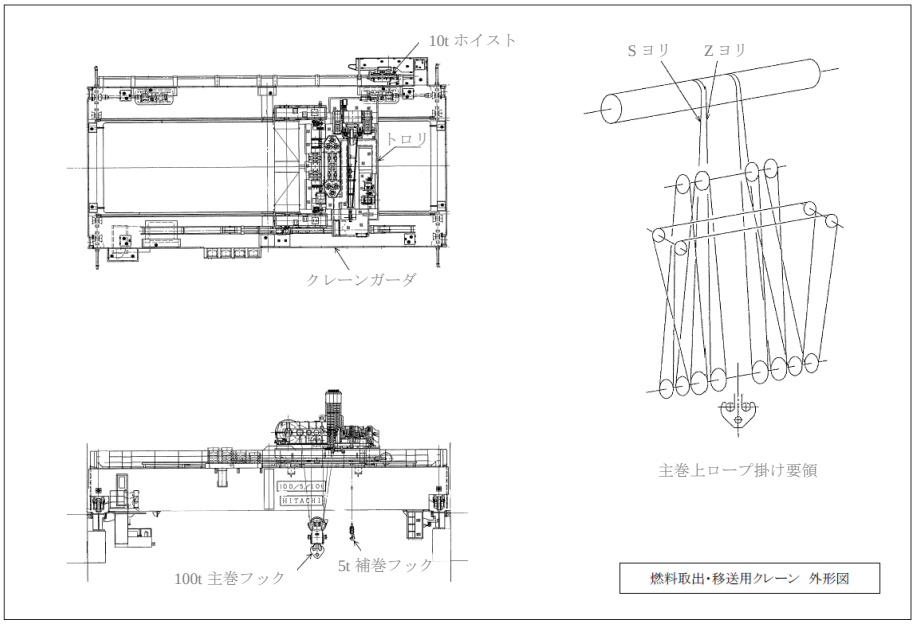
機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1)　ホイストは電源断時に電磁ブレーキで保持する構造 (2)　燃料把握機は空気源喪失時にフックが開かない構造 (3)　燃料把握機の機械的インターロック (4)　燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (5)　燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1)　巻上装置は電源断時に電動油圧押上機ブレーキで保持する構造 (2)　主巻フックは二重のワイヤロープで保持する構造 (3)　主巻フックは外れ止め装置を有する構造

燃料把握機のワイヤロープに必要以上の張力が加わらないように，必要以上の荷重を検出した場合に，燃料把握機を上昇することができないインターロックを備えている。

機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1)　ホイストは電源断時に電磁ブレーキで保持する構造 (2)　燃料把握機は空気源喪失時にフックが開かない構造 (3)　燃料把握機の機械的インターロック (4)　燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (5)　燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1)　巻上装置は電源断時に電動油圧押上機ブレーキで保持する構造 (2)　主巻フックは二重のワイヤロープで保持する構造 (3)　主巻フックは外れ止め装置を有する構造

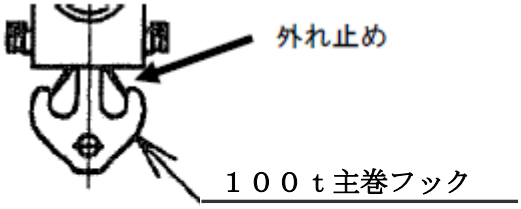
燃料把握機及びクレーンの主巻フックは，ワイヤロープを二重化し，万一ワイヤロープが 1 本切断したとしても落下を防止できる設計としている。





機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1)　ホイストは電源断時に電磁ブレーキで保持する構造 (2)　燃料把握機は空気源喪失時にフックが開かない構造 (3)　燃料把握機の機械的インターロック (4)　燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (5)　燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1)　巻上装置は電源断時に電動油圧押上機ブレーキで保持する構造 (2)　主巻フックは二重のワイヤロープで保持する構造 (3)　主巻フックは外れ止め装置を有する構造

主巻フックは，両吊り形フックとし，外れ止めを有する。



2　　3号機燃料取り扱いに関する概要

2.1　概要

燃料取扱設備は，燃料取扱機及びクレーンで構成し，新燃料及び使用済燃料を使用済燃料貯蔵プールから取り出し，燃料取り出し用カバーから搬出するまでの取り扱いを行うものである。

なお，燃料の搬出には構内用輸送容器を使用する。

また，燃料取扱機は燃料集合体を 1 体ずつ取り扱う構造とすることにより，燃料の臨界を防止できる設計とし，燃料集合体の構内用輸送容器への収容操作が燃料の遮蔽に必要な水深を確保した状態で，水中で行うことができる設計とする。

さらに，燃料取扱設備は地震荷重等の適切な組み合わせを考慮しても強度上耐え得る設計とするとともに，燃料取扱機は二重のワイヤロープや種々のインターロック等を設け，クレーンの主要要素は種々の二重化を行うこと等により，移送操作中の燃料集合体の落下を防止する設計とする。

また，燃料取扱設備はその機能の健全性を確認するため，定期的に試験及び検査を行う。

燃料取り扱いに使用する燃料取扱機及びクレーンの概要を以下に示す。

(1) 3号機　燃料取扱機

燃料取扱機は，使用済燃料プール，キャスクピット上を走行し，ブリッジ，トロリ，燃料把握機，西側補助ホイスト，東側補助ホイスト，テンシルトラスで構成されている。

燃料把握機トロリには 1 体の燃料集合体をつかむ燃料把握機があり，燃料集合体を使用済燃料プール内の適切な位置に移動することができる。

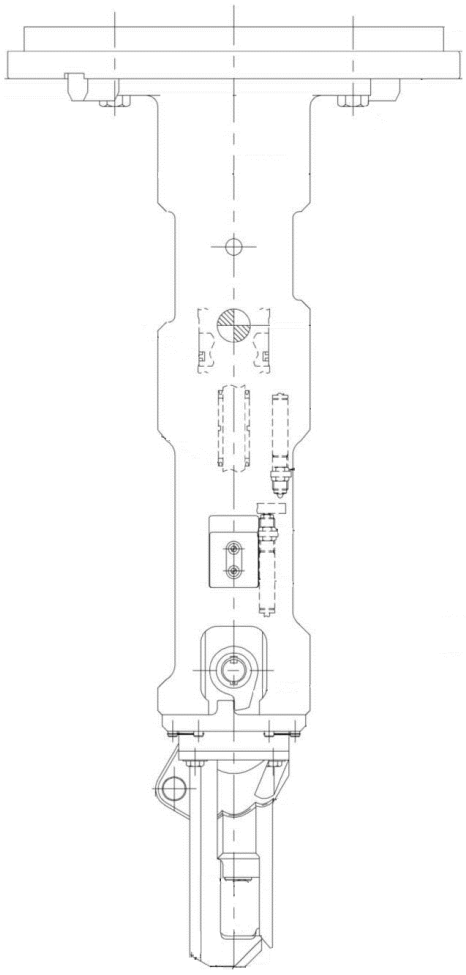
燃料把握機のフックは水圧作動式であり，燃料集合体をつかんだ状態で水圧源が喪失しても，フックが開とならないようにする機械的機構を有しているため，燃料集合体を確実に保持できる。また，燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造である。さらに燃料取扱中に過荷重となった場合に上昇を阻止するため，燃料把握機にインターロックを設ける。

がれき落下によるハンドル部の変形が認められる燃料集合体の一部は，通常の燃料把握機のフック（掴み具）では取り扱えないため，ハンドル部の変形状況に応じて専用の大変形用掴み具を用いる。

燃料取扱機は，運転員の誤操作を防止するため，走行，横行，昇降のそれぞれの操作について2段階の動作が必要なスイッチを設けるとともに，走行，横行，昇降を安全かつ確実に行うため各装置にインターロックを設ける。さらに，荷重計（ロードセル）を設け遠隔操作を行う運転員が荷重を確認できる設計とし，仮に過荷重となった場合にはインターロックにより上昇を阻止する設計とする。

また，燃料集合体の移送作業中における地震時においても転倒・落下することがない構造であり，走行部はレールを抱え込む構造である。

なお，燃料取扱機は崩壊熱により燃料が溶融しないよう，燃料を使用済燃料貯蔵プール水中で取り扱う設計とする。



大変形用掴み具　構造図

(2) ３号機　クレーン

クレーンは，燃料取り出し用カバー内で構内用輸送容器の移送を行うものである。

本クレーンは，構内用輸送容器の移送作業中における地震時においても転倒・落下することがない構造であり，構内用輸送容器の移送中において駆動源が喪失しても確実に保持できる。

また，重量物を移送する主巻フックは二重のワイヤロープで保持する構造である。

主巻フックは玉掛け用ワイヤロープ等が当該フックから外れることを防止するための装置を設ける。

さらに，重量物を吊った状態で使用済燃料貯蔵ラック上を通過できないようインターロックを設ける。

クレーンは，運転員の誤操作を防止するため，走行，横行，昇降のそれぞれの操作について２段階の動作が必要なスイッチを設ける。さらに，荷重計（ロードセル）を設け遠隔操作を行う運転員が荷重を確認できる設計とし，仮に過荷重となった場合にはインターロックにより上昇を阻止する設計とする。

2.2　３号機　燃料落下防止対策

燃料取り扱いに使用する燃料取扱機及びクレーンは，以下に示す落下防止対策により燃料集合体を安全かつ確実に取り扱うことができる設計とする。

燃料集合体の落下防止対策を表 2.2-1 に示す。

表 2.2-1　燃料集合体の落下防止対策

機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1)　ホイストは電源断時に電磁ブレーキで保持する構造 (2)　燃料把握機は水圧源喪失時にフックが開かない構造 (3)　燃料把握機の機械的インターロック (4)　燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (5)　燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1)　巻上装置は電源断時に電動油圧押上機ブレーキで保持する構造 (2)　主巻フックは二重のワイヤロープで保持する構造 (3)　主巻フックは外れ止め装置を有する構造

上記の落下防止対策の概要を次紙以降に示す

2.3　3号機　燃料取扱設備の未臨界性

燃料取扱機は，燃料集合体を 1 体ずつ取り扱う構造とすることにより，燃料の未臨界性を確保する。

また，クレーンは，燃料集合体の搬出にあたって，燃料の未臨界性について評価されている構内用輸送容器に燃料集合体を収納して取り扱う。

機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1)　ホイストは電源断時に電磁ブレーキで保持する構造 (2)　燃料把握機は水圧源喪失時にフックが開かない構造 (3)　燃料把握機の機械的インターロック (4)　燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (5)　燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1)　巻上装置は電源断時に電動油圧押上機ブレーキで保持する構造 (2)　主巻フックは二重のワイヤロープで保持する構造 (3)　主巻フックは外れ止め装置を有する構造

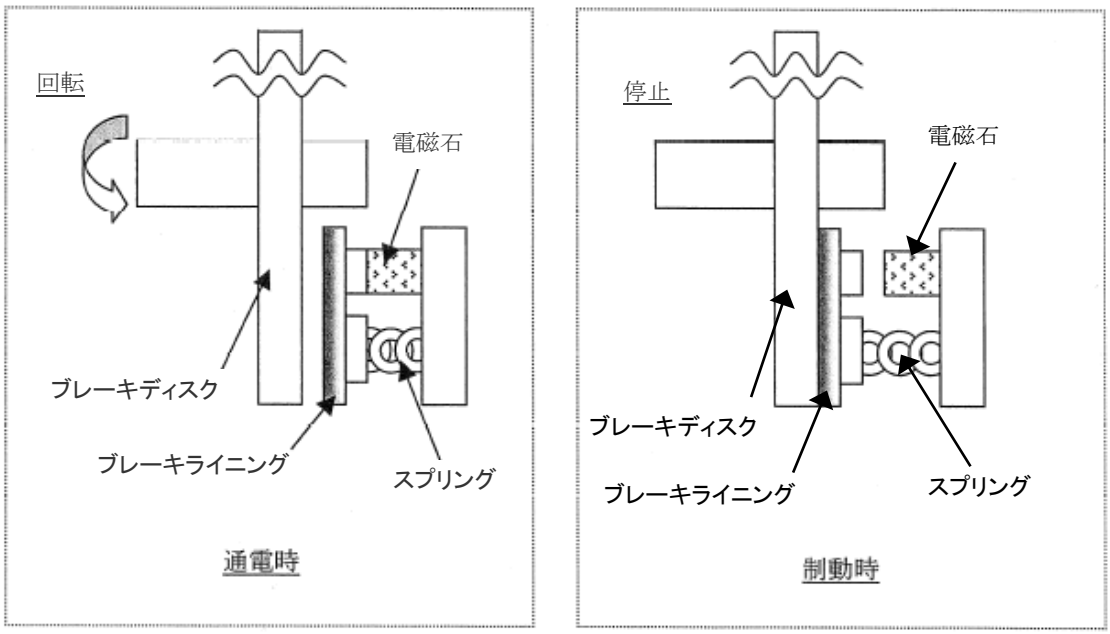
燃料取扱機の電磁ブレーキは，電源断時にバネによりブレーキがかかり保持できる機構を有している。

○電磁ブレーキ（電磁ディスクブレーキ）の動作原理

電磁ディスクブレーキは，スプリング力によってブレーキライニングをブレーキディスクに押しつけて電動機の回転を制動している。電動機に通電すると，電磁コイルに電流が流れ，電磁石がスプリングの力に逆らってブレーキを解放する。

電動機を停止させると，再びスプリング力によってブレーキライニングがブレーキディスクを押しつけて制動する。電磁ディスクブレーキは，ホイストの巻上装置等に使用されている。

以下に通電（回転）時と，制動時の模式図を示す。



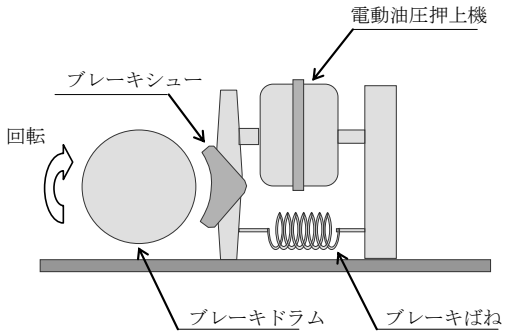
クレーンの電動油圧押上機ブレーキは，電源断時にブレーキばねによりブレーキがかかり保持できる機構を有している。

○電動油圧押上機ブレーキ（電動油圧押上機ドラムブレーキ）の動作原理

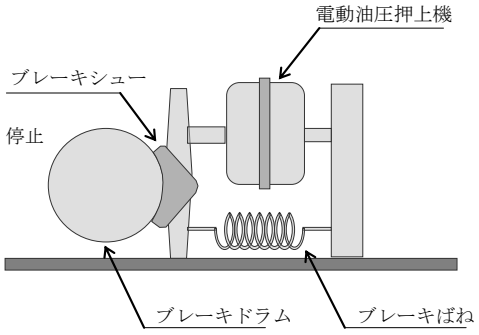
電動油圧押上機ブレーキは，ブレーキばねの力によってブレーキシューをブレーキドラムに押しつけて電動機の回転を制動している。巻上モータに通電すると，同時に電動油圧押上機にも通電され，内蔵モータにより油圧が発生し，シリンダーロッドを押上げ，ブレーキばねを縮めることによりブレーキを開放する。

巻上モータを停止させると，電動油圧押上機も停止するため，再びブレーキばねの力によってブレーキシューがブレーキドラムを押しつけて制動する。

以下に通電(開放)時と，制動時の模式図を示す。



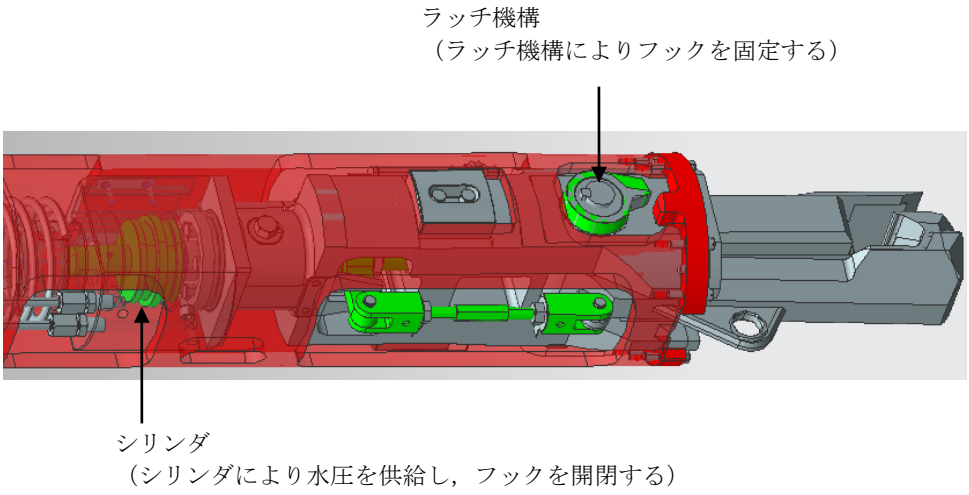
通電（開放）時



制動時

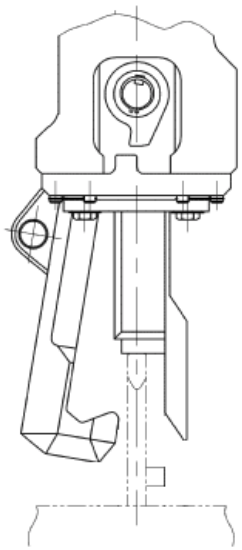
機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1)　ホイストは電源断時に電磁ブレーキで保持する構造 (2)　燃料把握機は水圧源喪失時にフックが開かない構造 (3)　燃料把握機の機械的インターロック (4)　燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (5)　燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1)　巻上装置は電源断時に電動油圧押上機ブレーキで保持する構造 (2)　主巻フックは二重のワイヤロープで保持する構造 (3)　主巻フックは外れ止め装置を有する構造

燃料把握機は、フックの駆動に用いる水圧源が喪失しても，ラッチ機構によりフックが開かないような設計としている。



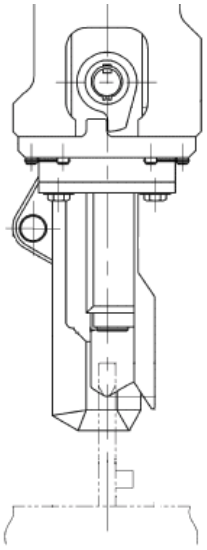
機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1)　ホイストは電源断時に電磁ブレーキで保持する構造 (2)　燃料把握機は水圧源喪失時にフックが開かない構造 (3)　燃料把握機の機械的インターロック (4)　燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (5)　燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1)　巻上装置は電源断時に電動油圧押上機ブレーキで保持する構造 (2)　主巻フックは二重のワイヤロープで保持する構造 (3)　主巻フックは外れ止め装置を有する構造

燃料集合体を吊った状態においては，燃料把握機はラッチ機構により固定されフックを開くことができない。また，燃料着座時には燃料集合体荷重がフックに負荷されなくなることで，フックが押し上がり，ラッチ機構が外れる機械的インターロックを備えている。



１．フック開　下降～着座

フックが開状態にて，燃料集合体へ下降，着座。



２．フック閉　着座～上昇

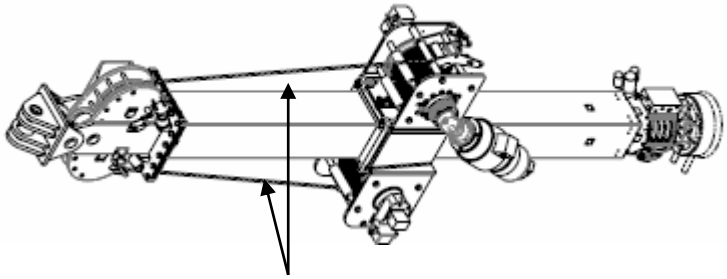
水圧駆動にてフックが閉じた後，燃料集合体を吊上げ。ラッチ機構がフックを固定。

機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1)　ホイストは電源断時に電磁ブレーキで保持する構造 (2)　燃料把握機は水圧源喪失時にフックが開かない構造 (3)　燃料把握機の機械的インターロック (4)　燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (5)　燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1)　巻上装置は電源断時に電動油圧押上機ブレーキで保持する構造 (2)　主巻フックは二重のワイヤロープで保持する構造 (3)　主巻フックは外れ止め装置を有する構造

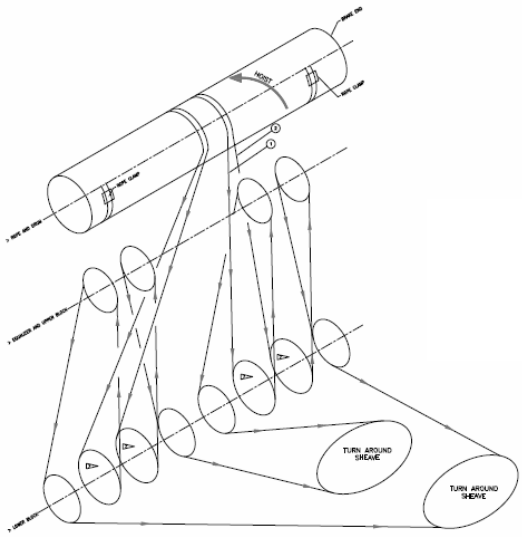
燃料把握機のワイヤロープに必要以上の張力が加わらないように，必要以上の荷重を検出した場合に，燃料把握機を上昇することができないインターロックを備えている。

機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1)　ホイストは電源断時に電磁ブレーキで保持する構造 (2)　燃料把握機は水圧源喪失時にフックが開かない構造 (3)　燃料把握機の機械的インターロック (4)　燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (5)　燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1)　巻上装置は電源断時に電動油圧押上機ブレーキで保持する構造 (2)　主巻フックは二重のワイヤロープで保持する構造 (3)　主巻フックは外れ止め装置を有する構造

燃料把握機及びクレーンの主巻フックは，ワイヤロープを二重化し，万一ワイヤロープが1本切断したとしても落下を防止できる設計としている。



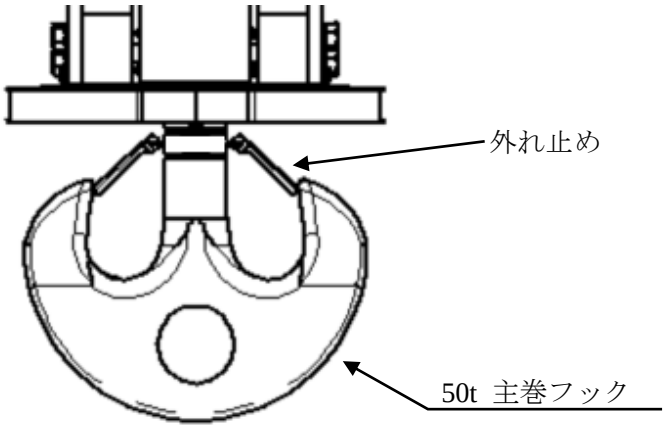
ワイヤロープ（二重）



主巻上ロープ掛け要領

機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1)　ホイストは電源断時に電磁ブレーキで保持する構造 (2)　燃料把握機は水圧源喪失時にフックが開かない構造 (3)　燃料把握機の機械的インターロック (4)　燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (5)　燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1)　巻上装置は電源断時に電動油圧押上機ブレーキで保持する構造 (2)　主巻フックは二重のワイヤロープで保持する構造 (3)　主巻フックは外れ止め装置を有する構造

主巻フックは，両吊り形フックとし，外れ止めを有する。



3　　2号機燃料取り扱いに関する概要

3.11　概要

燃料取扱設備は，燃料取扱機及びクレーンで構成し，新燃料及び使用済燃料を使用済燃料プールから取り出し，燃料取り出し用構台から搬出するまでの取り扱いを行うものである。

なお，燃料の搬出には構内用輸送容器を使用する。

また，燃料取扱機は燃料集合体を１体ずつ取り扱う構造とすることにより，燃料の臨界を防止できる設計とし，燃料集合体の構内用輸送容器への収容操作が燃料の遮蔽に必要な水深を確保した状態で，水中で行うことができる設計とする。

さらに，燃料取扱設備は地震荷重等の適切な組み合わせを考慮しても強度上耐え得る設計とするとともに，燃料取扱機は二重のワイヤロープや種々のインターロック等を設け，クレーンの主要要素は種々の二重化を行うこと等により，移送操作中の燃料集合体の落下を防止する設計とする。

また，燃料取扱設備はその機能の健全性を確認するため，定期的に試験及び検査を行う。

燃料取り扱いに使用する燃料取扱機及びクレーンの概要を以下に示す。

(1) 2号機　燃料取扱機

燃料取扱機は，低床ジブクレーンとし，原子炉建屋オペレーティングフロア，燃料取り出し用構台間を水平に移動する走行台車とその上に設置する旋回体で構成する。

旋回体には 1 体の燃料集合体をつかむ燃料把握機があり，燃料集合体を使用済燃料プール内の適切な位置に移動することができる。

燃料把握機のフックは空気圧作動式であり，燃料集合体をつかんだ状態で空気圧源を喪失しても，フックが開とならないようにする機械的機構を有しているため，燃料集合体を確実に保持できる。また，燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造である。

燃料取扱機には，運転員の誤操作を防止するため，走行，伸縮，起伏，旋回，昇降のそれぞれ操作について 2 段階の動作が必要なスイッチを設けるとともに，走行，伸縮，起伏，旋回，昇降を安全かつ確実に行うため各装置にインターロックを設ける。さらに，荷重計（ロードセル）を設け遠隔操作を行う運転員が荷重を確認できる設計とし，仮に過荷重となった場合にはインターロックにより上昇を阻止する設計とする。

また，燃料集合体の移送作業中における地震時においても転倒・落下することがない構造であり，燃料取扱機操作時は走行台車をランウェイガーダに固定する設計とする。

(2) 2号機　クレーン

クレーンは，低床ジブクレーンとし，原子炉建屋オペレーティングフロア及び燃料取り出し用構台内で構内用輸送容器の移送を行うものである。

本クレーンは，構内用輸送容器の移送作業中における地震時においても転倒・落下することがない構造であり，構内用輸送容器の移送中において駆動源が喪失しても当該容器を確実に保持できる。

また，重量物を移送する垂直吊具は二重のワイヤロープで保持する構造である。

垂直吊具には構内用輸送容器トラニオン等が当該垂直吊具から外れることを防止するための装置を設ける。

さらに，重量物を吊った状態で使用済燃料貯蔵ラック上を通過できないようインターロックを設ける。

クレーンには，運転員の誤操作を防止するため，走行，伸縮，起伏，旋回，昇降のそれぞれの操作について2段階の動作が必要なスイッチを設ける。さらに，荷重計（ロードセル）を設け運転員が荷重を確認できる設計とし，仮に過荷重となった場合にはインターロックにより上昇を阻止する設計とする。

また，重量物の移送作業中における地震時においても転倒・落下することがない構造であり，クレーン操作時は走行台車をランウェイガーダに固定する設計とする。

3.12　2号機　燃料落下防止対策

燃料取り扱いに使用する燃料取扱機及びクレーンは，以下に示す落下防止対策により燃料集合体を安全かつ確実に取り扱うことができる設計とする。

燃料集合体の落下防止対策を表3.2-1に示す。

表3.2-1　燃料集合体の落下防止対策

機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1)　巻上装置は駆動源喪失時にブレーキで保持する構造 (2)　燃料把握機は空気圧源喪失時にフックが開かない構造 (3)　燃料把握機の機械的インターロック (4)　燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (5)　燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1)　巻上装置は駆動源喪失時にブレーキで保持する構造 (2)　垂直吊具は二重のワイヤロープで保持する構造 (3)　垂直吊具の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (4)　垂直吊具は外れ止め装置を有する構造

上記の落下防止対策の概要を次紙以降に示す

3.13　２号機　燃料取扱設備の未臨界性

燃料取扱機は，燃料集合体を 1 体ずつ取り扱う構造とすることにより，燃料の未臨界性を確保する。

また，クレーンは，燃料集合体の搬出にあたって，燃料の未臨界性について評価されている構内用輸送容器に燃料集合体を収納して取り扱う。

機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1)　巻上装置は駆動源喪失時にブレーキで保持する構造 (2)　燃料把握機は空気圧源喪失時にフックが開かない構造 (3)　燃料把握機の機械的インターロック (4)　燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (5)　燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1)　巻上装置は駆動源喪失時にブレーキで保持する構造 (2)　垂直吊具は二重のワイヤロープで保持する構造 (3)　垂直吊具の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (4)　垂直吊具は外れ止め装置を有する構造

燃料取扱機及びクレーンの巻上装置のブレーキは，駆動源喪失時にバネによりブレーキがかかり保持できるスプリングリターン機能を有している。

○スプリングリターン式ブレーキの動作原理

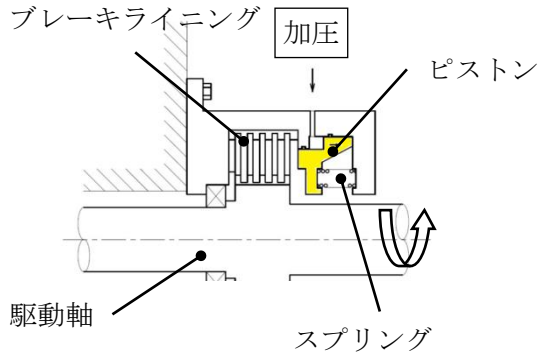
スプリングリターン式ブレーキは，スプリング力によってピストンをブレーキライニングに押しつけて巻上装置の回転を制動する。油圧シリンダが加圧されると，ピストンがスプリングの力に逆らってブレーキを解放する。

巻上装置を停止させると，再び油圧シリンダが減圧され，スプリング力によってピストンをブレーキライニングに押しつけて巻上装置の回転を制動する。

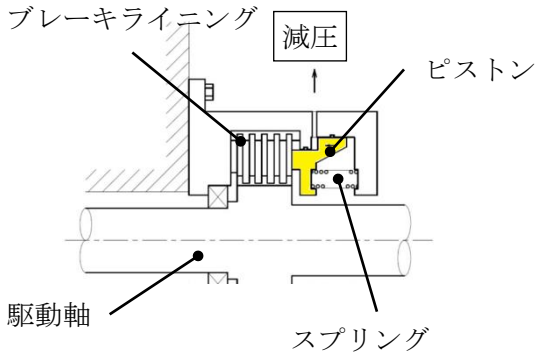
スプリングリターン式ブレーキは，燃料取扱機及びクレーンの巻上装置に使用されている。

以下にブレーキ制動時と，ブレーキ解放時の模式図を示す。

ブレーキ解放時

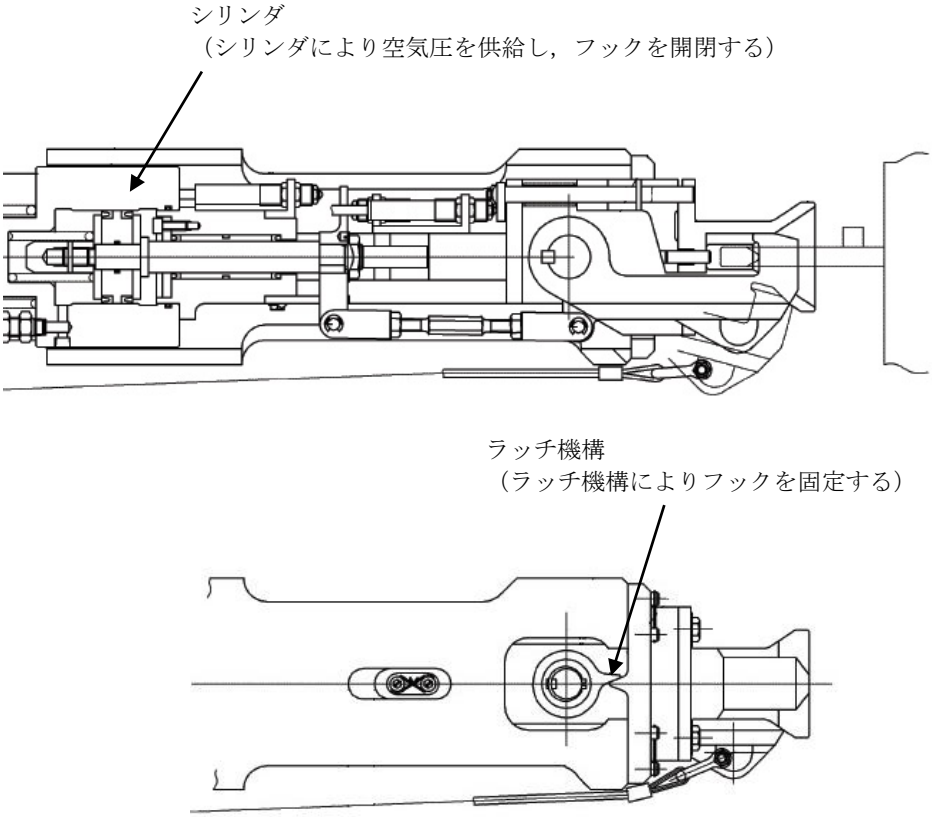


ブレーキ制動時



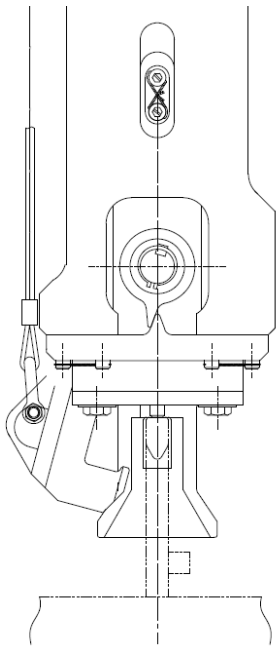
機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1)　巻上装置は駆動源喪失時にブレーキで保持する構造 (2)　燃料把握機は空気圧源喪失時にフックが開かない構造 (3)　燃料把握機の機械的インターロック (4)　燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (5)　燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1)　巻上装置は駆動源喪失時にブレーキで保持する構造 (2)　垂直吊具は二重のワイヤロープで保持する構造 (3)　垂直吊具の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (4)　垂直吊具は外れ止め装置を有する構造

燃料把握機は，フックの駆動に用いる空気圧源が喪失しても，ラッチ機構によりフックが開かないような設計としている。

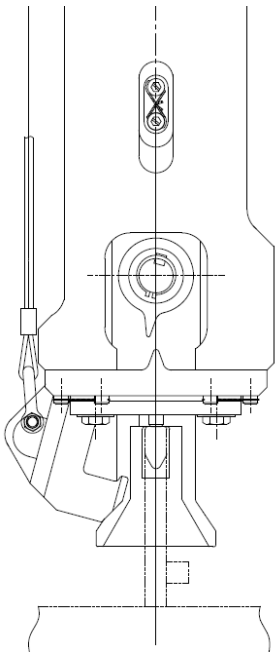


機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1)　巻上装置は駆動源喪失時にブレーキで保持する構造 (2)　燃料把握機は空気圧源喪失時にフックが開かない構造 (3)　燃料把握機の機械的インターロック (4)　燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (5)　燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1)　巻上装置は駆動源喪失時にブレーキで保持する構造 (2)　垂直吊具は二重のワイヤロープで保持する構造 (3)　垂直吊具の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (4)　垂直吊具は外れ止め装置を有する構造

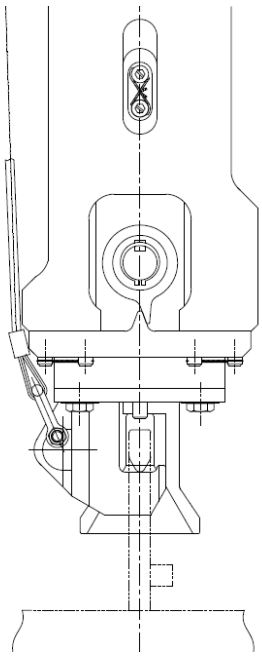
燃料集合体を吊った状態においては，燃料把握機はラッチ機構により固定されフックを開くことができない。また，燃料着座時には燃料集合体荷重がフックに負荷されなくなることでフックが押し上がり，ラッチ機構が外れる機械的インターロックを備えている。



1.フック開　下降～着座
フックが開状態にて，燃料集合体へ下降，着座。



2. 着座～ラッチ機構解除
燃料集合体に着座後，ラッチ機構解除。



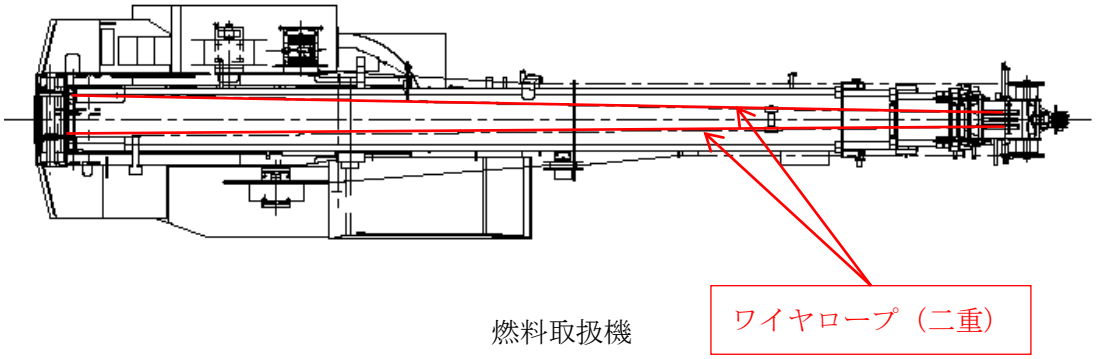
3.フック閉～上昇
空気圧駆動にてフックが閉じた後，燃料集合体を吊上げ。ラッチ機構がフックを固定。

機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1)　巻上装置は駆動源喪失時にブレーキで保持する構造 (2)　燃料把握機は空気圧源喪失時にフックが開かない構造 (3)　燃料把握機の機械的インターロック (4)　燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (5)　燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1)　巻上装置は駆動源喪失時にブレーキで保持する構造 (2)　垂直吊具は二重のワイヤロープで保持する構造 (3)　垂直吊具の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (4)　垂直吊具は外れ止め装置を有する構造

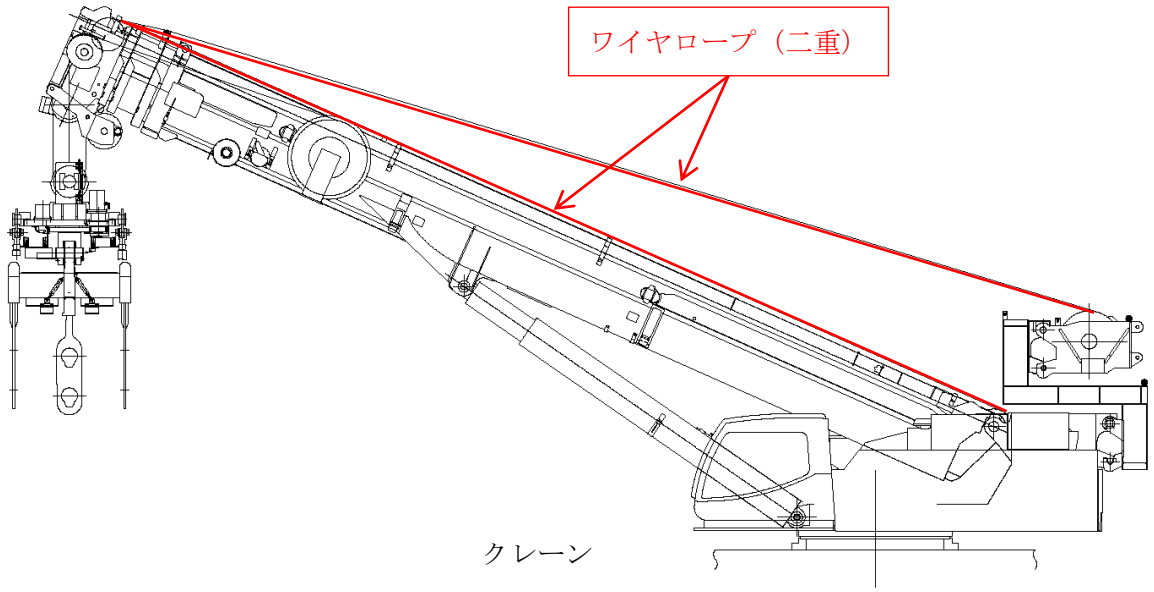
燃料把握機および垂直吊具のワイヤロープに必要以上の張力が加わらないように，必要以上の荷重を検出した場合に，燃料把握機および垂直吊具を上昇することができないインターロックを備えている。

機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1)　巻上装置は駆動源喪失時にブレーキで保持する構造 (2)　燃料把握機は空気圧源喪失時にフックが開かない構造 (3)　燃料把握機の機械的インターロック (4)　燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (5)　燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1)　巻上装置は駆動源喪失時にブレーキで保持する構造 (2)　垂直吊具は二重のワイヤロープで保持する構造 (3)　垂直吊具の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (4)　垂直吊具は外れ止め装置を有する構造

燃料取扱機及びクレーンの巻上装置は，ワイヤロープを二重化し，万一ワイヤロープが 1 本切断したとしても落下を防止できる設計としている。



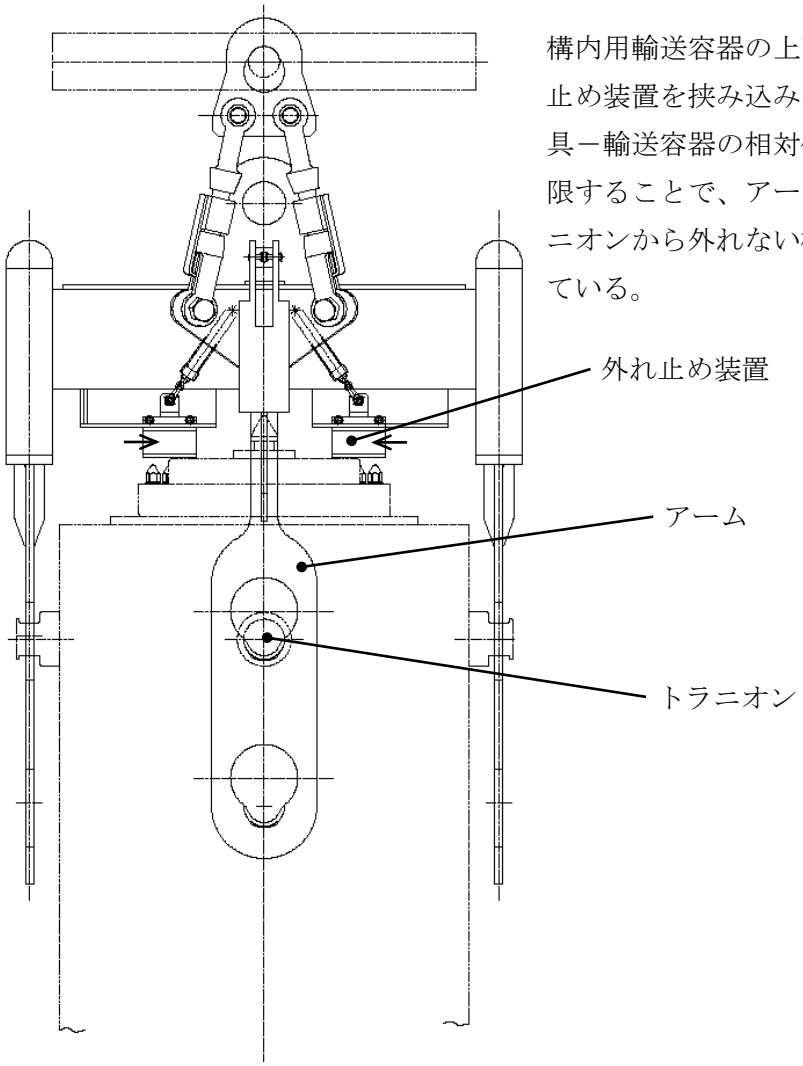
燃料取扱機



クレーン

機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1)　巻上装置は駆動源喪失時にブレーキで保持する構造 (2)　燃料把握機は空気圧源喪失時にフックが開かない構造 (3)　燃料把握機の機械的インターロック (4)　燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (5)　燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1)　巻上装置は駆動源喪失時にブレーキで保持する構造 (2)　垂直吊具は二重のワイヤロープで保持する構造 (3)　垂直吊具の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (4)　垂直吊具は外れ止め装置を有する構造

垂直吊具は，構内用輸送容器トラニオンから垂直吊具のアームが外れることを防止する外れ止め装置を有する。



構内用輸送容器の上面に外れ止め装置を挟み込み、垂直吊具－輸送容器の相対位置を制限することで、アームがトラニオンから外れない機構としている。

垂直吊具

4　　1 号機燃料取り扱いに関する概要

4.1　概要

燃料取扱設備は，燃料取扱機及びクレーンで構成し，新燃料及び使用済燃料を使用済燃料貯蔵プールから取り出し，大型カバーから搬出するまでの取り扱いを行うものである。

なお，燃料の搬出には構内用輸送容器を使用する。

また，燃料取扱機は燃料集合体を 1 体ずつ取り扱う構造とすることにより，燃料の臨界を防止できる設計とし，燃料集合体の構内用輸送容器への収容操作が使用済燃料の遮蔽に必要な水深を確保した状態で，水中で行うことができる設計とする。

さらに，燃料取扱設備は地震荷重等の適切な組み合わせを考慮しても強度上耐え得る設計とするとともに，燃料取扱機は二重のワイヤロープや種々のインターロック等を設け，クレーンの主要要素は種々の二重化を行うこと等により，移送操作中の燃料集合体の落下を防止する設計とする。

また，燃料取扱設備はその機能の健全性を確認するため，定期的に試験及び検査を行う。

燃料取り扱いに使用する燃料取扱機及びクレーンの概要を以下に示す。

(1) 1 号機　燃料取扱機

燃料取扱機は使用済燃料貯蔵プール，キャスクピット上を走行し，ブリッジ，トロリ，燃料把握機で構成されている。

トロリには運転台及び 1 体の燃料集合体をつかむ燃料把握機があり，燃料集合体を使用済燃料貯蔵プール内の適切な位置に移送することができる。

燃料把握機のフックは空気作動式であり，燃料集合体をつかんだ状態で空気源が喪失しても，フックが開とならないようにする機械的機構を有しているため，燃料集合体を確実に保持できる。また，燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造である。さらに燃料集合体取扱中に過荷重となった場合に上昇を阻止するため，燃料把握機にインターロックを設ける。

本装置は走行，横行，昇降を安全かつ確実に行うため，各装置にインターロックを設ける。

また，燃料集合体の移送作業中における地震時にも転倒・落下することがない構造であり，走行部はレールを抱え込む構造である。

なお，燃料取扱機は崩壊熱により燃料が溶融しないよう，使用済燃料を使用済燃料貯蔵プール水中で取り扱う設計とする。

(2) 1 号機　クレーン

クレーンは，大型カバー内及びオペレーションフロア上で構内用輸送容器の移送を行うものである。

本クレーンは，構内用輸送容器の移送作業時における地震時においても転倒・落下することがない構造であり，構内用輸送容器の移送中において駆動源が喪失しても確実に保持できる。

また重量物を移送する主巻フックは二重のワイヤロープで保持する構造である。

主巻フックは玉掛け用ワイヤロープ等が当該フックから外れることを防止するための装置を設ける。

さらに，重量物を吊った状態で使用済燃料貯蔵ラック上を通過できないようインターロックを設ける。

4.2　1 号機　燃料落下防止対策

燃料取り扱いに使用する燃料取扱機及びクレーンは，以下に示す落下防止対策により燃料集合体を安全かつ確実に取り扱うことができる設計とする。

燃料集合体の落下防止対策を表 4.2-1 に示す。

表 4.2-1　燃料集合体の落下防止対策

機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1)　ホイストは電源断時に電磁ブレーキで保持する構造 (2)　燃料把握機は空気源喪失時にフックが開かない構造 (3)　燃料把握機の機械的インターロック (4)　燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (5)　燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1)　巻上装置は電源断時に電動油圧押上機ブレーキで保持する構造 (2)　主巻フックは二重のワイヤロープで保持する構造 (3)　主巻フックは外れ止め装置を有する構造

上記の落下防止対策の概要を次紙以降に示す

4.3　1 号機　燃料取扱設備の未臨界性

燃料取扱機は，燃料集合体を 1 体ずつ取り扱う構造とすることにより，燃料の未臨界性を確保する。

また，クレーンは，燃料集合体の搬出にあたって，燃料の未臨界性について評価されている構内用輸送容器に燃料集合体を収納して取り扱う。

機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1)　ホイストは電源断時に電磁ブレーキで保持する構造
	(2)　燃料把握機は空気源喪失時にフックが開かない構造
	(3)　燃料把握機の機械的インターロック
	(4)　燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック
	(5)　燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1)　巻上装置は電源断時に電動油圧押上機ブレーキで保持する構造
	(2)　主巻フックは二重のワイヤロープで保持する構造
	(3)　主巻フックは外れ止め装置を有する構造

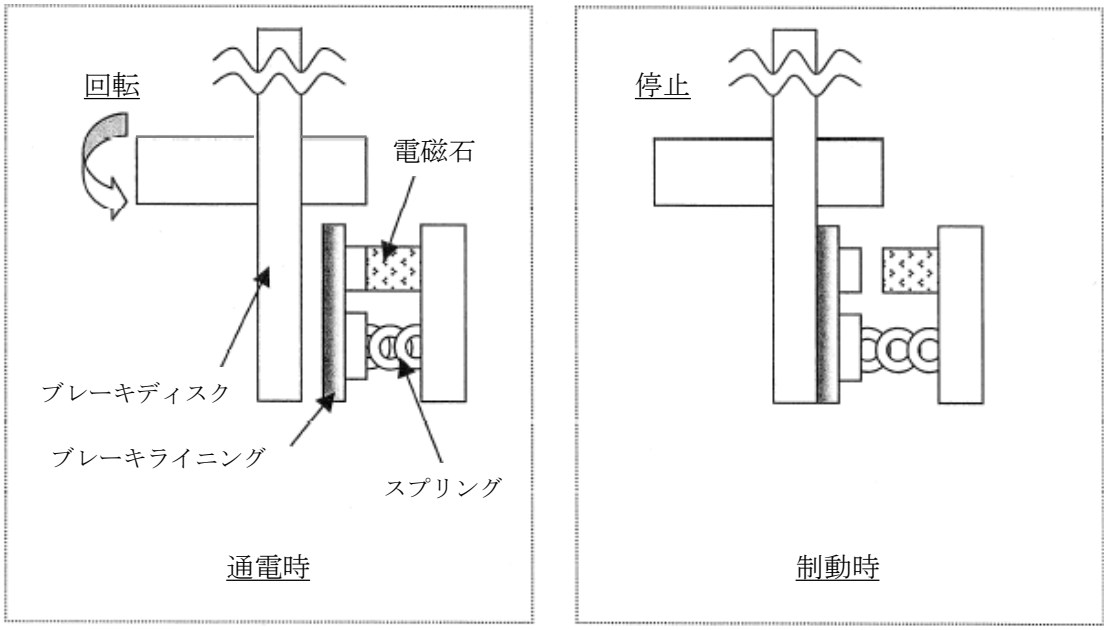
電磁ブレーキは，電源断時にバネによりブレーキがかかり保持できる機構を有している。

○電磁ブレーキ（電磁ディスクブレーキ）の動作原理

電磁ディスクブレーキは，スプリング力によってブレーキライニングをブレーキディスクに押しつけて電動機の回転を制動している。電動機に通電すると，電磁コイルに電流が流れ，電磁石がスプリングの力に逆らってブレーキを解放する。

電動機を停止させると，再びスプリング力によってブレーキライニングがブレーキディスクを押しつけて制動する。電磁ディスクブレーキは，ホイストの巻上装置等に使用されている。

以下に通電（回転）時と，制動時の模式図を示す。



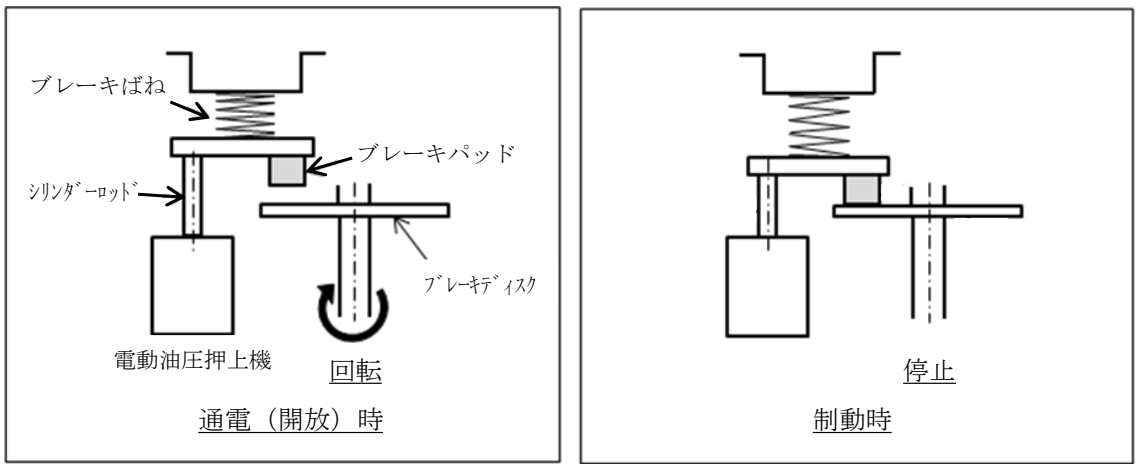
電動油圧押上機ブレーキは，電源断時にブレーキばねによりブレーキがかかり保持できる機構を有している。

○電動油圧押上機ブレーキ（電動油圧押上機ディスクブレーキ）の動作原理

電動油圧押上機ブレーキは，ブレーキばねの力によってブレーキパッドをブレーキディスクに押しつけて電動機の回転を制動している。巻上モータに通電すると，同時に電動油圧押上機にも通電され，内蔵モータにより油圧が発生し，シリンダーロッドを押上げ，ブレーキばねを縮めることによりブレーキを開放する。

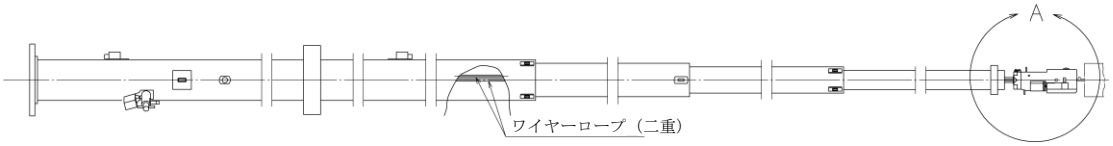
巻上モータを停止させると，電動油圧押上機も停止するため，再びブレーキばねの力によってブレーキパッドがブレーキディスクを押しつけて制動する。

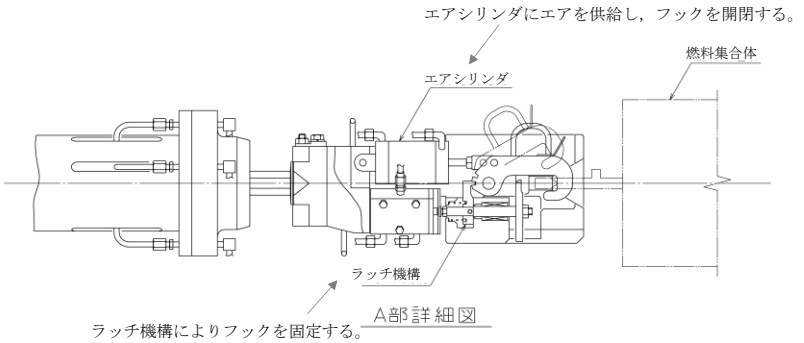
以下に通電(開放)時と，制動時の模式図を示す。



機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1)　ホイストは電源断時に電磁ブレーキで保持する構造
	(2)　燃料把握機は空気源喪失時にフックが開かない構造
	(3)　燃料把握機の機械的インターロック
	(4)　燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック
	(5)　燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1)　巻上装置は電源断時に電動油圧押上機ブレーキで保持する構造
	(2)　主巻フックは二重のワイヤロープで保持する構造
	(3)　主巻フックは外れ止め装置を有する構造

燃料把握機は，フックの駆動に用いる空気源が喪失しても，ラッチ機構によりフックが開かないような設計としている。

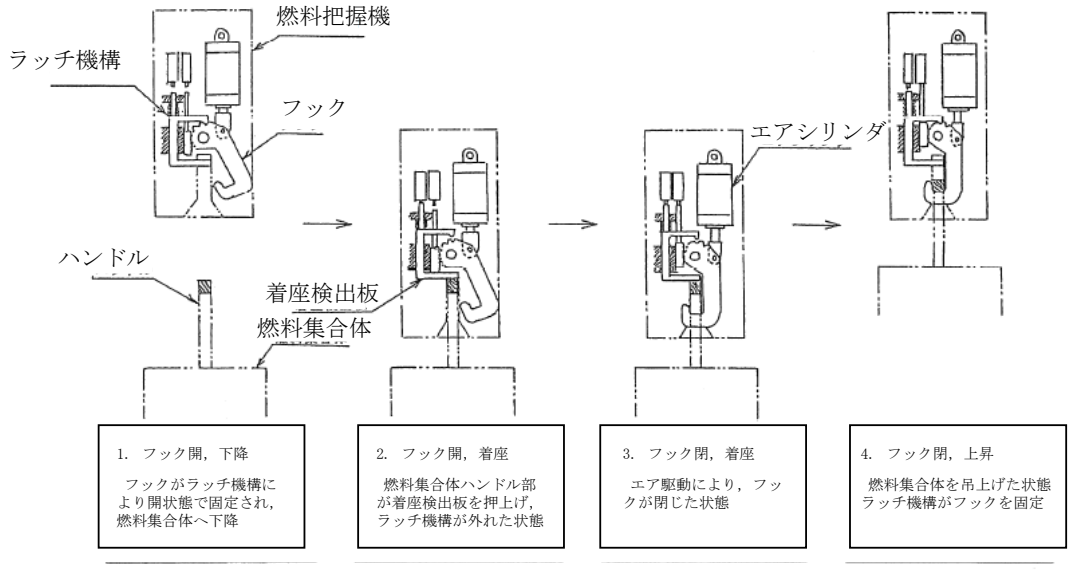




機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1)　ホイストは電源断時に電磁ブレーキで保持する構造 (2)　燃料把握機は空気源喪失時にフックが開かない構造 (3)　燃料把握機の機械的インターロック (4)　燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (5)　燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1)　巻上装置は電源断時に電動油圧押上機ブレーキで保持する構造 (2)　主巻フックは二重のワイヤロープで保持する構造 (3)　主巻フックは外れ止め装置を有する構造

燃料集合体を吊った状態においては，燃料把握機はラッチ機構により固定されフックを開くことができない。また，燃料把握時には燃料集合体ハンドル部が着座検出板を押し上げるとラッチ機構が外れる機械的インターロックを備えている。

燃料把握機の燃料つかみ動作について



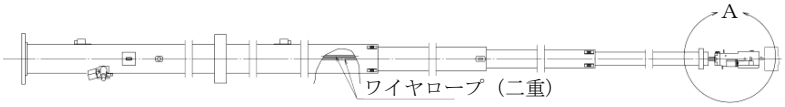
機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1)　ホイストは電源断時に電磁ブレーキで保持する構造 (2)　燃料把握機は空気源喪失時にフックが開かない構造 (3)　燃料把握機の機械的インターロック (4)　燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (5)　燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1)　巻上装置は電源断時に電動油圧押上機ブレーキで保持する構造 (2)　主巻フックは二重のワイヤロープで保持する構造 (3)　主巻フックは外れ止め装置を有する構造

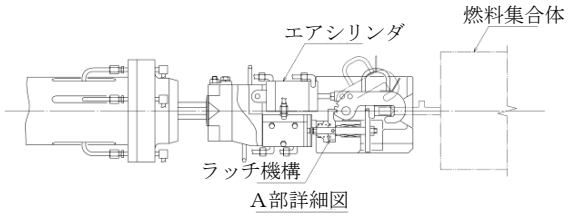
燃料把握機のワイヤロープに必要以上の張力が加わらないように，必要以上の荷重を検出した場合に，燃料把握機を上昇することができないインターロックを備えている。

機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1)　ホイストは電源断時に電磁ブレーキで保持する構造 (2)　燃料把握機は空気源喪失時にフックが開かない構造 (3)　燃料把握機の機械的インターロック (4)　燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (5)　燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1)　巻上装置は電源断時に電動油圧押上機ブレーキで保持する構造 (2)　主巻フックは二重のワイヤロープで保持する構造 (3)　主巻フックは外れ止め装置を有する構造

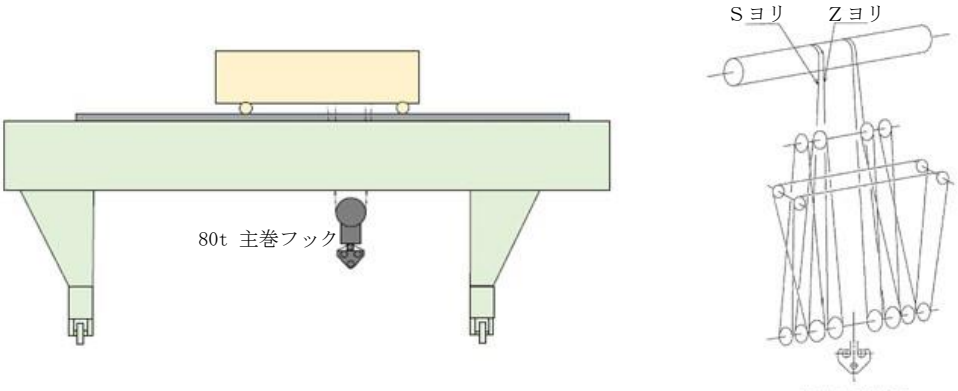
燃料把握機及びクレーンの主巻フックは，ワイヤロープを二重化し，万一ワイヤロープが１本切断したとしても落下を防止できる設計としている。

＜燃料取扱機＞



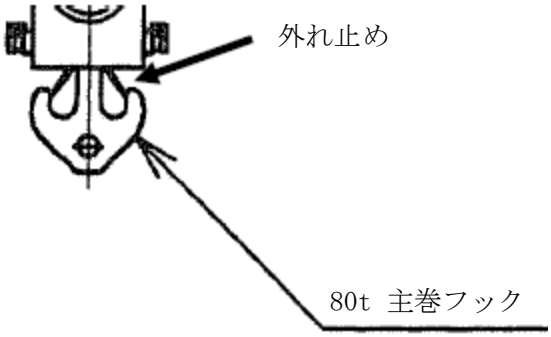


＜クレーン＞



機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1)　ホイストは電源断時に電磁ブレーキで保持する構造 (2)　燃料把握機は空気源喪失時にフックが開かない構造 (3)　燃料把握機の機械的インターロック (4)　燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (5)　燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1)　巻上装置は電源断時に電動油圧押上機ブレーキで保持する構造 (2)　主巻フックは二重のワイヤロープで保持する構造 (3)　主巻フックは外れ止め装置を有する構造

主巻フックは，両吊り形フックとし，外れ止めを有する。



5　　別添

別添－１　４号機燃料取扱設備の機能に係る確認事項

別添－２　３号機燃料取扱設備の機能に係る確認事項

別添－３　２号機燃料取扱設備の機能に係る確認事項

別添－４　１号機燃料取扱設備の機能に係る確認事項

４号機燃料取扱設備の機能に係る確認事項

４号機燃料取扱設備の機能に係る主要な確認事項を表－１及び表－２に示す。

表－１　４号機燃料取扱設備の機能に係る確認事項（燃料取扱機）

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
落下防止	機能確認		単一故障において燃料集合体を落下させないことを確認する。	動力源が喪失した場合においても燃料集合体を保持し続ける構造であること。 動力源断時に電磁ブレーキで保持する構造であること。
				空気喪失時にフックが開かない構造であること。
				ラッチ機構により固定されフックを開くことができない構造であること。
				過荷重時に上昇を阻止すること。
				二重のワイヤロープで保持する構造であること。
臨界防止	機能確認		燃料集合体取り扱い時の臨界防止機能について確認する。	燃料集合体を１体ずつ取り扱う構造であること。
遮蔽	機能確認		燃料集合体取り扱い時の遮蔽機能について確認する。	遮蔽水深を確保した状態で取り扱えること。
性能	機能確認	容量確認	容量及び所定の動作について確認する。	実施計画通りの荷重が吊り上げ可能なこと。 横行，走行，巻き上げ，巻き下げが可能なこと。

表－２　４号機燃料取扱設備の機能に係る確認事項（クレーン）

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
落下防止	機能確認		単一故障において構内用輸送容器を落下させないことを確認する。	動力源が喪失した場合においても構内用輸送容器を保持し続ける構造であること。 動力源断時に電動油圧押上機ブレーキで保持する構造であること。
				重量物を吊った状態で使用済燃料貯蔵ラック上を通過させない構造であること。
				二重のワイヤロープで保持する構造であること。
				フックは外れ防止装置を有する構造であること。
性能	機能確認	容量確認	容量及び所定の動作について確認する。	実施計画通りの荷重が吊り上げ可能なこと。 横行，走行，巻き上げ，巻き下げが可能なこと。

３号機燃料取扱設備の機能に係る確認事項

３号機燃料取扱設備の機能に係る主要な確認事項を表－１及び表－２に示す。

表－１　３号機燃料取扱設備の機能に係る確認事項（燃料取扱機）

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
落下防止	機能確認		単一故障において燃料集合体を落下させないことを確認する。	動力源が喪失した場合においても燃料集合体を保持し続ける構造であること。 動力源断時に電磁ブレーキで保持する構造であること。
				駆動水圧喪失時にフックが開かない構造であること。
				ラッチ機構により固定されフックを開くことができない構造であること。
				過荷重時に上昇を阻止すること。
				二重のワイヤロープで保持する構造であること。
臨界防止	機能確認		燃料集合体取り扱い時の臨界防止機能について確認する。	燃料集合体を１体ずつ取り扱う構造であること。
遮蔽	機能確認		燃料集合体取り扱い時の遮蔽機能について確認する。	遮蔽水深を確保した状態で取り扱えること。
性能	機能確認	容量確認	容量及び所定の動作について確認する。	実施計画通りの荷重が吊り上げ可能なこと。 横行，走行，巻き上げ，巻き下げが可能なこと。

表－２　３号機燃料取扱設備の機能に係る確認事項（クレーン）

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
落下防止	機能確認		単一故障において構内用輸送容器を落下させないことを確認する。	動力源が喪失した場合においても構内用輸送容器を保持し続ける構造であること。 動力源断時に電動油圧押上機ブレーキで保持する構造であること。
				重量物を吊った状態で使用済燃料貯蔵ラック上を通過させない構造であること。
				二重のワイヤロープで保持する構造であること。
				フックは外れ防止装置を有する構造であること。
性能	機能確認	容量確認	容量及び所定の動作について確認する。	実施計画通りの荷重が吊り上げ可能なこと。 横行，走行，巻き上げ，巻き下げが可能なこと。

２号機燃料取扱設備の機能に係る確認事項

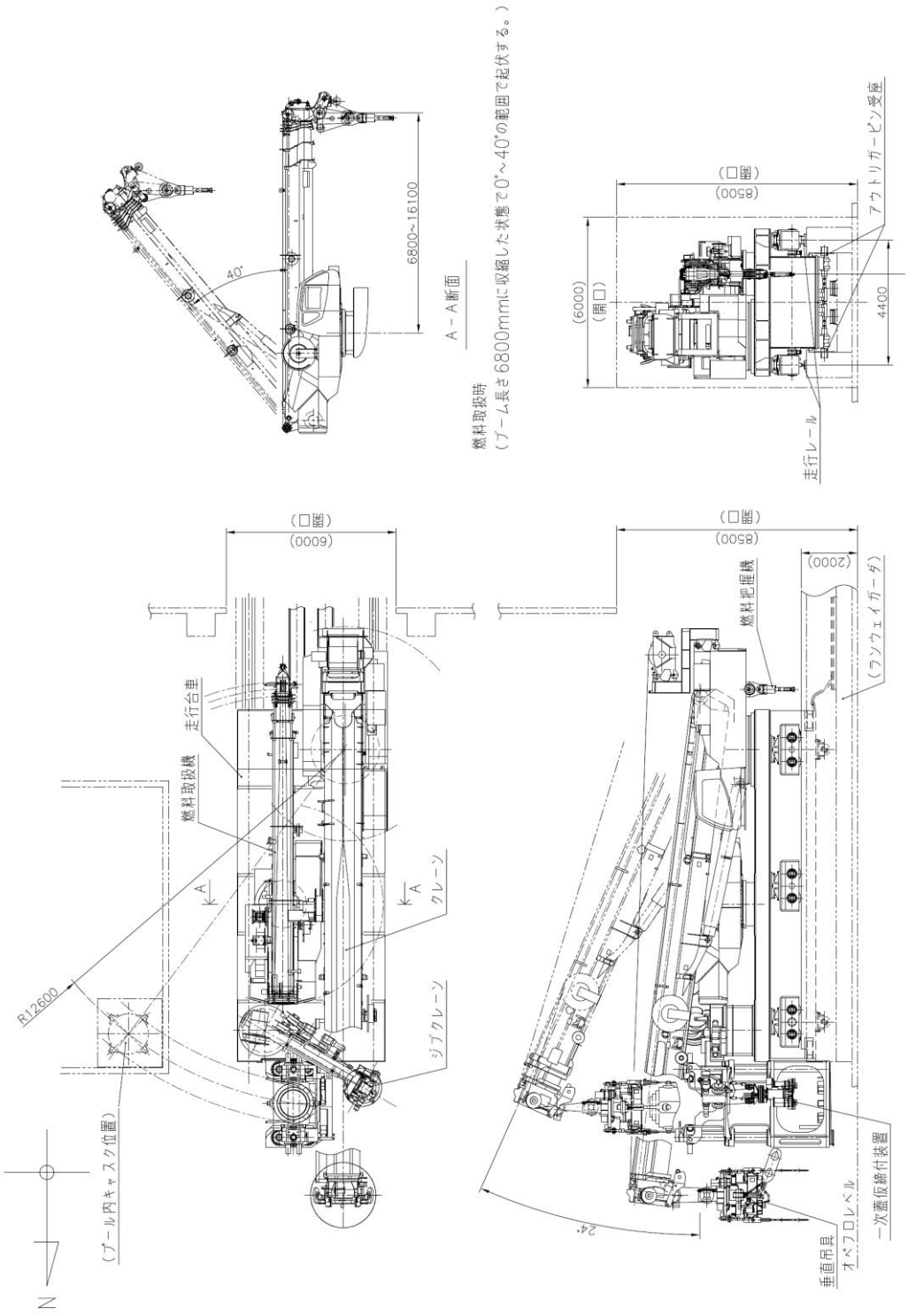
２号機燃料取扱設備の機能に係る主要な確認事項を表－１及び表－２に示す。また，燃料取扱設備，燃料把握機，垂直吊具の外形図を図－１，図－２及び図―３に示す。

表－１　２号機燃料取扱設備の機能に係る確認事項（燃料取扱機）

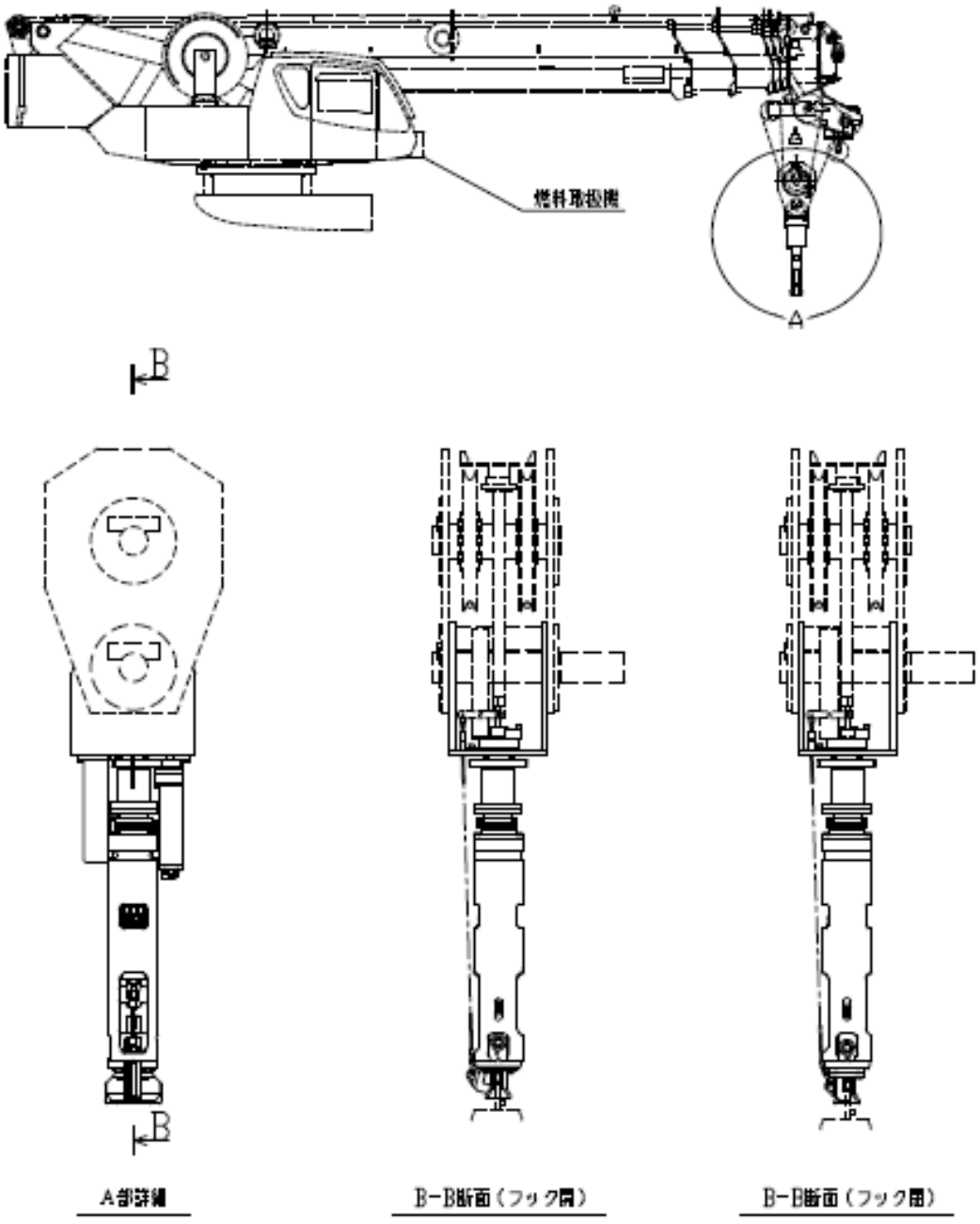
確認事項	確認項目		確認内容	判定基準	検査場所
落下防止	機能確認		単一故障において燃料集合体を落下させないことを確認する。	動力源が喪失した場合においても定格容量を保持し続ける構造であること。 動力源断時にスプリングリターン式ブレーキで保持する構造であること。	工場
				駆動空気圧喪失時にフックが開かない構造であること。	工場
				ラッチ機構により固定されフックを開くことができない構造であること。	工場
				過荷重時に上昇を阻止すること。	工場
				二重のワイヤロープで保持する構造であること。	工場
臨界防止	機能確認		燃料集合体取り扱い時の臨界防止機能について確認する。	燃料集合体を１体ずつ取り扱う構造であること。	工場
遮蔽	機能確認		燃料集合体取り扱い時の遮蔽機能について確認する。	遮蔽水深を確保した状態で取り扱えること。	現地
性能	機能確認	容量確認	容量について確認する。	実施計画通りの荷重が吊り上げ可能なこと。	工場
性能	性能確認	動作確認	所定の動作について確認する。	燃料集合体を取扱う状態で伸縮，起伏，旋回，昇降が可能なこと。	現地

表－２　２号機燃料取扱設備の機能に係る確認事項（クレーン）

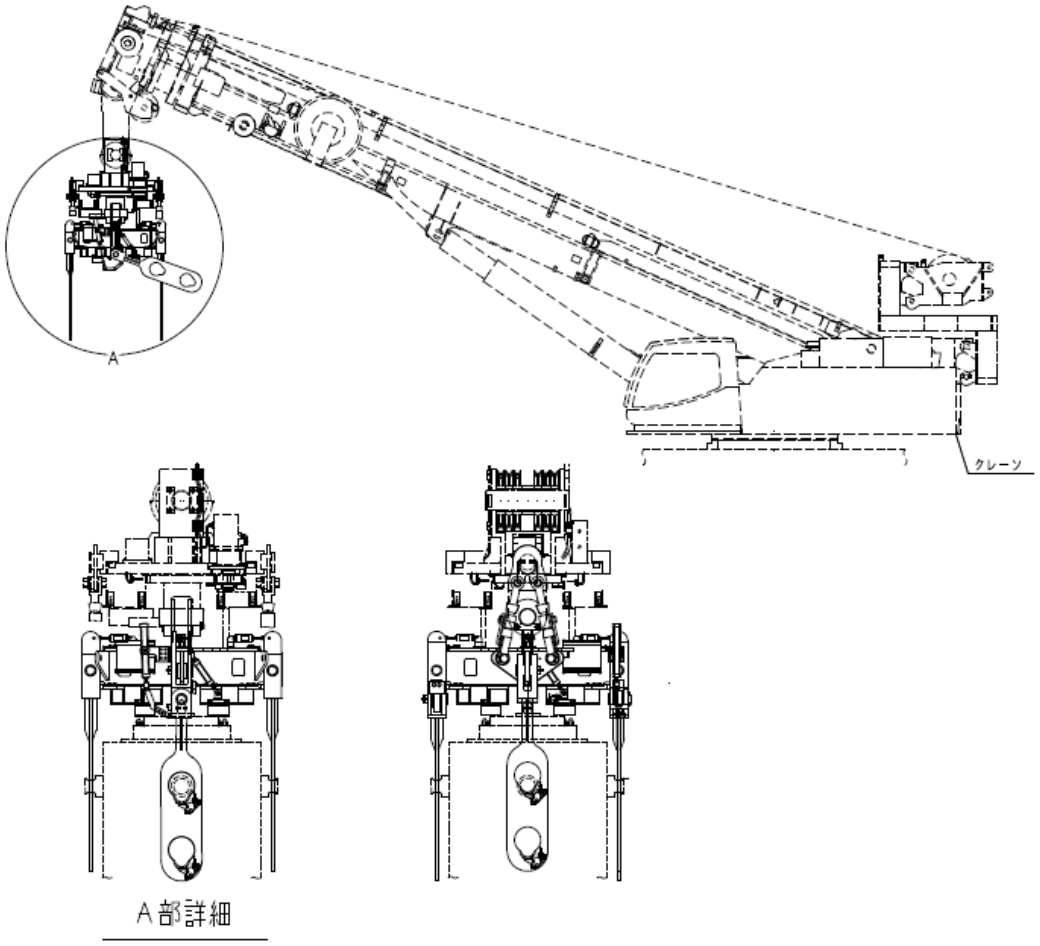
確認事項	確認項目		確認内容	判定基準	検査場所
落下防止	機能確認		単一故障において構内用輸送容器を落下させないことを確認する。	動力源が喪失した場合においても定格容量を保持し続ける構造であること。 動力源断時にスプリングリターン式ブレーキで保持する構造であること。	工場
				構内用輸送容器を取扱う状態で使用済燃料貯蔵ラック上を通過させない機能を有すること。	現地
				二重のワイヤロープで保持する構造であること。	工場
				垂直吊具は外れ止め装置を有する構造であること。	工場
性能	機能確認	容量確認	容量について確認する。	実施計画通りの荷重が吊り上げ可能なこと。	工場
性能	性能確認	動作確認	所定の動作について確認する。	構内用輸送容器を取扱う状態で旋回，昇降が可能なこと。	現地



図－１　燃料取扱設備　外形図



図－２　燃料把握機　外形図



図－３　垂直吊具　外形図

１号機燃料取扱設備の機能に係る確認事項

１号機燃料取扱設備の機能に係る主要な確認事項を表－１及び表－２に示す。また，燃料取扱設備の外形図を図－１，図－２に示す。

表－１　１号機燃料取扱設備の機能に係る確認事項（燃料取扱機）

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
落下防止	機能確認		単一故障において燃料集合体を落下させないことを確認する。	動力源が喪失した場合においても定格容量を保持し続ける構造であること。 動力源断時に電磁ブレーキで保持する構造であること。
				空気喪失時にフックが開かない構造であること。
				ラッチ機構により固定されフックを開くことができない構造であること。
				過荷重時に上昇を阻止すること。
				二重のワイヤロープで保持する構造であること。
臨界防止	機能確認		燃料集合体取り扱い時の臨界防止機能について確認する。	燃料集合体を１体ずつ取り扱う構造であること。
遮蔽	機能確認		燃料集合体取り扱い時の遮蔽機能について確認する。	遮蔽水深を確保した状態で取り扱えること。
性能	機能確認	容量確認	容量について確認する。	実施計画通りの荷重が吊り上げ可能なこと。
	性能確認	動作確認	所定の動作について確認する。	横行，走行，巻き上げ，巻き下げが可能なこと。

表－２　１号機燃料取扱設備の機能に係る確認事項（クレーン）

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
落下防止	機能確認		単一故障において構内用輸送容器を落下させないことを確認する。	動力源が喪失した場合においても定格容量を保持し続ける構造であること。 動力源断時に電動油圧押上機ブレーキで保持する構造であること。
				重量物を吊った状態で使用済燃料貯蔵ラック上を通過させない構造であること。
				二重のワイヤロープで保持する構造であること。
				フックは外れ止め装置を有する構造であること。
性能	機能確認	容量確認	容量について確認する。	実施計画通りの荷重が吊り上げ可能なこと。
	性能確認	動作確認	所定の動作について確認する。	横行，走行，巻き上げ，巻き下げが可能なこと。

図－１　燃料取扱機　外形図

図－２　クレーン　外形図

放射線モニタリングに関する説明書

1　概要

本説明書は，放射線管理用計測装置の構成並びに計測範囲及び警報動作範囲について説明するものである。

2　４号機放射線モニタリング

2.1　４号機放射線モニタリングの基本方針

燃料取扱時及び非常時において，エリア放射線モニタは使用済燃料貯蔵プールエリアの線量当量率を連続計測する目的で設置する。その計測結果を計装監視設備の現場盤に集約し，現場盤のデータはネットワーク回線経由で免震重要棟内 PC に集約し，集中監視する。

なお，エリア放射線モニタは試験及び検査ができる設計とする。

エリア放射線モニタを含む制御回路は，無停電電源装置を有しており，瞬停時にも計測を継続可能とする。

(1) 使用済燃料貯蔵プールエリアの線量当量率を計測する装置

本計測装置は，使用済燃料貯蔵プールエリアの線量当量率を計測して，その計測結果を現場盤にて指示及び記録するとともに，免震重要棟で指示値を確認できるものとする。また，放射線基準設定レベルを超えた時には免震重要棟及び現場設置箇所にて警報を発信する。

表 2.1-1　４号機エリア放射線モニタ仕様

名称	検出器の種類	計測範囲	警報動作範囲	取付箇所	個数
使用済燃料貯蔵プールエリア放射線モニタ	半導体検出器	10^{-3}～10mSv/h	計測範囲内で可変	４号機　原子炉建屋 5FL (燃料取り出し用カバーオペフロ階)	2

(2) 計測範囲の設定に関する考え方

測定下限値はバックグラウンドレベルが測定でき，測定上限値は設定すべき警報動作値を包含する範囲とする。

(3) 警報動作範囲の設定に関する考え方

警報動作値は，異常を検知する観点からバックグラウンドと有意な差を持たせると同時に，作業安全を考慮した適切な値とする。

2.2　４号機エリア放射線モニタの構成

使用済燃料貯蔵プールエリアの線量当量率を半導体検出器を用いてパルス信号として検出する。検出したパルス信号を演算装置にて線量当量率信号へ変換する処理を行った後，線量当量率を現場盤にて指示及び記録するとともに，免震重要棟にて指示値を表示する。

また，演算装置にて警報設定値との比較を行い，線量当量率が警報設定値に達した場合には，免震重要棟内に警報音とともに一括警報及び個別警報表示を行う。

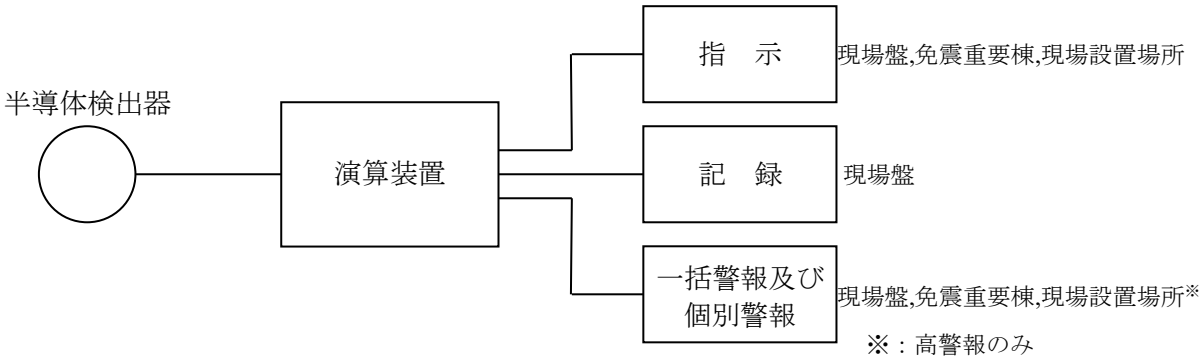


図 2.2-1　４号機使用済燃料貯蔵プールエリアのエリア放射線モニタ概略構成図

2.3　４号機使用済燃料貯蔵プールエリアのエリア放射線モニタの配置

４号機使用済燃料キャスクの移動ルート（SFP 近傍／搬出入口近傍）の 2 箇所に設置する（図 2.3-1 参照）。

検出器のボトムが床から 1500±100mm となるよう壁または柱に設置する。

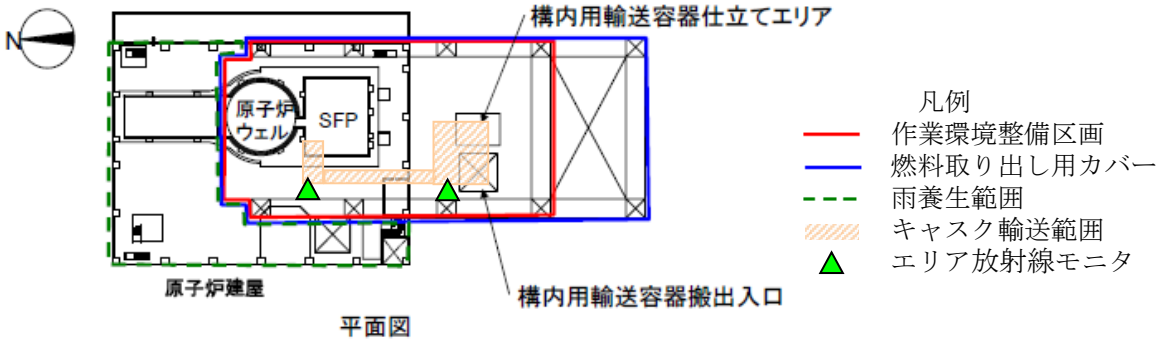


図 2.3-1　４号機使用済燃料貯蔵プールエリアのエリア放射線モニタ配置図

3　３号機放射線モニタリング

3.1　３号機放射線モニタリングの基本方針

通常時及び非常時において，エリア放射線モニタは使用済燃料貯蔵プールエリアの線量当量率を連続計測する目的で設置する。その計測結果は現場盤を介して伝送用 PC に集約し，伝送用 PC のデータはネットワーク回線経由で免震重要棟内の監視 PC に集約・表示し集中監視する。

なお，エリア放射線モニタは試験及び検査ができる設計とする。

(1) 使用済燃料貯蔵プールエリアの線量当量率を計測する装置

本計測装置は，使用済燃料貯蔵プールエリアの線量当量率を計測して，その計測結果を現場盤にて指示及び記録するとともに，免震重要棟で指示を確認できるものとする。

また，放射線基準設定レベルを超えた時には免震重要棟及び現場設置箇所にて警報を発信する。

表 3.1-1　３号機エリア放射線モニタ仕様

名称	検出器の種類	計測範囲	警報動作範囲	取付箇所	個数
使用済燃料貯蔵プールエリア放射線モニタ	半導体検出器	10^{-2}～10^{2}mSv/h	計測範囲内で可変	３号機　燃料取り出し用カバー 燃料取り出し作業フロア	2

(2) 計測範囲の設定に関する考え方

測定下限値はバックグラウンドレベルが測定でき，測定上限値は設定すべき警報動作値を包含する範囲とする。

(3) 警報動作範囲の設定に関する考え方

警報動作値は，異常を検知する観点からバックグラウンドと有意な差を持たせると同時に，作業安全を考慮した適切な値とする。

3.2　３号機使用済燃料貯蔵プールエリア放射線モニタの構成

使用済燃料貯蔵プールエリアの線量当量率を半導体検出器を用いてパルス信号として検出する。検出したパルス信号を演算装置にて線量当量率信号へ変換する処理を行った後，線量当量率を現場盤にて指示及び記録するとともに，免震重要棟にて指示値を表示する。

また，演算装置にて警報設定値との比較を行い，線量当量率が警報設定値に達した場合には，免震重要棟に警報音とともに一括警報及び個別警報表示を行う。

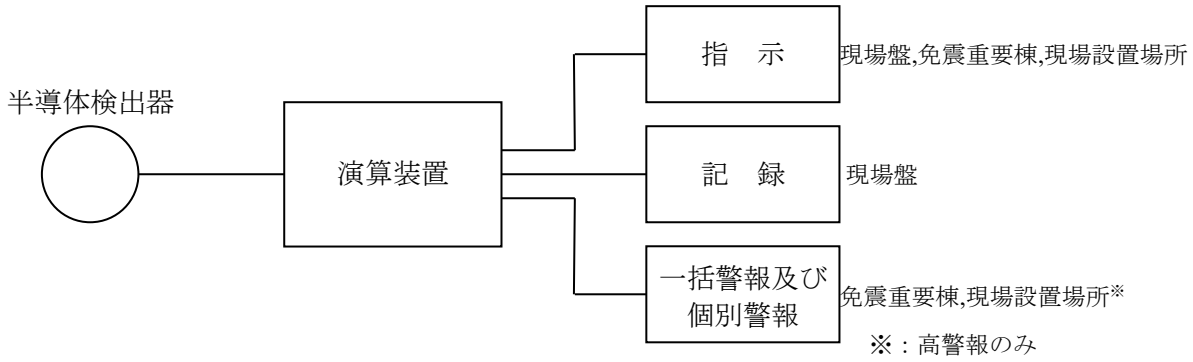


図 3.2-1　３号機使用済燃料貯蔵プールエリアのエリア放射線モニタ概略構成図

3.3　３号機使用済燃料貯蔵プールエリア放射線モニタの配置

３号機燃料取り出し用カバー　燃料取り出し作業フロア（東側メンテナンスエリア／西側メンテナンスエリア）の２箇所に設置する（図 3.3-1 参照）。

検出器のボトムが床から 1300±100㎜となるよう床から自立させて設置する。

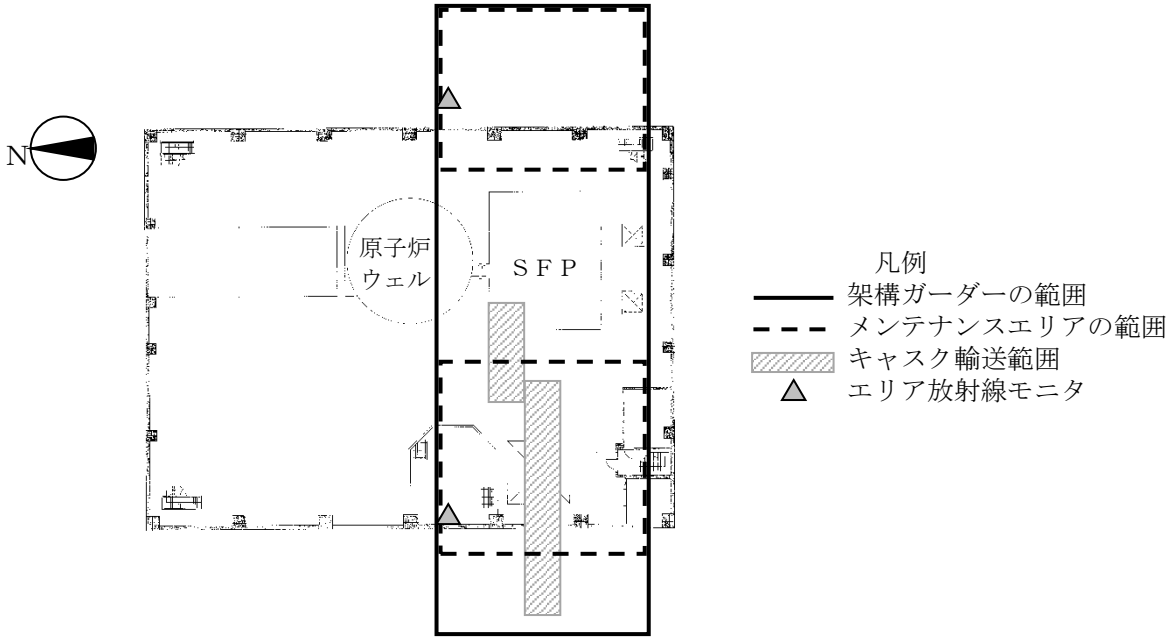


図 3.3-1　３号機使用済燃料貯蔵プールエリアのエリア放射線モニタ配置図

4　２号機放射線モニタリング

4.1　２号機放射線モニタリングの基本方針

通常時及び非常時において，エリア放射線モニタは燃料取り出し用構台内作業エリアの線量当量率を計測する目的で設置する。その計測結果は現場盤を介して伝送用 PC に集約し，伝送用 PC のデータはネットワーク回線経由で免震重要棟内の監視 PC に集約・表示し集中監視する。

なお，エリア放射線モニタは試験及び検査ができる設計とする。

(1) 燃料取り出し用構台内作業エリアの線量当量率を計測する装置

本計測装置は，燃料取り出し用構台内作業エリアの線量当量率を計測して，その計測結果を現場盤及び現場設置場所にて指示するとともに，免震重要棟で指示及び記録するものとする。

また，放射線基準設定レベルを超えた時には免震重要棟及び現場設置箇所にて警報を発信する。

表 4.1-1　２号機エリア放射線モニタ仕様

名称	検出器の種類	計測範囲	警報動作範囲	取付箇所	個数
燃料取り出し用構台内エリア放射線モニタ	半導体検出器	10^{-2}～10^{2}mSv/h	計測範囲内で可変	２号機 燃料取り出し用構台内作業エリア	2

(2) 計測範囲の設定に関する考え方

測定下限値はバックグラウンドレベルが測定でき，測定上限値は設定すべき警報動作値を包含する範囲とする。

(3) 警報動作範囲の設定に関する考え方

警報動作値は，異常を検知する観点からバックグラウンドと有意な差を持たせると同時に，作業安全を考慮した適切な値とする。

4.2　２号機燃料取り出し用構台内エリア放射線モニタの構成

燃料取り出し用構台内作業エリアの線量当量率を，半導体検出器を用いてパルス信号として検出する。検出したパルス信号を演算装置にて線量当量率信号へ変換する処理を行った後，線量当量率を現場盤及び現場設置場所にて指示するとともに，免震重要棟にて指示及び記録する。

また，演算装置にて警報設定値との比較を行い，線量当量率が警報設定値に達した場合には，免震重要棟に警報音とともに一括警報及び個別警報表示を行う。

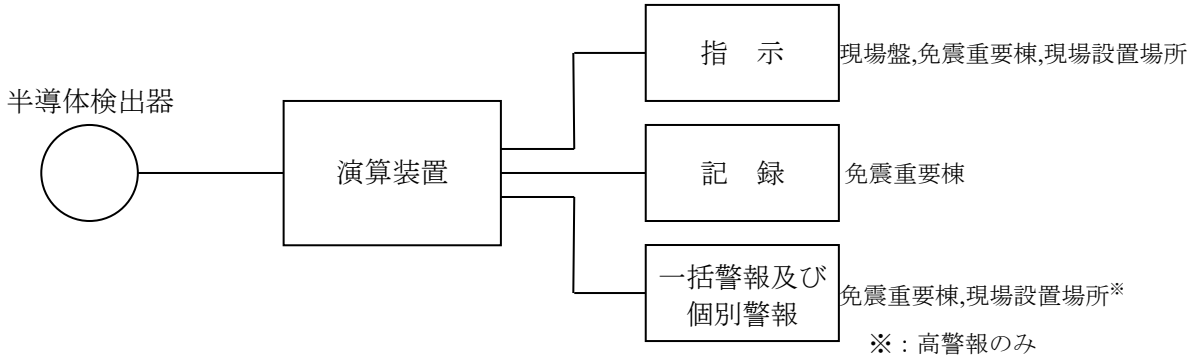


図 4.2-1　２号機燃料取り出し用構台内作業エリアのエリア放射線モニタ概略構成図

4.3　２号機燃料取り出し用構台内作業エリア放射線モニタの配置

燃料取り出し用構台内作業エリアの 2 箇所に設置する（図 4.3-1 参照）。

検出器のボトムが床から 1300±100mm となるよう床から自立させて設置する。

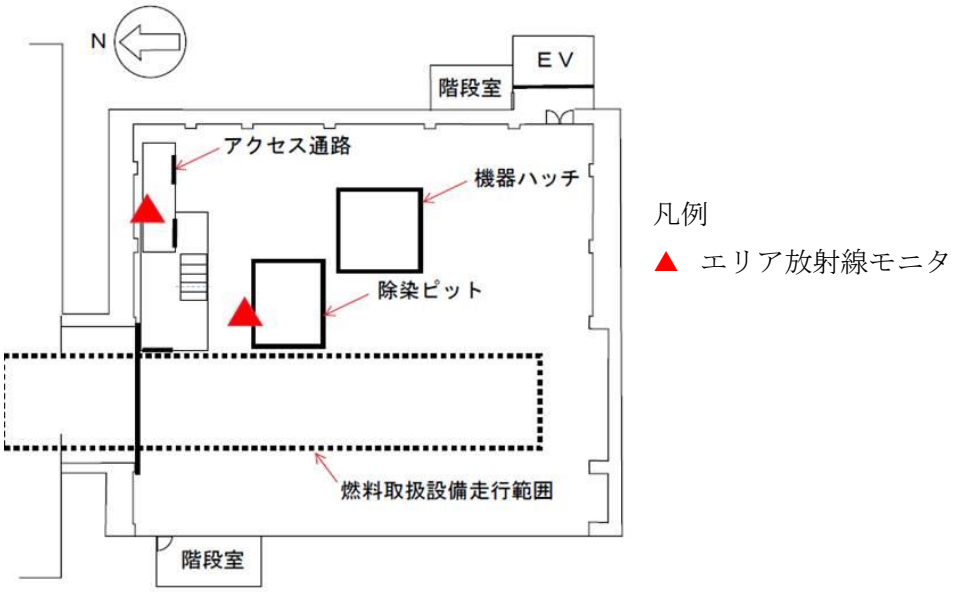


図 4.3-1　２号機燃料取り出し用構台内のエリア放射線モニタ配置図

5　1号機放射線モニタリング

5.1　1号機放射線モニタリングの基本方針

通常時及び非常時において，エリア放射線モニタは使用済燃料貯蔵プールエリアの線量当量率を計測する目的で設置する。その計測結果は現場盤に集約し，現場盤のデータはネットワーク回線経由で免震重要棟内監視装置に集約・表示し集中監視する。

なお，エリア放射線モニタは試験及び検査ができる設計とする。

(1) 使用済燃料貯蔵プールエリアの線量当量率を計測する装置

本計測装置は，使用済燃料貯蔵プールエリアの線量当量率を計測して，その計測結果を現場設置場所にて指示するとともに，免震重要棟で指示及び記録するものとする。

また，放射線基準設定レベルを超えた時には免震重要棟及び現場設置箇所にて警報を発信する。

表 5.1-1　1号機エリア放射線モニタ仕様

名称	検出器の種類	計測範囲	警報動作範囲	取付箇所	個数
使用済燃料貯蔵プールエリア放射線モニタ	半導体検出器	10^{-4}～1mSv/h	計測範囲内で可変	1号機　大型カバー燃料取り出し作業エリア	2

(2) 計測範囲の設定に関する考え方

測定下限値はバックグラウンドレベルが測定でき，測定上限値は設定すべき警報動作値を包含する範囲とする。

(3) 警報動作範囲の設定に関する考え方

警報動作値は，異常を検知する観点からバックグラウンドと有意な差を持たせると同時に，作業安全を考慮した適切な値とする。

(4) 耐震設計に関する考え方

エリア放射線モニタは，地震によって計測機能が失われても，公衆への被ばく影響はないことから，耐震 C クラスに分類し，一般構造物と同等の耐震性を有する設計とする。

5.2　1号機使用済燃料貯蔵プールエリア放射線モニタの構成

使用済燃料貯蔵プールエリアの線量当量率を，半導体検出器を用いてパルス信号として検出する。検出したパルス信号を演算装置にて線量当量率信号へ変換する処理を行った後，線量当量率を現場設置場所にて指示するとともに，免震重要棟にて指示及び記録する。

また，演算装置にて警報設定値との比較を行い，線量当量率が警報設定値に達した場合には，免震重要棟に警報音とともに一括警報及び個別警報表示を行う。

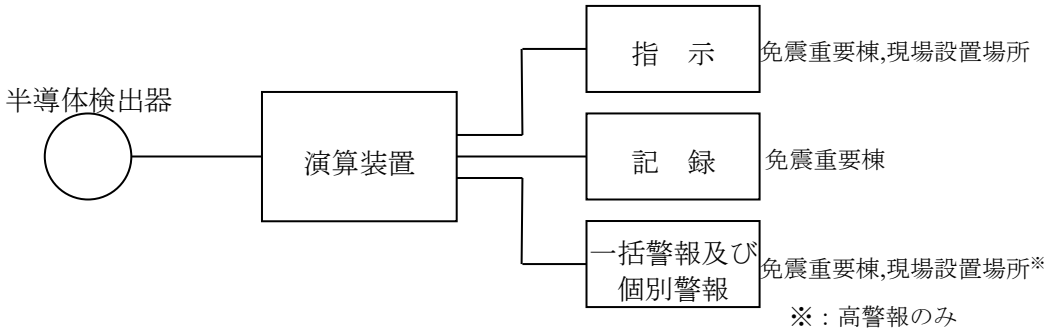


図 5.2-1　1号機使用済燃料貯蔵プールエリアのエリア放射線モニタ概略構成図

5.3　1号機使用済燃料貯蔵プールエリア放射線モニタの配置

使用済燃料貯蔵プールエリアの2箇所に設置する（図5.3-1参照）。

検出器のボトムが床から1500±100mmとなるよう壁または床から自立させて設置する。

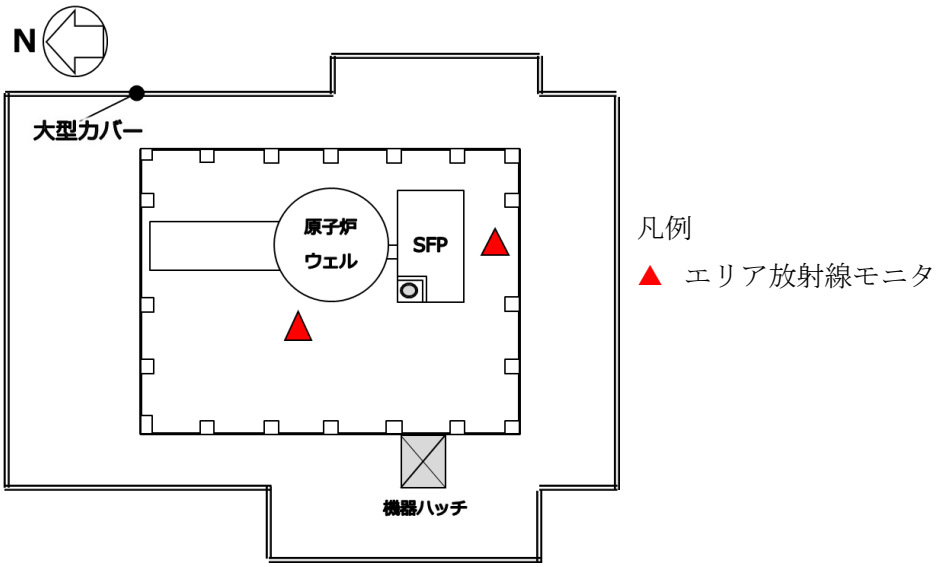


図5.3-1　1号機使用済燃料貯蔵プールエリアのエリア放射線モニタ配置図

6　別添

別添－1　4号機使用済燃料貯蔵プールエリア放射線モニタに係る確認事項

別添－2　3号機使用済燃料貯蔵プールエリア放射線モニタに係る確認事項

別添－3　2号機燃料取り出し用構台内エリア放射線モニタに係る確認事項

別添－4　1号機使用済燃料貯蔵プールエリア放射線モニタに係る確認事項

４号機使用済燃料貯蔵プールエリア放射線モニタに係る確認事項

４号機使用済燃料貯蔵プールエリア放射線モニタに係る主要な確認事項を表－１に示す。

表－１　４号機使用済燃料貯蔵プールエリア放射線モニタに係る確認事項

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
監視	構造確認	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
		据付確認	機器の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画通りに施工・据付されていること。
	機能確認	警報確認	設定値において警報及び表示灯が作動することを確認する。	許容範囲以内で警報及び表示灯が作動すること。
	性能確認	線源校正確認	標準線源を用いて線量当量率を測定し，各検出器の校正が正しいことを確認する。	基準線量当量率に対する正味線量当量率が，許容範囲以内であること。
		校正確認	モニタ内のテスト信号発生部により，データ収集装置に各校正点の基準入力を与え，その時のデータ収集装置の指示値が正しいことを確認する。	各指示値が許容範囲以内に入っていること。

３号機使用済燃料貯蔵プールエリア放射線モニタに係る確認事項

３号機使用済燃料貯蔵プールエリア放射線モニタに係る主要な確認事項を表－１に示す。

表－１　３号機使用済燃料貯蔵プールエリア放射線モニタに係る確認事項

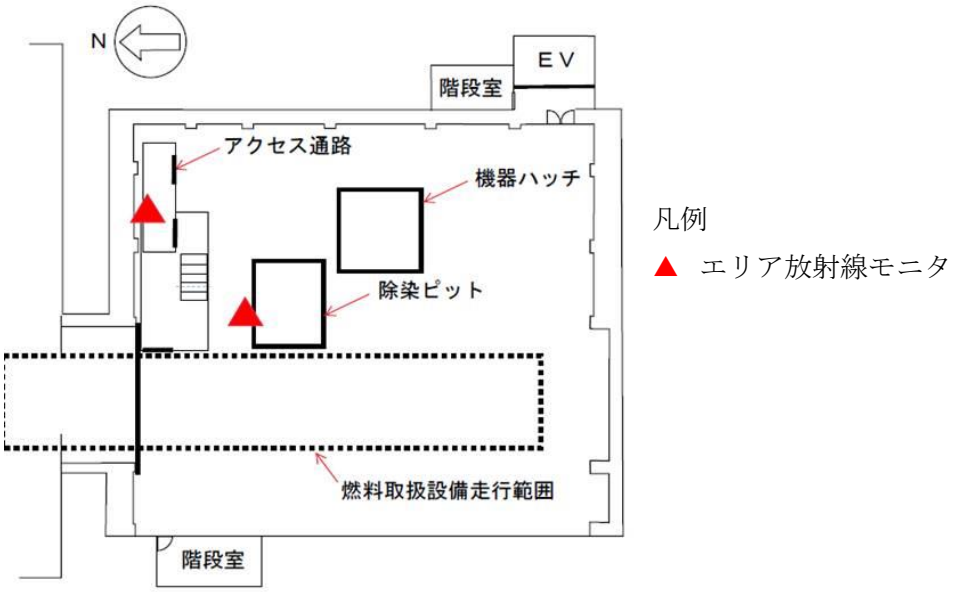
確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
監視	構造確認	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
		据付確認	機器の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画通りに施工・据付されていること。
	機能確認	警報確認	設定値において警報及び表示灯が作動することを確認する。	許容範囲以内で警報及び表示灯が作動すること。
	性能確認	線源校正確認	標準線源を用いて線量当量率を測定し，各検出器の校正が正しいことを確認する。	基準線量当量率に対する正味線量当量率が，許容範囲以内であること。
		校正確認	モニタ内のテスト信号発生部により，各校正点の基準入力を与え，その時の監視ＰＣの指示値が正しいことを確認する。	各指示値が許容範囲以内に入っていること。

２号機燃料取り出し用構台内エリア放射線モニタに係る確認事項

２号機燃料取り出し用構台内エリア放射線モニタに係る主要な確認事項を表－１に，エリア放射線モニタの配置図を図－１に示す。

表－１　２号機燃料取り出し用構台内エリア放射線モニタに係る確認事項

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準	検査場所
監視	構造確認	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。	現地
		据付確認	機器の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画通りに施工・据付されていること。	現地
	機能確認	警報確認	設定値において警報及び表示灯が作動することを確認する。	許容範囲以内で警報及び表示灯が作動すること。	現地
	性能確認	線源校正確認	標準線源を用いて線量当量率を測定し，各検出器の校正が正しいことを確認する。	基準線量当量率に対する正味線量当量率が，許容範囲以内であること。	現地
		校正確認	モニタ内のテスト信号発生部により，各校正点の基準入力を与え，その時の監視ＰＣの指示値が正しいことを確認する。	各指示値が許容範囲以内に入っていること。	現地



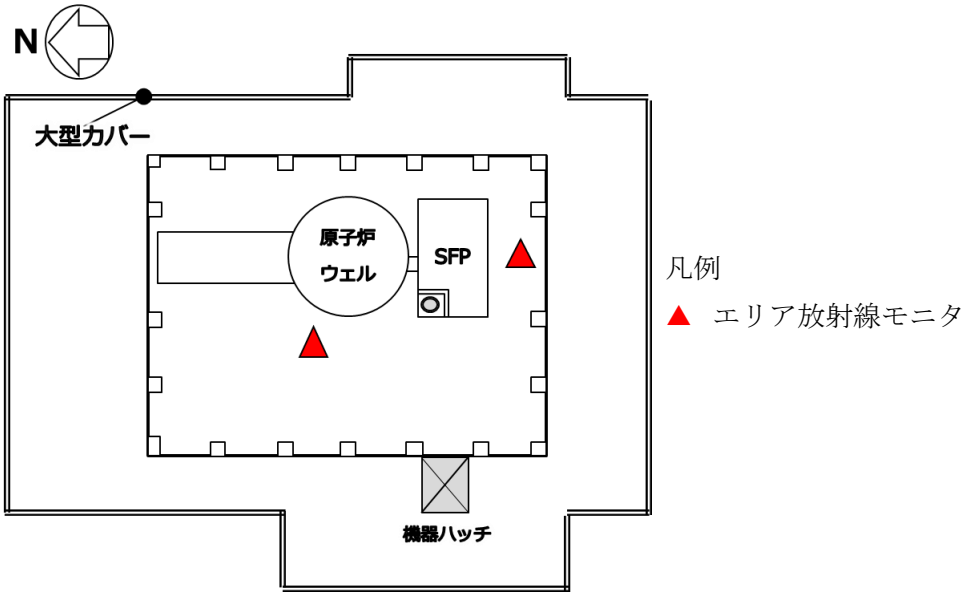
図－１　２号機燃料取り出し用構台内のエリア放射線モニタ配置図
（添付資料１－２　図 4.3-1 再掲）

１号機使用済燃料貯蔵プールエリア放射線モニタに係る確認事項

１号機使用済燃料貯蔵プールエリア放射線モニタに係る主要な確認事項を表－１に，エリア放射線モニタの配置図を図－１に示す。

表－１　１号機使用済燃料貯蔵プールエリア放射線モニタに係る確認事項

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
監視	構造確認	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
		据付確認	機器の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画通りに施工・据付されていること。
	機能確認	警報確認	設定値において警報及び表示灯が作動することを確認する。	許容範囲以内で警報及び表示灯が作動すること。
	性能確認	線源校正確認	標準線源を用いて線量当量率を測定し，各検出器の校正が正しいことを確認する。	基準線量当量率に対する正味線量当量率が，許容範囲以内であること。
		校正確認	模擬入力により，各校正点の基準入力を与え，その時の監視装置の指示値が正しいことを確認する。	各指示値が許容範囲以内に入っていること。



図－１　１号機使用済燃料貯蔵プールエリアのエリア放射線モニタ配置図
（添付資料１－２　図 5.3-1 再掲）

放射性物質の飛散・拡散を防止するための機能に関する説明書

1　本説明書の記載範囲

本説明書は，１号機，２号機，３号機及び４号機燃料取り出し用カバーの放射性物質の飛散・拡散を防止するための機能について記載するものである。

2　４号機放射性物質の飛散・拡散を防止するための機能について

2.1　燃料取り出し用カバーについて

2.1.1　概要

燃料取り出し用カバーは，作業に支障が生じることのないよう作業に必要な範囲をカバーし，風雨を遮る構造とする。また，使用済燃料プール内がれき撤去時の放射性物質の舞い上がり，燃料取り出し作業に伴い建屋等に付着した放射性物質の舞い上がりによる大気放出を抑制するため，燃料取り出し用カバーは隙間を低減した構造とするとともに，換気設備を設け，排気はフィルタユニットを通じて大気へ放出する。また，現在，発電所敷地内でよう素（I-131）は検出されていないことから，フィルタユニットは，発電所敷地内等で検出されているセシウム（Cs-134,137）の大気への放出が低減できる設計とする。

2.1.2　燃料取り出し用カバー

燃料取り出し用カバーの大きさは，約 69m（南北）×約 31m（東西）×約 53m（地上高）である。主体構造は鉄骨造であり，壁面及び屋根面は風雨を遮る外装材で覆う計画である。屋根面及び壁面上部には勾配を設けて，雨水の浸入を防止する構造とする。（図 2-1　燃料取り出し用カバー概略図参照）

2.1.3　換気設備

2.1.3.1　系統構成

換気設備は，燃料取り出し用カバー内気体を吸引し，排気ダクトを経由して燃料取り出し用カバーの外部に設置した排気フィルタユニットへ導く。排気フィルタユニットは，プレフィルタ，高性能粒子フィルタ，排風機等で構成され，各フィルタで放射性物質を捕集した後の気体を吹上用排気ダクトから大気へ放出する。

排気フィルタユニットは，換気風量約 25,000m^3/h のユニットを 3 系列（うち 1 系列は予備）設置し，約 50,000m^3/h の換気風量で運転する。

また，燃料取り出し用カバー内の放射性物質や吹上用排気ダクトから大気に放出される放射性物質の濃度を測定するため，放射性物質濃度測定器を排気フィルタユニットの出入口に設置する。（図 2-2　燃料取り出し用カバー換気設備概略構成図，図 2-3 燃料取り出し用カバー換気設備配置図，図 2-4　燃料取り出し用カバー換気設備系統図参照）

燃料取り出し用カバー換気設備の電源は，異なる系統の所内高圧母線から受電可能な構成とする。(図 2-5　燃料取り出し用カバー換気設備電源系統図参照)

なお，４号機での燃料取り出し作業は，有人での作業を計画していることから，燃料取り出し用カバー内の放射性物質濃度の低減のため，給気フィルタユニットを有する構造とする。給気フィルタユニットは，プレフィルタ，送風機，高性能粒子フィルタ等で構成され，各フィルタで放射性物質を捕集した後の気体を燃料取り出し用カバー内へ放出する。

給気フィルタユニットは，換気風量約 25,000m^3/h のユニットを 3 系列（うち 1 系列は予備）設置し，約 50,000m^3/h の換気風量で運転する。

表 2-1　換気設備構成

設備名	構成・配置等
給気フィルタユニット	配置：原子炉建屋南側の屋外に 3 系列（うち予備 1 系列）設置 構成：プレフィルタ 送風機 高性能粒子フィルタ（効率 97%（粒径 0.3μm）以上） フィルタ線量計（高性能粒子フィルタに設置） フィルタ差圧計（プレフィルタ，高性能粒子フィルタに設置）
給気吹出口	配置：カバー内の側部に設置
排気吸込口	配置：カバー内の天井部に設置
排気フィルタユニット	配置：原子炉建屋南側の屋外に 3 系列（うち予備 1 系列）設置 構成：プレフィルタ 高性能粒子フィルタ（効率 97%（粒径 0.3μm）以上） 排風機 フィルタ線量計（高性能粒子フィルタに設置） フィルタ差圧計（プレフィルタ，高性能粒子フィルタに設置）
吹上用排気ダクト	配置：排気フィルタユニットの下流側に設置
放射性物質濃度測定器	測定対象：カバー内及び大気放出前の放射性物質濃度 仕様　　：検出器種類　シンチレーション検出器 計測範囲　10^0～10^4s^{-1} 台数　排気フィルタユニット入口　1 台 排気フィルタユニット出口　2 台

2.1.3.2　換気風量について

燃料取り出し用カバー内の環境は，燃料取扱機，クレーン及び電源盤の設備保護のため40℃以下（設計値）となる換気設備を設けるものとする。また，カバー内での燃料取り出し作業は，有人による作業を計画していることから，作業エリアには，局所的にローカル空調機を設け夏期及び冬期の作業環境の向上を図るものとする。

燃料取り出し用カバー内の熱負荷を除熱するのに必要な換気風量は，下式により求められ約50,000m^3/hとなる。

$Q=q/(Cp \cdot \rho \cdot (t1-t2) \cdot 1/3600)$

Q　：換気（排気）風量（m^3/h）

q　：設計用熱負荷，約143（kW）（機器発熱）※1

Cp　：定圧比熱，1.004652（kJ/kg・℃）

ρ　：密度，1.2（kg/m^3）

t1　：カバー内温度，40（℃）

t2　：設計用外気温度，31.5（℃）※2

※1　10%の余裕を含む

※2　28.5℃（小名浜気象台で観測された1971年～1975年の5年間の観測データにおける累積出現率が99%となる最高温度）+約3℃（送風機のヒートアップによる温度上昇）

2.1.3.3　運転管理および保守管理

(1) 運転管理

送風機・排風機の起動/停止操作は，屋外地上部に設置した現場制御盤で行うものとし，故障等により送風機・排風機が停止した場合には，予備機が自動起動する。

現場制御盤では，送風機・排風機の運転状態（起動停止状態），放射性物質濃度が表示され，それらの異常を検知した場合には，警報を発する。また，免震重要棟でも同様に，送風機・排風機の運転状態（起動停止状態），放射性物質濃度が表示され，それらの情報に異常を検知した場合は，警報を発するシステムとなっている。

放射性物質濃度測定器を排気フィルタユニットの出入口に設置し，燃料取り出し用カバー内から大気に放出される放射性物質濃度を測定する。

(2) 保守管理

換気設備については安全上重要な設備ではなく，運転継続性の要求が高くない。保守作業に伴う被ばくを極力低減する観点から，異常の兆候が確認された場合に対応する。なお，排気フィルタユニット出口の放射性物質濃度測定器については，外部への放射性物質放出抑制の監視の観点から多重化し，機器の単一故障により機能が喪失した場合でも測定可能な設備構成とする。

また，フィルタについては，差圧計（プレフィルタ，高性能粒子フィルタに設置）又は線量計（高性能粒子フィルタに設置）の値を確認しながら，必要な時期に交換する。

2.1.3.4　異常時の措置

燃料取り出し用カバー換気設備が停止しても，セシウムの使用済燃料プールから大気への移行割合は，1×10^{-3}～1×10^{-5}%程度であり，４号機から放出される放射性物質は小さいと評価されている（Ⅱ.2.3 使用済燃料プール設備参照）ことから，放射性物質の異常な放出とならないと考えられる。また，４号機の使用済燃料プール水における放射性物質濃度は，Cs-134：4.5×10^{0}Bq/cm^3，Cs-137：6.6×10^{0}Bq/cm^3（平成 24 年 1 月 30 日に使用済燃料プールより採取した水の分析結果）である。

なお，燃料取り出し用カバー換気設備は，機器の単一故障が発生した場合を想定して，送風機，排風機及び電源の多重化を実施しており，切替等により機能喪失後の速やかな運転の再開を可能とする。また，排気フィルタユニット出口の放射性物質濃度測定器については，２台の連続運転とし，１台故障時においても放射性物質濃度を計測可能とする。

2.2　放射性物質の飛散・拡散を防止するための機能について

2.2.1　排気フィルタによる低減効果

燃料取り出し用カバー内から排気フィルタユニットを通じて大気へ放出される放射性物質は，高性能粒子フィルタ（効率 97%（粒径 0.3μm)以上）により低減される。

セシウムの使用済燃料プールから大気への移行割合は，1×10^{-3}～1×10^{-5}%程度であり，４号機から放出される放射性物質は小さいと評価されている。（Ⅱ.2.3 使用済燃料プール設備参照）

表 2-2 に発電所敷地内で測定された放射性物質濃度を示す。仮に，燃料取り出し用カバー内が表 2-2 に示す放射性物質濃度のうち，濃度の高い４号機オペレーティングフロア上の放射性物質濃度であった場合，排気フィルタを通過して大気へ放出される放射性物質濃度は表 2-3 の通りとなる。

表 2-2　発電所敷地内の放射性物質濃度　　(Bq/cm^3)

核種	4 号機原子炉建屋オペレーティングフロア上の濃度（平成 23 年 6 月 18 日測定）	福島第一原子力発電所西門の濃度（平成 23 年 6 月 18 日測定）※
Cs-134	約 1.2×10^{-4}	約 5.4×10^{-6}
Cs-137	約 1.1×10^{-4}	約 6.2×10^{-6}

※現在は，検出限界値以下であるが，4 号機オペレーティングフロア上の測定値との比較のため，平成 23 年 6 月 18 日の測定値とした。

Q=C・(1-f)

Q　：フィルタ通過後の放射性物質濃度（Bq/cm^3）

C　：カバー内に吸い込まれる外気の放射性物質濃度（Bq/cm^3）（表 2-2 参照）

f　：フィルタ効率（高性能粒子フィルタ　97%）

表 2-3　フィルタ通過後の放射性物質濃度

核種	濃度（Bq/cm^3）
Cs-134	約 3.6×10^{-6}
Cs-137	約 3.3×10^{-6}

以上の結果，表 2-2 及び表 2-3 より，フィルタ通過後の放射性物質濃度は西門での放射性物質濃度よりも低いレベルとなる。

2.2.2　敷地境界線量（本換気設備は，2013 年 11 月に運用開始しており，運用後の放出管理及び線量評価は「Ⅲ特定原子力施設の保安 第 3 編 2 放射性廃棄物等の管理に関する補足説明」により行っている。）

2.2.2.1　評価条件

(1) 燃料取り出し用カバー内が，表 2-2 に示す 4 号機オペレーティングフロア上の放射性物質濃度であった場合に排気フィルタユニットを介して大気に放出されるものと仮定する。

(2) 減衰は考慮しない。

(3) 地上放出と仮定する。

(4) 燃料取り出し用カバーの供用期間である 5 年間（想定）に放出される放射性物質が地表に沈着し蓄積した時点のγ線に起因する実効線量と仮定し評価する。

(5) 大気拡散の評価に用いる気象条件は，福島第一原子力発電所原子炉設置変更許可申請

書で採用したものと同じ気象データを使用する。

2.2.2.2　評価方法

燃料取り出し用カバー排気フィルタユニットから放出される放射性物質による一般公衆の実効線量は，以下の被ばく経路について年間実効線量(mSv/年)を評価する。

(1) 放射性雲からのγ線に起因する実効線量

(2) 吸入摂取による実効線量

(3) 地面に沈着した放射性物質からのγ線に起因する実効線量

2.2.2.3　放射性雲からのγ線に起因する実効線量

放射性物質のγ線に起因する実効線量については，「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針」の放射性雲からのγ線による実効線量の評価の評価式を用いて評価する。

(1) 計算地点における空気カーマ率の計算

計算地点（x，y，0）における空気カーマ率は，次式により計算する。

$$D = K_1 \cdot E \cdot \mu_{en} \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} \frac{e^{-\mu \cdot r}}{4\pi r^2} \cdot B(\mu r) \cdot \chi(x', y', z') \, dx' \, dy' \, dz' \quad \cdots \quad 2\text{-}1$$

ここで，　D　　：計算地点(x，y，0)における空気カーマ率（μGy/y）

K_1　　：空気カーマ率への換算係数（$4.46\times10^{-4}\,\frac{dis\cdot m^3\cdot \mu Gy}{MeV\cdot Bq\cdot h}$）

E　　：γ線の実効エネルギ（0.5MeV/dis）

μ_{en}　　：空気に対するγ線の線エネルギ吸収係数（m^{-1}）

μ　　：空気に対するγ線の線減衰係数（m^{-1}）

r　　：放射性雲中の点(x', y', z')から計算地点（x，y，0）までの距離（m）

B(μr)　：空気に対するγ線の再生係数

$$B(\mu r) = 1 + \alpha(\mu r) + \beta(\mu r)^2 + \gamma(\mu r)^3$$

ただし，μ_{en}，μ，α，β，γについては，0.5MeVのγ線に対する値を用い，以下のとおりとする。

$\mu_{en}=3.84\times10^{-3}(m^{-1})$，　$\mu=1.05\times10^{-2}(m^{-1})$

$\alpha=1.000$，　$\beta=0.4492$，　$\gamma=0.0038$

$\chi(x', y', z')$　：放射性雲中の点(x', y', z')における濃度（Bq/m^3）

なお，$\chi(x', y', z')$は，次式により計算する。

$$\chi(x',y',z') = \frac{Q}{2\pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot U} \cdot e^{-\frac{y'^2}{2\sigma_y^2}} \cdot \left\{ e^{-\frac{(z'-H)^2}{2\sigma_z^2}} + e^{-\frac{(z'+H)^2}{2\sigma_z^2}} \right\} \quad \cdots 2\text{-}2$$

ここで，　Q　　：放射性物質の放出率（Bq/s）

U　　：放出源高さを代表する風速（m/s）

H　　：放出源の有効高さ（m）

σ_y　：濃度分布のy’方向の拡がりのパラメータ（m）

σ_z　：濃度分布のz’方向の拡がりのパラメータ（m）

このとき，有効高さと同じ高度（z’= H）の軸上で放射性物質濃度が最も濃くなる。被ばく評価地点は地上（z’= 0）であるため，地上放散が最も厳しい評価を与えることになる。

(2) 実効線量の計算

計算地点における年間の実効線量は，計算地点を含む方位及びその隣接方位に向かう放射性雲のγ線からの空気カーマを合計して，次式により計算する。

$$H_\gamma = K_2 \cdot f_h \cdot f_0 \cdot (\overline{D}_L + \overline{D}_{L-1} + \overline{D}_{L+1}) \quad \cdots\cdots\cdots \quad 2\text{-}3$$

ここで，　H_γ　：放射性物質のγ線に起因する年間の実効線量（μSv/y）

K_2　：空気カーマから実効線量への換算係数（0.8μSv/μGy）

f_h　：家屋の遮蔽係数（1.0）

f_0　：居住係数（1.0）

$(\overline{D}_L + \overline{D}_{L-1} + \overline{D}_{L+1})$　：計算地点を含む方位(L)及びその隣接方位に向かう放射性雲による年間平均のγ線による空気カーマ(μGy/y)。これらは2-1式から得られる空気カーマ率Dを放出モード，大気安定度別風向分布及び風速分布を考慮して年間について積算して求める。

2.2.2.4　吸入摂取による実効線量

吸入摂取による実効線量については，「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針」の吸入摂取による実効線量の評価の評価式を用いて評価する。

(1) 放射性物質の年平均地表空気中濃度の計算

計算地点における年平均地表空気中濃度$\overline{\chi}$は，2-2式を用い，隣接方位からの寄与も考慮して，次式により計算する。

$$\overline{\chi} = \sum_j \overline{\chi}_{jL} + \sum_j \overline{\chi}_{jL-1} + \sum_j \overline{\chi}_{jL+1} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad 2\text{-}4$$

ここで，　j　：大気安定度（A～F）

L　：計算地点を含む方位

(2) 線量の計算

放射性物質の呼吸による実効線量は，次式により計算する。

$$H_I = 365 \cdot \sum_i K_{Ii} \cdot A_{Ii} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad 2\text{-}5$$

$$A_{Ii} = M_a \cdot \overline{\chi}_i \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad 2\text{-}6$$

ここで，　H_I　：吸入摂取による年間の実効線量（μSv/y）

365　：年間日数への換算係数（d/y）

K_{Ii}　：核種 i の吸入摂取による成人実効線量換算係数（μSv/Bq）

A_{Ii}　：核種 i の吸入による摂取率（Bq/d）

M_a　：人間の呼吸率（m^3/d）

（成人の 1 日平均の呼吸率：22.2m^3/d を使用）

$\overline{\chi}_i$　：核種 i の年平均地表空気中濃度（Bq/m^3）

表 2-4　吸入摂取による成人の実効線量換算係数（μSv/Bq）

核種	Cs-134	Cs-137
K_{Ii}	2.0×10^{-2}	3.9×10^{-2}

2.2.2.5　地面に沈着した放射性物質からのγ線に起因する実効線量

地面に沈着した放射性物質からのγ線に起因する実効線量については，「発電用軽水型原子炉施設の安全審査における一般公衆の線量評価について」の地面に沈着した放射性物質濃度を計算し，放射性物質濃度からの実効線量への換算係数を用いて評価する。

(1) 放射性物質の年平均地上空気中濃度の計算

計算地点における年平均地上空気中濃度$\overline{\chi}$は，2-4 式により計算する。

(2) 線量の計算

地面に沈着した放射性物質からのγ線に起因する実効線量は，次式により計算する。

$$H_G = \sum_i K_{Gi} \cdot S_{Oi} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad 2\text{-}7$$

$$S_{Oi} = \overline{\chi}_i \cdot V_g \cdot \frac{f_1}{\lambda_i} \cdot \left(1 - e^{-\lambda_i \cdot T_O}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad 2\text{-}8$$

ここで，　H_G　：地面に沈着した放射性物質からのγ線に起因する年間の実効線量（μSv/y）

K_{Gi}　：核種 i の地表沈着による外部被ばく線量換算係数（$\frac{\mu\text{Sv/y}}{\text{Bq/m}^2}$）

S_{0i}　：核種ｉの地表濃度（Bq/m^2）

$\overline{\chi}_i$　：核種ｉの年平均地表空気中濃度（Bq/m^3）

V_g　：沈着速度（0.01m/s）

λ_i　：核種ｉの物理的減衰係数（s^{-1}）

T_o　：放射性物質の放出期間（s）（カバー供用期間の５年を想定）

f_1　：沈着した放射性物質のうち残存する割合（保守的に 1 を用いる）

表 2-5　核種ｉの地表沈着による外部被ばく線量換算係数（$(Sv/s)/(Bq/m^2)$）

核種	Cs-134	Cs-137
K_{Gi}	1.5×10^{-15}	5.8×10^{-16}

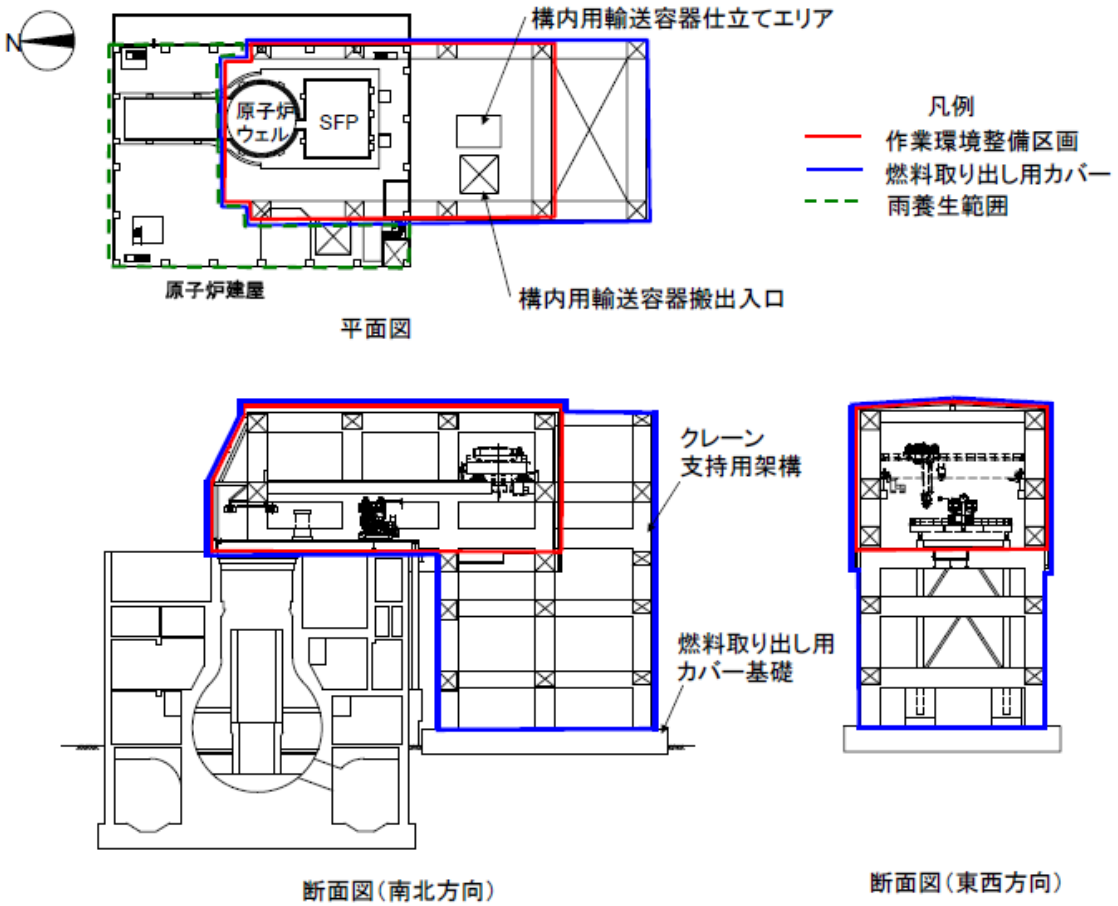
2.2.2.6　評価結果

表 2-3 に示す濃度の放射性物質の放出が燃料取り出し用カバーの供用期間である 5 年間（想定）続くと仮定して算出した結果，年間被ばく線量は敷地境界で約 0.008mSv／年であり，法令の線量限度 1mSv／年に比べても十分低いと評価される。（表 2-6 参照）

また，「Ⅲ特定原子力施設の保安 第３編　2　放射性廃棄物等の管理に関する補足説明」での評価（約 0.03mSv/年）に比べても十分に低いと評価される。

表 2-6　燃料取り出し用カバー排気フィルタユニットからの
放射性物質の放出による一般公衆の実効線量（mSv/年）

評価項目			合計
放射性雲	吸入摂取	地表沈着	
約 1.3×10^{-7}	約 5.4×10^{-5}	約 7.4×10^{-3}	約 7.5×10^{-3}



【燃料取り出し用カバー】

- 作業環境整備区画を構成・支持する架構及び附属設備を指す。
- 燃料取り出し用カバーのうち，作業環境整備区画は外装材等により区画し，換気対象範囲とする。

【雨養生範囲】

- 燃料取り出し用カバー以外のオペレーティングフロアエリアは雨水対策を施す。
- 換気対象範囲外とする。

図 2-1　燃料取り出し用カバー概略図

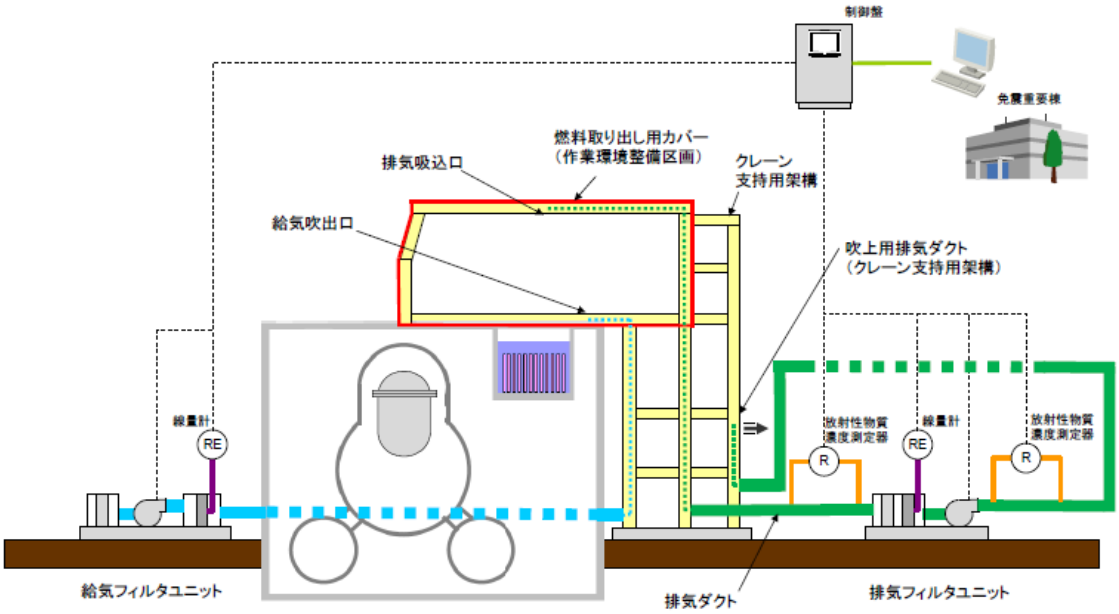


図 2-2　燃料取り出し用カバー換気設備概略構成図

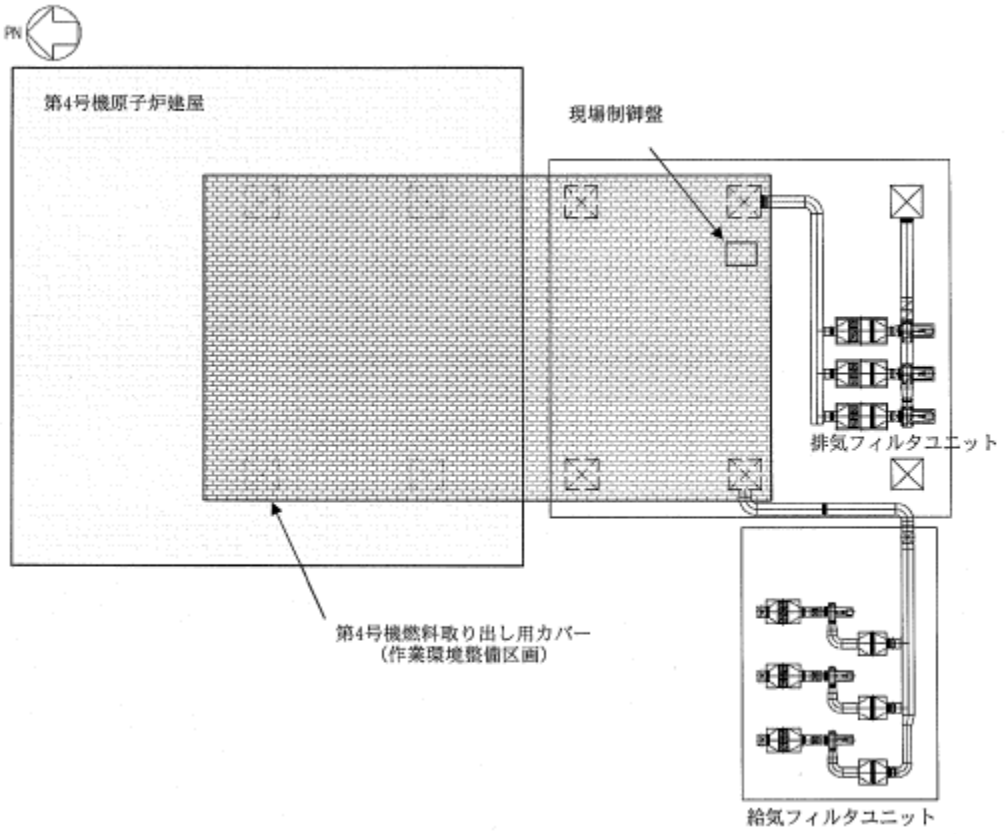


図 2-3　燃料取り出し用カバー換気設備配置図

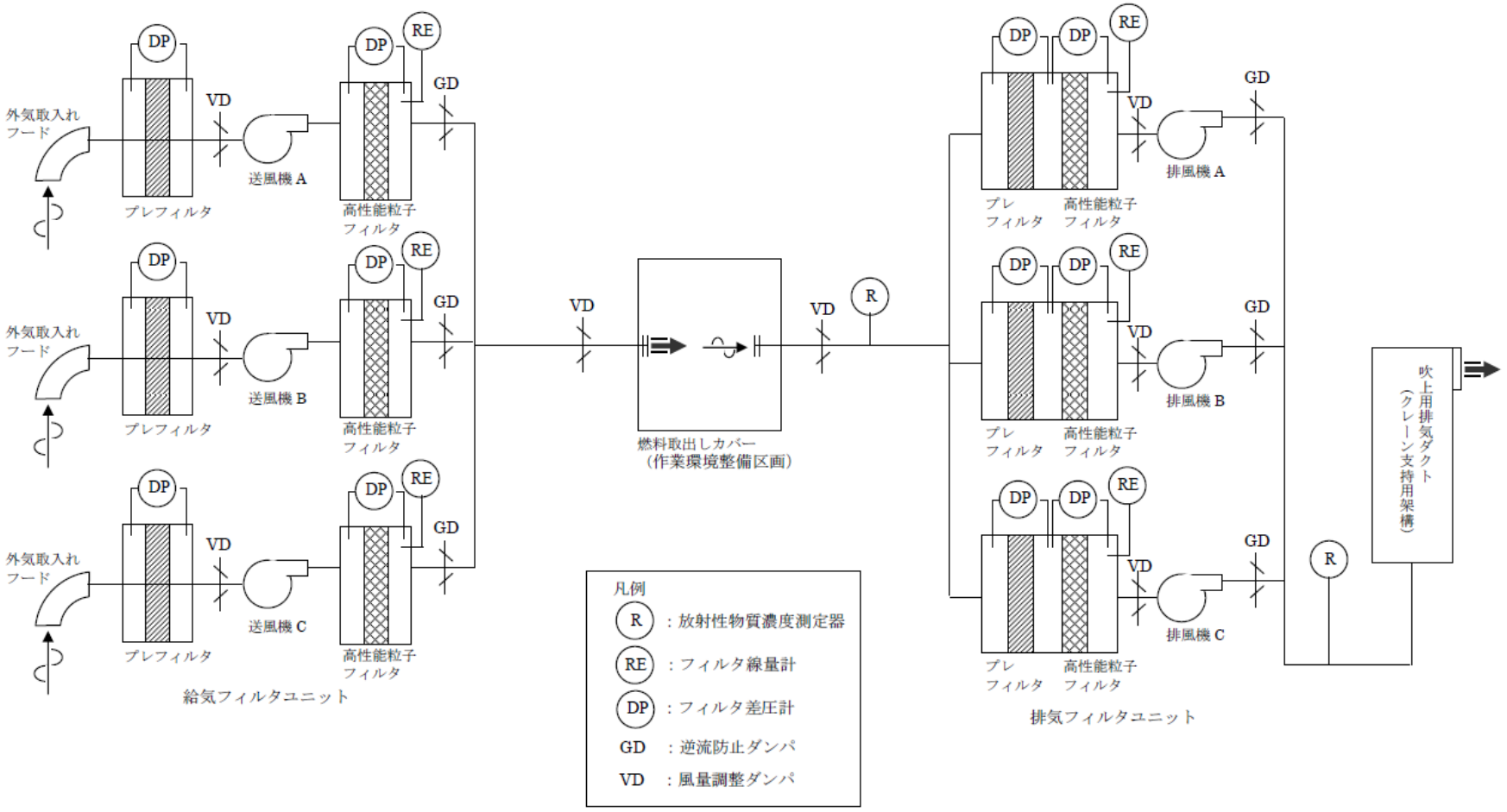
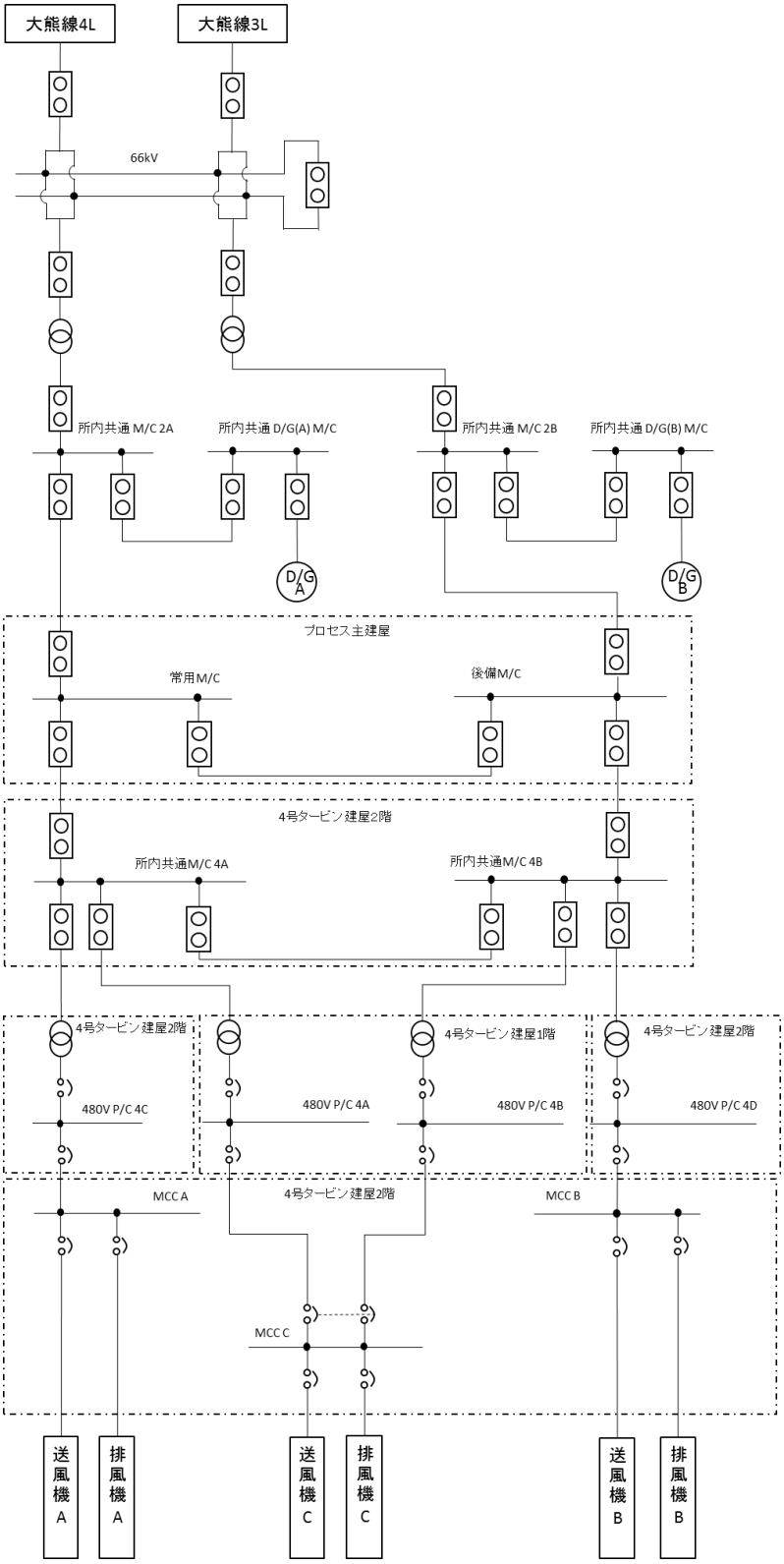


図 2-4　燃料取り出し用カバー換気設備系統図



※平成 29 年 9 月時点

図 2-5　燃料取り出し用カバー換気設備電源系統図

3　３号機放射性物質の飛散・拡散を防止するための機能について

3.1　燃料取り出し用カバーについて

3.1.1　概要

燃料取り出し用カバーは，作業に支障が生じることのないよう作業に必要な範囲をカバーし，風雨を遮る構造とする。また，使用済燃料プール内がれき撤去時の放射性物質の舞い上がり，燃料取り出し作業に伴い建屋等に付着した放射性物質の舞い上がりによる大気放出を抑制するため，燃料取り出し用カバーは隙間を低減した構造とするとともに，換気設備を設け，排気はフィルタユニットを通じて大気へ放出する。また，現在，発電所敷地内でよう素（I-131）は検出されていないことから，フィルタユニットは，発電所敷地内等で検出されているセシウム（Cs-134,137）の大気への放出が低減できる設計とする。

3.1.2　燃料取り出し用カバー

燃料取り出し用カバーの大きさは，約 19m（南北）×約 57m（東西）×約 54m（地上高）である。主体構造は鉄骨造であり，ドーム状の屋根を外装材で覆い，風雨を遮る構造とする。（図 3-1　燃料取り出し用カバー概略図参照）

3.1.3　換気設備

3.1.3.1　系統構成

換気設備は，燃料取り出し用カバー内気体を吸引し，排気ダクトを経由して燃料取り出し用カバーの外部に設置した排気フィルタユニットへ導く。排気フィルタユニットは，プレフィルタ，高性能粒子フィルタ等で構成され，各フィルタで放射性物質を捕集した後の気体を吹上用排気ダクトから大気へ放出する。

排気フィルタユニットは，約 10,000m^3/h のユニットを 4 系列（うち 1 系列は予備），排風機は，換気風量約 30,000m^3/h のユニットを 2 系列（うち 1 系列は予備）設置し，約 30,000m^3/h の 換気風量で運転する。

また，燃料取り出し用カバー内の放射性物質や吹上用排気ダクトから大気に放出される放射性物質の濃度を測定するため，放射性物質濃度測定器を排気フィルタユニットの出入口に設置する。（図 3-2　燃料取り出し用カバー換気設備概略構成図，図 3-3 燃料取り出し用カバー換気設備配置図，図 3-4 燃料取り出し用カバー換気設備系統図参照）

燃料取り出し用カバー換気設備の電源は，異なる系統の所内高圧母線から受電可能な構成とする。（図 3-5　燃料取り出し用カバー換気設備電源系統図参照）

表 3-1　換気設備構成

設備名	構成・配置等
排気吸込口	配置：カバー内の天井部に設置
排気フィルタユニット	配置：原子炉建屋西側の屋外に 4 系列（うち予備 1 系列）設置 構成：プレフィルタ 高性能粒子フィルタ（効率 97%（粒径 0.3μm）以上） フィルタ線量計（高性能粒子フィルタに設置） フィルタ差圧計（プレフィルタ，高性能粒子フィルタに設置）
排風機	配置：原子炉建屋西側の屋外に 2 系列（うち予備 1 系列）設置
吹上用排気ダクト	配置：排気フィルタユニットの下流側に設置
放射性物質濃度測定器	測定対象：カバー内及び大気放出前の放射性物質濃度 仕様　：検出器種類　シンチレーション検出器 計測範囲　10^{-1}～$10^{5}s^{-1}$ 台数　排気フィルタユニット入口　1 台 排気フィルタユニット出口　2 台

3.1.3.2　換気風量について

燃料取り出し用カバー内の環境は，燃料取扱機，クレーン及び電源盤の設備保護のため 40℃以下（設計値）となる換気設備を設けるものとする。

燃料取り出し用カバー内の熱負荷を除熱するのに必要な換気風量は，下式により求められる風量に余裕をみた約 30,000m^3/h とする。

$Q=q/(Cp\cdot\rho\cdot(t1-t2)\cdot 1/3600)$

Q：換気（排気）風量（m^3/h）

q：設計用熱負荷，約 60（kW）

（機器発熱，日射，使用済燃料プールからの熱，原子炉からの熱）※1

Cp：定圧比熱，1.004652（kJ/kg・℃）

ρ：密度，1.2（kg/m^3）

t1：カバー内温度，40（℃）

t2：設計用外気温度，28.5（℃）※2

※1　約 10%の余裕を含む

※2　小名浜気象台で観測された 1972 年～1976 年の 5 年間の観測データにおける累積出現率が 99%となる最高温度

3.1.3.3　運転管理および保守管理

(1) 運転管理

排風機の起動/停止操作は，屋外地上部に設置したコンテナハウス内の現場制御盤で行うものとし，故障等により排風機が停止した場合には，予備機が自動起動する。

現場制御盤では，排風機の運転状態（起動停止状態），放射性物質濃度が表示され，それらの異常を検知した場合には，警報を発する。また，免震重要棟でも同様に，排風機の運転状態（起動停止状態），放射性物質濃度が表示され，それらの情報に異常を検知した場合は，警報を発するシステムとなっている。

放射性物質濃度測定器を排気フィルタユニットの出入口に設置し，燃料取り出し用カバー内から大気に放出される放射性物質濃度を測定する。

(2) 保守管理

換気設備については安全上重要な設備ではなく，運転継続性の要求が高くない。保守作業に伴う被ばくを極力低減する観点から，異常の兆候が確認された場合に対応する。なお，排気フィルタユニット出口の放射性物質濃度測定器については，外部への放射性物質放出抑制の監視の観点から多重化し，機器の単一故障により機能が喪失した場合でも測定可能な設備構成とする。

また，フィルタについては，差圧計（プレフィルタ，高性能粒子フィルタに設置）又は線量計（高性能粒子フィルタに設置）の値を確認しながら，必要な時期に交換する。

3.1.3.4　異常時の措置

燃料取り出し用カバー換気設備が停止しても，セシウムの使用済燃料プールから大気への移行割合は，1×10^{-3}～1×10^{-5}%程度であり，３号機から放出される放射性物質は小さいと評価されている（Ⅱ.2.3 使用済燃料プール設備参照）ことから，放射性物質の異常な放出とならないと考えられる。また，３号機の使用済燃料プール水における放射性物質濃度は，Cs-134：2.4×10^{3}Bq/cm^{3}，Cs-137：3.9×10^{3}Bq/cm^{3}（平成 24 年 9 月 24 日に使用済燃料プールより採取した水の分析結果）である。

なお，燃料取り出し用カバー換気設備は，機器の単一故障が発生した場合を想定して，排風機及び電源の多重化を実施しており，切替等により機能喪失後の速やかな運転の再開を可能とする。また，排気フィルタユニット出口の放射性物質濃度測定器については，２台の連続運転とし，１台故障時においても放射性物質濃度を計測可能とする。

3.2　放射性物質の飛散・拡散を防止するための機能について

3.2.1　排気フィルタによる低減効果

燃料取り出し用カバー内から排気フィルタユニットを通じて大気へ放出される放射性物質は，高性能粒子フィルタ（効率 97%（粒径 0.3μm)以上）により低減される。

セシウムの使用済燃料プールから大気への移行割合は，1×10^{-3}～1×10^{-5}%程度であり，３号機から放出される放射性物質は小さいと評価されている。(Ⅱ.2.3 使用済燃料プール設備参照)

表 3-2 に３号機原子炉建屋上部で測定された放射性物質濃度を示す。仮に，燃料取り出し用カバー内が表 3-2 に示す放射性物質濃度であった場合，排気フィルタを通過して大気へ放出される放射性物質濃度は表 3-3 の通りとなる。

表 3-2　３号機原子炉建屋上部の放射性物質濃度（Bq/cm^3）

核種	原子炉上北東側（横方向）※
Cs-134	約 5.2×10^{-4}
Cs-137	約 8.0×10^{-4}

※平成 24 年 9 月 6 日測定

Q=C・(1-f)

Q　：フィルタ通過後の放射性物質濃度（Bq/cm^3）

C　：カバー内に吸い込まれる外気の放射性物質濃度（Bq/cm^3）（表 3-2 参照）

f　：フィルタ効率（高性能粒子フィルタ　97%）

表 3-3　フィルタ通過後の放射性物質濃度

核種	濃度（Bq/cm^3）
Cs-134	約 1.6×10^{-5}
Cs-137	約 2.4×10^{-5}

以上の結果，表 3-2 及び表 3-3 より，フィルタ通過後の放射性物質濃度は約 1/30 となる。

3.2.2　敷地境界線量（本換気設備は，2018 年 8 月に運用開始しており，運用後の放出管理及び線量評価は「Ⅲ特定原子力施設の保安 第 3 編 2 放射性廃棄物等の管理に関する補足説明」により行っている。）

3.2.2.1　評価条件

(1) 燃料取り出し用カバー内が，表 3-2 に示す３号機オペレーティングフロア上の放射性

物質濃度であった場合に排気フィルタユニットを介して大気に放出されるものと仮定する。

(2) 減衰は考慮しない。

(3) 地上放出と仮定する。

(4) 燃料取り出し用カバーの供用期間である5年間（想定）に放出される放射性物質が地表に沈着し蓄積した時点のγ線に起因する実効線量と仮定し評価する。

(5) 大気拡散の評価に用いる気象条件は，福島第一原子力発電所原子炉設置変更許可申請書で採用したものと同じ気象データを使用する。

3.2.2.2　評価方法

燃料取り出し用カバー排気フィルタユニットから放出される放射性物質による一般公衆の実効線量は，以下の被ばく経路について年間実効線量(mSv/年)を評価する。

(1) 放射性雲からのγ線に起因する実効線量

(2) 吸入摂取による実効線量

(3) 地面に沈着した放射性物質からのγ線に起因する実効線量

3.2.2.3　放射性雲からのγ線に起因する実効線量

放射性物質のγ線に起因する実効線量については，「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針」の放射性雲からのγ線による実効線量の評価の評価式を用いて評価する。

(1) 計算地点における空気カーマ率の計算

計算地点（x，y，0）における空気カーマ率は，次式により計算する。

$$D = K_1 \cdot E \cdot \mu_{en} \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} \frac{e^{-\mu \cdot r}}{4\pi r^2} \cdot B(\mu r) \cdot \chi(x', y', z')\, dx'\, dy'\, dz' \quad \cdots \quad 3\text{-}1$$

ここで，　D　：計算地点(x，y，0)における空気カーマ率（μGy/h)

K_1　：空気カーマ率への換算係数（$4.46\times10^{-4}\ \frac{dis\cdot m^3\cdot \mu Gy}{MeV\cdot Bq\cdot h}$）

E　：γ線の実効エネルギ（0.5MeV/dis)

μ_{en}　：空気に対するγ線の線エネルギ吸収係数（m^{-1}）

μ　：空気に対するγ線の線減衰係数（m^{-1}）

r　：放射性雲中の点(x',y',z')から計算地点（x，y，0）までの距離（m)

$B(\mu r)$：空気に対するγ線の再生係数

$$B(\mu r) = 1 + \alpha(\mu r) + \beta(\mu r)^2 + \gamma(\mu r)^3$$

ただし，μ_{en}，μ，α，β，γについては，0.5MeVのγ線に対する値を用い，以下の

とおりとする。

μ_{en}=3.84×10^{-3}(m^{-1})，　μ=1.05×10^{-2}(m^{-1})

α=1.000，　　β=0.4492，　γ=0.0038

$\chi(x',y',z')$：放射性雲中の点(x',y',z')における濃度（Bq/m^3）

なお，$\chi(x',y',z')$は，次式により計算する。

$$\chi(x',y',z') = \frac{Q}{2\pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot U} \cdot e^{-\frac{y'^2}{2\sigma_y^2}} \cdot \left\{ e^{-\frac{(z'-H)^2}{2\sigma_z^2}} + e^{-\frac{(z'+H)^2}{2\sigma_z^2}} \right\} \quad \cdots 3\text{-}2$$

ここで，　Q　　：放射性物質の放出率（Bq/s）

U　　：放出源高さを代表する風速（m/s）

H　　：放出源の有効高さ（m）

σ_y　：濃度分布のy’方向の拡がりのパラメータ（m）

σ_z　：濃度分布のz’方向の拡がりのパラメータ（m）

このとき，有効高さと同じ高度（z’= H）の軸上で放射性物質濃度が最も濃くなる。被ばく評価地点は地上（z’= 0）であるため，地上放散が最も厳しい評価を与えることになる。

(2) 実効線量の計算

計算地点における年間の実効線量は，計算地点を含む方位に向かう放射性雲のγ線からの空気カーマを合計して，次式により計算する。

$$H_\gamma = K_2 \cdot f_h \cdot f_0 \cdot \overline{D}_L \quad \cdots\cdots\cdots 3\text{-}3$$

ここで，　H_γ　：放射性物質のγ線に起因する年間の実効線量（μSv/y）

K_2　：空気カーマから実効線量への換算係数（0.8μSv/μGy）

f_h　：家屋の遮蔽係数（1.0）

f_0　：居住係数（1.0）

$\overline{D}_L$　：計算地点を含む方位(L)に向かう放射性雲による年間平均のγ線による空気カーマ(μGy/y)。

3.2.2.4　吸入摂取による実効線量

吸入摂取による実効線量については，「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針」の吸入摂取による実効線量の評価の評価式を用いて評価する。

(1) 放射性物質の年平均地表空気中濃度の計算

計算地点における年平均地表空気中濃度$\overline{\chi}$は，3-2 式を用い，隣接方位からの寄与も考慮して，次式により計算する。

$$\bar{\chi} = \sum_{j} \overline{\chi}_{jL} + \sum_{j} \overline{\chi}_{jL-1} + \sum_{j} \overline{\chi}_{jL+1} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad 3\text{-}4$$

ここで，　j　：大気安定度（A～F）

L　：計算地点を含む方位

(2) 線量の計算

放射性物質の呼吸による実効線量は，次式により計算する。

$$H_I = 365 \cdot \sum_{i} K_{Ii} \cdot A_{Ii} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad 3\text{-}5$$

$$A_{Ii} = M_a \cdot \overline{\chi}_i \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad 3\text{-}6$$

ここで，　H_I　：吸入摂取による年間の実効線量（μSv/y）

365　：年間日数への換算係数（d/y）

K_{Ii}　：核種 i の吸入摂取による成人実効線量換算係数（μSv/Bq）

A_{Ii}　：核種 i の吸入による摂取率（Bq/d）

M_a　：人間の呼吸率（m^3/d）

（成人の 1 日平均の呼吸率：22.2m^3/d を使用）

$\overline{\chi}_i$　：核種 i の年平均地表空気中濃度（Bq/m^3）

表 3-4　吸入摂取による成人の実効線量換算係数（μSv/Bq）

核種	Cs-134	Cs-137
K_{Ii}	2.0×10^{-2}	3.9×10^{-2}

3.2.2.5　地面に沈着した放射性物質からのγ線に起因する実効線量

地面に沈着した放射性物質からのγ線に起因する実効線量については，「発電用軽水型原子炉施設の安全審査における一般公衆の線量評価について」の地面に沈着した放射性物質濃度を計算し，放射性物質濃度からの実効線量への換算係数を用いて評価する。

(1) 放射性物質の年平均地上空気中濃度の計算

計算地点における年平均地上空気中濃度$\bar{\chi}$は，3-4 式により計算する。

(2) 線量の計算

地面に沈着した放射性物質からのγ線に起因する実効線量は，次式により計算する。

$$H_G = \sum_{i} K_{Gi} \cdot S_{Oi} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad 3\text{-}7$$

$$S_{Oi} = \overline{\chi}_i \cdot V_g \cdot \frac{f_1}{\lambda_i} \cdot \left(1 - e^{-\lambda_i \cdot T_O}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad 3\text{-}8$$

ここで,　H_G　：地面に沈着した放射性物質からのγ線に起因する
年間の実効線量（μSv/y）

K_{Gi}　：核種ｉの地表沈着による外部被ばく線量換算係数（$\frac{\mu Sv/y}{Bq/m^2}$）

S_{0i}　：核種ｉの地表濃度（Bq/m^2）

$\overline{\chi}_i$　：核種ｉの年平均地表空気中濃度（Bq/m^3）

V_g　：沈着速度（0.01m/s）

λ_i　：核種ｉの物理的減衰係数（s^{-1}）

T_o　：放射性物質の放出期間（s）（カバー供用期間の５年を想定）

f_1　：沈着した放射性物質のうち残存する割合（保守的に 1 を用いる）

表 3-5　核種ｉの地表沈着による外部被ばく線量換算係数（(Sv/s)/(Bq/m^2)）

核種	Cs-134	Cs-137
K_{Gi}	1.5×10^{-15}	5.8×10^{-16}

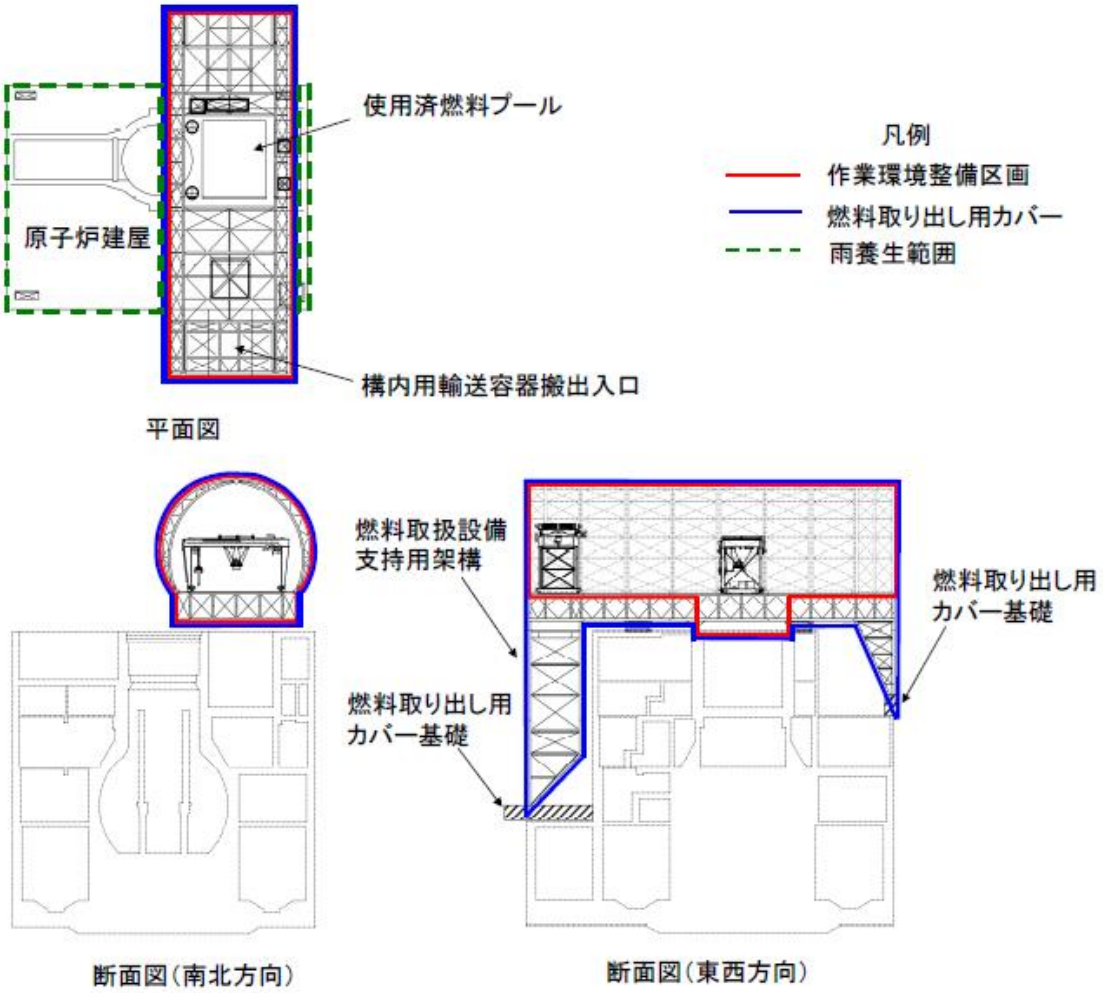
3.2.2.6　評価結果

表 3-3 に示す濃度の放射性物質の放出が燃料取り出し用カバーの供用期間である 5 年間（想定）続くと仮定して算出した結果，年間被ばく線量は敷地境界で約 0.015mSv／年であり，法令の線量限度 1mSv／年に比べても十分低いと評価される。（表 3-6 参照）

また，「Ⅲ特定原子力施設の保安 第３編 2 放射性廃棄物等の管理に関する補足説明」での評価（約 0.03mSv/年）に比べても十分に低いと評価される。

表 3-6　燃料取り出し用カバー排気フィルタユニットからの
放射性物質の放出による一般公衆の実効線量（mSv/年）

評価項目			合計
放射性雲	吸入摂取	地表沈着	
約 4.5×10^{-7}	約 1.3×10^{-4}	約 1.5×10^{-2}	約 1.5×10^{-2}



【燃料取り出し用カバー】

- 作業環境整備区画を構成・支持する架構及び附属設備を指す。
- 燃料取り出し用カバーのうち，作業環境整備区画は外装材等により区画し，換気対象範囲とする。

【雨養生範囲】

- 燃料取り出し用カバー以外のオペレーティングフロアエリアは雨水対策を施す。
- 換気対象範囲外とする。

図 3-1　燃料取り出し用カバー概略図

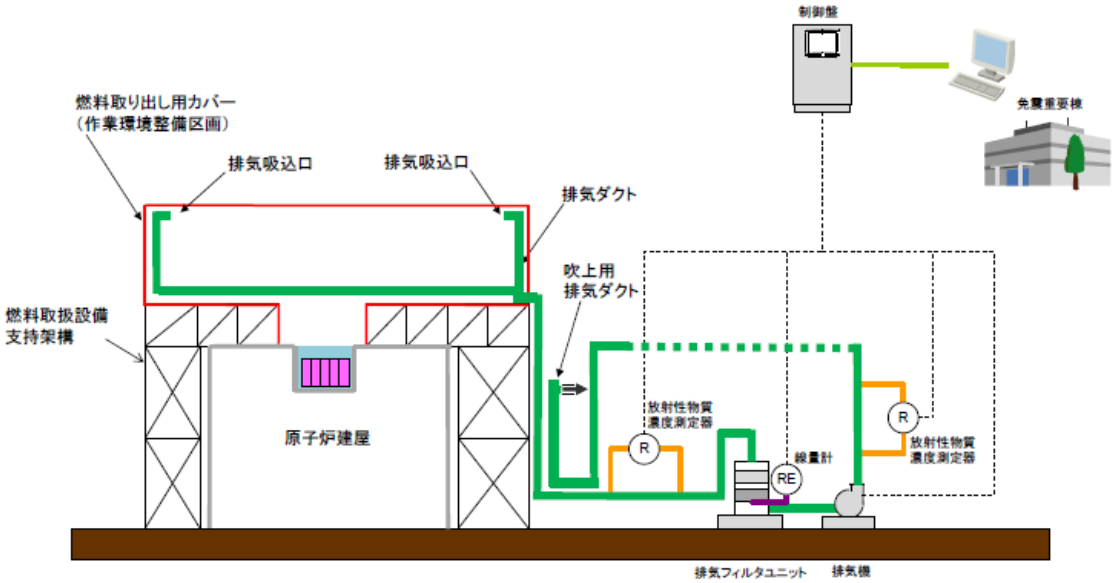


図 3-2　燃料取り出し用カバー換気設備概略構成図

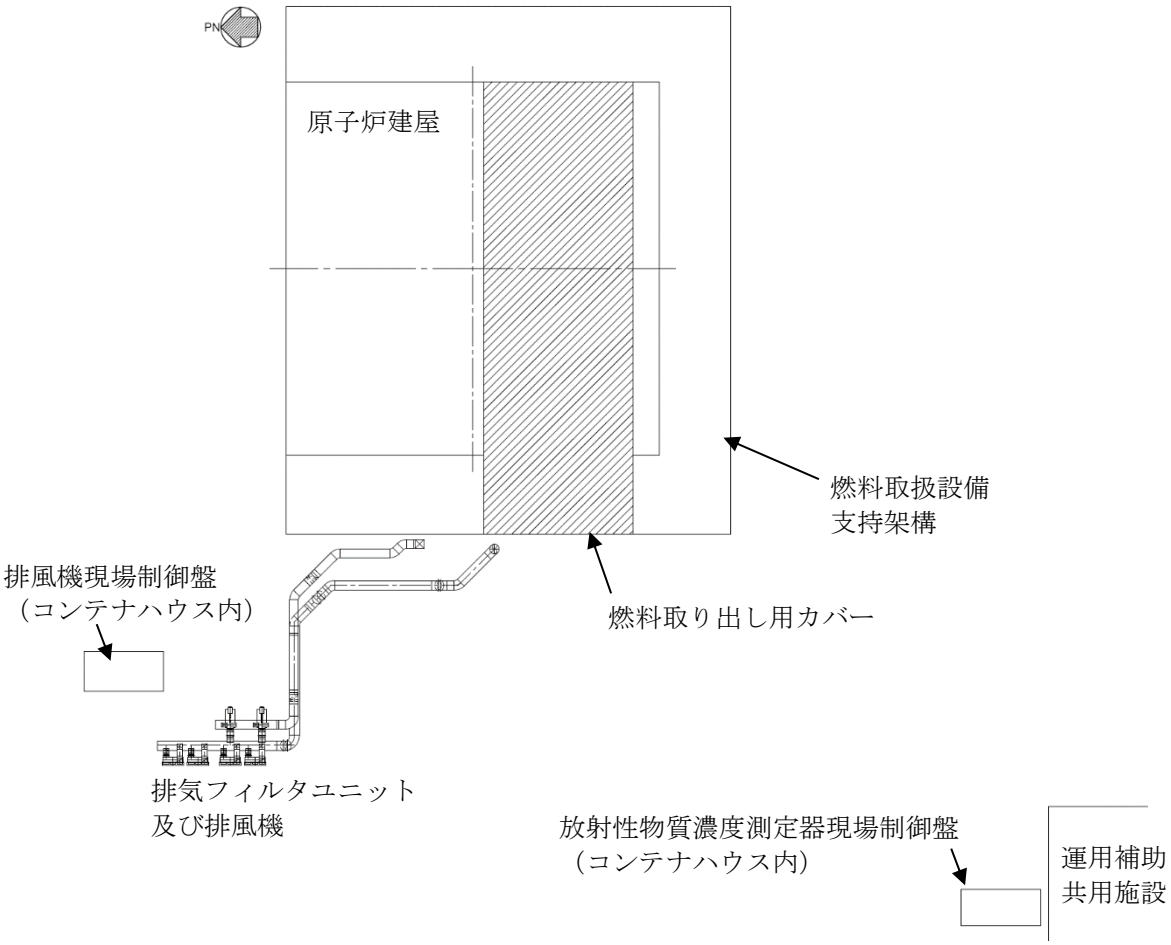


図 3-3　燃料取り出し用カバー換気設備配置図

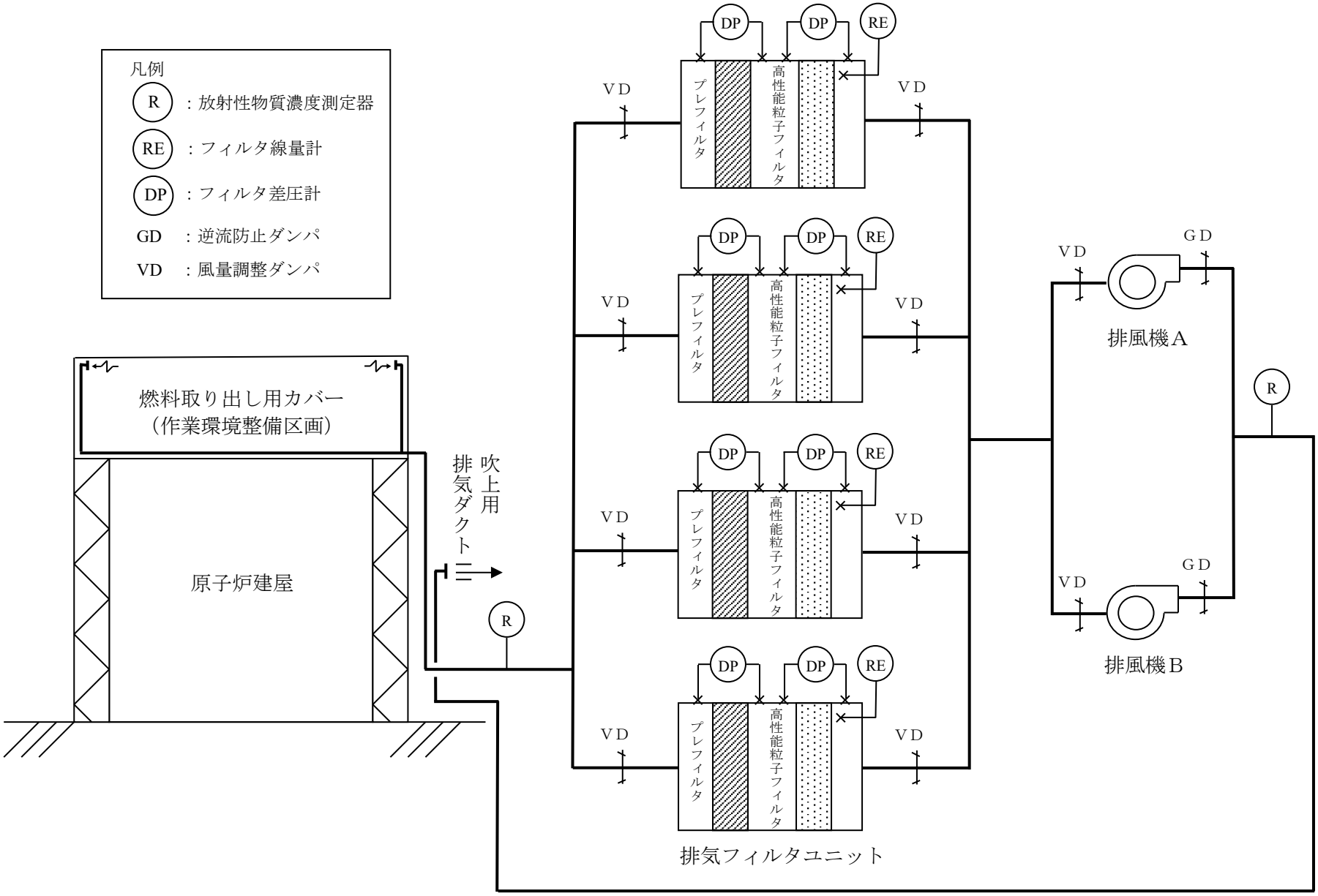
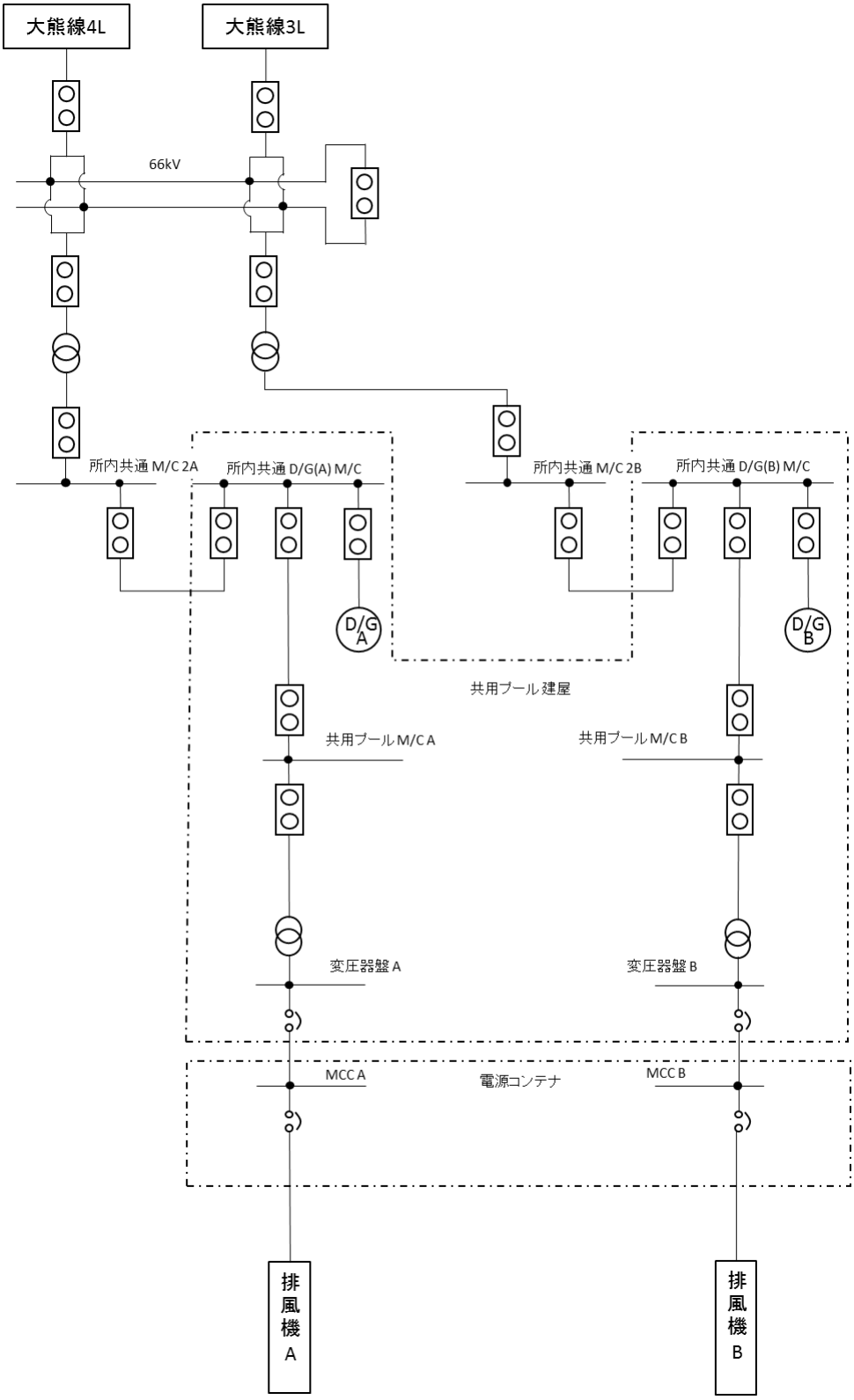


図 3-4　燃料取り出し用カバー換気設備系統図



※平成 29 年 9 月時点

図 3-5　燃料取り出し用カバー換気設備電源系統図

4　２号機放射性物質の飛散・拡散を防止するための機能について

4.1　燃料取り出し用構台について

4.1.1　概要

燃料取り出し用構台は，作業に支障が生じることのないよう作業に必要な範囲をカバーし，風雨を遮る構造とする。また，燃料取り出し作業に伴い建屋等に付着した放射性物質の舞い上がりによる大気放出を抑制するため，燃料取り出し用構台は隙間を低減した構造とするとともに，換気設備を設け，排気はフィルタユニットを通じて大気へ放出する。また，現在，発電所敷地内でよう素（I-131）は検出されていないことから，フィルタユニットは，発電所敷地内等で検出されているセシウム（Cs-134,137）の大気への放出が低減できる設計とする。

4.1.2　燃料取り出し用構台

燃料取り出し用構台の大きさは，約 33m（南北）×約 27m（東西）×約 45m（地上高）である。主体構造は鉄骨造であり，燃料取り出し用構台作業エリアの壁面及び屋根面を外装材で覆い，風雨を遮る構造とする。（図 4-1　燃料取り出し用構台概略図参照）

4.1.3　換気設備

4.1.3.1　系統構成

換気設備は，原子炉建屋オペレーティングフロア及び燃料取り出し用構台内の気体を吸引し，排気ダクトを経由して燃料取り出し用構台地上階に設置した排気フィルタユニットへ導く。排気フィルタユニットは，プレフィルタ，高性能粒子フィルタ等で構成され，各フィルタで放射性物質を捕集した後の気体を吹上用排気ダクトから大気へ放出する。

排気フィルタユニットは，約 10,000m^3/h のユニットを 4 系列（うち 1 系列は予備），排風機は，換気風量約 30,000m^3/h のユニットを 2 系列（うち 1 系列は予備）設置し，原子炉建屋オペレーティングフロア及び燃料取り出し用構台作業エリアを約 30,000m^3/h の換気風量で運転する。

また，原子炉建屋オペレーティングフロア内，燃料取り出し用構台内及び吹上用排気ダクトから大気に放出される放射性物質の濃度を測定するため，放射性物質濃度測定器を排気フィルタユニットの出入口に設置する。（図 4-2　原子炉建屋オペレーティングフロア及び燃料取り出し用構台換気設備概略構成図，図 4-3　原子炉建屋オペレーティングフロア及び燃料取り出し用構台換気設備配置図，図 4-4　原子炉建屋オペレーティングフロア及び燃料取り出し用構台換気設備系統図参照）

原子炉建屋オペレーティングフロア及び燃料取り出し用構台換気設備の電源は，異なる系統の所内高圧母線から受電可能な構成とする。（図 4-5　原子炉建屋オペレーティングフロア及び燃料取り出し用構台換気設備電源系統図参照）

表 4-1　換気設備構成

設備名	構成・配置等
排気吸込口	配置：原子炉建屋オペレーティングフロア壁面及び燃料取り出し用構台床上に設置
排気フィルタユニット	配置：燃料取り出し用構台地上階に 4 系列（うち予備 1 系列）設置 構成：プレフィルタ／高性能粒子フィルタ （効率 97%（粒径 0.3μm）以上） フィルタ線量計（各排気フィルタユニットに設置） フィルタ差圧計（プレフィルタ，高性能粒子フィルタに設置）
排風機	配置:燃料取り出し用構台地上階に 2 系列（うち予備 1 系列）設置
吹上用排気ダクト	配置：排気フィルタユニットの下流側に設置
放射性物質濃度測定器	測定対象：原子炉建屋オペレーティングフロア内，燃料取り出し用構台内及び大気放出前の放射性物質濃度 仕様　：検出器種類　シンチレーション検出器 計測範囲　10^{-1}～$10^{5}s^{-1}$ 台数　排気フィルタユニット入口　4 台 (原子炉建屋側，燃料取り出し用構台側 2 台ずつ) 排気フィルタユニット出口　2 台

4.1.3.2　換気風量について

原子炉建屋オペレーティングフロア及び燃料取り出し用構台内の環境は，燃料取扱機，クレーン及び電源盤の設備保護のため 40℃以下（設計値）となる換気設備を設けるものとする。

原子炉建屋オペレーティングフロア及び燃料取り出し用構台内の熱負荷を除熱するのに必要な換気風量は，下式により求められる風量に余裕をみた約 30,000m^3/h とする。

$$Q=q/(Cp\cdot\rho\cdot(t1-t2)\cdot 1/3600)$$

Q：換気（排気）風量（m^3/h）

q：設計用熱負荷，約 80（kW）

（機器発熱，日射，使用済燃料プールからの熱，原子炉からの熱）※1

Cp：定圧比熱，1.004652（kJ/kg・℃）

ρ ：密度，1.2（kg/m^3）

t1：燃料取り出し用構台内温度，40（℃）

t2：設計用外気温度，28.5（℃）※2

※1　約 10%の余裕を含む

※2　小名浜気象台で観測された 1972 年～1976 年の 5 年間の観測データにおける累積出現率が 99%となる最高温度

4.1.3.3　運転管理および保守管理

(1) 運転管理

排風機の起動/停止操作は，免震重要棟集中監視室で行うものとし，故障等により排風機が停止した場合には，予備機が自動起動する。

免震重要棟集中監視室では，排風機の運転状態（起動停止状態），放射性物質濃度が表示され，それらの異常を検知した場合には，警報を発する。

放射性物質濃度測定器を排気フィルタユニットの出入口に設置し，原子炉建屋オペレーティングフロア及び燃料取り出し用構台から大気に放出される放射性物質濃度を測定する。

(2) 保守管理

換気設備については安全上重要な設備ではなく，運転継続性の要求が高くない。保守作業に伴う被ばくを極力低減する観点から，異常の兆候が確認された場合に対応する。なお，排気フィルタユニット出入口の放射性物質濃度測定器については，現場の放射性物質監視及び外部への放射性物質飛散抑制の観点から多重化し，機器の単一故障により機能が喪失した場合でも測定可能な設備構成とする。

また，フィルタについては，差圧計（プレフィルタ，高性能粒子フィルタに設置）又は線量計（排気フィルタユニットに設置）の値を確認しながら，必要な時期に交換する。

4.1.3.4　異常時の措置

原子炉建屋オペレーティングフロア及び燃料取り出し用構台換気設備が停止しても，セシウムの使用済燃料プールから大気への移行割合は，1×10^{-5}～1×10^{-3}%程度であり，２号機から放出される放射性物質は小さいと評価されている（Ⅱ.2.3 使用済燃料プール設備参照）ことから，放射性物質の異常な放出とならないと考えられる。また，２号機の使用済燃料プール水における放射性物質濃度は，Cs-134：1.42×10^4Bq/L，Cs-137：5.89×10^5Bq/L（令和 2 年 10 月 15 日に使用済燃料プールより採取した水の分析結果）である。

なお，原子炉建屋オペレーティングフロア及び燃料取り出し用構台換気設備は，機器の単一故障が発生した場合を想定して，排風機及び電源の多重化を実施しており，切替等により機能喪失後の速やかな運転の再開を可能とする。また，排気フィルタユニット出入口の放射性物質濃度測定器については，２台の連続運転とし，１台故障時においても放射性物質濃度を計測可能とする。

4.2　放射性物質の飛散・拡散を防止するための機能について

4.2.1　排気フィルタによる低減効果

原子炉建屋オペレーティングフロア及び燃料取り出し用構台内から排気フィルタユニットを通じて大気へ放出される放射性物質は，プレフィルタ／高性能粒子フィルタ（効率 97%(粒径 0.3μm)以上）により低減される。

セシウムの使用済燃料プールから大気への移行割合は，1×10^{-5}～1×10^{-3}%程度であり，２号機から放出される放射性物質は小さいと評価されている。（Ⅱ.2.3 使用済燃料プール設備参照）

表 4-2 に２号機原子炉建屋オペレーティングフロア上で測定された放射性物質濃度を示す。仮に，原子炉建屋オペレーティングフロア及び燃料取り出し用構台内が表 4-2 に示す放射性物質濃度であった場合，排気フィルタを通過して大気へ放出される放射性物質濃度は表 4-3 の通りとなる。

表 4-2　２号機原子炉建屋オペレーティングフロア上の放射性物質濃度（Bq/cm^3）

核種	オペレーティングフロア上の濃度（令和１年８月～令和２年８月の検出濃度の平均値）
Cs-134	約 7.6×10^{-6}
Cs-137	約 5.0×10^{-5}

$Q=C\cdot(1-f)$

Q　：フィルタ通過後の放射性物質濃度（Bq/cm^3）

C　：原子炉建屋オペレーティングフロア及び燃料取り出し用構台内の放射性物質濃度（Bq/cm^3）（表 4-2 参照）

f　：フィルタ効率（プレフィルタ／高性能粒子フィルタ　97%）

表 4-3　フィルタ通過後の放射性物質濃度

核種	濃度（Bq/cm^3）
Cs-134	約 2.3×10^{-7}
Cs-137	約 1.5×10^{-6}

以上の結果，表 4-2 及び表 4-3 より，フィルタ通過後の放射性物質濃度は約 1/30 となる。

4.2.2　敷地境界線量

4.2.2.1　評価条件

(1) 原子炉建屋オペレーティングフロア及び燃料取り出し用構台内が，表 4-2 に示す２号機原子炉建屋オペレーティングフロア上の放射性物質濃度であった場合に排気フィルタユニットを介して大気に放出されるものと仮定する。

(2) 減衰は考慮しない（地表沈着を除く）。

(3) 地上放出と仮定する。

(4) 燃料取り出し用構台の供用期間である 5 年間（想定）に放出される放射性物質が地表に沈着し蓄積した時点のγ線に起因する実効線量と仮定し評価する。

(5) 大気拡散の評価に用いる気象条件は，「Ⅲ特定原子力施設の保安 第 3 編 2.2 線量評価」で示したものと同じ気象データを使用する。

4.2.2.2　評価方法

原子炉建屋オペレーティングフロア及び燃料取り出し用構台排気フィルタユニットから放出される放射性物質による一般公衆の実効線量は，以下の被ばく経路について年間実効線量(mSv/年)を評価する。

(1) 放射性雲からのγ線に起因する実効線量

(2) 吸入摂取による実効線量

(3) 地面に沈着した放射性物質からのγ線に起因する実効線量

具体的な計算方法等については，「Ⅲ特定原子力施設の保安 第 3 編 2.2 線量評価」に準じる。

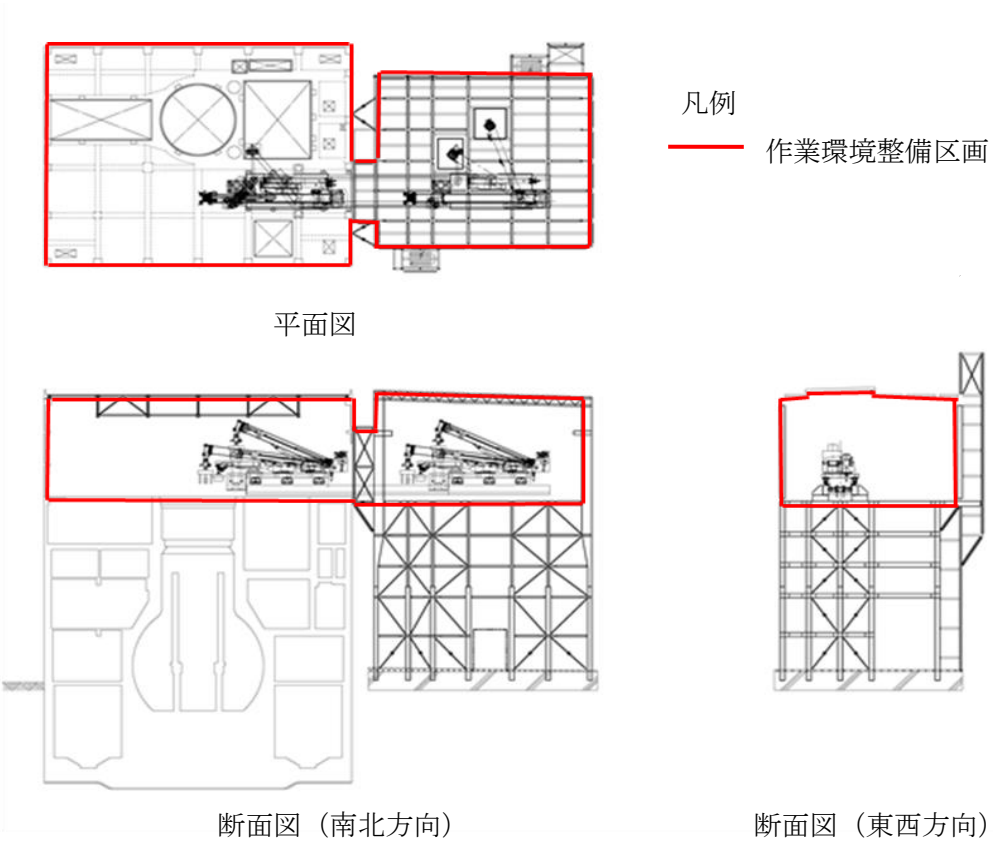
4.2.2.3　評価結果

表 4-3 に示す濃度の放射性物質の放出が燃料取り出し用構台の供用期間である 5 年間（想定）続くと仮定して算出した結果，年間被ばく線量は敷地境界で約 0.00029mSv／年であり，法令で要求される 1mSv／年に比べても十分低いと評価される（表 4-4 参照）。

また，「Ⅲ特定原子力施設の保安 第 3 編 2.2 線量評価」での評価（約 0.0088mSv/年）に比べても低いと評価される。

表 4-4　原子炉建屋オペレーティングフロア及び燃料取り出し用構台排気フィルタユニットからの放射性物質の放出による一般公衆の実効線量（mSv/年）

評価項目			合計
放射性雲	吸入摂取	地表沈着	
約 1.9×10^{-8}	約 1.4×10^{-5}	約 2.8×10^{-4}	約 2.9×10^{-4}



【燃料取り出し用構台】

- 作業環境整備区画を構成・支持する架構及び附属設備を指す。
- 燃料取り出し用構台のうち，作業環境整備区画は外装材等により区画し，換気対象範囲とする。

図 4-1　燃料取り出し用構台概略図

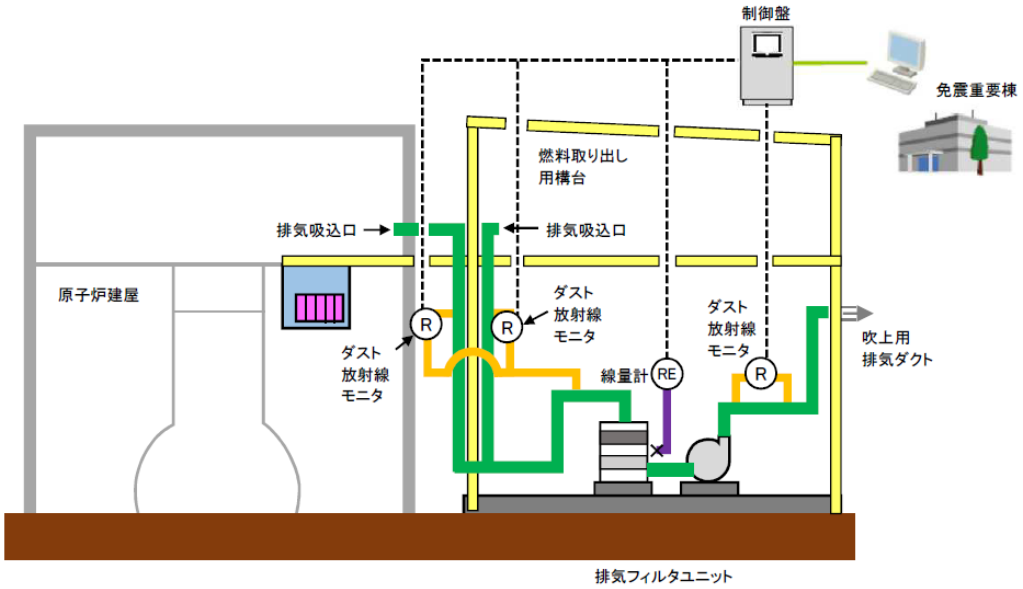


図 4-2　原子炉建屋オペレーティングフロア及び燃料取り出し用構台換気設備 概略構成図

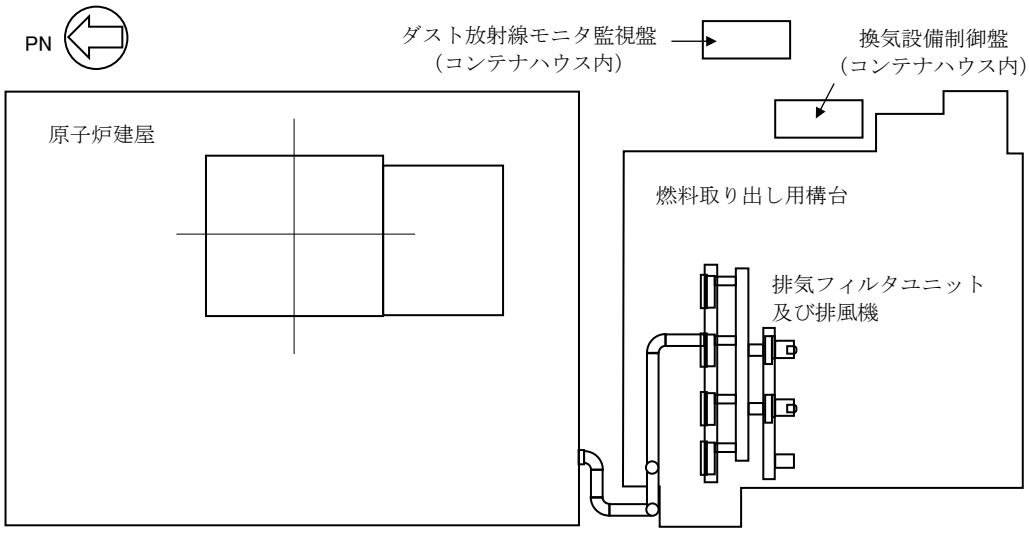


図 4-3　原子炉建屋オペレーティングフロア及び燃料取り出し用構台換気設備配置図

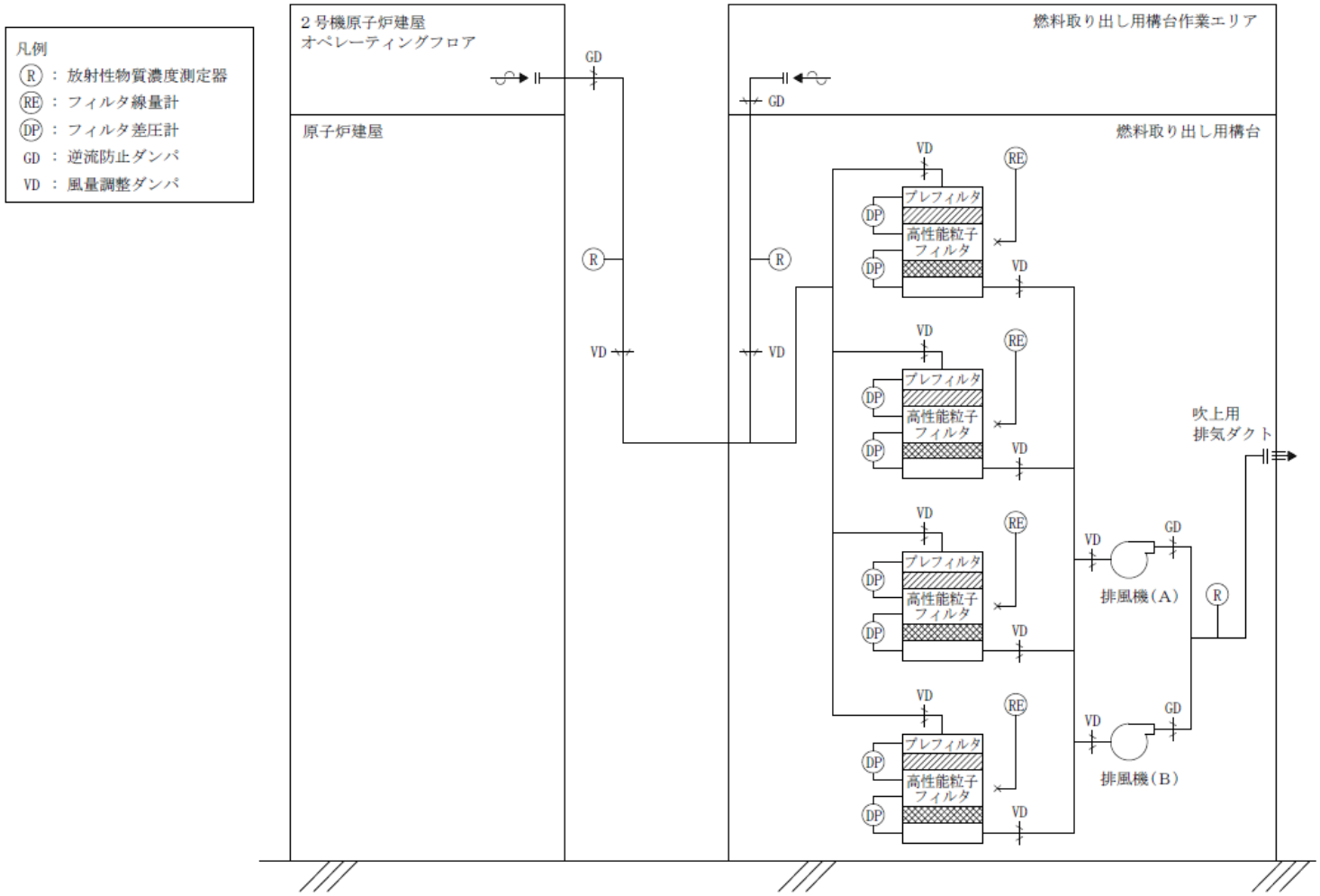
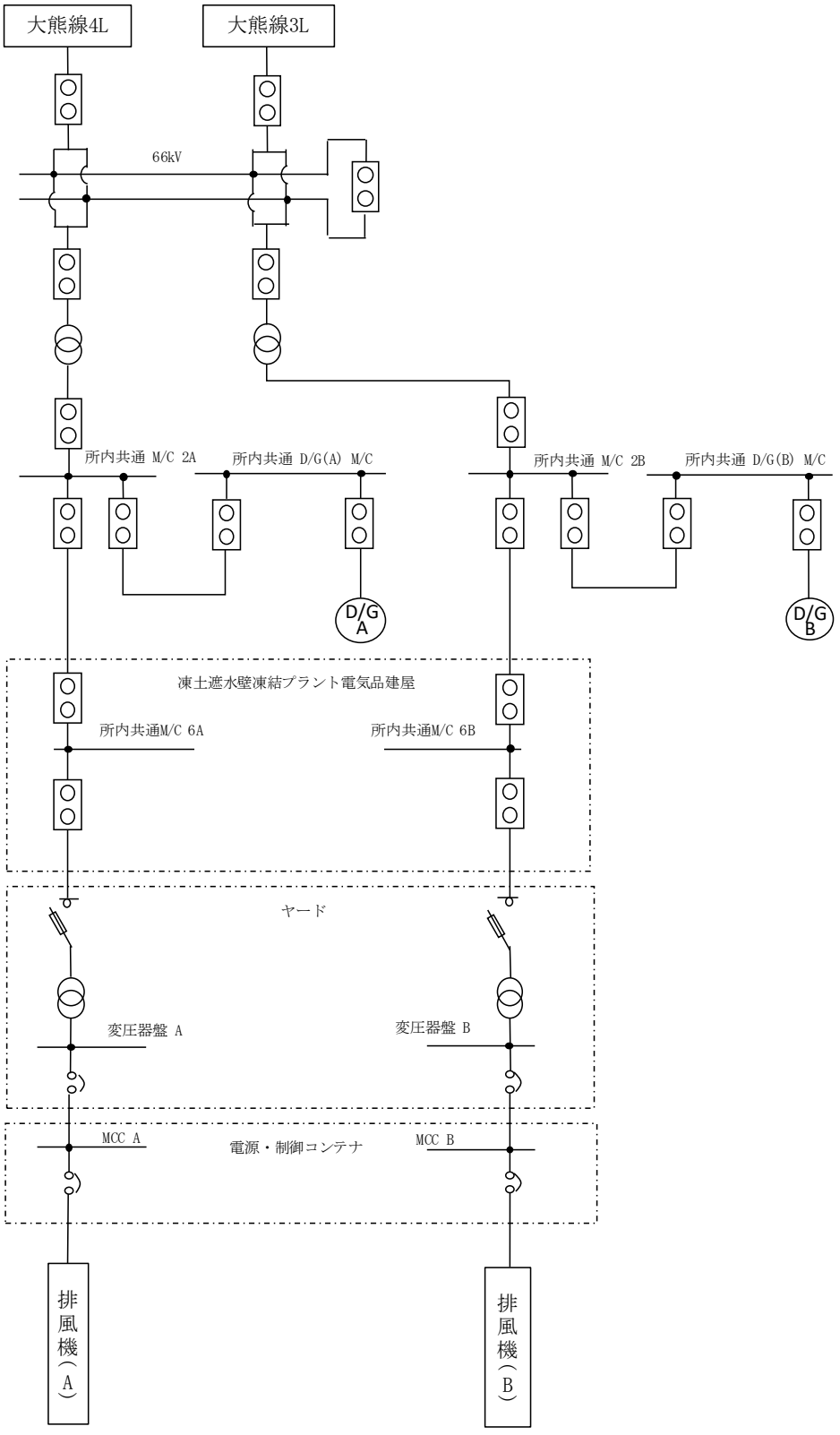


図 4-4　原子炉建屋オペレーティングフロア及び燃料取り出し用構台換気設備系統図



※令和 4 年 7 月時点

図 4-5　原子炉建屋オペレーティングフロア及び燃料取り出し用構台換気設備電源系統図

5　1号機放射性物質の飛散・拡散を防止するための機能について

5.1　大型カバーについて

5.1.1　概要

大型カバーは，作業に支障が生じることのないよう作業に必要な範囲をカバーし，風雨を遮る構造とする。また，オペレーティングフロア上にあるガレキ撤去時の放射性物質の舞い上がり，燃料取り出し作業に伴い建屋等に付着した放射性物質の舞い上がりによる大気放出を抑制するため，大型カバーは隙間を低減した構造とするとともに，換気設備を設け，排気はフィルタユニットを通じて大気へ放出する。また，現在，発電所敷地内でよう素（I-131）は検出されていないことから，フィルタユニットは，発電所敷地内等で検出されているセシウム（Cs-134,137）の大気への放出が低減できる設計とする。

5.1.2　大型カバー

大型カバーの大きさは，約66m（南北）×約56m（東西）×約68m（地上高）である。主体構造は鉄骨造であり，作業エリアの壁面及び屋根面は風雨を遮る外装材で覆う計画である。屋根面及び壁面上部には勾配を設けて，雨水の浸入を防止する構造とする。（図 5-1　大型カバー概略図参照）

5.2　換気設備（ガレキ撤去作業時）

5.2.1　系統構成

換気設備は，大型カバー内の気体を吸引し，排気ダクトを経由して大型カバーの外部に設置した排気フィルタユニットへ導く。排気フィルタユニットは，プレフィルタ，高性能粒子フィルタ等で構成され，各フィルタで放射性物質を捕集した後の気体を吹上用排気ダクトから大気へ放出する。

排気フィルタユニットは，換気風量約30,000m^3/hのユニットを2系列（うち1系列は予備）設置し，約30,000m^3/hの換気風量で運転する。

また，大型カバー内の放射性物質や吹上用排気ダクトから大気に放出される放射性物質の濃度を測定するため，ダスト放射線モニタを排気フィルタユニット入口及び大型カバー換気設備出口に設置する。（図 5-2　大型カバー換気設備（ガレキ撤去作業時）概略構成図，図5-3　大型カバー換気設備（ガレキ撤去作業時）配置図，図5-4　大型カバー換気設備（ガレキ撤去作業時）系統図参照）

大型カバー換気設備の電源は，異なる系統の所内高圧母線から受電可能な構成とする。（図5-5　大型カバー換気設備（ガレキ撤去作業時）電源系統図参照）

表 5-1　換気設備構成（ガレキ撤去作業時）

設備名	構成・配置等
排気吸込口	配置：大型カバー壁面に設置
排気フィルタユニット	配置：原子炉建屋北側の屋外に 2 系列（うち予備 1 系列）設置 構成：プレフィルタ 高性能粒子フィルタ（効率 97%（粒径 0.3μm）以上） フィルタ線量計（高性能粒子フィルタに設置） フィルタ差圧計（プレフィルタ，高性能粒子フィルタに設置）
排風機	配置：原子炉建屋北側の屋外に 2 系列（うち予備 1 系列）設置
吹上用排気ダクト	配置：排気フィルタユニットの下流側に設置
ダスト放射線モニタ	測定対象：大型カバー内及び大気放出前の放射性物質濃度 仕様　：検出器種類　シンチレーション検出器 計測範囲　10^{0}～$10^{4}s^{-1}$ 台数　排気フィルタユニット入口　2 台 大型カバー換気設備出口　2 台

5.2.2　換気風量について

大型カバー内の環境は，ガレキ撤去用天井クレーン及び電源盤等の設備保護のため 40℃以下（設計値）となる換気設備を設けるものとする。

大型カバー内の熱負荷を除熱するのに必要な換気風量は，下式により求められる風量に余裕をみた約 30,000m^3/h とする。

$Q=q/(Cp \cdot \rho \cdot (t1-t2) \cdot 1/3600)$

Q　：換気（排気）風量（m^3/h）

q　：設計用熱負荷，約 103（kW）（機器発熱）※1

Cp　：定圧比熱，1.004652（kJ/kg・℃）

ρ　：密度，1.2（kg/m^3）

t1　：カバー内温度，40（℃）

t2　：設計用外気温度，29.7（℃）※2

※1　約 10%の余裕を含む

※2　小名浜気象台で観測された 2015 年～2019 年の 5 年間の観測データにおける累積出現率が 99%となる最高温度

5.2.3　運転管理および保守管理

(1) 運転管理

排風機の起動/停止操作は，免震重要棟集中監視室で行うものとし，故障等により排風機が停止した場合には，予備機が自動起動する。

免震重要棟集中監視室では，排風機の運転状態（起動停止状態），放射性物質濃度が表示され，それらの異常を検知した場合には，警報を発する。

ダスト放射線モニタを排気フィルタユニット入口及び大型カバー換気設備出口に設置し，大型カバー内から大気に放出される放射性物質濃度を測定する。

(2) 保守管理

換気設備についてはオペレーティングフロア上のガレキ撤去作業時に運転が必要な設備であり，運転継続性の要求が高くない。保守作業に伴う被ばくを極力低減する観点から，異常の兆候が確認された場合に対応する。なお，排気フィルタユニット入口及び大型カバー換気設備出口のダスト放射線モニタについては，現場の放射性物質濃度監視及び外部への放射性物質飛散抑制の観点から多重化し，機器の単一故障により機能が喪失した場合でも測定可能な設備構成とする。

また，フィルタについては，差圧計（プレフィルタ，高性能粒子フィルタに設置）又は線量計（高性能粒子フィルタに設置）の値を確認しながら，必要な時期に交換する。

5.2.4　異常時の措置

大型カバー換気設備が停止しても，セシウムの使用済燃料プールから大気への移行割合は，1×10^{-5}～1×10^{-3}%程度であり，１号機から放出される放射性物質は小さいと評価されている（Ⅱ.2.3 使用済燃料プール設備参照）ことから，放射性物質の異常な放出とならないと考えられる。また，１号機の使用済燃料プール水における放射性物質濃度は，Cs-134：2.32×10^{5}Bq/L，Cs-137：7.02×10^{6}Bq/L（令和 3 年 4 月 23 日に使用済燃料プールより採取した水の分析結果）である。

なお，大型カバー換気設備は，機器の単一故障が発生した場合を想定して，排風機及び電源の多重化を実施しており，切替等により機能喪失後の速やかな運転の再開を可能とする。また，排気フィルタユニット入口及び大型カバー換気設備出口のダスト放射線モニタについては，２台の連続運転とし，１台故障時においても放射性物質濃度を計測可能とする。

5.3　放射性物質の飛散・拡散を防止するための機能について（ガレキ撤去作業時）

5.3.1　排気フィルタによる低減効果

大型カバー内から排気フィルタユニットを通じて大気へ放出される放射性物質は，プレフィルタ／高性能粒子フィルタ（効率 97%（粒径 0.3μm)以上）により低減される。

セシウムの使用済燃料プールから大気への移行割合は，1×10^{-5}～1×10^{-3}%程度であり，１号機から放出される放射性物質は小さいと評価されている。（Ⅱ.2.3 使用済燃料プール設備参照）

１号機原子炉建屋オペレーティングフロア上のガレキ撤去実施に伴う大型カバー内での放射性物質の放出率は，下式により求められ表 5-2 の通りとなる。

$R_1=Sd\cdot A\cdot S/h$

R_1　：ガレキ撤去実施に伴う大型カバー内での放射性物質の放出率（Bq/h）

Sd　：崩落屋根鉄骨の表面汚染密度，1.69×10^{8}（Bq/cm^2）※1

A　：ガレキ撤去（鉄骨切断）に伴う欠損面積，約 190（cm^2）

S　：飛散率，0.02（%）※2

h　：1 切断にかかる作業時間，0.23（h）

※1　2016 年 10 月に実施した 1 号機オペレーティングフロア上の空間線量率の測定結果から遮蔽計算コードにて表面汚染密度へ換算

※2　（財）電力中央研究所「廃止措置工事環境影響ハンドブック（第 3 次版）」（平成 19 年 3 月）より引用

表 5-2　１号機原子炉建屋オペレーティングフロア上のガレキ撤去時の放射性物質の放出率（Bq/h）

放出率
約 2.8×10^{7}

仮に，ガレキ撤去実施に伴い大型カバー内で放射性物質が表 5-2 に示す放出率で飛散する場合，排気フィルタを通過して大気へ放出される放射性物質の放出率は下式により求められ表 5-3 の通りとなる。

$R_2=R_1\cdot(1-f)\cdot h_1/h_2$

R_2　：フィルタ通過後の放射性物質の放出率（Bq/h）

R_1　：大型カバー内の放射性物質の放出率（Bq/h）（表 5-2 参照）

f　：フィルタ効率（プレフィルタ／高性能粒子フィルタ　97%）

h_1　：1 月あたりのガレキ撤去作業時間，約 100（h/月）

h_2　：1 月の総時間数，720（h/月）

表 5-3　フィルタ通過後の放射性物質の放出率（Bq/h）

核種	放出率※
Cs-134	約 6.8×10^{3}
Cs-137	約 1.1×10^{5}

※核種比を考慮して算出

5.3.2　敷地境界線量

5.3.2.1　評価条件

(1) ガレキ撤去実施時において，大型カバー内が，表 5-2 に示す放出率で放射性物質が飛散した場合に排気フィルタユニットを介して大気に放出されるものと仮定する。

(2) 減衰は考慮しない（地表沈着を除く）。

(3) 地上放出と仮定する。

(4) 大型カバーの供用期間である 6 年間（想定）に放出される放射性物質が地表に沈着し蓄積した時点のγ線に起因する実効線量と仮定し評価する。

(5) 大気拡散の評価に用いる気象条件は，「Ⅲ特定原子力施設の保安 第 3 編 2.2 線量評価」で示したものと同じ気象データを使用する。

5.3.2.2　評価方法

大型カバー排気フィルタユニットから放出される放射性物質による一般公衆の実効線量は，以下の被ばく経路について年間実効線量(mSv/年)を評価する。

(1) 放射性雲からのγ線に起因する実効線量

(2) 吸入摂取による実効線量

(3) 地面に沈着した放射性物質からのγ線に起因する実効線量

具体的な計算方法等については，「Ⅲ特定原子力施設の保安 第 3 編 2.2 線量評価」に準じる。

5.3.2.3　評価結果

表 5-3 に示す放出率で放射性物質の放出が大型カバーの供用期間である 6 年間(想定)続くと仮定して算出した結果，年間被ばく線量は敷地境界で約 0.00070mSv／年であり，法令で要求される 1mSv／年に比べても十分低いと評価される（表 5-4 参照)。

また，「Ⅲ特定原子力施設の保安 第 3 編 2.2 線量評価」での評価（約 0.0088mSv/年）に比べても低いと評価される。

表 5-4　大型カバー排気フィルタユニットからの
放射性物質の放出による一般公衆の実効線量（mSv/年）

評価項目			合計
放射性雲	吸入摂取	地表沈着	
約 3.5×10^{-8}	約 3.0×10^{-5}	約 6.7×10^{-4}	約 7.0×10^{-4}

5.4　換気設備（燃料取り出し作業時）

5.4.1　系統構成

換気設備は，大型カバー内の気体を吸引し，排気ダクトを経由して大型カバーの外部に設置した排気フィルタユニットへ導く。排気フィルタユニットは，プレフィルタ，高性能粒子フィルタ等で構成され，各フィルタで放射性物質を捕集した後の気体を吹上用排気ダクトから大気へ放出する。

排気フィルタユニットは，換気風量約 30,000m^3/h のユニットを 2 系列（うち 1 系列は予備）設置し，約 30,000m^3/h の換気風量で運転する。

また，大型カバー内の放射性物質や吹上用排気ダクトから大気に放出される放射性物質の濃度を測定するため，ダスト放射線モニタを排気フィルタユニット入口及び大型カバー換気設備出口に設置する。（図 5-6　大型カバー換気設備（燃料取り出し作業時）概略構成図，図 5-7　大型カバー換気設備（燃料取り出し作業時）配置図，図 5-8　大型カバー換気設備（燃料取り出し作業時）系統図参照）

大型カバー換気設備の電源は，異なる系統の所内高圧母線から受電可能な構成とする。（図 5-9　大型カバー換気設備（燃料取り出し作業時）電源系統図参照）

なお，1 号機での燃料取り出し作業に使用する機器に対し，空気中の海塩粒子による腐食リスクを低減するため，給気フィルタユニットを有する構造とする。給気フィルタユニットは，プレフィルタ等で構成され，フィルタで海塩粒子を捕集した後の気体を大型カバー内へ放出する。

給気フィルタユニットは換気風量約 30,000m^3/h のユニットを 2 系列（うち 1 系列は予備）設置し，約 30,000m^3/h の換気風量で運転する。

表 5-5　換気設備構成（燃料取り出し作業時）

設備名	構成・配置等
給気吹出口	配置：大型カバー内床上に設置
給気フィルタユニット	配置：大型カバー内に 2 系列（うち予備 1 系列）設置 構成：プレフィルタ フィルタ差圧計（プレフィルタに設置）
送風機	配置：大型カバー内に 2 系列（うち予備 1 系列）設置
排気吸込口	配置：大型カバー壁面に設置
排気フィルタユニット	配置：原子炉建屋北側の屋外に 2 系列（うち予備 1 系列）設置 構成：プレフィルタ 高性能粒子フィルタ（効率 97%（粒径 0.3μm）以上） フィルタ線量計（高性能粒子フィルタに設置） フィルタ差圧計（プレフィルタ，高性能粒子フィルタに設置）
排風機	配置：原子炉建屋北側の屋外に 2 系列（うち予備 1 系列）設置
吹上用排気ダクト	配置：排気フィルタユニットの下流側に設置
ダスト放射線モニタ	測定対象：大型カバー内及び大気放出前の放射性物質濃度 仕様　：検出器種類　シンチレーション検出器 計測範囲　10^{0}～$10^{4}s^{-1}$ 台数　排気フィルタユニット入口　2 台 大型カバー換気設備出口　2 台

5.4.2　換気風量について

大型カバー内の環境は，燃料取扱機，燃料取り出し用クレーン，ガレキ撤去用天井クレーン及び電源盤等の設備保護のため 40℃以下（設計値）となる換気設備を設けるものとする。また，カバー内での燃料取り出し作業は，有人による作業を計画していることから，作業エリアには，局所的にローカル空調機を設け夏期及び冬期の作業環境の向上を図るものとする。

大型カバー内の熱負荷を除熱するのに必要な換気風量は，下式により求められる風量に余裕をみた約 30,000m^3/h とする。

$Q=q/(Cp\cdot\rho\cdot(t1-t2)\cdot1/3600)$

Q　：換気（排気）風量（m^3/h）

q　：設計用熱負荷，約 81（kW）（機器発熱）※1

Cp　：定圧比熱，1.004652（kJ/kg・℃）

ρ　：密度，1.2（kg/m^3）

t1　：カバー内温度，40（℃）

t2　：設計用外気温度，31.5（℃）※2

※1　約 10%の余裕を含む

※2　29.7℃（小名浜気象台で観測された 2015 年～2019 年の 5 年間の観測データにおける累積出現率が 99%となる最高温度）+約 1.8℃（送風機のヒートアップによる温度上昇）

5.4.3　運転管理および保守管理

(1) 運転管理

送風機・排風機の起動/停止操作は，免震重要棟集中監視室で行うものとし，故障等により送風機・排風機が停止した場合には，予備機が自動起動する。

免震重要棟集中監視室では，送風機・排風機の運転状態（起動停止状態），放射性物質濃度が表示され，それらの異常を検知した場合には，警報を発する。

ダスト放射線モニタを排気フィルタユニット入口及び大型カバー換気設備出口に設置し，大型カバー内から大気に放出される放射性物質濃度を測定する。

(2) 保守管理

換気設備については安全上重要な設備ではなく，運転継続性の要求が高くない。保守作業に伴う被ばくを極力低減する観点から，異常の兆候が確認された場合に対応する。なお，排気フィルタユニット入口及び大型カバー換気設備出口のダスト放射線モニタについては，現場の放射性物質濃度監視及び外部への放射性物質飛散抑制の観点から多重化し，機器の単一故障により機能が喪失した場合でも測定可能な設備構成とする。

また，フィルタについては，差圧計（プレフィルタ，高性能粒子フィルタに設置）又は線量計（高性能粒子フィルタに設置）の値を確認しながら，必要な時期に交換する。

5.4.4　異常時の措置

大型カバー換気設備が停止しても，セシウムの使用済燃料プールから大気への移行割合は，1×10^{-5}～1×10^{-3}%程度であり，１号機から放出される放射性物質は小さいと評価されている（Ⅱ.2.3 使用済燃料プール設備参照）ことから，放射性物質の異常な放出とならないと考えられる。また，１号機の使用済燃料プール水における放射性物質濃度は，Cs-134：1.08×10^{5}Bq/L，Cs-137：6.58×10^{6}Bq/L（令和 5 年 10 月 13 日に使用済燃料プールより採取した水の分析結果）である。

なお，大型カバー換気設備は，機器の単一故障が発生した場合を想定して，送風機・排風機及び電源の多重化を実施しており，切替等により機能喪失後の速やかな運転の再開を可能とする。また，排気フィルタユニット入口及び大型カバー換気設備出口のダスト放

射線モニタについては，２台の連続運転とし，１台故障時においても放射性物質濃度を計測可能とする。

5.5　放射性物質の飛散・拡散を防止するための機能について（燃料取り出し作業時）

5.5.1　排気フィルタによる低減効果

大型カバー内から排気フィルタユニットを通じて大気へ放出される放射性物質は，プレフィルタ／高性能粒子フィルタ（効率 97%（粒径 0.3μm)以上）により低減される。

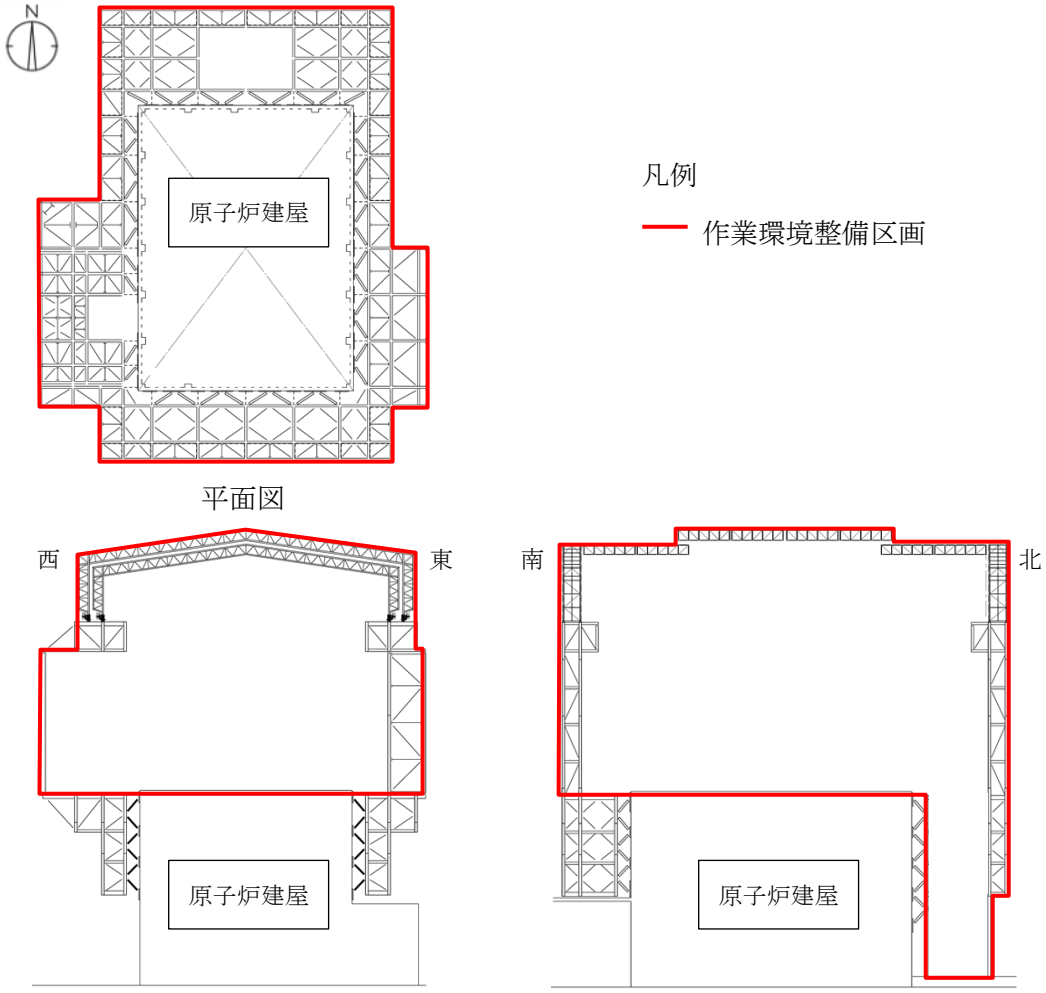
セシウムの使用済燃料プールから大気への移行割合は，1×10^{-5}～1×10^{-3}%程度であり，１号機から放出される放射性物質は小さいと評価されている。（Ⅱ.2.3 使用済燃料プール設備参照）

燃料取り出し作業時は，ガレキ撤去作業時のようなダスト飛散リスクの高い作業を実施しない。したがって，放射性物質の放出率及び排気フィルタを通過して大気に放出される放射性物質の放出率は，5.3.1 項の評価値を下回ることを確認している。

5.5.2　敷地境界線量

燃料取り出し作業時における敷地境界線量は，評価条件に用いる 5.5.1 項の放出率がガレキ撤去作業時の評価値（5.3.1 項）を下回ることから，敷地境界線量についても，5.3.2.3 項のガレキ撤去作業時の敷地境界線量の評価値の約 0.00070mSv／年を下回り，法令で要求される 1mSv/年に比べても十分低いと評価している。

また，「Ⅲ特定原子力施設の保安 第３編 2.2 線量評価」に記載されている 1～4 号機原子炉建屋からの追加的放出による評価結果（約 0.0088mSv /年）と比べても低いことを確認している。



【大型カバー】

- 作業環境整備区画を構成・支持する架構及び附属設備を指す。
- 大型カバーのうち，作業環境整備区画は外装材等により区画し，換気対象範囲とする。

図 5-1　大型カバー概略図

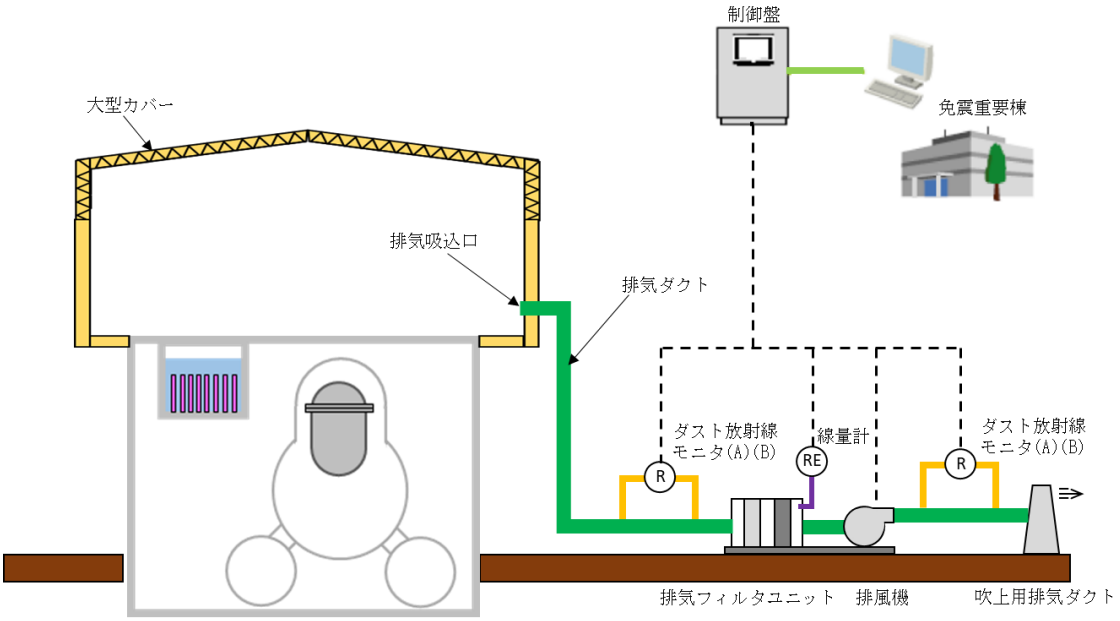


図 5-2　大型カバー換気設備（ガレキ撤去作業時）概略構成図

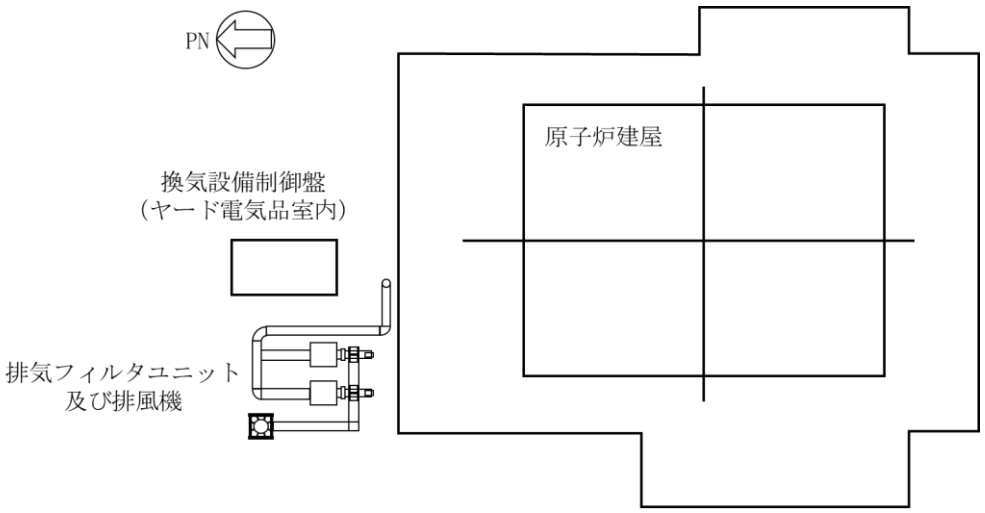


図 5-3　大型カバー換気設備（ガレキ撤去作業時）配置図

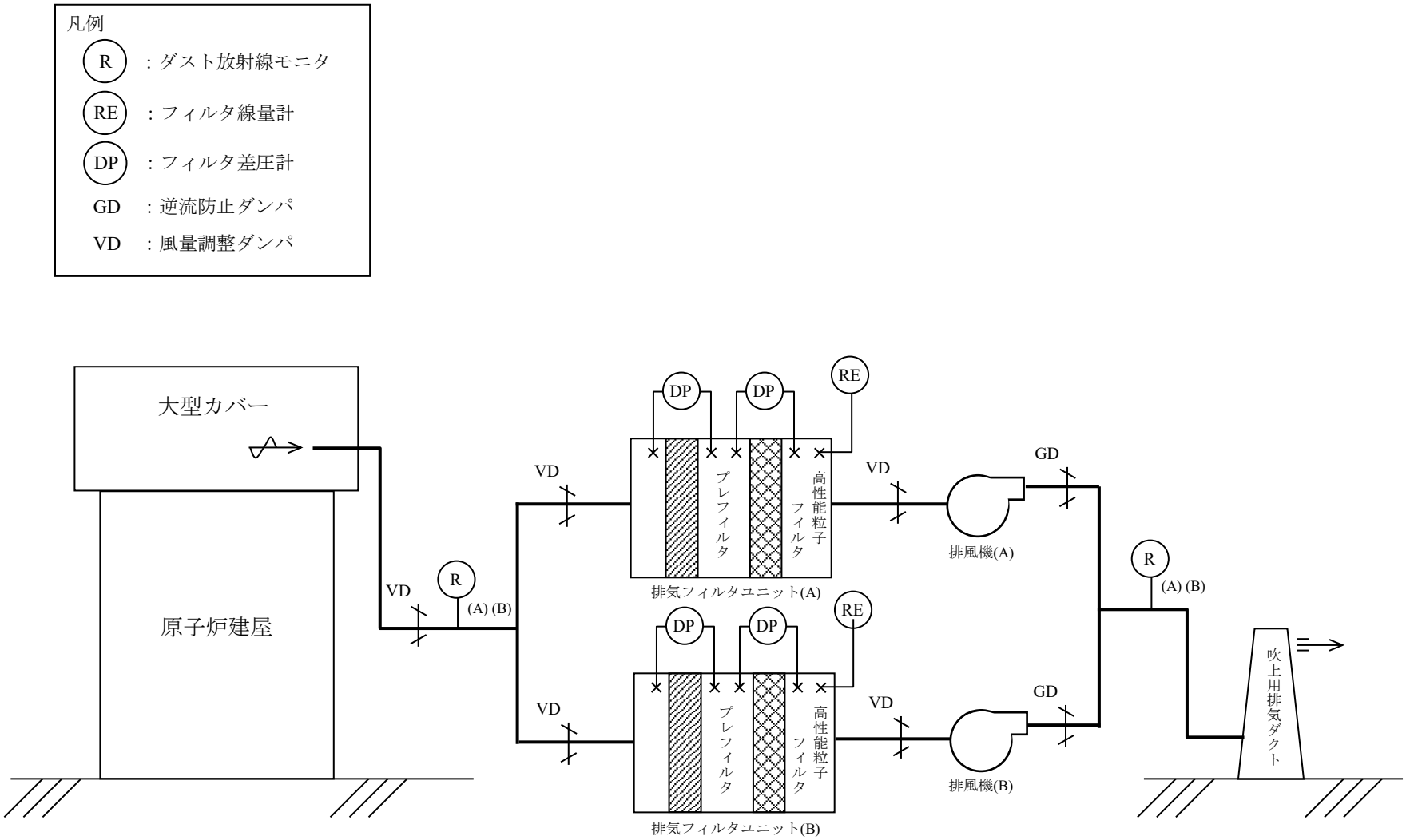
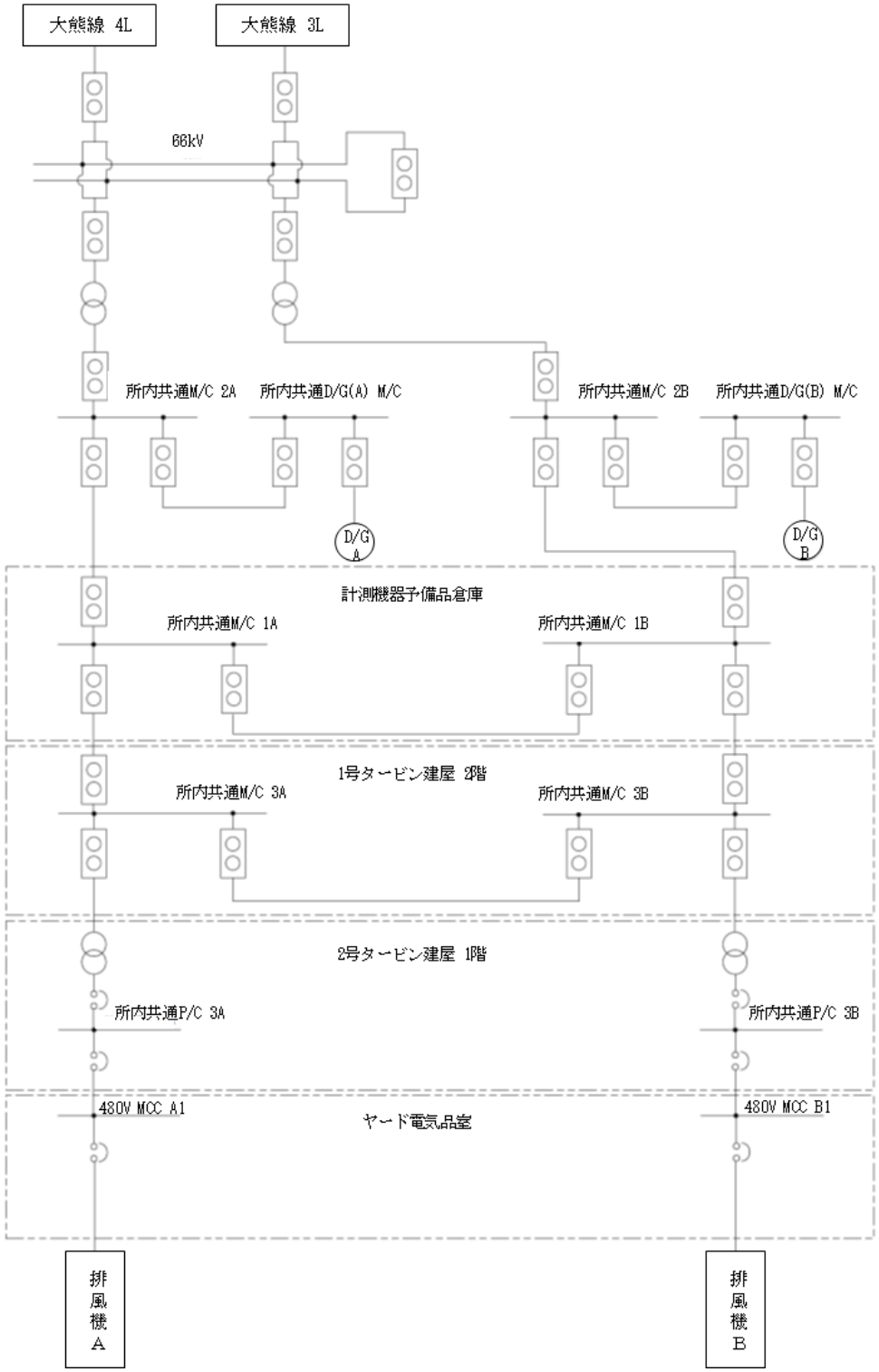


図 5-4　大型カバー換気設備（ガレキ撤去作業時）系統図



※令和３年８月時点

図 5-5　大型カバー換気設備（ガレキ撤去作業時）電源系統図

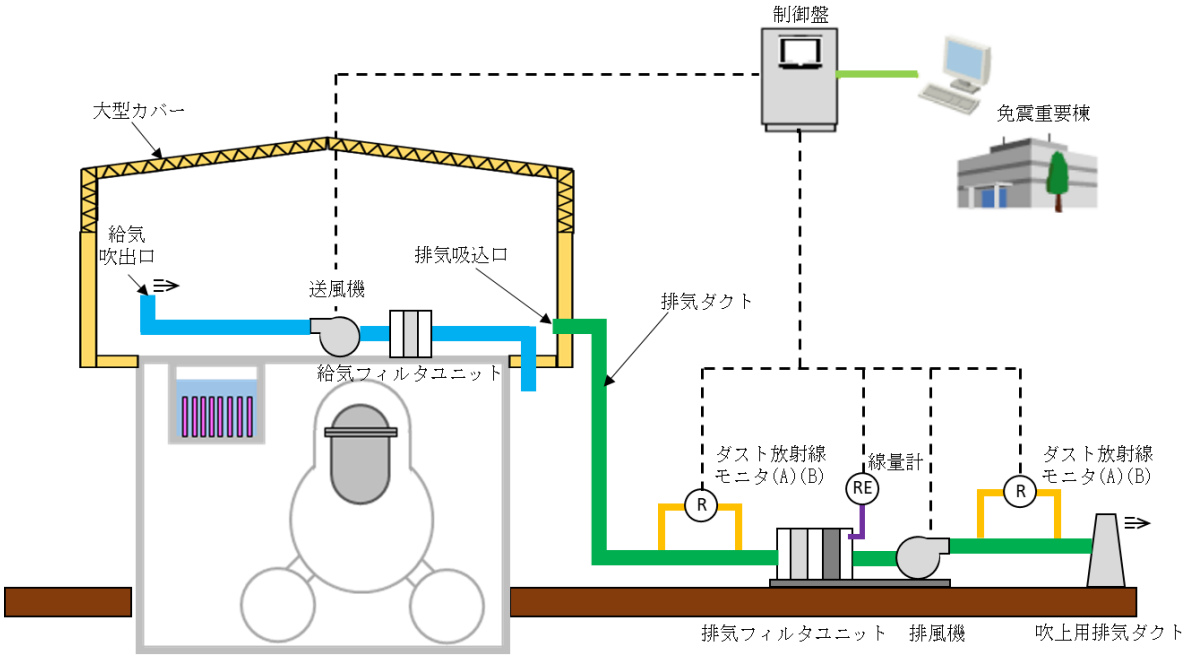


図 5-6　大型カバー換気設備（燃料取り出し作業時）概略構成図

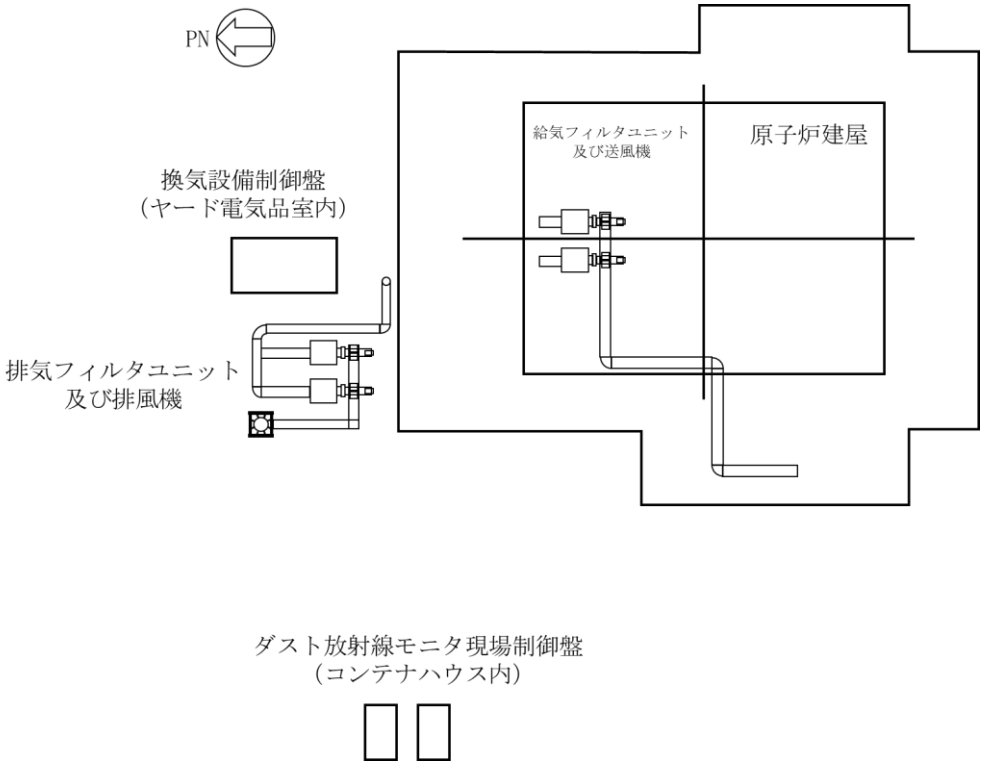


図 5-7　大型カバー換気設備（燃料取り出し作業時）配置図

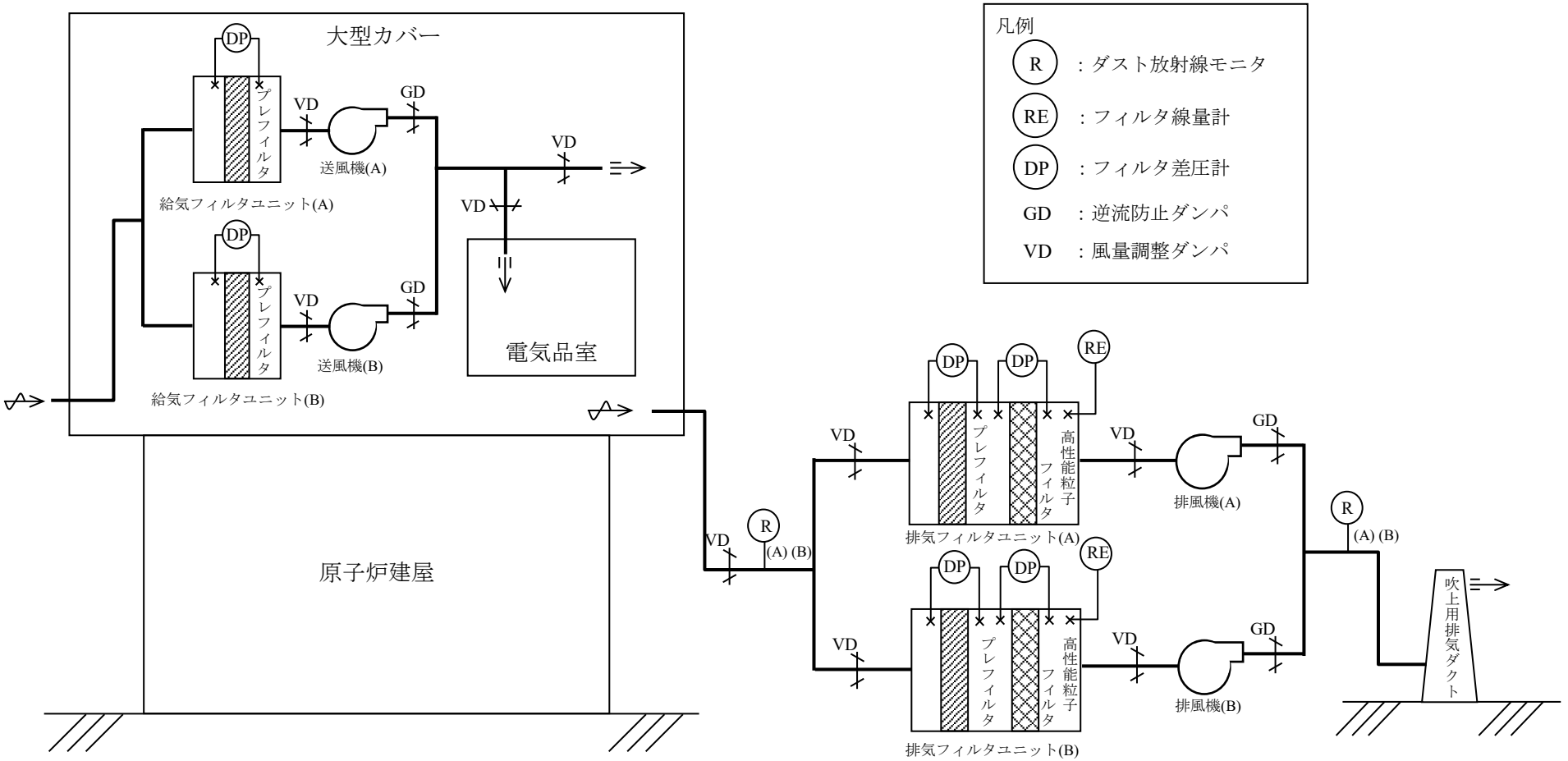
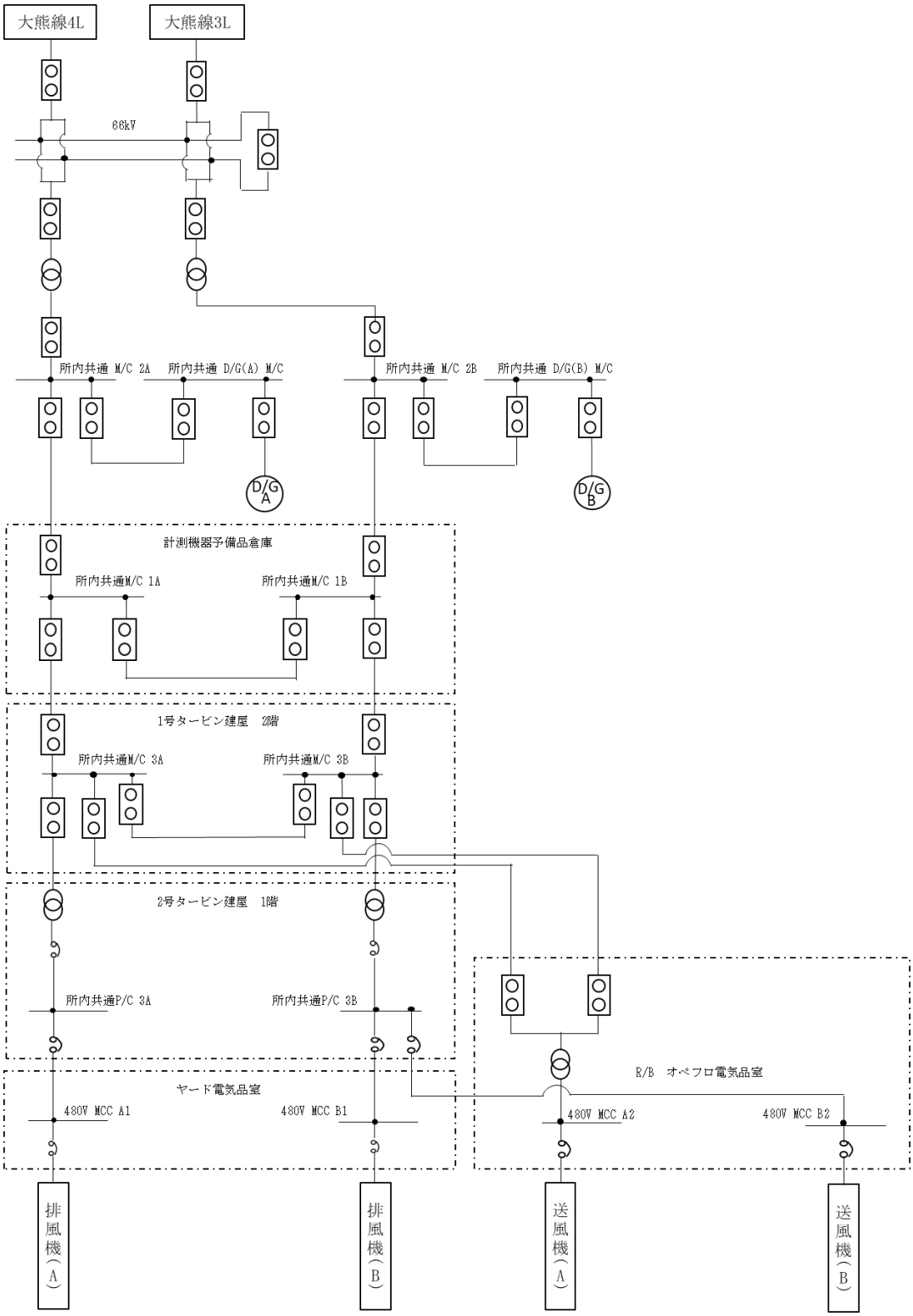


図 5-8　大型カバー換気設備（燃料取り出し作業時）系統図



※令和６年２月時点

図 5-9　大型カバー換気設備（燃料取り出し作業時）電源系統図

6　別添

別添－１　４号機燃料取り出し用カバー換気設備に係る確認事項

別添－２　３号機燃料取り出し用カバー換気設備に係る確認事項

別添－３　２号機原子炉建屋オペレーティングフロア及び燃料取り出し用構台換気設備に係る確認事項

別添－４　１号機大型カバー換気設備（ガレキ撤去作業時）に係る確認事項

別添－５　１号機大型カバー換気設備（燃料取り出し作業時）に係る確認事項

４号機燃料取り出し用カバー換気設備に係る確認事項

４号機燃料取り出し用カバー換気設備に係る主要な確認事項を表－１に示す。

表－１　４号機燃料取り出し用カバー換気設備に係る確認事項

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
放出抑制	機能確認	風量確認	送風機・排風機の換気風量を確認する。	送風機・排風機が１台当たり 25,000m³/h 以上であること。
				送風機・排風機が定格運転（２台運転１台予備）において，50,000m³/h 以上であること。
		フィルタ性能確認	フィルタの放射性物質の除去効率を確認する。	放射性物質の除去効率が 97%以上であること。
	構造確認	据付確認	放射性物質濃度の測定箇所を確認する。	放射性物質濃度測定箇所が実施計画通りであること。
監視	機能確認	監視機能確認	監視設備により運転状態等が監視できることを確認する。	送風機・排風機の運転状態，放射性物質濃度が免震重要棟内のモニタに表示され監視可能であること。

３号機燃料取り出し用カバー換気設備に係る確認事項

３号機燃料取り出し用カバー換気設備に係る主要な確認事項を表－１に示す。

表－１　３号機燃料取り出し用カバー換気設備に係る確認事項

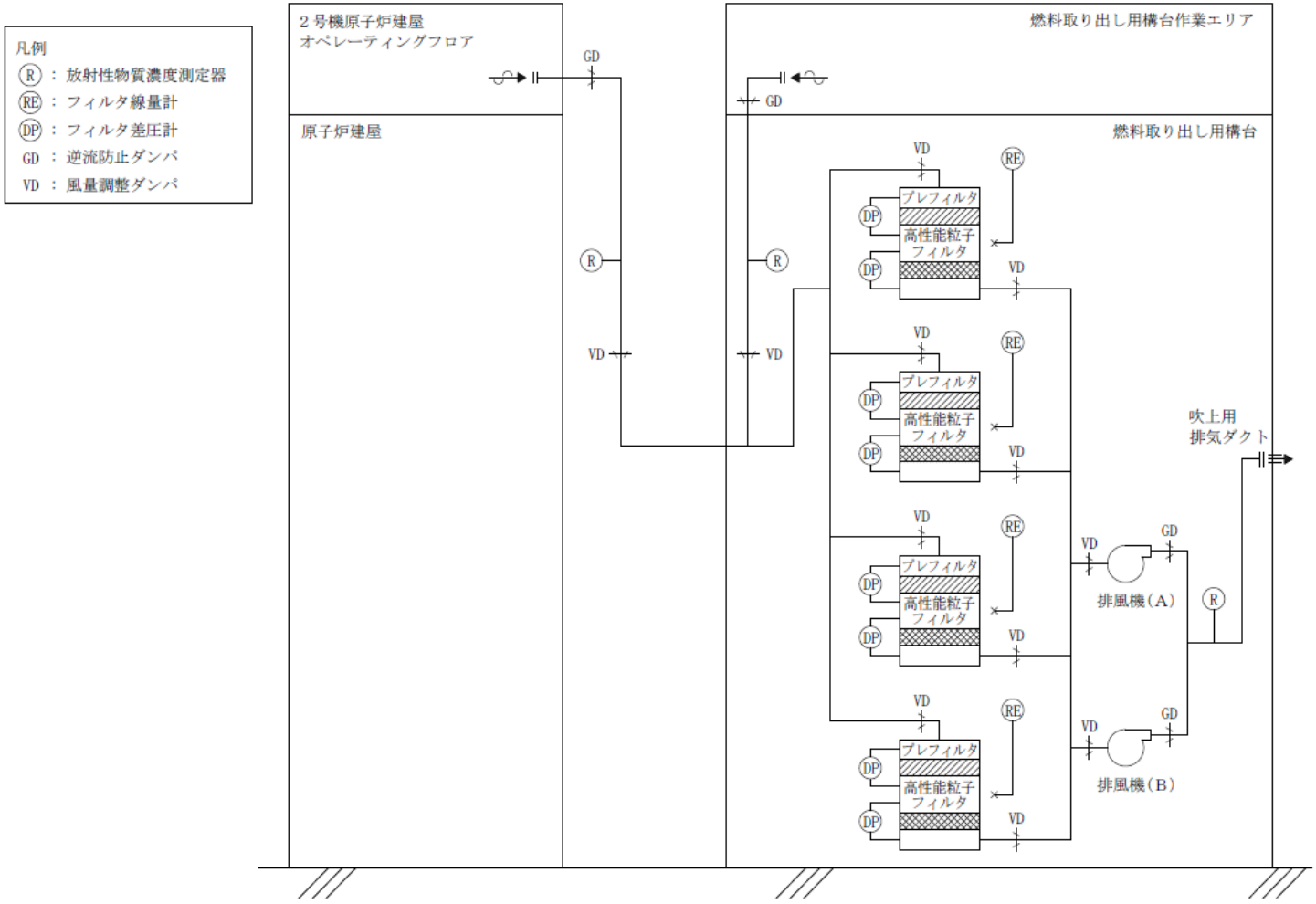
確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
放出抑制	機能確認	風量確認	排風機の出口風量を確認する。	排風機が１台当たり30,000m^3/h 以上であること。
		フィルタ性能確認	フィルタの放射性物質の除去効率を確認する。	放射性物質の除去効率が 97%以上であること。
	構造確認	据付確認	放射性物質濃度の測定箇所を確認する。	放射性物質濃度測定箇所が実施計画通りであること。
監視	機能確認	監視機能確認	監視設備により運転状態等が監視できることを確認する。	排風機の運転状態，放射性物質濃度が免震重要棟内のモニタに表示され監視可能であること。
			設定値において警報及び表示灯が作動することを確認する。	許容範囲以内で警報及び表示灯が作動すること。
			標準線源を用いて検出器性能を確認する。	計数効率が規定値以上であること。
			放射性物質濃度が現場と免震重要棟に表示されることを確認する。	各指示値が許容値範囲以内に入っていること。

２号機原子炉建屋オペレーティングフロア及び燃料取り出し用構台換気設備に係る確認事項

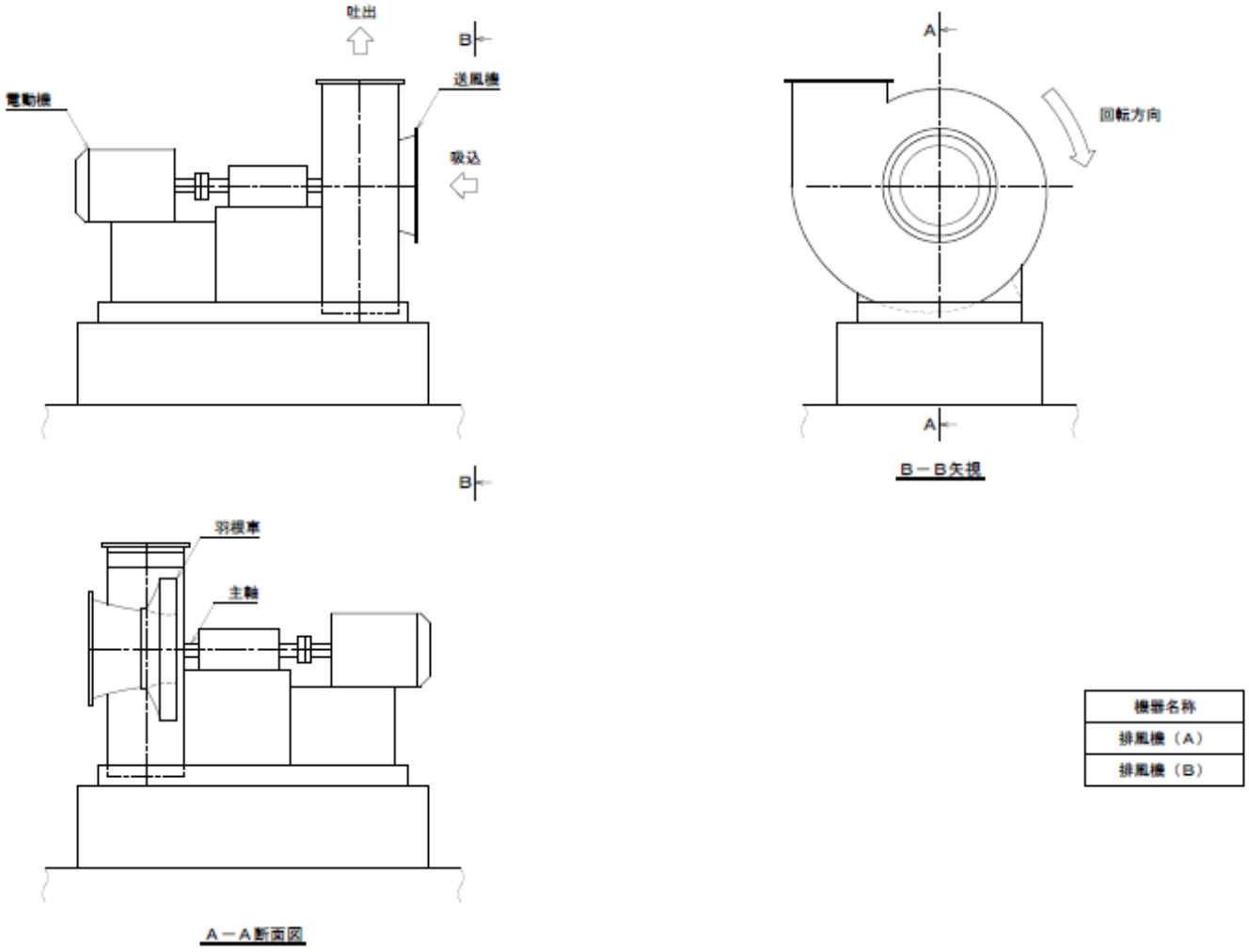
２号機原子炉建屋オペレーティングフロア及び燃料取り出し用構台換気設備に係る主要な確認事項を表－１に示す。また，原子炉建屋オペレーティングフロア及び燃料取り出し用構台換気設備の系統図，排風機の外形図及び排気フィルタユニットの外形図を図－１，図―２，図―３に示す。

表－１　２号機原子炉建屋オペレーティングフロア及び燃料取り出し用構台換気設備に係る確認事項

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準	検査場所
放出抑制・監視	構造確認	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。	現地
		据付確認	系統構成を確認する。	系統構成が図－１の通りであること。	現地
	機能確認	風量確認	排風機の出口風量を確認する。	排風機が１台当たり30,000m^3/h 以上であること。	現地
		フィルタ性能確認	フィルタの放射性物質の除去効率を確認する。	放射性物質の除去効率が97%(粒径 0.3μm)以上であること。	現地
		監視機能確認	監視設備により運転状態等が監視できることを確認する。	排風機の運転状態，放射性物質濃度が免震重要棟内のモニタに表示され監視可能であること。	現地
			設定値において警報及び表示灯が作動することを確認する。	許容範囲以内で警報及び表示灯が作動すること。	現地
			標準線源を用いて検出器性能を確認する。	計数効率が規定値以上であること。	現地
			放射性物質濃度が現場と免震重要棟に表示されることを確認する。	放射性物質濃度が現地と免震重要棟に表示され監視可能であること。	現地

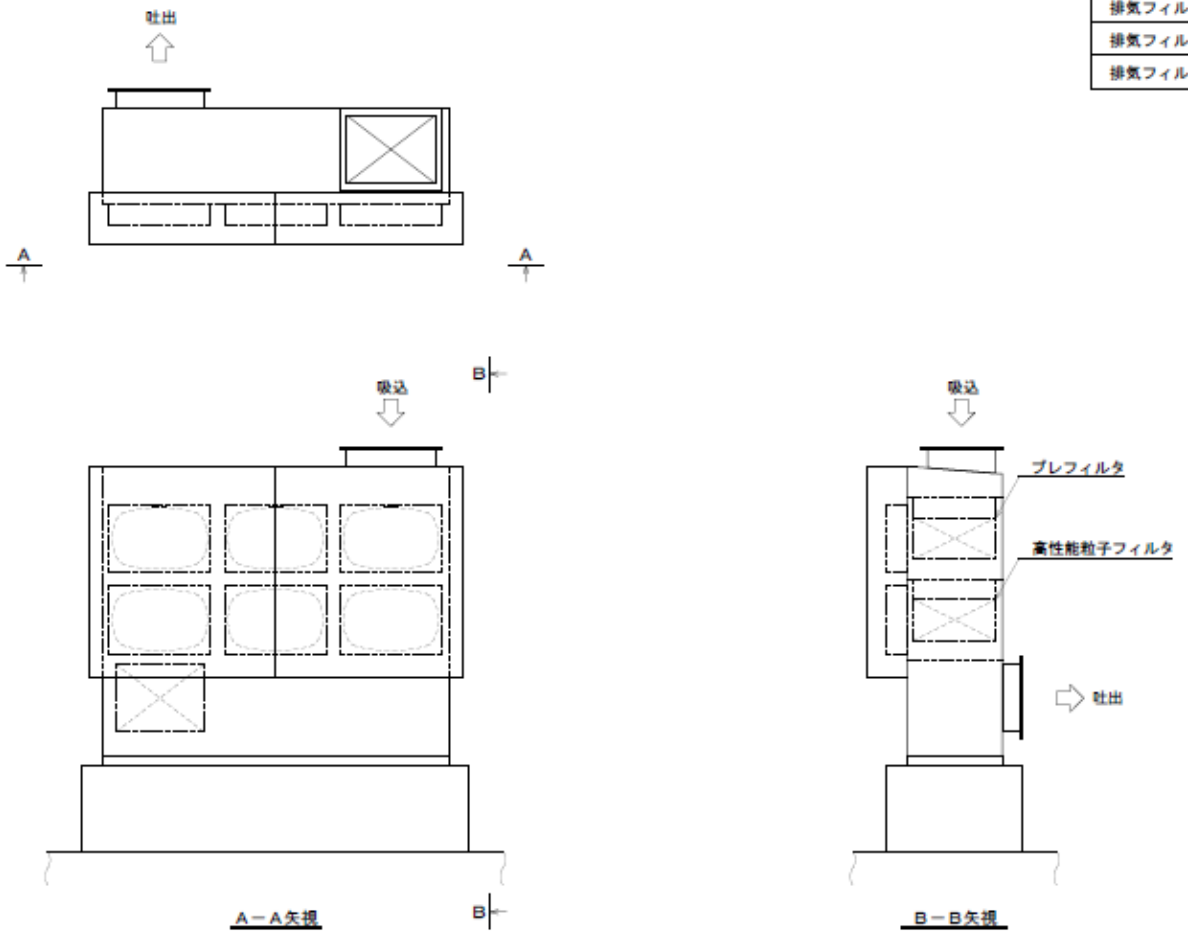


図－１　原子炉建屋オペレーティングフロア及び燃料取り出し用構台換気設備系統図（添付３－１　図４－４再掲）



図－２　排風機　外形図

機器名称
排気フィルタユニット（A）
排気フィルタユニット（B）
排気フィルタユニット（C）
排気フィルタユニット（D）



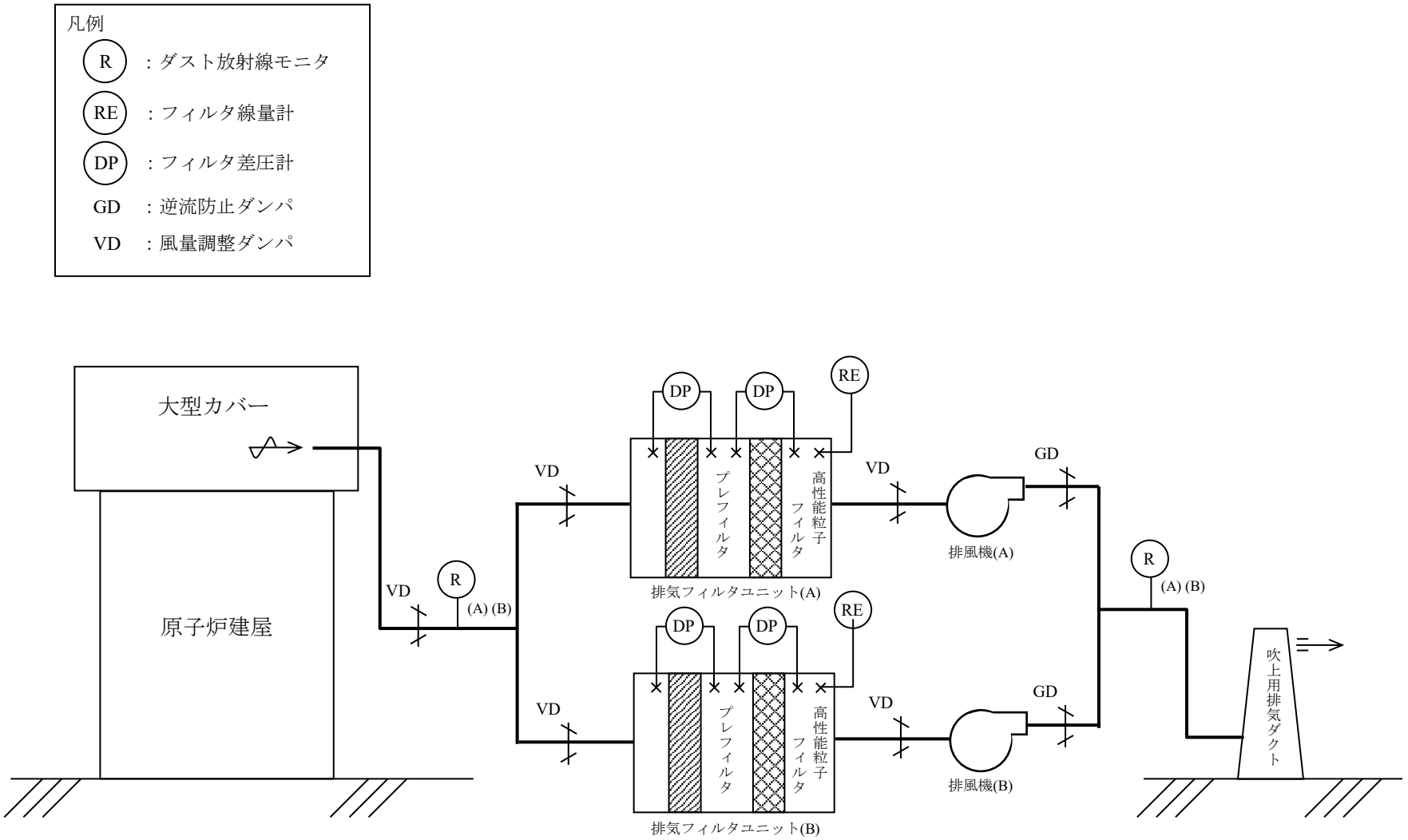
図－３　排気フィルタユニット　外形図

１号機大型カバー換気設備（ガレキ撤去作業時）に係る確認事項

１号機大型カバー換気設備に係る主要な確認事項を表－１に示す。また，大型カバー換気設備（ガレキ撤去作業時）の系統図，排風機の外形図及び排気フィルタユニットの外形図を図－１，図－２，図－３に示す。

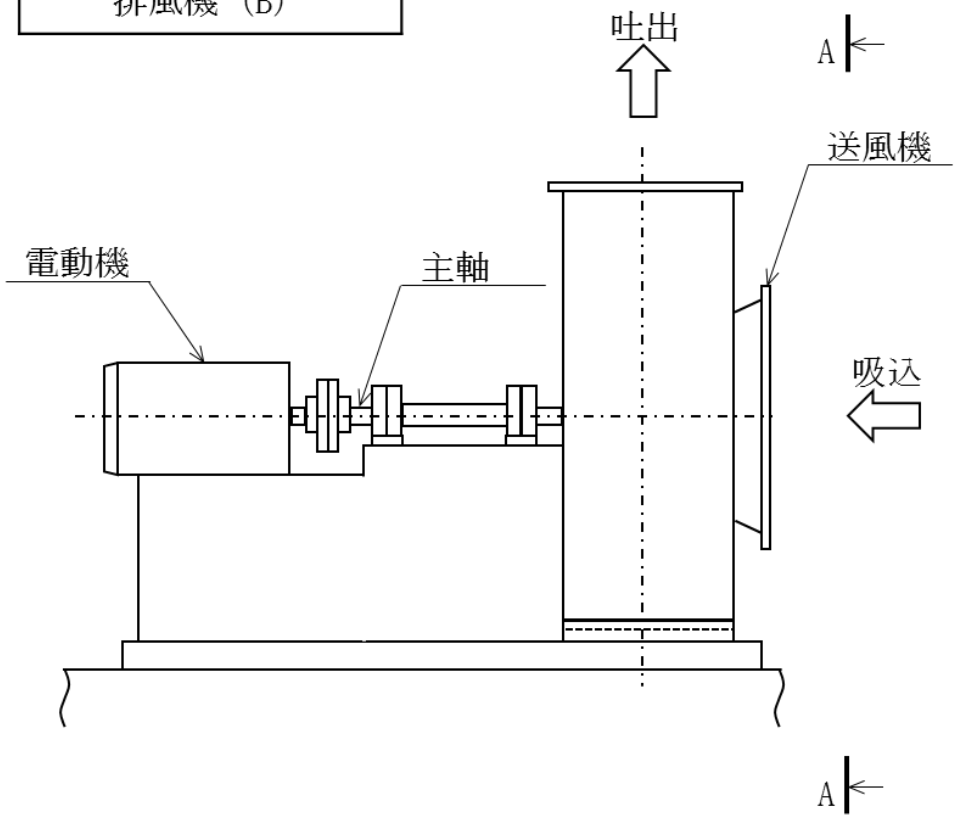
表－１　１号機大型カバー換気設備（ガレキ撤去作業時）に係る確認事項

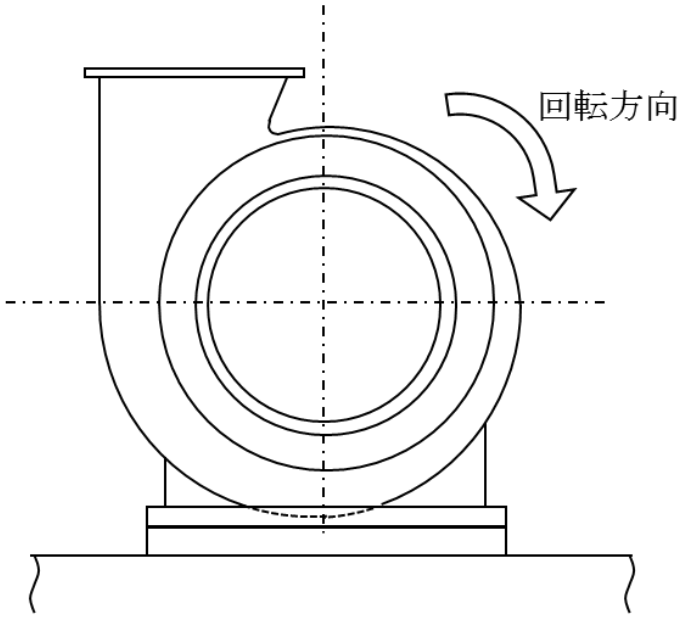
確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
放出抑制・監視	構造確認	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
		据付確認	系統構成を確認する。	系統構成が図－１の通りであること。
	機能確認	風量確認	排風機の出口風量を確認する。	排風機が１台当たり30,000m^3/h 以上であること。
		フィルタ性能確認	フィルタの放射性物質の除去効率を確認する。	放射性物質の除去効率が97%(粒径 0.3μm)以上であること。
		監視機能確認	監視設備により運転状態等が監視できることを確認する。	排風機の運転状態，放射性物質濃度が免震重要棟内のモニタに表示され監視可能であること。
			設定値において警報及び表示灯が作動することを確認する。	許容範囲以内で警報及び表示灯が作動すること。
			標準線源を用いて検出器性能を確認する。	計数効率が規定値以上であること。
			放射性物質濃度が現場と免震重要棟に表示されることを確認する。	放射性物質濃度が現地と免震重要棟に表示され監視可能であること。



図－１　大型カバー換気設備（ガレキ撤去作業時）系統図（添付３－１　図５－４再掲）

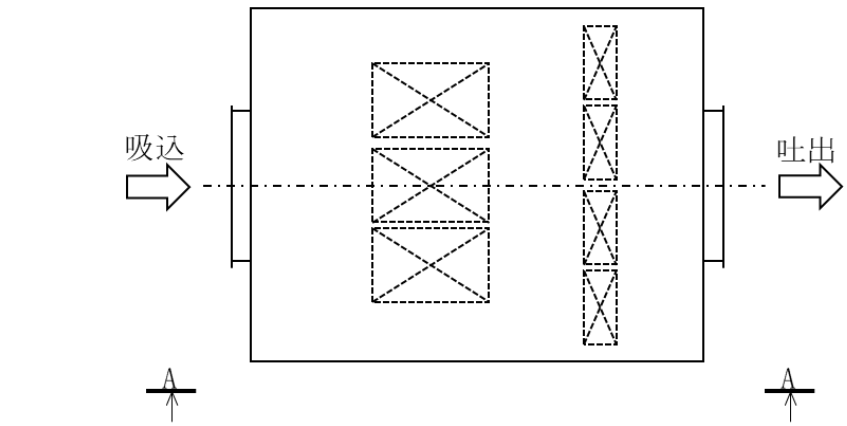
機器名称
排風機（A）
排風機（B）



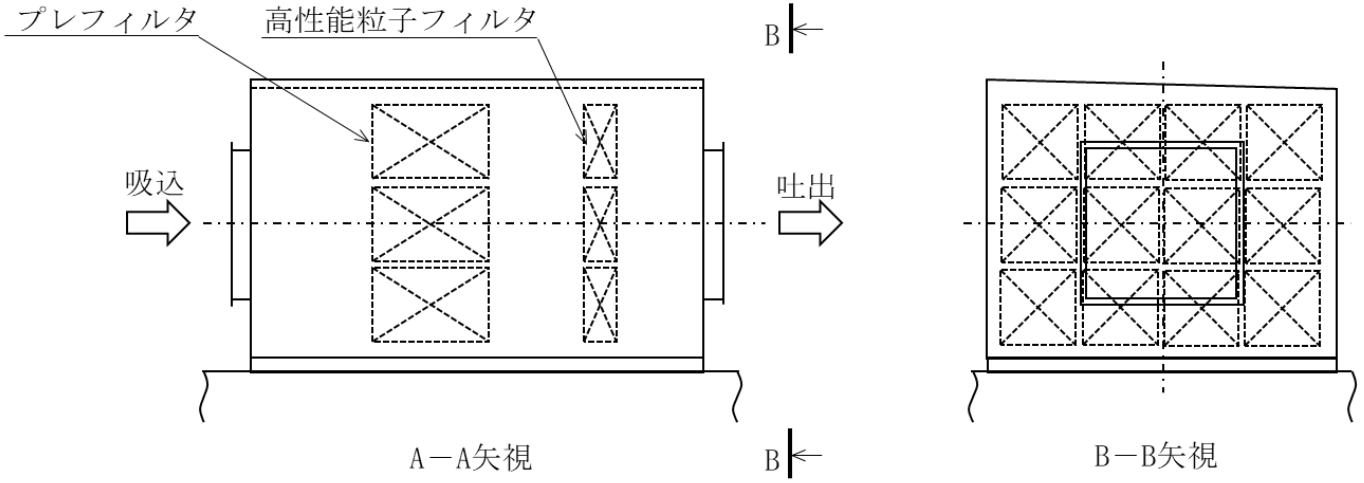


A－A矢視

図－２　排風機　外形図



機器名称
排気フィルタユニット（A）
排気フィルタユニット（B）



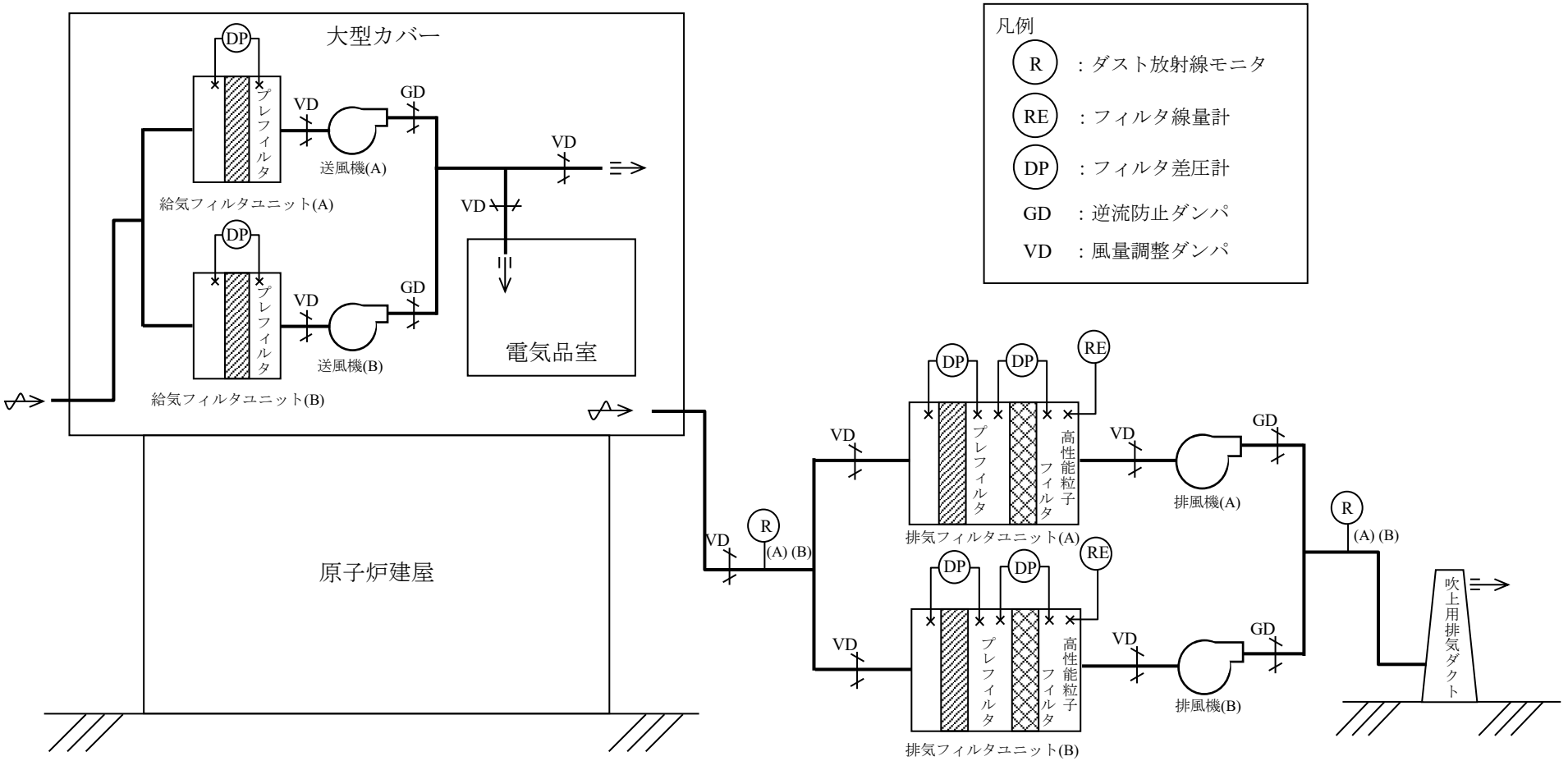
図－３　排気フィルタユニット　外形図

１号機大型カバー換気設備（燃料取り出し作業時）に係る確認事項

１号機大型カバー換気設備に係る主要な確認事項を表－１に示す。また，大型カバー換気設備（燃料取り出し作業時）の系統図，送風機の外形図及び給気フィルタユニットの外形図を図－1，図－２，図－３に示す。

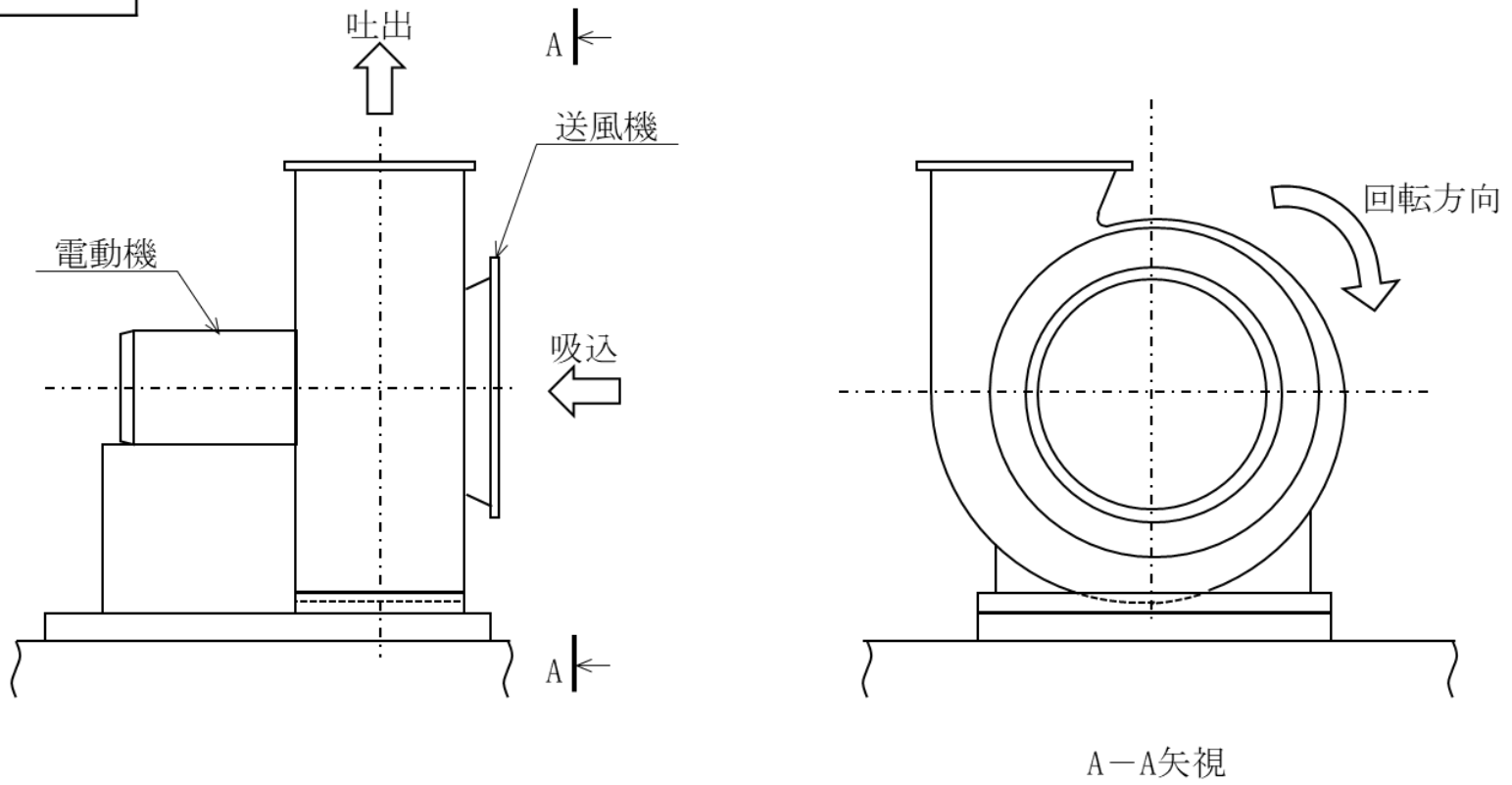
表－１　１号機大型カバー換気設備（燃料取り出し作業時）に係る確認事項

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
放出抑制・監視	構造確認	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
		据付確認	系統構成を確認する。	系統構成が図－１の通りであること。
	機能確認	風量確認	送風機の出口風量を確認する。	送風機が１台当たり30,000m^3/h 以上であること。
		監視機能確認	監視設備により運転状態が監視できることを確認する。	送風機の運転状態が免震重要棟内のモニタに表示され監視可能であること。



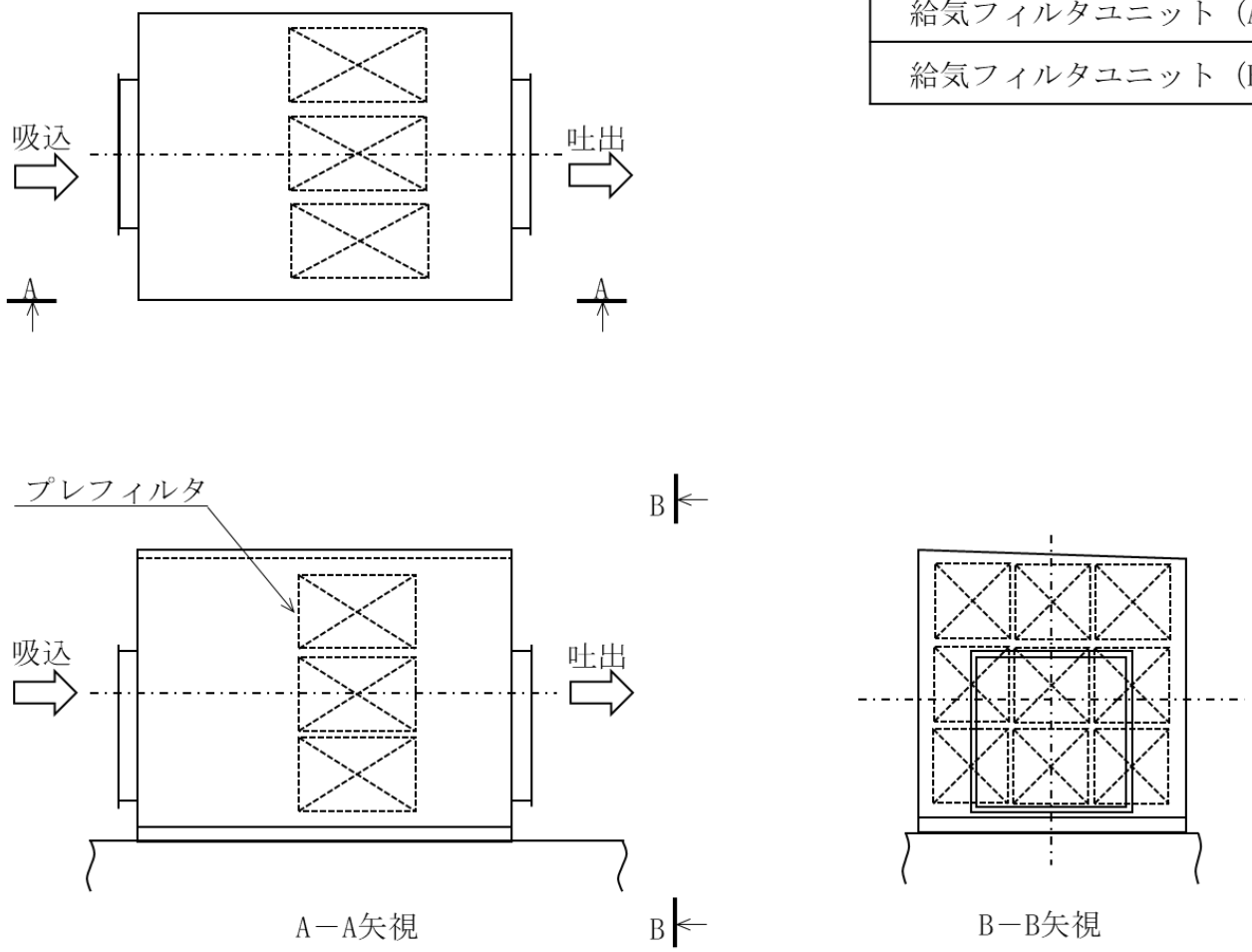
図－１　大型カバー換気設備（燃料取り出し作業時）系統図（添付３－１　図５－８再掲）

機器名称
送風機（A）
送風機（B）



図－２　送風機　外形図

機器名称
給気フィルタユニット（A）
給気フィルタユニット（B）



図－３　給気フィルタユニット　外形図

添付資料－４－１

燃料取扱設備の構造強度及び耐震性に関する説明書

1　本説明書の記載範囲

本説明書は，１号機，２号機，３号機及び４号機燃料取扱設備の構造強度及び耐震性について記載するものである。

2　４号機燃料取扱設備の構造強度及び耐震性について

2.1　概要

2.1.1 一般事項

４号機燃料取扱設備は，燃料取扱機とクレーンを有し，それぞれについて構造強度及び耐震性について検討を行う。燃料取扱設備は使用済燃料プールを覆う燃料取り出し用カバーに設置される。

燃料取扱機の構造強度及び耐震性は，検討に用いる地震動として基準地震動 Ss に対する地震応答解析を実施し，燃料取扱機が使用済燃料プール及び使用済燃料ラックに波及的影響を及ぼさないことを確認する。ここで，波及的影響の確認は燃料取扱機が落下に至らないことを確認する。

クレーンの構造強度及び耐震性は，検討に用いる地震動として弾性設計用地震動 Sd に対する地震応答解析を実施し，クレーンが使用済燃料プール及び使用済燃料ラックに波及的影響を及ぼさないことを確認する。ここで，波及的影響の確認は，クレーンが落下に至らないことを確認する。

弾性設計用地震動 Sd は，基準地震動 Ss の１／２として評価する。

なお，キャスクの縦揺れについては，キャスクの荷重に対して，クレーンのワイヤが切断しない(キャスクが落下しない)ことを確認している。また，キャスクの横揺れについては，クレーンの水平方向固有周期と比較し，ワイヤロープで吊り下げられたキャスクの固有周期は十分に長いことから，クレーン自体の振動には影響されないことを確認している。

燃料取扱設備の検討は，下記に準拠して行う。

(1) 原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG 4601・補-1984）
(2) 原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG 4601-1987）
(3) 原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC 4601-2008）
(4) 発電用原子力設備規格　設計・建設規格（JSME S NC1-2005）
(5) 発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2007 年追補版）（JSME S NC1-2007）

2.1.2 燃料取扱機

燃料取扱機は，燃料取扱機支持用架構（添付資料－４－２「燃料取り出し用カバーの構造強度及び耐震性に関する説明書」参照）に設置されるもので，東西方向を長手方向として２本のガーダが配置され，南北方向に走行する。このガーダ上にトロリが設置され，東西方向に走行する。燃料取扱機フレームは，ガーダ，サドル，トロリで構成される。燃料取扱機の概要を図 2.1.2-1 に示す。

ブリッジ及びトロリは，各々走行レール及び横行レール上に乗っているので地震時，走行方向に対しては，最大静止摩擦力以上の水平力が加わった場合すべりを生じる。

ブリッジ及びトロリの車輪は各々4 個であり，そのうち各々2 個は摩擦を受ける駆動輪であり，他の 2 個は従動輪である。ゆえに，最大静止摩擦係数を μ=0.3 とすれば，水平力は鉛直方向荷重×μ ×2/4＝鉛直方向荷重×0.15 である。

ブリッジ及びトロリは，走行方向に直角な方向に対しては，脱線防止ラグによって荷重を支持する。

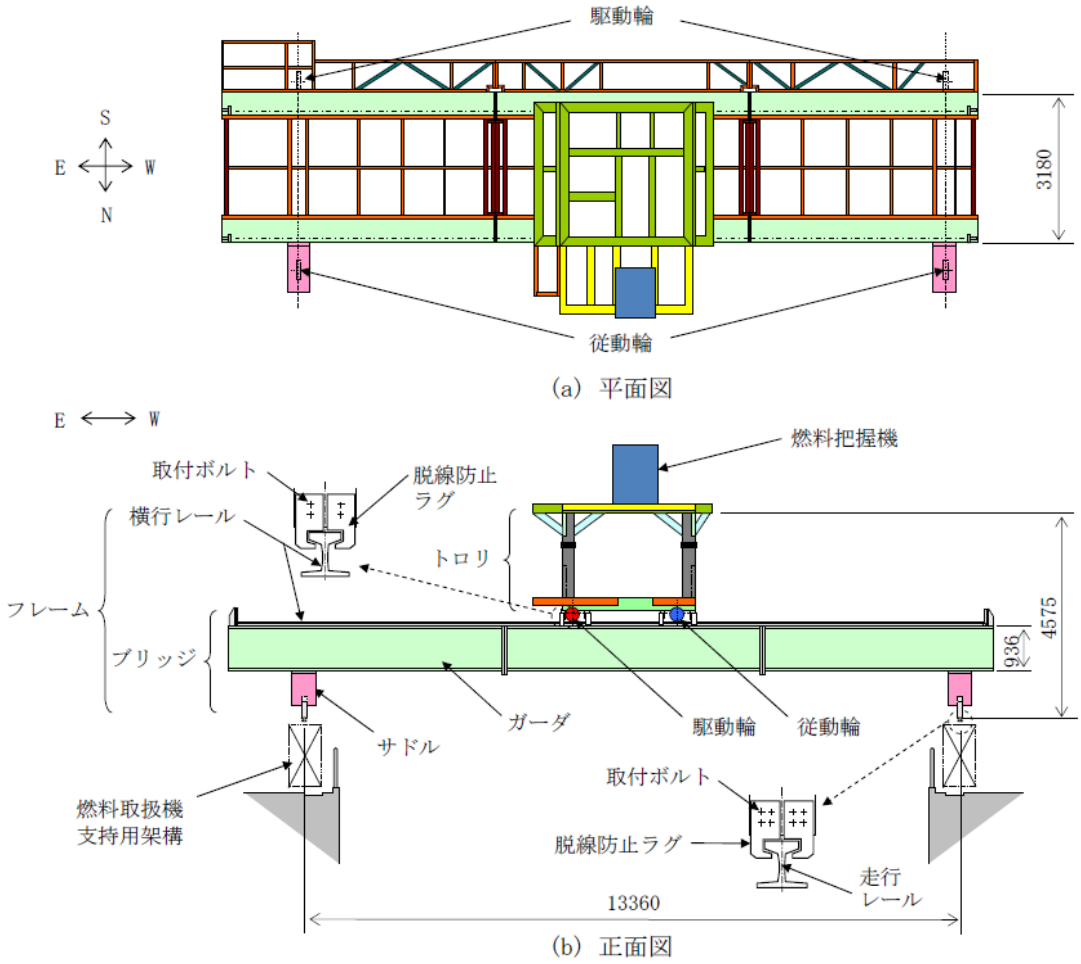


図 2.1.2-1　燃料取扱機の概要

2.1.3 クレーン

クレーンは，クレーン支持用架構（添付資料－４－２「燃料取り出し用カバーの構造強度及び耐震性に関する説明書」参照）に設置されるもので，南北方向に２本のガーダが配置され，南北方向に走行する。このガーダ上にトロリが設置され，東西方向に走行する。クレーンは，ガーダ，サドル，トロリで構成される。クレーンの概要を図 2.1.3-1 に示す。

クレーンは，各々走行レール及び横行レール上に乗っているので地震時，走行方向及び横行方向に対しては，最大静止摩擦力以上の水平力が加わった場合すべりを生じる。

ガーダの車輪は 8 個であり，そのうち 2 個は摩擦を受ける駆動輪であり，他の 6 個は従動輪である。ゆえに，最大静止摩擦係数を μ ＝0.3 とすれば，水平力は鉛直方向荷重×μ ×2/8＝鉛直方向荷重×0.075 である。

トロリの車輪は 4 個であり，そのうち 2 個は摩擦を受ける駆動輪であり，他の 2 個は従動輪である。ゆえに，最大静止摩擦係数を μ ＝0.3 とすれば，水平力は鉛直方向荷重×μ ×2/4＝鉛直方向荷重×0.15 である。

ガーダ及びトロリは，走行方向に直角な方向に対しては，脱線防止ラグ，トロリストッパによって荷重を支持する。

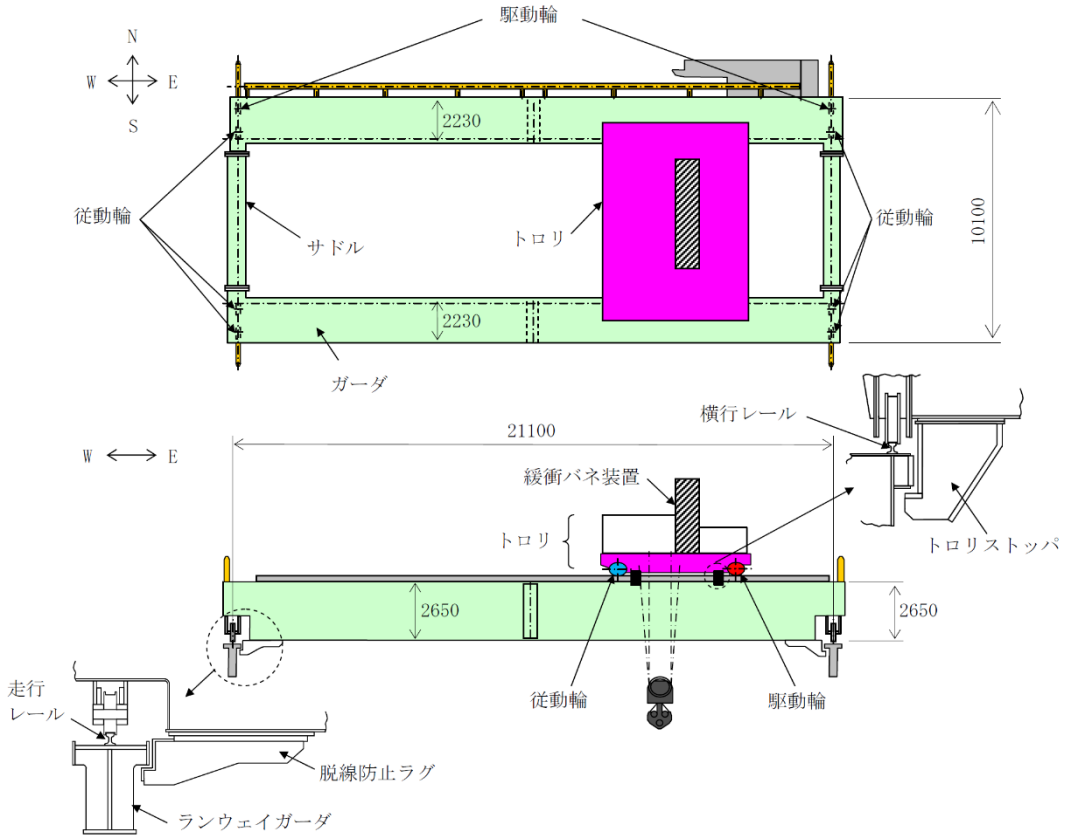


図 2.1.3-1　クレーンの概要

2.2　燃料取扱機の構造強度及び耐震性について

(1) 検討方針

燃料取扱機について，地震応答解析を実施し，応力評価を行う。

1)　使用材料及び許容応力

燃料取扱機の物性値及び許容応力を表 2.2-1 に示す。温度は運転エリアの最高温度（40℃）に余裕を見込んだ 50℃とする。落下防止の観点から，曲げと組合せは設計引張強さＳｕを許容応力とする。せん断応力は，JEAG 4601・補-1984 に従い引張応力から換算して，設計引張強さＳｕを 1/√3 倍して用いる。

表 2.2-1　物性値及び許容応力

材料定数

部位	使用材料	縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比	温度 (℃)
燃料取扱機構造物 フレーム	SS400 STKR400	201,000	0.3	50

許容応力

部位		使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)
燃料取扱機構造物 フレーム		SS400 STKR400	曲げ	394
			せん断	227
			組合せ	394
ブリッジ	脱線防止ラグ	SS400	曲げ	394
			せん断	227
			組合せ	394
	取付ボルト	SCM435	せん断	523
トロリ	脱線防止ラグ	SS400	曲げ	394
			せん断	227
			組合せ	394
	取付ボルト	SCM435	せん断	523
走行レール		レール鋼 (CR 73K-DHH)	曲げ	1080
			せん断	623
			組合せ	1080
横行レール		レール鋼 (1 類　AR 30A)	曲げ	690
			せん断	398
			組合せ	690

2)　荷重及び荷重組合せ

設計で考慮する荷重は死荷重及び地震荷重である。

死荷重は吊り荷を含む燃料取扱機自身の質量による荷重である。

地震荷重は基準地震動 Ss による荷重であり，水平 2 方向それぞれの地震荷重に鉛直方向地震荷重を加算する。具体的には次の通りである。

・死荷重＋水平地震（NS 方向）＋鉛直地震

・死荷重＋水平地震（EW 方向）＋鉛直地震

ブリッジ質量	42,000(kg)
トロリ質量※	17,000(kg)

※吊り荷質量（450(kg)含む）

(2) 燃料取扱機の地震応答解析

解析は，地震応答解析モデルにより計算機コード「SAP－Ⅳ」を用いたモーダル解析による応答スペクトル法により行う。

1) 解析に用いる入力地震動

燃料取扱機への入力地震動は，基準地震動 Ss を入力したときの燃料取扱機支持用架構位置 G.L.+30.77m（添付資料－４－２「燃料取り出し用カバーの構造強度及び耐震性に関する説明書」参照）の床応答スペクトルを用いる。床応答スペクトルを図 2.2-1 に示す。

この床応答スペクトルは，燃料取扱機の走行範囲で想定される床応答スペクトルを包絡したものである。

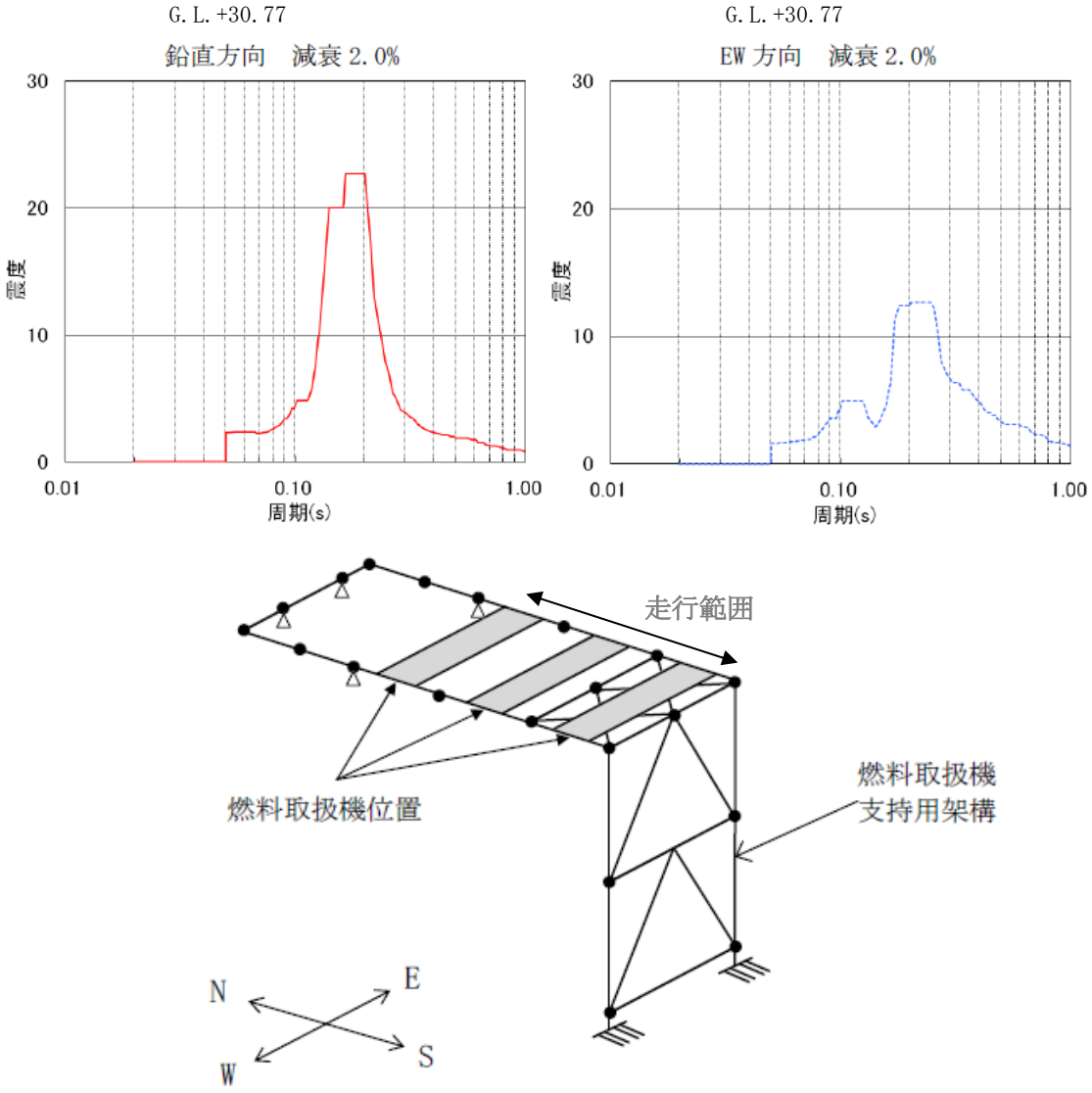


図 2.2-1　床応答スペクトル

2)　地震応答解析モデル

燃料取扱機の地震応答解析モデルを図 2.2-2 に示す。

解析モデルはビームでモデル化しており，ブリッジ脱線防止ラグ下端が架構側との取り合い点であり，脱線防止ラグにより浮上りを押さえる構造としているため，そこを拘束点とする。

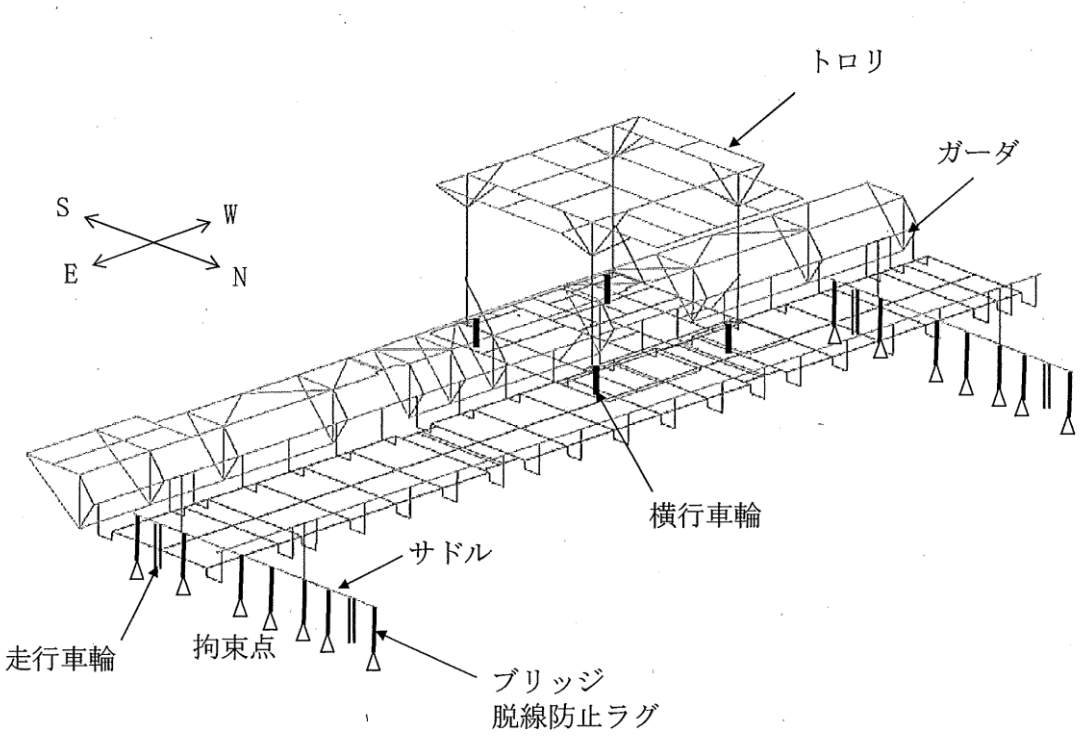


図 2.2-2　地震応答解析モデル

3) 設計震度

・死荷重は鉛直下向きに 1G とする。

・地震荷重は，図 2.2-1 に示す床応答スペクトルを入力する。ただし，レールと車輪の走行方向のすべりを考慮し，ブリッジの NS 方向及びトロリの NS，EW 方向については，2.1.2 項で述べた最大静止摩擦係数より求めた値を水平方向設計震度とする。

			固有周期（s）	設計震度
水平方向	ブリッジ	NS 方向	－	0.15※
		EW 方向	0.034	1.76
	トロリ	NS 方向	－	0.15※
		EW 方向	－	0.15※
鉛直方向			0.065	2.34

注記※：最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度

4)　地震応答解析結果

燃料取扱機の地震応答解析結果を図 2.2-3 に示す。

これは死荷重，水平地震及び鉛直地震の荷重を加算して，各部材毎に応力を求めて表示したものである。

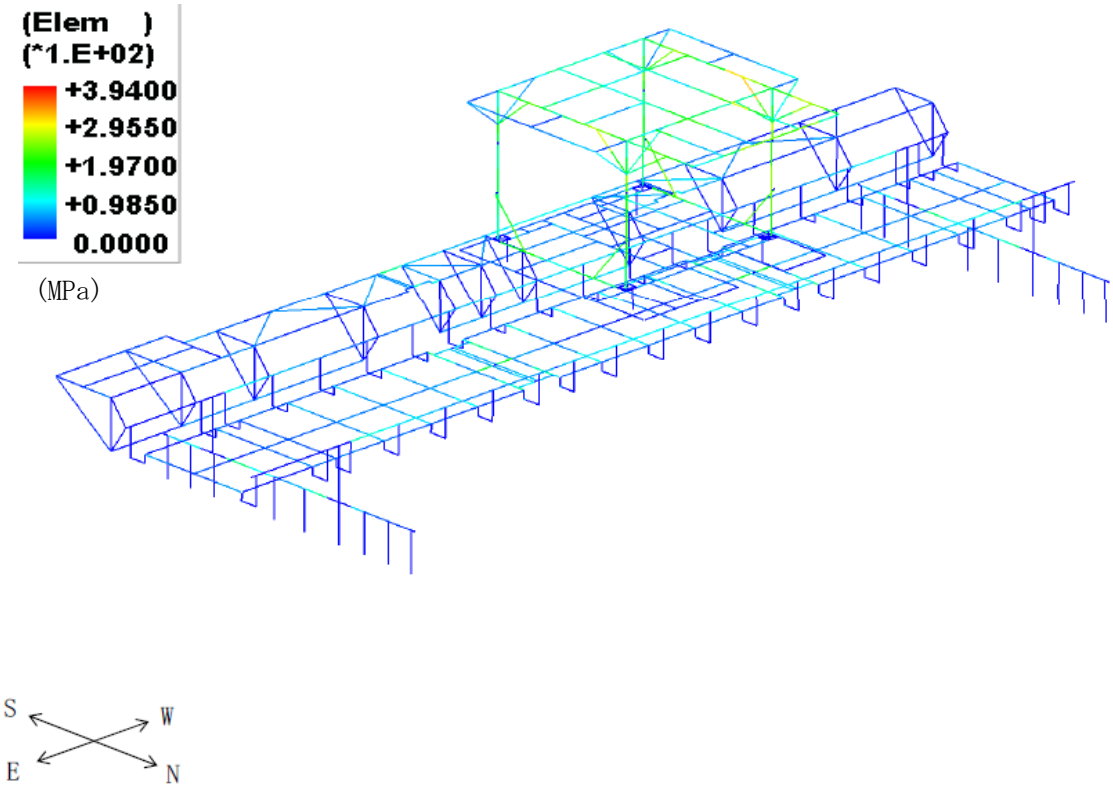


図 2.2-3　地震応答解析結果

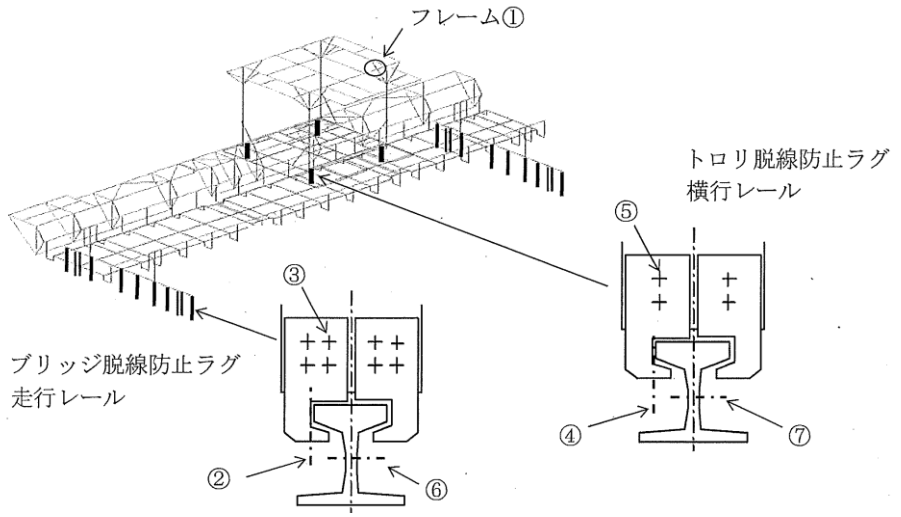
(3) 燃料取扱機の構造強度評価結果

燃料取扱機の応力評価結果を表 2.2-2 に示す。算出応力は許容応力以下であるので，燃料取扱機は基準地震動 Ss に対して落下に至らないことを確認した。

表 2.2-2　応力評価結果纏め

（単位：MPa）

部位		使用材料	応力の種類	算出応力	許容応力
燃料取扱機構造物フレーム①		SS400 STKR400	曲げ	316	394
			せん断	13	227
			組合せ	316	394
ブリッジ	脱線防止ラグ②	SS400	曲げ	125	394
			せん断	38	227
			組合せ	140	394
	取付ボルト③	SCM435	せん断	66	523
トロリ	脱線防止ラグ④	SS400	曲げ	90	394
			せん断	35	227
			組合せ	107	394
	取付ボルト⑤	SCM435	せん断	139	523
走行レール⑥		レール鋼 (CR 73K-DHH)	曲げ	531	1080
			せん断	42	623
			組合せ	535	1080
横行レール⑦		レール鋼 (1 類　AR 30A)	曲げ	568	690
			せん断	24	398
			組合せ	569	690



2.3　クレーンの構造強度及び耐震性について

(1) 検討方針

クレーンについて，地震応答解析を実施し，応力評価を行う。

1)　使用材料及び許容応力

クレーンの物性値及び許容応力を表 2.3-1 に示す。温度は運転エリアの最高温度（40℃）に余裕を見込んだ 50℃とする。落下防止の観点から，曲げと組合せは設計引張強さＳｕを許容応力とする。せん断応力は JEAG4601・補-1984 に従い引張応力から換算して，設計引張強さＳｕを 1/√3 倍して用いる。

表 2.3-1　物性値及び許容応力

材料定数

部位	使用材料	縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比	温度 (℃)
クレーン本体 ガーダ	SM490A	201,000	0.3	50

許容応力

部位		使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)
クレーン本体 ガーダ	中央	SM490A	曲げ	480
	端部	SM490A	せん断	277
脱線防止ラグ		SS400	曲げ	394
			せん断	227
			組合せ	394
トロリストッパ		SS400	曲げ	394
			せん断	227
			組合せ	394

2)　荷重及び荷重組合せ

設計で考慮する荷重は死荷重及び地震荷重である。

死荷重は吊り荷を含むクレーン自身の質量による荷重である。

地震荷重は弾性設計用地震動 Sd による荷重であり，水平 2 方向の地震荷重に鉛直方向地震荷重を加算する。具体的には次の通りである。

・死荷重＋水平地震（NS，EW 方向）＋鉛直地震

クレーン本体ガーダ質量	170,000(kg)
トロリ質量	103,000(kg)
吊り荷質量	100,000(kg)

(2) クレーンの地震応答解析

解析は，地震応答解析モデルにより計算機コード「ABAQUS」を用いた直接積分法による時刻歴解析により行う

1) 解析に用いる入力地震動

クレーンの入力地震動は，弾性設計用地震動 Sd を入力した時のクレーン支持用架構の地震応答計算から得られる G.L.+40.22m（添付資料－４－２「燃料取り出し用カバーの構造強度及び耐震性に関する説明書」参照）の時刻歴加速度波を用いる。時刻歴加速度波形を図 2.3-1 に示す。なお，死荷重は鉛直下向きに 1G とする。

この時刻歴加速度波はクレーンの走行範囲で想定される時刻歴加速度波のうち，クレーンに対し最も影響を与えるものである。

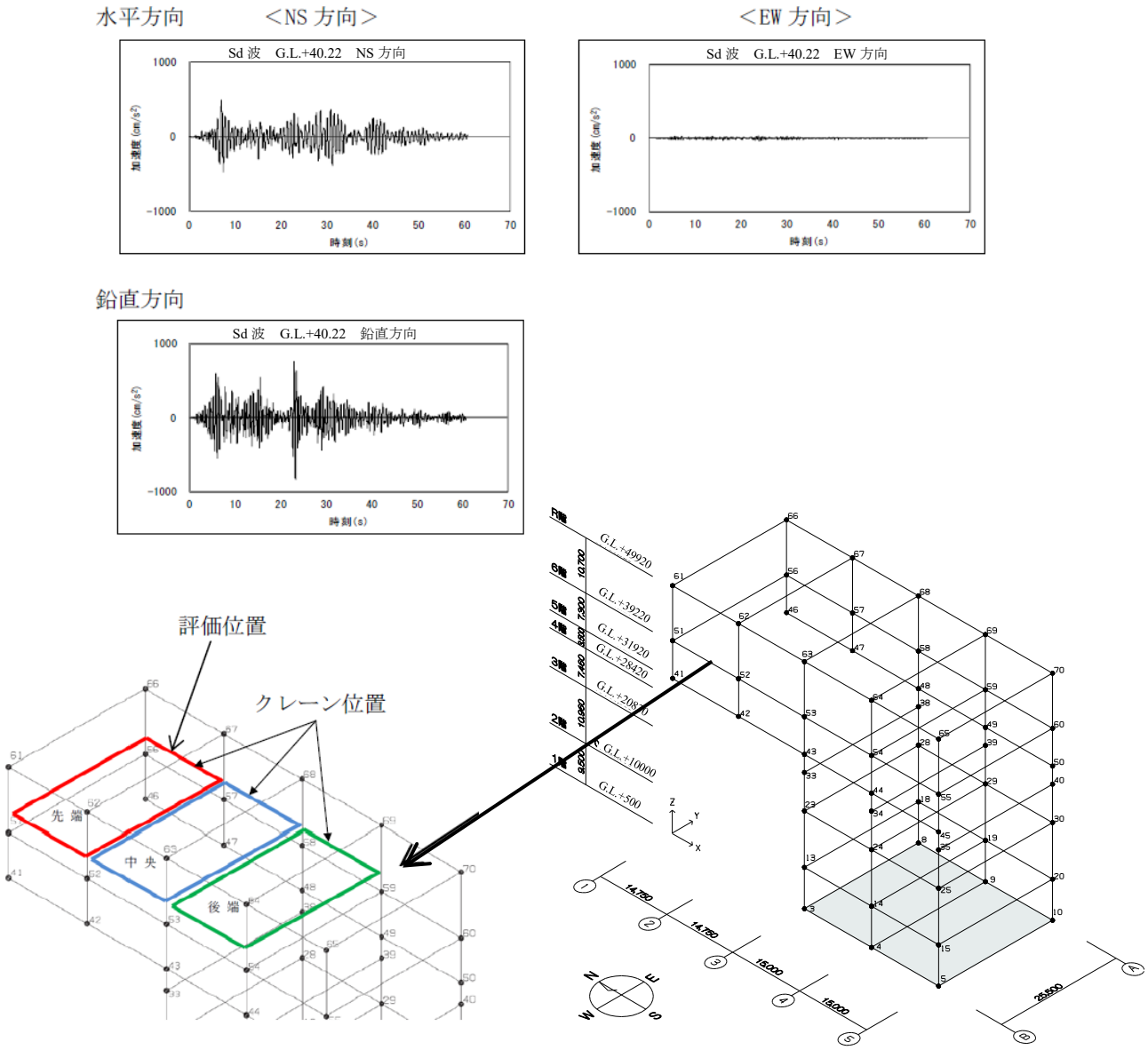


図 2.3-1 時刻歴加速度波形

2)　地震応答解析モデル

クレーンの地震応答解析モデルを図 2.3-2 に示す。

解析モデルは，ビーム及び非線形要素でモデル化しており，走行車輪部下端がクレーン支持用架構側との取り合い点であるため，それを拘束点とする。

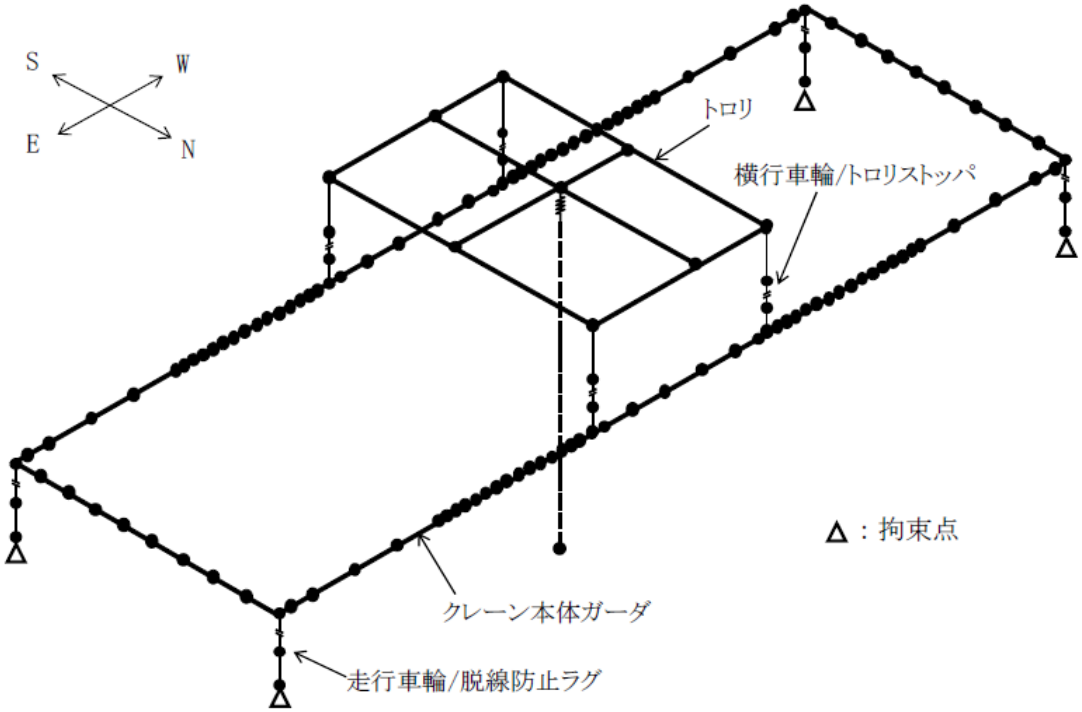


図 2.3-2　地震応答解析モデル

3) 設計地震

脱線防止ラグ及びトロリストッパの評価において，設計震度は以下とする。

	固有周期（s）	設計震度
走行方向（NS 方向）	－	0.075※
横行方向（EW 方向）	0.020	0.89

注記※：最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度

4)　地震動の入力方法の考え方

クレーンに入力される時刻歴波は，クレーン周囲のクレーン支持用架構の節部分からランウェイガーダ／走行レールを経由してクレーン車輪部に入力されることとなるが，クレーンの位置により時刻歴波が異なることから，クレーン重心位置に応じて平均化した時刻歴波を入力地震動とする。

5)　地震応答解析結果

クレーンの地震応答解析結果を表 2.3-2 に示す。

地震応答解析結果は時刻歴応答結果の最大値を用いる。

表 2.3-2　クレーンの地震応答解析結果

部位		荷重の種類	荷重の方向	荷重値
クレーン本体ガーダ	中央	曲げモーメント(N･mm)	鉛直	1.707×10^{10}
			水平	8.429×10^{8}
	端部	せん断力(N)	鉛直	2.372×10^{6}
脱線防止ラグ		圧縮力(N)	鉛直	2.779×10^{5}
トロリストッパ			鉛直	1.877×10^{5}

注：絶対値にて表示している。

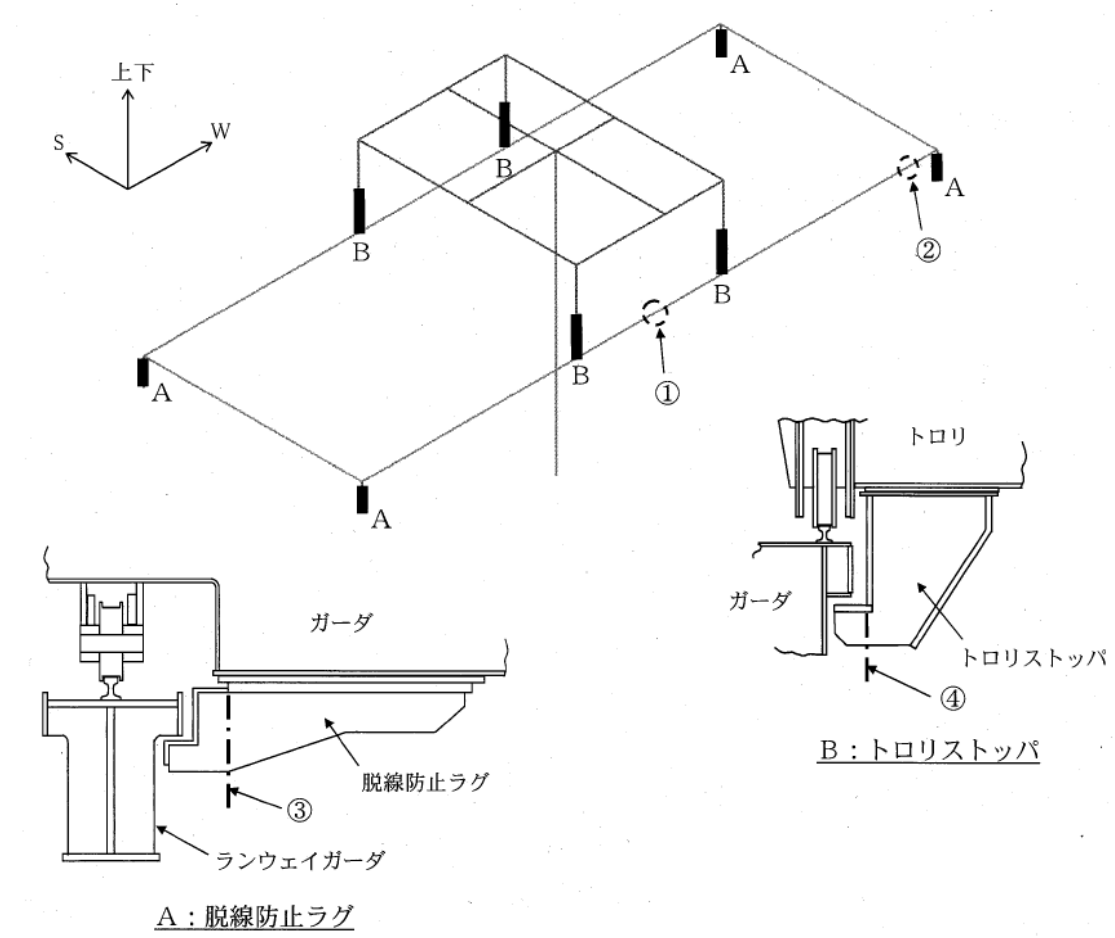
(3) クレーンの構造強度評価結果

クレーンの構造強度評価結果を表 2.3-3 に示す。算出応力は許容応力以下であるので，クレーンは弾性設計用地震動 Sd に対して落下に至らないことを確認した。

表 2.3-3　応力評価結果纏め

（単位：MPa）

部位		使用材料	応力の種類	算出応力	許容応力
クレーン本体ガーダ	中央①	SM490A	曲げ	140	480
	端部②	SM490A	せん断	60	277
脱線防止ラグ③		SS400	曲げ	87	394
			せん断	12	227
			組合せ	89	394
トロリストッパ④		SS400	曲げ	30	394
			せん断	9	227
			組合せ	34	394



3　３号機燃料取扱設備の構造強度及び耐震性について

3.1　概要

3.1.1　一般事項

３号機燃料取扱設備は，燃料取扱機とクレーンを有し，それぞれについて構造強度及び耐震性について検討を行う。燃料取扱設備は使用済燃料プールを覆う燃料取り出し用カバーに設置される。燃料取扱機とクレーンの耐震設計上の重要度分類は，B クラス相当とする。

燃料取扱機の構造強度及び耐震性は，検討に用いる地震動として基準地震動 Ss に対する地震応答解析を実施し，燃料取扱機が使用済燃料プール及び使用済燃料ラックに波及的影響を及ぼさないことを確認する。ここで，波及的影響の確認は燃料取扱機が転倒・落下に至らないことを確認する。

クレーンの構造強度及び耐震性は，検討に用いる地震動として弾性設計用地震動 Sd に対する地震応答解析を実施し，クレーンが使用済燃料プール及び使用済燃料ラックに波及的影響を及ぼさないことを確認する。ここで，波及的影響の確認は，クレーンが転倒・落下に至らないことを確認する。

弾性設計用地震動 Sd は，基準地震動 Ss の１／２として評価する。

なお，キャスクの縦揺れについては，キャスクの荷重に対して，クレーンのワイヤが切断しない(キャスクが落下しない)ことを確認している。また，キャスクの横揺れについては，クレーンの水平方向固有周期と比較し，ワイヤロープで吊り下げられたキャスクの固有周期は十分に長いことから，クレーン自体の振動には影響されないことを確認している。

燃料取扱設備の検討は，下記に準拠して行う。

(1) 原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG 4601・補-1984）

(2) 原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC 4601-2008）

(3) 発電用原子力設備規格　設計・建設規格（JSME S NC1-2005）

(4) 発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2007 年追補版）（JSME S NC1-2007）

3.1.2　燃料取扱機

燃料取扱機は，門型架構（添付資料－４－２「燃料取り出し用カバーの構造強度及び耐震性に関する説明書」参照）に設置されるもので，南北方向を長手方向としてブリッジが配置され，東西方向に走行する。このブリッジ上にトロリが設置され，南北方向に走行する。燃料取扱機フレームは，ブリッジ，テンシルトラストロリで構成される。燃料取扱機の概要を図3.1.2-1に示す。

ブリッジは，走行レール上に乗っているので地震時，走行方向に対しては，最大静止摩擦力以上の水平力が加わった場合すべりを生じる。

テンシルトラストロリは，横行レール上に乗っているので地震時，横行方向に対しては，最大静止摩擦力以上の水平力が加わった場合すべりを生じる。

ブリッジ及びトロリの車輪は各々4個であり，そのうち摩擦を受ける駆動輪は，ブリッジは2個，トロリは4個であり，駆動輪で水平力を受ける。

ゆえに，最大静止摩擦係数を・・=0.3 とすれば，ブリッジ水平力は鉛直方向荷重×・×2/4＝鉛直方向荷重×0.15であるが，保守的に鉛直方向荷重×0.3とする。

ブリッジは，走行方向に水平直角な方向に対して，ガイドフレームによって荷重を支持され，鉛直上向き方向に対して，脱線防止ラグによって支持される。

トロリは，走行方向に水平直角及び鉛直上向きな方向に対しては，脱線防止ラグによって荷重を支持する。

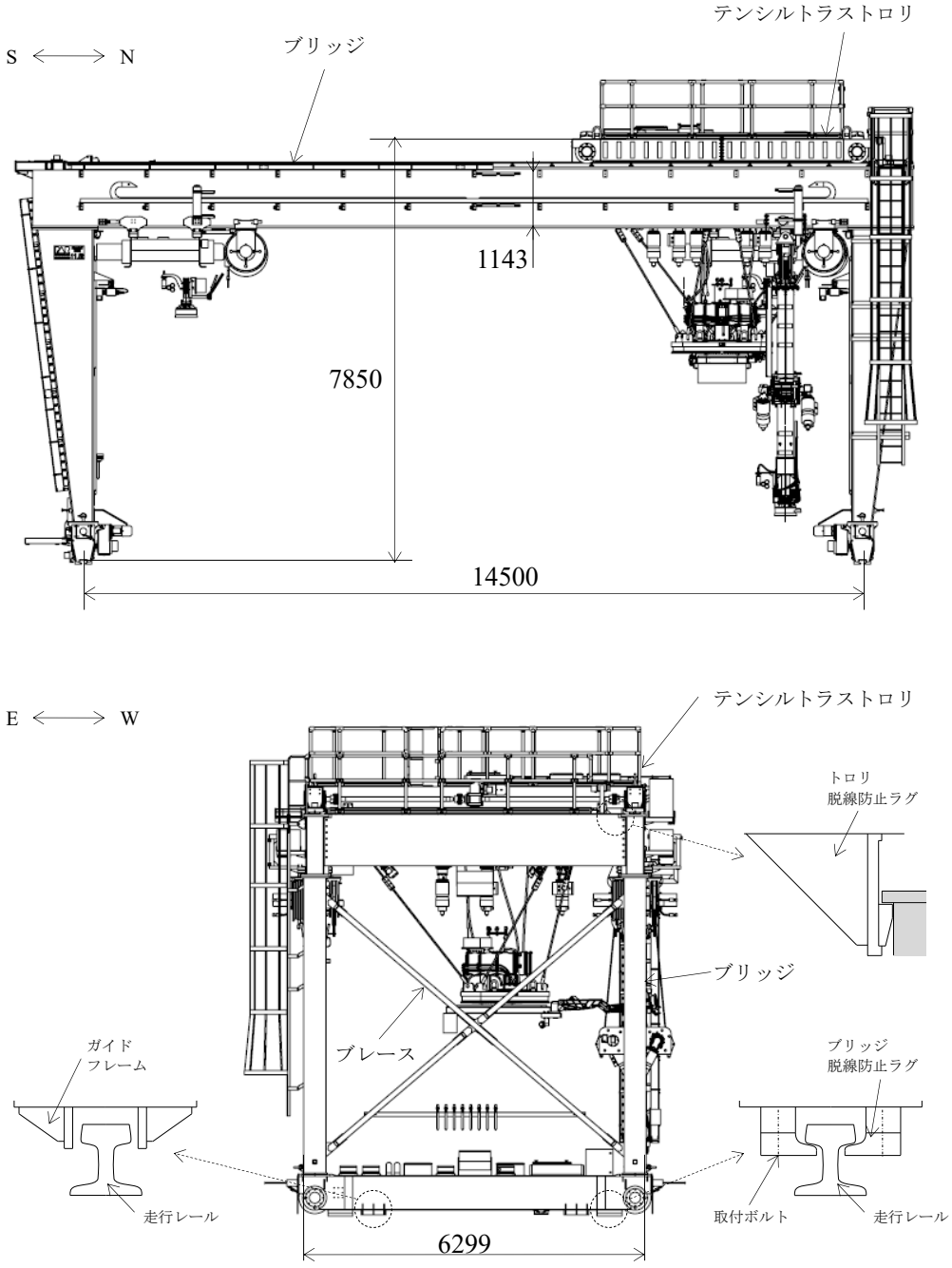


図 3.1.2-1　燃料取扱機の概要

3.1.3　クレーン

クレーンは，門型架構（添付資料－４－２「燃料取り出し用カバーの構造強度及び耐震性に関する説明書」参照）に設置されるもので，南北方向を長手方向としてブリッジが配置され，東西方向に走行する。このブリッジ上にトロリが設置され，南北方向に走行する。クレーンは，ブリッジ，トロリで構成される。クレーンの概要を図 3.1.3-1 に示す。

ブリッジは，走行レール上に乗っているので地震時，走行方向に対しては，最大静止摩擦力以上の水平力が加わった場合すべりを生じる。

トロリは，横行レール上に乗っているので地震時，横行方向に対しては，最大静止摩擦力以上の水平力が加わった場合すべりを生じる。

ブリッジ及びトロリの車輪は各々4 個であり，そのうち摩擦を受ける駆動輪は，ブリッジ，トロリ共に各々2 個であり，駆動輪で水平力を受ける。

ゆえに，最大静止摩擦係数を・＝0.3 とすれば，水平力は鉛直方向荷重×・×2/4＝鉛直方向荷重×0.15 であるが，保守的に鉛直方向荷重×0.3 とする。

ブリッジは，走行方向に水平直角な方向に対して，ガイドフレームによって荷重を支持され，鉛直上向き方向に対して，脱線防止ラグによって支持される。

トロリは，走行方向に水平直角及び鉛直上向きな方向に対しては，脱線防止ラグによって荷重を支持する。

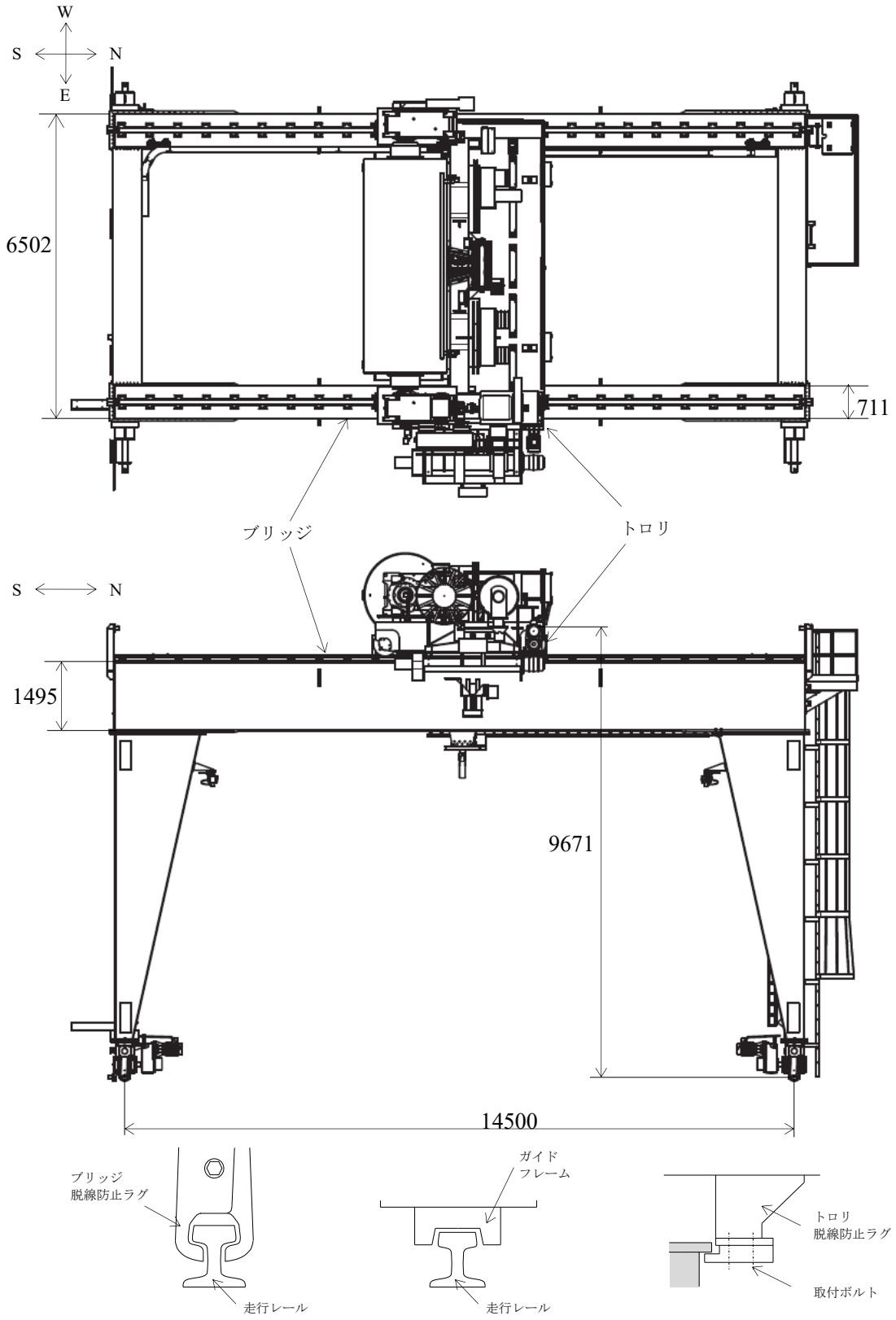


図 3.1.3-1　クレーンの概要

3.2　燃料取扱機の構造強度及び耐震性について

(1) 検討方針

燃料取扱機について，地震応答解析を実施し，応力評価を行う。

1)　使用材料及び許容応力

燃料取扱機の物性値及び許容応力を表 3.2-1 に示す。温度は運転エリアの最高温度（40℃）に余裕を見込んだ 50℃とする。曲げ，組合せ，せん断の許容応力は，JEAC 4601-2008 に従い用いる。

表 3.2-1　物性値及び許容応力

材料定数

部位	使用材料	縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比	温度 (℃)
燃料取扱機構造物 フレーム	ASTM A572 GR50	201,000	0.3	50
	ASTM A500 GR B	201,000	0.3	50

許容応力

部位	使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)
燃料取扱機構造物 フレーム	ASTM A572 GR50	曲げ	315
		せん断	181
		組合せ	315
	ASTM A500 GR B	曲げ	280
		せん断	161
		組合せ	280
ブリッジ 脱線防止ラグ	ASTM A514 GR H	曲げ	483
		せん断	278
		組合せ	483
ブリッジ脱線防止ラグ 取付ボルト	ISO898-1 8.8	引張	420
ガイドフレーム	ASTM A572 GR50	曲げ	315
		せん断	181
		組合せ	315
トロリ 脱線防止ラグ	ASTM A572 GR50	曲げ	315
		せん断	181
		引張	315
		組合せ	315
走行レール	レール鋼 (ASTM A759)	曲げ	537
		せん断	310
		組合せ	537

2) 荷重及び荷重組合せ

設計で考慮する荷重は死荷重及び地震荷重である。

死荷重は吊り荷を含む燃料取扱機自身の質量による荷重である。

地震荷重は基準地震動 Ss による荷重であり，水平 2 方向それぞれの地震荷重に鉛直方向地震荷重を二乗和平方根（SRSS）法で組み合わせる。具体的には次の通りである。

・ $((\text{水平地震(NS 方向)})^2+(\text{水平地震(EW 方向)})^2+(\text{鉛直地震})^2)^{1/2}$

ブリッジ質量	43,000(kg)
テンシルトラストロリ質量※1	26,300(kg)
マストトロリ質量	3,500(kg)
西側補助ホイストトロリ質量※2	6,650(kg)
東側補助ホイストトロリ質量※2	6,650(kg)

※1：吊り荷質量（1,500(kg)）含む

※2：吊り荷質量（4,900(kg)）含む。但し，評価は 5,000kg で行った。

(2) 燃料取扱機の地震応答解析

解析は，地震応答解析モデルにより計算機コード「NX Nastran」を用いた直接積分法による時刻歴解析により行う。

1) 解析に用いる入力地震動

燃料取扱機の入力地震動は，基準地震動 Ss を入力した時の門型架構地震応答計算から得られる G.L.+36m（添付資料－４－２「燃料取り出し用カバーの構造強度及び耐震性に関する説明書」参照）の時刻歴加速度波を用いる。時刻歴加速度波は燃料取扱機，クレーンの門型架構上の位置（添付資料－４－２「燃料取り出し用カバーの構造強度及び耐震性に関する説明書」図 3.2-1 参照）によって異なるため，時刻歴加速度波の各床応答スペクトルの内，燃料取扱機の固有周期で最も大きな値をとる床応答スペクトルの時刻歴加速度波を用いる。

門型架構上での燃料取扱機の位置を表 3.2-2，時刻歴加速度波形を図 3.2-1，図 3.2-2 に示す。なお，死荷重は鉛直下向きに 1G とする。

この時刻歴加速度波は燃料取扱機の走行範囲で想定される時刻歴加速度波のうち，燃料取扱機に対し最も影響を与えるものである。

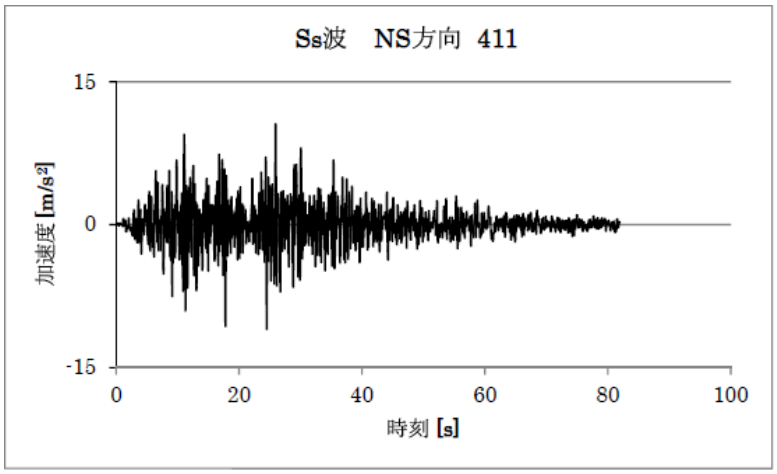
表 3.2-2　門型架構上での燃料取扱機の位置

トロリがブリッジの中央にある場合の解析ケース

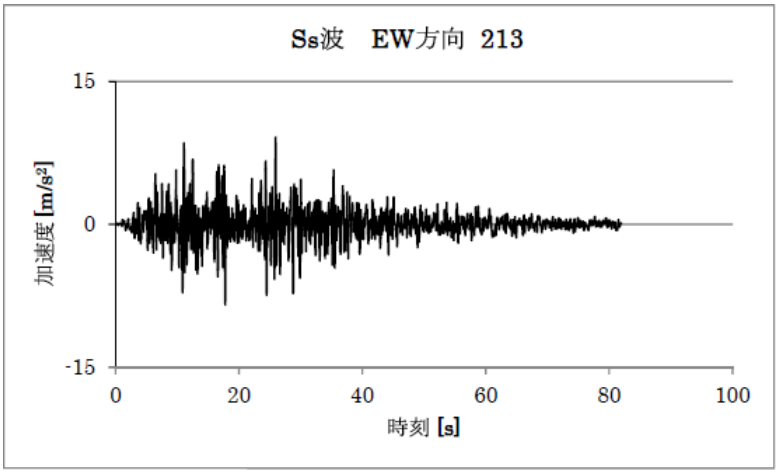
時刻歴加速度波	門型架構上での 燃料取扱機の位置
ＮＳ方向	中央
ＥＷ方向	東端
ＵＤ方向	東端

トロリがブリッジの端部にある場合の解析ケース

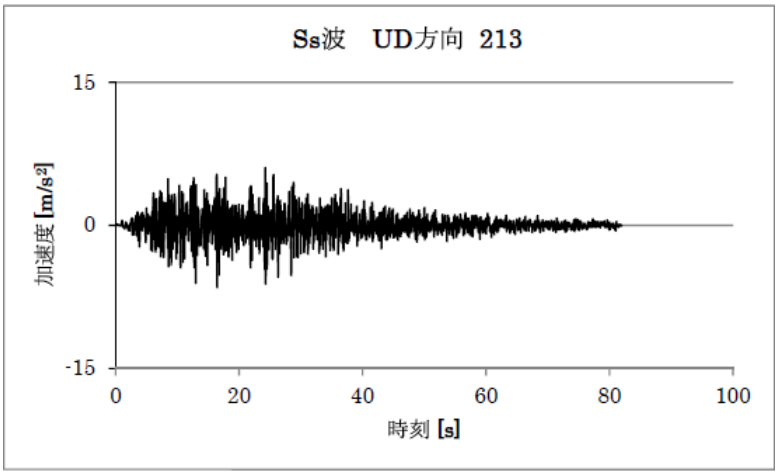
時刻歴加速度波	門型架構上での 燃料取扱機の位置
ＮＳ方向	中央
ＥＷ方向	中央
ＵＤ方向	中央



水平方向＜NS 方向＞

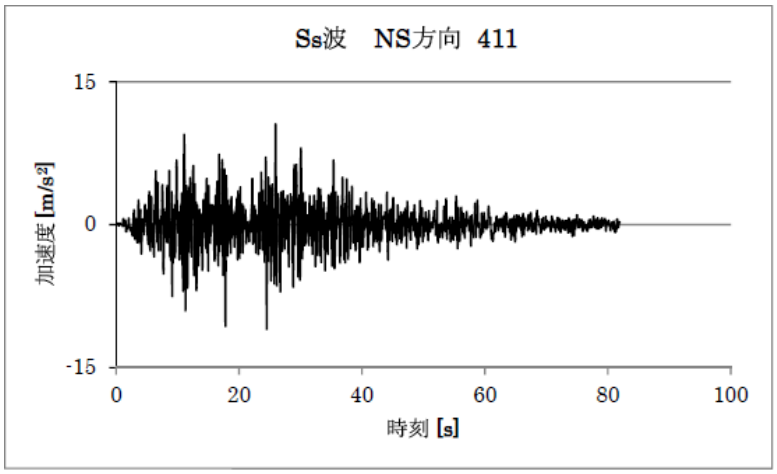


水平方向＜EW 方向＞

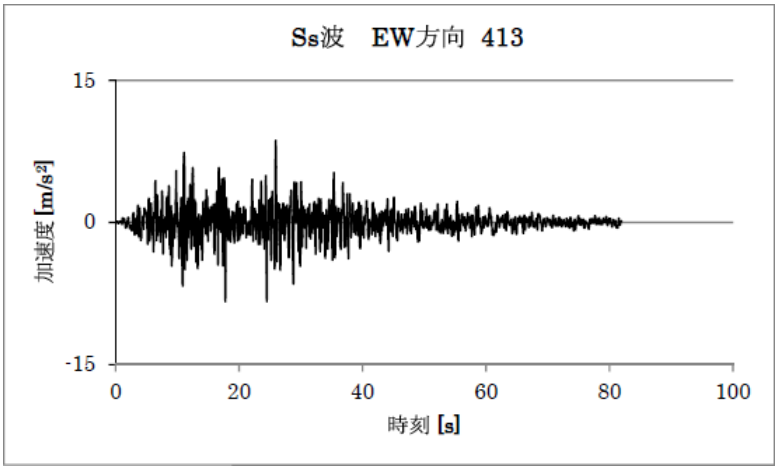


鉛直方向

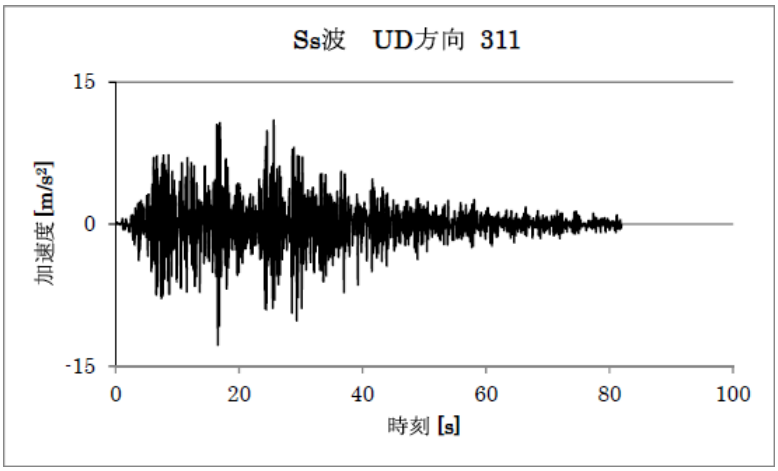
図 3.2-1　トロリがブリッジの中央にある場合の時刻歴加速度波形



水平方向＜NS 方向＞



水平方向＜EW 方向＞



鉛直方向

図 3.2-2　トロリがブリッジの端部にある場合の時刻歴加速度波形

2)　地震応答解析モデル

燃料取扱機の地震応答解析モデルを図 3.2-3 に示す。

解析モデルは，ビーム，非線形要素及びシェルでモデル化しており，走行車輪部下端が門型架構側との取り合い点であるため，それを拘束点とする。

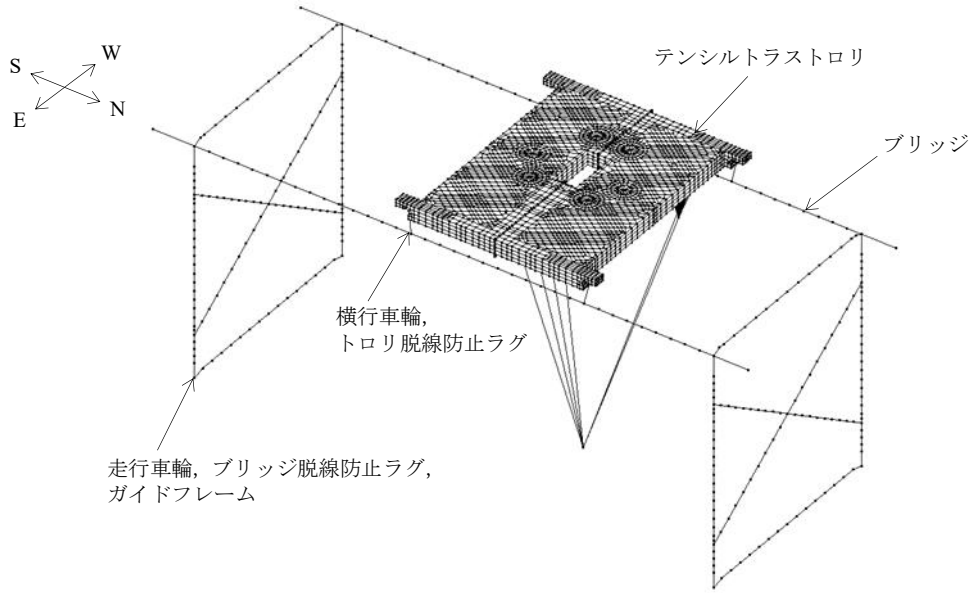


図 3.2-3　地震応答解析モデル

3)　地震応答解析結果

燃料取扱機の地震応答解析結果を表 3.2-3 に示す。

地震応答解析結果は時刻歴応答結果の最大値を用いる。

表 3.2-3　燃料取扱機の地震応答解析結果

部位		荷重の種類	荷重の方向	荷重値
燃料取扱機構造物	脚部	曲げモーメント(N･mm)	水平	2.064×10^{9}
	ブリッジガーダ	せん断力(N)	水平	7.301×10^{4}
			鉛直	5.478×10^{5}
ブリッジ脱線防止ラグ		圧縮力(N)	鉛直	1.669×10^{5}
ガイドフレーム		圧縮力(N)	水平	3.394×10^{5}
トロリ脱線防止ラグ		圧縮力(N)	水平	1.110×10^{5}
		圧縮力(N)	鉛直	1.317×10^{5}
走行レール		圧縮力(N)	水平	3.394×10^{5}

注：絶対値にて表示している。

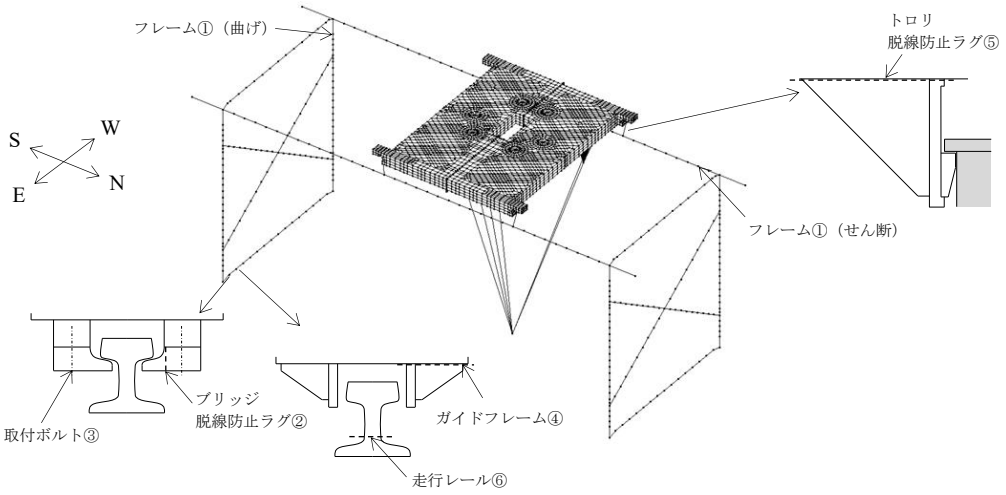
(3) 燃料取扱機の構造強度評価結果

燃料取扱機の応力評価結果を表 3.2-4 に示す。算出応力は許容応力以下であるので，燃料取扱機は基準地震動 Ss に対して転倒・落下に至らないことを確認した。

表 3.2-4　応力評価結果纏め

（単位：MPa）

部位	使用材料	応力の種類	算出応力	許容応力
燃料取扱機構造物 フレーム①	ASTM A572 GR50	曲げ	140	315
		せん断	41	181
		組合せ	153	315
ブリッジ 脱線防止ラグ②	ASTM A514 GR H	曲げ	41	483
		せん断	8	278
		組合せ	44	483
ブリッジ脱線防止ラグ 取付ボルト③	ISO898-1 8.8	引張	222	420
ガイドフレーム④	ASTM A572 GR50	曲げ	170	315
		せん断	27	181
		組合せ	177	315
引張トロリ 脱線防止ラグ⑤	ASTM A572 GR50	曲げ	16	315
		せん断	5	181
		引張	6	315
		組合せ	24	315
走行レール⑥	レール鋼 (ASTM A759)	曲げ	305	537
		せん断	14	310
		組合せ	306	537



3.3　クレーンの構造強度及び耐震性について

(1) 検討方針

クレーンについて，地震応答解析を実施し，応力評価を行う。

1)　使用材料及び許容応力

クレーンの物性値及び許容応力を表 3.3-1 に示す。温度は運転エリアの最高温度（40℃）に余裕を見込んだ 50℃とする。曲げ，組合せ，せん断の許容応力は，JEAC 4601-2008 に従い用いる。

表 3.3-1　物性値及び許容応力

材料定数

部位	使用材料	縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比	温度 (℃)
クレーン構造物 フレーム	ASTM A572 GR50	201,000	0.3	50
	ASTM A500 GR C	201,000	0.3	50

許容応力

部位	使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)
クレーン構造物 フレーム	ASTM A572 GR50	曲げ	315
		せん断	181
		組合せ	315
	ASTM A500 GR C	曲げ	297
		せん断	171
		組合せ	297
ガイドフレーム	ASTM A572 GR50	曲げ	315
		せん断	181
		組合せ	315
トロリ 脱線防止ラグ	ASTM A572 GR50	曲げ	315
		せん断	181
		引張	315
		組合せ	315
トロリ脱線防止ラグ 取付ボルト	ASTM A325	引張	433
走行レール	レール鋼 (ASTM A759)	曲げ	537
		せん断	310
		組合せ	537

2) 荷重及び荷重組合せ

設計で考慮する荷重は死荷重及び地震荷重である。

死荷重は吊り荷を含むクレーン自身の質量による荷重である。

地震荷重は弾性設計用地震動 Sd による荷重であり，水平 2 方向それぞれの地震荷重に鉛直方向地震荷重を二乗和平方根（SRSS）法で組み合わせる。具体的には次の通りである。

・ $((\text{水平地震(NS 方向)})^2+(\text{水平地震(EW 方向)})^2+(\text{鉛直地震})^2)^{1/2}$

ブリッジ質量	54,600(kg)
トロリ質量※	85,400(kg)

※吊り荷質量（50,000(kg)）含む

(2) クレーンの地震応答解析

解析は，地震応答解析モデルにより計算機コード「NX Nastran」を用いた直接積分法による時刻歴解析により行う。

1) 解析に用いる入力地震動

クレーンの入力地震動は，弾性設計用地震動 Sd を入力した時の門型架構地震応答計算から得られる G.L.+36m（添付資料－４－２「燃料取り出し用カバーの構造強度及び耐震性に関する説明書」参照）の時刻歴加速度波を用いる。時刻歴加速度波は燃料取扱機，クレーンの門型架構上の位置（添付資料－４－２「燃料取り出し用カバーの構造強度及び耐震性に関する説明書」図 3.2-1 参照）によって異なるため，時刻歴加速度波の各床応答スペクトルの内，クレーンの固有周期で最も大きな値をとる床応答スペクトルの時刻歴加速度波を用いる。

門型架構上でのクレーンの位置を表 3.3-2，時刻歴加速度波形を図 3.3-1，図 3.3-2 に示す。なお，死荷重は鉛直下向きに 1G とする。

この時刻歴加速度波はクレーンの走行範囲で想定される時刻歴加速度波のうち，クレーンに対し最も影響を与えるものである。

表 3.3-2　門型架構上でのクレーンの位置

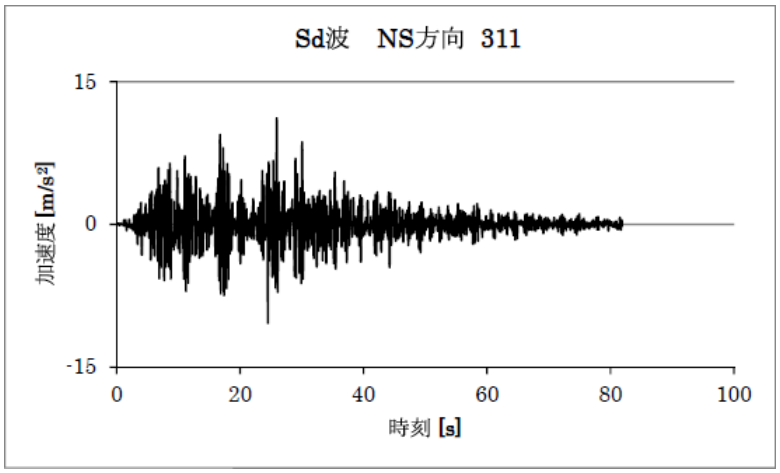
トロリがブリッジの中央にある場合の解析ケース

時刻歴加速度波	門型架構上での クレーンの位置
ＮＳ方向	西端
ＥＷ方向	西端
ＵＤ方向	西端

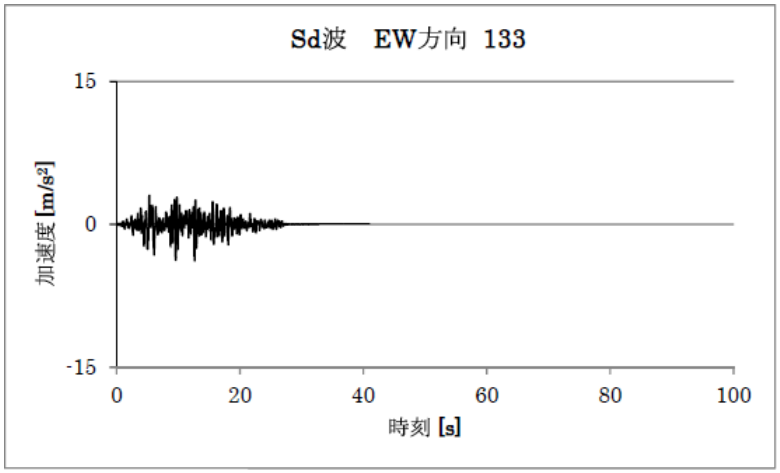
トロリがブリッジの端部※にある場合の解析ケース

時刻歴加速度波	門型架構上での クレーンの位置
ＮＳ方向	西端
ＥＷ方向	西端
ＵＤ方向	西端

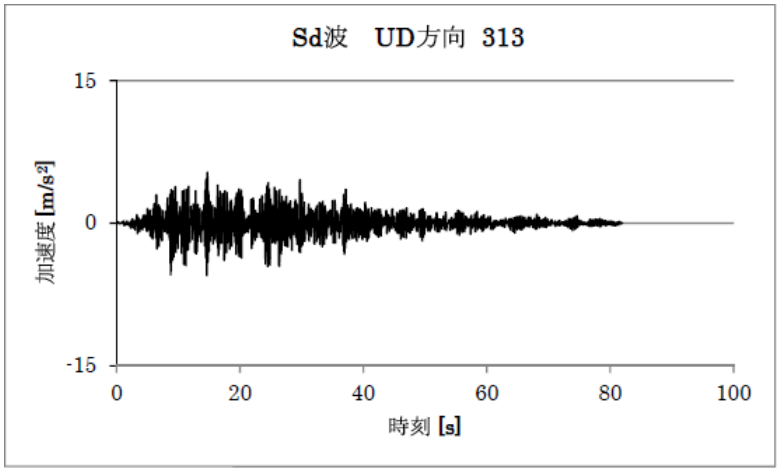
※：構内用輸送容器取扱モードの中でトロリが最も北側に位置する状態



水平方向＜NS 方向＞

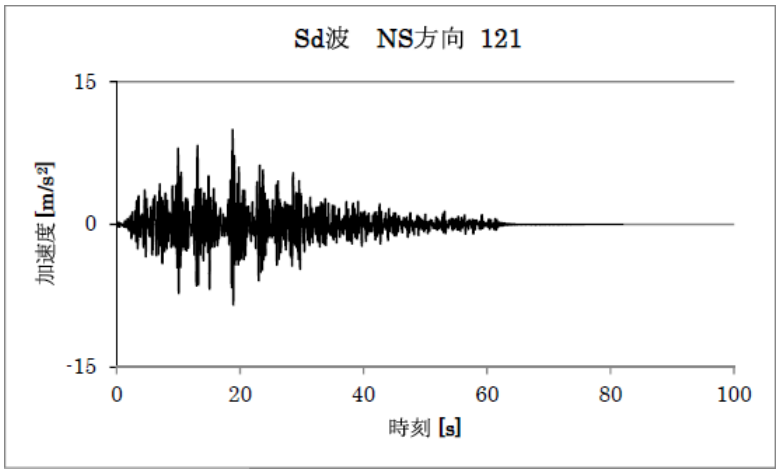


水平方向＜EW 方向＞

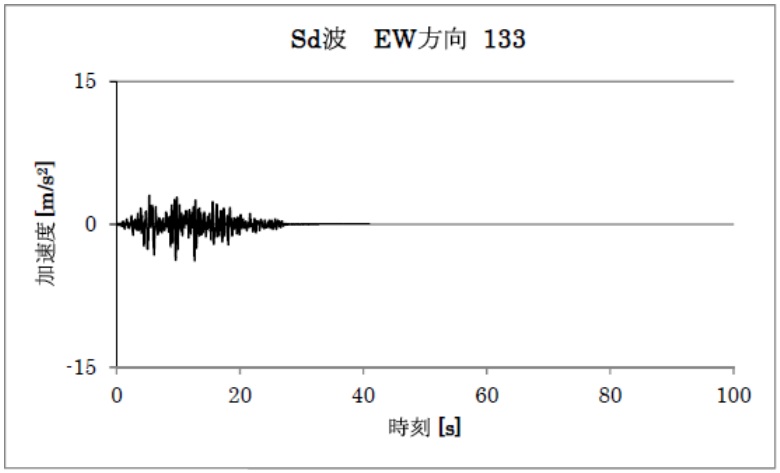


鉛直方向

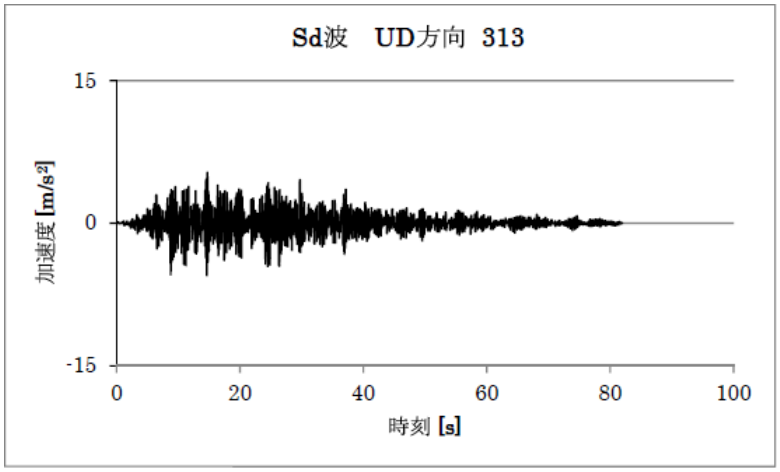
図 3.3-1　トロリが中央にある場合の時刻歴加速度波形



水平方向＜NS 方向＞



水平方向＜EW 方向＞



鉛直方向

図 3.3-2　トロリが中間位置にある場合の時刻歴加速度波形

2)　地震応答解析モデル

クレーンの地震応答解析モデルを図 3.3-3 に示す。

解析モデルは，ビーム及び非線形要素でモデル化しており，走行車輪部下端が門型架構側との取り合い点であるため，それを拘束点とする。

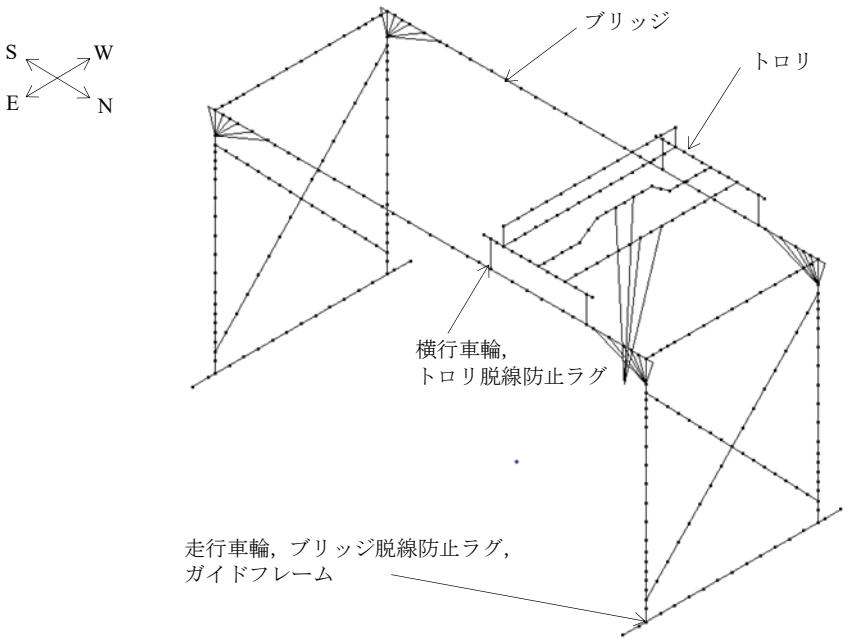


図 3.3-3　地震応答解析モデル

3)　地震応答解析結果

クレーンの地震応答解析結果を表 3.3-3 に示す。

地震応答解析結果は時刻歴応答結果の最大値を用いる。

表 3.3-3　クレーンの地震応答解析結果

部位		荷重の種類	荷重の方向	荷重値
クレーン構造物	トロリ	曲げモーメント(N･mm)	水平	2.775×10^{7}
			鉛直	1.157×10^{9}
		せん断力(N)	水平	2.585×10^{4}
			鉛直	8.182×10^{5}
ガイドフレーム		圧縮力(N)	水平	5.357×10^{5}
トロリ脱線防止ラグ		圧縮力(N)	水平	1.977×10^{5}
		圧縮力(N)	鉛直	2.145×10^{5}
走行レール		圧縮力(N)	水平	5.357×10^{5}

注：絶対値にて表示している。

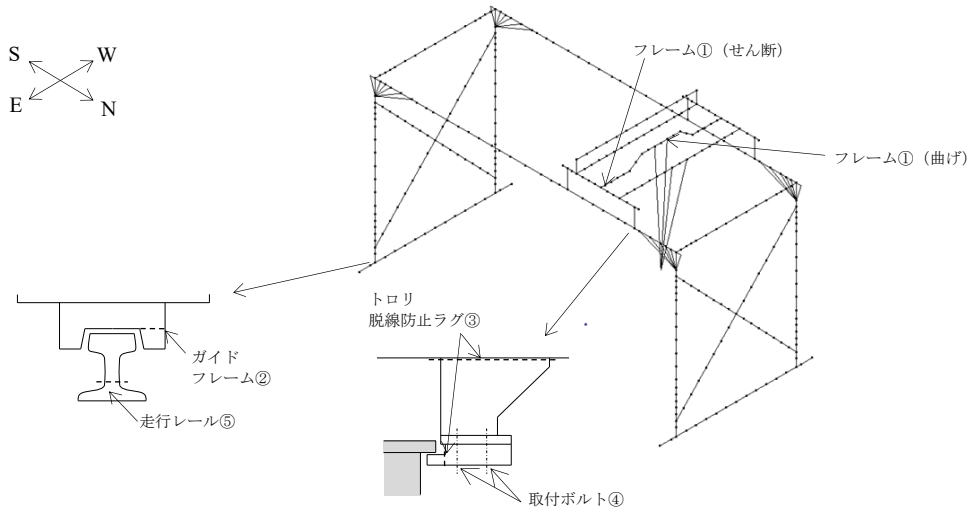
(3) クレーンの構造強度評価結果

クレーンの応力評価結果を表 3.3-4 に示す。算出応力は許容応力以下であるので，クレーンは弾性設計用地震動 Sd に対して転倒・落下に至らないことを確認した。

表 3.3-4　応力評価結果纏め

（単位：MPa）

部位	使用材料	応力の種類	算出応力	許容応力
クレーン構造物 フレーム①	ASTM A572 GR50	曲げ	127	315
		せん断	113	181
		組合せ	234	315
ガイドフレーム②	ASTM A572 GR50	曲げ	93	315
		せん断	11	181
		組合せ	95	315
トロリ 脱線防止ラグ③	ASTM A572 GR50	曲げ	39	315
		せん断	14	181
		引張	10	315
		組合せ	52	315
トロリ脱線防止ラグ 取付ボルト④	ASTM A325	引張	131	433
ブリッジ 脱線防止ラグ	ASTM A572 GR50	—	—	—
走行レール⑤	レール鋼 (ASTM A759)	曲げ	273	537
		せん断	12	310
		組合せ	274	537



4　２号機燃料取扱設備の構造強度及び耐震性について

4.1　概要

4.1.1　一般事項

２号機燃料取扱設備は，燃料取扱機とクレーンを有し，それぞれについて構造強度及び耐震性について検討を行う。燃料取扱設備は原子炉建屋オペレーティングフロアと燃料取り出し用構台にわたり設置するランウェイガーダ上に設置される。

燃料取扱機及びクレーンの構造強度及び耐震性は，2021 年 9 月 8 日及び 2022 年 11 月 16 日の原子力規制委員会で示された耐震設計の考え方を踏まえ，安全機能の重要度，地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響（公衆への被ばく影響）や廃炉活動への影響等を考慮した上で，核燃料物質を非密封で扱う燃料加工施設や使用施設等における耐震クラス分類を参考にして適切な耐震設計上の区分を行うとともに，適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられる設計とし，具体的には B+クラスの地震力に対する耐震評価を行う。なお，耐震クラス分類に係わる被ばく評価については，「別冊２８　２号機 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備に係る補足説明」（以下，別冊２８と記載）P113～P130 参照。

地震動として検討用地震動（最大加速度 900gal）の 1/2 の最大加速度 450gal の地震動（以下，1/2Ss450 と記載）に対する地震応答解析を実施し，燃料取扱設備が使用済燃料プール及び使用済燃料貯蔵ラックに波及的影響を及ぼさないことを確認する。ここで，波及的影響の確認は燃料取扱機及びクレーンが落下に至らないことを確認する。検討用地震動（最大加速度 900gal）は「東京電力福島第一原子力発電所の外部事象に対する防護の検討について」（東京電力株式会社 平成 26 年 10 月 3 日 特定原子力施設監視・評価検討会（第 27 回））にて提示した地震動とする。

なお，キャスクの縦揺れについては，キャスクの荷重に対して，クレーンのワイヤロープが切断しない（キャスクが落下しない）ことを確認している。また，キャスクの横揺れについては，クレーンの水平方向固有周期と比較し，ワイヤロープで吊り下げられたキャスクの固有周期は十分に長いことから，クレーン自体の振動には影響されないことを確認している。

燃料取扱設備の検討は，下記に準拠して行う。

(1) 原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601・補-1984）
(2) 原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601-1987）
(3) 原子力発電所耐震設計技術指針 追補版（JEAG4601-1991）
(4) 原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC4601-2015）
(5) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（JSME S NC1-2012）

4.1.2　燃料取扱機

燃料取扱機は，ランウェイガーダ上に設置される。燃料取扱機は低床ジブクレーンとし，南北方向に走行する走行台車とその上に設置する旋回体で構成される。燃料取扱機の概要を図 4.1.2-1 に示す。

燃料取扱機のブームは起伏角度 0°の状態で旋回輪中心からみて 6800mm から 16100mm の範囲で伸縮し，ブーム長さ 6800mm に収縮した状態で 0°から 40°の範囲で起伏する。ブームは旋回体内のブーム根元支持ピンにて支持される。旋回体と走行台車は旋回輪軸受取付ボルトによって支持される。また，燃料取り扱い作業時，ランウェイガーダにアウトリガーピンを挿入し，走行方向，鉛直方向の荷重を支持する。

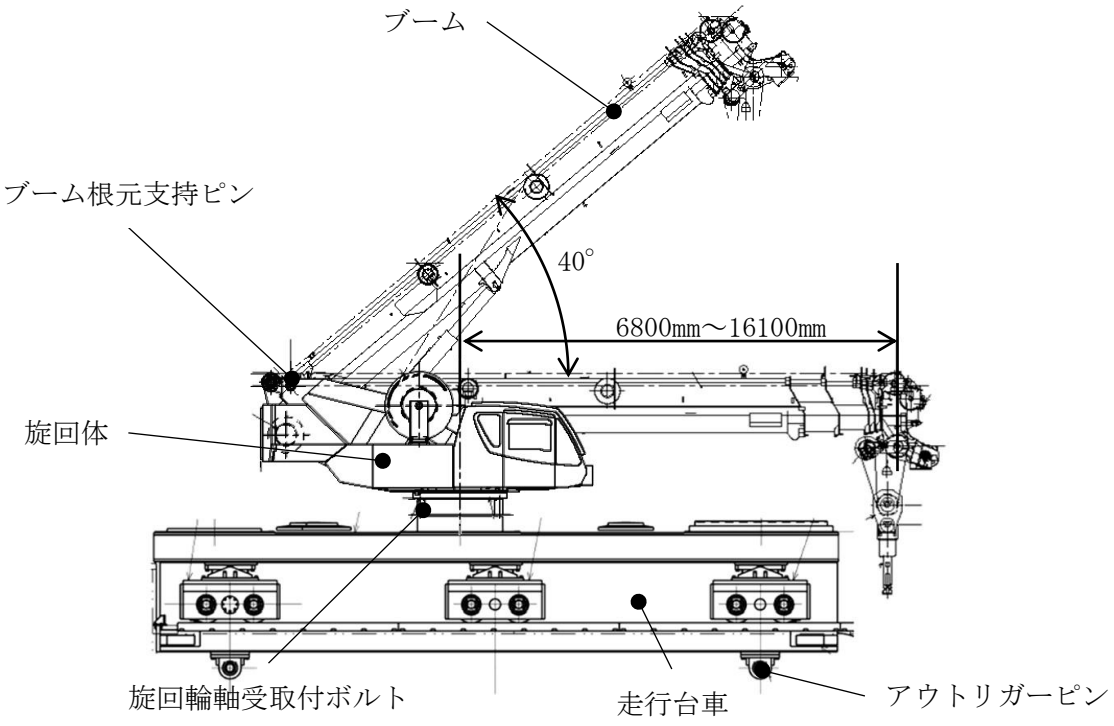


図 4.1.2-1　燃料取扱機の概要

4.1.3　クレーン

クレーンは，ランウェイガーダ上に設置される。クレーンは低床ジブクレーンとし，南北方向に走行する走行台車とその上に設置する旋回体で構成される。クレーンの概要を図4.1.3-1に示す。

クレーンは原子炉建屋内ではブーム起伏角度24°，作業半径12600㎜の状態にて揚重作業を行う。ブームは旋回体内のブーム根元支持ピンにて支持される。旋回体と走行台車は旋回輪軸受取付ボルトによって支持される。また，キャスク取り扱い作業時，ランウェイガーダにアウトリガーピンを挿入し，走行方向，鉛直方向の荷重を支持する。

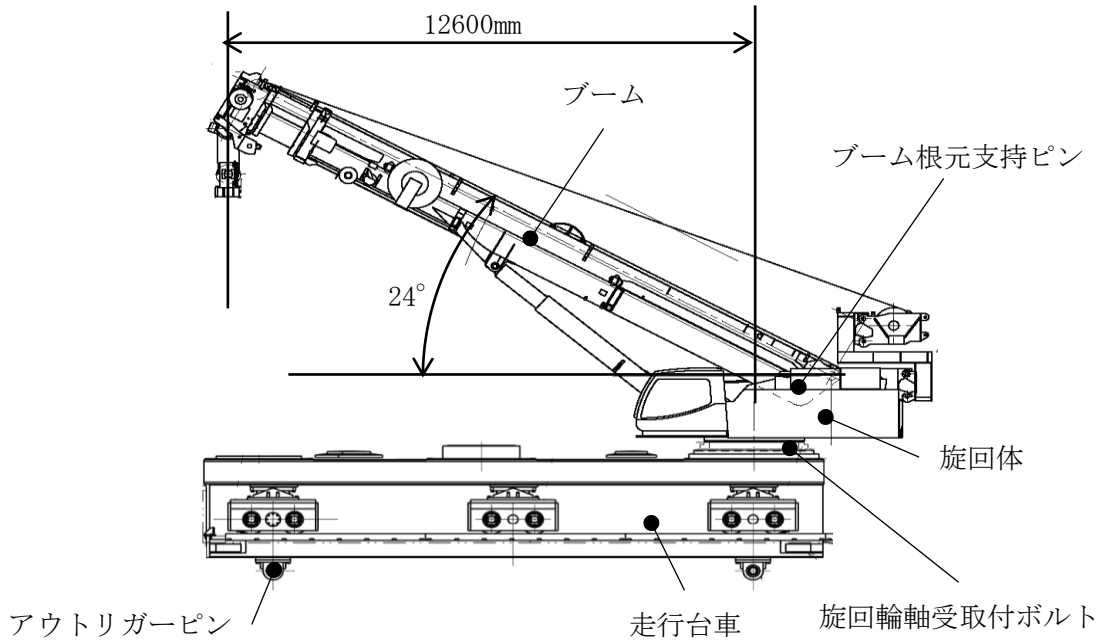


図4.1.3-1　クレーンの概要

4.2　燃料取扱機の構造強度及び耐震性について

(1) 検討方針

燃料取扱機について，地震応答解析を実施し，応力評価を行う。

1)　使用材料及び許容応力

燃料取扱機の許容応力を表 4.2-1 に示す。温度は運転エリアの環境温度 40℃とする。許容応力は，JEAC 4601-2015 に従う。

表 4.2-1　許容応力

部位	使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)
ブーム	WEL-TEN980RE/ WEL-TEN980E	引張	686
		せん断	396
		曲げ	686
		組合せ	686
ブーム根元支持ピン	SNB23-1	せん断	460
		曲げ	1088
		組合せ	798
旋回輪軸受取付ボルト (内側)	SUS630	引張	917
		せん断	529
旋回輪軸受取付ボルト (外側)		引張	917
		せん断	529
走行台車	SM490B	引張	343
		せん断	198
		曲げ	343
		組合せ	343
アウトリガーピン	SNB23-1	せん断	460
		曲げ	1088
		組合せ	798

2)　荷重及び荷重組合せ

設計で考慮する荷重は死荷重及び地震荷重である。

死荷重は吊り荷を含む燃料取扱設備自身の質量による荷重である。

地震荷重は 1/2Ss450 による荷重であり，水平 2 方向及び鉛直方向地震荷重が同時に作用する場合を考慮する。

燃料取扱機質量※	258,000 (kg)
吊り荷質量	1,000 (kg)

※クレーンを含む

(2) 燃料取扱機の地震応答解析

燃料取扱機のうち，旋回体については地震応答解析モデルにより計算機コード「ANSYS」を用いたモーダル解析による応答スペクトル解析により行う。走行台車については，解析から得られた旋回体からの反力を考慮し，応力評価式を用いて評価する。

1) 設計震度

旋回体への入力地震動は，1/2Ss450 を入力したときのランウェイガーダの原子炉建屋側走行台車停止位置の床応答スペクトルを用いる。床応答スペクトルを図 4.2-1 に示す。この床応答スペクトルは，走行台車各車輪位置で想定される床応答スペクトルを包絡したものである。

走行台車は剛性が高いため，ランウェイガーダ上の最大応答加速度の 1.2 倍の加速度を用いて設計震度を設定する。

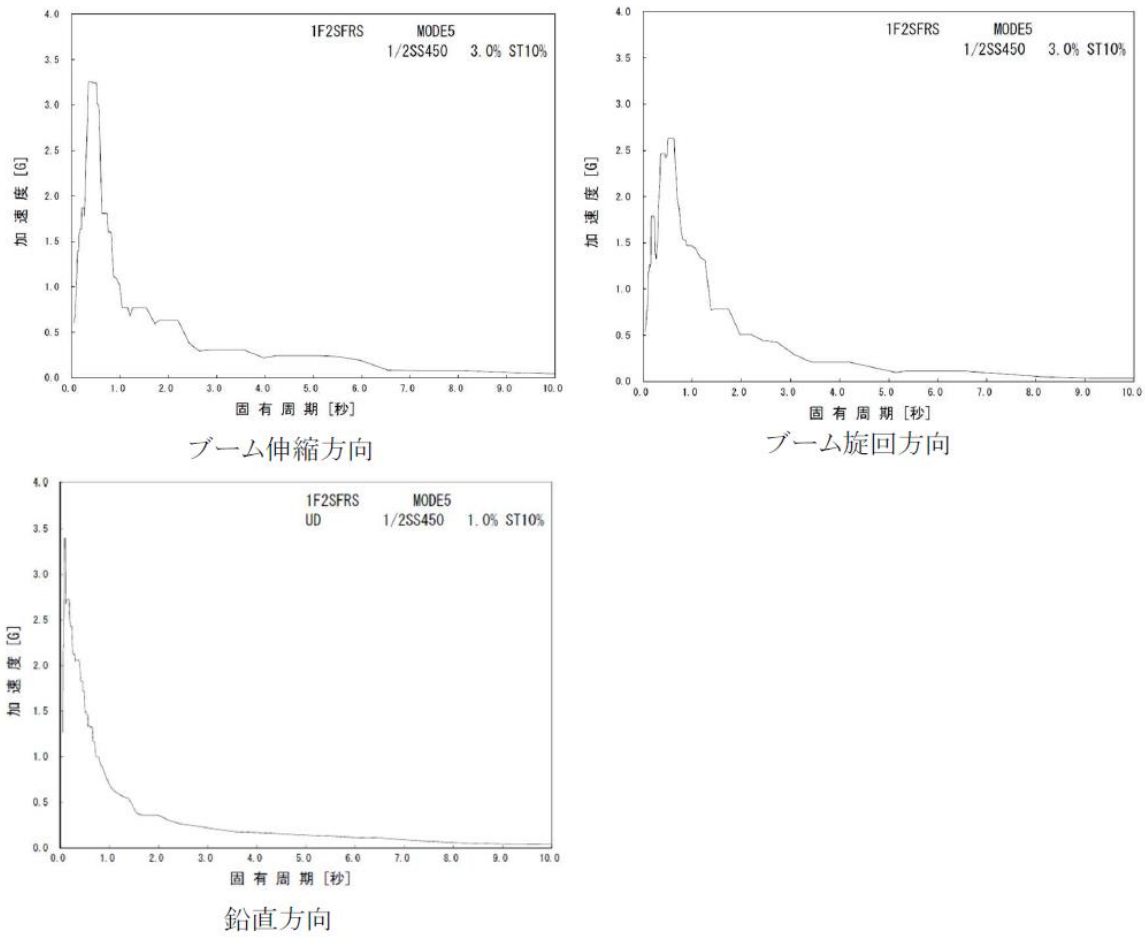


図 4.2-1 床応答スペクトル

2)　地震応答解析モデル

解析モデルは，旋回輪軸受取付ボルトを取り合い点として，旋回体と走行台車に分割して評価する。旋回体の地震応答解析モデルを図 4.2-2 に示す。旋回体はビームとシェルでモデル化し，旋回輪軸受取付ボルトを拘束点とする。走行台車はＨ型又は箱型断面を有するフレームにて構成し，旋回体からの反力を考慮するものとする。

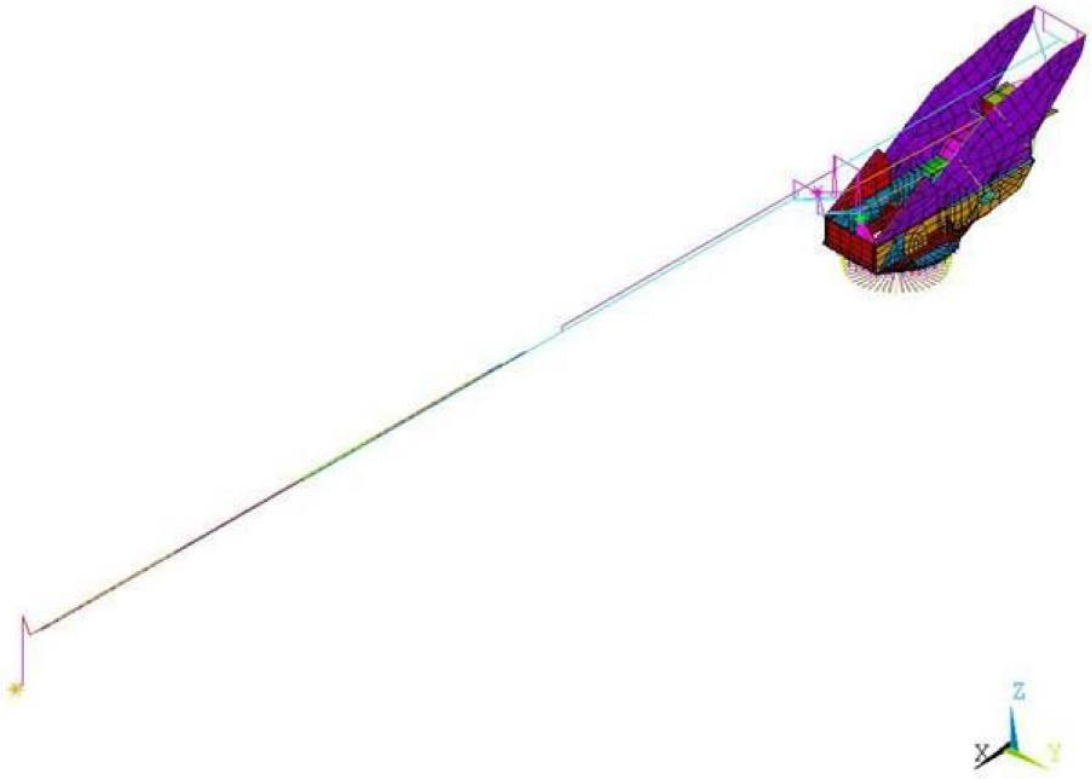


図 4.2-2　地震応答解析モデル

(3) 燃料取扱機の構造強度評価結果

燃料取扱機の応力評価結果を表 4.2-2 に示す。算出応力は許容応力以下であるので，燃料取扱機は 1/2Ss450 に対して落下に至らないことを確認した。

表 4.2-2　応力評価結果纏め

（単位：MPa）

部位		使用材料	応力の種類	算出応力	許容応力
ブーム		WEL-TEN980RE/ WEL-TEN980E	引張	115	686
			せん断	15	396
			曲げ	355	686
			組合せ	471	686
ブーム根元支持ピン		SNB23-1	せん断	153	460
			曲げ	112	1088
			組合せ	288	798
旋回輪軸受取付ボルト	内側	SUS630	引張	187	917
			せん断	53	529
	外側		引張	237	917
			せん断	66	529
走行台車		SM490B	引張	1	343
			せん断	10	198
			曲げ	38	343
			組合せ	43	343
アウトリガーピン		SNB23-1	せん断	169	460
			曲げ	150	1088
			組合せ	329	798

4.3　クレーンの構造強度及び耐震性について

(1) 検討方針

クレーンについて，地震応答解析を実施し，応力評価を行う。

1)　使用材料及び許容応力

クレーンの許容応力を表4.3-1に示す。温度は運転エリアの環境温度40℃とする。許容応力は，JEAG 4601・補-1984に従う。

表4.3-1　許容応力

部位	使用材料	応力の種類	許容応力（MPa）
ブーム	WELDOX1100E (STRENX1100E)	引張	875
		せん断	505
		曲げ	875
		組合せ	875
ブーム根元支点ピン	42CrMoS4	せん断	303
		曲げ	525
		組合せ	525
旋回輪軸受取付ボルト	SUS630	引張	917
走行台車	SM490B	引張	343
		せん断	198
		曲げ	343
		組合せ	343
アウトリガーピン	SNB23-1	せん断	460
		曲げ	1088
		組合せ	798

2) 荷重及び荷重組合せ

設計で考慮する荷重は死荷重及び地震荷重である。

死荷重は吊り荷を含む燃料取扱設備自身の質量による荷重である。

- 地震荷重は 1/2Ss450 による荷重であり，水平 2 方向及び鉛直方向地震荷重が同時に作用する場合を考慮する。

クレーン質量※	258,000 (kg)
吊り荷質量	47,000 (kg)

※燃料取扱機を含む

(2) クレーンの地震応答解析

クレーンのうち，旋回体については地震応答解析モデルにより計算機コード「ANSYS」を用いたモーダル解析による応答スペクトル解析により行う。走行台車については，解析から得られた旋回体からの反力を考慮し，応力評価式を用いて評価する。

1) 設計震度

旋回体への入力地震動は，1/2Ss450 を入力したときのランウェイガーダの原子炉建屋側走行台車停止位置の床応答スペクトルを用いる。床応答スペクトルを図 4.3-1 に示す。この床応答スペクトルは，走行台車各車輪位置で想定される床応答スペクトルを包絡したものである。

走行台車は剛性が高いため，ランウェイガーダ上の最大応答加速度の 1.2 倍の加速度を用いて設計震度を設定する。

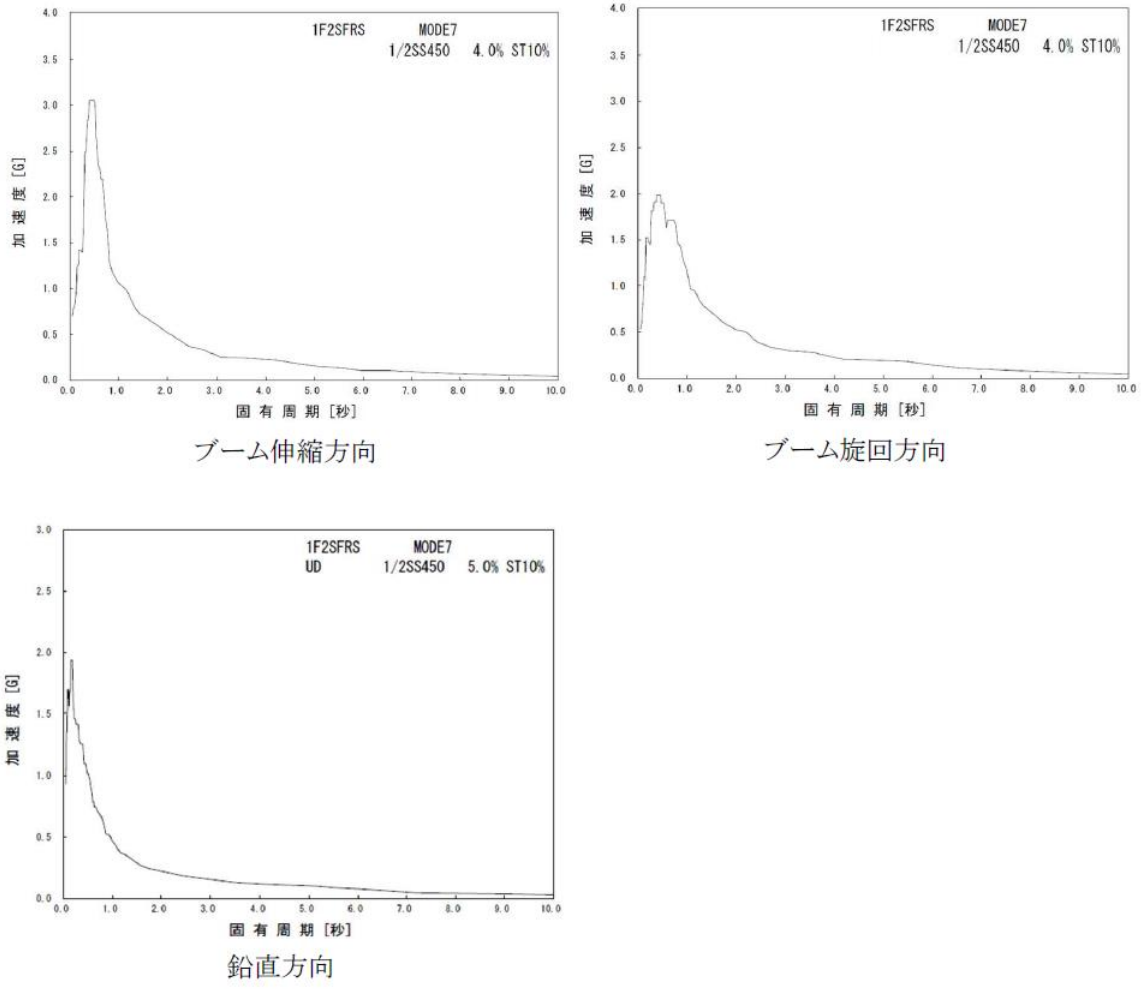


図 4.3-1 床応答スペクトル

2)　地震応答解析モデル

解析モデルは，旋回輪軸受取付ボルトを取り合い点として，旋回体と走行台車に分割して評価する。旋回体の地震応答解析モデルを図 4.3-2 に示す。旋回体はビームとシェルでモデル化し，旋回輪軸受取付ボルトを拘束点とする。走行台車はＨ型又は箱型断面を有するフレームにて構成し，旋回体からの反力を考慮するものとする。

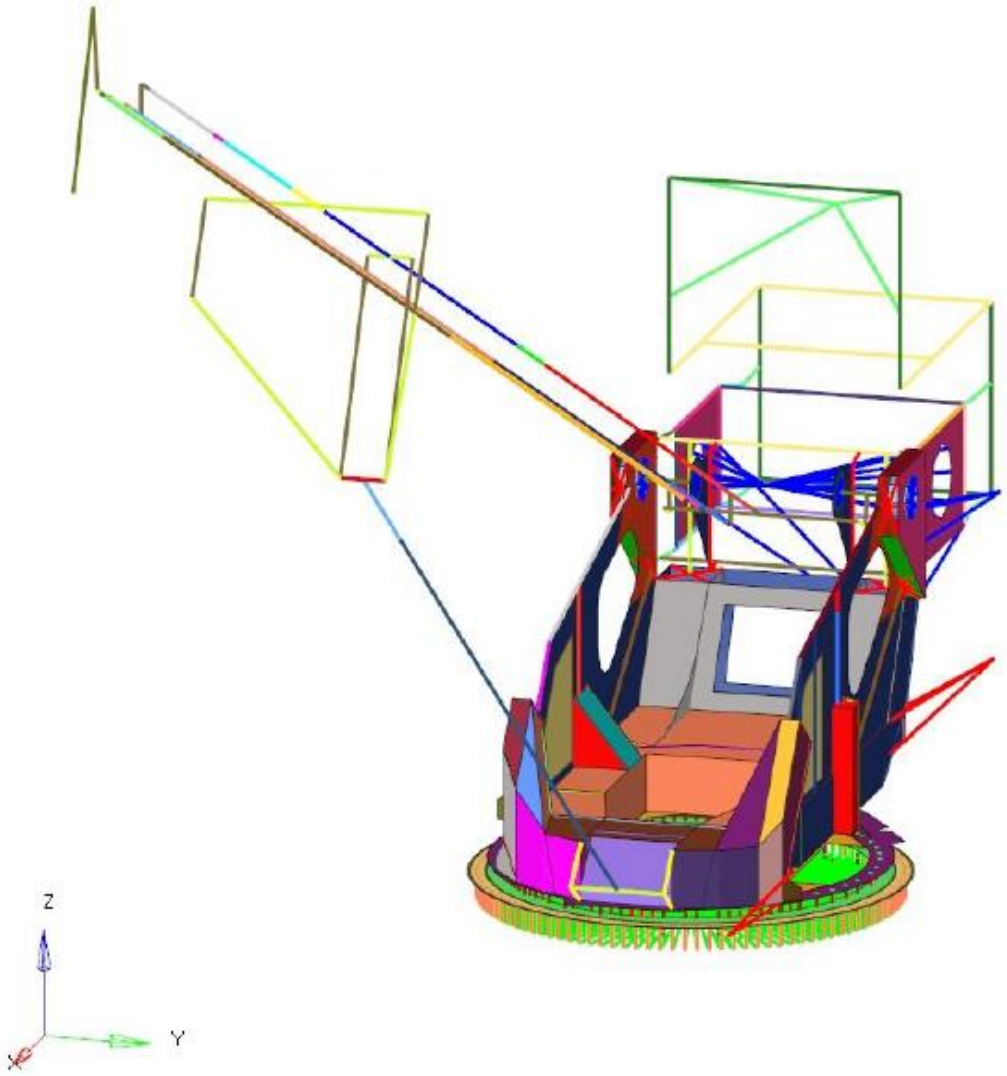


図 4.3-2　地震応答解析モデル

(3) クレーンの構造強度評価結果

クレーンの応力評価結果を表 4.3-2 に示す。算出応力は許容応力以下であるので，クレーンは 1/2Ss450 に対して落下に至らないことを確認した。

表 4.3-2　応力評価結果纏め

（単位：MPa）

部位	使用材料	応力の種類	算出応力	許容応力
ブーム	WELDOX1100E (STRENX1100E)	引張	108	875
		せん断	18	505
		曲げ	297	875
		組合せ	407	875
ブーム根元支持ピン	42CrMoS4	せん断	153	303
		曲げ	58	525
		組合せ	272	525
旋回輪軸受取付ボルト	SUS630	引張	815	917
走行台車	SM490B	引張	2	343
		せん断	40	198
		曲げ	229	343
		組合せ	242	343
アウトリガーピン	SNB23-1	せん断	169	460
		曲げ	151	1088
		組合せ	330	798

5　1号機燃料取扱設備の構造強度及び耐震性について

5.1 概要

1号燃料取扱設備の耐震設計が「特定原子力施設への指定に際し東京電力株式会社福島第一原子力発電所に対して求める措置を講ずべき事項について（2012年11月7日原子力規制委員会決定。以下,「措置を講ずべき事項」という。）」のうち,「Ⅱ.14.設計上の考慮 ②自然現象（地震に限る。）に対する設計の考慮」に適合することを説明するものである。

5.2 耐震設計の基本方針

5.2.1 一般事項

1号機燃料取扱設備は，燃料取扱機とクレーンを有し，それぞれについて構造強度及び耐震性について検討を行う。燃料取扱設備は燃料取扱設備支持用架構（以下,「ランウェイガーダ」という）上に設置される。

燃料取扱設備の構造強度及び耐震性は，東京電力福島第一原子力発電所における耐震クラス分類と地震動の適用の考え方（令和4年11月16日原子力規制委員会了承　令和5年6月19日一部改訂）を踏まえ，安全機能の重要度，地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響（公衆への被ばく影響）や廃炉活動への影響等を考慮した上で，核燃料物質を非密封で扱う燃料加工施設や使用施設等における耐震クラス分類を参考にして適切な耐震設計上の区分を行うとともに，適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられる設計とする。

5.2.2 適用規格等

適用する規格としては，既に認可された工事計画及び実施計画（以下，既認可という）で適用実績がある規格のほか，最新の規格基準についても技術的妥当性及び適用性を確認したうえで適用可能とする。なお，規格基準に規定のない評価手法等を用いる場合は，既往の研究等において試験，解析等により妥当性が確認されている手法，設定等について，適用条件，適用範囲に留意し，その適用性を確認した上で用いる。

5.2.3 耐震設計上の区分の設定方針

施設は，地震により安全機能を失った際の公衆への被ばく影響の観点から耐震設計上の重要度（以下，耐震クラス）を分類する。

5.2.4 弾性設計用地震動Ｓｄの設定方針

弾性設計用地震動Ｓｄは，基準地震動Ｓｓに係数0.5を乗じて設定する。

5.2.5 設計用地震力

耐震設計に用いる地震力の算定は以下の方法による。

(1) 静的地震力

静的地震力は，Ｓクラスの施設，Ｂ＋クラスの施設，Ｂクラスの施設及びＣクラスの施設に適用することとし，それぞれの耐震クラスに応じて，以下の地震層せん断力係数C_i及び震度に基づき算定するものとする。

ａ．建物・構築物

水平地震力は，地震層せん断力係数C_iに，次に示す施設の耐震クラスに応じた係数を乗じ，更に当該層以上の重量を乗じて算定するものとする。

Ｓクラス	：3.0
Ｂ＋クラス及びＢクラス	：1.5
Ｃクラス	：1.0

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

また，必要保有水平耐力の算定においては，地震層せん断力係数C_iに乗じる施設の耐震クラスに応じた係数は 1.0 とし，その際に用いる標準せん断力係数C_0は 1.0 以上とする。

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

ｂ．機器・配管系

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

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

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

(2) 動的地震力

動的地震力は，Ｓクラスの施設，Ｂ＋クラスの施設及びＢクラス施設のうち共振のおそれのあるものに適用する。

Ｓクラスの施設については，基準地震動Ｓｓ及び弾性設計用地震動Ｓｄから定める入力地震動を適用する。

Ｂ＋クラスの施設については，基準地震動Ｓｓから定める入力地震動の振幅を2分の1にしたものによる地震力を適用する。さらに共振のおそれのあるものについては，弾性設計用地震動Ｓｄから定める入力地震動の振幅を2 分の1 にしたものによる地震力を適用する。あわせて，固有周期が0.1ｓ～0.3ｓのものは2022 年3 月16 日の福島県沖地震の地震波を考慮した設計用床応答曲線（以下，床応答スペクトル）若しくは時刻歴応答波を用いる。

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

動的地震力は水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせて算定する。

5.2.6 機能維持の基本方針

耐震設計における安全機能維持は，施設の耐震クラスに応じた地震力に対して，施設の構造強度の確保を基本とする。

安全機能維持が応力の許容限界のみで律することができない施設等，構造強度に加えて，施設の特性に応じた気密性，遮蔽性，支持機能等の維持を必要とする施設については，その機能が維持できる設計とする。

5.2.7 波及的影響に対する考慮

施設は，下位クラス施設の波及的影響によって，それぞれその安全機能を損なわない設計とする。

ここで，下位クラス施設とは，上位クラス施設の周辺にある上位クラス施設以外の施設（資機材等含む。）をいう。

施設に対する波及的影響については，以下に示す(1)～(4)の4つの事項から，下位のクラスの施設の損傷，転倒及び落下等よって，廃炉活動，供用期間，設計の進捗状況，内包する液体の放射能量等の要素を考慮した上で，その安全機能に影響がないように検討する。

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

6　別添

別添－１　　４号機燃料取扱設備の耐震性に係る確認事項

別添－２　　３号機燃料取扱設備の耐震性に係る確認事項

別添－３　　２号機燃料取扱設備の耐震性に係る確認事項

別添－４－１　１号機燃料取扱設備における耐震クラス及び適用する地震力の設定

別添－４－２　１号機燃料取扱設備の耐震計算書

別添－４－３　１号機燃料取扱設備の耐震性に係る確認事項

４号機燃料取扱設備の耐震性に係る確認事項

４号機燃料取扱設備の耐震性に係る主要な確認事項を表－１及び表－２に示す。

表－１　４号機燃料取扱設備の耐震性に係る確認事項（燃料取扱機）

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認		実施計画に記載されている主要部材の材質を確認する。	実施計画通りの材料を使用していること。
	構造確認	寸法確認	実施計画に記載されている主要寸法を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
		外観確認	組み立てた状態における外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
		据付確認	組み立てた状態における据付状態を確認する。	実施計画の通りに施工・据付がなされていること。

表－２　４号機燃料取扱設備の耐震性に係る確認事項（クレーン）

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認		実施計画に記載されている主要部材の材質を確認する。	実施計画通りの材料を使用していること。
	構造確認	寸法確認	実施計画に記載されている主要寸法を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
		外観確認	組み立てた状態における外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
		据付確認	組み立てた状態における据付状態を確認する。	実施計画の通りに施工・据付がなされていること。

３号機燃料取扱設備の耐震性に係る確認事項

３号機燃料取扱設備の耐震性に係る主要な確認事項を表－１及び表－２に示す。

表－１　３号機燃料取扱設備の耐震性に係る確認事項（燃料取扱機）

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認		実施計画に記載されている主要部材の材質を確認する。	実施計画通りの材料を使用していること。
	構造確認	寸法確認	実施計画に記載されている主要寸法を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
		外観確認	組み立てた状態における外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
		据付確認	組み立てた状態における据付状態を確認する。	実施計画の通りに施工・据付がなされていること。

表－２　３号機燃料取扱設備の耐震性に係る確認事項（クレーン）

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認		実施計画に記載されている主要部材の材質を確認する。	実施計画通りの材料を使用していること。
	構造確認	寸法確認	実施計画に記載されている主要寸法を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
		外観確認	組み立てた状態における外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
		据付確認	組み立てた状態における据付状態を確認する。	実施計画の通りに施工・据付がなされていること。

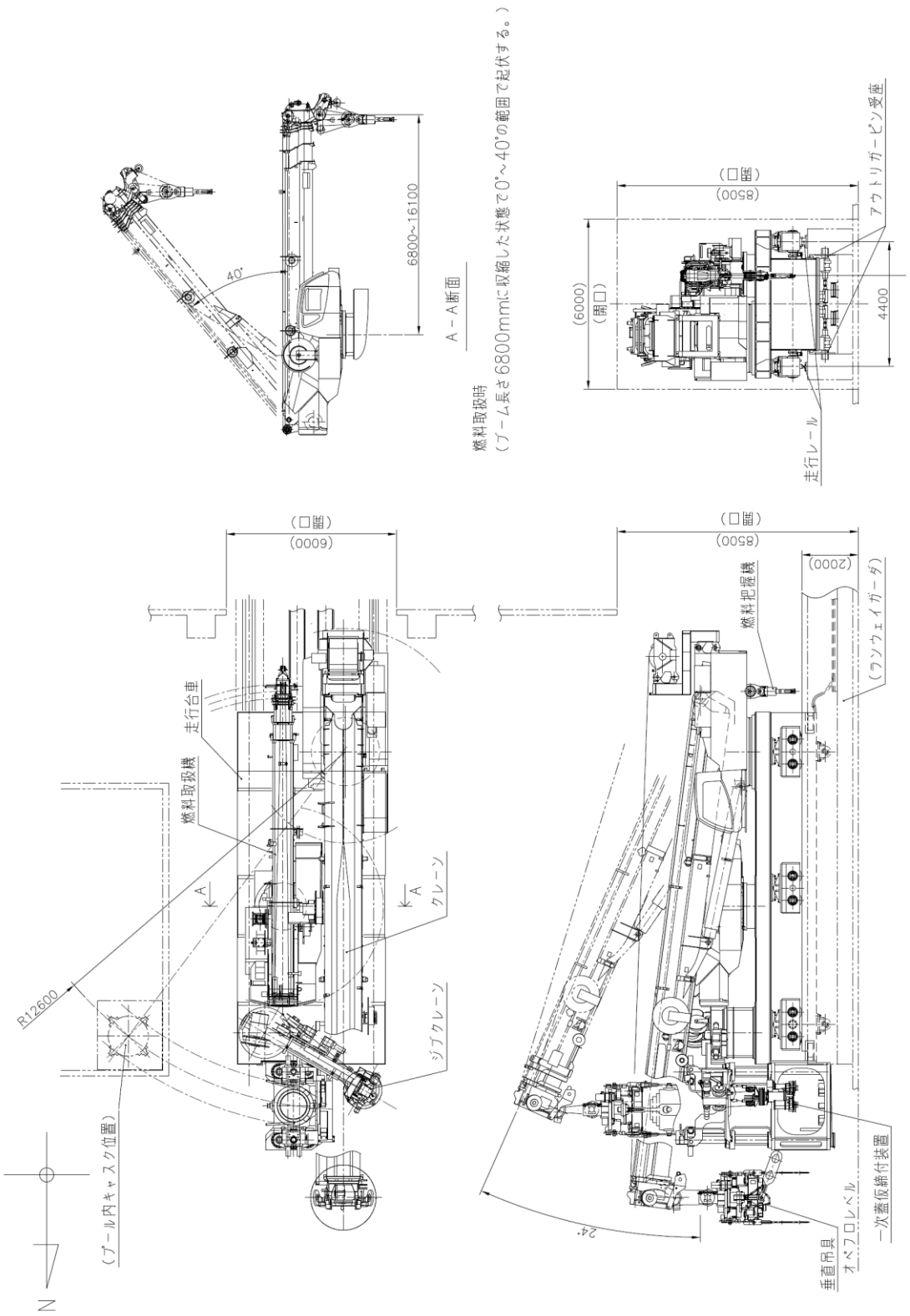
２号機燃料取扱設備の耐震性に係る確認事項

２号機燃料取扱設備の耐震性に係る主要な確認事項を表－１に示す。また，燃料取扱設備の外形図を図－１に，燃料取扱設備主要部材一覧を表－２に示す。

表－１　２号機燃料取扱設備の耐震性に係る確認事項

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準	検査場所
構造強度・耐震性	材料確認		実施計画に記載されている主要部材の材質を確認する。	表―２に記載の材料を使用していること。	工場
	構造確認	寸法確認	実施計画に記載されている主要寸法を確認する。	図－１に記載の寸法が許容範囲内であること。	工場 現地*)
		外観確認	組み立てた状態における外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。	工場
		据付確認	組み立てた状態における据付状態を確認する。	図－1の通りに施工・据付がなされていること。	工場

*) レール間寸法のみ現地で確認する。



図－１　燃料取扱設備　外形図

表―２　燃料取扱設備　主要部材一覧

部位	使用材料
燃料取扱機（旋回体）　ブーム	WEL-TEN980RE/WEL-TEN980E
燃料取扱機（旋回体）　ブーム根元支持ピン	SNB23-1
燃料取扱機（旋回体）　旋回輪軸受取付ボルト（内側）	SUS630
燃料取扱機（旋回体）　旋回輪軸受取付ボルト（外側）	SUS630
クレーン（旋回体）　ブーム	WELDOX1100E(STRENX1100E)
クレーン（旋回体）　ブーム根元支持ピン	42CrMoS4
クレーン（旋回体）　旋回輪軸受取付ボルト	SUS630
燃料取扱機／クレーン（走行台車部）　構造物フレーム	SM490B
燃料取扱機／クレーン（走行台車部）　アウトリガーピン	SNB23-1

１号機燃料取扱設備における耐震クラス及び適用する地震力の設定

１号機燃料取扱設備は，東京電力福島第一原子力発電所における耐震クラス分類と地震動の適用の考え方（令和 4 年 11 月 16 日原子力規制委員会了承　令和 5 年 6 月 19 日一部改訂）に基づき，構築物，系統及び機器安全機能が喪失した場合における公衆への放射線影響を評価した結果，吊荷の落下や構内用輸送容器の破損により燃料集合体が破損することで放射性物質の放出による実効線量は，5mSv/事象を超過すると評価されるが，緩和対策を考慮した現実的な評価及び施設・設備の特徴に応じた評価を踏まえ，耐震クラス及び適用する地震力を設定する。

なお，耐震クラス及び適用する地震力の設定は，「耐震クラス分類と施設・設備の特徴に応じた地震動の設定及び必要な対策を判断する流れ」に従う。

1.　公衆被ばく影響を考慮した耐震クラス分類の整理

1.1　地震により安全機能を失った際の公衆被ばくの影響

1.1.1　燃料取扱機

(1) インベントリに基づく評価

a.　地震により安全機能を失った際の公衆被ばくへの影響シナリオ

地震により燃料取扱機が安全機能を失った際の，公衆被ばくへ与える影響シナリオ（以下，影響シナリオ）を表１に示す。

地震により燃料取扱機が安全機能を失った際の公衆被ばく影響を評価した結果，約 $1.6\times10^{4}\mu$Sv/事象となり暫定Ｓクラスとなる。なお，裸インベントリで評価を行うものとし，インベントリを格納する容器等の遮蔽効果は考慮しない。

表１　地震により燃料取扱機が安全機能を失った際の影響シナリオ

	影響シナリオ
1	燃料取扱機の安全機能が喪失し，燃料集合体を移送中に吊荷（燃料集合体１体）を落下させ，燃料集合体を破損することで放射性物質が放出する。 （内包するインベントリ：燃料集合体１体）

b.　地震により安全機能を失った際の公衆への被ばく影響評価

i）評価条件

・ 燃料集合体1体が破損するとして評価する。

・ 燃料露出事象において，使用済燃料プール躯体や大型カバー等の遮蔽効果は考慮しない。

・ 燃料集合体 1 体分の線源が敷地境界線量へ与える影響は，約 91μSv/h として評価している。この評価結果は，敷地境界から 270m の地点の場合における評価であるが，影響シナリオは敷地境界から約 900m 離れている。

ii）評価結果

1（体）×91（μSv/h）×24（h）×7（日）　≒　1.6×10^{4}（μSv）

(2) 現実的な評価

影響シナリオについて現実的な緩和対策（耐震設計の結果）を考慮した結果を表 2 に示す。現実的な緩和対策を考慮した結果，影響シナリオが発生する可能性は低いと評価する。そのため，地震により燃料取扱機が安全機能を失った際の公衆被ばく影響はないため，燃料取扱機の耐震クラスはＣとなる。

表 2　現実的な緩和対策を考慮した結果

	影響シナリオ（簡略記載）	現実的な評価結果
1	燃料取扱機の安全機能が喪失し，燃料集合体1体）を落下・破損することで放射性物質放出事象。	燃料取扱機は，基準地震動 Ss 時において安全機能を喪失することはない。 （1号機燃料取扱設備の耐震計算書を参照）

(3) 上位クラスへの波及的影響

燃料取扱機は，使用済燃料プール及び使用済燃料貯蔵ラックへ波及的影響を与えない(添付資料－４－１　別添－４－２　１号機燃料取扱設備の耐震計算書を参照)。

(4) リスク低減活動への影響

燃料取扱機は，運転できないことによりリスク低減活動への影響が大きいため，機器単体が故障した場合の機能喪失による設備の長期停止に備えて，長納期の機器に対し，予備品を確保する。

1.1.2　クレーン

(1) インベントリに基づく評価

a.　地震により安全機能を失った際の公衆被ばくへの影響シナリオ

地震によりクレーンが安全機能を失った際の影響シナリオを表 3 に示す。

地震によりクレーンが安全機能を失った際の公衆被ばく影響を評価した結果，約 $1.9\times10^{5}\mu$Sv/事象となり暫定Ｓクラスとなる。なお，裸インベントリで評価を行うものとし，インベントリを格納する容器等の遮蔽効果は考慮しないものとした。

表 3　地震によりクレーンが安全機能を失った際の影響シナリオ

	影響シナリオ
1	大型カバーから構内用輸送容器搬出時に，クレーンの安全機能を喪失し，構内用輸送容器が破損・損傷し，燃料が露出する。 （内包するインベントリ：燃料集合体 12 体（構内用輸送容器装填体数））
2	使用済燃料プールから吊荷（構内用輸送容器）を搬出する際にクレーンの安全機能が喪失し，吊荷を落下させ，燃料集合体を破損することで放射性物質が放出する。 （内包するインベントリ：燃料集合体 12 体（構内用輸送容器装填体数））

b.　地震により安全機能を失った際の公衆への被ばく影響評価

<u>影響シナリオ 1</u>

i) 評価条件

・ 構内用輸送容器搬出時における放射性物質放出事象において，内包する燃料集合体を 12 体（構内用輸送容器 1 基あたりに装填する燃料集合体数）として評価する。
・ 燃料露出事象において，構内用輸送容器の遮蔽効果は考慮しない。
・ 燃料集合体 1 体分の線源が敷地境界線量へ与える影響は，約 91μSv/h として評価している。この評価結果は，敷地境界から 270m の地点の場合における評価であるが，影響シナリオは敷地境界から約 900m 離れている。

ii) 評価結果

12（体）×91（μSv/h）×24（h）×7（日）　≒　1.9×10^{5}（μSv）

本評価結果は，放射性物質が環境に放出される評価は含んでいないが，放射性物質が環境に放出されることを考慮しても暫定Ｓクラスの結果は変わらない。

影響シナリオ2

影響シナリオ1と同時に発生することはなく，評価結果は，影響シナリオ1と同等になる。

(2) 現実的な評価

影響シナリオについて現実的な緩和対策（設備の使用時間や耐震設計の結果）を考慮した結果を表4に示す。現実的な緩和対策を考慮した結果，影響シナリオが発生する可能性は低いと評価する。そのため，地震によりクレーンが安全機能を失った際の公衆被ばく影響はないため，クレーンの耐震クラスはCとなる。

表4　現実的な緩和対策を考慮した結果

	影響シナリオ（簡略記載）	現実的な評価結果
1	大型カバーからの搬出時における構内用輸送容器の破損・損傷による燃料露出事象。	構内用輸送容器搬出に要する継続時間は，設備運用期間と比べ極めて短いため，Ssとの重畳は考えず，Sdとの重畳を考える。クレーンは弾性設計用地震動Sd時において安全機能を喪失することはない。
2	使用済燃料プールからの搬出時における吊荷落下による放射性物質放出事象。	クレーンは，基準地震動Ss時において安全機能を喪失することはない。 （1号機燃料取扱設備の耐震計算書を参照）

(3) 上位クラスへの波及的影響

クレーンは，使用済燃料プール及び使用済燃料貯蔵ラックへ波及的影響を与えない（添付資料－4－1　別添－4－2　1号機燃料取扱設備の耐震計算書を参照）。

(4) リスク低減活動への影響

クレーンは，運転できないことによりリスク低減活動への影響が大きいため，機器単体が故障した場合の機能喪失による設備の長期停止に備えて，長納期の機器に対し，予備品を確保する。

2. 耐震クラスの分類

地震による公衆への被ばく影響を踏まえた燃料取扱設備等の耐震クラス，適用する地震力は，表5，表6の通りとなる。

表 5　燃料取扱設備等の耐震クラス分類

設備名称		機能別分類	耐震クラス	公衆への被ばく影響	直接支持構造物	間接支持構造物	波及的影響を考慮すべき設備
					【 】内は確認用地震動※2 を示す		
使用済燃料プール 使用済燃料貯蔵ラック		使用済燃料を貯蔵するための設備	S	—※1	機器の支持構造物	原子炉建屋 【Ss】	燃料取扱設備 【Ss】 ランウェイガーダ 【Ss】
燃料取扱設備	燃料取扱機	使用済燃料プールから燃料を取り出す設備で，機器の破損により公衆及び作業員に過大な放射線被ばくを与える可能性のある設備	C	—	機器の支持構造物	ランウェイガーダ 【Sc】※3	—
	クレーン		C	—			

※1　既存設備のため，地震による安全機能を喪失した場合の被ばく影響評価を実施しない。

※2　Ss：基準地震動，Sc：C クラスの施設に適用される地震動

※3　ランウェイガーダは鉄骨造の間接支持構造物

表 6　燃料取扱設備等に適用する地震力

設備名称	耐震クラス	耐震上の具体的な要求事項	静的地震力	動的地震力※1		
			弾性範囲	機能維持	弾性範囲	波及的影響
燃料取扱機	C	耐震クラスは C ではあるが，燃料集合体を直接取扱うことから，保守的に B+クラスの地震力で耐震上の安全機能を失わないこと。 また，被ばく評価条件における現実的な緩和対策として，技術的根拠に基づいた現実的な評価を行う。具体的には，基準地震動 Ss に対して燃料集合体が落下しないことを期待するため，Ss900 に対する耐震性を確認する。	水平：1.8Ci 鉛直：－	1/2Ss450	1/2Sd225	Ss900※3
クレーン	C	耐震クラスは C ではあるが，保守的に B+クラスの地震力で耐震上の安全機能を失わないこと。 また，被ばく評価条件における現実的な緩和対策として，技術的根拠に基づいた現実的な評価を行う。具体的には，弾性設計用地震動 Sd に対して構内用輸送容器が落下しないことを期待するため，Sd450 に対する耐震性を確認する。さらに，使用済燃料プール等へ波及的影響を及ぼす可能性がある位置においては，基準地震動 Ss に対しても落下しないことを期待するため，Ss900 に対する耐震性を確認する。	水平：1.8Ci 鉛直：－	1/2Ss450 3.16 地震力※2	1/2Sd225	Ss900※3，4
ランウェイガーダ	―	保守的に B+クラス相当の地震力で耐震上の安全機能を失わないこと。	水平：1.5Ci 鉛直：－	1/2Ss450	―	Ss900※3

※1　地震力の算定に際しては，水平２方向及び鉛直１方向の適切な組合せを行う。
※2　クレーン水平（横行）方向の固有周期は，2022 年 3 月 16 日の福島県沖地震の地震動が 1/2Ss450 を上回った周期帯に固有周期を有するため考慮する。
※3　波及的影響の確認においては，燃料取扱設備の配置を考慮した上で，使用済燃料プール及び使用済燃料貯蔵ラックへ波及的影響を及ぼす可能性のある荷重ケースにより確認する。
※4　弾性設計用地震動 Sd に対して構内用輸送容器が落下しないことを期待するため，Sd450 に対する耐震性を確認する。

添付資料－４－１　別添－４－２

１号機燃料取扱設備の耐震計算書

目次

Ⅰ章　全般

1.　概要 Ⅱ-2-11-添 4-1-75

2.　一般事項 Ⅱ-2-11-添 4-1-75
2.1　配置概要 Ⅱ-2-11-添 4-1-75
2.2　構造計画 Ⅱ-2-11-添 4-1-77
2.3　荷重ケース Ⅱ-2-11-添 4-1-80

Ⅱ章　燃料取扱機耐震計算書

1.　計算書概要 Ⅱ-2-11-添 4-1-82
1.1　評価方針 Ⅱ-2-11-添 4-1-82
1.2　適用規格・基準等..... Ⅱ-2-11-添 4-1-83
1.3　計算精度と数値の丸め方..... Ⅱ-2-11-添 4-1-83

2.　評価部位 Ⅱ-2-11-添 4-1-84

3.　地震応答解析及び構造強度評価（1/2Ss450 地震力） Ⅱ-2-11-添 4-1-84
3.1　地震応答解析及び構造強度評価方法..... Ⅱ-2-11-添 4-1-84
3.2　荷重の組合せ及び許容応力..... Ⅱ-2-11-添 4-1-88
3.2.1　荷重の組合せ及び供用状態..... Ⅱ-2-11-添 4-1-88
3.2.2　許容応力..... Ⅱ-2-11-添 4-1-89
3.2.3　使用材料の許容応力・許容荷重評価条件..... Ⅱ-2-11-添 4-1-90

3.3　燃料取扱機の解析モデル及び諸元..... Ⅱ-2-11-添 4-1-92
3.4　固有値解析 Ⅱ-2-11-添 4-1-97
3.5　設計用地震力 Ⅱ-2-11-添 4-1-101
3.5.1　設計用床応答スペクトルの作成..... Ⅱ-2-11-添 4-1-101
3.5.2　設計用地震力の設定..... Ⅱ-2-11-添 4-1-103
3.6　燃料取扱機構造強度評価の計算方法..... Ⅱ-2-11-添 4-1-104
3.6.1　燃料取扱機ブリッジ，トロリの計算方法..... Ⅱ-2-11-添 4-1-104
3.6.2　燃料取扱機ブリッジ，トロリの脱線防止ラグ
及び取付ボルトの計算方法..... Ⅱ-2-11-添 4-1-105
3.6.3　走行/横行レールの計算方法..... Ⅱ-2-11-添 4-1-107
3.6.4　吊具の計算方法..... Ⅱ-2-11-添 4-1-110
3.7　燃料取扱機構造強度評価結果..... Ⅱ-2-11-添 4-1-113
3.7.1　燃料取扱機ブリッジ，トロリの応力評価結果 Ⅱ-2-11-添 4-1-113
3.7.2　燃料取扱機ブリッジ，トロリの脱線防止ラグ
及び取付ボルトの応力評価結果..... Ⅱ-2-11-添 4-1-116
3.7.3　走行/横行レールの応力評価結果..... Ⅱ-2-11-添 4-1-121
3.7.4　吊具の荷重評価結果..... Ⅱ-2-11-添 4-1-126
3.7.5　静的地震力の評価..... Ⅱ-2-11-添 4-1-127

4. 波及的影響確認評価（Ss900 地震力） Ⅱ-2-11-添 4-1-128
4.1 地震応答解析及び評価方法..... Ⅱ-2-11-添 4-1-128
4.2 荷重の組合せ及び許容応力..... Ⅱ-2-11-添 4-1-129
4.2.1 荷重の組合せ及び供用状態..... Ⅱ-2-11-添 4-1-129
4.2.2 許容応力..... Ⅱ-2-11-添 4-1-129
4.2.3 使用材料の許容応力・許容荷重評価条件..... Ⅱ-2-11-添 4-1-130
4.3 設計用地震力 Ⅱ-2-11-添 4-1-132
4.3.1 設計用床応答スペクトルの作成..... Ⅱ-2-11-添 4-1-132
4.3.2 設計用地震力の設定..... Ⅱ-2-11-添 4-1-134
4.4 燃料取扱機構造強度評価結果..... Ⅱ-2-11-添 4-1-135
4.4.1 燃料取扱機ブリッジ，トロリの応力評価結果..... Ⅱ-2-11-添 4-1-135
4.4.2 燃料取扱機ブリッジ，トロリの脱線防止ラグ
及び取付ボルトの応力評価結果..... Ⅱ-2-11-添 4-1-138
4.4.3 走行/横行レールの応力評価結果..... Ⅱ-2-11-添 4-1-143
4.4.4 吊具の荷重評価結果..... Ⅱ-2-11-添 4-1-148

5. 燃料取扱機の耐震計算書に関する補足説明..... Ⅱ-2-11-添 4-1-149
5.1 4 号機燃料取扱機トロリの構造変更について Ⅱ-2-11-添 4-1-149
5.2 4 号機燃料取扱機有効活用部材の許容値について Ⅱ-2-11-添 4-1-151

Ⅲ章　クレーン耐震計算書

1.　計算書概要 Ⅱ-2-11-添 4-1-152
1.1　評価方針 Ⅱ-2-11-添 4-1-152
1.2　適用規格・基準等..... Ⅱ-2-11-添 4-1-153
1.3　計算精度と数値の丸め方..... Ⅱ-2-11-添 4-1-153

2.　評価部位 Ⅱ-2-11-添 4-1-154

3.　地震応答解析及び構造強度評価（1/2Ss450 地震力） Ⅱ-2-11-添 4-1-154
3.1　地震応答解析及び構造強度評価方法..... Ⅱ-2-11-添 4-1-154
3.2　荷重の組合せ及び許容応力..... Ⅱ-2-11-添 4-1-156
3.2.1　荷重の組合せ及び供用状態..... Ⅱ-2-11-添 4-1-156
3.2.2　許容応力..... Ⅱ-2-11-添 4-1-157
3.2.3　使用材料の許容応力・許容荷重評価条件..... Ⅱ-2-11-添 4-1-158
3.3　クレーンの解析モデル及び諸元..... Ⅱ-2-11-添 4-1-160
3.4　固有値解析 Ⅱ-2-11-添 4-1-164
3.5　設計用地震力 Ⅱ-2-11-添 4-1-168
3.5.1　時刻歴解析における地震動設定の不確かさ等について.... Ⅱ-2-11-添 4-1-173
3.6　クレーン構造強度評価の計算方法..... Ⅱ-2-11-添 4-1-174
3.6.1　クレーンフレームの計算方法..... Ⅱ-2-11-添 4-1-174
3.6.2　転倒防止装置の計算方法..... Ⅱ-2-11-添 4-1-175
3.6.3　吊具の計算方法..... Ⅱ-2-11-添 4-1-181
3.7　クレーン構造強度評価結果..... Ⅱ-2-11-添 4-1-183
3.7.1　クレーンフレームの応力評価結果..... Ⅱ-2-11-添 4-1-183
3.7.2　設計用地震力選定過程..... Ⅱ-2-11-添 4-1-186
3.7.3　転倒防止装置の応力評価結果..... Ⅱ-2-11-添 4-1-191
3.7.4　吊具の荷重評価結果..... Ⅱ-2-11-添 4-1-196
3.7.5　静的地震力の評価..... Ⅱ-2-11-添 4-1-197

4.　波及的影響確認評価（Ss900 地震力）..... Ⅱ-2-11-添 4-1-198
4.1　地震応答解析及び評価方法..... Ⅱ-2-11-添 4-1-198
4.2　荷重の組合せ及び許容応力..... Ⅱ-2-11-添 4-1-199
4.2.1　荷重の組合せ及び供用状態..... Ⅱ-2-11-添 4-1-199
4.2.2　許容応力..... Ⅱ-2-11-添 4-1-199
4.2.3　使用材料の許容応力・許容荷重評価条件..... Ⅱ-2-11-添 4-1-200
4.3　設計用地震力 Ⅱ-2-11-添 4-1-202
4.3.1　設計用地震力の選定..... Ⅱ-2-11-添 4-1-202
4.4　クレーン構造強度評価結果..... Ⅱ-2-11-添 4-1-205
4.4.1　クレーンフレームの応力評価結果..... Ⅱ-2-11-添 4-1-205
4.4.2　転倒防止装置の応力評価結果..... Ⅱ-2-11-添 4-1-208
4.4.3　吊具の荷重評価結果..... Ⅱ-2-11-添 4-1-213

Ⅳ章　燃料取扱設備の耐震計算書に関する補足説明

1.　1号機燃料取扱設備の地震時における滑動量..... Ⅱ-2-11-添 4-1-214
1.1　滑動量の評価 Ⅱ-2-11-添 4-1-214
1.1.1　評価方針..... Ⅱ-2-11-添 4-1-214
1.1.2　評価条件..... Ⅱ-2-11-添 4-1-214
1.1.3　評価結果..... Ⅱ-2-11-添 4-1-218
1.2　逸脱防止装置..... Ⅱ-2-11-添 4-1-220
1.2.1　燃料取扱機..... Ⅱ-2-11-添 4-1-220
1.2.2　クレーン..... Ⅱ-2-11-添 4-1-220
1.3　燃料取り出し作業時における設備の配置について..... Ⅱ-2-11-添 4-1-220

2.　1号機燃料取扱設備のブレーキ制動力..... Ⅱ-2-11-添 4-1-221
2.1　燃料取扱機のブレーキ制動力評価..... Ⅱ-2-11-添 4-1-221
2.2　クレーンのブレーキ制動力評価..... Ⅱ-2-11-添 4-1-223

Ⅰ章　全般

1.　概要

燃料取扱設備は，東京電力福島第一原子力発電所における耐震クラス分類と地震動の適用の考え方（令和4年11月16日原子力規制委員会了承　令和5年6月19日一部改訂）に基づき耐震Ｃクラスとなるが，上位クラスである使用済燃料プール等に対して波及的影響を及ぼさないことを確認する必要がある。

本資料は，燃料取扱設備の耐震クラスに応じた地震動に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

また，基準地震動Ｓｓに対して上位クラスの設備に波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2.　一般事項

2.1　配置概要

燃料取扱設備は，構内用輸送容器（以下，輸送容器）を取り扱うクレーン，燃料を取り扱う燃料取扱機から構成される。図 2.1-1，図 2.1-2 の配置図に示すように，上位クラス施設である使用済燃料貯蔵ラックが設置された使用済燃料プール上を移動することから，転倒又は落下により使用済燃料貯蔵ラック及び使用済燃料プールに対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

図 2.1-1　1号燃料取扱設備配置図

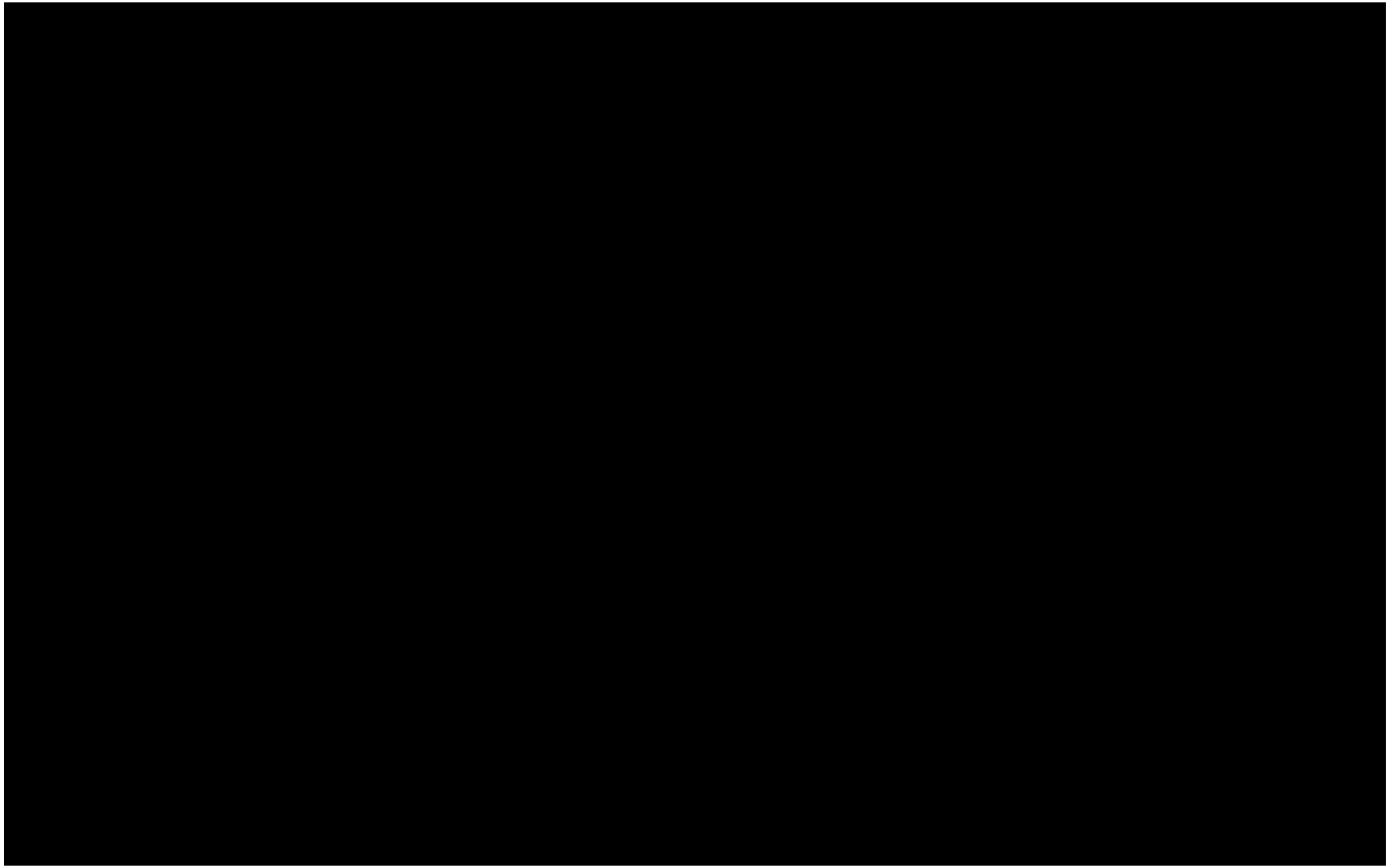


図 2.1-2　1 号燃料取扱設備配置図（立面図）

2.2　構造計画

燃料取扱機の構造計画を表 2.2-1，クレーンの構造計画を表 2.2-2 に示す。

表 2.2-1　燃料取扱機の構造計画

計画の概要		概略構造図
構造特徴	主体構造	
ランウェイガーダに設置する走行レール上を燃料取扱機本体ガーダが走行し，燃料取扱機本体ガーダ上部の横行レール上をトロリが横行する。 ブリッジ及びトロリは走行・横行部付近に脱線防止ラグを備えており，各々レールを抱え込む構造である。 また，吊荷はトロリに設置された燃料把握機を介して吊上げ・吊下げ・移動する。	ブリッジ ・ガーダ ・サドル トロリ	

表 2.2-2　クレーンの構造計画

計画の概要		概略構造図
構造特徴	主体構造	
ランウェイガーダに設置する走行レール上をクレーンが走行し，ガーダ上部の横行レール上をトロリが横行する。 フレーム及びトロリは走行・横行部付近に脱線防止ラグ・トロリストッパを備えており，各々レール受けガーダ，横行レールを抱え込む構造である。 また，吊荷はトロリに設置されたワイヤロープ及びフックを介して吊上げ・吊下げ・移動する。	フレーム ・ガーダ ・サドル ・作業台 ・脚部 ・支柱 トロリ	

2.3　荷重ケース

燃料取り出し時の作業内容により燃料取扱機及びクレーンの停止位置が異なる。作業内容に応じた燃料取扱設備の停止位置（以下，荷重ケース）を表 2.3-1 及び図 2.3-1 に示す。

表 2.3-1　荷重ケースの詳細

荷重ケース	作業内容	配置パターン			
		クレーン		燃料取扱機	
		大物搬入口側	SFP 側	SFP 中央	SFP 端部
CASE1	大型カバーへの 輸送容器搬出入 （クレーン単独作業）	○			○
CASE2	SFP での 輸送容器取扱 （クレーン単独作業）		○		○
CASE3	燃料取扱作業 （燃料取扱機単独作業）	○		○	
CASE4-①	燃料取扱作業 （クレーン／燃料取扱機 同時作業）		○	○	
CASE4-②			○		○

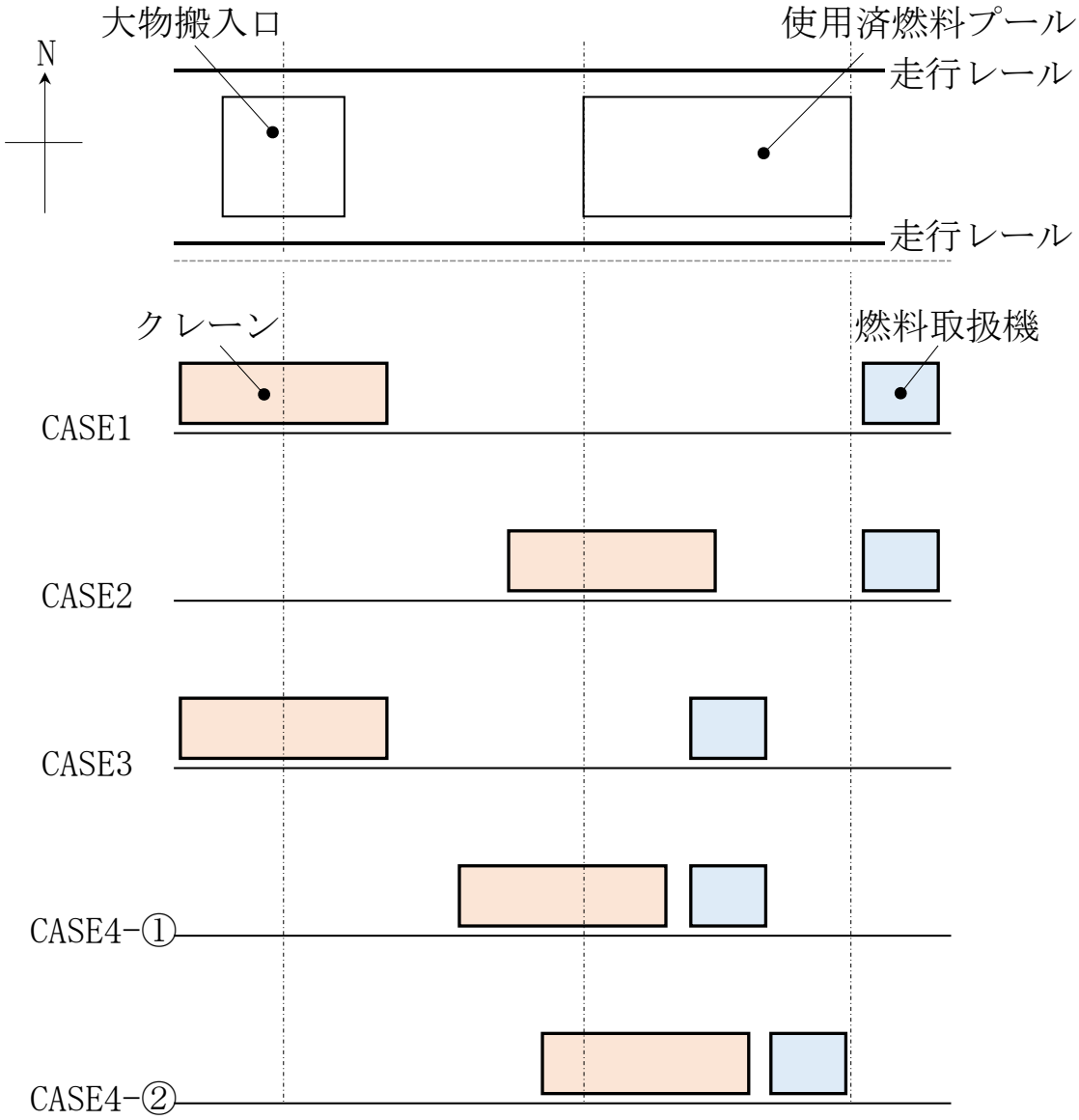

大物搬入口
使用済燃料プール
N
走行レール
走行レール
クレーン
燃料取扱機
CASE1
CASE2
CASE3
CASE4-①
CASE4-②

図 2.3-1　荷重ケース

Ⅱ章　燃料取扱機耐震計算書

1.　計算書概要

1.1　評価方針

燃料取扱機の応力評価は，「Ⅰ章 2.2 構造計画」にて燃料取扱機の部位を踏まえ，「2 評価部位」にて設定する箇所において，「3.3 燃料取扱機の解析モデル及び諸元」及び「3.4 固有値解析」で算出した固有周期に基づく弾性設計用地震動Ｓｄによる応力等が，許容限界の範囲内に収まることを「3.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す方法にて確認する。

また，基準地震動Ｓｓに対して応力が，許容限界の範囲に収まることを「4.1 地震応答解析及び評価方法」に示す方法にて上位クラスの設備に波及的影響を及ぼさないことを確認する。確認結果を「4.4 燃料取扱機構造強度評価結果」に示す。燃料取扱機の耐震評価フローを図 1.1-1 に示す。弾性設計用地震動Ｓｄ，基準地震動Ｓｓに対して応力の確認については，フローに示す動的解析で入力する地震力を変更するものであり，使用する解析モデル・固有値解析の結果は同じものを使用する。動的解析の詳細は，次項以降に示し，入力する地震力については節題等に記載する。

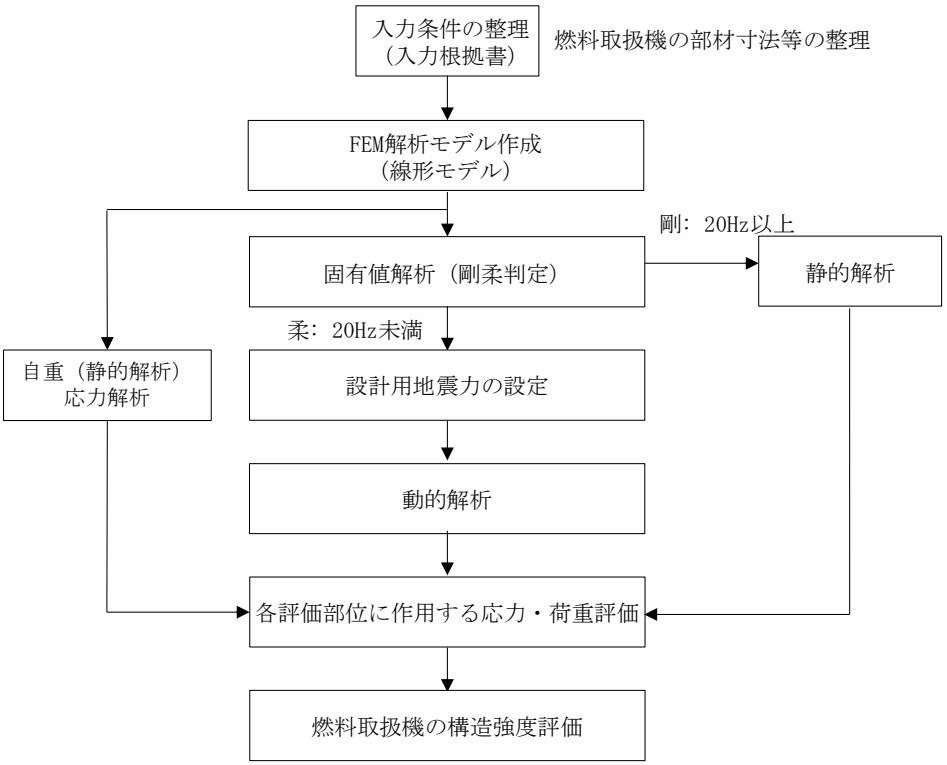


図 1.1-1　燃料取扱機の耐震評価フロー

1.2　適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準を以下に示す。

（社）日本電気協会発行

(1) 原子力発電所耐震設計技術指針　　(JEAG 4601・補-1984)

(2) 原子力発電所耐震設計技術指針　　(JEAG 4601-1987)

(3) 原子力発電所耐震設計技術指針 追補版　　(JEAG 4601-1991)

(4) 原子力発電所耐震設計技術規程　　(JEAC 4601-2008)

（社）日本機械学会発行

(5) 発電用原子力設備規格　設計・建設規格　　(JSME S NC1-2005)

(6) 発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2007 年追補版）(JSME S NC1-2007)

厚生労働省告示

(7) クレーン構造規格　　（令和元年 6 月 28 日　厚生労働省告示第 48 号）

1.3　計算精度と数値の丸め方

本書での数値の丸め方は，下表の通り。

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	－	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位※
温度	℃	－	－	整数位
質量	kg	－	－	整数位
長さ	mm	－	－	整数位※
算出荷重	N	小数点以下第 4 位	切上げ	小数点以下第 3 位
許容荷重	N	小数点以下第 4 位	切捨て	小数点以下第 3 位
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

※設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は，小数点以下第 1 位又は小数点以下第 2 位表示とする。

2. 評価部位

燃料取扱機の耐震評価は，「3.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき，燃料取扱機及び吊荷の落下により，上位クラス施設が損傷することを防止するために，燃料取扱機のブリッジやトロリ，脱線防止ラグ，及び吊具（ワイヤロープ及びフック）を対象に実施する。

3. 地震応答解析及び構造強度評価（1/2Ss450 地震力）

3.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

(1) 走行方向（EW 方向）の水平力

a. 燃料取扱機は，ブリッジ及びブリッジを介してトロリが走行レール上に乗っている構造で建屋とは固定されないため，最大静止摩擦力以上の水平力が走行方向(EW 方向)に加えられた場合，すべりが生じる。このため，燃料取扱機自体には，レールと走行車輪間の最大静止摩擦力以上の水平力は加わらない。

b. 燃料取扱機の車輪は各々4 個であり，そのうち 2 個は駆動輪，他 2 個が従動輪である。

c. 駆動輪は，電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため，地震の加速度を車輪部に入れると回転部分が追随できず，最大静止摩擦力以上の力が加えられた場合，すべりが生じる。

d. 従動輪は，回転部分が連結されていないため，駆動輪のみで水平力を受ける。

e. トロリは，走行方向（EW 方向）水平力が横行レールに対して直角方向であり，トロリが脱線防止ラグで拘束されているため，水平力がガータに作用する。

以上のことを踏まえると，最大静止摩擦係数をμ =0.3 とすれば，走行方向(EW 方向)の水平力は鉛直方向荷重×μ × 2/4 ＝鉛直方向荷重× 0.15 である。

(2) 横行方向（NS 方向）の水平力

a. ブリッジの関係

横行方向（NS 方向）は，走行レールに対して直角方向であり，ブリッジが脱線防止ラグで拘束されるため水平力がブリッジに作用する。

b. トロリの関係

(a) トロリはガーダ上の横行レール上に載っている構造で，ガーダとは拘束されていないため，最大静止摩擦力以上の水平力がトロリに加えられた場合，すべりが生じる。このため，トロリ自身にはレールと横行車輪間の最大静止摩擦力以上の水平力は加わらない。

(b) トロリの横行車輪は 4 個であり，そのうちの 2 個は駆動輪，他の 2 個は従動輪である。

(c) トロリの駆動輪は，電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため，地震の加速度を車輪部に入れると回転部分が追随できず，最大静止摩擦力以上の力が加えられた場合，すべりが生じる。

(d) トロリの従動輪は，回転部分が連結されていないので，駆動輪のみで水平力を受ける。

(3) 鉛直方向（UD 方向）

燃料取扱機は，鉛直下向き方向はランウェイガーダにより支持される。鉛直上向きには，脱線防止ラグで拘束されるため，鉛直方向の力がブリッジ及びトロリに作用する。

a. トロリの関係

(a) ガーダ上のトロリ位置に応じて固有振動数が変動するため，固有振動数の変動範囲を網羅する観点から解析ケースをトロリ位置で規定する。固有振動数は，トロリがガーダ中央にあるとき最も低くガーダ端部にあるとき最も高くなる。よって，トロリ位置が中央と端部の 2 ケースを解析対象とする。

(4) 評価ケース

燃料取扱機は，線形解析を実施するため評価ケースごとに自重解析及び 3 方向(鉛直方向，走行方向，横行方向)の解析をそれぞれ実施する。

吊荷質量は，地震時の荷重がより厳しくなる条件を考慮するため解析モデルに含めるものとする。

(1) ～ (3) の通りブリッジとトロリは，鉛直方向と走行方向において一体となり挙動するため，各方向で同じ震度を適用する。しかしながら，横行方向においてブリッジはすべらない一方でトロリはすべる(地震応答に違いがある)ことになるため，ブリッジとトロリで適用する震度が異なる。従って，荷重条件ごとに解析モデルを使い分ける（表 3.1-1 参照）。

表 3.1-1　解析ケース（静：静的解析，動：動的解析）

No	荷重条件		静	動	解析モデル※ （イメージ）	備考 （解析概要）
①	自重		○		[redacted]	[redacted]
②	鉛直地震			○		[redacted]
③			○			[redacted]
④	水平地震	走行	○			[redacted]
⑤		横行	○		[redacted]	[redacted]
⑥				○		[redacted]
⑦			○		[redacted]	[redacted]

※全体モデル　　：ブリッジとトロリが一体となって挙動するモデル
ブリッジモデル：ブリッジのみを取り出したモデル
トロリモデル　：トロリのみを取り出したモデル

(5) 荷重算定方法

燃料取扱機の解析手法は，動的解析（スペクトル応答解析）及び静的解析を用いるものとし，地震荷重相互の加算には二乗和平方根（ＳＲＳＳ）を，地震荷重と自重の加算には絶対値和を用いる。また，地震時のすべりにより生じる摩擦力相当の荷重については，自重と同じく絶対値和を用いて加算する。

耐震評価は，3 方向の地震力に対して各々個別に実施し適切に組合せる。

3.2　荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び供用状態

燃料取扱機のブリッジ及びトロリ，脱線防止ラグ，走行/横行レール取付部材評価における荷重の組合せ及び供用状態について表 3.2-1，表 3.2-2 に示す。

燃料取扱機の耐震クラスはＣではあるが，燃料集合体を直接取扱うことから，保守的にB+クラスの評価を行う。そのため，表 3.2-1 には，基準地震動Ｓｓから定める入力地震動の振幅を 2 分の 1 にしたものによる地震力(1/2Ss450 地震力)に対して，供用状態はＤｓを適用するものとする。

また，表 3.2-2 では耐震クラス B+の評価にあたり共振のおそれを考慮し，弾性設計用地震動Ｓｄから定める入力地震動の振幅を 2 分の 1 にしたものによる地震力（1/2Sd225 地震力）に対して，供用状態はＣｓを適用するものとする。

なお，使用済燃料プール等への波及的影響の確認（具体的には，基準地震動 Ss に対して燃料集合体が落下しないことを期待するため，基準地震動 Ss に対する耐震性を確認）については，「4. 波及的影響確認評価（Ss900 地震力)」に記載する。

表 3.2-1　荷重の組合せ及び供用状態(1/Ss450 機能維持)

耐震クラス	荷重の組合せ	供用状態
C(B+)※1	Ｄ＋P_D＋M_D＋1/2 Ｓｓ	Ｄｓ※2

※1　( )内は保守的な耐震クラスを示す。

※2　本計算書では，1/2Sd 地震力に対する供用状態 Cs の評価を省略するため，1/2Ss 地震力に対する供用状態 Cs の評価を実施する。

ここで，

D　　：死荷重

P_D　　：最高使用圧力による荷重

M_D　　：機械的荷重

1/2 Ss　：基準地震動Ｓｓから定める入力地震動の振幅を 2 分の 1 にしたものによる地震力(1/2Ss450 地震力)

Ds　　：発電用原子力設計・建設規格の供用状態Ｄ相当の許容応力を基準とし，それに地震により生じる応力に対する特別な制限を加えた供用状態

表 3.2-2　荷重の組合せ及び供用状態(1/Sd225 弾性範囲)

耐震クラス	荷重の組合せ	供用状態
C(B+)※1	D＋P_D＋M_D＋1/2 Ｓｄ	Ｃｓ

※1　( )内は保守的な耐震クラスを示す。

ここで,

D　　：死荷重

P_D　　：最高使用圧力による荷重

M_D　　：機械的荷重

1/2 Sd　：弾性設計用地震動Ｓｄから定める入力地震動の振幅を 2 分の 1 にしたものによる地震力(1/2Sd225 地震力)

Cs　　：発電用原子力設計・建設規格の供用状態Ｃ相当の許容応力を基準とし,それに地震により生じる応力に対する特別な制限を加えた供用状態

3.2.2　許容応力

燃料取扱機のブリッジ及びトロリ，脱線防止ラグ，走行/横行レール取付部材の許容応力を表 3.2-3 に示す。

表 3.2-3　許容応力（その他の支持構造物）(1/2Ss450 地震力)

供用状態	許容限界					
Ｃｓ	許容応力（ボルト以外）				許容応力（ボルト）	
	1 次応力					
	引張	圧縮	曲げ	せん断	引張	せん断
	1.5f_t	1.5f_c	1.5f_b	1.5f_s	1.5f_t	1.5f_s

3.2.3　使用材料の許容応力・許容荷重評価条件

使用材料の許容応力評価条件を表　3.2-4 に，許容荷重評価条件を表　3.2-5 に示す。

表 3.2-4　使用材料の許容応力評価条件（1/2Ss450 地震力）

部位		使用材料	周辺環境温度※1 (℃)	Sy※2 (MPa)	Su※3 (MPa)	F 値：min(Sy,0.7Su) (MPa)
燃料取扱機構造物 ブリッジ，トロリ		[redacted]	50	[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	50	[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	50	[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	50	[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	50	[redacted]	[redacted]	[redacted]
ブリッジ	脱線防止ラグ	[redacted]	50	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	ボルト	[redacted]	50	[redacted]	[redacted]	[redacted]
トロリ	脱線防止ラグ	[redacted]	50	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	ボルト	[redacted]	50	[redacted]	[redacted]	[redacted]
走行レール		[redacted]	50	[redacted]	[redacted]	[redacted]
横行レール		[redacted]	50	[redacted]	[redacted]	[redacted]

※1　運転エリアの最高温度（40℃）に余裕を見込んだ 50℃とする。
※2　Sy：材料の設計降伏点　（JSME S NC1-2005/2007　参照）
※3　Su：材料の設計引張強さ（JSME S NC1-2005/2007　参照）
※4　本部材は，4 号機燃料扱機トロリの構造変更（部材の追設）を行う箇所（詳細は，「5.1 4 号機燃料取扱機トロリの構造変更について」参照）
※5　カタログ記載値
※6　JIS E 1101 記載値

表 3.2-5　使用材料の許容荷重評価条件（1/2Ss450 地震力）

部位		使用材料	周辺環境温度※1（℃）	定格荷重※2 (N)	安全率※3	許容荷重 (N)
吊具	ワイヤロープ	[redacted]	50	4.413×10^{3}	[redacted]	[redacted]
	フック	[redacted]	50	4.413×10^{3}	[redacted]	[redacted]
	フックピン	[redacted]	50	4.413×10^{3}	[redacted]	[redacted]

※1　運転エリアの最高温度（40℃）に余裕を見込んだ 50℃とする。
※2　定格荷重：450kg（フック，フックピンの重量含む）
※3　安全率は，安全率＝ワイヤロープ破断力×ロープ掛数×（シーブ効率）/荷重（定格荷重）で算定。クレーン構造規格第 54 条（令和元年 6 月 28 日　厚生労働省告示第 48 号）に基づき，5 以上を満足するものである。

燃料取扱機の応力評価に適用する許容引張応力f_t，許容せん断応力f_s（f_{so}），許容曲げ応力f_b及び許容組合せ応力fは以下より求める。

表 3.2-6　燃料取扱機の許容値（1/2Ss450 地震力）（ボルト以外）

	荷重の組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F}{1.5}\cdot1.5$
許容せん断応力 f_s	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}}\cdot1.5$
許容曲げ応力 f_b	$\frac{F}{1.5}\cdot1.5$
許容組合せ応力 f	$\frac{F}{1.5}\cdot1.5$

F 値：JSME S NC1-2005/2007 に基づき定める値　(min(Sy,0.7Su))

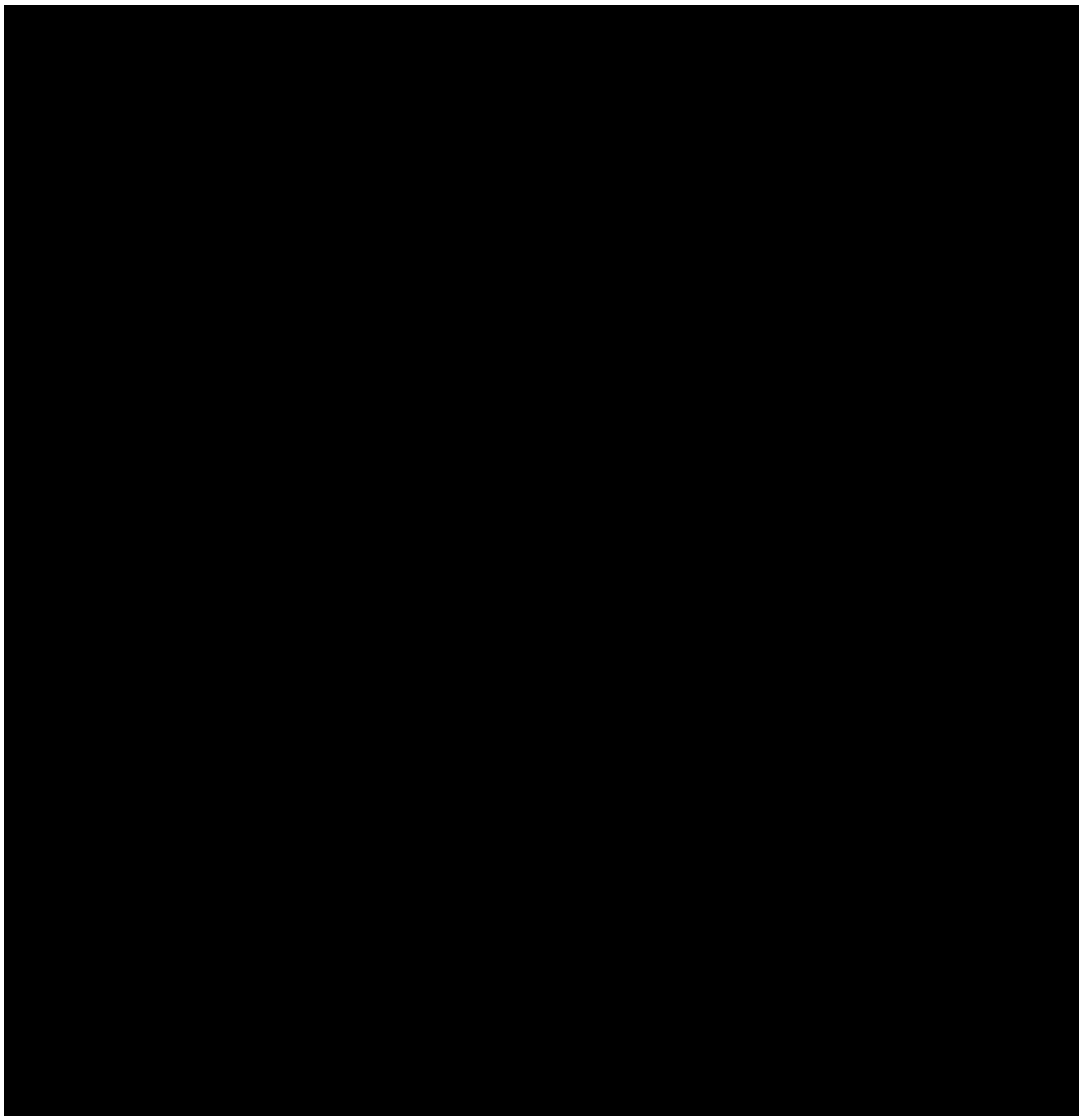
表 3.2-7　燃料取扱機の許容値（1/2Ss450 地震力）（ボルト）

	荷重の組合せの場合
許容せん断応力 f_{so}	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}}\cdot1.5$

3.3　燃料取扱機の解析モデル及び諸元

解析モデルを図 3.3-1～図 3.3-3 に示す。機器諸元を表 3.3-1～表 3.3-4,図 3.3-4 に示す。解析は，地震応答解析モデルにより計算コード「SAP-Ⅳ」を用いたスペクトルモーダル解析法により行う。

図 3.3-1　燃料取扱機　解析モデルの全体図



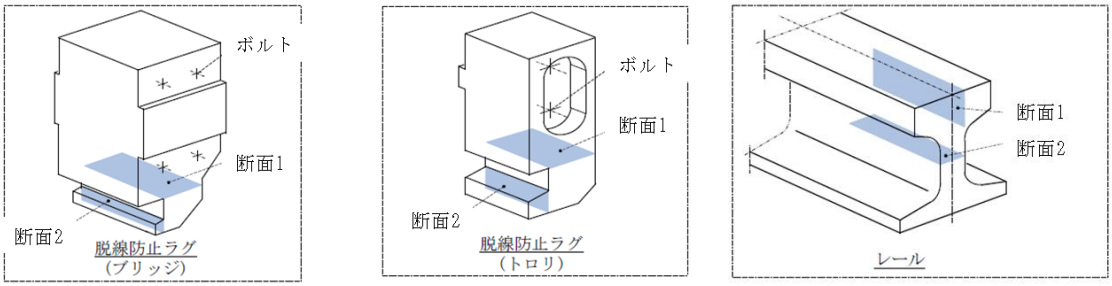


図 3.3-2　燃料取扱機　レール取合部の概要

図 3.3-3　燃料取扱機解析モデル（拘束条件）

表 3.3-1　燃料取扱機　部材機器諸元

部材名		断面積(mm²)	断面係数(mm³)		ねじり断面係数(mm³)
		A	Zy	Zz	Zx
ブリッジ	ガーダ	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	サドル	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	プラットフォーム	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	ギャラリ	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
トロリ	一階床	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	一階柱	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	二階床	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

表 3.3-2　脱線防止ラグ　機器諸元

部材名		断面積(mm²)	断面係数(mm³)
		A_i	Z_i
ブリッジ脱線防止ラグ	断面 1	[redacted]	[redacted]
	断面 2	[redacted]	[redacted]
	ボルト	[redacted]	[redacted]
トロリ脱線防止ラグ	断面 1	[redacted]	[redacted]
	断面 2	[redacted]	[redacted]
	ボルト	[redacted]	[redacted]

表 3.3-3　レール　機器諸元

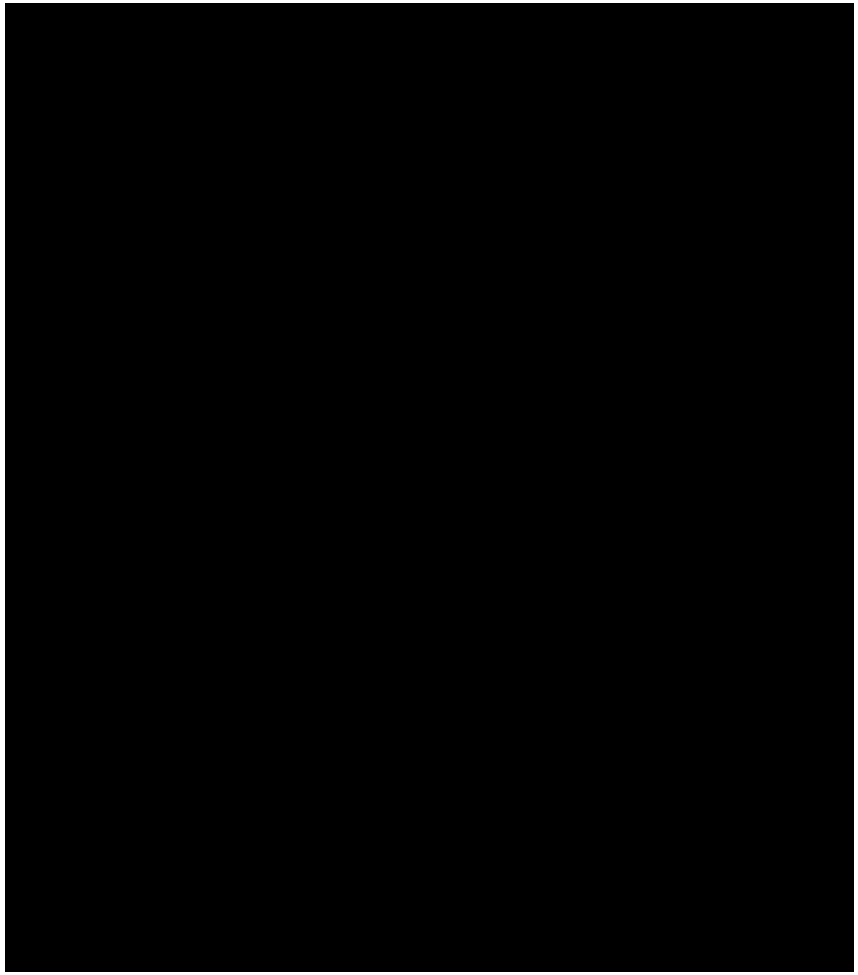
部材名		断面積(mm²)	断面係数(mm³)
		A_i	Z_i
走行レール	断面 1	[redacted]	[redacted]
	断面 2	[redacted]	[redacted]
横行レール	断面 1	[redacted]	[redacted]
	断面 2	[redacted]	[redacted]

表 3.3-4 燃料取扱機　質量

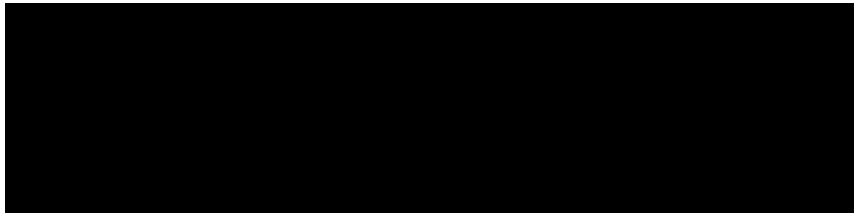
ブリッジ質量	43,000(kg)
トロリ　質量	24,000(kg)

吊荷質量（450(kg)）含む

断面形状（寸法）の詳細を以下に示す。



〈ブリッジ脱線防止ラグ〉



	断面 1	断面 2
厚さ　(mm) 〈a_1，a_2〉	[redacted]	[redacted]
幅　　(mm) 〈b_1，b_2〉	[redacted]	[redacted]
長さ　(mm) 〈h_1，h_2〉	[redacted]	[redacted]

〈トロリ脱線防止ラグ〉

	断面 1	断面 2
厚さ　(mm) 〈a_1，a_2〉	[redacted]	[redacted]
幅　　(mm) 〈b_1，b_2〉	[redacted]	[redacted]
長さ　(mm) 〈h_1，h_2〉	[redacted]	[redacted]

図 3.3-4　断面形状（寸法）諸元

3.4　固有値解析

「3.3　燃料取扱機の解析モデル及び諸元」で示す解析モデルを用いて固有値解析を実施した結果を表 3.4-1 に，振動モード図を図 3.4-1 に示す。数値は，各解析ケースのうち刺激関数が大きい卓越モードを記載する。解析ケース（1）及び（3）は，全体モデルの固有周期（固有振動数の逆数）を示すものであり，鉛直に寄与する卓越固有周期を示す。解析ケース（2）及び（4）は，ブリッジモデルの固有周期を示すものであり，水平（横行方向）に寄与する卓越固有周期を示す。

卓越モードも含め表 3.4-2～3.4-5 に全体的な固有値解析結果を示す。

表 3.4-1　燃料取扱機の固有値解析結果

	解析モデル（トロリ位置）	次数	固有周期（s）	刺激関数（刺激係数）		卓越方向
				水平（横行）方向	鉛直方向	
(1)	トロリ中央	5	0.077	[redacted]	[redacted]	鉛直
(2)	トロリ中央	9	0.037	[redacted]	[redacted]	横行
(3)	トロリ端部	9	0.050	[redacted]	[redacted]	鉛直
(4)	トロリ端部	9	0.037	[redacted]	[redacted]	横行

走行方向は，燃料取扱機がすべる方向であるため，記載を省略する。

解析モデル:トロリ中央（卓越方向:鉛直）

解析モデル:トロリ端部（卓越方向:鉛直）

解析モデル:トロリ中央（卓越方向:横行）

解析モデル:トロリ端部（卓越方向:横行）

図 3.4-1　燃料取扱機の（固有）振動モード図

表 3.4-2 燃料取扱機の固有値解析結果(1)トロリ中央（方向:鉛直）

次数	固有周期（s）	刺激関数（刺激係数）	
		水平（横行）方向	鉛直方向
1	[redacted]	[redacted]	[redacted]
2	[redacted]	[redacted]	[redacted]
3	[redacted]	[redacted]	[redacted]
4	[redacted]	[redacted]	[redacted]
5	0.077	[redacted]	[redacted]
6	[redacted]	[redacted]	[redacted]
7	[redacted]	[redacted]	[redacted]
8	[redacted]	[redacted]	[redacted]
9	[redacted]	[redacted]	[redacted]
10	[redacted]	[redacted]	[redacted]
11	[redacted]	[redacted]	[redacted]
12	[redacted]	[redacted]	[redacted]
13	[redacted]	[redacted]	[redacted]
14	[redacted]	[redacted]	[redacted]
15	[redacted]	[redacted]	[redacted]
16	[redacted]	[redacted]	[redacted]
17	[redacted]	[redacted]	[redacted]
18	[redacted]	[redacted]	[redacted]
19	[redacted]	[redacted]	[redacted]
20	[redacted]	[redacted]	[redacted]
21	[redacted]	[redacted]	[redacted]
22	[redacted]	[redacted]	[redacted]
23	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24	[redacted]	[redacted]	[redacted]
25	[redacted]	[redacted]	[redacted]
26	[redacted]	[redacted]	[redacted]
27	[redacted]	[redacted]	[redacted]
28	[redacted]	[redacted]	[redacted]

表 3.4-3 燃料取扱機の固有値解析結果(2)トロリ中央（方向:横行）

次数	固有周期（s）	刺激関数（刺激係数）	
		水平（横行）方向	鉛直方向
1	[redacted]	[redacted]	[redacted]
2	[redacted]	[redacted]	[redacted]
3	[redacted]	[redacted]	[redacted]
4	[redacted]	[redacted]	[redacted]
5	[redacted]	[redacted]	[redacted]
6	[redacted]	[redacted]	[redacted]
7	[redacted]	[redacted]	[redacted]
8	[redacted]	[redacted]	[redacted]
9	0.037	[redacted]	[redacted]
10	[redacted]	[redacted]	[redacted]
11	[redacted]	[redacted]	[redacted]
12	[redacted]	[redacted]	[redacted]
13	[redacted]	[redacted]	[redacted]
14	[redacted]	[redacted]	[redacted]

表 3.4-4 燃料取扱機の固有値解析結果(3)トロリ端部（方向:鉛直）

次数	固有周期（s）	刺激関数（刺激係数）	
		水平（横行）方向	鉛直方向
1	[redacted]	[redacted]	[redacted]
2	[redacted]	[redacted]	[redacted]
3	[redacted]	[redacted]	[redacted]
4	[redacted]	[redacted]	[redacted]
5	[redacted]	[redacted]	[redacted]
6	[redacted]	[redacted]	[redacted]
7	[redacted]	[redacted]	[redacted]
8	[redacted]	[redacted]	[redacted]
9	0.050	[redacted]	[redacted]
10	[redacted]	[redacted]	[redacted]
11	[redacted]	[redacted]	[redacted]
12	[redacted]	[redacted]	[redacted]
13	[redacted]	[redacted]	[redacted]
14	[redacted]	[redacted]	[redacted]
15	[redacted]	[redacted]	[redacted]
16	[redacted]	[redacted]	[redacted]
17	[redacted]	[redacted]	[redacted]
18	[redacted]	[redacted]	[redacted]
19	[redacted]	[redacted]	[redacted]
20	[redacted]	[redacted]	[redacted]
21	[redacted]	[redacted]	[redacted]
22	[redacted]	[redacted]	[redacted]
23	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24	[redacted]	[redacted]	[redacted]
25	[redacted]	[redacted]	[redacted]
26	[redacted]	[redacted]	[redacted]
27	[redacted]	[redacted]	[redacted]
28	[redacted]	[redacted]	[redacted]

表 3.4-5 燃料取扱機の固有値解析結果(4)トロリ端部（方向:横行）

次数	固有周期（s）	刺激関数（刺激係数）	
		水平（横行）方向	鉛直方向
1	[redacted]	[redacted]	[redacted]
2	[redacted]	[redacted]	[redacted]
3	[redacted]	[redacted]	[redacted]
4	[redacted]	[redacted]	[redacted]
5	[redacted]	[redacted]	[redacted]
6	[redacted]	[redacted]	[redacted]
7	[redacted]	[redacted]	[redacted]
8	[redacted]	[redacted]	[redacted]
9	0.037	[redacted]	[redacted]
10	[redacted]	[redacted]	[redacted]
11	[redacted]	[redacted]	[redacted]
12	[redacted]	[redacted]	[redacted]
13	[redacted]	[redacted]	[redacted]
14	[redacted]	[redacted]	[redacted]

3.5　設計用地震力

3.5.1　設計用床応答スペクトルの作成

(1) 床応答スペクトルの作成条件を表 3.5-1 に示す。

(2) ランウェイガーダの解析に用いる入力地震動（1/2Ss450）の入力方向（3 方向の組合せ）を考慮し，床応答スペクトルを作成する。

(3) 床応答スペクトルに対し，地震動設定の不確かさ等（地盤物性，建屋剛性，地盤バネ定数の算出式，模擬地震波の位相特性等）といった因子の変動に伴う影響を考慮して周期軸方向に±10%拡幅する（JEAG 4601-1987 参照）。

(4) 耐震計算（動的解析）に用いる地震力は，Ⅰ章 2.3 荷重ケースに示す燃料取扱機の停止位置における車輪位置（4 車輪）を節点としたランウェイガーダの時刻歴加速度を入力波として計算した床応答スペクトルを包絡した床応答スペクトルとする。

(5) 燃料取扱機停止位置における各床応答スペクトルを一つの床応答スペクトルに包絡する。

(6) 包絡した床応答スペクトルを図 3.5-1 に示す。

(7) 「3.4 固有値解析」により，各方向別に剛柔判定を行う。柔構造と判断される場合には，動的解析により地震力を算定する。剛構造と判断される場合には，機器・配管系の設置床面の最大応答加速度の 1.2 倍の加速度を震度（1.2ZPA（Zero Period Acceleration））とした静的解析により地震力を算定する。

表 3.5-1　設計用床応答スペクトル作成条件（1/2Ss450 地震力）

項目	内容
据付場所及び 床面高さ(mm)	大型カバー内 T.P.43674（燃料取扱機走行レール天端）
燃料取扱機停止位置 （荷重ケース）	CASE1,CASE2,CASE3, CASE4-①，CASE4-②
地震動	1/2Ss450-1，1/2Ss450-2
方向	NS(横行)，EW（走行），UD（鉛直）
減衰定数※	NS 方向　：2.0% UD 方向　：2.0%（トロリ中央） 　　：1.5%（トロリ端部）
周期	0.05（s)～　1.00（s）
拡幅	±10%
備考	各荷重ケースにおける床応答スペクトルを一つの床応答スペクトルに包絡する

※JEAC4601-2008　第 4 章　機器・配管系の耐震設計　4.4　地震応答解析　参照

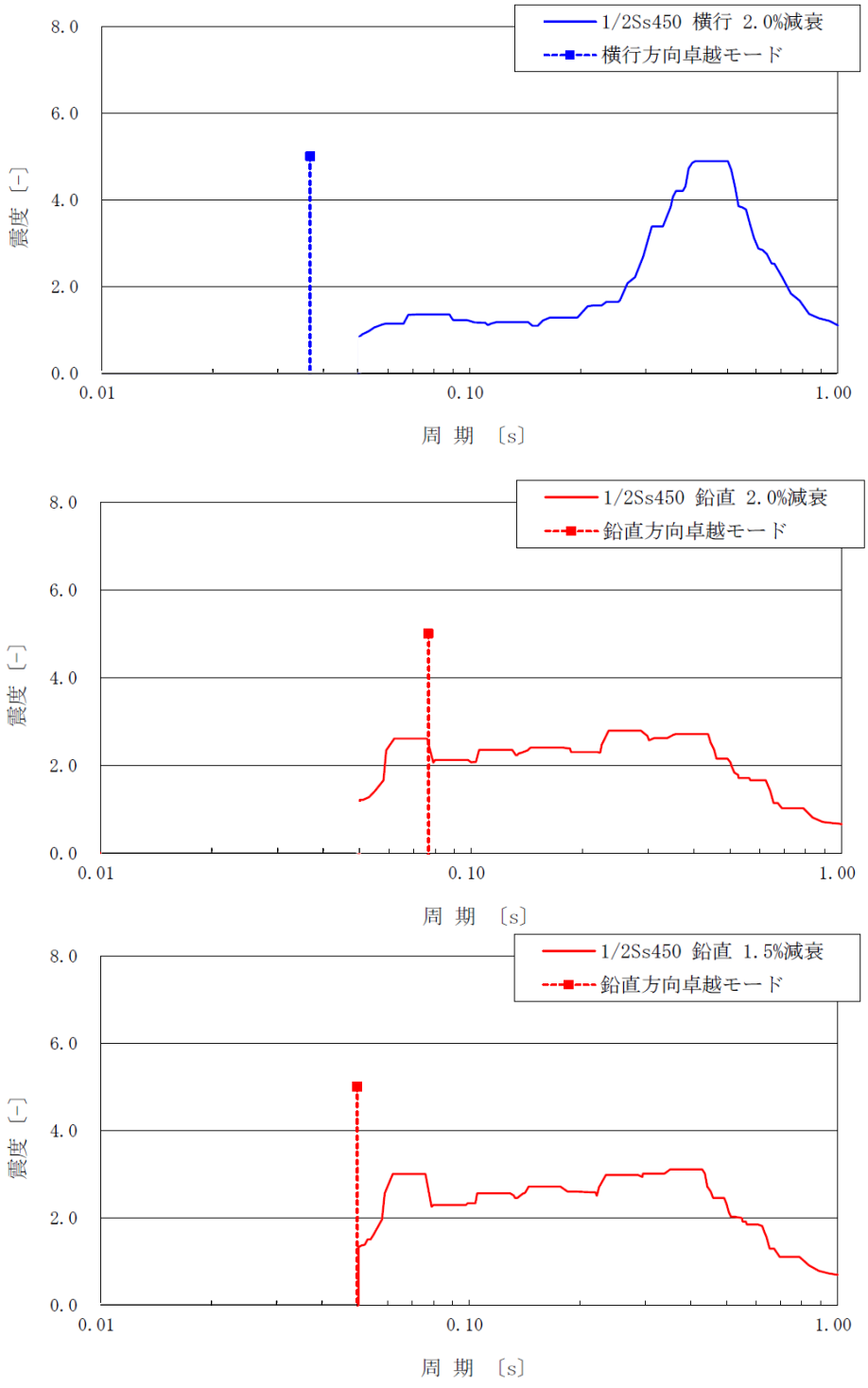


図 3.5-1　床応答スペクトル(1/2Ss450 地震力)※

（上図：横行方向，中央図：鉛直方向（トロリ中央），下図：鉛直方向（トロリ端部））

※走行方向は，すべり方向となるため記載を省略する。

3.5.2　設計用地震力の設定

「3.4　固有値解析」に基づき，各方向における刺激係数が大きい次数を卓越固有周期とし，剛柔判定を行い各方向別に設計用地震力を設定した。具体的には，以下の通り。

(1) 「3.4 固有値解析」結果の剛柔判定により，水平方向の加振に対し剛構造と判断（固有周期 0.05 s 以下）し，鉛直方向の加振に対し柔構造と判断（0.05 s を超過）する。
(2) 剛構造と判断されるブリッジの NS 方向には，機器・配管系の設置床面の最大応答加速度の 1.2 倍の加速度を震度（1.2ZPA）とした静的解析により算定した値を設計用震度として用いる。
(3) ブリッジの走行方向（EW 方向），及びトロリの横行方向（NS 方向）は，レールと車輪のすべりを考慮し，最大静止摩擦係数より求めた値を設計用震度とする。
(4) トロリの EW 方向には，燃料取扱機（全体モデル）ですべるという挙動になるため，すべりを考慮した最大静止摩擦係数より求めた値を設計用震度とする。
(5) 柔構造と判断される鉛直方向には，設計用床応答スペクトルのうち評価上厳しくなる卓越固有周期での震度を設計用震度とする。

以上のことを考慮し，燃料取扱機の設計用震度を表 3.5-2 に定める。

表 3.5-2　設計用地震力(1/2Ss450 地震力)

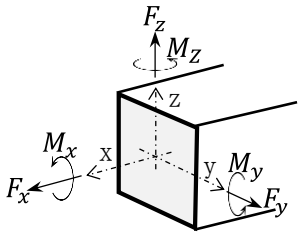
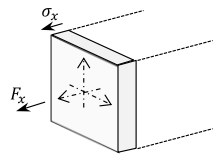
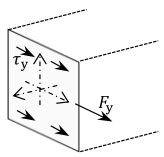
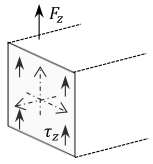
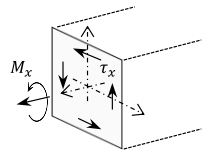
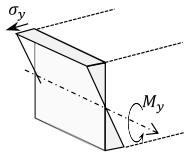
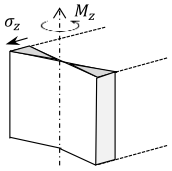
耐震クラス	固有周期(s)※2		設計用震度（NS：横行，EW：走行，UD：鉛直）				
	水平方向	鉛直方向	水平方向				鉛直方向
			ブリッジ		トロリ		
C(B+)※1	0.037	0.077	NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向	UD 方向
			0.84	0.15	0.15	0.15	2.43

※1　( )内は保守的な耐震クラスを示す。
※2　評価上厳しくなる解析モデル：トロリ中央の固有周期を記載する。

3.6　燃料取扱機構造強度評価の計算方法

3.6.1　燃料取扱機ブリッジ，トロリの計算方法

燃料取扱機ブリッジ，トロリの構造強度評価は，下記計算式を用いて算出する。

			
	引張応力	せん断応力（y軸方向）	せん断応力（z軸方向）
			
断面力（断面作用する内力）	ねじり応力	曲げ応力（y軸周り）	曲げ応力（z軸周り）

（個別応力計算式）

$$\sigma_x = \frac{F_x}{A}, \quad \tau_y = \frac{F_y}{A}, \quad \tau_z = \frac{F_z}{A}$$

$$\tau_x = \frac{M_x}{Z_x}, \quad \sigma_y = \frac{M_y}{Z_y}, \quad \sigma_z = \frac{M_z}{Z_z}$$

ここで，

F_x　：軸力，　F_y：せん断力（y 方向），　F_z：せん断力（z 方向）

M_x　：ねじりモーメント

M_y　：曲げモーメント(y 軸周り)，　M_z：曲げモーメント(z 軸周り)

A　：断面積（評価部位断面積）

Z_x　：ねじり断面係数

Z_y　：断面係数（y 軸周り），　Z_Z：断面係数（z 軸周り）

（評価応力）

$$\sigma = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z$$

$$\tau = MAX\left(\sqrt{\left(\tau_x + \tau_y\right)^2 + {\tau_z}^2} \quad , \quad \sqrt{(\tau_x + \tau_z)^2 + {\tau_y}^2}\right)$$

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

σ　：引張応力

τ　：せん断応力

σ_c　：組合せ応力

3.6.2　燃料取扱機ブリッジ，トロリの脱線防止ラグ及び取付けボルトの計算方法

ブリッジ，トロリの脱線防止ラグ及び脱線防止ラグ取付ボルトの構造強度評価は，下記計算式を用いて算出する。

ブリッジ脱線防止ラグ評価断面図

トロリ脱線防止ラグ評価断面図

（個別応力計算式）

①断面 1 の計算式を以下に記載する。

a.　引張応力（曲げ応力）：σ_1

$\sigma_1 =$

σ_1　：断面 1 に作用する曲げ応力

b.　せん断応力：τ_1

c

τ_1　：断面 1 に作用するせん断応力

c.　組合せ応力：σ_{1c}

$\sigma_{1c} =$

σ_{1c}　：断面 1 に作用する組合せ応力
σ_1　：断面 1 に作用する曲げ応力
τ_1　：断面 1 に作用するせん断応力

②断面 2 の計算式を以下に記載する。

a. 引張応力（曲げ応力）：σ_2

$\sigma_2 =$ [redacted]

σ_2 ：断面 2 に作用するに曲げ応力

[redacted]

b. せん断応力：τ_2

$\tau_2 =$ [redacted]

τ_2 ：断面 2 に作用するせん断応力

[redacted]

c. 組合せ応力：σ_{2c}

$\sigma_{2c} =$ [redacted]

σ_{2c} ：断面 2 に作用する組合せ応力
σ_2 ：断面 2 に作用する曲げ応力
τ_2 ：断面 2 に作用するせん断応力

③取付ボルトの計算式を以下に記載する。

$\tau_b =$ [redacted]

τ_b ：取付ボルトに作用するせん断応力

[redacted]

3.6.3　走行/横行レールの計算方法

走行/横行レールの構造強度評価は，下記計算式を用いて算出する。

走行レール/横行レール評価断面図（断面 3）

走行レール/横行レール評価断面図（断面 4）

（個別応力計算式）

①断面 3 の計算式を以下に記載する。

a. 引張応力（曲げ応力）：σ_3

$\sigma_3 =$ [redacted]

σ_3 ：断面 3 に作用する曲げ応力

[redacted]

b. せん断応力：τ_3

$\tau_3 =$ [redacted]

τ_3 ：断面 3 に作用するせん断応力

[redacted]

c. 組合せ応力：σ_{3c}

$\sigma_{3c} =$ [redacted]

σ_{3c} ：断面 3 に作用する組合せ応力
σ_3 ：断面 3 に作用する曲げ応力
τ_3 ：断面 3 に作用するせん断応力

②断面 4 の計算式を以下に記載する。

a. 引張応力（曲げ応力）：σ_4

$\sigma_4 =$ [redacted]

σ_4 ：断面 4 に作用する曲げ応力

[redacted]

b. せん断応力：τ_4

$\tau_4 =$ [redacted]

τ_4 ：断面 4 に作用するせん断応力

[redacted]

c. 組合せ応力：σ_{4c}

$\sigma_{4c} =$ [redacted]

σ_{4c} ：断面 4 に作用する組合せ応力
σ_4 ：断面 4 に作用する曲げ応力
τ_4 ：断面 4 に作用するせん断応力

3.6.4　吊具の計算方法

吊荷荷重を受ける部位を図 3.6-1 に示す。このうち吊荷を直接吊るもので損傷・破断に至る可能性があるワイヤロープ（ワイヤ），フック及びフックピンを評価対象とする。

なお，グラップルボディは荷重伝達経路上の機器で単一構成となるが，フック及びフックピンと比較し断面が大きく算出値は小さいことから評価上厳しい部位であるフック及びフックピンを評価した。

図 3.6-1　荷重伝達経路上の機器図（上図：経路図，下図：概略図）

ワイヤロープ（ワイヤ），フック及びフックピンに作用する荷重を算出する。当該部位に作用する荷重は，吊荷に発生する衝撃荷重で計算する。

- 吊荷の速度算出に当たっては，燃料取扱機，吊荷質量及びワイヤ長さの評価条件を以下のとおり設定する。
- 鉛直方向荷重を考える場合，吊荷の速度変化が大きいワイヤ長さが運用上限位置と運用下限位置の 2 パターンを評価した上で衝撃荷重がより厳しい運用上限位置を用いることとする。
- 吊荷の質量は，定格荷重で評価を実施する。
- 衝撃荷重は，吊荷が持っている運動量の保存則を考慮して算出する。
- 水平方向地震に伴い，吊荷が振り子運動を起こして吊具に遠心力が作用するが，その影響については，軽微であることから，評価においては鉛直方向地震だけを考慮するものとする。

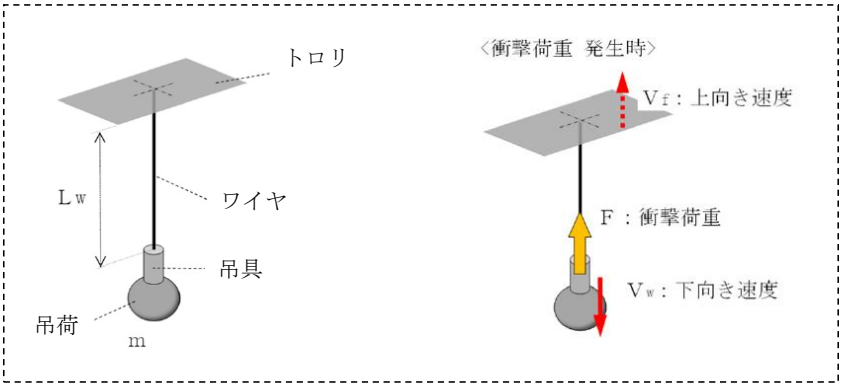


図 3.6-2　吊荷計算モデル概要

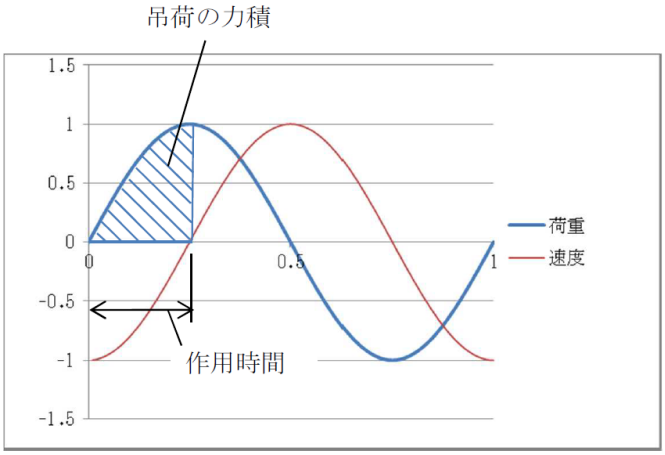


図 3.6-3　吊荷の力積概念図

（個別計算式）吊荷に作用する衝撃荷重について下記計算式を用いて算出する。

衝撃荷重は，（3.6.1）式により計算する。

力積：
$$\int_0^{\frac{T_W}{4}} \mathrm{F}\cdot\sin\left(2\cdot\pi\cdot\frac{\mathrm{t}}{T_W}\right)\cdot\mathrm{dt} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.6.1)$$

$T_W = 2\cdot\pi\cdot\sqrt{\dfrac{m}{k_W}}$ ：吊荷計算モデルから計算される吊荷の固有周期

$k_W = \dfrac{A_W\cdot n_W\cdot E_W}{L_W}$ ：ばね定数

ここでワイヤの機器諸元は，以下の通り

A_W	：ワイヤ１本の断面積	[redacted] (mm²)
E_W	：ワイヤの縦弾性係数	[redacted] (MPa)
L_W	：ワイヤ長さ	[redacted] (mm)
n_W	：ワイヤ本数	[redacted] (-)
m	：吊荷の質量	450 (kg)

ワイヤの下端にある吊荷の運動量の変化は吊荷とトロリの質量や固有値が異なることからV_fとV_Wが同値にならないが，保守的にワイヤの減衰がなく完全弾性衝突を仮定して反発係数を１とする。この際，吊荷の運動量変化を（3.6.2）式で示す。

$$m\cdot(V_f+V_W) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.6.2)$$

ここで，

V_f ：トロリの最大速度

V_W ：吊荷の最大速度

吊荷の運動方向が変化する時間については，ワイヤが完全弾性体で，吊荷とトロリの運動が自由振動系であることを仮定すれば，吊荷の固有周期 T_Wの４分の１となる。

以上から，運動量変化及び作用時間をもとに，衝撃荷重Ｆは（3.6.1）式及び（3.6.2）式から求め，吊荷の自重分を追加して，当該部位に作用する荷重は（3.6.3）式となる。

$$\frac{2\cdot\pi\cdot m\cdot(V_f+V_W)}{T_W}+m\cdot\mathrm{g} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.6.3)$$

3.7　燃料取扱機構造強度評価結果

3.7.1～3.7.4 に各部位に対する応力評価結果を示す。評価の結果，算出応力は許容応力以下であるため，燃料取扱機は，基準地震動Ｓｓから定める入力地震動の振幅を 2 分の 1 にしたものによる地震力（1/2Ss450 地震力）に対して安全機能を維持することを確認した。また本項は，供用状態Ｃｓを用いた許容応力と比較しており，弾性設計用地震動Ｓｄから定める入力地震動の振幅を 2 分の 1 にしたものによる地震力（1/2Sd225 地震力）に対して安全機能を維持することも確認したものである。なお，個別計算結果に示す算出では，表示数値（桁を処理した数値）ではなく，計算結果に基づく元の数値を使用している。

3.7.1　燃料取扱機ブリッジ，トロリの応力評価結果

燃料取扱機ブリッジ，トロリの応力評価結果（評価上厳しくなる条件として解析モデル：トロリ中央）を表 3.7-1 に示す。各評価部位の最大応力点を図 3.7-1 に示す。

表 3.7-1　応力評価結果纏め（1/2Ss450 地震力）　＜ブリッジ，トロリ＞

部位		使用材料	応力の種類	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
ブリッジ	①ガーダ	[redacted]	引張	66	[redacted]
			せん断	7	[redacted]
			組合せ	67	[redacted]
	②サドル	[redacted]	引張	65	[redacted]
			せん断	10	[redacted]
			組合せ	67	[redacted]
	③プラットフォーム	[redacted]	引張	112	[redacted]
			せん断	9	[redacted]
			組合せ	113	[redacted]
	④ギャラリ	[redacted]	引張	122	[redacted]
			せん断	3	[redacted]
			組合せ	122	[redacted]
トロリ	⑤一階床	[redacted]	引張	158	[redacted]
			せん断	8	[redacted]
			組合せ	158	[redacted]
	⑥一階柱	[redacted]	引張	235	[redacted]
			せん断	18	[redacted]
			組合せ	237	[redacted]
		[redacted]	引張	201	[redacted]
			せん断	19	[redacted]
			組合せ	203	[redacted]
	⑦二階床	[redacted]	引張	221	[redacted]
			せん断	33	[redacted]
			組合せ	228	[redacted]
		[redacted]	引張	204	[redacted]
			せん断	12	[redacted]
			組合せ	205	[redacted]

※1 本部材は，4 号機燃料扱機のトロリ構造変更（部材の追設）を行う箇所
（詳細は，「5.1 4 号機燃料取扱機トロリの構造変更について」参照）

※2 使用材料[redacted]の条件下において，より厳しい許容応力となる[redacted]の許容応力を記載

図 3.7-1　各評価部位の最大応力点（1/2Ss450 地震力）　＜ブリッジ，トロリ＞

(個別計算結果)

「3.6 燃料取扱機構造強度評価の計算方法」に基づき応力を算出する。数値は最大応力箇所(トロリ:⑥一階柱)を記載する。

(1) 引張応力:σ

$\sigma =$ [redacted]

σ :引張応力 235(MPa)

[redacted]

(2) せん断応力:τ

$\tau =$ [redacted]

τ :せん断応力 18(MPa)

[redacted]

(3) 組合せ応力:σ_c

$\sigma_c =$ [redacted]

σ_c :組合せ応力 237(MPa)

σ :引張応力 235(MPa)

τ :せん断応力 18(MPa)

3.7.2　燃料取扱機ブリッジ，トロリの脱線防止ラグ及び取付ボルトの応力評価結果

燃料取扱機ブリッジ，トロリの脱線防止ラグ及び取付ボルトの応力評価結果を表 3.7-2 に示す。

表 3.7-2　応力評価結果纏め（1/2Ss450 地震力）　＜脱線防止ラグ及び取付ボルト＞

部位		使用材料	応力の種類	算出応力 (MPa)		許容応力 (MPa)
				断面 1	断面 2	
ブリッジ	脱線防止ラグ	[redacted]	引張	41	43	[redacted]
			せん断	16	12	[redacted]
			組合せ	49	47	[redacted]
	ボルト	[redacted]	せん断	26		[redacted]
トロリ	脱線防止ラグ	[redacted]	引張	20	28	[redacted]
			せん断	5	11	[redacted]
			組合せ	21	33	[redacted]
	ボルト	[redacted]	せん断	49		[redacted]

（個別計算結果）

「3.6 燃料取扱機構造強度評価の計算方法」に基づき応力を算出する。

i)ブリッジ脱線防止ラグ及びボルト

①断面 1 の計算式を以下に記載する。

a. 引張応力（曲げ応力）：σ_1

$\sigma_1 =$ [redacted]

σ_1 ：断面 1 に作用する曲げ応力 41 (MPa)

[redacted]

b. せん断応力：τ_1

$\tau_1 =$ [redacted]

τ_1 ：断面 1 に作用するせん断応力 16 (MPa)

[redacted]

c. 組合せ応力：σ_{1c}

$\sigma_{1c} =$ [redacted]

σ_{1c} ：断面 1 に作用する組合せ応力 49 (MPa)
σ_1 ：断面 1 に作用する曲げ応力 41 (MPa)
τ_1 ：断面 1 に作用するせん断応力 16 (MPa)

②断面 2 の計算式を以下に記載する。

a. 引張応力（曲げ応力）：σ_2

$\sigma_2 =$ [redacted]

σ_2 ：断面 2 に作用するに曲げ応力 43 (MPa)

[redacted]

b. せん断応力：τ_2

$\tau_2 =$ [redacted]

τ_2 ：断面 2 に作用するせん断応力 12 (MPa)

[redacted]

c. 組合せ応力：σ_{2c}

$\sigma_{2c} =$ [redacted]

σ_{2c} ：断面 2 に作用する組合せ応力 47 (MPa)
σ_2 ：断面 2 に作用する曲げ応力 43 (MPa)
τ_2 ：断面 2 に作用するせん断応力 12 (MPa)

③取付ボルトの計算式を以下に記載する。

$\tau_b =$ [redacted]

τ_b ：取付ボルトに作用するせん断応力 26 (MPa)

[redacted]

ii) トロリ脱線防止ラグ及び取付ボルト

①断面 1 の計算式を以下に記載する。

a. 引張応力（曲げ応力）：σ_1

$\sigma_1 =$ [redacted]

σ_1 ：断面 1 に作用する曲げ応力 20 (MPa)

[redacted]

b. せん断応力：τ_1

$\tau_1 =$ [redacted]

τ_1 ：断面 1 に作用するせん断応力 5 (MPa)

[redacted]

c. 組合せ応力：σ_{1c}

$\sigma_{1c} =$ [redacted]

σ_{1c} ：断面 1 に作用する組合せ応力 21 (MPa)
σ_1 ：断面 1 に作用する曲げ応力 20 (MPa)
τ_1 ：断面 1 に作用するせん断応力 5 (MPa)

②断面 2 の計算式を以下に記載する。

a. 引張応力（曲げ応力）：σ_2

$\sigma_2 =$ [redacted]

σ_2 ：断面 2 に作用するに曲げ応力 28 (MPa)

[redacted]

b. せん断応力：τ_2

$\tau_2 =$ [redacted]

τ_2 ：断面 2 に作用するせん断応力 11 (MPa)

[redacted]

c. 組合せ応力：σ_{2c}

$\sigma_{2c} =$ [redacted]

σ_{2c} ：断面 2 に作用する組合せ応力 33 (MPa)
σ_2 ：断面 2 に作用する曲げ応力 28 (MPa)
τ_2 ：断面 2 に作用するせん断応力 11 (MPa)

③取付ボルトの計算式を以下に記載する。

$\tau_b =$ [redacted]

τ_b ：取付ボルトに作用するせん断応力 49 (MPa)

[redacted]

3.7.3　走行/横行レールの応力評価結果

走行レール及び横行レールの応力評価結果を表 3.7-3 に示す。

表 3.7-3　応力評価結果纏め（1/2Ss450 地震力）　＜走行レール及び横行レール＞

部位	使用材料	応力の種類	算出応力 (MPa)		許容応力 (MPa)
			断面 1	断面 2	
走行レール	[redacted]	引張	26	107	[redacted]
		せん断	3	11	[redacted]
		組合せ	26	108	[redacted]
横行レール	[redacted]	引張	30	215	[redacted]
		せん断	6	9	[redacted]
		組合せ	31	216	[redacted]

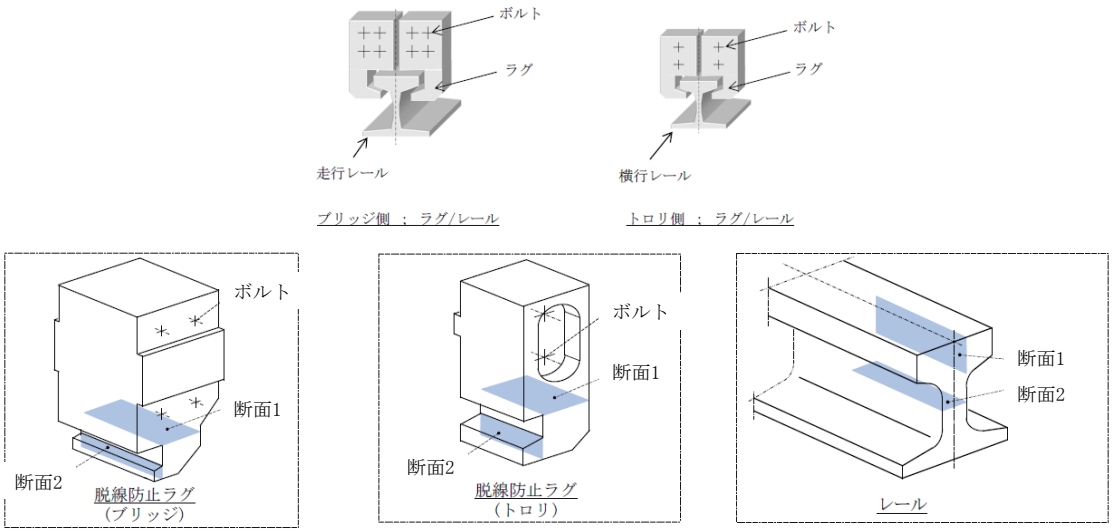


図 3.7-2　脱線防止ラグ，レールの評価断面（図 3.3-2 再掲）

(個別計算結果)

「3.6 燃料取扱機構造強度評価の計算方法」に基づき応力を算出する。

i) 走行レール　(表 3.7-3 に示す断面 1 は断面 3 に，断面 2 は断面 4 に示す。)

①断面 3 の計算式を以下に記載する。

a. 引張応力（曲げ応力）：σ_3

$\sigma_3 =$ [redacted]

σ_3 ：断面 3 に作用する曲げ応力　26 (MPa)

[redacted]

b. せん断応力：τ_3

$\tau_3 =$ [redacted]

τ_3 ：断面 3 に作用するせん断応力　3 (MPa)

[redacted]

c. 組合せ応力：σ_{3c}

$\sigma_{3c} =$ [redacted]

σ_{3c} ：断面 3 に作用する組合せ応力　26 (MPa)
σ_3 ：断面 3 に作用する曲げ応力　26 (MPa)
τ_3 ：断面 3 に作用するせん断応力　3 (MPa)

②断面 4 の計算式を以下に記載する。

a. 引張応力（曲げ応力）：σ_4

$\sigma_4 =$ [redacted]

σ_4 ：断面 4 に作用する曲げ応力 107 (MPa)

[redacted]

b. せん断応力：τ_4

$\tau_4 =$ [redacted]

τ_4 ：断面 4 に作用するせん断応力 11 (MPa)

[redacted]

c. 組合せ応力：σ_{4c}

$\sigma_{4c} =$ [redacted]

σ_{4c} ：断面 4 に作用する組合せ応力 108 (MPa)
σ_4 ：断面 4 に作用する曲げ応力 107 (MPa)
τ_4 ：断面 4 に作用するせん断応力 11 (MPa)

ii) 横行レール （表 3.7-3 に示す断面 1 は断面 3 に，断面 2 は断面 4 に示す。）

①断面 3 の計算式を以下に記載する。

a. 引張応力（曲げ応力）：σ_3

$\sigma_3 =$ [redacted]

σ_3 ：断面 3 に作用する曲げ応力 30 (MPa)

[redacted]

b. せん断応力：τ_3

$\tau_3 =$ [redacted]

τ_3 ：断面 3 に作用するせん断応力 6 (MPa)

[redacted]

c. 組合せ応力：σ_{3c}

$\sigma_{3c} =$ [redacted]

σ_{3c} ：断面 3 に作用する組合せ応力 31 (MPa)
σ_3 ：断面 3 に作用する曲げ応力 30 (MPa)
τ_3 ：断面 3 に作用するせん断応力 6 (MPa)

②断面 4 の計算式を以下に記載する。

a. 引張応力（曲げ応力）：σ_4

$\sigma_4 =$ [redacted]

σ_4 ：断面 4 に作用する曲げ応力 215 (MPa)

[redacted]

b. せん断応力：τ_4

$\tau_4 =$ [redacted]

τ_4 ：断面 4 に作用するせん断応力 9 (MPa)

[redacted]

c. 組合せ応力：σ_{4c}

$\sigma_{4c} =$ [redacted]

σ_{4c} ：断面 4 に作用する組合せ応力 216 (MPa)
σ_4 ：断面 4 に作用する曲げ応力 215 (MPa)
τ_4 ：断面 4 に作用するせん断応力 9 (MPa)

3.7.4　吊具の荷重評価結果

ワイヤロープ（ワイヤ），フック及びフックピンの荷重評価結果を表 3.7-4 に示す。

表 3.7-4　荷重評価結果纏め（1/2Ss450 地震力）　＜ワイヤ，フック及びフックピン＞

評価部位		使用材料	荷重	算出値(N)	許容値(N)
吊具	ワイヤ	[redacted]	吊荷荷重	[redacted]	[redacted]
	フック	[redacted]	吊荷荷重	[redacted]	[redacted]
	フックピン	[redacted]			

（個別計算結果）

「3.6　燃料取扱機構造強度評価の計算方法」に基づき吊荷荷重を算出する。

$$F = \frac{2 \cdot \pi \cdot m \cdot (V_f + V_W)}{T_W} + m \cdot g$$

F	：吊荷荷重	[redacted] (N)
m	：吊荷の質量	450 (kg)
T_W	：単振動モデルから計算される吊荷の固有周期	[redacted] (s)
V_f	：トロリの最大速度	[redacted] (mm/s)
V_W	：吊荷の最大速度	[redacted] (mm/s)
g	：重力加速度	9.80665 (m/s^2)

3.7.5　静的地震力の評価

本項で示した基準地震動Ｓｓから定める入力地震動の振幅を 2 分の 1 にしたものによる地震力（1/2Ss450 地震力）の構造強度評価結果は，静的地震力より大きな地震力を使用して評価を行っていることから，耐震クラス B+の水平震度による評価も満足する結果となる。そのため，燃料取扱機は，静的地震力に対しても安全機能を維持するものである。

表 3.7-5　水平震度の比較

地震条件		水平方向震度	備考
1/2Ss450 地震力	1.2ZPA	0.84	3.5.2 設計用地震力の設定 表 3.5-2　ブリッジ(NS 方向)より※1
静的地震力	1.8Ci※2	0.36	

※1　走行方向（EW 方向）は，燃料取扱機全体がすべる方向であるため，水平震度の比較の記載はしない。

※2　水平震度（1.5Ci）に対し保守的に 1.2 倍したものを使用する。

4.　波及的影響確認評価（Ss900 地震力）

基準地震動Ｓｓによる燃料取扱機構造強度評価を実施し，使用済燃料プール及びプール内に保管している使用済燃料貯蔵ラックへ波及的影響を及ぼさないことを確認する。

4.1　地震応答解析及び評価方法

波及的影響確認評価においては，「3. 地震応答解析及び構造強度評価（1/2Ss450 地震力)」で作成した解析モデル及び諸元等を用いて評価するものであり，入力条件の変更点を表 4.1-1 に整理する。評価結果は，「4.4 燃料取扱機構造強度評価結果」に示す。

表 4.1-1　入力条件変更点

No※	節題	変更の有無	備考
3.1	地震応答解析及び構造強度評価方法	変更無	
3.2	荷重の組合せ及び許容応力	**変更有**	4.2　参照
3.3	燃料取扱機の解析モデル及び諸元	変更無	
3.4	固有値解析	変更無	
3.5	設計用地震力	**変更有**	4.3　参照
3.6	燃料取扱機構造強度評価の計算方法	変更無	

※本章で示す評価方法との比較のため，節番を記載

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び供用状態

燃料取扱機のブリッジ及びトロリ，脱線防止ラグ，走行/横行レール取付部材評価における荷重の組合せ及び供用状態について表 4.2-1 に示す。

表 4.2-1　荷重の組合せ及び供用状態（Ss900 地震力）

耐震クラス	荷重の組合せ	供用状態
C(B+)※1, 2	D＋P_D＋M_D＋Ｓｓ	Ｄｓ

※1　( )内は保守的な耐震クラスを示す。

※2　耐震クラスはＣではあるが，燃料集合体を直接取扱うことから，保守的にB+クラスの地震力で耐震上の安全機能を失わないこと，また，現実的な緩和対策として，基準地震動 Ss に対して燃料集合体が落下しないことを期待するため，本項で基準地震動 Ss に対する耐震性を確認する。

ここで，

D　：死荷重

P_D　：最高使用圧力による荷重

M_D　：機械的荷重

Ss　：基準地震動Ｓｓから定める入力地震力（Ss900 地震力）

Ds　：発電用原子力設計・建設規格の供用状態Ｄ相当の許容応力を基準とし，それに地震により生じる応力に対する特別な制限を加えた供用状態

4.2.2　許容応力

燃料取扱機のブリッジ及びトロリ，脱線防止ラグ，走行/横行レール取付部材の許容応力を表 4.2-2 に示す。

表 4.2-2　許容応力（その他の支持構造物）（Ss900 地震力）

供用状態	許容限界					
Ｄｓ	許容応力（ボルト以外）				許容応力（ボルト）	
	1 次応力					
	引張	圧縮	曲げ	せん断	引張	せん断
	1.5f_t*	1.5f_c*	1.5f_b*	1.5f_s*	1.5f_t*	1.5f_s*

4.2.3　使用材料の許容応力・許容荷重評価条件

使用材料の許容応力評価条件を表　4.2-3 に，許容荷重評価条件を表　4.2-4 に示す。

表 4.2-3　使用材料の許容応力評価条件（Ss900 地震力）

部位		使用材料	周辺環境温度※1 (℃)	Sy※2 (MPa)	Su※3 (MPa)	F 値： min(1.2Sy,0.7Su) (MPa)
燃料取扱機構造物 ブリッジ，トロリ		[redacted]	50	[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	50	[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	50	[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	50	[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	50	[redacted]	[redacted]	[redacted]
		[redacted]	50	[redacted]	[redacted]	[redacted]
ブリッジ	脱線防止ラグ	[redacted]	50	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	ボルト	[redacted]	50	[redacted]	[redacted]	[redacted]
トロリ	脱線防止ラグ	[redacted]	50	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	ボルト	[redacted]	50	[redacted]	[redacted]	[redacted]
走行レール		[redacted]	50	[redacted]	[redacted]	[redacted]
横行レール		[redacted]	50	[redacted]	[redacted]	[redacted]

※1　運転エリアの最高温度（40℃）に余裕を見込んだ 50℃とする。
※2　Sy：材料の設計降伏点　（JSME S NC1-2005/2007　参照）
※3　Su：材料の設計引張強さ（JSME S NC1-2005/2007　参照）
※4　4 号機燃料取扱機の有効活用する使用材料であり，材料検査証明書より周辺環境温度を考慮して材料の設計降伏点，設計引張強さを算出した値（詳細は，「5.2　4 号機燃料取扱機有効活用部材の許容値について」参照）
※5　本部材は，4 号機燃料扱機トロリの構造変更（部材の追設）を行う箇所（詳細は，「5.1 4 号機燃料取扱機トロリの構造変更について」参照）
※6　カタログ記載値
※7　JIS E 1101 記載値

表 4.2-4　使用材料の許容荷重評価条件（Ss900 地震力）

部位		使用材料	周辺環境温度※1 (℃)	定格荷重※2 (N)	安全率※3	許容荷重 (N)
吊具	ワイヤロープ	[redacted]	50	4.413×10^{3}	[redacted]	[redacted]
	フック	[redacted]	50	4.413×10^{3}	[redacted]	[redacted]
	フックピン	[redacted]	50	4.413×10^{3}	[redacted]	[redacted]

※1　運転エリアの最高温度（40℃）に余裕を見込んだ 50℃とする。
※2　定格荷重：450kg（フック，フックピンの重量含む）
※3　安全率は，安全率＝ワイヤロープ破断力×ロープ掛数×（シーブ効率）/荷重（定格荷重）で算定。クレーン構造規格第 54 条（令和元年 6 月 28 日　厚生労働省告示第 48 号）に基づき，5 以上を満足するものである。

燃料取扱機の応力評価に適用する許容引張応力f_t*，許容せん断応力f_s*（f_{so}*），許容曲げ応力f_b*及び許容組合せ応力f*は以下より求める。

表 4.2-5　燃料取扱機の許容値（Ss900 地震力）（ボルト以外）

	荷重の組合せの場合
許容引張応力 f_t*	$\frac{F}{1.5}\cdot1.5$
許容せん断応力 f_s*	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}}\cdot1.5$
許容曲げ応力 f_b*	$\frac{F}{1.5}\cdot1.5$
許容組合せ応力 f*	$\frac{F}{1.5}\cdot1.5$

F 値：JSME S NC1-2005/2007 に基づき定める値　(min(1.2Sy,0.7Su))

表 4.2-6　燃料取扱機の許容値（Ss900 地震力）（ボルト）

	荷重の組合せの場合
許容せん断応力 f_{so}*	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}}\cdot1.5$

4.3　設計用地震力

4.3.1　設計用床応答スペクトルの作成

(1) 床応答スペクトルの作成条件を表 4.3-1 に示す。

(2) ランウェイガーダの解析に用いる入力地震動（Ss900）の入力方向（3 方向の組合せ）を考慮し，床応答スペクトルを作成する。

(3) 床応答スペクトルに対し，地震動設定の不確かさ等（地盤物性，建屋剛性，地盤バネ定数の算出式，模擬地震波の位相特性等）といった因子の変動に伴う影響を考慮して周期軸方向に±10%拡幅する（JEAG 4601-1987 参照）。

(4) 耐震計算（動的解析）に用いる地震力は，Ⅰ章 2.3 荷重ケースに示す燃料取扱機の停止位置における車輪位置（4 車輪）を節点としたランウェイガーダの時刻歴加速度を入力波として計算した床応答スペクトルを包絡した床応答スペクトルとする。

(5) 燃料取扱機停止位置における各床応答スペクトルを一つの床応答スペクトルに包絡する。

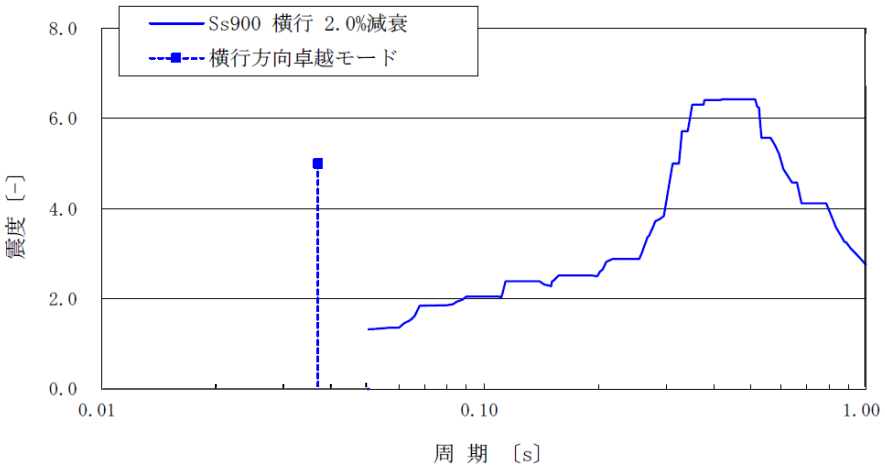
(6) 包絡した床応答スペクトルを図 4.3-1 に示す。

(7) 「3.4 固有値解析」により，各方向別に剛柔判定を行う。柔構造と判断される場合には，動的解析により地震力を算定する。剛構造と判断される場合には，機器・配管系の設置床面の最大応答加速度の 1.2 倍の加速度を震度（1.2ZPA（Zero Period Acceleration））とした静的解析により地震力を算定する。

表 4.3-1　設計用床応答スペクトル作成条件（Ss900 地震力）

項目	内容
据付場所及び 床面高さ(mm)	大型カバー内 T.P.43674（燃料取扱機走行レール天端）
燃料取扱機停止位置 （荷重ケース）	CASE1,CASE2,CASE3, CASE4-①，CASE4-②
地震動	Ss900-1，Ss900-2
方向	NS(横行)，EW（走行），UD（鉛直）
減衰定数	NS 方向　：2.0% UD 方向　：2.0%（トロリ中央）※
周期	0.05（s)～　1.00（s）
拡幅	±10%
備考	各荷重ケースにおける床応答スペクトルを一つの床応答スペクトルに包絡する

※「3.7　燃料取扱設備構造強度評価結果」より，トロリ位置が中央にある場合，評価が厳しくなることを確認していることから，減衰定数として 2.0%を適用する。



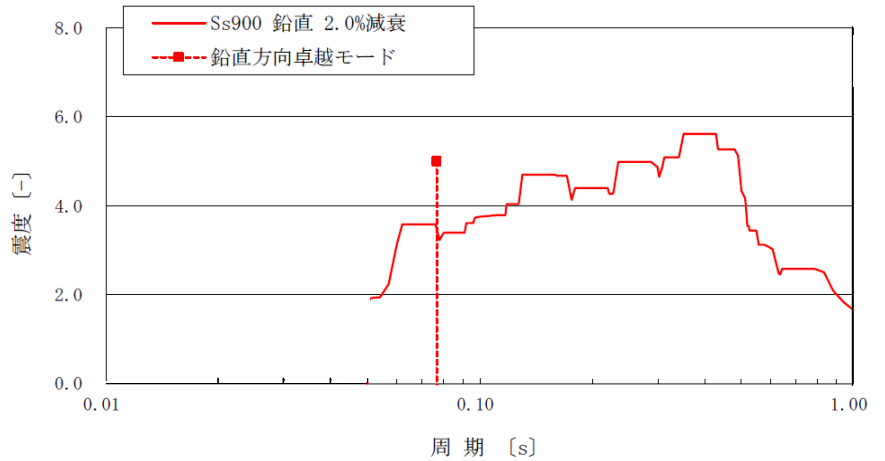


図 4.3-1 床応答スペクトル（Ss900 地震力）※

（上図：横行方向，下図：鉛直方向（トロリ中央））

※走行方向は，すべり方向となるため記載を省略する。

4.3.2　設計用地震力の設定

「3.4　固有値解析」に基づき，各方向における刺激係数が大きい次数を卓越固有周期とし，剛柔判定を行い各方向別に設計用地震力を設定した。具体的には，以下の通り。

(1) 「3.4 固有値解析」結果の剛柔判定により，水平方向の加振に対し剛構造と判断（固有周期 0.05 s 以下）し，鉛直方向の加振に対し柔構造と判断（0.05 s を超過）する。
(2) 剛構造と判断されるブリッジの NS 方向には，機器・配管系の設置床面の最大応答加速度の 1.2 倍の加速度を震度（1.2ZPA）とした静的解析により算定した値を設計用震度として用いる。
(3) ブリッジの走行方向（EW 方向），及びトロリの横行方向（NS 方向）は，レールと車輪のすべりを考慮し，最大静止摩擦係数より求めた値を設計用震度とする。
(4) トロリの EW 方向には，燃料取扱機（全体モデル）ですべるという挙動になるため，すべりを考慮した最大静止摩擦係数より求めた値を設計用震度とする。
(5) 柔構造と判断される鉛直方向には，設計用床応答スペクトルのうち評価上厳しくなる卓越固有周期での震度を設計用震度とする。

以上のことを考慮し，燃料取扱機の設計用震度を表 4.3-2 に定める。

表 4.3-2　設計用地震力（Ss900 地震力）

耐震クラス	固有周期(s)※2		設計用震度（NS：横行，EW：走行，UD：鉛直）				
	水平方向	鉛直方向	水平方向				鉛直方向
			ブリッジ		トロリ		
C(B+)※1	0.037	0.077	NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向	UD 方向
			1.21	0.15	0.15	0.15	3.39

※1　耐震クラスはＣではあるが，燃料集合体を直接取扱うことから，保守的に B+クラスの地震力で耐震上の安全機能を失わないこと，また，現実的な緩和対策として，基準地震動 Ss に対して燃料集合体が落下しないことを期待するため，本項で基準地震動 Ss に対する耐震性を確認する。
※2　評価上厳しくなる解析モデル：トロリ中央の固有周期を記載する。

4.4　燃料取扱機構造強度評価結果

燃料取扱機各部位に対する応力評価結果を示す。評価の結果，算出応力は許容応力以下であるため，燃料取扱機は，上位クラスの設備である使用済燃料プール及び使用済燃料貯蔵ラックへ波及的影響を及ぼすことはない。なお，個別計算結果に示す算出では，表示数値（桁を処理した数値）ではなく，計算結果に基づく元の数値を使用している。

4.4.1　燃料取扱機ブリッジ，トロリの応力評価結果

燃料取扱機ブリッジ，トロリの応力評価結果を表 4.4-1 に示す。各評価部位の最大応力点を図 4.4-1 に示す。

表 4.4-1　応力評価結果纏め（Ss900 地震力）　＜ブリッジ，トロリ＞

部位		使用材料	応力の種類	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
ブリッジ	①ガーダ	[redacted]	引張	85	[redacted]
			せん断	9	[redacted]
			組合せ	86	[redacted]
	②サドル	[redacted]	引張	93	[redacted]
			せん断	13	[redacted]
			組合せ	96	[redacted]
	③プラットフォーム	[redacted]	引張	149	[redacted]
			せん断	11	[redacted]
			組合せ	150	[redacted]
	④ギャラリ	[redacted]	引張	161	[redacted]
			せん断	4	[redacted]
			組合せ	161	[redacted]
トロリ	⑤一階床	[redacted]	引張	225	[redacted]
			せん断	10	[redacted]
			組合せ	226	[redacted]
	⑥一階柱	[redacted]	引張	324	[redacted]
			せん断	24	[redacted]
			組合せ	326	[redacted]
		[redacted]	引張	269	[redacted]
			せん断	28	[redacted]
			組合せ	273	[redacted]
	⑦二階床	[redacted]	引張	308	[redacted]
			せん断	46	[redacted]
			組合せ	318	[redacted]
		[redacted]	引張	279	[redacted]
			せん断	16	[redacted]
			組合せ	280	[redacted]

※4 号機燃料取扱機の材料検査証明書より周辺環境温度を考慮して材料の設計降伏点，設計引張強さから算出した許容応力（詳細は，「5.2 4 号機燃料取扱機有効活用部材の許容値について」参照）

図 4.4-1　各評価部位の最大応力点（Ss900 地震力）　＜構造物フレーム＞

（個別計算結果）

「3.6 燃料取扱機構造強度評価の計算方法」に基づき応力を算出する。数値は最大応力箇所（トロリ：⑥一階柱）を記載する。

(1) 引張応力：σ

$\sigma =$ [redacted]

σ ：引張応力 324 (MPa)

[redacted]

(2) せん断応力：τ

$\tau =$ [redacted]

τ ：せん断応力 24 (MPa)

[redacted]

(3) 組合せ応力：σ_c

$\sigma_c =$ [redacted]

σ_c ：組合せ応力 326 (MPa)

σ ：引張応力 324 (MPa)

τ ：せん断応力 24 (MPa)

4.4.2　燃料取扱機ブリッジ，トロリの脱線防止ラグ及び取付ボルトの応力評価結果

燃料取扱機ブリッジ，トロリの脱線防止ラグ及び取付ボルトの応力評価結果を表 4.4-2 に示す。

表 4.4-2　応力評価結果纏め（Ss900 地震力）　＜脱線防止ラグ及び取付ボルト＞

部位		使用材料	応力の種類	算出応力 (MPa)		許容応力 (MPa)
				断面 1	断面 2	
ブリッジ	脱線防止ラグ	[redacted]	引張	64	80	[redacted]
			せん断	24	22	[redacted]
			組合せ	76	88	[redacted]
	ボルト	[redacted]	せん断	38		[redacted]
トロリ	脱線防止ラグ	[redacted]	引張	35	51	[redacted]
			せん断	7	20	[redacted]
			組合せ	36	61	[redacted]
	ボルト	[redacted]	せん断	82		[redacted]

（個別計算結果）

「3.6 燃料取扱機構造強度評価の計算方法」に基づき応力を算出する。

i)ブリッジ脱線防止ラグ及びボルト

①断面 1 の計算式を以下に記載する。

a. 引張応力（曲げ応力）：σ_1

$\sigma_1 =$ [redacted]

σ_1 ：断面 1 に作用する曲げ応力 64 (MPa)

[redacted]

b. せん断応力：τ_1

$\tau_1 =$ [redacted]

τ_1 ：断面 1 に作用するせん断応力 24 (MPa)

[redacted]

c. 組合せ応力：σ_{1c}

$\sigma_{1c} =$ [redacted]

σ_{1c} ：断面 1 に作用する組合せ応力 76 (MPa)
σ_1 ：断面 1 に作用する曲げ応力 64 (MPa)
τ_1 ：断面 1 に作用するせん断応力 24 (MPa)

②断面 2 の計算式を以下に記載する。

a. 引張応力（曲げ応力）：σ_2

$\sigma_2 =$ [redacted]

σ_2 ：断面 2 に作用するに曲げ応力 80 (MPa)

[redacted]

b. せん断応力：τ_2

$\tau_2 =$ [redacted]

τ_2 ：断面 2 に作用するせん断応力 22 (MPa)

[redacted]

c. 組合せ応力：σ_{2c}

$\sigma_{2c} =$ [redacted]

σ_{2c} ：断面 2 に作用する組合せ応力 88 (MPa)
σ_2 ：断面 2 に作用する曲げ応力 80 (MPa)
τ_2 ：断面 2 に作用するせん断応力 22 (MPa)

③取付ボルトの計算式を以下に記載する。

$\tau_b =$ [redacted]

τ_b ：取付ボルトに作用するせん断応力 38 (MPa)

[redacted]

ii) トロリ脱線防止ラグ及び取付ボルト

①断面 1 の計算式を以下に記載する。

a. 引張応力（曲げ応力）：σ_1

$\sigma_1 =$ [redacted]

σ_1 ：断面 1 に作用する曲げ応力 35 (MPa)

[redacted]

b. せん断応力：τ_1

$\tau_1 =$ [redacted]

τ_1 ：断面 1 に作用するせん断応力 7 (MPa)

[redacted]

c. 組合せ応力：σ_{1c}

$\sigma_{1c} =$ [redacted]

σ_{1c} ：断面 1 に作用する組合せ応力 36 (MPa)
σ_1 ：断面 1 に作用する曲げ応力 35 (MPa)
τ_1 ：断面 1 に作用するせん断応力 7 (MPa)

②断面 2 の計算式を以下に記載する。

a. 引張応力（曲げ応力）：σ_2

$\sigma_2 =$ [redacted]

σ_2 ：断面 2 に作用するに曲げ応力 51 (MPa)

[redacted]

b. せん断応力：τ_2

$\tau_2 =$ [redacted]

τ_2 ：断面 2 に作用するせん断応力 20 (MPa)

[redacted]

c. 組合せ応力：σ_{2c}

$\sigma_{2c} =$ [redacted]

σ_{2c} ：断面 2 に作用する組合せ応力 61 (MPa)
σ_2 ：断面 2 に作用する曲げ応力 51 (MPa)
τ_2 ：断面 2 に作用するせん断応力 20 (MPa)

③取付ボルトの計算式を以下に記載する。

$\tau_b =$ [redacted]

τ_b ：取付ボルトに作用するせん断応力 82 (MPa)

[redacted]

4.4.3　走行/横行レールの応力評価結果

走行レール及び横行レールの応力評価結果を表 4.4-3 に示す。

表 4.4-3　応力評価結果纏め（Ss900 地震力）　＜走行レール及び横行レール＞

部位	使用材料	応力の種類	算出応力 (MPa)		許容応力 (MPa)
			断面 1	断面 2	
走行レール	[redacted]	引張	42	156	[redacted]
		せん断	5	16	[redacted]
		組合せ	42	158	[redacted]
横行レール	[redacted]	引張	52	345	[redacted]
		せん断	11	15	[redacted]
		組合せ	56	345	[redacted]

(個別計算結果)

「3.6 燃料取扱機構造強度評価の計算方法」に基づき応力を算出する。

i) 走行レール (表 4.4-3 に示す断面 1 は断面 3 に，断面 2 は断面 4 に示す。)

①断面 3 の計算式を以下に記載する。

a. 引張応力（曲げ応力）：σ_3

$\sigma_3 =$ [redacted]

σ_3 ：断面 3 に作用する曲げ応力 42 (MPa)

[redacted]

b. せん断応力：τ_3

$\tau_3 =$ [redacted]

τ_3 ：断面 3 に作用するせん断応力 5 (MPa)

[redacted]

c. 組合せ応力：σ_{3c}

$\sigma_{3c} =$ [redacted]

σ_{3c} ：断面 3 に作用する組合せ応力 42 (MPa)
σ_3 ：断面 3 に作用する曲げ応力 42 (MPa)
τ_3 ：断面 3 に作用するせん断応力 5 (MPa)

②断面 4 の計算式を以下に記載する。

a. 引張応力（曲げ応力）：σ_4

$\sigma_4 =$ [redacted]

σ_4 ：断面 4 に作用する曲げ応力 156 (MPa)

[redacted]

b. せん断応力：τ_4

$\tau_4 =$ [redacted]

τ_4 ：断面 4 に作用するせん断応力 16 (MPa)

[redacted]

c. 組合せ応力：σ_{4c}

$\sigma_{4c} =$ [redacted]

σ_{4c} ：断面 4 に作用する組合せ応力 158 (MPa)
σ_4 ：断面 4 に作用する曲げ応力 156 (MPa)
τ_4 ：断面 4 に作用するせん断応力 16 (MPa)

ii) 横行レール （表 4.4-3 に示す断面 1 は断面 3 に，断面 2 は断面 4 に示す。）

①断面 3 の計算式を以下に記載する。

a. 引張応力（曲げ応力）：σ_3

$\sigma_3 =$ [redacted]

σ_3 ：断面 3 に作用する曲げ応力 52 (MPa)

[redacted]

b. せん断応力：τ_3

$\tau_3 =$ [redacted]

τ_3 ：断面 3 に作用するせん断応力 11 (MPa)

[redacted]

c. 組合せ応力：σ_{3c}

$\sigma_{3c} =$ [redacted]

σ_{3c} ：断面 3 に作用する組合せ応力 56 (MPa)
σ_3 ：断面 3 に作用する曲げ応力 52 (MPa)
τ_3 ：断面 3 に作用するせん断応力 11 (MPa)

②断面 4 の計算式を以下に記載する。

a. 引張応力（曲げ応力）：σ_4

$\sigma_4 =$ [redacted]

σ_4 ：断面 4 に作用する曲げ応力 345 (MPa)

[redacted]

b. せん断応力：τ_4

$\tau_4 =$ [redacted]

τ_4 ：断面 4 に作用するせん断応力 15 (MPa)

[redacted]

c. 組合せ応力：σ_{4c}

$\sigma_{4c} =$ [redacted]

σ_{4c} ：断面 4 に作用する組合せ応力 345 (MPa)
σ_4 ：断面 4 に作用する曲げ応力 345 (MPa)
τ_4 ：断面 4 に作用するせん断応力 15 (MPa)

4.4.4　吊具の荷重評価結果

ワイヤロープ（ワイヤ），フック及びフックピンの荷重評価結果を表 4.4-4 に示す。

表 4.4-4　荷重評価結果纏め（Ss900 地震力）　＜ワイヤ，フック及びフックピン＞

評価部位		使用材料	荷重	算出値(N)	許容値(N)
吊具	ワイヤ	[redacted]	吊荷荷重	[redacted]	[redacted]
	フック	[redacted]	吊荷荷重	[redacted]	[redacted]
	フックピン	[redacted]			

（個別計算結果）

「3.6　燃料取扱機構造強度評価の計算方法」に基づき吊荷荷重を算出する。

$$F = \frac{2 \cdot \pi \cdot m \cdot (V_f + V_W)}{T_W} + m \cdot g$$

F	：吊荷荷重	[redacted] (N)
m	：吊荷の質量	450 (kg)
T_W	：単振動モデルから計算される吊荷の固有周期	[redacted] (s)
V_f	：トロリの最大速度	[redacted] (mm/s)
V_W	：吊荷の最大速度	[redacted] (mm/s)
g	：重力加速度	9.80665 (m/s^2)

5.　燃料取扱機の耐震計算書に関する補足説明

5.1　4 号機燃料取扱機トロリの構造変更について

4 号機燃料取扱機を有効活用するにあたり，トロリの構造部材の一部を構造変更する。

図 5.1-1 に示す追設部材は，4 号機燃料取り出し作業実績より燃料取扱機操作者や作業員が燃料取扱機の機上より使用済燃料プールを上空から目視することを目的とする。

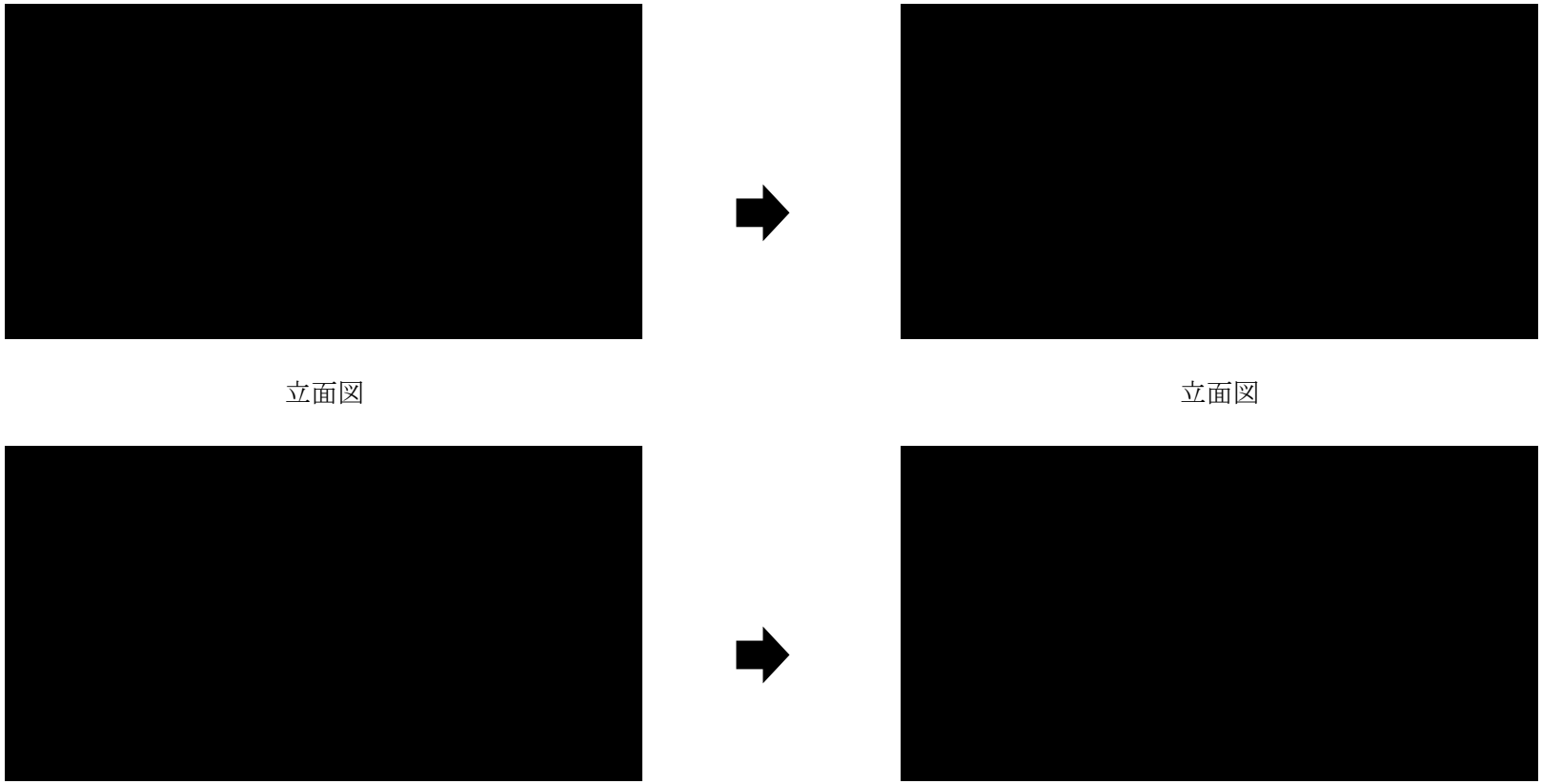
なお，本追設部材について，4 号機燃料取扱機のトロリと異なる材質（材料）のものを一部使用する（表 5.1-1 参照)。異なる材質を使用する理由として，設計過程において同じ材質では応力評価結果が使用材料の許容値を超過するため，超過した部位を高強度の材質に変更した。この変更による構造強度上の問題はないことを確認している。

表 5.1-1　燃料取扱機（トロリ）の使用材料変更点

部位		使用材料（4 号機）	使用材料（1 号機）
トロリ	⑤一階床	[redacted]	[redacted]
	⑥一階柱	[redacted]	[redacted]
			[redacted]
	⑦二階床	[redacted]	[redacted]
			[redacted]

構造変更前(4 号機燃料取扱機)

構造変更後（1 号機燃料取扱機）



立面図

立面図

ホイストは撤去対象

側面図

側面図

図 5.1-1　燃料取扱機構造変更図（構造変更前：左図，構造変更後：右図）

※構造変更図には，階段の乗り込み位置等配置条件により生じる変更も含む

5.2　4 号機燃料取扱機有効活用部材の許容値について

燃料取扱機の耐震計算書「4. 波及的影響確認評価（Ss900)」において，トロリ（⑦二階床）のうち，4 号機燃料取扱機の有効活用部材の許容値は，材料検査証明書を用いて評価した（表 5.2-1 参照)。

材料検査証明書とは，材料の製造業者が発行する製品の品質や特性に関する詳細な情報を含む証明書を示す。具体的には，材料の化学成分や機械的性質，さらには製造ロットや製造日などの情報が記載される。特に構造強度評価においては，機械的性質の降伏点や引張強さが製造されたものに対し個別に証明するものとなる。

表 5.2-1　材料検査証明書（周辺環境温度（50℃））における降伏点(Sy)，引張強さ(Su)

[redacted]	周辺環境温度※1 (℃)	Sy (MPa)	Su (MPa)
材料検査証明書	50	[redacted]	[redacted]
規格※2	50	[redacted]	[redacted]

※1　運転エリアの最高温度（40℃）に余裕を見込んだ 50℃とする。

※2　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（JSME S NC1-2005/2007）

Ⅲ章　クレーン耐震計算書

1.　計算書概要

1.1　評価方針

クレーンの耐震評価は，多質点はりモデルを用いて「Ⅰ章 2.3　荷重ケース」に示すクレーンの停止位置におけるランウェイガーダの時刻歴加速度波形を，3 方向同時に入力した非線形時刻歴応答解析を適用する。解析結果が，評価部位の許容値内に収まることを「3.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す方法で確認する。また基準地震Ｓｓに対して応力が，許容限界の範囲内に収まることを「4.1 地震応答解析及び評価方法」に示す方法にて上位クラスの設備に波及的影響を及ぼさないことを確認する。確認結果を「4.4 クレーン構造強度評価結果」に示す。

クレーンの耐震評価フローを図 1.1-1 に示す（解析の詳細は，次項に示す）。

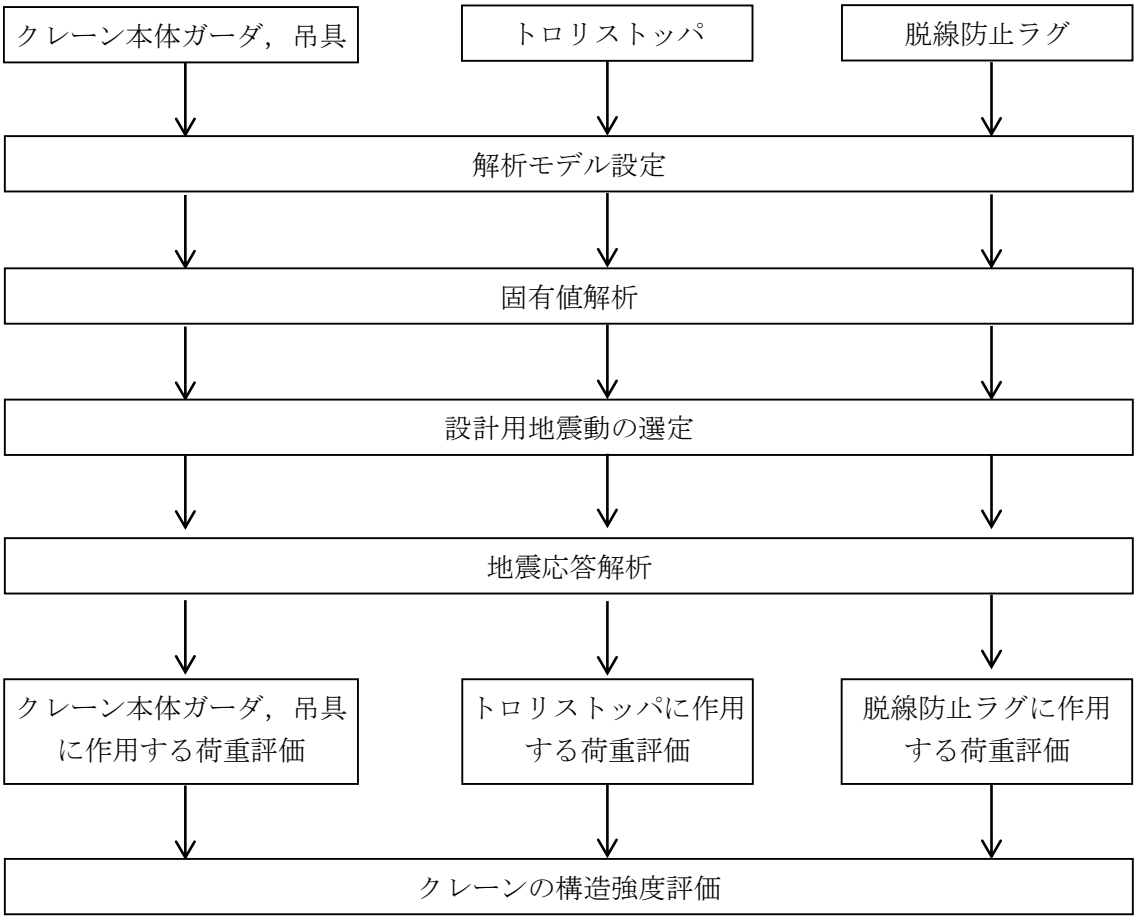


図 1.1-1　クレーンの耐震評価フロー

1.2　適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準を以下に示す。

（社）日本電気協会発行

(1) 原子力発電所耐震設計技術指針　（JEAG 4601・補-1984）

(2) 原子力発電所耐震設計技術指針　（JEAG 4601-1987）

(3) 原子力発電所耐震設計技術指針 追補版　（JEAG 4601-1991）

(4) 原子力発電所耐震設計技術規程　（JEAC 4601-2008）

（社）日本機械学会発行

(5) 発電用原子力設備規格　設計・建設規格　（JSME S NC1-2005）

(6) 発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2007 年追補版）（JSME S NC1-2007）

(7) 発電用原子力設備規格　材料規格　（JSME S NJ1-2012）

厚生労働省告示

(8) クレーン構造規格　（令和元年 6 月 28 日　厚生労働省告示第 48 号）

1.3　計算精度と数値の丸め方

本書での数値の丸め方は，下表の通り。

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	－	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位※
温度	℃	－	－	整数位
質量	kg	－	－	整数位
長さ	mm	－	－	整数位※
算出荷重	N	小数点以下第 4 位	切上げ	小数点以下第 3 位
許容荷重	N	小数点以下第 4 位	切捨て	小数点以下第 3 位
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

※設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は，小数点以下第 1 位表示とする。

2.　評価部位

クレーンの耐震評価は，「3.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき，クレーン本体及び吊荷の落下により，上位クラス施設が損傷することを防止するために，クレーン本体，転倒防止装置，及び吊具（ワイヤロープ及びフック）を対象に実施する。

3.　地震応答解析及び構造強度評価（1/2Ss450 地震力）

3.1　地震応答解析及び構造強度評価方法

(1) 走行方向（EW 方向）の水平力

a. クレーンは，クレーン本体ガーダを介してトロリが横行レール上に乗っている構造で建屋とは固定されないため，最大静止摩擦力以上の水平力が走行方向(EW 方向)に加えられた場合，すべりが生じる。このため，クレーン自体には，レールと走行車輪間の最大静止摩擦力以上の水平力は加わらない。

b. サドルの車輪は 8 個であり，そのうち 2 個は摩擦を受ける駆動輪であり，他の 6 個は従動輪である。

c. 駆動輪は，電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため，地震の加速度を車輪部に入れると回転部分が追随できず，最大静止摩擦力以上の力が加えられた場合，すべりが生じる。

d. 従動輪は，回転部分が連結されていないため，駆動輪のみで水平力を受ける。

e. トロリは，走行方向（EW 方向）水平力が横行レールに対して直角方向であり，トロリが転倒防止装置（トロリストッパ）で拘束されているため，水平力がクレーン本体ガータに作用する。

以上のことを踏まえると，最大静止摩擦係数をμ =0.3 とすれば，走行方向(EW 方向)の水平力は鉛直方向荷重×μ × 2/8 ＝鉛直方向荷重× 0.075 である。

(2) 横行方向（NS 方向）の水平力

a. ガーダの関係

横行方向（NS 方向）は，走行レールに対して直角方向であり，ガータが転倒防止装置（脱線防止ラグ）で拘束されているため，水平力がガーダに作用する。

b. トロリの関係

(a) トロリはガーダ上の横行レール上に載っている構造で，ガーダとは拘束されていないため，最大静止摩擦力以上の水平力がトロリに加えられた場合，すべりが生じる。このため，トロリ自身にはレールと横行車輪間の最大静止摩擦力以上の水平力は加わらない。

(b) トロリの車輪は 4 個であり，そのうち 2 個は摩擦を受ける駆動輪であり，他の 2 個は従動輪である。

(c) トロリの駆動輪は，電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため，地震の加速度を車輪部に入れると回転部分が追随できず，最大静止摩擦力以上の力が加えられた場合，すべりが生じる。

(d) トロリの従動輪は，回転部分が連結されていないので，駆動輪のみで水平力を受ける。

以上のことを踏まえると，最大静止摩擦係数をμ＝0.3 とすれば，横行方向(NS 方向)の水平力は鉛直方向荷重×μ× 2/4 ＝鉛直方向荷重×0.15 である。

(3) 鉛直方向（UD 方向）

クレーンは，鉛直下向き方向はランウェイガーダにより支持される。鉛直上向き方向には，転倒防止装置（脱線防止ラグ）によって浮き上がりの挙動が制限されクレーンの構造体に作用する。

3.2　荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1　荷重の組合せ及び供用状態

クレーン本体，転倒防止装置，吊具の部材評価における荷重の組合せ及び供用状態について表 3.2-1，表 3.2-2 に示す。

クレーンの耐震クラスは C ではあるが，燃料集合体を装填した構内用輸送容器を直接取扱うことから，保守的に B+クラスの評価を行う。表 3.2-1 には，基準地震動Ｓｓから定める入力地震動の振幅を 2 分の 1 にしたものによる地震力(1/2Ss450 地震力)に対して，供用状態はＤｓを適用するものとする。

「3.4 固有値解析」の結果，クレーン水平（横行）方向の固有周期は，2022 年 3 月 16 日の福島県沖地震の地震動が 1/2Ss450 を上回った周期帯に固有周期を有するため 2022 年 3 月 16 日の福島県沖地震の地震動を考慮する。

また，表 3.2-2 では耐震クラス B+の評価にあたり共振のおそれを考慮し，弾性設計用地震動Ｓｄから定める入力地震動の振幅を 2 分の 1 にしたものによる地震力（1/2Sd225 地震力）に対して，供用状態はＣｓを適用するものとする。

なお，使用済燃料プール等への波及的影響の確認（具体的には，基準地震動 Ss に対して構内用輸送容器が落下しないことを期待するため，基準地震動 Ss に対する耐震性を確認）については，「4. 波及的影響確認評価(Ss900 地震力)」に記載する。

表 3.2-1　荷重の組合せ及び供用状態(1/2Ss450　機能維持)

耐震クラス	荷重の組合せ	供用状態
C(B+)※1	Ｄ＋P_D＋M_D＋1/2 Ｓｓ	Ｄｓ※2

※1　( )内は保守的な耐震クラスを示す。

※2　本計算書では，1/2Sd 地震力に対する供用状態 Cs の評価を省略するため，1/2Ss 地震力に対する供用状態 Cs の評価を実施する。

ここで,

D　　：死荷重

P_D　　：最高使用圧力による荷重

M_D　　：機械的荷重

1/2Ss　：基準地震動Ｓｓから定める入力地震動の振幅を 2 分の 1 にしたものによる地震力(1/2Ss450 地震力)及び 2022 年 3 月 16 日の福島県沖地震の地震力（3.16 地震力）

Ds　　：発電用原子力設計・建設規格の供用状態Ｄ相当の許容応力を基準とし，それに地震により生じる応力に対する特別な制限を加えた供用状態

表 3.2-2　荷重の組合せ及び供用状態(1/Sd225 弾性範囲)

耐震クラス	荷重の組合せ	供用状態
C(B+)※1	Ｄ＋P_D＋M_D＋1/2 Ｓｄ	Ｃｓ

※1　( )内は保守的な耐震クラスを示す。

ここで,

D　　：死荷重

P_D　　：最高使用圧力による荷重

M_D　　：機械的荷重

1/2 Sd　：弾性設計用地震動Ｓｄから定める入力地震動の振幅を 2 分の 1 にしたものによる地震力(1/2Sd225 地震力)

Cs　　：発電用原子力設計・建設規格の供用状態Ｃ相当の許容応力を基準とし，それに地震により生じる応力に対する特別な制限を加えた供用状態

3.2.2　許容応力

クレーン本体，転倒防止装置の許容応力を表 3.2-3 に示す。

表 3.2-3　許容応力（その他の支持構造物）(1/2Ss450 地震力)

供用状態	許容限界					
Ｃｓ	許容応力（ボルト以外）				許容応力（ボルト）	
	1 次応力					
	引張	圧縮	曲げ	せん断	引張	せん断
	1.5f_t	1.5f_c	1.5f_b	1.5f_s	1.5f_t	1.5f_s

3.2.3　使用材料の許容応力・許容荷重評価条件

使用材料の許容応力評価条件を表 3.2-4 に，許容荷重評価条件を表 3.2-5 に示す。

表 3.2-4　使用材料の許容応力評価条件（1/2Ss450 地震力）

部位		使用材料	周辺環境温度※1 (℃)	Sy※2 (MPa)	Su※3 (MPa)	F 値：min(Sy,0.7Su) (MPa)
フレーム	ガーダ	[redacted]	50	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	サドル	[redacted]	50	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	作業台	[redacted]	50	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	脚部	[redacted]	50	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	支柱	[redacted]	50	[redacted]	[redacted]	[redacted]
転倒防止措置	脱線防止ラグ	[redacted]	50	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	トロリストッパ	[redacted]	50	[redacted]	[redacted]	[redacted]

※1　運転エリアの最高温度（40℃）に余裕を見込んだ 50℃とする。
※2　Sy：材料の設計降伏点　（JSME S NC1-2005/2007　参照）
※3　Su：材料の設計引張強さ（JSME S NC1-2005/2007　参照）
※4　JSME S NJ1-2012　参照

表 3.2-5　使用材料の許容荷重評価条件（1/2Ss450 地震力）

部位		使用材料	周辺環境温度※1 (℃)	定格荷重※2 (N)	安全率※3	許容荷重 (N)
吊具	ワイヤロープ	[redacted]	50	8.532×10^{5}	[redacted]	[redacted]
	フック	[redacted]	50	7.846×10^{5}	[redacted]	[redacted]

※1　運転エリアの最高温度（40℃）に余裕を見込んだ 50℃とする。
※2　定格荷重：80,000(kg)，フック自重：7,000(kg)を考慮
※3　安全率は，安全率＝ワイヤロープ破断力×ロープ掛数×（シーブ効率）/荷重（定格荷重）で算定。クレーン構造規格第 54 条（令和元年 6 月 28 日　厚生労働省告示第 48 号）に基づき，5 以上を満足するものである。

クレーンの応力評価に適用する許容引張応力 f_t，許容せん断応力f_s，許容曲げ応力f_b及び許容組合せ応力fは以下より求める。

表 3.2-6　クレーンの許容値（ボルト以外）

	荷重の組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F}{1.5}\cdot1.5$
許容せん断応力 f_s	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}}\cdot1.5$
許容曲げ応力 f_b	$\frac{F}{1.5}\cdot1.5$
許容組合せ応力 f	$\frac{F}{1.5}\cdot1.5$

F 値：JSME S NC1-2005/2007 に基づき定める値　(min(Sy,0.7Su))

3.3　クレーンの解析モデル及び諸元

解析モデルを図 3.3-1 に示す。機器諸元を表 3.3-1～表 3.3-3，図 3.3-3 に示す。解析は，地震応答解析モデルにより計算コード「ABAQUS」を用いた直接積分法による時刻歴解析により行う。

図 3.3-1　クレーンの解析モデル

〈非線形要素〉

	車輪とレール間のすべりの挙動を模擬するためギャップ要素を用いる。
	接触部位の局所変形による接触剛性を模擬するためばね要素を用いる。 既往研究[1]の成果を踏まえ，接触剛性を考慮したばね要素を設定した。
	衝突による減衰効果を模擬するため減衰要素を用いる。 既往研究[2]を踏まえ，車輪の反発係数から換算される減衰比を設定した。

1 「平成 20 年度原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験（クレーン類）に係る報告書」09 耐部報-0008,（独）原子力安全基盤機構）

2 「平成 19 年度原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験（クレーン類）に係る報告書」08 耐部報-0021,（独）原子力安全基盤機構

(1) ワイヤの考慮

トロリにワイヤを模擬したトラス要素と吊荷を模擬した質点を設けて時刻歴応答解析を行う。ワイヤは，引張方向（鉛直下向き）にのみ荷重を受け，圧縮方向（鉛直上向き）の荷重を受けない設定とする。

(2) 浮上がりによる衝突の減衰

クレーン及びトロリの浮上りによる衝突の減衰は，既往研究の試験にて得られた反発係数 e から換算した減衰比 h として，[redacted]を用いる。反発係数 e と減衰比 h との関係式は次式に，関係図を図 3.3-2 に示す。

図3.3-2　反発係数と減衰比の関係

(3) Rayleigh減衰について

減衰にはRayleigh減衰を適用する。Rayleigh減衰 ζ と振動数 ω の関係式は，質量項の係数 α 及び剛性項の係数 β を用いて以下の式で与えられる。

減衰定数2.0%※となる固有周波数点では，質量項の係数 α は [redacted]，剛性項の係数 β は [redacted]となる。なお，この固有周波数点とは，クレーンの水平方向の1次固有周波数：[redacted]Hz，鉛直方向の1次固有周波数：[redacted]Hzであることを踏まえて設定する。

$$\zeta = \frac{1}{2}\left(\frac{\alpha}{\omega} + \omega \cdot \beta\right)$$

$$\omega = 2\pi f$$

f：周波数

※JEAC4601-2008　第4章　機器・配管系の耐震設計　4.4　地震応答解析　参照

表 3.3-1　クレーン　部材機器諸元

部材名		断面積(mm²)	断面係数(mm³)		ねじり断面係数(mm³)
		A	Zy	Zz	Zx
フレーム	ガーダ	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	サドル	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	作業台	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	脚部	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	支柱	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

表 3.3-2　転倒防止装置　機器諸元

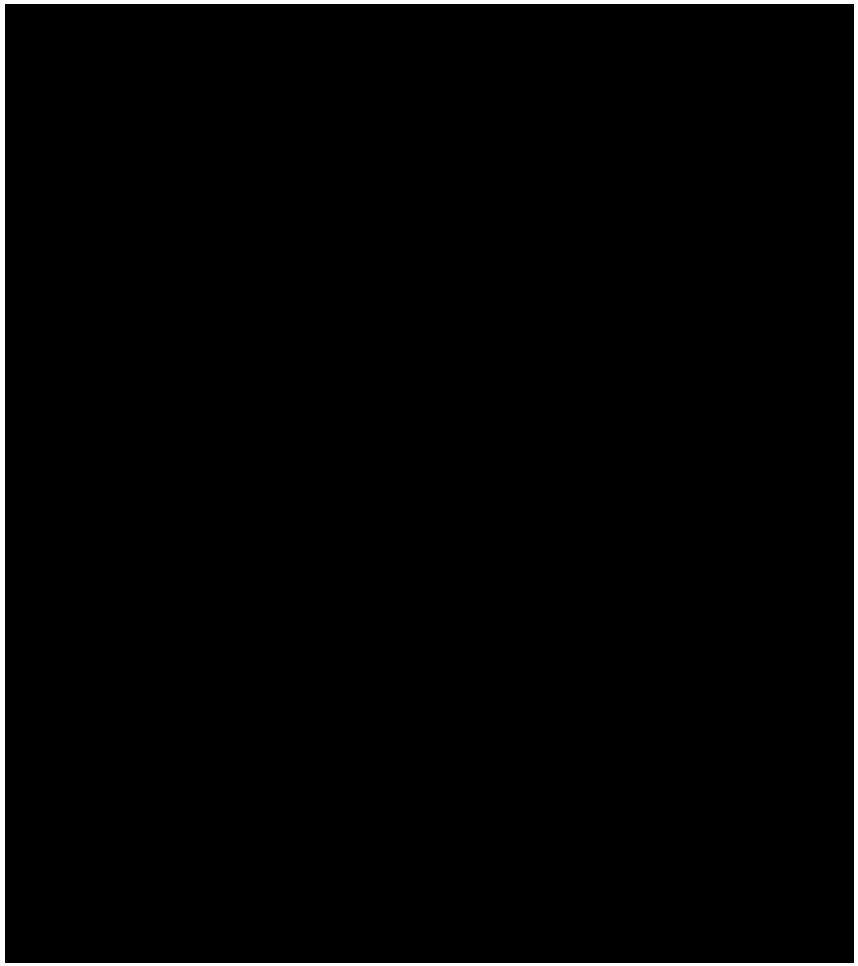
部材名		断面積(mm²)	断面係数(mm³)
		A_i	Z_i
脱線防止ラグ	断面 1	[redacted]	[redacted]
	断面 2	[redacted]	[redacted]
	断面 3	[redacted]	[redacted]
トロリストッパ	断面 1	[redacted]	[redacted]
	断面 2	[redacted]	[redacted]
	断面 3	[redacted]	[redacted]

表 3.3-3　クレーン　質量

クレーン質量(トロリ除く)	285,000(kg)
トロリ質量	83,000(kg)
吊荷質量	80,000(kg)

※吊荷質量：輸送容器使用時

断面形状（寸法）の詳細を以下に示す。



〈転倒防止装置　脱線防止ラグ〉

	1	2	3	4	5
厚さ　(mm)〈t〉	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
幅　　(mm)〈b〉	[redacted]	[redacted]	[redacted]		
長さ　(mm)〈l〉	[redacted]	[redacted]			

〈転倒防止装置　トロリストッパ〉

	1	2	3
厚さ　(mm)〈t〉	[redacted]	[redacted]	[redacted]
幅　　(mm)〈b〉	[redacted]		
長さ　(mm)〈l〉	[redacted]	[redacted]	[redacted]

図 3.3-3 断面形状（寸法）諸元

3.4　固有値解析

「3.3　クレーンの解析モデル及び諸元」で示す解析モデルを用いて固有値解析を実施した結果を表 3.4-1 に，固有モード図を図 3.4-1 に示す。数値は，各解析ケースのうち刺激関数が大きい卓越モードを記載する。

固有値解析の結果，クレーン水平（横行）方向の固有周期は，0.1ｓ～0.3ｓであるため，2022 年 3 月 16 日の福島県沖地震の地震力（以下，3.16 地震力）も考慮する。

卓越モードも含め表 3.4-2～表 3.4-3 に全体的な固有値解析結果を示す。

表 3.4-3 に示す固有値解析結果（解析モデル：トロリ端部，吊荷無）では，卓越周期の判定を有効質量（物体全体の質量のうち，特定の振動モードに対して実際に動いている部分の質量を計算したもの）により判定する。

具体的には，解析モデルの全体質量：368ton であるのに対し，16 次における鉛直方向の刺激係数：[redacted]，有効質量：[redacted]ton であり，22 次における鉛直方向の刺激係数：[redacted]，有効質量：[redacted]ton であることから，解析モデル：トロリ端部，吊荷無の卓越する振動モードを 16 次としている（同様に高次数（例えば，22 次以降の次数のうち刺激係数が大きい次数）も有効質量が小さいことを確認している）。

表 3.4-1　クレーンの固有値解析結果

	解析モデル	次数	固有周期（ｓ）	刺激関数（刺激係数）		卓越方向
				水平（横行）方向	鉛直方向	
(1)	トロリ中央/吊荷有	4	0.265	[redacted]	[redacted]	横行
(2)	トロリ中央/吊荷有	6	0.194	[redacted]	[redacted]	鉛直
(3)	トロリ端部/吊荷無	4	0.269	[redacted]	[redacted]	横行
(4)	トロリ端部/吊荷無	16	0.067	[redacted]	[redacted]	鉛直

解析モデル：トロリ中央，吊荷有（卓越方向：水平（横行））

解析モデル：トロリ端部，吊荷無（卓越方向：水平（横行））

解析モデル：トロリ中央，吊荷有（卓越方向：鉛直）

解析モデル：トロリ端部，吊荷無（卓越方向：鉛直）

図 3.4-1　クレーンの（固有）振動モード図

表 3.4-2 クレーンの固有値解析結果

解析モデル		トロリ中央，吊荷有	
次数	固有周期（s）	刺激関数（刺激係数）	
		水平（横行）方向	鉛直方向
1	[redacted]	[redacted]	[redacted]
2	[redacted]	[redacted]	[redacted]
3	[redacted]	[redacted]	[redacted]
4	0.265	[redacted]	[redacted]
5	[redacted]	[redacted]	[redacted]
6	0.194	[redacted]	[redacted]
7	[redacted]	[redacted]	[redacted]
8	[redacted]	[redacted]	[redacted]
9	[redacted]	[redacted]	[redacted]
10	[redacted]	[redacted]	[redacted]
11	[redacted]	[redacted]	[redacted]
12	[redacted]	[redacted]	[redacted]
13	[redacted]	[redacted]	[redacted]
14	[redacted]	[redacted]	[redacted]
15	[redacted]	[redacted]	[redacted]
16	[redacted]	[redacted]	[redacted]
17	[redacted]	[redacted]	[redacted]
18	[redacted]	[redacted]	[redacted]
19	[redacted]	[redacted]	[redacted]
20	[redacted]	[redacted]	[redacted]
21	[redacted]	[redacted]	[redacted]
22	[redacted]	[redacted]	[redacted]
23	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24	[redacted]	[redacted]	[redacted]
25	[redacted]	[redacted]	[redacted]
26	[redacted]	[redacted]	[redacted]
27	[redacted]	[redacted]	[redacted]
28	[redacted]	[redacted]	[redacted]
29	[redacted]	[redacted]	[redacted]
30	[redacted]	[redacted]	[redacted]

※1　吊荷のみ振動するモードであり，クレーン本体の地震応答には，寄与しない

表 3.4-3 クレーンの固有値解析結果

解析モデル		トロリ端部，吊荷無	
次数	固有周期（s）	刺激関数（刺激係数）	
		水平（横行）方向	鉛直方向
1	[redacted]	[redacted]	[redacted]
2	[redacted]	[redacted]	[redacted]
3	[redacted]	[redacted]	[redacted]
4	0.269	[redacted]	[redacted]
5	[redacted]	[redacted]	[redacted]
6	[redacted]	[redacted]	[redacted]
7	[redacted]	[redacted]	[redacted]
8	[redacted]	[redacted]	[redacted]
9	[redacted]	[redacted]	[redacted]
10	[redacted]	[redacted]	[redacted]
11	[redacted]	[redacted]	[redacted]
12	[redacted]	[redacted]	[redacted]
13	[redacted]	[redacted]	[redacted]
14	[redacted]	[redacted]	[redacted]
15	[redacted]	[redacted]	[redacted]
16	0.067※2	[redacted]	[redacted]
17	[redacted]	[redacted]	[redacted]
18	[redacted]	[redacted]	[redacted]
19	[redacted]	[redacted]	[redacted]
20	[redacted]	[redacted]	[redacted]
21	[redacted]	[redacted]	[redacted]
22	[redacted]	[redacted]	[redacted]
23	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24	[redacted]	[redacted]	[redacted]
25	[redacted]	[redacted]	[redacted]
26	[redacted]	[redacted]	[redacted]
27	[redacted]	[redacted]	[redacted]
28	[redacted]	[redacted]	[redacted]
29	[redacted]	[redacted]	[redacted]
30	[redacted]	[redacted]	[redacted]

※2　柔領域の卓越モード（鉛直方向）を有効質量により判定

解析モデルを用いた固有値解析結果及びクレーンの停止位置（Ⅰ章 2.3 荷重ケース参照）により適用する固有周期を表 3.4-3 に示す。この際，作業内容を考慮し，クレーンの吊荷有無を考慮する。

表 3.4-3　クレーン停止位置により適用する固有周期

CASE	作業内容	停止位置		固有周期(s)	
		大物搬入口側	SFP 側	水平（NS）方向	鉛直(UD)方向
CASE1	大型カバーへの輸送容器搬出入（クレーン単独作業）	○（吊荷有）		0.265	0.194
CASE2	SFP での輸送容器取扱（クレーン単独作業）		○（吊荷有）	0.265	0.194
CASE3	燃料取扱作業（燃料取扱機単独作業）	○（吊荷無）		0.269	0.067
CASE4-①	燃料取扱作業（クレーン／燃料取扱機同時作業）		○（吊荷有※2）	※1	※2
CASE4-②			○（吊荷有※2）	※1	※2

※1　CASE4-①，CASE4-②の条件は，CASE1 及び CASE3 に条件が包絡される。

※2　吊荷質量は，CASE1 及び CASE2 が輸送容器（約 80ton）に対し，CASE4-①，CASE4-②は，作業用の資機材（約 10ton）を想定するものであり，条件として，CASE1 及び CASE2 に条件が包絡される。

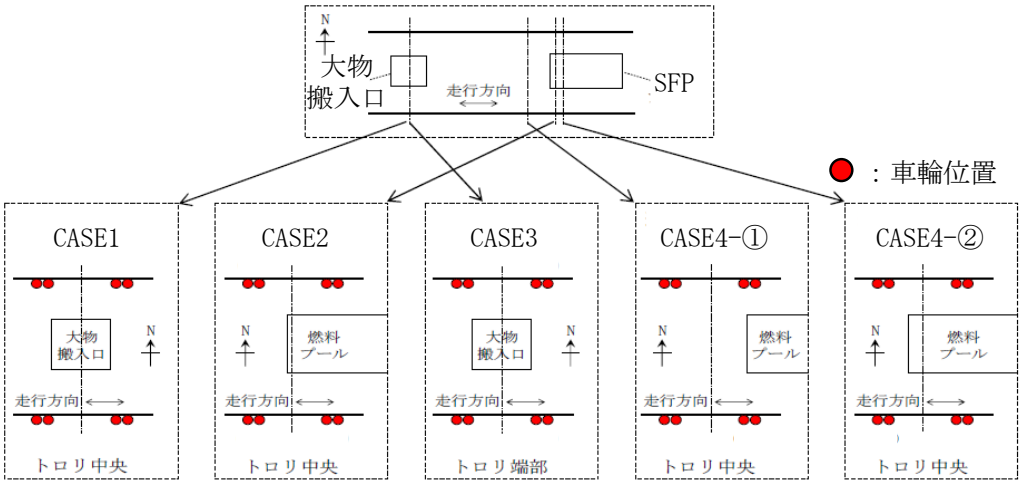


図 3.4-2　クレーンの停止位置

（燃料取扱設備全体の停止位置については，Ⅰ章 2.3 荷重ケース　参照）

3.5　設計用地震力

解析は，非線形挙動を考慮した地震応答解析モデルにより計算機コード「ABAQUS」を用いた直接積分法による時刻歴解析により評価を行う。

時刻歴応答解析に用いる設計用地震力の選定ステップを表 3.5-2 に示す。この選定ステップは，地震動設定の不確かさ等（地盤物性，建屋剛性，地盤バネ定数の算出式，模擬地震波の位相特性（水平方向の位相の異なる地震動）等）といった因子の変動に伴う影響について当該解析における考慮を示すものである。

なお，脱線防止ラグ，トロリストッパについては，設計用地震力による評価を実施する。

解析モデルに入力する時刻歴応答波形については，車輪位置（8 車輪）節点で得られた時刻歴応答波形を各車輪位置に入力（多点入力）するのではなく，表 3.5-1 に示す通り荷重伝達経路を考慮して入力波形を選定して評価に適用する。

表 3.5-1　解析モデルに入力する時刻歴応答波形

評価部位	入力波形	選定理由
構造部材	車輪位置（8 車輪）を節点とした時刻歴応答波形のうち最も評価に影響を及ぼす時刻歴波形（最大波形）を用いる。	各節点の時刻歴波形から床応答スペクトルを作成し，震度が最大となる波形を特定（クレーンの固有周期に最も影響を与える波形として選定）。これにより，クレーン全体の安全性と構造強度を最適に評価。
吊具	車輪位置（8 車輪）を節点とした時刻歴応答波形を合算し，車輪数で割った波形（平均波形）を用いる。	重心位置の吊具はクレーンの動きに対し平均的に影響されるため，現実的な評価として平均波形を用いる（図 3.5-1，図 3.5-2 参照）。

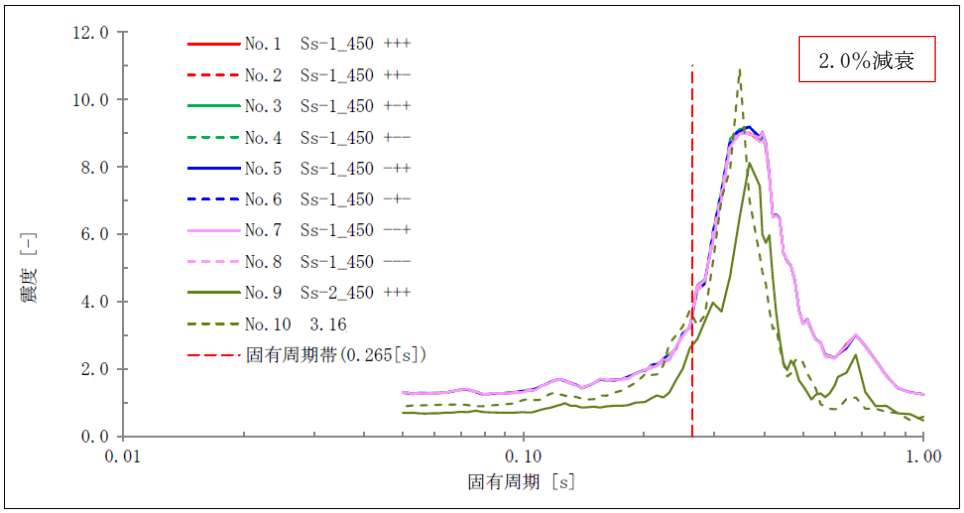
図 3.5-1　荷重伝達経路図

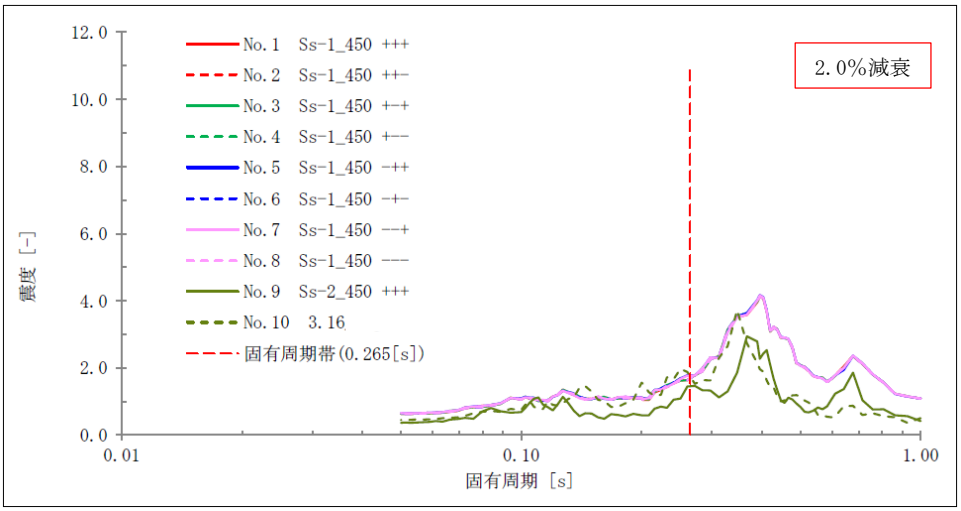
図 3.5-2　クレーンの重心位置

表 3.5-2　設計用地震力（1/2Ss450 地震力）の選定

STEP	項目	選定内容
1	入力条件の整理	クレーン停止位置における地震動の条件は以下の通り。 ・地震動（1/2Ss450-1，1/2Ss450-2，3.16 地震動） ・模擬地震動（1/2Ss450-1）の位相特性※1（±NS，±EW，±UD） ・クレーン停止位置（Ⅰ章 2.3 荷重ケース参照）： CASE1，CASE2，CASE3，CASE4-①，CASE4-②における車輪位置（8 車輪）を節点とする。 ・据付場所及び床面高さ： 大型カバー内，T.P.43674（クレーン走行レール天端）
2	設計用地震力の絞り込み	STEP1 の時刻歴加速度波形を入力波形として床応答スペクトルを作成する。 「3.4 固有値解析」における卓越固有周期において荷重ケースで最も評価に影響を及ぼす地震動を絞り込む。 （図 3.5-3，図 3.5-4　参照）
3	非線形時刻歴応答解析	STEP2 の時刻歴加速度波形を入力波形として時刻歴応答解析，クレーンの構造強度評価を実施する。 （表 3.7-3 応力評価結果（1/2Ss450 地震力）（過程）STEP3 結果参照）
4	設計用地震力選定	STEP3 の結果，評価部位の裕度が最小となる設計用地震力を選定する。（裕度：許容値/算出値）
5	地震動設定の不確かさを考慮	STEP4 の選定地震力に対し，地震動設定の不確かさ等といった因子の変動に伴う影響を考慮した時刻歴応答加速度波形を作成する。
6	非線形時刻歴応答解析	STEP5 の時刻歴加速度波形を入力波形として時刻歴応答解析，クレーンの構造強度評価を実施する。 （表 3.7-3 応力評価結果（1/2Ss450 地震力）（過程）STEP6 結果参照） STEP3，STEP6 の評価のうち各評価部位で裕度が最小となる評価結果を示す。 （3.7 クレーン構造強度評価結果参照）

※1　3 方向同時解析をするにあたり，Ss900-1 の水平地震動は方向性がないため，位相の異なる地震動を考慮して検討を行う。具体的には，地震動の 3 方向同時入力に対し，NS 方向，EW 方向，UD 方向の位相（正の位相方向，負の位相方向）の組合せとして 8 パターンを考慮した。





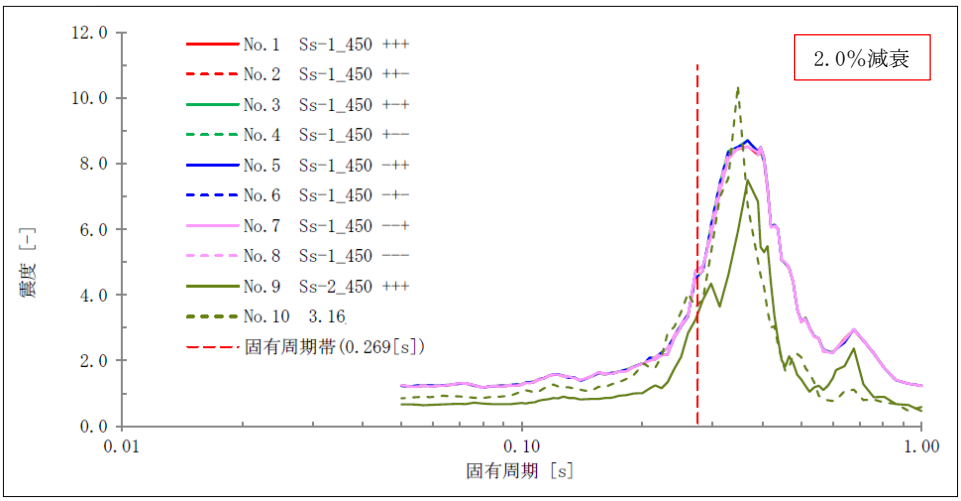
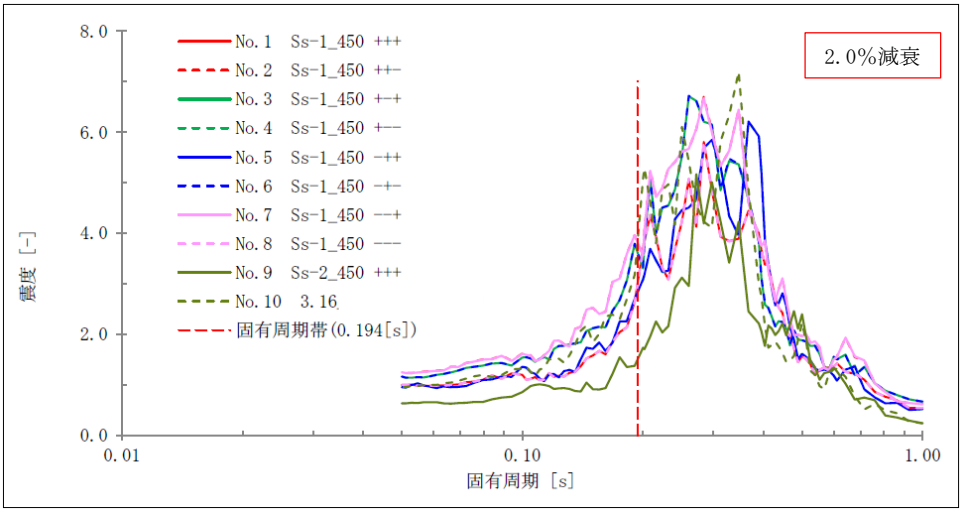
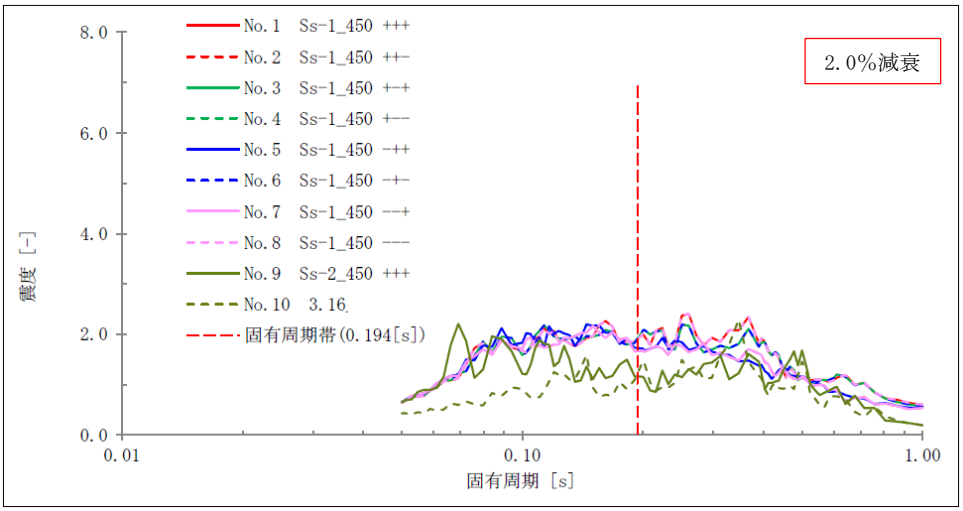


図 3.5-3　床応答スペクトル（1/2Ss450 地震力）＜水平（横行）方向＞
上:CASE1，中:CASE2，下:CASE3





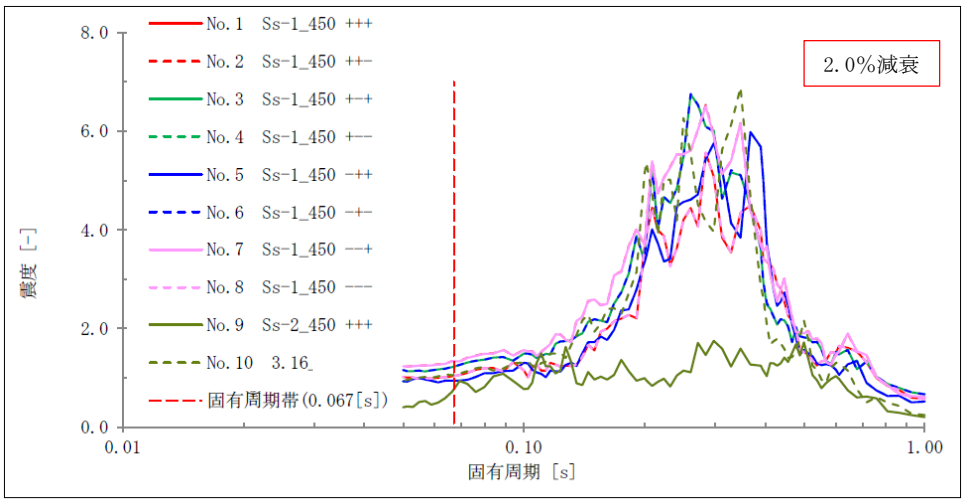


図 3.5-4　床応答スペクトル（1/2Ss450 地震力）＜鉛直方向＞

上:CASE1，中:CASE2，下:CASE3

3.5.1　時刻歴解析における地震動設定の不確かさ等について

クレーン耐震評価は，設計用床応答スペクトル（ここでは，周期軸方向に±10%拡幅した床応答スペクトルをいう）を用いない時刻歴解析手法を採用していることから，建屋の固有周期シフトに対する不確かさを考慮する。具体的には，固有周期シフトを考慮していない時刻歴加速度波による解析以外にASME規定を参考に時刻歴加速度波形を時間軸方向に時間刻みを±10%（床応答スペクトルの拡幅の考慮分）シフトさせた時刻歴加速度波による解析も行う。また，±10%シフトさせた床応答スペクトルの間にピークが存在する場合は，ASME規定に基づきピーク位置を考慮した評価も行う。Time History Broadeningの概念を図 3.5-5に示す。

〈基準となる時刻歴加速度波形及び時間刻みを±10%シフトさせた時刻歴加速度波形を作成〉

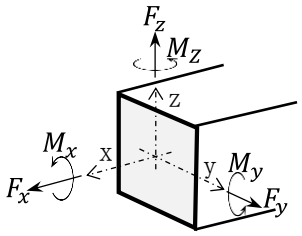
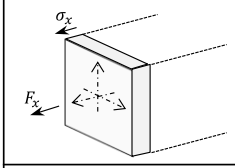
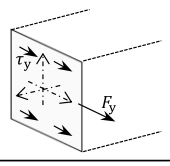
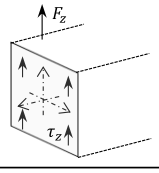
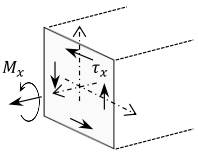
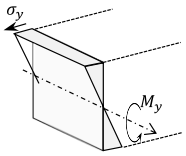
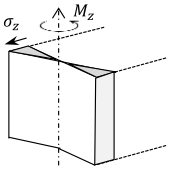
〈機器の固有周期が床応答スペクトルピークの谷間に存在する場合，ピークと合致するような時刻歴応答加速度波形を作成〉

図 3.5-5 Time History Broadening概念図

3.6　クレーン構造強度評価の計算方法

3.6.1　クレーンフレームの計算方法

クレーンフレームの構造強度評価は，下記計算式を用いて算出する。

			
	引張応力	せん断応力（y軸方向）	せん断応力（z軸方向）
			
断面力（断面作用する内力）	ねじり応力	曲げ応力（y軸周り）	曲げ応力（z軸周り）

（個別応力計算式）

$$\sigma_x = \frac{F_x}{A}, \quad \tau_y = \frac{F_y}{A}, \quad \tau_z = \frac{F_z}{A}$$

$$\tau_x = \frac{M_x}{Z_x}, \quad \sigma_y = \frac{M_y}{Z_y}, \quad \sigma_z = \frac{M_z}{Z_z}$$

ここで，

F_x　：軸力，　F_y：せん断力（y 方向），　F_z：せん断力（z 方向）

M_x　：ねじりモーメント

M_y　：曲げモーメント(y 軸周り)，　M_z：曲げモーメント(z 軸周り)

A　：断面積（評価部位断面積）

Z_x　：ねじり断面係数

Z_y　：断面係数（y 軸周り），　Z_Z：断面係数（z 軸周り）

（評価応力）

$$\sigma = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z$$

$$\tau = MAX\left(\sqrt{\left(\tau_x + \tau_y\right)^2 + {\tau_z}^2} \quad , \quad \sqrt{(\tau_x + \tau_z)^2 + {\tau_y}^2}\right)$$

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

σ　：引張応力

τ　：せん断応力

σ_c　：組合せ応力

3.6.2　転倒防止装置の計算方法

転倒防止装置の構造強度は，下記の計算式を用いて算出する。

(i)転倒防止装置（脱線防止ラグ）

転倒防止装置（脱線防止ラグ）の評価断面図

（個別計算式）

①断面 1 の計算式を以下に記載する。

a. 引張応力（曲げ応力）：σ_{B1}

$\sigma_{B1} =$ [redacted]

σ_{B1} ：断面 1 に作用する曲げ応力

[redacted]

b. せん断応力：τ_{B1}

$\tau_{B1} =$ [redacted]

τ_{B1} ：断面 1 に作用するせん断応力

[redacted]

c. 組合せ応力：σ_{B1c}

$\sigma_{B1c} =$ [redacted]

σ_{B1c} ：断面 1 に作用する組合せ応力
σ_{B1} ：断面 1 に作用する曲げ応力
τ_{B1} ：断面 1 に作用するせん断応力

②断面 2 の計算式を以下に記載する。

a. 引張応力（曲げ応力）：σ_{B2}

$\sigma_{B2} =$ [redacted]

σ_{B2} ：断面 2 に作用する曲げ応力

[redacted]

b. 組合せ応力：σ_{B2c}

$\sigma_{B2c} =$ [redacted]

σ_{B2c} ：断面 2 に作用する組合せ応力
σ_{B2} ：断面 2 に作用する曲げ応力

③断面 3 の計算式を以下に記載する。

a. 引張応力（曲げ応力）：σ_{B3}

$\sigma_{B3} =$ [redacted]

σ_{B3} ：断面 3 に作用するに曲げ応力

[redacted]

b. せん断応力：τ_{B3}

$\tau_{B3} =$ [redacted]

τ_{B3} ：断面 3 に作用するせん断応力

[redacted]

c. 組合せ応力：σ_{B3c}

$\sigma_{B3c} =$ [redacted]

σ_{B3c} ：断面 3 に作用する組合せ応力
σ_{B3} ：断面 3 に作用する曲げ応力
τ_{B3} ：断面 3 に作用するせん断応力

(ii)転倒防止装置（トロリストッパ）

転倒防止装置（トロリストッパ）の評価断面図

（個別計算式）

①断面 1 の計算式を以下に記載する。

a. 引張応力（曲げ応力）：σ_{T1}

$\sigma_{T1} =$ [redacted]

σ_{T1} ：断面 1 に作用する曲げ応力

[redacted]

b. せん断応力：τ_{T1}

$\tau_{T1} =$ [redacted]

τ_{T1} ：断面 1 に作用するせん断応力

[redacted]

c. 組合せ応力：σ_{T1c}

$\sigma_{T1c} =$ [redacted]

σ_{T1c} ：断面 1 に作用する組合せ応力
σ_{T1} ：断面 1 に作用する曲げ応力
τ_{T1} ：断面 1 に作用するせん断応力

②断面 2 の計算式を以下に記載する。

a. 引張応力（曲げ応力）：σ_{T2}

σ_{T2} =

σ_{T2} ：断面 2 に作用する曲げ応力

b. 組合せ応力：σ_{T2c}

σ_{T2c} =

σ_{T2c} ：断面 2 に作用する組合せ応力
σ_{T2} ：断面 2 に作用する曲げ応力

③断面 3 の計算式を以下に記載する。

a. 引張応力（曲げ応力）：σ_{T3}

σ_{T3} =

σ_{T3} ：断面 3 に作用するに曲げ応力

b. せん断応力：τ_{T3}

τ_{T3} =

τ_{T3} ：断面 3 に作用するせん断応力

c. 組合せ応力：σ_{T3c}

σ_{T3c} =

σ_{T3c} ：断面 3 に作用する組合せ応力
σ_{T3} ：断面 3 に作用する曲げ応力
τ_{T3} ：断面 3 に作用するせん断応力

3.6.3　吊具の計算方法

吊荷荷重を受ける部位を図　3.6-1 に示す。このうち吊荷を直接吊るもので損傷・破断に至る可能性があるワイヤロープ（以下，ワイヤ），フックを評価対象とする。

図 3.6-1　荷重伝達経路上の機器図（上図：経路図，下図：概略図）

ワイヤ，フックに作用する荷重は，「3.3 クレーンの解析モデル及び諸元」に示す解析モデルを用いて，直接積分法による時刻歴解析により求める。ワイヤ及びフックの計算に当たっては，以下の基本事項で行うものとする。

- ワイヤに作用する荷重は，ワイヤに取り付けられたエコライザ（平衡装置）及びフックブロック（動滑車）の回転により，自動的に荷重を吊合い状態に保つことから，評価では[redacted]本掛けのワイヤに均等に荷重が作用するものとして実施する。
- 吊荷荷重の算出に当たっては，クレーン評価で実施の時刻歴応答解析結果よりワイヤの鉛直方向の荷重を抽出し，その値を用いるものとする。
- 鉛直方向の荷重を考える場合においては，ワイヤの長さを短くすれば固有周期が短くなり，吊荷の速度変化が大きくなることから，衝撃荷重が大きくなる。したがって，ワイヤの長さは保守的に運用上限位置での長さを用いることとする。

3.7　クレーン構造強度評価結果

3.7.1～3.7.4 に各部位に対する応力評価結果を示す。評価の結果，算出応力は許容応力以下であるため，クレーンは，基準地震動Ｓｓから定める入力地震動の振幅を 2 分の 1 にしたものによる地震力（1/2Ss450 地震力）及び 3.16 地震力に対して安全機能を維持することを確認した。また本項は，供用状態Ｃｓを用いた許容応力と比較しており，弾性設計用地震動Ｓｄから定める入力地震動の振幅を 2 分の 1 にしたものによる地震力（1/2Sd225 地震力）に対して安全機能を維持することも確認したものである。なお，個別計算結果に示す算出では，表示数値（桁を処理した数値）ではなく，計算結果に基づく元の数値を使用している。

3.7.1　クレーンフレームの応力評価結果

クレーンフレームの応力評価結果を表 3.7-1 に示す。各評価部位の最大応力点を図 3.7-1 に示す。

表 3.7-1　応力評価結果纏め（1/2Ss450 地震力）＜フレーム＞

部位		使用材料	応力の種類	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
フレーム	ガーダ	[redacted]	引張	155	[redacted]
			せん断	32	[redacted]
			組合せ	165	[redacted]
	サドル	[redacted]	引張	81	[redacted]
			せん断	12	[redacted]
			組合せ	83	[redacted]
	作業台	[redacted]	引張	118	[redacted]
			せん断	4	[redacted]
			組合せ	119	[redacted]
	脚部	[redacted]	引張	273	[redacted]
			せん断	25	[redacted]
			組合せ	277	[redacted]
	支柱	[redacted]	引張	58	[redacted]
			せん断	2	[redacted]
			組合せ	58	[redacted]

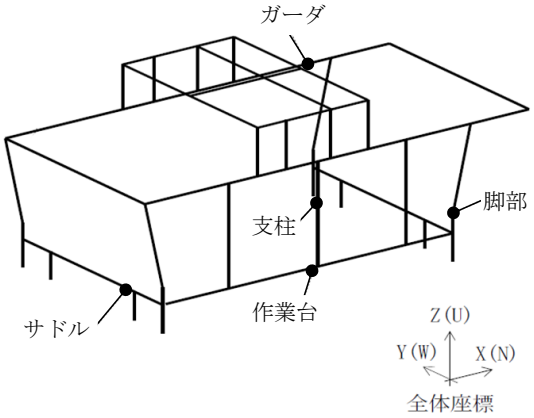


図 3.7-1　各評価部位の最大応力点（1/2Ss450 地震力）＜フレーム＞

（個別計算結果）

「3.6 クレーン構造強度評価の計算方法」に基づき応力を算出する。数値は最大応力箇所（脚部）を記載する。

(1) 引張応力：σ

$\sigma =$ [redacted]

σ ：引張応力 273 (MPa)

[redacted]

(2) せん断応力：τ

$\tau =$ [redacted]

τ ：せん断応力 25 (MPa)

[redacted]

(3) 組合せ応力：σ_c

$\sigma_c =$ [redacted]

σ_c ：組合せ応力 277 (MPa)

σ ：引張応力 273 (MPa)

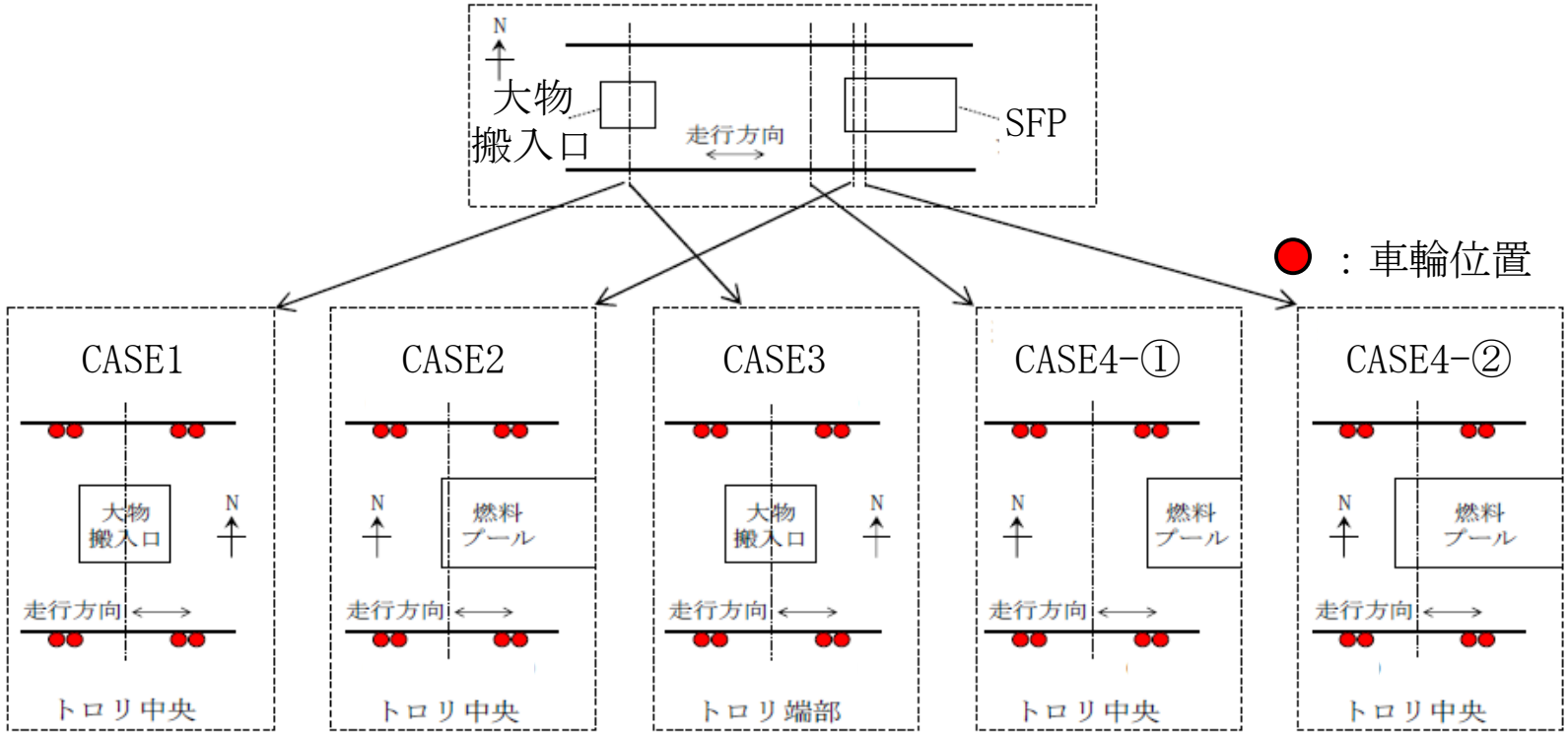
τ ：せん断応力 25 (MPa)

3.7.2　設計用地震力選定過程

「3.5 設計用地震力」表 3.5-2 に示す STEP2（設計用地震力の絞り込み）及び STEP5（地震動設定の不確かさを考慮）の評価条件を表 3.7-2 に示す。また，STEP5 時刻歴解析における地震動設定の不確かさ等を考慮した時刻歴応答加速度波形を図 3.7-2 に示す。各評価条件における応力評価結果を表 3.7-3 に示す。表 3.7-1 に示す各部材の応力評価結果纏め（1/2Ss450 地震力）は，各条件における最大応力評価結果を記載したものである。

表 3.7-2　設計用地震力選定結果

	条件	選定地震力	比較 CASE	備考
STEP2	1	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	2	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	3	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	4	[redacted]	[redacted]	[redacted]
STEP5	5	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	6	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	7	[redacted]	[redacted]	[redacted]



クレーンの停止位置図（図 3.4-2 再掲）

表 3.7-3　応力評価結果（1/2Ss450 地震力）（過程）　　単位：MPa

部位		使用材料	応力の種類	算出応力							許容応力
				STEP3　結果				STEP6　結果			
				条件 1	条件 2	条件 3	条件 4	条件 5	条件 6	条件 7	
フレーム	ガーダ	[redacted]	引張	[redacted]							
			せん断	[redacted]							
			組合せ	[redacted]							
	サドル	[redacted]	引張	[redacted]							
			せん断	[redacted]							
			組合せ	[redacted]							
	作業台	[redacted]	引張	[redacted]							
			せん断	[redacted]							
			組合せ	[redacted]							
	脚部	[redacted]	引張	[redacted]							
			せん断	[redacted]							
			組合せ	[redacted]							
	支柱	[redacted]	引張	[redacted]							
			せん断	[redacted]							
			組合せ	[redacted]							

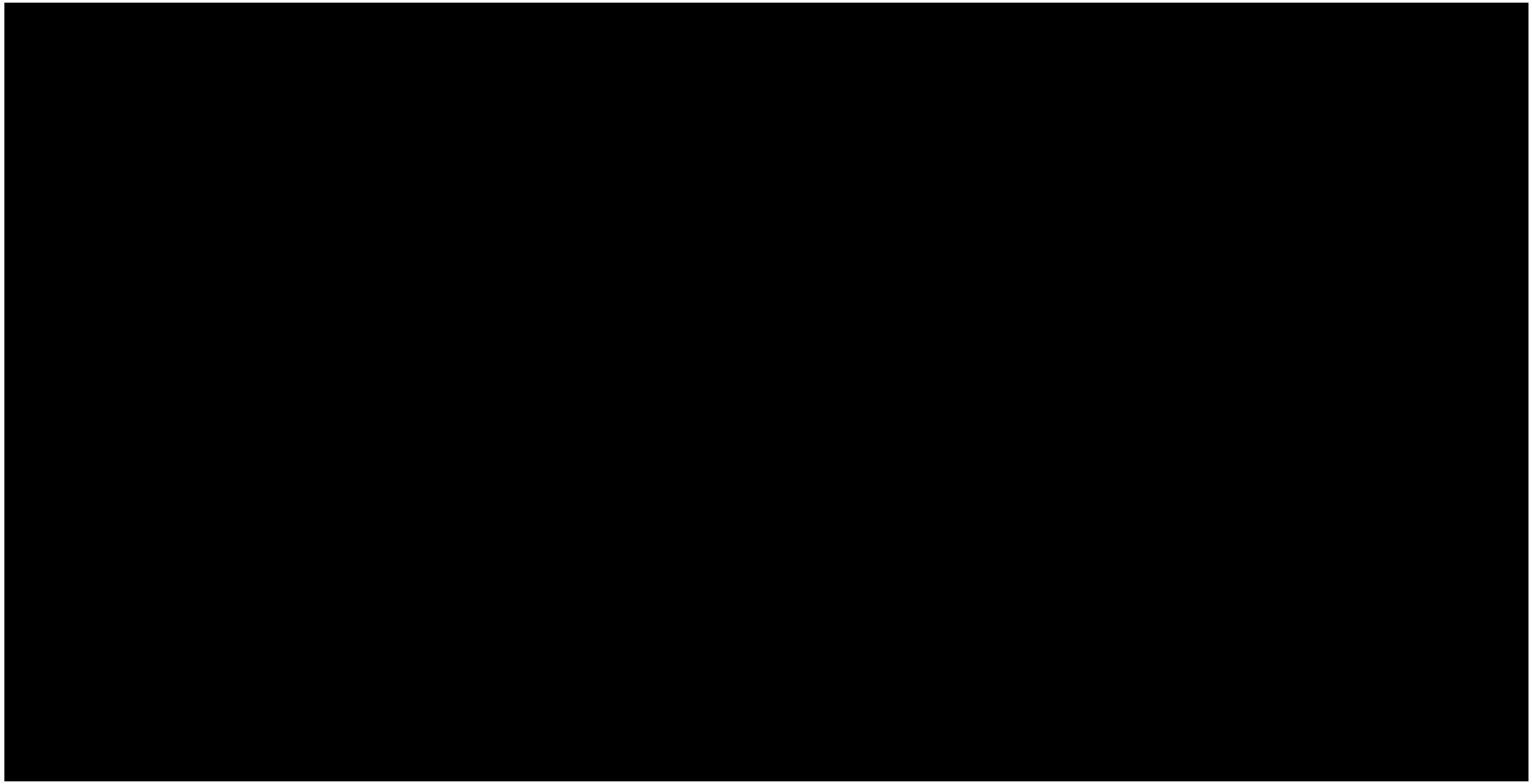


図 3.7-2　時刻歴解析における地震動設定の不確かさ等を考慮した時刻歴応答加速度波形（左：[redacted]，右：[redacted]）

3.7.3　転倒防止装置の応力評価結果

転倒防止装置の応力評価結果を表 3.7-4 に示す。

表 3.7-4　応力評価結果纏め（1/2Ss450 地震力）　＜転倒防止装置＞

部位		使用材料	応力の種類	算出応力(MPa)			許容応力(MPa)
				断面 1	断面 2	断面 3	
転倒防止装置	脱線防止ラグ	[redacted]	引張	115	19	4	[redacted]
			せん断	27	－	3	[redacted]
			組合せ	124	19	7	[redacted]
	トロリストッパ	[redacted]	引張	45	172	81	[redacted]
			せん断	1	－	45	[redacted]
			組合せ	45	172	112	[redacted]

図 3.7-3　各評価部位＜転倒防止装置＞

(個別計算結果)

「3.6　クレーン構造強度評価の計算方法」に基づき応力を算出する。

i)クレーン転倒防止装置（脱線防止ラグ）

①断面 1 の計算式を以下に記載する。

a.　引張応力（曲げ応力）：σ_{B1}

$\sigma_{B1} =$ [redacted]

σ_{B1}　：断面 1 に作用する曲げ応力　115 (MPa)

[redacted]

b.　せん断応力：τ_{B1}

$\tau_{B1} =$ [redacted]

τ_{B1}　：断面 1 に作用するせん断応力　27 (MPa)

[redacted]

c.　組合せ応力：σ_{B1c}

$\sigma_{B1c} =$ [redacted]

σ_{B1c}　：断面 1 に作用する組合せ応力　124 (MPa)
σ_{B1}　：断面 1 に作用する曲げ応力　115 (MPa)
τ_{B1}　：断面 1 に作用するせん断応力　27 (MPa)

②断面 2 の計算式を以下に記載する。

a. 引張応力（曲げ応力）：σ_{B2}

σ_{B2} =

σ_{B2} ：断面 2 に作用する曲げ応力 19 (MPa)

b. 組合せ応力：σ_{B2c}

σ_{B2c} =

σ_{B2c} ：断面 2 に作用する組合せ応力 19 (MPa)
σ_{B2} ：断面 2 に作用する曲げ応力 19 (MPa)

③断面 3 の計算式を以下に記載する。

a. 引張応力（曲げ応力）：σ_{B3}

σ_{B3} =

σ_{B3} ：断面 3 に作用するに曲げ応力 4 (MPa)

b. せん断応力：τ_{B3}

τ_{B3} =

τ_{B3} ：断面 3 に作用するせん断応力 3 (MPa)

c. 組合せ応力：σ_{B3c}

σ_{B3c} =

σ_{B3c} ：断面 3 に作用する組合せ応力 7 (MPa)
σ_{B3} ：断面 3 に作用する曲げ応力 4 (MPa)
τ_{B3} ：断面 3 に作用するせん断応力 3 (MPa)

ii)クレーン転倒防止装置（トロリストッパ）

①断面1の計算式を以下に記載する。

a. 引張応力（曲げ応力）：σ_{T1}

$\sigma_{T1} =$ [redacted]

σ_{T1} ：断面1に作用する曲げ応力　45 (MPa)

[redacted]

b. せん断応力：τ_{T1}

$\tau_{T1} =$ [redacted]

τ_{T1} ：断面1に作用するせん断応力　1 (MPa)

[redacted]

c. 組合せ応力：σ_{T1c}

$\sigma_{T1c} =$ [redacted]

σ_{T1c} ：断面1に作用する組合せ応力　45 (MPa)
σ_{T1} ：断面1に作用する曲げ応力　45 (MPa)
τ_{T1} ：断面1に作用するせん断応力　1 (MPa)

②断面 2 の計算式を以下に記載する。

a. 引張応力（曲げ応力）：σ_{T2}

σ_{T2} =

σ_{T2} ：断面 2 に作用する曲げ応力 172 (MPa)

b. 組合せ応力：σ_{T2c}

σ_{T2c} =

σ_{T2c} ：断面 2 に作用する組合せ応力 172 (MPa)
σ_{T2} ：断面 2 に作用する曲げ応力 172 (MPa)

③断面 3 の計算式を以下に記載する。

a. 引張応力（曲げ応力）：σ_{T3}

σ_{T3} =

σ_{T3} ：断面 3 に作用するに曲げ応力 81 (MPa)

b. せん断応力：τ_{T3}

τ_{T3} =

τ_{T3} ：断面 3 に作用するせん断応力 45 (MPa)

c. 組合せ応力：σ_{T3c}

σ_{T3c} =

σ_{T3c} ：断面 3 に作用する組合せ応力 112 (MPa)
σ_{T3} ：断面 3 に作用する曲げ応力 81 (MPa)
τ_{T3} ：断面 3 に作用するせん断応力 45 (MPa)

3.7.4　吊具の荷重評価結果

クレーンの解析（時刻歴応答解析）結果よりワイヤロープ（ワイヤ），フックに作用する荷重を表 3.7-5 に示す。

表 3.7-5　荷重評価結果纏め（1/2Ss450 地震力）＜吊具（ワイヤ，フック）＞

評価部位		使用材料	荷重	算出値(N)	許容値(N)
吊具	ワイヤ	[redacted]	吊荷荷重	[redacted]	[redacted]
	フック	[redacted]	吊荷荷重	[redacted]	[redacted]

3.7.5　静的地震力の評価

本項で示した基準地震動Ｓｓから定める入力地震動の振幅を 2 分の 1 にしたものによる地震力（1/2Ss450 地震力）及び 3.16 地震力の構造強度評価結果は，静的地震力より大きな地震力を使用して評価を行っていることから，耐震クラス B+の水平震度による評価も満足する結果となる。そのため，クレーンは，静的地震力に対しても安全機能を維持するものである。

表 3.7-6　水平震度の比較

地震条件		水平方向震度
1/2Ss450 地震力及び 3.16 地震力	1.0ZPA※	1.25
静的地震力	1.8Ci	0.36

※3.7.1～3.7.4 に示す評価結果は，時刻歴応答解析を実施しているため，1.0ZPA を記載

4.　波及的影響確認評価（Ss900 地震力）

基準地震動Ｓｓによるクレーン構造強度評価を実施し，使用済燃料プール及びプール内に保管している使用済燃料貯蔵ラックへ波及的影響を及ぼさないことを確認する。

4.1　地震応答解析及び評価方法

波及的影響確認評価においては，「3. 地震応答解析及び構造強度評価（1/2Ss450 地震力)」で作成した解析モデル及び諸元等を用いて評価するものであり，入力条件の変更点を表 4.1-1 に整理する。評価結果は，「4.4 クレーン構造強度評価結果」に示す。

表 4.1-1　入力条件変更点

No※	節題	変更の有無	備考
3.1	地震応答解析及び構造強度評価方法	変更無	
3.2	荷重の組合せ及び許容応力	**変更有**	4.2　参照
3.3	クレーンの解析モデル及び諸元	変更無	
3.4	固有値解析	変更無	
3.5	設計用地震力	**変更有**	4.3　参照
3.6	クレーン構造強度評価の計算方法	変更無	

※本章で示す評価方法との比較のため，節番を記載

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び供用状態

クレーン本体及び転倒防止装置，吊具の部材評価における荷重の組合せ及び供用状態について表 4.2-1 に示す。

表 4.2-1　荷重の組合せ及び供用状態（Ss900 地震力）

耐震クラス	荷重の組合せ	供用状態
C(B+)※1,2	D＋P_D＋M_D＋Ｓｓ	Ｄｓ

※1　( )内は保守的な耐震クラスを示す。
※2　使用済燃料プール上にクレーンが位置する荷重ケースにおいては，基準地震動 Ss に対して吊荷（構内用輸送容器）が上位クラス施設に落下しないことを期待するため，本項で基準地震動 Ss に対する耐震性を確認する。

ここで，

D　：死荷重
P_D　：最高使用圧力による荷重
M_D　：機械的荷重
Ss　：基準地震動Ｓｓから定める入力地震力（Ss900 地震力）
Ds　：発電用原子力設計・建設規格の供用状態Ｄ相当の許容応力を基準とし，それに地震により生じる応力に対する特別な制限を加えた供用状態

4.2.2　許容応力

クレーン本体，転倒防止装置の許容応力を表 4.2-2 に示す。

表 4.2-2　許容応力（その他の支持構造物）（Ss900 地震力）

供用状態	許容限界					
Ｄｓ	許容応力（ボルト以外）				許容応力（ボルト）	
	1 次応力					
	引張	圧縮	曲げ	せん断	引張	せん断
	1.5 f_t*	1.5 f_c*	1.5 f_b*	1.5 f_s*	1.5 f_t*	1.5 f_s*

4.2.3　使用材料の許容応力・許容荷重評価条件

使用材料の許容応力評価条件を表 4.2-3 に，許容荷重評価条件を表 4.2-4 に示す。

表 4.2-3　使用材料の許容応力評価条件（Ss900 地震力）

部位		使用材料	周辺環境温度※1 (℃)	Sy※2 (MPa)	Su※3 (MPa)	F 値：min(1.2 Sy,0.7Su) (MPa)
フレーム	ガーダ	[redacted]	50	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	サドル	[redacted]	50	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	作業台	[redacted]	50	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	脚部	[redacted]	50	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	支柱	[redacted]	50	[redacted]	[redacted]	[redacted]
転倒防止措置	脱線防止ラグ	[redacted]	50	[redacted]	[redacted]	[redacted]
	トロリストッパ	[redacted]	50	[redacted]	[redacted]	[redacted]

※1　運転エリアの最高温度（40℃）に余裕を見込んだ 50℃とする。
※2　Sy：材料の設計降伏点　（JSME S NC1-2005/2007　参照）
※3　Su：材料の設計引張強さ（JSME S NC1-2005/2007　参照）
※4　JSME S NJ1-2012　参照

表 4.2-4　使用材料の許容荷重評価条件（Ss900 地震力）

部位		使用材料	周辺環境温度※1 (℃)	定格荷重※2 (N)	安全率※3	許容荷重 (N)
吊具	ワイヤロープ	[redacted]	50	8.532×10^5	[redacted]	[redacted]
	フック	[redacted]	50	7.846×10^5	[redacted]	[redacted]

※1　運転エリアの最高温度（40℃）に余裕を見込んだ 50℃とする。
※2　定格荷重：80,000(kg)，フック自重：7,000(kg)を考慮
※3　安全率は，安全率＝ワイヤロープ破断力×ロープ掛数×（シーブ効率）/荷重（定格荷重）で算定。クレーン構造規格第 54 条（令和元年 6 月 28 日　厚生労働省告示第 48 号）に基づき，5 以上を満足するものである。

クレーンの応力評価に適用する許容引張応力 f_t*，許容せん断応力 f_s*，許容曲げ応力 f_b*及び許容組合せ応力 f*は以下より求める。

表 4.2-5　クレーンの許容値（ボルト以外）（Ss900 地震力）

	荷重の組合せの場合
許容引張応力 f_t*	$\frac{F}{1.5}\cdot1.5$
許容せん断応力 f_s*	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}}\cdot1.5$
許容曲げ応力 f_b*	$\frac{F}{1.5}\cdot1.5$
許容組合せ応力 f*	$\frac{F}{1.5}\cdot1.5$

F 値：JSME S NC1-2005/2007 に基づき定める値　(min(1.2Sy,0.7Su))

4.3　設計用地震力

4.3.1　設計用地震力の選定

時刻歴応答解析に用いる設計用地震力の選定ステップを表 4.3-1 に示す。波及的影響評価においては，クレーンが使用済燃料プールへ波及的影響を及ぼさないことを確認することを目的としており，クレーンが使用済燃料プールから十分離れている荷重ケース（CASE1，CASE3:大物搬入口側）は考慮しない。

また，解析モデルに入力する時刻歴応答波形については，「3.5 設計用地震力」と同様に荷重伝達経路を考慮して入力波形を選定して評価に適用する。

表 4.3-1　設計用地震力（Ss900 地震力）の選定

STEP	項目	選定内容
1	入力条件の整理	クレーン停止位置における地震動の条件は以下の通り。 ・地震動（Ss900-1） ・模擬地震動（Ss900-1）の位相特性※1（±NS，±EW，±UD） ・クレーンの停止位置（Ⅰ章 2.3 荷重ケース参照）： CASE2，CASE4-①，CASE4-②（使用済燃料プール上にクレーンが位置するケース）における車輪位置（8 車輪）を節点とする。 ・据付場所及び床面高さ： 大型カバー内，T.P.43674（クレーン走行レール天端）
2	設計用地震力の選定	STEP1 の時刻歴加速度波形を入力波形として床応答スペクトルを作成する。 「3.4 固有値解析」における卓越固有周期において荷重ケースで最も評価に影響を及ぼす地震力を選定。 （表 4.3-2，表 4.3-3　参照，1/2Ss450 地震力による震度も参考として示す。）
3	非線形時刻歴応答解析	STEP2 の時刻歴加速度波形を入力波形として時刻歴応答解析，クレーンの構造強度評価を実施する。

※1　3 方向同時解析をするにあたり，Ss900-1 の水平地震動は方向性がないため，位相の異なる地震動を考慮して検討を行う。具体的には，地震動の 3 方向同時入力に対し，NS 方向，EW 方向，UD 方向の位相（正の位相方向，負の位相方向）の組合せとして 8 パターンを考慮した。

表 4.3-2　設計用地震力（Ss900 地震力）の選定＜水平（横行）方向＞

No	地震動	震度				
		Ss900 評価			（参考）1/2Ss450 評価	
		CASE2	CASE4-①	CASE4-②	CASE1	CASE2
1	Ss-1(+++)	2.420	2.375	2.446	3.635	1.683
2	Ss-1(++-)	2.625	2.552	2.654	3.695	1.764
3	Ss-1(+-+)	2.432	2.376	2.454	3.627	1.684
4	Ss-1(+--)	2.605	2.532	2.633	3.699	1.773
5	Ss-1(-++)	2.517	2.445	2.542	3.701	1.774
6	Ss-1(-+-)	2.491	2.431	2.512	3.631	1.686
7	Ss-1(--+)	2.572	2.500	2.599	3.696	1.765
8	Ss-1(---)	2.472	2.413	2.493	3.640	1.685
9	Ss-2	※			2.721	1.448
10	3.16	—			3.582	1.749

※1/2Ss450 評価結果よりSs-2 の震度は Ss-1 より小さい傾向のため比較対象外とした

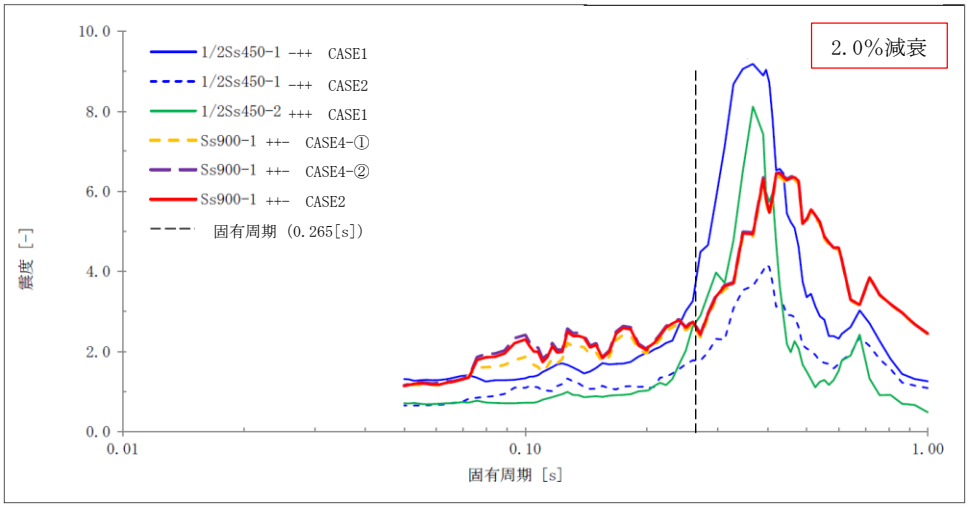


図 4.3-1　床応答スペクトル（Ss900 地震力）＜水平（横行）方向＞
（表 4.3-2　代表例図示）

表 4.3-3　設計用地震力（Ss900 地震力）の選定＜鉛直方向＞

No	地震動	震度		
		Ss900 評価※1	（参考）1/2Ss450 評価	
		CASE2	CASE1	CASE2
1	Ss-1(+++)	3.929	3.049	1.905
2	Ss-1(++-)	3.564	3.807	1.667
3	Ss-1(+-+)	3.988	3.599	1.927
4	Ss-1(+--)	3.520	2.850	1.725
5	Ss-1(-++)	3.556	2.850	1.723
6	Ss-1(-+-)	3.943	3.606	1.927
7	Ss-1(--+)	3.582	3.800	1.663
8	Ss-1(---)	3.941	3.047	1.906
9	Ss-2	※2	1.517	1.163
10	3.16	－	3.914	1.241

※1　吊荷質量として，CASE2 が輸送容器（約 80ton）に対し，CASE4-①，CASE4-②は，作業用の資機材（約 10ton）を想定するものであり，条件として，CASE2 に条件が包絡されるため比較対象外とした。

※2　1/2Ss450 評価結果よりSs-2 の震度は Ss-1 より小さい傾向のため比較対象外とした。

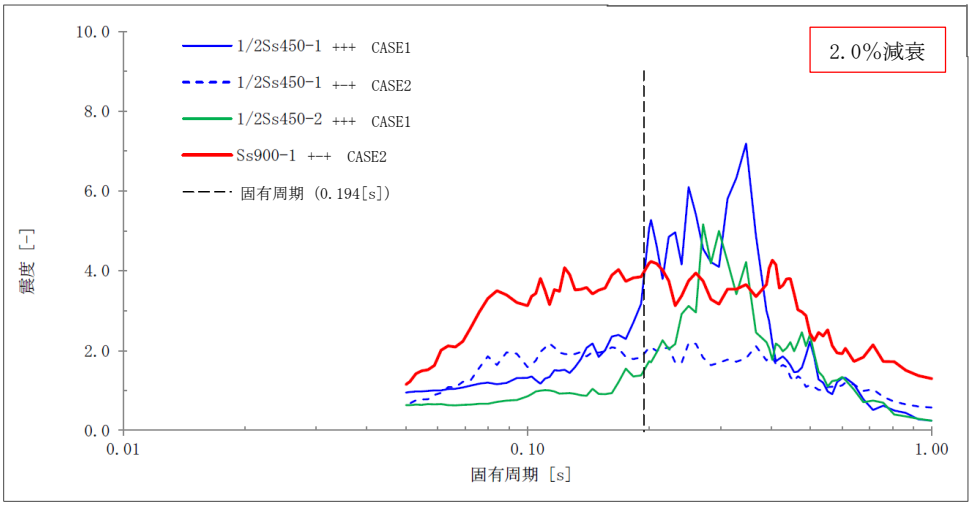


図 4.3-2　床応答スペクトル（Ss900 地震力）＜鉛直方向＞

（表 4.3-3　代表例図示）

4.4　クレーン構造強度評価結果

クレーン各部位に対する応力評価結果を示す。評価の結果，算出応力は許容応力以下であるため，クレーンは，上位クラスの設備である使用済燃料プール及び使用済燃料貯蔵ラックへ波及的影響を及ぼすことはない。なお，個別計算結果に示す算出では，表示数値（桁を処理した数値）ではなく，計算結果に基づく元の数値を使用している。

4.4.1　クレーンフレームの応力評価結果

クレーンフレームの応力評価結果を表 4.4-1 に示す。各評価部位の最大応力点を図 4.4-1 に示す。

表 4.4-1　応力評価結果纏め（Ss900 地震力）＜フレーム＞

部位		使用材料	応力の種類	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
フレーム	ガーダ	[redacted]	引張	143	[redacted]
			せん断	26	[redacted]
			組合せ	149	[redacted]
	サドル	[redacted]	引張	85	[redacted]
			せん断	16	[redacted]
			組合せ	89	[redacted]
	作業台	[redacted]	引張	83	[redacted]
			せん断	4	[redacted]
			組合せ	84	[redacted]
	脚部	[redacted]	引張	211	[redacted]
			せん断	27	[redacted]
			組合せ	216	[redacted]
	支柱	[redacted]	引張	45	[redacted]
			せん断	2	[redacted]
			組合せ	45	[redacted]

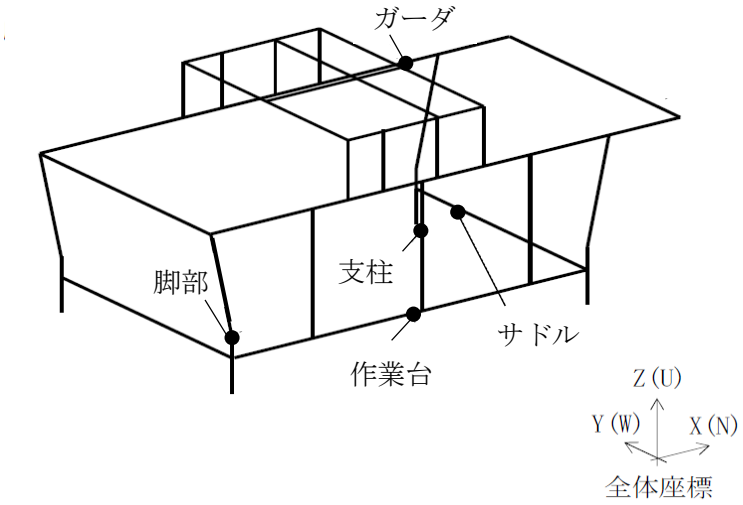


図 4.4-1　各評価部位の最大応力点（Ss900 地震力）＜フレーム＞

（個別計算結果）

「3.6 クレーン構造強度評価の計算方法」に基づき応力を算出する。数値は最大応力箇所（脚部）を記載する。

(1) 引張応力：σ

$\sigma =$ [redacted]

σ ：引張応力 211 (MPa)

[redacted]

(2) せん断応力：τ

$\tau =$ [redacted]

τ ：せん断応力 27 (MPa)

[redacted]

(3) 組合せ応力：σ_c

$\sigma_c =$ [redacted]

σ_c ：組合せ応力 216 (MPa)

σ ：引張応力 211 (MPa)

τ ：せん断応力 27 (MPa)

4.4.2　転倒防止装置の応力評価結果

転倒防止装置の応力評価結果を表 4.4-2 に示す。

表 4.4-2　応力評価結果纏め（Ss900 地震力）　＜転倒防止装置＞

部位		使用材料	応力の種類	算出応力(MPa)			許容応力(MPa)
				断面 1	断面 2	断面 3	
転倒防止装置	脱線防止ラグ	[redacted]	引張	86	15	4	[redacted]
			せん断	20	－	3	[redacted]
			組合せ	93	15	6	[redacted]
	トロリストッパ	[redacted]	引張	21	79	38	[redacted]
			せん断	1	－	21	[redacted]
			組合せ	21	79	52	[redacted]

図 4.4-2　各評価部位＜転倒防止装置＞

(個別計算結果)

「3.6 クレーン構造強度評価の計算方法」に基づき応力を算出する。

i)クレーン転倒防止装置（脱線防止ラグ）

①断面 1 の計算式を以下に記載する。

a. 引張応力（曲げ応力）：σ_{B1}

$\sigma_{B1} =$ [redacted]

σ_{B1} ：断面 1 に作用する曲げ応力 86 (MPa)

[redacted]

b. せん断応力：τ_{B1}

$\tau_{B1} =$ [redacted]

τ_{B1} ：断面 1 に作用するせん断応力 20 (MPa)

[redacted]

c. 組合せ応力：σ_{B1c}

$\sigma_{B1c} =$ [redacted]

σ_{B1c} ：断面 1 に作用する組合せ応力 93 (MPa)
σ_{B1} ：断面 1 に作用する曲げ応力 86 (MPa)
τ_{B1} ：断面 1 に作用するせん断応力 20 (MPa)

②断面 2 の計算式を以下に記載する。

a. 引張応力（曲げ応力）：σ_{B2}

σ_{B2} =

σ_{B2} ：断面 2 に作用する曲げ応力 15 (MPa)

b. 組合せ応力：σ_{B2c}

σ_{B2c} =

σ_{B2c} ：断面 2 に作用する組合せ応力 15 (MPa)
σ_{B2} ：断面 2 に作用する曲げ応力 15 (MPa)

③断面 3 の計算式を以下に記載する。

a. 引張応力（曲げ応力）：σ_{B3}

σ_{B3} =

σ_{B3} ：断面 3 に作用するに曲げ応力 4 (MPa)

b. せん断応力：τ_{B3}

τ_{B3} =

τ_{B3} ：断面 3 に作用するせん断応力 3 (MPa)

c. 組合せ応力：σ_{B3c}

σ_{B3c} =

σ_{B3c} ：断面 3 に作用する組合せ応力 6 (MPa)
σ_{B3} ：断面 3 に作用する曲げ応力 4 (MPa)
τ_{B3} ：断面 3 に作用するせん断応力 3 (MPa)

ii)クレーン転倒防止装置（トロリストッパ）

①断面1の計算式を以下に記載する。

a. 引張応力（曲げ応力）：σ_{T1}

$\sigma_{T1} =$ [redacted]

σ_{T1} ：断面1に作用する曲げ応力 21(MPa)

[redacted]

b. せん断応力：τ_{T1}

$\tau_{T1} =$ [redacted]

τ_{T1} ：断面1に作用するせん断応力 1(MPa)

[redacted]

c. 組合せ応力：σ_{T1c}

$\sigma_{T1c} =$ [redacted]

σ_{T1c} ：断面1に作用する組合せ応力 21(MPa)
σ_{T1} ：断面1に作用する曲げ応力 21(MPa)
τ_{T1} ：断面1に作用するせん断応力 1(MPa)

②断面 2 の計算式を以下に記載する。

a. 引張応力（曲げ応力）：σ_{T2}

σ_{T2} = [redacted]

σ_{T2} ：断面 2 に作用する曲げ応力 79 (MPa)

[redacted]

b. 組合せ応力：σ_{T2c}

σ_{T2c} = [redacted]

σ_{T2c} ：断面 2 に作用する組合せ応力 79 (MPa)
σ_{T2} ：断面 2 に作用する曲げ応力 79 (MPa)

③断面 3 の計算式を以下に記載する。

a. 引張応力（曲げ応力）：σ_{T3}

σ_{T3} = [redacted]

σ_{T3} ：断面 3 に作用するに曲げ応力 38 (MPa)

[redacted]

b. せん断応力：τ_{T3}

τ_{T3} = [redacted]

τ_{T3} ：断面 3 に作用するせん断応力 21 (MPa)

[redacted]

c. 組合せ応力：σ_{T3c}

σ_{T3c} = [redacted]

σ_{T3c} ：断面 3 に作用する組合せ応力 52 (MPa)
σ_{T3} ：断面 3 に作用する曲げ応力 38 (MPa)
τ_{T3} ：断面 3 に作用するせん断応力 21 (MPa)

4.4.3　吊具の荷重評価結果

クレーンの解析（時刻歴応答解析）結果よりワイヤロープ（ワイヤ），フックに作用する荷重を表 4.4-3 に示す。

表 4.4-3　荷重評価結果纏め（Ss900 地震力）　＜吊具（ワイヤ，フック）＞

評価部位		使用材料	荷重	算出値(N)	許容値(N)
吊具	ワイヤ	[redacted]	吊荷荷重	[redacted]	[redacted]
	フック	[redacted]	吊荷荷重	[redacted]	[redacted]

Ⅳ章　燃料取扱設備の耐震計算書に関する補足説明

1.　１号機燃料取扱設備の地震時における滑動量

燃料取扱設備の地震時の滑動量を，水平方向の時刻歴加速度波から評価する。

1.1　滑動量の評価

1.1.1　評価方針

燃料取扱設備の滑動量は，燃料取扱設備の走行方向の水平地震動によって受ける力が，自重による摩擦力を上回ることにより，燃料取扱設備自体が走行レール上でずれ，このずれ量が地震継続中に累積されたものである。

滑動量の評価では，燃料取扱設備の走行方向（EW方向）地震動の時刻歴加速度波が，燃料取扱設備の摩擦力相当の加速度以上となる時刻の間は，燃料取扱設備が滑動するものとする。

燃料取扱設備が滑動するときに受ける加速度は，建屋との相対加速度となり，時刻歴加速度から摩擦力相当の加速度を引いた値となる。

ここでは燃料取扱設備が滑動している時刻間は，上記の加速度により等加速度運動をしているものとみなす。各時刻間での等加速度運動時の移動距離（ずれ量）を算出し，時刻歴波の終了時刻まで，ずれ量を逐次積算していく。このずれ量の逐次積算値の中で，最大となるものを，燃料取扱設備の滑動量とする。

1.1.2　評価条件

(1)　地震動

評価に使用する水平地震動の時刻歴波は，以下とし，各々の地震動に対して滑動量を算出する。

・地震動：基準地震動 Ss(Ss-1（水平方向の位相の異なる地震動を含む），Ss-2)
　　全 9 波
・方向　：EW 方向(走行方向)
・標高　：T. P. 43,674mm(走行レール天端レベル)

(2)　荷重ケース

評価に使用する水平地震動の時刻歴波は，以下の荷重ケースを考慮するものとする。また，燃料取扱設備車輪位置も考慮する。

表 1-1　燃料取扱設備荷重ケース

荷重ケース	作業内容	配置パターン			
		クレーン		燃料取扱機	
		大物搬入口側	SFP 側	SFP 中央	SFP 端部
CASE1	輸送容器搬出入（クレーン単独作業）	○			○
CASE2	SFP での輸送容器取扱（クレーン単独作業）		○		○
CASE3	燃料取扱作業（燃料取扱機単独作業）	○		○	
CASE4-①	燃料取扱作業（同時作業）		○	○	
CASE4-②			○		○

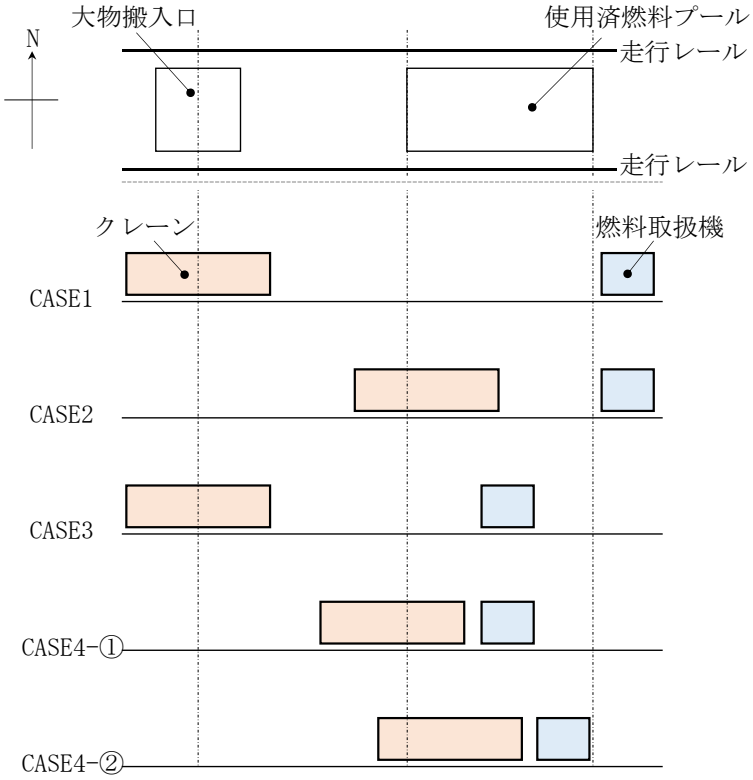


図 1-1　燃料取扱設備の停止位置

(3) 要目

評価に使用する要目を以下に示す。

設備	記号	名称	単位	数値	説明
共通	g	重力加速度	m/s^2	9.80665	－
	dt	微小時間	s	0.01	時刻歴加速度波の時間刻みとする。
燃料取扱機	μ s	車輪とレールの静止摩擦係数	－	0.15	燃料取扱機の走行車輪は4個のうち2個は駆動輪，他の 2 個が従動輪である。また最大静止摩擦係数をμ＝0.3から算出した値とする。 ・ μ s＝μ ×2／4＝0.15
	μ ’ d	車輪とレールの動摩擦係数		0.075	静止摩擦係数の 1/2 とする。
クレーン	μ s	車輪とレールの静止摩擦係数	－	0.075	クレーンの走行車輪は8個のうち2個は駆動輪，他の6個が従動輪である。また最大静止摩擦係数をμ＝0.3から算出した値とする。 ・ μ s＝μ ×2／8＝0.075
	μ ’ d	車輪とレールの動摩擦係数		0.0375	静止摩擦係数の 1/2 とする。

(4) 評価方法

滑動量評価方法の概略を示す（図1-2）。

Ⅰ：入力加速度が低く，滑動は生じない（$A_0 < A_s$）。
Ⅱ：入力加速度が少し上がる（$A_d < A_0$）が，滑動は生じない（$A_0 < A_s$）。
Ⅲ：入力加速度がさらに上がり（$A_0 = A_s$）の時点までは滑動は生じない。

ここまでのⅠ～Ⅲの過程では基礎と物体に滑動は生じず，連続体なので加速度も一致する（$A_0 = A_1$）。

Ⅳ：$A_s < A_0$となり，物体は，基礎上で加速度（A_d）で滑動し始める。
この時，物体と基礎の加速度に差が生じ，速度差（v_r）と変位差（d_r）が発生する。この変位差が滑動量となる。

$$v_r = \int_{t_s}^{t_d} (A_0 - A_1)\, dt = \int_{t_s}^{t_d} (A_0 - A_d)\, dt \quad (1)$$

$$d_r = \int_{t_s}^{t_d} v_r\, dt = \int_{t_s}^{t_d} (A_0 - A_d) dt\, dt \quad (2)$$

t_s：加速度差が生じ始める時刻，t_d：加速度差がゼロとなる時刻

Ⅴ：入力加速度が下がり（$A_0 < A_d$），基礎と物体は同じ加速度となる。

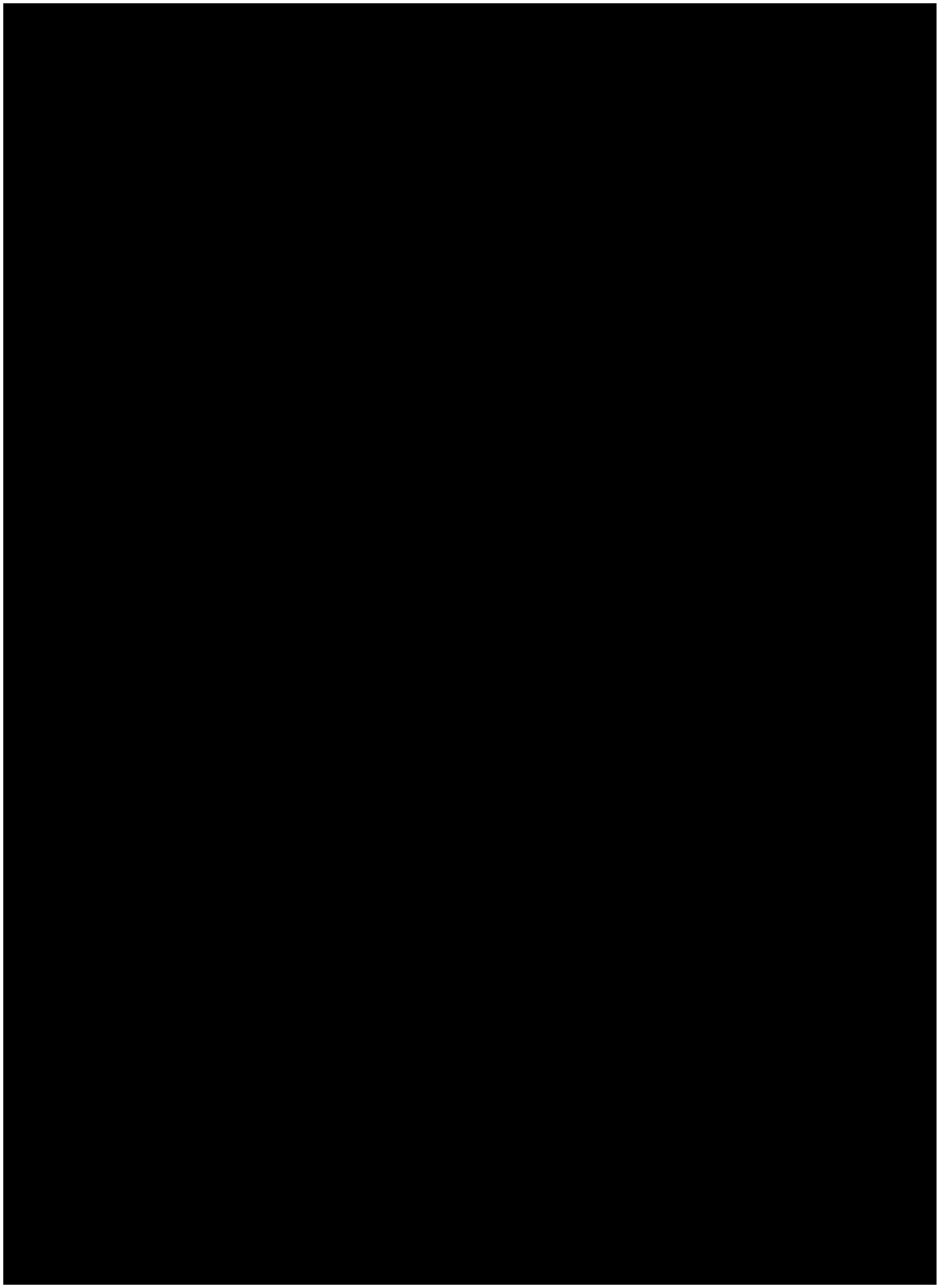


図 1-2　物体と基礎間の運動

1.1.3　評価結果

Ss900 地震動における燃料取扱機の滑動量を表 1-2 に，クレーンの滑動量を表 1-3 に示す。燃料取扱機の最大滑動量は，1169 mm であり，クレーンの最大滑動量は，1468 mm となった。

表 1-2　滑動量評価結果（燃料取扱機）

荷重ケース	地震動	滑動量　(mm)
CASE1	Ss900 (+,+,+) -1	1110
	Ss900 (+,+,−) -1	1023
	Ss900 (+,−,+) -1	887
	Ss900 (+,−,−) -1	1148
	Ss900 (−,+,+) -1	1154
	Ss900 (−,+,−) -1	884
	Ss900 (−,−,+) -1	1033
	Ss900 (−,−,−) -1	1063
	Ss900 (+,+,+) -2	426
CASE2	Ss900 (+,+,+) -1	1041
	Ss900 (+,+,−) -1	977
	Ss900 (+,−,+) -1	1097
	Ss900 (+,−,−) -1	1149
	Ss900 (−,+,+) -1	1002
	Ss900 (−,+,−) -1	1001
	Ss900 (−,−,+) -1	1067
	Ss900 (−,−,−) -1	984
	Ss900 (+,+,+) -2	454
CASE3	Ss900 (+,+,+) -1	1019
	Ss900 (+,+,−) -1	1015
	Ss900 (+,−,+) -1	943
	Ss900 (+,−,−) -1	1153
	Ss900 (−,+,+) -1	919
	Ss900 (−,+,−) -1	811
	Ss900 (−,−,+) -1	1011
	Ss900 (−,−,−) -1	1009
	Ss900 (+,+,+) -2	450
CASE4-①	Ss900 (+,+,+) -1	1000
	Ss900 (+,+,−) -1	975
	Ss900 (+,−,+) -1	1118
	Ss900 (+,−,−) -1	1164
	Ss900 (−,+,+) -1	952
	Ss900 (−,+,−) -1	968
	Ss900 (−,−,+) -1	1109
	Ss900 (−,−,−) -1	982
	Ss900 (+,+,+) -2	431
CASE4-②	Ss900 (+,+,+) -1	989
	Ss900 (+,+,−) -1	1006
	Ss900 (+,−,+) -1	1043
	Ss900 (+,−,−) -1	1169
	Ss900 (−,+,+) -1	1019
	Ss900 (−,+,−) -1	979
	Ss900 (−,−,+) -1	1058
	Ss900 (−,−,−) -1	978
	Ss900 (+,+,+) -2	434

表 1-3　滑動量評価結果（クレーン）

荷重ケース	地震動	滑動量　(mm)
CASE1	Ss900 (+,+,+) -1	1369
	Ss900 (+,+,−) -1	1391
	Ss900 (+,−,+) -1	1374
	Ss900 (+,−,−) -1	1254
	Ss900 (−,+,+) -1	1416
	Ss900 (−,+,−) -1	1409
	Ss900 (−,−,+) -1	1408
	Ss900 (−,−,−) -1	1365
	Ss900 (+,+,+) -2	424
CASE2	Ss900 (+,+,+) -1	1418
	Ss900 (+,+,−) -1	1419
	Ss900 (+,−,+) -1	1421
	Ss900 (+,−,−) -1	1262
	Ss900 (−,+,+) -1	1411
	Ss900 (−,+,−) -1	1413
	Ss900 (−,−,+) -1	1410
	Ss900 (−,−,−) -1	1393
	Ss900 (+,+,+) -2	419
CASE3	Ss900 (+,+,+) -1	1419
	Ss900 (+,+,−) -1	1400
	Ss900 (+,−,+) -1	1414
	Ss900 (+,−,−) -1	1300
	Ss900 (−,+,+) -1	1468
	Ss900 (−,+,−) -1	1415
	Ss900 (−,−,+) -1	1439
	Ss900 (−,−,−) -1	1384
	Ss900 (+,+,+) -2	446
CASE4-①	Ss900 (+,+,+) -1	1376
	Ss900 (+,+,−) -1	1409
	Ss900 (+,−,+) -1	1429
	Ss900 (+,−,−) -1	1342
	Ss900 (−,+,+) -1	1450
	Ss900 (−,+,−) -1	1440
	Ss900 (−,−,+) -1	1354
	Ss900 (−,−,−) -1	1365
	Ss900 (+,+,+) -2	434
CASE4-②	Ss900 (+,+,+) -1	1401
	Ss900 (+,+,−) -1	1407
	Ss900 (+,−,+) -1	1426
	Ss900 (+,−,−) -1	1293
	Ss900 (−,+,+) -1	1448
	Ss900 (−,+,−) -1	1447
	Ss900 (−,−,+) -1	1351
	Ss900 (−,−,−) -1	1367
	Ss900 (+,+,+) -2	423

実用炉の評価方法では，静止摩擦係数のみを考慮した評価で影響のある波形を選定しているのに対し，本評価では，静止摩擦係数及び動摩擦係数を考慮してより滑動しやすい評価を実施したものである。

実際に地震動で燃料取扱設備が滑動する際は，1 方向に連続して加振されるのではなく，3 方向に加振されると考えられ，燃料取扱設備本体の横行方向（NS 方向）や鉛直方向(UD 方向)にも地震動による影響がある。

1.2 逸脱防止装置

1.2.1 燃料取扱機

走行レールの端部には，燃料取扱機の走行を限界にて制限する安全装置（エンドストッパ）を設置する。燃料取扱機端部からエンドストッパまでの距離は，約 380 mm のため，基準地震動 Ss 時において，燃料取扱機は，エンドストッパに衝突する可能性がある。

エンドストッパは，燃料取扱機の誤操作や地震時による燃料取扱機の滑動等において，燃料取扱機がエンドストッパへ衝突する力に耐えられるように十分な強度を持たせ，かつ燃料取扱機又はエンドストッパにバンパを設けることで衝突時の力を吸収し燃料取扱機の機能を損なわないような設計とする。

1.2.2 クレーン

燃料取扱機と同様にクレーン側の走行レールの端部にもクレーンの走行を限界にて制限する安全装置（エンドストッパ）を設置する。クレーン端部からエンドストッパまでの距離は，約 1300 mm のため，基準地震動 Ss 時において，クレーンはエンドストッパに衝突する可能性がある。

エンドストッパは，クレーンの誤操作や地震時によるクレーンの滑動等において，クレーンがエンドストッパへ衝突する力に耐えられるように十分な強度を持たせ，かつクレーン又はエンドストッパにバンパを設けることで衝突時の力を吸収しクレーンの機能を損なわないような設計とする。

1.3 燃料取り出し作業時における設備の配置について

燃料取り出し作業において，通常運用では，クレーンと燃料取扱機が接近することはない。設備が接近する可能性があるのは，燃料取扱機が不具合で動かなくなった場合など，レスキュー対策として活用することを計画している。設備同士の安全性を確保するために，互いに近接センサを設置し，[redacted]で停止するようにインターロックを設定する。この設計により，意図せずに設備同士が接触しないようする。

なお，インターロックの設定値等は運用面を考慮して変更する場合がある。

2.　1 号機燃料取扱設備のブレーキ制動力

地震時において，燃料取扱設備が燃料集合体等を保持し，使用済燃料プールやプール内に保管する使用済燃料貯蔵ラックに波及的影響を及ぼさないことを確認するため，ブレーキ制動力の評価を行う。評価においては，基準地震動Ｓｓ時の影響評価を行う。

2.1　燃料取扱機のブレーキ制動力評価

ワイヤロープに掛かる荷重からドラム位置に発生するトルク(以下,「ドラムトルク」と表記)を算出する。このドラムトルクに対する制動力として，主ブレーキ，補助ブレーキ，及び減速比を考慮したドラム位置の制動トルクを算出しドラムトルクと比較した結果，ドラムトルクが制動トルクを下回り，制動性を保持できることを確認した。

表 2.1-1　燃料取扱機ホイストのブレーキ制動力評価結果

ドラムトルク (N・m)	制動トルク (N・m)
[redacted]	[redacted]

【算定条件】

表 2.1-2 に，ブレーキ制動トルクの算定に用いる計算諸元を示す。図 2.1-1 に，ブレーキ制動トルクの算出説明図を示す。

表 2.1-2　ブレーキ制動トルクの計算諸元

項目		単位	数値	備考
ワイヤロープ荷重	F	N	[redacted]	
ドラム半径	R	mm	[redacted]	
減速比	I_r	－	[redacted]	
歯数	Z_1	－	[redacted]	
	Z_2	－	[redacted]	
	Z_3	－	[redacted]	
制動力(主ﾌﾞﾚｰｷ)	T_{B1}	N・m	[redacted]	
制動力(補助ﾌﾞﾚｰｷ)	T_{B2}	N・m	[redacted]	
制動トルク(主ﾌﾞﾚｰｷ)	T_1	N・m	[redacted]	[redacted]
制動トルク(補助ﾌﾞﾚｰｷ)	T_2	N・m	[redacted]	[redacted]
ドラムトルク	T_d	N・m	[redacted]	[redacted]
制動トルク	T_0	N・m	[redacted]	[redacted]

[redacted]

図 2.1-1　燃料取扱機のブレーキ制動トルク算出説明図

2.2　クレーンのブレーキ制動力評価

ワイヤロープに掛かる荷重からドラム位置に発生する荷重(以下，「負荷荷重」と表記)を算出する。この負荷荷重に対する制動力として，主ブレーキ及び減速比を考慮したドラム位置の制動荷重を算出し負荷荷重と比較した結果，負荷荷重が制動荷重を下回り，制動性を保持できることを確認した。

表2.2-1　クレーン主巻ワイヤのブレーキ制動力評価結果

負荷荷重 (N)	制動荷重 (N)
[redacted]	[redacted]

【算定条件】

表2.2-2に，ブレーキ制動力の算定に用いる計算諸元を示す。図2.2-1に，ブレーキ制動力の算出説明図を示す。

表2.2-2　ブレーキ制動力の計算諸元

項目		単位	数値	備考
ドラム径	D	mm	[redacted]	
定格質量	m_L	kg	80000	
フック質量	m_H	kg	[redacted]	
ロープ掛数	N	本	[redacted]	
ドラムの巻取本数	N’	本	[redacted]	
ブレーキ台数	n	個	[redacted]	
ブレーキ容量	T_B	N・mm	[redacted]	
重力加速度	g	m/s^2	9.80665	
シーブ効率	η	－	[redacted]	
減速機減速比	i	－	[redacted]	
ロープ荷重	F	N	[redacted]	[redacted]
負荷トルク(自重)	T	N・mm	[redacted]	[redacted]
安全率	S	－	[redacted]	[redacted]
制動荷重	－	N	[redacted]	[redacted]

[redacted]

図 2.2-1　クレーンのブレーキ制動力算出説明図

１号機燃料取扱設備の耐震性に係る確認事項

１号機燃料取扱設備の耐震性に係る主要な確認事項を表－１,表－２に示す。また，燃料取扱機の立面図を図－１，側面図を図－２に，クレーンの立面図を図－３，平面図を図－４に，燃料取扱設備主要部材一覧を表－３，表－４に示す。

表－１　１号機燃料取扱設備の耐震性に係る確認事項（燃料取扱機）

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認		実施計画に記載されている主要部材の材質を確認する。	表―３に記載の材料を使用していること。
	構造確認	寸法確認	実施計画に記載されている主要寸法を確認する。	図－１，図－２に記載の寸法が許容範囲内であること。
		外観確認	組み立てた状態における外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
		据付確認	組み立てた状態における据付状態を確認する。	実施計画の通りに施工・据付がなされていること。

表－２　１号機燃料取扱設備の耐震性に係る確認事項（クレーン）

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認		実施計画に記載されている主要部材の材質を確認する。	表―４に記載の材料を使用していること。
	構造確認	寸法確認	実施計画に記載されている主要寸法を確認する。	図－３，図－４に記載の寸法が許容範囲内であること。
		外観確認	組み立てた状態における外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
		据付確認	組み立てた状態における据付状態を確認する。	実施計画の通りに施工・据付がなされていること。

図－１　燃料取扱機　立面図

図－２　燃料取扱機　側面図

図－３　クレーン　立面図

図－４　クレーン　平面図

表―３　燃料取扱機　主要部材一覧

部位	使用材料
構造物フレーム	[redacted]
脱線防止ラグ	[redacted]
脱線防止ラグ　ボルト	[redacted]
走行レール	[redacted]
横行レール	[redacted]

表―４　クレーン　主要部材一覧

部位		使用材料
フレーム	ガーダ	[redacted]
	サドル	[redacted]
	作業台	[redacted]
	脚部	[redacted]
	支柱	[redacted]
転倒防止装置	脱線防止ラグ	[redacted]
	トロリストッパ	[redacted]

参考資料（１）

耐震解析に用いるコード（SAP－Ⅳ）について

コード名 項目	SAP－Ⅳ
開発機関	米国カリフォルニア大学
使用したバージョン	導入時バージョンのまま
開発時期	1973 年
計算機コードの概要	本計算機コードは，有限要素法による静的・動的解析汎用プログラムである。 1970 年に SAP の初版が発表された後，SOLID SAP（SAP－Ⅱ），SAP－Ⅲを経て，全面的改訂を加えられ 1973 年に SAP－Ⅳとして公開された。 以下に示す構造に対し，4 種類の解析を行うことができる。 ＜構造＞ １．トラス構造問題 ２．ラーメン構造問題 ３．平面応力／平面ひずみ問題，軸対象固体問題 ４．固体問題 ５．厚肉殻 ６．板曲げ及び薄肉殻問題 ７．配管系問題 ＜解析＞ １．静的解析 ２．固有値解析 ３．動的応答解析 ４．スペクトル解析
検証方法	・ 別計算機コード「構造解析用計算機コード（NASTRAN 2005.0.0)」による検証が実施されていることを確認した。 ・ 理論解による検証が実施されていることを確認した。（詳細は添付 1 参照）

添付 1　解析及び計算機コードの検証

1.　解析の検証

1.1　解析フローチャート

本資料において使用した計算機コード「SAP－Ⅳ」を用いて得られた計算結果の妥当性を確認し，本計算機コードの検証を行うものである。また，本計算機コードを用いた計算のフローを図 1-1 に示す。

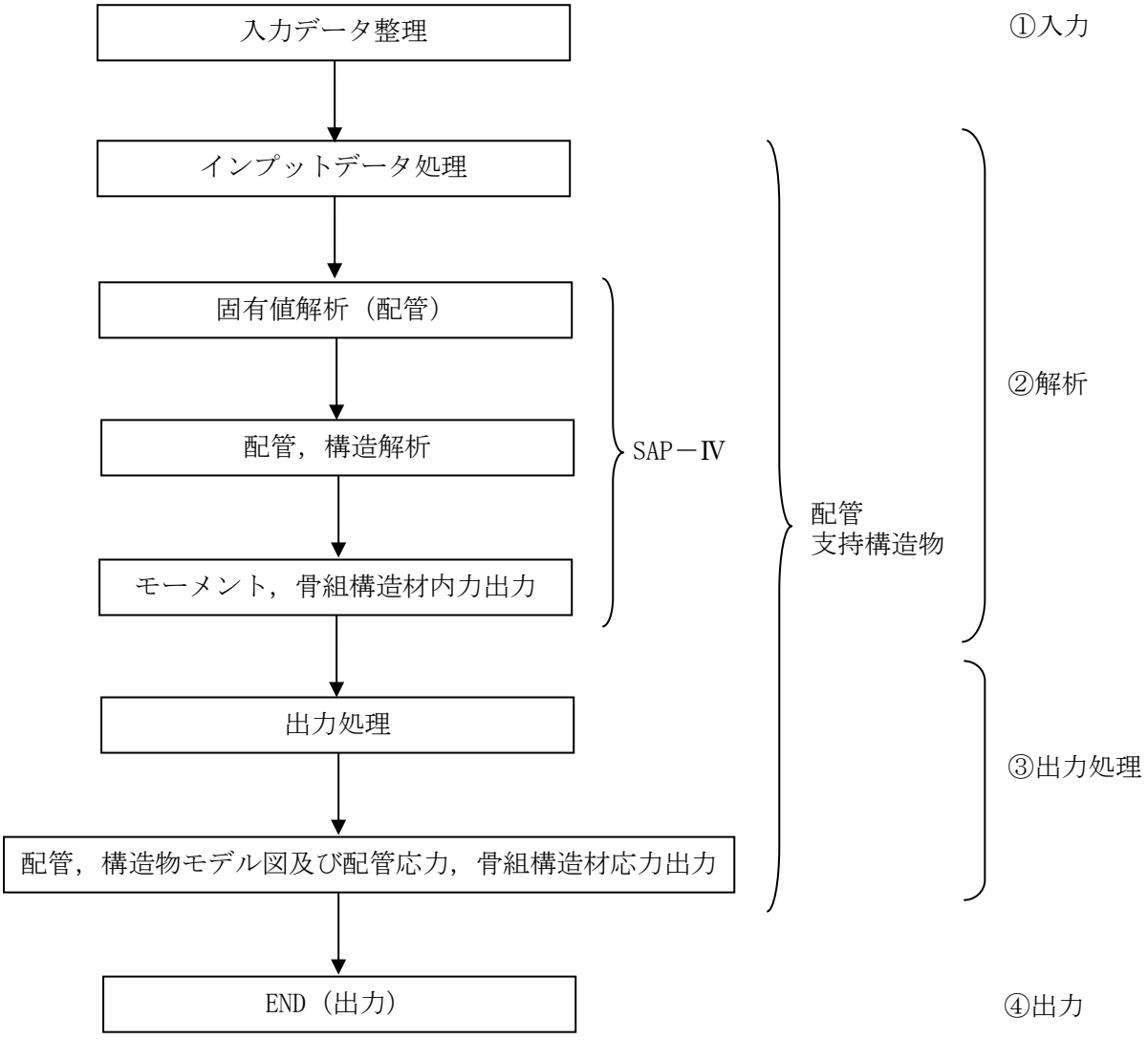


図 1-1　計算フロー

1.2　解析の検証

図 1-1 に示した各フローにおける検証方法を以下に示す。

・「①入力」

材料，弁質量及び骨組材断面性能等の解析条件の入力に対し，正しく条件が入力されていることの確認を行った。

・「②解析」

配管については，別の構造解析用計算機コードを用いて，代表的な配管検証用モデルに対する計算を行い，比較を行うことによって，計算結果の妥当性の確認を行った（2.1　配管参照）。

支持構造物については，材料力学に基づく手計算手法を用いて，代表的な簡易骨組モデルに対する計算を行い，比較を行うことによって計算結果の妥当性の確認を行った（2.2　支持構造物参照）。

・「①入力」＋「②解析」＋「③出力処理」＋「④出力」

「SAP－Ⅳ」により出力されたモーメントは応力に変換され，正しく出力されていることを確認した。これらの処理は，手計算によりその妥当性について確認を行った。

1.3　結論

以上より，解析結果の検証を行い，手順①～④の妥当性を確認した。

2.　計算機コードの検証

2.1　配管

(1)　検証の概要

計算機コード「SAP－Ⅳ」による計算結果の検証用に用いた構造解析用計算機コード「NASTRAN」はNASAで開発されたプログラムであり，1965年開発後，これまで約40年の使用実績があり，世界的に使用実績及びクライアント数の多いプログラムの一つである。「SAP－Ⅳ」と「NASTRAN」を用いて代表的な配管検証用モデルを対象に解析を行い，得られた結果を比較することにより，検証を行った。

(2)　検証解析

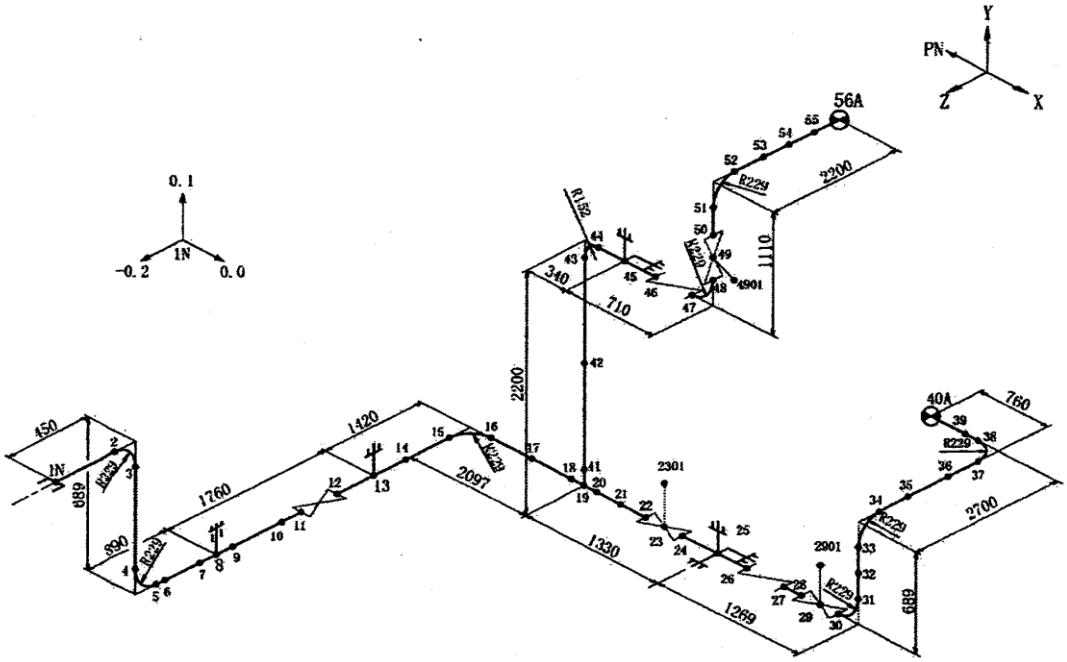
代表的な配管検証用モデルについて，「SAP－Ⅳ」及び「NASTRAN」を用いて解析し，両者の解析結果を比較評価する。以下に解析内容及び検証項目を示す。

解析内容	検証項目
静的解析（自重・熱膨張）	拘束点反力

(3)　解析条件

以下に解析モデル及び設計条件を示す。

・解析モデル



鳥瞰図記号凡例

記　　号	内　　容
●	質　　点
⊗	ア　ン　カ
	レストレイント
	リジットハンガ
Y(mm) Z(mm)　X(mm)	主要機器取合点等の移動量
	注：鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。

弁部の質量

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
278.4kg/m	11～12	59.9kg	22～23
59.9kg	23～24	185.4kg/m	26～27
59.7kg	28～29	127.4kg	29～30
185.4kg/m	46～47	127.9kg	48～49
59.9	49～50	119.9kg	2301
119.4kg	2901	119.9kg	4901

・設計条件

以下に示す荷重条件のもとで，配管系の静的な解析を行った。

a. 自重

b. 熱膨張

解析範囲									
管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	運転温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	縦弾性係数* (MPa)	熱膨張係数* ($\times 10^{-6}$mm/mm℃)
1	1N～11,12～22 24～26,27～28 19～43,44～46 47～48	1.04	93	40	165.2	7.1	STPT410	201667	10.3
2	30～40A	0.43	93	40	165.2	7.1	STPT410	201667	10.3
3	43～44	1.04	93	40	165.2	7.1	STPT410	201667	10.3
4	50～56A	1.04	93	40	165.2	7.1	SUS304TP	193667	15.4

注記*：運転温度における縦弾性係数及び熱膨張係数を示す。

(4)解析結果の比較

表 2-1　拘束点反力（「SAP－Ⅳ」と「NASTRAN」の比較）

自重　　（単位：N）

節点	SAP－Ⅳ			NASTRAN		
	Fx	Fy	Fz	Fx	Fy	Fz
1N	10	442	-99	20	452	-99
8	0	1001	0	0	981	0
13	0	1991	0	0	2021	0
25	599	7365	344	618	7385	344
40A	-89	1226	-89	-89	1226	-99
45	275	4649	0	246	4629	0
56A	-795	1373	-148	-785	1354	-148

熱膨張　　（単位：N）

節点	SAP－Ⅳ			NASTRAN		
	Fx	Fy	Fz	Fx	Fy	Fz
1N	99	-138	-148	99	-138	-148
8	0	50	0	0	50	0
13	0	383	0	0	383	0
25	-89	1030	-246	-89	1030	-246
40A	-89	-148	246	-89	-148	246
45	363	-991	0	363	-991	0
56A	-295	-187	148	-295	-197	148

(5)　検証結果

表 2-1 における自重及び熱膨張による拘束点反力の比較結果のとおり，両者でよく一致している。

以上の結果から，代表的な配管検証用モデルを用いた両者の解析結果はほぼ同等であり，「SAP－Ⅳ」の妥当性が確認された。

2.2　支持構造物

(1)　検証の概要

材料力学に基づく手計算手法を用いて，代表的な簡易骨組構造モデルに対する計算を行い，得られた結果を比較することにより検証を行った。

(2)　検証解析

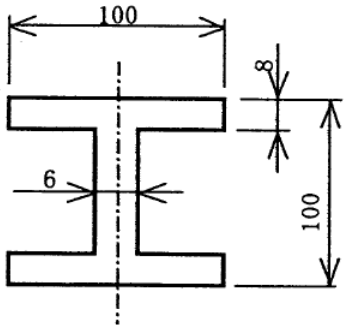
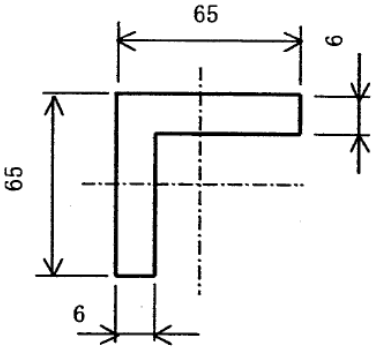
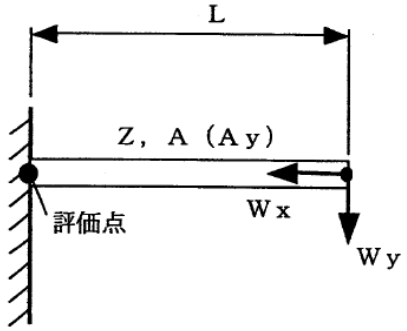
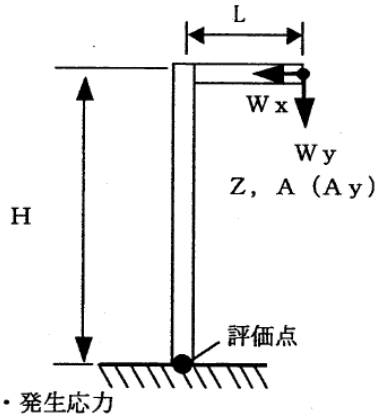
代表的な支持構造物検証用モデル「H 形鋼材」及び「L 形鋼材」について，「SAP－Ⅳ」及び「手計算手法」を用いて，両者の比較評価をする。

以下に，計算内容及び検証項目を示す。

計算内容	検証項目
圧縮応力，曲げ応力，せん断応力	発生応力

(3) 解析条件

・解析モデル （単位：mm）

評価１　H形鋼材片持ち梁構造	評価２　L形鋼材L型構造
 H鋼断面	 L鋼断面
 ・発生応力 圧縮応力：Wx*g/A 曲げ応力：Wy*g*L/Z せん断応力：Wy*g/Ay	 ・発生応力 圧縮応力：Wy*g/A 曲げ応力：(Wy*g*L-Wx*g*H)/Z せん断応力：Wx*g/Ay

・設計条件

			評価１	評価２
付加質量	Wx	kg	0	0
	Wy	kg	61	36
梁長さ	L	mm	300	67.5
柱高さ	H	mm	－	292.5
重力加速度	g	m/s^2	9.80665	9.80665
断面係数	Z	mm^3	67800	6270
断面積	A	mm^2	2190	752.7
有効断面積（せん断面積）	Ay	mm^2	504	354

(4) 評価結果の比較

表 2-2 発生応力（「SAP－Ⅳ」と「手計算手法」の比較）

H 形鋼材

	SAP－Ⅳ			手計算手法		
	圧縮応力	曲げ応力	せん断応力	圧縮応力	曲げ応力	せん断応力
発生応力 (MPa)	0	3	2	0	2.7	1.2

L 形鋼材

	SAP－Ⅳ			手計算手法		
	圧縮応力	曲げ応力	せん断応力	圧縮応力	曲げ応力	せん断応力
発生応力 (MPa)	1	4	0	0.5	3.9	0

(5) 検証結果

表 2-2 における H 形鋼材及び L 形鋼材による発生応力の比較結果のとおり，両者でよく一致している。

以上の結果から，代表的な簡易骨組構造モデルを用いた両者の計算結果はほぼ同等であり，「SAP－Ⅳ」の妥当性が確認された。

参考資料（２）

耐震解析に用いるコード（ABAQUS）について

コード名 項目	ABAQUS
開発機関	ABAQUS 社
使用したバージョン	Version 6.5.4
開発時期	2005 年（初版開発時期　1978 年）
計算機コードの概要	本計算機コードは,有限要素法による線形／非線形の静的・動的解析汎用プログラムである。以下に示す解析機能及び要素を有している。 ＜解析機能＞ １．線形・非線形静的応力／変位解析 ２．動的／変位解析 ３．非定常の動的／変位解析 ４．定常・非定常の伝熱解析 ５．弾塑性解析 ６．大変形解析 ＜要素＞ １．軸対象 ２．平面ひずみ／平面応力 ３．三次元ソリッド ４．三次元シェル ５．トラス ６．はり
検証方法	・ 振動試験結果とコードによる地震応答計算結果を比較して検証*が実施されていることを確認した。

注記：以下の文献を確認し，検証されたコードであることを確認した。

＊：平成 19 年度　原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査
動的上下動耐震試験（クレーン類）に係る報告書
（平成 21 年 1 月　独立行政法人　原子力安全基盤機構）

コード名 項目	ABAQUS
開発機関	ダッソー・システムズ株式会社
使用したバージョン	Version 6.11.1
開発時期	2005 年（初版開発時期　1978 年）
計算機コードの概要	本計算機コードは，有限要素法による線形／非線形の静的・動的解析汎用プログラムである。以下に示す解析機能及び要素を有している。 ＜解析機能＞ １．線形・非線形静的応力／変位解析 ２．動的／変位解析 ３．非定常の動的／変位解析 ４．定常・非定常の伝熱解析 ５．弾塑性解析 ６．大変形解析 ＜要素＞ １．軸対象 ２．平面ひずみ／平面応力 ３．三次元ソリッド ４．三次元シェル ５．トラス ６．はり
検証方法	【検証(Verification)】 本解析コードを用いた解析結果と理論モデルによる理論解の比較を行い，解析結果が理論解と一致することを確認している。 本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 【妥当性確認】 Ver.6.5.4 と Ver.6.11.1 の双方で同じインプット条件で解析を実施し，妥当性を確認した。

参考資料（３）

耐震解析に用いるコード（NX Nastran）について

1. 概要

Nastranは，40年以上にわたって利用されている，動的・静的解析用の業界標準の汎用有限要素法ソルバーである。米国NASAにより，宇宙開発プロジェクト・サターンⅤ型ロケットの設計のために開発され，1972 年に最初のコマーシャルバージョンがリリース（MSC.Nastran）された。その後，2003年にSiemens PLM Software社のNX Nastranに分かれて，開発・販売を継続している汎用ソフトウェアである。

2. 機能

NX Nastranは，構造解析に関して主に以下の機能を有する。

① 三次元の梁モデル，シェルモデル及びソリッドモデルによる構造解析を行うことができる

② 固有値解析を行うことができ，固有振動数及び各固有振動モードに対する刺激係数や有効質量を算出できる

③ 静的解析，固有値解析，スペクトル応答解析，動的応答解析を行うことができる

3. 検証方法

理論値との比較による検証が実施されていることを確認した。

4. 使用したバージョン

NX Nastran Version 8.1

5.　解析及び計算機コードの検証

5.1.　解析の検証

5.1.1.　解析フローチャート

本計算機コードを用いた計算のフローを図 5.1-1 に示す。

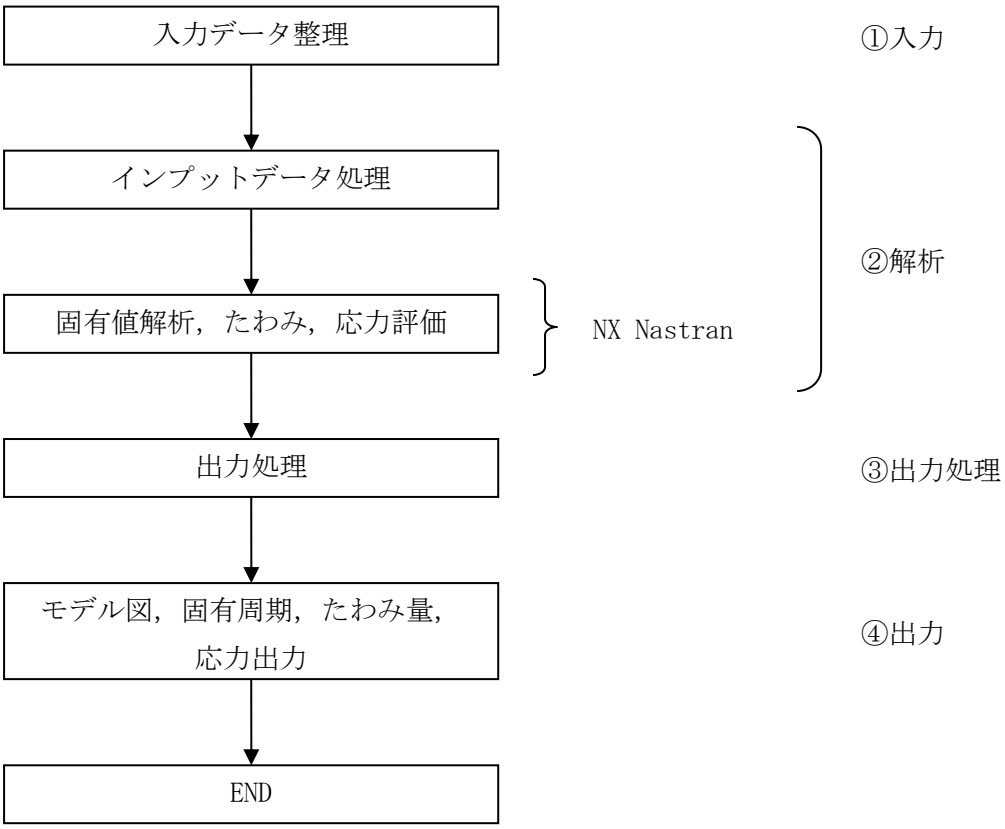


図 5.1-1　計算フロー

5.1.2.　解析の検証

図 5.1-1 に示した各フローにおける検証方法を以下に示す。

・「①入力」

寸法，物性値等の解析条件の入力に対して，正しく条件が入力されていることを確認した。

・「②解析」

両端固定梁，片持ち平板の固有振動数について，材料力学に基づく手計算手法を用いて計算を行い，「NX Nastran」の固有値解析の結果と比較を行うことによって解析結果の妥当性の確認を行った。

片持ち梁のたわみ量，応力について，材料力学に基づく手計算手法を用いて計算を行い，「NX Nastran」の結果と比較を行うことによって解析結果の妥当性の確認を行った（「5.2.　計算機コードの検証」参照)。

・「①入力」＋「②解析」＋「③出力処理」＋「④出力」

「NX Nastran」による解析結果が正しく出力されていることを確認した。

5.1.3.　結論

以上より，解析結果の検証を行い，手順①～④の妥当性を確認した。

5.2.　計算機コードの検証

5.2.1.　検証の概要

「NX Nastran」を用いて，基本的な構造の解析を行い，得られた結果と理論解との比較を行うことにより，検証を行った。

5.2.2.　検証解析

以下に示す構造を「NX Nastran」で解析を行い，理論解との結果を比較評価する。

解析内容	検証項目
両端固定梁	固有振動数
片持ち平板	固有振動数
片持ち梁	たわみ，応力

両端固定梁の解析モデルを図 5.2.2-1 に,片持ち平板の解析モデルを図 5.2.2-2 に,片持ち梁の解析モデルを図 5.2.2-3 に示す。

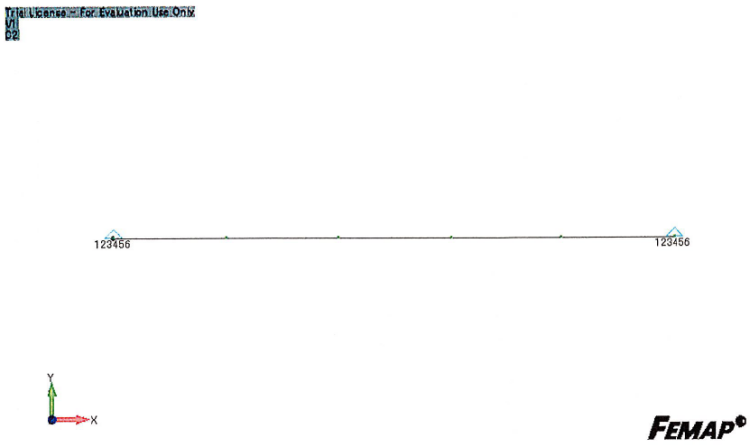


図 5.2.2-1　両端固定梁の解析モデル

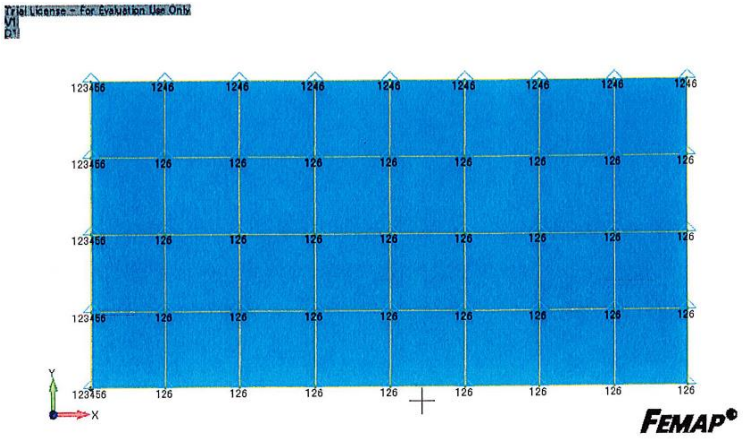


図 5.2.2-2　片持ち平板の解析モデル

図 5.2.2-3　片持ち梁の解析モデル

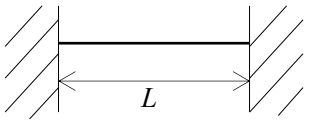
5.2.3.　理論解

(1)　両端固定梁の固有振動数

固定梁の軸に対して直角方向に梁が振動する場合の固有振動数は

$$f_n = \frac{\lambda_n^2}{2\pi L^2}\sqrt{\frac{EI}{\rho A}}$$

で表される。



ここで,

$\lambda_1 = 4.730$

$L = 10$［m］　　（梁の長さ）

$E = 200000$［MPa］　　（ヤング率）

$$I = \frac{2\times 2^3}{12}$$　　（断面二次モーメント）

$= 1.333$［m^4］

$\rho = 8000$［kg/m^3］　　（単位体積当たりの質量）

$A = 2\times 2 = 4$［m^2］　　（梁の面積）

とすると，固定梁の固有振動数は

$$f_1 = \frac{\lambda_1^2}{2\pi L^2}\sqrt{\frac{EI}{\rho A}}$$

$$= \frac{4.730^2}{2\cdot\pi\cdot 10^2}\sqrt{\frac{200000\cdot 10^6\times 1.333}{8000\times 4}}$$

$= 102.7774$［Hz］

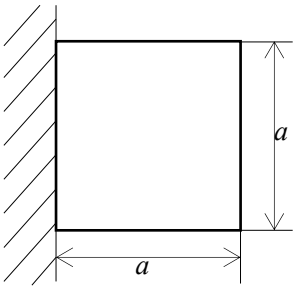
となる。

(2)　片持ち平板の固有振動数

片持ち平板が振動する場合の固有振動数は

$$f_n = \frac{\lambda_n}{2\pi a^2}\sqrt{\frac{D}{\rho h}}$$

で表される。



ここで,

$\lambda_1 = 3.494$

a = 10［m］　　（板の各辺の寸法）

h = 0.05［m］　　（平板の厚さ）

E = 200000［MPa］　　（ヤング率）

ν= 0.3　　（ポアソン比）

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$$　　（曲げ剛性）

$$= \frac{200000 \times 10^6 \times 0.05^3}{12(1-0.3^2)}$$

$= 2.289\times10^6$［N･m］

ρ= 8000［kg/m^3］（単位体積当たりの質量）

とすると，固定梁の固有振動数は

$$f_1 = \frac{\lambda_1}{2\pi a^2}\sqrt{\frac{D}{\rho h}}$$

$$= \frac{3.494}{2\cdot\pi\cdot10^2}\sqrt{\frac{2.289\times10^6}{8000\times0.05}}$$

= 0.420665［Hz］

となる。

(3)　片持ち梁のたわみ，応力

片持ち梁のたわみは

$$v = \frac{Wl^3}{3EI}$$

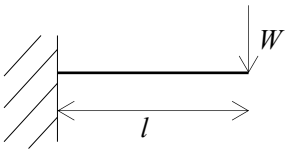
で表される。

ここで，

W = 50000［N］　　（荷重）

l = 480［m］　　（梁の長さ）

E = 30000000［Pa］　　（ヤング率）



b = 30［m］

h = 30［m］

$$I = \frac{bh^3}{12}$$　　（断面二次モーメント）

$$= \frac{30 \cdot 30^3}{12}$$

= 67500［m^4］

とすると，片持ち梁のたわみは

$$v = \frac{Wl^3}{3EI}$$

$$= \frac{50000 \cdot 480^3}{3 \cdot 30000000 \cdot 67500}$$

= 0.91［m］

となる。

片持ち梁に発生する応力は

$$Z = \frac{bh^2}{6}$$　　（断面係数）

$$= \frac{30 \cdot 30^2}{6}$$

= 4500［m^3］

とすると，

$$\sigma = \frac{W \cdot l}{Z}$$

$$= \frac{50000 \cdot 480}{4500}$$

= 5334［N/m^2］

となる。

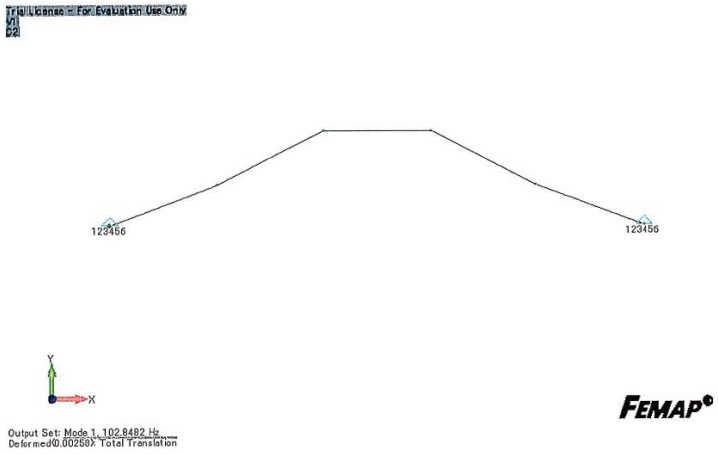
5.2.4.　検証結果

「NX Nastran」による解析結果を図 5.2.4-1～3 に示す。「NX Nastran」による解析結果と理論解の比較を表 5.2.4-1 に示す。

「NX Nastran」による解析結果と手計算の結果がよく一致していることを確認した。

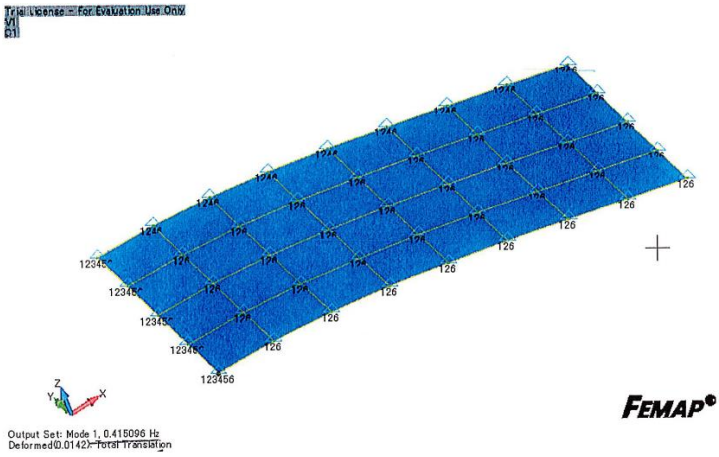
表 5.2.4-1　「NX Nastran」による解析結果と理論解の比較

解析内容	項目	「NX Nastran」による解析結果	理論解
両端固定梁	固有振動数[Hz]	102.8482	102.7774
片持ち平板	固有振動数[Hz]	0.415096	0.420665
片持ち梁	たわみ[m]	0.91	0.91
	応力[N/m^2]	5333	5334



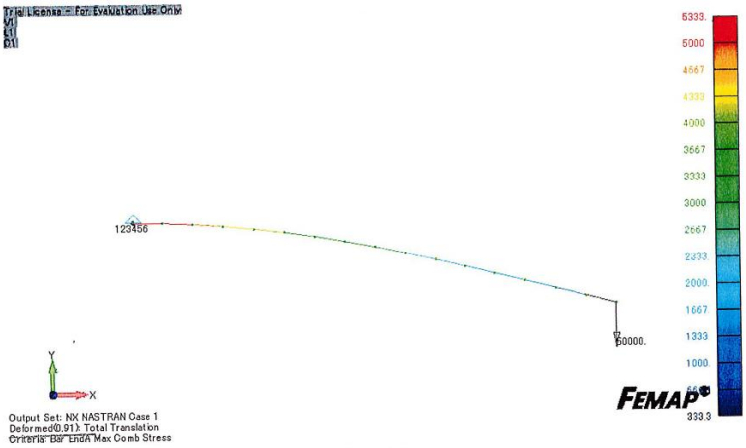
1次モード

図 5.2.4-1　両端固定梁の解析結果（固有振動数）



1次モード

図 5.2.4-2　片持ち平板の解析結果（固有振動数）



変形状態

図 5.2.4-3　片持ち梁の解析結果（たわみ・応力）

参考資料（4）

耐震解析に用いるコード（ANSYS について）

コード名 / 項目	ANSYS
開発機関	Swanson Analysis Systems 社（現 ANSYS 社）
使用したバージョン	14.5
開発時期	2012 年(初版開発時期　1970 年)
解析コードの概要	ANSYS(以下,「本解析コード」という。)は Swanson Analysis Systems 社（現 ANSYS 社）により開発された有限要素解析法による計算機プログラムである。 本解析コードは，広範囲に亘る多目的有限要素解析法による計算機プログラムであり，静的及び動的構造力学問題のシミュレーションならびに解析を実施するものである。 本解析コードは，ISO9001 及び ASME NQA-1 を取得し，アメリカ合衆国規制委員会による 10CFR Part 50 ならびに 10CFR21 の要求を満たしており，数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，機械，建築，土木等の様々な分野の構造解析に広く利用されている。
検証及び妥当性確認	【検証】 本解析コードの検証の内容は次の通りである。 ・　本解析コードの検証は，開発元のリリースノートの例題集において，解析例に対する理論解と解析結果との比較が実施されている。 ・　本解析コードが適正であることは，コード配布時に同梱された Verification Testing Package により確認している。 ・　本解析コードの運用環境について，開発元から提示された要件を満足していることを確認している。 【妥当性確認】 本解析コードの妥当性確認の内容は次の通りである。 ・　本解析コードは，数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，機械，建築，土木等の様々な分野の構造解析に広く利用されていることを確認している。 ・　本解析コードは，原子力分野では，原子炉設置（変更）許可申請書における応力解析等，これまで多くの構造解析に対し使用実績があることを確認している。

燃料取り出し用カバーの構造強度及び耐震性に関する説明書

1.　本説明書の記載範囲

本説明書は，１号機，２号機，３号機及び４号機燃料取り出し用カバーの構造強度及び耐震性について記載するものである。

2.　４号機燃料取り出し用カバーの構造強度及び耐震性について

2.1　概要

2.1.1　一般事項

4 号機燃料取り出し用カバーは，使用済燃料プールを覆う構造としており，クレーン支持用架構と燃料取扱機支持用架構を有し，それぞれについて構造強度と耐震性について検討を行う。なお，耐震設計上の重要度分類は，燃料取扱設備の間接支持構造物としてＢクラス相当とする。

燃料取り出し用カバーの構造強度は一次設計に対応した許容応力度設計を実施し，耐震性は基準地震動 Ss に対する地震応答解析を実施し，燃料取り出し用カバーの損傷が原子炉建屋，使用済燃料プール及び使用済燃料ラックに波及的影響を及ぼさないことを確認する。ここで，波及的影響の確認は，架構が崩壊機構に至らないことを確認する。図 2.1.1-1 に燃料取り出し用カバーのイメージを示す。

なお，一部損壊した原子炉建屋に接合される燃料取扱機支持用架構の施工前において，本説明書で想定しているように，原子炉建屋の接合部が施工に十分な状態かどうか確認した点検結果を別途報告するとともに，不具合が見つかった場合には，適切に補修等を実施する。

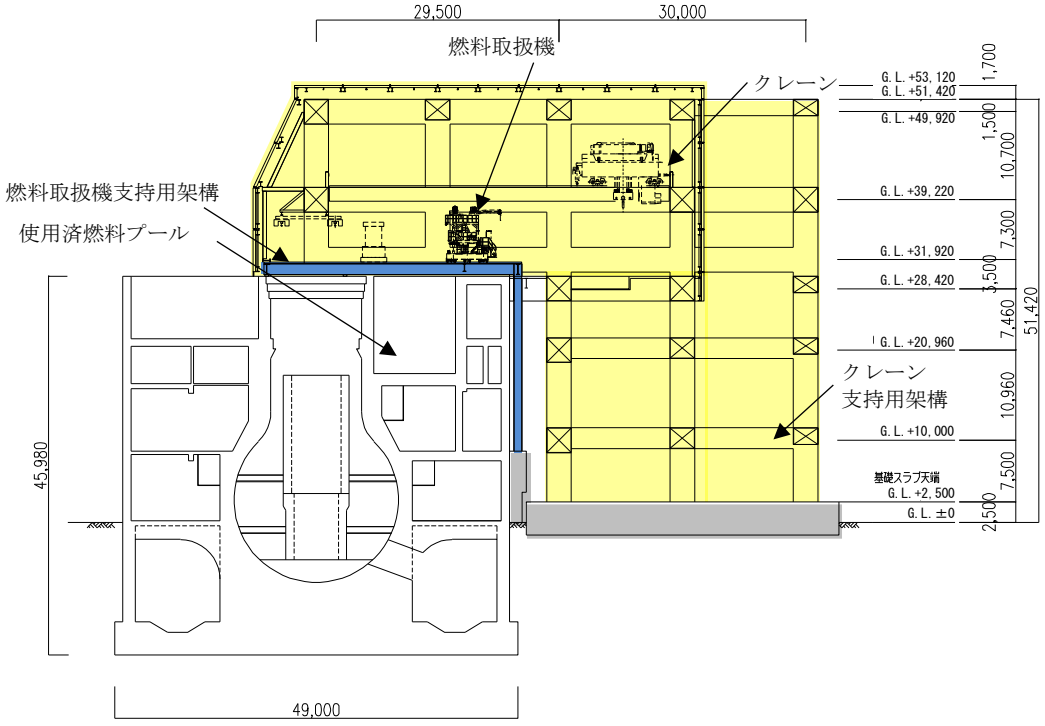


図 2.1.1-1　燃料取り出し用カバーのイメージ

燃料取り出し用カバーの検討は原則として下記の法規及び基規準類に準拠して行う。

(1) 建築基準法・同施行令及び関連告示
(2) 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会，2005 制定）
(3) 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会，2010 改定）
(4) 鋼構造設計規準（日本建築学会，2005 改定）
(5) 建築基礎構造設計指針（日本建築学会，2001 改定）
(6) 2007 年版 建築物の構造関係技術基準解説書(国土交通省住宅局建築指導課･国土交通省 国土技術政策総合研究所･独立行政法人建築研究所･日本建築行政会議，2007 刊行)
(7) 鋼構造塑性設計指針（日本建築学会，1975 発行）
(8) 建築工事標準仕様書・同解説 JASS14 カーテンウォール工事（日本建築学会，1996 改定）
(9) 各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会，2010 改定）

また，原子力施設の設計において参照される下記の指針及び規程を参考にして検討を行う。

(1) 原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG 4601-1987)（日本電気協会 電気技術基準調査委員会，昭和 62 年 8 月 改訂)
(2) 原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG 4601-1991 追補版)（日本電気協会 電気技術基準調査委員会，平成 3 年 6 月 発刊)
(3) 原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC 4601-2008)（日本電気協会 原子力規格委員会，平成 20 年 12 月 改定)
(4) 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（JEAC 4616-2009)（日本電気協会 原子力規格委員会，平成 21 年 12 月 制定)

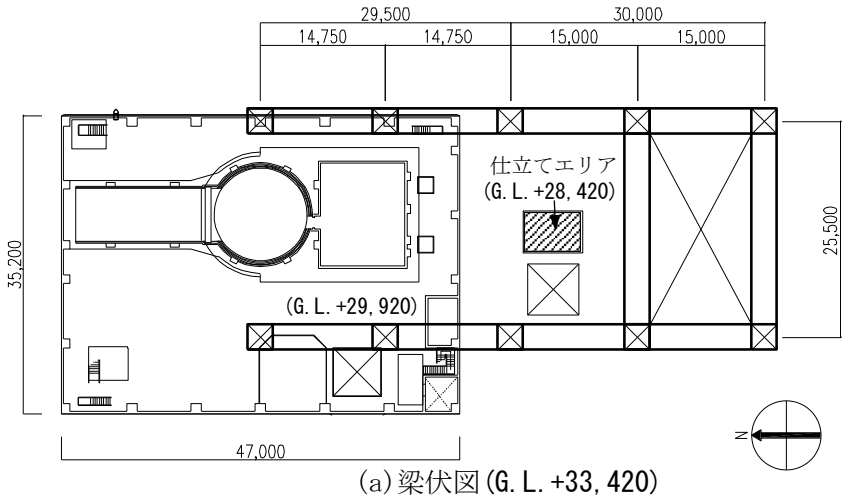
添付資料－4－2 では，G.L.±0mm＝T.P.8,564(※)とする。
(※)震災後の地盤沈下量(-709mm)と，O.P.から T.P.への
読替値(-727mm)を用いて，下式に基づき換算している。
＜ 換算式 ＞ T.P.＝旧 O.P.-1,436mm

2.1.2　クレーン支持用架構

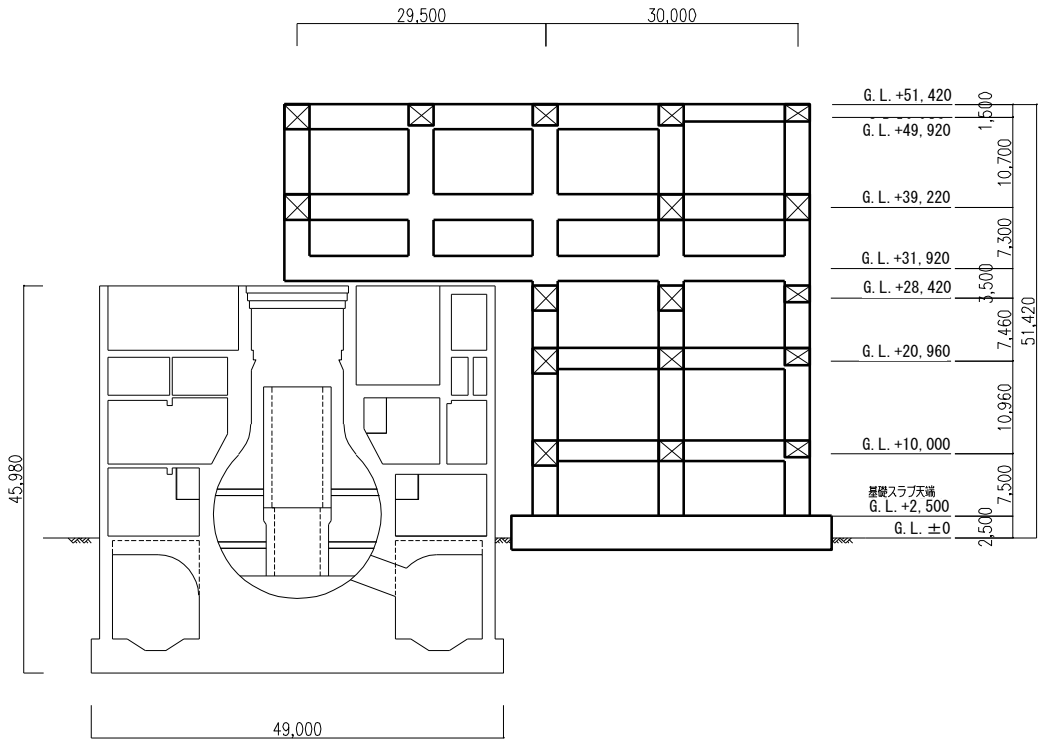
クレーン支持用架構はキャスク搬出入用の天井クレーンを支持する架構で，南北方向に 30.00m，東西方向に 25.50m，地盤面からの高さが 51.42m の柱部分と，北方向に 29.50m 跳ね出した片持ち梁部分からなる逆 L 字型の架構である。構造形式はラーメン構造で，構造種別は鉄骨造である。柱，大梁には，箱型断面部材を用いる。

基礎形式は基礎スラブによる直接基礎とし，地震時の基礎の転倒防止対策として地盤アンカーを用い，基礎スラブを支持する地盤は地盤改良により強固な支持地盤を形成する。改良地盤は既存の原子炉建屋と同様に泥岩に着底している。

クレーン支持用架構の概要を図 2.1.2-1 に，基礎スラブ及び改良地盤の概要を図 2.1.2-2 に示す。

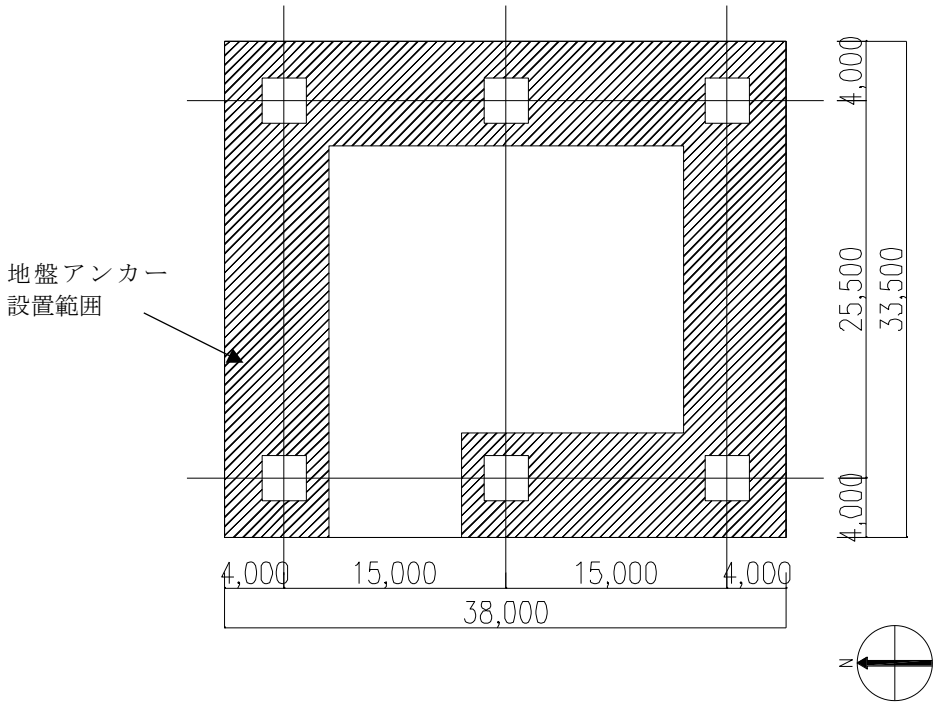


(a)梁伏図(G.L.+33,420)

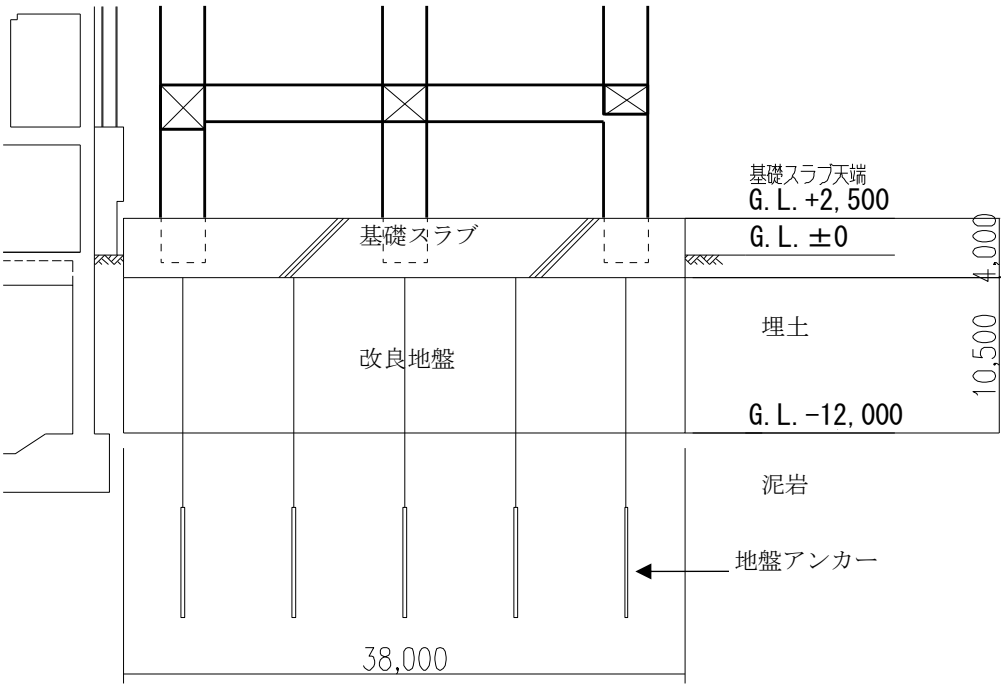


(b) 軸組図

図 2.1.2-1　クレーン支持用架構の概要（単位：mm）



(a) 基礎伏図



(b) 基礎断面図

図 2.1.2-2　基礎スラブ及び改良地盤の概要（単位：mm）

2.1.3　燃料取扱機支持用架構

燃料取扱機支持用架構は燃料取扱機を支持する架構で，南北方向に 30.50m，東西方向に 13.36m，地盤面からの高さが 30.77m の柱及び梁からなる逆 L 字型の架構である。構造形式はラーメン構造で，構造種別は鉄骨造である。

支持形式は，原子炉建屋シェル壁上端及び 1 階から 2 階の南側外壁に支持する構造である。燃料取扱機支持用架構の概要を図 2.1.3-1(1)及び図 2.1.3-1(2)に示す。

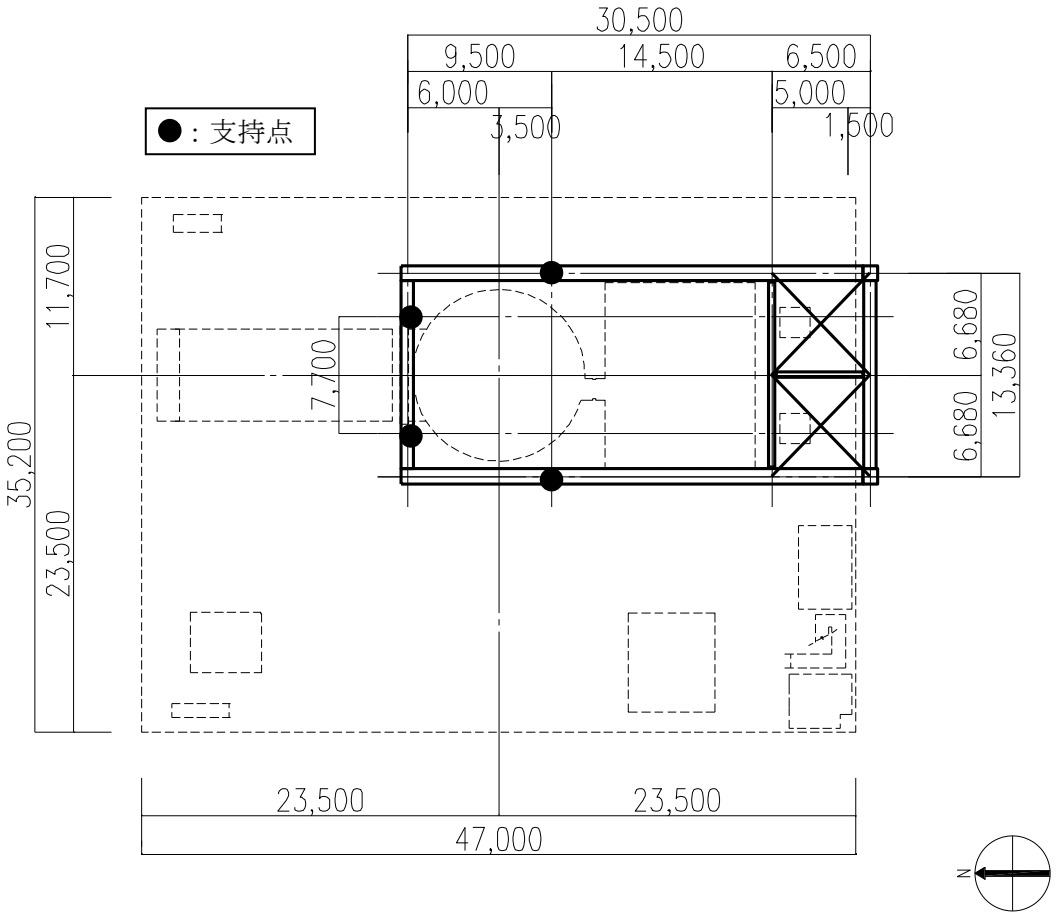
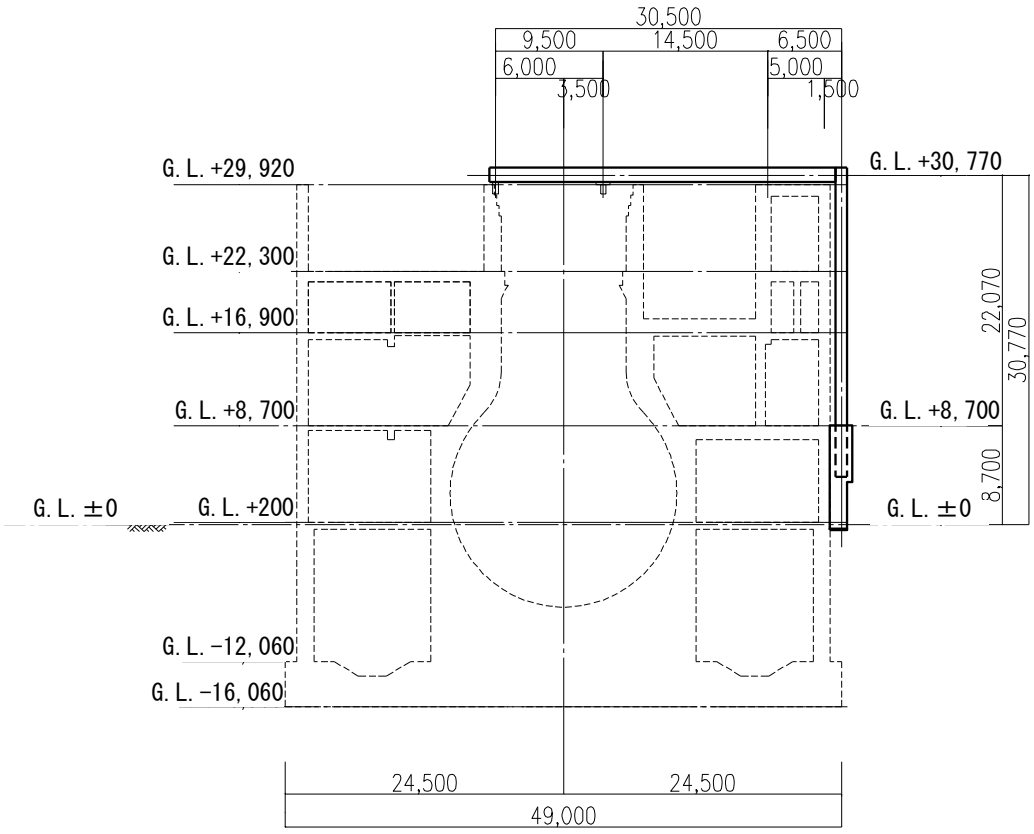
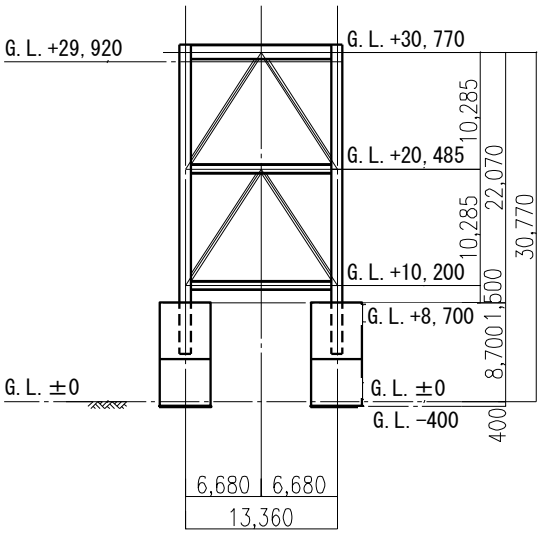


図 2.1.3-1(1)　燃料取扱機支持用架構の概要(梁伏図（G.L.+31,420））（単位：mm）



(a)断面図



(b)立面図

図 2.1.3-1(2)　燃料取扱機支持用架構の概要（単位：mm）

2.2　クレーン支持用架構の構造強度及び耐震性について

クレーン支持用架構の構造強度及び耐震性の検討フローを図 2.2-1 に示す。

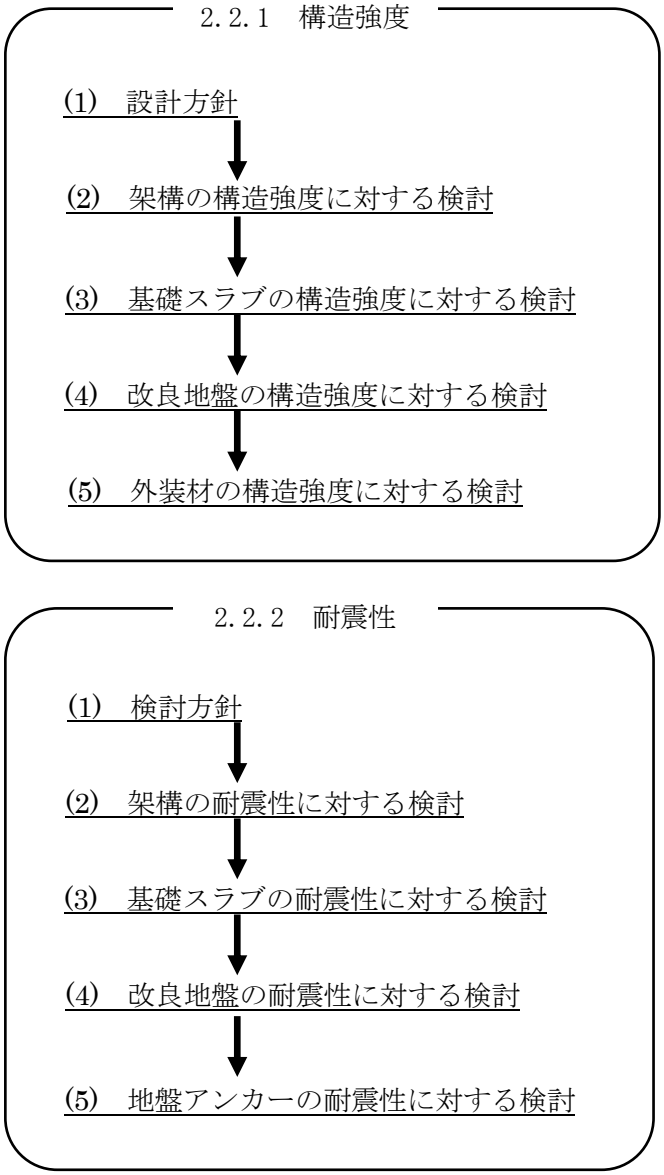


図 2.2-1　クレーン支持用架構の検討フロー

2.2.1　構造強度

(1)　設計方針

構造強度の検討は，クレーン支持用架構，基礎スラブ，改良地盤及び外装材について許容応力度設計を実施する。

1)　使用材料及び許容応力度

使用材料の物性値及び許容応力度を表 2.2.1-1(1)及び表 2.2.1-1(2)に示す。

表 2.2.1-1(1)　クレーン支持用架構の物性値及び許容応力度

材料定数

部位	材料	ヤング係数 E（N/mm²）	ポアソン比 ν	単位体積重量 γ（kN/m³）
架　　構	鉄骨	2.05×10^5	0.3	77.0
基礎スラブ	コンクリート	2.44×10^4	0.2	24.0

コンクリートの許容応力度　（単位：N/mm²）

	長期			短期		
設計基準強度＝30	圧縮	引張	せん断	圧縮	引張	せん断
	10.0	－	0.790	20.0	－	1.185

鉄筋の許容応力度　（単位：N/mm²）

記号	鉄筋径	長期		短期	
		引張及び圧縮	せん断補強	引張及び圧縮	せん断補強
SD345	D29 未満	215	195	345	345
	D29 以上	195			
SD390	D29 未満	215	195	390	390
	D29 以上	195			

構造用鋼材の許容応力度　（単位：N/mm²）

板厚	材料	基準強度 F	許容応力度
T≦40mm	SS400，SN400B	235	「鋼構造設計規準」に従い，左記 F の値より求める
T＞40mm	SN400B	215	
T≦40mm	SM490A，SN490B	325	
T≦40mm	SM520B	355	

表 2.2.1-1(2)　改良地盤，支持地盤の物性値及び許容応力度

改良地盤の許容応力度　（単位：kN/m²）

設計基準強度=2300*1	長期			短期		
	圧縮	引張	せん断	圧縮	引張	せん断
改良地盤	766	－	153	1533	－	306
断面欠損を考慮*2	750	－	114	1502	－	229

*1：施工結果を反映した

*2：「JEAC4616-2009」に準拠し，断面欠損を鉛直方向に 2%，せん断方向に 25%考慮した

支持地盤の許容支持力度　（単位：kN/m²）

種別	長期*1	短期*1
泥岩（岩盤）	1960	3920

*1：「福島第一原子力発電所第 4 号機工事計画認可申請書」による

2)　荷重及び荷重組合せ

設計で考慮する荷重を以下に示す。

・鉛直荷重（VL）

クレーン支持用架構に作用する鉛直方向の荷重で，固定荷重，機器荷重，配管荷重，積載荷重及び地盤アンカーの効果を考慮した荷重とする。

・クレーン荷重（CL）

天井クレーンによる荷重を表 2.2.1-2 に示す。

表 2.2.1-2　クレーン荷重一覧表

クレーン自重	1666 kN
トロリ自重	1010 kN
吊荷	980 kN

・積雪荷重（SL）

積雪荷重は建築基準法施行令及び福島県建築基準法施行規則細則に準拠し以下の条件とする。

積雪量：30cm，単位荷重：20N/m²/cm

・風圧力（WL）

風圧力は建築基準法施行令第 87 条および建設省告示第 1454 号に基づき，基準風速を 30m/s，地表面粗度区分Ⅱとして算定する。速度圧の算定結果を表 2.2.1-3 に示す。

表 2.2.1-3　速度圧の算定結果

建物高さ* H (m)	平均風速の 鉛直分布係数 Er	ガスト 影響係数 Gf	建物高さと粗度 区分による係数 E	基準風速 Vo (m/s)	速度圧 q (N/m²)
52.73	1.28	2.00	3.28	30	1769

＊：　建物高さは，軒高さ（52.34m）と最高高さ（53.12m）の平均値とした

・地震荷重（K）

水平地震力はG.L.±0mを基準面として，下式により算定し，算定結果を表2.2.1-4に示す。

$$Qi=n \cdot Ci \cdot Wi$$
$$Ci=Z \cdot Rt \cdot Ai \cdot Co$$

ここで，

Qi ：水平地震力（kN）

n ：施設の重要度に応じた係数（n=1.5）

建築基準法で定める地震力の1.5倍を考慮する。

Ci ：地震層せん断力係数

Wi：当該部分が支える重量（kN）

Z ：地震地域係数（Z=1.0）

Rt ：振動特性係数（Rt=1.0）

Ai ：地震層せん断力係数の高さ方向の分布係数で，クレーン支持用架構の固有値を用いたモーダル法（二乗和平方根法）により求める。

C_0 ：標準せん断力係数（C_0=0.2）

表2.2.1-4　水平地震力の算定結果

階	G.L.(m)	各階重量 (kN)	Wi (kN)	Ai		n・Ci		Qi (kN)	
				NS方向	EW方向	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
R	+51.42	10569	－	－	－	－	－	－	－
6	+40.72～+51.42	13780	10569	1.443	1.477	0.433	0.443	4576	4683
5	+33.42～+40.72	5195	24349	1.302	1.328	0.391	0.398	9514	9702
4	+29.92～+33.46	9019	29544	1.254	1.272	0.376	0.382	11118	11271
3	+22.46～+29.92	5782	38563	1.183	1.187	0.355	0.356	13685	13730
2	+11.50～+22.46	6390	44345	1.113	1.114	0.334	0.334	14807	14818
1	+2.50～+11.50	－	50735	1.000	1.000	0.300	0.300	15221	15221

・荷重組合せ

設計で考慮するクレーンの位置を図 2.2.1-1 に，荷重組合せを表 2.2.1-5 に示す。

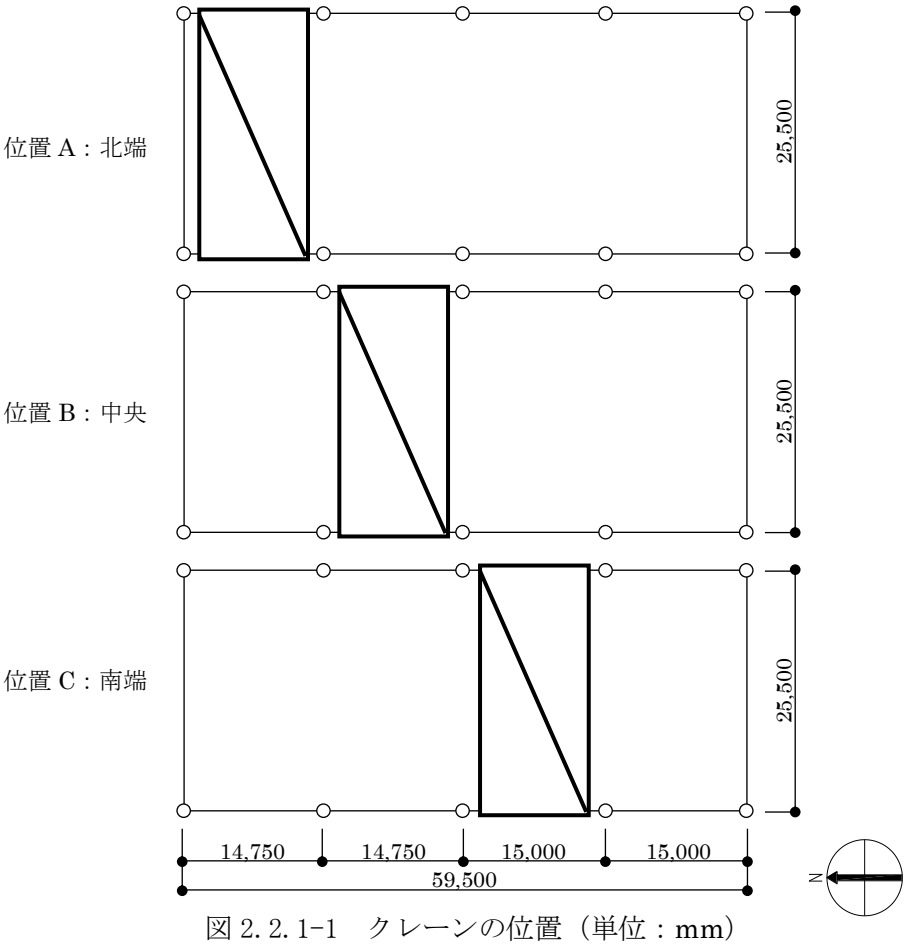


図 2.2.1-1　クレーンの位置（単位：mm）

表 2.2.1-5　クレーン支持用架構の荷重組合せ

想定する状態	荷重ケース	荷重組合せ内容	許容応力度
常時	C	VL+CL*1	長期
積雪時*3	S	VL+CL*1+SL	短期
暴風時*3	W	VL+CL*1+WL	
地震時	E1	VL+CL*1+K(＋NS)*2	
	E2	VL+CL*1+K(－NS)*2	
	E3	VL+CL*1+K(＋EW)*2	
	E4	VL+CL*1+K(－EW)*2	

*1：　吊荷重量は，常時，積雪時及び暴風時はクレーン位置，地震時は仕立てエリアにて考慮する。

*2：　地震荷重は NS 方向及び EW 方向を考慮する。

*3：　短期事象では地震時が支配的であることから，積雪時及び暴風時の検討は省略する。ただし，外装材の検討は暴風時が支配的であることから暴風時に対し検討を行う。

なお，地震時と暴風時のクレーン支持用架構の層せん断力について，風荷重の受圧面積が最大になる EW 方向で比較した結果を図 2.2.1-2 に示す。図 2.2.1-2 より，地震時の層せん断力は暴風時の層せん断力を包絡しており，支配的な荷重である。

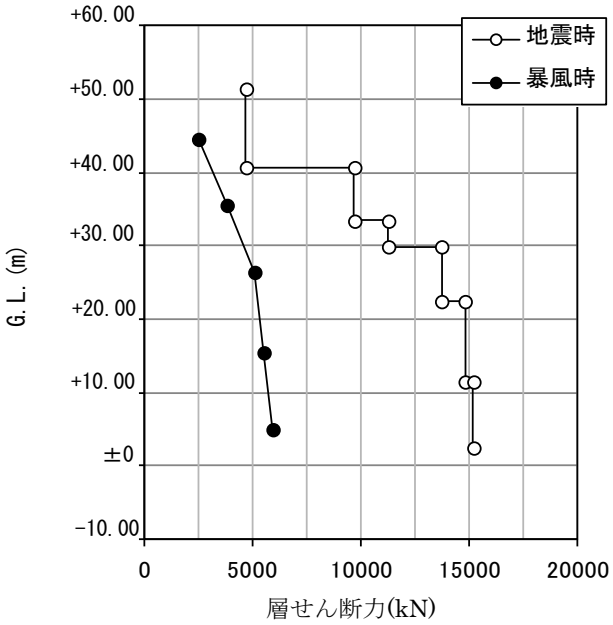


図 2.2.1-2　地震時と暴風時の層せん断力の比較

(2)　架構の構造強度に対する検討

1)　解析モデル

クレーン支持用架構の解析モデルは，基礎スラブ厚中央（G.L.+0.5m）より上部を立体架構モデルとし，柱及び梁の部材端部の条件は剛接，柱脚部は基礎下でピン支持とする。解析モデル，部材寸法及び応力検討箇所を図 2.2.1-3 に示す。ここに，使用する材質は SM490A とする。

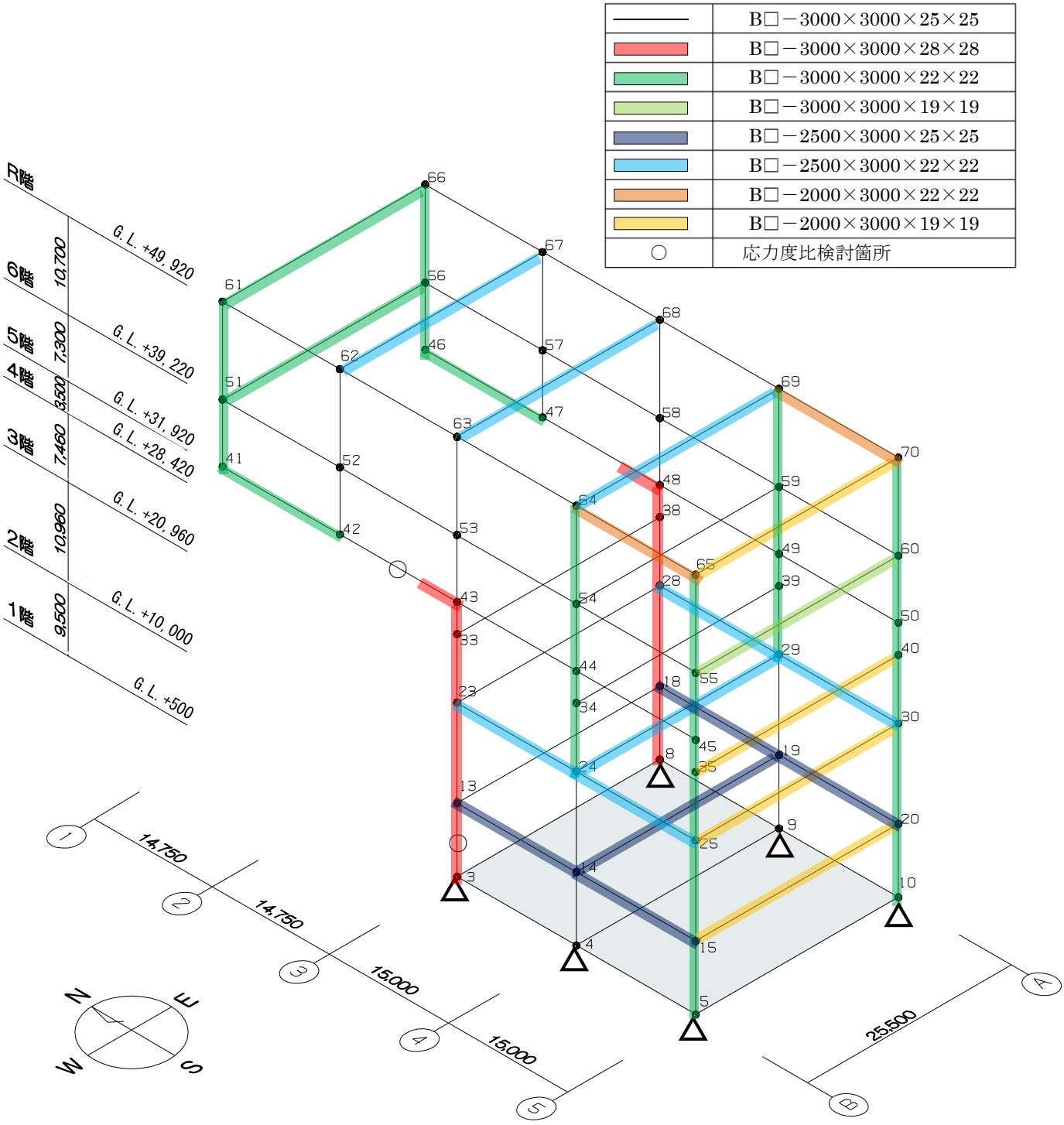
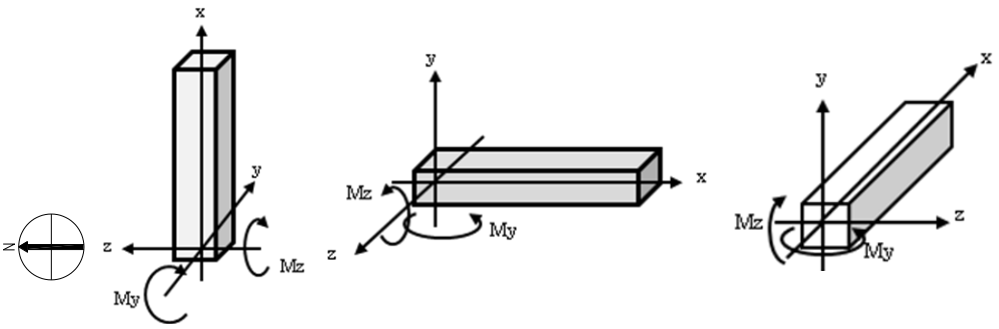


図 2.2.1-3　解析モデル図（単位：mm）

2)　断面検討

応力解析結果を用い，断面検討は二方向の曲げを図 2.2.1-4 に示すように考慮する。



柱要素　　NS 方向梁要素　　EW 方向梁要素

図 2.2.1-4　曲げモーメントの方向

応力度比の検討は「鋼構造設計規準」に従い，軸力及び曲げモーメントに対する検討は下式にて行う。

・軸圧縮の場合　　$\dfrac{\sigma_c}{f_c}+\dfrac{\sigma_{bz}+\sigma_{by}}{f_b}\leqq 1$

・軸引張の場合　　$\dfrac{\sigma_c+\sigma_{bz}+\sigma_{by}}{f_t}\leqq 1$

ここで，

σ_c：軸応力度（=N／A）

N：軸力，A：断面積

σ_{bz}：部材 z 軸方向曲げ応力度（＝M_z／Z_z）

M_z，Z_z：部材 z 軸回りモーメント及び断面係数

σ_{by}：部材 y 軸方向曲げ応力度（＝M_y／Z_y）

M_y，Z_y：部材 y 軸回りモーメント及び断面係数

f_c：許容圧縮応力度

f_b：許容曲げ応力度

f_t：許容引張応力度

また，せん断力に対する検討は下式にて行う。

$$\frac{\sqrt{(\sigma_c+\sigma_{bz}+\sigma_{by})^2+3\tau_z^{\,2}}}{f_t}\leqq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{\sqrt{(\sigma_c+\sigma_{bz}+\sigma_{by})^2+3\tau_y^{\,2}}}{f_t}\leqq 1$$

ここで，

τ_z：部材 z 軸方向せん断応力度（＝Q_z／A_{wz}）

Q_z，A_{wz}：部材 z 軸方向せん断力及びせん断断面積

τ_y：部材 y 軸方向せん断応力度（＝Q_y／A_{wy}）

Q_y，A_{wy}：部材 y 軸方向せん断力及びせん断断面積

表 2.2.1-6 及び表 2.2.1-7 に応力度比が最大となる部位の断面検討結果を示す。

断面検討の結果，全ての部材に対する応力度比が 1 以下になることを確認した。

表 2.2.1-6　断面検討結果（常時）

部位	検討箇所	部材形状 (mm)	荷重ケース (位置)*1	作用応力度 (N/mm²)		許容応力度 (N/mm²)	応力度比	判定
柱	1 階 3-B	B□-3000×3000 ×28×28	C (A)	曲げ Mz	37.3	216.7	0.52	OK
				曲げ My	8.4	216.7		
				圧縮 N	65.1	213.6		
				せん断 Qz	0.8	125.1		
				せん断 Qy	8.9	125.1		
梁	5 階 2-3/B	B□-3000×3000 ×28×28	C (A)	曲げ Mz	93.0	216.7	0.55	OK
				曲げ My	0.4	216.7		
				圧縮 N	19.2	214.1		
				せん断 Qz	0.4	125.1		
				せん断 Qy	20.1	125.1		

*1：クレーンの位置を示す

表 2.2.1-7　断面検討結果（地震時）

部位	検討箇所	部材形状 (mm)	荷重ケース (位置)*1	作用応力度 (N/mm²)		許容応力度 (N/mm²)	応力度比	判定
柱	1 階 3-B	B□-3000×3000 ×28×28	E3 (A)	曲げ Mz	160.6	325.0	0.86	OK
				曲げ My	31.9	325.0		
				圧縮 N	79.5	320.4		
				せん断 Qz	7.9	187.6		
				せん断 Qy	37.1	187.6		
梁	5 階 2-3/B	B□-3000×3000 ×28×28	E3 (A)	曲げ Mz	93.1	325.0	0.55	OK
				曲げ My	58.9	325.0		
				圧縮 N	20.0	321.1		
				せん断 Qz	8.3	187.6		
				せん断 Qy	20.5	187.6		

*1：クレーンの位置を示す

(3)　基礎スラブの構造強度に対する検討

1)　解析モデル

基礎スラブの応力解析は，弾性地盤上に支持された版として有限要素法を用いて行い，解析モデルは図 2.2.1-5 に示すように四辺形の均質等方な板要素により構成し，支持地盤は等価な弾性ばねとしてモデル化する。

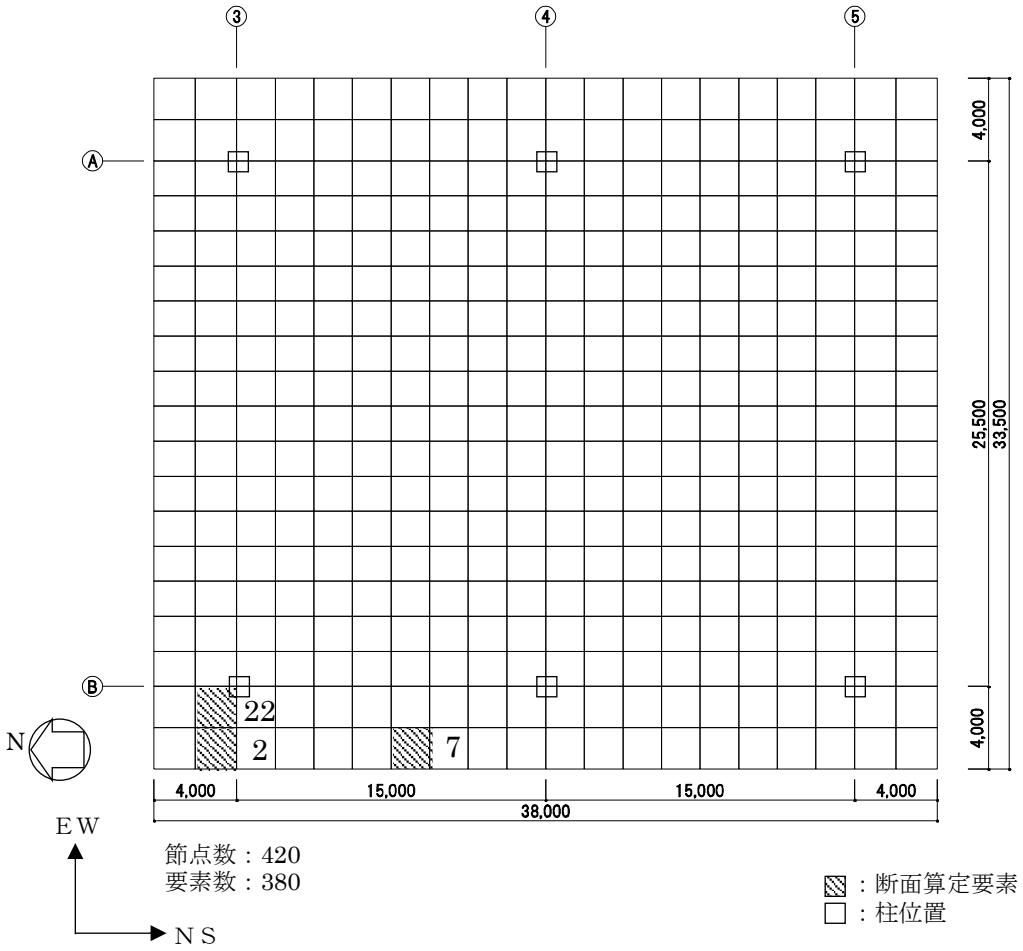


図 2.2.1-5　解析モデル図（単位：mm）

2)　断面検討

組合せた応力より，各要素の必要鉄筋比を「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」より求め，設計配筋が必要鉄筋比を上回ること及び面外せん断力が許容せん断力以下であることを確認する。必要鉄筋比が最大となる要素と設計面外せん断力と許容せん断力との比が最大になる要素の断面検討結果を表 2.2.1-8 に示し，必要鉄筋比が最大となる要素を含む EW 方向の配筋図を図 2.2.1-6 に示す。

断面検討の結果，設計配筋は必要鉄筋比を上回り，また面外せん断力は許容せん断力以下であることを確認した。

表 2.2.1-8　基礎スラブの断面算定表

要素番号	方向	荷重ケース(位置)*1	設計応力 N*2 (kN/m)	設計応力 M (kN･m/m)	N/(b･D) *2 (×10⁻²N/mm²)	M/(b･D²) (×10⁻²N/mm²)	Pt (%)	at (mm²/m)	設計配筋 上段：上端筋 [断面積 mm²/m] (pt:%) 下段：下端筋 [断面積 mm²/m] (pt:%)	荷重ケース(位置)*1	設計面外せん断力 Q (kN/m)	許容せん断力 fs･b･j (kN/m)	判定
2	NS	C(A)	-53	2397	-1.4	15.0	0.09	3600	D38@200+D38@400 [8550] (0.21)	C(C)	126	2627	OK
		E3(A)	-264	2643	-6.6	16.6	0.06	2400	D38@200+D38@400 [8550] (0.21)	E1(C)	215	3940	OK
	EW	C(A)	16	1589	0.4	10.0	0.06	2400	3-D38@200 [17100] (0.43) 2-D38@200 [11400] (0.29)	C(A)	1583	2627	OK
		E3(A)	110	2111	2.8	13.2	0.03	1200		E3(A)	1925	3940	OK
7	NS	C(A)	47	3678	1.2	23.0	0.13	5200	D38@200+D38@400 [8550] (0.21)	C(C)	245	2627	OK
		E2(A)	29	3932	0.8	24.6	0.07	2800	1-D38@200 [5700] (0.14)	E2(C)	396	3940	OK
	EW	C(C)	-2	40	-0.1	0.3	0.00	0	1-D38@200 [5700] (0.14)	C(B)	135	2627	OK
		E4(A)	-26	112	-0.7	0.7	0.00	0	1-D38@200 [5700] (0.14)	E2(A)	154	3940	OK
22	NS	C(A)	13	2582	0.4	16.2	0.09	3600	D38@200+D38@400 [8550] (0.21)	C(C)	104	2627	OK
		E2(A)	239	4038	6.0	25.3	0.06	2400	D38@200+D38@400 [8550] (0.21)	E1(C)	541	3940	OK
	EW	C(A)	77	2818	2.0	17.7	0.10	4000	3-D38@200 [17100] (0.43) 2-D38@200 [11400] (0.29)	C(C)	575	2627	OK
		E3(A)	470	4754	11.8	29.8	0.07	2800		E4(A)	1227	3940	OK

＊1：クレーンの位置を示す
＊2：圧縮を正とする

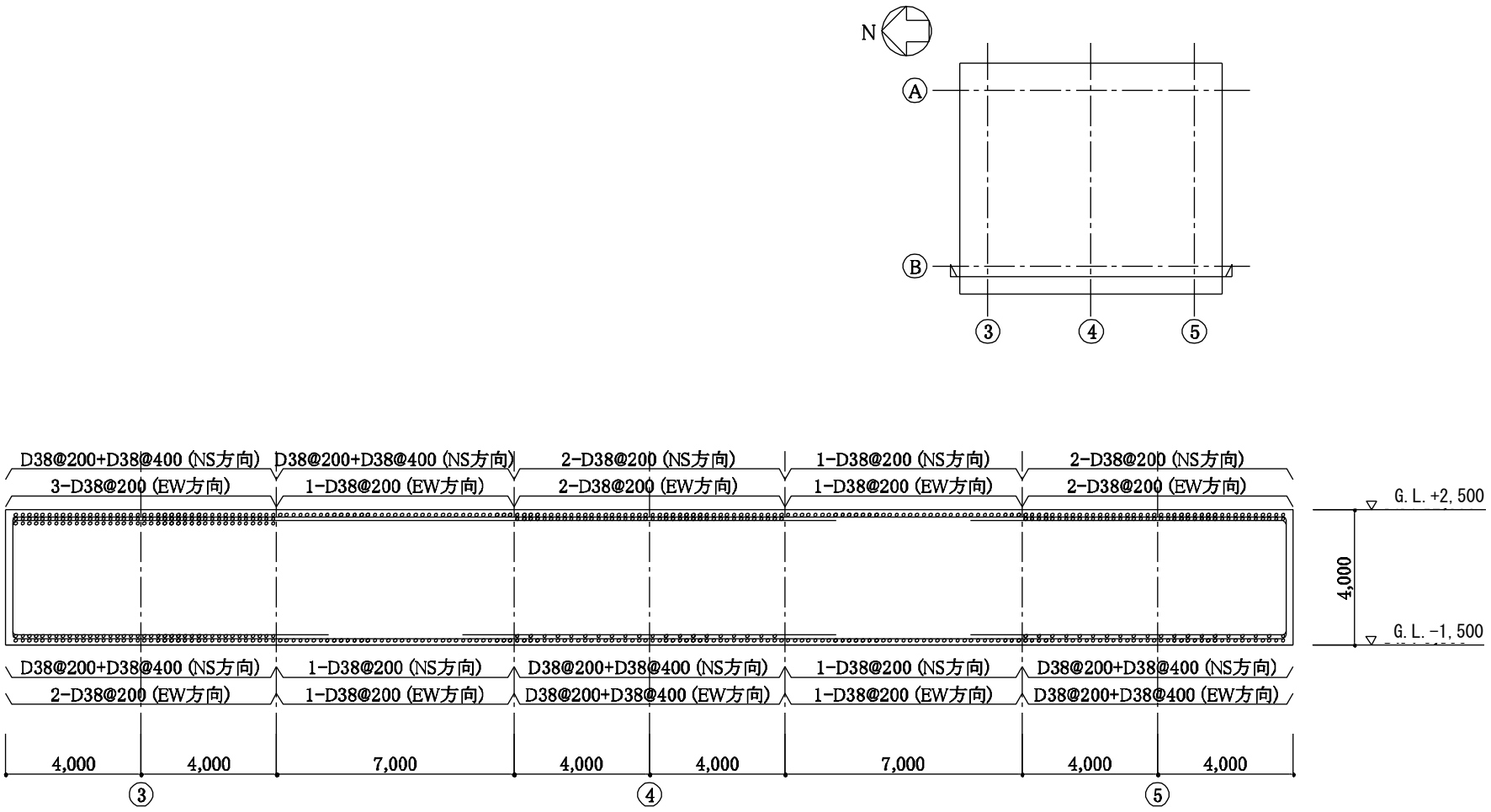


図 2.2.1-6　基礎スラブの配筋図（B 通り）（単位：mm）

(4)　改良地盤の構造強度に対する検討

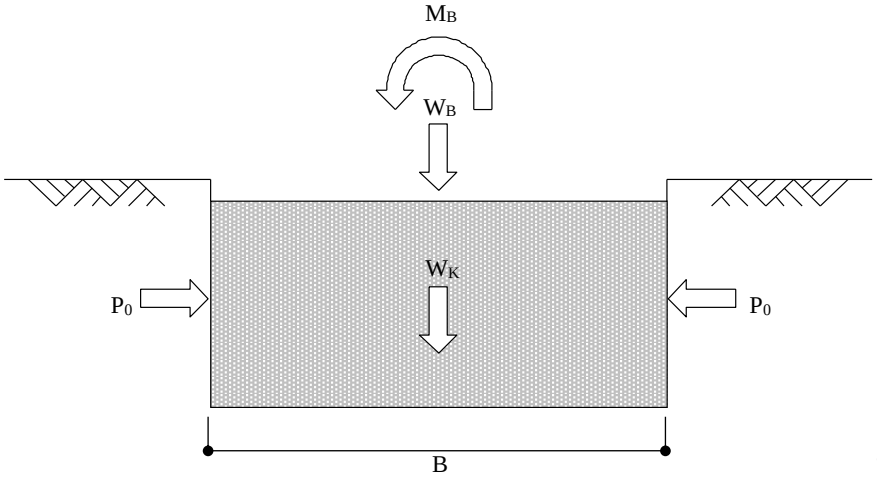
1)　設計方針

クレーン支持用架構を支持する改良地盤は，基礎スラブ直下の地盤を南北方向に 38.0m，東西方向に 33.5m，改良厚さ 10.5m とし，G.L.-12.0mの泥岩に支持する。検討は「JEAC4616-2009」に準拠し，常時及び地震時の改良地盤に生じる最大応力が許容応力度以下であることを確認する。さらに，改良地盤直下の支持地盤の支持力に対して，常時及び地震時の改良地盤に生じる最大接地圧が許容支持力度以下であることを確認する。

2)　常時に対する検討

・改良地盤の検討

常時において，改良地盤底面に生じる最大接地圧が改良地盤の長期許容圧縮応力度以下であることを確認する。図 2.2.1-7 に作用荷重を示す。



W_B：架構荷重＋基礎スラブ荷重＋地盤アンカー荷重

W_K：改良地盤の自重

M_B：架構の偏心による転倒モーメント

P_o：長期設計用土圧

B：改良幅

図 2.2.1-7　作用荷重（常時）

改良地盤の荷重負担範囲は，面積 A=1273m^2，断面係数 Z=8062m^3 となり，改良地盤底面に生じる最大接地圧は下式にて求める。

鉛直力の合計　　$\Sigma W=W_B+W_K=607373kN$

転倒モーメントの合計　　$\Sigma M=M_B=666480kNm$

改良地盤の最大接地圧　　$q_r=\Sigma W/A+\Sigma M/Z=560kN/m^2$

改良地盤に生じる最大接地圧（q_r）は，改良地盤の長期許容圧縮応力度（$_Lf_{sc}$）以下であることを確認した。

$q_r=560kN/m^2 \leqq {}_Lf_{SC}=750kN/m^2$

・支持力の検討

改良地盤底面に生じる最大接地圧（q_r）が，改良地盤直下の支持地盤の長期許容支持力度（$_Lq_a$）以下であることを確認した。

改良地盤の最大接地圧　　$q_r=560kN/m^2$

支持地盤の長期許容支持力度　$_Lq_a=1960\ kN/m^2$

$q_r=560kN/m^2 \leqq {}_Lq_a=1960\ kN/m^2$

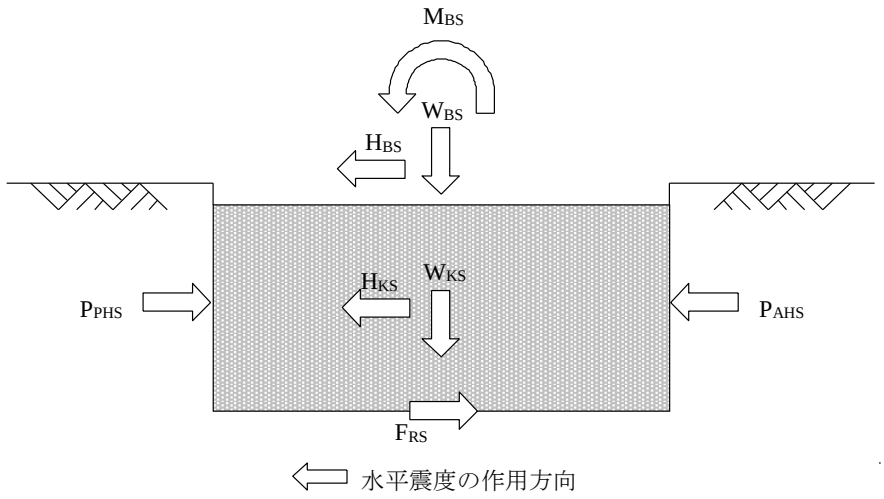
・沈下の検討

支持地盤は泥岩（岩盤）であるため，沈下の検討は不要である。

3)　地震時に対する検討

・改良地盤の検討

地震時において，改良地盤底面の最大接地圧及びせん断応力が，改良地盤の短期許容応力度以下であることを確認する。図 2.2.1-8 に作用荷重を示す。



W_{BS}：架構荷重＋基礎スラブ荷重＋地盤アンカー荷重

W_{KS}：改良地盤の自重

H_{BS}：架構による水平力＋基礎スラブによる水平力

M_{BS}：架構と基礎スラブによる改良地盤底面における転倒モーメント

H_{KS}：改良地盤の慣性力（地中震度 0.15）

P_{AHS}：地震時主働土圧による水平力

P_{PHS}：地震時受働土圧による水平力

F_{RS}：支持地盤のせん断抵抗力

図 2.2.1-8　作用荷重（地震時）

改良地盤の荷重負担範囲は，面積 $A=1273m^2$，断面係数 $Z=8062m^3$ となり，改良地盤底面の最大接地圧（q_{1S}）及び最大せん断応力（τ_{max}）は下式にて求める。

鉛直力の合計　$\Sigma W=W_{BS}+W_{KS}=607373kN$

水平力の合計　$\Sigma H= H_{BS}+H_{KS}+P_{AHS}+P_{PHS}=94687kN$

転倒モーメントの合計　$\Sigma M=M_{BS}+M_{KS}+M_{AHS}+M_{PHS}=1944139kNm$

ここに，　M_{KS} ：改良地盤の転倒モーメント

M_{AHS}：地震時主働土圧による転倒モーメント

M_{PHS}：地震時受働土圧による転倒モーメント

改良地盤底面の最大接地圧　$q_{1S}=\Sigma W/A+\Sigma M/Z=719kN/m^2$

改良地盤底面の最大せん断応力　$\tau_{max}=1.2\times\Sigma H/A=90kN/m^2$

改良地盤底面の最大接地圧（q_{1S}）及び最大せん断応力（τ_{max}）は短期許容応力度（${}_sf_{sc}$ 及び ${}_sf_{ss}$）以下であることを確認した。

$q_{1S}=719kN/m^2 \leqq {}_sf_{SC}=1502\ kN/m^2$

$\tau_{max}=90kN/m^2 \leqq {}_sf_{SS}=229\ kN/m^2$

・支持力の検討

改良地盤底面に生じる最大接地圧（q_{1S}）が，改良地盤直下の支持地盤の短期許容支持力度（${}_sq_a$）以下であることを確認した。

改良地盤の最大接地圧　$q_{1S}=719kN/m^2$

支持地盤の短期許容支持力度　${}_sq_a=3920\ kN/m^2$

$q_{1S}=719kN/m^2 \leqq {}_sq_a=3920\ kN/m^2$

(5)　外装材の構造強度に対する検討

1)　設計方針

クレーン支持用架構の屋根面及び側面を覆う外装材は，鋼板パネルを用いる。設計荷重は暴風時の影響が支配的であることから積雪時及び地震時の検討は省略し，暴風時の応力が短期許容応力度以下になることを確認する。なお，許容応力度は製造メーカの推奨値を，屋根面のたわみは「鋼板製屋根構法標準（SSR2007)」(社団法人日本金属屋根協会，2007)，壁面のたわみは「建築工事標準仕様書・同解説　JASS14　カーテンウォール工事」に準じて設定した。

2)　設計用荷重

設計用風圧力は，建築基準法施行令第 82 条の 4 および建設省告示第 1458 号に基づき，基準風速 30m/s，地表面粗度区分Ⅱとして算定する。速度圧の算定結果を表 2.2.1-9 に，ピーク風力係数を表 2.2.1-10 に，風力係数の算定箇所を図 2.2.1-9 に示す。

表 2.2.1-9　速度圧の算定結果

建物高さ* H (m)	平均風速の鉛直分布係数 Er	基準風速 Vo (m/s)	平均速度圧 $\bar{q}$ (N/m²)
52.73	1.28	30	885

＊：　建物高さは，軒高さ（52.34m）と最高高さ（53.12m）の平均値とした

表 2.2.1-10　ピーク風力係数

建物高さ* H (m)	屋根面			壁面	
	一般部	周縁部	隅角部	一般部	隅角部
52.73	-2.5	-3.2	-4.3	-2.11	-2.62

＊：　建物高さは，軒高さ（52.34m）と最高高さ（53.12m）の平均値とした

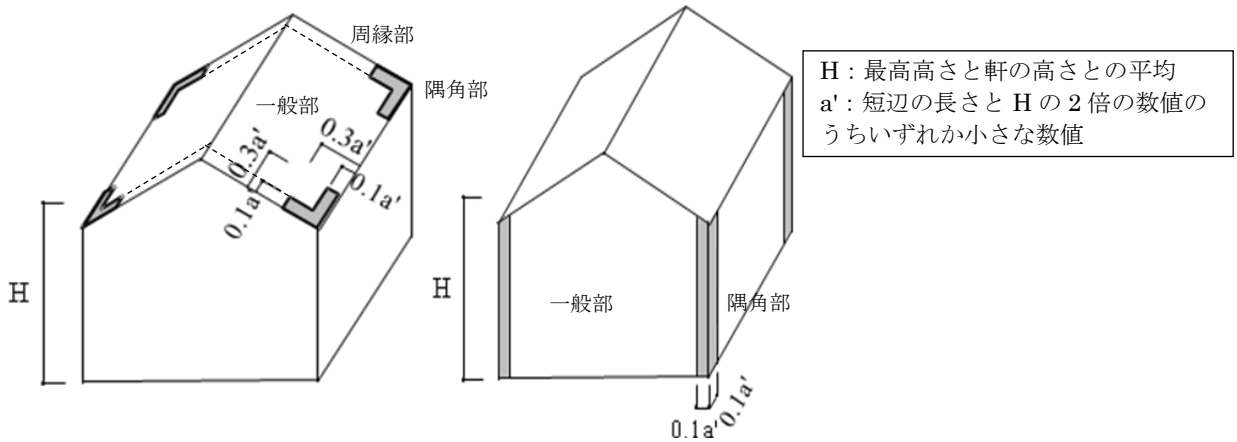


図 2.2.1-9　風力係数の算定箇所のイメージ

3)　外装材の強度検討

検討は応力が厳しくなる図 2.2.1-9 に示す隅角部について行う。ここでは，鋼板パネルの自重は考慮しないものとする。

a. 屋根材

鋼板パネルは下地材の間隔が 1.8m で連続支持されているものとし，暴風時の応力度とたわみに対して検討を行う。屋根材の材料諸元を表 2.2.1-11 に示す。

表 2.2.1-11　屋根材の材料諸元

表面材						芯材		
ヤング係数 E (N/mm^2)	せん断弾性係数 G (N/mm^2)	せん断断面積 As (mm^2)	形状係数	許容応力度 f_b (N/mm^2)	断面係数 Z (mm^3)	せん断弾性係数 G (N/mm^2)	断面積 A (mm^2)	形状係数
2.06×10^5	7.92×10^4	210.7	0.022	59.8	26.3×10^3	3.92	4.40×10^4	1.2

・応力度に対する検討

$$M = w\times L^2/8=(0.885\times4.3)\times1.8^2/8 = 1.542\ \mathrm{kNm}$$

$$\sigma_b = M/Z=1.542\times10^6/26.3\times10^3 = 58.7\ \mathrm{N/mm^2}$$

$$\frac{\sigma_b}{f_b}=\frac{58.7}{59.8}=0.982\leqq1.0 \quad \cdots\cdots\mathrm{OK}$$

・たわみの検討

たわみ量は曲げ変形成分（δ_M）とせん断変形成分（δ_Q）の和で評価し，屋根材の短期許容変形（1/300）*以下であることを確認する。

＊:「鋼板製屋根構法標準（SSR2007)」（社団法人日本金属屋根協会，2007）による

$$\delta = \delta_M+\delta_Q = 0.220 + 0.302 = 0.522\ \mathrm{cm}$$

$$\frac{\delta}{L}=\frac{0.522}{180}=\frac{1}{344}\leqq\frac{1}{300} \quad \cdots\cdots\mathrm{OK}$$

検討の結果，作用応力は屋根材の短期許容応力度以下であり，たわみは屋根材の短期許容変形以下であることを確認した。

b.　壁材

鋼板パネルは下地材の間隔が 1.2m で連続支持されているものとし，暴風時の応力とたわみに対して検討を行う。壁材の材料諸元を表 2.2.1-12 に示す。

表 2.2.1-12　壁材の材料諸元

表面材				芯材		
ヤング係数 E (N/mm^2)	せん断弾性係数 G (N/mm^2)	許容応力度 f_b (N/mm^2)	断面係数 Z (mm^3)	せん断弾性係数 G (N/mm^2)	断面積 A (mm^2)	形状係数
2.06×10^5	7.92×10^4	58.8	17.0×10^3	4.90	35000	1.2

・応力度に対する検討

$$M = w\times L^2 / 8 = (0.885\times2.62)\times1.2^2 / 8 = 0.418\ \mathrm{kNm}$$

$$\sigma_b = M / Z = 0.418\times10^6 / 17.0\times10^3 = 24.6\ \mathrm{N/mm^2}$$

$$\frac{\sigma_b}{f_b} = \frac{24.6}{58.8} = 0.419 \leqq 1.0 \quad \cdots\cdots \mathrm{OK}$$

・たわみの検討

たわみ量は曲げ変形成分（δ_M）とせん断変形成分（δ_Q）の和で評価し，壁材の短期許容変形（1/300）*以下であることを確認する。

*:「建築工事標準仕様書・同解説　JASS14　カーテンウォール工事」による

$$\delta = \delta_M + \delta_Q = 0.075 + 0.293 = 0.368\ \mathrm{cm}$$

$$\frac{\delta}{L} = \frac{0.368}{120} = \frac{1}{326} \leqq \frac{1}{300} \quad \cdots\cdots \mathrm{OK}$$

検討の結果，作用応力は壁材の短期許容応力度以下であり，たわみは壁材の短期許容変形以下であることを確認した。

2.2.2　耐震性

(1)　検討方針

耐震性の検討は，クレーン支持用架構，基礎スラブ，改良地盤及び地盤アンカーについて行い，基準地震動 Ss に対して，クレーン支持用架構，基礎スラブ，改良地盤及び周辺地盤の応答性状を適切に表現できる地震応答解析モデルを設定して実施する。

(2)　架構の耐震性に対する検討

1)　解析に用いる入力地震動

検討に用いる地震動は,「福島第一原子力発電所『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　中間報告書」（平成 20 年 3 月 31 日 東京電力株式会社）にて作成した解放基盤表面で定義される基準地震動 Ss とする。

地震応答解析に用いる入力地震動の概念図を図 2.2.2-1 に示す。モデルに入力する地震動は一次元波動論に基づき,解放基盤表面で定義される基準地震動Ssに対する地盤の応答として評価する。解放基盤表面位置における基準地震動 Ss-1, Ss-2 及び Ss-3 の加速度時刻歴波形を図 2.2.2-2(1)及び図 2.2.2-2(2)に示す。

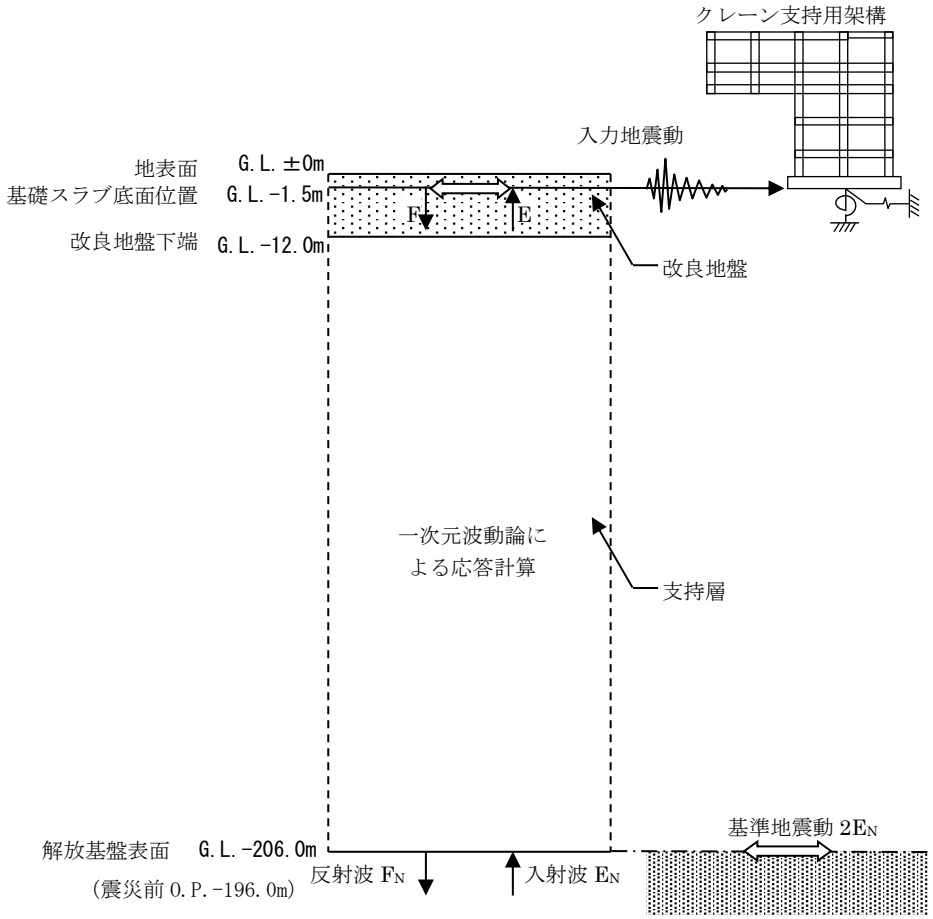
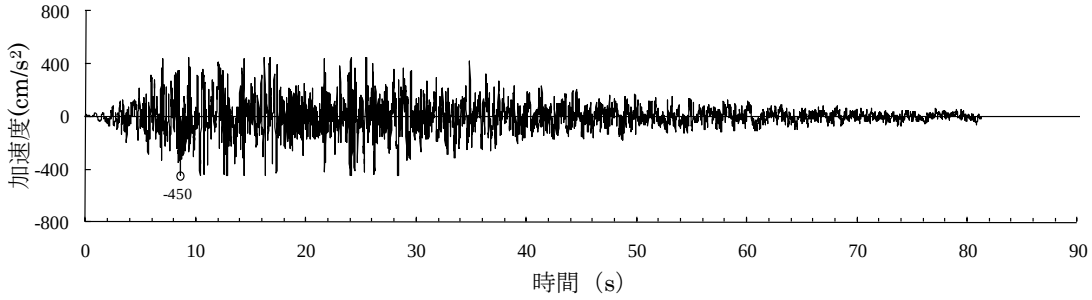
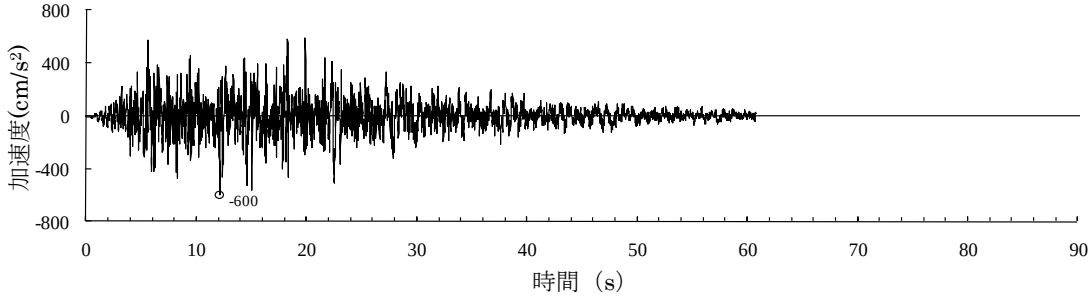


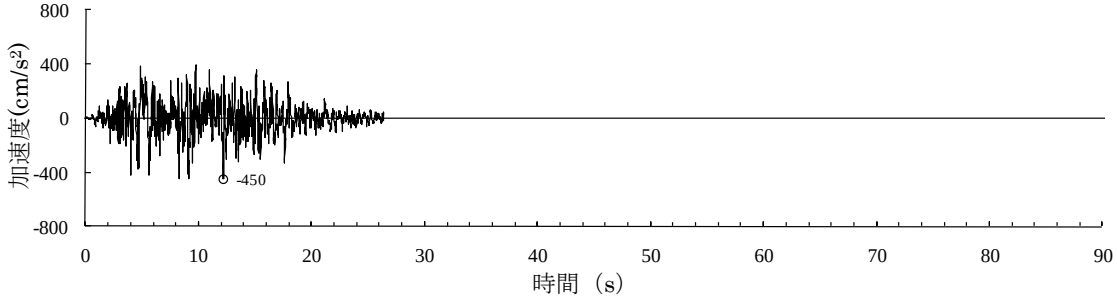
図 2.2.2-1　地震応答解析に用いる入力地震動の概念図



(Ss-1H)



(Ss-2H)

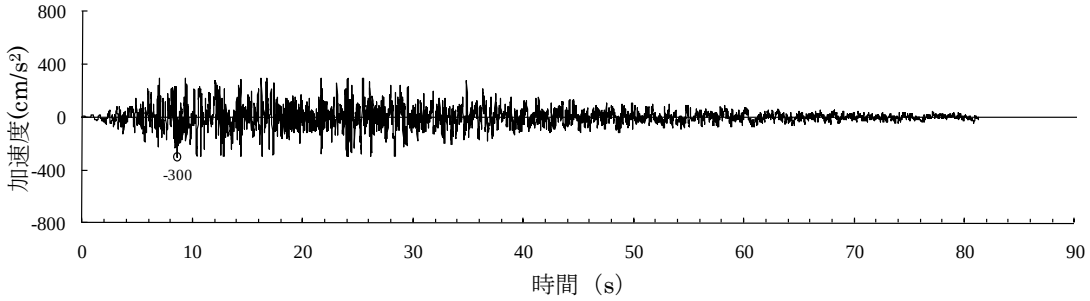


(Ss-3H)

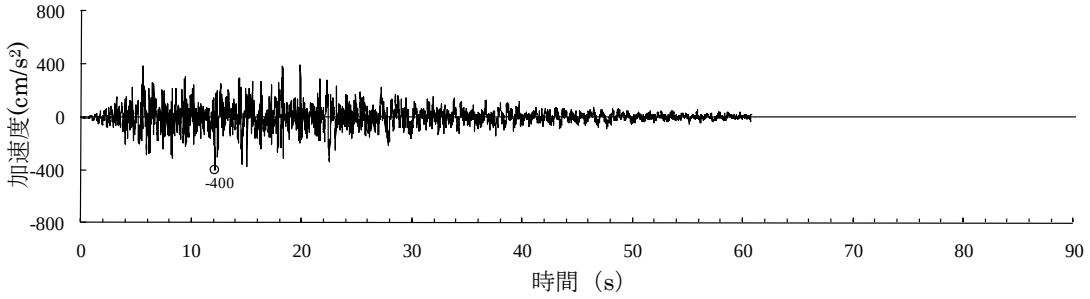
○印は最大値を示す

図 2.2.2-2(1)　解放基盤表面における地震動の加速度時刻歴波形

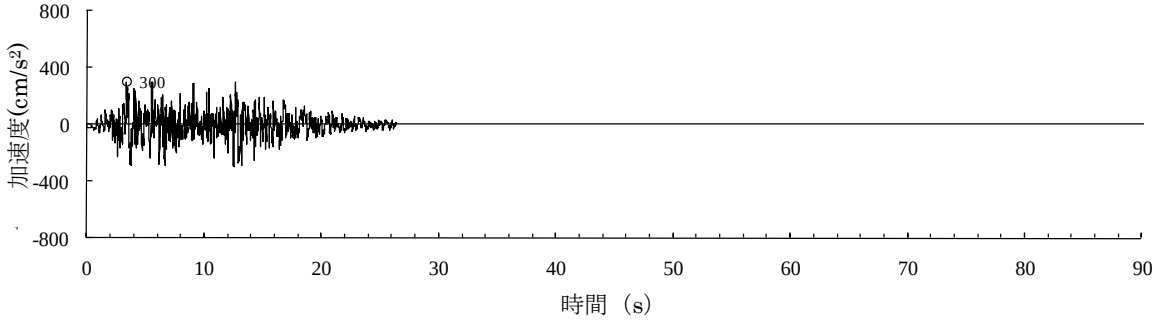
(水平方向)



(Ss-1V)



(Ss-2V)



(Ss-3V)

○印は最大値を示す

図 2.2.2-2(2)　解放基盤表面における地震動の加速度時刻歴波形
(鉛直方向)

2)　地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは,図 2.2.2-3 に示す柱及び梁を立体的にモデル化した立体架構モデルとし,地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成系モデルとする。

地震応答解析に用いる物性値を表 2.2.2-1 に，層間変形角が最大となるクレーンを北端に設置した場合の地震応答解析モデルの質点重量を表 2.2.2-2 に，クレーン支持用架構の復元力特性の設定を図 2.2.2-4 に示す。復元力特性の設定は「鋼構造塑性設計指針」に準じた。

地震応答解析に用いる地盤定数は，「福島第一原子力発電所『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　中間報告書」（平成 20 年 3 月 31 日 東京電力株式会社）を参考に，水平成層地盤と仮定し地震時のせん断ひずみレベルを考慮して定めた。改良地盤の諸元を表 2.2.2-3 に，地盤のひずみ依存性を図 2.2.2-5 に，地盤定数の設定結果を表 2.2.2-4 に示す。基礎底面の地盤ばねについては,「JEAG 4601-1991」に示されている手法を参考にして，地盤を成層補正し振動アドミッタンス理論により評価した。

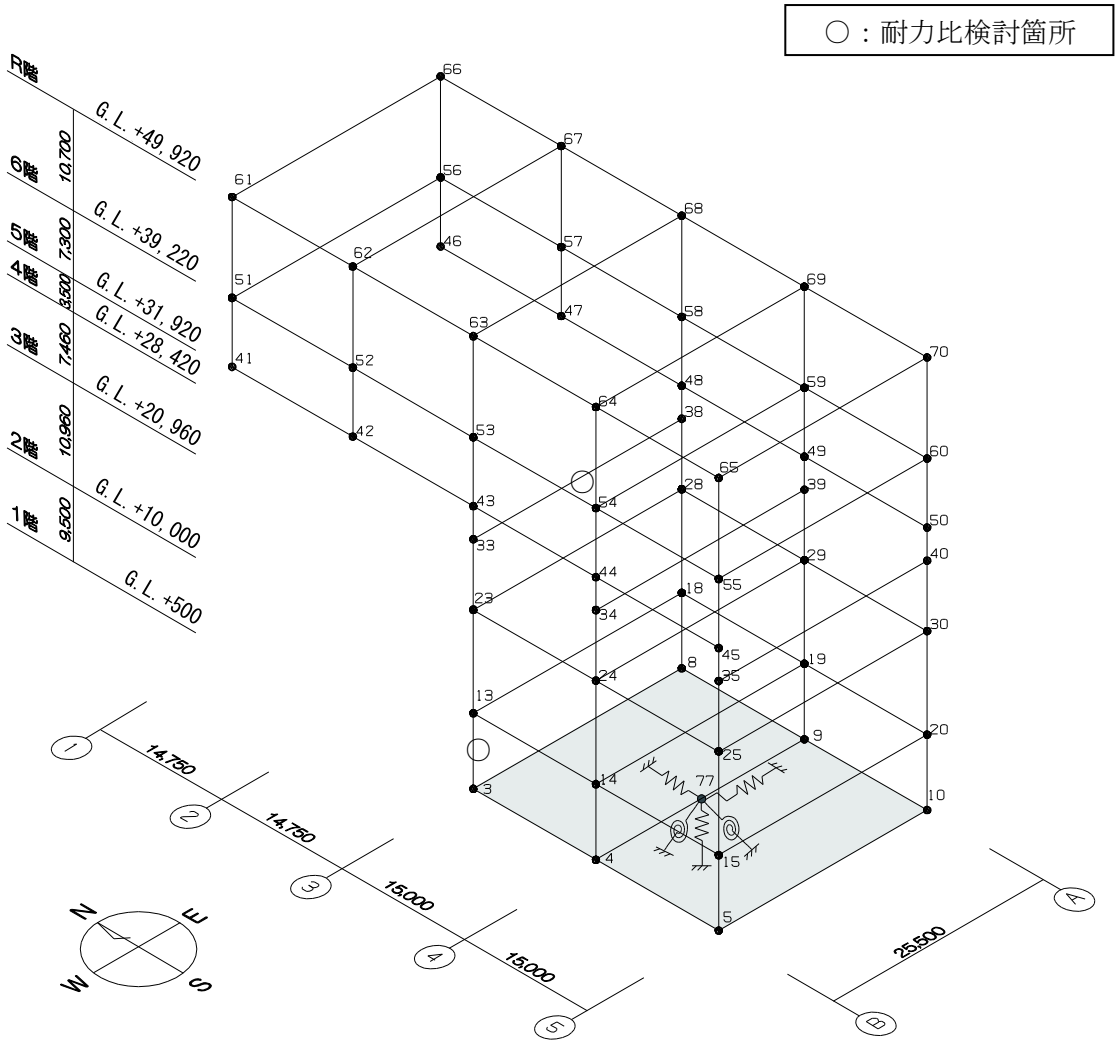


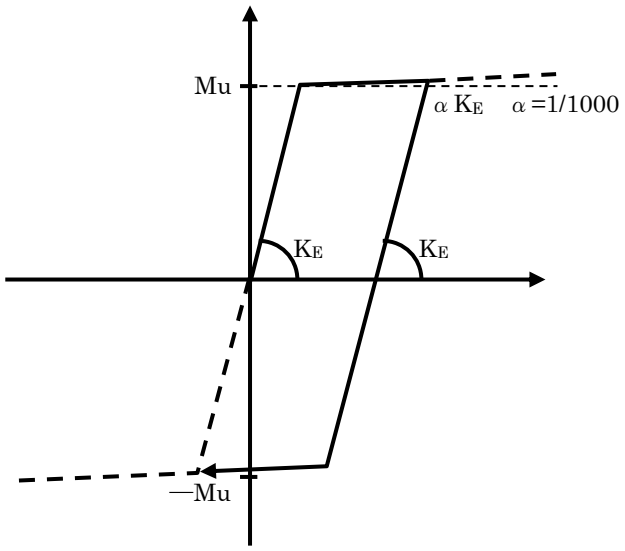
図 2.2.2-3　クレーン支持用架構の地震応答解析モデル（単位：mm）

表 2.2.2-1　地震応答解析に用いる物性値

部位	材料	ヤング係数 E(N/mm²)	ポアソン比 ν	単位体積重量 γ (kN/m³)	減衰定数 h(%)	備考
クレーン支持用架構	鉄骨	2.05×10^5	0.3	77.0	2	SM490A
基礎スラブ	ｺﾝｸﾘｰﾄ	2.44×10^4	0.2	24.0	5	設計基準強度 30(N/mm²)

表 2.2.2-2　地震応答解析モデルにおける質点重量

階	節点番号	重量(kN)
R	61	1129
	62	1221
	63	1225
	64	1200
	65	502
	66	1132
	67	1225
	68	1229
	69	1202
	70	503
6	51	2152
	52	1894
	53	1094
	54	1567
	55	718
	56	1629
	57	1538
	58	1094
	59	1375
	60	718
5	41	393
	42	600
	43	657
	44	598
	45	321
	46	377
	47	605
	48	700
	49	622
	50	321
4	33	2235
	34	2135
	35	374
	38	2176
	39	1726
	40	374
3	23	897
	24	1647
	25	635
	28	819
	29	1178
	30	607
2	13	1044
	14	1722
	15	700
	18	920
	19	1315
	20	689
1	3	26894
	4	41540
	5	21558
	8	26896
	9	41034
	10	21268
	77	0
合　計		229924



ここに,

Mu：全塑性モーメント

$$M_{uy}=\left\{A_{fy}(b-t_1)\sigma_y+\frac{1}{4}A_{wy}(b-2t_1)\sigma_y\right\} \qquad M_{uz}=\left\{A_{fz}(d-t_2)\sigma_y+\frac{1}{4}A_{wz}(d-2t_2)\sigma_y\right\}$$

$A_{fy}=d\cdot t_1$　　$A_{fz}=b\cdot t_2$

$A_{wy}=2\cdot(b-2\cdot t_1)\cdot t_2$　　$A_{wz}=2\cdot(d-2\cdot t_2)\cdot t_1$

$A=b\cdot d-(b-2\cdot t_1)\cdot(d-2\cdot t_2)$　　σ_y：降伏強度

なお，せん断耐力は下式とする。

Qu：せん断耐力

$$Q_{uy}=\frac{1}{\sqrt{3}}A_{wz}\cdot\sigma_y \qquad Q_{uz}=\frac{1}{\sqrt{3}}A_{wy}\cdot\sigma_y$$

$A_{fy}=d\cdot t_1$　　$A_{fz}=b\cdot t_2$

$A_{wy}=2\cdot(b-2\cdot t_1)\cdot t_2$　　$A_{wz}=2\cdot(d-2\cdot t_2)\cdot t_1$

$A=b\cdot d-(b-2\cdot t_1)\cdot(d-2\cdot t_2)$　　σ_y：降伏強度

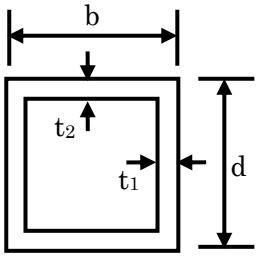


図 2.2.2-4　クレーン支持用架構の復元力特性の設定

表 2.2.2-3　改良地盤の諸元

せん断波速度* Vs (m/s)	単位体積重量 γ (kN/m³)	ポアソン比* ν	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^5$kN/m²)
800	17.7	0.31	11.52

＊:『柏崎刈羽原子力発電所 1 号機　建物・構築物の耐震安全性評価について（指摘事項に関する回答)』（平成 22　年 2 月 19 日 東京電力株式会社），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 WG（第 46 回）会合資料

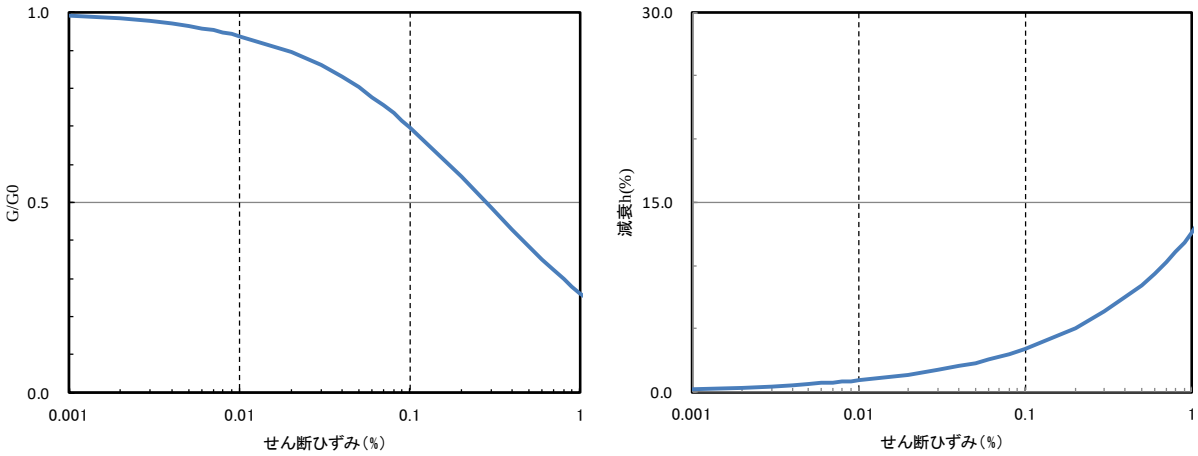


図 2.2.2-5　地盤のひずみ依存性(泥岩)*

＊:『福島第一原子力発電所３号機「新耐震指針に照らした耐震安全性評価（中間報告)」に関する補足説明資料（コメント回答資料）－建物・構築物－』（平成 22　年 6 月 29 日　東京電力株式会社），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 WG（第 26 回）A サブグループ会合資料

表 2.2.2-4　地盤定数の設定結果

(a) Ss-1

G.L. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m^3)	ﾎﾟｱｿﾝ 比 ν	せん断 弾性係数 G (×10^{5}kN/m^2)	初期せん断 弾性係数 G_0 (×10^{5}kN/m^2)	剛性 低下率 G/G_0	ヤング 係数 E (×10^{5}kN/m^2)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
±0										
	改良地盤	800	17.7	0.310	11.43	11.52	0.99	29.94	2	12.0
-12.0										
		450	16.5	0.464	2.97	3.41	0.87	8.70	3	8.0
-20.0										
		500	17.1	0.455	3.59	4.36	0.82	10.44	3	70.0
	泥岩									
-90.0		560	17.6	0.446	4.60	5.63	0.82	13.31	3	28.0
-118.0										
		600	17.8	0.442	5.29	6.53	0.81	15.25	3	88.0
-206.0										
	(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-

(b) Ss-2

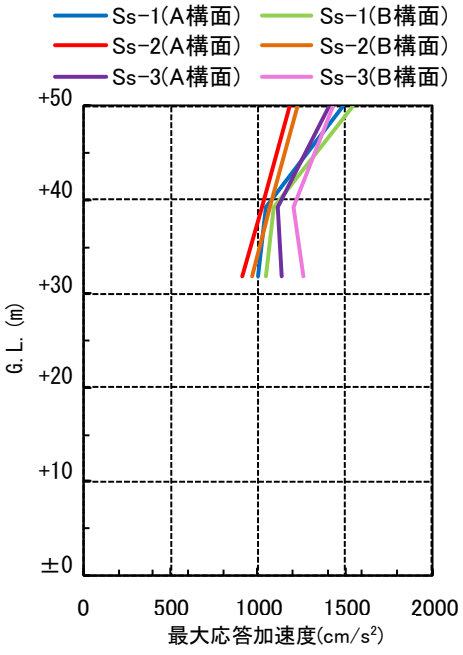
G.L. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m^3)	ﾎﾟｱｿﾝ 比 ν	せん断 弾性係数 G (×10^{5}kN/m^2)	初期せん断 弾性係数 G_0 (×10^{5}kN/m^2)	剛性 低下率 G/G_0	ヤング 係数 E (×10^{5}kN/m^2)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
±0										
	改良地盤	800	17.7	0.310	11.43	11.52	0.99	29.94	2	12.0
-12.0										
		450	16.5	0.464	2.98	3.41	0.87	8.72	3	8.0
-20.0										
		500	17.1	0.455	3.59	4.36	0.82	10.45	3	70.0
	泥岩									
-90.0		560	17.6	0.446	4.62	5.63	0.82	13.36	3	28.0
-118.0										
		600	17.8	0.442	5.50	6.53	0.84	15.85	3	88.0
-206.0										
	(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-

(c) Ss-3

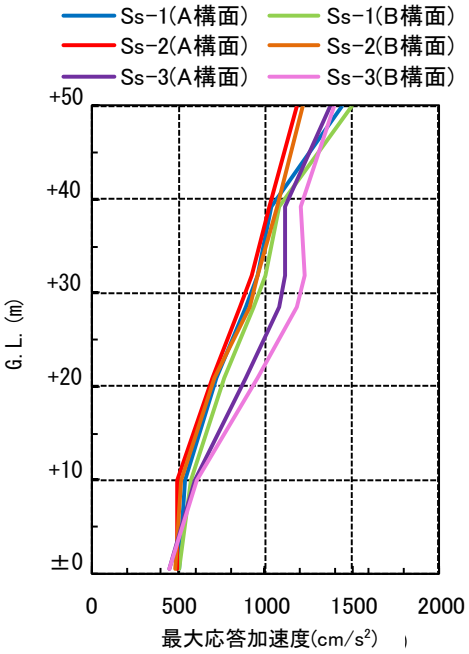
G.L. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m^3)	ﾎﾟｱｿﾝ 比 ν	せん断 弾性係数 G (×10^{5}kN/m^2)	初期せん断 弾性係数 G_0 (×10^{5}kN/m^2)	剛性 低下率 G/G_0	ヤング 係数 E (×10^{5}kN/m^2)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
±0										
	改良地盤	800	17.7	0.310	11.44	11.52	0.99	29.98	2	12.0
-12.0										
		450	16.5	0.464	3.00	3.41	0.88	8.79	3	8.0
-20.0										
		500	17.1	0.455	3.53	4.36	0.81	10.27	3	70.0
	泥岩									
-90.0		560	17.6	0.446	4.52	5.63	0.80	13.07	3	28.0
-118.0										
		600	17.8	0.442	4.97	6.53	0.76	14.34	3	88.0
-206.0										
	(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-

3) 地震応答解析結果

地震応答解析は水平方向と鉛直方向を同時入力した。最大応答加速度を図 2.2.2-6 及び図 2.2.2-7 に示す。

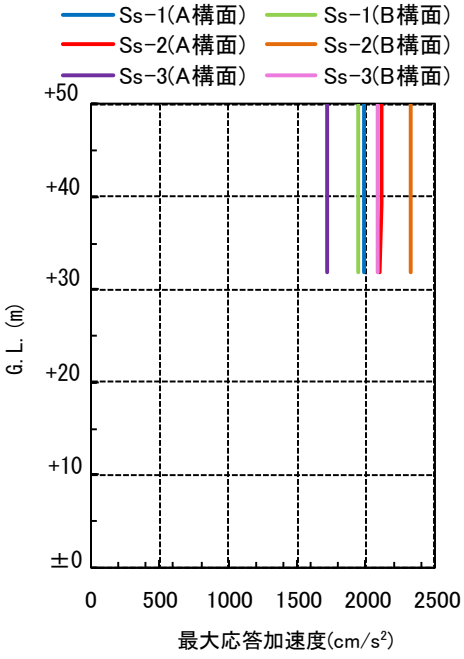


（１通り）

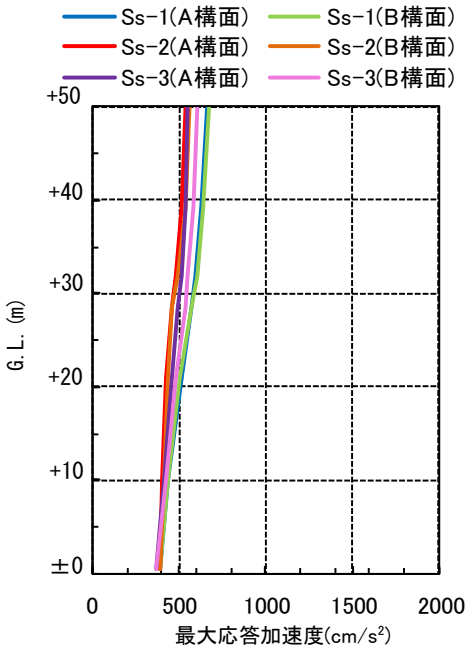


（３通り）

(a) 最大応答加速度（水平(NS)成分）



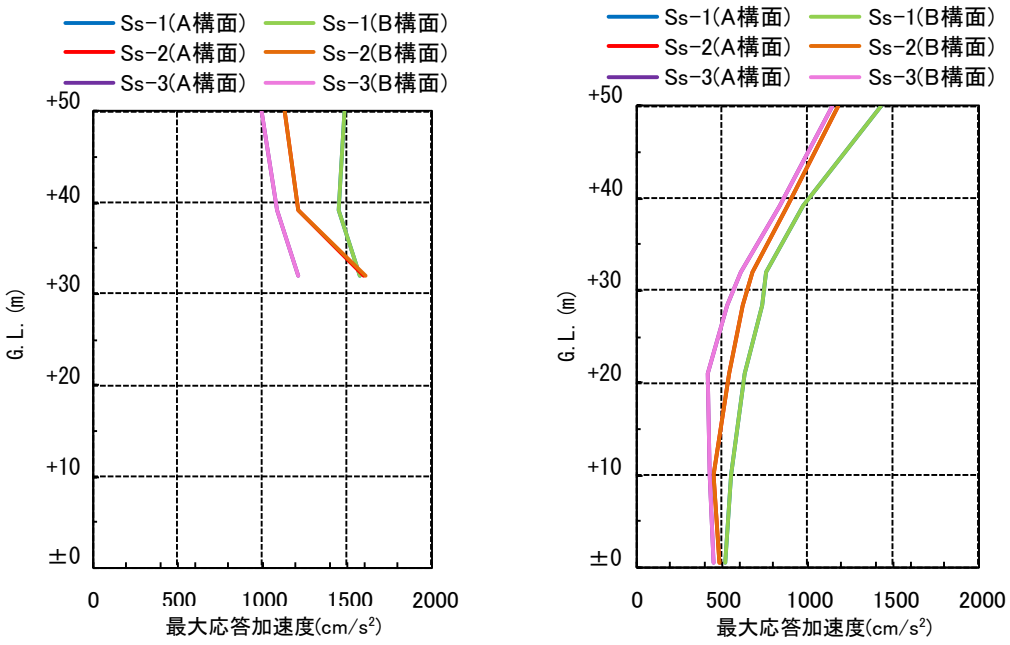
（１通り）



（３通り）

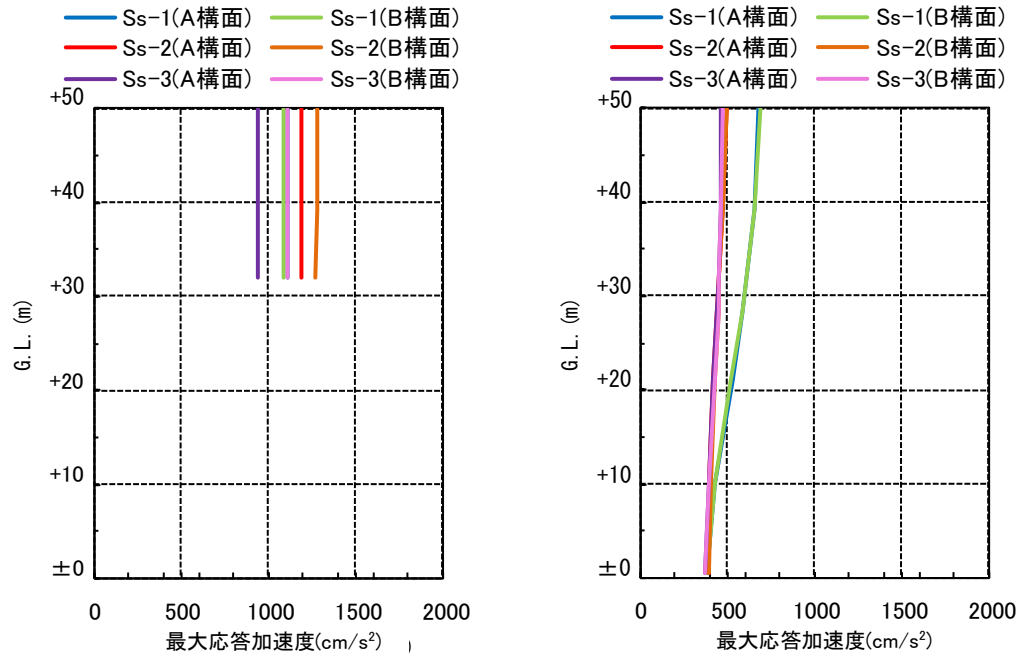
(b) 最大応答加速度（鉛直成分）

図 2.2.2-6　最大応答加速度（NS 方向入力時）



（１通り）　　（３通り）

(a)最大応答加速度（水平(EW)成分）



（１通り）　　（３通り）

(b)最大応答加速度（鉛直成分）

図 2.2.2-7　最大応答加速度（EW 方向入力時）

4)波及的影響の評価

地震応答解析結果が，JSCA 性能メニュー（社団法人日本建築構造技術者協会，2002 年）を参考に定めたクライテリア（「層間変形角は 1/75 以下，層の塑性率は 4 以下，部材の塑性率は 5 以下」*1 及びせん断力はせん断耐力以下）を満足することを確認する。

なお，解析結果が「時刻歴応答解析建築物性能評価業務方法書」（財団法人日本建築センター，平成 19 年 7 月 20 日）に示されるクライテリア（層間変形角は 1/100 以下，層の塑性率は 2 以下，部材の塑性率は 4 以下）を超える場合には水平変形に伴う鉛直荷重の付加的影響を考慮した解析を実施し，安全性を確認する。

*1：北村春幸，宮内洋二，浦本弥樹「性能設計における耐震性能判断基準値に関する研究」，日本建築学会構造系論文集，第 604 号，2006 年 6 月

・層間変形角の検討

層間変形の評価はクレーン支持用架構の剛心位置で評価し，表 2.2.2-5 に検討結果を示す。

検討の結果，層間変形角は 1/75 以下となりクライテリアを満足することを確認した。

表 2.2.2-5　層間変形角の検討結果

検討箇所	最大応答値						ｸﾗｲﾃﾘｱ	判定
	NS 方向入力時			EW 方向入力時				
	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-1	Ss-2	Ss-3		
6 階	1/256	1/278	1/229	1/298	1/356	1/352	1/75	OK
5 階	1/240	1/266	1/220	1/239	1/295	1/288	1/75	OK
4 階	1/228	1/249	1/225	1/207	1/243	1/252	1/75	OK
3 階	1/194	1/205	1/199	1/196	1/233	1/237	1/75	OK
2 階	1/206	1/211	1/194	1/187	1/224	1/229	1/75	OK
1 階	1/357	1/359	1/317	1/329	1/397	1/409	1/75	OK

・塑性率の検討

部材の塑性率は，最大応答曲げモーメント時の曲率を全塑性モーメントに至る時の曲率で除した値で表される。最大曲げモーメントが全塑性モーメント以下の場合は弾性であり塑性率は 1 以下となる。最大応答値を全塑性モーメントまたはせん断耐力で除した値を耐力比と定義し，表 2.2.2-6 に検討結果を示す。

表 2.2.2-6 より曲げモーメント及びせん断力については，全てのケースで耐力比が 1 を下回ることから塑性率は 1 以下となり，クライテリアを満足することを確認した。

表 2.2.2-6　耐力比の検討結果

部位	検討箇所	部材形状 (mm)	地震波	入力方向	耐力比		判定
柱	1 階 3-B	B□-3000×3000 ×28×28	Ss-1	EW	M_z/M_{uz}	0.85	OK
			Ss-3	NS	M_y/M_{uy}	0.86	
			Ss-3	NS	Q_z/Q_{uz}	0.27	
			Ss-1	EW	Q_y/Q_{uy}	0.37	
梁	4 階 3/A-B	B□-3000×3000 ×25×25	Ss-1	EW	M_z/M_{uz}	0.80	OK
					M_y/M_{uy}	0.01	
					Q_z/Q_{uz}	0.00	
					Q_y/Q_{uy}	0.32	

M_z：部材 z 軸回りの曲げモーメントの最大値　　M_{uz}：部材 z 軸回りの全塑性モーメント

M_y：部材 y 軸回りの曲げモーメントの最大値　　M_{uy}：部材 y 軸回りの全塑性モーメント

Q_z：部材 z 方向のせん断力の最大値　　Q_{uz}：　部材 z 軸方向のせん断耐力

Q_y：部材 y 方向のせん断力の最大値　　Q_{uy}：　部材 y 軸方向のせん断耐力

(3)　基礎スラブの耐震性に対する検討

1)解析モデル

基礎スラブの応力解析は，弾性地盤上に支持された版として有限要素法を用いて行う。解析モデルは，図 2.2.2-8 に示すように四辺形の均質等方な板要素により構成し，支持地盤は等価な弾性ばねとしてモデル化する。

検討は組合せ係数法にて行い，荷重組合せケースを表 2.2.2-7 に示す。

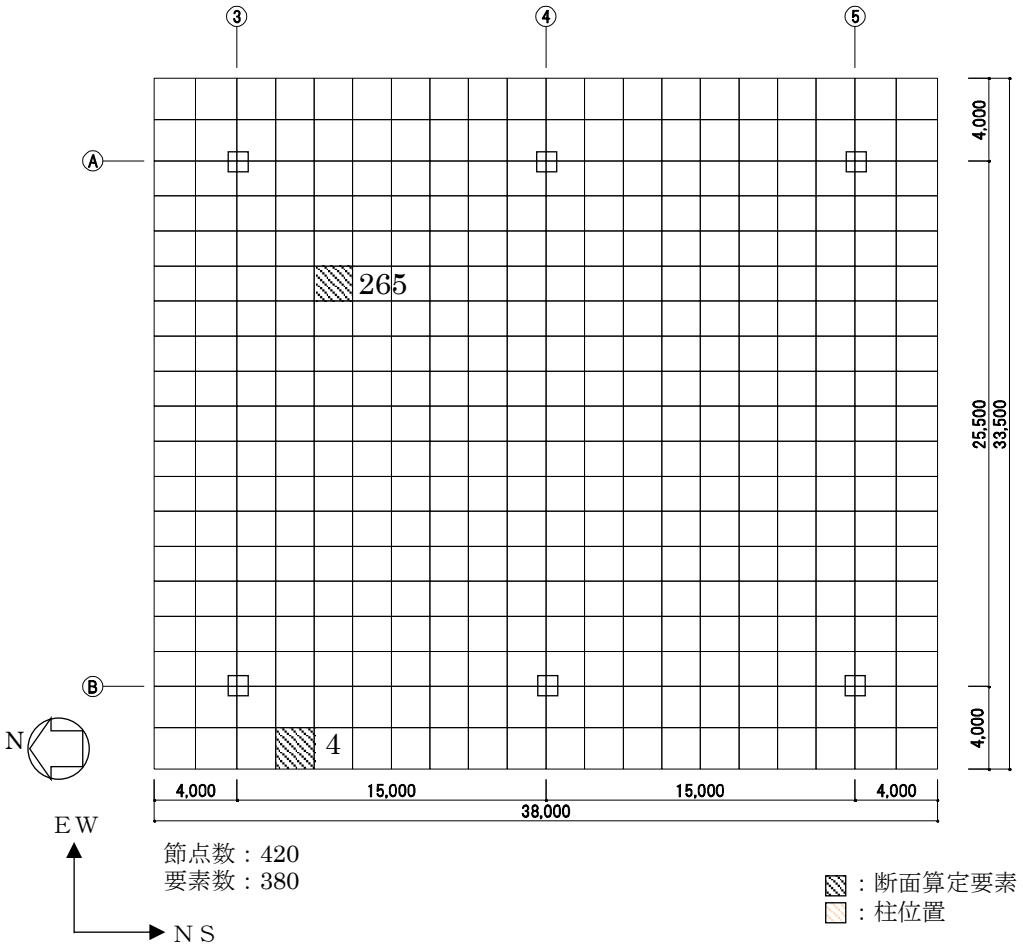


図 2.2.2-8　解析モデル図（単位：mm）

表 2.2.2-7　荷重組合せケース一覧表

荷重ケース	地震力の作用方向					
	鉛直方向		水平方向			
	上向き	下向き	N→S	S→N	E→W	W→E
Dn		○	○			
Ds		○		○		
De		○			○	
Dw		○				○
Un	○		○			
Us	○			○		
Ue	○				○	
Uw	○					○

2)　断面検討

各要素に対して，検討用応力が部材の終局耐力を下回ることを確認する。曲げ終局強度及びせん断終局強度の算定は，「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」による柱の終局強度算定式に準拠する。なお，鉄筋の引張強度は，平成 12 年建設省告示第 2464 号に定められた基準強度の 1.1 倍を用いる。検討用曲げモーメントを曲げ終局強度で除した値が最大となる箇所及び検討用せん断力をせん断終局強度で除した値が最大となる箇所の基礎スラブの断面検討結果を表 2.2.2-8 に示す。

断面検討の結果，検討用曲げモーメントは曲げ終局強度を下回り，検討用せん断力はせん断終局強度を下回ることを確認した。

表 2.2.2-8　基礎スラブの断面検討結果

要素番号	方向	荷重ケース	検討用応力			設計配筋 上段：上端筋［断面積 mm^2/m］(pt:%) 下段：下端筋［断面積 mm^2/m］(pt:%)	部材の終局強度		M/Mu	Q/Qu	判定
			N*1 (kN/m)	M (kN･m/m)	Q (kN/m)		Mu (kN･m/m)	Qu (kN/m)			
4	NS	De	129	1317	3958	D38@200+D38@400 ［8550］ (0.21) D38@200+D38@400 ［8550］ (0.21)	11995	6778	0.11	0.59	OK
	EW	De	61	1415	1507	3-D38@200 ［17100］ (0.43) 2-D38@200 ［11400］ (0.29)	15772	7294	0.09	0.21	OK
265	NS	Ds	24	3316	52	1-D38@200 ［5700］ (0.14) 1-D38@200 ［5700］ (0.14)	7873	2215	0.43	0.03	OK
	EW	Dw	-349	4927	76	1-D38@200 ［5700］ (0.14) 1-D38@200 ［5700］ (0.14)	7267	2184	0.68	0.04	OK

＊1：圧縮を正とする

(4)　改良地盤の耐震性に対する検討

1)　検討方針

検討は「JEAC 4616-2009」に準拠し，基準地震動 Ss により発生する荷重に対して許容限界を満足することを確認する。改良地盤の許容限界は，改良地盤の設計圧縮強度，せん断抵抗に対する安全率に基づき設定する。支持地盤の許容限界は，支持地盤の極限支持力に対する安全率に基づき設定する。

2)　地震応答解析モデル

応力算定用の地震応答解析モデルを図 2.2.2-9 に示す。改良地盤及び支持地盤の物性は表 2.2.2-4 を用いた。

周辺地盤の物性は，一次元波動論であらかじめ実施した等価線形解析結果をもとに改良地盤及び周辺地盤のひずみレベルに応じた等価なせん断剛性，減衰を設定した。

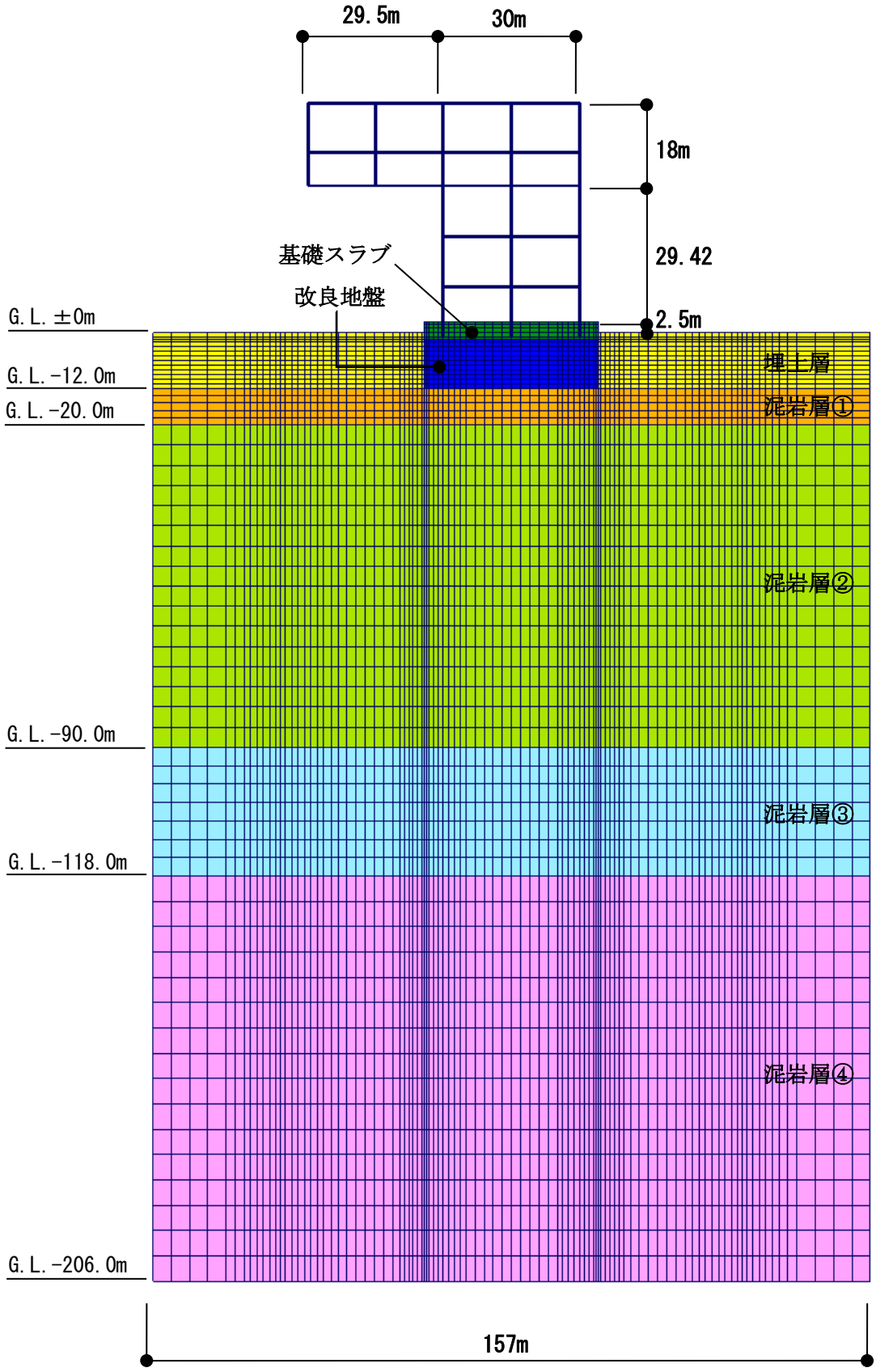


図 2.2.2-9　応力算定用地震応答解析モデル

3)　波及的影響の評価

改良地盤の評価は，「JEAC 4616-2009」に準じ，改良地盤に発生する最大応力が許容値に対して1.5以上の安全率を有していることを確認する。

・改良地盤に生じる鉛直応力に対する検討

改良地盤に作用する鉛直応力に対し改良地盤の圧縮強度の安全率が1.5以上であることを下式により確認する。

$$\frac{{}_{ss}f_{SC}}{\sigma_{ymax}} \geqq 1.5$$

ここで，　　${}_{ss}f_{SC}$　：改良地盤の圧縮強度

σ_{ymax}　：有限要素解析による各要素の鉛直応力の最大値

改良地盤の圧縮強度（${}_{ss}f_{SC}$）は，「JEAC 4616-2009」により改良地盤の圧縮強度の平均値である設計圧縮強度4498kN/m²（断面欠損2%を考慮する）を改良地盤の圧縮強度として検討を行う。

安全率の検討結果を表2.2.2-9に示す。検討結果より改良地盤の圧縮強度は改良地盤の基礎スラブ直下における最大鉛直応力の1.5以上の安全率を有していることを確認した。

表2.2.2-9　改良地盤の鉛直応力に対する検討結果

（改良地盤底部）

地震波	最大鉛直応力 $\sigma_{y\,max}$(kN/m²)	圧縮強度 ${}_{ss}f_{SC}$(kN/m²)	安全率	ｸﾗｲﾃﾘｱ	判定
Ss-1	1809	4498	2.48	1.50	OK
Ss-2	1453	4498	3.09	1.50	OK
Ss-3	1821	4498	2.47	1.50	OK

・改良地盤に作用するせん断力に対する検討

検討は，改良地盤の基礎スラブ直下及び改良地盤下端のせん断力について行う。改良地盤上端及び下端にせん断面を想定し，各時刻（t）における改良地盤に作用する水平方向せん断力 $F_H(t)$と改良地盤の水平抵抗力 $F_R(t)$を評価し，そのせん断に対する安全率 $F_S(t)$が 1.5 以上であることを下式により確認する。

$$F_S(t) = \frac{F_R(t)}{F_H(t)} \geqq 1.5$$

$$F_R(t) = \sum_i F_R(t) = \sum \tau_{Ri}(t) \cdot l_i$$

$$F_H(t) = \sum_i F_H(t) = \sum \tau_{Si}(t) \cdot l_i$$

ここで，

$F_S(t)$　：せん断に対する安全率

$F_R(t)$　：せん断面上の地盤の水平抵抗力（kN）

$F_H(t)$　：せん断面上の地盤のせん断力（kN）

$\tau_{Ri}(t)$　：せん断面の解析モデル要素 i のせん断抵抗力（kN/m^2）

$\tau_{Ri}(t)$は上載圧による強度増加は無視して設定し，せん断強度 $_{ss}f_{SS}$ を用いる。なお，せん断破壊及び鉛直方向応力が引張状態になった地盤要素は評価しない

$\tau_{Si}(t)$　：せん断面の解析モデル要素 i に作用するせん断応力（kN/m^2）

l_i　：解析モデル要素 i を横切るせん断面の長さ（要素 i の長さ）（m）

$_{ss}f_{SS}$　：改良地盤のせん断強度（kN/m^2）

改良地盤のせん断強度（$_{ss}f_{SS}$）は下式より設定する。

$$_{ss}f_{SS} = \frac{1}{5} {}_{ss}f_{SC}$$

ここで，

$_{ss}f_{SS}$　：$688kN/m^2$　（断面欠損 25%を考慮する）

安全率の検討結果を表 2.2.2-10 及び表 2.2.2-11 に示す。

検討結果より改良地盤の水平抵抗力は，改良地盤の基礎スラブ直下及び改良地盤下端の最大せん断力の 1.5 以上の安全率を有していることを確認した。なお，解析は二次元でモデル化しているため，単位長さ当りのせん断力及び水平抵抗力で検討する。

表 2.2.2-10　改良地盤のせん断力に対する検討

（基礎スラブ下端）

地震波	最大せん断力 F_H (kN/m)	水平抵抗力 F_R (kN/m)	安全率 F_S	ｸﾗｲﾃﾘｱ	判定
Ss-1	3635	21156	5.82	1.50	OK
Ss-2	3052	22188	7.26	1.50	OK
Ss-3	3548	20640	5.81	1.50	OK

表 2.2.2-11　改良地盤のせん断力に対する検討

（改良地盤底部）

地震波	最大せん断力 F_H (kN/m)	水平抵抗力 F_R (kN/m)	安全率 F_S	ｸﾗｲﾃﾘｱ	判定
Ss-1	7741	24080	3.11	1.50	OK
Ss-2	7481	24424	3.26	1.50	OK
Ss-3	6494	24080	3.70	1.50	OK

4)　支持力の検討

支持力の評価は，改良地盤底部における最大鉛直応力が支持地盤の極限支持力度に対して 1.5 以上の安全率を有していることを確認する。

$$\frac{R_u}{V} \geqq 1.5$$

ここで，　R_u　：極限鉛直支持力度

V　：地震応答解析から得られる最大鉛直応力

検討の結果，支持地盤の極限支持力度（6860kN/m²）*は改良地盤底部における最大鉛直応力の 1.5 以上の安全率を有していることを確認した。

＊：「福島第一原子力発電所 原子炉設置変更許可申請書（４号炉増設）」による

$$6860\text{kN/m}^2 \ / \ 1821\ \text{kN/m}^2 \ = \ 3.76 \ \geqq \ 1.50 \ \cdots\cdot\text{OK}$$

(5)　地盤アンカーの耐震性に対する検討

1)　検討方針

地盤アンカーは，図 2.2.2-10 に示すように基礎スラブ上端を緊張端とし，泥岩層 G.L.-17.0m 以深を定着長部としている。地盤アンカーの検討は基準地震動 Ss 時に自由長部に発生する応力が規格降伏耐力以下及び定着長部の設計定着長が必要定着長以上であることを確認する。検討は，旧建築基準法第 38 条の規定に基づく認定工法「STK 永久アンカー工法」（建設省阪住指発第 353 号，平成 8 年 10 月 16 日）における設計マニュアルに基づき実施する。

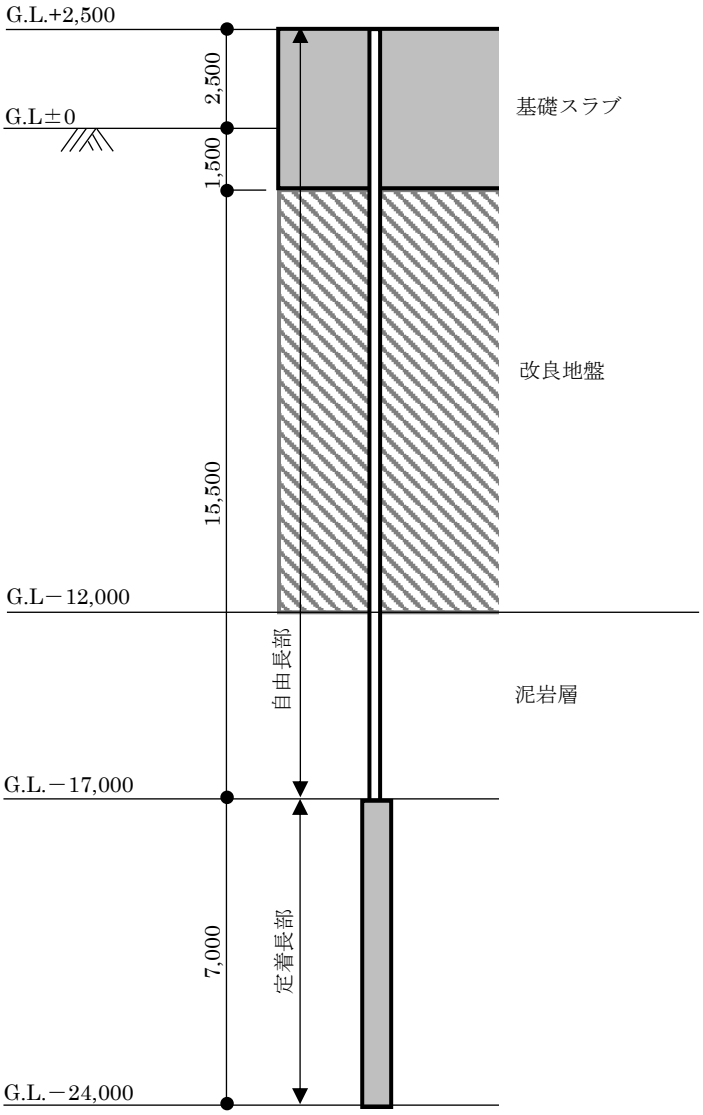


図 2.2.2-10　地盤アンカー設置計画（単位：mm）

2)　地盤アンカーの検討

・自由長部の検討

地盤アンカーに発生する応力と規格降伏耐力を比較した結果を表 2.2.2-12 に示す。地盤アンカーは STK-200 (SWPR19 4-φ21.8)を用いる。

検討の結果，耐力比が 1 以下になることを確認した。

表 2.2.2-12　自由長部の検討結果

発生応力 T_{max} (kN/本)	規格降伏耐力 T_{ys} (kN/本)	耐力比 $T_{max}／T_{ys}$	判定
1590	1981	0.81	OK

・定着長部の検討

定着長部の検討は，地盤アンカーの規格降伏耐力と地盤の極限摩擦抵抗力から求める必要定着長が，設計定着長を下回ることを確認する。結果を表 2.2.2-13 に示す。

検討の結果，検定比が 1 以下になることを確認した。

$$L_a = \frac{T_{ys} \times F}{\tau_u \times \pi \times D_d}$$

ここで，

La　：必要定着長（cm）

T_{ys}　：地盤アンカーの規格降伏耐力（1981kN）

F　：安全率（=1.0）

τ_u　：地盤の極限摩擦抵抗力（N/cm²）（137N/cm²）*

＊：旧建築基準法第 38 条の規定に基づく認定工法「STK 永久アンカー工法」(建設省阪住指発第 353 号，平成 8 年 10 月 16 日)，設計マニュアルより N 値 50 以上の泥岩の値

D_d　：地盤アンカー体の設計径（17cm）

表 2.2.2-13　定着長の検討結果

必要定着長 L_a (cm)	設計定着長 L_d (cm)	検定比 $L_a／L_d$	判定
271	700	0.39	OK

2.3　燃料取扱機支持用架構の構造強度及び耐震性について

燃料取扱機支持用架構の構造強度及び耐震性の検討フローを図 2.3-1 に示す。

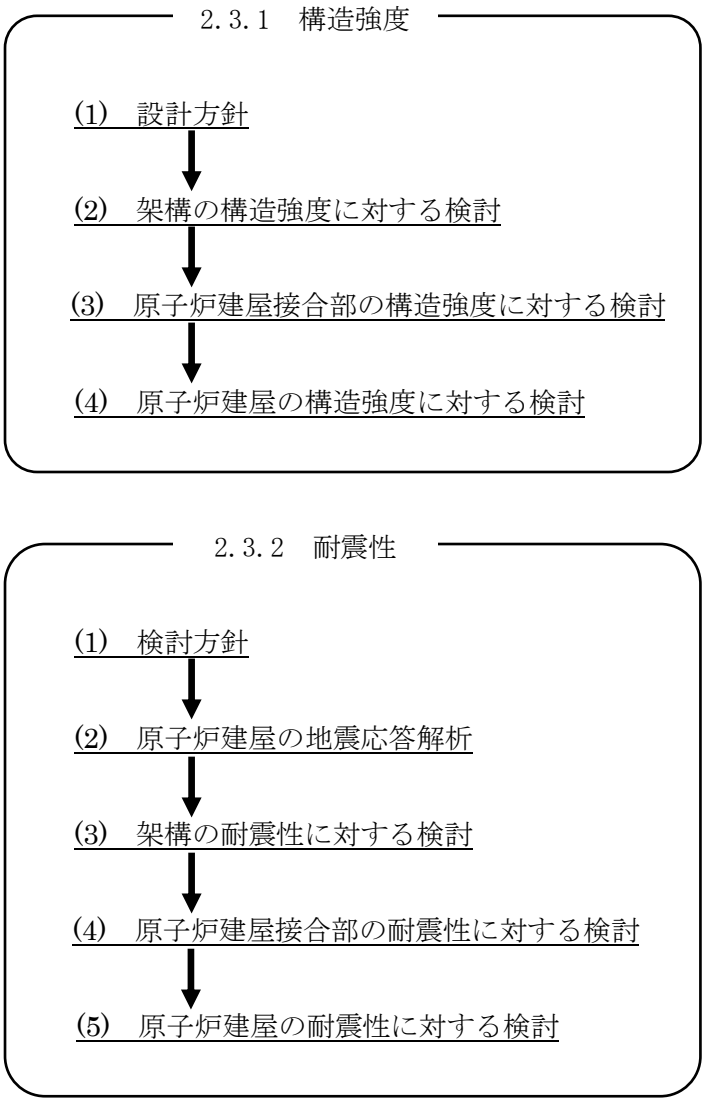


図 2.3-1　燃料取扱機支持用架構の検討フロー

2.3.1　構造強度

(1)　設計方針

構造強度の検討は，燃料取扱機支持用架構，原子炉建屋接合部及び架構反力が作用する原子炉建屋について許容応力度設計を実施する。

1)　使用材料及び許容応力度

燃料取扱機支持用架構の物性値及び許容応力度を表 2.3.1-1 に示す。

表 2.3.1-1　燃料取扱機支持用架構の物性値及び許容応力度

材料定数

部位	材料	ヤング係数 E（N/mm²）	ポアソン比 ν	単位体積重量 γ（kN/m³）
架　　構	鉄骨	2.05×10^5	0.3	77.0
基礎構造	コンクリート	2.44×10^4	0.2	24.0

コンクリートの許容応力度　（単位：N/mm²）

	長期			短期		
設計基準強度= 30	圧縮	引張	せん断	圧縮	引張	せん断
	10.0	－	0.790	20.0	－	1.185

鉄筋の許容応力度　（単位：N/mm²）

記号	鉄筋径	長期		短期	
		引張及び圧縮	せん断補強	引張及び圧縮	せん断補強
SD345	D29 未満	215	195	345	345
	D29 以上	195			

構造用鋼材の許容応力度　（単位：N/mm²）

板厚	材料	基準強度 F	許容応力度
T≦40 mm	SS400	235	「鋼構造設計規準」に従い，左記 F の値より求める
T≦40 mm	SM490A	325	
T＞40 mm	TMCP325B*，TMCP325C*	325	
－	BCP325	325	
－	BCR295	295	
－	SNR490B	325	

*：国土交通大臣指定書（国住指第 326-2，平成 14 年 5 月 7 日）による

2)　荷重及び荷重組合せ

設計で考慮する荷重を以下に示す。

・鉛直荷重（VL）

燃料取扱機支持用架構に作用する鉛直方向の荷重で，固定荷重，機器荷重，配管荷重及び積載荷重とする。

・クレーン荷重（CL）

吊荷荷重を含む燃料取扱機による荷重を表 2.3.1-2 に示す。

表 2.3.1-2　クレーン荷重一覧表

燃料取扱機	735 kN
作業台車	196 kN

・地震荷重（K）

燃料取扱機支持用架構に作用させる地震荷重は，G.L.-12.06m（原子炉建屋基礎スラブ上端レベル）を基準面とした原子炉建屋の地震層せん断力係数の算定結果より設定する。原子炉建屋の地震層せん断力係数は下式より算定し，算定結果を表 2.3.1-4 に示す。

$$Qi = n \cdot Ci \cdot Wi$$

$$Ci = Z \cdot Rt \cdot Ai \cdot Co$$

ここで，

Qi：水平地震力（kN）

n　：施設の重要度に応じた係数（n=1.5）

建築基準法で定める地震力の 1.5 倍を考慮する。

Ci：地震層せん断力係数

Wi：当該部分が支える重量（kN）

ここに，燃料取扱機支持用架構の設計で考慮する原子炉建屋の全体重量は，瓦礫撤去の効果と燃料取扱機支持用架構を新規に設置する影響を考慮した。原子炉建屋の全体重量を表 2.3.1-3 に示す。

表 2.3.1-3　原子炉建屋の全体重量(kN)

原子炉建屋全体重量*1	1078100
瓦礫撤去による軽減重量	-39810
燃料取扱機支持用架構の付加重量	+6490
燃料取扱機支持用架構設計用原子炉建屋全体重量	1044780

*1　「福島第一原子力発電所の原子炉建屋の現状の耐震安全性および補強等に関する検討に係る報告書（その１）」（平成 23 年 5 月 28 日　東京電力株式会社）にて用いた原子炉建屋重量(1069320kN)に使用済燃料プール底部の支持構造物の設置工事による重量(8780kN)を加算したもの

Z　：地震地域係数（Z=1.0）

Rt　：振動特性係数（Rt=0.8）

Ai　：地震層せん断力係数の高さ方向の分布係数で，燃料取扱機支持用架構の固有値を用いたモーダル法（二乗和平方根法）により求める。

C_0　：標準せん断力係数（C_0=0.2）

表 2.3.1-4　原子炉建屋の地震層せん断力係数の算定結果

階	G.L. (m)	各階重量 (kN)	Wi (kN)	Ai		n･Ci	
				NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向
5	+29.92	77700	－	－	－	－	－
4	+29.92～+22.30	88770	77700	2.070	2.218	0.497	0.533
3	+22.30～+16.90	122210	166470	1.787	1.831	0.429	0.440
2	+16.90～+8.70	127700	288680	1.520	1.549	0.365	0.372
1	+8.70～+0.20	208960	416380	1.309	1.315	0.314	0.316
B1	+0.20～-12.06	－	625340	1.000	1.000	0.240	0.240

燃料取扱機支持用架構に作用させる水平震度は，原子炉建屋 4 階の NS 方向地震層せん断力係数(n・Ci=0.497)及び EW 方向地震層せん断力係数(n・Ci=0.533)より，水平震度を Ki=n・Ci として水平地震力を設定する。表 2.3.1-5 に燃料取扱機支持用架構に作用させる水平地震力の算定結果を示す。

表 2.3.1-5　水平地震力の算定結果

G.L. (m)	各階重量 (kN)	NS 方向		EW 方向	
		水平震度 Ki	水平地震力 Pi (kN)	水平震度 Ki	水平地震力 Pi (kN)
+30.77	2487	0.497	1236	0.533	1326
+20.485	298	0.497	148	0.533	159
+10.20	188	0.497	93	0.533	100

ここに，燃料取扱機支持用架構は鉄骨造で剛性が小さく，原子炉建屋は壁式鉄筋コンクリート造で剛性が非常に高いことから，燃料取扱機支持用架構の変形量に対して原子炉建屋の変形量は非常に小さく，地震時の原子炉建屋の変形が燃料取扱機支持用架構に及ぼす影響は考慮しないものとした。

・荷重組合せ

設計で考慮する燃料取扱機の位置を図 2.3.1-1 に，荷重組合せを表 2.3.1-6 に示す。なお，燃料取扱機支持用架構はクレーン支持用架構に覆われているため，積雪時及び暴風時は考慮しないものとした。

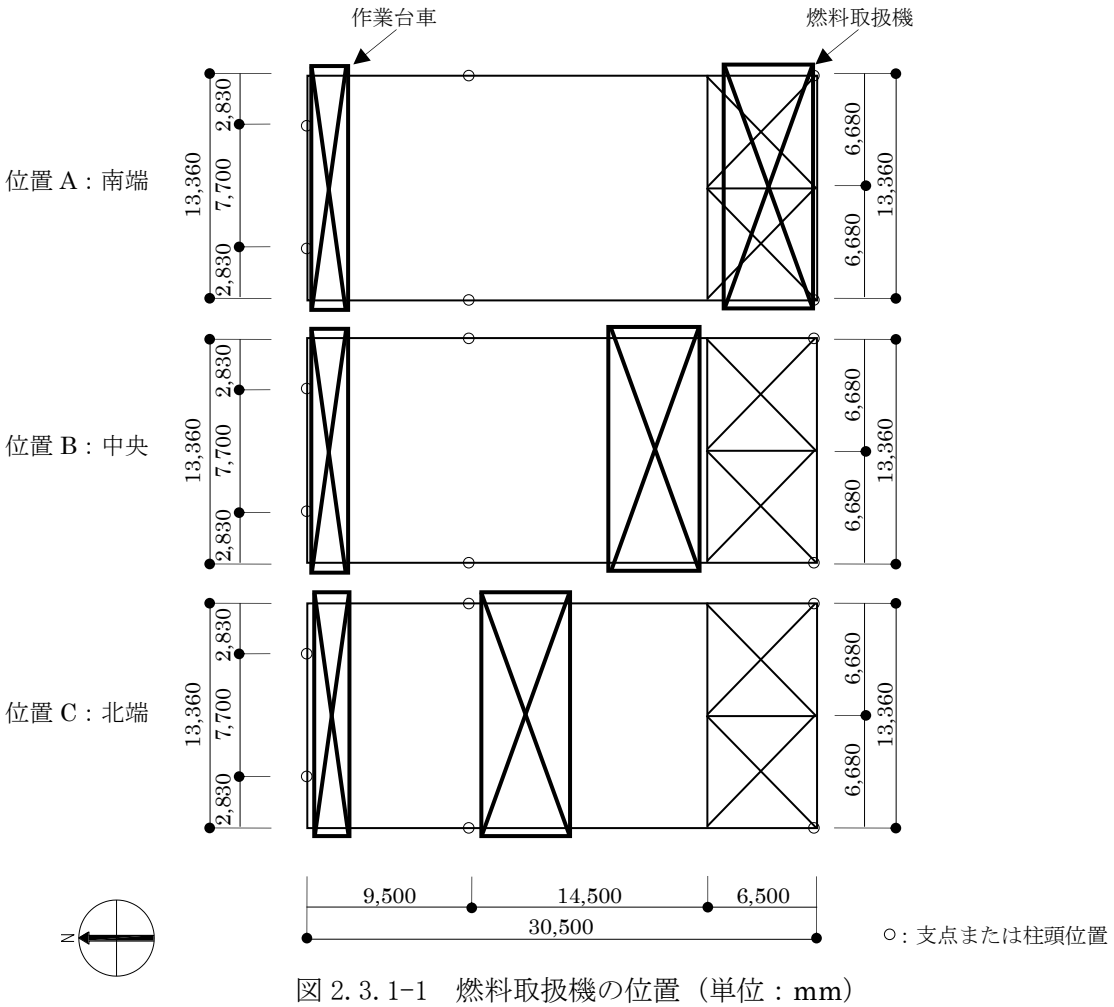


図 2.3.1-1　燃料取扱機の位置（単位：mm）

表 2.3.1-6　燃料取扱機支持用架構の荷重組合せ

想定する状態	荷重ケース	荷重組合せ内容	許容応力度
常時	C	VL＋CL	長期
地震時	E1	VL＋CL＋K(＋NS)*1	短期
	E2	VL＋CL＋K(－NS)*1	
	E3	VL＋CL＋K(＋EW)*1	
	E4	VL＋CL＋K(－EW)*1	

*1：地震荷重は NS 方向及び EW 方向を考慮する

(2)　架構の構造強度に対する検討

1)　解析モデル

燃料取扱機支持用架構の解析モデルは，G.L.+8.70m より上部を立体架構モデルとし，柱及び梁端部の境界条件は剛接，原子炉建屋シェル壁上端はピン及び原子炉建屋南側外壁の柱脚部は固定とする。解析モデル，部材寸法及び応力検討箇所を図 2.3.1-2 に示す。

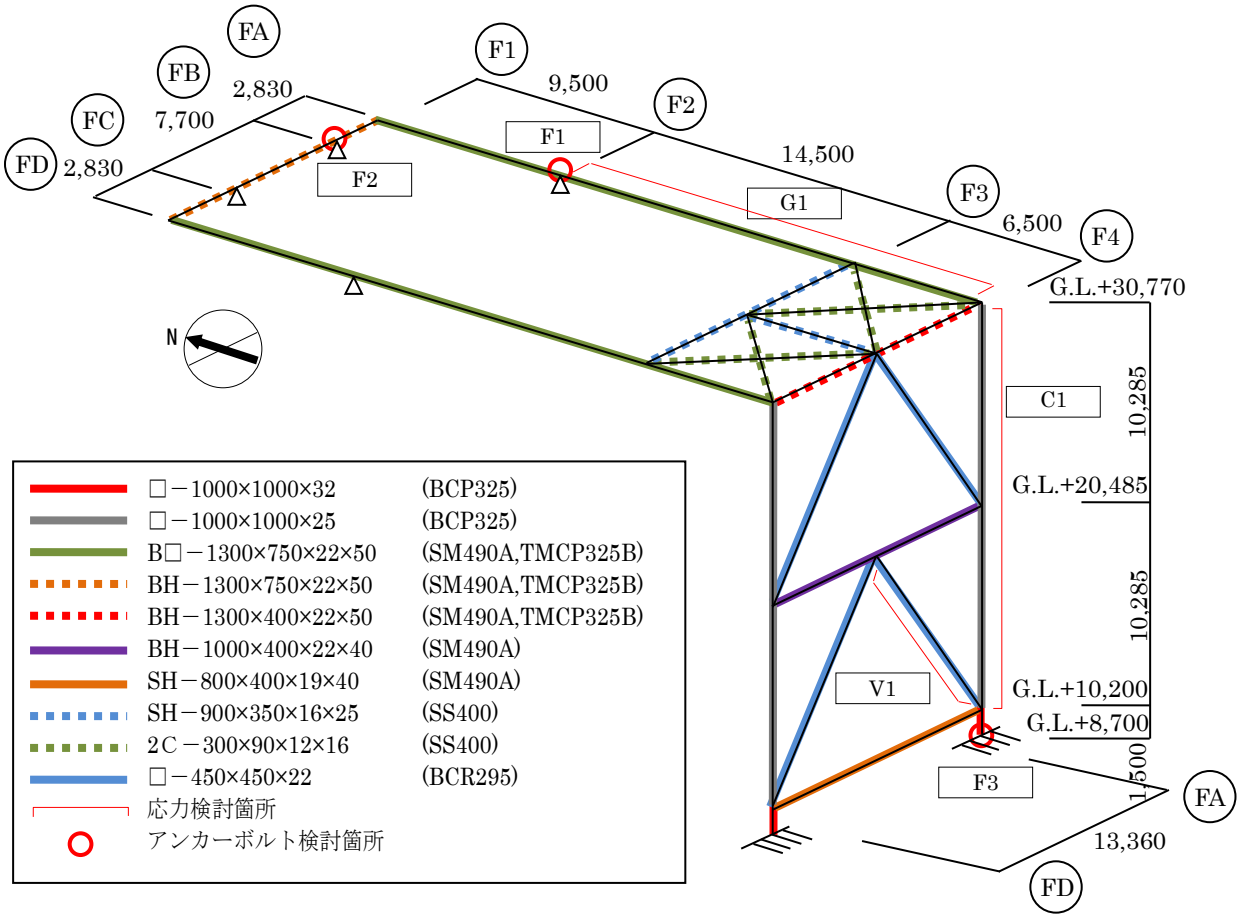
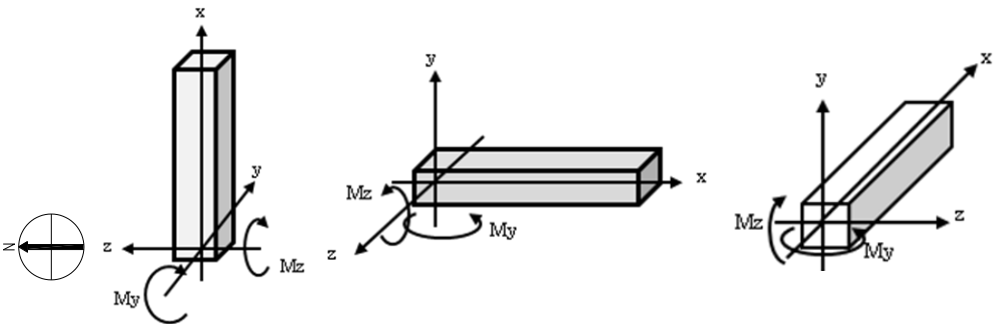


図 2.3.1-2　解析モデル図（単位：mm）

2)　断面検討

応力解析結果を用い，断面検討は二方向の曲げを図 2.3.1-3 に示すように考慮する。



柱要素　　NS 方向梁要素　　EW 方向梁要素

図 2.3.1-3　曲げモーメントの方向

応力度比の検討は「鋼構造設計規準」に従い，軸力及び曲げモーメントに対する検討は下式にて行う。

・軸圧縮の場合　　$\dfrac{\sigma_c}{f_c}+\dfrac{\sigma_{bz}+\sigma_{by}}{f_b}\leqq 1$

・軸引張の場合　　$\dfrac{\sigma_c+\sigma_{bz}+\sigma_{by}}{f_t}\leqq 1$

ここで，

σ_c：軸応力度（=N／A）

N：軸力，A：断面積

σ_{bz}：部材 z 軸方向曲げ応力度（＝M_z／Z_z）

M_z，Z_z：部材 z 軸回りモーメント及び断面係数

σ_{by}：部材 y 軸方向曲げ応力度（＝M_y／Z_y）

M_y，Z_y：部材 y 軸回りモーメント及び断面係数

f_c：許容圧縮応力度

f_b：許容曲げ応力度

f_t：許容引張応力度

また，せん断力に対する検討は，下式にて行う。

$$\frac{\sqrt{(\sigma_c+\sigma_{bz}+\sigma_{by})^2+3\tau_z{}^2}}{f_t}\leqq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{\sqrt{(\sigma_c+\sigma_{bz}+\sigma_{by})^2+3\tau_y{}^2}}{f_t}\leqq 1$$

ここで，

τ_z：部材 z 軸方向せん断応力度（＝Q_z／A_{wz}）

Q_z，A_{wz}：部材 z 軸方向せん断力及びせん断断面積

τ_y：部材 y 軸方向せん断応力度（＝Q_y／A_{wy}）

Q_y，A_{wy}：部材 y 軸方向せん断力及びせん断断面積

表 2.3.1-7 及び表 2.3.1-8 に応力度比が最大となる部位の断面検討結果を示す。

断面検討の結果，全ての部材に対する応力度比が 1 以下になることを確認した。

表 2.3.1-7　断面検討結果（常時）

部位	検討箇所	部材形状 (mm)	荷重ケース (位置)*1	作用 応力度 (N/mm²)		許容 応力度 (N/mm²)	応力度比	判定
柱	C1	□-1000×1000 ×25×25	C (B)	曲げ Mz	0.3	216.7	0.13	OK
				曲げ My	20.0	216.7		
				圧縮 N	4.2	150.1		
				せん断 Qz	0.9	125.1		
				せん断 Qy	0.0	125.1		
梁	G1	B□-1300×750 ×22×50	C (B)	曲げ Mz	36.6	216.7	0.18	OK
				曲げ My	1.2	216.7		
				圧縮 N	0.4	134.0		
				せん断 Qz	0.2	125.1		
				せん断 Qy	0.5	125.1		
ブレース	V1	□-450×450 ×22	C (B)	曲げ Mz	0.0	196.7	0.02	OK
				曲げ My	1.5	196.7		
				圧縮 N	1.5	135.1		
				せん断 Qz	0.1	113.5		
				せん断 Qy	0.0	113.5		

*1：燃料取扱機の位置を示す

表 2.3.1-8　断面検討結果（地震時）

部位	検討箇所	部材形状 (mm)	荷重ケース (位置)*1	作用 応力度 (N/mm²)		許容 応力度 (N/mm²)	応力度比	判定
柱	C1	□-1000×1000 ×25×25	E2 (B)	曲げ Mz	0.2	325.0	0.10	OK
				曲げ My	25.1	325.0		
				圧縮 N	4.3	225.2		
				せん断 Qz	1.7	187.6		
				せん断 Qy	0.0	187.6		
梁	G1	B□-1300×750 ×22×50	E3 (C)	曲げ Mz	34.2	325.0	0.21	OK
				曲げ My	28.5	325.0		
				圧縮 N	1.2	201.0		
				せん断 Qz	3.4	187.6		
				せん断 Qy	10.2	187.6		
ブレース	V1	□-450×450 ×22	E3 (A)	曲げ Mz	2.8	295.0	0.13	OK
				曲げ My	0.0	295.0		
				圧縮 N	23.9	202.7		
				せん断 Qz	0.0	170.3		
				せん断 Qy	0.2	170.3		

*1：燃料取扱機の位置を示す

(3)　原子炉建屋接合部の構造強度に対する検討

1)　許容耐力の算定

燃料取扱機支持用架構の原子炉建屋上の支点は接着系アンカーボルトを用いて一体化が図られる。接着系アンカーボルトの許容耐力は「各種合成構造設計指針・同解説」に従い，原子炉建屋の設計基準強度(22.1N/mm²)を用いて下式によって求め，計算結果を表 2.3.1-9 に示す。

$$p_a = \min(p_{a1},\ p_{a3})$$
$$q_a = \min(q_{a1},\ q_{a2},\ q_{a3})$$

ここで，

p_a　：接着系アンカーボルトの許容引張力

p_{a1}　：アンカーボルトの降伏により決まる許容引張力

p_{a3}　：付着力により決まる許容引張力

q_a　：接着系アンカーボルトの許容せん断力

q_{a1}　：アンカーボルトのせん断強度により決まる許容せん断力

q_{a2}　：躯体の支圧強度により決まる許容せん断力

q_{a3}　：躯体のコーン破壊により決まる許容せん断力

表 2.3.1-9　接着系アンカーボルトの許容耐力

箇所			シェル壁上端（F1，F2）	南側外壁(F3)
高さ		m	G.L.+29.92	G.L.-0.40～G.L.+8.70
鋼材種類			M27	D25
			SNR490B	SD345
埋め込み長さ		mm	700	450
アンカーボルトの間隔		mm	300	400
長期	許容引張力(p_{aL})	kN/本	58	51
	許容せん断力(q_{aL})	kN/本	53	58
短期	許容引張力(p_{aS})	kN/本	116	102
	許容せん断力(q_{aS})	kN/本	104	116

2)　シェル壁上端位置の検討

燃料取扱機支持用架構とシェル壁との接合部の概要を図 2.3.1-4 に，作用応力と許容耐力を比較した結果を表 2.3.1-10 に示す。

検討の結果，全ての応力度比が 1 以下になることを確認した。

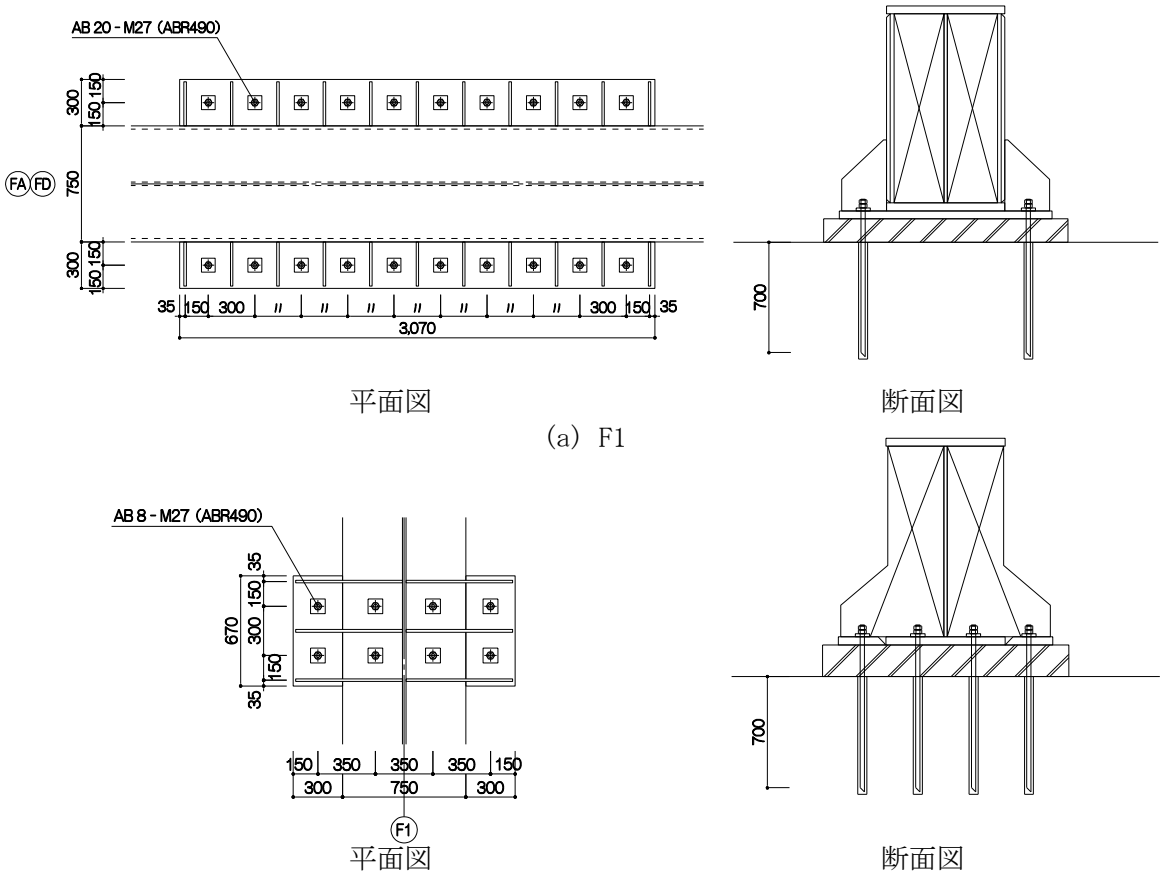


図 2.3.1-4　シェル壁上端位置の接合部概要（単位：mm）

表 2.3.1-10　　シェル壁上端位置の検討結果

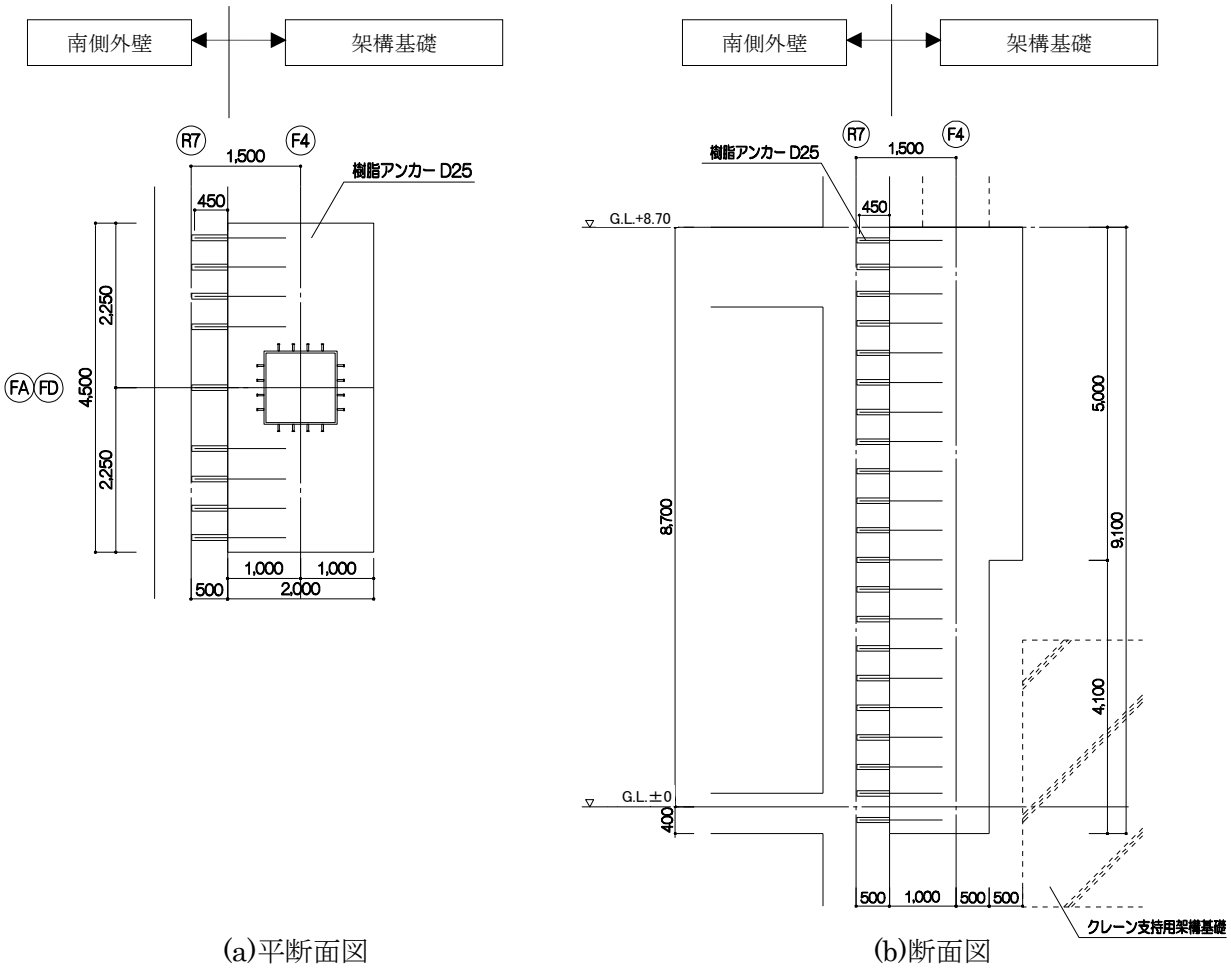
検討箇所 (ｱﾝｶｰ本数) *1	荷重ケース (位置) *2	作用応力		許容耐力		応力度比	判定
		引抜力 P (kN)	せん断力 Q (kN)	許容引張力 p_a (kN)	許容せん断力 q_a (kN)		
F1 (20)	C (B)	0	41	1160	1060	0.04	OK
	E2 (B)	0	669	2320	2080	0.33	OK
F2 (8)	C (A)	0	10	464	424	0.03	OK
	E3 (A)	0	94	928	832	0.12	OK

*1：設計で考慮するアンカーボルトの本数
*2：燃料取扱機の位置を示す

3)　南側外壁位置の検討

燃料取扱機支持用架構と南側外壁との接合部の概要を図 2.3.1-5 に，作用応力と許容耐力を比較した結果を表 2.3.1-11 に示す。

検討の結果，全ての応力度比が 1 以下になることを確認した。



(a)平断面図　　(b)断面図

図 2.3.1-5　南側外壁位置の接合部概要（単位：mm）

表 2.3.1-11　南側外壁位置の検討結果

検討箇所 方向 (ｱﾝｶｰ本数)*1	荷重ケース (位置)*2	作用応力		許容耐力		応力度比	判定
		引抜力 P (kN)	せん断力 Q (kN)	許容引張力 p_a (kN)	許容せん断力 q_a (kN)		
F3 NS 方向 (引張 24) (せん断 99)	C (A)	552	2622	1224	5742	0.46	OK
	E1 (A)	951	2613	2448	11484	0.39	OK
F3 EW 方向 (引張 15) (せん断 99)	C (A)	24	2622	765	5742	0.46	OK
	E3 (A)	412	4049	1530	11484	0.36	OK

*1：設計で考慮するアンカーボルトの本数。アンカーボルトは引張に抵抗するものとせん断に抵抗するものをそれぞれ設定した

*2：燃料取扱機の位置を示す

(4)　原子炉建屋の構造強度に対する検討

1)　検討方針

原子炉建屋の構造強度の検討では，当該躯体建設時の設計用応力*1に架構反力により生じる応力を重ね合わせた応力が，許容応力度以下になることを確認する。ここで，燃料取扱機支持用架構の重量が原子炉建屋に比較して十分に小さいことから，検討は地震時についてのみ実施する。検討対象部位は，架構反力を受けるシェル壁と南側外壁とする。なお，シェル壁については G.L.+8.70m より上部を検討対象とする。検討対象部位を図 2.3.1-6 に示す。

*1：原子炉建屋全体重量は，瓦礫撤去の効果（－39810kN）及び燃料取扱機支持用架構の新設（＋6490kN）を考慮すると軽減傾向にあり，地震時応力は低減されるが，安全側の評価として建設時の設計用応力を用いる

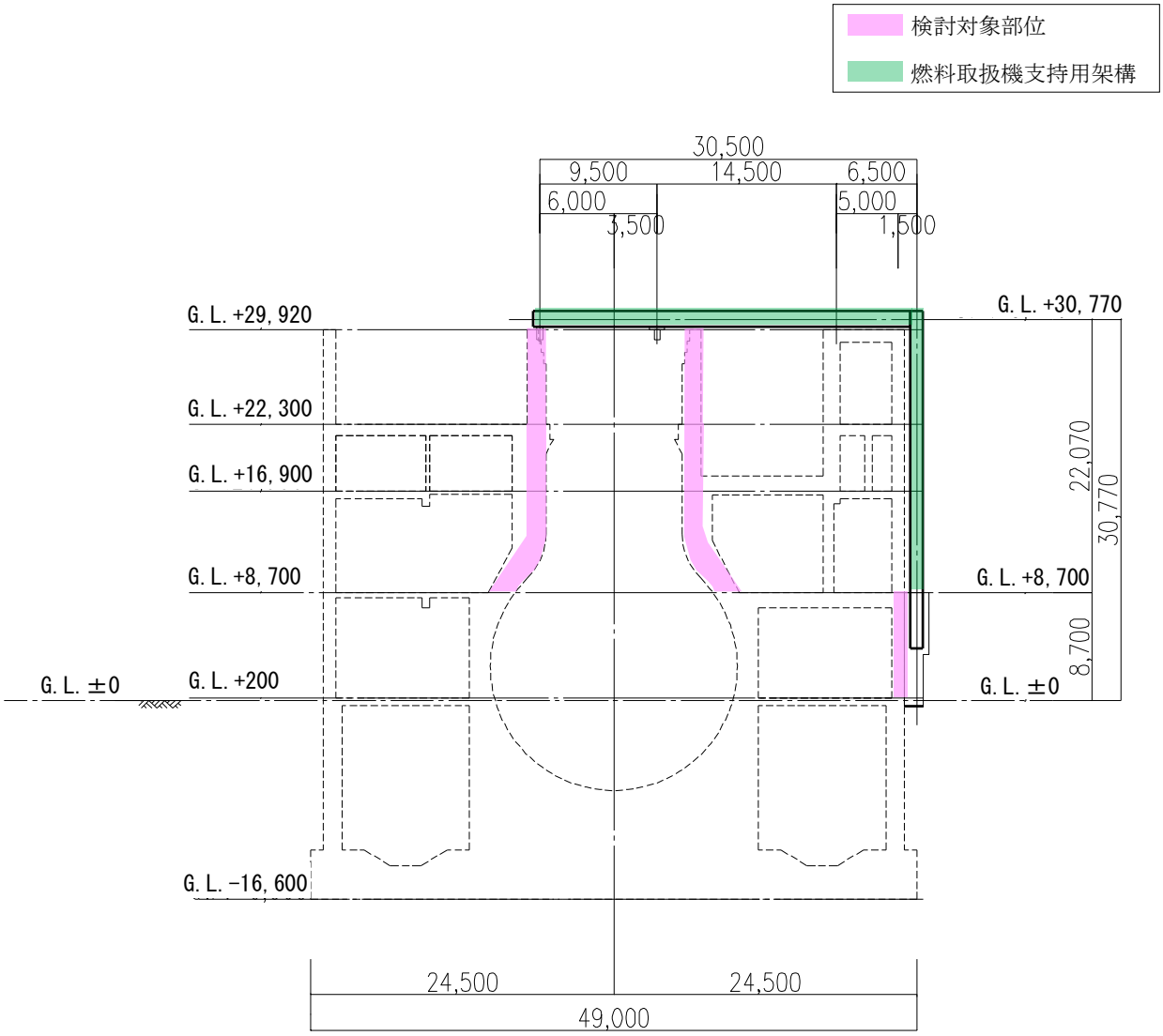


図 2.3.1-6　既存躯体の検討対象部位（単位：mm）

2) 断面検討

軸力及び曲げモーメントに対する断面検討とせん断に対する断面検討は，「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」に従い，設計基準強度(22.1N/mm²)を用いて行う。

シェル壁の軸力及び曲げモーメントに対する検討結果を表 2.3.1-12 に，せん断力に対する断面検討結果を表 2.3.1-13 に示す。南側外壁の面内方向に対する断面検討結果を表 2.3.1-14 に，面外方向に対する断面検討結果を表 2.3.1-15 に示す。

検討の結果，全ての応力度比が 1 以下になることを確認した。また，燃料取扱機支持用架構の反力により生じる応力は，建設時の設計用応力の 10%以下であることを確認した。

表 2.3.1-12　シェル壁の断面検討結果(1)
(軸力及び曲げモーメントに対する検討)

G.L. (m)	コア壁厚 t (m)	配筋 タテ筋 a_t(cm²/m) P_g(%)	鉄筋の 最大引張応力度 σ_t (N/mm²)	コンクリートの 最大圧縮応力度 σ_c (N/mm²)	応力度比 σ_t / f_t	判定
+29.92～ +22.30	1.50	a_t=87.7 P_g=1.16	58.1	2.0	0.17	OK
+22.30～ +16.90	1.85	a_t=87.7 P_g=0.94	80.1	3.4	0.24	OK
+16.90～ +8.70	2.08	a_t=171.0 P_g=1.64	64.3	3.7	0.19	OK

表 2.3.1-13　シェル壁の断面検討結果(2)
(せん断に対する検討)

G.L. (m)	コア壁厚 t (m)	配筋 上段:タテ筋 下段:ヨコ筋 a_t(cm²/m) P_g(%)	鉄筋の 最大引張応力度 σ_t (N/mm²)	応力度比 σ_t / f_t	判定
+29.92～ +22.30	1.50	a_t =87.7 P_g =1.16	86.3	0.26	OK
		a_t =76.0 P_g =1.01	99.1	0.29	OK
+22.30～ +16.90	1.85	a_t =87.7 P_g =0.94	117.1	0.34	OK
		a_t =76.0 P_g =0.82	134.2	0.39	OK
+16.90～ +8.70	2.08	a_t =171.0 P_g =1.64	125.0	0.37	OK
		a_t =171.0 P_g = 1.64	125.0	0.37	OK

表 2.3.1-14　南側外壁の断面検討結果(1)
(面内方向)

G.L. (m)	壁厚 t (m)	配筋 上段:タテ筋 下段:ヨコ筋 P_g (%)	せん断 鉄筋の 最大引張応力度 σ_t (N/mm²)	曲げモーメント 鉄筋の 最大引張応力度 σ_t (N/mm²)	曲げモーメント コンクリートの 最大圧縮応力度 σ_c (N/mm²)	応力度比 σ_t / f_t	判定
+8.70 ～ +0.20	1.00	2-D32@200 P_g=0.79 2-D32@200 P_g=0.79	278.5	0.0	2.0	0.81	OK

表 2.3.1-15　南側外壁の断面検討結果(2)
(面外方向)

G.L. (m)	壁厚 t (m)	配筋 タテ筋 P_g (%)	せん断 ｺﾝｸﾘｰﾄの最大 せん断応力度 τ_s (N/mm²)	せん断 応力 度比 τ_s / f_s	せん断 判定	曲げモーメント 鉄筋の最大 引張応力度 σ_t (N/mm²)	曲げモーメント ｺﾝｸﾘｰﾄの最大 圧縮応力度 σ_c (N/mm²)	曲げモーメント 応力 度比 σ_t / f_t	曲げモーメント 判定
+8.70 ～ +0.20	1.00	2-D32@200 P_g =0.79	0.1	0.10	OK	110.8	2.1	0.33	OK

2.3.2　耐震性

(1)　検討方針

耐震性の検討は，燃料取扱機支持用架構，原子炉建屋接合部及び原子炉建屋の健全性について行い，基準地震動 Ss に対して燃料取扱機支持用架構及び原子炉建屋の応答性状を適切に表現できる地震応答解析を用いて評価する。

(2)　原子炉建屋の地震応答解析

1)　解析に用いる入力地震動

検討に用いる地震動は，「福島第一原子力発電所『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　中間報告書」（平成 20 年 3 月 31 日 東京電力株式会社）にて作成した解放基盤表面に定義される基準地震動 Ss（図 2.2.2-2(1)及び図 2.2.2-2(2)参照）とする。

地震応答解析に用いる入力地震動の概念図を図 2.3.2-1 に示す。モデルに入力する地震動は一次元波動論に基づき，解放基盤表面に定義される基準地震動 Ss に対する地盤の応答として評価する。

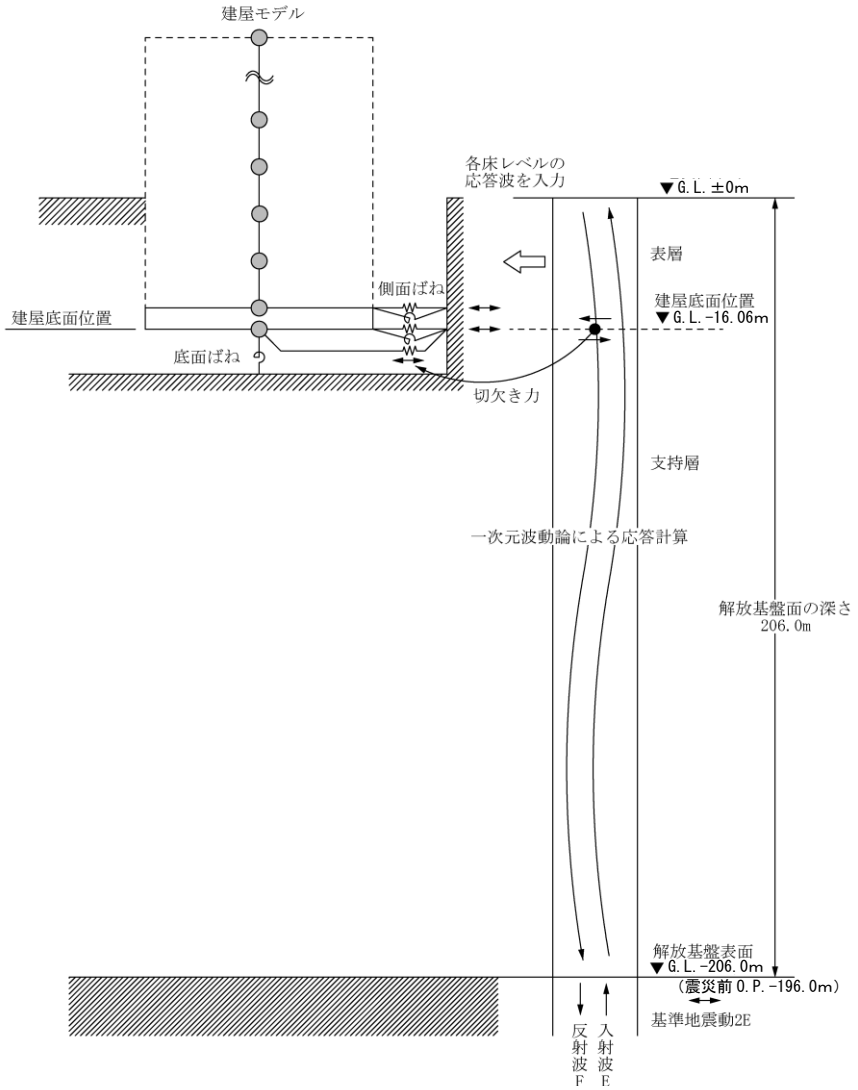


図 2.3.2-1　地震応答解析に用いる入力地震動の概念図

2)　地震応答解析モデル

原子炉建屋の地震応答解析モデルは，図 2.3.2-2 に示すように質点系でモデル化し，地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成系モデルとする。

地震応答解析モデルの諸元は，「福島第一原子力発電所の原子炉建屋の現状の耐震安全性および補強等に関する検討に係る報告書（その１）」（平成 23 年 5 月 28 日　東京電力株式会社）に示される内容に，使用済燃料プール底部の支持構造物の設置工事，瓦礫撤去及び新規に設置する燃料取扱機支持用架構の重量を考慮した。解析諸元を表 2.3.2-1(1)及び表 2.3.2-1(2)に示す。

地盤定数は，水平成層地盤と仮定し地震時のせん断ひずみレベルを考慮して定めた。地盤定数の設定結果を表 2.3.2-2 に示す。基礎底面の地盤ばねについては，「JEAG 4601-1991」に示されている手法を参考にして，地盤を成層補正し振動アドミッタンス理論によりスウェイ及びロッキングばねを評価した。

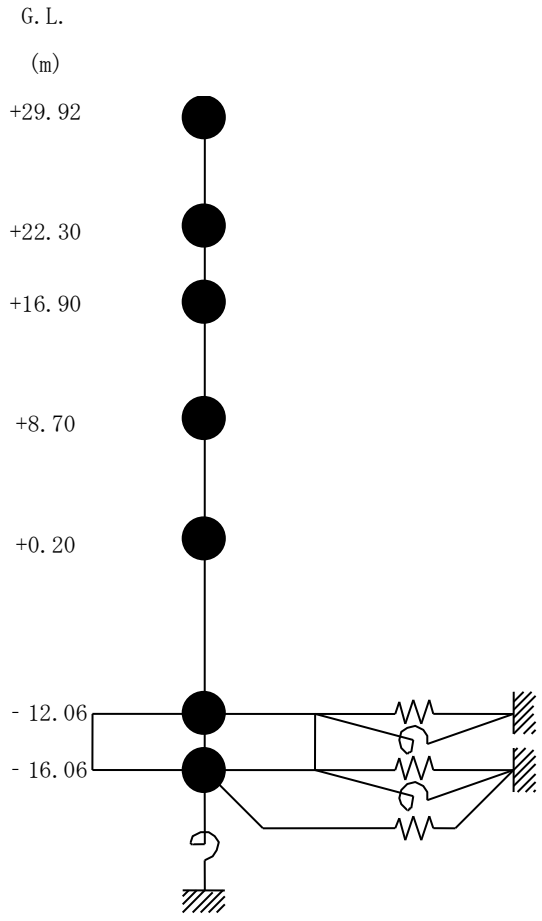


図 2.3.2-2　原子炉建屋の地震応答解析モデル

表 2.3.2-1(1)　原子炉建屋の地震応答解析モデルの諸元

(a)水平（NS）方向

G.L.(m)	質点重量 W（kN）	回転慣性重量 I_G（$\times 10^5$ kN･m^2）	せん断断面積 As（m^2）	断面二次モーメント I（m^4）
+29.92	77700	141.73		
			150.8	13068
+22.30	88770	163.44		
			103.4	15942
+16.90	122210	224.92		
			223.4	45026
+8.70	127700	244.14		
			175.4	46774
+0.20	208960	391.33		
			460.4	114194
-12.06	287050	574.38		
			2812.6	562754
-16.06	132390	264.88		
合計	1044780			

ヤング係数 Ec　2.57×10^7(kN/m^2)
せん断弾性係数 G　1.07×10^7(kN/m^2)
ポアソン比 ν　0.20
減衰 h　5%

(b)水平（EW）方向

G.L.(m)	質点重量 W（kN）	回転慣性重量 I_G（$\times 10^5$ kN･m^2）	せん断断面積 As（m^2）	断面二次モーメント I（m^4）
+29.92	77700	78.78		
			90.4	6491
+22.30	88770	91.66		
			105.8	6388
+16.90	122210	224.92		
			167.5	32815
+8.70	127700	232.88		
			166.4	46303
+0.20	208960	570.57		
			424.5	136323
-12.06	287050	828.96		
			2812.6	772237
-16.06	132390	346.27		
合計	1044780			

ヤング係数 Ec　2.57×10^7(kN/m^2)
せん断弾性係数 G　1.07×10^7(kN/m^2)
ポアソン比 ν　0.20
減衰 h　5%

表 2.3.2-1(2)　原子炉建屋の地震応答解析モデルの諸元

（鉛直方向）

G.L. (m)	質点重量 W（kN）	軸断面積 A_N（m^2）	軸ばね剛性 K_A（$\times 10^8$ kN /m^2）
+29.92	77700		
		222.6	7.41
+22.30	88770		
		218.1	10.58
+16.90	122210		
		380.4	11.92
+8.70	127700		
		340.6	10.30
+0.20	208960		
		654.7	13.72
-12.06	287050		
		2812.6	180.71
-16.06	132390		
合計	1044780		

ヤング係数 Ec　2.57×10^7(kN/m^2)

せん断弾性係数 G　1.07×10^7(kN/m^2)

ポアソン比 ν　0.20

減衰 h　5%

表 2.3.2-2　地盤定数の設定結果

(a) Ss-1

G.L. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m^3)	ﾎﾟｱｿﾝ 比 ν	せん断 弾性係数 G (×10^{5}kN/m^2)	初期せん断 弾性係数 G_0 (×10^{5}kN/m^2)	剛性 低下率 G/G_0	ヤング 係数 E (×10^{5}kN/m^2)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
±0										
	砂岩	380	17.8	0.473	2.23	2.62	0.85	6.57	3	8.1
-8.1		450	16.5	0.464	2.66	3.41	0.78	7.79	3	11.9
-20.0		500	17.1	0.455	3.40	4.36	0.78	9.89	3	70.0
-90.0	泥岩	560	17.6	0.446	4.39	5.63	0.78	12.70	3	28.0
-118.0		600	17.8	0.442	5.09	6.53	0.78	14.68	3	88.0
-206.0										
	(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-

(b) Ss-2

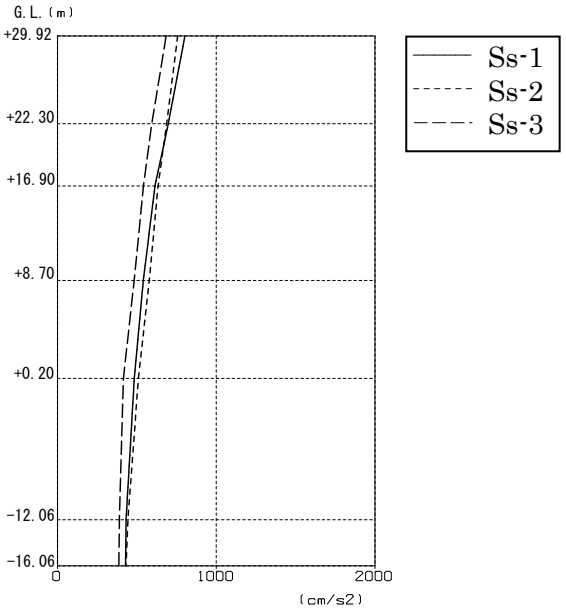
G.L. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m^3)	ﾎﾟｱｿﾝ 比 ν	せん断 弾性係数 G (×10^{5}kN/m^2)	初期せん断 弾性係数 G_0 (×10^{5}kN/m^2)	剛性 低下率 G/G_0	ヤング 係数 E (×10^{5}kN/m^2)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
±0										
	砂岩	380	17.8	0.473	2.23	2.62	0.85	6.57	3	8.1
-8.1		450	16.5	0.464	2.76	3.41	0.81	8.08	3	11.9
-20.0		500	17.1	0.455	3.53	4.36	0.81	10.27	3	70.0
-90.0	泥岩	560	17.6	0.446	4.56	5.63	0.81	13.19	3	28.0
-118.0		600	17.8	0.442	5.29	6.53	0.81	15.26	3	88.0
-206.0										
	(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-

(c) Ss-3

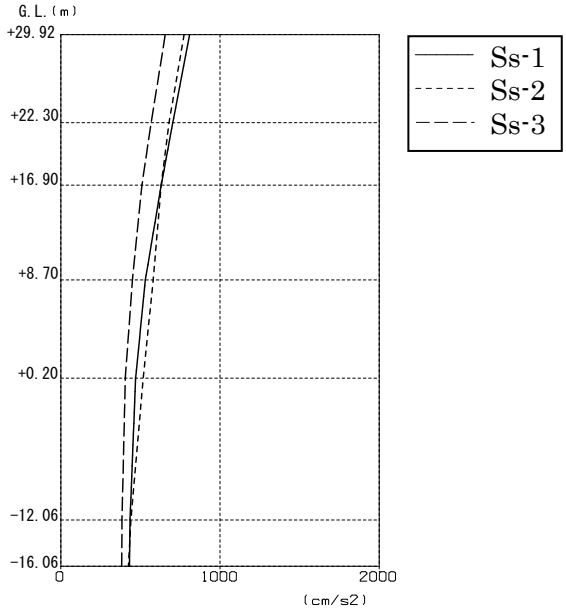
G.L. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m^3)	ﾎﾟｱｿﾝ 比 ν	せん断 弾性係数 G (×10^{5}kN/m^2)	初期せん断 弾性係数 G_0 (×10^{5}kN/m^2)	剛性 低下率 G/G_0	ヤング 係数 E (×10^{5}kN/m^2)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
±0										
	砂岩	380	17.8	0.473	2.25	2.62	0.86	6.63	3	8.1
-8.1		450	16.5	0.464	2.66	3.41	0.78	7.79	3	11.9
-20.0		500	17.1	0.455	3.40	4.36	0.78	9.89	3	70.0
-90.0	泥岩	560	17.6	0.446	4.39	5.63	0.78	12.70	3	28.0
-118.0		600	17.8	0.442	5.09	6.53	0.78	14.68	3	88.0
-206.0										
	(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-

3)　地震応答解析結果

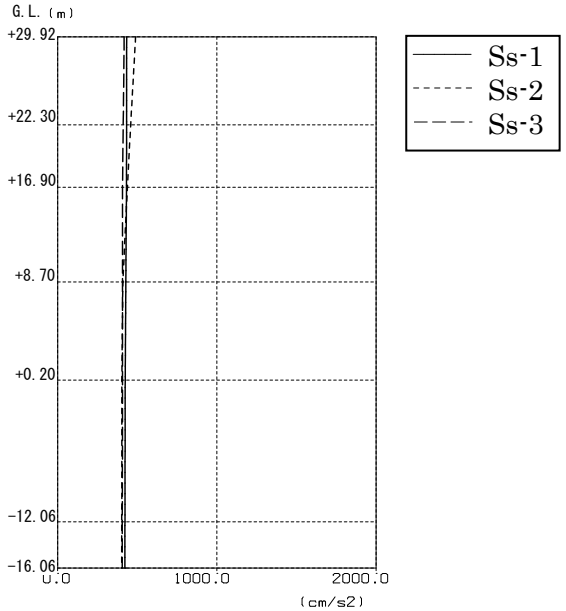
地震応答解析は水平方向と鉛直方向を別々に入力した。最大応答加速度分布を図 2.3.2-3 に示す。



(a)水平（NS）方向



(b)水平（EW）方向



(c)鉛直方向

図 2.3.2-3　原子炉建屋の最大応答加速度分布

(3)　架構の耐震性に対する検討

1)　解析に用いる入力地震動

燃料取扱機支持用架構への入力地震動は，基準地震動 Ss を入力したときの原子炉建屋 G.L.+29.92m と G.L.+8.70m の時刻歴応答変位を用い，水平方向と鉛直方向の同時入力とする。

2)　地震応答解析モデル

地震応答解析に用いる入力地震動の概念と燃料取扱機支持用架構の解析モデルを図 2.3.2-4 に，層間変形角が最大となる燃料取扱機を南端に設置した場合の地震応答解析モデルにおける質点重量を表 2.3.2-3 に示す。

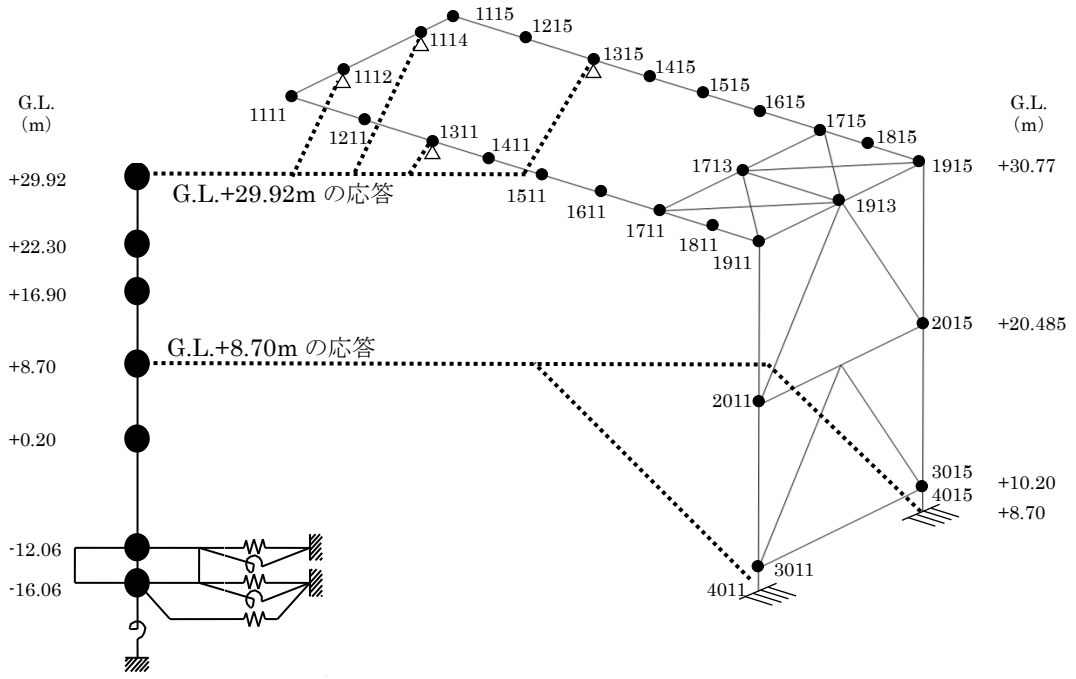


図 2.3.2-4　燃料取扱機支持用架構の地震応答解析モデル

表 2.3.2-3　燃料取扱機支持用架構の地震応答解析モデルにおける質点重量

G.L.(m)	節点番号	質点重量 (kN)
+30.77	1111	57
	1211	89
	1311	79
	1411	68
	1511	68
	1611	68
	1711	78
	1811	62
	1911	97
	1115	57
	1215	89
	1315	79
	1415	68
	1515	68
	1615	68
	1715	78
	1815	62
	1915	97
	1112	46
	1114	46
	1713	37
	1913	94
	9001	49
	9002	49
	9003	49
	9004	49
	9501	184
	9502	184
	9601	184
	9602	184
+20.485	2011	149
	2015	149
+10.20	3011	94
	3015	94
合　計		2973

3)　波及的影響の評価

地震応答解析結果が，JSCA 性能メニュー（社団法人日本建築構造技術者協会，2002 年）を参考に定めたクライテリア（「層間変形角は 1/75 以下，層の塑性率は 4 以下，部材の塑性率は 5 以下」*1 及びせん断力はせん断耐力以下）を満足することを確認する。

なお，解析結果が「時刻歴応答解析建築物性能評価業務方法書」（財団法人日本建築センター，平成 19 年 7 月 20 日）に示されるクライテリア（層間変形角は 1/100 以下，層の塑性率は 2 以下，部材の塑性率は 4 以下）を超える場合には水平変形に伴う鉛直荷重の付加的影響を考慮した解析を実施し，安全性を確認する。

*1：北村春幸，宮内洋二，浦本弥樹「性能設計における耐震性能判断基準値に関する研究」，日本建築学会構造系論文集，第 604 号，2006 年 6 月

・層間変形角の検討

燃料取扱機支持用架構の層間変形角を表 2.3.2-4 に示す。

検討の結果，層間変形角は 1/75 以下となりクライテリアを満足することを確認した。

表 2.3.2-4　層間変形角の検討結果

G.L. (m)	最大応答値						ｸﾗｲﾃﾘｱ	判定
	NS 方向入力時			EW 方向入力時				
	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-1	Ss-2	Ss-3		
+20.485～+30.77	1/10285	1/10285	1/34283	1/1686	1/2057	1/2706	1/75	OK
+8.70～+20.485	1/1061	1/1309	1/1419	1/1733	1/2104	1/2805		

・塑性率の検討

部材の塑性率は，最大応答曲げモーメント時の曲率を全塑性モーメントに至る時の曲率で除した値で表される。最大曲げモーメントが全塑性モーメント以下の場合は弾性であり塑性率は 1 以下となる。最大応答値を全塑性モーメントまたはせん断耐力で除した値を耐力比と定義し，表 2.3.2-5 に検討結果を示す。

表 2.3.2-5 より曲げモーメント及びせん断力については，全てのケースで耐力比が 1 を下回ることから塑性率は 1 以下となり，クライテリアを満足することを確認した。

表 2.3.2-5　耐力比の検討結果

部位	検討箇所	部材形状 (mm)	地震波	入力方向	耐力比		判定
柱	C1	□-1000×1000×25×25	Ss-1	NS	Mz/Muz	0.01	OK
					My/Muy	0.10	
					Qz/Quz	0.03	
					Qy/Quy	0.01	
梁	G1	B□-1300×750×22×50	Ss-1	EW	Mz/Muz	0.12	OK
					My/Muy	0.06	
					Qz/Quz	0.02	
					Qy/Quy	0.09	
ブレース	V1	□-450×450×22	Ss-1	EW	Mz/Muz	0.02	OK
					My/Muy	0.02	
					Qz/Quz	0.01	
					Qy/Quy	0.01	

M_z：部材 z 軸回りの曲げモーメントの最大値　M_{uz}：部材 z 軸回りの全塑性モーメント

M_y：部材 y 軸回りの曲げモーメントの最大値　M_{uy}：部材 y 軸回りの全塑性モーメント

Q_z：部材 z 方向のせん断力の最大値　Q_{uz}：部材 z 軸方向のせん断耐力

Q_y：部材 y 方向のせん断力の最大値　Q_{uy}：部材 y 軸方向のせん断耐力

(4) 原子炉建屋接合部の耐震性に対する検討

接着系アンカーボルトの耐震性の検討は，短期許容引張力及び短期許容せん断力を許容耐力とし，応力度比が 1 以下になることを確認する。

1) シェル壁上端位置の検討

作用応力と許容耐力を比較した結果を表 2.3.2-6 に示す。

検討の結果，全ての応力度比が 1 以下になることを確認した。

表 2.3.2-6 シェル壁上端位置の検討結果

検討箇所 (ｱﾝｶｰ本数)*1	地震波	入力 方向	作用応力		許容耐力		応力度比	判定
			引抜力 P (kN)	せん断力 Q (kN)	短期 許容引張力 p_a (kN)	短期 許容せん断力 q_a (kN)		
F1 (20)	Ss-1	NS	0	1105	2320	2080	0.54	OK
F2 (8)	Ss-1	EW	104	168	928	832	0.21	OK

*1：設計で考慮するアンカーボルトの本数

2) 南側外壁位置の検討

作用応力と許容耐力を比較した結果を表 2.3.2-7 に示す。

検討の結果，全ての応力度比が 1 以下になることを確認した。

表 2.3.2-7 南側外壁位置の検討結果

検討箇所 方向 (ｱﾝｶｰ本数)*1	地震波	入力 方向	作用応力		許容耐力		応力度比	判定
			引抜力 P (kN)	せん断力 Q (kN)	短期 許容引張力 p_a (kN)	短期 許容せん断力 q_a (kN)		
F3 NS 方向 (引張 24) (せん断 99)	Ss-1	NS	1568	3214	2448	11484	0.65	OK
F3 EW 方向 (引張 15) (せん断 99)	Ss-1	EW	863	5793	1530	11484	0.57	OK

*1：設計で考慮するアンカーボルトの本数。アンカーボルトは引張に抵抗するものとせん断に抵抗するものをそれぞれ設定した

(5)　原子炉建屋の耐震性に対する検討

1) 検討方針

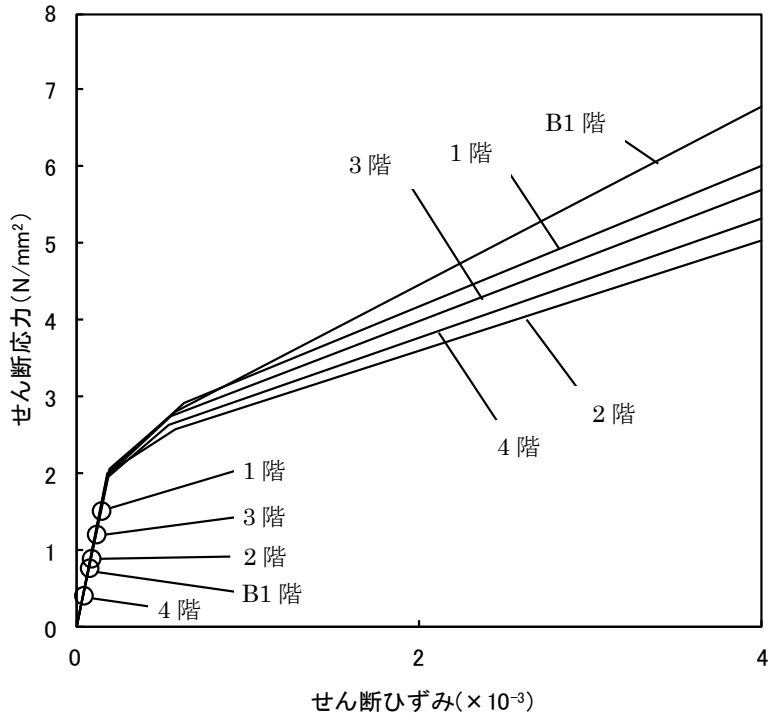
燃料取扱機支持用架構の設置に伴う原子炉建屋の耐震性の評価は，耐震安全上重要な設備への波及的影響防止の観点から，地震応答解析により得られる耐震壁のせん断ひずみが鉄筋コンクリート造耐震壁の終局限界に対応した評価基準値（4.0×10^{-3}）以下になることを確認する。

ここで，耐震壁のせん断ひずみは，「(2)原子炉建屋の地震応答解析」で実施した地震応答解析結果の値とする。

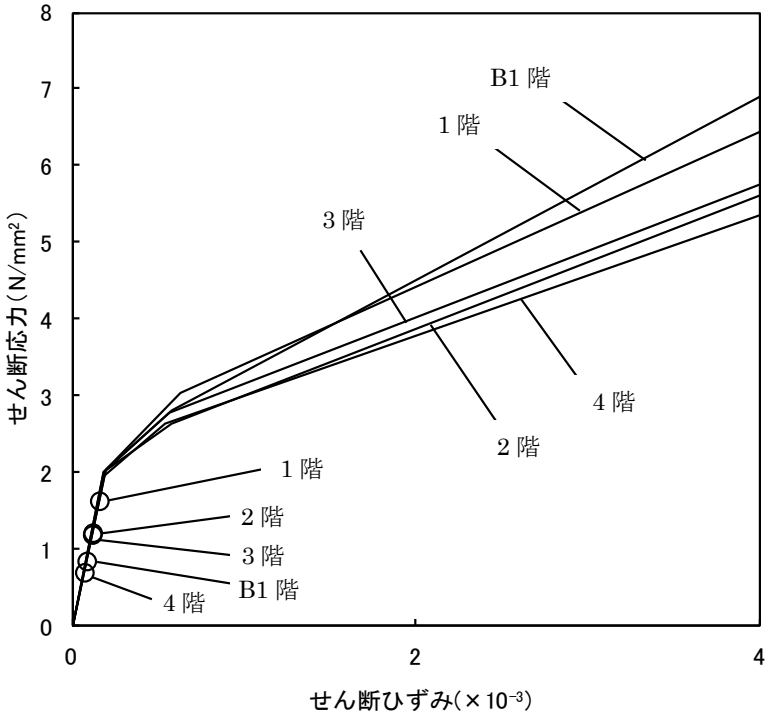
2) 検討結果

基準地震動 Ss に対する最大応答値を，「JEAG 4601-1991」に基づき設定した耐震壁のせん断スケルトン曲線上にプロットした結果を，図 2.3.2-5 から図 2.3.2-7 に示す。

検討の結果，地震応答解析により得られる最大応答値は，評価基準値（4.0×10^{-3}）に対して十分に余裕があることを確認した。

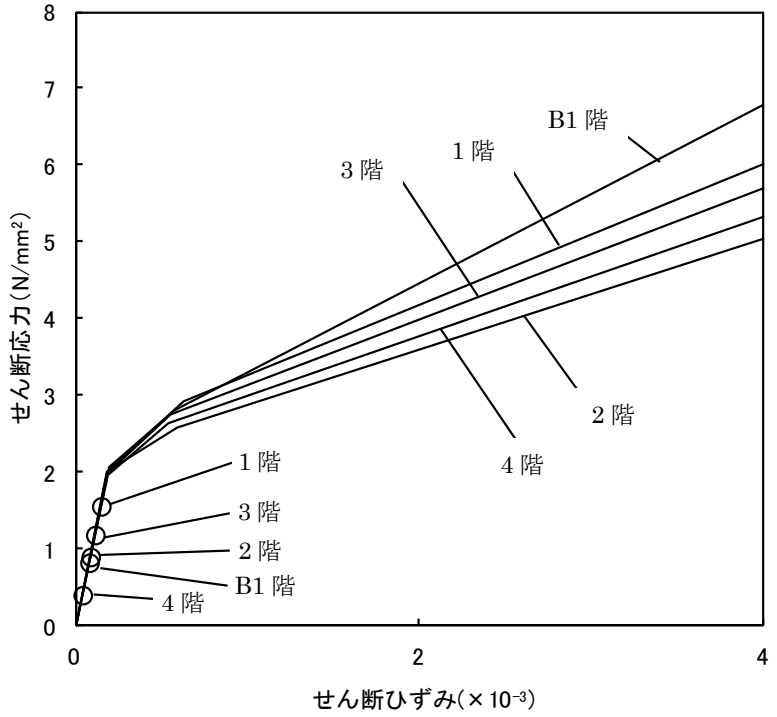


(a)NS 方向

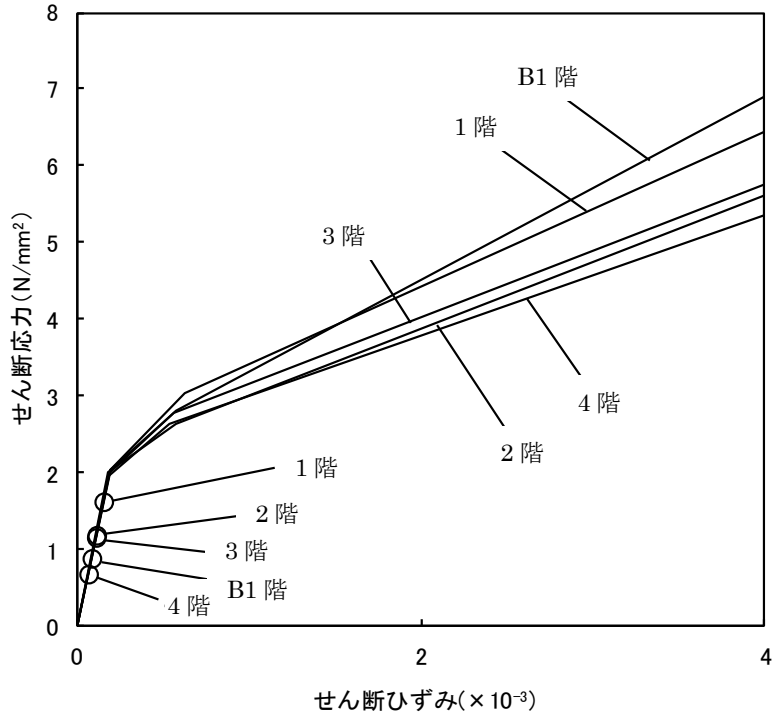


(b)EW 方向

図 2.3.2-5　せん断スケルトン曲線上の最大応答値（Ss-1）

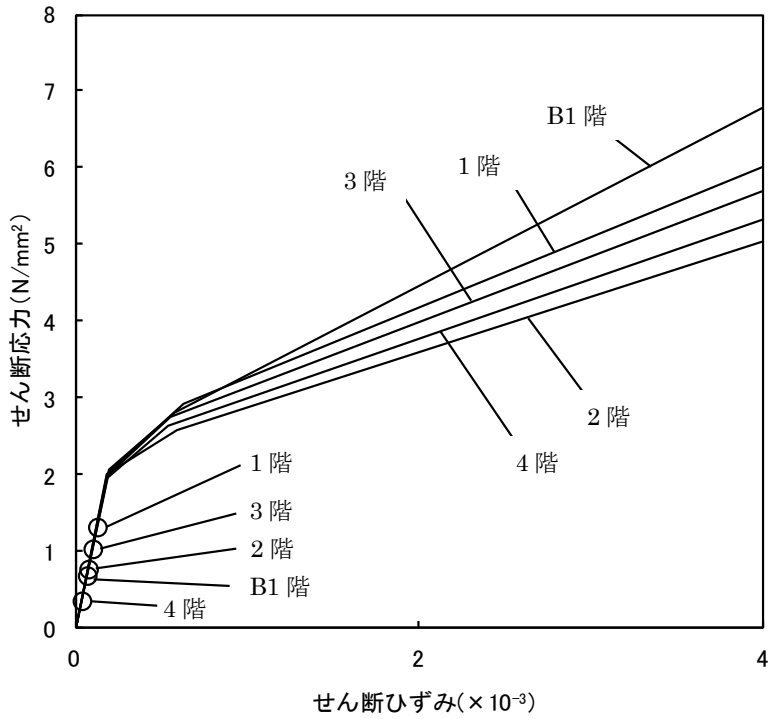


(a)NS 方向

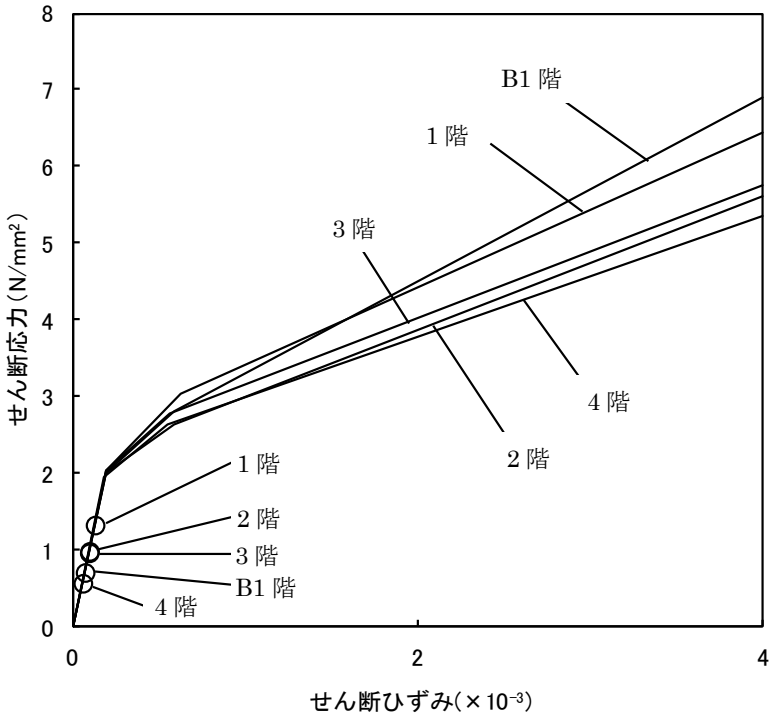


(b)EW 方向

図 2.3.2-6　せん断スケルトン曲線上の最大応答値（Ss-2）



(a)NS 方向



(b)EW 方向

図 2.3.2-7　せん断スケルトン曲線上の最大応答値（Ss-3）

3.　3 号機燃料取り出し用カバーの構造強度及び耐震性について

3.1　概要

3.1.1　一般事項

3 号機燃料取り出し用カバーは，使用済燃料プールを覆う構造としており，燃料取扱設備（燃料取扱機及びクレーン）を支持するドーム状の屋根を有した門型架構であり，構造強度と耐震性について検討を行う。なお，耐震設計上の重要度分類は，燃料取扱設備の間接支持構造物としてＢクラス相当とする。

架構の構造強度は一次設計に対応した許容応力度設計を実施し，耐震性は基準地震動 Ss に対する地震応答解析を実施し，架構の損傷が原子炉建屋，使用済燃料プール及び使用済燃料ラックに波及的影響を及ぼさないことを確認する。ここで，波及的影響の確認は，架構が崩壊機構に至らないことを確認する。図 3.1.1-1 に燃料取り出し用カバーのイメージを示す。

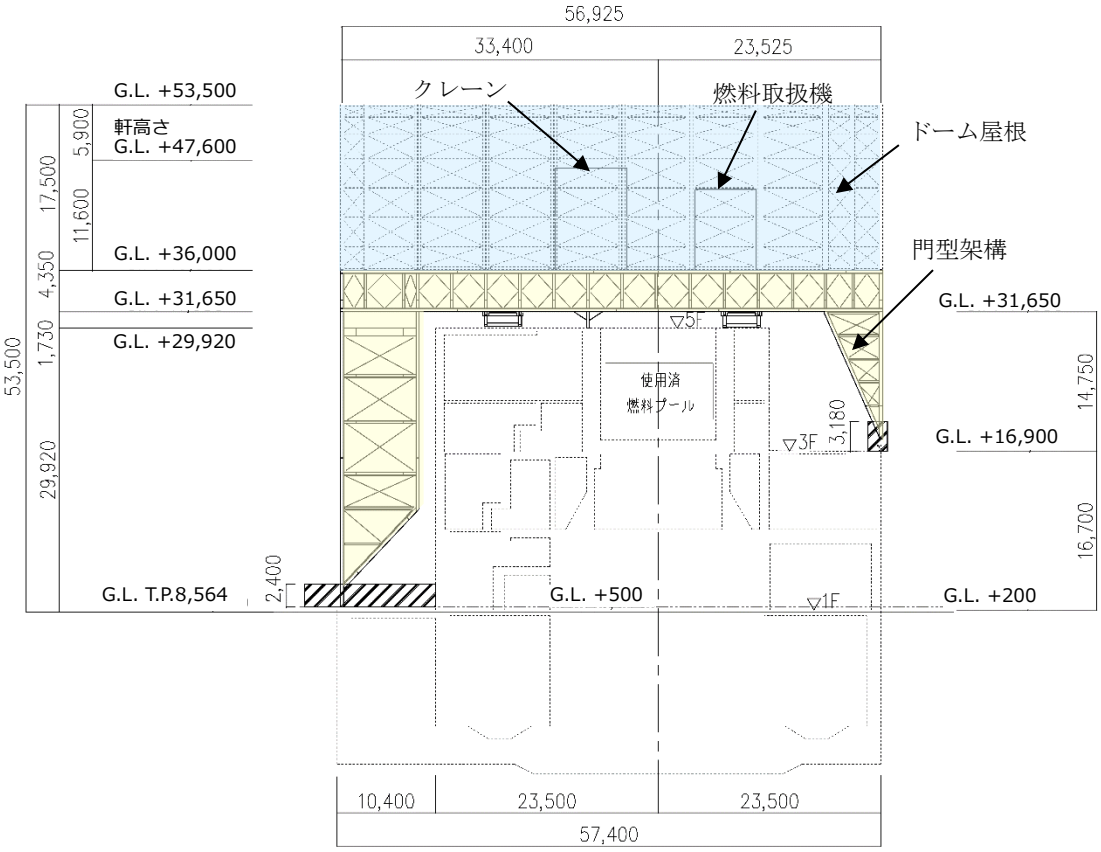


図 3.1.1-1　燃料取り出し用カバーのイメージ（単位：mm）

本章に記載の標高は，震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P.から T.P.への読替値(-727mm)を用いて，下式に基づき換算している。
＜換算式＞ T.P.=旧 O.P.-1.436mm

燃料取り出し用カバーの検討は原則として下記の法規及び基規準類に準拠して行う。

(1) 建築基準法・同施行令及び関連告示
(2) 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会，2005 制定）
(3) 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会，2010 改定）
(4) 鋼構造設計規準（日本建築学会，2005 改定）
(5) 2007 年版 建築物の構造関係技術基準解説書(国土交通省住宅局建築指導課･国土交通省 国土技術政策総合研究所･独立行政法人建築研究所･日本建築行政会議，2007 刊行)
(6) 鋼構造塑性設計指針（日本建築学会，2010 改定）
(7) 現場打ち同等型プレキャスト鉄筋コンクリート構造設計指針(案)・同解説(2002) （日本建築学会，2002 制定）
(8) プレストレストコンクリート設計施工規準・同解説（日本建築学会，1998 改定）

また，原子力施設の設計において参照される下記の指針及び規程を参考にして検討を行う。

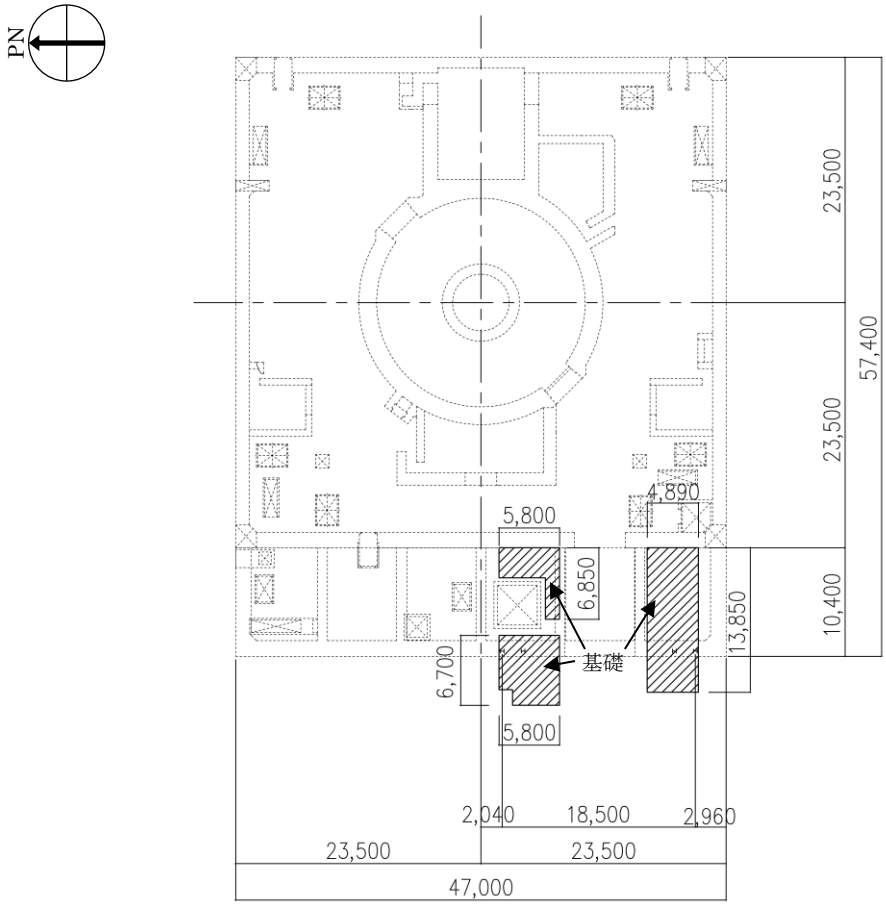
(1) 原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG 4601-1987)（日本電気協会　電気技術基準調査委員会，昭和 62 年 8 月 改訂)
(2) 原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG 4601-1991 追補版)（日本電気協会　電気技術基準調査委員会，平成 3 年 6 月 発刊)
(3) 原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC 4601-2008)（日本電気協会　原子力規格委員会，平成 20 年 12 月 改定)

3.1.2　構造概要

燃料取り出し用カバーは燃料取扱設備を支持する架構で，南北方向に 18.50m，東西方向に 56.925m，地盤面からの高さが 53.50m のドーム状屋根を設けた門型の架構である。構造形式はトラス構造で，構造種別は鉄骨造である。

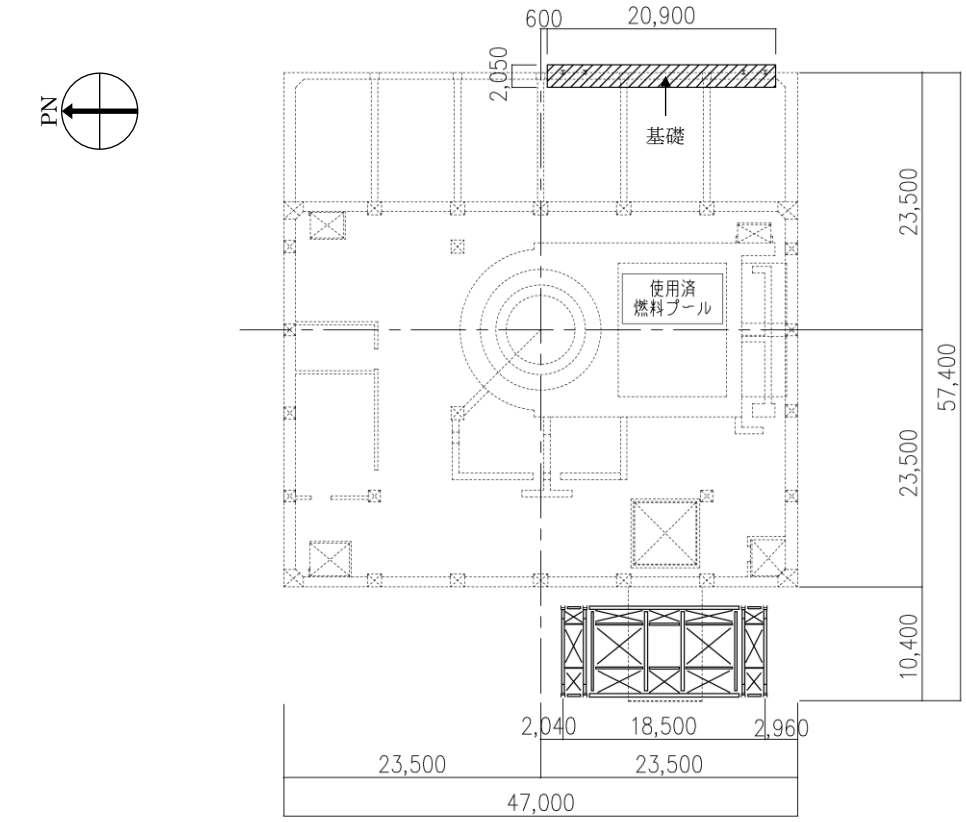
燃料取り出し用カバーは，原子炉建屋の 1 階，3 階及び 5 階に支持される構造である。なお，5 階の原子炉建屋躯体支持点においては，水平振れ止め装置（ストッパ）及び鉛直方向の制震装置（オイルダンパ）を用いる。

燃料取り出し用カバーの概要を図 3.1.2-1～図 3.1.2-5 に示す。

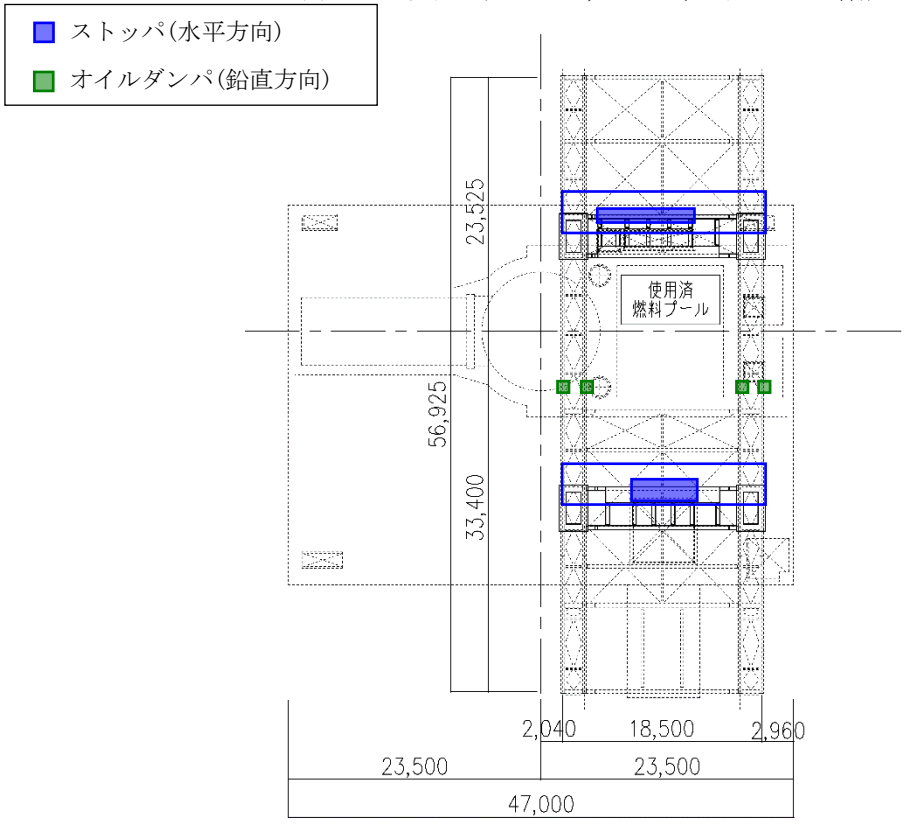


(a) 基礎伏図（G.L.+500　原子炉建屋 1 階レベル+300mm）

図 3.1.2-1　燃料取り出し用カバーの概要（単位：mm）

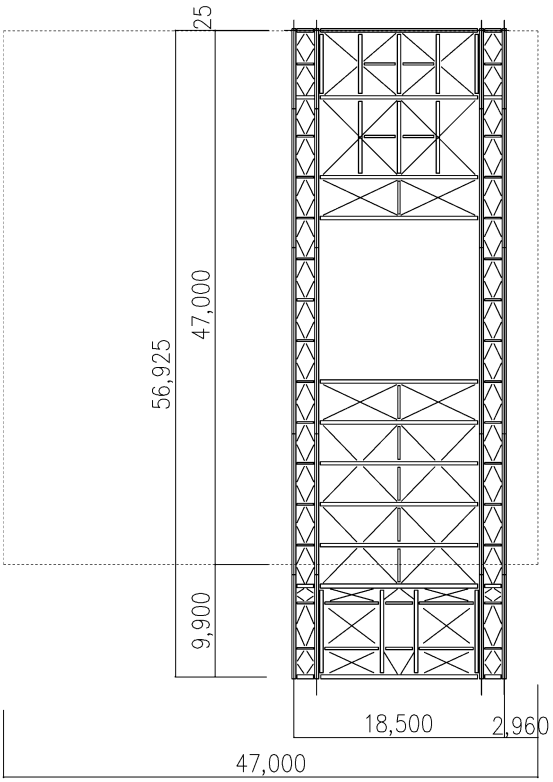


(a) 基礎伏図 (G.L.+16,900　原子炉建屋 3 階)

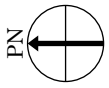


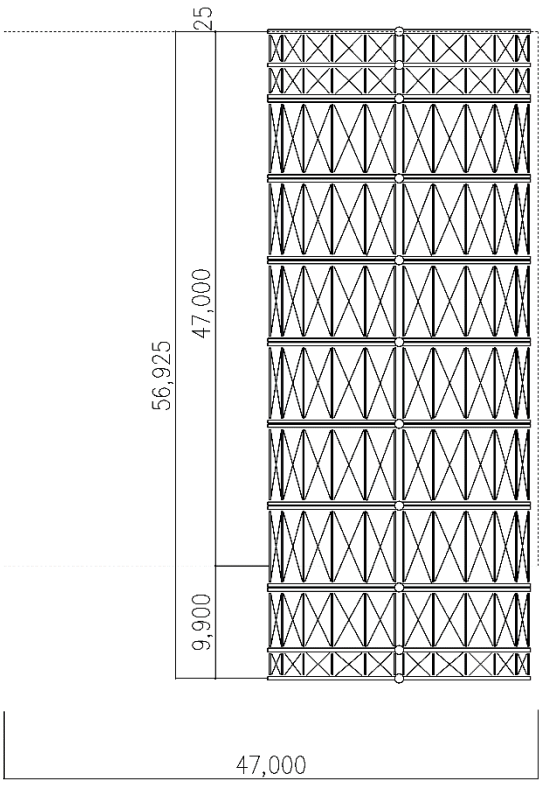
(b)梁伏図 (G.L.+29,920　原子炉建屋 5 階)

図 3.1.2-2　燃料取り出し用カバーの概要 (単位：mm)



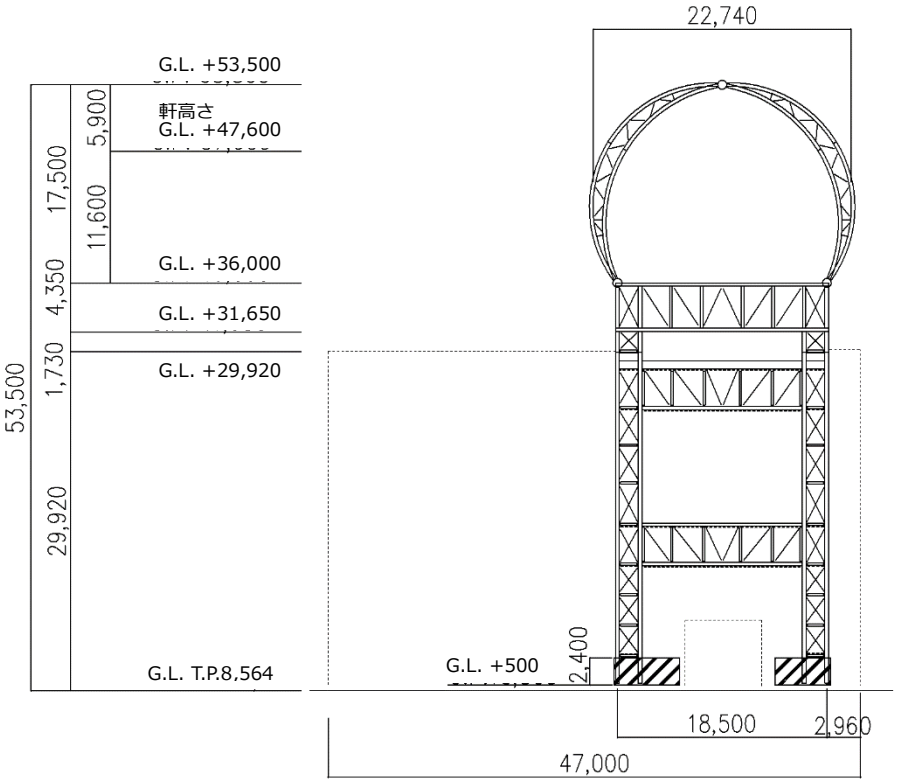
(a)架構ガーダー部平面図(G.L.+36,000)



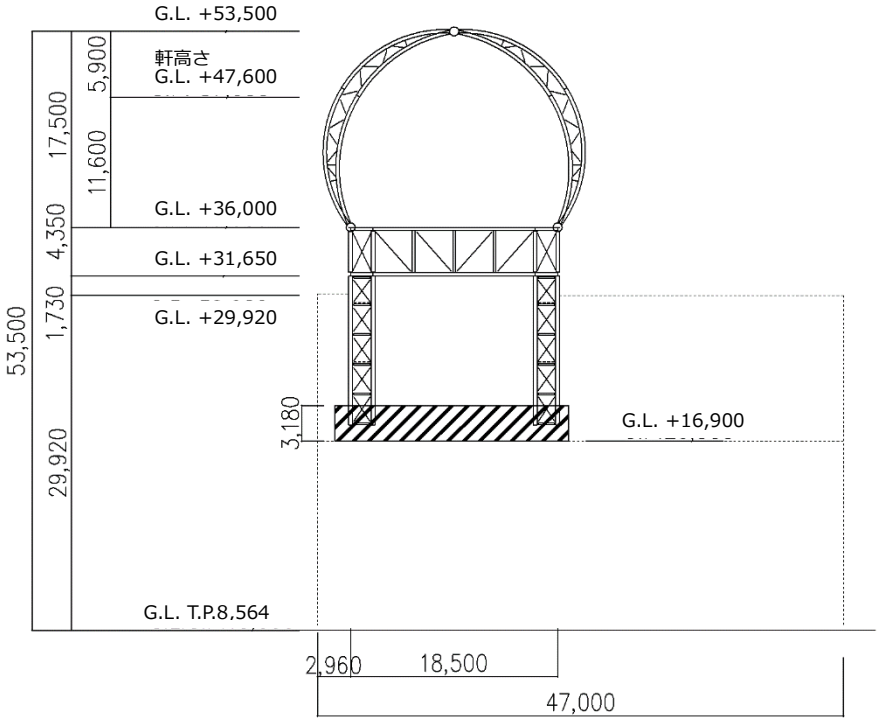


(b)屋根伏図

図 3.1.2-3　燃料取り出し用カバーの概要（単位：mm）

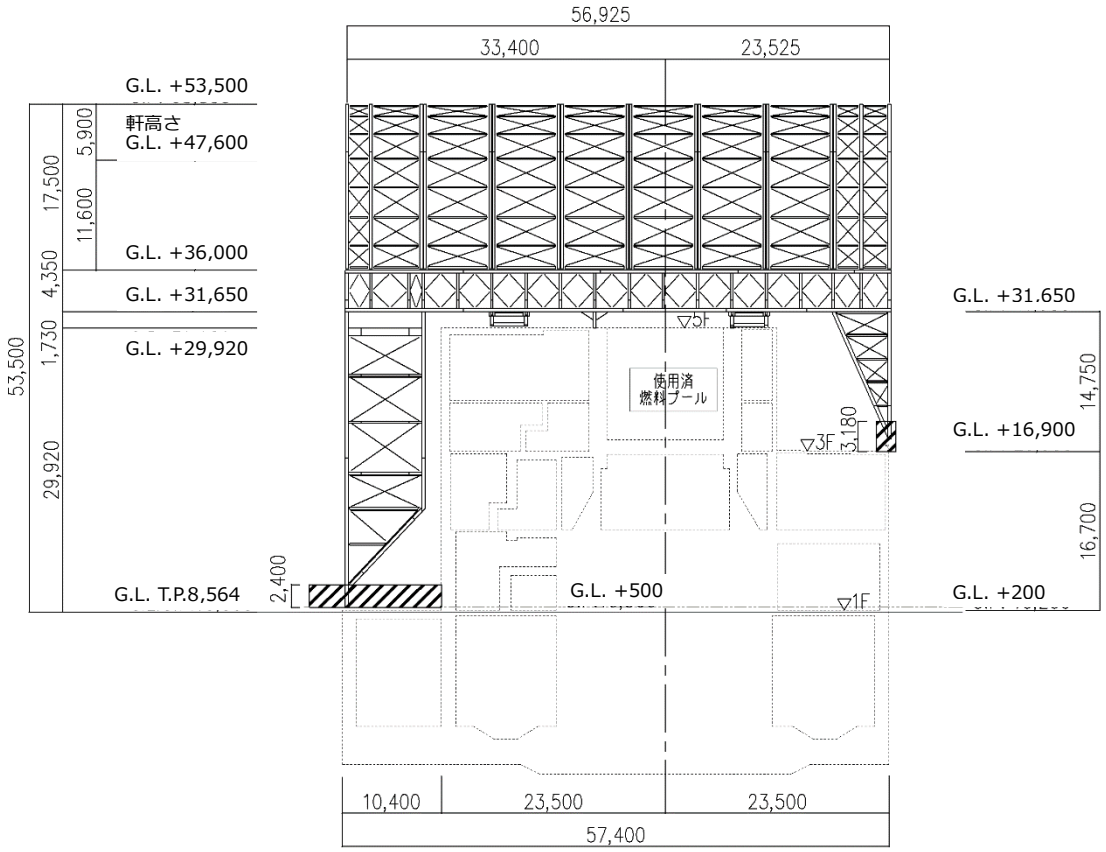


(a) 西軸組図



(b) 東軸組図

図 3.1.2-4　燃料取り出し用カバーの概要（単位：mm）



(a)南軸組図

図 3.1.2-5　燃料取り出し用カバーの概要（単位：mm）

3.1.3　検討フロー

燃料取り出し用カバーの構造強度及び耐震性の検討フローを図 3.1.3-1 に示す。

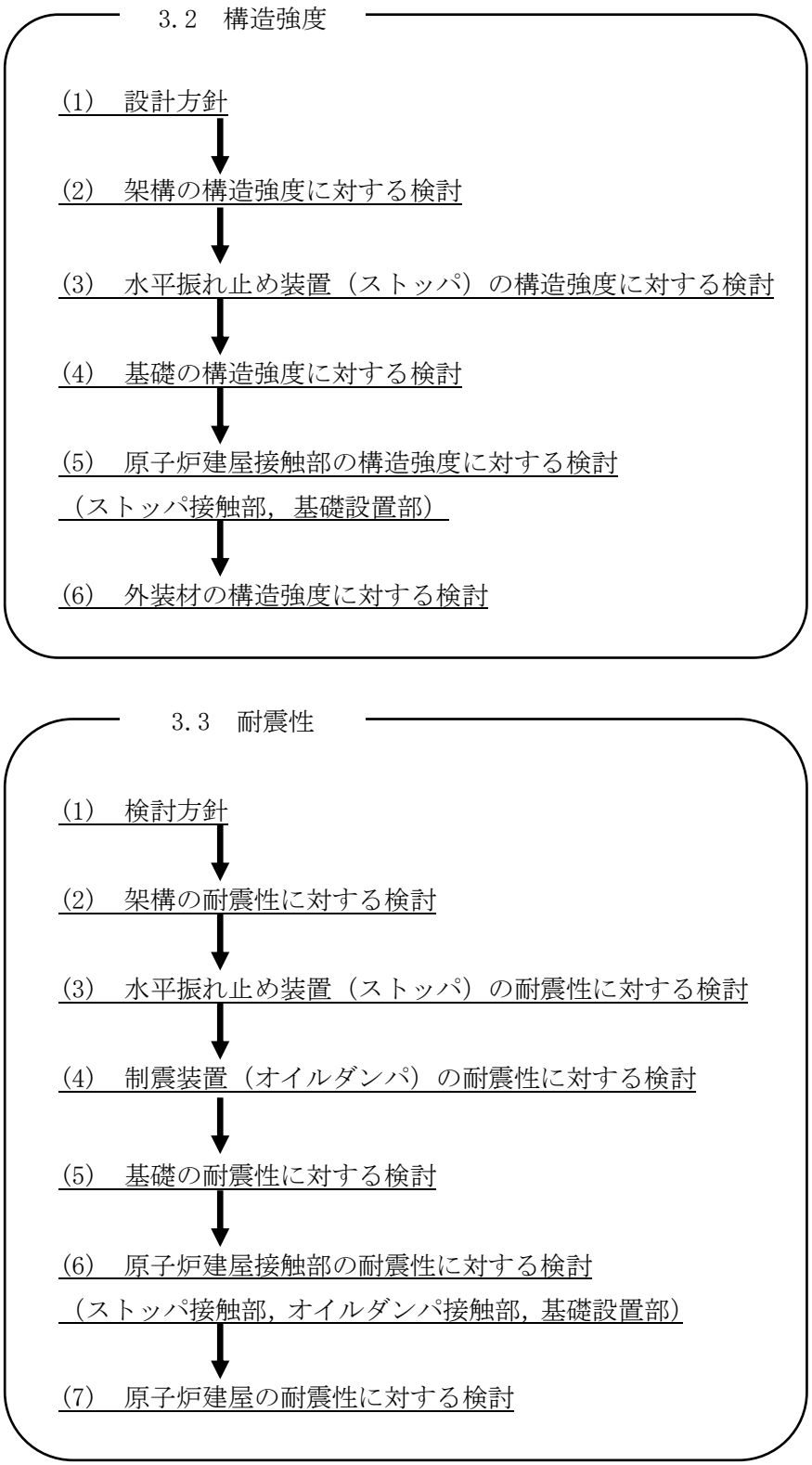


図 3.1.3-1　燃料取り出し用カバーの検討フロー

3.2　構造強度

(1)　設計方針

構造強度の検討は，門型架構及びドーム屋根，水平振れ止め装置（ストッパ），基礎及び外装材について許容応力度設計を実施する。

1)　使用材料及び許容応力度

使用材料の物性値及び許容応力度を表 3.2-1 に示す。

表 3.2-1　使用材料の物性値及び許容応力度

材料定数

部位	材料	ヤング係数 E (N/mm^2)	ポアソン比 ν	単位体積重量 γ (kN/m^3)
架　　構	鉄骨	2.05×10^5	0.3	77.0
基　　礎	コンクリート	2.27×10^4	0.2	24.0

コンクリートの許容応力度　（単位：N/mm^2）

	長期			短期		
設計基準強度＝24	圧縮	引張	せん断	圧縮	引張	せん断
	8.0	－	0.73	16.0	－	1.095

鉄筋の許容応力度　（単位：N/mm^2）

記号	鉄筋径	長期		短期	
		引張及び圧縮	せん断補強	引張及び圧縮	せん断補強
SD345	D29 未満	215	195	345	345
	D29 以上	195			

構造用鋼材の許容応力度　（単位：N/mm^2）

板厚	材料	基準強度 F	許容応力度
T≦40mm	SS400，SN400B	235	「鋼構造設計規準」に従い，左記 F の値より求める
T＞40mm	SN400B	215	
T≦40mm	SM490A，SN490B，STK490	325	
－	STKT590	440*	

＊：　「JIS G 3474-2008」による

2)　荷重及び荷重組合せ

設計で考慮する荷重を以下に示す。

・鉛直荷重（VL）

燃料取り出し用カバーに作用する鉛直方向の荷重で，固定荷重，機器荷重，配管荷重及び積載荷重とする。

・燃料取扱設備荷重（CL）

燃料取扱設備による荷重を表 3.2-2 に示す。

表 3.2-2　燃料取扱設備荷重一覧表

燃料取扱機	788 kN
クレーン	755 kN
吊荷	461 kN

・積雪荷重（SL）

積雪荷重は建築基準法施行令及び福島県建築基準法施行規則細則に準拠し以下の条件とする。

積雪量：30cm，単位荷重：20N/m^2/cm

・風圧力（WL）

風圧力は建築基準法施行令第 87 条および建設省告示第 1454 号に基づき，基準風速を 30m/s，地表面粗度区分Ⅱとして算定する。速度圧の算定結果を表 3.2-3 に示す。

表 3.2-3　速度圧の算定結果

建物高さ* H (m)	平均風速の 鉛直分布係数 Er	ガスト 影響係数 Gf	建物高さと粗度 区分による係数 E	基準風速 Vo (m/s)	速度圧 q (N/m^2)
50.55	1.27	2.00	3.23	30	1750

＊：　建物高さは，軒高さ（47.60m）と最高高さ（53.50m）の平均値とした

・地震荷重（K）

燃料取り出し用カバーに作用させる地震荷重は，G.L.-12.06m（原子炉建屋基礎スラブ上端レベル）を基準面とした原子炉建屋の水平地震力の算定結果より設定する。原子炉建屋の水平地震力は下式より算定し，算定結果を表 3.2-5 及び表 3.2-6 に示す。

$$Qi = n \cdot Ci \cdot Wi$$

$$Ci = Z \cdot Rt \cdot Ai \cdot Co$$

ここで，

Qi ：水平地震力（kN）

n ：施設の重要度に応じた係数（n=1.5）

建築基準法で定める地震力の 1.5 倍を考慮する。

Ci ：地震層せん断力係数

Wi ：当該部分が支える重量（kN）

ここに，燃料取り出し用カバーの設計で考慮する原子炉建屋の全体重量は，瓦礫撤去の効果と遮へい体及び燃料取り出し用カバーを新規に設置する影響を考慮した。原子炉建屋の全体重量を表 3.2-4 に示す。

表 3.2-4　原子炉建屋の全体重量(kN)

原子炉建屋全体重量*	1092200
瓦礫撤去による軽減重量	-24640
遮へい体設置による付加重量	+18000
燃料取り出し用カバー等の付加重量	+44750
燃料取り出し用カバー設計用原子炉建屋全体重量	1130310

＊：「福島第一原子力発電所の原子炉建屋の現状の耐震安全性および補強等に関する検討に係る報告書（その２）」（東京電力株式会社，平成 23 年 7 月 13 日）において用いた各階重量の総計

Z ：地震地域係数（Z=1.0）

Rt ：振動特性係数（Rt=0.8）

Ai ：地震層せん断力係数の高さ方向の分布係数で，原子炉建屋の固有値を用いたモーダル解析法（二乗和平方根法）により求める。

C_0 ：標準せん断力係数（C_0=0.2）

i 層の水平震度 ki は，下式によって算定する。

$$Pi=Q_i-Q_{i-1}$$

$$ki=Pi/wi$$

ここで，

Pi：当該階とその直下階の水平地震力の差（kN）

wi：各階重量（kN）

表 3.2-5　原子炉建屋の水平震度の算定結果（NS 方向）

階	標 高 G.L.(m)	各階重量 wi(kN)	Wi (kN)	Ai	n・Ci	Qi (kN)	Pi (kN)	水平震度 ki
5	+29.92	87590	—	—	—	—	43010	0.492
4	+29.92～+22.30	119490	87590	2.046	0.491	43010	42720	0.358
3	+22.30～+16.90	111340	207080	1.728	0.414	85730	31770	0.286
2	+16.90～+8.70	130160	318420	1.537	0.369	117500	26050	0.201
1	+8.70～+0.20	253710	448580	1.331	0.320	143550	25000	0.099
B1	+0.20～-12.06	—	702290	1.000	0.240	168550	—	—

表 3.2-6　原子炉建屋の水平震度の算定結果（EW 方向）

階	標 高 G.L.(m)	各階重量 wi(kN)	Wi (kN)	Ai	n・Ci	Qi (kN)	Pi (kN)	水平震度 ki
5	+29.92	87590	—	—	—	—	48610	0.555
4	+29.92～+22.30	119490	87590	2.311	0.555	48610	39610	0.332
3	+22.30～+16.90	111340	207080	1.775	0.426	88220	30230	0.272
2	+16.90～+8.70	130160	318420	1.552	0.372	118450	24200	0.186
1	+8.70～+0.20	253710	448580	1.323	0.318	142650	25900	0.103
B1	+0.20～-12.06	—	702290	1.000	0.240	168550	—	—

架構に作用させる水平震度は，原子炉建屋 1 階，3 階及び 5 階の水平震度を用いるものとし，水平地震力を設定する。ドーム屋根部分の水平震度は，建設省告示第 1389 号に基づく 1.0 に 1.5 を乗じて用いる。表 3.2-7 に燃料取り出し用カバーに作用させる水平地震力の算定結果を示す。

表 3.2-7　水平地震力の算定結果

標高 G.L.(m)	各階重量 wi(kN)	NS 方向		EW 方向	
		水平震度 ki	水平地震力 Pi　(kN)	水平震度 ki	水平地震力 Pi　(kN)
+53.50	3200	1.500	4800	1.500	4800
+36.00	11400	0.492	5609	0.555	6327
+16.90	200	0.286	57	0.272	54
+0.20	1200	0.099	119	0.103	124

・荷重組合せ

設計で考慮する燃料取扱機及びクレーンの位置を図 3.2-1 に，荷重組合せを表 3.2-8 に示す。

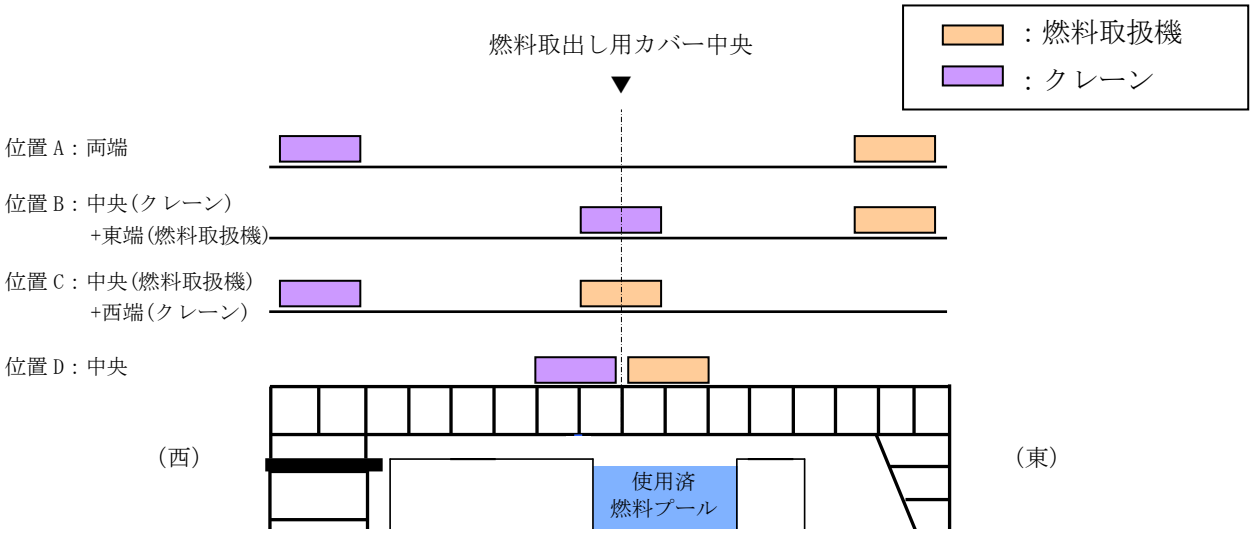


図 3.2-1　燃料取扱設備の位置

表 3.2-8　燃料取り出し用カバーの荷重組合せ

想定する状態	荷重ケース	荷重組合せ内容	許容応力度
常時	C	VL+CL*1	長期
積雪時*3	S	VL+CL*1+SL	短期
暴風時*3	W	VL+CL*1+WL	
地震時	E1	VL+CL*1+K(+NS) *2	
	E2	VL+CL*1+K(-NS) *2	
	E3	VL+CL*1+K(+EW) *2	
	E4	VL+CL*1+K(-EW) *2	

＊1：吊荷荷重は，常時，積雪時及び暴風時は図 3.2-1 に示すクレーンの位置，地震時は使用済燃料プール直上の架構にて考慮する。

＊2：地震荷重は NS 方向及び EW 方向を考慮する。

＊3：短期事象では地震時が支配的であることから，積雪時及び暴風時の検討は省略する。ただし，外装材の検討は暴風時が支配的であることから暴風時に対し検討を行う。

なお，地震時と暴風時の架構の層せん断力について，風荷重の受圧面積が最大になる NS 方向で比較した結果を図 3.2-2 に示す。図 3.2-2 より，地震時の層せん断力は暴風時の層せん断力を包絡しており，支配的な荷重である。

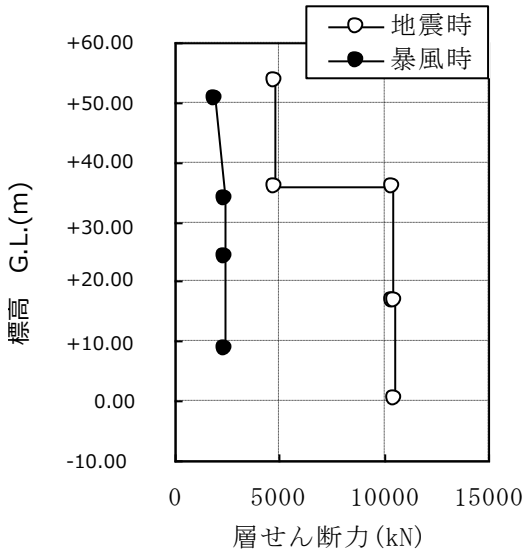


図 3.2-2　地震時と暴風時の層せん断力の比較

(2)　架構の構造強度に対する検討

1)　解析モデル

架構の解析モデルは，門型架構及びドーム屋根を構成する主要な鉄骨部材からなる立体架構モデルとする。図 3.2-3 に架構の立体解析モデルを示す。解析モデルの柱脚部はピン支持，ストッパ取り付き部は水平方向のみピン支持とする。

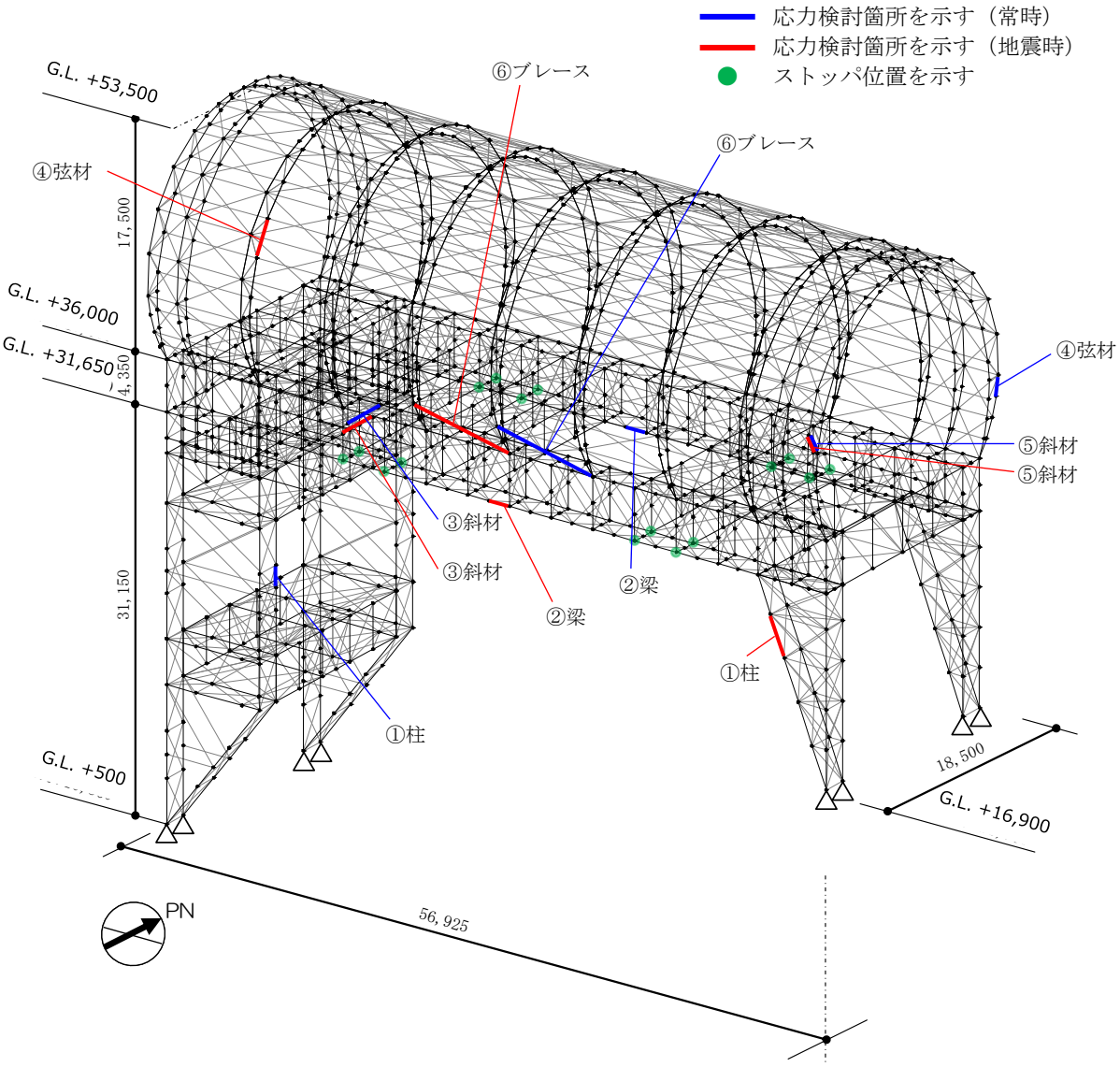


図 3.2-3　解析モデル図（単位：mm）

2)　断面検討

応力度比の検討は「鋼構造設計規準」に従い，軸力に対して下式にて検討を行う。

・軸圧縮の場合　　$\frac{\sigma_c}{f_c} \leqq 1$

・軸引張の場合　　$\frac{\sigma_t}{f_t} \leqq 1$

ここで，　　σ_c，σ_t：圧縮応力度（N/A）及び引張応力度（T/A）(N/mm^2)

N：圧縮力(N)，T：引張力(N)，A：断面積(mm^2)

f_c：許容圧縮応力度(N/mm^2)

f_t：許容引張応力度(N/mm^2)

表 3.2-9 及び表 3.2-10 に応力度比が最大となる部位の断面検討結果を示す。

断面検討の結果，全ての部材に対する応力度比が 1 以下になることを確認した。

表 3.2-9　断面検討結果（常時）

部　位*1			部材形状 (mm) 〈使用材料〉	荷重ケース （位置）*2	作用 応力度 (N/mm^2)		許容 応力度 (N/mm^2)	応力度比	判定
門型 架構	①	柱	H-350×350 ×12×19 〈SM490〉	C (D)	圧縮	77.4	164	0.48	O.K.
	②	梁	H-350×350 ×12×19 〈SM490〉	C (D)	引張	91.4	216	0.43	O.K.
	③	斜材	2[s-150×75 ×6.5×10 〈SM490〉	C (D)	圧縮	103.0	120	0.86	O.K.
ドーム 屋根	④	弦材	φ-318.5×6.9 〈STKT590〉	C (B)	引張	33.5	293	0.12	O.K.
	⑤	斜材	φ-139.8×4.5 〈STK490〉	C (B)	圧縮	43.4	203	0.22	O.K.
	⑥	ブレース	φ-114.3×4.5 〈STK490〉	C (D)	圧縮	19.4	92	0.22	O.K.

＊1：①～⑥の符号は図 3.2-3 の応力検討箇所を示す

＊2：図 3.2-1 に示す燃料取扱設備の位置を示す

表 3.2-10　断面検討結果（地震時）

部　位*1			部材形状 (mm) 〈使用材料〉	荷重ケース (位置) *2	作用 応力度 (N/mm²)		許容 応力度 (N/mm²)	応力度比	判定
門型 架構	①	柱	H-350×350 ×12×19 〈SM490〉	E1 (D)	圧縮	138.9	289	0.49	O.K.
	②	梁	H-350×350 ×12×19 〈SM490〉	E1 (D)	引張	108.3	324	0.34	O.K.
	③	斜材	2[s-150×75 ×6.5×10 〈SM490〉	E1 (D)	圧縮	164.5	180	0.92	O.K.
ドーム 屋根	④	弦材	φ-267.4×6.6 〈STKT590〉	E1 (D)	圧縮	155.2	396	0.40	O.K.
	⑤	斜材	φ-139.8×4.5 〈STK490〉	E3 (A)	圧縮	165.8	304	0.55	O.K.
	⑥	ブレース	φ-114.3×4.5 〈STK490〉	E3 (D)	圧縮	80.6	138	0.59	O.K.

＊1：①～⑥の符号は図 3.2-3 の応力検討箇所を示す

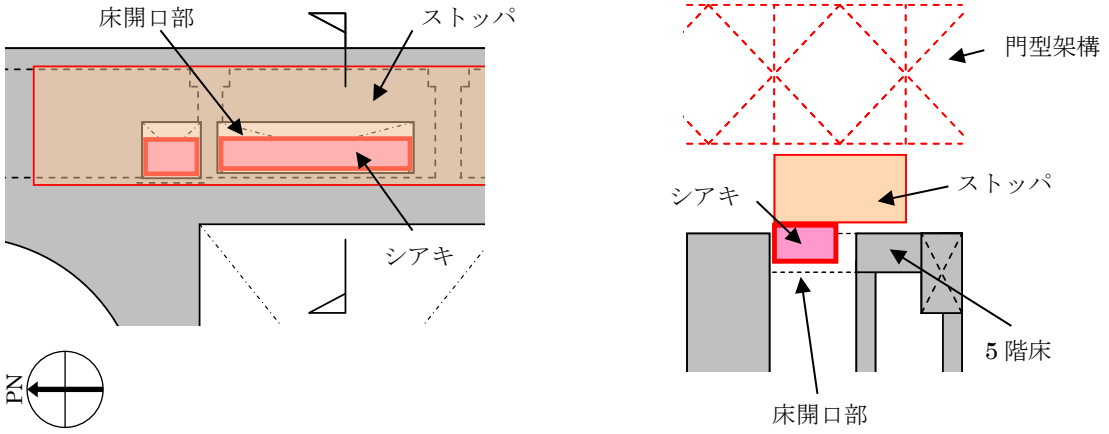
＊2：図 3.2-1 に示す燃料取扱設備の位置を示す

(3)　水平振れ止め装置（ストッパ）の構造強度に対する検討

原子炉建屋の 5 階床上面 2 か所に鋼製のストッパを設置し，架構に発生する水平力を，ストッパを介して原子炉建屋に支持させる。原子炉建屋へは，5 階床の床開口部に突出させた強固なシアキにより水平力を伝達させる。図 3.2-4 にストッパ概要図を示す。

ストッパについては，架構と原子炉建屋を結んだバネ材に発生する水平力の最大値が，床開口に差し込むシアキの短期許容せん断力以下であることを確認する。

なお，原子炉建屋と水平振れ止め装置（ストッパ）の接触部については，不具合が見つかった場合には適切に補修等を実施する。



(a)伏図　　(b)断面図

図 3.2-4　ストッパ概要図

シアキの許容せん断力は下式より算定し，表 3.2-11 に応力比が最大となる部位の断面検討結果を示す。

断面検討の結果，全てのストッパに対する応力比が 1 以下になることを確認した。

$$Q_a = A \cdot f_s$$

ここに，

Qa：短期許容せん断力(kN)

A：シアキの断面積（mm^2）

f_s：短期許容せん断応力度(N/mm^2)（SM490A）

表 3.2-11　ストッパ（シアキ）の断面検討結果

部位	荷重ケース (位置)*	ストッパ反力 Q(kN)	短期許容せん断力 Qa(kN)	応力比 Q/Qa	判定
東側ストッパ	E4 (A)	2560	8620	0.30	O.K.

＊：図 3.2-1 に示す燃料取扱設備の位置を示す

(4)　基礎の構造強度に対する検討

架構の基礎は独立フーチング基礎とし，西側柱脚部は原子炉建屋の地下 1 階壁の直上に設置し，

東側柱脚部は原子炉建屋2階壁の直上に設置して基礎反力が原子炉建屋を介して地盤に伝わるようにする。ここでは，基礎の浮き上がりに対しては基礎反力（圧縮力を正）の最小値が0以上であることを確認し，基礎のすべりに対しては基礎反力の水平力が許容摩擦力以下であることを確認する。

なお，基礎底面の摩擦係数は「現場打ち同等型プレキャスト鉄筋コンクリート構造設計指針(案)・同解説(2002)」に準じて，特に先打ちコンクリート表面に処理をしない場合の後打ちコンクリートとの境界面で設定する0.6(普通コンクリートの場合)とする。

表3.2-12に基礎反力が最小となる部位の基礎浮き上がりの検討結果を示す。

基礎浮き上がりの検討の結果，全ての基礎の最小圧縮力が0以上であることを確認した。

表3.2-12　基礎浮き上がりの検討結果

部位	荷重ケース （位置）＊	最小圧縮力 N(kN)	判定
東側柱脚 （北側）	E1 (C)	1990	O.K.

＊：図3.2-1に示す燃料取扱設備の位置を示す

許容摩擦力は下式より算定し，表3.2-13に応力比が最大となる部位の検討結果を示す。

基礎すべりの検討の結果，全ての基礎に対する応力比が1以下になることを確認した。

$$V_a = \mu(N + R)$$

ここに，

Va：許容摩擦力(kN)

μ ：摩擦係数（μ=0.6）

N：基礎重量(kN)

R：基礎上端の架構の鉛直反力(kN)

表3.2-13　基礎すべりの検討結果

部位	荷重ケース （位置）＊	水平力 Q(kN)	許容摩擦力 Va(kN)	応力比 Q/Va	判定
東側柱脚	C (D)	2410	5270	0.46	O.K.
	E4 (D)	2430	4580	0.54	O.K.

＊：図3.2-1に示す燃料取扱設備の位置を示す

(5)　原子炉建屋接触部の構造強度に対する検討

1)　ストッパ接触部

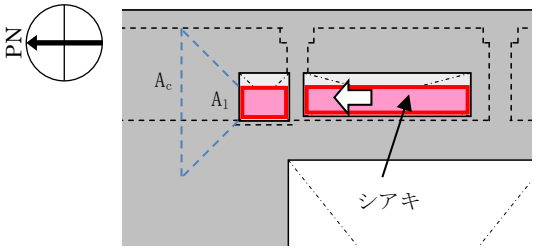
ストッパ接触部の構造強度の検討では，ストッパ水平反力が，既存躯体の短期許容支圧力以下になることを確認する。なお，許容支圧応力度は，原子炉建屋の設計基準強度(22.1N/mm^2)を用いて「プレストレストコンクリート設計施工規準・同解説」に基づき算出する。

短期許容支圧力 Na は下式より算定し，表 3.2-14 に応力比が最大となる部位の検討結果を示す。

検討の結果，全てのストッパ接触部に対する応力比が 1 以下になることを確認した。

$$N_a = f_n \cdot A_l$$

$$f_n = f_{na}\sqrt{\frac{A_c}{A_l}} \quad \text{ただし，} \quad \sqrt{\frac{A_c}{A_l}} \leq 2.0$$



ここに，

f_n ：短期許容支圧応力度(N/mm^2)

f_{na}：$F_{ci}/1.25$ または $0.6F_c$ のうち小さいほうの値(N/mm^2)

F_{ci}：コンクリート強度，特に定めのない場合には 20N/mm^2　(F_{ci}=22.1N/mm^2)

A_c ：支圧端から離れて応力が一様分布となったところのコンクリートの支承面積(mm^2)

A_1 ：局部圧縮を受ける支圧面積(mm^2)

表 3.2-14　ストッパ接触部の検討結果

部位	荷重ケース（位置）＊	ストッパ水平反力 N(kN)	短期許容支圧力 Na(kN)	応力比 N/Na	判定
東側ストッパ	E2 (B)	3980	10300	0.39	O.K.

＊：図 3.2-1 に示す燃料取扱設備の位置を示す

2)　基礎設置部

架構の西側脚部は原子炉建屋 1 階レベル（G.L.+0.2m）で支持し，東側脚部は原子炉建屋 3 階レベル（G.L.+16.9m）で支持している。基礎設置部については，柱脚の鉛直反力により生じる直下壁の軸力が壁の許容軸力以下であることを確認する。

許容軸力 Na は下式より算定し，表 3.2-15 に応力比が最大となる部位の検討結果を示す。

検討の結果，全ての基礎設置部に対する応力比が 1 以下になることを確認した。

$${}_L N_a = {}_L f_c \cdot A_l \quad , \quad {}_S N_a = {}_S f_c \cdot A_l$$

ここに，

${}_L f_c$：長期許容圧縮応力度(N/mm^2)　(${}_L f_c$=22.1×1/3=7.4)

${}_S f_c$：短期許容圧縮応力度(N/mm^2)　(${}_S f_c$=22.1×2/3=14.7)

A_1：　柱脚部支配面積(mm^2)

表 3.2-15　壁の圧縮力の検討結果

部位	荷重ケース（位置）＊	軸力 N(kN)	許容軸力 Na(kN)	応力比 N/Na	判定
東側柱脚（南側）	C (B)	4280	12900	0.34	O.K.
	E1 (B)	6540	25900	0.26	O.K.

＊：図 3.2-1 に示す燃料取扱設備の位置を示す

(6)　外装材の構造強度に対する検討

1)　検討箇所

架構の屋根面及び側面を覆う外装材は，折板を用いる。強度検討は，壁材，屋根材それぞれに風圧力により生じる応力度が短期許容応力度以下であることを確認する。なお，短期事象においては，暴風時の影響が支配的であることから，積雪時及び地震時の検討は省略する。検討箇所を図 3.2-5 に示す。

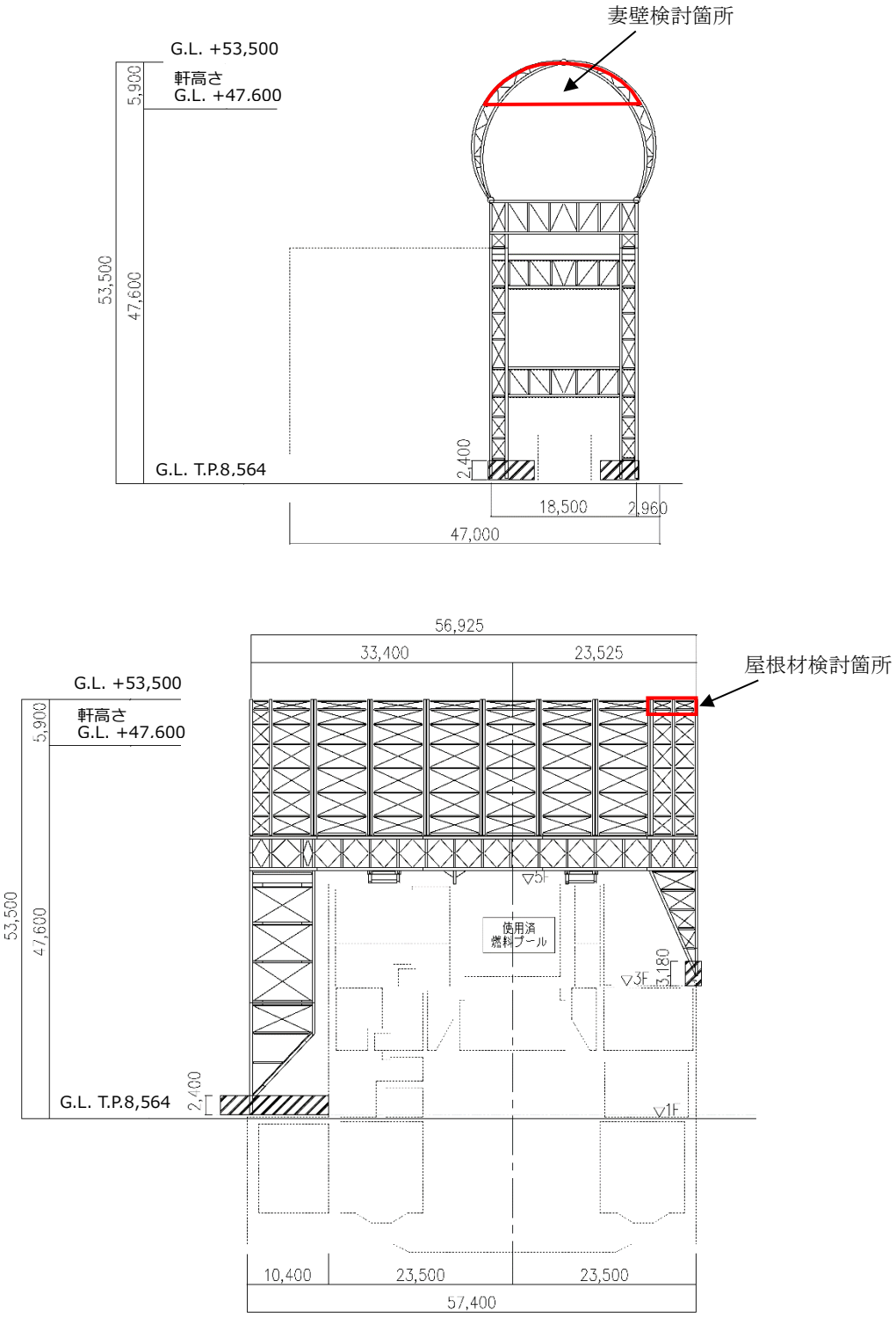


図 3.2-5　外装材検討箇所（単位：mm）

2)　設計用荷重の算定

設計用風圧力は，建築基準法施行令第 82 条の 4 および建設省告示第 1458 号に基づき，基準風速 30m/s，地表面粗度区分Ⅱとして算定する。速度圧の算定結果を表 3.2-16 に，ピーク風力係数を表 3.2-17 に，風力係数の算定箇所を図 3.2-6 に示す。

表 3.2-16　速度圧の算定結果

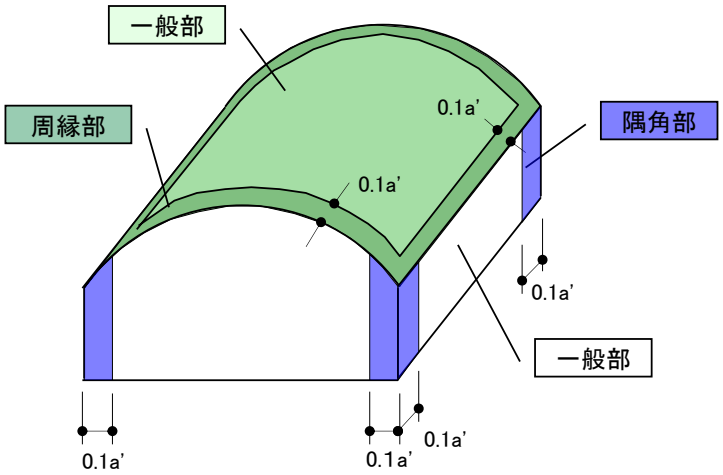
建物高さ* H (m)	平均風速の高さ方向の分布を表す係数 E_r	基準風速 V_0 (m/s)	平均速度圧 q (N/m^2)
50.55	1.27	30	871

*：建物高さは，軒高さ（47.60m）と最高高さ（53.50m）の平均値とした

表 3.2-17　ピーク風力係数

建物高さ* H (m)	屋根面		妻壁面	
	一般部	周縁部	一般部	隅角部
50.55	-2.5	-3.2	-2.02	-2.5

*：建物高さは，軒高さ（47.60m）と最高高さ（53.50m）の平均値とした



a'は平面の短辺の長さと H の 2 倍の数値のうちいずれか小さな数値（30 を超えるときは，30 とする）（単位：m）

図 3.2-6　風力係数の算定箇所

3)　外装材の強度検討

検討は，応力が厳しくなる部位について行う。ここでは，折板の自重は考慮しないものとする。折板の間隔はドーム屋根が 3.4m で連続支持，妻壁が 4.0m で単純支持されているものと仮定する。

屋根材及び壁材の材料諸元を表 3.2-18 に示す。また，検討結果を表 3.2-19 に示す。

断面検討の結果，全ての外装材に対する応力度比が 1 以下になることを確認した。

表 3.2-18　屋根材及び壁材の材料諸元

板厚	自重	正曲げ方向		負曲げ方向	
		断面 2 次モーメント	断面係数	断面 2 次モーメント	断面係数
t (mm)	G (N/m^2)	I_x (cm^4/m)	Z_x (cm^3/m)	I_x (cm^4/m)	Z_x (cm^3/m)
0.8	118	360	43.6(13.1*)	347	40.6(12.2*)

＊：括弧内の数値は折曲加工部を示す

表 3.2-19　応力度に対する検討結果

部位	作用応力度 (N/mm^2)	許容応力度 (N/mm^2)	応力度比	判定
ドーム屋根	189	205*	0.93	O.K.
妻壁	109	205*	0.54	O.K.

＊：「JIS G 3321-2010」による

・応力度に対する検討

①ドーム屋根

$w = 871 \times (-3.20) = -2790 (N/m^2)$

$M = (9/128) \times w \times L^2 = (9/128) \times (-2790) \times 3.4^2 \times 10^{-3} = -2.3 (kNm/m)$

$\sigma_b = M/Z = 2.3 \times 10^6 / (12.2 \times 10^3) = 189 (N/mm^2)$

$\sigma_b / f_b = 189/205 = 0.93 \leqq 1.0$　　OK

②妻壁

$w = 871 \times (-2.50) = -2180 (N/m^2)$

$M = (1/8) \times w \times L^2 = (1/8) \times (-2180) \times 4.0^2 \times 10^{-3} = -4.4 (kNm/m)$

$\sigma_b = M/Z = 4.4 \times 10^6 / (40.6 \times 10^3) = 109 (N/mm^2)$

$\sigma_b / f_b = 109/205 = 0.54 \leqq 1.0$　　OK

3.3　耐震性

(1)　検討方針

耐震性の検討は，架構，水平振れ止め装置（ストッパ），制震装置（オイルダンパ），基礎，原子炉建屋接触部及び原子炉建屋の健全性について行い，基準地震動 Ss に対して，これらの応答性状を適切に表現できる地震応答解析を用いて評価する。なお，地震応答解析は水平方向及び鉛直方向を同時に入力する。

(2)　架構の耐震性に対する検討

1)　解析に用いる入力地震動

検討に用いる地震動は,「福島第一原子力発電所『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　中間報告書」（東京電力株式会社，平成 20 年 3 月 31 日）にて作成した解放基盤表面で定義される基準地震動 Ss とする。

地震応答解析に用いる入力地震動の概念図を図 3.3-1 に示す。モデルに入力する地震動は一次元波動論に基づき，解放基盤表面で定義される基準地震動 Ss に対する地盤の応答として評価する。解放基盤表面位置（G.L.-206.0m(震災前 O.P.-196.0m)）における基準地震動 Ss-1，Ss-2 及び Ss-3 の加速度時刻歴波形を図 3.3-2(1)及び図 3.3-2(2)に示す。

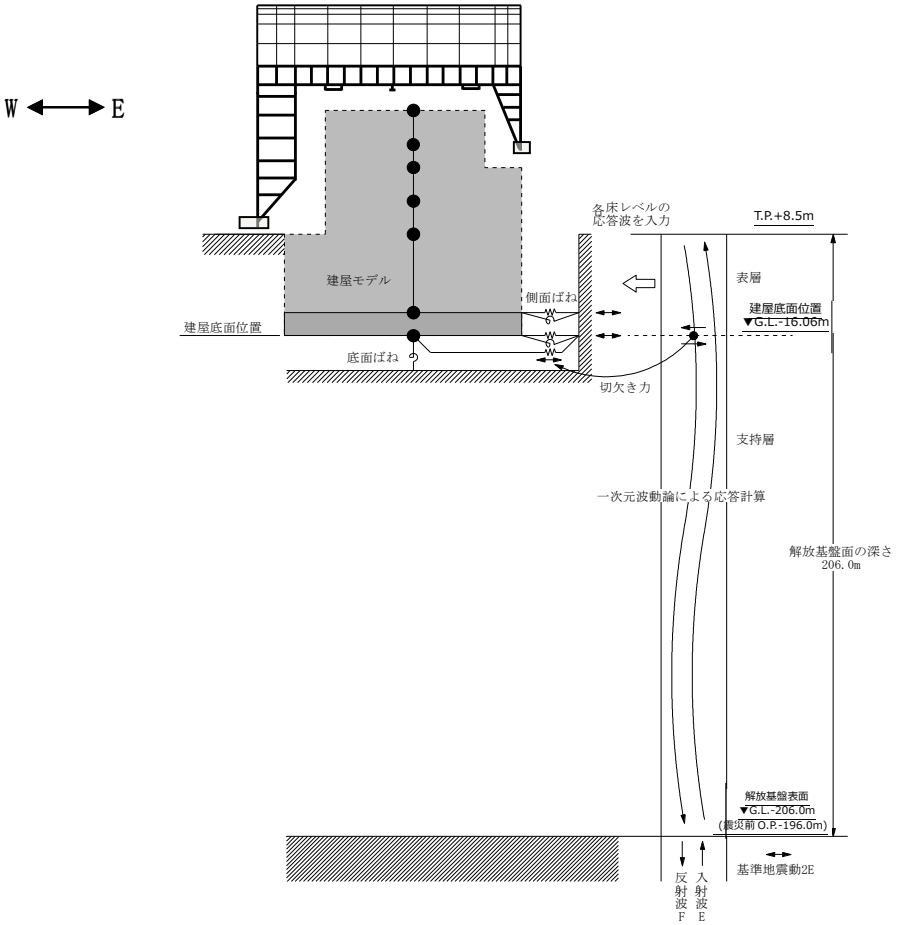
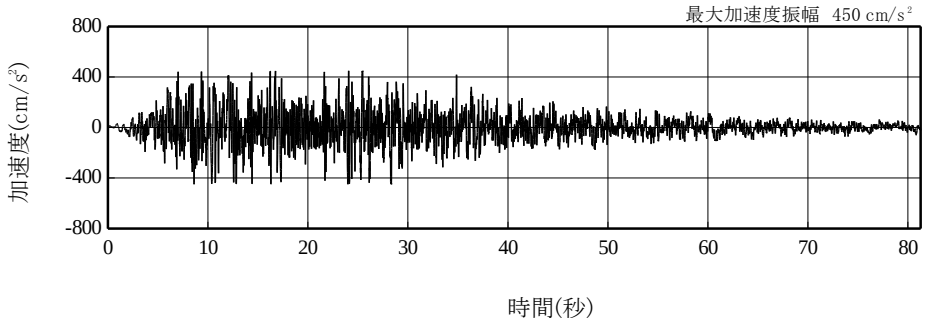
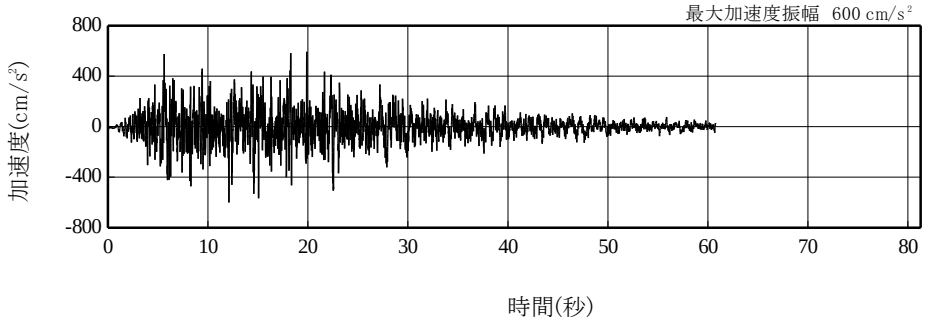


図 3.3-1　地震応答解析に用いる入力地震動の概念図

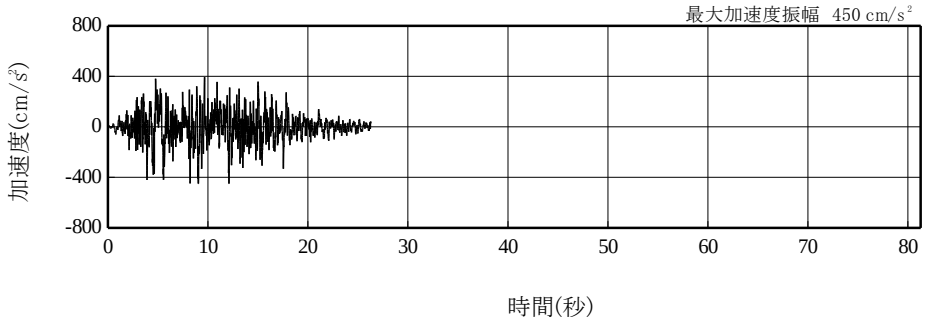
本章に記載の標高は，震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P.から T.P.への読替値(-727mm)を用いて，下式に基づき換算している。
＜換算式＞ T.P.=旧 O.P.-1,436mm



(Ss-1H)

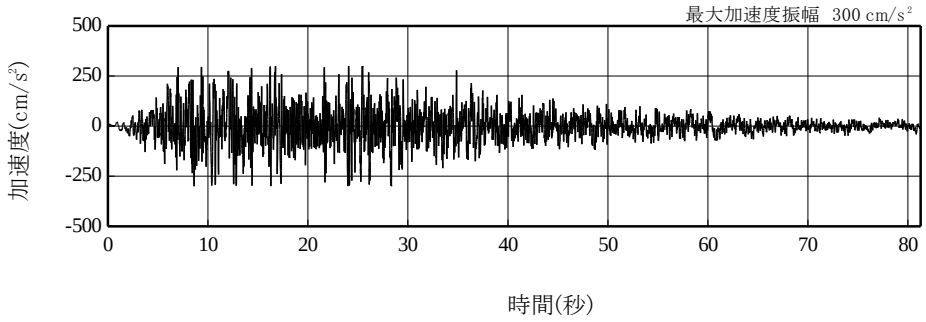


(Ss-2H)

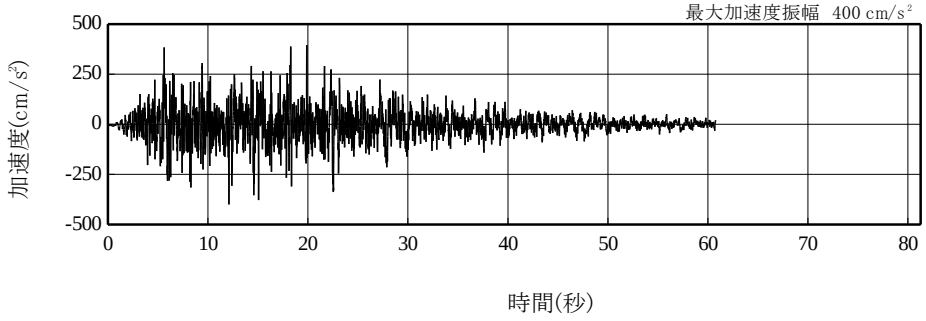


(Ss-3H)

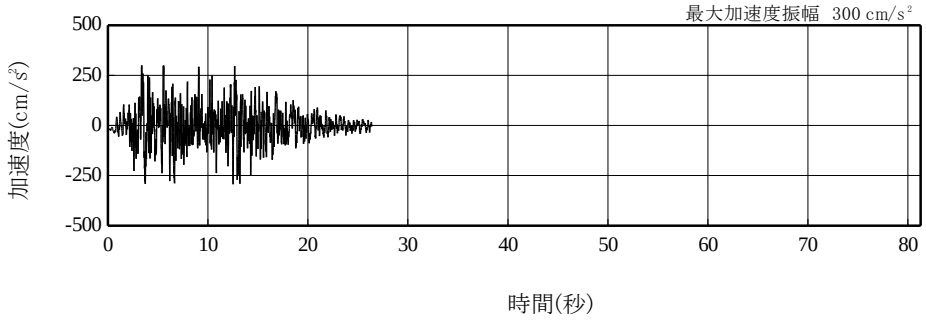
図 3.3-2(1) 解放基盤表面位置における地震動の加速度時刻歴波形(水平方向)



(Ss-1V)



(Ss-2V)



(Ss-3V)

図 3.3-2(2)　解放基盤表面における地震動の加速度時刻歴波形
（鉛直方向）

2)　地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは，門型架構及びドーム屋根を構成する主要な鉄骨部材からなる立体架構を原子炉建屋の質点系モデルに接続した図 3.3-3 に示すモデルとし，地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成系モデルとする。ストッパ取り付き部は原子炉建屋 5 階質点（G.L.+29.92m）と水平方向同一変位条件とし，鉛直方向の制震装置（オイルダンパ）は原子炉建屋の 5 階床上面 4 箇所に門型架構と 5 階床の鉛直方向相対変位が減少する場合に減衰力を発揮するばねに置換して立体架構モデルに組み込んでいる。

地震応答解析に用いる物性値を表 3.3-1 に示す。門型架構及びドーム屋根の部材接合部の質点は仕上げ材等を考慮した重量とし，原子炉建屋の質点は瓦礫撤去の重量等を反映した表 3.3-2 に示す重量とする。門型架構の柱・梁及びドーム屋根の弦材は弾性部材とし，その他ブレース等は「鉄骨 X 型ブレース架構の復元力特性に関する研究」(日本建築学会構造工学論文集 37B 号　1991 年 3 月）に示されている修正若林モデルによる。また，原子炉建屋は，曲げとせん断に「JEAG　4601-1991」に示されている非線形特性を考慮する。

地盤定数は，「福島第一原子力発電所『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　中間報告書」（東京電力株式会社，平成 20 年 3 月 31 日）と同様とし，その結果を表 3.3-3 に示す。原子炉建屋の地盤ばねは，「JEAG　4601-1991」に示されている手法を参考にして，底面地盤を成層補正し振動アドミッタンス理論によりスウェイ及びロッキングばねを，側面地盤を Novak の方法により建屋側面ばねを評価した。

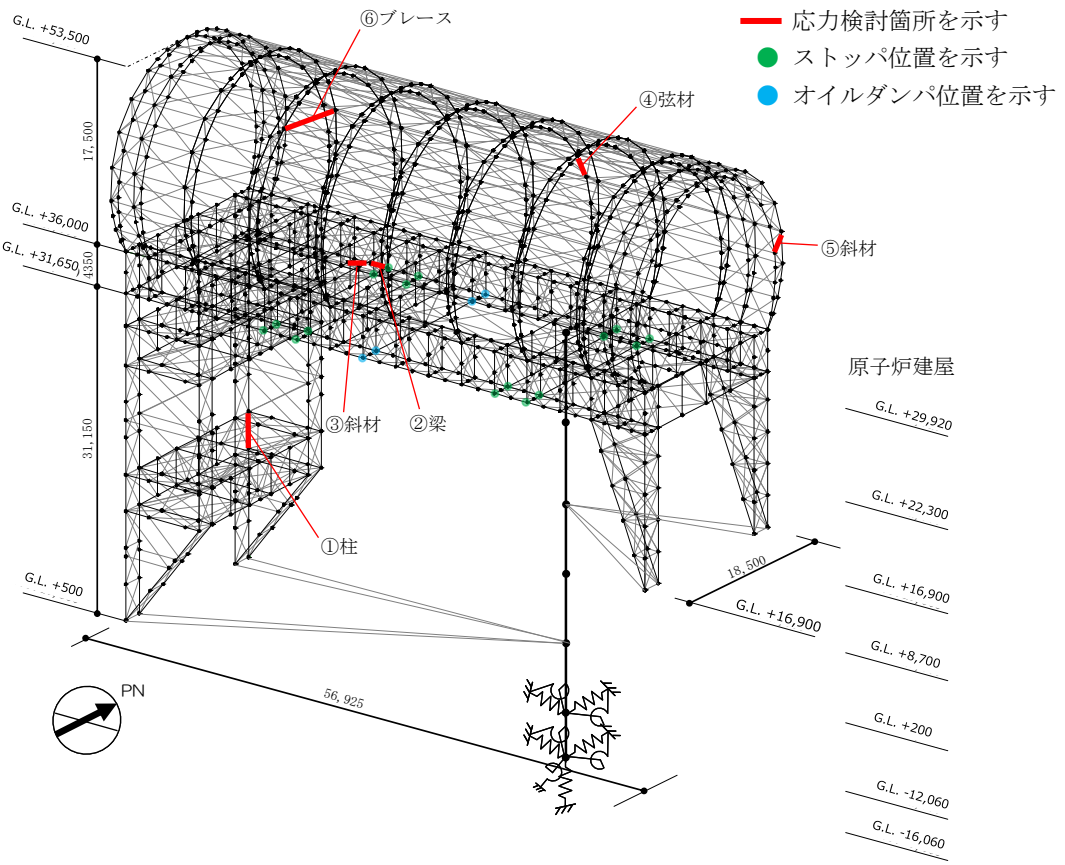


図 3.3-3　地震応答解析モデル（単位：mm）

表 3.3-1　地震応答解析に用いる物性値

部位	材料	ヤング係数 E(N/mm^2)	ポアソン比 ν	単位体積重量 γ (kN/m^3)	減衰定数 h(%)	備考
架構	鉄骨	2.05×10^5	0.3	77.0	2	SS400, SM490A STK490, STKT590

表 3.3-2　地震応答解析モデルのうち原子炉建屋の地震応答解析モデルの諸元

(a)水平（NS）方向

標高 G.L.（m）	質点重量* W（kN）	回転慣性重量 I_G（$\times10^5$ kN･m^2）	せん断断面積 As（m^2）	断面二次モーメント I（m^4）
+29.92	72990	76.95		
			145.3	9598
+22.3	119490	238.33		
			146.1	29271
+16.9	111140	204.58		
			237.3	56230
+8.7	130160	239.58		
			208.6	60144
+0.2	252510	464.88		
			458.7	112978
-12.06	301020	554.17		
			2697.8	496620
-16.06	127000	233.79		
合計	1114310			

ヤング係数 Ec　2.57×10^7(kN/m^2)
せん断弾性係数 G　1.07×10^7(kN/m^2)
ポアソン比 ν　0.20
減衰 h　5%

＊：「福島第一原子力発電所の原子炉建屋の現状の耐震安全性および補強等に関する検討に係る報告書（その２）」（東京電力株式会社，平成 23 年 7 月 13 日）において用いた各階重量に瓦礫撤去等による重量増減を考慮した数値（ただし，門型架構の重量 12800kN 及びドーム屋根重量 3200kN は含まない）

表 3.3-2　地震応答解析モデルのうち原子炉建屋の地震応答解析モデルの諸元

(b)水平（EW）方向

標高 G.L.（m）	質点重量* W（kN）	回転慣性重量 I_G（$\times 10^5$ kN･m^2）	せん断断面積 As（m^2）	断面二次モーメント I（m^4）
+29.92	72990	56.10		
			61.9	5665
+22.3	119490	124.49		
			123.4	12460
+16.9	111140	204.58		
			204.1	41352
+8.7	130160	239.58		
			226.6	61084
+0.2	252510	693.32		
			431.3	135128
-12.06	301020	826.50		
			2697.8	740717
-16.06	127000	348.72		
合計	1114310			

ヤング係数 Ec　2.57×10^7（kN/m^2）
せん断弾性係数 G　1.07×10^7（kN/m^2）
ポアソン比 ν　0.20
減衰 h　5%

(c)鉛直方向

標高 G.L.（m）	質点重量* W（kN）	軸断面積 A_N（m^2）	軸ばね剛性 K_A（$\times 10^8$ kN/m）
+29.92	72990		
		192.0	6.48
+22.3	119490		
		266.3	12.67
+16.9	111140		
		431.7	13.53
+8.7	130160		
		423.0	12.79
+0.2	252510		
		691.2	14.49
-12.06	301020		
		2697.8	173.33
-16.06	127000		
合計	1114310		

ヤング係数 Ec　2.57×10^7（kN/m^2）
せん断弾性係数 G　1.07×10^7（kN/m^2）
ポアソン比 ν　0.20
減衰 h　5%

＊：「福島第一原子力発電所の原子炉建屋の現状の耐震安全性および補強等に関する検討に係る報告書（その２）」（東京電力株式会社，平成 23 年 7 月 13 日）において用いた各階重量に瓦礫撤去等による重量増減を考慮した数値（ただし，門型架構の重量 12800kN 及びドーム屋根重量 3200kN は含まない）

表 3.3-3　地盤定数の設定結果

(a) Ss-1

標高 G.L. (m)	地質	せん断波速度 Vs (m/s)	単位体積重量 γ (kN/m^3)	ﾎﾟｱｿﾝ比 ν	せん断弾性係数 G (×10^{5}kN/m^2)	初期せん断弾性係数 G_0 (×10^{5}kN/m^2)	剛性低下率 G/G_0	ヤング係数 E (×10^{5}kN/m^2)	減衰定数 h (%)	層厚 H (m)
0.0										
	砂岩	380	17.8	0.473	2.23	2.62	0.85	6.57	3	8.1
-8.1										
		450	16.5	0.464	2.66	3.41	0.78	7.79	3	11.9
-20.0										
		500	17.1	0.455	3.40	4.36	0.78	9.89	3	70.0
-90.0	泥岩									
		560	17.6	0.446	4.39	5.63	0.78	12.70	3	28.0
-118.0										
		600	17.8	0.442	5.09	6.53	0.78	14.68	3	88.0
-206.0 (震災前 O.P.-196.0)										
	(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-

(b) Ss-2

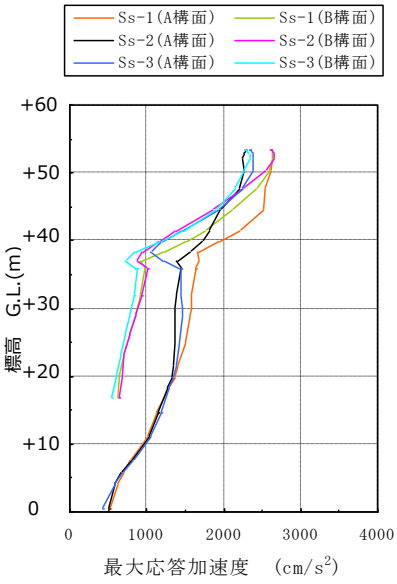
標高 G.L. (m)	地質	せん断波速度 Vs (m/s)	単位体積重量 γ (kN/m^3)	ﾎﾟｱｿﾝ比 ν	せん断弾性係数 G (×10^{5}kN/m^2)	初期せん断弾性係数 G_0 (×10^{5}kN/m^2)	剛性低下率 G/G_0	ヤング係数 E (×10^{5}kN/m^2)	減衰定数 h (%)	層厚 H (m)
0.0										
	砂岩	380	17.8	0.473	2.23	2.62	0.85	6.57	3	8.1
-8.1										
		450	16.5	0.464	2.76	3.41	0.81	8.08	3	11.9
-20.0										
		500	17.1	0.455	3.53	4.36	0.81	10.27	3	70.0
-90.0	泥岩									
		560	17.6	0.446	4.56	5.63	0.81	13.19	3	28.0
-118.0										
		600	17.8	0.442	5.29	6.53	0.81	15.26	3	88.0
-206.0 (震災前 O.P.-196.0)										
	(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-

(c) Ss-3

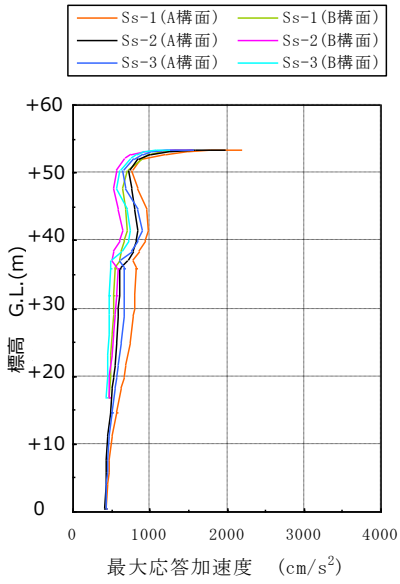
標高 G.L. (m)	地質	せん断波速度 Vs (m/s)	単位体積重量 γ (kN/m^3)	ﾎﾟｱｿﾝ比 ν	せん断弾性係数 G (×10^{5}kN/m^2)	初期せん断弾性係数 G_0 (×10^{5}kN/m^2)	剛性低下率 G/G_0	ヤング係数 E (×10^{5}kN/m^2)	減衰定数 h (%)	層厚 H (m)
0.0										
	砂岩	380	17.8	0.473	2.25	2.62	0.86	6.63	3	8.1
-8.1										
		450	16.5	0.464	2.66	3.41	0.78	7.79	3	11.9
-20.0										
		500	17.1	0.455	3.40	4.36	0.78	9.89	3	70.0
-90.0	泥岩									
		560	17.6	0.446	4.39	5.63	0.78	12.70	3	28.0
-118.0										
		600	17.8	0.442	5.09	6.53	0.78	14.68	3	88.0
-206.0 (震災前 O.P.-196.0)										
	(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-

3)　地震応答解析結果

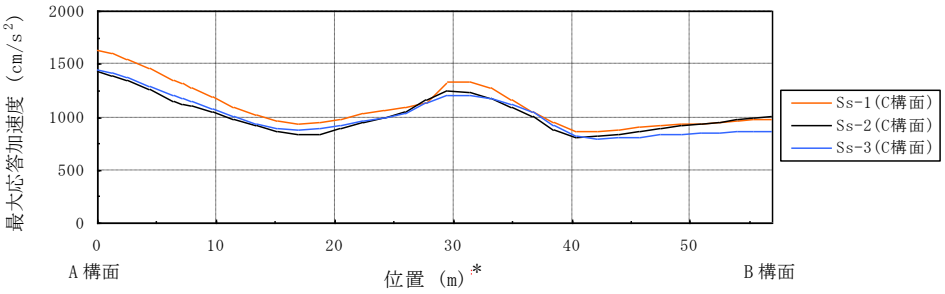
最大応答加速度分布を図 3.3-4(1)及び図 3.3-4(2)に示す。



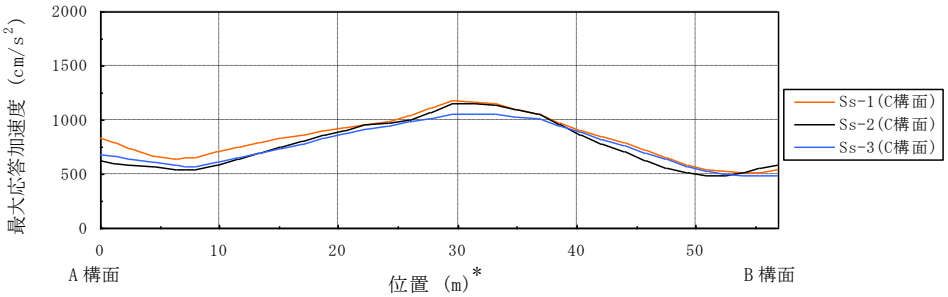
水平(NS)成分（A 構面，B 構面）



鉛直成分（A 構面，B 構面）

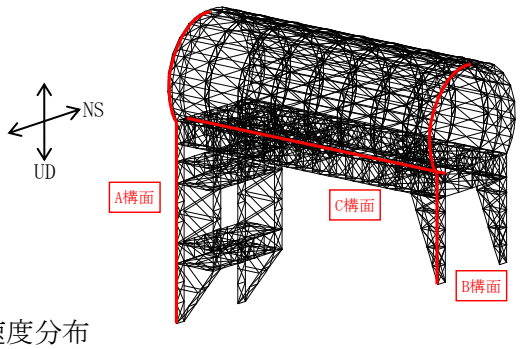


水平(NS)成分（C 構面）



鉛直成分（C 構面）

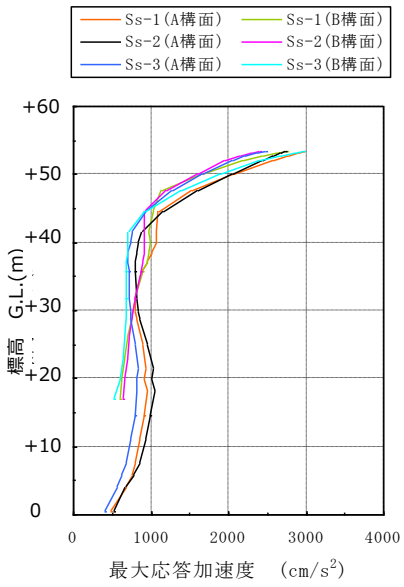
(NS 方向)



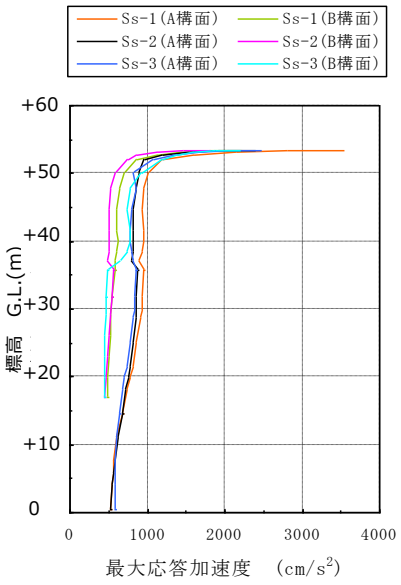
注：燃料取扱設備が門型架構の中央に位置する場合
（図 3.2-1 の位置 D）を示す

＊：位置は A 構面側からの距離を示す

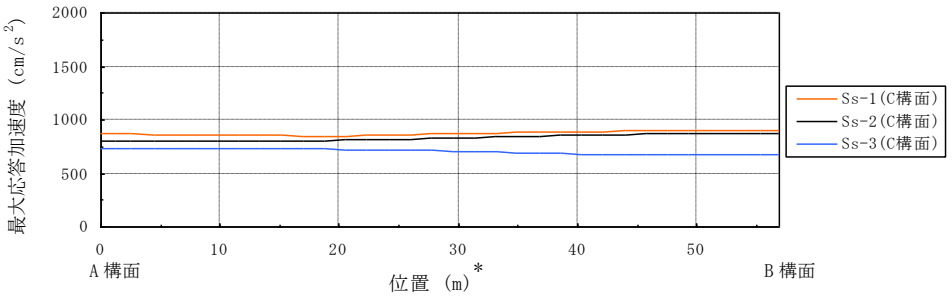
図 3.3-4(1)　最大応答加速度分布



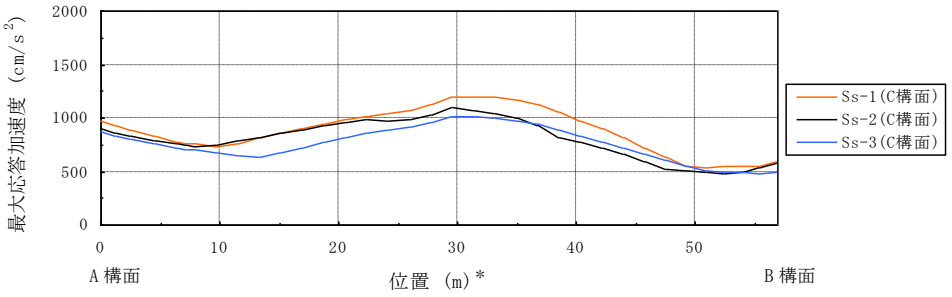
水平(EW)成分（A 構面，B 構面）



鉛直成分（A 構面，B 構面）



水平(EW)成分（C 構面）



鉛直成分（C 構面）

（EW 方向）

注：燃料取扱設備が門型架構の中央に位置する場合
（図 3.2-1 の位置 D）を示す

＊：位置は A 構面側からの距離を示す

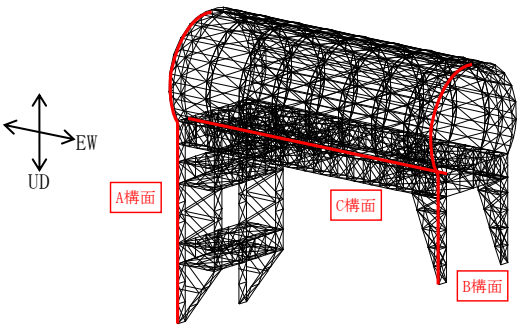


図 3.3-4(2)　最大応答加速度分布

4)　波及的影響の評価

門型架構は，JSCA 性能メニュー（社団法人日本建築構造技術者協会，2002 年）を参考に定めたクライテリア（「層間変形角は 1/75 以下，層の塑性率は 4 以下，部材の塑性率は 5 以下」*）を満足することを確認する。ドーム屋根は，柱・梁によるフレームを構成しないため，JSCA 性能メニューのうち部材の塑性率のクライテリアを満足することを確認する。

なお，解析結果が「時刻歴応答解析建築物性能評価業務方法書」（財団法人日本建築センター，平成 19 年 7 月 20 日）に示されるクライテリア（層間変形角は 1/100 以下，層の塑性率は 2 以下，部材の塑性率は 4 以下）を超える場合には水平変形に伴う鉛直荷重の付加的影響を考慮した解析を実施し，安全性を確認する。

＊：北村春幸，宮内洋二，浦本弥樹「性能設計における耐震性能判断基準値に関する研究」，日本建築学会構造系論文集，第 604 号，2006 年 6 月

・層間変形角の検討

門型架構の最大応答層間変形角を表 3.3-4 に示す。

検討の結果，最大応答層間変形角は 1/75 以下となりクライテリアを満足することを確認した。

表 3.3-4　最大応答層間変形角の検討結果

検討箇所	地震波	入力方向(位置)＊	最大応答値	ｸﾗｲﾃﾘｱ	判定
東側 G.L.+36.00(m) ～G.L.+16.90(m)	Ss-1	NS (A)	1/820	1/75	O.K.
		EW (B)	1/990	1/75	O.K.
	Ss-2	NS (B)	1/990	1/75	O.K.
		EW (B)	1/1000	1/75	O.K.
	Ss-3	NS (B)	1/990	1/75	O.K.
		EW (B)	1/1000	1/75	O.K.
西側 G.L.+36.00(m) ～G.L.+0.50(m)	Ss-1	NS (A)	1/720	1/75	O.K.
		EW (B)	1/1600	1/75	O.K.
	Ss-2	NS (C)	1/860	1/75	O.K.
		EW (B)	1/1600	1/75	O.K.
	Ss-3	NS (C)	1/800	1/75	O.K.
		EW (B)	1/1800	1/75	O.K.

＊：図 3.2-1 に示す燃料取扱設備の位置を示す

・塑性率の検討

部材の塑性率は，引張及び圧縮に対して最大軸力時のひずみを引張耐力または座屈耐力時のひずみで除した値で表される。最大軸力時のひずみが引張耐力または座屈耐力時のひずみ未満の場合は弾性であり塑性率は 1 未満となる。最大応答軸力を引張耐力または座屈耐力で除した値を耐力比と定義し，表 3.3-5 に検討結果を示す。なお，引張耐力及び座屈耐力算定時の材料強度（STKT590 材を除く）は「平成 19 年国土交通省告示第 625 号」に定められた基準強度 F 値の 1.1 倍を用いる。

表 3.3-5 より全てのケースで耐力比が 1 を下回ることから塑性率は 1 未満となり，クライテリアを満足することを確認した。

表 3.3-5　耐力比の検討結果

部位*1			部材形状 (mm)	地震波	入力方向 (位置)*2	耐力比		判定
門型架構	①	柱	H-350×350 ×12×19 〈SM490A〉	Ss-2	NS (C)	C/Cu	0.50	OK
	②	梁	H-350×350 ×12×19 〈SM490A〉	Ss-1	NS (C)	C/Cu	0.45	OK
	③	斜材	2[s-150×75 ×6.5×10 〈SM490A〉	Ss-1	NS (C)	C/Cu	0.75	OK
ドーム屋根	④	弦材	φ-267.4×6.6 〈STKT590〉	Ss-1	NS (D)	C/Cu	0.63	OK
	⑤	斜材	φ-139.8×4.5 〈STK490〉	Ss-1	EW (D)	C/Cu	0.90	OK
	⑥	ブレース	φ-114.3×4.5 〈STK490〉	Ss-2	EW (C)	C/Cu	0.45	OK

＊1：①～⑥の符号は図 3.3-3 の応力検討箇所を示す

＊2：図 3.2-1 に示す燃料取扱設備の位置を示す

C ：部材軸方向の圧縮力の最大値

Cu：座屈耐力

T ：部材軸方向の引張力の最大値

Tu：引張耐力

(3)　水平振れ止め装置（ストッパ）の耐震性に対する検討

ストッパ（鋼製）の耐震性に対する検討は，材料強度を基準強度 F 値の 1.1 倍としたせん断耐力とし，耐力比が 1 以下になることを確認する。図 3.3-5 にストッパ概要図を示す。

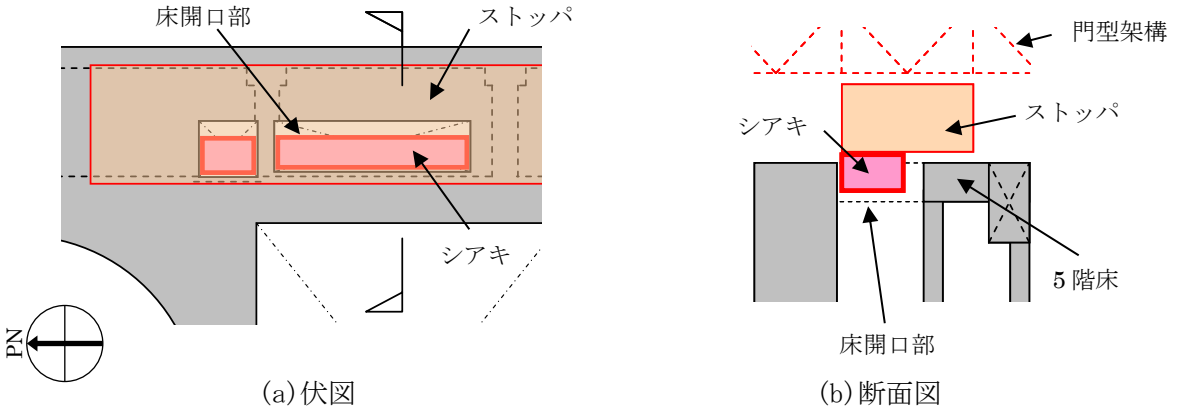
表 3.3-6 に耐力比が最大となる部位の断面検討結果を示す。

断面検討の結果，全てのストッパに対する耐力比が 1 以下になることを確認した。

表 3.3-6　ストッパ（シアキ）の断面検討結果

部位	地震波	入力方向（位置）＊	最大応答ストッパ反力 Q(kN)	せん断耐力 Qu(kN)	耐力比 Q/Qu	判定
東側ストッパ	Ss-1	EW (D)	3970	9480	0.42	O.K.

＊：図 3.2-1 に示す燃料取扱設備の位置を示す



(a)伏図　　(b)断面図

図 3.3-5　ストッパ概要図

(4)　制震装置（オイルダンパ）の耐震性に対する検討

原子炉建屋の 5 階床上面 4 箇所に設置するオイルダンパ概念図を図 3.3-6 に示す。

オイルダンパの耐震性に対する検討は，架構と原子炉建屋 5 階床がオイルダンパを介して各々変形する時の相対的な応答値がオイルダンパの許容値以下であることを確認する。

表 3.3-7 に最大応答値と許容値を比較した結果を示す。

検討の結果，全てのオイルダンパで最大応答値が許容値以下になることを確認した。

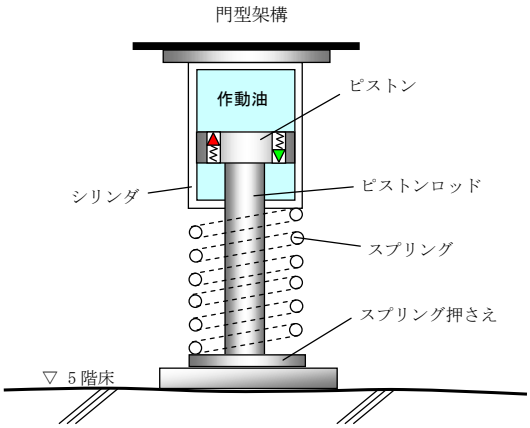


図 3.3-6　オイルダンパ概念図

表 3.3-7　オイルダンパの検討結果

検討	地震波	入力方向 （位置）＊	最大応答値	許容値	判定
オイルダンパ変位 (mm)	Ss-3	NS (D)	72	±100	O.K.
オイルダンパ速度 (m/s)	Ss-1	NS (D)	0.48	1.00	O.K.

＊：図 3.2-1 に示す燃料取扱設備の位置を示す

(5)　基礎の耐震性に対する検討

基礎の浮き上がりに対しては基礎反力（圧縮力を正）の最小値が 0 以上であることを確認し，基礎のすべりに対しては基礎反力の水平力が摩擦耐力以下であることを確認する。

1)　基礎浮き上がりの検討

表 3.3-8 に基礎反力が最小となる部位の基礎浮き上がりの検討結果を示す。

検討の結果，全ての基礎の最小圧縮力が 0 以上になることを確認した。

表 3.3-8　基礎浮き上がりの検討結果

部位	地震波	入力方向 （位置）＊	最小圧縮力 N(kN)	判定
東側柱脚 (北側)	Ss-3	NS (C)	227	O.K.

＊：図 3.2-1 に示す燃料取扱設備の位置を示す

2)　基礎すべりの検討

表 3.3-9 に耐力比が最大となる部位の検討結果を示す。

検討の結果，全ての耐力比が 1 以下になることを確認した。

表 3.3-9　基礎すべりの検討結果

部位	地震波	入力方向 （位置）＊	最大水平力 Q(kN)	摩擦耐力 Vu(kN)	耐力比 Q/Vu	判定
東側柱脚	Ss-1	EW (D)	2810	4780	0.59	O.K.

＊：図 3.2-1 に示す燃料取扱設備の位置を示す

(6)　原子炉建屋接触部の耐震性に対する検討

1)　ストッパ接触部

ストッパ接触部の耐震性の検討では，最大ストッパ水平反力が，既存躯体の支圧耐力以下になることを確認する。なお，支圧耐力は，原子炉建屋の設計基準強度(22.1N/mm^2)を用いて「プレストレストコンクリート設計施工規準・同解説」に基づき算出する。

表 3.3-10 に耐力比が最大となる部位の検討結果を示す。

検討の結果，全てのストッパ接触部に対する耐力比が 1 以下になることを確認した。

表 3.3-10　ストッパ接触部の検討結果

部位	地震波	入力方向 （位置）＊	最大ストッパ 水平反力 N(kN)	支圧耐力 Nu(kN)	耐力比 N/Nu	判定
西側ストッパ	Ss-1	NS (C)	10400	19600	0.54	O.K.

＊：図 3.2-1 に示す燃料取扱設備の位置を示す

2)　オイルダンパ接触部

オイルダンパ接触部の耐震性の検討では，最大オイルダンパ鉛直反力が，既存躯体の支圧耐力以下になることを確認する。なお，支圧耐力は，原子炉建屋の設計基準強度(22.1N/mm^2)を用いて「プレストレストコンクリート設計施工規準・同解説」に基づき算出する。

表 3.3-11 に耐力比が最大となる部位の検討結果を示す。

検討の結果，全てのオイルダンパ接触部に対する耐力比が 1 以下になることを確認した。

$$N_u = f_n \cdot A_l$$

$$f_n = f_{na}\sqrt{\frac{A_c}{A_l}} \quad \text{ただし，} \quad \sqrt{\frac{A_c}{A_l}} \leq 2.0 \ *$$

ここに，

f_n ：短期許容支圧応力度(N/mm^2)

f_{na} ：$F_{ci}/1.25$ または $0.6F_c$ のうち小さいほうの値(N/mm^2)

F_{ci} ：コンクリート強度，特に定めのない場合には 20N/mm^2　(F_{ci}=22.1N/mm^2)

A_c ：支圧端から離れて応力が一様分布となったところのコンクリートの支承面積(mm^2)

A_l ：局部圧縮を受ける支圧面積(mm^2)

(500×500=2.50×10^{5}mm^2)

表 3.3-11　オイルダンパ接触部の検討結果

部位	地震波	入力方向 （位置）＊	最大オイルダンパ 鉛直反力 N(kN)	支圧耐力 Nu(kN)	耐力比 N/Nu	判定
南側端部	Ss-1	NS (D)	1250	6620	0.19	O.K.

＊：図 3.2-1 に示す燃料取扱設備の位置を示す

3)　基礎設置部

基礎設置部の耐震性の検討では，柱脚の鉛直反力により生じる直下壁の最大軸力が壁の軸耐力以下であることを確認する。

表 3.3-12 に耐力比が最大となる部位の検討結果を示す。

検討の結果，全ての基礎設置部に対する耐力比が 1 以下になることを確認した。

$$N_u = {}_Sf_c \cdot A_1$$

ここに，

${}_Sf_c$：短期許容圧縮応力度(N/mm^2)（${}_Sf_c$=22.1×2/3=14.7）

A_1：柱脚部支配面積(mm^2)

表 3.3-12　壁の圧縮力の検討結果

部位	地震波	入力方向 （位置）＊	最大軸力 N(kN)	軸耐力 Nu(kN)	耐力比 N/Nu	判定
東側柱脚 （南側）	Ss-3	NS (B)	7430	25900	0.29	O.K.

＊：図 3.2-1 に示す燃料取扱設備の位置を示す

(7)　原子炉建屋の耐震性に対する検討

1)　検討方針

架構の設置に伴う原子炉建屋の耐震性の評価は，耐震安全上重要な設備への波及的影響防止の観点から，地震応答解析により得られる耐震壁のせん断ひずみが鉄筋コンクリート造耐震壁の終局限界に対応した評価基準値（4.0×10^{-3}）以下になることを確認する。

2)　原子炉建屋の地震応答解析

・解析に用いる入力地震動

検討に用いる地震動は，「(2) 架構の耐震性に対する検討」で示した基準地震動 Ss とする。

地震応答解析に用いる入力地震動の概念図は図 3.3-1 と同様であり，モデルに入力する地震動は「(2) 架構の耐震性に対する検討」に示したものと同一である。

・地震応答解析モデル

原子炉建屋の地震応答解析モデルは，図 3.3-7 に示すように質点系でモデル化し，地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成系モデルとする。

地震応答解析モデルの諸元は，「福島第一原子力発電所の原子炉建屋の現状の耐震安全性および補強等に関する検討に係る報告書（その 2)」（東京電力株式会社，平成 23 年 7 月 13 日）に示される内容に，瓦礫撤去等による重量増減及び新規に設置する燃料取り出し用カバーの重量を考慮した。地震応答解析モデルの諸元のうち表 3.3-2 から変更した質点重量及び回転慣性重量を表 3.3-13 に示す。

地盤定数は，「(2) 架構の耐震性に対する検討」で示した地盤定数と同一である。

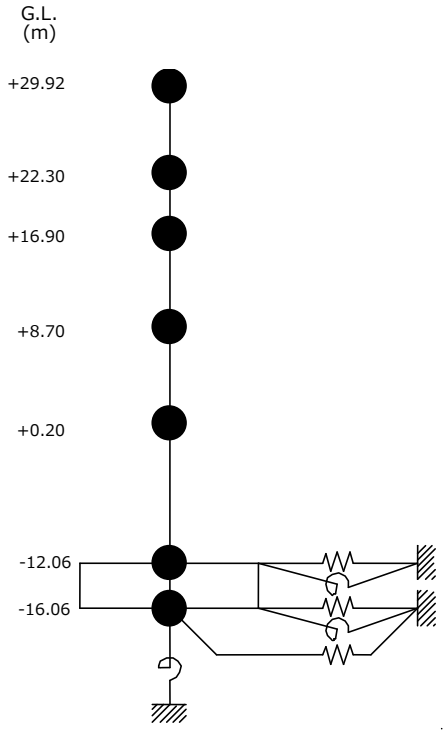


図 3.3-7　原子炉建屋の地震応答解析モデル

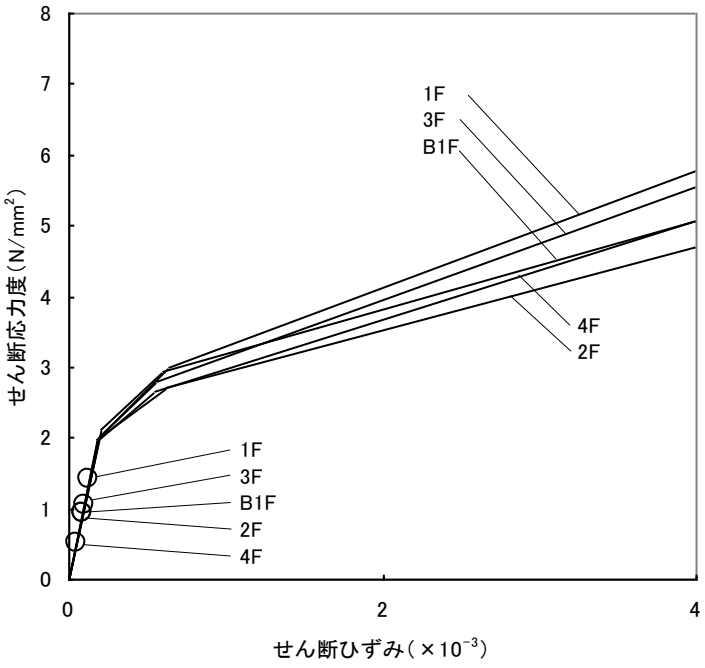
表 3.3-13　原子炉建屋の地震応答解析モデルの諸元（水平方向）

標高 G.L. (m)	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I_G ($\times 10^5$ kN·m^2)	
		水平(NS)方向	水平(EW 方向)
+29.92	87590	92.34	67.32
+22.3	119490	238.33	124.49
+16.9	111340	204.95	204.95
+8.7	130160	239.58	239.58
+0.2	253710	467.09	696.62
-12.06	301020	554.17	826.50
-16.06	127000	233.79	348.72
合計	1130310		

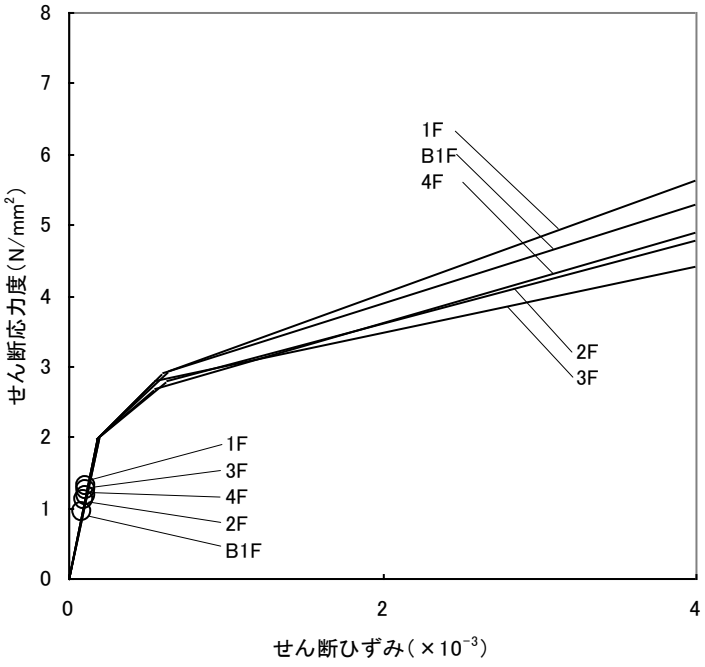
3) 検討結果

基準地震動 Ss に対する最大応答値を，「JEAG 4601-1991」に基づき設定した耐震壁のせん断スケルトン曲線上にプロットした結果を，図 3.3-8 から図 3.3-10 に示す。

検討の結果，地震応答解析により得られる最大応答値は，評価基準値（4.0×10^{-3}）に対して十分に余裕があることを確認した。

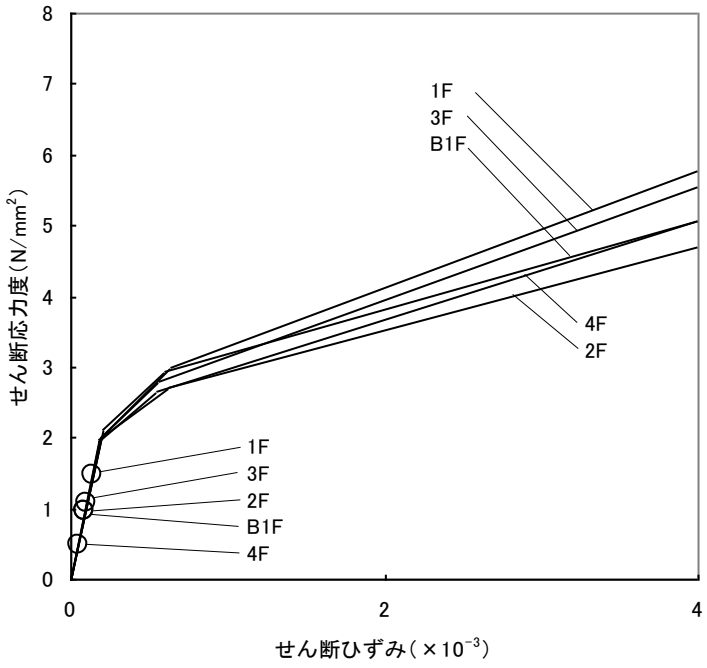


(a) NS 方向

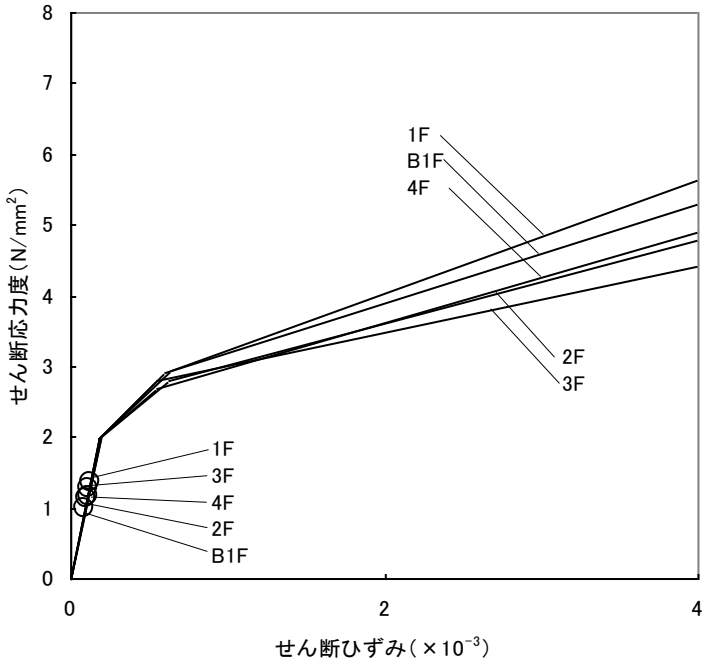


(b) EW 方向

図 3.3-8　せん断スケルトン曲線上の最大応答値（Ss-1）

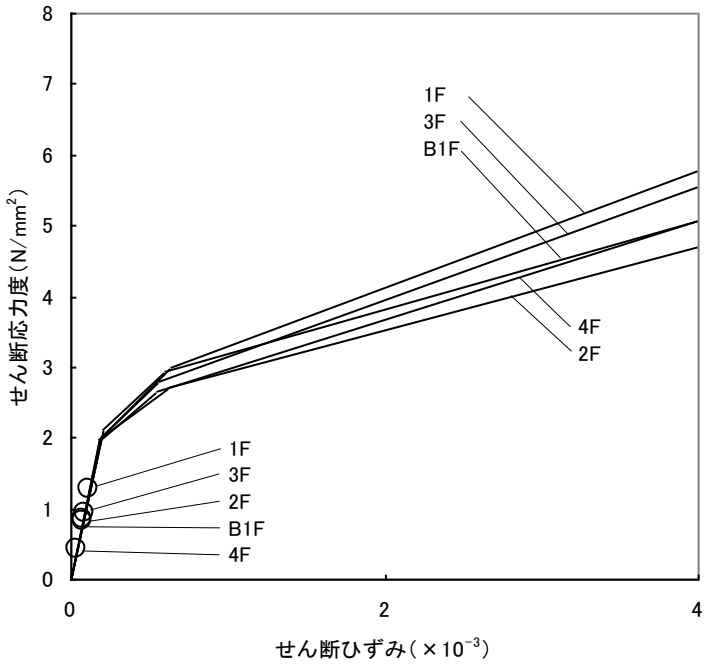


(a) NS 方向

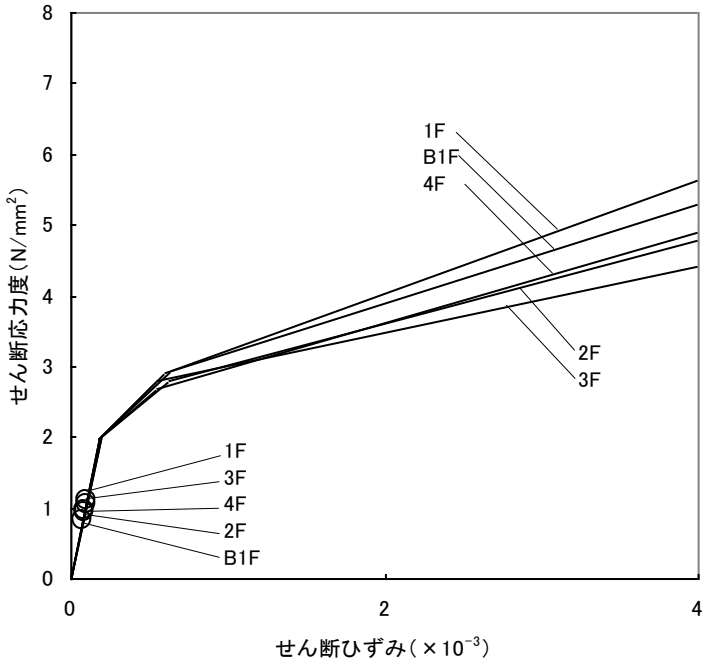


(b) EW 方向

図 3.3-9　せん断スケルトン曲線上の最大応答値（Ss-2）



(a) NS 方向



(b) EW 方向

図 3.3-10　せん断スケルトン曲線上の最大応答値（Ss-3）

4.　2 号機燃料取り出し用構台の構造強度及び耐震性について

4.1　概要

4.1.1　一般事項

2 号機燃料取り出し用構台は，原子炉建屋の南側に設置される基礎・構台・前室と，原子炉建屋に延伸して設置されるランウェイガーダ，弾性支承，オイルダンパから構成され，改良地盤上に設置する。また，ランウェイガーダ上を燃料取扱設備が走行する。ここでは，本燃料取り出し用構台の構造強度と耐震性について検討を行う。なお，2021 年 9 月 8 日の原子力規制委員会で示された耐震設計の考え方を踏まえ，安全機能の重要度，地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響（公衆への被ばく影響）や廃炉活動への影響等を考慮した上で，核燃料物質を非密封で扱う燃料加工施設や使用施設等における耐震クラス分類を参考にして適切な耐震設計上の区分を行うとともに，適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられる設計とし，具体的には B+クラスに分類される燃料取出設備の間接支持構造物として，B+クラス相当の地震力に対する耐震評価を行う。なお，耐震クラス分類に係わる被ばく評価については，「別冊２８　２号機　使用済燃料プールからの燃料取り出し設備に係る補足説明」（以下，別冊２８と記載）P113～P130 参照。

燃料取り出し用構台の構造強度は一次設計に対応した許容応力度設計を実施し，耐震性は検討用地震動（最大加速度 900gal）の 1/2 の最大加速度 450gal の地震動（以下，1/2Ss450 と記載）に対する地震応答解析を実施し，燃料取り出し用構台の損傷が原子炉建屋，使用済燃料プール及び使用済燃料ラックに波及的影響を及ぼさないことを確認する。ここで，波及的影響の確認は，燃料取り出し用構台が崩壊機構に至らないことを確認する。検討用地震動（最大加速度 900gal）は「東京電力福島第一原子力発電所の外部事象に対する防護の検討について」（東京電力株式会社，平成 26 年 10 月 3 日，特定原子力施設監視・評価検討会（第 27 回））にて提示した地震動とする。

なお，2 号機燃料取り出し用構台については，実施計画変更認可申請の審査期間中に，適用地震動見直しが行われたことから，一部の評価については，「福島第一原子力発電所『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中間報告書」（東京電力株式会社，平成 20 年 3 月 31 日）にて作成した解放基盤表面で定義される新規制基準によらない従来の Ss（最大加速度 600gal）（以下，Ss600 と記載）に対する地震応答解析結果との比較から耐震性を確認する。図 4.1.1-1 に燃料取り出し用構台のイメージを示す。

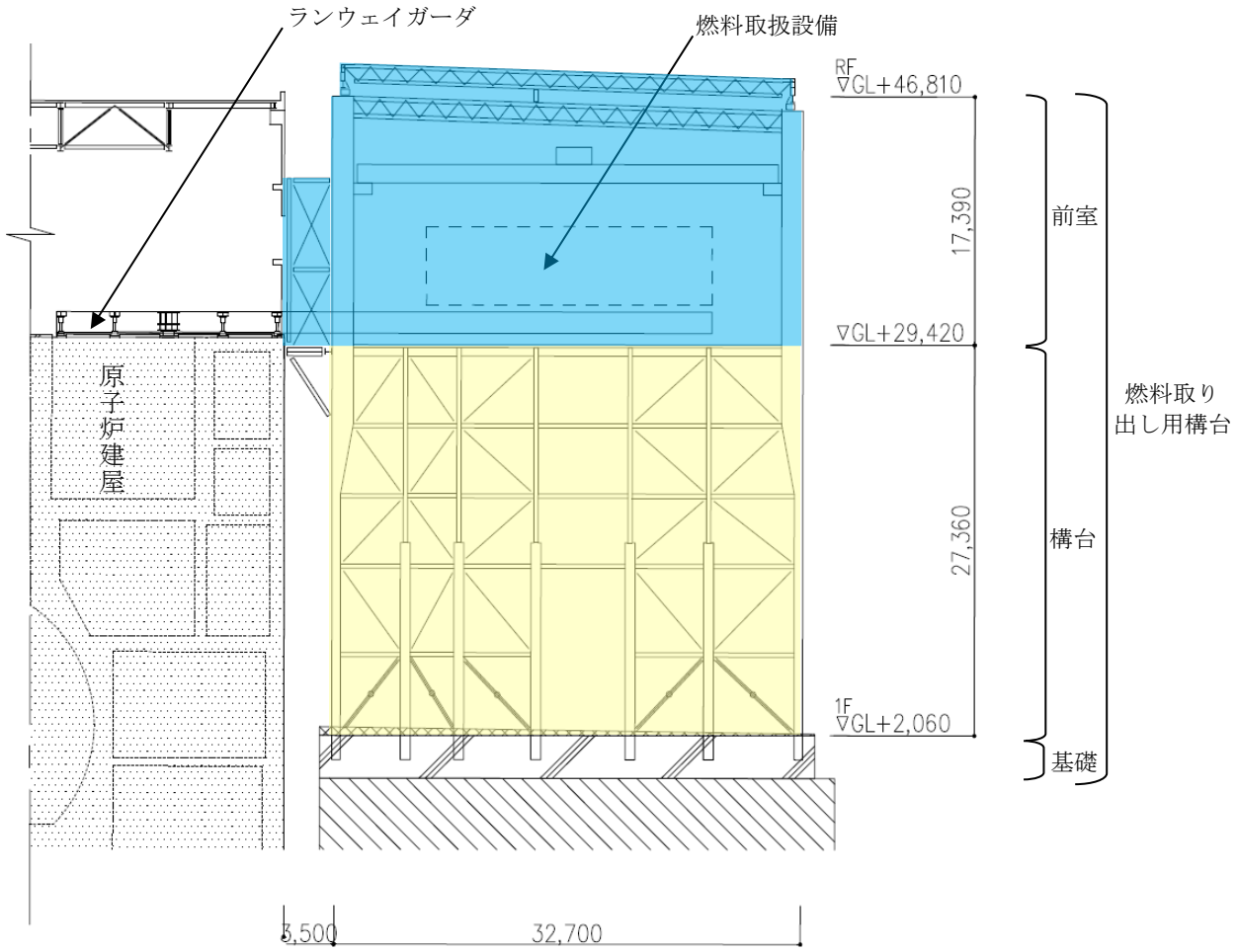


図 4.1.1-1　燃料取り出し用構台のイメージ（単位：mm）

燃料取り出し用構台の検討は原則として下記の法規及び基規準類に準拠して行う。

(1) 建築基準法・同施行令及び関連告示
(2) 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会，改訂版 2013 年８月発行）
(3) 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会，2018 年 12 月）
(4) 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（日本建築学会，2005 年 9 月）
(5) 2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書(国土交通省住宅局建築指導課･国土交通省 国土技術政策総合研究所･独立行政法人建築研究所･日本建築行政会議，2015 年)
(6) 鋼構造塑性設計指針（日本建築学会，2010 改定）
(7) 原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG 4601-1987)（日本電気協会 電気技術基準調査委員会，昭和 62 年 8 月 改訂）
(8) 原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG 4601-1991 追補版)（日本電気協会 電気技術基準調査委員会，平成 3 年 6 月 発刊）
(9) 原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC 4601-2015)（日本電気協会 原子力規格委員会，平成 27 年 6 月 改定）
(10) 乾式キャスク使用済燃料中間建屋の基礎構造の設計技術規程(JEAC 4616-2009)（日本電気協会 原子力規格委員会，平成 22 年 4 月 発刊）

4.1.2　構造概要

燃料取り出し用構台は，東西方向 27.0m，南北方向 32.7m，高さ 44.75m の矩形架構で構造種別は鉄骨造である。燃料取り出し用構台の概要を以下に示す。なお，オイルダンパ，弾性支承の設置目的及び役割については，別冊２８ P6 参照。

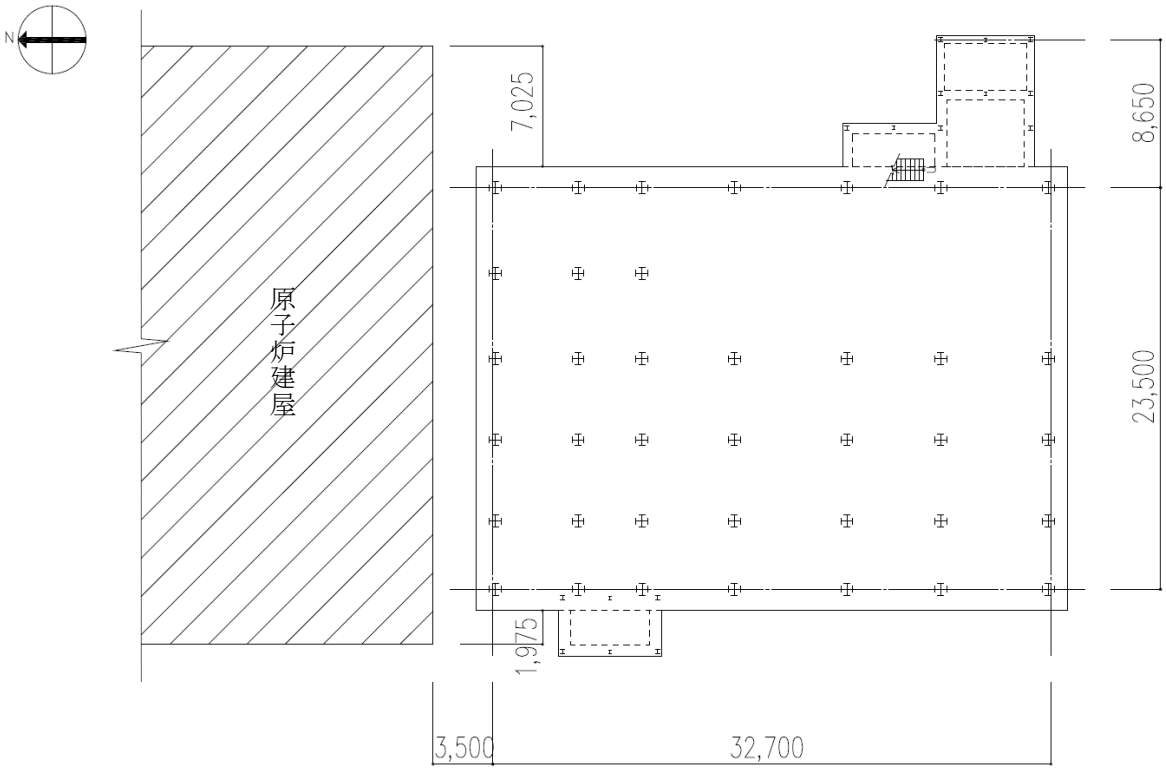
(1) 原子炉建屋と燃料取り出し用構台の間にオイルダンパ（水平棟間）を設置する。

(2) 構台は 5 層の柱・梁・ブレース及びオイルダンパ（鉛直）から成る架構とし，オイルダンパ（鉛直）はブレース状に配置する。

(3) 前室は，柱・梁・ブレース及び屋根トラスから成る架構とする。

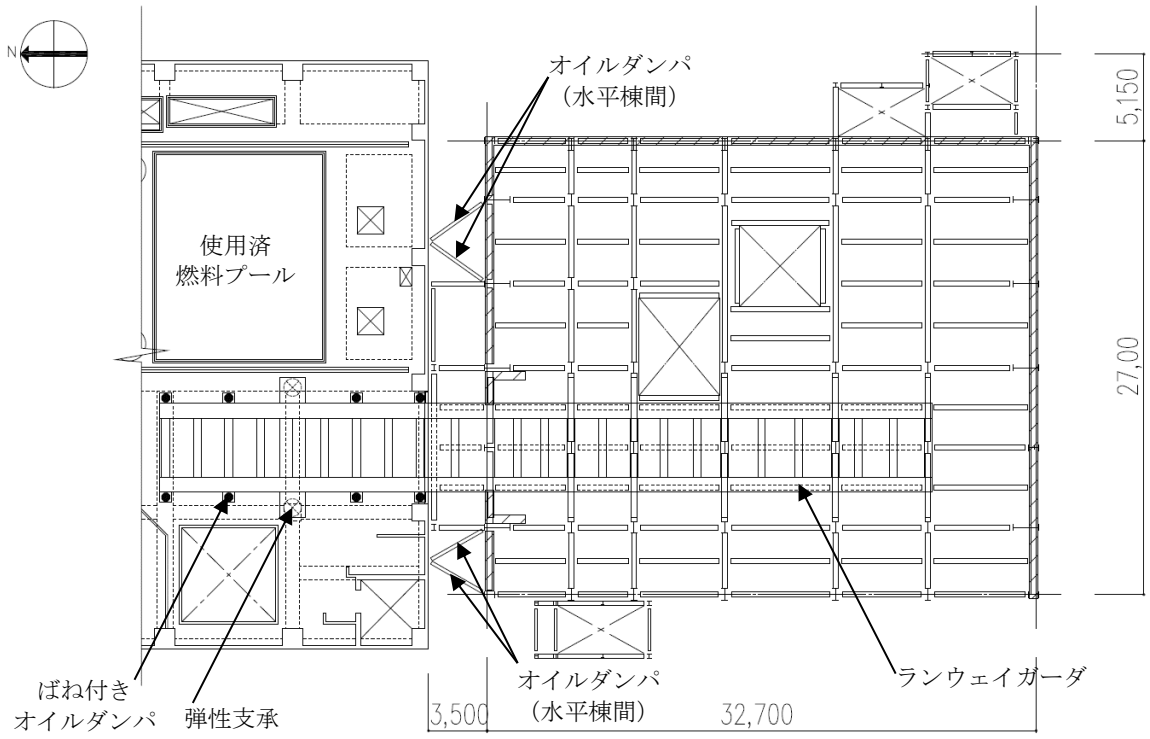
(4) ランウェイガーダは，原子炉建屋南側外壁に開口を設け，構台と原子炉建屋に跨がる形で設置する。構台内では EW 方向の大梁に接続し，水平方向，鉛直方向ともに支持する。原子炉建屋内では水平方向の支持は行わないため，構台からの片持形式であり，鉛直方向は弾性支承で支持する。なお，弾性支承と原子炉建屋床面の固定は行わない。また，ランウェイガーダと原子炉建屋床面との間にばね付きオイルダンパを設置する。ばね付きオイルダンパの下面にはすべり材を取付け，原子炉建屋床面上に設置したすべり板との間で接触させ，水平方向に滑動可能な構造とする。

燃料取り出し用構台の概要図を図 4.1.2-1～図 4.1.2-3 に示す。

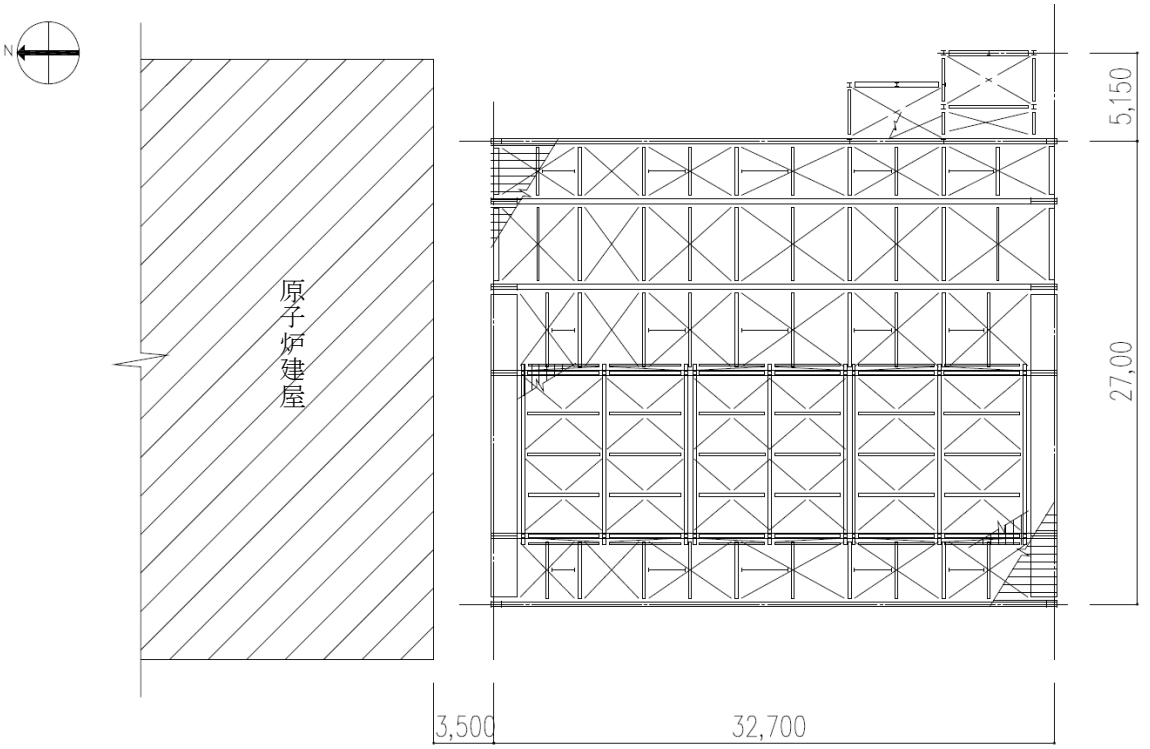


(a) 1F 伏図(G.L.2,020)

図 4.1.2-1　燃料取り出し用構台の概要（単位：mm）

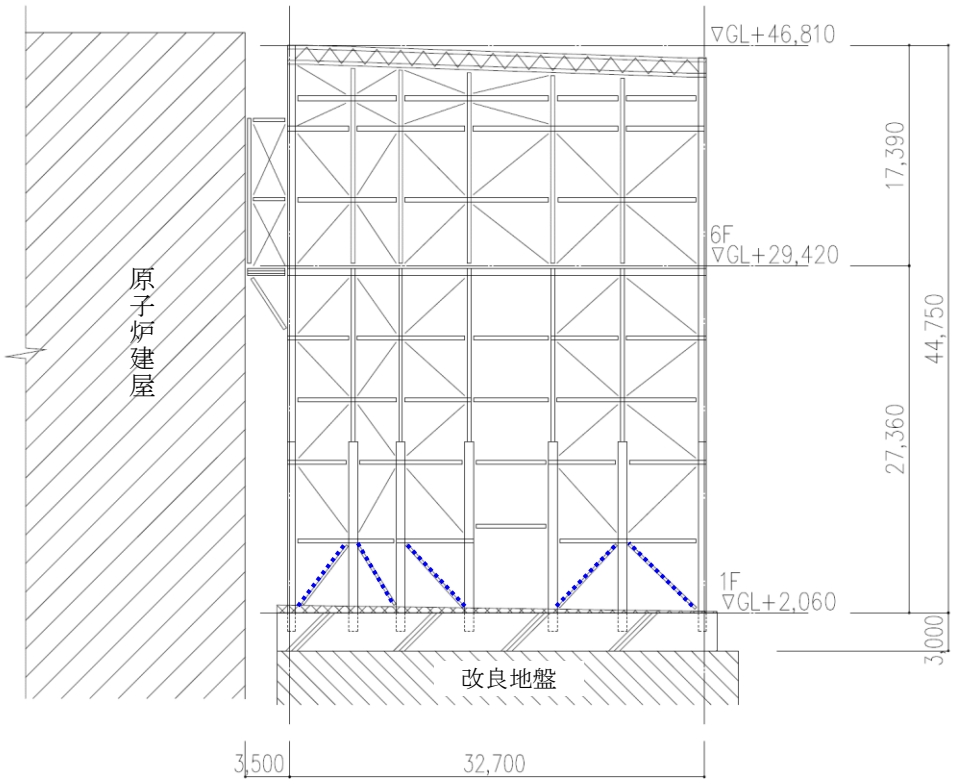


(a) 6F 伏図(G. L. 29, 420)

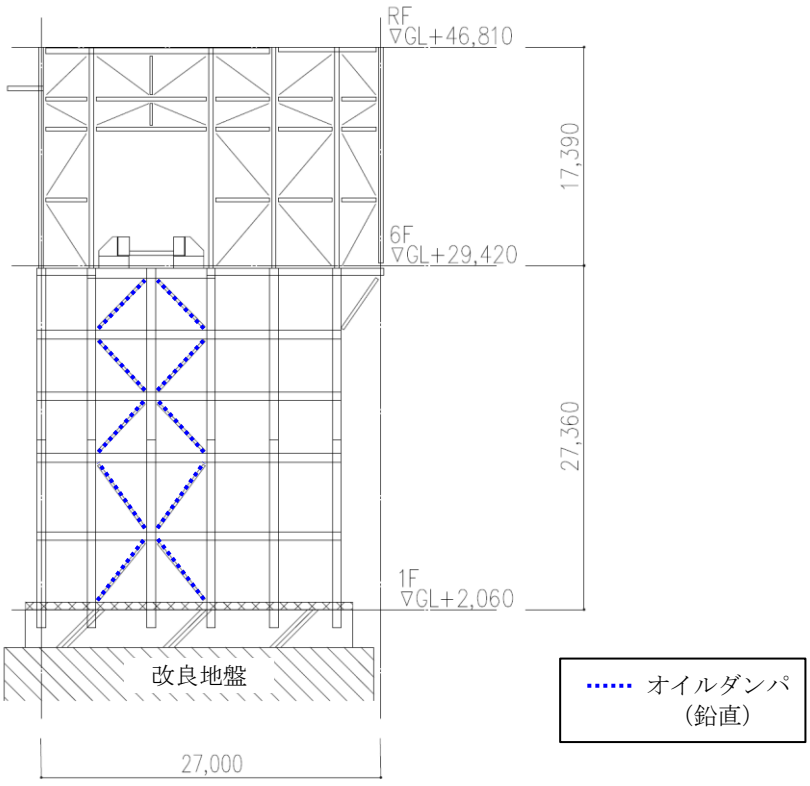


(b) 屋根伏図

図 4.1.2-2　燃料取り出し用構台の概要（単位：mm）



(a) 構台最西側軸組図



(b) 構台最北側軸組図

図 4.1.2-3　燃料取り出し用構台の概要（単位：mm）

4.1.3　検討フロー

燃料取り出し用構台の構造強度及び耐震性の検討フローを図 4.1.3-1 に示す。

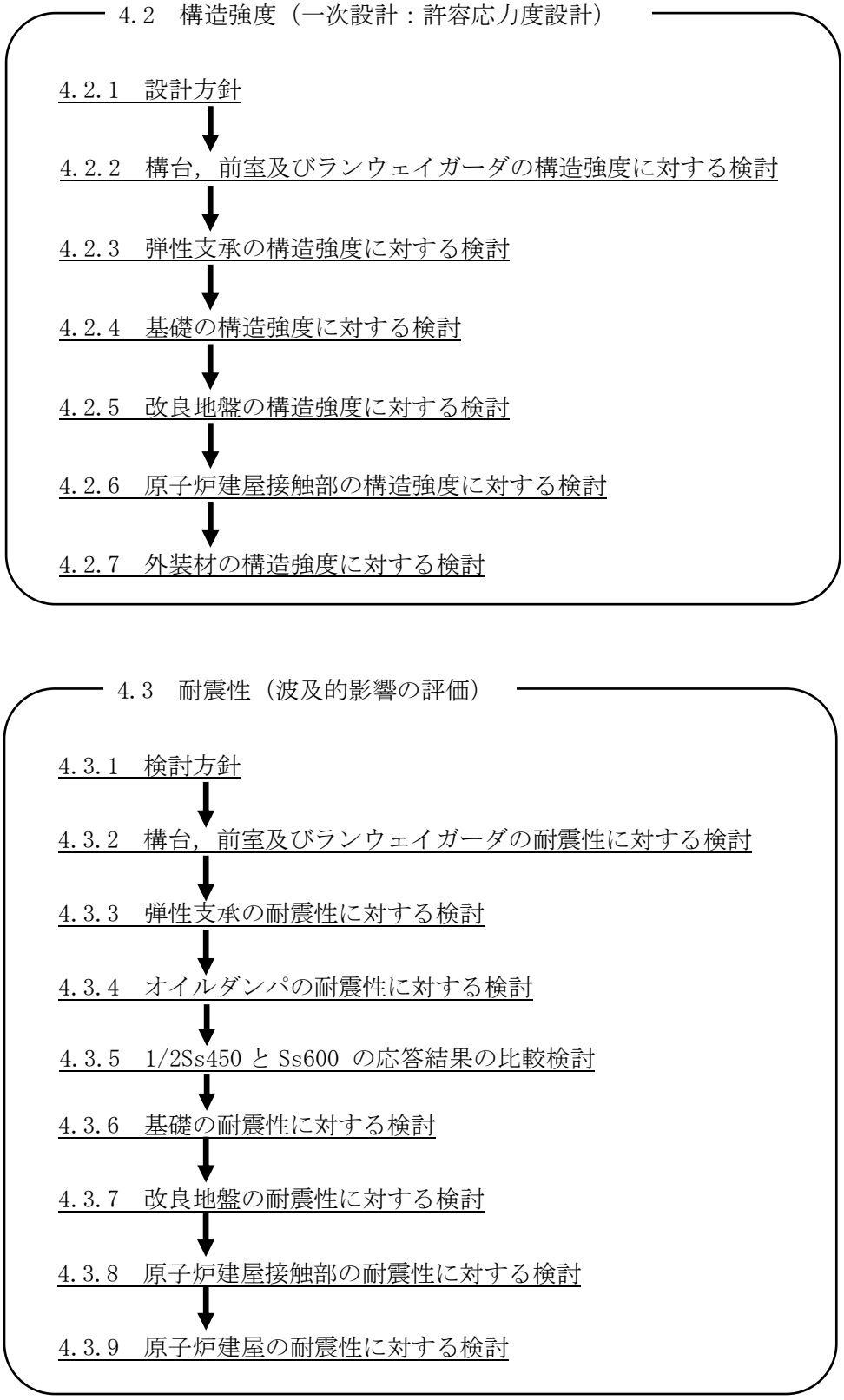


図 4.1.3-1　燃料取り出し用構台の検討フロー

4.2　構造強度

4.2.1　設計方針

構造強度の検討は，構台，前室及びランウェイガーダ，弾性支承，基礎及び改良地盤について許容応力度設計を実施する。

(1)　使用材料及び許容応力度

使用材料の物性値及び許容応力度を表 4.2.1-1～表 4.2.1-3 に示す。なお，弾性支承の詳細仕様については，別冊２８ P46，P47 参照。

表 4.2.1-1　燃料取り出し用構台の物性値及び許容応力度

材料定数

部位	材料	ヤング係数 E (N/mm^2)	ポアソン比 ν	単位体積重量 γ (kN/m^3)
架　　構	鉄骨	2.05×10^5	0.3	77.0
床・基礎スラブ	コンクリート	2.27×10^4	0.2	23.0

コンクリートの許容応力度　（単位：N/mm^2）

設計基準強度	長期			短期		
24	圧縮	引張	せん断	圧縮	引張	せん断
	8.0	－	0.73	16.0	－	1.095

鉄筋の許容応力度　（単位：N/mm^2）

記号	鉄筋径	長期		短期	
		引張及び圧縮	せん断補強	引張及び圧縮	せん断補強
SD295	－	195	195	295	295
SD345	D29 未満	215	195	345	345
	D29 以上	195			

構造用鋼材の許容応力度　（単位：N/mm^2）

板厚	材料	基準強度 F	許容応力度
T≦40mm	SGLCC	205	JIS G 3321 に従い，左記 F の値（降伏点又は耐力）より求める
	SS400	235 *	「建設省告示第 2464 号」に従い，左記 F の値より求める *:終局強度は基準強度 F 値の 1.1 倍とする。
	SM490A，STK490	325 *	
	SN490B，SN490C	325 *	
T＞40mm	SN490B	295 *	
	TMCP325	325 *	

表 4.2.1-2　弾性支承の物性値

弾性支承の物性値

種別	ゴム			鋼　材	
積層ゴム	ゴム径 (mm)	鉛直剛性 ($\times 10^3$ kN/m)	水平剛性 ($\times 10^3$ kN/m)	フランジ プレート	内部鋼板
	750	2140	0*	SS400	SS400

＊：ローラー支承と仮定

表 4.2.1-3　改良地盤・支持地盤の許容応力度

改良地盤の許容応力度　　(単位：kN/m^2)

設計基準強度=3000*1	長期			短期		
	圧縮	引張	せん断	圧縮	引張	せん断
改良地盤	1000	－	200	2000	－	400
断面欠損を考慮*2	980	－	150	1960	－	300

＊1：設計圧縮強度 = 5000kN/m^2

＊2：「JEAC4616-2009」に準拠し，断面欠損を鉛直方向に 2%，せん断方向に 25%考慮した

支持地盤の許容支持力度　　(単位：kN/m^2)

種別	長期*3	短期*3
泥岩（岩盤）	1960	3920

＊3：「福島第一原子力発電所第４号機工事計画認可申請書」による

(2)　荷重及び荷重組合せ

設計で考慮する荷重を以下に示す。

1)　鉛直荷重（VL）

燃料取り出し用構台に作用する鉛直方向の荷重で，固定荷重，機器荷重，配管荷重及び積載荷重とする。

・燃料取扱設備荷重（CL）

燃料取扱設備による荷重を表 4.2.1-4 に示す。なお，燃料取扱設備位置の選定根拠については，別冊２８ P52～P54 参照。

構内用輸送容器揚重時を想定し，構内用輸送容器を含んだ重量とする。

表 4.2.1-4　燃料取扱設備荷重

位　置	合計重量(t)
原子炉建屋内(A)	310
前室内(B)	310

2)　積雪荷重（SL）

積雪荷重は建築基準法施行令第 86 条及び福島県建築基準法施行規則細則に準拠し以下の条件とする。

なお，国土交通省告示 594 号による多雪区域以外の区域における積雪後の降雨を見込んだ割増係数を乗じた積雪荷重を考慮する。

積雪量：30cm，単位荷重：20N/m^2/cm

3)　風圧力（WL）

風圧力は建築基準法施行令第 87 条および建設省告示第 1454 号に基づき，基準風速を 30m/s，地表面粗度区分Ⅱとして算定する。速度圧の算定結果を表 4.2.1-5 に示す。

表 4.2.1-5　速度圧の算定結果

建物高さ* H(m)	平均風速の 鉛直分布係数 Er	ガスト 影響係数 Gf	建物高さと粗度 区分による係数 E	基準風速 Vo(m/s)	速度圧 q(N/m^2)
46.81	1.26	2.00	3.16	30	1707

＊：建物高さは，安全側に水上鉄骨天端とする

4)　地震荷重（K）

燃料取り出し用構台に作用させる地震荷重は，G.L.+2.06m（構台基礎上端レベル）を基準面とした構台の水平地震力の算定結果より設定する。水平地震力は下式より算定し，算定結果を表4.2.1-6および表4.2.1-7に示す。

$$Qi = n \cdot Ci \cdot Wi$$

$$Ci = Z \cdot Rt \cdot Ai \cdot Co$$

ここで，

Qi：層せん断力（kN）

n　：施設の重要度に応じた係数

建築基準法で定める地震力の1.5倍を考慮する。

Ci：地震層せん断力係数

Wi：当該部分が支える重量（kN）

Z　：地震地域係数（Z=1.0）

Rt　：振動特性係数（Rt=0.8）

Ai　：地震層せん断力係数の高さ方向の分布係数で，燃料取り出し用構台の固有値を用いたモーダル解析法（二乗和平方根法）により求める。

C_0　：標準せん断力係数（C_0=0.2）

i層の水平震度kiは，下式によって算定する。

$$Pi=Q_i-Q_{i-1}$$

$$ki=Pi/wi$$

ここで，

Pi：当該階とその直下階の水平地震力の差（kN）

wi：各階重量（kN）

表 4.2.1-6　燃料取り出し用構台の水平震度の算定結果（NS 方向）

階	標 高 G.L.(m)	各階重量 wi(kN)	Wi (kN)	Ai	n・Ci	Qi (kN)	Pi (kN)	水平震度 ki
R	46.81	3523.2	—	—	—	—	1068	0.304
8	46.81～40.42	2275.1	3523.2	1.263	0.303	1068	655	0.288
7	40.42～34.82	1316.1	5798.3	1.238	0.297	1722	354	0.269
6	34.82～29.42	22168.4	7114.4	1.216	0.293	2076	5631	0.254
5	29.42～24.30	2805.8	29282.8	1.097	0.263	7707	638	0.228
4	24.30～19.38	2426.8	32088.5	1.084	0.260	8345	487	0.201
3	19.38～14.46	2957.4	34515.3	1.066	0.257	8832	524	0.178
2	14.46～8.26	3530.4	37472.7	1.040	0.249	9356	484	0.138
1	8.26～2.06	—	41003.1	1.000	0.240	9841	—	—

表 4.2.1-7　燃料取り出し用構台の水平震度の算定結果（EW 方向）

階	標 高 G.L.(m)	各階重量 wi(kN)	Wi (kN)	Ai	n・Ci	Qi (kN)	Pi (kN)	水平震度 ki
R	46.81	3523.2	—	—	—	—	1147	0.326
8	46.81～40.42	2275.1	3523.2	1.357	0.326	1147	719	0.317
7	40.42～34.82	1316.1	5798.3	1.341	0.323	1866	376	0.286
6	34.82～29.42	22168.4	7114.4	1.313	0.315	2242	6033	0.273
5	29.42～24.30	2805.8	29282.8	1.178	0.282	8276	609	0.217
4	24.30～19.38	2426.8	32088.5	1.154	0.278	8884	394	0.163
3	19.38～14.46	2957.4	34515.3	1.120	0.269	9278	339	0.115
2	14.46～8.26	3530.4	37472.7	1.069	0.257	9617	224	0.064
1	8.26～2.06	—	41003.1	1.000	0.240	9841	—	—

5)　荷重組合せ

設計で考慮する燃料取扱設備の位置を図 4.2.1-1 に，荷重組合せを表 4.2.1-8 に示す。

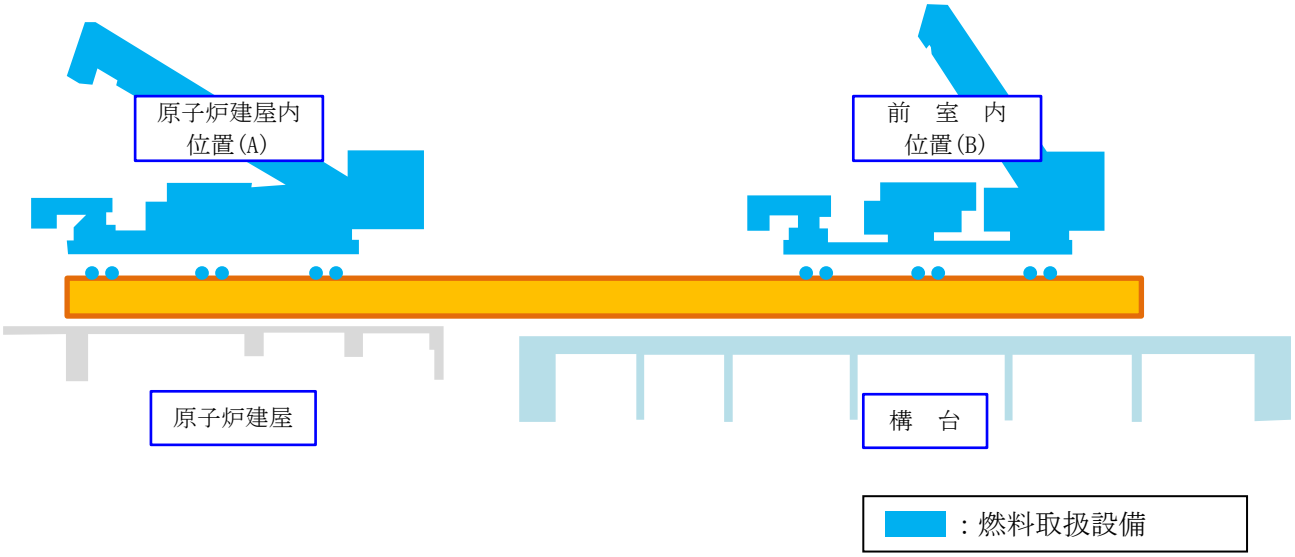


図 4.2.1-1　燃料取扱設備の位置

表 4.2.1-8　荷重組合せ

想定する状態	荷重ケース	荷重組合せ内容	許容応力度
常時	C	VL	長期
積雪時	S	VL+SL	短期
暴風時	W	VL+WL	
地震時	E1	VL+K(+NS)	
	E2	VL+K(-NS)	
	E3	VL+K(+EW)	
	E4	VL+K(-EW)	

注：各荷重ケースにおいて，燃料取扱設備の位置は原子炉建屋内位置(A)と前室内位置(B)の 2 ケース考慮する。

地震時と暴風時の燃料取り出し用構台の層せん断力について，風荷重の受圧面積が大きい EW 方向で比較した結果を図 4.2.1-2 に示す。図 4.2.1-2 より，地震時の層せん断力は暴風時の層せん断力を包絡しており，支配的な荷重である。

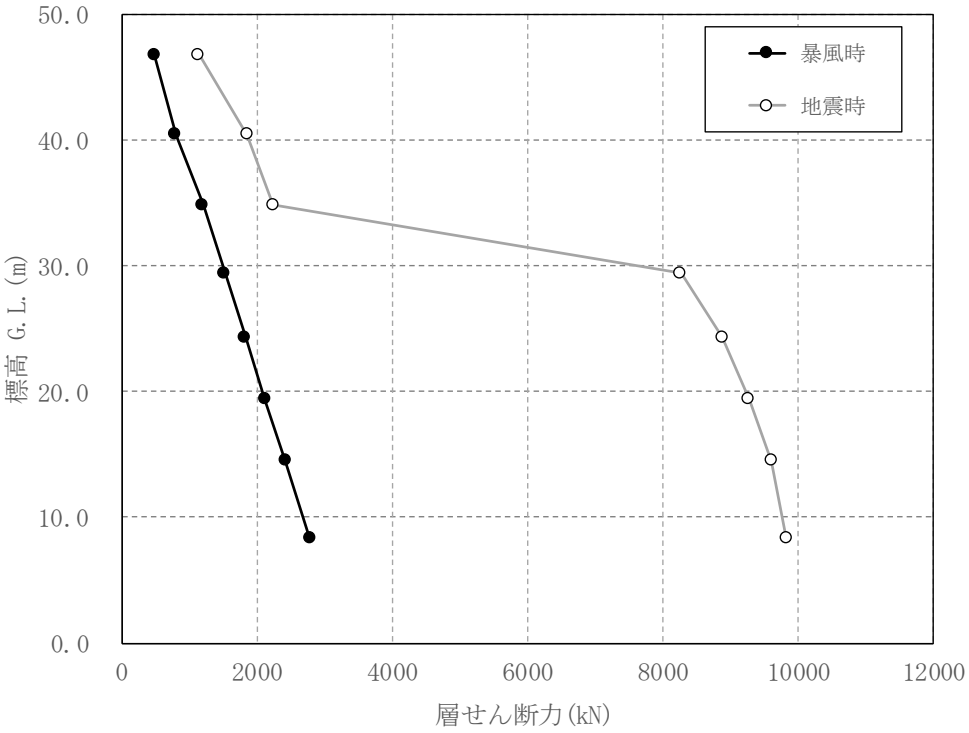


図 4.2.1-2　地震時と暴風時の層せん断力の比較（EW 方向）

4.2.2　構台，前室及びランウェイガーダの構造強度に対する検討

(1) 解析モデル

架構の解析モデルは，構台及び前室とランウェイガーダを構成する主要な鉄骨部材からなる立体架構モデルとする。図 4.2.2-1 に架構の立体解析モデルを示す。解析モデルの柱脚部は固定とする。

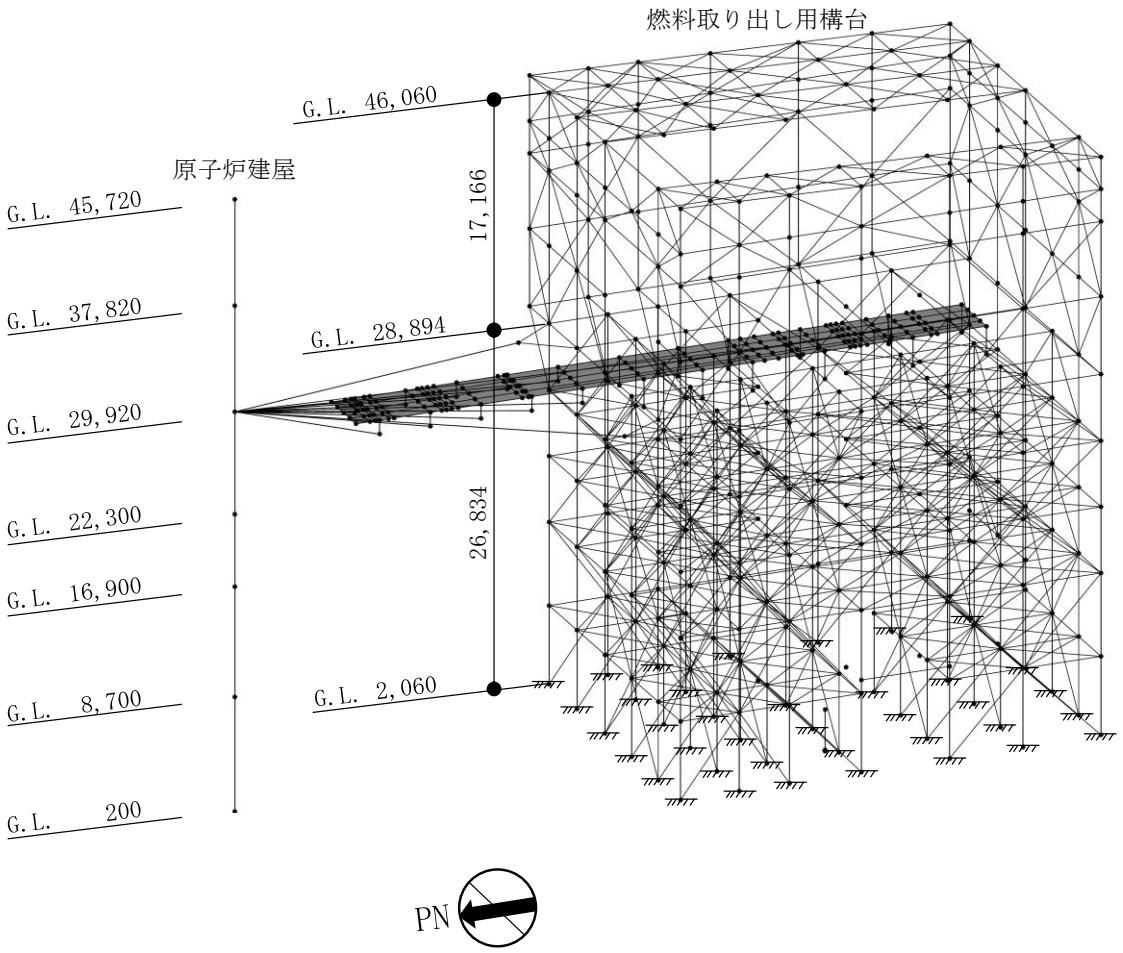


図 4.2.2-1　解析モデル

(2)　断面検討

1)　柱及び梁部材の検討

部材の応力度比は，「鋼構造設計規準」に従い，2 方向の曲げ，軸力及びせん断力の各最大応力と各許容応力度との比を組み合わせた値で表される。

・軸圧縮の場合　　$\sqrt{\left(\frac{\sigma_c}{f_c}+\frac{\sigma_{by}}{f_{by}}+\frac{\sigma_{bz}}{f_{bz}}\right)^2+\left(\frac{\tau}{f_s}\right)^2} \leqq 1$

・軸引張の場合　　$\sqrt{\left(\frac{\sigma_t}{f_t}+\frac{\sigma_{by}}{f_{by}}+\frac{\sigma_{bz}}{f_{bz}}\right)^2+\left(\frac{\tau}{f_s}\right)^2} \leqq 1$

ここで，　　σ_c，σ_t：圧縮応力度（N/A）及び引張応力度（T/A）(N/mm^2)

N：圧縮力(N)，T：引張力(N)，A：断面積(mm^2)

σ_{by}，σ_{bz}：強軸まわりの曲げ応力度（M_y/Z_y）

及び弱軸まわりの曲げ応力度（M_z/Z_z）(N/mm^2)

M_y，Z_y：強軸まわりの曲げモーメント(Nm)及び断面係数(mm^3)

M_z，Z_z：弱軸まわりの曲げモーメント(Nm)及び断面係数(mm^3)

τ：せん断応力度（Q/A_s）(N/mm^2)

Q：せん断力(N)，A_s：せん断断面積(mm^2)

f_c：許容圧縮応力度(N/mm^2)

f_t：許容引張応力度(N/mm^2)

f_{by}：強軸まわりの許容曲げ応力度(N/mm^2)

f_{bz}：弱軸まわりの許容曲げ応力度(N/mm^2)

f_s：許容せん断応力度(N/mm^2)

2)　トラス梁の斜材，ブレースの検討

応力度比の検討は，軸力に対し下式にて検討を行う。

・軸圧縮の場合　　$\frac{\sigma_c}{f_c} \leqq 1$

・軸引張の場合　　$\frac{\sigma_t}{f_t} \leqq 1$

ここで，　　σ_c，σ_t：圧縮応力度（N/A）及び引張応力度（T/A）(N/mm^2)

N：圧縮力(N)，T：引張力(N)，A：断面積(mm^2)

f_c：許容圧縮応力度(N/mm^2)

f_t：許容引張応力度(N/mm^2)

表 4.2.2-1 に常時に応力度比が最大となる部位の断面検討結果を，図 4.2.2-2 に応力度比が最大となる部材を示した図を示す。同様に，表 4.2.2-2 に地震時に応力度比が最大となる部位の断面検討結果を，図 4.2.2-3 に応力度比が最大となる部位を示した図を示す。

断面検討の結果，全ての部材に対する応力度比が 1 以下になることを確認した。

表 4.2.2-1　断面検討結果（常時）

部　位		部材形状(mm) 〈使用材料〉	荷重ケース (位置)	作用応力度 (N/mm^2)		許容応力度 (N/mm^2)		応力度比	判定
前室	ⓐ柱	H-1500×400 ×16×32 〈SM490A〉	C (A,B)	σ_c	7.4	f_c	203	0.32	O.K.
				σ_{by}	49.7	f_{by}	211		
				σ_{bz}	9.4	f_{bz}	216		
				τ	4.6	f_s	125		
	ⓑ梁	H-1500×500 ×19×40 〈SM490A〉	C (A,B)	σ_t	0.2	f_t	216	0.11	O.K.
				σ_{by}	5.1	f_{by}	193		
				σ_{bz}	16.0	f_{bz}	216		
				τ	1.2	f_s	125		
	ⓒ鉛直 ブレース	ϕ-355.6×9.5 〈STK490〉	C (A,B)	σ_c	30.2	f_c	157	0.20	O.K.
	ⓓ屋根トラス上下弦材	H-300×300×16 ×16 〈SM490A〉	C (A,B)	σ_c	76.4	f_c	174	0.45	O.K.
				σ_{bz}	2.1	f_{bz}	216		
				τ	0.2	f_s	125		
	ⓔ屋根トラス斜材	2[s-150×75× 6.5×10 〈SS400〉	C (A,B)	σ_c	59.9	f_c	136	0.45	O.K.
	ⓕランウェイガーダ	□-1500×900× (80+40)×80 〈TMCP325〉	C (B)	σ_c	0.0	f_c	216	0.23	O.K.
				σ_b	45.7	f_b	216		
				τ	9.2	f_s	125		
構台	ⓖ柱	H-700×300 ×16×32 〈SM490A〉	C (B)	σ_c	48.7	f_c	144	0.48	O.K.
				σ_{by}	20.5	f_{by}	161		
				σ_{bz}	2.1	f_{bz}	216		
				τ	3.8	f_s	125		
	ⓗ梁	H-800×350 ×19×36 〈SM490A〉	C (B)	σ_c	0.0	f_c	200	0.44	O.K.
				σ_{by}	59.0	f_{by}	207		
				σ_{bz}	0.0	f_{bz}	216		
				τ	41.4	f_s	125		
	ⓘ鉛直 ブレース	ϕ-355.6×9.5 〈STK490〉	C (B)	σ_c	21.4	f_c	142	0.16	O.K.

＊1：ⓐ～ⓘの符号は図 4.2.2-2 の応力検討箇所を示す

＊2：(　)内は，燃料取扱設備の位置を示す。（表 4.2.1-4 参照）

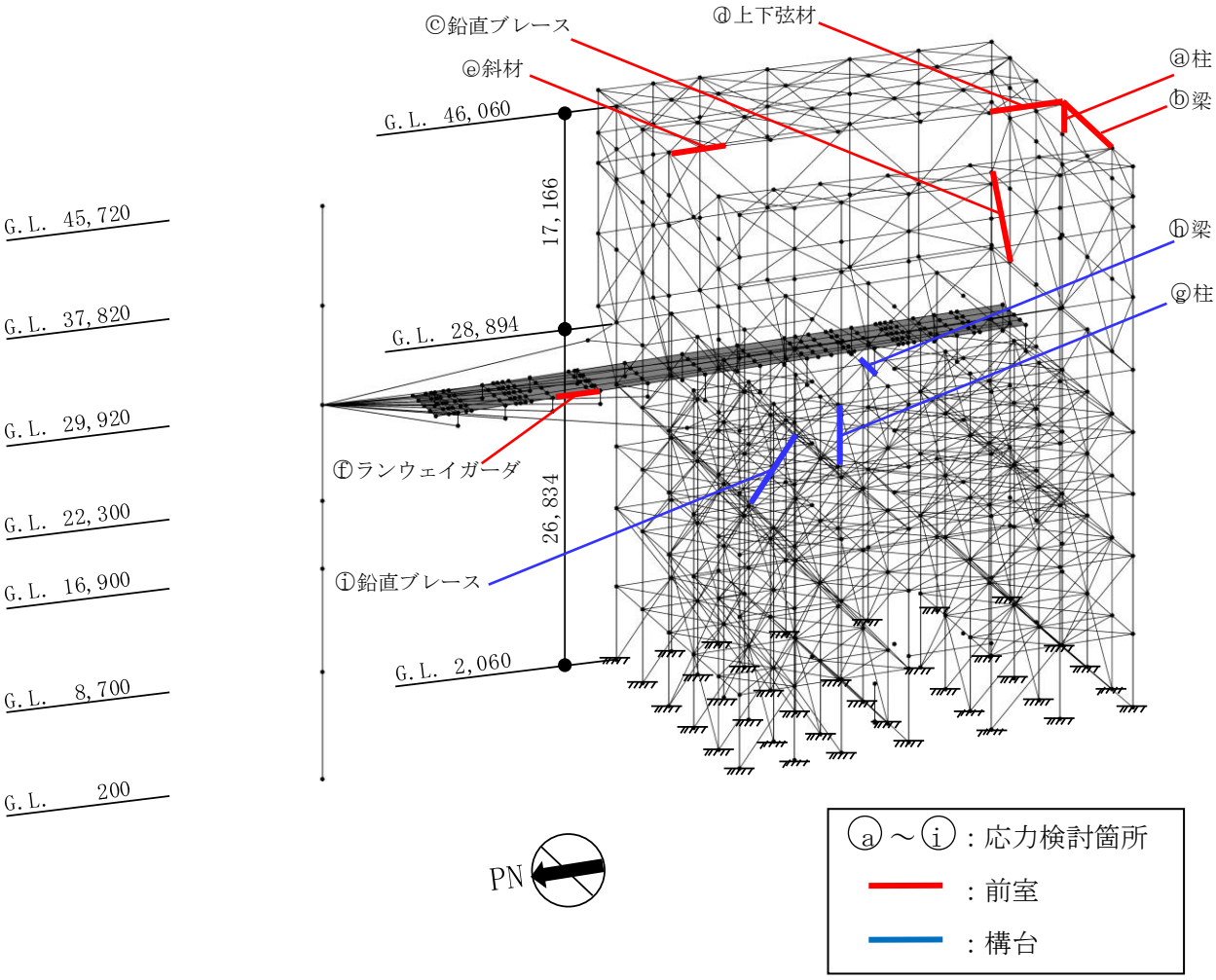


図 4.2.2-2　応力度比が最大となる部材（常時）

表 4.2.2-2　断面検討結果（地震時）

部　位		部材形状(mm) 〈使用材料〉	荷重ケース (位置)	作用応力度 (N/mm^2)		許容応力度 (N/mm^2)		応力度比	判定
前室	ⓐ柱	H-1500×400 ×16×32 〈SM490A〉	E3 (B)	σ_c	7.8	f_c	304	0.25	O.K.
				σ_{by}	48.5	f_{by}	316		
				σ_{bz}	21.1	f_{bz}	324		
				τ	4.4	f_s	187		
	ⓑ梁	H-390×300 ×10×16 〈SM490A〉	E3 (B)	σ_t	9.2	f_t	192	0.17	O.K.
				σ_{by}	0.0	f_{by}	220		
				σ_{bz}	37.5	f_{bz}	324		
				τ	0.6	f_s	187		
	ⓒ鉛直 ブレース	φ-406.4×12.7 〈STK490〉	E3 (A)	σ_c	76.2	f_c	253	0.31	O.K.
	ⓓ水平ブレース	2[s-150×75×9 ×12.5 〈SS400〉	E3 (A)	σ_t	35.8	f_t	234	0.16	O.K.
	ⓔ屋根トラス上下弦材	H-300×300×16 ×16 〈SM490A〉	E4 (A)	σ_c	80.3	f_c	261	0.35	O.K.
				σ_{bz}	10.5	f_{bz}	324		
				τ	0.3	f_s	187		
	ⓕ屋根トラス斜材	2[s-150×75× 6.5×10 〈SS400〉	E2 (A,B)	σ_c	61.0	f_c	204	0.30	O.K.
	ⓖランウェイガーダ	□-1500×900× (80+40)×80 〈TMCP325〉	E3 (B)	σ_c	14.3	f_c	324	0.20	O.K.
				σ_b	45.7	f_b	324		
				τ	9.2	f_s	187		
構台	ⓗ柱	(X)H-700×300 ×40×40 (Y)H-700×350 ×40×40 〈SM490A〉	E1 (A)	σ_c	42.5	f_c	285	0.67	O.K.
				σ_{by}	11.2	f_{by}	312		
				σ_{bz}	154.4	f_{bz}	324		
				τ	7.3	f_s	187		
	ⓘ梁	H-700×350 ×19×36 〈SM490A〉	E3 (A)	σ_c	1.0	f_c	241	0.57	O.K.
				σ_{by}	134.0	f_{by}	261		
				σ_{bz}	2.1	f_{bz}	324		
				τ	38.1	f_s	187		
	ⓙ鉛直 ブレース	φ-406.4×9.5 〈STK490〉	E2 (A)	σ_t	83.8	f_t	231	0.37	O.K.
	ⓚ水平 ブレース	[-180×75×7× 10.5 〈SS400〉	E1 (A)	σ_t	44.5	f_t	234	0.20	O.K.

＊1：ⓐ～ⓚの符号は図 4.2.2-3 の応力検討箇所を示す

＊2：(　)内は，燃料取扱設備の位置を示す。(表 4.2.1-4 参照)

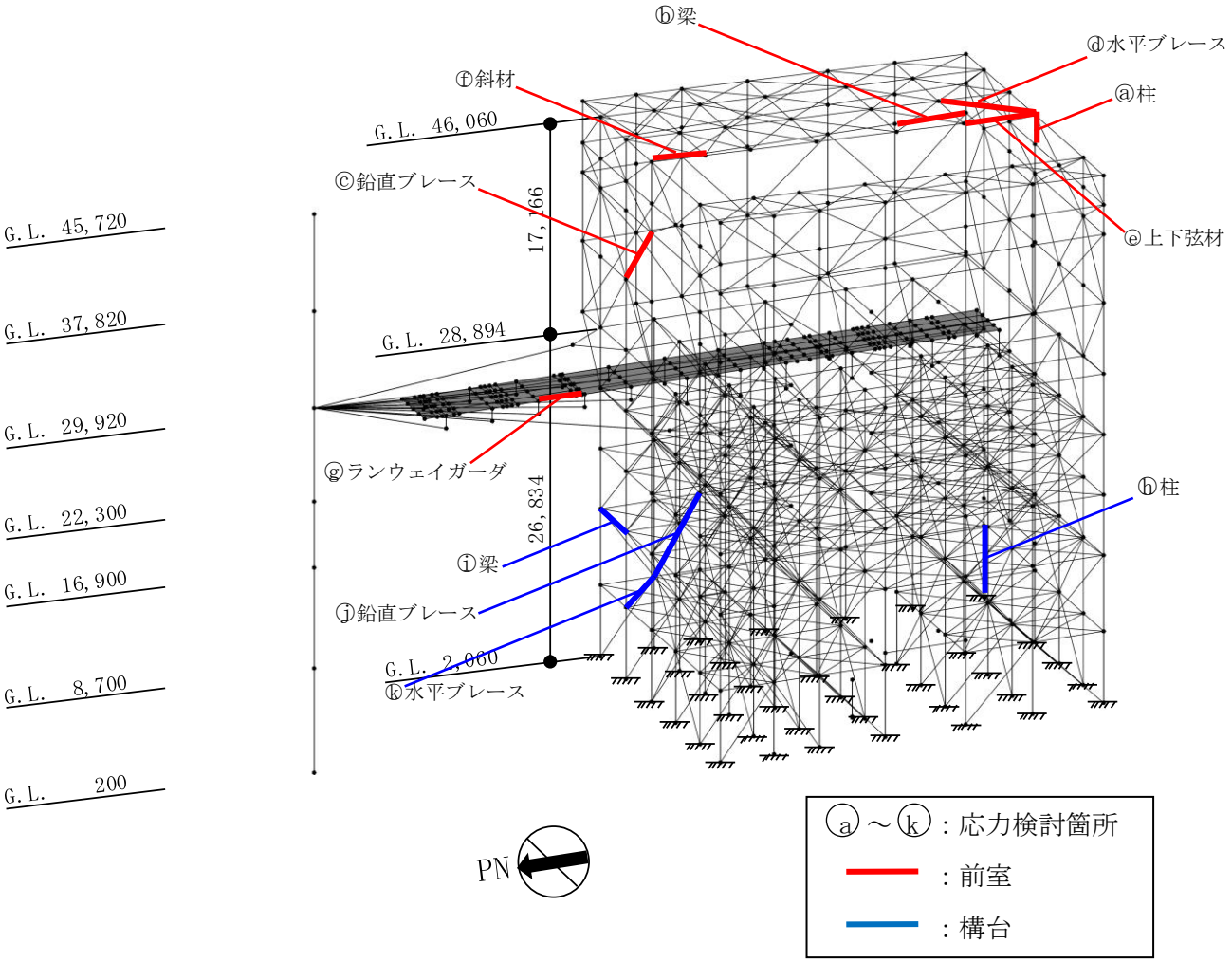


図 4.2.2-3　応力度比が最大となる部材（地震時）

4.2.3　弾性支承の構造強度に対する検討

弾性支承に作用する圧縮力による面圧が，弾性支承の圧縮限界強度以下となることを確認する。圧縮限界強度はゴム材料の弾性係数に応じて製品が規定する数値である。

検討の結果，最大圧縮面圧が圧縮限界強度以下となることを確認した。

表 4.2.3-1　弾性支承の構造強度に対する検討結果

設置位置	最大面圧発生ケース (位置)*	圧縮限界強度 σ_v (N/mm^2)	最大圧縮面圧 σ_D (N/mm^2)	σ_D/σ_v	判定
西側	E2(A)	43.00	6.37	0.15	O.K.
東側	E2(A)	43.00	6.36	0.15	O.K.

*：(　)内は，燃料取扱設備の位置を示す。(表 4.2.1-4 参照)

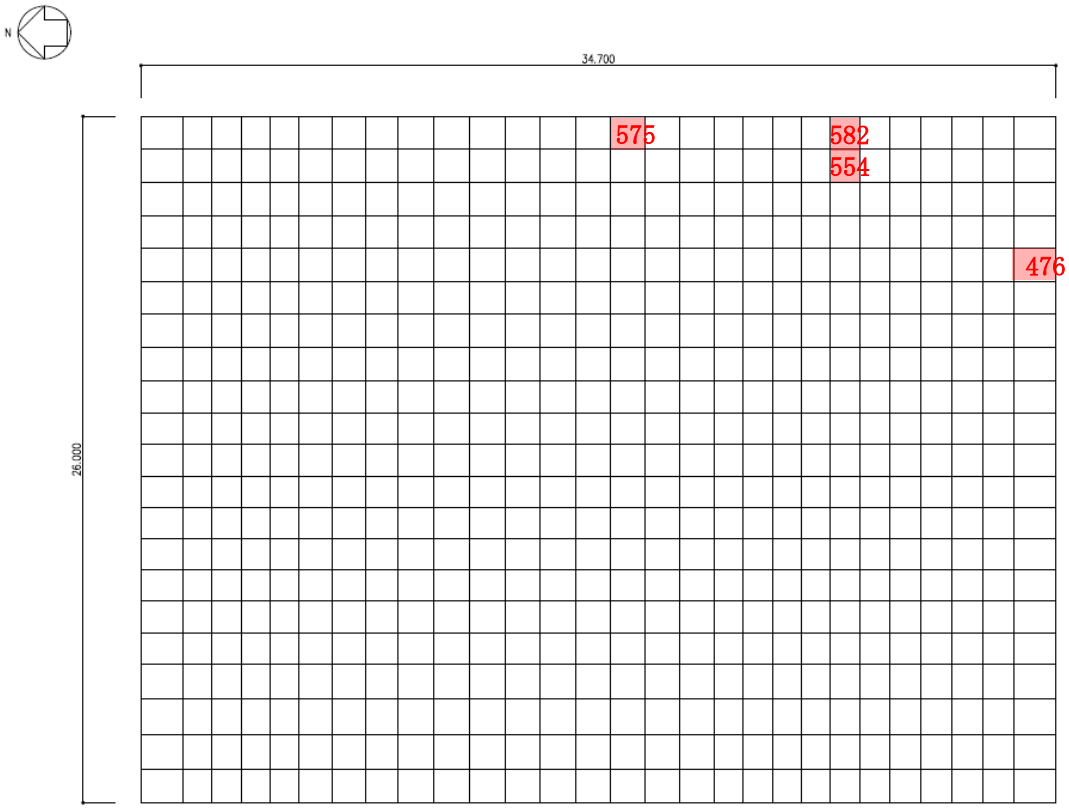
4.2.4　基礎の構造強度に対する検討

(1)　設計方針

基礎の応力解析は，弾性地盤上に支持された版として有限要素法を用いて行い，解析モデルは図4.2.4-1 に示すように四辺形の均質等方な板要素により構成し，支持地盤は等価な弾性ばねとしてモデル化する。但し，浮き上がった場合は，ばねの剛性が０となる。

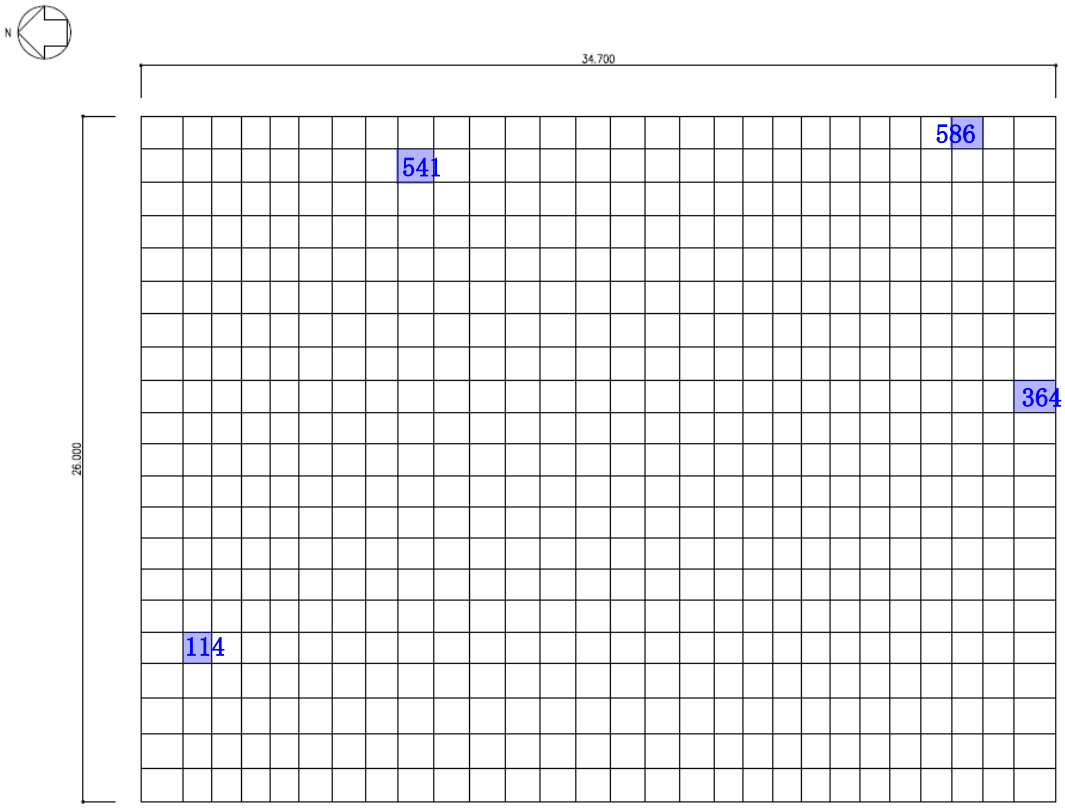
(2)　解析モデル

解析モデルを図 4.2.4-1，図 4.2.4-2 に示す。



凡例　###：断面算定要素(常時:C)（数字は要素番号）

図 4.2.4-1　解析モデル図(常時:C)（単位：mm）



凡例　###：断面算定要素(地震時:E1～E4)（数字は要素番号）

図 4.2.4-2　解析モデル図（単位：mm）

(3)　断面検討

組合せた応力より，各要素の必要鉄筋比を「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」より求め，設計配筋が必要鉄筋比を上回ること及び面外せん断力が許容せん断力以下であることを確認する。必要鉄筋比が最大となる要素と設計面外せん断力と許容せん断力との比が最大になる要素の断面検討結果を表 4.2.4-1，表 4.2.4-2 に示し，配筋図を図 4.2.4-3 に示す。

断面検討の結果，設計配筋は必要鉄筋比を上回り，面外せん断力は許容せん断力以下であることを確認した。

表 4.2.4-1　断面検討結果（常時:C）

要素番号	方向	荷重ケース（位置）*1	設計応力		N/(b・D) *2 ($\times 10^{-2}$ N/mm^2)	M/(b・D^2) ($\times 10^{-2}$ N/mm^2)	Pt (%)	設計配筋 上段：上端筋 (pt:%) 下段：下端筋 (pt:%)	設計面外せん断力 Q (kN/m)	許容せん断力 fs・b・j (kN/m)	判定
			N*2 (kN/m)	M (kN・m/m)							
575	NS	C(B)	-0.5	408.2	0.000	0.045	0.026	2-D38@200 (0.38) 2-D38@200 (0.38)	75.5	1775	O.K.
476	EW	C(B)	-0.8	798.1	0.000	0.089	0.051	2-D38@200 (0.38) 2-D38@200 (0.38)	101.1	1775	O.K.
582	NS	C(B)	1.6	75.3	0.001	0.008	0.005	2-D38@200 (0.38) 2-D38@200 (0.38)	466.3	1775	O.K.
554	EW	C(B)	-0.7	22.0	0.000	0.002	0.001	2-D38@200 (0.38) 2-D38@200 (0.38)	488.7	1775	O.K.

表 4.2.4-2　断面検討結果（地震時:E1～E4 ）

要素番号	方向	荷重ケース（位置）*1	設計応力		N/(b・D) *2 ($\times 10^{-2}$ N/mm^2)	M/(b・D^2) ($\times 10^{-2}$ N/mm^2)	Pt (%)	設計配筋 上段：上端筋 (pt:%) 下段：下端筋 (pt:%)	設計面外せん断力 Q (kN/m)	許容せん断力 fs・b・j (kN/m)	判定
			N*2 (kN/m)	M (kN・m/m)							
541	NS	E2(B)	-119.5	969.9	0.040	0.108	0.061	2-D38@200 (0.38) 3-D38@200 (0.57)	50.8	2616	O.K.
114	EW	E4(A)	-104.7	1140.3	0.035	0.127	0.046	2-D38@200 (0.38) 2-D38@200 (0.38)	14.4	2663	O.K.
586	NS	E3(A)	29.4	316.8	0.010	0.035	0.010	2-D38@200 (0.38) 2-D38@200 (0.38)	748.8	2663	O.K.
364	EW	E1(B)	26.5	109.7	0.009	0.012	0.003	2-D38@200 (0.38) 2-D38@200 (0.38)	677.2	2663	O.K.

*1：（ ）内は，燃料取扱設備の位置を示す。（表 4.2.1-4 参照）

*2：圧縮を正とする。

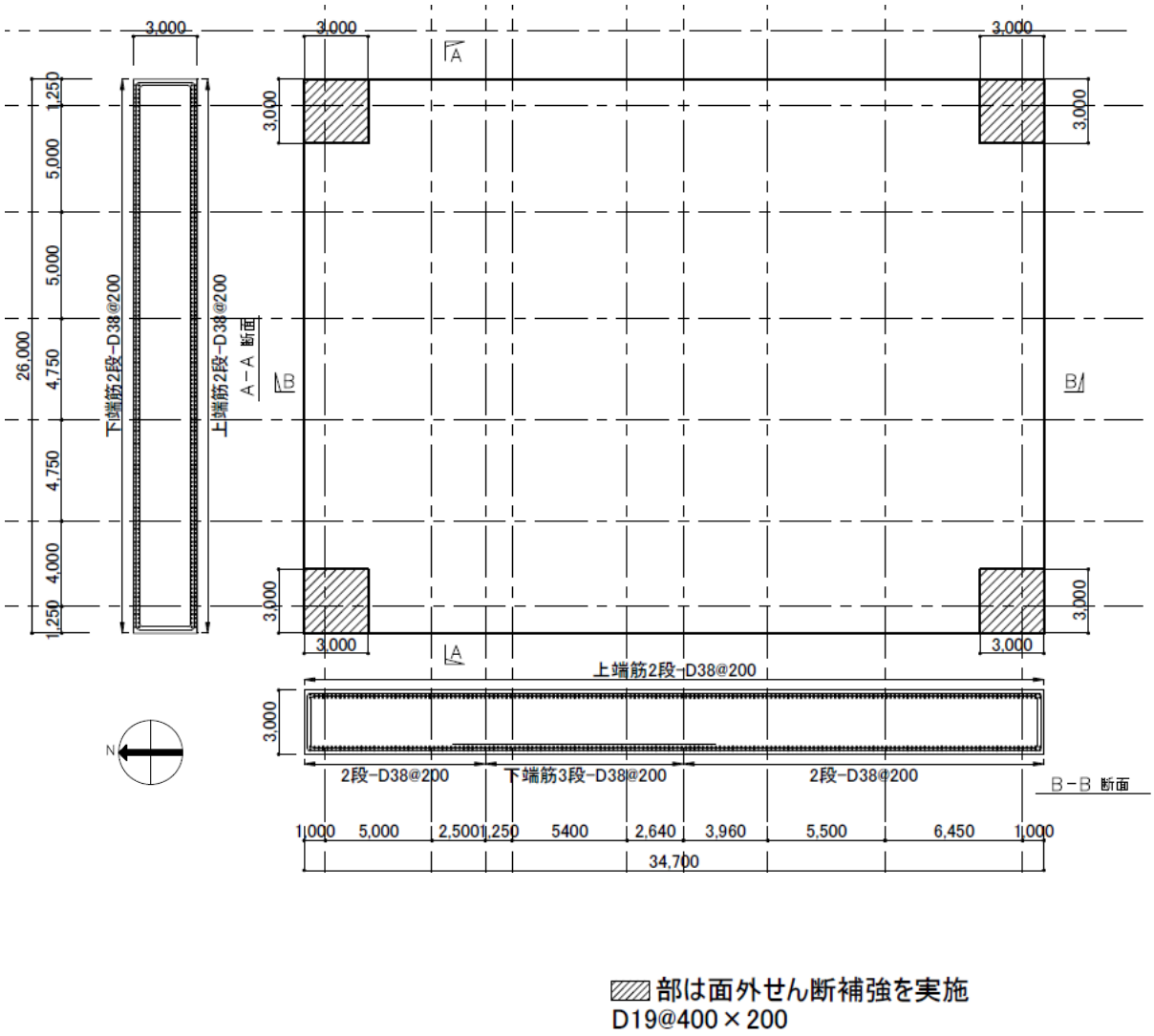


図 4.2.4-3　基礎の配筋図（単位：mm）

4.2.5　改良地盤の構造強度に対する検討

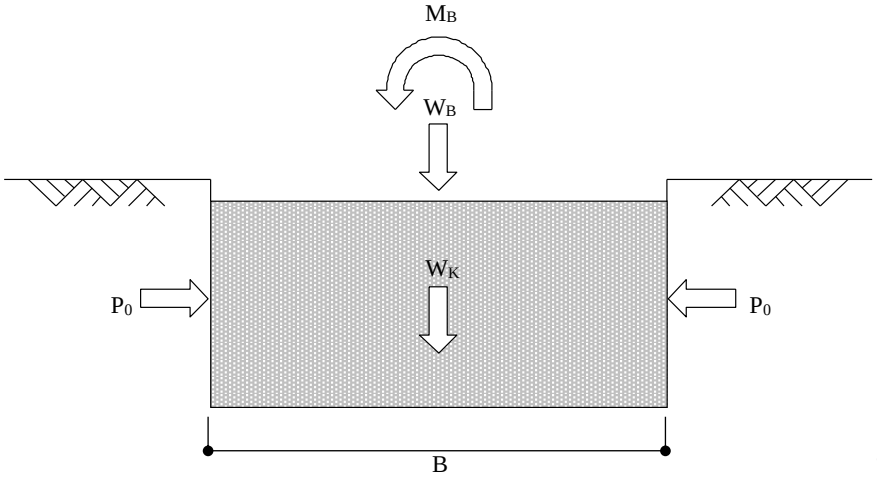
(1)　設計方針

燃料取り出し用構台を支持する改良地盤は，基礎直下の地盤を南北方向に 34.7m，東西方向に 26.0m，改良厚さ 7.16m とし，G.L.-8.1m の泥岩に支持する。検討は「JEAC4616-2009」に準拠し，常時及び地震時の改良地盤に生じる最大応力が許容応力度以下であることを確認する。さらに，改良地盤直下の支持地盤の支持力に対して，常時及び地震時の改良地盤に生じる最大接地圧が許容支持力度以下であることを確認する。

(2)　常時に対する検討

1)　改良地盤の検討

常時において，改良地盤底面に生じる最大接地圧が改良地盤の長期許容圧縮応力度以下であることを確認する。図 4.2.5-1 に作用荷重を示す。



W_B：燃料取り出し用構台荷重

W_K：改良地盤の自重

M_B：燃料取り出し用構台の偏心による転倒モーメント

P_o：長期設計用土圧

B：改良幅

図 4.2.5-1　作用荷重（常時:C）

改良地盤の荷重負担範囲は，基礎底盤における矩形断面部分を対象とした面積 A=902.2m^2，断面係数 Z_X=3909m^3，Z_Y=5217m^3 として算定する。改良地盤底面に生じる最大接地圧は下式にて求める。

鉛直力の合計　　$\Sigma W = WB+WK = 233360$ kN

転倒モーメントの合計　　$\Sigma M_{BX} = 32707$ kNm（X 軸回り:EW 方向加力）

$\Sigma M_{BY} = 58936$ kNm（Y 軸回り:NS 方向加力）

改良地盤の最大接地圧　　$qr = \Sigma W/A + \Sigma M_{BX}/Z_X + \Sigma M_{BY}/Z_Y = 279$ kN/m^2

改良地盤に生じる最大接地圧（qr）は，改良地盤の長期許容圧縮応力度（$_Lfsc$）以下であることを確認した。

$qr = 279$ kN/m^2 ≦ $_Lf_{SC} = 980$ kN/m^2

2)　支持力の検討

改良地盤底面に生じる最大接地圧（qr）が，改良地盤直下の支持地盤の長期許容支持力度（$_Lqa$）以下であることを確認した。

改良地盤の最大接地圧　　$qr = 279$ kN/m^2

支持地盤の長期許容支持力度　　$_Lqa = 1960$ kN/m^2

$qr = 279$ kN/m^2 ≦ $_Lqa = 1960$ kN/m^2

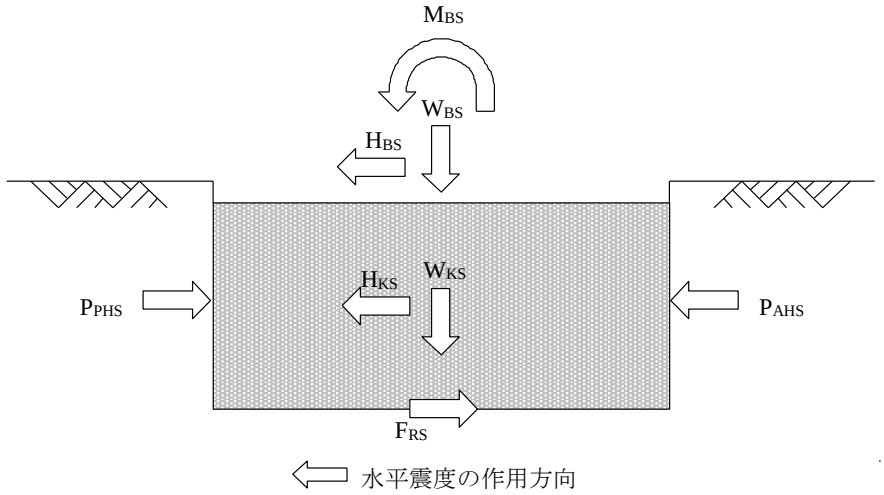
3)　沈下の検討

支持地盤は泥岩（岩盤）であるため，沈下の検討は不要である。

(3)　地震時に対する検討

1)　改良地盤の検討

地震時において，改良地盤底面の最大接地圧及びせん断応力が，改良地盤の短期許容応力度以下であることを確認する。図 4.2.5-2 に作用荷重を示す。



W_{BS}：燃料取り出し用構台荷重

W_{KS}：改良地盤の自重

H_{BS}：燃料取り出し用構台による水平力

M_{BS}：燃料取り出し用構台による改良地盤底面における転倒モーメント

H_{KS}：改良地盤の慣性力（地中震度 0.15）

P_{AHS}：地震時主働土圧による水平力

P_{PHS}：地震時受働土圧による水平力

F_{RS}：支持地盤のせん断抵抗力

図 4.2.5-2　作用荷重（地震時:E1～E4）

改良地盤の荷重負担範囲は，基礎底盤における矩形断面部分を対象とした面積 A=902.2m^2，断面係数 Z_X=3909m^3，Z_Y=5217m^3 として算定する。改良地盤底面の最大接地圧（q_{1S}）及び最大せん断応力（τ max）は下式にて求める。

鉛直力の合計　　$\Sigma W = W_{BS}+W_{KS}$ = 233360 kN

水平力の合計　　$\Sigma H_X = H_{BS}+H_{KS}+P_{AHS}+P_{PHS}$ = 37007 kN（NS 方向）

$\Sigma H_Y = H_{BS}+H_{KS}+P_{AHS}+P_{PHS}$ = 37391 kN（EW 方向）

転倒モーメントの合計　$\Sigma M_X = M_{BS}+M_{KS}+M_{AHS}+M_{PHS}$ = 629283 kNm（X 軸回り:EW 方向加力）

$\Sigma M_Y = M_{BS}+M_{KS}+M_{AHS}+M_{PHS}$ = 611209 kNm（Y 軸回り:NS 方向加力）

ここに，　M_{KS}：改良地盤の転倒モーメント

M_{AHS}：地震時主働土圧による転倒モーメント

M_{PHS}：地震時受働土圧による転倒モーメント

改良地盤底面の最大接地圧　$q_{1SX} = \Sigma W/A+\Sigma M_Y/Z_Y$ = 396 kN/m^2

$q_{1SY} = \Sigma W/A+\Sigma M_X/Z_X$ = 440 kN/m^2

改良地盤底面の最大せん断応力　$\tau_{Xmax} = 1.2\times\Sigma H_X/A$ = 50 kN/m^2

$\tau_{Ymax} = 1.2\times\Sigma H_Y/A$ = 50 kN/m^2

改良地盤底面の最大接地圧（q_{1S}）及び最大せん断応力（τ_{max}）は短期許容応力度（$_sf_{sc}$ 及び $_sf_{ss}$）以下であることを確認した。

q_{1S} = 440 kN/m^2 ≦ $_sf_{SC}$ = 1960 kN/m^2

τ_{max} = 50 kN/m^2 ≦ $_sf_{SS}$ = 300 kN/m^2

2)　支持力の検討

改良地盤底面に生じる最大接地圧（q_{1S}）が，改良地盤直下の支持地盤の短期許容支持力度（$_sq_a$）以下であることを確認した。

改良地盤の最大接地圧　q_{1S} = 440 kN/m^2

支持地盤の短期許容支持力度　$_sq_a$ = 3920 kN/m^2

q_{1S} = 440 kN/m^2 ≦ $_sq_a$ = 3920 kN/m^2

4.2.6　原子炉建屋接触部の構造強度に対する検討

(1)　弾性支承反力に対する検討

弾性支承からの反力によって原子炉建屋 RC 梁に生じるせん断力が，梁の許容せん断耐力以下となることを確認する。

弾性支承の反力は基本的に，プール壁及び下階柱に直接かかるように配置するが，一部梁端に作用するため，それを考慮する。

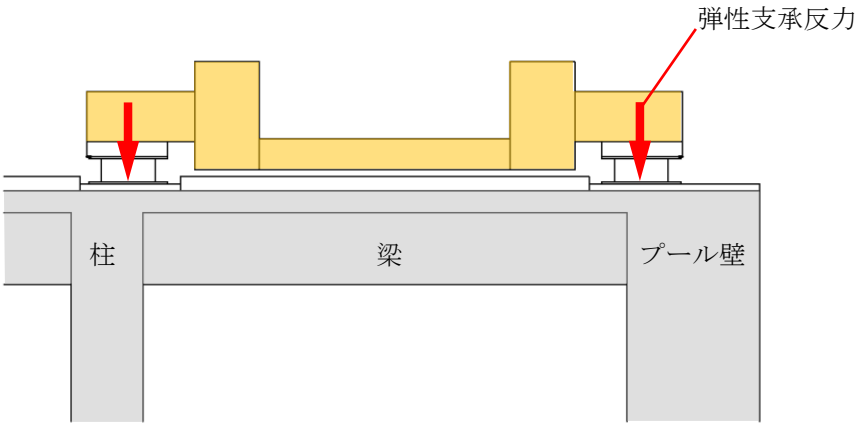


図 4.2.6-1　弾性支承からの反力

検討の結果，梁の発生せん断力が長期許容せん断力以下になることを確認した。

表 4.2.6-1　弾性支承反力に対する検討結果

部位	荷重ケース (位置)*	梁端せん断力 Q(kN)	長期許容せん断力 Qa(kN)	耐力比 Q/Qa	判定
弾性支承受梁	C (A)	760	1486	0.52	O.K.

*：(　)内は，燃料取扱設備の位置を示す。（表 4.2.1-4 参照）

4.2.7　外装材の構造強度に対する検討

(1)　設置目的

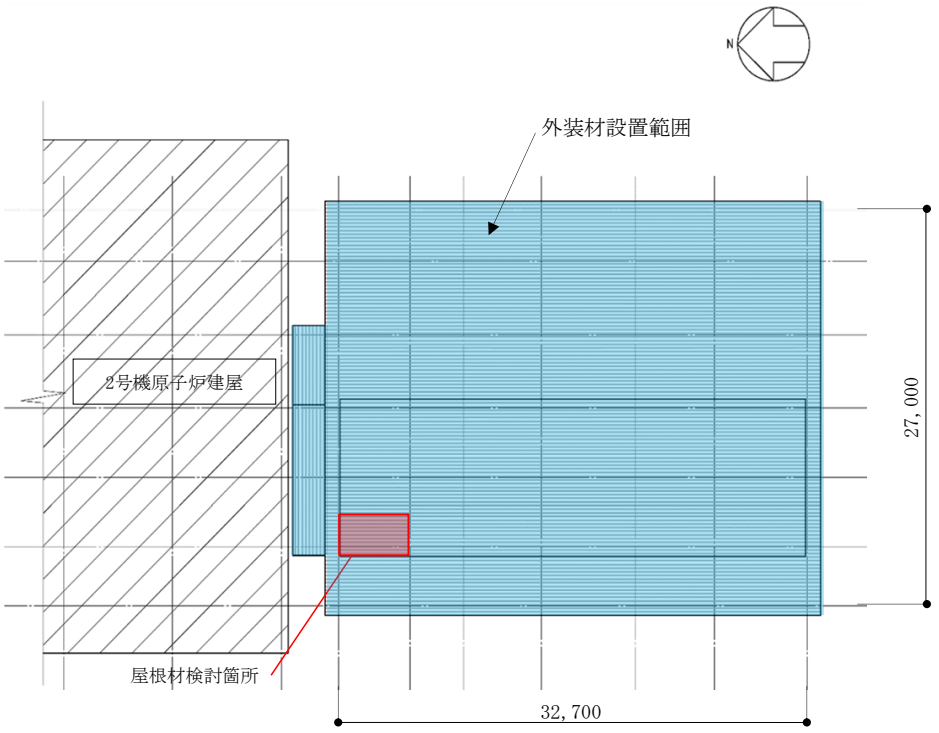
燃料取り出し用構台前室周囲には，燃料取り出し作業環境の整備並びに放射性物質の飛散・拡散防止のため，外装材を設置する。

(2)　評価方針

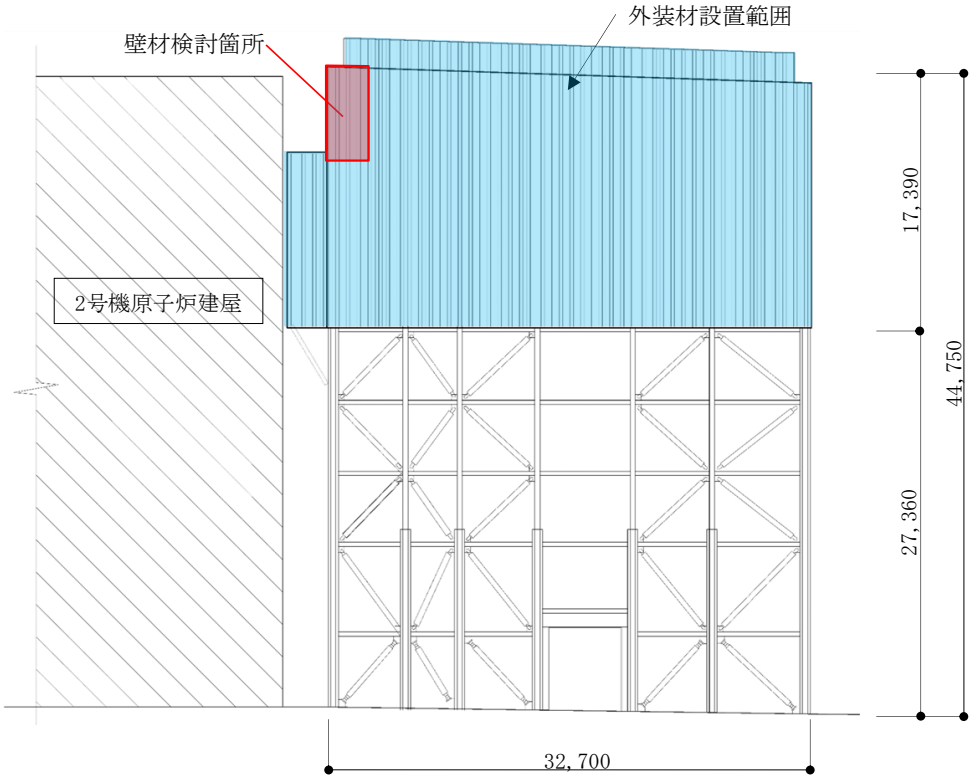
架構の屋根材，壁材には金属製外装材を用いる。断面検討は，屋根材，壁材それぞれに風圧力によって生じる応力度が短期許容応力度以下であることを確認する。

(3)　検討箇所

短期事象においては，暴風時の影響が支配的であることから，積雪時及び地震時の検討は省略する。検討箇所を図 4.2.7-1 に示す。



a. 屋根伏図



b. 西側立面

図 4.2.7-1　外装材検討箇所（単位：mm）

(3)　設計用荷重の算定

設計用風圧力は，建築基準法施行令第 82 条の 4 及び建設省告示第 1458 号に基づき，基準風速 30m/s，地表面粗度区分Ⅱとして算定する。

表 4.2.7-1　速度圧の算定結果

建物高さ* H (m)	平均風速の高さ方向の分布を表す係数 Er	基準風速 V_0 (m/s)	平均速度圧 q (N/m^2)
47	1.258	30	855

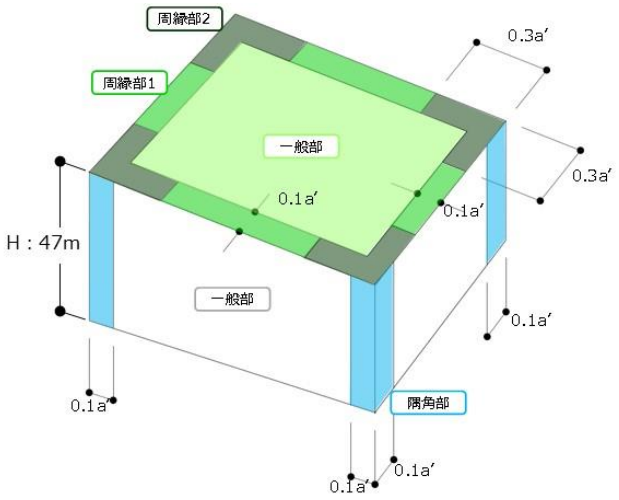
表 4.2.7-2　ピーク風力係数（屋根）

建物高さ* H (m)	正圧	負圧		
		一般部	周縁部 1	周縁部 2
47	0.50	-2.50	-3.20	-4.30

表 4.2.7-3　ピーク風力係数（壁）

建物高さ* H (m)	正圧	負圧	
		一般部	隅角部
47	2.60	-1.88	-2.31

＊：建物高さは，安全側に建築物の高さと軒の高さ(水上側鉄骨天端)との平均値以上とした



a'は平面の短辺の長さと H の 2 倍の数値のうちいずれか
小さな数値（30 を超えるときは，30 とする）（単位：m）

図 4.2.7-2　風力係数の算定箇所

(4) 外装材の断面検討

検討は，応力が厳しくなる部位について行う。ここでは，外装材の自重は考慮しないものとする。外装材の支持間隔は，保守的な評価となるように最長スパンを用いて評価するものとし，屋根材の間隔は，3.3m で連続支持，壁材は 0.75m で連続支持されているものと仮定する。

屋根材及び壁材の材料諸元を表 4.2.7-4 及び表 4.2.7-5 に示す。また，検討結果を表 4.2.7-6 に示す。

断面検討の結果，全ての外装材に対する応力度比が 1 以下になることを確認した。

表 4.2.7-4　屋根材の材料諸元

板厚	自重	正曲げ方向		負曲げ方向	
		断面 2 次モーメント	断面係数	断面 2 次モーメント	断面係数
t (mm)	G (N/m^2)	I_x (cm^4/m)	Z_x (cm^3/m)	I_x (cm^4/m)	Z_x (cm^3/m)
0.8	118	360	43.6	347	40.6

表 4.2.7-5　壁材の材料諸元

板厚	自重	正曲げ方向		負曲げ方向	
		断面 2 次モーメント	断面係数	断面 2 次モーメント	断面係数
t (mm)	G (N/m^2)	I_x (cm^4/m)	Z_x (cm^3/m)	I_x (cm^4/m)	Z_x (cm^3/m)
0.6	59	2.31	1.67	2.31	1.67

表 4.2.7-6　応力度に対する検討結果

部位	材料	作用応力度 (N/mm^2)	許容応力度 (N/mm^2)	応力度比	判定
屋根材	SGLCC[*1]	124	205[*2]	0.61	O.K.
壁　材	SGLCC[*1]	96	205[*2]	0.47	O.K.

＊1：溶融 55%アルミニウム－亜鉛合金めっき鋼板

＊2：「JIS G 3321」の「降伏点又は耐力」とする

4.3　耐震性

4.3.1　検討方針

耐震性の検討は，構台，前室及びランウェイガーダ，弾性支承，オイルダンパ，基礎，改良地盤，原子炉建屋接触部及び原子炉建屋の健全性について行い，1/2Ss450 に対して，これらの応答性状を適切に表現できる地震応答解析を用いて評価する。1/2Ss450 を用いた地震応答解析は水平 2 方向及び鉛直方向を同時に入力する。また，前述の通り 2 号機燃料取り出し用構台については，実施計画変更認可申請の審査期間中に適用地震動見直しが行われたことから，一部の評価については，Ss600 に対する地震応答解析結果との比較から耐震性を確認する。Ss600 を用いた地震応答解析は水平１方向及び鉛直方向を同時に入力する。

4.3.2　構台，前室及びランウェイガーダの耐震性に対する検討

(1)　解析に用いる入力地震動

解析に用いる地震動は，2 波ある 1/2Ss450 のうち振幅の大きな検討用地震動①の 1/2 の地震動および Ss600 を用いる。

1/2Ss450 を用いた地震応答解析は水平 2 方向及び鉛直方向を同時に入力するが，全く同じ地震動が同時に水平 2 方向に入力されることは現実的に考えにくいことから，応答スペクトルに基づく検討用地震動①を作成した方法と同一の方法で，目標とする応答スペクトルに適合する位相の異なる模擬地震波（別冊２８ P98，P99 参照）を利用する。

地震応答解析に用いる入力地震動の概念図を図 4.3.2-1 に示す。なお，入力地震動策定の詳細については，別冊２８ P25，上下動の解析モデルへの入力方法の妥当性については，別冊２８ P26，P27 参照。

解放基盤表面位置（G.L.-206.0m）（震災前 O.P.-196.0m)における 1/2Ss450 と，Ss600 の 3 波の加速度時刻歴波形を図 4.3.2-2，図 4.3.2-3 及び図 4.3.2-4 に示す。

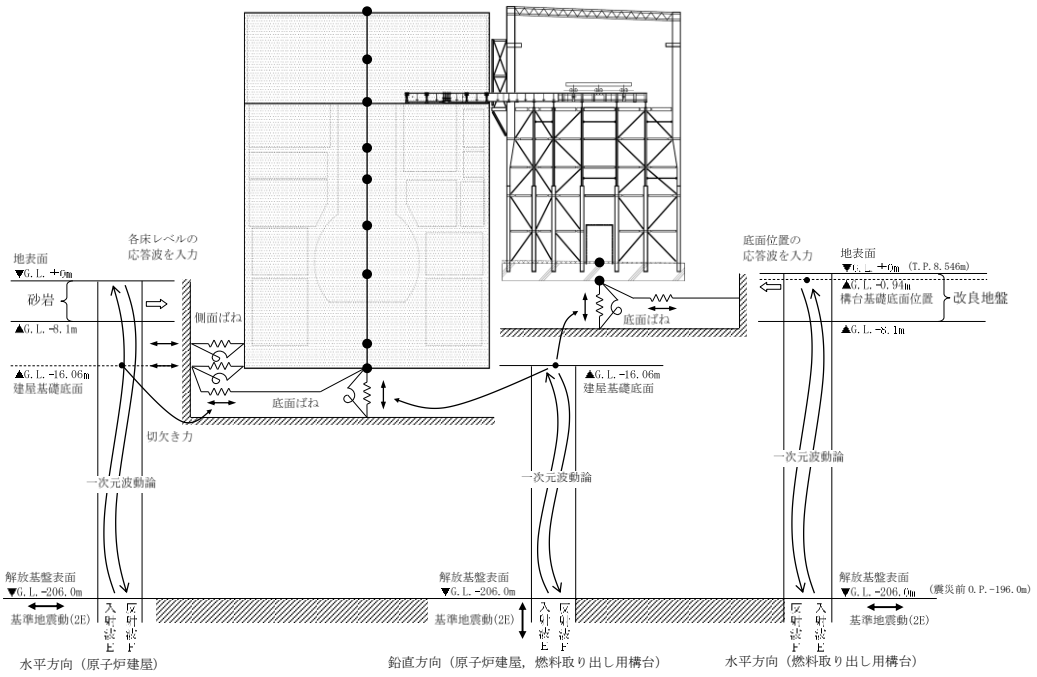
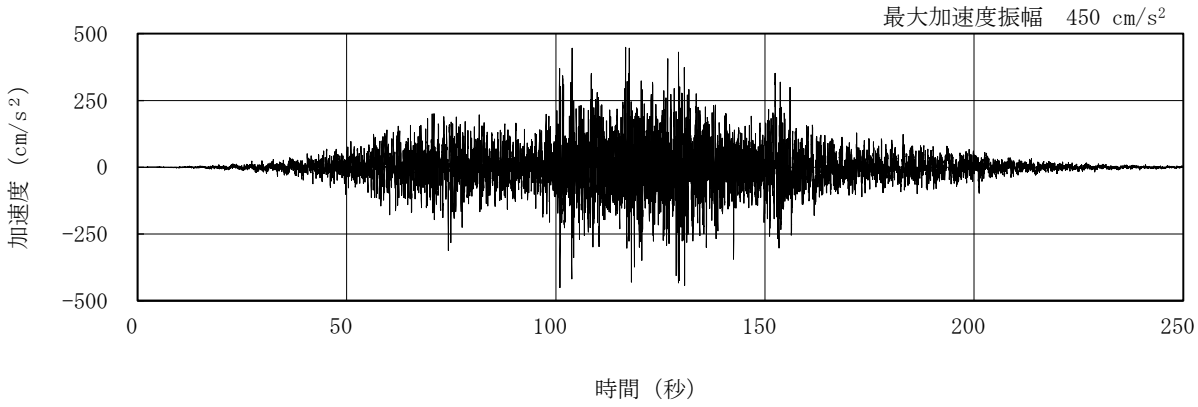
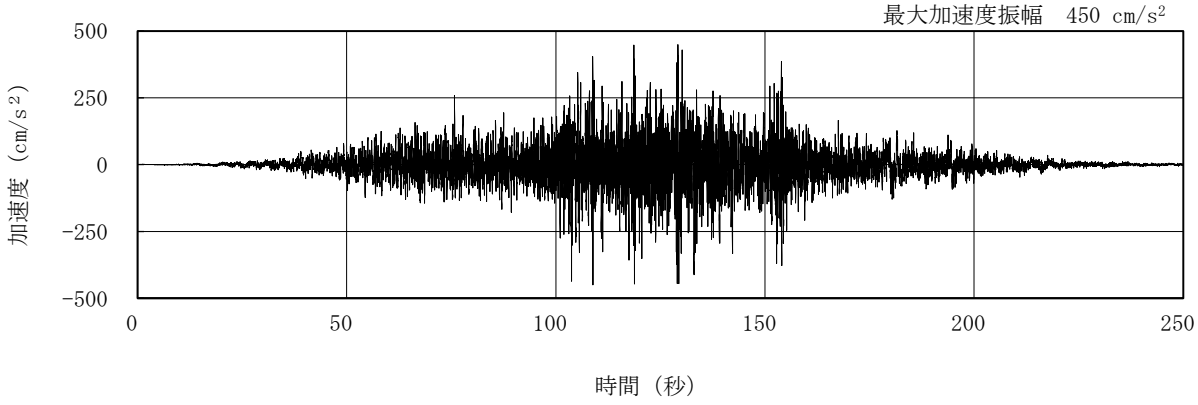


図 4.3.2-1　地震応答解析に用いる入力地震動の概念図

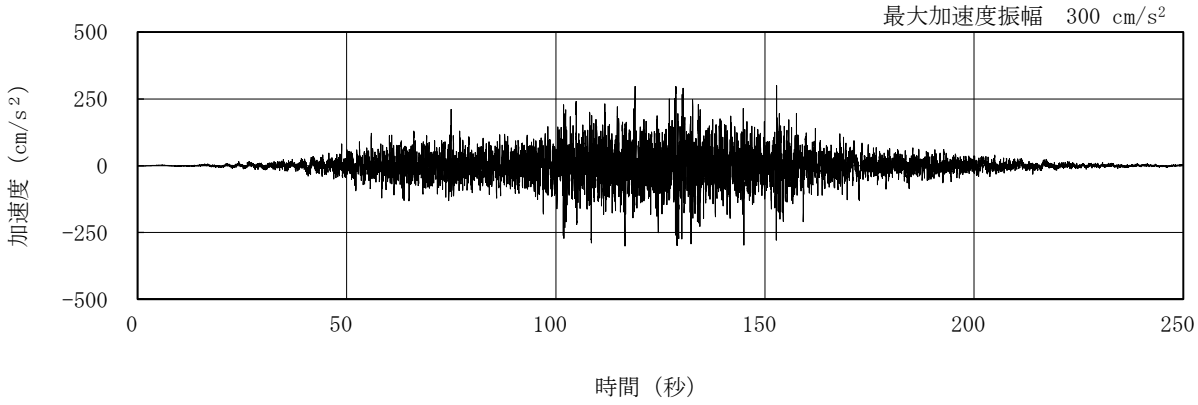
本章に記載の標高は，震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P.から T.P.への読替値(-727mm)を用いて，下式に基づき換算している。
＜換算式＞ T.P.=旧 O.P.-1,436mm



（水平）

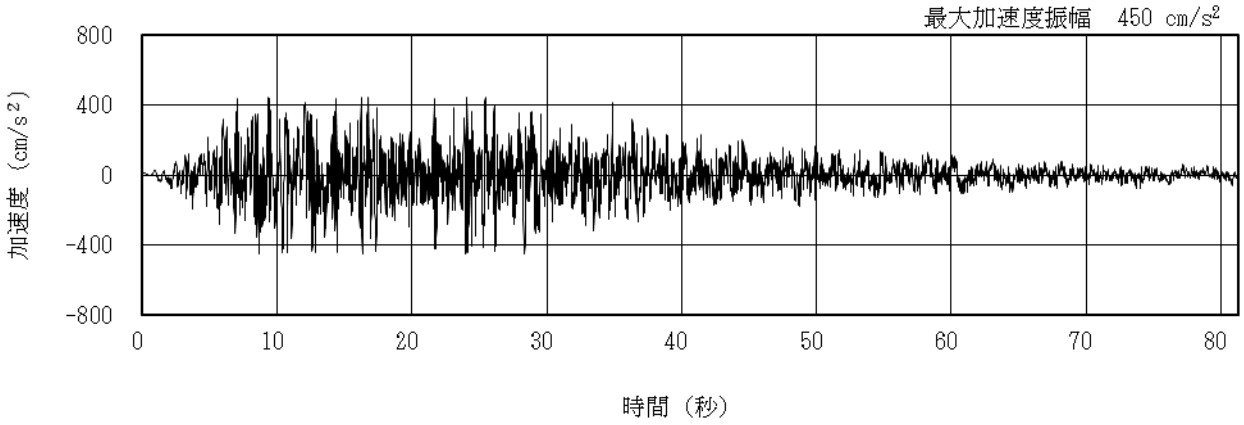


（水平，位相の異なる模擬地震波）

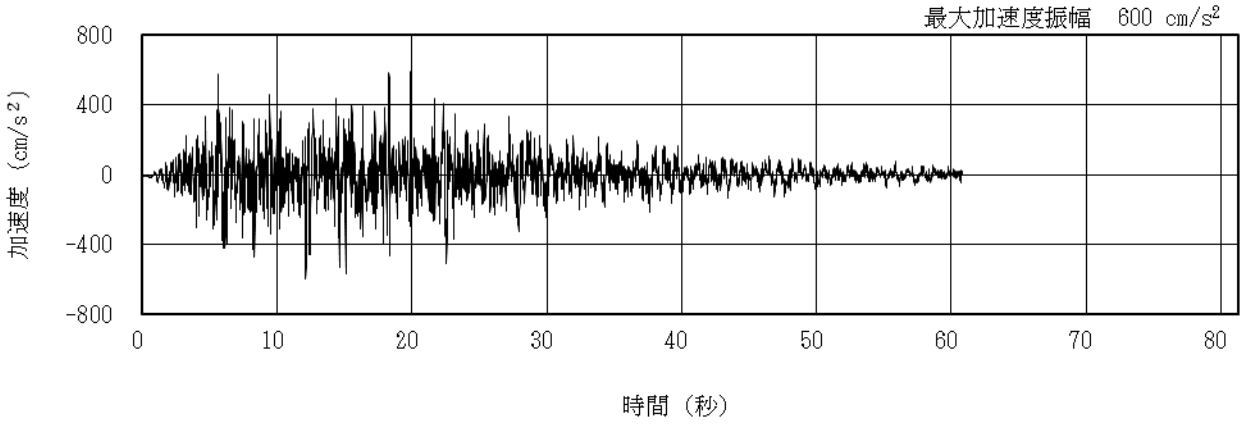


（鉛直）

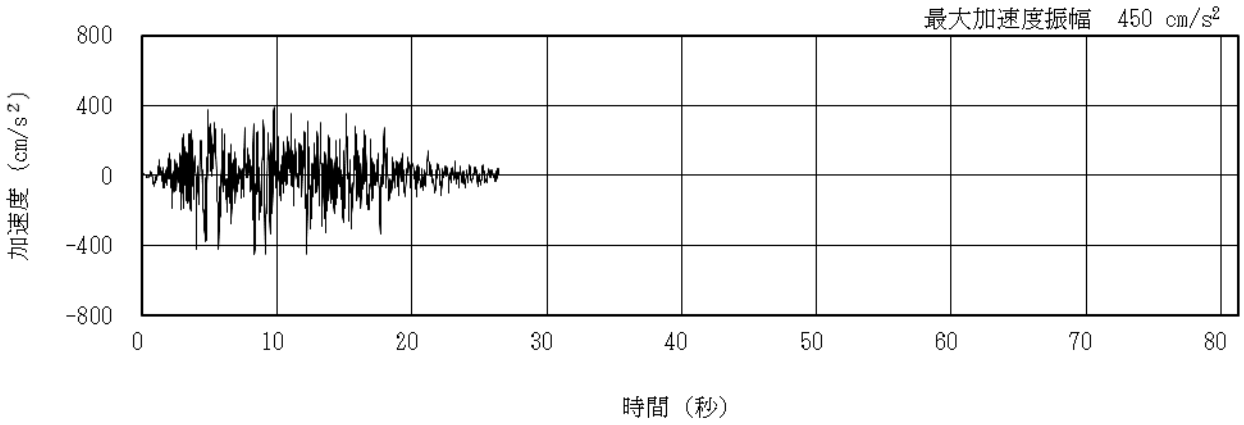
図 4.3.2-2　解放基盤表面における地震動の加速度時刻歴波形
（1/2Ss450）



（従来の Ss-1H）

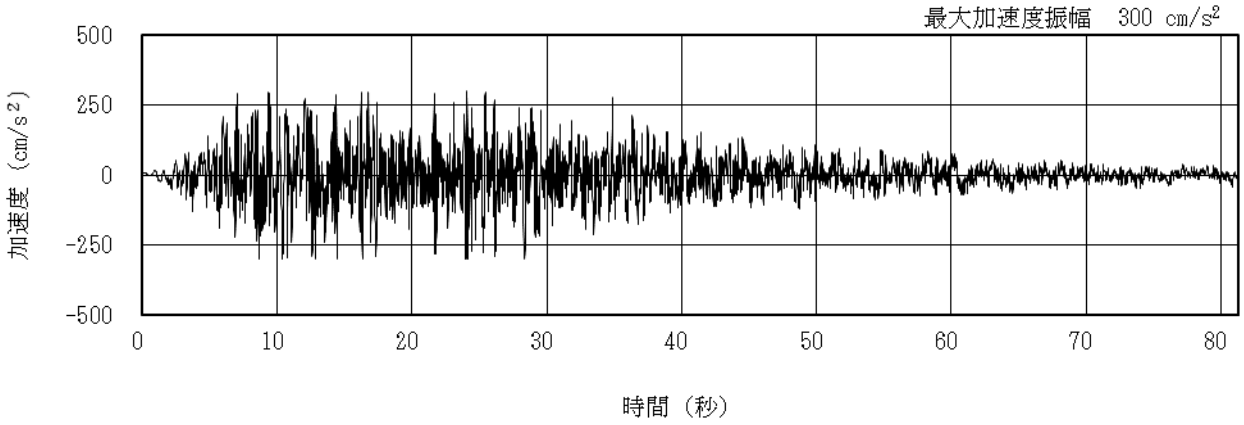


（従来の Ss-2H）

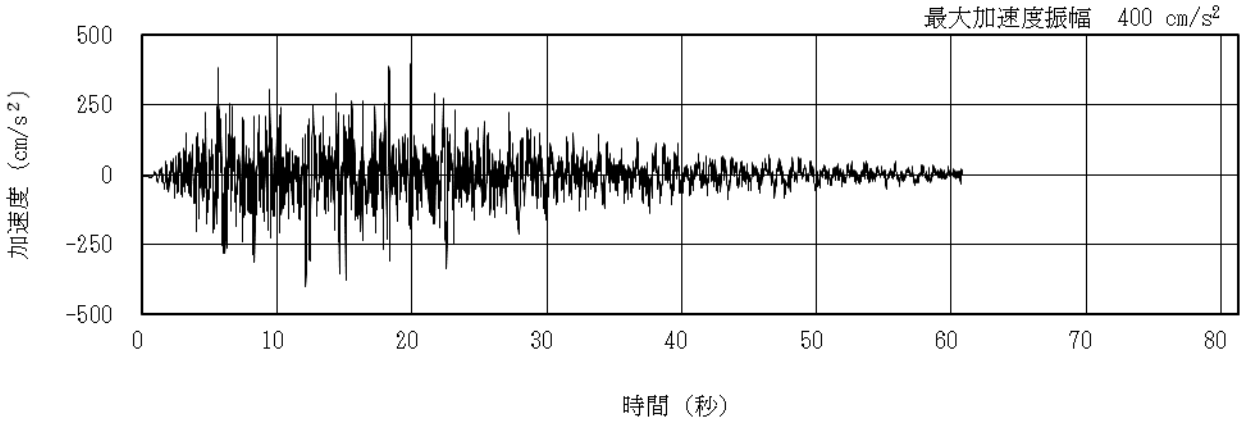


（従来の Ss-3H）

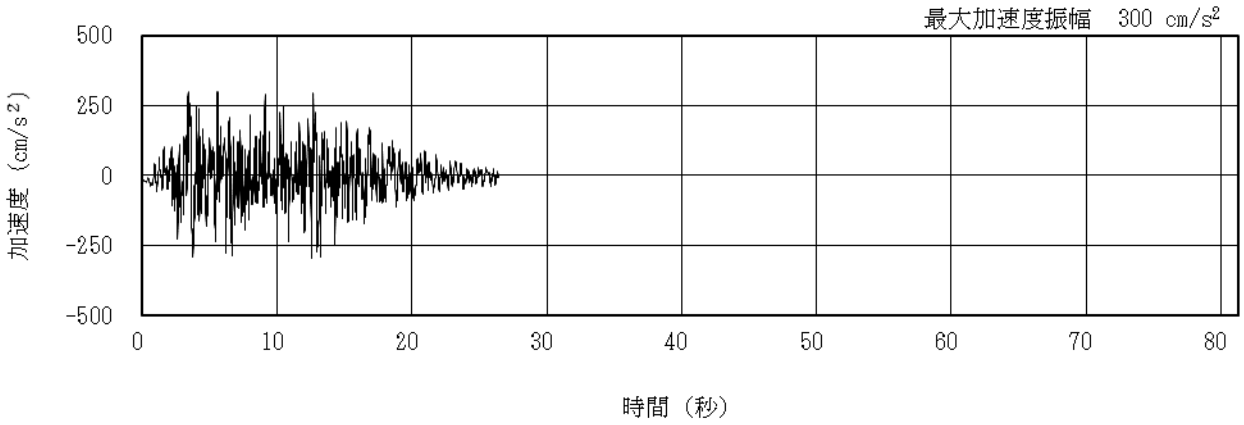
図 4.3.2-3　解放基盤表面における地震動の加速度時刻歴波形
（Ss600，水平方向）



（従来の Ss-1V）



（従来の Ss-2V）



（従来の Ss-3V）

図 4.3.2-4　解放基盤表面における地震動の加速度時刻歴波形
（Ss600，鉛直方向）

(2)　地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは，曲げ，せん断剛性及び軸剛性を考慮した原子炉建屋の質点系モデルの質点に，三次元立体骨組でモデル化した燃料取り出し用構台を接続し，地盤との相互作用を考慮した建屋－地盤連成系モデルとする。原子炉建屋のモデルは「Ⅱ章 2.11　添付資料－７　別添－１第２号機原子炉建屋西側外壁開口設置後の原子炉建屋の耐震安全性」で用いた解析モデルを基本に，南側外壁開口や遮蔽コンクリート等の設置（別冊２８　P13 参照）を考慮して，重量や剛性を増減させたモデル（別冊２８　P34，P35 参照）とする。なお，原子炉建屋の質点は炉心位置にモデル化する。解析モデルを図 4.3.2-5 及び図 4.3.2-6 に示す。

地震応答解析に用いる鉄骨およびオイルダンパの物性値を表 4.3.2-1，表 4.3.2-2 に示す。燃料取り出し用構台の部材接合部の節点は機器荷重・仕上げ材等を考慮した重量とし，原子炉建屋の質点は表 4.3.2-3 に示す重量とする。燃料取り出し用構台の柱，梁は弾性部材の梁要素，鉛直ブレースは弾性部材のトラス要素とする。

構台と原子炉建屋南側壁間，構台鉛直面，およびランウェイガーダと原子炉建屋床間に設置するオイルダンパは，減衰要素とばね要素を直列に結合したモデルとする。ランウェイガーダと原子炉建屋床間に設置する弾性支承の鉛直方向は軸ばねとし，水平方向はローラーとする。なお，床上のオイルダンパ・弾性支承とも，圧縮専用ばねを原子炉建屋質点との間に設けることにより浮き上りを許容したモデルとする。なお，弾性支承及びバネ付きオイルダンパを含めた原子炉建屋～構台間の接続条件については，別冊２８　P29，P30，弾性支承及びバネ付きオイルダンパの設置条件および境界条件設定の妥当性については，それぞれ，別冊２８　P48，別冊２８　P50，P51，弾性支承及びバネ付きオイルダンパ下部に設置するすべり材の耐放射線性については，それぞれ別冊２８ P49，別冊２８　P51 参照。また，原子炉建屋の質点系モデルは，軸方向は弾性とし，曲げとせん断に非線形特性を考慮する。

燃料取り出し用構台の地盤定数は，「福島第一原子力発電所『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中間報告書」（東京電力株式会社，平成 20 年 3 月 31 日）を参考に，水平成層地盤と仮定し地震時のせん断ひずみレベルを考慮して定めた。改良地盤の諸元を表 4.3.2-4 に，非線形特性を図 4.3.2-7 に，地盤定数の設定結果を表 4.3.2-5 に示す。また，原子炉建屋の地盤定数は，1/2Ss450 に対しては上記報告書を参考に水平成層地盤と仮定し地震時のせん断ひずみレベルを考慮して定め，Ss600 に対しては上記報告書と同様として定めた。原子炉建屋の地盤定数を表 4.3.2-6 に示す。なお，改良地盤物性の設定及び改良地盤部の地中構築物の影響については，別冊２８ P40～P42 参照。

地盤ばねは，「JEAG 4601-1991 追補版」に示されている手法を参考にして，底面地盤を成層補正し振動アドミッタンス理論によりスウェイ及びロッキングばねを，側面地盤を Novak の方法により建屋側面ばねとして評価する。なお，燃料取り出し用構台は改良地盤への埋込がほとんどないため，底面地盤ばねのみ考慮する。

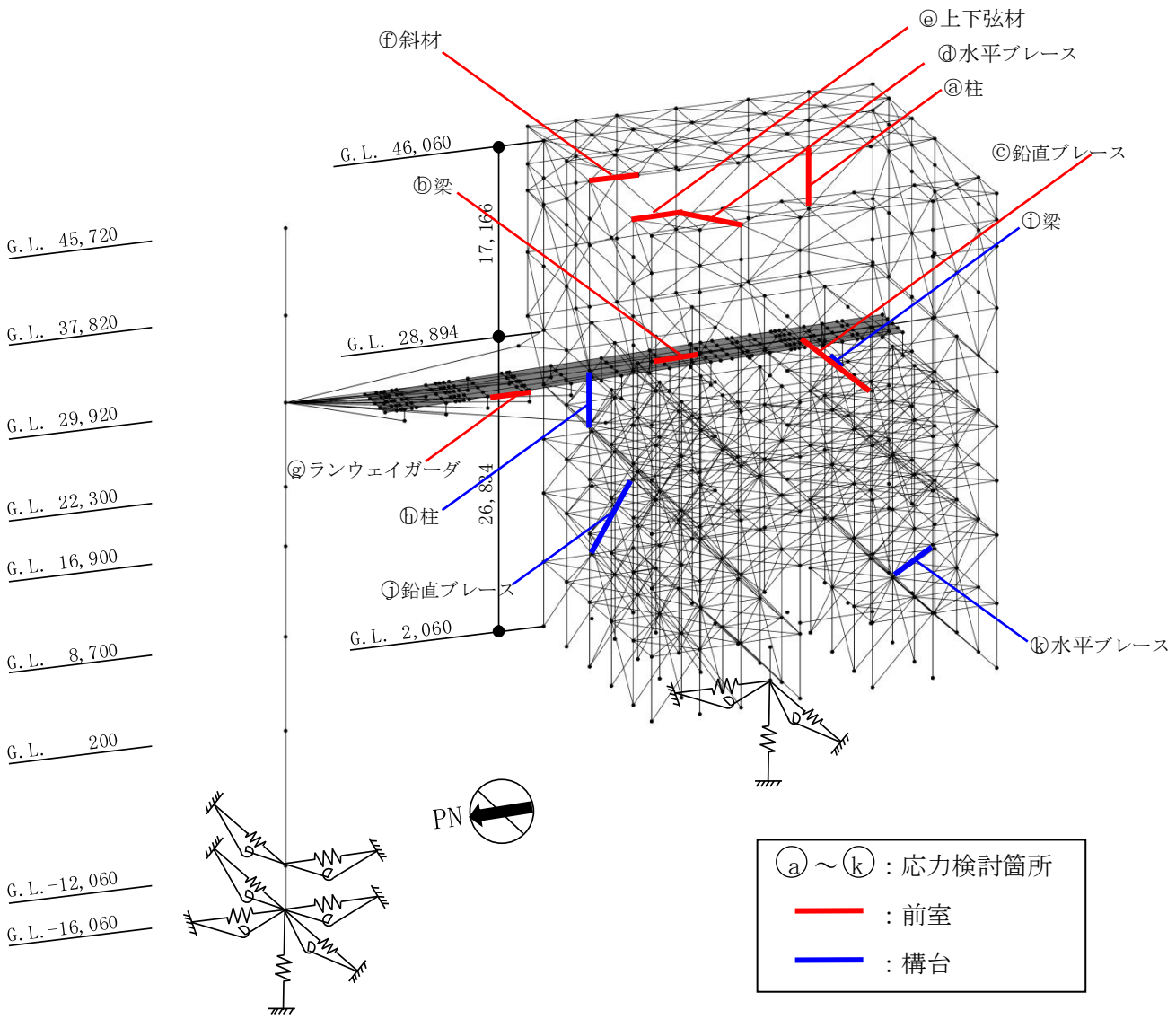


図 4.3.2-5　地震応答解析モデル（単位：mm）（1/2Ss450 応力検討箇所記載）

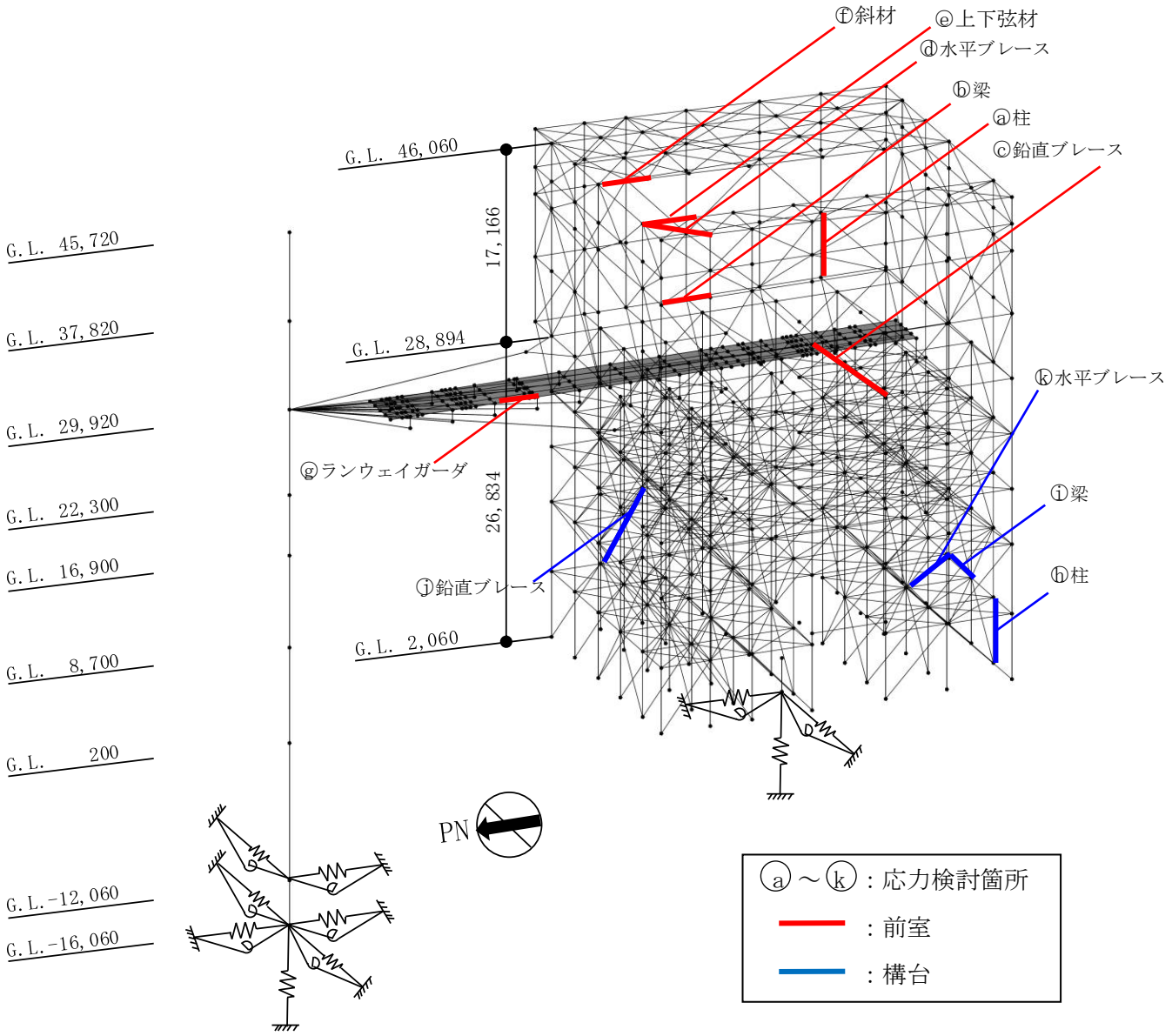


図 4.3.2-6　地震応答解析モデル（単位：mm）（Ss600 応力検討箇所記載）

表 4.3.2-1　地震応答解析に用いる物性値

部位	材料	ヤング係数 E(N/mm^2)	ポアソン比 ν	単位体積重量 γ (kN/m^3)	減衰定数 h(%)	備考
燃料取り 出し用構台	鉄骨	2.05×10^5	0.3	77.0	2	SS400，SM490A，SN490B， SN490C，STK490，TMCP325

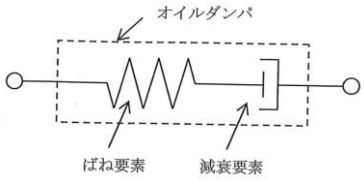
表 4.3.2-2　オイルダンパの物性値及び許容値

オイルダンパ（水平棟間）

	最大減衰力 (kN)	リリーフ荷重 (kN)	最大速度 (m/s)	第一減衰係数 (kN･s/m)	第二減衰係数 (kN･s/m)	ストローク (mm)
オイルダンパ	1970	1700	0.7	12000	490	±100

オイルダンパ（鉛直）

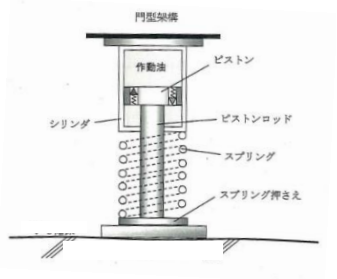
	最大減衰力 (kN)	リリーフ荷重 (kN)	最大速度 (m/s)	第一減衰係数 (kN･s/m)	第二減衰係数 (kN･s/m)	ストローク (mm)
オイルダンパ	2060	1600	0.5	40000	1000	±60



オイルダンパのモデル化

ばね付きオイルダンパ

	最大減衰力 (kN)	リリーフ荷重 (kN)	最大速度 (m/s)	第一減衰係数 (kN･s/m)	第二減衰係数 (kN･s/m)	ストローク (mm)
ばね付き オイルダンパ	1500	1200	1.0	5000	395	±100



ばね付きオイルダンパ概念図

表 4.3.2-3(1)　地震応答解析モデルのうち原子炉建屋の地震応答解析モデルの諸元

(a)水平（NS）方向

標高 G.L.（m）	質点重量 W（kN）	回転慣性重量 I_G（$\times 10^5$ kN･m^2）	せん断断面積 As（m^2）	断面二次モーメント I（m^4）
45.72	12880	23.28		
			18.6	10154
37.82	10220	18.53		
			16.1	10626
29.92	74470	134.76		
			184.3	22551
22.3	79440	143.78		
			166.8	24629
16.9	107720	194.96		
			249.3	44401
8.7	116670	211.14		
			157.1	40661
0.2	201190	364.11		
			456.8	110444
-12.06	341290	617.55		
			2656.2	480675
-16.06	125030	226.24		
合計	1068910			

ヤング係数 Ec	2.57×10^7(kN/m^2)
せん断弾性係数 G	1.07×10^7(kN/m^2)
ポアソン比 ν	0.20
減衰 h	5%

表 4.3.2-3(2)　地震応答解析モデルのうち原子炉建屋の地震応答解析モデルの諸元

(b)水平（EW）方向

標高 G.L.（m）	質点重量 W（kN）	回転慣性重量 I_G（$\times 10^5$ kN･m^2）	せん断断面積 As（m^2）	断面二次モーメント I（m^4）
45.72	12880	13.18		
			13.6	5926
37.82	10220	10.40		
			12.6	6255
29.92	74470	76.06		
			108.2	11927
22.3	79440	81.06		
			117.3	14199
16.9	107720	194.96		
			185.7	33796
8.7	116670	211.14		
			173.1	41960
0.2	201190	544.79		
			418.1	132121
-12.06	341290	923.98		
			2656.2	719166
-16.06	125030	338.53		
合計	1068910			

ヤング係数 Ec	2.57×10^7(kN/m^2)
せん断弾性係数 G	1.07×10^7(kN/m^2)
ポアソン比 ν	0.20
減衰 h	5%

表 4.3.2-3(3)　地震応答解析モデルのうち原子炉建屋の地震応答解析モデルの諸元

(c)鉛直方向

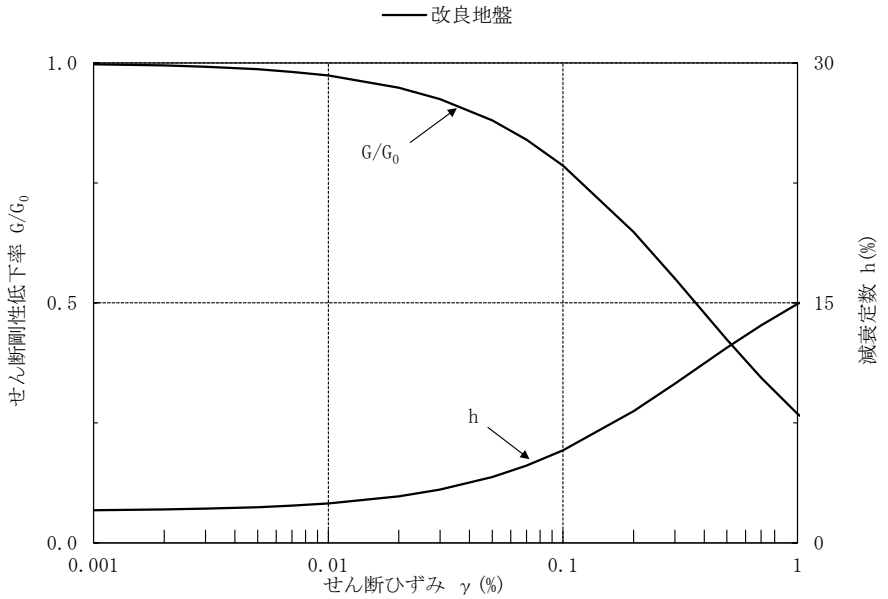
標高 G.L. (m)	質点重量 W (kN)	軸断面積 A_N (m^2)	軸ばね剛性 K_A ($\times 10^8$ kN/m)
45.72	12880		
		43.0	1.40
37.82	10220		
		42.5	1.38
29.92	74470		
		291.9	9.84
22.3	79440		
		295.1	14.04
16.9	107720		
		437.5	13.71
8.7	116670		
		359.4	10.87
0.2	201190		
		627.4	13.15
-12.06	341290		
		2656.2	170.66
-16.06	125030		
合計	1068910		

ヤング係数 Ec　2.57×10^7 (kN/m^2)
せん断弾性係数 G　1.07×10^7 (kN/m^2)
ポアソン比 ν　0.20
減衰 h　5%

表 4.3.2-4　改良地盤の諸元

せん断波速度* V_S (m/s)	単位体積重量 γ (kN/m^3)	ポアソン比* ν	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^5$kN/m^2)
800	17.7	0.31	11.52

*:『柏崎刈羽原子力発電所 1 号機　建物・構築物の耐震安全性評価について（指摘事項に関する回答)』(東京電力株式会社，平成 22 年 2 月 19 日，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 WG（第 46 回）会合資料)



*:『柏崎刈羽原子力発電所 1 号機　建物・構築物の耐震安全性評価について（指摘事項に関する回答)』(東京電力株式会社，平成 22 年 2 月 19 日，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 WG（第 46 回）会合資料)

図 4.3.2-7　改良地盤の非線形特性

表 4.3.2-5(1)　地盤定数の設定結果（燃料取り出し用構台）

(a) 1/2Ss450

標高 G.L. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m^3)	ﾎﾟｱｿﾝ 比 ν	せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$kN/m^2)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^5$kN/m^2)	剛性 低下率 G/G_0	ヤング 係数 E ($\times 10^5$kN/m^2)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
0.0										
	改良地盤	800	17.7	0.310	11.40	11.52	0.99	29.87	2	8.1
-8.1										
	泥岩	450	16.5	0.464	2.73	3.41	0.80	7.99	3	11.9
-20.0										
		500	17.1	0.455	3.49	4.36	0.80	10.16	3	70.0
-90.0										
		560	17.6	0.446	4.50	5.63	0.80	13.01	3	28.0
-118.0										
		600	17.8	0.442	5.22	6.53	0.80	15.05	3	88.0
-206.0										
	(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	-	-	-	-

表 4.3.2-5(2)　地盤定数の設定結果（燃料取り出し用構台）

(b)従来の Ss-1

標高 G.L. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m^3)	ﾎﾟｱｿﾝ 比 ν	せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$kN/m^2)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^5$kN/m^2)	剛性 低下率 G/G_0	ヤング 係数 E ($\times 10^5$kN/m^2)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
0.0										
	改良地盤	800	17.7	0.310	11.40	11.52	0.99	29.87	2	8.1
-8.1										
		450	16.5	0.464	2.66	3.41	0.78	7.79	3	11.9
-20.0										
		500	17.1	0.455	3.40	4.36	0.78	9.89	3	70.0
-90.0	泥岩									
		560	17.6	0.446	4.39	5.63	0.78	12.70	3	28.0
-118.0										
		600	17.8	0.442	5.09	6.53	0.78	14.68	3	88.0
-206.0										
	(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-

(c) 従来の Ss-2

標高 G.L. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m^3)	ﾎﾟｱｿﾝ 比 ν	せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$kN/m^2)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^5$kN/m^2)	剛性 低下率 G/G_0	ヤング 係数 E ($\times 10^5$kN/m^2)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
0.0										
	改良地盤	800	17.7	0.310	11.40	11.52	0.99	29.87	2	8.1
-8.1										
		450	16.5	0.464	2.73	3.41	0.80	7.99	3	11.9
-20.0										
		500	17.1	0.455	3.49	4.36	0.80	10.16	3	70.0
-90.0	泥岩									
		560	17.6	0.446	4.50	5.63	0.80	13.01	3	28.0
-118.0										
		600	17.8	0.442	5.22	6.53	0.80	15.05	3	88.0
-206.0										
	(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-

(d) 従来の Ss-3

標高 G.L. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m^3)	ﾎﾟｱｿﾝ 比 ν	せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$kN/m^2)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^5$kN/m^2)	剛性 低下率 G/G_0	ヤング 係数 E ($\times 10^5$kN/m^2)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
0.0										
	改良地盤	800	17.7	0.310	11.40	11.52	0.99	29.87	2	8.1
-8.1										
		450	16.5	0.464	2.63	3.41	0.77	7.70	3	11.9
-20.0										
		500	17.1	0.455	3.36	4.36	0.77	9.78	3	70.0
-90.0	泥岩									
		560	17.6	0.446	4.34	5.63	0.77	12.55	3	28.0
-118.0										
		600	17.8	0.442	5.03	6.53	0.77	14.51	3	88.0
-206.0										
	(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-

表 4.3.2-6(1)　地盤定数の設定結果（原子炉建屋）

(a) 1/2Ss450

標高 G.L. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m^3)	ﾎﾟｱｿﾝ 比 ν	せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$kN/m^2)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^5$kN/m^2)	剛性 低下率 G/G_0	ヤング 係数 E ($\times 10^5$kN/m^2)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
0.0										
	砂岩	380	17.8	0.473	2.23	2.62	0.85	6.57	3	8.1
-8.1										
		450	16.5	0.464	2.73	3.41	0.80	7.99	3	11.9
-20.0										
		500	17.1	0.455	3.49	4.36	0.80	10.16	3	70.0
-90.0	泥岩									
		560	17.6	0.446	4.50	5.63	0.80	13.01	3	28.0
-118.0										
		600	17.8	0.442	5.22	6.53	0.80	15.05	3	88.0
-206.0										
	(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	-	-	-	-

表 4.3.2-6(2)　地盤定数の設定結果（原子炉建屋）

(b) 従来の Ss-1

標高 G.L. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m^3)	ﾎﾟｱｿﾝ 比 ν	せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$kN/m^2)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^5$kN/m^2)	剛性 低下率 G/G_0	ヤング 係数 E ($\times 10^5$kN/m^2)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
0.0										
	砂岩	380	17.8	0.473	2.23	2.62	0.85	6.57	3	8.1
-8.1		450	16.5	0.464	2.66	3.41	0.78	7.79	3	11.9
-20.0		500	17.1	0.455	3.40	4.36	0.78	9.89	3	70.0
-90.0	泥岩	560	17.6	0.446	4.39	5.63	0.78	12.70	3	28.0
-118.0		600	17.8	0.442	5.09	6.53	0.78	14.68	3	88.0
-206.0	(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-

(c) 従来の Ss-2

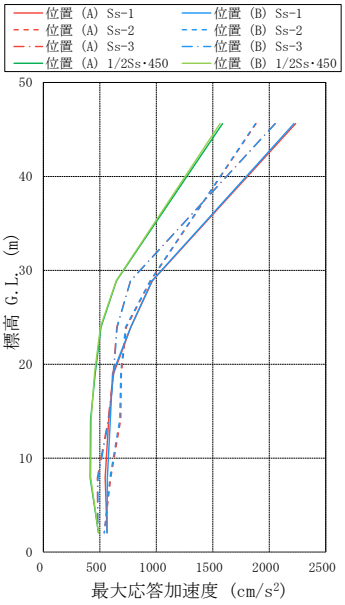
標高 G.L. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m^3)	ﾎﾟｱｿﾝ 比 ν	せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$kN/m^2)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^5$kN/m^2)	剛性 低下率 G/G_0	ヤング 係数 E ($\times 10^5$kN/m^2)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
0.0										
	砂岩	380	17.8	0.473	2.23	2.62	0.85	6.57	3	8.1
-8.1		450	16.5	0.464	2.76	3.41	0.81	8.08	3	11.9
-20.0		500	17.1	0.455	3.53	4.36	0.81	10.27	3	70.0
-90.0	泥岩	560	17.6	0.446	4.56	5.63	0.81	13.19	3	28.0
-118.0		600	17.8	0.442	5.29	6.53	0.81	15.26	3	88.0
-206.0	(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-

(d) 従来の Ss-3

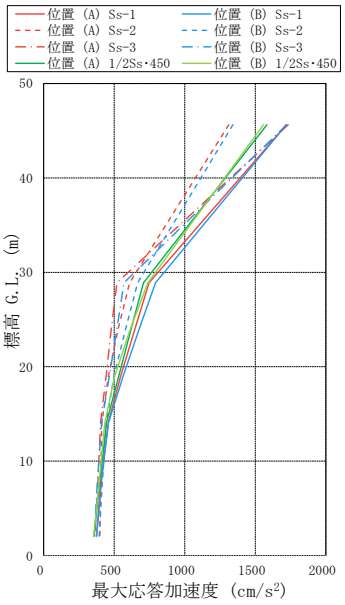
標高 G.L. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m^3)	ﾎﾟｱｿﾝ 比 ν	せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$kN/m^2)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^5$kN/m^2)	剛性 低下率 G/G_0	ヤング 係数 E ($\times 10^5$kN/m^2)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
0.0										
	砂岩	380	17.8	0.473	2.25	2.62	0.86	6.63	3	8.1
-8.1		450	16.5	0.464	2.66	3.41	0.78	7.79	3	11.9
-20.0		500	17.1	0.455	3.40	4.36	0.78	9.89	3	70.0
-90.0	泥岩	560	17.6	0.446	4.39	5.63	0.78	12.70	3	28.0
-118.0		600	17.8	0.442	5.09	6.53	0.78	14.68	3	88.0
-206.0	(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-

(3)　地震応答解析結果

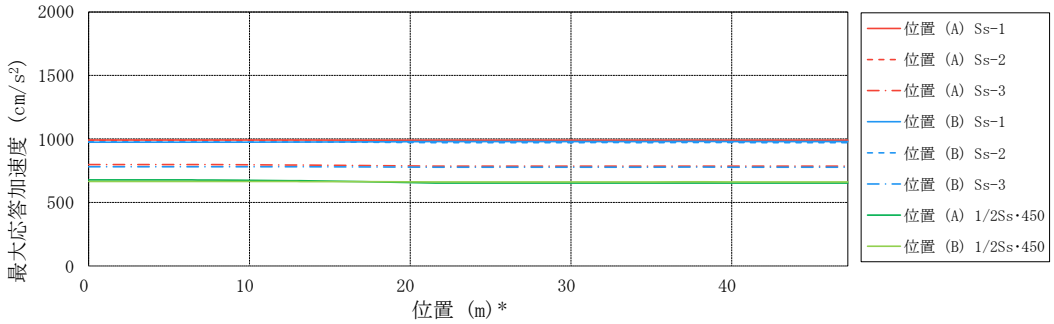
最大応答加速度分布を図 4.3.2-8(1) 及び図 4.3.2-8(2) に示す。



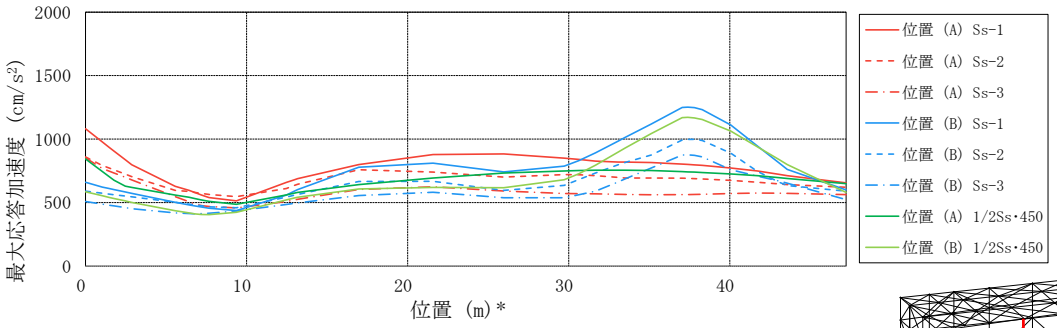
(a) 水平(NS)成分 (構台+前室)



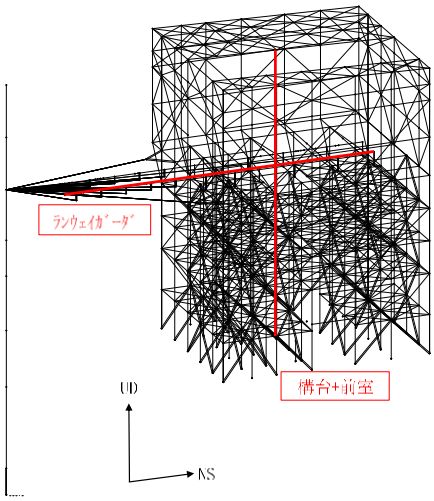
(b) 鉛直成分 (構台+前室)



(c) 水平(NS)成分 (ランウェイガーダ)



(d) 鉛直成分 (ランウェイガーダ)

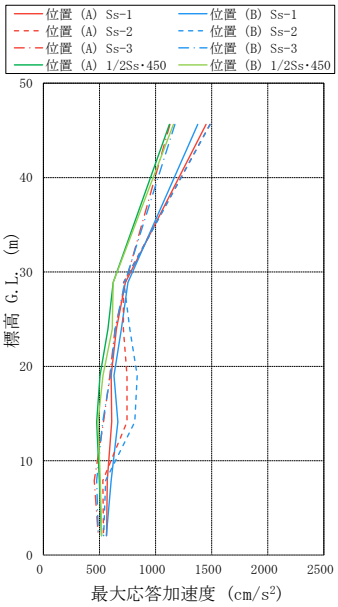


注：凡例位置の条件は表 4.2.1-4 に示す

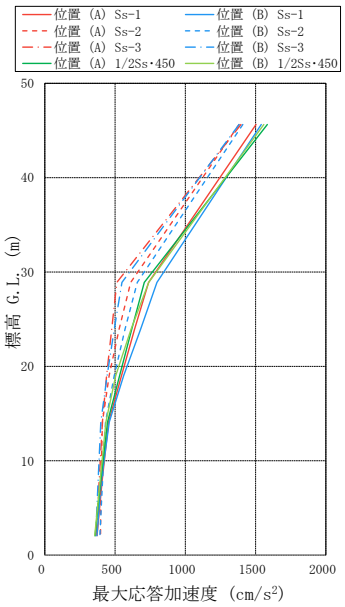
＊：位置は原子炉建屋側の先端からの距離を示す

図 4.3.2-8(1)　最大応答加速度分布

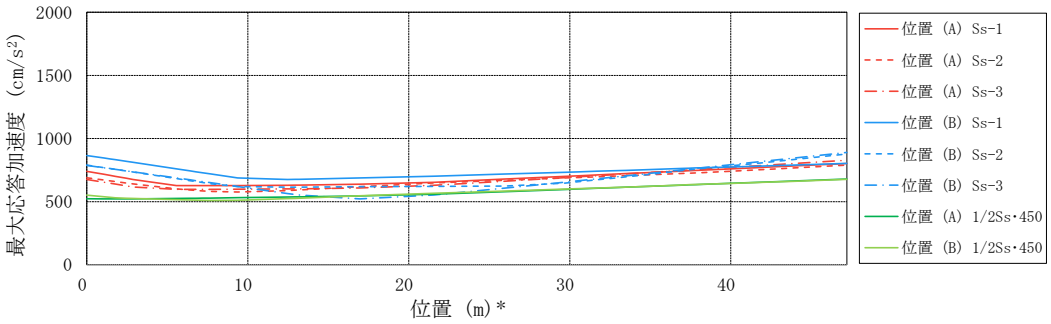
(Ss600：NS 及び UD 方向加力時，1/2Ss450：3 方向加力時)



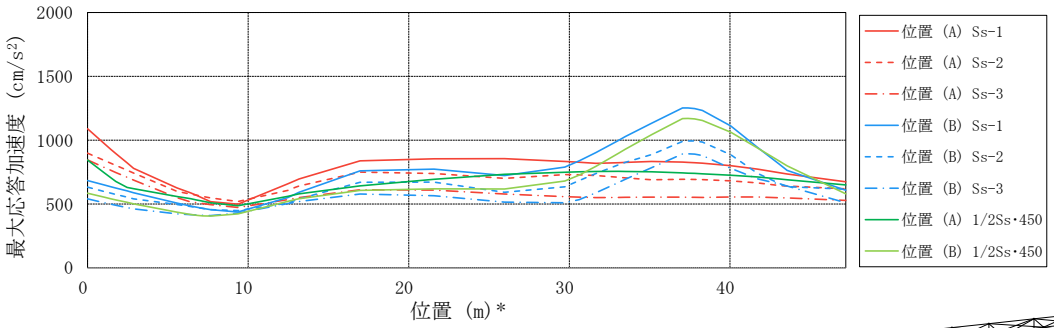
(a)水平(EW)成分 (構台+前室)



(b)鉛直成分 (構台+前室)



(c)水平(EW)成分 (ランウェイガーダ)



(d)鉛直成分 (ランウェイガーダ)

注：凡例位置の条件は表 4.2.1-4 に示す
＊：位置は原子炉建屋側の先端からの距離を示す

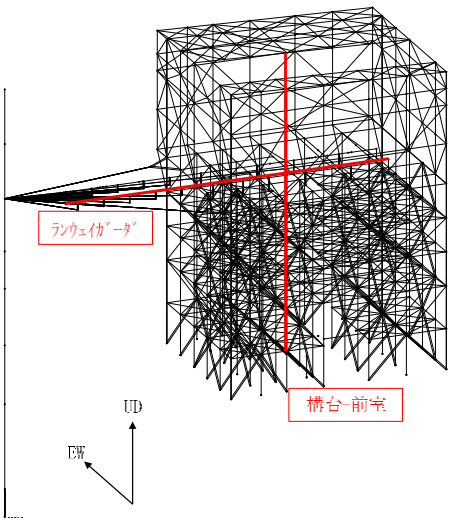


図 4.3.2-8(2)　最大応答加速度分布
(Ss600：EW 及び UD 方向加力時，1/2Ss450：3 方向加力時)

(4) 波及的影響の評価

地震応答解析結果が，JSCA 性能メニュー（社団法人日本建築構造技術者協会，2018 年）を参考に定めたクライテリア（「層間変形角は 1/75 以下，層の塑性率は 4 以下，部材の塑性率は 5 以下」*及びせん断力はせん断耐力以下）を満足することを確認する。

なお，解析結果が「時刻歴応答解析建築物性能評価業務方法書」（財団法人日本建築センター，平成 19 年 7 月 20 日）に示されるクライテリア（層間変形角は 1/100 以下，層の塑性率は 2 以下，部材の塑性率は 4 以下）を超える場合には水平変形に伴う鉛直荷重の付加的影響を考慮した解析を実施し，安全性を確認する。

*：北村春幸，宮内洋二，浦本弥樹「性能設計における耐震性能判断基準値に関する研究」，日本建築学会構造系論文集，第 604 号，2006 年 6 月

1) 層間変形角の検討

最大応答層間変形角を表 4.3.2-7 に示す。

検討の結果，最大応答層間変形角は 1/75 以下となりクライテリアを満足することを確認した。

表 4.3.2-7(1) 最大応答層間変形角の検討結果（1/2Ss450）

検討箇所	地震波	入力方向（位置）*	最大応答値	ｸﾗｲﾃﾘｱ	判定
前室	1/2Ss450	NS（A）	1/604	1/75	O.K.
		EW（B）	1/624	1/75	O.K.
構台		NS（B）	1/741	1/75	O.K.
		EW（B）	1/386	1/75	O.K.

*：（ ）内は，燃料取扱設備の位置を示す。（表 4.2.1-4 参照）

表 4.3.2-7(2) 最大応答層間変形角の検討結果（Ss600）

検討箇所	地震波	入力方向（位置）*	最大応答値	ｸﾗｲﾃﾘｱ	判定
前室	従来の Ss-1	NS（A）	1/431	1/75	O.K.
		EW（A）	1/484	1/75	O.K.
	従来の Ss-2	NS（A）	1/433	1/75	O.K.
		EW（A）	1/472	1/75	O.K.
	従来の Ss-3	NS（B）	1/442	1/75	O.K.
		EW（A）	1/551	1/75	O.K.
構台	従来の Ss-1	NS（B）	1/443	1/75	O.K.
		EW（B）	1/320	1/75	O.K.
	従来の Ss-2	NS（B）	1/461	1/75	O.K.
		EW（B）	1/280	1/75	O.K.
	従来の Ss-3	NS（A）	1/591	1/75	O.K.
		EW（B）	1/262	1/75	O.K.

*：（ ）内は，燃料取扱設備の位置を示す。（表 4.2.1-4 参照）

2) 断面検討

部材の応答結果が塑性していないため，断面検討結果を応力度比で示す。部材の応力度比は，2方向の曲げ，軸力及びせん断力の各最大応力と各許容応力度との比を組み合わせた値で表される。表 4.3.2-8 に断面検討結果を示す。なお，各許容応力度，引張耐力及び座屈耐力算定時の材料強度は「平成 12 年建設省告示第 2464 号」に定められた基準強度 F 値の 1.1 倍を用いる。

表 4.3.2-8 より全てのケースで応力度比が 1 以下になり，クライテリアを満足することを確認した。

表 4.3.2-8(1) 断面検討結果（前室）(1/2Ss450)

部 位*1		部材形状(mm) 〈使用材料〉	燃料取扱 設備位置*2	作用応力度 (N/mm²)		許容応力度 (N/mm²)		応力度比	判定
前室	ⓐ柱	H-700×300 ×14×28 〈SM490A〉	A	σ_c	24.2	f_c	310	0.71	O.K.
				σ_{by}	180.8	f_{by}	313		
				σ_{bz}	17.9	f_{bz}	357		
				τ	3.0	f_s	205		
	ⓑ梁	H-390×300 ×10×16 〈SM490A〉	B	σ_t	3.8	f_t	357	0.70	O.K.
				σ_{by}	0.0	f_{by}	273		
				σ_{bz}	243.8	f_{bz}	357		
				τ	4.2	f_s	205		
	ⓒ鉛直 ブレース	φ-355.6×9.5 〈STK490〉	B	σ_c	128.8	f_c	279	0.47	O.K.
	ⓓ水平 ブレース	2[s-150×75×9 ×12.5 〈SS400〉	B	σ_t	129.7	f_t	258	0.51	O.K.
	ⓔ屋根トラス上下弦材	H-300×300×16 ×16 〈SM490A〉	B	σ_c	169.2	f_c	316	0.66	O.K.
				σ_{bz}	43.7	f_{bz}	357		
				τ	0.7	f_s	205		
	ⓕ屋根トラス斜材	2[s-150×75× 6.5×10 〈SS400〉	A	σ_c	117.1	f_c	239	0.49	O.K.
	ⓖランウェイガーダ	□-1500×900× (80+40)×80 〈TMCP325〉	A	σ_c	20.4	f_c	357	0.26	O.K.
				σ_b	69.8	f_b	357		
				τ	12.5	f_s	205		

*1：ⓐ～ⓖの符号は図 4.3.2-5 の応力検討箇所を示す

*2：表 4.2.1-4 参照

表 4.3.2-8(2)　断面検討結果（構台）(1/2Ss450)

部　位[*1]		部材形状(mm) 〈使用材料〉	燃料取扱 設備位置[*2]	作用応力度 (N/mm^2)		許容応力度 (N/mm^2)		応力度比	判定
構台	ⓗ柱	(X)H-1500×400 ×16×32 (Y)H- 700×350 ×16×32 〈SM490A〉	B	σ_c	41.6	f_c	348	0.83	O.K.
				σ_{by}	120.5	f_{by}	303		
				σ_{bz}	108.5	f_{bz}	357		
				τ	12.8	f_s	205		
	ⓘ梁	H-800×350 ×19×36 〈SM490A〉	B	σ_c	0.1	f_c	342	0.69	O.K.
				σ_{by}	152.4	f_{by}	339		
				σ_{bz}	0.7	f_{bz}	357		
				τ	106.1	f_s	205		
	ⓙ鉛直 ブレース	φ-406.4×9.5 〈STK490〉	B	σ_c	137.7	f_c	294	0.47	O.K.
	ⓚ水平 ブレース	[-180×75×7× 10.5 〈SS400〉	B	σ_t	36.1	f_t	258	0.14	O.K.

*1：ⓗ～ⓚの符号は図 4.3.2-5 の応力検討箇所を示す

*2：表 4.2.1-4 参照

表 4.3.2-8(3)　断面検討結果（前室）（Ss600）

部　位*1		部材形状(mm) 〈使用材料〉	荷重ケース (位置)*2	作用応力度 (N/mm²)		許容応力度 (N/mm²)		応力度比	判定
前室	ⓐ柱	H-700×300 ×14×28 〈SM490A〉	従来の Ss-1 -EW+UD (A)	σ_c	13.7	f_c	310	0.82	O.K.
				σ_{by}	223.5	f_{by}	298		
				σ_{bz}	3.6	f_{bz}	357		
				τ	27.6	f_s	205		
	ⓑ梁	H-390×300 ×10×16 〈SM490A〉	従来の Ss-1 +EW-UD (B)	σ_t	6.8	f_t	357	0.91	O.K.
				σ_{by}	0.0	f_{by}	273		
				σ_{bz}	314.6	f_{bz}	357		
				τ	5.5	f_s	205		
	ⓒ鉛直 ブレース	ϕ-355.6×9.5 〈STK490〉	従来の Ss-2 +NS+UD (A)	σ_c	199.6	f_c	279	0.72	O.K.
	ⓓ水平 ブレース	2[s-200×90×8 ×13.5 〈SS400〉	従来の Ss-1 +EW-UD (B)	σ_t	178.7	f_t	258	0.70	O.K.
	ⓔ屋根トラス上下弦材	H-300×300×16 ×16 〈SM490A〉	従来の Ss-1 +NS-UD (B)	σ_c	221.0	f_c	316	0.80	O.K.
				σ_{bz}	33.3	f_{bz}	357		
				τ	0.5	f_s	205		
	ⓕ屋根トラス斜材	2[s-150×75× 6.5×10 〈SS400〉	従来の Ss-1 -NS+UD (B)	σ_c	148.7	f_c	239	0.63	O.K.
	ⓖランウェイガーダ	□-1500×900× (80+40)×80 〈TMCP325〉	従来の Ss-1 +NS-UD と +EW-UD と の包絡 (A)	σ_c	24.2	f_c	357	0.32	O.K.
				σ_b	85.4	f_b	357		
				τ	14.9	f_s	205		

*1：ⓐ～ⓖの符号は図 4.3.2-6 の応力検討箇所を示す

*2：(　)内は，燃料取扱設備の位置を示す。（表 4.2.1-4 参照）

表 4.3.2-8(4)　断面検討結果（構台）（Ss600）

部　位*1		部材形状(mm) 〈使用材料〉	荷重ケース (位置)*2	作用応力度 (N/mm²)		許容応力度 (N/mm²)		応力度比	判定
構台	ⓗ柱	(X)H-700×300 ×36×36 (Y)H-700×350 ×36×40 〈SM490A〉	従来の Ss-3 +EW-UD (B)	σ_c	43.4	f_c	343	0.91	O.K.
				σ_{by}	246.2	f_{by}	337		
				σ_{bz}	17.1	f_{bz}	357		
				τ	18.8	f_s	205		
	ⓘ梁	H-750×350 ×40×40 〈SM490A〉	従来の Ss-3 +EW-UD (B)	σ_c	24.1	f_c	350	0.87	O.K.
				σ_{by}	265.9	f_{by}	352		
				σ_{bz}	5.0	f_{bz}	357		
				τ	41.5	f_s	205		
	ⓙ鉛直 ブレース	φ-406.4×9.5 〈STK490〉	従来の Ss-1 +NS-UD (B)	σ_c	214.2	f_c	294	0.73	O.K.
	ⓚ水平 ブレース	[-180×75×7× 10.5 〈SS400〉	従来の Ss-3 -EW+UD (B)	σ_t	63.3	f_t	258	0.25	O.K.

*1：ⓗ～ⓚの符号は図 4.3.2-6 の応力検討箇所を示す

*2：(　)内は，燃料取扱設備の位置を示す。(表 4.2.1-4 参照)

4.3.3　弾性支承の耐震性に対する検討

弾性支承に作用する圧縮力による面圧が，圧縮限界強度以下となることを確認する。圧縮限界強度はゴム材料の弾性係数に応じて製品が規定する数値である。

検討の結果，最大圧縮面圧が圧縮限界強度以下となることを確認した。

表 4.3.3-1(1)　弾性支承の耐震性に対する検討結果（1/2Ss450）

設置位置	燃料取扱設備位置*	圧縮限界強度 σ_v (N/mm^2)	最大圧縮面圧 σ_D (N/mm^2)	σ_D/σ_v	判定
西側	A	43.00	8.80	0.21	O.K.
東側	A	43.00	8.86	0.21	O.K.

*：表 4.2.1-4 参照

表 4.3.3-1(2)　弾性支承の耐震性に対する検討結果（Ss600）

設置位置	荷重ケース (位置)*	圧縮限界強度 σ_v (N/mm^2)	最大圧縮面圧 σ_D (N/mm^2)	σ_D/σ_v	判定
西側	従来の Ss-1 +NS-UD (A)	43.00	10.83	0.26	O.K.
東側	従来の Ss-1 +NS-UD (A)	43.00	10.83	0.26	O.K.

*：(　)内は，燃料取扱設備の位置を示す。（表 4.2.1-4 参照）

4.3.4　オイルダンパの耐震性に対する検討

各部位で用いられるオイルダンパの耐震性に対する検討は，地震応答解析における最大応答値が許容値以下であることを確認する。

表 4.3.4-1 に最大応答値と許容値を比較した結果を示す。

検討の結果，全てのオイルダンパで最大応答値が許容値以下になることを確認した。

表 4.3.4-1(1)　オイルダンパの検討結果（1/2Ss450）

種類	検討項目	燃料取扱設備位置*	最大応答値	許容値	判定
オイルダンパ（水平棟間）	変位（mm）	A	40	±100	O.K.
	速度（m/s）	A	0.42	0.70	O.K.
オイルダンパ（鉛直）	変位（mm）	B	13	±60	O.K.
	速度（m/s）	B	0.07	0.50	O.K.
ばね付きオイルダンパ	変位（mm）	A	14	±100	O.K.
	速度（m/s）	A	0.10	1.00	O.K.

＊：表 4.2.1-4 参照

表 4.3.4-1(2)　オイルダンパの検討結果（Ss600）

種類	検討項目	荷重ケース（位置）*	最大応答値	許容値	判定
オイルダンパ（水平棟間）	変位（mm）	従来の Ss-1 NS (B)	50	±100	O.K.
	速度（m/s）	従来の Ss-2 NS (B)	0.54	0.70	O.K.
オイルダンパ（鉛直）	変位（mm）	従来の Ss-3 EW (B)	18	±60	O.K.
	速度（m/s）	従来の Ss-1 NS (B)	0.16	0.50	O.K.
ばね付きオイルダンパ	変位（mm）	従来の Ss-1 NS (A)	18	±100	O.K.
	速度（m/s）	従来の Ss-1 NS (A)	0.14	1.00	O.K.

＊：（　）内は，燃料取扱設備の位置を示す。（表 4.2.1-4 参照）

4.3.5　1/2Ss450 と Ss600 の応答結果の比較検討

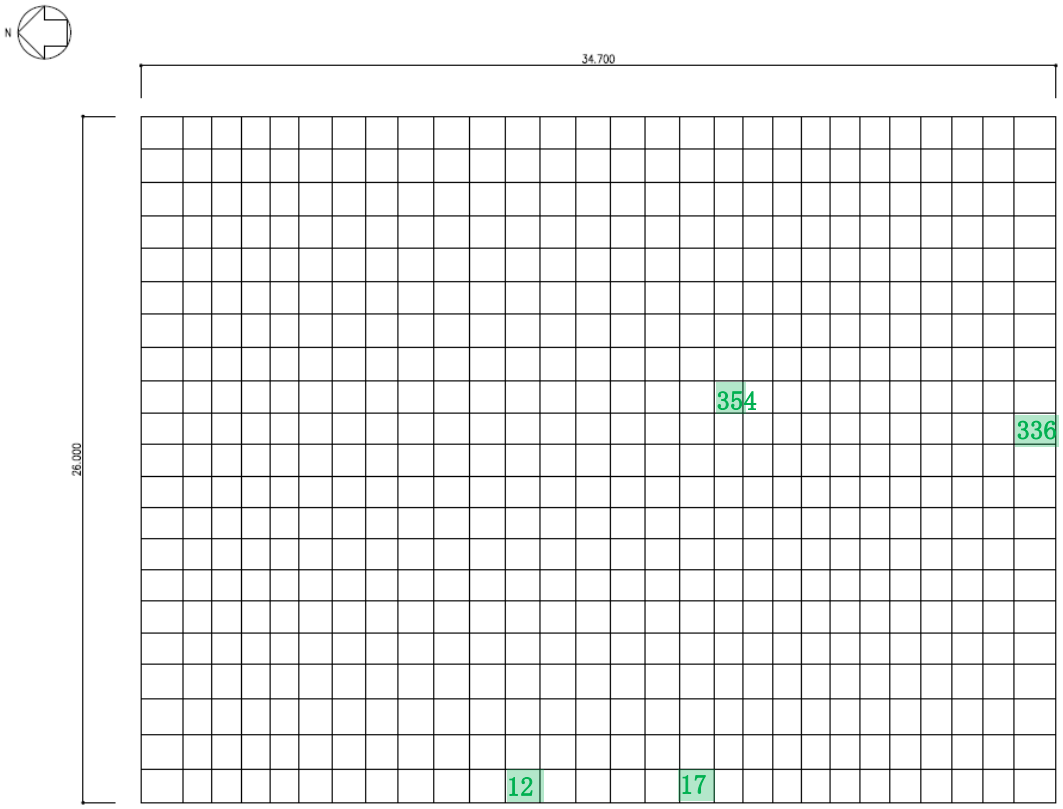
前述の通り，最大応答層間変形角，部材の断面検討結果，弾性支承の最大圧縮面圧およびオイルダンパの最大応答の全てにおいて，1/2Ss450 評価結果が Ss600 評価結果を下回り，1/2Ss450 を適用した場合の影響が十分小さいことをことを確認した。（別冊２８ P97～P103 参照）

4.3.6　基礎の耐震性に対する検討

(1)　解析モデル

基礎の応力解析は，弾性地盤上に支持された版として有限要素法を用いて行う。解析モデルは，図 4.3.6-1 に示すように四辺形の均質等方な板要素により構成し，支持地盤は等価な弾性ばねとしてモデル化する。但し，浮き上がった場合は，ばねの剛性が 0 となる。

なお，前述の通り 1/2Ss450 を適用した場合の影響が十分小さいことを確認したことから，Ss600 での検討結果を記載する。



凡例　###　：Ss600 時断面算定要素（数字は要素番号）

図 4.3.6-1　基礎モデル(Ss600 時)

(2)　断面検討

組合せた応力より，各要素の必要鉄筋比を「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」より求め，設計配筋が必要鉄筋比を上回ること及び面外せん断力が許容せん断力以下であることを確認する。必要鉄筋比が最大となる要素と設計面外せん断力と許容せん断力との比が最大になる要素の断面検討結果を表 4.3.6-1 に示す。なお，各許容応力度，引張耐力及び座屈耐力算定時の材料強度は「平成 12 年建設省告示第 2464 号」に定められた基準強度 F 値の 1.1 倍を用いる。

断面検討の結果，設計配筋は必要鉄筋比を上回り，面外せん断力は許容せん断力以下であることを確認した。

表 4.3.6-1　断面検討結果

要素番号	方向	荷重ケース (位置)*1	設計応力		N/(b・D)*2 ($\times 10^{-2}$ N/mm^2)	M/(b・D^2) ($\times 10^{-2}$ N/mm^2)	Pt (%)	設計配筋 上段：上端筋　(pt:%) 下段：下端筋　(pt:%)	設計面外 せん断力 Q (kN/m)	許容せん断力 fs・b・j (kN/m)	判定
			N*2 (kN/m)	M (kN・m/m)							
12	NS	従来のSs-1 +NS-UD (A)	382.3	11137.8	0.127	1.238	0.378	2-D38@200　(0.38) 3-D38@200　(0.57)	542.8	2616	O.K.
336	EW	従来のSs-3 +EW-UD (B)	702.3	8453.6	0.234	0.939	0.261	2-D38@200　(0.38) 2-D38@200　(0.38)	513.9	2663	O.K.
17	NS	従来のSs-1 +NS-UD (A)	485.8	3585.9	0.162	0.398	0.099	2-D38@200　(0.38) 2-D38@200　(0.38)	2048.4	2663	O.K.
354	EW	従来のSs-2 -EW+UD (B)	700.2	4994.3	0.233	0.555	0.139	2-D38@200　(0.38) 2-D38@200　(0.38)	1806.0	2663	O.K.

*1：（　）内は，燃料取扱設備の位置を示す。（表 4.2.1-4 参照）
*2：圧縮を正とする。

4.3.7　改良地盤の耐震性に対する検討

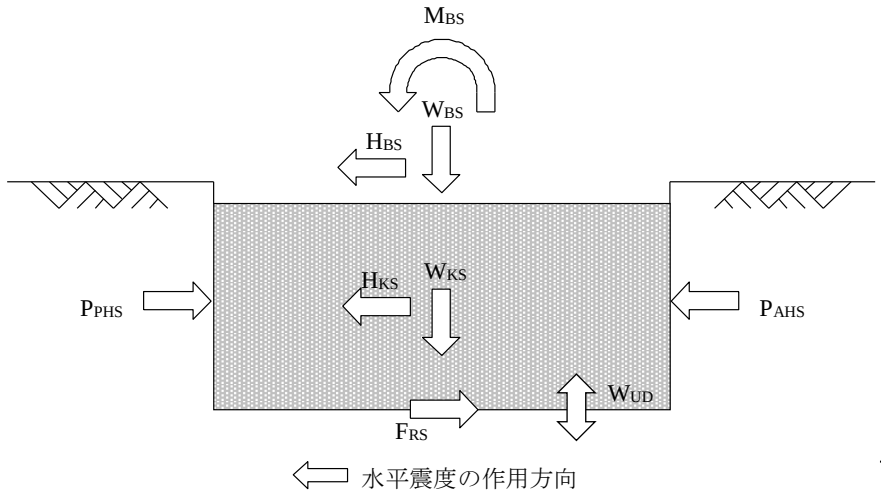
(1)　検討方針

検討は「JEAC 4616-2009」に準拠し，地震により発生する荷重に対して許容限界を満足することを確認する。改良地盤の許容限界は，改良地盤の設計圧縮強度，せん断抵抗に対する安全率に基づき設定する。支持地盤の許容限界は，支持地盤の極限支持力に対する安全率に基づき設定する。

なお，前述の通り 1/2Ss450 を適用した場合の影響が十分小さいことを確認したことから，Ss600 での検討結果を記載する。

(2)　地震時に対する検討

地震時において，改良地盤底面の最大接地圧及びせん断応力が，改良地盤の短期許容応力以下であることを確認する。図 4.3.7-1 に作用荷重を示す。



W_{BS}：燃料取り出し用構台荷重
W_{KS}：改良地盤の自重
H_{BS}：燃料取り出し用構台による水平力
M_{BS}：燃料取り出し用構台による改良地盤底面における
　　転倒モーメント
H_{KS}：改良地盤の慣性力
P_{AHS}：地震時主働土圧による水平力
P_{PHS}：地震時受働土圧による水平力
F_{RS}： 支持地盤のせん断抵抗力
W_{UD}： 上下動による鉛直応力

図 4.3.7-1　作用荷重（Ss600 時）

改良地盤の荷重負担範囲は，基礎底盤における矩形断面部分を対象とした面積 $A=902.2m^2$，断面係数 $Z_X=3909m^3$，$Z_Y=5217m^3$ として算定する。改良地盤底面の最大接地圧（q_{1S}）及び最大せん断応力（τmax）は下式にて求める。

鉛直力の合計　$\Sigma W = W_{BS}+W_{KS}$

水平力の合計　$\Sigma H_X= H_{BS}+H_{KS}+P_{AHS}+P_{PHS}$（NS 方向）

$\Sigma H_Y= H_{BS}+H_{KS}+P_{AHS}+P_{PHS}$（EW 方向）

転倒モーメントの合計　$\Sigma M_X= M_{BS}+M_{KS}+M_{AHS}+M_{PHS}$（X 軸回り:EW 方向加力）

$\Sigma M_Y= M_{BS}+M_{KS}+M_{AHS}+M_{PHS}$（Y 軸回り:NS 方向加力）

ここに，　M_{KS}：改良地盤の転倒モーメント

M_{AHS}：地震時主働土圧による転倒モーメント

M_{PHS}：地震時受働土圧による転倒モーメント

改良地盤底面の最大接地圧

$$q_{2SX+} = \Sigma W/A+\Sigma M_Y/Z_Y+W_{UD}/A$$

$$q_{2SX-} = \Sigma W/A+\Sigma M_Y/Z_Y-W_{UD}/A$$

$$q_{2SY+} = \Sigma W/A+\Sigma M_X/Z_X+W_{UD}/A$$

$$q_{2SY-} = \Sigma W/A+\Sigma M_X/Z_X-W_{UD}/A$$

ここに，　W_{UD}：上下動による鉛直応力

(3)　波及的影響の評価

改良地盤の評価は，「JEAC 4616-2009」に準じ，改良地盤に発生する最大応力が許容値に対して1.5以上の安全率を有していることを確認する。

1)　改良地盤に生じる鉛直応力に対する検討結果

改良地盤に作用する鉛直応力に対し改良地盤の圧縮強度の安全率が 1.5 以上であることを確認する。

$$\frac{{}_{SS}f_{SC}}{\sigma_{ymax}} \geqq 1.5$$

ここで，　${}_{SS}f_{SC}$　：改良地盤の圧縮強度

σ_{ymax}　：有限要素解析による各要素の鉛直応力の最大値

改良地盤の圧縮強度（${}_{SS}f_{SC}$）は，「JEAC 4616-2009」により改良地盤の圧縮強度の平均値である設計圧縮強度 5000 kN/m^2 とし，断面欠損を考慮した場合 4900 kN/m^2 とする。

安全率の検討結果を表 4.3.7-1 に示す。検討結果より改良地盤の圧縮強度は改良地盤の基礎スラブ直下における最大鉛直応力の 1.5 以上の安全率を有していることを確認した。

表 4.3.7-1　改良地盤の鉛直応力に対する検討結果

方向	最大鉛直応力 σ_{ymax}(kN/m^2)	最大鉛直応力発生地震波	圧縮強度 $_{SS}f_{SC}$(kN/m^2)	安全率	ｸﾗｲﾃﾘｱ	判定
NS	761	従来の Ss-1	4900	6.43	1.50	OK
EW	793	従来の Ss-2	4900	6.17	1.50	OK

2)　改良地盤に作用するせん断力に対する検討

検討は，改良地盤の基礎直下及び改良地盤下端のせん断力について行う。改良地盤上端及び下端にせん断面を想定し，せん断に対する安全率 $F_S(t)$ が 1.5 以上であることを確認する。

$$F_S(t)=\frac{F_R(t)}{F_H(t)}\geqq 1.5$$

ここで，　$F_S(t)$：せん断に対する安全率

$F_R(t)$：せん断面上の地盤の水平抵抗力（kN）

$F_H(t)$：せん断面上の地盤のせん断力（kN）

$_{SS}f_{SS}$：改良地盤のせん断強度（kN/m^2）

改良地盤のせん断強度（$_{SS}f_{SS}$）は下式より設定する。

$$_{SS}f_{SS}=\frac{1}{5}{}_{SS}f_{SC}$$

ここで，　$_{SS}f_{SS}$：1000 kN/m^2

断面欠損を考慮し

$_{SS}f_{SS}$：　750 kN/m^2

安全率の検討結果を表 4.3.7-2，表 4.3.7-3 に示す。

検討結果より改良地盤の水平抵抗力は，改良地盤の基礎直下及び改良地盤下端の最大せん断力の 1.5 以上の安全率を有していることを確認した。

表 4.3.7-2　改良地盤のせん断力に対する検討結果（基礎下端）

方向	最大せん断力発生地震波	最大せん断力 F_H (kN)	水平抵抗力 F_R (kN)	安全率 F_S	ｸﾗｲﾃﾘｱ	判定
NS	従来の Ss-2	56816	676650	11.90	1.50	OK
EW	従来の Ss-1	55076	676650	12.28	1.50	OK

表 4.3.7-3　改良地盤のせん断力に対する検討結果（改良地盤下端）

方向	最大せん断力発生地震波	最大せん断力 F_H (kN)	水平抵抗力 F_R (kN)	安全率 F_S	ｸﾗｲﾃﾘｱ	判定
NS	従来の Ss-2	105335	676650	6.42	1.50	OK
EW	従来の Ss-1	106956	676650	6.32	1.50	OK

3)　支持力の検討

支持力の評価は，改良地盤下端における最大鉛直応力が支持地盤の極限支持力度に対して 1.5 以上の安全率を有していることを確認する。

$$\frac{R_u}{V} \geqq 1.5$$

ここで，　　R_u:極限鉛直支持力度

V:地震応答解析から得られる最大鉛直応力

検討の結果，支持地盤の極限支持力度（ 6860 kN/m^2）*は改良地盤底部における最大鉛直応力の 1.5 以上の安全率を有していることを確認した。

＊:「福島第一原子力発電所 原子炉設置変更許可申請書（４号炉増設)」による

NS 方向：6860 kN/m^2 ／ 761 kN/m^2 ＝ 9.01 ≧ 1.50 ・・・・OK

EW 方向：6860 kN/m^2 ／ 793 kN/m^2 ＝ 8.65 ≧ 1.50 ・・・・OK

4.3.8　原子炉建屋接触部の耐震性に対する検討

(1)　弾性支承反力に対する検討

地震応答解析で得られる弾性支承に生ずる最大圧縮軸力の反力として原子炉建屋の RC 梁に生じるせん断力が，梁の許容せん断耐力以下となることを確認する。なお，原子炉建屋接触部の状況については，別冊２８ P64 参照。

弾性支承の反力は基本的に，プール壁及び下階柱に直接かかるように配置するが，一部梁端に作用するため，それを考慮する。この時，地震時の鉛直方向震度を下向きに考慮する。鉛直震度は，時刻歴解析時のオペフロ床質点の鉛直方向最大加速度を震度換算して算定する。

なお，前述の通り 1/2Ss450 を適用した場合の影響が十分小さいことを確認したことから，Ss600 での検討結果を記載する。

検討の結果，梁のせん断力が許容せん断耐力以下となることを確認した。

表 4.3.8-1　弾性支承反力に対する検討結果

部位	荷重ケース (位置)*	梁端せん断力 Q(kN)	許容せん断耐力 Qa(kN)	耐力比	判定
弾性支承受梁	従来の Ss-1 NS (A)	1203	2313	0.52	O.K.

*：(　)内は，燃料取扱設備の位置を示す。（表 4.2.1-4 参照）

(2)　ばね付きオイルダンパの反力に対する検討

ばね付きオイルダンパの反力を受ける原子炉建屋床架構を有限要素法を用いてモデル化し弾性解析を行う。床スラブは板要素で，大梁は線材でモデル化する。

ばね付きオイルダンパの反力は，地震応答解析における各支点での最大鉛直方向反力値を取り出し静的に作用させる。

なお，前述の通り 1/2Ss450 を適用した場合の影響が十分小さいことを確認したことから，Ss600 での検討結果を記載する。

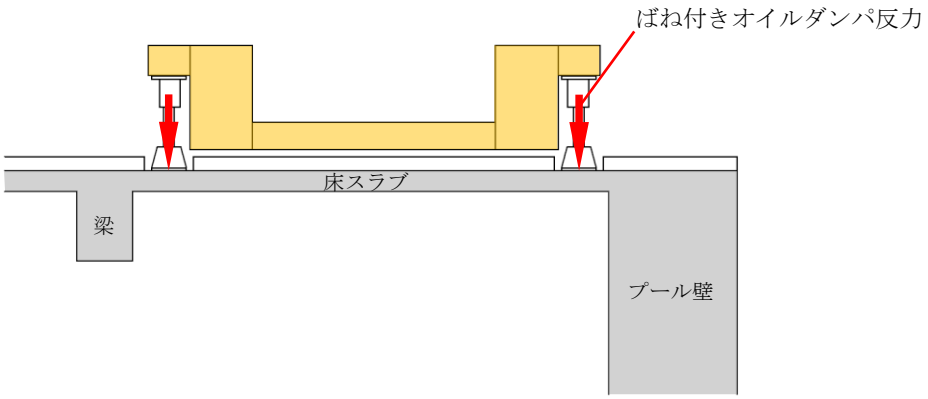


図 4.3.8-1　ばね付きオイルダンパ反力概要図

検討の結果，床スラブの発生応力が許容耐力以下となることを確認した。

表 4.3.8-2　ばね付きオイルダンパの反力に対する検討結果

部位	荷重ケース (位置) *	応力	発生応力	許容耐力	耐力比	判定
ばね付きオイルダンパ 受け床スラブ	従来の Ss-1 NS (A)	曲げ M (kN・m)	79	216	0.37	O.K.
		せん断 Q(kN)	321	420	0.77	O.K.

*：(　)内は，燃料取扱設備の位置を示す。（表 4.2.1-4 参照）

(3)　オイルダンパ（水平棟間）反力に対する検討

オイルダンパ（水平棟間）の反力を受ける原子炉建屋南側外壁（壁・大梁及び柱）を有限要素法を用いてモデル化し，弾性解析を行う。

床スラブ・壁付梁は板要素で，柱は線材でモデル化する。

オイルダンパ（水平棟間）の反力を受ける箇所は 2 箇所あるが，面外方向の反力値が大きく，躯体断面の小さい西側での検定比が支配的となるため西側での検討を代表として行う。

オイルダンパ（水平棟間）の反力は，地震応答解析において発生した最大反力を取り出し静的に作用させる。

この時，地震時の水平方向震度を考慮する。水平震度は，時刻歴解析の原子炉建屋床質点の水平方向最大加速度を震度換算して算定し，慣性力として架構面外に作用させる。

なお，前述の通り 1/2Ss450 を適用した場合の影響が十分小さいことを確認したことから，Ss600 での検討結果を記載する。

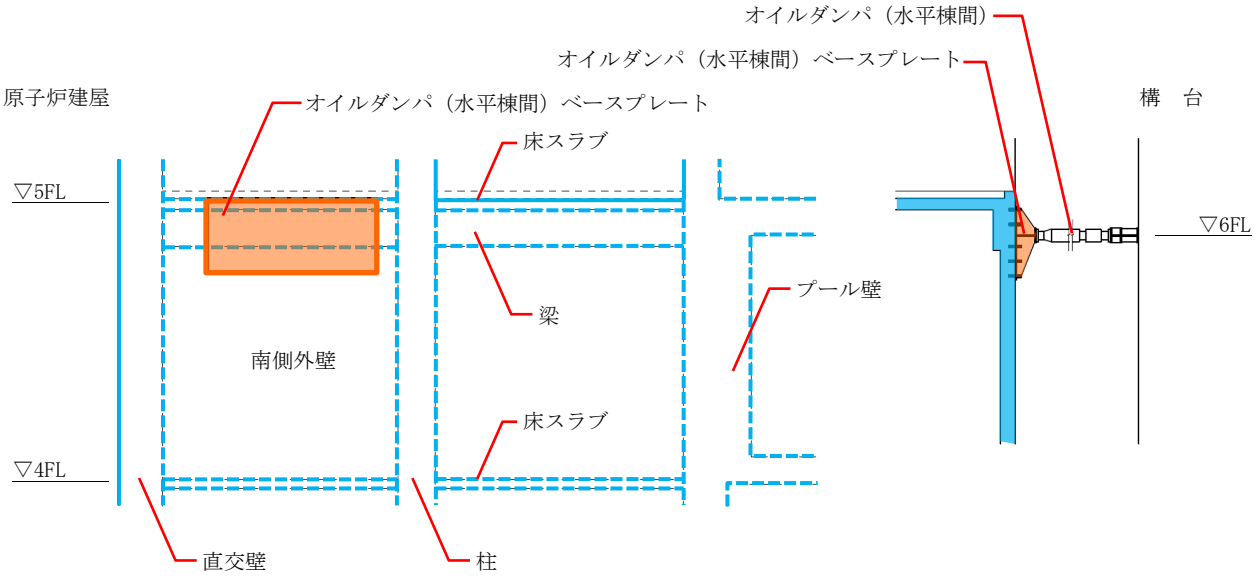


図 4.3.8-2　オイルダンパ（水平棟間）ベースプレート概要図

検討の結果，原子炉建屋南側外壁の発生応力が許容耐力以下となることを確認した。

表 4.3.8-3　オイルダンパ（水平棟間）反力に対する検討結果

部位	荷重ケース （位置）＊	応力	発生応力	許容耐力	耐力比	判定
オイルダンパ （水平棟間） 受け外壁	従来の Ss-2 NS (B)	曲げ M（kN・m）	206	422	0.49	O.K.
		せん断 Q(kN/m)	273	589	0.47	O.K.

＊：（　）内は，燃料取扱設備の位置を示す。（表 4.2.1-4 参照）

(4)　オイルダンパ（水平棟間）反力に対するあと施工アンカーの検討

オイルダンパ（水平棟間）は，原子炉建屋南側外壁のオペフロ床より少し下がった位置で，あと施工アンカー（M30及びM60 の2種類）を用いて壁面に固定されたベースプレートと接続している。取り合い部の詳細を図 4.3.8-3 に示す。なお，あと施工アンカーの適用性については，別冊２８P63 参照。

なお，前述の通り 1/2Ss450 を適用した場合の影響が十分小さいことを確認したことから，Ss600での検討結果を記載する。

あと施工アンカーは，地震応答解析で得られたオイルダンパ（水平棟間）の反力（引張及びせん断方向）の最大値に対して短期許容強度以下となることを確認した。

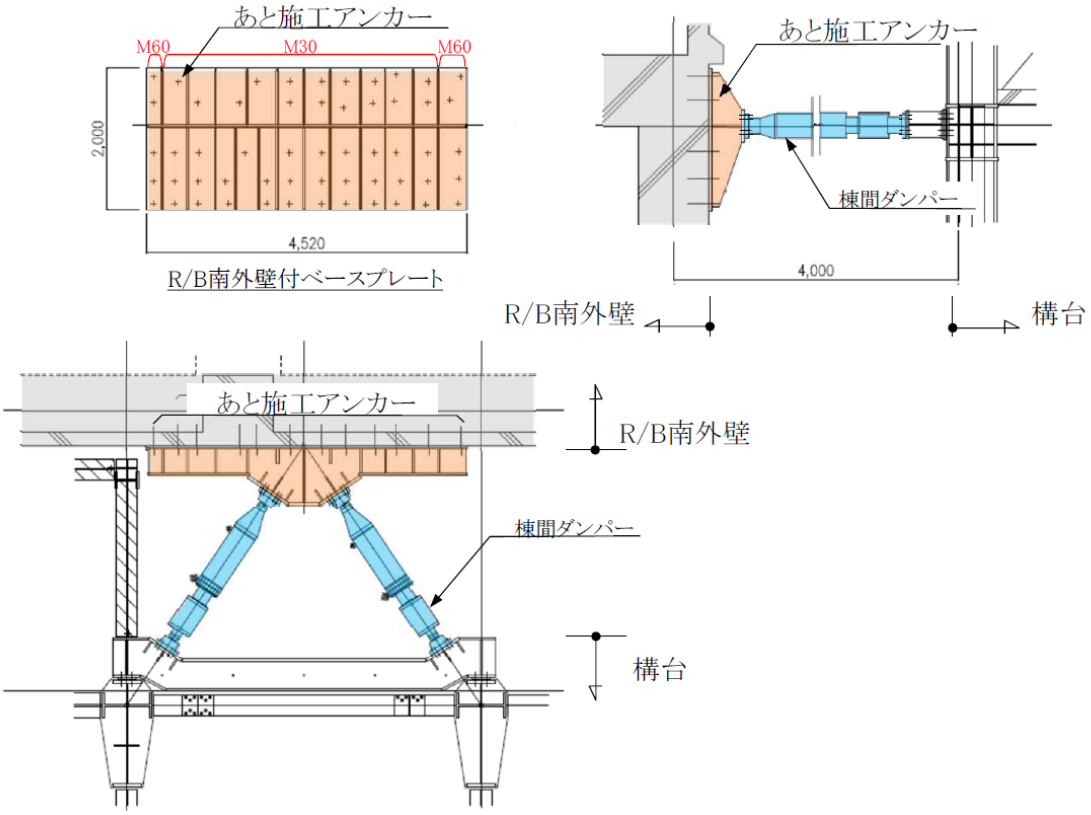


図 4.3.8-3　取り合い部の詳細

表 4.3.8-4　オイルダンパ（水平棟間）反力に対するあと施工アンカーの検討結果

一般あと施工アンカー及び FM ボルトの許容耐力

種　類	径	有効埋込長	短期許容強度	
一般あと施工アンカー	M30	300 mm	73 kN/本	引張
FM ボルト	M60	265 mm	329 kN/本	せん断

検討結果

種　類	作用応力(kN)	許容耐力(kN)	耐力比	判定
引張	3203	3285	0.98	O.K.
せん断	2219	3290	0.68	O.K.

4.3.9　原子炉建屋の耐震性に対する検討

(1)　検討方針

燃料取り出し用構台を支持する原子炉建屋の耐震性の検討は，耐震安全上重要な設備への波及的影響防止の観点から，原子炉建屋の耐震壁及び屋根トラス（以下，原子炉建屋上部架構）の健全性について行い，Ss600 に対して原子炉建屋上部架構の応答性状を適切に表現できる地震応答解析を用いて評価する。

なお，前述の通り 1/2Ss450 を適用した場合の影響が十分小さいことを確認したことから，Ss600 での検討結果を記載する。

(2)　原子炉建屋上部架構の地震応答解析

1)　解析に用いる入力地震動

原子炉建屋上部架構の地震応答解析に用いる入力地震動は，Ss600 を入力したときの原子炉建屋 G.L.29.92m の時刻歴応答加速度とし，水平方向，回転方向及び鉛直方向の同時入力とする。入力地震動の概念図を図 4.3.9-1 に示す。

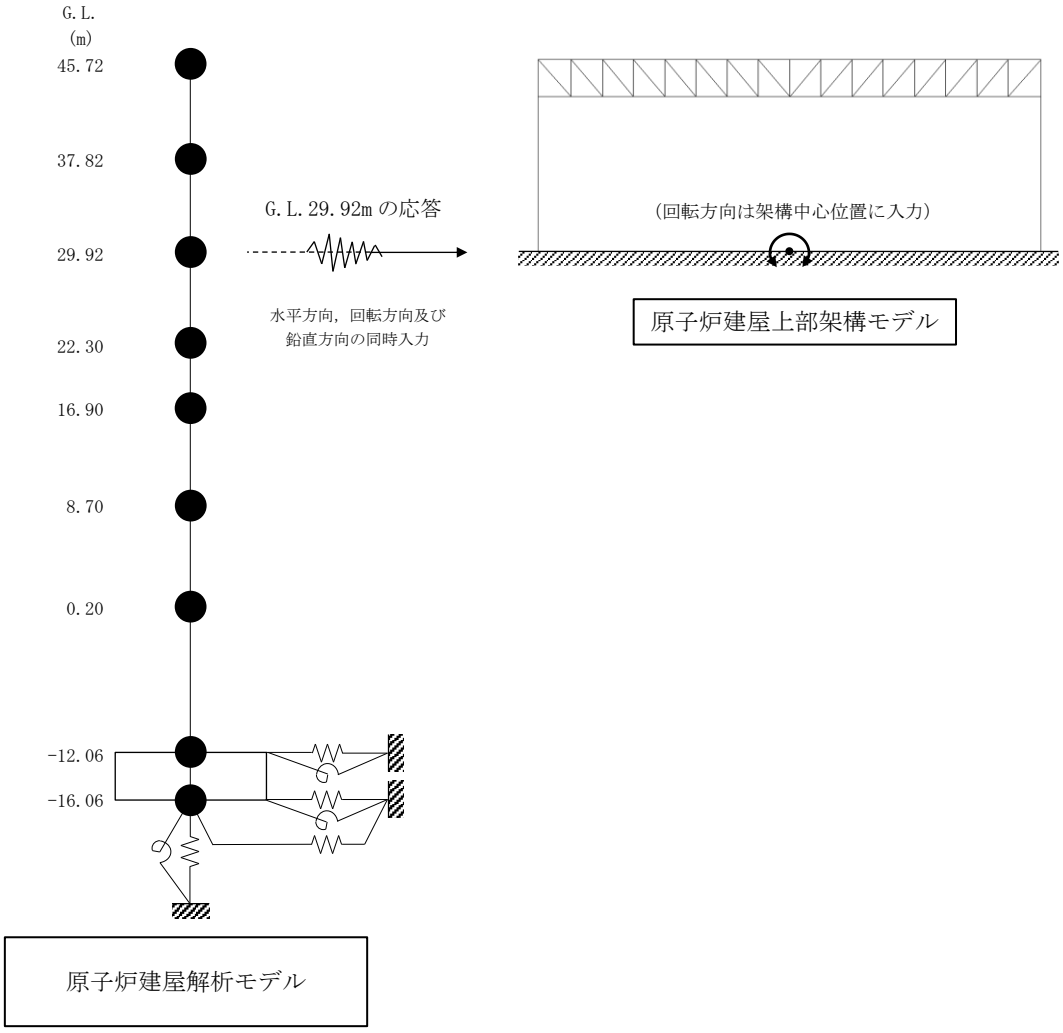


図 4.3.9-1　入力地震動の概念図

2)　地震応答解析モデル

原子炉建屋上部架構の地震応答解析モデルは，G.L.29.92m より上部の鉄骨造の屋根と鉄筋コンクリート造の柱，梁及び耐震壁を組み込んだ立体架構モデルとし，境界条件は柱及び耐震壁脚を固定とする。解析モデルを図 4.3.9-2 に，物性値を表 4.3.9-1 に示す。

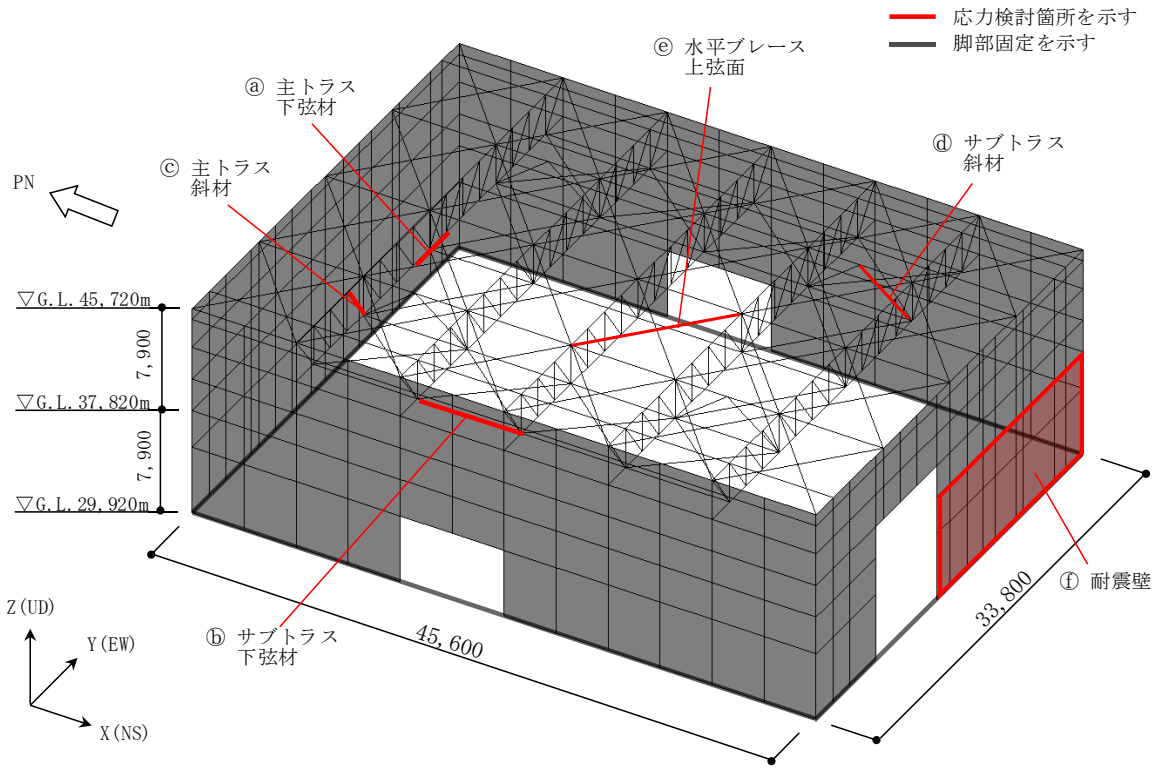


図 4.3.9-2　原子炉建屋上部架構の地震応答解析モデル

表 4.3.9-1　地震応答解析に用いる物性値

部　位	材　料	ヤング係数 E (N/mm^2)	せん断弾性係数 G (N/mm^2)	減衰定数 h (%)
屋根	鉄骨	2.05×10^5	7.90×10^4	2
外周部	コンクリート*	2.57×10^4	1.07×10^4	5

＊：実強度(Fc35)に基づく物性値を示す。

(3) 波及的影響の評価

原子炉建屋上部架構の変形は，JSCA 性能メニュー（社団法人日本建築構造技術者協会，2018 年）を参考に定めたクライテリアとして，鉄骨造部材は，塑性率が 5 以下を満足することを確認する。

耐震壁のせん断ひずみは，鉄筋コンクリート造耐震壁の終局限界に対応した評価基準値（4.0×10^{-3}）以下になることを確認する。

1) 応力度比及び塑性率の検討

部材の応力度比は，2 方向の曲げ，軸力及びせん断力の各最大応力と各許容応力度との比を組み合わせた値で表され，部材の塑性率は，引張及び圧縮に対して最大軸力時のひずみを引張耐力または座屈耐力時のひずみで除した値で表される。表 4.3.9-2 及び表 4.3.9-3 に応力度比及び塑性率が最大となる部位の検討結果を示す。なお，各許容応力度，引張耐力及び座屈耐力算定時の材料強度は「平成 12 年建設省告示第 2464 号」に定められた基準強度 F 値の 1.1 倍を用いる。

表 4.3.9-2 より応力度比は 1 以下，表 4.3.9-3 より塑性率は 5 以下となり，クライテリアを満足することを確認した。

表 4.3.9-2　応力度比の検討結果

部　位*1			部材形状 (mm) 〈使用材料〉	荷重ケース (位置) *2	作用応力度 (N/mm²)		許容応力度 (N/mm²)	応力度比	判定
主トラス	ⓐ	下弦材	H-400×400 ×13×21 〈SS400〉	従来の Ss-1 +NS+UD (A)	σ_t	108.4	258	0.72	O.K.
					σ_{by}	49.7	190		
					σ_{bz}	7.4	258		
					τ	5.0	148		
サブトラス	ⓑ	下弦材	H-248×249 ×8×13 〈SS400〉	従来の Ss-1 +EW-UD (A)	σ_c	53.1	142	0.38	O.K.
					σ_{by}	0.0	157		
					σ_{bz}	0.0	258		
					τ	0.0	148		

＊1：ⓐ，ⓑの符号は図 4.3.9-2 の応力検討箇所を示す
＊2：(　)内は，燃料取扱設備の位置を示す。(表 4.2.1-4 参照)

σ_t ：引張応力度の最大値
σ_c ：圧縮応力度の最大値
σ_{by} ：強軸まわりの曲げ応力度の最大値ｂ
σ_{bz} ：弱軸まわりの曲げ応力度の最大値
τ ：せん断応力度の最大値

表 4.3.9-3　塑性率の検討結果

部　位*1			部材形状 (mm) 〈使用材料〉	荷重ケース (位置) *2	塑性率		判定
主トラス	ⓒ	斜材	2Ls-100×100×13 〈SS400〉	従来の Ss-1 +NS+UD (A)	T/Tu	0.82	O.K.
サブ トラス	ⓓ	斜材	2Ls-100×100×7 〈SS400〉	従来の Ss-1 +NS+UD (A)	C/Cu	0.58	O.K.
水平 ブレース	ⓔ	上弦面	CT-125×250×9× 14 〈SS400〉	従来の Ss-2 +EW-UD (A)	C/Cu	1.68	O.K.

＊1：ⓒ～ⓔの符号は図 4.3.9-2 の応力検討箇所を示す

＊2：(　)内は，燃料取扱設備の位置を示す。(表 4.2.1-4 参照)

C　：部材軸方向の圧縮力の最大値

Cu ：座屈耐力

T　：部材軸方向の引張力の最大値

Tu ：引張耐力

2)　耐震壁のせん断ひずみの検討

原子炉建屋上部架構の耐震壁の最大せん断ひずみを表 4.3.9-4 に示す。

検討の結果，耐震壁の最大せん断ひずみは 4.0×10^{-3} 以下となり，クライテリアを満足することを確認した。

また，「4.3.2　構台，前室及びランウェイガーダの耐震性に対する検討」で実施した地震応答解析による原子炉建屋の最大せん断ひずみを，「JEAG 4601-1991 追補版」に基づき設定した耐震壁のせん断スケルトン曲線上にプロットした結果を図 4.3.9-3 に示す。

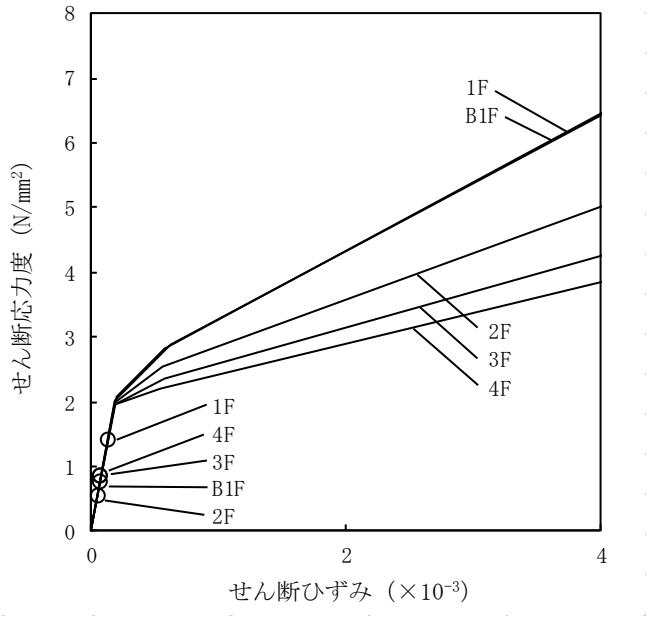
検討の結果，耐震壁の最大せん断ひずみは 4.0×10^{-3} 以下となり，クライテリアを満足することを確認した。

表 4.3.9-4　耐震壁の最大せん断ひずみの検討結果

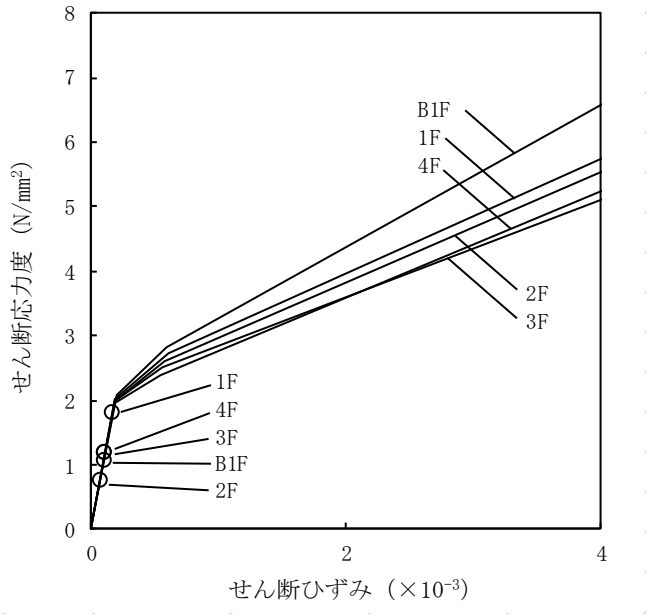
部　位*1			部材形状 (mm) 〈使用材料〉	荷重ケース (位置) *2	せん断ひずみ ($\times10^{-3}$)	判定
耐震壁	ⓕ	建屋南側 5F	t=200 〈Fc22.1〉	従来の Ss-1 +EW+UD (A)	0.24	O.K.

＊1：ⓕの符号は図 4.3.9-2 の応力検討箇所を示す

＊2：(　)内は，燃料取扱設備の位置を示す。(表 4.2.1-4 参照)



(a) NS 方向



(b) EW 方向

図 4.3.9-3　せん断スケルトン曲線上の最大応答値

5.　1 号機燃料取り出し用カバー（大型カバー）の構造強度及び耐震性について

5.1　概要

5.1.1　一般事項

大型カバーは，原子炉建屋オペレーティングフロアを覆う構造としており，屋根部，一般部及び燃料取扱設備支持部から構成され，オペレーティングフロア上にあるガレキを撤去するガレキ撤去用天井クレーンを有する。また，大型カバーの燃料取扱設備支持部は燃料取扱設備（燃料取扱機及びクレーン）を支持する。

大型カバーおよびガレキ撤去用天井クレーンの耐震クラス分類は，2021 年 9 月 8 日及び 2022 年 11 月 16 日の原子力規制委員会で示された耐震設計の考え方を踏まえ，安全機能の重要度，地震によって機能の喪失を起こした場合における公衆への被ばく影響を評価した結果，C クラスとなる。なお，燃料取扱設備支持部が燃料取扱設備の間接支持構造物であることから，大型カバーに適用する地震力は B+クラス相当とする。

大型カバーの構造強度は，B+クラスの設備に要求される静的地震力に対して許容応力度設計を実施し，耐震性のうち機能維持の検討は，基準地震動 Ss（最大加速度 900gal。以下，「Ss900」という。）の 1/2 の最大加速度 450gal の地震動（以下，「1/2Ss450」という。）に対する地震応答解析を実施し，燃料取扱設備の間接支持機能が維持されることを確認する。

ガレキ撤去用天井クレーンの構造強度は，C クラスの設備に要求される静的地震力に対して許容応力度設計を実施する。

大型カバーとガレキ撤去用天井クレーンの耐震性のうち波及的影響の防止の検討は，Ss900 に対する地震応答解析を実施し，大型カバーおよびガレキ撤去用天井クレーンの損傷が原子炉建屋，使用済燃料プール及び使用済燃料ラックに波及的影響を及ぼさないことを確認する。ここで，波及的影響の確認は，大型カバー及びガレキ撤去用天井クレーンが崩壊機構に至らないことを確認する。図 5.1.1-1 に大型カバーのイメージを示す。

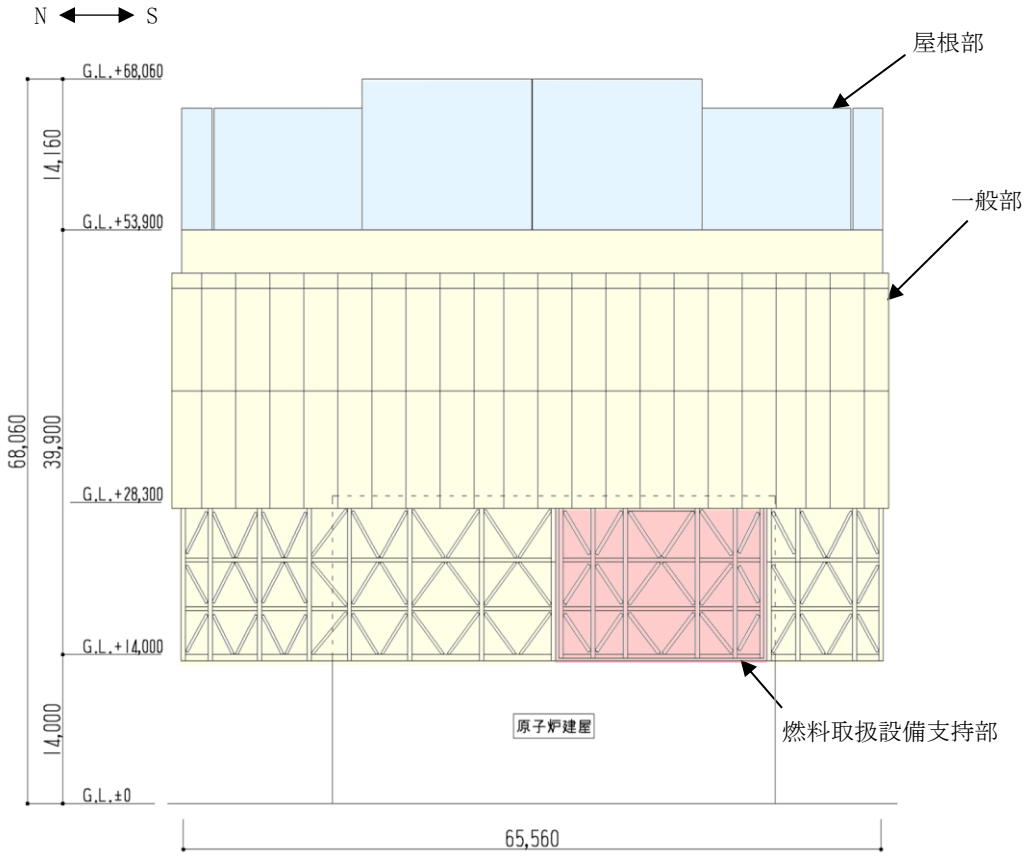


図 5.1.1-1　大型カバーのイメージ（単位：mm）

本章では，G.L.±0m=T.P.8,564mm*とする。
また，記載の寸法は現場状況に応じて変更する場合がある。
*：震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P.から T.P.への読替値(-727mm)を用いて，下式に基づき換算している。
＜換算式＞T.P.=旧 O.P.-1,436mm

大型カバーの検討は原則として下記の法規及び基規準類に準拠して行う。

(1) 建築基準法・同施行令及び関連告示
(2) 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会，改定版 2013 年）
(3) 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会，2018 年）
(4) 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（日本建築学会，2005 年）
(5) 2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書(国土交通省住宅局建築指導課・国土交通省国土技術政策総合研究所・独立行政法人建築研究所・日本建築行政会議，2015 年)
(6) 各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会，2010 年）
(7) クレーン等安全規則（昭和 47 年 9 月 30 日労働省令第 34 号）
(8) クレーン構造規格（平成 7 年 12 月 26 日労働省令第 134 号）
(9) 日本産業規格（JIS）

また，原子力施設の設計において参照される下記の指針及び規程を参考にして検討を行う。

(10) 原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG 4601-1987)（日本電気協会 電気技術基準調査委員会，昭和 62 年)
(11) 原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG 4601-1991 追補版)（日本電気協会 電気技術基準調査委員会，平成 3 年)
(12) 原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC 4601-2015)（日本電気協会 原子力規格委員会，平成 27 年)

5.1.2　構造概要

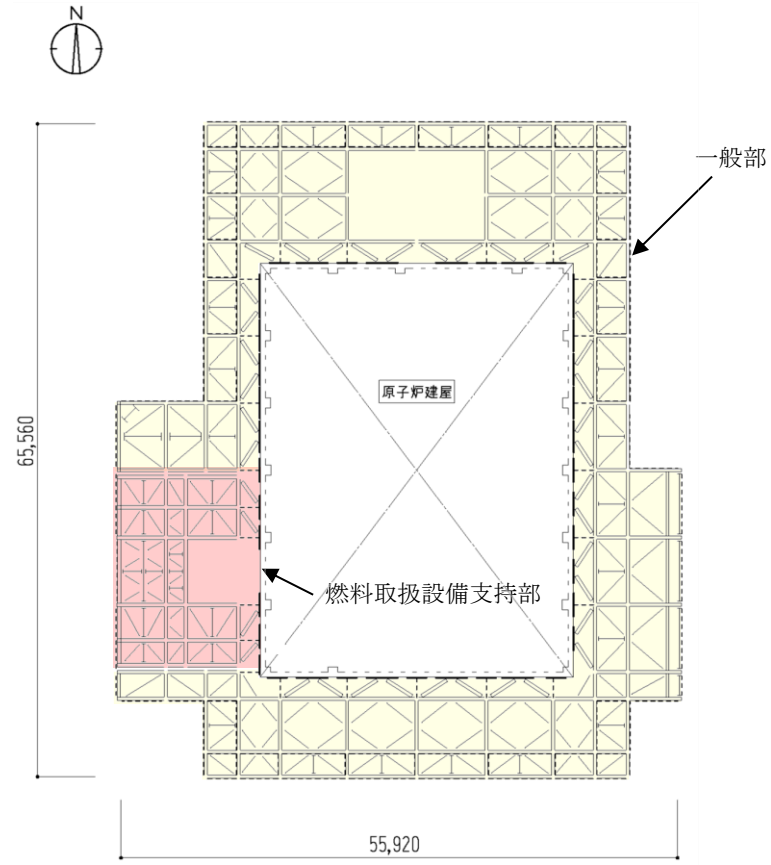
大型カバーは，東西方向 55.92m，南北方向 65.56m，高さ 68.06m の構造物で，構造形式はトラス構造，構造種別は鉄骨造である。また，一般部と燃料取扱設備支持部は構造的に分離している。大型カバー頂部付近は，水平剛性を高めるため，鋼板による箱桁架構とし，屋根は可動式としている。

大型カバーは，原子炉建屋に支持される構造物である。原子炉建屋との取り合い部においては，アンカーボルトにより接続している。

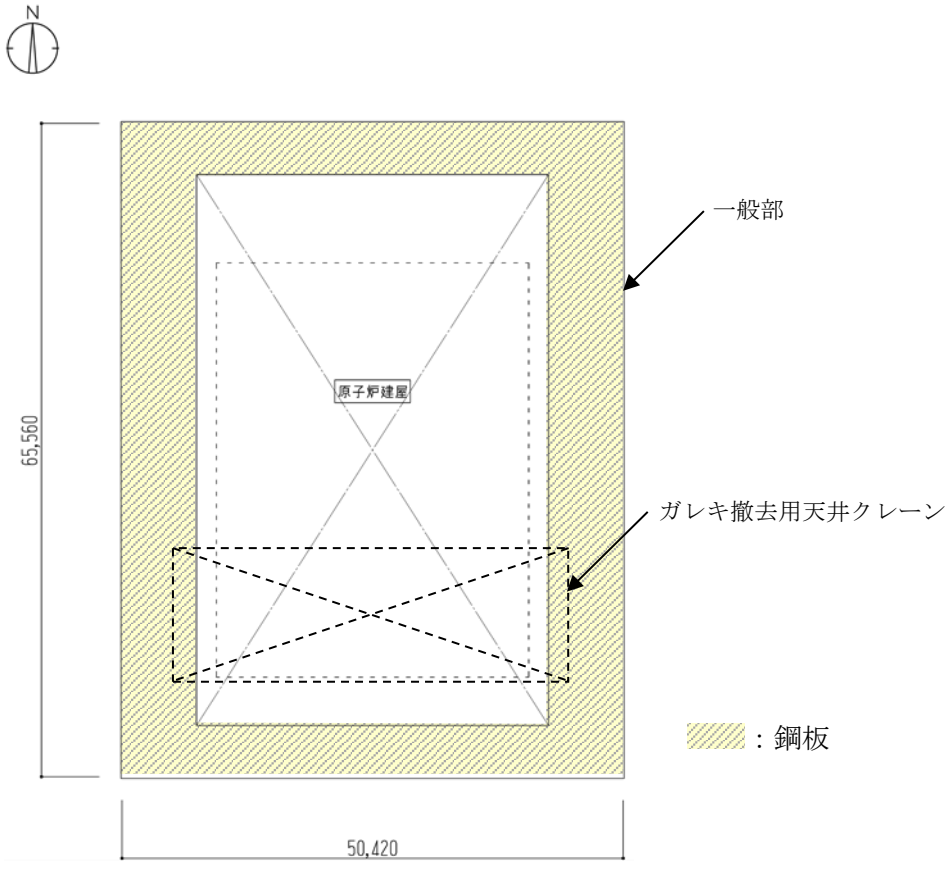
屋根は，４つの架構（中央の２つを「大屋根」，大屋根の外側の２つを「小屋根」という。また，小屋根の外側の稼働しない部分を「妻壁」という。）から構成され，それぞれが可動する構造である。屋根と大型カバーは構造的に分離されており，屋根は通常時，固定ピンを介して大型カバーに固定されている。また，屋根は固定ピンを外すことによって，南北方向へ動くことが可能となる。なお，屋根の逸走を防止するための逸走防止受けを大型カバー頂部にある鋼板部（以下，「箱桁架構」という）に設置し，屋根が動く際には屋根の落下防止材として機能する。

大型カバー内部にあるガレキ撤去用天井クレーンは，箱桁架構を南北方向に走行する。また，ガレキ撤去用天井クレーンを構成する２本のクレーンガーダ上に２台のトロリーがあり，これらが東西方向に移動する。

大型カバーの概要図を図 5.1.2-1 及び図 5.1.2-2 に示す。ガレキ撤去用天井クレーンの概要図を図 5.1.2-3 に示す。屋根伏図を図 5.1.2-4 に，断面図を図 5.1.2-5 に示す。屋根部の落下防止の概要図を図 5.1.2-6 に示す。

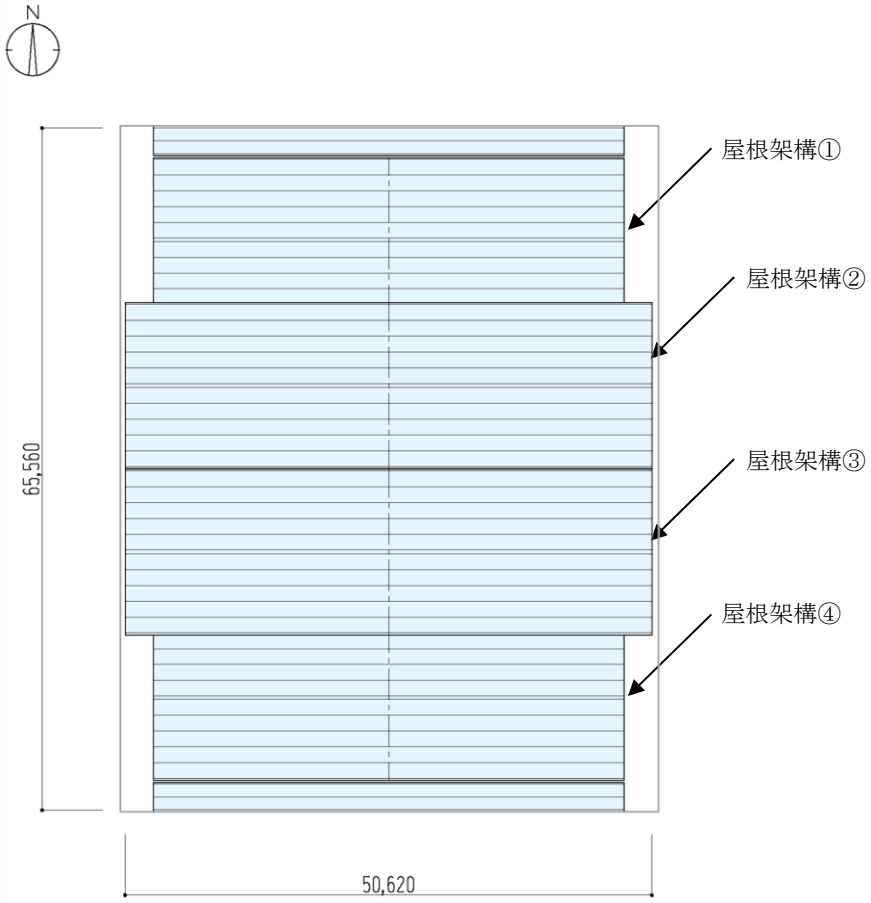


(a)伏図(G.L.+28,300)



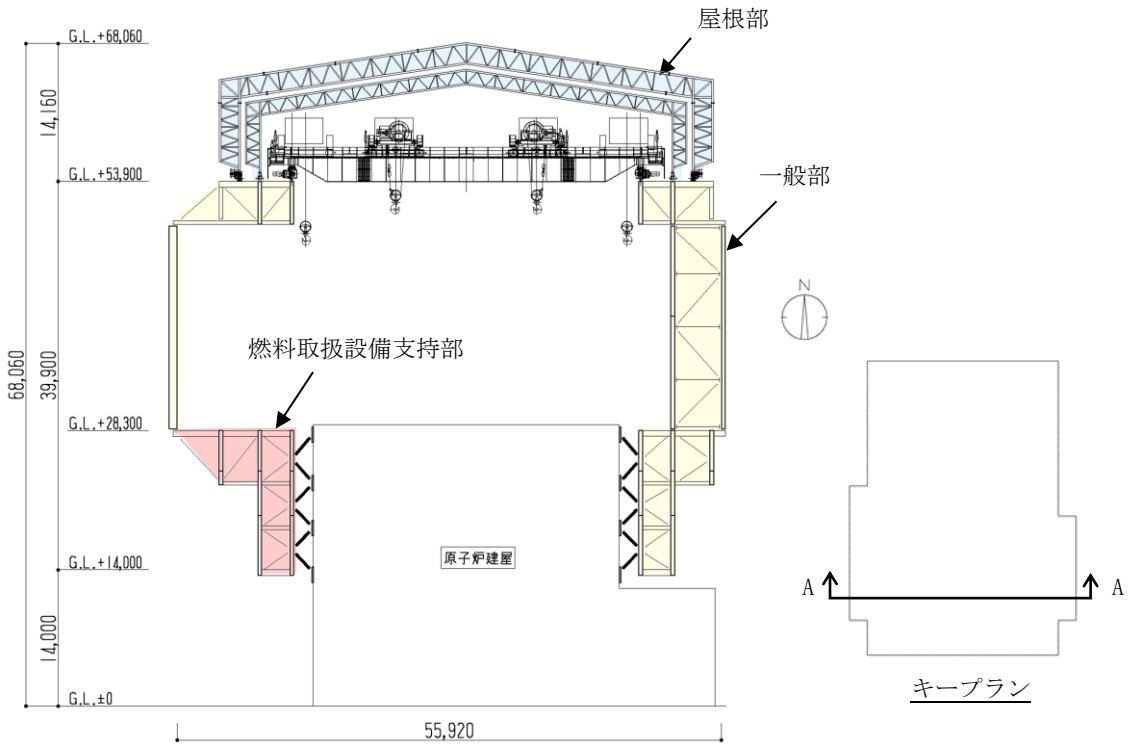
(b)伏図(G.L.+53,900)

図 5.1.2-1(1)　大型カバーの概要（単位：mm）

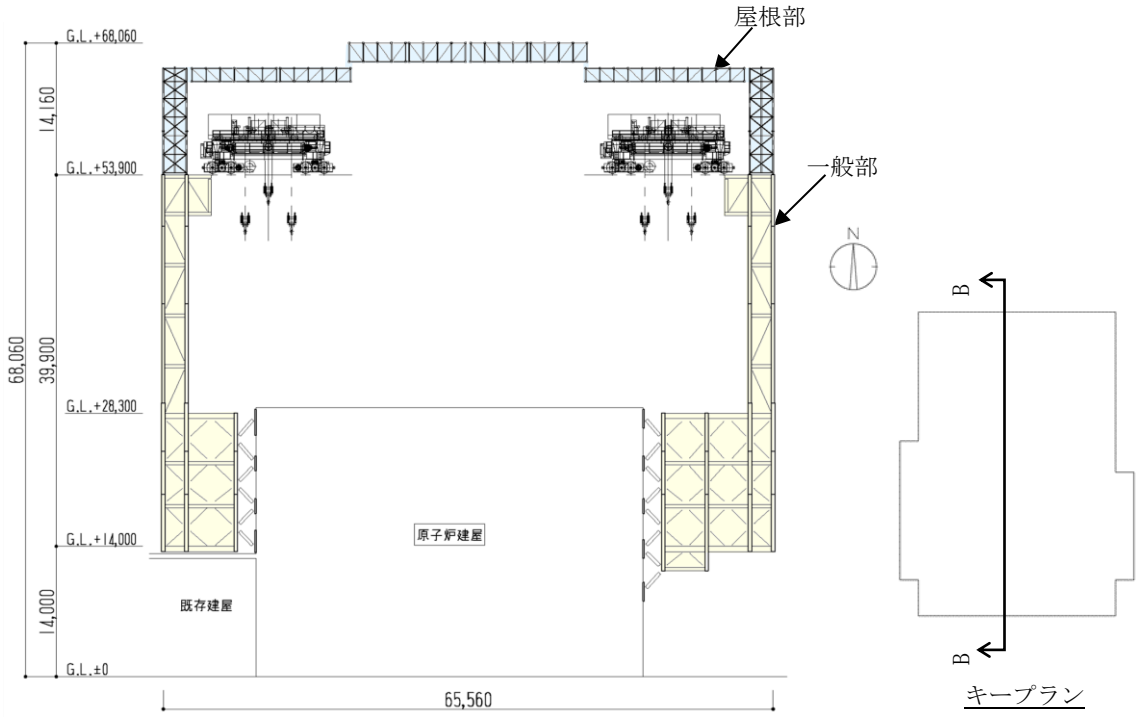


屋根伏図

図 5.1.2-1(2)　大型カバーの概要（単位：mm）

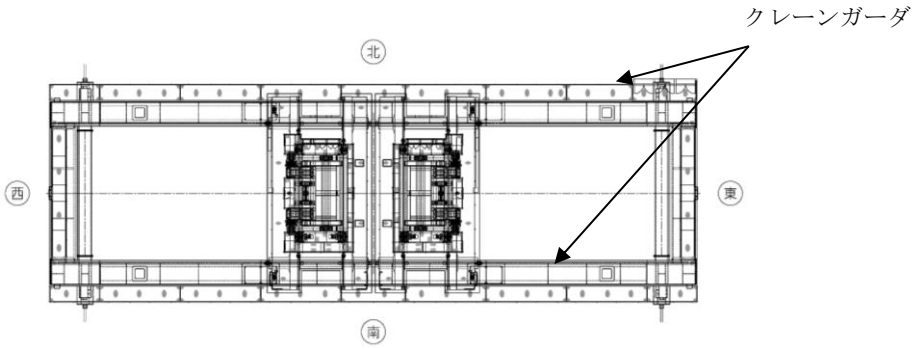


(a) 大型カバーA-A 断面図

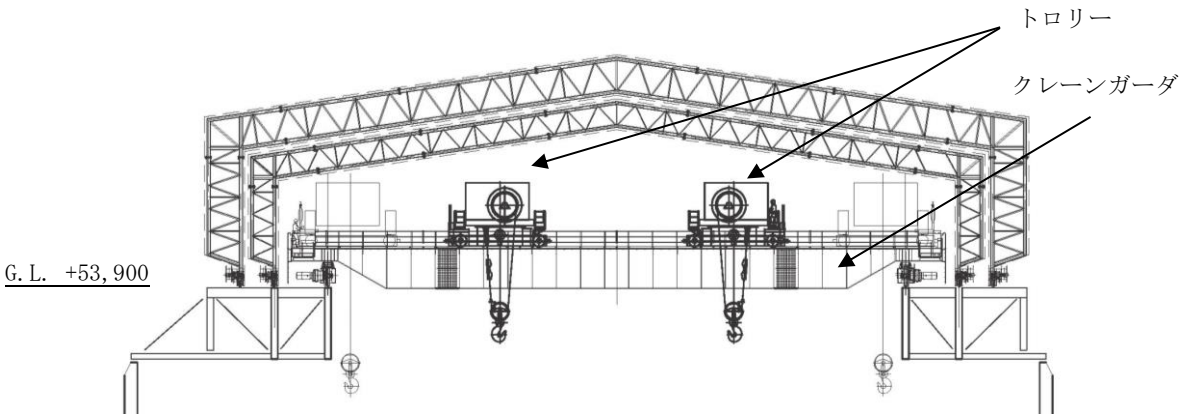


(b) 大型カバーB-B 断面図

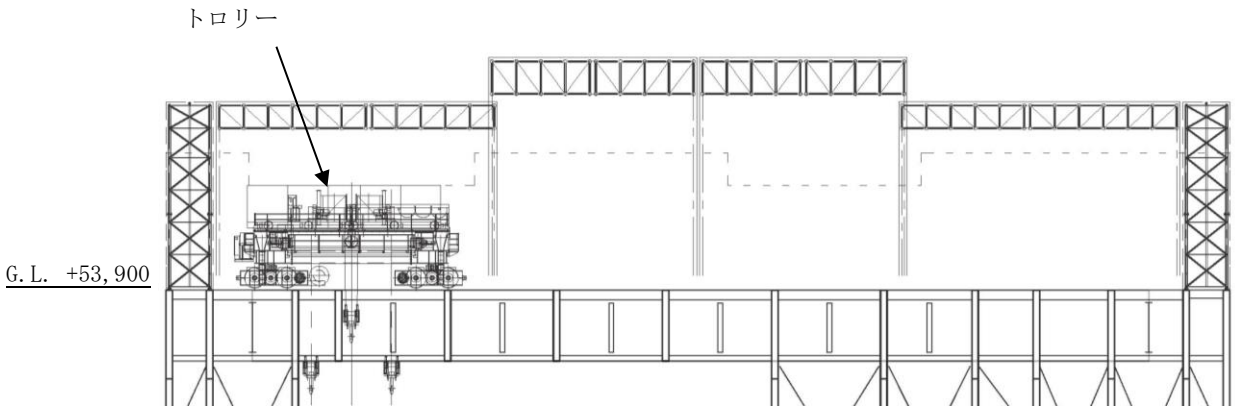
図 5.1.2-2　大型カバーの概要（単位：mm）



平面図



東西立面図



南北立面図

図 5.1.2-3　ガレキ撤去用天井クレーン概要図

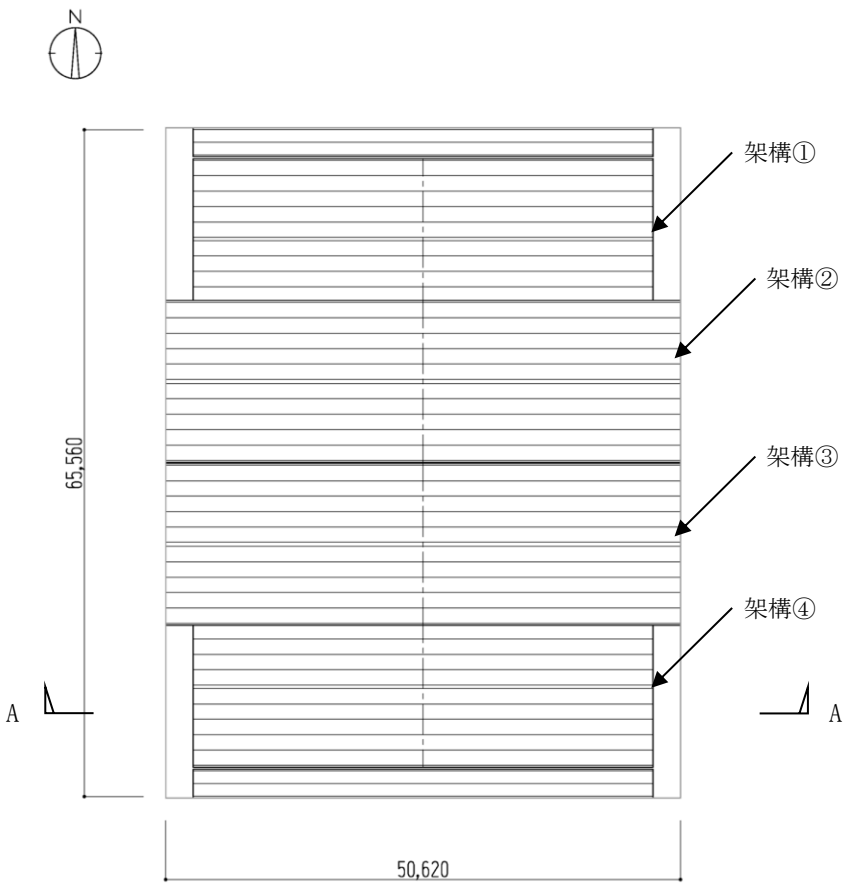


図 5.1.2-4　屋根伏図（単位：mm）

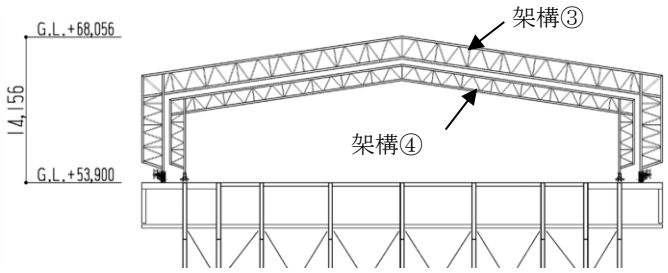


図 5.1.2-5　A-A 断面図（単位：mm）

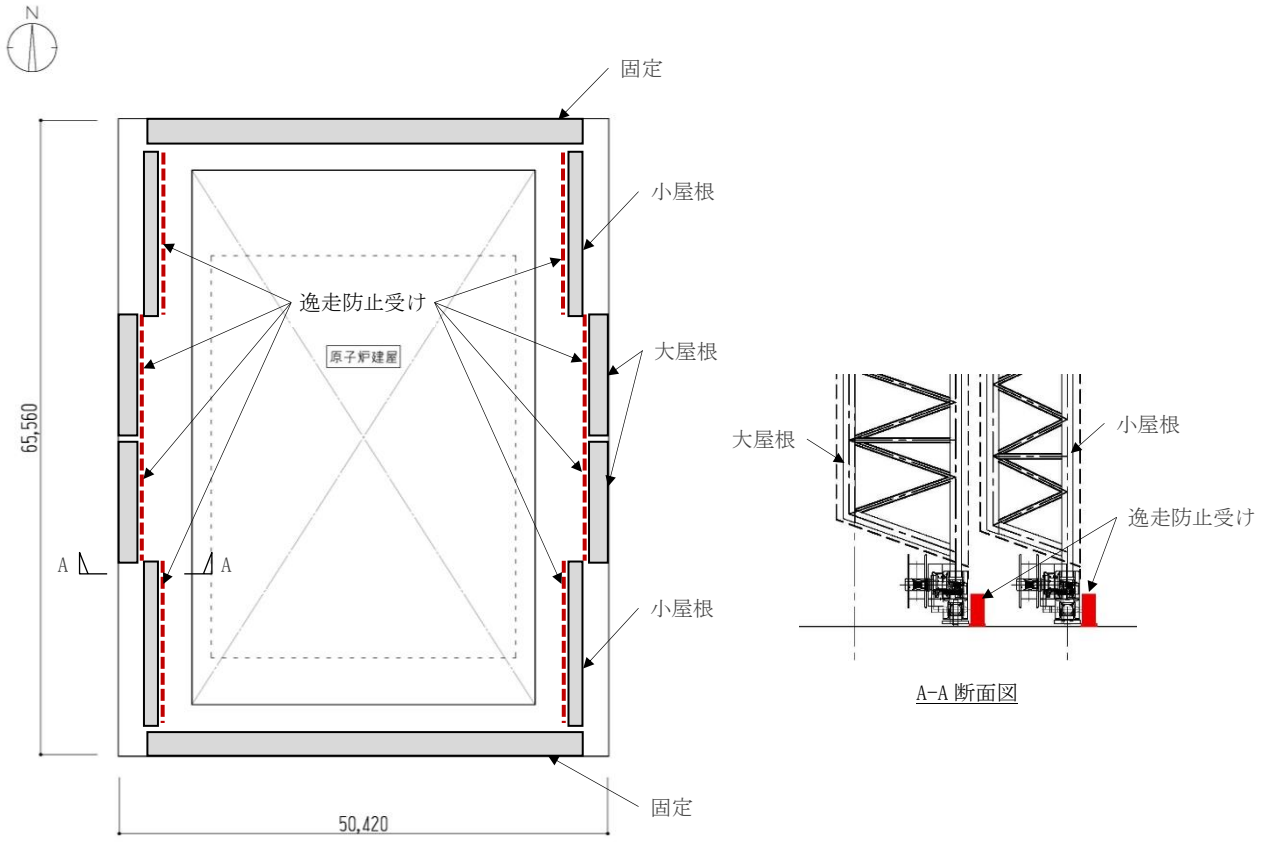
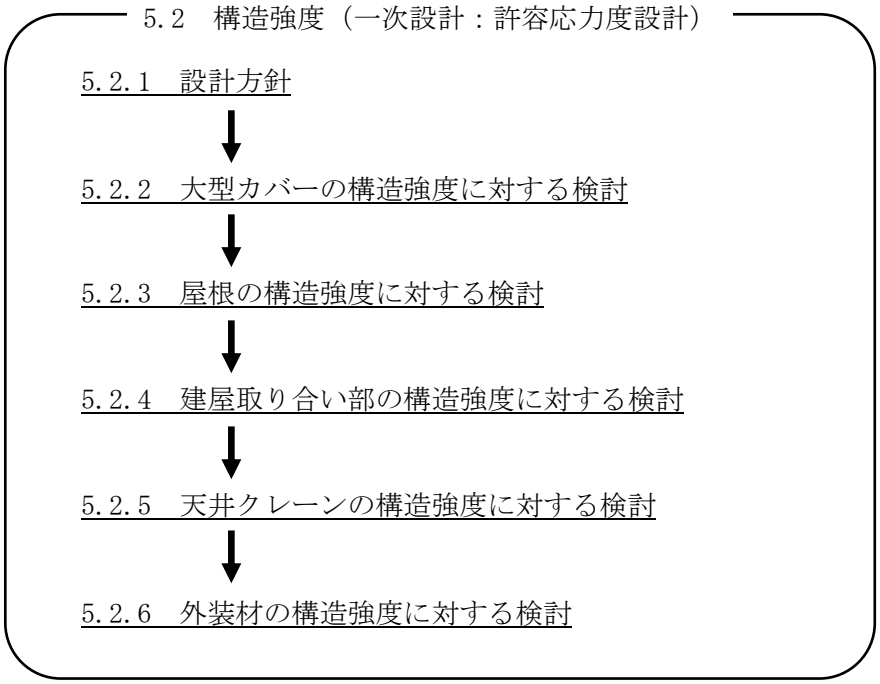


図 5.1.2-6　屋根部の落下防止概要図

5.1.3　検討フロー

大型カバーの構造強度及び耐震性の検討フローを図 5.1.3-1～2 に示す。検討に当たっては，大型カバーを設置し，原子炉建屋上のガレキを撤去しようとする状態（以下，「ガレキ撤去時」という）と，ガレキを撤去した後に，燃料取扱設備を設置した状態（以下，「燃料取り出し時」という）を評価する。



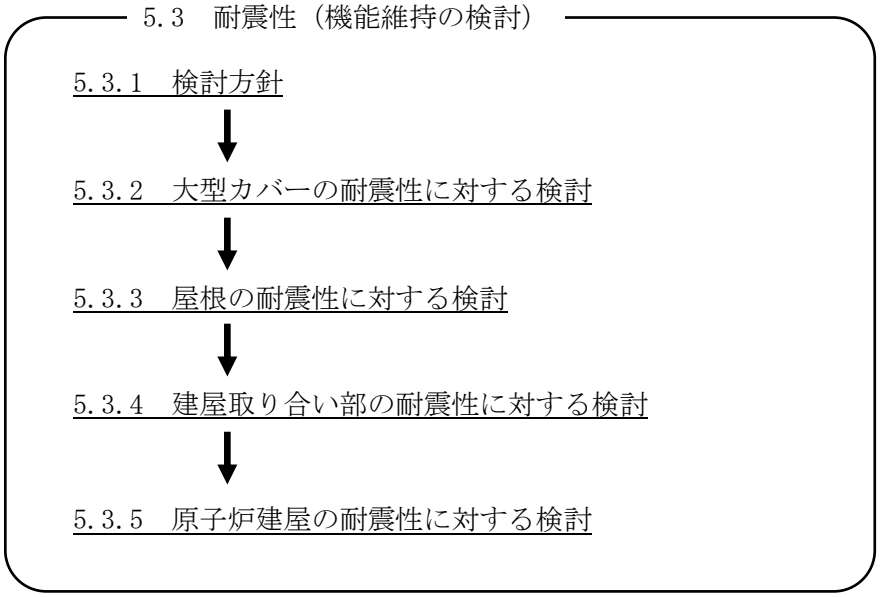


図 5.1.3-1　大型カバーの検討フロー

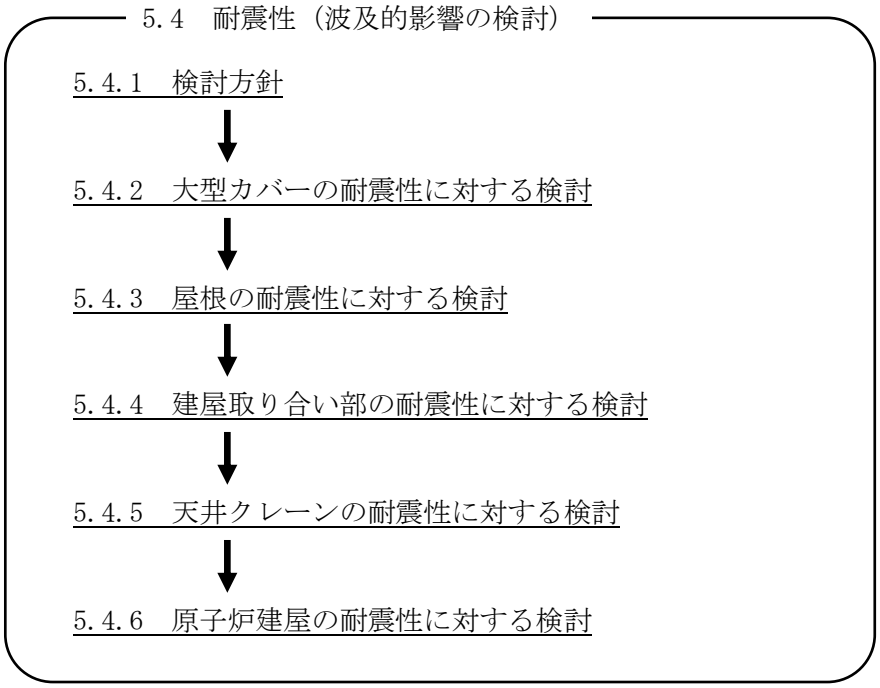


図 5.1.3-2　大型カバーの検討フロー

5.2　構造強度

5.2.1　設計方針

構造強度の検討は，大型カバー，屋根，建屋取り合い部，天井クレーン及び外装材について許容応力度設計を実施する。

(1)　使用材料及び許容応力度

使用材料の物性値及び許容応力度を表 5.2.1-1 に示す。

表 5.2.1-1　使用材料の物性値及び許容応力度

材料定数

部位	材料	ヤング係数 E (N/mm^2)	ポアソン比 ν	単位体積重量 γ (kN/m^3)
大型カバー	鉄骨	2.05×10^5	0.3	77.0
原子炉建屋	コンクリート	2.57×10^4*	0.2	24.0

*：実強度に基づく剛性

コンクリートの許容応力度　(単位：N/mm^2)

設計基準強度	長期			短期		
22.1	圧縮	引張	せん断	圧縮	引張	せん断
(225) *	7.4	－	0.71	14.8	－	1.07

*：建設時の設計基準強度（単位：kgf/cm^2）

鉄筋の許容応力度　(単位：N/mm^2)

記号	鉄筋径	長期		短期	
		引張及び圧縮	せん断補強	引張及び圧縮	せん断補強
SD345	D29 未満	215	195	345	345
	D29 以上	195			

構造用鋼材の許容応力度　(単位：N/mm^2)

板厚	材料	基準強度 F	許容応力度*3
T≦40mm	SS400, SN400B, STK400	235	建築基準法及び国土交通省告示に従い，左記 F の値より求める
T＞40mm	SN400B	215	
T≦40mm	SM490A, SN490B, STKN490B STK490, SNR490B	325	
T＞40mm	TMCP325B	325*1	
－	S45C	490*2	

*1：国土交通大臣指定書（国住指第 326-2，平成 14 年 5 月 7 日又は国住指第 1208-2,1209-2，平成 15 年 7 月 31 日）による

*2：「JIS G 4051-2005」による

*3：終局強度は許容応力度を 1.1 倍とする

(2)　解析モデル

大型カバーの解析モデルは，原子炉建屋を質点系とし，一般部，燃料取扱設備支持部及び屋根部を構成する主要な鉄骨部材をモデル化した立体架構モデルとする。また，ガレキ撤去用天井クレーンもモデル化する。図 5.2.1-1 に立体解析モデルを示す。

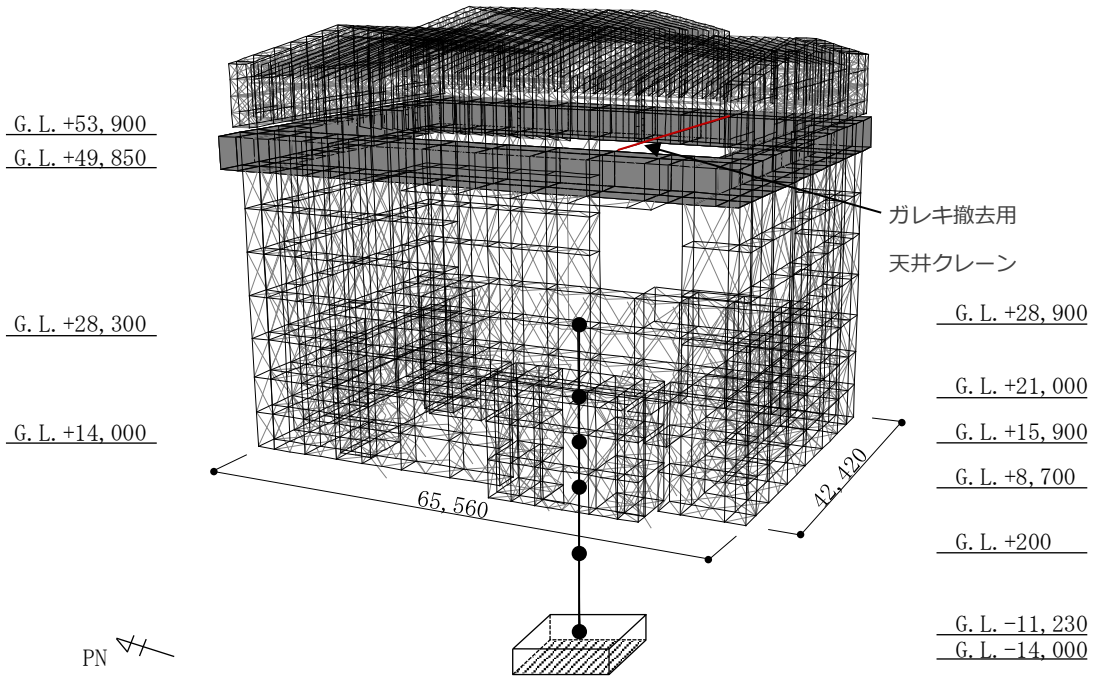


図 5.2.1-1　解析モデル

(3) 荷重及び荷重組合せ

設計で考慮する荷重を以下に示す。

1) 鉛直荷重（VL）

大型カバー及び原子炉建屋に作用する鉛直方向の荷重で，固定荷重，機器荷重，配管荷重及び積載荷重とする。主な鉛直荷重を表 5.2.1-2 及び表 5.2.1-3 に示す。

表 5.2.1-2 大型カバーに作用する主な鉛直荷重(kN)

	ガレキ撤去時	燃料取り出し時
屋根	3800	3800
外装材	5800	4360
遮蔽体	1050	6430
ガレキ撤去用天井クレーン	4200	4200
遠隔解体重機	2600	0
配管	500	830

表 5.2.1-3 原子炉建屋に作用する主な鉛直荷重(kN)

	ガレキ撤去時	燃料取り出し時
ガレキ	12130	0
機器等	4260	43540
遮蔽体	0	21110

2) 積雪荷重（SL）

積雪荷重は建築基準法施行令第 86 条及び福島県建築基準法施行規則細則に準拠し，以下の条件とする。

なお，国土交通省告示第594号による多雪区域以外の区域における積雪後の降雨を見込んだ割増係数を乗じた積雪荷重を考慮する。

積雪量：30cm，単位荷重：20N/m^2/cm

3) 風圧力（WL）

風圧力は建築基準法施行令第 87 条および建設省告示第 1454 号に基づき，基準風速を 30m/s，地表面粗度区分Ⅱとして算定する。速度圧の算定結果を表 5.2.1-4 に示す。

表 5.2.1-4 速度圧の算定結果

建物高さ* H(m)	平均風速の鉛直分布係数 Er	ガスト影響係数 Gf	建物高さと粗度区分による係数 E	基準風速 Vo(m/s)	速度圧 q(N/m^2)
66.2	1.32	2.00	3.51	30	1900

*：建物高さは，軒高さ（64.3m）と最高高さ（68.1m）の平均値とした

4)　地震荷重（K）

大型カバーに作用させる地震荷重は，G.L.+0.20m（原子炉建屋1階床）を基準面とした水平地震力の算定結果より設定する。水平地震力は下式より算定する。

$$Qi = n \cdot Ci \cdot Wi$$
$$Ci = Z \cdot Rt \cdot Ai \cdot Co$$

ここで，

Qi：層せん断力（kN）

n　：施設の重要度に応じた係数

建築基準法で定める地震力の1.5倍を考慮する。

なお，天井クレーンに関しては1.2倍を考慮する。

Ci：地震層せん断力係数

Wi：当該部分が支える重量（kN）

ここに，大型カバーの設計で考慮する原子炉建屋の全体重量は，ガレキ撤去の効果と大型カバー等を新規に設置する影響を考慮した。原子炉建屋の全体重量を表5.2.1-5に示す。

表5.2.1-5　原子炉建屋の全体重量(kN)

	ガレキ撤去時	燃料取り出し時
原子炉建屋の全体重量	701430	701430
ガレキ撤去による軽減重量	0	-12130
大型カバー設置等の付加重量	+82500	+143090
大型カバー設計用原子炉建屋全体重量	783930	832390

Z　：地震地域係数（Z=1.0）

Rt：振動特性係数（Rt=0.8）

Ai：地震層せん断力係数の高さ方向の分布係数で，原子炉建屋の固有値を用いたモーダル解析法（二乗和平方根法）により求める。

C_0：標準せん断力係数（C_0=0.2）

i層の水平震度kiは，下式によって算定する。

$$Pi=Q_i-Q_{i-1}$$
$$ki=P_i/w_i$$

ここで，

Pi：当該階とその直下階の水平地震荷重の差（kN）

wi：各階重量（kN）

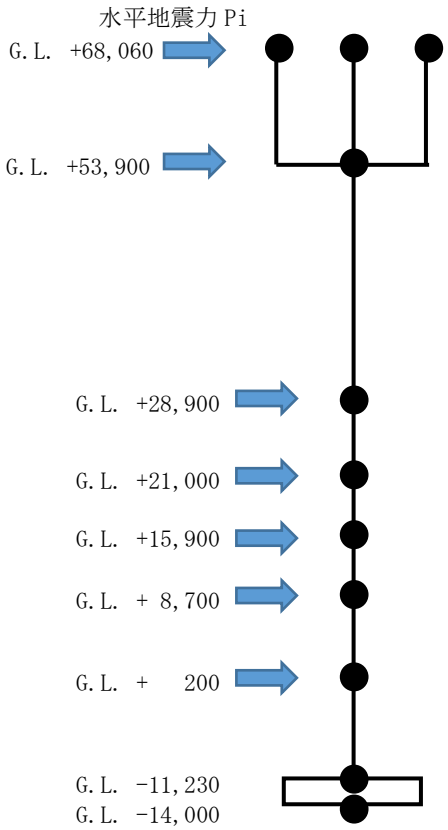
算定した水平地震力を原子炉建屋，大型カバー一般部，燃料取扱設備支持部及び屋根の重量比に基づいて分配し，それぞれに作用させる水平地震力を算定する。屋根については各架構が構造

的に分離されていることから，大屋根，小屋根，妻壁の３種類に分けて水平地震力を算定する。なお，高さ方向に関しては，原子炉建屋の各階の高さと大型カバーの節点の高さが異なるため，高さ毎に区分けを行った上で重量比を計算する。図5.2.1-2に大型カバーに作用させる水平地震力の概要図を示す。

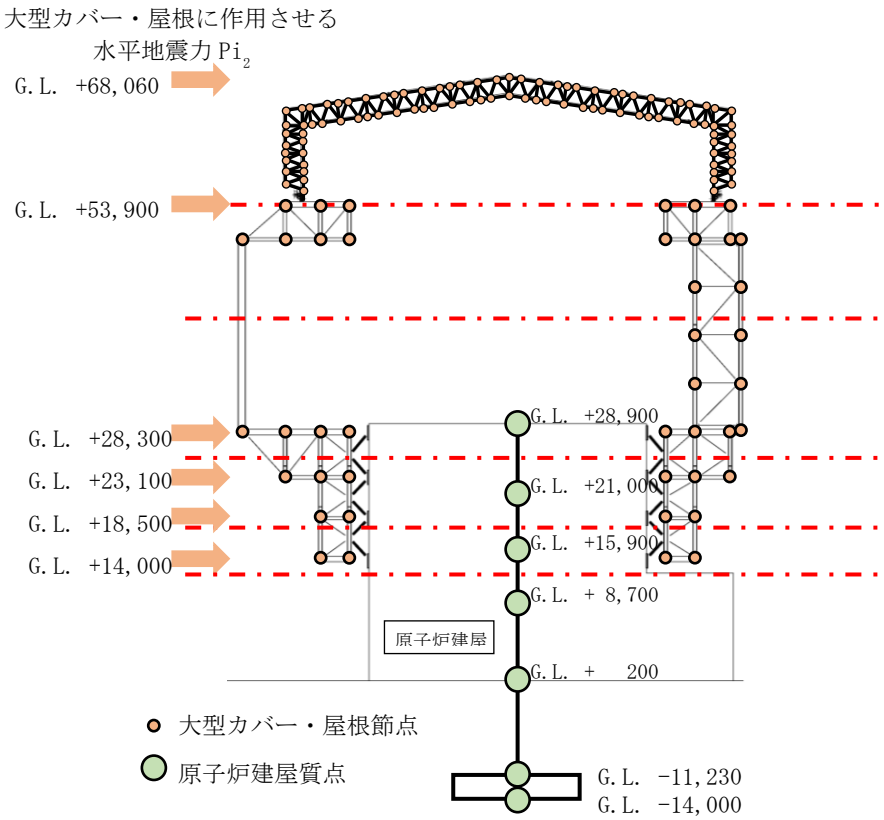
Pi_2=Pi×（i 層の大型カバー（一般部又は燃料取扱設備支持部）の重量／i 層の原子炉建屋及び大型カバーの重量）

Pi_2：当該階とその直下階の大型カバー（一般部又は燃料取扱設備支持部）に作用させる水平地震荷重の差（kN）

n=1.5 とした算定結果を表 5.2.1-6 及び表 5.2.1-7 に示し，n=1.2 とした算定結果を表 5.2.1-8 及び表 5.2.1-9 に示す。



原子炉建屋と大型カバー集約質点系モデル



大型カバーの解析モデル

図 5.2.1-2　大型カバーの水平地震力の概要図（単位：mm）

表 5.2.1-6(1)　ガレキ撤去時の水平地震力の算定結果（大型カバー検討用）(NS 方向)

G.L.(m)		各階重量 wi(kN)	Wi (kN)	Ai	n・Ci	Qi (kN)	Pi (kN)	水平震度 ki
+68.06	大屋根	1800	—	5.473	1.314	—	2365	1.314
	小屋根	1400	—	5.283	1.268	—	1775	1.268
	妻壁	600	—	5.220	1.253	—	752	1.253
+68.06～+53.9		21050	3800	—	—	4892	20828	0.989
+53.9～+28.9		88990	24850	4.314	1.035	25720	11506	0.129
+28.9～+21.0		83750	113840	1.360	0.327	37226	18494	0.221
+21.0～+15.9		88690	197590	1.172	0.282	55720	18570	0.209
+15.9～+8.7		87240	286280	1.082	0.260	74290	15355	0.176
+8.7～+0.2		—	373520	1.000	0.240	89645	—	—

＊：n=1.5 とした算定結果を示す

表 5.2.1-6(2)　ガレキ撤去時の水平地震力の算定結果（大型カバー検討用）(EW 方向)

G.L.(m)		各階重量 wi(kN)	Wi (kN)	Ai	n・Ci	Qi (kN)	Pi (kN)	水平震度 ki
+68.06	大屋根	1800	—	6.617	1.589	—	2859	1.588
	小屋根	1400	—	7.115	1.707	—	2390	1.707
	妻壁	600	—	6.441	1.547	—	928	1.547
+68.06～+53.9		21050	3800	—	—	6177	20027	0.951
+53.9～+28.9		88990	24850	4.391	1.055	26204	13071	0.147
+28.9～+21.0		83750	113840	1.437	0.345	39275	17631	0.211
+21.0～+15.9		88690	197590	1.200	0.288	56906	17813	0.201
+15.9～+8.7		87240	286280	1.089	0.261	74719	14926	0.171
+8.7～+0.2		—	373520	1.000	0.240	89645	—	—

＊：n=1.5 とした算定結果を示す

表 5.2.1-6(3)　ガレキ撤去時の大型カバーの地震荷重の算定結果（大型カバー検討用）

(NS・EW 方向)

G.L.(m)		各階重量 wi(kN)	NS 方向			EW 方向		
			Pi (kN)	屋根 一般部 Pi_2(kN)	燃料取扱 設備支持部 Pi_2(kN)	Pi (kN)	屋根 一般部 Pi_2(kN)	燃料取扱 設備支持部 Pi_2(kN)
+68.06	大屋根	1800	2400	2400	—	2900	2900	—
	小屋根	1400	1800	1800	—	2400	2400	—
	妻壁	600	800	800	—	1000	1000	—
+53.9		21050	21000	21000	—	20100	20100	—
+28.3		88990	11900	3300	600	13500	3700	700
+23.1		83750	18600	1300	300	17900	1300	300
+18.5				1000	200		1000	200
+14.0		88690	18700	1100	250	18000	1100	250

＊：n=1.5 とした算定結果を示す

表 5.2.1-7(1)　燃料取り出し時の水平震度の算定結果（大型カバー検討用）(NS 方向)

G.L.(m)		各階重量 wi(kN)	Wi (kN)	Ai	n・Ci	Qi (kN)	Pi (kN)	水平震度 ki
+68.06	大屋根	1800	—	5.901	1.416	—	2549	1.416
	小屋根	1400	—	5.650	1.356	—	1898	1.356
	妻壁	600	—	5.602	1.344	—	806	1.343
+68.06～+53.9		20510	3800	—	—	5253	22023	1.074
+53.9～+28.9		137080	24310	4.678	1.122	27276	24530	0.179
+28.9～+21.0		83750	161390	1.338	0.321	51806	18427	0.220
+21.0～+15.9		88680	245140	1.191	0.287	70233	16894	0.191
+15.9～+8.7		87810	333820	1.090	0.261	87127	14064	0.160
+8.7～+0.2		—	421630	1.000	0.240	101191	—	—

*：n=1.5 とした算定結果を示す

表 5.2.1-7(2)　燃料取り出し時の水平震度の算定結果（大型カバー検討用）(EW 方向)

G.L.(m)		各階重量 wi(kN)	Wi (kN)	Ai	n・Ci	Qi (kN)	Pi (kN)	水平震度 ki
+68.06	大屋根	1800	—	6.546	1.571	—	2827	1.571
	小屋根	1400	—	5.982	1.436	—	2010	1.436
	妻壁	600	—	5.788	1.389	—	833	1.388
+68.06～+53.9		20510	3800	—	—	5670	20402	0.995
+53.9～+28.9		137080	24310	4.466	1.073	26072	27429	0.200
+28.9～+21.0		83750	161390	1.384	0.332	53501	18202	0.217
+21.0～+15.9		88680	245140	1.216	0.293	71703	16425	0.185
+15.9～+8.7		87810	333820	1.099	0.264	88128	13063	0.149
+8.7～+0.2		—	421630	1.000	0.240	101191	—	—

*：n=1.5 とした算定結果を示す

表 5.2.1-7(3)　燃料取り出し時の大型カバーの地震荷重の算定結果（大型カバー検討用）

(NS・EW 方向)

G.L.(m)		各階重量 wi(kN)	NS 方向			EW 方向		
			Pi (kN)	屋根 一般部 Pi_2(kN)	燃料取扱 設備支持部 Pi_2(kN)	Pi (kN)	屋根 一般部 Pi_2(kN)	燃料取扱 設備支持部 Pi_2(kN)
+68.06	大屋根	1800	2600	2600	－	2900	2900	－
	小屋根	1400	1900	1900	－	2100	2100	－
	妻壁	600	900	900	－	900	900	－
+53.9		20510	22300	22300	－	20600	20600	－
+28.3		137080	24800	4300	900	27600	4700	1000
+23.1		83750	18600	1300	300	18400	1300	300
+18.5				1000	200		1000	200
+14.0		88680	17200	1100	250	16700	1000	250

＊：n=1.5 とした算定結果を示す

表 5.2.1-8(1)　ガレキ撤去時の水平地震力の算定結果（天井クレーン検討用）(NS 方向)

G.L.(m)		各階重量 wi(kN)	Wi (kN)	Ai	n・Ci	Qi (kN)	Pi (kN)	水平震度 ki
+68.06	大屋根	1800	—	5.473	1.051	—	1892	1.051
	小屋根	1400	—	5.283	1.014	—	1420	1.014
	妻壁	600	—	5.220	1.002	—	601	1.002
+68.06～+53.9		21050	3800	—	—	3913	16663	0.792
+53.9～+28.9		88990	24850	4.314	0.828	20576	9205	0.103
+28.9～+21.0		83750	113840	1.360	0.262	29781	14795	0.177
+21.0～+15.9		88690	197590	1.172	0.226	44576	14856	0.168
+15.9～+8.7		87240	286280	1.082	0.208	59432	12284	0.141
+8.7～+0.2		—	373520	1.000	0.192	71716	—	—

＊：n=1.2 とした算定結果を示す

表 5.2.1-8(2)　ガレキ撤去時の水平地震力の算定結果（天井クレーン検討用）(EW 方向)

G.L.(m)		各階重量 wi(kN)	Wi (kN)	Ai	n・Ci	Qi (kN)	Pi (kN)	水平震度 ki
+68.06	大屋根	1800	—	6.617	1.271	—	2287	1.271
	小屋根	1400	—	7.115	1.366	—	1912	1.366
	妻壁	600	—	6.441	1.237	—	742	1.237
+68.06～+53.9		21050	3800	—	—	4941	16022	0.761
+53.9～+28.9		88990	24850	4.391	0.844	20963	10457	0.118
+28.9～+21.0		83750	113840	1.437	0.276	31420	14105	0.168
+21.0～+15.9		88690	197590	1.200	0.230	45525	14250	0.161
+15.9～+8.7		87240	286280	1.089	0.209	59775	11941	0.137
+8.7～+0.2		—	373520	1.000	0.192	71716	—	—

＊：n=1.2 とした算定結果を示す

表 5.2.1-8(3)　ガレキ撤去時の大型カバーの地震荷重の算定結果（天井クレーン検討用）

(NS・EW 方向)

G.L.(m)		各階重量 wi(kN)	NS 方向			EW 方向		
			Pi (kN)	屋根 一般部 Pi_2(kN)	燃料取扱 設備支持部 Pi_2(kN)	Pi (kN)	屋根 一般部 Pi_2(kN)	燃料取扱 設備支持部 Pi_2(kN)
+68.06	大屋根	1800	1900	1900	—	2300	2300	—
	小屋根	1400	1500	1500	—	2000	2000	—
	妻壁	600	700	700	—	800	800	—
+53.9		21050	16800	16800	—	16100	16100	—
+28.3		88990	9500	2600	500	10800	3000	500
+23.1		83750	14900	1100	200	14300	1100	200
+18.5				800	150		800	150
+14.0		88690	15100	1000	200	14400	900	200

*：n=1.2 とした算定結果を示す

表 5.2.1-9(1)　燃料取り出し時の水平震度の算定結果（天井クレーン検討用）(NS 方向)

G.L.(m)		各階重量 wi(kN)	Wi (kN)	Ai	n・Ci	Qi (kN)	Pi (kN)	水平震度 ki
+68.06	大屋根	1800	—	5.901	1.133	—	2039	1.133
	小屋根	1400	—	5.650	1.085	—	1519	1.085
	妻壁	600	—	5.602	1.075	—	645	1.075
+68.06～+53.9		20510	3800	—	—	4203	17618	0.859
+53.9～+28.9		137080	24310	4.678	0.898	21821	19624	0.143
+28.9～+21.0		83750	161390	1.338	0.257	41445	14741	0.176
+21.0～+15.9		88680	245140	1.191	0.229	56186	13516	0.152
+15.9～+8.7		87810	333820	1.090	0.209	69702	11251	0.128
+8.7～+0.2		—	421630	1.000	0.192	80953	—	—

*：n=1.2 とした算定結果を示す

表 5.2.1-9(2)　燃料取り出し時の水平震度の算定結果（天井クレーン検討用）(EW 方向)

G.L.(m)		各階重量 wi(kN)	Wi (kN)	Ai	n・Ci	Qi (kN)	Pi (kN)	水平震度 ki
+68.06	大屋根	1800	—	6.546	1.256	—	2262	1.257
	小屋根	1400	—	5.982	1.148	—	1608	1.149
	妻壁	600	—	5.788	1.111	—	667	1.112
+68.06～+53.9		20510	3800	—	—	4537	16321	0.796
+53.9～+28.9		137080	24310	4.466	0.858	20858	21943	0.160
+28.9～+21.0		83750	161390	1.384	0.265	42801	14562	0.174
+21.0～+15.9		88680	245140	1.216	0.234	57363	13140	0.148
+15.9～+8.7		87810	333820	1.099	0.211	70503	10450	0.119
+8.7～+0.2		—	421630	1.000	0.192	80953	—	—

*：n=1.2 とした算定結果を示す

表 5.2.1-9(3)　燃料取り出し時の大型カバーの地震荷重の算定結果（天井クレーン検討用）

(NS・EW 方向)

G.L.(m)		各階重量 wi(kN)	NS 方向			EW 方向		
			Pi (kN)	屋根 一般部 Pi_2(kN)	燃料取扱 設備支持部 Pi_2(kN)	Pi (kN)	屋根 一般部 Pi_2(kN)	燃料取扱 設備支持部 Pi_2(kN)
+68.06	大屋根	1800	2100	2100	－	2300	2300	－
	小屋根	1400	1600	1600	－	1700	1700	－
	妻壁	600	700	700	－	700	700	－
+53.9		20510	17700	17700	－	16400	16400	－
+28.3		137080	20000	3500	800	22200	3900	800
+23.1		83750	14900	1100	200	14700	1100	200
+18.5				800	150		800	150
+14.0		88680	13800	900	200	13400	900	200

＊：n=1.2 とした算定結果を示す

5)　荷重組合せ

設計で考慮する荷重組合せを表 5.2.1-10 に示す。また，ガレキ撤去時におけるガレキ撤去用天井クレーンの位置を図 5.2.1-3 に，燃料取り出し時における燃料取扱設備の位置を図 5.2.1-4 に示す。なお，燃料取り出し時にはガレキ撤去用天井クレーンの位置は北側とする。

表 5.2.1-10　荷重組合せ

想定する状態	荷重ケース*1	荷重組合せ内容	許容応力度
常時	C	VL	長期
積雪時*2	S	VL+SL	短期
暴風時*2	W	VL+WL	
地震時	E1	VL+K(+NS)	
	E2	VL+K(-NS)	
	E3	VL+K(+EW)	
	E4	VL+K(-EW)	

*1：ガレキ撤去時は case1 及び case2，燃料取り出し時は case3 及び case4 の状態とする。
*2：短期事象では地震時が支配的であることから，積雪時及び暴風時の検討は省略する。ただし，外装材の検討は暴風時が支配的であることから暴風時に対して検討を行う。

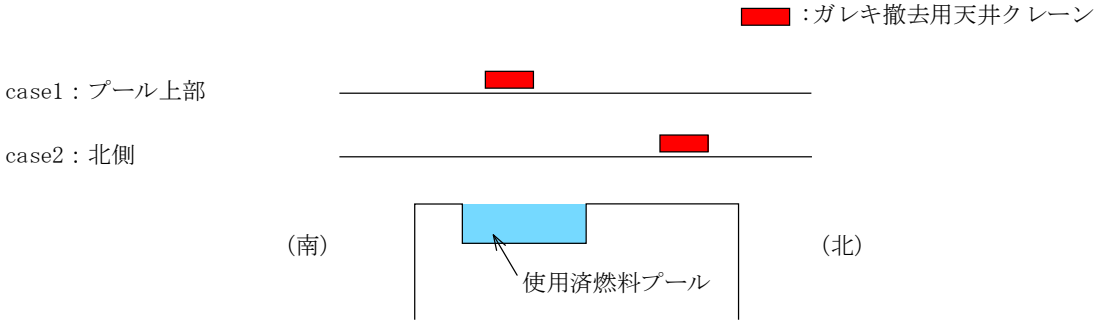
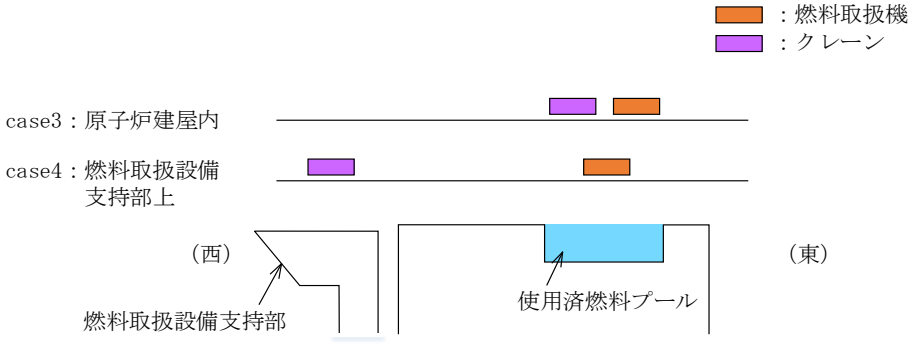


図 5.2.1-3　ガレキ撤去用天井クレーンの位置



※：原子炉建屋オペレーティングフロア上で，燃料取扱機及びクレーンを用い燃料をキャスクに入れる。その後，クレーンを用いキャスクを燃料取扱設備支持部に移動させ地上に下ろす。従って，燃料取扱機とクレーンの両方が原子炉建屋内にいるケースと燃料取扱機が原子炉建屋内，クレーンが燃料取扱設備支持部上にいるケースの 2 ケースとなる。
※：燃料取り出し時のガレキ撤去用天井クレーン位置は北側とする。

図 5.2.1-4　燃料取扱設備の位置

地震時と暴風時の大型カバーの層せん断力について，風荷重の受圧面積が大きい EW 方向で比較した結果を図 5.2.1-5 に示す。図 5.2.1-5 より，地震時の層せん断力は暴風時の層せん断力を包絡しており，支配的な荷重である。

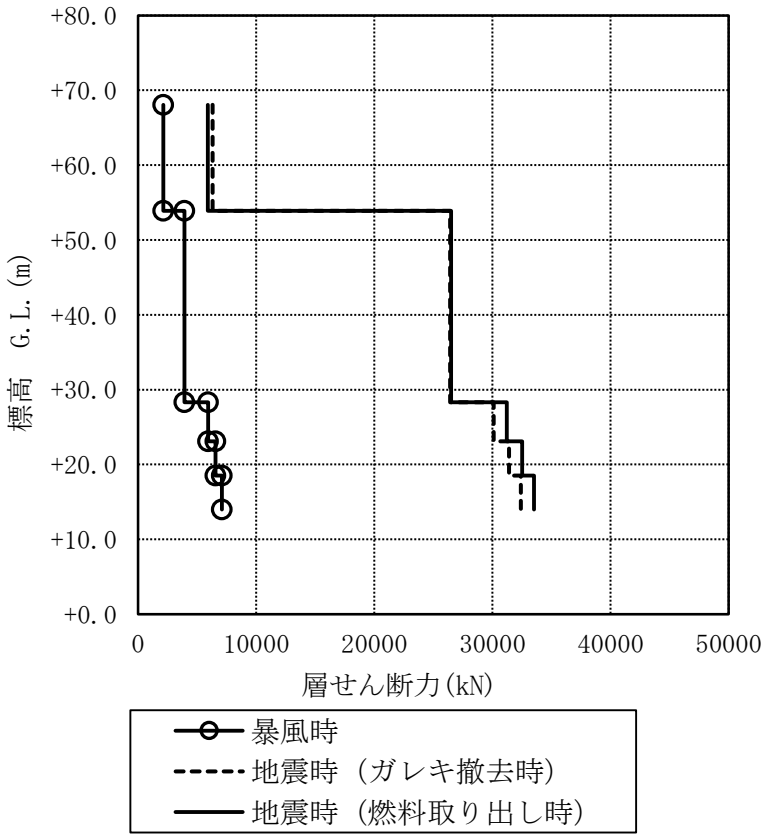


図 5.2.1-5　地震時と暴風時の層せん断力の比較（EW 方向）

5.2.2　大型カバーの構造強度に対する検討

(1)　断面検討

1)　柱，梁，水平・鉛直ブレース

部材の応力度比は，「鋼構造設計規準」に従い，軸力に対して下式にて検討を行う。

・軸圧縮の場合　　$\frac{\sigma_c}{f_c} \leqq 1$

・軸引張の場合　　$\frac{\sigma_t}{f_t} \leqq 1$

ここで，　σ_c　：圧縮応力度（N/A）(N/mm^2)

σ_t　：引張応力度（T/A）(N/mm^2)

N：圧縮力(N)，T：引張力(N)，A：断面積(mm^2)

f_c　：許容圧縮応力度(N/mm^2)

f_t　：許容引張応力度(N/mm^2)

2)　大型カバー頂部鋼板部

応力度比の検討は，「鋼構造設計規準」に従い，面内力に対し下式にて検討を行う。

・組合せ応力の場合　$\frac{{\sigma_x}^2+{\sigma_y}^2-\sigma_x\cdot\sigma_y+3{\tau_{xy}}^2}{{f_t}^2} \leqq 1$

ここで，　σ_x　：X 方向圧縮応力度（Nx/A）(N/mm^2)

σ_y　：Y 方向圧縮応力度（Ny/A）(N/mm^2)

Nx：X 方向面内力(N)，Ny：Y 方向面内力(N)，A：断面積(mm^2)

τ_{xy}　：せん断応力度（Nxy/As）(N/mm^2)

Nxy：面内せん断力(N)，As：せん断断面積(mm^2)

f_t　：許容引張応力度(N/mm^2)

3)　ガレキ撤去時

表 5.2.2-1 及び表 5.2.2-2 に応力度比が最大となる部位の断面検討結果を示す。

断面検討の結果，全ての部材に対する応力度比が 1 以下になることを確認した。

表 5.2.2-1(1)　断面検討結果（一般部，常時）上部架構

部位[*1]		部材形状（mm） 〈使用材料[*2]〉	荷重 ケース (位置)[*3]	作用 応力度 (N/mm^2)		許容 応力度 (N/mm^2)		応力 度比	判定
①	柱	H-400×400×13×21	C (case1)	σ_c	96.1	f_c	170.9	0.57	O.K.
②	梁	B[-300×220×16×25	C (case1)	σ_t	47.8	f_t	216.6	0.23	O.K.
③	鉛直 ブレース	φ-267.4×6.6	C (case2)	σ_c	61.6	f_c	173.0	0.36	O.K.
④	鋼板	PL-16 〈SN400B〉	C (case1)	σ_x	1.9	f_t	156.0	0.31	O.K.
				σ_y	4.1				
				τ_{xy}	27.2				

表 5.2.2-1(2)　断面検討結果（一般部，常時）下部架構

部位[*1]		部材形状（mm） 〈使用材料[*2]〉	荷重 ケース (位置)[*3]	作用 応力度 (N/mm^2)		許容 応力度 (N/mm^2)		応力 度比	判定
⑤	柱	H-400×400×13×21	C (case2)	σ_c	102.4	f_c	202.7	0.51	O.K.
⑥	梁	H-588×300×12×20	C (case1)	σ_c	52.9	f_c	201.1	0.27	O.K.
⑦	鉛直 ブレース	φ-267.4×6.6	C (case1)	σ_c	153.7	f_c	203.0	0.76	O.K.
⑧	接続部 水平ブレース	十字 PL（PL-28×210 +2PL-28×91）	C (case1)	σ_c	110.8	f_c	187.5	0.60	O.K.
⑨	接続部 鉛直ブレース	十字 PL（PL-28×210 +2PL-28×91）	C (case2)	σ_c	123.6	f_c	197.7	0.63	O.K.

表 5.2.2-1(3)　断面検討結果（燃料取扱設備支持部，常時）

部位[*1]		部材形状（mm） 〈使用材料[*2]〉	荷重 ケース (位置)[*3]	作用 応力度 (N/mm^2)		許容 応力度 (N/mm^2)		応力 度比	判定
⑩	柱	H-400×400×13×21	C (case1)	σ_c	15.1	f_c	183.1	0.09	O.K.
⑪	梁	H-800×300×14×26	C (case1)	σ_c	20.3	f_c	175.8	0.12	O.K.
⑫	水平 ブレース	十字 PL (PL-28×210 +2PL-28×91)	C (case1)	σ_t	40.8	f_t	216.6	0.19	O.K.
⑬	鉛直 ブレース	φ-355.6×7.9	C (case1)	σ_c	58.7	f_c	207.7	0.29	O.K.

*1：①～⑬の符号は図 5.2.2-1 の応力検討箇所を示す

*2：各部材の使用材料は，特記なき限り，鋼管：STKN490B，その他 SN490B

*3：図 5.2.1-3 にガレキ撤去用天井クレーンの位置を示す

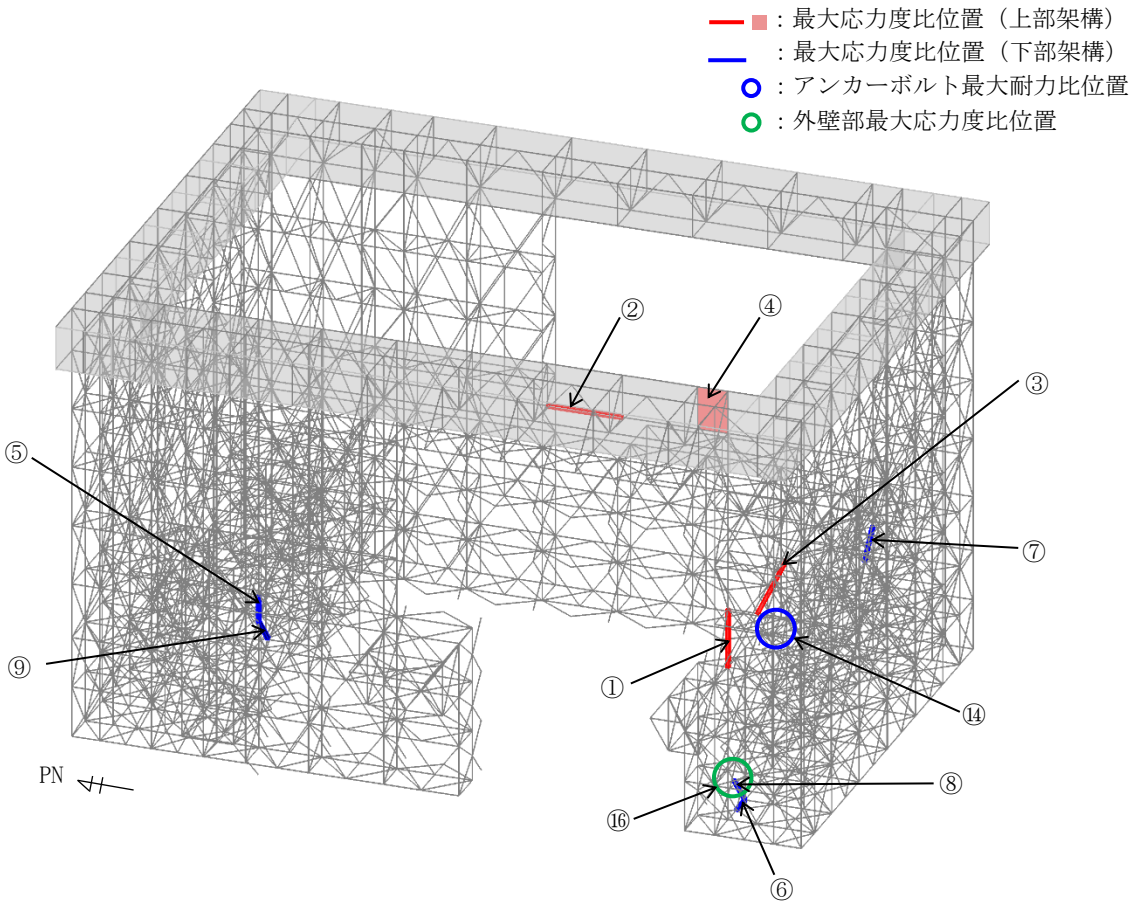


図 5.2.2-1(1)　最大応力度比位置図(一般部，常時)

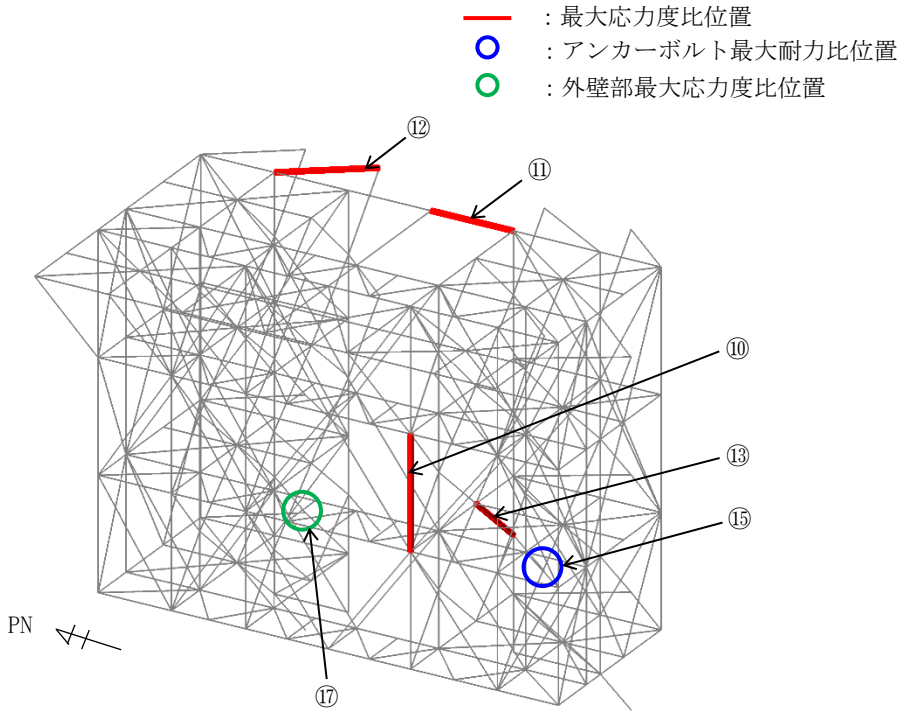


図 5.2.2-1(2)　最大応力度比位置図(燃料取扱設備支持部，常時)

表 5.2.2-2(1)　断面検討結果（一般部，地震時）上部架構

部位[*1]		部材形状（mm） 〈使用材料[*2]〉	荷重 ケース (位置)[*3]	作用 応力度 (N/mm²)		許容 応力度 (N/mm²)		応力 度比	判定
①	柱	H-400×400×13×21	E4 (case1)	σ_c	142.0	f_c	256.4	0.56	O.K.
②	梁	B[-300×220×16×25	E1 (case1)	σ_c	85.4	f_c	269.9	0.32	O.K.
③	鉛直 ブレース	φ-355.6×9.5	E1 (case1)	σ_c	259.5	f_c	282.0	0.93	O.K.
④	鋼板	PL-16 〈SN400B〉	E2 (case1)	σ_x	1.9	f_t	235.0	0.35	O.K.
				σ_y	9.2				
				τ_{xy}	46.9				

表 5.2.2-2(2)　断面検討結果（一般部，地震時）下部架構

部位[*1]		部材形状（mm） 〈使用材料[*2]〉	荷重 ケース (位置)[*3]	作用 応力度 (N/mm²)		許容 応力度 (N/mm²)		応力 度比	判定
⑤	柱	H-400×400×13×21	E1 (case2)	σ_c	179.6	f_c	304.1	0.60	O.K.
⑥	梁	H-588×300×12×20	E4 (case1)	σ_c	136.9	f_c	301.6	0.46	O.K.
⑦	鉛直 ブレース	φ-267.4×6.6	E1 (case2)	σ_t	301.3	f_t	325.0	0.93	O.K.
⑧	接続部 水平ブレース	十字 PL（PL-28×210 +2PL-28×91）	E4 (case2)	σ_t	306.2	f_t	325.0	0.95	O.K.
⑨	接続部 鉛直ブレース	十字 PL（PL-28×210 +2PL-28×91）	E1 (case2)	σ_c	266.8	f_c	297.4	0.90	O.K.

表 5.2.2-2(3)　断面検討結果（燃料取扱設備支持部，地震時）

部位*1		部材形状（mm） 〈使用材料*2〉	荷重 ケース (位置)*3	作用 応力度 (N/mm^2)		許容 応力度 (N/mm^2)		応力 度比	判定
⑩	柱	H-400×400×13×21	E4 (case1)	σ_c	15.9	f_c	274.7	0.06	O.K.
⑪	梁	H-800×300×14×26	E4 (case1)	σ_c	23.5	f_c	263.7	0.09	O.K.
⑫	水平 ブレース	十字 PL (PL-28×210 +2PL-28×91)	E1 (case1)	σ_t	56.0	f_t	325.0	0.18	O.K.
⑬	鉛直 ブレース	ϕ-355.6×7.9	E1 (case1)	σ_c	68.4	f_c	311.5	0.22	O.K.

*1：①～⑬の符号は図 5.2.2-2 の応力検討箇所を示す

*2：各部材の使用材料は，特記なき限り，鋼管：STKN490B，その他 SN490B

*3：図 5.2.1-3 にガレキ撤去用天井クレーンの位置を示す

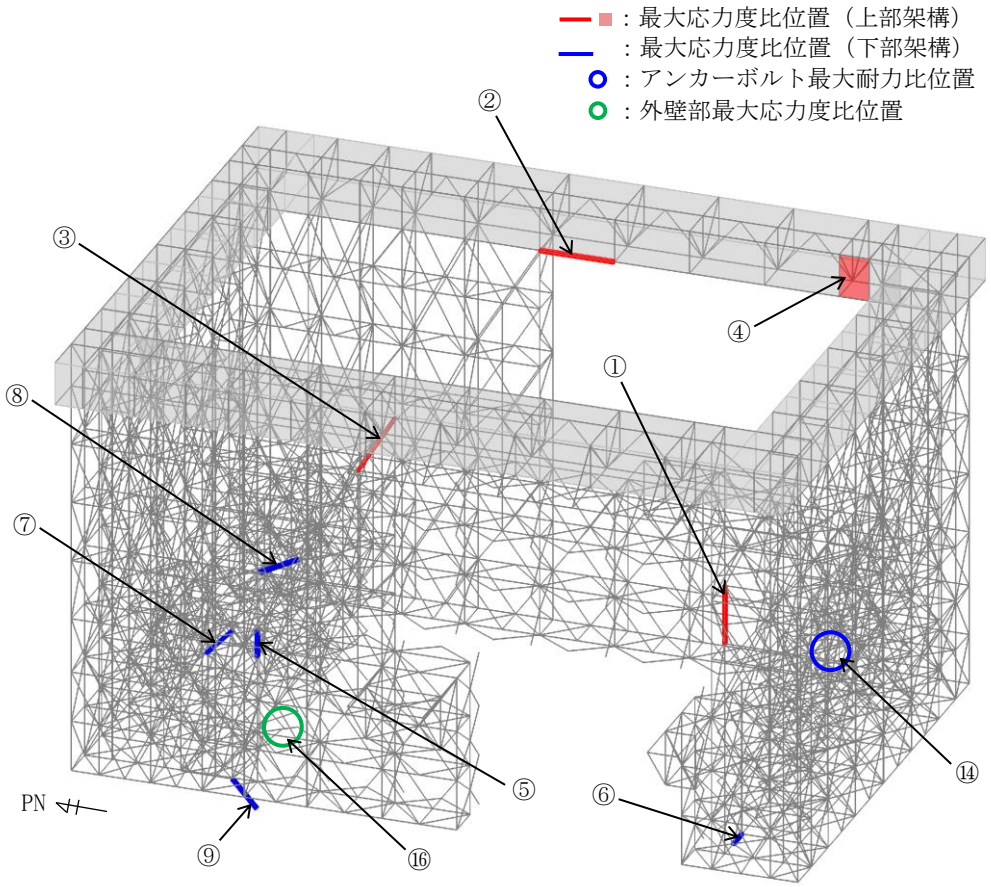


図 5.2.2-2(1)　最大応力度比位置図(一般部，地震時)

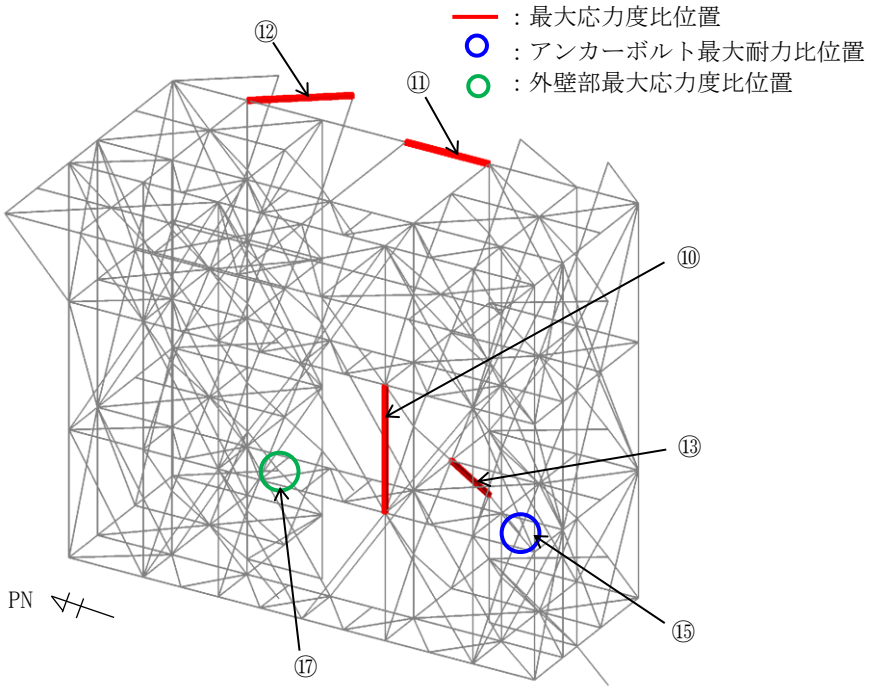


図 5.2.2-2(2)　最大応力度比位置図(燃料取扱設備支持部，地震時)

4) 燃料取り出し時

表 5.2.2-3 及び表 5.2.2-4 に応力度比が最大となる部位の断面検討結果を示す。

断面検討の結果，全ての部材に対する応力度比が 1 以下になることを確認した。

表 5.2.2-3(1) 断面検討結果（一般部，常時）上部架構

部位[*1]		部材形状（mm）<使用材料[*2]>	荷重ケース(位置)[*3]	作用応力度 (N/mm²)		許容応力度 (N/mm²)		応力度比	判定
①	柱	H-400×400×13×21	C (case4)	σ_c	68.8	f_c	170.9	0.41	O.K.
②	梁	B[-300×220×16×25	C (case4)	σ_c	17.9	f_c	179.9	0.10	O.K.
③	鉛直ブレース	φ-267.4×6.6	C (case4)	σ_c	57.0	f_c	173.0	0.33	O.K.
④	鋼板	PL-16 <SN400B>	C (case4)	σ_x	0.0	f_t	156.0	0.17	O.K.
				σ_y	9.5				
				τ_{xy}	13.8				

表 5.2.2-3(2) 断面検討結果（一般部，常時）下部架構

部位[*1]		部材形状（mm）<使用材料[*2]>	荷重ケース(位置)[*3]	作用応力度 (N/mm²)		許容応力度 (N/mm²)		応力度比	判定
⑤	柱	H-400×400×13×21	C (case4)	σ_c	93.1	f_c	202.7	0.46	O.K.
⑥	梁	H-350×350×12×19	C (case4)	σ_c	49.5	f_c	183.8	0.27	O.K.
⑦	鉛直ブレース	φ-267.4×6.6	C (case4)	σ_c	122.8	f_c	196.2	0.63	O.K.
⑧	接続部水平ブレース	十字 PL（PL-28×210 +2PL-28×91）	C (case4)	σ_c	90.1	f_c	187.5	0.49	O.K.
⑨	接続部鉛直ブレース	十字 PL（PL-28×210 +2PL-28×91）	C (case4)	σ_c	112.4	f_c	197.7	0.57	O.K.

表 5.2.2-3(3)　断面検討結果（燃料取扱設備支持部，常時）

部位*1		部材形状（mm） 〈使用材料*2〉	荷重 ケース (位置)*3	作用 応力度 (N/mm^2)		許容 応力度 (N/mm^2)		応力 度比	判定
⑩	柱	H-400×400×13×21	C (case4)	σ_c	34.7	f_c	202.7	0.18	O.K.
⑪	梁	H-350×350×12×19	C (case4)	σ_c	29.1	f_c	201.5	0.15	O.K.
⑫	水平 ブレース	十字 PL (PL-28×210 +2PL-28×91)	C (case4)	σ_t	42.9	f_t	216.6	0.20	O.K.
⑬	鉛直 ブレース	φ-355.6×7.9	C (case4)	σ_c	93.6	f_c	207.7	0.46	O.K.

*1：①～⑬の符号は図 5.2.2-3 の応力検討箇所を示す

*2：各部材の使用材料は，特記なき限り，鋼管：STKN490B，その他 SN490B

*3：図 5.2.1-4 に燃料取扱設備の位置を示す

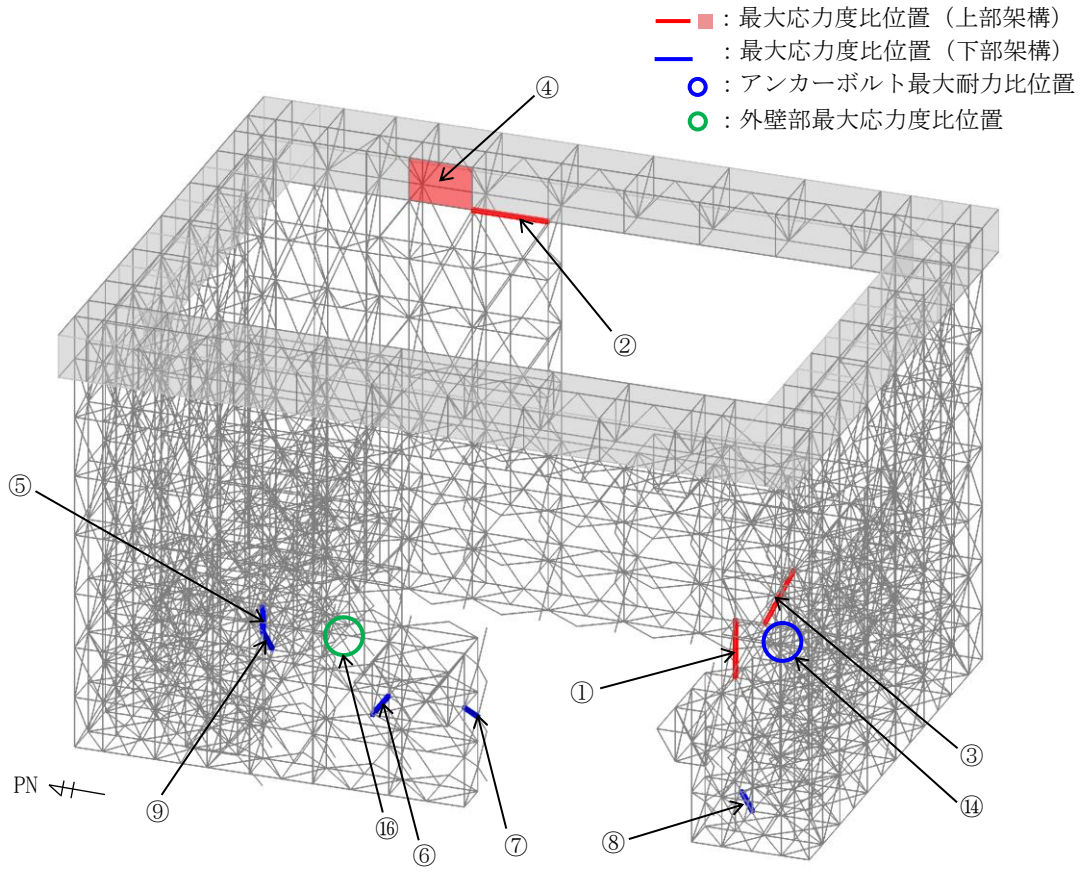


図 5.2.2-3(1)　最大応力度比位置図(一般部，常時)

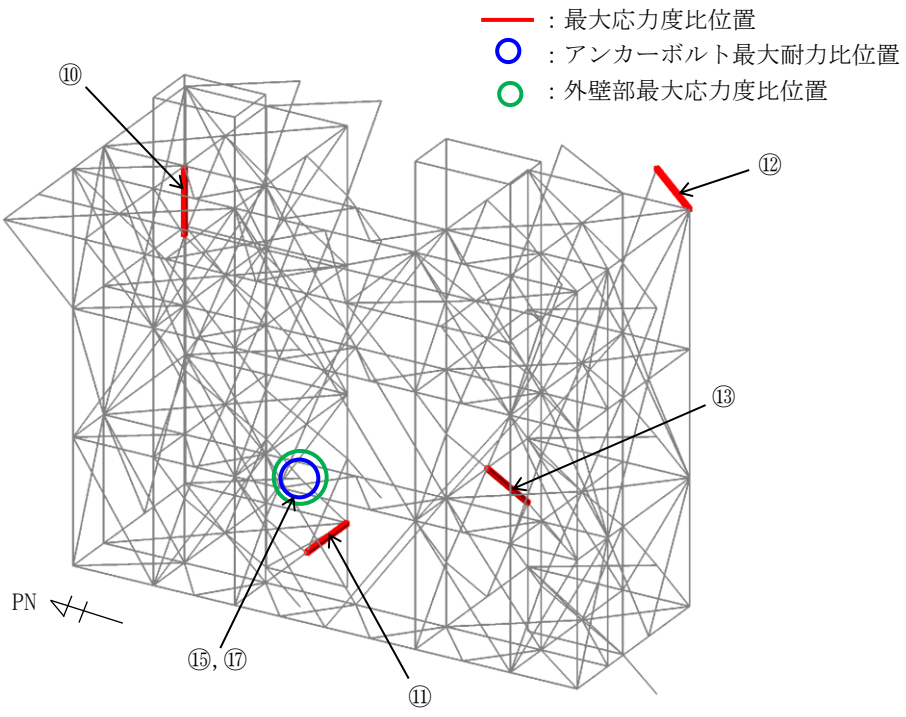


図 5.2.2-3(2)　最大応力度比位置図(燃料取扱設備支持部，常時)

表 5.2.2-4(1)　断面検討結果（一般部，地震時）上部架構

部位*1		部材形状（mm） 〈使用材料*2〉	荷重 ケース (位置)*3	作用 応力度 (N/mm²)		許容 応力度 (N/mm²)		応力 度比	判定
①	柱	H-400×400×13×21	E2 (case4)	σ_c	136.8	f_c	256.4	0.54	O.K.
②	梁	B[-300×220×16×25	E1 (case4)	σ_c	67.5	f_c	269.9	0.26	O.K.
③	鉛直 ブレース	φ-355.6×9.5	E1 (case4)	σ_c	245.5	f_c	282.0	0.88	O.K.
④	鋼板	PL-16 〈SN400B〉	E4 (case4)	σ_x	28.0	f_t	235.0	0.33	O.K.
				σ_y	9.1				
				τ_{xy}	41.6				

表 5.2.2-4(2)　断面検討結果（一般部，地震時）下部架構

部位*1		部材形状（mm） 〈使用材料*2〉	荷重 ケース (位置)*3	作用 応力度 (N/mm²)		許容 応力度 (N/mm²)		応力 度比	判定
⑤	柱	H-400×400×13×21	E1 (case4)	σ_c	176.0	f_c	304.1	0.58	O.K.
⑥	梁	H-588×300×12×20	E1 (case4)	σ_t	138.0	f_t	325.0	0.43	O.K.
⑦	鉛直 ブレース	φ-267.4×6.6	E1 (case4)	σ_t	298.9	f_t	325.0	0.92	O.K.
⑧	接続部 水平ブレース	十字 PL (PL-28×210 +2PL-28×91)	E4 (case4)	σ_t	298.8	f_t	325.0	0.92	O.K.
⑨	接続部 鉛直ブレース	十字 PL (PL-28×210 +2PL-28×91)	E2 (case4)	σ_c	269.3	f_c	296.6	0.91	O.K.

表 5.2.2-4(3)　断面検討結果（燃料取扱設備支持部，地震時）

部位*1		部材形状（mm） 〈使用材料*2〉	荷重 ケース (位置)*3	作用 応力度 (N/mm^2)		許容 応力度 (N/mm^2)		応力 度比	判定
⑩	柱	H-400×400×13×21	E4 (case4)	σ_c	33.0	f_c	274.7	0.13	O.K.
⑪	梁	H-350×350×12×19	E1 (case4)	σ_c	38.7	f_c	302.3	0.13	O.K.
⑫	水平 ブレース	十字 PL (PL-28×210 +2PL-28×91)	E1 (case4)	σ_t	60.6	f_t	325.0	0.19	O.K.
⑬	鉛直 ブレース	φ-355.6×7.9	E1 (case4)	σ_c	106.1	f_c	311.5	0.35	O.K.

*1：①～⑬の符号は図 5.2.2-4 の応力検討箇所を示す

*2：各部材の使用材料は，特記なき限り，鋼管：STKN490B，その他 SN490B

*3：図 5.2.1-4 に燃料取扱設備の位置を示す

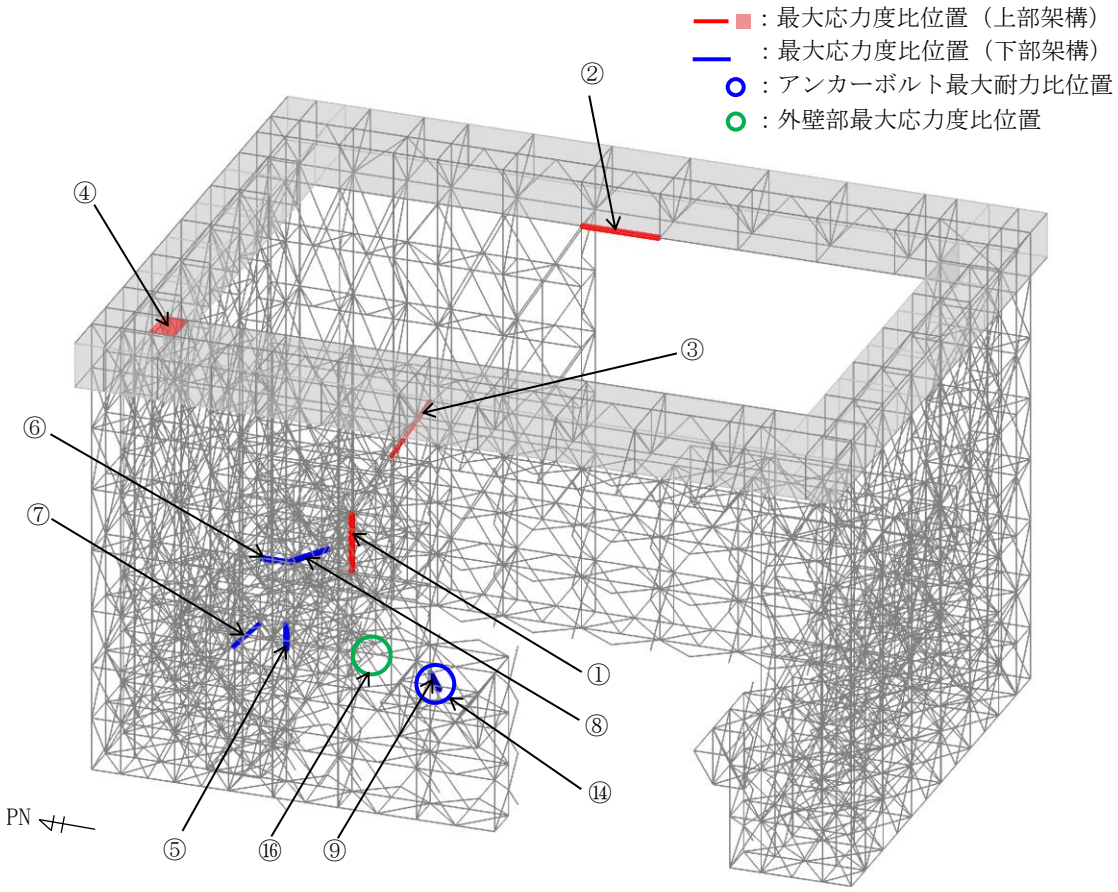


図 5.2.2-4(1)　最大応力度比位置図(一般部，地震時)

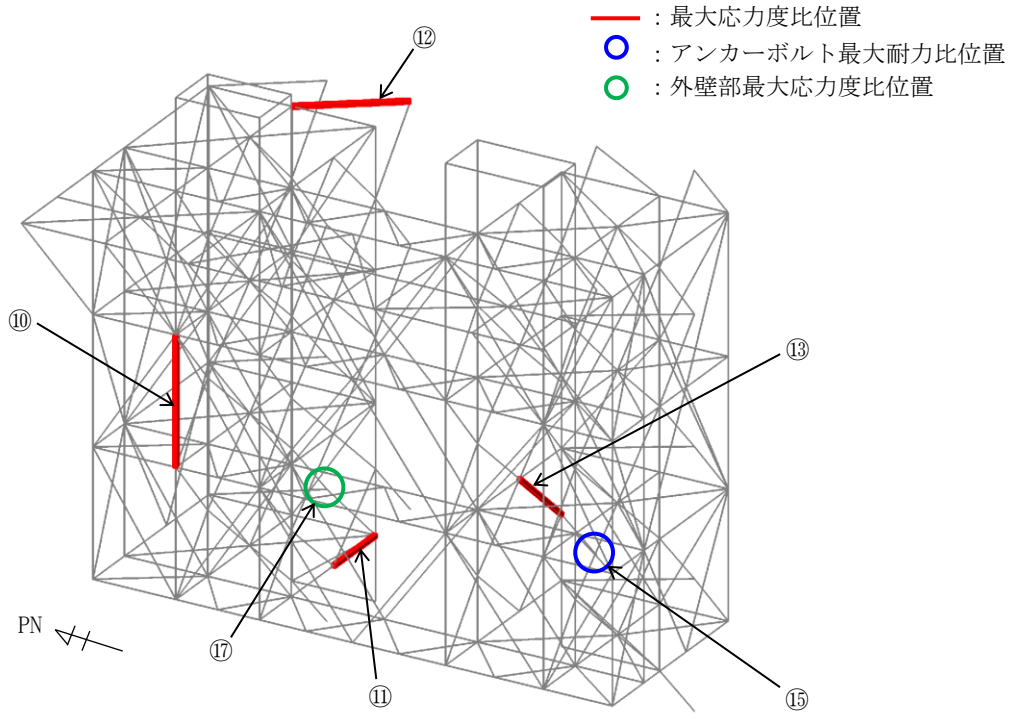


図 5.2.2-4(2)　最大応力度比位置図(燃料取扱設備支持部，地震時)

5.2.3　屋根の構造強度に対する検討

(1)　断面検討

1)　弦材，斜材，ブレース

部材の応力度比は，「鋼構造設計規準」に従い，下記にて検討を行う。

・軸圧縮の場合　　$\frac{\sigma_c}{f_c} \leqq 1$

・軸引張の場合　　$\frac{\sigma_t}{f_t} \leqq 1$

ここで，　σ_c ：圧縮応力度（N/A）（N/mm^2）

σ_t ：引張応力度（T/A）（N/mm^2）

N：圧縮力(N)，T：引張力(N)，A：断面積(mm^2)

f_c ：許容圧縮応力度(N/mm^2)

f_t ：許容引張応力度(N/mm^2)

2)　検討結果

表 5.2.3-1 に応力度比が最大となる部位の断面検討結果を示す。

断面検討の結果，全ての部材に対する応力度比が 1 以下になることを確認した。

表 5.2.3-1(1)　断面検討結果（常時，ガレキ撤去時）

部位*1		部材形状 (mm)	荷重 ケース (位置)*2	作用 応力度 (N/mm²)		許容 応力度 (N/mm²)		応力 度比	判定
①	弦材	P-216.3φ×7.0t <STK490>	C (case1)	σ_c	48.2	f_c	213.1	0.23	O.K.
②	斜材	P-89.1φ×3.2t <STK400>	C (case1)	σ_t	42.3	f_t	156.7	0.27	O.K.
③	ブレース	1-M30 <SNR490B>	C (case1)	σ_t	107.7	f_t	216.7	0.50	O.K.

*1：①～③の符号は図 5.2.3-1 の応力検討箇所を示す

*2：図 5.2.1-3 にガレキ撤去用天井クレーンの位置を示す

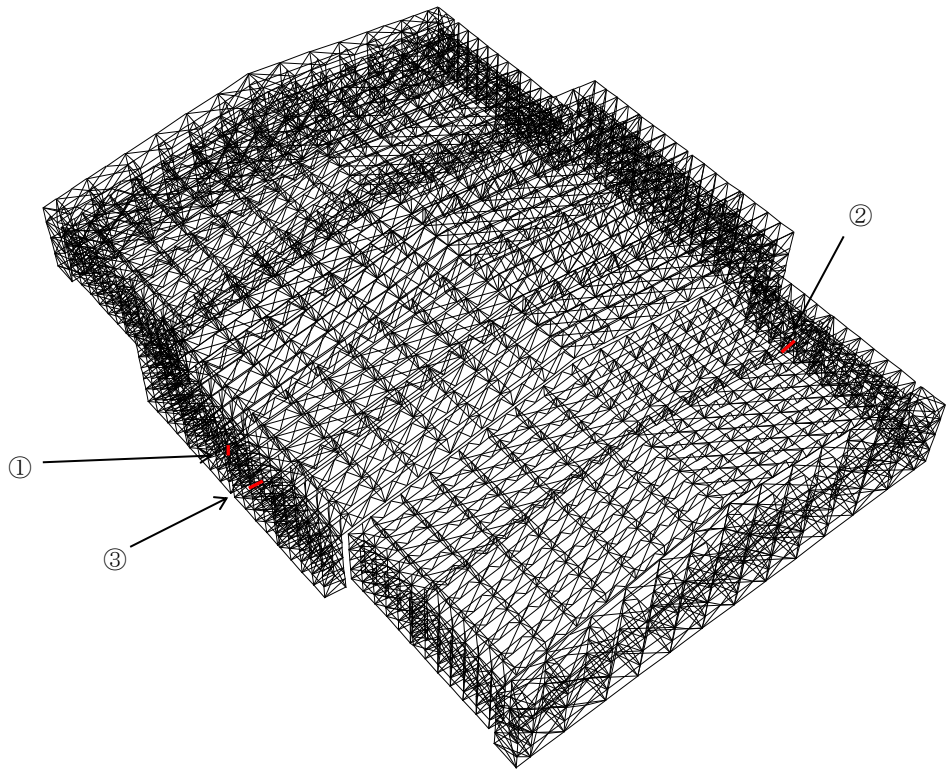


図 5.2.3-1　最大応力度比位置図

表 5.2.3-1(2)　断面検討結果（常時，燃料取り出し時）

部位*1		部材形状 (mm)	荷重 ケース (位置)*2	作用 応力度 (N/mm^2)		許容 応力度 (N/mm^2)		応力 度比	判定
①	弦材	P-216.3φ×6.0t <STK490>	C (case4)	σ_c	23.4	f_c	214.1	0.11	O.K.
②	斜材	P-89.1φ×3.2t <STK400>	C (case4)	σ_t	32.6	f_t	156.7	0.21	O.K.
③	ブレース	1-M27 <SNR490B>	C (case4)	σ_t	75.0	f_t	216.7	0.35	O.K.

*1：①～③の符号は図 5.2.3-2 の応力検討箇所を示す

*2：図 5.2.1-4 に燃料取扱設備の位置を示す

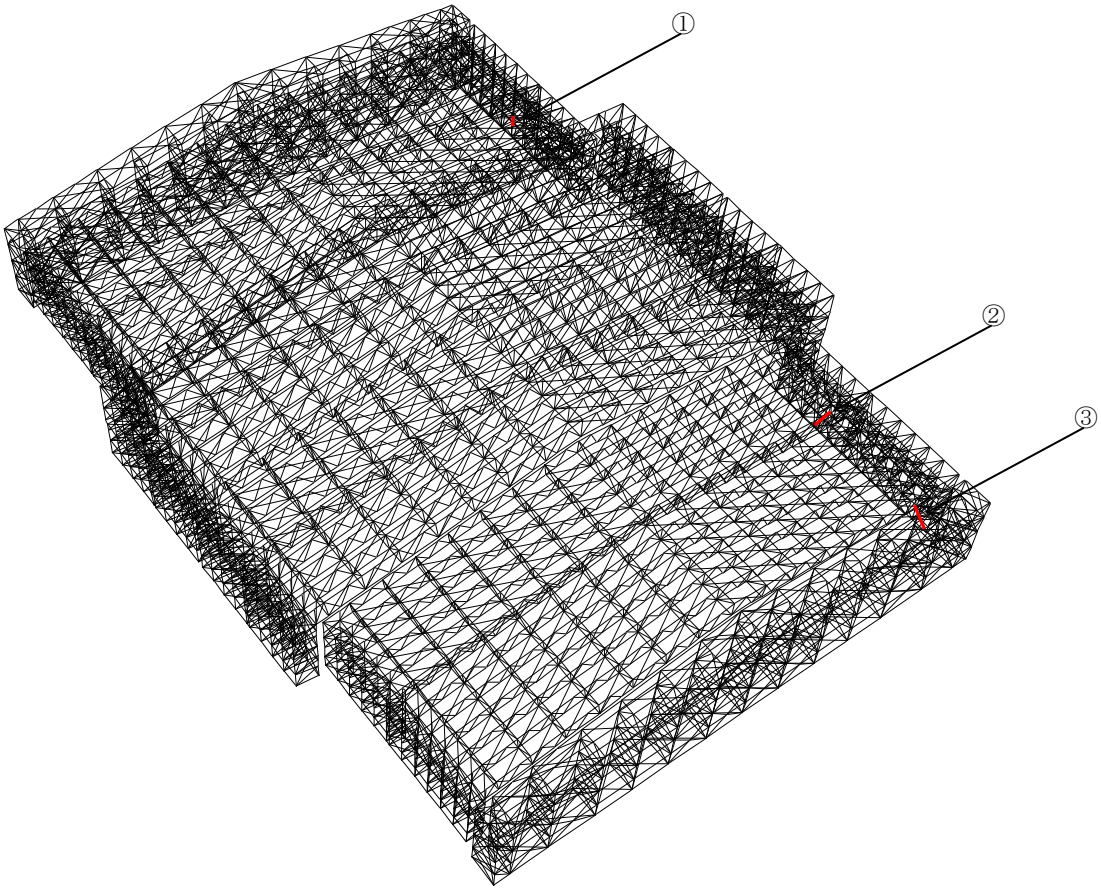


図 5.2.3-2　最大応力度比位置図

表 5.2.3-1(3)　断面検討結果（地震時,ガレキ撤去時）

部位*1		部材形状 (mm)	荷重ケース (位置)*2	作用応力度 (N/mm²)		許容応力度 (N/mm²)		応力度比	判定
①	弦材	P-216.3φ×7.0t <STK490>	E2 (case1)	σ_c	99.2	f_c	319.7	0.32	O.K.
②	斜材	P-89.1φ×3.2t <STK400>	E3 (case2)	σ_t	159.2	f_t	235.0	0.68	O.K.
③	ブレース	1-M27 <SNR490B>	E1 (case1)	σ_t	299.7	f_t	325.0	0.93	O.K.

*1：①～③の符号は図 5.2.3-3 の応力検討箇所を示す

*2：図 5.2.1-3 にガレキ撤去用天井クレーンの位置を示す

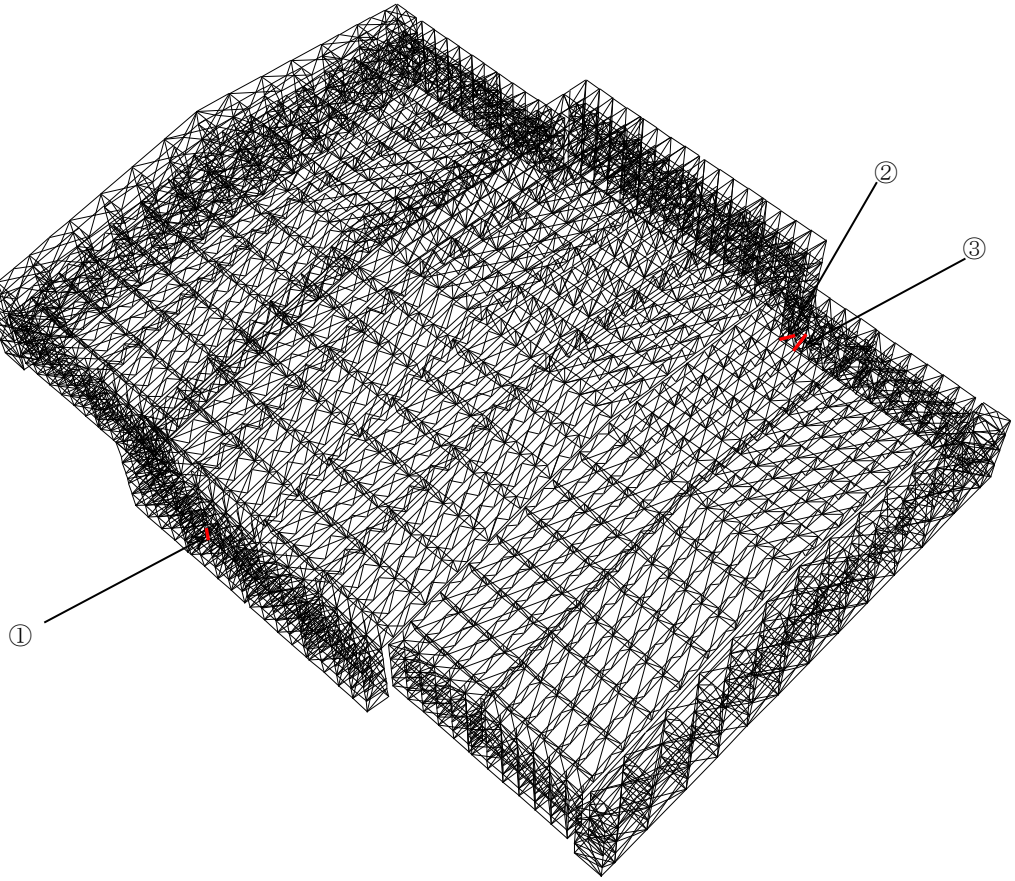


図 5.2.3-3　最大応力度比位置図

表 5.2.3-1(4)　断面検討結果（地震時,燃料取り出し時）

部位*1		部材形状 (mm)	荷重 ケース (位置)*2	作用 応力度 (N/mm²)		許容 応力度 (N/mm²)		応力 度比	判定
①	弦材	P-216.3φ×7.0t <STK490>	E2 (case4)	σ_t	81.6	f_t	325.0	0.26	O.K.
②	斜材	P-89.1φ×3.2t <STK400>	E3 (case4)	σ_t	154.2	f_t	235.0	0.66	O.K.
③	ブレース	1-M30 <SNR490B>	E1 (case4)	σ_t	261.0	f_t	325.0	0.81	O.K.

*1：①～③の符号は図 5.2.3-4 の応力検討箇所を示す

*2：図 5.2.1-4 に燃料取扱設備の位置を示す

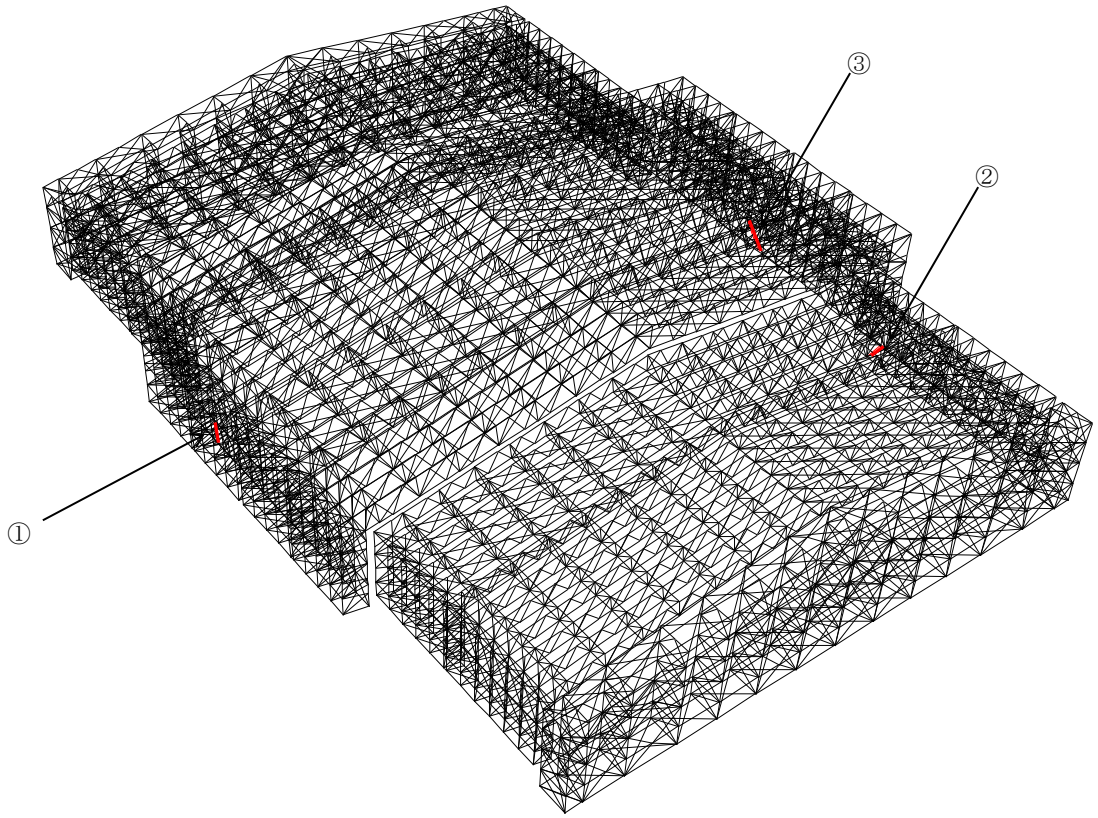


図 5.2.3-4　最大応力度比位置図

5.2.4　建屋取り合い部の構造強度に対する検討

(1)　アンカーボルトの検討（引抜き，せん断）

大型カバーはアンカーボルトにより原子炉建屋外壁に取り付く。アンカーボルトの仕様は，M33（SNR490B）の接着系アンカーボルトとし，許容耐力は「あと施工アンカー施工指針（案）（一般社団法人日本建築あと施工アンカー協会)」,「各種合成構造設計指針・同解説」に従い，原子炉建屋の設計基準強度を用いて下式によって求める。表 5.2.4-1 にアンカーボルトの許容耐力を，図 5.2.4-1 にアンカー標準図を示す。

$$pa = \min(\phi_1 \cdot pa_1,\ \phi_2 \cdot pa_2,\ \phi_3 \cdot pa_3)$$

$$qa = \min(\phi_1 \cdot qa_1,\ \phi_2 \cdot qa_2)$$

$\phi_1 \sim \phi_3$：低減係数（長期，短期）

pa　：接着系アンカーボルトの許容引張力（kN/本）

pa_1　：アンカーボルトの降伏により決まる許容引張力（kN/本）

pa_2　：躯体のコーン状破壊により決まる許容引張力（kN/本）

pa_3　：付着力により決まる許容引張力（kN/本）

qa　：接着系アンカーボルトの許容せん断力（kN/本）

qa_1　：アンカーボルトのせん断強度により決まる許容せん断力（kN/本）

qa_2　：躯体の支圧強度により決まる許容せん断力（kN/本）

表 5.2.4-1 接着系アンカーボルトの許容耐力

部位		一般部	燃料取扱設備支持部	
			GL+13.7	
タイプ		標準	標準	
鋼材種類		M33	M33	
		SNR490B	SNR490B	
埋め込み長さ　(mm)		345	345	
アンカーボルト間隔　(mm)		400	400	
長期	許容引張力(pa_L)　(kN/本)	78	106	92
	許容せん断力(qa_L)　(kN/本)	76	76	76
短期	許容引張力(pa_S)　(kN/本)	156	212	185
	許容せん断力(qa_S)　(kN/本)	152	152	152

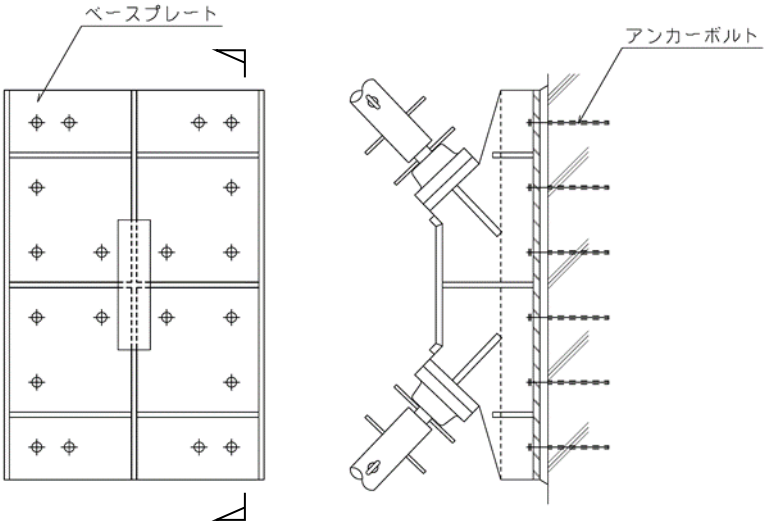
アンカーボルトの検討は，建屋取り合い部に生じる最大支点反力に対し，下式にて検討を行う。

$$\frac{P}{P_a} \leqq 1$$

$$\frac{Q}{Q_a} \leqq 1$$

$$\left(\frac{P}{P_a}\right)^2+\left(\frac{Q}{Q_a}\right)^2 \leqq 1$$

Pa：アンカーボルトの許容引張耐力（kN）
Qa：アンカーボルトの許容せん断耐力（kN）
P ：アンカーボルトの引張力（kN）
Q ：アンカーボルトのせん断力（kN）



立面図　　断面図

図 5.2.4-1　アンカー標準図

1)　ガレキ撤去時

表 5.2.4-2 に耐力比が最大となる部位の検討結果を示す。

検討の結果，アンカーボルトの最大耐力比は 1 以下になることを確認した。

表 5.2.4-2(1)　アンカーボルトの検討結果（一般部，常時）

部位*1 (アンカー本数)		荷重ケース (位置)*2	作用応力		許容耐力		耐力比	判定
			引張力 P (kN)	せん断力 Q (kN)	許容引張力 Pa(kN)	許容せん断力 Qa(kN)		
⑭	アンカーボルト (12)	C (case1)	36	749	936	912	0.83	O.K.

表 5.2.4-2(2)　アンカーボルトの検討結果（燃料取扱設備支持部，常時）

部位*1 (アンカー本数)		荷重ケース (位置)*2	作用応力		許容耐力		耐力比	判定
			引張力 P (kN)	せん断力 Q (kN)	許容引張力 Pa(kN)	許容せん断力 Qa(kN)		
⑮	アンカーボルト (12)	C (case1)	0	349	1272	912	0.39	O.K.

*1：図 5.2.2-1 に応力検討箇所を示す

*2：図 5.2.1-3 にガレキ撤去用天井クレーンの位置を示す

表 5.2.4-2(3)　アンカーボルトの検討結果（一般部，地震時）

部位*1（アンカー本数）		荷重ケース（位置）*2	作用応力		許容耐力		耐力比	判定
			引張力 P (kN)	せん断力 Q (kN)	許容引張力 Pa(kN)	許容せん断力 Qa(kN)		
⑭	アンカーボルト (34)	E3 (case1)	0	3412	5304	5168	0.67	O.K.

表 5.2.4-2(4)　アンカーボルトの検討結果（燃料取扱設備支持部，地震時）

部位*1（アンカー本数）		荷重ケース（位置）*2	作用応力		許容耐力		耐力比	判定
			引張力 P (kN)	せん断力 Q (kN)	許容引張力 Pa(kN)	許容せん断力 Qa(kN)		
⑮	アンカーボルト (12)	E1 (case1)	0	474	2544	1824	0.26	O.K.

*1：図 5.2.2-2 に応力検討箇所を示す

*2：図 5.2.1-3 にガレキ撤去用天井クレーンの位置を示す

2)　燃料取り出し時

表 5.2.4-3 に耐力比が最大となる部位の検討結果を示す。

検討の結果，アンカーボルトの最大耐力比は 1 以下になることを確認した。

表 5.2.4-3(1)　アンカーボルトの検討結果（一般部，常時）

部位*1（アンカー本数）		荷重ケース（位置）*2	作用応力		許容耐力		耐力比	判定
			引張力 P (kN)	せん断力 Q (kN)	許容引張力 Pa(kN)	許容せん断力 Qa(kN)		
⑭	アンカーボルト (12)	C (case4)	0	744	936	912	0.82	O.K.

表 5.2.4-3(2)　アンカーボルトの検討結果（燃料取扱設備支持部，常時）

部位*1（アンカー本数）		荷重ケース（位置）*2	作用応力		許容耐力		耐力比	判定
			引張力 P (kN)	せん断力 Q (kN)	許容引張力 Pa(kN)	許容せん断力 Qa(kN)		
⑮	アンカーボルト (16)	C (case4)	0	770	1472	1216	0.64	O.K.

*1：図 5.2.2-3 に応力検討箇所を示す

*2：図 5.2.1-4 に燃料取扱設備の位置を示す

表 5.2.4-3(3)　アンカーボルトの検討結果（一般部，地震時）

部位*1（アンカー本数）		荷重ケース（位置）*2	作用応力		許容耐力		耐力比	判定
			引張力 P (kN)	せん断力 Q (kN)	許容引張力 Pa(kN)	許容せん断力 Qa(kN)		
⑭	アンカーボルト (36)	E2 (case4)	0	3537	5616	5472	0.65	O.K.

表 5.2.4-3(4)　アンカーボルトの検討結果（燃料取扱設備支持部，地震時）

部位*1（アンカー本数）		荷重ケース（位置）*2	作用応力		許容耐力		耐力比	判定
			引張力 P (kN)	せん断力 Q (kN)	許容引張力 Pa(kN)	許容せん断力 Qa(kN)		
⑮	アンカーボルト (12)	E1 (case4)	0	695	2544	1824	0.39	O.K.

*1：図 5.2.2-4 に応力検討箇所を示す

*2：図 5.2.1-4 に燃料取扱設備の位置を示す

(2)　原子炉建屋外壁部の検討

原子炉建屋外壁部に生じる最大圧縮反力に対し，下式にて検討を行う。

図 5.2.4-2 にベースプレート標準図を示す。

$$\frac{\sigma_c}{f_c} \leqq 1$$

ここで，　σ_c：圧縮応力度（N/A）(N/mm^2)

N：圧縮力(N)，A：ベースプレート面積（B×H）(mm^2)

f_c：許容応力度(N/mm^2)

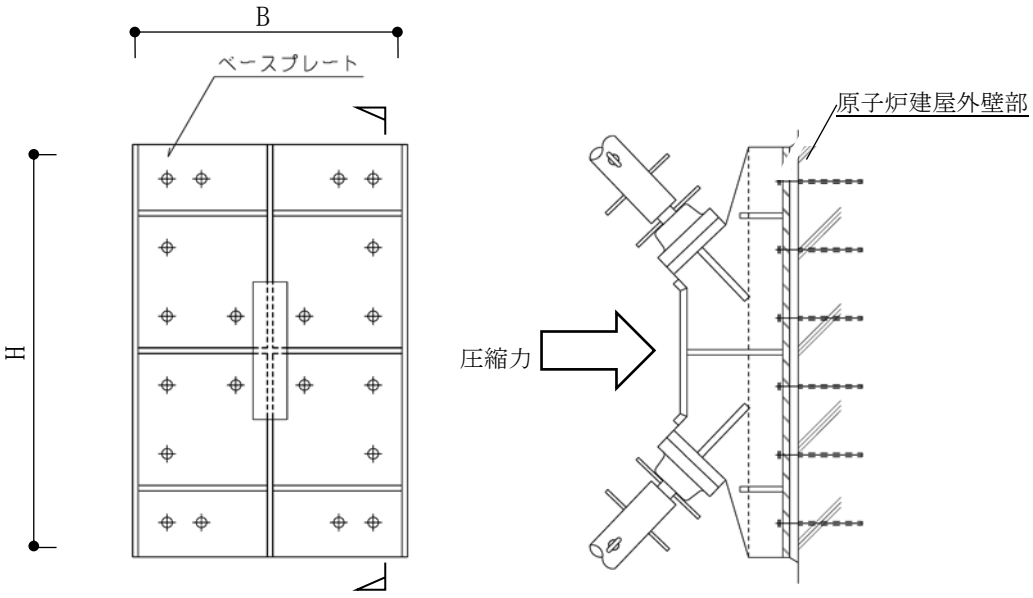


図 5.2.4-2　ベースプレート標準図

1)　ガレキ撤去時

表 5.2.4-4 及び表 5.2.4-5 に応力度比が最大となる部位の検討結果を示す。

検討の結果，原子炉建屋外壁部の最大応力度比は 1 以下になることを確認した。

表 5.2.4-4(1)　外壁部の検討結果（一般部，常時）

部位*1		荷重ケース (位置)*2	作用応力度 (N/mm²)	許容応力度 (N/mm²)	応力度比	判定
⑯	外壁	C (case1)	0.3	7.4	0.05	O.K.

表 5.2.4-4(2)　外壁部の検討結果（燃料取扱設備支持部，常時）

部位*1		荷重ケース (位置)*2	作用応力度 (N/mm²)	許容応力度 (N/mm²)	応力度比	判定
⑰	外壁	C (case2)	0.3	7.4	0.05	O.K.

*1：図 5.2.2-1 に応力検討箇所を示す

*2：図 5.2.1-3 にガレキ撤去用天井クレーンの位置を示す

表 5.2.4-5(1)　外壁部の検討結果（一般部，地震時）

部位*1		荷重ケース (位置)*2	作用応力度 (N/mm²)	許容応力度 (N/mm²)	応力度比	判定
⑯	外壁	E1 (case2)	0.6	14.8	0.05	O.K.

表 5.2.4-5(2)　外壁部の検討結果（燃料取扱設備支持部，地震時）

部位*1		荷重ケース (位置)*2	作用応力度 (N/mm²)	許容応力度 (N/mm²)	応力度比	判定
⑰	外壁	E1 (case2)	0.3	14.8	0.03	O.K.

*1：図 5.2.2-2 に応力検討箇所を示す

*2：図 5.2.1-3 にガレキ撤去用天井クレーンの位置を示す

2)　燃料取り出し時の検討

表 5.2.4-6 及び表 5.2.4-7 に応力度比が最大となる部位の検討結果を示す。

検討の結果，原子炉建屋外壁部の最大応力度比は 1 以下になることを確認した。

表 5.2.4-6(1)　外壁部の検討結果（一般部，常時）

部位*1		荷重ケース (位置)*2	作用応力度 (N/mm^2)	許容応力度 (N/mm^2)	応力度比	判定
⑯	外壁	C (case4)	0.3	7.4	0.05	O.K.

表 5.2.4-6(2)　外壁部の検討結果（燃料取扱設備支持部，常時）

部位*1		荷重ケース (位置)*2	作用応力度 (N/mm^2)	許容応力度 (N/mm^2)	応力度比	判定
⑰	外壁	C (case4)	0.4	7.4	0.06	O.K.

*1：図 5.2.2-3 に応力検討箇所を示す

*2：図 5.2.1-4 に燃料取扱設備の位置を示す

表 5.2.4-7(1)　外壁部の検討結果（一般部，地震時）

部位*1		荷重ケース (位置)*2	作用応力度 (N/mm^2)	許容応力度 (N/mm^2)	応力度比	判定
⑯	外壁	E1 (case4)	0.6	14.8	0.05	O.K.

表 5.2.4-7(2)　外壁部の検討結果（燃料取扱設備支持部，地震時）

部位*1		荷重ケース (位置)*2	作用応力度 (N/mm^2)	許容応力度 (N/mm^2)	応力度比	判定
⑰	外壁	E1 (case4)	0.5	14.8	0.04	O.K.

*1：図 5.2.2-4 に応力検討箇所を示す

*2：図 5.2.1-4 に燃料取扱設備の位置を示す

5.2.5　天井クレーンの構造強度に対する検討

(1)　断面検討

1)　クレーンガーダ

部材の応力度比は，「鋼構造設計規準」に従い，曲げモーメントに対して下式にて検討を行う。

$$\frac{\sigma_b}{f_b} \leqq 1$$

ここで，　　σ_b　：曲げ応力度（M/Z）（N/mm^2）

f_b　：許容曲げ応力度(N/mm^2)

2)　検討結果

2.1)　ガレキ撤去時

表 5.2.5-1 に断面検討結果を示す。

断面検討の結果，全応力度比が 1 以下になることを確認した。

表 5.2.5-1(1)　断面検討結果（常時）

部位		部材形状 (mm)	荷重ケース (位置)*1	作用応力度 (鉛直) (N/mm^2)		許容応力度 (鉛直) (N/mm^2)		応力度比	判定
①	クレーンガーダ	□-1500×2700 〈SM490〉	C (case1)	σ_b	82.3	f_b	216.7	0.38	O.K.

*1：図 5.2.1-3 にガレキ撤去用天井クレーンの位置を示す

表 5.2.5-1(2)　断面検討結果（地震時）

部位		部材形状 (mm)	荷重ケース (位置)*1	作用応力度 (鉛直) (N/mm^2)		許容応力度 (鉛直) (N/mm^2)		応力度比	判定
①	クレーンガーダ	□-1500×2700 〈SM490〉	E2 (case1)	σ_b	82.3	f_b	325.0	0.26	O.K.

*1：図 5.2.1-3 にガレキ撤去用天井クレーンの位置を示す

2.2)　燃料取り出し時

表 5.2.5-2 に断面検討結果を示す。

断面検討の結果，全応力度比が 1 以下になることを確認した。

表 5.2.5-2(1)　断面検討結果（常時）

部位		部材形状 (mm)	荷重ケース (位置)*1	作用応力度 (鉛直) (N/mm²)		許容応力度 (鉛直) (N/mm²)		応力度比	判定
①	クレーンガーダ	□-1500×2700 〈SM490〉	C (case4)	σ_b	55.6	f_b	216.7	0.26	O.K.

*1：図 5.2.1-4 に燃料取扱設備の位置を示す

表 5.2.5-2(2)　断面検討結果（地震時）

部位		部材形状 (mm)	荷重ケース (位置) *1	作用応力度 (鉛直) (N/mm²)		許容応力度 (鉛直) (N/mm²)		応力度比	判定
①	クレーンガーダ	□-1500×2700 〈SM490〉	E2 (case4)	σ_b	55.6	f_b	325.0	0.18	O.K.

*1：図 5.2.1-4 に燃料取扱設備の位置を示す

5.2.6　外装材の構造強度に対する検討

(1)　検討箇所

大型カバーの側面を覆う外装材は，折板を用いる。強度検討は，外装材に風圧力により生じる応力度が短期許容応力度以下であることを確認する。なお，短期事象においては，暴風時の影響が支配的であることから，積雪時及び地震時の検討は省略する。検討箇所を図 5.2.6-1 に示す。

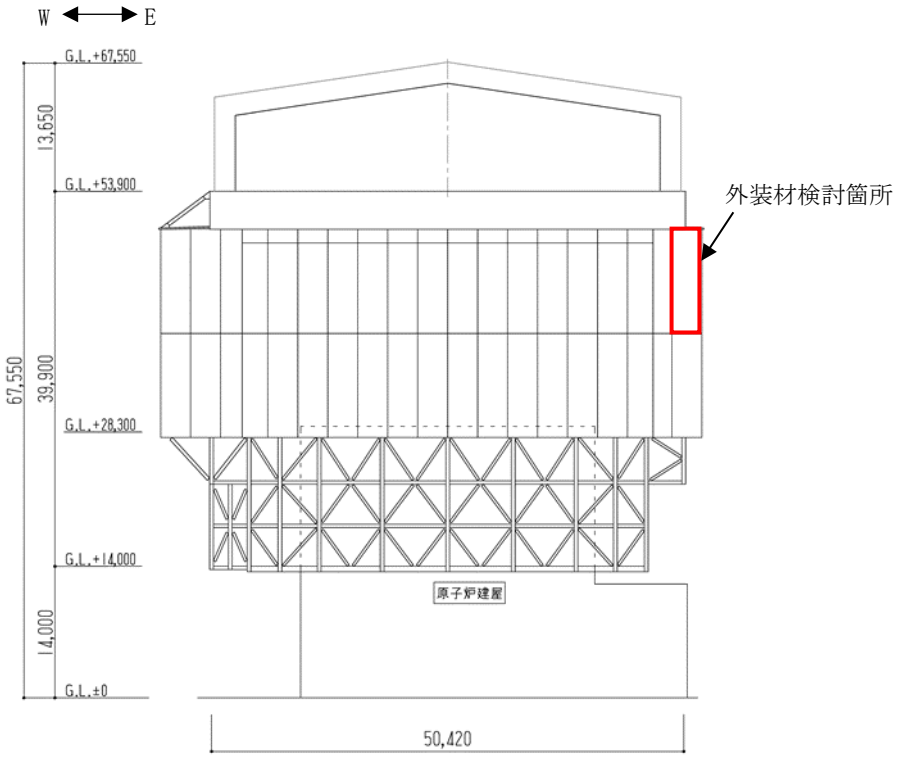


図 5.2.6-1　外装材検討箇所（単位：mm）

(2)　設計用荷重の算定

設計用風圧力は，建築基準法施行令第 82 条の 4 及び建設省告示第 1458 号に基づき，基準風速 30m/s，地表面粗度区分Ⅱとして算定する。速度圧の算定結果を表 5.2.6-1 に，ピーク風力係数を表 5.2.6-2 に，風力係数の算定箇所を図 5.2.6-2 に示す。

表 5.2.6-1　速度圧の算定結果

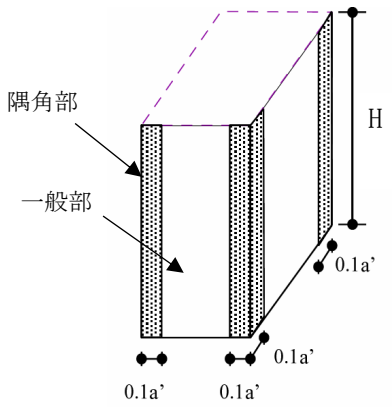
高さ* H (m)	平均風速の高さ方向の分布を表す係数 E_r	基準風速 V_0 (m/s)	平均速度圧 q (N/m^2)
49.9	1.32	30	945

*：高さは外装材の最頂部の高さとした

表 5.2.6-2　ピーク風力係数

高さ* H (m)	壁面		
	正圧	負圧(一般部)	負圧(隅角部)
49.9	2.43	-2.40	-3.00

*：高さは外装材の最頂部の高さとした



a'は平面の短辺の長さと H の 2 倍の数値のうちいずれか小さな数値

（30 を超えるときは，30 とする）（単位：m）

図 5.2.6-2　風力係数の算定箇所のイメージ

(3)　外装材の強度検討

検討は，応力が厳しくなる部位について行う。ここでは，折板の自重は考慮しないものとする。折板の間隔は 0.6m で単純支持されているものと仮定する。

外装材の材料諸元を表 5.2.6-3 に示す。また，検討結果を表 5.2.6-4 に示す。

断面検討の結果，全ての外装材に対する応力度比が 1 以下になることを確認した。

表 5.2.6-3　外装材の材料諸元

板厚	自重	正曲げ方向		負曲げ方向	
		断面 2 次モーメント	断面係数	断面 2 次モーメント	断面係数
t (mm)	G (N/m^2)	I_x (cm^4/m)	Z_x (cm^3/m)	I_x (cm^4/m)	Z_x (cm^3/m)
0.6	59	2.31	1.67	2.31	1.67

表 5.2.6-4　応力度に対する検討結果

部位	作用応力度 (N/mm^2)	許容応力度* (N/mm^2)	応力度比	判定
外装材	78	137	0.57	O.K.

*:「JIS G 3321-2010」による

・応力度に対する検討

壁面

$w=945\times(-3.00)=-2835(N/m^2)$

$M=(1/8)\times w\times L^2=(1/8)\times(-2835)\times 0.6^2\times 10^{-3}=-0.13(kNm/m)$

$\sigma_b=M/Z=0.13\times 10^6/(1.67\times 10^3)=78(N/mm^2)$

$\sigma_b/f_b=78/137=0.57\leqq 1.0$　　O.K.

5.3　耐震性（機能維持の検討）

5.3.1　検討方針

耐震性のうち機能維持の検討は，大型カバー，屋根，建屋取り合い部及び原子炉建屋について行い，1/2Ss450 に対して，これらの応答性状を適切に表現できる地震応答解析を用いて評価する。なお，地震応答解析は水平 2 方向及び鉛直方向の 3 方向の地震動を同時に入力する。

(1)　解析に用いる入力地震動

地震応答解析に用いる入力地震動の概念図を図 5.3.1-1 に示す。モデルに入力する地震動は一次元波動論に基づき，解放基盤表面で定義される地震動 1/2Ss450 に対する地盤の応答として評価する。解放基盤表面位置（G.L.-206.0m（震災前 O.P.-196.0m））における地震動 1/2Ss450 Ss-1 及び Ss-2 の加速度時刻歴波形を図 5.3.1-2～図 5.3.1-4 に示す。

地震波の入力方向は下記のように表し，3 方向の組合せを表現する。

+NS：建屋北側から南側方向への地震入力

-NS：建屋南側から北側方向への地震入力

+EW：建屋東側から西側方向への地震入力

-EW：建屋西側から東側方向への地震入力

+UD：建屋上側から下側方向への地震入力

-UD：建屋下側から上側方向への地震入力

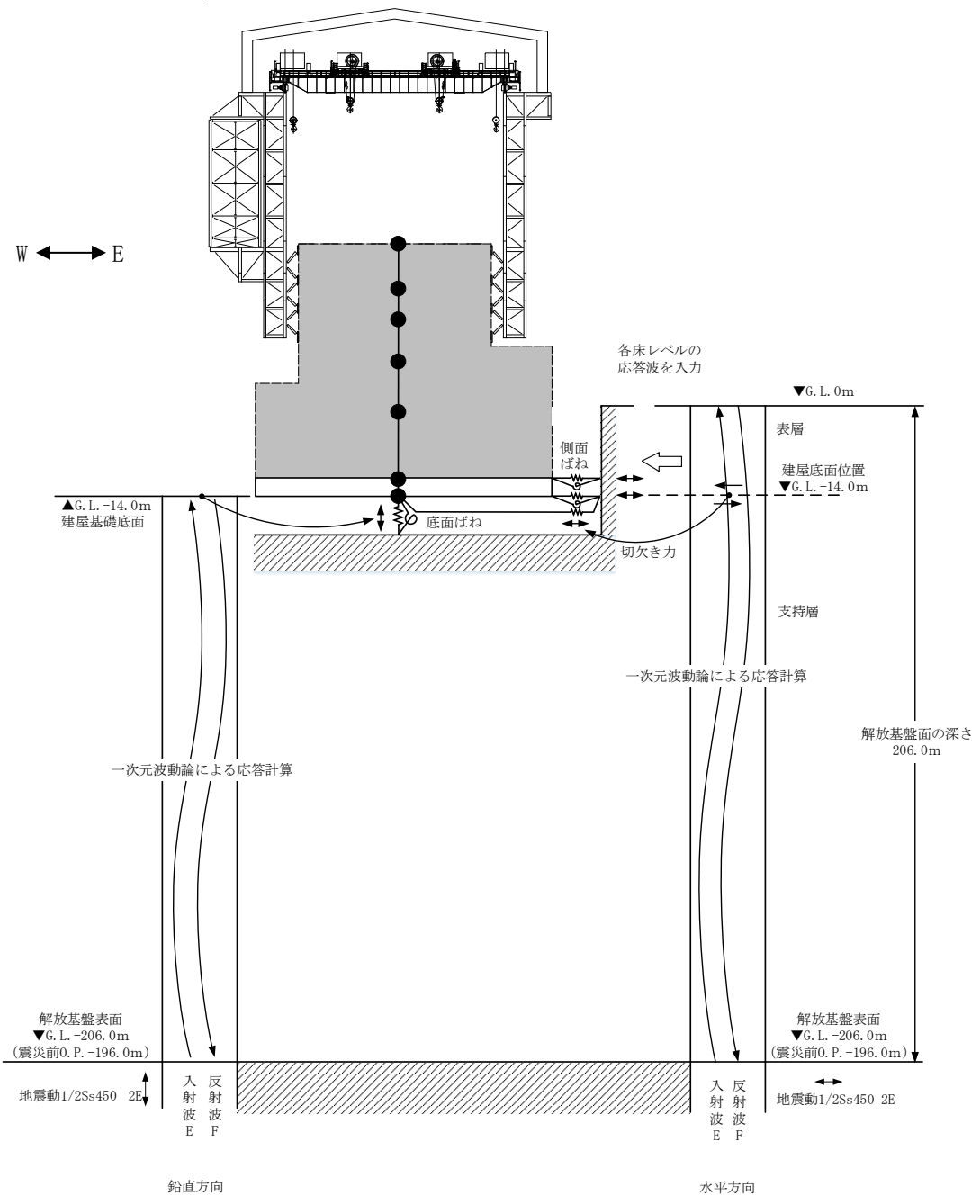
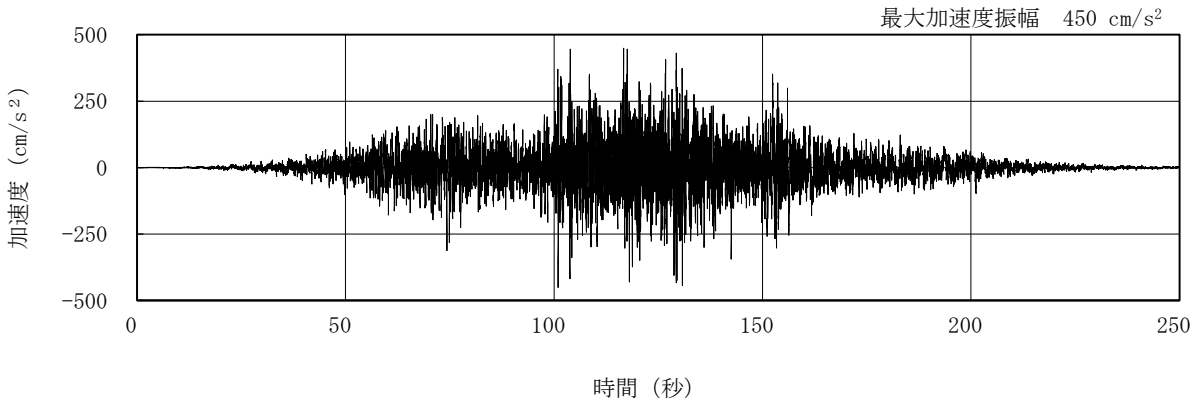
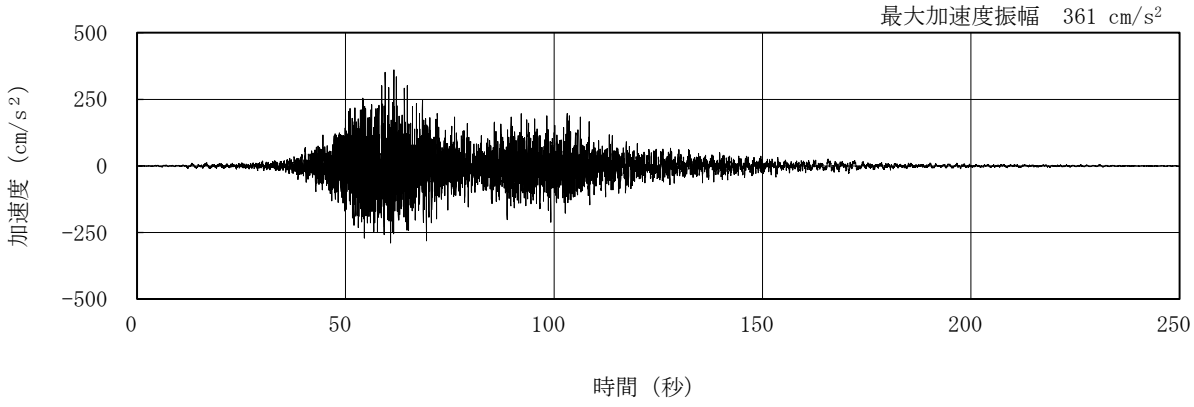


図 5.3.1-1　地震応答解析に用いる入力地震動の概念図

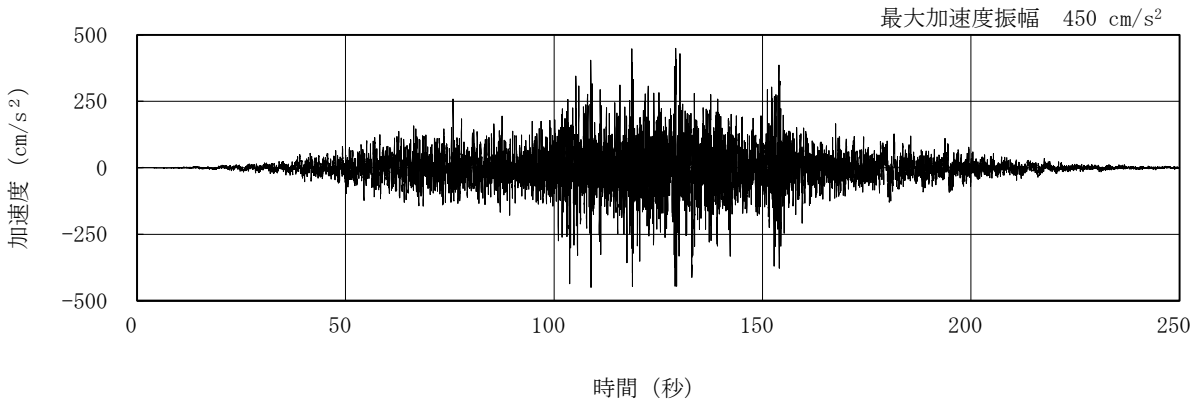


（1/2Ss450-1 NS 方向）

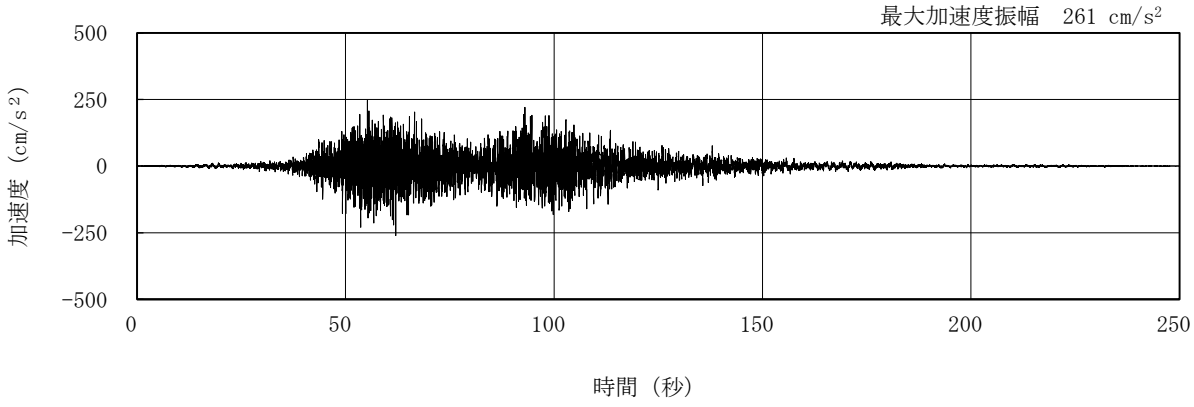


（1/2Ss450-2 NS 方向）

図 5.3.1-2　解放基盤表面における地震動の加速度時刻歴波形
（NS 方向）

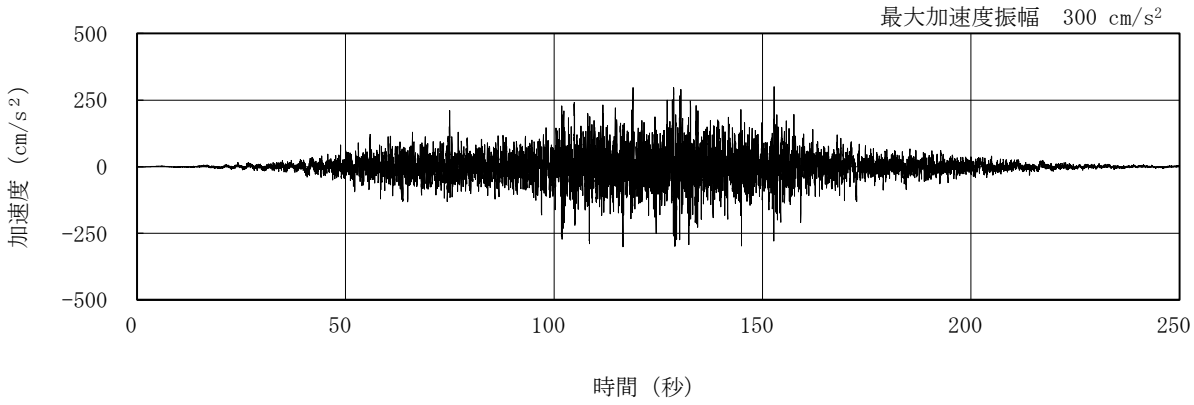


（1/2Ss450-1 EW 方向）

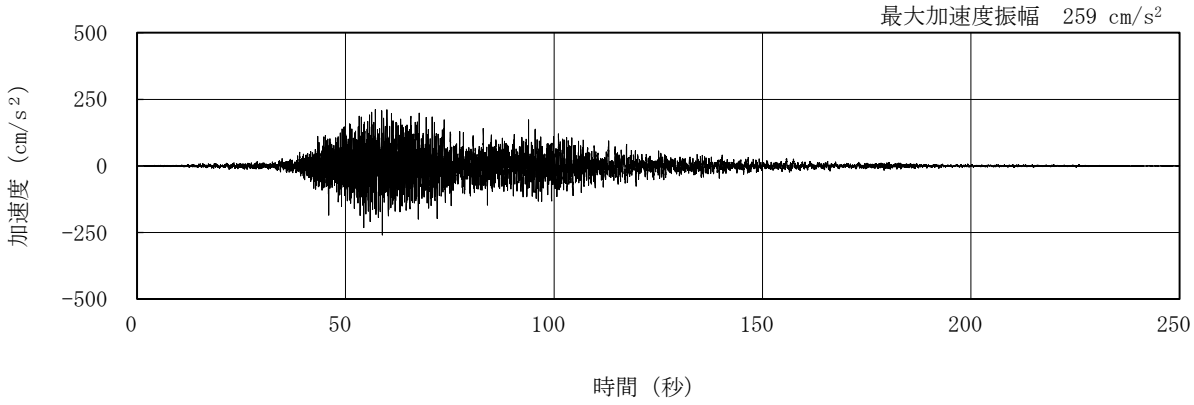


（1/2Ss450-2 EW 方向）

図 5.3.1-3　解放基盤表面における地震動の加速度時刻歴波形
（EW 方向）



（1/2Ss450-1 UD 方向）



（1/2Ss450-2 UD 方向）

図 5.3.1-4　解放基盤表面における地震動の加速度時刻歴波形
（鉛直方向）

(2)　地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは，曲げ，せん断剛性及び軸剛性を考慮した原子炉建屋の質点系モデルの質点に，立体架構でモデル化した大型カバーを接続し，地盤との相互作用を考慮した建屋－地盤連成系モデルとする。なお，原子炉建屋の質点は炉心位置にモデル化する。解析モデルを図5.3.1-5に示す。

地震応答解析に用いる鉄骨の物性値を表5.3.1-1に示す。大型カバーの部材接合部の節点は機器荷重・仕上げ材等を考慮した重量とし，原子炉建屋の諸元は表5.3.1-2～表5.3.1-3に示す諸元とする。大型カバーの柱・梁・鋼板は弾性部材とし，大型カバーのブレースは「鉄骨X型ブレース架構の復元力特性に関する研究」（日本建築学会構造工学論文集37B号1991年3月）に示されている修正若林モデルによる。また，原子炉建屋の質点系モデルは，軸方向は弾性とし，曲げとせん断に「JEAG4601-1991」に示されている非線形特性を考慮する。

大型カバーの地盤定数は，「福島第一原子力発電所『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 中間報告書」（東京電力株式会社，平成20年3月31日）と同様とし，その結果を表5.3.1-4に示す。

原子炉建屋の地盤ばねは，「JEAG4601-1991」に示されている手法を参考にして，底面地盤を成層補正し振動アドミッタンス理論によりスウェイ及びロッキングばねを，側面地盤をNovakの方法により建屋側面ばねとして評価する。NS方向，EW方向，UD方向の3方向全ての地盤ばねが取り付いた解析モデルを用いる。

表5.3.1-1　地震応答解析に用いる物性値

材料	ヤング係数 $E(N/mm^2)$	ポアソン比 ν	単位体積重量 $\gamma(kN/m^3)$	減衰定数 h(%)	備考
鉄骨	2.05×10^5	0.3	77.0	2	SS400，SN400B，SM490A，SN490B，STKN490B，TMCP325B，S45C

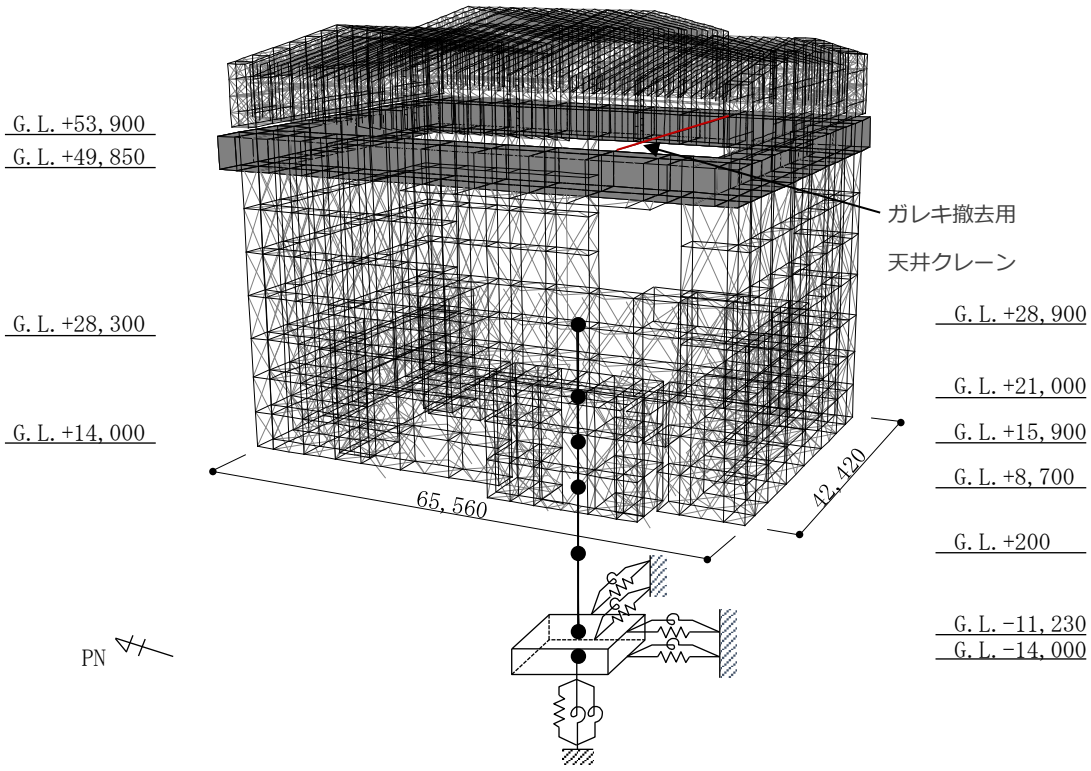

G. L. +53, 900
G. L. +49, 850
G. L. +28, 300
G. L. +14, 000
ガレキ撤去用
天井クレーン
G. L. +28, 900
G. L. +21, 000
G. L. +15, 900
G. L. +8, 700
G. L. +200
G. L. -11, 230
G. L. -14, 000
65, 560
42, 420
PN

図 5.3.1-5　解析モデル

表 5.3.1-2(1)　ガレキ撤去時の原子炉建屋の地震応答解析モデルの諸元

(a)水平（NS）方向

G.L.(m)	質点重量* W (kN)	回転慣性重量 I_G ($\times 10^5$ kN·m^2)	せん断断面積 As (m^2)	断面二次モーメント I (m^4)
+28.90	58690	84.43		
			135.0	16012
+21.00	72170	103.90		
			160.8	21727
+15.90	77220	111.11		
			132.8	24274
+8.70	87200	125.53		
			155.6	36481
+0.20	162800	234.31		
			294.0	52858
-11.23	185210	266.64		
			1914.3	275530
-14.00	62400	89.83		
合計	705690			

ヤング係数 Ec　2.57×10^7(kN/m^2)
せん断弾性係数 G　1.07×10^7(kN/m^2)
ポアソン比 ν　0.20
減衰 h　5%

(b)水平（EW）方向

G.L.(m)	質点重量* W (kN)	回転慣性重量 I_G ($\times 10^5$ kN·m^2)	せん断断面積 As (m^2)	断面二次モーメント I (m^4)
+28.90	58690	48.33		
			102.7	9702
+21.00	72170	59.41		
			163.9	13576
+15.90	77220	63.55		
			131.6	14559
+8.70	87200	125.53		
			197.8	36427
+0.20	162800	234.31		
			294.0	52858
-11.23	185210	327.39		
			1914.3	338428
-14.00	62400	110.32		
合計	705690			

ヤング係数 Ec　2.57×10^7(kN/m^2)
せん断弾性係数 G　1.07×10^7(kN/m^2)
ポアソン比 ν　0.20
減衰 h　5%

*:「Ⅱ.2.6　滞留水を貯留している（滞留している場合を含む）建屋　添付資料－２　構造強度及び耐震性（地下滞留水を考慮した建屋の耐震安全評価）」において用いた各階重量

表 5.3.1-2(2)　ガレキ撤去時の原子炉建屋の地震応答解析モデルの諸元

(c)鉛直方向

G.L.(m)	質点重量* W (kN)	軸断面積 A_N (m^2)	軸ばね剛性 K_A ($\times 10^8$ kN/m)
+28.90	58690		
		151.1	4.92
+21.00	72170		
		205.0	10.33
+15.90	77220		
		221.7	7.91
+8.70	87200		
		301.0	9.10
+0.20	162800		
		495.7	11.15
-11.23	185210		
		1914.3	177.61
-14.00	62400		
合計	705690		

ヤング係数 Ec	2.57×10^7 (kN/m^2)
せん断弾性係数 G	1.07×10^7 (kN/m^2)
ポアソン比 ν	0.20
減衰 h	5%

*:「Ⅱ.2.6　滞留水を貯留している（滞留している場合を含む）建屋　添付資料－２　構造強度及び耐震性（地下滞留水を考慮した建屋の耐震安全評価）」において用いた各階重量

表 5.3.1-3(1)　燃料取り出し時の原子炉建屋の地震応答解析モデルの諸元

(a)水平（NS）方向

G.L.(m)	質点重量* W (kN)	回転慣性重量 I_G ($\times 10^5$ kN·m^2)	せん断断面積 As (m^2)	断面二次モーメント I (m^4)
+28.90	106080	152.60		
			135.0	16012
+21.00	72170	103.90		
			160.8	21727
+15.90	77220	111.11		
			132.8	24274
+8.70	87730	126.29		
			155.6	36481
+0.20	163140	234.80		
			294.0	52858
-11.23	185210	266.64		
			1914.3	275530
-14.00	62400	89.83		
合計	753950			

ヤング係数 Ec　2.57×10^7(kN/m^2)
せん断弾性係数 G　1.07×10^7(kN/m^2)
ポアソン比 ν　0.20
減衰 h　5%

(b)水平（EW）方向

G.L.(m)	質点重量* W (kN)	回転慣性重量 I_G ($\times 10^5$ kN·m^2)	せん断断面積 As (m^2)	断面二次モーメント I (m^4)
+28.90	106080	87.35		
			102.7	9702
+21.00	72170	59.41		
			163.9	13576
+15.90	77220	63.55		
			131.6	14559
+8.70	87730	126.29		
			197.8	36427
+0.20	163140	234.80		
			294.0	52858
-11.23	185210	327.39		
			1914.3	338428
-14.00	62400	110.32		
合計	753950			

ヤング係数 Ec　2.57×10^7(kN/m^2)
せん断弾性係数 G　1.07×10^7(kN/m^2)
ポアソン比 ν　0.20
減衰 h　5%

*:「Ⅱ.2.6　滞留水を貯留している（滞留している場合を含む）建屋　添付資料－２　構造強度及び耐震性（地下滞留水を考慮した建屋の耐震安全評価）」において用いた各階重量にガレキ撤去等による重量増減を考慮した数値

表 5.3.1-3(2)　燃料取り出し時の原子炉建屋の地震応答解析モデルの諸元

(c)鉛直方向

G.L.(m)	質点重量* W (kN)	軸断面積 A_N (m^2)	軸ばね剛性 K_A ($\times 10^8$ kN/m)
+28.90	106080		
		151.1	4.92
+21.00	72170		
		205.0	10.33
+15.90	77220		
		221.7	7.91
+8.70	87730		
		301.0	9.10
+0.20	163140		
		495.7	11.15
-11.23	185210		
		1914.3	177.61
-14.00	62400		
合計	753950		

ヤング係数 Ec	2.57×10^7 (kN/m^2)
せん断弾性係数 G	1.07×10^7 (kN/m^2)
ポアソン比 ν	0.20
減衰 h	5%

*:「Ⅱ.2.6　滞留水を貯留している（滞留している場合を含む）建屋　添付資料－２　構造強度及び耐震性（地下滞留水を考慮した建屋の耐震安全評価）」において用いた各階重量にガレキ撤去等による重量増減を考慮した数値

表 5.3.1-4　地盤定数の設定結果

(a) 1/2Ss450-1

G.L. (m)	地質	せん断 波速度 Vs (m/s)	単位体 積重量 γ (kN/m^3)	ポアソン 比 ν	せん断 弾性係数 G (×10^{5}kN/m^2)	初期せん断 弾性係数 G_0 (×10^{5}kN/m^2)	剛性 低下率 G/G_0	ヤング 係数 E (×10^{5}kN/m^2)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
0.0										
	砂岩	380	17.8	0.473	2.23	2.62	0.85	6.57	3	8.1
-8.1		450	16.5	0.464	2.73	3.41	0.80	7.99	3	11.9
-20.0		500	17.1	0.455	3.49	4.36	0.80	10.16	3	70.0
-90.0	泥岩	560	17.6	0.446	4.50	5.63	0.80	13.01	3	28.0
-118.0		600	17.8	0.442	5.22	6.53	0.80	15.05	3	88.0
-206.0	(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-

(b) 1/2Ss450-2

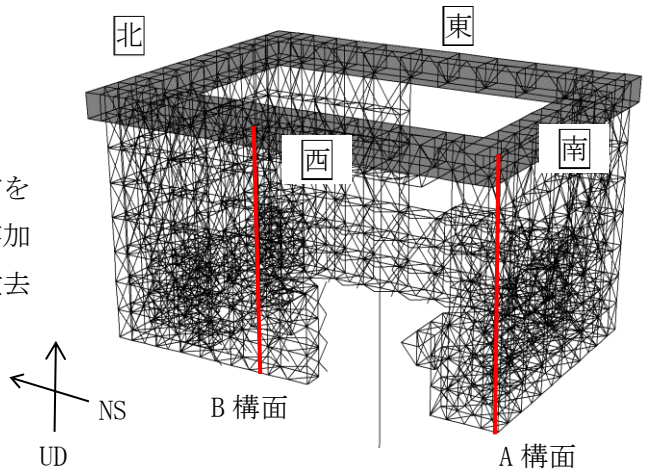
G.L. (m)	地質	せん断 波速度 Vs (m/s)	単位体 積重量 γ (kN/m^3)	ポアソン 比 ν	せん断 弾性係数 G (×10^{5}kN/m^2)	初期せん断 弾性係数 G_0 (×10^{5}kN/m^2)	剛性 低下率 G/G_0	ヤング 係数 E (×10^{5}kN/m^2)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
0.0										
	砂岩	380	17.8	0.473	2.33	2.62	0.89	6.86	3	8.1
-8.1		450	16.5	0.464	3.03	3.41	0.89	8.87	3	11.9
-20.0		500	17.1	0.455	3.88	4.36	0.89	11.29	3	70.0
-90.0	泥岩	560	17.6	0.446	5.01	5.63	0.89	14.49	3	28.0
-118.0		600	17.8	0.442	5.81	6.53	0.89	16.76	3	88.0
-206.0	(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-

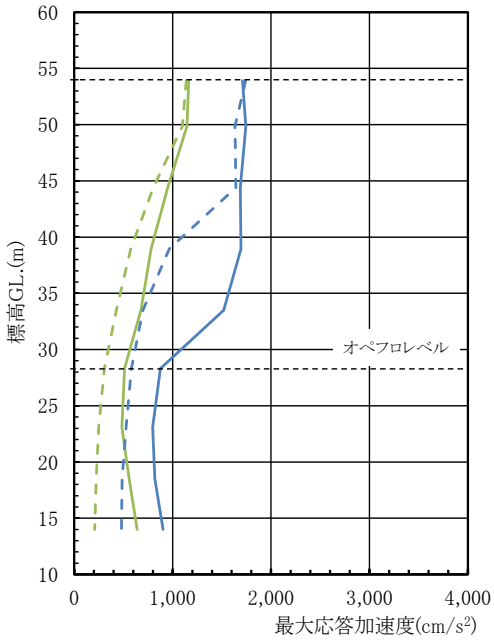
5.3.2　大型カバーの耐震性に対する検討

(1)　地震応答解析結果

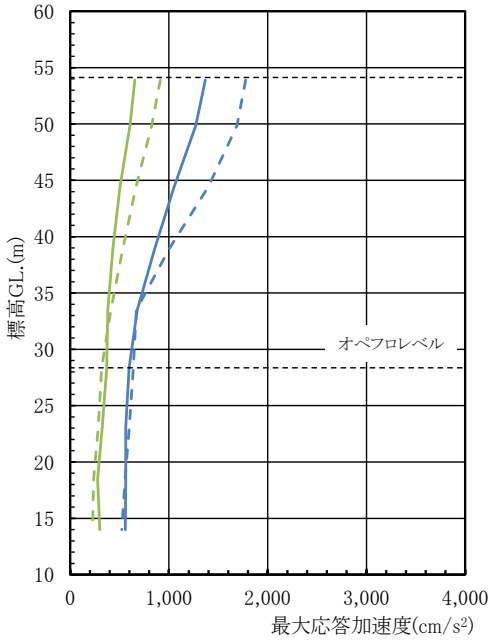
1)　ガレキ撤去時

ガレキ撤去時の一般部の最大応答加速度分布を図 5.3.2-1 に，燃料取扱設備支持部の最大応答加速度分布を図 5.3.2-2 に示す。なお，ガレキ撤去用天井クレーン位置は case1 とする。

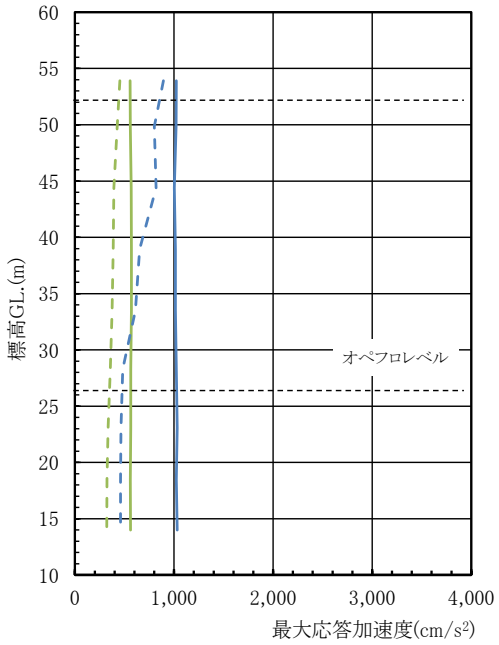




(a) 水平(NS)成分　(A，B構面)



(b) 水平(EW)成分　(A，B構面)



(c) 鉛直(UD)成分　(A，B構面)

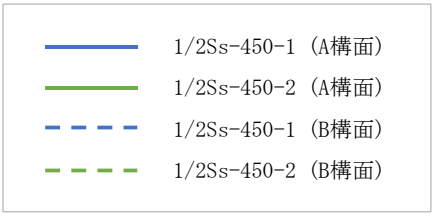


図 5.3.2-1(1)　NS・EW・UD 方向　最大応答加速度分布(一般部)

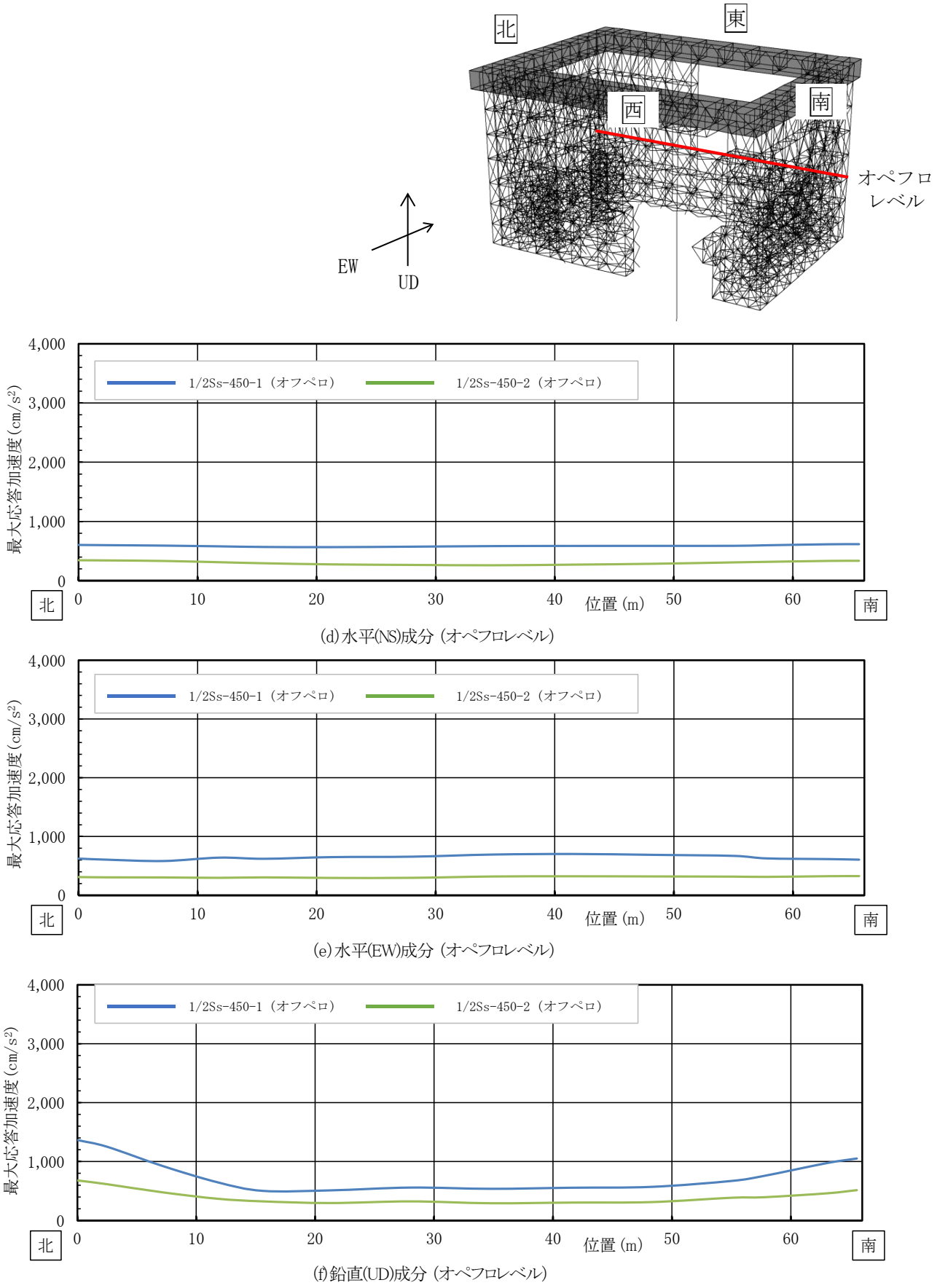
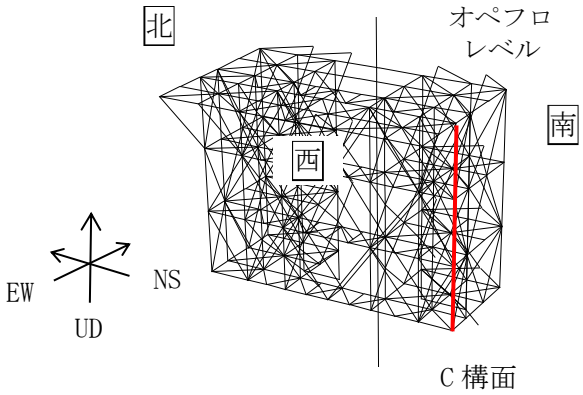
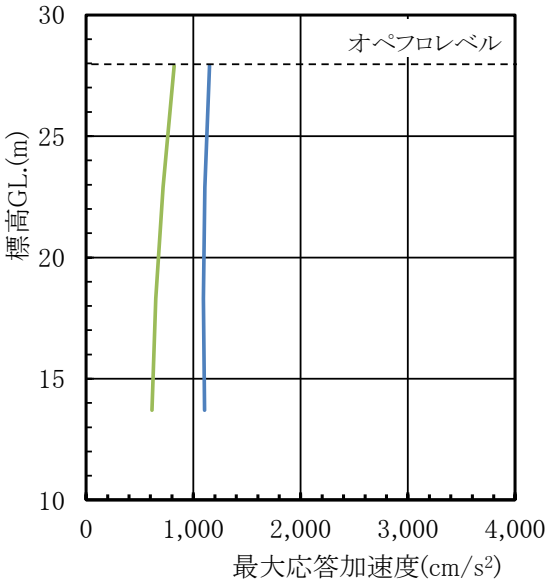
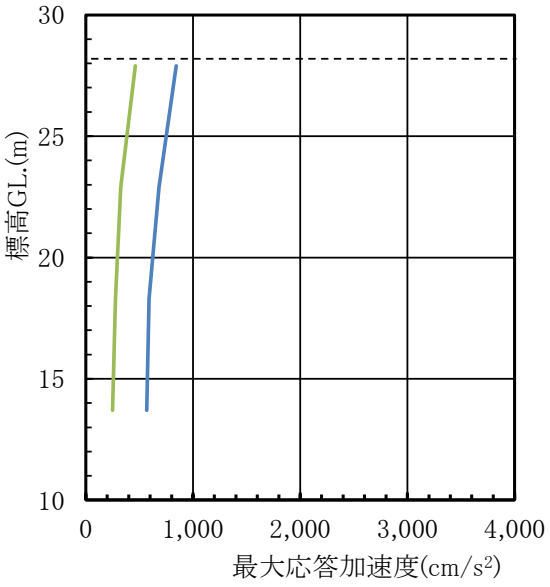


図 5.3.2-1(2)　NS・EW・UD 方向　最大応答加速度分布(一般部)

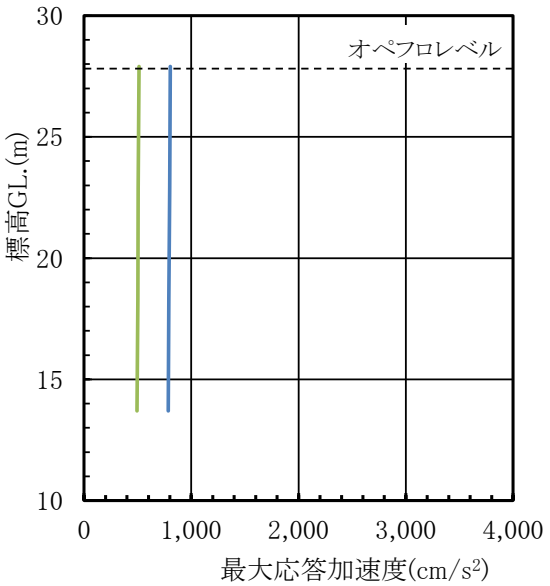




(a)水平(NS)成分 (C構面)



(b)水平(EW)成分 (C構面)



(c)鉛直(UD)成分 (C構面)

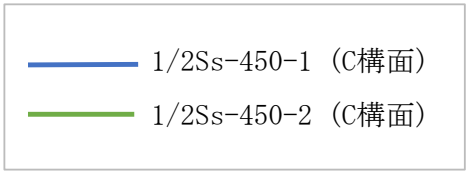
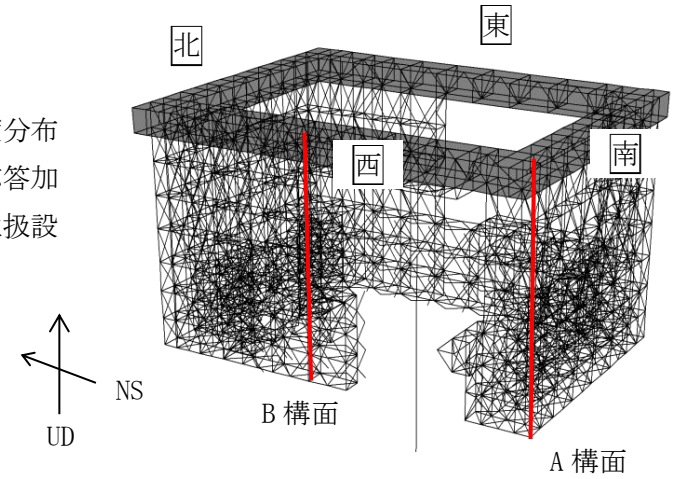
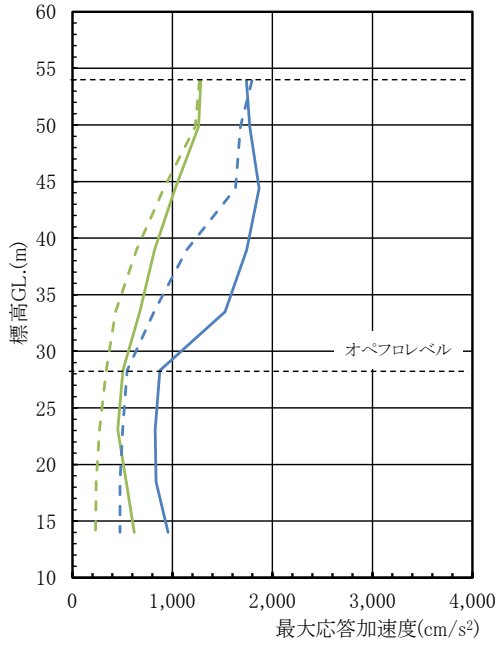


図 5.3.2-2　NS・EW・UD 方向　最大応答加速度分布(燃料取扱設備支持部)

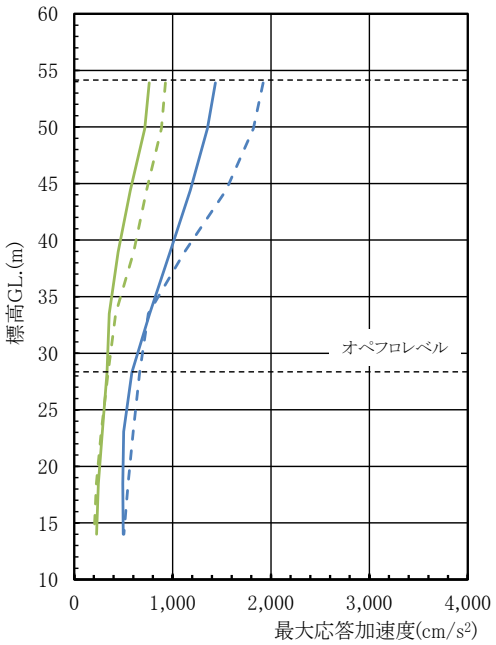
2)燃料取り出し時

燃料取り出し時の一般部の最大応答加速度分布を図 5.3.2-3 に，燃料取扱設備支持部最大応答加速度分布を図 5.3.2-4 に示す。なお，燃料取扱設備位置は case4 とする。

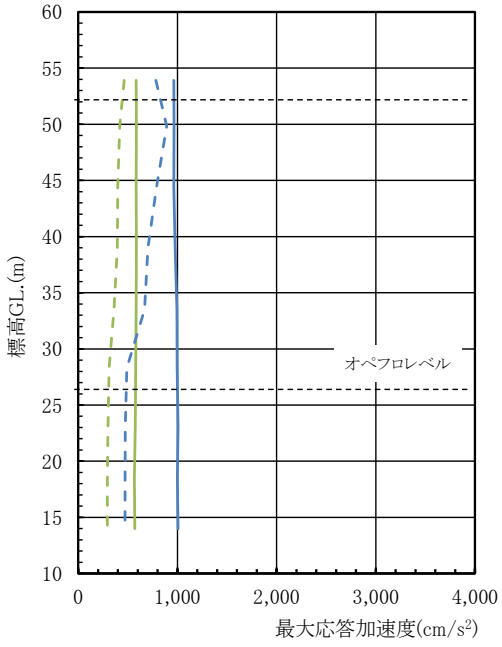




(a) 水平(NS)成分 （A，B構面）



(b) 水平(EW)成分 （A，B構面）



(c) 鉛直(UD)成分 （A，B構面）

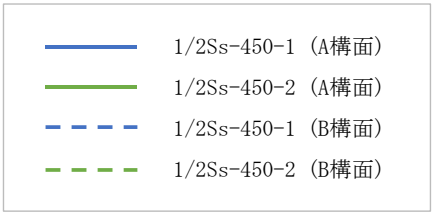
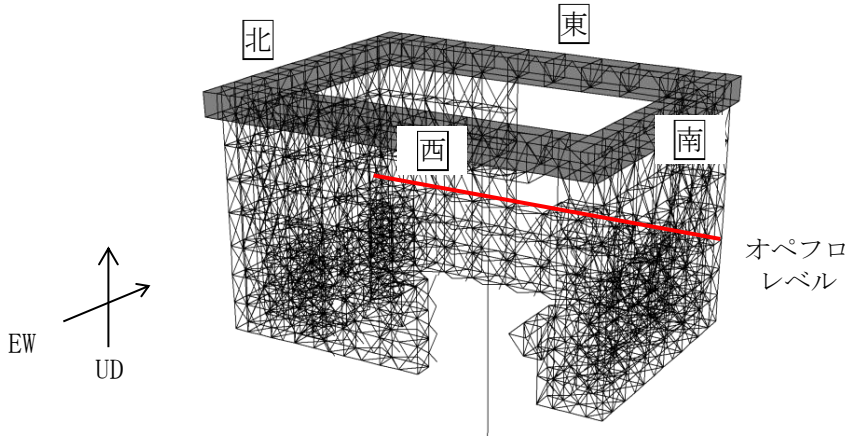
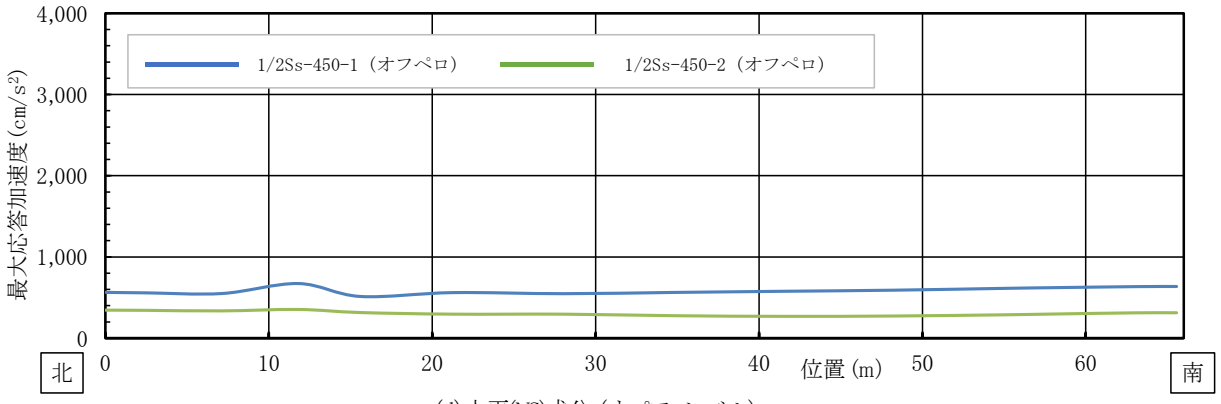
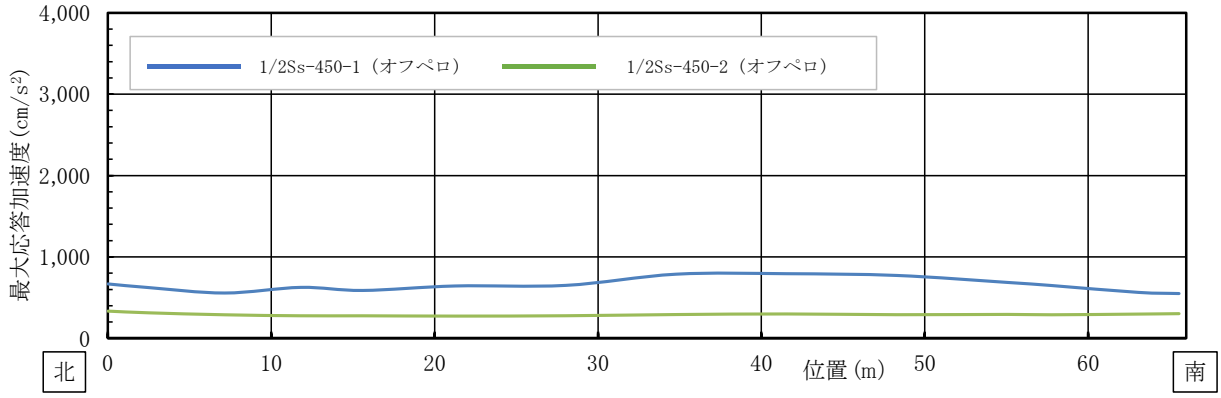


図 5.3.2-3(1)　NS・EW・UD 方向　最大応答加速度分布(一般部)

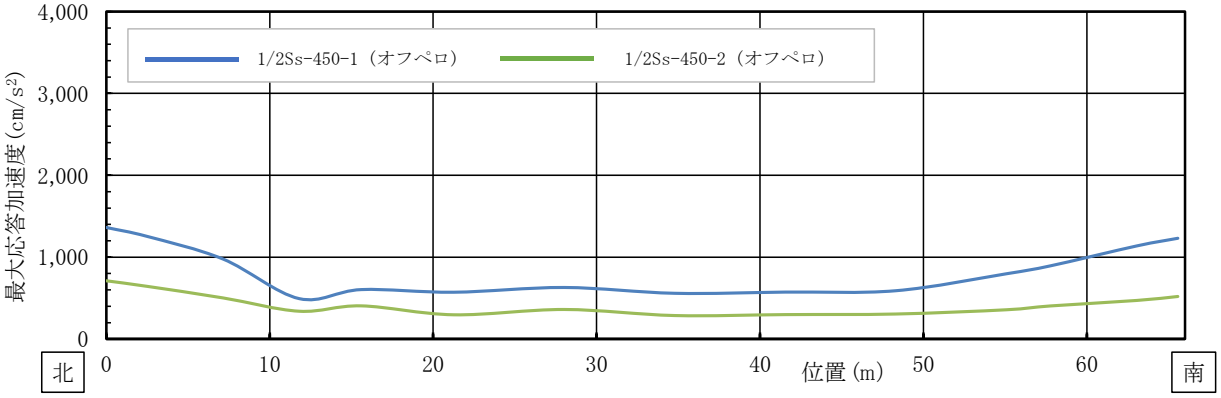




(d)水平(NS)成分（オペフロレベル）

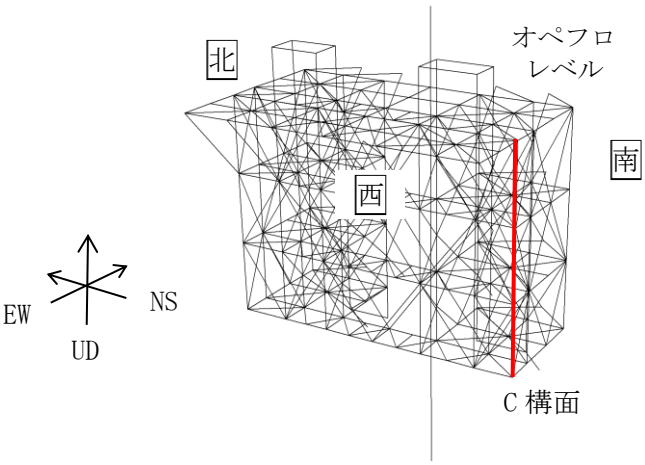


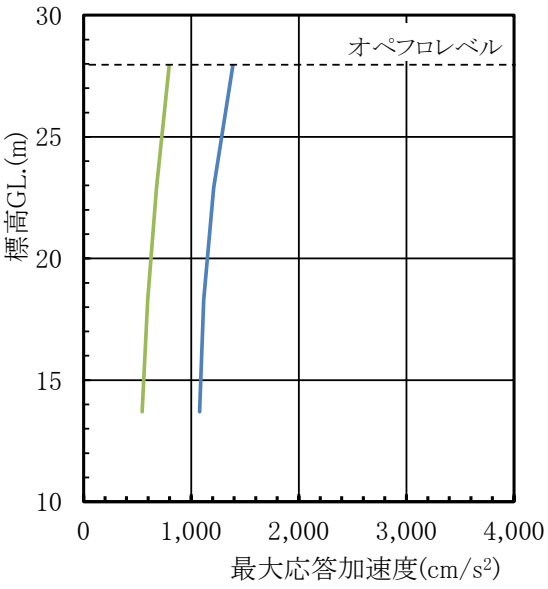
(e)水平(EW)成分（オペフロレベル）



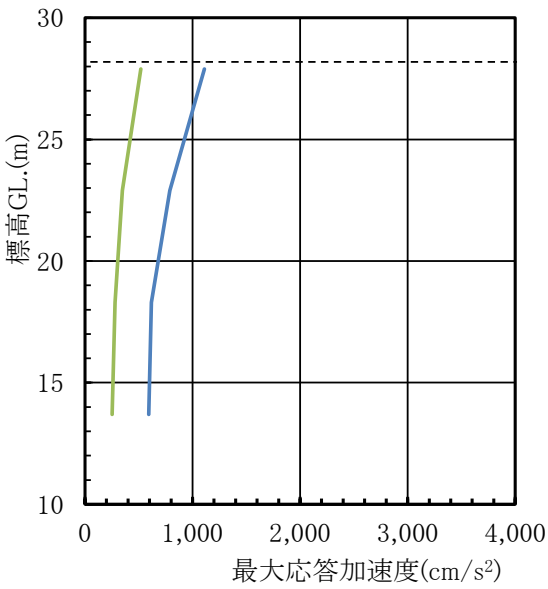
(f)鉛直(UD)成分（オペフロレベル）

図 5.3.2-3(2)　NS・EW・UD 方向　最大応答加速度分布(一般部)

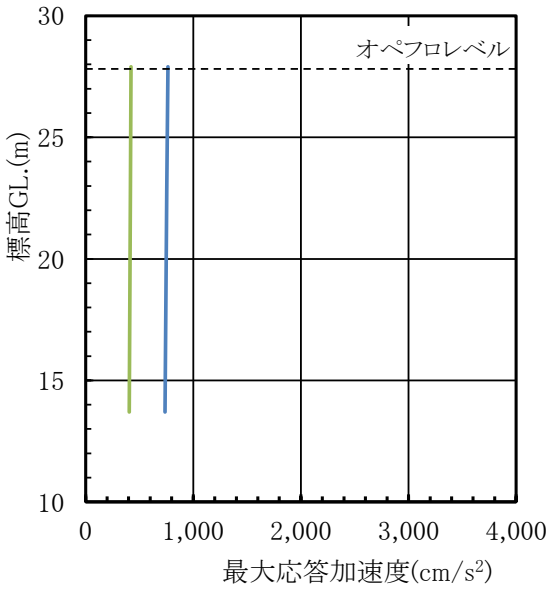




(a)水平(NS)成分 (C構面)



(b)水平(EW)成分 (C構面)



(c)鉛直(UD)成分 (C構面)

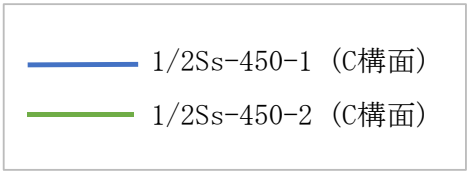


図 5.3.2-4　NS・EW・UD 方向　最大応答加速度分布(燃料取扱設備支持部)

(2)　機能維持の検討

地震応答解析結果が，JSCA 性能設計説明書 2017 年版（社団法人日本建築構造技術者協会，2018 年）を参考に定めたクライテリア（「層間変形角は 1/75 以下，層の塑性率は 4 以下，部材の塑性率は 5 以下」*を満足することを確認する。なお，大型カバーは立体架構による検討のため，JSCA 性能メニューのうち層の塑性率の評価を省略する。

また，主要架構（柱，梁）の解析結果が「時刻歴応答解析建築物性能評価業務方法書」（財団法人日本建築センター，平成 19 年 7 月 20 日）に示されるクライテリア（層間変形角は 1/100 以下，層の塑性率は 2 以下，部材の塑性率は 4 以下）を超える場合には水平変形に伴う鉛直荷重の付加的影響を考慮した解析を実施し，安全性を確認する。

＊：北村春幸，宮内洋二，浦本弥樹「性能設計における耐震性能判断基準値に関する研究」，日本建築学会構造系論文集，第 604 号，2006 年 6 月

1)　層間変形角の検討

a)　ガレキ撤去時

最大応答層間変形角を表 5.3.2-1 に示す。

検討の結果，最大応答層間変形角は 1/75 以下となりクライテリアを満足することを確認した。

表 5.3.2-1　一般部の最大応答層間変形角の検討結果

検討箇所	地震波 (位置)*1	方向	応答値	ｸﾗｲﾃﾘｱ	判定
南北側 G.L.+53.9(m) ～G.L.+28.3(m) h =25.6(m)	1/2Ss450-1 (case1)	NS	1/167	1/75	O.K.
東西側 G.L.+53.9(m) ～G.L.+28.3(m) h =25.6(m)	1/2Ss450-1 (case1)	EW	1/176	1/75	O.K.

*1：図 5.2.1-3 にガレキ撤去用天井クレーンの位置を示す

b) 燃料取り出し時

最大応答層間変形角を表 5.3.2-2 に示す。

検討の結果，最大応答層間変形角は 1/75 以下となりクライテリアを満足することを確認した。

表 5.3.2-2 一般部の最大応答層間変形角の検討結果

検討箇所	地震波 (位置)*1	方向	応答値	ｸﾗｲﾃﾘｱ	判定
南北側 G.L.+53.9(m) ～G.L.+28.3(m) h=25.6(m)	1/2Ss450-1 (case4)	NS	1/160	1/75	O.K.
東西側 G.L.+53.9(m) ～G.L.+28.3(m) h=25.6(m)	1/2Ss450-1 (case4)	EW	1/163	1/75	O.K.

*1：図 5.2.1-4 に燃料取扱設備の位置を示す

2) 断面検討

部材の応答結果が塑性化する箇所があるため，断面検討結果は応力度比または塑性率で示す。

部材の応力度比は，軸力と各許容応力度との比で表される。部材の塑性率は，引張及び圧縮に対して最大軸力時のひずみを引張耐力又は座屈耐力時のひずみで除した値で表される。表 5.3.2-3 及び 5.3.2-4 に断面検討結果を示す。なお，各許容応力度，引張耐力及び座屈耐力算定時の材料強度は「平成 12 年建設省告示第 2464 号」に定められた基準強度 F 値の 1.1 倍を用いる。

a) ガレキ撤去時

表 5.3.2-3 に応力度比が最大となる部位の断面検討結果を示す。断面検討の結果，全ての部材の応力度比が 1 以下または，塑性率が 5 以下になることを確認した。

表 5.3.2-3(1)　断面検討結果（一般部，1/2Ss450 地震時，応力度比）上部架構

部位*1		部材形状（mm）<使用材料*2>	地震波（位置）*3	入力方向	作用応力度 (N/mm²)		許容応力度 (N/mm²)		応力度比	判定
①	柱	H-428×407×20×35	1/2Ss450-1 (case1)	-NS-EW-UD	σ_c	286.2	f_c	344.0	0.84	O.K.
②	梁	B[-300×220×16×25	1/2Ss450-1 (case1)	-NS-EW+UD	σ_c	175.1	f_c	322.9	0.55	O.K.
③	ブレース	φ-355.6×7.9	1/2Ss450-1 (case1)	-NS+EW+UD	σ_c	251.3	f_c	337.2	0.75	O.K.
④	鋼板	PL-16 <SN400B>	1/2Ss450-1 (case1)	+NS+EW+UD	σ_x	45.9	f_t	258.0	0.63	O.K.
					σ_y	15.0				
					τ_{xy}	90.7				

表 5.3.2-3(2)　断面検討結果（一般部，1/2Ss450 地震時，塑性率）上部架構

部位*1		部材形状（mm）<使用材料*2>	地震波（位置）*3	入力方向	塑性率	判定
⑤	鉛直ブレース	φ-267.4×6.6	1/2Ss450-1 (case1)	+NS-EW-UD	2.15	O.K.

表 5.3.2-3(3)　断面検討結果（一般部，1/2Ss450 地震時，応力度比）下部架構

部位*1		部材形状（mm）<使用材料*2>	地震波（位置）*3	入力方向	作用応力度 (N/mm²)		許容応力度 (N/mm²)		応力度比	判定
⑥	柱	H-400×400×13×21	1/2Ss450-1 (case1)	-NS+EW-UD	σ_c	273.6	f_c	320.4	0.86	O.K.
⑦	梁	H-588×300×12×20	1/2Ss450-1 (case1)	+NS+EW+UD	σ_t	235.8	f_t	357.5	0.66	O.K.

表 5.3.2-3(4)　断面検討結果（一般部，1/2Ss450 地震時，塑性率）下部架構

部位*1		部材形状（mm） 〈使用材料*2〉	地震波 (位置)*3	入力 方向	塑性率	判定
⑧	鉛直ブレース	φ-267.4×6.6	1/2Ss450-1 (case1)	+NS+EW-UD	2.42	O.K.
⑨	接続部水平ブレース	十字 PL（PL-28×210 +2PL-28×91）	1/2Ss450-1 (case1)	+NS-EW-UD	2.82	O.K.
⑩	接続部鉛直ブレース	十字 PL（PL-28×210 +2PL-28×91）	1/2Ss450-1 (case1)	+NS+EW+UD	1.96	O.K.

表 5.3.2-3(5)　断面検討結果（燃料取扱設備支持部，1/2Ss450 地震時，応力度比）

部位*1		部材形状（mm） 〈使用材料*2〉	地震波 (位置)*3	入力 方向	作用 応力度 (N/mm^2)		許容 応力度 (N/mm^2)		応力 度比	判定
⑪	柱	H-400×400×13×21	1/2Ss450-1 (case1)	-NS-EW+UD	σ_c	37.9	f_c	326.1	0.12	O.K.
⑫	梁	H-350×350×12×19	1/2Ss450-1 (case1)	+NS-EW-UD	σ_t	77.5	f_t	357.5	0.22	O.K.
⑬	水平 ブレース	十字 PL（PL-28×210 +2PL-28×91）	1/2Ss450-1 (case1)	+NS-EW-UD	σ_t	167.1	f_t	357.5	0.47	O.K.
⑭	鉛直 ブレース	φ-355.6×7.9	1/2Ss450-1 (case1)	+NS-EW-UD	σ_c	144.2	f_c	349.6	0.42	O.K.

*1：①～⑭の符号は図 5.3.2-5 の応力検討箇所を示す

*2：特記なき限り，各部材の使用材料は，鋼管：STKN490B，その他は SN490B

*3：図 5.2.1-3 にガレキ撤去用天井クレーンの位置を示す

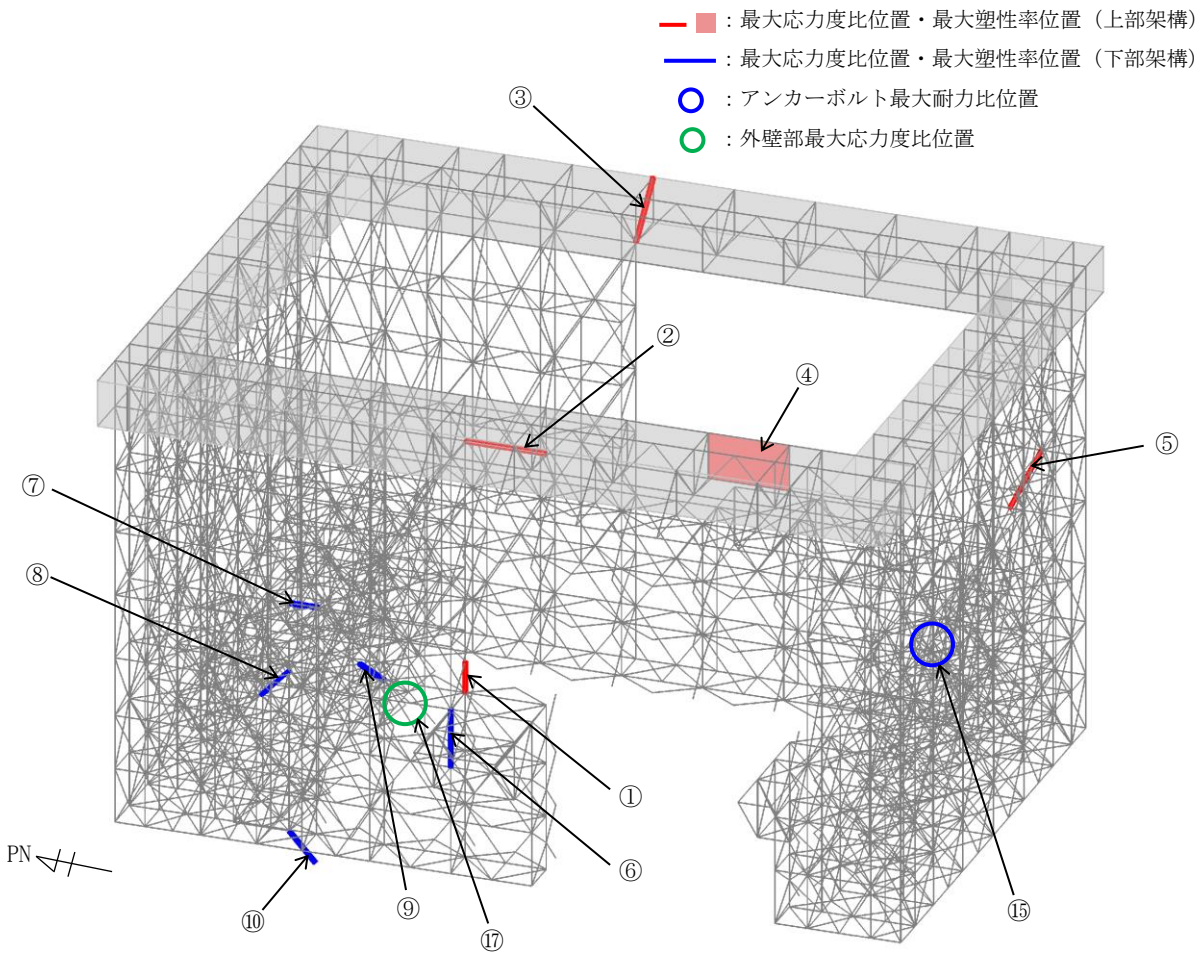


図 5.3.2-5(1)　最大応力度比位置図(一般部，1/2Ss450 地震時)

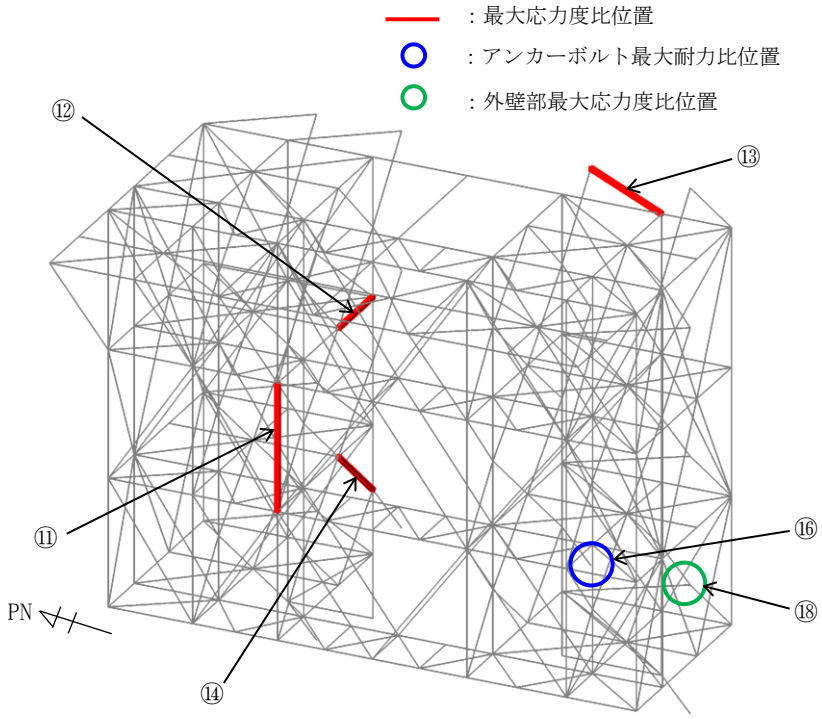


図 5.3.2-5(2)　最大応力度比位置図(燃料取扱設備支持部，1/2Ss450 地震時)

b) 燃料取り出し時

表 5.3.2-4 に応力度比が最大となる部位の断面検討結果を示す。断面検討の結果，全ての部材の応力度比が 1 以下又は，塑性率が 5 以下になることを確認した。

表 5.3.2-4(1)　断面検討結果（一般部，1/2Ss450 地震時，応力度比）上部架構

部位*1		部材形状（mm） 〈使用材料*2〉	地震波 (位置)*3	入力 方向	作用 応力度 (N/mm²)		許容 応力度 (N/mm²)		応力 度比	判定
①	柱	H-428×407×20×35	1/2Ss450-1 (case4)	-NS-EW+UD	σ_c	281.2	f_c	344.0	0.82	O.K.
②	梁	B[-300×220×16×25	1/2Ss450-1 (case4)	-NS+EW-UD	σ_c	142.2	f_c	322.9	0.45	O.K.
③	ブレース	φ-355.6×7.9	1/2Ss450-1 (case4)	+NS+EW+UD	σ_c	271.3	f_c	337.2	0.81	O.K.
④	鋼板	PL-16 〈SN400B〉	1/2Ss450-1 (case4)	+NS+EW-UD	σ_x	88.4	f_t	258.0	0.58	O.K.
					σ_y	56.9				
					τ_{xy}	72.4				

表 5.3.2-4(2)　断面検討結果（一般部，1/2Ss450 地震時，塑性率）上部架構

部位*1		部材形状（mm） 〈使用材料*2〉	地震波 (位置)*3	入力 方向	塑性率	判定
⑤	鉛直ブレース	φ-267.4×6.6	1/2Ss450-1 (case4)	+NS-EW-UD	2.23	O.K.

表 5.3.2-4(3)　断面検討結果（一般部，1/2Ss450 地震時，応力度比）下部架構

部位*1		部材形状（mm） 〈使用材料*2〉	地震波 (位置)*3	入力 方向	作用 応力度 (N/mm²)		許容 応力度 (N/mm²)		応力 度比	判定
⑥	柱	H-400×400×13×21	1/2Ss450-1 (case4)	-NS-EW-UD	σ_c	309.6	f_c	345.1	0.90	O.K.
⑦	梁	H-588×300×12×20	1/2Ss450-1 (case4)	-NS-EW+UD	σ_t	238.9	f_t	357.5	0.67	O.K.

表 5.3.2-4(4)　断面検討結果（一般部，1/2Ss450 地震時，塑性率）下部架構

部位*1		部材形状（mm） 〈使用材料*2〉	地震波 (位置)*3	入力 方向	塑性率	判定
⑧	鉛直ブレース	φ-267.4×6.6	1/2Ss450-1 (case4)	+NS+EW+UD	2.86	O.K.
⑨	接続部水平ブレース	十字 PL（PL-28×210 +2PL-28×91）	1/2Ss450-1 (case4)	+NS-EW-UD	3.20	O.K.
⑩	接続部鉛直ブレース	十字 PL（PL-28×210 +2PL-28×91）	1/2Ss450-1 (case4)	-NS-EW-UD	2.20	O.K.

表 5.3.2-4(5)　断面検討結果（燃料取扱設備支持部，1/2Ss450 地震時，応力度比）

部位*1		部材形状（mm） 〈使用材料*2〉	地震波 (位置)*3	入力 方向	作用 応力度 (N/mm^2)		許容 応力度 (N/mm^2)		応力 度比	判定
⑪	柱	H-400×400×13×21	1/2Ss450-1 (case4)	-NS-EW+UD	σ_c	70.4	f_c	326.1	0.22	O.K.
⑫	梁	H-350×350×12×19	1/2Ss450-1 (case4)	+NS-EW+UD	σ_t	116.3	f_t	357.5	0.33	O.K.
⑬	水平 ブレース	十字 PL（PL-28×210 +2PL-28×91）	1/2Ss450-1 (case4)	+NS-EW-UD	σ_t	199.0	f_t	357.5	0.56	O.K.
⑭	鉛直 ブレース	φ-355.6×7.9	1/2Ss450-1 (case4)	-NS-EW+UD	σ_c	222.0	f_c	349.6	0.64	O.K.

*1：①～⑭の符号は図 5.3.2-6 の応力検討箇所を示す

*2：特記なき限り，各部材の使用材料は，鋼管：STKN490B，その他は SN490B

*3：図 5.2.1-4 に燃料取扱設備の位置を示す

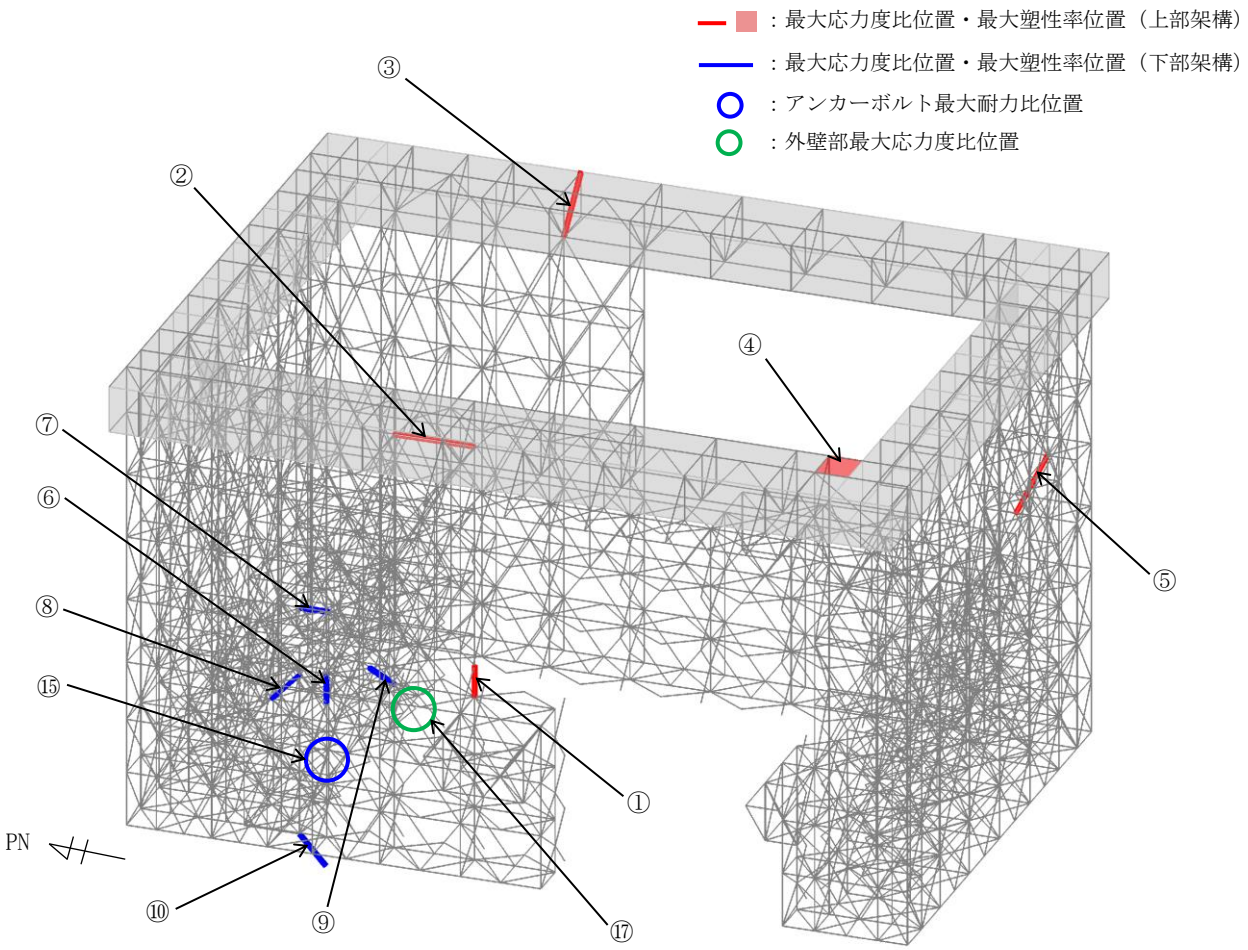


図 5.3.2-6(1)　最大応力度比位置図(一般部，1/2Ss450 地震時)

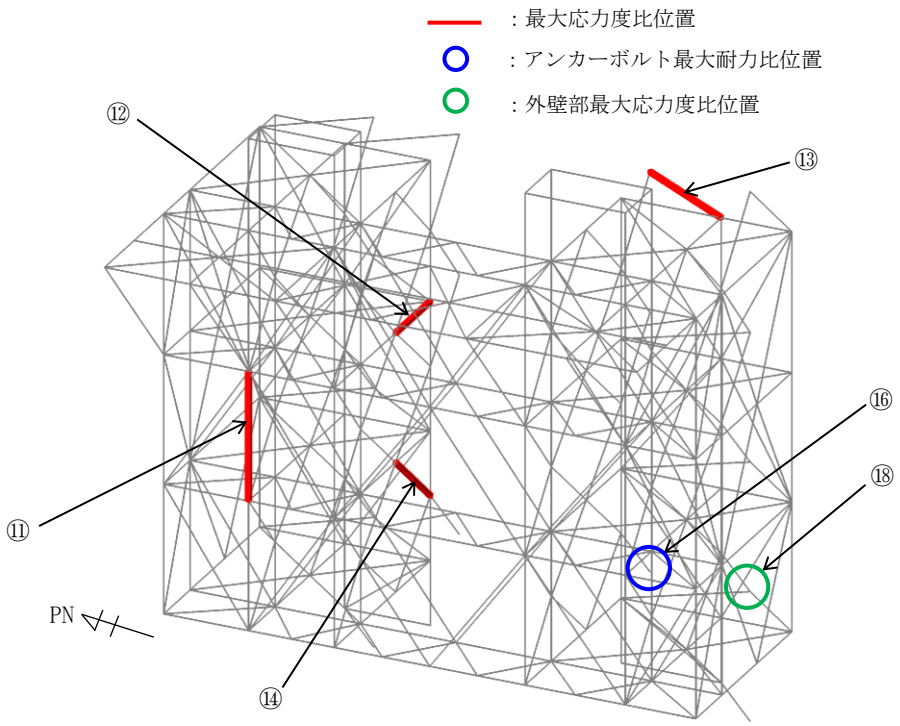


図 5.3.2-6(2)　最大応力度比位置図(燃料取扱設備支持部，1/2Ss450 地震時)

5.3.3　屋根の耐震性に対する検討

(1)　断面検討

部材の塑性率は，引張及び圧縮に対して最大軸力時のひずみを引張耐力または座屈耐力時のひずみで除した値で表される。表 5.3.3-1 及び表 5.3.3-2 に断面検討結果を示す。なお，各許容応力度，引張耐力及び座屈耐力算定時の材料強度は「平成 12 年建設省告示第 2464 号」に定められた基準強度 F 値の 1.1 倍を用いる。

1)　ガレキ撤去時

表 5.3.3-1 に塑性率が最大となる部位の断面検討結果を示す。断面検討の結果，全ての部材の塑性率が 5 以下になることを確認した。

表 5.3.3-1　断面検討結果（屋根部，1/2Ss450 地震時）

部位*1		部材形状（mm） 〈使用材料〉	地震波 （位置）*2	塑性率	判定
①	弦材	P-190.7φ×5.3t 〈STK490〉	1/2Ss450-1 (case1)	0.62	O.K.
②	斜材	P-89.1φ×3.2t 〈STK400〉	1/2Ss450-1 (case1)	4.22	O.K.
③	ブレース	1-M16 〈SNR400B〉	1/2Ss450-1 (case1)	2.61	O.K.

*1：①～③の符号は図 5.3.3-1 の応力検討箇所を示す

*2：図 5.2.1-3 にガレキ撤去用天井クレーンの位置を示す

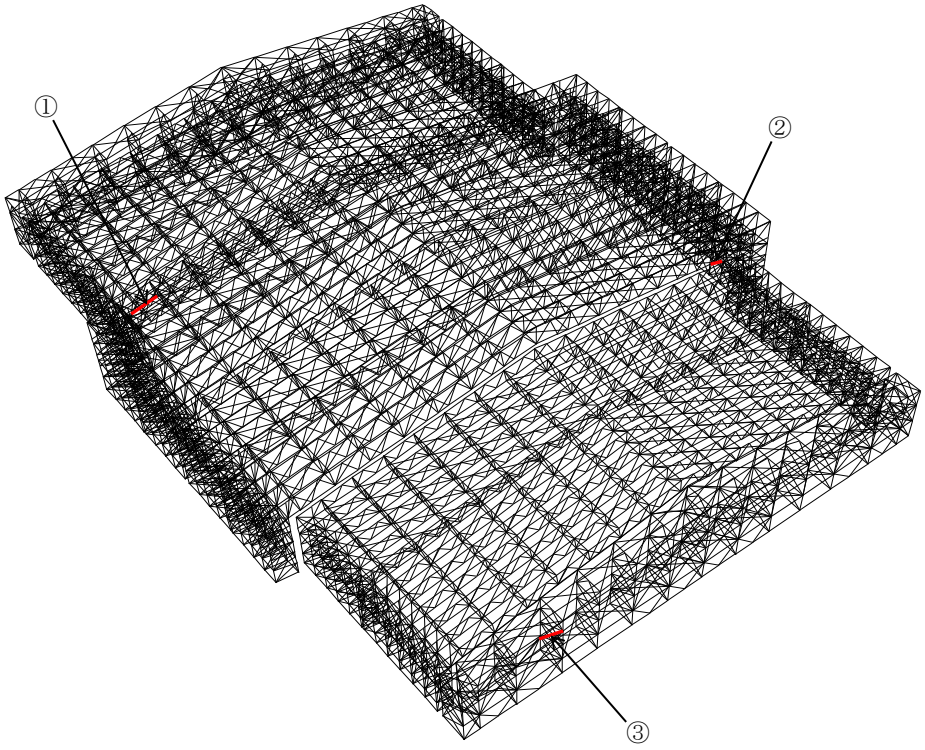


図 5.3.3-1　最大塑性率位置図

2)　燃料取り出し時

表 5.3.3-2 に塑性率が最大となる部位の断面検討結果を示す。断面検討の結果，全ての部材の塑性率が 5 以下になることを確認した。

表 5.3.3-2　断面検討結果（屋根部，1/2Ss450 地震時）

部位*1		部材形状（mm） 〈使用材料〉	地震波 （位置）*2	塑性率	判定
①	弦材	P-190.7φ×5.3t 〈STK490〉	1/2Ss450-1 (case4)	0.60	O.K.
②	斜材	P-89.1φ×3.2t 〈STK400〉	1/2Ss450-1 (case4)	4.47	O.K.
③	ブレース	1-M16 〈SNR400B〉	1/2Ss450-1 (case4)	2.59	O.K.

*1：①～③の符号は図 5.3.3-2 の応力検討箇所を示す

*2：図 5.2.1-4 に燃料取扱設備の位置を示す

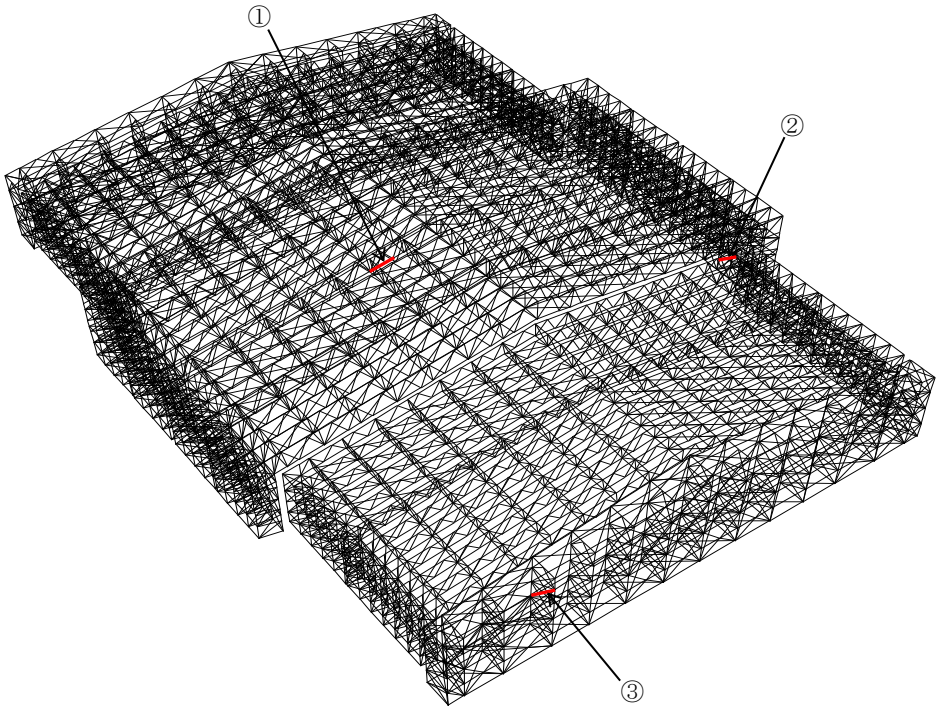


図 5.3.3-2　最大塑性率位置図

5.3.4　建屋取り合い部の耐震性に対する検討

(1)　アンカーボルトの検討（引抜き，せん断）

大型カバーはアンカーボルトにより原子炉建屋外壁に取り付く。アンカーボルトの仕様は，M33（SNR490B）の接着系アンカーボルトとし，終局耐力は「あと施工アンカー施工指針（案）（一般社団法人日本建築あと施工アンカー協会)」に従い，原子炉建屋の設計基準強度を用いて下式によって求める。表 5.3.4-1 にアンカーボルトの終局耐力を示す。

$$pu = \min(pu_1,\ pu_2,\ pu_3)$$

$$qu = \min(qu_1,\ qu_2)$$

pu　：接着系アンカーボルトの終局引張力（kN/本）

pu_1　：アンカーボルトの降伏により決まる終局引張力（kN/本）

pu_2　：躯体のコーン状破壊により決まる終局引張力（kN/本）

pu_3　：付着力により決まる終局引張力（kN/本）

qu　：接着系アンカーボルトの終局せん断力（kN/本）

qu_1　：アンカーボルトのせん断強度により決まる終局せん断力（kN/本）

qu_2　：躯体の支圧強度により決まる終局せん断力（kN/本）

表 5.3.4-1 接着系アンカーボルトの終局耐力

部位		一般部	燃料取扱設備 支持部
			GL+13.7
タイプ		標準	標準
鋼材種類		M33	M33
		SNR490B	SNR490B
埋め込み長さ　(mm)		345	345
アンカーボルト間隔　(mm)		400	400
終局	許容引張力(pu)　(kN/本)	234	318
	許容せん断力(qu)　(kN/本)	193	193

アンカーボルトの検討は，建屋取り合い部に生じる最大支点反力に対し，下式にて検討を行う。

$$\frac{P}{P_u} \leqq 1$$

$$\frac{Q}{Q_u} \leqq 1$$

$$\left(\frac{P}{P_u}\right)^2+\left(\frac{Q}{Q_u}\right)^2 \leqq 1$$

Pu：アンカーボルトの終局引張耐力（kN）

Qu：アンカーボルトの終局せん断耐力（kN）

P ：アンカーボルトの引張力（kN）

Q ：アンカーボルトのせん断力（kN）

1) ガレキ撤去時

表 5.3.4-2 に耐力比が最大となる部位の検討結果を示す。

検討の結果，アンカーボルトの最大耐力比は 1 以下になることを確認した。

表 5.3.4-2(1) アンカーボルトの検討結果（一般部，1/2Ss450 地震時）

部位*1（アンカー本数）		地震波（位置）*2	入力方向	作用応力		終局耐力		耐力比	判定
				引張力 P (kN)	せん断力 Q (kN)	引張耐力 Pu(kN)	せん断耐力 Qu(kN)		
⑮	アンカーボルト (34)	1/2Ss450-1 (case1)	-NS+EW+UD	565	5056	7956	6562	0.78	O.K.

表 5.3.4-2(2) アンカーボルトの検討結果（燃料取扱設備支持部，1/2Ss450 地震時）

部位*1（アンカー本数）		地震波（位置）*2	入力方向	作用応力		終局耐力		耐力比	判定
				引張力 P (kN)	せん断力 Q (kN)	引張耐力 Pu(kN)	せん断耐力 Qu(kN)		
⑯	アンカーボルト (12)	1/2Ss450-1 (case1)	-NS-EW-UD	354	1191	3816	2316	0.52	O.K.

*1：図 5.3.2-5 に応力検討箇所を示す

*2：図 5.2.1-3 にガレキ撤去用天井クレーンの位置を示す

2) 燃料取り出し時

表 5.3.4-3 に耐力比が最大となる部位の検討結果を示す。

検討の結果，アンカーボルトの最大耐力比は 1 以下になることを確認した。

表 5.3.4-3(1) アンカーボルトの検討結果（一般部，1/2Ss450 地震時）

部位*1（アンカー本数）		地震波（位置）*2	入力方向	作用応力		終局耐力		耐力比	判定
				引張力 P (kN)	せん断力 Q (kN)	引張耐力 Pu(kN)	せん断耐力 Qu(kN)		
⑮	アンカーボルト (32)	1/2Ss450-1 (case4)	-NS-EW-UD	604	5145	7488	6176	0.84	O.K.

表 5.3.4-3(2) アンカーボルトの検討結果（燃料取扱設備支持部，1/2Ss450 地震時）

部位*1（アンカー本数）		地震波（位置）*2	入力方向	作用応力		終局耐力		耐力比	判定
				引張力 P (kN)	せん断力 Q (kN)	引張耐力 Pu(kN)	せん断耐力 Qu(kN)		
⑯	アンカーボルト (12)	1/2Ss450-1 (case4)	-NS-EW+UD	527	1635	3816	2316	0.71	O.K.

*1：図 5.3.2-6 に応力検討箇所を示す

*2：図 5.2.1-4 に燃料取扱設備の位置を示す

(2)　原子炉建屋外壁部の検討

「5.2.4(2)　原子炉建屋外壁部の検討」と同様に，壁面の圧縮応力度が許容応力度以下となることを確認する。

1)　ガレキ撤去時

表 5.3.4-4 に応力度比が最大となる部位の検討結果を示す。

検討の結果，原子炉建屋外壁部の最大応力度比は 1 以下になることを確認した。

表 5.3.4-4(1)　外壁部の検討結果（一般部，1/2Ss450 地震時）

部位*1		地震波 (位置)*2	入力 方向	作用応力度 (N/mm^2)	許容応力度 (N/mm^2)	応力 度比	判定
⑰	外壁	1/2Ss450-1 (case1)	+NS-EW-UD	1.0	22.1	0.05	O.K.

表 5.3.4-4(2)　外壁部の検討結果（燃料取扱設備支持部，1/2Ss450 地震時）

部位*1		地震波 (位置)*2	入力 方向	作用応力度 (N/mm^2)	許容応力度 (N/mm^2)	応力 度比	判定
⑱	外壁	1/2Ss450-1 (case1)	-NS+EW+UD	0.6	22.1	0.03	O.K.

*1：図 5.3.2-5 に応力検討箇所を示す

*2：図 5.2.1-3 にガレキ撤去用天井クレーンの位置を示す

2)　燃料取り出し時

表 5.3.4-5 に応力度比が最大となる部位の検討結果を示す。

検討の結果，原子炉建屋外壁部の最大応力度比は 1 以下になることを確認した。

表 5.3.4-5(1)　外壁部の検討結果（一般部，1/2Ss450 地震時）

部位*1		地震波 (位置)*2	入力 方向	作用応力度 (N/mm^2)	許容応力度 (N/mm^2)	応力 度比	判定
⑰	外壁	1/2Ss450-1 (case4)	+NS-EW+UD	1.1	22.1	0.05	O.K.

表 5.3.4-5(2)　外壁部の検討結果（燃料取扱設備支持部，1/2Ss450 地震時）

部位*1		地震波 (位置)*2	入力 方向	作用応力度 (N/mm^2)	許容応力度 (N/mm^2)	応力 度比	判定
⑱	外壁	1/2Ss450-1 (case4)	-NS-EW+UD	1.0	22.1	0.05	O.K.

*1：図 5.3.2-6 に応力検討箇所を示す

*2：図 5.2.1-4 に燃料取扱設備の位置を示す

5.3.5　原子炉建屋の耐震性に対する検討

(1)　検討方針

大型カバーの設置に伴う原子炉建屋の耐震性の評価は，燃料取扱設備の間接支持機能維持の観点から，地震応答解析により得られる耐震壁のせん断ひずみが鉄筋コンクリート造耐震壁の許容限界に対応した評価基準値（2.0×10^{-3}）以下になることを確認する。また，最大接地圧が地盤の許容限界を超えないことを確認する。

(2)　原子炉建屋の地震応答解析

1)　解析に用いる入力地震動

検討に用いる地震動は，「5.3.1　検討方針」で示した 1/2Ss450 とする。

地震応答解析に用いる入力地震動の概念図は図 5.3.1-1 と同様である。

2)　地震応答解析モデル

原子炉建屋の地震応答解析モデルは，図 5.3.5-1 に示すように質点系でモデル化し，地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成系モデルとする。

地震応答解析モデルの諸元は，「Ⅱ.2.6　滞留水を貯留している（滞留している場合を含む）建屋　添付資料－２　構造強度及び耐震性（地下滞留水を考慮した建屋の耐震安全評価）」に示される内容に，ガレキ撤去等による重量増減及び新規に設置する大型カバー，燃料取扱設備等の重量を考慮した。地震応答解析モデルの諸元の質点重量および回転慣性重量を表 5.3.5-1 に示す。

地盤定数は，「5.3.1　検討方針」で示した地盤定数と同一である。

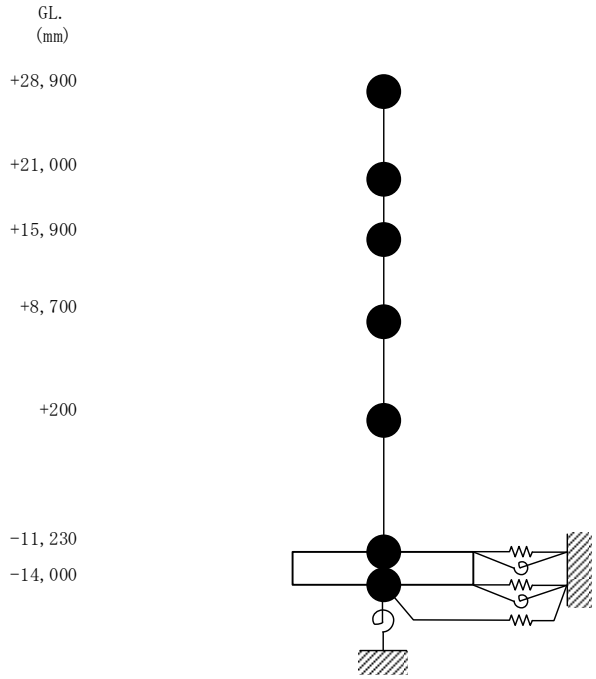


図 5.3.5-1　原子炉建屋の地震応答解析モデル

表 5.3.5-1(1)　原子炉建屋の地震応答解析モデルの諸元（水平方向，ガレキ撤去時）

G.L.(m)	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I_G ($\times 10^5$ kN･m^2)	
		水平(NS)方向	水平(EW 方向)
+28.90	113830	163.75	93.73
+21.00	81500	117.34	67.09
+15.90	90680	130.48	74.63
+8.70	87510	125.98	125.98
+0.20	162800	234.31	234.31
-11.23	185210	266.64	327.39
-14.00	62400	89.83	110.32
合計	783930		

表 5.3.5-1(2)　原子炉建屋の地震応答解析モデルの諸元（水平方向，燃料取り出し時）

G.L.(m)	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I_G ($\times 10^5$ kN･m^2)	
		水平(NS)方向	水平(EW 方向)
+28.90	161390	232.17	132.90
+21.00	81500	117.34	67.09
+15.90	90670	130.46	74.62
+8.70	88080	126.80	126.80
+0.20	163140	234.80	234.80
-11.23	185210	266.64	327.39
-14.00	62400	89.83	110.32
合計	832390		

(3) 検討結果

1/2Ss450 に対する最大応答値を，「JEAG4601-1991」に基づき設定した耐震壁のせん断スケルトン曲線上にプロットした結果を，図 5.3.5-2 及び図 5.3.5-3 に示す。

検討の結果，地震応答解析により得られる最大応答値は，評価基準値（2.0×10^{-3}）以下となり，クライテリアを満足することを確認した。

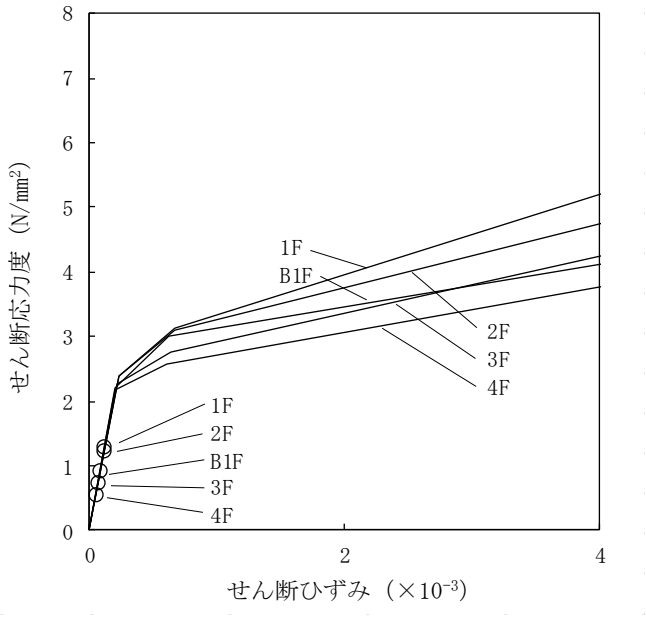
また，1/2Ss450 に対する最大接地圧を，表 5.3.5-2 に示す。最大接地圧は，地盤の極限支持力度（9800kN/m^2） を超えないことを確認した。

表 5.3.5-2(1) 1/2Ss450 に対する最大接地圧（ガレキ撤去時）

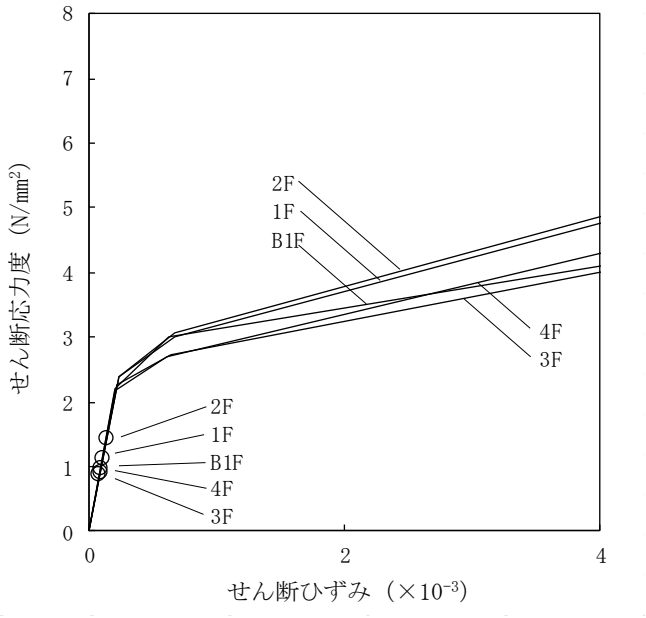
	NS 方向	EW 方向
地震波	1/2Ss450-1	1/2Ss450-1
鉛直力N （$\times10^5$kN）	9.1	9.1
転倒モーメントM （$\times10^6$kN･m）	8.0	9.1
最大接地圧 （kN/m^2）	1210	1310

表 5.3.5-2(2) 1/2Ss450 に対する最大接地圧（燃料取り出し時）

	NS 方向	EW 方向
地震波	1/2Ss450-1	1/2Ss450-1
鉛直力N （$\times10^5$kN）	9.7	9.7
転倒モーメントM （$\times10^6$kN･m）	9.2	10.0
最大接地圧 （kN/m^2）	1380	1440

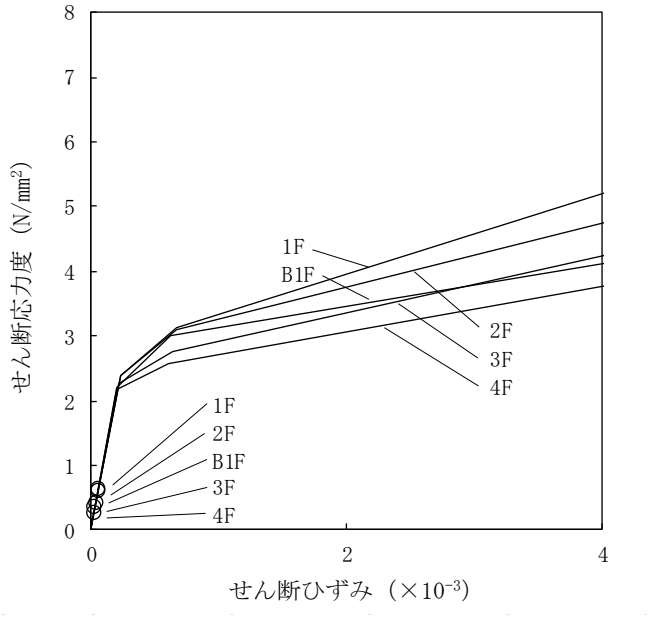


(a) NS 方向

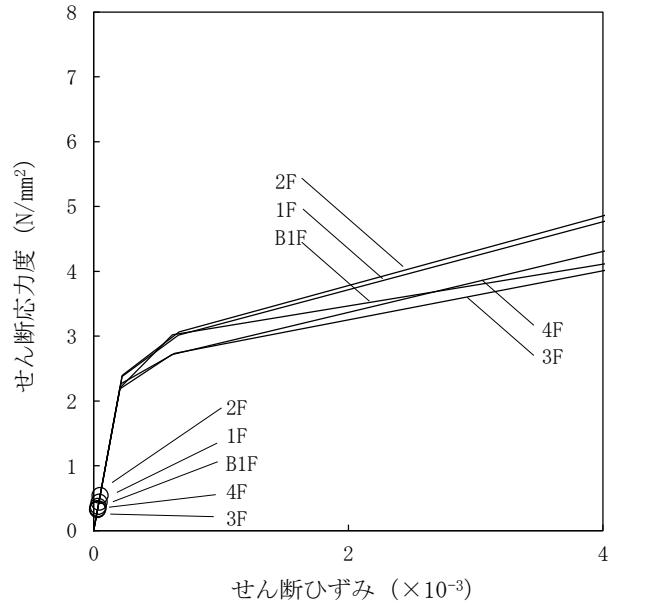


(b) EW 方向

図 5.3.5-2(1)　せん断スケルトン曲線上の最大応答値（1/2Ss450-1）（ガレキ撤去時）

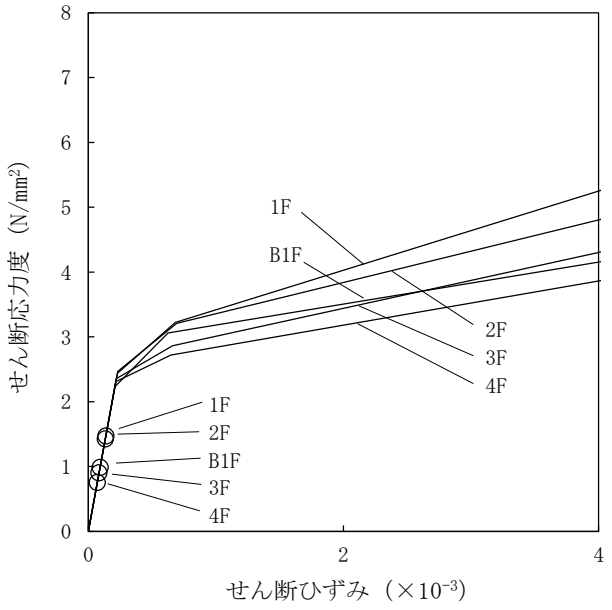


(a) NS 方向

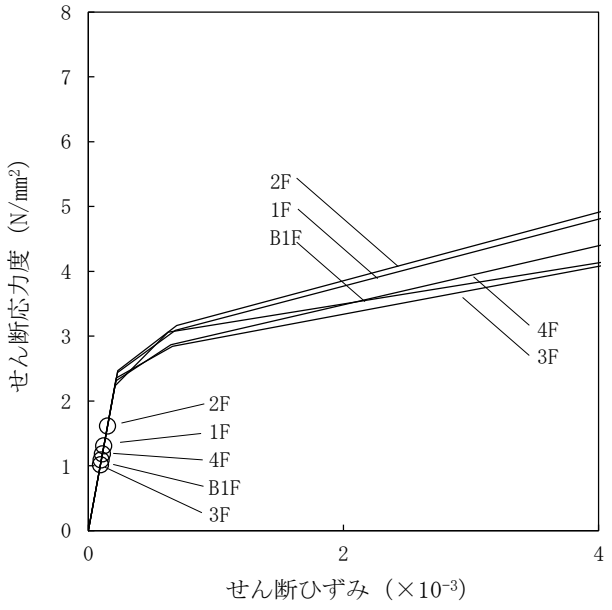


(b) EW 方向

図 5.3.5-2(2)　せん断スケルトン曲線上の最大応答値（1/2Ss450-2）（ガレキ撤去時）

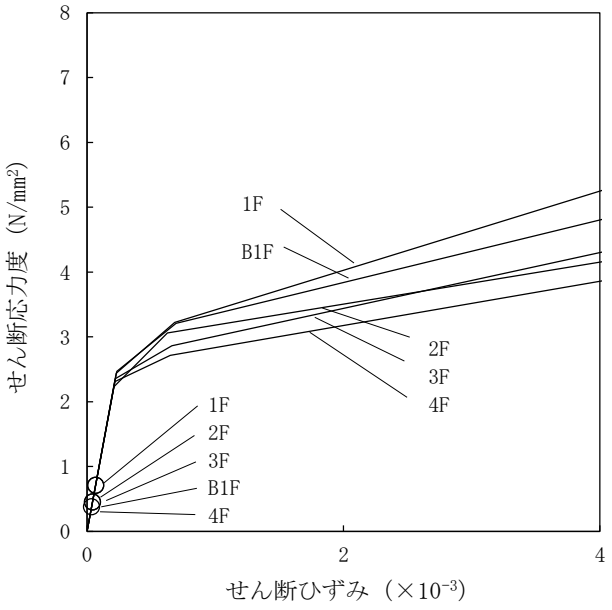


(a) NS 方向

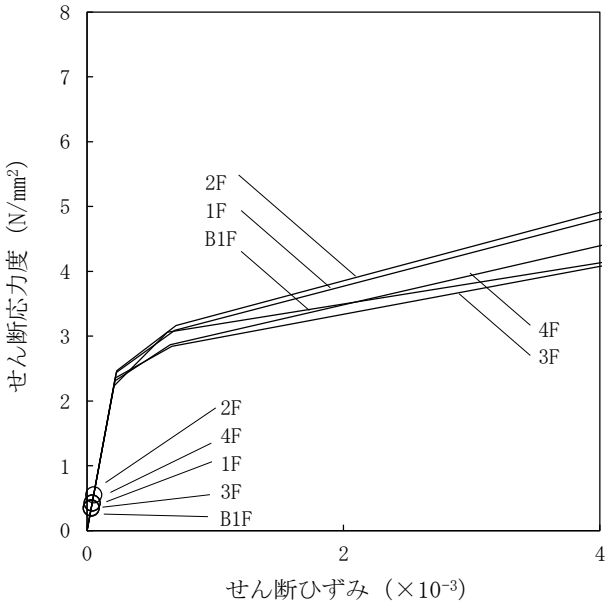


(b) EW 方向

図 5.3.5-3(1)　せん断スケルトン曲線上の最大応答値（1/2Ss450-1）（燃料取り出し時）



(a) NS 方向



(b) EW 方向

図 5.3.5-3(2)　せん断スケルトン曲線上の最大応答値（1/2Ss450-2）（燃料取り出し時）

5.4　耐震性（波及的影響の検討）

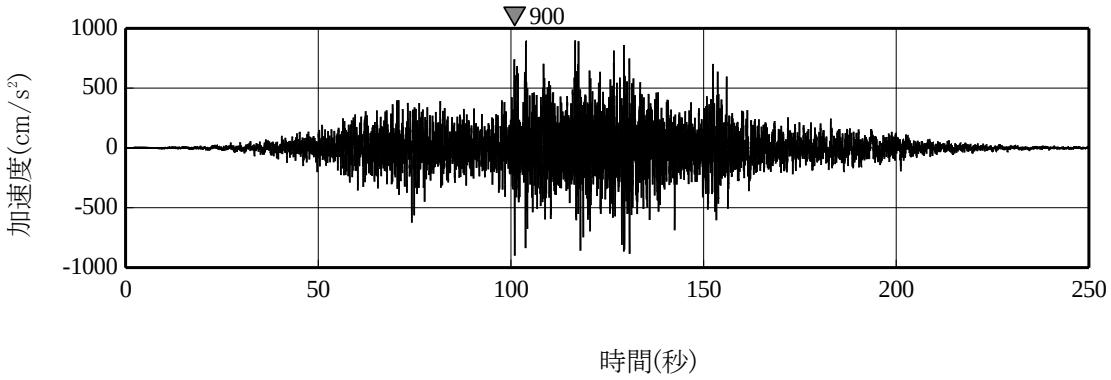
5.4.1　検討方針

耐震性のうち波及的影響の検討は，大型カバー，屋根，建屋取り合い部，ガレキ撤去用天井クレーン及び原子炉建屋について行い，Ss900 に対して，これらの応答性状を適切に表現できる地震応答解析を用いて評価する。なお，地震応答解析は水平 2 方向及び鉛直の 3 方向の地震動を同時に入力する。

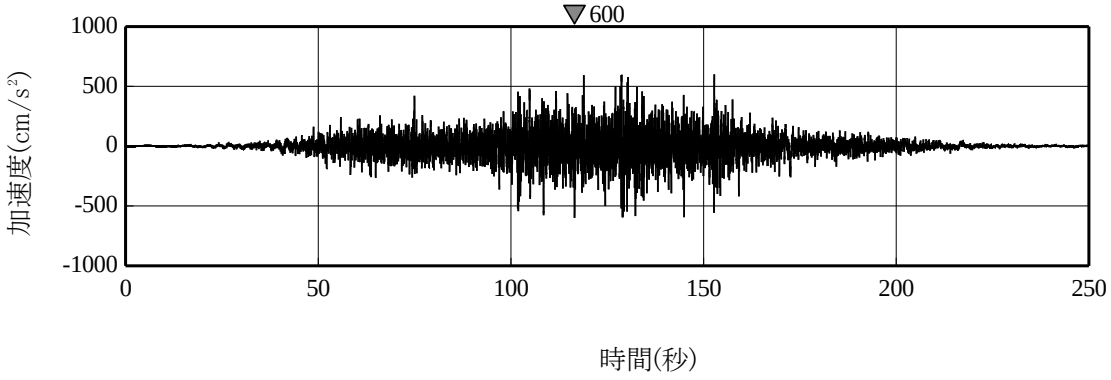
(1)　解析に用いる入力地震動

地震応答解析に用いる入力地震動の概念図は図 5.3.1-1 と同一である。モデルに入力する地震動は，2 波ある Ss900 のうち振幅の大きな検討用地震動①を用いる。Ss900 の加速度時刻歴波形を図 5.4.1-1～図 5.4.1-2 に示す。

Ss900 を用いた地震応答解析は水平 2 方向及び鉛直方向を同時に入力するが，全く同じ地震動が同時に水平 2 方向に入力されることは現実的に考えにくい。このため，応答スペクトルに基づく検討用地震動①を作成した方法と同一の方法で，目標とする応答スペクトルに適合し，Ss900-1 と直交する位相を用いた模擬地震波を利用する。検討用地震動①と組み合わせる模擬地震波の加速度時刻歴波形を図 5.4.1-3 に示す。

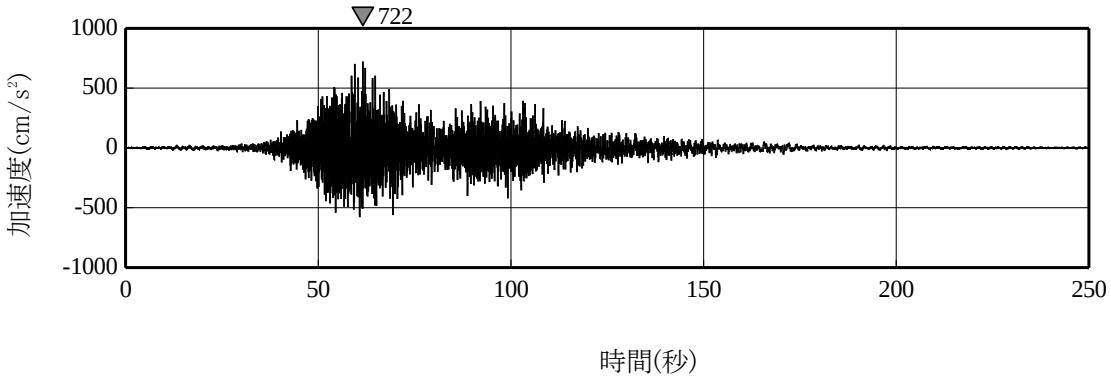


(a)　水平方向

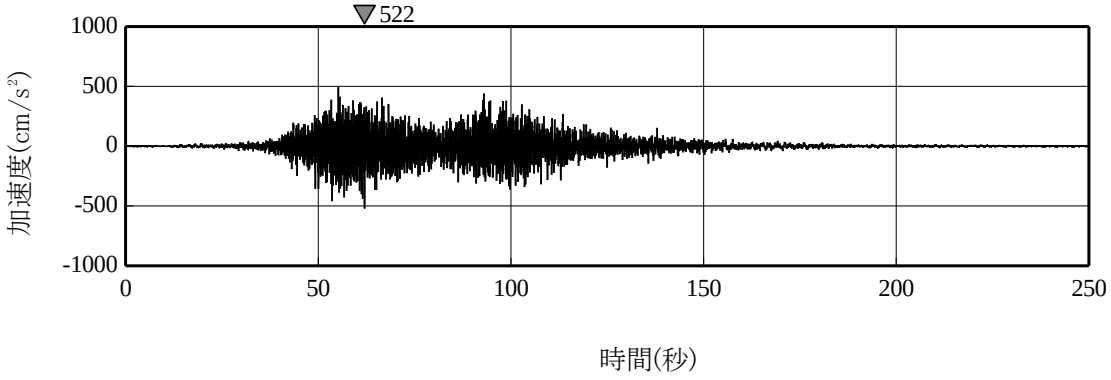


(b)　鉛直方向

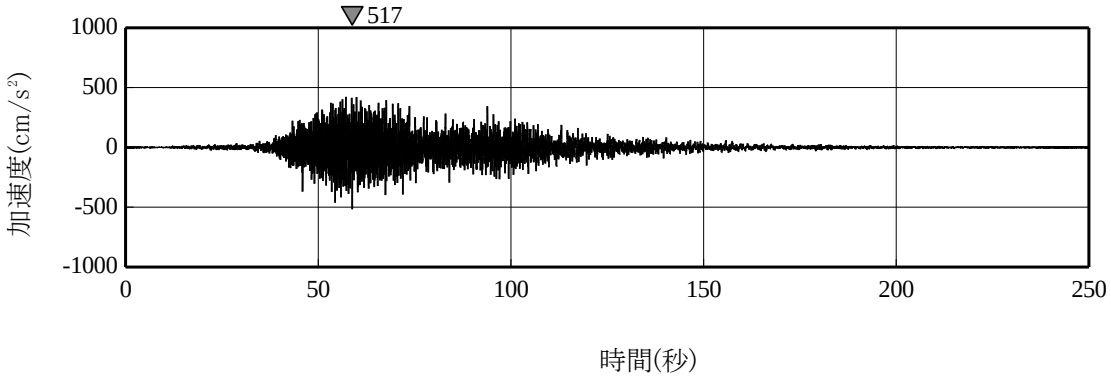
図 5.4.1-1　Ss900 のうち検討用地震動①



(a)　NS 方向



(b)　EW 方向



(c)　鉛直方向

図 5.4.1-2　Ss900 のうち検討用地震動②

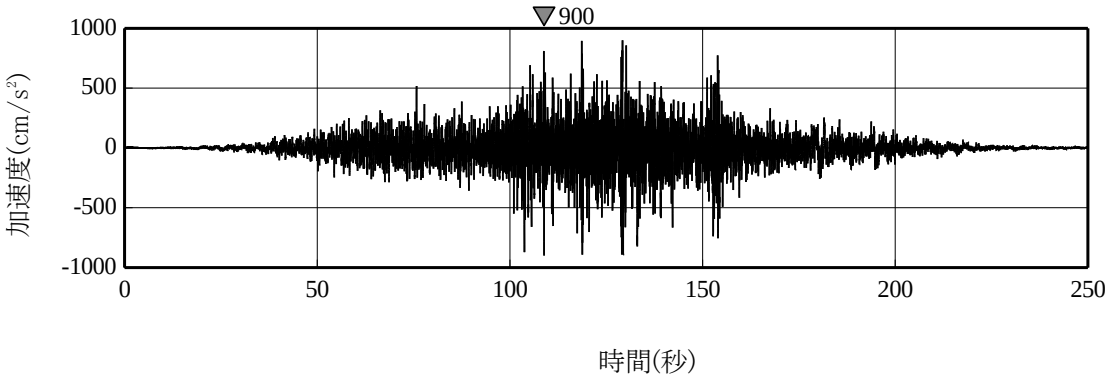


図 5.4.1-3　検討用地震動①（水平方向）と組み合わせる模擬地震波

(2)　地震応答解析モデル

地震応答解析モデル，地震応答解析に用いる鉄骨の物性値及び原子炉建屋の諸元は，「5.3.1(2) 地震応答解析モデル」と同一である。

大型カバーの地盤定数は，「福島第一原子力発電所『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 中間報告書」（東京電力株式会社，平成 20 年 3 月 31 日）と同様とし，その結果を表 5.4.1-1 に示す。

表 5.4.1-1　等価地盤物性

G.L. (m)	地質	せん断波速度 Vs (m/s)	単位体積重量 γ (kN/m^3)	ポアソン比 ν	せん断弾性係数 G (×10^{5}kN/m^2)	初期せん断弾性係数 G_0 (×10^{5}kN/m^2)	剛性低下率 G/G_0	ヤング係数 E (×10^{5}kN/m^2)	減衰定数 h (%)	層厚 H (m)
0.0										
	砂岩	380	17.8	0.473	2.04	2.62	0.78	6.01	4	8.1
-8.1										
	泥岩	450	16.5	0.464	2.32	3.41	0.68	6.79	3	11.9
-20.0										
		500	17.1	0.455	2.96	4.36	0.68	8.61	3	70.0
-90.0										
		560	17.6	0.446	3.83	5.63	0.68	11.08	3	28.0
-118.0										
		600	17.8	0.442	4.44	6.53	0.68	12.80	3	88.0
-206.0										
	(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-

(3)　解析ケース

ガレキ撤去時と燃料取り出し時の 2 ケースについて地震応答解析を行う。

ガレキ撤去時は，使用済み燃料プール上部にガレキ撤去用天井クレーンを配置し，定格荷重相当のガレキを吊った状態を想定する。

燃料取り出し時は，ガレキ撤去用天井クレーンの使用頻度は低いため，北側配置で吊り荷なしの状態を想定する。

表 5.4.1-2　解析ケース

ケース No.	状態	入力地震動 (3 方向同時入力)			ガレキ撤去用天井クレーン状態
		NS 方向	EW 方向	UD 方向	
1	ガレキ撤去時	Ss900 +NS (N→S)	Ss900 +EW (E→W)	Ss900 +UD (U→D)	プール上部配置 吊り荷考慮 (case1)
2	燃料取り出し時	同上	同上	同上	北側配置 吊り荷なし (case2)

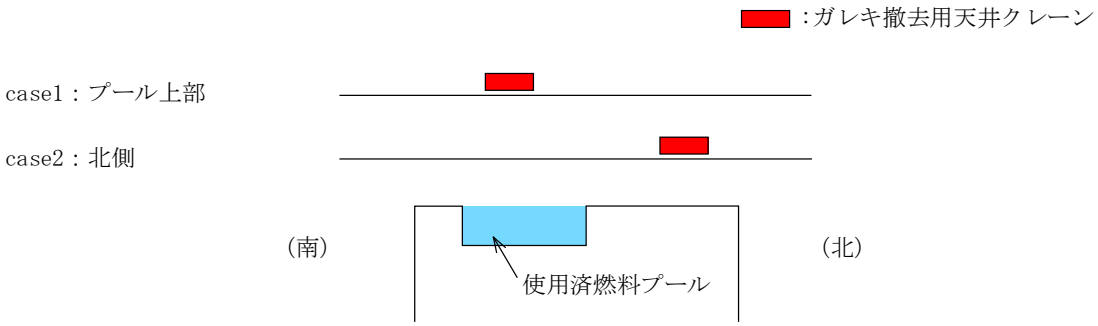


図 5.4.1-4　ガレキ撤去用天井クレーンの位置

(4) 評価項目とクライテリア

波及的影響の検討は，表 5.4.1-3 に示す項目について評価を行う。

表 5.4.1-3(1) 大型カバーのクライテリア

部位	考え方	許容限界
大型カバー架構 （一般部）	最大層間変形角が波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認	層間変形角 1/30※1
大型カバー架構 （柱梁・鋼板） （屋根弦材）	部材に生じる応力が許容限界を超えないことを確認，超える場合はエネルギー一定則による評価を実施し，塑性率の許容限界を超えないことを確認	弾性限界強度または 塑性率 5.0※2
大型カバー架構 （ブレース） （屋根斜材・ 屋根ブレース）	部材に生じる塑性率が許容限界を超えないことを確認，超える場合は応答による繰り返し回数が許容限界に対して十分な裕度を有することを確認	塑性率 5.0 または 評価最大ひずみ度に対する 破断寿命 1.0
大型カバー架構 アンカーボルト	引張とせん断の二乗累加則により検定し許容限界に至らないことを確認	終局強度に対する検定比 1.0

※1：「震災建築物の被災度区分判定基準及び復旧技術指針（(財) 日本建築防災協会)」を参考に許容限界を設定している。なお，被災度区分判定基準においては，柱の残留傾斜角が 1/30 を超えた場合に大破と判定しているが，保守的に最大層間変形角を用いて評価を行う。

※2：JSCA 性能メニュー（社団法人日本建築構造技術者協会，2002 年）を参考に定めたクライテリア
（北村他：「性能設計における耐震性能判断基準値に関する研究」，日本建築学会構造系論文集，第 604 号，PP183-191，2006.6）

表 5.4.1-3(2) ガレキ撤去用天井クレーンのクライテリア

部位	考え方	許容限界
ガレキ撤去用 天井クレーン クレーンガーダ	東西レール間の最大相対水平変位がクレーンの水平かかり代に比べ小さいことを確認	東西レール間相対変位 2300mm
	クレーンガーダの最大応答値が全塑性モーメントを超える不安定状態に至らないことを確認	全塑性モーメント Mp
ガレキ撤去用 天井クレーン トロリー	クレーンガーダの最大応答変位がトロリ脱落防止材の鉛直かかり代に比べ小さいことを確認	鉛直変位 259mm
	トロリの水平力による脱落防止材の発生応力が弾性限界強度を超えないことを確認	弾性限界せん断強度 149N/mm^2(SS400)

5.4.2　大型カバーの耐震性に対する検討

(1)　層間変形角の検討結果

大型カバー一般部の層間変形角を表 5.4.2-1 に示す。

ガレキ撤去時及び燃料取り出し時の最大層間変形角は，許容限界である 1/30 を超えないことを確認した。

表 5.4.2-1(1)　最大応答層間変形角（ガレキ撤去時）

方向	地震条件	検討箇所	最大層間変形角	許容限界	判定
南北方向	Ss900 (+NS+EW+UD)	G.L.+53.9(m) ～+28.3(m) h=25.6(m)	1/87	1/30	O.K.
東西方向	Ss900 (+NS+EW+UD)	G.L.+53.9(m) ～+28.3(m) h=25.6(m)	1/84	1/30	O.K.

表 5.4.2-1(2)　最大応答層間変形角（燃料取り出し時）

方向	地震条件	検討箇所	最大層間変形角	許容限界	判定
南北方向	Ss900 (+NS+EW+UD)	G.L.+53.9(m) ～+28.3(m) h=25.6(m)	1/73	1/30	O.K.
東西方向	Ss900 (+NS+EW+UD)	G.L.+53.9(m) ～+28.3(m) h=25.6(m)	1/78	1/30	O.K.

(2) 断面検討結果

1) 一般部

大型カバー一般部の断面検討結果を表 5.4.2-2 に示す。

柱，梁は一部で弾性限界を超えるものの，エネルギー一定則による評価で最大塑性率が 5 を超えないことを確認した。なお，弾性限に対する検定比は（）内に示す。また，ブレース，鋼板の最大塑性率は 5 を超えないことを確認した。

接続部ブレース及び下部ブレースは最大塑性率が 5 を超えることから，破断寿命評価を実施し，部材が破断しないことを確認した。

表 5.4.2-2(1) 断面検討結果（一般部，ガレキ撤去時）

部位	部材形状（mm）	地震条件		最大応力度 (N/mm^2)		許容応力度 (N/mm^2)		最大塑性率	判定
柱	H-400×400×13×21	Ss900	+NS+EW+UD	σ_c	343.0	f_c	320.4	1.08(1.08)	O.K.
梁	H-800×300×14×26	Ss900	+NS+EW+UD	σ_c	212.7	f_c	184.1	1.17(1.16)	O.K.
ブレース	φ-355.6×7.9	Ss900	+NS+EW+UD	σ_c	—	f_c	337.2	2.09	O.K.
鋼板	PL-12	Ss900	+NS+EW+UD	σ_x	18.8	f_t	258.0	0.97	O.K.
				σ_y	256.6				
				τ_{xy}	19.8				

表 5.4.2-2(2) 断面検討結果（一般部，燃料取り出し時）

部位	部材形状（mm）	地震条件		最大応力度 (N/mm^2)		許容応力度 (N/mm^2)		最大塑性率	判定
柱	H-400×400×13×21	Ss900	+NS+EW+UD	σ_c	423.5	f_c	345.1	1.26(1.23)	O.K.
梁	H-800×300×14×26	Ss900	+NS+EW+UD	σ_c	260.5	f_c	184.1	1.50(1.42)	O.K.
ブレース	φ-355.6×7.9	Ss900	+NS+EW+UD	σ_c	—	f_c	337.2	2.20	O.K.
鋼板	PL-12	Ss900	+NS+EW+UD	σ_x	17.3	f_t	258.0	0.91	O.K.
				σ_y	239.5				
				τ_{xy}	19.5				

表 5.4.2-2(3)　断面検討結果（一般部，ガレキ撤去時）

部位	部材形状（mm）	地震条件		最大塑性率 （破断寿命評価）	判定
接続部ブレース	十字 PL（PL-28×210 +2PL-28×91）	Ss900	+NS+EW+UD	19.40 (0.37)	O.K.
下部ブレース	φ-267.4×6.6	Ss900	+NS+EW+UD	15.84 (0.69)	O.K.

表 5.4.2-2(4)　断面検討結果（一般部，燃料取り出し時）

部位	部材形状（mm）	地震条件		最大塑性率 （破断寿命評価）	判定
接続部ブレース	十字 PL（PL-28×210 +2PL-28×91）	Ss900	+NS+EW+UD	10.64 (0.04)	O.K.
下部ブレース	φ-318.5×6.9	Ss900	+NS+EW+UD	16.57 (0.86)	O.K.

なお，大型カバーと燃料取扱設備支持部との地震時の干渉について，一般部と燃料取扱設備支持部のクリアランス 30cm に対して最大相対変位が 18.9cm（燃料取り出し時）であることから，地震時に衝突しないことを確認している。

2) 燃料取扱設備支持部

大型カバー燃料取扱設備支持部の断面検討結果を表 5.4.2-3 に示す。

ガレキ撤去時，燃料取り出し時共に，応力度比 1.0 を超えないことを確認した。

表 5.4.2-3(1)　断面検討結果（燃料取扱設備支持部，ガレキ撤去時）

部位	部材形状（mm） 〈使用材料〉	地震波 （位置）	入力 方向	作用 応力度 (N/mm^2)		許容 応力度 (N/mm^2)		応力 度比	判定
柱	H-400×400×13×21	Ss900	+NS+EW+UD	σ_c	51.5	f_c	326.1	0.16	O.K.
梁	H-350×350×12×19	Ss900	+NS+EW+UD	σ_c	102.2	f_c	344.0	0.30	O.K.
接続部 ブレース	十字 PL（PL-28×10 +2PL-28×91）	Ss900	+NS+EW+UD	σ_t	240.3	f_t	357.5	0.68	O.K.
下部 ブレース	φ-355.6×7.9	Ss900	+NS+EW+UD	σ_c	202.4	f_c	349.6	0.58	O.K.

表 5.4.2-3(2)　断面検討結果（燃料取扱設備支持部，燃料取り出し時）

部位	部材形状（mm） 〈使用材料〉	地震波 （位置）	入力 方向	作用 応力度 (N/mm^2)		許容 応力度 (N/mm^2)		応力 度比	判定
柱	H-400×400×13×21	Ss900	+NS+EW+UD	σ_c	89.9	f_c	326.1	0.28	O.K.
梁	H-350×350×12×19	Ss900	+NS+EW+UD	σ_t	135.5	f_t	357.5	0.38	O.K.
接続部 ブレース	十字 PL（PL-28×10 +2PL-28×91）	Ss900	+NS+EW+UD	σ_t	246.2	f_t	357.5	0.69	O.K.
下部 ブレース	φ-406.4×9.5	Ss900	+NS+EW+UD	σ_c	279.8	f_c	351.3	0.80	O.K.

5.4.3　屋根の耐震性に対する検討

大型カバー屋根部の断面検討結果を表 5.4.3-1 に示す。弦材，ブレースは最大塑性率 5 を超えないことを確認した。斜材は最大塑性率が 5 を超えることから，破断寿命評価を実施し，部材が破断しないことを確認した。

表 5.4.3-1(1)　断面検討結果（ガレキ撤去時）

部位	部材形状（mm）	地震条件		最大塑性率 （破断寿命評価）	判定
弦材	P-190.7φ×5.3t	Ss900	+NS+EW+UD	0.80	O.K.
斜材	P-89.1φ×3.2t	Ss900	+NS+EW+UD	15.72 (0.26)	O.K.
ブレース	1-M30	Ss900	+NS+EW+UD	4.12	O.K.

表 5.4.3-1(2)　断面検討結果（燃料取り出し時）

部位	部材形状（mm）	地震条件		最大塑性率 （破断寿命評価）	判定
弦材	P-261.3φ×7.0t	Ss900	+NS+EW+UD	0.94	O.K.
斜材	P-89.1φ×3.2t	Ss900	+NS+EW+UD	20.90 (0.39)	O.K.
ブレース	1-M27	Ss900	+NS+EW+UD	4.69	O.K.

5.4.4　建屋取り合い部の耐震性に対する検討

大型カバーのアンカーボルトの終局強度に対する検定比を表5.4.4-1に示す。ガレキ撤去時及び燃料取り出し時ともに，検定比1.0を超えないこと確認した。

表5.4.4-1(1)　アンカーボルトの検討結果（一般部，ガレキ撤去時）

部位 （アンカー本数）	地震条件		最大反力		終局強度		耐力比	判定
			引張力 (kN)	せん断力 (kN)	引張 (kN)	せん断 (kN)		
アンカー ボルト (16)	Ss900	+NS+EW+UD	1860	2329	3744	3088	0.83	O.K.

表5.4.4-1(2)　アンカーボルトの検討結果（一般部，燃料取り出し時）

部位 （アンカー本数）	地震条件		最大反力		終局強度		耐力比	判定
			引張力 (kN)	せん断力 (kN)	引張 (kN)	せん断 (kN)		
アンカー ボルト (16)	Ss900	+NS+EW+UD	1802	2350	3744	3088	0.84	O.K.

表5.4.4-1(3)　アンカーボルトの検討結果（燃料取扱設備支持部，ガレキ撤去時）

部位 （アンカー本数）	地震条件		最大反力		終局強度		耐力比	判定
			引張力 (kN)	せん断力 (kN)	引張 (kN)	せん断 (kN)		
アンカー ボルト (12)	Ss900	+NS+EW+UD	906	1606	3816	2316	0.70	O.K.

表5.4.4-1(4)　アンカーボルトの検討結果（燃料取扱設備支持部，燃料取り出し時）

部位 （アンカー本数）	地震条件		最大反力		終局強度		耐力比	判定
			引張力 (kN)	せん断力 (kN)	引張 (kN)	せん断 (kN)		
アンカー ボルト (24)	Ss900	+NS+EW+UD	3577	2964	5832	4632	0.80	O.K.

5.4.5　天井クレーンの耐震性に対する検討

地震応答解析より得られた東西レール間の最大相対水平変位は，ガレキ撤去時 39mm，燃料取り出し時 41mm で，クレーン端部の水平かかり代 2300mm に比べ小さく，ガレキ撤去用天井クレーンが落下する危険性はないことを確認した。

地震応答解析より得られたガレキ撤去用天井クレーンガーダの水平方向（NS 方向）および鉛直方向の最大応答曲げモーメントを表 5.4.5-1 に示す。

ガレキ撤去時，燃料取り出し時ともに，クレーンガーダの全塑性曲げモーメント Mp を超える不安定状態には至らないことを確認した。

表 5.4.5-1(1)　ガレキ撤去用天井クレーンガーダの断面検討結果（ガレキ撤去時）

部位		部材形状 (mm)	荷重 ケース	最大応答曲げ モーメント （鉛直） （×10^6Nm）		全塑性 モーメント （鉛直） （×10^6Nm）		応力 度比	判定
①	クレーン ガーダ	□-1500×2700 〈SM490〉	Ss900	M	149.2	Mp	168.0	0.89	O.K.

表 5.4.5-1(2)　ガレキ撤去用天井クレーンガーダの断面検討結果（燃料取出し時）

部位		部材形状 (mm)	荷重 ケース	最大応答曲げ モーメント （鉛直） （×10^6Nm）		全塑性 モーメント （鉛直） （×10^6Nm）		応力 度比	判定
①	クレーン ガーダ	□-1500×2700 〈SM490〉	Ss900	M	107.9	Mp	168.0	0.65	O.K.

地震応答解析より得られたクレーンガーダの最大鉛直変位は，ガレキ撤去時 174mm，燃料取り出し時 119mm となり，トロリの脱落防止材の鉛直かかり代 259mm に比べ小さいことを確認した。

ガレキ撤去用天井クレーンの最大応答水平加速度にトロリ重量（56ton)を乗じ求めた水平力に対し，トロリの脱落防止材に生じるせん断応力度を求めた結果を表 5.4.5-2 に示す。

ガレキ撤去時，燃料取り出し時ともに，トロリの脱落防止材に発生する応力は弾性限界強度を超えないことを確認した。

表 5.4.5-2(1)　脱落防止材の断面検討結果（ガレキ撤去時）

天井クレーン 最大水平応答加速度 (m/s^2)	トロリー脱落防止材 水平力 (kN)	トロリー脱落防止材 せん断応力度 (N/mm^2)	弾性限界応力度 (N/mm^2)	検定比	判定
45.7	2559	94.8	149	0.64	O.K.

表 5.4.5-2(2)　脱落防止材の断面検討結果（燃料取り出し時）

天井クレーン 最大水平応答加速度 (m/s^2)	トロリー脱落防止材 水平力 (kN)	トロリー脱落防止材 せん断応力度 (N/mm^2)	弾性限界応力度 (N/mm^2)	検定比	判定
42.0	2352	87.1	149	0.58	O.K.

5.4.6　原子炉建屋の耐震性に対する検討

(1)　検討方針

大型カバー設置に伴う原子炉建屋の耐震性の評価は，耐震安全上重要な設備への波及的影響防止の観点から，地震応答解析により得られる耐震壁のせん断ひずみが鉄筋コンクリート造耐震壁の終局限界に対応した評価基準値（4.0×10^{-3}）以下になることを確認する。最大接地圧が地盤の許容限界を超えないことを確認する。

また，大型カバーを設置する前後でのオペフロでの最大応答加速度を比較する。

(2)　原子炉建屋の地震応答解析

1)　解析に用いる入力地震動

検討に用いる地震動は，「5.4.1　検討方針」で示したSs900とする。

地震応答解析に用いる入力地震動の概念図は図5.3.1-1と同様である。

2)　地震応答解析モデル

地震応答解析に用いるモデルは，図5.4.6-1に示すように建屋を質点系とし地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成系モデルとする。

地震応答解析モデルの諸元は，「5.3.5　原子炉建屋の耐震性に対する検討」と同一である。

大型カバー設置前の原子炉建屋の建屋の諸元は「1/2Ss450gal検討」に示す。また，地盤定数は，「5.3.1　検討方針」で示した地盤定数と同一である。

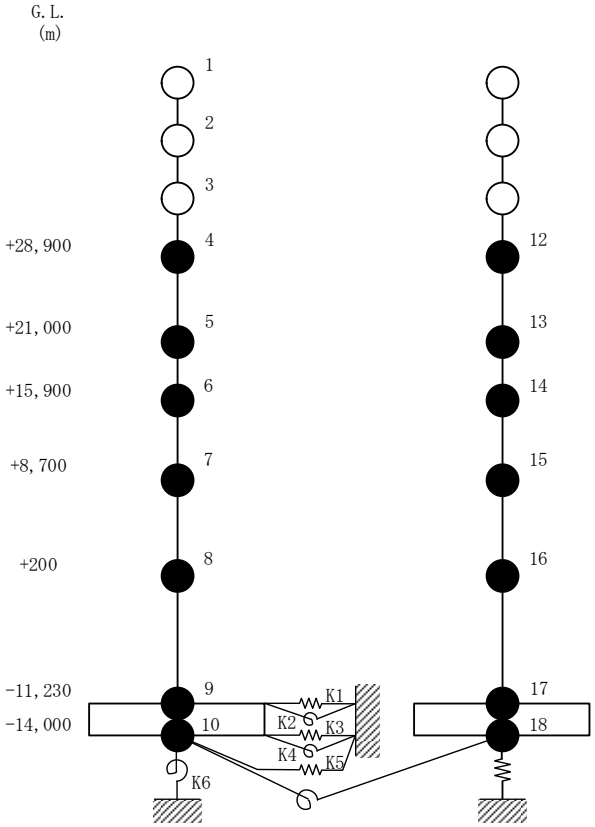


図5.4.6-1　原子炉建屋の地震応答解析モデル

(3) 検討結果

大型カバー設置後のSs900に対する最大応答値を，「JEAG4601-1991」に基づき設定した耐震壁のせん断スケルトン曲線上にプロットした結果を図5.4.6-2に示す。

検討の結果，地震応答解析により得られる最大応答値は，評価基準値（4.0×10^{-3}）以下となり，クライテリアを満足することを確認した。

Ss900 に対する最大接地圧を，表 5.4.6-1 に示す。最大接地圧は，地盤の極限支持力度（9800kN/m^2） を超えないことを確認した。

また，カバー設置前とカバー設置後のガレキ撤去時及び燃料取り出し時の最大応答加速度の比較を図5.4.6-3に示す。各階の最大応答加速度は大きな違いが見られず，大型カバーを設置した影響は小さい。

表 5.4.6-1(1)　Ss900 に対する最大接地圧（ガレキ撤去時）

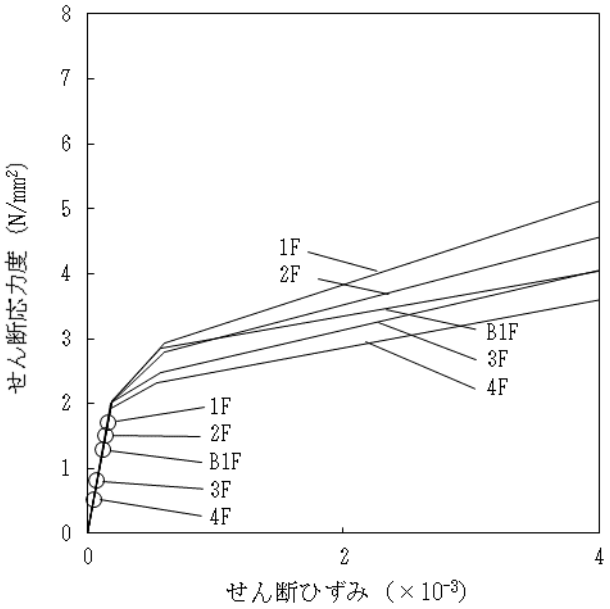
	NS 方向*1	EW 方向*1
地震波	Ss900-1	Ss900-1
鉛直力N （×10^{5}kN）	10.4	10.4
転倒モーメントM （×10^{6}kN･m）	13.2	13.4
最大接地圧 （kN/m^2）	3480	3000

*1：誘発上下動考慮の結果を示す。

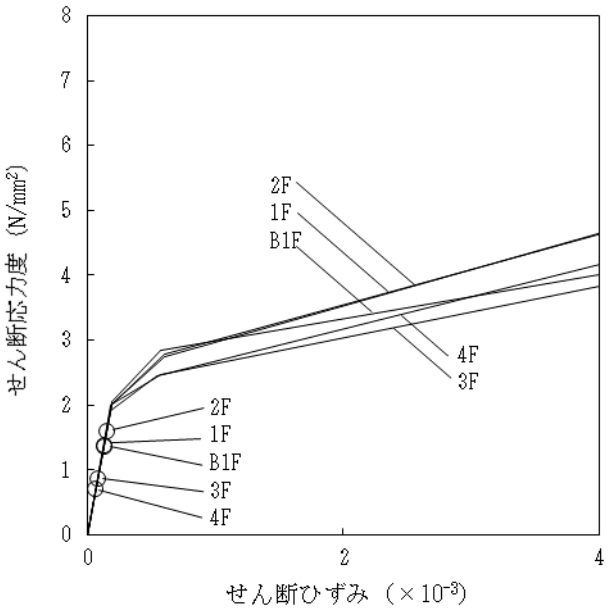
表 5.4.6-1(2)　Ss900 に対する最大接地圧（燃料取り出し時）

	NS 方向*1	EW 方向*1
地震波	Ss900-1	Ss900-1
鉛直力N （×10^{5}kN）	11.0	11.0
転倒モーメントM （×10^{6}kN･m）	13.2	14.8
最大接地圧 （kN/m^2）	2950	3680

*1：誘発上下動考慮の結果を示す。

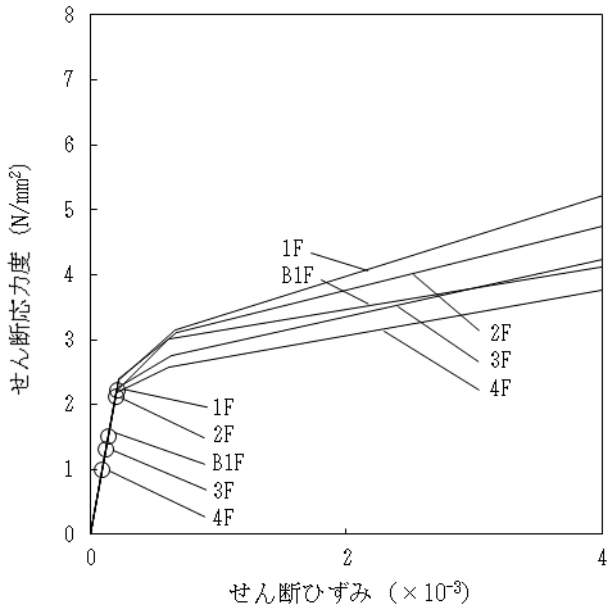


(a) NS 方向

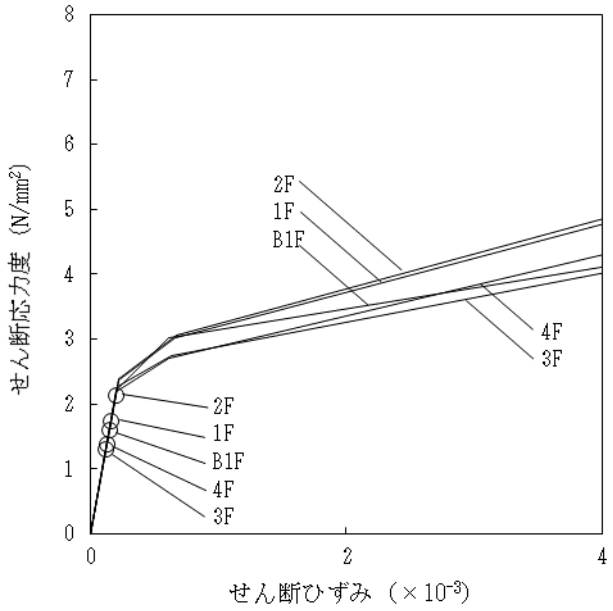


(b) EW 方向

図 5.4.6-2(1)　せん断スケルトン曲線上の最大応答値（大型カバー設置前）

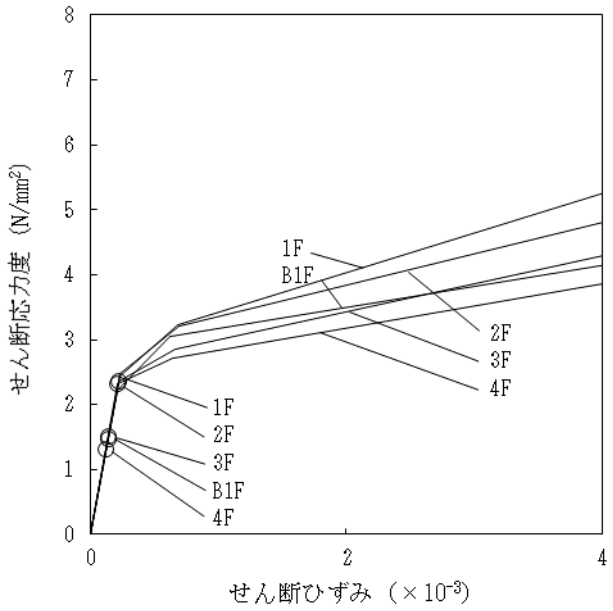


(a) NS 方向

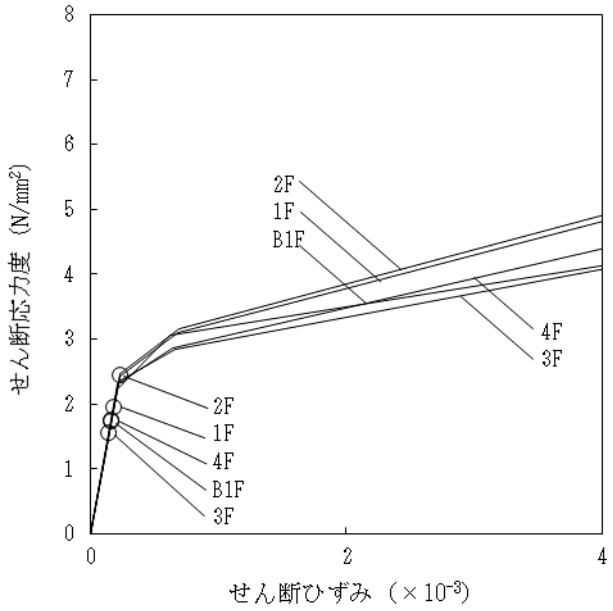


(b) EW 方向

図 5.4.6-2(2)　せん断スケルトン曲線上の最大応答値（ガレキ撤去時）

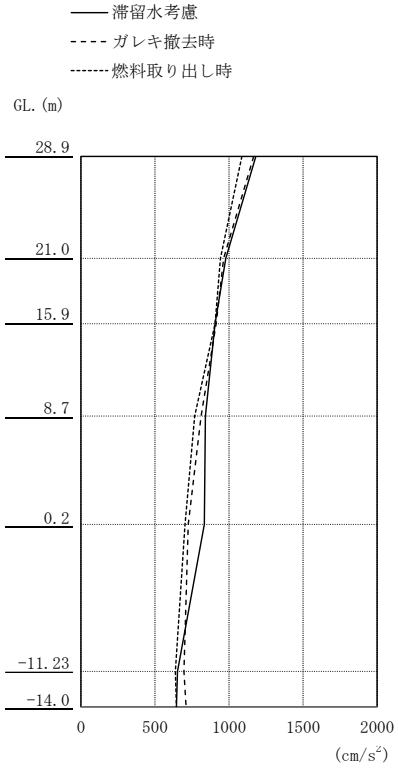


(a) NS 方向



(b) EW 方向

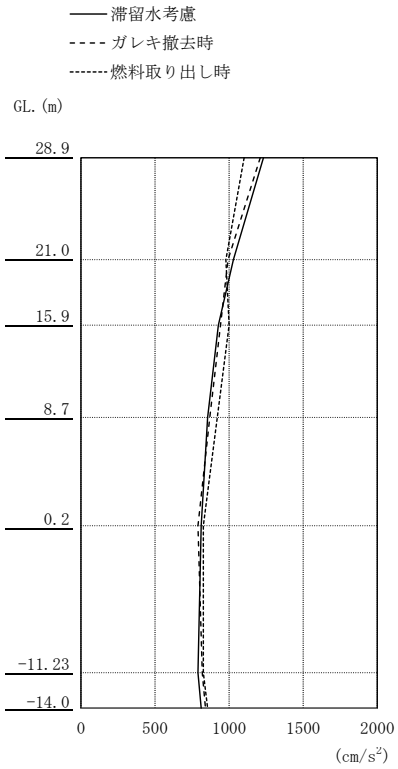
図 5.4.6-2(3)　せん断スケルトン曲線上の最大応答値（燃料取出し時）



(cm/s²)

滞留水考慮	ガレキ撤去時	燃料取り出し時
1185	1167	1087
977	966	940
909	916	905
840	813	766
832	725	706
654	699	637
648	709	647

(a) NS 方向



(cm/s²)

滞留水考慮	ガレキ撤去時	燃料取り出し時
1232	1212	1099
1031	990	981
926	944	999
856	867	922
812	789	828
793	816	827
813	844	856

(b) EW 方向

図 5.4.6-3　最大応答加速度の比較

6.　1 号機燃料取り出し用カバー（燃料取扱機及びクレーン支持用架構）の構造強度及び耐震性について

6.1　概要

6.1.1 一般事項

1 号機燃料取り出し用カバーは使用済燃料プール（以下,「SFP」という。）を覆う大型カバーと，燃料取扱機（以下,「FHM」という）及びクレーン支持用架構（以下,「ランウェイガーダ」という。）で構成される。ランウェイガーダは鉄筋コンクリート造のランウェイガーダ基礎（以下,「基礎」という。）を介して原子炉建屋に支持する部分と大型カバーの燃料取扱設備支持部を介して原子炉建屋に支持される部分を有する構造である。このランウェイガーダ上にレールが敷設され，FHM 及びクレーンが走行する。大型カバーと原子炉建屋は，実施計画Ⅱ.2.11　添付 4-2 5.「1 号機燃料取り出し用カバー（大型カバー）の構造強度及び耐震性について」でランウェイガーダの想定重量を加味して評価済みであり，今回その重量を上回るものではない。よって，ここでは，ランウェイガーダの構造強度及び耐震性について検討を行う。

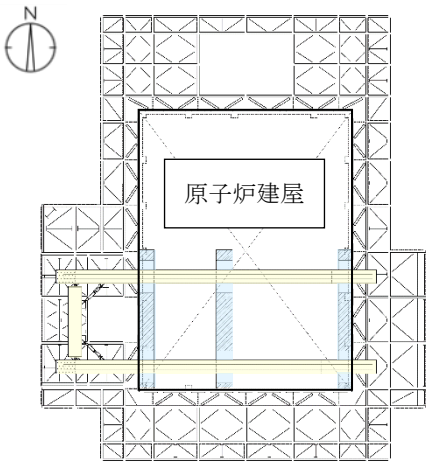
ランウェイガーダは，燃料取扱設備の間接支持構造物であることから，B+クラス相当の地震力を適用する。

ランウェイガーダの構造強度は一次設計に対応した許容応力度設計を実施する。また，耐震性は基準地震動 Ss（最大加速度 900gal。以下,「Ss900」という。）の 1/2 の最大加速度 450gal の地震動（以下,「1/2Ss450」という。）に対する地震応答解析を実施し，燃料取扱設備の間接支持機能が維持されることを確認する。

ランウェイガーダの耐震性のうち波及的影響の防止の検討は，Ss900 に対する地震応答解析を実施し，ランウェイガーダの損傷が原子炉建屋，使用済燃料プール及び使用済燃料ラックに波及的影響を及ぼさないことを確認する。ここで，波及的影響の確認は，ランウェイガーダが崩壊機構に至らないことを確認する。

図 6.1.1-1 にランウェイガーダのイメージを示す。

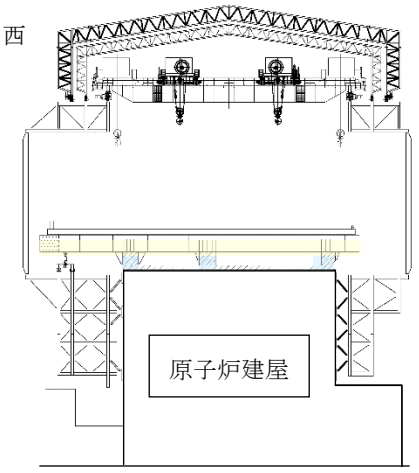
本章では，G.L.±0m=T.P.8,564mm*とする。
また，記載の寸法は現場状況に応じて変更する場合がある。
*：震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P.から T.P.への読替値(-727mm)を用いて，下式に基づき換算している。
＜換算式＞T.P.=旧 O.P.-1,436mm



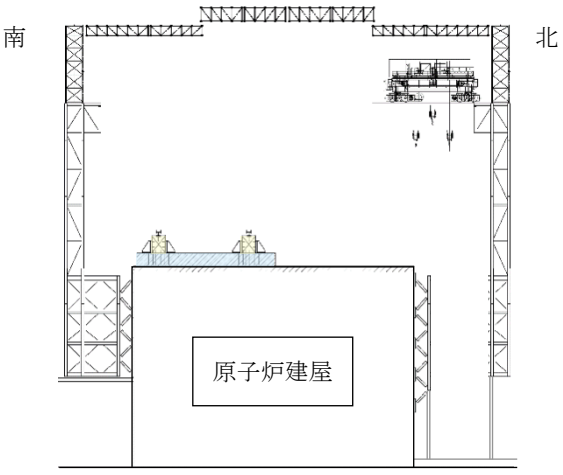
平面図

：ランウェイガーダ

：基礎

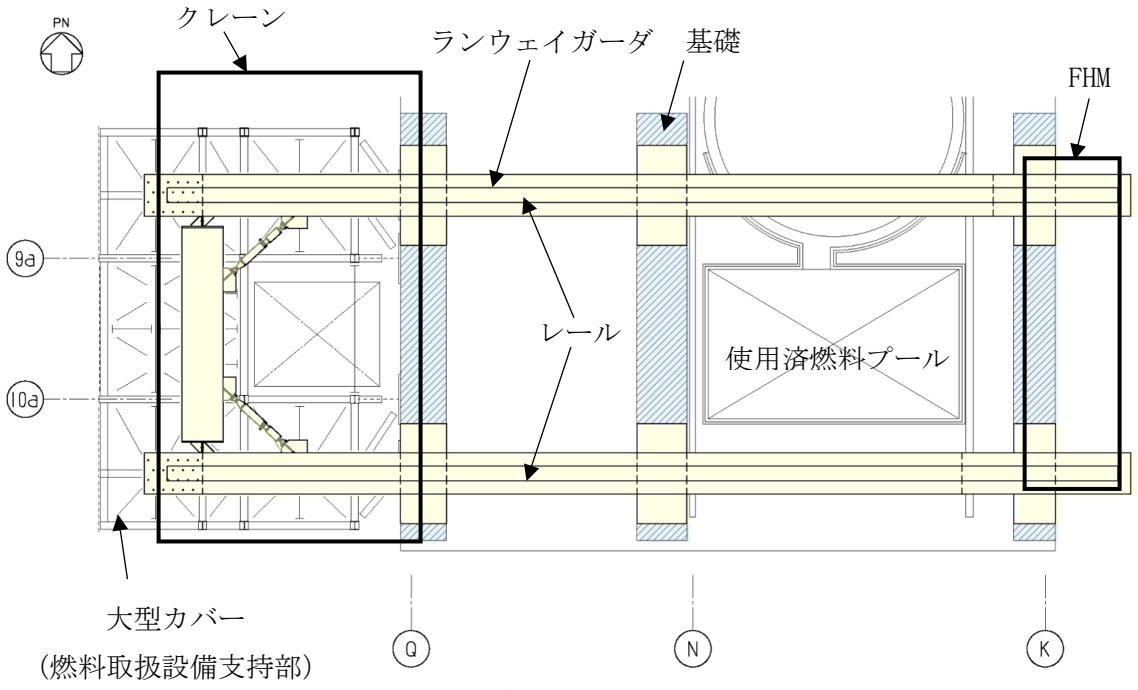


断面図（東西方向）

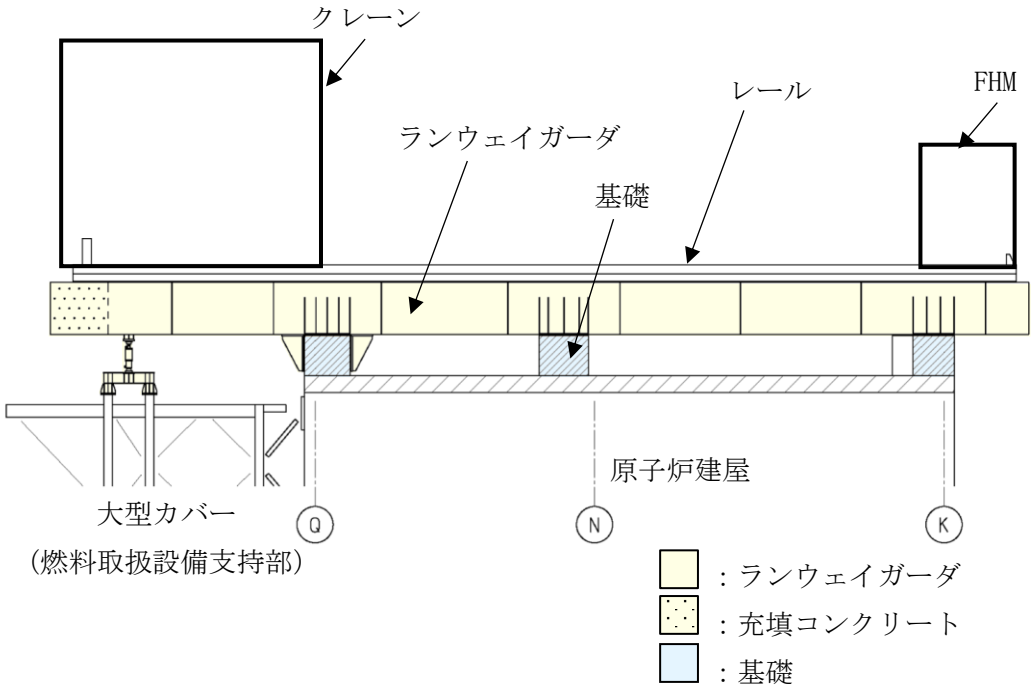


断面図（南北方向）

図 6.1.1-1(1)　ランウェイガーダのイメージ



平面図



立面図

図 6.1.1-1(2)　ランウェイガーダのイメージ

ランウェイガーダの検討は原則として下記の法規及び基規準類に準拠して行う。

(1) 建築基準法・同施行令及び関連告示
(2) 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会，改定版 2013 年）
(3) 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会，2018 年）
(4) 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（日本建築学会，2005 年）
(5) 2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書(国土交通省住宅局建築指導課・国土交通省国土技術政策総合研究所・独立行政法人建築研究所・日本建築行政会議，2015 年)
(6) 各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会，2010 年）
(7) 日本産業規格（JIS）

また，原子力施設の設計において参照される下記の指針及び規程を参考にして検討を行う。

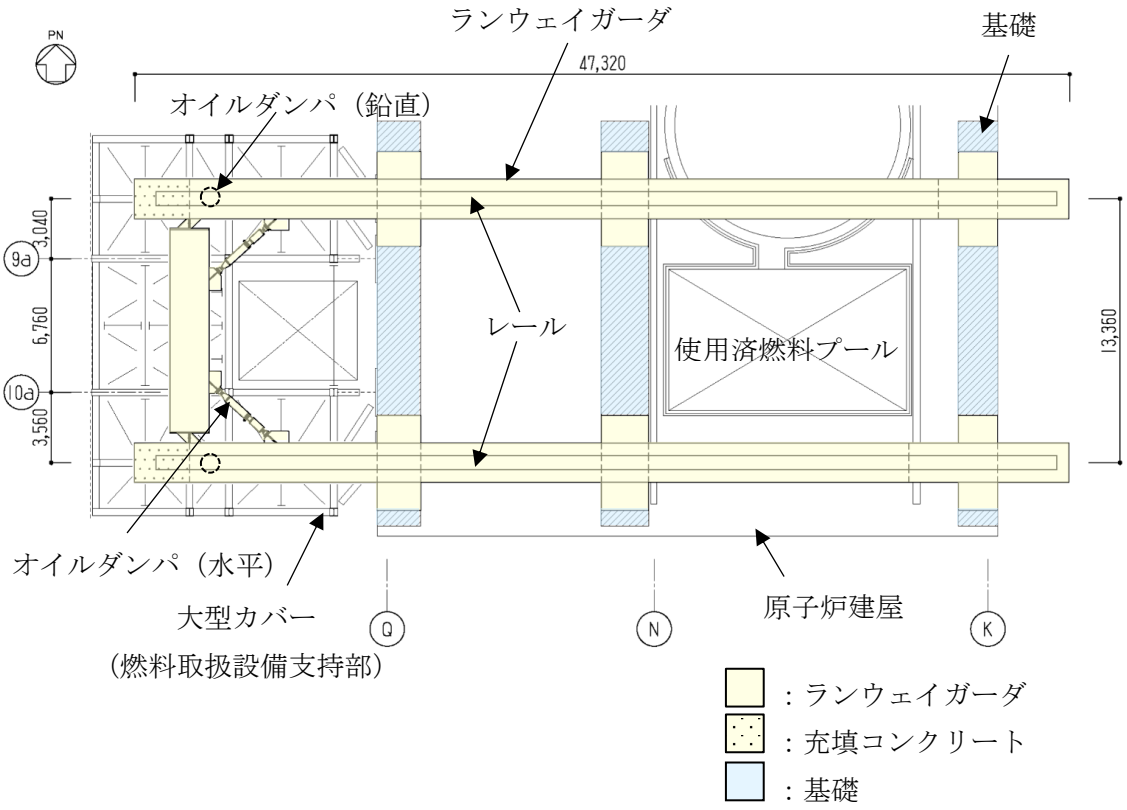
(8) 原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG 4601-1987)（日本電気協会　電気技術基準調査委員会，昭和 62 年)
(9) 原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG 4601-1991 追補版)（日本電気協会　電気技術基準調査委員会，平成 3 年)
(10) 原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC 4601-2015)（日本電気協会　原子力規格委員会　平成 27 年)

6.1.2 構造概要

ランウェイガーダは，東西方向 47.32m，南北方向 13.36m，高さ 4.50m の構造物で，構造形式は鋼製ボックス桁構造，構造種別は鉄骨造である。基礎は鉄筋コンクリート造である。

オペフロ上面は鉄筋コンクリート造のコンクリートスラブで全面を覆い，その上面に設けた高さ 1.95mの基礎にランウェイガーダを固定する。また，地震時の揺れを抑制するため，ランウェイガーダ西側はね出し部の水平方向及び鉛直方向にオイルダンパを設置するほか，先端にコンクリートを充填しランウェイガーダの周期を調整することで FHM 及びクレーンの固有周期帯の振幅を抑制する。オイルダンパ（鉛直）は大型カバーの燃料取扱設備支持部に設置される。

ランウェイガーダの概要図を図 6.1.2-1 及び図 6.1.2-2 に示す。



伏図（G.L.+34,200）

図 6.1.2-1　ランウェイガーダの概要図（単位：mm）

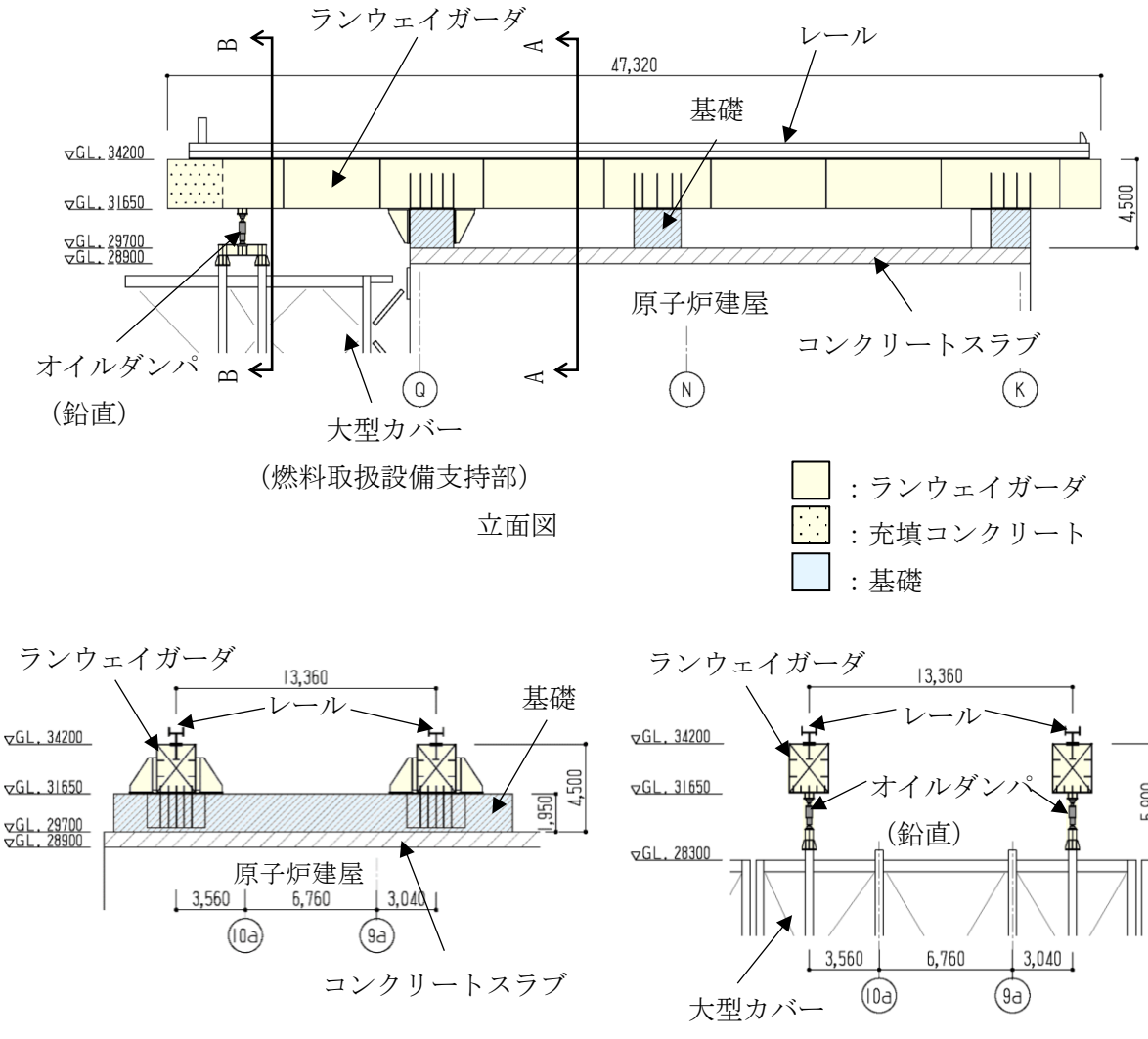


図 6.1.2-2　ランウェイガーダの概要図（単位：mm）

6.1.3 検討フロー

ランウェイガーダの構造強度及び耐震性の検討フローを図 6.1.3-1 に示す。

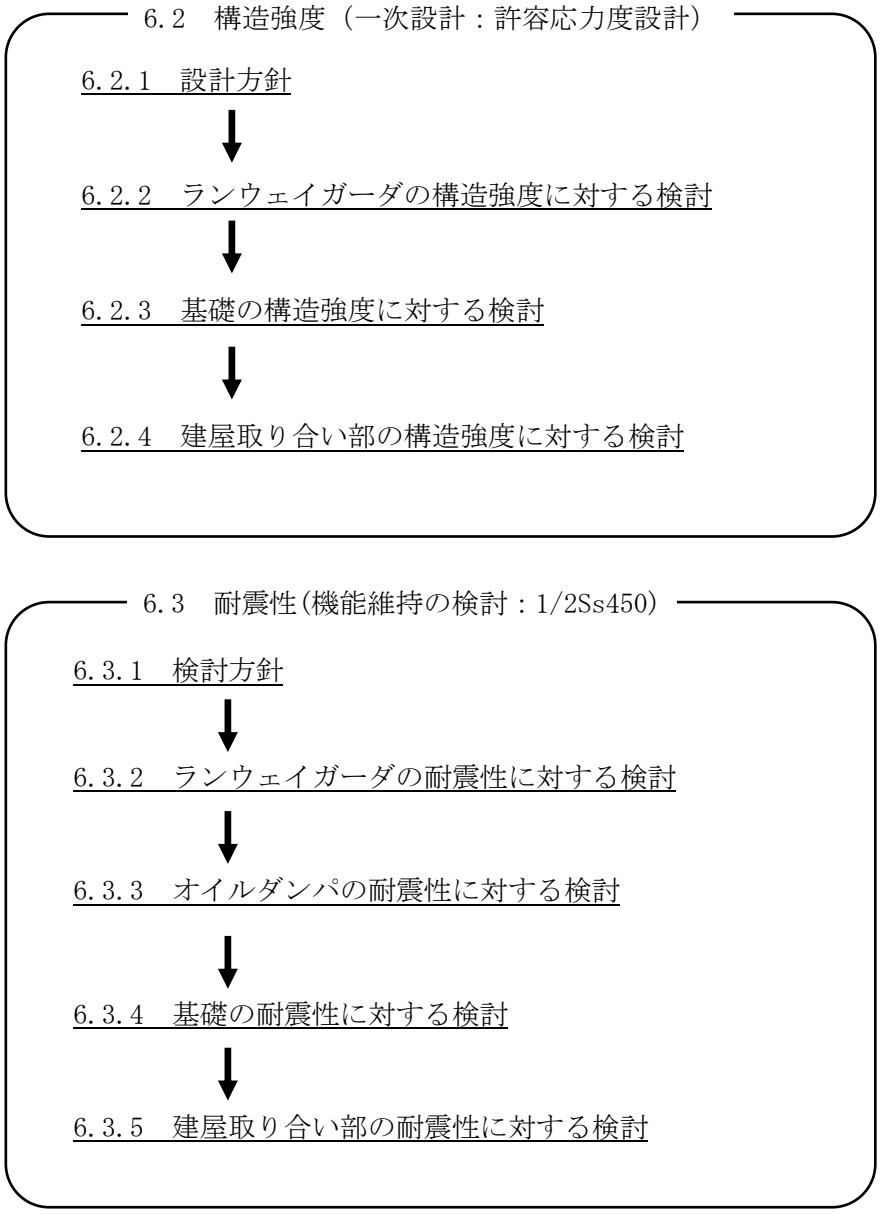


図 6.1.3-1(1) ランウェイガーダの検討フロー

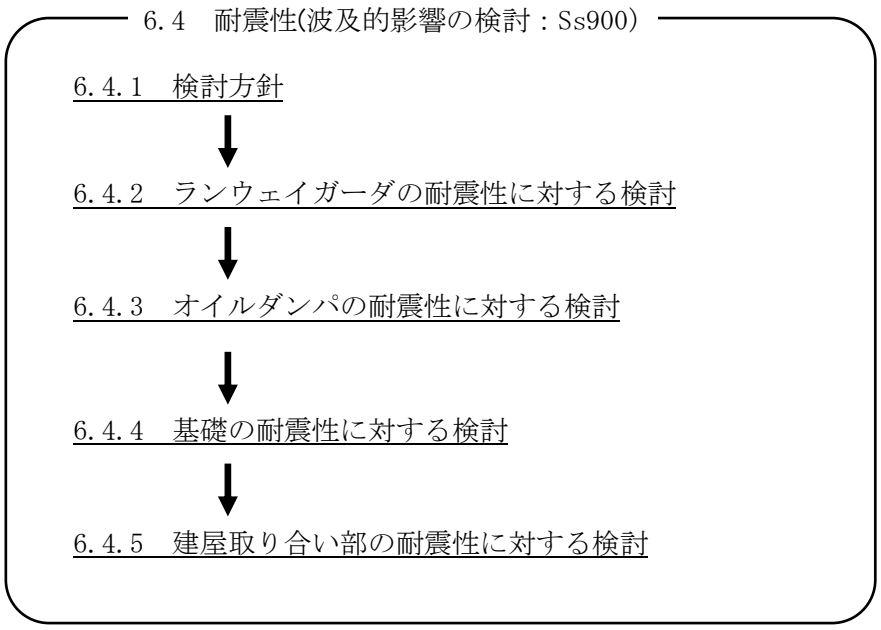


図 6.1.3-1(2)　ランウェイガーダの検討フロー

6.2　構造強度

6.2.1 設計方針

構造強度の検討は，ランウェイガーダ，基礎及び建屋取り合い部について許容応力度設計を実施する。

(1)　使用材料及び許容応力度

使用材料の物性値及び許容応力度を表 6.2.1-1 に示す。

表 6.2.1-1　使用材料の物性値及び許容応力度

材料定数

部位	材料	ヤング係数 E (N/mm^2)	ポアソン比 ν	単位体積重量 γ (kN/m^3)
ランウェイガーダ	鉄骨	2.05×10^5	0.3	77.0
基礎	コンクリート (Fc24)	2.27×10^4	0.2	24.0
コンクリート スラブ	コンクリート (Fc30)	2.44×10^4	0.2	24.0
原子炉建屋	コンクリート (Fc22.1)	2.57×10^4*	0.2	24.0

*：実強度に基づく剛性

コンクリートの許容応力度　(単位：N/mm^2)

設計基準強度	長期			短期		
	圧縮	引張	せん断	圧縮	引張	せん断
22.1 (225) *	7.4	－	0.71	14.8	－	1.07
24.0	8.0	－	0.73	16.0	－	1.10
30.0	10.0	－	0.79	20.0	－	1.19

*：建設時の設計基準強度（単位：kgf/cm^2）

鉄筋の許容応力度　(単位：N/mm^2)

記号	鉄筋径	長期		短期	
		引張及び圧縮	せん断補強	引張及び圧縮	せん断補強
SD345	D29 未満	215	195	345	345
	D29 以上	195			

構造用鋼材の許容応力度　(単位：N/mm^2)

板厚	材料	基準強度 F	許容応力度*2
T≦40mm	SN490B	325	建築基準法及び国土交通省告示に従い，左記 F の値より求める
T＞40mm	TMCP325B, TMCP325C	325*1	

*1：国土交通大臣指定書（国住指第 326-2，平成 14 年 5 月 7 日又は国住指第 1208-2, 1209-2，平成 15 年 7 月 31 日）による

*2：終局強度は許容応力度を 1.1 倍とする

(2)　解析モデル

構造強度の検討ではランウェイガーダを線材でモデル化し，基礎位置をピン境界とする。解析モデルを図 6.2.1-1 に示す。

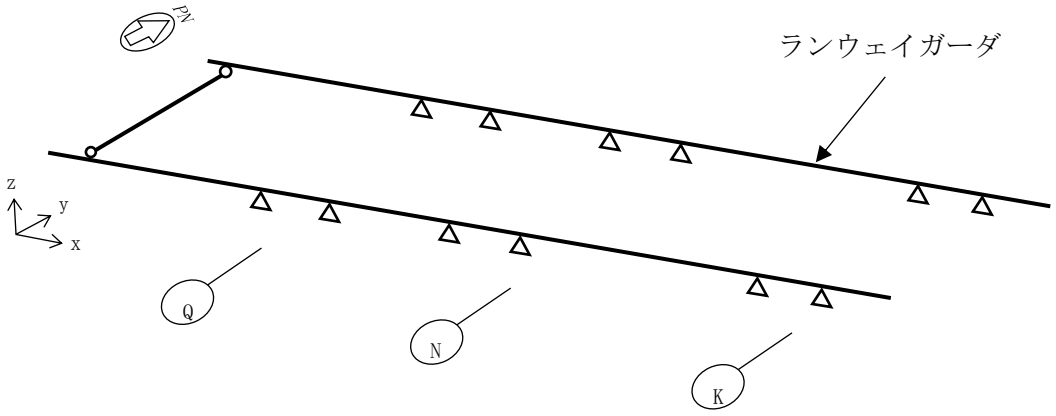


図 6.2.1-1　解析モデル

(3)　荷重及び荷重組合せ

設計で考慮する荷重を以下に示す。なお，ランウェイガーダは大型カバー内に設置されるため，積雪荷重及び風荷重は考慮しない。

1)　鉛直荷重（VL）

ランウェイガーダに作用する鉛直方向の荷重で，固定荷重，機器荷重（配管荷重及び積載荷重含む）とする。主な鉛直荷重を表 6.2.1-2 に示す。

表 6.2.1-2　ランウェイガーダに作用する鉛直荷重(kN)

固定荷重	6310
機器荷重	5890

2)　地震荷重（K）

ランウェイガーダ静的地震荷重は，大型カバー設計用に設定した G.L.＋0.20m（原子炉建屋 1 階床）を基準面とした燃料取り出し時のオペフロ床レベルの水平震度により設定する。添付 4-2　5.「1 号機燃料取り出し用カバー（大型カバー）の構造強度及び耐震性について」を参照し，ランウェイガーダが設置されるオペフロレベル（G.L.+28,900mm）の水平震度（1.5Ci）ki=0.220 を採用する。水平地震力は下式より算定する。

$$Qi = ki \cdot Wi$$

ここで，

Qi：層せん断力（kN）

ki：水平震度（ki=0.220）

Wi：当該部分が支える重量（kN）

3) 荷重組合せ

ランウェイガーダの設計で考慮する荷重組合せ及び許容応力度を表 6.2.1-3 に示す。作業内容によりクレーン及び FHM の位置が異なる。作業内容に応じた燃料取扱設備位置を表 6.2.1-4 及び図 6.2.1-2 に示す。

表 6.2.1-3 ランウェイガーダ荷重組合せ

想定する状態	荷重組合せ内容	許容応力度
常時	VL	長期
地震時 (1.5Ci)	VL+K	短期

表 6.2.1-4 燃料取扱設備位置の詳細

燃料取扱設備位置	作業内容	配置パターン			
		クレーン		FHM	
		燃料取扱設備支持部	SFP 側	SFP 中央	SFP 端部
CASE1	大型カバーへのキャスク搬入出（クレーン単独）	○			○
CASE2	SFP でのキャスク取扱時（クレーン単独）		○		○
CASE3	燃料取扱作業 (FHM 単独)	○		○	
CASE4-①	燃料取扱作業 （クレーン／FHM 共用）		○	○	
CASE4-②			○		○

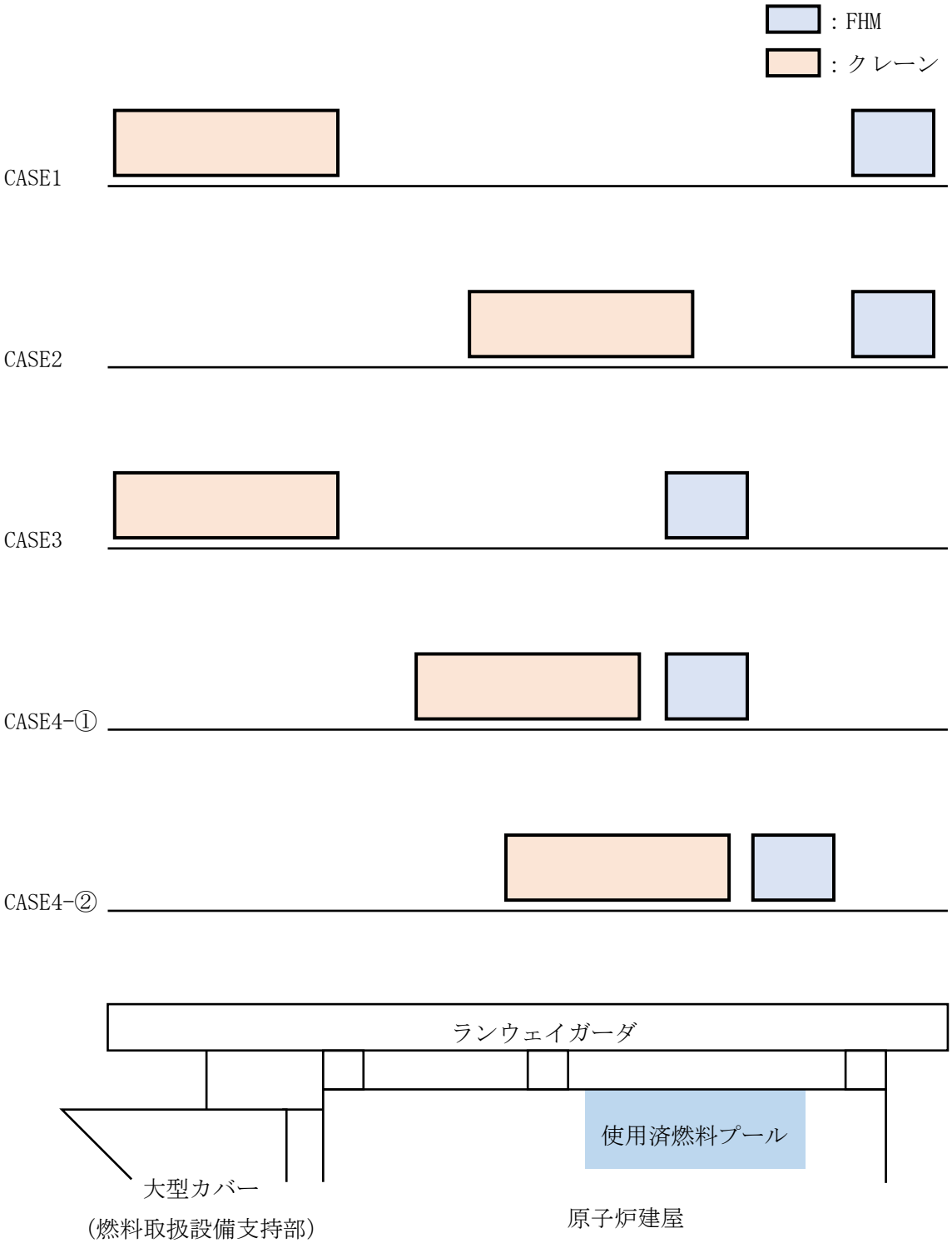


図 6.2.1-2　燃料取扱設備の位置

6.2.2 ランウェイガーダの構造強度に対する検討

(1) 燃料取扱設備の荷重作用位置

ランウェイガーダの設計で考慮する燃料取扱設備の荷重作用位置のうち，代表例として燃料取扱設備位置 CASE1 の荷重作用位置を図 6.2.2-1 に示す。クレーン及び燃料取扱機の車輪や脱線防止ラグからの反力は，レール及びレール受けを介してランウェイガーダに作用する。

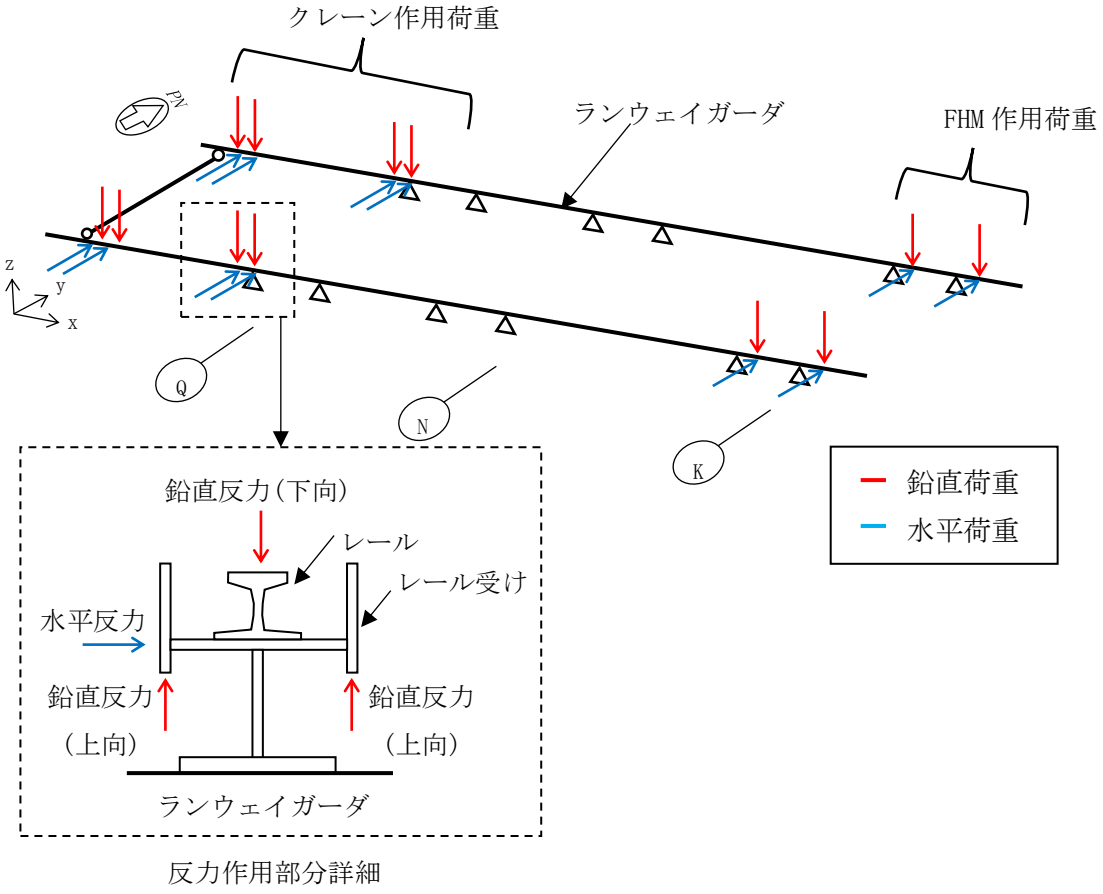
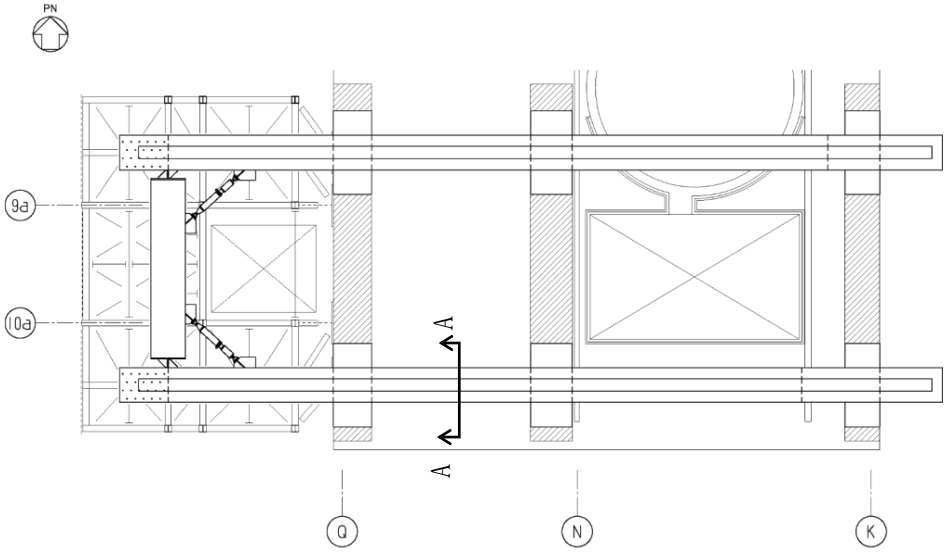


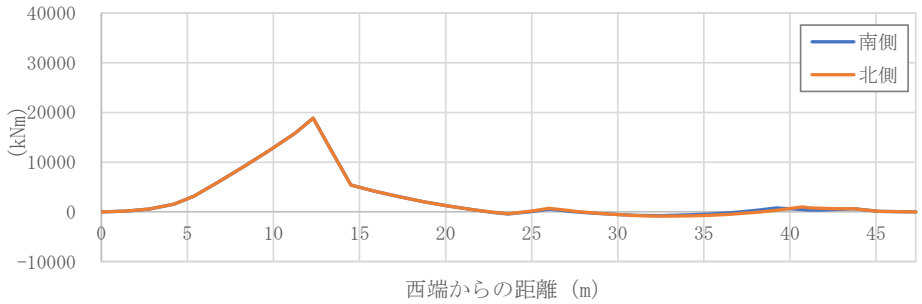
図 6.2.2-1 ランウェイガーダの解析モデルと燃料取扱設備の荷重作用位置

(2) 応力解析結果

代表例として燃料取扱設備位置 CASE1 の応力解析結果を図 6.2.2-2 及び図 6.2.2-3 に示す。西側端部がはね出しになっているため，Q 通りの基礎部分に応力が集中している。

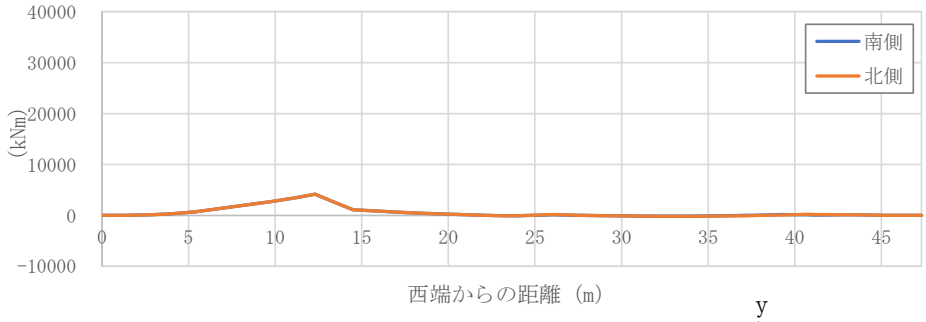


x軸回り曲げモーメント

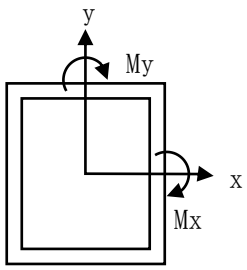


西端からの距離（m）

y 軸回り曲げモーメント

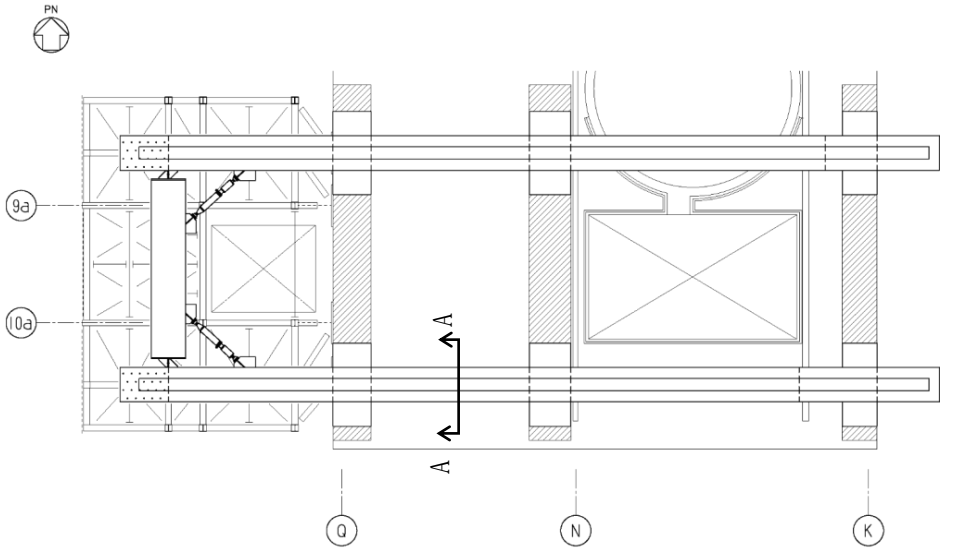


西端からの距離（m）

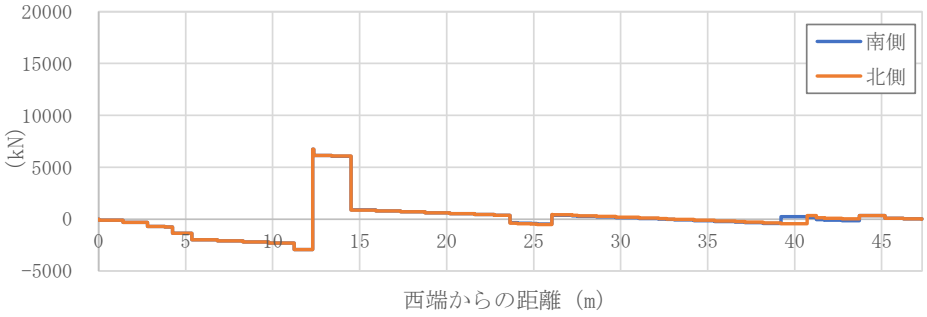


A-A 断面

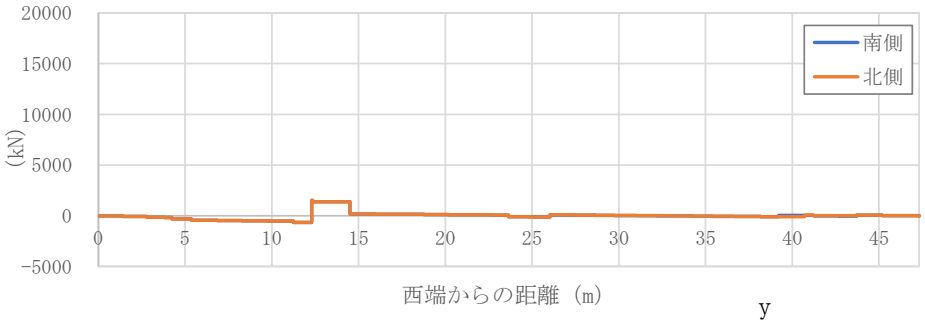
図 6.2.2-2 ランウェイガーダの応力図（曲げモーメント）
（地震時(1.5Ci)）

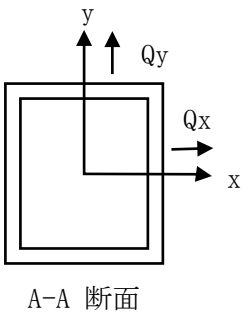


y 軸方向せん断力



x軸方向せん断力





A-A 断面

図 6.2.2-3 ランウェイガーダの応力図（せん断力）
（地震時(1.5Ci)）

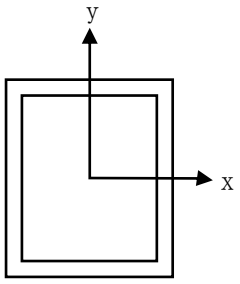
(3)　断面検討

検定比の検討は，「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」に従い，下式にて検討を行う。

軸方向力＋曲げモーメント

$$\frac{\sigma_c}{f_c}+\frac{\sigma_{bx}}{f_b}+\frac{\sigma_{by}}{f_b}\leqq 1$$

$$\frac{\sigma_t+\sigma_{bx}+\sigma_{by}}{f_t}\leqq 1$$



せん断力

$$\frac{\tau_y}{f_s}\leqq 1$$

$$\frac{\tau_x}{f_s}\leqq 1$$

組合せ応力の場合

$$\sqrt{\frac{(\sigma_{bx}+\sigma_{by}+\sigma)^2+3{\tau_y}^2}{{f_t}^2}}\leqq 1$$

$$\sqrt{\frac{(\sigma_{bx}+\sigma_{by}+\sigma)^2+3{\tau_x}^2}{{f_t}^2}}\leqq 1$$

ここで，σ_c　：軸方向圧縮応力度（N/A）（N/mm^2）

σ_t　：軸方向引張応力度（N/A）（N/mm^2）

σ　：σ_cとσ_tのうち大きい方の値

N：軸力(N)

A：軸方向断面積(mm^2)

τ_x　：x 方向せん断応力度（Qx/Asx）（N/mm^2）

τ_y　：y 方向せん断応力度（Qy/Asy）（N/mm^2）

Qx：x 方向せん断力(N)

Qy：y 方向せん断力(N)

Asx：x 方向せん断断面積(mm^2)

Asy：y 方向せん断断面積(mm^2)

σ_{bx}　：x 軸回り曲げ応力度（Mx/Zx）（N/mm^2）

σ_{by}　：y 軸回り曲げ応力度（My/Zy）（N/mm^2）

Mx：x 軸回り曲げモーメント(N･mm)

My：y 軸回り曲げモーメント(N･mm)

Zx：x 軸回り断面係数(mm^3)

Zy：y 軸回り断面係数(mm^3)

f_t　：許容引張応力度(N/mm^2)

f_c　：許容圧縮応力度(N/mm^2)

f_b　：許容曲げ応力度(N/mm^2)

f_s　：許容せん断応力度(N/mm^2)

表 6.2.2-1 及び表 6.2.2-2 に検定比が最大となる部位の断面検討結果を示す。
断面検討の結果，全ての部材に対する検定比が 1 以下になることを確認した。

表 6.2.2-1　断面検討結果（常時）

部材形状（mm） 〈使用材料〉	燃料取扱 設備位置	作用 応力度 (N/mm²)		許容 応力度 (N/mm²)		検定比	判定
□-2500×2000×25×25 〈SN490B〉	CASE1	σ_{bx}	109.7	f_t	216.6	0.54	O.K.
		σ_{by}	—				
		τ_y	24.0				

表 6.2.2-2　断面検討結果（地震時(1.5Ci)）

部材形状（mm） 〈使用材料〉	燃料取扱 設備位置	作用 応力度 (N/mm²)		許容 応力度 (N/mm²)		検定比	判定
□-2500×2000×25×25 〈SN490B〉	CASE1	σ_{bx}	109.7	f_t	325.0	0.44	O.K.
		σ_{by}	27.2				
		τ_y	24.0				

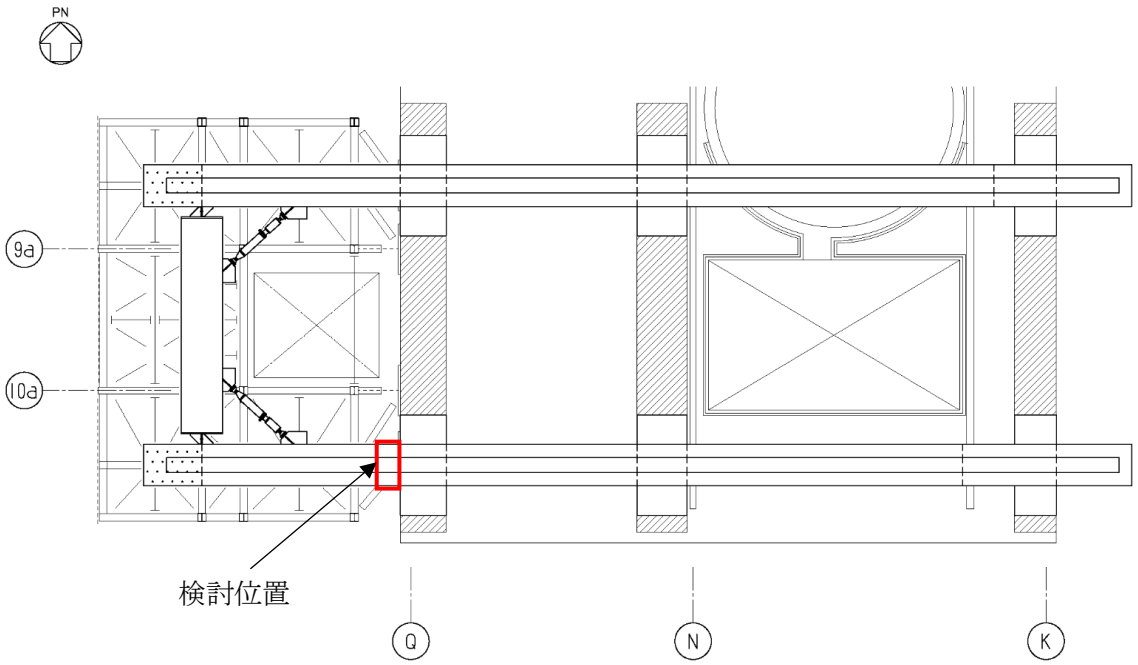


図 6.2.2-4　検討位置

6.2.3　基礎の構造強度に対する検討

地震時（1.5Ci）の基礎反力は，表 6.2.3-1 に示すように 1/2Ss450 に比べ小さい。また，地震時（1.5Ci）に対する検討は 1/2Ss450 に対する検討と同じ許容値（短期許容応力度）としていることより，ここでは検討を省略する。

表 6.2.3-1　基礎反力

方向	位　置		基礎反力(kN)			
			常時	地震時(1.5Ci)	1/2Ss450 地震時*	
鉛直	Q 通り	北側	4,584	4,584	最大	7,474
					最小	448
		南側	4,590	4,590	最大	7,466
					最小	436
水平 (NS 方向)		北側	－	1,001	4,451	
		南側	－	1,002	4,454	
水平 (EW 方向)		北側	－	871	3,148	
		南側	－	871	3,190	

＊：表 6.3.4-1 の値を参照

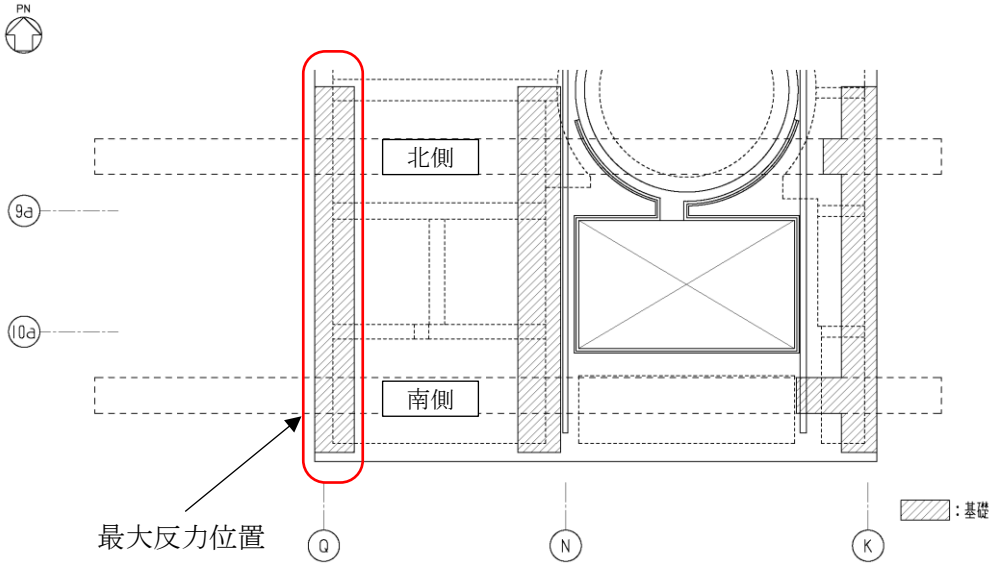


図 6.2.3-1　最大反力位置

6.2.4 建屋取り合い部の構造強度に対する検討

基礎から原子炉建屋取り合い部に作用する反力に対し，下式にて支圧検討を行う。

図 6.2.4-1 に建屋取り合い部概要図を示す。

$$\frac{\sigma_c}{f_c} \leqq 1$$

ここで,

σ_c ：支圧応力度 (N/A) (N/mm^2)

N：支圧力(N)，A：支圧面積（梁幅×基礎有効長さ） (mm^2)

f_c ：許容応力度(N/mm2)

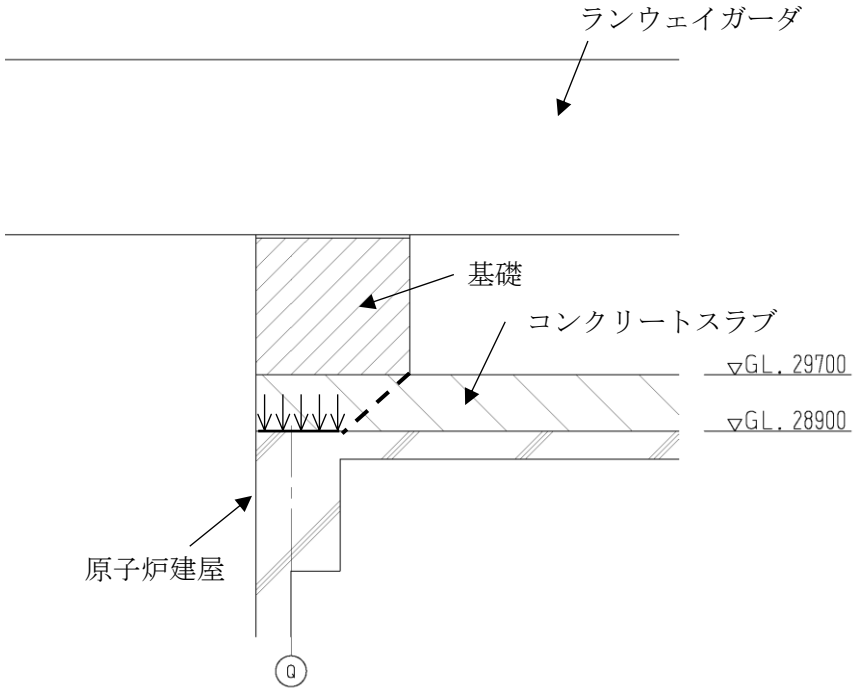


図 6.2.4-1 建屋取り合い部概要図

表 6.2.4-1 に検定比が最大となる部位の検討結果を示す。なお，本書では基礎から伝達される反力を受ける部位のうち，許容応力度の最も低い原子炉建屋（Fc22.1）の評価結果を記載する。

検討の結果，原子炉建屋の検定比は 1 以下になることを確認した。

表 6.2.4-1　建屋取り合い部の検討結果（常時）

燃料取扱設備位置	部位	支圧力* (kN)	原子炉建屋支圧面積 (m^2)	支圧応力度 (N/mm^2)	許容応力度 (N/mm^2)	検定比	判定
CASE1	Q 通り北側基礎	5682	7.84	0.8	7.4	0.11	O.K.

*：支圧力=4584[基礎反力]+270[リブ重量]+828[基礎重量]=5682

6.3　耐震性（機能維持の検討：1/2Ss450）

6.3.1 検討方針

耐震性の検討は，ランウェイガーダ，オイルダンパ，基礎及び建屋取り合い部の健全性について行い，1/2Ss450 に対して，これらの応答性状を適切に表現できる地震応答解析により評価する。なお，地震応答解析は水平 2 方向及び鉛直方向の 3 方向の地震動を同時に入力する。

ランウェイガーダから大型カバーの燃料取扱設備支持部へ生じる反力は，実施計画Ⅱ.2.11　添付 4-2 5.「1 号機燃料取り出し用カバー（大型カバー）の構造強度及び耐震性について」の評価で想定反力を加味し評価済みである。

(1)　解析に用いる入力地震動

地震応答解析に用いる入力地震動の概念図を図 6.3.1-1 に示す。モデルに入力する地震動は一次元波動論に基づき，解放基盤表面で定義される地震動 1/2Ss450 に対する地盤の応答として評価する。解放基盤表面位置（G.L.-206.0m（震災前 O.P.-196.0m））における地震動 1/2Ss450-1 及び 1/2Ss450-2 の加速度時刻歴波形を図 6.3.1-2～図 6.3.1-4 に示す。

ここで用いる入力地震動は，Ⅱ.2.11　添付 4-2 5.「1 号機燃料取り出し用カバー（大型カバー）の構造強度及び耐震性について」と同一である。

地震波の入力方向は下記のように表し，3 方向の組合せを表現する。

+NS：建屋北側から南側方向への地震入力

-NS：建屋南側から北側方向への地震入力

+EW：建屋東側から西側方向への地震入力

-EW：建屋西側から東側方向への地震入力

+UD：建屋上側から下側方向への地震入力

-UD：建屋下側から上側方向への地震入力

(2)　解析ケース

解析ケースは，1/2Ss450-1，1/2Ss450-2 の各地震動において，表 2.1-4 に示す燃料取扱設備の全位置と正負を考慮した地震波 3 方向入力の組合せとする。

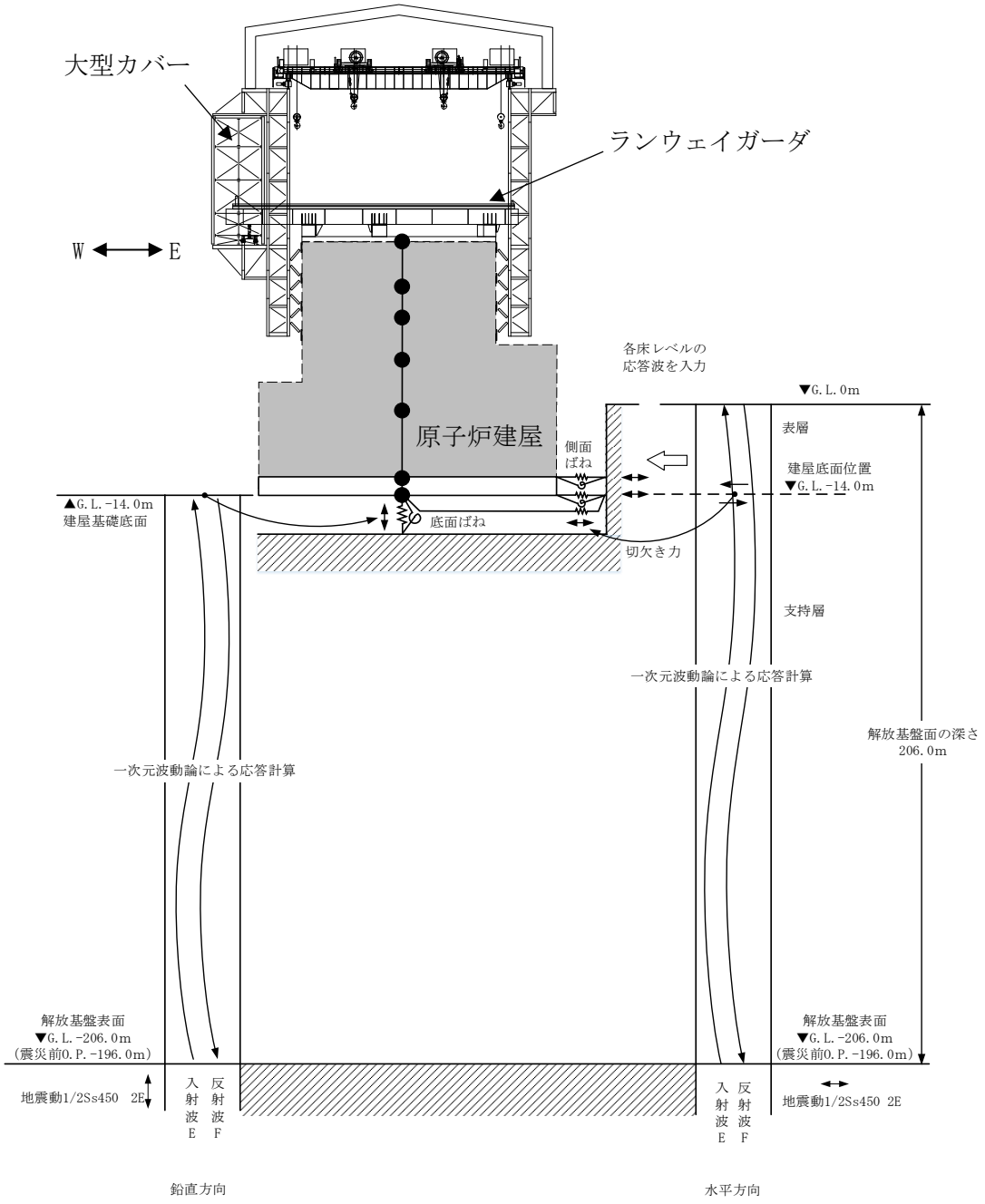
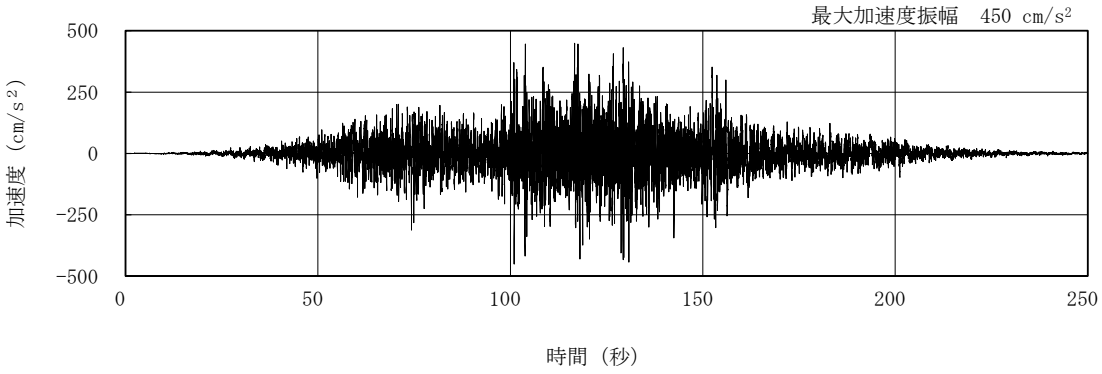
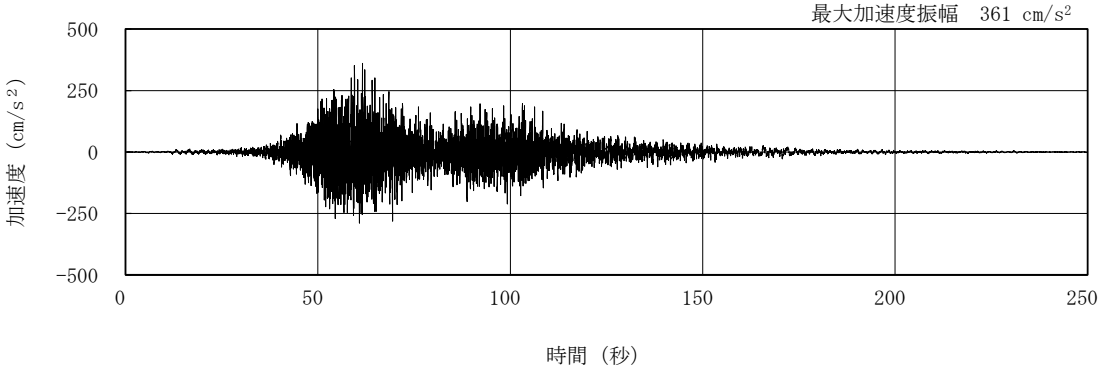


図 6.3.1-1　地震応答解析に用いる入力地震動の概念図

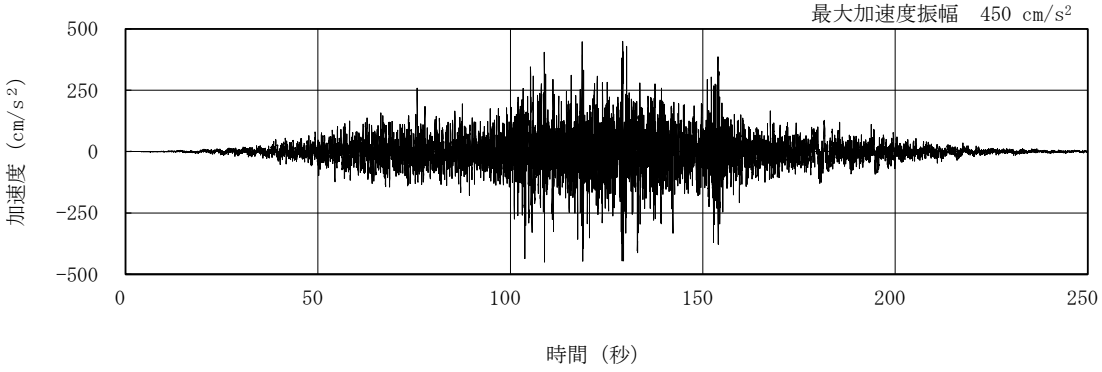


(1/2Ss450-1 NS 方向)

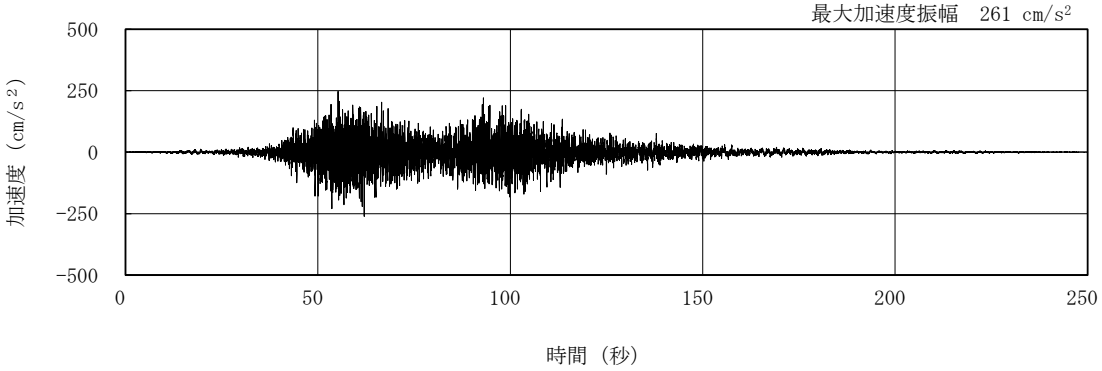


(1/2Ss450-2 NS 方向)

図 6.3.1-2　解放基盤表面における地震動の加速度時刻歴波形
(NS 方向)

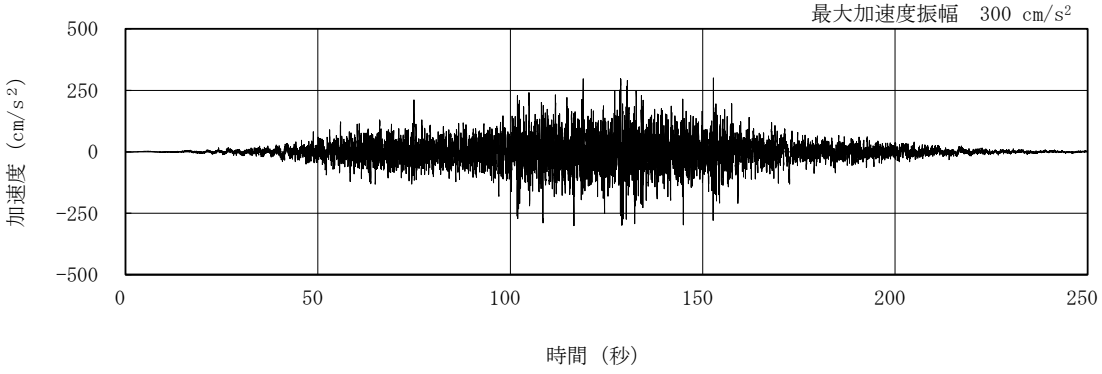


(1/2Ss450-1 EW 方向)

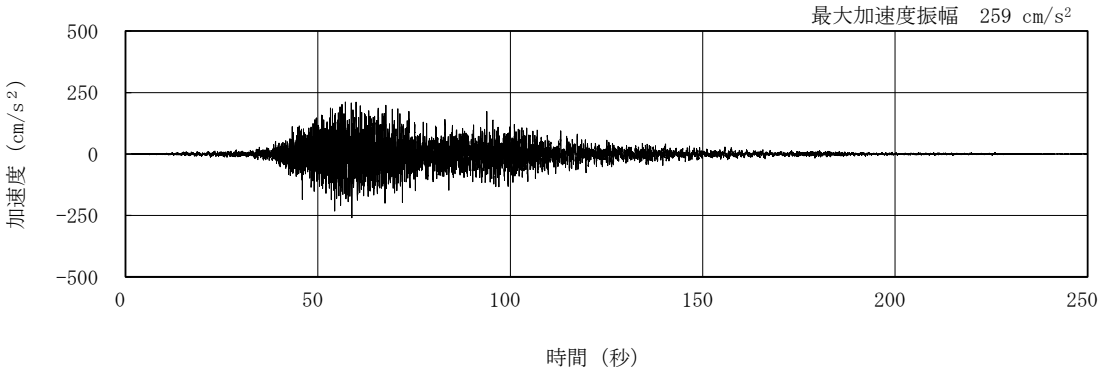


(1/2Ss450-2 EW 方向)

図 6.3.1-3　解放基盤表面における地震動の加速度時刻歴波形
(EW 方向)



（1/2Ss450-1 UD 方向）



（1/2Ss450-2 UD 方向）

図 6.3.1-4　解放基盤表面における地震動の加速度時刻歴波形
（鉛直方向）

(3)　地震応答解析モデル

解析モデルを図 6.3.1-6 に示す。地震応答解析モデルは，曲げ，せん断剛性及び軸剛性を考慮した原子炉建屋の質点系モデルの質点に，立体架構でモデル化した大型カバー（Ⅱ.2.11　添付 4-2 5.「1 号機燃料取り出し用カバー（大型カバー）の構造強度及び耐震性について」と同じモデル），ランウェイガーダを接続し，地盤との相互作用を考慮した建屋－地盤連成系モデルとする。なお，原子炉建屋の質点は炉心位置にモデル化する。ランウェイガーダは弾性部材とする。ランウェイガーダ西側のはね出し部及びランウェイガーダと燃料取扱設備支持部間に設置するオイルダンパは，減衰要素とばね要素を直列に結合したモデルとする。ランウェイガーダとオペフロ建屋質点との間にはランウェイガーダ基礎を剛ばねでモデル化し，ランウェイガーダ基礎とオペフロ建屋質点は剛要素で結合している。オイルダンパのモデル化を図 6.3.1-7 に示す。また，原子炉建屋の質点系モデルは，軸方向は弾性とし，曲げとせん断に「JEAG4601-1991 追補版」に示されている非線形特性を考慮する。

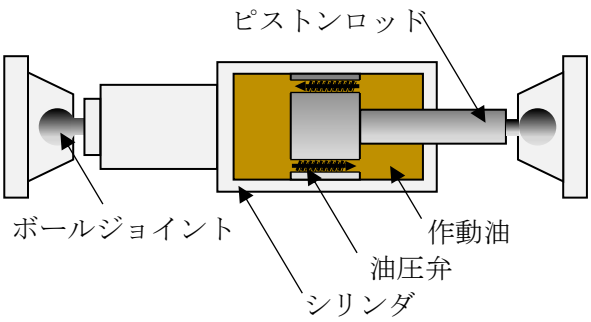
オイルダンパの概念図及び写真を図 6.3.1-5 に，物性値及び許容値を表 6.3.1-1，使用実績を表 6.3.1-2 に示す。原子炉建屋の諸元※1 は表 6.3.1-3 に示す諸元とする。

原子炉建屋の地盤定数※2 は，「福島第一原子力発電所『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 中間報告書」（東京電力株式会社，平成 20 年 3 月 31 日）と同様とし，その結果を表 3.1-4 に示す。

原子炉建屋の地盤ばね※2 は，「JEAG4601-1991 追補版」に示されている手法を参考にして，底面地盤を成層補正し振動アドミッタンス理論によりスウェイ及びロッキングばねを，側面地盤を Novak の方法により建屋側面ばねとして評価する。NS 方向，EW 方向，UD 方向の 3 方向全ての地盤ばねが取り付いた解析モデルを用いる。

※1　Ⅱ.2.11　添付 4-2 5.「1 号機燃料取り出し用カバー（大型カバー）の構造強度及び耐震性について」で用いた原子炉建屋の地震応答解析モデルの諸元からランウェイガーダの重量を除いている

※2　Ⅱ.2.11　添付 4-2 5.「1 号機燃料取り出し用カバー（大型カバー）の構造強度及び耐震性について」で用いた原子炉建屋の地盤定数，地盤バネと同一



2 号機燃料取り出し用構台(参考)
オイルダンパ（水平）

図 6.3.1-5 オイルダンパの概念図と実物写真

表 6.3.1-1(1)　オイルダンパ（水平）の物性値及び許容値

オイルダンパ（水平）	最大減衰力*1 (kN)	最大速度*1 (mm/s)	減衰係数 Ae*1*2 (kN/(mm/s)^2)	剛性*1 (kN/mm)	ストローク*1 (mm)
	1823	270	0.025	315	±100

*1：設計値
*2：減衰力 $F=Ae\times V^2$
V:速度

表 6.3.1-1(2)　オイルダンパ（鉛直）の物性値及び許容値

オイルダンパ（鉛直）	最大減衰力*1 (kN)	最大速度*1 (mm/s)	減衰係数 Ae*1*2 (kN/(mm/s)^2)	剛性*1 (kN/mm)	ストローク*1 (mm)
	1817	348	0.015	315	±100

*1：設計値
*2：減衰力 $F=Ae\times V^2$
V:速度

表 6.3.1-2　オイルダンパの使用実績

発電所	対象設備	オイルダンパ種類
福島第一原子力発電所	2 号機 燃料取り出し用構台	ばね付きオイルダンパ（鉛直） オイルダンパ（水平） オイルダンパ（鉛直）
	3 号機 燃料取り出し用カバー	ばね付きオイルダンパ（鉛直）
柏崎刈羽原子力発電所	6 号機 排気筒	オイルダンパ（水平）
	7 号機 排気筒	オイルダンパ（水平）

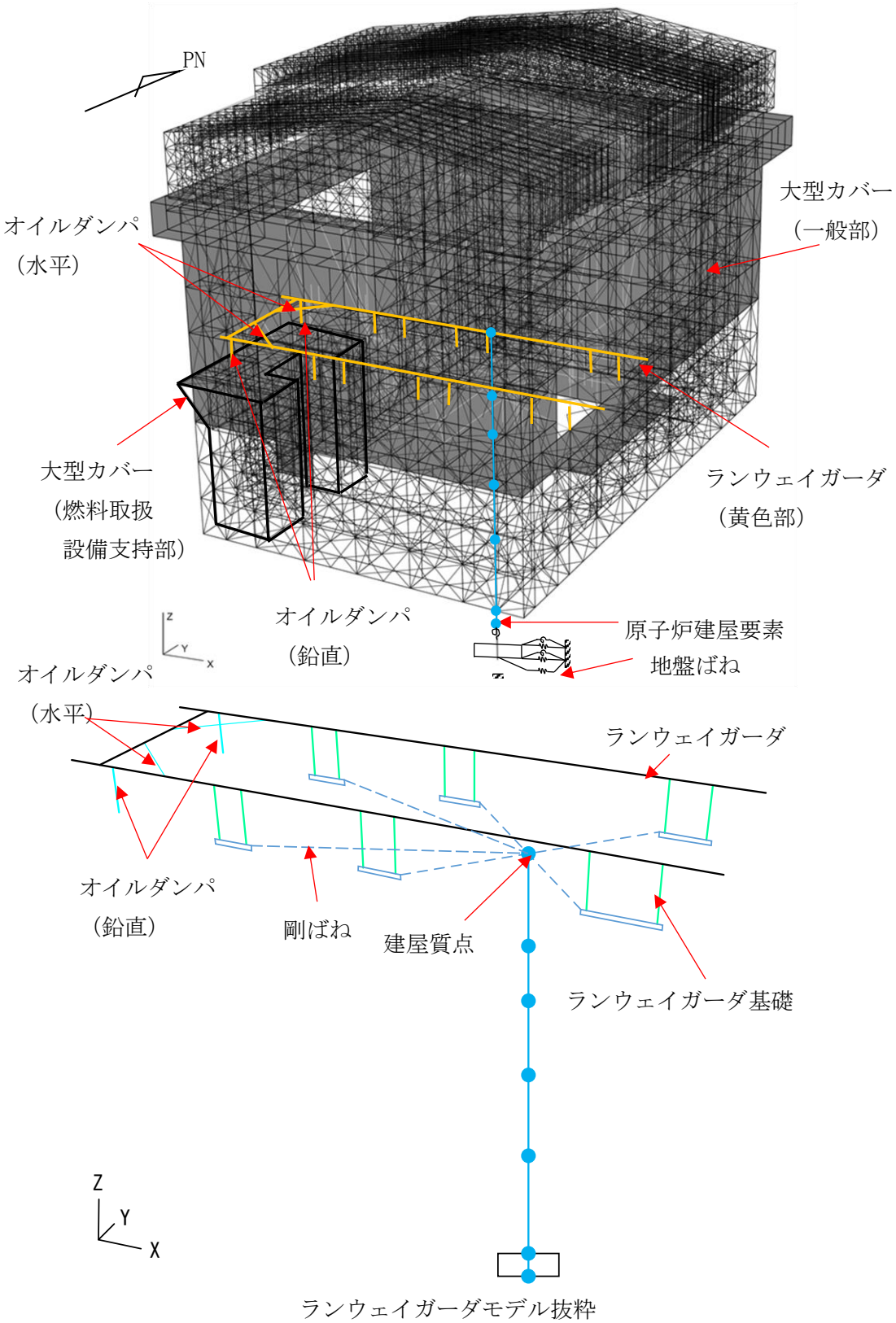

PN
大型カバー
（一般部）
オイルダンパ
（水平）
大型カバー
（燃料取扱
設備支持部）
ランウェイガーダ
（黄色部）
オイルダンパ
（鉛直）
原子炉建屋要素
地盤ばね
オイルダンパ
（水平）
ランウェイガーダ
オイルダンパ
（鉛直）
剛ばね
建屋質点
ランウェイガーダ基礎
Z
Y
X
ランウェイガーダモデル抜粋

図 6.3.1-6　解析モデル

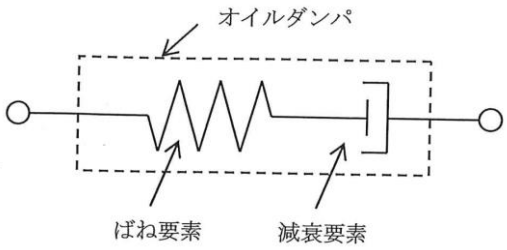


図 6.3.1-7　オイルダンパのモデル化

表 6.3.1-3(1)　原子炉建屋の地震応答解析モデルの諸元

水平（NS）方向

G.L.(m)	質点重量* W (kN)	回転慣性重量 I_G (×10^5 kN･m^2)	せん断断面積 As (m^2)	断面二次モーメント I (m^4)
+28.90	97133	139.73		
			135.0	16012
+21.00	74580	107.37		
			160.8	21727
+15.90	79630	114.58		
			132.8	24274
+8.70	87730	126.29		
			155.6	36481
+0.20	163140	234.80		
			294.0	52858
-11.23	185210	266.64		
			1914.3	275530
-14.00	62400	89.83		
合計	749823	ヤング係数 Ec	2.57×10^7(kN/m^2)	
		せん断弾性係数 G	1.07×10^7(kN/m^2)	
		ポアソン比 ν	0.20	
		減衰 h	5%	

*:「Ⅱ.2.6　滞留水を貯留している（滞留している場合を含む）建屋　添付資料－２　構造強度及び耐震性（地下滞留水を考慮した建屋の耐震安全評価）」において用いた各階重量にガレキ撤去等による重量増減を考慮した数値

表 6.3.1-3(2)　原子炉建屋の地震応答解析モデルの諸元

水平（EW）方向

G.L.(m)	質点重量* W (kN)	回転慣性重量 I_G (×10^5 kN･m^2)	せん断断面積 As (m^2)	断面二次モーメント I (m^4)
+28.90	97133	79.98		
			102.7	9702
+21.00	74580	61.39		
			163.9	13576
+15.90	79630	65.53		
			131.6	14559
+8.70	87730	126.29		
			197.8	36427
+0.20	163140	234.80		
			294.0	52858
-11.23	185210	327.39		
			1914.3	338428
-14.00	62400	110.32		
合計	749823	ヤング係数 Ec	2.57×10^7(kN/m^2)	
		せん断弾性係数 G	1.07×10^7(kN/m^2)	
		ポアソン比 ν	0.20	
		減衰 h	5%	

*:「Ⅱ.2.6　滞留水を貯留している（滞留している場合を含む）建屋　添付資料－２　構造強度及び耐震性（地下滞留水を考慮した建屋の耐震安全評価）」において用いた各階重量にガレキ撤去等による重量増減を考慮した数値

表 6.3.1-3(3)　原子炉建屋の地震応答解析モデルの諸元

鉛直方向

G.L.(m)	質点重量* W (kN)	軸断面積 A_N (m^2)	軸ばね剛性 K_A ($\times 10^8$ kN/m)
+28.90	97133		
		151.1	4.92
+21.00	74580		
		205.0	10.33
+15.90	79630		
		221.7	7.91
+8.70	87730		
		301.0	9.10
+0.20	163140		
		495.7	11.15
-11.23	185210		
		1914.3	177.61
-14.00	62400		
合計	749823		

ヤング係数 Ec	2.57×10^7 (kN/m^2)
せん断弾性係数 G	1.07×10^7 (kN/m^2)
ポアソン比 ν	0.20
減衰 h	5%

*:「Ⅱ.2.6　滞留水を貯留している（滞留している場合を含む）建屋　添付資料－２　構造強度及び耐震性（地下滞留水を考慮した建屋の耐震安全評価）」において用いた各階重量にガレキ撤去等による重量増減を考慮した数値

表 6.3.1-4(1)　地盤定数の設定結果

1/2Ss450-1

G.L. (m)	地質	せん断波速度 Vs (m/s)	単位体積重量 γ (kN/m^3)	ポアソン比 ν	せん断弾性係数 G (×10^{5}kN/m^2)	初期せん断弾性係数 G_0 (×10^{5}kN/m^2)	剛性低下率 G/G_0	ヤング係数 E (×10^{5}kN/m^2)	減衰定数 h (%)	層厚 H (m)
0.0										
	砂岩	380	17.8	0.473	2.23	2.62	0.85	6.57	3	8.1
-8.1		450	16.5	0.464	2.73	3.41	0.80	7.99	3	11.9
-20.0		500	17.1	0.455	3.49	4.36	0.80	10.16	3	70.0
-90.0	泥岩	560	17.6	0.446	4.50	5.63	0.80	13.01	3	28.0
-118.0		600	17.8	0.442	5.22	6.53	0.80	15.05	3	88.0
-206.0	(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-

表 6.3.1-4(2)　地盤定数の設定結果

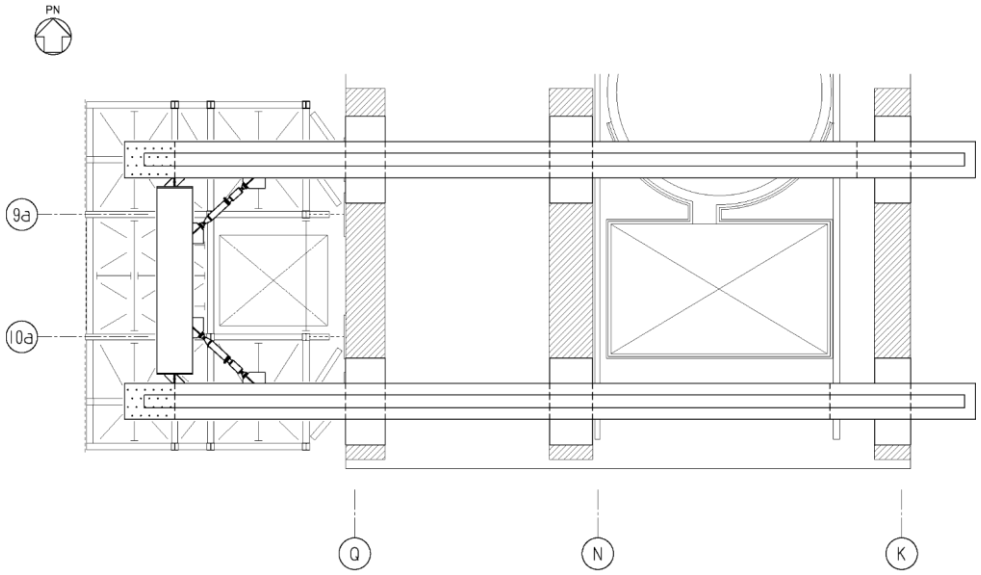
1/2Ss450-2

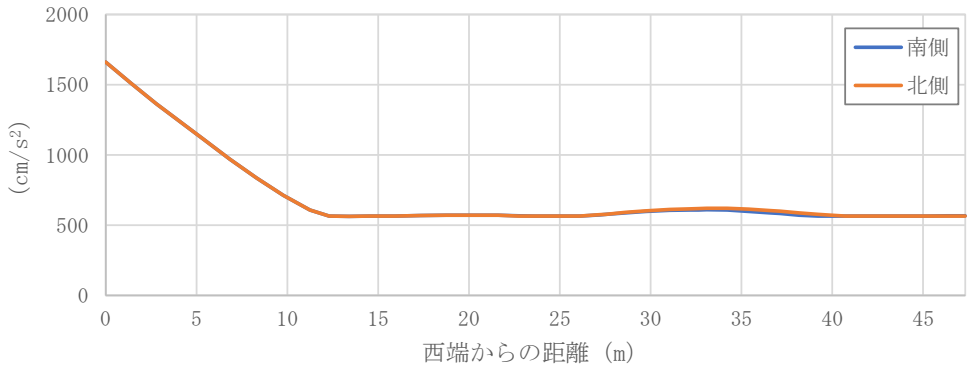
G.L. (m)	地質	せん断波速度 Vs (m/s)	単位体積重量 γ (kN/m^3)	ポアソン比 ν	せん断弾性係数 G (×10^{5}kN/m^2)	初期せん断弾性係数 G_0 (×10^{5}kN/m^2)	剛性低下率 G/G_0	ヤング係数 E (×10^{5}kN/m^2)	減衰定数 h (%)	層厚 H (m)
0.0										
	砂岩	380	17.8	0.473	2.33	2.62	0.89	6.86	3	8.1
-8.1		450	16.5	0.464	3.03	3.41	0.89	8.87	3	11.9
-20.0		500	17.1	0.455	3.88	4.36	0.89	11.29	3	70.0
-90.0	泥岩	560	17.6	0.446	5.01	5.63	0.89	14.49	3	28.0
-118.0		600	17.8	0.442	5.81	6.53	0.89	16.76	3	88.0
-206.0	(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-

6.3.2 ランウェイガーダの耐震性に対する検討

(1) 地震応答解析結果

全ケース包絡の最大応答加速度分布及び応力図を図 6.3.2-1 に示す。西側端部がはね出しとなっているため，Q 通りの基礎部分に応力が集中している。





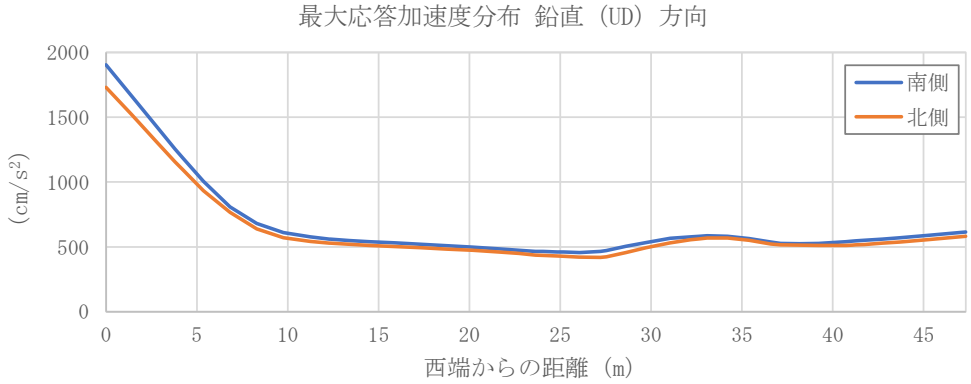


図 6.3.2-1(1) NS・UD 方向 最大応答加速度分布
(1/2Ss450 地震時)

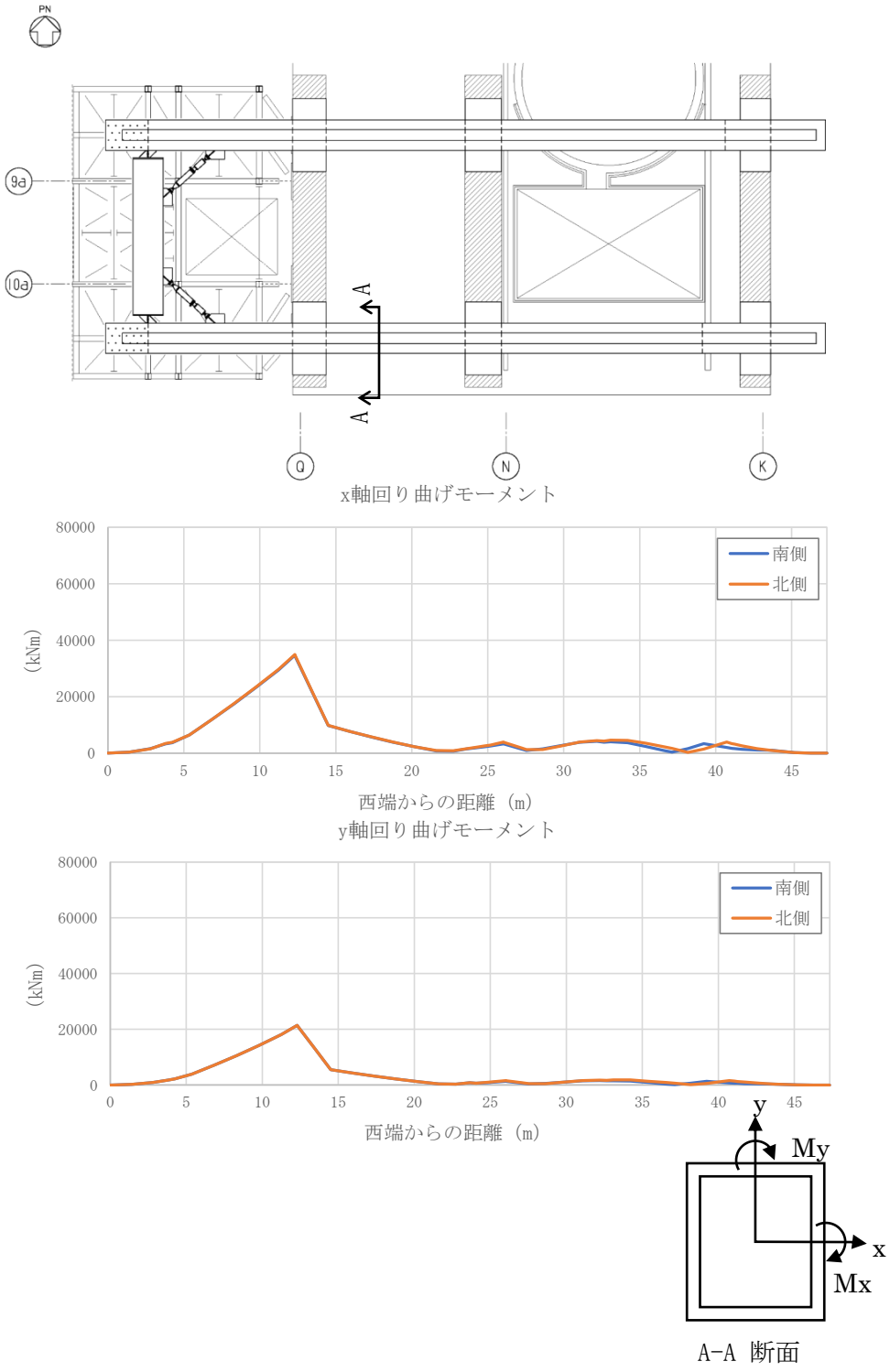


図 6.3.2-1(2)　応力図（曲げモーメント）

（1/2Ss450 地震時）

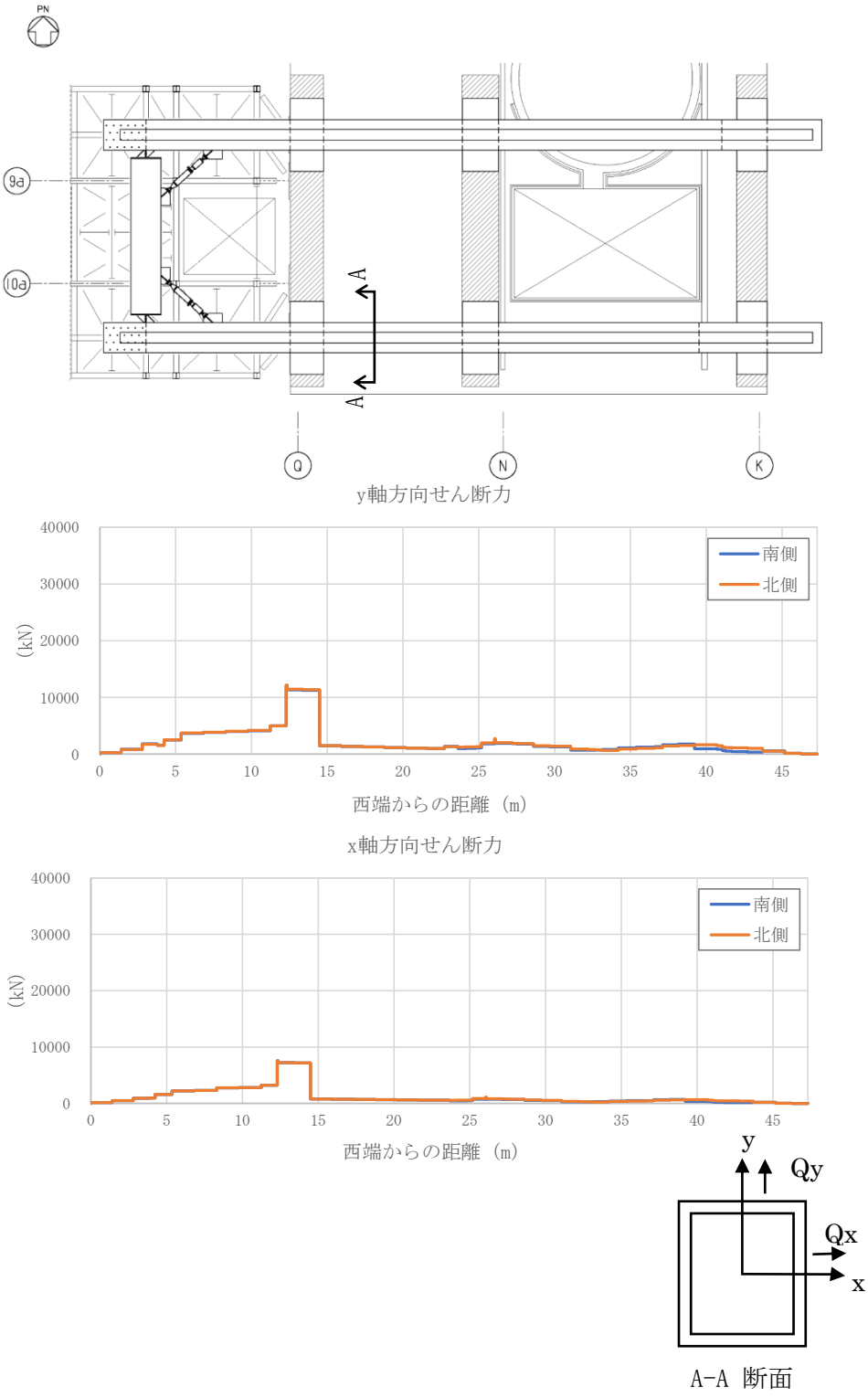


図 6.3.2-1(3)　応力図（せん断力）

（1/2Ss450 地震時）

(2)　断面検討

表 6.3.2-1 に検定比が最大となる部位の断面検討結果を示す。断面検討は 6.2.2(3)断面検討と同じ方法とし，各許容応力度は「平成 12 年建設省告示第 2464 号」に定められた基準強度 F 値の 1.1 倍を用いる。断面検討の結果，全ての部材の検定比が 1 以下になることを確認した。

表 6.3.2-1　断面検討結果（1/2Ss450 地震時）

部材形状（mm） 〈使用材料〉	燃料取扱 設備位置	作用 応力度 (N/mm^2)		許容 応力度 (N/mm^2)		検定比	判定
□-2500×2000×25×25 〈SN490B〉	CASE1	σ_{bx}	155.7	f_t	357.5	0.83	O.K.
		σ_{by}	138.5				
		τ_y	32.8				

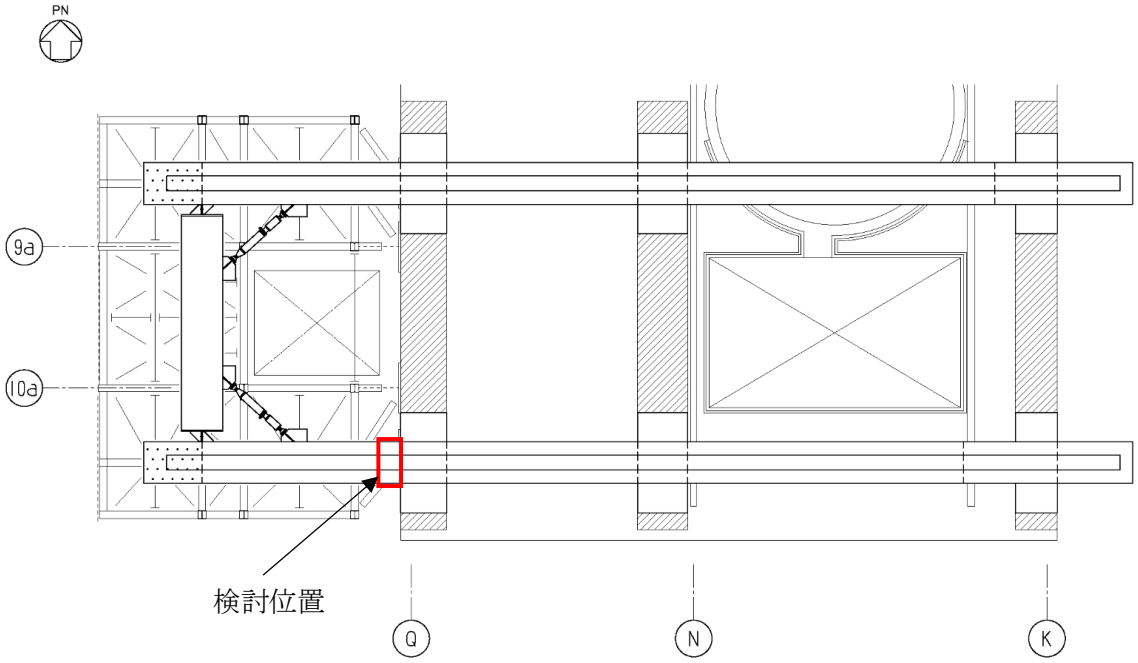


図 6.3.2-2　検討位置

6.3.3 オイルダンパの耐震性に対する検討

各部位で用いられるオイルダンパの耐震性に対する検討は，地震応答解析における最大応答値が許容値以下であることを確認する。

表 6.3.3-1 及び表 6.3.3-2 に最大応答値と許容値を比較した結果を示す。

検討の結果，全てのオイルダンパで最大応答値が許容値以下になることを確認した。

表 6.3.3-1　オイルダンパ（水平）の検討結果（1/2Ss450 地震時）

	燃料取扱 設備位置	最大応答値	許容値	判定
オイルダンパ変位 (mm)	CASE1	15.7	±100	O.K.
オイルダンパ速度 (m/s)	CASE1	0.23	0.27	O.K.

表 6.3.3-2　オイルダンパ（鉛直）の検討結果（1/2Ss450 地震時）

	燃料取扱 設備位置	最大応答値	許容値	判定
オイルダンパ変位 (mm)	CASE1	29.6	±100	O.K.
オイルダンパ速度 (m/s)	CASE1	0.27	0.34	O.K.

6.3.4 基礎の耐震性に対する検討

(1)概要

ランウェイガーダは鉛直アンカーボルト及び水平アンカーボルトにより基礎に取り付く。図 6.3.4-1 にランウェイガーダ及び基礎取り合い部の概要を，図 6.3.4-2 にアンカーボルト概要図を示す。基礎反力概要図を図 6.3.4-3 に，1/2Ss450 による基礎反力を表 6.3.4-1 に示す。

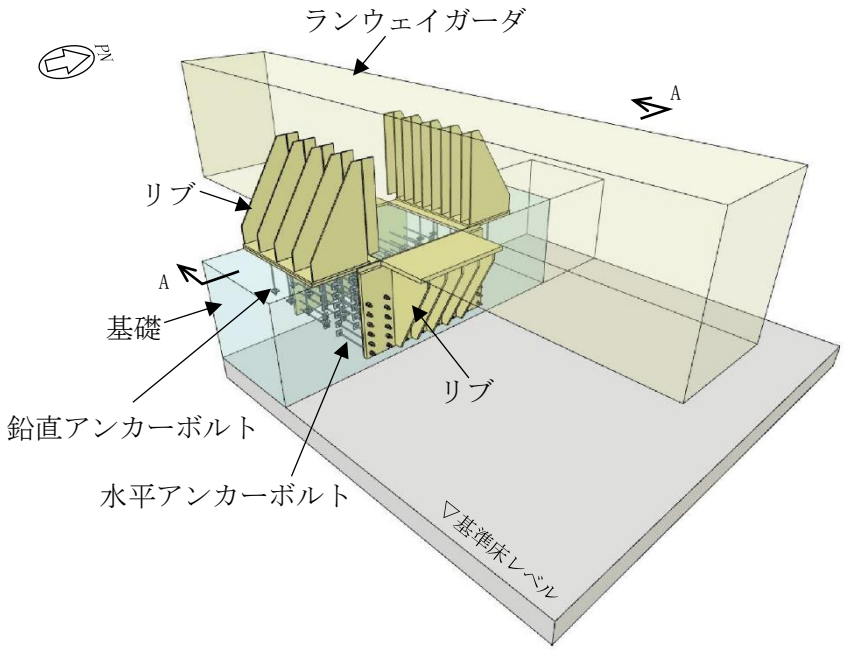
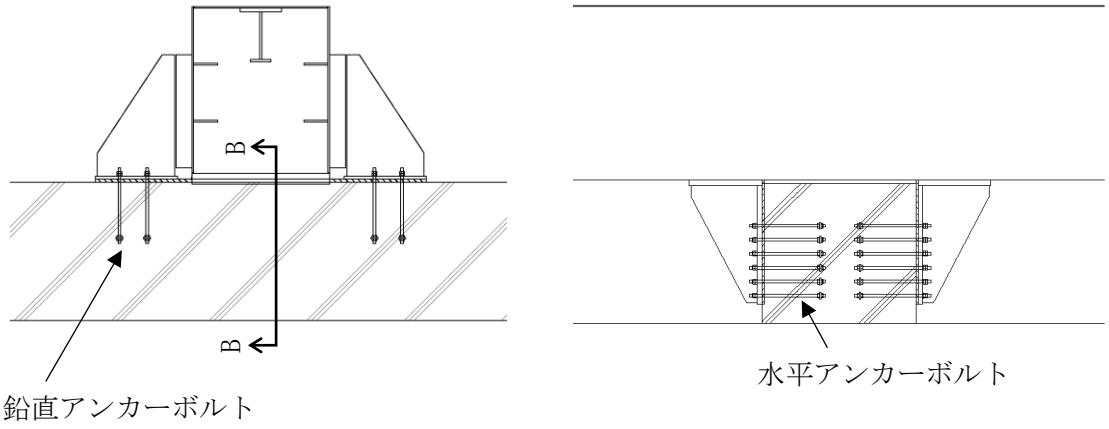
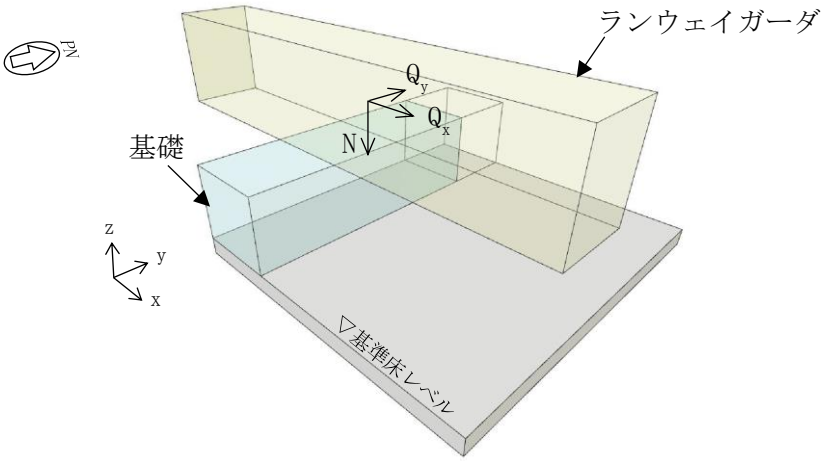


図 6.3.4-1　ランウェイガーダ及び基礎取り合い部の概要



A-A 断面図　　B-B 断面図

図 6.3.4-2　アンカーボルト概要図



N, Q_x, Q_y　：基礎反力

図 6.3.4-3　基礎反力概要図

表 6.3.4-1　基礎反力

方向	位　置		基礎反力(kN)	
			1/2 Ss450 地震時	
鉛直 N	Q 通り	北側	最大	7,474
			最小	448
		南側	最大	7,466
			最小	436
水平 Qy (NS 方向)		北側	4,451	
		南側	4,454	
水平 Qx (EW 方向)		北側	3,148	
		南側	3,190	

(2)アンカーボルトの検討

1) 検討方法

アンカーボルトの仕様は，M42（SNR490B）の定着板付きアンカーボルトとし，許容耐力は「各種合成構造設計指針・同解説」に従い，基礎コンクリートの設計基準強度を用いて下式によって求める。表 6.3.4-2 にアンカーボルトの許容耐力を示す。

$Pa = \min(\phi_1 \cdot Pa_1,\ \phi_2 \cdot Pa_2)$

$Qa = \min(\phi_1 \cdot Qa_1,\ \phi_2 \cdot Qa_2,\ \phi_2 \cdot Qa_3)$

$\phi_1 \sim \phi_2$	：低減係数（短期） $\phi_1 = 1.0$, $\phi_2 = 2/3$
Pa	：アンカーボルトの許容引張力（kN/本）
Pa_1	：アンカーボルトの降伏により決まる許容引張力（kN/本）
Pa_2	：基礎のコーン状破壊により決まる許容引張力（kN/本）
Qa	：アンカーボルトの許容せん断力（kN/本）
Qa_1	：アンカーボルトのせん断強度により決まる許容せん断力（kN/本）
Qa_2	：基礎の支圧強度により決まる許容せん断力（kN/本）
Qa_3	：基礎のコーン状破壊により決まる許容せん断力（kN/本）

表 6.3.4-2 アンカーボルトの許容耐力

部位		基礎
タイプ		標準
鋼材種類		M42
		SNR490B
埋め込み長さ	(mm)	840
アンカーボルト間隔	(mm)	200～750
短期	許容引張力(Pa) (kN/本)	356
	許容せん断力(Qa) (kN/本)	238,249

アンカーボルトの検討は，アンカー部に生じる最大支点反力に対し，下式にて検討を行う。

$$\frac{P}{Pa} \leqq 1$$

$$\frac{Q}{Qa} \leqq 1$$

$$\left(\frac{P}{Pa}\right)^2 + \left(\frac{Q}{Qa}\right)^2 \leqq 1$$

Pa：アンカーボルトの許容引張力（kN/本）
Qa：アンカーボルトの許容せん断力（kN/本）
P ：アンカーボルトの設計用引張力（kN/本）
Q ：アンカーボルトの設計用せん断力（kN/本）

2) 設計用荷重

設計用荷重は，表 6.3.4-3 に示すランウェイガーダからの反力を考慮する。

表 6.3.4-3(1)　鉛直アンカーボルトの設計用荷重（1/2Ss450 地震時）

曲げモーメント　M_x（kNm）*1	5838
せん断力　Q_y（kN）*2	4670

*1：Mx=4670[Qy]×1.25[RWG 高さ/2] =5838

*2：Qy=4454[基礎反力]+270[リブ重量]×0.8[水平震度*3] =4670

*3：水平震度は図 6.3.1-6 に示す解析モデルの 1/2Ss450 による地震応答解析結果より，オペフロレベルの最大応答加速度を用いて算出した

表 6.3.4-3(2)　水平アンカーボルトの設計用荷重（1/2Ss450 地震時）

曲げモーメント　M_y（kNm）*1	4258
せん断力　Q_y（kN）	4670

*1：My=3406[Qx*2]×1.25[RWG 高さ/2] =4258

*2：Qx=3190[基礎反力]+270[リブ重量]×0.8[水平震度*3] =3406

*3：水平震度は図 6.3.1-6 に示す解析モデルの 1/2Ss450 による地震応答解析結果より，オペフロレベルの最大応答加速度を用いて算出した

3) 検討結果

表 6.3.4-4 及び表 6.3.4-5 に基礎反力が最大となる部位の検討結果を示す。

検討の結果，アンカーボルトの最大耐力比は 1 以下になることを確認した。

表 6.3.4-4 鉛直アンカーボルトの検討結果（1/2Ss450 地震時）

部位（アンカー本数）	燃料取扱設備位置	入力方向	設計用荷重		許容耐力		耐力比	判定
			引張力 P (kN/本)	せん断力 Q (kN/本)	引張 Pa (kN/本)	せん断 Qa (kN/本)		
南側基礎（Q 通り）鉛直アンカーボルト（8 本）	CASE1	+NS+EW-UD	197	42	356	249	0.56	O.K.

表 6.3.4-5 水平アンカーボルトの検討結果（1/2Ss450 地震時）

部位（アンカー本数）	燃料取扱設備位置	入力方向	設計用荷重		許容耐力		耐力比	判定
			引張力 P (kN/本)	せん断力 Q (kN/本)	引張 Pa (kN/本)	せん断 Qa (kN/本)		
南側基礎（Q 通り）水平アンカーボルト（48 本）	CASE1	+NS+EW-UD	－	58	－	238	0.25	O.K.

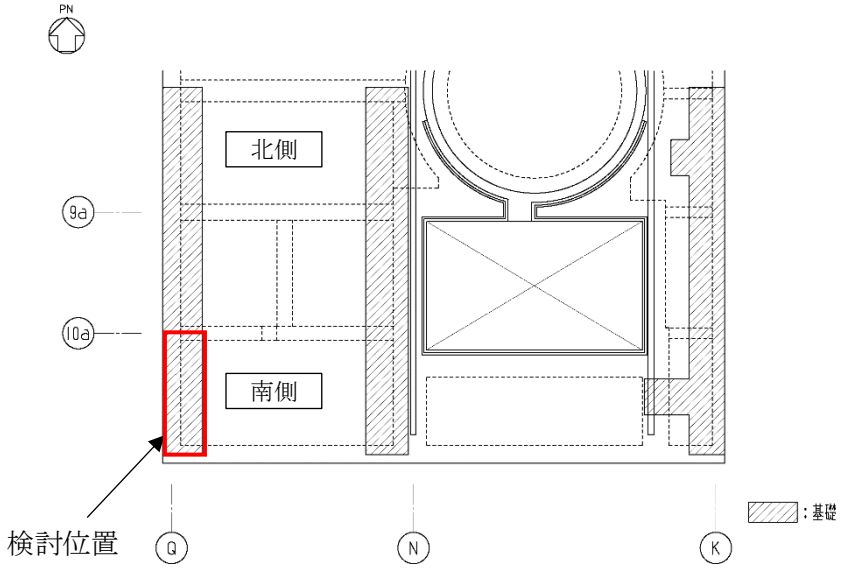


図 6.3.4-4　検討位置

(3)基礎の検討

1)　設計用荷重

設計用荷重は，ランウェイガーダからの反力を床スラブ上端位置に変換し表6.3.4-6に示す。

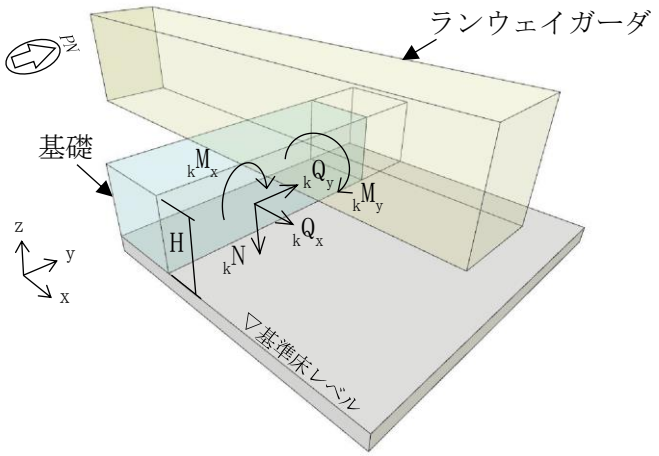


図 6.3.4-5　設計用荷重概要図

ここで，

${}_kN$，${}_kM_x$，${}_kM_y$，${}_kQ_x$，${}_kQ_y$　　：設計用荷重

${}_kN$　　：$N+W\cdot(1\pm k_V)$

${}_kM_x$　　：$M_x+Q_y\cdot H+k_H\cdot w\cdot H^2/2$

${}_kM_y$　　：$M_y+Q_x\cdot H+k_H\cdot w\cdot H^2/2$

${}_kQ_x$　　：$Q_x+k_H\cdot w\cdot H$

${}_kQ_y$　　：$Q_y+k_H\cdot w\cdot H$

W　　：基礎の自重（基礎体積×24 kN/m^3）

w　　：単位長さ当りの基礎の重量（基礎の幅×せい×24 kN/m^3）

H　　：基礎の高さ(基準床レベルからベースプレート下端までの距離)

k_H　　：水平震度（0.8）

k_V　　：鉛直震度（0.5）

表 6.3.4-6(1)　NS 方向基礎の設計用荷重（1/2Ss450 地震時）

鉛直方向力　$_kN$（kN）*1	936
曲げモーメント　$_kM_x$（kNm）*2	15760
せん断力　$_kQ_y$（kN）*3	5252

*1：$_k$N=571[N]+729[基礎重量]×(1-0.5)[鉛直震度]=936

*2：$_k$Mx=5838[Mx]+582[=w×h^2/2，ここでw=0.8×24×D(6900)×B(2200)=291kN/m]+Qy×2[基礎高さh]=15760

*3：$_k$Qy=4670[Qy]+582[=w×h]=5252

表 6.3.4-6(2)　EW 方向基礎の設計用荷重（1/2Ss450 地震時）

鉛直方向力　$_kN$（kN）*1	936
曲げモーメント　$_kM_y$（kNm）*2	11652
せん断力　$_kQ_x$（kN）*3	3988

*1：$_k$N=571[N]+729[基礎重量]×(1-0.5)[鉛直震度]=936

*2：$_k$My=4258[My]+582[=w×h^2/2]+Qx×2[基礎高さh]=11652

*3：$_k$Qx=3406[Qx]+582[=w×h]=3988

2) 断面検討

断面算定は日本建築学会「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」による。

表 6.3.4-7，表 6.3.4-8 に検定比が最大となる部位の検討結果を示す。

検討の結果，基礎の検定比は 1 以下になることを確認した。

表 6.3.4-7(1)　NS 方向基礎の検討結果（1/2Ss450 地震時）

部位	燃料取扱設備位置	入力方向	設計荷重		${}_kN/(b \cdot D)$ * (N/mm^2)	${}_kMx/(b \cdot D^2)$ * (N/mm^2)	必要配筋 ${}_{req}a_t$ (mm^2)	設計配筋 配筋本数（a_t:mm^2）	検定比 ${}_{req}a_t/\ a_t$	判定
			${}_kN$ (kN)	${}_kMx$ (kNm)						
南側基礎（Q 通り）	CASE1	+NS+EW-UD	936	15760	0.062	0.151	5653	11-D29（7066）	0.81	O.K.

*：b，D はそれぞれ基礎の幅及びせいを示す。

表 6.3.4-7(2)　NS 方向基礎の検討結果（1/2Ss450 地震時）

部位	燃料取扱設備位置	入力方向	設計荷重	せん断応力度 τy (N/mm^2)	許容応力度 fs (N/mm^2)	検定比 $\tau y/\ fs$	判定
			${}_kQy$ (kN)				
南側基礎（Q 通り）	CASE1	+NS+EW-UD	5252	0.41	1.09	0.38	O.K.

表 6.3.4-8(1)　EW 方向基礎の検討結果（1/2Ss450 地震時）

部位	燃料取扱設備位置	入力方向	設計荷重		${}_kN/(b・D)$ * (N/mm^2)	${}_kMy/(b・D^2)$ * (N/mm^2)	必要配筋 ${}_{req}a_t$ (mm^2)	設計配筋 配筋本数（a_t:mm^2）	検定比 ${}_{req}a_t/\ a_t$	判定
			${}_kN$ (kN)	${}_kMy$ (kNm)						
南側基礎（Q 通り）	CASE1	-NS-EW-UD	936	11652	0.062	0.349	15671	35-D29（22484）	0.70	O.K.

*：b，D はそれぞれ基礎の幅及びせいを示す。

表 6.3.4-8(2)　EW 方向基礎の検討結果（1/2Ss450 地震時）

部位	燃料取扱設備位置	入力方向	設計荷重	せん断応力度 τ x (N/mm^2)	許容応力度 fs (N/mm^2)	検定比 τ x/ fs	判定
			${}_kQx$ (kN)				
南側基礎（Q 通り）	CASE1	-NS-EW-UD	3988	0.32	1.09	0.30	O.K.

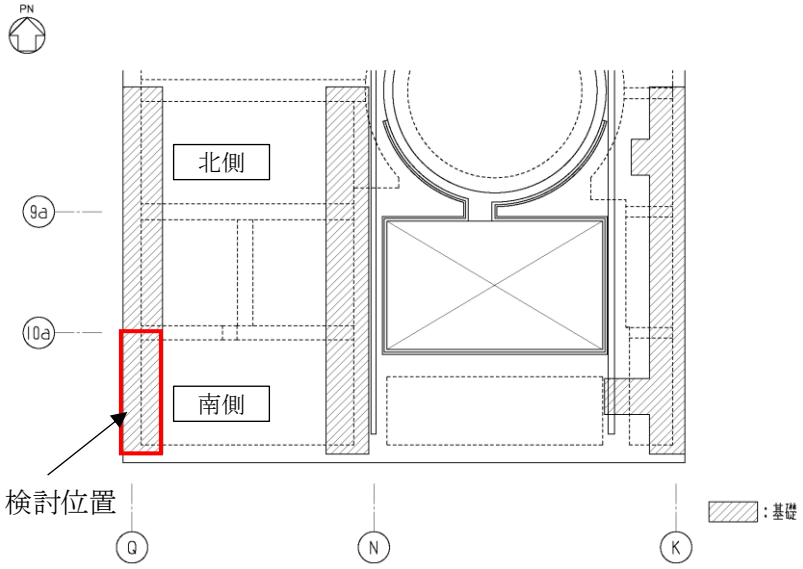


図 6.3.4-6　検討位置

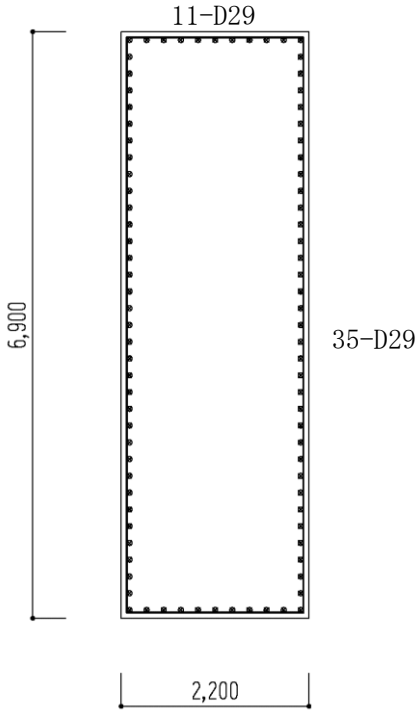


図 6.3.4-7　基礎の配筋図（検討位置）

6.3.5 建屋取り合い部の耐震性に対する検討

基礎から原子炉建屋取り合い部に作用する反力に対し，下式にて支圧検討を行う。

図 6.3.5-1 に建屋取り合い部概要図を示す。

$$\frac{\sigma_c}{f_c} \leqq 1$$

ここで，

σ_c ：支圧応力度（N/A）（N/mm^2）

N ：支圧力(N)，A：支圧面積（梁幅×基礎有効長さ）（mm^2）

f_c ：許容応力度(N/mm^2)

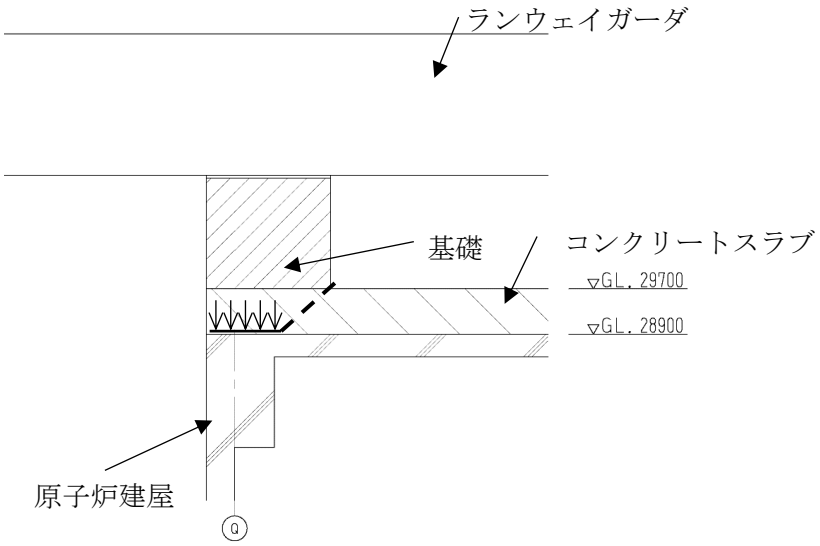


図 6.3.5-1 建屋取り合い部概要図

表 6.3.5-1 に検定比が最大となる部位の検討結果を示す。なお，本書では基礎から伝達される反力を受ける部位のうち，許容応力度の最も低い原子炉建屋（Fc22.1）の評価結果を記載する。

検討の結果，原子炉建屋の検定比は 1 以下になることを確認した。

表 6.3.5-1 建屋取り合い部の検討結果（1/2Ss450 地震時）

燃料取扱設備位置	部位	入力方向	支圧力* (kN)	原子炉建屋支圧面積 (m^2)	支圧応力度 (N/mm^2)	許容応力度 (N/mm^2)	検定比	判定
CASE1	Q 通り北側基礎	+NS-EW+UD	9121	7.84	1.2	14.8	0.09	O.K.

*：支圧力=7474[基礎反力]+270[リブ重量]×(1+0.5)[鉛直震度]+828[基礎重量]×(1+0.5)[鉛直震度]=9121

6.4　耐震性（波及的影響の検討：Ss900）

6.4.1 検討方針

耐震性のうち使用済燃料プールへの波及的影響の検討は，ランウェイガーダ，オイルダンパ，基礎及び建屋取り合い部について行い，Ss900 に対して，これらの応答性状を適切に表現できる地震応答解析により評価する。ランウェイガーダの検討は使用済燃料プール周囲を，基礎及び建屋取り合い部の検討は N 通り及び K 通りをそれぞれ対象とする。なお，地震応答解析は水平 2 方向及び鉛直方向の 3 方向の地震動を同時に入力する。

ランウェイガーダから大型カバーの燃料取扱設備支持部へ生じる反力は，実施計画Ⅱ.2.11　添付 4-2 5.「1 号機燃料取り出し用カバー（大型カバー）の構造強度及び耐震性について」の評価で想定反力を加味し評価済みである。

(1)　解析に用いる入力地震動

地震応答解析に用いる入力地震動の概念図は図 6.3.1-1 と同一である。モデルに入力する地震動は，2 波ある Ss900 のうち振幅の大きな検討用地震動①を用いる。解放基盤表面位置（G.L.-206.0m（震災前 O.P.-196.0m））における地震動 Ss900-1 の加速度時刻歴波形を図 6.4.1-1 に示す。

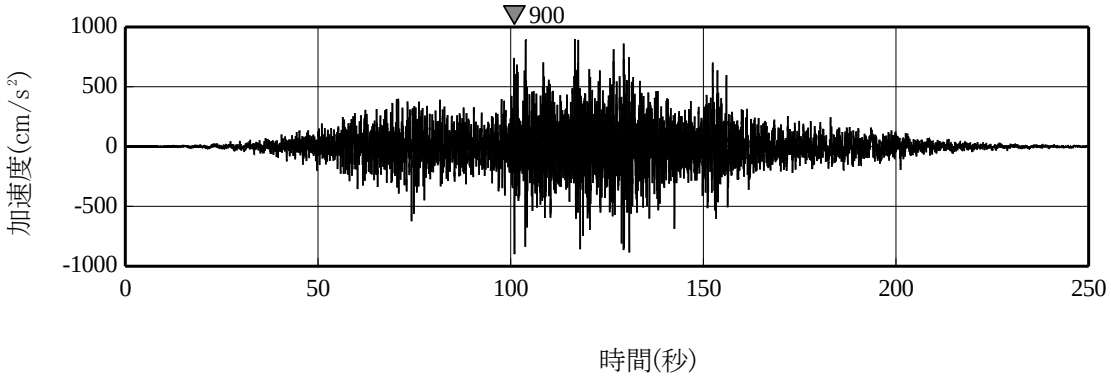
ここで用いる入力地震動は，Ⅱ.2.11　添付 4-2 5.「1 号機燃料取り出し用カバー（大型カバー）の構造強度及び耐震性について」と同一である。

地震波の入力方向は下記のように表し，3 方向の組合せを表現する。

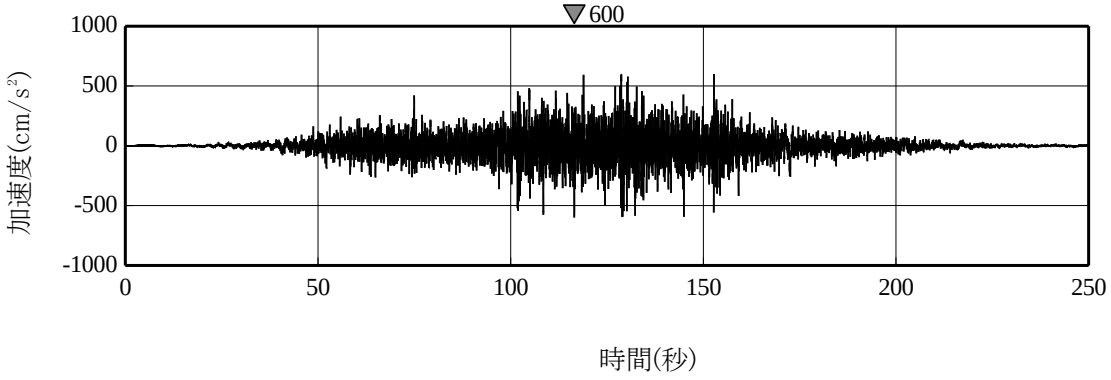
+NS：建屋北側から南側方向への地震入力
-NS：建屋南側から北側方向への地震入力
+EW：建屋東側から西側方向への地震入力
-EW：建屋西側から東側方向への地震入力
+UD：建屋上側から下側方向への地震入力
-UD：建屋下側から上側方向への地震入力

(2)　解析ケース

燃料取扱設備位置並びに地震波の入力方向については，別途実施の燃料取扱設備側の耐震評価で最も厳しいケースを代表として実施する。解析ケースを表 6.4.1-1 に示す。



(a)　水平方向



(b)　鉛直方向

図 6.4.1-1　Ss900 のうち検討用地震動①

表 6.4.1-1　ランウェイガーダの波及的影響の検討における解析ケース

燃料取扱設備位置	状態	燃料取扱設備の配置パターン	入力地震動（3 方向同時入力）		
			NS 方向	EW 方向	UD 方向
CASE2	使用済燃料プールでの輸送容器取扱（クレーン単独作業）	FHM 使用済燃料プール端部 クレーン 使用済燃料プール側	Ss900 +NS (N→S)	Ss900 -EW (W→E)	Ss900 +UD (U→D)

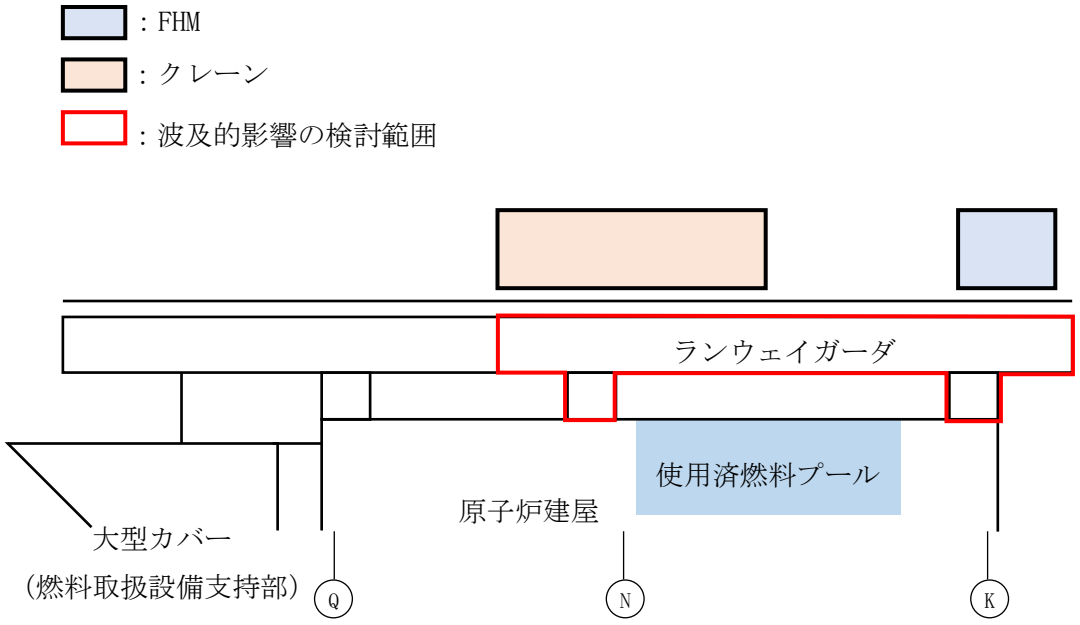


図 6.4.1-2　燃料取扱設備の位置

(3)　地震応答解析モデル

解析モデル及びオイルダンパのモデル，物性値及び許容値，原子炉建屋の諸元は，6.3 耐震性（機能維持の検討：1/2Ss450）で用いた解析モデルと同一である。

原子炉建屋の地盤定数※1 は，「福島第一原子力発電所『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 中間報告書」（東京電力株式会社，平成 20 年 3 月 31 日）と同様とし，その結果を表 6.4.1-2 に示す。

原子炉建屋の地盤ばね※1 は，「JEAG4601-1991 追補版」に示されている手法を参考にして，底面地盤を成層補正し振動アドミッタンス理論によりスウェイ及びロッキングばねを，側面地盤を Novak の方法により建屋側面ばねとして評価する。NS 方向，EW 方向，UD 方向の 3 方向全ての地盤ばねが取り付いた解析モデルを用いる。

※1 Ⅱ.2.11　添付 4-2 5.「1 号機燃料取り出し用カバー（大型カバー）の構造強度及び耐震性について」で用いた地盤定数，地盤バネと同一

表 6.4.1-2　地盤定数の設定結果

Ss900-1

G.L. (m)	地質	せん断波速度 Vs (m/s)	単位体積重量 γ (kN/m3)	ポアソン比 ν	せん断弾性係数 G (×105kN/m2)	初期せん断弾性係数 G0 (×105kN/m2)	剛性低下率 G/G0	ヤング係数 E (×105kN/m2)	減衰定数 h (%)	層厚 H (m)
0.0										
	砂岩	380	17.8	0.473	2.04	2.62	0.78	6.01	4	8.1
-8.1		450	16.5	0.464	2.32	3.41	0.68	6.79	3	11.9
-20.0		500	17.1	0.455	2.96	4.36	0.68	8.61	3	70.0
-90.0	泥岩	560	17.6	0.446	3.83	5.63	0.68	11.08	3	28.0
-118.0		600	17.8	0.442	4.44	6.53	0.68	12.80	3	88.0
-206.0	(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-

(4)　評価項目とクライテリア

波及的影響の検討は，表 6.4.1-3 に示す項目について評価を行う。

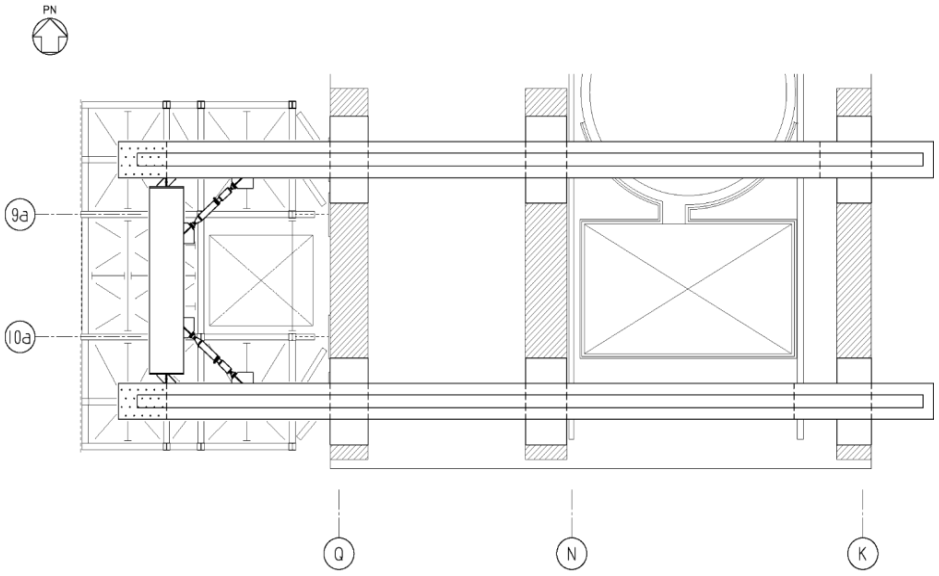
表 6.4.1-3　評価項目のクライテリア

部位	考え方	許容限界
ランウェイガーダ（鋼板）	部材に生じる応力が許容限界を超えないことを確認	弾性限界強度
オイルダンパ	部材に生じる応力が許容限界を超えないことを確認	設計値
アンカーボルト	部材に生じる応力が許容限界を超えないことを確認	終局強度
基礎	部材に生じる応力が許容限界を超えないことを確認	終局強度
建屋取り合い部	部材に生じる応力が許容限界を超えないことを確認	短期許容応力度

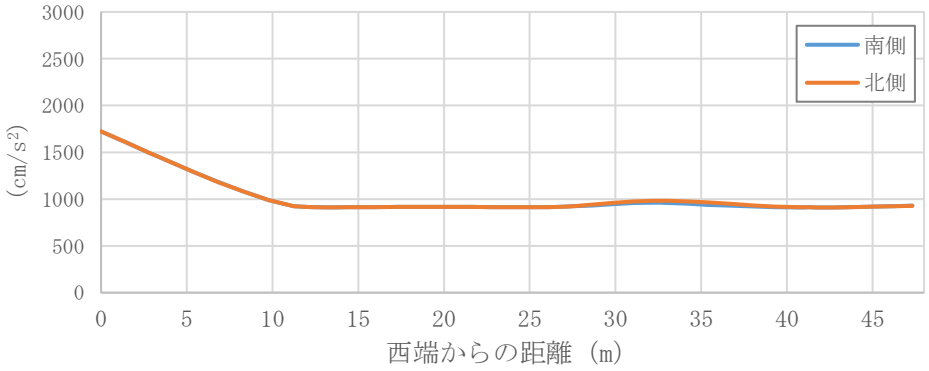
6.4.2　ランウェイガーダの耐震性に対する検討

(1)　地震応答解析結果

代表例として燃料取扱設備位置 CASE2 の最大応答加速度分布及び応力図を図 6.4.2-1 に示す。西側端部がはね出しとなっているため，Q 通りの基礎部分に応力が集中している。



最大応答加速度分布 水平（NS）方向



最大応答加速度分布 鉛直（UD）方向

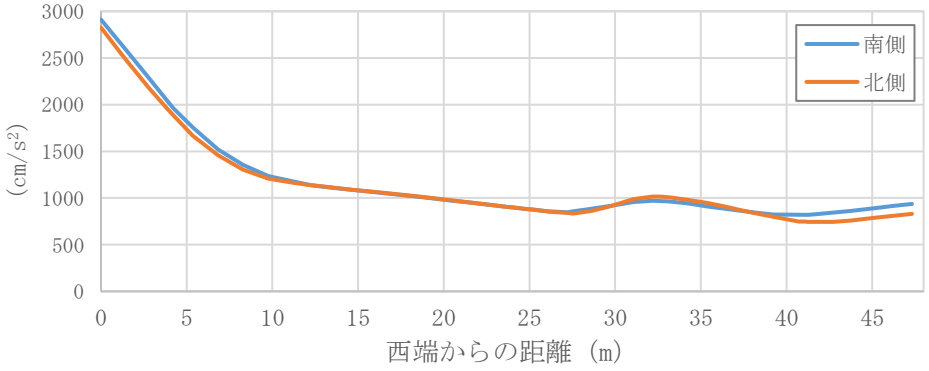


図 6.4.2-1(1)　NS・UD 方向　最大応答加速度分布
(Ss900 地震時)

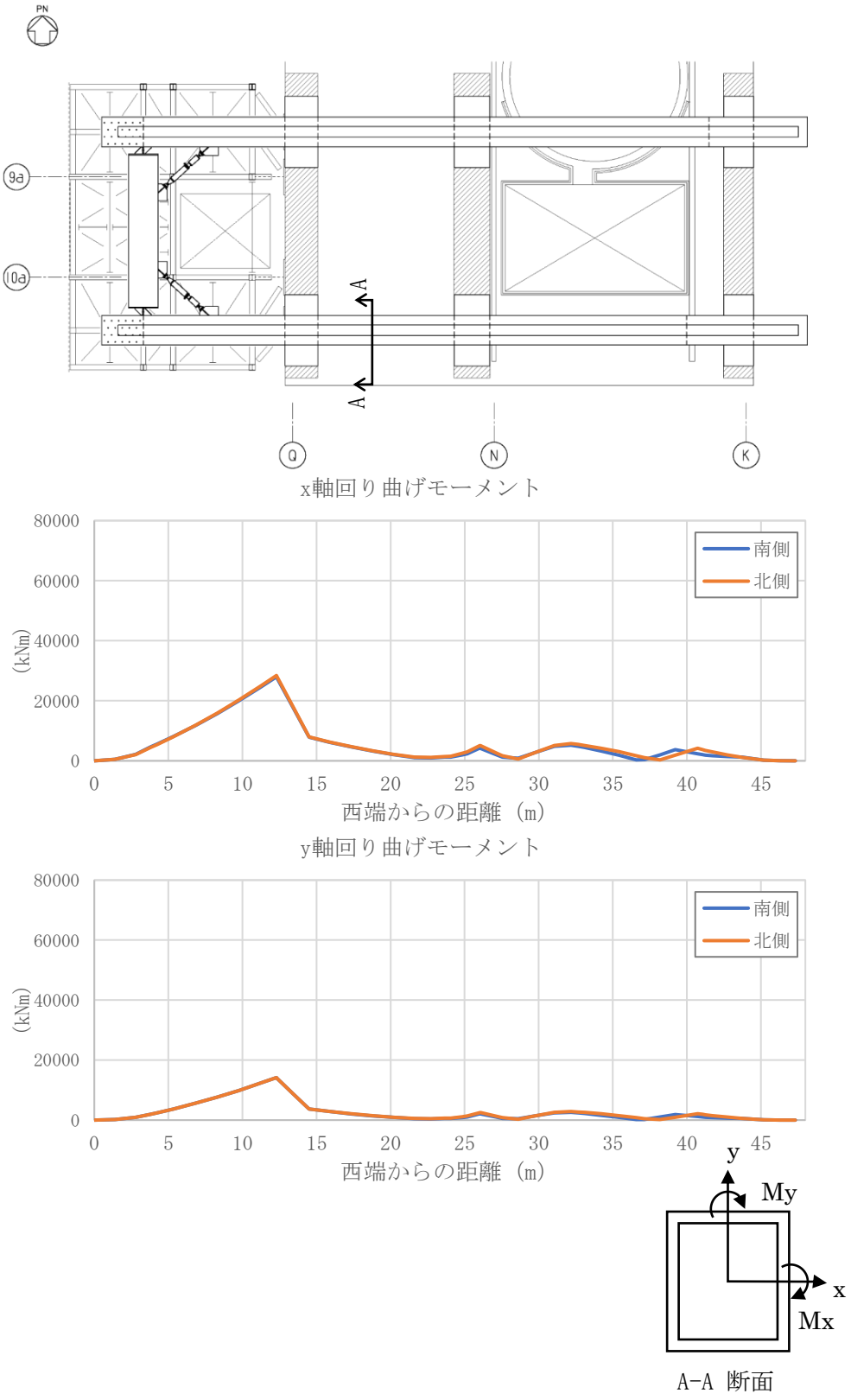


図 6.4.2-1(2)　応力図（曲げモーメント）

(Ss900 地震時)

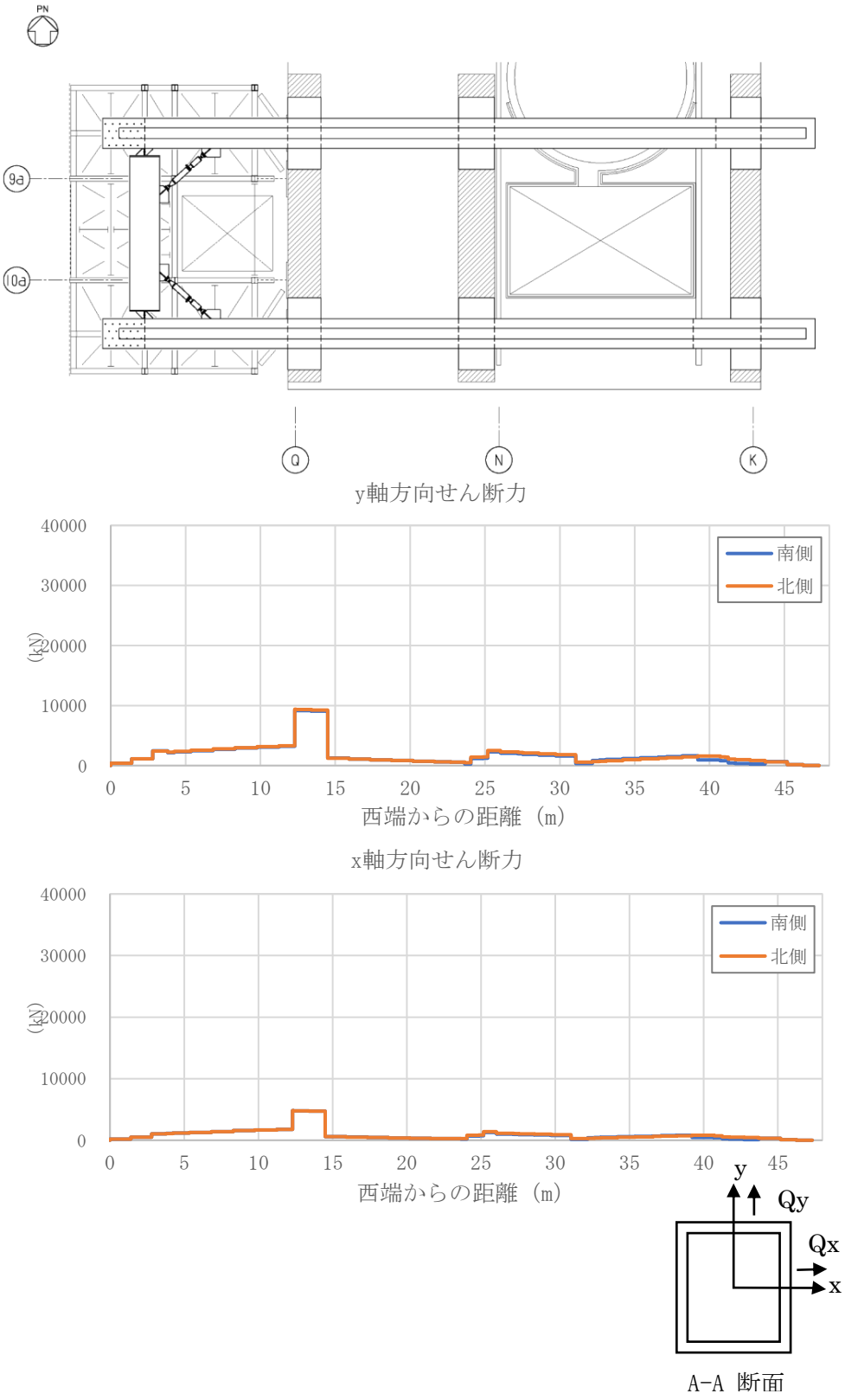


図 6.4.2-1(3)　応力図（せん断力）

(Ss900 地震時)

(2)　断面検討

表 6.4.2-1 に検定比が最大となる部位の断面検討結果を示す。断面検討は 6.2.2(3)断面検討と同じ方法とし，各許容応力度は「平成 12 年建設省告示第 2464 号」に定められた基準強度 F 値の 1.1 倍を用いる。断面検討の結果，全ての部材の検定比が 1 以下になることを確認した。

表 6.4.2-1　断面検討結果（Ss900 地震時）

部材形状（mm） 〈使用材料〉	燃料取扱 設備位置	作用 応力度 (N/mm²)		許容 応力度 (N/mm²)		検定比	判定
□-2500×2000×25×25 〈SN490B〉	CASE2	σ_{bx}	27.8	f_t	357.5	0.15	O.K.
		σ_{by}	13.6				
		τ_y	18.4				

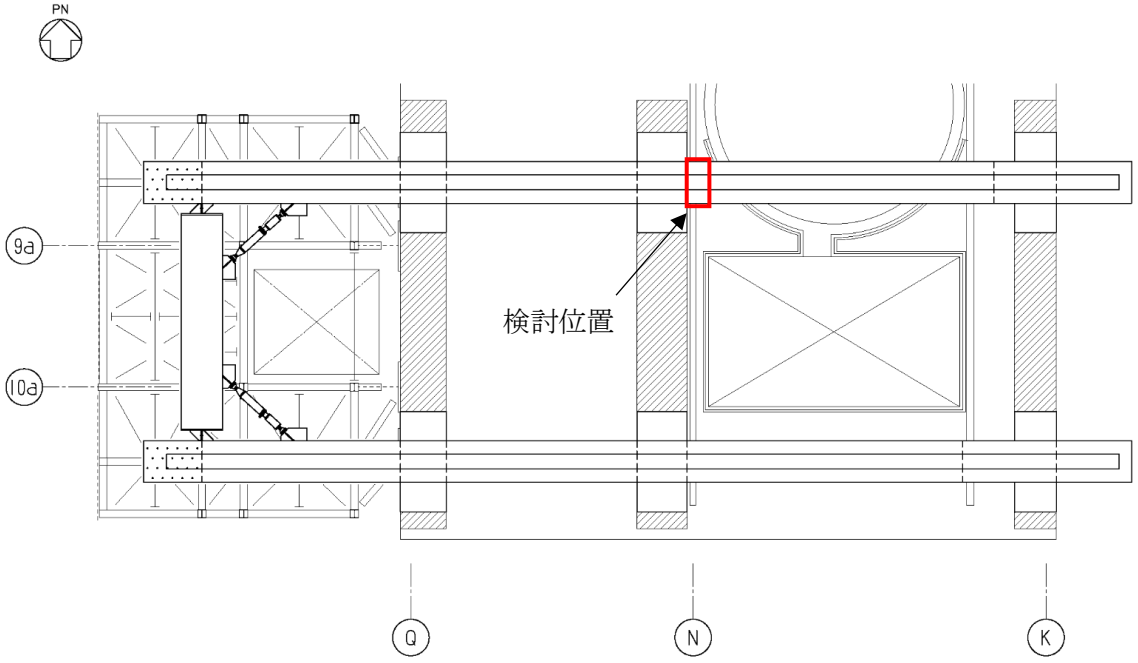


図 6.4.2-2　検討位置

6.4.3 オイルダンパの耐震性に対する検討

各部位で用いられるオイルダンパの耐震性に対する検討は，地震応答解析における最大応答値が許容値以下であることを確認する。

表 6.4.3-1 及び表 6.4.3-2 に最大応答値と許容値を比較した結果を示す。

検討の結果，全てのオイルダンパで最大応答値が許容値以下になることを確認した。

表 6.4.3-1　オイルダンパ（水平）の検討結果（Ss900 地震時）

	燃料取扱 設備位置	最大応答値	許容値	判定
オイルダンパ変位 (mm)	CASE2	11.1	±100	O.K.
オイルダンパ速度 (m/s)	CASE2	0.16	0.27	O.K.

表 6.4.3-2　オイルダンパ（鉛直）の検討結果（Ss900 地震時）

	燃料取扱 設備位置	最大応答値	許容値	判定
オイルダンパ変位 (mm)	CASE2	16.9	±100	O.K.
オイルダンパ速度 (m/s)	CASE2	0.21	0.34	O.K.

6.4.4　基礎の耐震性に対する検討

(1)　概要

ランウェイガーダは鉛直アンカーボルトにより基礎に取り付く。図 6.4.4-1 にランウェイガーダ及び基礎取り合い部の概要を，図 6.4.4-2 にアンカーボルト概要図を示す。基礎反力概要図を図 6.4.4-3 に，Ss900 による基礎反力を表 6.4.4-1 に示す。

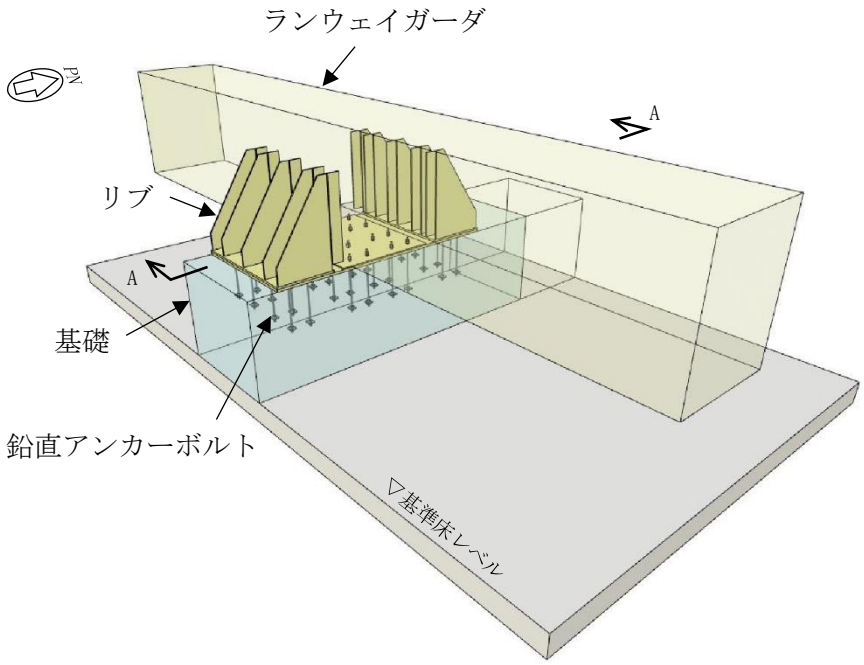
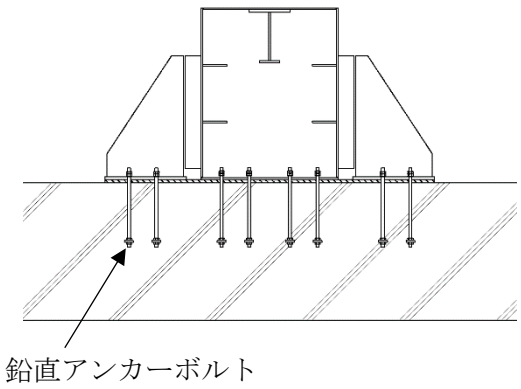
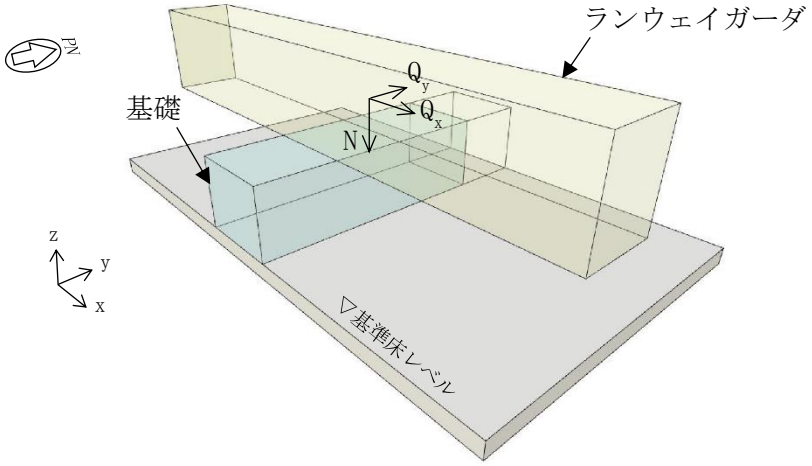


図 6.4.4-1　ランウェイガーダ及び基礎取り合い部の概要



A-A 断面図

図 6.4.4-2　アンカーボルト概要図



N, Q_x, Q_y ：基礎反力

図 6.4.4-3　基礎反力概要図

表 6.4.4-1　基礎反力

方向	位　置		基礎反力(kN)	
			Ss900 地震時	
鉛直 N	N 通り	北側	最大	4,876
			最小	421
		南側	最大	4,705
			最小	281
水平 Qy (NS 方向)		北側		2,378
		南側		2,254
水平 Qx (EW 方向)		北側		2,779
		南側		2,680

(2)　アンカーボルトの検討

1)　検討方法

アンカーボルトの仕様は，M42（SNR490B）の定着板付きアンカーボルトとし，最大耐力は「各種合成構造設計指針・同解説」に従い，基礎コンクリートの設計基準強度を用いて下式によって求める表 6.4.4-2 にアンカーボルトの終局耐力を示す。

$Pu = \min(\phi_1 \cdot Pu_1,\ \phi_2 \cdot Pu_2)$

$Qu = \min(\phi_1 \cdot Qu_1,\ \phi_2 \cdot Qu_2,\ \phi_2 \cdot Qu_3)$

$\phi_1 \sim \phi_2$　：低減係数（短期）$\phi_1 = 1.0$，$\phi_2 = 2/3$

Pu　：アンカーボルトの最大引張力（kN/本）

Pu_1　：アンカーボルトの降伏により決まる最大引張力（kN/本）

Pu_2　：基礎のコーン状破壊により決まる最大引張力（kN/本）

Qu　：アンカーボルトの最大せん断力（kN/本）

Qu_1　：アンカーボルトのせん断強度により決まる最大せん断力（kN/本）

Qu_2　：基礎の支圧強度により決まる最大せん断力（kN/本）

Qu_3　：基礎のコーン状破壊により決まる最大せん断力（kN/本）

表 6.4.4-2　アンカーボルトの終局耐力

部位		基礎
タイプ		標準
鋼材種類		M42
		SNR490B
埋め込み長さ　(mm)		840
アンカーボルト間隔　(mm)		200～750
終局	最大引張耐力(Pu)　(kN/本)	430
	最大せん断耐力(Qu)　(kN/本)	297

アンカーボルトの検討は，アンカー部に生じる最大支点反力に対し，下式にて検討を行う。

$$\frac{P}{P_u} \leqq 1 \qquad \frac{Q}{Q_u} \leqq 1$$

$$\left(\frac{P}{P_u}\right)^2 + \left(\frac{Q}{Q_u}\right)^2 \leqq 1$$

Pu：アンカーボルトの最大引張耐力（kN/本）

Qu：アンカーボルトの最大せん断耐力（kN/本）

P　：アンカーボルトの検討用引張力（kN/本）

Q　：アンカーボルトの検討用せん断力（kN/本）

2) 検討用荷重

検討用荷重は，表 6.4.4-3 に示すランウェイガーダからの反力を考慮する。

表 6.4.4-3　鉛直アンカーボルトの検討用荷重(Ss900 地震時)

曲げモーメント　M_x（kNm）*1	3344
曲げモーメント　M_y（kNm）*2	3845
せん断力　Q_y（kN）*3	2675
せん断力　Q_x（kN）*4	3076

*1:Mx=2675 ［Qy］×1.25［RWG 高さ/2］ =3344

*2：My=3076［Qx］×1.25[RWG 高さ/2］=3845

*3：Qy=2378[基礎反力]+270[リブ重量]×1.1[水平震度*5］=2675

*4：Qx=2779[基礎反力]+270[リブ重量]×1.1[水平震度*5］=3076

*5：水平震度は図 6.3.1-6 に示す解析モデルの Ss900 による地震応答解析結果より，オペフロレベルの最大応答加速度を用いて算出した

3)　検討結果

表 6.4.4-4 に基礎反力が最大となる部位の検討結果を示す。

検討の結果，アンカーボルトの最大耐力比は 1 以下になることを確認した。

表 6.4.4-4　鉛直アンカーボルトの検討結果（Ss900 地震時）

部位（アンカー本数）	燃料取扱設備位置	入力方向	検討用荷重		終局耐力		耐力比	判定
			引張力 P (kN/本)	せん断力 Q (kN/本)	引張 Pu (kN/本)	せん断 Qu (kN/本)		
北側基礎（N 通り）鉛直アンカーボルト（32 本）	CASE2	+NS-EW+UD	360	84	430	297	0.84	O.K.

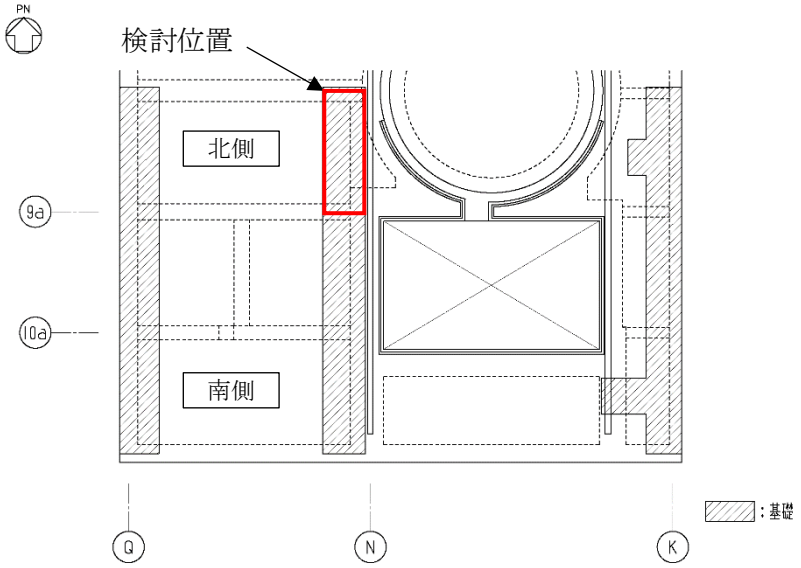


図 6.4.4-4　検討位置

(3)　基礎の検討

1)　検討用荷重

検討用荷重は，ランウェイガーダからの反力を床スラブ上端位置に変換し表6.4.4-5に示す。

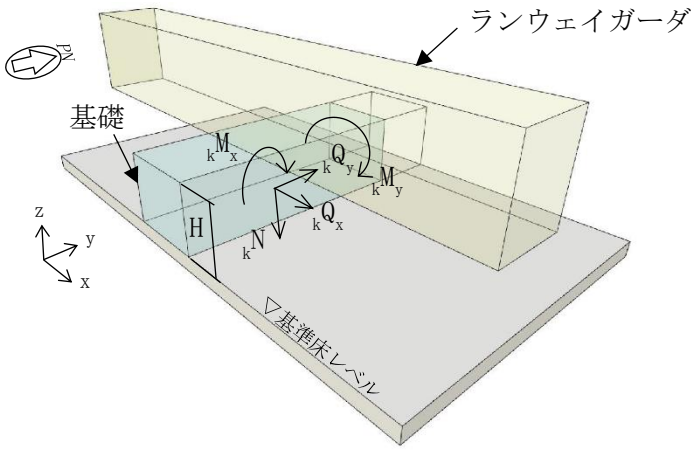


図 6.4.4-5　検討用荷重概要図

ここで，

${}_kN$，${}_kM_x$，${}_kM_y$，${}_kQ_x$，${}_kQ_y$　：検討用荷重

${}_kN$　：$N+W\cdot(1\pm k_V)$

${}_kM_x$　：$M_x+Q_y\cdot H+k_H\cdot w\cdot H^2/2$

${}_kM_y$　：$M_y+Q_x\cdot H+k_H\cdot w\cdot H^2/2$

${}_kQ_x$　：$Q_x+k_H\cdot w\cdot H$

${}_kQ_y$　：$Q_y+k_H\cdot w\cdot H$

W　：基礎の自重（基礎体積×24 kN/m^3）

w　：単位長さ当りの基礎の重量（基礎の幅×せい×24 kN/m^3）

H　：基礎の高さ（基準床レベルからベースプレート下端までの距離）

k_H　：水平震度（1.1）

k_V　：鉛直震度（0.9）

表 6.4.4-5(1)　NS 方向基礎の検討用荷重(Ss900 地震時)

鉛直方向力　$_kN$（kN）*1	388
曲げモーメント　$_kM_x$（kNm）*2	9165
せん断力　$_kQ_y$（kN）*3	3425

*1：$_k$N=308[N]+795[基礎重量]×(1-0.9)[鉛直震度]= 388

*2：$_k$Mx=3189[Mx]+874[=w×h^2/2, ここで w=1.1×24×D(6900)×B(2400)=437kN/m]+Qy×2[基礎高さ h]
= 9165

*3：$_k$Qy=2551[Qy]+874[=w×h]= 3425

表 6.4.4-5(2)　EW 方向基礎の検討用荷重(Ss900 地震時)

鉛直方向力　$_kN$（kN）*1	388
曲げモーメント　$_kM_y$（kNm）*2	10549
せん断力　$_kQ_x$（kN）*3	3851

*1：$_k$N=308[N]+795[基礎重量]×(1-0.9)[鉛直震度]= 388

*2：$_k$My=3721[My]+874[=w×h^2/2]+Qx×2[基礎高さ h]= 10549

*3：$_k$Qx=2977[Qx]+874[=w×h]= 3851

2) 断面検討

断面算定は日本建築学会「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」による。

表 6.4.4-6，表 6.4.4-7 に検定比が最大となる部位の検討結果を示す。

検討の結果，基礎の検定比は 1 以下になることを確認した。

表 6.4.4-6(1)　NS 方向基礎の検討結果（Ss900 地震時）

部位	燃料取扱設備位置	入力方向	検討用荷重		${}_kN/(b \cdot D)$*1 (N/mm²)	${}_kMx/(b \cdot D^2)$*1 (N/mm²)	必要配筋*2 ${}_{req}a_t$ (mm²)	設計配筋 配筋本数（a_t:mm²）	検定比 ${}_{req}a_t/\ a_t$	判定
			${}_kN$ (kN)	${}_kMx$ (kNm)						
南側基礎（N 通り）	CASE2	+NS-EW+UD	388	9165	0.024	0.081	3018	12-D29（7709）	0.40	O.K.

*1：b，D はそれぞれ基礎の幅及びせいを示す。

*2：鉄筋の許容応力度は 1.1 倍した値を用いる。

表 6.4.4-6(2)　NS 方向基礎の検討結果（Ss900 地震時）

部位	燃料取扱設備位置	入力方向	検討用荷重	せん断応力度	許容応力度*	検定比	判定
			${}_kQy$ (kN)	τ y (N/mm²)	fs (N/mm²)	τ y/ fs	
南側基礎（N 通り）	CASE2	+NS-EW+UD	3425	0.24	1.09	0.23	O.K.

*：せん断の許容応力度は短期の値を用いる。

表 6.4.4-7(1)　EW 方向基礎の検討結果（Ss900 地震時）

部位	燃料取扱設備位置	入力方向	検討用荷重		${}_kN/(b \cdot D)$*1 (N/mm²)	${}_kMy/(b \cdot D^2)$*1 (N/mm²)	必要配筋*2 ${}_{req}a_t$ (mm²)	設計配筋 配筋本数（a_t:mm²）	検定比 ${}_{req}a_t/\ a_t$	判定
			${}_kN$ (kN)	${}_kMy$ (kNm)						
南側基礎（N 通り）	CASE2	+NS-EW+UD	388	10549	0.024	0.266	11433	35-D29（22484）	0.51	O.K.

*1：b，D はそれぞれ基礎の幅及びせいを示す。

*2：鉄筋の許容応力度は 1.1 倍した値を用いる。

表 6.4.4-7(2)　EW 方向基礎の検討結果（Ss900 地震時）

部位	燃料取扱設備位置	入力方向	検討用荷重	せん断応力度	許容応力度*	検定比	判定
			${}_kQx$ (kN)	τ x (N/mm²)	fs (N/mm²)	τ x/ fs	
南側基礎（N 通り）	CASE2	+NS-EW+UD	3851	0.28	1.09	0.26	O.K.

*：せん断の許容応力度は短期の値を用いる。

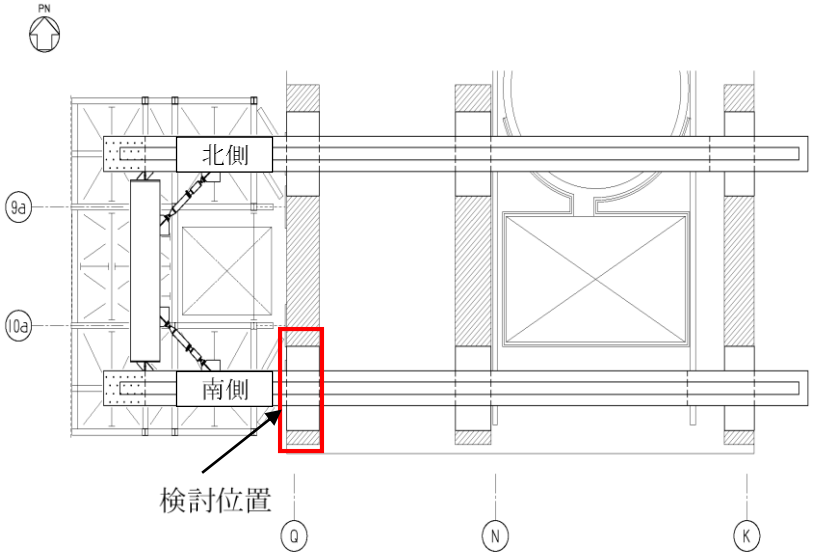


図 6.4.4-6　検討位置

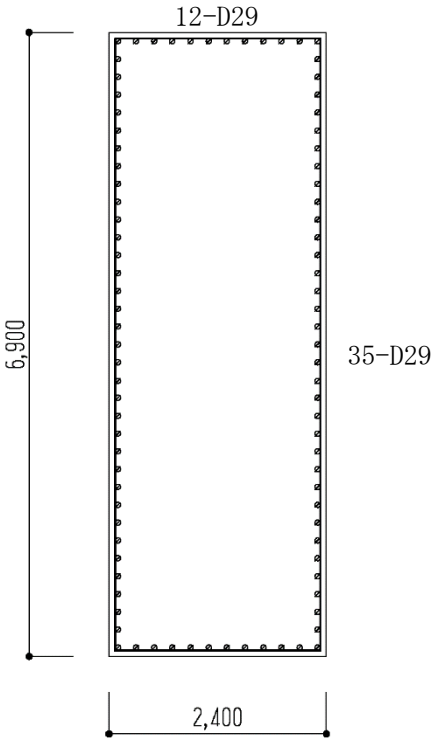


図 6.4.4-7　基礎の配筋図（検討位置）

6.4.5 建屋取り合い部の耐震性に対する検討

基礎から原子炉建屋取り合い部に作用する反力に対し，下式にて支圧検討を行う。

図 6.4.5 -1 に建屋取り合い部概要図を示す。

$\frac{\sigma_c}{f_c} \leqq 1$

ここで，

σ_c：支圧応力度 (N/A) (N/mm^2)

N ：支圧力(N)，A：支圧面積（基礎下部の壁断面積） (mm^2)

f_c ：許容応力度(N/mm^2)

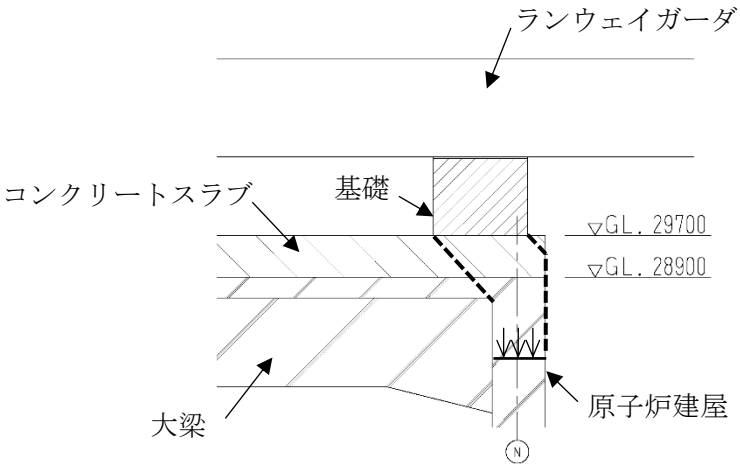


図 6.4.5-1　建屋取り合い部概要図

表 6.4.5-1 に検定比が最大となる部位の検討結果を示す。なお，本書では基礎から伝達される反力を受ける部位のうち，許容応力度の最も低い原子炉建屋（Fc22.1）の評価結果を記載する。

検討の結果，原子炉建屋の検定比は 1 以下になることを確認した。

表 6.4.5-1　建屋取り合い部の検討結果（Ss900 地震時）

燃料取扱設備位置	部位	入力方向	支圧力* (kN)	原子炉建屋支圧面積 (m^2)	支圧応力度 (N/mm^2)	許容応力度 (N/mm^2)	検定比	判定
CASE2	N 通り北側基礎	+NS-EW+UD	7105	6.39	1.2	14.8	0.09	O.K.

*：支圧力=4876[基礎反力]+270[リブ重量]×(1+0.9)[鉛直震度]+903[基礎重量]×(1+0.9)[鉛直震度]=7105

7.　別添

別添－１　福島第一原子力発電所　３号機大型カバーの構造強度及び耐震性について（東京電力株式会社，平成２５年２月２１日，特定原子力施設監視・評価検討会（第４回）資料４）

別添－２　福島第一原子力発電所　３号機大型カバーの構造強度及び耐震性について（コメント回答）（東京電力株式会社，平成２５年３月８日，特定原子力施設監視・評価検討会（第６回）資料５）

別添－３　４号機燃料取り出し用カバーに係る確認事項

別添－４　３号機燃料取り出し用カバーに係る確認事項

別添－５　３号機原子炉建屋の躯体状況調査結果を反映した使用済燃料プール等の耐震安全性評価結果

別添－６　３号機原子炉建屋 遮へい体設置における滑動対策について

別添－７　２号機燃料取り出し用構台に係る確認事項

別添－８　２号機原子炉建屋 オペレーティングフロア床面に設置する遮蔽体の落下防止について

別添－９　１号機大型カバーに係る確認事項

別添－１０　水平２方向及び鉛直方向地震力の同時入力時に用いる模擬地震波について

別添－１１　１号機大型カバーの構造強度及び耐震性に関する補足説明

別添－１２　１号機原子炉建屋外壁の３次元 FEM 解析による耐震安全性評価

別添―１３　１号機ランウェイガーダに係る確認事項

特定原子力施設監視・
評価検討会（第４回）
資料4
（第3回資料4を一部改定）

福島第一原子力発電所
３号機燃料取り出し用カバーの
構造強度及び耐震性について

平成２５年2月21日
東京電力株式会社

東京電力 TEPCO

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

１．施設概要と要求機能

２．構造概要

３．設計概要

４．解析モデル

５．耐震性に対する検討結果

６．建屋損傷の反映状況と今後の対応

・　コメント回答

・　参考資料

東京電力 TEPCO

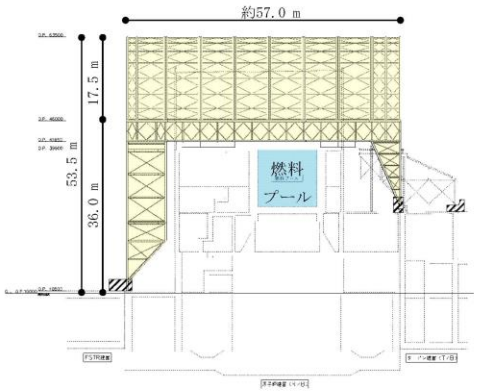
無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

※O.P.表記は震災前の「旧 O.P.表記」を指す。
T.P.表記に換算する際は、震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P.から T.P.への読替値(-727mm)を用いて，下式に基づき換算する。
＜換算式＞ T.P.=旧 O.P.-1.436mm

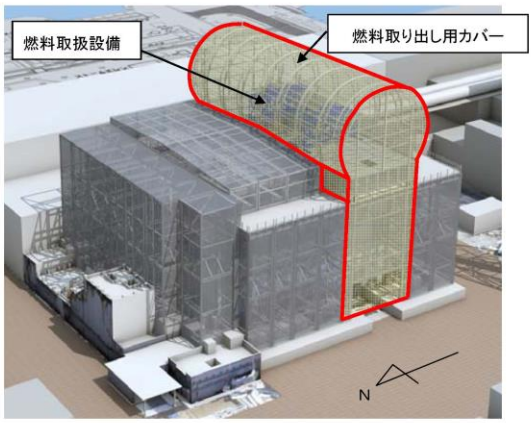
1． 施設概要と要求機能

（1）施設概要

- 燃料取り出し用カバーは、プール内燃料の取り出しと燃料取り出し中の作業環境保持のために設置する。
- 東西約57.0m、南北約22.8m、高さ53.5m の鉄骨構造物で、周囲を鋼製の折板で覆う。



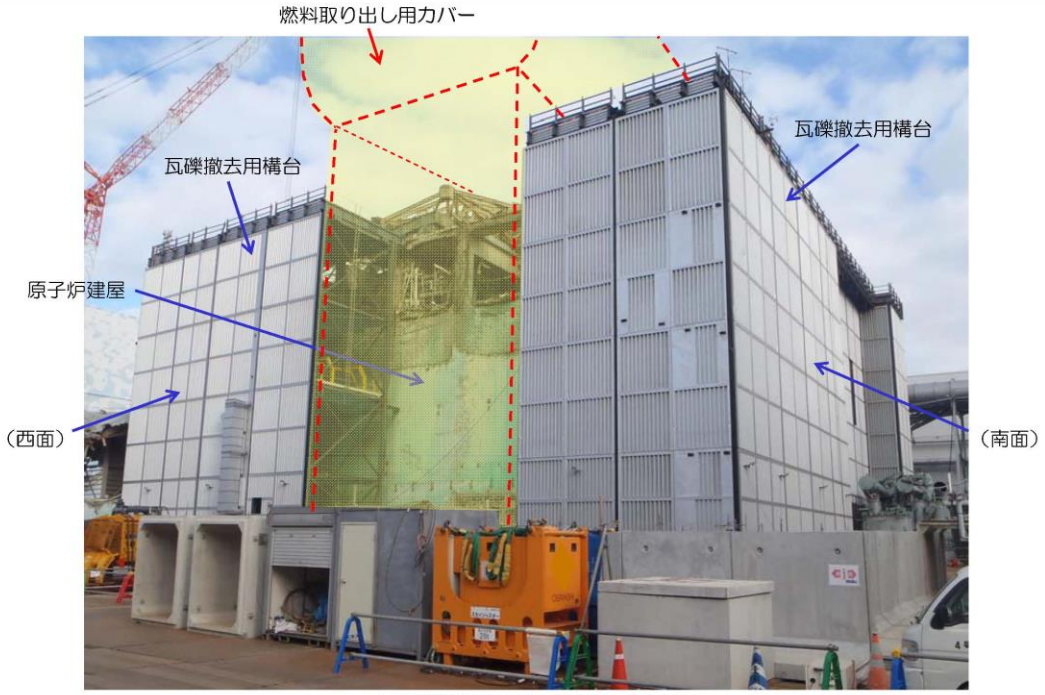
東西断面図



完成イメージ図（北西側外観）

無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

1． 施設概要と要求機能



３号機原子炉建屋の現況写真
（南西面、2013年1月8日撮影）

無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

※O.P.表記は震災前の「旧 O.P.表記」を指す。
T.P.表記に換算する際は、震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P.から T.P.への読替値(-727mm)を用いて，下式に基づき換算する。
＜換算式＞ T.P.=旧 O.P.-1,436mm

1．施設概要と要求機能

（2）要求機能

1．作業環境保持

燃料取り出し作業に支障が生じることのないよう、風雨を遮る構造とする。

2．飛散・拡散抑制

外周覆いの隙間を低減し、排気設備によりカバー内の放射性物質の大気への放出を抑制できる構造とする。

3．燃料取扱設備の支持

燃料取扱設備を支持できる構造とする。

（3）使用期間

ロードマップに示した燃料取り出し作業に支障がない期間とする。

ロードマップ（2012年7月）

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

2．構造概要

（1）構造概要

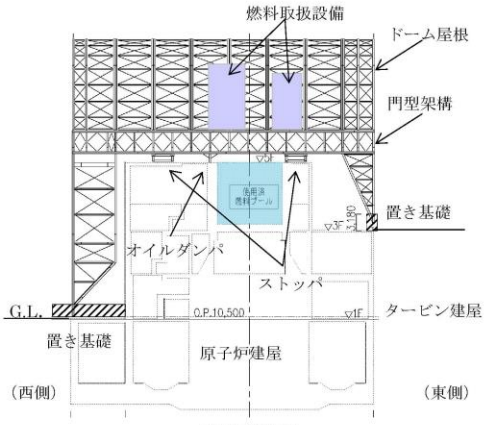
① 高線量下での建設となるため、作業員の被ばくを最小限とする構造とする。

- 軽量の鉄骨トラス構造を採用し、建屋上部に予め大組みした鉄骨ブロックをクレーンで吊り込むことで、現地作業の低減をはかる。
- 建屋との取り合い部は、アンカー等による固縛が不要な構造とし、現地作業の低減をはかる。

② 建屋１、３階部にコンクリート造の置き基礎を設け、燃料取扱い設備を支持する門型架構を構築する。

③ 門型架構の中央部にはストッパおよびオイルダンパを配置し、地震時の建屋との一体挙動を確保する。

④ 門型架構の上部に、軽量のドーム屋根を取り付けて、燃料取り出し時の作業空間を確保する。

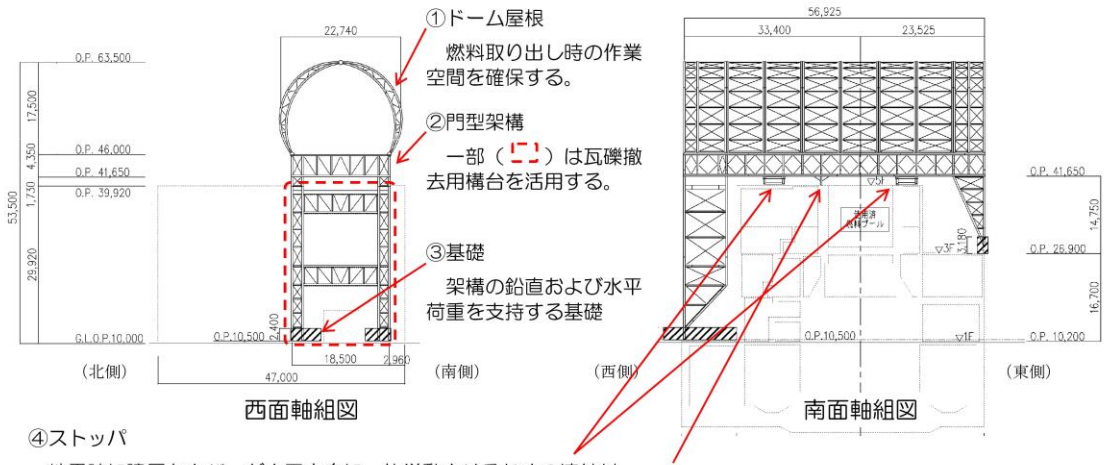


東西断面図

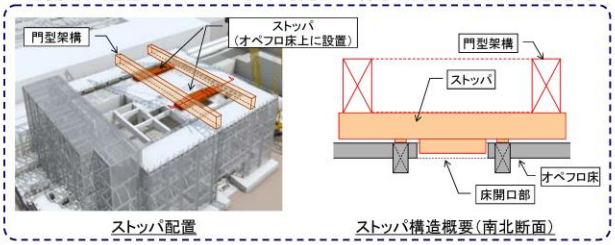
無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

※O.P.表記は震災前の「旧 O.P.表記」を指す。
T.P.表記に換算する際は、震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P.から T.P.への読替値(-727mm)を用いて，下式に基づき換算する。
＜換算式＞ T.P.=旧 O.P.-1,436mm

2. 構造概要

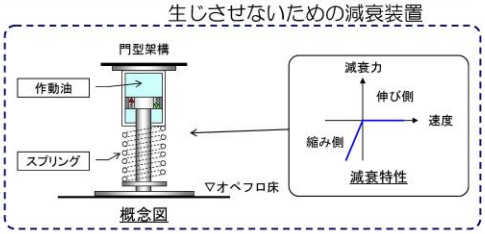


④ストッパ
地震時に建屋とカバーが水平方向に一体挙動させるための連結材



ストッパ配置　　ストッパ構造概要（南北断面）

⑤オイルダンパ： 地震時に鉛直方向に過度の揺れを生じさせないための減衰装置

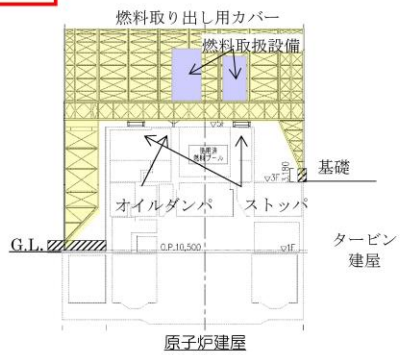


概念図

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

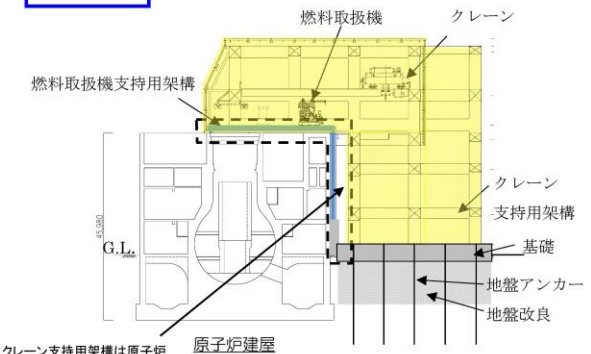
2. 構造概要　（2）４号機との比較

3号機



原子炉建屋 東西断面図

4号機



クレーン支持用架構は原子炉建屋とは縁が切れている。　原子炉建屋 南北断面図

放射線量の高い作業環境（数m～数百mSv/h）	⇔	放射線量の比較的低い作業環境（1.0mSv/h程度）
軽量の鉄骨トラス構造物とし、建屋上部に設置	⇔	大型の鉄骨柱・梁構造物とし、建屋と分離設置
小型の基礎、ストッパ等を介し建屋と一体化	⇔	地盤改良等による独立基礎で支持
		建屋と一体の燃料取扱機支持用架構を別途設置

⇩

現地作業を低減し作業員の被ばくを最小限とする

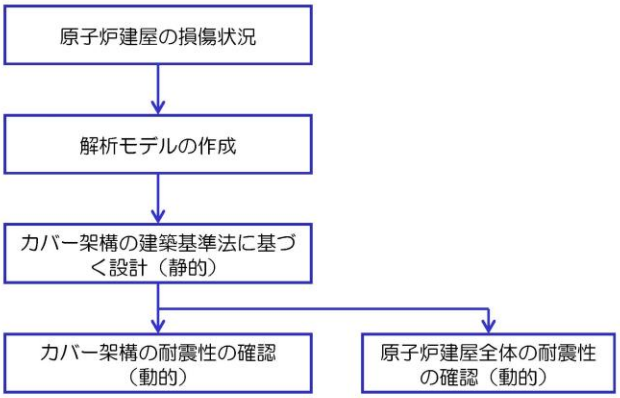
無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

※O.P.表記は震災前の「旧 O.P.表記」を指す。
T.P.表記に換算する際は、震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P.から T.P.への読替値(-727mm)を用いて，下式に基づき換算する。
＜換算式＞ T.P.=旧 O.P.-1,436mm

3. 設計概要

設計方針

- 耐震クラスは、燃料取り出し用カバーは安全機能を有しないため定めない。
- 設計は、建築基準法（地震*1、風圧力*2、積雪）に基づく。
- 基準地震動Ssに対して耐震性*3を確認する。



*1：建築基準法で定める地震力の1.5倍を考慮する。

*2：基準風速30m/s（10分間平均風速、最大瞬間風速50m/s相当）

*3：原子炉建屋、使用済み燃料プールおよび使用済み燃料貯蔵ラックに波及的影響を与えないこと。

（注記）その他の荷重に対する考え方

津波：燃料取り出し用カバーは鉄骨トラスと鋼製の外装材により構成されているが、閉空間になっておらず、津波襲来時には、水は燃料取り出し用カバーの裏側に回り込む。そのため、津波による波圧は生じにくい。

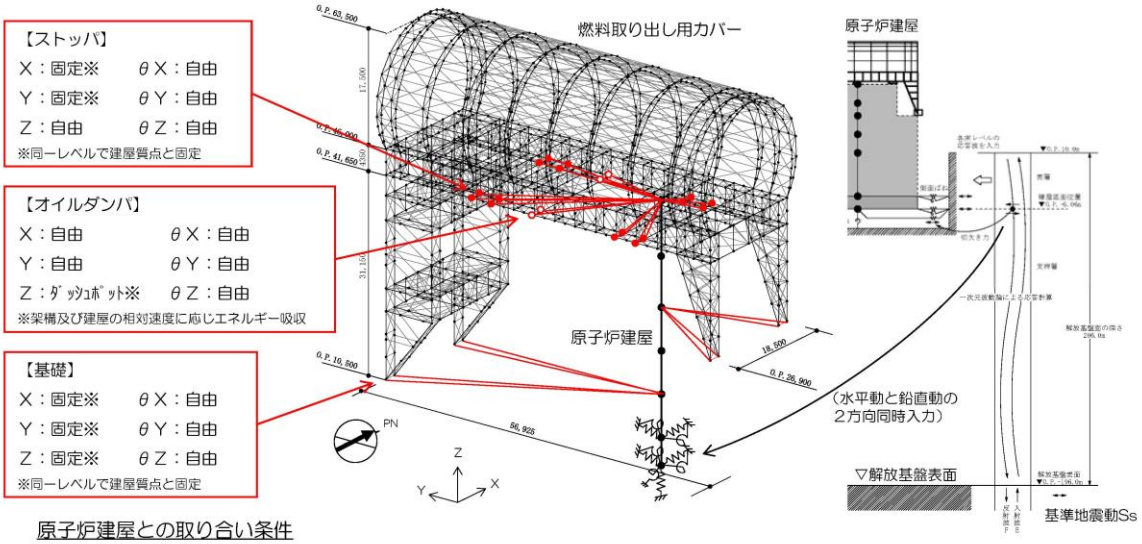
暴風：外装材は、設計風圧力の約4倍の耐力を有することを確認している。

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

4. 解析モデル

基準地震動Ssに対する耐震性評価モデル

- 立体架構を原子炉建屋の質点系モデルに接続したモデルとし、地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成系モデルとする。



原子炉建屋との取り合い条件　　解析モデル　　入力動の概念図

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

※O.P.表記は震災前の「旧 O.P.表記」を指す。
T.P.表記に換算する際は、震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P.から T.P.への読替値(-727mm)を用いて，下式に基づき換算する。
＜換算式＞ T.P.=旧 O.P.-1,436mm

5. 耐震性に対する検討結果

いずれも評価クライテリア以下であることを確認した。

（1）架構の耐震性

部位	評価項目	検定比、最大応答値	評価クライテリア	判定
門型架構	層間変形角	1/720	1/75以下	OK
門型架構	塑性率	0.75	5以下	OK
ドーム屋根	塑性率	0.90	5以下	OK
オイルダンパ	相対変位	72 mm	100 mm以下	OK
	相対速度	0.48 m/s	1.0 m/s以下	OK
ストッパ	せん断耐力比	0.42	1.0以下	OK
基礎	浮き上がりの有無	生じない	生じないこと	OK
	すべり摩擦抵抗比	0.59	1.0以下	OK

（2）原子炉建屋の耐震性

部位	評価項目	検定比、最大応答値	評価クライテリア	判定
ストッパ接触部	支圧耐力比	0.54	1.0以下	OK
オイルダンパ接触部	支圧耐力比	0.19	1.0以下	OK
基礎設置部	圧縮耐力比	0.29	1.0以下	OK
原子炉建屋	せん断ひずみ	0.14×10^{-3}	4.0×10^{-3}以下	OK

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

6. 建屋損傷の反映状況と今後の予定

（1）建屋損傷の反映状況

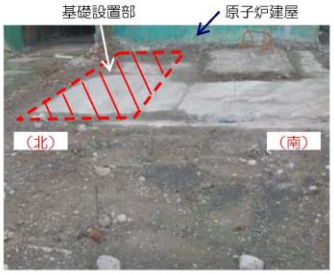
・外壁　：損傷状況を解析モデルに反映

・基礎設置部：目視調査により損傷が無いことを確認

①西面

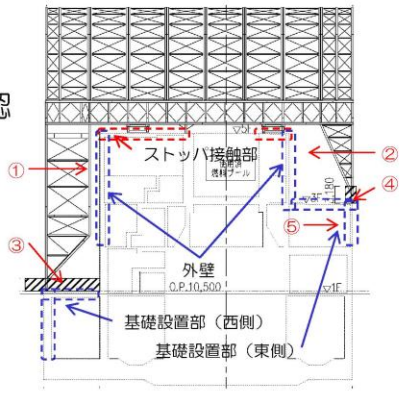
②東面

外壁



③基礎設置部（西側）

④基礎設置部（東側、外部）



⑤基礎設置部（東側、内部）

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

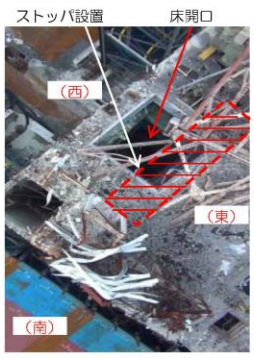
※O.P.表記は震災前の「旧 O.P.表記」を指す。
T.P.表記に換算する際は、震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P.から T.P.への読替値(-727mm)を用いて，下式に基づき換算する。
＜換算式＞ T.P.=旧 O.P.-1.436mm

6. 建屋損傷の反映状況と今後の予定

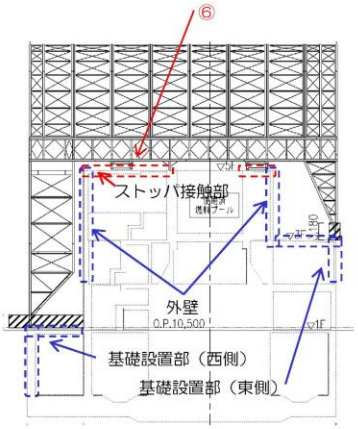
（2）今後の予定

・ストッパ接触部：瓦礫撤去後にカメラ等による無人調査を予定

今後、燃料取出し開始前に、瓦礫撤去後予定する建屋オペフロ床の調査結果を基に、安全性の再確認を実施する。



⑥ストッパ接触部（南西部）



無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

コメント回答①

①使用期間と設計のクライテリアは密接に関係することから、３号機燃料取り出し用カバーの使用期間を明確に記載すること。仮に、燃料取り出し後も継続使用するのであれば、竜巻、あるいは地震・津波に関わる新安全設計基準にどのように対応するつもりなのかを明確にすること。

使用期間

３号機燃料取り出し用カバーの使用期間は、ロードマップに示した「使用済み燃料」取り出し作業に支障がない期間（2017年度頃まで）としている。

その後に計画している「デブリ燃料」取り出し作業に関しては、別の構造体を構築することを想定している。当該構造体については、別途申請する予定である。

ロードマップ（2012年7月）

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

コメント回答②

②ＪＳＣＡのクライテリア（層間変形角１／７５、層の塑性率４以下、部材の塑性率５以下を満足すること）については、一般の建築物に採用するクライテリアであるため、使用期間及び耐震安全性の観点から、リスク評価の観点から検討し、燃料取り出し用カバーの設計に適用して支障ないことを説明すること。特に、①とも関係し、ドーム屋根の塑性率に対する検定比が0.90となっていることは、仮に損傷を受けた場合に、補修方法も含めて問題がないか説明すること。

１．評価には、ＪＳＣＡ及び日本建築センター両者のクライテリアを用いている。

日本建築センターのクライテリアは、層間変形角１／１００以下、層の塑性率２以下、部材の塑性率４以下とされており、これを越える場合には、水平変形に伴う鉛直荷重の付加的影響を考慮した解析を実施し、安全性を確認するものとされている。

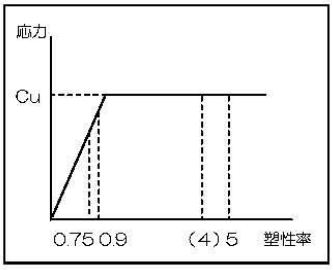
無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

コメント回答②

２．評価結果は、ＪＳＣＡ及び日本建築センター両者のクライテリアに対し十分余裕がある結果となっており、十分な耐震安全性を確保している。

部位	評価項目	最大応答値	評価クライテリア	耐震余裕
門型架構	層間変形角	1/720	1/75以下 （1/100以下）	9.6倍 （7.2倍）
門型架構	塑性率	0.75	5以下 （4以下）	6.6倍 （5.3倍）
ドーム屋根	塑性率	0.90	5以下 （4以下）	5.5倍 （4.4倍）

（注）（ ）は、日本建築センター「時刻歴応答解析建築物性能評価業務方法書」の判定基準に基づく値を示す。



門型架構、ドーム屋根の最大塑性率

（注）Cuは、建築学会鋼構造設計規準、建築基準法告示を基に算定した座屈荷重

３．本構造物の使用期間は、前述の通り一般の建築物に比べ短い。

⇨ 2つのクライテリアを用いること、両者のクライテリアに対し十分余裕があること、使用期間が一般の建築物に比べ短いことから、３号機燃料取り出し用カバーの耐震性評価に適用して支障がないと考えている。

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

※O.P.表記は震災前の「旧 O.P.表記」を指す。
T.P.表記に換算する際は、震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P.から T.P.への読替値(-727mm)を用いて，下式に基づき換算する。
＜換算式＞ T.P.=旧 O.P.-1,436mm

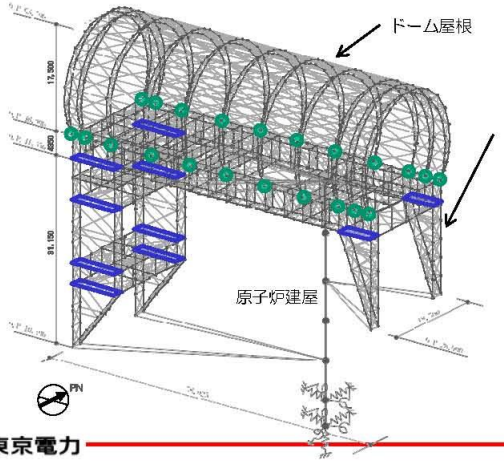
コメント回答③

③鋼構造において接合部等の詳細設計は耐震安全性を判断する上で重要な審査項目であるので、接合部等の詳細設計結果を追加報告すること。

1．接合部の設計方針

・原則として、保有耐力接合（接合部で破断させない設計）とする。

・高線量下での作業となる一部の現地接合部については、発生応力に対する強度設計を行う。（強度余裕確保）



現地接合箇所	接合部設計方針
：門型架構現地接合部（柱部）	発生応力に対する強度設計
：ドーム屋根現地接合部（脚部）	
無印：その他の接合箇所	⇨ 保有耐力接合

（注）「保有耐力接合」：母材の耐力が十分に発揮されるように「接合部破断耐力>母材耐力」となるように破断の検討を行うこと

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

コメント回答③

2．基準地震動Ssに対する接合部の検討結果

架構	検討部位	設計	検定比（最大箇所）	耐震余裕
門型架構	現地接合部（柱部）	発生応力に対する強度設計	0.60≦1.0（フランジプレート）	1.6倍
ドーム屋根	現地接合部（脚部）	発生応力に対する強度設計	0.36≦1.0（スプライスプレート）	2.7倍
門型架構 ドーム屋根	その他の接合部	保有耐力接合	接合部では破断しない	

（注）検定比＝発生応力／接合部破断耐力

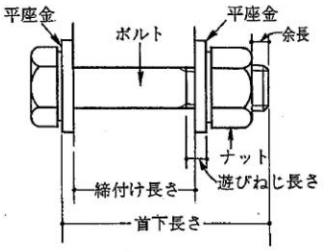
無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

コメント回答④

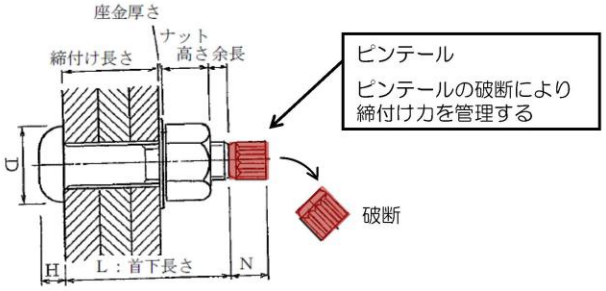
④立ち入りが難しい場所で施工管理（特に接合部）の計画について説明すること。

1．有人にて現地作業が行えるよう、除染、遮へいにより作業環境を確保する。

2．ボルト接合部については、短時間の現地作業によって安定した品質確保及び品質管理が可能なトルシア型の高力ボルト接合工法を採用する。



一般的なボルトの例



今回採用を予定しているトルシア型高力ボルト

3．施工品質の管理は、作業完了後に、施工会社（協力会社）が現場環境を考慮し、全数確認（遠隔操作室からのカメラまたはその他のカメラ、あるいは目視）を実施し、東京電力は抜き取りで確認を実施する。

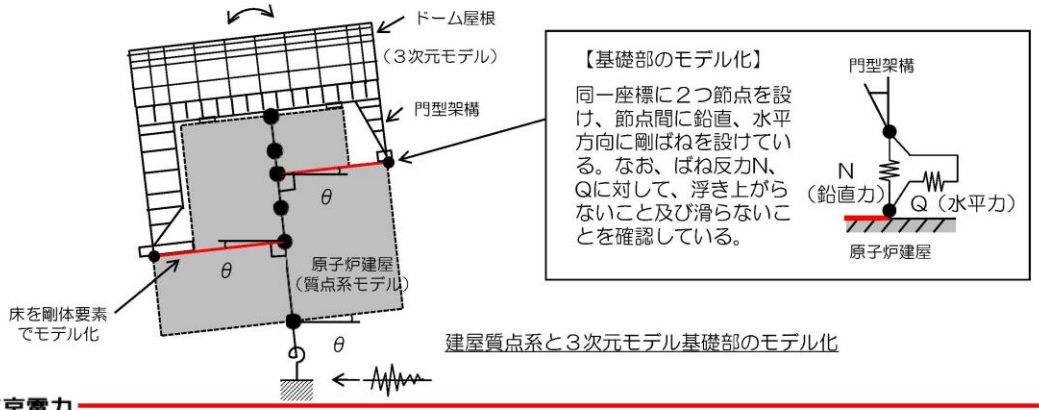
無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

コメント回答⑤

⑤燃料取り出し用カバーの３次元モデルと原子炉建屋の質点系モデルを連成した地震応答解析モデルにおいて、原子炉建屋の剛体的なロッキング運動による燃料取り出し用カバーへの影響（架構基礎部からの鉛直動入力及び柱脚基礎部の相対変位）を反映されていることについて説明すること。

・建屋のロッキング運動による影響を摸擬するため、距離効果を表現できる剛体要素で建屋質点系モデルと３次元モデルの基礎部を連結する。

・さらに、基礎との連結部には鉛直と水平方向に剛ばねを設け、建屋から架構基礎への入力伝達が表現できる境界条件となっている。



建屋質点系と３次元モデル基礎部のモデル化

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

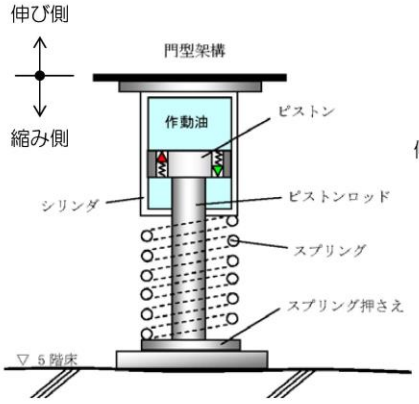
※O.P.表記は震災前の「旧 O.P.表記」を指す。
T.P.表記に換算する際は、震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P.から T.P.への読替値(-727mm)を用いて，下式に基づき換算する。
＜換算式＞ T.P.=旧 O.P.-1,436mm

コメント回答⑥

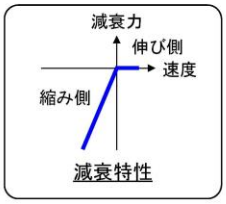
⑥オイルダンパーの機構が分かりにくいので確認したい。資料に示された復元力特性は、横軸が速度で良いかについて確認したい。

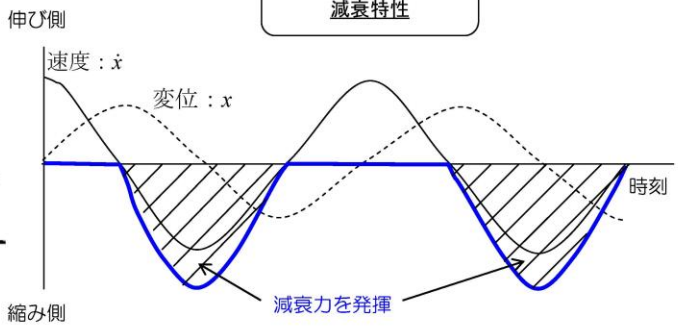
オイルダンパの減衰特性の横軸は速度を示している。

オイルダンパは、地震時に上下方向の縮み側に変形する場合に減衰力が発生し、伸び側に変形する場合にフリーとなる機構を有している。



オイルダンパ概念図





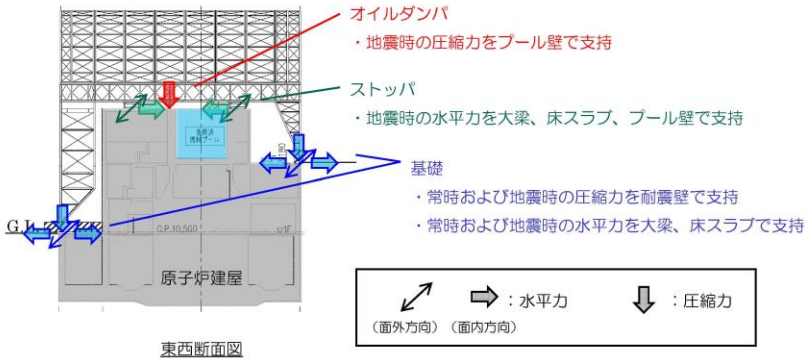
無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

コメント回答⑦

⑦今回設置する構造物の荷重が原子炉建屋にどのようにかかるのか。建屋カバー（燃料取り出し用カバー）を考慮した場合と考慮しない場合の建屋の耐震上の余裕の変化を主要な部分についてまとめて示して欲しい。

・燃料取り出し用カバーからの荷重は、ストッパ接触部、オイルダンパ接触部、基礎設置部から原子炉建屋に作用する。

・接触部の原子炉建屋躯体については、耐震安全性を確認している。（構造強度 p.43、耐震性p.67）



東西断面図

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

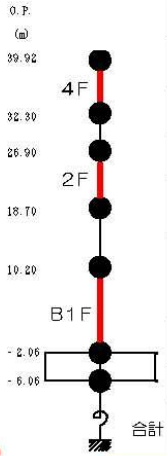
※O.P.表記は震災前の「旧 O.P.表記」を指す。
T.P.表記に換算する際は、震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P.から T.P.への読替値(-727mm)を用いて，下式に基づき換算する。
＜換算式＞ T.P.=旧 O.P.-1.436mm

コメント回答⑦

・カバー設置前後の、原子炉建屋重量および、建屋の主要な耐震安全指標として、基準地震動Ssによる耐震壁の評価結果を以下に示す。

・原子炉建屋に対して、カバー設置による影響はほとんど見られない。

原子炉建屋質点重量の比較



質点重量 W (kN)		設置後
カバー設置前	カバー設置後	設置前
78,130	87,590	1.12
119,490	119,490	1.00
109,640	111,340	1.02
130,160	130,160	1.00
226,760	253,710	1.12
301,020	301,020	1.00
127,000	127,000	1.00
1,092,200	1,130,310	1.03

耐震壁の耐震安全性評価結果（単位：$\times 10^{-3}$）

部位	最大応答せん断ひずみ		評価クライテリア
	カバー設置前	カバー設置後	
4F	0.10 (40.0)	0.11 (36.3)	4.0
2F	0.10 (40.0)	0.11 (36.3)	4.0
B1F	0.09 (44.4)	0.10 (40.0)	4.0

注）（ ）内は裕度（評価クライテリア／最大応答値）を示す。

（出典）カバー設置前の数値は、「福島第一原子力発電所の原子炉建屋の現状の耐震安全性および補強等に関する検討に係る報告書（その２）」（東京電力株式会社、平成23年7月13日による。

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

コメント回答⑧

⑧燃料取り出し用カバー東側の２つの支点を支える置き基礎の直下、あるいはダンパの直下の既存コンクリート接触部の鉛直耐力は局所的な損傷等を考慮し十分な余裕を見ているか。あるいは補強などは行わないのか。

・燃料取り出し用カバーの基礎およびオイルダンパの支点は、直下に強固な耐震壁（オイルダンパ部はプール壁）のある部分に設定している。

・Ｓｓ地震時の評価結果は、以下に示す通り３倍以上の余裕のある結果となっている。

原子炉建屋接触部の耐震安全性評価結果

部位	検討用応力 (kN)	耐力 (kN)	耐力比	裕度
東側基礎	7430	25900	0.29	3.4
オイルダンパ	1250	6620	0.19	5.2

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

コメント回答⑨

⑨東側置き基礎の滑り摩擦抵抗は直下に接する既存コンクリート部の損傷、凹凸など考慮したものになっているか。

・基礎は現地で既存コンクリート上部にコンクリートを流し込む方法で構築している。従って、凹凸などに対し密着性を確保している。

・日本建築学会「現場打ち同等型プレキャストコンクリート構造設計指針(案)・同解説（2002）」に様々な条件下での摩擦係数が規定されている。今回の基礎底面の摩擦抵抗は凹凸などは考慮せず、コンクリートーコンクリート間に相当すると考え、摩擦係数として0.6を採用している。

境界面の状態	摩擦係数
コンクリートーコンクリート間	0.6
目荒ししたコンクリートーコンクリート間	1.0
一体で打設したコンクリートーコンクリート間	1.4

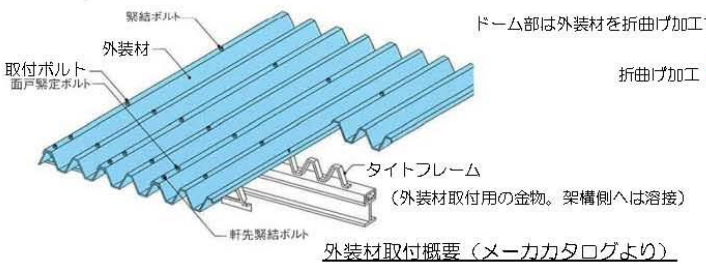
・なお、米国規準（ＡＣＩ 318）でも、日本建築学会と同様、0.6の摩擦係数が規定されている。

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

コメント回答⑩

⑩燃料取り出し用カバーの外装材の耐震性は大丈夫か（地震時の層間変形に対して安全な構法か、特に東西面の円形部分）。

・外装材は下図に示す通り、ボルトを用いてタイトフレームを介して直接架構に取付ける納まりとなっている。



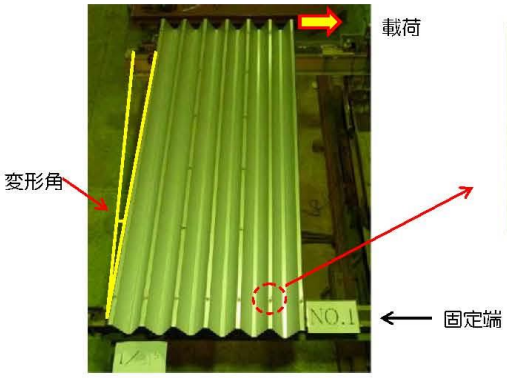
外装材取付概要（メーカカタログより）

ドーム部外装材　加工試作

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

コメント回答⑩

・変形に対する外装材の追従性の確認試験を行い、外装材の変形角1/30でも外装材は外れず、地震時の変形に対して追従性があることを確認している。



外装材せん断試験結果（変形角1/30）

（損傷なし）

取付け部詳細

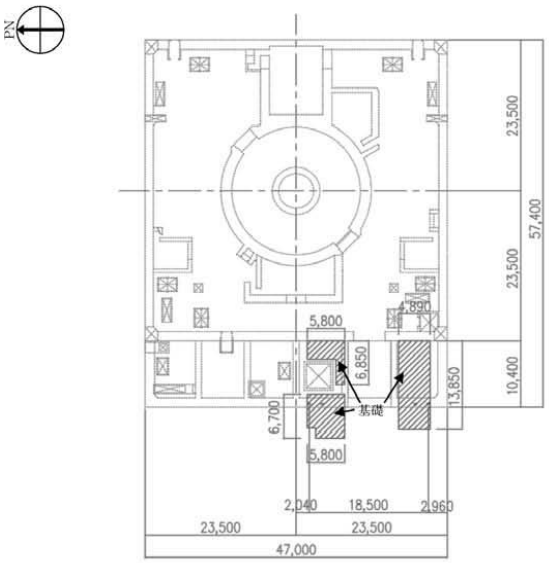
無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

【参考資料】

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

※O.P.表記は震災前の「旧 O.P.表記」を指す。
T.P.表記に換算する際は、震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P.から T.P.への読替値(-727mm)を用いて，下式に基づき換算する。
＜換算式＞ T.P.=旧 O.P.-1.436mm

参考１　構造概要

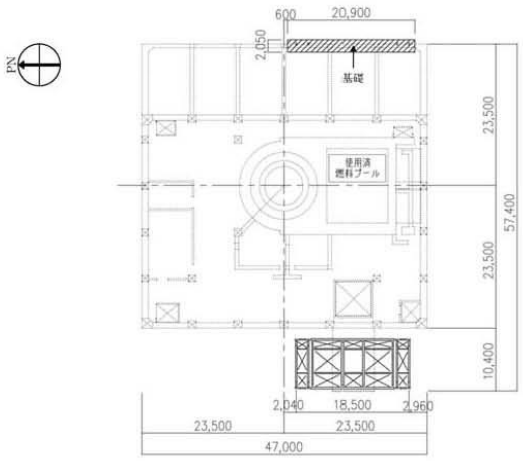


（a）　基礎伏図（O.P.10,500 原子炉建屋１階レベル+300mm）

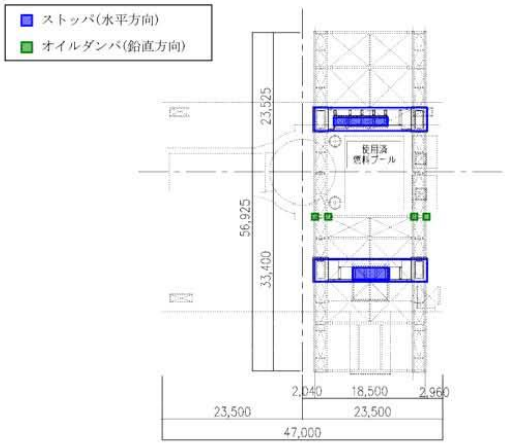
燃料取り出し用カバーの概要（単位：mm）

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

参考１　構造概要



（a）　基礎伏図（O.P.26,900　原子炉建屋３階）



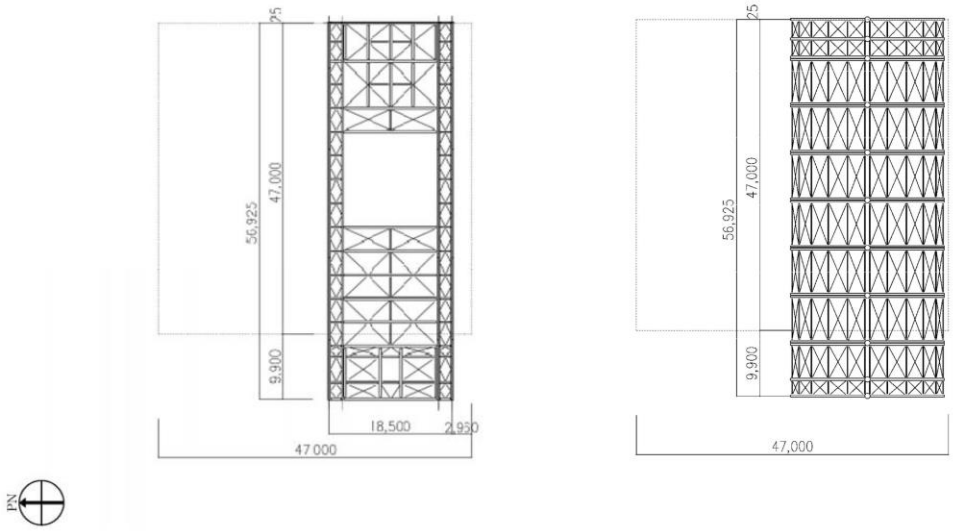
（b）　梁伏図（O.P.26,900　原子炉建屋５階）

燃料取り出し用カバーの概要（単位：mm）

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

※O.P.表記は震災前の「旧 O.P.表記」を指す。
T.P.表記に換算する際は、震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P.から T.P.への読替値(-727mm)を用いて，下式に基づき換算する。
＜換算式＞ T.P.=旧 O.P.-1.436mm

参考１　構造概要

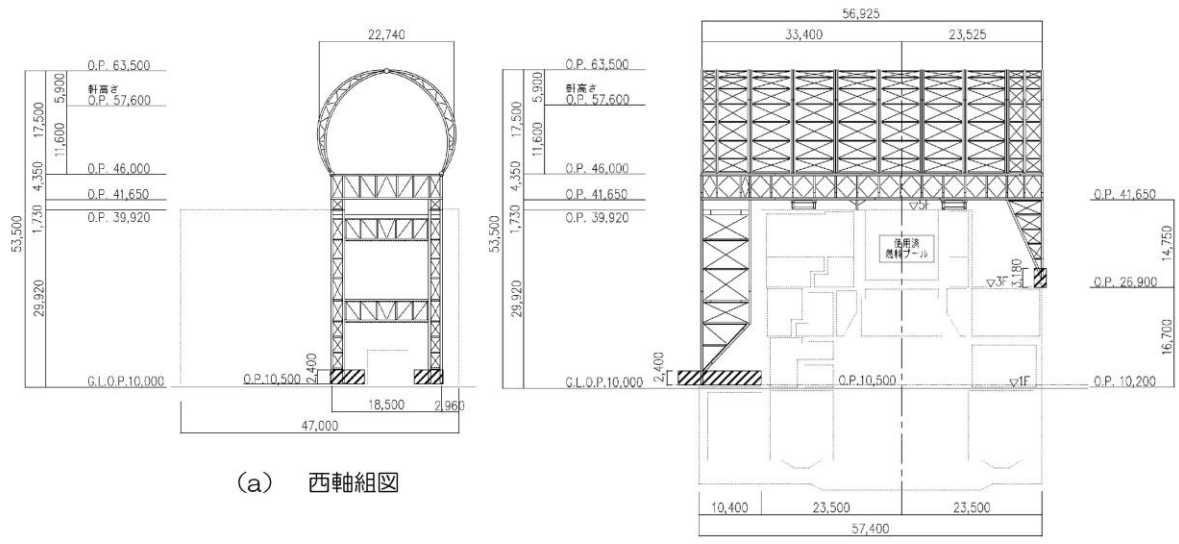


（a）　架構ガーダー部平面図（O.P.46,000 ）　　（b）　屋根伏図

燃料取り出し用カバーの概要（単位：mm）

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

参考１　構造概要

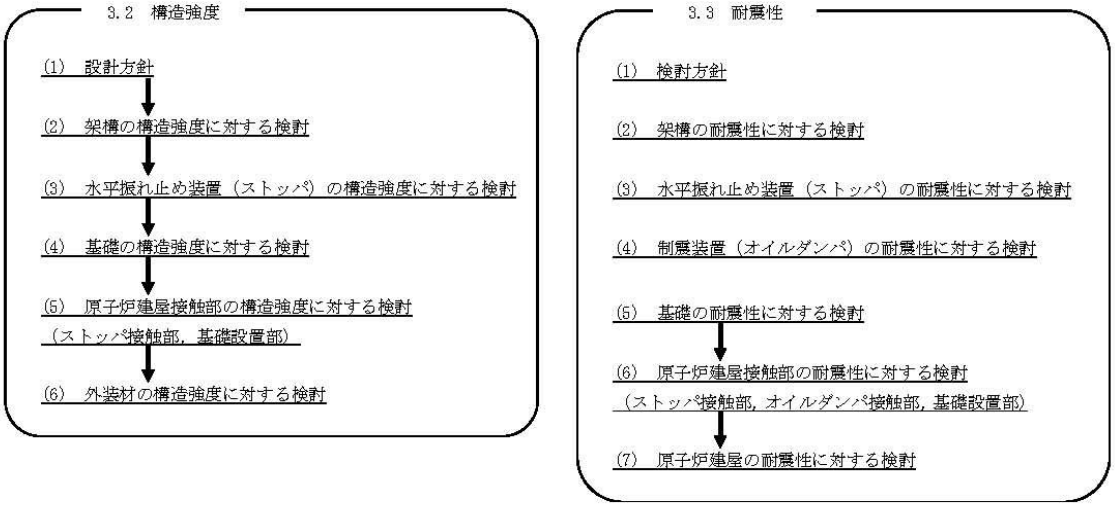


（a）　西軸組図　　（b）　南軸組図

燃料取り出し用カバーの概要（単位：mm）

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

参考２　検討フロー



無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

参考３　構造強度

（1） 設計方針

1）使用材料及び許容応力度

材料定数

部位	材料	ヤング係数 E（N/mm²）	ポアソン比 ν	単位体積重量 γ（kN/m³）
架　構	鉄骨	2.05×10^5	0.3	77.0
基　礎	コンクリート	2.27×10^4	0.2	24.0

コンクリートの許容応力度　（単位：N/mm²）

	長期			短期		
設計基準強度＝24	圧縮	引張	せん断	圧縮	引張	せん断
	8.0	—	0.73	16.0	—	1.095

鉄筋の許容応力度　（単位：N/mm²）

記号	鉄筋径	長期		短期	
		引張及び圧縮	せん断補強	引張及び圧縮	せん断補強
SD345	D29未満	215	195	345	345
	D29以上	195			

構造用鋼材の許容応力度　（単位：N/mm²）

板厚	材料	基準強度F	許容応力度
T≦40mm	SS400，SN400B	235	「鋼構造設計規準」に従い，左記Fの値より求める
T＞40mm	SN400B	215	
T≦40mm	SM490A，SN490B，STK490	325	
—	STKT590	440*	

＊「JIS G 3474-2008」による

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

※O.P.表記は震災前の「旧 O.P.表記」を指す。
T.P.表記に換算する際は、震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P.から T.P.への読替値(-727mm)を用いて，下式に基づき換算する。
＜換算式＞ T.P.=旧 O.P.-1,436mm

参考３　構造強度

（１） 設計方針

2）荷重及び荷重組合せ

・鉛直荷重（VL）

燃料取り出し用カバーに作用する鉛直方向の荷重で，固定荷重，機器荷重，配管荷重及び積載荷重とする。

・燃料取扱設備荷重（CL）

燃料取扱機	788 kN
クレーン	755 kN
吊荷	461 kN

・積雪荷重（SL）

積雪荷重は建築基準法施行令及び福島県建築基準法施行規則細則に準拠し以下の条件とする。

積雪量：30cm，単位荷重：20N/m^2/cm

・風圧力（WL）

建築基準法施行令第87条に基づき，基準風速を30m/s，地表面粗度区分Ⅱとして算定する。

建物高さ* H (m)	平均風速の鉛直分布係数 Er	ガスト影響係数 Gf	建物高さと粗度区分による係数 E	基準風速 Vo (m/s)	速度圧 q (N/m^2)
50.55	1.27	2.00	3.23	30	1750

※：建物高さは，軒高さ（47.60m）と最高高さ（53.50m）の平均値とした

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

参考３　構造強度

（１） 設計方針

2）荷重及び荷重組合せ

・地震荷重（K）

燃料取り出し用カバーに作用させる地震荷重は，O.P.-2.06m（原子炉建屋基礎スラブ上端レベル）を基準面とした原子炉建屋の水平地震力の算定結果より設定する。原子炉建屋の水平地震力は下式より算定する。

$$Qi = n \cdot Ci \cdot Wi$$

$$Ci = Z \cdot Rt \cdot Ai \cdot Co$$

Qi　：水平地震力（kN）
n　：施設の重要度に応じた係数（n=1.5）
　　建築基準法で定める地震力の1.5倍を考慮する。
Ci　：地震層せん断力係数
Z　：地震地域係数（Z=1.0）
Rt　：振動特性係数（Rt=1.0）
Ai　：地震層せん断力係数の高さ方向の分布係数で、
　　原子炉建屋の固有値を用いたモーダル解析法（二乗和平方根法）より求める。
C_0　：標準せん断力係数（C_0=0.2）

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

※O.P.表記は震災前の「旧 O.P.表記」を指す。
T.P.表記に換算する際は、震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P.から T.P.への読替値(-727mm)を用いて，下式に基づき換算する。
＜換算式＞ T.P.=旧 O.P.-1.436mm

参考３　構造強度

（１） 設計方針

2）荷重及び荷重組合せ

・地震荷重（K）

i層の水平震度は下式より算定する。

$$Pi = Q_i - Q_{i-1}$$

$$ki = Pi / wi$$

Pi　：当該階とその直下の水平地震力の差（kN）
wi　：各階重量（kN）

架構に作用させる水平震度は、原子炉建屋1階、3階及び5階の水平震度を用いるものとし、水平地震力を設定する。ドーム屋根部分の水平震度は、建設省告示第1389号に基づく1.0に1.5を乗じて用いる。表3.2-7に燃料取り出し用カバーに作用させる水平地震力の算定結果を示す。

水平地震力の算定結果

標高 O.P.(m)	各階重量 wi(kN)	NS方向		EW方向	
		水平震度 ki	水平地震力 Pi (kN)	水平震度 ki	水平地震力 Pi (kN)
63.50	3200	1.500	4800	1.500	4800
46.00	11400	0.492	5609	0.555	6327
26.90	200	0.286	57	0.272	54
10.20	1200	0.099	119	0.103	124

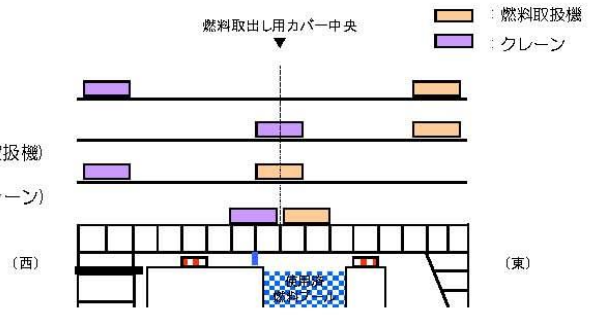
無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

参考３　構造強度

（１） 設計方針

2）荷重及び荷重組合せ

位置A：両端
位置B：中央(クレーン)+東端(燃料取扱機)
位置C：中央(燃料取扱機)+西端(クレーン)
位置D：中央



燃料取扱設備の位置

燃料取り出し用カバーの荷重組合せ

想定する状態	荷重ケース	荷重組合せ内容	許容応力度
常時	C	VL+CL*1	長期
積雪時*3	S	VL+CL*1+SL	短期
暴風時*3	W	VL+CL*1+WL	
地震時	E1	VL+CL*1+K(+NS) *2	
	E2	VL+CL*1+K(-NS) *2	
	E3	VL+CL*1+K(+EW) *2	
	E4	VL+CL*1+K(-EW) *2	

＊1：吊荷荷重は、常時、積雪時及び暴風時は上図に示すクレーンの位置、地震時は使用済燃料プール直上の架構にて考慮する。
＊2：地震荷重はNS方向及びEW方向を考慮する。
＊3：短期事象では地震時が支配的であることから、積雪時及び暴風時の検討は省略する。
ただし、外装材の検討は暴風時が支配的であることから暴風時に対し検討を行う。

東京電力 TEPCO
無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

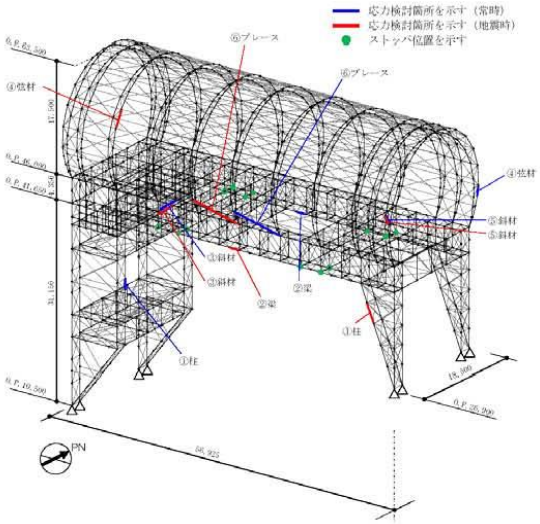
※O.P.表記は震災前の「旧 O.P.表記」を指す。
T.P.表記に換算する際は、震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P.から T.P.への読替値(-727mm)を用いて，下式に基づき換算する。
＜換算式＞ T.P.=旧 O.P.-1,436mm

参考３　構造強度

（２） 架構の強度設計構造強度に対する検討

１）解析モデル

架構の解析モデルは，門型架構及びドーム屋根を構成する主要な鉄骨部材からなる立体架構モデルとする。下図に架構の立体解析モデルを示す。解析モデルの柱脚部はピン支持，ストッパ取り付き部は水平方向のみピン支持とする。



解析モデル図（単位：mm）

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

参考３　構造強度

（２） 架構の強度設計構造強度に対する検討

２）断面検討

応力度比の検討は「鋼構造設計規準」に従い，検討を行う。

全ての部材に対する応力度比が1以下になることを確認した。

断面検討結果（常時）

部　位*1			部材形状 (mm) ＜使用材料＞	荷重ケース （位置） *2	作用応力度 (N/mm²)		許容応力度 (N/mm²)	応力度比	判定
門型架構	①	柱	H-350×350 ×12×19 ＜SM490＞	C (D)	圧縮	77.4	164	0.48	O.K.
	②	梁	H-350×350 ×12×19 ＜SM490＞	C (D)	引張	91.4	216	0.43	O.K.
	③	斜材	2[s-150×75 ×6.5×10 ＜SM490＞	C (D)	圧縮	103.0	120	0.86	O.K.
ドーム屋根	④	弦材	φ-318.5×6.9 ＜STKT590＞	C (B)	引張	33.5	293	0.12	O.K.
	⑤	斜材	φ-139.8×4.5 ＜STK490＞	C (B)	圧縮	43.4	203	0.22	O.K.
	⑥	ブレース	φ-114.3×4.5 ＜STK490＞	C (D)	圧縮	19.4	92	0.22	O.K.

*1：①～⑥の符号はP24の応力検討箇所を示す

*2：P23に示す燃料取扱設備の位置を示す

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

参考３　構造強度

（２） 架構の強度設計構造強度に対する検討

２）断面検討

断面検討結果（地震時）

部　位*1			部材形状 (mm) 〈使用材料〉	荷重ケース （位置）*2	作用 応力度 (N/mm²)		許容 応力度 (N/mm²)	応力度比	判定
門型架構	①	柱	H-350×350 ×12×19 〈SM490〉	E1 (D)	圧縮	138.9	289	0.49	O.K.
	②	梁	H-350×350 ×12×19 〈SM490〉	E1 (D)	引張	108.3	324	0.34	O.K.
	③	斜材	2[s-150×75 ×6.5×10 〈SM490〉	E1 (D)	圧縮	164.5	180	0.92	O.K.
ドーム屋根	④	弦材	φ-267.4×6.6 〈STKT590〉	E1 (D)	圧縮	155.2	396	0.40	O.K.
	⑤	斜材	φ-139.8×4.5 〈STK490〉	E3 (A)	圧縮	165.8	304	0.55	O.K.
	⑥	ブレース	φ-114.3×4.5 〈STK490〉	E3 (D)	圧縮	80.6	138	0.59	O.K.

＊1：①～⑥の符号はP24の応力検討箇所を示す

＊2：P23に示す燃料取扱設備の位置を示す

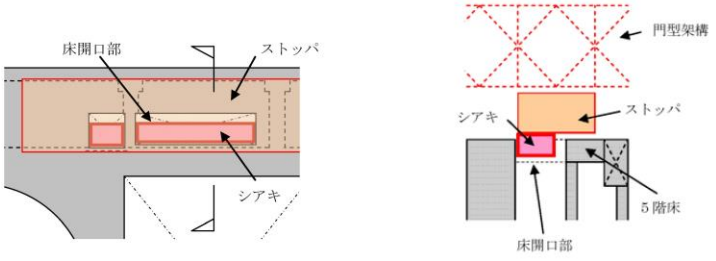
無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

参考３　構造強度

（３） 水平振れ止め装置（ストッパ）の構造強度に対する検討

架構と原子炉建屋を結んだバネ材に発生する水平力の最大値が，床開口に差し込むシアキの短期許容せん断力以下であることを確認する。全ての部材に対する応力度比が1以下になることを確認した。

なお，原子炉建屋と水平振れ止め装置（ストッパ）の接触部については，設置前において，本説明書で想定しているように，施工に十分な状況かどうか，雰囲気線量等の作業安全性を鑑みながら，可能な範囲で確認した点検結果を別途報告するとともに，不具合が見つかった場合には適切に補修等を実施する。



（a）　伏図　　（b）　断面図

ストッパ概要図

全てのストッパに対する応力比が1以下になることを確認した。

断面検討結果（常時）

部位	荷重ケース (位置)*	ストッパ反力 Q(kN)	短期許容せん断力 Qa(kN)	応力比 Q/Qa	判定
東側ストッパ	E4 (A)	2560	8620	0.30	O.K.

＊：P23に示す燃料取扱設備の位置を示す

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

参考３　構造強度

（４）基礎の構造強度に対する検討

基礎の浮き上がりに対しては基礎反力（圧縮力を正）の最小値が0以上であることを確認し，基礎のすべりに対しては基礎反力の水平力が許容摩擦力以下であることを確認する。
なお，基礎底面の摩擦係数は「現場打ち同等型プレキャスト鉄筋コンクリート構造設計指針(案)・同解説(2002)」に準じて，0.6とする。
基礎浮き上がりの検討の結果，全ての基礎の最小圧縮力が0以上であることを確認した。

基礎浮き上がりの検討結果

部位	荷重ケース（位置）＊	最小圧縮力 N(kN)	判定
東側柱脚（北側）	E1（C）	1990	O.K.

＊：P23に示す燃料取扱設備の位置を示す

基礎すべりの検討の結果，全ての基礎に対する応力比が1以下になることを確認した。

基礎すべりの検討結果

部位	荷重ケース（位置）＊	水平力 Q(kN)	許容摩擦力 Va(kN)	応力比 Q/Va	判定
東側柱脚	C（D）	2410	5270	0.46	O.K.
	E4（D）	2430	4580	0.54	O.K.

＊：P23に示す燃料取扱設備の位置を示す

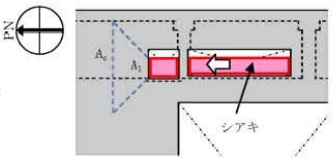
無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

参考３　構造強度

（５）原子炉建屋接触部の構造強度に対する検討

１）ストッパ接触部

ストッパ接触部の構造強度の検討では，ストッパ水平反力が，既存躯体の短期許容支圧力以下になることを確認する。なお，許容支圧応力度は，原子炉建屋の設計基準強度(22.1N/mm²)を用いて「プレストレストコンクリート設計施工規準・同解説」に基づき算出する。
全てのストッパ接触部に対する応力比が1以下になることを確認した。



ストッパ接触部の検討結果

部位	荷重ケース（位置）＊	ストッパ水平反力 N(kN)	短期許容支圧力 Na(kN)	応力比 N/Na	判定
東側ストッパ	E2（B）	3980	10300	0.39	O.K.

＊：P23に示す燃料取扱設備の位置を示す

２）基礎設置部

柱脚の鉛直反力により生じる直下壁の軸力が壁の許容軸力以下であることを確認する。
全ての基礎設置部に対する応力比が1以下になることを確認した。

壁の圧縮力の検討結果

部位	荷重ケース（位置）＊	軸力 N(kN)	許容軸力 Na(kN)	応力比 N/Na	判定
東側柱脚（南側）	C（B）	4280	12900	0.34	O.K.
	E1（B）	6540	25900	0.26	O.K.

＊：P23に示す燃料取扱設備の位置を示す

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

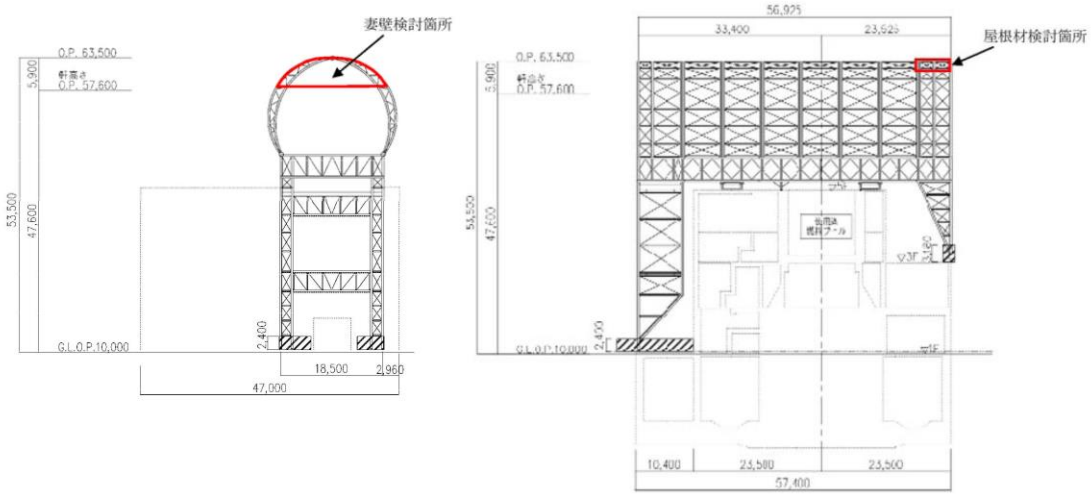
※O.P.表記は震災前の「旧 O.P.表記」を指す。
T.P.表記に換算する際は、震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P.から T.P.への読替値(-727mm)を用いて，下式に基づき換算する。
＜換算式＞ T.P.=旧 O.P.-1,436mm

参考３　構造強度

（６）外装材の構造強度に対する検討

１）検討箇所

架構の屋根面及び側面を覆う外装材は，折板を用いる。強度検討は，壁材，屋根材それぞれに風圧力により生じる応力度が短期許容応力度以下であることを確認する。



外装材検討箇所（単位：mm）

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

参考３　構造強度

（６）外装材の構造強度に対する検討

３）外装材の強度検討

全ての外装材に対する応力度比が1以下になることを確認した。

屋根材及び壁材の材料諸元

板厚	自重	正曲げ方向		負曲げ方向	
		断面2次モーメント	断面係数	断面2次モーメント	断面係数
t (mm)	G (N/m^2)	I_x (cm^4/m)	Z_x (cm^3/m)	I_x (cm^4/m)	Z_x (cm^3/m)
0.8	118	360	43.6（13.1*）	347	40.6（12.2*）

*：括弧内の数値は折曲加工部を示す

応力度に対する検討結果

部位	作用応力度 (N/mm^2)	許容応力度 (N/mm^2)	応力度比	判定
ドーム屋根	189	205*	0.93	O.K.
妻壁	109	205*	0.54	O.K.

*：「JIS G 3321-2010」による

（注）ドーム屋根外装材については、設計風圧力の約４倍の耐力を有することを試験により確認している。

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

※O.P.表記は震災前の「旧 O.P.表記」を指す。
T.P.表記に換算する際は、震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P.から T.P.への読替値(-727mm)を用いて，下式に基づき換算する。
＜換算式＞ T.P.=旧 O.P.-1,436mm

参考４　耐震性

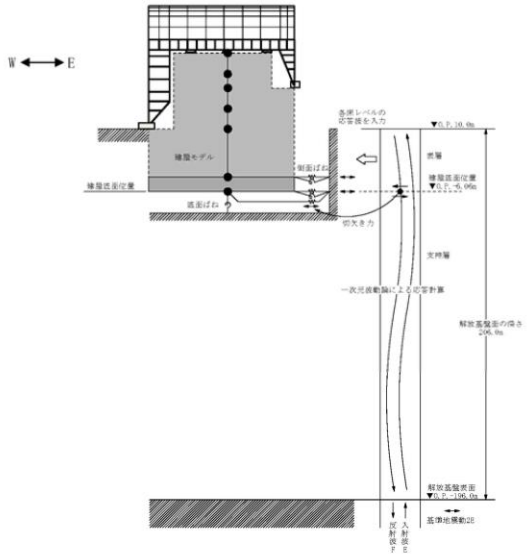
（１）検討方針

耐震性の検討は，架構，水平振れ止め装置（ストッパ），制震装置（オイルダンパ），基礎，原子炉建屋接触部及び原子炉建屋の健全性について行い，基準地震動Ssに対して，これらの応答性状を適切に表現できる地震応答解析を用いて評価する。なお，地震応答解析は水平方向及び鉛直方向を同時に入力する。

（２）架構の耐震性に対する検討

１）解析に用いる入力地震動

検討用地震動は，「福島第一原子力発電所『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　中間報告書」（東京電力株式会社，平成20年3月31日）にて作成した解放基盤表面で定義される基準地震動Ssを用いる。



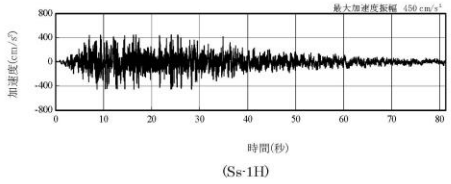
地震応答解析に用いる入力地震動の概念図

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

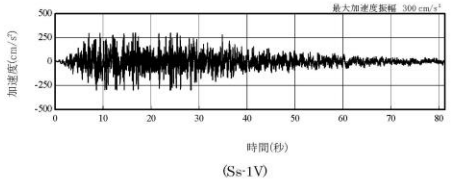
参考４　耐震性

（２）架構の耐震性に対する検討

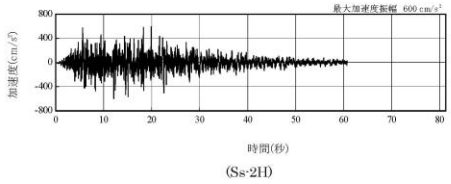
１）解析に用いる入力地震動



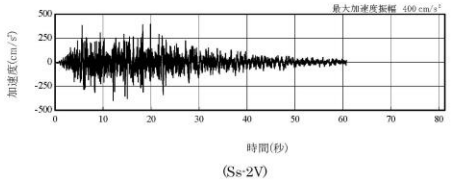
(Ss-1H)



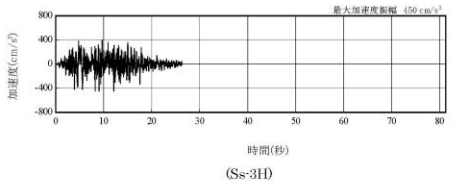
(Ss-1V)



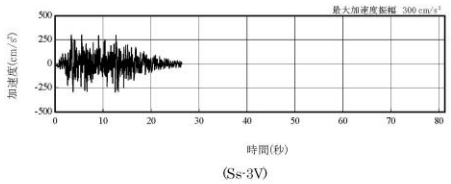
(Ss-2H)



(Ss-2V)



(Ss-3H)



(Ss-3V)

解放基盤表面位置における地震動の加速度時刻歴波形(水平方向)

解放基盤表面位置における地震動の加速度時刻歴波形(鉛直方向)

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

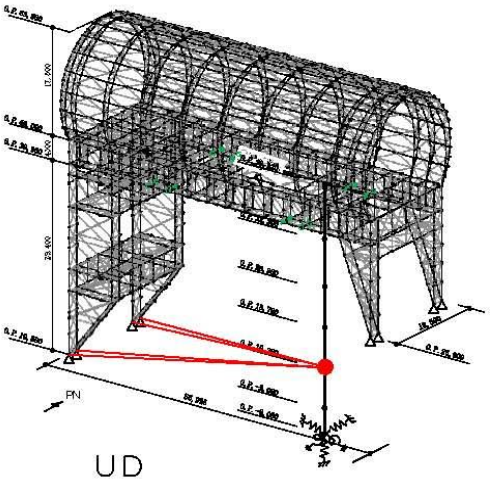
※O.P.表記は震災前の「旧 O.P.表記」を指す。
T.P.表記に換算する際は、震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P.から T.P.への読替値(-727mm)を用いて，下式に基づき換算する。
＜換算式＞ T.P.=旧 O.P.-1.436mm

参考４　耐震性

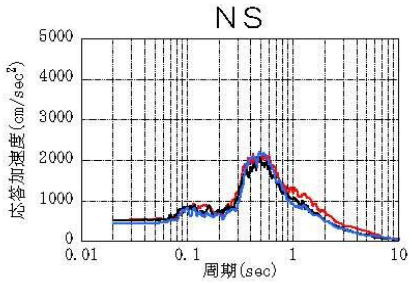
（２）架構の耐震性に対する検討

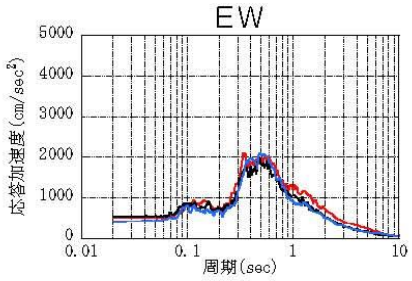
１）解析に用いる入力地震動

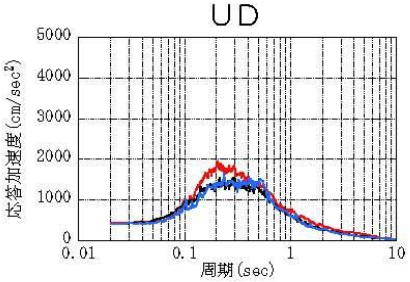
建屋質点の応答解析結果（カバー架構の入力地震動に相当）



1F







(h=2%)
Ss-1
Ss-2
Ss-3

東京電力 TEPCO

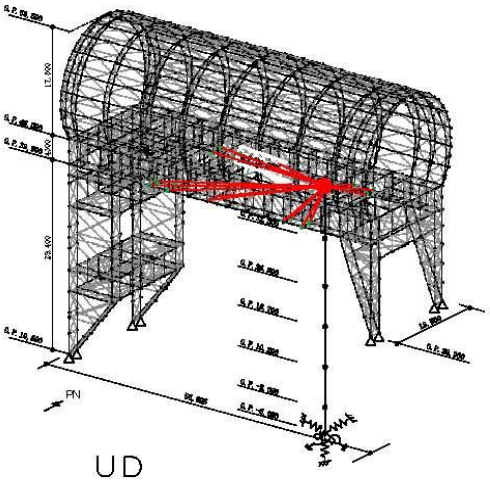
無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

参考４　耐震性

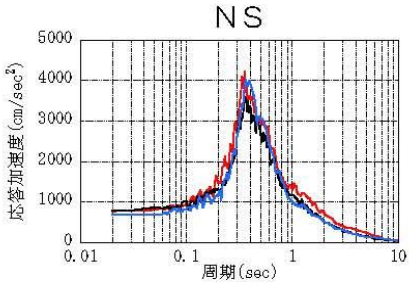
（２）架構の耐震性に対する検討

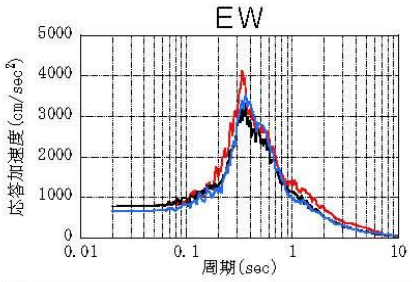
１）解析に用いる入力地震動

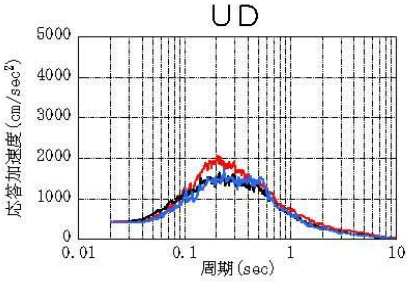
建屋質点の応答解析結果（カバー架構の入力地震動に相当）



5F







(h=2%)
Ss-1
Ss-2
Ss-3

東京電力 TEPCO

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

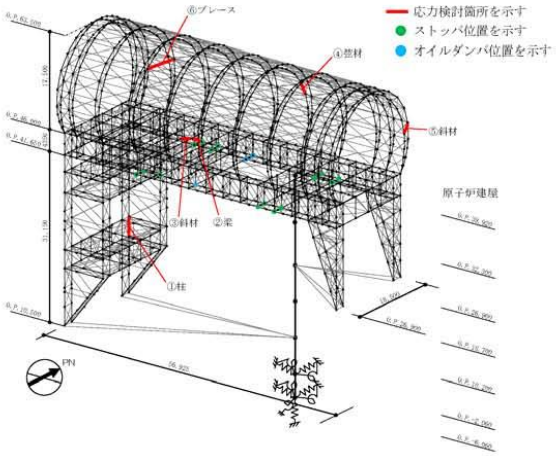
※O.P.表記は震災前の「旧 O.P.表記」を指す。
T.P.表記に換算する際は、震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P.から T.P.への読替値(-727mm)を用いて，下式に基づき換算する。
＜換算式＞ T.P.=旧 O.P.-1,436mm

参考４　耐震性

（２）架構の耐震性に対する検討

２）地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは，門型架構及びドーム屋根を構成する主要な鉄骨部材からなる立体架構を原子炉建屋の質点系モデルに接続した下図に示すモデルとし，地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成系モデルとする。ストッパ取り付き部は原子炉建屋5階質点（O.P.39.92 m）と水平方向同一変位条件とし，鉛直方向の制震装置（オイルダンパ）は原子炉建屋の5階床上面4箇所に門型架構と5階床の鉛直方向相対変位が減少する場合に減衰力を発揮するばねに置換して立体架構モデルに組み込んでいる。



地震応答解析モデル（単位：mm）

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

参考４　耐震性

（２）架構の耐震性に対する検討

２）地震応答解析モデル

地震応答解析に用いる物性値を下表に示す。門型架構及びドーム屋根の部材接合部の質点は仕上げ材等を考慮した重量とし，原子炉建屋の質点は瓦礫撤去の重量等を反映したP38に示す重量とする。門型架構の柱・梁及びドーム屋根の弦材は弾性部材とし，その他ブレース等は「鉄骨X型ブレース架構の復元力特性に関する研究」（日本建築学会構造工学論文集37B号　1991年3月）に示されている修正若林モデルによる。また，原子炉建屋は，曲げとせん断に「JEAG 4601-1991」に示されている非線形特性を考慮する。

地震応答解析に用いる物性値

部位	材料	ヤング係数 E(N/mm^2)	ポアソン比 ν	単位体積重量 γ (kN/m^3)	減衰定数 h(%)	備考
架構	鉄骨	2.05×10^5	0.3	77.0	2	SS400,SM490A STK490,STKT590

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

※O.P.表記は震災前の「旧 O.P.表記」を指す。
T.P.表記に換算する際は、震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P.から T.P.への読替値(-727mm)を用いて，下式に基づき換算する。
＜換算式＞ T.P.=旧 O.P.-1.436mm

参考４　耐震性

（２）架構の耐震性に対する検討

２）地震応答解析モデル

地震応答解析モデルのうち原子炉建屋の地震応答解析モデルの諸元

(a)水平（NS）方向

標高 O.P.(m)	質点重量* W(kN)	回転慣性重量 I_G ($\times 10^5$ kN·m²)	せん断断面積 As(m²)	断面二次モーメント I(m⁴)
39.92	72990	76.95		
32.3	119490	238.33	145.3	9598
26.9	111140	204.58	146.1	29271
18.7	130160	239.58	237.3	56230
10.2	252510	464.88	208.6	60144
-2.06	301020	554.17	458.7	112978
-6.06	127000	233.79	2697.8	496620
合計	1114310			

ヤング係数E_c 2.57×10^7(kN/m²)
せん断弾性係数G 1.07×10^7(kN/m²)
ポアソン比ν 0.20
減衰h 5%

＊ 「福島第一原子力発電所の原子炉建屋の現状の耐震安全性および補強等に関する検討に係る報告書（その２）」（東京電力株式会社，平成23年7月13日）において用いた各階重量に瓦礫撤去等による重量増減を考慮した数値（ただし，門型架構の重量12800kN及びドーム屋根重量3200kNは含まない）

地盤定数は，「福島第一原子力発電所『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　中間報告書」（東京電力株式会社，平成20年3月31日）と同様とする。原子炉建屋の地盤ばねは，「JEAG 4601-1991」に示されている手法を参考にして，底面地盤を成層補正し振動アドミッタンス理論によりスウェイ及びロッキングばねを，側面地盤をNovakの方法により建屋側面ばねを評価した。

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

参考４　耐震性

（２）架構の耐震性に対する検討

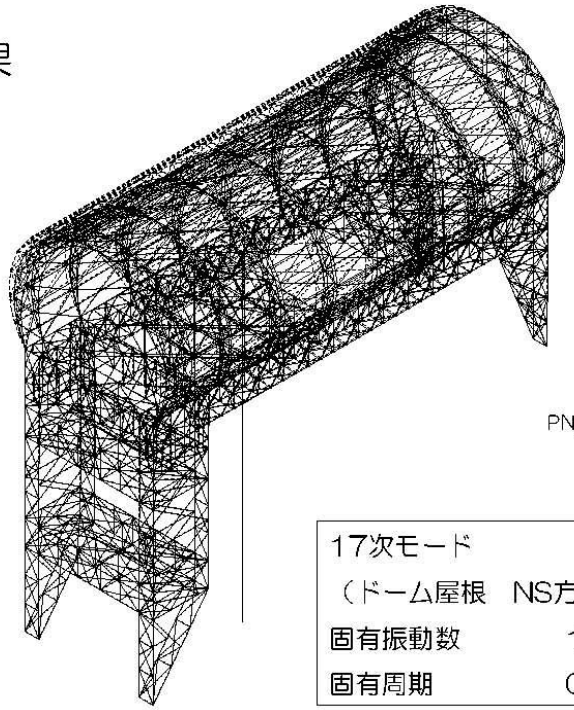
２）地震応答解析モデル
固有値解析結果

次数	固有振動数 (Hz)	固有周期 (秒)	刺激係数 NS方向 (X方向)	刺激係数 EW方向 (Y方向)	刺激係数 UD方向 (Z方向)	備考
17	1.35	0.742	3.034	-0.001	-0.019	ドーム屋根NS方向1次
25	1.78	0.561	-0.056	2.478	0.422	ドーム屋根EW方向1次
33	2.53	0.396	2.914	-0.031	-0.045	門型架構・原子炉建屋NS方向1次
34	2.65	0.377	-0.111	-7.751	-0.073	門型架構・原子炉建屋EW方向1次
35	2.94	0.340	2.165	-0.950	4.500	門型架構UD方向1次
54	4.30	0.233	-0.428	0.038	-40.498	原子炉建屋UD方向1次

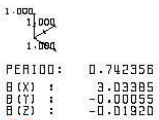
無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

参考４　耐震性

固有値解析結果



17次モード
（ドーム屋根　NS方向　1次）
固有振動数　　1.35　Hz
固有周期　　0.742 秒

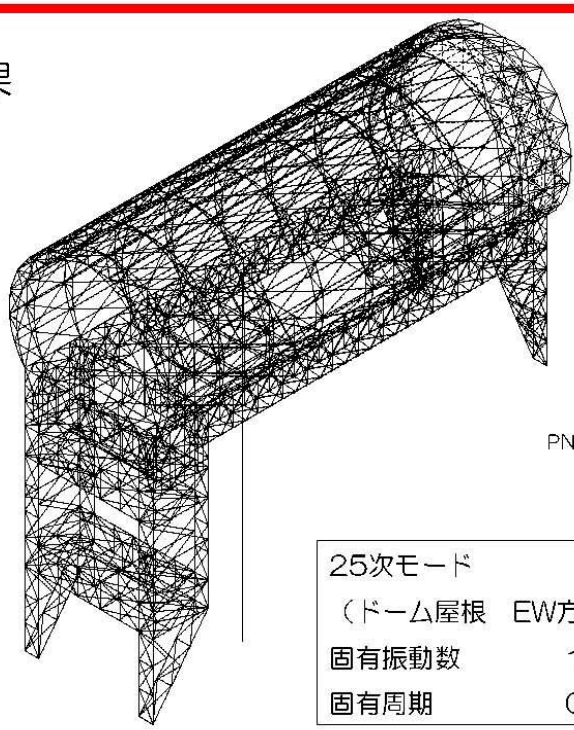


東京電力 TEPCO

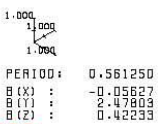
無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

参考４　耐震性

固有値解析結果



25次モード
（ドーム屋根　EW方向　1次）
固有振動数　　1.78　Hz
固有周期　　0.561 秒

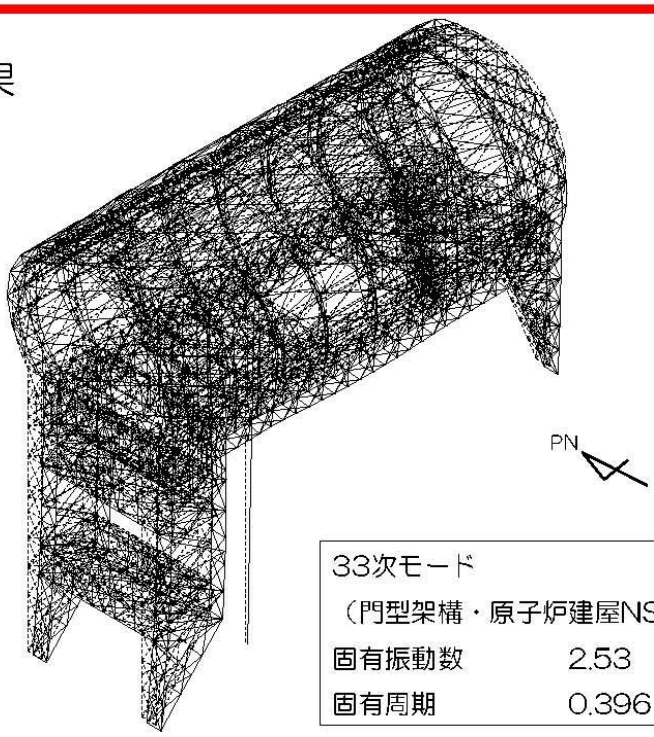


東京電力 TEPCO

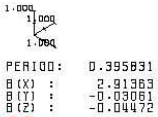
無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

参考４　耐震性

固有値解析結果



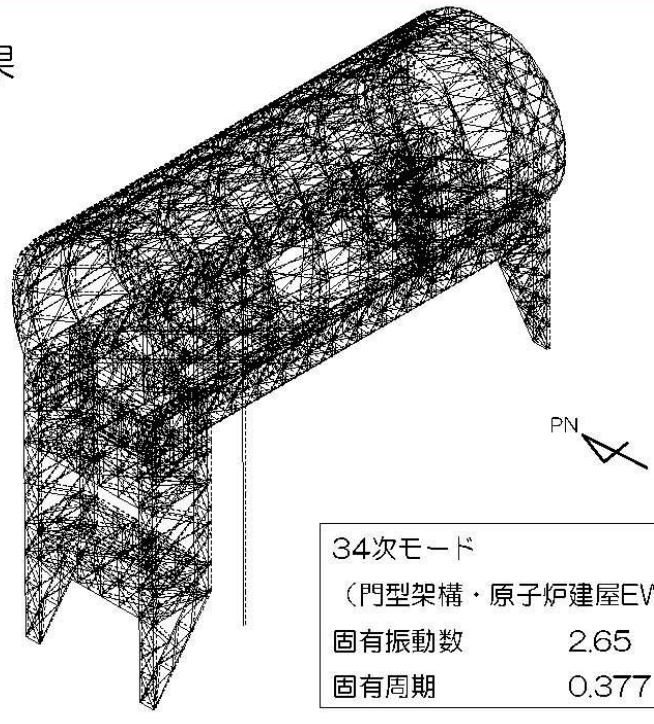
33次モード
（門型架構・原子炉建屋NS方向1次）
固有振動数　2.53　Hz
固有周期　0.396 秒



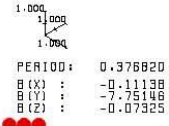
無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

参考４　耐震性

固有値解析結果



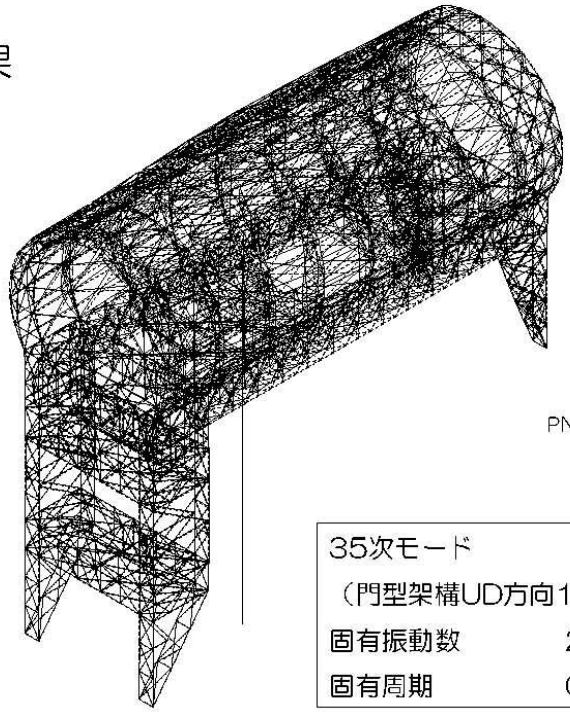
34次モード
（門型架構・原子炉建屋EW方向1次）
固有振動数　2.65　Hz
固有周期　0.377 秒



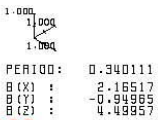
無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

参考４　耐震性

固有値解析結果



35次モード
（門型架構UD方向1次）
固有振動数　2.94　Hz
固有周期　0.340 秒

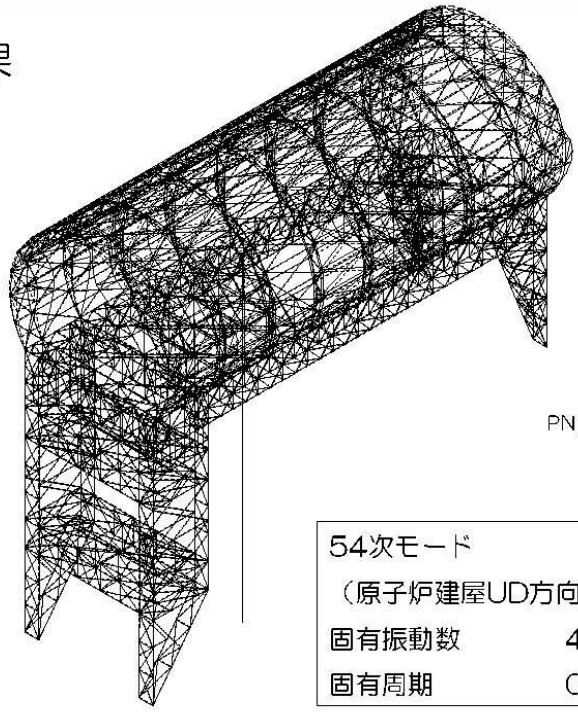


東京電力 TEPCO

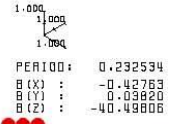
無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

参考４　耐震性

固有値解析結果



54次モード
（原子炉建屋UD方向1次）
固有振動数　4.30　Hz
固有周期　0.233 秒



東京電力 TEPCO

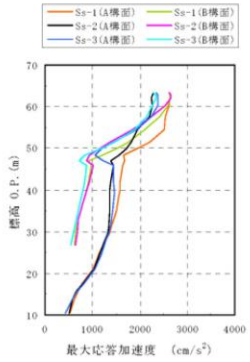
無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

※O.P.表記は震災前の「旧 O.P.表記」を指す。
T.P.表記に換算する際は、震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P.から T.P.への読替値(-727mm)を用いて，下式に基づき換算する。
＜換算式＞ T.P.=旧 O.P.-1,436mm

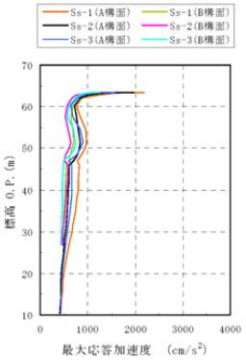
参考４　耐震性

（２）架構の耐震性に対する検討

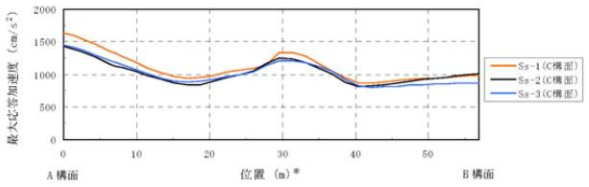
３）地震応答解析結果



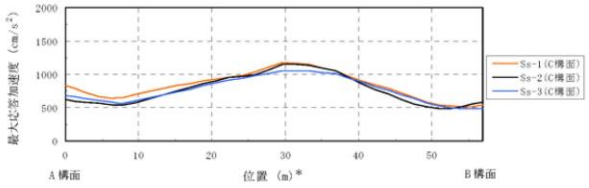
水平(NS)成分（A 構面，B 構面）



鉛直成分（A 構面，B 構面）

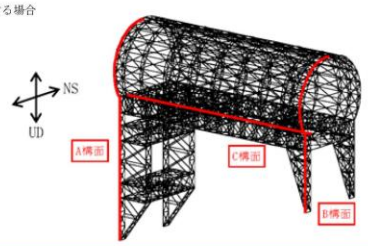


水平(NS)成分（C 構面）



鉛直成分（C 構面）

注：燃料取扱設備が門型架構の中央に位置する場合
（図 3.2-1 の位置 D）を示す
＊：位置は A 構面側からの距離を示す



最大応答加速度分布

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

参考４　耐震性

（２）架構の耐震性に対する検討

４）波及的影響の評価

門型架構は，JSCA性能メニュー（社団法人日本建築構造技術者協会，2002年）を参考に定めたクライテリア（「層間変形角は1/75以下，層の塑性率は4以下，部材の塑性率は5以下」＊）を満足することを確認する。ドーム屋根は，柱・梁によるフレームを構成しないため，JSCA性能メニューのうち部材の塑性率のクライテリアを満足することを確認する。
なお，解析結果が「時刻歴応答解析建築物性能評価業務方法書」（財団法人日本建築センター，平成19年7月20日）に示されるクライテリア（層間変形角は1/100以下，層の塑性率は2以下，部材の塑性率は4以下）を超える場合には水平変形に伴う鉛直荷重の付加的影響を考慮した解析を実施し，安全性を確認する。

＊：北村春幸，宮内洋二，浦本弥樹「性能設計における耐震性能判断基準値に関する研究」，日本建築学会構造系論文集，第604号，2006年6月

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

※O.P.表記は震災前の「旧 O.P.表記」を指す。
T.P.表記に換算する際は、震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P.から T.P.への読替値(-727mm)を用いて，下式に基づき換算する。
＜換算式＞ T.P.=旧 O.P.-1,436mm

参考４　耐震性

（２）架構の耐震性に対する検討

４）波及的影響の評価

・層間変形角の検討

最大応答層間変形角は1/75以下となりクライテリアを満足することを確認した。

最大応答層間変形角の検討結果

検討箇所	地震波	入力方向（位置）＊	最大応答値	ｸﾗｲﾃﾘｱ	判定
東側 O.P.46.00(m) ～O.P.26.90(m)	Ss-1	NS（A）	1/820	1/75	O.K.
		EW（B）	1/990	1/75	O.K.
	Ss-2	NS（B）	1/990	1/75	O.K.
		EW（B）	1/1000	1/75	O.K.
	Ss-3	NS（B）	1/990	1/75	O.K.
		EW（B）	1/1000	1/75	O.K.
西側 O.P.46.00(m) ～O.P.10.50(m)	Ss-1	NS（A）	1/720	1/75	O.K.
		EW（B）	1/1600	1/75	O.K.
	Ss-2	NS（C）	1/860	1/75	O.K.
		EW（B）	1/1600	1/75	O.K.
	Ss-3	NS（C）	1/800	1/75	O.K.
		EW（B）	1/1800	1/75	O.K.

＊：P23に示す燃料取扱設備の位置を示す

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

参考４　耐震性

（２）架構の耐震性に対する検討

４）波及的影響の評価

・塑性率の検討

全てのケースで耐力比が1を下回ることから塑性率は1未満となり，クライテリアを満足することを確認した。

耐力比の検討結果

部位＊1			部材形状 (mm)	地震波	入力方向（位置）＊2	耐力比		判定
門型架構	①	柱	H-350×350 ×12×19 〈SM490A〉	Ss-2	NS (C)	C/Cu	0.50	OK
	②	梁	H-350×350 ×12×19 〈SM490A〉	Ss-1	NS (C)	C/Cu	0.45	OK
	③	斜材	2[s-150×75 ×6.5×10 〈SM490A〉	Ss-1	NS (C)	C/Cu	0.75	OK
ドーム屋根	④	弦材	φ-267.4×6.6 〈STKT590〉	Ss-1	NS (D)	C/Cu	0.63	OK
	⑤	斜材	φ-139.8×4.5 〈STK490〉	Ss-1	EW (D)	C/Cu	0.90	OK
	⑥	ブレース	φ-114.3×4.5 〈STK490〉	Ss-2	EW (C)	C/Cu	0.45	OK

＊1：①～⑥の符号はP36の応力検討箇所を示す
＊2：P23に示す燃料取扱設備の位置を示す

C　：部材軸方向の圧縮力の最大値
Cu：座屈耐力
T　：部材軸方向の引張力の最大値
Tu：引張耐力

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

参考４　耐震性

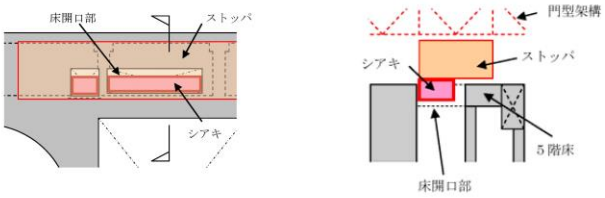
（３）水平振れ止め装置（ストッパ）の耐震性に対する検討

全てのストッパに対する耐力比が1以下になることを確認した。

ストッパ（シアキ）の断面検討結果

部位	地震波	入力方向（位置）	最大応答ストッパ反力 Q(kN)	せん断耐力 Qu(kN)	耐力比 Q/Qu	判定
東側ストッパ	Ss-1	EW（D）	3970	9480	0.42	O.K.

＊：P23に示す燃料取扱設備の位置を示す



(a)伏図　　(b)断面図

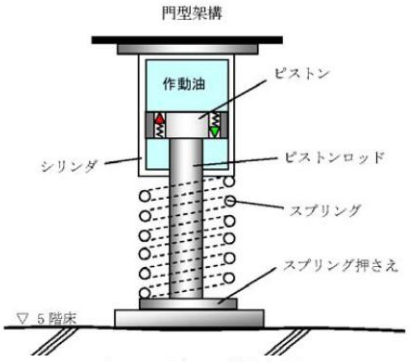
ストッパ概要図

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

参考４　耐震性

（４）制震装置（オイルダンパ）の耐震性に対する検討

全てのオイルダンパで最大応答値が許容値以下になることを確認した。



オイルダンパ概念図

オイルダンパの検討結果

検討	地震波	入力方向（位置）＊	最大応答値	許容値	判定
オイルダンパ変位（mm）	Ss-3	NS（D）	72	±100	O.K.
オイルダンパ速度（m/s）	Ss-1	NS（D）	0.48	1.00	O.K.

＊：P23に示す燃料取扱設備の位置を示す

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

参考４　耐震性

（５）基礎の耐震性に対する検討

基礎の浮き上がりに対しては基礎反力（圧縮力を正）の最小値が以上であることを確認し，基礎のすべりに対しては基礎反力の水平力が摩擦耐力以下であることを確認した。

１）基礎浮き上がりの検討

基礎浮き上がりの検討結果

部位	地震波	入力方向（位置）＊	最小圧縮力 N(kN)	判定
東側柱脚（北側）	Ss-3	NS（C）	227	O.K.

＊：P23に示す燃料取扱設備の位置を示す

２）基礎すべりの検討

基礎すべりの検討結果

部位	地震波	入力方向（位置）＊	最大水平力 Q(kN)	摩擦耐力 Vu(kN)	耐力比 Q/Vu	判定
東側柱脚	Ss-1	EW（D）	2810	4780	0.59	O.K.

＊：P23に示す燃料取扱設備の位置を示す

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

参考４　耐震性

（６）原子炉建屋接触部の耐震性に対する検討

１）ストッパ接触部

最大ストッパ水平反力が，既存躯体の支圧耐力以下になることを確認する。なお，支圧耐力は，原子炉建屋の設計基準強度(22.1N/mm^2)を用いて「プレストレストコンクリート設計施工規準・同解説」に基づき算出する。

ストッパ接触部の検討結果

部位	地震波	入力方向（位置）＊	最大ストッパ水平反力 N(kN)	支圧耐力 Nu(kN)	耐力比 N/Nu	判定
西側ストッパ	Ss-1	NS（C）	10400	19600	0.54	O.K.

＊：P23に示す燃料取扱設備の位置を示す

２）オイルダンパ接触部

最大オイルダンパ鉛直反力が，既存躯体の支圧耐力以下になることを確認する。なお，支圧耐力は，原子炉建屋の設計基準強度(22.1N/mm^2)を用いて「プレストレストコンクリート設計施工規準・同解説」に基づき算出する。

オイルダンパ接触部の検討結果

部位	地震波	入力方向（位置）＊	最大水平力 Q(kN)	摩擦耐力 Vu(kN)	耐力比 Q/Vu	判定
東側柱脚	Ss-1	EW（D）	2810	4780	0.59	O.K.

＊：P23に示す燃料取扱設備の位置を示す

３）基礎設置部

柱脚の鉛直反力により生じる直下壁の最大軸力が壁の軸耐力以下であることを確認する。

壁の圧縮力の検討結果

部位	地震波	入力方向（位置）＊	最大軸力 N(kN)	軸耐力 Nu(kN)	耐力比 N/Nu	判定
東側柱脚（南側）	Ss-3	NS（B）	7430	25900	0.29	O.K.

＊：P23に示す燃料取扱設備の位置を示す

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

※O.P.表記は震災前の「旧 O.P.表記」を指す。
T.P.表記に換算する際は、震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P.から T.P.への読替値(-727mm)を用いて，下式に基づき換算する。
＜換算式＞ T.P.=旧 O.P.-1,436mm

参考４　耐震性

（７）原子炉建屋の耐震性に対する検討

１）検討方針

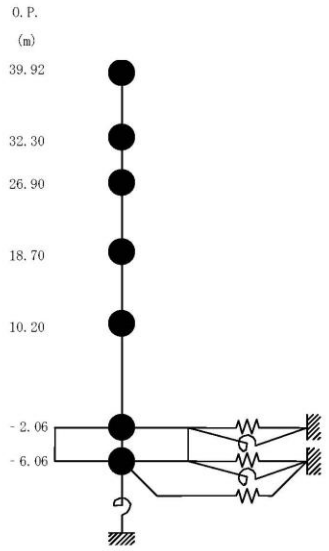
架構の設置に伴う原子炉建屋の耐震性の評価は，耐震安全上重要な設備への波及的影響防止の観点から，地震応答解析により得られる耐震壁のせん断ひずみが鉄筋コンクリート造耐震壁の終局限界に対応した評価基準値（4.0×10^{-3}）以下になることを確認する。

２）原子炉建屋の地震応答解析

・入力地震動　基準地震動Ss

原子炉建屋の地震応答解析モデルは，右図に示すように質点系でモデル化し，地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成系モデルとする。

地震応答解析モデルの諸元は，「福島第一原子力発電所の原子炉建屋の現状の耐震安全性および補強等に関する検討に係る報告書（その2）」（東京電力株式会社，平成23年7月13日）に示される内容に，瓦礫撤去等による重量増減及び新規に設置する燃料取り出し用カバーの重量を考慮した。



原子炉建屋の地震応答解析モデル

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

参考４　耐震性

（７）原子炉建屋の耐震性に対する検討

２）原子炉建屋の地震応答解析

原子炉建屋の地震応答解析モデルの諸元（水平方向）

標高 O.P. (m)	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I_G ($\times10^5$ kN·m^2)	
		水平(NS)方向	水平(EW)方向
39.92	87590	92.34	67.32
32.3	119490	238.33	124.49
26.9	111340	204.95	204.95
18.7	130160	239.58	239.58
10.2	253710	467.09	696.62
-2.06	301020	554.17	826.50
-6.06	127000	233.79	348.72
合計	1130310		

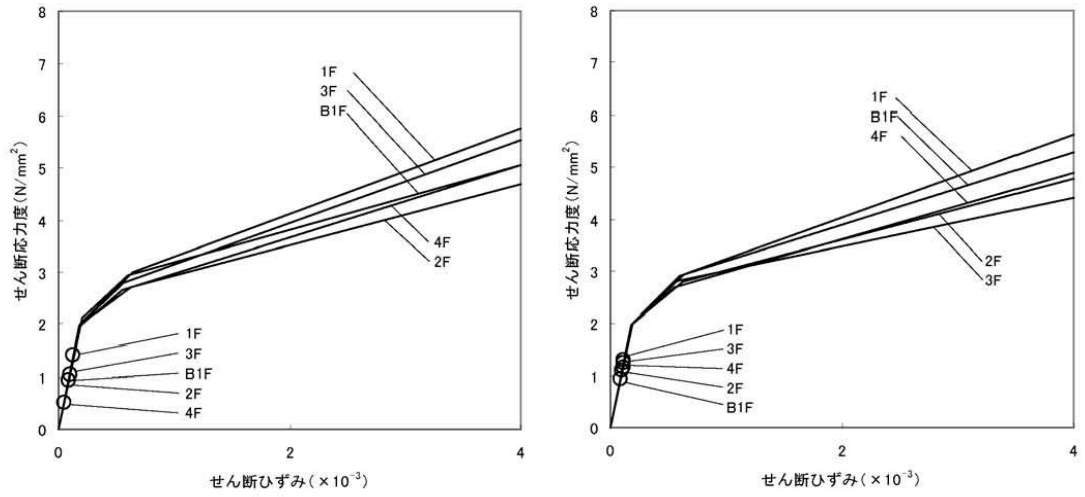
無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

参考４　耐震性

（７）原子炉建屋の耐震性に対する検討

３）検討結果

地震応答解析により得られる最大応答値は，評価基準値（4.0×10^{-3}）に対して十分に余裕があることを確認した。



(a) NS方向　　(b) EW方向

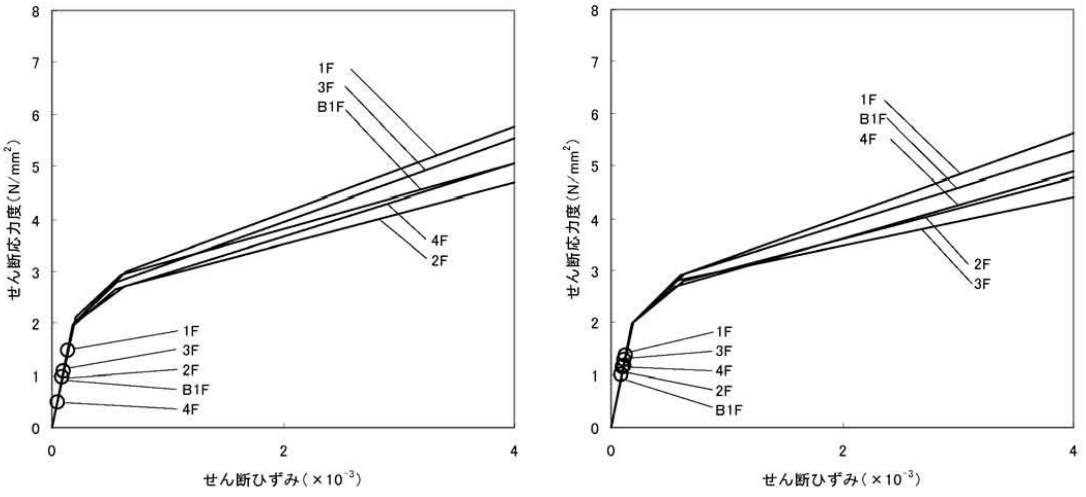
せん断スケルトン曲線上の最大応答値（Ss-1）

東京電力 TEPCO
無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

参考４　耐震性

（７）原子炉建屋の耐震性に対する検討

３）検討結果



(a) NS方向　　(b) EW方向

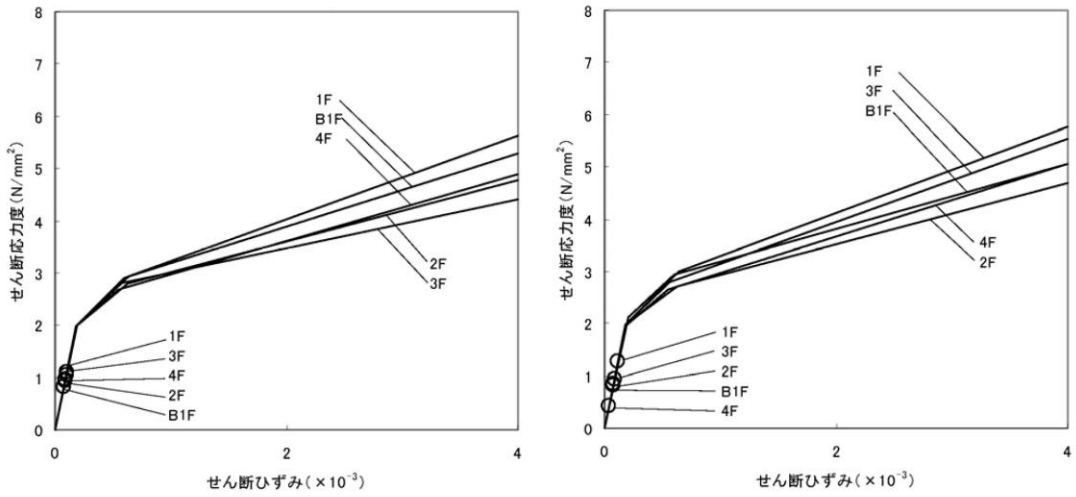
せん断スケルトン曲線上の最大応答値（Ss-2）

東京電力 TEPCO
無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

参考４　耐震性

（７）原子炉建屋の耐震性に対する検討

３）検討結果

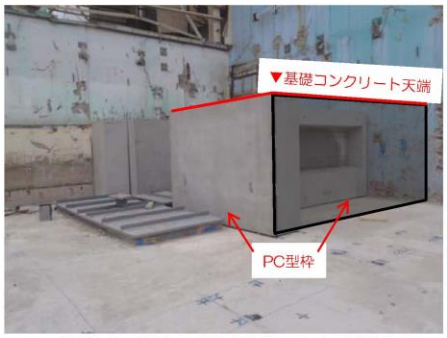


(a) NS方向　　(b) EW方向

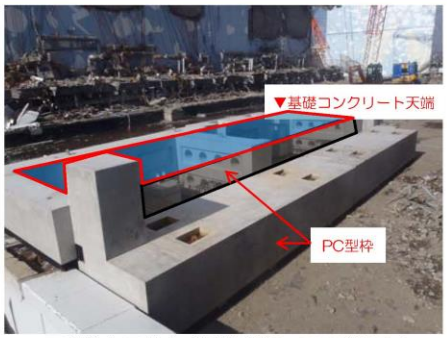
せん断スケルトン曲線上の最大応答値（Ss-3）

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

参考５　瓦礫撤去用構台基礎の施工状況



瓦礫撤去用構台西側基礎部　PC型枠設置



瓦礫撤去用構台東側基礎部　PC型枠設置

瓦礫撤去用構台西側基礎部　コンクリート打設

瓦礫撤去用構台東側基礎部　コンクリート打設

無断複製・転載禁止　東京電力株式会社

特定原子力施設監視・
評価検討会（第6回）
資料5

福島第一原子力発電所
３号機燃料取り出し用カバーの
構造強度及び耐震性について
（コメント回答）

東京電力株式会社

平成２５年３月8日

東京電力

目次

・コメント回答①　地震・津波・竜巻等への対応について　・・・P.2
・コメント回答②　耐震性の検討結果（表）の記載について　・・・P.4
・コメント回答③　作業環境の確保について　・・・P.6
・コメント回答④　オイルダンパの機構および損傷時の対応について・・・P.7

コメント回答①

①３号機燃料取り出し用カバーの使用期間が短いとしても、地震・津波に関わる新安全設計基準への対応あるいは竜巻などの想定外事象に対する安全性や修復性は確保しなくてよいのか、既にされているのかを説明すること。（林教授）

・現在、国により策定中の新安全設計基準への対応については今後となるが、以下を念頭に計画している。

・地震：各部の検討において、可能な限り余裕を確保した計画*1としている。また、脆性的な破壊を生じないよう、原則として保有耐力接合*2 *3としている。

・津波：燃料取り出し用カバーは鉄骨トラスと鋼製の外装材により構成されているが、閉空間になっておらず、津波襲来時には、水は燃料取り出し用カバーの裏側に回り込む。そのため、津波による波圧は生じにくい。

*1　5ページ参照。例えば、ドーム屋根は基準地震動Ssに対し、約５倍の裕度がある。

*2　母材の耐力が十分に発揮されるように「接合部の破断耐力＞母材耐力」となるように破断の検討を行うこと 。

*3　特定原子力施設監視・評価検討会（第4回）資料4 16ﾍﾟｰｼﾞ 参照

コメント回答①

・竜巻：ドーム屋根の外装材は、設計風圧力の約４倍以上の耐力を有することを確認しており、最大瞬間風速100m/s程度の暴風に対しても飛散しない計画となっている。

・修復性については、除染・遮へい対策を施す計画（コメント回答③参照）であり、現地へのアクセスは可能であると考えている。また、オペレーティングフロア上のガレキ撤去に用いたクレーン等により、遠隔操作による作業も可能であると考えている。

コメント回答②

②特定原子力施設監視・評価検討会（第４回）資料４の10ページの耐震性の検討結果の表は、検定比なのか、最大応答値なのかを区別できるように明確にすること。（林教授）

・評価項目欄が、「耐力比」もしくは「抵抗比」となっている項目が「検定比」で評価している項目であり、その他が「最大応答値」で評価している項目である。

・「検定比」か「最大応答値」かが分かるように、結果欄に追記した。

（次ページ参照）

5. 耐震性に対する検討結果

いずれも評価クライテリア以下であることを確認した。

（１）架構の耐震性

部位	評価項目	検定比、最大応答値		評価クライテリア	判定
門型架構	層間変形角	最大応答値	1/720	1/75以下	OK
門型架構	塑性率	最大応答値	0.75	5以下	OK
ドーム屋根	塑性率	最大応答値	0.90	5以下	OK
オイルダンパ	相対変位	最大応答値	72 mm	100 mm以下	OK
	相対速度	最大応答値	0.48 m/s	1.0 m/s以下	OK
ストッパ	せん断耐力比	検定比	0.42	1.0以下	OK
基礎	浮き上がりの有無	最大応答値	生じない	生じないこと	OK
	すべり摩擦抵抗比	検定比	0.59	1.0以下	OK

（２）原子炉建屋の耐震性

部位	評価項目	検定比、最大応答値		評価クライテリア	判定
ストッパ接触部	支圧耐力比	検定比	0.54	1.0以下	OK
オイルダンパ接触部	支圧耐力比	検定比	0.19	1.0以下	OK
基礎設置部	圧縮耐力比	検定比	0.29	1.0以下	OK
原子炉建屋	せん断ひずみ	最大応答値	0.14×10^{-3}	4.0×10^{-3}以下	OK

コメント回答③

③立ち入りが難しい場所で有人にて接合部などの現地作業が行えるように、作業環境をどのように確保するのかについて説明すること。（林教授）

・線量的に、立入りが最も厳しい箇所はオペレーティングフロア上部と考えている。当該部における有人作業ができるように、有人作業が発生するまでに、線量低減対策として、遠隔操作重機による下記３段階の作業を計画している。

１．瓦礫撤去作業（現在実施中）
オペレーティングフロア上部に残存する瓦礫（鉄骨、コンクリート、機械設備等）を撤去する。

２．除染作業
オペレーティングフロア上部の瓦礫撤去後に、床面はつり装置や吸引装置等を使用し、除染作業を実施する。

３．遮へい体設置作業
除染作業後にオペレーティングフロア上部に遮へい体（鉄板等）を設置する。

なお、作業中は適宜、雰囲気線量を計測し、慎重に作業を実施する。

コメント回答④

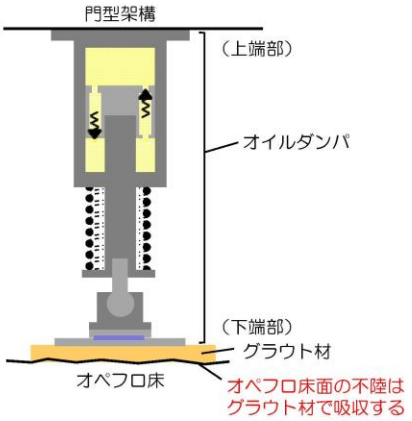
④オイルダンパについては、５階床面の不陸や門型架構の変形などにより、５階床と門型架構が平行でなくなり、スプリング押さえ等の損傷が生じないかについて説明すること。また、スプリング押さえ等の損傷により、システム上の問題が発生しないのかについて確認したい。（林教授）

・５階床面は躯体の不陸が想定される。

・オイルダンパは上端部を架構側に接合し、下端部とオペフロ床とのＧＡＰ部にグラウト材を充填し、床面の不陸を吸収する計画としている。

・オイルダンパが故障や損傷した場合は、修理・取替をする計画としている。

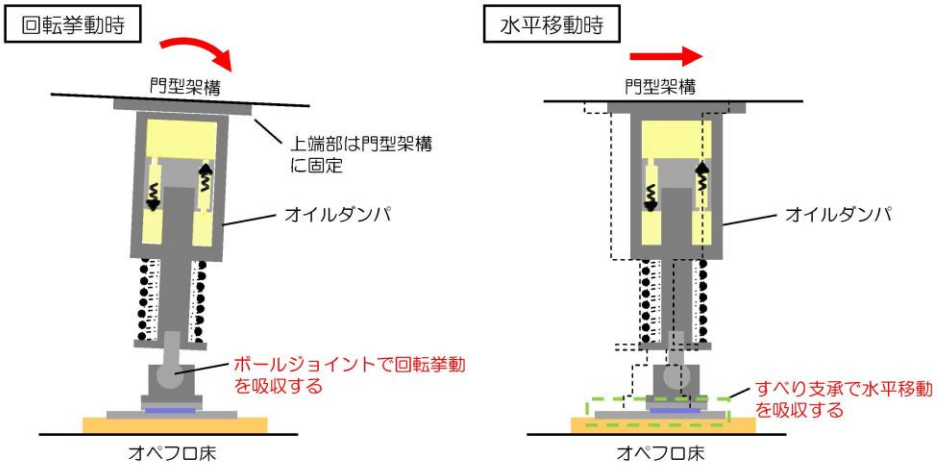
・グラウト材は既存躯体コンクリートの強度よりも高強度のものを使用している。



コメント回答④

・門型架構とオペフロ床間の挙動が平行ではなくなった場合に備え、オイルダンパ下端部にはボールジョイントとすべり支承を取り付けている。

・ボールジョイントとすべり支承により、オイルダンパの機構損傷が生じないようにしている。



東京電力

別添－３

４号機燃料取り出し用カバーに係る確認事項

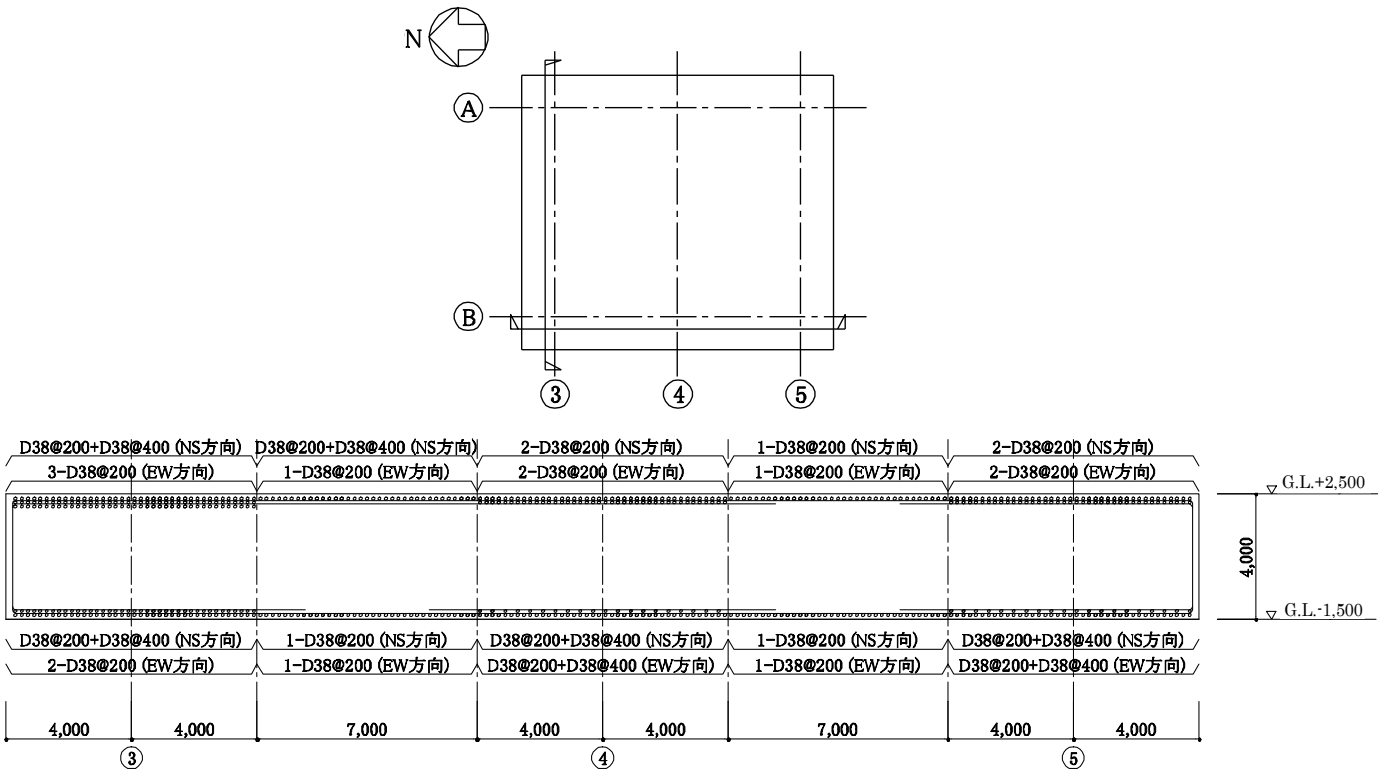
４号機燃料取り出し用カバーの工事に係る主要な確認項目を表－１および表－２に示す。

表－１　４号機燃料取り出し用カバーに係る確認項目（クレーン支持用架構）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度及び耐震性	材料確認	地盤改良土の一軸圧縮強さを確認する。	地盤改良土の一軸圧縮強さが、実施計画に記されている設計基準強度に対して JEAC4616-2009 の基準を満足すること。
		構造体コンクリートの圧縮強度を確認する。	構造体コンクリート強度が，実施計画に記載されている設計基準強度に対して，JASS 5N の基準を満足すること。
		鉄筋の材質，強度，化学成分を確認する。	JIS G 3112 に適合すること。
		地盤アンカーの材質，強度，化学成分を確認する。	JIS G 3536　JIS G 3502 に適合すること。
		鋼材の材質，強度，化学成分を確認する。	JIS G 3106 又は建築基準法第 37 条第二号に基づく国土交通大臣の認定に適合すること。
		高力ボルトの締め付け張力を確認する。	特殊ボルト（ワンサイドボルト）について、導入張力試験を JASS 6 に準じて実施し、所定の張力が得られること。
		外装材の仕様を確認する。	実施計画に記載されている材料諸元に適合することを，検査証明書，出荷証明書及びメーカー技術資料により確認する。
	寸法確認	地盤アンカー長を確認する。	地盤アンカー長が 26.75m 以上であること。
	据付確認	地盤改良範囲（深さ）を確認する。	支持層に着底していること。
		鉄筋の径，間隔（図－1 参照）を確認する。	鉄筋の径が実施計画に記載されている通りであること。鉄筋の間隔が実施計画に記載しているピッチにほぼ均等に分布していること。
		接合部（図－２～４参照）の施工状況を確認する。	高力ボルトが所定の本数・種類であること。
		外装材の施工状況を確認する。	外装材の設置範囲が，図－７～９の通りであること。

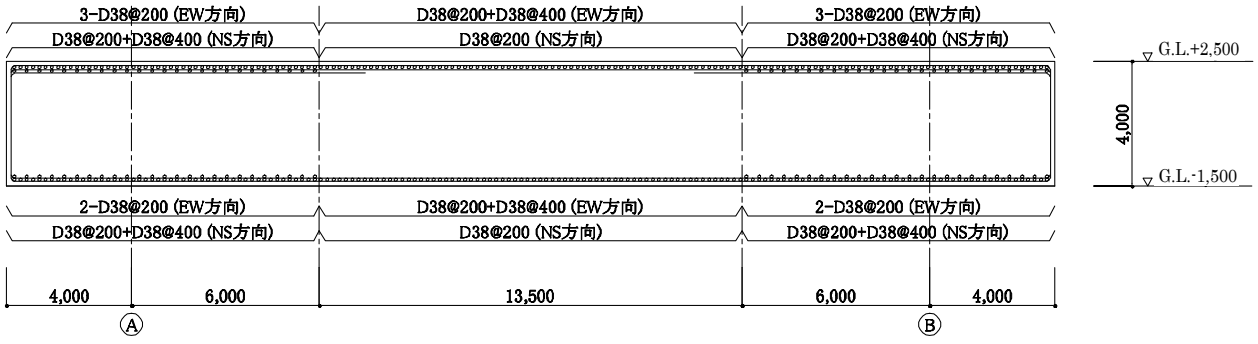
表－２　４号機燃料取り出し用カバーに係る確認項目（燃料取扱機支持用架構）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度及び耐震性	材料確認	構造体コンクリートの圧縮強度を確認する。	構造体コンクリート強度が，実施計画に記載されている設計基準強度に対して，JASS 5N の基準を満足すること。
		鋼材の材質，強度，化学成分を確認する。	JIS G 3106 又は建築基準法第 37 条第二号に基づく国土交通大臣の認定に適合すること。
		アンカーボルトの材質，強度，化学成分（床面）を確認する。	JIS G 3138 に適合すること。
		アンカーボルトの材質，強度，化学成分（壁面）を確認する。	JIS G 3112 に適合すること。
	寸法確認	アンカーボルト埋め込み長さ（床面）を確認する。	有効埋め込み長さが 700㎜以上かつボルトの余長はナット面から突き出た長さが 3 山以上であること。
		アンカーボルト埋め込み長さ（壁面）を確認する。	有効埋め込み長さが 450㎜ 以上であること。
	据付確認	接合部（図－５，６参照）の施工状況を確認する。	高力ボルトが所定の本数・種類であること。



かぶり厚さ 7cm 以上

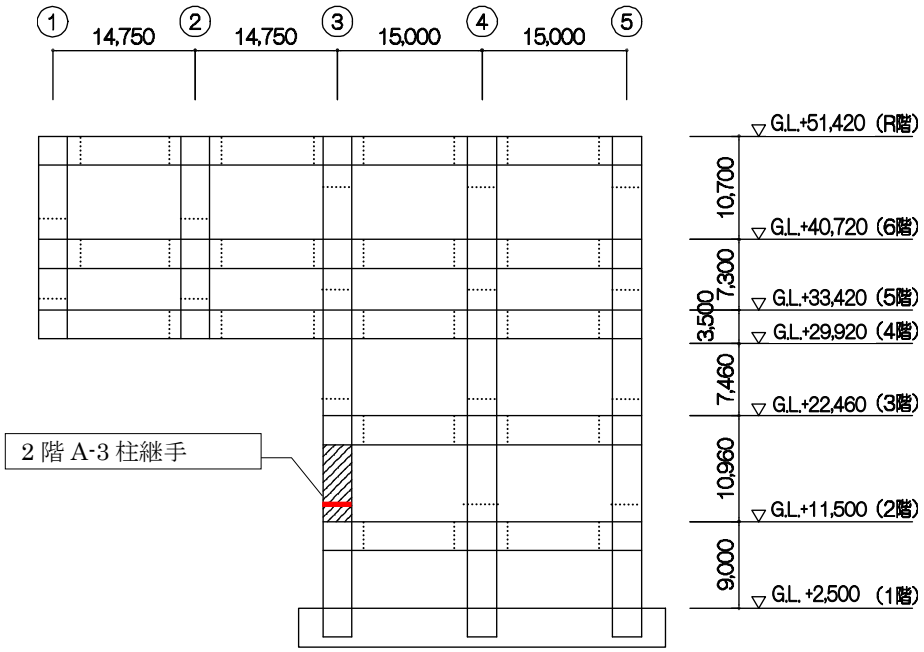
クレーン支持用架構　基礎配筋図(B 通り)



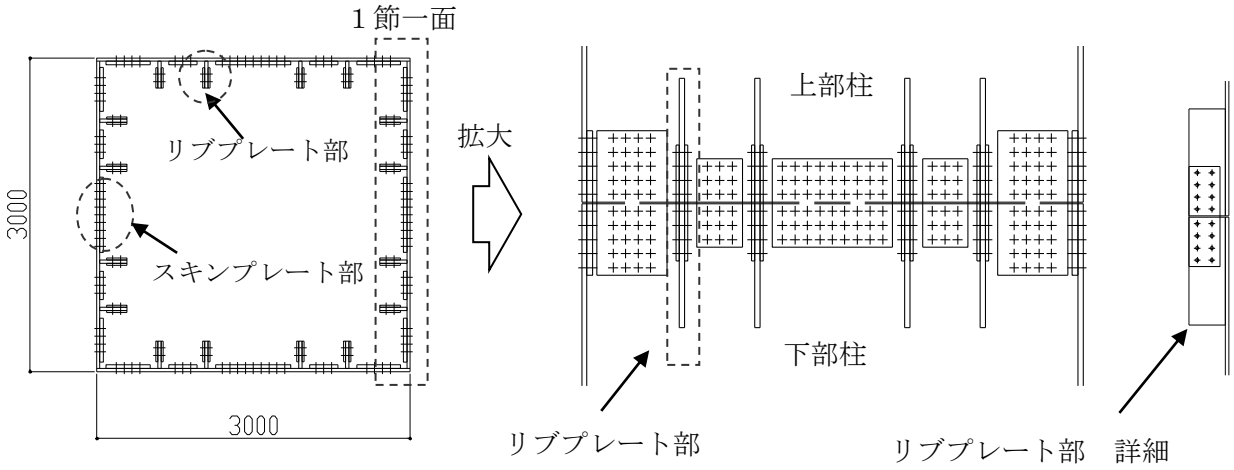
かぶり厚さ 7cm 以上

クレーン支持用架構　基礎配筋図(3 通り)

図－1　クレーン支持用架構　基礎配筋図



（１）接合部位置（Ａ通り軸組図）

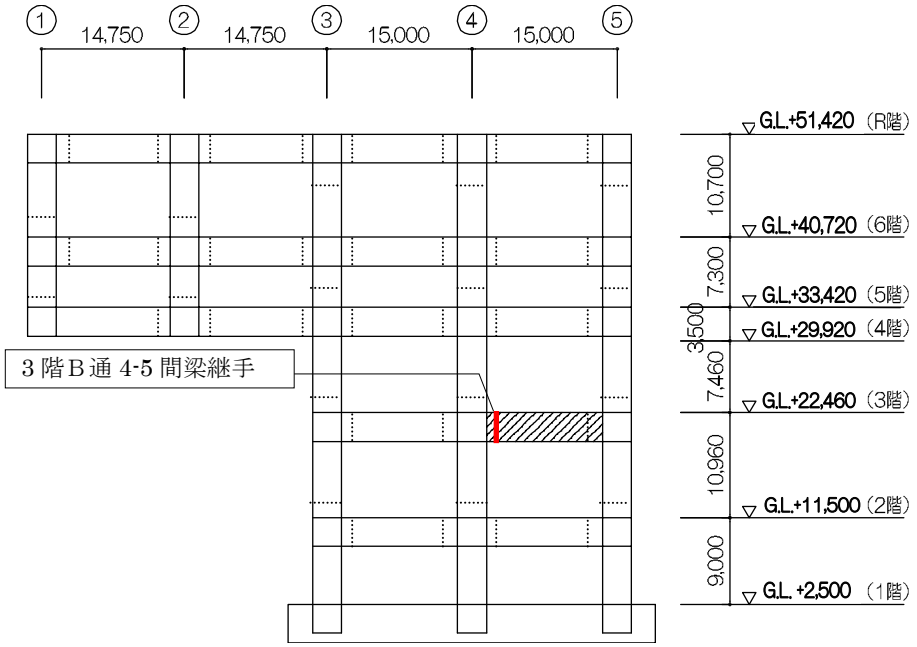


【スキンプレート部】
ボルト種類：MUTF27
本数：85 本×2（1 面あたり）

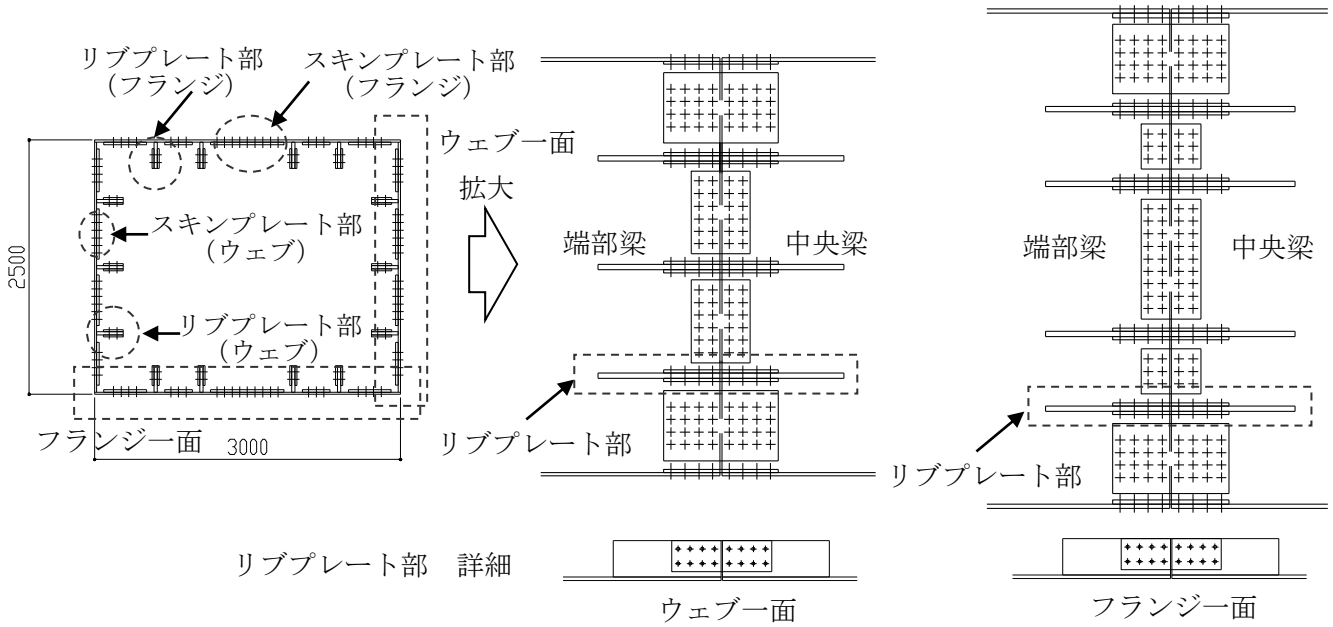
【リブプレート部】
ボルト種類：SHTB　M24
本数：8 本×2（1 箇所あたり）

（２）クレーン支持用架構　接合部詳細

図－２　クレーン支持用架構　接合部①



（１）　クレーン支持用架構　接合部位置（Ｂ通り軸組図）

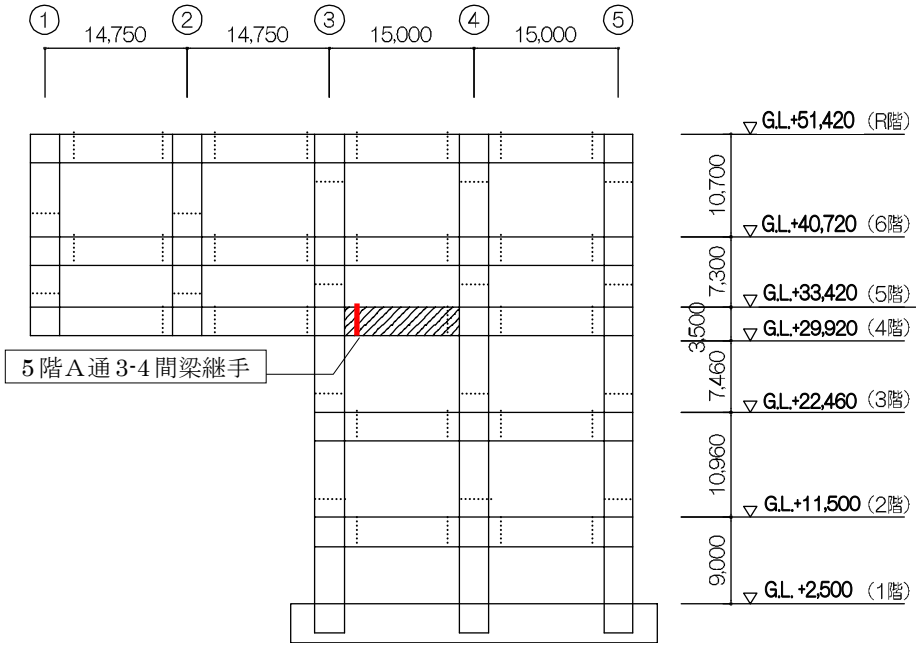


【スキンプレート部】
ボルト種類：MUTF27
本数：62 本×2（フランジ 1 面あたり）
本数：56 本×2（ウェブ 1 面あたり）

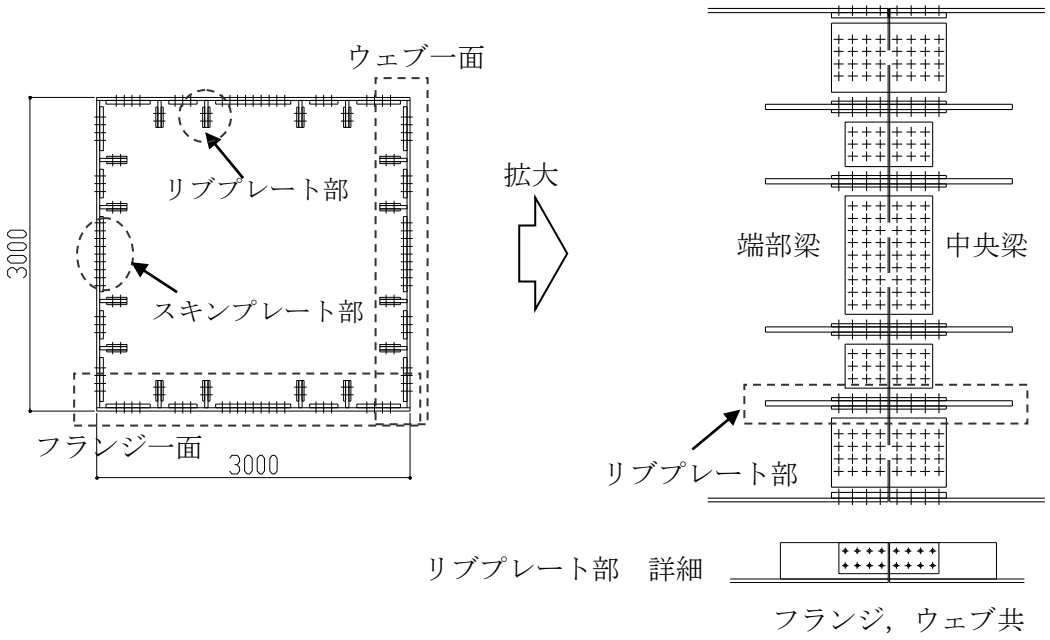
【リブプレート部】
ボルト種類：SHTB　M24
本数：8 本×2（1 箇所あたり）

（２）　接合部詳細(3 階Ｂ通 4-5 間梁)

図－３　クレーン支持用架構　接合部②



（１）接合部位置（A通り軸組図）

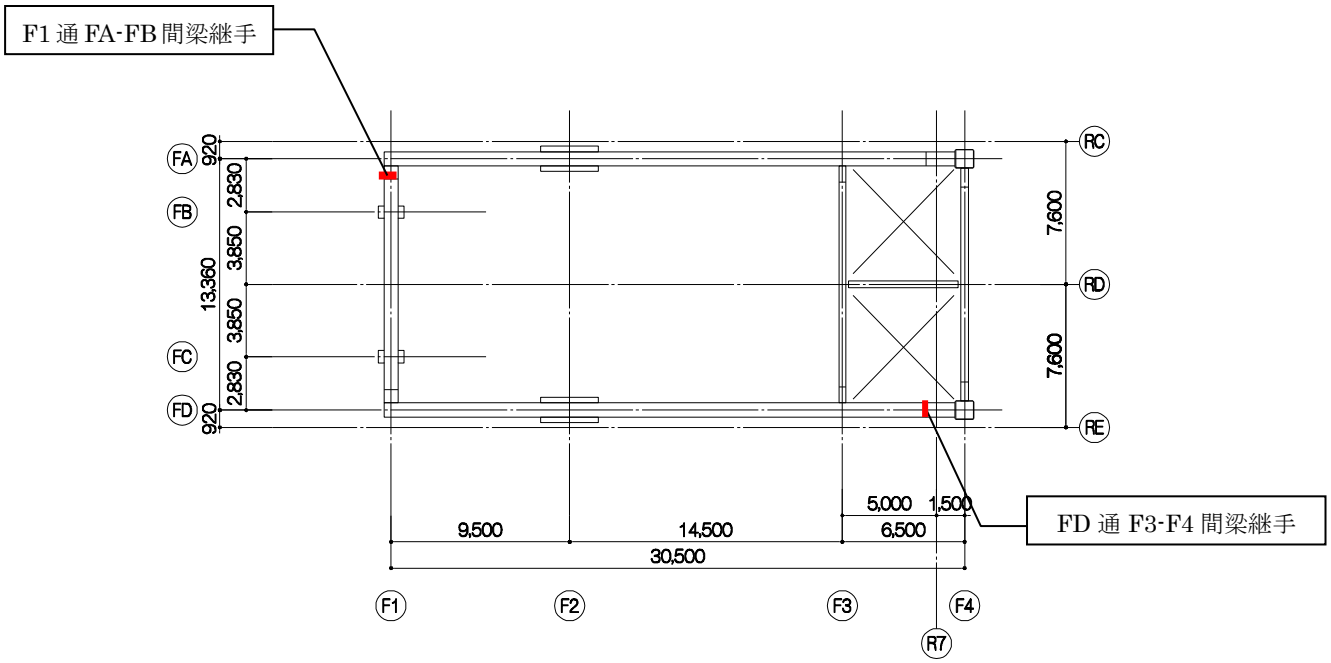


【スキンプレート部】
ボルト種類：MUTF27
本数：77 本×2（フランジ，ウェブ共 1 面あたり）

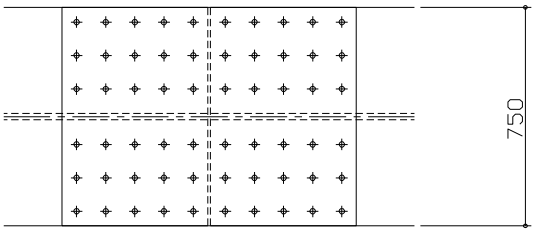
【リブプレート部】
ボルト種類：SHTB　M24
本数：8 本×2（1 箇所あたり）

（２）接合部詳細(5 階A通 3-4 間梁)

図－４　クレーン支持用架構　接合部③

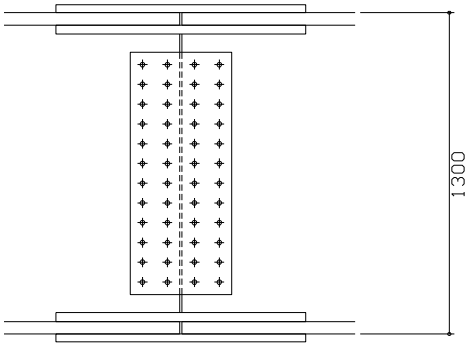


（１）接合部位置



(a)フランジ

ボルト種類：HTB　M27
ボルト本数：30 本×2

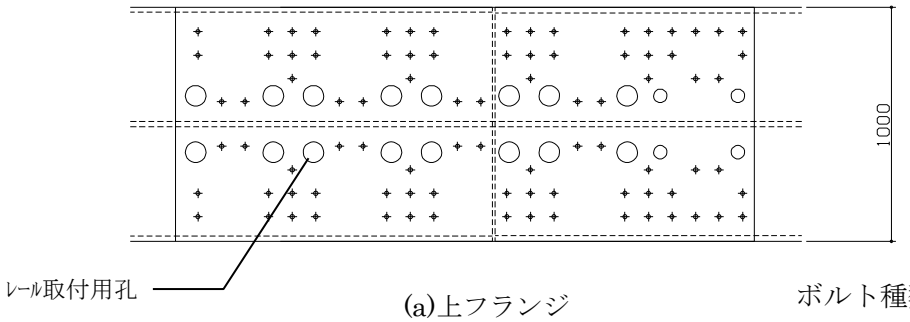


(b)ウェブ

ボルト種類：HTB　M27
ボルト数：24 本×2

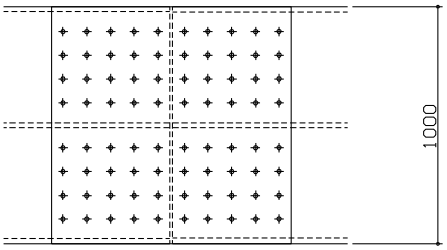
（２）接合部詳細図（F1 通 FA-FB 間梁継手）

図－５　燃料取扱機支持用架構　接合部図①



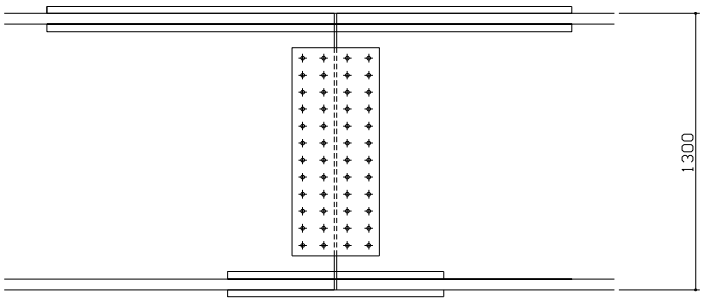
(a)上フランジ

ボルト種類：HTB　M27
ボルト数：44 本×2



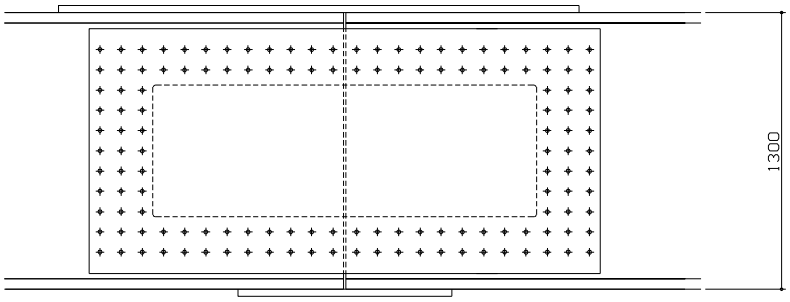
(b)下フランジ

ボルト種類：HTB　M27
ボルト数：40 本×2



(c)ウェブ

ボルト種類：HTB　M27
ボルト数：24 本×2

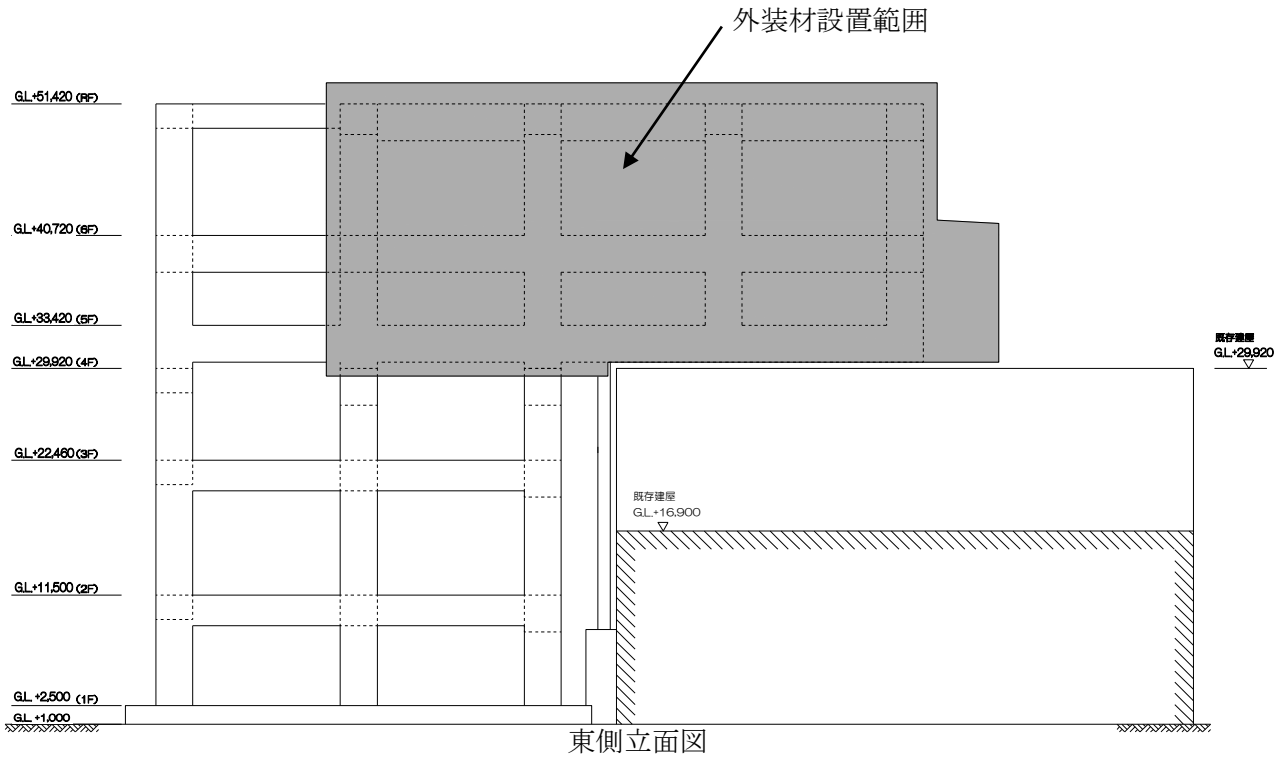


(d)側面プレート

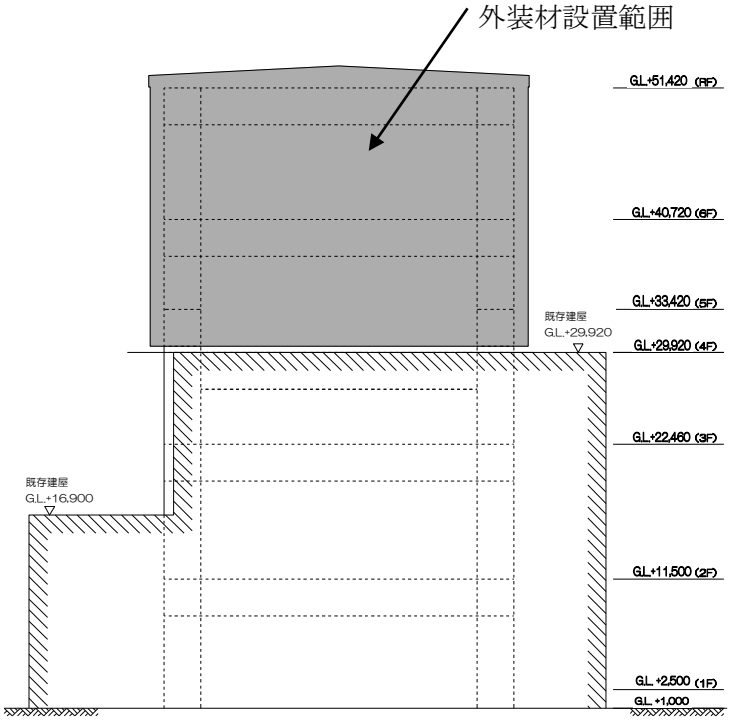
ボルト種類：MUTF27
ボルト数：69 本×2

接合部詳細図（FD 通 F3-F4 間梁継手）（接合部位置は図―５参照）

図－６　燃料取扱機支持用架構　接合部図②

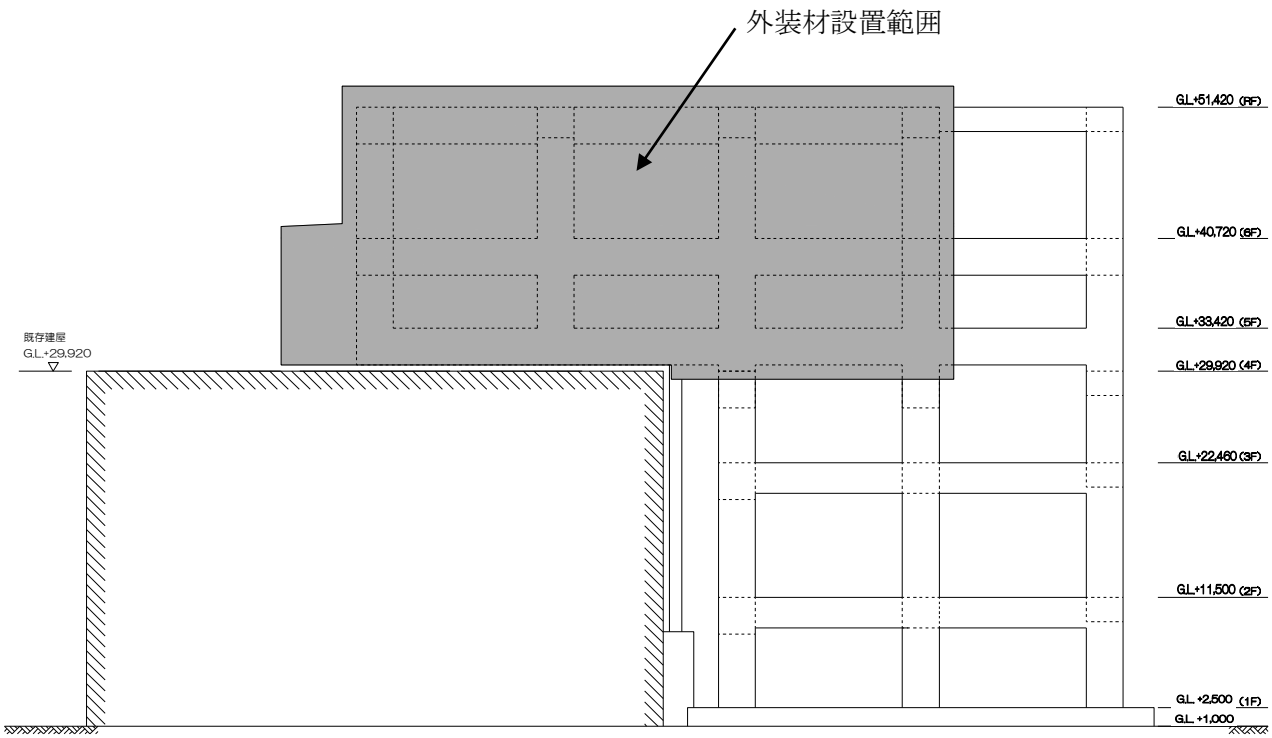


東側立面図

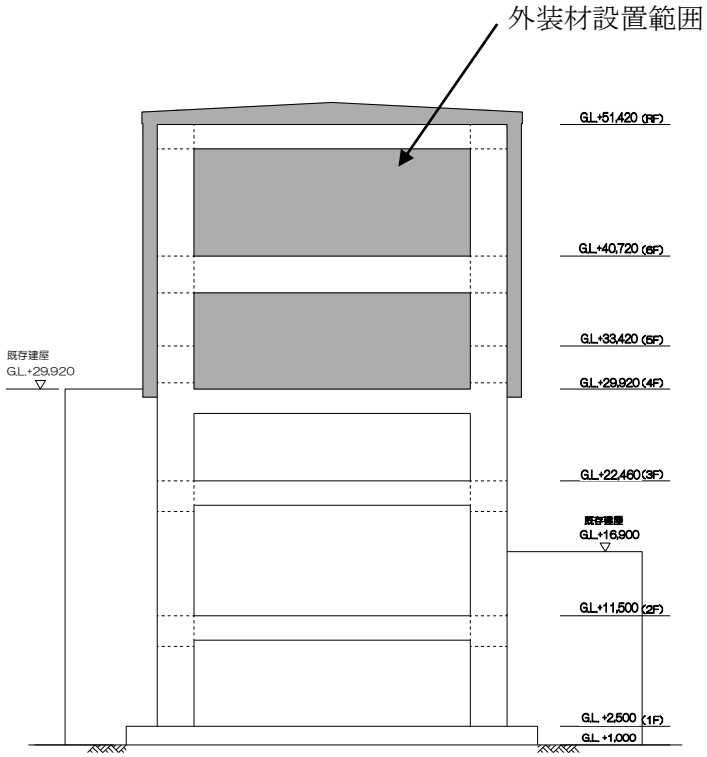


北側立面図

図－７　外装材設置範囲図①

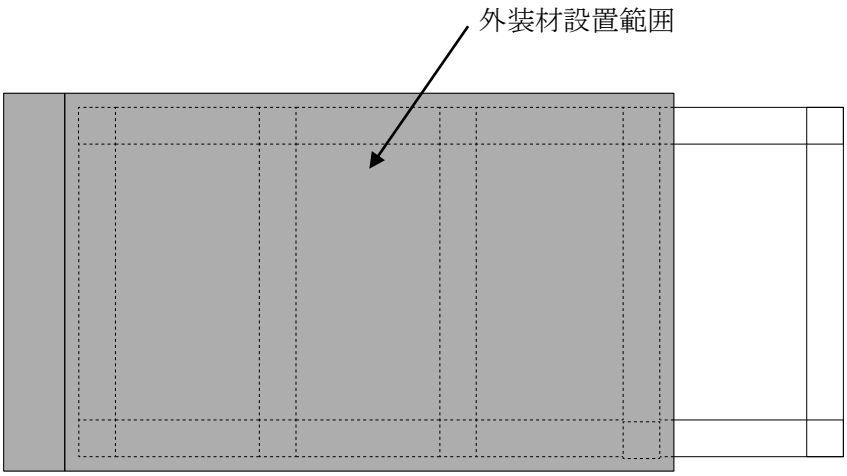


西側立面図



南側立面図

図－８　外装材設置範囲図②



屋根伏図

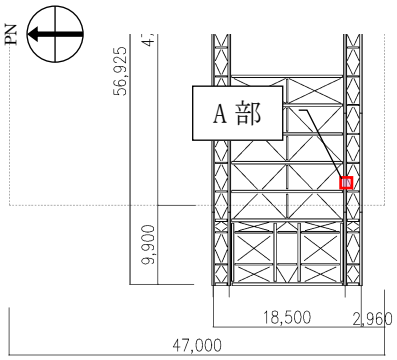
図－９　外装材設置範囲図③

３号機燃料取り出し用カバーに係る確認事項

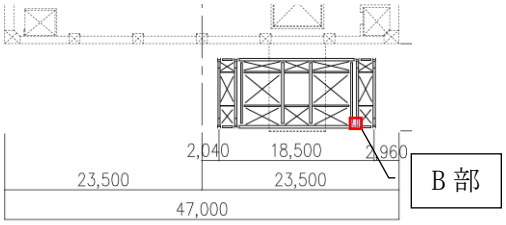
３号機燃料取り出し用カバーの工事に係る主要な確認項目を表－１に示す。

表－１　３号機燃料取り出し用カバーの工事に係る確認項目

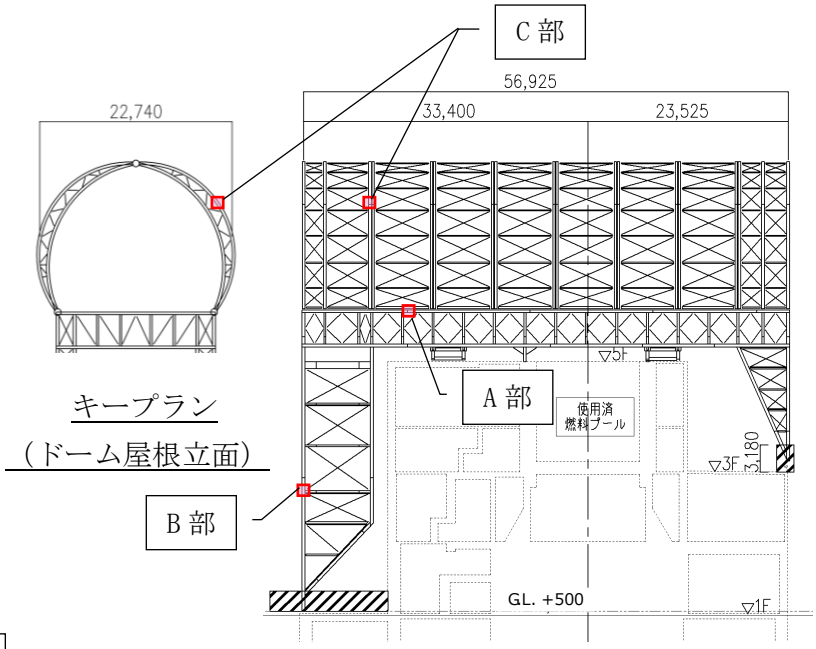
確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度及び耐震性	材料確認	鋼材の材質，強度，化学成分を確認する。	JIS G 3136，JIS G 3101，JIS G 3106，JIS G 3444，JIS G 3474 に適合すること。
		制震装置（オイルダンパ）の減衰係数を確認する。	減衰係数（C_1=50×10^5 N・s/m，C_2= 3.95×10^5 N・s/m）が±10%以内であること。
		トルシア型超高力ボルト(SHTB)の仕様を確認する。	建築基準法 68 条の 26 第 1 項の規定に基づき、同法第 37 条第二号の規定に適合すること。
	据付確認	接合部（図－１参照）の施工状況を確認する。	SHTB が所定の本数・種類であること。
	外観確認	制震装置（オイルダンパ）の外観を確認する。	有害な欠陥がないこと。
		ドーム屋根に取付ける外装材の外観を確認する。	外装材の設置範囲が、図－２の通りであること。



キープラン（G.L.+36.000 伏図）

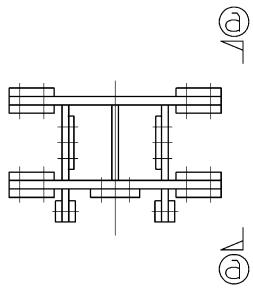


キープラン（G.L.+16.900 伏図）

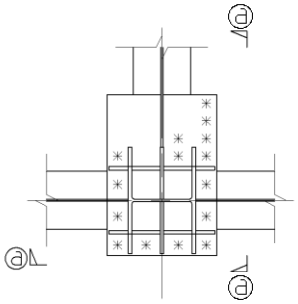


キープラン（ドーム屋根立面）

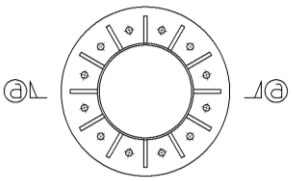
キープラン（東西断面図）



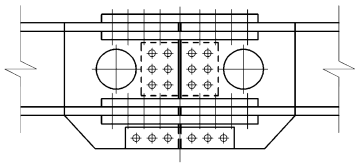
断面図



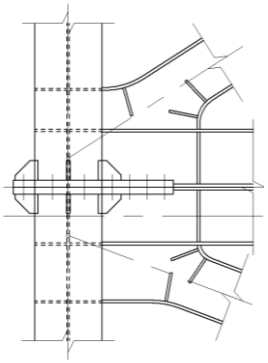
伏図



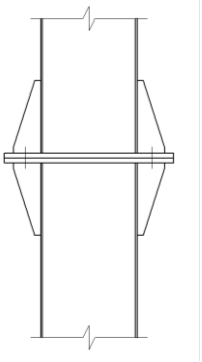
断面図



ⓐ-ⓐ断面図



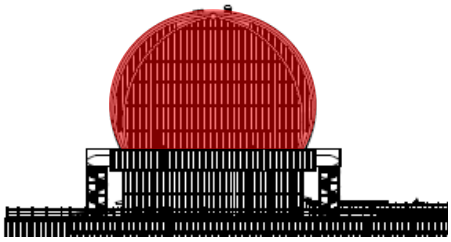
ⓐ-ⓐ断面図



ⓐ-ⓐ断面図

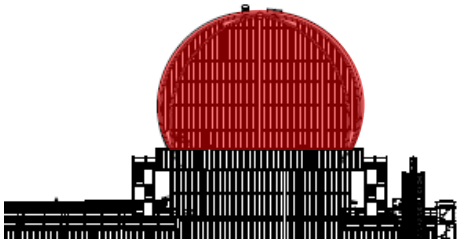
ボルト種類 ： SHTB M24 本数 58×2	ボルト種類 ： SHTB M24 本数 15	ボルト種類 ： SHTB M22 本数 12
(a) ガーダ上弦材（A 部）	(b) 柱材（B 部）	(c) 弦材（C 部）

図－１　接合部詳細

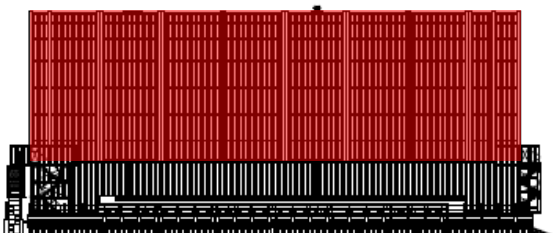


東立面図

北立面図



西立面図



南立面図

ドーム屋根外装材設置箇所

図－２　３号機燃料取り出し用カバーのドーム屋根外装材設置範囲

別添－５

３号機原子炉建屋の躯体状況調査結果を反映した使用済燃料プール等の耐震安全性評価結果

1. はじめに

３号機原子炉建屋では，現在，瓦礫撤去及び燃料取り出し用カバーの施工が進捗している。瓦礫撤去に伴い，新たな損傷調査が可能になり，躯体の詳細な損傷状況が明らかになった。一方で，燃料取り出し用カバーには，使用済燃料プール部近傍のオペレーティングフロア（５階床）を支持点として，水平振れ止め装置（ストッパ）及び鉛直方向の制震装置（オイルダンパ）の設置や，同じくオペレーティングフロアの随所に，作業の安全のため遮へい体の設置などが計画されている。

本報告書では，燃料取り出し用カバー設置に際し，使用済燃料プール，オペレーティングフロア（以下，オペフロとする）及び１～５階の最新の損傷状況調査結果と，その損傷状況を反映し，かつ使用済燃料の取り出し時の荷重状態を想定した原子炉建屋の３次元ＦＥＭ解析により，使用済燃料プール等（使用済み燃料プール壁床，プールを拘束するシェル壁，オペフロ床）の耐震安全性評価結果を報告する。

2. 損傷状況の調査結果

原子炉建屋の瓦礫撤去に伴い，損傷状況の調査を行った。調査は耐震安全性に関わる内外壁及び床を対象に，クレーン吊りの遠隔操作カメラによる映像分析及び遠隔操作ロボットによる建屋内調査の映像分析により実施した。主にクレーン吊りカメラではオペフロ床面及びオペフロ南西部に位置する大物搬入用の床開口から２～５階の開口周辺部の使用済燃料プール壁を含む壁，床を確認した。遠隔操作ロボットによる建屋内調査映像ではクレーン吊りカメラでは確認できない１階，２階のシェル壁を含むエリアの壁，床の状況を確認した。調査結果として，通りスパンごとに損傷の程度を３段階（損傷なし，一部損傷，全壊）に分類した。図-2.1～図-2.10 に原子炉建屋内の各階における損傷状況を，図-2.11 に建屋外壁状況写真をそれぞれ示す。

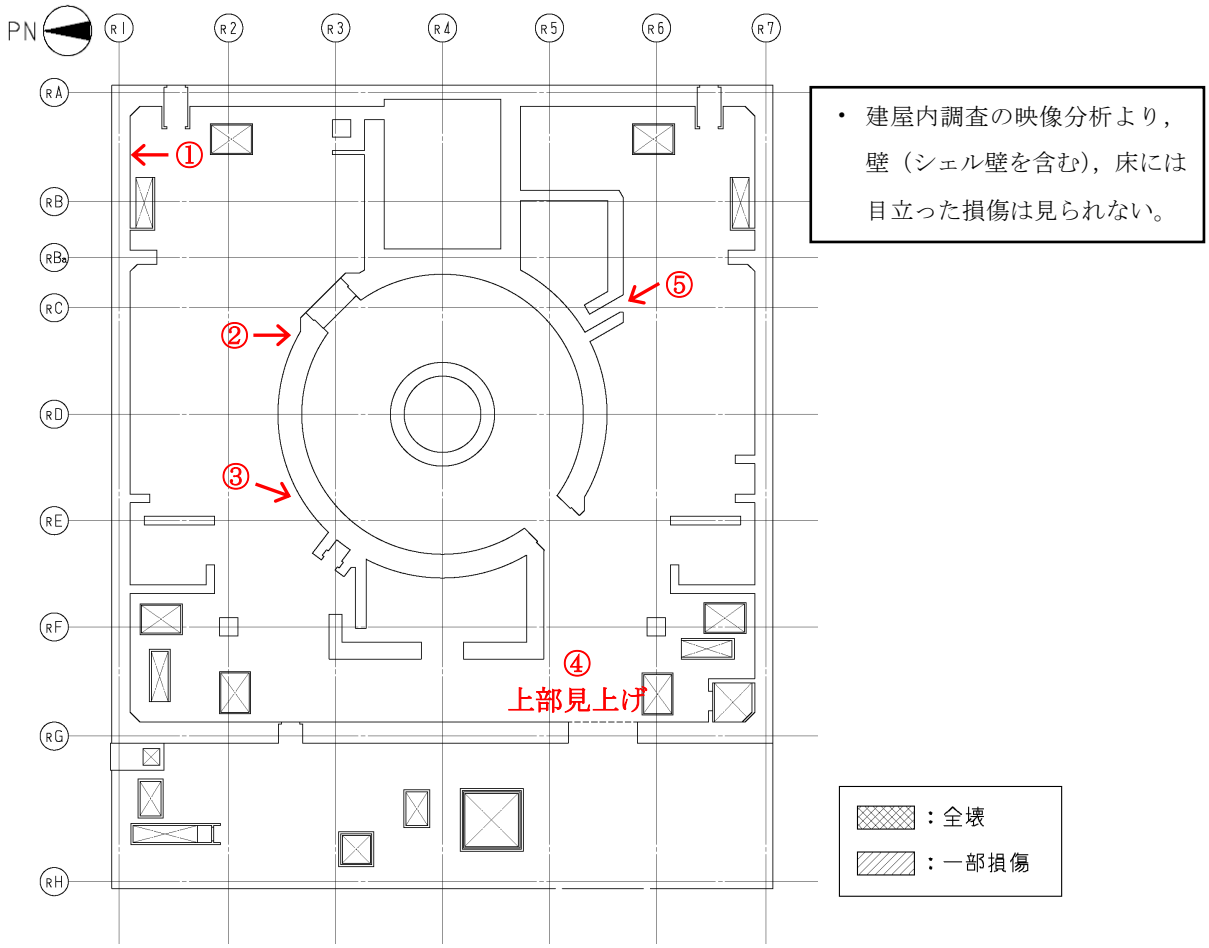
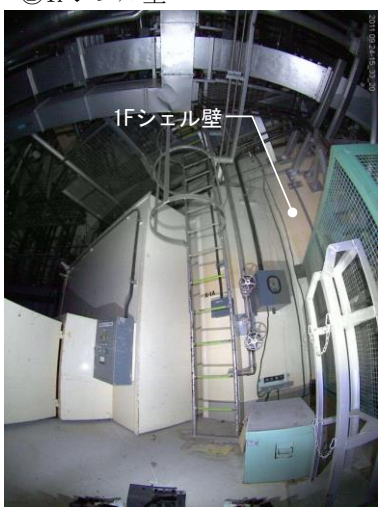


図-2.1　損傷状況（１階）

①1F北側外壁

②1Fシェル壁



③1Fシェル壁及び1F床

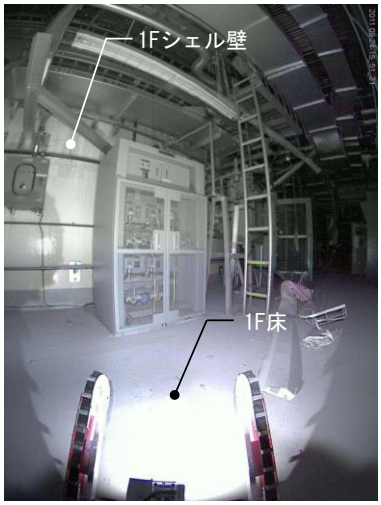
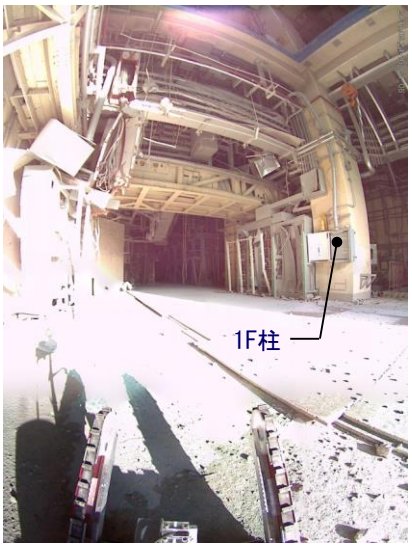


図-2.2(1)　建屋内状況写真（１階）

④1F大物搬入口付近



⑤1Fシェル壁

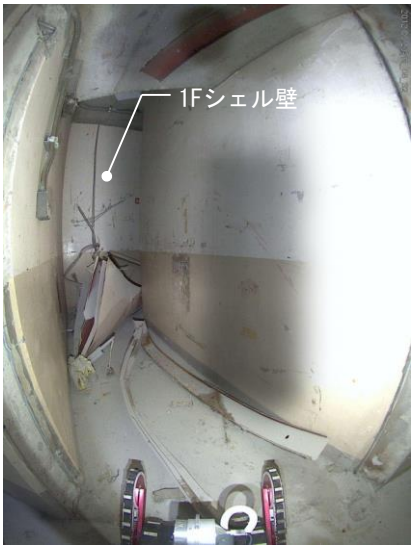


図-2.2(2)　建屋内状況写真（１階）

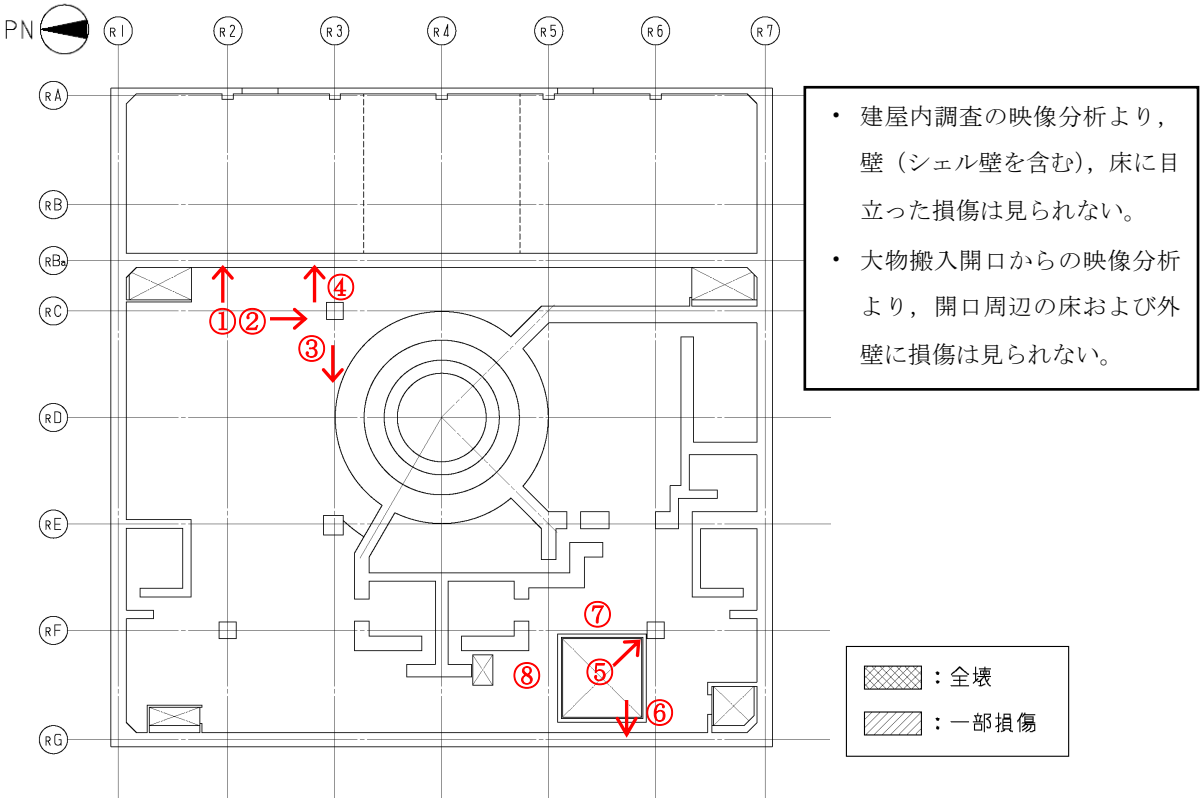


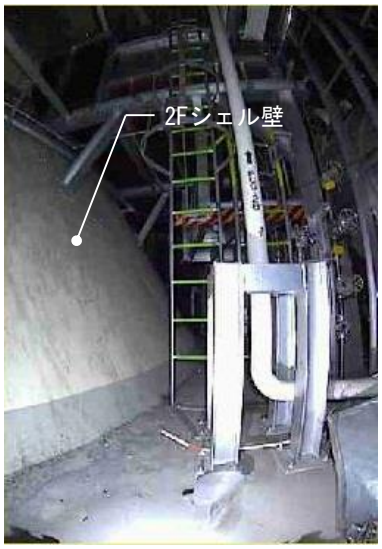
図-2.3　損傷状況（２階）

①2F階段口東側外壁

②2F床及び中間部の柱

図-2.4(1)　建屋内状況写真（２階）

③2Fシェル壁



④2F東側外壁

⑤2F柱脚

⑥2F西側外壁脚部

⑦2F床（大物搬入口東側）

⑧2F床（大物搬入口北側）

図-2.4(2)　建屋内状況写真（２階）

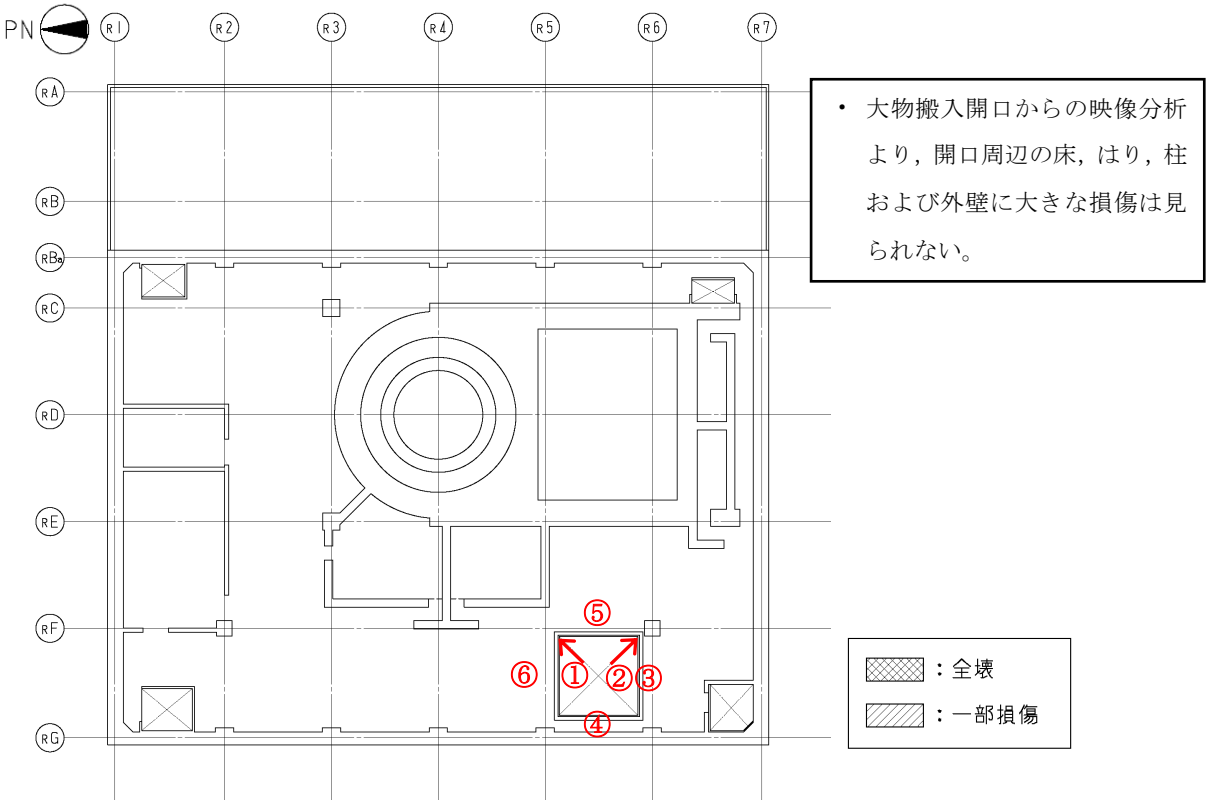
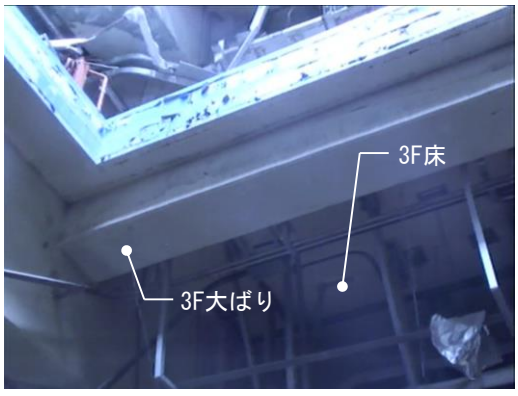


図-2.5　損傷状況（３階）

①3F大ばり交差部（R5通り×RF通り）



② 3F大ばり交差部（R6通り×RF通り）

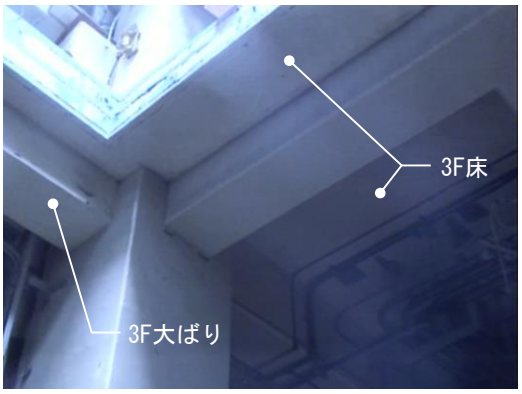
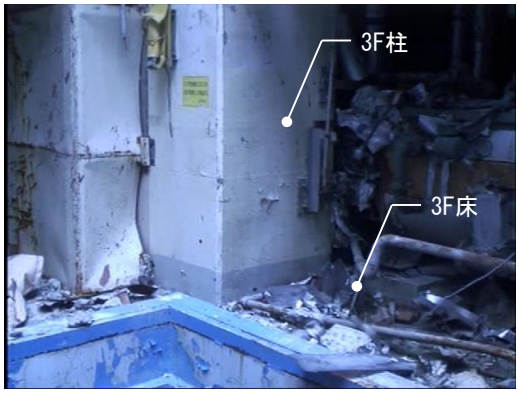
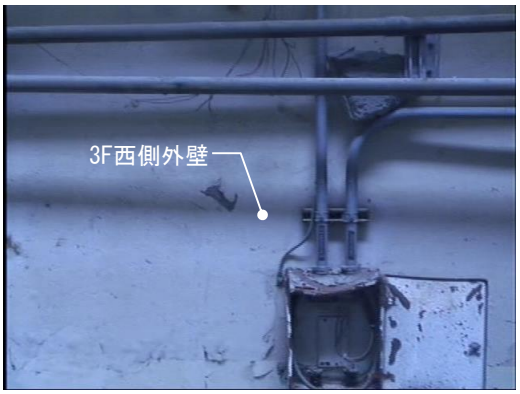


図-2.6(1)　建屋内状況写真（３階）

③3F柱脚



④3F西側外壁中央部



⑤3F床（大物搬入口東側）

⑥3F床（大物搬入口北側）

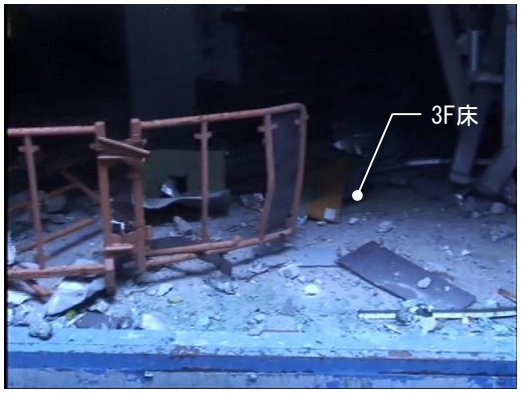
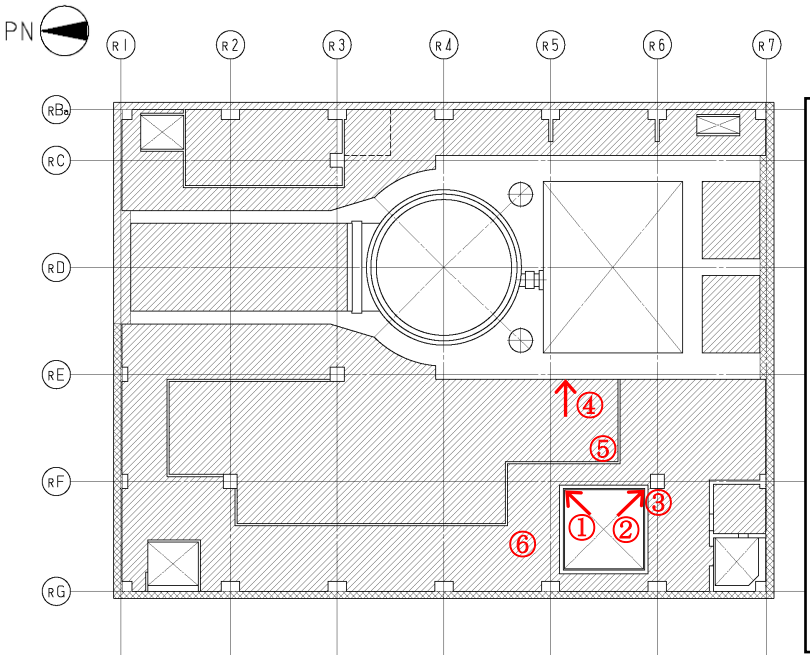


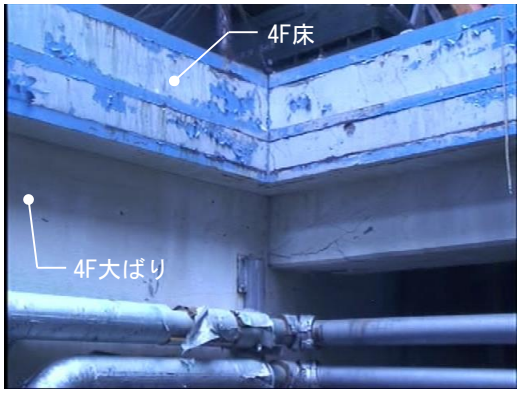
図-2.6(2)　建屋内状況写真（３階）



- 大物搬入開口からの映像分析より，開口周辺の床，はりの一部に剥落が見られる。
- 北西部や北東部において，上部の 5 階床が全壊している箇所もあることより，4 階床は全面的に一部損傷状態にあると推定する。
- プール壁頂部の一部に軽微な損傷が見られるが，剥落などは見られない。

図-2.7　損傷状況（４階）

①4F大ばり 交差部（R5通り ×RF通り）



②4F大ばり 交差部（R6通り ×RF通り）

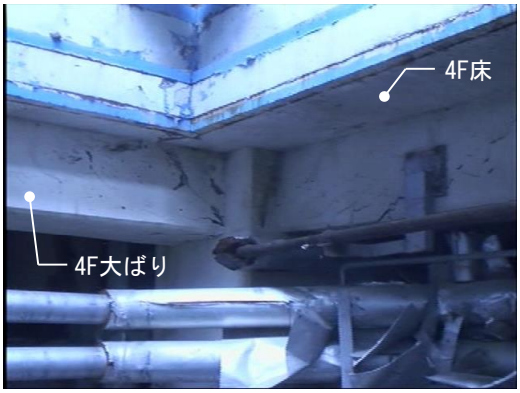
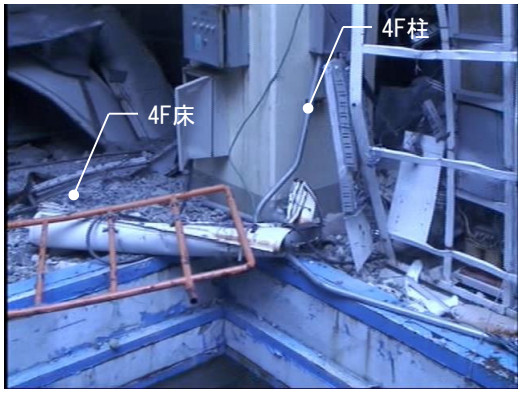
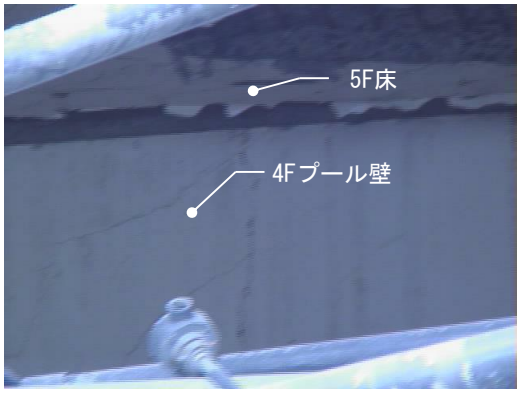


図-2.8(1)　建屋内状況写真（４階）

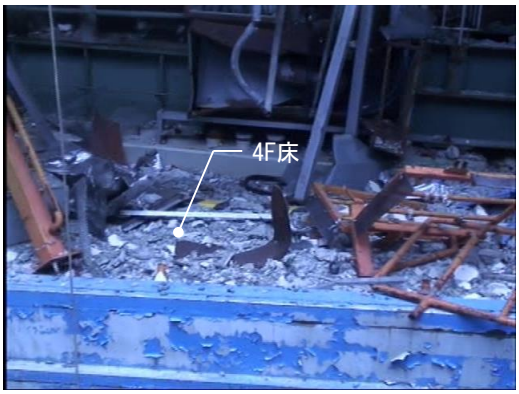
③4F柱脚



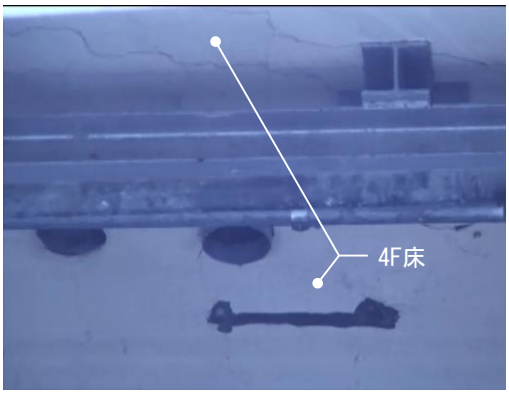
④4Fプール壁（頂部）



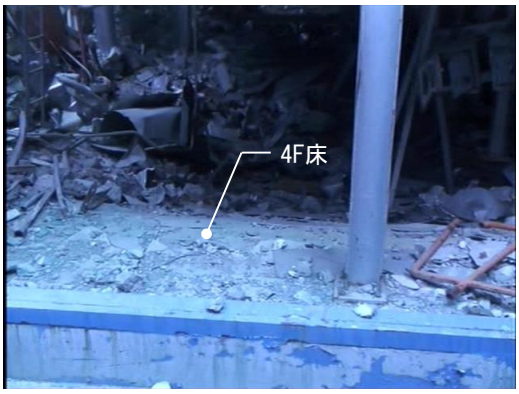
⑤4F床（大物搬入口東側）



⑤4F床（大物搬入口東側）



⑥4F床（大物搬入口北側）



⑥4F床（大物搬入口北側）

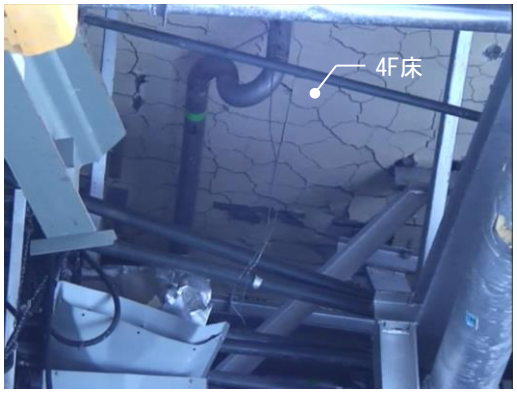
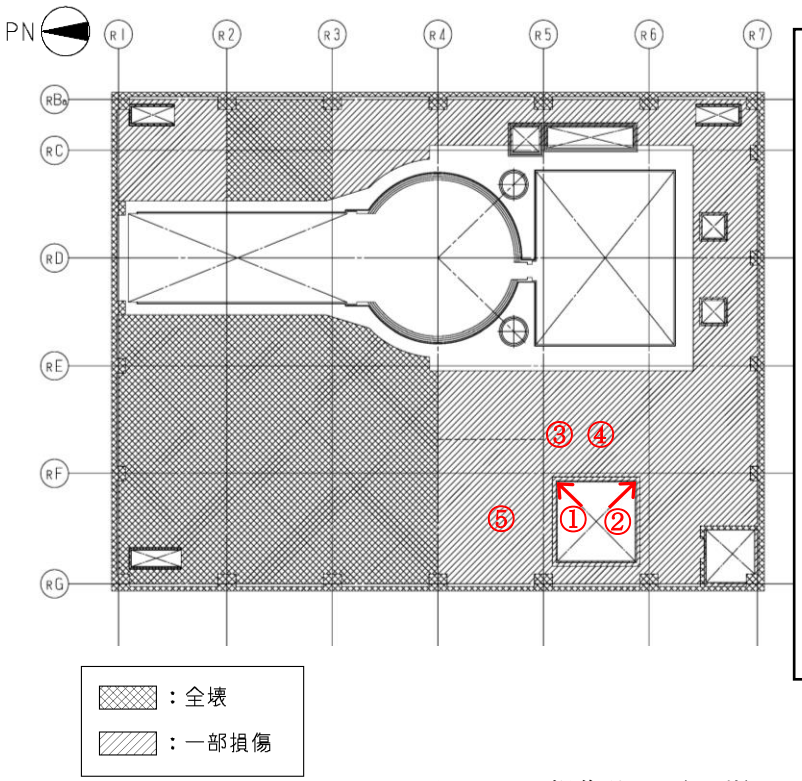


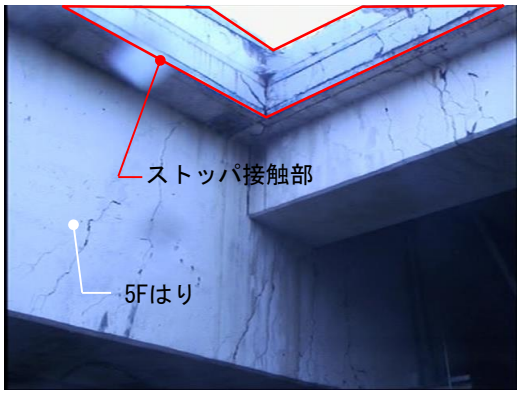
図-2.8(2)　建屋内状況写真（４階）



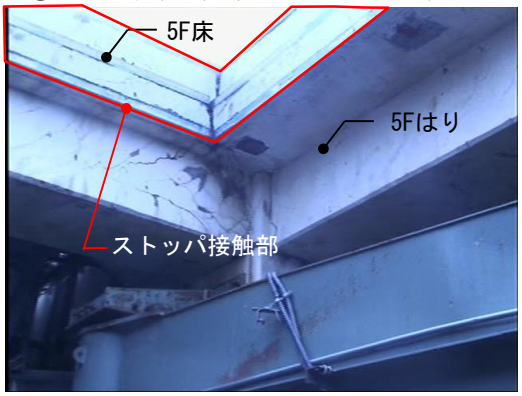
- 大物搬入開口からの映像分析より，開口周辺の床，はりに一部剥落が見られる。
- 北東部２～３通り間および北西部１～４通り間の床は全壊状態にある。
- ストッパ接触部を含む南西部および南東部の床，はりは一部剥落が見られる。
- プール壁上面のオイルダンパ接触部には表面の塗装が剥がれた程度で目立った損傷は見られない。

図-2.9　損傷状況（５階）

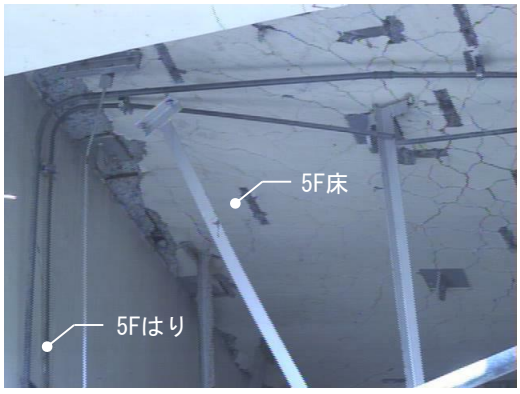
①5Fはり交差部（R5通り×RF通り）



②5Fはり交差部（R6通り×RF通り）



③5F床（大物搬入口東側）



④5F床（大物搬入口東側）

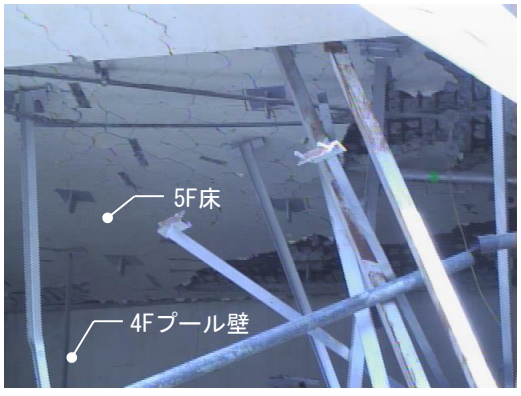
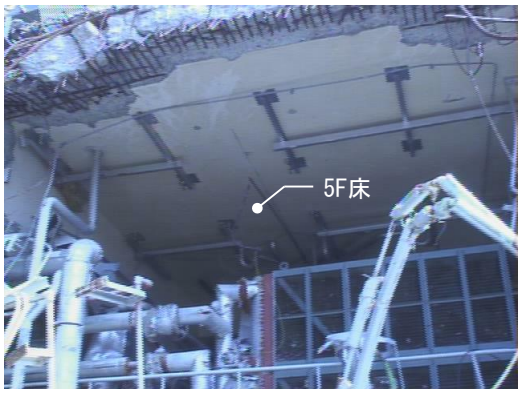
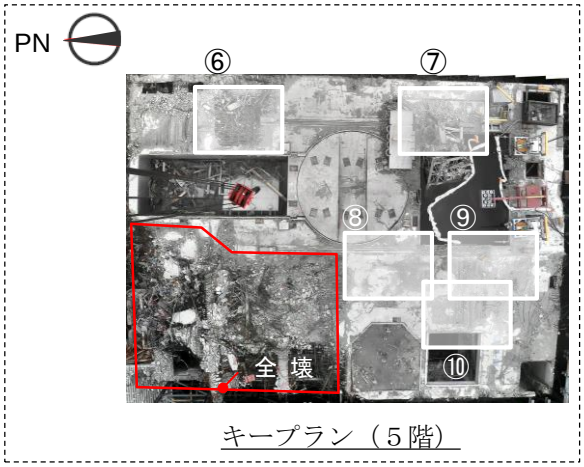


図-2.10(1)　建屋内状況写真（５階）

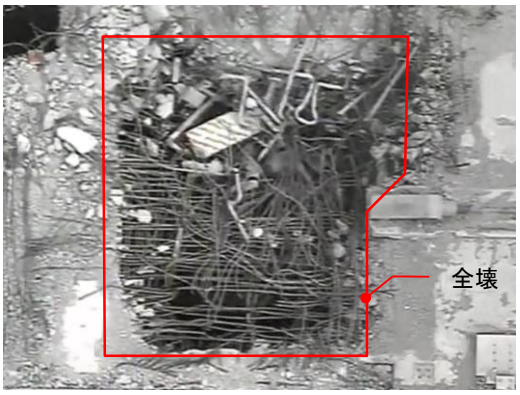
⑤5F床（大物搬入口北側）



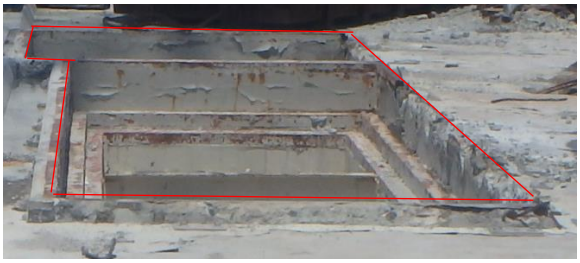


キープラン（５階）

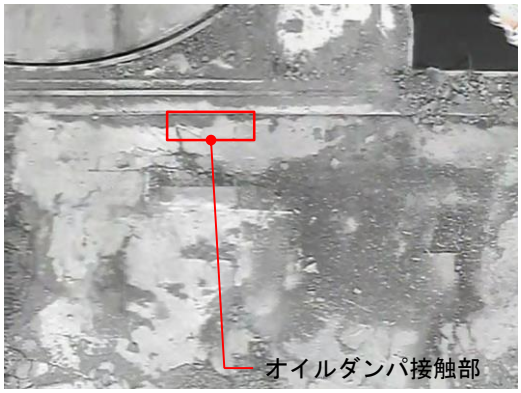
⑥5F床（機器仮置プール）



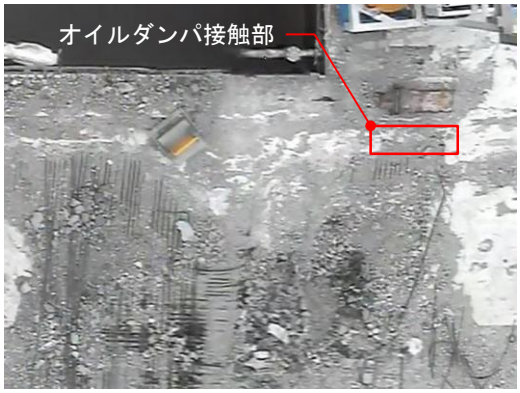
⑦東側ストッパ接触部



⑧オイルダンパ接触部（北側）



⑨オイルダンパ接触部（南側）



⑩西側ストッパ接触部

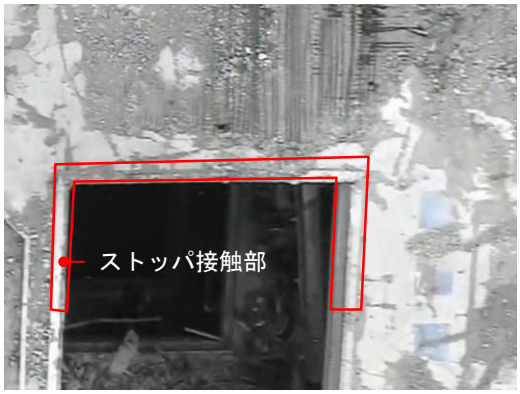


図-2.10(2)　建屋内状況写真（５階）

①西側壁面

②東側壁面

③南側壁面

④北側壁面

・ 外壁４面とも新たな損傷は見られない。

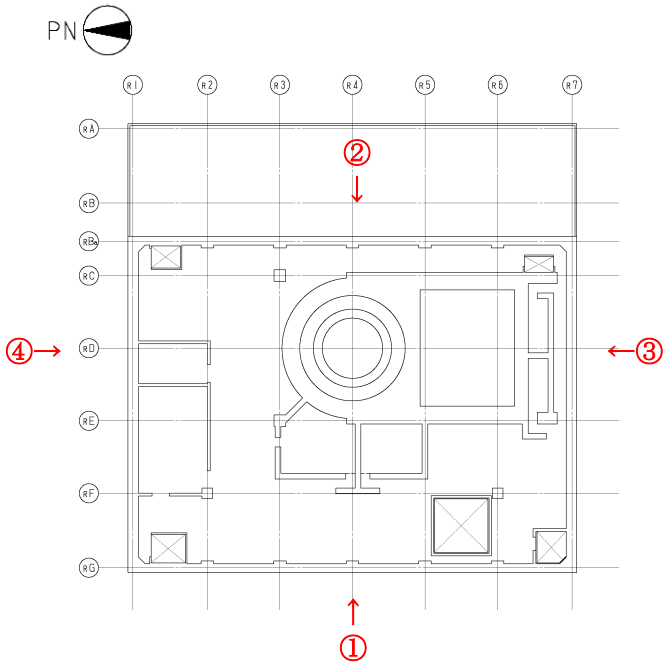


図-2.11　建屋外壁状況写真

3. ３次元ＦＥＭ解析による耐震安全性評価

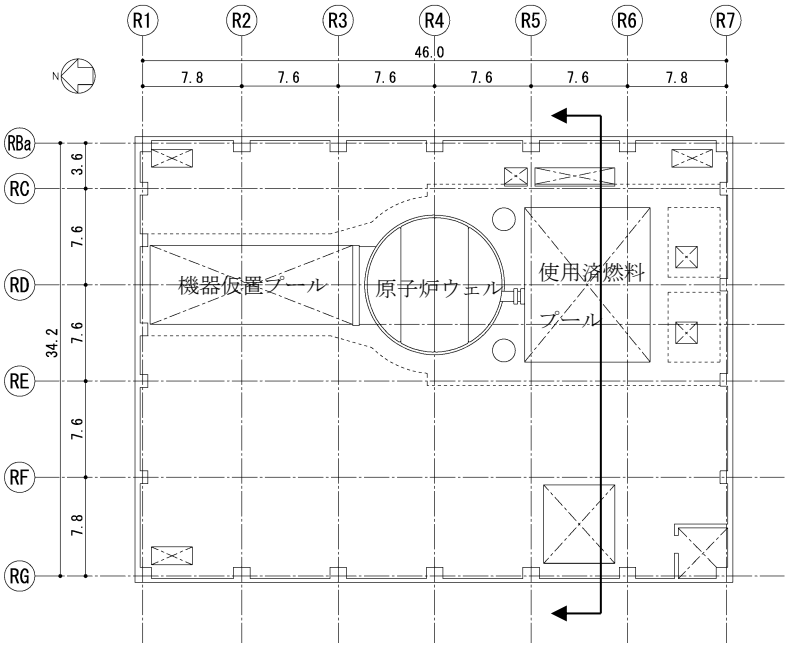
3.1 解析方針

本検討では，使用済燃料の取出し時における原子炉建屋の状況を反映するとともに，２章において損傷が確認された箇所を反映した解析モデルを作成し，基準地震動 Ss に対する耐震安全性を，３次元ＦＥＭ解析によって評価する。

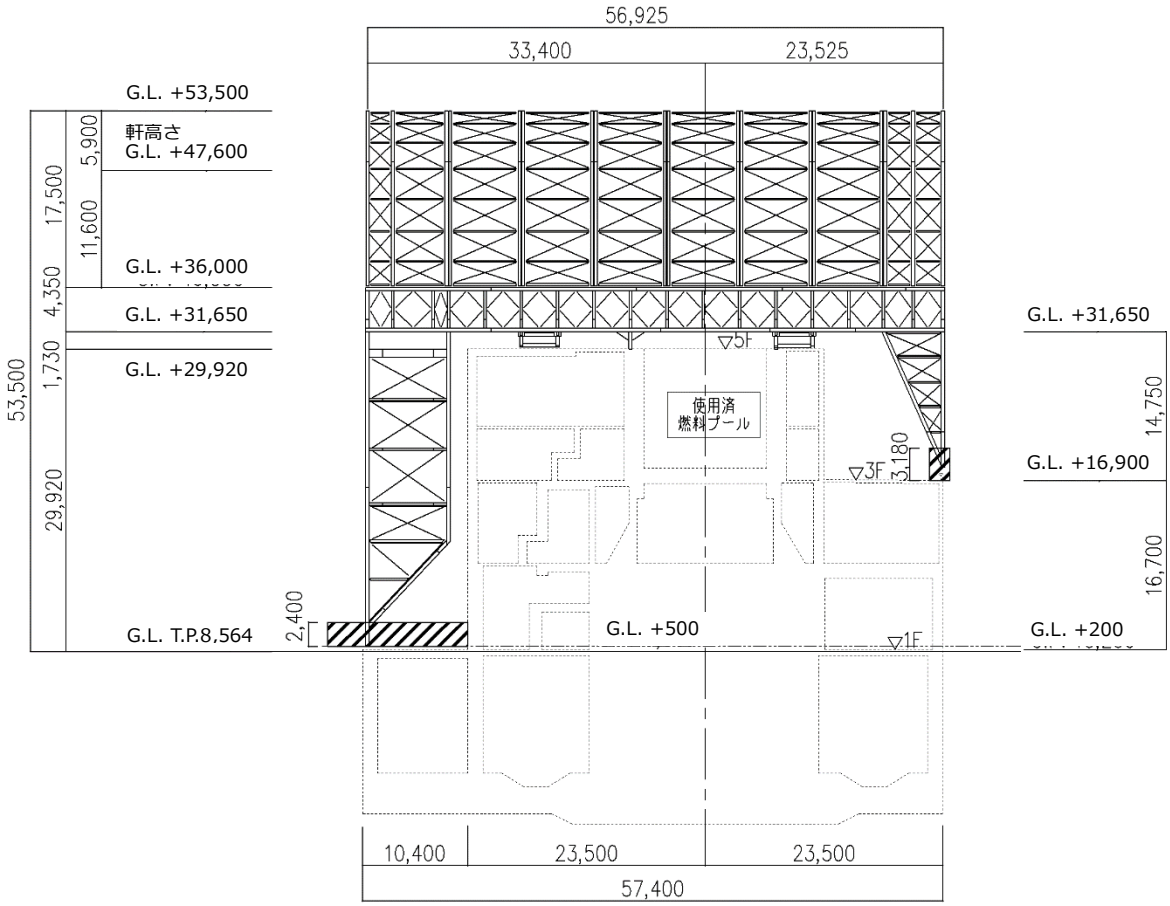
図-3.1.1 に原子炉建屋及び燃料取り出し用カバーの概要図を示す。

耐震安全性評価は，図-3.1.2 のフローに示すように以下の手順で行う。

- 使用済燃料プール周辺の２階の床（G.L.+8.7m）から５階の床（G.L.+29.92m）までの建屋部分をもとに，２章において新たに損傷が確認された箇所の強度を期待せず，剛性を低下あるいは無視した３次元ＦＥＭ解析モデルを作成する。
- 死荷重，遮へい体・燃料取り出し用カバー荷重，使用済燃料プール水による静水圧，地震応答解析結果にもとづく地震荷重，地震時の燃料取り出し用カバー反力及び荷重組合せの条件を設定する。
- 応力解析として鉄筋コンクリート部材の塑性化を考慮した弾塑性解析を行い，使用済燃料プール部，シェル壁及び燃料取り出し用カバーが取り付く５階オペフロに発生する応力及びひずみを算出する。
- 評価基準値と比較し，耐震安全性を評価する。



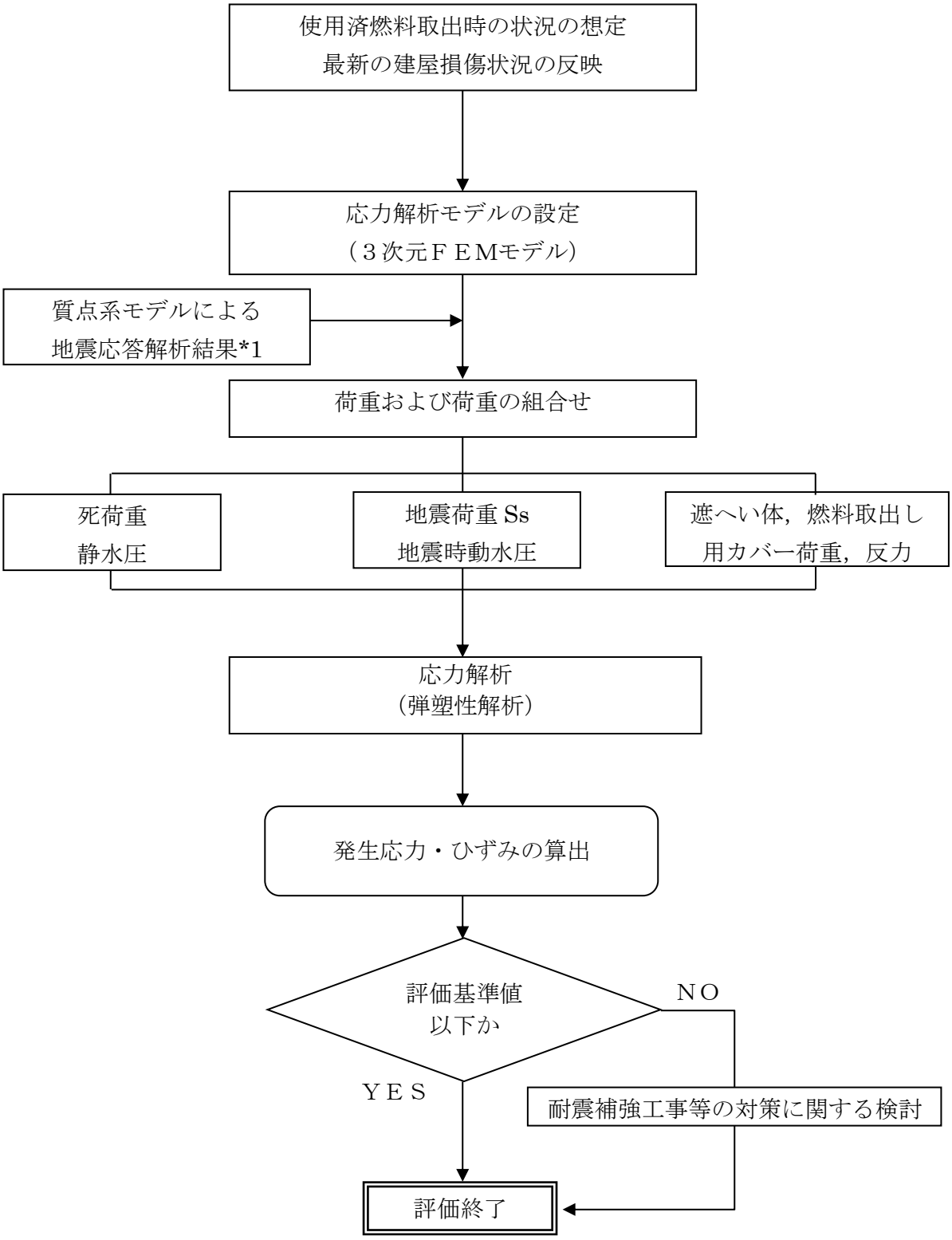
平面図



断面図

図-3.1.1　原子炉建屋及び燃料取り出し用カバーの概要図

本章に記載の標高は，震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P.から T.P.への読替値(-727mm)を用いて，下式に基づき換算している。
＜換算式＞ T.P.=旧 O.P.-1.436mm



*1：「Ⅱ-2-11　添付資料-4-2　3.　３号機燃料取り出し用カバーの構造強度及び耐震性について」中の３号機の燃料取出し時の状態を考慮した地震応答解析結果にもとづく。

図-3.1.2　耐震安全性評価フロー

3.2　応力解析モデルの設定

鉄筋コンクリート部材の塑性化を考慮した弾塑性解析を実施し，使用済燃料プール及びシェル壁等に発生する応力及びひずみを算定する。２階壁から５階のオペフロまでの鉄筋コンクリート部材を有限要素の集合体としてモデル化した。２章において損傷（一部損傷及び全壊）が確認された箇所について，建屋損傷状況を反映した応力解析モデルを構築した。

使用計算機コードは「ABAQUS」である。解析モデルに使用する板要素は，鉄筋層をモデル化した異方性材料による積層シェル要素（コンクリート部：10 要素 11 積分点）を用いた。一般には断面の板厚方向の応力分布を評価するには板厚方向の分割は 4～5 要素で十分であるが、今回は鉄筋層の外側のコンクリート剛性を考慮できるように 10 要素と細かくした。なお、面外せん断剛性は「ABAQUS」では、板厚方向には分割されず 1 要素のままとなる。各要素には，板の軸力と曲げ応力を同時に考える。また，板のたわみには曲げによる変形とせん断による変形を考慮する。柱と梁は，軸力，曲げ，せん断を同時に考慮できる梁要素としてモデル化し，板要素を含めそれぞれの要素の接合条件は剛接とした。

図-3.2.1 に解析モデル概要図を，図-3.2.2 にコンクリートと鉄筋の構成則を，図-3.2.3 に解析モデルの境界条件を示す。

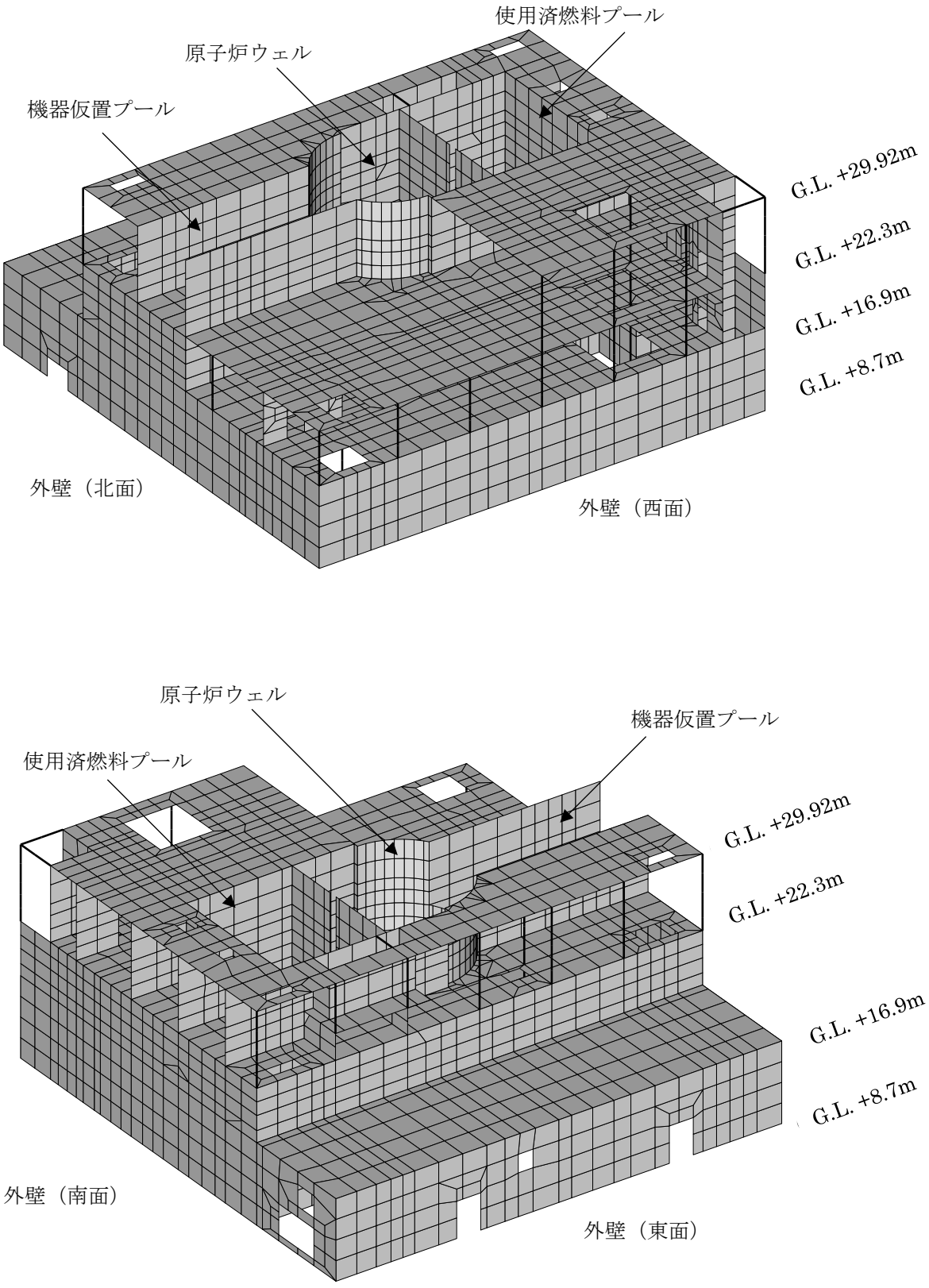
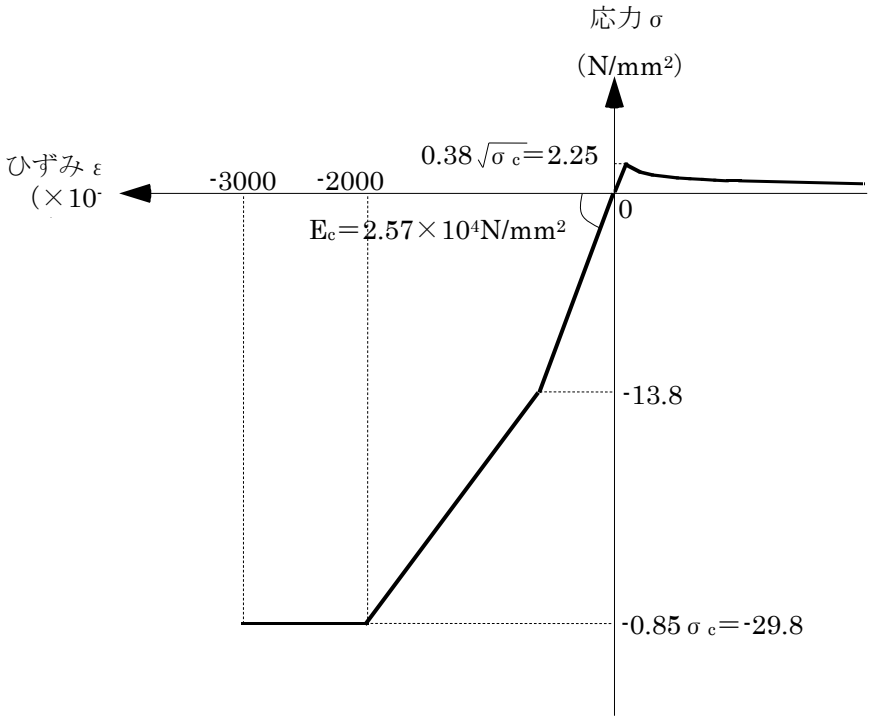
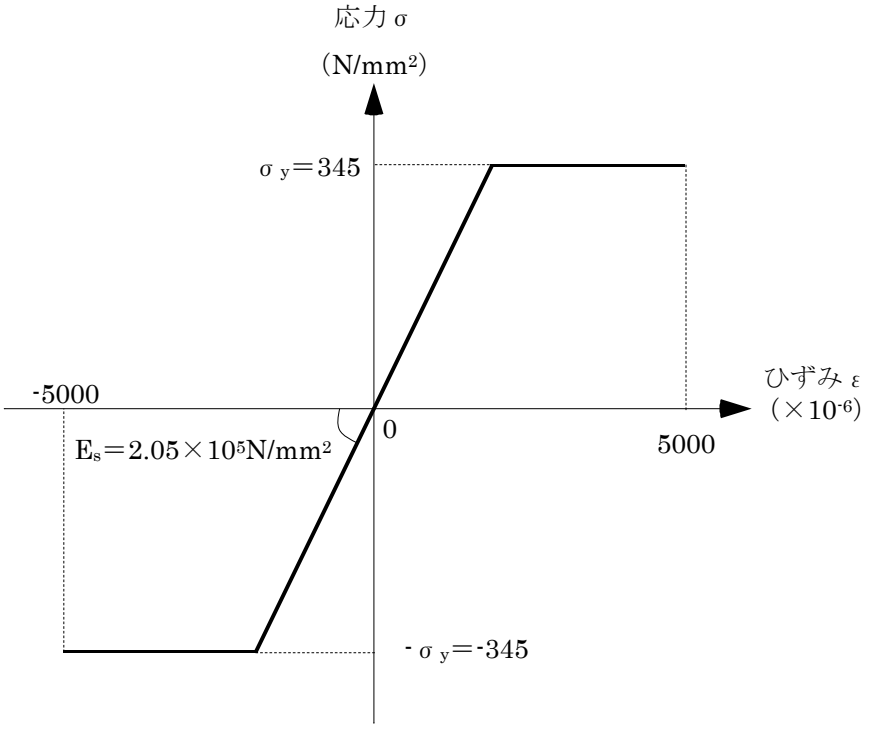


図-3.2.1　解析モデル概要図



(a)　コンクリートの応力－ひずみ関係

（コンクリート強度 σ c＝35N/mm²）



(b)　鉄筋の応力－ひずみ関係

（鉄筋降伏点 σ y＝345N/mm²）

図-3.2.2　コンクリートと鉄筋の構成則

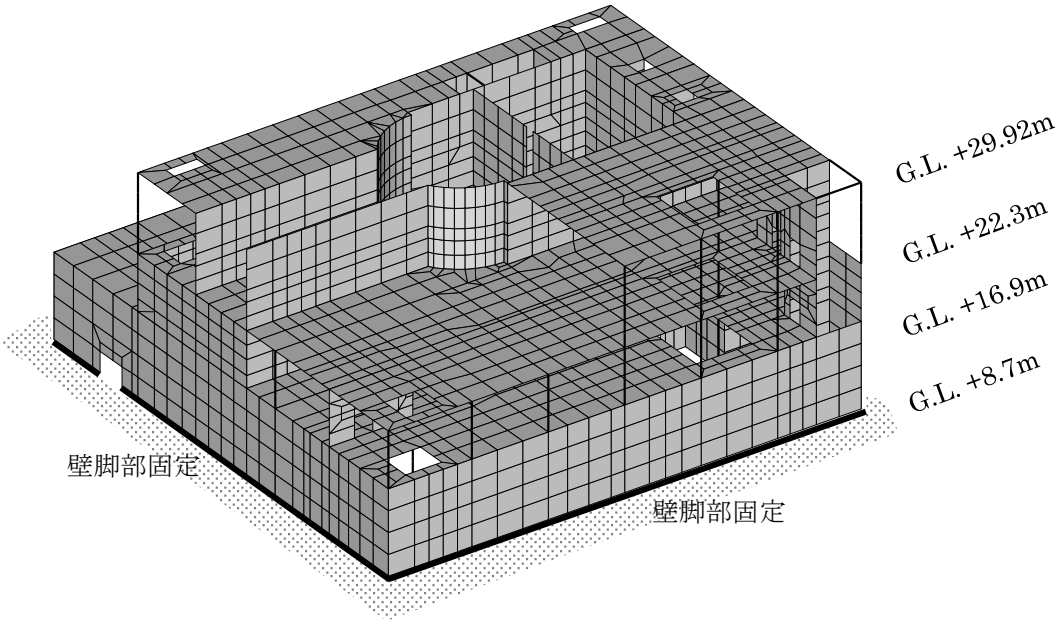


図-3.2.3　解析モデルの境界条件

3.3　損傷状況の仮定

損傷状況の仮定にあたっては，２章において損傷（一部損傷及び全壊）が確認された箇所を反映し，３次元ＦＥＭ解析モデルを作成する。図-3.3.1～図-3.3.4に損傷状況を仮定した損傷モデルを示す。

(1)床スラブ

床スラブは，５階～４階において，床全壊箇所は剛性を0%とし，床一部損壊箇所は剛性を50%とする。損傷状況の調査結果より明らかとなったオペフロ（５階）の北東部の床は，剛性を0%とする。４階の床は，大物搬入開口周辺の床，はりの一部に剥落が見られること，および，北西部や北東部において，上部の５階床が全壊している箇所もあることより，４階床は全面的に一部損傷状態にあると推定する。

(2)外壁・内壁

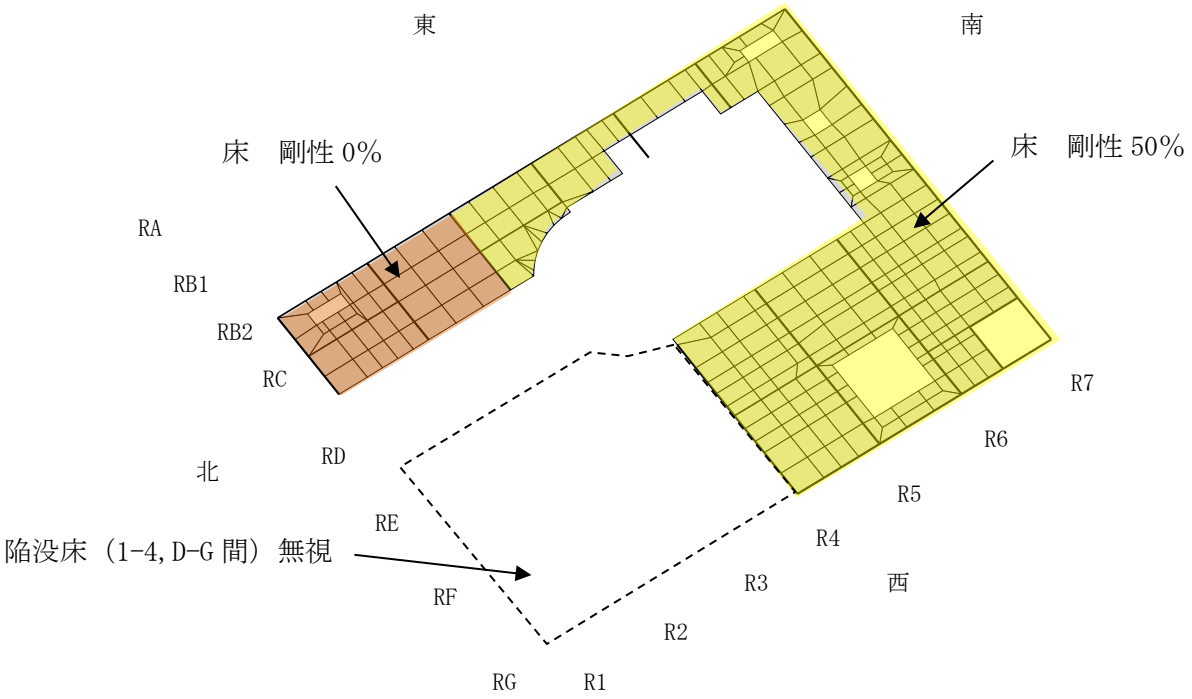
外壁・内壁は，新たな損傷が確認されていないため，変更は行わない。

(3)使用済燃料プール・機器仮置プール

使用済燃料プール・機器仮置プールについては壁及び床ともに健全であった壁や床よりも，十分な厚さがあるため，損傷なしとして評価を行う。

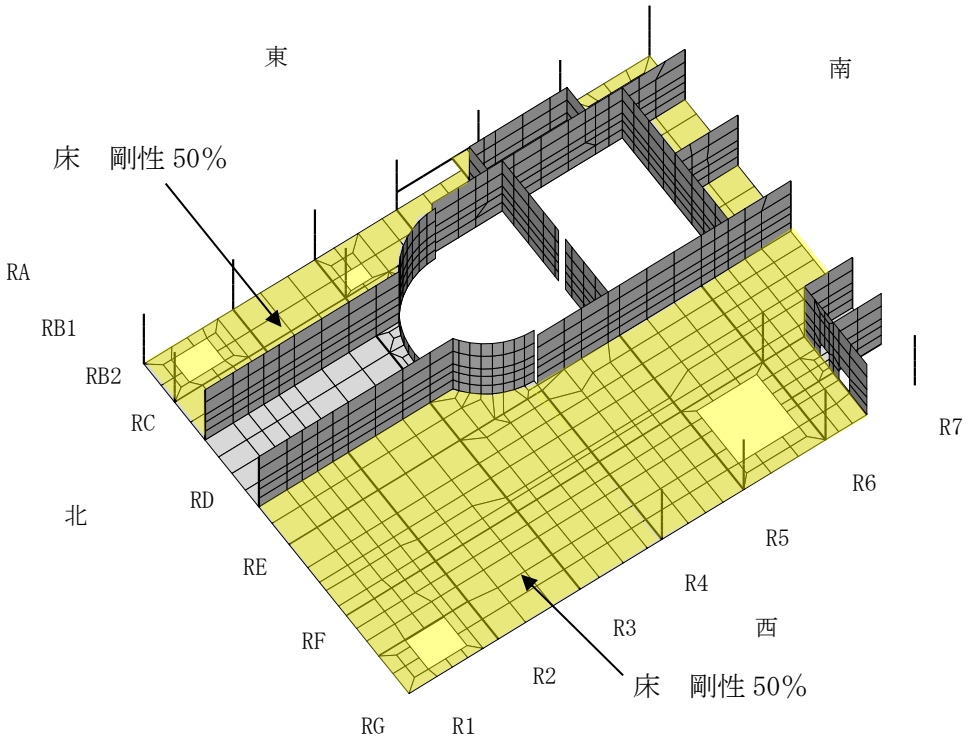
(4)シェル壁

シェル壁については健全であった壁や床よりも，十分な厚さがあるため，損傷なしとして評価を行う。



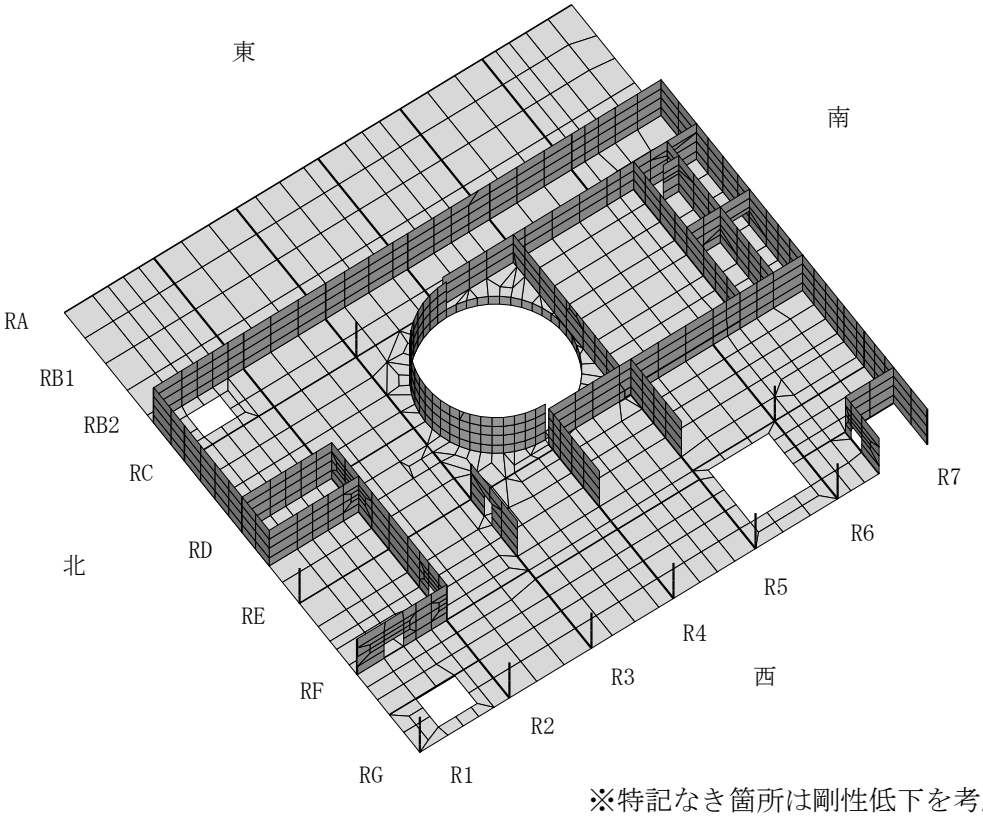
※特記なき箇所は剛性低下を考慮しない。

図-3.3.1　損傷状況仮定　アイソメ図　５階（G.L.+29.92m）



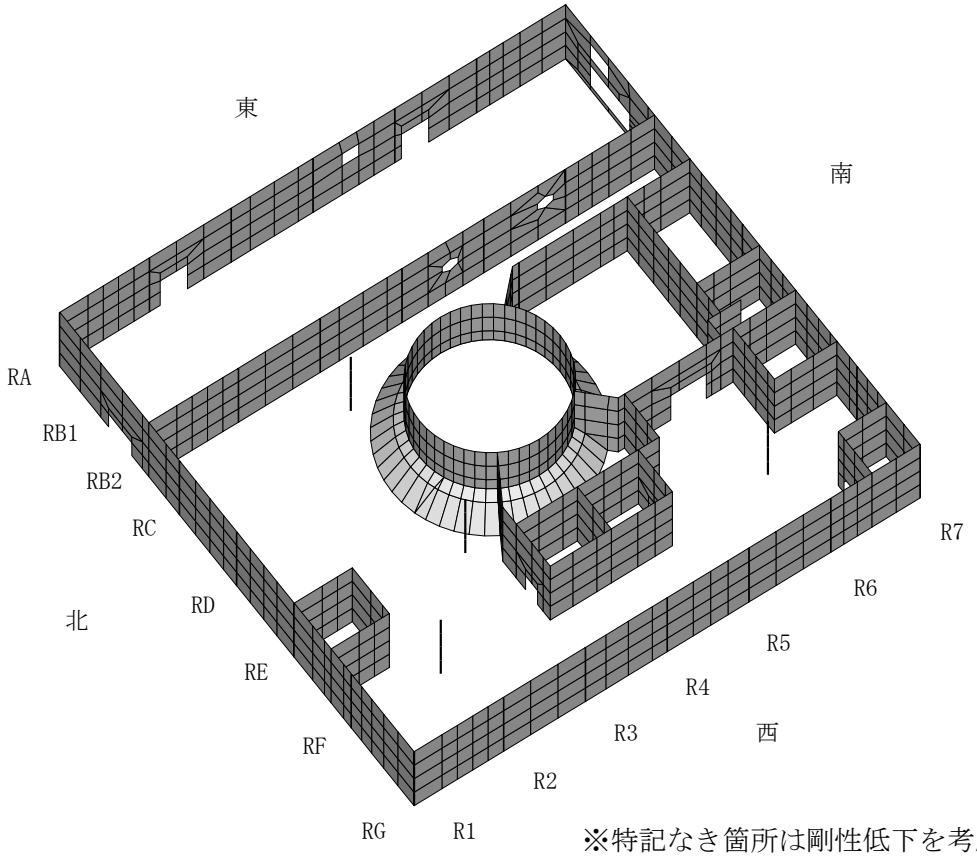
※特記なき箇所は剛性低下を考慮しない。

図-3.3.2　損傷状況仮定　アイソメ図　４階（G.L.+22.3m）



※特記なき箇所は剛性低下を考慮しない。

図-3.3.3　損傷状況仮定　アイソメ図　３階（G.L.+16.9m）



※特記なき箇所は剛性低下を考慮しない。

図-3.3.4　損傷状況仮定　アイソメ図　２階（G.L.+8.7m）

3.4　荷重及び荷重の組合せ

(1) 死荷重　ＤＬ

解析モデルに付与する死荷重は，モデル化範囲の建屋躯体の自重に加え，機器・配管・その他の重量は床に一様に積載されているものとする。死荷重を表-3.4.1 に示す。

表-3.4.1　死荷重

荷重	荷重の与え方	荷重（kN）
死荷重（原子炉建屋）	シェル要素に物体力（密度×体積）として入力する	330619

(2) 遮へい体・燃料取り出し用カバー荷重　ＤＦ

遮へい体及び燃料取り出し用カバー重量を表-3.4.2 に示す。

表-3.4.2　遮へい体・燃料取り出し用カバー荷重（固定荷重）

荷重		荷重の与え方	荷重（kN）
遮へい体荷重（固定荷重）		オペフロ階（既存躯体の５階）の鉛直支持位置に、支配面積に応じて按分した荷重を節点荷重として入力する	18000
燃料取り出し用カバー荷重（固定荷重）	ストッパ	オペフロ階（既存躯体の５階）のストッパ脚部反力を節点荷重として入力する	1500
	東側脚部※1	カバー架構（オイルダンパを含む）の脚部反力を節点荷重として入力する	7700※2
	置き基礎	死荷重（原子炉建屋）として考慮済み※3	(1500)

※1：解析モデル（3 次元 FEM モデル）において，2 階壁から上部をモデル化しているため，西側脚部（1 階床面レベル）は該当なし。

※2：東側脚部の荷重 7700kN は，全体モデルの取合い点の反力より算出している。

※3：置き基礎は，原子炉建屋下屋部分に一様に荷重（２階外壁上。３階床レベル。）がかかるため，原子炉建屋の死荷重として考慮した。

(3) 静水圧　H

使用済燃料プールが満水状態（プール水重量 13640 kN）にあると仮定した場合の静水圧（σ＝113 kN/m^2）を考慮する。荷重は圧力荷重としてシェル要素に入力する。

静水圧　　$P_s = \rho g H$

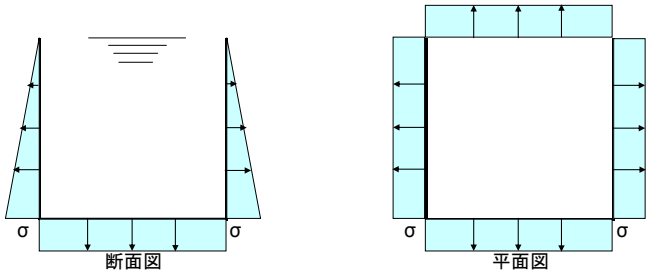
ここで

ρ　　：液体の密度（10^3kg/m^3）

g　　：重力加速度(9.80665m/s^2)

H　　：プール水深(11.51m)

$P_s = 113(kN/m^2)$



(4) 地震荷重　K

全体架構モデルによる基準地震動 Ss に対する地震応答解析結果に基づき，水平方向及び鉛直方向の地震荷重を考慮する。地震荷重を表-3.4.3 に示す。

表-3.4.3(1)　地震荷重（kN）

G.L.(m)	ﾌﾛｱ重量 (kN)	NS 方向地震力			荷重の与え方
		せん断力 (kN)	地震力 (kN)	震度	
+29.92	87590	－	71920	0.83	基準地震動 Ss に対する応答せん断力に基づく地震力を震度換算し、シェル要素の物体力（密度×体積）に乗じて入力する。
+22.3	119490	71920	83080	0.70	
+16.9	111340	155000	74320	0.67	
+8.7	130160	229320	77190	0.60	
+0.2	－	306510	－	－	

表-3.4.3(2)　地震荷重（kN）

G.L.(m)	ﾌﾛｱ重量 (kN)	EW 方向地震力			荷重の与え方
		せん断力 (kN)	地震力 (kN)	震度	
+29.92	87590	－	72110	0.83	基準地震動 Ss に対する応答せん断力に基づく地震力を震度換算し、シェル要素の物体力（密度×体積）に乗じて入力する。
+22.3	119490	72110	85770	0.72	
+16.9	111340	157880	72640	0.66	
+8.7	130160	230520	74140	0.57	
+0.2	－	304660	－	－	

表-3.4.3(3)　地震荷重（kN）

G.L.(m)	ﾌﾛｱ重量 (kN)	UD 方向地震力			荷重の与え方
		軸力 (kN)	地震力 (kN)	震度	
+29.92	87590	－	43860	0.50	基準地震動 Ss に対する応答軸力に基づく地震力を震度換算し、シェル要素の物体力（密度×体積）に乗じて入力する。
+22.3	119490	43860	54730	0.46	
+16.9	111340	98590	47810	0.43	
+8.7	130160	146400	57000	0.44	
+0.2	－	203400	－	－	

(5) 燃料取り出し用カバー反力　ＫＦ

地震時に生じる燃料取り出し用カバーからの反力を表-3.4.4 に示す。

表-3.4.4　燃料取り出し用カバー反力（地震時）

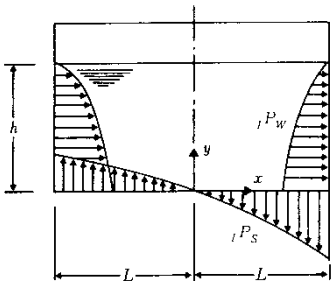
荷重	荷重の与え方	作用方向	反力（kN）	
オイルダンパ反力	節点力として入力	鉛直下向き	5200	
燃料取り出し用カバー反力			ストッパ	東側脚部
	節点力として入力	N→S	15500	700
		S→N	15600	700
		W→E	14600	2500
		E→W	16300	2500
	節点力として入力	鉛直方向	7700	

(6) 地震時動水圧荷重　ＫＨ

JEAC4601 に基づき，使用済燃料プール水の基準地震動 Ss 時の動水圧（σ_{NS}＝44 kN/m^2，σ_{EW}＝56 kN/m^2）を考慮する。荷重は圧力荷重としてシェル要素に入力する。

動水圧は保守的にプール最深部の衝撃圧を壁面全体に作用させる。

衝撃圧　$${}_IP_W = \rho L\ddot{X}\frac{\sqrt{3}}{2}\frac{H}{L}\left[1-\left(\frac{y}{H}\right)^2\right]\tanh\left(\sqrt{3}\frac{L}{H}\right)$$



(a) 衝撃圧分布形状

ここで

ρ　：液体の密度（10^3kg/m^3）

h　：液体の深さ(11.51m)

H　：$H=h$（$h \leqq 1.5L$），　$H=1.5L$（$h>1.5L$）

$2L$　：矩形プール幅(m)

$\ddot{X}$　：プール設置床の応答最大加速度（m/s^2）又は設置床とその上階床との平均の応答最大加速度（m/s^2）

y　：プール底板の中心を原点とする鉛直方向座標(m)
最深部の評価の場合 0m

NS 方向

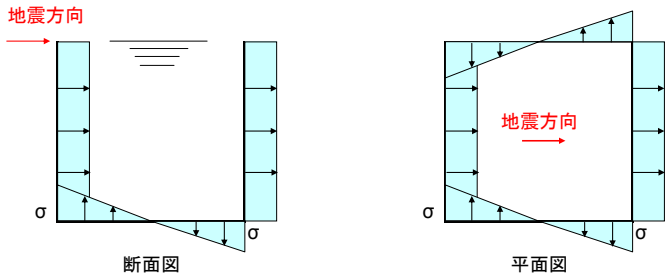
L=4.953(m)、$\ddot{X}$＝8.08（m/s^2）

$${}_IP_W = 44(kN/m^2)$$

EW 方向

L=6.096(m)、$\ddot{X}$＝8.14（m/s²）

$_{I}P_{w} = 56(kN/m^2)$



(7) 荷重の組合せ

表-3.4.5 に荷重の組合せを示す。なお，水平方向及び鉛直方向の地震動の組合せは，組合せ係数法（組合せ係数 0.4）により評価する。

表-3.4.5　荷重の組合せ

荷重時名称	荷重の組合せ
Ss 地震時	DL ＋ DF ＋ H ＋ K ＋ KF ＋ KH

ここに，　DL：死荷重，DF：遮へい体・燃料取り出し用カバー荷重，　H：静水圧，
K：地震荷重（基準地震動 Ss），KF：燃料取り出し用カバー反力，KH：地震時動水圧

3.5　評価結果

配筋諸元等に基づき構造検討を行い，耐震安全性を評価する。評価においては，応力解析より求まる発生応力及びひずみが，評価基準値以下となることを確認した。評価基準値は，日本機械学会「発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格」（CCV 規格）に基づき設定した。表-3.5.1 にひずみの評価基準値の値を示す。発生応力（面外せん断力）の評価基準値は，下式による。

シェル壁の面外せん断力に対する評価基準値（Q_A）は，次の２つの計算式により計算した値のいずれか小さい方の値とシェル壁の断面積を乗じて算出した値とする。

$$\tau_R = \Phi\{\ 0.1(\ p_t \cdot f_y - \sigma_0\ ) + 0.5 p_w \cdot f_y + 0.235\sqrt{F_c}\ \} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\ (3.5\text{-}1)$$

$$\tau_R = 1.10\sqrt{F_c} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\ (3.5\text{-}2)$$

ここで，

τ_R　：終局面外せん断応力度（N/mm²）

p_t　：主筋の鉄筋比

f_y　：鉄筋の許容引張応力度および許容圧縮応力度（N/mm²）

F_c　：コンクリートの設計基準強度（N/mm²）

σ_0　：外力による膜応力度（N/mm²）（引張の符号を正とする）

p_w　：面外せん断力に対する補強筋の鉄筋比であって，次の計算式により計算した値

$$p_w = a_w / (b \cdot x) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\ (3.5\text{-}3)$$

a_w　：面外せん断力に対する補強筋の断面積（mm²）

b　：断面の幅（mm）

x　：面外せん断力に対する補強筋の間隔（mm）

Φ　：低減係数であり，次の計算式により計算した値（1を超える場合は1，0.58未満の場合は0.58とする）

$$\Phi = 1 / \sqrt{M / (Q \cdot d)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\ (3.5\text{-}4)$$

M　：曲げモーメント（N･mm）

Q　：せん断力（N）

d　：断面の有効せい（mm）

シェル壁以外の面外せん断力に対する評価基準値（Q_A）は，次の(1)または(2)に示す計算式により計算した値とする。

(1) 次の計算式により計算した値

$$Q_A = b \cdot j \cdot {}_c f_s \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\ (3.5\text{-}5)$$

ここで，

Q_A　：許容面外せん断力（N）

b　：断面の幅（mm）

j　：断面の応力中心間距離で ${}_c f_s$，断面の有効せいの7／8倍の値（mm）

${}_c f_s$　：コンクリートの許容せん断応力度（N/mm²）

(2) (1)の規定を超えるものについては，次の計算式により計算した値

$$Q_A = b \cdot j \{ \alpha \cdot {}_cf_s + 0.5 {}_wf_t (p_w - 0.002) \} \quad \cdots\cdots (3.5\text{-}6)$$

ここで，

p_w ：面外せん断力に対する補強筋の鉄筋比であり，次の計算式により計算した値(0.012を超える場合は0.012として計算する)

$$p_w = a_w / (b \cdot x) \quad \cdots\cdots (3.5\text{-}7)$$

a_w ：面外せん断力に対する補強筋の断面積（mm²）

x ：面外せん断力に対する補強筋の間隔（mm）

${}_wf_t$ ：面外せん断力に対する補強筋の許容引張応力度（N/mm²）

α ：割増し係数であり，次の計算式により計算した値（2を超える場合は 2，1未満の場合は1とする）

$$\alpha = \frac{4}{M/(Q \cdot d) + 1} \quad \cdots\cdots (3.5\text{-}8)$$

M ：曲げモーメント（N･mm）

Q ：せん断力（N）

d ：断面の有効せい（mm）

なお，Q_A，b，jおよび ${}_cf_s$は，(1)に定めるところによる。

検定比は，発生ひずみ及び面外せん断力の発生応力と評価基準値の比とする。（１以下で評価基準値を満足する。）

ひずみの検定比 ： $\varepsilon / \varepsilon_A$

面外せん断力の検定比 ： Q / Q_A

検定比を示した結果を図-3.5.1～図-3.5.9 に示す。いずれの箇所においても発生ひずみ及び発生応力は弾性範囲内であり，評価基準値を十分に下回っている。このことから，使用済燃料取り出し時の状況において，使用済燃料プール・燃料取り出し用カバーが取りつくオペフロ（5 階）床は，２章の損傷状況の調査結果を考慮しても，耐震安全性を有しているものと評価した。

また，ひずみが弾性範囲内であるため，コンクリートに内張りされたライナーが損傷し，使用済燃料プールの水が漏れ出る可能性はないと考えられる。

なお，付録において，パラメトリックスタディとして，本章の損傷状況をより安全側に評価したケースを実施し，耐震安全性に及ぼす影響を確認した。この目的は，２章の損傷状況の調査結果に示すように，現状の調査範囲では一部で損傷判定の不確定な箇所があり，解析上，これらの箇所の残存剛性を安全側に評価し，評価結果に及ぼす感度を把握するためである。併せて，このパラメトリックスタディにおいては，事故時の影響で使用済燃料プール部やシェル壁の剛性が低下した可能性についても考慮した。この結果，多少の数値変動はあるものの解析結果に大きな差

異は生じておらず，仮定条件の変動が解析結果に与える影響はそれほど大きくなく，パラメトリックスタディにおいても耐震安全性を有していると評価した。（付録参照）

表-3.5.1　評価対象別の ε_A

評価対象	評価基準値 ε_A ($\times 10^{-6}$)
コンクリート	-3000
鉄筋	±5000

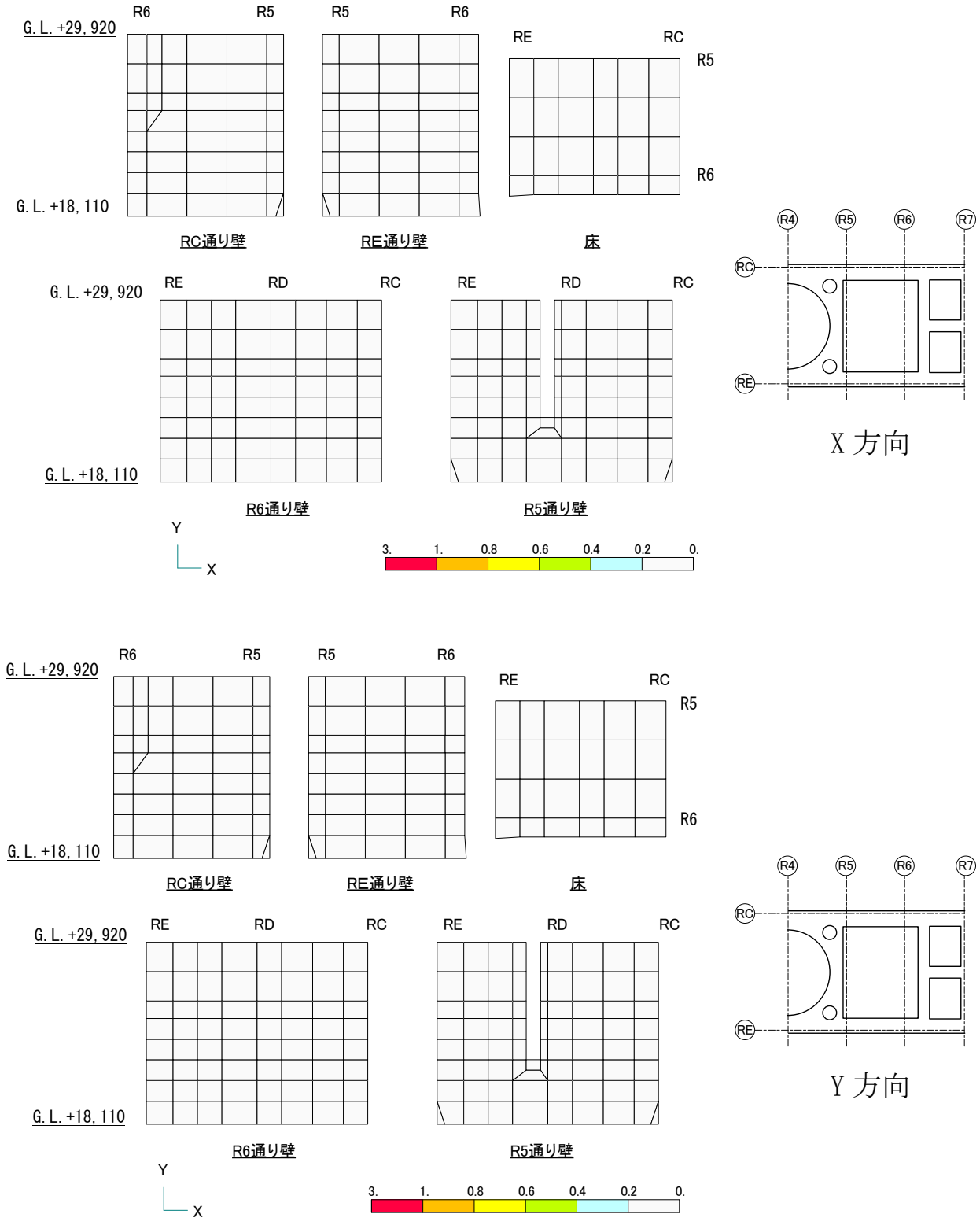
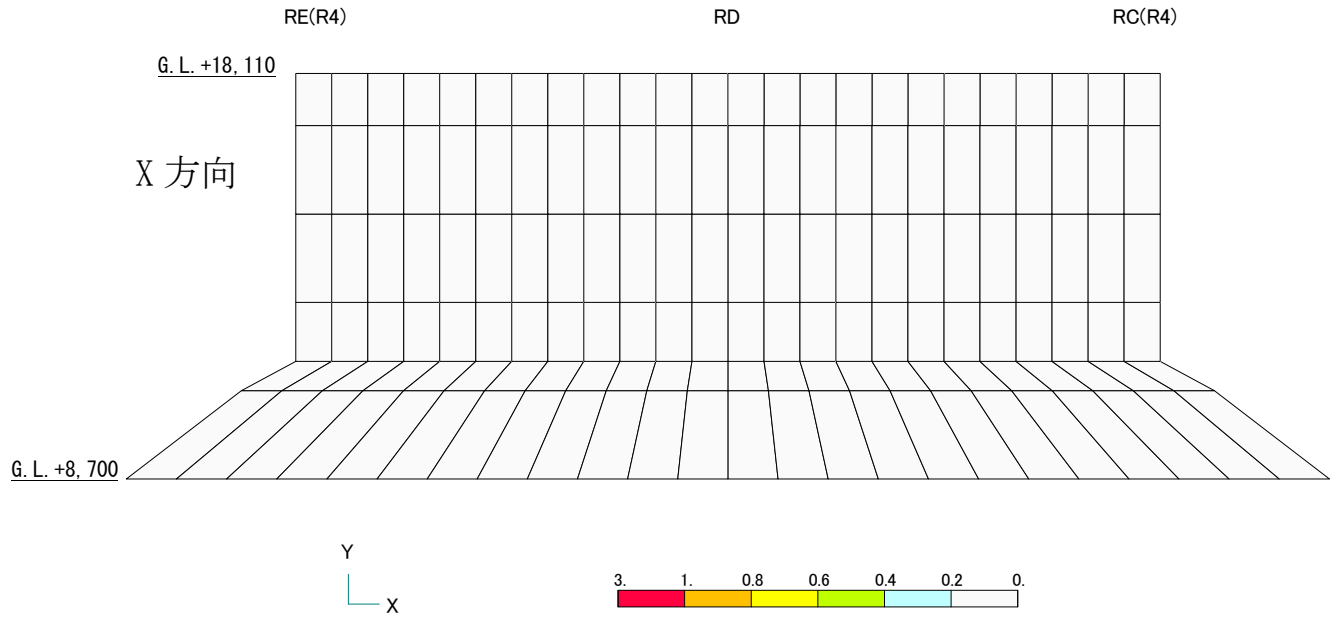


図-3.5.1　コンクリート圧縮ひずみの検定比（使用済燃料プール部）



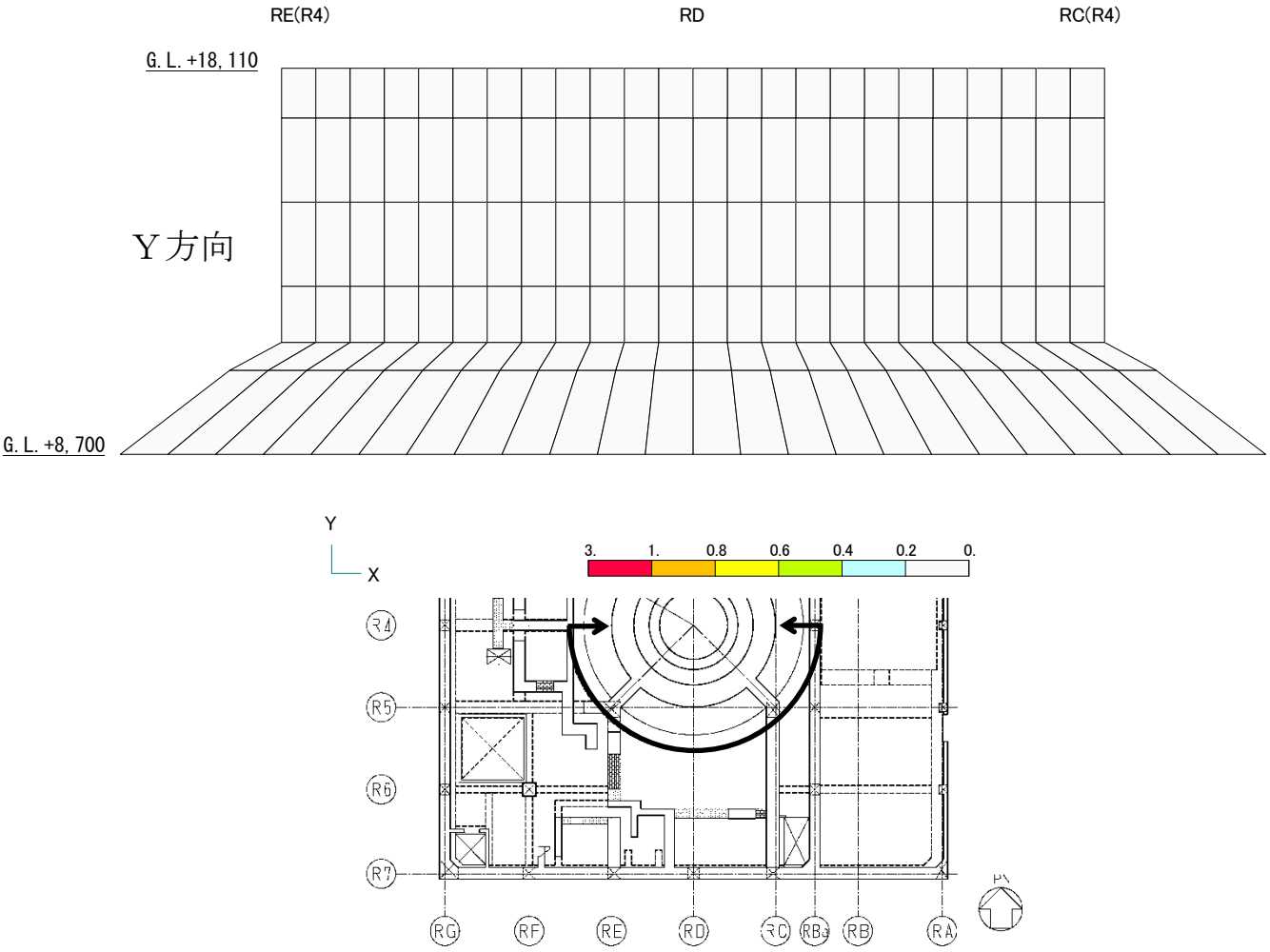


図-3.5.2　コンクリート圧縮ひずみの検定比（シェル壁部）

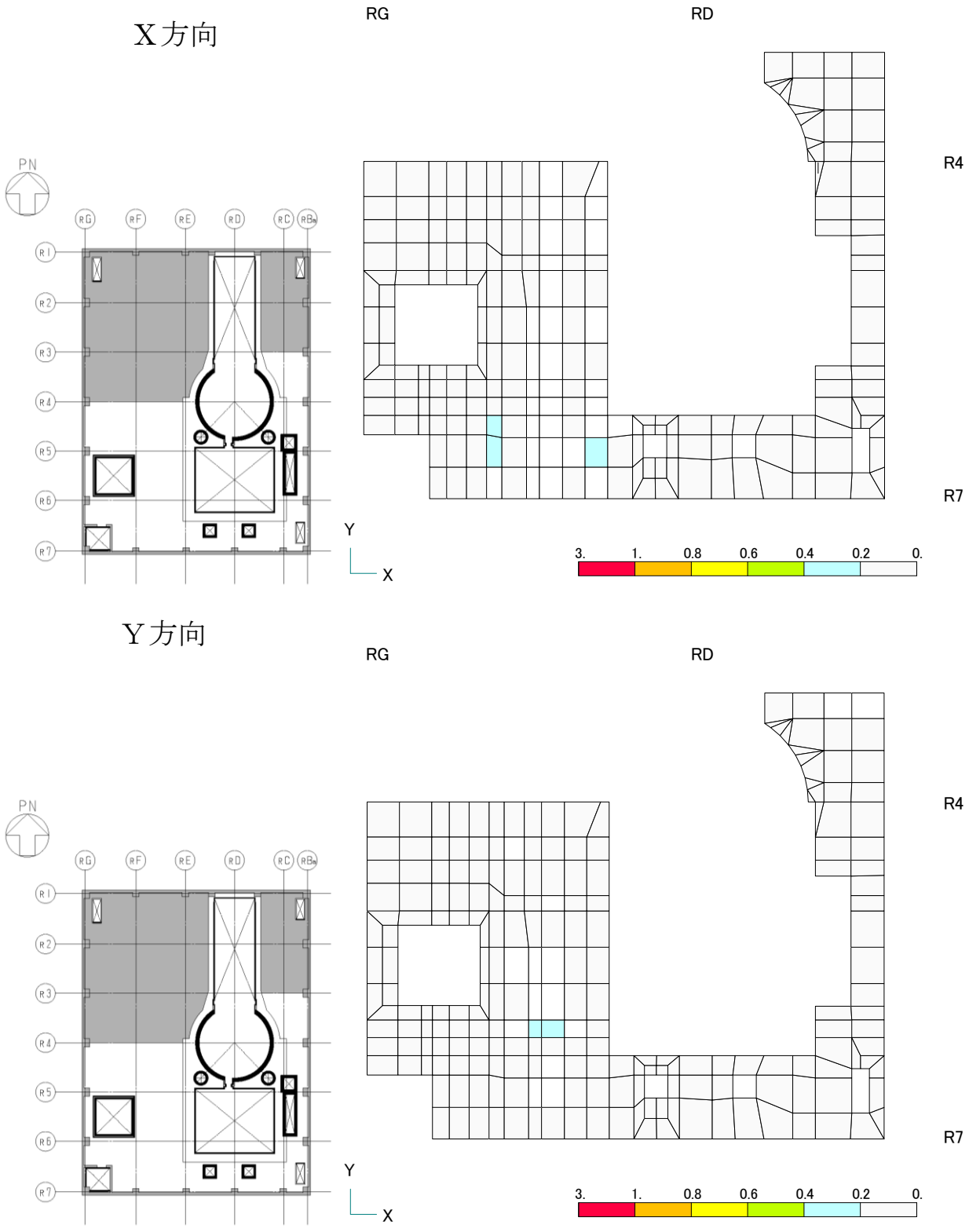
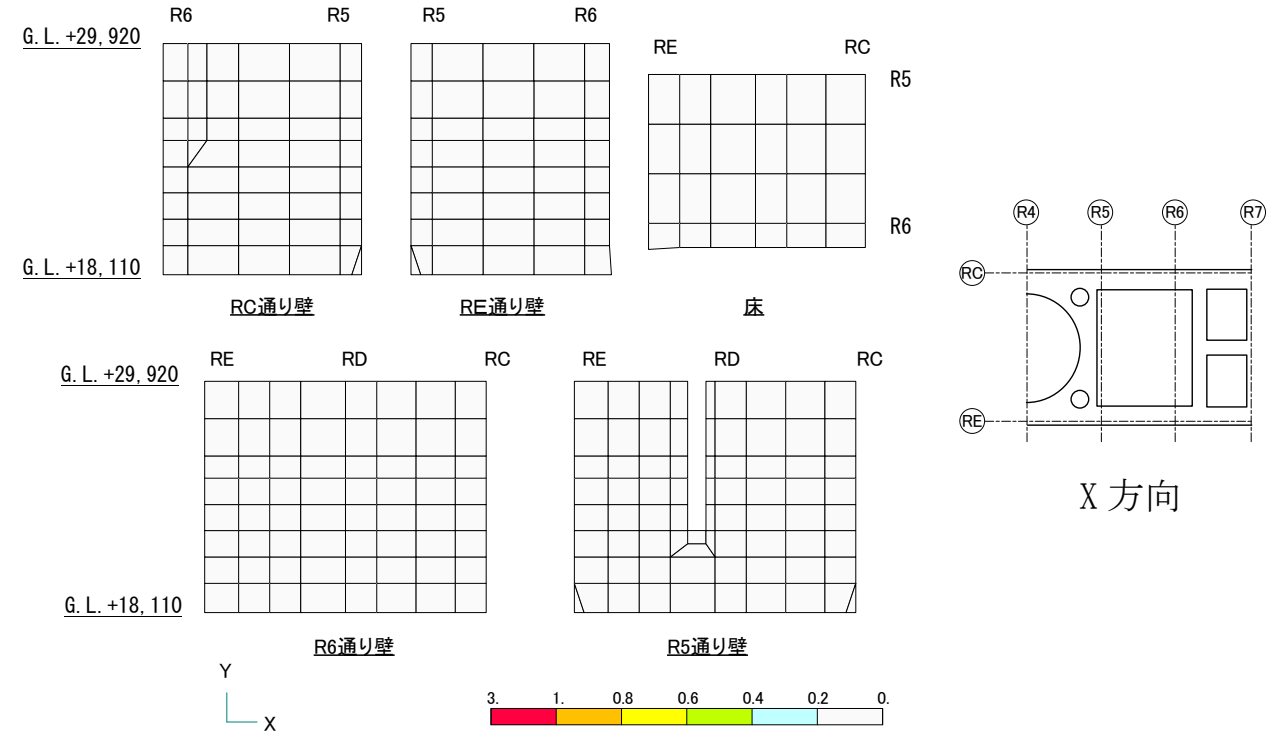


図-3.5.3　コンクリート圧縮ひずみの検定比（オペフロ床部）



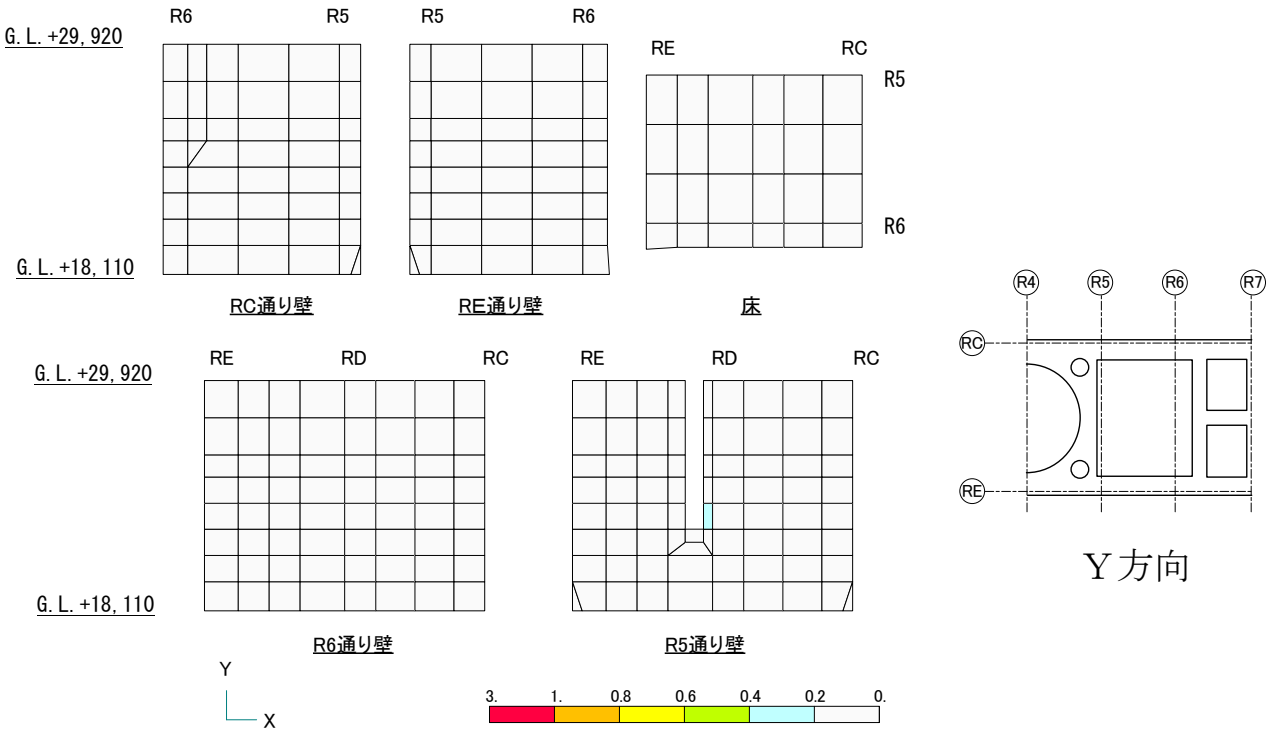
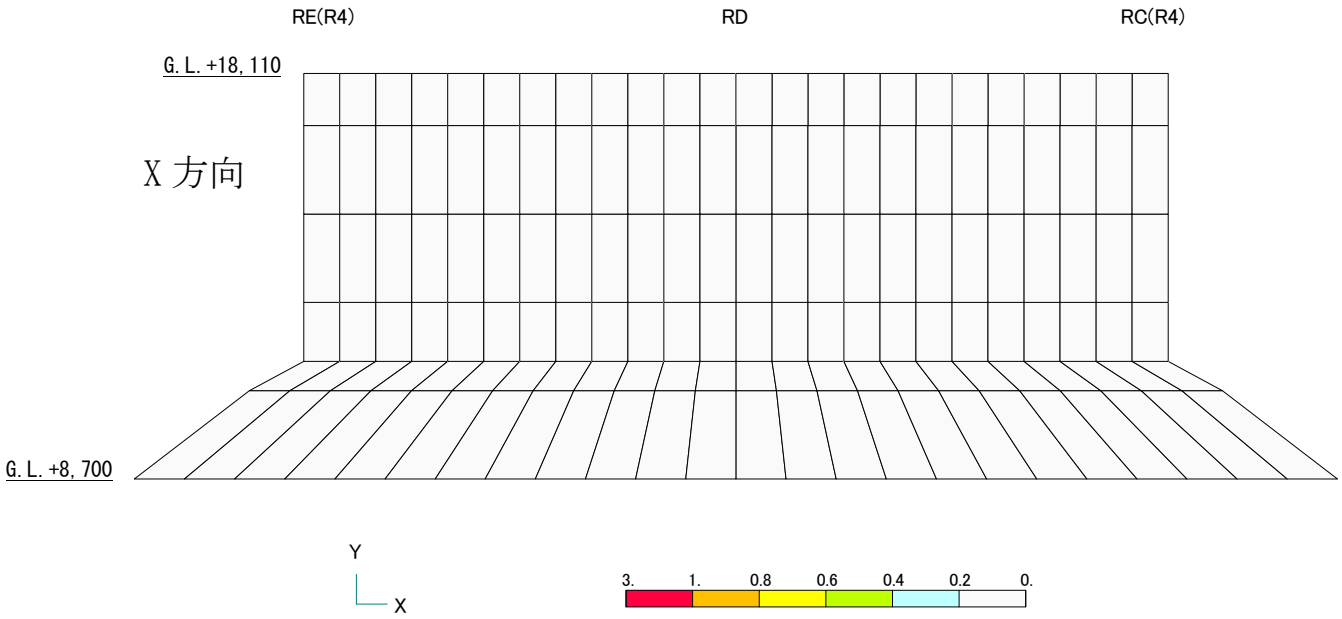


図-3.5.4　鉄筋ひずみの検定比（使用済燃料プール部）



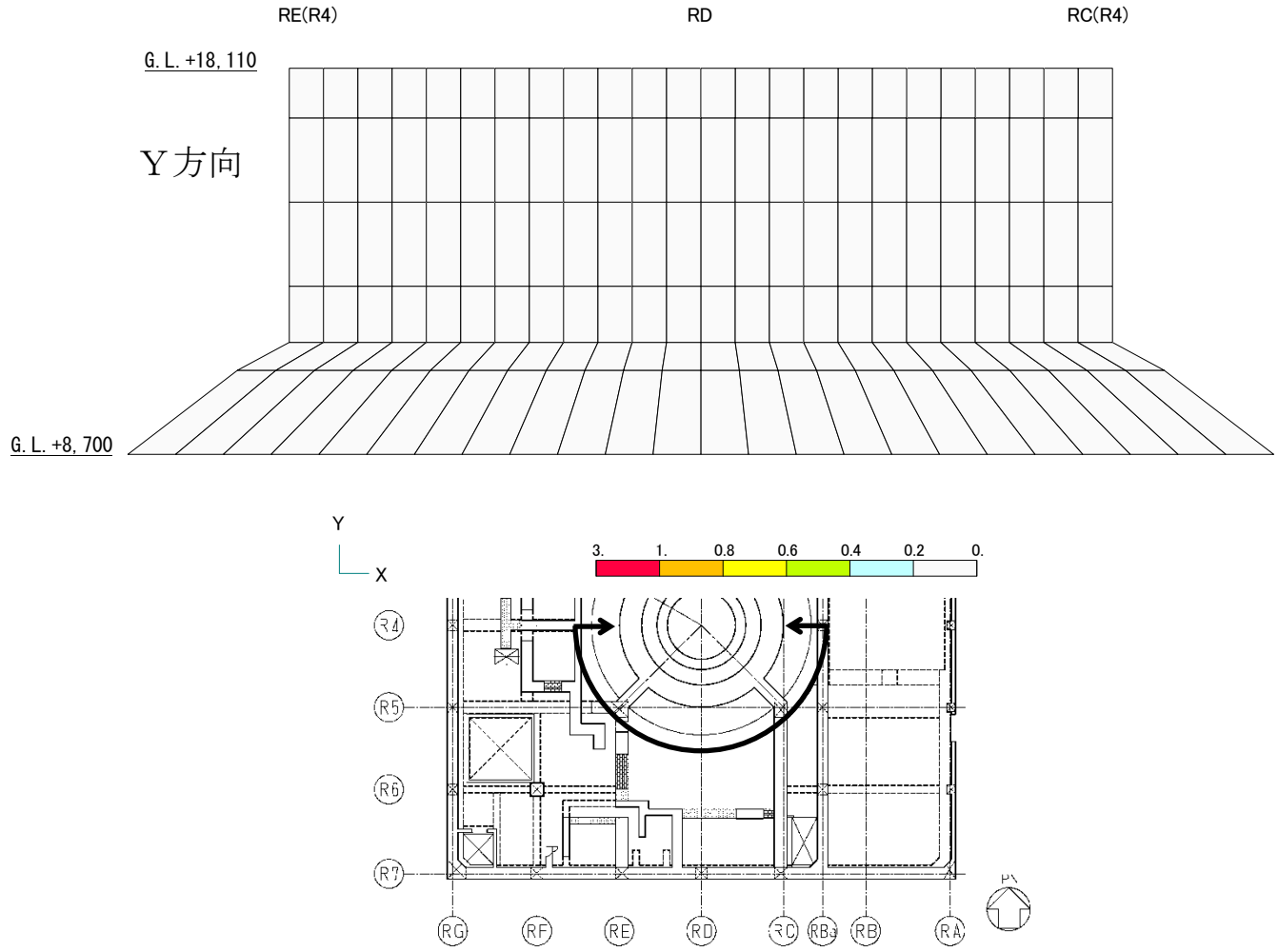
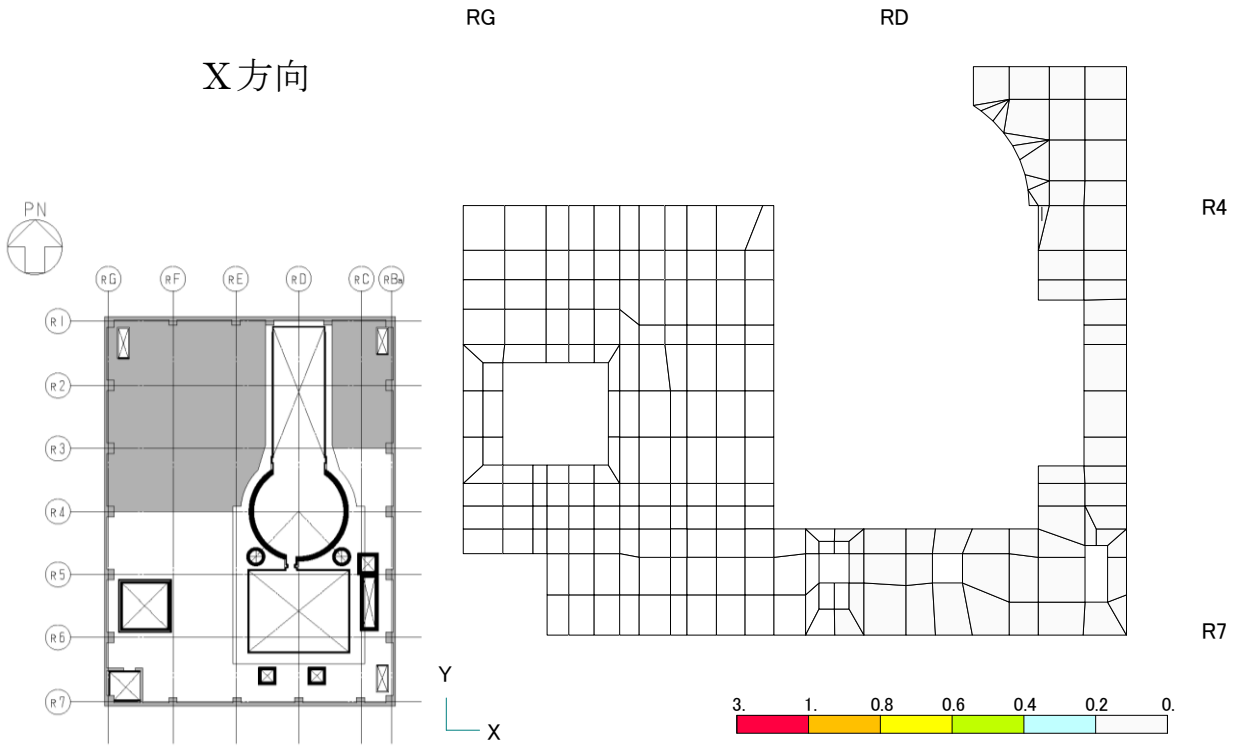


図-3.5.5　鉄筋ひずみの検定比（シェル壁部）



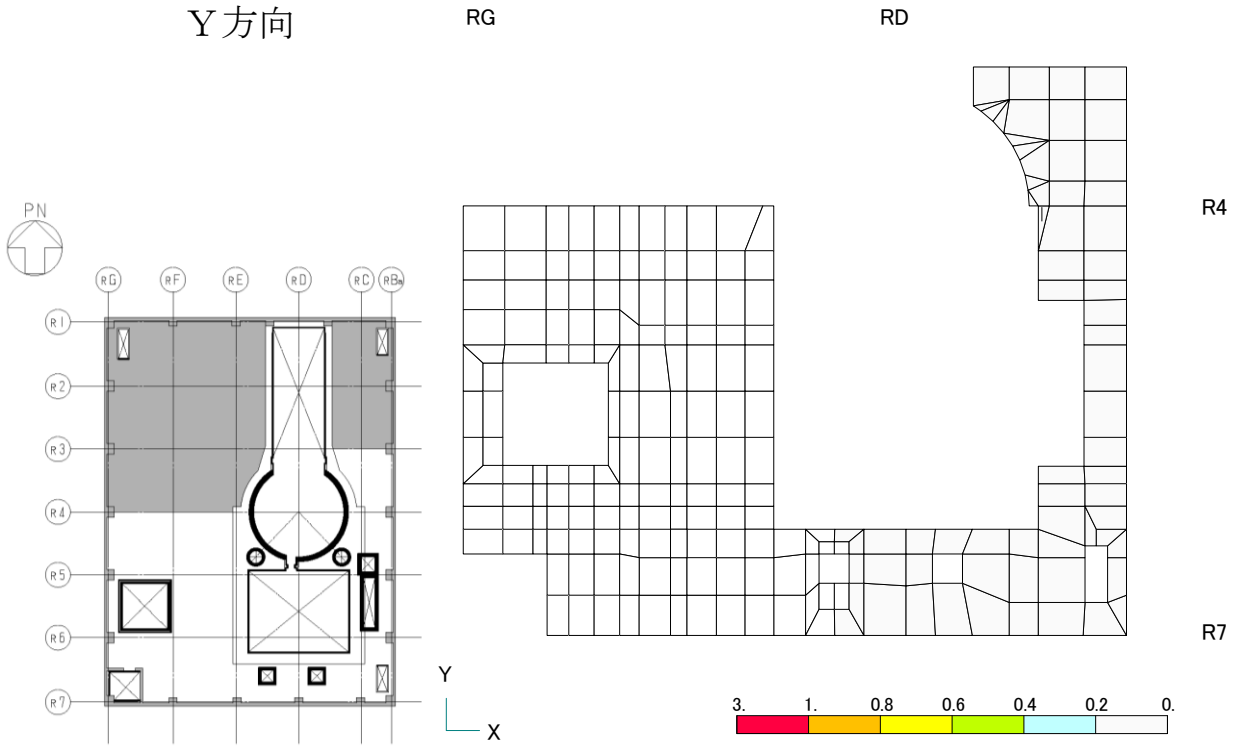
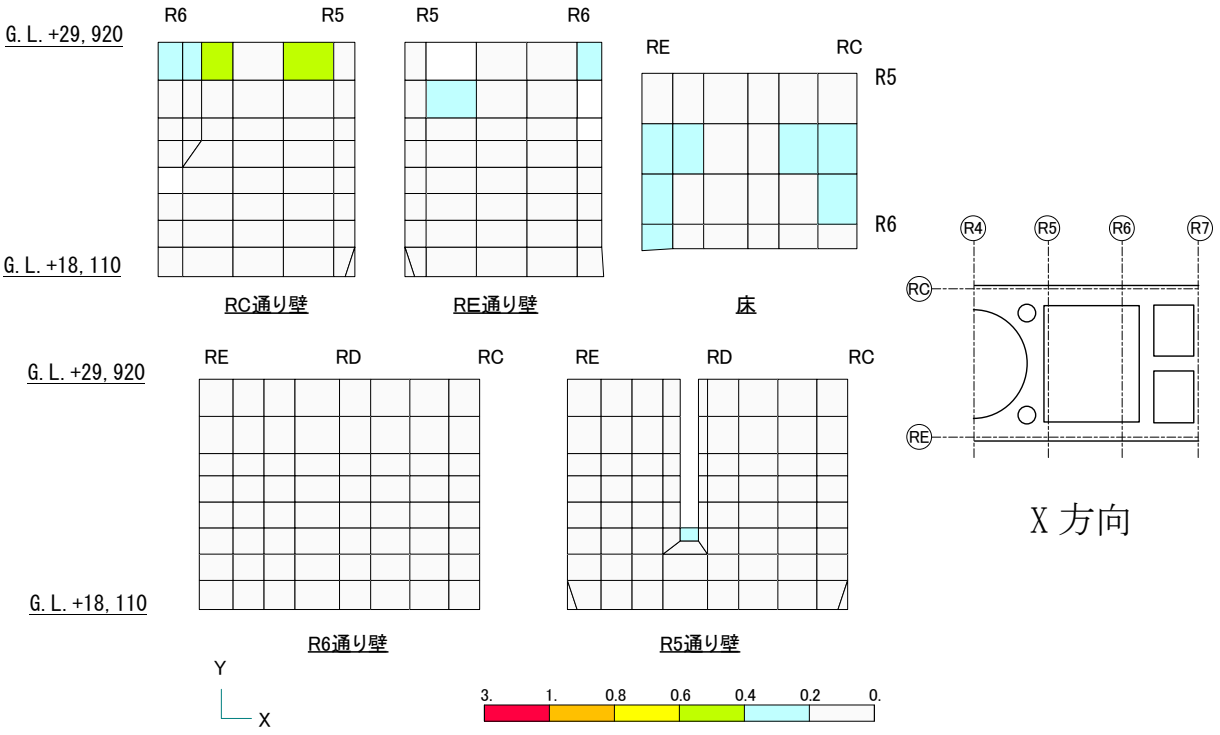


図-3.5.6　鉄筋ひずみの検定比（オペフロ床部）



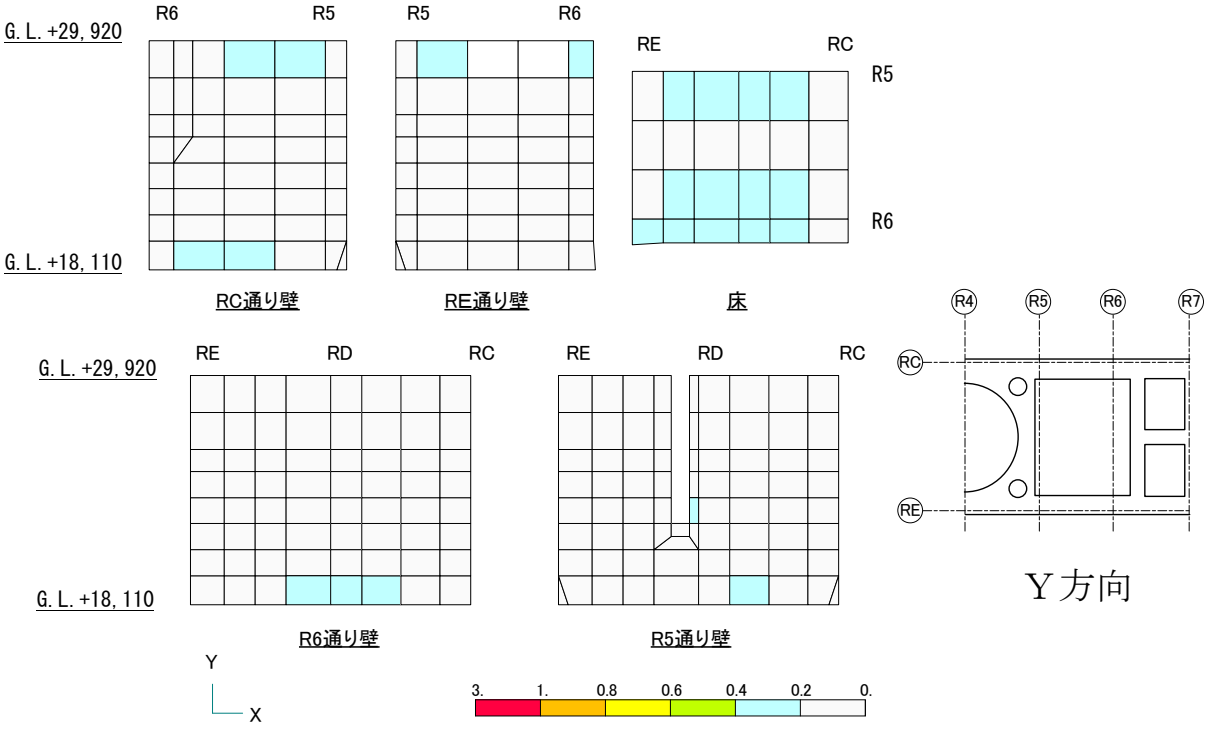
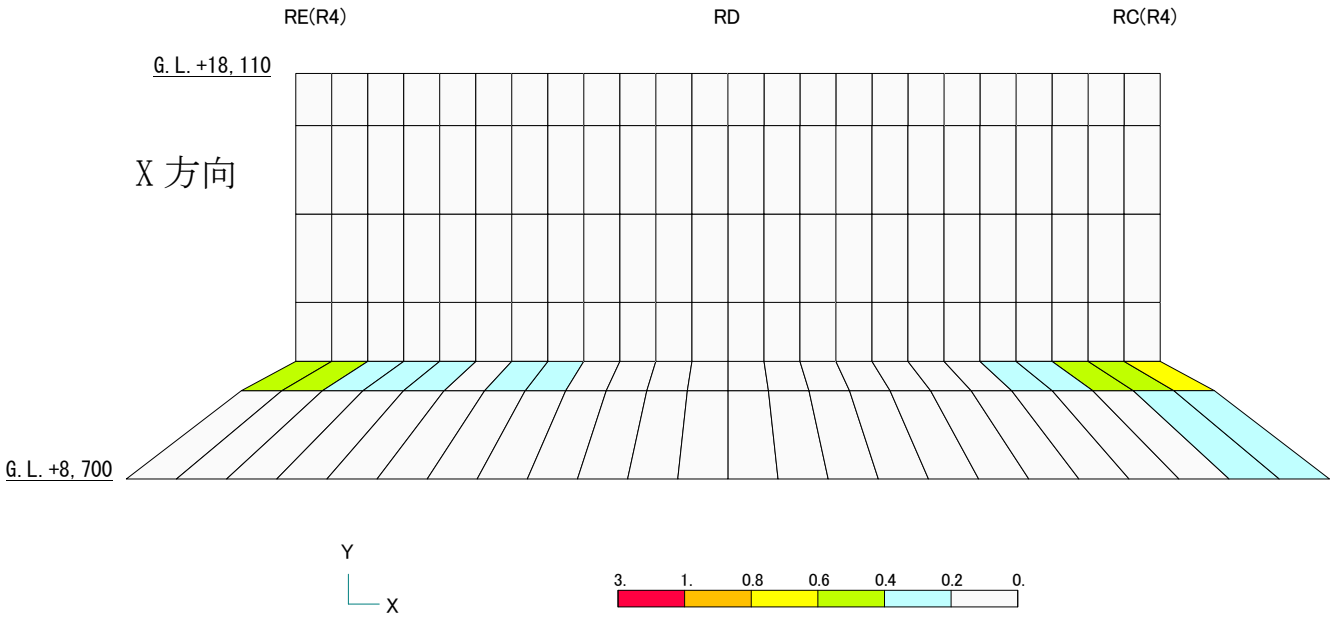


図-3.5.7　面外せん断力の検定比（使用済燃料プール部）



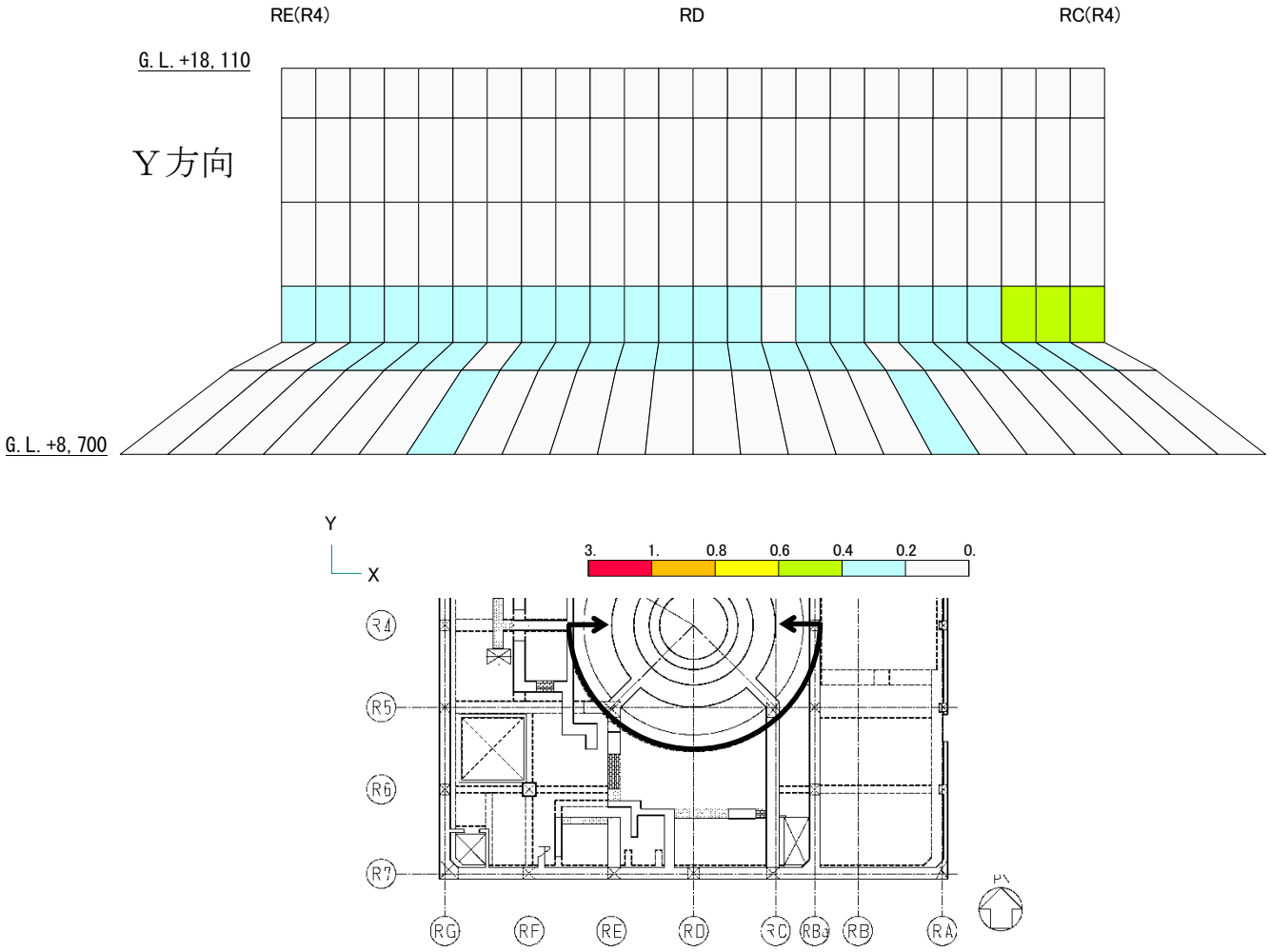


図-3.5.8　面外せん断力の検定比（シェル壁部）

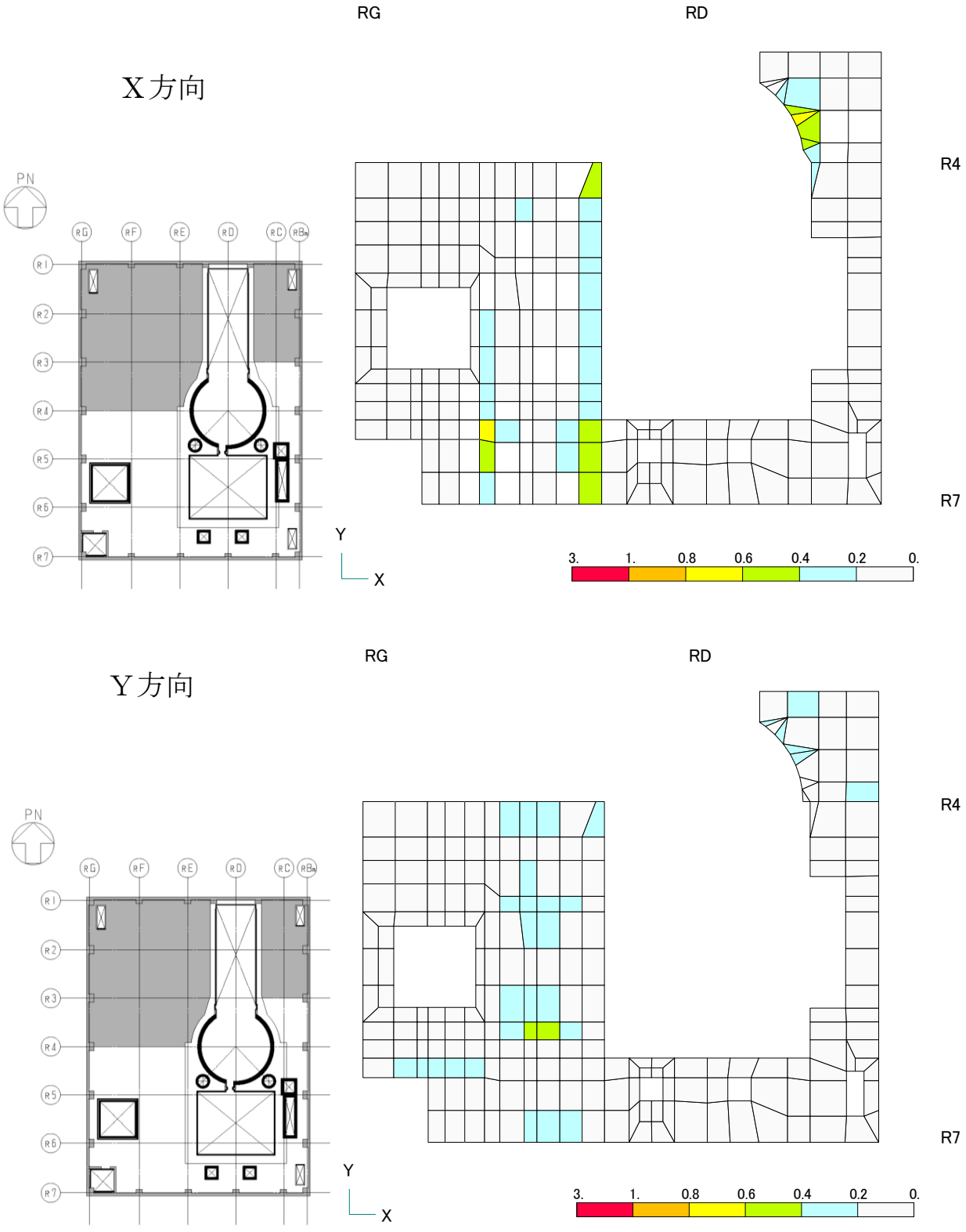


図-3.5.9　面外せん断力の検定比（オペフロ床部）

付録

使用済燃料プール等の耐震安全性評価結果に係わるパラメトリックスタディについて

1. 概要

付録では，使用済燃料プール部等の剛性を安全側に低下させた場合について解析を行い，その影響を把握する。

2. 検討条件

図-1～図-4 にパラメトリックスダディで想定する損傷仮定条件を示す。

(1) 床スラブ

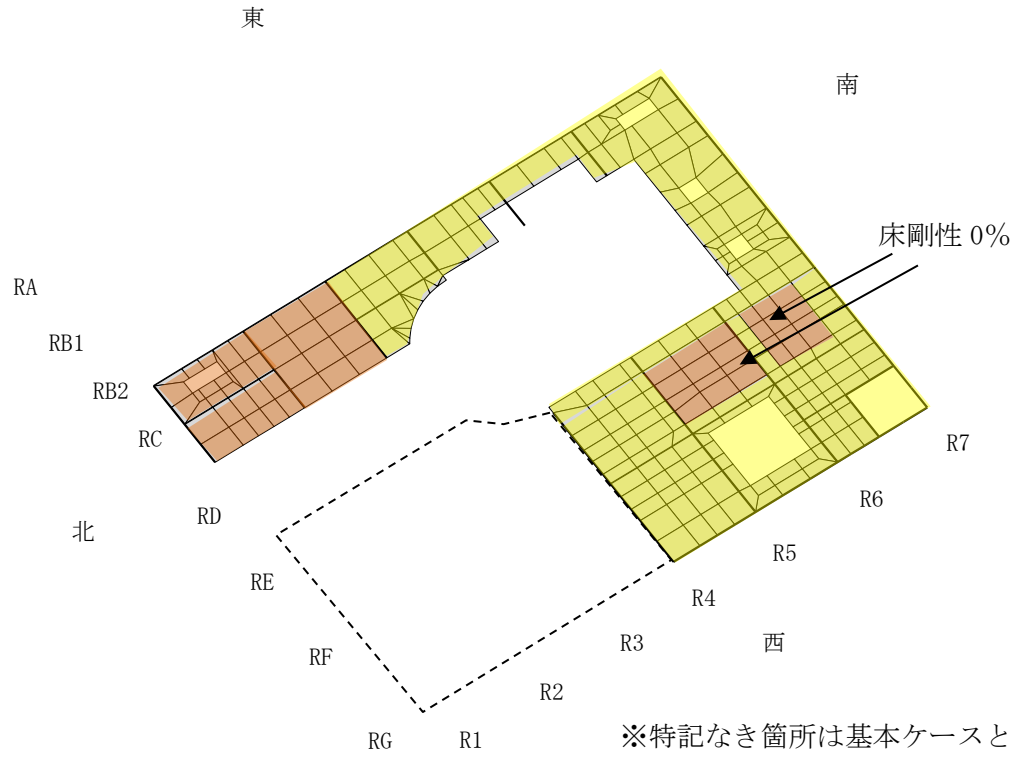
２章より，５階（G.L.+29.92m）のプール部の西側床において，周辺に比べ比較的激しい損傷状況が確認されており，その箇所の剛性を無視した場合を想定する。

４階床において，５階床の全壊箇所の瓦礫の落下や，爆発の影響を受けたと想定し，床の剛性を無視した場合を想定する。

また，今回の調査において十分な損傷確認が実施できなかった３階床について，剛性を 50%に低減した場合を想定する。

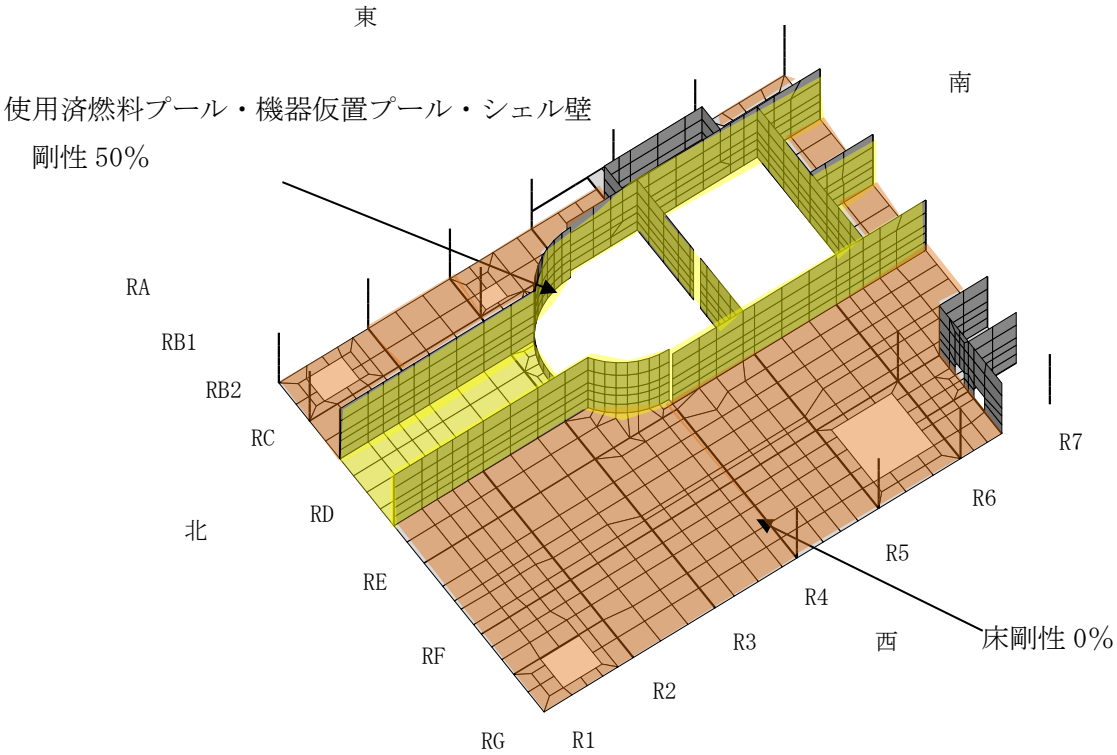
(2) 使用済燃料プール・燃料仮置プール・シェル壁

使用済燃料プール・燃料仮置プール・シェル壁について，事故時の影響を考慮し剛性を 50%に低減させた場合を想定する。



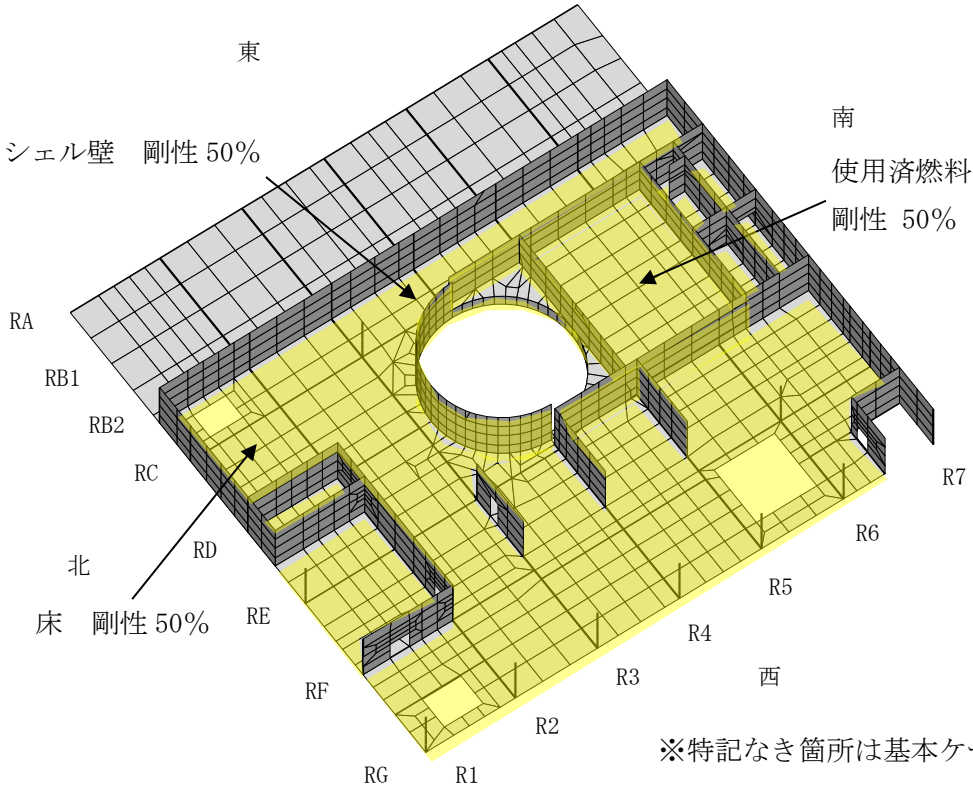
※特記なき箇所は基本ケースと同じ。

図-1　損傷仮定　アイソメ図　５階（G.L.+29.92m）　（パラメータケース）



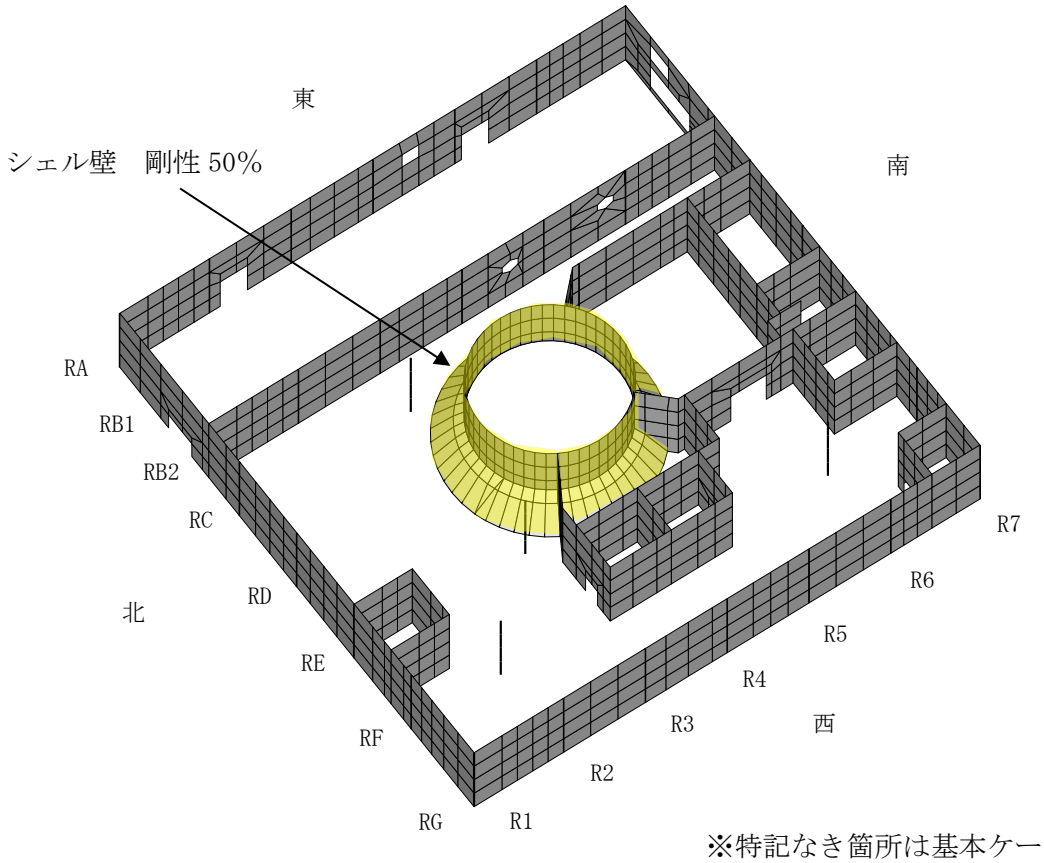
※特記なき箇所は基本ケースと同じ。

図-2　損傷仮定　アイソメ図　４階（G.L.+22.3m）　（パラメータケース）



※特記なき箇所は基本ケースと同じ。

図-3　損傷仮定　アイソメ図　３階（G.L.+16.9m）　（パラメータケース）

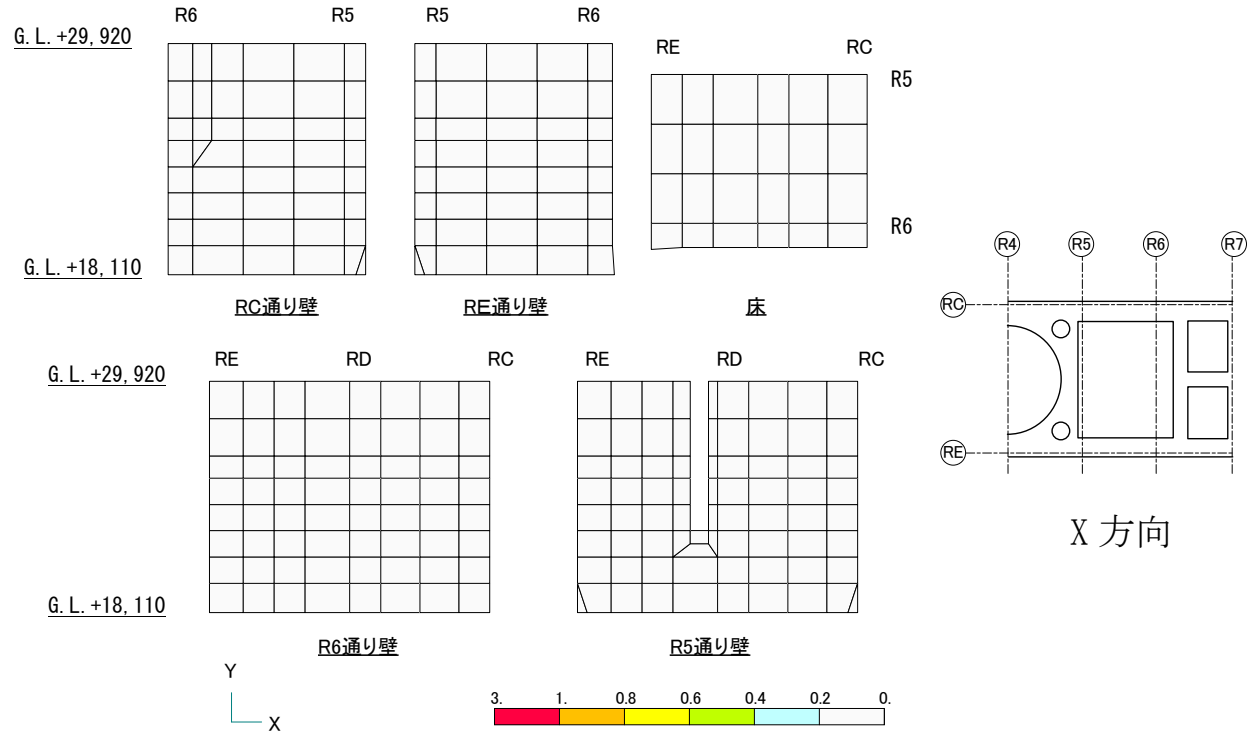


※特記なき箇所は基本ケースと同じ。

図-4　損傷仮定　アイソメ図　２階（G.L.+8.7m）　（パラメータケース）

3．検討結果

パラメータケースの発生ひずみ及び面外せん断力の発生応力と評価基準値の比（検定比）を示した結果を図-5～図-13 に示す。損傷仮定を安全側に低下させた場合においても耐震安全性を有しており，解析結果には大きな影響を与えないことが確認された。



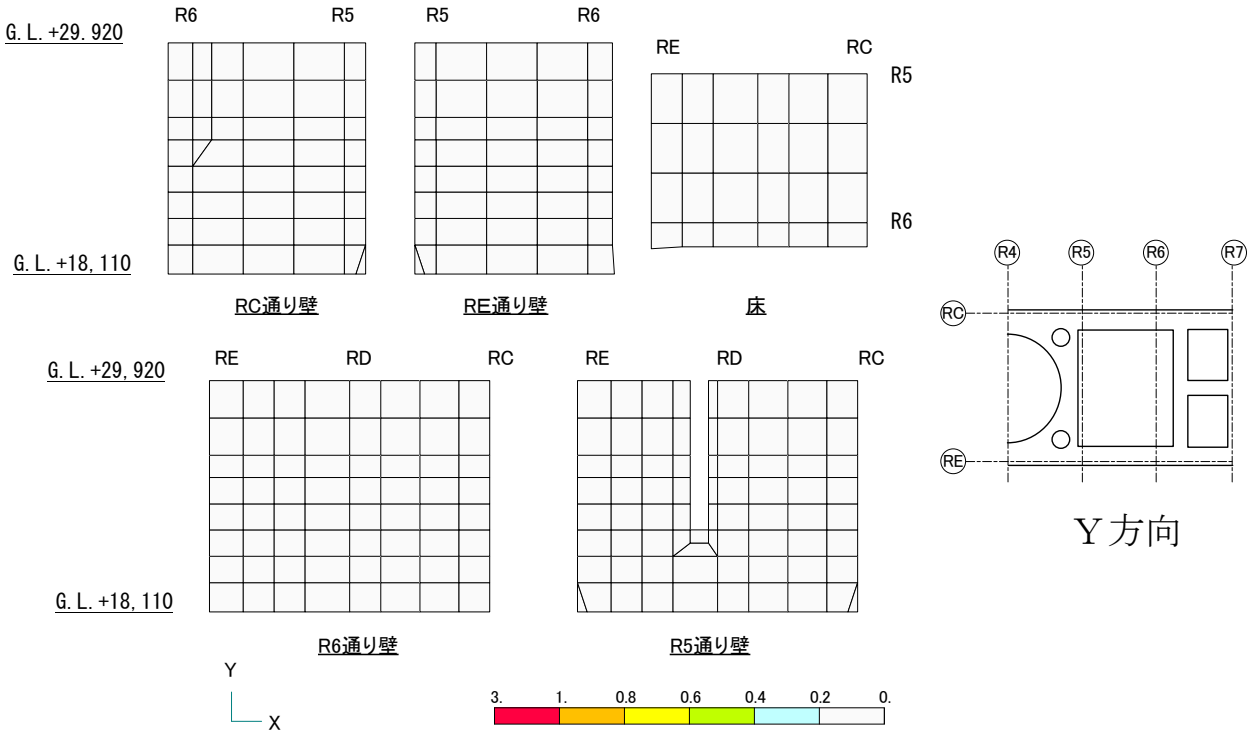
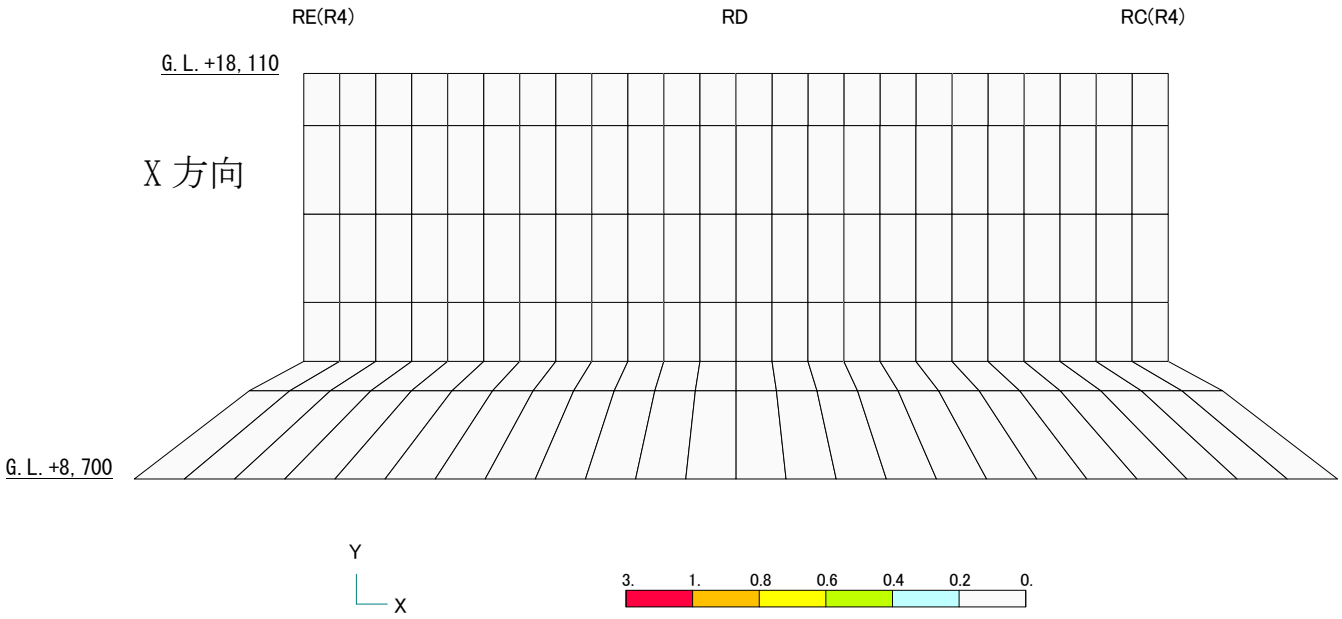


図-5　コンクリート圧縮ひずみの検定比（使用済燃料プール部）



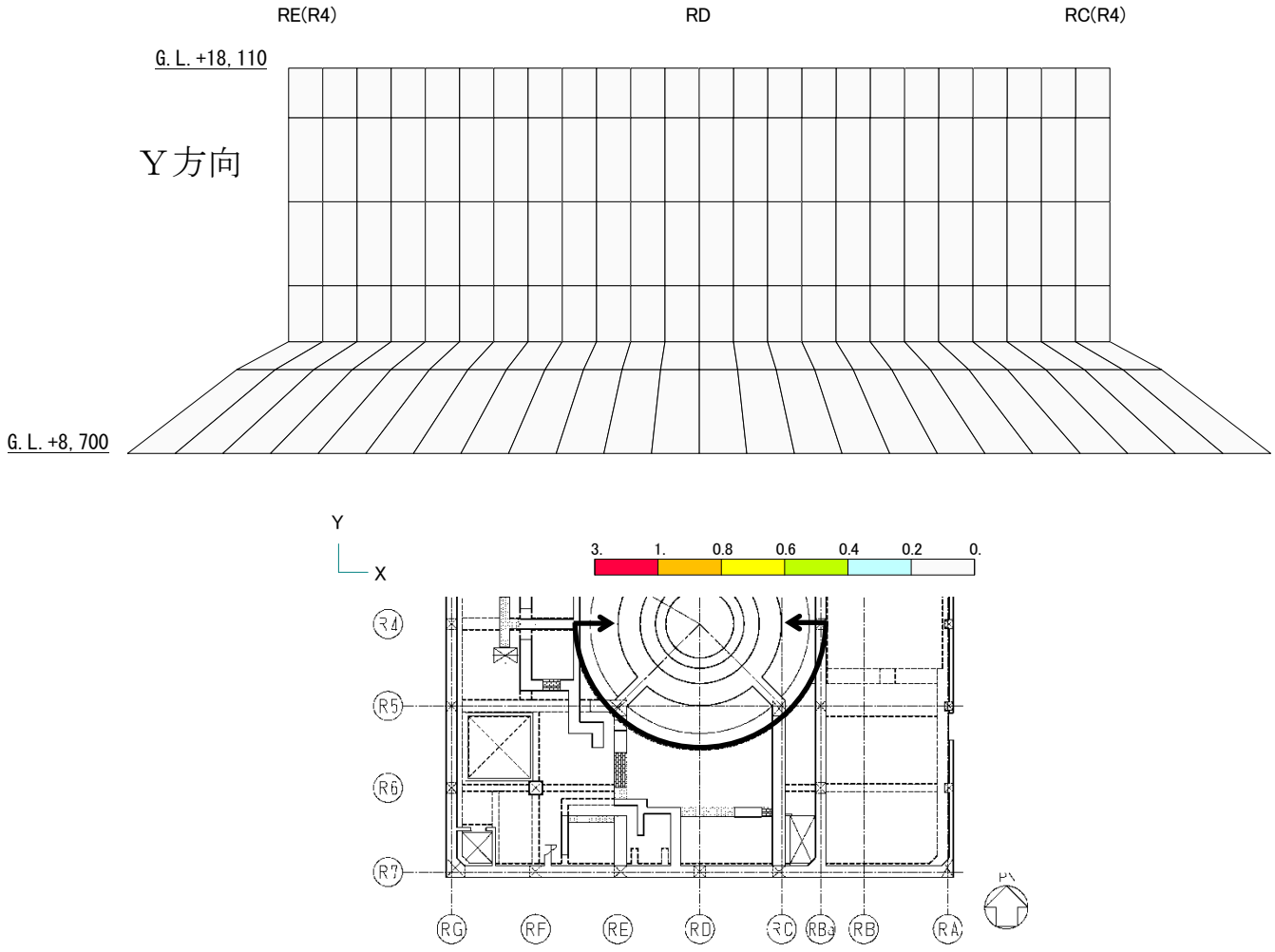
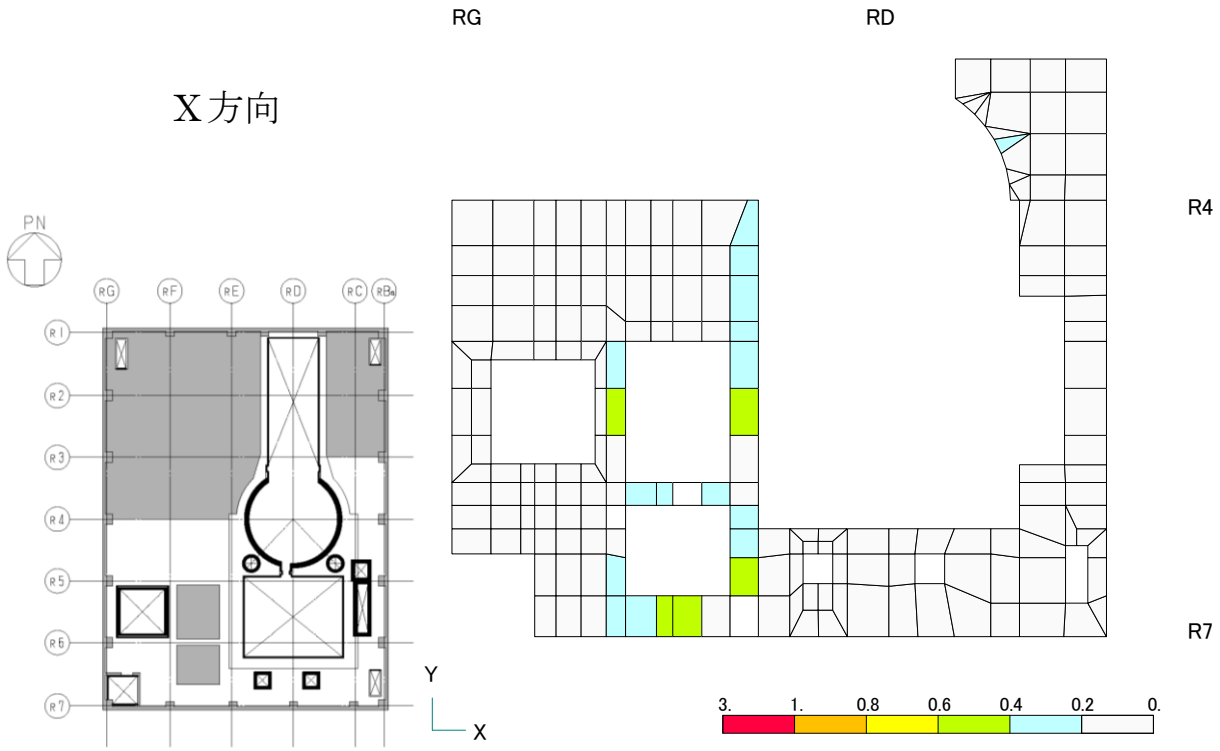


図-6　コンクリート圧縮ひずみの検定比（シェル壁部）



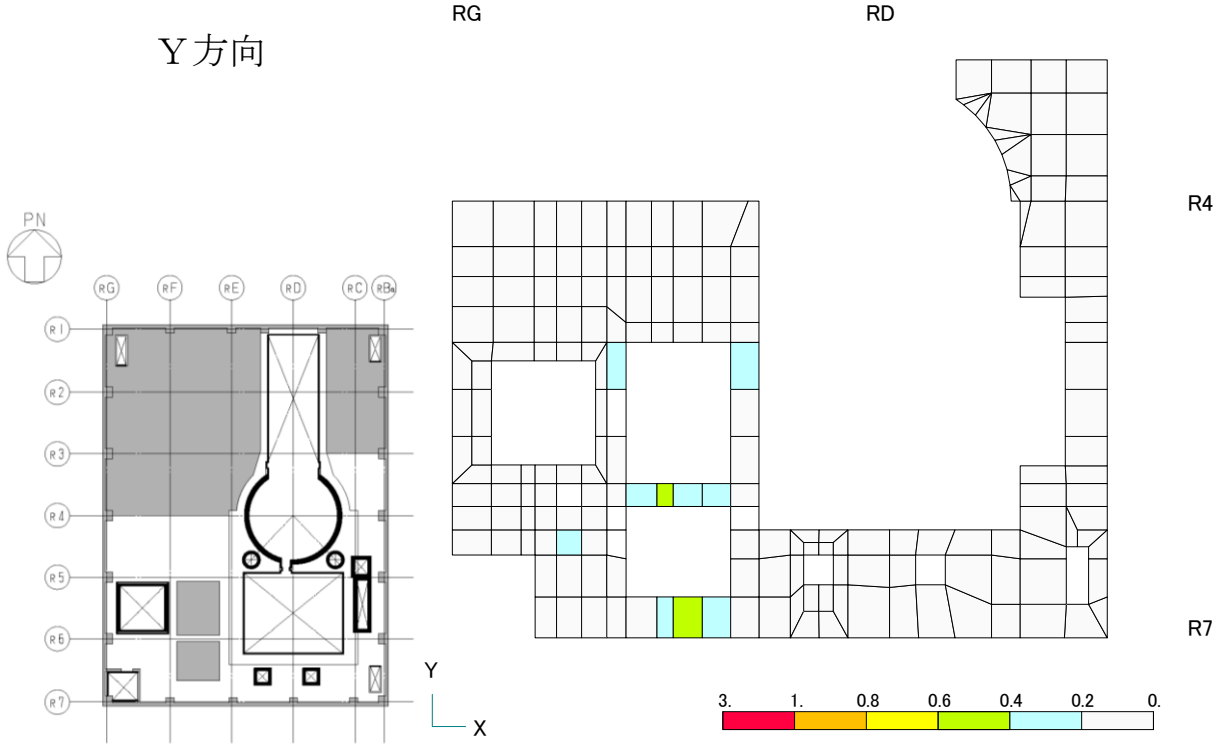
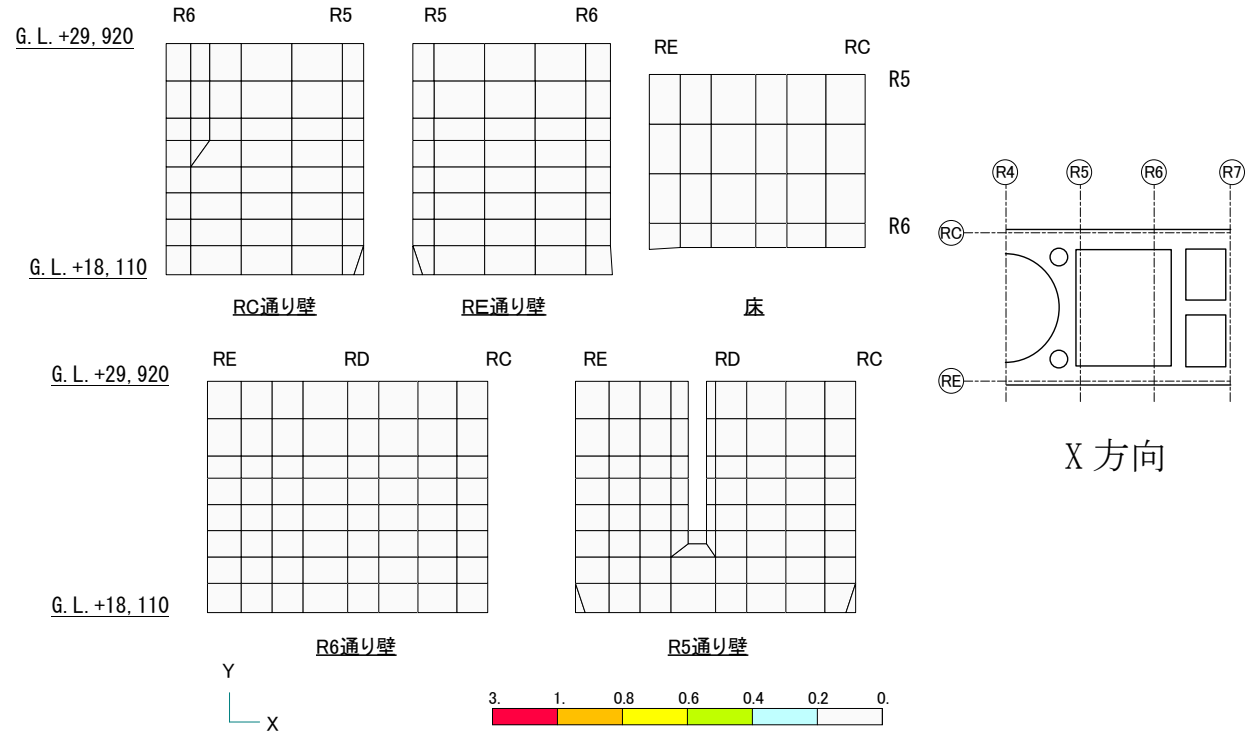


図-7　コンクリート圧縮ひずみの検定比（オペフロ床部）



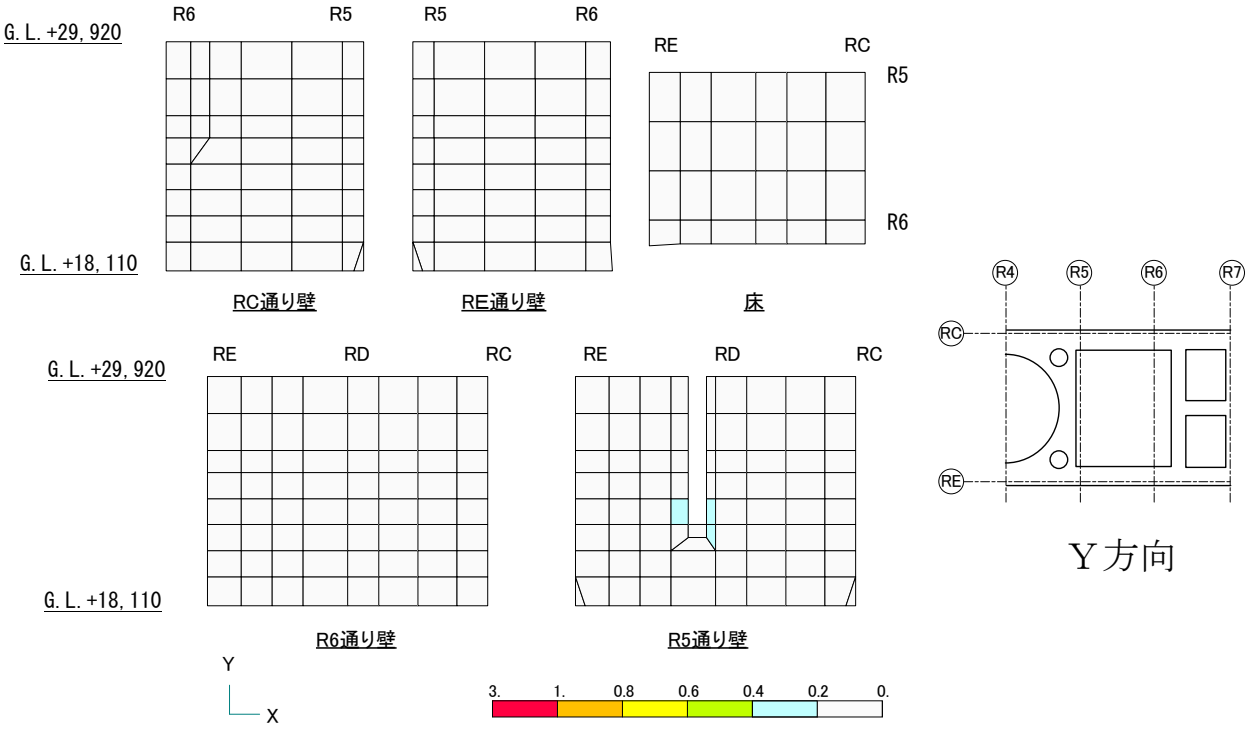
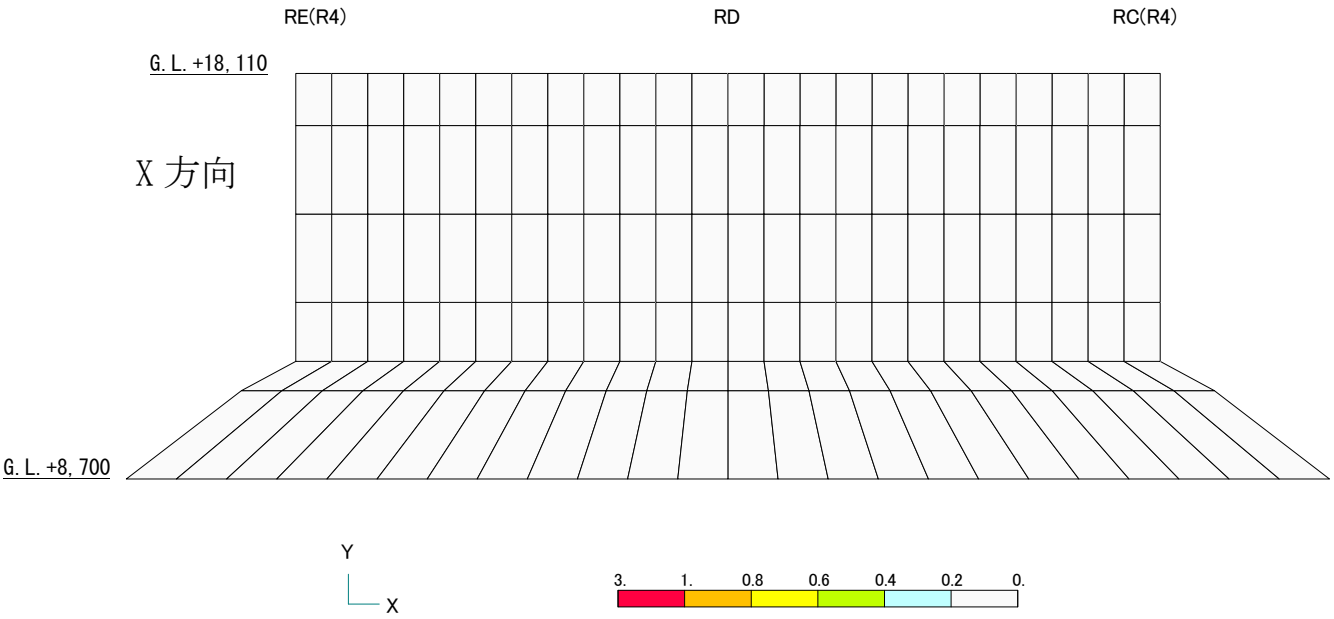


図-8　鉄筋ひずみの検定比（使用済燃料プール部）



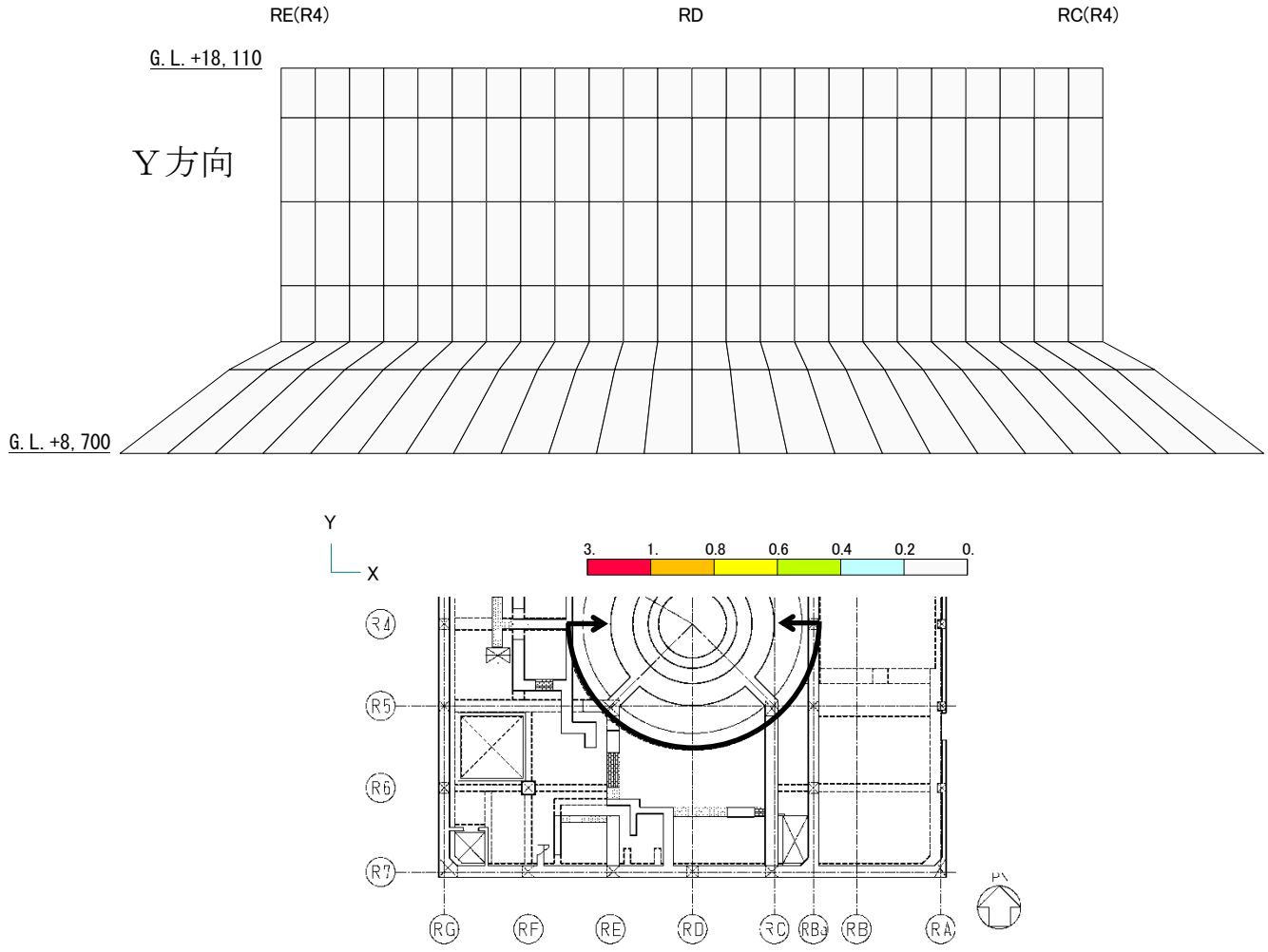
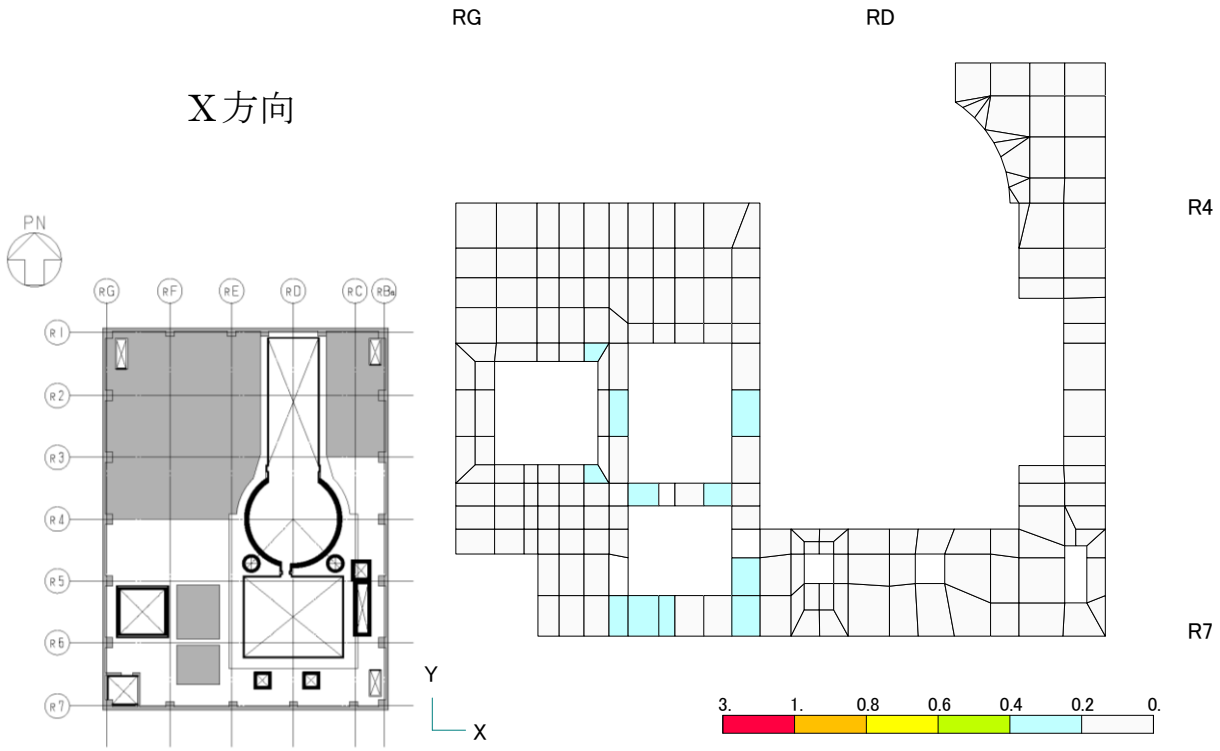


図-9　鉄筋ひずみの検定比（シェル壁部）



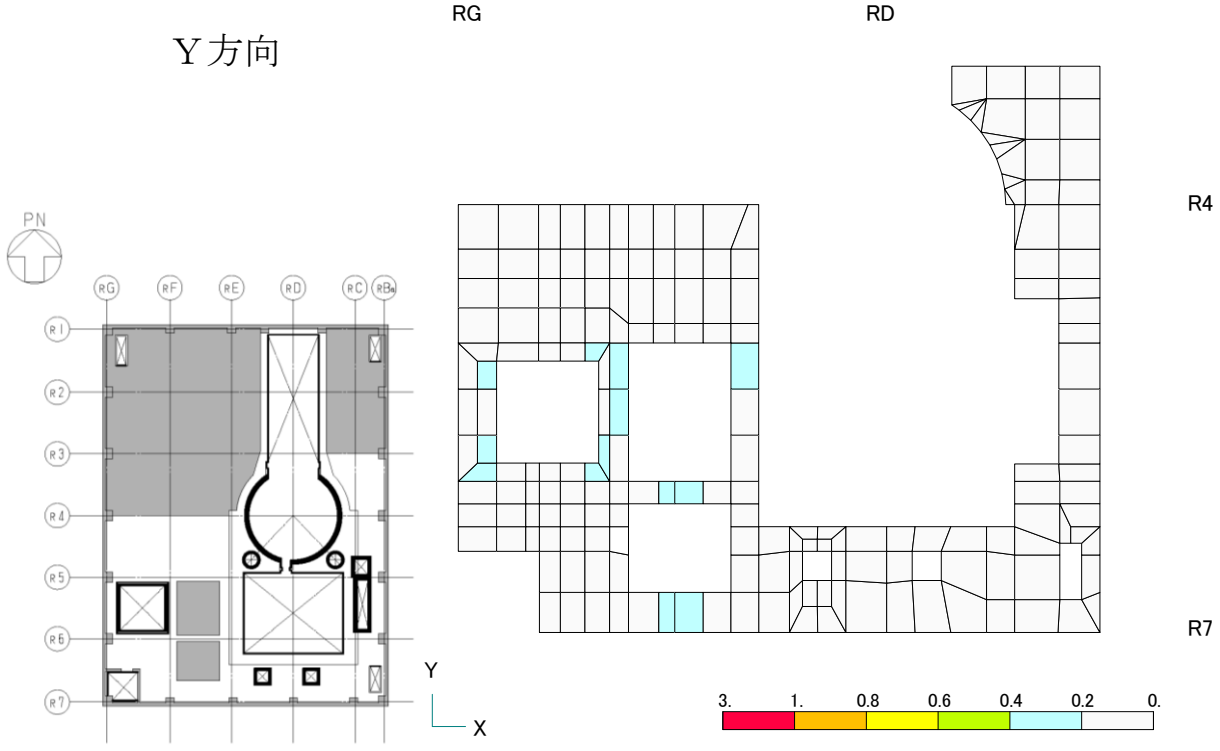
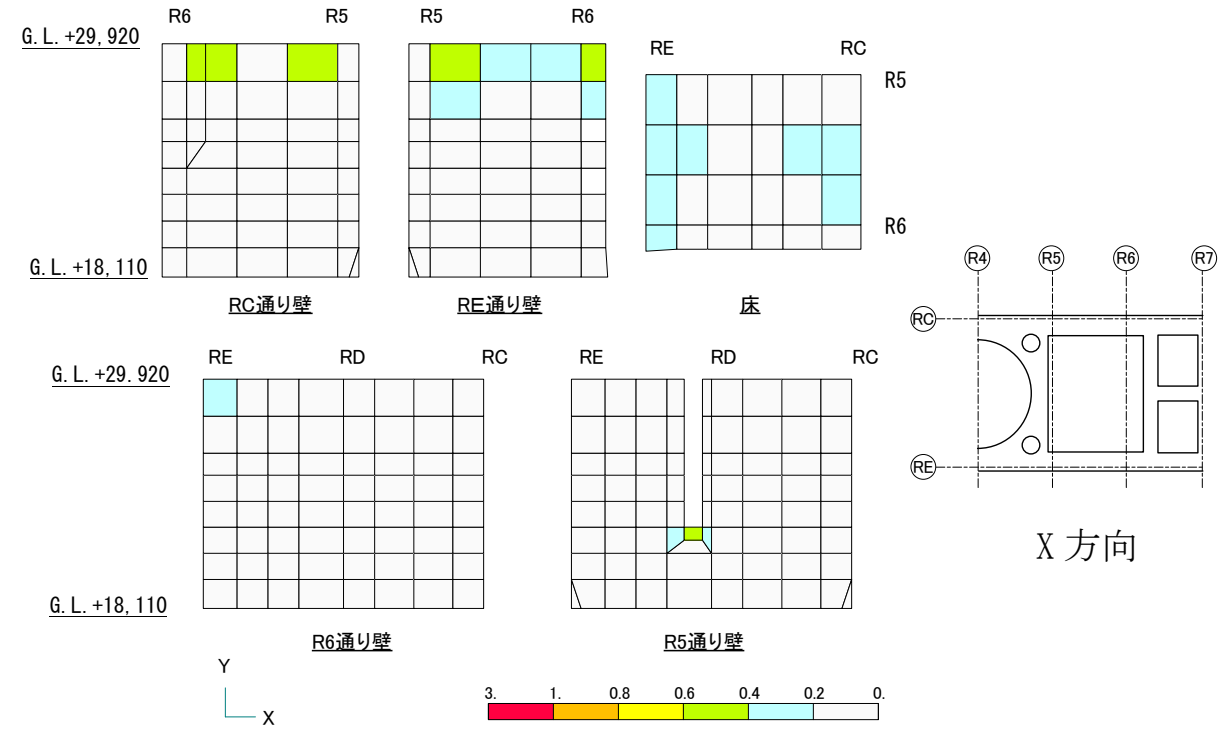


図-10　鉄筋ひずみの検定比（オペフロ床部）



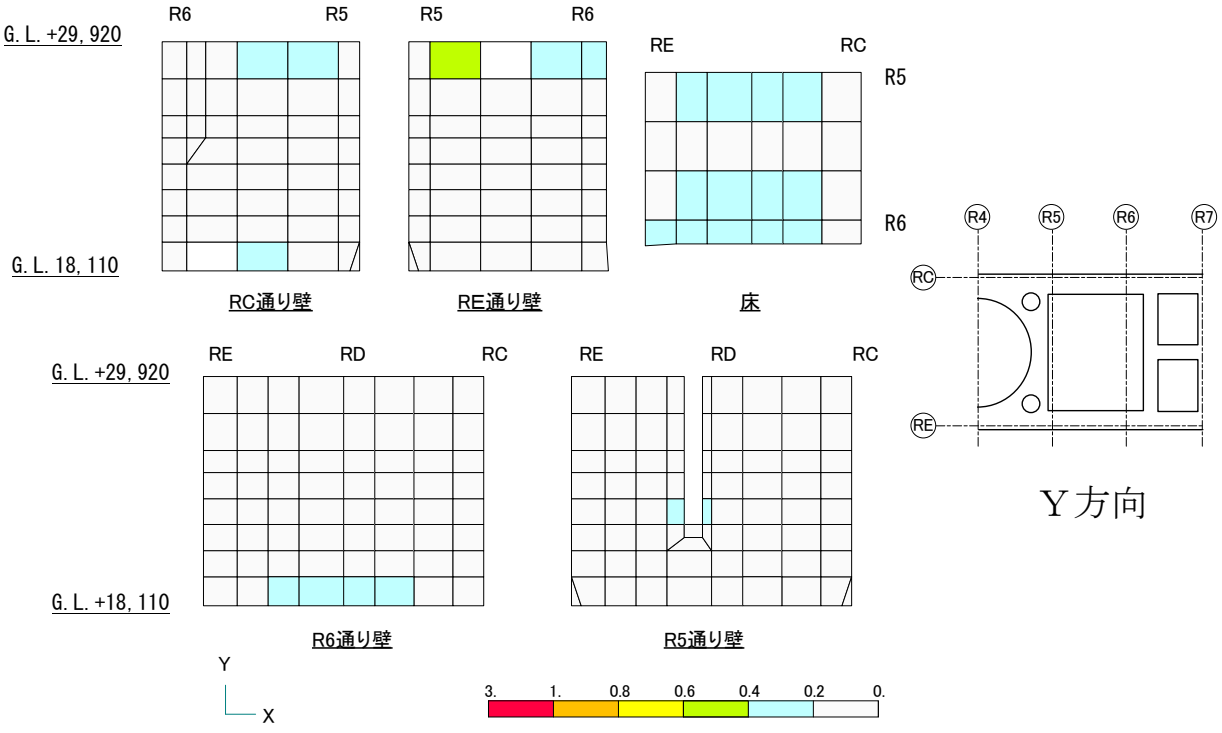
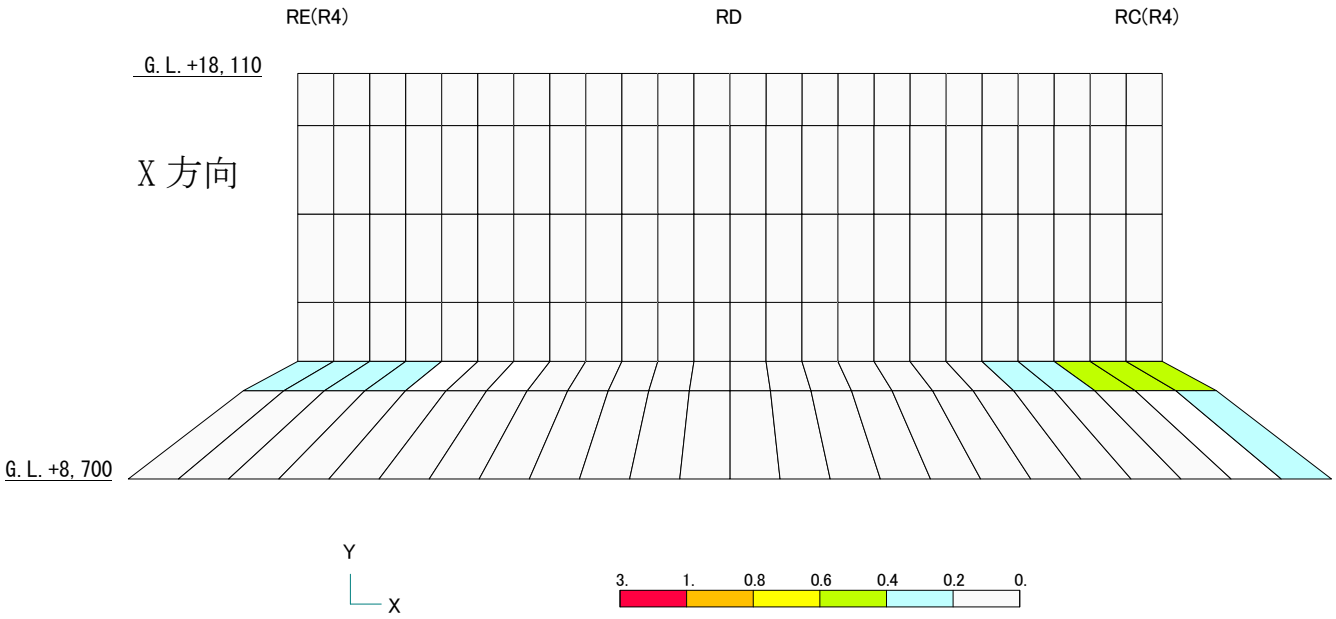


図-11　面外せん断力の検定比（使用済燃料プール部）



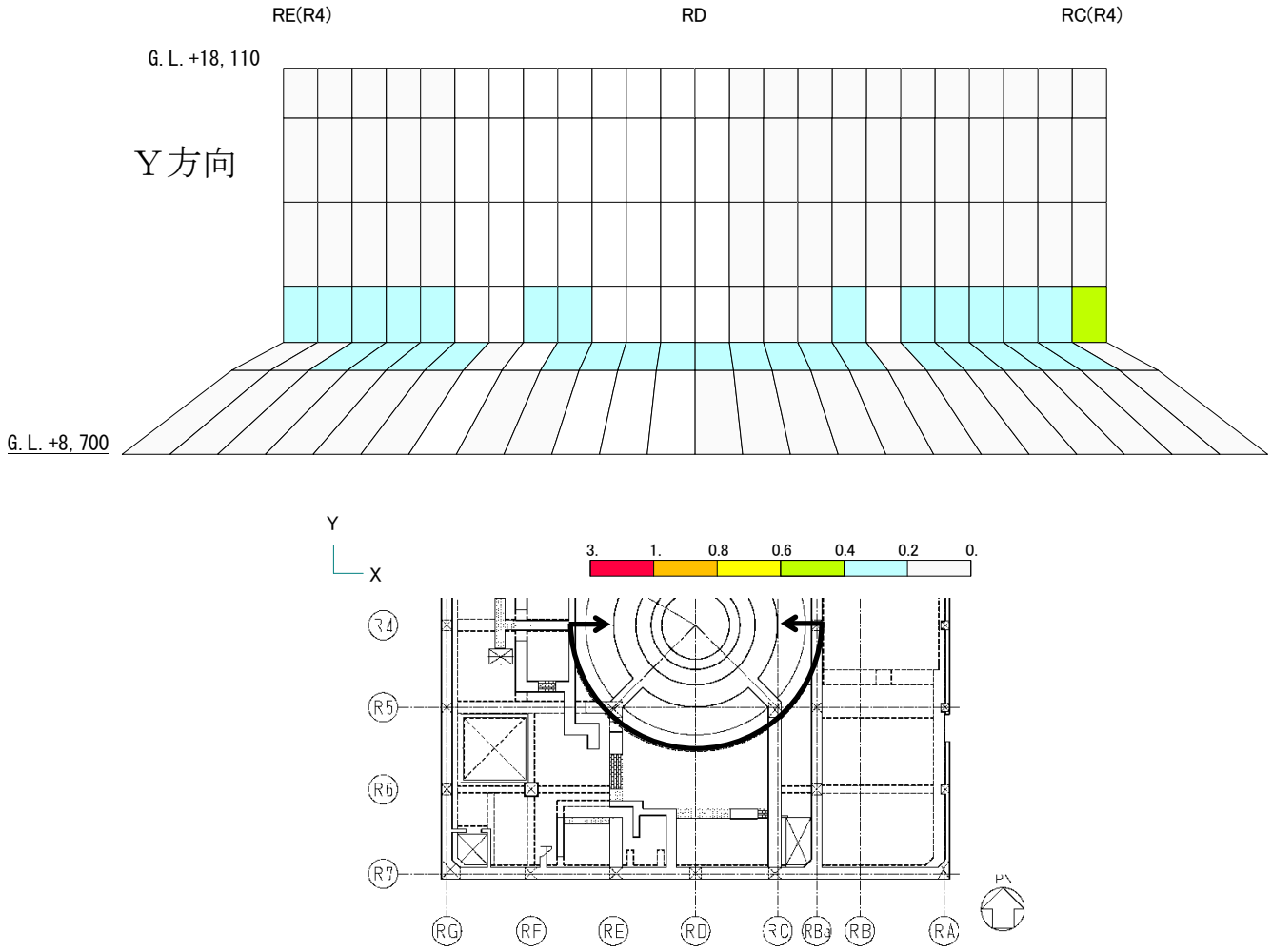
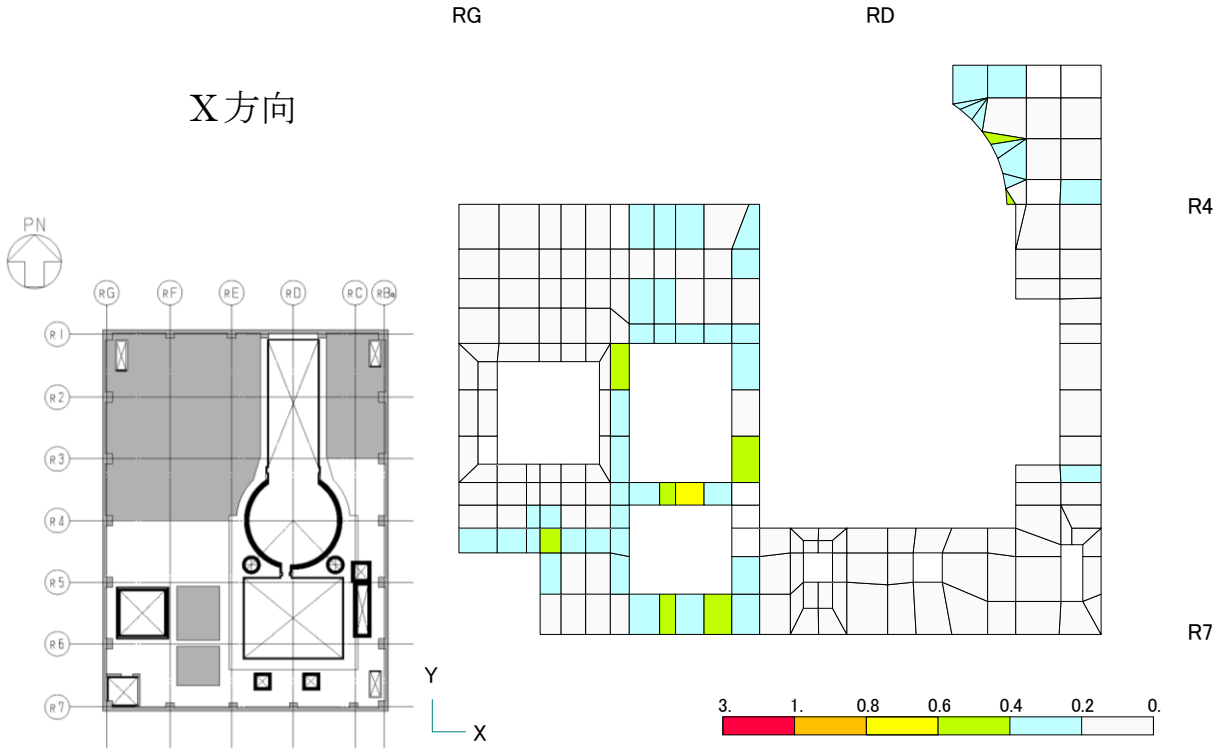


図-12　面外せん断力の検定比（シェル壁部）



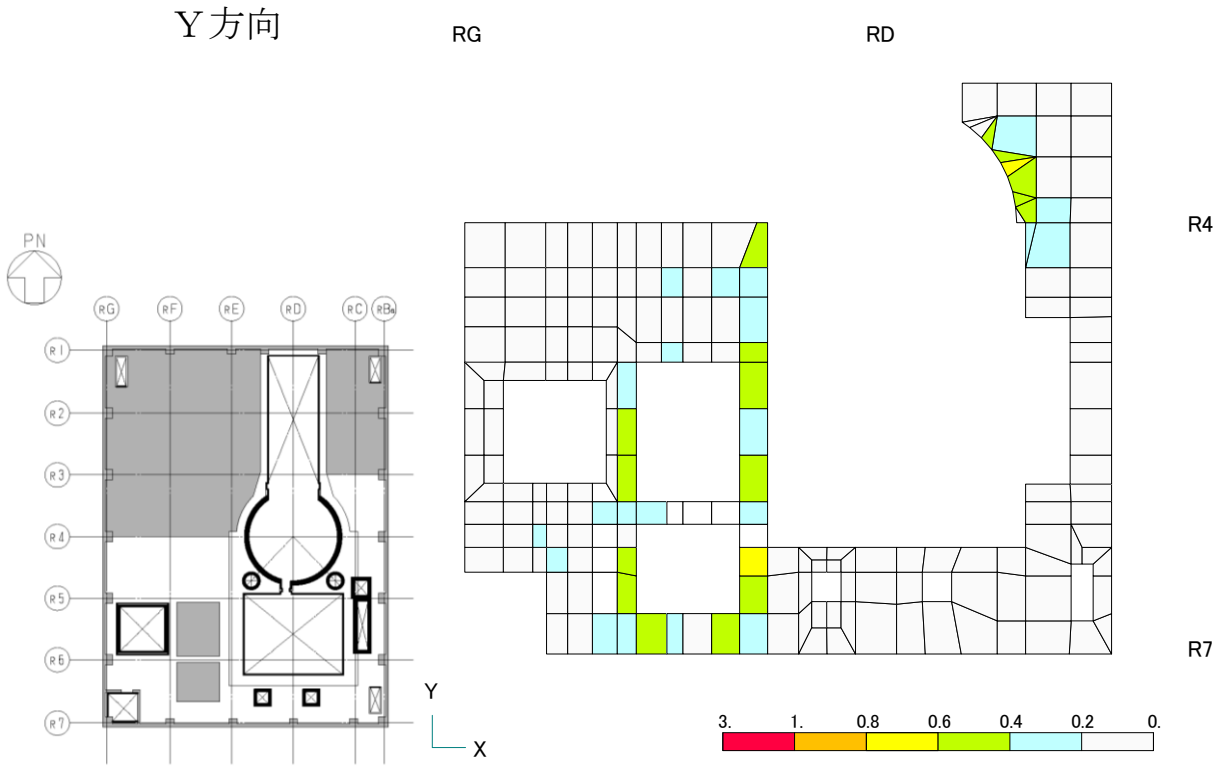


図-13　面外せん断力の検定比（オペフロ床部）

３号機原子炉建屋　遮へい体設置における滑動対策について

1. 概要

３号機原子炉建屋は作業環境改善のため，オペレーティングフロア（以下，オペフロとする）床面に遮へい体を設置する計画としている。遮へい体の内，使用済燃料プール周りに設置するものについては，地震時（基準地震動 Ss）に遮へい体へ慣性力が作用することで，遮へい体が使用済燃料プール方向に滑動して使用済燃料プール内に落下しないように，滑動対策を施している。

滑動対策は，遮へい体に作用する使用済燃料プール方向の慣性力を，使用済燃料プール壁等の原子炉建屋躯体で支持することで，遮へい体の使用済燃料プール方向への滑動を防止することである（以下，ずれ止め)。ずれ止めの方法は，下記の２通りがある。

①間接支持

ずれ止めを目的とした支持部材（以下，ずれ止め部材）を遮へい体の上に設置する。遮へい体に作用する使用済燃料プール方向の慣性力がずれ止め部材に伝達され，ずれ止め部材が原子炉建屋躯体に接触することで，遮へい体を間接支持する。

対象箇所：Ａ工区　ＢＣ工区

②直接支持

遮へい体を原子炉建屋躯体に接触させ，遮へい体に作用する使用済燃料プール方向の慣性力を，原子炉建屋躯体で直接支持する。

対象工区：Ｄ工区（東側）　Ｄ工区（南側）

遮へい体の設置方法については，一部の小規模遮へい体を除き，大型クレーンを遠隔操作して遮へい体をオペフロの所定の位置に吊り込むことにより，オペフロへ無人で設置する。この際，大型クレーンの遠隔操作精度に依ることなく遮へい体を設置できるように，鉛直支持材を大型クレーンの遠隔操作により，あらかじめオペフロ床に直置きする。鉛直支持材には溝型部材（凹）が，鉛直支持材に対応する遮へい体の下面には突起部材（凸）が取り付けられており，突起部材を溝形部材に沿わせて遮へい体を設置する。オペフロ床の損傷状況や既設設備（既設 FHM レール）の干渉により，鉛直支持材が設置できない箇所もあり，この箇所については遮へい体をオペフロ床に直置きする。

本資料では，遮へい体設置に関する局所評価として，地震時(基準地震動 Ss)における使用済燃料プール周りの遮へい体，及び，ずれ止め部材，並び，遮へい体またはずれ止め部材と接触する原子炉建屋躯体を対象に行う構造評価の結果示す。また，ずれ止め部材設置前の状況下での地震（基準地震動 Ss）を想定して，間接支持される遮へい体，及び，鉛直支持材を下記の対象（以下，滑動対象物）に行う滑動評価の結果を示す。

Ａ工区　　：遮へい体

ＢＣ工区　　：鉛直支持材（遮へい体と一体化となり滑動する）

Ｄ工区（南側）：鉛直支持材（遮へい体は単独で床スラブで直接支持され，滑動しない）

Ｄ工区（東側）：滑動評価対象外（遮へい体下面の突起部材が既設 FHM レール及び使用済燃料プール壁に接触して、遮へい体が直接支持されるため、滑動しない）

2. 遮へい体設置に関する局所評価

2.1　評価方法

ずれ止め部材の例を図 2.1-1 に，計画概要を図 2.1-2 に示す。

燃料取り出し用カバー検討用モデルの基準地震動 Ss 時の地震応答解析結果のうち，オペフロ階の最大応答加速度を保守的に設定した水平震度（k＝0.8）を用いる。検討に用いる応力はこの水平震度により生じる慣性力からずれ止め箇所の構造を考慮して算出する。なお，評価基準値は，遮へい体及びずれ止め部材は鋼材の材料強度（F 値×1.1 倍）に基づく許容値を，接触部は原子炉建屋躯体コンクリートの設計基準強度 22.1N/mm^2 に基づく許容値とする。

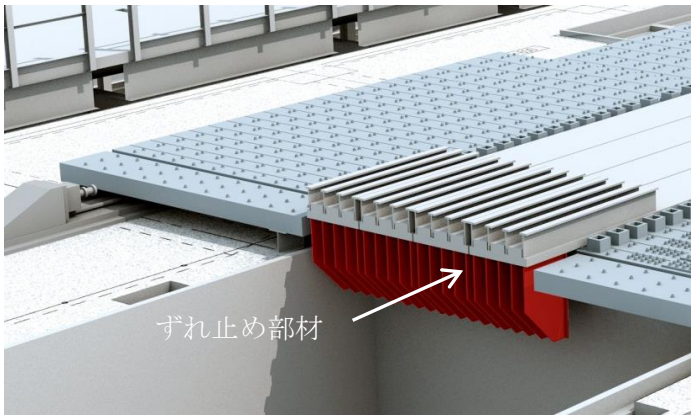
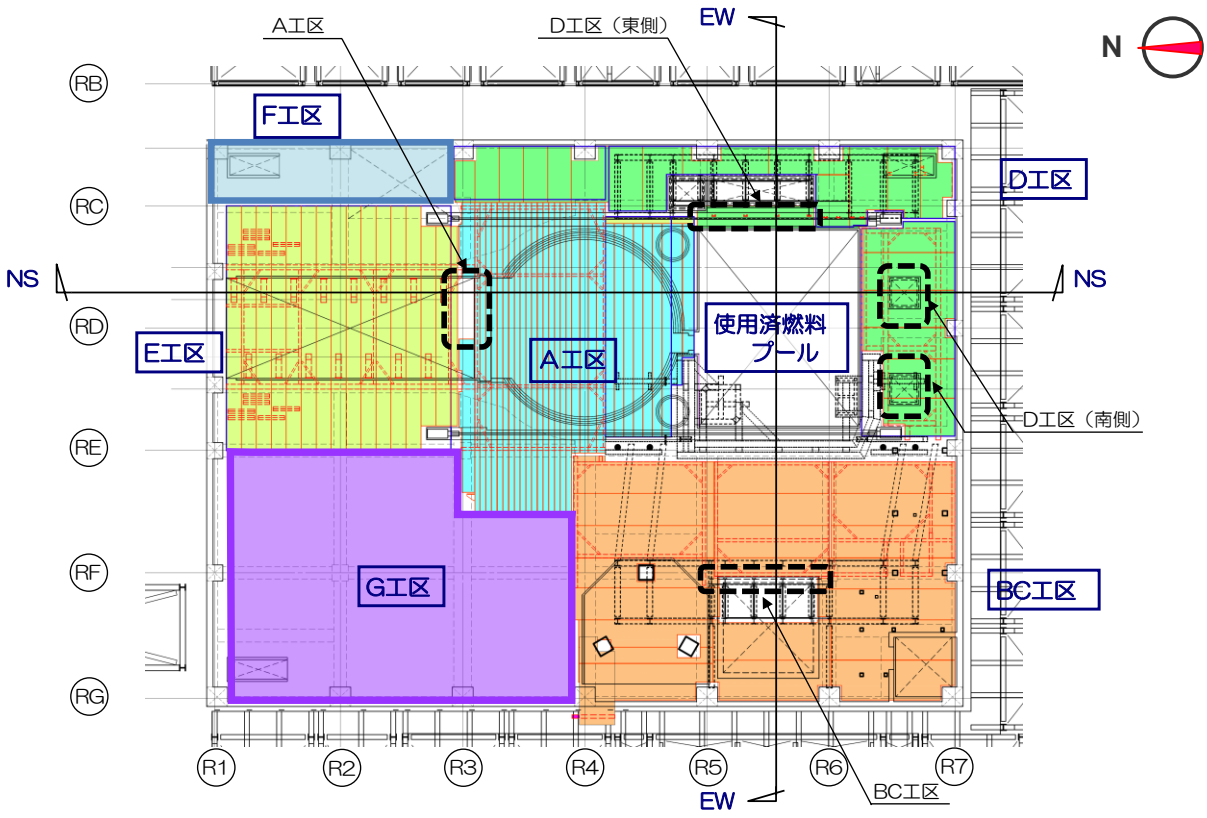
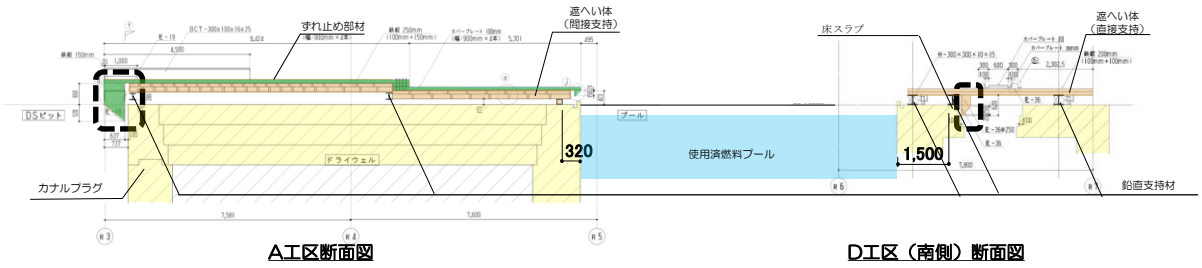


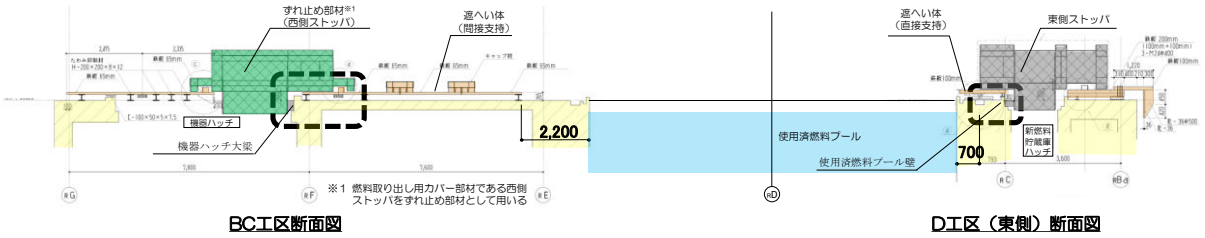
図 2.1-1　ずれ止め部材の例（A 工区）



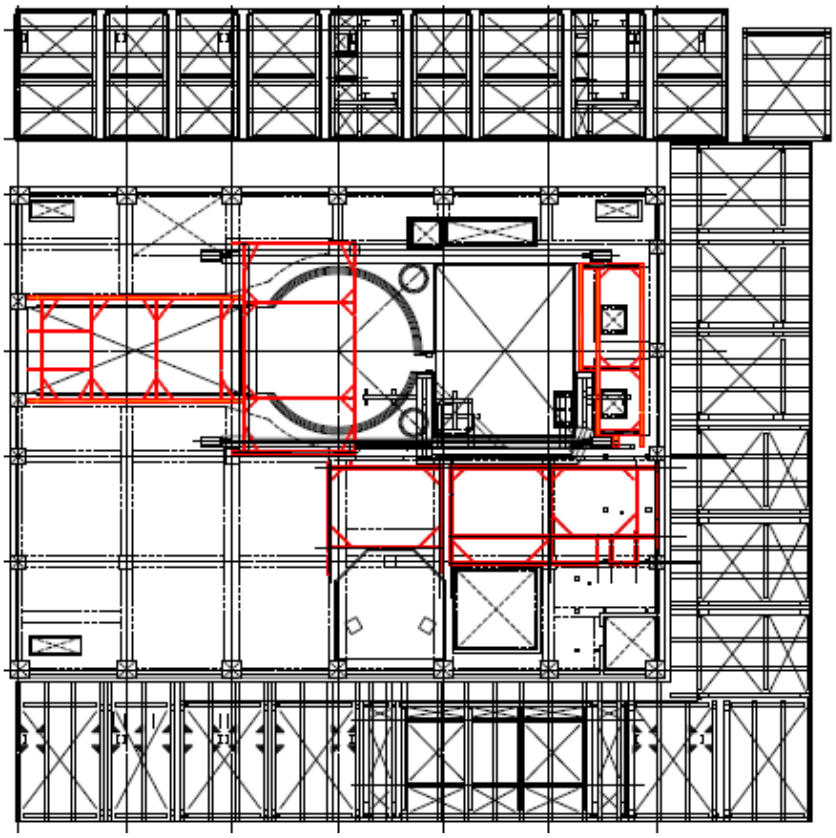
（a）平面計画



（b）使用済燃料プール周りの南北断面



（c）使用済燃料プール周りの東西断面



（d）鉛直支持材配置図（赤線：鉛直支持材）

図 2.1-2　遮へい体計画概要（ ：使用済燃料プール周りの遮へい体のずれ止め箇所　）

＜算定式＞

・ずれ止め箇所（曲げ，せん断の評価）

$$M_a = {}_S f_b \cdot Z$$

$$Q_a = {}_S f_s \cdot A_s$$

ここに，　M_a　：許容曲げモーメント

Q_a　：許容せん断力

${}_S f_b$　：曲げ応力に対する許容値※1

${}_S f_s$　：せん断応力に対する許容値※1

Z　：ずれ止め箇所の断面係数

A_s　：ずれ止め箇所のせん断断面積

W　：遮へい体重量

k　：地震時の水平震度（0.8）

M　：地震時の曲げモーメント（$M = Q \times l$）

Q　：地震時のせん断力（$Q = W \times k$）

l　：作用間距離

※1　：建築基準法に基づく鋼材の材料強度（F値の1.1倍）による許容値

・接触部（支圧の評価）

$$P_a = f_n \cdot A_1$$

ここに，　$f_n = f_{na}\sqrt{\frac{A_c}{A_1}}$　，　$f_{na} = 0.6F_c$　，　$\sqrt{\frac{A_c}{A_1}} \leq 2.0$

P_a　：許容支圧力

F_c　：コンクリートの設計基準強度（22.1N/mm²）

A_c　：支承面積

A_1　：接触面積

・接触部（曲げの評価）

$$M_a = A_t \cdot f_t \cdot j$$

ここに，　A_t　：鉄筋断面積

f_t　：鉄筋の引張に対する許容値※2

j　：応力中心間距離

※2　：建築基準法に基づく鋼材の材料強度（F値の1.1倍）による許容値

2.2　評価結果

図 2.1-2 に示す使用済燃料プールの四方の遮へい体工区について検討を実施した。遮へい体，ずれ止め部材及び原子炉建屋躯体の結果を表 2.2-1，表 2.2-2 に示す。

遮へい体またはずれ止め部材の設置に関する局所評価として使用済燃料プールに隣接する四方の工区について，基準地震動 Ss 時，使用済燃料プール周りの遮へい体，及び，ずれ止め部材，並び，遮へい体またはずれ止め部材と接触する原子炉建屋躯体に加わる応力は許容応力を下回り，遮へい体が使用済燃料プールに落下することはない。

表 2.2-1　遮へい体またはずれ止め部材の構造評価（基準地震動 Ss）

工区	応力	許容応力	検定比	検定部位
A	M=　903 kN・m	Ma=　1，260 kN・m	0.72	ずれ止め部材（曲げ）
B C	Q=　621 kN	Qa= 15，694 kN	0.04	ずれ止め部材（せん断）
D（南側）	M=　194 kN・m	Ma=　1，525 kN・m	0.13	遮へい体（曲げ）
D（東側）	Q=　58 kN	Qa=　2，238 kN	0.03	遮へい体（せん断）

表 2.2-2　原子炉建屋躯体の構造評価（基準地震動 Ss）

工区	応力	許容応力	検定比	検定部位
A	P=　879 kN	Pa= 11，925 kN	0.08	カナルプラグ（支圧）
B C	P=　1，860 kN	Pa= 39，856 kN	0.05	機器ハッチ大梁（支圧）
D（南側）	P=　431 kN	Pa= 11，368 kN	0.04	床スラブ（支圧）
D（東側）	M=　594 kN・m	Ma=　5，351 kN・m	0.12	使用済燃料プール壁（曲げ）※

※D工区（東側）遮へい体下面の突起部は既設 FHM レールと使用済燃料プール壁に接触するので、基準地震動 Ss 時にD工区（東側）遮へい体に発生する慣性力は両箇所で負担可能であるが、評価上は慣性力を使用済燃料プール壁で負担するものとする。

3.遮へい体の滑動に対する評価

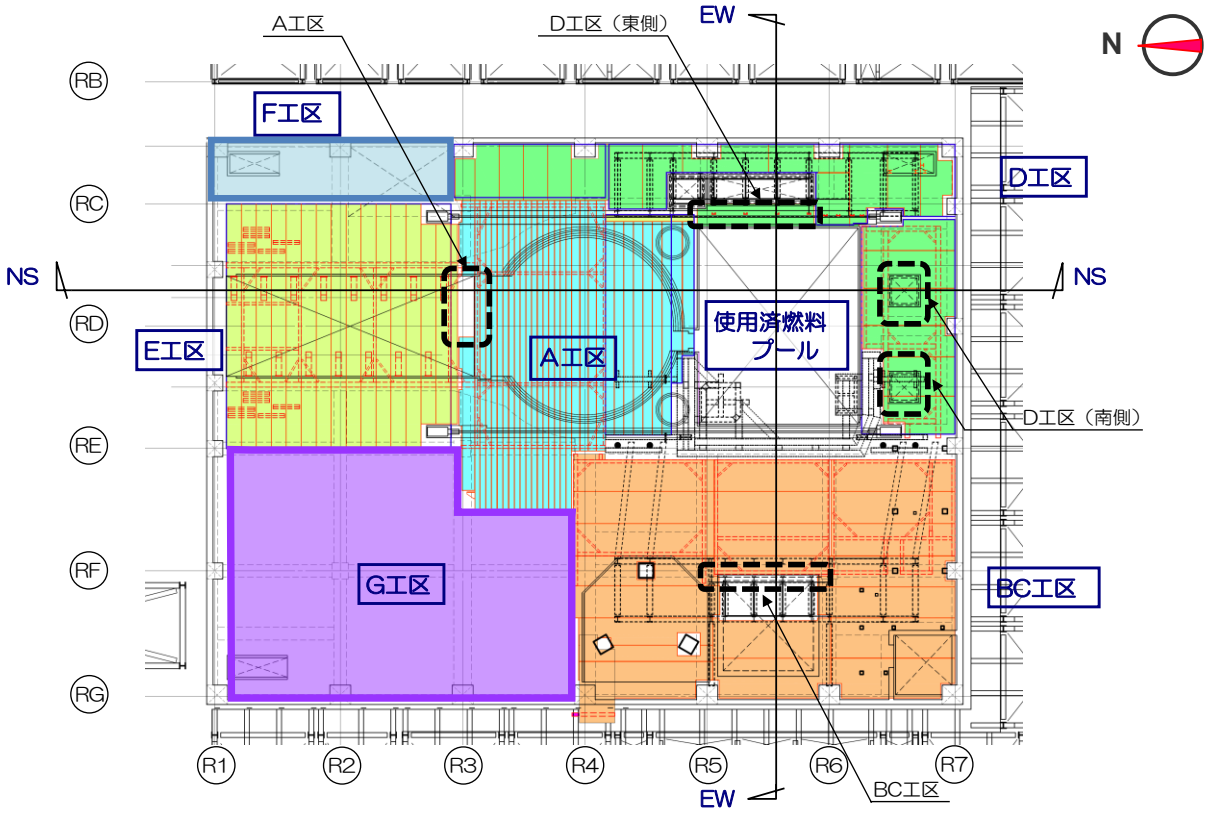
3.1　評価方法

本検討では，滑動対象物の端部と使用済燃料プール壁面までのクリアランスが地震時のすべり量より大きいことを確認する。各工区のクリアランスを表 3.1-1 及び図 3.1-1 に，工区ごとの詳細を図 3.1-2 に示す。

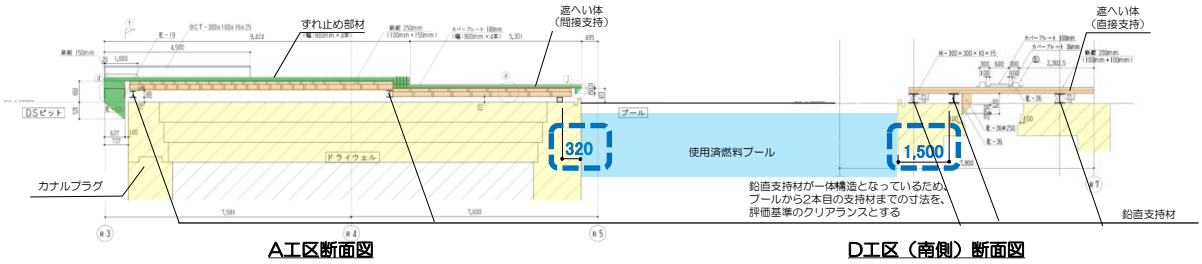
燃料取り出し用カバー検討用モデルの基準地震動 Ss 時の地震応答解析結果のうちオペフロ階の応答加速度時刻歴を入力として，滑動対象物を摸擬した 1 自由度系に遮へい体の動摩擦係数と保守的に上向きの鉛直震度による摩擦抵抗の減少を条件とした地震応答解析を行い，滑動対象物とオペフロ床の相対変位を算出する。地震応答解析の概要を図 3.1-3 に，摩擦係数と鉛直震度の組合せを表 3.1-2 に示す。ここで算出した相対変位が使用済燃料プール壁面までのクリアランス以下であることを確認する。

表 3.1-1　滑動対象物と使用済燃料プールのクリアランス

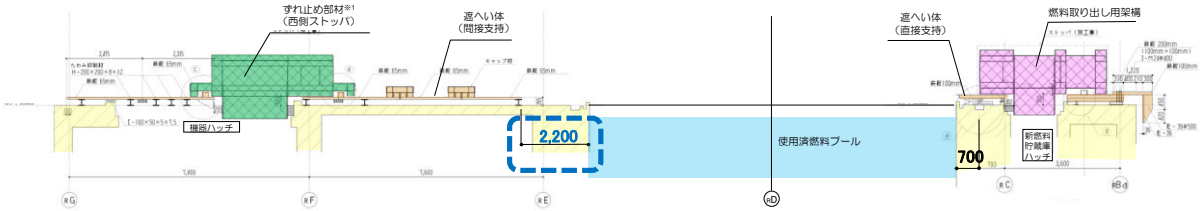
工区	クリアランス
A	320 mm
B C	2，200 mm
D（南側）	1，500 mm



（a）平面計画



（b）使用済燃料プール周りの南北断面



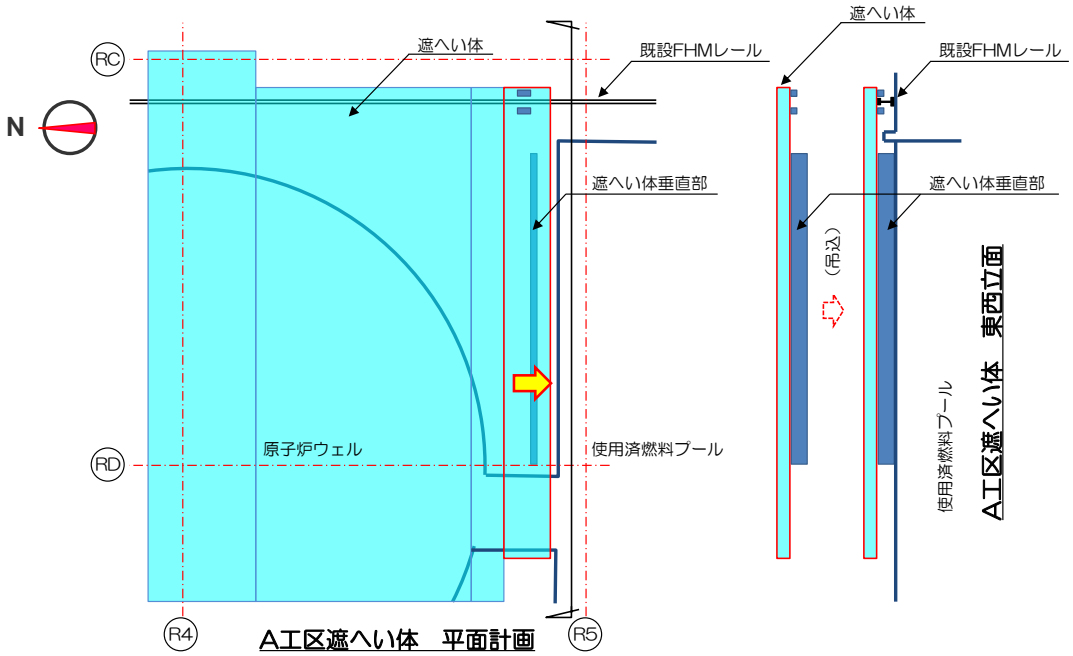
滑動対象物と使用済燃料プールのクリアランス

（c）使用済燃料プール周りの東西断面

図 3.1-1　滑動対象物と使用済燃料プールのクリアランス

A工区遮へい体の使用済燃料プール際は，東側を既設 FHM レールに，西側を原子炉建屋躯体に載せる。

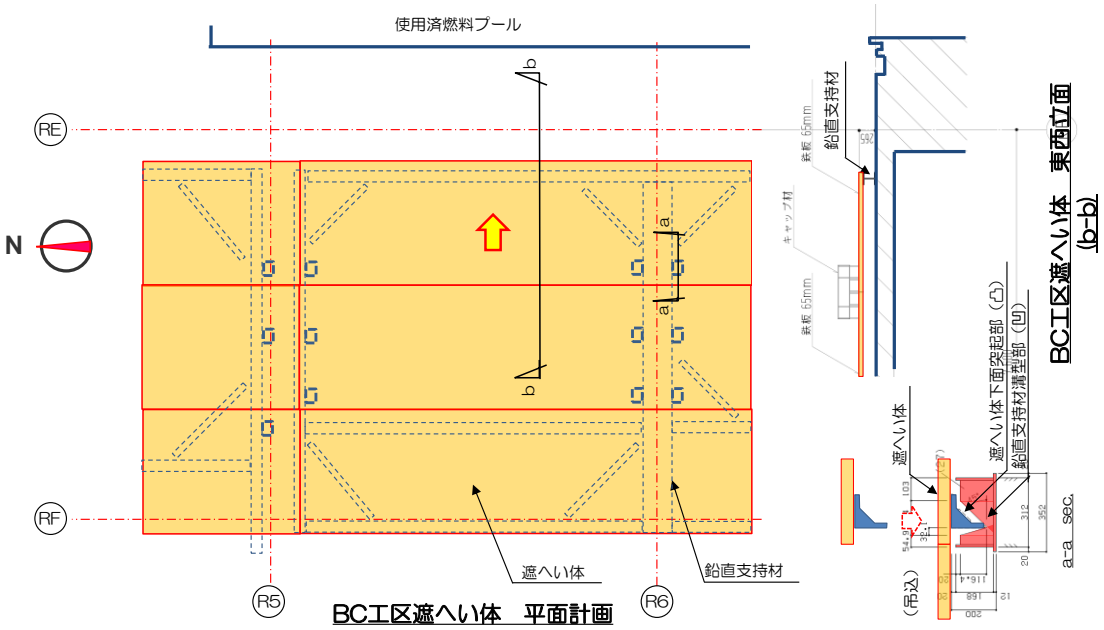
・　「オペフロ床面（コンクリート）に対する遮へい体（鋼材）のすべり量」及び「既設 FHM レール（鋼材）に対する遮へい体（鋼材）のすべり量」の確認を行う。



（a）使用済燃料プール際Ａ工区遮へい体

ＢＣ工区遮へい体は，鉛直支持材をオペフロ床面に載せ，その上に遮へい体を載せる。

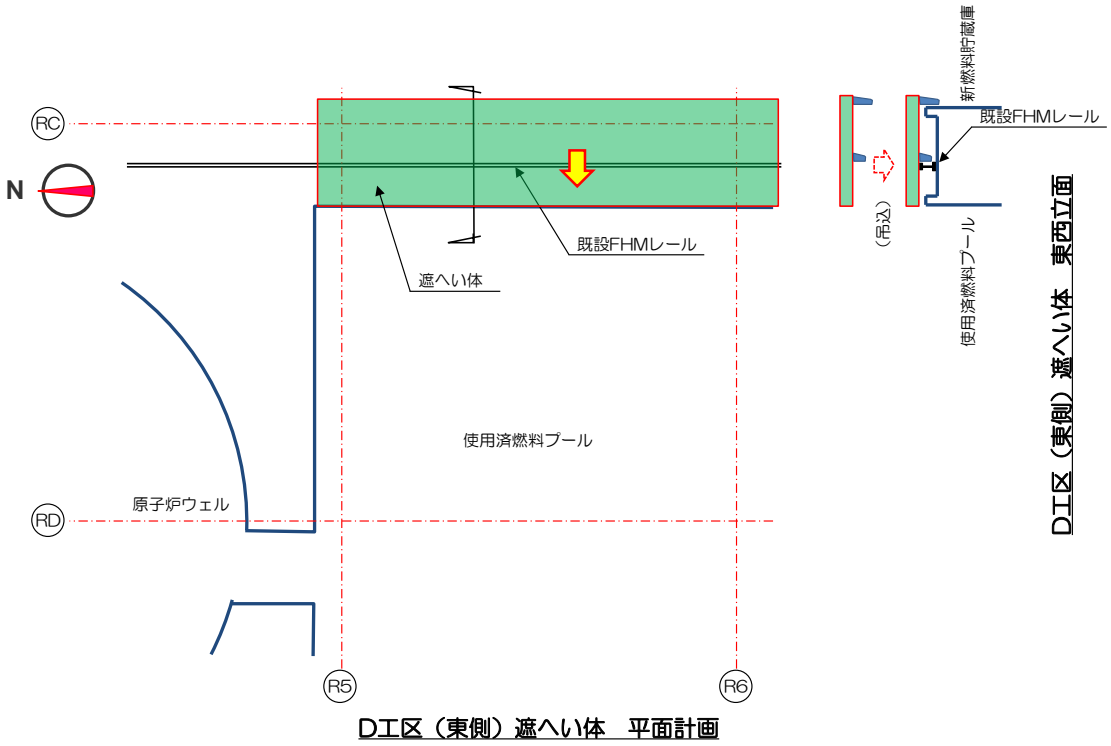
・　「オペフロ床面（コンクリート）に対する，鉛直支持材（鋼材）と一体化された遮へい体（鋼製）のすべり量」の確認を行う。



(b) 使用済燃料プール際ＢＣ工区遮へい体

図 3.1-2　遮へい体詳細(1)

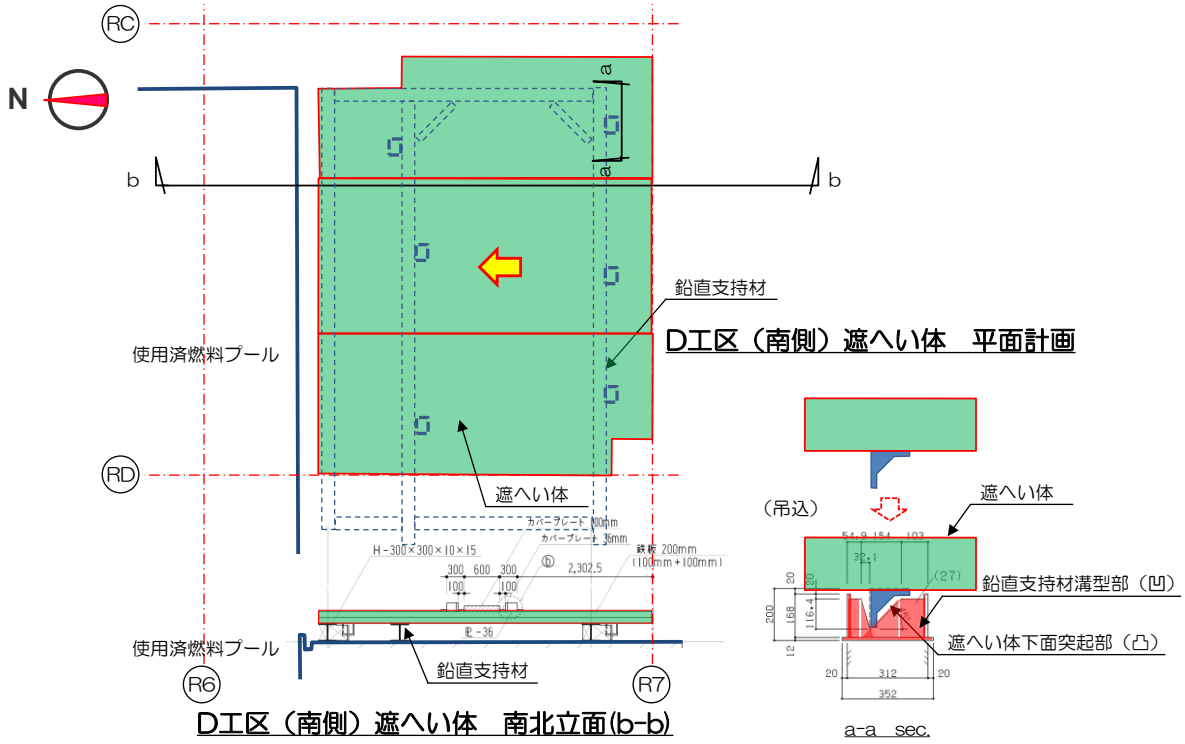
Ｄ工区（東側）遮へい体の使用済燃料プール際は，東側を原子炉建屋躯体に，西側を既設 FHM レールに載せる。
・遮へい体は原子炉建屋躯体で直接支持されるため滑動せず，使用済燃料プール側には落下しないと評価。（滑動に対する評価は実施しない）



（c）使用済燃料プール際Ｄ工区（東側）遮へい体

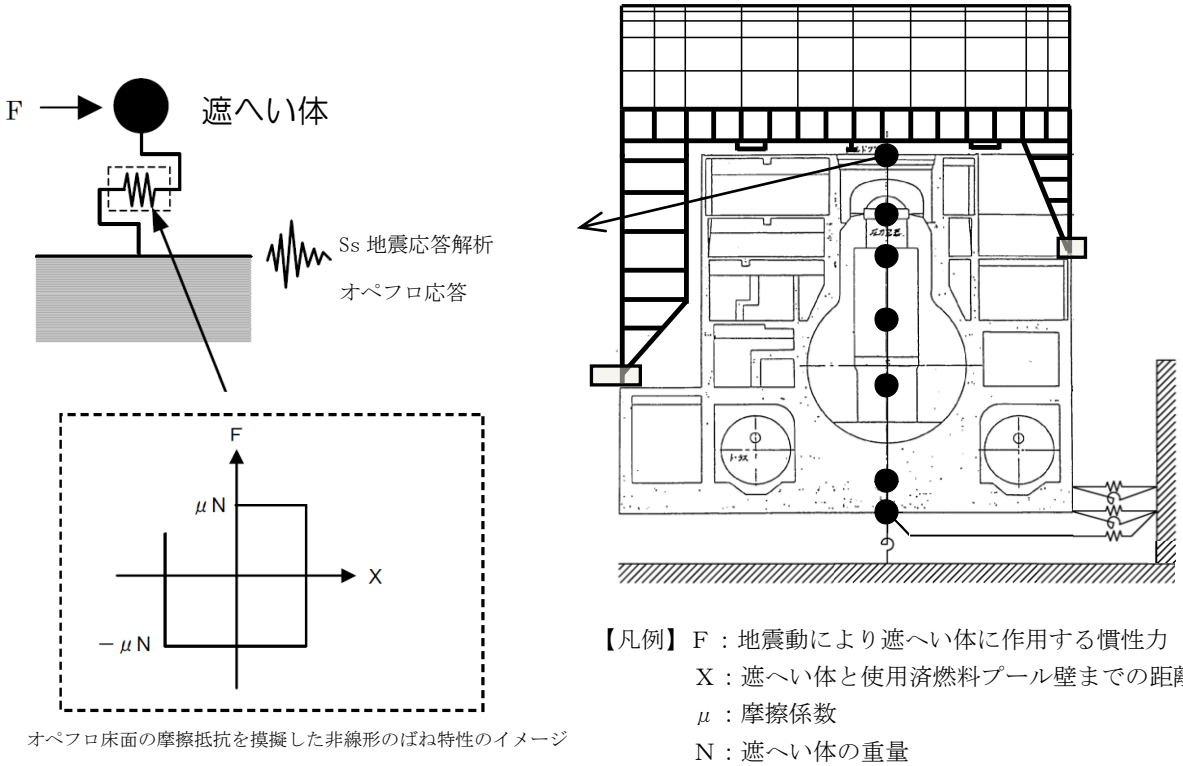
Ｄ工区（南側）遮へい体は，鉛直支持材（鋼製）をオペフロ床面に載せ，その上に遮へい体を載せる。

・　「オペフロ床面（コンクリート）に対する，鉛直支持材（鋼材）のすべり量」の確認を行う。



（d）使用済燃料プール際Ｄ工区（南側）遮へい体

図 3.1-2　遮へい体詳細(2)



＊：解析モデルの諸元は，「添付資料－4-2　燃料取り出し用カバーの構造強度及び耐震性に関する説明書」の中で用いたものを使用。

＊：遮へい体とオペフロ床面の摩擦抵抗については，遮へい体に生じる慣性力が静止摩擦力を超過すると，一定の摩擦力が抵抗力として作用しながら遮へい体が移動し，慣性力が静止摩擦力以下の場合は，遮へい体は移動せずその場にとどまるような，非線形のばね特性で評価。

図 3.1-3　遮へい体滑動検討の地震応答解析モデル

表 3.1-2　摩擦係数と鉛直震度の組合せ

CASE	摩擦面	摩擦係数	備考
1	鋼材とコンクリート	0.40	鋼構造設計規準（日本建築学会）
2	鋼材とコンクリート	0.25	電中研報告書「使用済燃料キャスク貯蔵技術の確立-地震時のキャスク転倒評価-」（研究報告：U92037） コンクリート及び鋼材表面の塗装条件を様々に変化させた試験結果のうち最も不利な摩擦係数。
3	鋼材とコンクリート	0.25	CASE2 に鉛直震度（0.45G）による鉛直力Nを低減させた場合。
4	鋼材と鋼材	0.35～0.40	機械工業ハンドブック改訂版 「鋼材とコンクリート」の評価により包絡されるため，省略。

3.2　評価結果

表 3.1-2 の組合せケースの結果を表 3.2-1 に示す。基準地震動 Ss 時の相対変位が最大となるケース 3 において相対変位が 22.3cm となり,使用済燃料プール壁面までの最小クリアランス 32.0cm 以下である。よって，ずれ止め設置前においても滑動対象物が使用済燃料プールに落下することはない。

表 3.2-1　地震応答解析による滑動対象物とオペフロの相対変位（基準地震動 Ss）

CASE	摩擦係数	鉛直震度	最大相対変位 (cm)	クリアランス (cm)
1	0.40	0	5.8	32.0
2	0.25	0	10.8	32.0
3	0.25	0.45（上向き）	22.3	32.0

２号機燃料取り出し用構台に係る確認事項

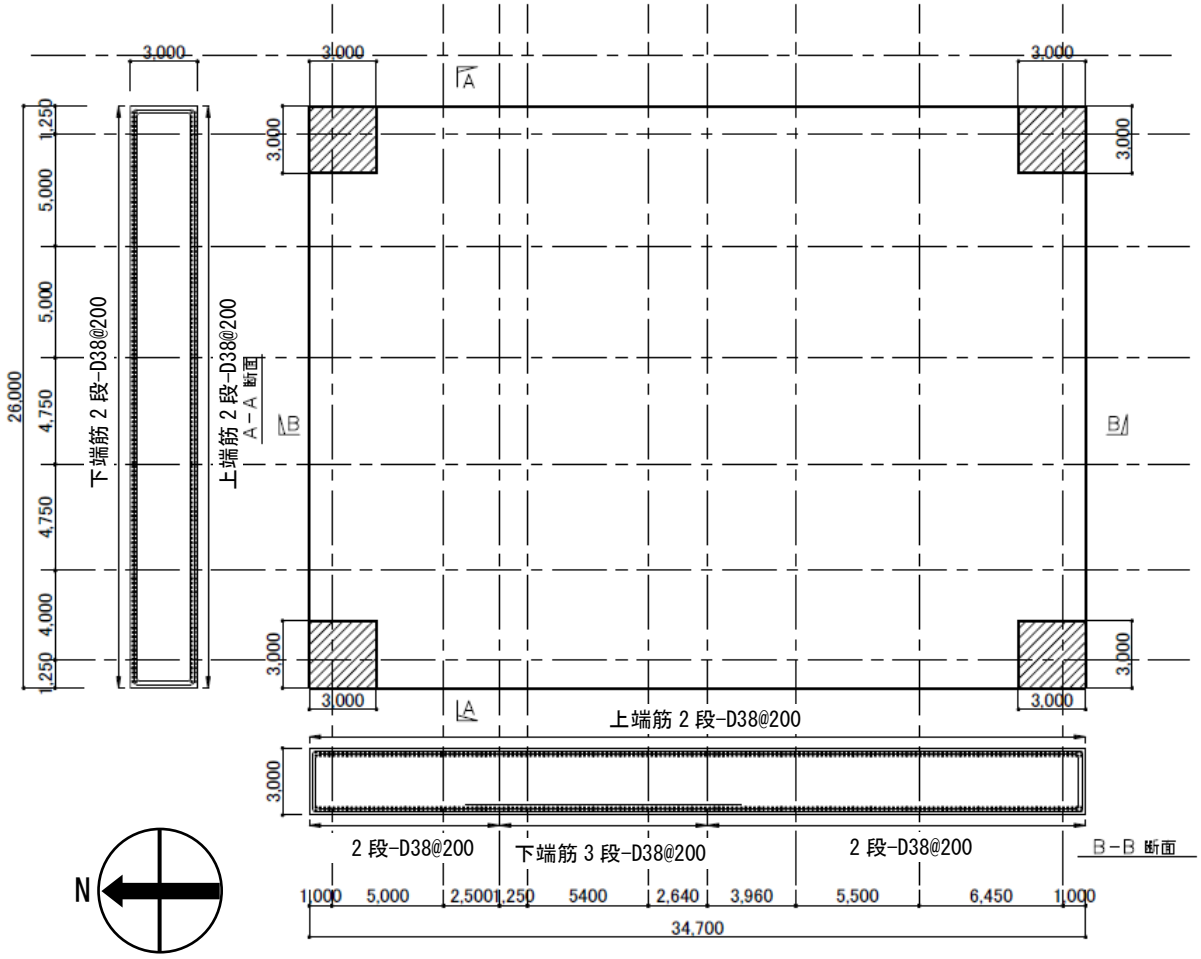
２号機燃料取り出し用構台の工事に係る主要な確認項目を表－１に示す。

表－1　２号機燃料取り出し用構台に係る確認項目

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度および耐震性	材料確認	地盤改良土の一軸圧縮強さを確認する。	地盤改良土の一軸圧縮強さが，実施計画に記載されている設計基準強度を満足すること。
		構造体コンクリートの圧縮強度を確認する。	構造体コンクリート強度が，実施計画に記載されている設計基準強度対して，JASS5N の基準を満足すること。
		鉄筋の材質，強度，化学成分を確認する。	JIS G 3112 に適合すること。
		鋼材の材質，強度，化学成分を確認する。	JIS G 3101，JIS G 3136，JIS G 3106，JIS G 3444，JIS G 3321 又は建築基準法第 37 条第二号の規定に適合すること。
		特殊ボルト（ワンサイドボルト）の締め付け張力を確認する。	導入張力試験を JASS 6 に準じて実施し，所定の張力が得られること。
		トルシア型超高力ボルト(SHTB)，トルシア型高力ボルト(S10T)，高力六角ボルト(F10T)の仕様を確認する。	JIS B 1186 又は建築基準法第 37 条第二号の規定に適合すること。
		アンカーボルトの材質，強度，化学成分を確認する。	JIS G 3138 に適合すること。
		弾性支承の鉛直剛性を確認する。	弾性支承の鉛直剛性が，Ⅱ章 2.11 添付資料－４－２に記載した値の±20%以内であること。
		オイルダンパの減衰係数を確認する。	ばね付きオイルダンパの第一減衰係数は，試験時の各速度における荷重が，Ⅱ章 2.11　添付資料－４－２に記載したオイルダンパの減衰係数に各速度を掛けて算出した荷重の±10%以内であること。オイルダ

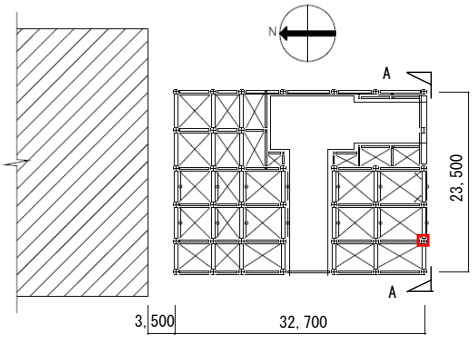
			ンパ（水平棟間）およびオイルダンパ（鉛直）の第一減衰係数は，正弦波加力を行った際の減衰力ループから算出した第一減衰係数が，添付資料－４－２に記載したオイルダンパの減衰係数の±10％以内であること。 第二減衰係数は，試験時の各速度における荷重の平均が，Ⅱ章 2.11　添付資料－４－２に記載したオイルダンパのリリーフ荷重と，減衰係数に各速度を掛けて，並列配置を考慮し算出した荷重の和の±10％以内であること。
		オイルダンパのリリーフ荷重を確認する。	試験で複数の加力速度を用いて得られる近似直線と，Ⅱ章 2.11　添付資料－４－２に記載した第一減衰係数の交点として得られる荷重が，Ⅱ章 2.11　添付資料－４－２に記載したリリーフ荷重の±10％以内であること。
		オイルダンパのストロークを確認する。	オイルダンパのストロークが，Ⅱ章 2.11　添付資料－４－２に記載した値以上であること。
	据付確認	地盤改良範囲（深さ）を確認する。	支持レベルに着底していること。
		鉄筋の径，間隔（図-1 参照）を確認する。	鉄筋の径が実施計画書に記載されている通りであること。鉄筋の間隔が実施計画に記載しているピッチにほぼ均等に分布していること。
		接合部（図-2～図-5 参照）の施工状況を確認する。	高力ボルトが所定の本数・種類であること。
		アンカーボルト埋め込み長さを確認する。	有効埋め込み長さが所定の値（M30：300mm、M60：265mm）であり，かつボルトの余長はナット面から突き出た長さが 3 山以上であること。
		制震装置（オイルダンパ）の設置状況を確認する。	制震装置（オイルダンパ）の設置位置および設置数が図-6～図-13 の通

			りであること。
		免震装置（弾性支承）の設置状況を確認する。	免震装置（弾性支承）の設置位置および設置数が図-13 の通りであること。
		外装材および床の施工状況を確認する。	外装材および床の設置範囲が，図-14～図-17 の通りであること。
	外観確認	制震装置（オイルダンパ）の外観を確認する。	有害な欠陥がないこと。
		免震装置（弾性支承）の外観を確認する。	有害な欠陥がないこと。

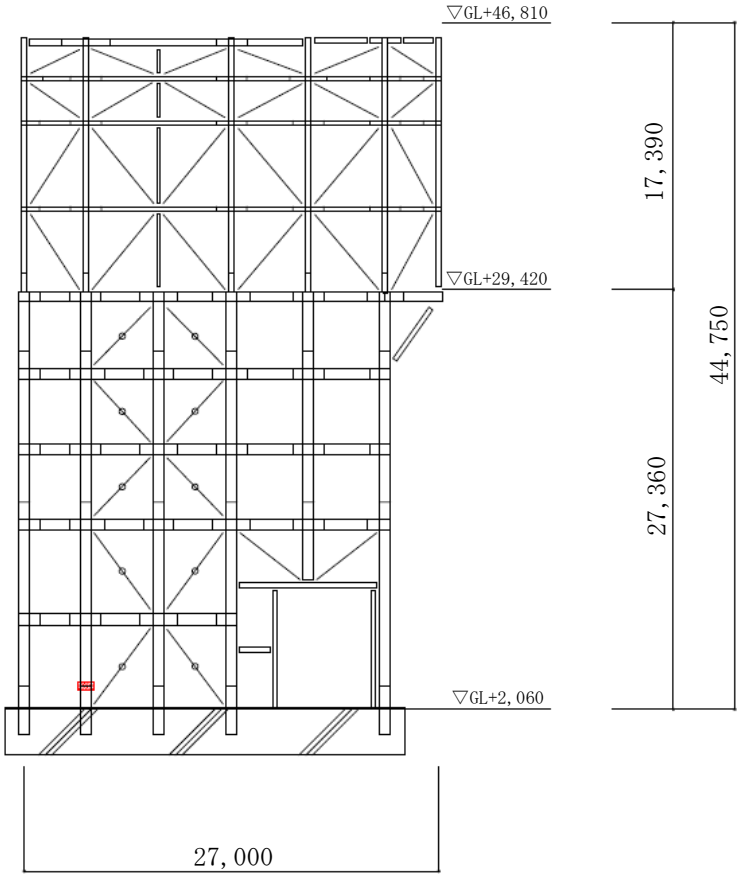


部は面外せん断補強を実施
D19@400×200
鉄筋材質：SD345

図-1　基礎配筋図（単位：mm）

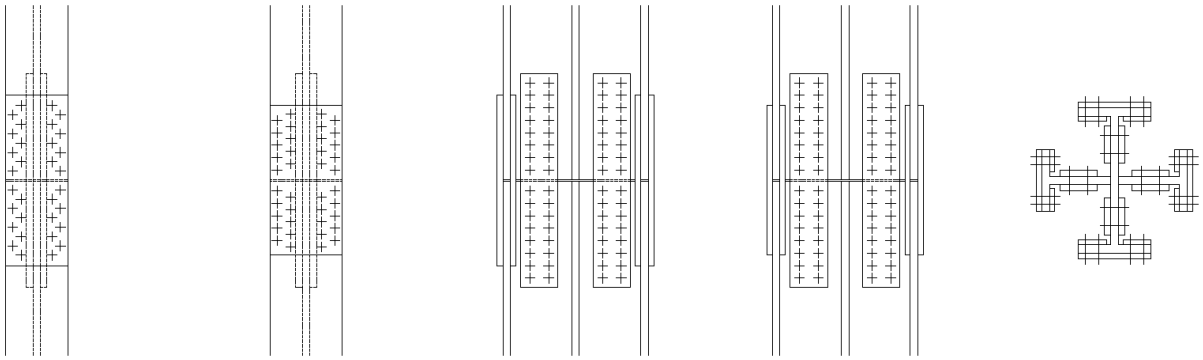


G.L.+8,260 キープラン



A-A 断面図

（１）接合部位置（構台部柱材最大応力度比発生箇所）



(a) フランジ NS
ボルト種類：HTB M24
ボルト本数：16 本×2

(b) フランジ EW
ボルト種類：HTB M24
ボルト本数：20 本×2

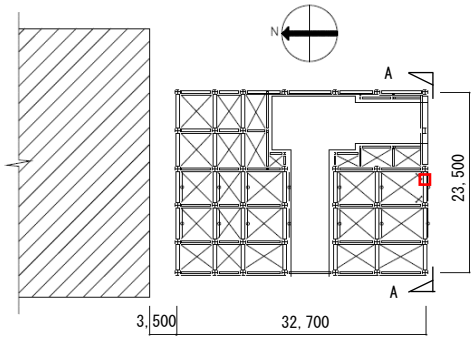
(c) ウェブ NS
ボルト種類：HTB M24
ボルト本数：32 本

(d) ウェブ EW
ボルト種類：HTB M24
ボルト本数：32 本

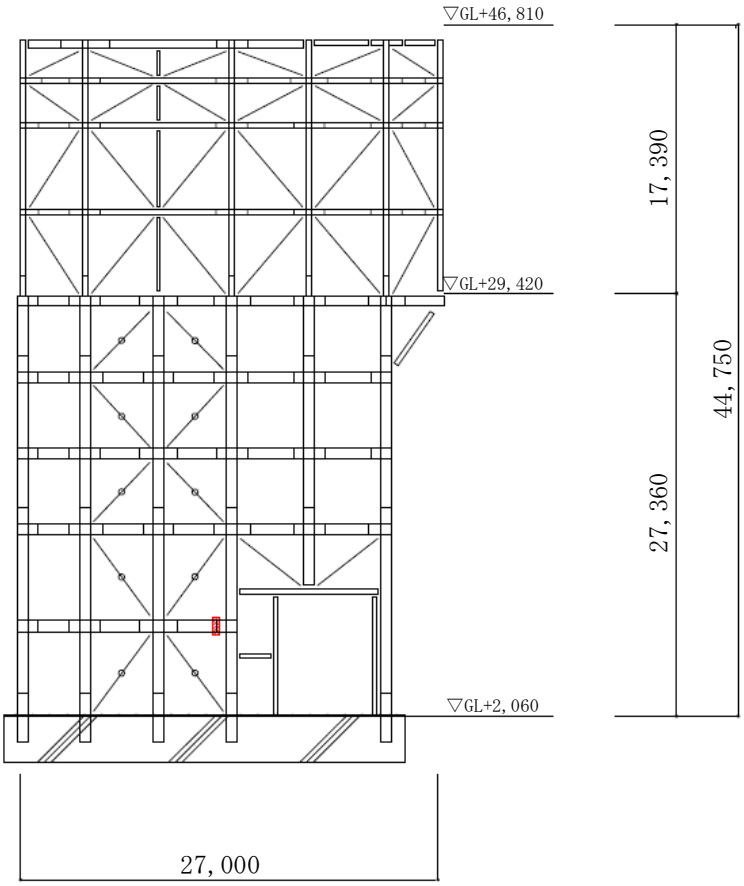
(e) 断面

（２）接合部詳細（片側の構造材に取り付くボルト本数を記載）

図-2　構台接合部①

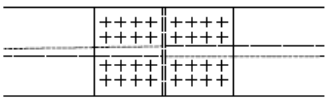


G.L.+8,260 キープラン

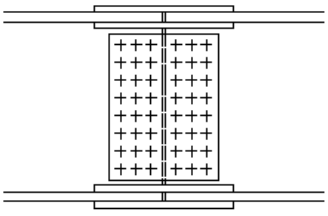


A-A 断面図

（１）接合部位置（構台部梁材最大応力度比発生箇所）



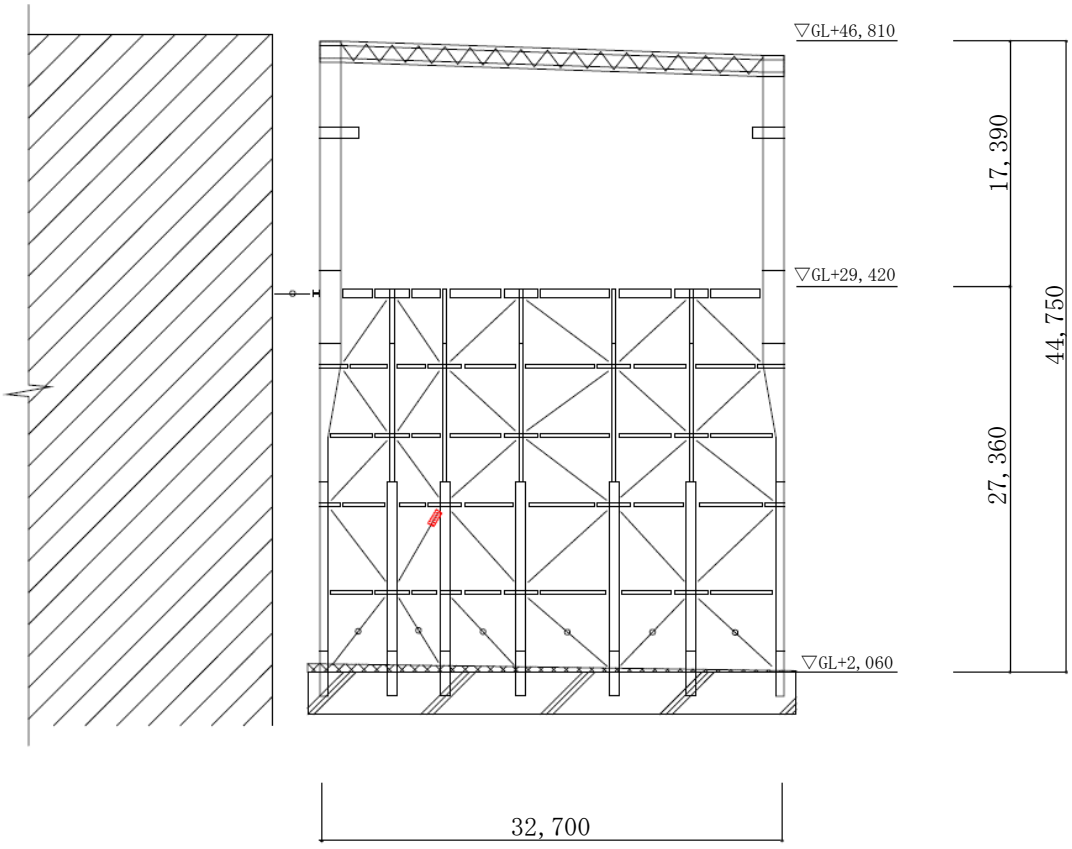
(a) 上下フランジ
ボルト種類：SHTB M24
ボルト本数：16 本×2



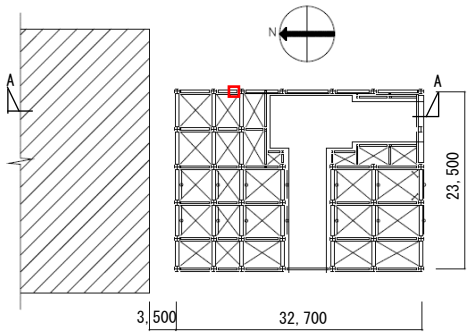
(b) ウェブ
ボルト種類：SHTB M24
ボルト本数：24 本

（２）接合部詳細（片側の構造材に取り付くボルト本数を記載）

図-3　構台接合部②

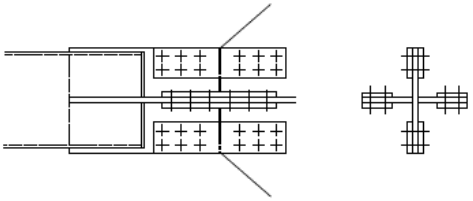


A-A 断面図



G.L.+8,260 キープラン

（１）接合部位置（構台部ブレース材最大応力度比発生箇所）



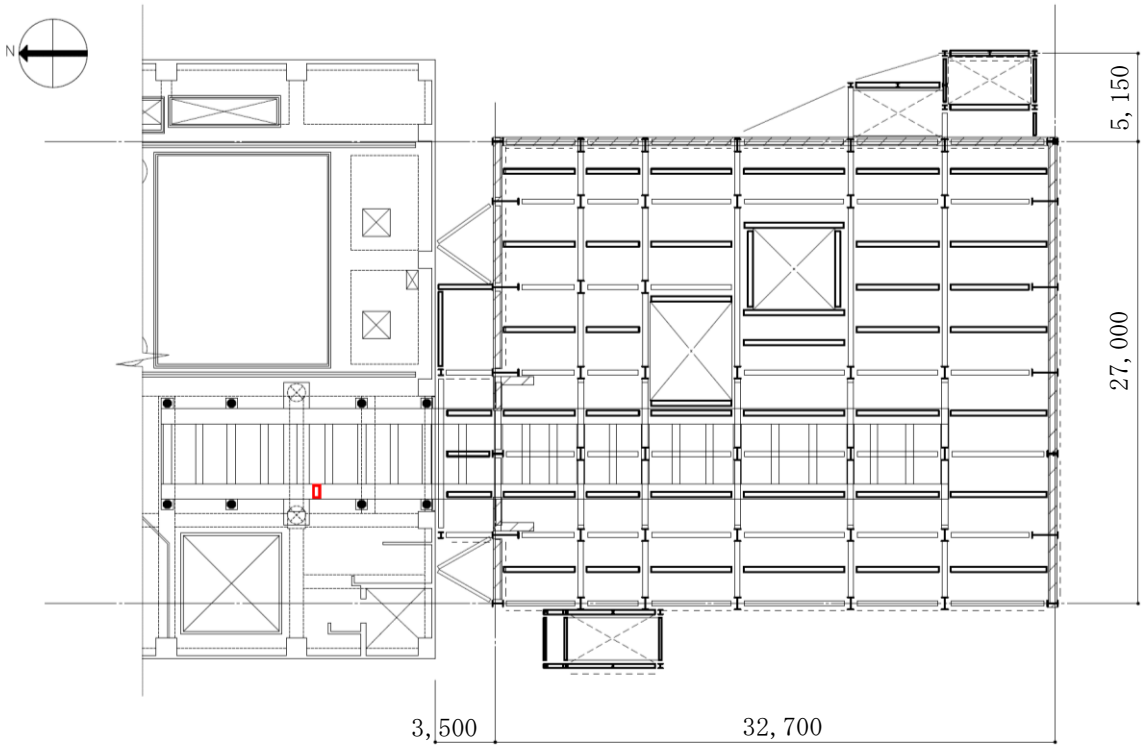
（a）側面　　（b）断面

ボルト種類：SHTB M22

ボルト本数：12 本×2

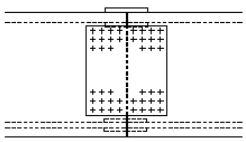
（２）接合部詳細（片側の構造材に取り付くボルト本数を記載）

図-4　構台接合部③

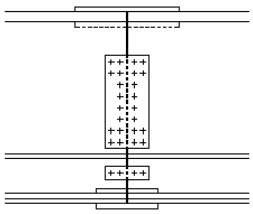


G.L.+29,420 キープラン

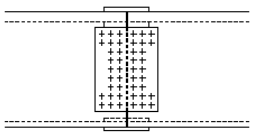
（１）接合部位置（ランウェイガーダ最大応力度比発生箇所）



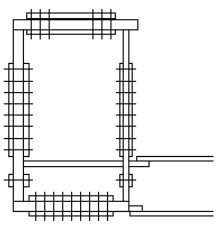
(a) 上フランジ
ボルト種類：SHTB M24
ボルト本数：22 本



(c) ウェブ
ボルト種類：SHTB M24
ボルト本数：14 本×2



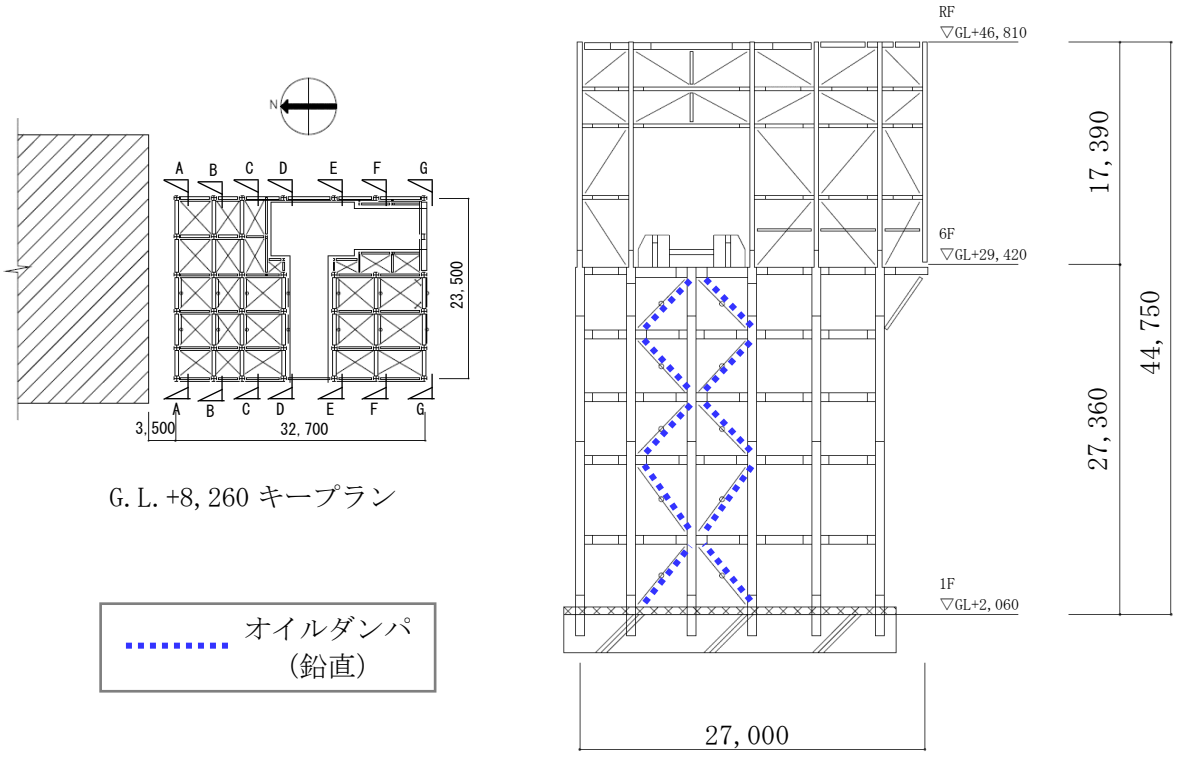
(b) 下フランジ
ボルト種類：SHTB M24
ボルト本数：22 本



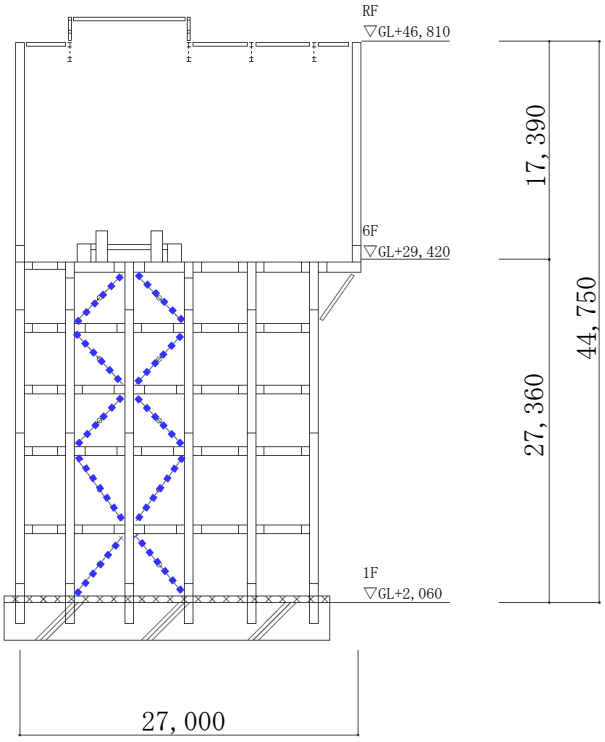
(d) 断面

（２）接合部詳細（片側の構造材に取り付くボルト本数を記載）

図-5　ランウェイガーダ接合部

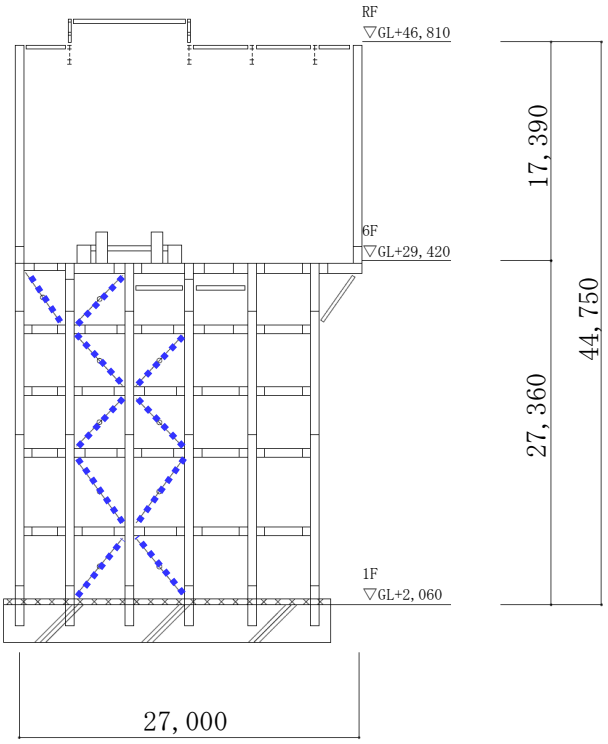


（１）オイルダンパ位置図（A-A 断面図）

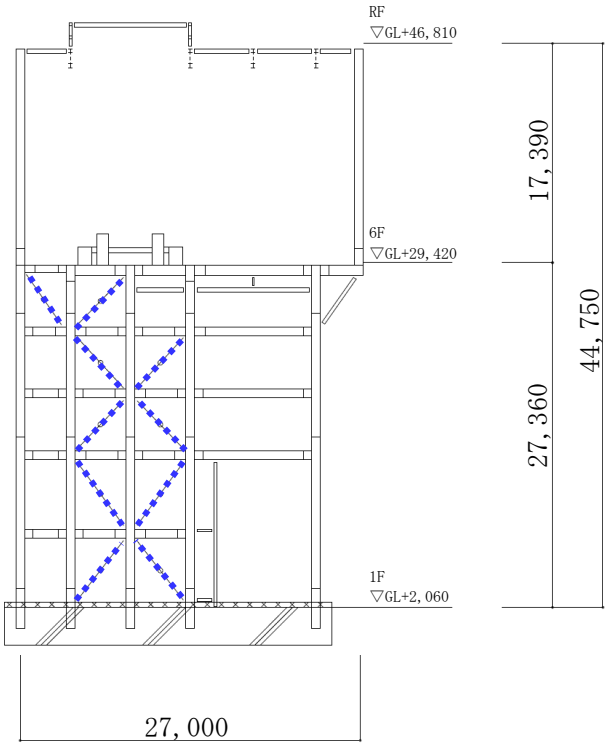


（２）オイルダンパ位置図（B-B 断面図）

図-6　オイルダンパ位置図①

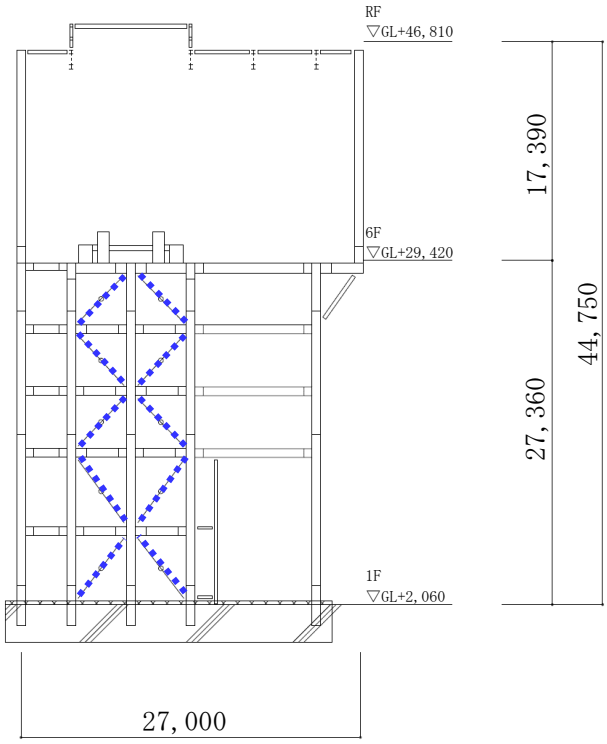


（１）オイルダンパ位置図（C-C 断面図）

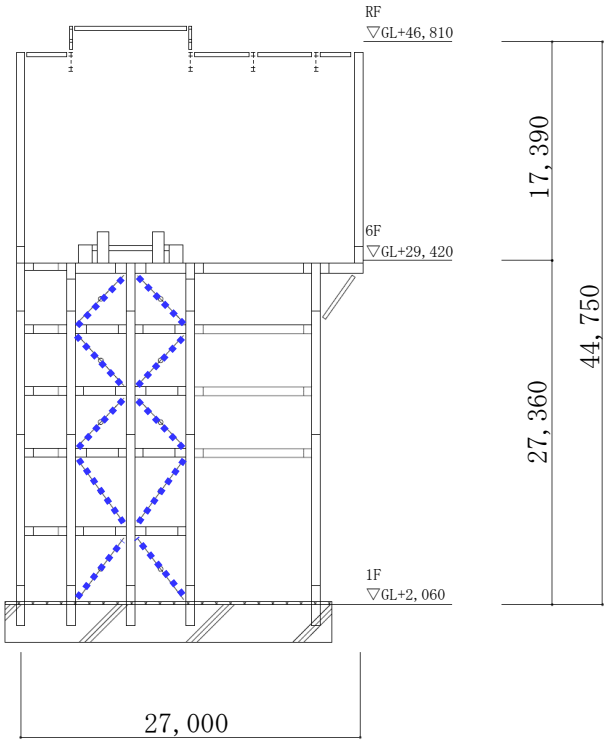


（２）オイルダンパ位置図（D-D 断面図）

図-7　オイルダンパ位置図②

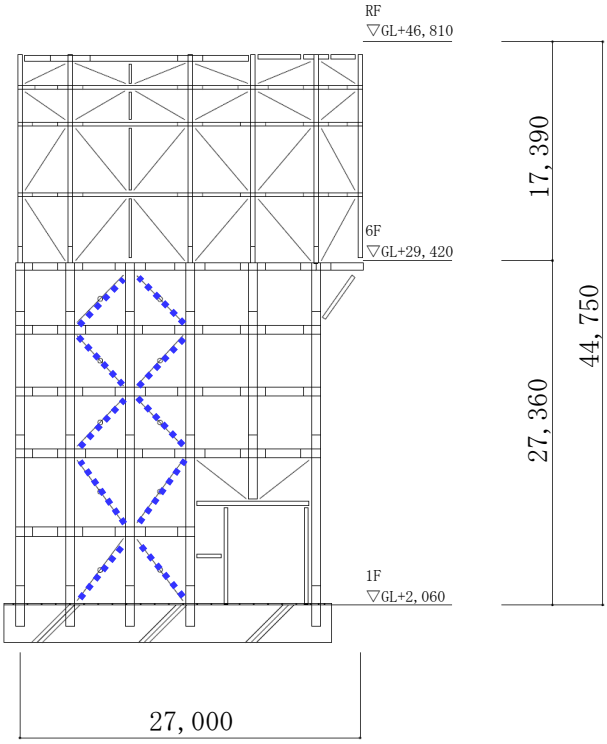


（１）オイルダンパ位置図（E-E 断面図）



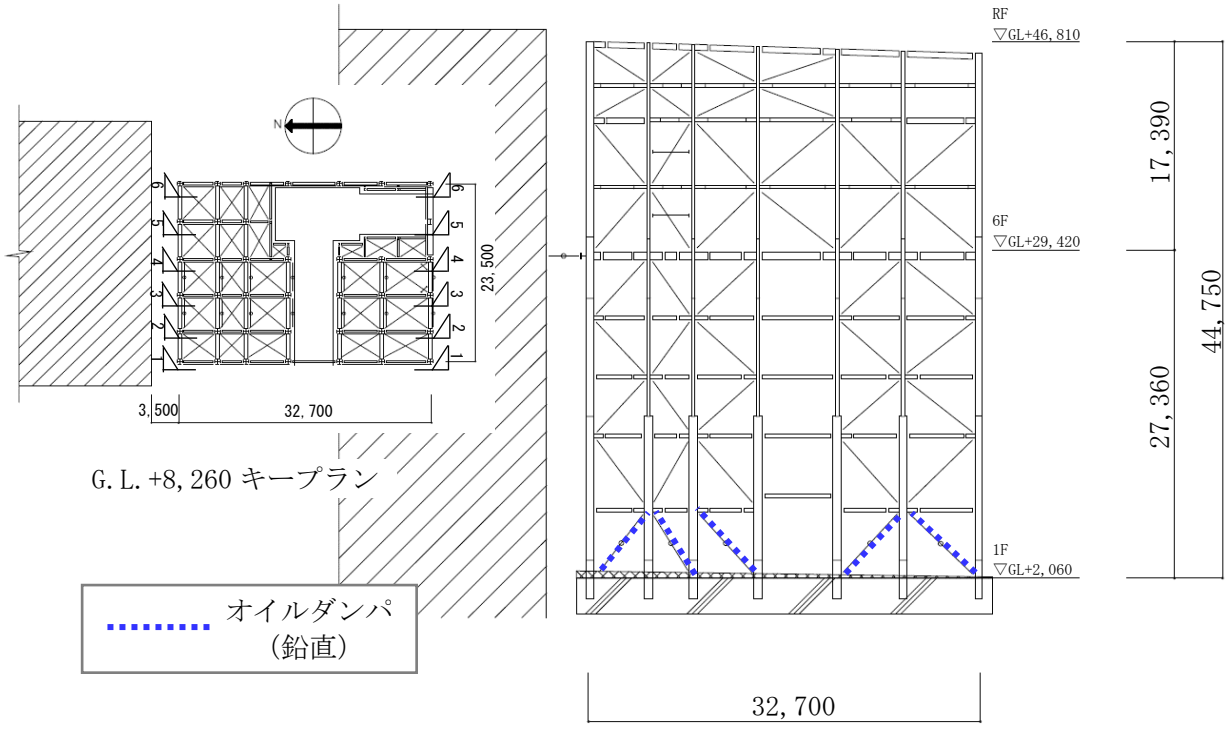
（２）オイルダンパ位置図（F-F 断面図）

図-8　オイルダンパ位置図③

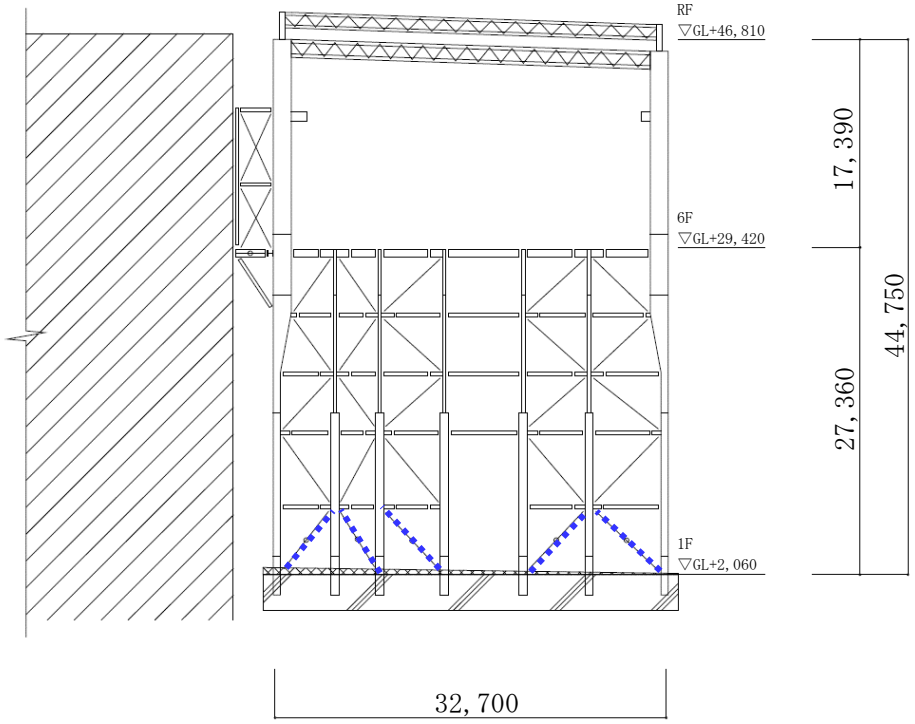


（１）オイルダンパ位置図（G-G 断面図）

図-9　オイルダンパ位置図④

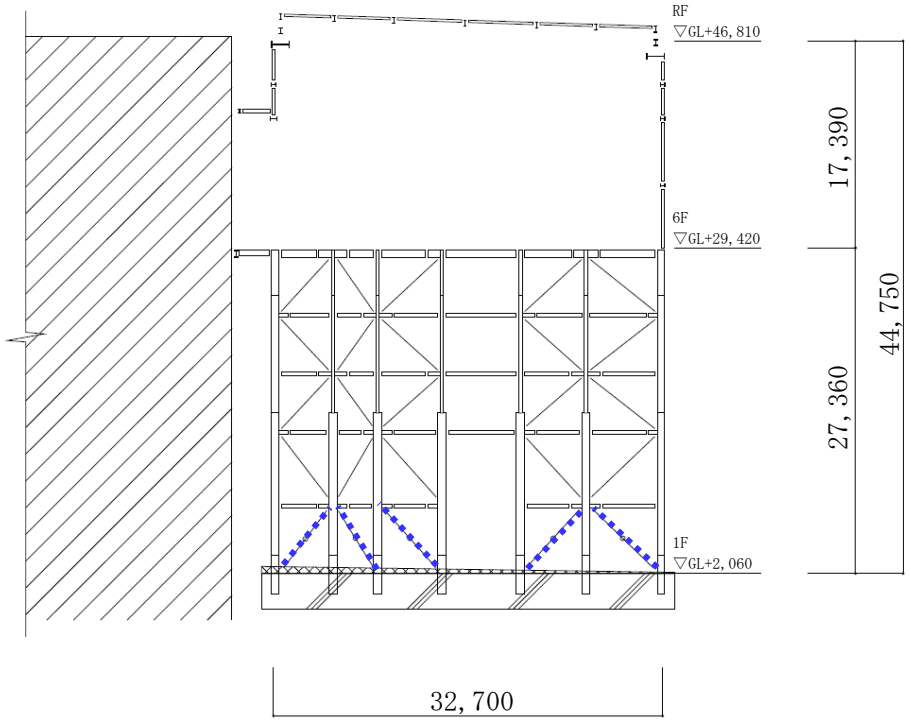


（１）オイルダンパ位置図（1-1 断面図）

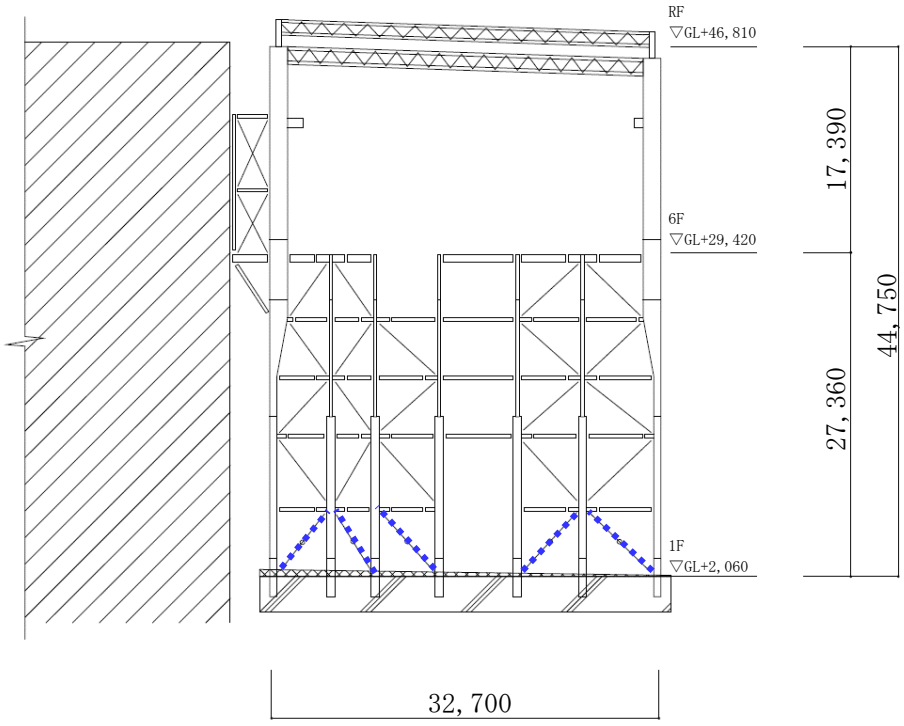


（２）オイルダンパ位置図（2-2 断面図）

図-10　オイルダンパ位置図⑤

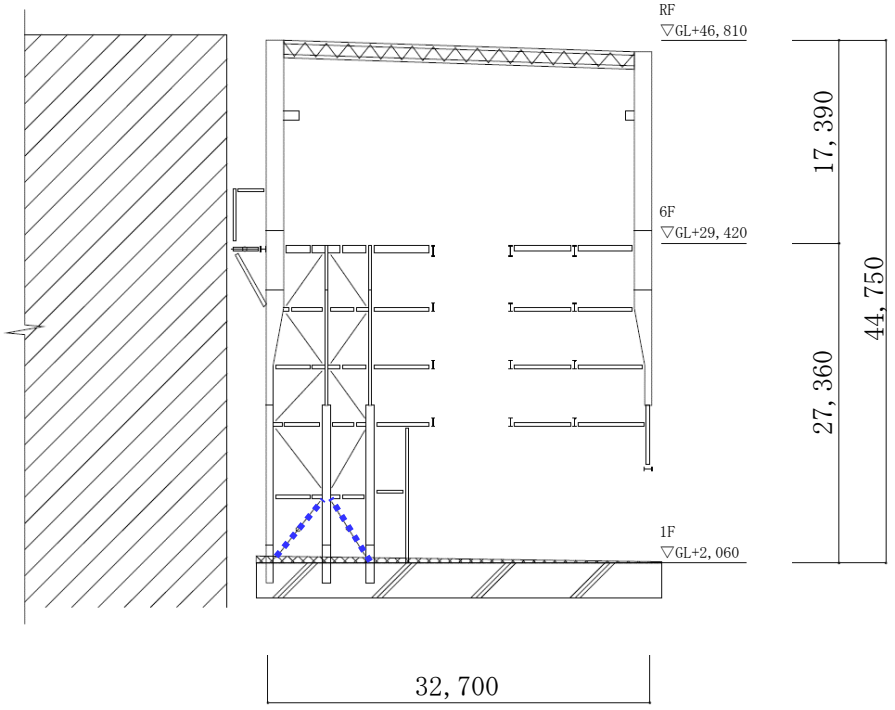


（１）オイルダンパ位置図（3-3 断面図）

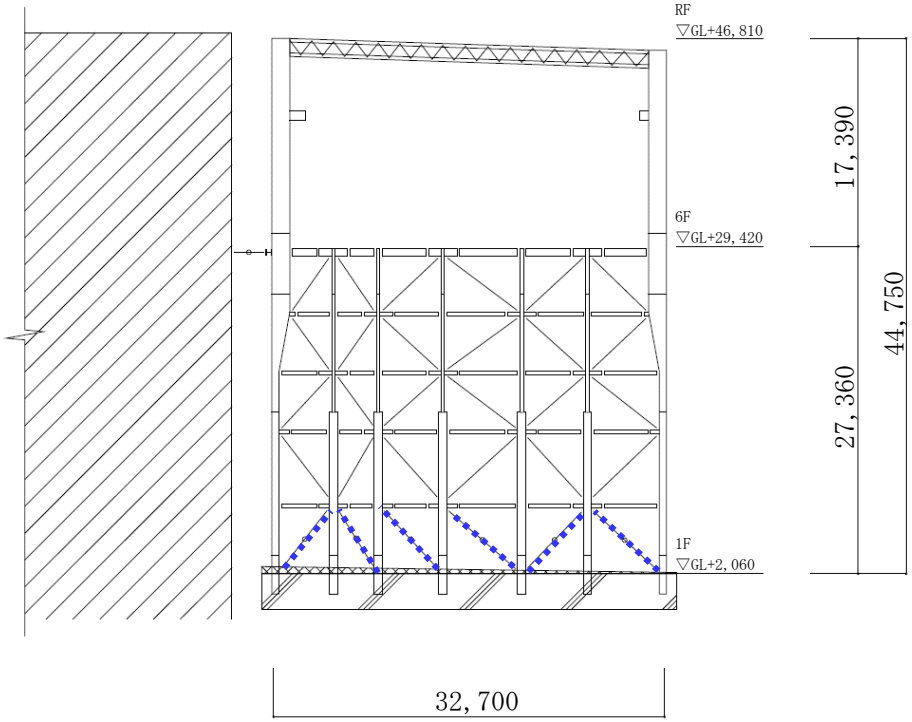


（２）オイルダンパ位置図（4-4 断面図）

図-11　オイルダンパ位置図⑥

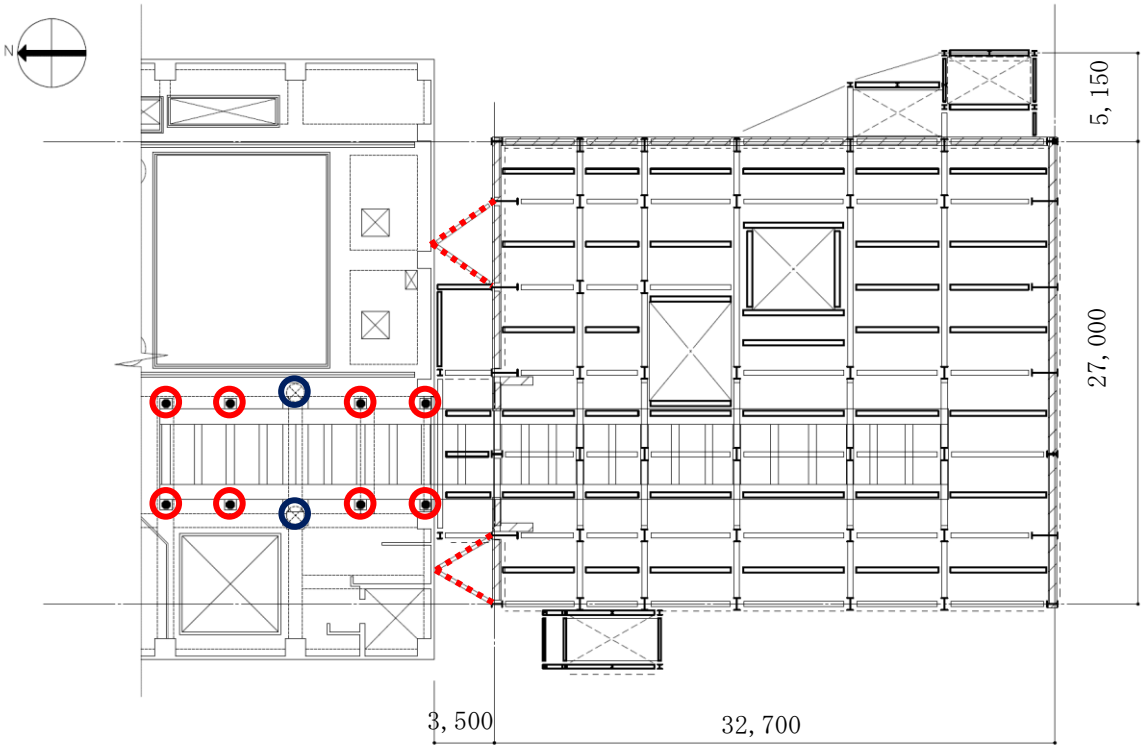


（１）オイルダンパ位置図（5-5 断面図）



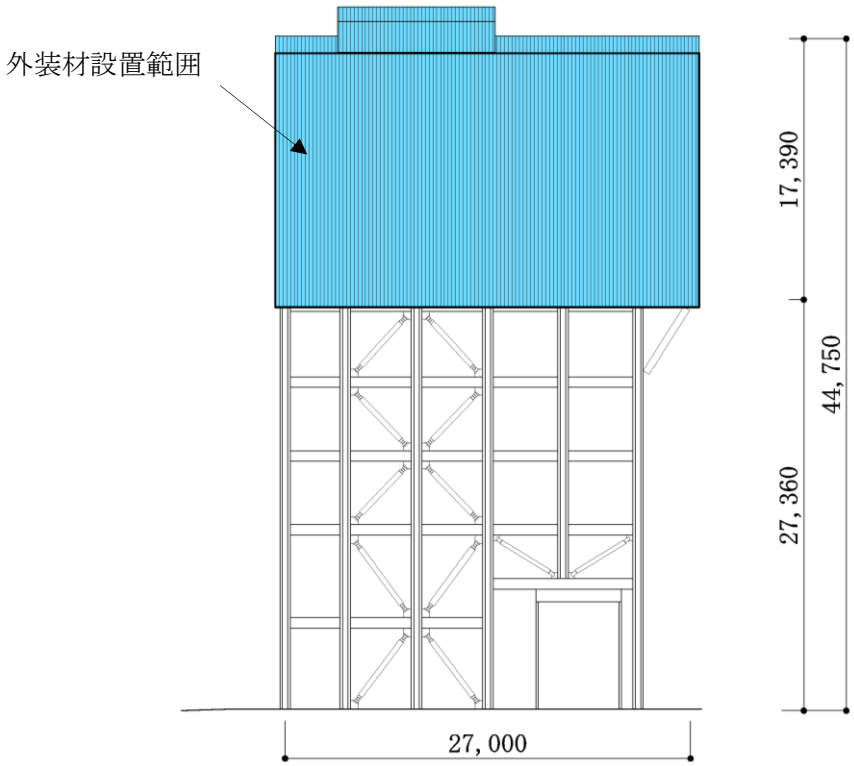
（２）オイルダンパ位置図（6-6 断面図）

図-12　オイルダンパ位置図⑦

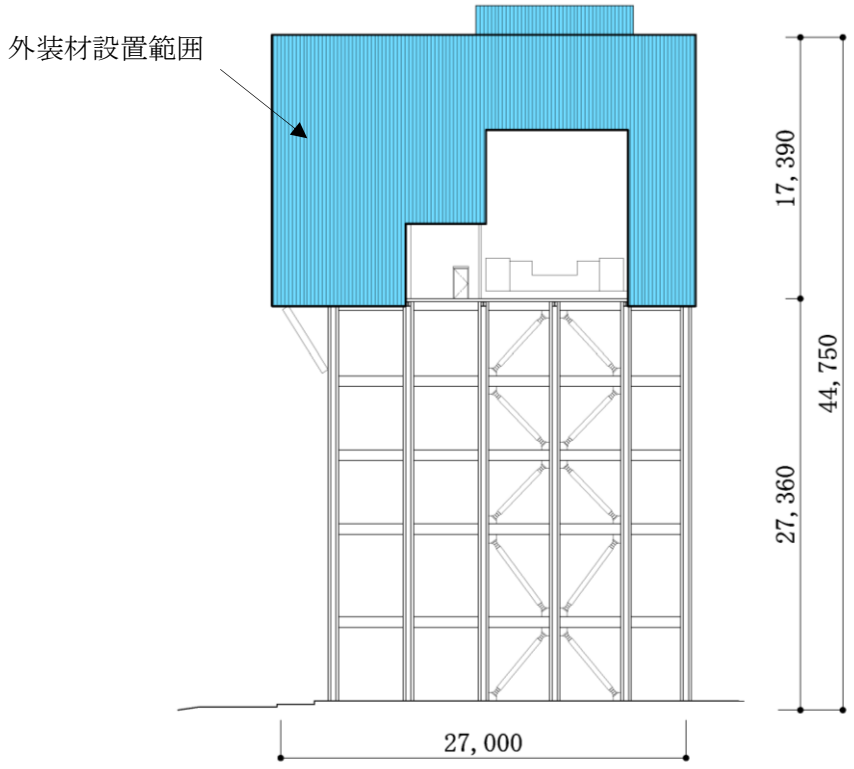


G. L. +29, 420 キープラン

図-13　オイルダンパおよび弾性支承位置図

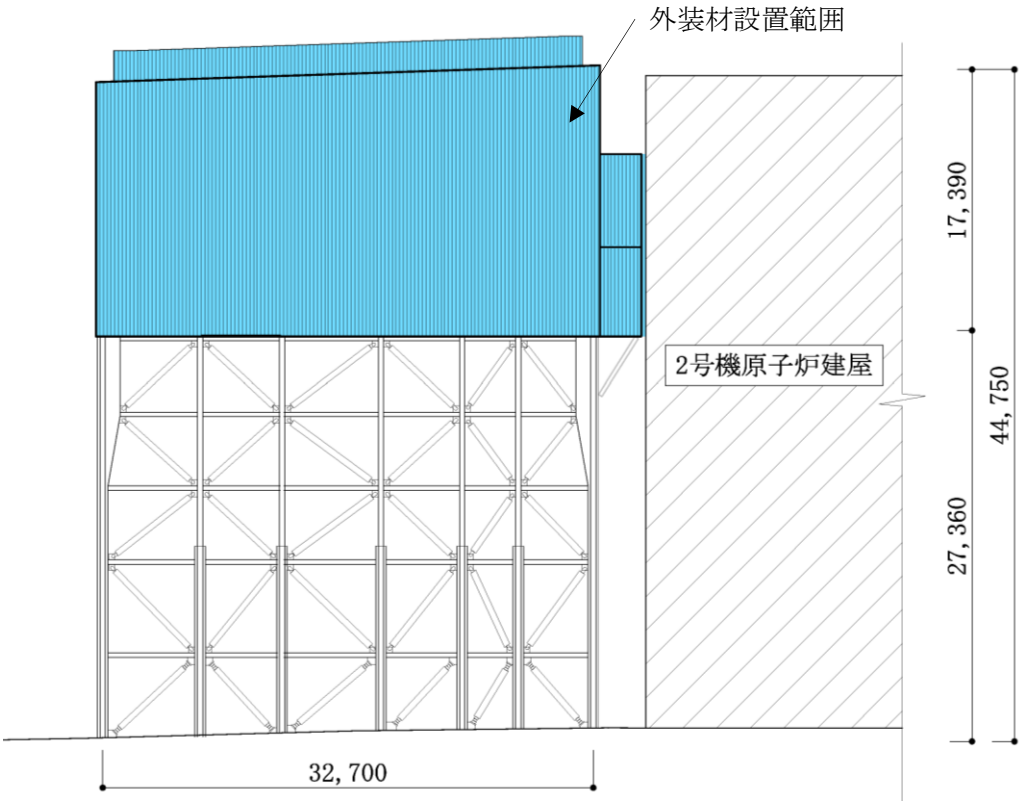


南側立面

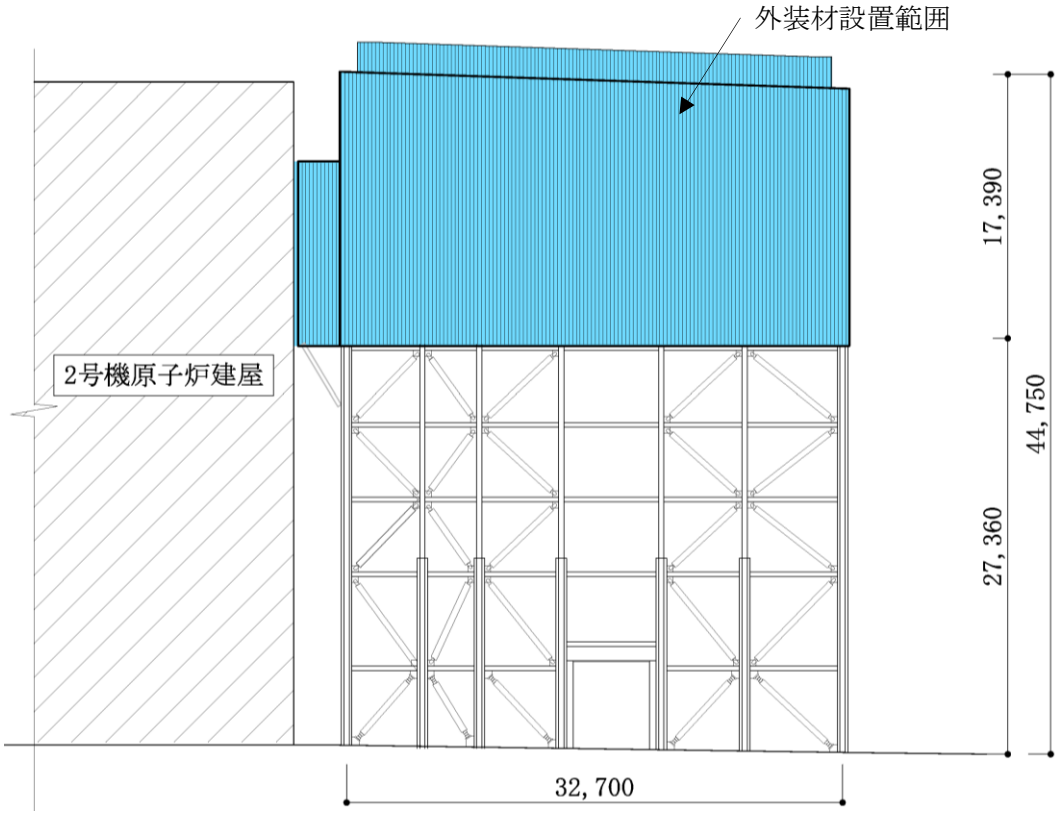


北側立面

図-14　外装材設置範囲図①

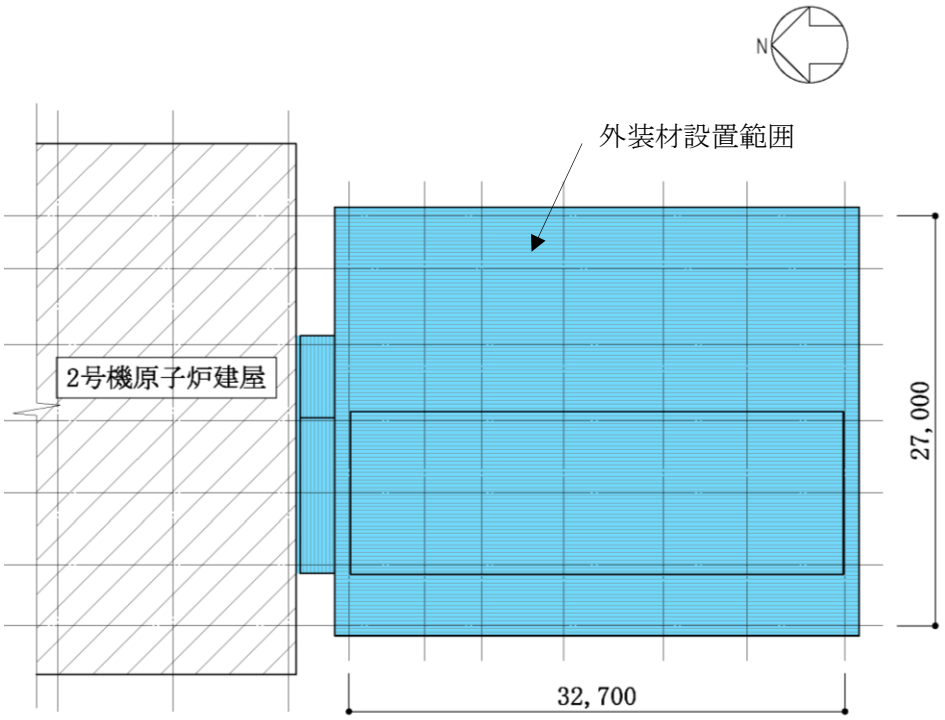


東側立面



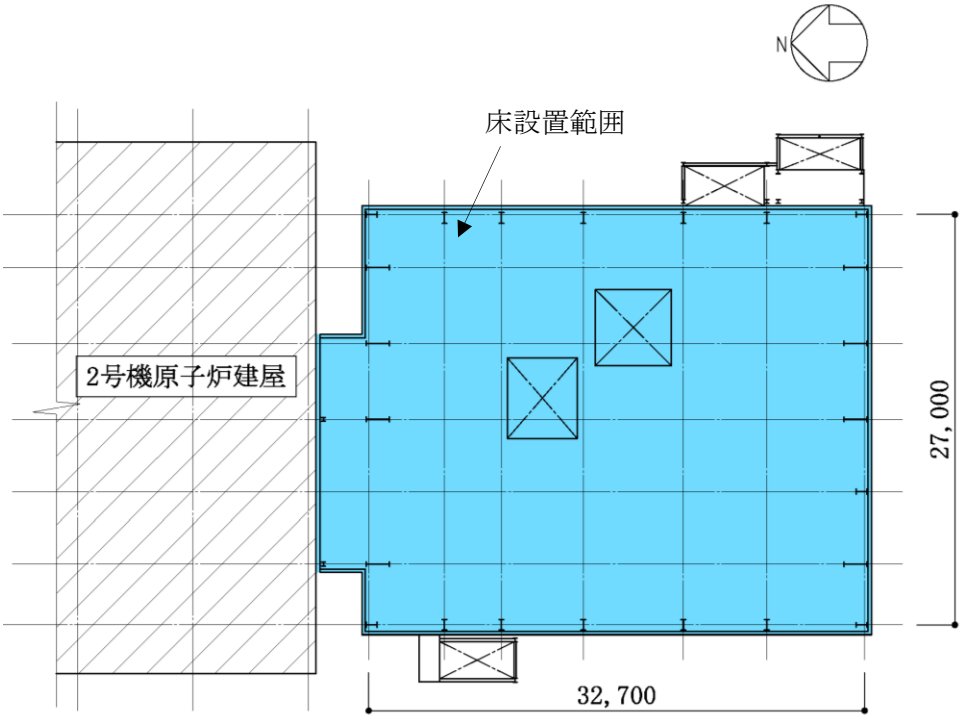
西側立面

図-15　外装材設置範囲図②



屋根伏図

図-16　外装材設置範囲図③



6F 伏図 (G.L. 29,420)

図-17　床設置範囲図

２号機原子炉建屋　オペレーティングフロア床面に設置する遮蔽体の落下防止について

1. 概要

２号機原子炉建屋内の作業環境改善のため，原子炉建屋内オペレーティングフロア床面及び壁側に遮蔽体を設置する計画としている。オペレーティングフロアに設置する遮蔽体のうち，使用済燃料プール周りに設置するものが，地震時に使用済燃料プール及び使用済燃料ラックに波及的影響を及ぼさないことを，遮蔽体の地震水平方向荷重に対する支持部材の構造強度を評価により確認する。

本資料では，地震時における使用済燃料プール周りに設置する下記遮蔽体の支持部材の構造評価の結果を示す。各遮蔽体の配置を図 1-1 に示す。

(1) 使用済燃料プール(SFP)北側遮蔽
(2) 使用済燃料プール(SFP)南側遮蔽
(3) 使用済燃料プール(SFP)東側遮蔽
(4) 使用済燃料プール(SFP)西側遮蔽

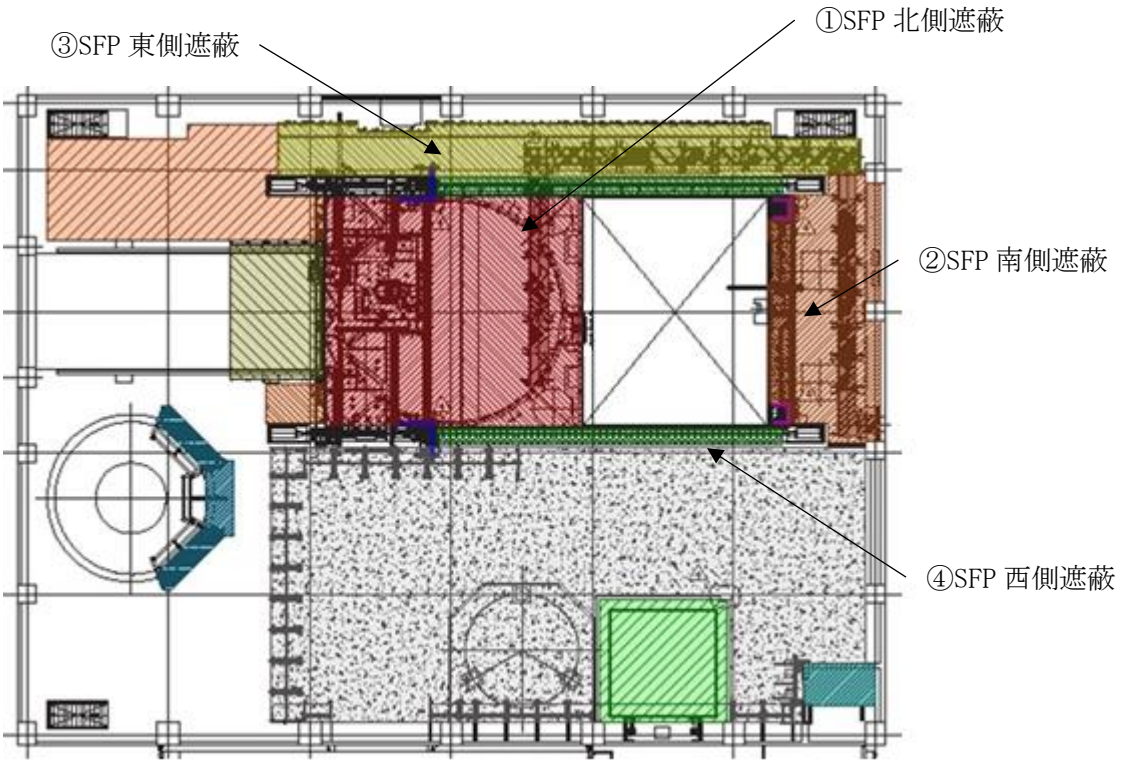


図 1-1 使用済燃料プール周りに設置する遮蔽体

2. 遮蔽体の耐震評価

2.1　評価方法

遮蔽体の耐震評価には，燃料取り出し用構台検討用モデルの地震応答解析結果のうち，原子炉建屋オペレーティングフロアの層せん断係数より保守的に設定した水平震度を用いる。解析に用いる地震動は,2波ある1/2Ss450のうち振幅の大きな検討用地震動①の1/2の地震動を用いるが，実施計画の審査期間中に適用地震動見直しが行われたことから，Ss600 に対する地震応答解析結果との比較から耐震性を確認する。(別冊２８ P104 参照) なお，1/2Ss450 を適用した場合の算出応力は，Ss600 での算出応力に包絡されている。

また，遮蔽体は原子炉建屋のオペレーティングフロア上に設置されるため，摩擦係数(μ=0.25)を考慮する。地震時水平方向荷重により支持部材に生じる応力を，JEAG4601-1987 の支持構造物の評価基準値を用いて評価する。

2.1.1　SFP 北側遮蔽

SFP 北側遮蔽の地震時水平方向荷重が D/S プールカバー支持ビームを介して D/S プール南壁と取合うブラケットに負荷されるものとしてブラケットの強度評価を行う。評価対象部を図 2-1 に示す。

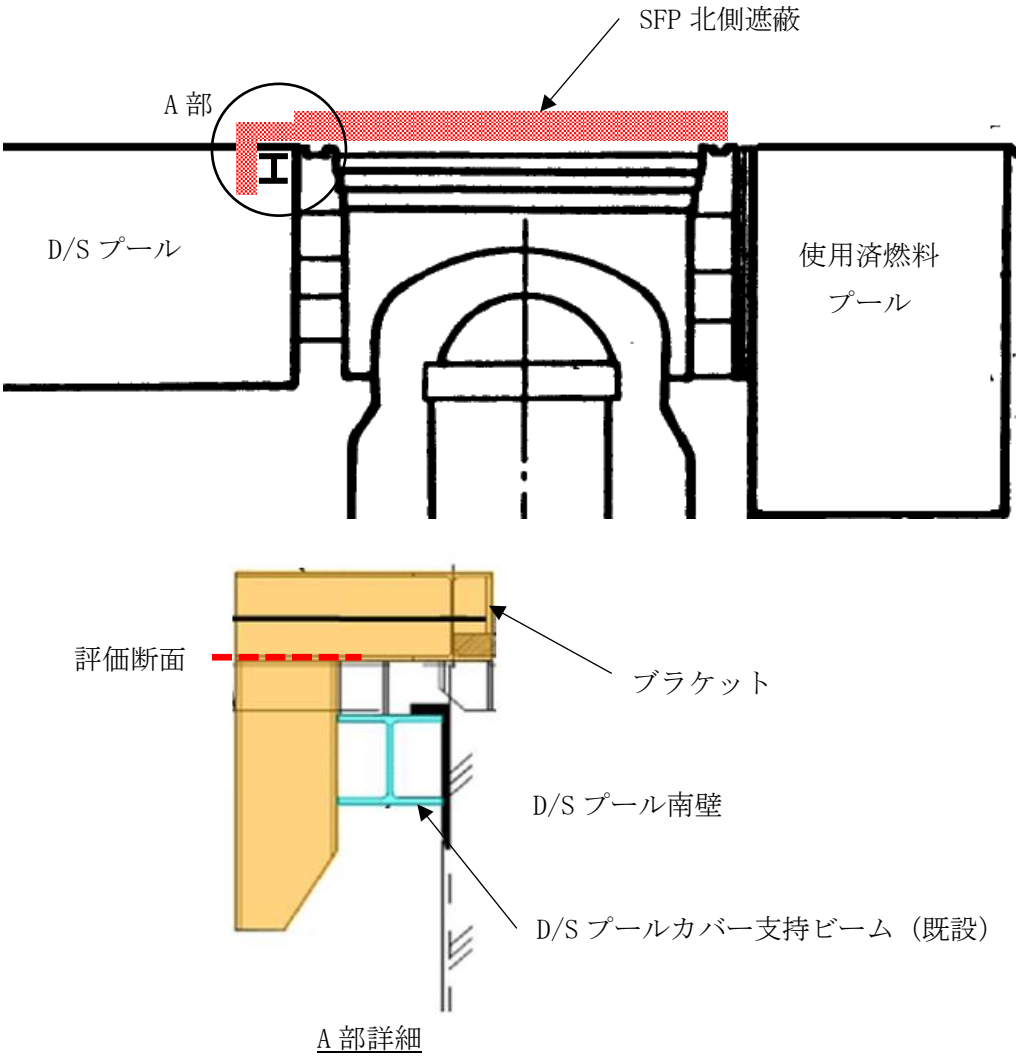


図 2-1　SFP 北側遮蔽　評価対象部

2.1.2 SFP 南側遮蔽

SFP 南側遮蔽の地震時水平荷重が，ジブクレーン及びチャンネル取扱いブームと取り合う荷重受け部材に負荷されるものとして荷重受け部材の強度評価を行う。また，SFP 南側遮蔽のうち，荷重受け部材より使用済燃料プール側に設置する遮蔽体の地震時水平荷重が，同遮蔽体の引っ掛け部材に負荷されるものとして引っ掛け部材の強度評価を行う。評価対象部を図 2-2 に示す。

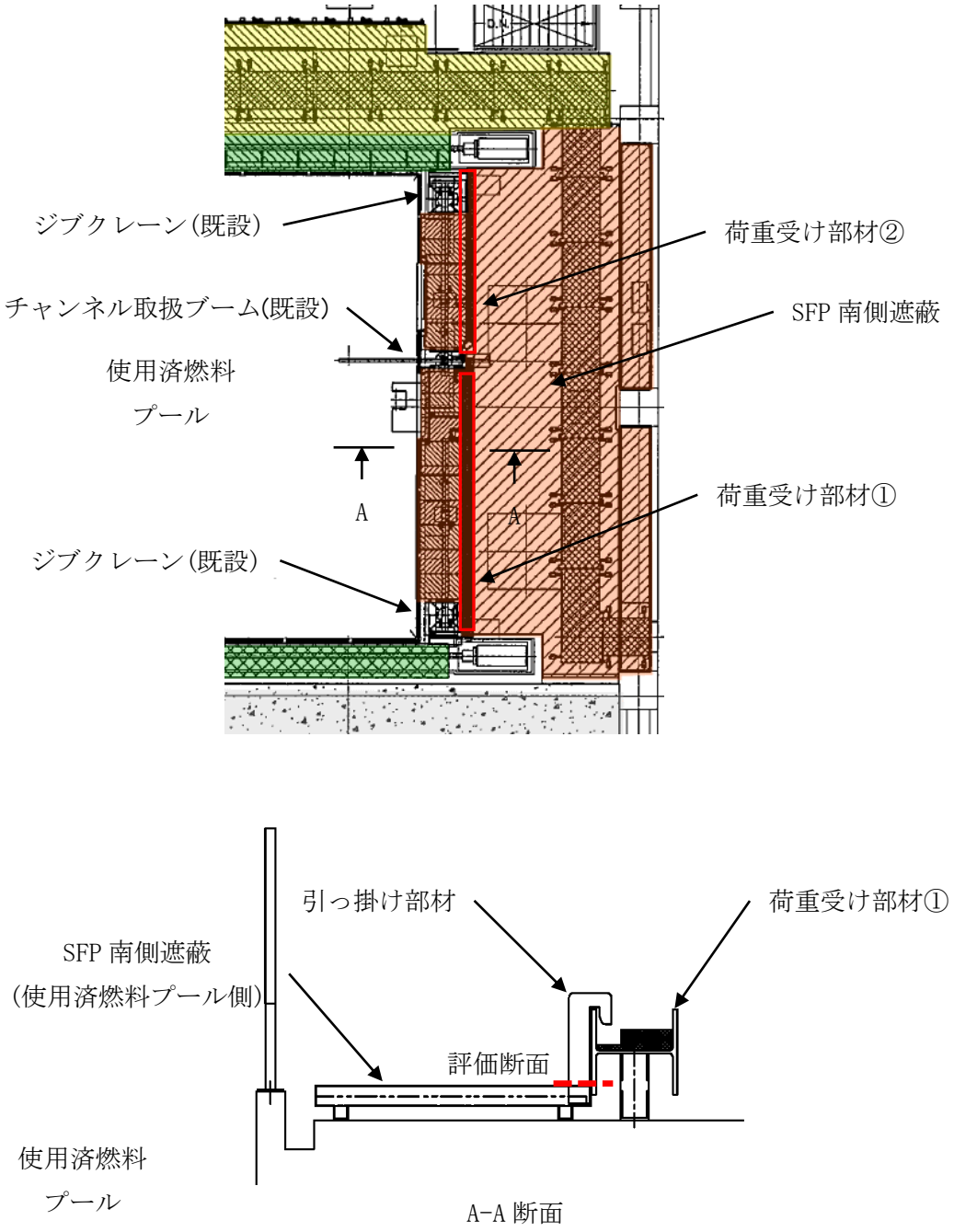


図 2-2　SFP 南側遮蔽体　評価対象部

2.1.3 SFP 東側遮蔽

SFP 東側遮蔽のうち，燃料取替機レールより使用済燃料プール側に設置する遮蔽体の地震時水平方向荷重が，同遮蔽体の引っ掛け部材及び燃料取替機レールよりプール外側に設置する遮蔽体の荷重受け部材に負荷されるものとして引っ掛け部材及び荷重受け部材の強度評価を行う。評価対象部を図 2-3 に示す。

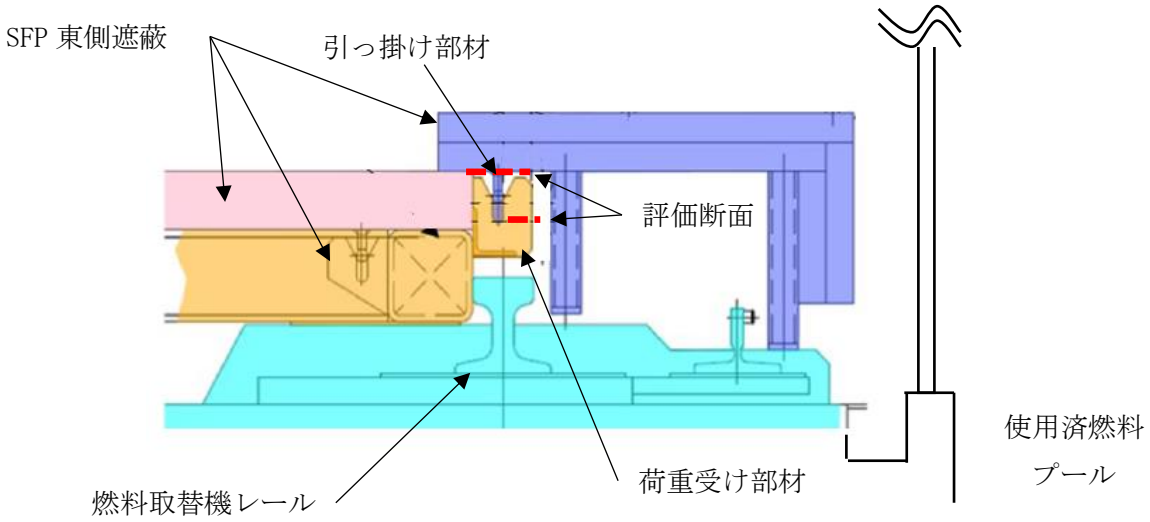


図 2-3　SFP 東側遮蔽体　評価対象部

2.1.4 SFP 西側遮蔽

SFP 西側遮蔽の地震時水平方向荷重が，燃料取替機レールと取合う荷重受け部材に負荷されるものとして，荷重受け部材の強度評価を行う。評価対象部を図 2-4 に示す。

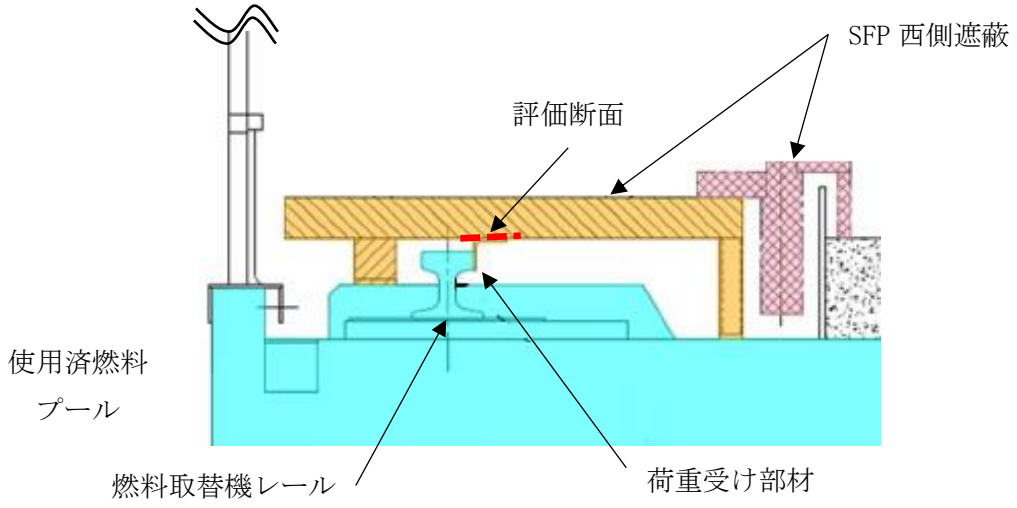


図 2-4　SFP 西側遮蔽　評価対象部

2.2　評価結果

強度評価の結果を表 2-1 に示す。使用済燃料プール周りに設置する遮蔽体について，地震時水平荷重に対して支持部材に生じる応力は許容応力を下回るため，遮蔽体が使用済燃料プールへ落下することはない。

表 2-1　遮蔽体支持部材の構造強度評価結果

部位		材質	許容応力(MPa)		算出応力 Ss600 (MPa)	算出応力 1/2Ss450 (MPa)
SFP 北側遮蔽	ブラケット	SS400	曲げ	280	146	143
			せん断	161	46	46
			組合せ	280	167	164
SFP 南側遮蔽	荷重受け部材①	SS400	曲げ	280	244	240
			せん断	161	17	17
			組合せ	280	246	242
	荷重受け部材②	SS400	曲げ	280	270	265
			せん断	161	20	19
			組合せ	280	273	268
	引っ掛け部材	SS400	曲げ	280	52	51
			せん断	161	3	3
			組合せ	280	53	52
SFP 東側遮蔽	荷重受け部材	SS400	曲げ	280	23	23
			せん断	161	6	5
			組合せ	280	26	25
	引っ掛け部材	SS400	曲げ	323	201	186
			せん断	161	13	12
			組合せ	280	203	188
SFP 西側遮蔽	荷重受け部材	SS400	曲げ	323	57	56
			せん断	161	2	2
			組合せ	280	58	57

別添－９

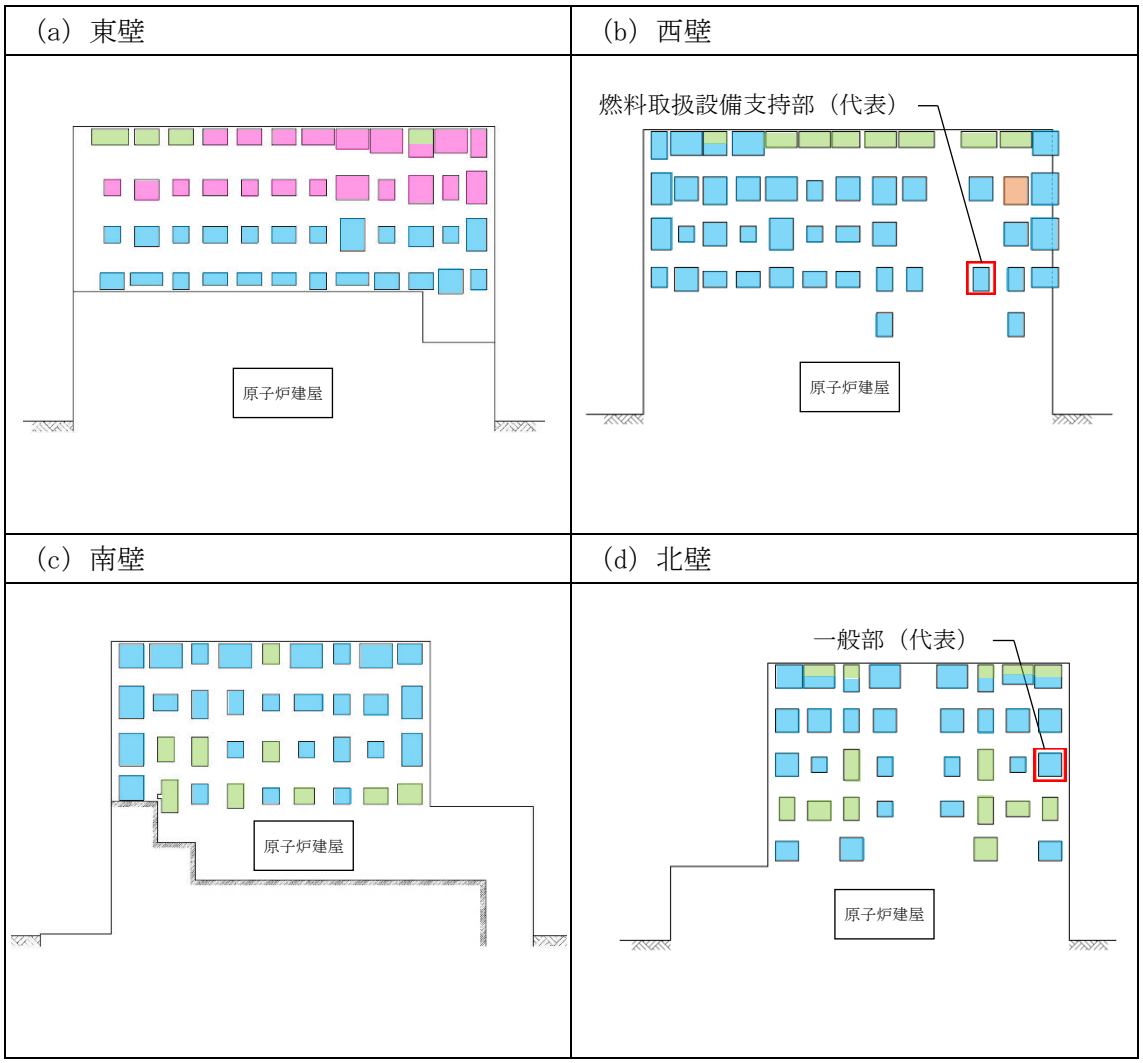
１号機大型カバーに係る確認事項

１号機大型カバーの工事に係る主要な確認項目を表－１に示す。

表－１　１号機大型カバーに係る確認項目

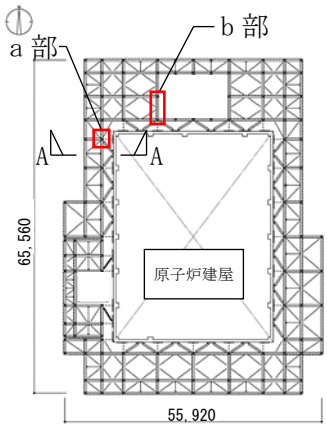
確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度および耐震性	材料確認	鋼材の材質，強度，化学成分を確認する。	JIS G 3101，JIS G 3106，JIS G 3136，JIS G 3138，JIS G 3444，JIS G 3475，JIS G 4051，JIS B 1186 又は建築基準法第 37 条第二号に基づく国土交通大臣の認定に適合すること。
		トルシア型超高力ボルト(SHTB)，トルシア型高力ボルト（HTB）及び溶融亜鉛めっき高力ボルト(12G SHTB)の仕様を確認する。	建築基準法第 37 条第二号に基づく国土交通大臣の認定に適合すること。
		アンカーボルトの材質，強度，化学成分を確認する。	JIS G 3138 に適合すること。
		外装材の仕様を確認する。	実施計画に記載されている材料諸元に適合することを，検査証明書，出荷証明書又はメーカー技術資料により確認する。
	据付確認	アンカーボルトの埋め込み長さを確認する。	アンカーボルトの有効埋め込み長さが図－１の通りであり，かつボルトの余長はナット面から突き出た長さが 3 山以上であること。
		接合部の施工状況を確認する。	高力ボルトの本数・種類が図－２の通りであること。
		外装材の施工状況を確認する。	外装材の範囲が図－３の通りであること。

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度および耐震性	機能検査（外観検査）	大型カバーの外観を確認する。	機能に影響を及ぼす有意な欠陥がないこと。

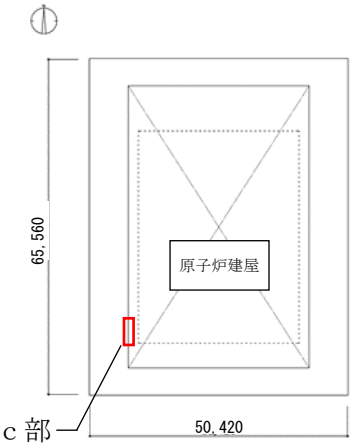


図－１　アンカーボルト詳細

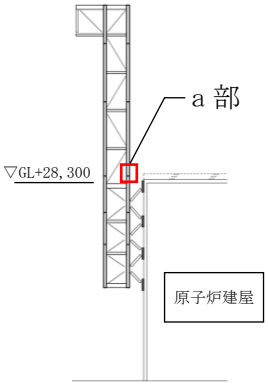
（単位：mm）



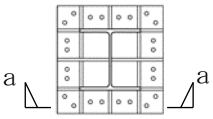
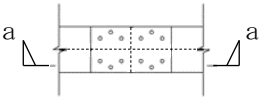
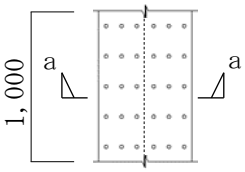
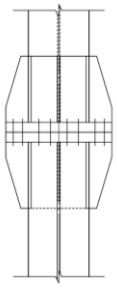
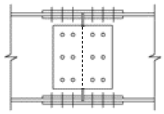
G. L. +28,300 キープラン



G. L. +53,900 キープラン

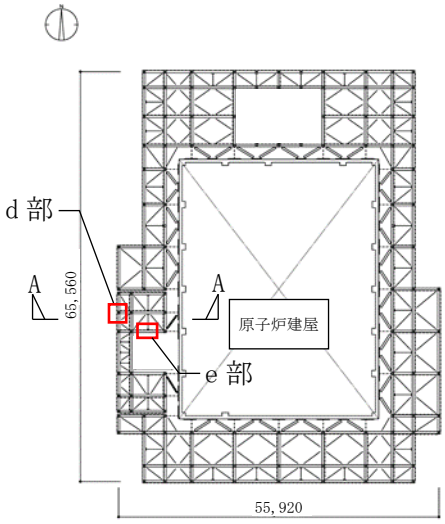


A-A 断面キープラン

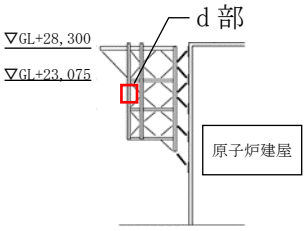
(a) 柱　材	(b) 梁　材	(c) 鋼　板
 断面図	 断面図	 断面図
 a-a 矢視図	 a-a 矢視図	 a-a 矢視図
ボルト種類：SHTB M24 本　数：24 本	ボルト種類：SHTB M24 本　数：18 本×2	ボルト種類：HTB M22 本　数：15 本×2 @1,000mm

図－２（１）　一般部接合部詳細

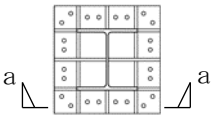
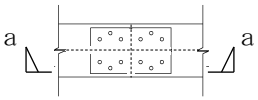
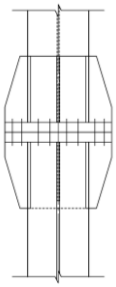
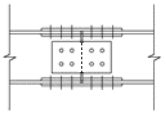
（単位：mm）



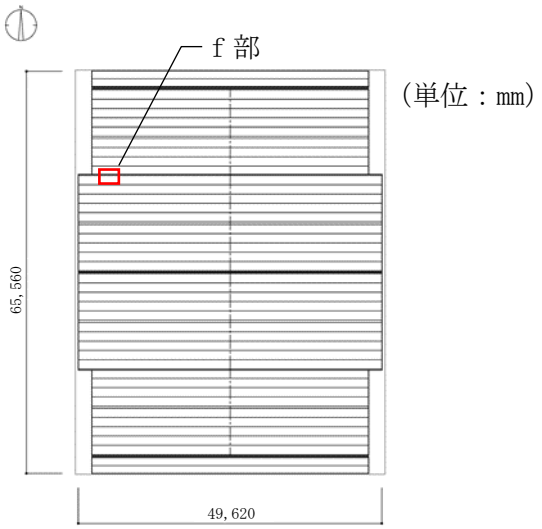
G.L.+23,075 キープラン



A-A 断面キープラン

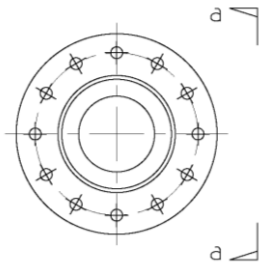
(d) 柱　材	(e) 梁　材
 断面図	 断面図
 a-a 矢視図	 a-a 矢視図
ボルト種類：SHTB M24 本　数：24 本	ボルト種類：SHTB M24 本　数：16 本×2

図－２（２）　燃料取扱設備支持部接合部詳細

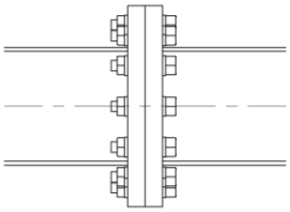


屋根伏図

(f) 弦　材



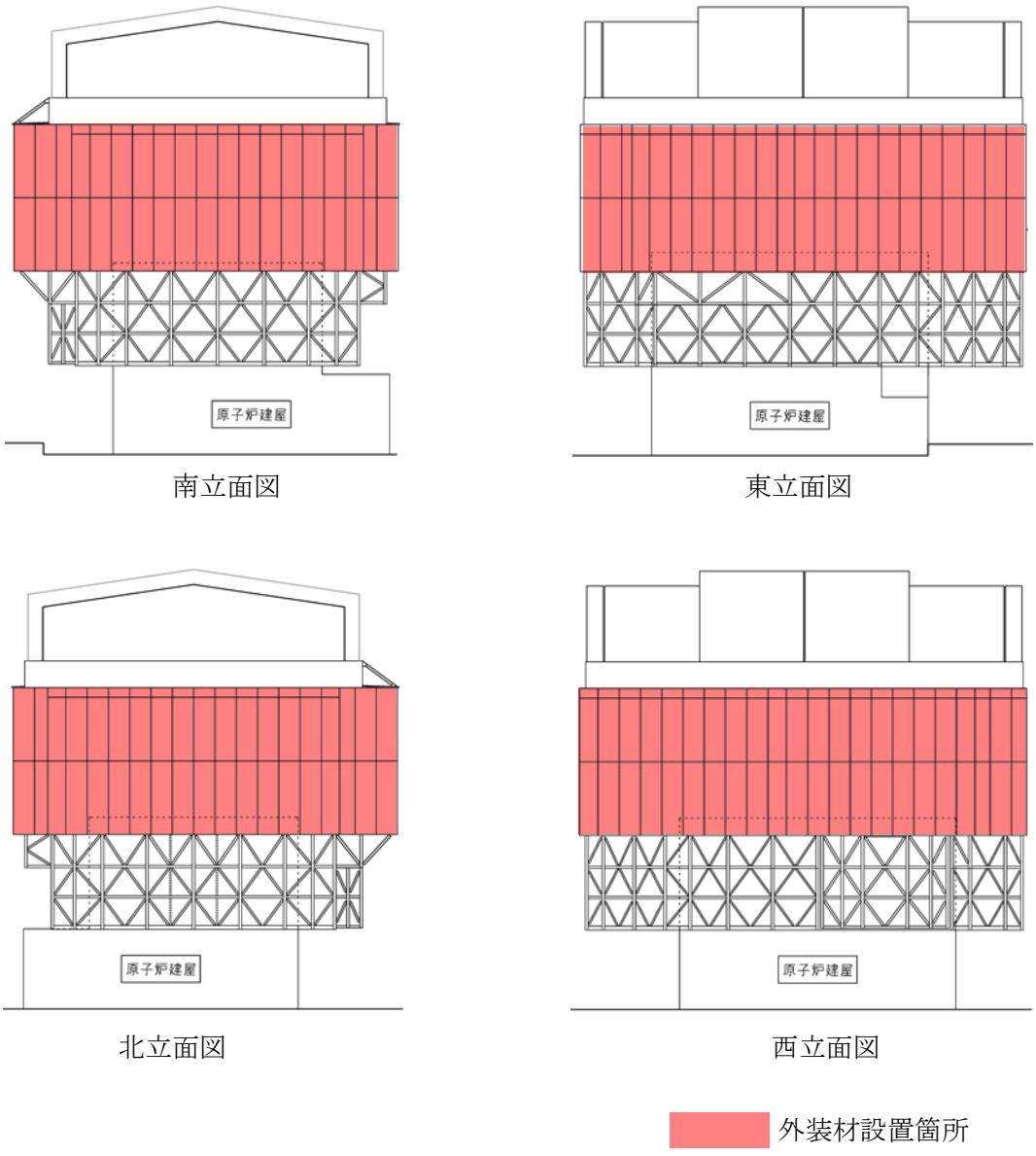
断面図



a-a 矢視図

ボルト種類：12G SHTB M20
本　数：12 本

図－２（３）　屋根部接合部詳細



図－３　外装材設置範囲図

別添－１０

水平2方向及び鉛直方向地震力の同時入力時に用いる模擬地震波について

1. はじめに

水平2方向及び鉛直方向地震力の同時入力による検討を行う際に，Ss900-1を用いている。

この際，水平1方向にはSs900-1を用いるが，その直交方向にはSs900-1とは位相の異なる模擬地震波を用いる。

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の同時入力による検討において，全く同じ地震動が同時に水平2方向に入力されることは現実的に考えにくいことから，Ss900-1を作成した方法と同一の方法で，目標とする応答スペクトルに適合する模擬地震波を利用する。

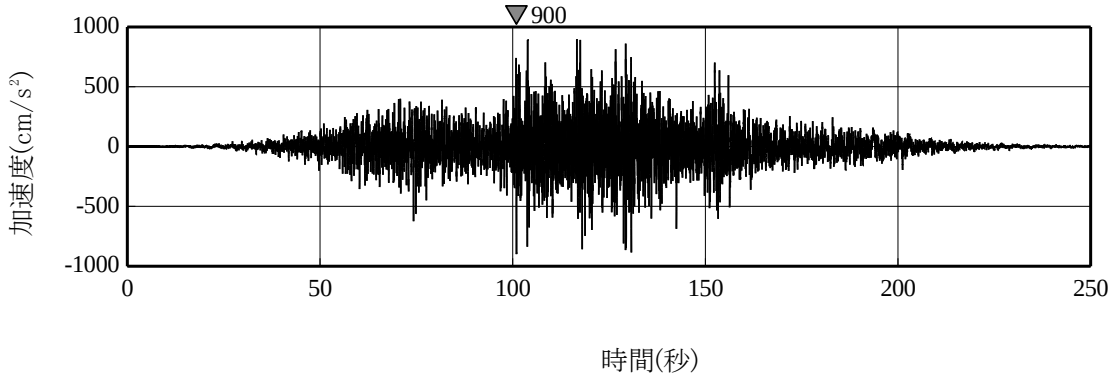
2. 模擬地震波の作成方針

応答スペクトル法に基づく手法による Ss900-1 については，水平方向の地震動に方向性がないことから，水平2方向及び鉛直方向地震力の同時入力による検討を行う場合，水平2方向のうち1方向について模擬地震波を作成し入力する方法が考えられる。

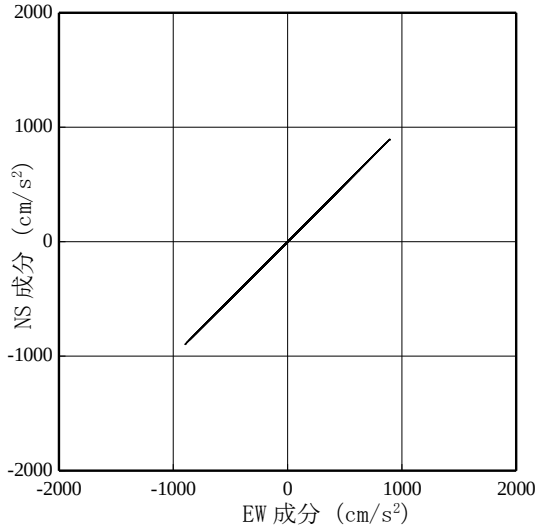
Ss900-1 の位相は，2011 年東北地方太平洋沖地震において福島第一原子力発電所内の地震観測記録の NS 方向の位相を基に模擬地震波を作成している。そこで組み合わせる地震動は，同一の方法で NS 方向と直交する EW 方向の位相を基に作成した模擬地震波とする。

2.1 敷地で得られた観測記録による確認

自由地盤観測点における，2011年東北地方太平洋沖地震（以下，3.11地震），2021年2月13日の福島県沖の地震（以下，2.13地震）及び2022年3月16日の福島県沖の地震（以下，3.16地震）の観測記録から，当該サイトにおいて，水平2方向の地震波で位相差が生じる傾向を確認した。確認の方法として，Ss900-1を同時に水平2方向に入力したオービット（図 2.1-1）と，観測記録の水平2方向のオービット（図 2.1-2，図 2.1-3，図 2.1-4）との比較を行った。図2.2-1から，全く同じ地震動を同時に水平2方向に入力した場合，オービットは現実的に考えにくい 45° 方向に直線的な軌跡を示す。一方，図 2.1-2，図 2.1-3及び図 2.1-4より観測記録ではオービットは位相差によって生じるランダムな軌跡を示すことを確認した。

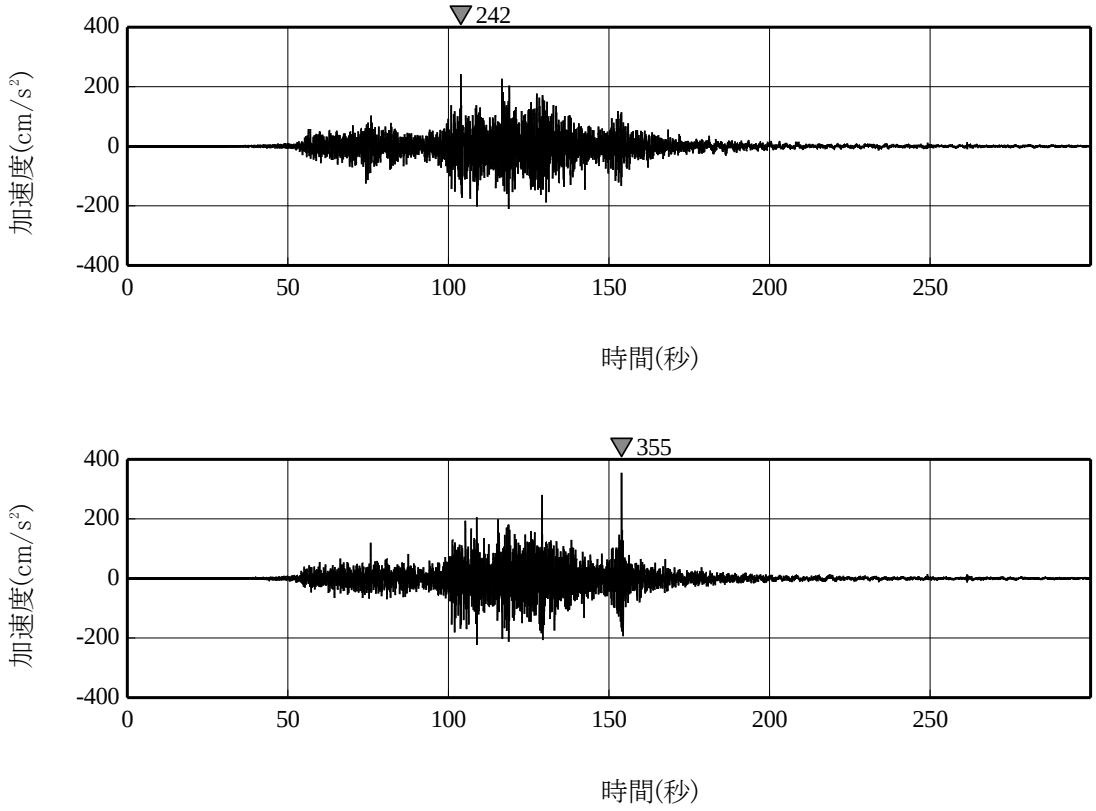


(a)　加速度時刻歴波形

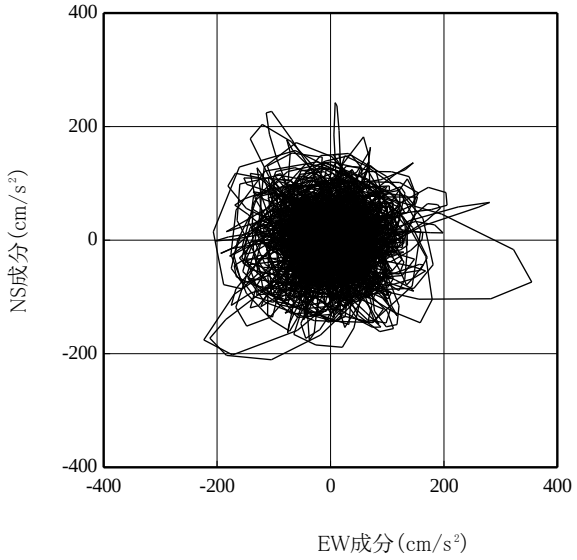


(b)　水平 2 方向の加速度成分のオービット

図 2.1-1　Ss900-1

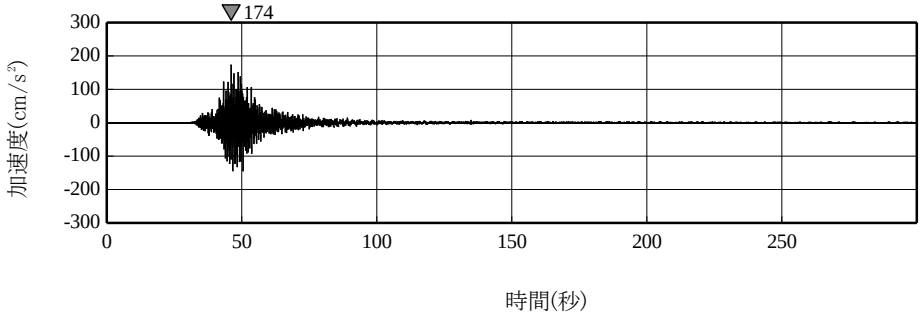


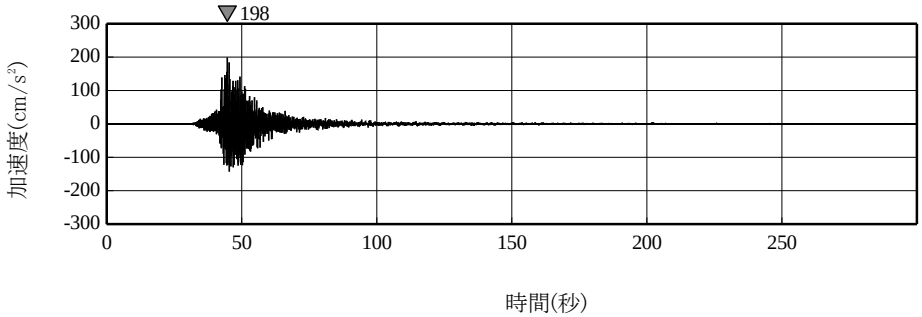
(a)　加速度時刻歴波形



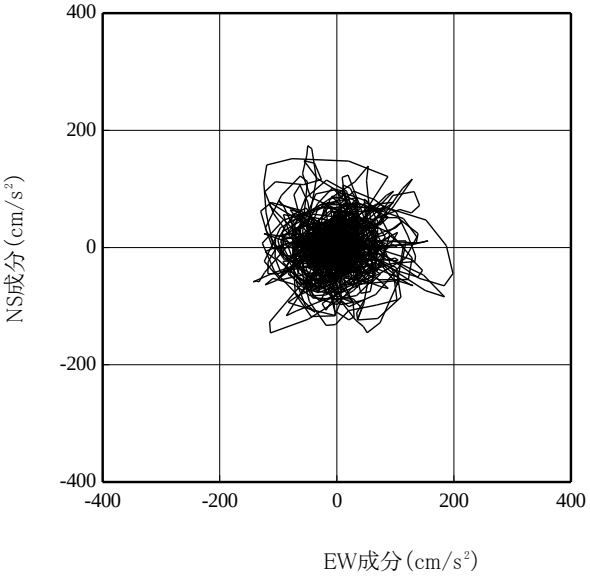
(b)　水平 2 方向の加速度成分のオービット

図 2.1-2　3.11 地震観測記録（自由地盤観測点）



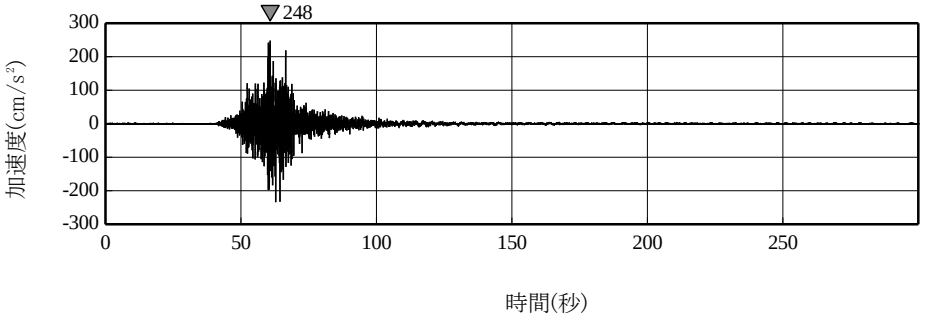


(a)　加速度時刻歴波形

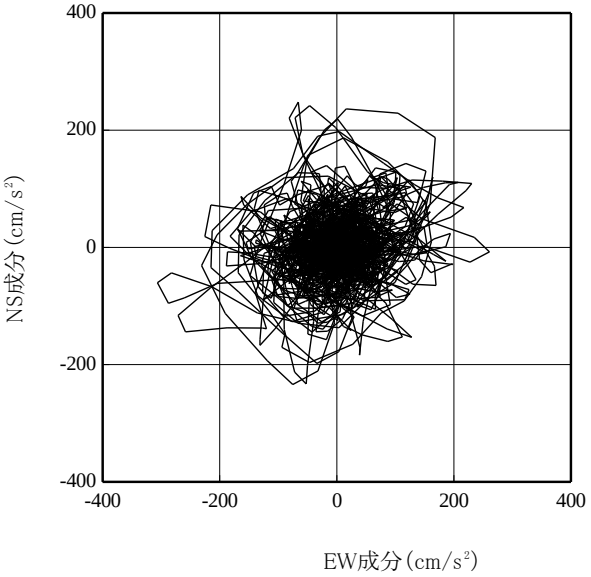


(b)　水平 2 方向の加速度成分のオービット

図 2.1-3　2.13 地震観測記録（自由地盤観測点）



(a)　加速度時刻歴波形

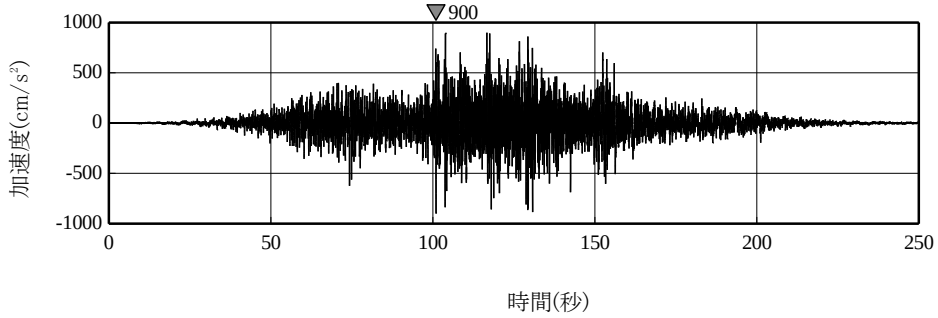


(b)　水平 2 方向の加速度成分のオービット

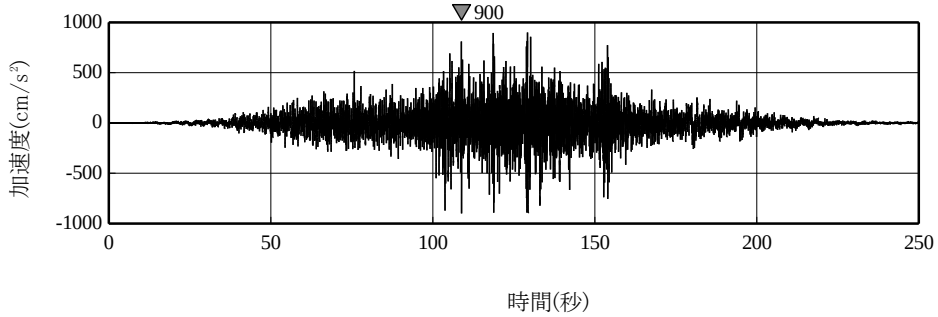
図 2.1-4　3.16 の福島県沖の地震観測記録（自由地盤観測点）

3. 位相特性の異なる模擬地震波の作成結果

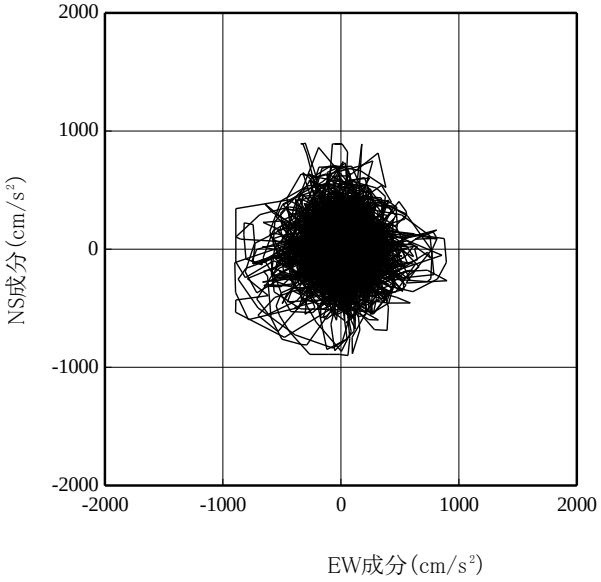
Ss900-1 及び Ss900-1 と組み合わせる模擬地震波の加速度時刻歴波形及びそれぞれの地震波を 2 方向入力した場合のオービット及び応答スペクトルを図 2.1-5 に示す。



(a)　Ss900-1 の加速度時刻歴波形

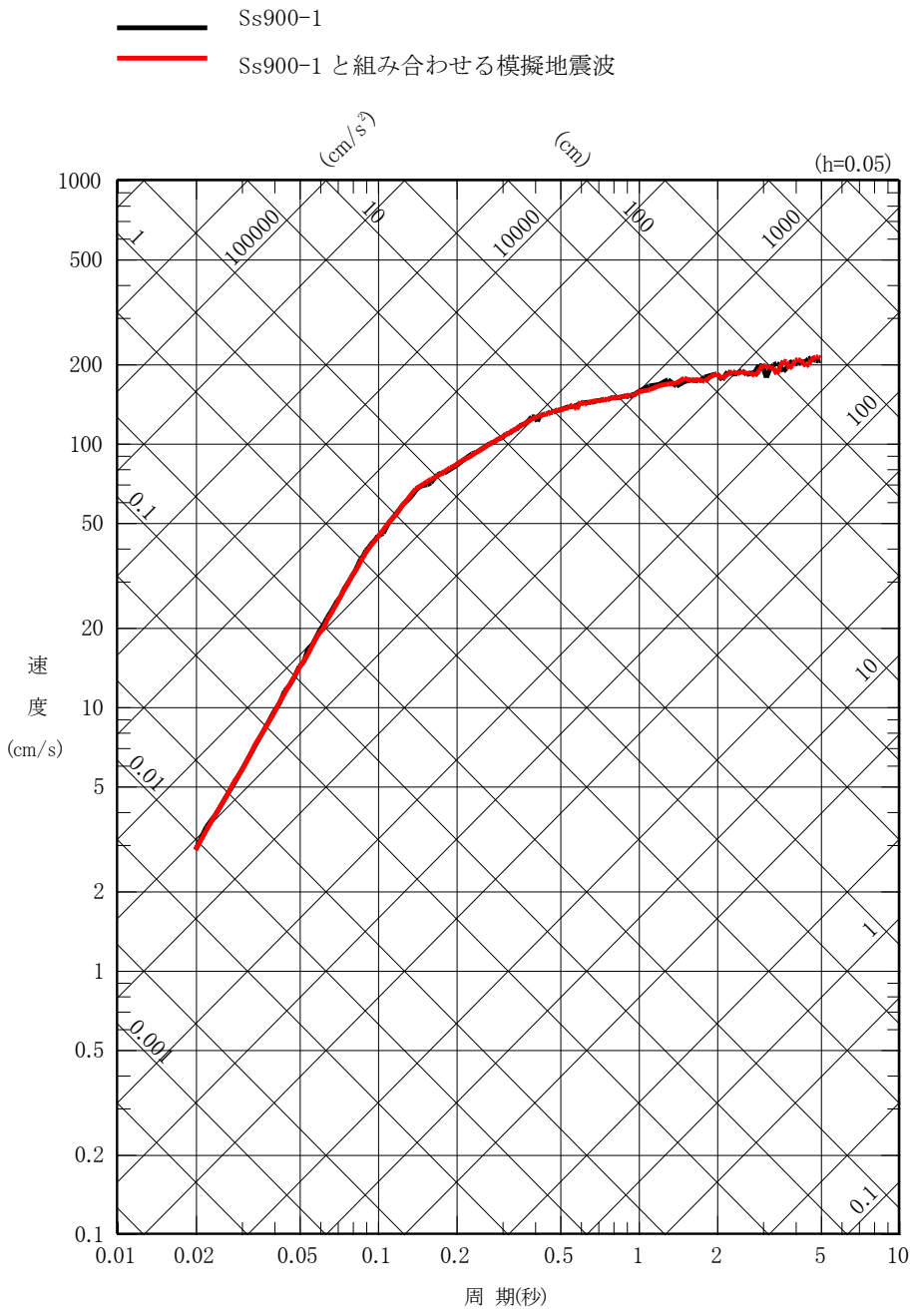


(b)　Ss900-1 と組み合わせる模擬地震波の加速度時刻歴波形



(c)水平 2 方向の加速度成分のオービット

図 2.1-5　Ss900-1(1/2)



(d)　水平 2 方向の地震動の応答スペクトル

図 2.1-5　Ss900-1 (2/2)

１号機燃料取り出し用カバーの構造強度及び耐震性に関する補足説明

1.　１号機燃料取り出し用カバーの構造強度及び耐震性に関する補足説明

1.1　はじめに

本書は，Ⅱ.2.11 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備のうち，1 号機燃料取り出し用カバーの構造強度及び耐震性について補足するものである。

1.2　補足説明

1.2.1　Ss900 解析モデルの補足説明

建屋質点系モデルの脚部には，Ss900 地震により算定した等価地盤物性に基づくスウェイロッキングばねおよび側面地盤 Novak ばねを設けている。質点系モデルの軸方向は弾性とし，曲げとせん断に「JEAG4601-1991」に示されている非線形特性を考慮する。

3 方向同時入力を実施していることから，誘発上下動は本モデルで考慮されている。

大型カバーの地震応答解析モデルにおけるカバー架構と原子炉建屋の接合部については，アンカーボルトで接続していることを考慮してモデル化している。

大型カバーと原子炉建屋を接続するアンカーボルトは，発生するせん断力が大きいことから，せん断力が生じる水平方向及び鉛直方向はバイリニアのばね要素として評価する。一方で，面外方向は発生する応力が小さいことから，剛要素として評価する。

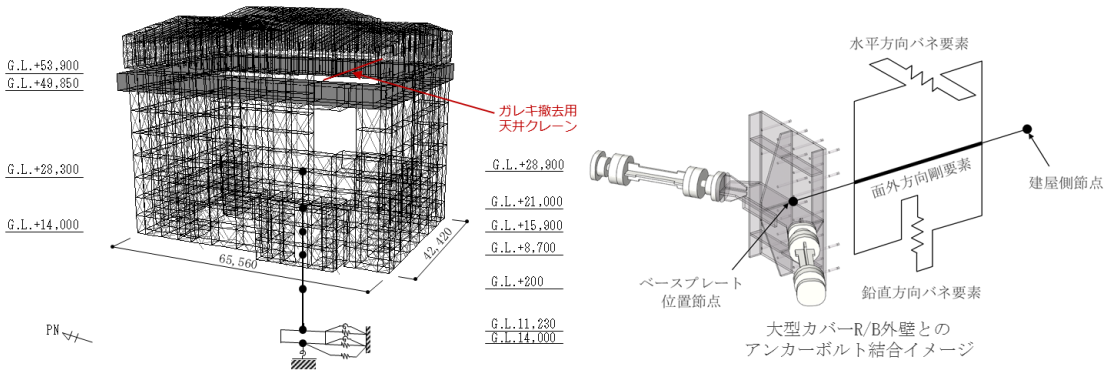


図 1.2.1-1　解析モデル

1.2.2　接合部の設計方法に関する補足説明

大型カバーのカバー架構の接合部については，柱・梁及びブレース等 共通で，降伏強度が十分確保されるよう以下の設計方法としている。

・　ボルト本数

ボルト欠損を考慮しない母材全断面の降伏強度が確保されるよう，ボルトの短期許容で必要本数を算出している。

・　ガセットほか

母材全断面の降伏強度が確保されるよう，保有耐力接合条件（安全率 α＝1.2）を満足していることを確認している。

1.2.3　Ss900 接合部のモデル化に関する補足説明

本形式のアンカーボルトは，アンカーボルトに大きなせん断力が作用するため，せん断終局強度の 75%に達すると固定度が低下するバイリニア型ばねで建屋と結合するモデルとする。なお，初期剛性はアンカーボルトの芯材のみを考慮する。

アンカーボルトのバイリニア型ばねのモデルと，参考までに今回行ったせん断実験の荷重-変位関係も併せて示す。

引張力，せん断力の組合せ応力に対して，ミーゼスの降伏条件から

$$\sigma^2 + 3\tau^2 \leqq \sigma_y^2$$

$$\Rightarrow \left(\frac{A\sigma}{A\sigma_y}\right)^2+\left(\frac{A\tau}{A\sigma_y/\sqrt{3}}\right)^2 \leqq 1$$

$$\therefore \left(\frac{P}{P_u}\right)^2+\left(\frac{Q}{Q_u}\right)^2 \leqq 1$$

A　：アンカーボルトの断面積（mm²）

Pu　：アンカーボルトの終局引張耐力（kN）

Qu　：アンカーボルトの終局せん断耐力（kN）

P　：アンカーボルトの引張力（kN）

Q　：アンカーボルトのせん断力（kN）

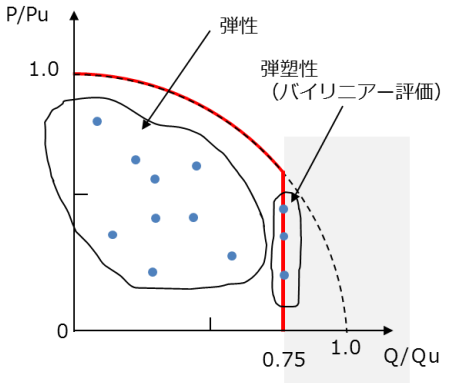


図 1.2.3-1　バイリニア評価の概要

せん断終局強度の 75%を制限値とした評価としていることから，

$$\frac{Q}{Q_u} \leqq 0.75$$

バイリニア評価した検定値は，上図の$\frac{Q}{Q_u}=0.75$の直線上にあり，弾性範囲内の検定値は全て上図の赤線内側の範囲に収まっている。

設計強度に対してひび割れの有無に関わらず，20%以上の裕度（23%～53%）を実験から確認でき，これは過去のセメフォースアンカーのせん断試験結果と同様である。

せん断実験結果（荷重変位関係）より設計強度の 75%程度において，せん断剛性がやや低下している。

従って，設計強度の 75%程度でアンカーに作用する応力は頭打ちとなり，応力再配分が行われ，地震による慣性力と釣り合うと考え，せん断力の制限値を 75%とした。

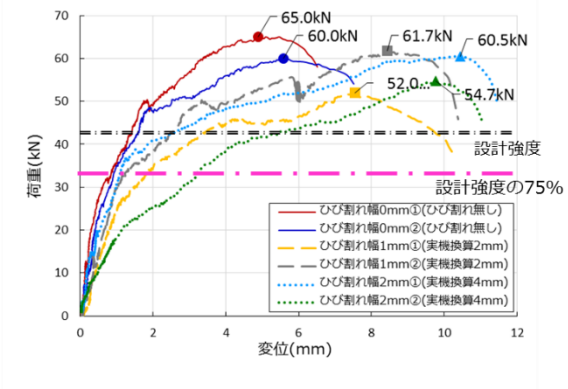


図 1.2.3-2　せん断実験結果（荷重変位関係）

アンカーボルトのせん断終局強度の 75%を制限値とせずに，評価を実施した結果を下表に示す。

実験によって得られた剛性により評価した結果，最大検定比は最大でも 1.17 であり，先に実施した実験における裕度（23%～53%）に収まることから制限値を考慮しない場合であってもアンカーは損傷に至らない。

表 1.2.3-1　せん断強度の制限による評価結果

		せん断耐力に対する検定比		
		0.75以上 1.0未満のBPL箇所数	1.0以上のBPL箇所数	最大検定比
せん断終局強度を制限する	ガレキ撤去時	なし	なし	0.75
	燃料取り出し時	なし	なし	0.75
せん断終局強度を制限しない	ガレキ撤去時	54箇所※	4箇所※	1.08
	燃料取り出し時	58箇所※	7箇所※	1.17

※ベースプレート全 168 箇所に対する箇所数

アンカー部の剛性について，アンカー実験の剛性値を初期剛性としたケースについて，パラスタを実施した。

最大層間変形角は1/30を超えないことを表 1.2.3-2，表 1.2.3-3により確認するとともに，基本ケースと大きな違いなく，大型カバー全体の応答への影響がないことを確認した。

表 1.2.3-2　最大応答層間変形角（ガレキ撤去時）

方向	地震条件	検討箇所	最大層間変形角	許容限界	判定
南北方向	Ss900 (+NS+EW+UD)	G.L.+53.9(m) ～+28.3(m) h=25.6(m)	1/83	1/30	O.K.
東西方向	Ss900 (+NS+EW+UD)	G.L.+53.9(m) ～+28.3(m) h=25.6(m)	1/82	1/30	O.K.

表 1.2.3-3　最大応答層間変形角（燃料取り出し時時）

方向	地震条件	検討箇所	最大層間変形角	許容限界	判定
南北方向	Ss900 (+NS+EW+UD)	G.L.+53.9(m) ～+28.3(m) h=25.6(m)	1/83	1/30	O.K.
東西方向	Ss900 (+NS+EW+UD)	G.L.+53.9(m) ～+28.3(m) h=25.6(m)	1/82	1/30	O.K.

アンカーボルト部における検定比は下表に示す通りとなり，大型カバーの構造成立性に影響を与えるものではない。

表 1.2.3-4　アンカーボルト検討結果（一般部，ガレキ撤去時）

部位 （アンカー本数）	地震条件		最大反力		終局強度		耐力比	判定
			引張力 (kN)	せん断力 (kN)	引張 (kN)	せん断 (kN)		
アンカーボルト (20)	Ss900	+NS+EW+UD	2726	2895	5620	3860	0.82	O.K.

表 1.2.3-5　アンカーボルト検討結果（一般部，燃料取り出し時）

部位 （アンカー本数）	地震条件		最大反力		終局強度		耐力比	判定
			引張力 (kN)	せん断力 (kN)	引張 (kN)	せん断 (kN)		
アンカーボルト (36)	Ss900	+NS+EW+UD	3456	5211	7128	6948	0.82	O.K.

表 1.2.3-6　アンカーボルト検討結果（燃料取扱設備支持部，ガレキ撤去時）

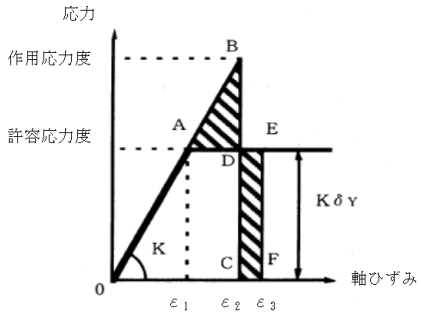
部位 （アンカー本数）	地震条件		最大反力		終局強度		耐力比	判定
			引張力 (kN)	せん断力 (kN)	引張 (kN)	せん断 (kN)		
アンカーボルト (16)	Ss900	+NS+EW+UD	1427	1837	4448	3088	0.60	O.K.

表 1.2.3-7　アンカーボルト検討結果（燃料取扱設備支持部，燃料取り出し時）

部位 （アンカー本数）	地震条件		最大反力		終局強度		耐力比	判定
			引張力 (kN)	せん断力 (kN)	引張 (kN)	せん断 (kN)		
アンカーボルト (32)	Ss900	+NS+EW+UD	5988	4094	8576	6176	0.94	O.K.

1.2.4　エネルギー一定則に関する補足説明

一部の部材の弾性応答値が弾性限界強度をわずかに上回った場合，周辺の弾性応答部材への応力再配分が期待できるため，エネルギー一定則の考え方に基づき相当する塑性率を算定する。



エネルギー一定則を利用して，塑性率をε3/ε1（エネルギー一定則を利用した軸ひずみ/許容応力度における軸ひずみ）により算出し，許容値以下となることを確認する。

図 1.2.4-1　部材の応力―ひずみ関係

柱及び梁の弾性部材のうち，検定比が 1 を超える部材は図に示すとおり，全体の 1%程度とごくわずかである。このため，カバー全体の変形に影響を与えるほど柱，梁は塑性化しておらず，カバーの層間変形角に影響を与えるものではない。

また，塑性化を許容しているブレース材のうち，塑性率が 5 を超える部材は図に示すとおり，全体の 4%程度である。このため，カバー全体の変形に影響を与えるほど塑性化していない。

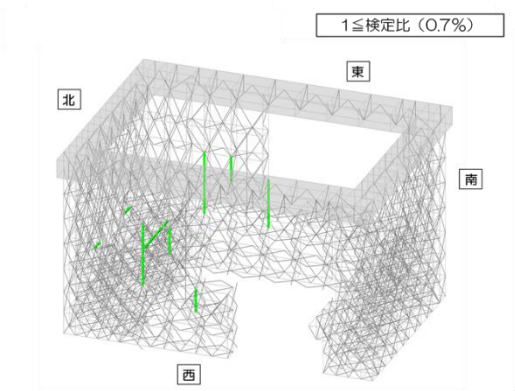


図 1.2.4-2
柱梁部材検定比 1 を超える割合図

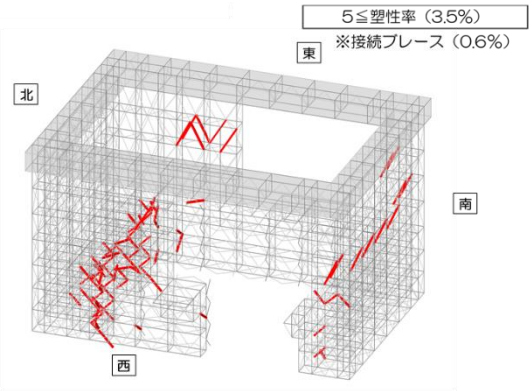


図 1.2.4-3
ブレース材塑性率 5 を超える割合図

1.2.5　破断寿命評価に関する補足説明

対象部材に対して，応答解析より求まる最大等価軸ひずみ（設定歪振幅）を算定する。

対象部材の最大等価軸ひずみに対応する鋼材の破断寿命を中込ほか[1]より算出し，これを評価基準とする。

対象部材の軸ひずみ時刻歴波形より，降伏ひずみ及び座屈ひずみを超え，勾配の正負が切り替わる全点（波形のピーク）を数え上げ，それを繰り返し回数とする。

ガレキ撤去時の破断寿命に対する繰り返し回数の算定を示す。

表 1.2.5-1　破断寿命に対する繰り返し回数の算定（ガレキ撤去時）

部位 （使用部材）	部材	最大等価 軸ひずみ ε_{max}（$\times 10^{-3}$）	応答による 繰返し回数※1 ni	評価基準※2 （破断寿命） Np	ni Np	判定
接続部ブレース 十字PL-210x28(SN490B)	鉛直ブレース	1.49	197	544	0.37	OK

※1：対象部材の軸ひずみ時刻歴波形をカウントする。
※2：最大等価軸ひずみ（設定ひずみ振幅）に対応する鋼材の破断寿命を引用文献より算定する（参考表）。破断寿命は，参考表　の設定ひずみより求める。

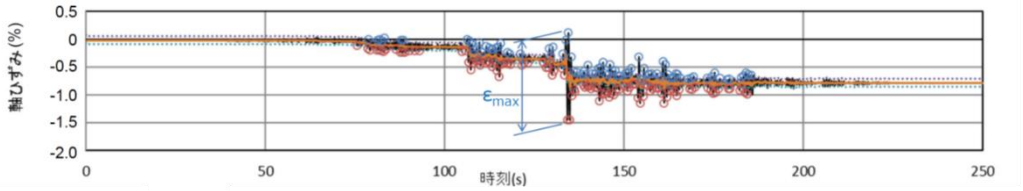


図 1.2.5-1　軸ひずみ時刻歴波形

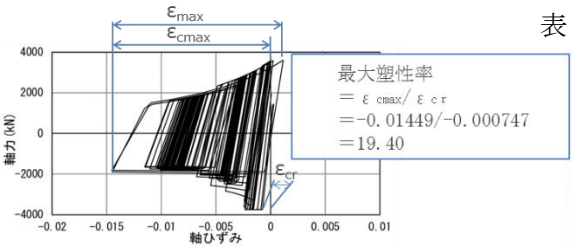


表 1.2.5-2 設定ひずみ振幅と疲労寿命

設定歪振幅	亀裂発生寿命	破断寿命
10.00%	3	1.8×10
7.00%	1.0×10	3.9×10
5.00%	2.6×10	6.7×10
3.50%	3.5×10	1.02×10^{2}
2.00%	1.70×10^{2}	2.99×10^{2}
1.00%	4.40×10^{2}	9.66×10^{2}
0.90%	8.00×10^{2}	1.29×10^{3}
0.70%	1.45×10^{3}	2.76×10^{3}

図 1.2.5-2　軸ひずみ—軸力時刻歴

[1]［中込他，繰返し力を受ける SM490 鋼の疲労性に関する研究，1995 年 3 月］

1.2.6　屋根の補足説明

大型カバーの屋根は可動式とし，通常時は動かないように固定ピンで固定する。屋根を開閉する際は，固定ピンを外し南北方向に動かす。この際，逸走防止受けが落下防止材として働くことにより屋根の落下を防止する。

移動時など，逸走防止と固結（固定ピンが挿入されていない）されていなかった場合に，逸走防止受け自体が落下防止材として働くようにする。

片側の逸走防止受け柱脚（片側８箇所）に作用するせん断力は，柱脚アンカーボルトのせん断耐力以下となっている。

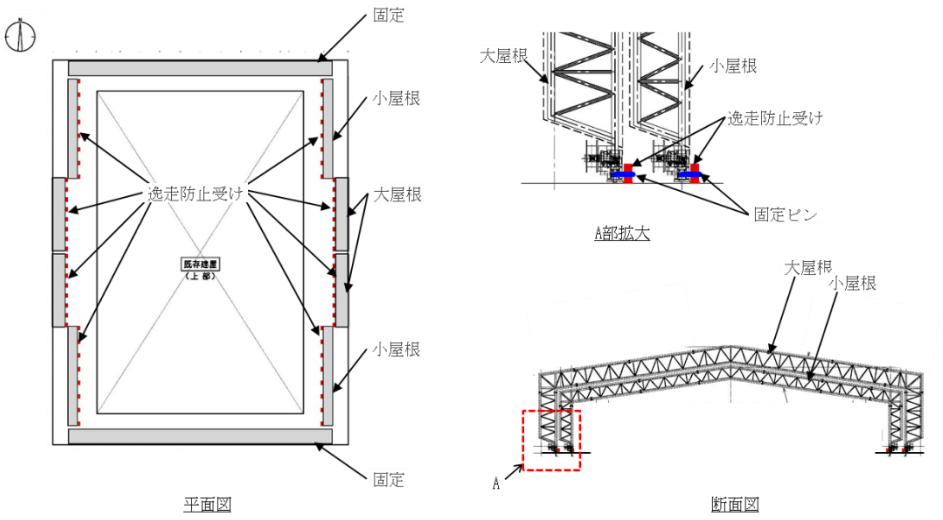


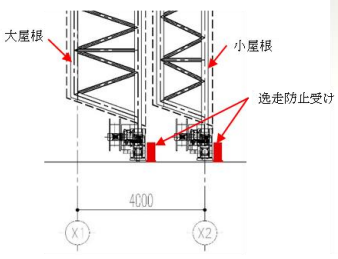
図 1.2.6-1　屋根部の逸走防止受けの概要

せん断力Q (kN)	せん断耐力Qu (kN)	検定比	判定
675	2710	0.25	O.K.

$Q = W \cdot K_H / 8$

$Qu = n \cdot {}_Fq_u$

Q　：逸走防止受け１箇所当たりに作用するせん断力（kN）
Qu　：柱脚アンカーボルトのせん断耐力（kN）
W　：大屋根の全重量（900kN）
K_H　：EW方向水平震度
（屋根頂部加速度より安全側に6Gと設定）
n　：ボルトの本数（10本）
${}_Fq_u$　：ボルトの最大せん断耐力（271kN）
（HTB M24最大せん断耐力（一面））



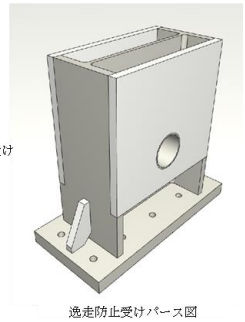

逸走防止受けパース図

図 1.2.6-2　落下防止の検討

1.2.7　ガレキ撤去用天井クレーンに関する補足説明

ガレキ撤去用天井クレーン（以下，天井クレーンと言う。）は大型カバー頂部に設置され，クレーンガーダ２本の上をトロリが移動する。Ss900 に対する波及的影響の評価にあたっては，以下を考慮する。

- 天井クレーン端部に 2.3mの水平かかり代を設け，地震時の天井クレーン落下を回避する。万が一レールから脱輪して，さらに回転したとしても，クレーンガーダ端部のハンチ部がカバー架構頂部に当たる形状であることから，物理的に落下しない。
- 天井クレーン不使用時はカバー北側に駐機する。
- 電源喪失時に電磁ブレーキにより揚重状態を保持する。
- フックには外れ止めを装備する。
- トロリ部には脱落防止材を設置し，地震時のトロリ落下を回避する。

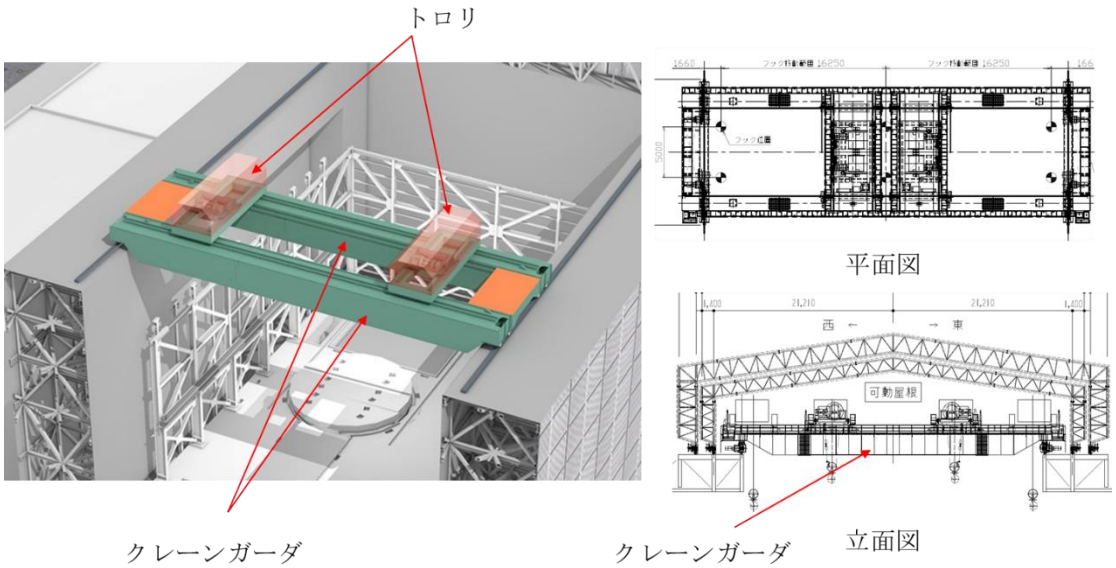


図 1.2.7-1　天井クレーンの概要図

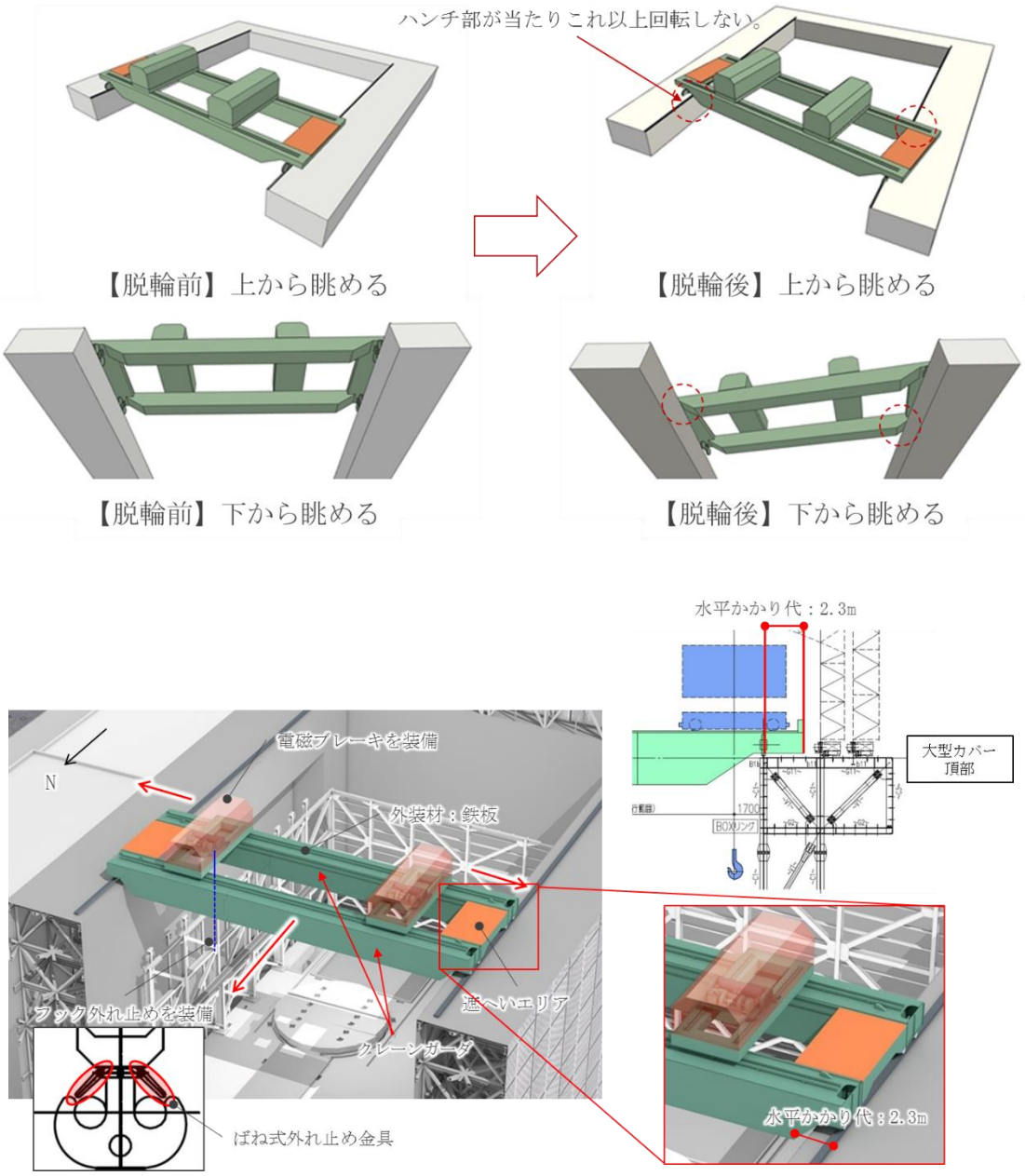
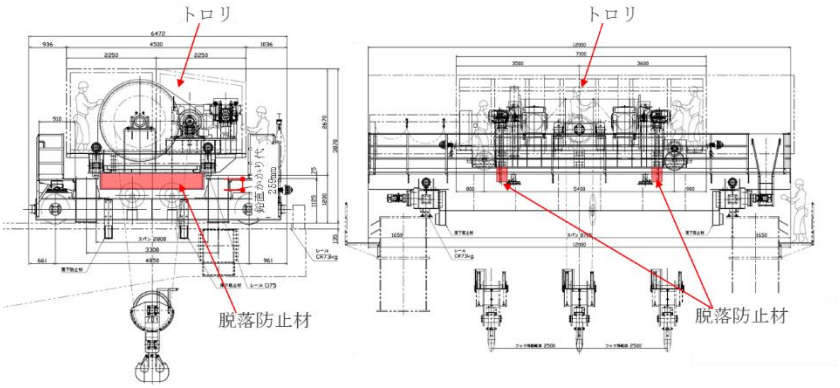


図 1.2.7-2　天井クレーン安全対策の概要図

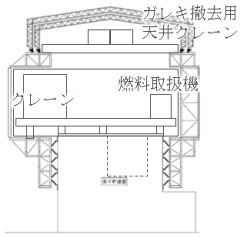
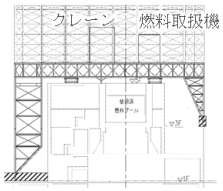
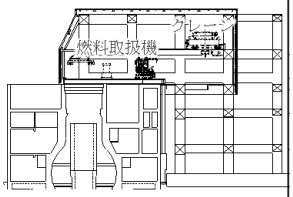


トロリの脱落防止材（赤色部：H-900×300×16×28(SS400)）

図 1.2.7-3　トロリの脱落防止材の概要

1.2.8　3,4 号機との比較に関する補足説明

3,4 号機との主要な比較項目を表に示す。

号機	1号機	3号機	4号機
イメージ図			
構造	鉄骨造，トラス構造	鉄骨造，トラス構造	鉄骨造，ラーメン構造
カバーの支持	原子炉建屋外壁に支持	原子炉建屋1階，3階及び5階に支持	地盤，原子炉建屋外壁及びシェル壁に支持
屋根	可動式	可動しない	可動しない
外装材	屋根：膜材 外壁：金属製外装材	金属製外装材	金属製外装材
カバーに支持する主要設備	ガレキ撤去用天井クレーン（一般部に設置） 燃料取扱機，クレーン（原子炉建屋及び燃料取扱設備支持部に設置）	燃料取扱機，クレーン	燃料取扱機，クレーン

別添－１２

１号機原子炉建屋外壁の３次元 FEM 解析による耐震安全性評価

1.　１号機原子炉建屋外壁の３次元 FEM 解析による耐震安全性評価

1.1　はじめに

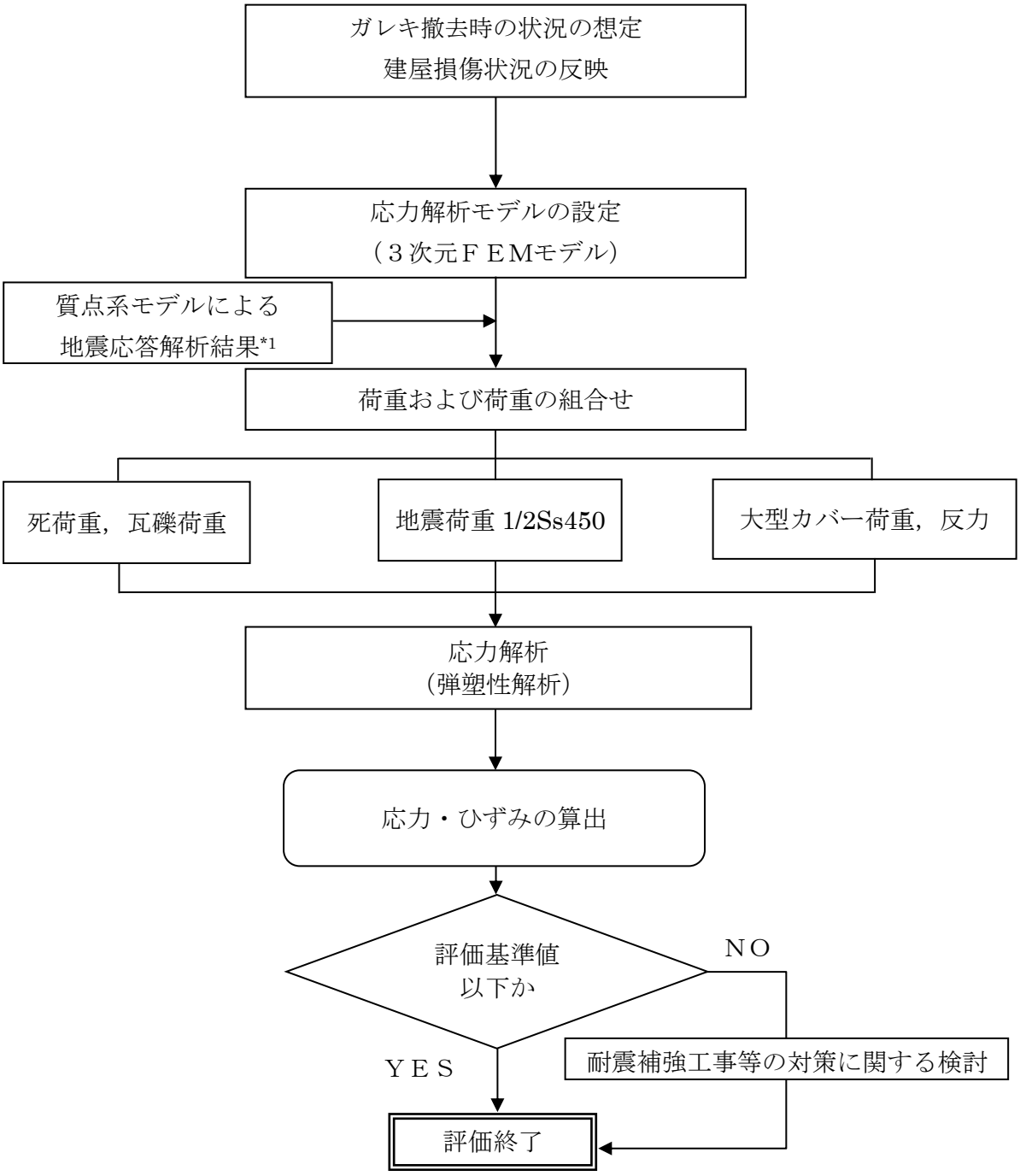
大型カバーは，原子炉建屋の外壁面に支持されており，原子炉建屋に波及的影響を及ぼさない設計としている。本章では，事前の外壁調査結果やその他損傷状況を反映し，かつ瓦礫撤去時の荷重状態を想定した原子炉建屋の 1/2Ss450 に対する３次元ＦＥＭ解析により，原子炉建屋外壁の耐震安全性評価を実施する。

1.2　３次元ＦＥM解析による耐震安全性評価

1.2.1　解析方針

耐震安全性評価は，図-1.1 のフローに示すように以下の手順で行う。

- １階壁から５階オペレーティングフロア（以降５階オペフロ床と略す）の外壁を含む原子炉建屋の地上部について，３次元ＦＥM解析モデルを作成する。
- 死荷重，瓦礫荷重・大型カバー荷重，地震応答解析結果にもとづく地震荷重，地震時の大型カバー反力及び荷重組合せの条件を設定する。
- 応力解析として鉄筋コンクリート部材の塑性化を考慮した弾塑性解析を行い，大型カバーが取り付く建屋外壁に発生する応力及びひずみを算出する。
- 評価基準値と比較し，耐震安全性を評価する。



*1：「Ⅱ-2-11　添付資料-4-2　燃料取り出し用カバーの構造強度及び耐震性に関する説明書」中の１号機のガレキ撤去時の状態を考慮した地震応答解析結果にもとづく。

図-1.1　耐震安全性評価フロー

1.2.2　応力解析モデルの設定

鉄筋コンクリート部材の塑性化を考慮した弾塑性解析を実施し，建屋外壁に発生する応力及びひずみを算定する。１階壁から５階オペフロ床までの鉄筋コンクリート部材を有限要素の集合体としてモデル化した。

外壁については，事前の外壁調査において，ひび割れや浮きが認められたものの，局所的であり，耐震壁としての性能を保持していると評価し，剛性低下は行わない。一方，5 階オペフロ床の北西部の一部については，崩落が確認されており，当該床の要素を削除する。

解析モデルに使用する板要素は，鉄筋層をモデル化した積層シェル要素を用いた。各要素には，板の軸力と曲げ応力を同時に考えるが，板の曲げには面外せん断変形の影響も考慮した。使用計算機コードは「ABAQUS」である。

図-1.2 に解析モデル概要図を，図-1.3 に解析モデルの境界条件を，図-1.4 にコンクリートと鉄筋の構成則を示す。

※外壁は「Ⅲ-3-1-3　添付資料－2　福島第一原子力発電所の原子炉建屋の現状の耐震安全性及び補強等に関する検討に係る報告書（その 1）（東京電力株式会社，平成 23 年 5 月 28 日）」同様に損傷がないものとして評価。床については 2014 年 3 月 27 日に実施した 1 号機建屋内現場調査時に 4 階床面より見上げて 5 階オペフロ床の北西部の一部の崩落が確認できたため，「Ⅲ-3-1-3　添付資料－2　福島第一原子力発電所の原子炉建屋の現状の耐震安全性及び補強等に関する検討に係る報告書（その 1）（東京電力株式会社，平成 23 年 5 月 28 日）」から変更している。

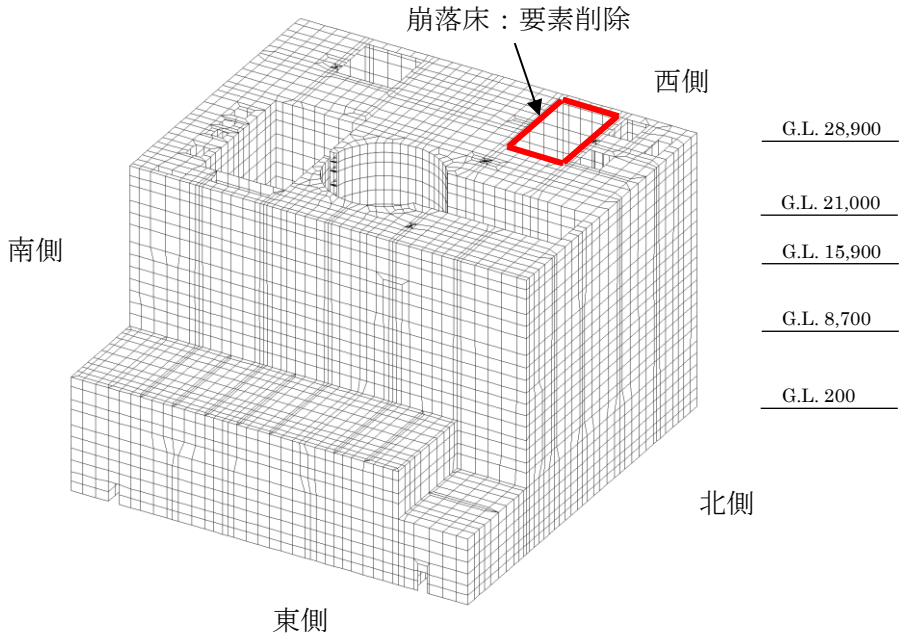


図-1.2　解析モデル概要図

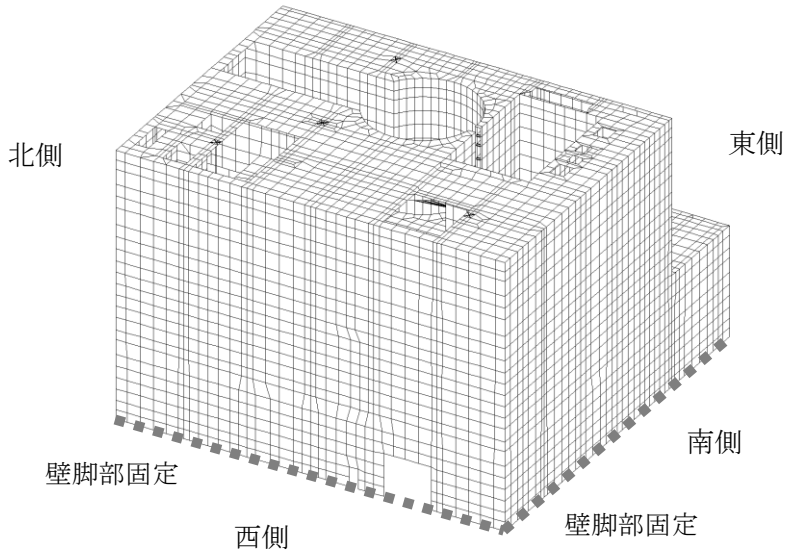
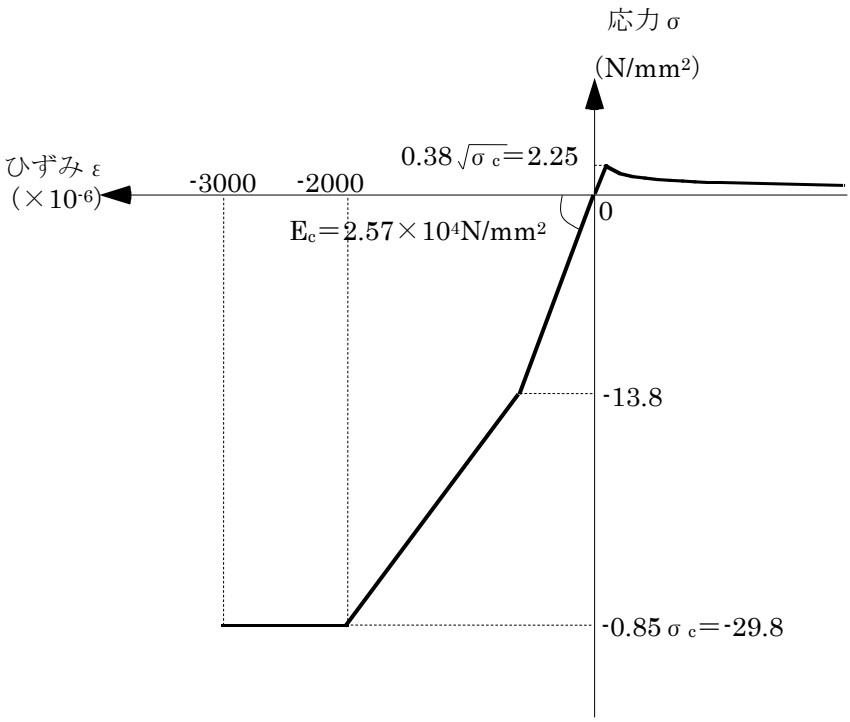
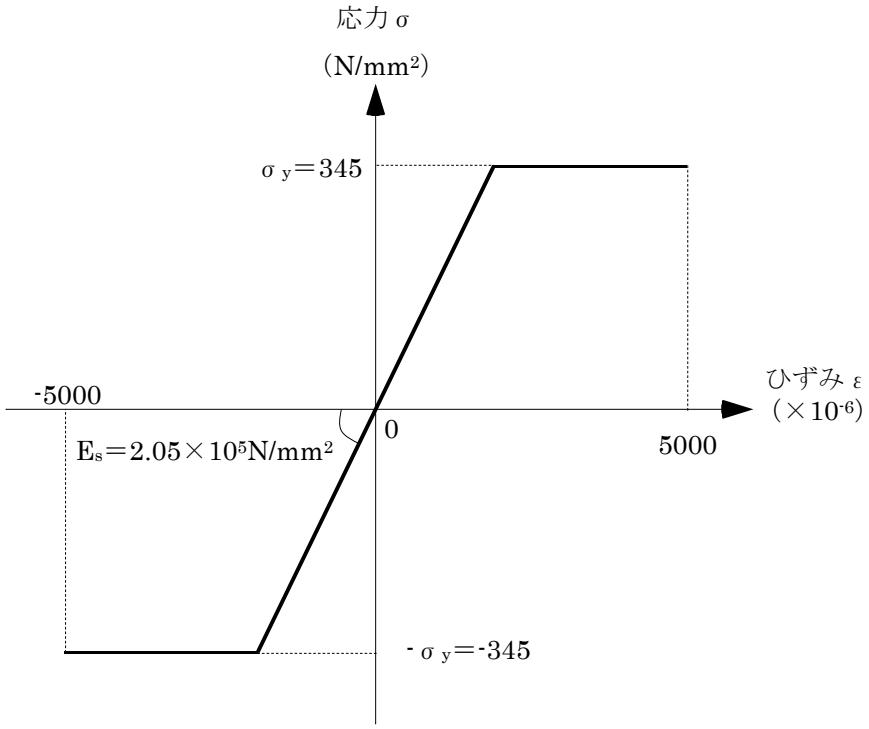


図-1.3　解析モデルの境界条件



(a)　コンクリートの応力－ひずみ関係（コンクリート強度 σc=35N/mm²）



(b)　鉄筋の応力－ひずみ関係（鉄筋降伏点 σy=345N/mm²）

図-1.4　コンクリートと鉄筋の構成則

1.2.3　荷重及び荷重の組合せ

(1) 死荷重及び瓦礫荷重　ＤＬ

解析モデルに付与する死荷重は，モデル化範囲の建屋躯体の自重に加え，機器・配管・その他の重量は床に一様に積載されているものとする。また，瓦礫荷重は，外部への落下分を無視し崩れた屋根や鉄骨重量が全て５階オペフロ床に一様に積載されているものとする。

(2) 大型カバー荷重　ＤＦ

大型カバー重量を，外壁面支持位置に考慮する。

(3) 地震荷重　Ｋ

質点系モデルによる 1/2Ss450 地震動に対する地震応答解析結果にもとづき，水平方向及び鉛直方向の地震荷重を設定する。

(4) 大型カバー反力　ＫＦ

地震時に生じる大型カバーからの反力を考慮する。

(5) 荷重の組合せ

表-1.1 に荷重の組合せを示す。水平２方向及び鉛直方向の地震動の組合せは，組合せ係数法に基づく。(水平のいずれかを 1.0 とし，±を考慮し合計 16 ケース)

表-1.1　荷重の組合せ

荷重時名称	荷重の組合せ
Ss 地震時	DL + DF + K + KF

ここに，DL：死荷重及び瓦礫荷重，DF：大型カバー荷重，　K：地震荷重（1/2Ss450 地震動)，KF：大型カバー反力

1.2.4　評価結果

配筋諸元等にもとづき構造検討を行い，耐震安全性を評価する。評価においては，応力解析より求まる応力及びひずみが，評価基準値以下となることを確認した。評価基準値はコンクリート並びに鉄筋のひずみについては日本機械学会「発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格」にもとづき設定した。表-1.2 にひずみの評価基準値の値を示す。なお，許容面外せん断力については「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・解説」に基づき以下の式から算定する。

$$Q_A = bj\alpha f_s$$

ただし，　$\alpha = \dfrac{4}{\dfrac{M}{Q_d}+1}$　　かつ $1 \leqq \alpha \leqq 2$

ここで，

Q_A　：短期許容面外せん断力

b　：断面の幅

j　：断面の応力中心間距離で有効せいの(7/8)倍の値とすることができる

α　：せん断スパン比 $M/(Qd)$による割増係数

f_s　：コンクリートの短期許容せん断応力度

M　：設計する壁の短期荷重による最大曲げモーメント

Q　：設計する壁の短期荷重による最大せん断力

d　：有効せい

発生ひずみ及び面外せん断力の発生応力と評価基準値の比（検定比。1 以下で評価基準値を満足する。）を示した結果を図-1.5～図-1.16 に，各面の最大値一覧を表-1.3 に示す。いずれの箇所においても発生ひずみ及び面外せん断力は許容限界以内であり，評価基準値を十分に下回っている。このことから，瓦礫撤去時の状況において，大型カバーが取りつく建屋外壁は，耐震安全性を有しているものと評価した。

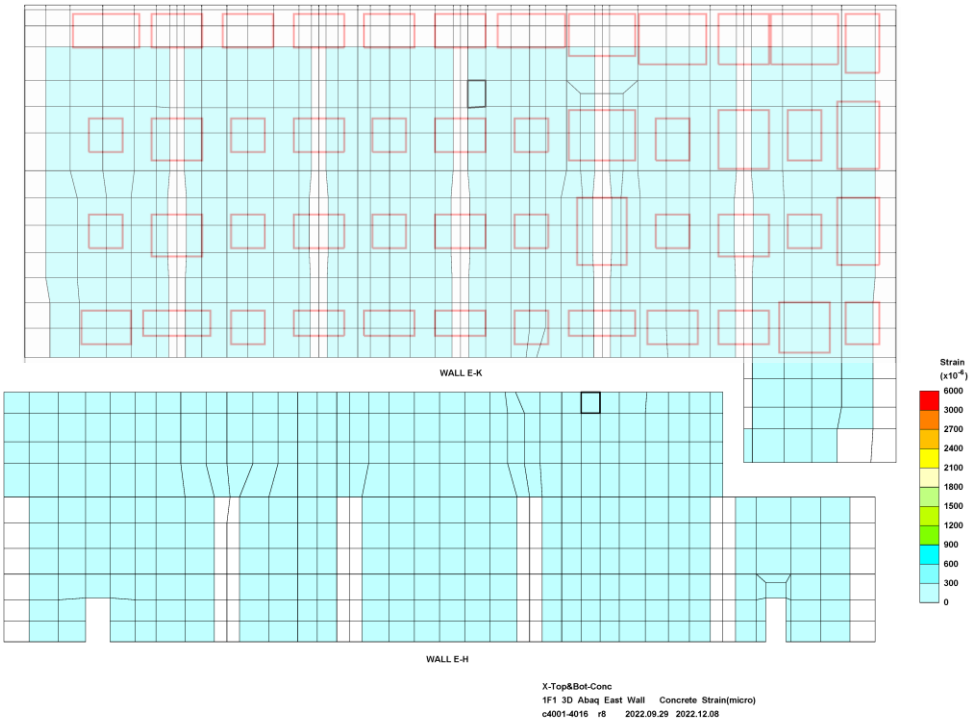
表-1.2　ひずみの評価基準値

評価対象	評価基準値 ε_a ($\times 10^{-6}$)
コンクリート	－3000
鉄筋	±5000

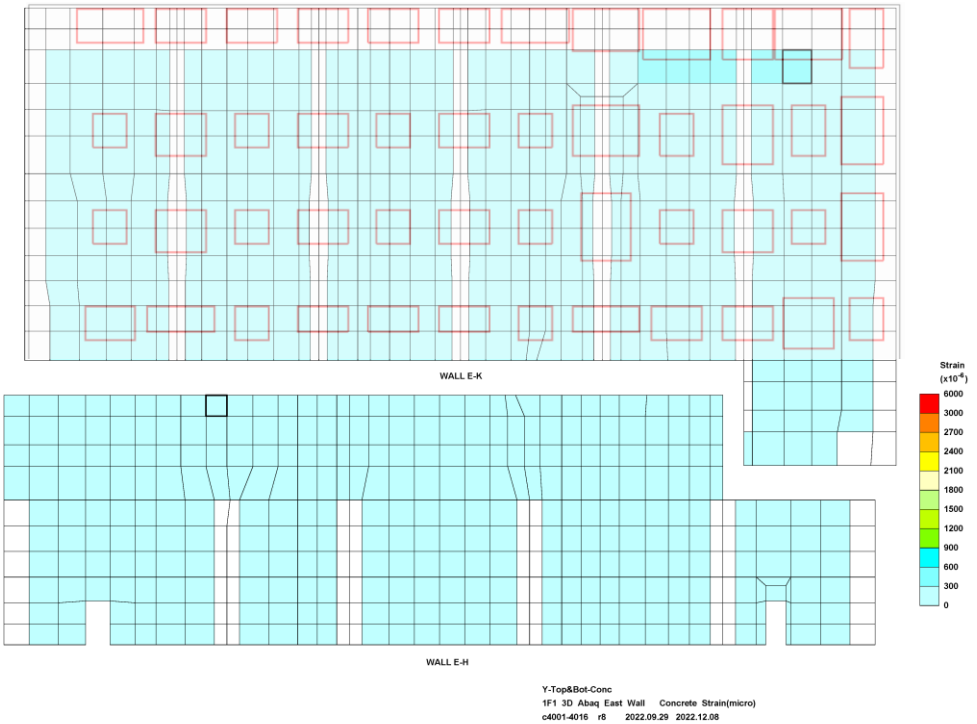
表-1.3　外壁各面の最大値一覧

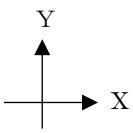
部位	コンクリートひずみ($\times 10^{-6}$)	鉄筋ひずみ($\times 10^{-6}$)	面外せん断力検定比
東壁	－389	367	0.703
西壁	－383	429	0.722
南壁	－359	470	0.656
北壁	－317	670	0.797

X方向



Y方向

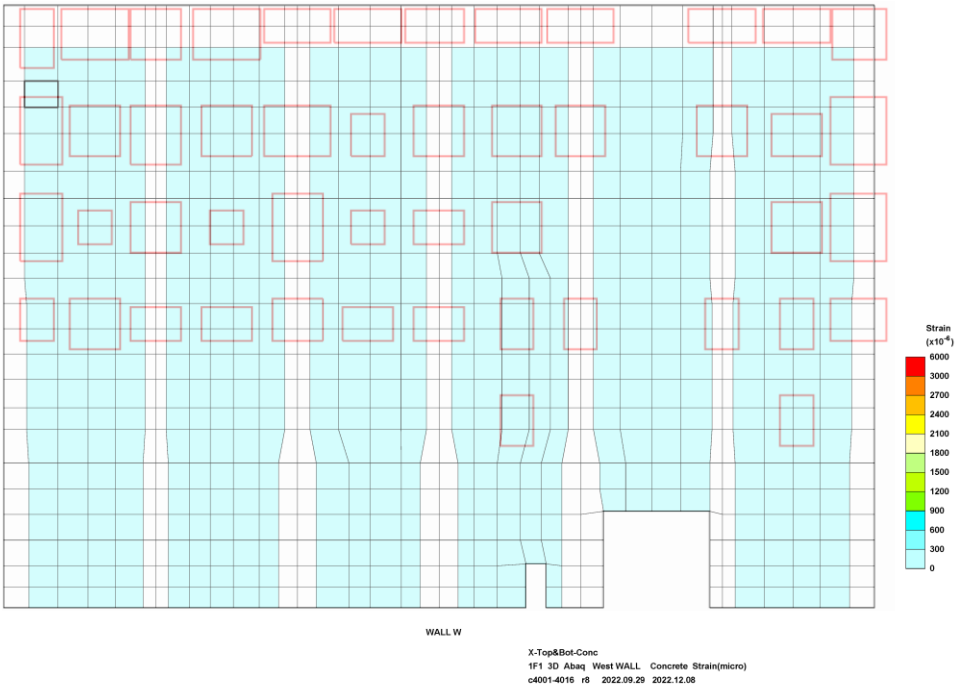




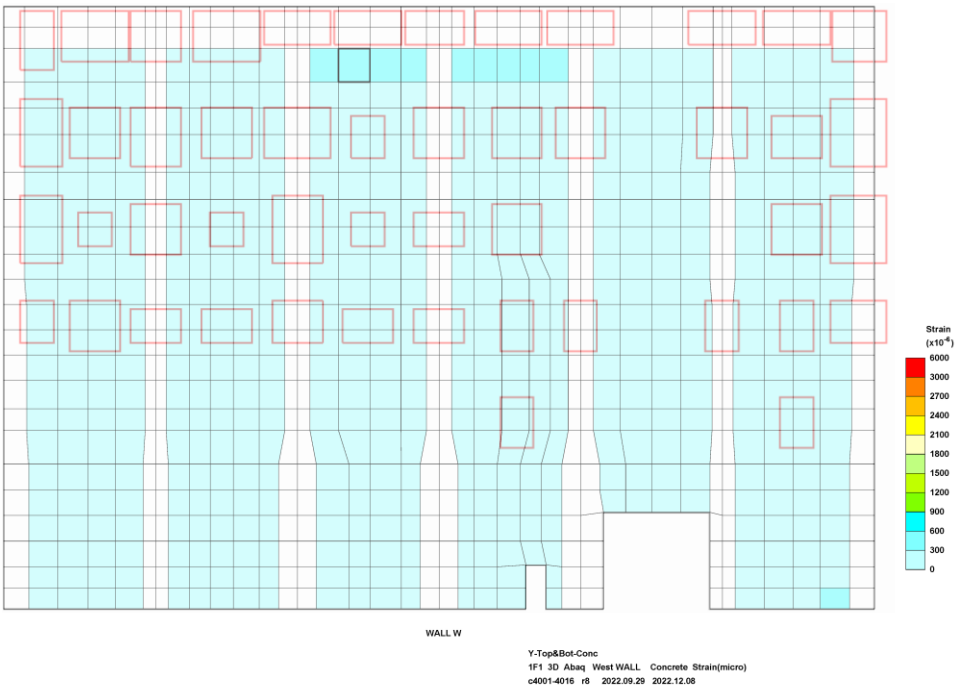
（図中赤枠はベースプレート設置位置を示す）

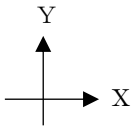
図-1.5　コンクリート圧縮ひずみの検定比（建屋外壁東面）

X方向



Y方向

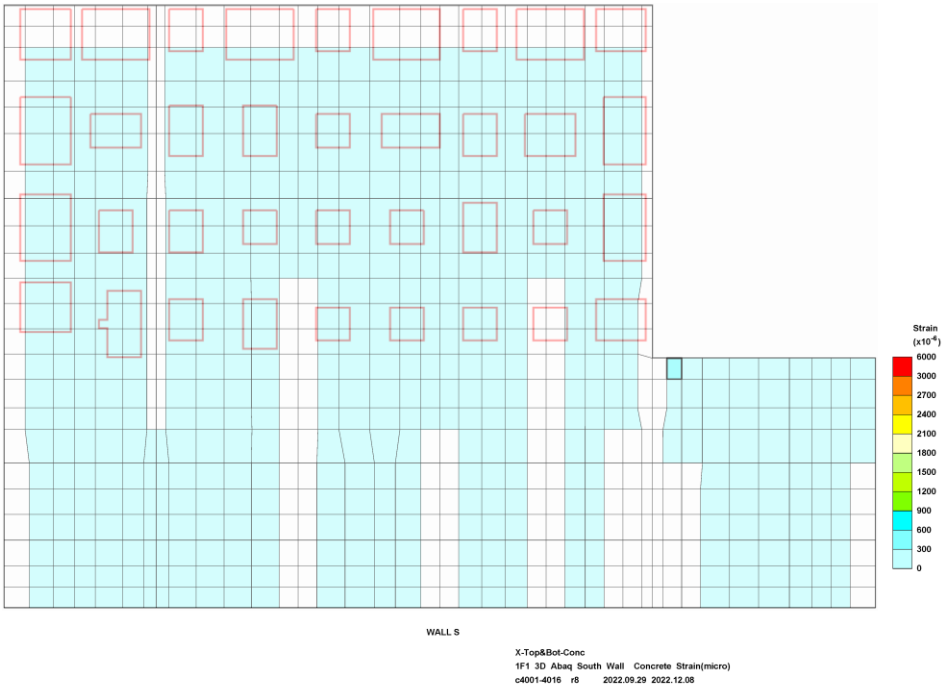




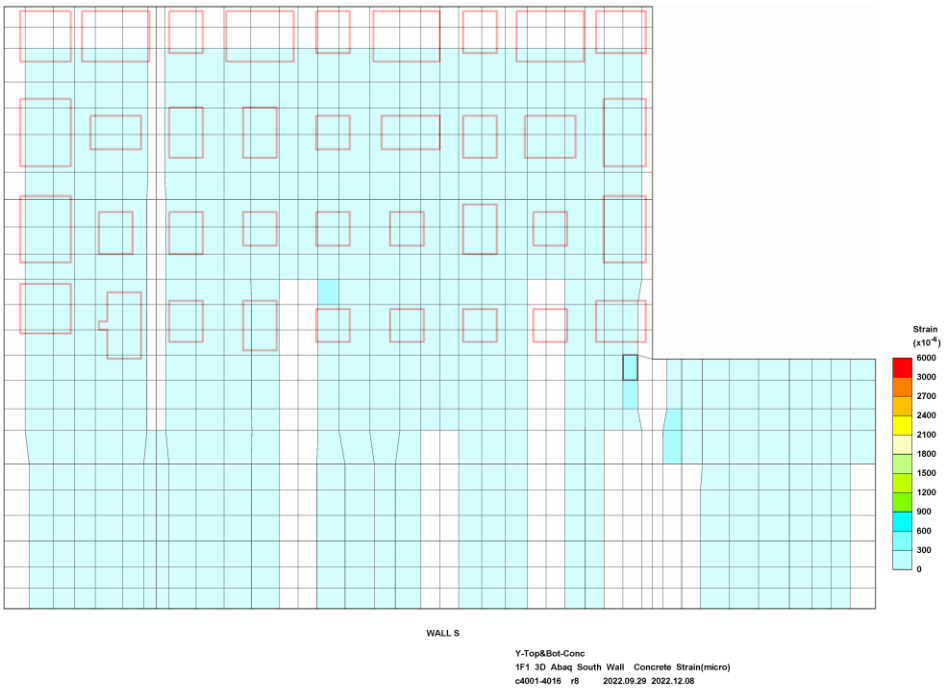
（図中赤枠はベースプレート設置位置を示す）

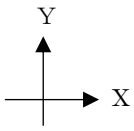
図-1.6　コンクリート圧縮ひずみの検定比（建屋外壁西面）

X方向



Y方向

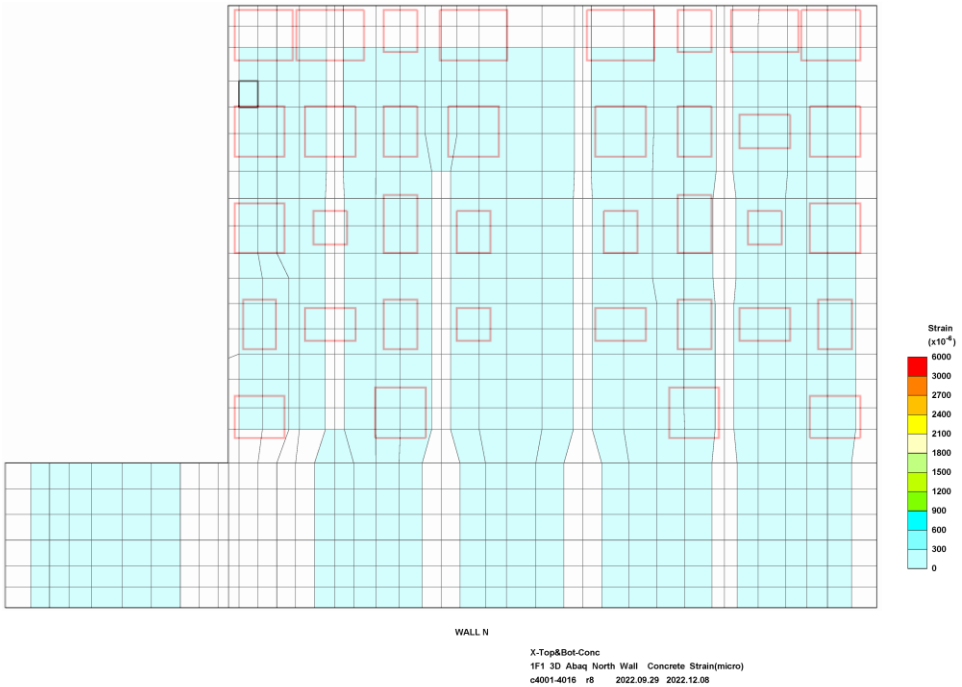




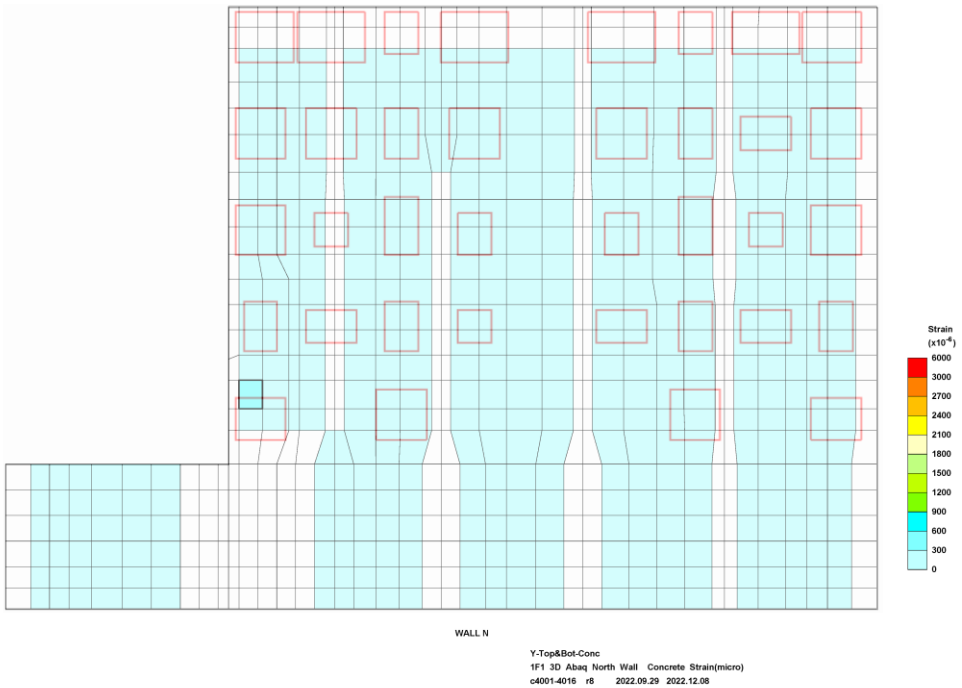
（図中赤枠はベースプレート設置位置を示す）

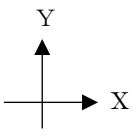
図-1.7　コンクリート圧縮ひずみの検定比（建屋外壁南面）

X方向



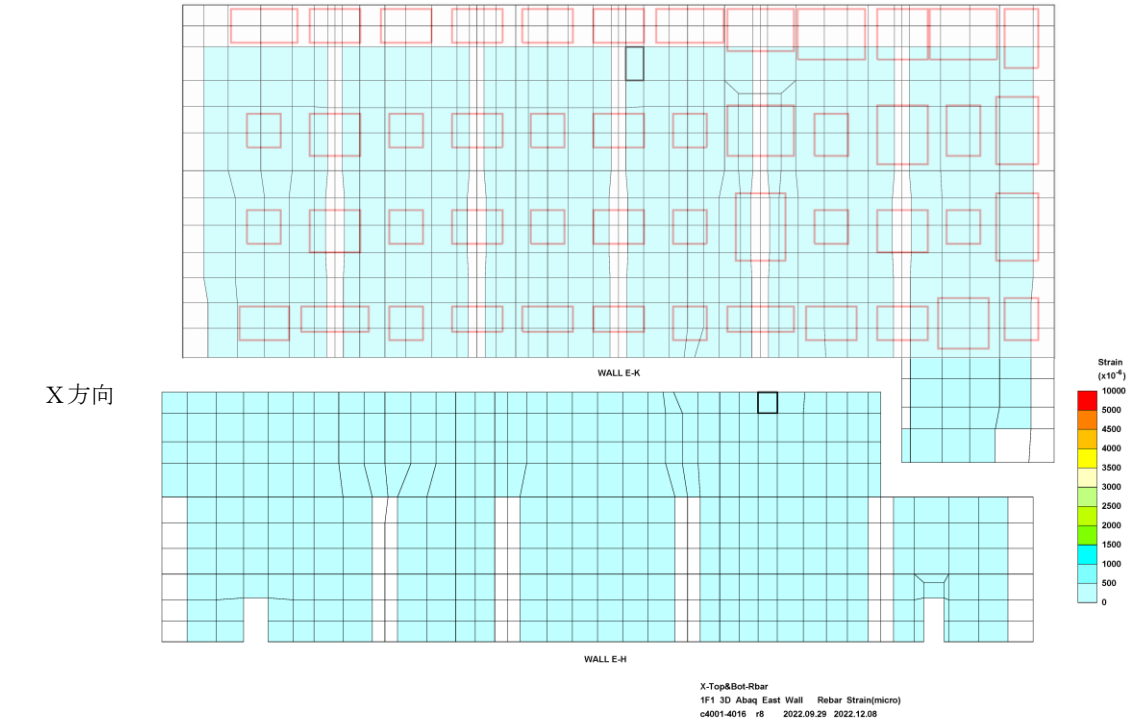
Y方向

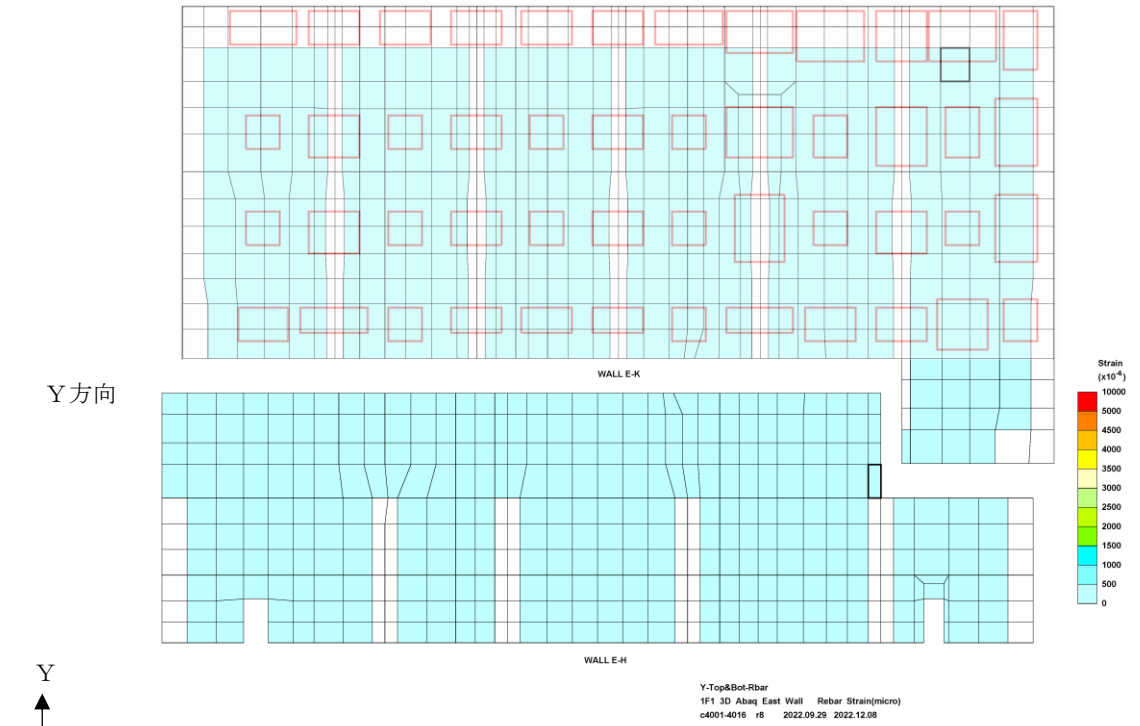


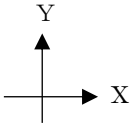


（図中赤枠はベースプレート設置位置を示す）

図-1.8　コンクリート圧縮ひずみの検定比（建屋外壁北面）



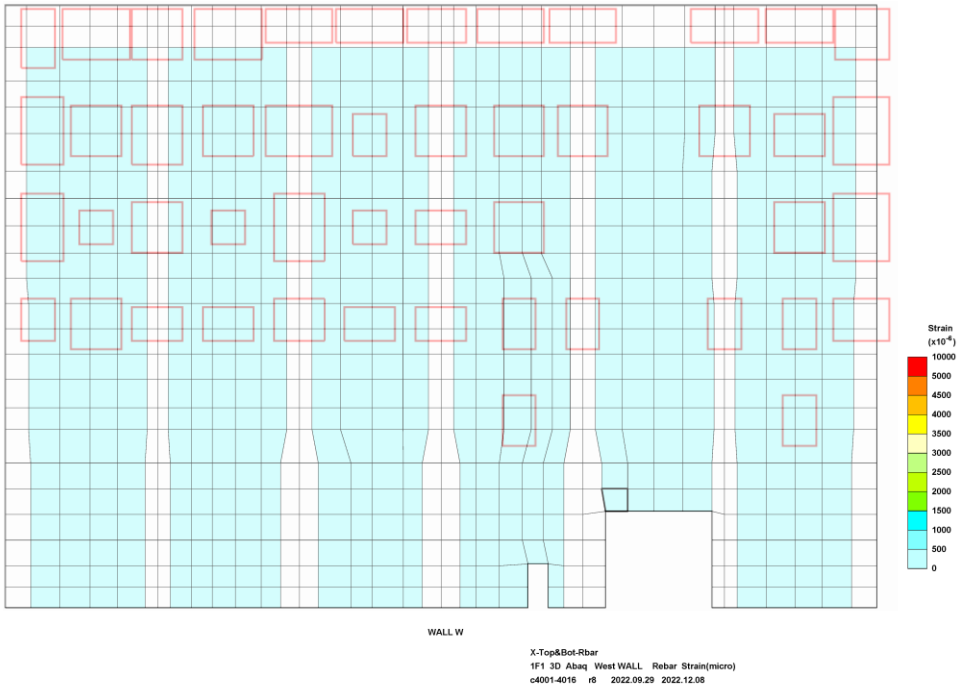




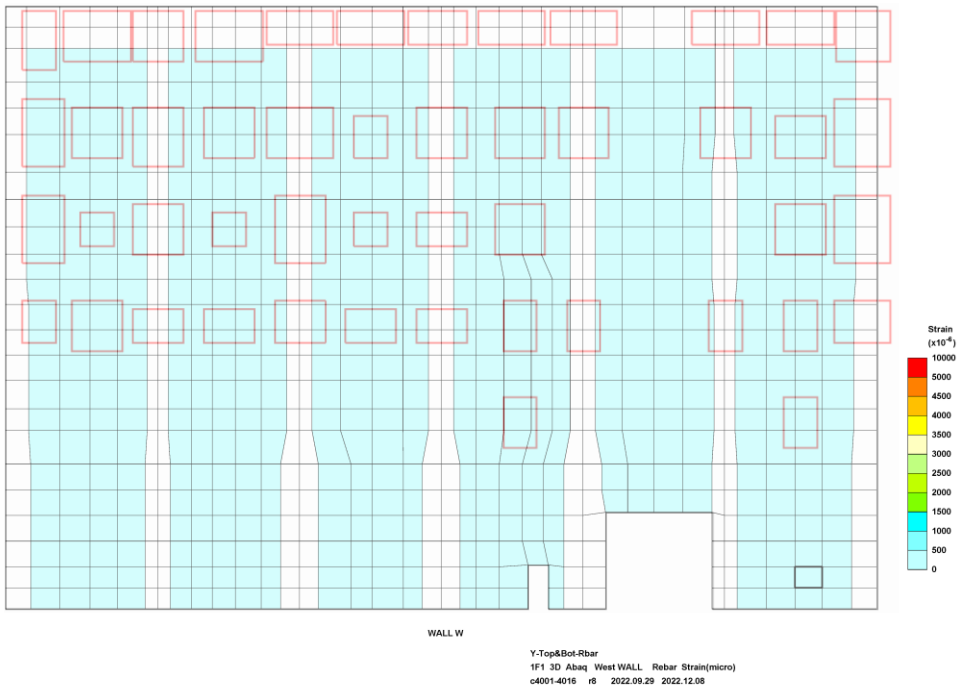
（図中赤枠はベースプレート設置位置を示す）

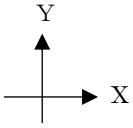
図-1.9　鉄筋ひずみの検定比（建屋外壁東面）

X方向



Y方向

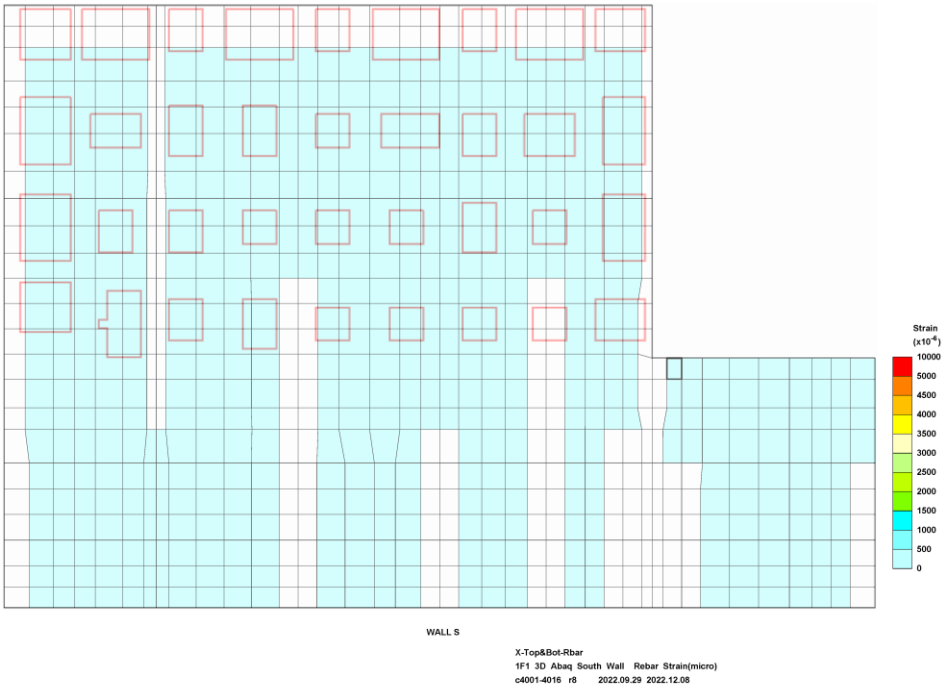




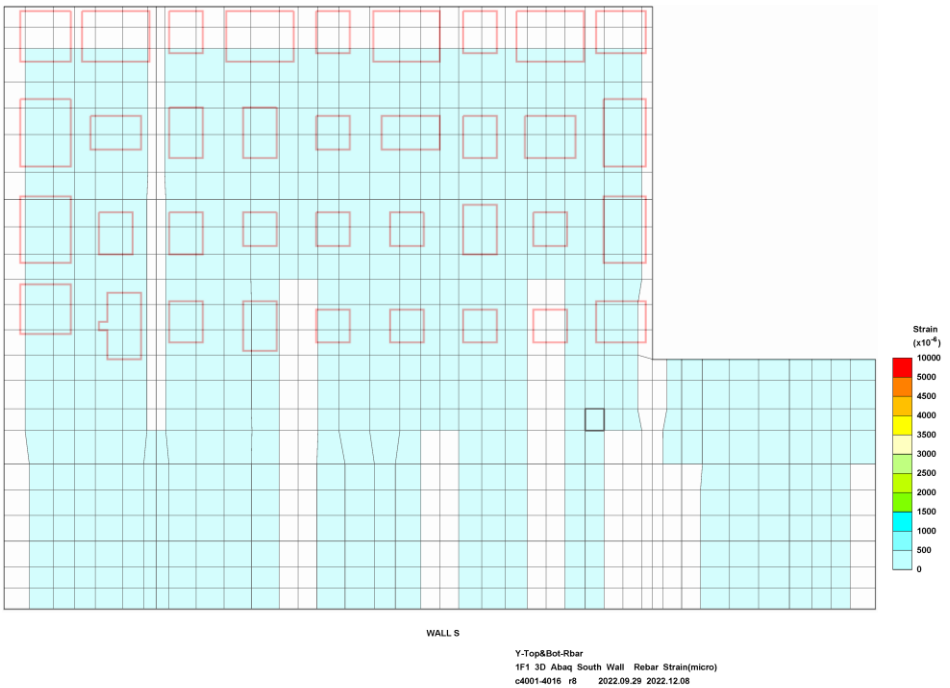
（図中赤枠はベースプレート設置位置を示す）

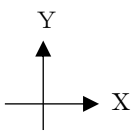
図-1.10　鉄筋ひずみの検定比（建屋外壁西面）

X方向



Y方向

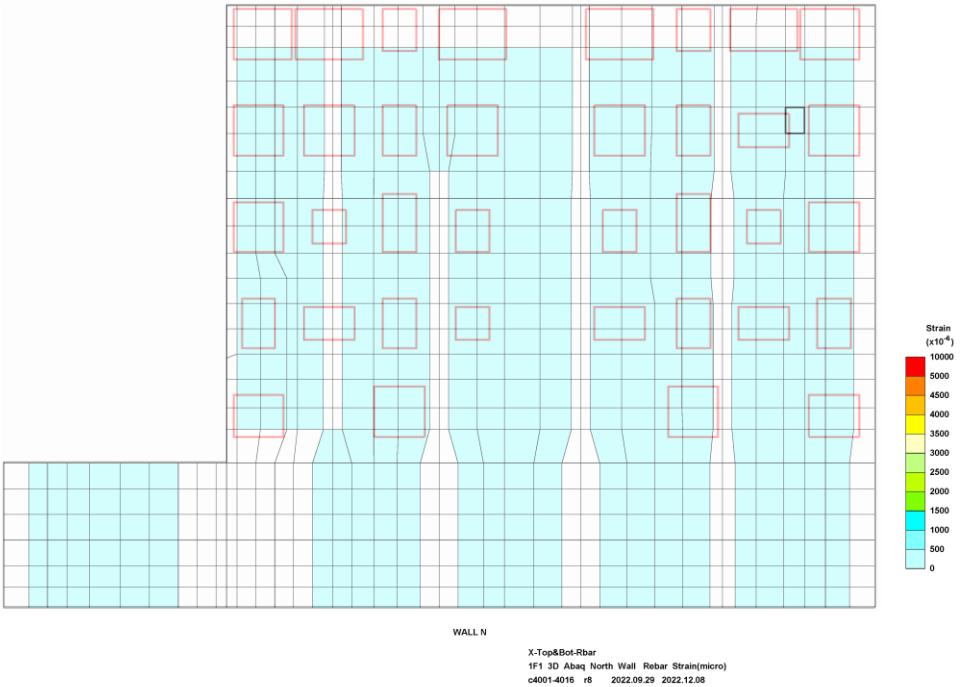




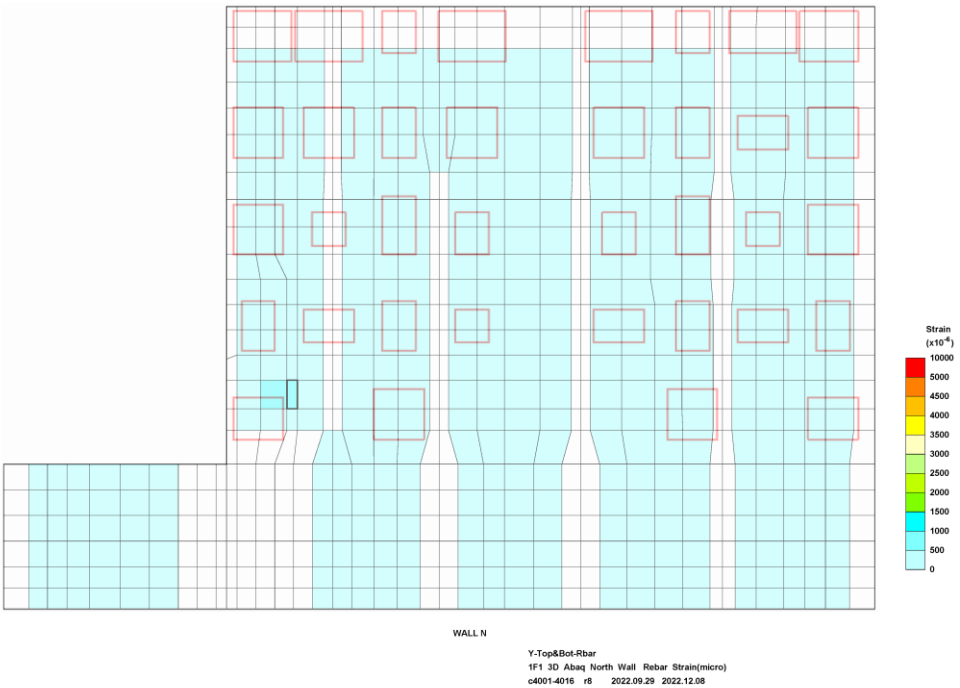
（図中赤枠はベースプレート設置位置を示す）

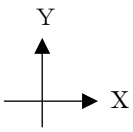
図-1.11　鉄筋ひずみの検定比（建屋外壁南面）

X方向



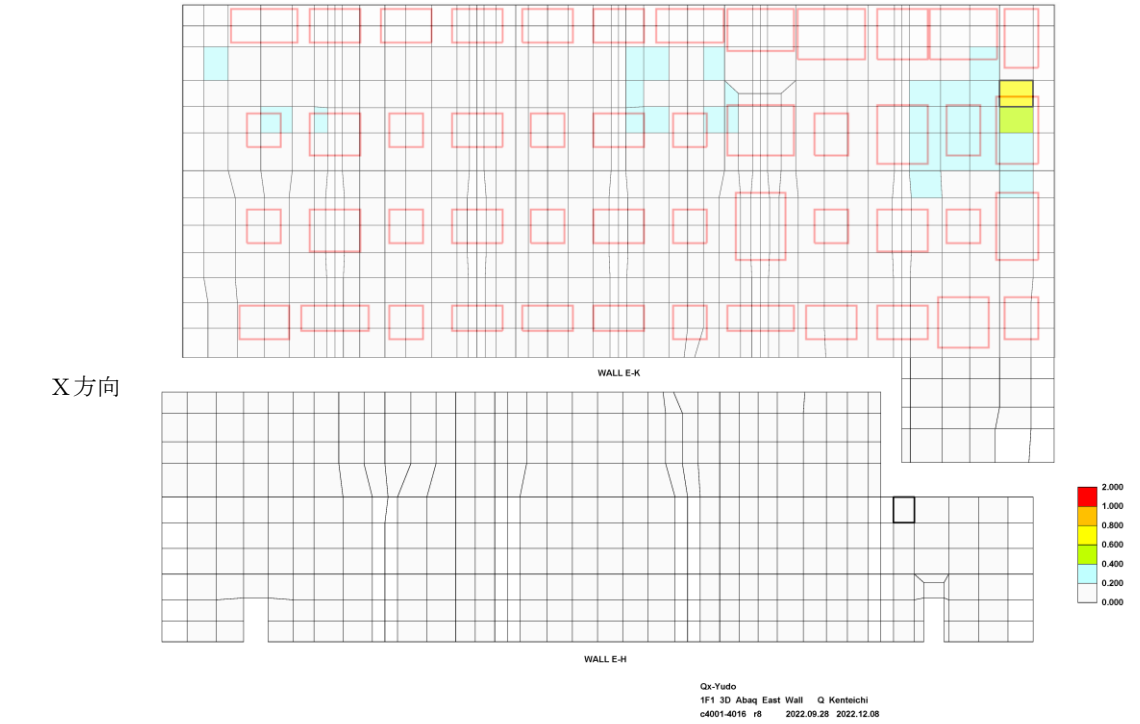
Y方向

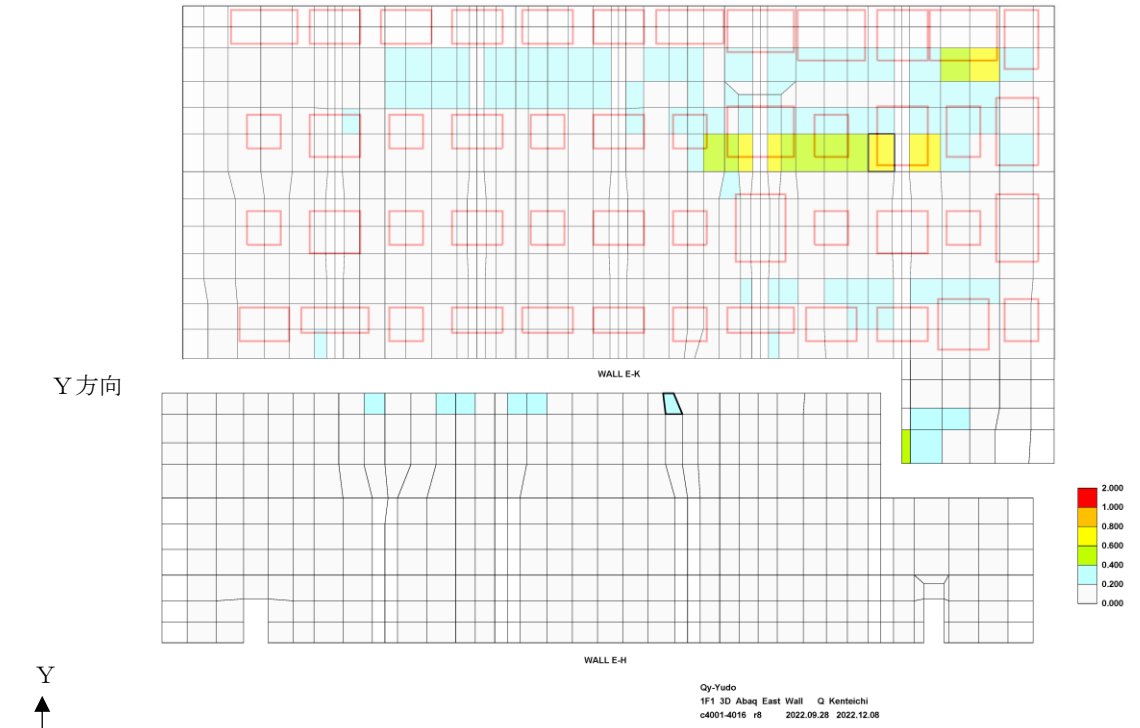


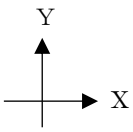


（図中赤枠はベースプレート設置位置を示す）

図-1.12　鉄筋ひずみの検定比（建屋外壁北面）



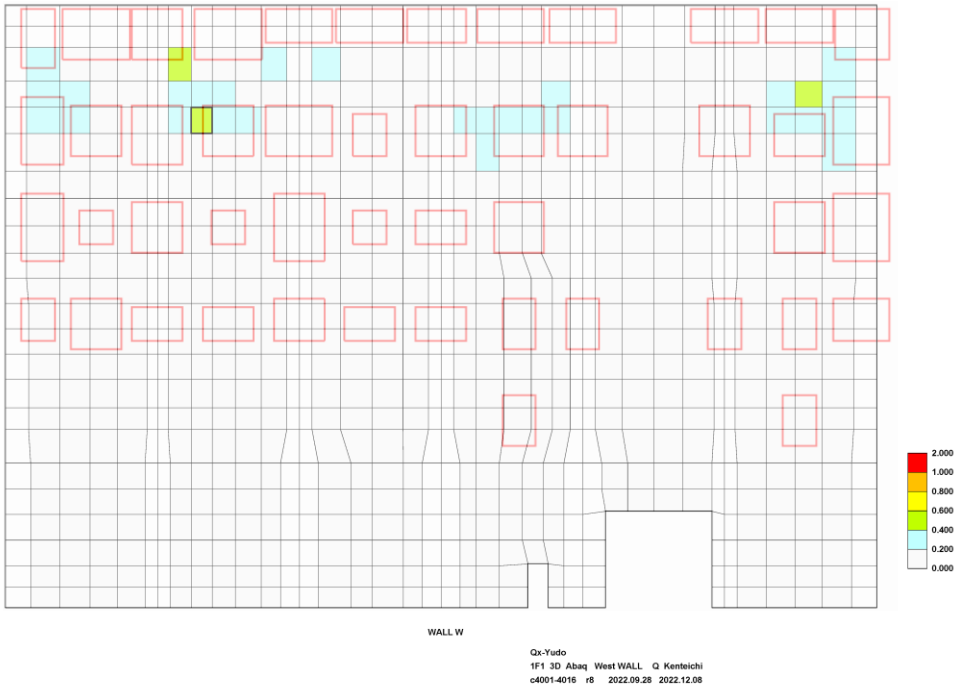




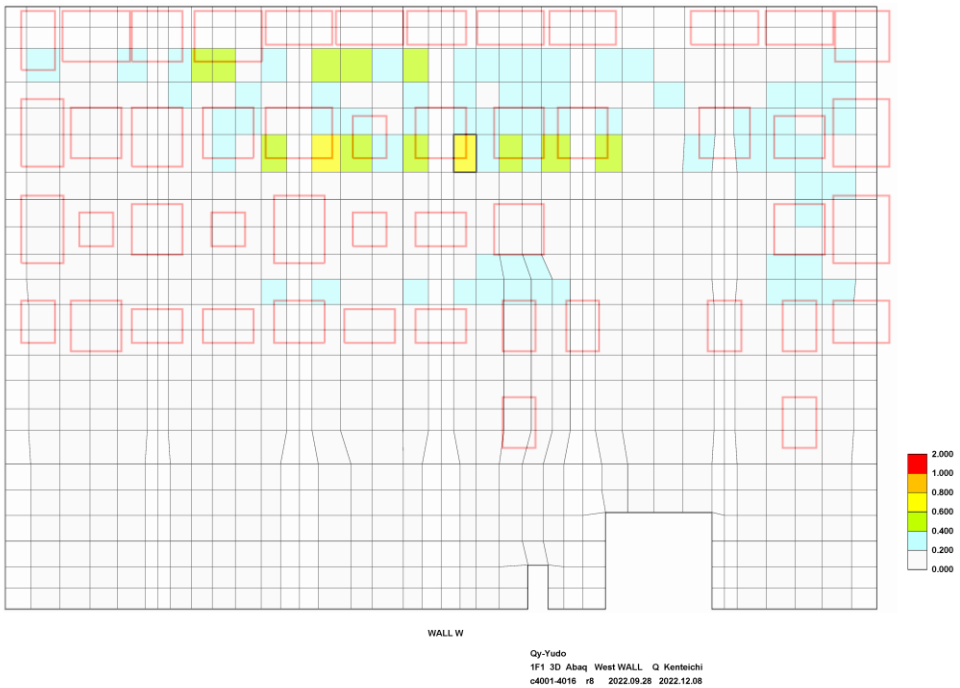
（図中赤枠はベースプレート設置位置を示す）

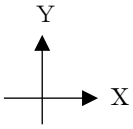
図-1.13　面外せん断力の検定比（建屋外壁東面）

X方向



Y方向

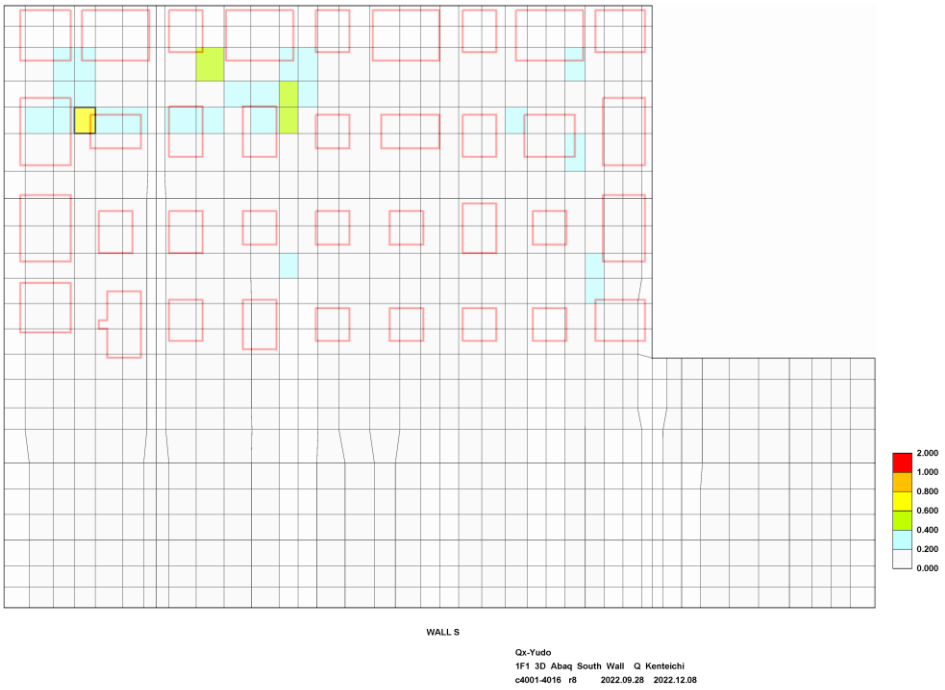




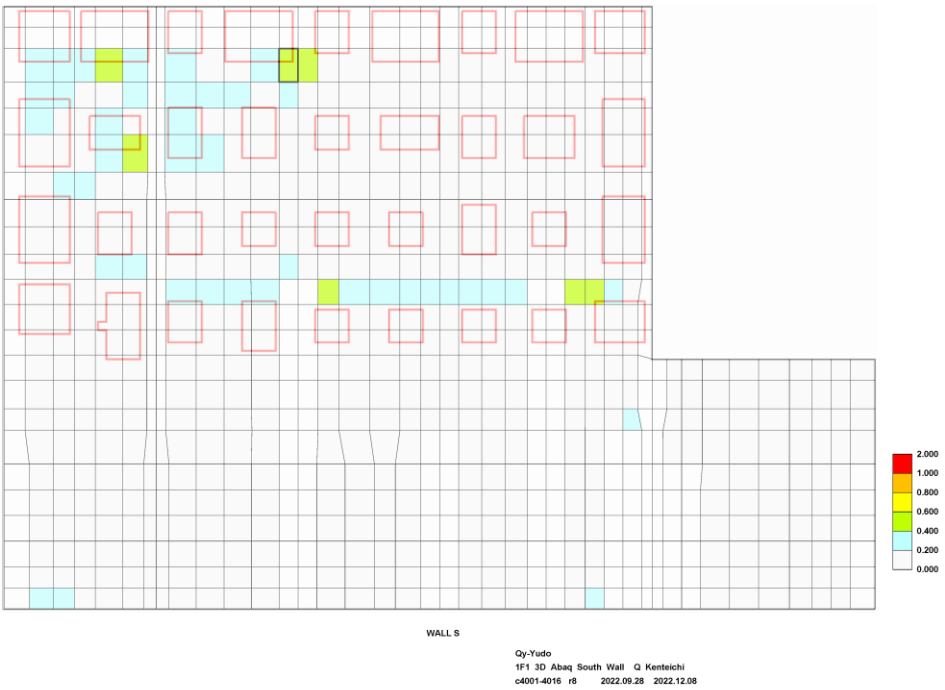
（図中赤枠はベースプレート設置位置を示す）

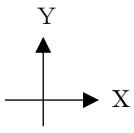
図-1.14　面外せん断力の検定比（建屋外壁西面）

X方向



Y方向

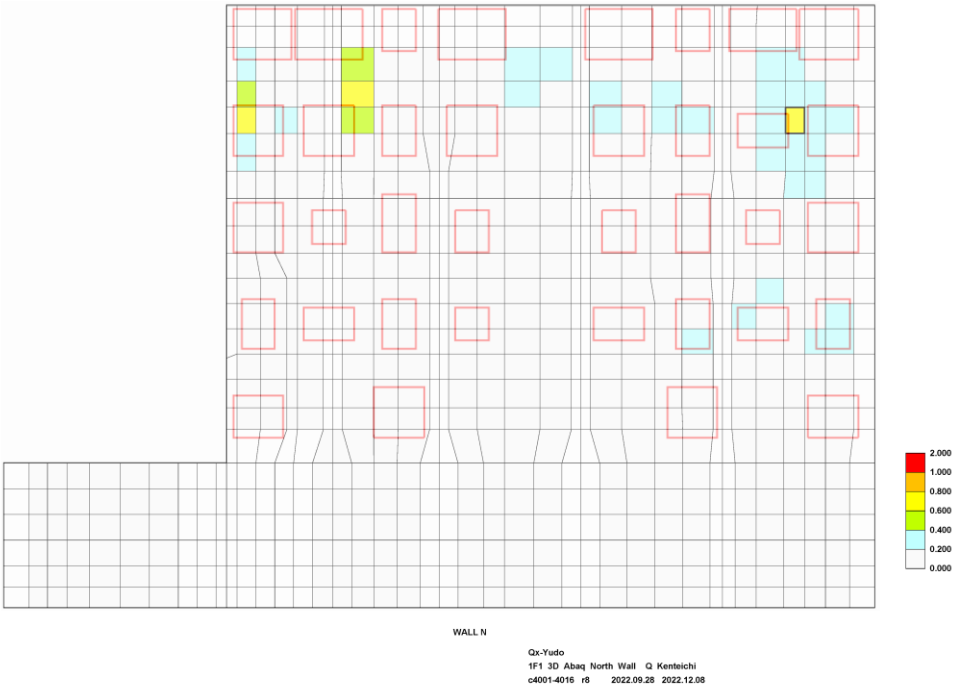




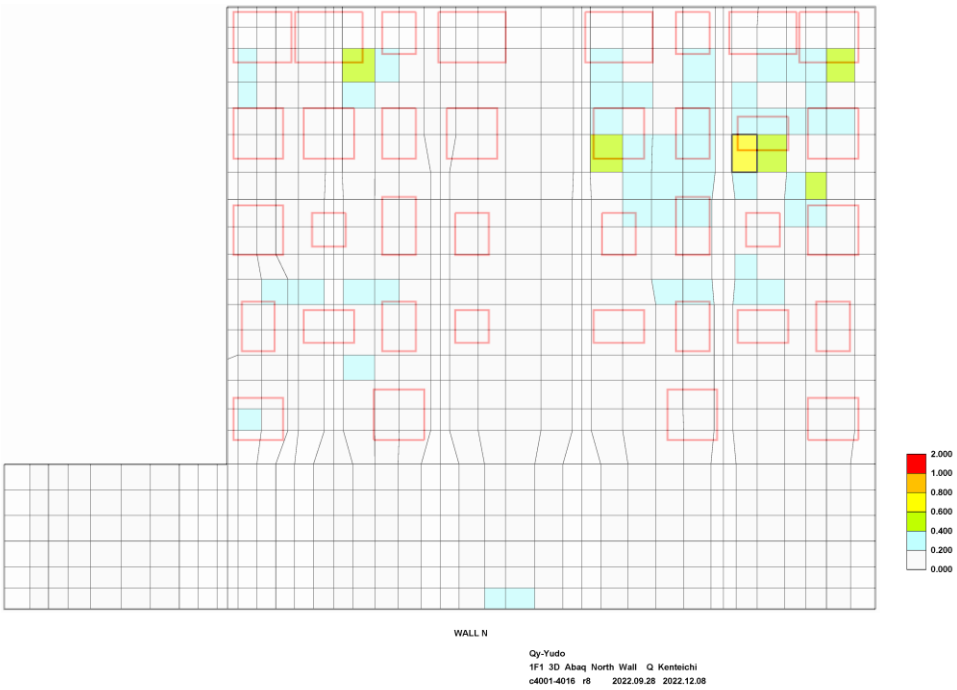
（図中赤枠はベースプレート設置位置を示す）

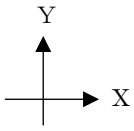
図-1.15　面外せん断力の検定比（建屋外壁南面）

X方向



Y方向





（図中赤枠はベースプレート設置位置を示す）

図-1.16　面外せん断力の検定比（建屋外壁北面）

1.3　Ss900 地震動に対する影響検討

1.3.1　検討概要

大型カバーを支持する原子炉建屋の外壁面について，Ss900 地震動に対する影響検討を行う。1/2Ss450 地震動に対する耐震安全性評価の検定値が最も厳しいケース（－1.0NS+0.4EW－0.4UD）を対象に，1/2Ss450 と同じ解析モデルと評価基準値を用いて Ss900 地震動に対する影響を評価する。

なお，作用する地震力が 1/2Ss450 に比べ大きくなり外壁部の変形が進むため，図-1.3 に示す解析モデル壁脚部の境界条件をピンとする。また，外壁面に作用する大型カバーからの反力荷重が大きい箇所については，ベースプレートからの荷重分散性を考慮することとし，図-1.17 に示すように反力荷重を外壁厚分拡幅した範囲に作用させる。

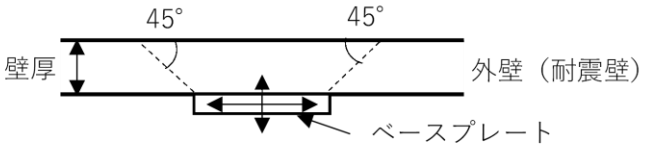


図-1.17　荷重分散範囲

1.3.2　検討結果

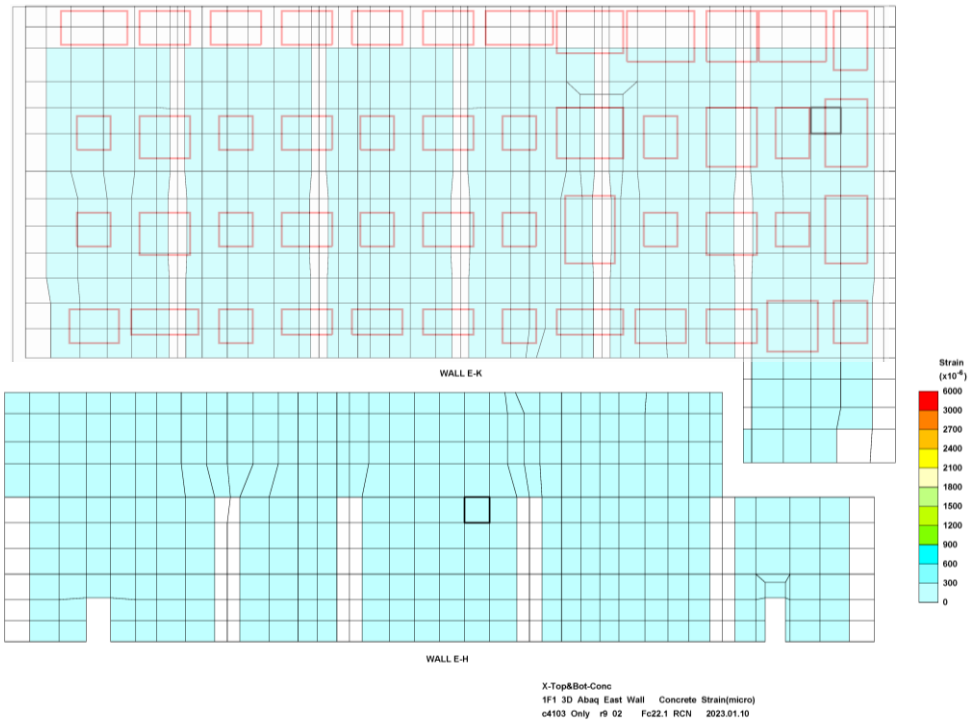
発生ひずみ及び面外せん断力と評価基準値の比（検定比。１以下で評価基準値を満足する。）を示した結果を図-1.18～図-1.29 に，各面の最大値一覧を表-1.4 に示す。いずれの箇所においても発生ひずみ並びに面外せん断力は許容限界以内であり，Ss900 地震動を入力した場合であっても躯体の健全性が確保されることを確認した。

なお，壁脚部に固定条件を仮定しても，許容限界以内にあり壁全体の崩壊系につながらないことを確認している。

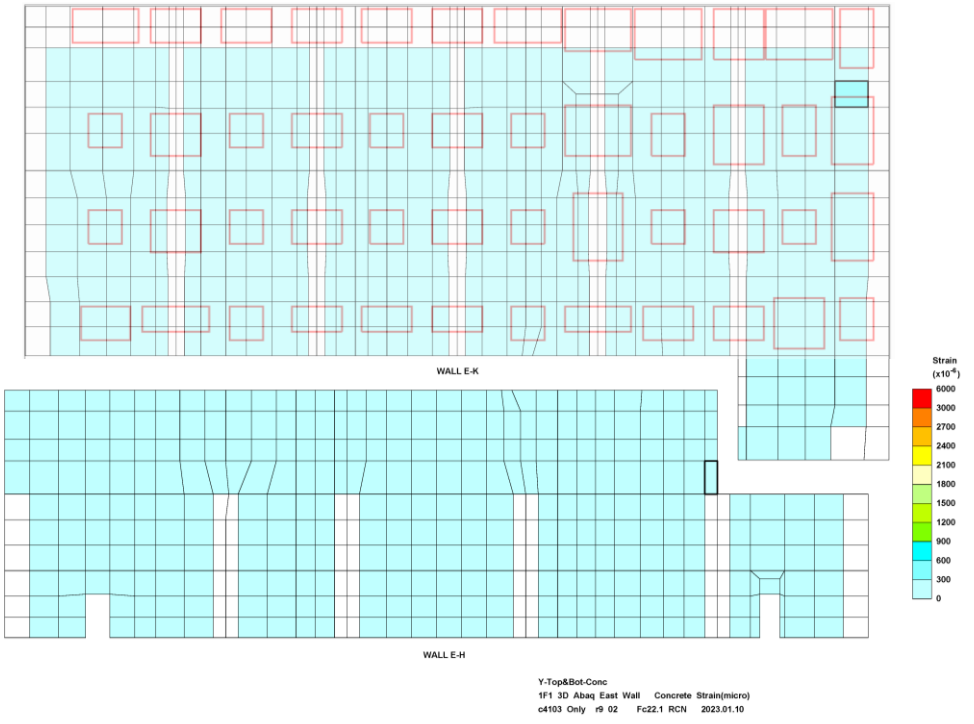
表-1.4　外壁各面の最大値一覧

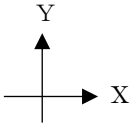
部位	コンクリートひずみ（$\times 10^{-6}$）	鉄筋ひずみ（$\times 10^{-6}$）	面外せん断力検定比
東壁	－306	983	0.533
西壁	－442	821	0.695
南壁	－279	873	0.967
北壁	－603	848	0.953

X方向



Y方向

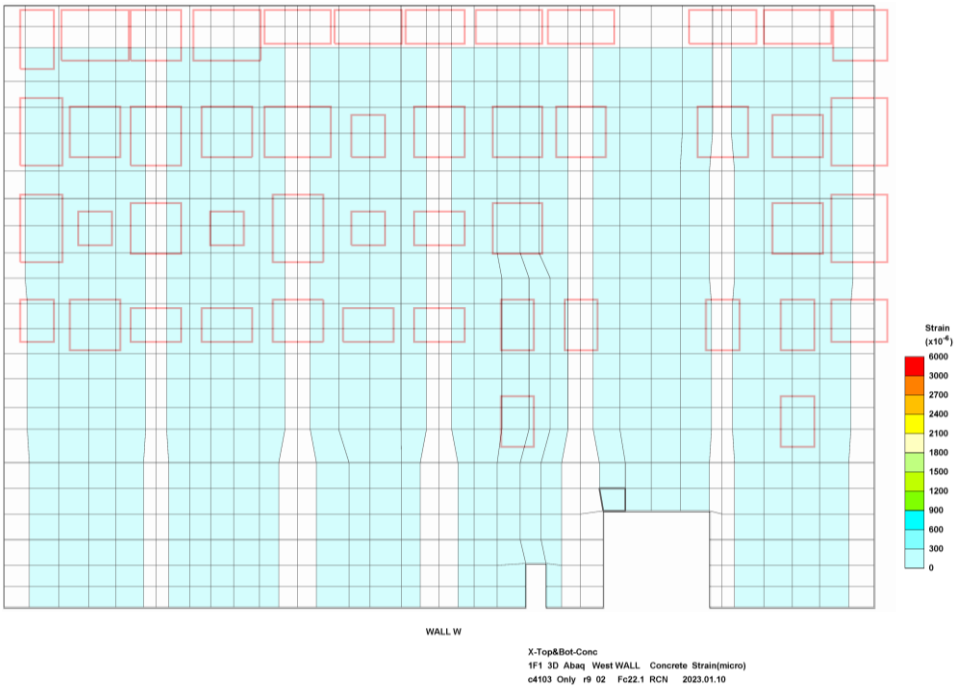




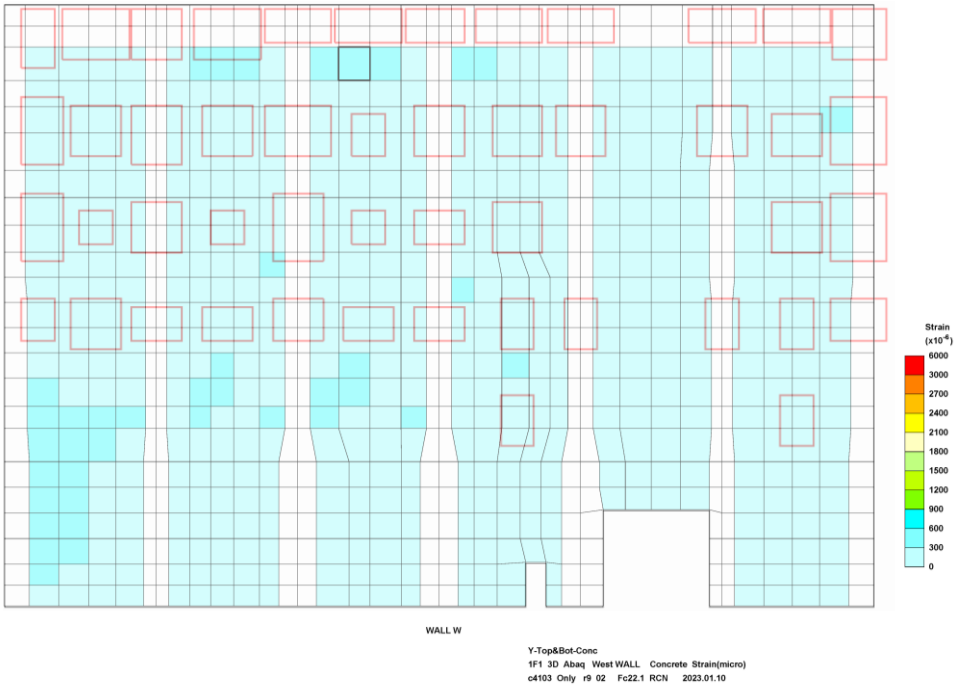
（図中赤枠はベースプレート設置位置を示す）

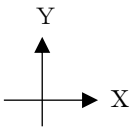
図-1.18　コンクリート圧縮ひずみの検定比（建屋外壁東面）

X方向



Y方向

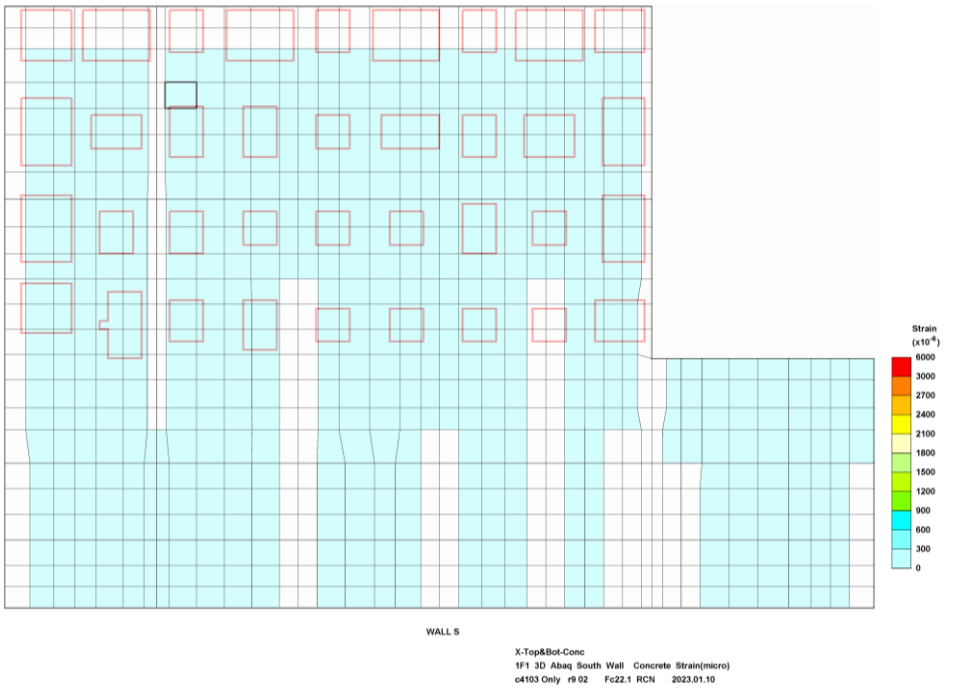




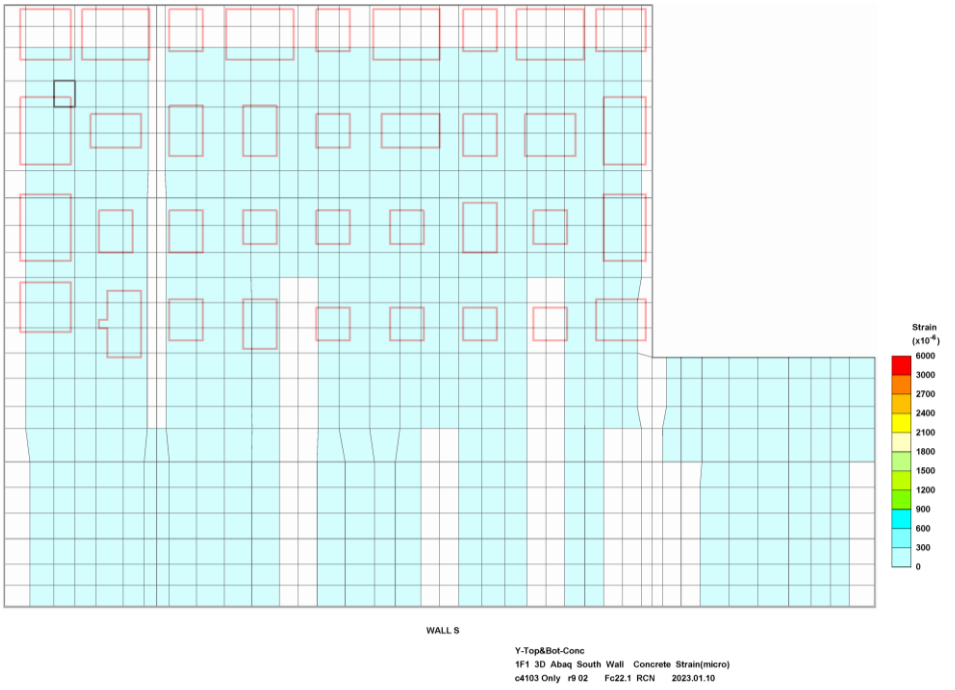
（図中赤枠はベースプレート設置位置を示す）

図-1.19　コンクリート圧縮ひずみの検定比（建屋外壁西面）

X方向



Y方向

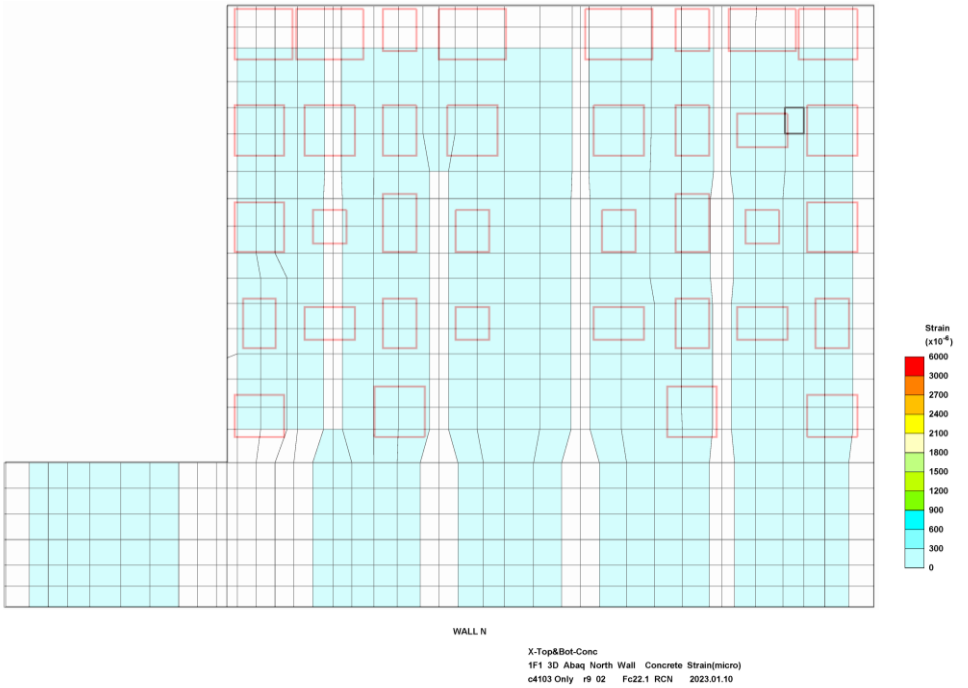


Y
X

（図中赤枠はベースプレート設置位置を示す）

図-1.20　コンクリート圧縮ひずみの検定比（建屋外壁南面）

X方向



Y方向

（図中赤枠はベースプレート設置位置を示す）

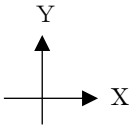
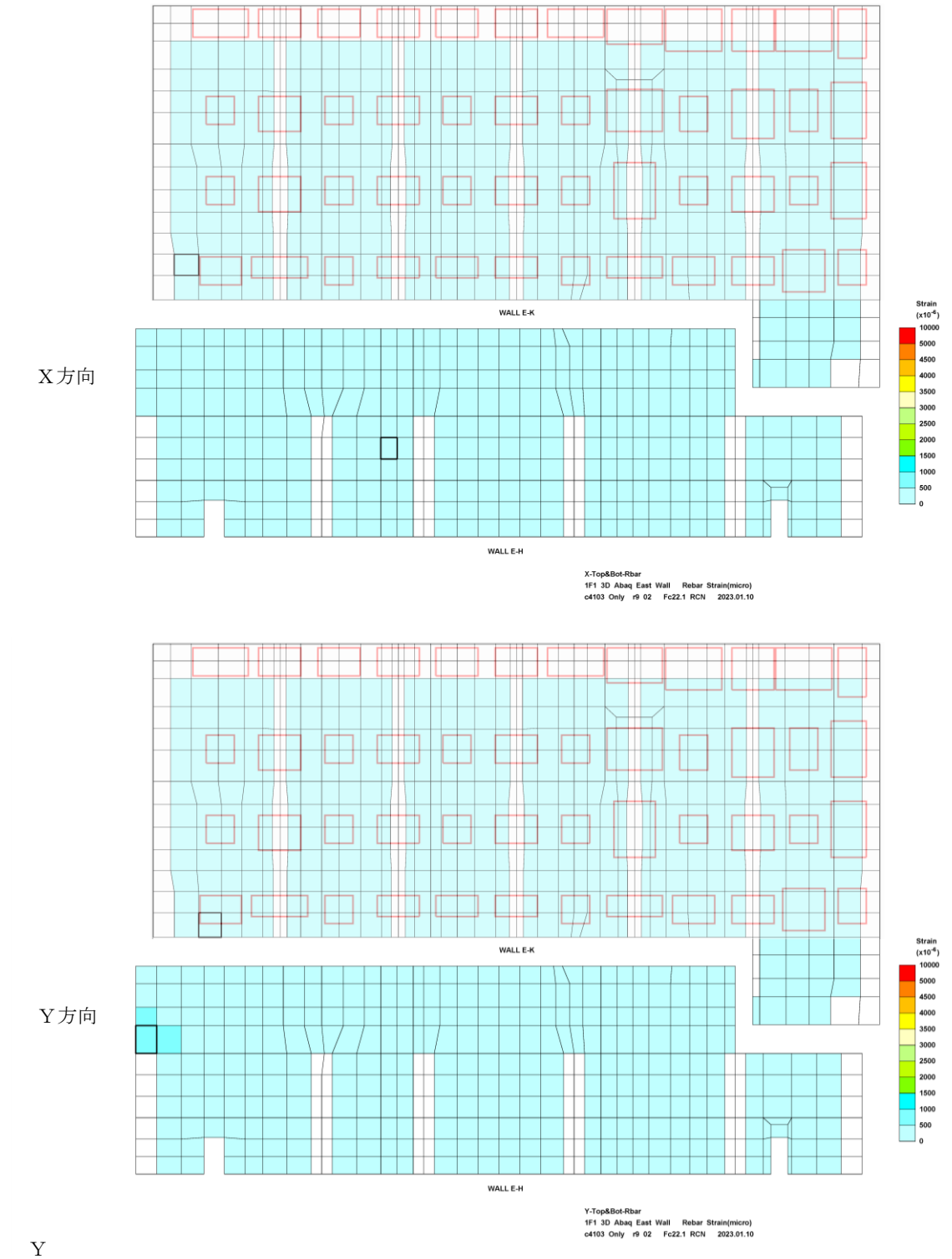


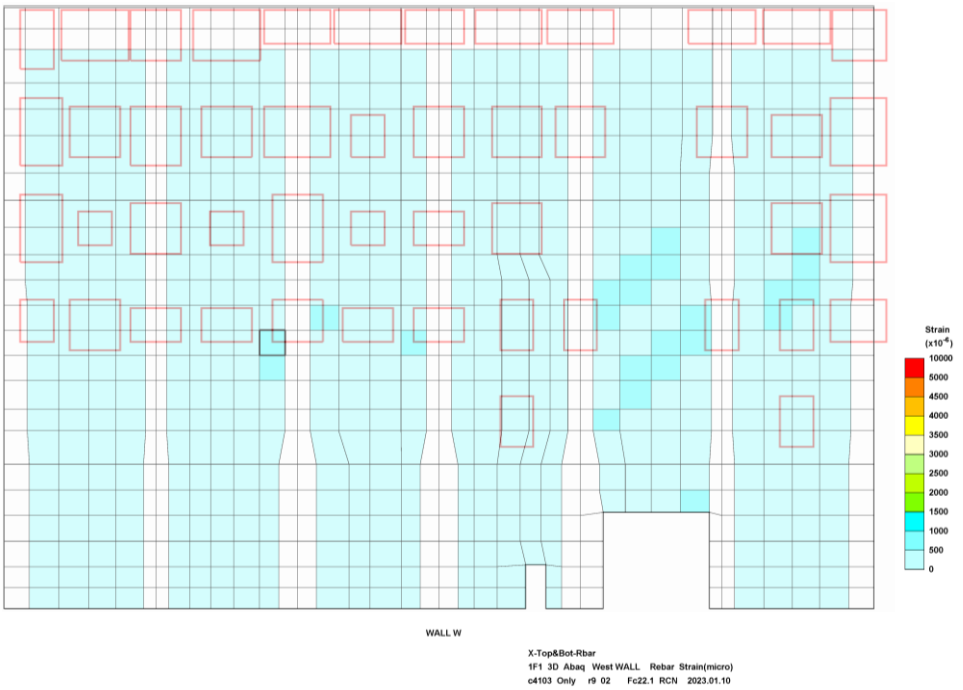
図-1.21　コンクリート圧縮ひずみの検定比（建屋外壁北面）



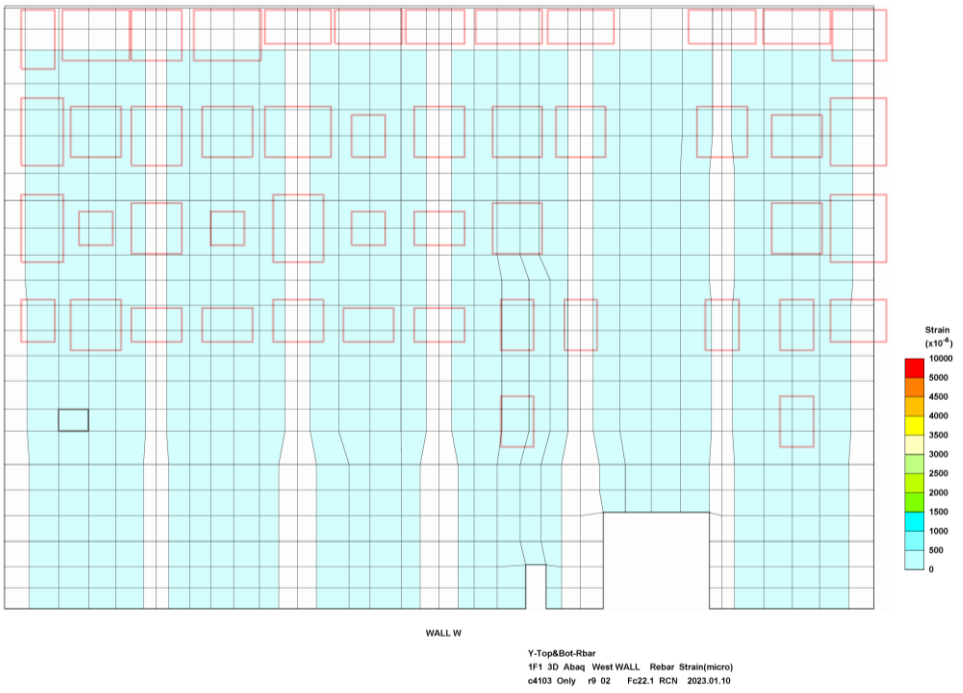
（図中赤枠はベースプレート設置位置を示す）

図-1.22　鉄筋ひずみの検定比（建屋外壁東面）

X方向



Y方向



（図中赤枠はベースプレート設置位置を示す）

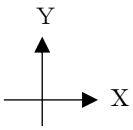
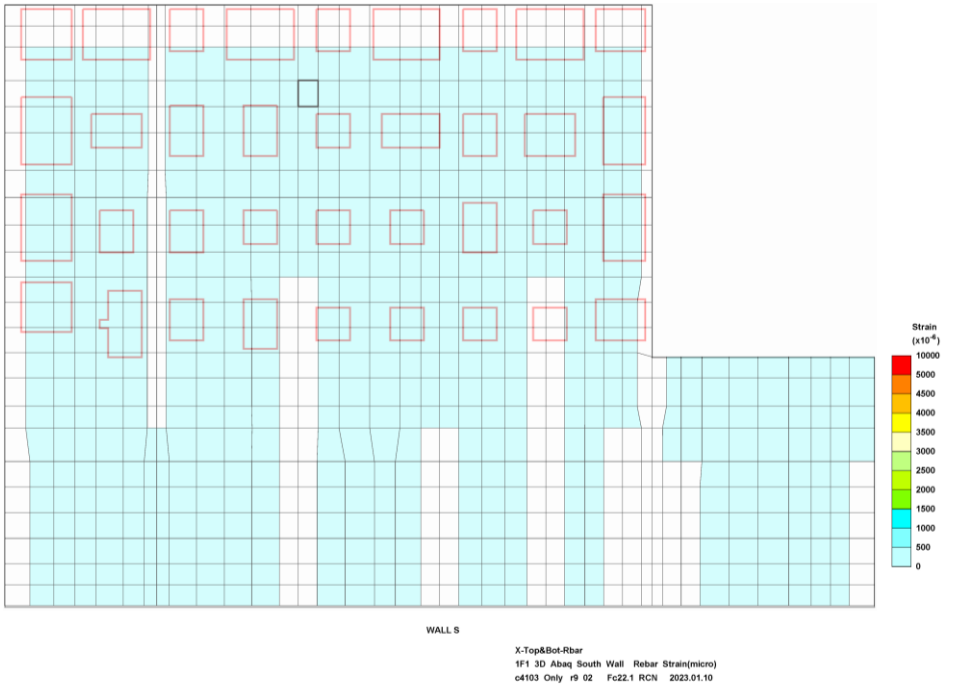
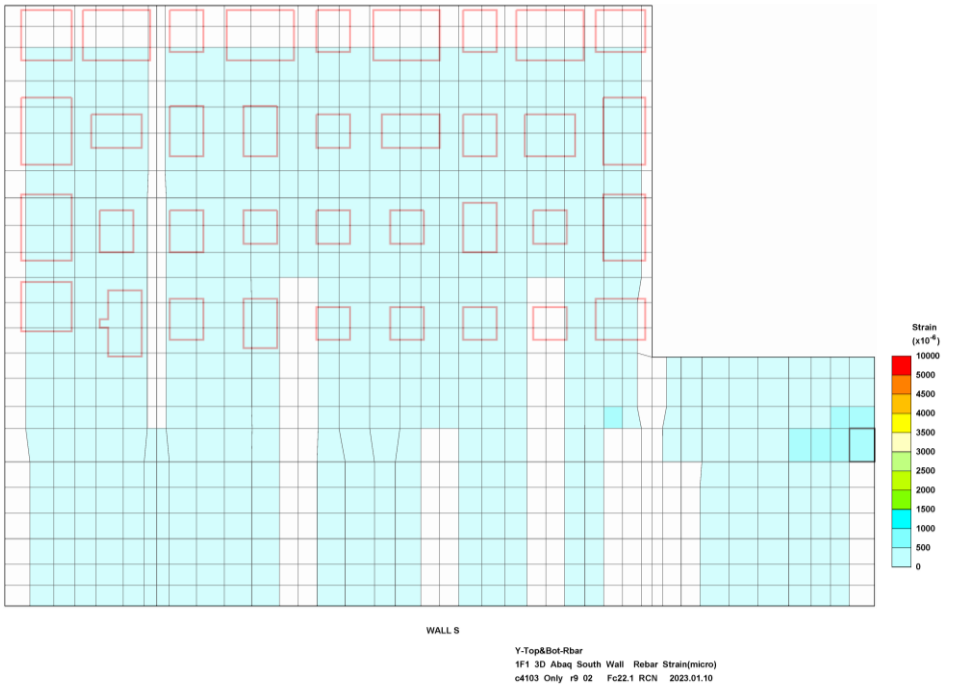


図-1.23　鉄筋ひずみの検定比（建屋外壁西面）

X方向



Y方向

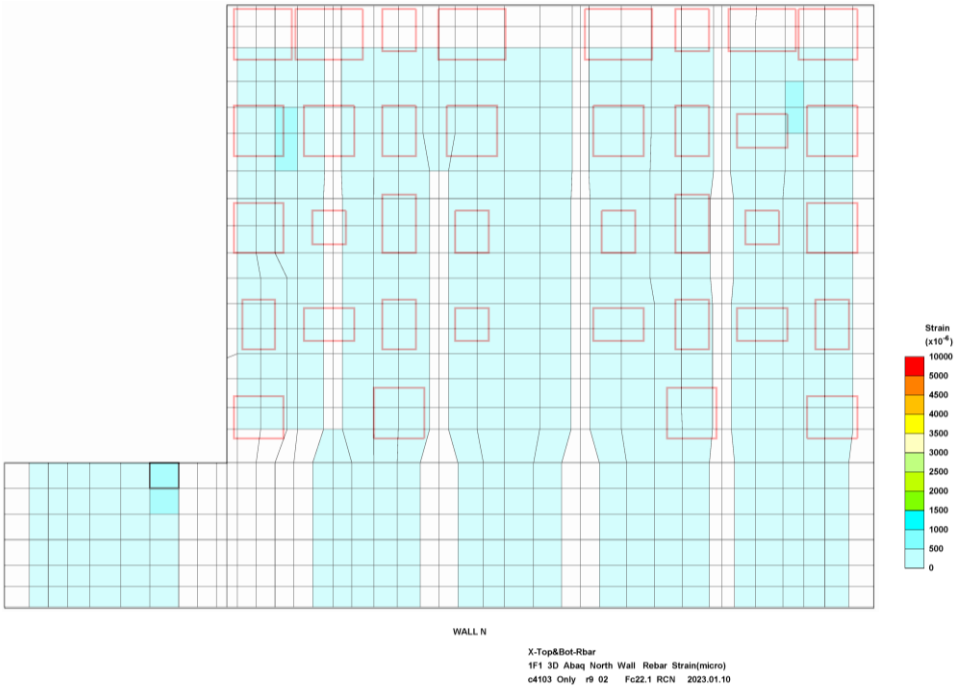


Y
X

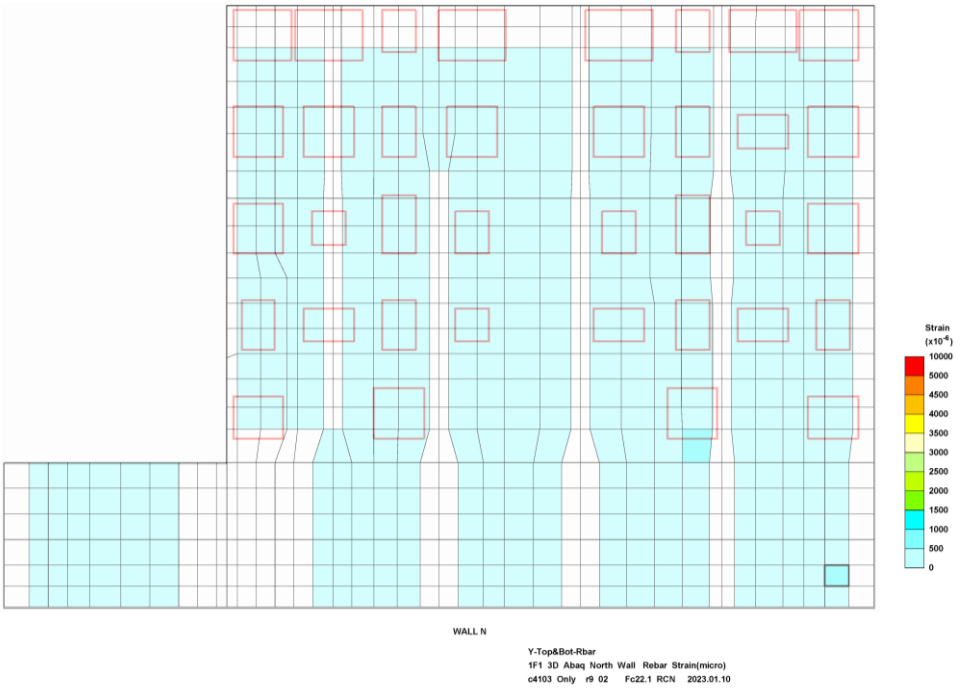
（図中赤枠はベースプレート設置位置を示す）

図-1.24　鉄筋ひずみの検定比（建屋外壁南面）

X方向



Y方向



（図中赤枠はベースプレート設置位置を示す）

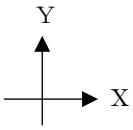
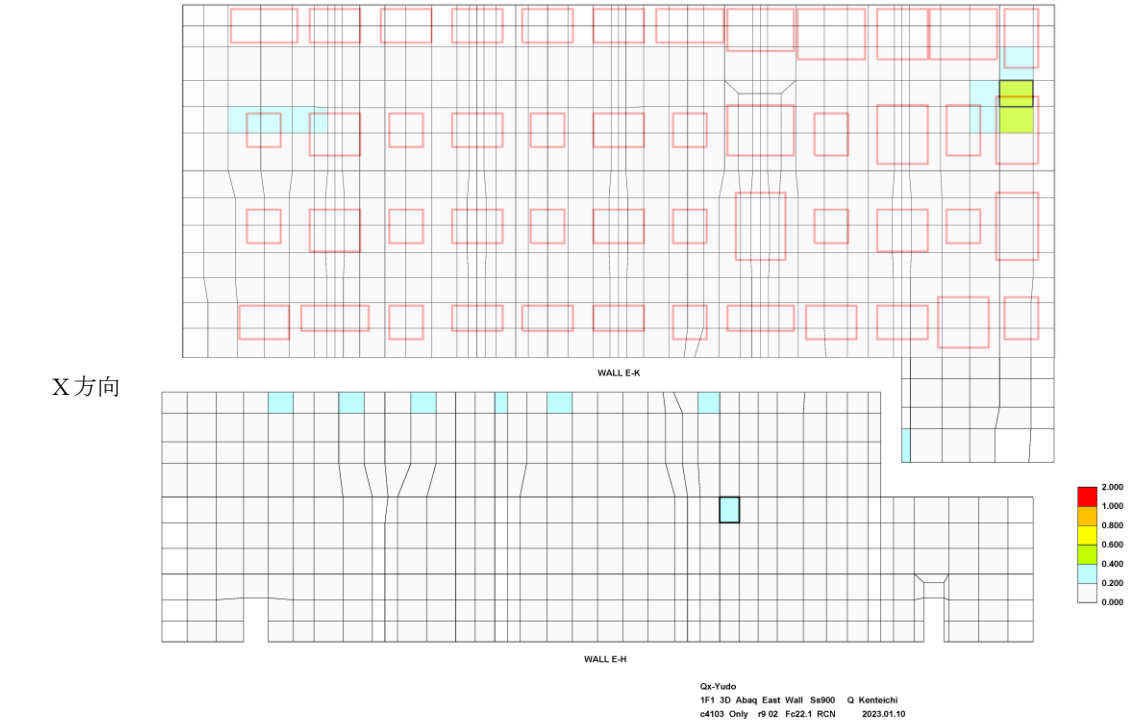
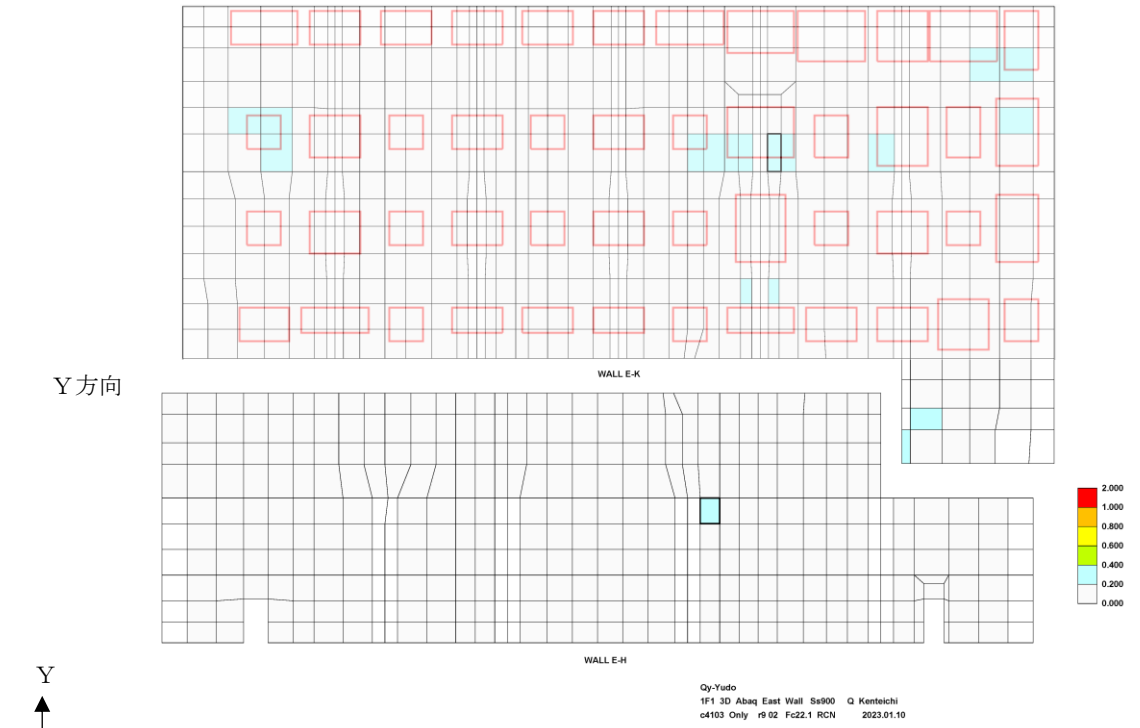
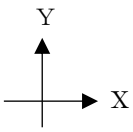


図-1.25　鉄筋ひずみの検定比（建屋外壁北面）



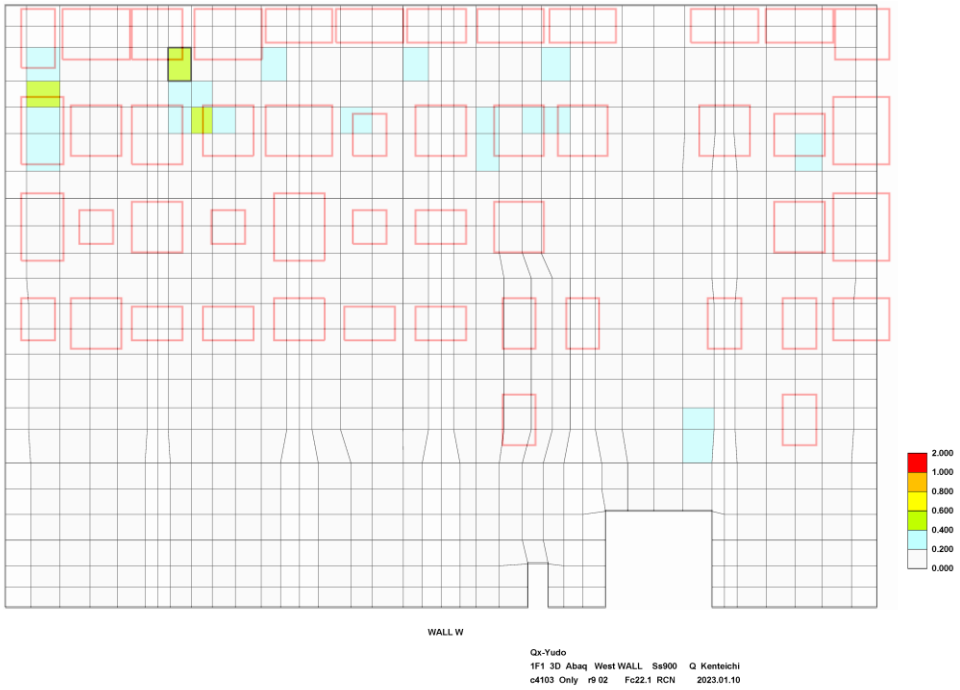




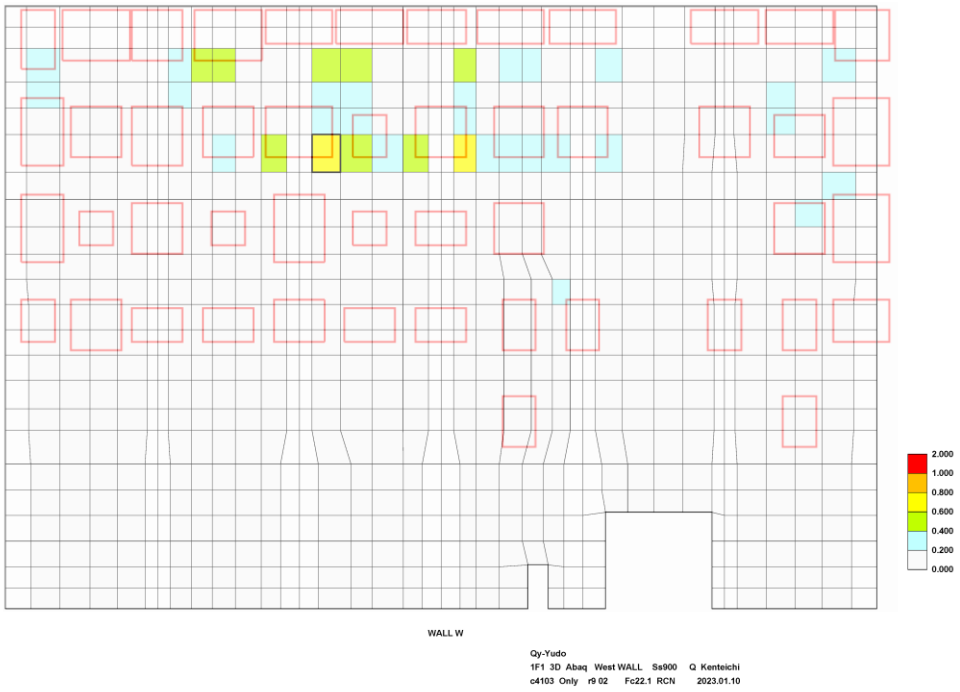
（図中赤枠はベースプレート設置位置を示す）

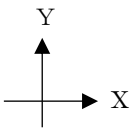
図-1.26　面外せん断力の検定比（建屋外壁東面）

X方向



Y方向

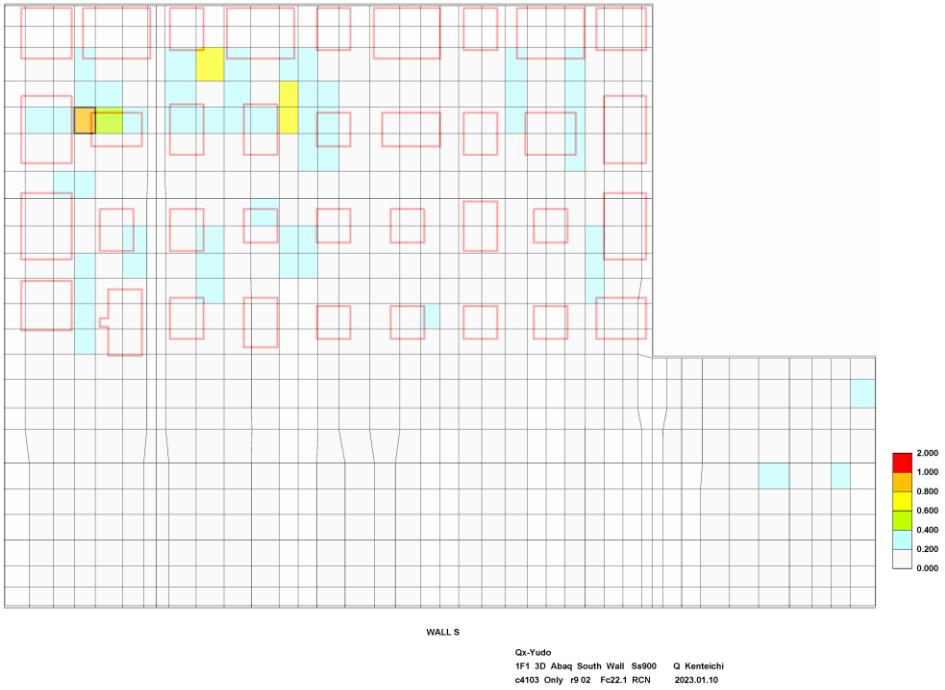




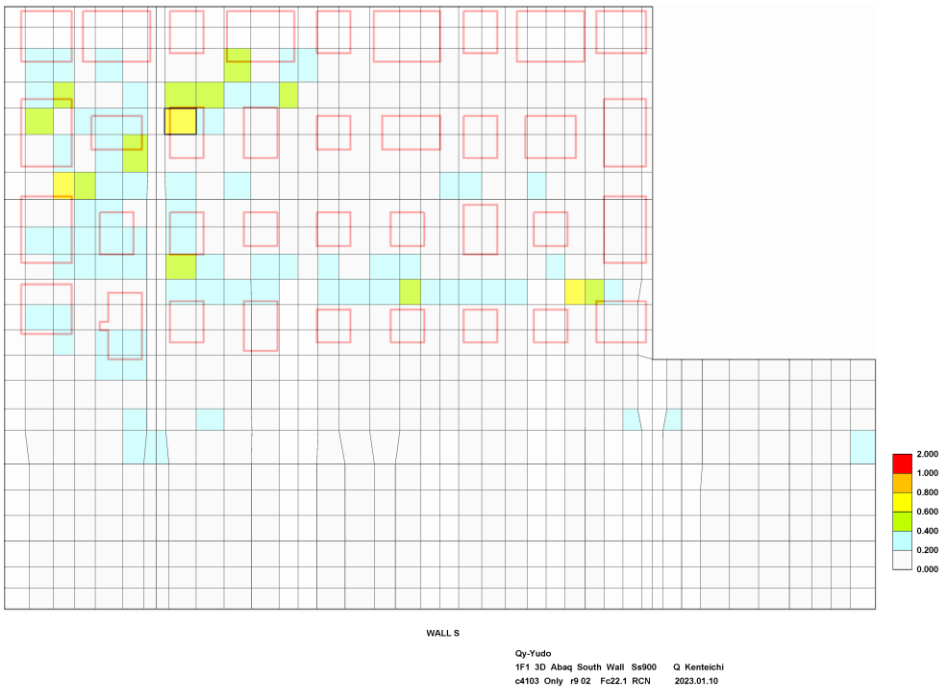
（図中赤枠はベースプレート設置位置を示す）

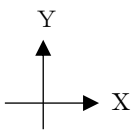
図-1.27　面外せん断力の検定比（建屋外壁西面）

X方向



Y方向

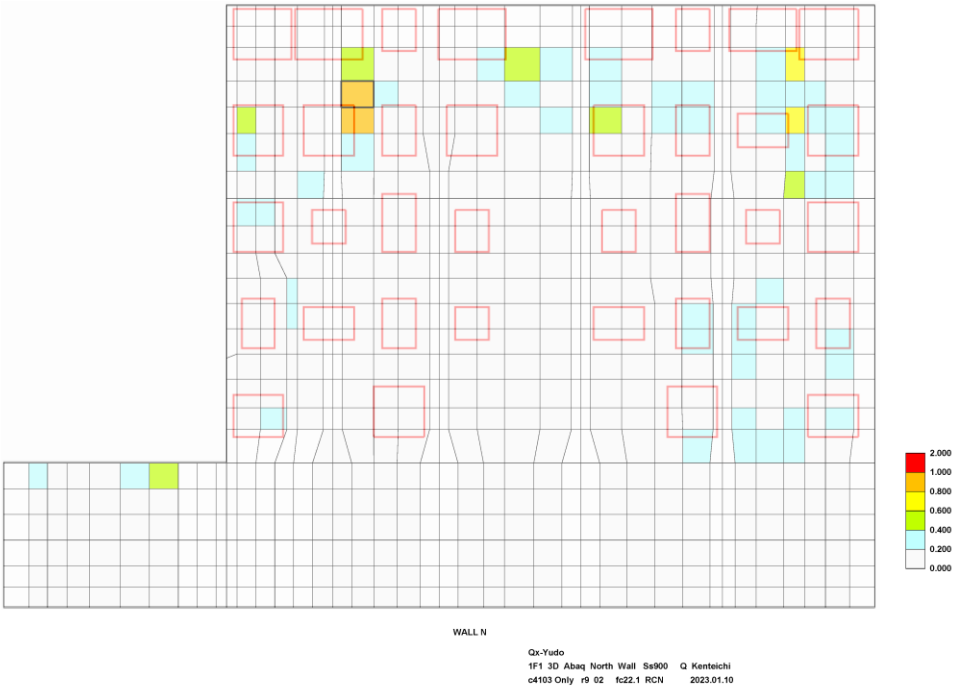




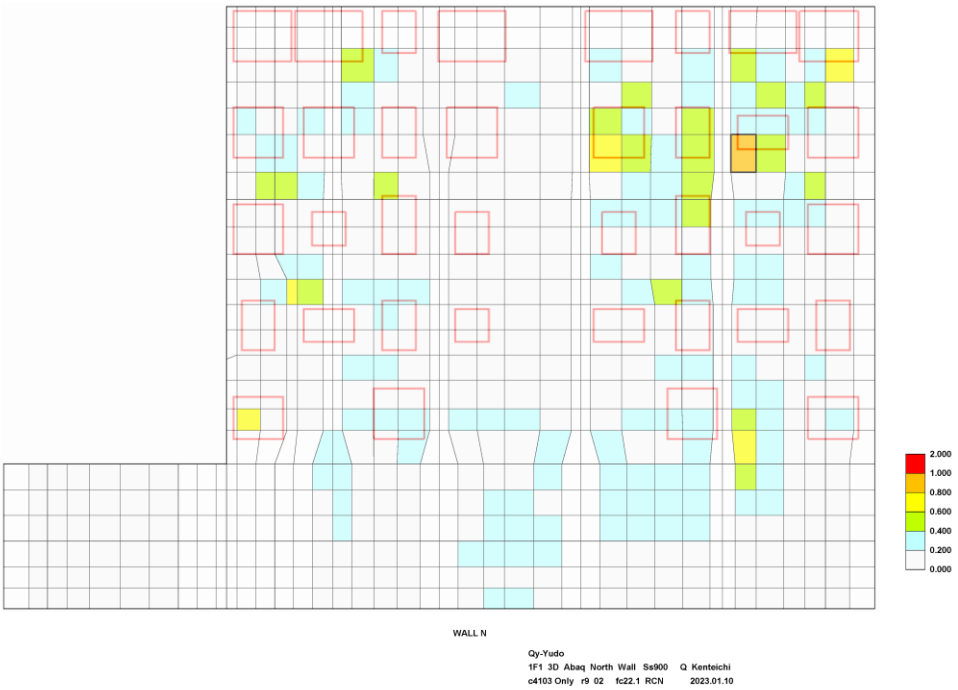
（図中赤枠はベースプレート設置位置を示す）

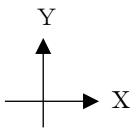
図-1.28　面外せん断力の検定比（建屋外壁南面）

X方向



Y方向





（図中赤枠はベースプレート設置位置を示す）

図-1.29　面外せん断力の検定比（建屋外壁北面）

別添－１３

１号機ランウェイガーダに係る確認事項

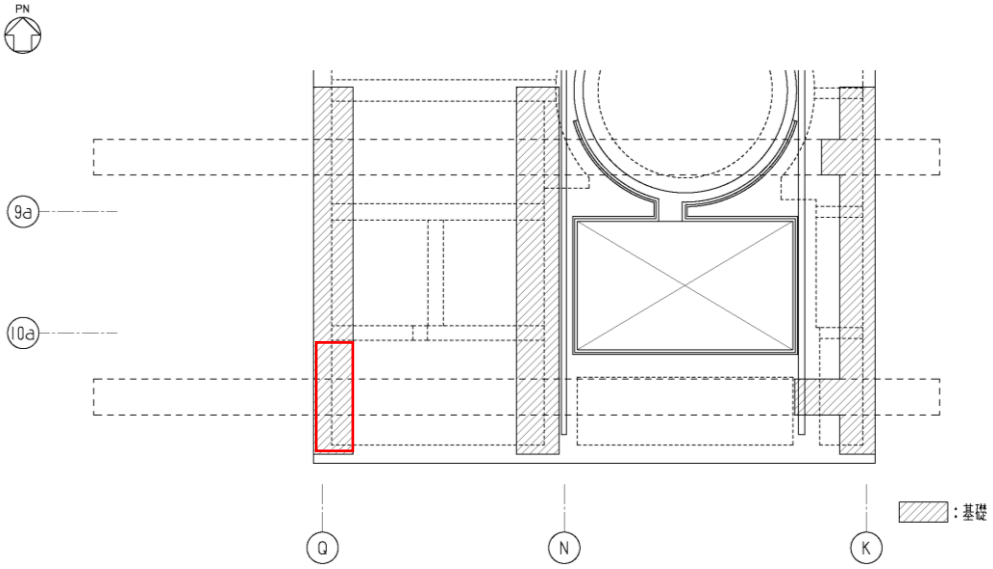
１号機ランウェイガーダの工事に係る主要な確認項目を表－１に示す。

表－1（1）　ランウェイガーダに係る確認項目

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度及び耐震性	材料確認	コンクリート基礎の圧縮強度を確認する。	基礎のコンクリート強度が,実施計画に記載されている設計基準強度に対して，JASS5N の基準を満足すること。
		鉄筋の材質,強度,化学成分を確認する。	JIS G 3112 に適合すること。
		鋼材の材質,強度,化学成分を確認する。	JIS G 3136 又は建築基準法第 37 条第二号の規定に適合すること。
		トルシア型高力ボルト(S10T)，高力六角ボルト(F10T)の仕様を確認する。	JIS B 1186 又は建築基準法第 37 条第二号の規定に適合すること。
		アンカーボルトの材質，強度，化学成分を確認する。	JIS G 3138 に適合すること。
		オイルダンパの減衰係数を確認する。	オイルダンパの減衰係数が実施計画に記載された数値の±15%以内であること。
		オイルダンパのストロークを確認する。	オイルダンパのストロークが,中立状態から正方向(伸長方向)に 100㎜ 以上，負方向(収縮方向)に 100㎜ 以上であること。

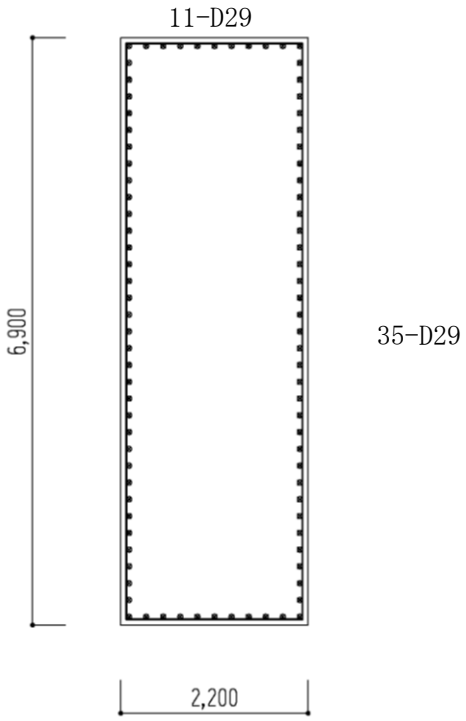
表－1（２）　ランウェイガーダに係る確認項目

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度及び耐震性	据付確認	鉄筋の径，本数（図-1 参照）を確認する。	鉄筋の径，本数が実施計画に記載されている通りであること。
		接合部の施工状況（図-2 参照）を確認する。	高力ボルトが所定の本数・種類であること。
		アンカーボルト埋め込み長さ（図-3 参照）を確認する。	アンカーボルトの有効埋め込み長さが実施計画に記載されている通りであり，かつボルトの余長はナット面から突き出た長さが 3 山以上であること。
		オイルダンパの設置状況（図-4 参照）を確認する。	オイルダンパの設置位置及び設置数が実施計画に記載されている通りであること。
	外観確認	オイルダンパの外観を確認する。	有害な欠陥がないこと。



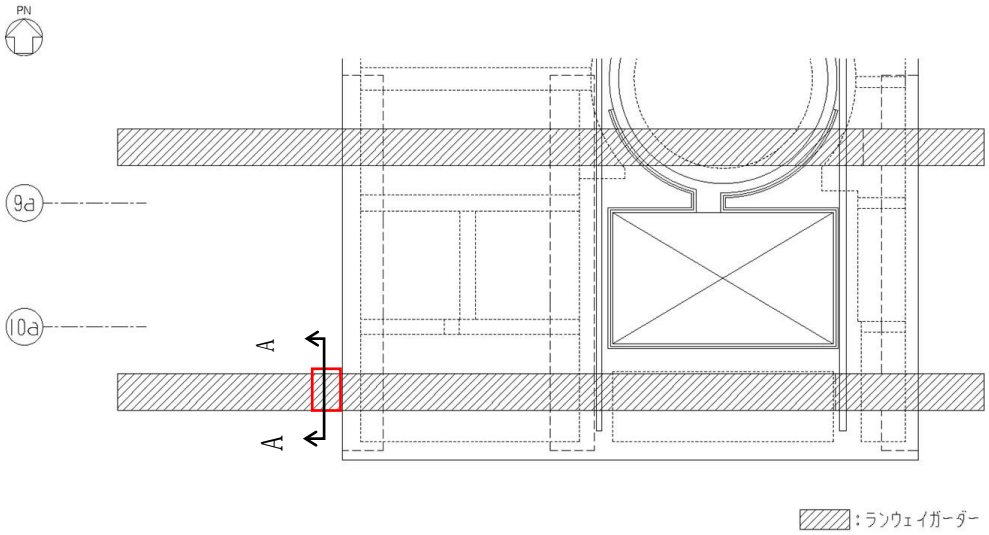
平面図

基礎配筋位置（最大検定比箇所）



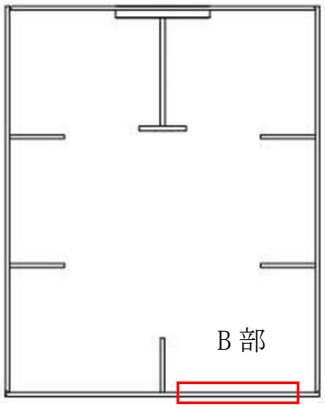
基礎配筋詳細（平面）

図-1　基礎配筋図（単位：mm）

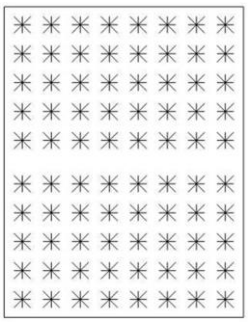


平面図

（１）接合部位置（最大検定比箇所）



A-A 断面図



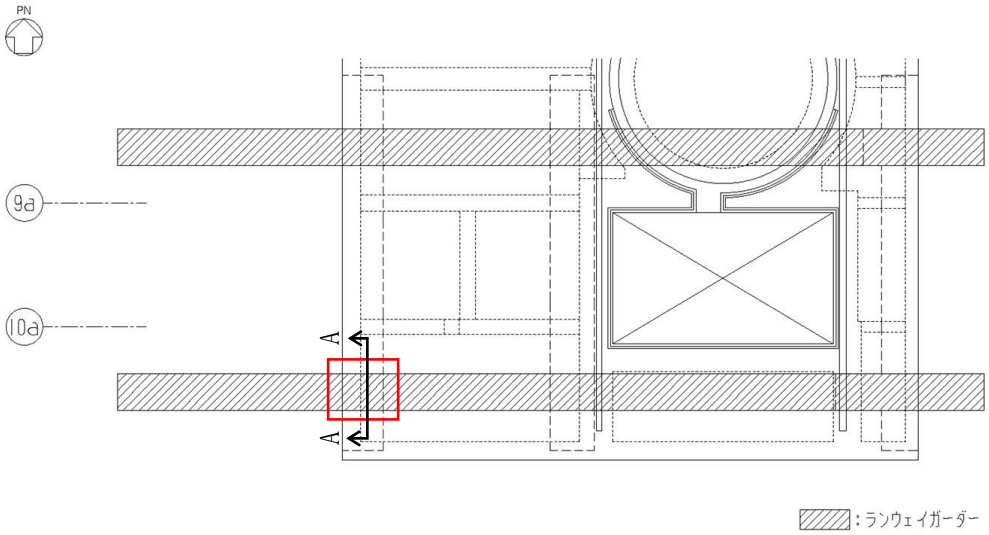
B 部詳細

ボルト種類：HTB M24

ボルト本数：40 本×2

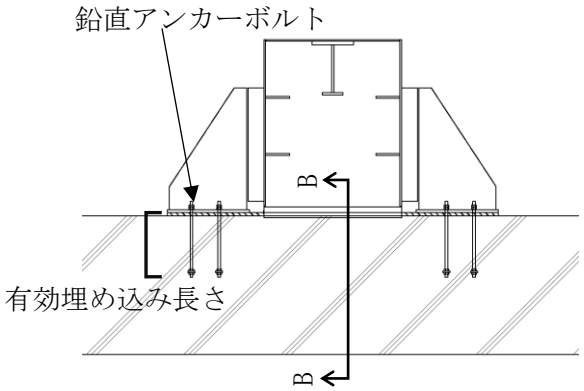
（２）接合部詳細

図-2 接合部位置図

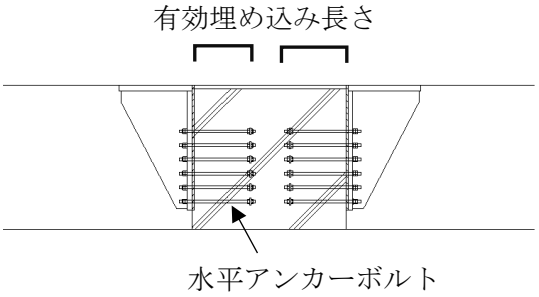


平面図

（１）アンカーボルト位置（最大耐力比箇所）



A-A 断面図



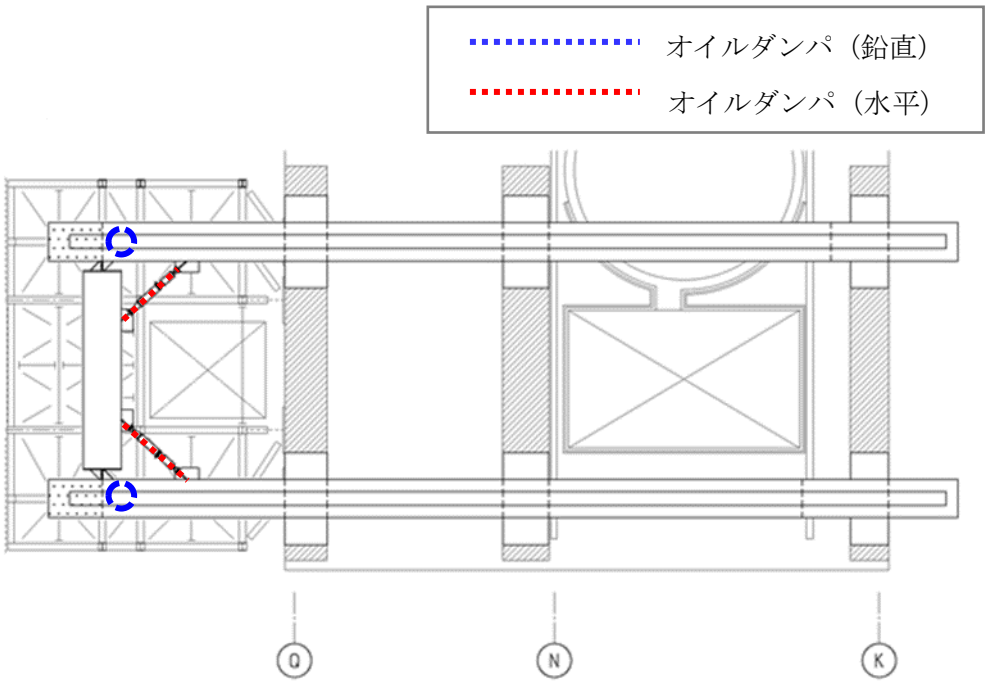
B-B 断面図

水平アンカーボルト：M42，SNR490B，有効埋め込み長さ 840mm 以上

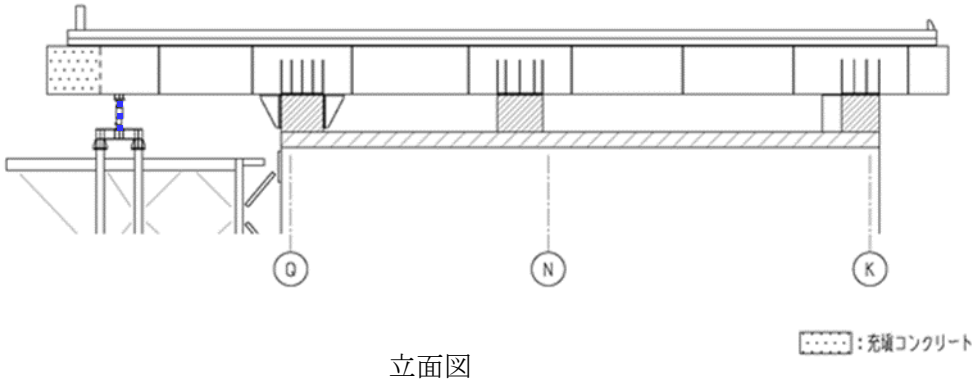
鉛直アンカーボルト：M42，SNR490B，有効埋め込み長さ 840mm 以上

（２）アンカーボルト詳細（最大耐力比箇所）

図-3　アンカーボルト位置図



平面図



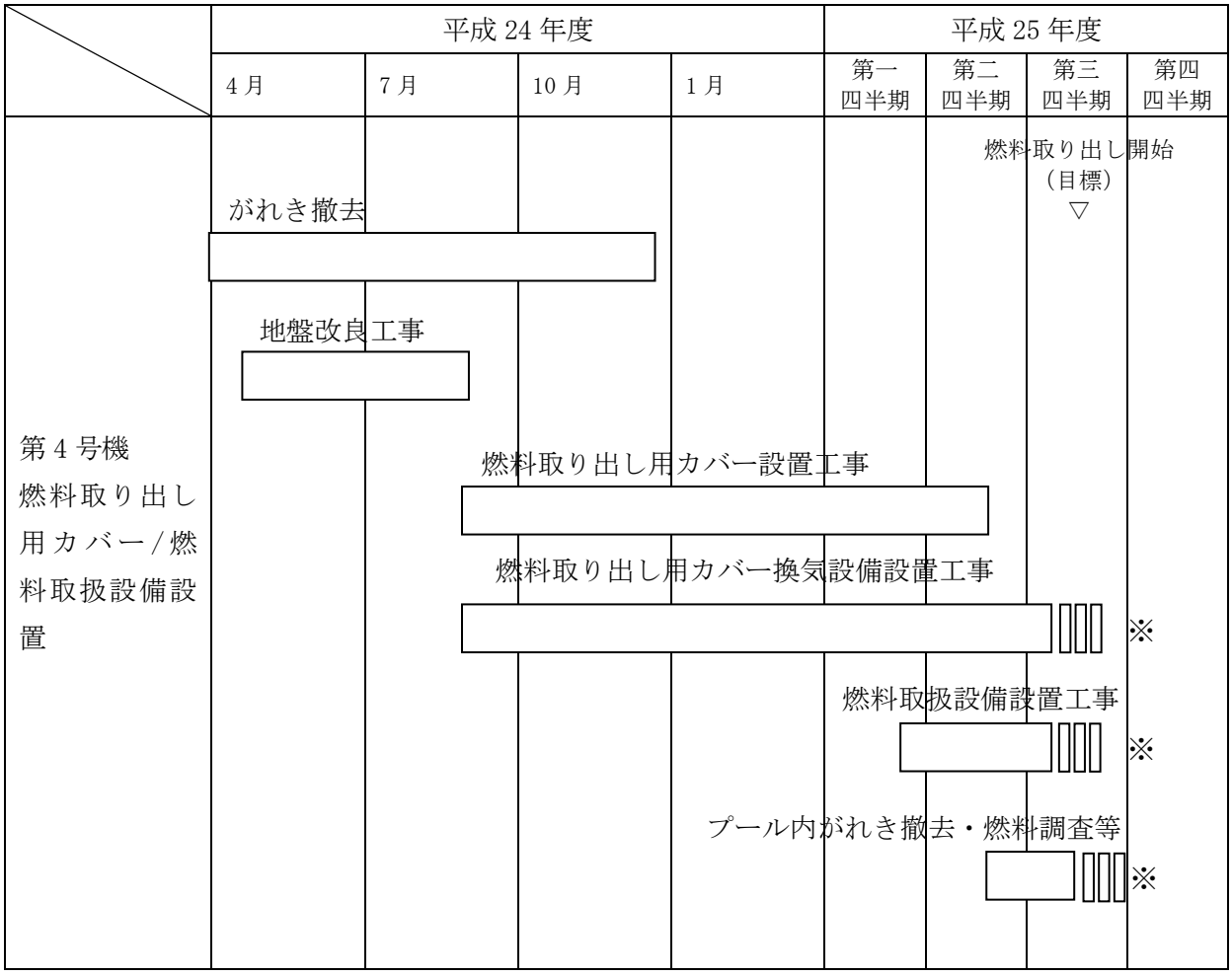
立面図

図-4　オイルダンパ位置図

添付資料－５

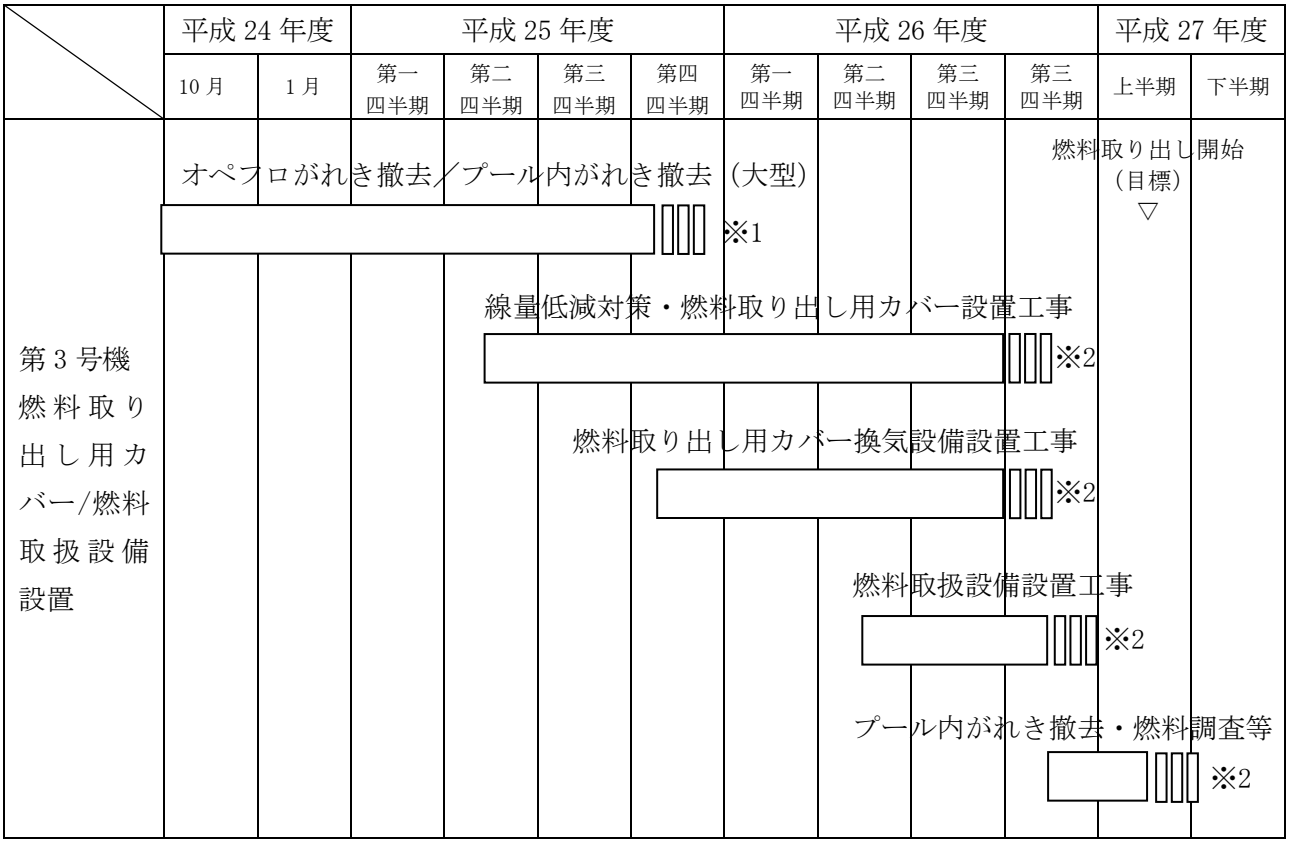
使用済燃料プールからの燃料取り出し工程表

第４号機使用済燃料プールからの燃料取り出し　工程表



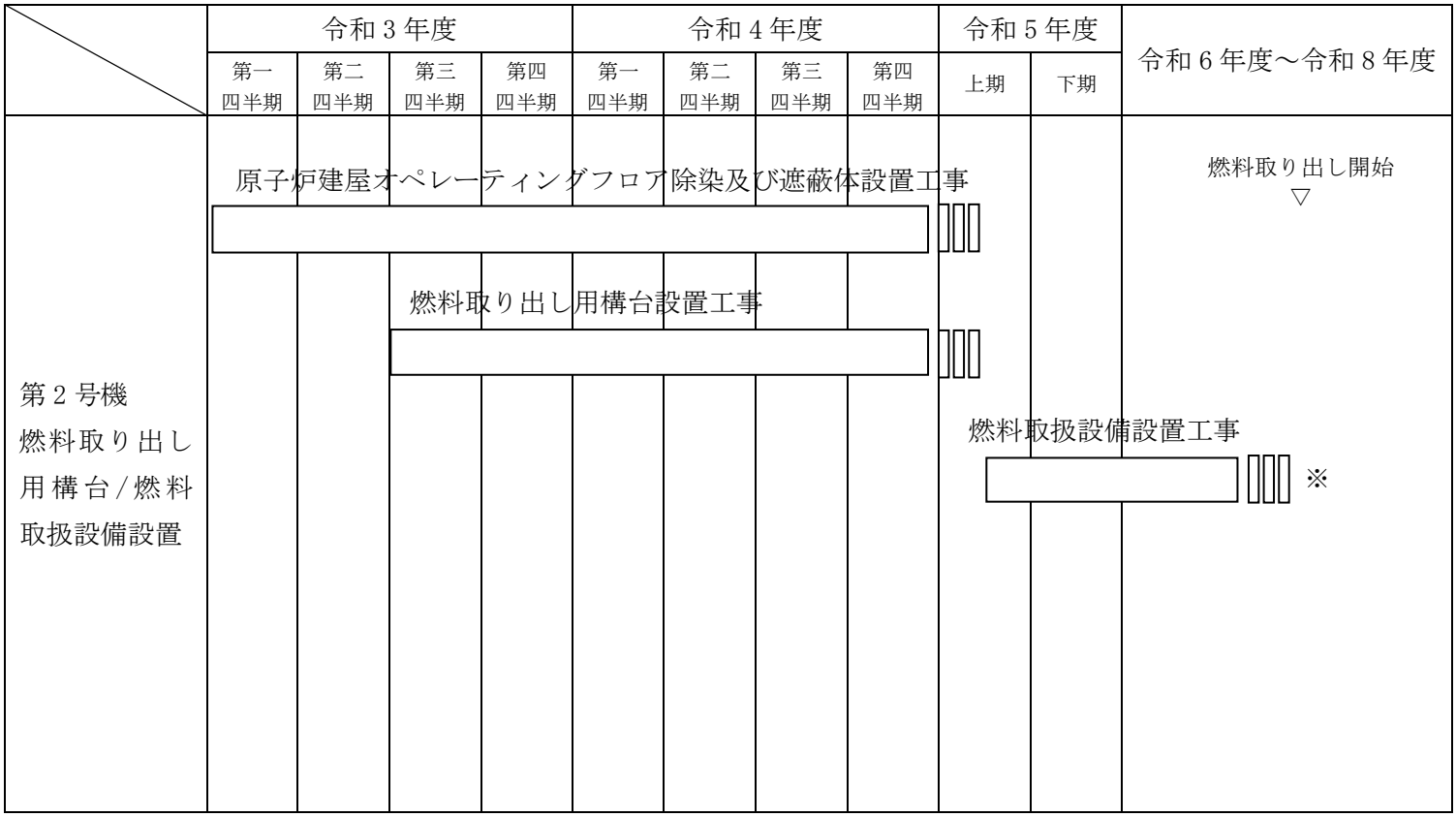
※：燃料取扱設備設置工事/プール内がれき撤去の進捗によって工程に影響を与える可能性有

第 3 号機使用済燃料プールからの燃料取り出し　工程表



※1：がれきの状況により終了時期が変動する可能性有
※2：がれき撤去の進捗によっては、燃料取り出し用カバー/燃料取扱設備設置工事工程等に影響を与える可能性有

第 2 号機使用済燃料プールからの燃料取り出し　工程表



※：原子炉建屋オペレーティングフロア除染及び遮蔽体設置工事の進捗により，燃料取扱設備設置工事工程に影響を与える可能性有

第 1 号機使用済燃料プールからの燃料取り出し　工程表

	令和 7 年度				令和 8 年度				令和 9 年度～令和 10 年度
	第一 四半期	第二 四半期	第三 四半期	第四 四半期	第一 四半期	第二 四半期	第三 四半期	第四 四半期	
第 1 号機 燃料取扱 設備設置	ガレキ・天井クレーン撤去作業・除染・遮蔽								燃料取り出し開始 ▽ 燃料取扱設備設置工事※

※：ガレキ・天井クレーン撤去作業等の進捗により，燃料取扱設備設置工事工程に影響を与える可能性有

第１編

（１号炉，２号炉，３号炉及び４号炉に係る保安措置）

（外部放射線に係る線量当量率等の測定）

第６０条

各プログラム部長及び各ＧＭは，表６０－１及び表６０－２（第４８条第１項（２）の区域内にある汚染のおそれのない管理対象区域内に限る）に定める管理対象区域内における測定項目について，同表に定める頻度で測定する。ただし，人の立ち入れない措置を講じた管理対象区域については，この限りでない。

２．放出・環境モニタリングＧＭは，表６０－１に定める周辺監視区域境界付近（測定場所は図６０に定める。）における測定項目について，同表に定める頻度で測定する。

３．放射線防護ＧＭは，第１項の測定により，放出・環境モニタリングＧＭは，第２項の測定により，異常が認められた場合は，直ちにその原因を調査し，必要な措置を講じる。

４．各プログラム部長及び各ＧＭは，第１項に定める測定結果を放射線防護ＧＭに連絡する。放射線防護ＧＭは，測定結果を記入したサーベイマップを作成する。

表６０－１

場　　所	測定項目	所管ＧＭ	測定頻度
１．管理対象区域内（管理区域内を含む）※1	外部放射線に係る線量当量率	各プログラム部長及び各ＧＭ	放射線レベルに応じて
		放射線防護ＧＭ※2	毎日運転中に１回
	外部放射線に係る線量当量	放射線防護ＧＭ	１週間に１回
	空気中の放射性物質濃度	放射線防護ＧＭ	１週間に１回
	表面汚染密度	放射線防護ＧＭ	１週間に１回
２．周辺監視区域境界付近	空気吸収線量	放出・環境モニタリングＧＭ	３ヶ月に１回
	空気吸収線量率※3	放出・環境モニタリングＧＭ	常時
	空気中の粒子状放射性物質濃度	放出・環境モニタリングＧＭ	３ヶ月に１回

※１：人の立入頻度等を考慮して，被ばく管理上重要な項目について測定

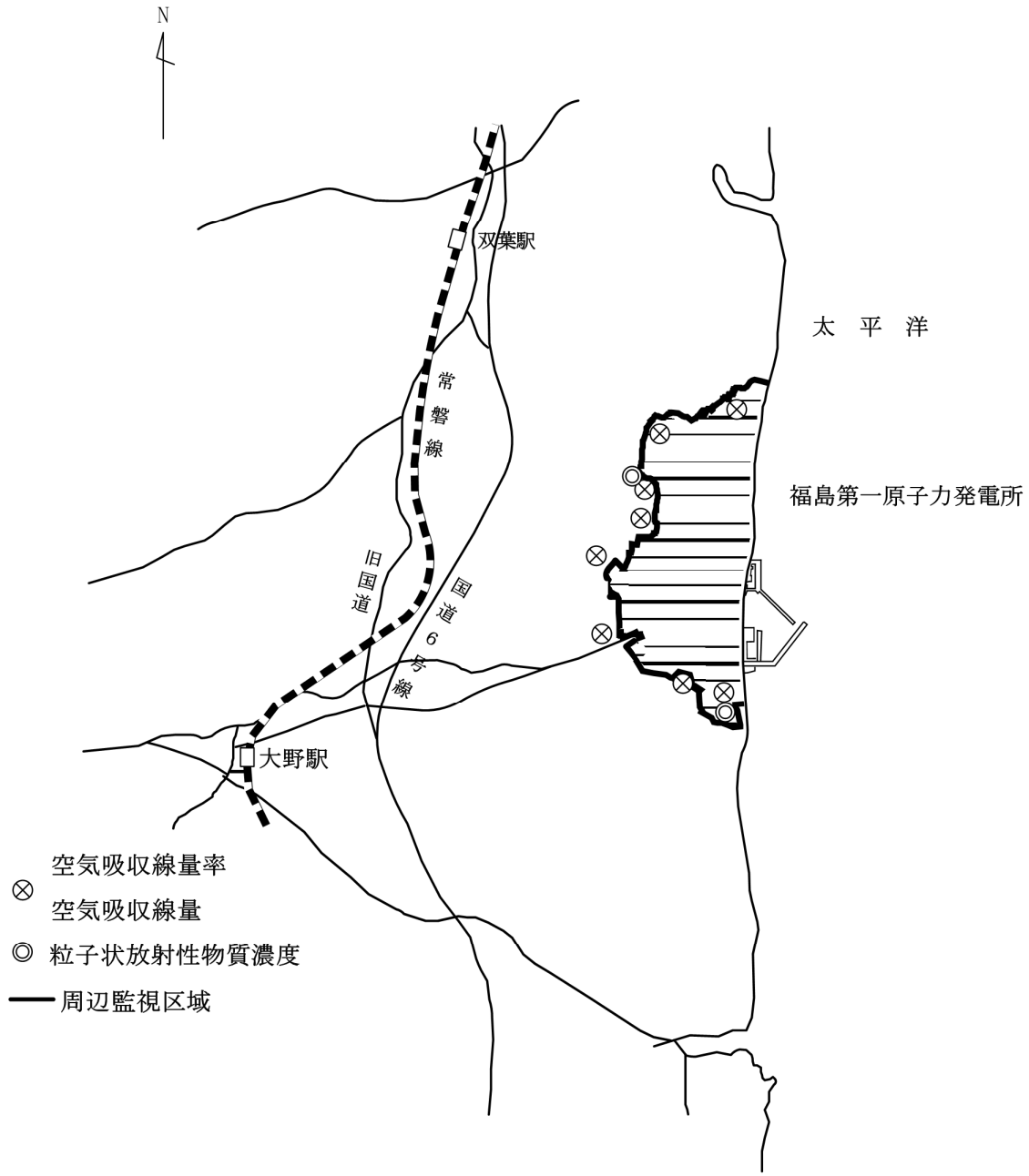
※２：使用済燃料共用プールのエリアモニタ，使用済燃料乾式キャスク仮保管設備のエリアモニタ，１号炉原子炉建屋５階のエリアモニタ，２号炉燃料取り出し用構台のエリアモニタ，３号炉原子炉建屋５階のエリアモニタ及び４号炉原子炉建屋５階のエリアモニタにおいて測定する項目

※３：モニタリングポストにおいて測定する項目

表６０－２

場　　所	測定項目	所管ＧＭ	測定頻度
汚染のおそれのない管理対象区域内	表面汚染密度	放射線防護ＧＭ	毎日１回 （汚染のおそれのない管理対象区域が設定されている期間）
	空気中の放射性物質濃度		

図６０



（放射線計測器類の管理）

第６１条

各ＧＭは，表６１に定める放射線計測器類について，同表に定める数量を確保する。ただし，故障等により使用不能となった場合は，修理又は代替品を補充する。

表６１

分　　類	計測器種類	所管ＧＭ	数量※1
１．被ばく管理用計測器	ホールボディカウンタ	保安総括GM	１台
２．放射線管理用計測器	線量当量率測定用サーベイメータ	保安総括GM	７台
	汚染密度測定用サーベイメータ	保安総括GM	７台
	退出モニタ	保安総括GM	２台
	試料放射能測定装置	分析評価GM	１台※2
	集積線量計	保安総括GM	１式
３．放射線監視用計測器	モニタリングポスト	保安総括GM	８台
	エリアモニタ	燃料計装設備GM	７台※3
		燃料計装設備GM	１６台※4
４．環境放射能用計測器	試料放射能測定装置※5	分析評価GM	１台※2
	積算線量計測定装置	保安総括GM	１台

※１：５号炉及び６号炉の放射線計測器類と共用で確保する数量（エリアモニタを除く。）

※２：表４３の試料放射能測定装置と共用

※３：使用済燃料共用プールにおけるエリアモニタの合計の台数（エリアモニタが復旧していない場合には，未復旧のエリアモニタを除いた台数とする。）

※４：使用済燃料乾式キャスク仮保管設備におけるエリアモニタ，１号炉原子炉建屋５階におけるエリアモニタ，２号炉燃料取り出し用構台におけるエリアモニタ，３号炉原子炉建屋５階におけるエリアモニタ及び４号炉原子炉建屋５階におけるエリアモニタの台数

※５：福島第二原子力発電所と共用

附　　則

附則（　　）

（施行期日）

第１条

この規定は，原子力規制委員会の認可を受けた日から１０日以内に施行する。

２．第６０条及び第６１条については，１号炉原子炉建屋５階のエリアモニタ設備の運用を開始した時点から適用することとし，それまでの間は従前の例による。

附則（令和７年８月２０日　原規規発第 2508201 号）

（施行期日）

第１条

２．第６１条については，使用済燃料乾式キャスク仮保管設備における新設エリアモニタの運用を開始した時点から適用することとし，それまでの間は従前の例による。

附則（令和７年３月２８日　原規規発第 2503282 号）

（施行期日）

第１条

２．添付１（管理区域図）の全体図及び添付２（管理対象区域図）の全体図については，それぞれの区域の変更をもって適用することとし，それまでの間は従前の例による。

附則（令和６年１２月１８日　原規規発第 24121811 号）

（施行期日）

第１条

２．第５条及び第４２条の２については，放射性物質分析・研究施設第２棟の運用を開始した時点から適用することとし，それまでの間は従前の例による。

附則（令和６年５月２１日　原規規発第 2405211 号）

（施行期日）

第１条

２．第４条及び第５条については，原子力規制委員会の認可を受けた後，当社が定める日から適用することとし，それまでの間は従前の例による。

附則（令和６年４月２２日　原規規発第 2404223 号）

（施行期日）

第１条

２．添付１（管理区域図）の全体図及び添付２（管理対象区域図）の全体図の変更は，化学分析棟の増床部の運用開始をもって適用することとし，それまでの間は従前の例による。

附則（令和５年３月７日　原規規発第 2303075 号）

（施行期日）

第１条

２．添付２（管理対象区域図）の全体図における瓦礫類一時保管エリアの変更は，それぞれの区域の変更をもって適用することとし，それまでの間は従前の例による。

附則（令和５年２月２１日　原規規発第 2302212 号）

（施行期日）

第１条

２．第４２条の２の表４２の２－１における固体廃棄物貯蔵庫第１０棟排気口から放出される放射性気体廃棄物の管理については，固体廃棄物貯蔵庫第１０棟の運用を開始した時点から適用することとし，それまでの間は従前の例による。

３．添付１（管理区域図）の全体図及び固体廃棄物貯蔵庫第１０棟の管理区域図面並びに添付２（管理対象区域図）の全体図及び固体廃棄物貯蔵庫第１０棟の管理対象区域図面の変更は，それぞれの区域の区域区分の変更をもって適用することとし，それまでの間は従前の例による。

附則（令和４年１０月２７日　原規規発第 2210277 号）

（施行期日）

第１条

２．第４２条については，１号大型カバー換気設備の運用を開始した時点から適用することとし，それまでの間は従前の例による。

附則（令和４年４月２２日　原規規発第 2204221 号）

（施行期日）

第１条

２．第４２条の表４２－１及び表４２－２における２号炉原子炉建屋オペレーティングフロア及び燃料取り出し用構台換気設備から放出される気体廃棄物の管理については，２号炉原子炉建屋オペレーティングフロア及び燃料取り出し用構台換気設備の運用を開始した時点から適用することとし，それまでの間は従前の例による。

３．第６０条及び第６１条については，２号炉燃料取り出し用構台におけるエリアモニタ

の運用を開始した時点から適用することとし，それまでの間は従前の例による。

附則（令和３年４月６日　原規規発第 2104063 号）

（施行期日）

第１条

２．第５条，第３８条，第３９条及び第４２条の２については，減容処理設備の運用を開始した時点から適用することとし，それまでの間は従前の例による。

附則（令和２年８月３日　原規規発第 2008037 号）

（施行期日）

第１条

２．添付１（管理区域図）の全体図における免震重要棟及び入退域管理棟，添付２（管理対象区域図）の全体図における免震重要棟及び入退域管理棟並びに免震重要棟及び入退域管理棟の管理対象区域図面の変更は，それぞれの区域の区域区分の変更をもって適用することとし，それまでの間は従前の例による。

附則（令和２年５月２７日　原規規発第 2005271 号）

（施行期日）

第１条

２．第５条，第４０条及び第４２条の２については，大型廃棄物保管庫の運用を開始した時点から適用することとし，それまでの間は従前の例による。

３．添付１（管理区域図）の全体図及び大型廃棄物保管庫の管理区域図面並びに添付２（管理対象区域図）の全体図及び大型廃棄物保管庫の管理対象区域図面の変更は，それぞれの区域の区域区分の変更をもって適用することとし，それまでの間は従前の例による。

附則（平成２８年１２月２７日　原規規発第 1612276 号）

（施行期日）

第１条

２．第４０条の２における水位の監視については，水位計の設置が完了した貯留設備から順次適用する。

附則（平成２５年８月１４日　原規福発第 1308142 号）

（施行期日）

第１条

２．第１７条第３項及び第４項の１号炉復水貯蔵タンク水については，運用開始時点から適用する。