

6. 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

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



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



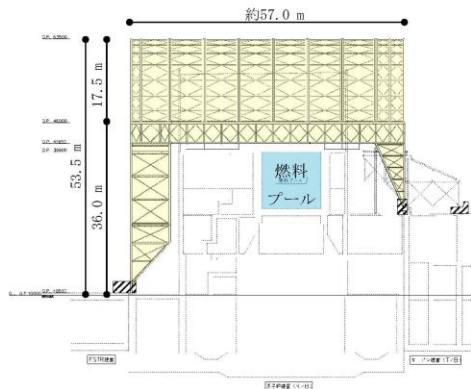
無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

※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

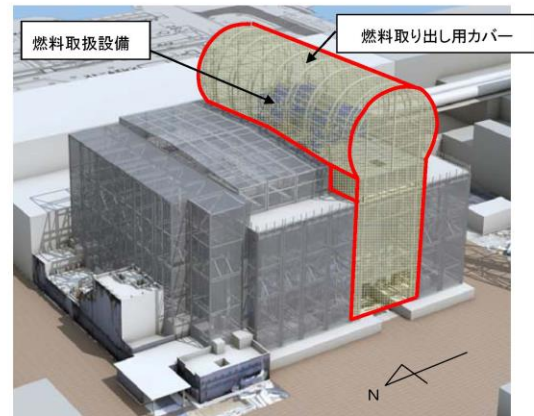
1. 施設概要と要求機能

(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。

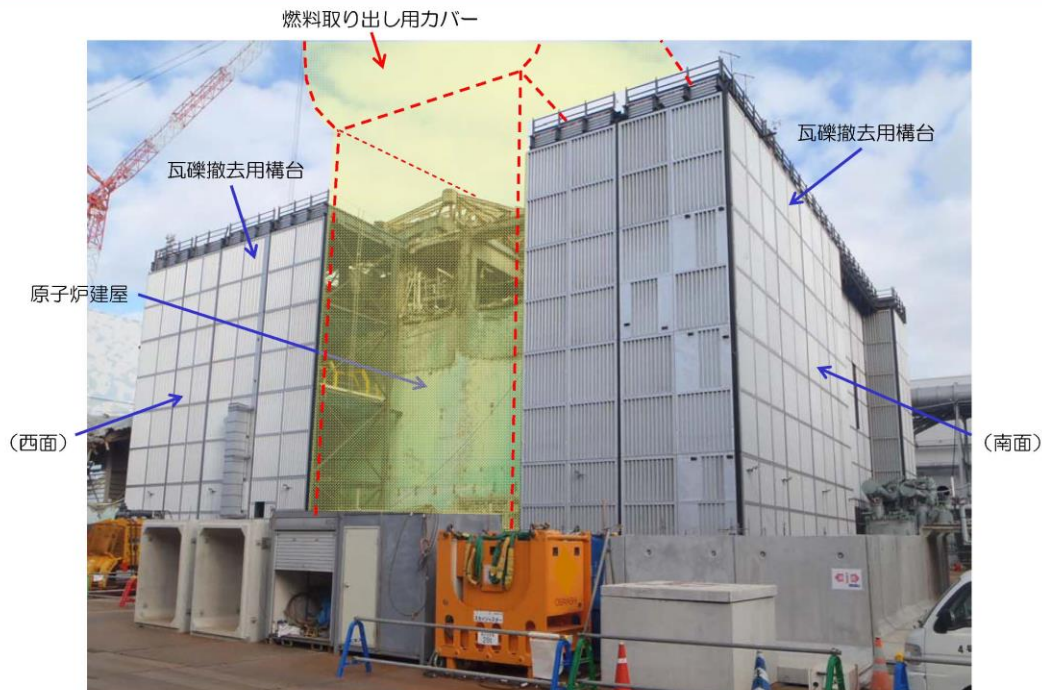


東西断面図



完成イメージ図（北西側外観）

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)

※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。

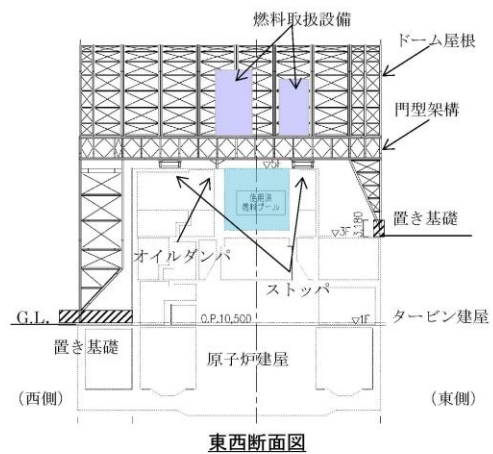
ロードマップ (2012年7月)



2. 構造概要

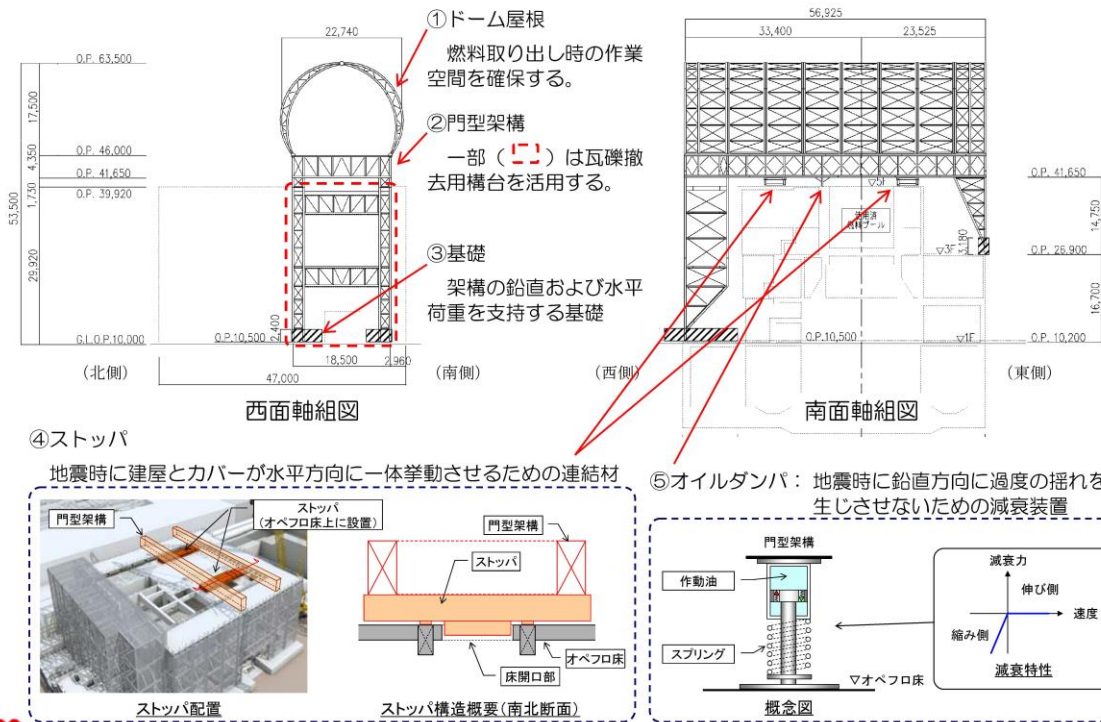
(1) 構造概要

- 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。



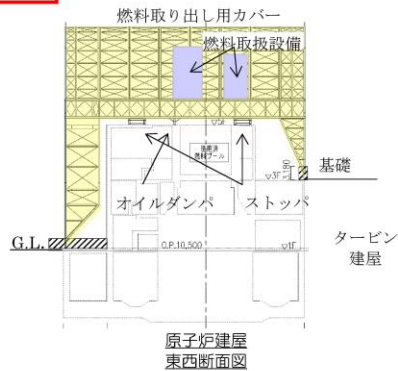
※O.P表記は震災前の「旧 O.P.表記」を指す。
 T.P.表記に換算する際は、震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P.から T.P.への読替値(-727mm)を用いて、下式に基づき換算する。
 <換算式> T.P.=旧 O.P.-1.436mm

2. 構造概要

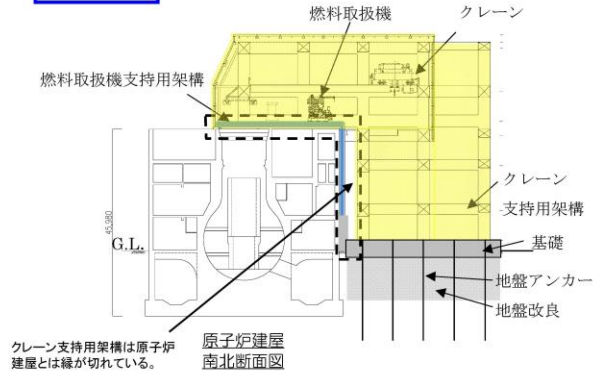


2. 構造概要 (2) 4号機との比較

3号機



4号機



| | | |
|-------------------------|---|----------------------------|
| 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 |

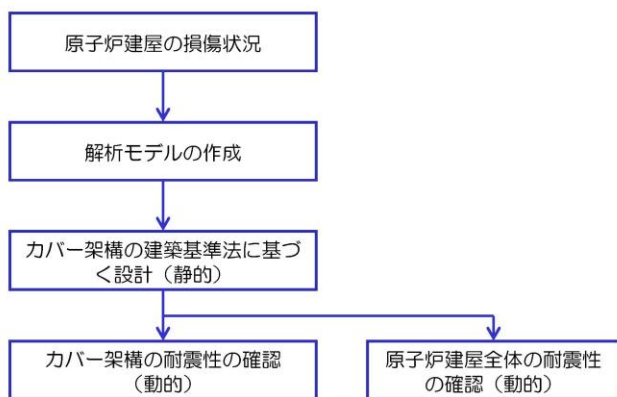
現地作業を低減し作業員の被ばくを最小限とする

※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。

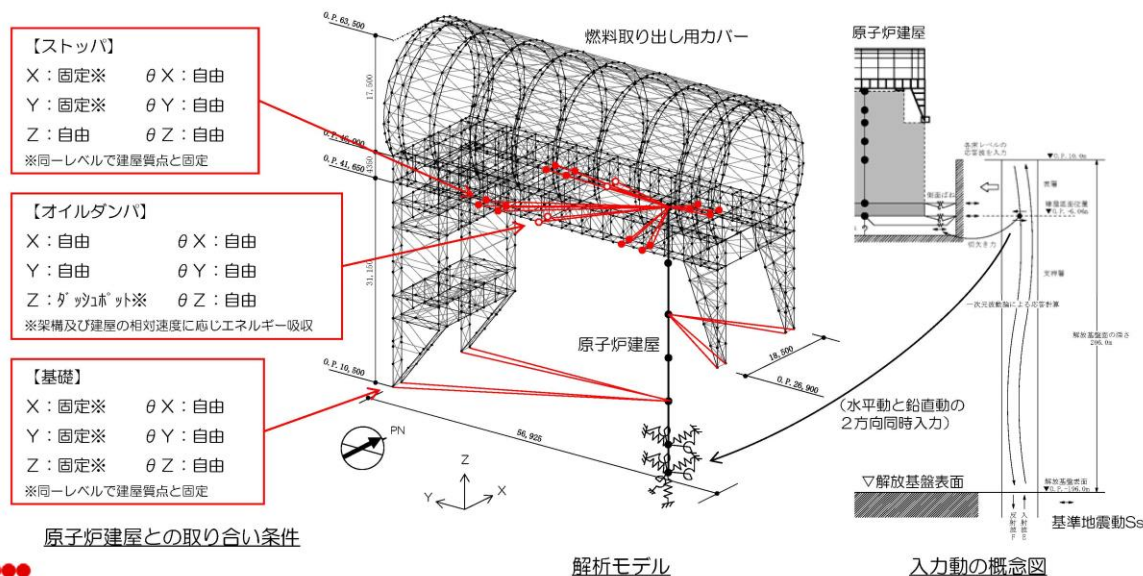


*1：建築基準法で定める地震力の1.5倍を考慮する。
 *2：基準風速30m/s（10分間平均風速、最大瞬間風速50m/s相当）
 *3：原子炉建屋、使用済み燃料プールおよび使用済み燃料貯蔵ラックに波及的影響を与えないこと。
 (注記) その他の荷重に対する考え方
 津波：燃料取り出し用カバーは鉄骨トラスと鋼製の外装材により構成されているが、閉空間になっておらず、津波襲来時には、水は燃料取り出し用カバーの裏側に回り込む。そのため、津波による波圧は生じにくい。
 暴風：外装材は、設計風圧力の約4倍の耐力を有することを確認している。

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。



※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 |



東京電力

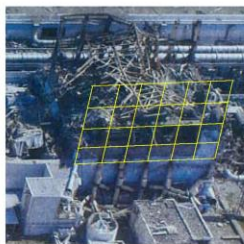
無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

10

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

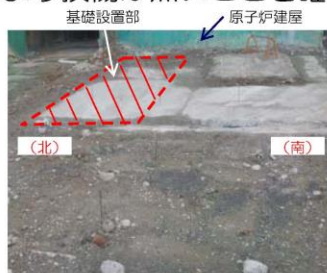


①西面



②東面

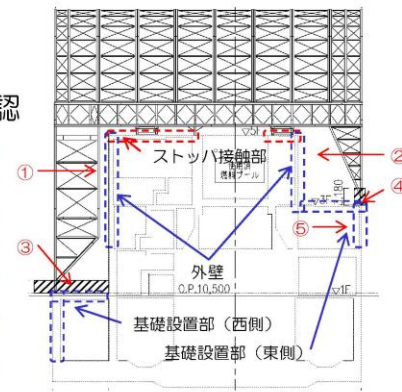
外壁



③基礎設置部 (西側)



④基礎設置部 (東側、外部)



東側の基礎を支持する建屋外壁



⑤基礎設置部 (東側、内部)



東京電力

無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

11

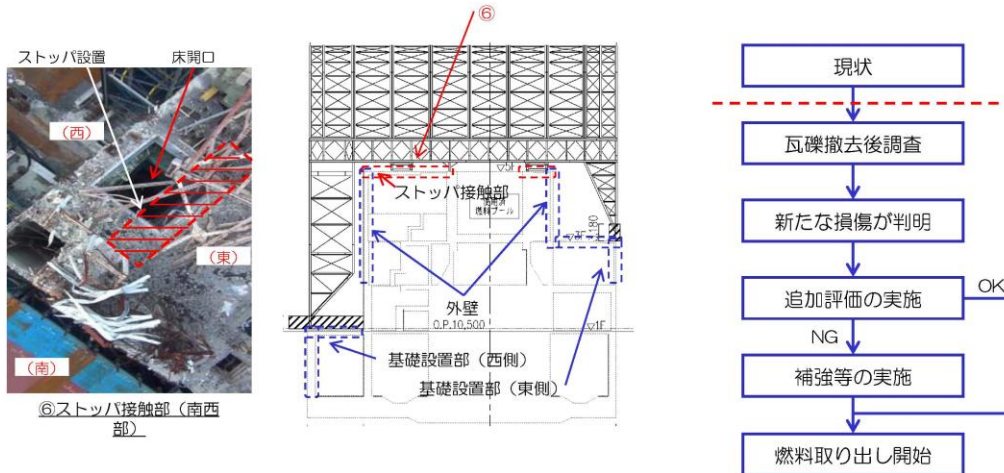
※O.P.表記は震災前の「旧 O.P.表記」を指す。
 T.P.表記に換算する際は、震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P.から T.P.への読替値(-727mm)を用いて、下式に基づき換算する。
 <換算式> T.P.=旧 O.P.-1.436mm

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、燃料取り出し開始前に、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。



コメント回答①

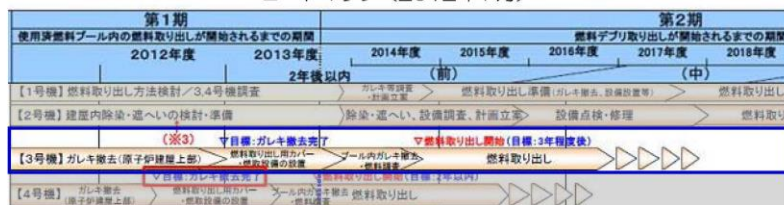
①使用期間と設計のクライテリアは密接に関係することから、3号機燃料取り出し用カバーの使用期間を明確に記載すること。仮に、燃料取り出し後も継続使用するのであれば、竜巻、あるいは地震・津波に関わる新安全設計基準にどのように対応するつもりなのかを明確にすること。

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）



コメント回答②

② JSCA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。

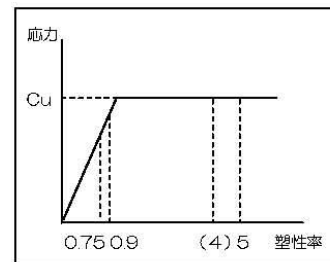
日本建築センターのクライテリアは、層間変形角 $1/100$ 以下、層の塑性率 2 以下、部材の塑性率 4 以下とされており、これを越える場合には、水平変形に伴う鉛直荷重の付加的影響を考慮した解析を実施し、安全性を確認するものとされている。

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。

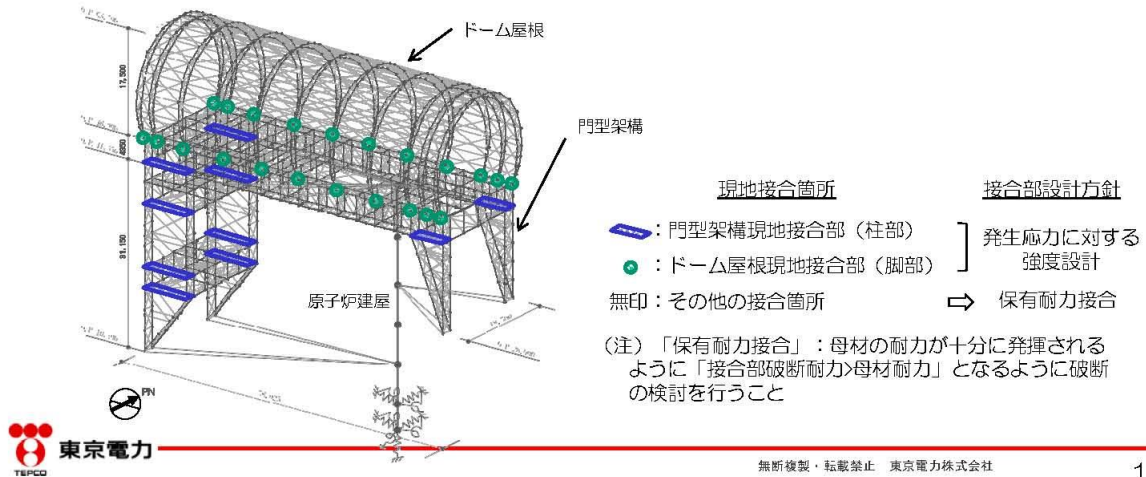
※O.P.表記は震災前の「旧 O.P.表記」を指す。
T.P.表記に換算する際は、震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P.から T.P.への読替値(-727mm)を用いて、下式に基づき換算する。
<換算式> T.P.=旧 O.P.-1,436mm

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）



16

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

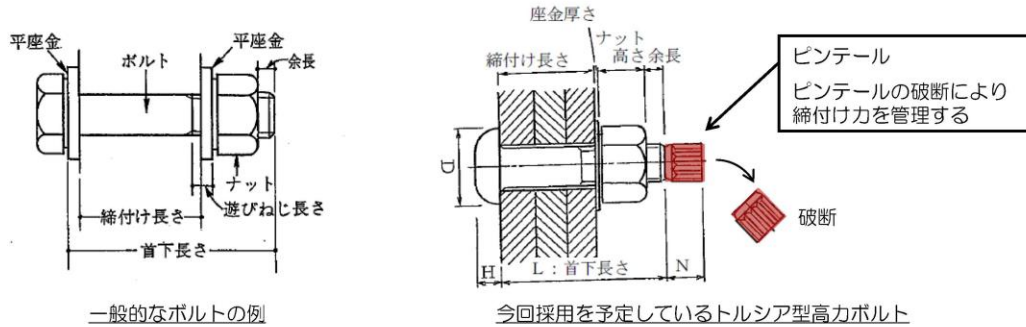
| 架構 | 検討部位 | 設計 | 検定比 (最大箇所) | 耐震余裕 |
|---------------|---------------|--------------|---------------------------|------|
| 門型架構 | 現地接合部 (柱部) | 発生応力に対する強度設計 | 0.60 ≤ 1.0 (フランジプレート) | 1.6倍 |
| ドーム屋根 | 現地接合部 (脚部) | 発生応力に対する強度設計 | 0.36 ≤ 1.0 (スプラインプレート) | 2.7倍 |
| 門型架構 ドーム屋根 | その他の接合部 | 保有耐力接合 | 接合部では破断しない | |

（注）検定比＝発生応力／接合部破断耐力

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法を採用する。

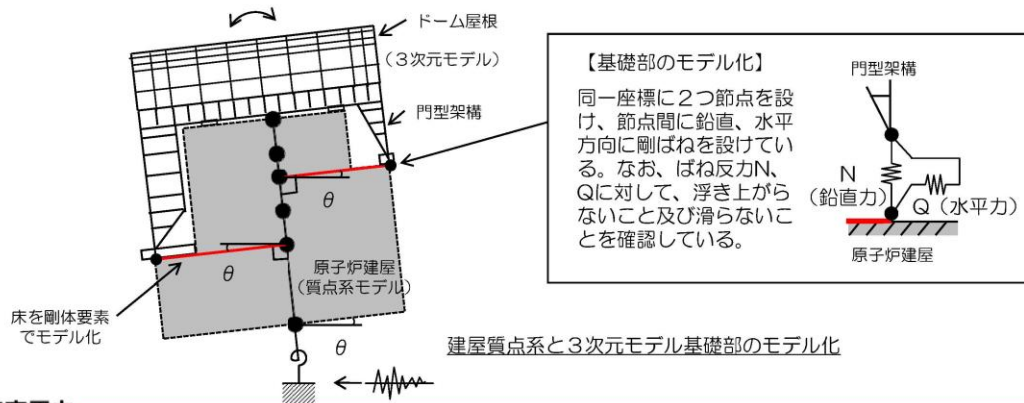


3. 施工品質の管理は、作業完了後に、施工会社（協力会社）が現場環境を考慮し、全数確認（遠隔操作室からのカメラまたはその他のカメラ、あるいは目視）を実施し、東京電力は抜き取りで確認を実施する。

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模擬するため、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。



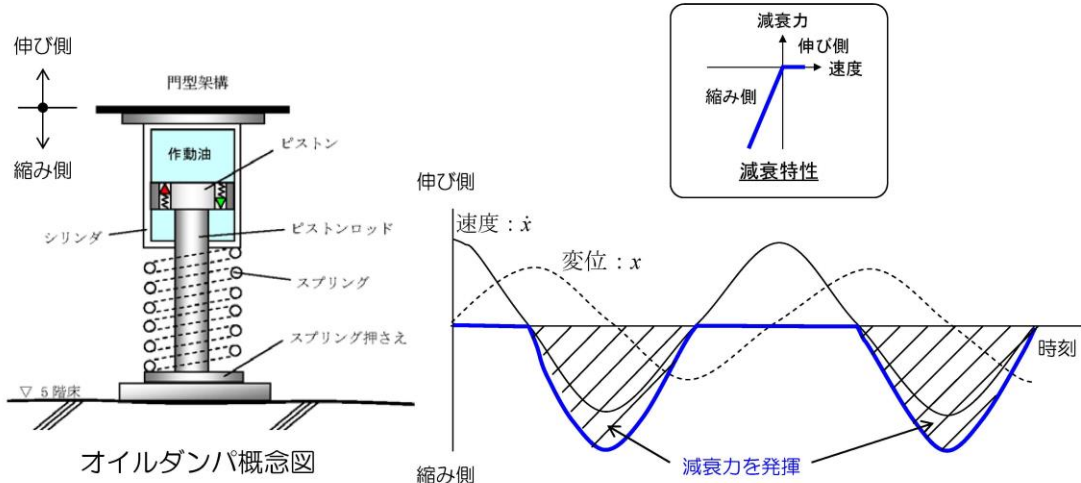
※O.P.表記は震災前の「旧 O.P.表記」を指す。
 T.P.表記に換算する際は、震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P.から T.P.への読替値(-727mm)を用いて、下式に基づき換算する。
 <換算式> T.P.=旧 O.P.-1,436mm

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。

オイルダンパーの減衰特性の横軸は速度を示している。

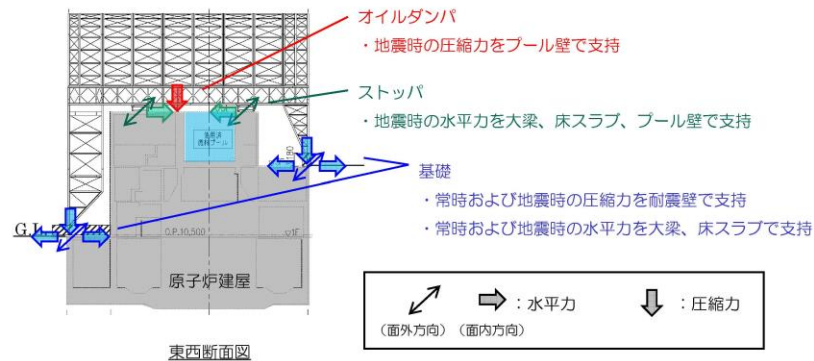
オイルダンパーは、地震時に上下方向の縮み側に変形する場合に減衰力が発生し、伸び側に変形する場合にフリーとなる機構を有している。



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）



※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。



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 |

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。

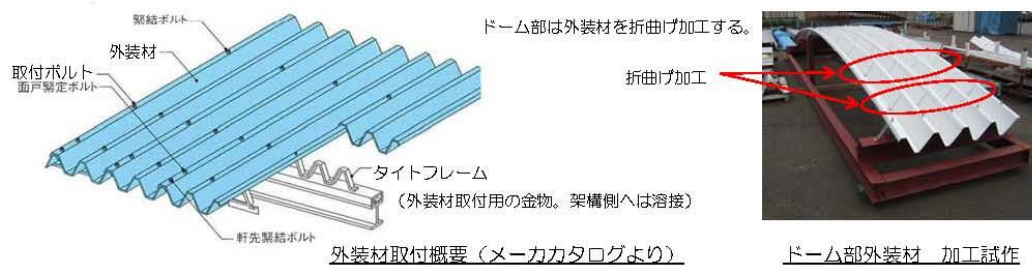
| 境界面の状態 | 摩擦係数 |
|-----------------------|------|
| コンクリートーコンクリート間 | 0.6 |
| 目荒ししたコンクリートーコンクリート間 | 1.0 |
| 一体で打設したコンクリートーコンクリート間 | 1.4 |

- ・なお、米国規準 (AC I 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。

コメント回答⑩

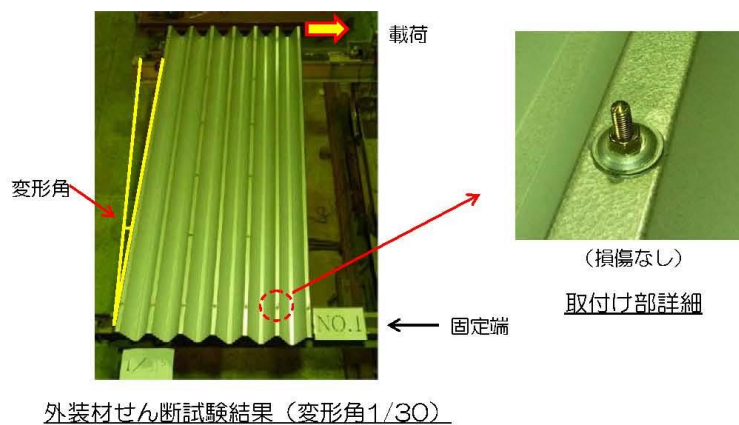
⑩燃料取り出し用カバーの外装材の耐震性は大丈夫か（地震時の層間変形に対して安全な構法か、特に東西面の円形部分）。

- ・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。



コメント回答⑩

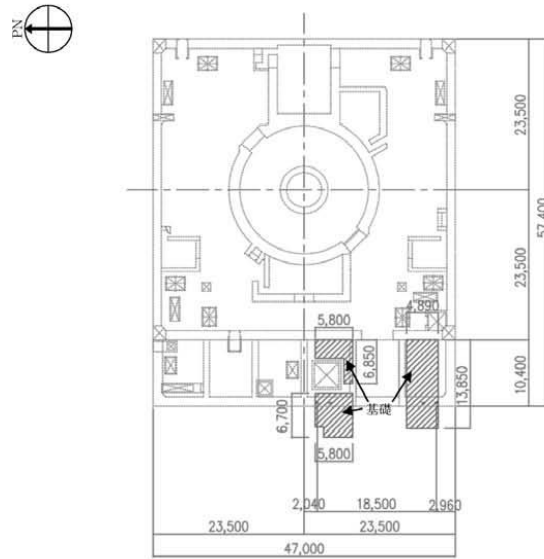
- ・変形に対する外装材の追従性の確認試験を行い、外装材の変形角1/30でも外装材は外れず、地震時の変形に対して追従性があることを確認している。



【参考資料】

※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

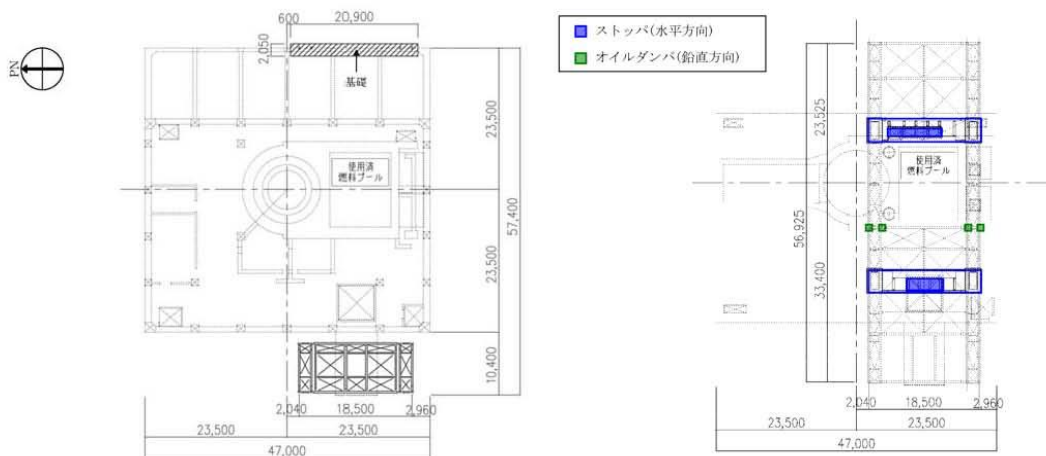
参考1 構造概要



(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)

参考1 構造概要



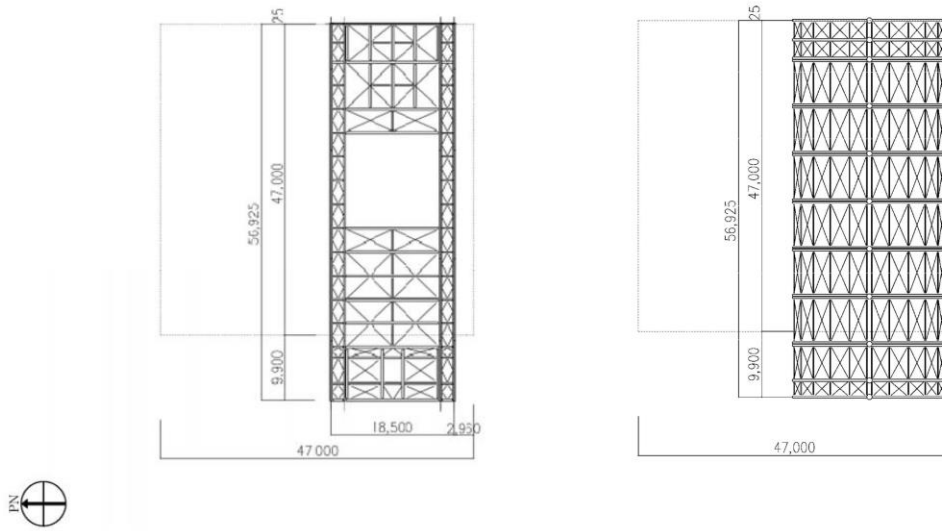
(a) 基礎伏図 (O.P.26,900 原子炉建屋3階)

(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)

※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

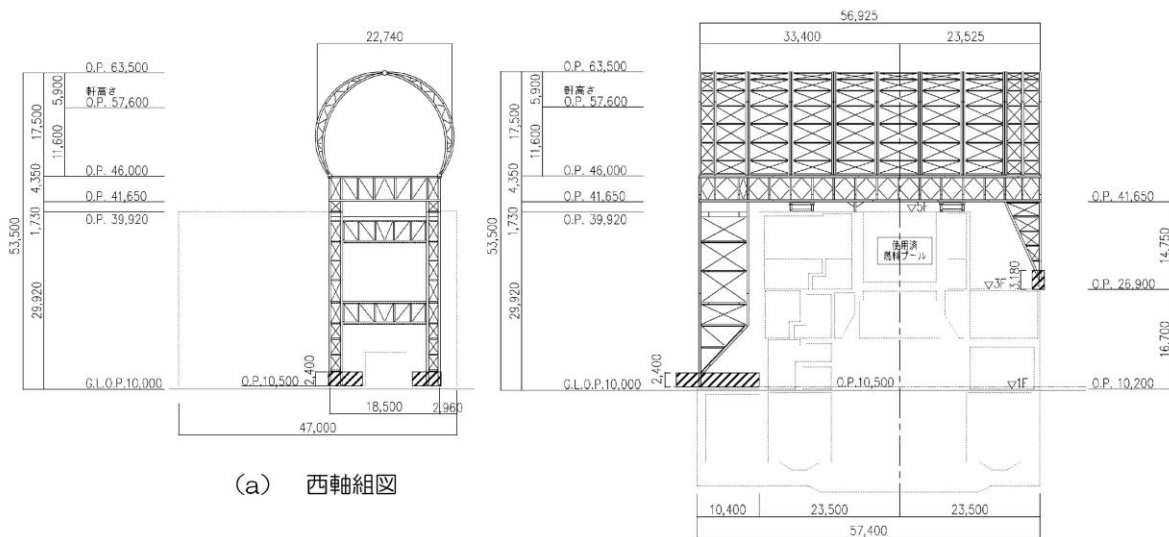
燃料取り出し用カバーの概要 (単位: mm)



無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

30

参考1 構造概要



(a) 西軸組図

(b) 南軸組図

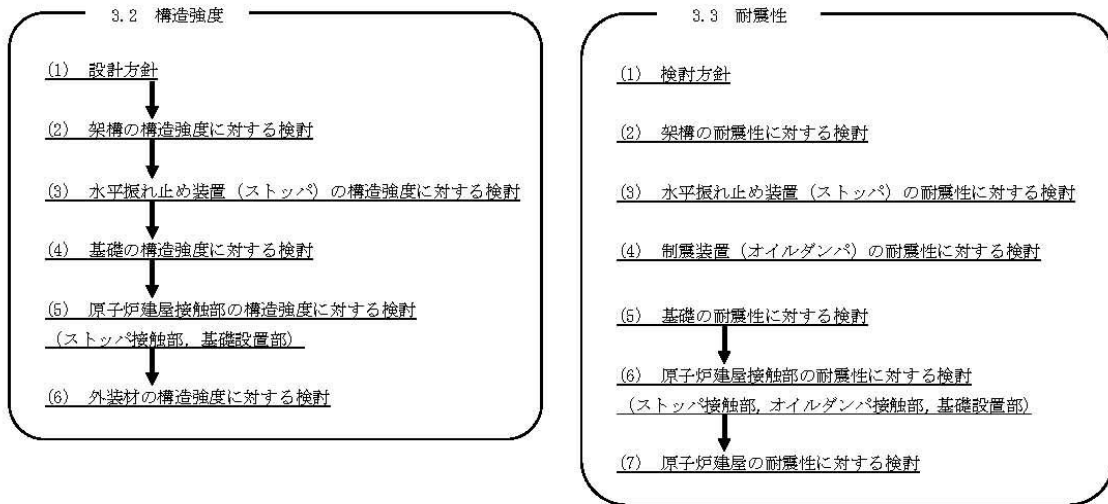
燃料取り出し用カバーの概要 (単位: mm)



無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

31

参考2 検討フロー



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/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/mm²)

| 設計基準強度=24 | 長期 | | | 短期 | | |
|-----------|-----|----|------|------|----|-------|
| | 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

※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/m²/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* | 平均風速の鉛直分布係数 | ガスト影響係数 | 建物高さと粗度区分による係数 | 基準風速 | 速度圧 |
|-------|-------------|---------|----------------|----------|-----------------------|
| H (m) | Er | Gf | E | Vo (m/s) | q (N/m ²) |
| 50.55 | 1.27 | 2.00 | 3.23 | 30 | 1750 |



東京電力

※：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

34

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。

$$Q_i = n \cdot C_i \cdot W_i$$

$$C_i = Z \cdot R_t \cdot A_i \cdot C_o$$

Q_i : 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。

C_i : 地震層せん断力係数

Z : 地震地域係数 (Z=1.0)

R_t : 振動特性係数 (R_t=1.0)

A_i : 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_o : 標準せん断力係数 (C_o=0.2)



東京電力

無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

35

※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。

$$P_i = Q_i - Q_{i-1}$$

$$k_i = P_i / w_i$$

P_i : 当該階とその直下の水平地震力の差 (kN)

w_i : 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 w_i (kN) | NS方向 | | EW方向 | |
|---------------|--------------------|---------------|---------------------|---------------|---------------------|
| | | 水平震度 k_i | 水平地震力 P_i (kN) | 水平震度 k_i | 水平地震力 P_i (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

36

参考3 構造強度

(1) 設計方針

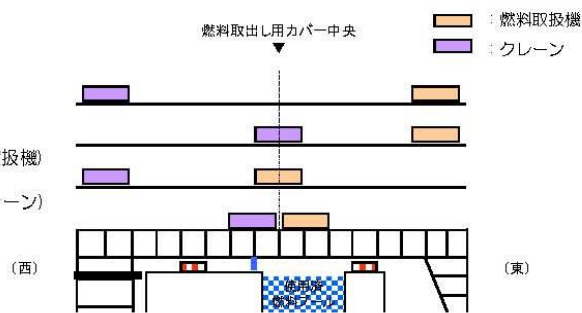
2) 荷重及び荷重組合せ

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 | |
| 暴風時*3 | W | VL+CL *1+WL | |
| 地震時 | E1 | VL+CL *1+K(+NS) *2 | 短期 |
| | 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。



無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

37

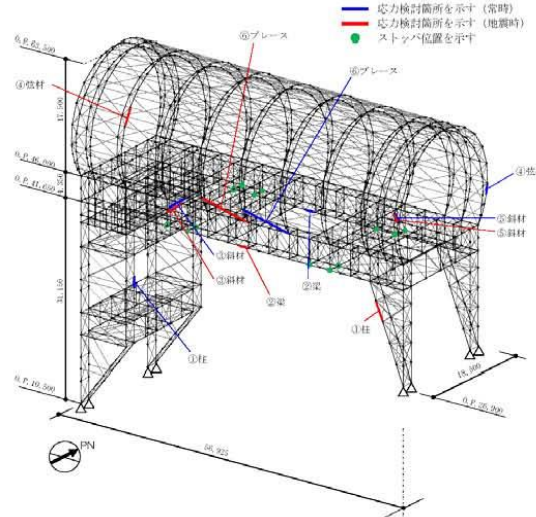
※O.P.表記は震災前の「旧 O.P.表記」を指す。
T.P.表記に換算する際は、震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P.から T.P.への読替値(-727mm)を用いて、下式に基づき換算する。
<換算式> T.P.=旧 O.P.-1,436mm

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、ストッパ取り付け部は水平方向のみピン支持とする。



解析モデル図 (単位: mm)

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/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 2ls-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 <STK490> | C (B) | 引張 33.5 | 293 | 0.12 | O.K. |
| | ⑤ | 斜材 φ-139.8×4.5 <STK490> | C (B) | 圧縮 4.34 | 203 | 0.22 | O.K. |
| | ⑥ | ブレース φ-114.3×4.5 <STK490> | C (D) | 圧縮 1.94 | 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

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/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〉 | 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

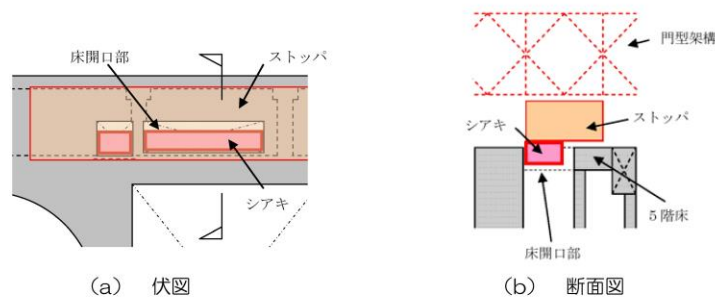
*2：P23に示す燃料取扱設備の位置を示す

参考3 構造強度

(3) 水平振れ止め装置（ストップ）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（ストップ）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。



ストップ概要図

全てのストップに対する応力比が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)* | ストップ反力 Q(kN) | 短期許容せん断力 Qa(kN) | 応力比 Q/Qa | 判定 |
|--------|----------------|-----------------|--------------------|-------------|------|
| 東側ストップ | E4 (A) | 2560 | 8620 | 0.30 | O.K. |

*：P23に示す燃料取扱設備の位置を示す

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 | OK |

*: 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以下であることを確認した。

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 | OK |
| | E4 (D) | 2430 | 4580 | 0.54 | OK |

*: P23に示す燃料取扱設備の位置を示す

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

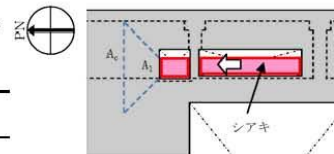
ストッパ接触部の構造強度の検討では、ストッパ水平反力が、既存躯体の短期許容支圧力以下になることを確認する。なお、許容支圧応力度は、原子炉建屋の設計基準強度(22.1N/mm²)を用いて「プレストレストコンクリート設計施工規程・同解説」に基づき算出する。

全てのストッパ接触部に対する応力比が1以下であることを確認した。

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 | OK |

*: 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以下であることを確認した。

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 | OK |
| | E1 (B) | 6540 | 25900 | 0.26 | OK |

*: P23に示す燃料取扱設備の位置を示す

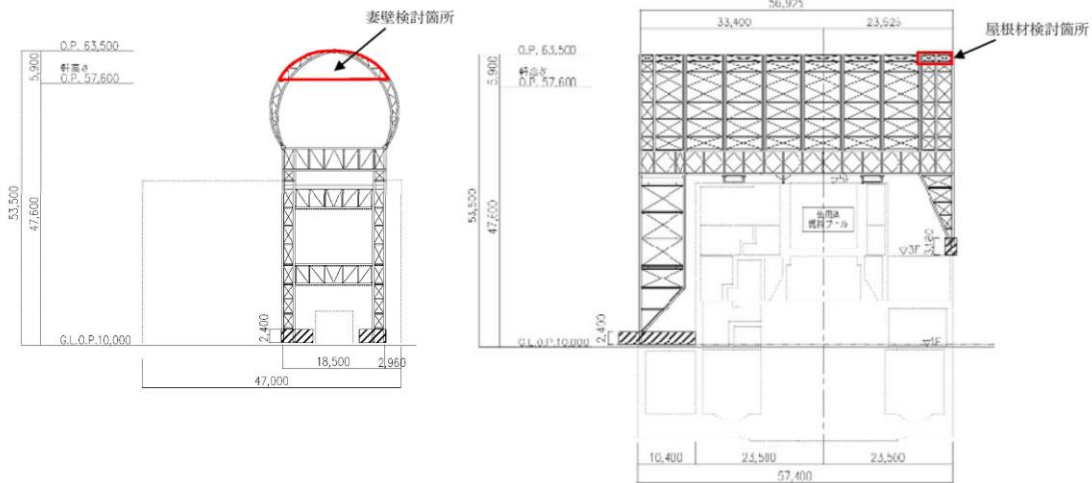
※O.P.表記は震災前の「旧 O.P.表記」を指す。
T.P.表記に換算する際は、震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P.から T.P.への読替値(-727mm)を用いて、下式に基づき換算する。
<換算式> T.P.=旧 O.P.-1,436mm

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)

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以下であることを確認した。

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。

※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

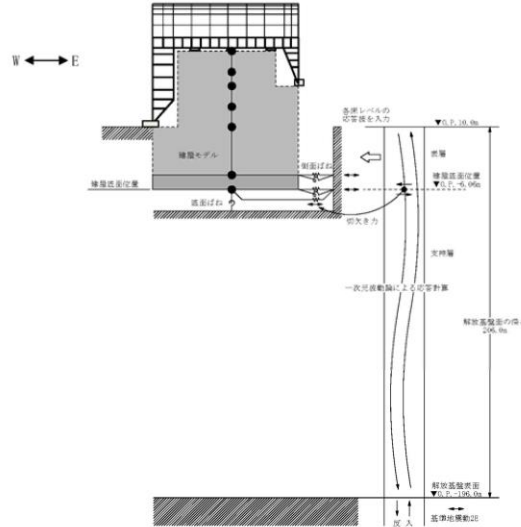
(1) 検討方針

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



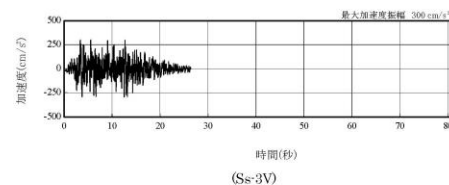
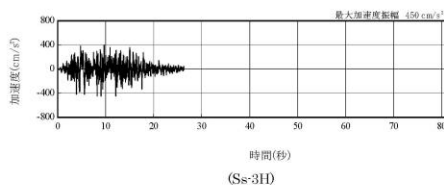
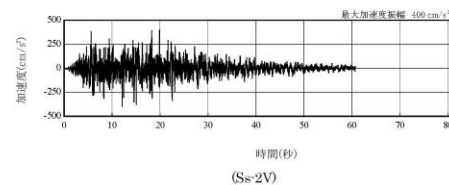
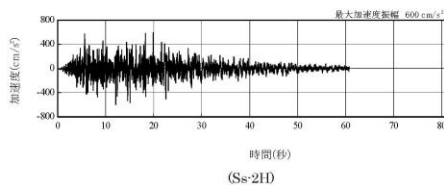
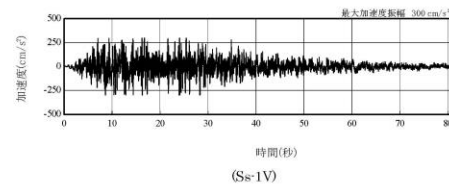
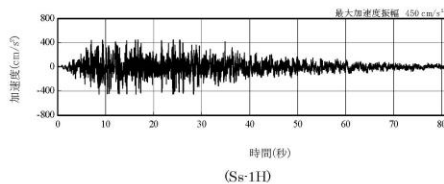
無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

46

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



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

47

※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

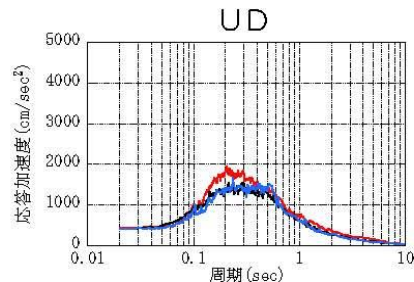
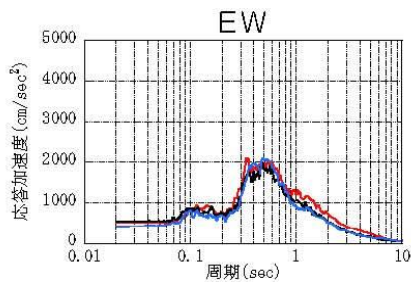
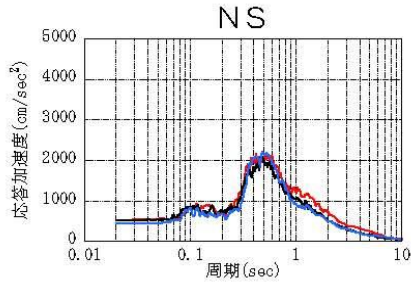
参考4 耐震性

(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

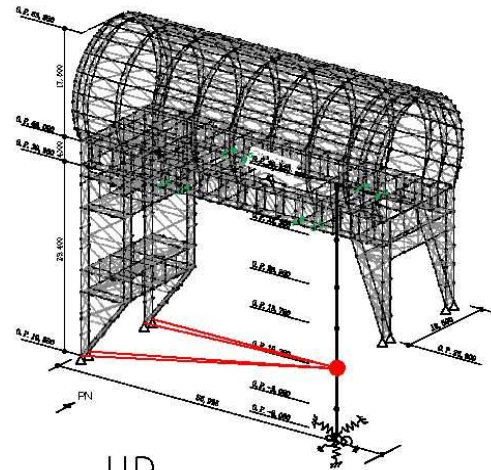
建屋質点の応答解析結果（カバー架構の入力地震動に相当）

1F



(h=2%)

— Ss-1
 — Ss-2
 — Ss-3



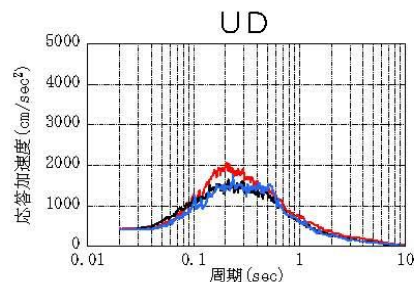
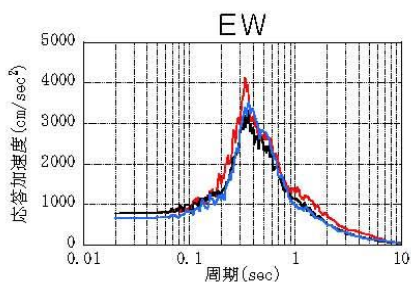
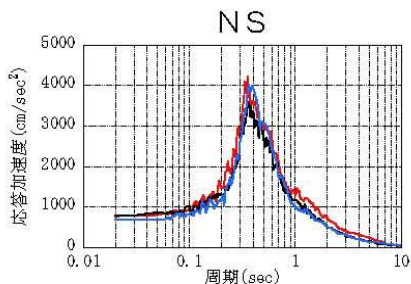
参考4 耐震性

(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

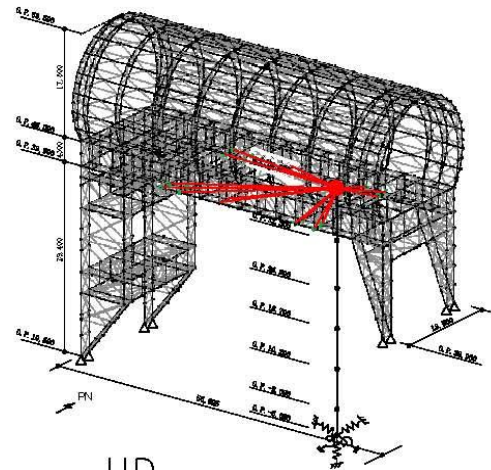
建屋質点の応答解析結果（カバー架構の入力地震動に相当）

5F



(h=2%)

— Ss-1
 — Ss-2
 — Ss-3



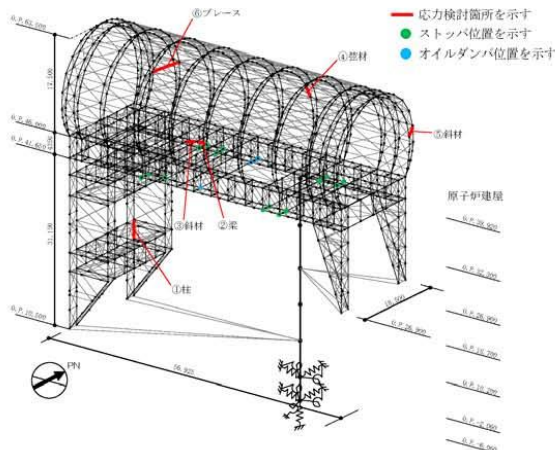
※O.P.表記は震災前の「旧 O.P.表記」を指す。
 T.P.表記に換算する際は、震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P.から T.P.への読替値(-727mm)を用いて、下式に基づき換算する。
 <換算式> T.P.=旧 O.P.-1.436mm

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、地盤を等価ばねで評価した建屋-地盤連成系モデルとする。ストップ取り付け部は原子炉建屋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）

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 |

※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·m ²) | せん断断面積 A_s (m ²) | 断面二次モーメント I (m ⁴) |
|----------------|-----------------|---|---|----------------------------------|
| 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Ec せん断弾性係数G ポアソン比 ν 減衰h | 257×10 ⁷ (kN/m ²) 1.07×10 ⁷ (kN/m ²) 0.20 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互換除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ー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。



東京電力

無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

52

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 | | | 備考 |
|----|---------------|-------------|---------------|---------------|---------------|------------------|
| | | | NS方向 (X方向) | EW方向 (Y方向) | UD方向 (Z方向) | |
| 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 |



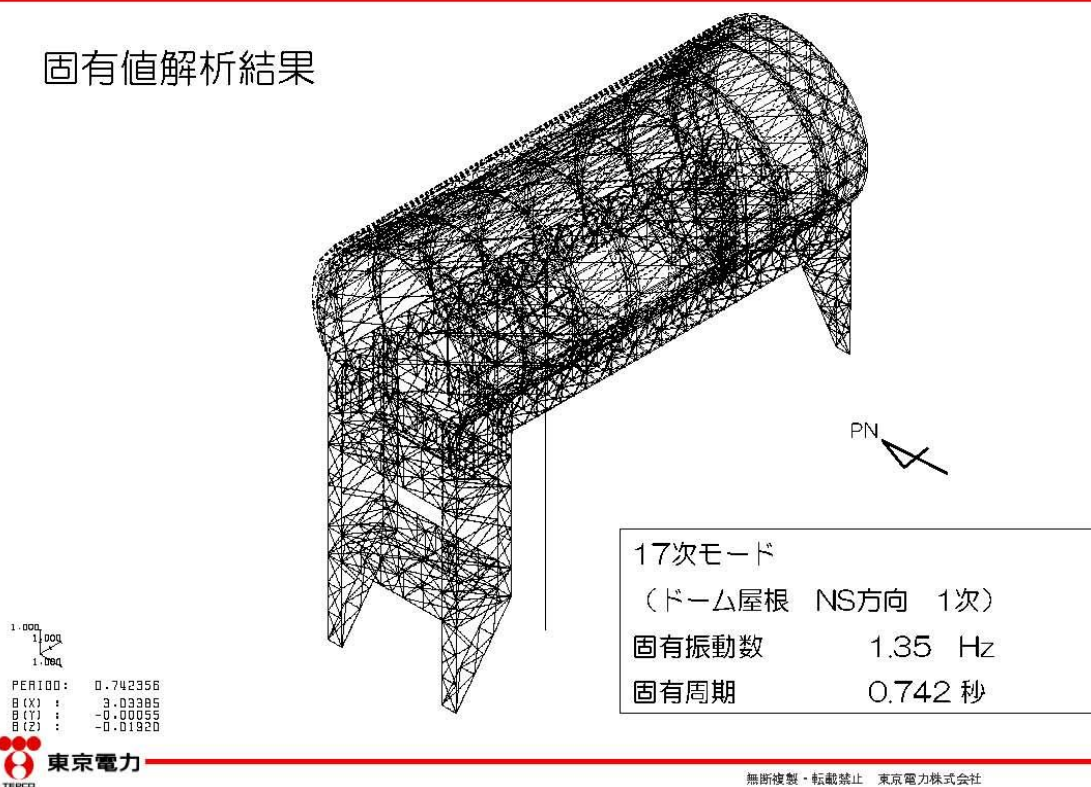
東京電力

無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

53

参考4 耐震性

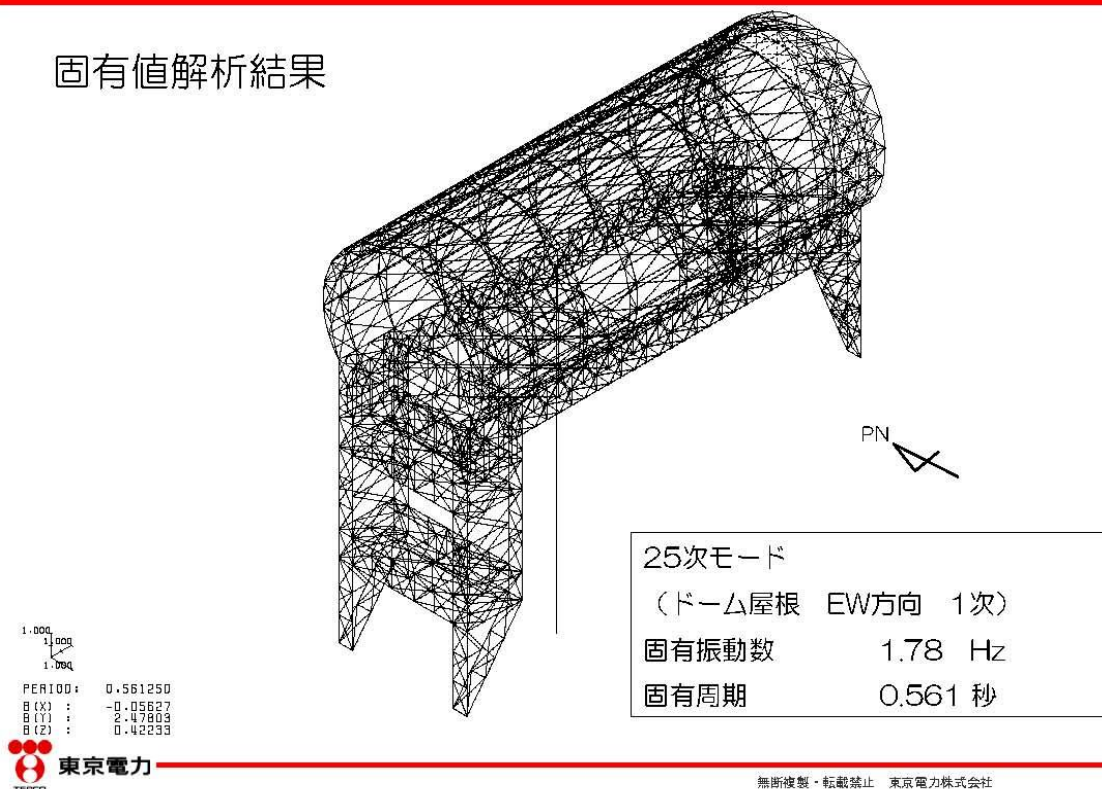
固有値解析結果



54

参考4 耐震性

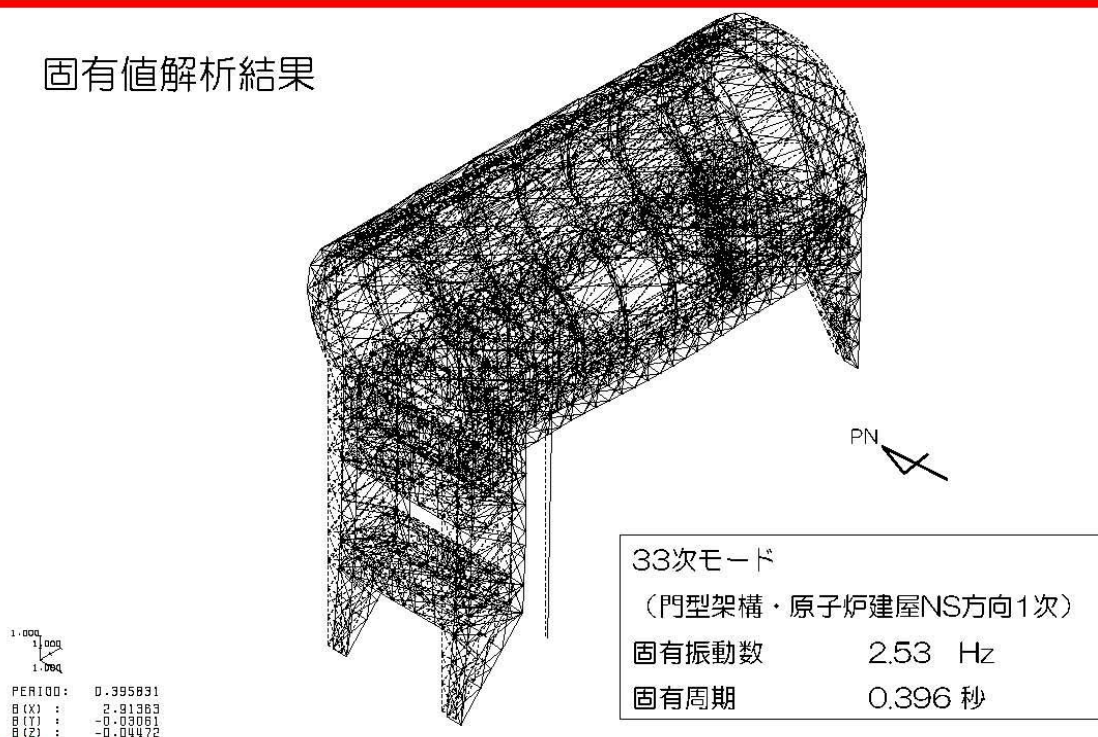
固有値解析結果



55

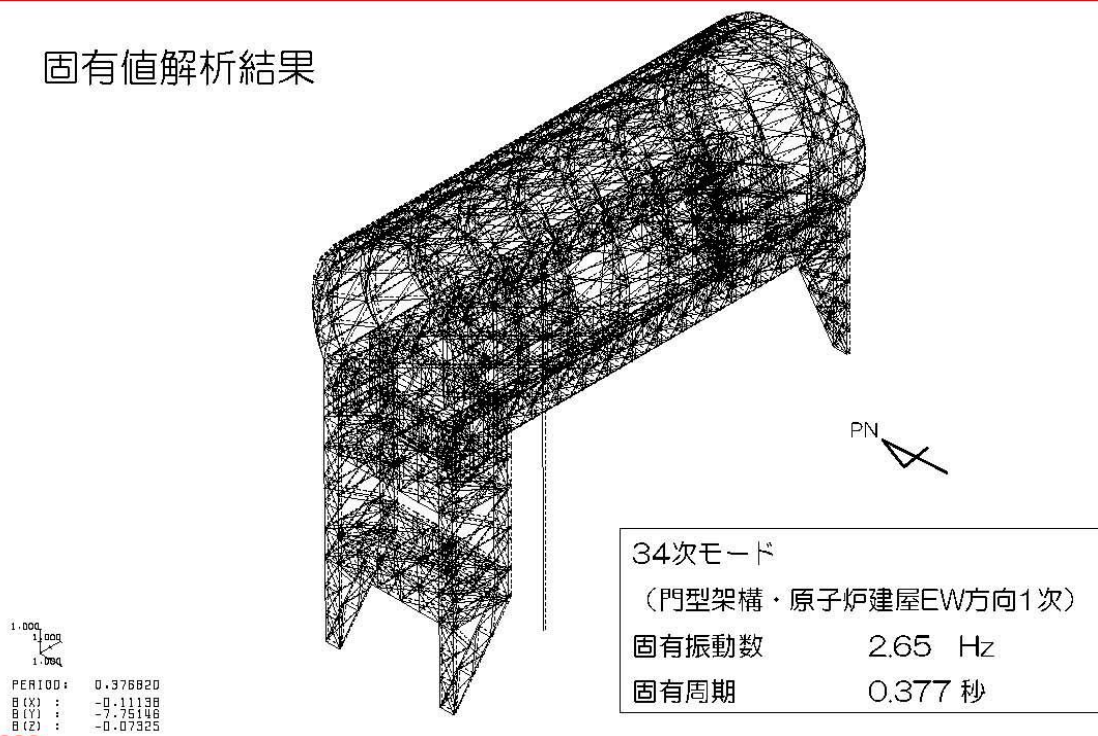
参考4 耐震性

固有値解析結果



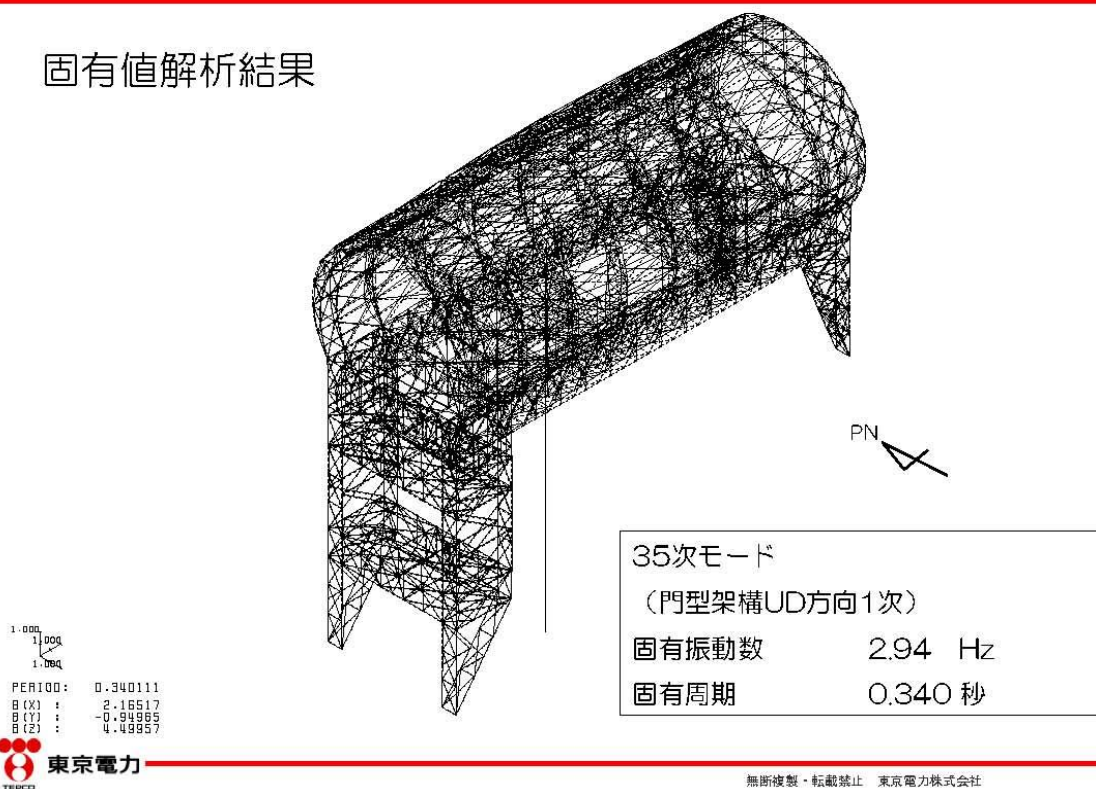
参考4 耐震性

固有値解析結果



参考4 耐震性

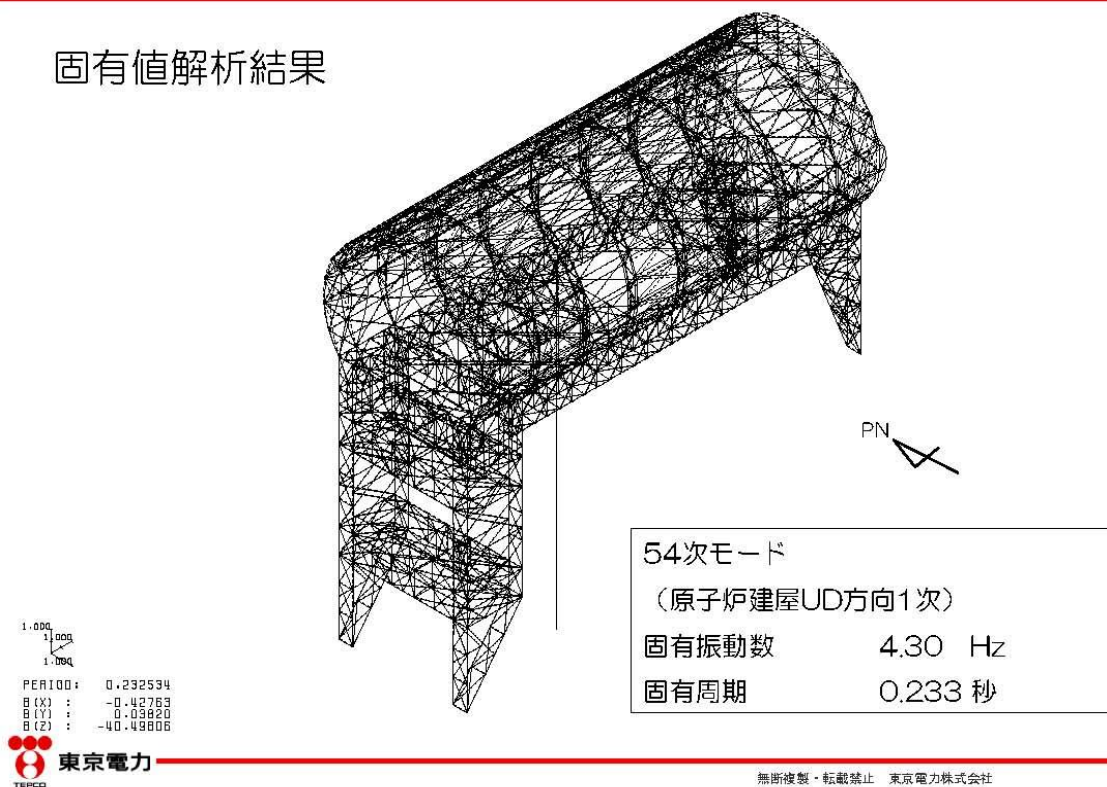
固有値解析結果



58

参考4 耐震性

固有値解析結果



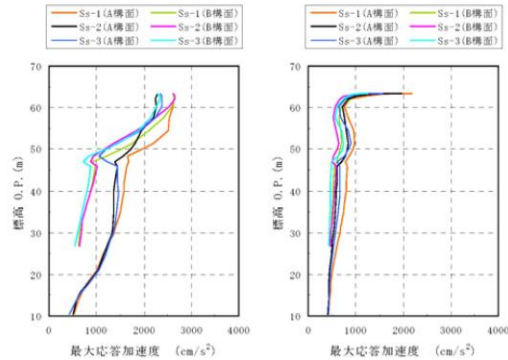
59

※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

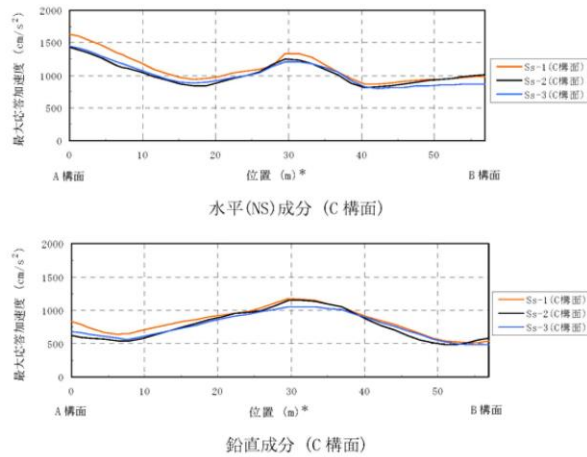
参考4 耐震性

(2) 架構の耐震性に対する検討

3) 地震応答解析結果

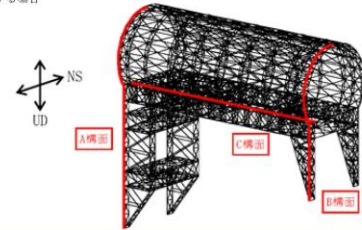


水平(NS)成分 (A構面, B構面) 鉛直成分 (A構面, B構面)



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



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

※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 | 変位率 | 判定 |
|-------------------------------------|------|-----------|--------|------|----|
| 東側 O.P.46.00(m) ~O.P.26.90(m) | Ss-1 | NS (A) | 1/820 | 1/75 | OK |
| | | EW (B) | 1/990 | 1/75 | OK |
| | Ss-2 | NS (B) | 1/990 | 1/75 | OK |
| | | EW (B) | 1/1000 | 1/75 | OK |
| | Ss-3 | NS (B) | 1/990 | 1/75 | OK |
| | | EW (B) | 1/1000 | 1/75 | OK |
| 西側 O.P.46.00(m) ~O.P.10.50(m) | Ss-1 | NS (A) | 1/720 | 1/75 | OK |
| | | EW (B) | 1/1600 | 1/75 | OK |
| | Ss-2 | NS (C) | 1/860 | 1/75 | OK |
| | | EW (B) | 1/1600 | 1/75 | OK |
| | Ss-3 | NS (C) | 1/800 | 1/75 | OK |
| | | EW (B) | 1/1800 | 1/75 | OK |

*: P.23に示す燃料取扱設備の位置を示す

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P.36の耐力検討箇所を示す
 *2: P.23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

参考4 耐震性

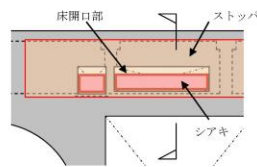
(3) 水平振れ止め装置（ストップ）の耐震性に対する検討

全てのストップに対する耐力比が1以下になることを確認した。

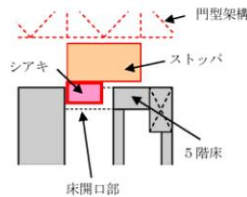
ストップ（シアキ）の断面検討結果

| 部位 | 地震波 | 入力方向（位置） | 最大応答 ストップ反力 Q _u (kN) | せん断耐力 Q _u (kN) | 耐力比 Q/Q _u | 判定 |
|--------|------|----------|---------------------------------------|------------------------------|-------------------------|----|
| 東側ストップ | Ss-1 | EW (D) | 3970 | 9480 | 0.42 | OK |

*：P23に示す燃料取扱設備の位置を示す



(a) 伏図



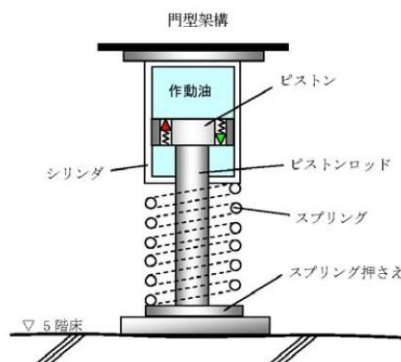
(b) 断面図

ストップ概要図

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 | OK |
| オイルダンパ速度 (m/s) | Ss-1 | NS (D) | 0.48 | 1.00 | OK |

*：P23に示す燃料取扱設備の位置を示す

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 | OK |

* : 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 | OK |

* : P23に示す燃料取扱設備の位置を示す

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/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。

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 | OK |

* : P23に示す燃料取扱設備の位置を示す

2) オイルダンバ接触部

最大オイルダンバ鉛直反力が、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/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。

オイルダンバ接触部の検討結果

| 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 | OK |

* : 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 | OK |

* : P23に示す燃料取扱設備の位置を示す

※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

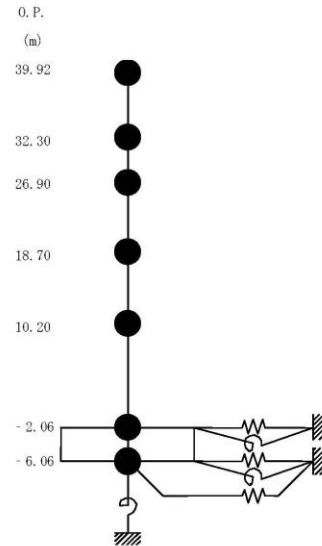
架構の設置に伴う原子炉建屋の耐震性の評価は、耐震安全上重要な設備への波及的影響防止の観点から、地震応答解析により得られる耐震壁のせん断ひずみが鉄筋コンクリート造耐震壁の終局限界に対応した評価基準値 (4.0×10^{-3}) 以下になることを確認する。

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

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)

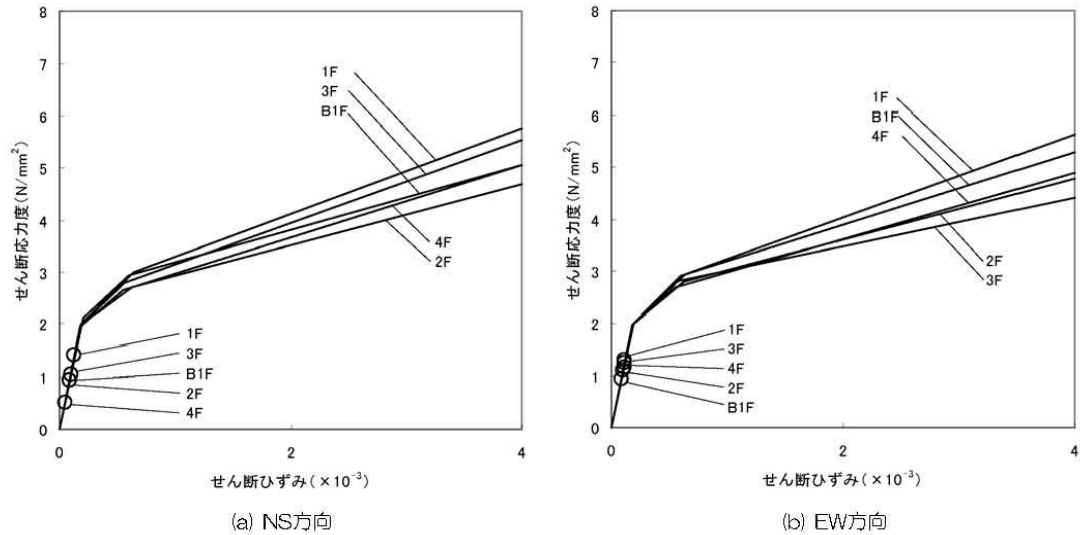
| 標高 O.P. (m) | 質点重量 W (kN) | 回転慣性重量 $I_0 (\times 10^6 \text{ kN} \cdot \text{m}^2)$ | |
|----------------|----------------|---|----------|
| | | 水平(NS)方向 | 水平(EW)方向 |
| 39.92 | 87590 | 92.34 | 67.32 |
| 32.3 | 119490 | 238.33 | 124.49 |
| 26.9 | 111340 | 204.95 | 204.95 |
| 18.7 | 130160 | 239.58 | 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 | | |

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。

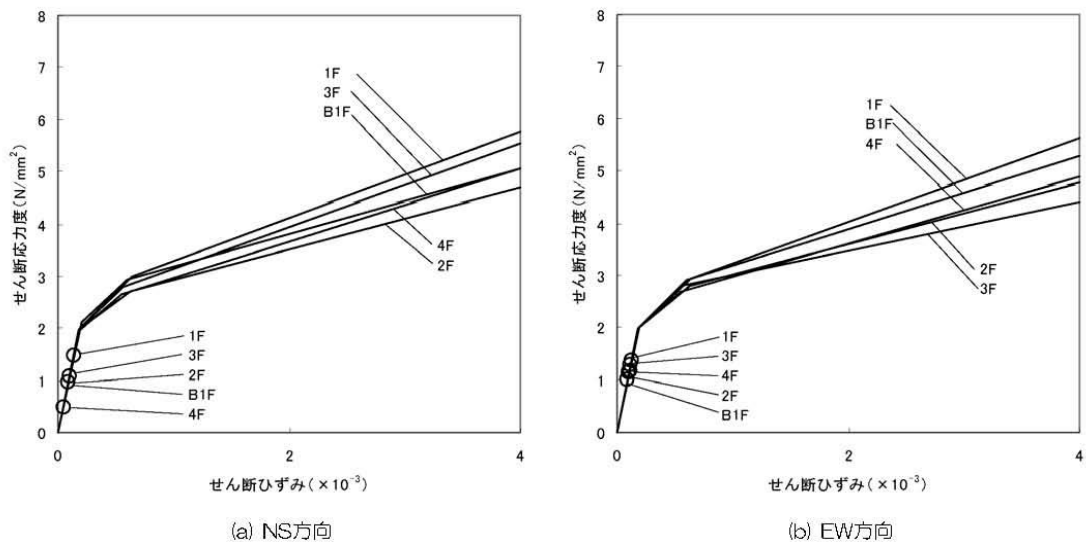


せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-1)

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

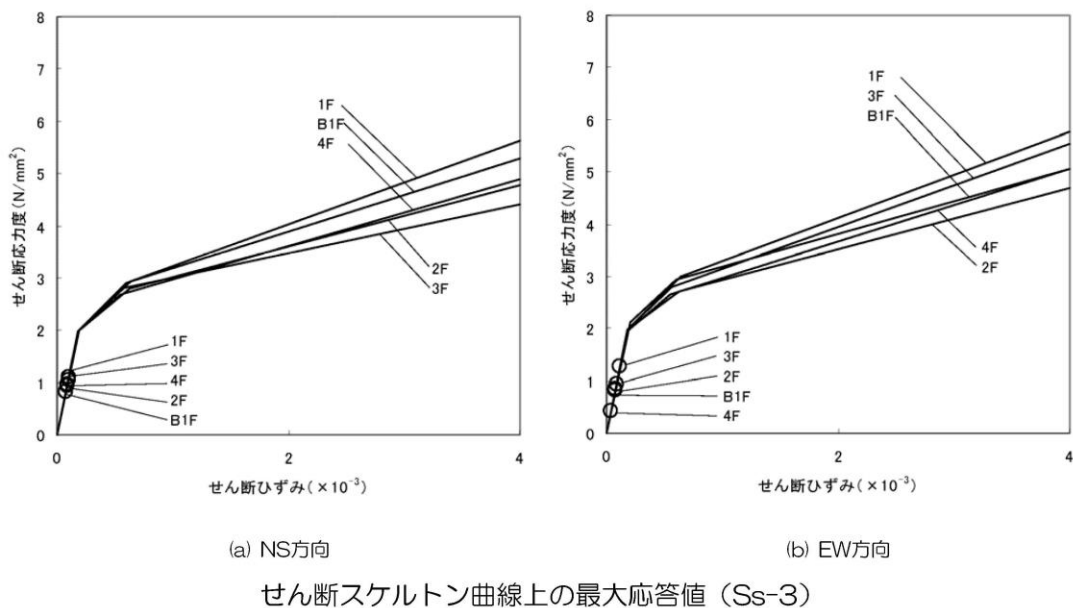


せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-2)

参考4 耐震性

(7) 原子炉建屋の耐震性に対する検討

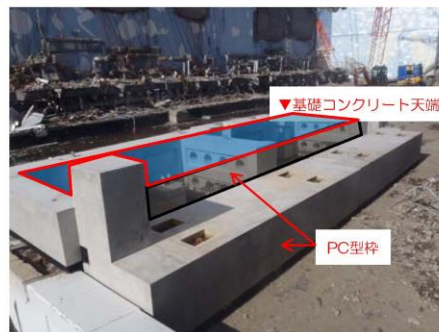
3) 検討結果



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

特定原子力施設監視・
評価検討会(第8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



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 S_s 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4-16A'-Z'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

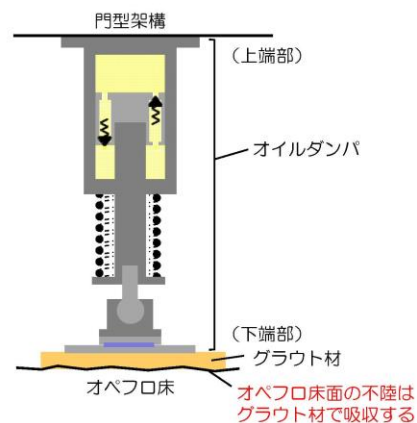
除染作業後にオペレーティングフロア上部に遮へい体（鉄板等）を設置する。

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

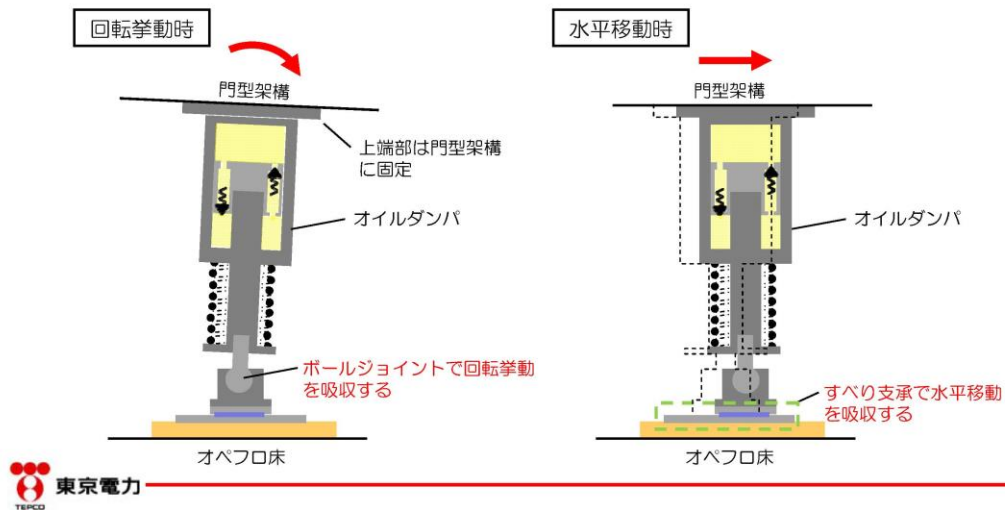
④オイルダンパについては、5階床面の不陸や門型架構の変形などにより、5階床と門型架構が平行でなくなり、スプリング押さえ等の損傷が生じないかについて説明すること。また、スプリング押さえ等の損傷により、システム上の問題が発生しないのかについて確認したい。（林教授）

- ・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。



4号機燃料取り出し用カバーに係る確認事項

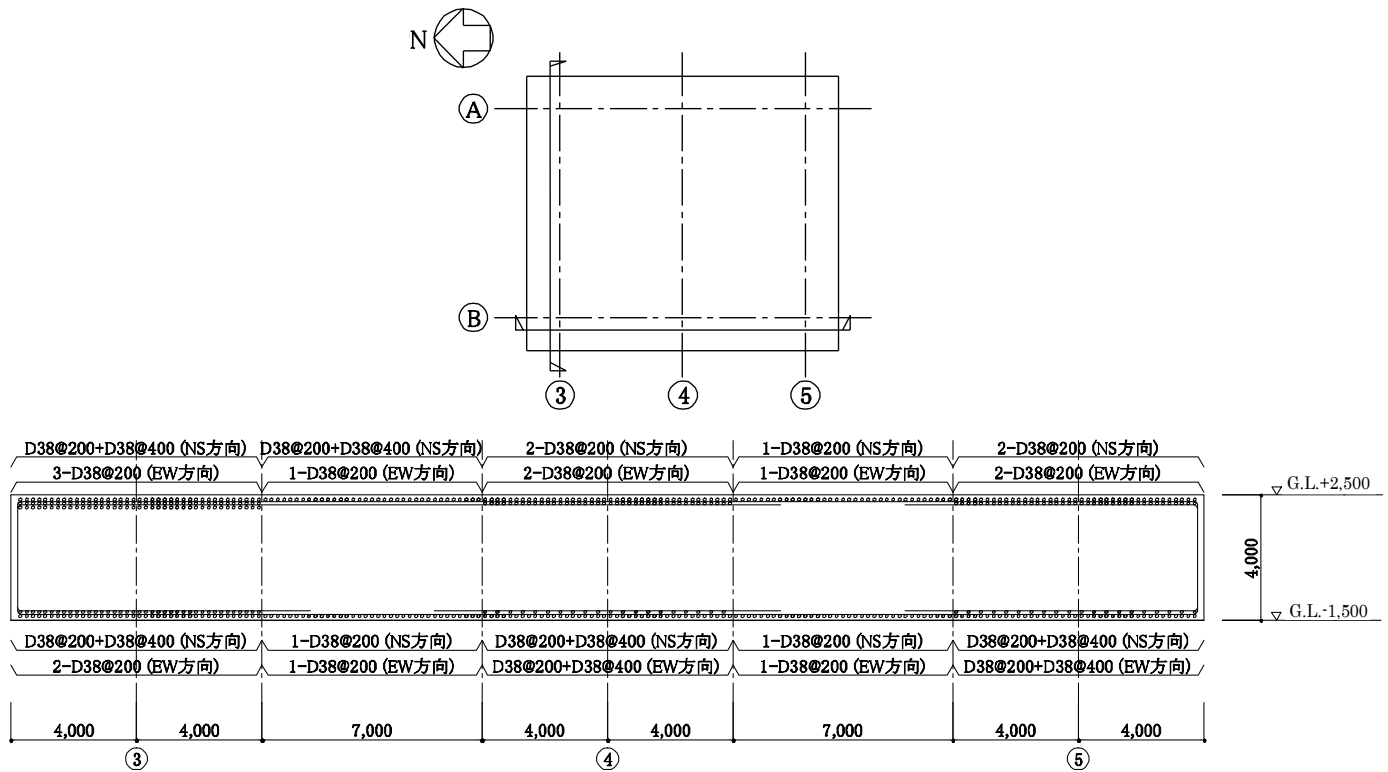
4号機燃料取り出し用カバーの工事に係る主要な確認項目を表-1および表-2に示す。

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。 | |

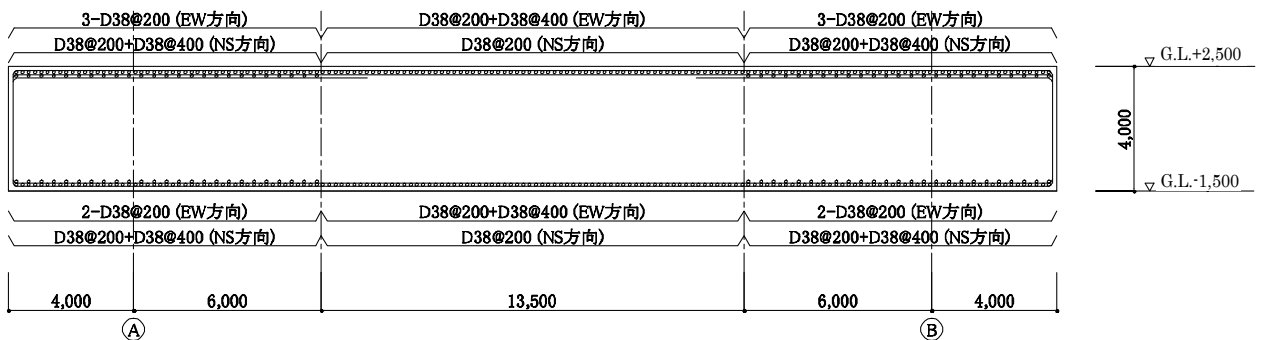
表-2 4号機燃料取り出し用カバーに係る確認項目（燃料取扱機支持用架構）

| 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700mm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450mm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

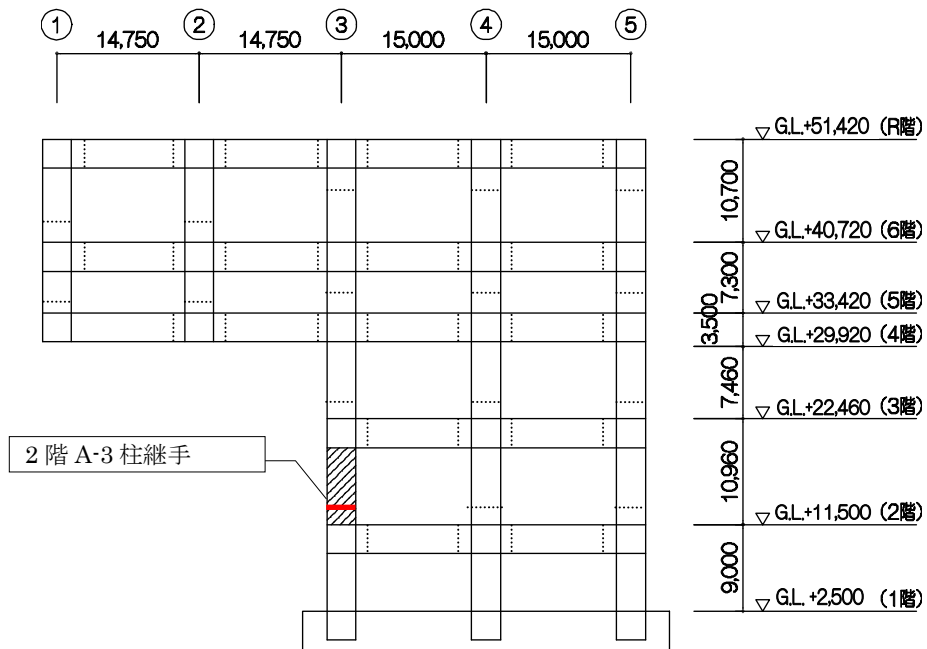
クレーン支持用架構 基礎配筋図(B 通り)



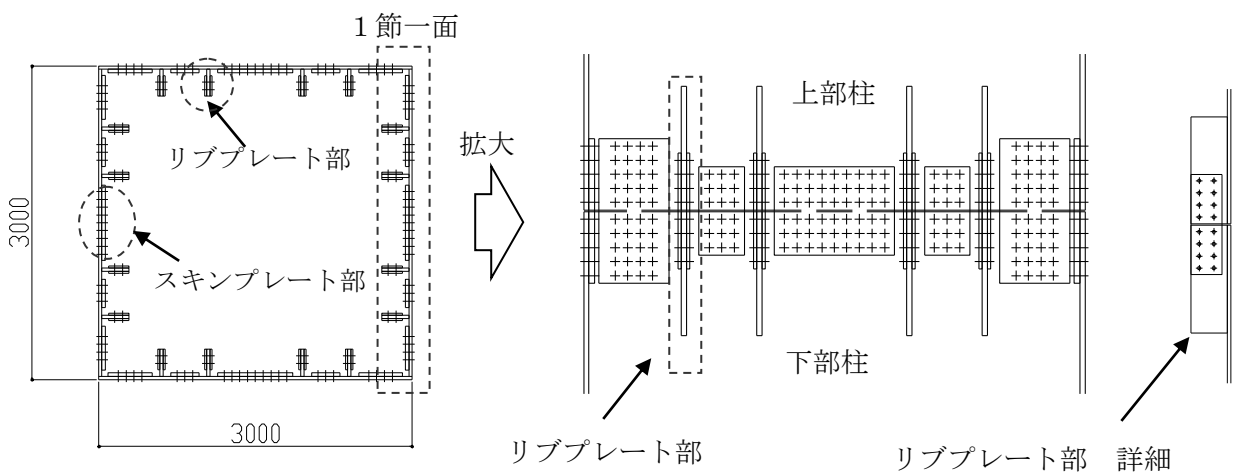
かぶり厚さ 7cm 以上

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)

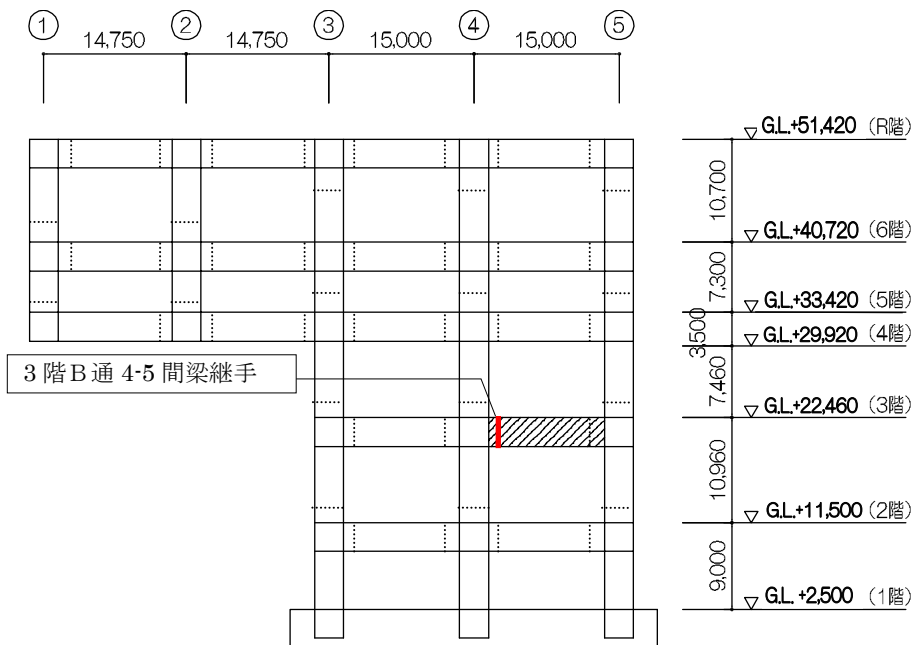


【スキンプレート部】
 ボルト種類：MUTF27
 本数：85本×2 (1面あたり)

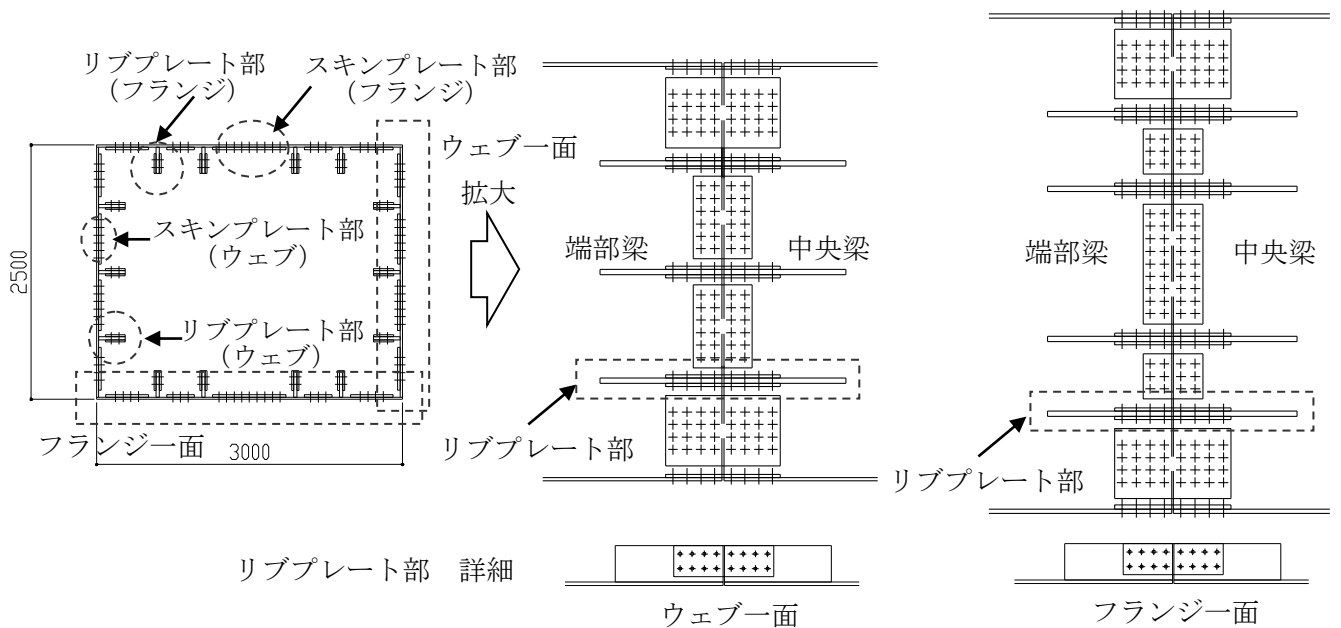
【リブプレート部】
 ボルト種類：SHTB M24
 本数：8本×2 (1箇所あたり)

(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)

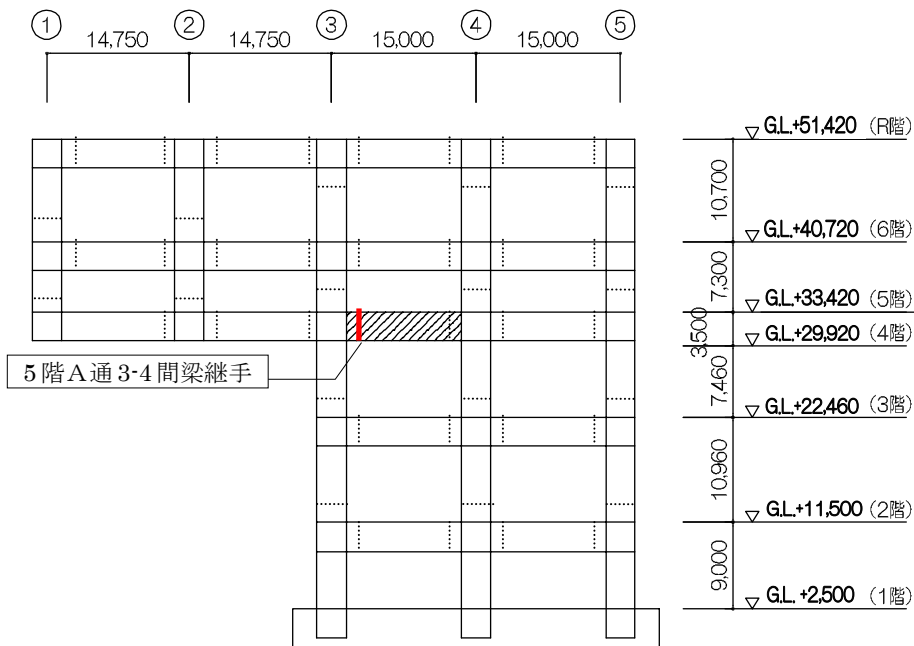


【スキンプレート部】
 ボルト種類：MUTF27
 本数：62本×2 (フランジ1面あたり)
 本数：56本×2 (ウェブ1面あたり)

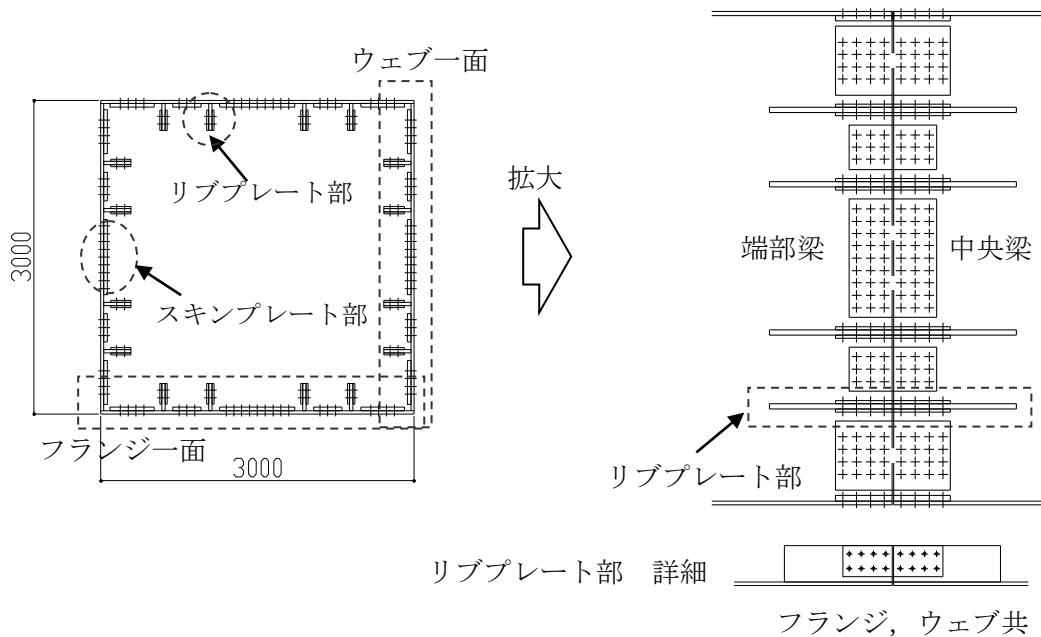
【リブプレート部】
 ボルト種類：SHTB M24
 本数：8本×2 (1箇所あたり)

(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)

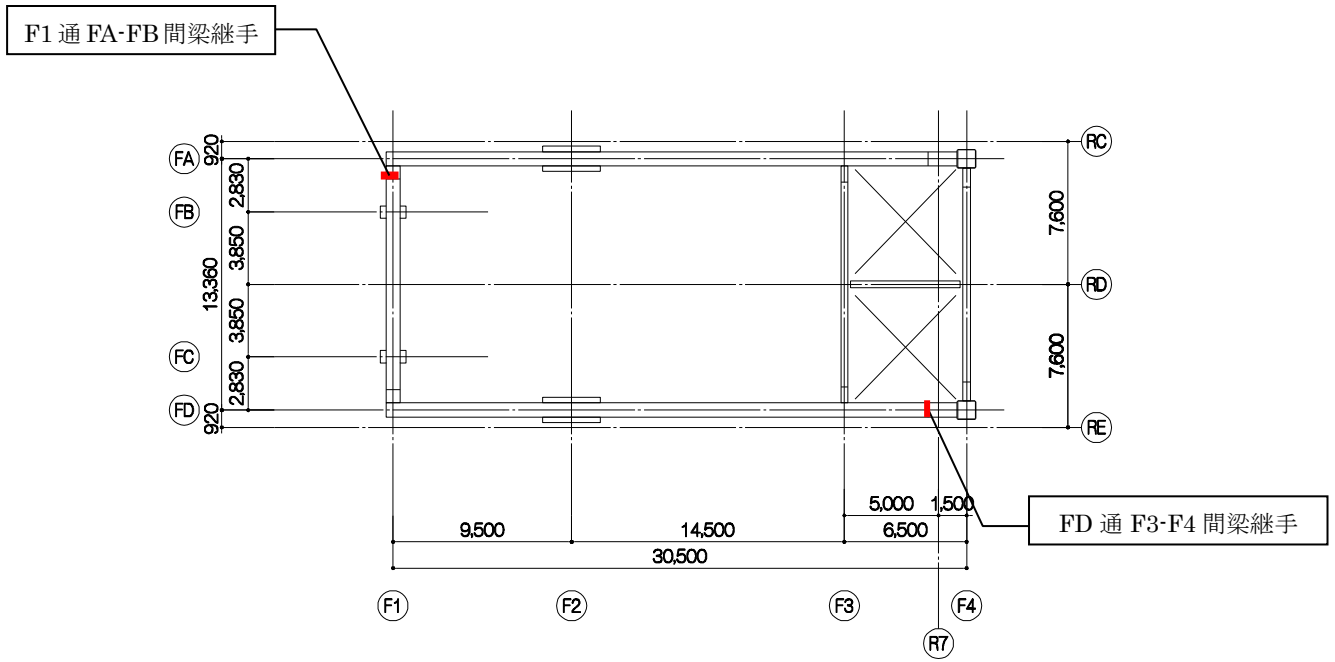


【スキンプレート部】
 ボルト種類：MUTF27
 本数：77本×2 (フランジ，ウェブ共1面あたり)

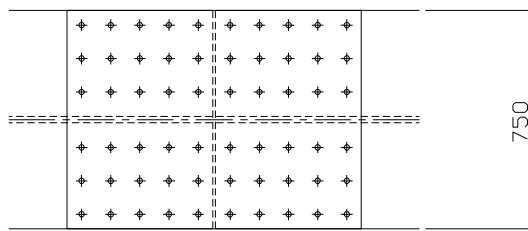
【リブプレート部】
 ボルト種類：SHTB M24
 本数：8本×2 (1箇所あたり)

(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

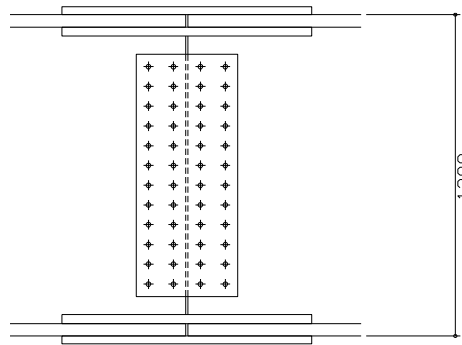


(1) 接合部位置



(a) フランジ

ボルト種類：HTB M27
ボルト本数：30本×2

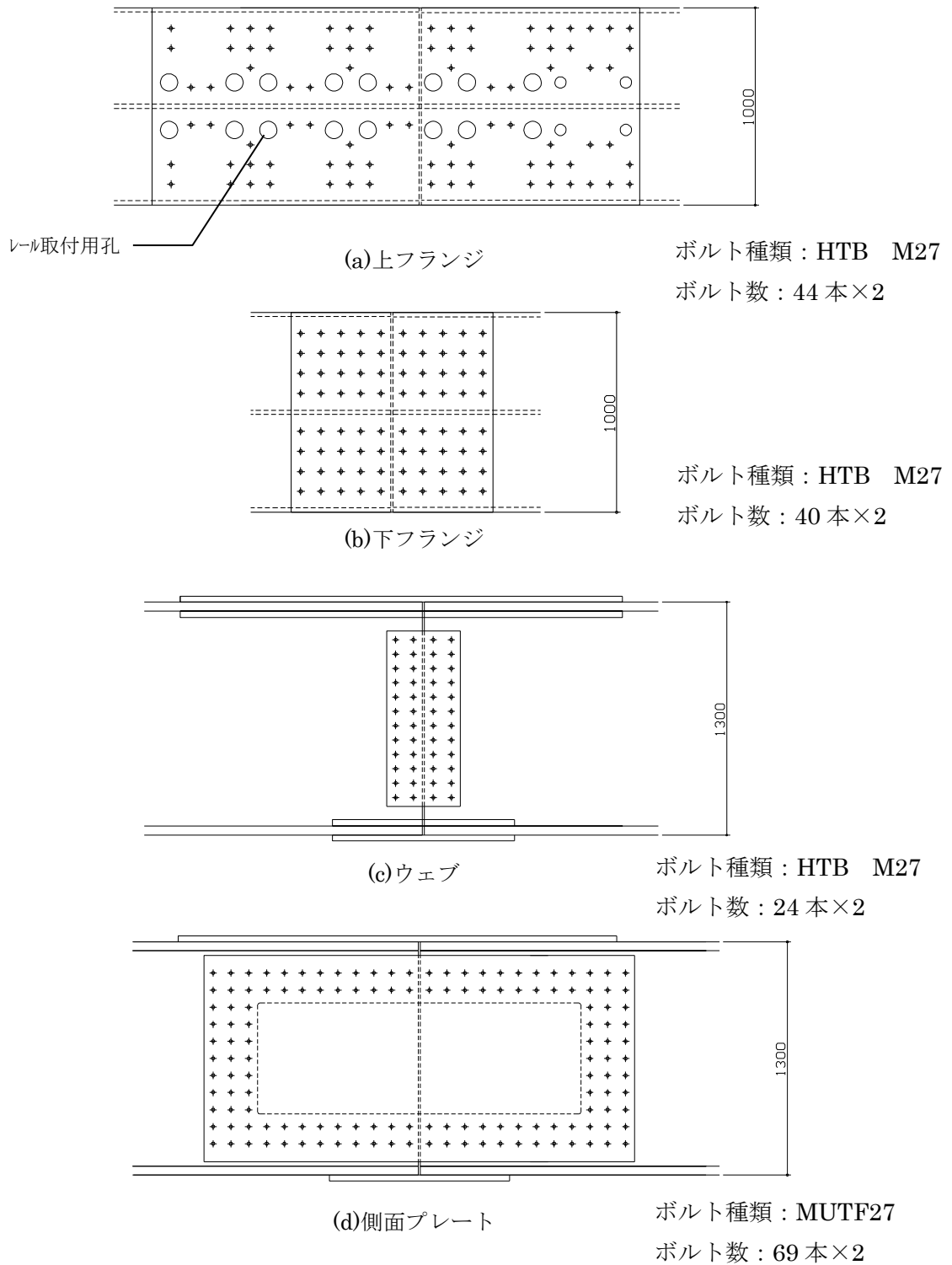


(b) ウェブ

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



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

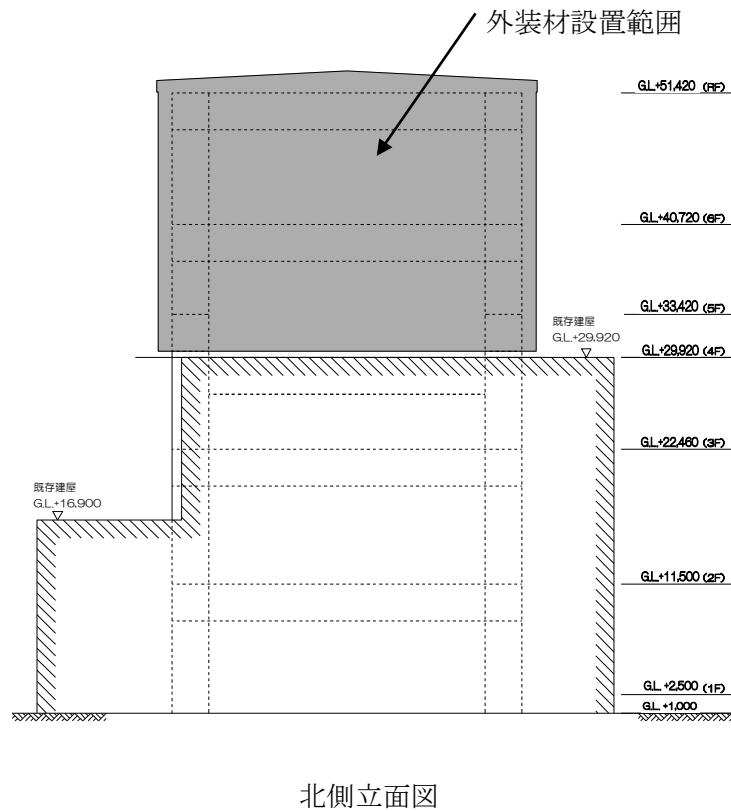
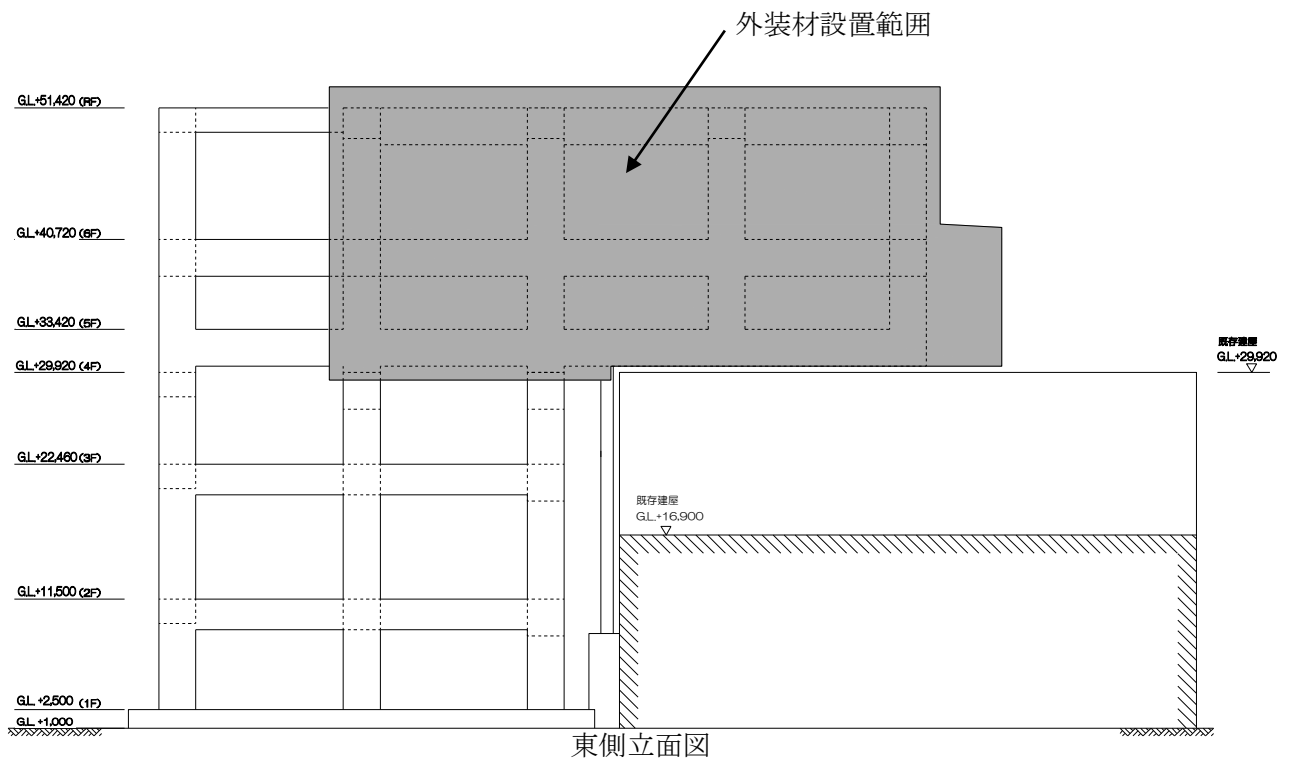
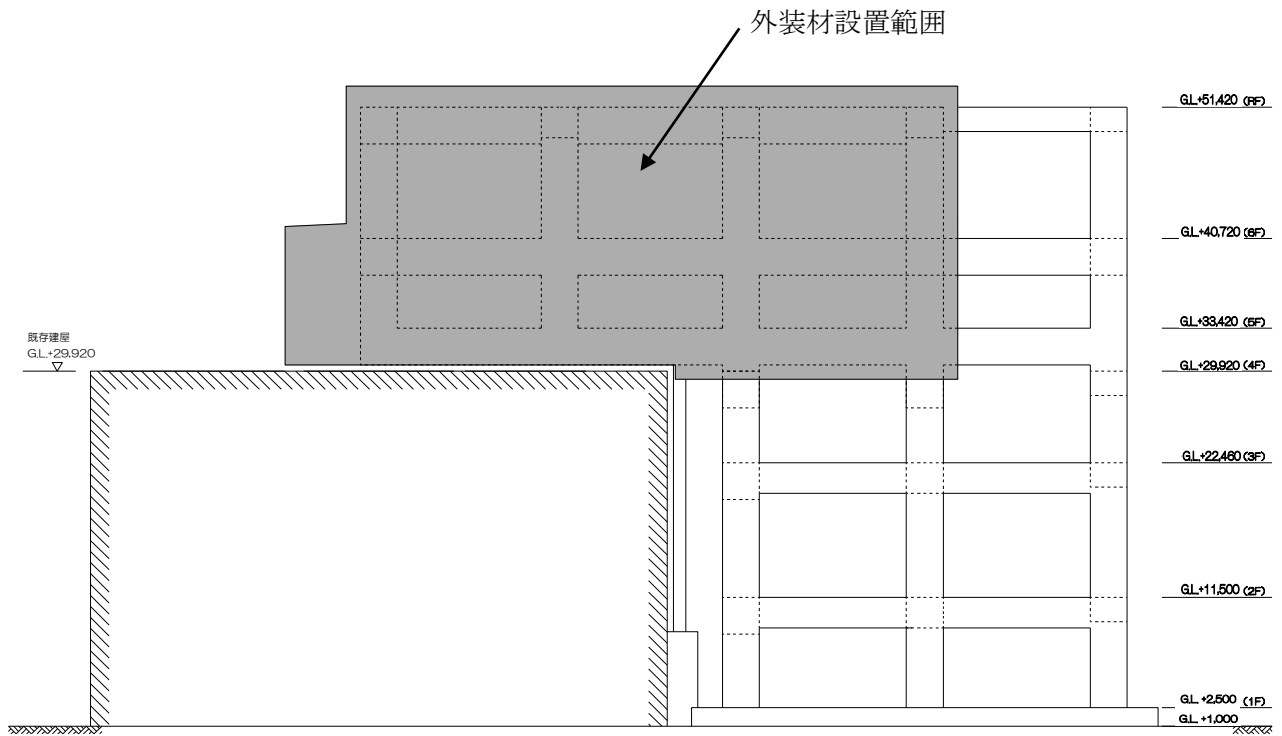
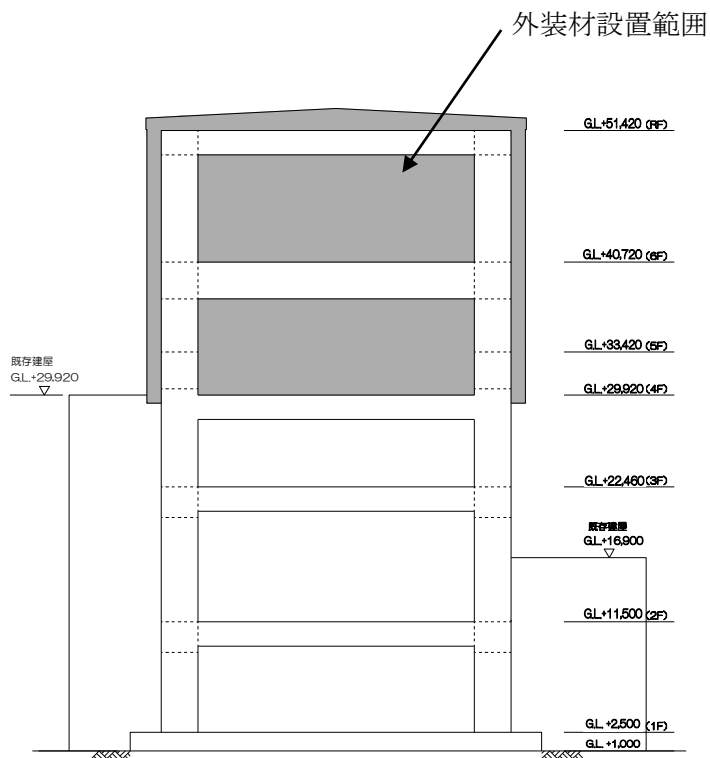


図-7 外装材設置範囲図①

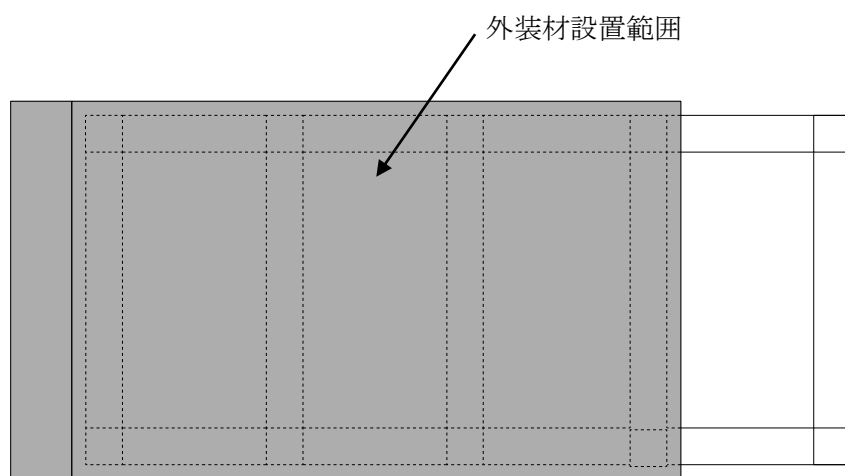


西側立面図



南側立面図

図-8 外装材設置範囲図②



屋根伏図

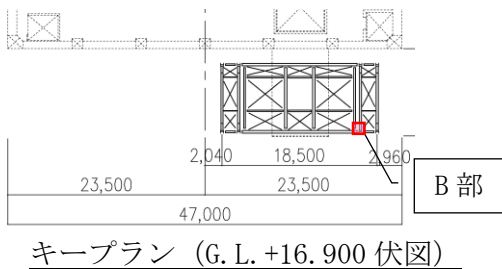
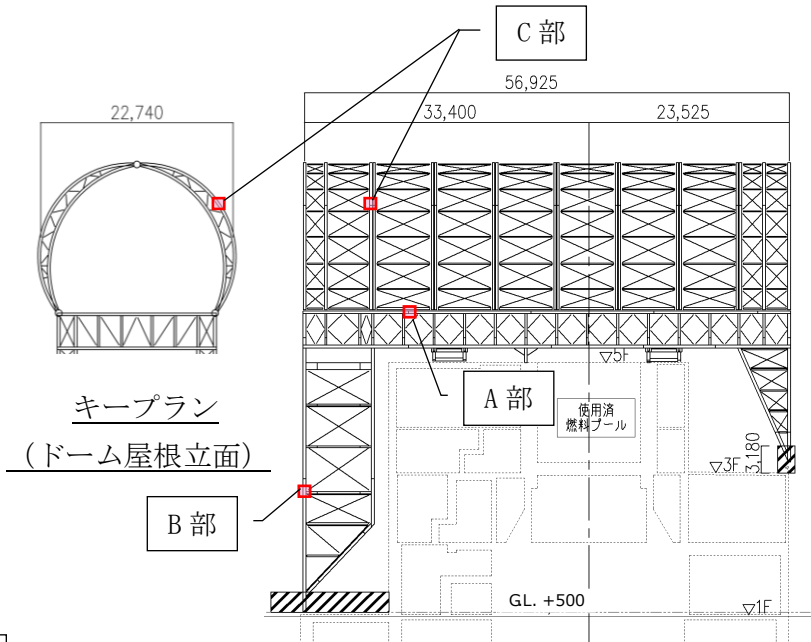
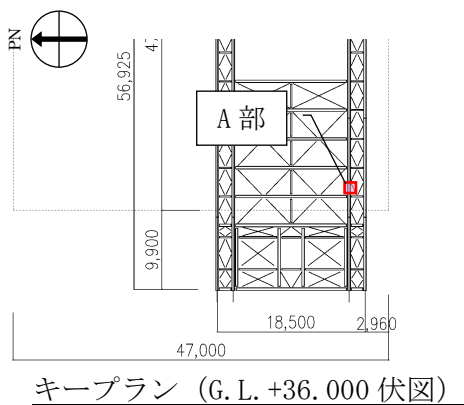
図-9 外装材設置範囲図③

3号機燃料取り出し用カバーに係る確認事項

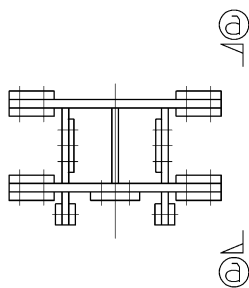
3号機燃料取り出し用カバーの工事に係る主要な確認項目を表－1に示す。

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

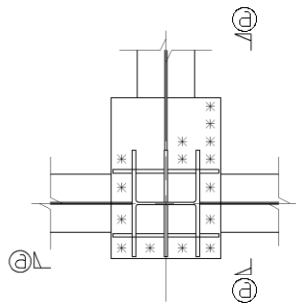
| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|-----------|------|----------------------------|--|
| 構造強度及び耐震性 | 材料確認 | 鋼材の材質，強度，化学成分を確認する。 | JIS G 3136, JIS G 3101, JIS G 3106, JIS G 3444, JIS G 3474に適合すること。 |
| | | 制震装置（オイルダンパ）の減衰係数を確認する。 | 減衰係数（ $C_1=50 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{s/m}$, $C_2=3.95 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{s/m}$ ）が $\pm 10\%$ 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。 |



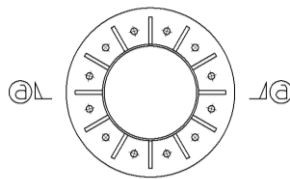
キープラン (東西断面図)



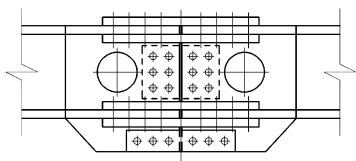
断面図



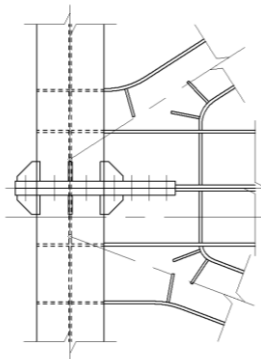
伏図



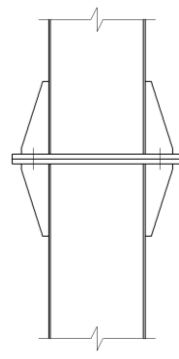
断面図



①-①断面図



①-①断面図



①-①断面図

ボルト種類 : SHTB M24
本数 58×2

(a) ガーダ上弦材 (A部)

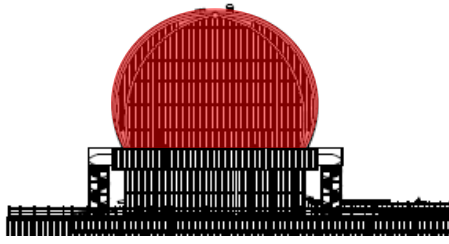
ボルト種類 : SHTB M24
本数 15

(b) 柱材 (B部)

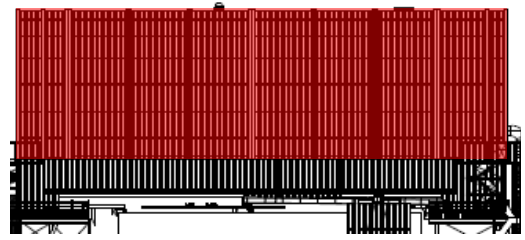
ボルト種類 : SHTB M22
本数 12

(c) 弦材 (C部)

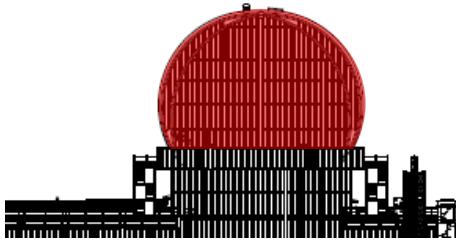
図-1 接合部詳細



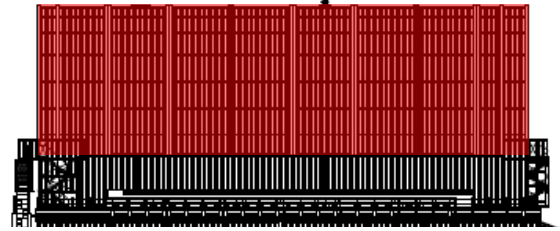
東立面図



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

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。

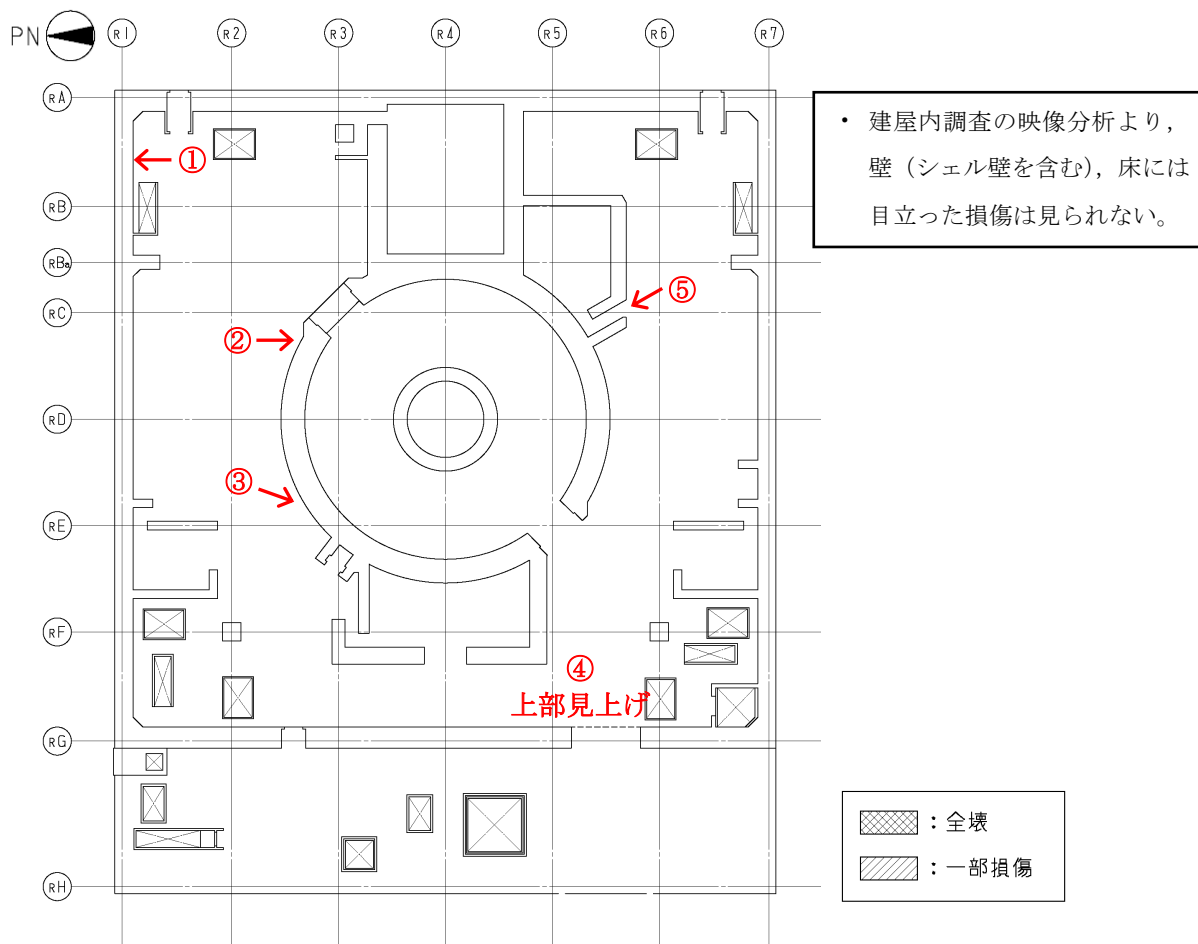


図-2.1 損傷状況（1階）

① 1F北側外壁



② 1Fシェル壁

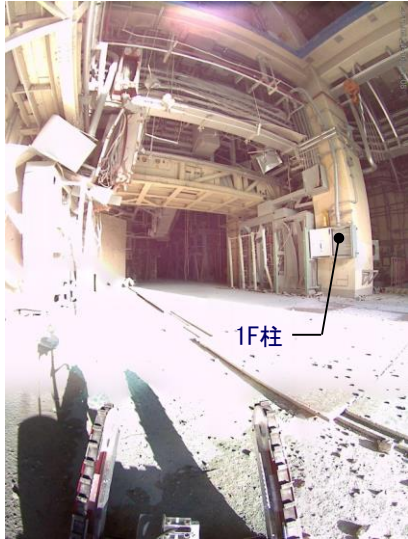


③ 1Fシェル壁及び1F床



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

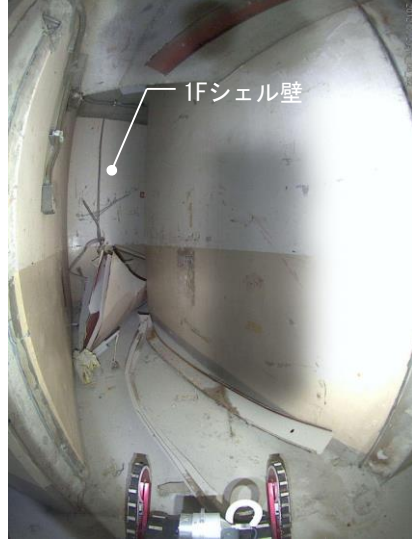


図-2.2(2) 建屋内状況写真（1階）

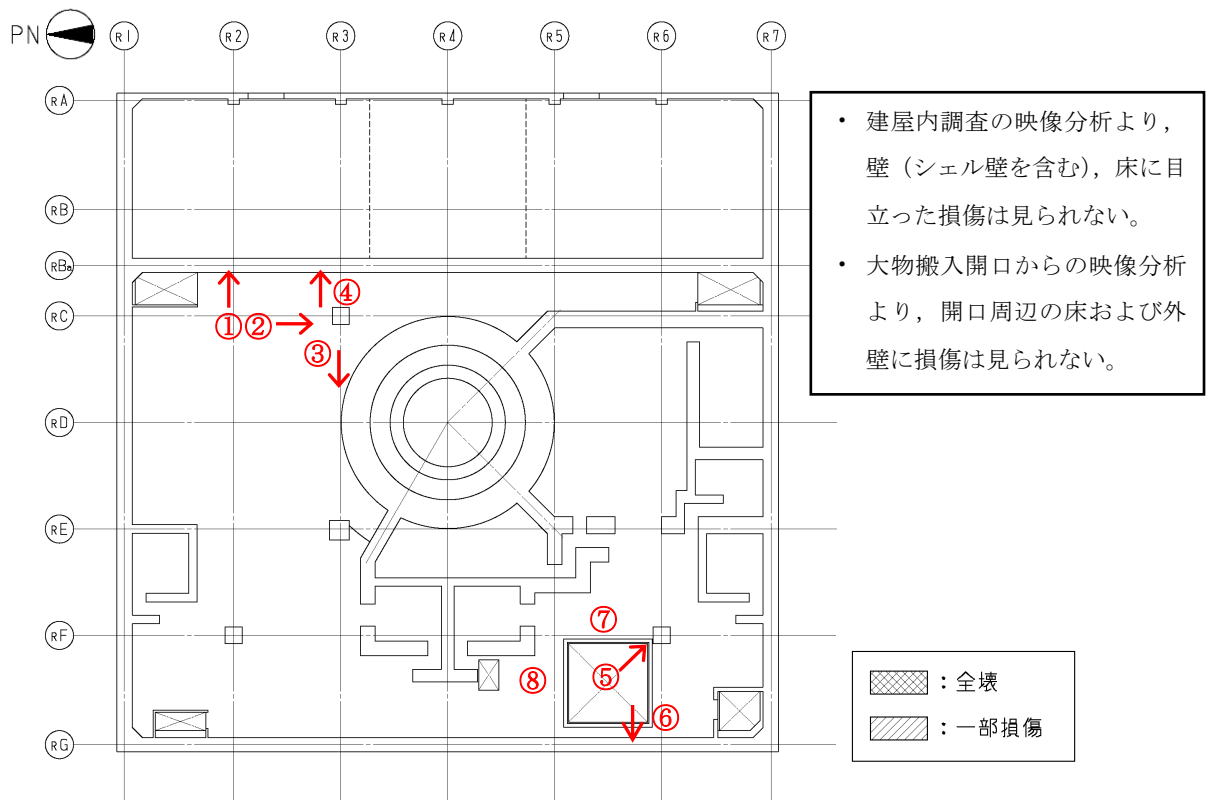


図-2.3 損傷状況（2階）



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)

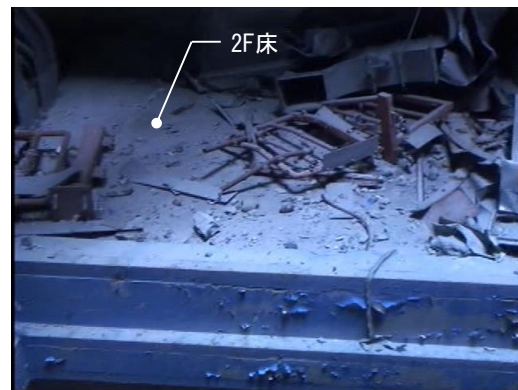


図-2.4(2) 建屋内状況写真 (2階)

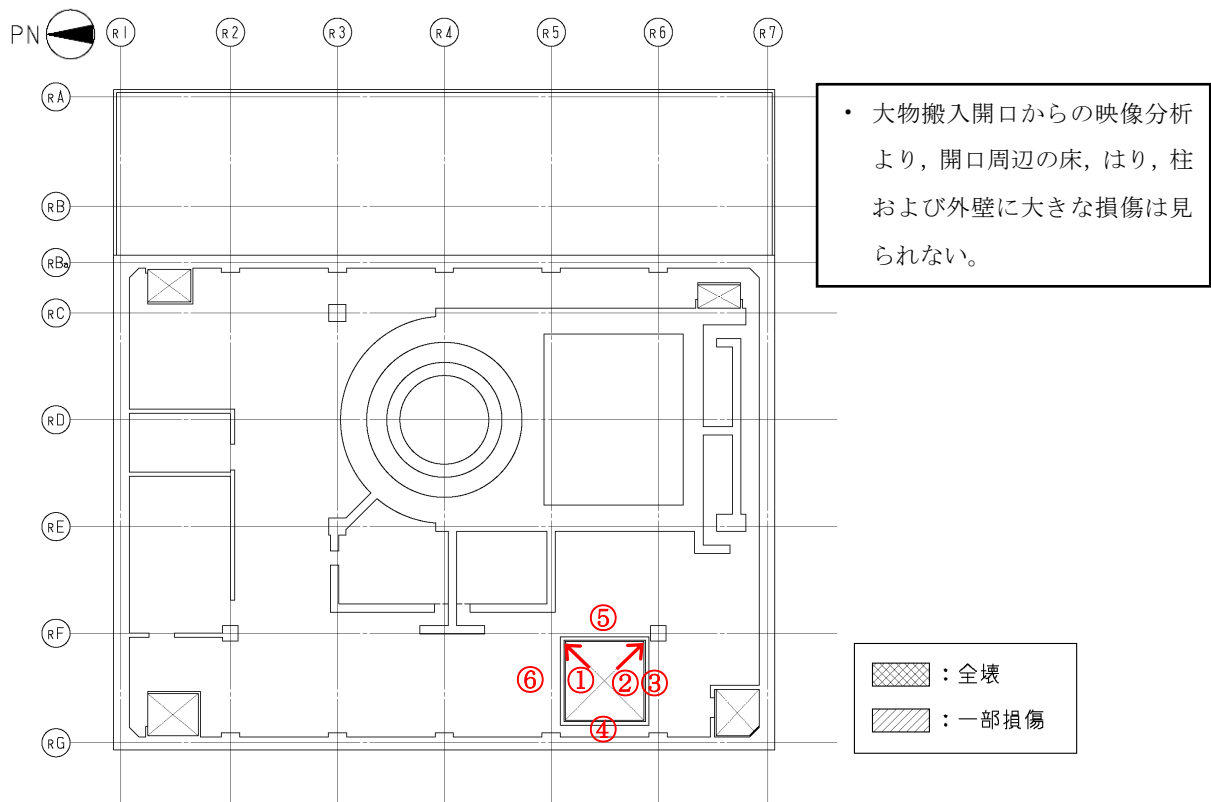


図-2.5 損傷状況（3階）

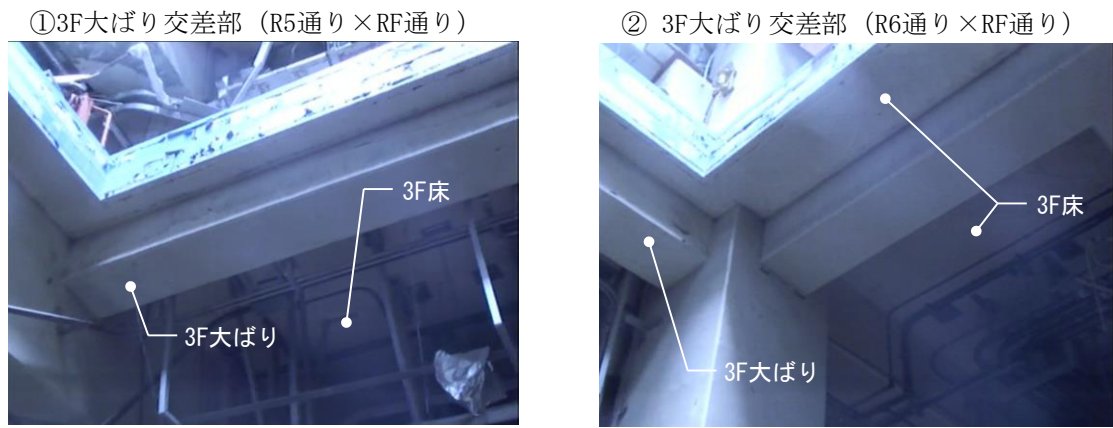
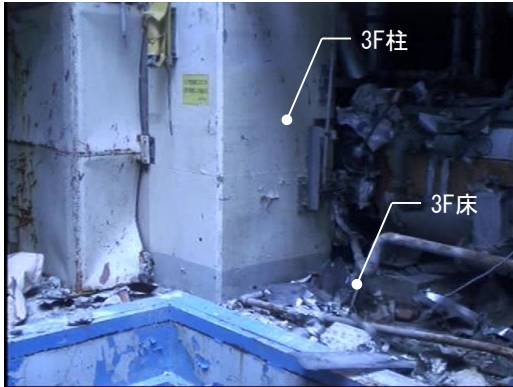


図-2.6(1) 建屋内状況写真（3階）

③3F柱脚



④3F西側外壁中央部



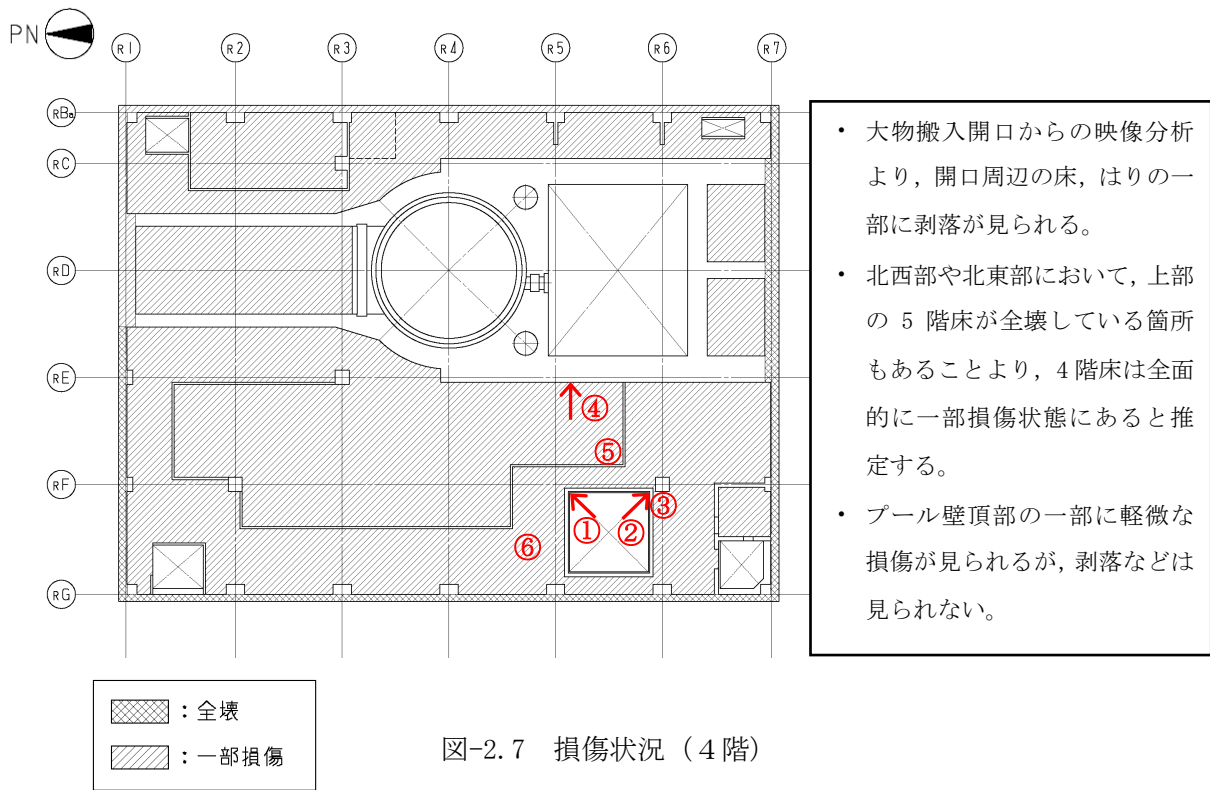
⑤3F床 (大物搬入口東側)



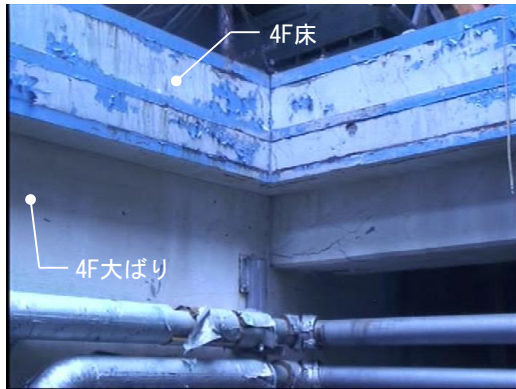
⑥3F床 (大物搬入口北側)



図-2.6(2) 建屋内状況写真 (3階)



①4F大ばり交差部（R5通り×RF通り）

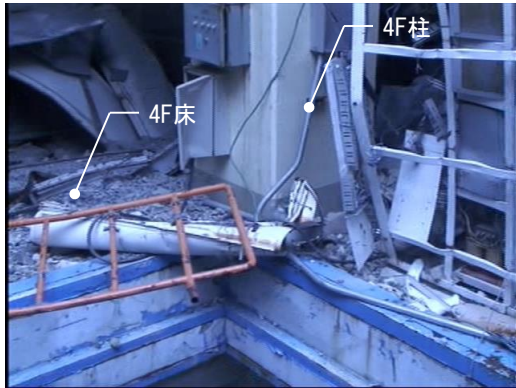


②4F大ばり交差部（R6通り×RF通り）

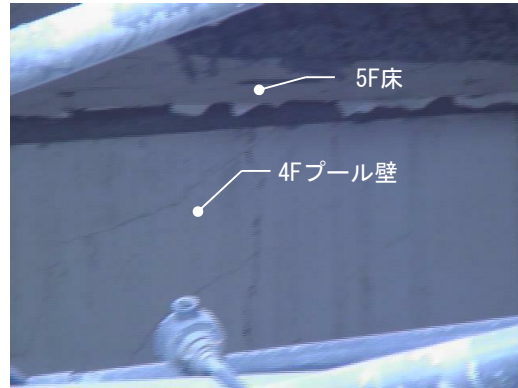


図-2.8(1) 建屋内状況写真（4階）

③4F柱脚



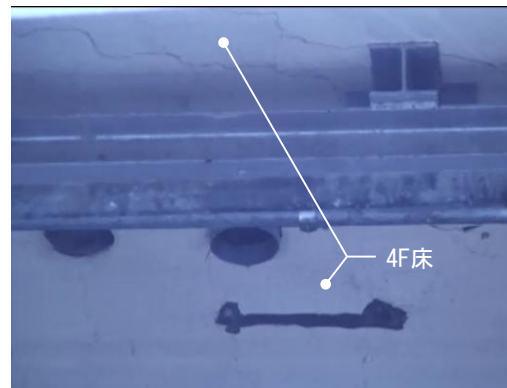
④4Fプール壁 (頂部)



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)

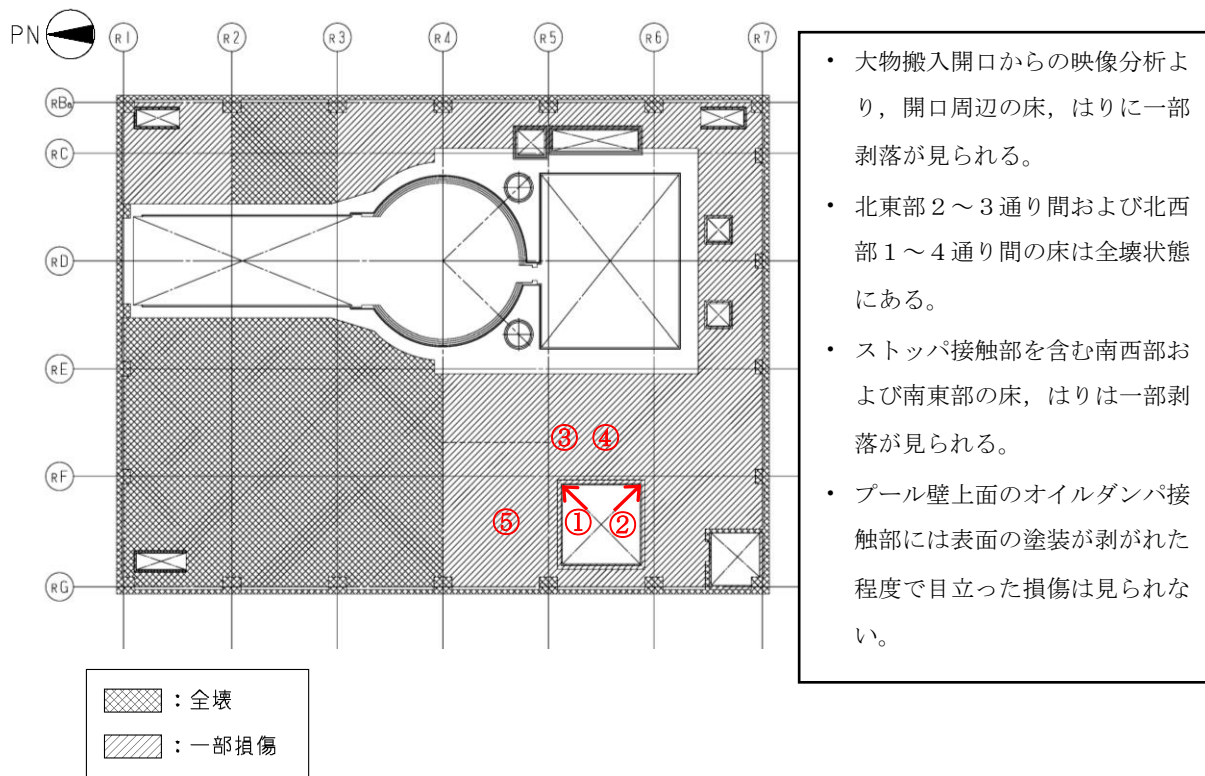


図-2.9 損傷状況 (5階)

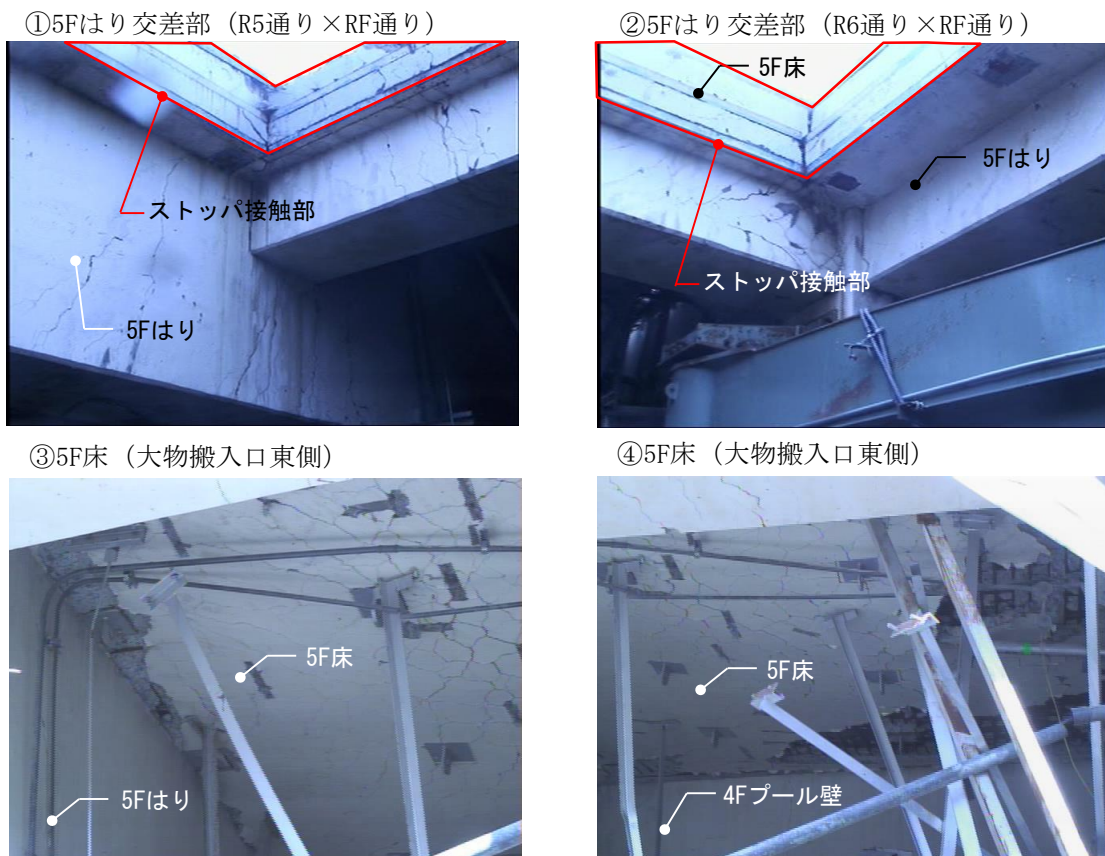
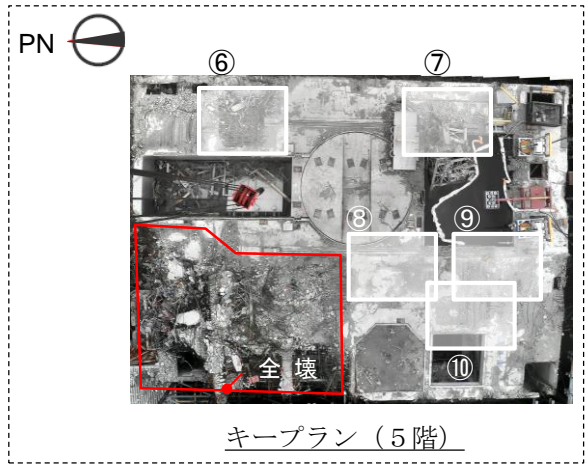
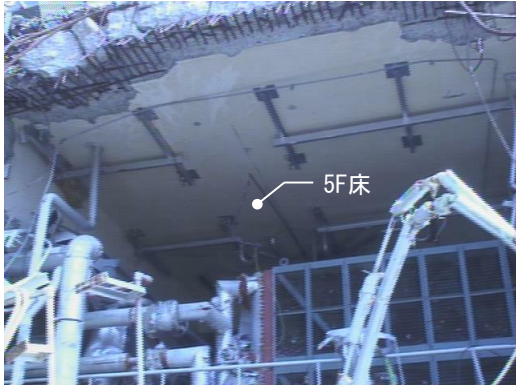
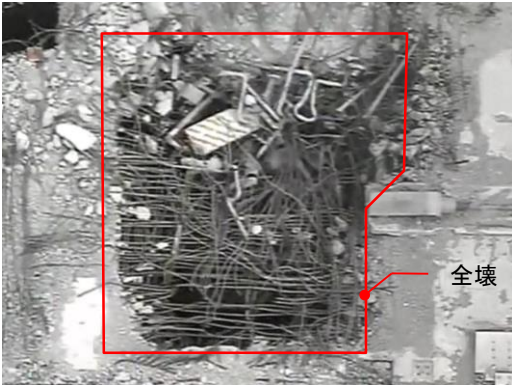


図-2.10(1) 建屋内状況写真 (5階)

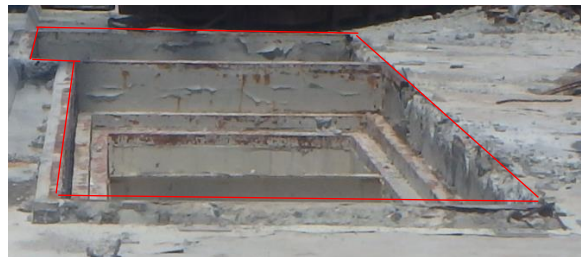
⑤5F床（大物搬入口北側）



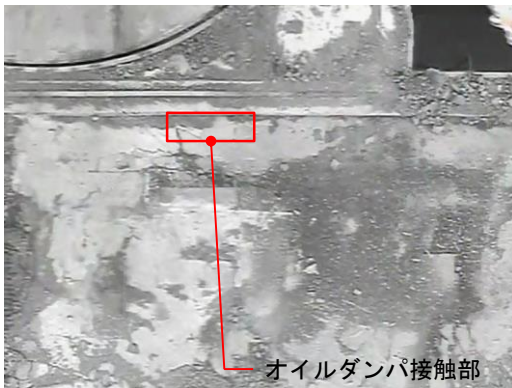
⑥5F床（機器仮置プール）



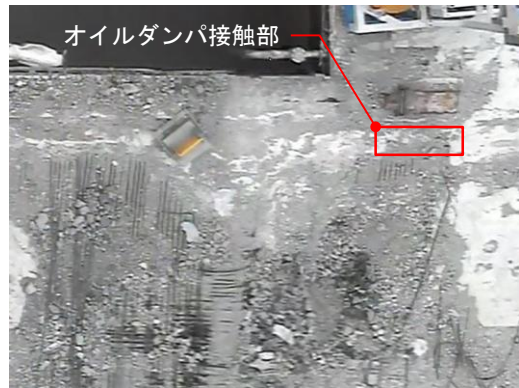
⑦東側ストッパ接触部



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

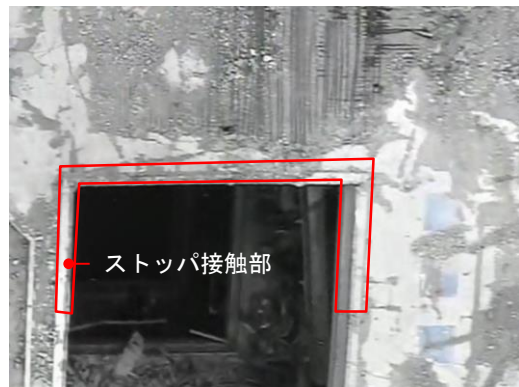


図-2.10(2) 建屋内状況写真（5階）

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。

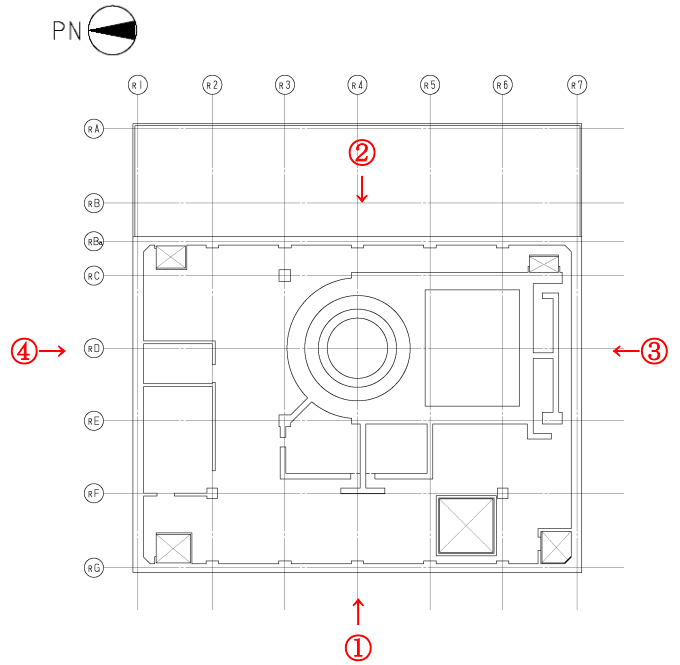


図-2.11 建屋外壁状況写真

3. 3次元FEM解析による耐震安全性評価

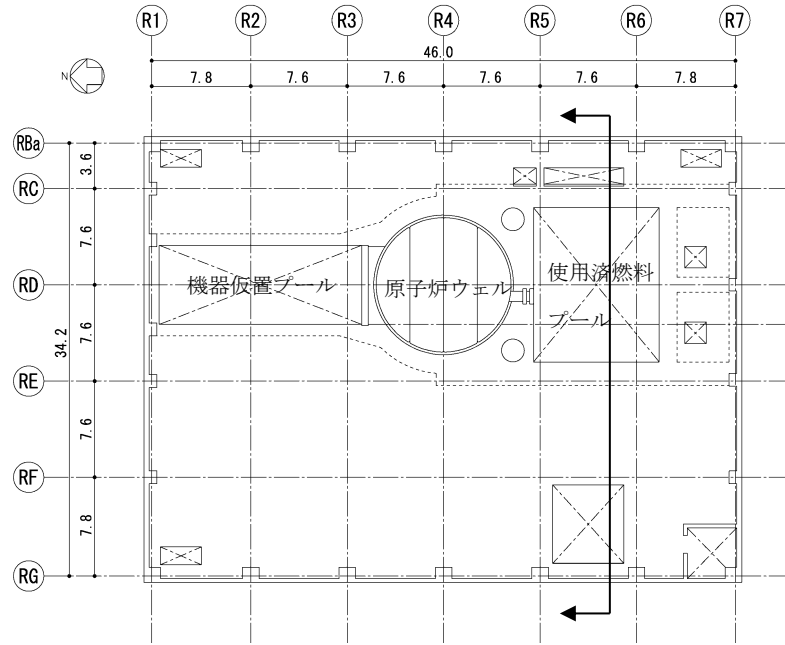
3.1 解析方針

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 S_s に対する耐震安全性を、3次元FEM解析によって評価する。

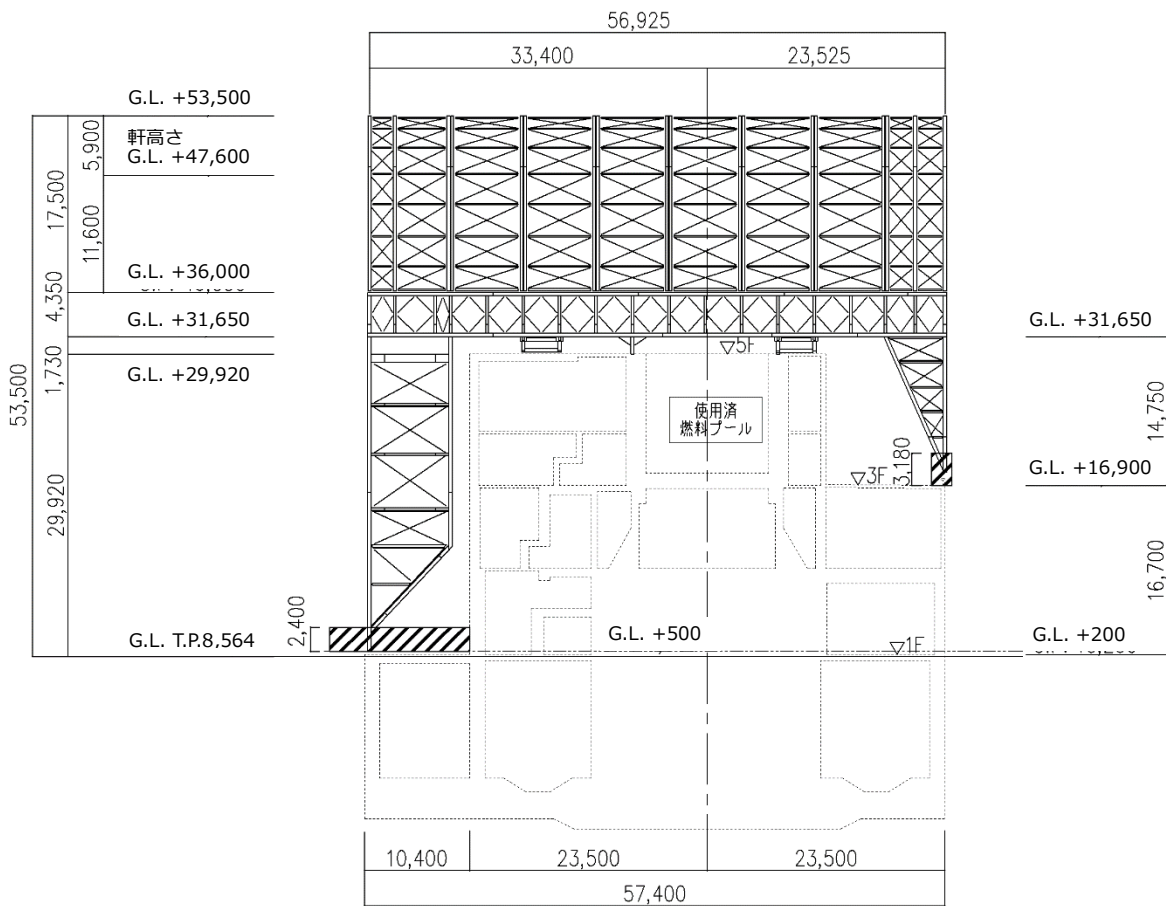
図-3.1.1 に原子炉建屋及び燃料取り出し用カバーの概要図を示す。

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。



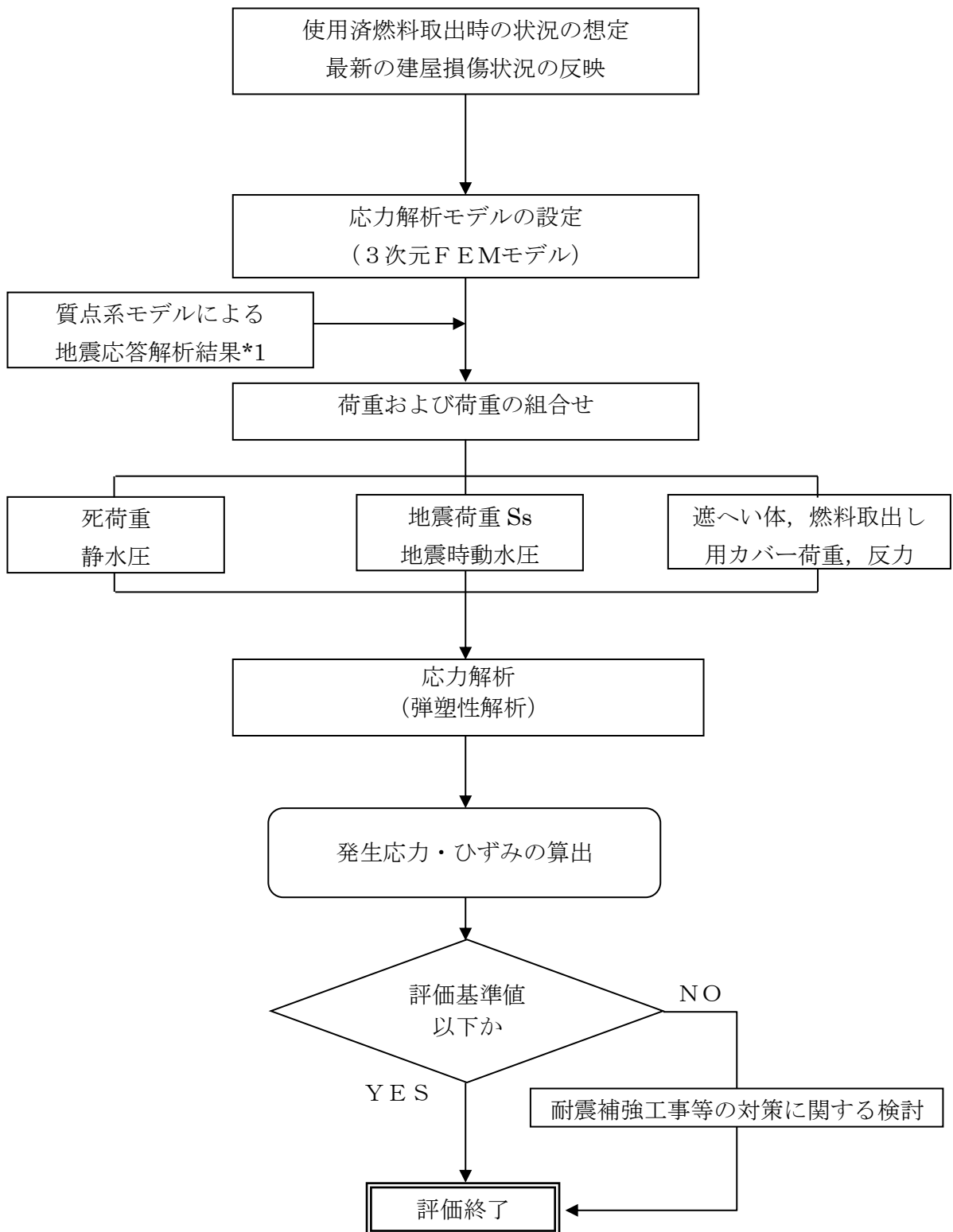
平面図



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。

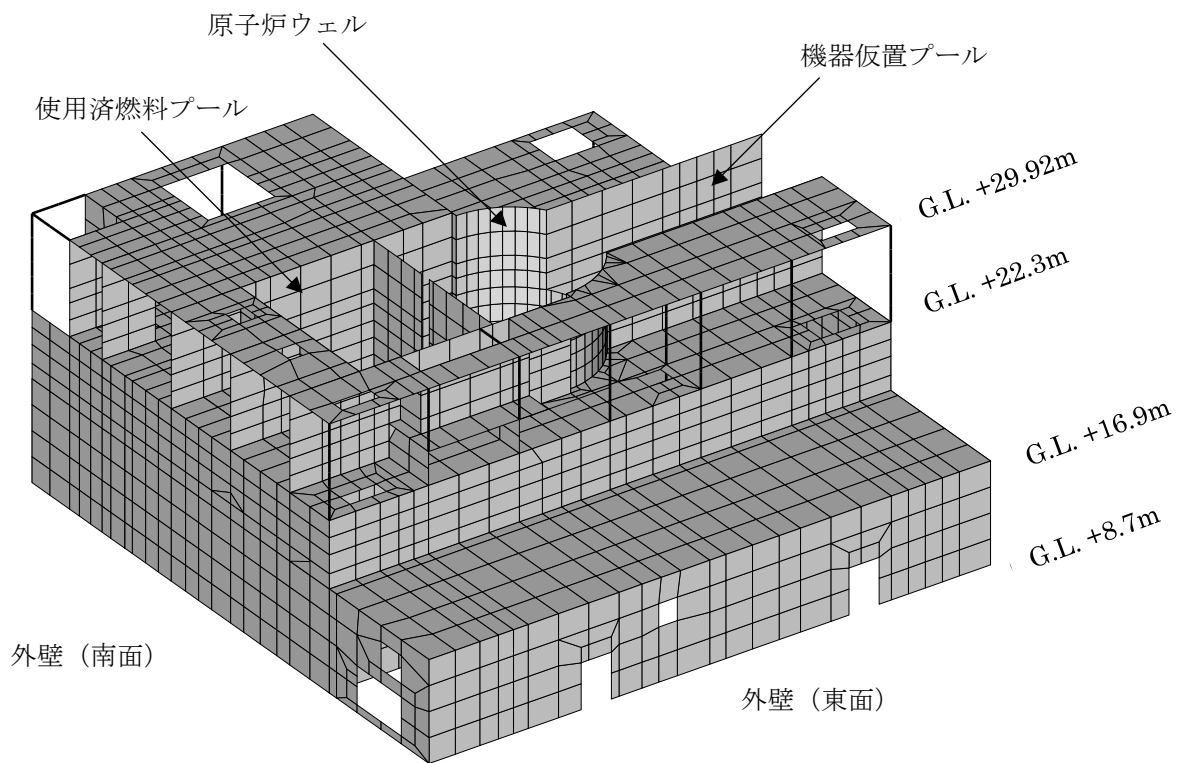
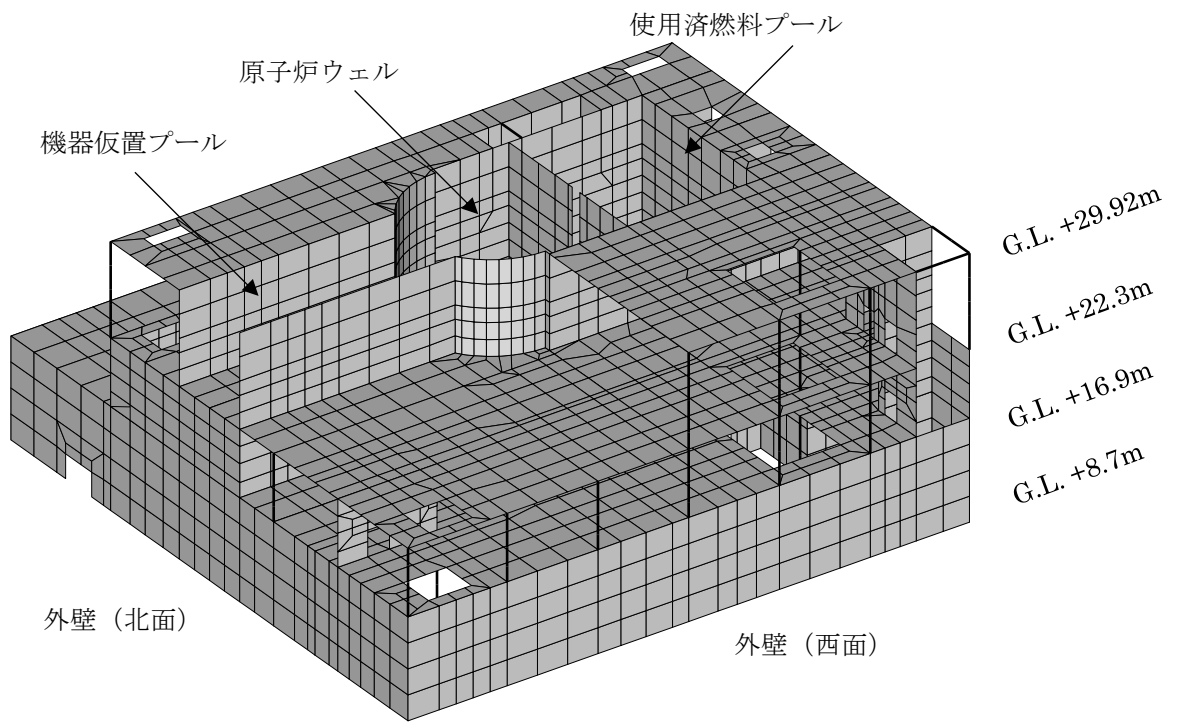
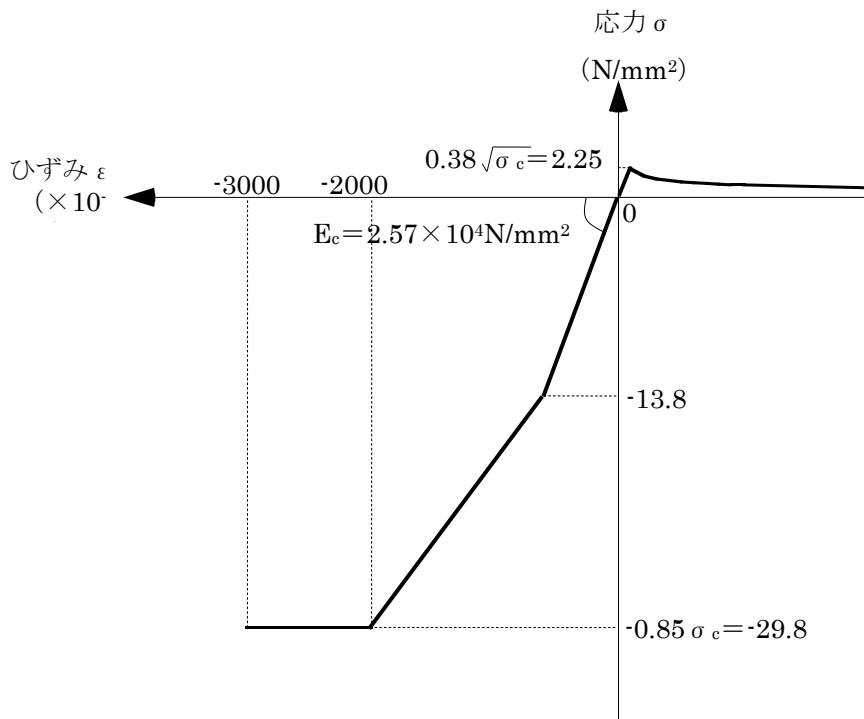
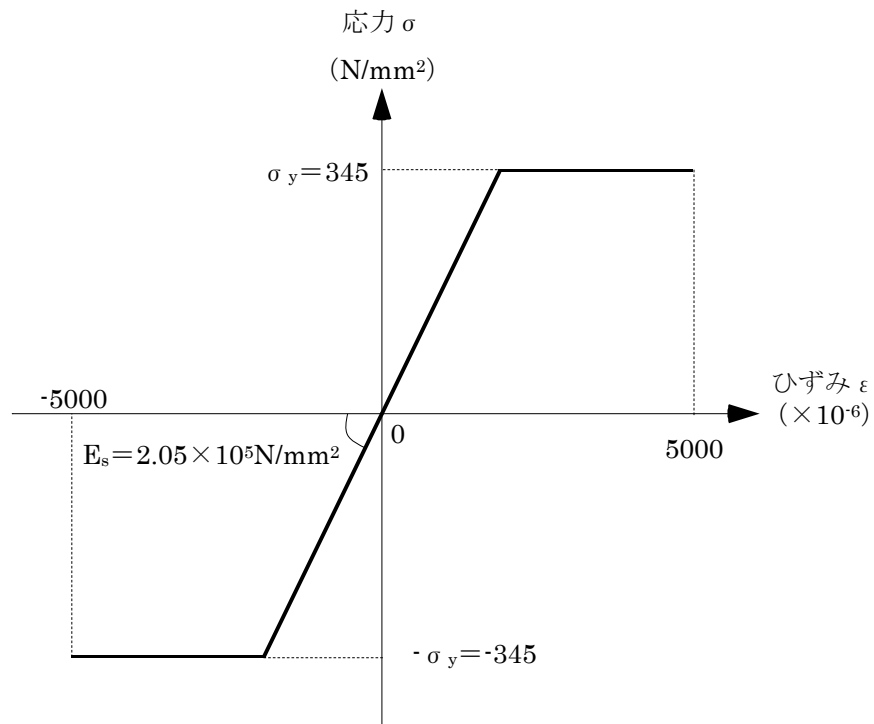


図-3.2.1 解析モデル概要図



(a) コンクリートの応力-ひずみ関係
(コンクリート強度 $\sigma_c = 35$ N/mm²)



(b) 鉄筋の応力-ひずみ関係
(鉄筋降伏点 $\sigma_y = 345$ N/mm²)

図-3.2.2 コンクリートと鉄筋の構成則

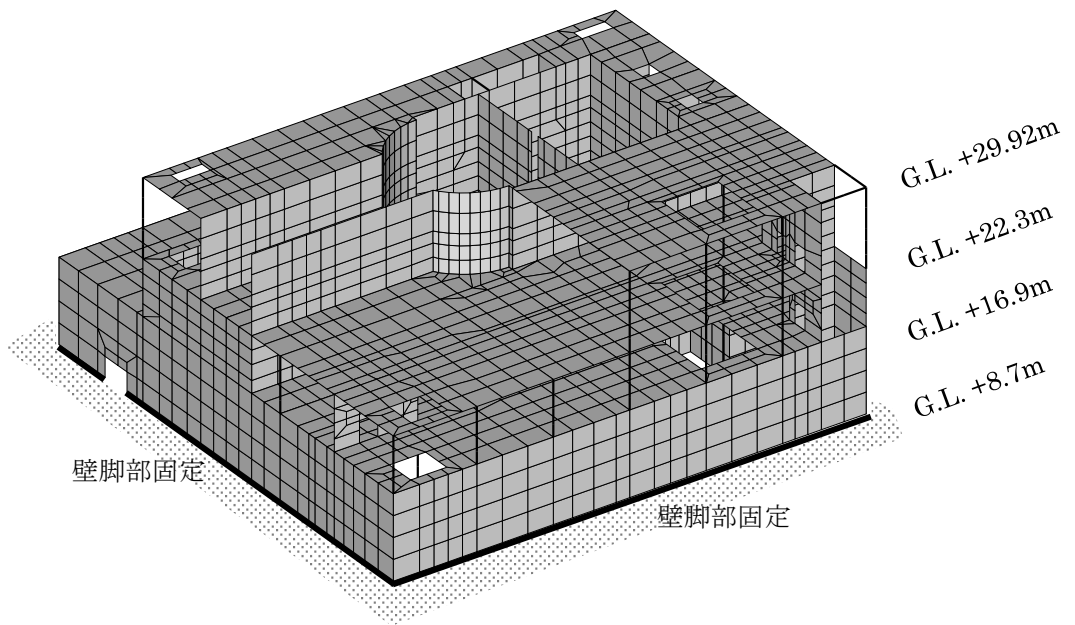


図-3.2.3 解析モデルの境界条件

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

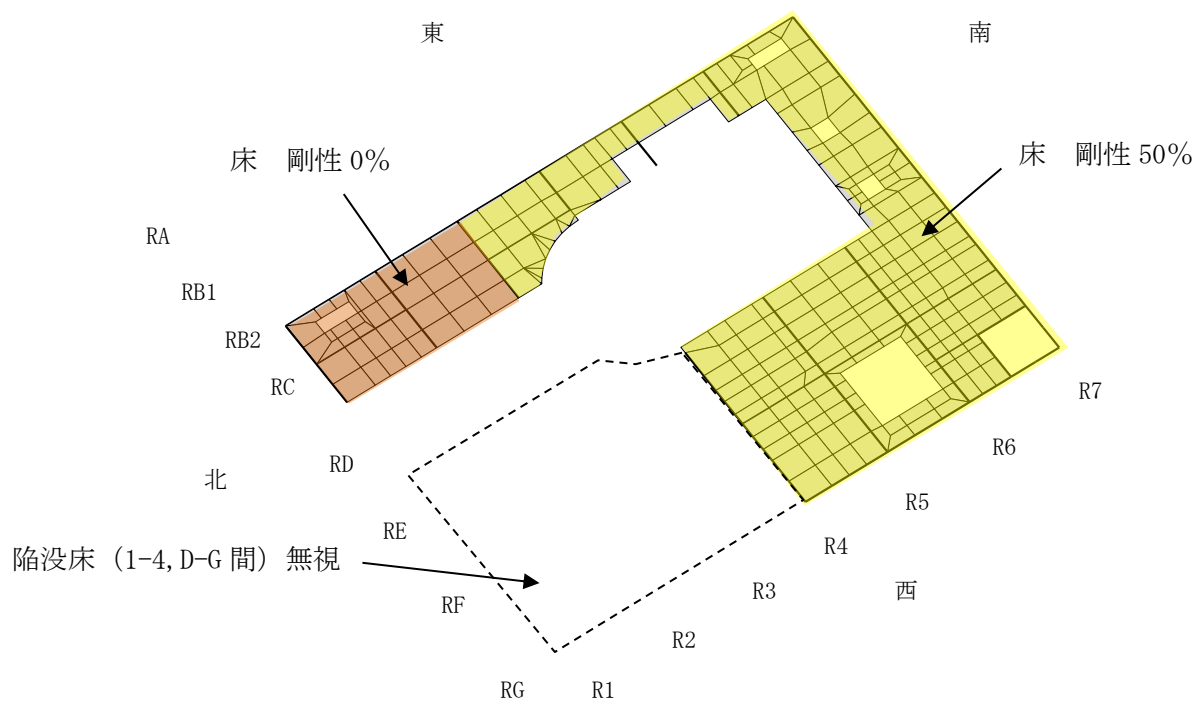
外壁・内壁は、新たな損傷が確認されていないため、変更は行わない。

(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。

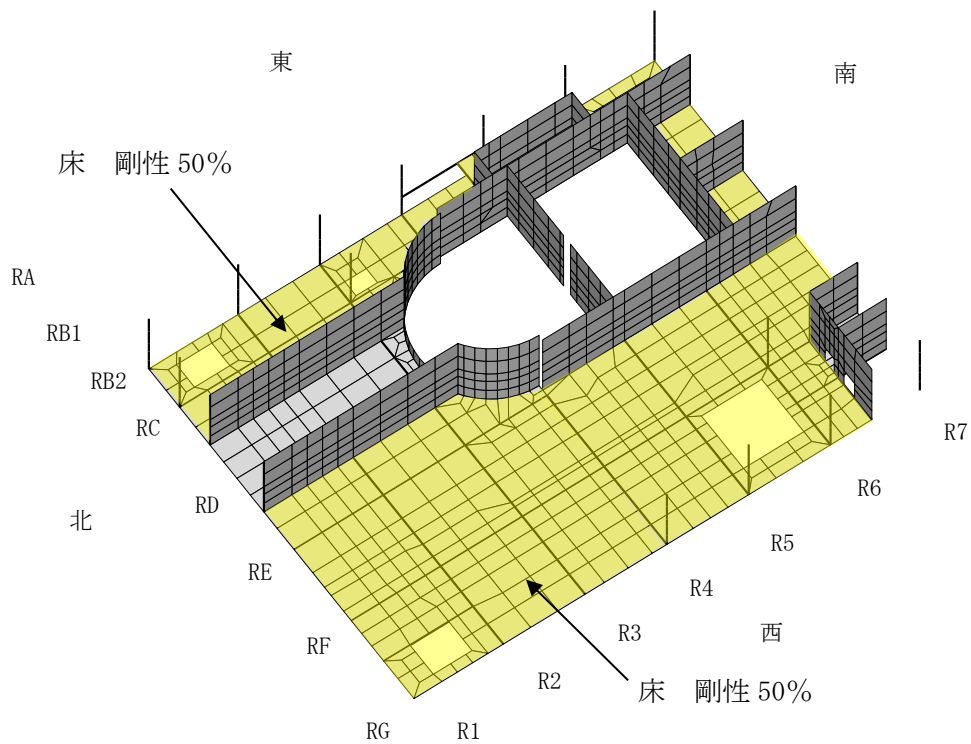
(4)シェル壁

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)

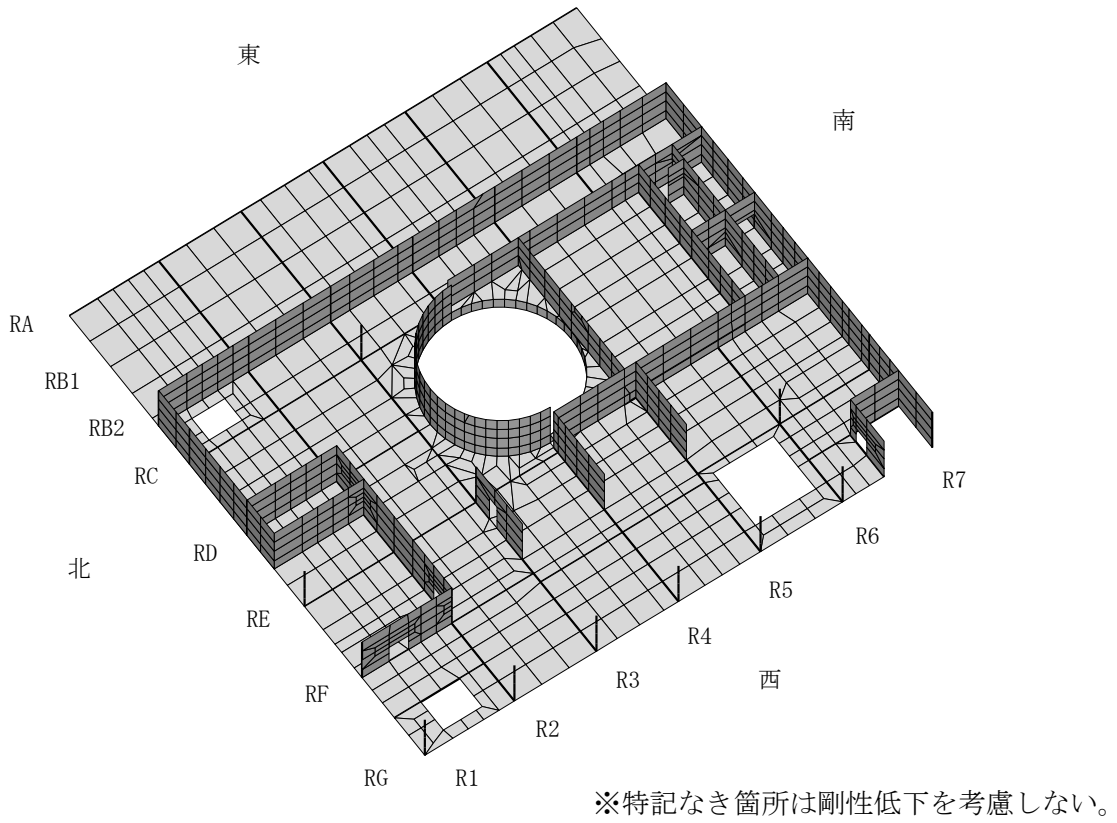


図-3.3.3 損傷状況仮定 アイソメ図 3階 (G.L. +16.9m)

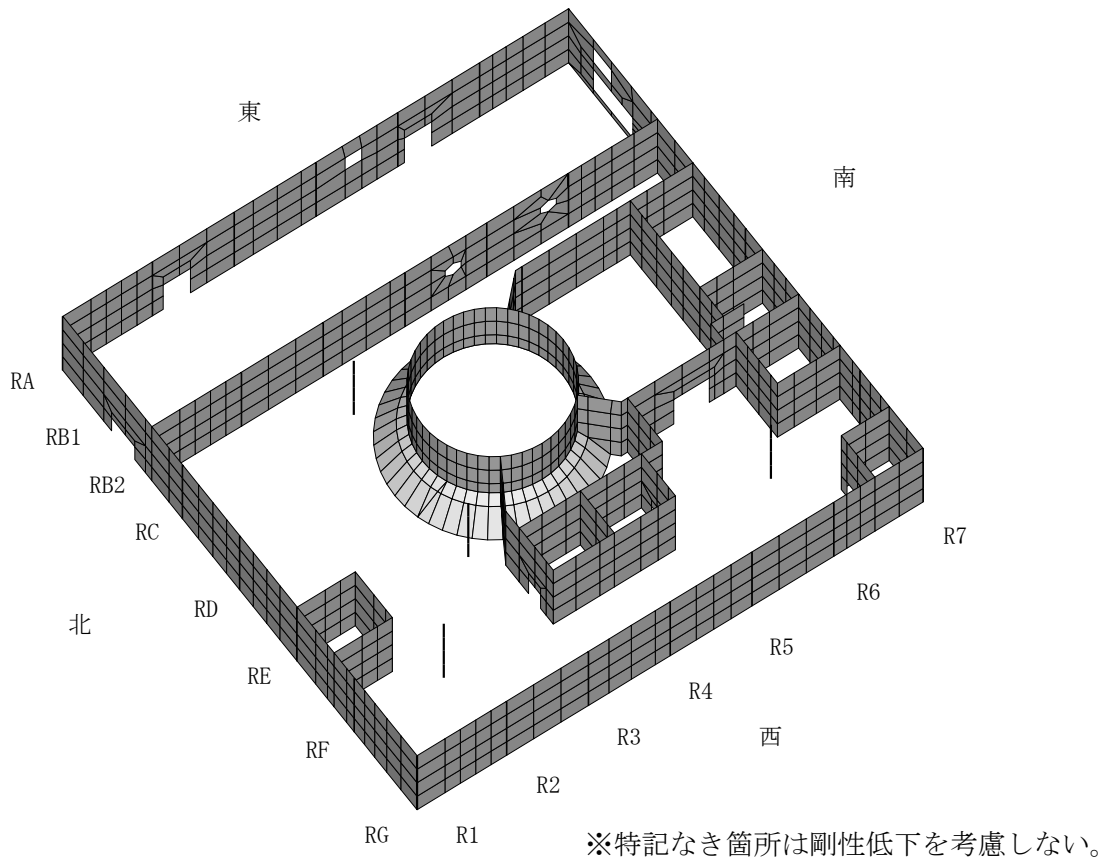


図-3.3.4 損傷状況仮定 アイソメ図 2階 (G.L. +8.7m)

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（ $\sigma = 113 \text{ kN/m}^2$ ）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。

$$\text{静水圧} \quad P_s = \rho g H$$

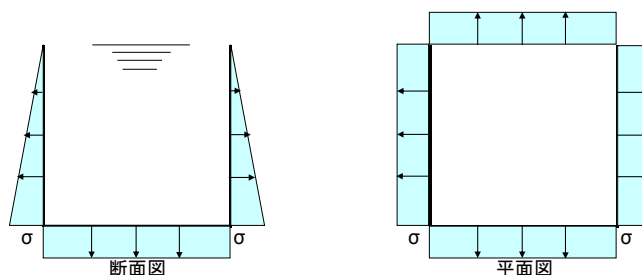
ここで

ρ : 液体の密度 (10^3 kg/m^3)

g : 重力加速度 (9.80665 m/s^2)

H : プール水深 (11.51 m)

$$P_s = 113 (\text{kN} / \text{m}^2)$$



(4) 地震荷重 K

全体架構モデルによる基準地震動 S_s 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 S_s 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 S _s 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 S _s 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 | 節点力として入力 | | ストッパ | 東側脚部 |
| | | 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 S_s 時の動水圧 ($\sigma_{NS}=44 \text{ kN/m}^2$, $\sigma_{EW}=56 \text{ kN/m}^2$) 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。

$$\text{衝撃圧} \quad {}_iP_W = \rho L \ddot{X} \frac{\sqrt{3}H}{2L} \left[1 - \left(\frac{y}{H} \right)^2 \right] \tanh \left(\sqrt{3} \frac{L}{H} \right)$$

ここで

ρ : 液体の密度 (10^3 kg/m^3)

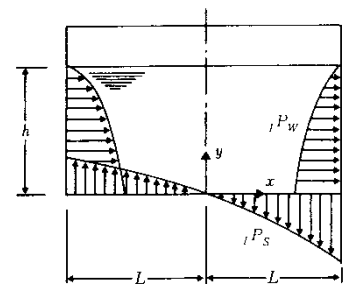
h : 液体の深さ(11.51m)

H : $H=h$ ($h \leq 1.5L$), $H=1.5L$ ($h > 1.5L$)

$2L$: 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



(a) 衝撃圧分布形状

NS 方向

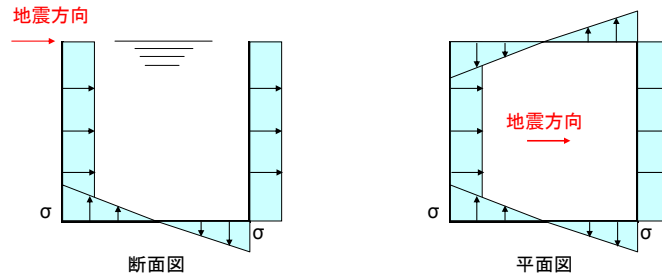
$$L=4.953(\text{m})、\ddot{X}=8.08 (\text{m/s}^2)$$

$${}_iP_W = 44(\text{kN/m}^2)$$

EW 方向

$$L=6.096(\text{m})、\ddot{X}=8.14 (\text{m/s}^2)$$

$$P_w = 56(\text{kN/m}^2)$$



(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。

$$\tau_R = \Phi \{ 0.1(p_t \cdot f_y - \sigma_0) + 0.5p_w \cdot f_y + 0.235\sqrt{F_c} \} \quad \dots\dots\dots (3.5-1)$$

$$\tau_R = 1.10\sqrt{F_c} \quad \dots\dots\dots (3.5-2)$$

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

$$p_w = a_w / (b \cdot x) \quad \dots\dots\dots (3.5-3)$$

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)

$$\Phi = 1 / \sqrt{M / (Q \cdot d)} \quad \dots\dots\dots (3.5-4)$$

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

$$Q_A = b \cdot j \cdot c f_s \quad \dots\dots\dots (3.5-5)$$

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

$$Q_A = b \cdot j \left\{ \alpha \cdot \epsilon_s + 0.5 p_w f_t (p_w - 0.002) \right\} \dots\dots\dots (3.5-6)$$

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)

$$p_w = a_w / (b \cdot x) \dots\dots\dots (3.5-7)$$

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)

f_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)

$$\alpha = \frac{4}{M / (Q \cdot d) + 1} \dots\dots\dots (3.5-8)$$

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 ϵ_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 : ϵ / ϵ_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 |

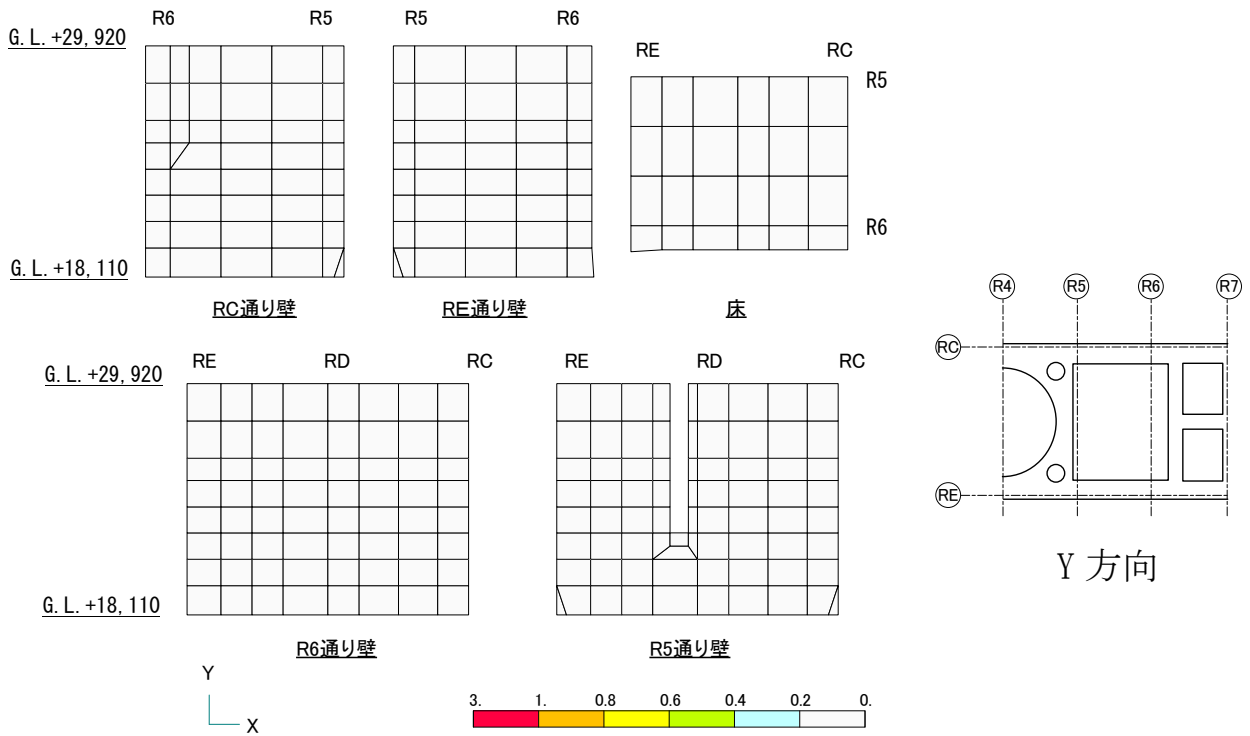
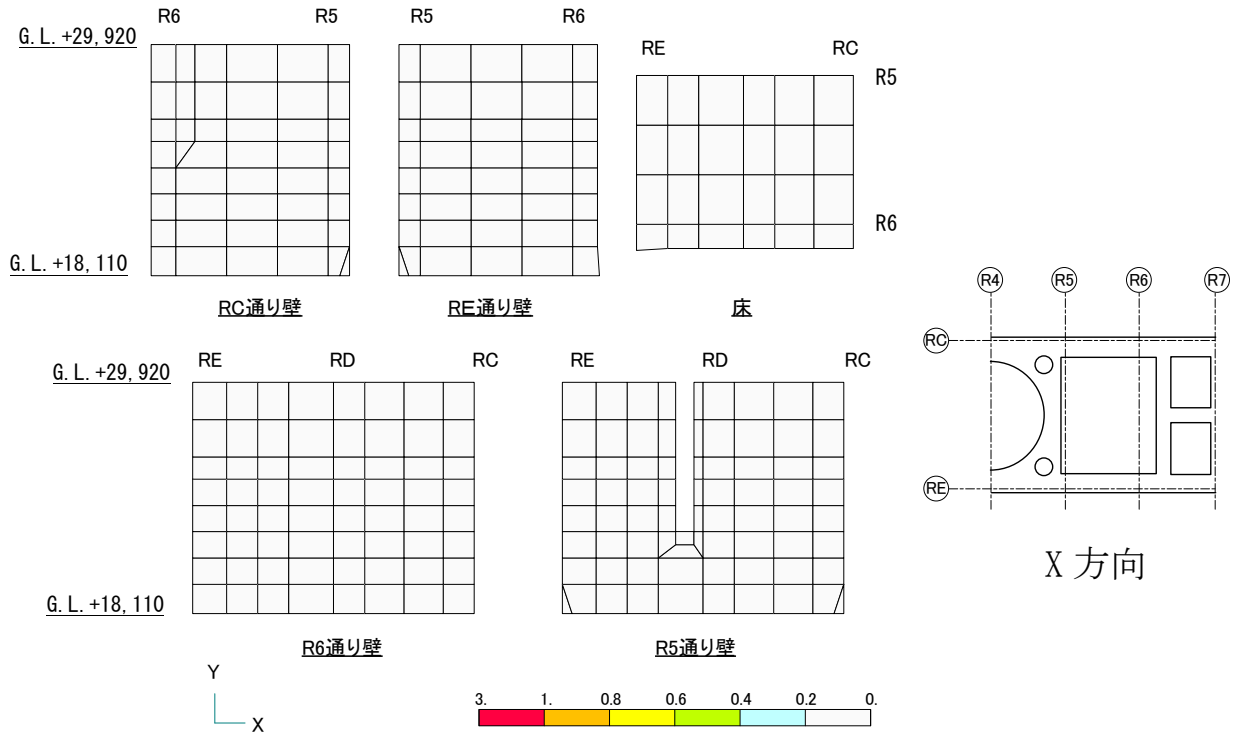


図-3.5.1 コンクリート圧縮ひずみの検定比（使用済燃料プール部）

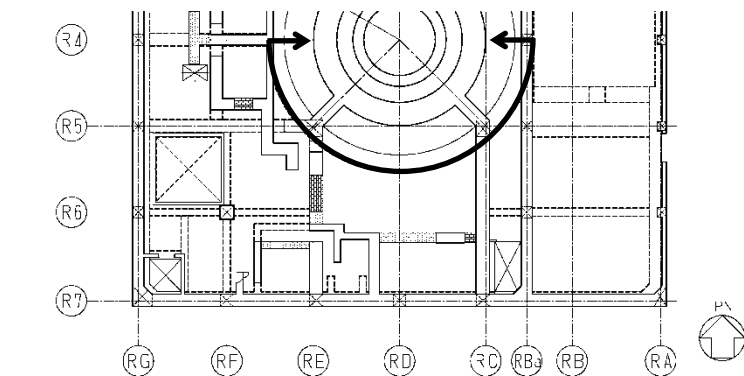
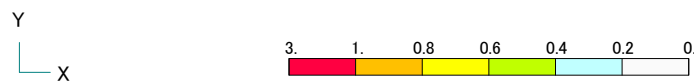
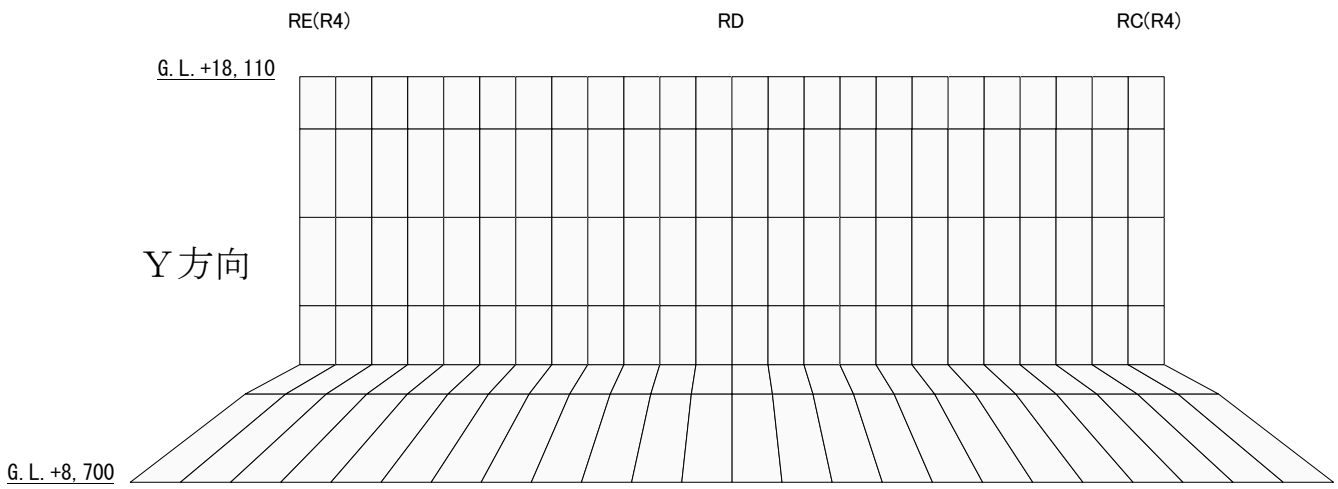
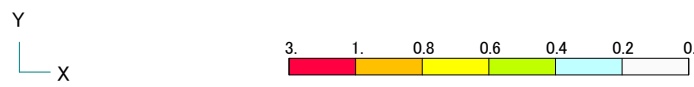
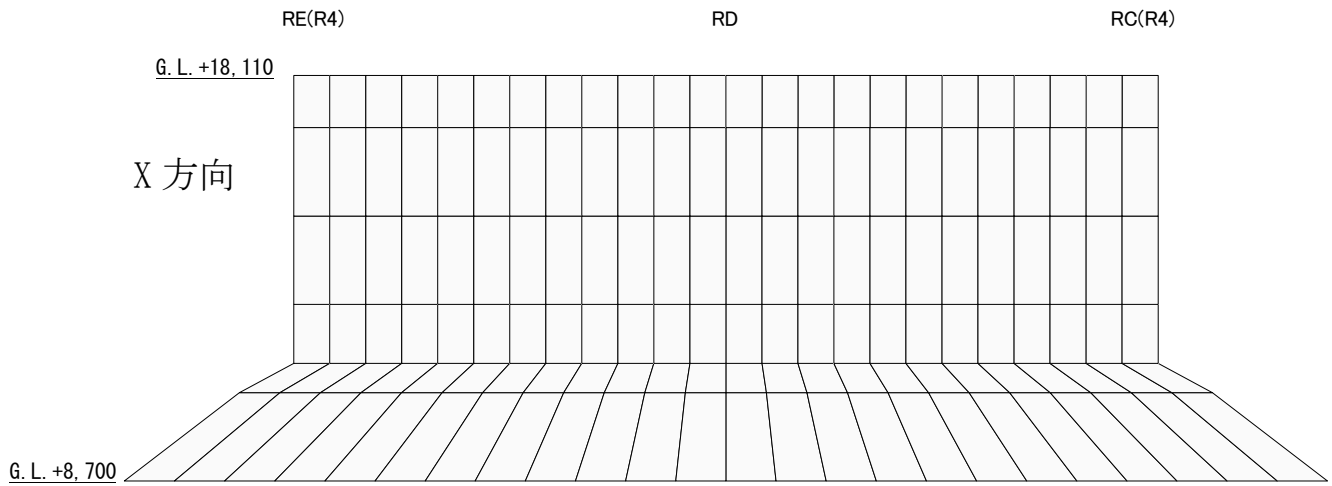


図-3.5.2 コンクリート圧縮ひずみの検定比 (シェル壁部)

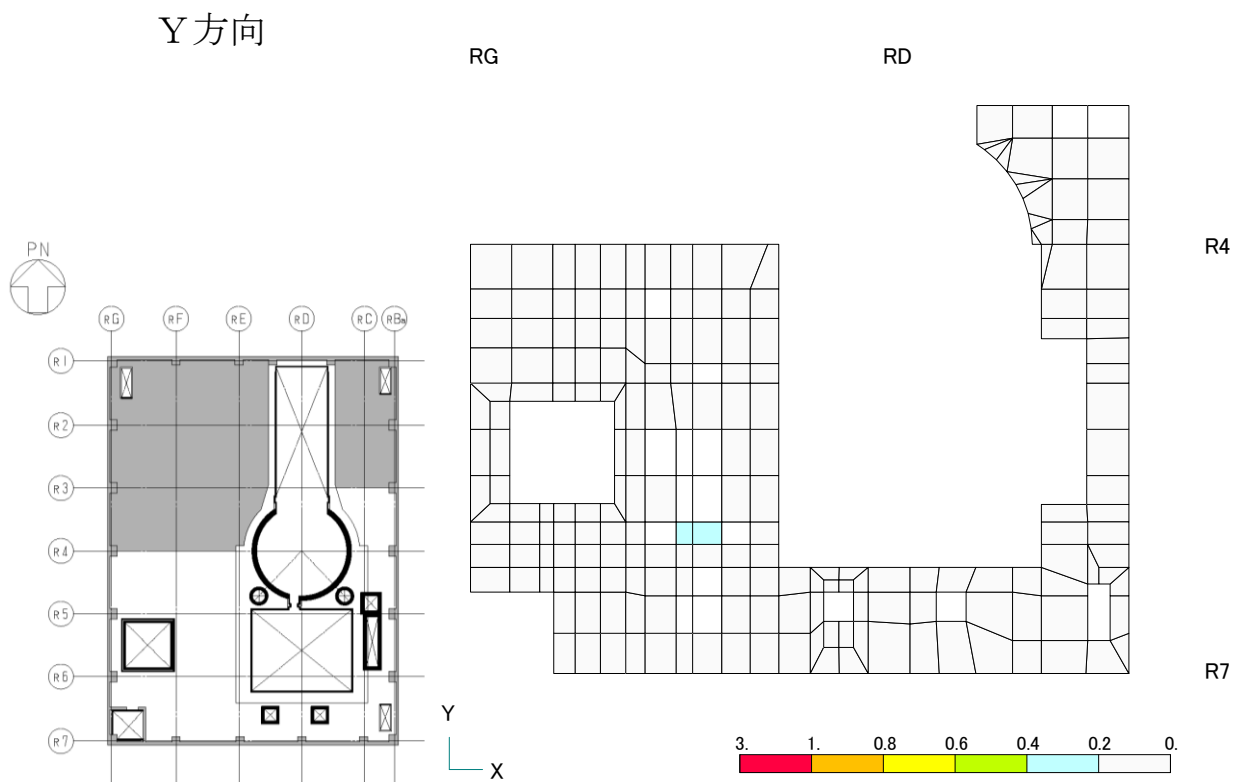
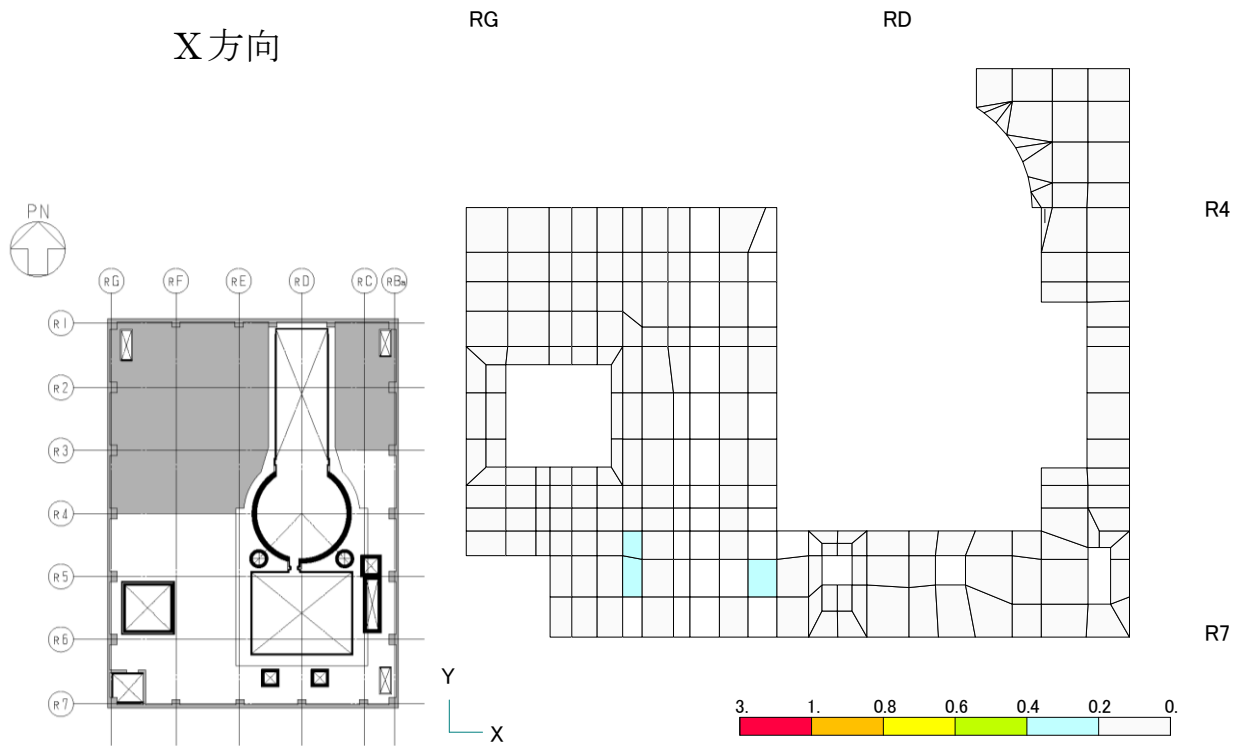


図-3.5.3 コンクリート圧縮ひずみの検定比（オペフロ床部）

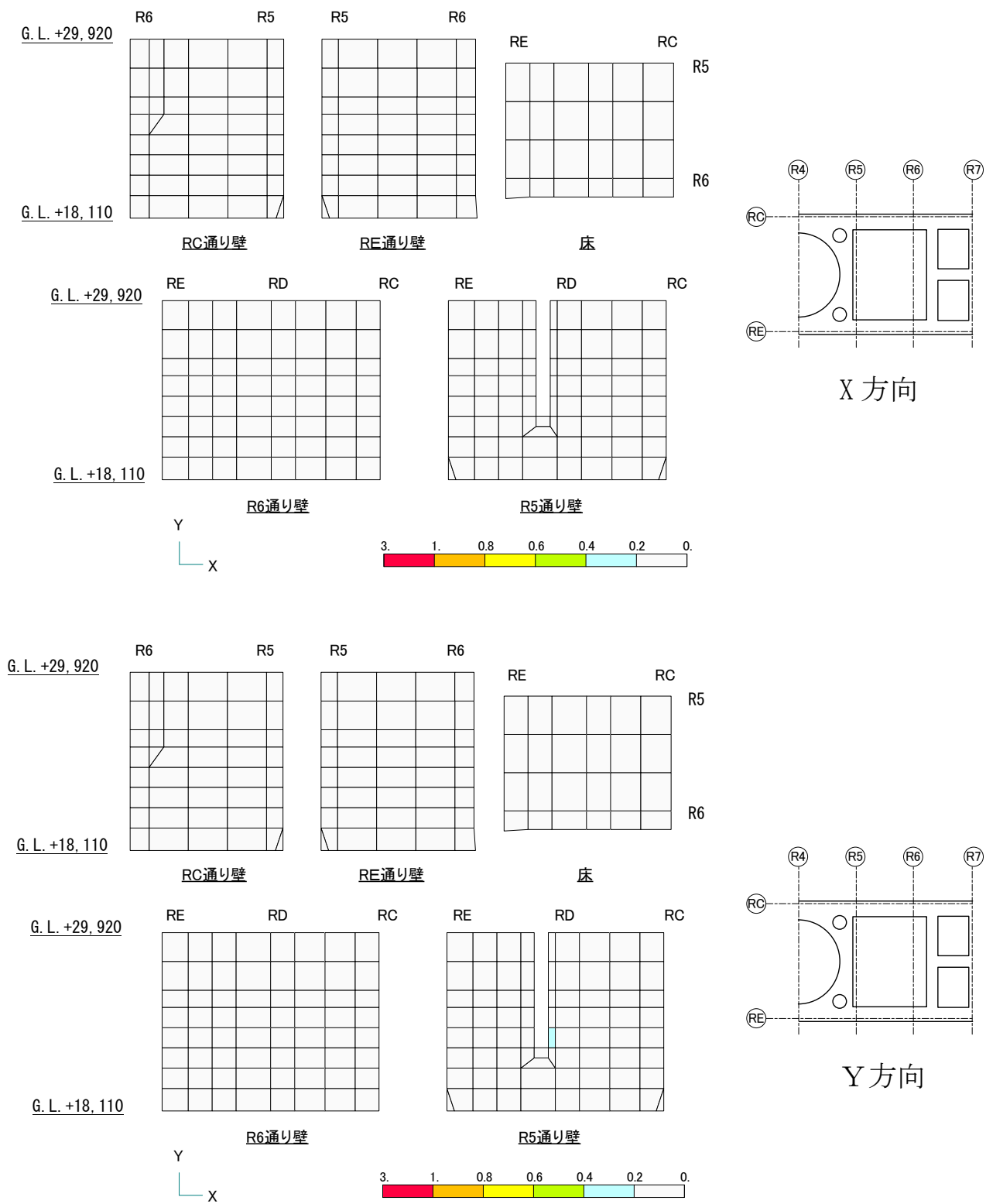


図-3.5.4 鉄筋ひずみの検定比（使用済燃料プール部）

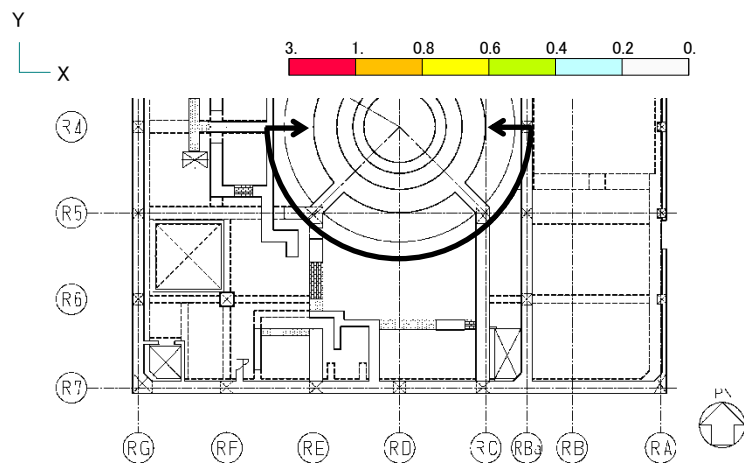
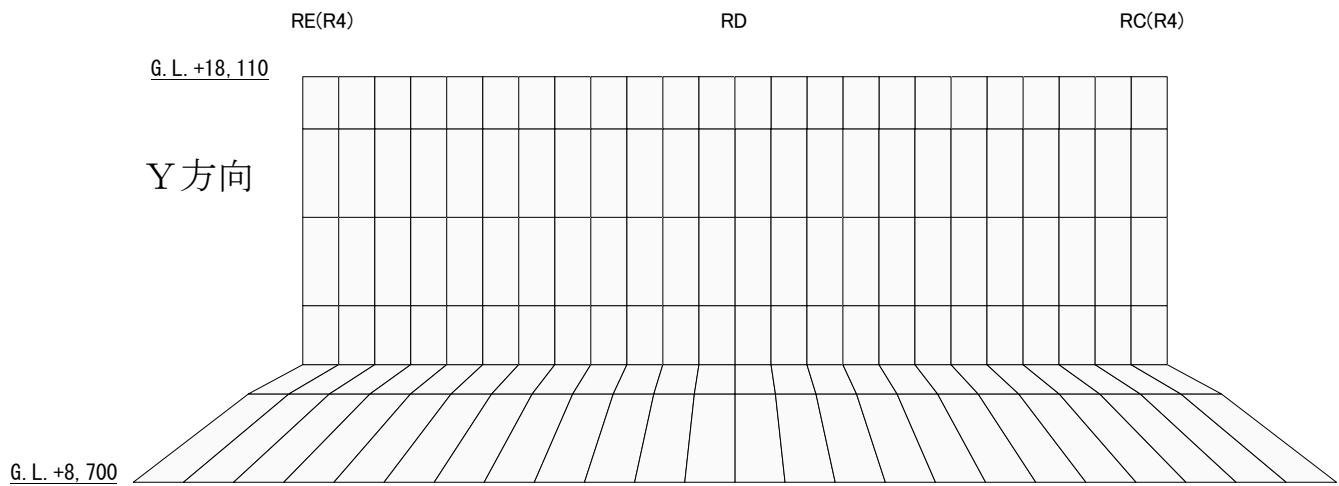
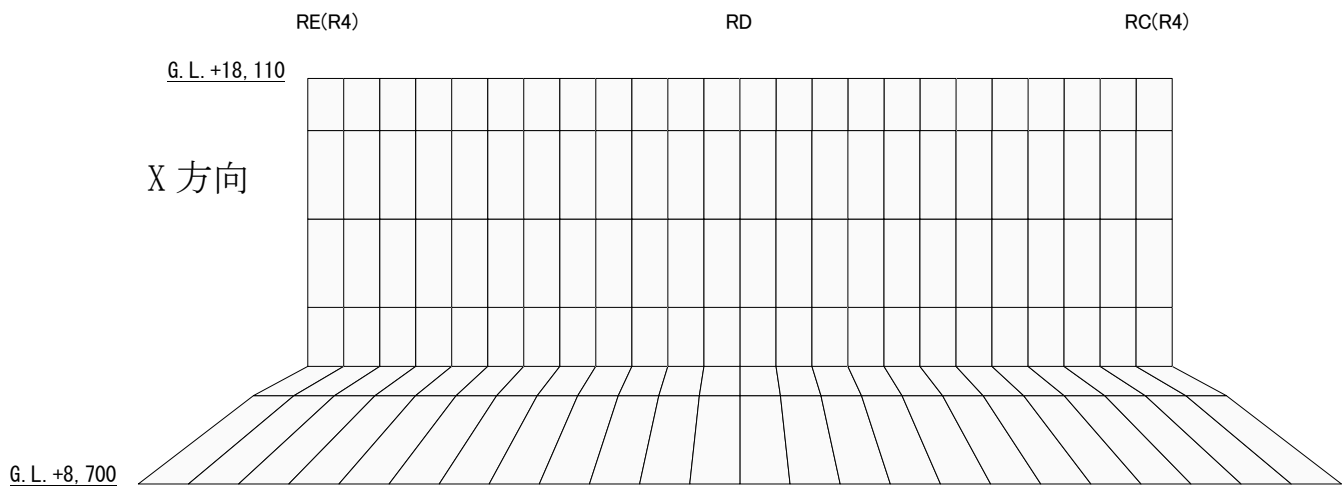


図-3.5.5 鉄筋ひずみの検定比 (シェル壁部)

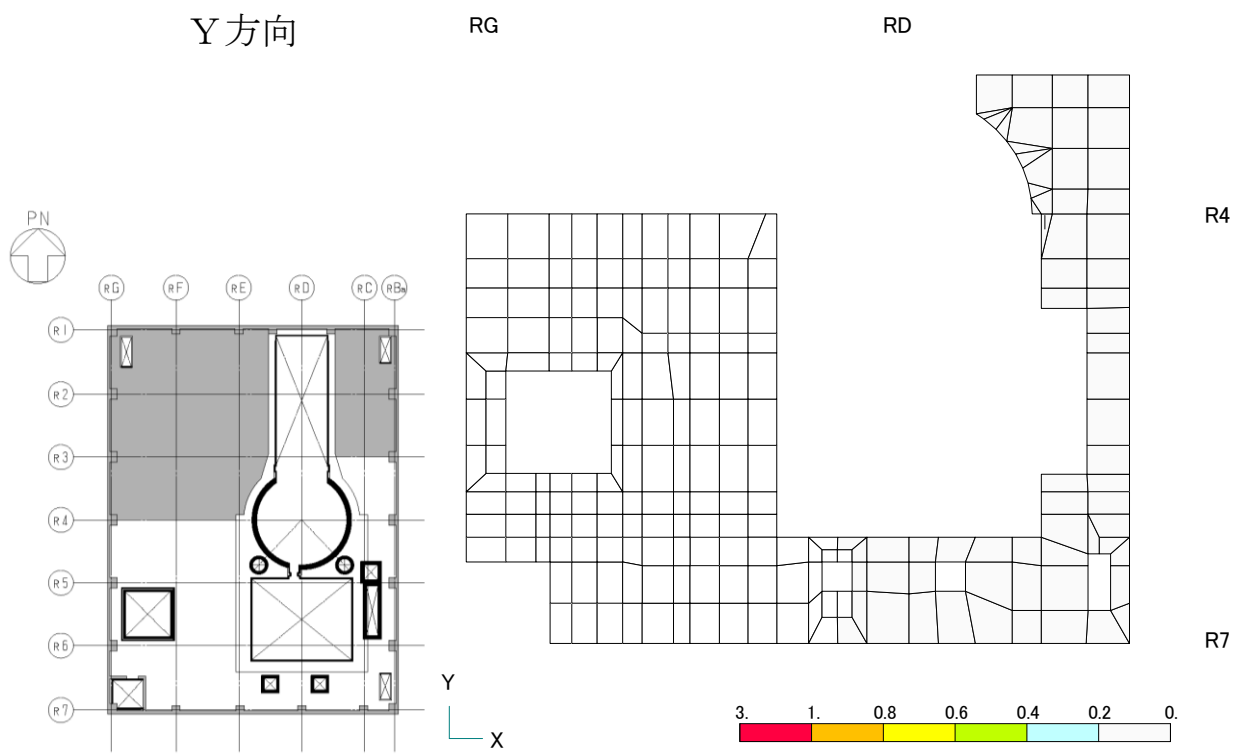
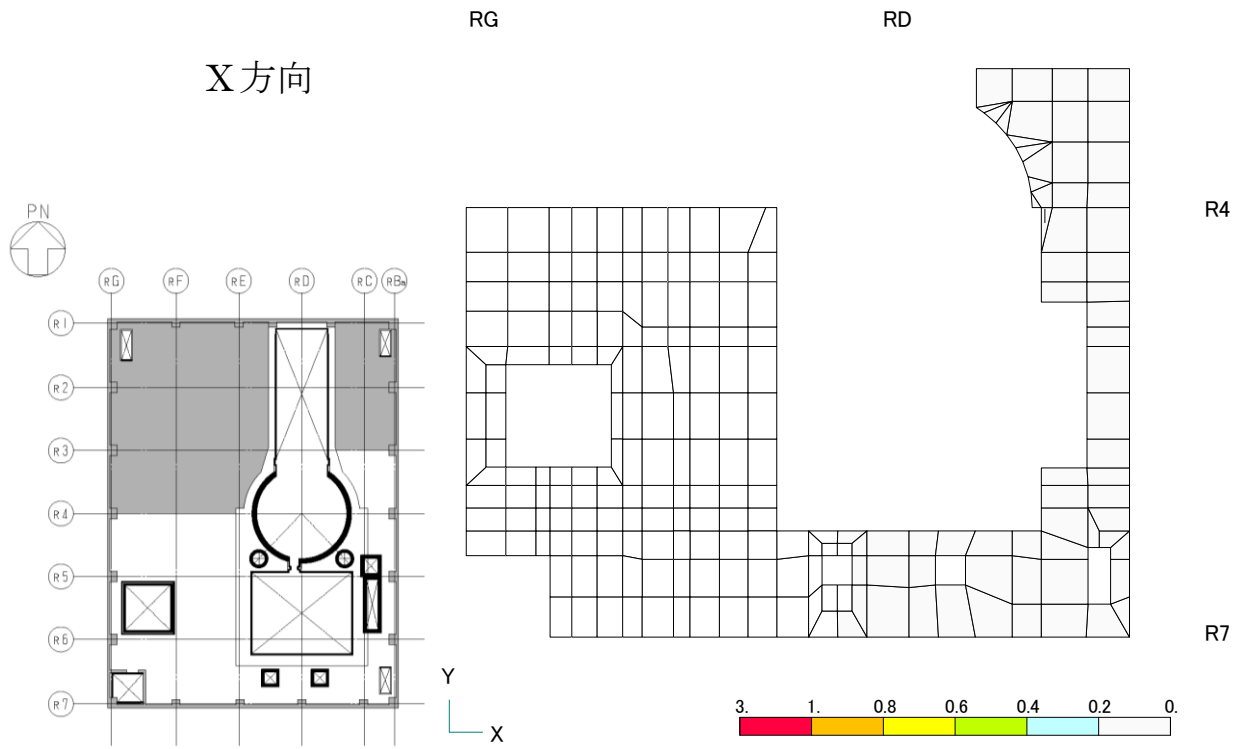


図-3.5.6 鉄筋ひずみの検定比 (オペフロ床部)

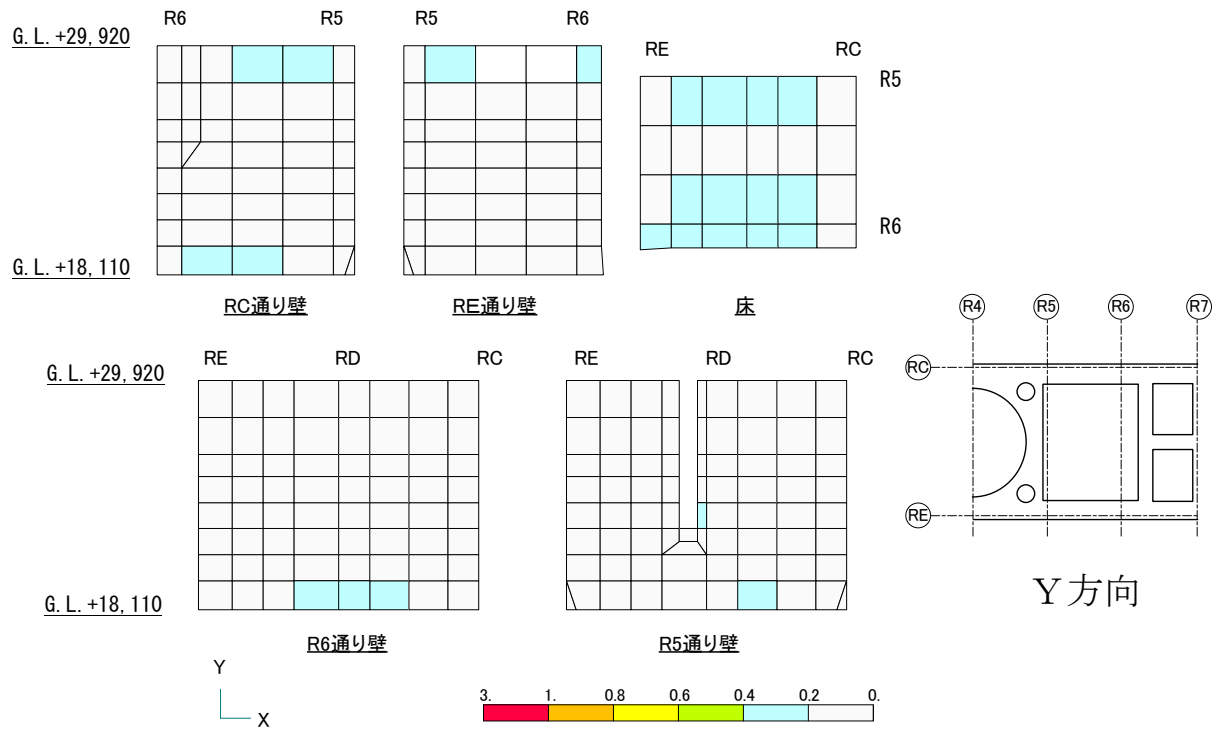
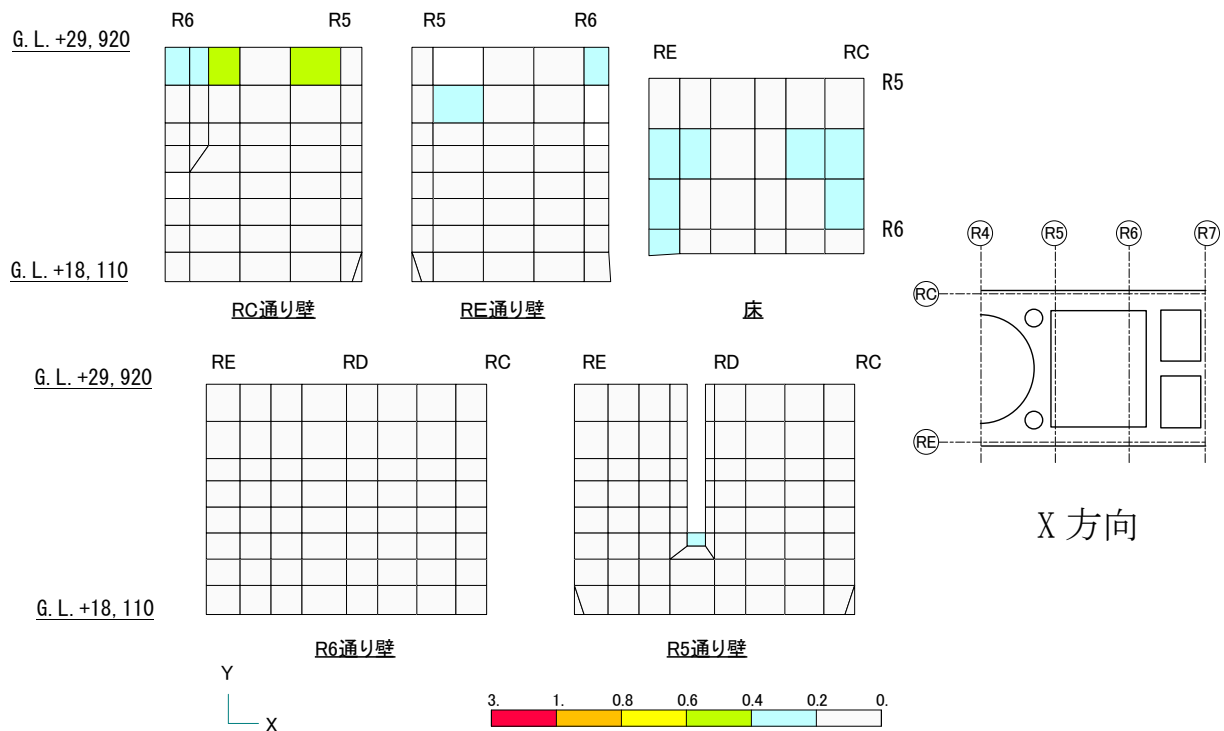


図-3.5.7 面外せん断力の検定比（使用済燃料プール部）

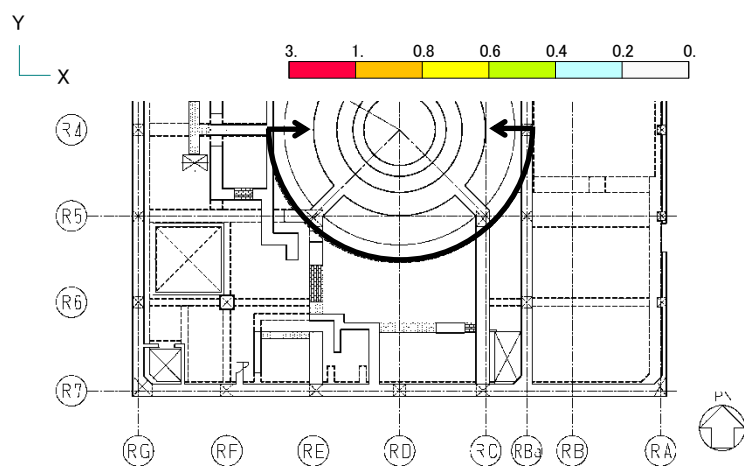
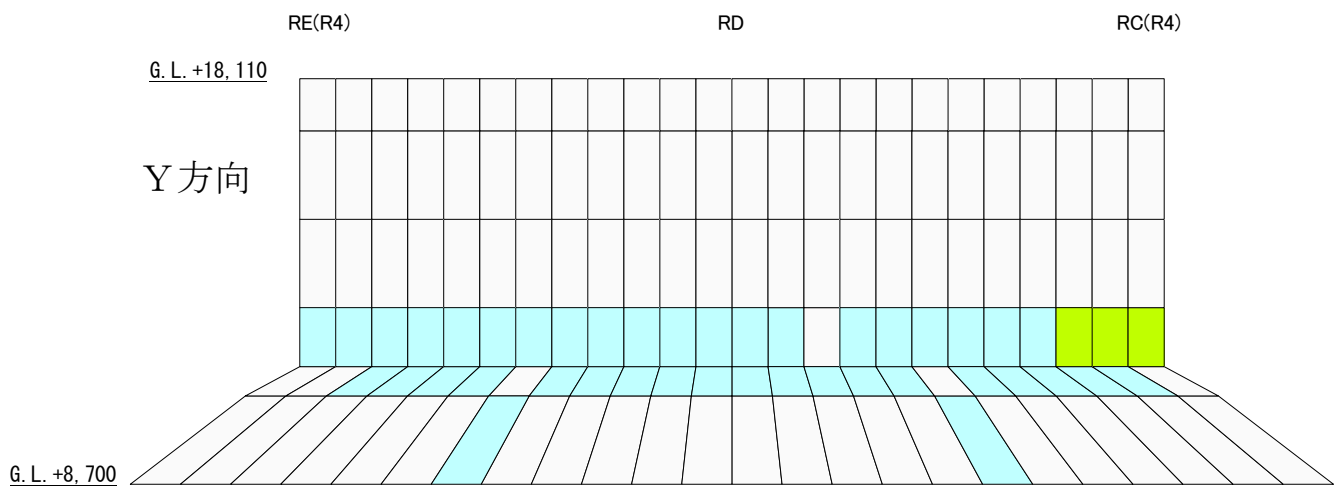
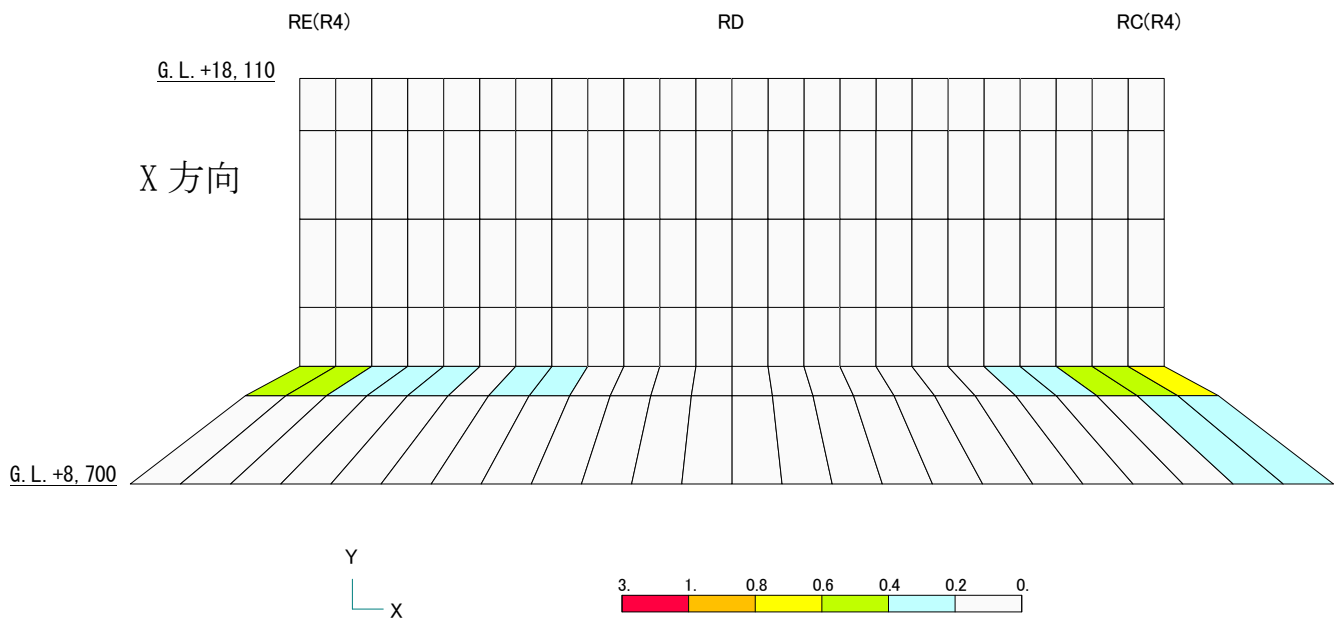


図-3.5.8 面外せん断力の検定比（シェル壁部）

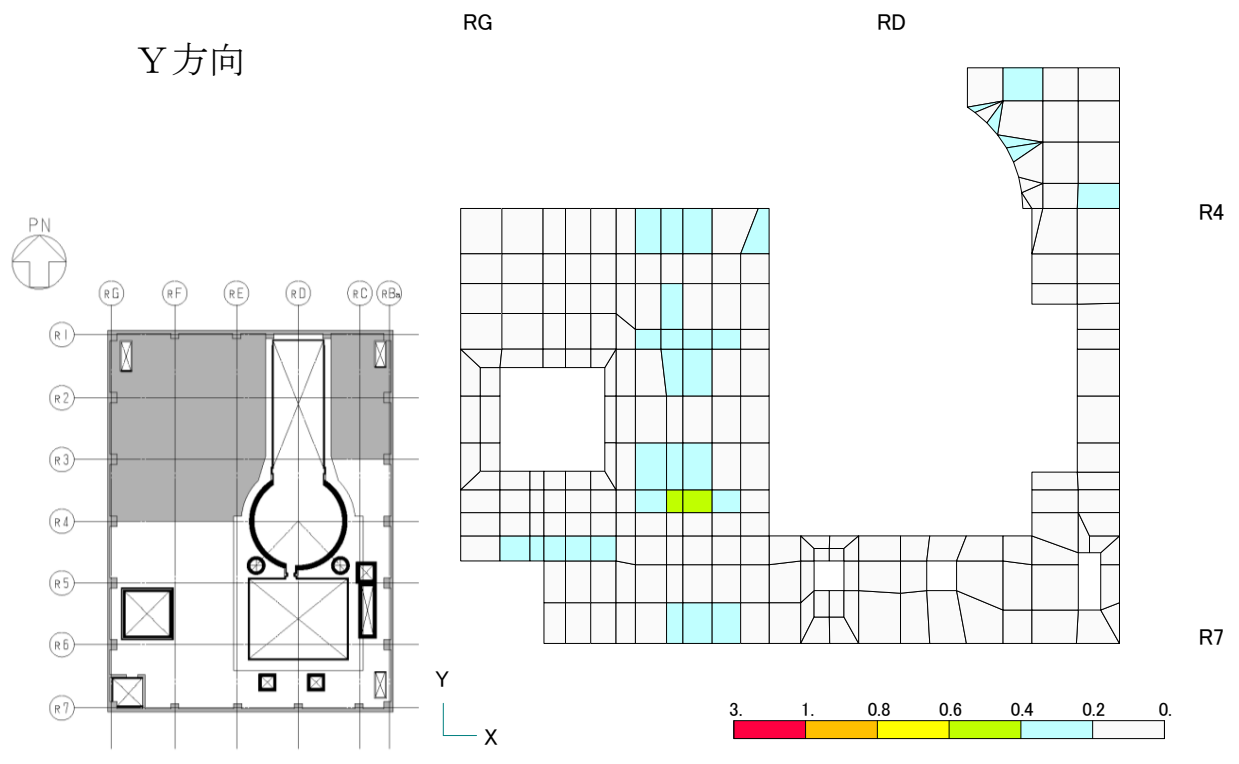
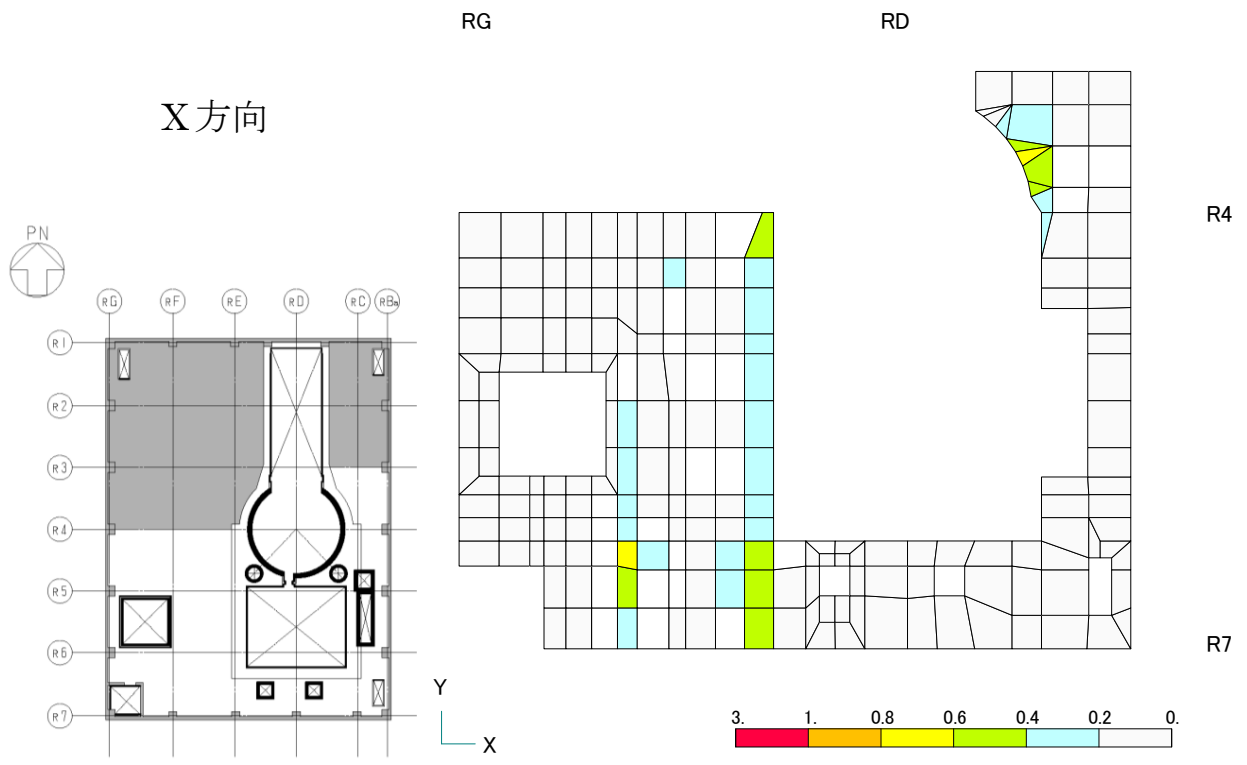


図-3.5.9 面外せん断力の検定比 (オペフロ床部)

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タ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。

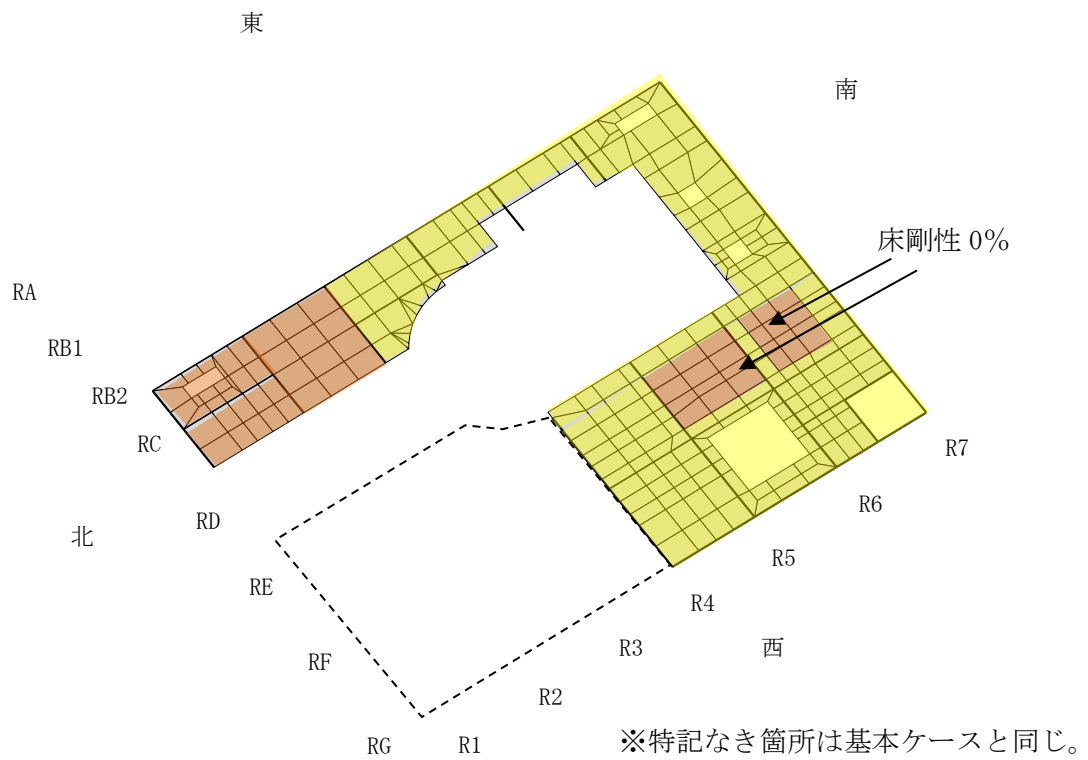


図-1 損傷仮定 アイソメ図 5階 (G.L. +29.92m) (パラメータケース)

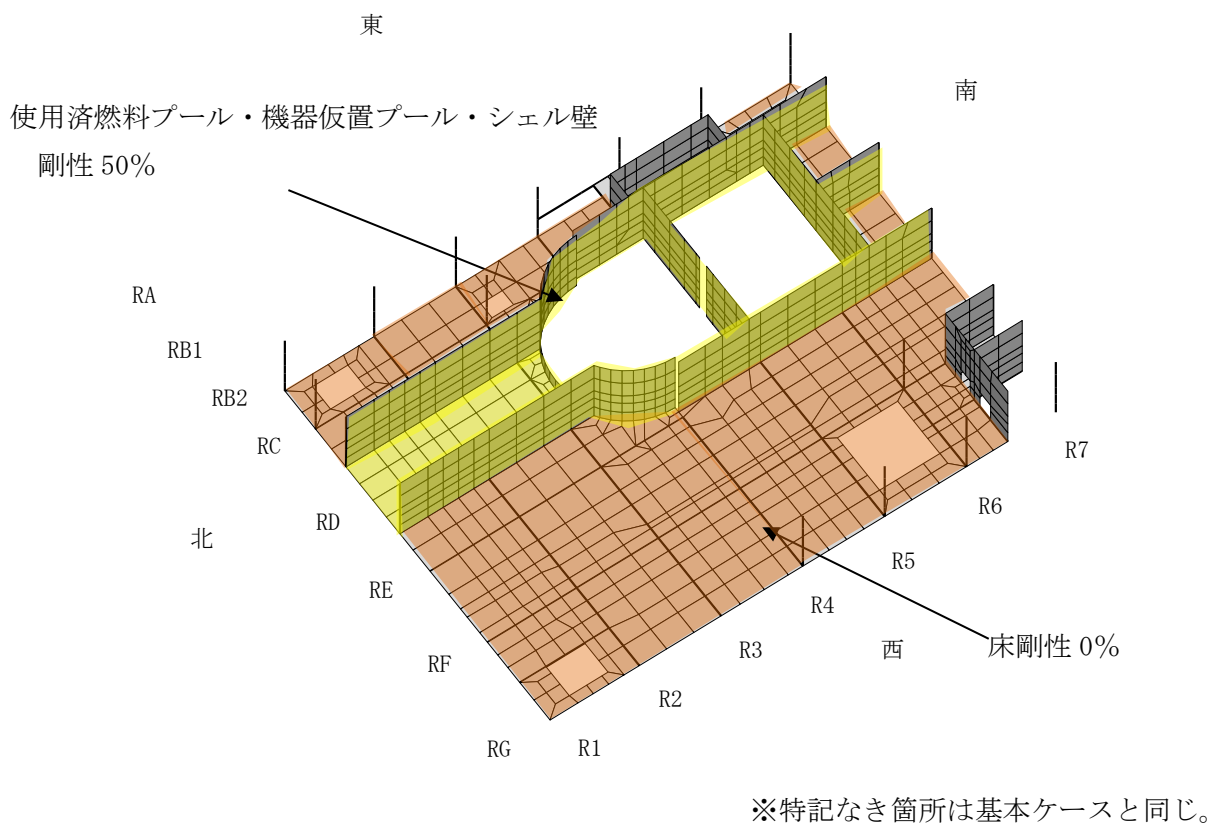


図-2 損傷仮定 アイソメ図 4階 (G.L. +22.3m) (パラメータケース)

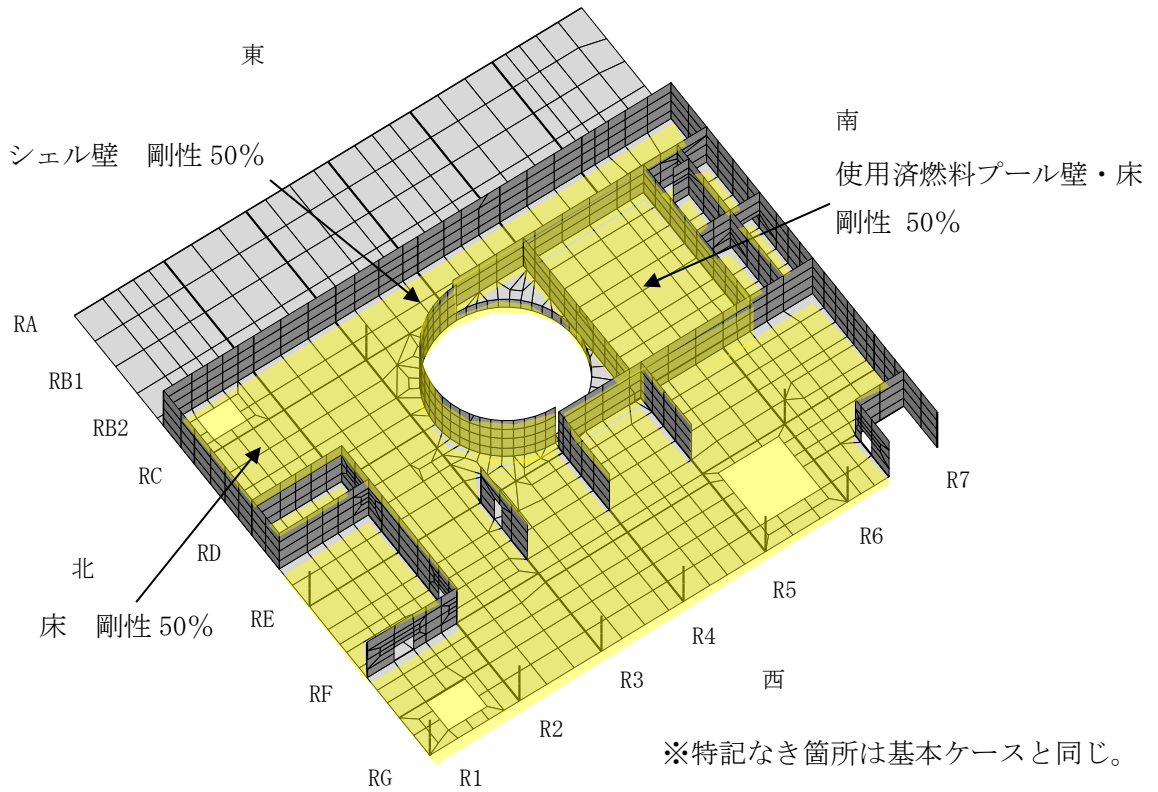


図-3 損傷仮定 アイソメ図 3階 (G. L. +16.9m) (パラメータケース)

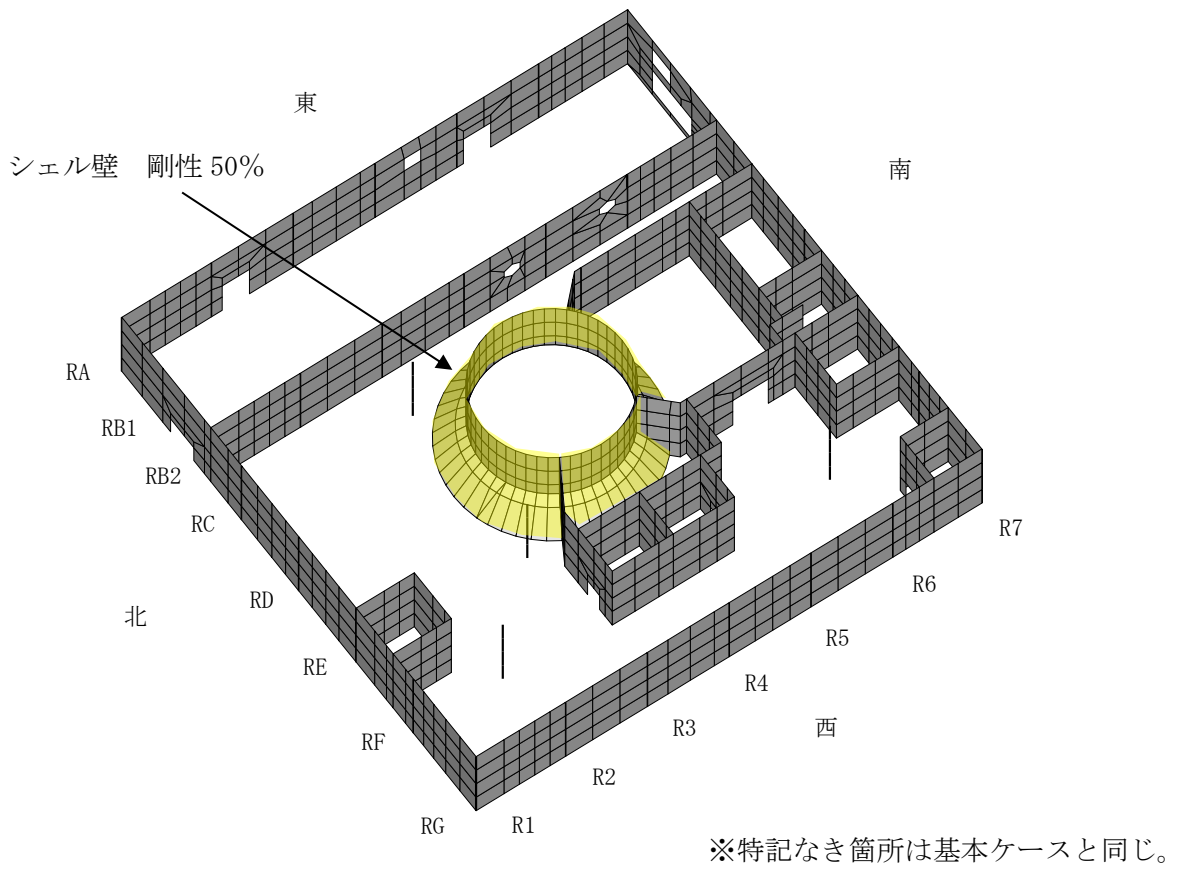


図-4 損傷仮定 アイソメ図 2階 (G. L. +8.7m) (パラメータケース)

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。

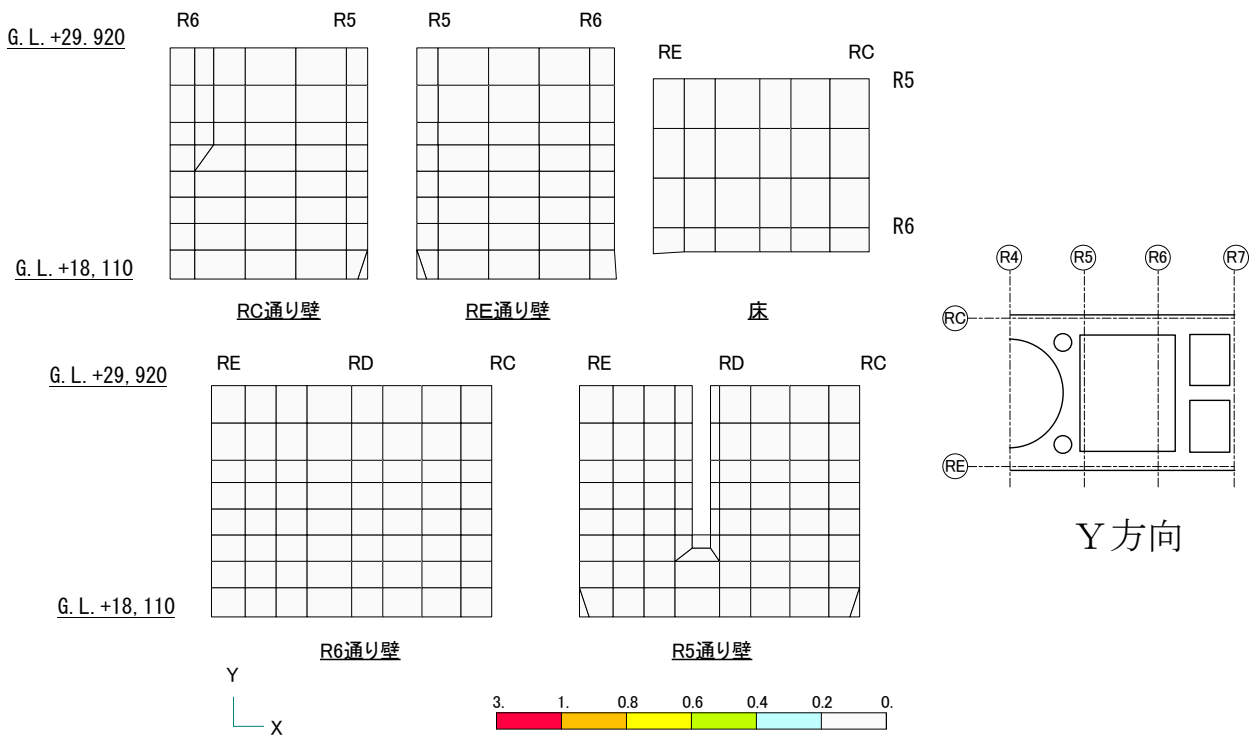
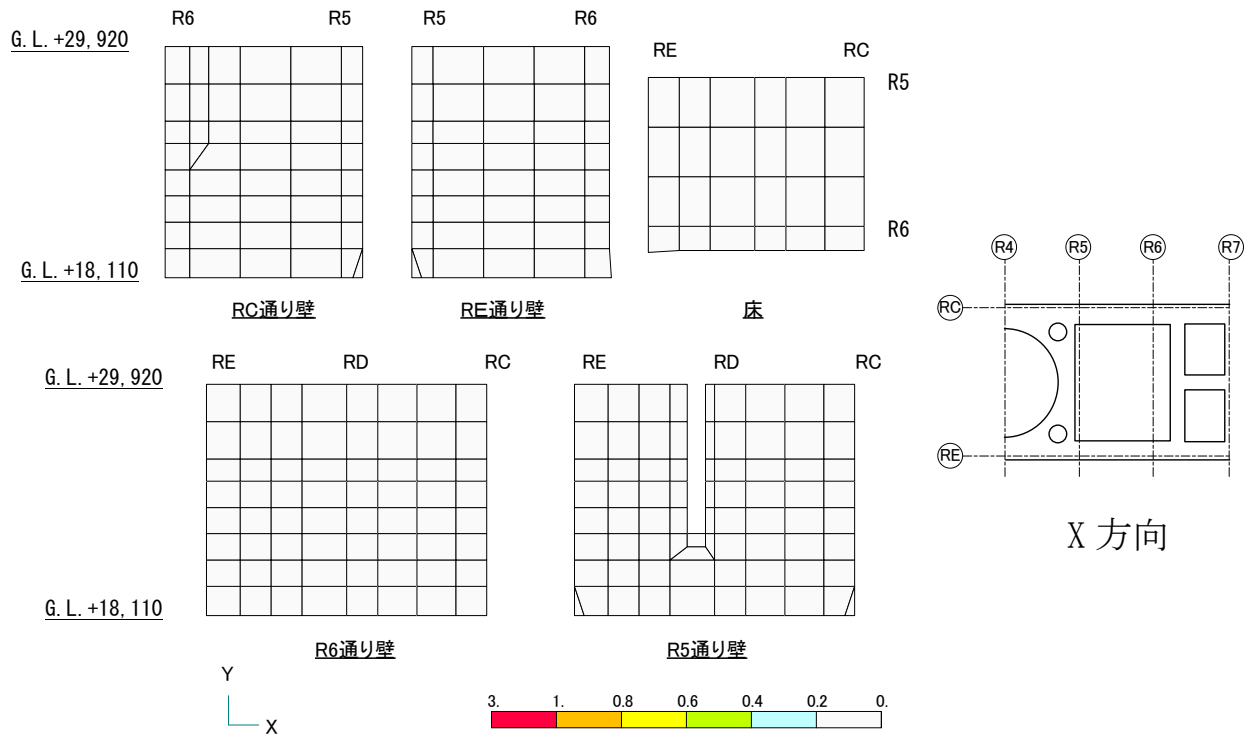


図-5 コンクリート圧縮ひずみの検定比（使用済燃料プール部）

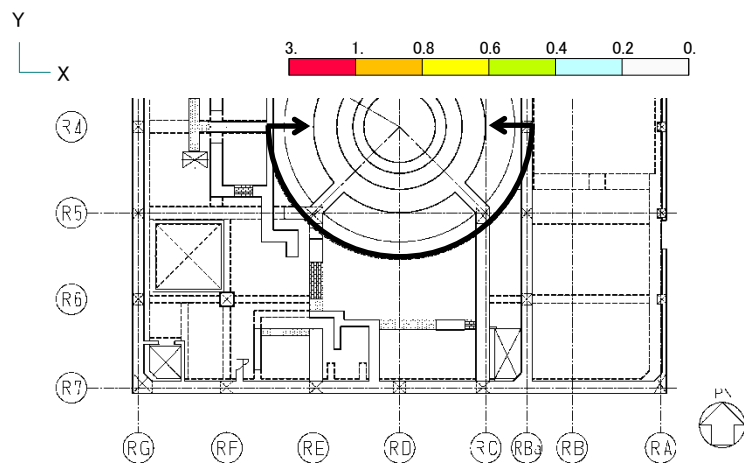
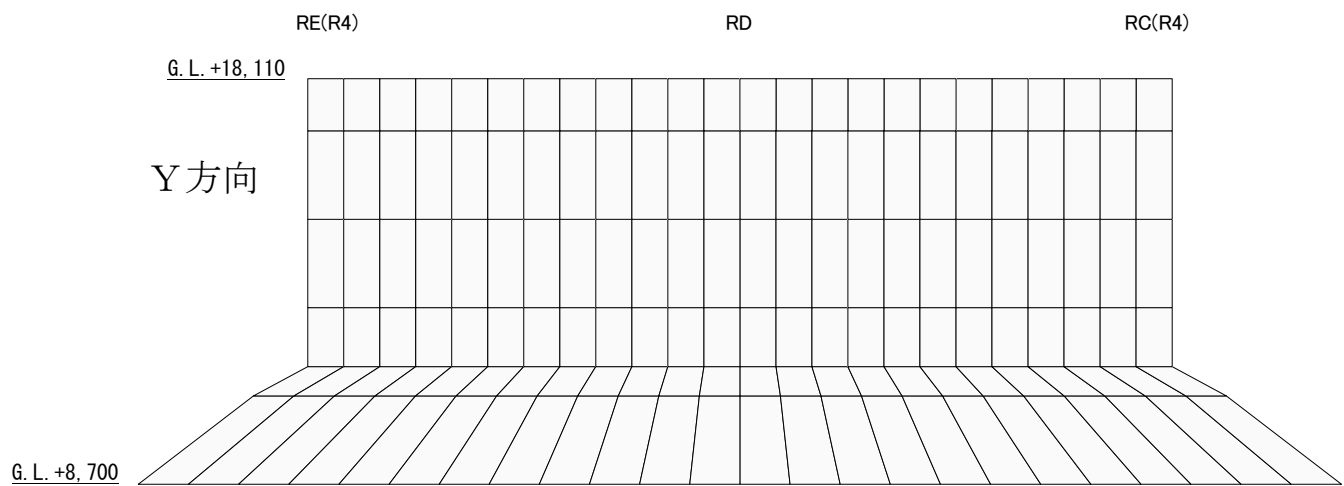
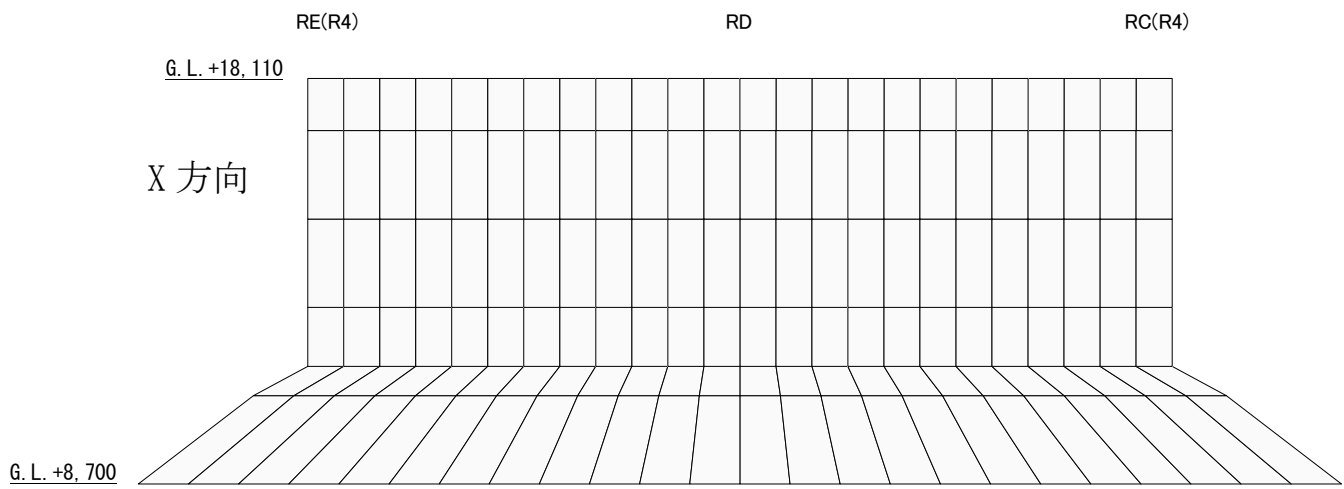


図-6 コンクリート圧縮ひずみの検定比 (シェル壁部)

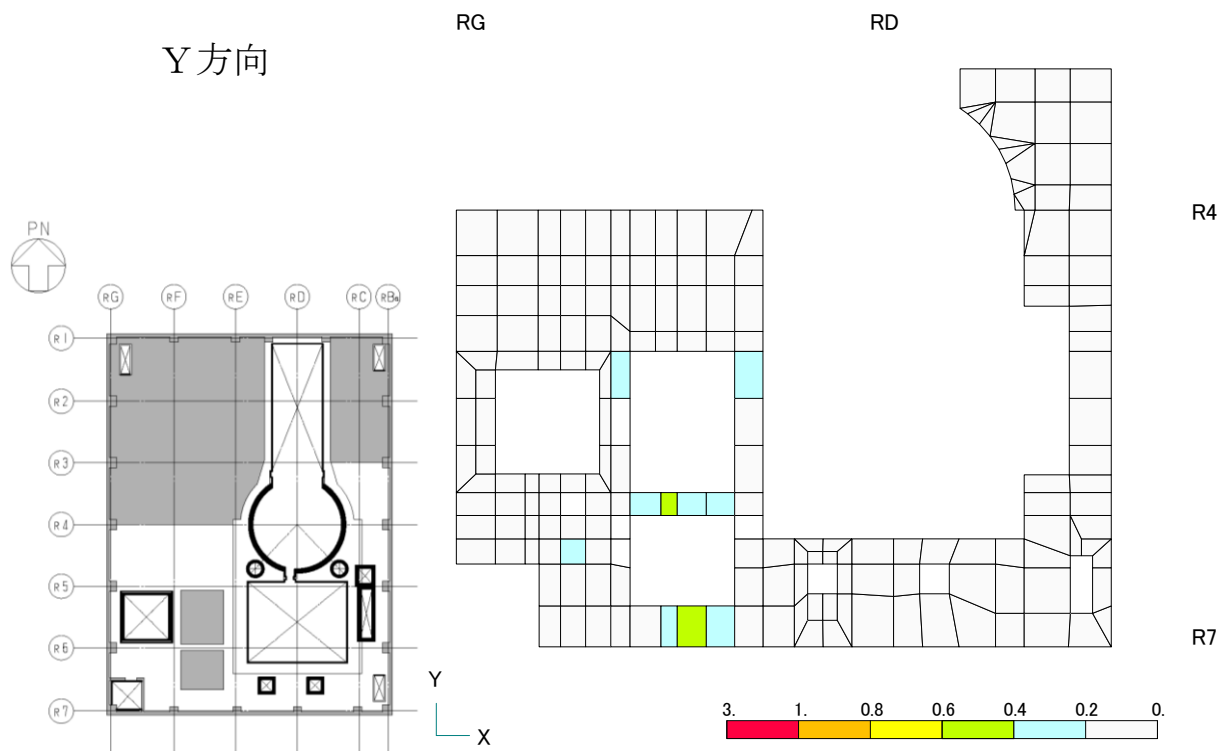
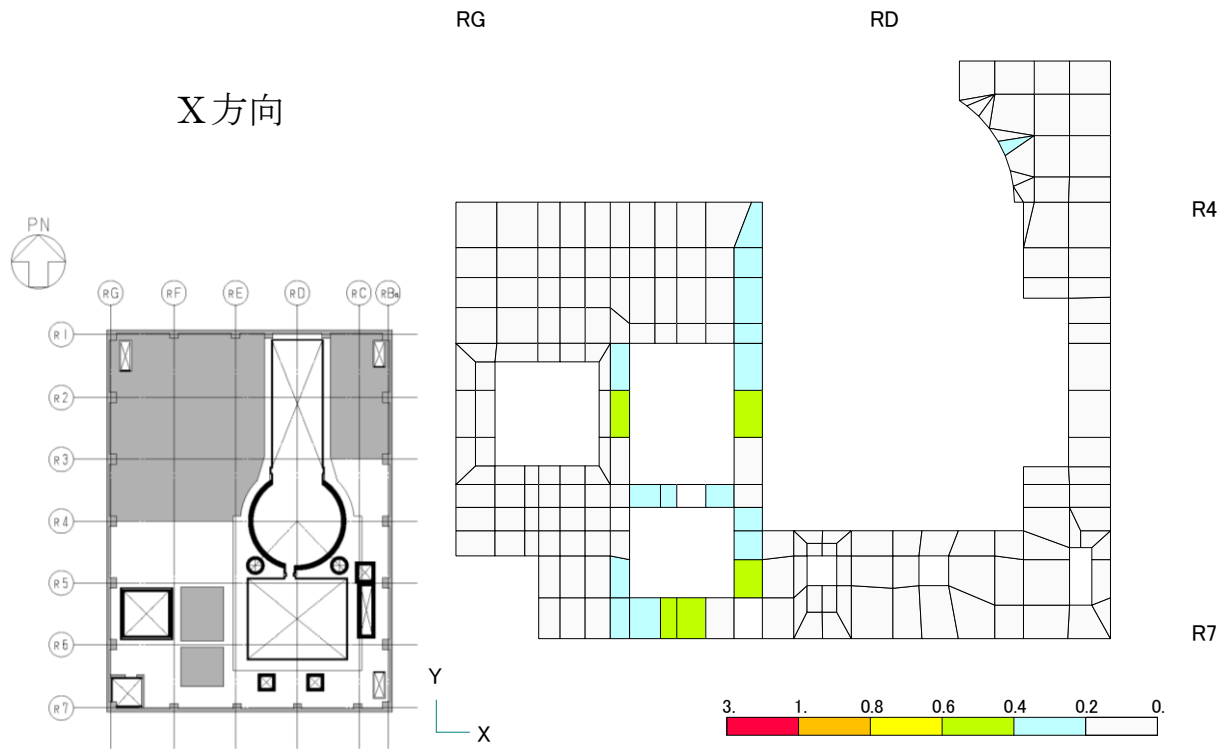


図-7 コンクリート圧縮ひずみの検定比 (オペフロ床部)

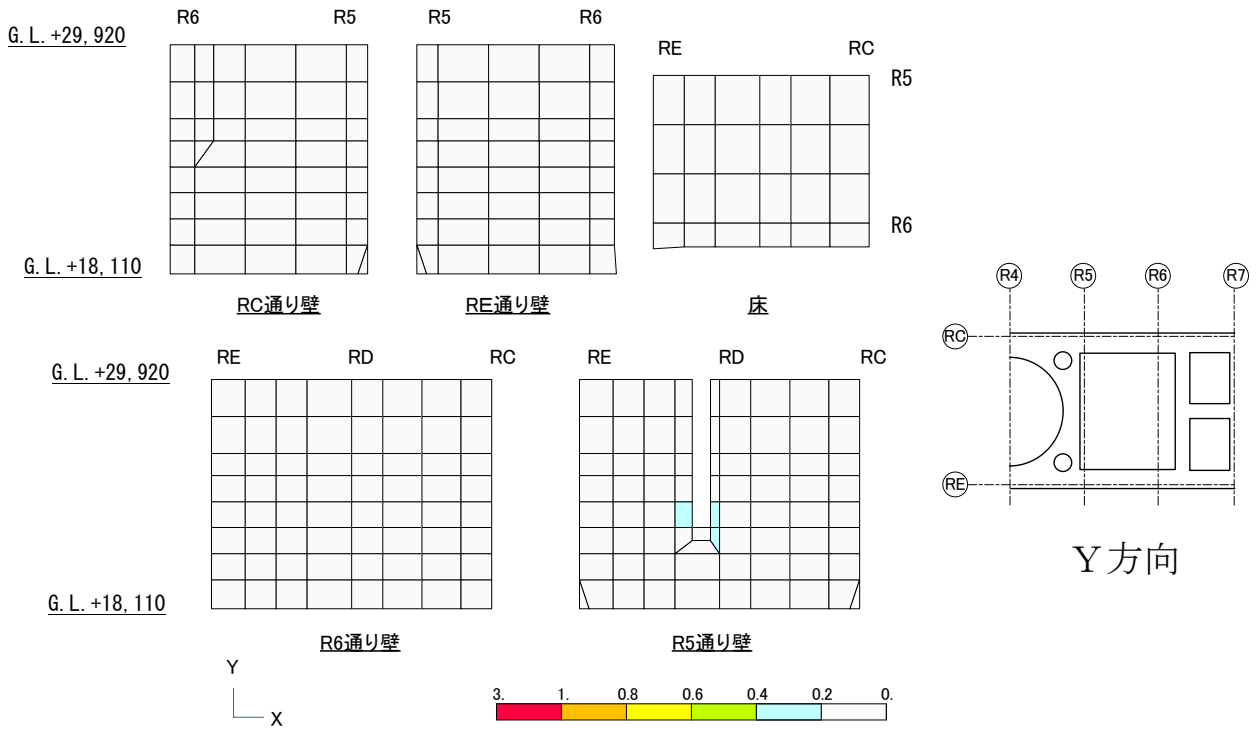
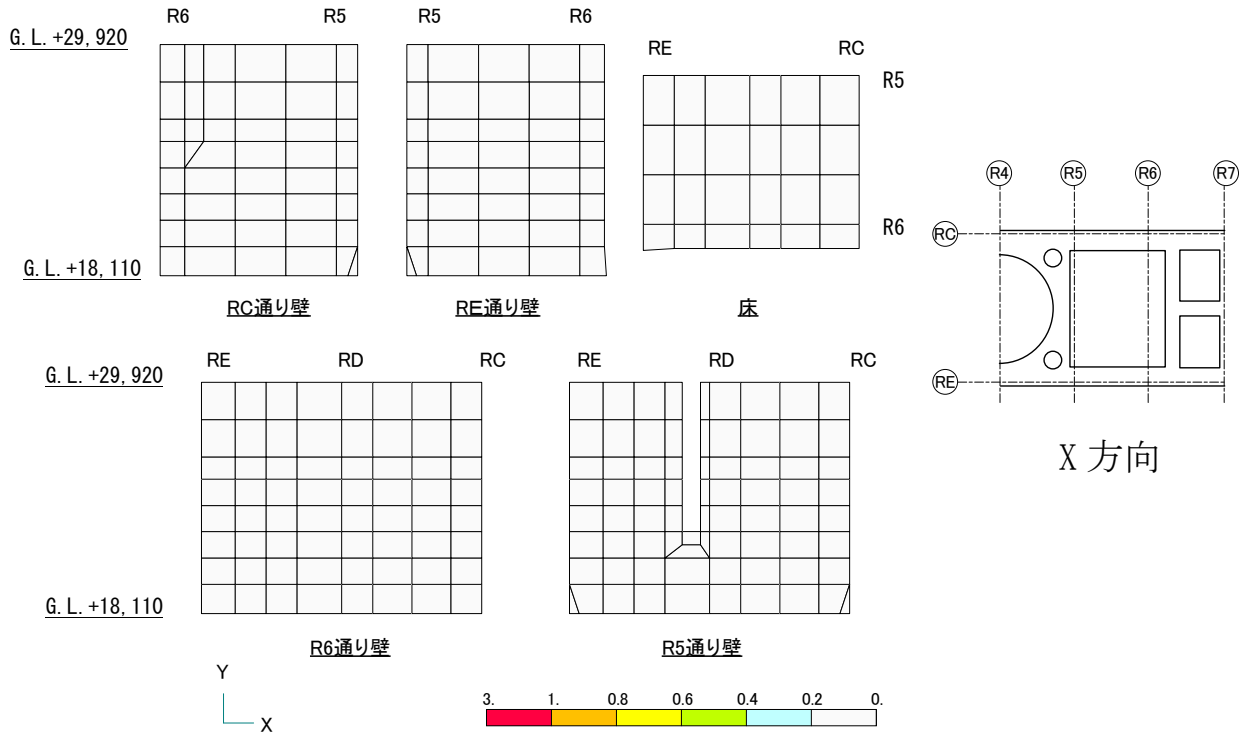


図-8 鉄筋ひずみの検定比（使用済燃料プール部）

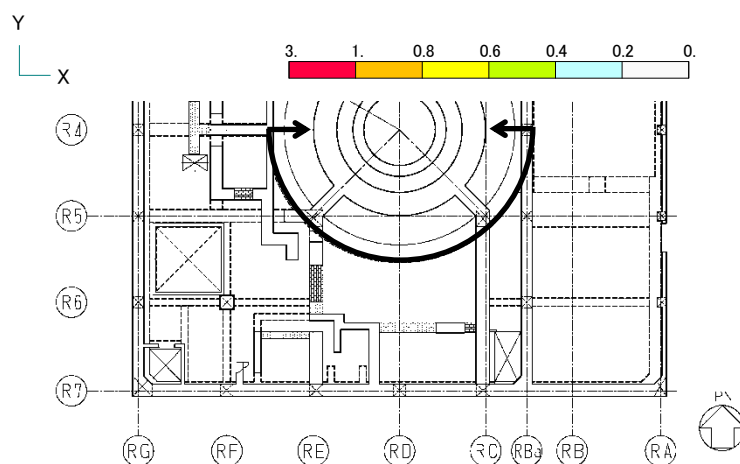
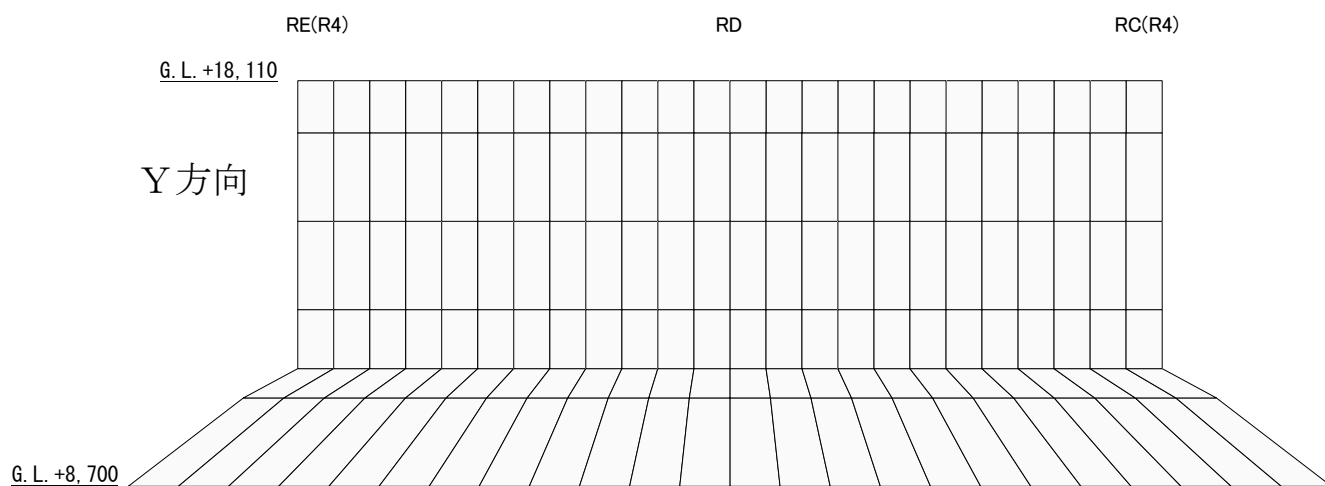
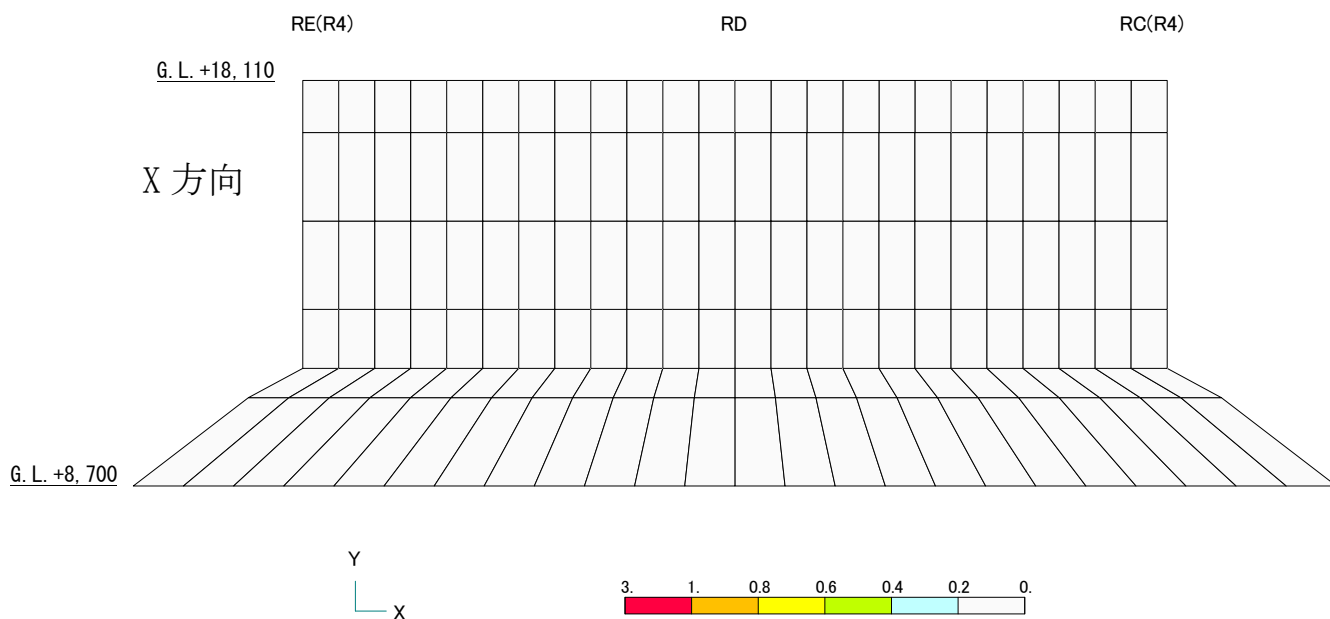


図-9 鉄筋ひずみの検定比 (シェル壁部)

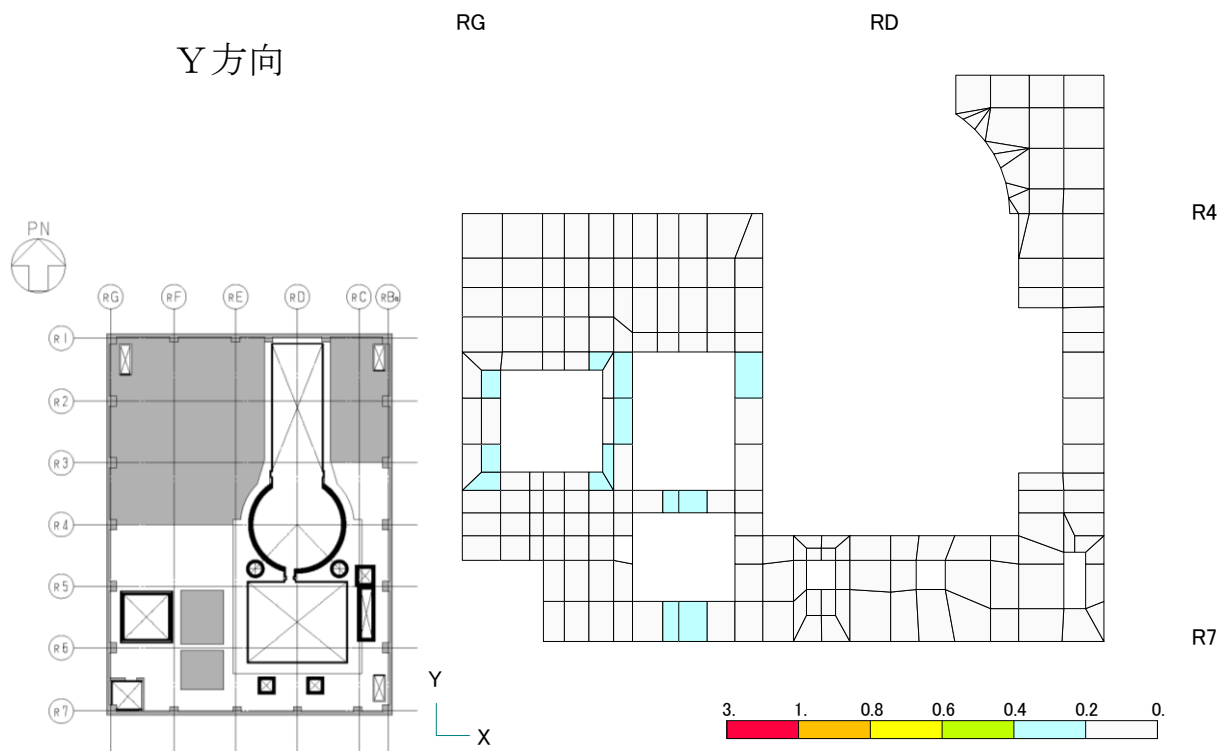
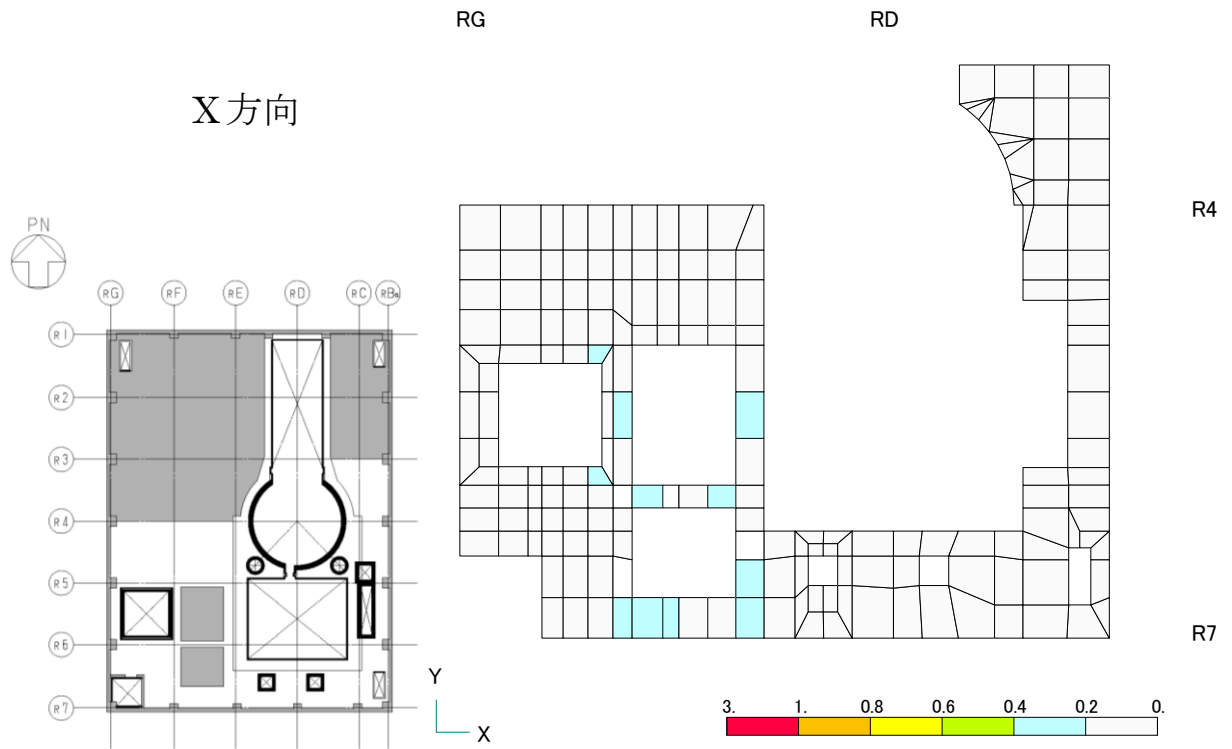


図-10 鉄筋ひずみの検定比 (オペフロ床部)

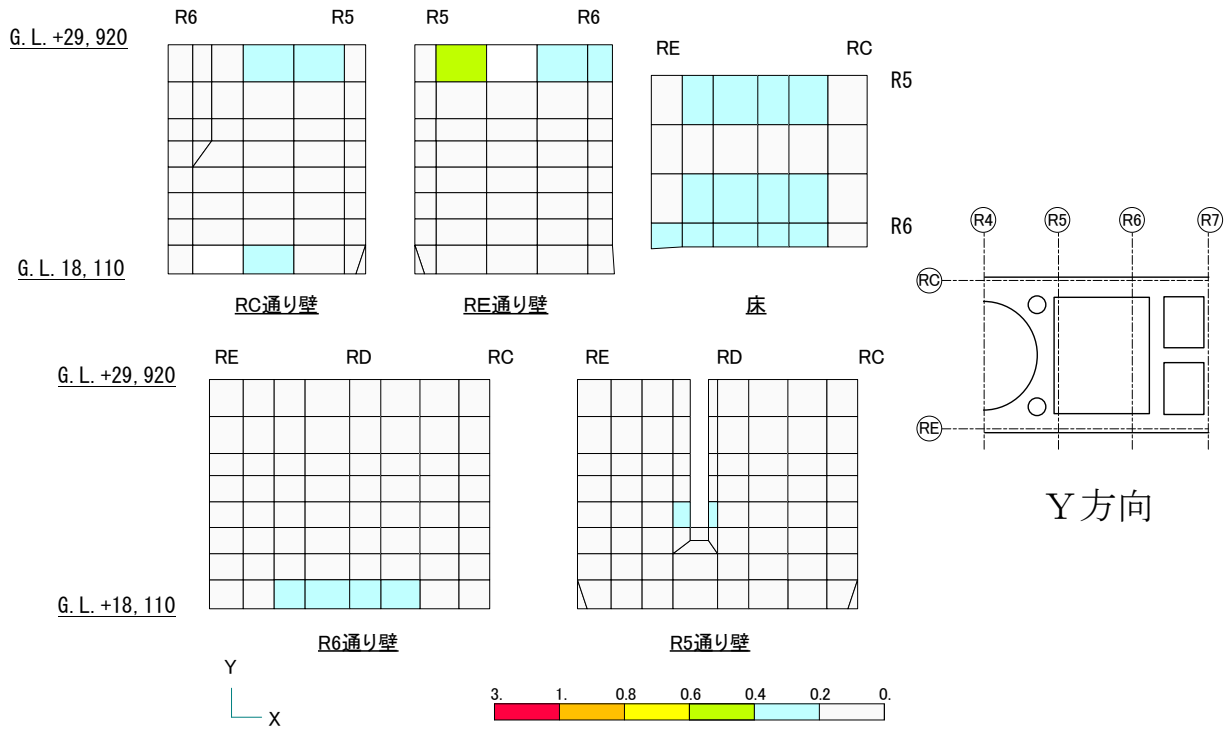
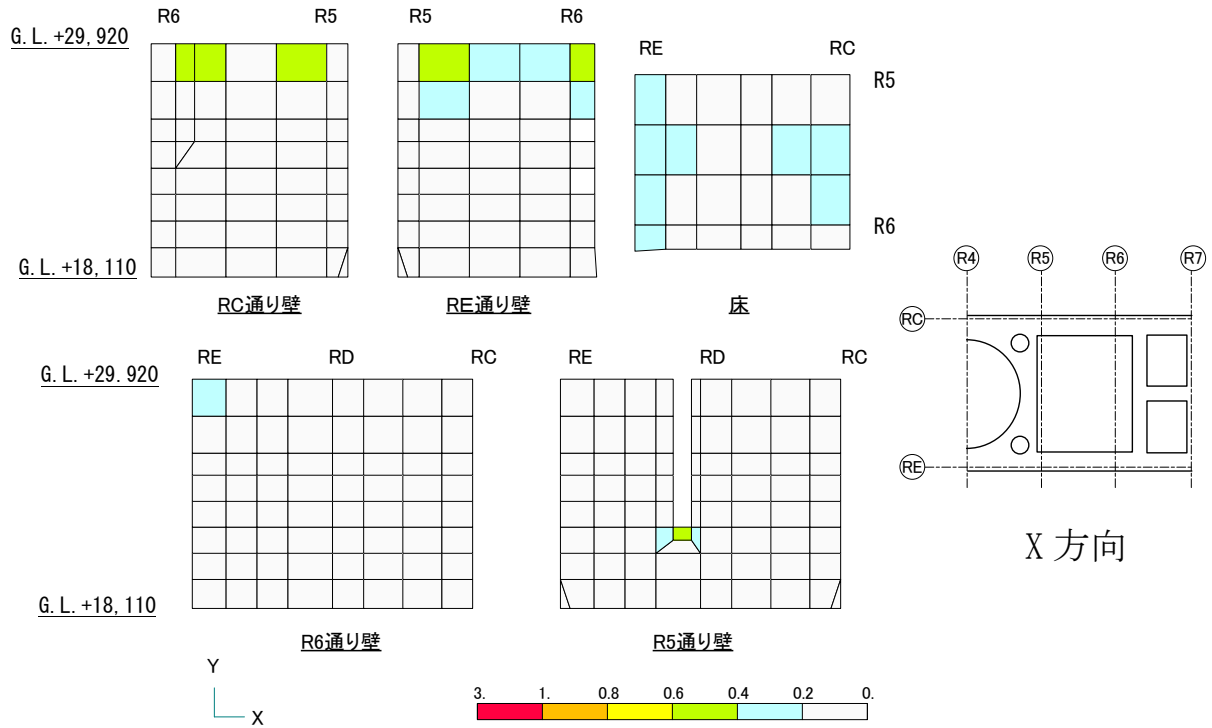


図-11 面外せん断力の検定比（使用済燃料プール部）

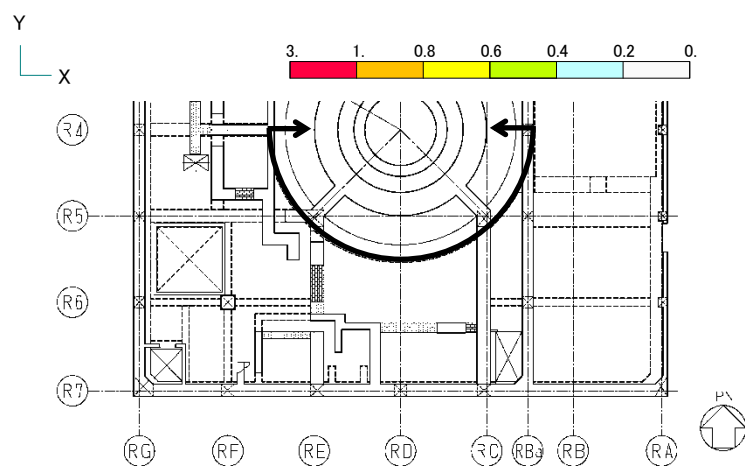
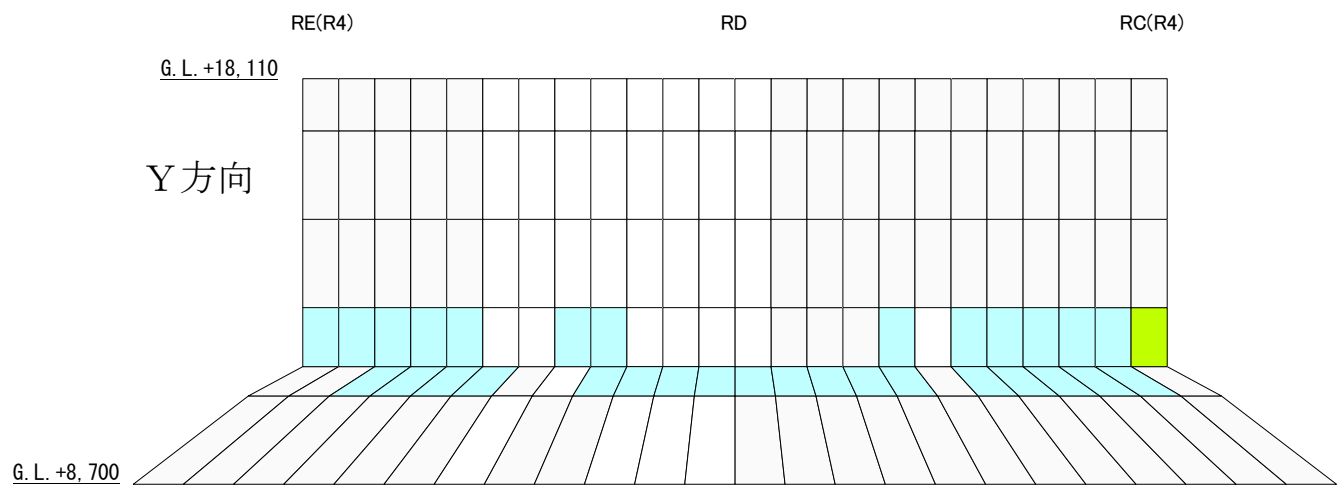
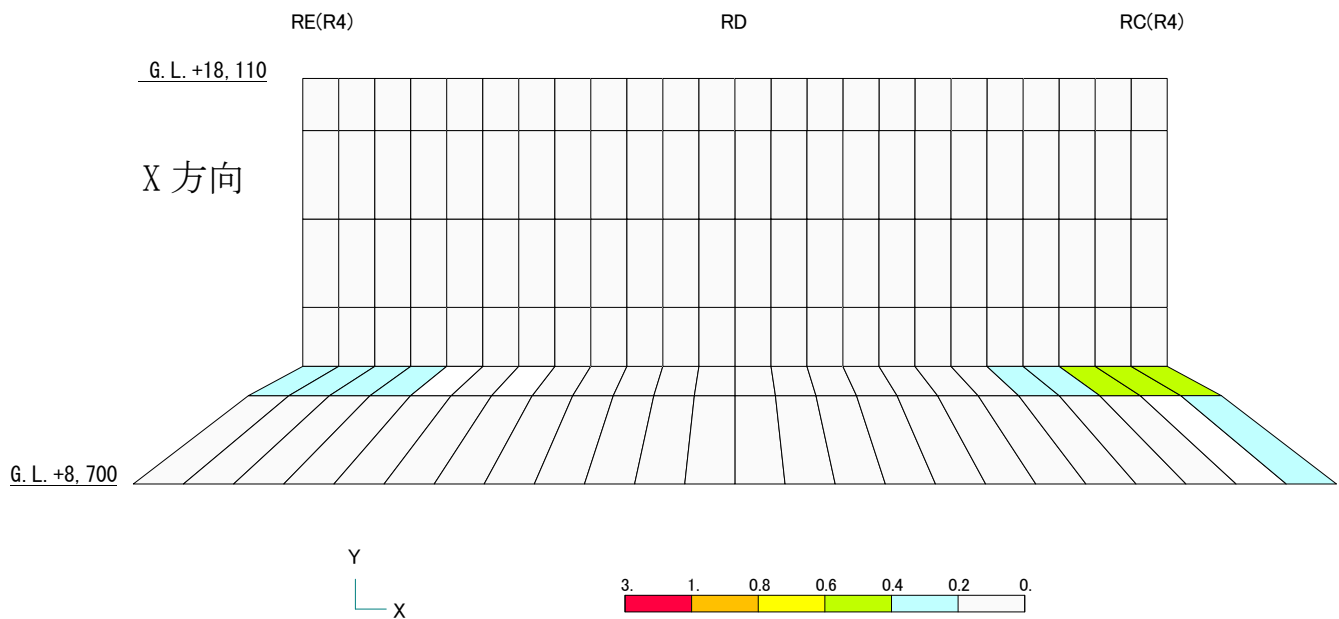


図-12 面外せん断力の検定比 (シェル壁部)

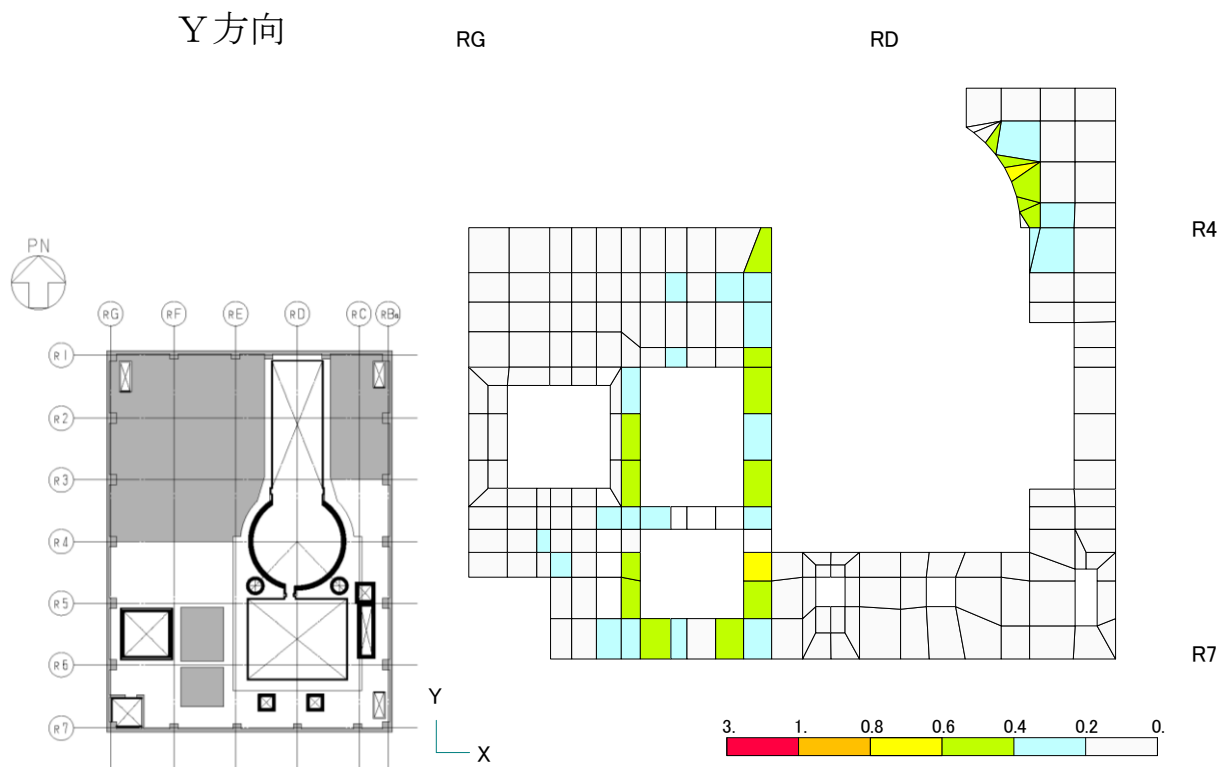
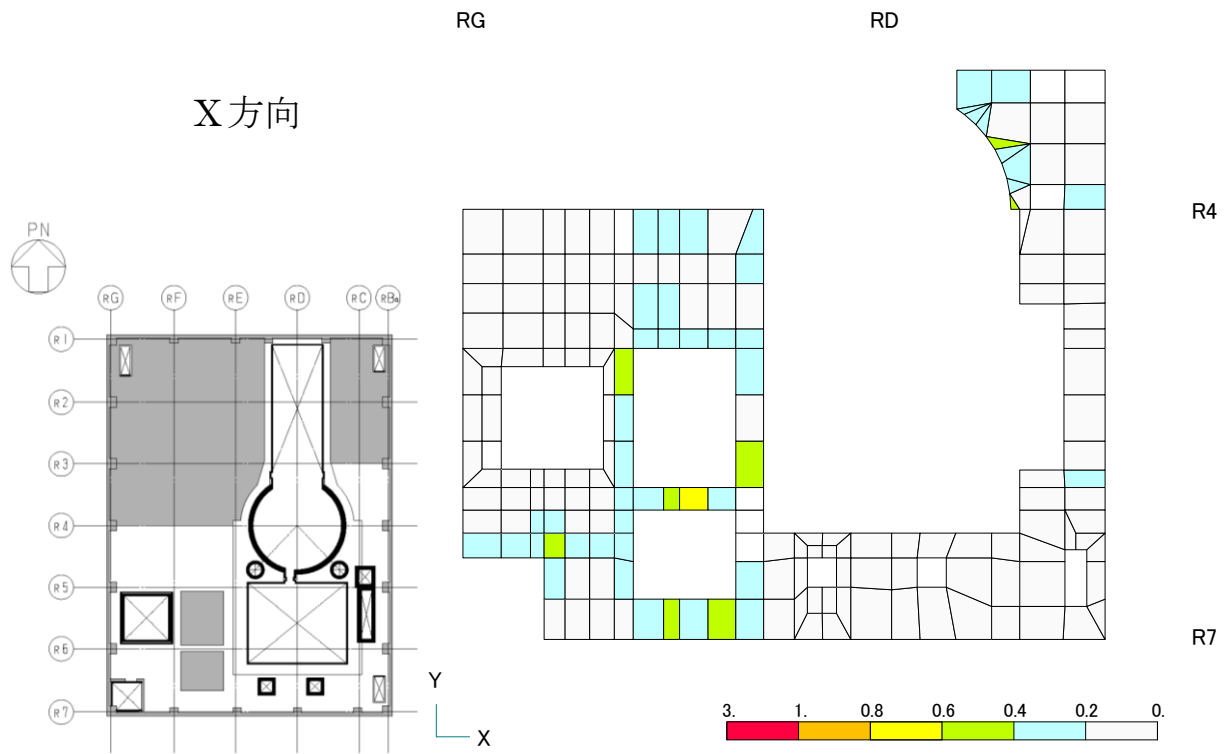


図-13 面外せん断力の検定比（オペフロ床部）

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 S_s ）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 B C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 S_s ）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を示す。また、ずれ止め部材設置前の状況下での地震（基準地震動 S_s ）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

B C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 S_s 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 $\times 1.1$ 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。

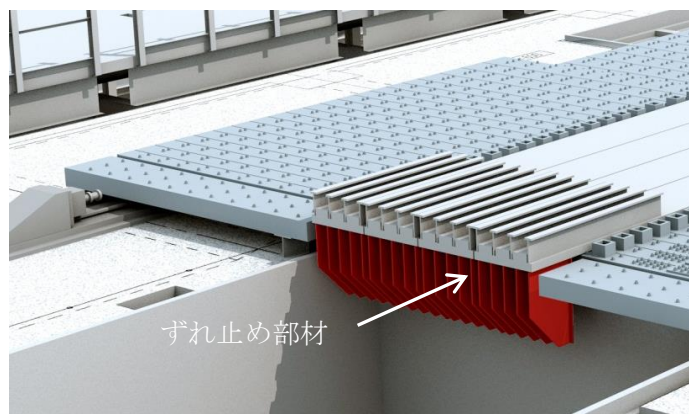
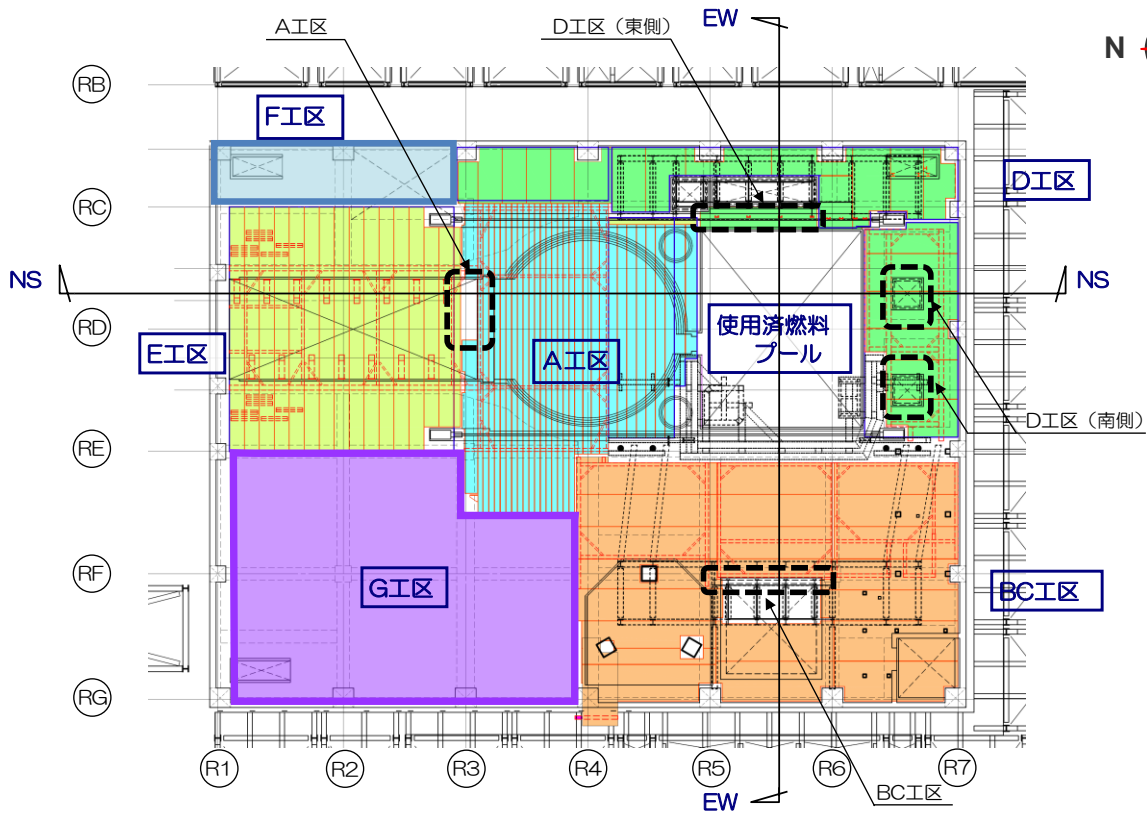
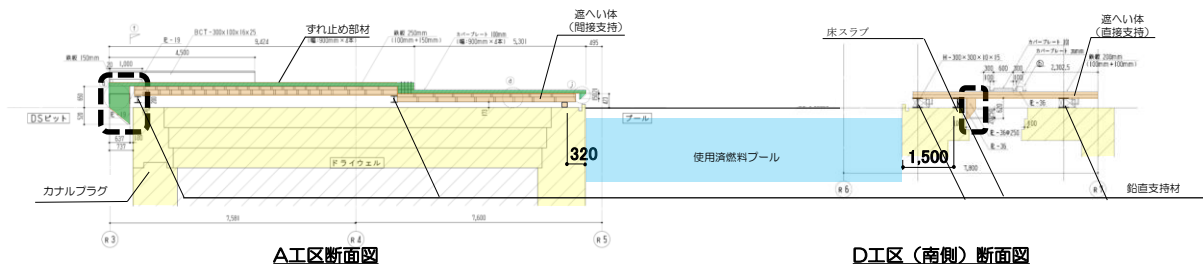


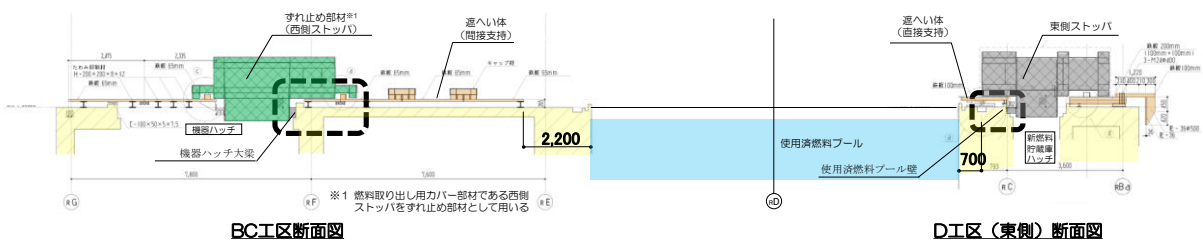
図 2.1-1 ずれ止め部材の例 (A 工区)



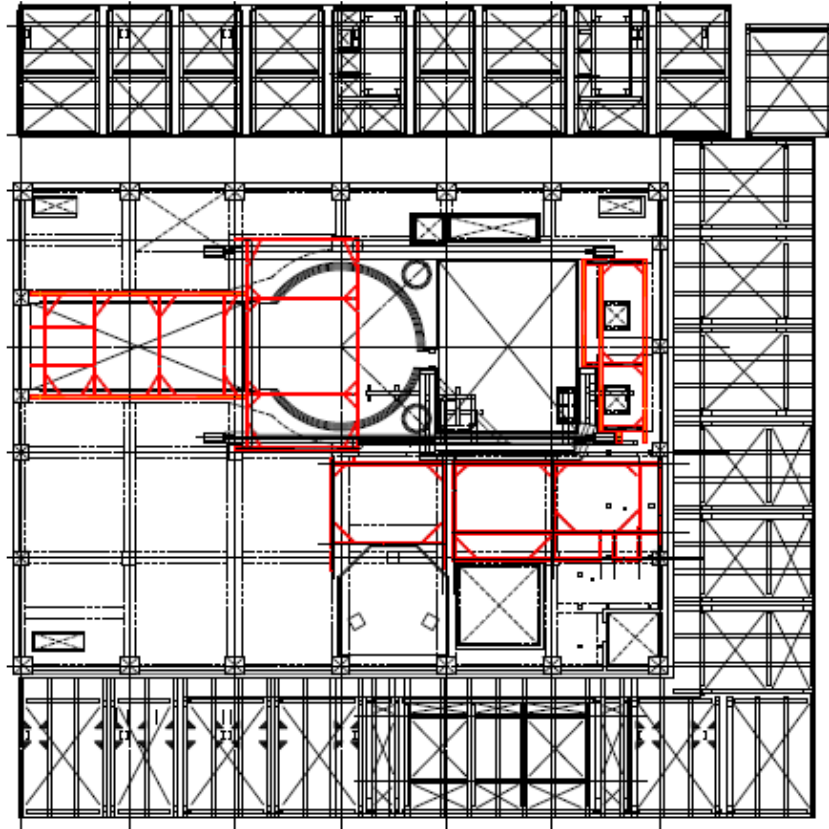
(a) 平面計画




(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）

$$P_a = f_n \cdot A_1$$

$$\text{ここに， } f_n = f_{na} \sqrt{\frac{A_c}{A_1}} \quad , \quad f_{na} = 0.6F_c \quad , \quad \sqrt{\frac{A_c}{A_1}} \leq 2.0$$

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 S_s 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、遮へい体及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 S_s ）

| 工区 | 応力 | 許容応力 | 検定比 | 検定部位 |
|-------|------------------------------------|---|------|-------------|
| A | $M= 903 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $M_a= 1, 260 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | 0.72 | ずれ止め部材（曲げ） |
| B C | $Q= 621 \text{ kN}$ | $Q_a= 15, 694 \text{ kN}$ | 0.04 | ずれ止め部材（せん断） |
| D（南側） | $M= 194 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $M_a= 1, 525 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | 0.13 | 遮へい体（曲げ） |
| D（東側） | $Q= 58 \text{ kN}$ | $Q_a= 2, 238 \text{ kN}$ | 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 S_s ）

| 工区 | 応力 | 許容応力 | 検定比 | 検定部位 |
|-------|------------------------------------|---|------|----------------|
| A | $P= 879 \text{ kN}$ | $P_a= 11, 925 \text{ kN}$ | 0.08 | カナルプラグ（支圧） |
| B C | $P= 1, 860 \text{ kN}$ | $P_a= 39, 856 \text{ kN}$ | 0.05 | 機器ハッチ大梁（支圧） |
| D（南側） | $P= 431 \text{ kN}$ | $P_a= 11, 368 \text{ kN}$ | 0.04 | 床スラブ（支圧） |
| D（東側） | $M= 594 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | $M_a= 5, 351 \text{ kN} \cdot \text{m}$ | 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 S_s 時にD工区（東側）遮へい体に発生する慣性力は両箇所を負担可能であるが、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

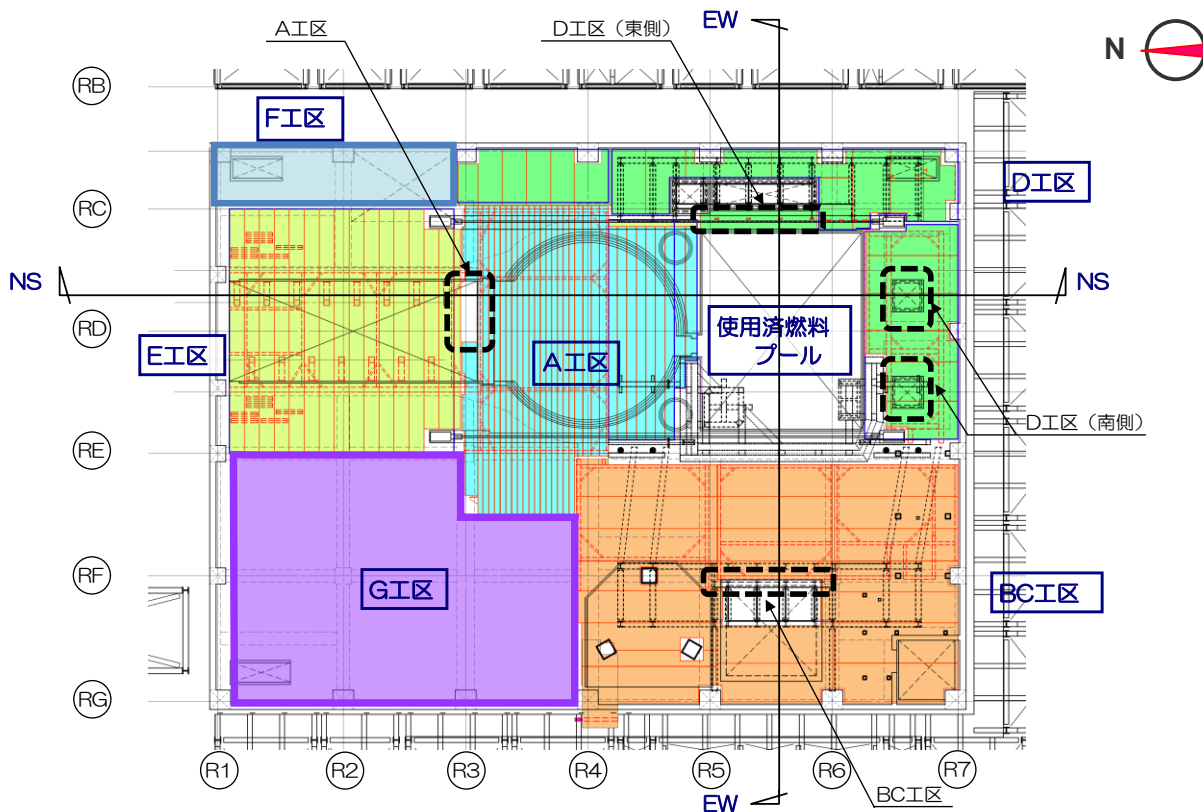
3.1 評価方法

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。

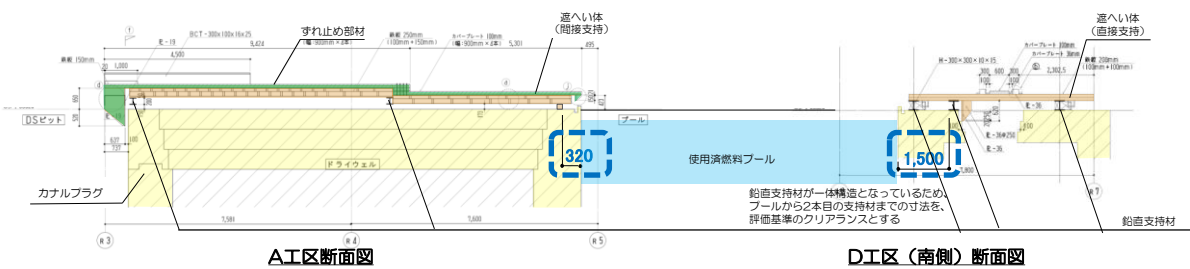
燃料取り出し用カバー検討用モデルの基準地震動 S_s 時の地震応答解析結果のうちオペフロ階の応答加速度時刻歴を入力として、滑動対象物を模擬した 1 自由度系に遮へい体の動摩擦係数と保守的に上向きの鉛直震度による摩擦抵抗の減少を条件とした地震応答解析を行い、滑動対象物とオペフロ床の相対変位を算出する。地震応答解析の概要を図 3.1-3 に、摩擦係数と鉛直震度の組合せを表 3.1-2 に示す。ここで算出した相対変位が使用済燃料プール壁面までのクリアランス以下であることを確認する。

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

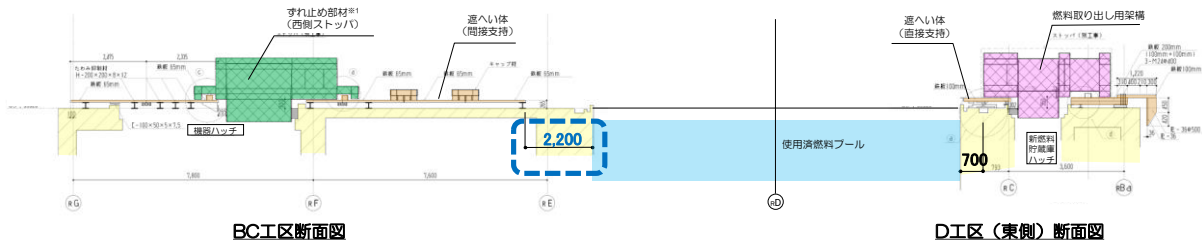
| 工区 | クリアランス |
|--------|-----------|
| A | 320 mm |
| BC | 2, 200 mm |
| D (南側) | 1, 500 mm |



(a) 平面計画



(b) 使用済燃料プール周りの南北断面



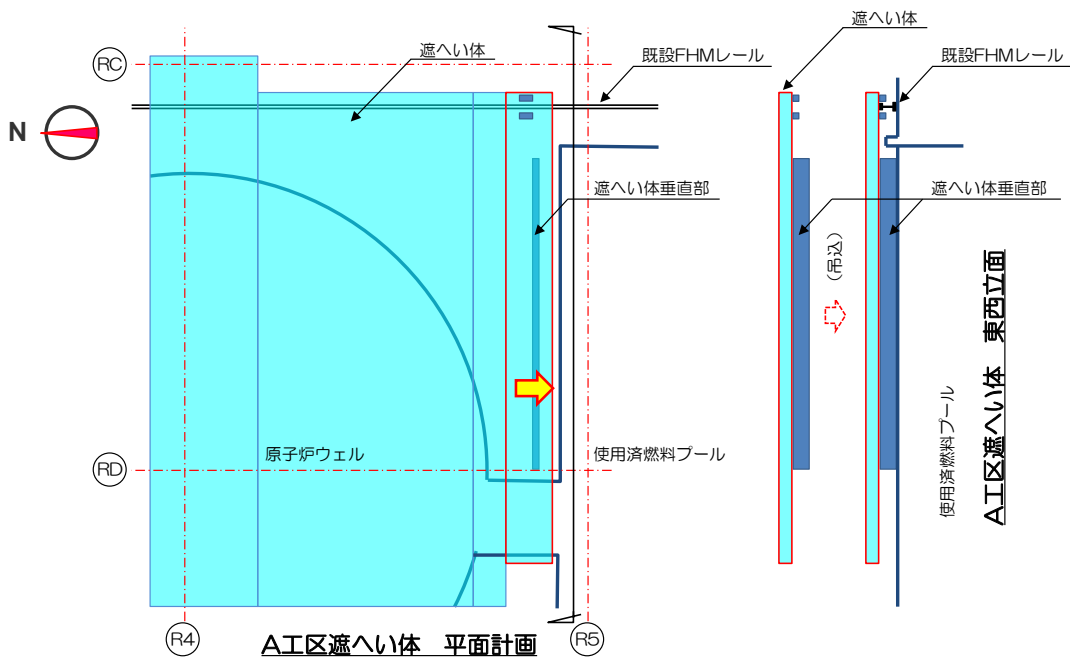
滑動対象物と使用済燃料プールのクリアランス

(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

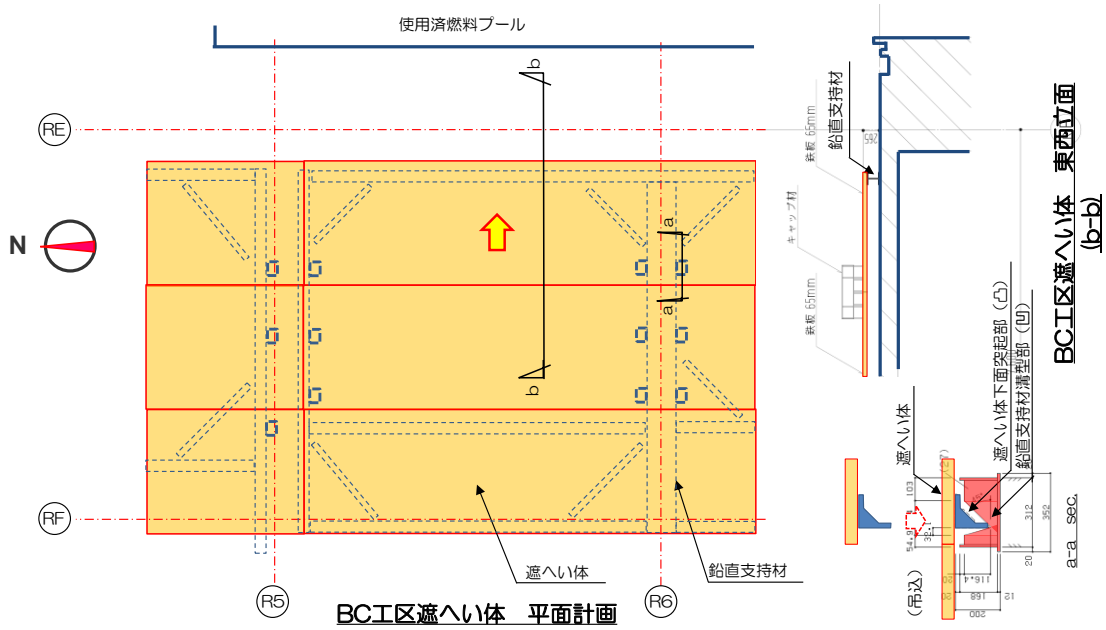
A工区遮へい体の使用済燃料プール際は、東側を既設 FHM レールに、西側を原子炉建屋躯体に載せる。

- 「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

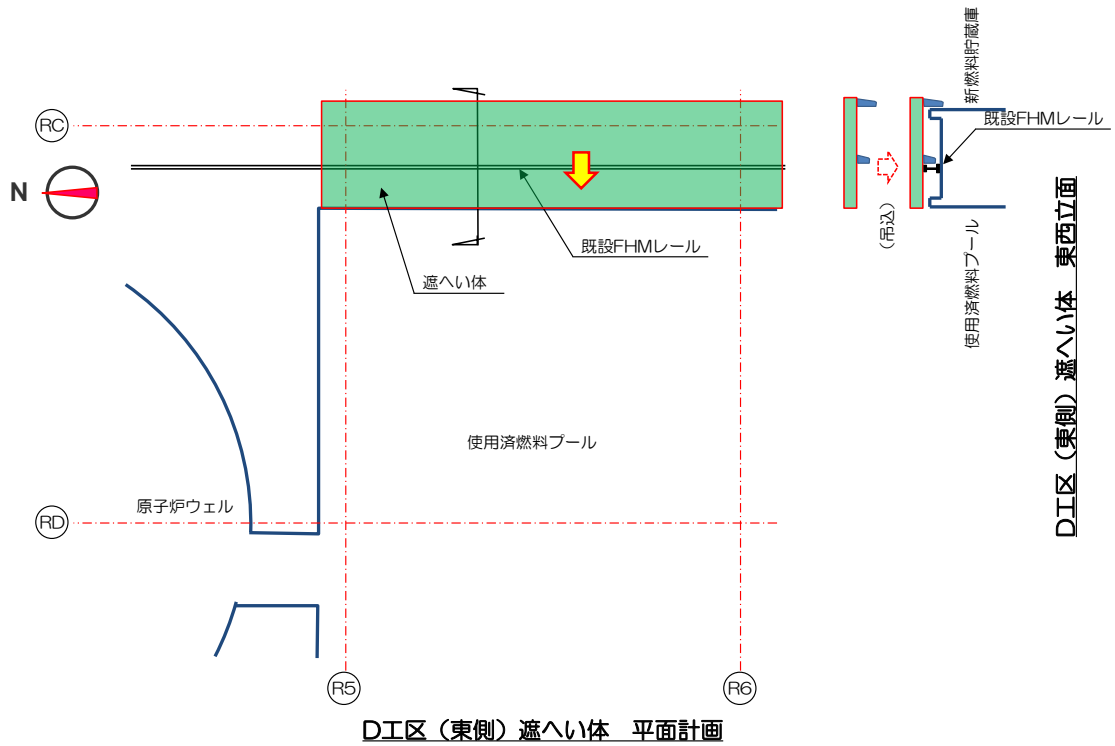
- BC工区遮へい体は、鉛直支持材をオペフロ床面に載せ、その上に遮へい体を載せる。
- 「オペフロ床面（コンクリート）に対する、鉛直支持材（鋼材）と一体化された遮へい体（鋼製）のすべり量」の確認を行う。



(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。

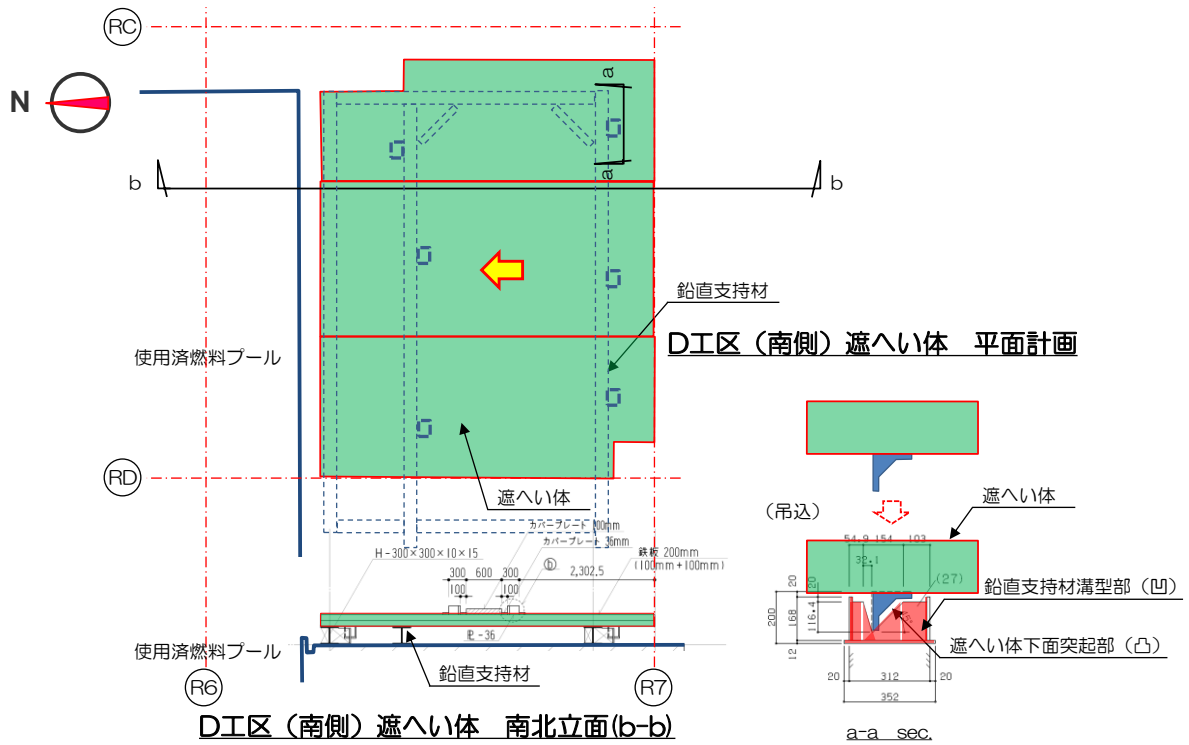
- ・遮へい体は原子炉建屋躯体で直接支持されるため滑動せず，使用済燃料プール側には落下しないと評価。（滑動に対する評価は実施しない）



(c) 使用済燃料プール際D工区（東側）遮へい体

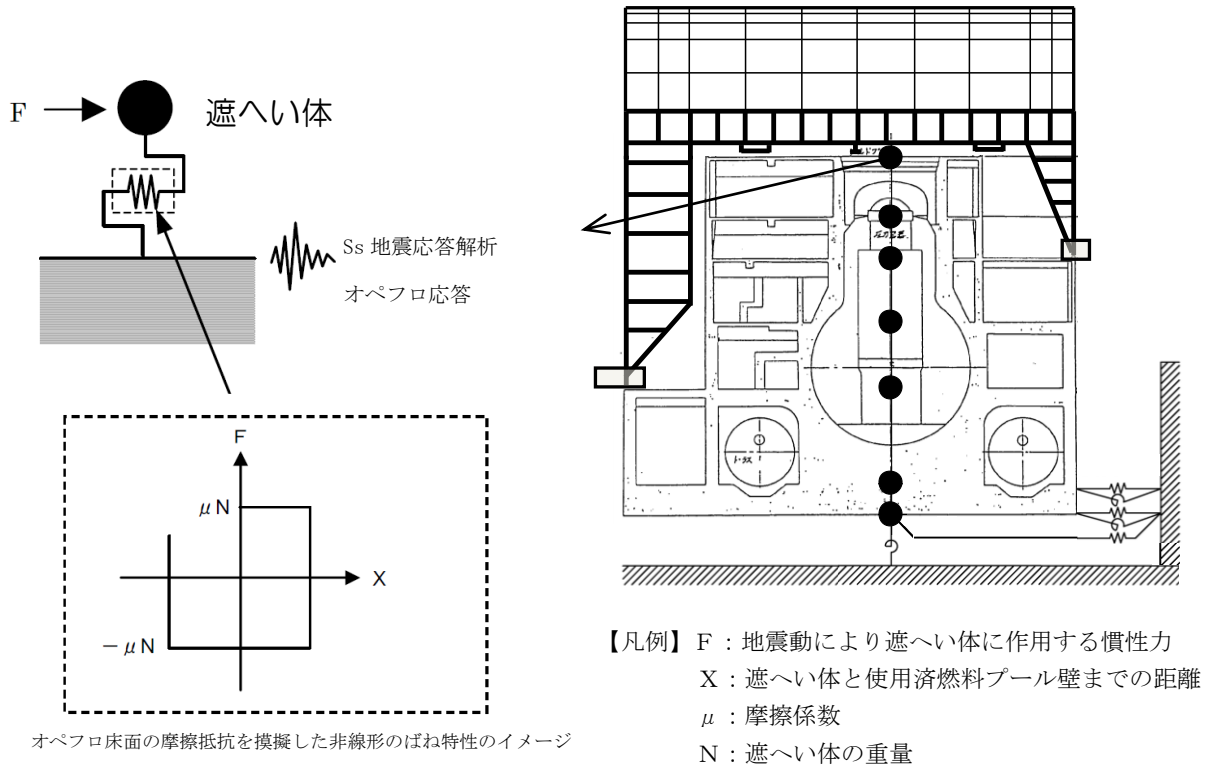
D工区（南側）遮へい体は、鉛直支持材（鋼製）をオペフロ床面に載せ、その上に遮へい体を載せる。

- ・「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には、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な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

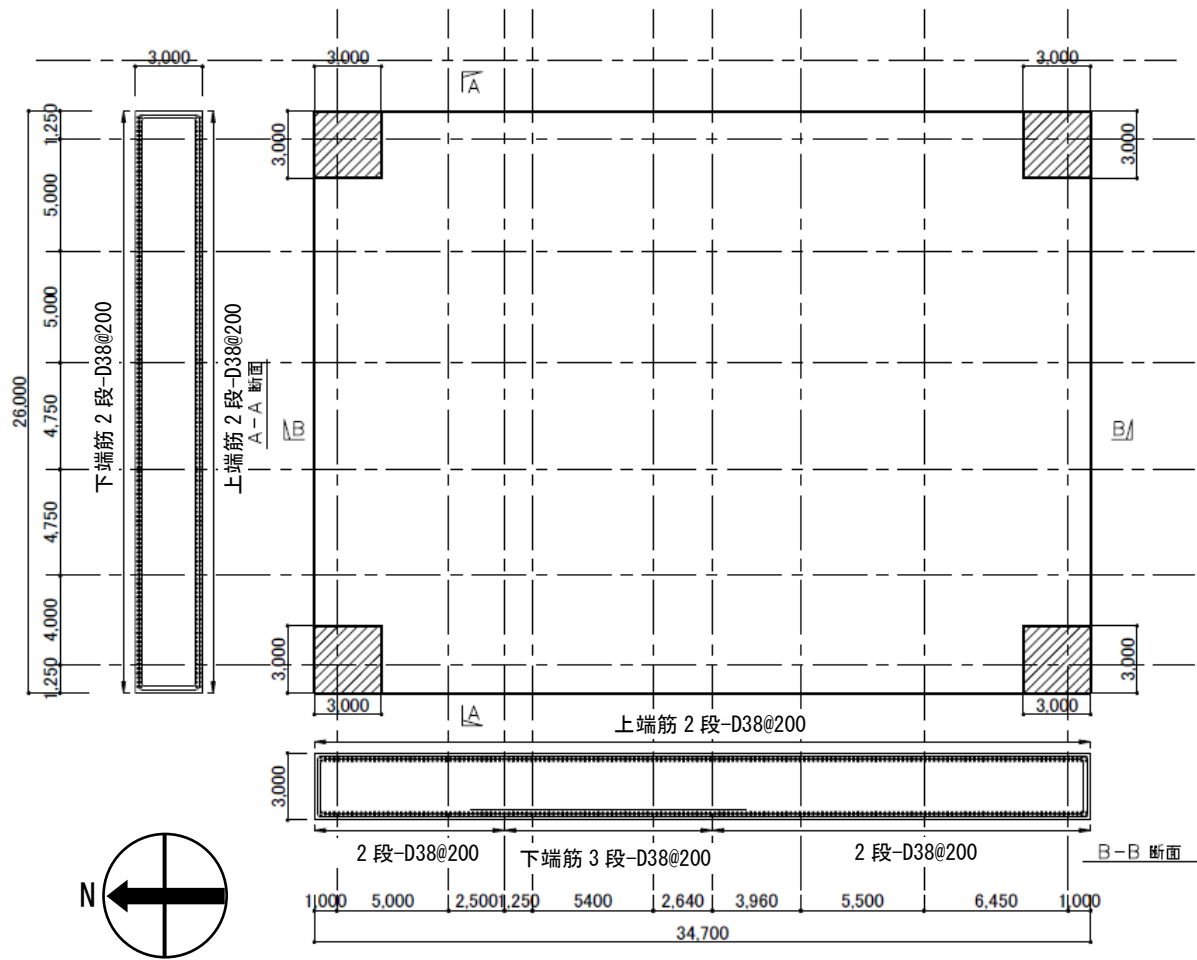
2号機燃料取り出し用構台の工事に係る主要な確認項目を表－1に示す。

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 |

| | | | |
|----------------------------|------|--|---|
| | | | <p>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。</p> <p>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。</p> |
| | | 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。 |
| | 外観確認 | 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。 |
| | | 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。 |




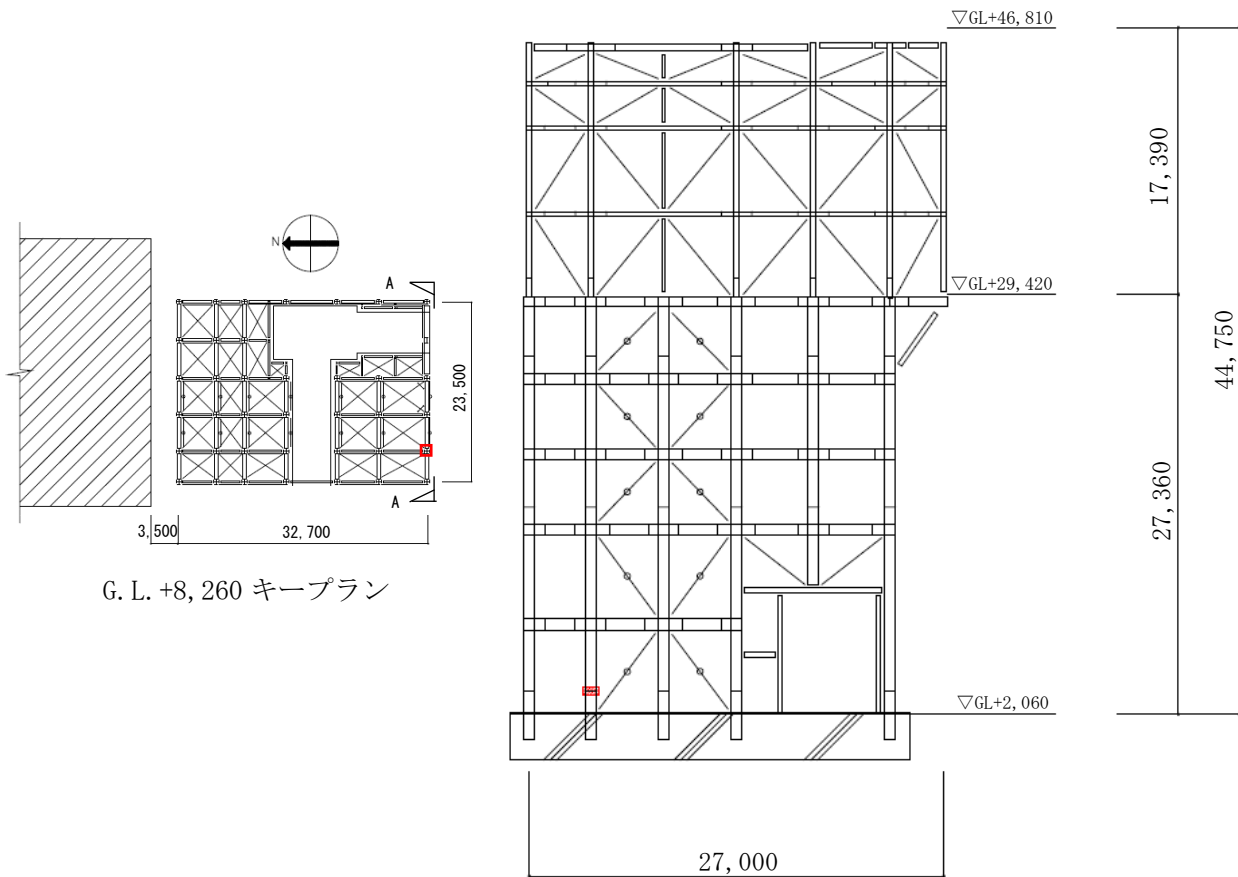
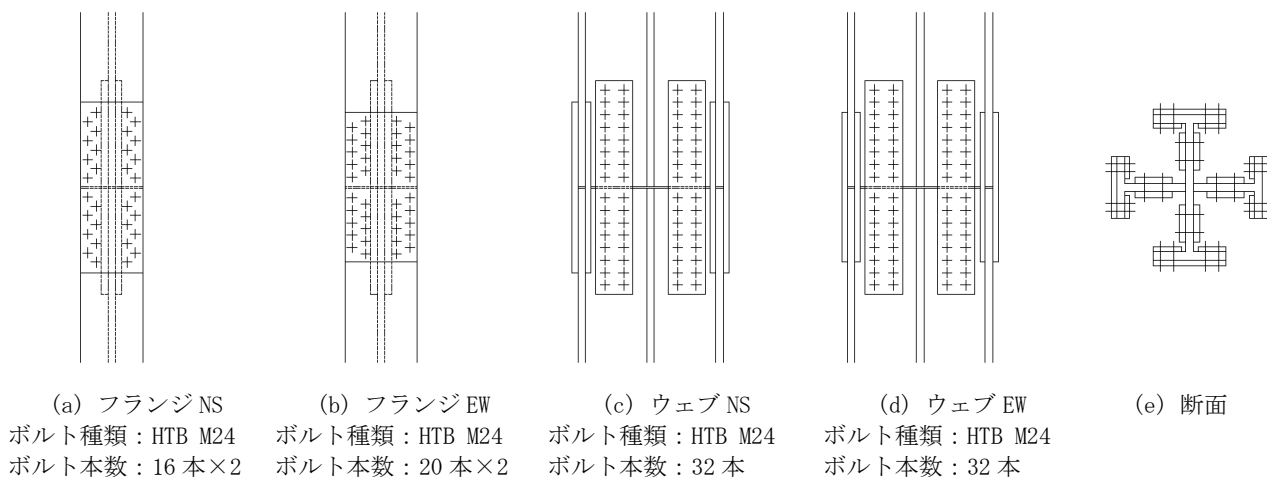
 部は面外せん断補強を実施
 D19@400×200
 鉄筋材質：SD345

図-1 基礎配筋図 (単位：mm)



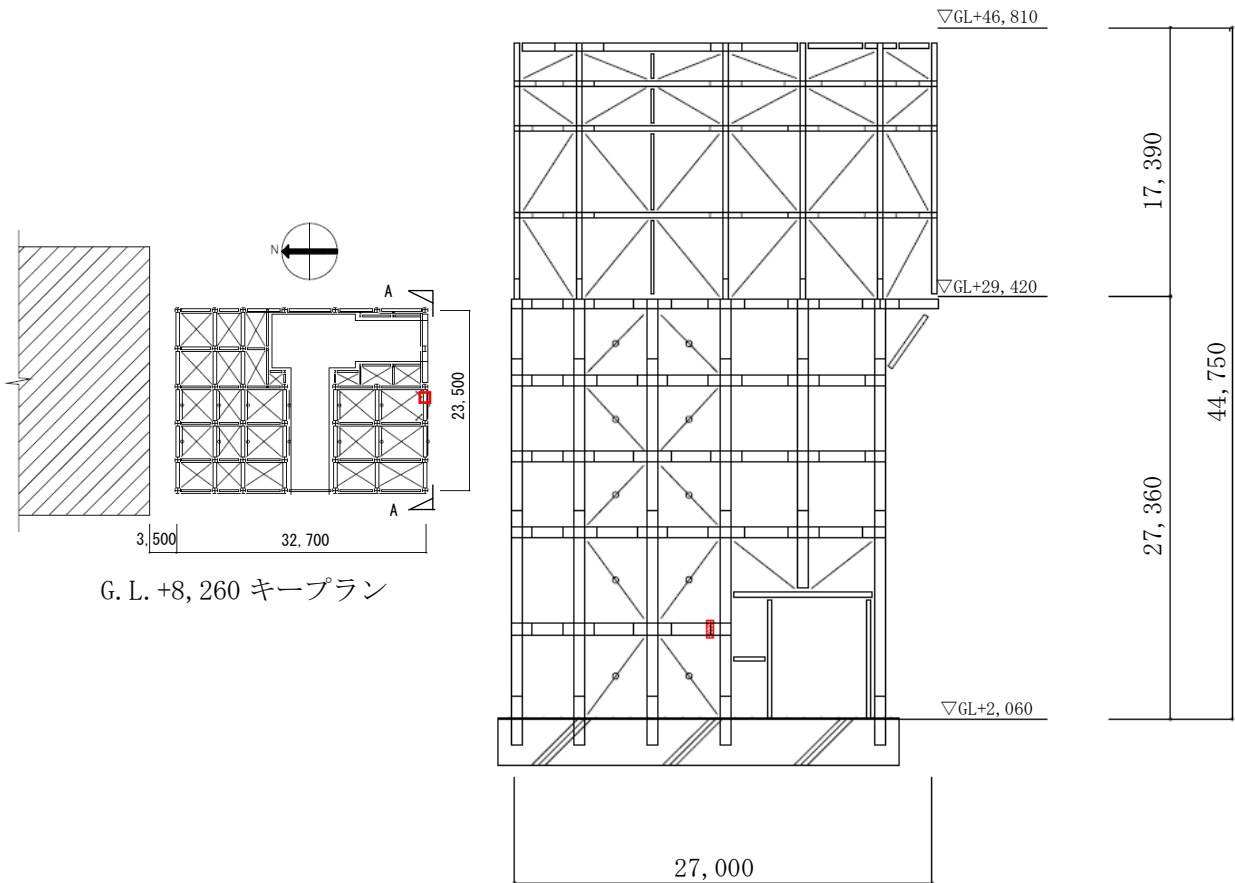
A-A 断面図

(1) 接合部位置 (構台部柱材最大応力度比発生箇所)



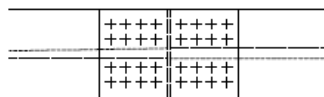
(2) 接合部詳細 (片側の構造材に取り付くボルト本数を記載)

図-2 構台接合部①



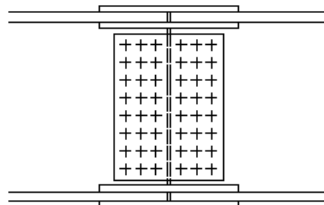
A-A 断面図

(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



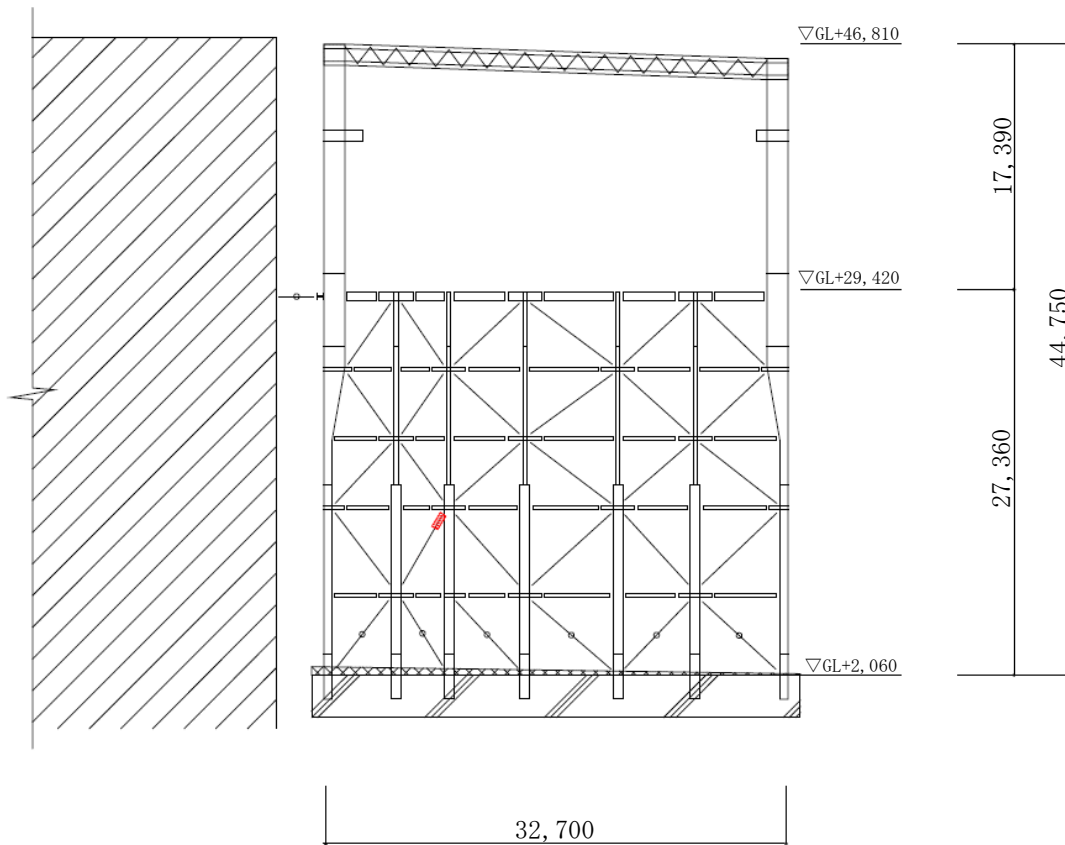
(b) ウェブ

ボルト種類 : SHTB M24
ボルト本数 : 24 本

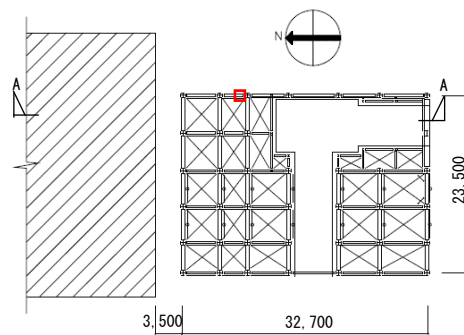
(2) 接合部詳細 (片側の構造材に取り付くボルト本数を記載)

図-3 構台接合部②

II-2-11-添 4-2-452

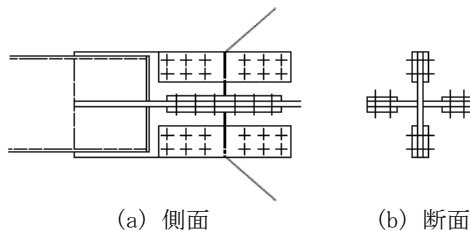


A-A 断面図



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)



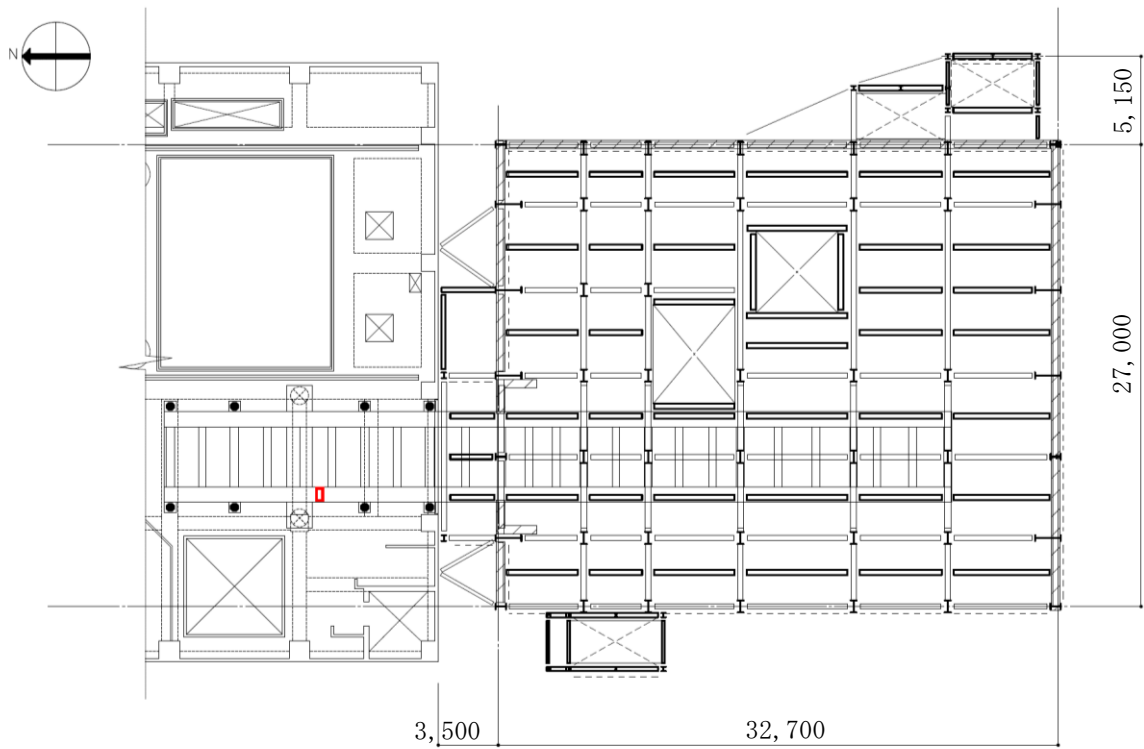
(a) 側面
 ボルト種類 : SHTB M22
 ボルト本数 : 12 本×2

(b) 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)

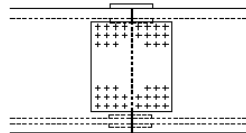
図-4 構台接合部③

II-2-11-添 4-2-453

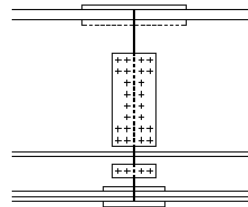


G. L. +29, 420 キープラン

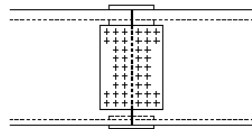
(1) 接合部位置 (ランウェイガード最大応力度比発生箇所)



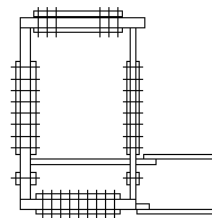
(a) 上フランジ
ボルト種類：SHTB M24
ボルト本数：22 本



(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

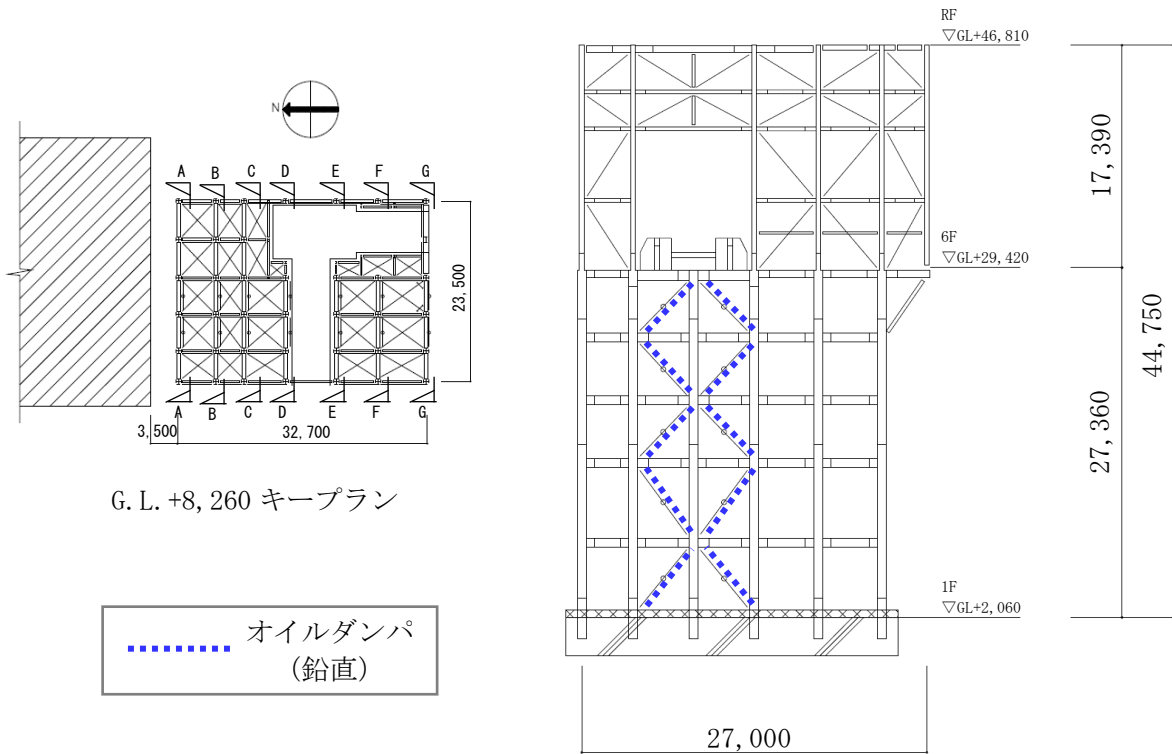


(d) 断面

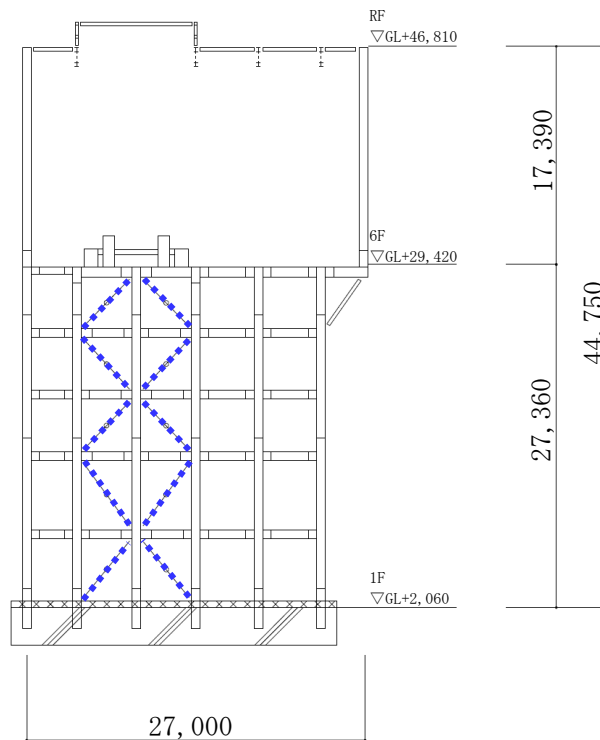
(2) 接合部詳細 (片側の構造材に取り付くボルト本数を記載)

図-5 ランウェイガード接合部

II-2-11-添 4-2-454

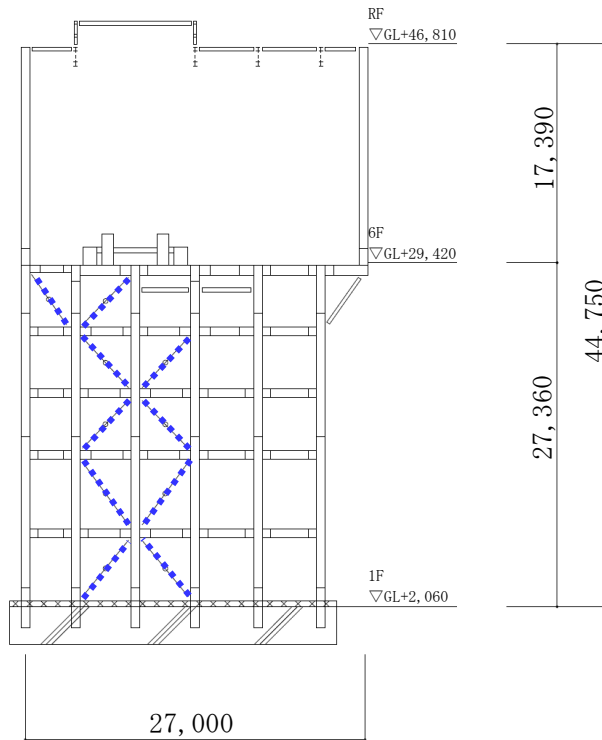


(1) オイルダンパ位置図 (A-A 断面図)

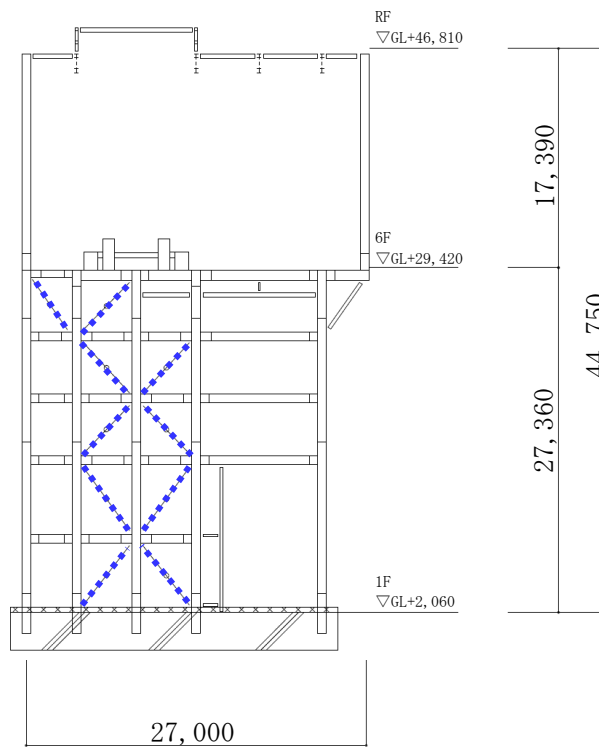


(2) オイルダンパ位置図 (B-B 断面図)

図-6 オイルダンパ位置図①

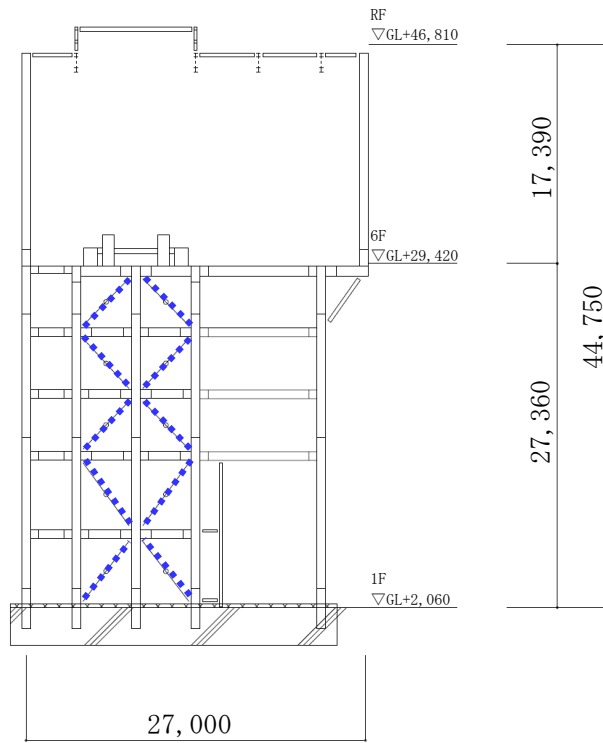


(1) オイルダンパ位置図 (C-C 断面図)

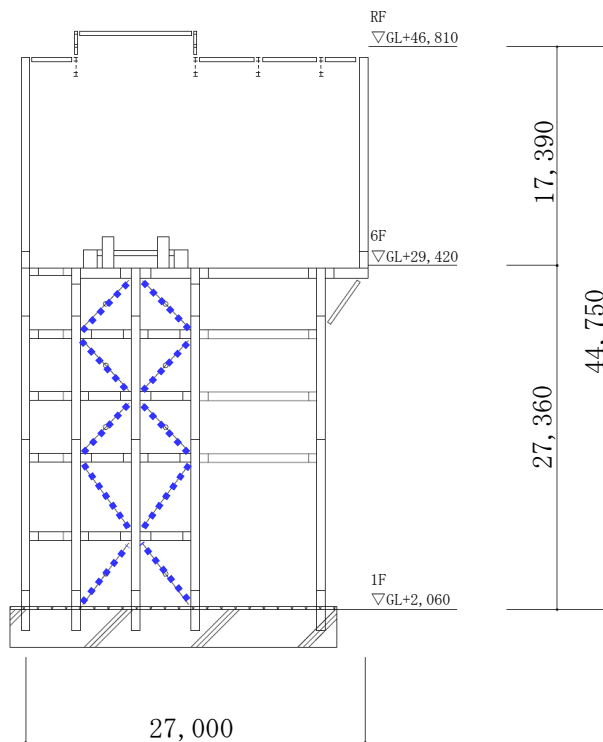


(2) オイルダンパ位置図 (D-D 断面図)

図-7 オイルダンパ位置図②

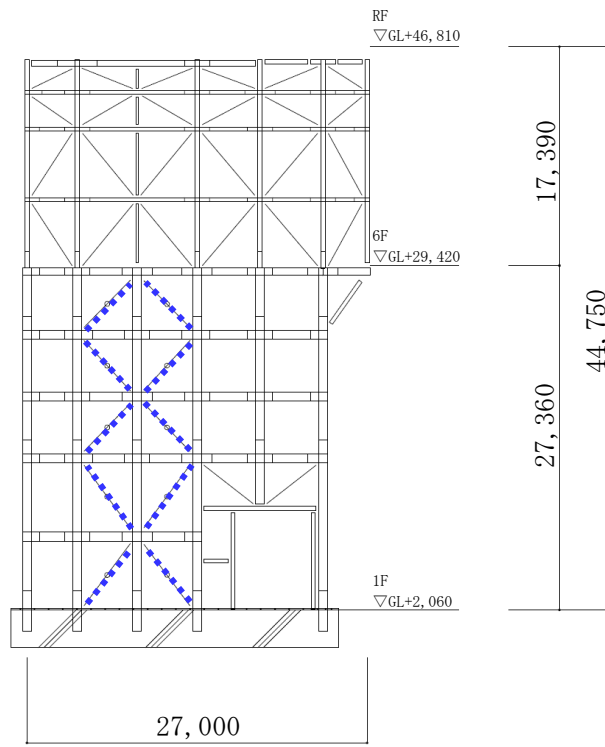


(1) オイルダンパ位置図 (E-E 断面図)



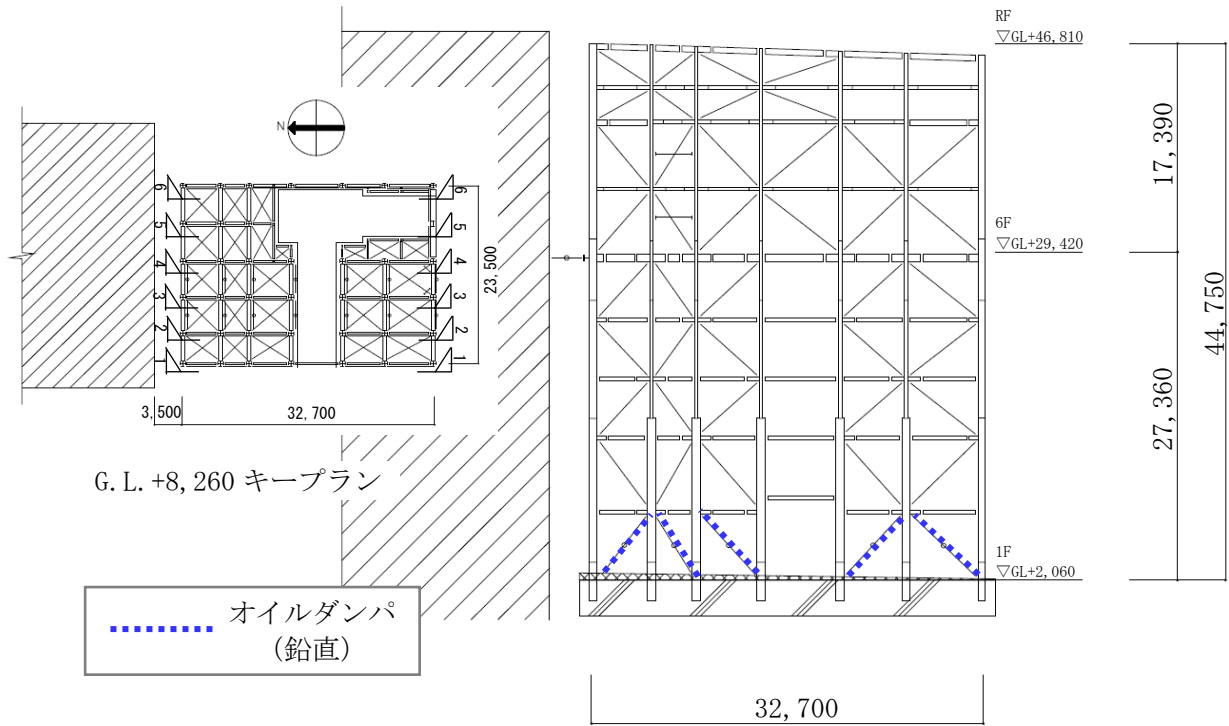
(2) オイルダンパ位置図 (F-F 断面図)

図-8 オイルダンパ位置図③

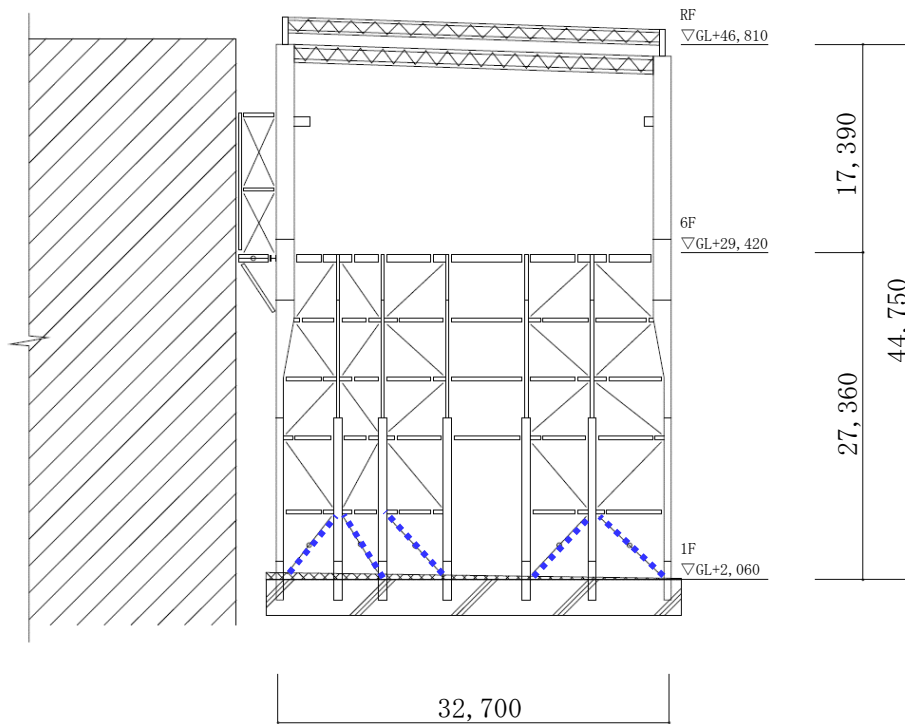


(1) オイルダンパ位置図 (G-G 断面図)

図-9 オイルダンパ位置図④

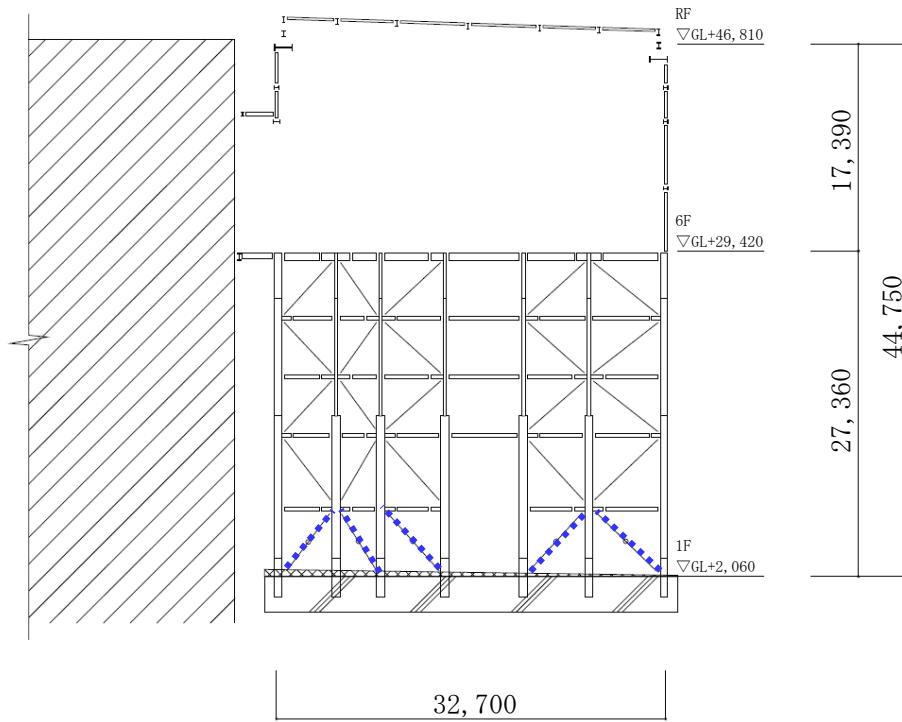


(1) オイルダンパ位置図 (1-1 断面図)

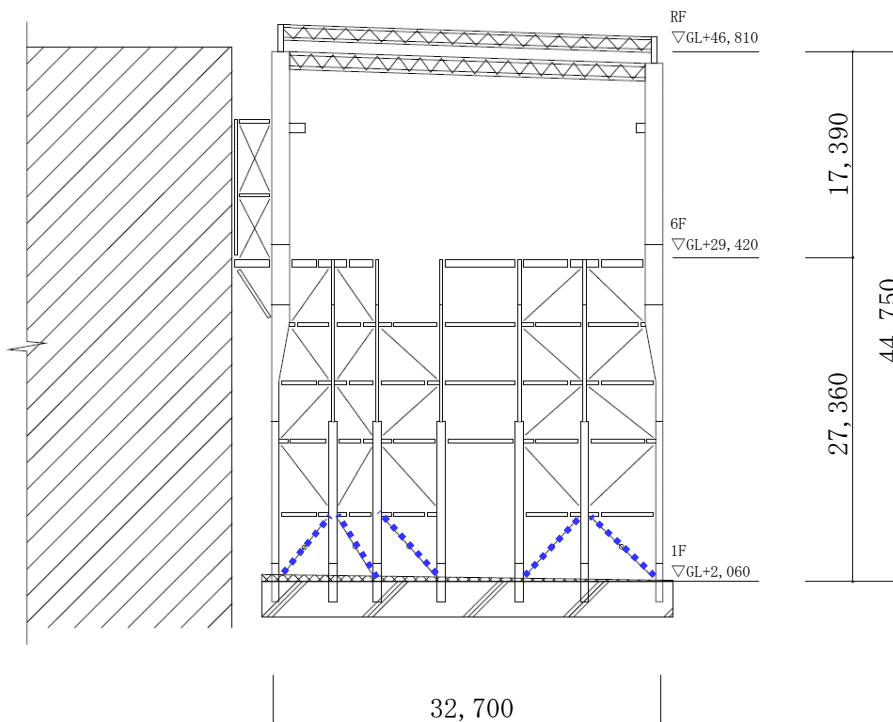


(2) オイルダンパ位置図 (2-2 断面図)

図-10 オイルダンパ位置図⑤

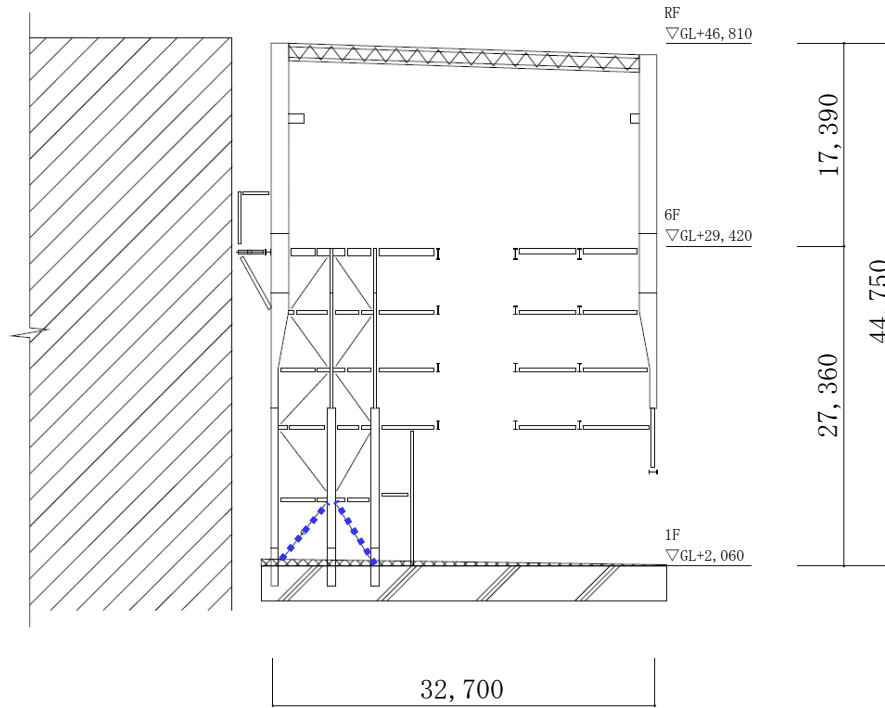


(1) オイルダンパ位置図 (3-3 断面図)

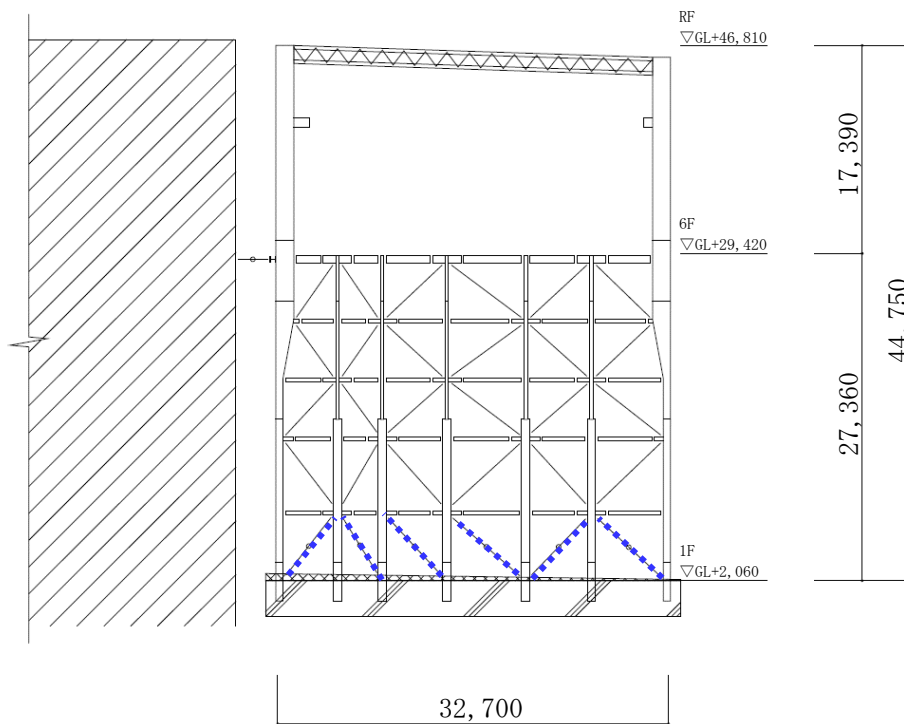


(2) オイルダンパ位置図 (4-4 断面図)

図-11 オイルダンパ位置図⑥

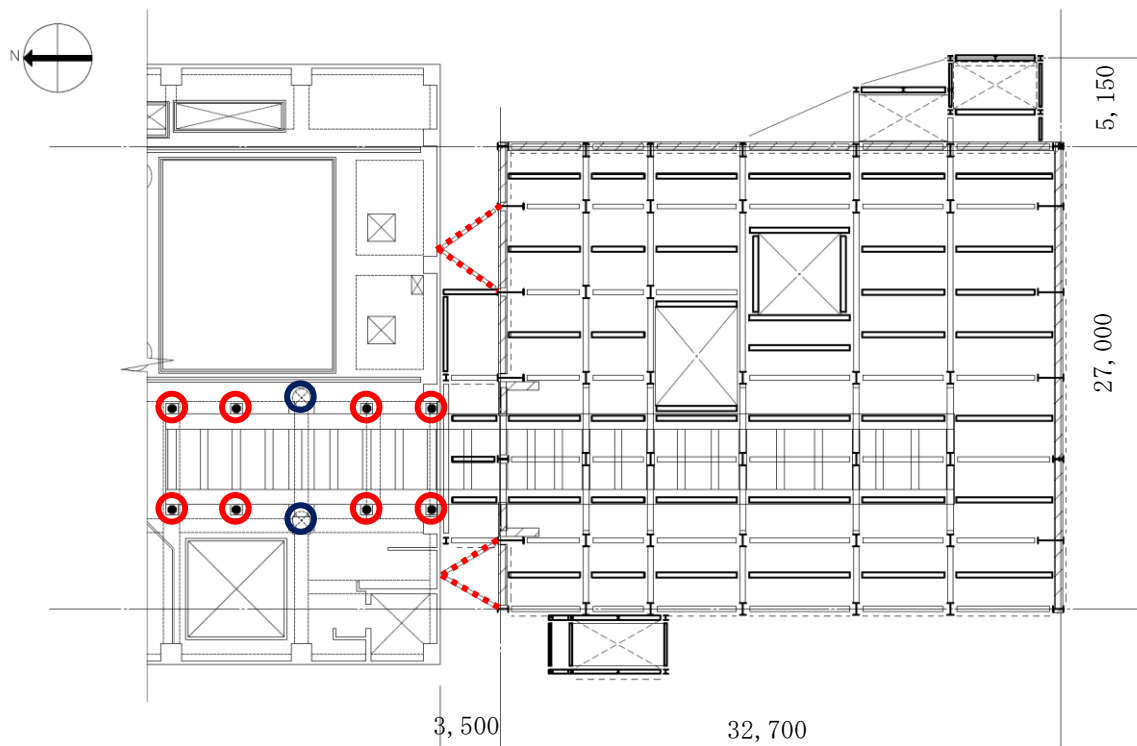


(1) オイルダンパ位置図 (5-5 断面図)



(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






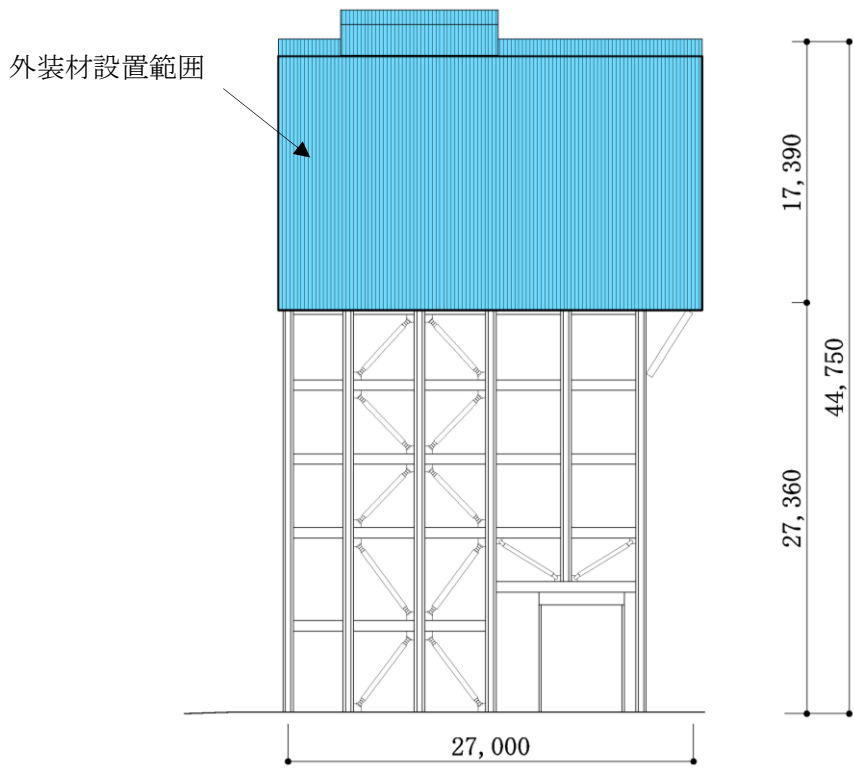
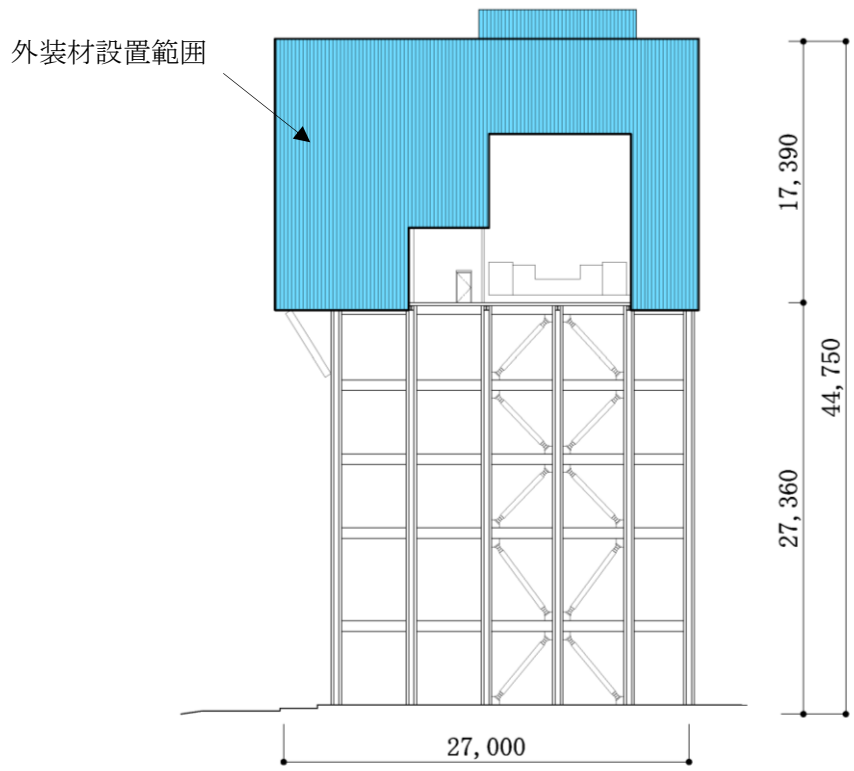
- | | | |
|---|------------------|----------------------|
|  | オイルダンパ (水平棟間) | G. L. +29, 420 キープラン |
|  | ばね付き オイルダンパ | |
|  | 弾性支承 | |

図-13 オイルダンパおよび弾性支承位置図



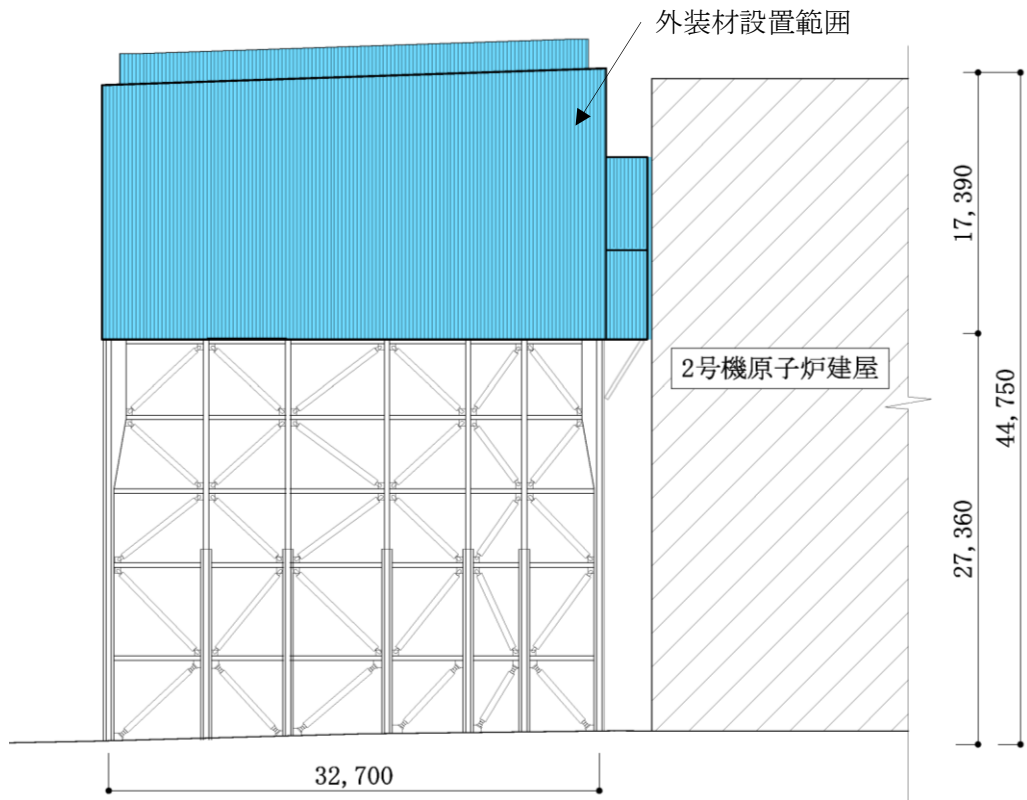
南側立面



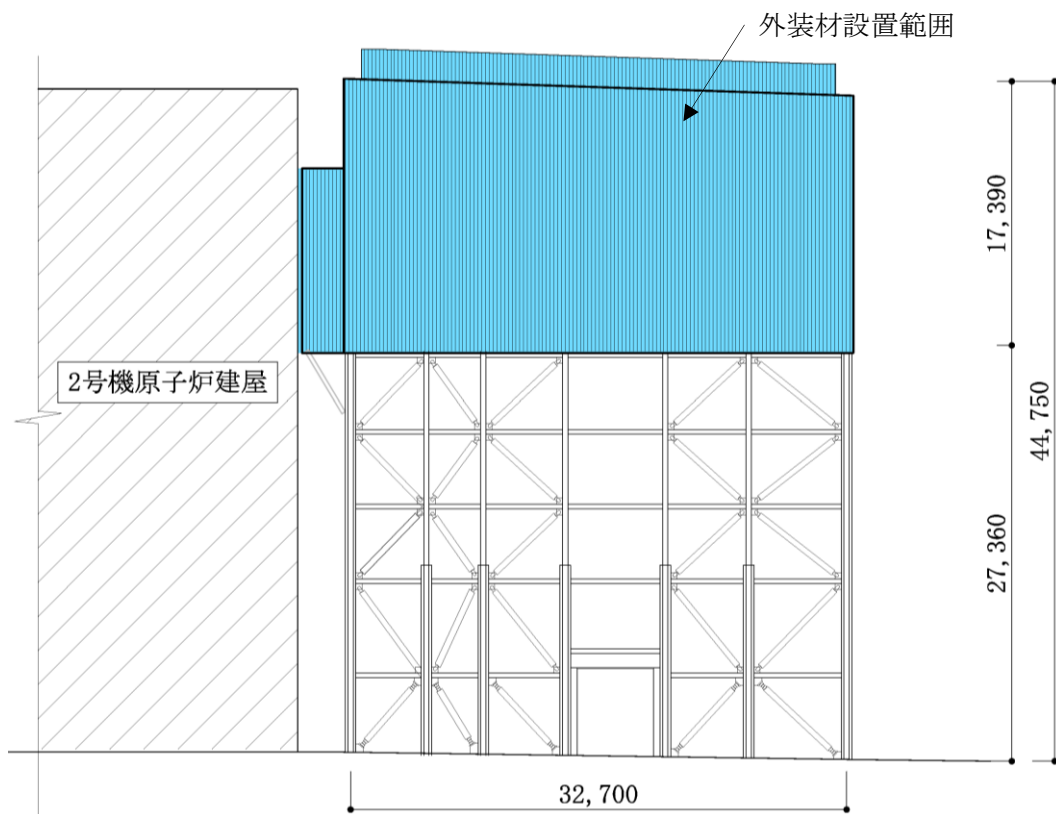
北側立面

図-14 外装材設置範囲図①

II-2-11-添 4-2-463



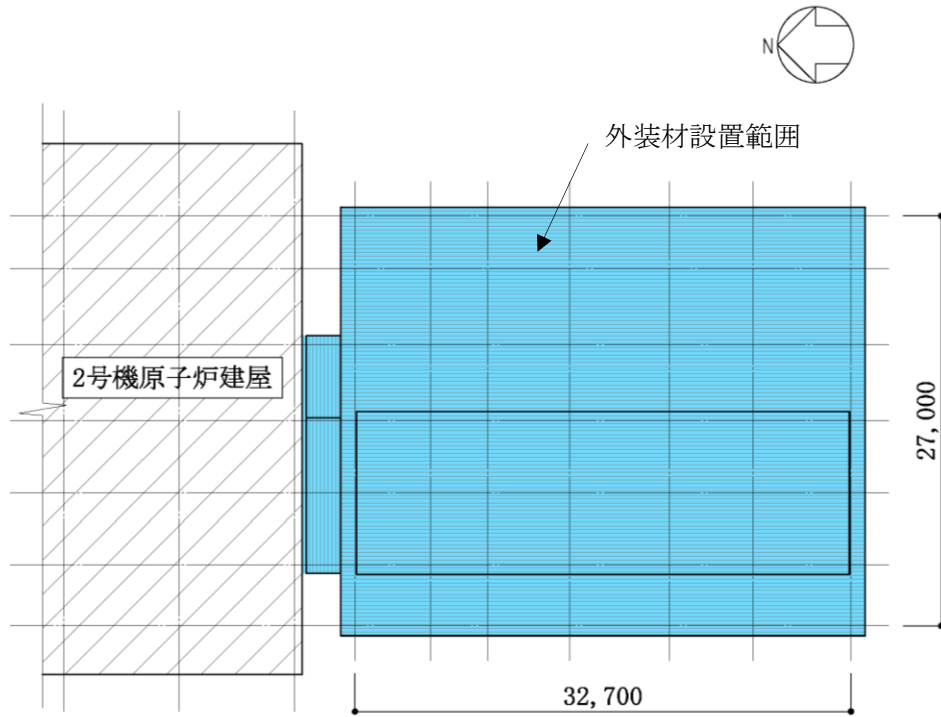
東側立面



西側立面

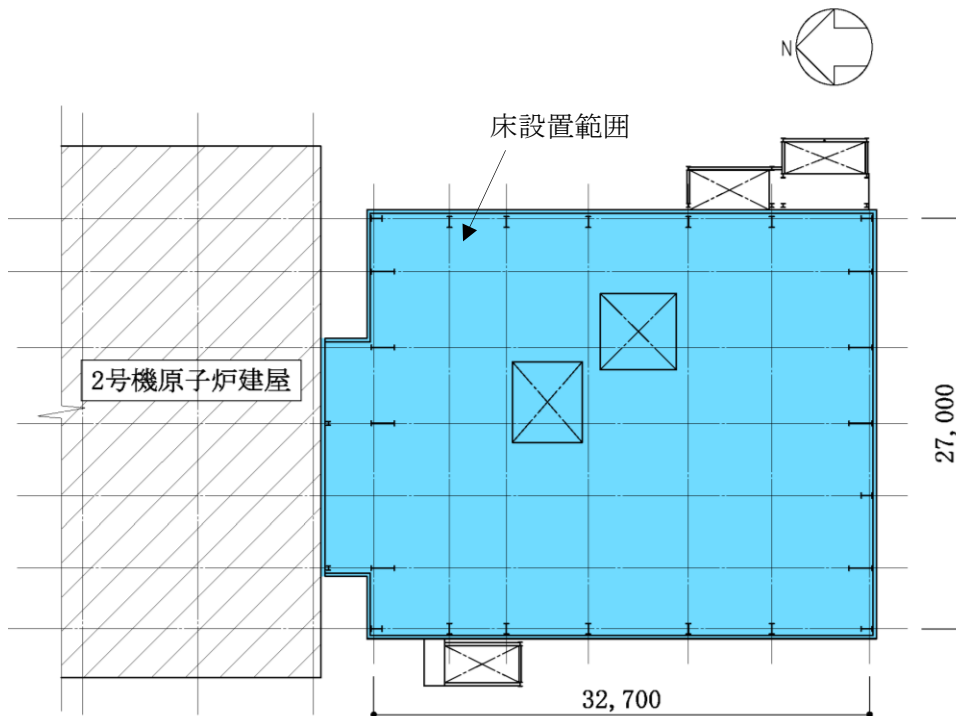
図-15 外装材設置範囲図②

II-2-11-添 4-2-464



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、地震時时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

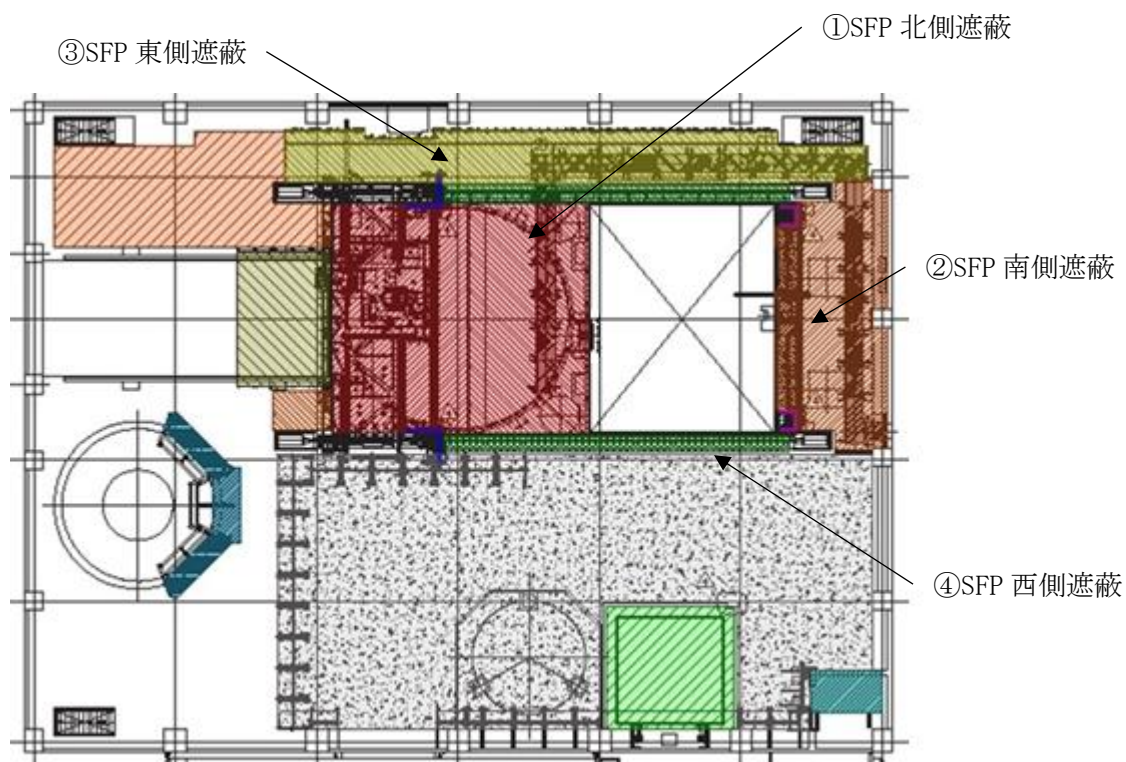


図 1-1 使用済燃料プール周りに設置する遮蔽体

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2-8 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($\mu=0.25$)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。

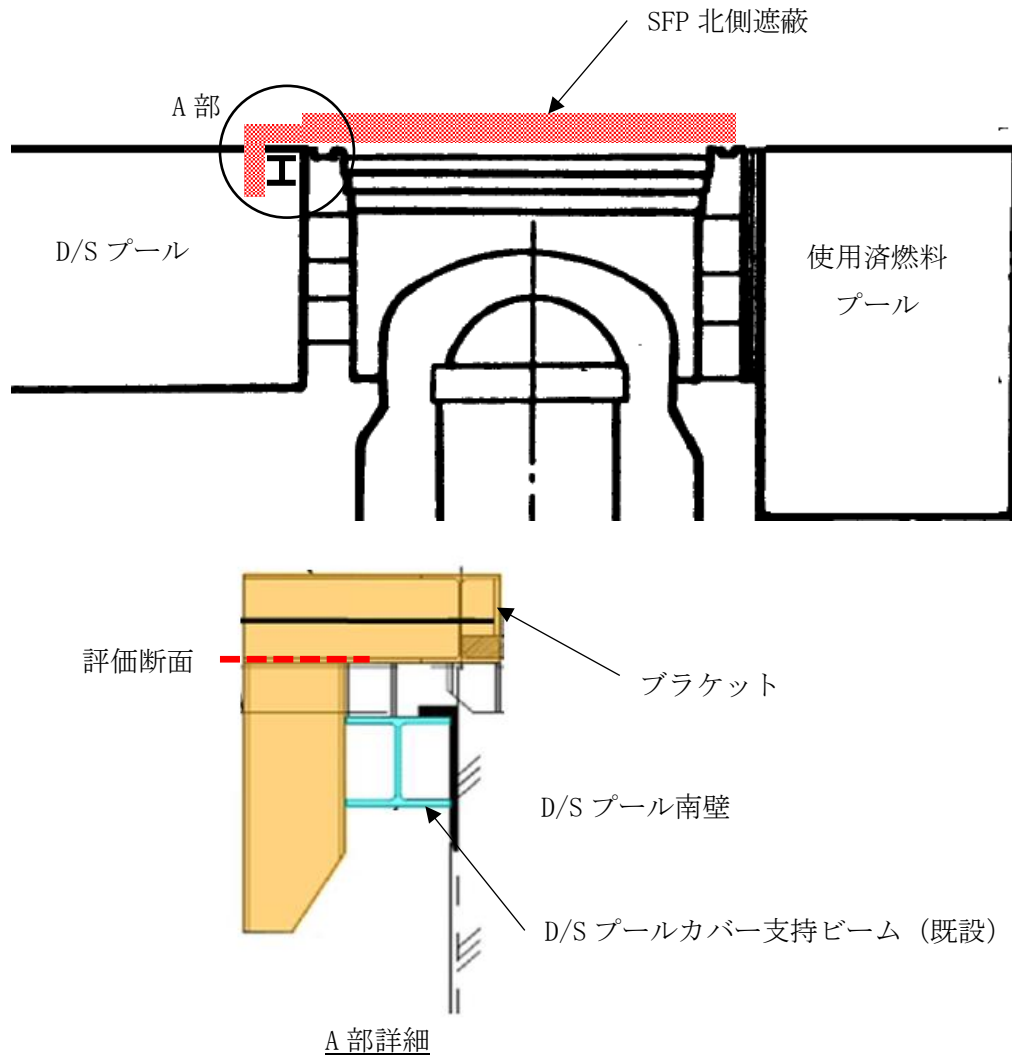


図 2-1 SFP 北側遮蔽 評価対象部

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。

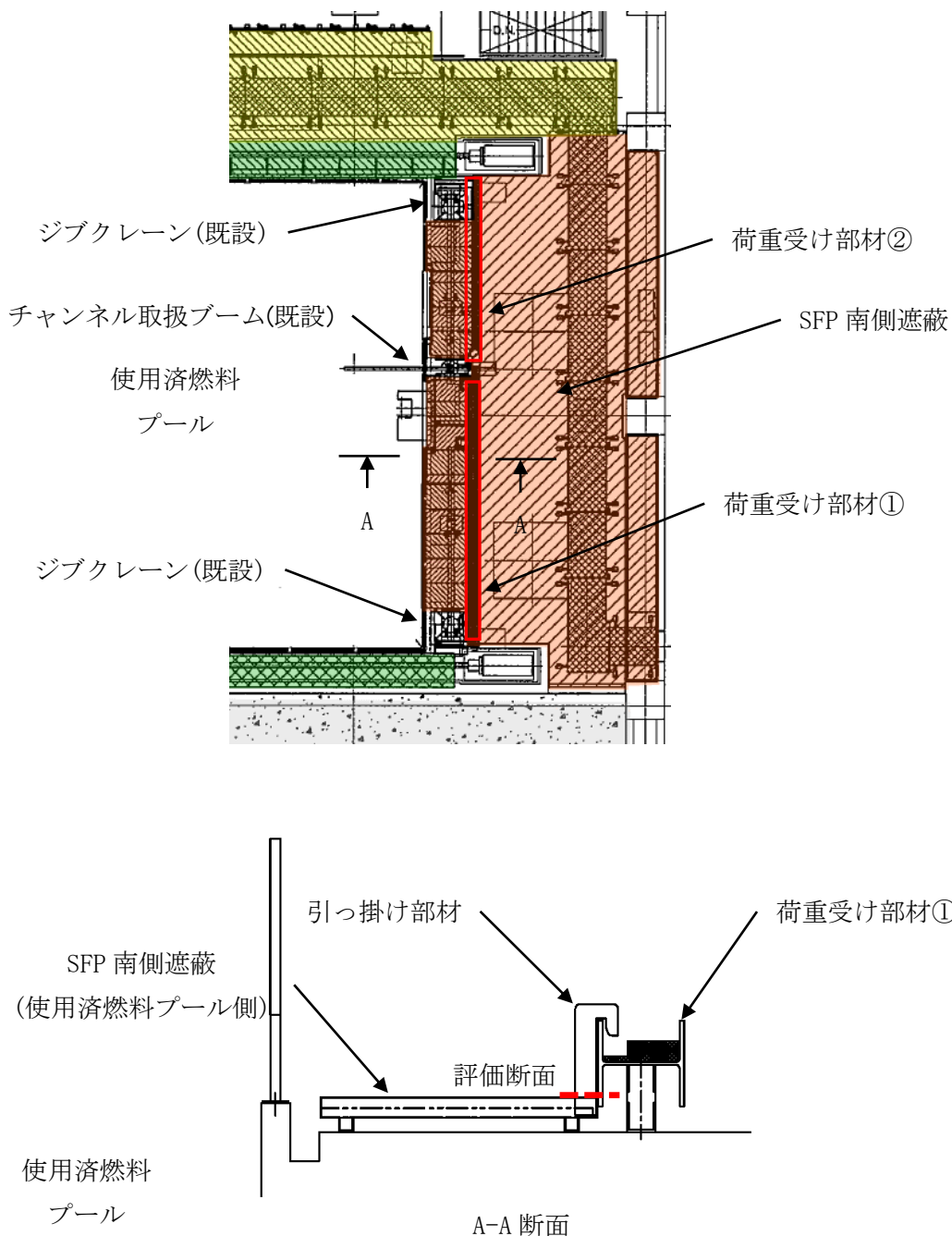


図 2-2 SFP 南側遮蔽体 評価対象部

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。

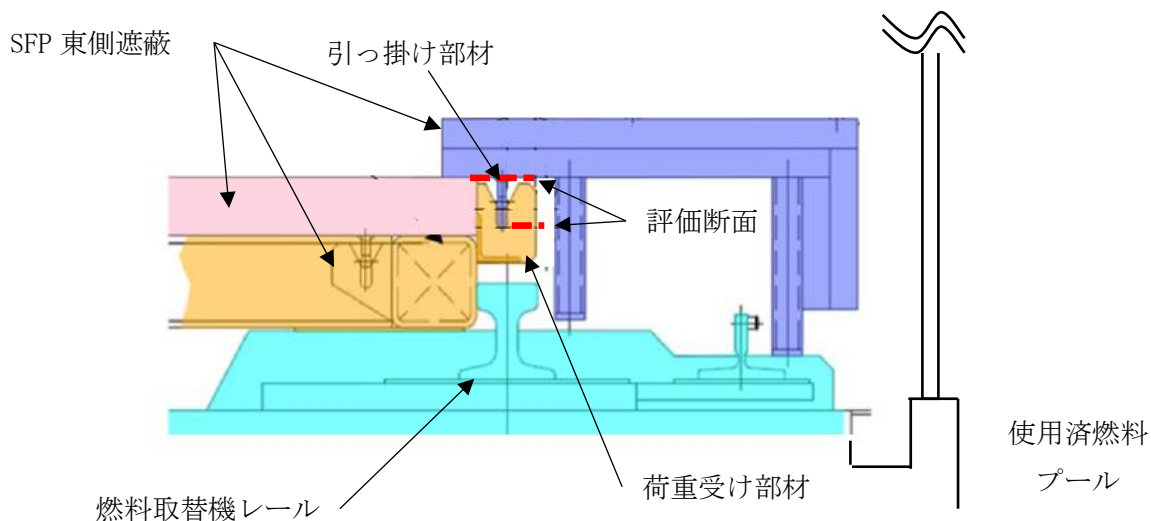


図 2-3 SFP 東側遮蔽体 評価対象部

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。

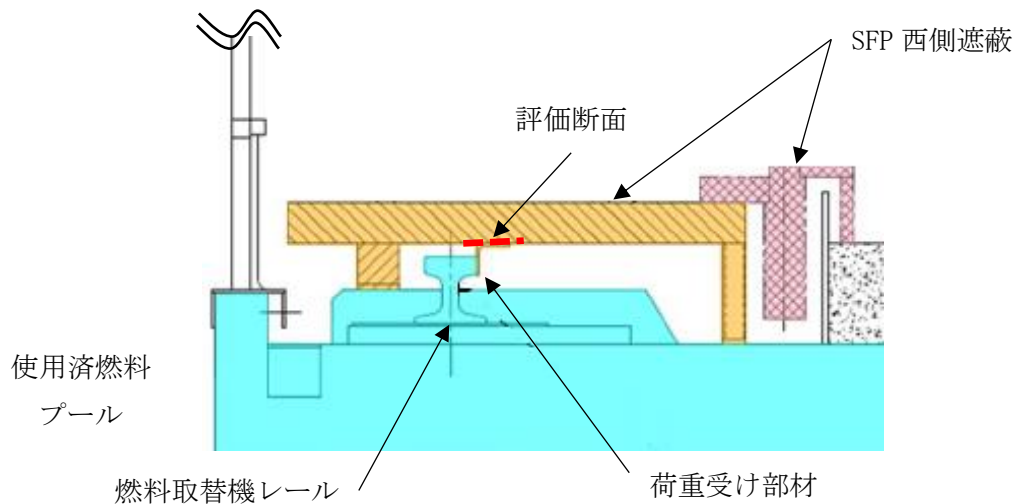


図 2-4 SFP 西側遮蔽 評価対象部

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 |

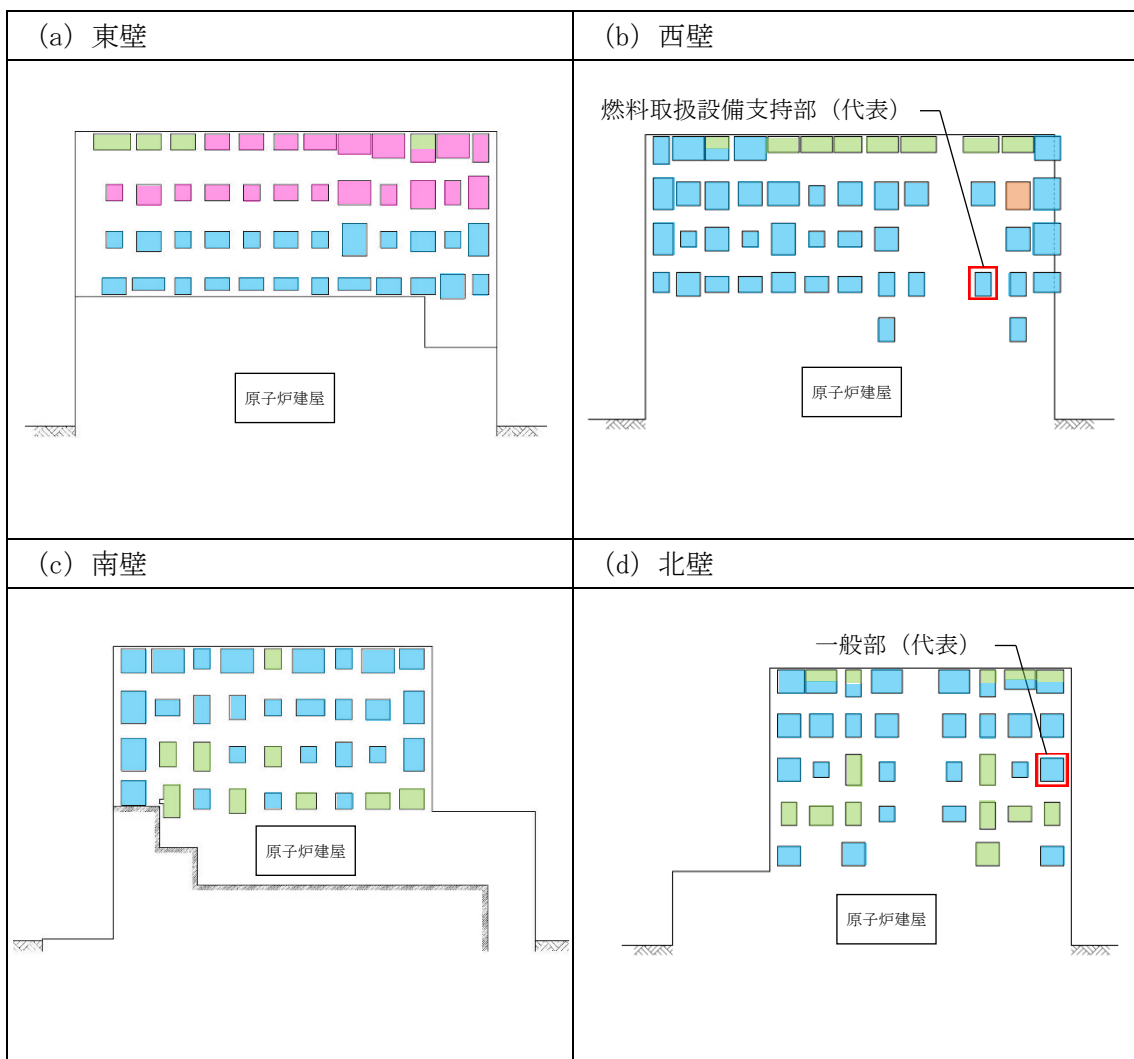
1号機大型カバーに係る確認事項

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

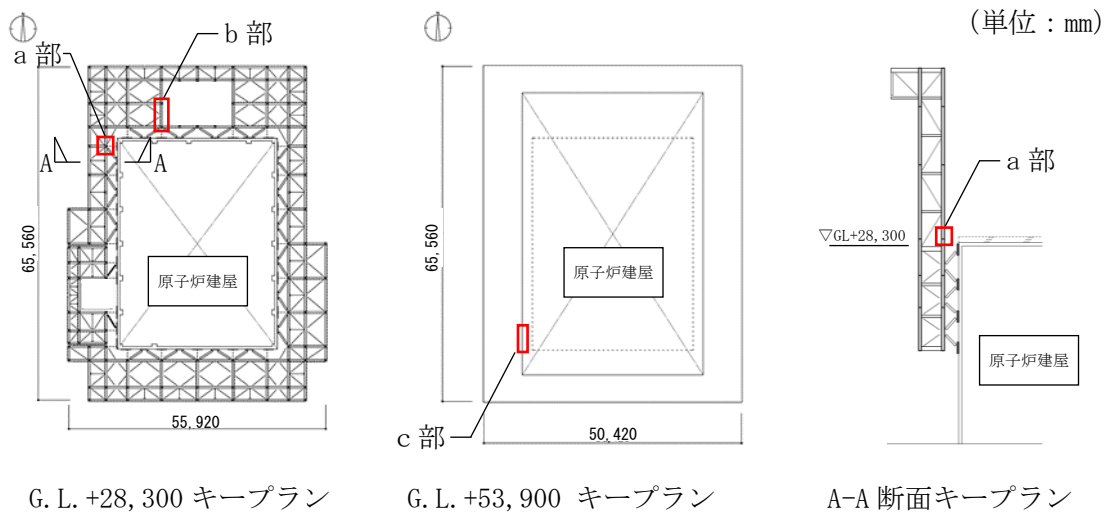
| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|--------------------|------|--|--|
| 構造強度 および 耐震性 | 材料確認 | 鋼材の材質, 強度, 化学成分を確認する。 | JIS G 3101, JIS G 3106, JIS G 3136, JIS G 3138, JIS G 3444, JIS G 3475, JIS G 4051, JIS B 1186 又は建築基準法第 37 条第二号に基づく国土交通大臣の認定に適合すること。 |
| | | トルシア型超高力ボルト (SHTB), トルシア型高力ボルト (HTB) 及び溶融亜鉛めっき高力ボルト (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。 |



- 有効埋め込み長さ：280mm 以上
- 有効埋め込み長さ：345mm 以上
- 有効埋め込み長さ：375mm 以上
- 有効埋め込み長さ：420mm 以上

図-1 アンカーボルト詳細



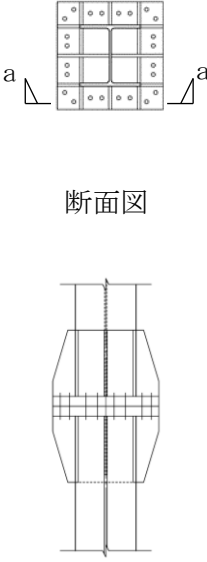

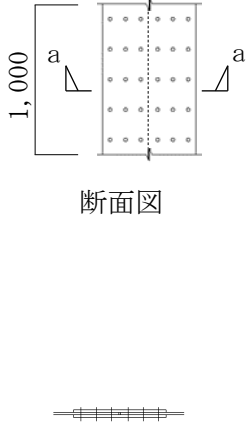
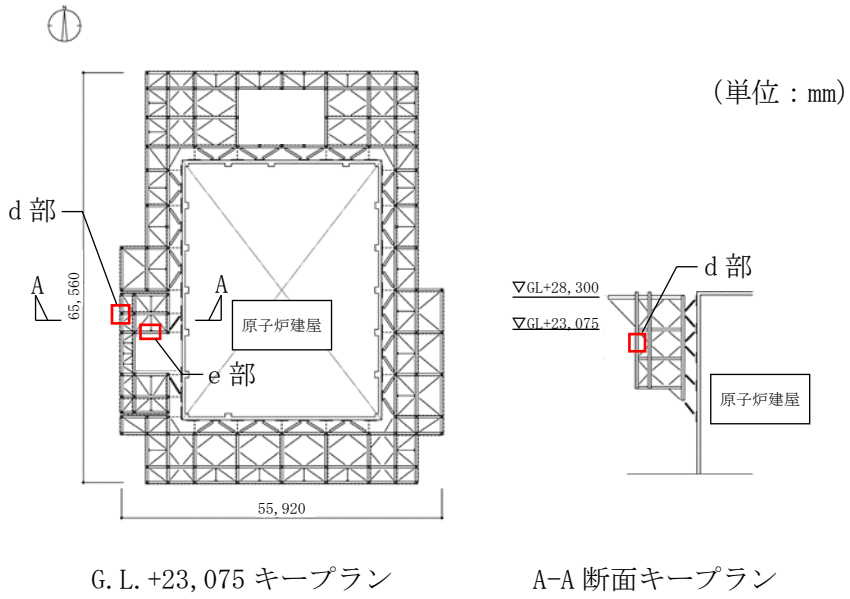
| (a) 柱 材 | (b) 梁 材 | (c) 鋼 板 |
|--|--|--|
|  <p>断面図</p> <p>a-a 矢視図</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p>ボルト種類 : SHTB M24 本 数 : 24 本</p> </div> |  <p>断面図</p> <p>a-a 矢視図</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p>ボルト種類 : SHTB M24 本 数 : 18 本×2</p> </div> |  <p>断面図</p> <p>a-a 矢視図</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p>ボルト種類 : HTB M22 本 数 : 15 本×2 @1,000mm</p> </div> |

図-2 (1) 一般部接合部詳細



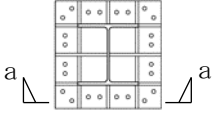
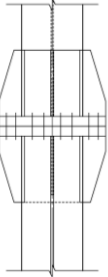
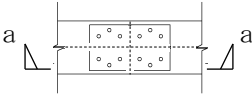
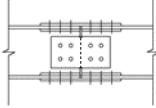
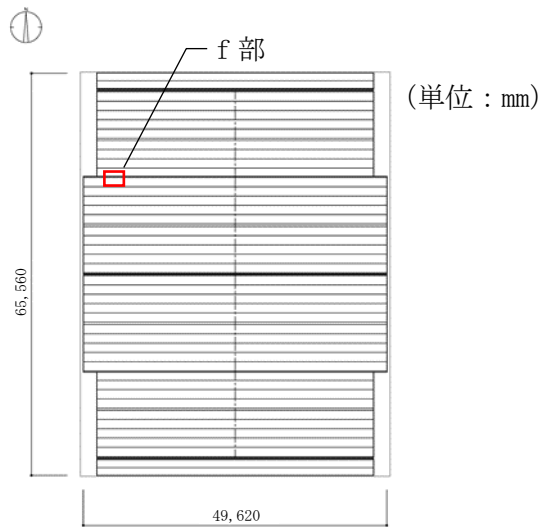
| (d) 柱 材 | (e) 梁 材 |
|--|---|
|  <p>断面図</p>  <p>a-a 矢視図</p> <div data-bbox="451 1621 761 1733" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>ボルト種類 : SHTB M24 本 数 : 24 本</p> </div> |  <p>断面図</p>  <p>a-a 矢視図</p> <div data-bbox="831 1621 1141 1733" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>ボルト種類 : SHTB M24 本 数 : 16 本×2</p> </div> |

図-2 (2) 燃料取扱設備支持部接合部詳細



屋根伏図

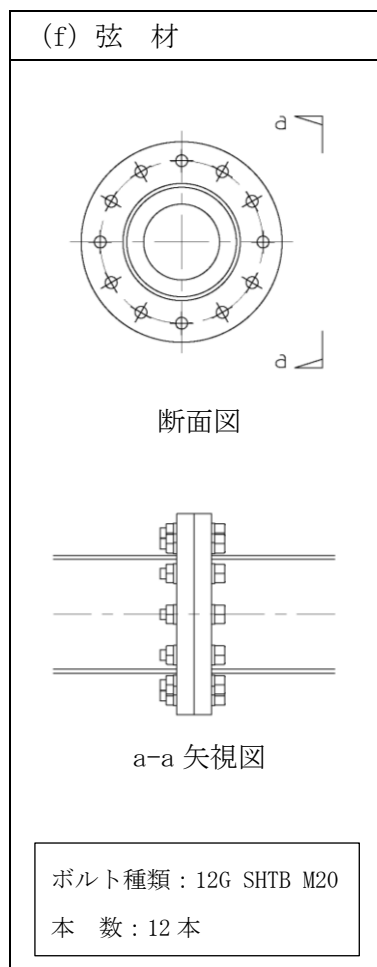
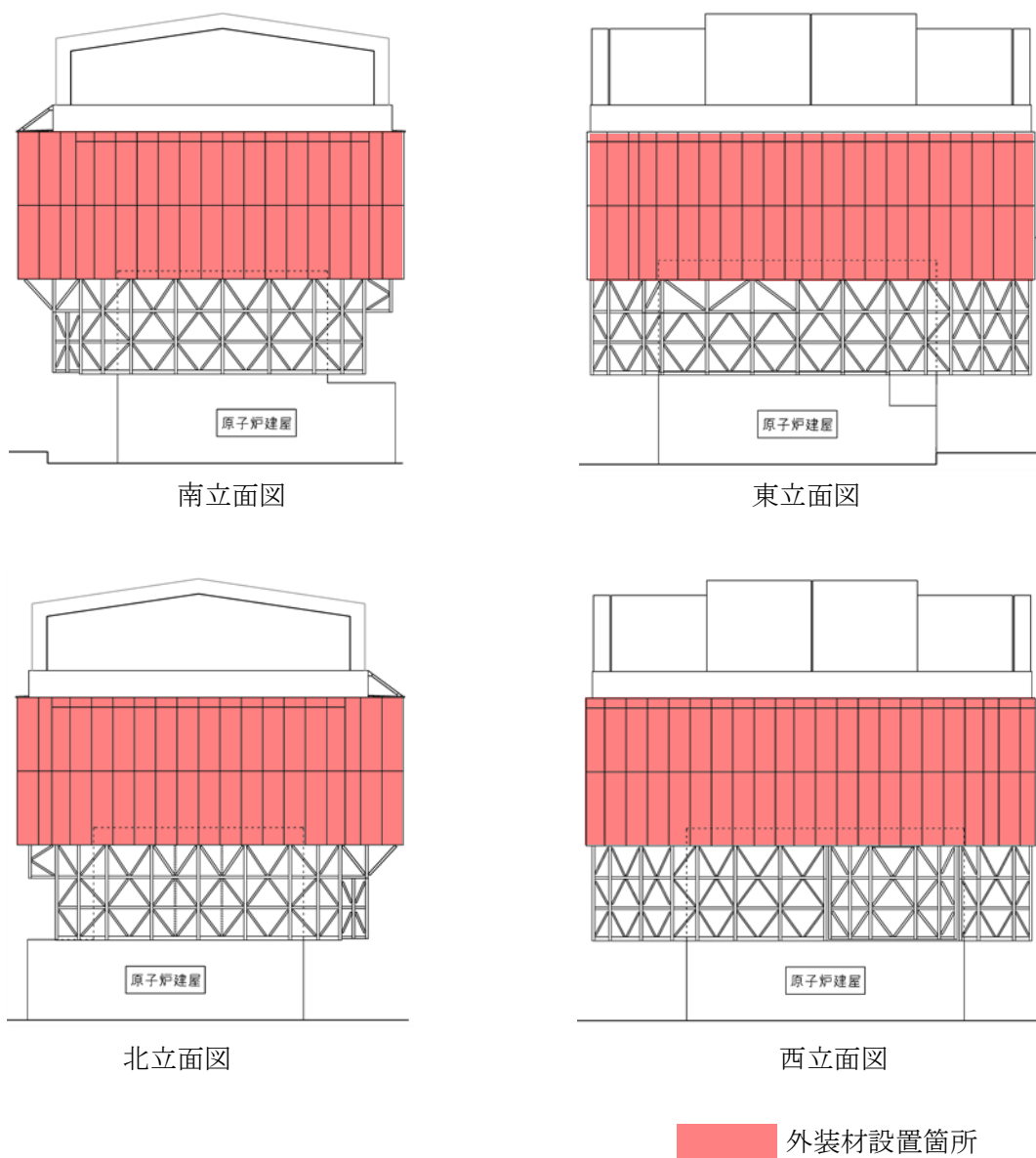


図-2 (3) 屋根部接合部詳細



图一 3 外装材設置範圍图

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。

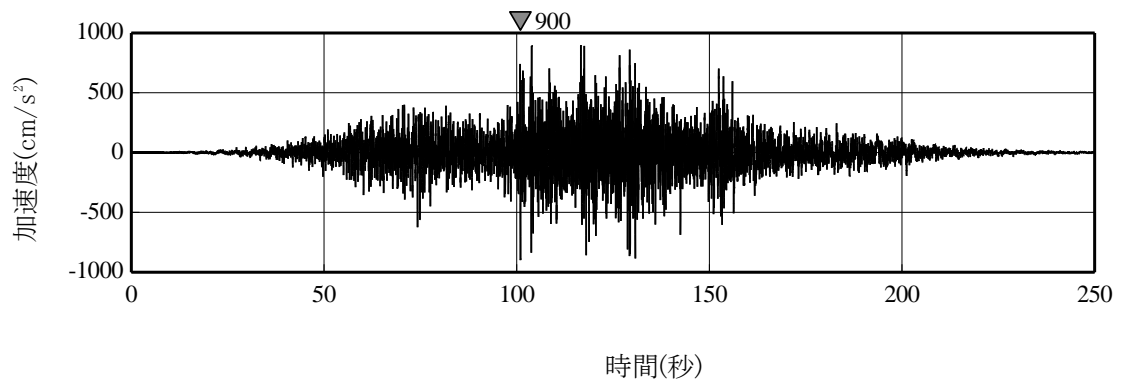
2. 模擬地震波の作成方針

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。

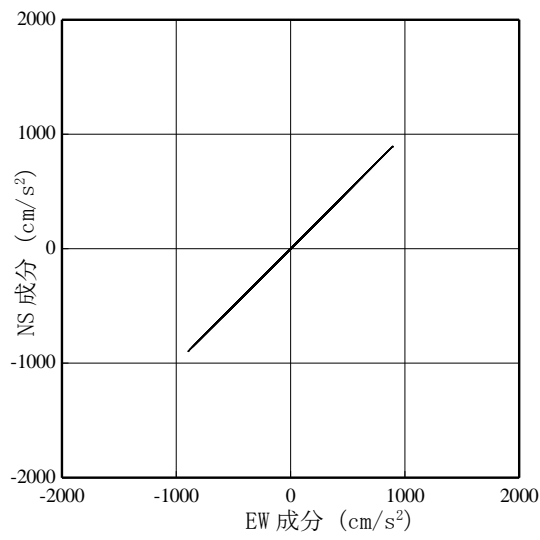
Ss900-1の位相は、2011年東北地方太平洋沖地震において福島第一原子力発電所内の地震観測記録のNS方向の位相を基に模擬地震波を作成している。そこで組み合わせる地震動は、同一の方法でNS方向と直交するEW方向の位相を基に作成した模擬地震波とする。

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。

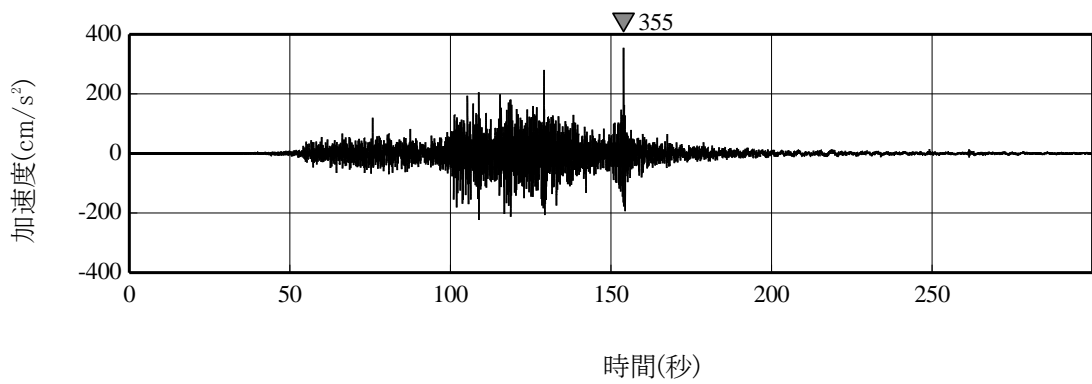
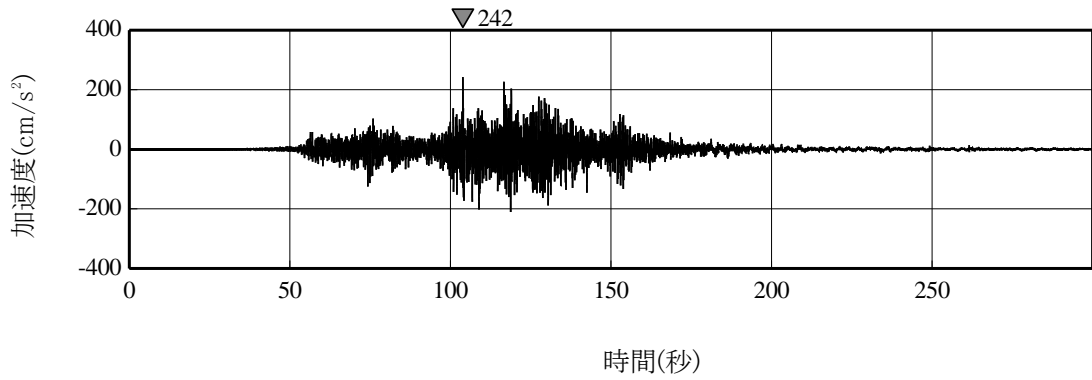


(a) 加速度時刻歴波形

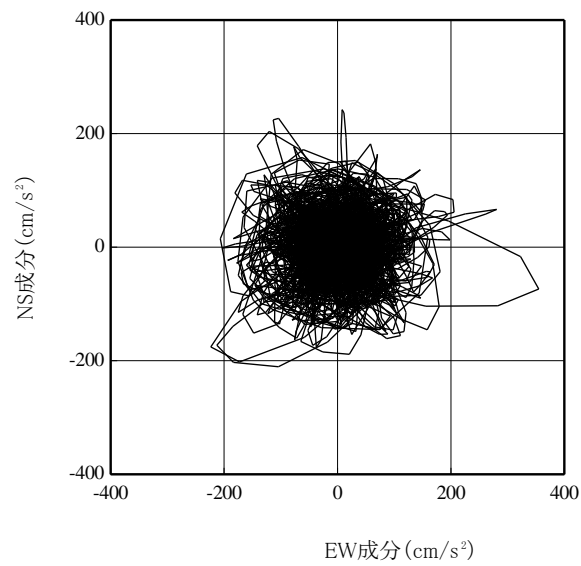


(b) 水平 2 方向の加速度成分のオービット

図 2.1-1 Ss900-1

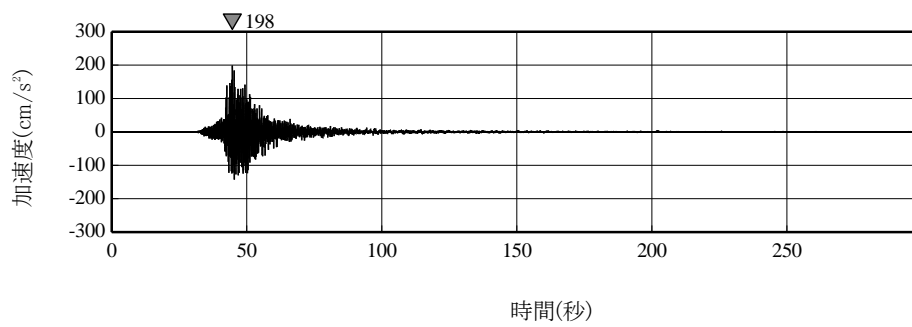
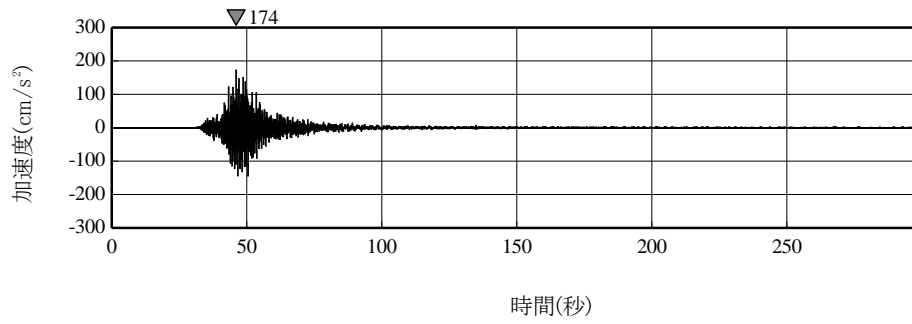


(a) 加速度時刻歴波形

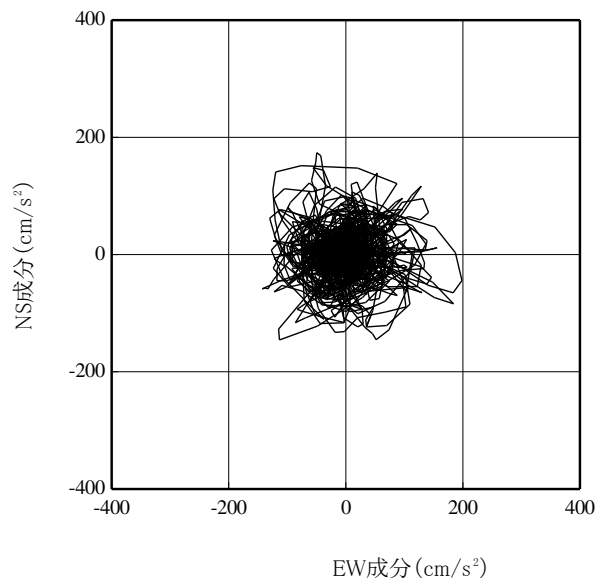


(b) 水平2方向の加速度成分のオービット

図 2.1-2 3.11 地震観測記録 (自由地盤観測点)

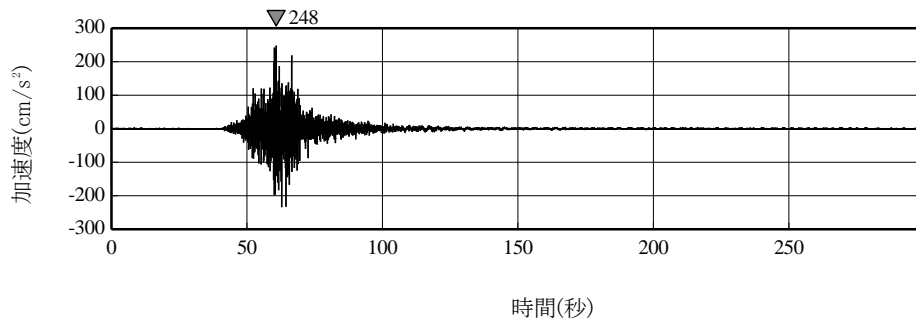


(a) 加速度時刻歴波形

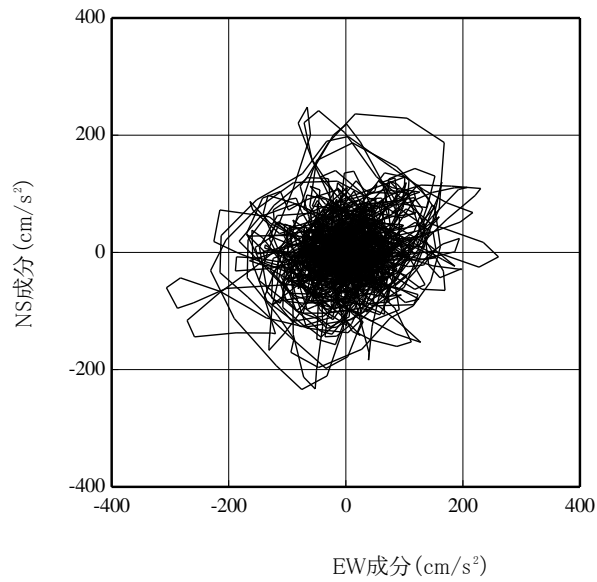


(b) 水平 2 方向の加速度成分のオービット

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

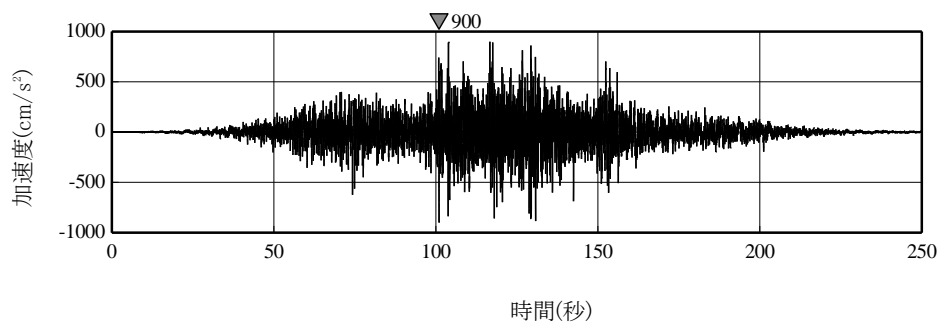


(b) 水平2方向の加速度成分のオービット

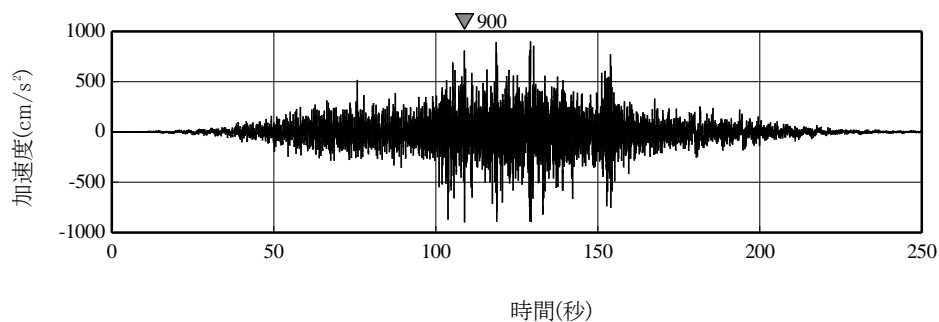
図 2.1-4 3.16 の福島県沖の地震観測記録 (自由地盤観測点)

3. 位相特性の異なる模擬地震波の作成結果

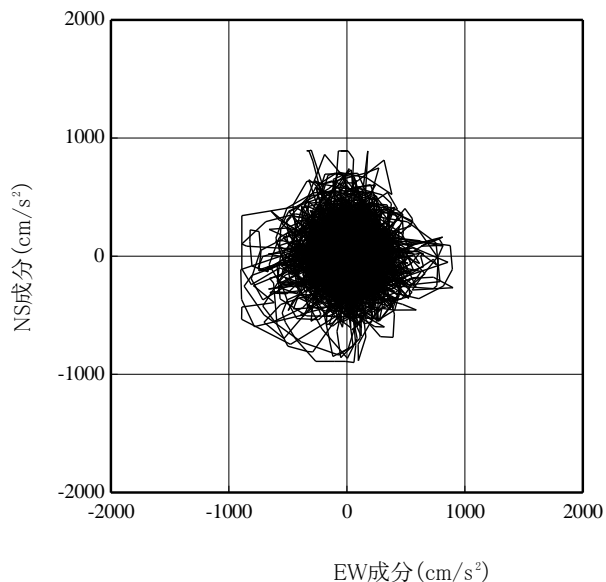
Ss900-1 及び Ss900-1 と組み合わせる模擬地震波の加速度時刻歴波形及びそれぞれの地震波を2方向入力した場合のオービット及び応答スペクトルを図 2.1-5 に示す。



(a) Ss900-1 の加速度時刻歴波形

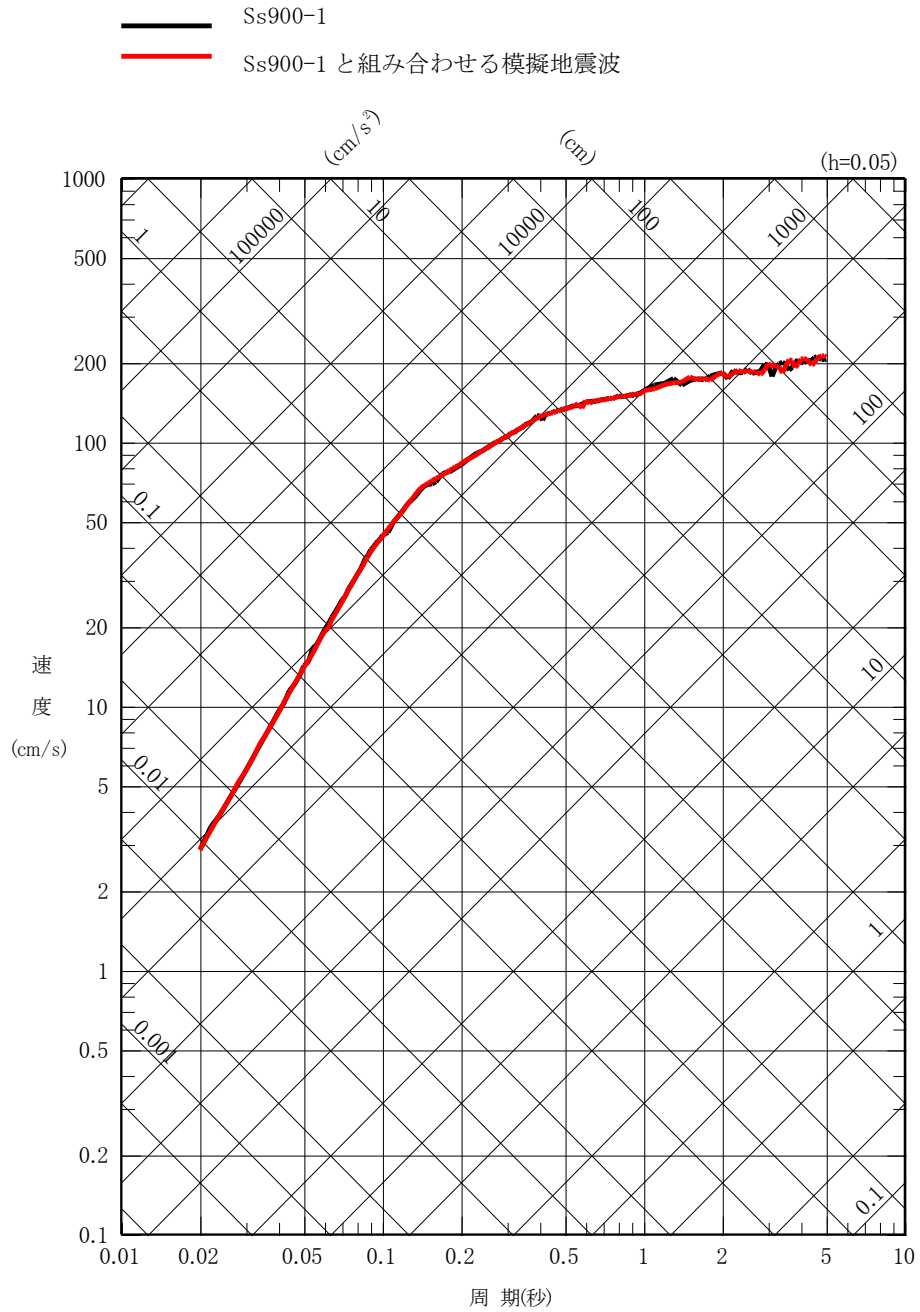


(b) Ss900-1 と組み合わせる模擬地震波の加速度時刻歴波形



(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。

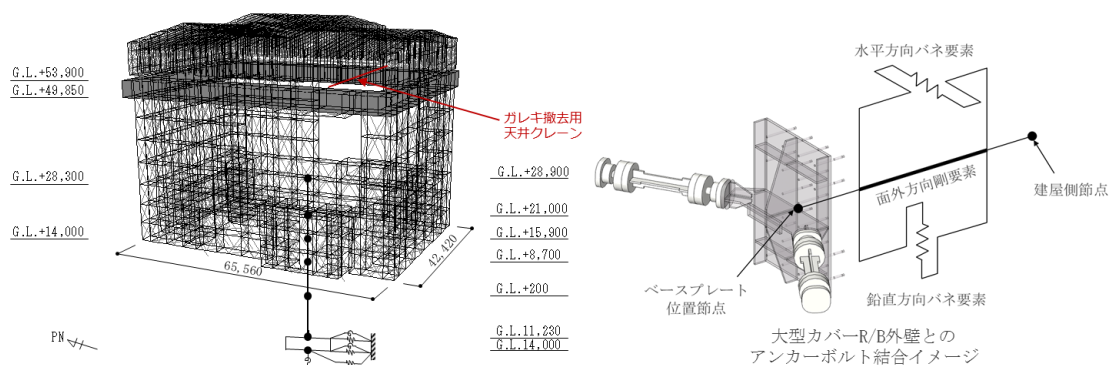


図 1.2.1-1 解析モデル

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 $\alpha = 1.2$ ）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

$$\sigma^2 + 3\tau^2 \leq \sigma_y^2$$

$$\Rightarrow \left(\frac{A\sigma}{A\sigma_y}\right)^2 + \left(\frac{A\tau}{A\sigma_y/\sqrt{3}}\right)^2 \leq 1$$

$$\therefore \left(\frac{P}{P_u}\right)^2 + \left(\frac{Q}{Q_u}\right)^2 \leq 1$$

A : アンカーボルトの断面積 (mm²)

P_u : アンカーボルトの終局引張耐力 (kN)

Q_u : 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)

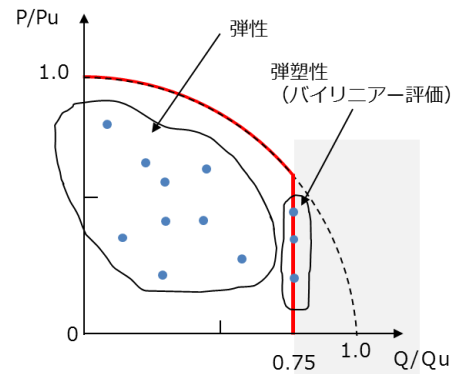


図 1.2.3-1 バイリニア評価の概要

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、

$$\frac{Q}{Q_u} \leq 0.75$$

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。

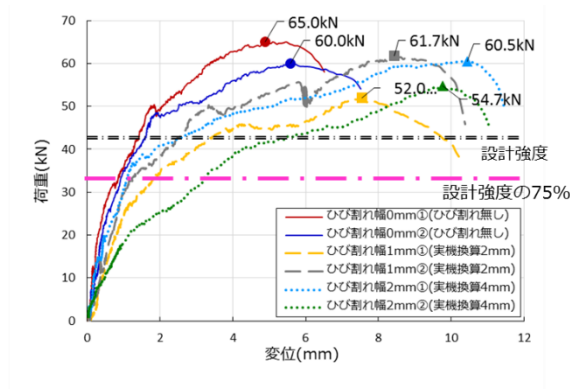


図 1.2.3-2 せん断実験結果（荷重変位関係）

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 | 0. 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 | 0. 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 | 0. 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 | 0. 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 | 0.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 | 0.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）

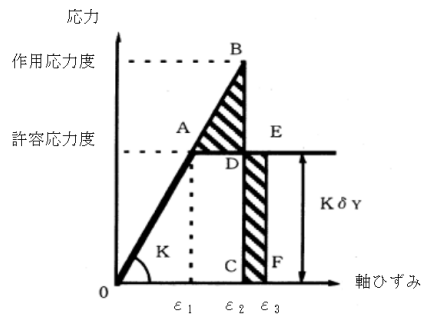
| 部位 (アンカー本数) | 地震条件 | | 最大反力 | | 終局強度 | | 耐力比 | 判定 |
|-----------------|-------|-----------|-------------|--------------|------------|-------------|------|------|
| | | | 引張力 (kN) | せん断力 (kN) | 引張 (kN) | せん断 (kN) | | |
| アンカーボルト (16) | Ss900 | +NS+EW+UD | 1427 | 1837 | 4448 | 3088 | 0.60 | 0.K. |

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 | 0.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 $\varepsilon_3/\varepsilon_1$ (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、カバー全体の变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、カバー全体の变形に影響を与えるほど塑性化していない。

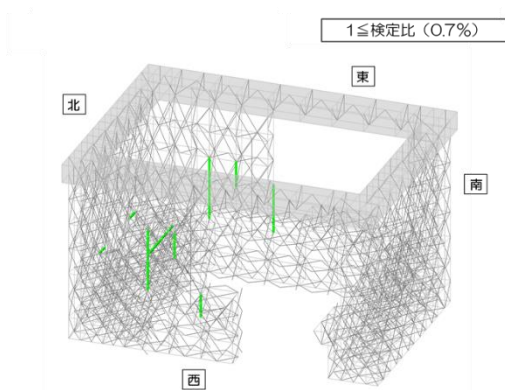


図 1.2.4-2

柱梁部材検定比1を超える割合図

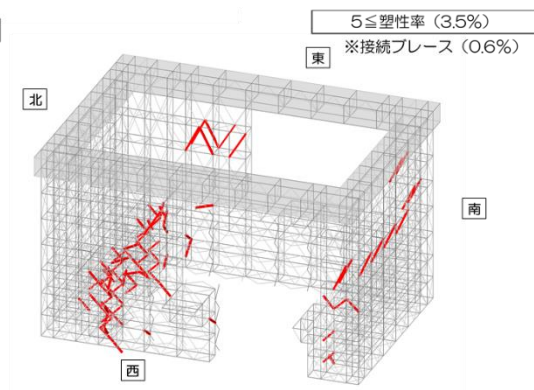


図 1.2.4-3

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} n_i | 評価基準 ^{※2} (破断寿命) N_p | $\frac{n_i}{N_p}$ | 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。

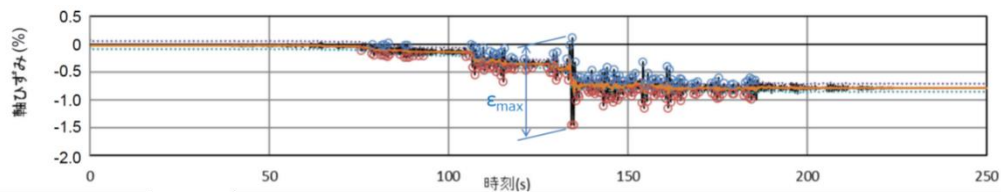


図 1.2.5-1 軸ひずみ時刻歴波形

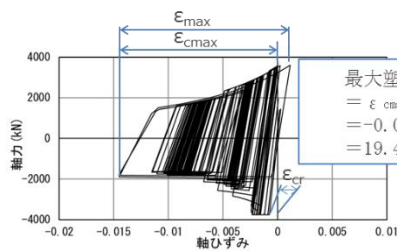


表 1.2.5-2 設定ひずみ振幅と疲労寿命

| 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。

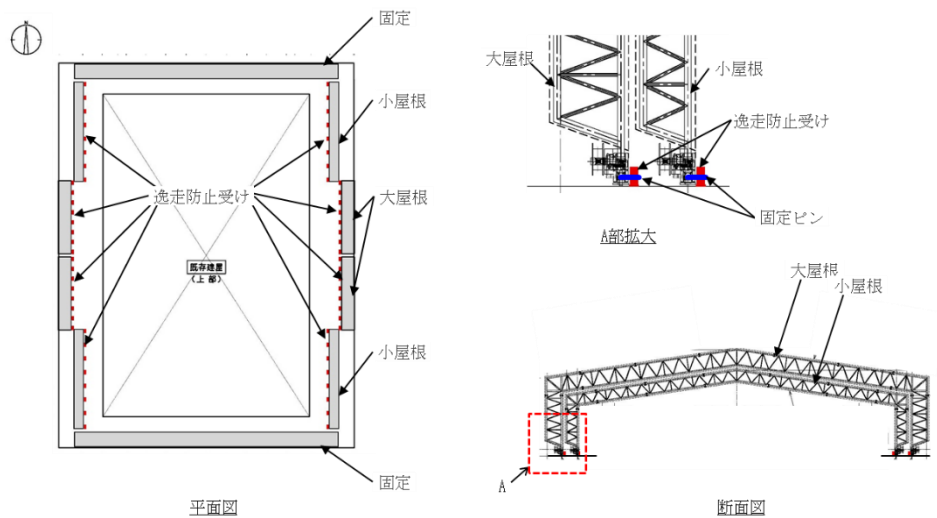


図 1.2.6-1 屋根部の逸走防止受けの概要

| せん断力Q (kN) | せん断耐力Qu (kN) | 検定比 | 判定 |
|---------------|-----------------|------|-------|
| 675 | 2710 | 0.25 | 0. K. |

$$Q = W \cdot K_H / 8$$

$$Q_u = n \cdot F_{qu}$$

- Q : 逸走防止受け1箇所あ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)
- F_{qu} : ボルトの最大せん断耐力 (271kN)
(HTB M24最大せん断耐力 (一面))

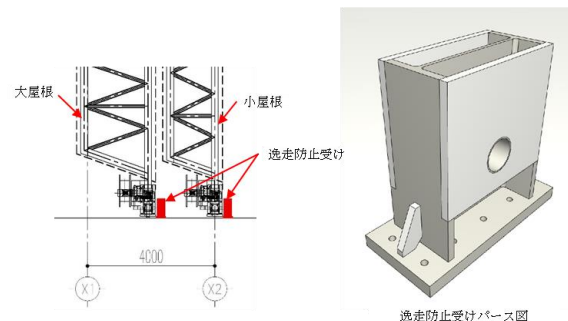


図 1.2.6-2 落下防止の検討

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。

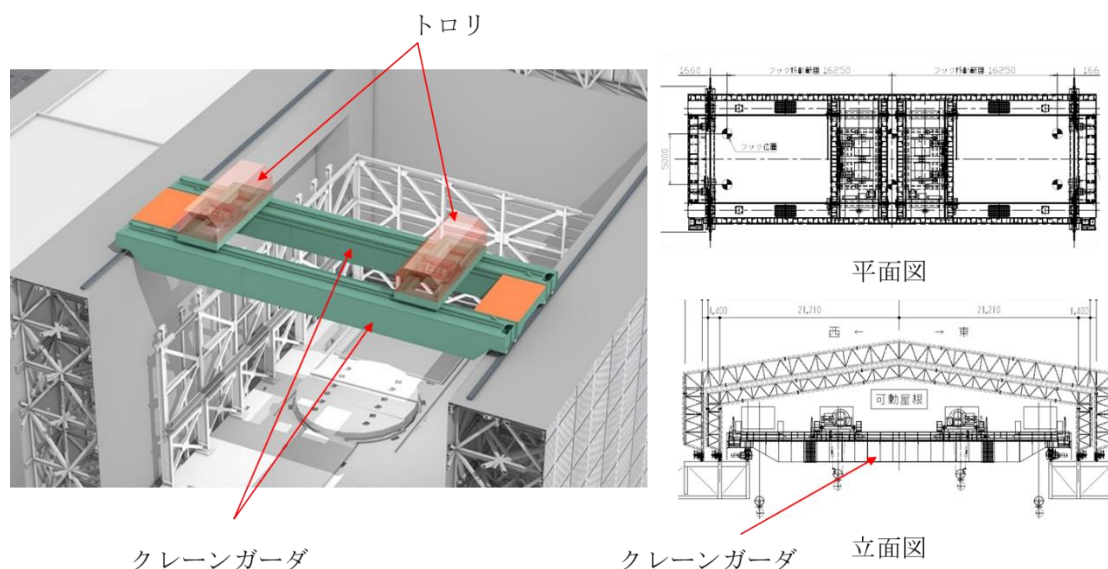


図 1.2.7-1 天井クレーンの概要図

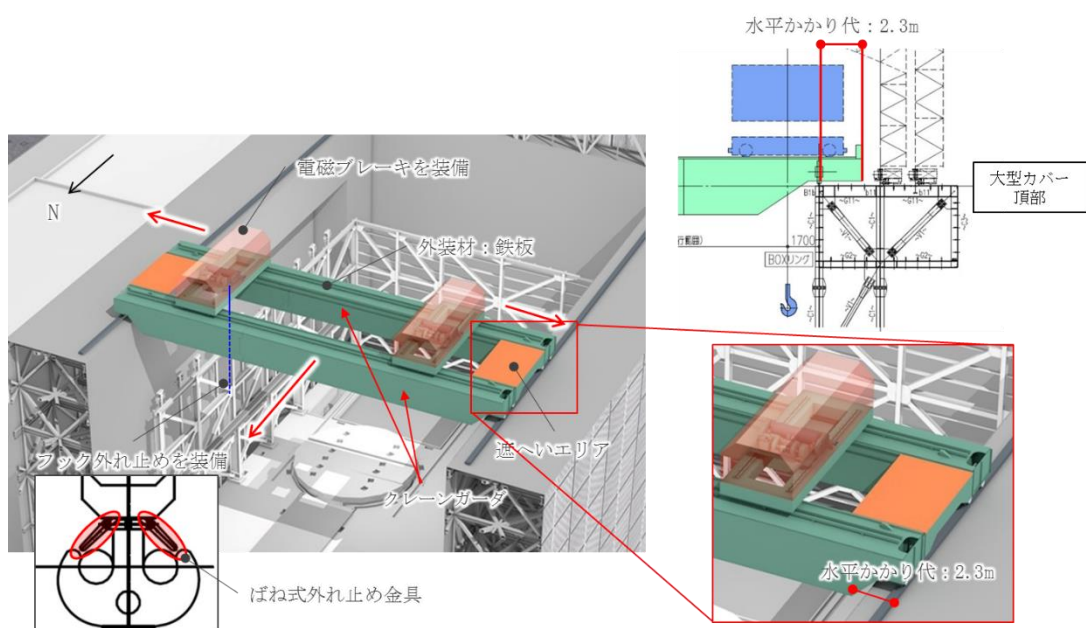
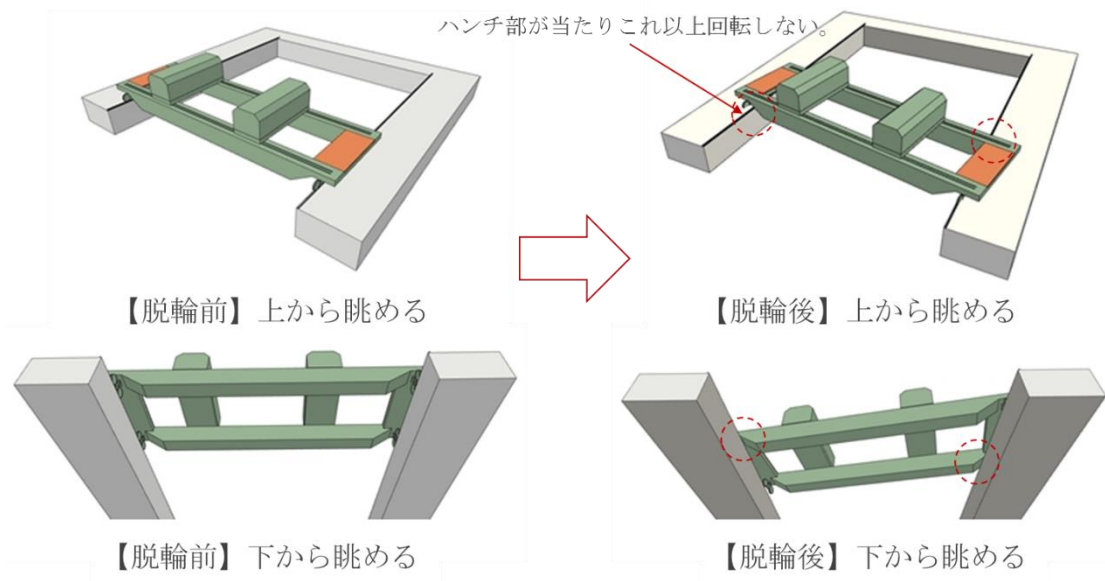
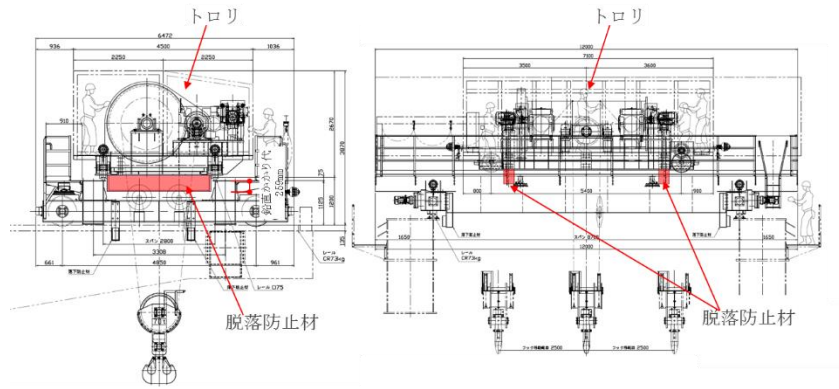


図 1.2.7-2 天井クレーン安全対策の概要図

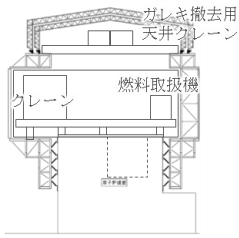
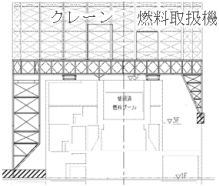
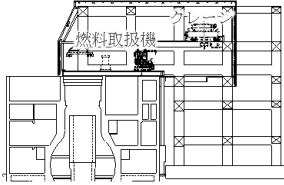


トロリの脱落防止材（赤色部：H-900×300×16×28(SS400)）

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 |

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

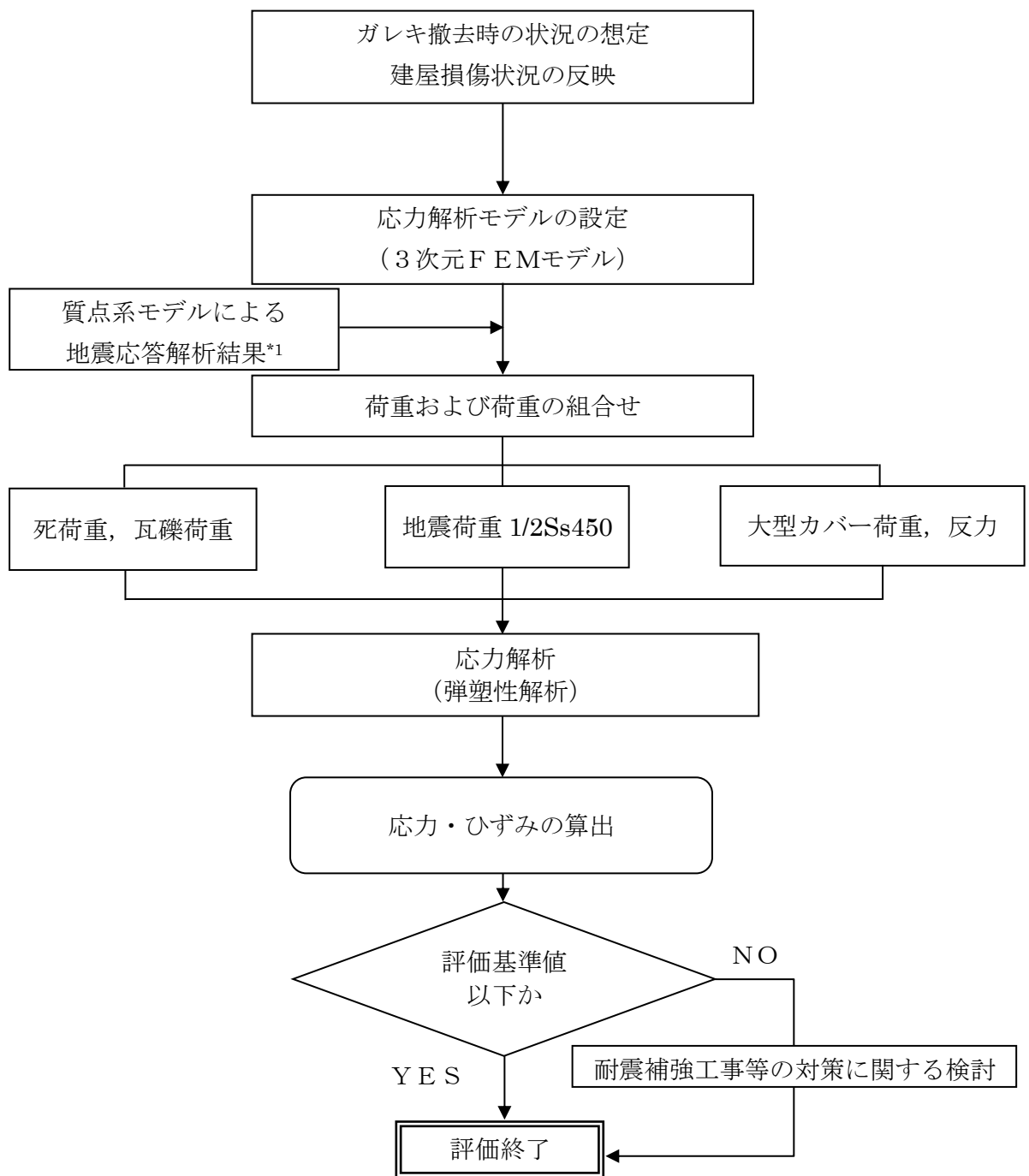
大型カバーは、原子炉建屋の外壁面に支持されており、原子炉建屋に波及的影響を及ぼさない設計としている。本章では、事前の外壁調査結果やその他損傷状況を反映し、かつ瓦礫撤去時の荷重状態を想定した原子炉建屋の 1/2Ss450 に対する 3次元 FEM 解析により、原子炉建屋外壁の耐震安全性評価を実施する。

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。

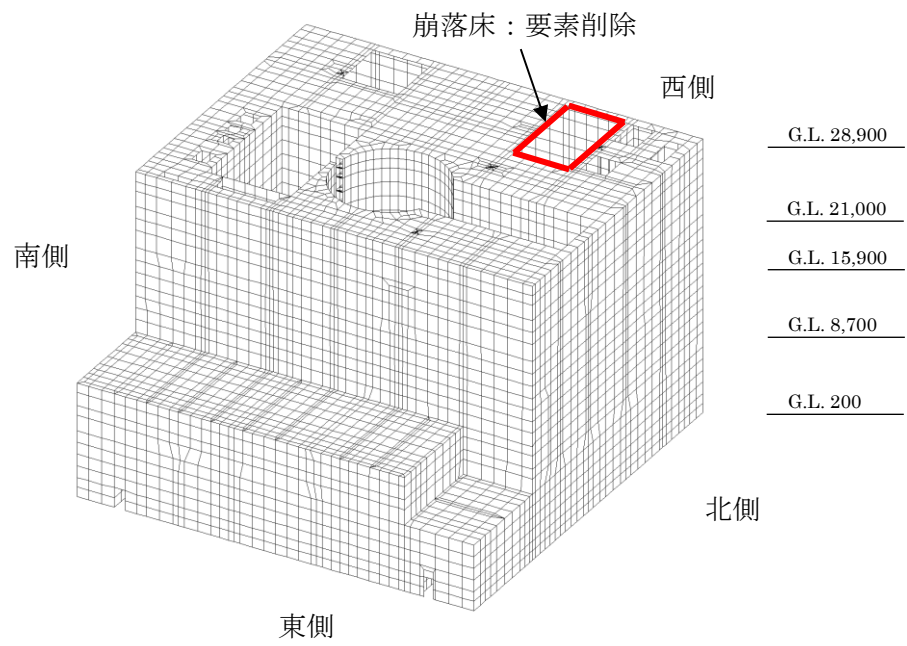


図-1.2 解析モデル概要図

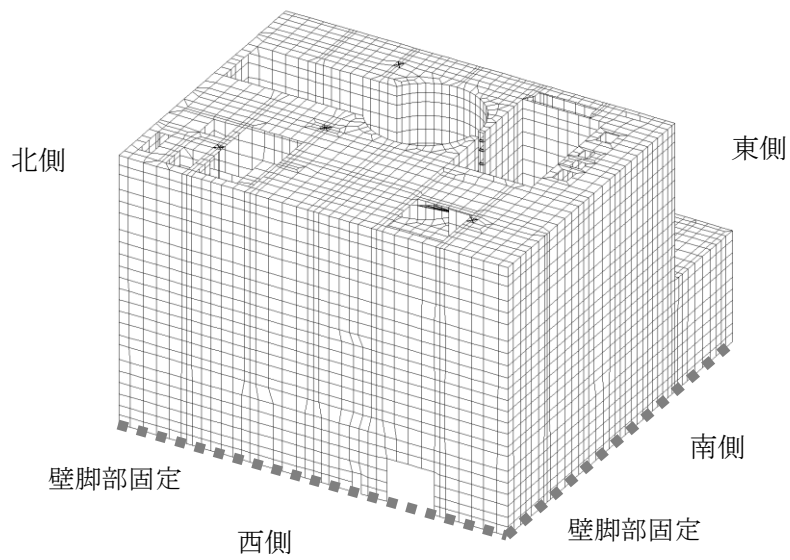
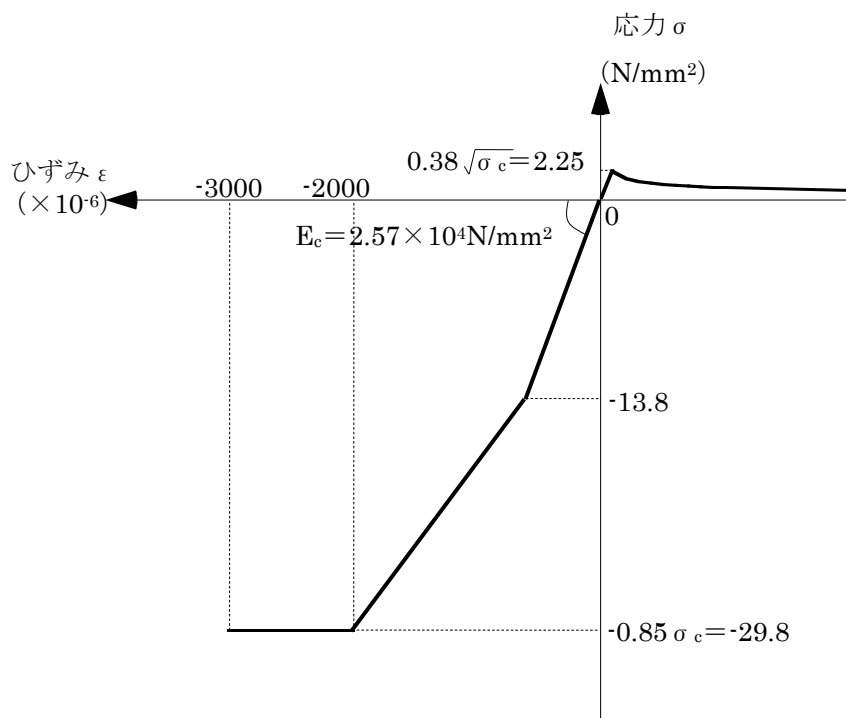
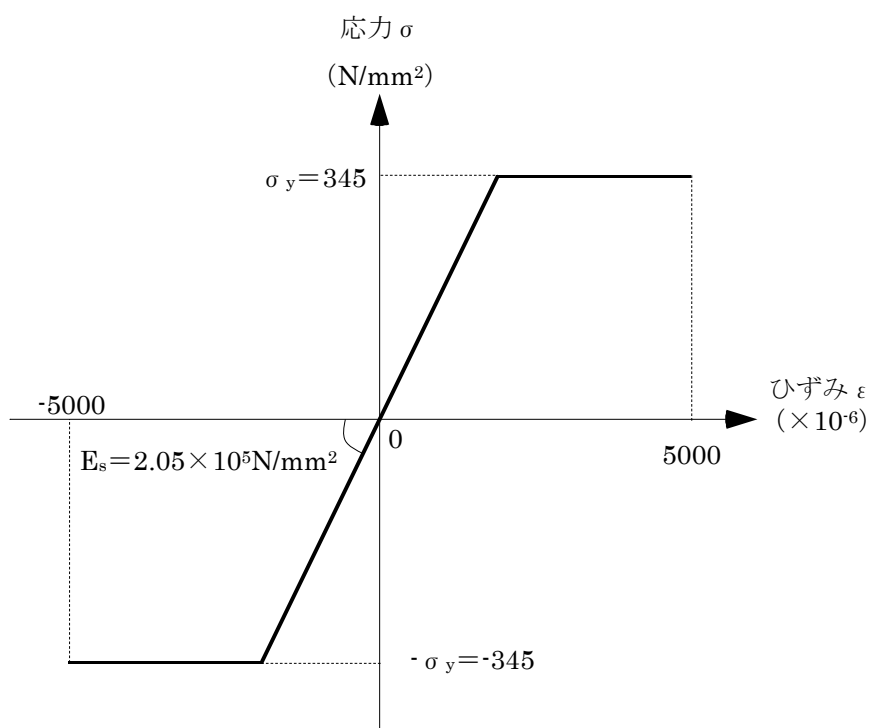


図-1.3 解析モデルの境界条件



(a) コンクリートの応力-ひずみ関係 (コンクリート強度 $\sigma_c = 35$ N/mm²)



(b) 鉄筋の応力-ひずみ関係 (鉄筋降伏点 $\sigma_y = 345$ N/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。

$$Q_d = bj\alpha f_s$$

$$\text{ただし, } \alpha = \frac{4}{\frac{M}{Q_d} + 1} \quad \text{かつ } 1 \leq \alpha \leq 2$$

ここで、

- Q_d : 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

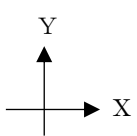
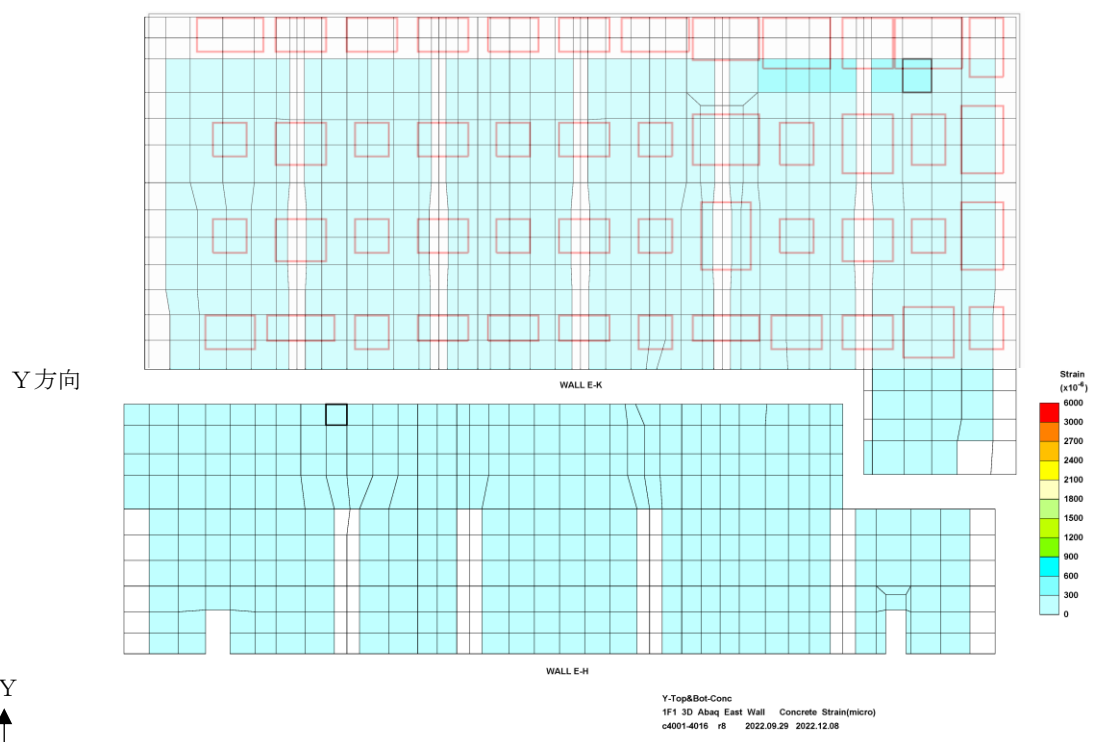
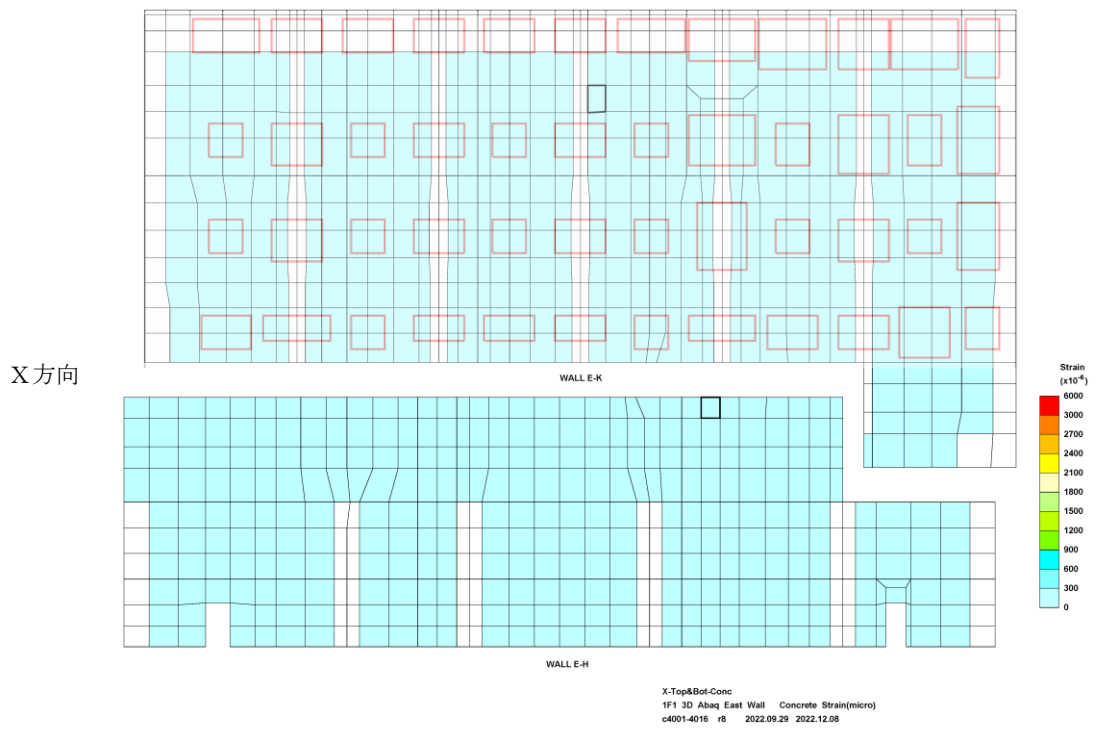
発生ひずみ及び面外せん断力の発生応力と評価基準値の比(検定比。1以下で評価基準値を満足する。)を示した結果を図-1.5~図-1.16に、各面の最大値一覧を表-1.3に示す。いずれの箇所においても発生ひずみ及び面外せん断力は許容限界以内であり、評価基準値を十分に下回っている。このことから、瓦礫撤去時の状況において、大型カバーが取りつく建屋外壁は、耐震安全性を有しているものと評価した。

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 |

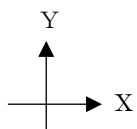
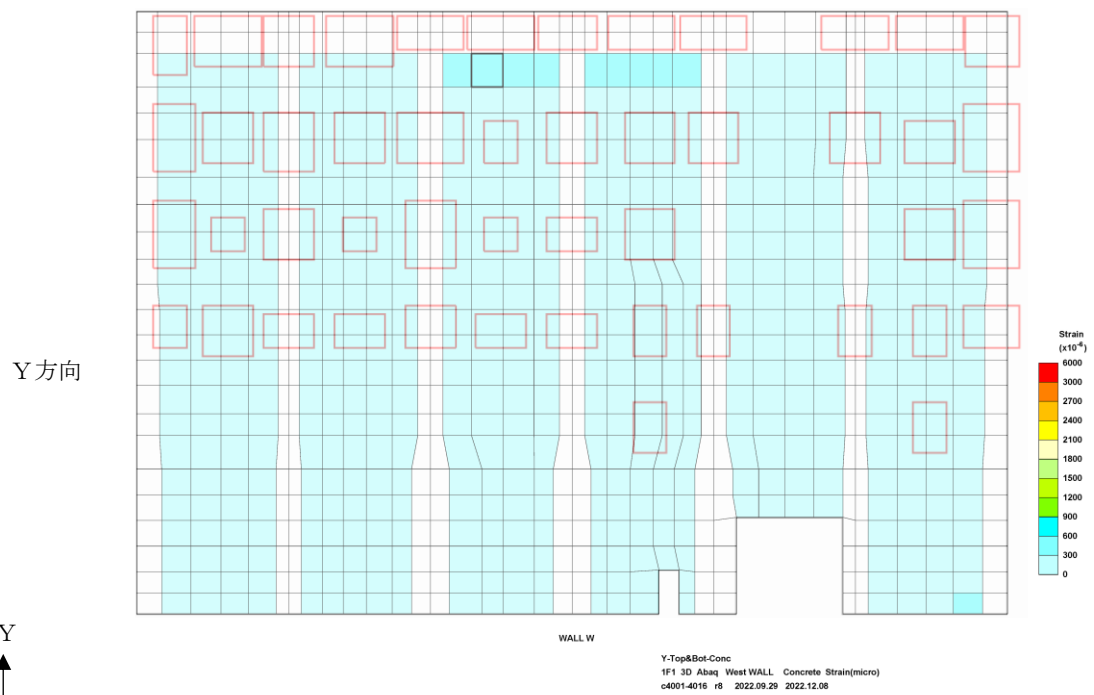
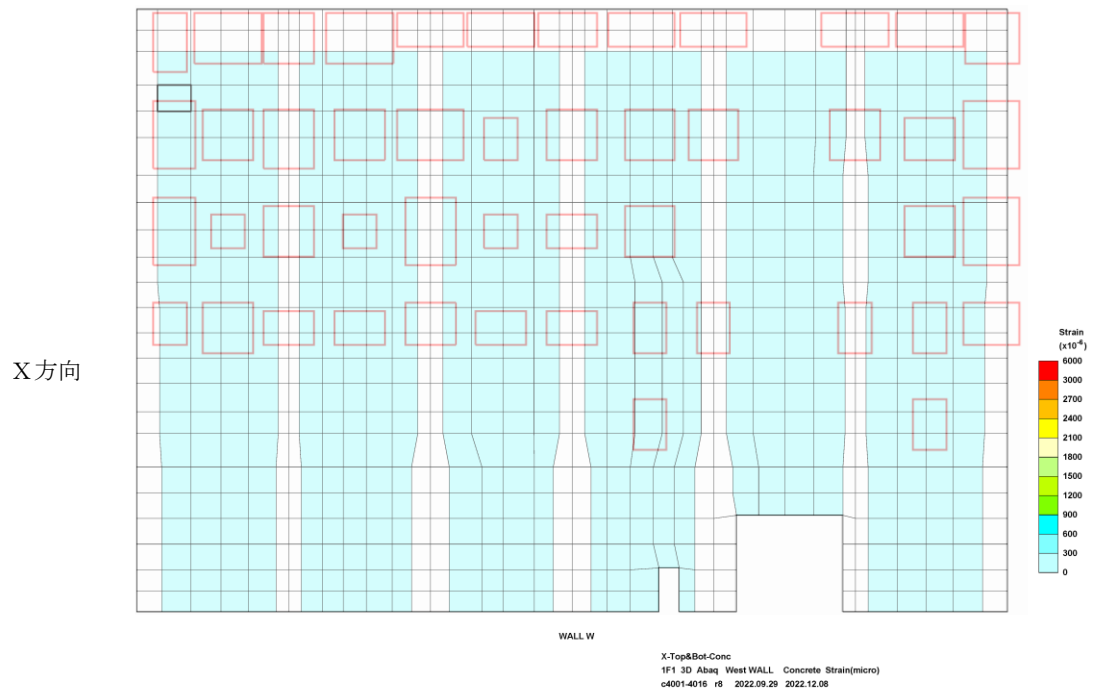
表-1.3 外壁各面の最大値一覧

| 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 |



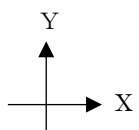
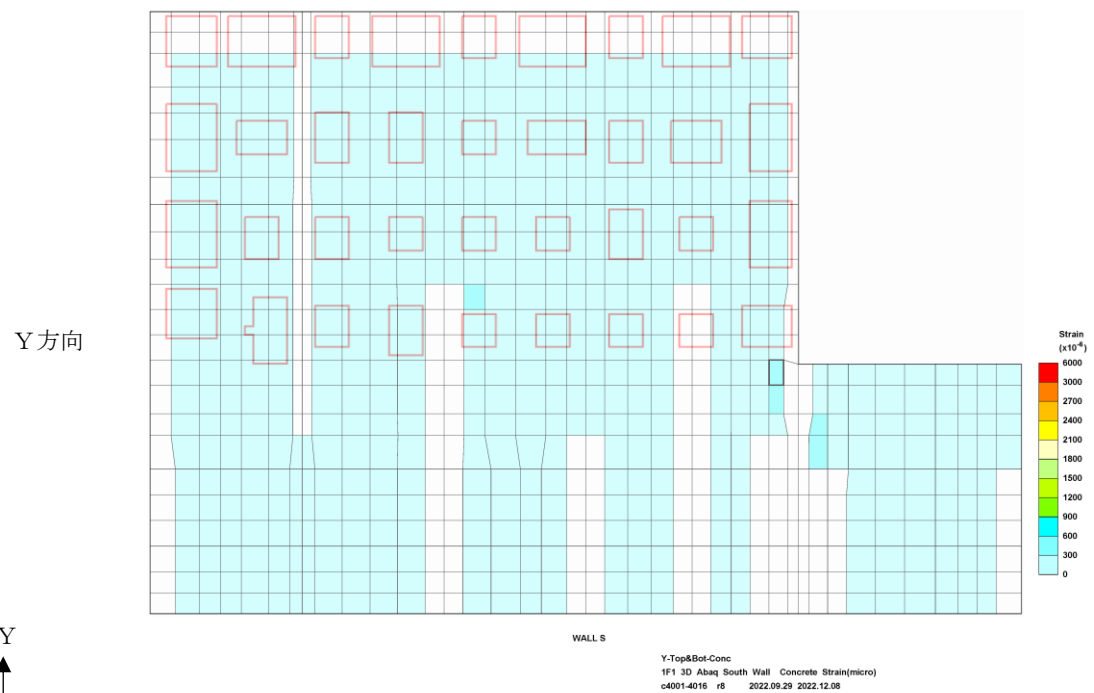
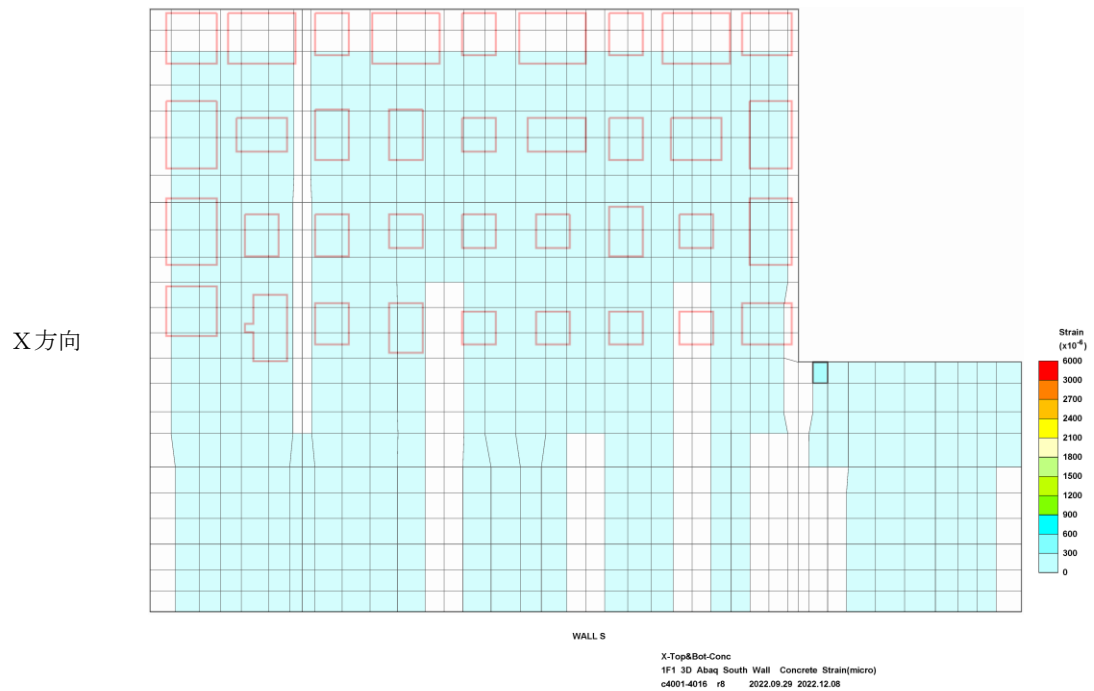
(图中赤枠はベースプレート設置位置を示す)

図-1.5 コンクリート圧縮ひずみの検定比 (建屋外壁東面)



(图中赤枠はベースプレート設置位置を示す)

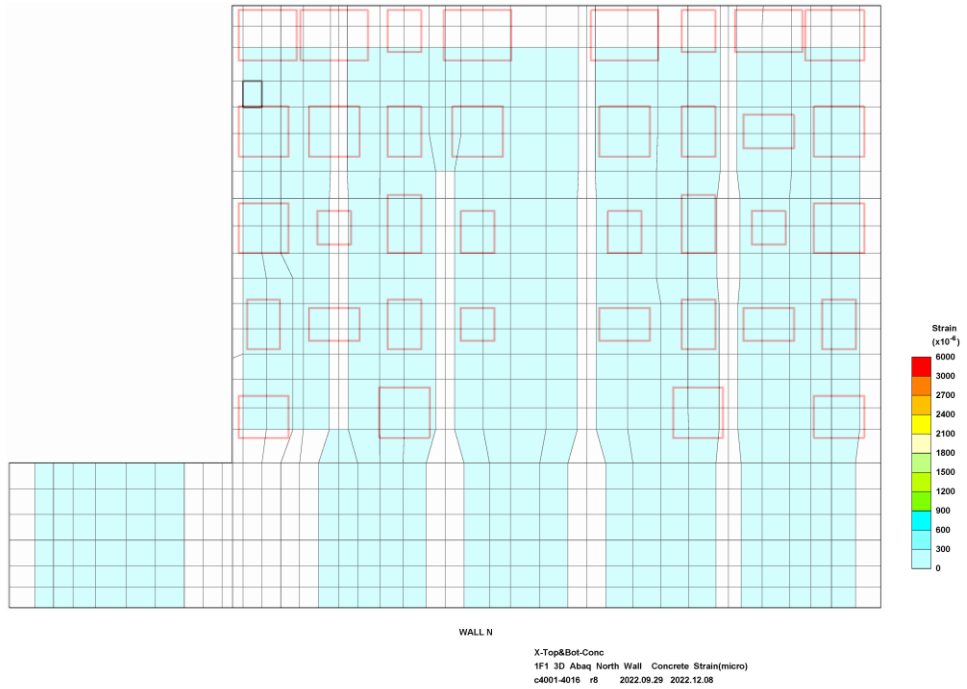
図-1.6 コンクリート圧縮ひずみの検定比 (建屋外壁西面)



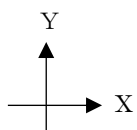
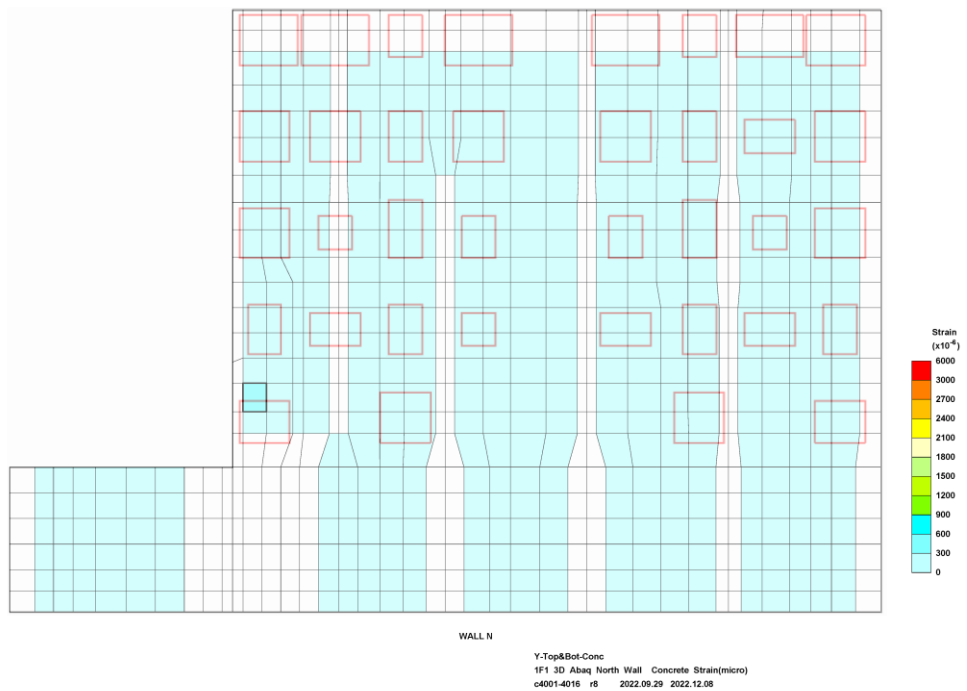
(图中赤枠はベースプレート設置位置を示す)

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

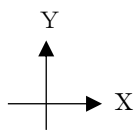
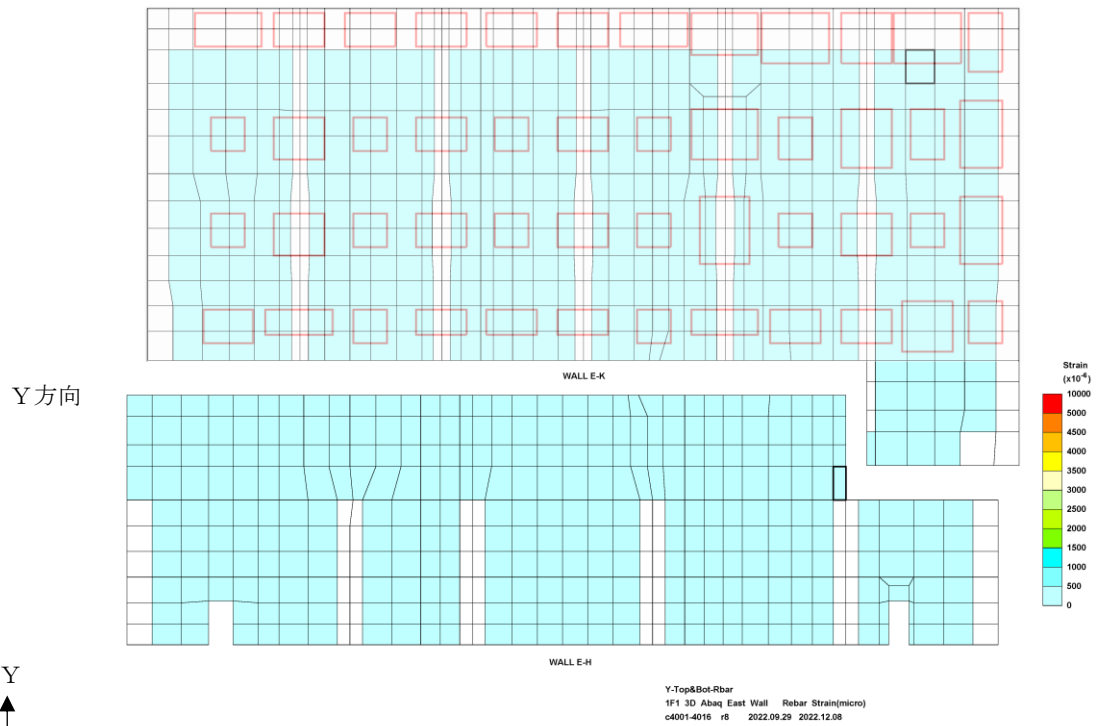
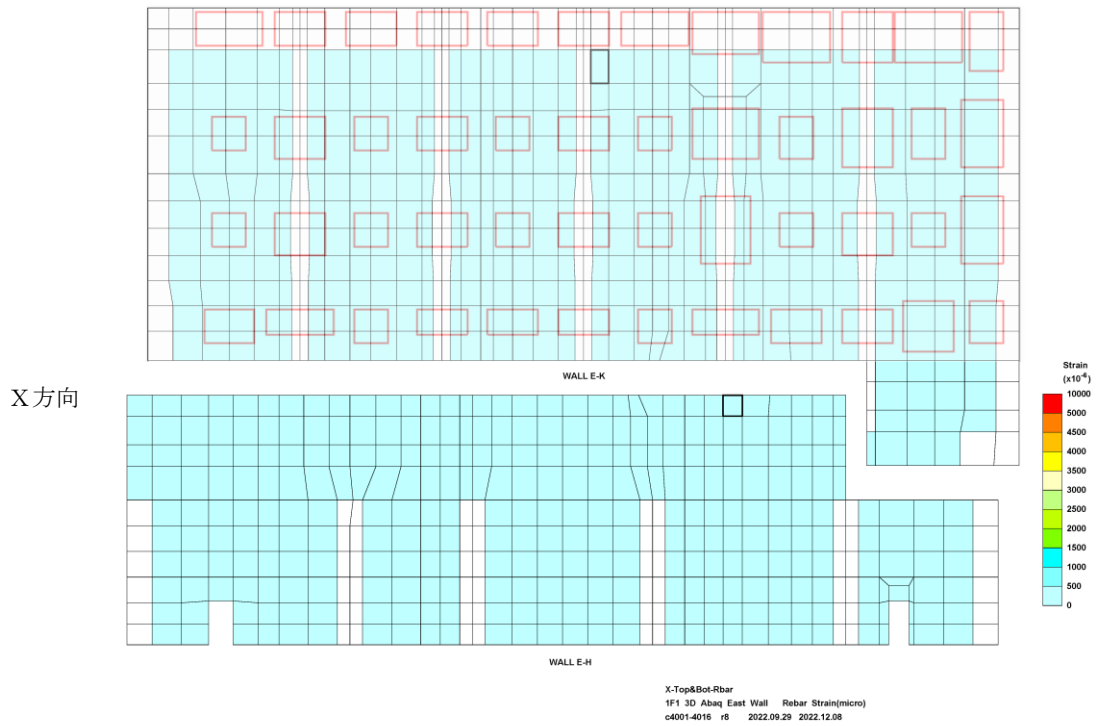


Y方向



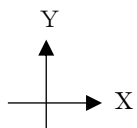
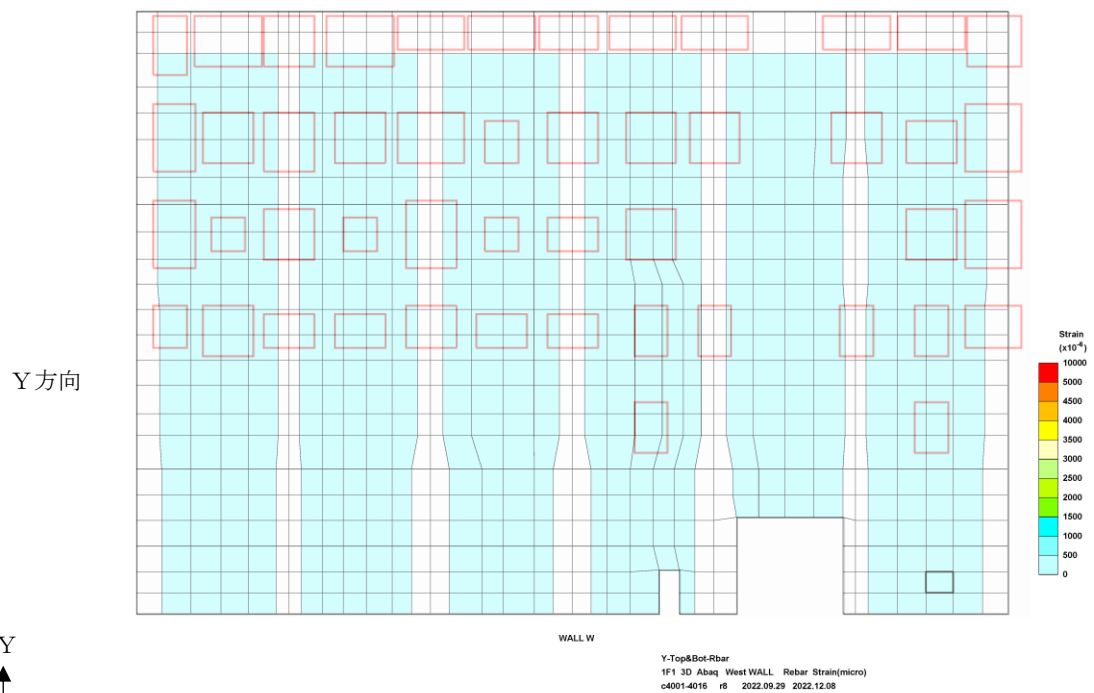
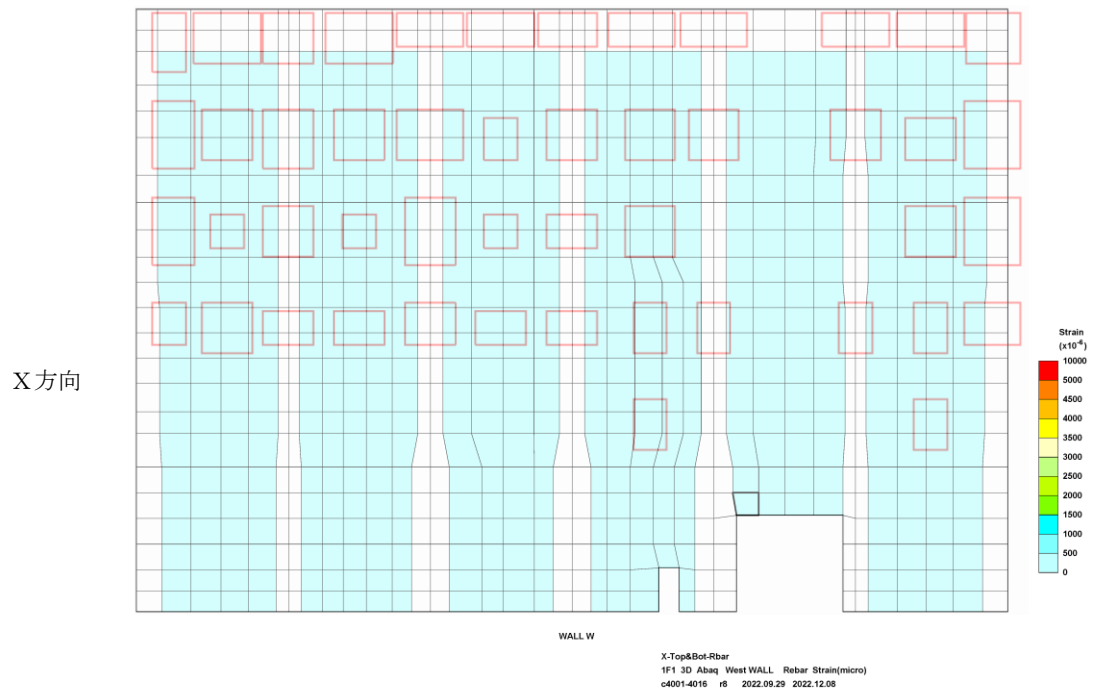
(图中赤枠はベースプレート設置位置を示す)

図-1.8 コンクリート圧縮ひずみの検定比 (建屋外壁北面)



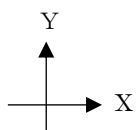
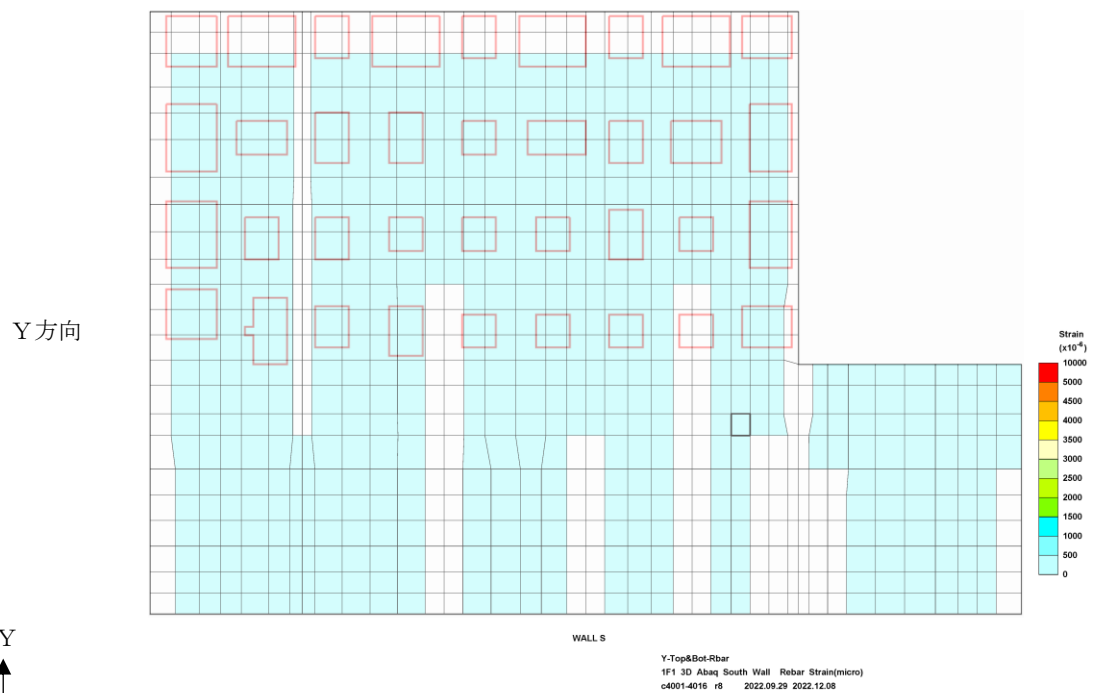
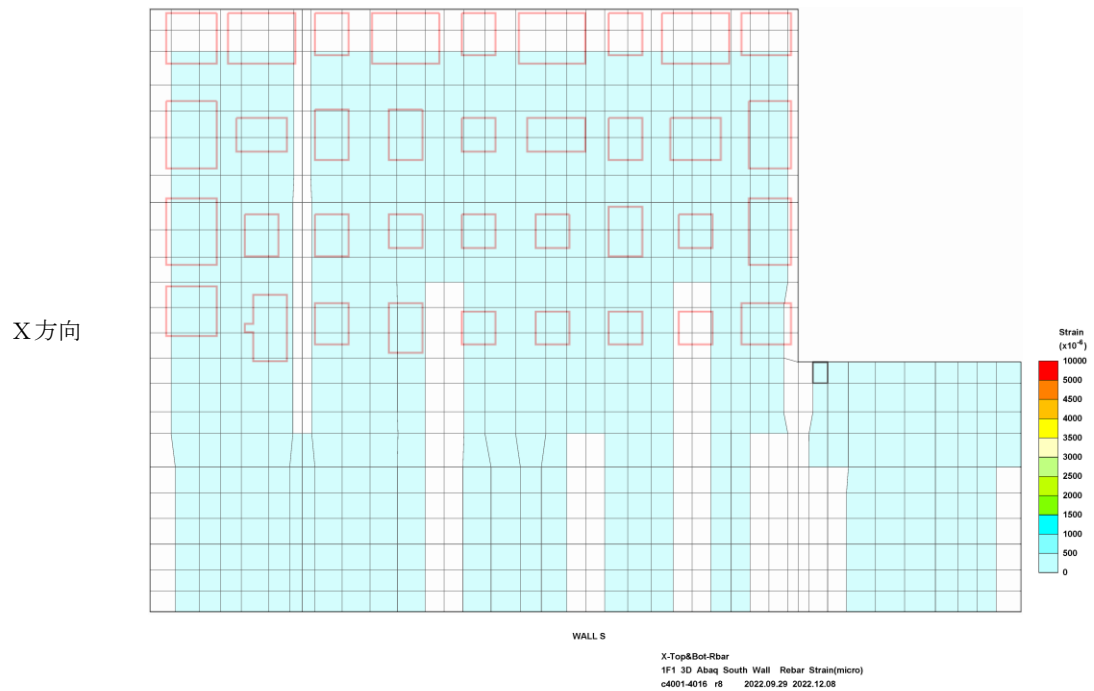
(图中赤枠はベースプレート設置位置を示す)

図-1.9 鉄筋ひずみの検定比 (建屋外壁東面)



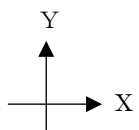
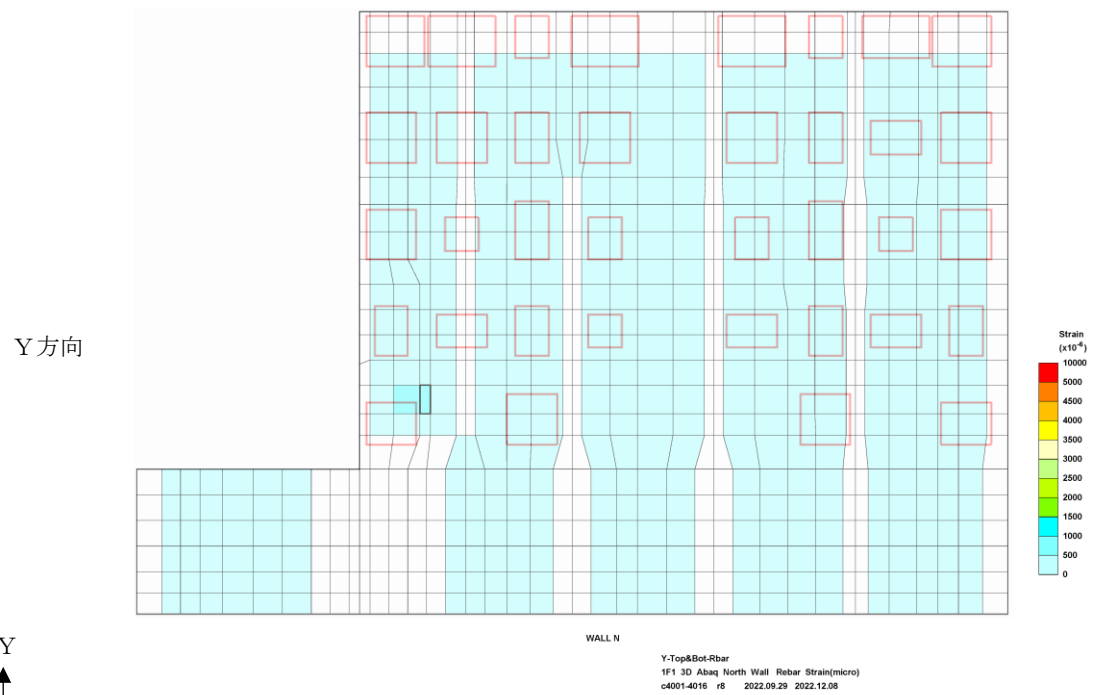
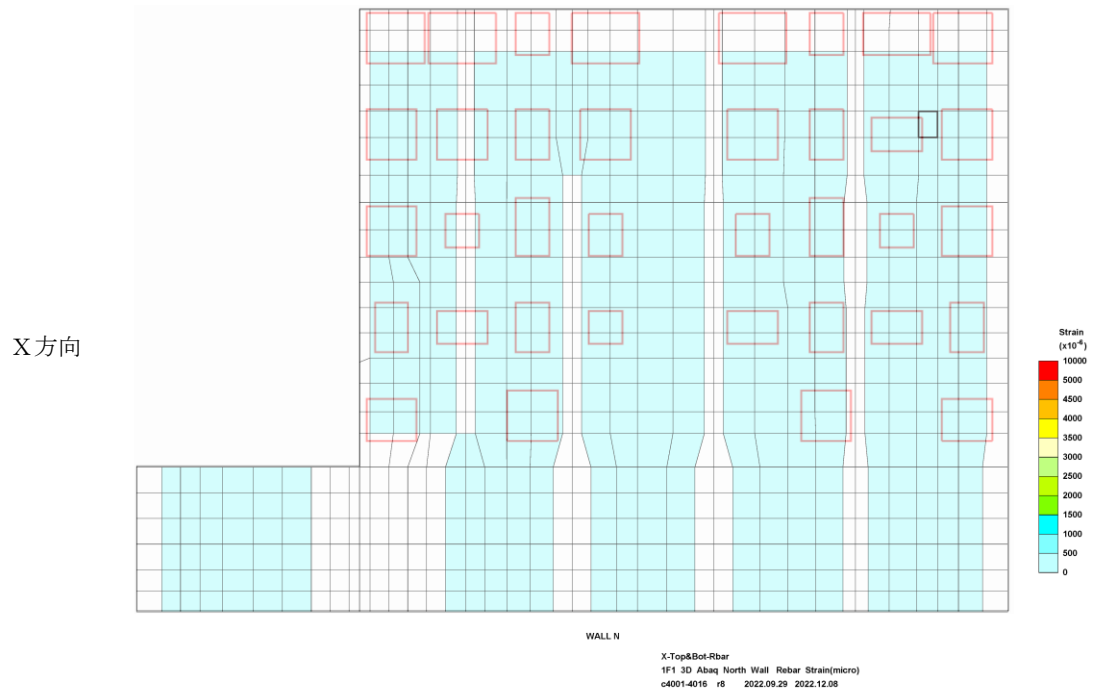
(图中赤枠はベースプレート設置位置を示す)

図-1.10 鉄筋ひずみの検定比 (建屋外壁西面)



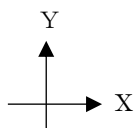
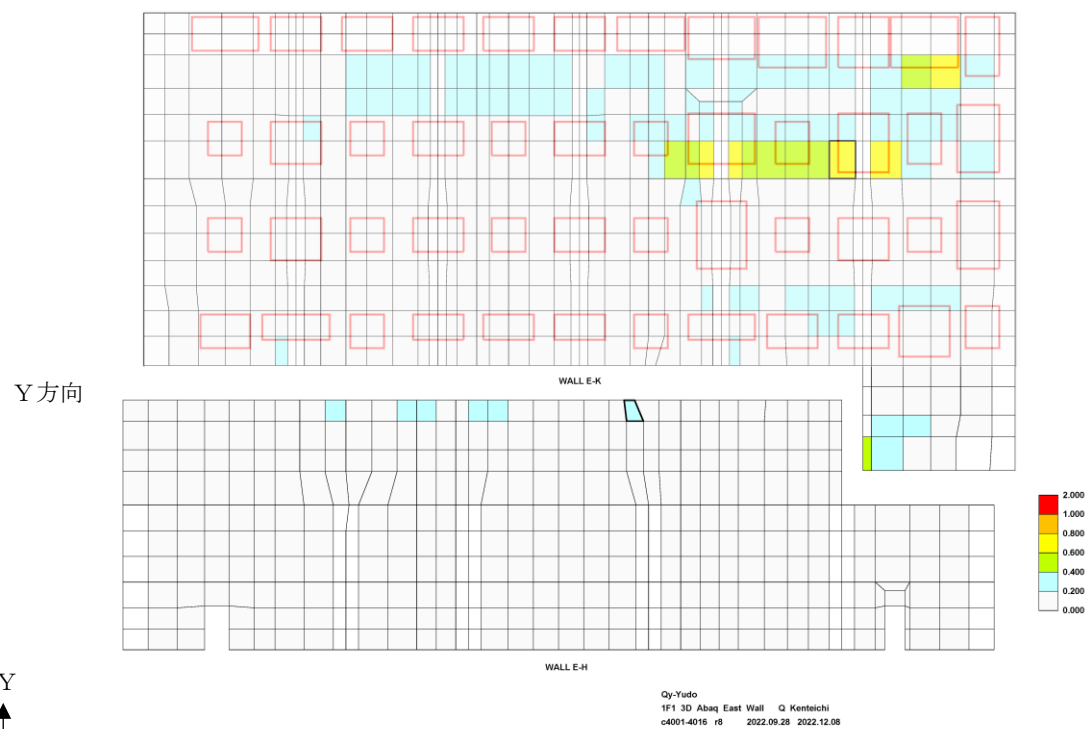
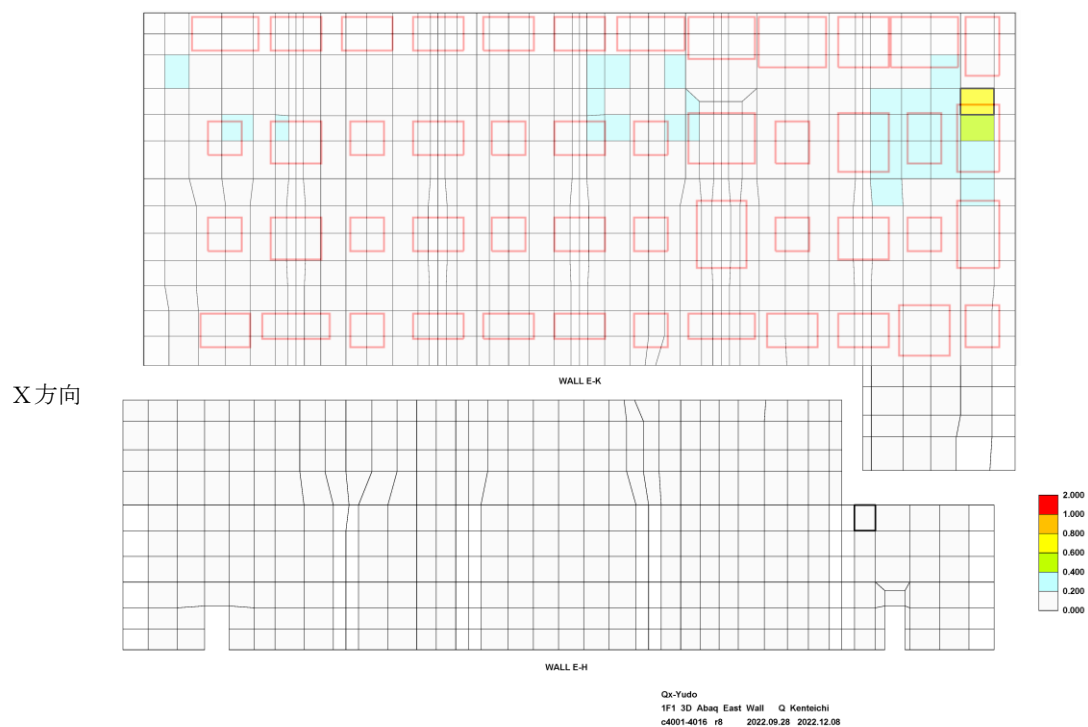
(图中赤枠はベースプレート設置位置を示す)

図-1.11 鉄筋ひずみの検定比 (建屋外壁南面)



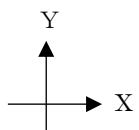
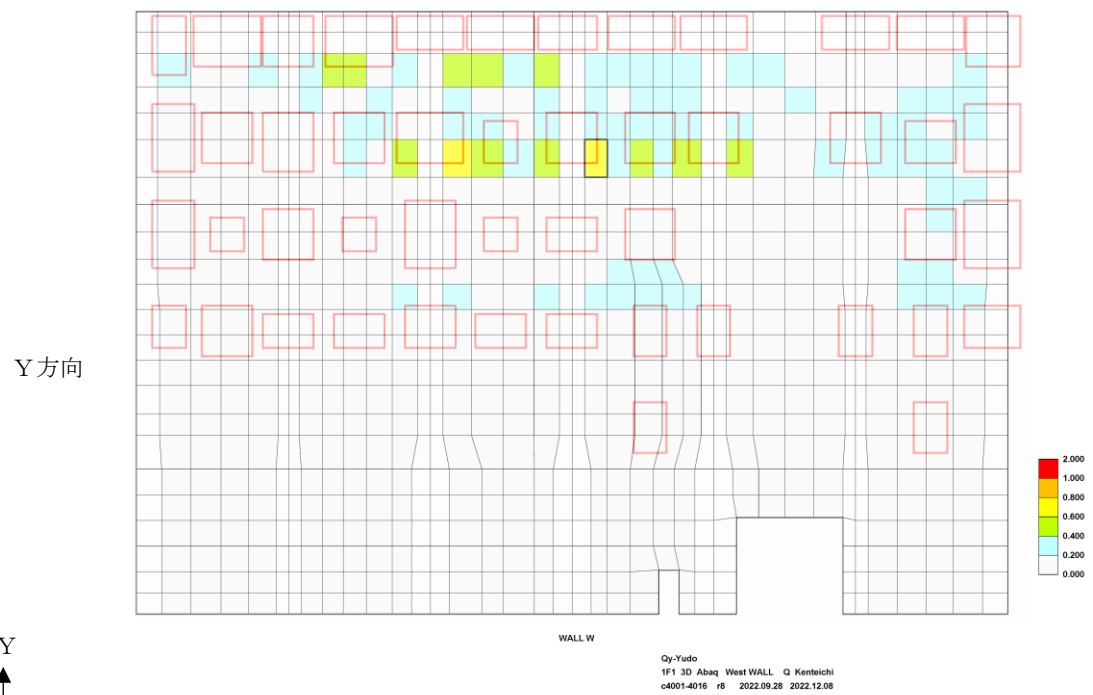
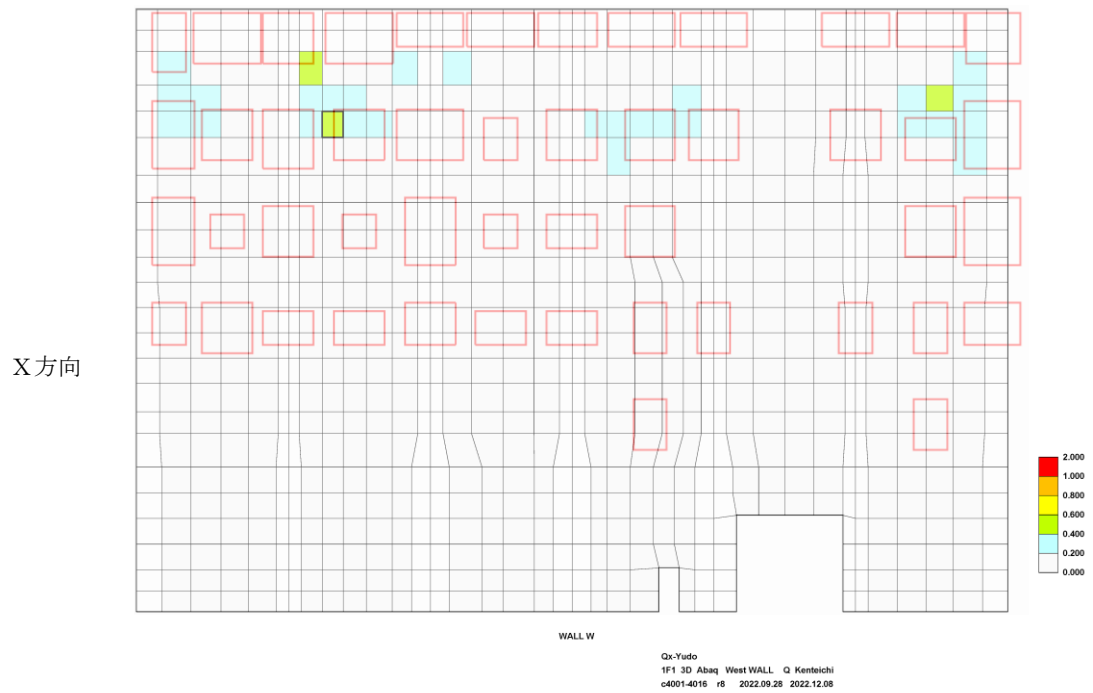
(图中赤枠はベースプレート設置位置を示す)

図-1.12 鉄筋ひずみの検定比 (建屋外壁北面)



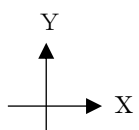
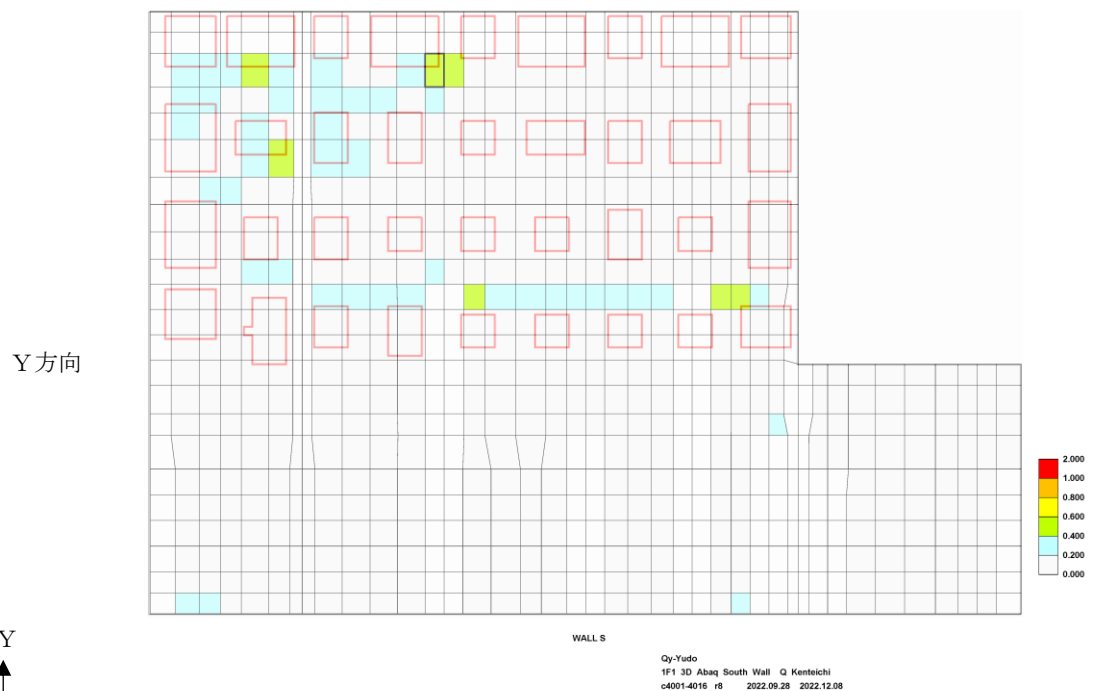
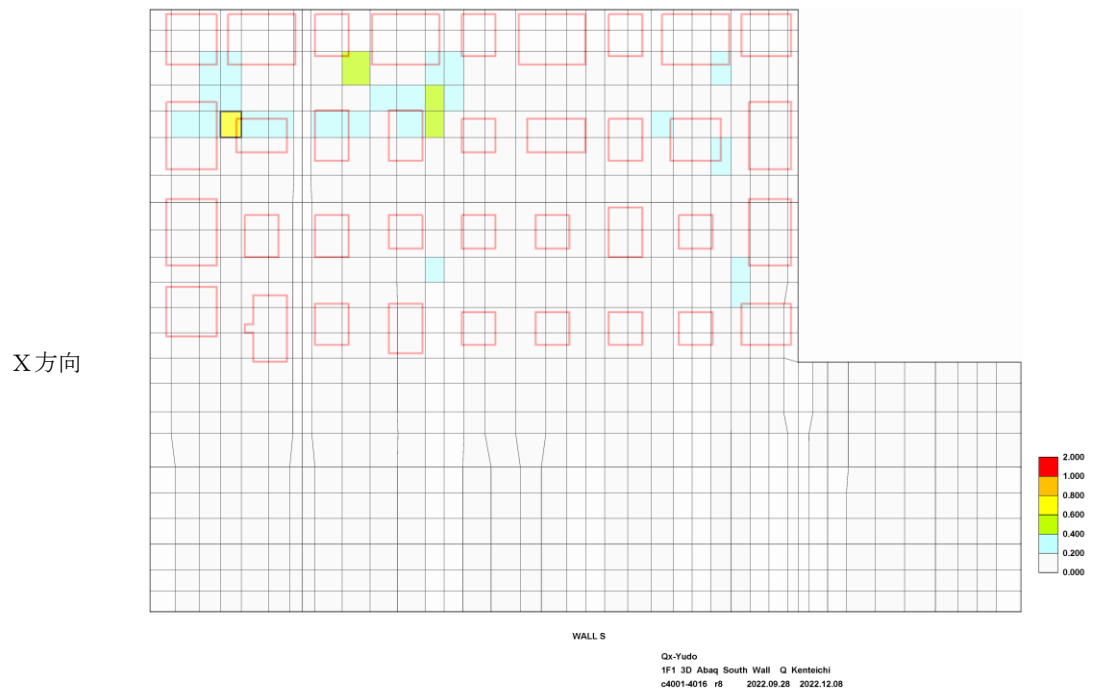
(图中赤枠はベースプレート設置位置を示す)

図-1.13 面外せん断力の検定比 (建屋外壁東面)



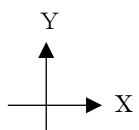
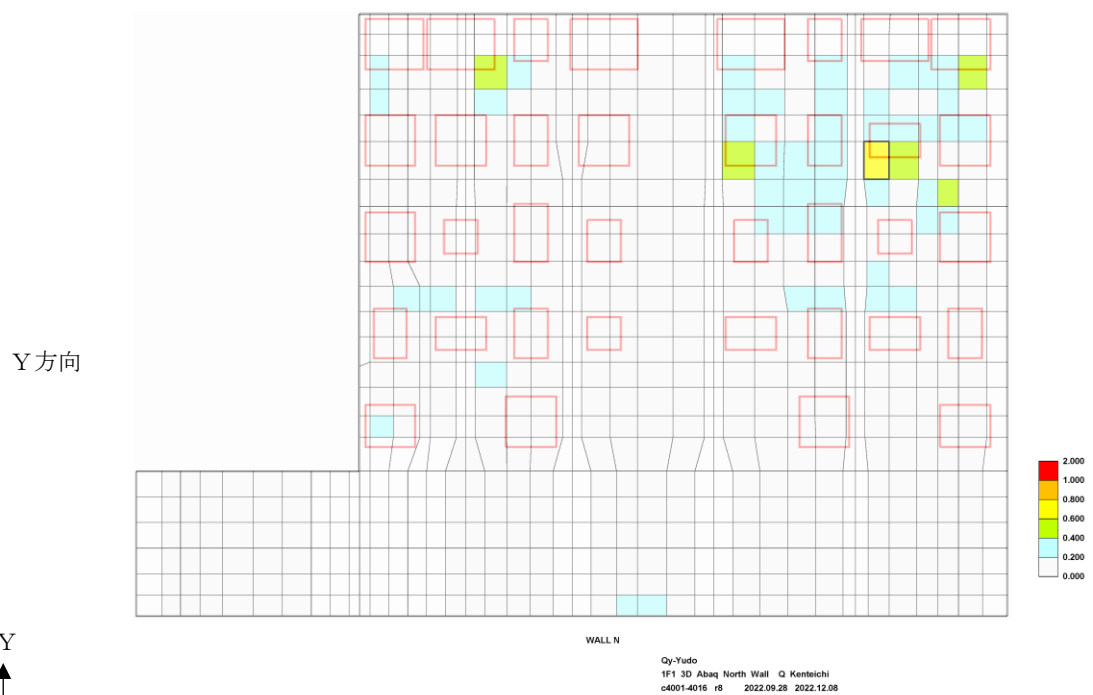
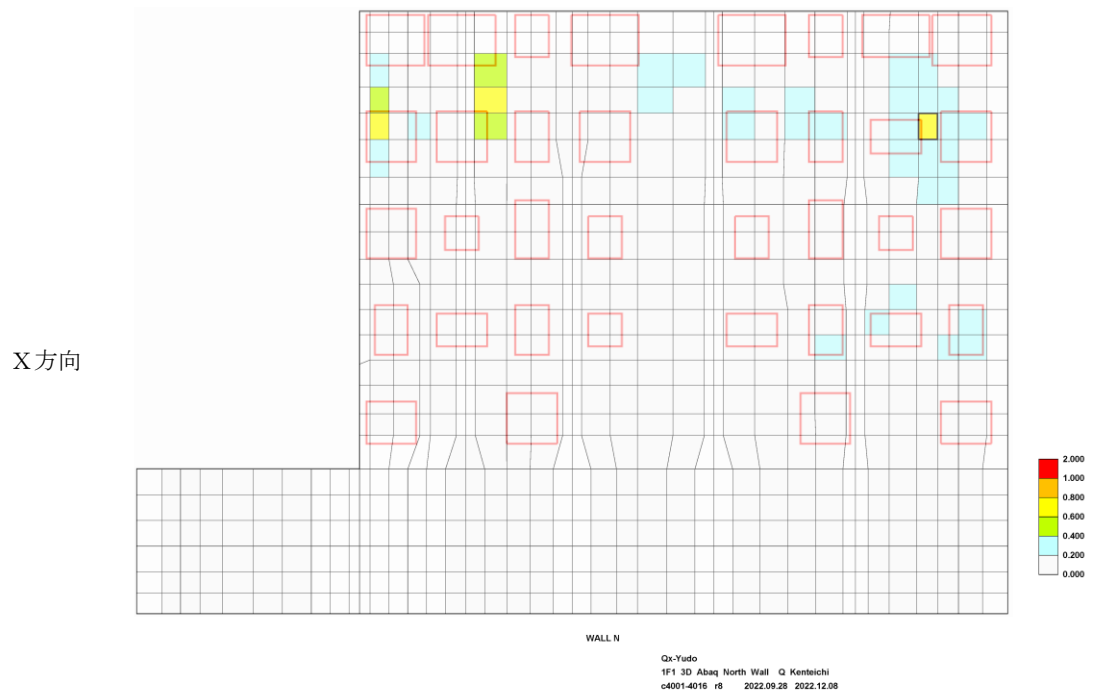
(図中赤枠はベースプレート設置位置を示す)

図-1.14 面外せん断力の検定比 (建屋外壁西面)



(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)



(图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。

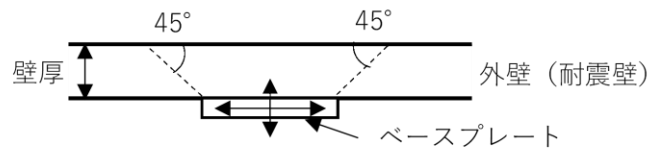


図-1.17 荷重分散範囲

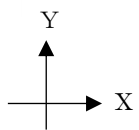
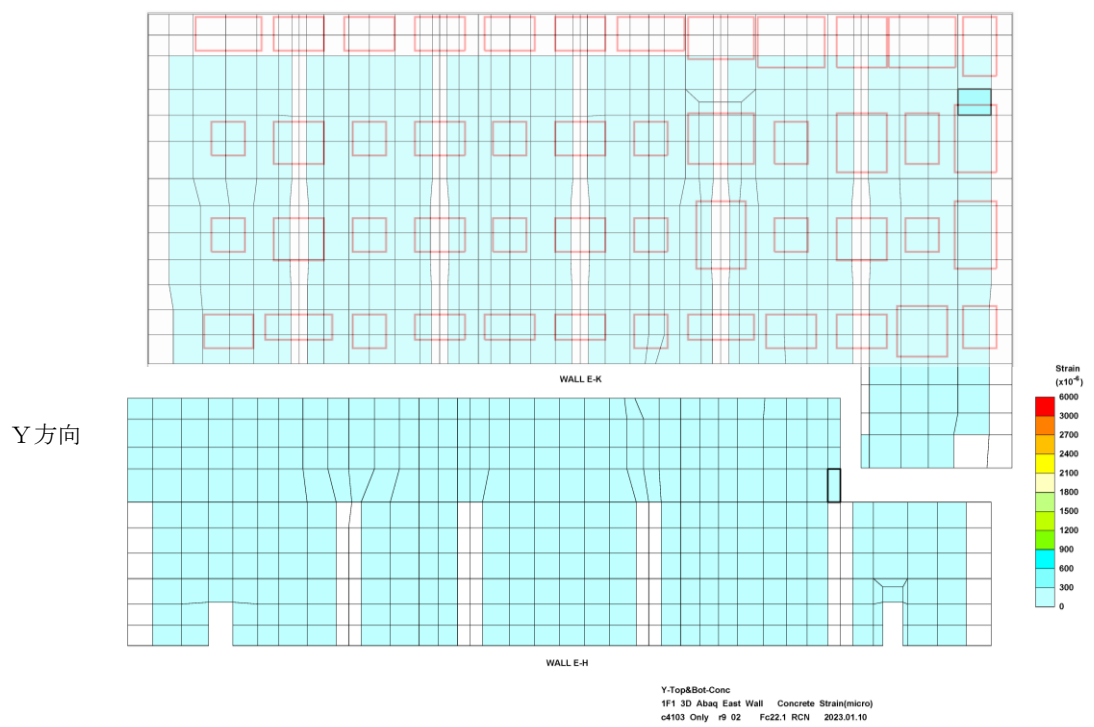
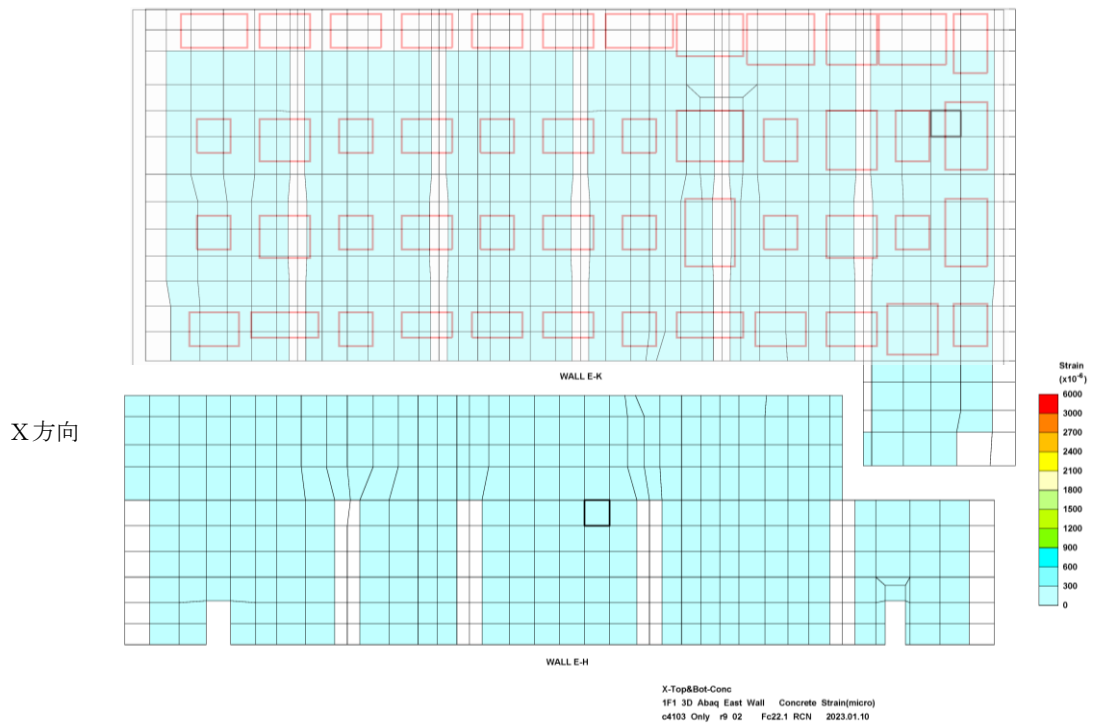
1.3.2 検討結果

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。

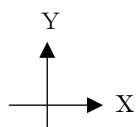
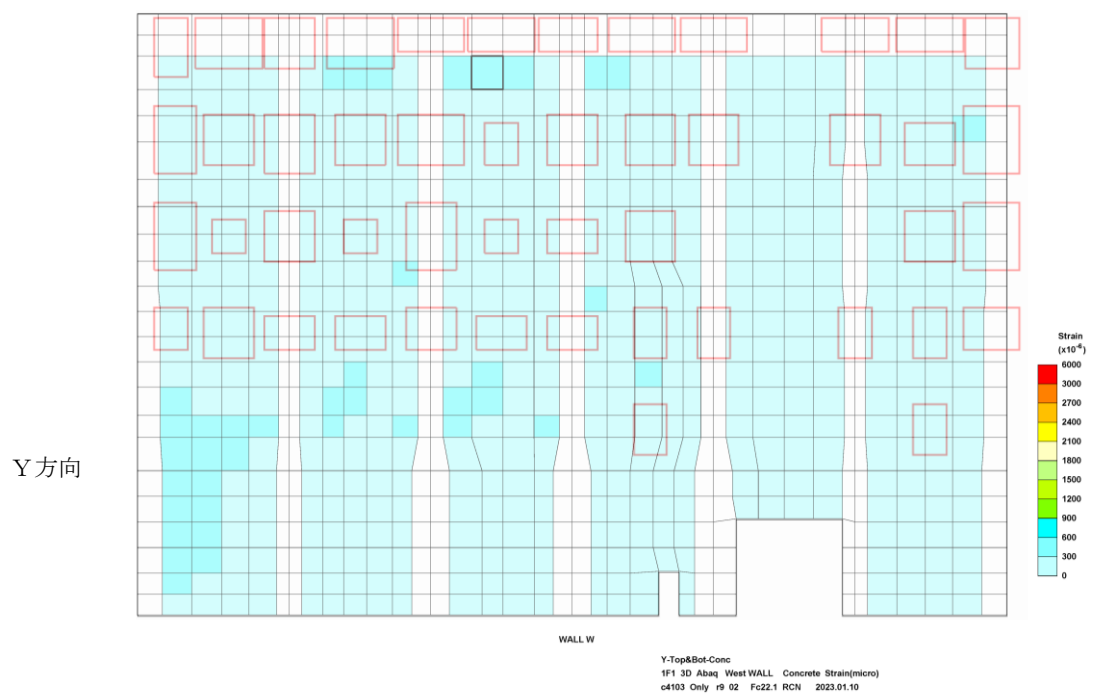
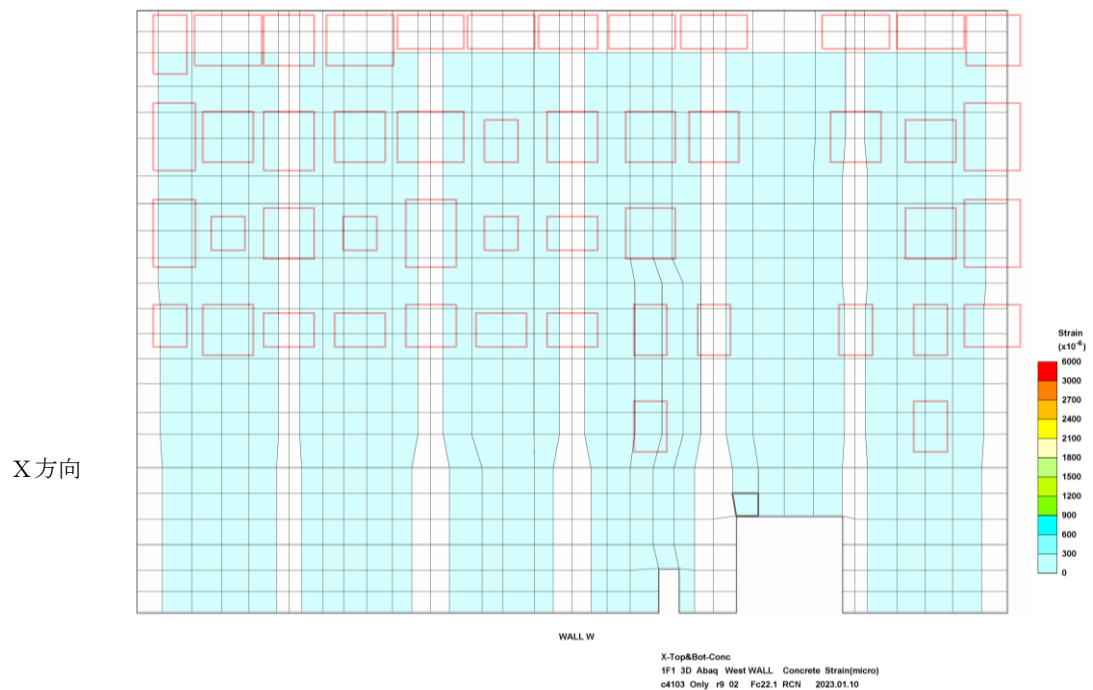
表-1.4 外壁各面の最大値一覧

| 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 |



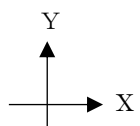
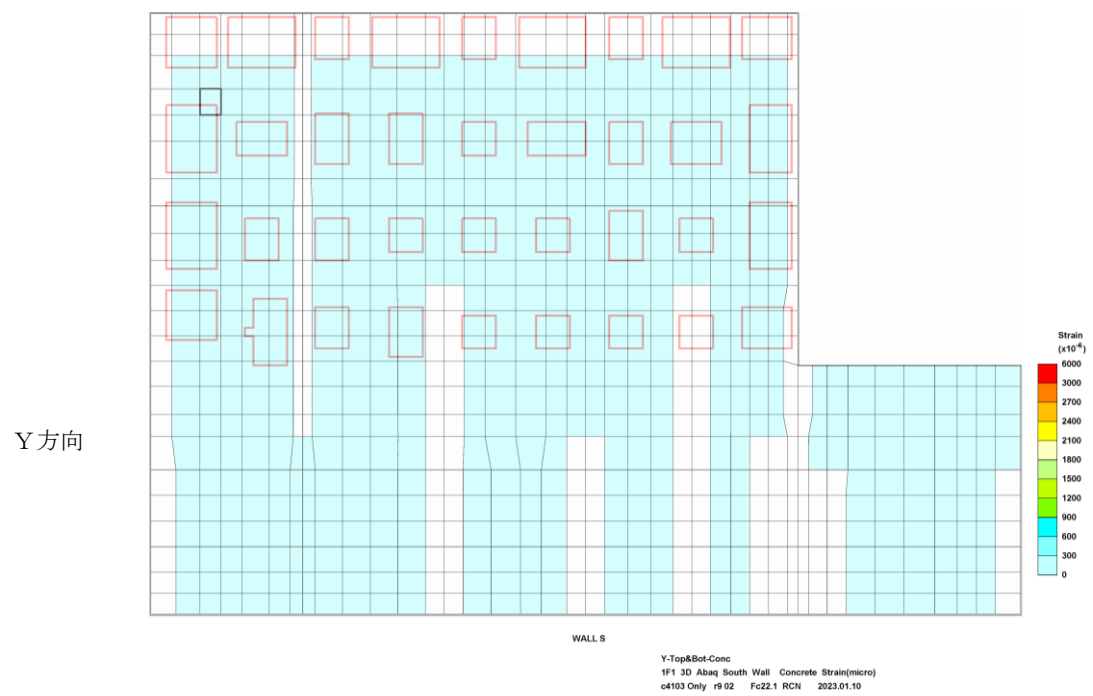
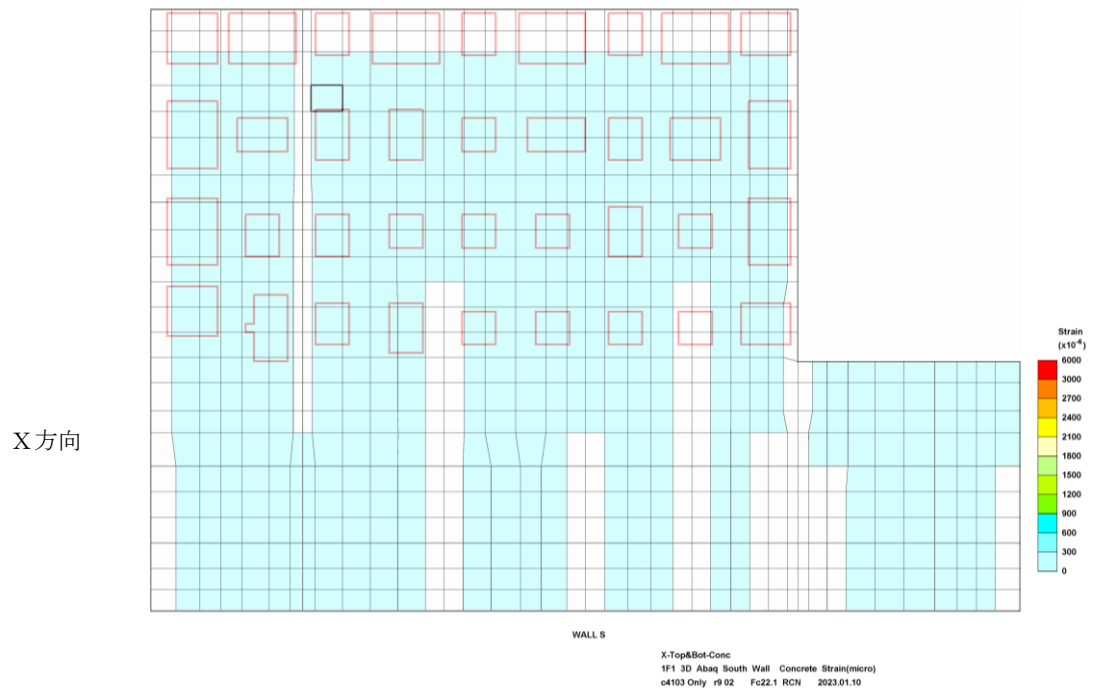
(图中赤枠はベースプレート設置位置を示す)

図-1.18 コンクリート圧縮ひずみの検定比（建屋外壁東面）



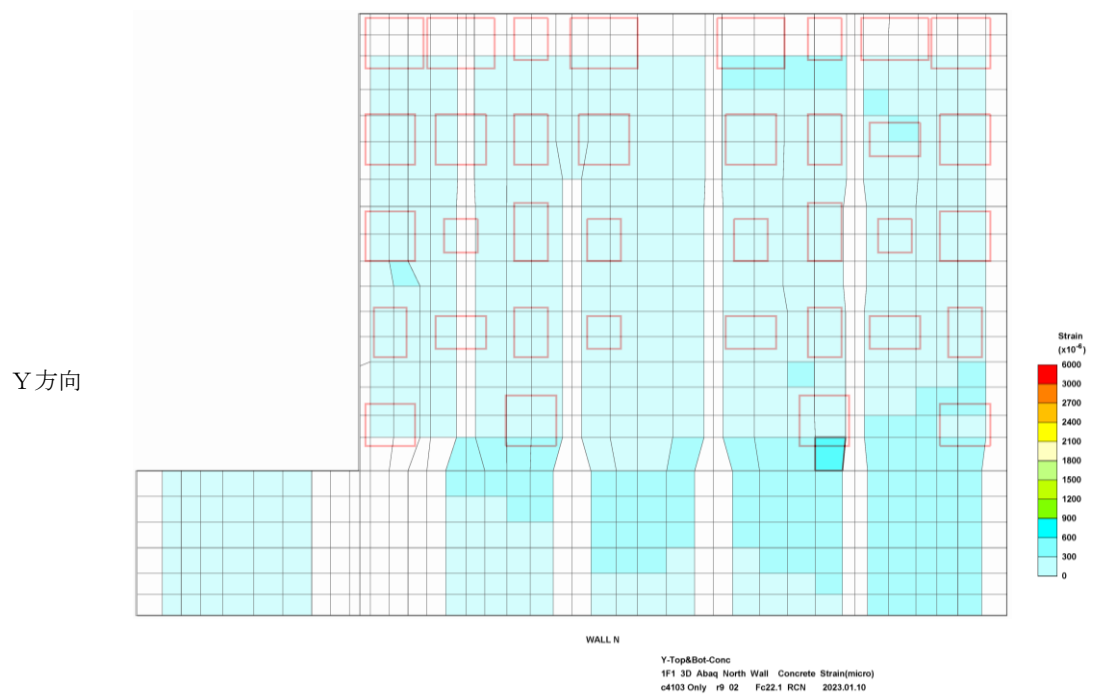
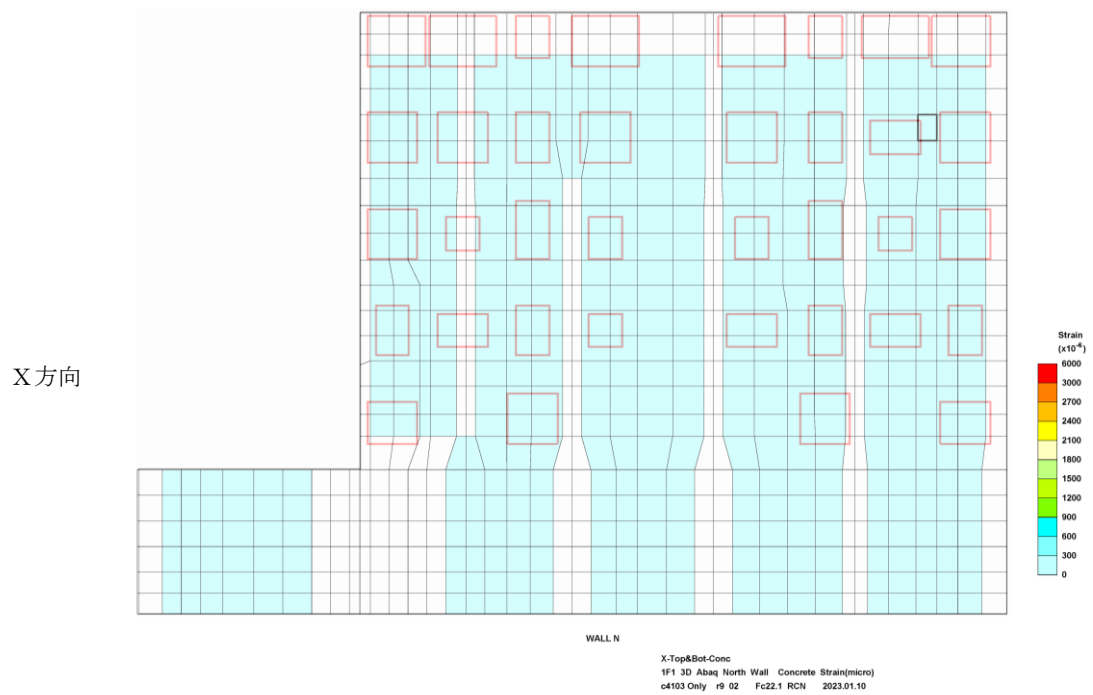
(図中赤枠はベースプレート設置位置を示す)

図-1.19 コンクリート圧縮ひずみの検定比 (建屋外壁西面)



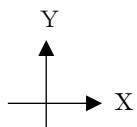
(图中赤枠はベースプレート設置位置を示す)

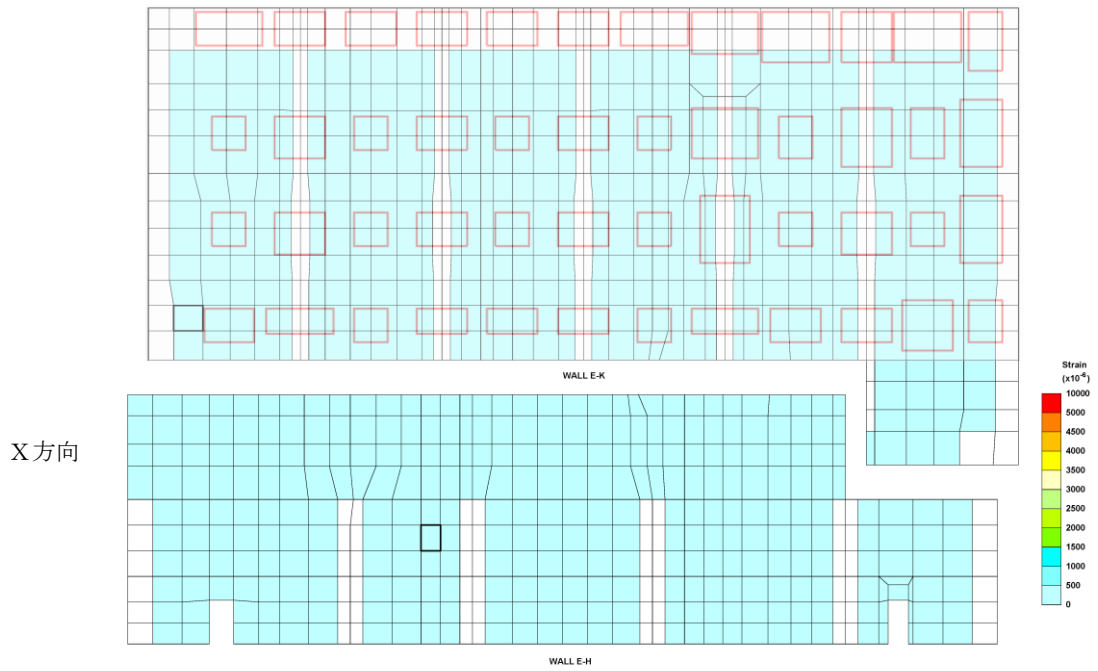
図-1.20 コンクリート圧縮ひずみの検定比 (建屋外壁南面)



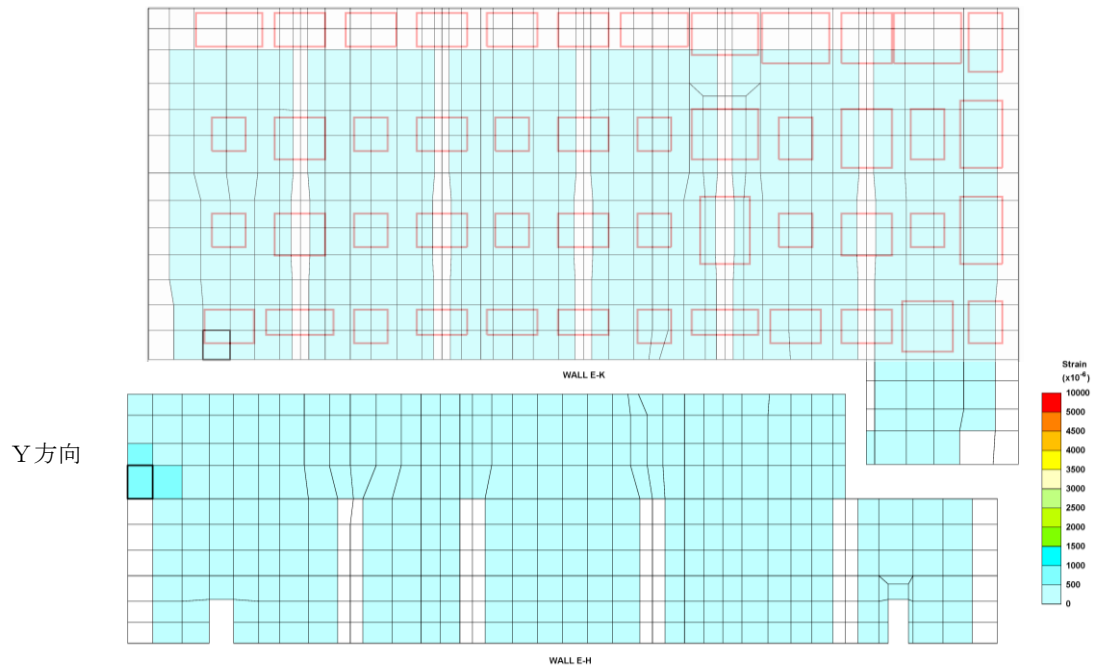
(图中赤枠はベースプレート設置位置を示す)

図-1.21 コンクリート圧縮ひずみの検定比 (建屋外壁北面)

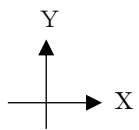




X-Top&Bot-Rbar
1F1 3D Abaq East Wall Rebar Strain(micro)
c4103 Only r# 02 Fc22.1 RCN 2023.01.10

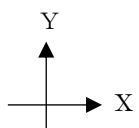
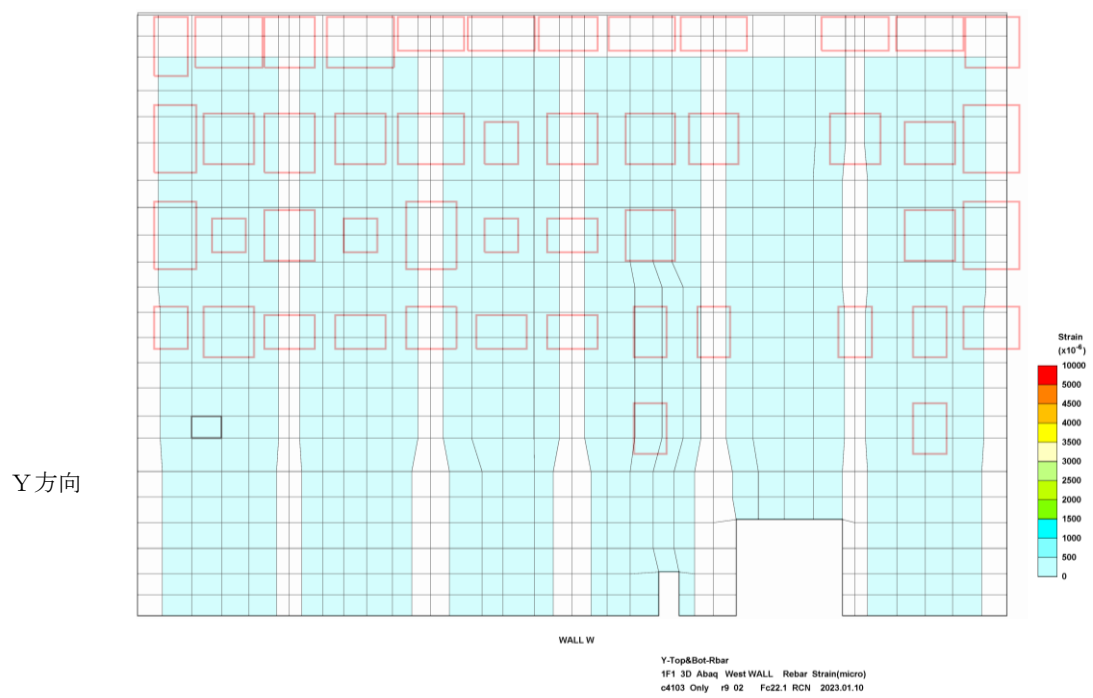
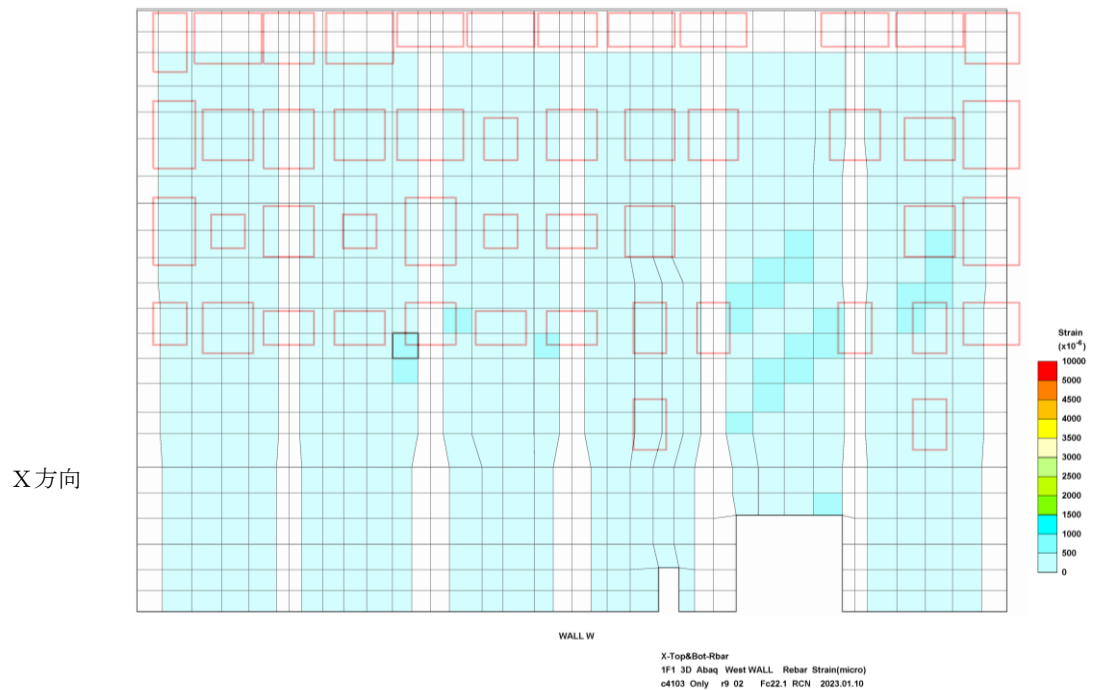


Y-Top&Bot-Rbar
1F1 3D Abaq East Wall Rebar Strain(micro)
c4103 Only r# 02 Fc22.1 RCN 2023.01.10



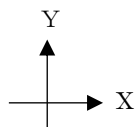
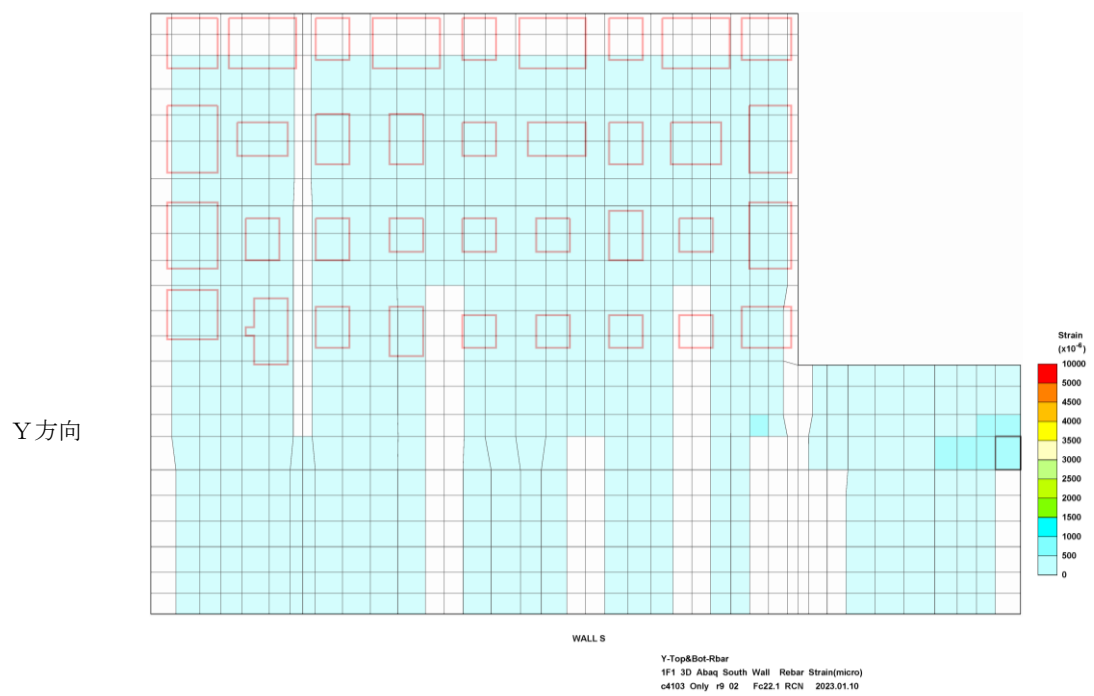
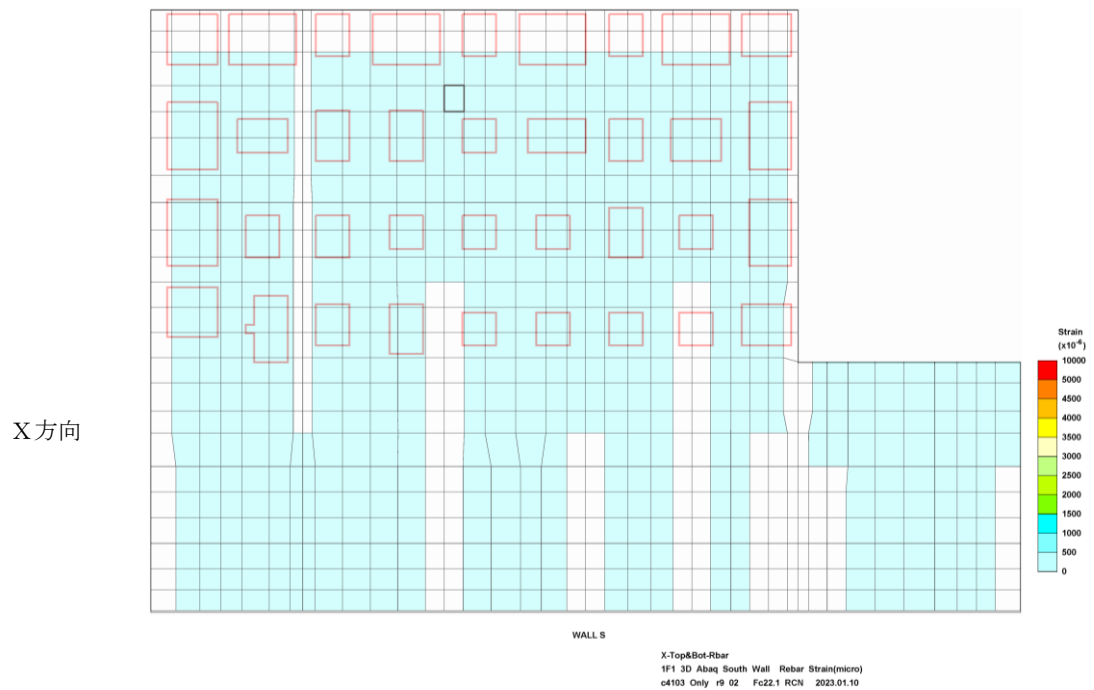
(图中赤枠はベースプレート設置位置を示す)

図-1.22 鉄筋ひずみの検定比 (建屋外壁東面)



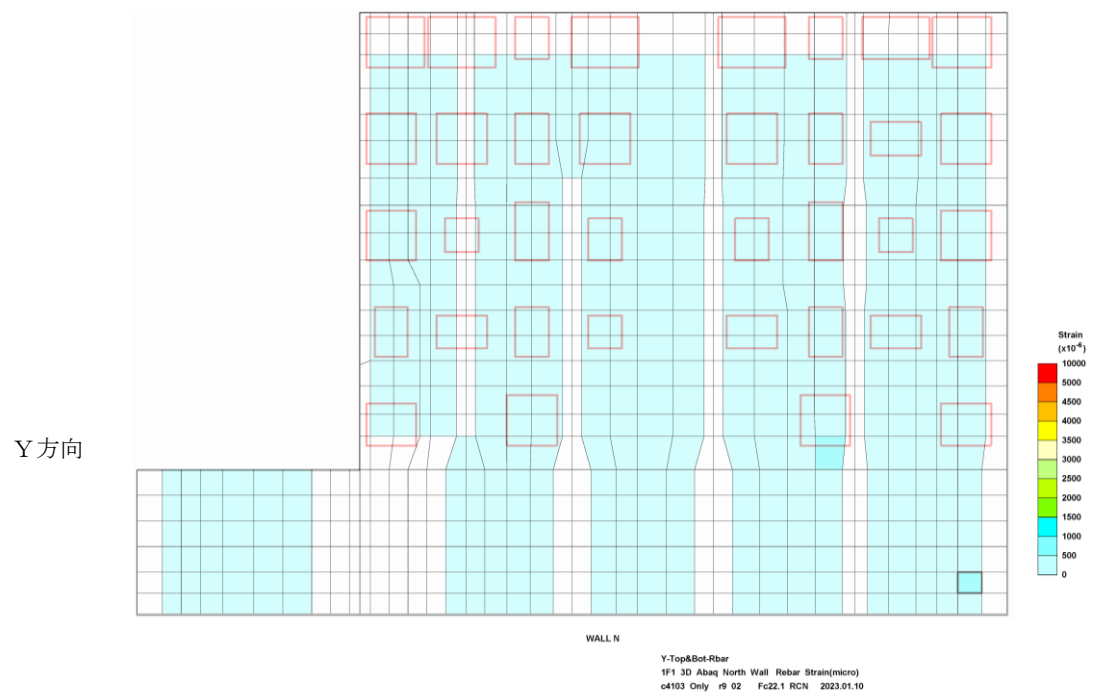
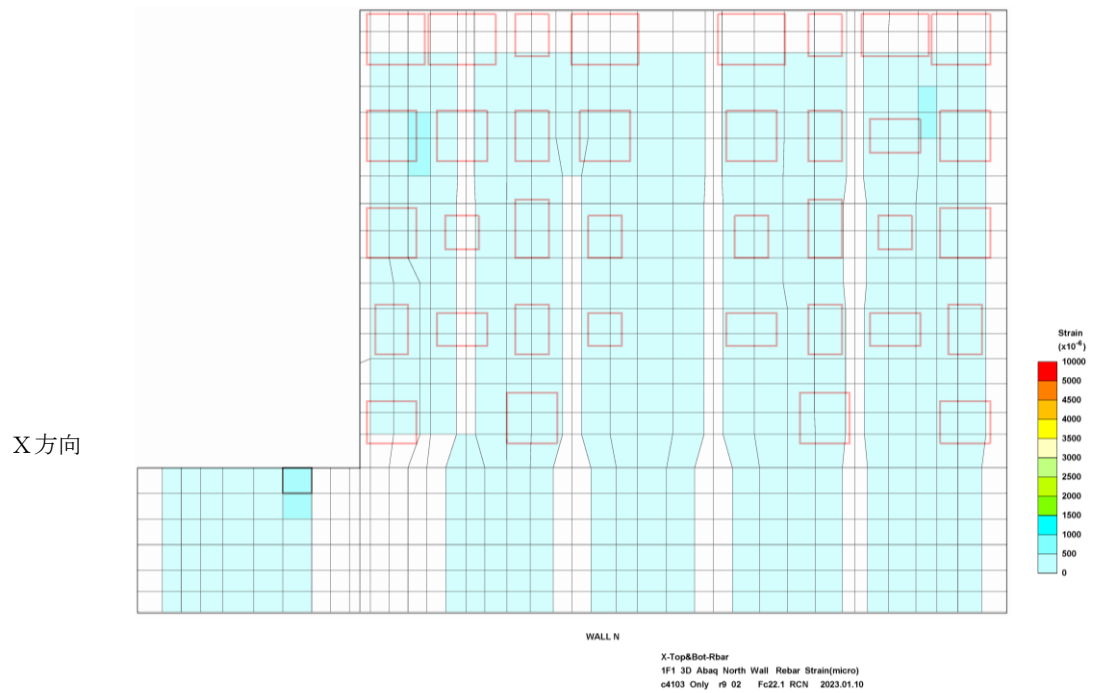
(图中赤枠はベースプレート設置位置を示す)

図-1.23 鉄筋ひずみの検定比 (建屋外壁西面)



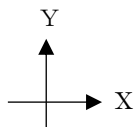
(图中赤枠はベースプレート設置位置を示す)

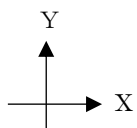
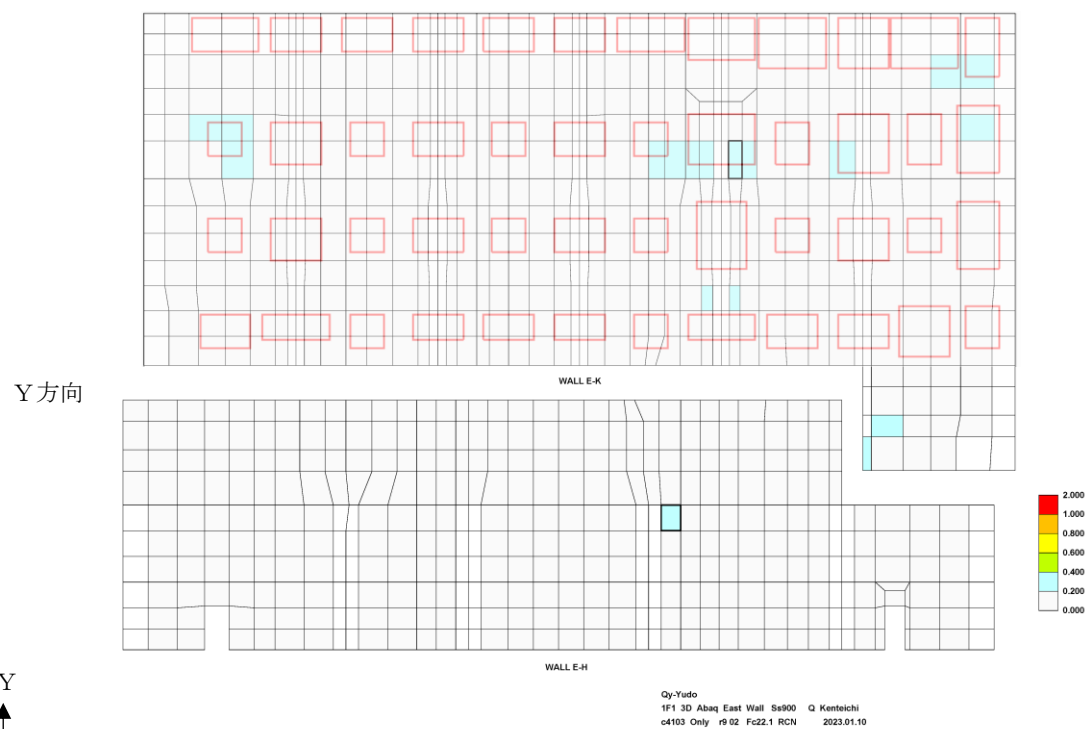
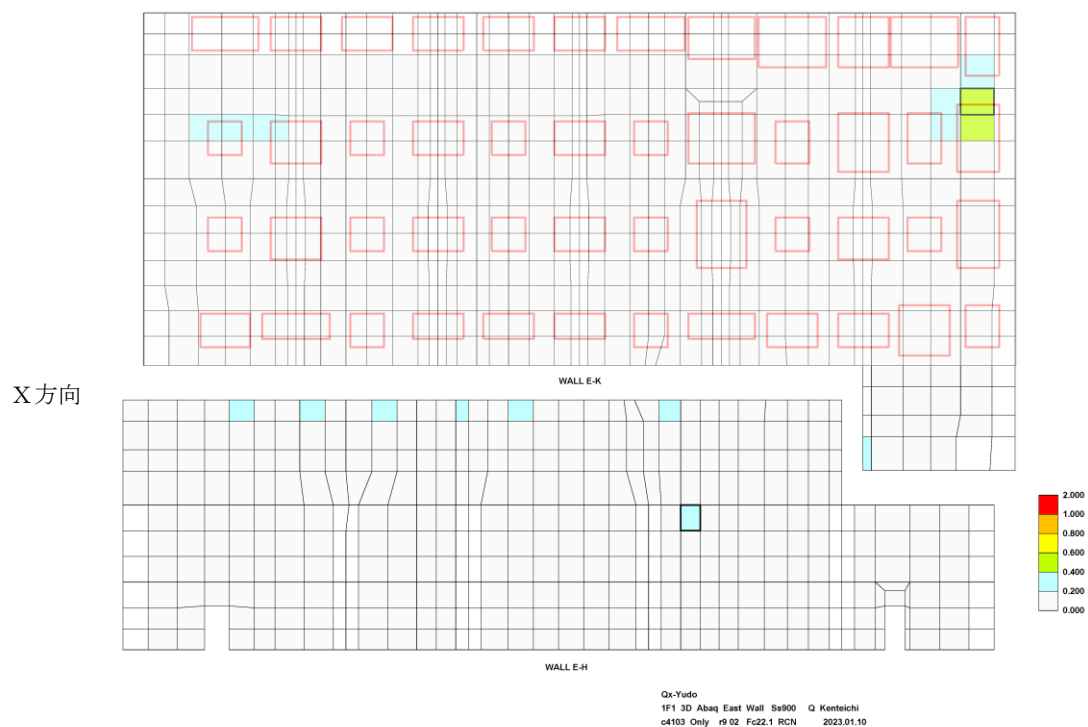
図-1.24 鉄筋ひずみの検定比 (建屋外壁南面)



(图中赤枠はベースプレート設置位置を示す)

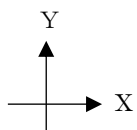
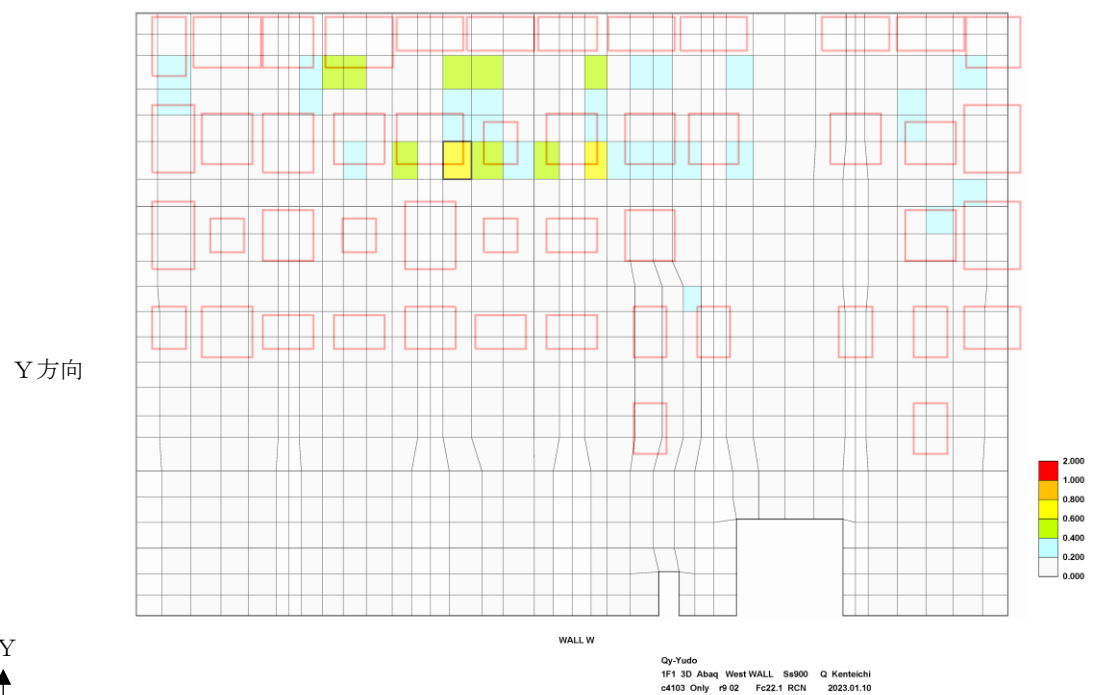
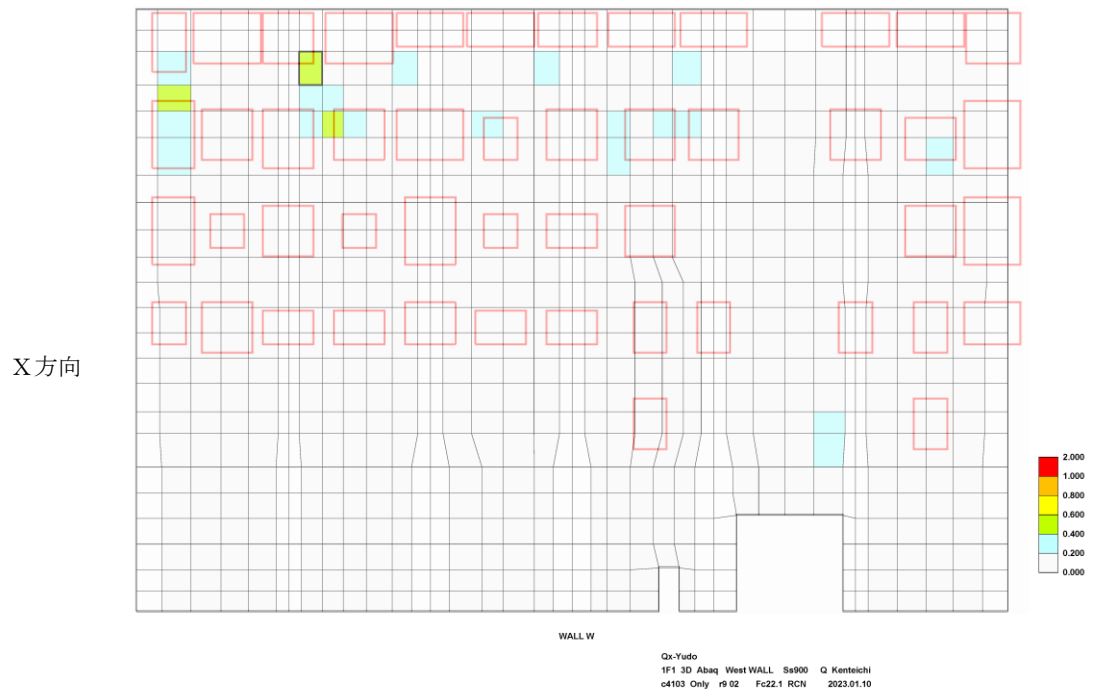
図-1.25 鉄筋ひずみの検定比 (建屋外壁北面)





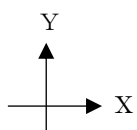
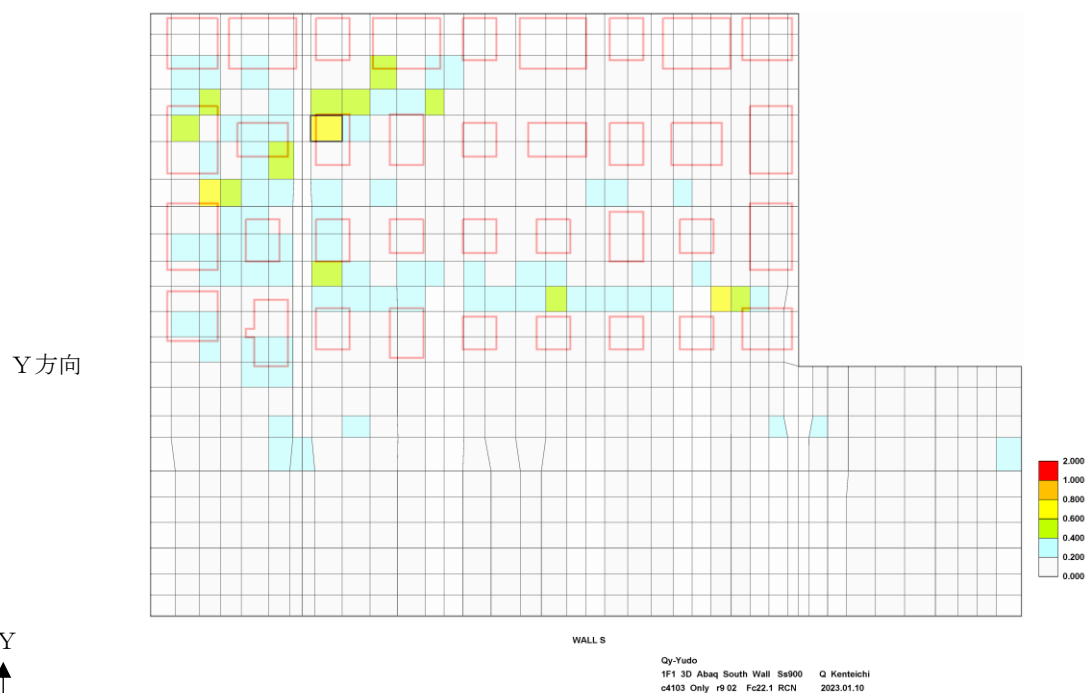
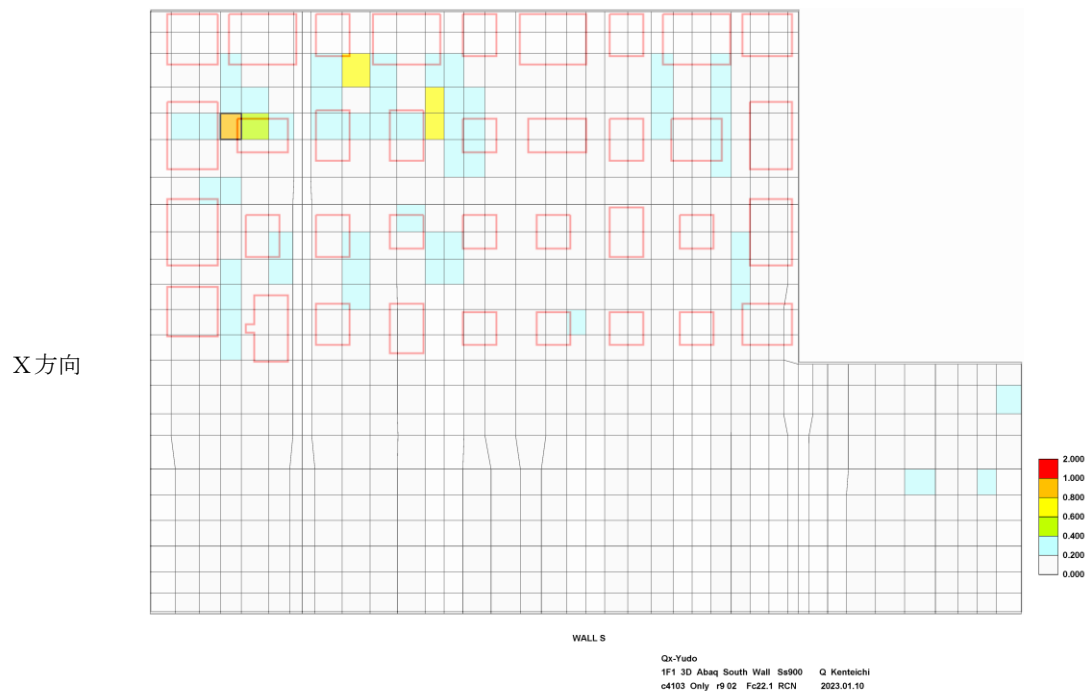
(図中赤枠はベースプレート設置位置を示す)

図-1.26 面外せん断力の検定比 (建屋外壁東面)



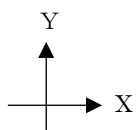
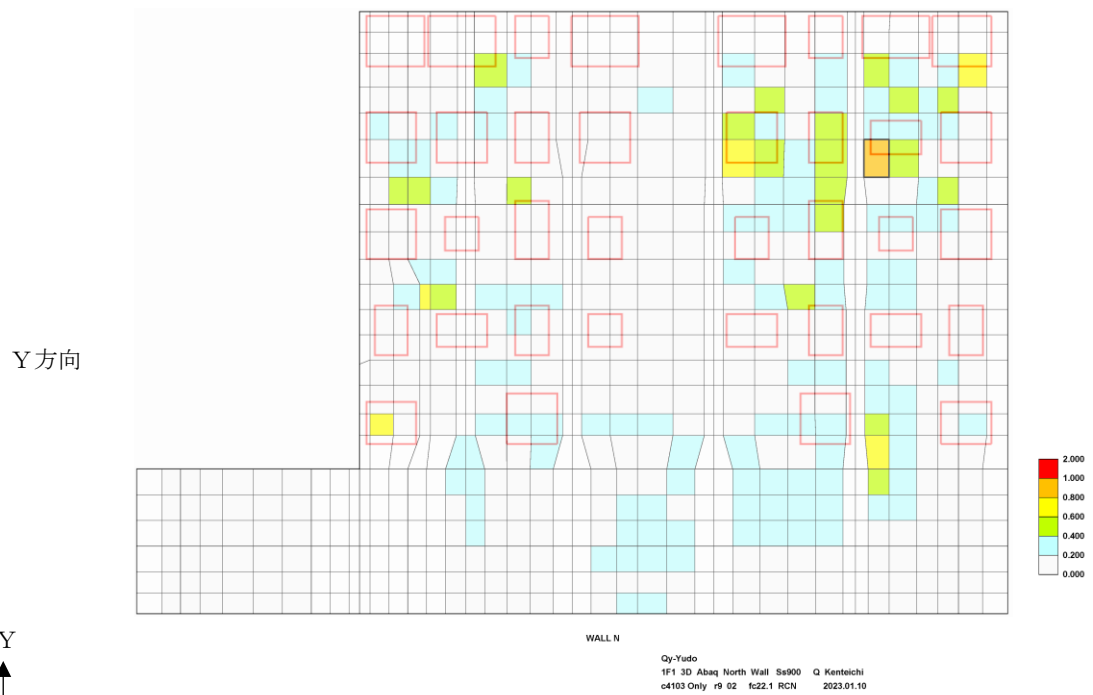
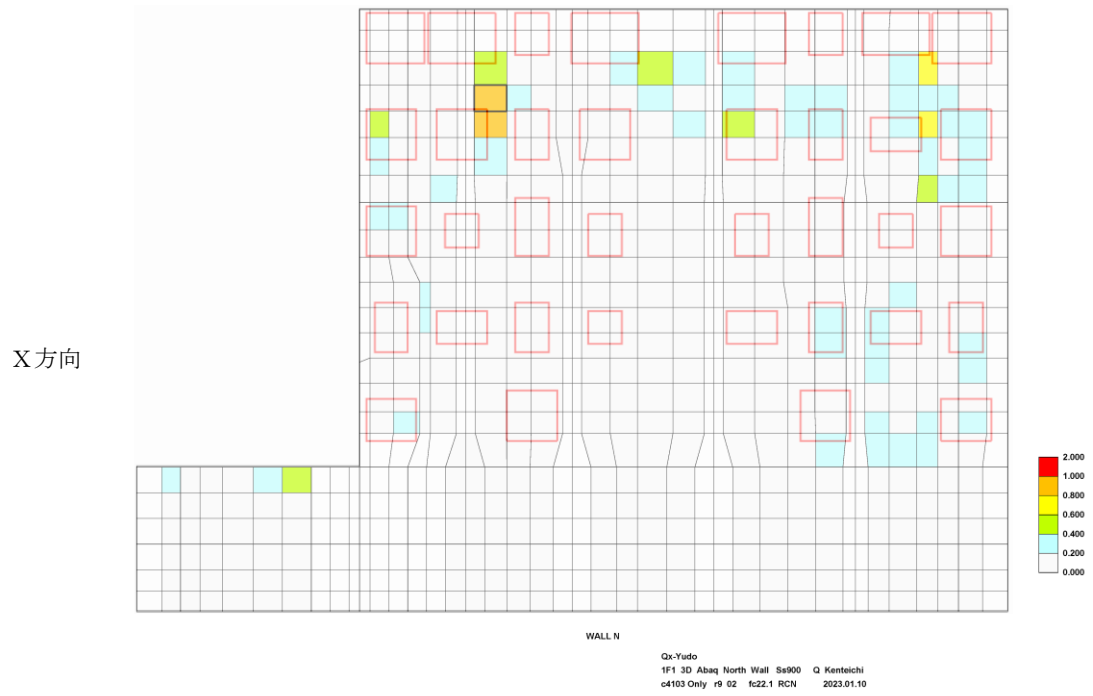
(図中赤枠はベースプレート設置位置を示す)

図-1.27 面外せん断力の検定比 (建屋外壁西面)



(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)



(图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)

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

1. 適用範囲

本書は、第1号機原子炉建屋カバー設置中の機能について記載するものである。
なお、原子炉建屋カバーは、1号機大型カバー設置に伴い解体した。

2. 原子炉建屋カバーの位置づけ

福島第一原子力発電所第1号機は、原子炉建屋最上階（オペレーティングフロア）より上部が開放された状態であり、放射性物質を含む水蒸気の蒸散や瓦礫・粉塵の風雨による飛散が懸念される。一方、放射性物質の閉じ込め機能および放射線の遮へい機能を有する構造物を設置するまでには、その要求性能を踏まえた建屋構造とし、かつ諸設備を設ける必要があり、短期的に完工できるものではない。このため応急措置的対策（2年程度の供用期間を想定）として、放射性物質の飛散を抑制する原子炉建屋カバーの設置している。

3. 原子炉建屋カバーの設置効果

原子炉建屋カバー（附属設備を含む）を設置することにより以下の効果が期待できる。

- ① 原子炉建屋から大気中へ放出される放射性物質が抑制されること。
- ② 原子炉建屋への雨水等の浸入が防止されること。
- ③ 原子炉建屋からカバー内に放出される放射性物質濃度を把握できること。

4. 原子炉建屋カバーの設計方針

4.1 建物概要

原子炉建屋カバーは放射性物質の飛散抑制のために極力気密性のよい素材を選定するが、応急措置的対策であることから、可能な限り早く設置できる設計・施工方法とする。

平面寸法は約 47m（NS 方向）×約 42m（EW 方向）の長方形で、高さは地上から約 54m である。主体構造は鉄骨造、壁面および屋根面は防水性のある膜材で覆う計画であり、屋根面およ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。また、原子炉建屋カバー下部の膜材端部には、台風時の風の吹き込みや巻き上げを防ぐための重りを取り付ける。

4.2 構造概要

原子炉建屋カバーは原子炉建屋周囲への放射性物質の飛散を抑制する覆いであるが、原子炉施設への影響を考慮し、建築基準法に準じて設計する。

4.2.1 設計荷重について

常時、積雪時、暴風時、地震時における構造強度および構造安全性の評価における外力条件は下記のとおりである。

①積雪荷重；積雪深 30cm，単位荷重 20N/m²/cm

②風圧力；基準風速 25m/s

③地震荷重；水平震度 0.2

なお、風圧力の算定には応急措置として供用期間が 2 年程度であることを考慮し、10 年再現期間で低減した風速を採用しているが、当該地点近傍において過去 35 年の間に観測された最大風速（17m/s）を上回る値となっている。

地震荷重および積雪荷重の設定は建築基準法施行令に準じている。なお、地震荷重の設定に用いる水平震度 0.2 は原子力発電所耐震設計技術指針に定める C クラスの地震力に相当する。また、短期事象において、暴風時、地震時の影響が支配的であることから、積雪荷重の検討は省略している。

4.2.2 架構の強度検討

荷重の組み合わせによる応力解析には 3 次元フレームモデルを使用する。柱、梁、火打材の剛性は、はり要素として集約し、屋根部分および膜材については非構造部材として重量のみ考慮し、剛性は考慮しない。応力解析は、長期の常時荷重、短期の風圧力および地震力について実施し、柱及び梁部材の断面検討の結果、許容値以下の応力度となる。

4.2.3 基礎の検討

原子炉建屋カバーの基礎は地盤面または既設建屋（コントロール建屋、廃棄物処理建屋）の屋根スラブ上面に置かれているため、水平荷重が作用した場合のすべりに対する検討を実施し、柱脚部に作用するせん断力に対し、すべり抵抗は十分に余裕があることを確認した。

また、南面の柱脚部は既設建屋の屋根スラブ上面に架台組した基礎で支持されることから、既設建屋のパンチングシア（押し抜きせん断力）に対する検討を実施し、柱の支持力が十分に確保されていることを確認した。

4.2.4 膜材の検討

屋根面および壁面に使用する膜材の材質は、塩化ビニル樹脂コーティングポリエステル繊維織物とする。膜材の強度検討は、風圧力に対して行う。風圧力により膜材に生じる応力度は、許容応力度以下であり、基準風速に対して十分な余裕があることを確認した。

4.3 附属設備

原子炉建屋から放出される放射性物質の大気放出を抑制するため、原子炉建屋カバーとともに排気設備（フィルタ付）を設置する。原子炉建屋カバー天井部から内部気体を吸引し、排気ダクトを経由して原子炉建屋カバーの外部に設置したフィルタユニットへ導く。フィルタユニットは、プレフィルタ、加熱コイル、高性能粒子フィルタ、よう素用チャコールフィルタ、排風機等で構成し、各フィルタで放射性物質を捕集した後の気体を吹き上げ用排気ダクトから大気放出する。排気風量約 10,000m³/h のフィルタユニットを 6 系列（うち 2 系列は予備）設置し、合計約 40,000m³/h の排気風量で運転する。

現在、使用済燃料プールへの注水は原子炉建屋の内部配管を経由して行われており、これが停止した場合の代替手段として、使用済燃料プールの上部からコンクリートポンプ車による注水を行うこととしている。原子炉建屋カバー設置後は、原子炉建屋カバーの天井部に注水ノズル（方向調整機能付）を取り付け、配管・ホースで原子炉建屋カバー外部の給水系統に接続することで代替注水を可能とする。

また、原子炉建屋カバー内の温度を測定するための温度計や使用済燃料プールへの注水状況などを確認するためのカメラを設置する。原子炉建屋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の装置と原子炉建屋カバー内の水素濃度を測定するための装置を設置する。

4.4 その他

4.4.1 津波への配慮

津波については、原子炉建屋カバー工事完了までに設置予定の防潮堤により対処する。

4.4.2 火災への配慮

オペレーティングフロア上には元来、火災の原因となる火気は無いため、原子炉建屋カバー内で火災が発生する可能性は小さい。仮に火災が生じた場合においても原子炉建屋カバーが延焼し、原子炉建屋へ波及的影響を与えないよう、JIS A 1322-1966「建築用薄物材料の難燃性試験方法」に基づく「防災 2 級」以上の性能を有する塩化ビニル樹脂コーティングポリエステル繊維織物を壁パネル・屋根パネルに張って使用する。なお、万一オペレーティングフロアで火災が発生した場合には、カバー屋根又はシャッターを開放して内部に放水する。

4.4.3 放射性物質の飛散抑制

仮に原子炉建屋カバーの膜が一部破損・崩壊することがあっても放射性物質の飛散範囲が拡大することのないよう、原子炉建屋の外壁および原子炉建屋最上階（オペレーティングフロア）には事前に飛散防止剤を散布する。

4.4.4 水素の影響

原子炉及び使用済燃料プール内の燃料による水の放射線分解により水素が発生するが、排気風量 40,000m³/h に比べて発生量が十分に少ないこと、カバー内気体と混合されること、排気設備の吸引口を天井部に設けていることからカバー内に水素が滞留する可能性は極めて低い。万一、水素濃度が可燃限界濃度に達した場合には、カバー屋根又はシャッターを開放し、カバー外へ放出する。

5. 原子炉建屋カバーの設置によるリスク

5.1 設置によるリスク

原子炉建屋カバーを設置することにより下記のリスクが想定される。

- (1) 設計荷重以上の外力（地震力または風圧力）により、原子炉建屋カバーが損傷し、原子炉建屋へ波及的影響を及ぼすこと
- (2) 原子炉建屋カバー内の熱や水蒸気により、原子炉建屋内の環境（温度、湿度）が悪化すること
- (3) 事故の収束に向けた他工程との干渉により、相互の工程遅延が生じること
- (4) 事故の収束に向けた後工程の計画に影響を及ぼすこと

これらリスクへの対応策をそれぞれ十分に考慮した上で、原子炉建屋カバーの設置計画を行う。

5.1.1 原子炉建屋カバーの損傷による原子炉建屋への波及的影響について

応急措置としての原子炉建屋カバーは2年程度の供用期間を考慮した上で、設計条件を決定し、建築基準法に準じた構造検討を実施しているが、設計荷重以上の外力が作用した場合の崩壊メカニズムについても検討を行い、原子炉建屋に波及的影響を及ぼさないことを確認する。

漸増載荷解析の結果から、風荷重、地震荷重いずれにおいても、原子炉建屋カバーの架構が崩壊形を形成する前に柱脚がすべり、架構の崩壊には至らない。また、すべり量が増加した場合に備え、原子炉建屋カバーに変形抑制のためのストッパーを G.L.+18.9m の位置（原子炉建屋の健全性が確認されている壁面高さ）に設置し、原子炉建屋のコンクリート壁部分で原子炉建屋カバーを支持できる構造とする。このストッパーにより原子炉建屋カバーの滑動及び架構の倒壊を防ぎ、放射性物質の飛散抑制効果に大きな影響を及ぼさない。この場合、原子炉建屋は原子炉建屋カバーの荷重を負担することとなるが、原子炉建屋重量に比べて原子炉建屋カバー重量は十分に小さく（原子炉建屋カバー総重量／原子炉建屋質点重量（基礎重量をのぞく）＝約 4%）、振動性状を示す固有周期に与える影響も約 2%である。一方、基準地震動 Ss-1 及び Ss-2 に対する原子炉建屋の耐震壁のせん断ひずみは最大で 0.12×10^{-3} であり、評価基準値（ 4.0×10^{-3} ）に対して十分余裕がある。

なお、架構がすべりを生じるまでの滑動抵抗力は、設計風荷重に対し約 1.8 倍、設

計地震荷重に対し 3.0 倍の余裕度があり，地震および暴風に対し十分な安全性を有している。

以上より，原子炉建屋カバーに設計荷重以上（地震時，暴風時）の外力が作用した場合に，原子炉建屋が原子炉建屋カバーの荷重を負担することになるが，波及的影響は極めて小さい。

5.1.2 原子炉建屋内の環境への影響について

原子炉からの熱，使用済燃料プールからの熱，外気温及び日射熱を考慮すると，原子炉建屋カバー内の温度は上昇し，原子炉建屋内の温度が最大 10℃程度上昇する場合がある。一方で，原子炉建屋カバーに附属する排気設備では，原子炉建屋カバーのすき間から外気を取り込み，原子炉建屋の外側を外壁に沿って上昇することを想定している。このため，原子炉建屋内においては，スポットクーラー等を設置することで局所的に作業エリアの環境改善を図り，また，状況によっては作業時間を限定するなどの対策をとる。

使用済燃料プール水および原子炉内燃料の崩壊熱により発生した蒸気により原子炉建屋カバー内が加湿されるが，原子炉建屋内の湿度が著しく高くなることはない。

5.1.3 事故の収束に向けた他工程への干渉について

原子炉建屋カバーの設置工事が原子炉および使用済燃料プールの安定的冷却のための他工程へ干渉が生じることがないように，工程調整・ヤード調整を行い，計画を進める。現在，使用済燃料プールへの注水は原子炉建屋の内部配管を経由して行われているため，原子炉建屋カバーと注水作業が干渉することはない。しかし，原子炉建屋の内部配管を経由して行われる注水作業が中断した場合の代替注水手段であるコンクリートポンプ車による注水作業の代わりとして，原子炉建屋カバーに注水ノズルと注水管・ホースを設置するとともに，注水ノズルによる注水状況やオペレーティングフロア上の状況は原子炉建屋カバー内に設置したカメラを通じて，免震重要棟で確認する。

5.1.4 事故の収束に向けた後工程への影響について

使用済燃料の取り出し，放射線の遮へい機能を有するコンテナ設置等の後工程に対しては，原子炉建屋カバーの一部あるいは全面解体することを前提に，柱・梁に鉄骨材，壁・屋根に膜材を使用し，解体撤去が可能な構造を採用する。なお，原子炉建屋カバーの一部あるいは全面解体を実施する場合は，周辺環境への影響を考慮した上で実施する。

6. 運転管理および保守管理

6.1 運転管理

フィルタユニット内の排風機の起動/停止操作は、フィルタユニットの傍に設置した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）、カバー内温度、水素濃度、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は、警報を発する。免震重要棟に設置するモニタには、制御盤の情報が送られ、カメラによるカバー内状況とともに確認することができる。また、免震重要棟でも同様に、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。

また、放射性物質は、原子炉圧力容器から原子炉格納容器、原子炉建屋内、オペレーティングフロアの開口部（機器ハッチ等）を経てカバー内に放出されるものと、使用済燃料プールの水中からプール上空に移行するものが想定される。このため、機器ハッチ開口部近傍に1箇所及び使用済燃料プール上方部に1箇所から各々吸引できるよう放射性物質濃度測定用のサンプリング配管を設置する。また、カバー内上部空間及び大気放出前（フィルタ通過後）の放射性物質濃度測定用の配管を排気ダクトに設置する。さらに念のため、オペレーティングフロア面のコーナー部近傍に3箇所設置し、各々のサンプリング配管を放射性物質濃度測定器に接続し、原子炉建屋から放出される放射性物質濃度を測定し、1号機原子炉建屋の周辺環境への影響を評価する。

6.2 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、よう素用チャコールフィルタ、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。

7. 別添

別添－1 原子炉建屋カバーの設計方針、構内建屋配置図、立面図・アイソメ図

別添－2 構造計算書、伏図・軸組図

別添－3 供用期間を考慮した風荷重の設定

別添－4 設計荷重以上の外力に対する検討

別添－5 原子炉建屋カバー附属設備について

1. 原子炉建屋カバーの設計方針

1.1 設計概要

1.1.1 原子炉建屋カバーを設置する位置づけ

福島第一原子力発電所第1号機は、原子炉建屋最上階（オペレーティングフロア）より上部が開放された状態であり、放射性物質を含む水蒸気の蒸散や瓦礫・粉塵が風雨による飛散が懸念される。一方、放射性物質の閉じ込め機能および放射線の遮へい機能を有する構造物を設置するまでには、その要求性能を踏まえた建屋構造とし、かつ諸設備を設ける必要があり、短期的に完工できるものではない。このため応急措置的対策として、放射性物質の飛散を抑制する原子炉建屋カバーの設置が必要である。

この原子炉建屋カバーの設置は、平成23年4月17日に示した「福島第一原子力発電所・事故の収束に向けた道筋」において「Ⅱ. 抑制（4）大気・土壌での放射性物質の抑制」の課題への対策として位置づけているものである。

1.1.2 原子炉建屋カバーの要求性能

原子炉建屋カバーの設計にあたり、要求する性能は下記のとおりとする。

(1) 遮へい性：考慮しない

(2) 気密性：

以下に示す放射性物質の飛散抑制のため、極力气密性のよい素材を選定する。

- ① 原子炉から放出される放射性物質
- ② 使用済燃料プール水からの水蒸気に含まれる放射性物質
- ③ 放射性物質が付着した瓦礫・粉塵等

(3) 構造安全性：後述

1.1.3 設計条件

原子炉建屋カバーの設計にあたり、留意すべき条件は下記のとおりとする。

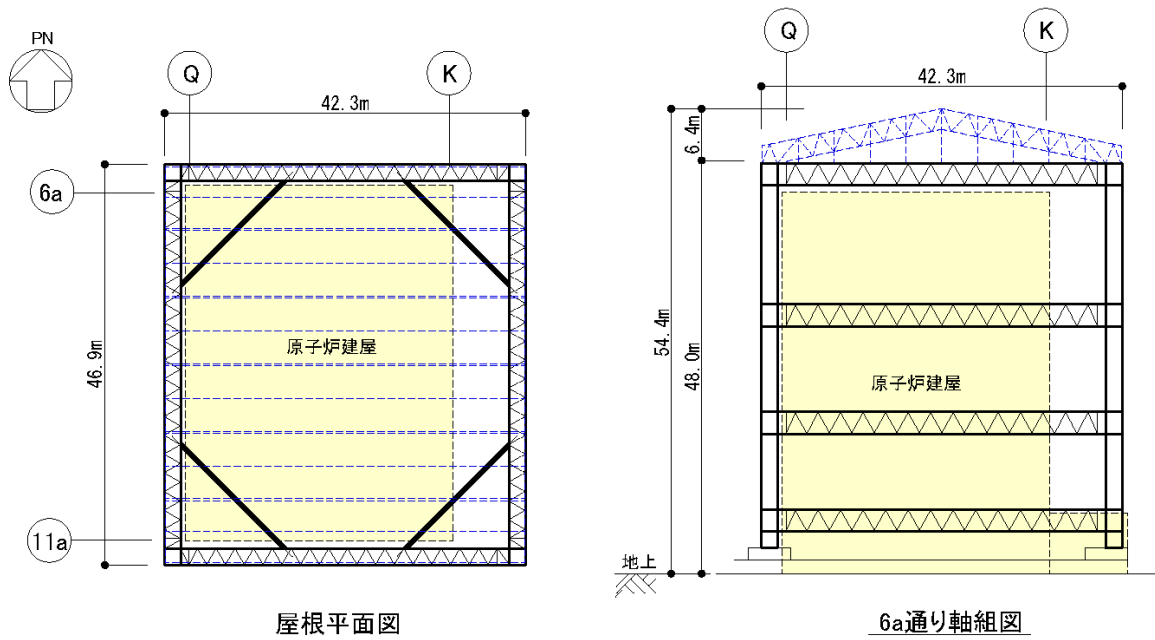
- (1) 出来るだけ早く設置できる設計・施工工法であること
- (2) 原子炉建屋カバーの損傷により原子炉建屋に波及的影響を及ぼさないこと
- (3) 事故の収束に向けた他工程との干渉により相互の工程に遅延を生じさせないこと
- (4) 事故の収束に向けた後工程の計画に影響を及ぼさないこと

1.2 建物概要

1.2.1 構造概要

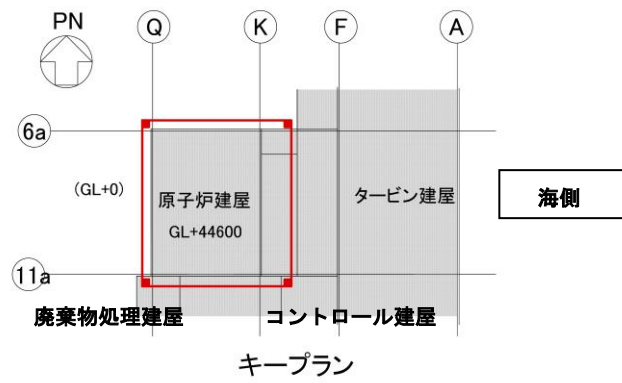
1.2.1.1 構造種別：

主体構造は鉄骨造であり，壁面および屋根面は膜材で覆う。



屋根平面図

6a通り軸組図



キープラン

図 1-1 1号機原子炉建屋カバー概要図

1.2.2 構造安全性

1.2.2.1 設計基規準

- ・ 関係諸法規等
建築基準法・施行令および関連告示等
- ・ 規準規格類
日本建築学会「建築物荷重指針・同解説」1993年版
日本建築学会「鋼構造設計規準」2005年版

1.2.2.2 使用材料と材料強度

- ・ 鋼材

表 1-1 鋼材の材料強度

| 種類 | 基準強度 F (N/mm ²) |
|-------------------------------|-----------------------------|
| SS400, SN400, STK400, STKR400 | 235 |
| SN490, SM490 | 325 |

- ・ 膜材：塩化ビニル樹脂コーティング ポリエステル繊維織物
引張強さ 400 N/cm 以上

1.2.2.3 外力

表 1-2 外力の設定条件

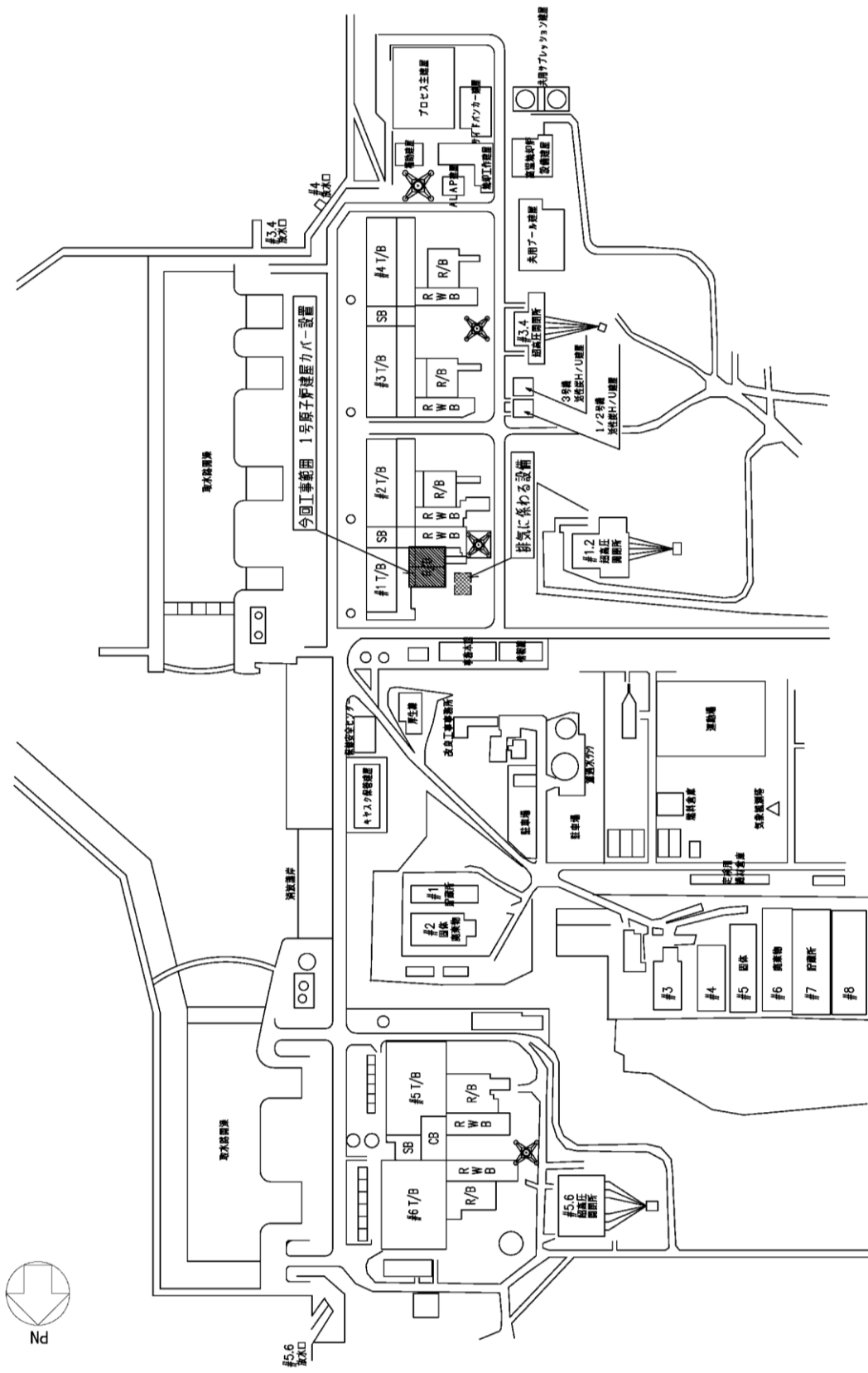
| 種類 | 条件 | 備考 |
|------|---|---|
| 積雪荷重 | 積雪深 30cm 単位荷重 20N/m ² /cm | 建築基準法施行令・福島県施行細則に準拠 |
| 風圧力 | 基準風速 25m/sec | 建築基準法施行令の基準風速（30m/sec：50年再現期間）に対し、使用期間を考慮し日本建築学会「建築物荷重指針」（1993年版）に示される評価式に基づき10年再現期間で低減した値とする。なお、サイト近傍（広野町、浪江町）での過去35年の最大風速は17m/sec程度である。 |
| 地震荷重 | 水平震度 0.2 | 建築基準法施行令に準拠 |

1.2.2.4 荷重の組合せ

表 1-3 荷重組み合わせ一覧（基準法施行令による）

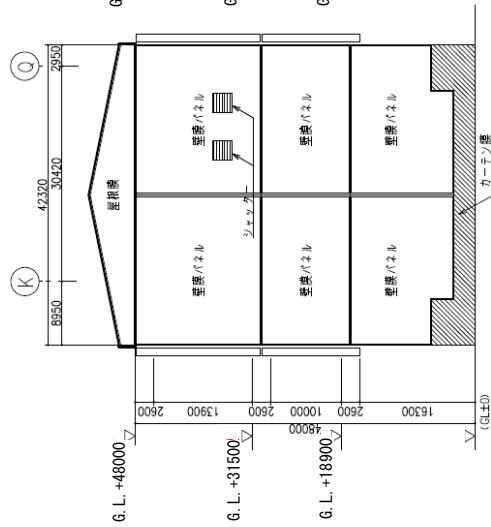
| 想定する状態 | 鉛直荷重 | 水平荷重 | 許容応力度 |
|--------|-------|------|-------|
| 常時 | G+P | | 長期 |
| 積雪時 | G+P+S | | 短期 |
| 暴風時 | G+P | W | |
| 地震時 | G+P | K | |

G：固定荷重，P：積載荷重，S：積雪荷重，W：風圧力，K：地震荷重

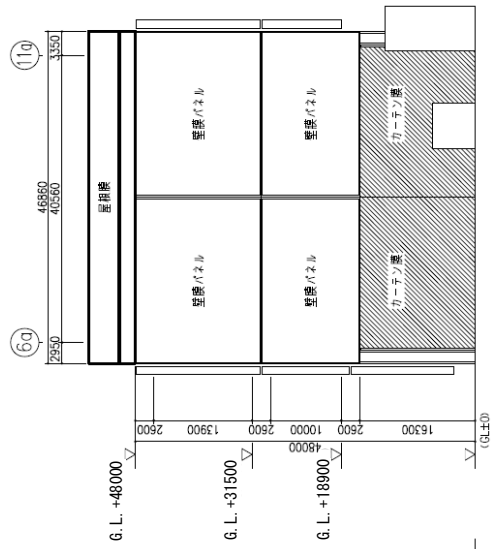


構内建屋配置図

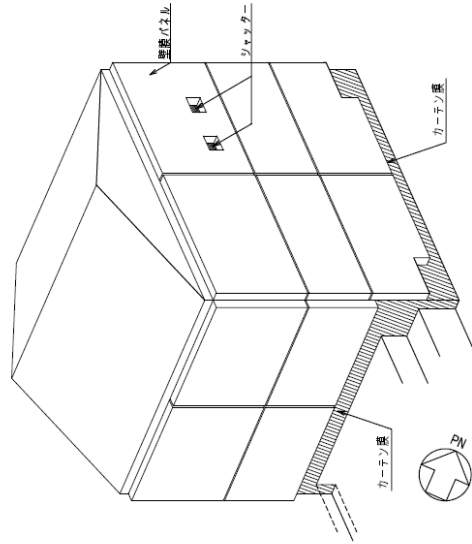
G. L. +18900



北側立面図



西側立面図



アイソメ図

立面図・アイソメ図

構造計算書

1 構造計画

原子炉建屋カバーは、福島第一原子力発電所1号機原子炉建屋において、原子炉建屋を覆う構造物である。

原子炉建屋カバーの寸法は、図2-1に示すように、平面寸法は約47m(NS方向)×約42m(EW方向)の長方形で、高さは地上から約54mである。主体構造は鉄骨造であり、壁面及び屋根面は膜材で覆う計画である。

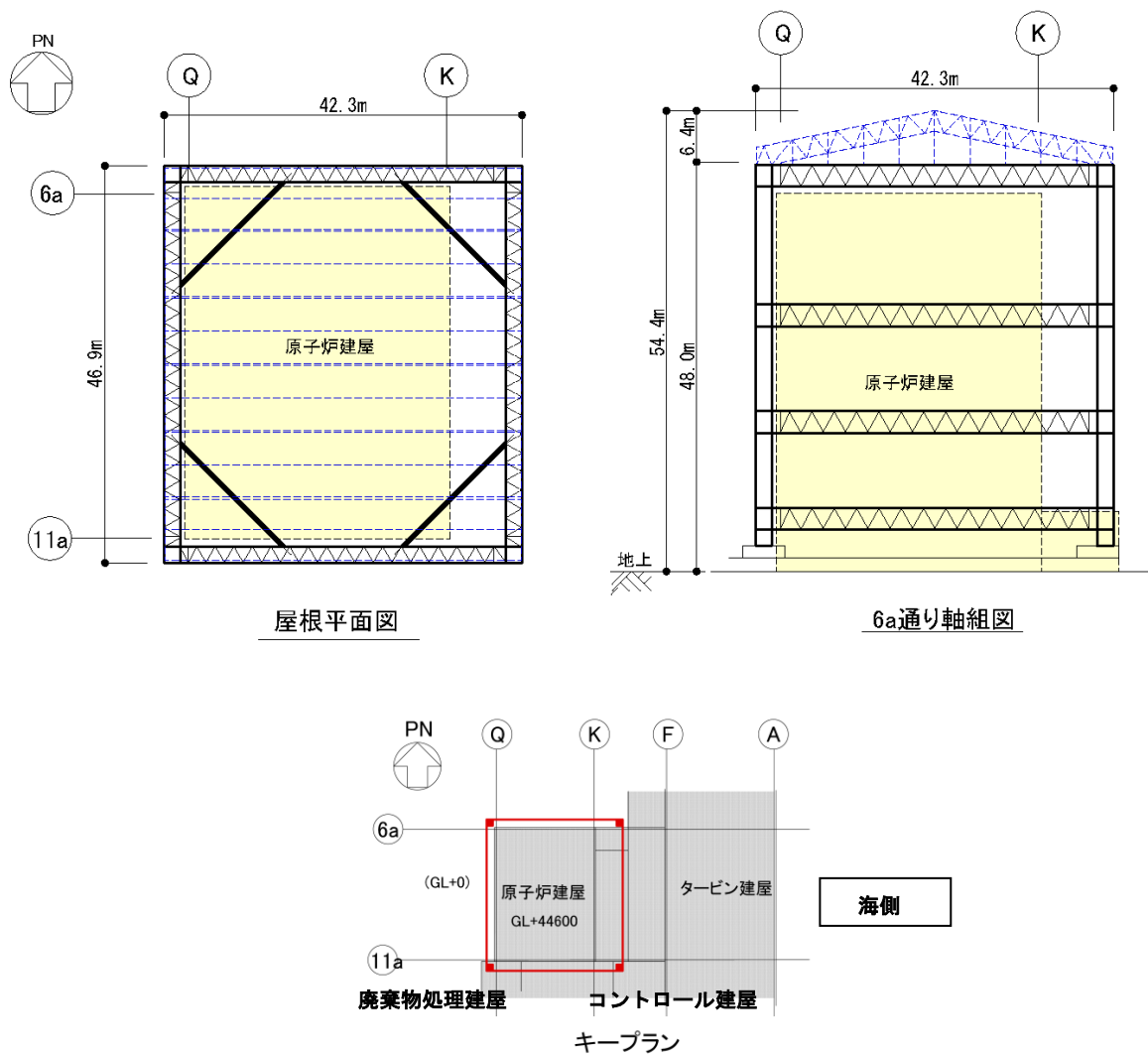


図2-1 1号機 原子炉建屋カバー概要図

主要構造部材である柱、梁及び補助材である火打材は、弦材と斜材による組立材で構成する。構造検討に用いる応力は、3次元フレームモデルを用いて算定する。図2-2に解析モデル及び部材形状の概要を示す。

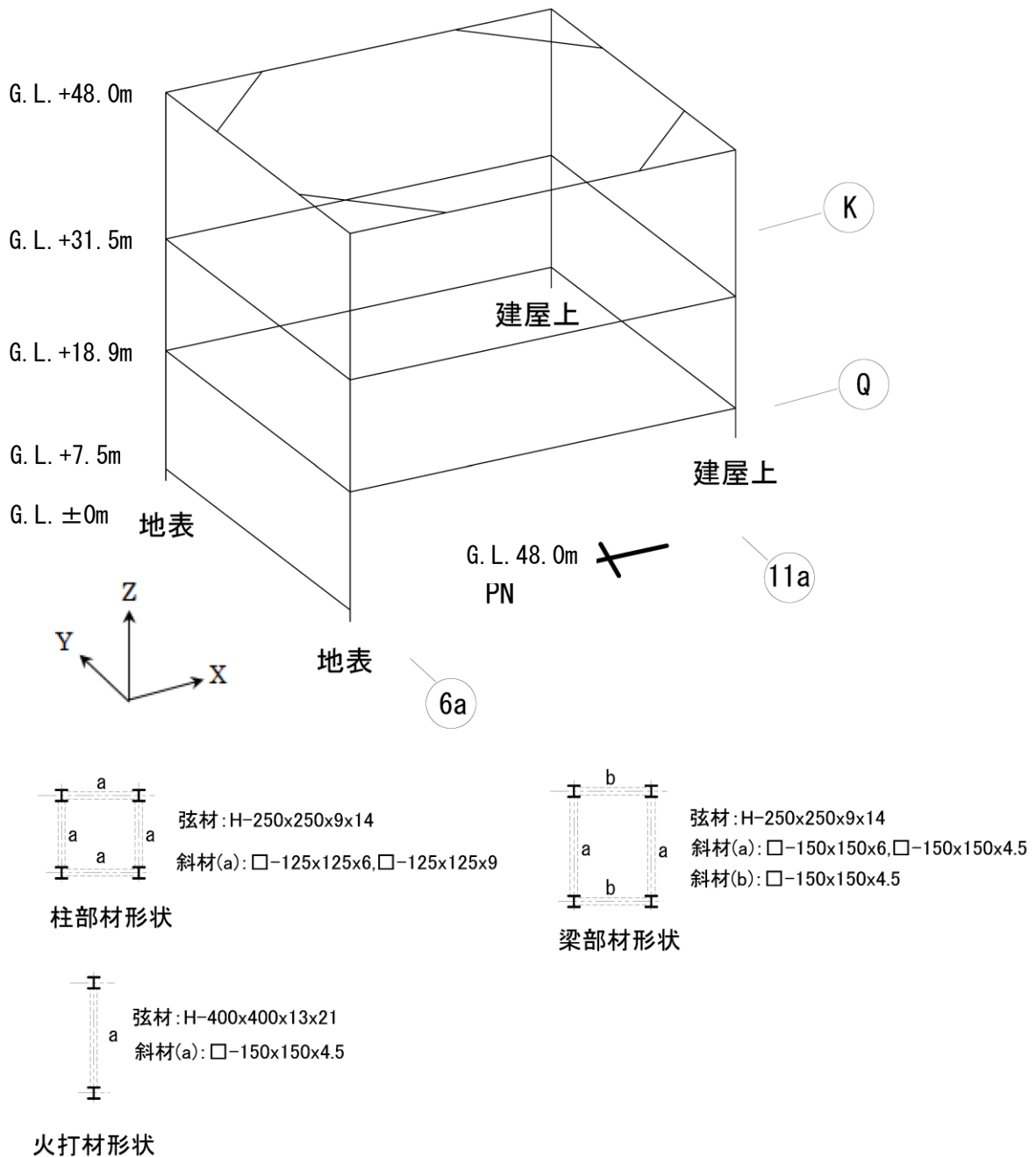


図2-2 解析モデル及び部材形状の概要

2 全体架構の設計

2.1 使用材料及び材料の許容応力度

鋼材は SS400, SN400, STK400, STKR400, SN490, SM490 のいずれかを使用する。

鋼材の材料定数及び許容応力度を表 2-1～表 2-2 に示す。

表 2-1 材料の定数

| 材 料 | ヤング係数 E (N/mm ²) | ポアソン比 ν | 単位体積重量 (kN/m ³) |
|-----|---------------------------------|------------|--------------------------------|
| 鉄 骨 | 2.05×10 ⁵ | 0.3 | 77 *1 |

注) *1 : 鉄骨の単位体積重量は質量密度 7.85t/m³に換算係数 9.80665 を乗じた。

表 2-2 鋼材の基準強度及び許容応力度 (単位 : N/mm²)

| | 材料 | 板厚 | 基準強度 F | 許容応力度 |
|-----------|-------------------------------|----------|-----------|-----------------------------------|
| 構造用 鋼材 | SS400,SN400 STK400,STKR400 | t ≤ 40mm | 235 | 日本建築学会「鋼構造設計規準」に従って左記 F の値により求める。 |
| | | t > 40mm | 215 | |
| | SN490,SM490 | t ≤ 40mm | 325 | |
| | | t > 40mm | 295 | |

2.2 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重

設計に当たっては、以下の荷重を考慮する。

a. 鉛直荷重

構造物に対して鉛直方向に作用する荷重で、以下の値とする。

| | |
|------|------------------------|
| 鉄骨 | 77 kN/m ³ |
| 膜材自重 | 0.01 kN/m ² |

上記より、部材に作用する単位荷重を以下のとおり設定する。

| | |
|------------|------------------------|
| 柱 | 25.0 kN/m |
| 梁 | 6.0 kN/m |
| 屋根 | 1.00 kN/m ² |
| 火打材 | 17.0 kN/箇所 |
| 壁膜 (パネル部) | 0.45 kN/m ² |
| 壁膜 (カーテン部) | 0.4 kN/m |

応力解析モデルに考慮する鉛直荷重の概要を図 2-3 に示す。

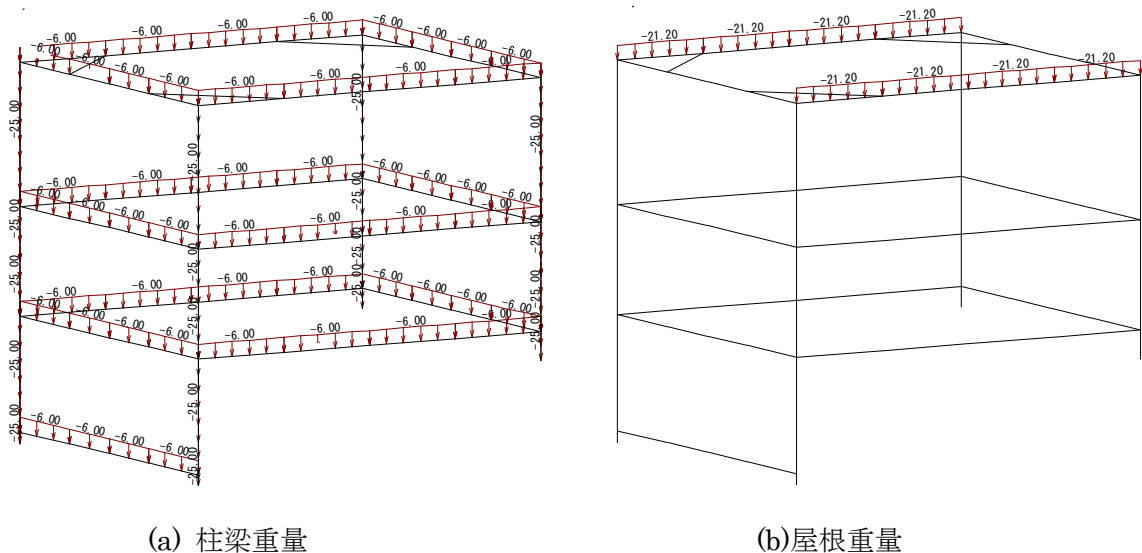


図 2-3 鉛直荷重の概要

b. 積雪荷重

建築基準法施行令及び福島県施行細則に準拠し以下の条件とする。

積雪量 30 cm

単位荷重 20 N/m²/cm

$$W_{SNL} = 30 \times 20 \times 10^{-3} = 0.60 \text{ kN/m}^2$$

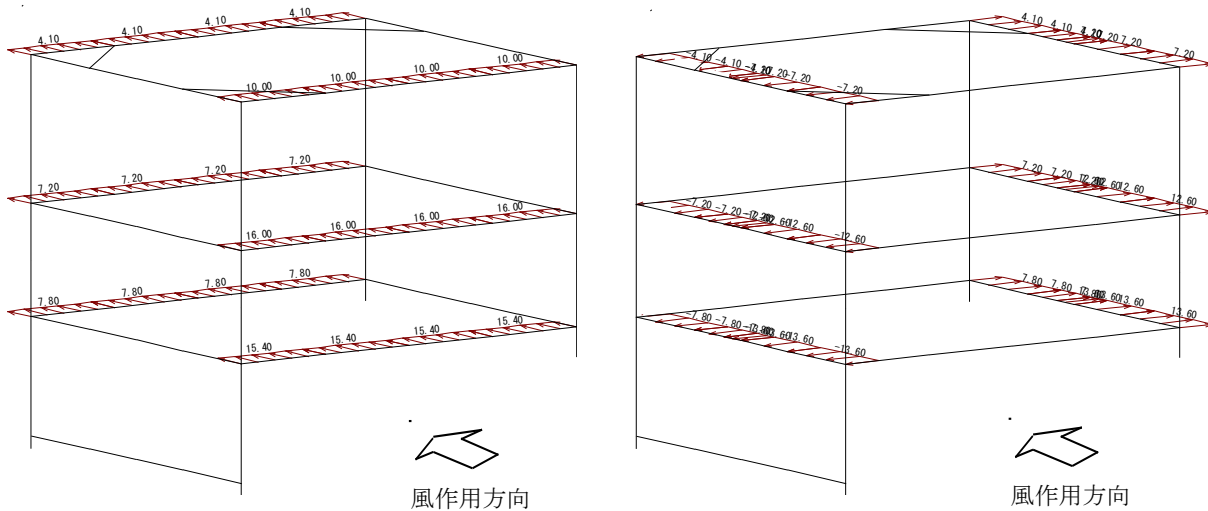
c. 風圧力

基準風速は建築基準法施行令第 87 条及び日本建築学会「建築物荷重指針」(1993 年版)に示される評価式に基づく条件とする。

風圧力は建築基準法施行令第 87 条に準拠して算定する。速度圧の算定結果を表 2-3 に、また、西風による風圧力の概要を図 2-4 に示す。

表 2-3 速度圧の算定

| G.L. (m) | 軒高さ (m) | 最高高さ (m) | 平均高さ H (m) | 平均風速の 高さ方向の 分布を表す 係数 E _r | ガスト影響 係数 G _r | 建築物の高 さと地表面 粗度に応じ た係数 E | 基準風速 V ₀ (m/s) | 速度圧 q (N/m ²) |
|-------------|------------|-------------|------------------|---|-------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| +48.0 | 50.17 | 54.37 | 52.27 | 1.28 | 2.00 | 3.28 | 25 | 1230 |



(a) 風上及び風下壁面 (風作用方向)

(b) 側壁面 (風直交方向)

図 2-4 風圧力の概要 (西風)

d. 地震力

地震力は地表面（G.L.±0m）を基準として、下式により算定する。

$$Q_i = C_i \cdot W_i$$

$$C_i = Z \cdot R_t \cdot A_i \cdot C_0$$

ここで、

Q_i : 地震力 (kN)

C_i : 地震層せん断力係数

W_i : 当該層以上の重量 (kN)

Z : 地震地域係数 ($Z=1.0$)

R_t : 振動特性係数 ($R_t=1.0$)

A_i : 地震層せん断力係数の高さ方向の分布係数

C_0 : 標準せん断力係数 ($C_0=0.2$)

地震力は、構造物を 1 層構造とみなし、建屋重量による慣性力が建屋頂部に作用するものとして算定する。

地震力の算定結果を表 2-4 に示す。

表 2-4 地震力の算定結果

| G.L. (m) | 重量 W_i (kN) | ΣW_i (kN) | A_i | C_i | 地震力 Q (kN) |
|-------------|---------------------|----------------------|-------|-------|--------------------|
| +48.0 | 8336 | 8336 | 1.0 | 0.2 | 1668 |

(2) 荷重の組合せ

建築基準法施行令により，以下の荷重の組合せを考慮する。

表 2-5 荷重の組合せ

| 想定する状態 | 鉛直荷重 | 水平荷重 | 許容応力度 |
|--------|-------|------|-------|
| 常時 | G+P | — | 長期 |
| 積雪時 | G+P+S | — | 短期 |
| 暴風時 | G+P | W | |
| 地震時 | G+P | K | |

ここで，

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S : 積雪荷重

W : 風圧力

K : 地震力

なお，短期事象においては，暴風時及び地震時の影響が支配的であることから，積雪時の検討は省略する。

2.3 全体架構の強度検討

(1) 解析モデル

解析モデルは、図 2-5 に示すとおり、柱、梁、火打材の剛性をはり要素として集約して評価した 3 次元フレームモデルとする。屋根部分については、重量は考慮するが、屋根自体の剛性は考慮しない。また、膜材についても同様に、重量は考慮するが、膜材自体の剛性は考慮しない。

解析モデルにおける柱、梁の部材端条件は剛接を基本とする。なお、柱脚部はピン支持とする。

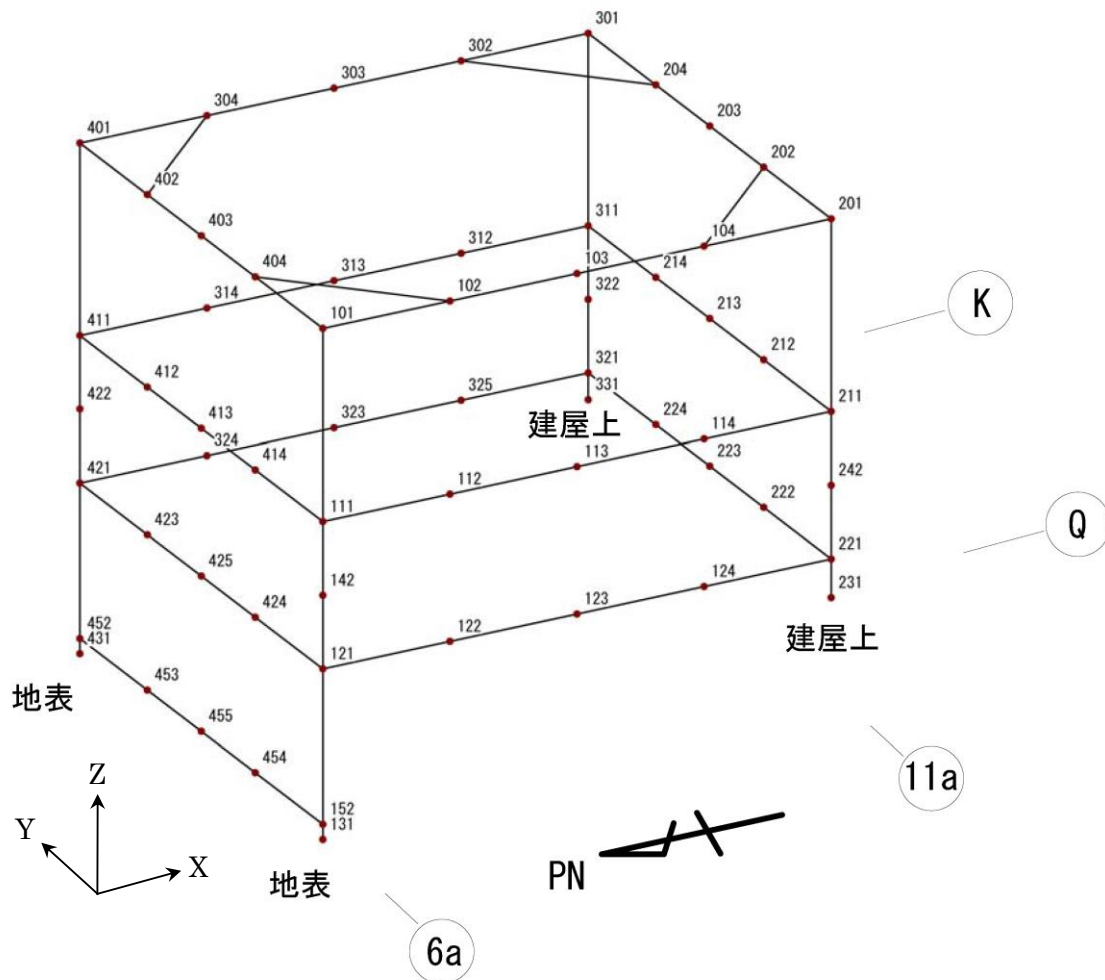


図 2-5 解析モデル

(2) 応力解析

応力解析は以下の 9 ケースについて実施する。

表 2-6 応力解析ケース

| ケース No. | 荷重 | 許容応力度 |
|---------|--------------|-------|
| 1 | 常時荷重 (固定+積載) | 長期 |
| 2 | 風圧力 (東→西) | 短期 |
| 3 | 風圧力 (西→東) | 短期 |
| 4 | 風圧力 (南→北) | 短期 |
| 5 | 風圧力 (北→南) | 短期 |
| 6 | 地震力 (東→西) | 短期 |
| 7 | 地震力 (西→東) | 短期 |
| 8 | 地震力 (南→北) | 短期 |
| 9 | 地震力 (北→南) | 短期 |

注) : 架構が非対称となるため、風圧力及び地震力は 4 方向からの荷重を考慮する。

(3) 部材の断面検討

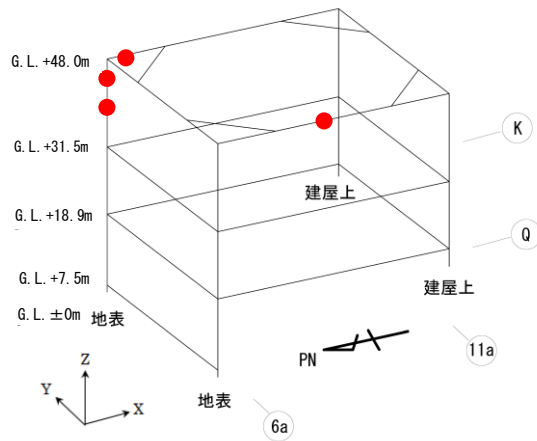
応力解析で得られた各荷重を組み合わせ、柱及び梁部材の断面検討を行う。表 2-7 に常時 (固定+積載)、表 2-8 に暴風時 (固定+積載+風圧力)、表 2-9 に地震時 (固定+積載+地震力) における断面検討結果を示す。各表には、軸力及び曲げモーメントとせん断力に対する断面検討結果から各々の応力度比が最も厳しくなる部位の結果を示している。

全ての荷重組合せ状態について、柱及び梁部材の応力度は許容値以下となることを確認した。

表 2-7 柱及び梁部材の断面検討結果（常時）

| 部材 | | 使用部材 | | 応力度 (N/mm ²) | | 許容応力度 (N/mm ²) | 応力度比 | 判定 |
|-----------|--------------|----------------|-------------|-----------------------------|-------|-------------------------------|------|----|
| | | 弦材 | 斜材 | 軸力 | 曲げ | | | |
| 柱 (北東) | G. L. +48.0m | H-250*250*9*14 | □-125*125*6 | 軸力 | 31.3 | 201 | 0.64 | OK |
| | ↕ | | | 曲げ | 102.8 | | | |
| | G. L. +31.5m | | | 軸力 | 27.3 | 142 | 0.20 | OK |
| | | | | せん断 | 70.5 | | | |

| 部材 | | 使用部材 | | 応力度 (N/mm ²) | | 許容応力度 (N/mm ²) | 応力度比 | 判定 |
|-----------|--------------|----------------|-------------|-----------------------------|-------|-------------------------------|------|----|
| | | 弦材 | 斜材 | 軸力 | 曲げ | | | |
| 梁 (西面) | G. L. +48.0m | H-250*250*9*14 | □-150*150*6 | 軸力 | 9.0 | 186 | 0.60 | OK |
| | | | | 曲げ | 119.0 | | | |
| | | | | せん断 | 119.7 | 137 | 0.88 | OK |
| 梁 (東面) | G. L. +48.0m | H-250*250*9*14 | □-150*150*6 | 軸力 | 9.2 | 186 | 0.60 | OK |
| | | | | 曲げ | 118.8 | | | |
| | | | | せん断 | 119.8 | 137 | 0.88 | OK |

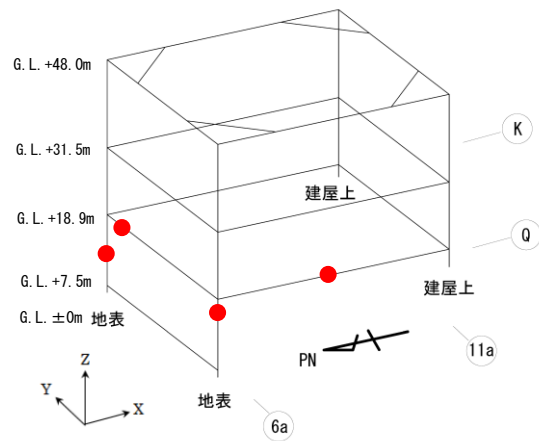


●は最大応力発生位置を示す

図 2-6

| 部材 | | 使用部材 | | 応力度 (N/mm ²) | | 許容応力度 (N/mm ²) | 応力度比 | 決定ケース | 判定 | |
|-----------|--------------|----------------|-------------|--------------------------|-------|----------------------------|------|-------|------|-----|
| | | 弦材 | 斜材 | | | | | | | |
| 柱 (北西) | G. L. +18.9m | H-250*250*9*14 | □-125*125*9 | 軸力 | 88.8 | 301 | 0.69 | 東→西 | OK | |
| | ∩ | | | 曲げ | 127.8 | | | | | |
| | G. L. +5.6m | | | せん断 | 105.0 | | 213 | 0.50 | 東→西 | OK |
| | | | | | | | 20.0 | 213 | 0.10 | 南→北 |
| 柱 (北東) | G. L. +18.9m | H-250*250*9*14 | □-125*125*9 | 軸力 | 77.4 | 301 | 0.57 | 西→東 | OK | |
| | ∩ | | | 曲げ | 99.0 | | | | | 325 |
| | G. L. +5.6m | | | せん断 | 106.0 | | 213 | 0.50 | 西→東 | OK |
| | | | | | | | 5.9 | 213 | 0.03 | 北→南 |

| 部材 | | 使用部材 | | 応力度 (N/mm ²) | | 許容応力度 (N/mm ²) | 応力度比 | 決定ケース | 判定 |
|-----------|--------------|----------------|-------------|--------------------------|-------|----------------------------|------|-------|-----|
| | | 弦材 | 斜材 | | | | | | |
| 梁 (西面) | G. L. +18.9m | H-250*250*9*14 | □-150*150*6 | 軸力 | 11.3 | 279 | 0.68 | 西→東 | OK |
| | | | | 曲げ | 205.2 | | | | |
| | | | | せん断 | 109.4 | | 206 | 0.54 | 西→東 |
| 梁 (北面) | G. L. +18.9m | H-250*250*9*14 | □-150*150*6 | 軸力 | 7.9 | 279 | 0.53 | 北→南 | OK |
| | | | | 曲げ | 162.5 | | | | |
| | | | | せん断 | 116.9 | | 207 | 0.57 | 西→東 |



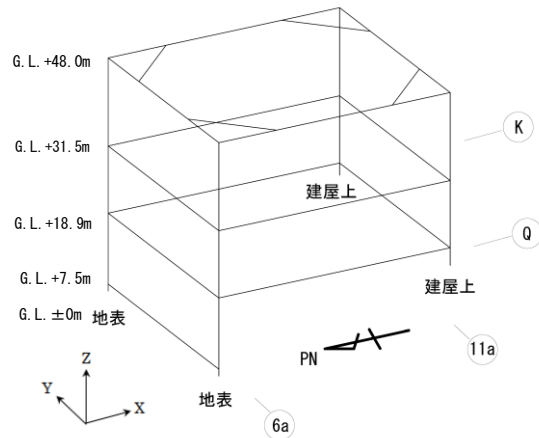
●は最大応力発生位置を示す

図 2-7

表 2-9 柱及び梁部材の断面検討結果（地震時）

| 部材 | | 使用部材 | | 応力度 (N/mm ²) | | 許容応力度 (N/mm ²) | 応力度比 | 決定 ケース | 判定 | |
|-----------|--------------|----------------|-------------|-----------------------------|-------|-------------------------------|------|-----------|-----|-----|
| | | 弦材 | 斜材 | | | | | | | |
| 柱 (南西) | G. L. +48.0m | H-250*250*9*14 | □-125*125*6 | 軸力 | 37.1 | 301 | 0.69 | 東→西 | OK | |
| | ↘ | | | 曲げ | 184.2 | | | | | |
| | G. L. +31.5m | | | せん断 | 120.7 | | 214 | 0.57 | 東→西 | OK |
| | | | | | 154.8 | | 214 | 0.73 | 北→南 | OK |
| 柱 (北東) | G. L. +48.0m | H-250*250*9*14 | □-125*125*6 | 軸力 | 36.1 | 301 | 0.67 | 南→北 | OK | |
| | ↘ | | | 曲げ | 177.2 | | | | | 325 |
| | G. L. +31.5m | | | せん断 | 109.2 | | 214 | 0.52 | 西→東 | OK |
| | | | | | 158.6 | | 214 | 0.75 | 南→北 | OK |

| 部材 | | 使用部材 | | 応力度 (N/mm ²) | | 許容応力度 (N/mm ²) | 応力度比 | 決定 ケース | 判定 |
|-----------|--------------|----------------|-------------|-----------------------------|-------|-------------------------------|------|-----------|-----|
| | | 弦材 | 斜材 | | | | | | |
| 梁 (東面) | G. L. +48.0m | H-250*250*9*14 | □-150*150*6 | 軸力 | 16.8 | 279 | 0.63 | 南→北 | OK |
| | | | | 曲げ | 183.7 | | | | |
| | | | | せん断 | 168.6 | | 206 | 0.82 | 南→北 |



●は最大応力発生位置を示す

図 2-8

2.4 基礎の検討

(1) すべりに対する検討

原子炉建屋カバーは、基礎となる柱脚部分が地盤面または既設建屋の屋根スラブ上面に設置されているため、水平荷重が作用した場合のすべりの検討を行う。

表 2-10 にすべりに対する検討結果を示す。

水平荷重時（暴風時及び地震時）の柱脚部のせん断力はすべり抵抗以下となる。

表 2-10 すべりに対する検討結果

(単位：kN)

| 部位 | せん断力 | | | すべり抵抗 | 判定 |
|----|------|------|------|-------|----|
| | 暴風時 | | 地震時 | | |
| | 東・西 | 南・北 | | | |
| 柱脚 | 2720 | 2445 | 1668 | 5024 | OK |

注)：すべり抵抗は、「鋼構造設計規準 17 章 柱脚」に基づき、摩擦係数 0.4 を用いて算定した。

(2) 柱支持力に対する検討

原子炉建屋カバーの柱のうち南面の柱は、図 2-9 に示すとおり既設建屋の屋根スラブ上面に設置する架台で支持されるため、常時及び水平荷重時（暴風時及び地震時）について柱支持力に対する検討を行う。

表 2-11 に柱支持力に対する検討結果を示す。

各々の柱に作用する軸力は既設建屋のパンチングシアに対する許容せん断力以下であり、柱の支持力は十分に確保されている。

表 2-11 柱支持力に対する検討結果

(単位：kN)

| 部位 | 作用荷重 | | | パンチングシアに対する許容せん断力 | | 判定 |
|-----|------|------|------|-------------------|------|----|
| | 長期 | 短期 | | 長期 | 短期 | |
| | 常時 | 暴風時 | 地震時 | | | |
| 南東柱 | 1442 | 1549 | 1808 | 4719 | 7046 | OK |
| 南西柱 | 973 | 1118 | 1211 | 3513 | 5245 | OK |

注)：パンチングシアに対する許容せん断力は、「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 20 条 基礎」に基づき算定した。

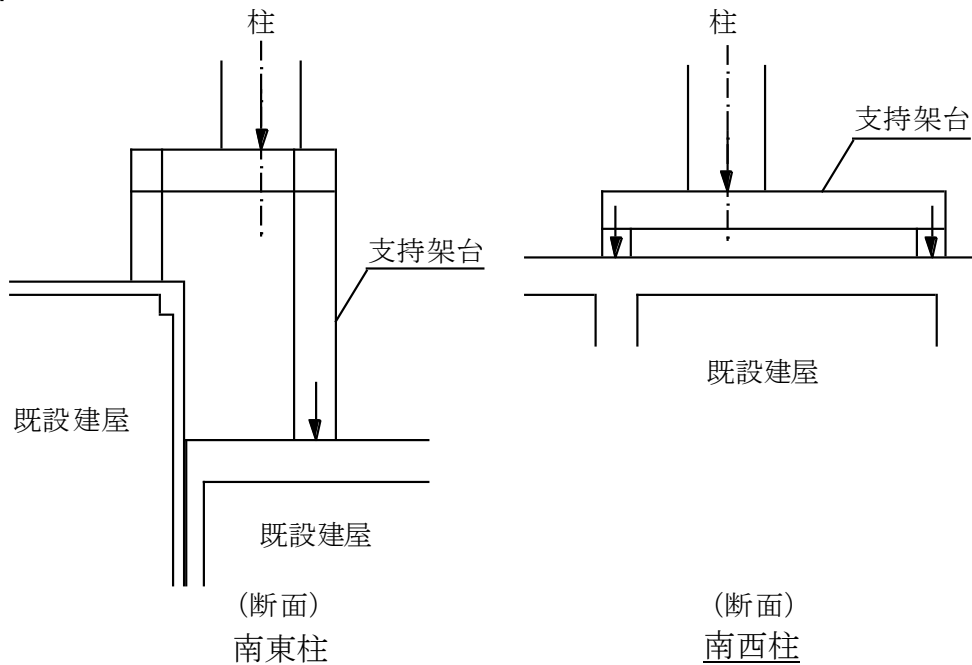


図 2-9 支持架台

3 膜材の設計

3.1 使用材料及び材料の許容応力度

膜材としては塩化ビニル樹脂コーティング ポリエステル繊維織物を用いる。
膜材の許容応力度を表 2-12 に示す。

表 2-12(a) 膜材の許容応力度 (壁パネル)

| 膜厚さ t(mm) | 繊維方向 | 基準強度*1 Fm(N/cm) | 許容引張応力度*2 | |
|--------------|-------|--------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | | | 長期 lft(N/mm ²) | 短期 sft(N/mm ²) |
| 0.52 | タテ糸方向 | 457 | 14.64 | 29.29 |
| | ヨコ糸方向 | 408 | 13.07 | 26.15 |

注記 *1 : 基準強度は JIS L 1096 「一般織物試験方法」-1999 の定速伸長形引張試験機を用いたストリップ法により測定した引張強さ (建築基準法第 37 条第二号に基づく国土交通大臣の認定を受けたもの)

*2 : $ft = Fm/t/v$: v は安全率 (平成 14 年国土交通省告示第 667 号「テント倉庫建築物の構造方法に関する安全上必要な技術的基準を定める等の件」第 6 第 3 項第一号に従い, 長期は 6, 短期は 3 とする)

表 2-12(b) 膜材の許容応力度 (屋根)

| 膜厚さ t(mm) | 繊維方向 | 基準強度*1 Fm(N/cm) | 許容引張応力度*2 | |
|--------------|-------|--------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | | | 長期 lft(N/mm ²) | 短期 sft(N/mm ²) |
| 0.63 | タテ糸方向 | 654 | 12.97 | 25.95 |
| | ヨコ糸方向 | 654 | 12.97 | 25.95 |

注記 *1 : 基準強度は JIS L 1096 「一般織物試験方法」-1999 の定速伸長形引張試験機を用いたストリップ法により測定した引張強さ (建築基準法第 37 条第二号に基づく国土交通大臣の認定を受けたもの)

*2 : $ft = Fm/t/v$: v は安全率 (平成 14 年国土交通省告示第 666 号「膜構造の建築物又は建築物の構造方法に関する安全上必要な技術的基準を定める等の件」第 6 第一号に従い, 長期は 8, 短期は 4 とする)

3.2 設計用荷重

膜材の強度検討は、風圧力に対して行う。

(1) 風圧力

全体架構の設計と同様に、設計における基準風速は 25 m/sec とする。

風圧力の算定結果を表 2-13 に示す。

表 2-13 速度圧及び風力係数の算定

(a)速度圧(q)の算定

| G.L. (m) | 軒高さ (m) | 最高高さ (m) | 平均高さ H (m) | 平均風速の 高さ方向の 分布を表す 係数 E _r | ガスト影響 係数 G _f | 建築物の高 さと地表面 粗度に応じ た係数 E | 基準風速 V ₀ (m/s) | 速度圧 q (N/m ²) |
|-------------|------------|-------------|------------------|---|-------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| +48.0 | 50.17 | 54.37 | 52.27 | 1.28 | 2.00 | 3.28 | 25 | 1230 |

(b)風力係数(C_p)の算定

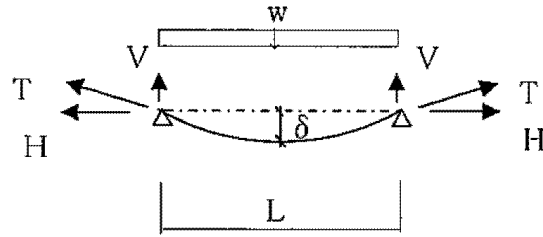
| G.L. (m) | 地上高さ Z(m) | k _z | 壁面:正圧時 | | | 壁面:負圧時 | | |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| | | | 外圧係数 | 内圧係数 | 風力係数 | 外圧係数 | 内圧係数 | 風力係数 |
| | | | C _{pe} | C _{pi} | C _f | C _{pe} | C _{pi} | C _f |
| +48.0 | 38.5 | 0.912 | 0.73 | -0.20 | 0.93 | -0.70 | 0 | -0.70 |

設計用風圧力は、以下のとおりとなる。

壁パネル膜材： (正圧時) $w=0.93 \times 1230=1144$ → 1150N/m²
 (負圧時) $w=0.70 \times 1230=861$ → 870N/m²
 屋根膜材： (負圧時) $w=1.0 \times 1230=1230$ → 1230N/m²

3.3 膜材の強度検討

風圧力 w により膜材に生じる応力度 T' は以下の式により算定する。



$$V = w \cdot L / 2 \quad (\text{N/m})$$

$$H = \sqrt[3]{(w^2 \cdot L^2 \cdot Et) / 24 + T_0} \quad (\text{N/m}) \quad (T_0 = 1000 \text{ N/m})$$

$$T = \sqrt{V^2 + H^2} \quad (\text{N/m})$$

$$T' = T / t / 1000 \quad (\text{N/mm}^2)$$

ここで、

L : 支持スパン (m)

Et : 引張剛性 (壁パネル膜材 : タテ糸方向 230000N/m, ヨコ糸方向 160000N/m)
(屋根膜材 : タテ糸方向 418400N/m, ヨコ糸方向 367600N/m)

T_0 : 初期張力 (=1000 N/m)

t : 膜厚さ (mm)

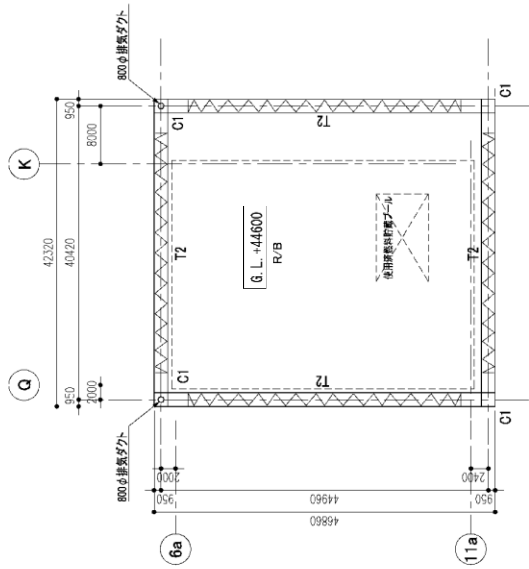
壁パネル膜材及び屋根膜材の強度検討結果を表 2-14 に示す。

風圧力により膜材に生じる応力度は、表 2-12 に示す許容応力度以下であり、基準風速に対して約 2 倍の余裕度がある。

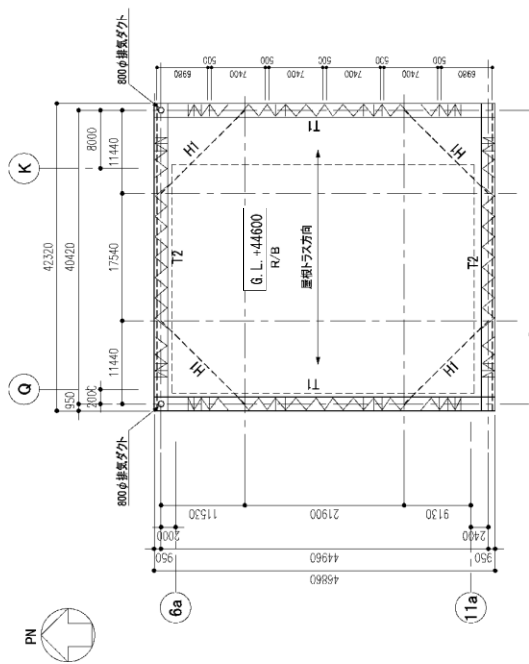
表 2-14 膜材の強度検討結果

| | (壁パネル膜材) | | (屋根膜材) | | |
|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| | (正圧時) | (負圧時) | (屋根面) | (側面) | (妻面) |
| | (Cf=0.93) | (Cf=-0.7) | (Cf=-1.0) | (Cf=1.0) | (Cf=1.0) |
| | 短期 | 短期 | 短期 | 短期 | 短期 |
| 風圧力 w (N/m ²) | 1150 | 870 | 1230 | 1230 | 1230 |
| 糸方向 | ヨコ | ヨコ | ヨコ | ヨコ | ヨコ |
| 支持スパン L (m) | 2.31 | 2.31 | 1.85 | 1.85 | 2.53 |
| 応力度 T' (N/mm ²) | 9.23 | 7.93 | 8.60 | 8.60 | 10.29 |
| 許容応力度 ft (N/mm ²) | 26.15 | 26.15 | 25.95 | 25.95 | 25.95 |
| 応力度比 T'/ft | 0.35 | 0.30 | 0.33 | 0.33 | 0.40 |
| 判定 | OK | OK | OK | OK | OK |

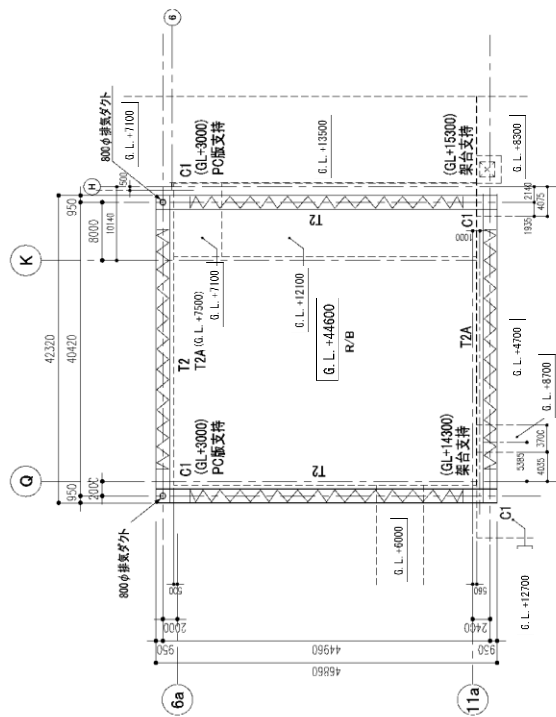
参考文献 : 国土交通省国土技術政策総合研究所 他監修「膜構造の建築物・膜材料等の技術基準及び同解説」,
平成 15 年 8 月



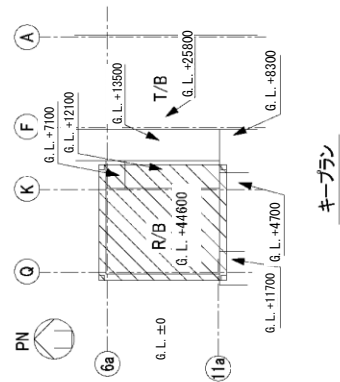
G. L. +31500



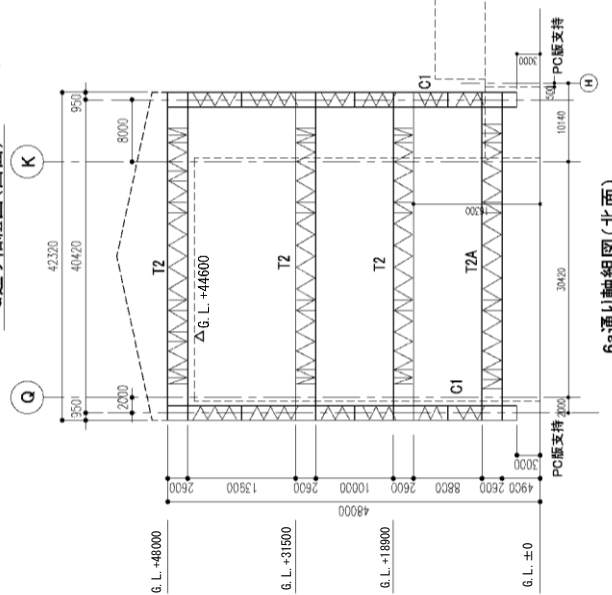
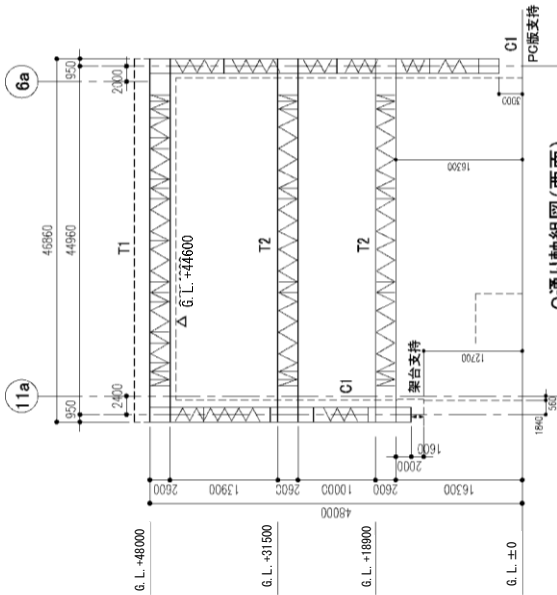
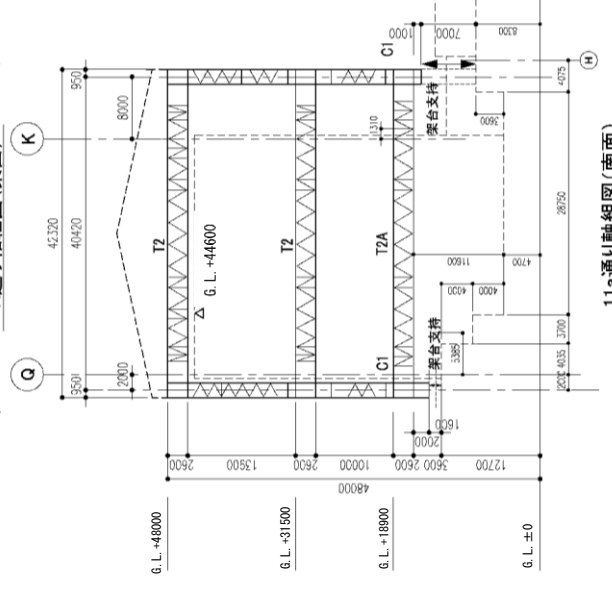
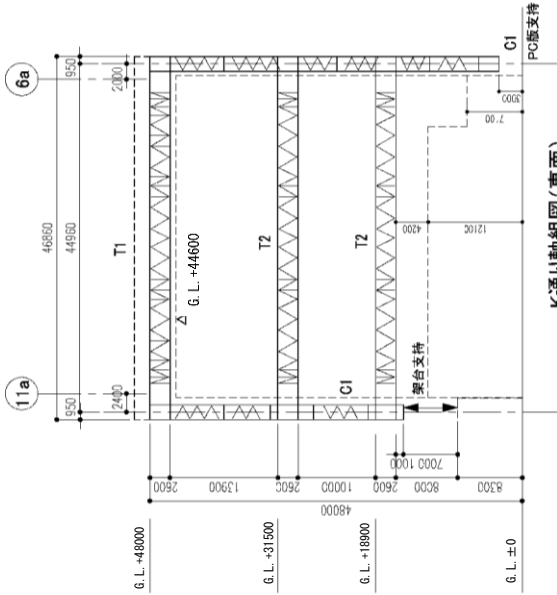
G. L. +48000



G. L. +18900



1号機原子炉建屋カバー 伏図



1号機原子炉建屋カバー 軸組図

供用期間を考慮した風荷重の設定
－ 風荷重の設定方針について －

1 原子炉建屋カバーの供用期間を考慮した風荷重の算定について

原子炉建屋カバーは恒久的対策実施までの短期的対策として、約 2 年間の使用を考えているが、建築基準法で定められる基準風速は建築物の供用期間を考慮し、再現期間を概ね 50 年として設定されている。しかし、原子炉建屋カバーについては供用期間が短期であることを考慮し、日本建築学会「建築物荷重指針（1993 年版）」に基づき、10 年再現期間で低減した風速による風荷重を採用することとする。

2 日本建築学会「建築物荷重指針（1993 年版）」の適用について

日本建築学会「建築物荷重指針」は統計的データや確率・統計的分析により得られた知見をもとに、1993 年に荷重全般について改定され、その後、2004 年に見直しが行われている。

「建築物荷重指針（2004 年版）」では建築物の長期使用を見込み、設計風速の算定に用いる再現期間換算係数は、再現期間 500 年の年最大風速 U_{500} に基づいた近似式となっている。そのため、再現期間が 100 年から 500 年の範囲から外れるに従って、推定誤差は大きくなる（※1）。

一方、「建築物荷重指針（1993 年版）」は、100 年再現期間の風速に対する再現期待値として定義しており、短期使用の構造物への適用には誤差が少ない算定式と考えられる（※2）。

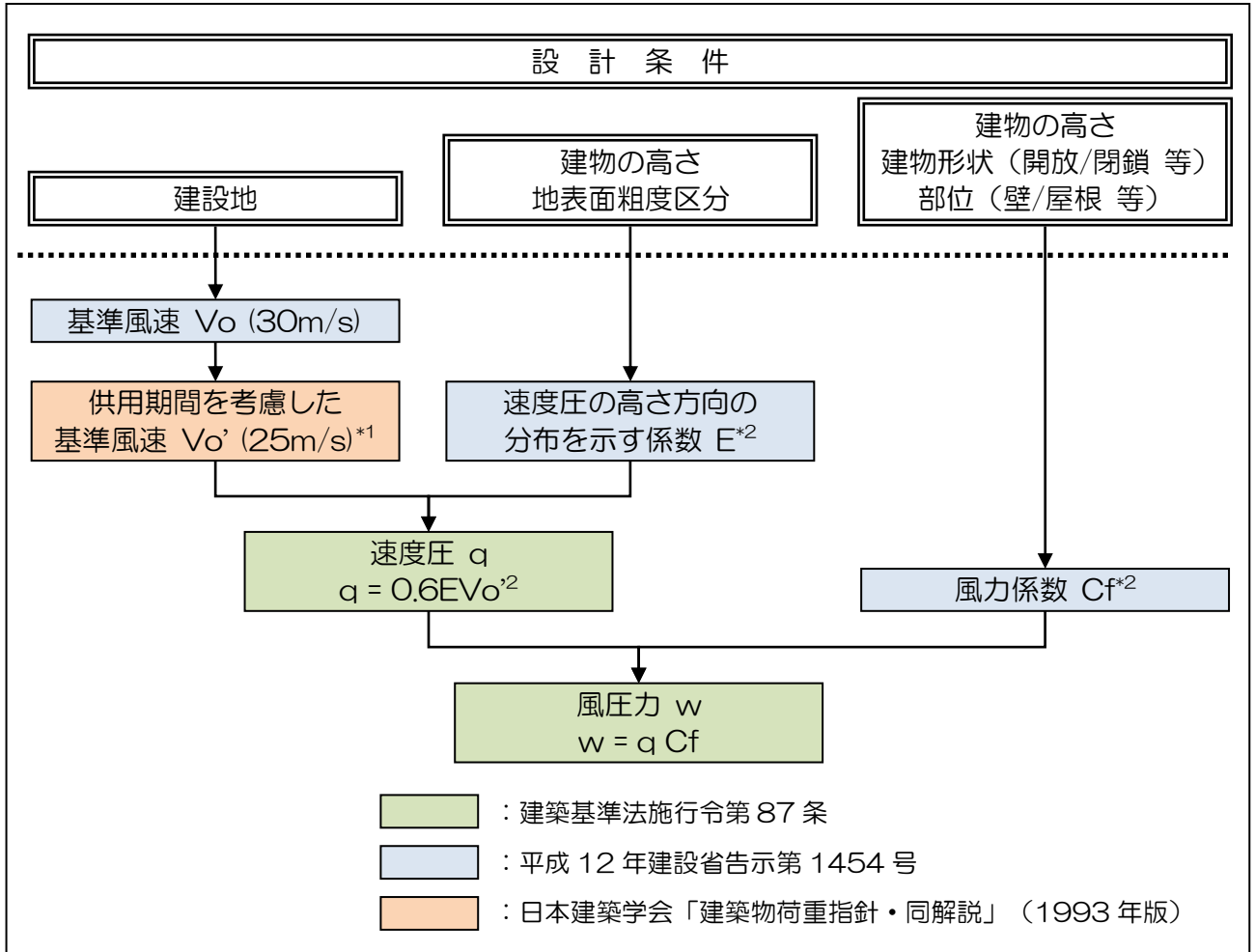
（※1）建築物荷重指針（2004 年版）の再現期間 20 年とした場合の誤差は約 9%

（※2）建築物荷重指針（1993 年版）の再現期間 5 年とした場合の誤差は 0.6%

以上より、原子炉建屋カバーに作用する風荷重は「建築物荷重指針（1993 年版）」を用いて算定する。

3 風荷重の算定フロー

設計に用いる風荷重（風圧力）は、以下のフローに従い算定する。



*1: 風速の再現期間換算係数 R は、設計用再現期間 r (年) に応じて、下式により算定される。

$$R = 0.54 + 0.1 \ln(r)$$

50 年再現期間に相当する基準風速 $V_0=30\text{m/s}$ を 10 年再現期間に換算すると以下のとおりとなる。

$$\begin{aligned} V_0' &= V_0 \times (0.54 + 0.1 \ln(10)) / (0.54 + 0.1 \ln(50)) \\ &= 30 \times 0.77 / 0.93 = 24.8 \rightarrow 25 \text{ m/s} \end{aligned}$$

*2: E および C_f は、告示第 1454 号中に示される数式や図表に示される係数により算定される。

設計荷重以上の外力に対する検討

1 架構がすべる場合の検討

架構の総重量は、約 12,560 kN であり、すべり摩擦係数を 0.4 とすると、
 架構のすべり抵抗は、 $Q_a = 0.4 \times 12,560 = 5,024$ kN となる。

風荷重、地震荷重について漸増載荷解析を実施した結果を図 4-2 及び図 4-3 に示す。崩壊形を形成する場合の最下層のせん断力（保有水平耐力）は、架構のすべり抵抗以上の値となる。

（風荷重時） $Q_u = \text{約 } 7,450$ kN

（地震荷重時） $Q_u = \text{約 } 6,330$ kN

すなわち、風荷重時、地震荷重時のいずれにおいても、（ $Q_a < Q_u$ となるため）架構は崩壊形を形成する前にすべると想定される。柱脚部にすべりが生じた場合、架構にはそれ以上の荷重は作用しないことになるため、架構の崩壊には至らないと考えられる。

また、すべり量が増加した場合、最終的には原子炉建屋カバーは原子炉建屋に接触して変位は拘束され、それ以上の荷重は原子炉建屋が受けることになる。なお、原子炉建屋カバーの G.L. +18,900 レベルの梁の原子炉建屋側に変位抑制のためのストッパーを設置し、万一すべりが生じた場合でも、原子炉建屋のコンクリート壁部分で原子炉建屋カバーを支持できる構造とする。

この場合、原子炉建屋は原子炉建屋カバーの荷重を負担することとなるが、動的解析に用いられる原子炉建屋の質点重量に比べて原子炉建屋カバーの重量は十分に小さく（原子炉建屋カバー総重量／原子炉建屋質点重量（基礎重量をのぞく）＝約 4%）、振動性状を示す固有周期に与える影響も約 2%である。一方、基準地震動 Ss-1 及び Ss-2 に対する原子炉建屋の耐震壁のせん断ひずみは最大で 0.12×10^{-3} であり、評価基準値（ 4.0×10^{-3} ）に対して十分余裕がある（※）。これより、原子炉建屋カバーが原子炉建屋に接触しても原子炉建屋の健全性に与える影響は軽微であると言える。

※「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わる報告書（その1）」参照

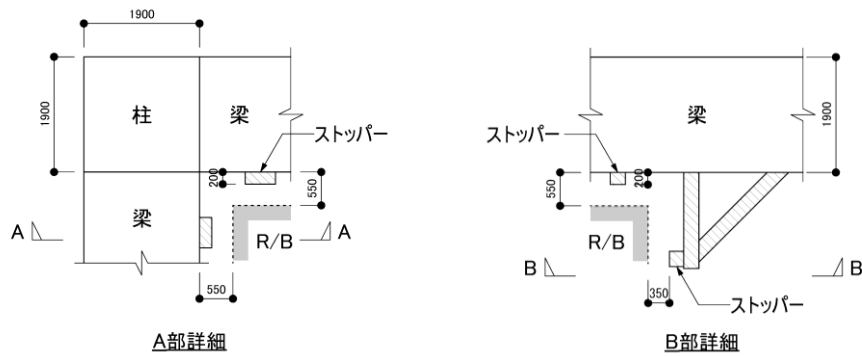
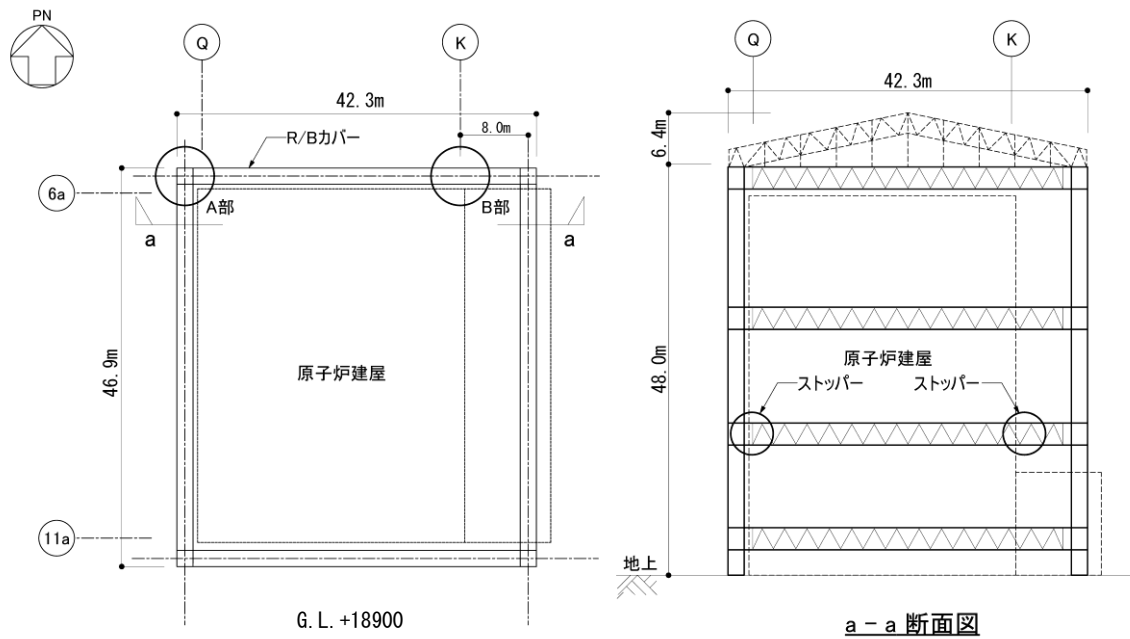
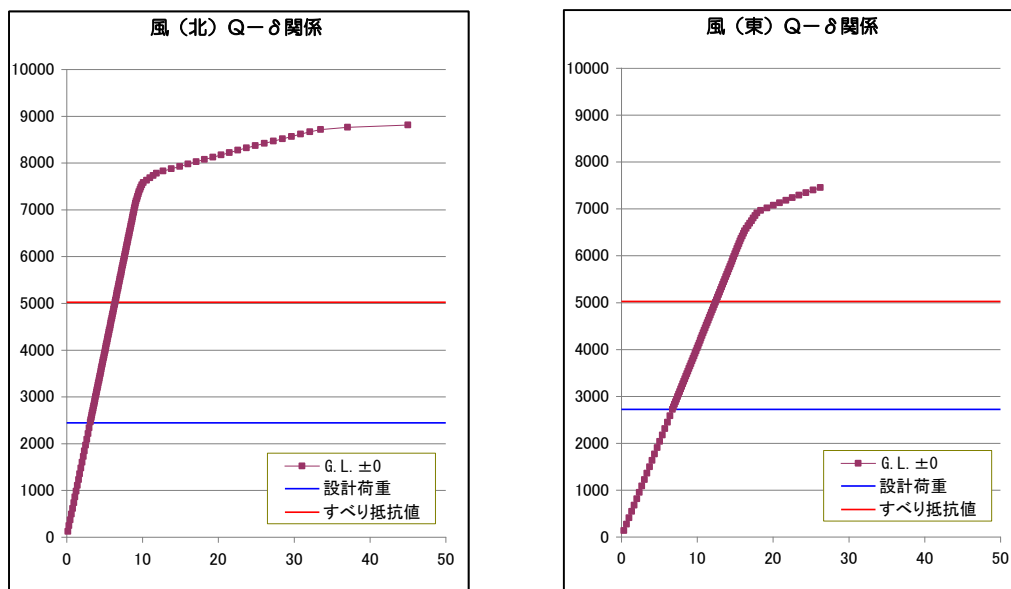


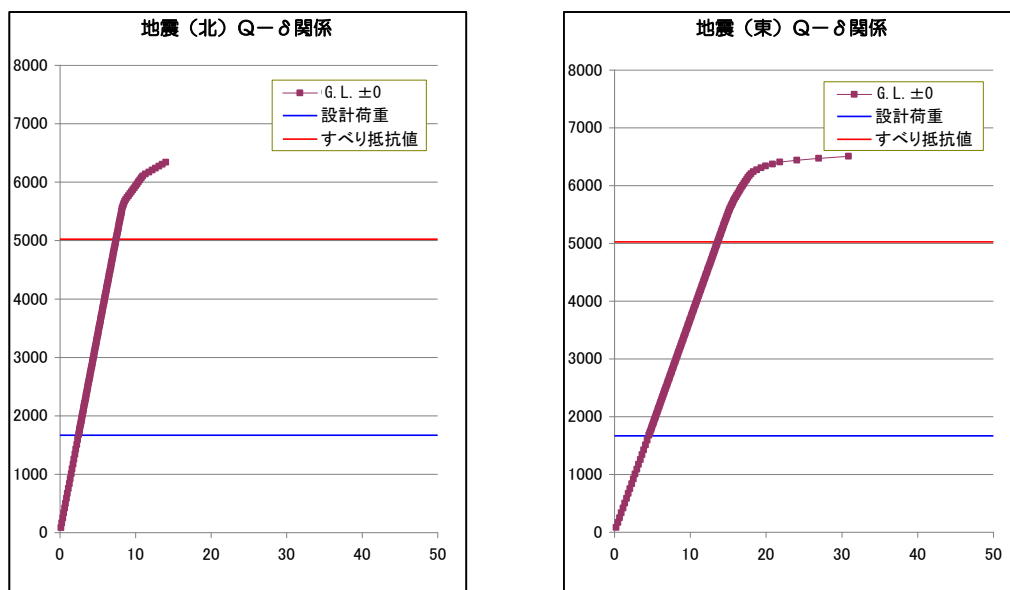
図 4-1 ストッパーの概要

設計荷重に対するすべり抵抗値を比較すると、風荷重時は約 1.8 倍（基準風速に対し約 1.3 倍）、地震荷重時は約 3.0 倍の余裕度がある。



単位：横軸（cm），縦軸（kN）

図 4-2 荷重-変形関係：風荷重時



単位：横軸（cm），縦軸（kN）

図 4-3 荷重-変形関係：地震荷重時

なお、設計荷重に対する架構の保有耐力は、風荷重時は約 2.7 倍（基準風速に対し約 1.6 倍）、地震荷重時で約 3.7 倍の余裕度がある。

原子炉建屋カバー附属設備について

1. 設備概要

1.1 系統構成

放射性物質の外部流出を抑制するため、原子炉建屋カバーに排気設備（フィルタ付）を設置する。原子炉建屋カバー内の天井部に吸込口を設け、排気ダクトを經由してカバー外に設置したフィルタユニットへ導く。高性能粒子フィルタ（効率97%）、よう素用チャコールフィルタ（効率90%）、加熱コイル、排風機等から構成されたフィルタユニットを6系列（うち予備2系列）設置する。各フィルタユニットの排気風量は、約10,000m³/hとし、総排気風量約40,000m³/h（4系列）で運転する。原子炉建屋カバー下部は仕切板により区画されており、オペレーティングフロアより上のカバー空間は、約45,000m³（図5-2参照）であることから、1回/h程度の換気頻度となる。

また、カバー内の状況や温度、放射性物質の濃度等を確認できる装置を設置する。

表5-1 排気設備及び計測設備等

| 設備名 | 構成・配置等 |
|-------------------|--|
| 吸込口 | 配置：カバー内の北側天井部に設置 |
| フィルタユニット | 配置：原子炉建屋西側の屋外に6系列（うち予備2系列）設置 構成：プレフィルタ，よう素用チャコールフィルタ（効率90%），高性能粒子フィルタ（効率97%），加熱コイル，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，よう素用チャコールフィルタ，高性能粒子フィルタに設置） |
| 排気管 （吹上用排気ダクト） | 配置：フィルタユニットの下流側に設置 （直径：約 1m，高さ：約 4m） |
| カメラ | 配置：オペレーティングフロア上部外周に6台（うち予備3台） 対象：プールへの注水状況及びカバー内状況 |
| 温度計 | 配置：天井部に2個（うち予備1個）， オペレーティングフロア高さに2個（うち予備1個） |
| 放射性物質濃度測定器 | 測定対象：オペレーティングフロアコーナー部近傍（3箇所）， 機器ハッチ開口部近傍，使用済燃料プール上方， カバー内上部空間及び大気放出前の放射性物質の濃度 |
| 水素濃度計 | 測定対象：カバー内上部空間の水素濃度 配置：フィルタユニットの下流側に2台（うち予備1台） |

1.2 計測設備構成

原子炉建屋カバー内の各種状態を監視できるよう以下の計測設備を設置する（図5-1 参照）。

1.2.1 カメラ

カバー天井部に設置した使用済燃料プール注水用の注水ノズル（1.3項参照）から注水する場合の注入状況，及びカバー内の全体状況を監視するため，オペレーティングフロアより約18m 上のカバー内の外周に沿ってカメラを6 台（うち予備3 台）設置する。設置場所は，オペレーティングフロアを対角線に監視できるよう北面の東側，西面の南側に各2 台（うち予備2台）と使用済燃料プールをより確実に監視できるよう使用済燃料プールの西側に2 台（うち予備1 台）とする。

1.2.2 温度計

使用済燃料プール上方（オペレーティングフロアより約23m）に2 個（うち予備1 個）及びオペレーティングフロアとほぼ同じ高さの北側と西側外周部に各1 個（うち予備1 個）の温度計を設置する。

1.2.3 放射性物質濃度測定器

放射性物質は，原子炉圧力容器から原子炉格納容器，原子炉建屋内，オペレーティングフロアの開口部（機器ハッチ等）を経てカバー内に放出されるものと，使用済燃料プールの水中からプール上空に移行するものが想定される。このため，機器ハッチ開口部近傍（オペレーティングフロアより約1m 上，機器ハッチ端部より約2m 西側）と，使用済燃料プール上方（オペレーティングフロアより約25m）から各々吸引できるよう放射性物質濃度測定用のサンプリング配管を設置する。また，カバー内上部空間（オペレーティングフロアより約25m 上）及び大気放出前（フィルタ通過後）の放射性物質濃度測定用の配管を排気ダクトに設置する。さらに念のため，オペレーティングフロア面の北東，北西，南西コーナー部近傍（オペレーティングフロアより約1m 上，原子炉建屋端部より約1m）に各1 箇所設置し（南東コーナー部近傍の1 箇所は環境改善を行うなど設置が可能となるよう工夫した後，設置），各々のサンプリング配管は放射性物質濃度測定器に接続する。（図5-2 参照）

1.2.4 フィルタ線量計

Cs-134（半減期2 年）及びCs-137（半減期30 年）は，I-131（半減期8 日）に比べ半減期が長く，セシウムを捕集する高性能粒子フィルタのフィルタ線量が短期間で上昇する可能性があるため，適切な時期にフィルタ交換ができるよう，高性能粒子フィルタに γ 線線量計を設置する。

1.2.5 フィルタ差圧計

カバー内の粉塵等を捕集することにより、フィルタ差圧が上昇することが想定されるため、プレフィルタ、高性能粒子フィルタ、よう素用チャコールフィルタに差圧計を設置する。

1.2.6 水素濃度計

3.3項に記載の通り、原子炉及び使用済燃料プール内の燃料による水の放射線分解により水素が発生する。水素の発生量は、排気風量に比べ十分に少ないことや、カバー内気体と混合されること、天井から排気することから、カバー内に水素濃度が滞留する可能性は極めて低い。念のため水素濃度計を排気ダクトに2台（うち予備1台）設置する。

1.3 使用済燃料プール注水設備

現在、使用済燃料プールへの注水は原子炉建屋の内部配管を経由して行われており、これが停止した場合の代替手段として、使用済燃料プールの上部からコンクリートポンプ車による注水を行うこととしている。原子炉建屋カバー設置後は、原子炉建屋カバーの天井部に注水ノズル（方向調整機能付）を取り付け、配管・ホースで原子炉建屋カバー外部の給水系統に接続することで代替注水を可能とする。注水管は予備1本を含め2本設置し、注水管の先端に接続する注水ノズルの向きはコンテナに格納された現場制御盤において遠隔で操作が可能である。

1.4 電源構成

原子炉建屋カバー排気設備及び附属設備の電源は、構内設置の降圧変圧器盤から供給される。降圧変圧器盤は、高圧電源盤に接続されており、高圧電源盤は多重化された外部から給電される構成としている。

1.5 配置

原子炉建屋カバー排気設備、コンテナに格納された現場制御盤及び排気管は、原子炉建屋の西側の屋外に設置する（図5-3 参照）。

1.6 運転管理

原子炉建屋カバーの排気設備については、フィルタユニットの近傍に設置した現場制御盤で操作し、排気設備の故障等により停止した場合には、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）、カバー内温度、水素濃度、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は、警報を発する。免震重要棟に設置するモニタには、制御盤の情報が送られ、カメラによるカバー内状況とと

もに確認することができる。また、免震重要棟でも同様に、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。

1.7 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、よう素用チャコールフィルタ、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. 放出抑制効果について

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外部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 $0.3\mu\text{m}$ ）以上）により低減される。

なお、原子炉建屋カバー設置後の敷地境界における年間実効線量については、「Ⅲ.3.2 放射性廃棄物等の管理に関する補足説明」の評価を参照。

3. 原子炉建屋カバー設置による影響について

3.1 温度の影響について

外気 28.5°C （夏季設計用温度）、原子炉からの熱（10月1日時点）、使用済燃料プールからの熱（10月1日時点）及び日射（秋）、排気風量 $40,000\text{m}^3/\text{h}$ と仮定した場合におけるカバー内の温度について、気流解析により評価した結果、オペレーティングフロア上約 1.5m の温度が約 40°C となった。また、原子炉建屋カバーに附属する排気システムは、原子炉建屋カバーのすき間から外気を取り込むことを前提とした構成であり、原子炉建屋内の気体を排気することは想定していない。そこで、原子炉建屋内温度について以下の計算方法で評価した結果、約 10°C 上昇して約 39°C となった。原子炉建屋内で作業を行う場合には、必要に応じてスポットクーラー等を設置し、作業エリアの環境改善を図り、また状況によっては、作業時間を限定するなどの対策をとる。

<計算方法>

- ① 下式により、カバー設置前の原子炉建屋内温度を 28.5°C と仮定した場合の駆体負荷 Q (W) を求める。
- ② ①で求めた駆体負荷 Q (W) と同程度となるカバー内温度（気流解析結果）と原子炉建屋内温度の温度差 Δt ($^{\circ}\text{C}$) を逆算し、カバー設置後の原子炉建屋内温度を

求める。

$$Q=KA \Delta t$$

Q：駆体負荷 (W)

K：熱通過率 (W/m²・℃)

A：伝熱面積 (m²)

Δt ：室内外温度差 (℃)

$$T=t-\Delta t$$

T：原子炉建屋内温度 (℃)

t：カバー内温度 (℃)

3.2 湿度の影響について

使用済燃料プールに貯蔵されている燃料の崩壊熱全てがプール水の蒸発に使用されたと仮定した場合の蒸発量は約231kg/h、原子炉内燃料の崩壊熱により発生した蒸気が格納容器から漏出したと仮定した場合の蒸発量は180kg/hとなる。また、排気風量40,000m³/hで、カバー設置前の温度/相対湿度を28.5℃/75%と仮定した場合、カバー設置後のカバー内温度が約40℃の時の相対湿度を以下の計算方法で評価した結果、カバー内湿度は約58%となった。

原子炉建屋内の湿度については、カバーを設置することにより原子炉建屋内温度が約40℃となることから(2.1項参照)、カバー内の湿度と同等の約58%になるものと考ええる。

<計算方法>

- ① 下式により、カバー設置後の絶対湿度 X (kg/kg') を求める。
- ② ①で求めた絶対湿度 X (kg/kg') とカバー内温度の 40℃から、湿り空気 h-x 線図より相対湿度を求める。

$$X=X1+\{(LS+LR)/(W\gamma)\}$$

X：カバー設置後の絶対湿度 (kg/kg')

X1：カバー設置前の絶対湿度 (0.0186kg/kg')

LS：使用済燃料プールからの蒸発量 (231kg/h)

LR：原子炉からの蒸発量 (180kg/h)

W：カバー排気風量 (40,000m³/h)

γ ：空気密度 (1.2kg/m³)

3.3 水素発生に対する影響について

原子炉圧力容器内燃料及び使用済燃料プール内の燃料による水の放射線分解により発生する水素の量について評価した（表5-2 参照）。

評価の結果、水素の発生量は、カバー内の容積及び排気風量に比べ十分に少ないこと、カバー内気体と混合されやすいこと、カバー内の空気を天井から排気することから、カバー内の水素濃度が上昇する可能性は極めて低い。万一、水素濃度が可燃限界濃度に達した場合には、カバー屋根又はシャッターを開放し、カバー外へ放出する。なお、オペレーティングフロアより上のカバー内容積45,000m³/h に対しての水素濃度は、約0.01%となる。

表5-2 水素発生量

| 発生箇所 | 発生量* (Nm ³ /h) | 40°Cの場合 (m ³ /h) |
|---------------|---------------------------|-----------------------------|
| 原子炉圧力容器内燃料 | 約3.17 | 約3.65 |
| 使用済燃料貯蔵プール内燃料 | 約0.56 | 約0.64 |
| 合計 | 約3.73 | 約4.29 |

*原子炉内の燃料, 使用済燃料貯蔵プール内の燃料ともに100%破損を仮定

- 原子炉圧力容器内燃料の水素発生量は、3.4kmol/日
体積に換算すると、3.4kmol/日×22.4Nm³/kmol=76.2Nm³/日=3.17Nm³/h
- 使用済燃料貯蔵プール内燃料の水素発生量は、5.98E-01kmol/日
体積に換算すると、5.98E-01kmol/日×22.4Nm³/kmol=13.4Nm³/日=0.56Nm³/h
(安全側に7月末時点(原子炉停止後135日)での評価とした)

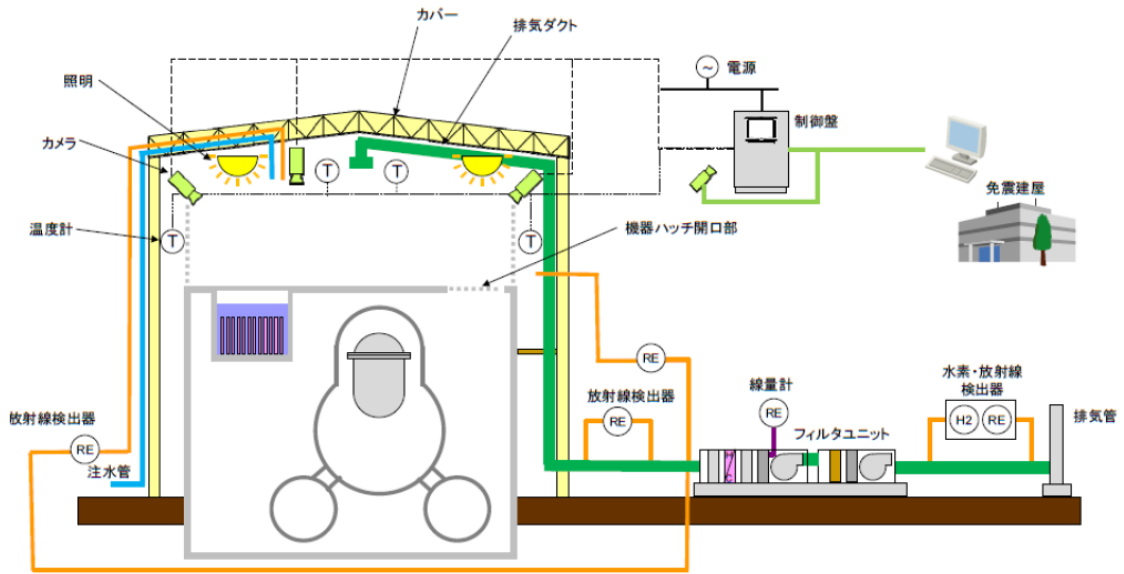


図5-1 原子炉建屋カバー排気設備及びモニタリング設備概略構成図

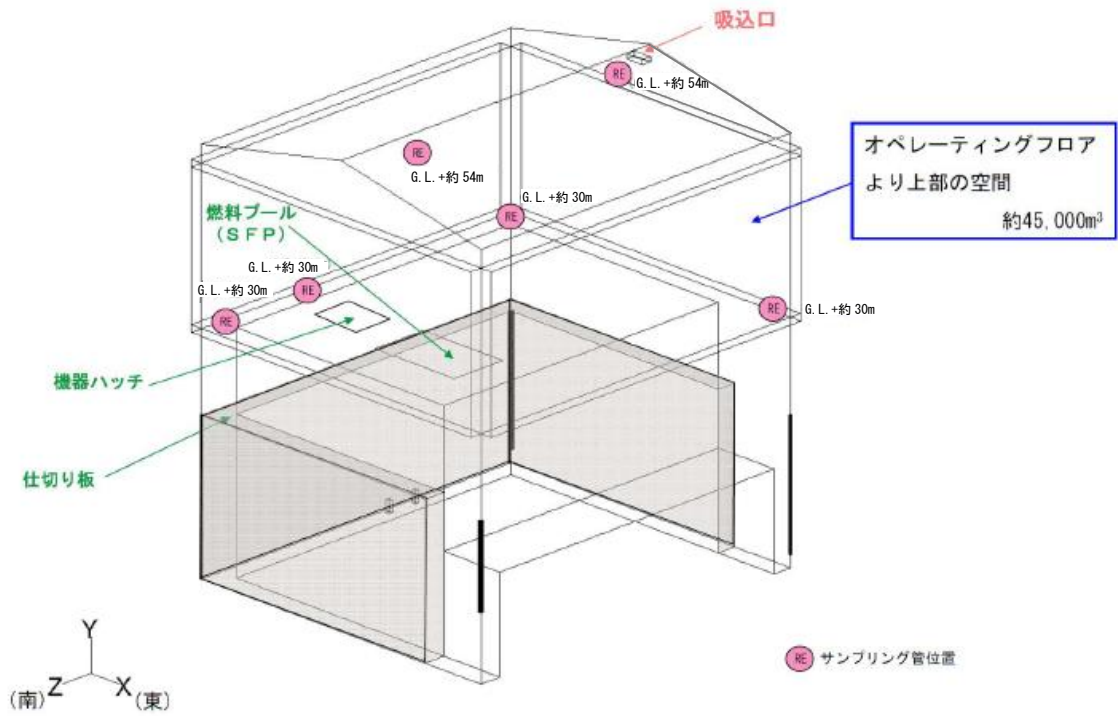


図5-2 原子炉建屋カバー放射性物質濃度サンプリング位置図

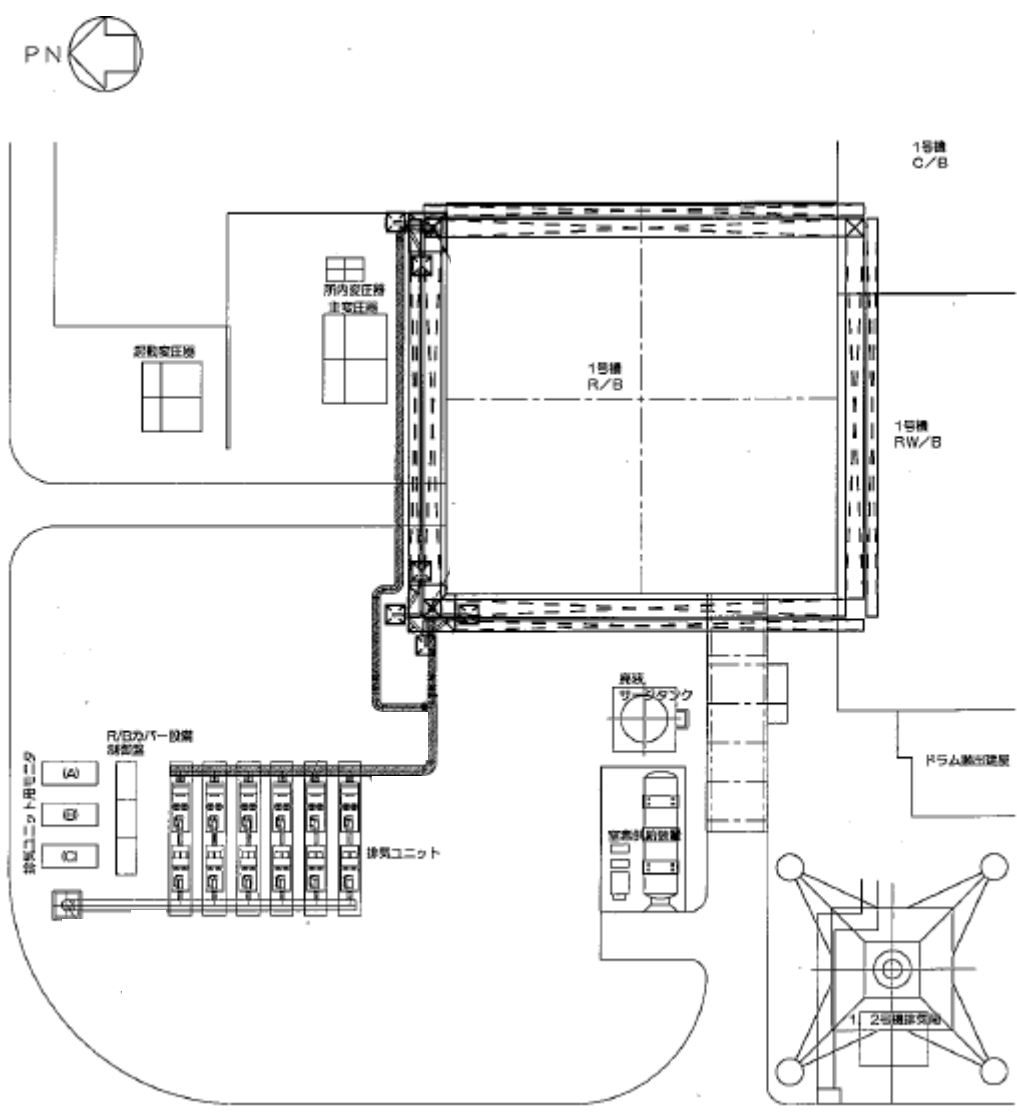


図5-3 原子炉建屋カバー排気設備配置図

