

福島第一原子力発電所
特定原子力施設への指定に際し
東京電力株式会社福島第一原子力発電所に
対して求める措置を講ずべき事項について
等への適合性について
(1号機大型カバー設置について)

2023年2月

東京電力ホールディングス株式会社

本資料においては、福島第一原子力発電所の1号機大型カバー設置に関連する「特定原子力施設への指定に際し東京電力株式会社福島第一原子力発電所に対して求める措置を講ずべき事項について」（平成24年11月7日原子力規制委員会決定。以下「措置を講ずべき事項」という。）等への適合方針を説明する。

本資料においては、実施計画の最新認可版を引用する他、本変更認可申請で変更及び記載の適正化を予定している箇所もあわせて記載する。

目次

I.	特定原子力施設の全体工程及びリスク評価について	
1.	特定原子力施設における主なリスクと今後のリスク低減対策.....	I-1-1
II.	設計, 設備について措置を講ずべき事項	
8.	放射性固体廃棄物の処理・保管・管理.....	II-8-1
10.	放射性固体廃棄物の処理・保管・管理.....	II-10-1
11.	放射性物質の放出抑制等による敷地周辺の放射線防護等.....	II-11-1
12.	作業者の被ばく線量の管理等.....	II-12-1
13.	緊急時対策	II-13-1
14.	設計上の考慮	
①	準拠規格及び基準.....	II-14-①-1
②	自然現象に対する設計上の考慮.....	II-14-②-1
③	外部人為事象に対する設計上の考慮.....	II-14-③-1
④	火災に対する設計上の考慮.....	II-14-④-1
⑤	環境条件に対する設計上の考慮.....	II-14-⑤-1
⑦	運転員操作に対する設計上の考慮.....	II-14-⑦-1
⑧	信頼性に対する設計上の考慮.....	II-14-⑧-1
⑨	検査可能性に対する設計上の考慮.....	II-14-⑨-1

I. 特定原子力施設の全体工程及びリスク評価について措置を講ずべき事項

1. 特定原子力施設における主なリスクと今後のリスク低減対策

○1号炉から4号炉については廃炉に向けたプロセス，燃料デブリの取出し・保管を含む廃止措置の完了までの全体工程，5号炉及び6号炉については冷温停止の維持・継続の全体工程をそれぞれ明確にし，各工程・段階の評価を実施し，特定原子力施設全体のリスク低減及び最適化を図ること，特定原子力施設全体及び各設備のリスク評価を行うに当たっては，敷地外への広域的な環境影響を含めた評価を行い，リスクの低減及び最適化が敷地内外の安全を図る上で十分なものであること。

措置を講ずべき事項への適合方針

○ 1号炉から4号炉については廃炉に向けたプロセス，燃料デブリの取り出し・保管を含む廃止措置の完了までの全体工程，5号炉及び6号炉については冷温停止の維持・継続の全体工程をそれぞれ明確にし，各工程・段階の評価を実施し，特定原子力施設全体のリスク低減及び最適化を図ること，廃炉に向けたプロセス，燃料デブリの取り出し・保管を含む廃止措置の完了までの全体工程を改訂していくこととし，特定原子力施設全体のリスク低減及び最適化を図ること，また，特定原子力施設全体のリスク評価を行うに当たっては，敷地外への広域的な環境影響を含めた評価を行い，リスクの低減及び最適化が敷地内外の安全を図る上で十分であるよう設計する。

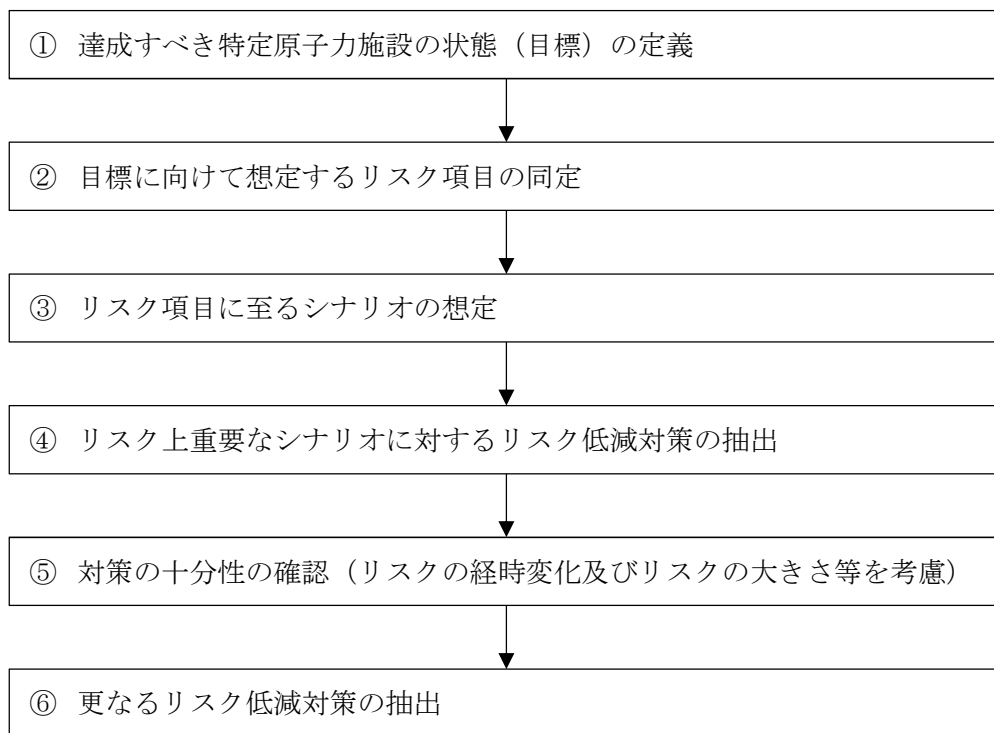
具体的な対応方針

(1) リスク評価の考え方

特定原子力施設のリスク評価は、通常の原子力発電施設とは異なり、特定原子力施設全体のリスクの低減及び最適化を図るために必要な措置を迅速かつ効率的に講じていくことを前提として実施する必要がある。以下にリスク評価の実施手順を示す。

また、特定原子力施設におけるリスク評価に関して、現時点で想定される敷地外への影響評価を(2)～(3)に示す。(2)においては、現時点における特定原子力施設の敷地境界及び敷地外への影響評価を示し、(3)においては、リスク評価で想定したリスクに至るシナリオの中で最も影響の高い事象を中心に評価した結果を示す。

a. リスク評価の手順



① 達成すべき特定原子力施設の状態（目標）の定義

特定原子力施設におけるリスク評価を実施するに際して、達成すべき状態（目標）を設定した上で目標に向けた活動に係るリスクを評価する必要がある。目標設定については、中長期的な観点で普遍的な目標を大目標及び中目標として設定した。小目標については個々の活動を実施する目的として設定されるものである。

【大目標】

特定原子力施設から敷地外への放射性物質の影響を軽減させ、事故前のレベルとする

【大目標達成のための中目標】

- 1) プラントの安定状態を維持しながら、廃止措置をできるだけ早期に完了させる
- 2) 敷地外の安全を図る（公衆への被ばく影響の低減）
- 3) 敷地内の安全を図る（作業員への被ばく影響の低減）

② 目標に向けて想定するリスク項目の同定

上記①のうち『敷地外の安全を図る』及び『敷地内の安全を図る』が達成できない状態を現状の主たるリスクと考え、以下の具体的なリスク項目を同定した。

『敷地外の安全を図る（公衆への被ばく影響の低減）』に関連したリスク項目

- i) 大気への更なる放射性物質放出
- ii) 海洋への更なる放射性物質放出

『敷地内の安全を図る（作業員への被ばく影響の低減）』に関連したリスク項目

- iii) 作業員の過剰被ばく

③ リスク項目に至るシナリオの想定

リスク評価を行うに当たっては危険源の同定が必要であり、特定原子力施設においては、放射性物質の発生源をその危険源として考え、放射性物質の発生源毎にリスク項目に至るシナリオを想定する。

また、作業員の過剰被ばくについては、ICRPの放射線防護の3つの原則である「正当化の原則」、「線量限度の適用の原則」、「最適化の原則」に基づきリスク分析を実施する。

シナリオの想定については全体のリスクを理解しやすいようにするため、まずは特定原子力施設全体として現在の設備や運用でリスクを押さえ込んでいる状態がわかるように整理し、次に設備単位でリスクに至るシナリオを想定した。シナリオの想定に当たっては、設備故障やヒューマンエラーなどの内部事象の他に外部事象を考慮したシナリオを想定する。

④ リスク上重要なシナリオに対するリスク低減対策の抽出

想定したリスクのシナリオに対して現在できているリスク低減対策、今後実施するリスク低減対策を含めて抽出する。対策を抽出する際には、目標とすべき状態とそれを達成するための具体的な対策を検討する。

⑤ 対策の十分性の確認（リスクの経時変化及びリスクの大きさ等を考慮）

上記④で抽出した対策について、短期的、中長期的な視点を踏まえた対策の十分性を検討する。その際に④で抽出した対策を実施した結果として新たに発生するリスク等も抽出する。対策の十分性の確認に際しては、リスクの大きさやリスクの経時的な増減等を考慮したものとする。

⑥ 更なるリスク低減対策の抽出

上記⑤で実施した対策の十分性の確認の結果、特定原子力施設全体のリスクをできるだけ早く低減させる観点から、既存の技術で達成可能で他のプライオリティの高い対策の進捗に影響しないものについては、精力的に対策を講じることを前提として更なるリスク低減対策を抽出する。

b. リスク低減対策の適切性確認

上記 a で抽出されたリスク低減対策について、個々の対策の優先度を多角的な視点で評価する必要がある。以下に示す考え方は、個々のリスク低減対策の必要性や工程等の適切性を確認し、対策の優先度を総合的に判断するため整理したものである。しかし、適切性確認の視点等は固定的なものではなく、今後の活動の中で柔軟に見直すことを前提としている。

(a). 適切性確認の前提条件

- ① 作業員の被ばく低減を含む安全の確保が最優先である。
- ② リスク低減対策の必要性の有無は、それぞれの対策について個別に確認することが、第一段階となる。（全体の適切性を確認するための基本）
- ③ リスク低減対策の全体計画を構築する際には、多種多様なリスク低減対策について同じ評価項目で定量的に比較することが難しいことを認識し、効率性等も考慮して全体リスクが早く低減することを前提とする。
- ④ 個々のリスク低減対策の適切性確認を行う際には、組織全体として共有すべき共通的な考え方（視点）を明確にする。
- ⑤ 個々のリスク低減対策の適切性確認においては、実施するかしないかの判断の根拠となるように対比を明確にする。

(b). 適切性確認の視点

①対策を実施しないリスク

対策を実施する目的に照らして、対策を実施しない又は適切な時期を逃すことにより発生、増大するリスクの有無及び他の対策等に与える影響を確認する。

②放射性物質の追加放出リスク

対策の対象となるリスクの大きさを確認するために、敷地外への放射性物質の追加放出の程度を確認するとともに、対策を実施することによるリスク低減効果の程度を確認する。

③外部事象に対するリスク

対策を実施した前後の状態において、地震、津波等の外部事象に対するリスクの有無及び他の対策等に与える影響を確認する。また、外部事象に対してより安定的なリスクの押さえ込みができる環境、方法が他にないかどうかを確認する。

④時間的なリスクの増減

対策を実施しなかった場合に、時間的にリスクが増減するかどうかを確認する。

(例えば設備の劣化、放射能インベントリの増加に伴うリスク増加)

⑤実施時期の妥当性

対策を開始、完了させる時期に対して、環境改善の必要性、技術開発の必要性、他の作業との干渉、全体リスクを速やかに低減させるための対策の順番を確認する。

⑥対策を実施するリスク

対策を実施する段階や実施した後に発生、増大するリスクの有無及び他の対策等に与える影響を確認する。また、対策を実施することで発生、増大するリスクには不測の事態においてマネジメントが機能しない可能性も確認する。

⑦対策を実施できないリスク

不測の事態等で対策を実施できない場合の計画への影響及び他に選択できる対策の有無を確認する。また、複数の選択肢を持った対策を検討する必要があるかどうかを確認する。

c. リスク評価時に考慮すべき事項

前述の手順に基づきリスク評価を実施する際には、以下の事項を考慮することにより、特定原子力施設におけるリスクを体系的に俯瞰できるように整理する。

(a). 放射性物質の量や種類

放射性物質の発生源に着目し、放射性物質の量（インベントリ）や種類（デブリ、燃料集合体、原子炉への注水、雨水の浸入、地下水の浸透等によって原子炉建屋等で発生した高レベルの放射性汚染水（以下「汚染水」という。）等）を考慮したリスク評価を実施することにより、対策の必要性や緊急性を合理的に評価でき、適切かつ効率的なリスク低減のためのアプローチを行うことができる。

(b). 内部事象と外部事象

リスクが顕在化する起因事象毎にリスク評価を実施することにより、起因事象からのシナリオに応じた適切な対応が行われているか整理することができ、全体を俯瞰したリスク低減対策

の漏れ等を洗い出すことができる。

(c). 発生可能性と影響範囲

起因事象からのリスクのシナリオにおける発生可能性や影響範囲を考慮することにより、合理的な対応や広がりやを考慮した対応が取られているかを評価することができる。

(d). 対策の有効性

現状行われている対策や実施予定の対策を多層的に整理し、それぞれの対策の有効性を評価することにより、対策の十分性の確認をよりの確に実施することができる。

(実施計画：I-1-2-1～5)

(2) 特定原子力施設の敷地境界及び敷地外への影響評価

特定原子力施設の敷地境界及び敷地境界外への影響を評価した結果、平成24年10月での気体廃棄物の追加的放出量に起因する実効線量は、敷地境界において約 3.0×10^{-2} mSv/年であり、特定原子力施設から5km地点では最大約 2.5×10^{-3} mSv/年、10km地点では最大約 8.9×10^{-4} mSv/年であった。

また、敷地内各施設からの直接線・スカイシャイン線による実効線量は、敷地境界において約9.4mSv/年であり、5km地点では最大約 1.4×10^{-18} mSv/年、10km地点では最大約 2.4×10^{-36} mSv/年であった。

一方、文部科学省において公表されている「東京電力株式会社福島第一原子力発電所の20km圏内の空間線量率測定結果(平成24年11月11日～13日)」によると、特定原子力施設から約5km地点の空間線量率は $5.2 \sim 17.8 \mu\text{Sv/h}$ (約46～約156mSv/年)、約10km地点の空間線量率は $2.2 \sim 23.5 \mu\text{Sv/h}$ (約20～約206mSv/年)である。

これらの結果から、特定原子力施設の追加的放出量等から起因する実効線量は、5km地点において空間線量率の約18,000分の1以下であり、10km地点において空間線量率の約21,000分の1以下であるため、平常時において5km地点及び10km地点における特定原子力施設からの影響は極めて小さいと判断する。

(実施計画：I-2-2-1)

(3) 特定原子力施設における主なリスク

a. はじめに

特定原子力施設の主なリスクは、特定原子力施設が放射能を内在することに起因すると考えられ、また、現在の特定原子力施設において放射能を内在するもの(使用済燃料等)は、以下のように整理できる。

- ①原子炉圧力容器・格納容器内の溶融した燃料(燃料デブリ、1～3号機)
- ②使用済燃料プールの燃料(1～4号機)
- ③5・6号機の使用済燃料プールの燃料

- ④使用済燃料共用プールの燃料
- ⑤使用済燃料乾式貯蔵キャスクの燃料
- ⑥放射性廃棄物

ここでは、上記の放射能を内在するものについて、それぞれ個別に現在の状態におけるリスクを定量的もしくは定性的に評価することにより、現在の特定原子力施設のリスクについて評価する。

(実施計画：I-2-3-1-1)

(中略)

⑥ 放射性廃棄物

特定原子力施設内の放射性廃棄物について想定されるリスクとしては、汚染水等の放射性液体廃棄物の系外への漏えいが考えられるが、以下に示す様々な対策を行っているため、特定原子力施設の系外に放射性液体廃棄物が漏えいする可能性は十分低く抑えられている。

なお、汚染水の水処理を継続することで放射性物質の濃度も低減していくため、万一設備から漏えいした場合においても、環境への影響度は継続的に低減される。

【設備等からの漏えいリスクを低減させる対策】

- ・ 耐圧ホースのポリエチレン管化
- ・ 多核種除去設備等により、汚染水に含まれるトリチウム以外の放射性物質を、東京電力福島第一原子力発電所原子炉施設の保安及び特定核燃料物質の防護に関して必要な事項を定める告示（以下「告示」という。）に規定される濃度限度との比の総和が1未満となるよう浄化処理した水（以下「ALPS 処理水」という。）の海洋放出による、ALPS 処理水等を貯蔵するタンク（以下「中低濃度タンク」という。）の解体・撤去

【漏えい拡大リスクを低減させる対策】

- ・ 中低濃度タンク廻りの堰、土嚢の設置
- ・ 放水路の暗渠化
- ・ 漏えい検知器、監視カメラの設置

また、放射性気体廃棄物については、原子炉格納容器内の温度上昇時の放出がリスクとして考えられるが、これについては燃料デブリに関する注水停止のリスク評価に包含されている。放射性固体廃棄物等については、流動性、拡散性が低いため、敷地内の特定原子力施設からの直接線・スカイシャイン線に関するリスク評価に包含されている。

(実施計画：I-2-3-7-1)

(4) 特定原子力施設の今後のリスク低減対策

現状、特定原子力施設の追加的放出等に起因する、敷地外の実効線量は低く抑えられている（(2)参照）。また、多くの放射性物質を含有する燃料デブリや使用済燃料等において異常時に発生する事象を想定したリスク評価においても、敷地外への影響は十分低いものであると評価している（(3)参照）。

今後、福島第一原子力発電所内に存在している様々なリスクに対し、最新の「東京電力福島第一原子力発電所 中期的リスクの低減目標マップ（以下「リスクマップ」という。）」に沿って、リスク低減対策に取り組んでいく。プラントの安定状態に向けた更なる取組、発電所全体の放射線量低減・汚染拡大防止に向けた取組、ならびに使用済燃料プールからの燃料取り出し等の各項目に対し、代表される様々なリスクが存在している。各項目に対するリスク低減のために実施を計画している対策については、リスク低減対策の適切性確認の視点を基本とした確認を行い、期待されるリスクの低減ならびに安全性、被ばく及び環境影響等の観点から、その有効性や実施の要否、時期等を十分に検討し、最適化を図るとともに、必要に応じて本実施計画に反映する。

また、(3)⑥にて実施する、ALPS 処理水の海洋放出により、廃炉作業に係る敷地などのリソースを有効に活用していくことで、中長期ロードマップに沿った全体工程の達成及びリスクマップに沿ったリスク低減対策を実現していく。

(5) 添付資料

添付資料－1 実施を計画しているリスク低減対策ならびに適切性

(実施計画：I-2-4-1)

表 実施を計画しているリスク低減対策ならびに適切性（抜粋）

ロードマップ関連項目		想定されるリスク	リスク低減対策	目的	対応状況	個々の対策に対する適切性
使用済燃料プールからの燃料取出計画	1～6号機使用済燃料プール	・冷却機能喪失リスク	1～6号使用済燃料プールから共用プールへの燃料移動	<p>1～4号使用済燃料プールには約3,000体の燃料集合体が保管(1号機:392体,2号機:615体,3号機:566体,4号機:1533体)されており,これらの崩壊熱を除去するため,震災後に使用済燃料プール循環冷却系を設置している。これら冷却設備については,震災直後に設置した設備であるため,信頼性向上対策等を実施することで冷却機能が継続できるよう対策を講じているが,これら機能が長時間停止した場合,使用済燃料の崩壊熱により,最悪の場合,使用済燃料が溶融し,大気へ放射性物質を放出する可能性が考えられる。その為,使用済燃料をより信頼性の高い冷却機能を有し,雰囲気線量が低く管理しやすい,共用プールに移送し,保管・管理を実施する。</p> <p>5,6号使用済燃料プールには約3,000体の燃料集合体が保管(5号機:1,542体,6号機:1,654体)されており,これらの崩壊熱を除去するため,既存の燃料プール冷却浄化系で冷却をしている。廃炉の決定を踏まえ,5,6号機使用済燃料プールの使用済燃料においても,1,2号機の作業に影響を与えない範囲で共用プールに移送していく。</p>	<p>1号機:令和9年度～令和10年度燃料取り出し開始</p> <p>2号機:令和6年度～令和8年度燃料取り出し開始</p> <p>3号機:令和3年2月燃料取り出し完了</p> <p>4号機:平成26年12月燃料取り出し完了</p> <p>5号機:令和6年度より燃料取り出し開始</p> <p>6号機:令和4年度より燃料取り出し開始</p>	<p>①使用済燃料の冷却機能が長時間停止した場合,使用済燃料の崩壊熱により,最悪の場合,使用済燃料が溶融し,大気へ放射性物質を放出するリスクは低減しない。</p> <p>②冷却機能が長時間喪失した場合の使用済燃料からの放射性物質の追加放出リスクは大きい。</p> <p>③共用プールへ1～6号機使用済燃料プールの使用済燃料を受け入れることにより,使用済燃料プールでの地震,津波等の外部事象の影響による冷却機能喪失時のリスクが低減する。</p> <p>④冷却設備の劣化より,リスクは経時的に増加する。一方,冷却機能を長期間継続することで使用済燃料の崩壊エネルギーが減少していき,仮に設備が停止しプールの水温が上昇しても管理値に達するまでの時間は長くなる。</p> <p>⑤使用済燃料を取り出すには,原子炉建屋上部の瓦礫等の撤去,燃料取り出し用カバー,燃料取扱設備の設置等が必要であり,これらを事前に行う必要がある。これら準備が整い次第,早期に行うことが必要である。</p> <p>⑥使用済燃料を共用プール等へ移送させるため,移送時の燃料落下防止対策等を講じる必要がある。また,高線量雰囲気であれば,除染等の作業等を行うことも検討する必要がある,作業員の被ばく管理等を適切に行う必要がある。</p> <p>⑦瓦礫の影響や燃料ハンドルの変形等により取り出しが不可となった場合,後工程の燃料デブリ取り出し工程に影響を及ぼす可能性があることから,これらの取扱方法について検討している。</p>

適切性確認の視点 ①対策を実施しないリスク ②放射性物質の追加放出リスク ③外部事象に対するリスク ④時間的なリスクの増減 ⑤実施時期の妥当性 ⑥対策を実施するリスク ⑦対策を実施できないリスク

(実施計画: I-2-4-添1-7)

1号機大型カバー設置に関する補足説明

1. 大型カバー設置の経緯

1号機の燃料取り出しに当たっては、ダスト飛散対策の信頼性向上等の観点から、「原子炉建屋を覆う大型カバーを設置し、カバー内でガレキ撤去を行う」プランを採用し、2020年2月に第78回監視・評価検討会にて説明した。

その後、大型カバーの設計を進めると共に、大型カバーの設置に向けて支障となる既存の原子炉建屋カバーの残置部について、2020年12月より撤去を実施し、2021年6月に完了した。(図1)

今回は、大型カバーの設計内容について申請する。なお、大型カバー設置以降については、別途申請予定である。

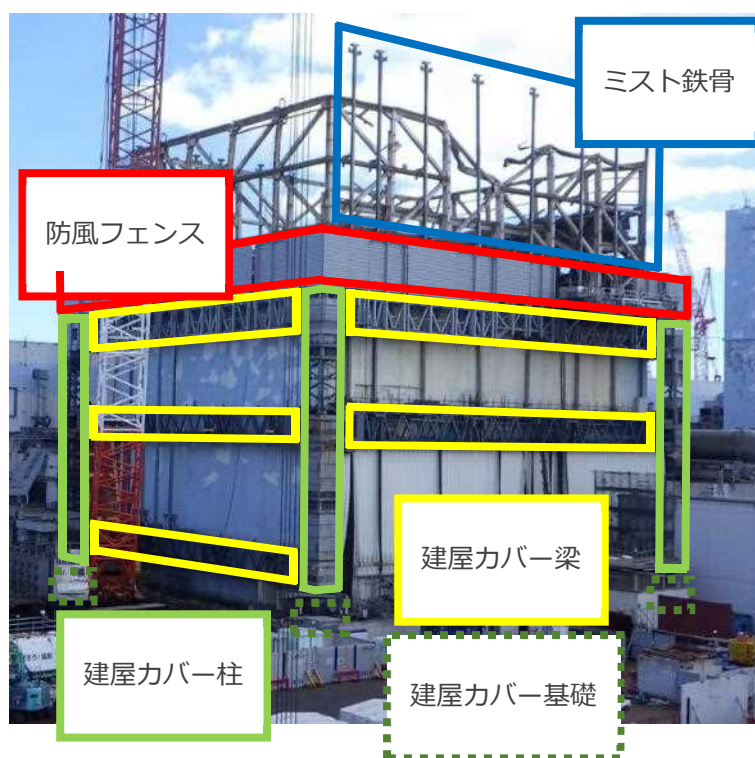


図 1-1 1号機原子炉建屋全景 (2020年3月時点)



图 1-2 1号機原子炉建屋全景（2021年6月19日時点）

2. 燃料取り出しに向けての実施事項

2.1 燃料取り出し工法の概要

原子炉建屋を覆う大型カバーを先行設置し、大型カバー内のガレキ撤去用天井クレーンや解体重機を用いて、ガレキ撤去を実施する。(図 2-1)

その後、オペレーティングフロアの除染・遮蔽を実施し、燃料取扱設備(燃料取扱機, クレーン)を設置した上で、使用済燃料プールから燃料取り出しを実施する。(図 2-2)

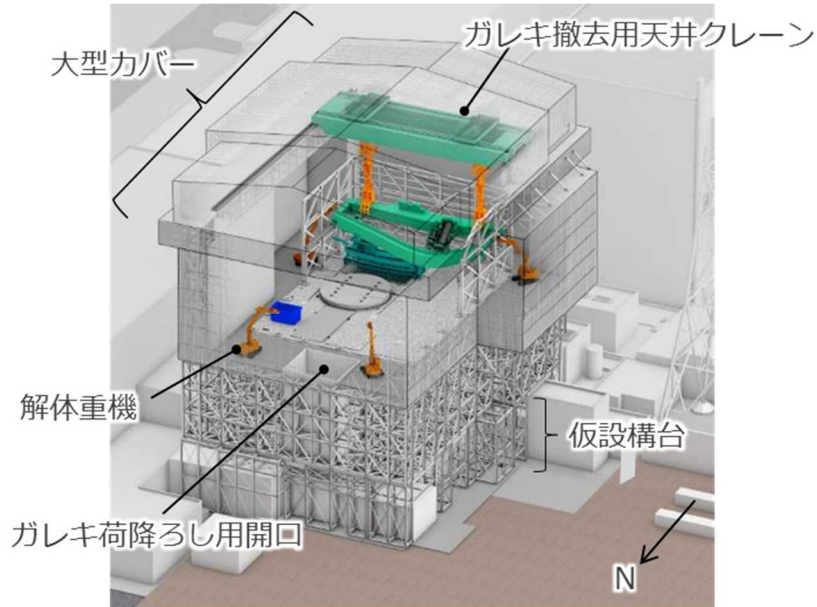


図 2-1 ガレキ撤去時のイメージ図※

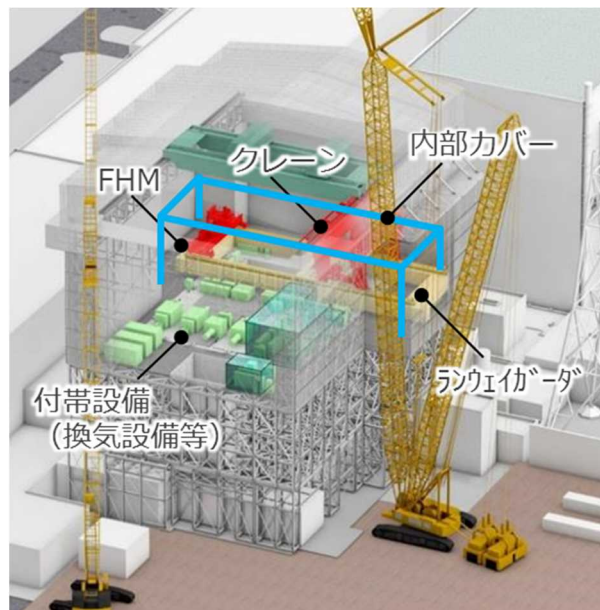


図 2-2 燃料取り出し時のイメージ図※

※イメージ図につき実際と異なる部分がある場合がある

2.2 燃料取り出しに向けた実施計画の提出

STEP 毎に実施計画を提出する計画である。

大型カバーは、設置後ガレキ撤去に使い、その後、燃料取り出し時にも活用する。なお、内部カバーはガレキ撤去後設置するため、別途申請予定である。(図 3-1)

各 STEP の申請スケジュールを図 3-2 に示す。

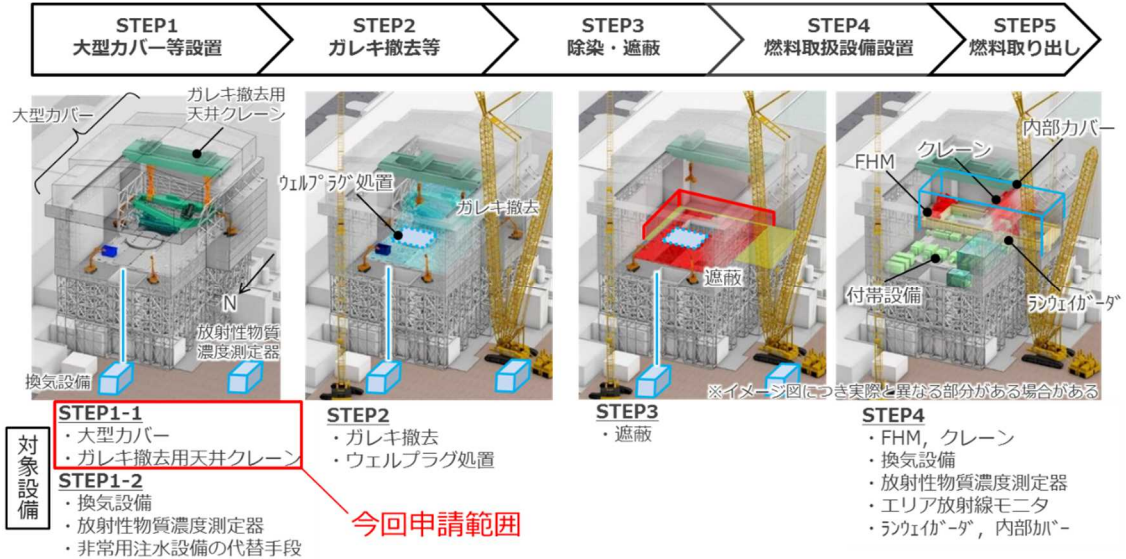


図 3-1 燃料取り出しまでの各ステップと実施計画提出対象となる設備について

年度	21	22	23	26	32
RMマイルストーン			1号機大型カバーの設置完了 (2023年度頃)	1号機燃料取り出し開始 (2027~2028年度)	
廃炉中長期実行プラン 2022		燃取設備 検討・設計・製作・試験	燃取設備 検討・設計・製作・試験	燃取設備 検討・設計・製作・試験	燃取設備 検討・設計・製作・試験
実施計画	▽STEP1-1 (2021年6月~)	▽STEP1-2 (2021年8月~)	▽STEP2-1 (2023年度) ▽STEP2-2 (2023年度)	▽STEP3 (2024年度) ▽STEP4 (2023年度)	▽STEP5 (2024年度)

図 3-2 実施計画申請スケジュールについて*

※周辺工事との調整や現場状況等を踏まえて、工程は変更となる可能性がある

3. 大型カバーを外壁支持とした経緯

1号機の燃料取り出しに当たっては、ダスト飛散対策の信頼性向上等の観点から、「原子炉建屋を覆う大型カバーを設置し、カバー内でガレキ撤去を行う」プランを採用し、2020年2月に第78回監視・評価検討会にて説明した。

大型カバーはガレキ撤去を行うために原子炉建屋全体を覆う必要があり、原子炉建屋より大きな構築物となる。このため、地盤から支持する場合、周辺建屋（タービン建屋、廃棄物処理建屋など）や設備の解体並びに支持力を確保するため地盤改良等が必要となることから、原子炉建屋外壁から支持することとした。（図4）

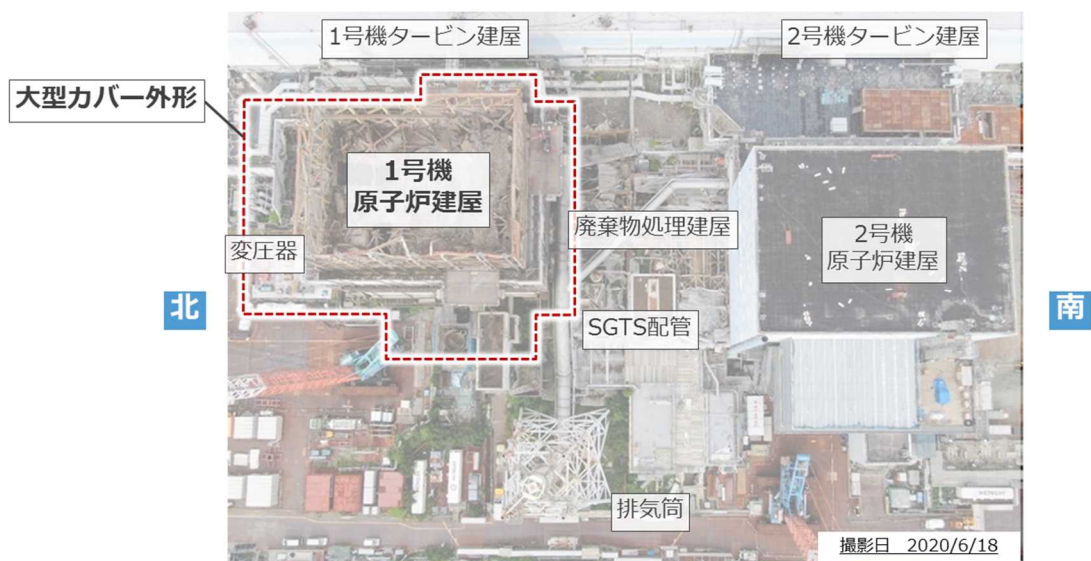


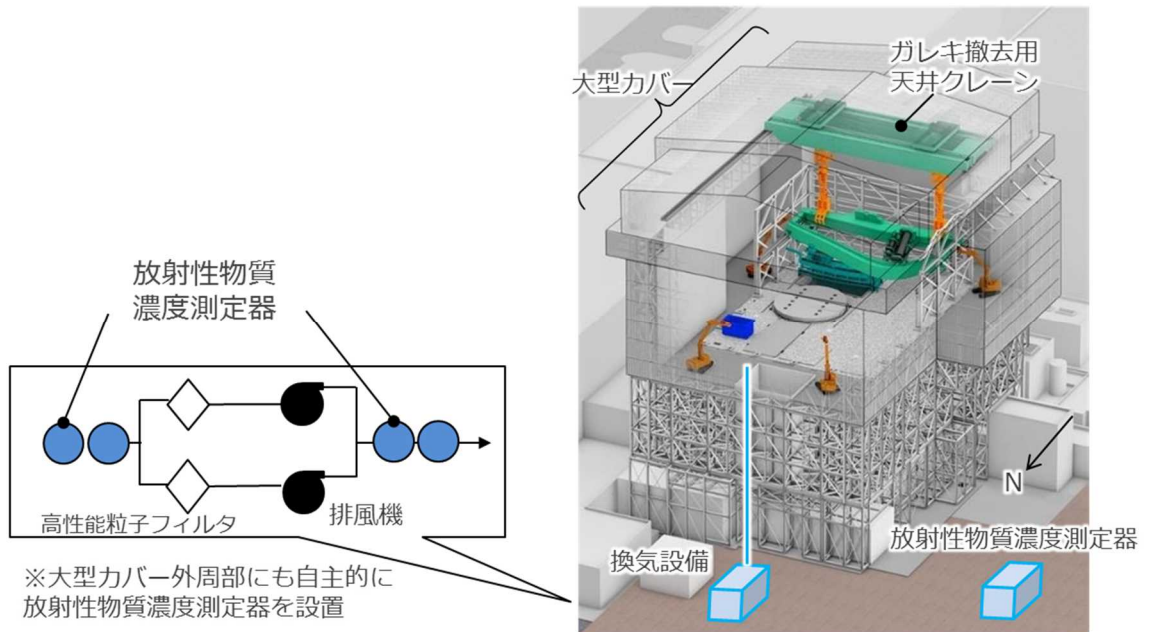
図4 1号機原子炉建屋周辺状況（2020年6月時点）

4. 大型カバー設置

4.1 換気設備、放射性物質濃度測定器等の設置

大型カバーの設置とあわせて、換気設備、放射性物質濃度測定器等を設置する。(図5)

大型カバーは、合理的に可能な限り隙間を低減し、換気設備とあいまって放射性物質の大気への放出を抑制するとともに、放射性物質濃度測定器により連続監視する。



※大型カバー外周部にも自主的に放射性物質濃度測定器を設置

図5 換気設備、放射性物質濃度測定器棟の設置イメージ図※

※イメージ図につき実際と異なる部分がある場合がある

4.2 大型カバー設置の作業ステップ

大型カバー設置までの作業ステップを4.2.1～4.2.4に示す。ただし、現場作業状況によって変化する可能性がある。

4.2.1 ステップ1（仮設構台設置完了まで）

ステップ1では仮設構台設置に向けた仮設構台部のアンカー削孔、ベースプレートの設置、仮設構台の設置までを行う。（図6-1）

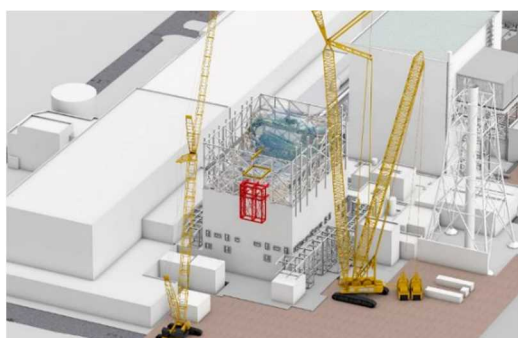
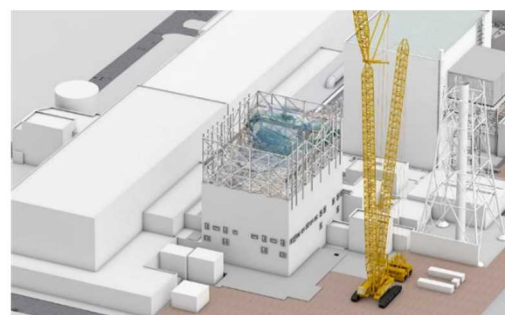
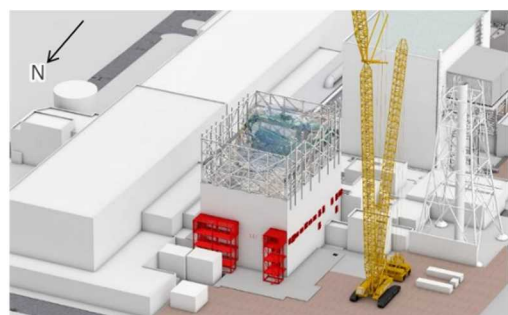


図6-1 仮設構台設置完了までのイメージ図*

※イメージ図につき実際と異なる部分がある場合がある

4.2.2 ステップ2（下部架構設置完了まで）

ステップ2では下部架構設置に向けた下部架構のアンカー削孔，ベースプレートの設置，下部架構設置までを行う。（図6-2）

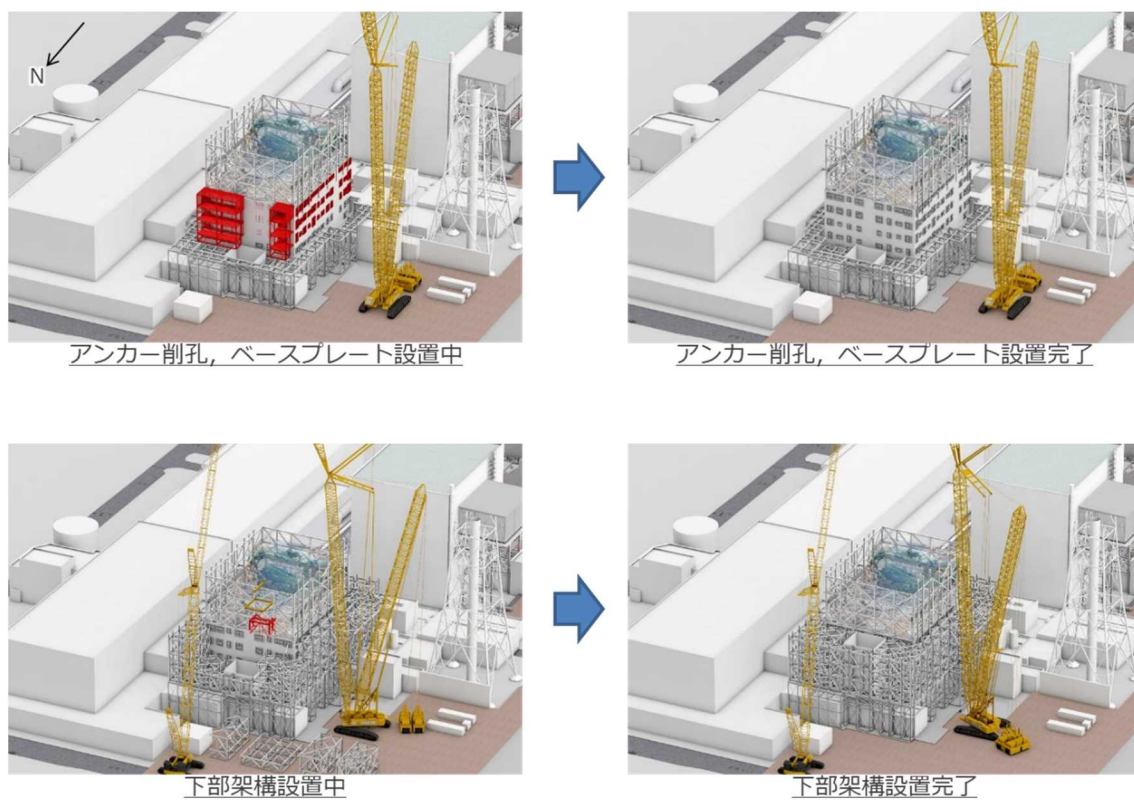


図6-2 下部架構設置完了までのイメージ図*

※イメージ図につき実際と異なる部分がある場合がある

4.2.3 ステップ3（上部架構，ボックスリング設置完了まで）

ステップ3では上部架構設置、ボックスリング設置までを行う。（図6-3）

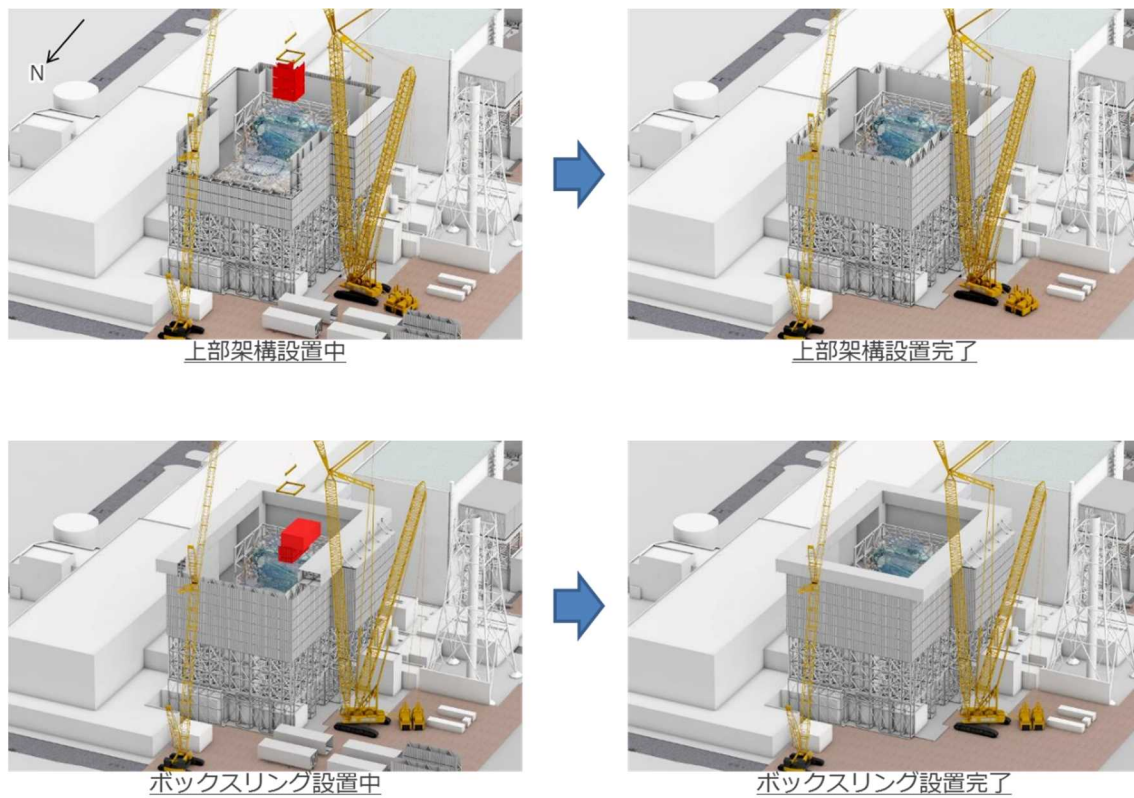


図6-3 上部架構，ボックスリング設置完了までのイメージ図*

※イメージ図につき実際と異なる部分がある場合がある

4.2.4 ステップ4（ガレキ撤去用天井クレーン，可動屋根設置完了まで）

ステップ4ではガレキ撤去用天井クレーン設置，可動屋根設置までを行う。（図6-4）
ステップ4までを実施し，大型カバー設置完了となる。

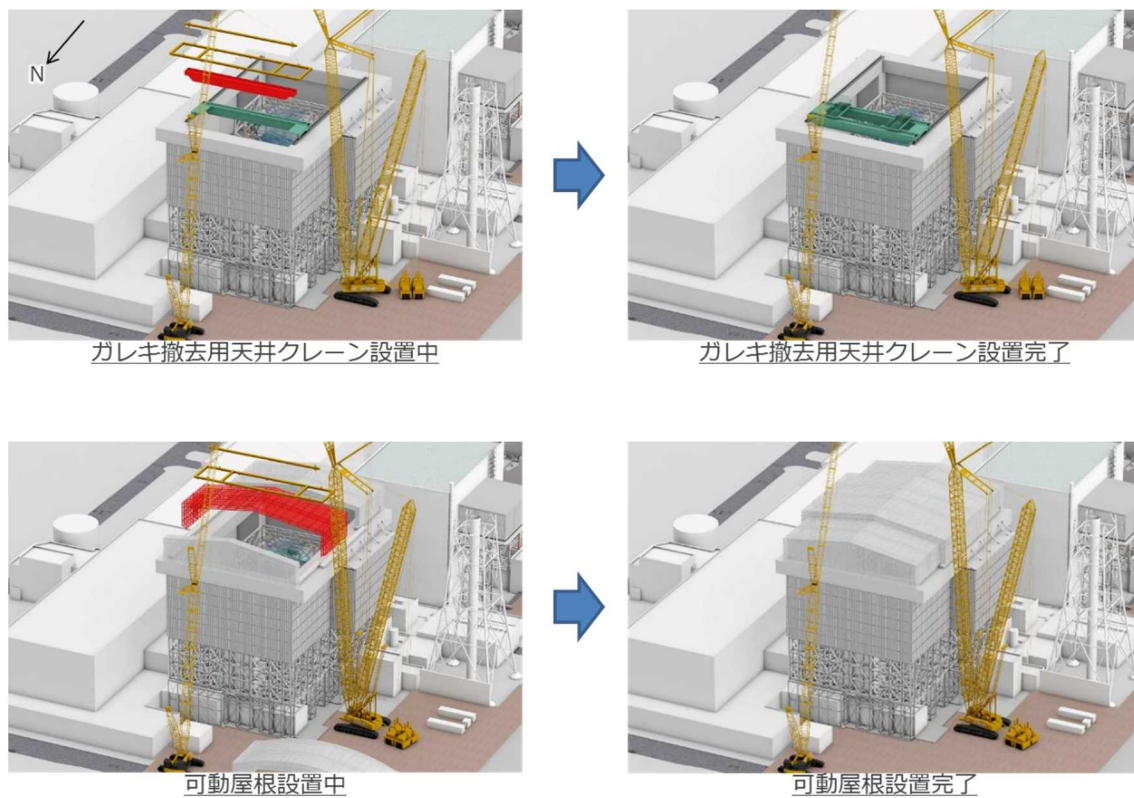


図6-4 ガレキ撤去用天井クレーン，可動屋根設置完了までのイメージ図※

※イメージ図につき実際と異なる部分がある場合がある

4.3 仮設構台の役割

仮設構台は地盤面から立ち上げ、原子炉建屋の四面に設置され、アンカー削孔やベースプレート設置中の機材の支持や、下部架構建方中の鉄骨を仮受けするために設けるものであり、大型カバー設置後も残置する。(図7)

下部架構がアンカーにより原子炉建屋に支持された後は、仮設構台側に下部架構等の大型カバーの荷重はかからないようになる。

なお、下部架構とは構造的に縁が切れており、大型カバーを構成する構造部材とはならないため、申請対象の構造物とはしていない。

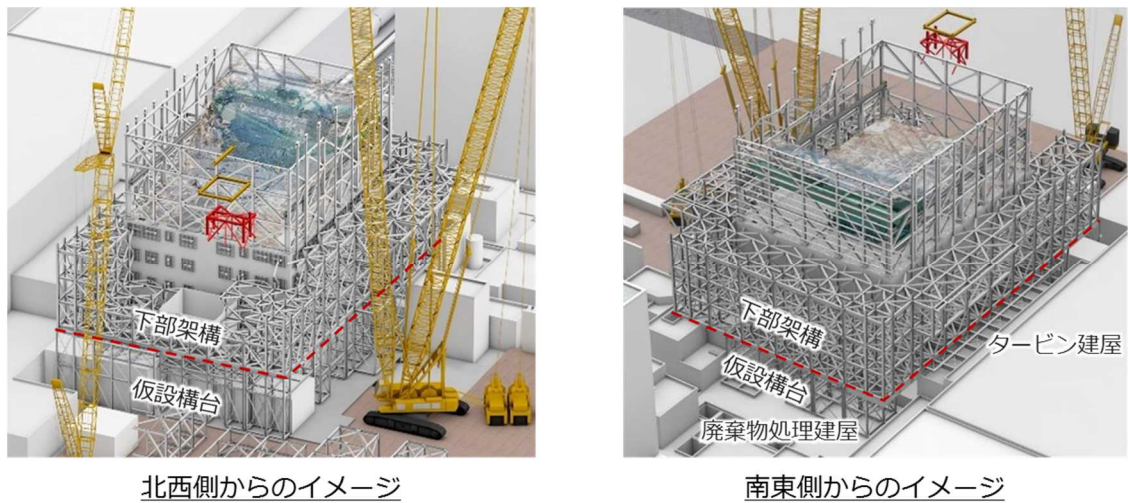


図 7-1 仮設構台のイメージ図※

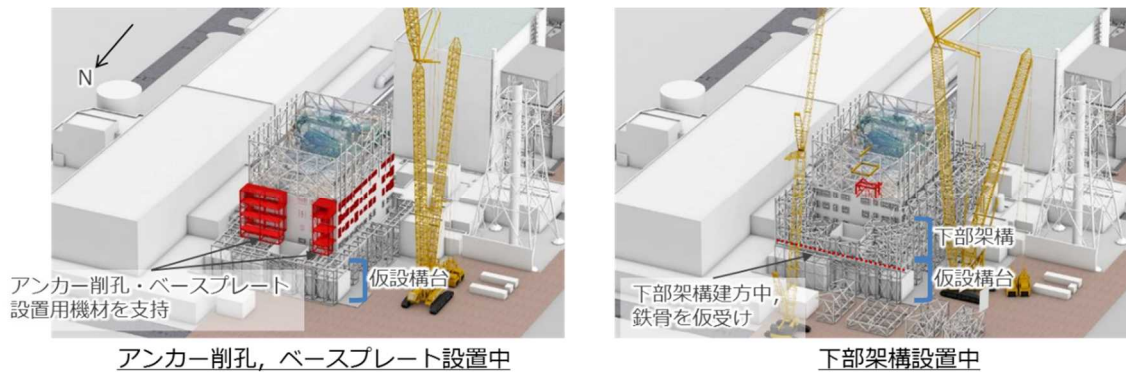


図 7-2 仮設構台の役割のイメージ図※

※イメージ図につき実際と異なる部分がある場合がある

4.4 可動屋根について

可動屋根は大小4つの架構に分かれており、それぞれの架構が南北にスライドし、任意の位置で屋根面積の約50%を開口できる構造である。(図8) これにより、将来計画している燃料取扱機・クレーンの搬入等を可能としている。

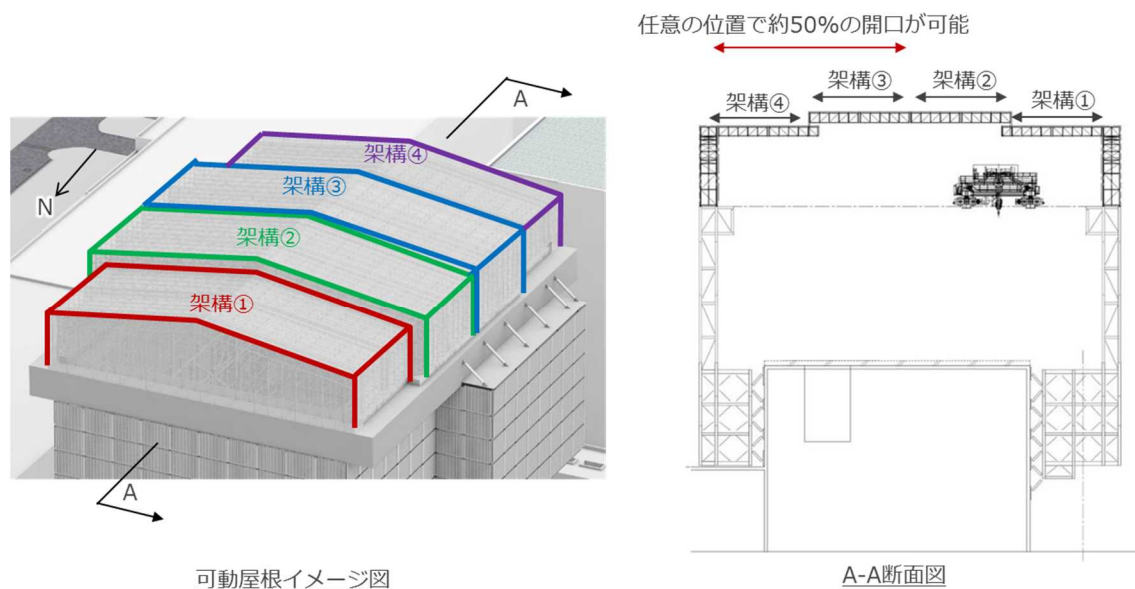


図8 可動屋根のイメージ図

4.5 大型カバーの施工方法について

1号機原子炉建屋周辺は、線量が高く、有人による作業は作業員の被ばく線量が増加する。このため、作業員の被ばく線量を低減する観点から、低線量となるエリアでの鉄骨のブロック化、高線量エリアではできる限り遠隔操作による施工を実施する。(図9)



図9 大型カバー鉄骨のブロック化と遠隔操作による施工のイメージ

II. 設計, 設備について措置を講ずべき措置

8. 放射性固体廃棄物の処理・保管・管理

○施設内で発生する瓦礫等の放射性固体廃棄物の処理・貯蔵にあたっては, その廃棄物の性状に応じて, 適切に処理し, 十分な保管容量を確保し, 遮へい等の適切な管理を行うことにより, 敷地周辺の線量を達成できる限り低減すること。

措置を講ずべき事項への適合方針

○ 廃棄物の性状に応じた適切な処理

放射性固体廃棄物や事故後に発生した瓦礫等の放射性固体廃棄物等については, 必要に応じて減容等を行い, その性状により保管形態を分類して, 管理施設外へ漏えいすることのないよう一時保管または貯蔵保管する。

○ 十分な保管容量の確保

放射性固体廃棄物や事故後に発生した瓦礫等については, これまでの発生実績や今後の作業工程から発生量を想定し, 既設の保管場所内での取り回しや追加の保管場所を設置することにより保管容量を確保する。

○ 遮蔽等の適切な管理

作業員への被ばく低減や敷地境界線量を低減するために, 保管場所の設置位置を考慮し, 遮蔽, 飛散抑制対策, 巡視等の保管管理を実施する。

○ 敷地周辺の線量を達成できる限り低減

上記を実施し, 継続的に改善することにより, 放射性固体廃棄物や事故後に発生した瓦礫等からの敷地周辺の線量を達成できる限り低減する。

(実施計画: II-1-8-1)

具体的な対応方針

○ 大型カバー設置工事に伴う廃棄物等の発生量について

大型カバー設置工事に伴い発生する廃棄物発生量を表 1 に示す。

発生する瓦礫類については線量，種類で分別し，できる限り減容した上で，「Ⅲ章第 3 編 2.1.1 放射性固体廃棄物等の管理」に従い，十分な保管容量を計画的に確保するとともに，これらの瓦礫類については表面線量率に応じたエリア等において保管し，定期的に巡視，保管量の確認等をおこなうことにより，適切に保管・管理する。

この廃棄物量は，「Ⅲ章第 3 編 2.1.1 放射性固体廃棄物等の管理」に基づく想定保管量（約 483,600 m³）に見込まれている。

また，本工事で発生する廃棄物については，梱包材等の持ち込みを減らすなど，極力廃棄物の発生低減に努める。

表 1 大型カバー設置工事に伴い発生する廃棄物量

分類	2022 年度	2023 年度	2024 年度	備考
可燃物	259m ³	259m ³	259m ³	紙・ウエス，プラスチック・ポリ・ビニール，木材等 0.1～1.0mSv/h：597m ³ ～0.1mSv/h：180m ³
難燃物	72m ³	72m ³	72m ³	難燃シート，ホース，ゴム等 0.1～1.0mSv/h：72m ³ ～0.1mSv/h：144m ³
不燃物	900m ³	132m ³	132m ³	土砂，金属，コンクリート等 0.1～1.0mSv/h：1,113m ³ 1.0～5.0mSv/h：51m ³
合計	1231m ³	463m ³	463m ³	—

○ 放射性固体廃棄物の保管・管理

燃料取り出し用カバーの設置に伴い発生する瓦礫類の処理・保管・管理については，実施計画Ⅲ章第 3 編「2.1.1 放射性固体廃棄物等の管理」の規定に基づく，発電所全体の方針に従うものとする。

具体的には，瓦礫類の想定発生量に対して，十分な保管容量を計画的に確保するとともに，これらの瓦礫類については，表面線量率に応じたエリアにおいて保管し，定期的に巡視，保管量の確認等を行う。

(実施計画：Ⅱ-2-11-添 3-1)

II. 設計，設備について措置を講ずべき措置

10. 放射性気体廃棄物の処理・管理

○施設内で発生する放射性気体廃棄物の処理にあたっては、その廃棄物の性状に応じて、当該廃棄物の放出量を抑制し、適切に処理・管理を行うことにより、敷地周辺の線量を達成できる限り低減すること。

措置を講ずべき事項への適合方針

< 1～4号機 >

○ 気体廃棄物の放出量の抑制

気体廃棄物については、放射性物質を内包する建屋等の閉じ込め機能を回復することを目指し、内包する放射性物質のレベルや想定される放出の程度に応じて、放出抑制を図る。

○ 適切な処理・管理

各建屋において原子炉格納容器ガス管理設備において処理を行い、放出される放射性物質の低減を図る。気体廃棄物の環境中への放出にあたっては各建屋で放出監視を行い、嚴重に管理するが、更に発電所全体として異常がないことを確認するため、周辺監視区域境界及び周辺地域において空間放射線量率及び環境試料の放射能の監視を行う。

○ 敷地周辺の線量を達成できる限り低減

上記を実施し、継続的に改善することにより、放射性気体廃棄物からの敷地周辺の線量を達成できる限り低減する。

(実施計画：II-1-10-1)

2.11.1.3 設計方針

(1) 燃料取扱設備

a. 落下防止

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

(b) 燃料取扱機の燃料把握機は、二重のワイヤや種々のインターロックを設け、また、クレーンの主要要素は、二重化を施すことなどにより、燃料移送操作中の燃料集合体等の落下を防止できる設計とする。

b. 遮蔽

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

c. 臨界防止

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

d. 放射線モニタリング

燃料取扱エリアの放射線モニタリングのため、放射線モニタを設け放射線レベルを測定し、これを免震重要棟集中監視室に表示すると共に、過度の放射線レベルを検出した場合には警報を発

し、放射線業務従事者に伝える設計とする。

e. 単一故障

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

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

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

f. 試験検査

燃料取扱設備のうち安全機能を有する機器は、適切な定期的試験及び検査を行うことができる設計とする。また、破損燃料を取り扱う場合、燃料取扱設備は、破損形態に応じた適切な取扱手法により、移送中の放射性物質の飛散・拡散を防止できる設計とする。

(2) 構内用輸送容器

a. 除熱

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

b. 密封

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

c. 遮蔽

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

d. 臨界防止

想定されるいかなる場合にも、燃料が臨界に達することを防止できる設計とする。また、破損燃料集合体を収納して輸送する容器は燃料集合体の破損形態に応じて輸送中に放射性物質の飛散・拡散を防止できる設計とする。

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

○ 燃料取り出し用カバー

(中略)

また、燃料取り出し用カバーは換気設備及びフィルタユニットを有する。

1号機の燃料取り出し用カバーは、大型カバーとその内部に設ける内部カバーで構成する。

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

(実施計画：II-2-11-3, 4)

具体的な対応方針

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

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

詳細は、「Ⅱ章 2.11 添付資料－3－1 放射性物質の飛散・確認を防止するための機能に関する説明書」による。

燃料取り出し用カバーは、同カバー内で発生が想定される放射性気体廃棄物の処理に当たって、その性状に応じ、当該廃棄物の放出量を抑制するとともに、換気設備の設置や定期的な放出管理により放射性気体廃棄物の適切な処理・管理を行い、敷地周辺の線量を達成できる限り低減する設計とする。

(実施計画：Ⅱ-2-11-添 3-1)

II. 設計，設備について措置を講ずべき措置

1 1. 放射性物質の放出抑制による敷地周辺の放射線防護等

- 特定原子力施設から大気，海等の環境中へ放出される放射性物質の適切な抑制対策を実施することにより，敷地周辺の線量を達成できる限り低減すること。
- 特に施設内に保管されている発災以降発生した瓦礫や汚染水等による敷地境界における実効線量（施設全体からの放射性物質の追加的放出を含む実効線量の評価値）を，平成25年3月までに1mSv/年未満とすること。

措置を講ずべき事項への適合方針

- 平成25年3月までに，追加的に放出される放射性物質及び事故後に発生した放射性廃棄物からの放射線による敷地境界における実効線量を1mSv/年未満とするため，下記の線量低減の基本的考え方に基づき，保管，管理を継続するとともに，遮へい等の対策を実施する。
また，線量低減の基本的考え方に基づき，放射性物質の保管，管理を継続することにより，敷地周辺の線量を達成できる限り低減する。
敷地境界における線量評価は，プラントの安定性を確認するひとつの指標として，放射性物質の放出抑制に係る処理設備設計の妥当性の確認の観点と，施設配置及び遮蔽設計の妥当性の確認の観点から施設からの放射線に起因する実効線量の評価を行うものとする。

線量低減の基本的考え方

- ・瓦礫等や水処理廃棄物の発生に応じてエリアを確保し保管対策を継続するとともに，廃棄物に対し，追加の遮へい対策を施す，もしくは，遮へい機能を有した施設内に廃棄物を移動する等により，敷地境界での放射線量低減を図っていく。
- ・気体・液体廃棄物については，告示に定める濃度限度を超えないよう厳重な管理を行い放出するとともに，合理的に達成できる限り低減することを目標として管理していく。なお，海洋への放出は，関係省庁の了解なくしては行わないものとする。

（実施計画：II-1-11-1）

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

（実施計画：II-2-11-3）

具体的な対応方針

- 1号機原子炉建屋を覆う大型カバーの設置により、がれきの撤去時における大気中への放射性物質の放出を抑制し、敷地周辺の線量を達成できる限り低減する。
- 大型カバー内でのがれき撤去時において、大型カバー内の放射性物質が換気設備の排気フィルタユニットを介して大気へ放出されるものと仮定した場合の敷地境界での線量評価結果は、約0.001mSv/年であり、1mSv/年に比べても十分低いと評価される。また、「Ⅲ章第3編2放射性廃棄物等の管理に関する補足説明」での評価(約0.03mSv/年)に比べても低いと評価される。
(実施計画Ⅱ-2-11-添3-1-39)
- 燃料取り出し用カバーは、同カバー内から大気中へ放出される放射性物質の適切な抑制対策を実施することにより、敷地周辺の線量を達成できる限り低減する設計とする。特に同施設内に保管される発災以降に発生した瓦礫類による敷地境界における実効線量(施設全体からの放射性物質の追加的放出を含む実効線量の評価値)が、1mSv/年未満となるような設計とする
(実施計画Ⅲ3.2.2参照)。
(実施計画：Ⅱ-2-11-添3-1)

II. 設計，設備について措置を講ずべき措置

1 2. 作業者の被ばく線量の管理等

○ 現存被ばく状況での放射線業務従事者の作業性等を考慮して，遮へい，機器の配置，遠隔操作，放射性物質の漏えい防止，換気，除染等，所要の放射線防護上の措置及び作業時における放射線被ばく管理措置を講じることにより，放射線業務従事者が立ち入る場所の線量及び作業に伴う被ばく線量を，達成できる限り低減すること。

措置を講ずべき事項への適合方

(1) 作業者の被ばく線量管理等

○ 現存被ばく状況における放射線防護の基本的な考え方

現存被ばく状況において放射線防護方策を計画する場合には，害よりも便益を大きくするという正当化の原則を満足するとともに，当該方策の実施によって達成される被ばく線量の低減について，達成できる限り低く保つという最適化を図る。

○ 所要の放射線防護上の措置及び作業時における放射線被ばく管理措置の範囲

「実用発電用原子炉の設置，運転等に関する規則」に基づいて定めた管理区域及び周辺監視区域に加え，周辺監視区域と同一な区域を管理対象区域として設定し，放射線業務に限らず業務上管理対象区域内に立ち入る作業者を放射線業務従事者として現存被ばく状況での放射線防護を行う。

○ 遮へい，機器の配置，遠隔操作，換気，除染等

放射線業務従事者が立ち入る場所では，外部放射線に係わる線量率を把握し，放射線業務従事者等の立入頻度，滞在時間等を考慮した遮へいの設置や換気，除染等を実施するようにする。なお，線量率が高い区域に設備を設置する場合は，遠隔操作可能な設備を設置するようにする。

○ 放射性物質の漏えい防止

放射性物質濃度が高い液体及び蒸気を内包する系統は，可能な限り系外に漏えいし難い対策を講じる。また，万一生じた漏えいを早期に発見し，汚染の拡大を防止する場合は，機器を独立した区域内に配置したり，周辺にせきを設ける等の対策を講じる。

○ 放射線被ばく管理

上記の放射線防護上の措置及び作業時における放射線被ばく管理措置を講じることにより，作業時における放射線業務従事者が受ける線量が労働安全衛生法及びその関連法令に定められた線量限度を超えないようにするとともに，現存被ばく状況で実施可能な遮へい，機器の配置，遠隔操作を行うことで，放射線業務従事者が立ち入る場所の線量及び作業に伴う被ばく線量を，達成できる限り低減するようにする。

さらに，放射線防護上の措置及び作業時における放射線被ばく管理措置について，長期にわたり継続的に改善することにより，放射線業務従事者が立ち入る場所における線量を低減し，計画被ばく状況への移行を目指すこととする。

(実施計画：II-1-12-1)

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

また，放射線業務従事者の被ばく線量低減策として，大組した構造物をクレーンにてオペレ

ーティングフロアへ吊り込むことにより、オペレーティングフロア上での有人作業の削減を図る。

(実施計画：II-2-11-5)

(2) 放射線管理に係る補足説明

① 放射線防護及び管理

a. 放射線管理

(a) 基本方針

- 現存被ばく状況において、放射線被ばくを合理的に達成できる限り低減する方針で、今後、新たに設備を設置する場合には、遮へい設備、換気空調設備、放射線管理設備及び放射性廃棄物廃棄施設を設計し、運用する。また、事故後、設置した設備においても、放射線被ばくを合理的に達成できる限り低減する方針で、必要な設備の改良を図る。
- 放射線被ばくを合理的に達成できる限り低くするために、周辺監視区域全体を管理対象区域として設定して、立入りの制限を行い、外部放射線に係る線量、空気中もしくは水中の放射性物質の濃度及び床等の表面の放射性物質の密度を監視して、その結果を管理対象区域内の諸管理に反映するとともに必要な情報を免震重要棟や出入管理箇所等で確認できるようにし、作業環境の整備に努める。
- 放射線業務に限らず業務上管理対象区域に立ち入る作業者を放射線業務従事者とし、ばく歴を把握し、常に線量を測定評価し、線量の低減に努める。また、放射線業務従事者を除く者であって、放射線業務従事者の随同行により管理対象区域に立ち入る者等を一時立入者とする。
- さらに、各個人については、定期的に健康診断を行って常に身体的状態を把握する。
- 周辺監視区域を設定して、この区域内に人の居住を禁止し、境界に柵または標識を設ける等の方法によって人の立入を制限する。
- 原子炉施設の保全のために、管理区域を除く場所であって特に管理を必要とする区域を保全区域に設定して、立入りの制限等を行う。
- 核燃料物質によって汚染された物の運搬にあたっては、放射線業務従事者の防護及び発電所敷地外への汚染拡大抑制に努める。

(実施計画：III-3-3-1-2-2)

(b) 発電所における放射線管理

a. 管理対象区域内の管理

管理対象区域については、次の措置を講じる。

- 管理対象区域は当面の間、周辺監視区域と同一にすることにより、さく等の区画物によって区画するほか周辺監視区域と同一の標識等を設けることによって明らかに他の場所と区別し、かつ、放射線等の危険性の程度に応じて、人の立入制限等を行う。
- 管理対象区域内の線量測定結果を放射線業務従事者の見やすい場所に掲示する等の方法によって、管理対象区域に立ち入る放射線業務従事者に放射線レベルの高い場所や放射線レベルが確認されていない場所を周知する。特に放射線レベルが高い場所においては、必要に応じてロープ等により人の立入制限を行う。
- 放射性物質を経口摂取するおそれのある場所での飲食及び喫煙を禁止する。ただし、飲食及び喫煙を可能とするために、放射性物質によって汚染された物の表面の放射性物質の密度及び空気中の放射性物質濃度が、法令に定める管理区域に係る値を超えるおそれのない区域を設ける。なお、設定後は、定期的な測定を行い、この区域内において、法令に定める管理区域に係る値を超えるような予期しない汚染を床又は壁等に発見した場合等、汚染拡大防止のための放射線防護上必要な措置等を行うことにより、放射性物質の経口摂取を防止する。
- 管理対象区域全体にわたって放射線のレベル及び作業内容に応じた保護衣類や放射線防護具類を着用させる。
- 管理対象区域から人が退去し、又は物品を持ち出そうとする場合には、その者の身体及び衣服、履物等身体に着用している物並びにその持ち出そうとする物品（その物品を容器に入れ又は包装した場合には、その容器又は包装）の表面の放射性物質の密度についてスクリーニングレベルを超えないようにする。管理対象区域内において汚染された物の放射性物質の密度及び空気中の放射性物質濃度が法令に定める管理区域に係る値を超えるおそれのない区域に人が立ち入り、又は物品を持ち込もうとする場合は、その者の身体及び衣服、履物等身体に着用している物並びにその持ち出そうとする物品（その物品を容器に入れ又は包装した場合には、その容器又は包装）の表面の放射性物質の密度について表面汚染測定等により測定場所のバックグラウンド値を超えないようにする。
- 管理対象区域内においては、除染や遮へい、換気を実施することにより外部線量に係る線量、空気中放射性物質の濃度、及び放射性物質によって汚染された物の表面の放射性物質密度について、管理区域に係る値を超えるおそれのない場合は、人の出入管理及び物品の出入管理に必要な措置を講じた上で、管理対象区域として扱わないこととする。

(実施計画：Ⅲ-3-3-1-2-3~4)

具体的な対応方針

- 大型カバー設置工事, 保守・点検等に従事する作業者を放射線業務従事者とした上で, 被ばく歴を把握し, 常に線量を測定評価すること及び放射線のレベルに応じた保護衣類を着用させる。

(表 1) (図 1)

表 1 大型カバー設置工事の作業分類ごとの具体的な作業

分類	区域区分	具体的な作業
1号機周辺作業	Yゾーン	<ul style="list-style-type: none"> ・付帯作業 ・地業工事 ・R/B 外壁調査 ・アンカー削孔 ・大型カバー鉄骨設置 ・天井クレーン設置 ・屋根設置
構内	Gゾーン	<ul style="list-style-type: none"> ・鉄骨輸送

福島第一 サーベイマップ(2022年10月分)

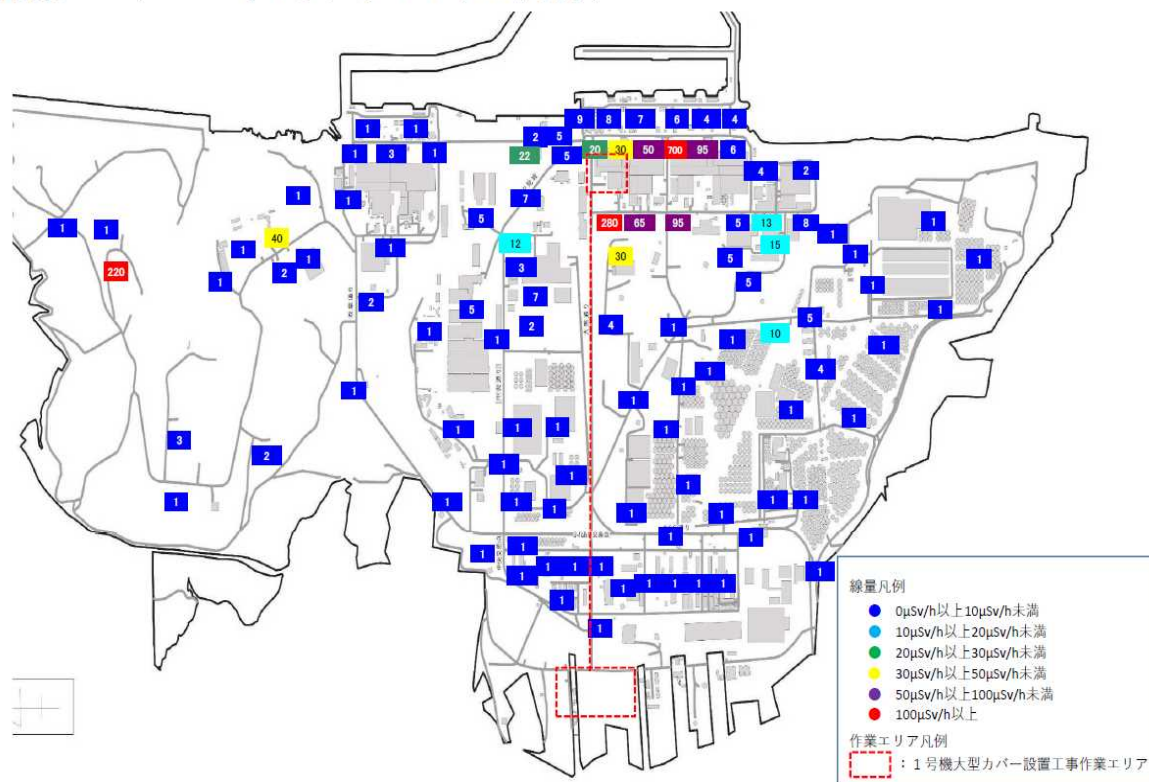


図 1 1号機大型カバー設置工事の作業エリア及び外部放射線量に係る線量率 (2022年10月)

- 1号機原子炉建屋周辺は線量が高く、有人による作業は被ばく線量が増加するため、被ばく線量低減策として、低線量となるエリアでの鉄骨のブロック化や高線量エリアではできる限り遠隔操作により施工する。(図2)
- 大型カバー設置作業中に、高線量エリアでの有人作業が発生する場合は、大型カバー架構に仮設遮蔽を設け作業員の被ばく低減を図る。(図)
- 大型カバー設置工事の総被ばく線量は約6,654人・mSVと計画した。(表2) また、外壁調査における計画線量は約668人・mSVと計画した。(表3)
- 燃料取り出し用カバーの設置等においては、実施計画Ⅱ章「1.12 作業者の被ばく線量の管理等」及び実施計画Ⅲ章第3編「3 放射線管理に係る補足説明」の規定に基づき、現存被ばく状況での放射線業務従事者の作業性等を考慮して、高線量エリアでの遮蔽、遠隔操作、除染等の所要の放射線防護上の措置に加え、作業時における放射線被ばく管理措置(防護具の着用等)や低線量エリアでの構造物のブロック化等を講じることにより、放射線業務従事者が立ち入る場所の線量及び作業に伴う被ばく線量を達成できる限り低減する設計及び運用とする。
(実施計画：Ⅱ-2-11-添3-1, 2)



図2 大型カバー鉄骨のブロック化と遠隔操作による施工のイメージ

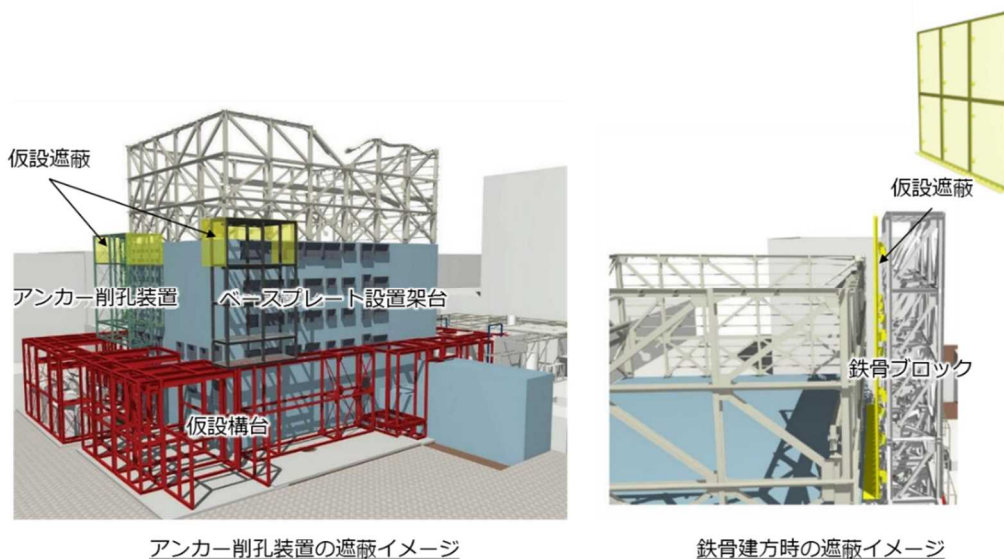


図3 大型カバー設置中の仮設遮蔽のイメージ

表2 大型カバー設置工事の線量計画

作業内容	作業詳細	総被ばく線量 (人・mSv)
付帯作業	飛散防止剤散布, 情報棟管理, T/B 昇降足場設置, 支障物撤去等	472
地組, 構内運搬	構外ヤード地組, 構内運搬路調査等	4
地業工事	R/B 周辺地盤整備, コンクリート打設等	365
R/B 外壁調査	調査用足場組立・解体, 外壁塗膜剥離, 外壁調査等	668
アンカー削孔	アンカー削孔, BPL 取付等	1,880
大型カバー鉄骨 設置	仮設構台設置	980
	下部架構設置	980
	上部架構設置	700
	ボックスリング設置	500
天井クレーン, 屋根設置	天井クレーン設置	35
	屋根設置	70
計		6,654

表3 外閉調査の線量計画

作業内容	作業詳細	西面	北面	東面	南面	計
調査用足場 組み立て	仮設足場地組, 建て方, 解体	45.6	45.0	46.0	44.5	181.1
塗膜剥離	養生, 剥離剤塗布, 塗膜剥離	140.0	75.4	71.4	85.2	372.0
ひび割れ調査	ひび割れ位置・幅・ 長さ・深さ計測	34.8	18.6	17.6	21.0	92.0
コンクリート 強度調査 (リバウトハンマ ー)	リバウトハンマー試験	8.7	4.7	4.4	5.3	23.1
計		229.1	143.7	139.4	156.0	668.2

II. 設計，設備について措置を講ずべき措置

1 3. 緊急時対策

- 緊急時対策所，安全避難経路等事故時において必要な施設及び緊急時の資機材等を整備すること。
- 適切な警報系及び通信連絡設備を備え，事故時に特定原子力施設内に居るすべての人に対する確に指示ができるとともに，特定原子力施設と所外必要箇所との通信連絡設備は，多重性及び多様性を備えること。

措置を講ずべき事項への適合方針

○ 基本的な考え方

緊急時対策については、『福島第一原子力発電所原子力事業者防災業務計画』（以下『防災業務計画』という）に従い実施する。

緊急時に実施すべき事項として，通報の実施，緊急時態勢の発令，情報の収集と提供，避難誘導，応急復旧等がある。

これらを実施するために原子力防災組織の設置・運営，原子力防災資機材の整備，原子力災害対策活動で使用する施設，設備の整備等について防災業務計画で定められている。

○ 緊急時において必要な施設及び資機材等の整備について

原子力防災管理者は，緊急時において必要な施設及び緊急時の資機材等の整備について防災業務計画に従い以下の対応を実施する。

- ・ 緊急時対策所を平素から使用可能な状態に整備するとともに，換気浄化設備を定期的に点検し，地震等の自然災害が発生した場合においてもその機能が維持できる施設及び設備とする。また，外部電源喪失時においても専用の非常用発電機により緊急時対策所へ給電可能である。
- ・ 退避場所又は避難集合場所を関係者に周知する。
- ・ 瓦礫撤去用の重機及び操作要員を準備し，瓦礫が発生した場合の撤去対応が可能である。
- ・ 原子力防災資機材及びその他の原子力防災資機材について，定期的に保守点検を行い，平素から使用可能な状態に整備する。また，資機材に不具合が認められた場合，速やかに修理するか，代替品を補充あるいは代替手段により必要数量又は必要な機能を確保する。

施設内の安全避難経路については防災業務計画に明示されていないが，誘導灯により安全避難経路を示すことを基本としている。しかしながら，一部対応できていない事項があるため，それらについては以下のとおり対応する。

- ・ 震災の影響により使用できない誘導灯（1～4号機建屋内）

作業にあたっては，緊急時の避難を考慮した安全避難経路を定め，この経路で退出することとする。また，使用するエリアの誘導灯の復旧を進め，適切な状態に維持する。

- ・ 震災の影響により使用できない非常灯（1～4号機建屋内）

施設を使用するエリアの非常灯の復旧を進め，適切な状態に維持する。

○ 緊急時の避難指示

緊急時の避難指示については，防災業務計画では緊急放送等により施設内に周知することと

なっているが、緊急放送等が聞こえないエリアが存在することを考慮し、以下の対応を実施することで、作業員等特定原子力施設内にいるすべての人に的確な指示を出す。

- ① 免震重要棟にて放射性物質の異常放出等のプラントの異常や地震・津波等の自然災害を検知。
 - ② 原子力防災管理者は緊急放送装置により免震重要棟・高台等への避難を指示。
 - ③ 緊急放送が聞こえないエリアで作業を実施している場合は、作業主管Gより携帯電話にて免震重要棟・高台等への避難を指示。
 - ④ 緊急放送が聞こえないエリアでの作業に対して上記③により連絡が付かない場合は、警備誘導班がスピーカー車により免震重要棟・高台等への避難を指示。
- ※ 建屋内等電波状況が悪く緊急放送等も入らないエリアにおいては、緊急放送が入るエリアに連絡要員を配置する、トランシーバ等による通信が可能な位置に連絡要員を配置する等通報連絡が可能となるような措置を実施する。

○ 通報、情報収集及び提供

緊急事態の発生及び応急措置の状況等の関係機関への通報連絡、事故状況の情報収集による応急復旧の実施のため、特定原子力施設内及び特定原子力施設と所外必要箇所との通信連絡設備として防災業務計画に定める以下を準備することで、多重性及び多様性を備える。

(1) 特定原子力施設内の通信連絡設備

- ・ 緊急放送（1台）
- ・ ページング
- ・ 電力保安通信用電話設備（60台）
- ・ 携帯電話（40台）

※ 緊急放送・ページングについては、聞こえないエリア・使用できない場所があるが、場所を移動しての連絡や電力保安通信用電話設備・携帯電話の使用、その他トランシーバの使用等により対応する。

※ 電力保安通信用電話設備、携帯電話については防災業務計画に定める数量を示しているが、緊急時対応として必要により、防災業務計画に定める数量を超える通信連絡設備を使用する場合もある。

(2) 特定原子力施設と所外必要箇所との通信連絡設備

- ・ ファクシミリ装置（1台）
- ・ 電力保安通信用電話設備（60台；上記「特定原子力施設内の通信連絡設備」の再掲）
- ・ TV会議システム（1台）、IP電話（5台）、IPFAX（3台）
- ・ 携帯電話（40台；上記「特定原子力施設内の通信連絡設備」の再掲）
- ・ 衛星携帯電話（1台）

※ 電力保安通信用電話設備、携帯電話については防災業務計画に定める数量を示しているが、緊急時対応として必要により、防災業務計画に定める数量を超える通信連絡設備を使用する場合もある。

※ 防災業務計画ではこの他に緊急時用電話回線があるが使用ができないため、電気通信事業者の有線電話、携帯電話、衛星携帯電話等の通信手段により通信連絡を行う。

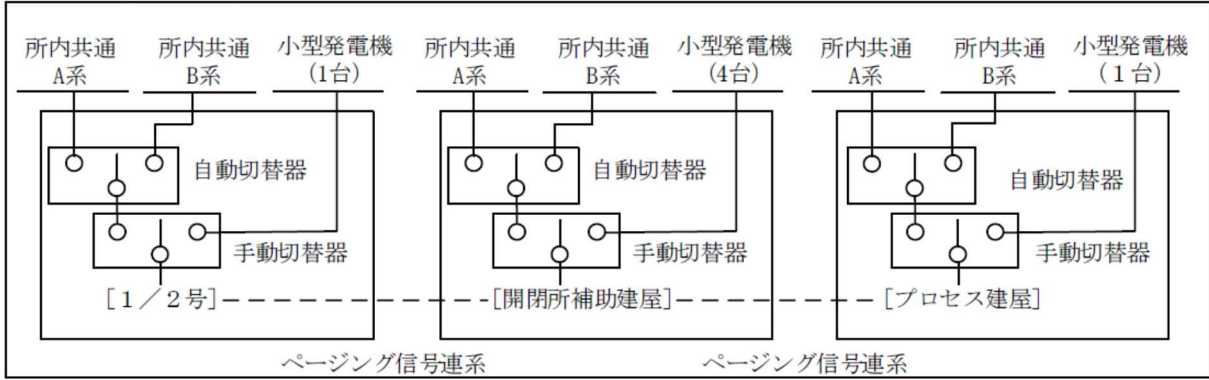
※ 上記防災業務計画で定めるもの以外として、TV会議システム（社内用）についても通信連絡用に使用する。

○ 外部電源喪失時の通信手段・作業環境確保

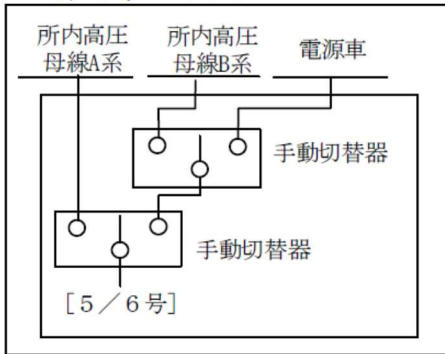
外部電源喪失時に緊急時対策を実施するために、防災業務計画に明示されていないが、以下の対応を実施する。

必要箇所との連絡手段確保のため、ページングについては、小型発電機または電源車から、電力保安通信用電話設備については、小型発電機から給電可能とする（図－1 参照）。また、夜間における復旧作業に緊急性を要する範囲の照明については、小型発電機から給電可能とする（図－2 参照）。

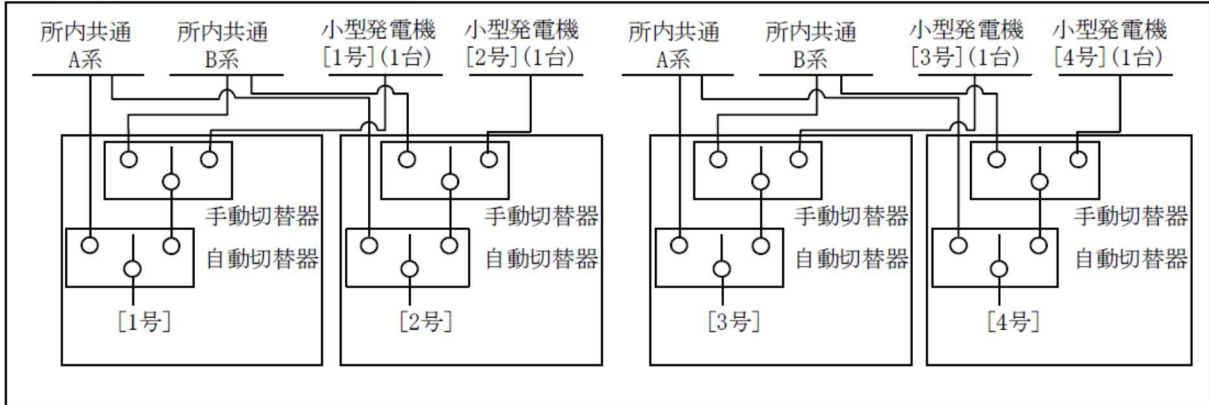
1～4号ページング



5/6号ページング



1～4号電力保安通信用電話設備



5/6号電力保安通信用電話設備

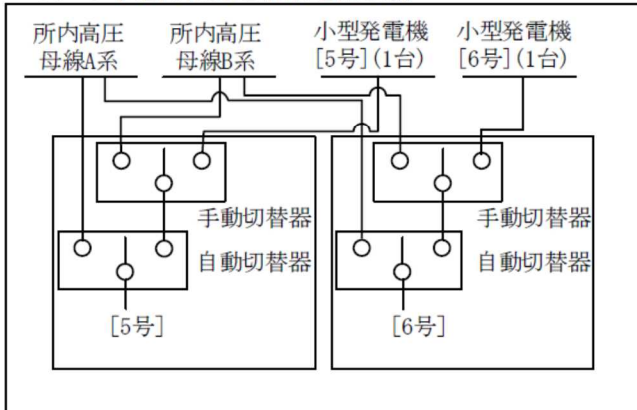


図- 1 ページング・電力保安通信用電話設備

照明

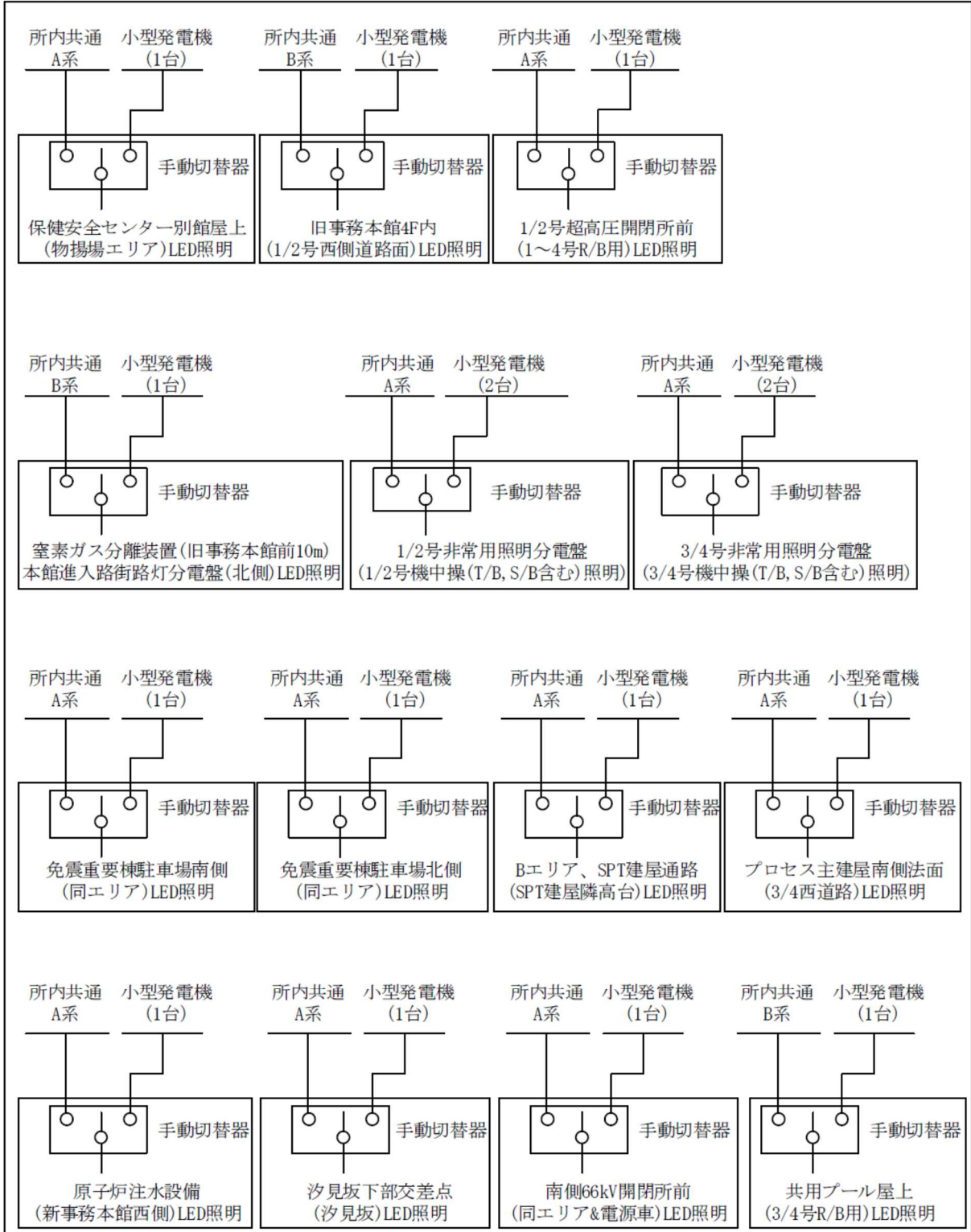


図-2 作業用照明 電源系統図

(実施計画：II-1-13-1~3)

具体的な対応方針

○ 施設内にいる人員の避難計画について

緊急時、施設内にいる人員が安全に避難できるよう大型カバーの下部架構には安全避難通路を設置し、2方向の避難ルートが確保できる計画とする。(図1)

○ 大規模な地震、津波等の緊急事態への対応

大型カバーの設置範囲において、「II章 1.13 緊急時対策」の規定に従い、所内の作業者等に対して必要な対応等を各所に設置されたページングによる緊急放送で指示する。また、緊急放送が聴こえないエリアで作業を実施している場合は、作業主管 G より携帯電話にて免震重要棟・高台等への避難を指示する他、緊急放送が聴こえないエリアでの作業者に対しては、警備誘導班がスピーカー車により免震重要棟・高台等への避難を指示する計画となっている。(図2)

○ 緊急時対策

燃料取り出し用カバーの設置等に当たっては、大規模な地震、津波等の事態に備え、事故時において必要な安全避難通路等の他、事故時に施設内に居るすべての人に対する確に指示ができる適切な警報系（ページング、スピーカ等）及び通信連絡設備（PHS等）を整備する。

(実施計画：II-2-11-添3-2)

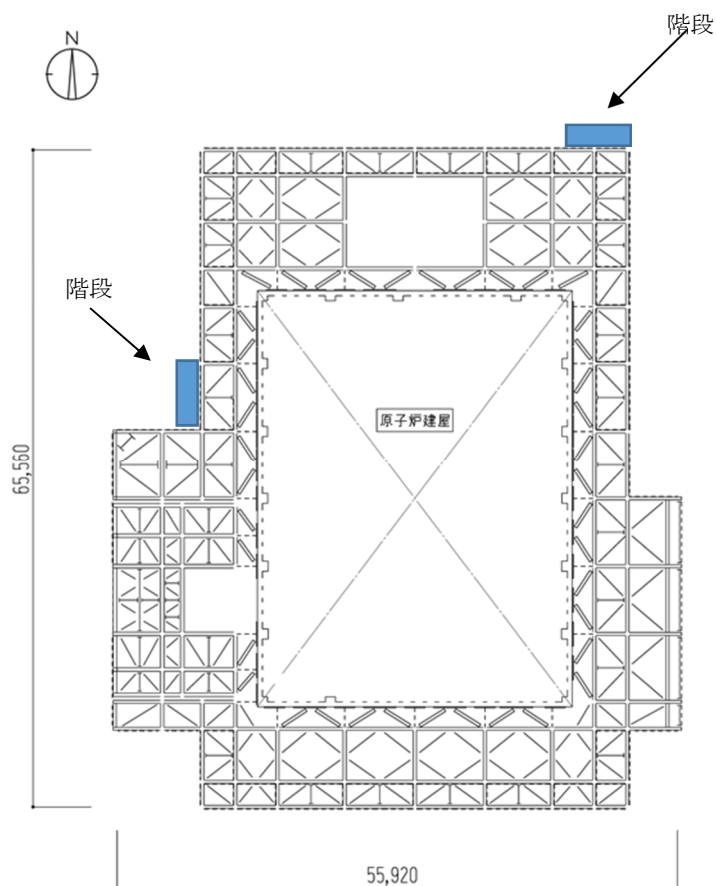


図1 伏図 ((G.L.+28,300))

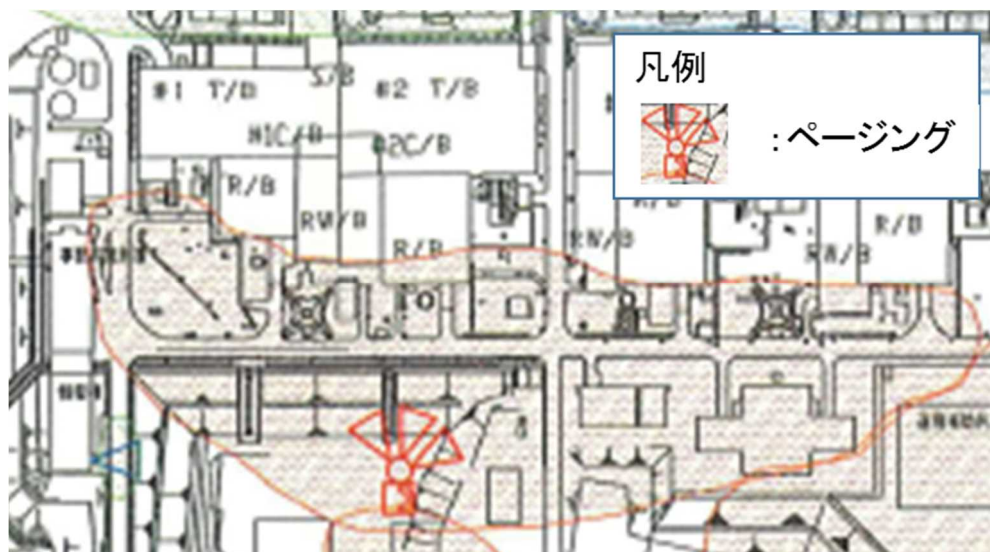


図2 1号機周辺のページングのエリア図

II. 設計，設備について措置を講ずべき措置

1 4. 設計上の考慮

○施設の設計については，安全上の重要度を考慮して以下に掲げる事項を適切に考慮されたものであること。

①準拠規格及び基準

安全機能を有する構築物，系統及び機器は，設計，材料の選定，製作及び検査について，それらが果たすべき安全機能の重要度を考慮して適切と認められる規格及び基準によるものであること。

措置を講ずべき事項への適合方針

○ 施設の設計については，安全上の重要度を考慮して以下について適切に考慮したものとする。
準拠規格及び基準

安全機能を有する構築物，系統及び機器は，設計，材料の選定，製作及び検査について，それらが果たすべき安全機能の重要度を考慮して適切と認められる規格及び基準によるものとする。

(実施計画：II-1-14-1)

2. 11. 1 基本設計

2. 11. 1. 1 設置の目的

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

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

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

2. 11. 1. 2 要求される機能

(中略)

(3) 燃料取り出し用カバー

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

(実施計画：II-2-11-1)

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

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

(実施計画：II-2-11-6)

※放射線線量が高い環境

2.11.2 基本仕様

2.11.2.1 主要仕様

(1号機)

a. 大型カバー

種類 鉄骨造

寸法 約 66m (南北) × 約 56m (東西) × 約 68m (地上高)

(作業環境整備区画)

約 66m (南北) × 約 56m (東西) × 約 40m (オペレーティングフロア上部高さ)

個数 1 個

(実施計画：II-2-11-14)

具体的な対応方針

○ 大型カバーの設計、材料の選定、製作及び検査は原則として下記の法規及び基規準類に準拠して行う。

- (1) 建築基準法・同施行令及び関連告示
- (2) 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 (日本建築学会, 改定版 2013 年)
- (3) 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 (日本建築学会, 2018 年)
- (4) 鋼構造設計規準—許容応力度設計法— (日本建築学会, 2005 年)
- (5) 2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書(国土交通省住宅局建築指導課・国土交通省国土技術政策総合研究所・独立行政法人建築研究所・日本建築行政会議, 2015 年)
- (6) 各種合成構造設計指針・同解説 (日本建築学会, 2010 年)
- (7) クレーン等安全規則 (昭和 47 年 9 月 30 日労働省令第 34 号)
- (8) クレーン構造規格 (平成 7 年 12 月 26 日労働省令第 134 号)
- (9) 日本産業規格 (JIS)

また、原子力施設の設計において参照される下記の指針及び規程を参考にして検討を行う。

- (10) 原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG 4601-1987) (日本電気協会 電気技術基準調査委員会, 昭和 62 年)
- (11) 原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG 4601-1991 追補版) (日本電気協会 電気技術基準調査委員会, 平成 3 年)
- (12) 原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC 4601-2015) (日本電気協会 原子力規格委員会, 平成 27 年)*

※実用炉の審査実績について

誘発上下動については、令和 2 年 10 月 14 日付け原規規発第 2010147 号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機の設計及び工事の計画の添付資料「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」にて審査の実績がある。

エネルギー一定則については、令和 2 年 10 月 14 日付け原規規発第 2010147 号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機の設計及び工事の計画の補足説明資料「工事計画に係る説明資料 (建

屋・構築物の耐震性についての計算書) タービン建屋の耐震性についての計算書に関する補足説明資料」にて審査の実績がある。

○ 破断寿命評価において以下の文献を使用した。

(1) 中込他, 繰返し力を受ける SM490 鋼の疲労性に関する研究, (日本建築学会構造系論文集, 1995 年 3 月)

○ 建屋の外壁調査において、ひび割れクライテリアの設定に以下の文献を使用した。

(1) CERN, COMPILATION OF RADIATION DAMAGE TEST DATA PART III:Materials used around high-energy accelerators, 1982 年

(2) 水谷他, ひび割れがあるアンカー部の耐力試験 (その 1~3) (日本建築学会, 2018 年)

(3) 川口他, コンクリート強度及びひび割れがあと施工アンカーの耐荷性に与える影響, (日本コンクリート工学会, 2015 年)

(4) 震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針 (日本建築防災協会, 2016 年)

(5) セメフォースアンカー技術資料(<http://cemef.jp/download/download.html>)

(6) 又吉他, 補強アンカーを用いた既存ひび割れ部の耐力試験その 1 試験計画 (日本建築学会, 2022 年)

(7) 水谷他, 補強アンカーを用いた既存ひび割れ部の耐力試験その 2 試験結果 (日本建築学会, 2022 年)

(8) 吉崎他, 多数の小開口をもつ原子炉建屋耐震壁の終局せん断強度 (コンクリート工学論文集, 1984 年)

(9) 大森, 高橋, 坪田, 井上, 栗原, 渡辺, 繰返し面内せん断力を受ける鉄筋コンクリート平板の弾塑性挙動に関する実験研究 (日本建築学会構造系論文報告集, 第 403 号, 1989 年 9 月)

○ 燃料取り出し用カバーの設計, 材料の選定, 製作及び検査については, 日本産業規格 (JIS) 等の適切と認められる規格及び基準によるものとする。

(実施計画: II-2-11-添 3-2)

II. 設計, 設備について措置を講ずべき措置

1 4. 設計上の考慮

○施設の設計については、安全上の重要度を考慮して以下に掲げる事項を適切に考慮されたものであること。

②自然現象に対する設計上の考慮

- ・安全機能を有する構築物, 系統及び機器は, その安全機能の重要度及び地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響を考慮して, 耐震設計上の区分がなされるとともに, 適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられる設計であること。
- ・安全機能を有する構築物, 系統及び機器は, 地震以外の想定される自然現象(津波, 豪雨, 台風, 竜巻等)によって施設の安全性が損なわれない設計であること。重要度の特に高い安全機能を有する構築物, 系統及び機器は, 予想される自然現象のうち最も苛酷と考えられる条件, 又は自然力に事故荷重を適切に組み合わせた場合を考慮した設計であること。

措置を講ずべき事項への適合方針

施設の設計については、安全上の重要度を考慮して以下について適切に考慮したものとする。

○自然現象に対する設計上の考慮

- ・安全機能を有する構築物, 系統及び機器は, その安全機能の重要度, 地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響(公衆被ばく影響)や廃炉活動への影響等を考慮した上で, 核燃料物質を非密封で扱う燃料加工施設や使用施設等における耐震クラス分類を参考にして耐震設計上の区分を行うとともに, 適切と考えられる設計用地震力に耐えられる設計とする。また, 確保できない場合は必要に応じて多様性を考慮した設計とする。
- ・安全機能を有する構築物, 系統及び機器は, 地震以外の想定される自然現象(津波, 豪雨, 台風, 竜巻等)によって施設の安全性が損なわれないものとする。その際, 必要に応じて多様性も考慮する。重要度の特に高い安全機能を有する構築物, 系統及び機器は, 予想される自然現象のうち最も苛酷と考えられる条件, 又は自然力に事故荷重を適切に組み合わせた場合を考慮したものとする。

(実施計画: II-1-14-1)

(1) 津波

(中略)

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

(2) 豪雨, 台風, 竜巻, 落雷

燃料取り出し用カバーは, 建築基準法及び関係法令に基づいた風圧力に対し耐えられるよう設
計する。

(中略)

燃料取り出し用カバーは外装材で覆うことにより風雨を遮る設計とする。

(中略)

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

(中略)

(5) 環境条件

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

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

(中略)

(1) 構造強度

(中略)

c. 燃料取り出し用カバー

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

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

(2) 耐震性

(中略)

d. 燃料取り出し用カバー

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

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

(実施計画：II-2-11-4～7)

具体的な対応方針

大型カバー（ガレキ撤去用天井クレーンも含む。以下同じ。）の耐震クラスについては、大型カバーの安全機能が喪失した場合の敷地周辺の公衆被ばく線量が大型カバーの設置前後でほとんど変わらないことから、耐震Cクラスとし、当該クラスに適用される地震力に対して十分耐えられる設計にする。

また、大型カバーと1号機原子炉建屋を一体とした解析モデルを用いて、検討用地震動（最大加速度900gal。以下「Ss900」という。）による地震力を適用した地震応答解析を実施した結果、大型カバーと1号機原子炉建屋外壁が崩壊に至らないと評価されることから、地震時において大型カバーが安全上重要な設備である使用済燃料プール等に対して波及的影響を与えない。

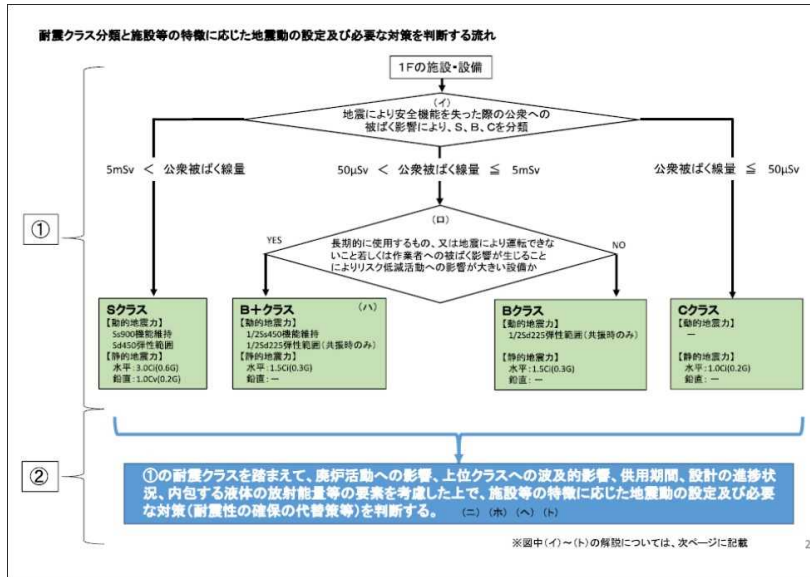
なお、今後の燃料取出し時において、大型カバーは燃料取扱設備（耐震B+クラス）の間接支持構造物となることを見据えて、当該クラスの設備に要求される静的地震力及びSs900の1/2の地震動による地震力を適用した許容応力度設計及び地震応答解析を実施し、「JSCA 性能設計説明書 2017年版」等を参考にして評価した結果、大型カバーの間接支持機能は維持される。

○ 地震に対する設計上の考慮

燃料取り出し用カバー（1号機）は、2021年9月8日の原子力規制委員会で示された耐震設計の考え方（2022年11月16日一部改訂）を踏まえ、その安全機能が喪失した場合における公衆への放射線影響を評価した結果、原子炉建屋上部の瓦礫類の飛散等による実効線量は50 μSv/事象以下と評価されることから、耐震Cクラスと位置付けるとともに、当該クラスに適用される設計用地震力（水平方向の静的地震力1.0Ci）に対して十分耐えられる設計とする。また、燃料取り出し用カバー（1号機）は、検討用地震動（最大加速度900gal。以下「Ss900」という。）に対する地震応答解析を実施し、Ss900に対する耐震性を確保することにより、地震時においても安全上重要な設備である使用済燃料プール等に対して波及的影響を及ぼさない設計とする。

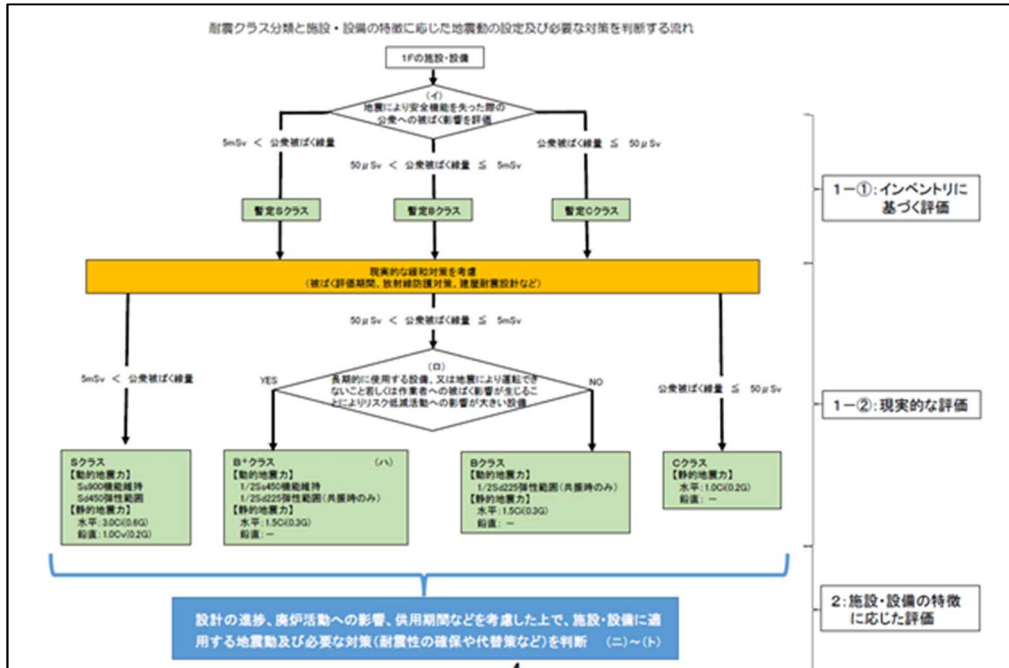
（実施計画：II-2-11-添3-2）

大型カバーの耐震クラス及び適用する地震動は、図1-1及び図1-2の「耐震クラス分類と施設等の特徴に応じた地震動の設定及び必要な対策を判断する流れ」に従う。



- 【(イ)：地震により安全機能を失った際の公衆被ばく影響】**
- 核燃料施設等の耐震クラス分類を参考にして、地震による安全機能喪失時の公衆被ばく線量により、S、B、Cを分類する。液体放射性物質を内包する施設・設備にあっては、液体の海洋への流出のおそれのない設計を前提とした線量評価によるものとする。
- 【(ロ)：通常のBクラスよりも高い耐震性が求められるB+クラスの対象設備の要件】**
- 「運転できないこと若しくは作業への被ばく影響が生じることによりリスク低減活動への影響が大きい設備」の具体例は以下のとおり。
 - ・ 建屋滞留水・多核種除去設備などの水処理設備、使用済燃料をプールからより安定性の高い乾式キャスクへ移動させるために必要な燃料取出設備等。
 - ・ 閉じ込め・運へい機能喪失時の復旧作業における従事者被ばく線量が1日当たりの計画線量限度を超える設備等。
- 【(ハ)：B+クラスの1/2Ss450機能維持】**
- Ss900の1/2の最大加速度450galの地震動に対して、運転の継続に必要な機能の維持や閉じ込め・運へい機能の維持を求める。
- 【(ニ)：上位クラスへの波及的影響】**
- 上位クラスへの波及的影響がある場合、原則上位クラスに応じた地震動を念頭に置き、耐震クラス分類の考え方と同様に、下位クラスによる波及的影響を起因とする敷地周辺の公衆被ばく線量も勘案し、適切な地震動を設定する。
- 【(ホ)：地震力の組合せ】**
- 地震力の算定に際しては、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせる。
- 【(へ)：液体放射性物質を内包する設備】**
- 多核種除去設備等で処理する前の液体等、放出による外部への影響が大きい液体を内包する設備については、Ss900に対して、海洋に流出するおそれのない設計とすることを求める(滞留水が存在する建屋、ALPS処理前の水や濃縮廃液を貯留するタンクの堰等)。これ以外の液体を内包する設備については、上位クラスの地震動に対する閉じ込め機能の確保又は漏えい時の影響緩和対策を求める³⁾。
 - ※：設備自体を耐震CクラスからBクラスに格上げ、周囲の堰等に上位クラスの地震動に対して閉じ込め機能を維持する、漏えい時に仮設ホースによる排水等の機動的対応を講ずる等により、海洋への流出を緩和する措置を想定。
- 【(ト)：耐震性の確保に対する代替措置】**
- 耐震性の確保の代替策として、機動的対応や耐震性の不足に起因するリスクを早期に低減させるための対策を講ずるとしてもよい。具体例は以下のとおり。
 - 例1 B+クラス設備の1/2Ss450機能維持の手段としては、耐震性の確保の他、機動的対応(予備品への交換、可搬型設備の運用等)による代替手段を想定。
 - 例2 中低濃度タンクや吸着塔一時保管施設等の耐震性の不足に起因するリスクを早期に低減させる対策として、耐震性の高い建屋やタンクへの移替え及び移管、スラリー安定化処理設備や海洋放出設備による処理等を早期に行うことを想定。

図 1-1 第 30 回原子力規制委員会（令和 3 年 9 月 8 日）資料 2）抜粋



【(イ)： 地震により安全機能を失った際の公衆被ばく影響】

- 核燃料施設等の耐震クラス分類を参考にして、地震による安全機能喪失時の公衆被ばく線量により、S、B、Cを分類する。液体放射性物質を内包する施設・設備にあつては、液体の海洋への流出のおそれのない設計を前提とした線量評価によるものとする。

【(ロ)： 通常のBクラスよりも高い耐震性が求められるB+クラスの対象設備の要件】

- 「運転できないこと若しくは作業員への被ばく影響が生じることによりリスク低減活動への影響が大きい設備」の具体例は以下のとおり。
 - ・ 建屋滞留水・多核種除去設備などの水処理設備、使用済燃料をプールからより安定性の高い乾式キャスクへ移動させるために必要な燃料取出設備等。
 - ・ 閉じ込め・遮へい機能喪失時の復旧作業における従事者被ばく線量が1日当たりの計画線量限度を超える設備等。

【(ハ)： B+クラスの1/2Ss450機能維持】

- 1/2Ss450に対して、運転の継続に必要な機能の維持や閉じ込め・遮へい機能の維持を求める。
- 令和4年3月16日の福島県沖地震の地震動が1/2Ss450を上回った周期帯に固有振動数を有する施設・設備は、当該地震動による施設・設備の機能への影響を評価する。

【(ニ)： 耐震性の確保】

- 地震力の算定に際しては、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせる。

【(ホ)： 耐震性の確保に対する代替策】

- 耐震性の確保の代替策として、耐震性の不足に起因するリスクを早期に低減させるための対策を講ずるとしてもよい。具体例は以下のとおり。
 - 例：中低濃度タンクや吸着塔一時保管施設等の耐震性の不足に起因するリスクを早期に低減させる対策として、耐震性の高い建屋やタンクへの移替え及び移管、スラリー安定化処理設備や海洋放出設備による処理等を早期に行うことを想定。

【(ヘ)： 上位クラスへの波及的影響】

- 上位クラスへの波及的影響がある場合、原則上位クラスに応じた地震動を念頭に置くが、耐震クラス分類の考え方と同様に、下位クラスによる波及的影響を起因とする敷地周辺の公衆被ばく線量も勘案し、適切な地震動を設定する。

【(ト)： 液体放射性物質を内包する設備】

- 多核種除去設備等で処理する前の液体等、放出による外部への影響が大きい液体を内包する設備については、Ss900に対して、海洋に流出するおそれのない設計とすることを求める(滞留水が存在する建屋、ALPS処理前の水や濃縮廃液を貯留するタンクの埋等)。これ以外の液体を内包する設備については、上位クラスの地震動に対する閉じ込め機能の確保又は漏えい時の影響緩和対策を求める[※]。

※：設備自体を耐震CクラスからBクラスに格上げ、周囲の埋等に上位クラスの地震動に対して閉じ込め機能を維持する、漏えい時に仮設ホースによる排水等の機動的対応を講ずる等により、海洋への流出を緩和する措置を想定。

図 1-2 第51回原子力規制委員会(令和4年11月16日)資料3)抜粋

大型カバーに要求される安全機能は、作業環境の整備及び放射性物質の飛散・拡散防止である。

このため、機能喪失により公衆への被ばく影響のある機能は「放射線物質の飛散・拡散防止」の「閉じ込め機能」とは言えない機能となるが、大型カバーを設置しない現状（1号機原子炉建屋上部が開放している状態）においても、年間の公衆被ばく線量は $50\mu\text{Sv}$ 以下であり、放射線物質の飛散・拡散防止機能が喪失した際の敷地境界への影響はほとんどないことから、耐震Cクラスに分類される。

この上で、ガレキ撤去時等におけるダストの舞い上がりが一定期間継続する状況において、大型カバーが地震により「放射線物質の飛散・拡散防止」機能を失った際の公衆への被ばく線量を仮に評価した場合は、 $50\mu\text{Sv}$ を下回る^{※1※2}。

※1 燃料取扱設備の安全機能喪失時における公衆への被ばく線量については、今後別の申請において評価する。

※2 図2参照。

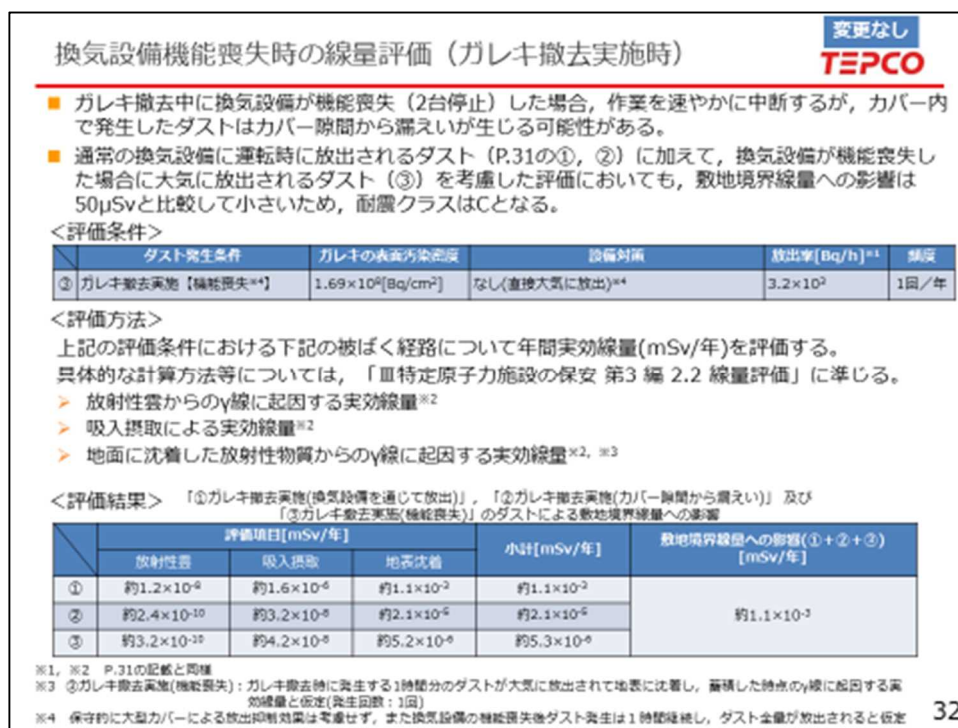


図 2-1 1号機大型カバー換気設備他設置について 面談資料抜粋（2022年9月28日）

【参考】大型カバー・換気設備設置前の線量評価（ガレキ撤去実施前）

- 大型カバー及び換気設備設置前における1号機オペフロ上のダストによる敷地境界線量への影響は、「Ⅲ.3.2放射性廃棄物等の管理に関する補足説明」での評価(約0.03mSv/年)と比べ低いと評価している。

<評価条件>

ダスト発生条件	放射性物質濃度[Bq/cm ³]	設備対策	放出率[Bq/h]	期間
ガレキ撤去実施前	Cs-134: 約 2.1×10^{-6} ^{※1} Cs-137: 約 1.1×10^{-6} ^{※1}	なし（大型カバー・換気設備設置前）	Cs-134: 約 2.9×10^3 ^{※2} Cs-137: 約 1.5×10^4 ^{※3}	1年

<評価方法>

上記の評価条件における下記の被ばく経路について年間実効線量(mSv/年)を評価する。
具体的な計算方法等については、「Ⅲ特定原子力施設の保安 第3編 2.2 線量評価」に準じる。

- 放射性雲からのγ線に起因する実効線量^{※2}
- 吸入摂取による実効線量^{※2}
- 地面に沈着した放射性物質からのγ線に起因する実効線量^{※2, ※3}

<評価結果>

ガレキ撤去実施前のダストによる敷地境界線量への影響

評価項目[mSv/年]			敷地境界線量への影響 [mSv/年]
放射性雲	吸入摂取	地表沈着	
約 2.1×10^{-9}	約 2.5×10^{-7}	約 1.6×10^{-4}	約 1.6×10^{-4}

※1 2015年8月～2021年5月における1号機オペフロ上の放射性物質濃度の検出濃度の最大値

※2, ※3 P.31の記載と同様

※4 「1～4号機原子炉建屋からの追加的放出量の評価結果」における最近5年(2016年度～2020年度)の風向風速条件における年間の最大風速より算出

図 2-2 【参考】大型カバー・換気設備設置前の線量評価（ガレキ撤去実施前）
1号機大型カバー換気設備他設置について 面談資料抜粋（2022年9月28日）

大型カバー各部位の安全機能の整理と、地震により安全機能を失った際の公衆への線量影響を踏まえた耐震クラスは、図 1 に従うと暫定的に表 1 の通り。

表 1 大型カバーの耐震クラス（暫定版）

機器区分	設備名称	安全機能	耐震クラス	直接支持構造物	間接支持構造物	波及的影響を考慮すべき施設
				【 】内は確認用地震動を示す		
大型カバー	一般部 (屋根部含む)	・作業環境の整備 ・放射性物質の飛散拡散防止	C	アンカーボルト	R/B【S _c 】 ^{※3}	R/B 【Ss900】
	燃料取扱設備支持部	・燃料取扱設備の支持 ・作業環境の整備 ・放射性物質の飛散拡散防止	C	アンカーボルト	R/B【S _c 】 ^{※3}	
	ガレキ撤去用天井クレーン	なし	C	レール	大型カバー一般部	
(参考) 燃料取扱設備 (今後申請)		・落下防止 ・遮蔽 ・臨界防止	B+ (想定)	機器・配管等の支持構造物	燃料取扱設備支持部 【S _{B+} 】 ^{※4}	R/B 【Ss900】

※3 S_cはCクラスの施設に適用される静的震度。

※4 S_{B+}はB+クラスの施設に適用される地震動。支持される施設が剛構造である場合はB+クラスの施設に適用される静的地震動、支持する構造物と共振する可能性がある場合は弾性設計用地震動S_dに1/2を乗じた地震動とする。

大型カバーとしての線量影響を踏まえた耐震クラスは、Cクラスとなり、適用する地震力は以下の通りとなる。

【動的地震力】－

【静的地震力】水平：1.0Ci (1.2Ci (機器・配管径の耐震設計に用いる静的地震力))、鉛直－

図 1 の②に対する大型カバーの状況を整理し、表 2 に示す。

表 2 図 1 の②に対する大型カバーの状況

項 目	大型カバーの状況
廃炉活動への影響	<ul style="list-style-type: none"> ・大型カバーは、使用済み燃料プールからの燃料取り出しに先立ち、オペフロ上に残置されたガレキを撤去する際のダスト飛散を抑制するために設置するものである ・大型カバーが地震により損傷した際は修理をして再使用する
上位クラスへの波及的影響	大型カバーは R/B 上部に位置することから、R/B 等へ波及的影響を与えないことを確認する
供用期間	約 6 年間（ガレキ撤去開始から燃料取り出しまで）
設計の進捗状況	図 1 の「耐震クラス分類と施設等の特徴に応じた地震動の設定及び必要な対策を判断する流れ」により設計する
内包する液体の放射エネルギー	なし
その他、考慮すべき事項	燃料取扱設備支持部は将来、燃料取扱設備 (B+クラス想定) の間接支持構造物となるため、B+クラス相当の地震動により、支持機能を維持できることを確認する

表 2 に基づき、最終的な大型カバーの耐震クラスを表 3 に示す。

表 3 大型カバーの耐震クラス（最終版）

設備名称	耐震クラス	耐震上の安全機能	耐震上の具体的な要求機能	備考
一般部 (屋根部含む)	C (波及的影響) ※5	<ul style="list-style-type: none"> ・波及的影響防止 ・放射性物質の飛散拡散防止 	<ul style="list-style-type: none"> ・波及的影響防止 ・放射性物質の飛散拡散防止 	<ul style="list-style-type: none"> ・ Ss900 で倒壊等により、R/B 等を破損させないこと ・ Cクラスの地震力で、放射性物質の飛散拡散防止機能を失わないこと
燃料取扱設備支持部		<ul style="list-style-type: none"> ・波及的影響防止 ・燃料取扱設備 (B+クラス想定) の間接支持 ・放射性物質の飛散拡散防止 	<ul style="list-style-type: none"> ・波及的影響防止 ・燃料取扱設備 (B+クラス想定) の間接支持 ・放射性物質の飛散拡散防止 	<ul style="list-style-type: none"> ・ Ss900 で倒壊等により、R/B 等を破損させないこと ・ B+クラス相当の地震動で燃料取扱設備の間接支持機能を失わないこと ・ Cクラスの地震力で、放射性物質の飛散拡散防止機能を失わないこと
ガレキ撤去用天井クレーン		<ul style="list-style-type: none"> ・波及的影響防止 	<ul style="list-style-type: none"> ・波及的影響防止 	<ul style="list-style-type: none"> ・ Ss900 で倒壊等により、R/B 等を破損させないこと

※5 括弧内は耐震クラスに加えて考慮すべき事項を示す

表 3 に基づいた大型カバーの適用地震力を表 4 に示す。

表 4 大型カバーの適用地震力

設備名称	耐震クラス	静的地震力	動的地震力		
			機能維持	弾性範囲	波及的 影響
一般部(屋根部含む)	C (波及的影響)	水平：1.5Ci 鉛直：－	1/2Ss450	－	Ss900
燃料取扱設備支持部		※燃料取扱設備（B＋クラス想定）を一部で支持する予定のため			
ガレキ撤去用天井クレーン		水平：1.2Ci 鉛直：－	－	－	

※ 地震力の算定に際しては、水平2方向、鉛直1方向の適切な組合せを行う。

必要な対策（耐震性の確保の代替策）は以下の通り。

Ss900 に対して大型カバーが倒壊しない（上位クラスへの波及的影響を確認済み）ため、機動的対応などの運用上の対策は必要ない。

○ 上位クラスへの波及的影響の確認

大型カバーは R/B 上部に位置することから、上位クラスである、R/B、SFP、ウェルプラグ、PCV ヘッド等への波及的影響を以下フローに基づき評価する。

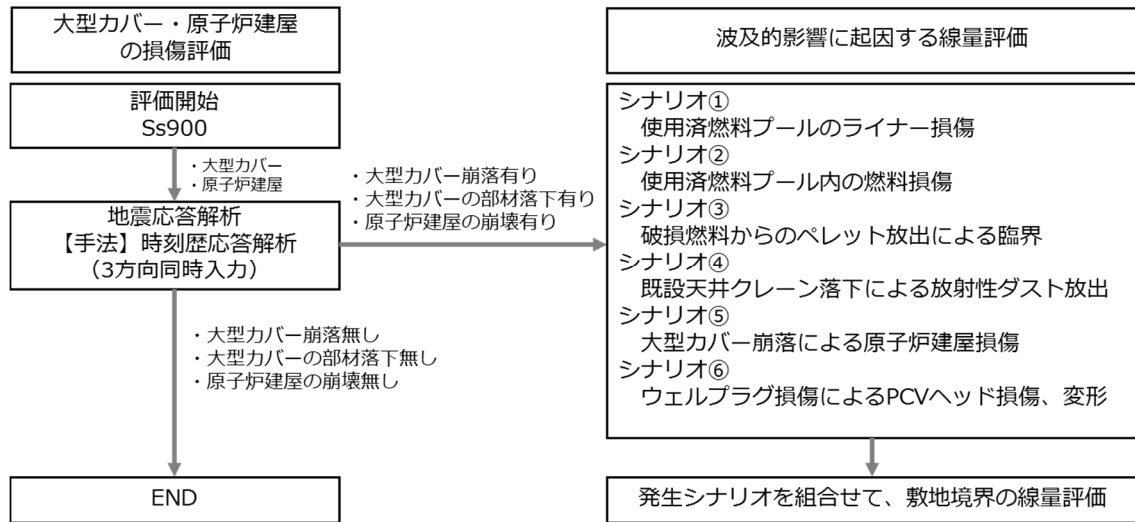


図 3 評価フロー

Ss900 による評価を行う上での許容限界の設定にあたり、地震による大型カバーの崩落・落下によって、公衆への放射線影響を及ぼす以下設備、施設を防護対象として抽出した。

- ① 使用済み燃料プール（ライナー含む）
- ② 使用済み燃料貯蔵ラック
- ③ 使用済み燃料
- ④ ガレキ（既設天井クレーン等）
- ⑤ ウェルプラグ・PCV ヘッド
- ⑥ 原子炉建屋

これら防護対象施設・設備に対し、新設する大型カバー及びガレキ撤去用天井クレーンが与える波及的影響の想定事象として、全体崩落と部材落下を発生させる事象を抽出した。

各部位に対する評価の考え方と許容限界を整理した結果を表 5、表 6 に示す。

表 5 許容限界と考え方 (1/2)

部位	事象	想定される事象	評価方針	許容限界	
大型カバー	架構	全体崩落	架構全体が許容限界を超えて傾き、防護対象施設・設備へ落下する	最大層間変形角が波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認する	層間変形角 1/30
		全体崩落	架構を支持するアンカーボルトが抜け、架構全体が防護対象施設・設備へ崩落する	引張とせん断の二乗累加則により検定し許容限界に至らないことを確認する	終局強度にする検定比 1.0
		部材落下	許容限界を超える応力により、部材が破断し、防護対象施設・設備へ落下する	部材に生じる応力が許容限界を超えないことを確認、超える場合はエネルギー一定則による評価を実施し、塑性率の許容限界を超えないことを確認する	弾性限界強度 または塑性率 5.0
	屋根	全体崩落	屋根全体が回転や滑動することで、大型カバー架構から防護対象施設・設備へ落下する	逸走防止受けにより落下を防止する構造であることを確認する	—
		部材落下	許容限界を超える応力により、部材が破断し、防護対象施設・設備へ落下する	部材に生じる塑性率が許容限界を超えないことを確認、超える場合は応答による繰返し回数が許容限界に対して十分な裕度を有することを確認する	塑性率 5.0 または評価最大ひずみ度に対する破断寿命 1.0
		部材落下	許容限界を超える応力により、部材が破断し、防護対象施設・設備へ落下する	部材に生じる塑性率が許容限界を超えないことを確認、超える場合は応答による繰返し回数が許容限界に対して十分な裕度を有することを確認する	塑性率 5.0 または評価最大ひずみ度に対する破断寿命 1.0

表 6 許容限界と考え方 (2/2)

部位	事象	想定される事象	評価方針	許容限界	
ガレキ 撤去用 天井ク レーン	全体 崩 落	ガーダが回転や滑動すること で、大型カバー架構から 脱輪し、防護対象施設・設 備へ落下する	ガーダが回転してもガーダ と架構が接触し物理的に落 下しないことを確認する	—	
			東西レール間の最大相対水 平変位がクレーンの水平か かり代に比べ小さいことを 確認する	東西レール 間相対変位 2.3m	
	部 材 落 下	トロリが回転や滑動するこ とで、ガーダから脱輪し、 防護施設・設備へ落下する	許容限界を超える応力によ り、ガーダが破断し、防護 対象施設・設備へ落下する	クレーンガーダの最大応答 値が全塑性モーメントを超 える不安定状態に至らない ことを確認する	全塑性モー メント Mp
			トロリの水平力による脱落 防止材の発生応力が弾性限 界強度を超えないことを確 認する	弾性限界せん断強度 149N/mm ² (SS400)	
			クレーンガーダの最大応答 変位がトロリ脱落防止材の 鉛直かかり代に比べ小さい ことを確認	鉛直変位 259mm	
原子炉 建屋	全体 崩 落	大型カバーを付加したこと により、原子炉建屋が層崩 壊する	耐震壁のせん断ひずみを評 価し、崩壊に至るか確認す る	せん断ひず み 4.0×10 ⁻³	

大型カバーの耐震クラスに応じた設計用地震力に対する構造強度及び耐震性に関する確認は、「Ⅱ章 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 5. 1 号基燃料取り出し用カバーの構造強度及び耐震性について」による。

○ B+クラス相当の設備としての機能維持の確認

大型カバーの燃料取扱設備支持部は将来、燃料取扱設備(B+クラス想定)の間接支持構造物となるため、B+クラス相当の地震動により、支持機能を維持できることを確認する。各部位に対する評価の考え方と許容限界を整理した結果を表7に示す。

なお、B+クラスの設備に要求される静的地震力(1.5Ci)に対して、許容応力度設計を行う。

表7 許容限界と考え方 (1/2 Ss450)

部位		事象	想定される事象	評価方針	許容限界
大型 カバー	架 構	全 体 性 能	架構全体が許容限界を超えて傾き、機能維持できない	最大層間変形角が機能維持のための許容限界を超えないことを確認する	層間変形角 1/75
			架構を支持するアンカーボルトが抜け、機能維持できない	部材に生じる応力が許容限界を超えないことを確認する	終局強度に対する検定比 1.0
		部 材 性 能	許容限界を超える応力により、部材が損傷し機能維持できない	部材に生じる応力及び塑性率が許容限界を超えないことを確認する	弾性限界強度 または塑性率 5.0
	屋 根	部 材 性 能	許容限界を超える応力により、部材が損傷し機能維持できない	部材に生じる応力及び塑性率が許容限界を超えないことを確認する	弾性限界強度 または塑性率 5.0
原子炉 建屋		全 体 性 能	許容限界を超える応力により、建屋が損傷し燃料取扱設備を間接支持できない	耐震壁のせん断ひずみを評価し、許容限界を超えないことを確認する	せん断ひずみ 2.0×10^{-3}

○ 地震以外に想定される自然現象に対する大型カバーの設計上の考慮

大型カバーについては、津波到達時の波力を受けにくい閉空間のない構造とすること、建築基準法及び関係法令等に基づく風荷重に耐えられる設計にすること、仮に施設が損壊等した場合は、作業を中断し、計画を立てて速やかに復旧することなどにより、地震以外の想定される自然現象によって安全性が損なわれないようにする。

・ 津波

大型カバーは、東北地方太平洋沖地震相当の津波が到達しないと考えられる、約 G. L. +14m 以上に設置する。また、津波到達時の波力を受けにくい閉空間のない構造とする。

・ 豪雨，台風

大型カバーは、外装材で覆うことにより風雨を遮る構造であり、基準風速 30m/s の風圧力に対して耐えられるよう設計する。

・ 積雪

大型カバーは、建築基準法施行令及び福島建築基準法施行規則細則に基づく積雪荷重に対して設計する。

・ 落雷

大型カバーは、建築基準法及び日本産業規格に準じた避雷設備（保護レベルⅣ）を設置する。

・ 塩害

大型カバーの外部にさらされている鉄骨部及び機器等は、劣化防止を目的に、塗装を施す。

・ 凍結

大型カバーには、凍結の影響を受けるような液体を内包する部位はない。

・ 紫外線

大型カバーには、塩害と同じように、紫外線による劣化防止を目的に、塗装を施す。

・ 高温

大型カバー内で使用する外装材等は 40℃ の温度環境下で使用できる設計とする。

・ 生物学的事象

大型カバーは、外装材で覆うことにより小動物の侵入を防止する設計とする。

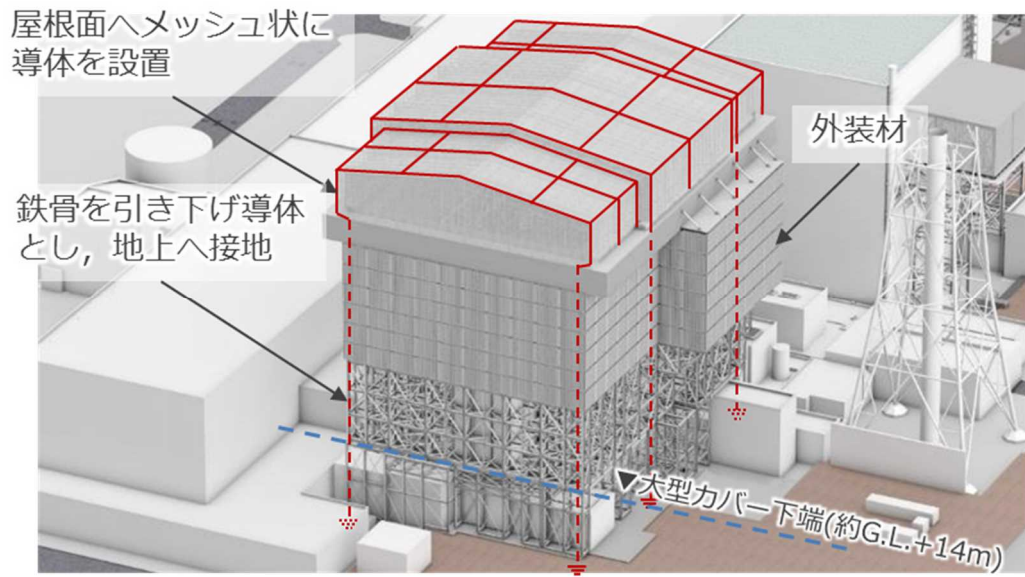


図 4 自然災害に対する設計のイメージ

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

1. ～4. 中略

5. 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

5.1 概要

5.1.1 一般事項

1号機燃料取り出し用カバーは、大型カバーと内部カバーから構成されている。ここでは、大型カバーの構造強度と機能維持及び波及的影響の防止について検討を行う。

大型カバーは、原子炉建屋オペレーティングフロアを覆う構造としており、屋根部、一般部及び燃料取扱設備支持部から構成され、オペレーティングフロア上にあるガレキを撤去するガレキ撤去用天井クレーンを有する。また、大型カバーの燃料取扱設備支持部は燃料取扱設備（燃料取扱機及びクレーン）を支持する。

大型カバーおよびガレキ撤去用天井クレーンの耐震クラス分類は、2021年9月8日の原子力規制委員会で示された耐震設計の考え方を踏まえ、安全機能の重要度、地震によって機能の喪失を起こした場合における公衆への被ばく影響を評価した結果、Cクラスとなる。なお、燃料取扱設備支持部が燃料取扱設備の間接支持構造物であることから、大型カバーに適用する地震力はB+クラス相当とする。

大型カバーの構造強度は、B+クラスの設備に要求される静的地震力に対して許容応力度設計を実施し、耐震性のうち機能維持の検討は、基準地震動 S_s （最大加速度 900gal。以下、「 S_s900 」という。）の1/2の最大加速度 450galの地震動（以下、「 $1/2S_s450$ 」という。）に対する地震応答解析を実施し、燃料取扱設備の間接支持機能が維持されることを確認する。

ガレキ撤去用天井クレーンの構造強度は、Cクラスの設備に要求される静的地震力に対して許容応力度設計を実施する。

大型カバーとガレキ撤去用天井クレーンの耐震性のうち波及的影響の防止の検討は、 S_s900 に対する地震応答解析を実施し、大型カバーおよびガレキ撤去用天井クレーンの損傷が原子炉建屋、使用済燃料プール及び使用済燃料ラックに波及的影響を及ぼさないことを確認する。ここで、波及的影響の確認は、大型カバー及びガレキ撤去用天井クレーンが崩壊機構に至らないことを確認する。図 5.1.1-1 に大型カバーのイメージを示す。

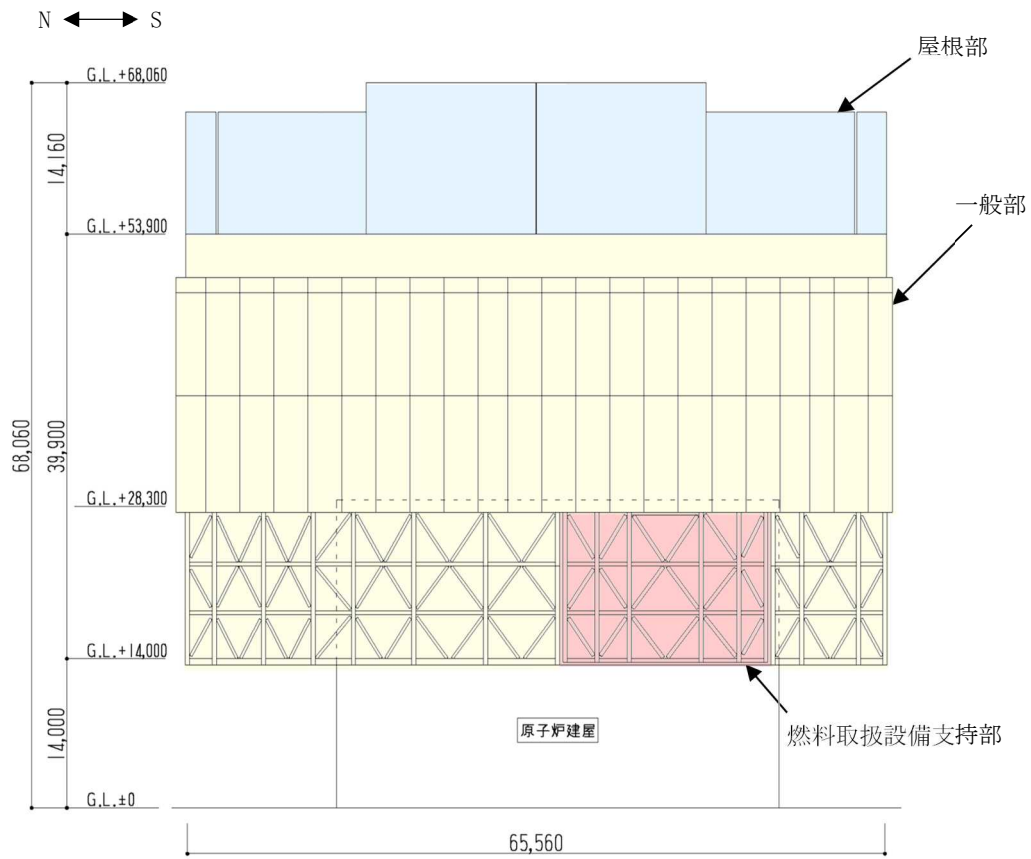


図 5.1.1-1 大型カバーのイメージ (単位 : mm)

本章では、G.L. ±0m=T.P. 8,564mm*とする。
 また、記載の寸法は現場状況に応じて変更する場合がある。
 *：震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P. から T.P. への読替値(-727mm)を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式>T.P.=旧 O.P. -1,436mm

大型カバーの検討は原則として下記の法規及び基規準類に準拠して行う。

- (1) 建築基準法・同施行令及び関連告示
- (2) 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会，改定版 2013 年）
- (3) 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会，2018 年）
- (4) 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（日本建築学会，2005 年）
- (5) 2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書(国土交通省住宅局建築指導課・国土交通省国土技術政策総合研究所・独立行政法人建築研究所・日本建築行政会議，2015 年)
- (6) 各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会，2010 年）
- (7) クレーン等安全規則（昭和 47 年 9 月 30 日労働省令第 34 号）
- (8) クレーン構造規格（平成 7 年 12 月 26 日労働省令第 134 号）
- (9) 日本産業規格（JIS）

また，原子力施設の設計において参照される下記の指針及び規程を参考にして検討を行う。

- (10) 原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG 4601-1987)（日本電気協会 電気技術基準調査委員会，昭和 62 年）
- (11) 原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG 4601-1991 追補版)（日本電気協会 電気技術基準調査委員会，平成 3 年）
- (12) 原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC 4601-2015)（日本電気協会 原子力規格委員会，平成 27 年）※

※実用炉の審査実績について

誘発上下動については，令和 2 年 10 月 14 日付け原規規発第 2010147 号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機の設計及び工事の計画の添付資料「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」にて審査の実績がある。

エネルギー一定則については，令和 2 年 10 月 14 日付け原規規発第 2010147 号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機の設計及び工事の計画の補足説明資料「工事計画に係る説明資料（建屋・構築物の耐震性についての計算書） タービン建屋の耐震性についての計算書に関する補足説明資料」にて審査の実績がある。

5.1.2 構造概要

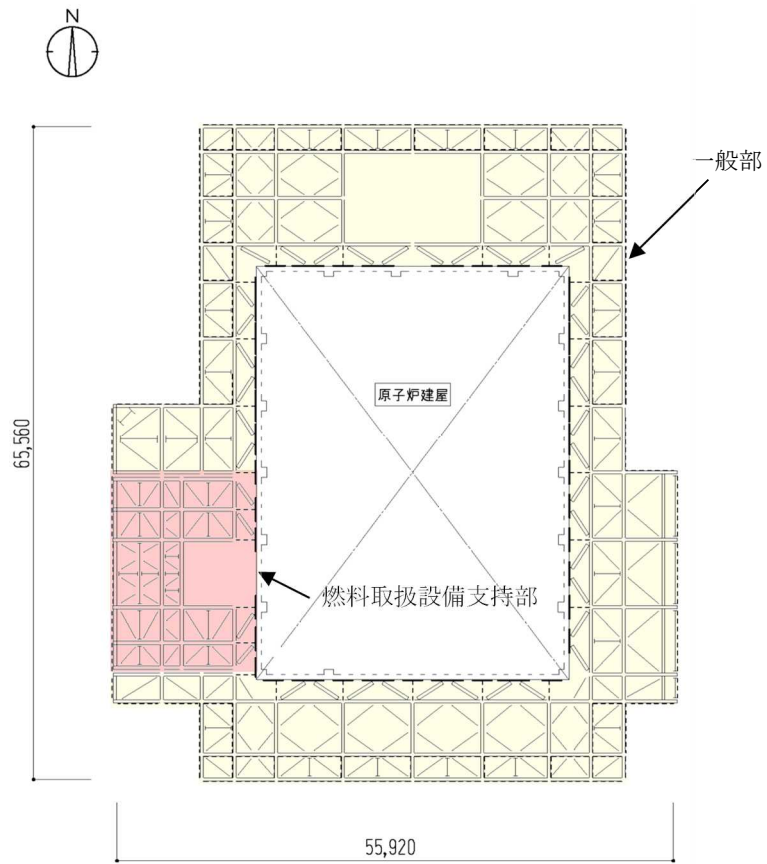
大型カバーは、東西方向 55.92m、南北方向 65.56m、高さ 68.06m の構造物で、構造形式はトラス構造、構造種別は鉄骨造である。また、一般部と燃料取扱設備支持部は構造的に分離している。大型カバー頂部付近は、水平剛性を高めるため、鋼板による箱桁架構とし、屋根は可動式としている。

大型カバーは、原子炉建屋に支持される構造物である。原子炉建屋との取り合い部においては、アンカーボルトにより接続している。

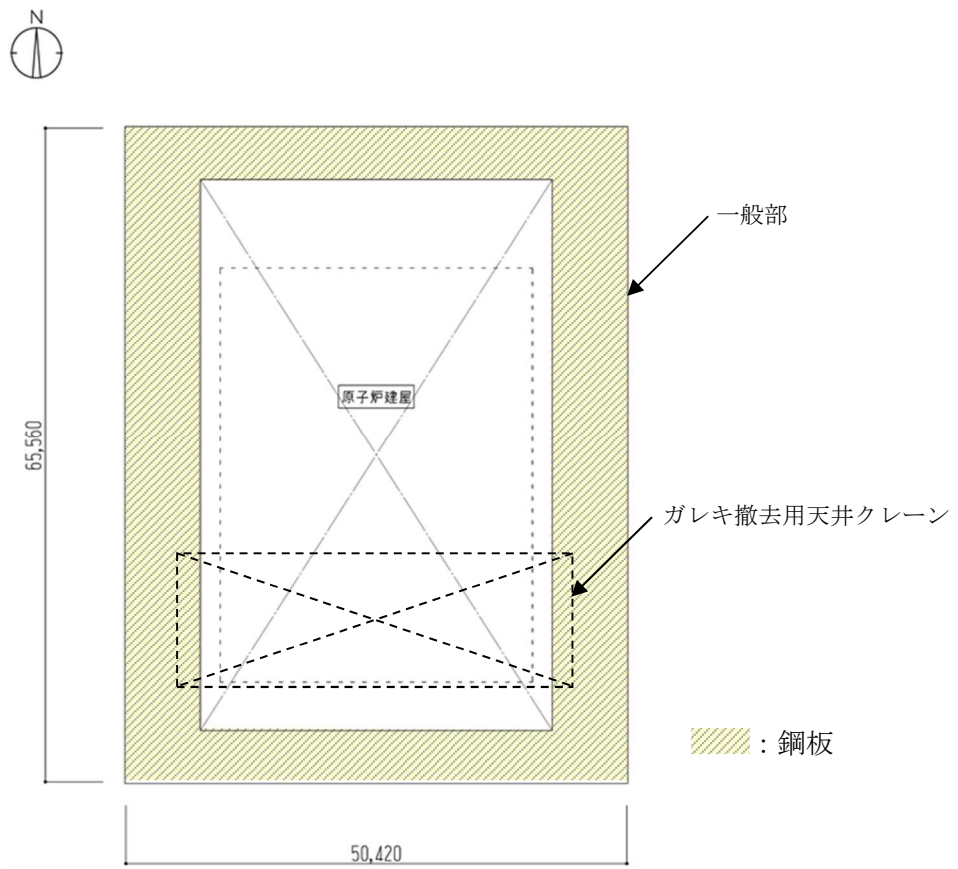
屋根は、4つの架構（中央の2つを「大屋根」、大屋根の外側の2つを「小屋根」という。また、小屋根の外側の稼働しない部分を「妻壁」という。）から構成され、それぞれが可動する構造である。屋根と大型カバーは構造的に分離されており、屋根は通常時、固定ピンを介して大型カバーに固定されている。また、屋根は固定ピンを外すことによって、南北方向へ動くことが可能となる。なお、屋根の逸走を防止するための逸走防止受けを大型カバー頂部にある鋼板部（以下、「箱桁架構」という）に設置し、屋根が動く際には屋根の落下防止材として機能する。

大型カバー内部にあるガレキ撤去用天井クレーンは、箱桁架構を南北方向に走行する。また、ガレキ撤去用天井クレーンを構成する2本のクレーンガーダ上に2台のトロリーがあり、これらが東西方向に移動する。

大型カバーの概要図を図 5.1.2-1 及び図 5.1.2-2 に示す。ガレキ撤去用天井クレーンの概要図を図 5.1.2-3 に示す。屋根伏図を図 5.1.2-4 に、断面図を図 5.1.2-5 に示す。屋根部の落下防止の概要図を図 5.1.2-6 に示す。



(a) 伏図 (G. L. +28, 300)

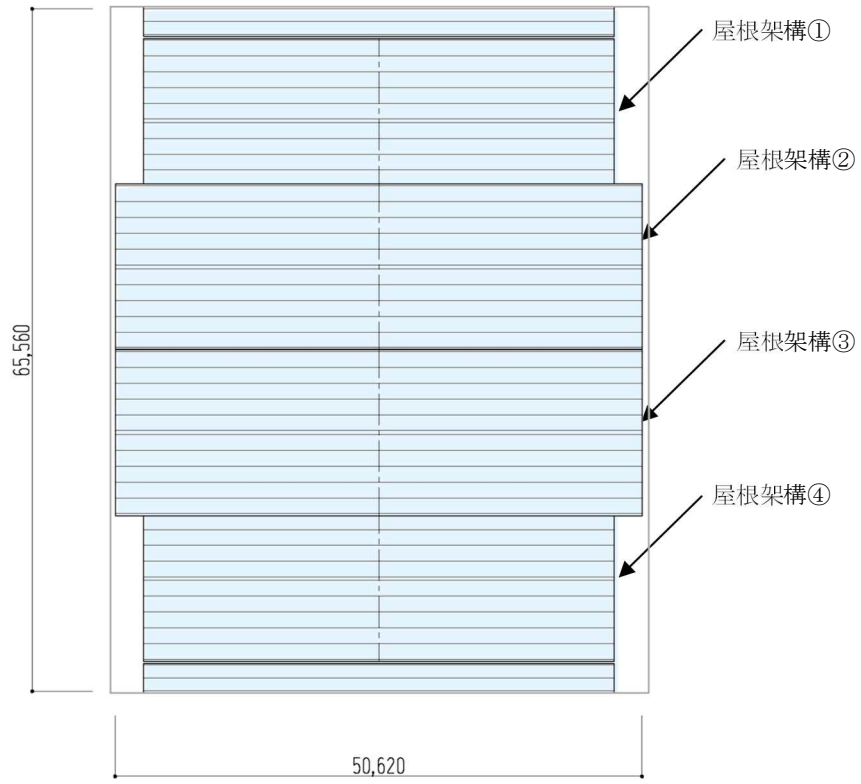


(b) 伏図 (G. L. +53, 900)

図 5.1.2-1(1) 大型カバーの概要 (単位: mm)

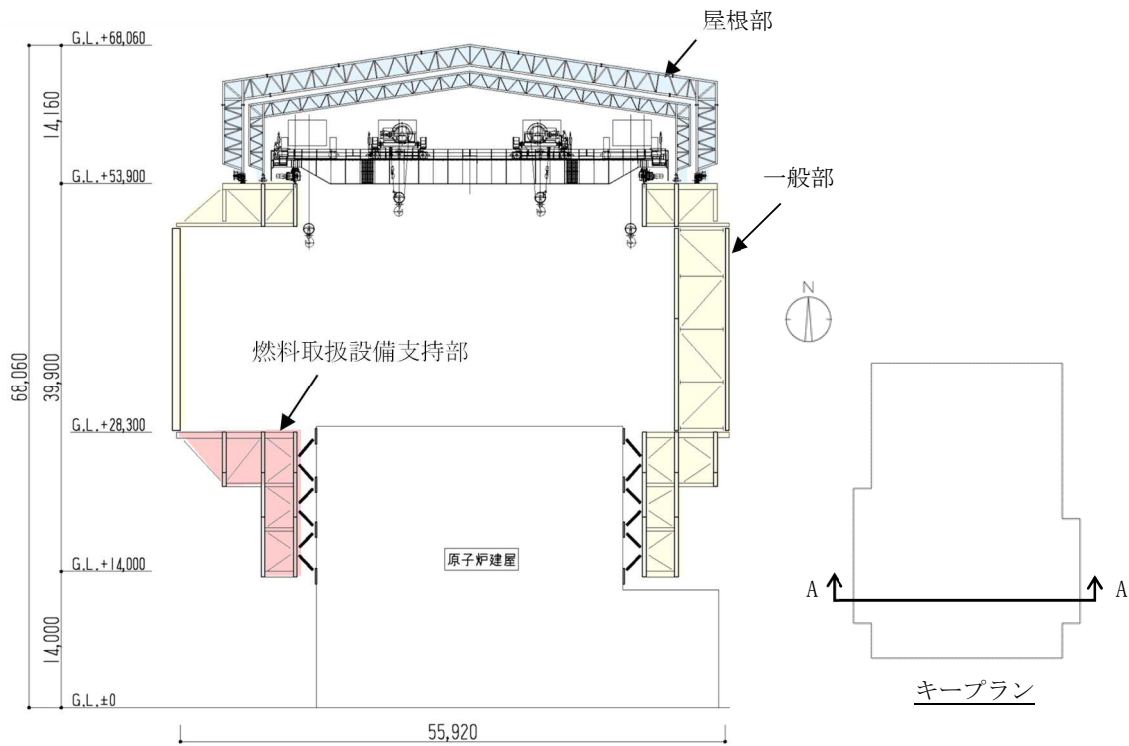
II-2-11-添 4-2-204

II-14-②-22

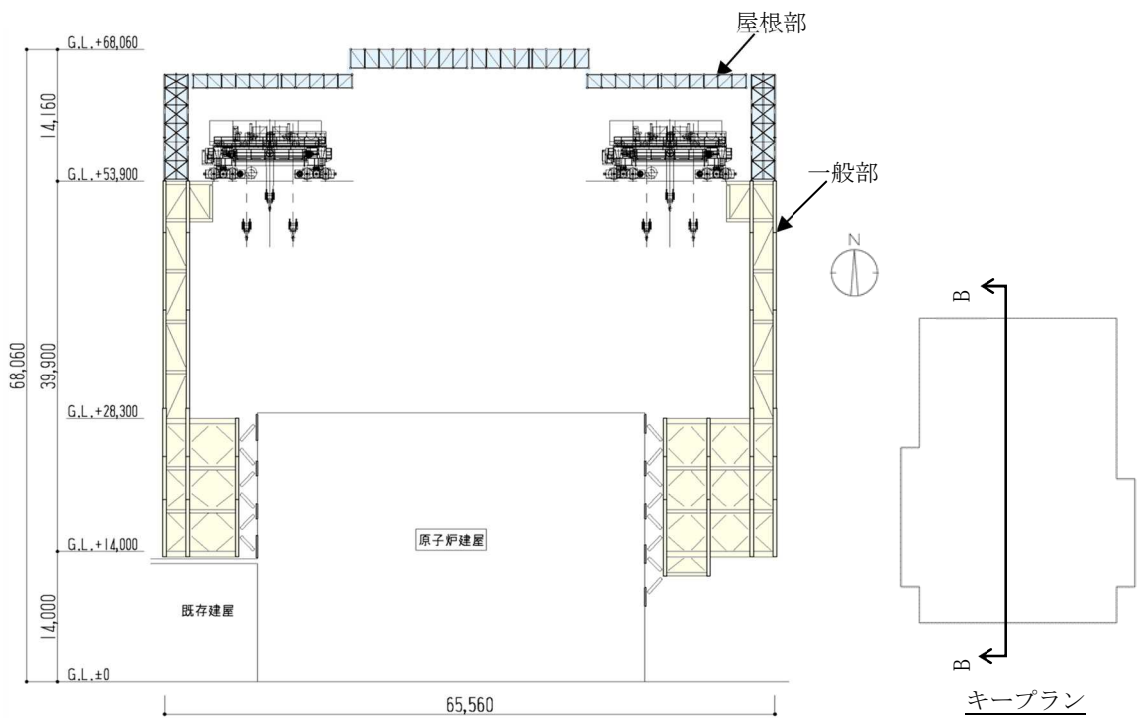


屋根伏図

図 5. 1. 2-1 (2) 大型カバーの概要 (単位 : mm)



(a) 大型カバーA-A断面図



(b) 大型カバーB-B断面図

図 5.1.2-2 大型カバーの概要 (単位: mm)

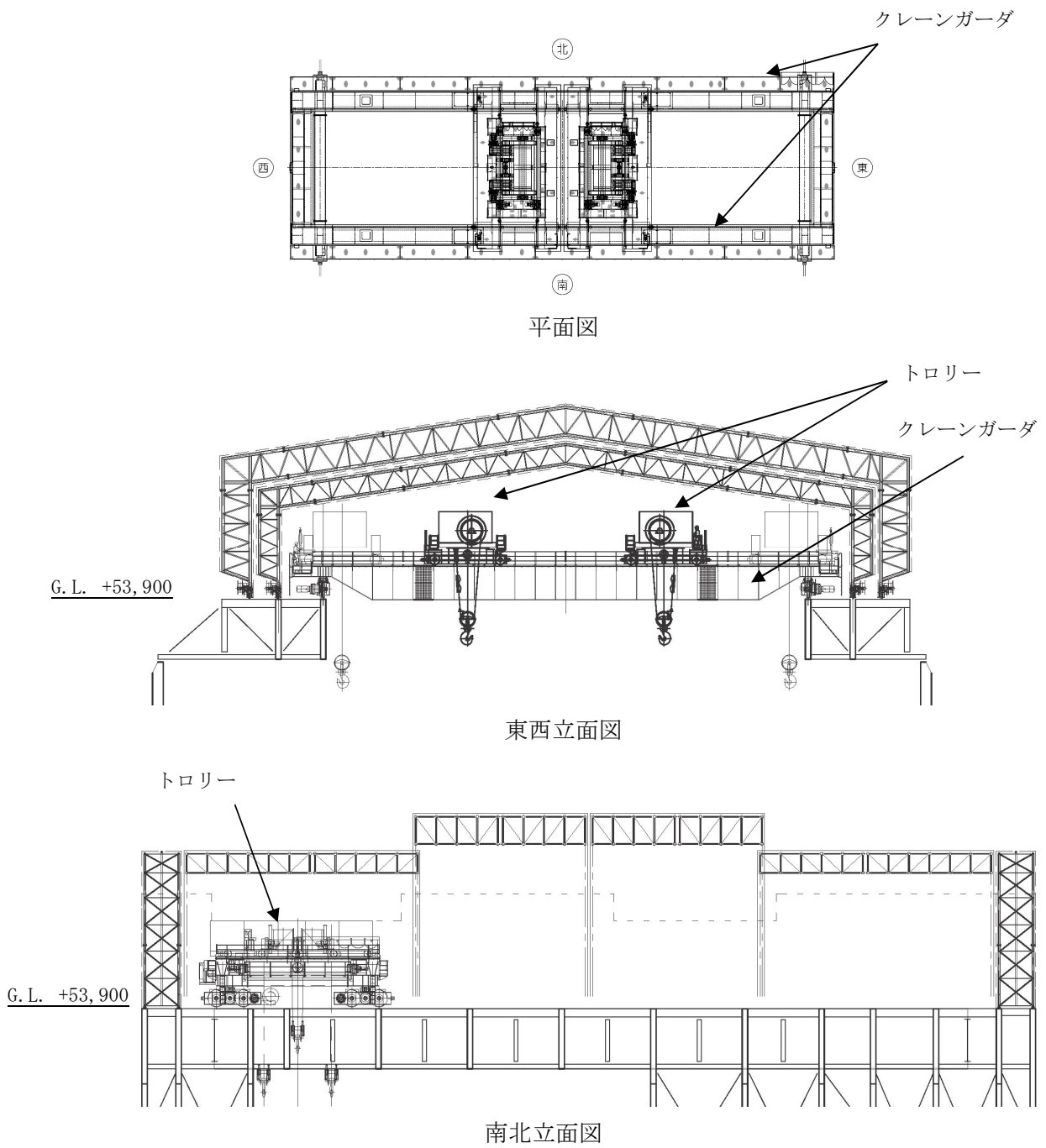


図 5. 1. 2-3 ガレキ撤去用天井クレーン概要図

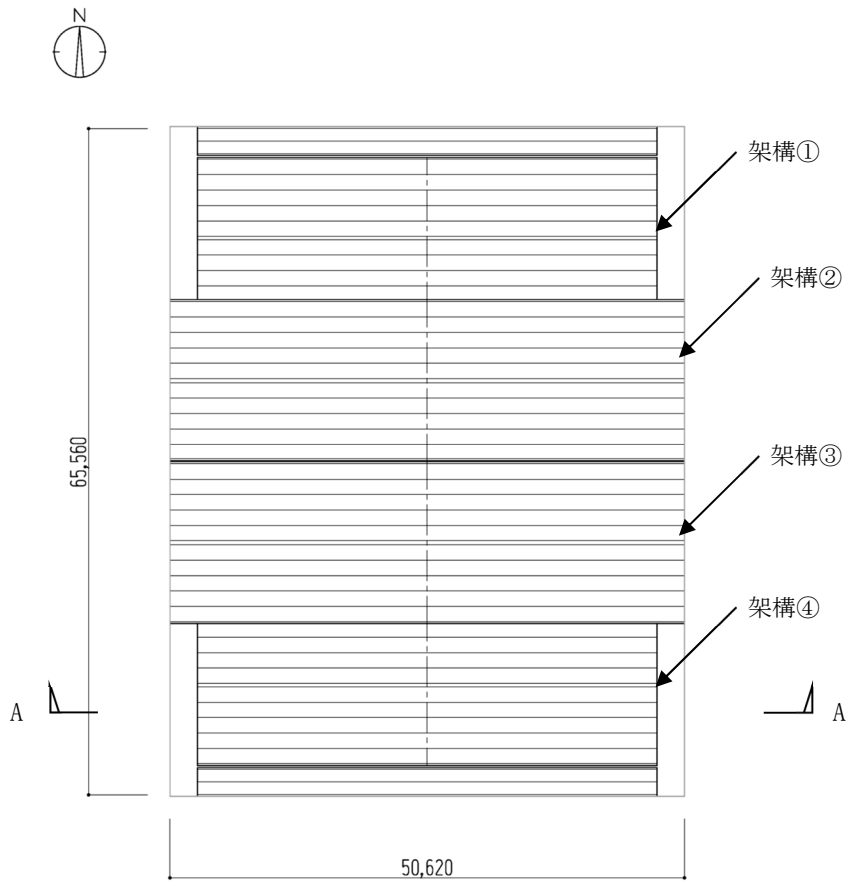


图 5.1.2-4 屋根伏図 (单位: mm)

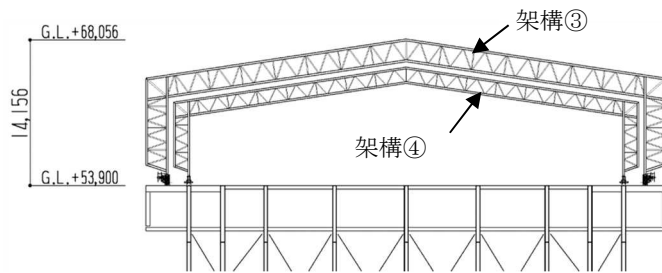


图 5.1.2-5 A-A 断面图 (单位: mm)

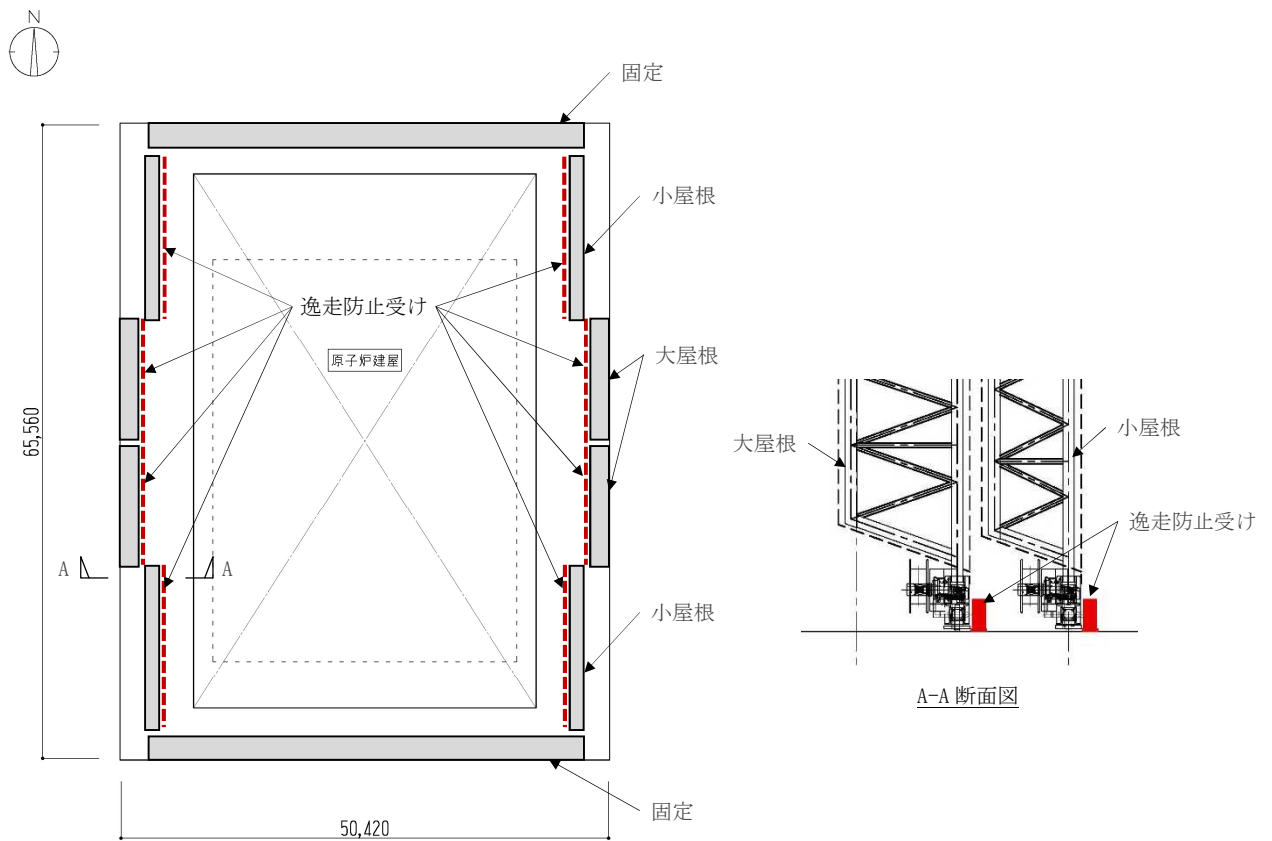


図 5.1.2-6 屋根部の落下防止概要図

5.1.3 検討フロー

大型カバーの構造強度及び耐震性の検討フローを図 5.1.3-1～2 に示す。検討に当たっては、大型カバーを設置し、原子炉建屋上のガレキを撤去しようとする状態（以下、「ガレキ撤去時」という）と、ガレキを撤去した後に、燃料取扱設備を設置した状態（以下、「燃料取り出し時」という）を評価する。

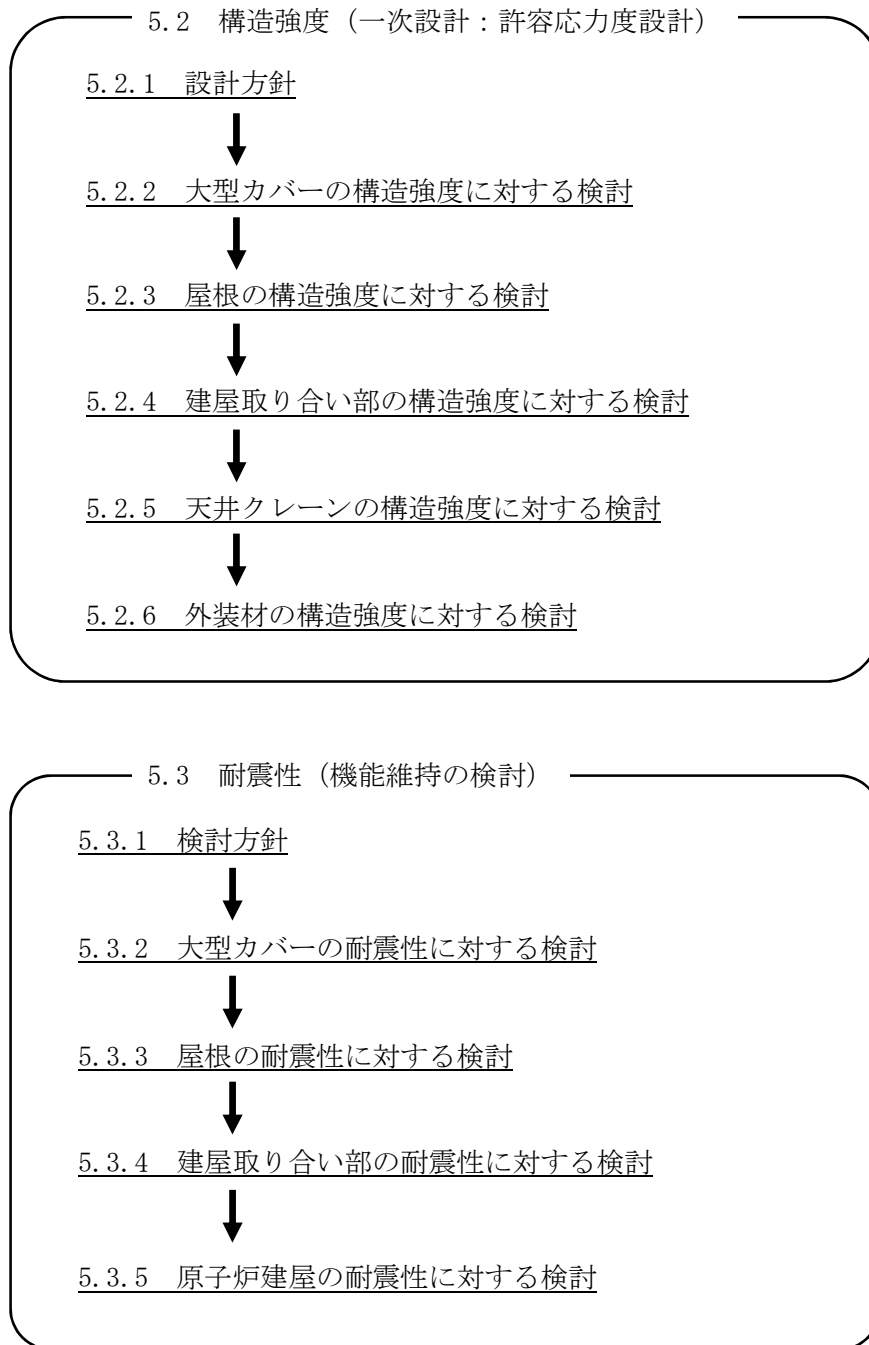


図 5.1.3-1 大型カバーの検討フロー

5.4 耐震性（波及的影響の検討）

5.4.1 検討方針



5.4.2 大型カバーの耐震性に対する検討



5.4.3 屋根の耐震性に対する検討



5.4.4 建屋取り合い部の耐震性に対する検討



5.4.5 天井クレーンの耐震性に対する検討



5.4.6 原子炉建屋の耐震性に対する検討

図 5.1.3-2 大型カバーの検討フロー

5.2 構造強度

5.2.1 設計方針

構造強度の検討は、大型カバー、屋根、建屋取り合い部、天井クレーン及び外装材について許容応力度設計を実施する。

(1) 使用材料及び許容応力度

使用材料の物性値及び許容応力度を表 5.2.1-1 に示す。

表 5.2.1-1 使用材料の物性値及び許容応力度

材料定数

部位	材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比 ν	単位体積重量 γ (kN/m ³)
大型カバー	鉄骨	2.05×10^5	0.3	77.0
原子炉建屋	コンクリート	2.57×10^4 *	0.2	24.0

*：実強度に基づく剛性

コンクリートの許容応力度

(単位：N/mm²)

設計基準強度	長期			短期		
	圧縮	引張	せん断	圧縮	引張	せん断
22.1 (225) *	7.4	—	0.71	14.8	—	1.07

*：建設時の設計基準強度 (単位：kgf/cm²)

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*3
T ≤ 40mm	SS400, SN400B, STK400	235	建築基準法及び国土交通省告示に従い、左記 F の値より求める
T > 40mm	SN400B	215	
T ≤ 40mm	SM490A, SN490B, STKN490B STK490, SNR490B	325	
T > 40mm	TMCP325B	325*1	
—	S45C	490*2	

*1：国土交通大臣指定書（国住指第 326-2，平成 14 年 5 月 7 日又は国住指第 1208-2, 1209-2，平成 15 年 7 月 31 日）による

*2：「JIS G 4051-2005」による

*3：終局強度は許容応力度を 1.1 倍とする

(2) 解析モデル

大型カバーの解析モデルは、原子炉建屋を質点系とし、一般部、燃料取扱設備支持部及び屋根部を構成する主要な鉄骨部材をモデル化した立体架構モデルとする。また、ガレキ撤去用天井クレーンもモデル化する。図 5.2.1-1 に立体解析モデルを示す。

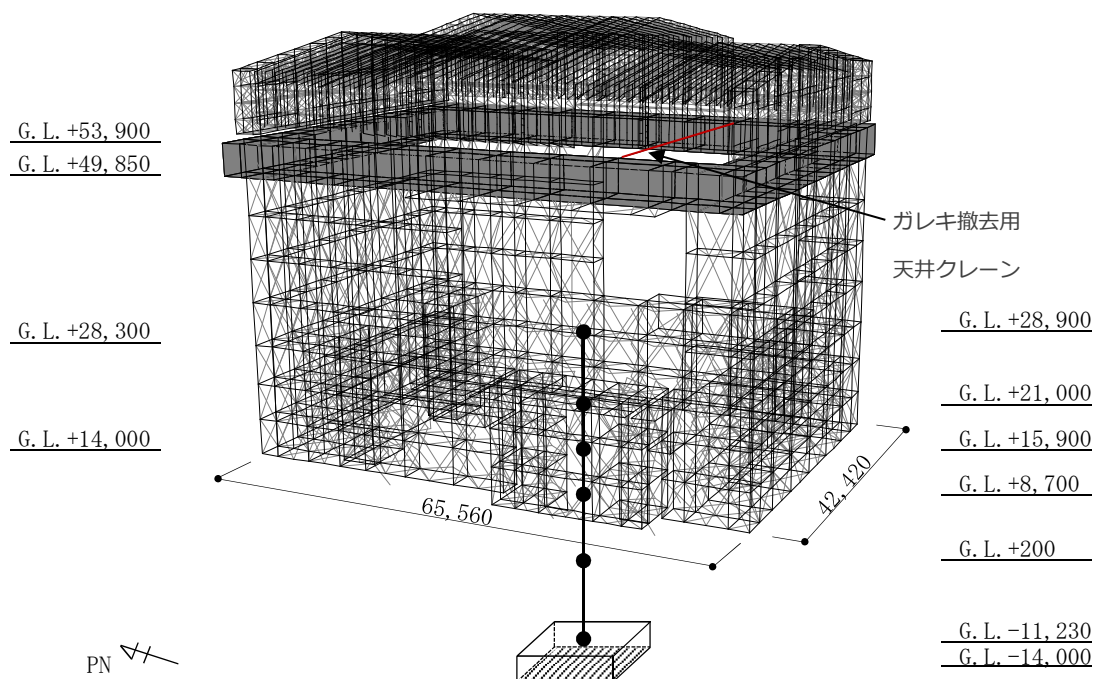


図 5.2.1-1 解析モデル

(3) 荷重及び荷重組合せ

設計で考慮する荷重を以下に示す。

1) 鉛直荷重 (VL)

大型カバー及び原子炉建屋に作用する鉛直方向の荷重で、固定荷重、機器荷重、配管荷重及び積載荷重とする。主な鉛直荷重を表 5.2.1-2 及び表 5.2.1-3 に示す。

表 5.2.1-2 大型カバーに作用する主な鉛直荷重(kN)

	ガレキ撤去時	燃料取り出し時
屋根	3800	3800
外装材	5800	4360
遮蔽体	1050	6430
ガレキ撤去用天井クレーン	4200	4200
遠隔解体重機	2600	0
配管	500	830

表 5.2.1-3 原子炉建屋に作用する主な鉛直荷重(kN)

	ガレキ撤去時	燃料取り出し時
ガレキ	12130	0
機器等	4260	43540
遮蔽体	0	21110

2) 積雪荷重 (SL)

積雪荷重は建築基準法施行令第 86 条及び福島県建築基準法施行規則細則に準拠し、以下の条件とする。

なお、国土交通省告示第 594 号による多雪区域以外の区域における積雪後の降雨を見込んだ割増係数を乗じた積雪荷重を考慮する。

積雪量：30cm、単位荷重：20N/m²/cm

3) 風圧力 (WL)

風圧力は建築基準法施行令第 87 条および建設省告示第 1454 号に基づき、基準風速を 30m/s、地表面粗度区分Ⅱとして算定する。速度圧の算定結果を表 5.2.1-4 に示す。

表 5.2.1-4 速度圧の算定結果

建物高さ*	平均風速の鉛直分布係数	ガスト影響係数	建物高さと同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)
66.2	1.32	2.00	3.51	30	1900

*：建物高さは、軒高さ（64.3m）と最高高さ（68.1m）の平均値とした

4) 地震荷重 (K)

大型カバーに作用させる地震荷重は、G.L. +0.20m (原子炉建屋1階床) を基準面とした水平地震力の算定結果より設定する。水平地震力は下式より算定する。

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

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

ここで、

Q_i : 層せん断力 (kN)

n : 施設の重要度に応じた係数

建築基準法で定める地震力の1.5倍を考慮する。

なお、天井クレーンに関しては1.2倍を考慮する。

C_i : 地震層せん断力係数

W_i : 当該部分が支える重量 (kN)

ここに、大型カバーの設計で考慮する原子炉建屋の全体重量は、ガレキ撤去の効果と大型カバー等を新規に設置する影響を考慮した。原子炉建屋の全体重量を表5.2.1-5に示す。

表 5.2.1-5 原子炉建屋の全体重量(kN)

	ガレキ撤去時	燃料取り出し時
原子炉建屋の全体重量	701430	701430
ガレキ撤去による軽減重量	0	-12130
大型カバー設置等の付加重量	+82500	+143090
大型カバー設計用原子炉建屋全体重量	783930	832390

Z : 地震地域係数 ($Z=1.0$)

R_t : 振動特性係数 ($R_t=0.8$)

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) により求める。

C_0 : 標準せん断力係数 ($C_0=0.2$)

i 層の水平震度 k_i は、下式によって算定する。

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

$$k_i = P_i / w_i$$

ここで、

P_i : 当該階とその直下階の水平地震荷重の差 (kN)

w_i : 各階重量 (kN)

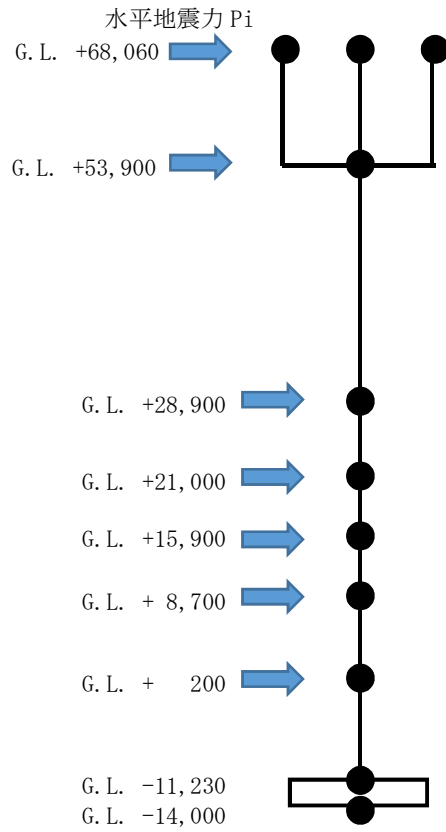
算定した水平地震力を原子炉建屋、大型カバー一般部、燃料取扱設備支持部及び屋根の重量比に基づいて分配し、それぞれに作用させる水平地震力を算定する。屋根については各架構が構造

的に分離されていることから、大屋根、小屋根、妻壁の3種類に分けて水平地震力を算定する。なお、高さ方向に関しては、原子炉建屋の各階の高さと大型カバーの節点の高さが異なるため、高さ毎に区分けを行った上で重量比を計算する。図5.2.1-2に大型カバーに作用させる水平地震力の概要図を示す。

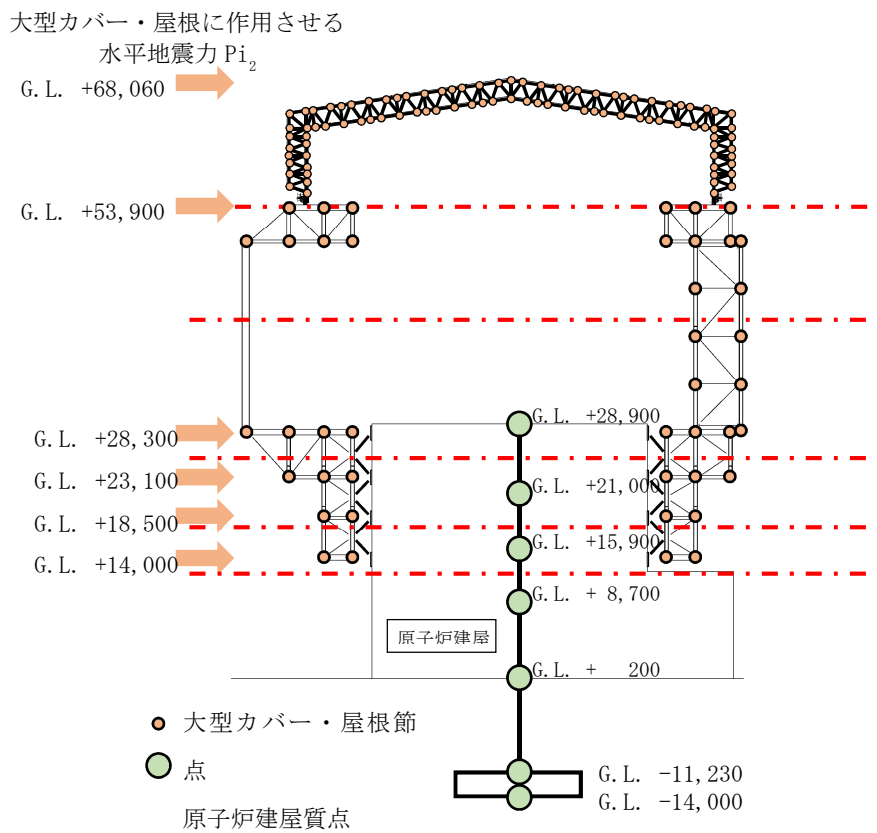
$P_{i2} = P_i \times (i \text{ 層の大型カバー (一般部又は燃料取扱設備支持部) の重量} / i \text{ 層の原子炉建屋及び大型カバーの重量})$

P_{i2} : 当該階とその直下階の大型カバー (一般部又は燃料取扱設備支持部) に作用させる水平地震荷重の差 (kN)

n=1.5とした算定結果を表5.2.1-6及び表5.2.1-7に示し、n=1.2とした算定結果を表5.2.1-8及び表5.2.1-9に示す。



原子炉建屋と大型カバー集約質点系モデル



大型カバーの解析モデル

図 5. 2. 1-2 大型カバーの水平地震力の概要図 (単位 : mm)

II-2-11-添 4-2-218

II-14-②-36

表 5.2.1-6(1) ガレキ撤去時の水平地震力の算定結果 (大型カバー検討用) (NS 方向)

G. L. (m)		各階重量 wi (kN)	Wi (kN)	Ai	n・Ci	Qi (kN)	Pi (kN)	水平震度 ki
+68.06	大屋根	1800	—	5.473	1.314	—	2365	1.314
	小屋根	1400	—	5.283	1.268	—	1775	1.268
	妻壁	600	—	5.220	1.253	—	752	1.253
+68.06～+53.9		21050	3800	—	—	4892	20828	0.989
+53.9～+28.9		88990	24850	4.314	1.035	25720	11506	0.129
+28.9～+21.0		83750	113840	1.360	0.327	37226	18494	0.221
+21.0～+15.9		88690	197590	1.172	0.282	55720	18570	0.209
+15.9～+8.7		87240	286280	1.082	0.260	74290	15355	0.176
+8.7～+0.2		—	373520	1.000	0.240	89645	—	—

* : n=1.5 とした算定結果を示す

表 5.2.1-6(2) ガレキ撤去時の水平地震力の算定結果 (大型カバー検討用) (EW 方向)

G. L. (m)		各階重量 wi (kN)	Wi (kN)	Ai	n・Ci	Qi (kN)	Pi (kN)	水平震度 ki
+68.06	大屋根	1800	—	6.617	1.589	—	2859	1.588
	小屋根	1400	—	7.115	1.707	—	2390	1.707
	妻壁	600	—	6.441	1.547	—	928	1.547
+68.06～+53.9		21050	3800	—	—	6177	20027	0.951
+53.9～+28.9		88990	24850	4.391	1.055	26204	13071	0.147
+28.9～+21.0		83750	113840	1.437	0.345	39275	17631	0.211
+21.0～+15.9		88690	197590	1.200	0.288	56906	17813	0.201
+15.9～+8.7		87240	286280	1.089	0.261	74719	14926	0.171
+8.7～+0.2		—	373520	1.000	0.240	89645	—	—

* : n=1.5 とした算定結果を示す

表 5. 2. 1-6 (3) ガレキ撤去時の大型カバーの地震荷重の算定結果 (大型カバー検討用)

(NS・EW 方向)

G. L. (m)		各階重量 wi (kN)	NS 方向			EW 方向		
			Pi (kN)	屋根 一般部 Pi ₂ (kN)	燃料取扱 設備支持部 Pi ₂ (kN)	Pi (kN)	屋根 一般部 Pi ₂ (kN)	燃料取扱 設備支持部 Pi ₂ (kN)
+68.06	大屋根	1800	2400	2400	—	2900	2900	—
	小屋根	1400	1800	1800	—	2400	2400	—
	妻壁	600	800	800	—	1000	1000	—
+53.9		21050	21000	21000	—	20100	20100	—
+28.3		88990	11900	3300	600	13500	3700	700
+23.1		83750	18600	1300	300	17900	1300	300
+18.5				1000	200		1000	200
+14.0		88690	18700	1100	250	18000	1100	250

* : n=1.5 とした算定結果を示す

表 5.2.1-7(1) 燃料取り出し時の水平震度の算定結果（大型カバー検討用）（NS 方向）

G. L. (m)		各階重量 wi (kN)	Wi (kN)	Ai	n・Ci	Qi (kN)	Pi (kN)	水平震度 ki
+68.06	大屋根	1800	—	5.901	1.416	—	2549	1.416
	小屋根	1400	—	5.650	1.356	—	1898	1.356
	妻壁	600	—	5.602	1.344	—	806	1.343
+68.06～+53.9		20510	3800	—	—	5253	22023	1.074
+53.9～+28.9		137080	24310	4.678	1.122	27276	24530	0.179
+28.9～+21.0		83750	161390	1.338	0.321	51806	18427	0.220
+21.0～+15.9		88680	245140	1.191	0.287	70233	16894	0.191
+15.9～+8.7		87810	333820	1.090	0.261	87127	14064	0.160
+8.7～+0.2		—	421630	1.000	0.240	101191	—	—

* : n=1.5 とした算定結果を示す

表 5.2.1-7(2) 燃料取り出し時の水平震度の算定結果（大型カバー検討用）（EW 方向）

G. L. (m)		各階重量 wi (kN)	Wi (kN)	Ai	n・Ci	Qi (kN)	Pi (kN)	水平震度 ki
+68.06	大屋根	1800	—	6.546	1.571	—	2827	1.571
	小屋根	1400	—	5.982	1.436	—	2010	1.436
	妻壁	600	—	5.788	1.389	—	833	1.388
+68.06～+53.9		20510	3800	—	—	5670	20402	0.995
+53.9～+28.9		137080	24310	4.466	1.073	26072	27429	0.200
+28.9～+21.0		83750	161390	1.384	0.332	53501	18202	0.217
+21.0～+15.9		88680	245140	1.216	0.293	71703	16425	0.185
+15.9～+8.7		87810	333820	1.099	0.264	88128	13063	0.149
+8.7～+0.2		—	421630	1.000	0.240	101191	—	—

* : n=1.5 とした算定結果を示す

表 5. 2. 1-7(3) 燃料取り出し時の大型カバーの地震荷重の算定結果 (大型カバー検討用)

(NS・EW 方向)

G. L. (m)		各階重量 wi (kN)	NS 方向			EW 方向		
			Pi (kN)	屋根 一般部 Pi ₂ (kN)	燃料取扱 設備支持部 Pi ₂ (kN)	Pi (kN)	屋根 一般部 Pi ₂ (kN)	燃料取扱 設備支持部 Pi ₂ (kN)
+68.06	大屋根	1800	2600	2600	—	2900	2900	—
	小屋根	1400	1900	1900	—	2100	2100	—
	妻壁	600	900	900	—	900	900	—
+53.9		20510	22300	22300	—	20600	20600	—
+28.3		137080	24800	4300	900	27600	4700	1000
+23.1		83750	18600	1300	300	18400	1300	300
+18.5				1000	200		1000	200
+14.0		88680	17200	1100	250	16700	1000	250

* : n=1.5 とした算定結果を示す

表 5.2.1-8(1) ガレキ撤去時の水平地震力の算定結果 (天井クレーン検討用) (NS 方向)

G. L. (m)		各階重量 wi (kN)	Wi (kN)	Ai	n・Ci	Qi (kN)	Pi (kN)	水平震度 ki
+68.06	大屋根	1800	—	5.473	1.051	—	1892	1.051
	小屋根	1400	—	5.283	1.014	—	1420	1.014
	妻壁	600	—	5.220	1.002	—	601	1.002
+68.06～+53.9		21050	3800	—	—	3913	16663	0.792
+53.9～+28.9		88990	24850	4.314	0.828	20576	9205	0.103
+28.9～+21.0		83750	113840	1.360	0.262	29781	14795	0.177
+21.0～+15.9		88690	197590	1.172	0.226	44576	14856	0.168
+15.9～+8.7		87240	286280	1.082	0.208	59432	12284	0.141
+8.7～+0.2		—	373520	1.000	0.192	71716	—	—

* : n=1.2 とした算定結果を示す

表 5.2.1-8(2) ガレキ撤去時の水平地震力の算定結果 (天井クレーン検討用) (EW 方向)

G. L. (m)		各階重量 wi (kN)	Wi (kN)	Ai	n・Ci	Qi (kN)	Pi (kN)	水平震度 ki
+68.06	大屋根	1800	—	6.617	1.271	—	2287	1.271
	小屋根	1400	—	7.115	1.366	—	1912	1.366
	妻壁	600	—	6.441	1.237	—	742	1.237
+68.06～+53.9		21050	3800	—	—	4941	16022	0.761
+53.9～+28.9		88990	24850	4.391	0.844	20963	10457	0.118
+28.9～+21.0		83750	113840	1.437	0.276	31420	14105	0.168
+21.0～+15.9		88690	197590	1.200	0.230	45525	14250	0.161
+15.9～+8.7		87240	286280	1.089	0.209	59775	11941	0.137
+8.7～+0.2		—	373520	1.000	0.192	71716	—	—

* : n=1.2 とした算定結果を示す

表 5. 2. 1-8(3) ガレキ撤去時の大型カバーの地震荷重の算定結果 (天井クレーン検討用)
(NS・EW 方向)

G. L. (m)		各階重量 wi (kN)	NS 方向			EW 方向		
			Pi (kN)	屋根 一般部 Pi ₂ (kN)	燃料取扱 設備支持部 Pi ₂ (kN)	Pi (kN)	屋根 一般部 Pi ₂ (kN)	燃料取扱 設備支持部 Pi ₂ (kN)
+68.06	大屋根	1800	1900	1900	—	2300	2300	—
	小屋根	1400	1500	1500	—	2000	2000	—
	妻壁	600	700	700	—	800	800	—
+53.9		21050	16800	16800	—	16100	16100	—
+28.3		88990	9500	2600	500	10800	3000	500
+23.1		83750	14900	1100	200	14300	1100	200
+18.5				800	150		800	150
+14.0		88690	15100	1000	200	14400	900	200

* : n=1.2 とした算定結果を示す

表 5.2.1-9(1) 燃料取り出し時の水平震度の算定結果 (天井クレーン検討用) (NS 方向)

G. L. (m)		各階重量 wi (kN)	Wi (kN)	Ai	n・Ci	Qi (kN)	Pi (kN)	水平震度 ki
+68.06	大屋根	1800	—	5.901	1.133	—	2039	1.133
	小屋根	1400	—	5.650	1.085	—	1519	1.085
	妻壁	600	—	5.602	1.075	—	645	1.075
+68.06~+53.9		20510	3800	—	—	4203	17618	0.859
+53.9~+28.9		137080	24310	4.678	0.898	21821	19624	0.143
+28.9~+21.0		83750	161390	1.338	0.257	41445	14741	0.176
+21.0~+15.9		88680	245140	1.191	0.229	56186	13516	0.152
+15.9~+8.7		87810	333820	1.090	0.209	69702	11251	0.128
+8.7~+0.2		—	421630	1.000	0.192	80953	—	—

* : n=1.2 とした算定結果を示す

表 5.2.1-9(2) 燃料取り出し時の水平震度の算定結果 (天井クレーン検討用) (EW 方向)

G. L. (m)		各階重量 wi (kN)	Wi (kN)	Ai	n・Ci	Qi (kN)	Pi (kN)	水平震度 ki
+68.06	大屋根	1800	—	6.546	1.256	—	2262	1.257
	小屋根	1400	—	5.982	1.148	—	1608	1.149
	妻壁	600	—	5.788	1.111	—	667	1.112
+68.06~+53.9		20510	3800	—	—	4537	16321	0.796
+53.9~+28.9		137080	24310	4.466	0.858	20858	21943	0.160
+28.9~+21.0		83750	161390	1.384	0.265	42801	14562	0.174
+21.0~+15.9		88680	245140	1.216	0.234	57363	13140	0.148
+15.9~+8.7		87810	333820	1.099	0.211	70503	10450	0.119
+8.7~+0.2		—	421630	1.000	0.192	80953	—	—

* : n=1.2 とした算定結果を示す

表 5. 2. 1-9(3) 燃料取り出し時の大型カバーの地震荷重の算定結果 (天井クレーン検討用)
(NS・EW 方向)

G. L. (m)		各階重量 wi (kN)	NS 方向			EW 方向		
			Pi (kN)	屋根 一般部 Pi ₂ (kN)	燃料取扱 設備支持部 Pi ₂ (kN)	Pi (kN)	屋根 一般部 Pi ₂ (kN)	燃料取扱 設備支持部 Pi ₂ (kN)
+68.06	大屋根	1800	2100	2100	—	2300	2300	—
	小屋根	1400	1600	1600	—	1700	1700	—
	妻壁	600	700	700	—	700	700	—
+53.9		20510	17700	17700	—	16400	16400	—
+28.3		137080	20000	3500	800	22200	3900	800
+23.1		83750	14900	1100	200	14700	1100	200
+18.5				800	150		800	150
+14.0		88680	13800	900	200	13400	900	200

* : n=1.2 とした算定結果を示す

5) 荷重組合せ

設計で考慮する荷重組合せを表 5.2.1-10 に示す。また、ガレキ撤去時におけるガレキ撤去用天井クレーンの位置を図 5.2.1-3 に、燃料取り出し時における燃料取扱設備の位置を図 5.2.1-4 に示す。なお、燃料取り出し時にはガレキ撤去用天井クレーンの位置は北側とする。

表 5.2.1-10 荷重組合せ

想定する状態	荷重ケース*1	荷重組合せ内容	許容応力度
常時	C	VL	長期
積雪時*2	S	VL+SL	短期
暴風時*2	W	VL+WL	
地震時	E1	VL+K (+NS)	
	E2	VL+K (-NS)	
	E3	VL+K (+EW)	
	E4	VL+K (-EW)	

*1：ガレキ撤去時は case1 及び case2，燃料取り出し時は case3 及び case4 の状態とする。

*2：短期事象では地震時が支配的であることから、積雪時及び暴風時の検討は省略する。ただし、外装材の検討は暴風時が支配的であることから暴風時に対して検討を行う。

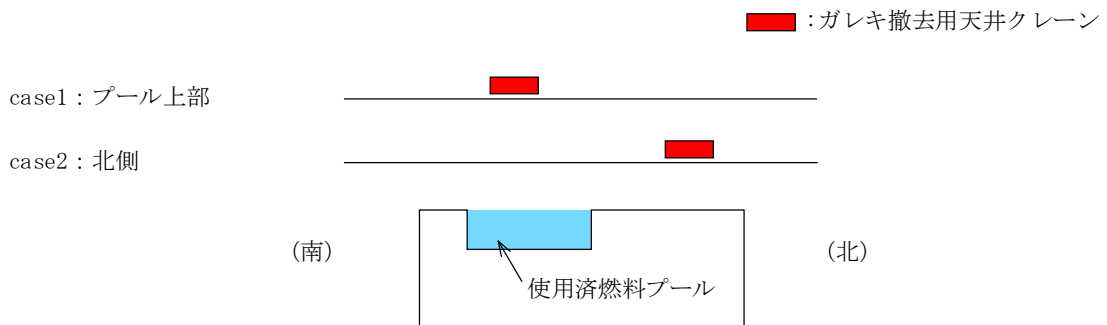
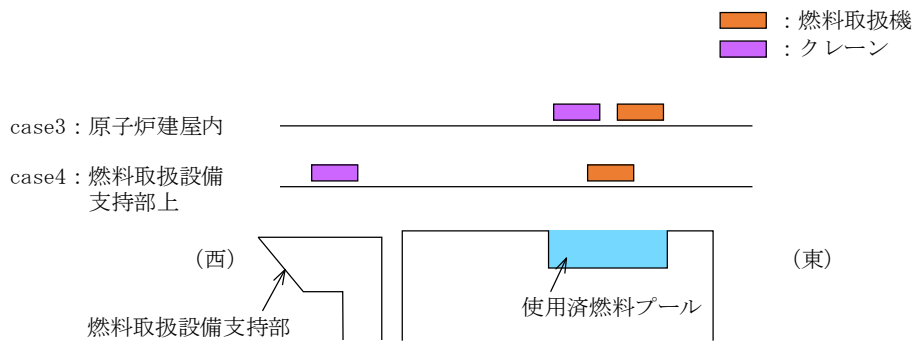


図 5.2.1-3 ガレキ撤去用天井クレーンの位置



※：原子炉建屋オペレーティングフロア上で、燃料取扱機及びクレーンを用い燃料をキャスクに入れる。その後、クレーンを用いキャスクを燃料取扱設備支持部に移動させ地上に下ろす。従って、燃料取扱機とクレーンの両方が原子炉建屋内にいるケースと燃料取扱機が原子炉建屋内、クレーンが燃料取扱設備支持部上にいるケースの2ケースとなる。

※：燃料取り出し時のガレキ撤去用天井クレーン位置は北側とする。

図 5.2.1-4 燃料取扱設備の位置

地震時と暴風時の大型カバーの層せん断力について、風荷重の受圧面積が大きい EW 方向で比較した結果を図 5.2.1-5 に示す。図 5.2.1-5 より、地震時の層せん断力は暴風時の層せん断力を包絡しており、支配的な荷重である。

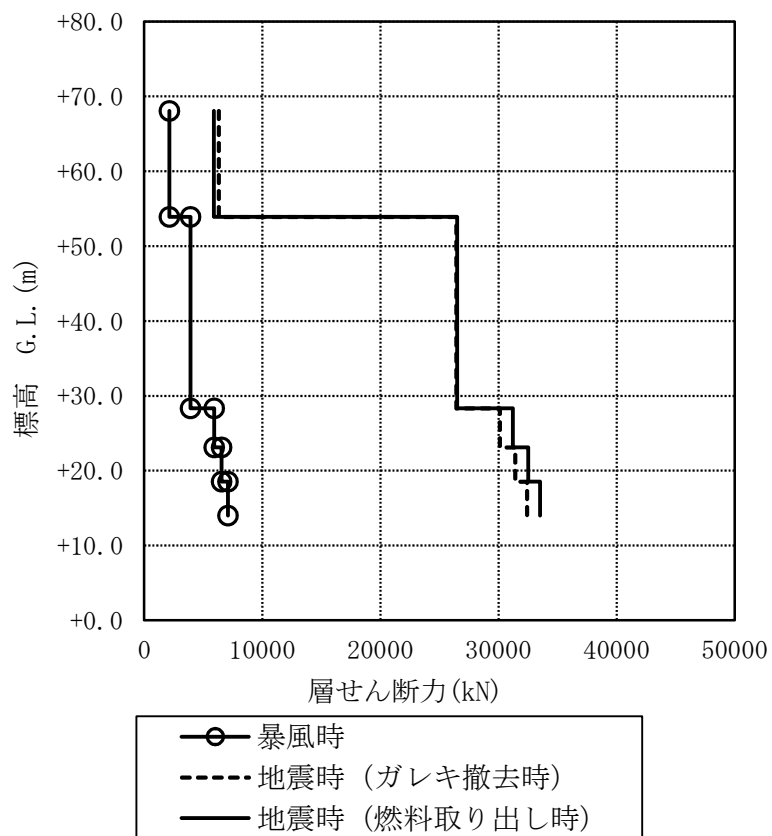


図 5.2.1-5 地震時と暴風時の層せん断力の比較 (EW 方向)

5.2.2 大型カバーの構造強度に対する検討

(1) 断面検討

1) 柱, 梁, 水平・鉛直ブレース

部材の応力度比は、「鋼構造設計規準」に従い、軸力に対して下式にて検討を行う。

$$\cdot \text{軸圧縮の場合} \quad \frac{\sigma_c}{f_c} \leq 1$$

$$\cdot \text{軸引張の場合} \quad \frac{\sigma_t}{f_t} \leq 1$$

ここで、 σ_c : 圧縮応力度 (N/A) (N/mm²)
 σ_t : 引張応力度 (T/A) (N/mm²)
N : 圧縮力(N), T : 引張力(N), A : 断面積(mm²)
 f_c : 許容圧縮応力度(N/mm²)
 f_t : 許容引張応力度(N/mm²)

2) 大型カバー頂部鋼板部

応力度比の検討は、「鋼構造設計規準」に従い、面内力に対し下式にて検討を行う。

$$\cdot \text{組合せ応力の場合} \quad \frac{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3\tau_{xy}^2}{f_t^2} \leq 1$$

ここで、 σ_x : X方向圧縮応力度 (Nx/A) (N/mm²)
 σ_y : Y方向圧縮応力度 (Ny/A) (N/mm²)
Nx : X方向面内力(N), Ny : Y方向面内力(N), A : 断面積(mm²)
 τ_{xy} : せん断応力度 (Nxy/As) (N/mm²)
Nxy : 面内せん断力(N), As : せん断断面積(mm²)
 f_t : 許容引張応力度(N/mm²)

3) ガレキ撤去時

表 5. 2. 2-1 及び表 5. 2. 2-2 に応力度比が最大となる部位の断面検討結果を示す。
断面検討の結果、全ての部材に対する応力度比が 1 以下になることを確認した。

表 5. 2. 2-1(1) 断面検討結果（一般部，常時）上部架構

部位*1	部材形状 (mm) 〈使用材料*2〉	荷重 ケース (位置)*3	作用 応力度 (N/mm ²)		許容 応力度 (N/mm ²)		応力 度比	判定	
			σ_c		f_c				
①	柱	H-400×400×13×21	C (case1)	σ_c	96.1	f_c	170.9	0.57	O.K.
②	梁	B[-300×220×16×25	C (case1)	σ_t	47.8	f_t	216.6	0.23	O.K.
③	鉛直 ブレース	ϕ -267.4×6.6	C (case2)	σ_c	61.6	f_c	173.0	0.36	O.K.
④	鋼板	PL-16 〈SN400B〉	C (case1)	σ_x	1.9	f_t	156.0	0.31	O.K.
				σ_y	4.1				
				τ_{xy}	27.2				

表 5. 2. 2-1(2) 断面検討結果（一般部，常時）下部架構

部位*1	部材形状 (mm) 〈使用材料*2〉	荷重 ケース (位置)*3	作用 応力度 (N/mm ²)		許容 応力度 (N/mm ²)		応力 度比	判定	
			σ_c		f_c				
⑤	柱	H-400×400×13×21	C (case2)	σ_c	102.4	f_c	202.7	0.51	O.K.
⑥	梁	H-588×300×12×20	C (case1)	σ_c	52.9	f_c	201.1	0.27	O.K.
⑦	鉛直 ブレース	ϕ -267.4×6.6	C (case1)	σ_c	153.7	f_c	203.0	0.76	O.K.
⑧	接続部 水平ブレース	十字 PL (PL-28×210 +2PL-28×91)	C (case1)	σ_c	110.8	f_c	187.5	0.60	O.K.
⑨	接続部 鉛直ブレース	十字 PL (PL-28×210 +2PL-28×91)	C (case2)	σ_c	123.6	f_c	197.7	0.63	O.K.

表 5. 2. 2-1(3) 断面検討結果 (燃料取扱設備支持部, 常時)

部位*1		部材形状 (mm) 〈使用材料*2〉	荷重 ケース (位置)*3	作用 応力度 (N/mm ²)		許容 応力度 (N/mm ²)		応力 度比	判定
⑩	柱	H-400×400×13×21	C (case1)	σ_c	15.1	f_c	183.1	0.09	O.K.
⑪	梁	H-800×300×14×26	C (case1)	σ_c	20.3	f_c	175.8	0.12	O.K.
⑫	水平 ブレース	十字 PL (PL-28×210 +2PL-28×91)	C (case1)	σ_t	40.8	f_t	216.6	0.19	O.K.
⑬	鉛直 ブレース	ϕ -355.6×7.9	C (case1)	σ_c	58.7	f_c	207.7	0.29	O.K.

*1 : ⑩~⑬の符号は図 5. 2. 2-1 の応力検討箇所を示す

*2 : 各部材の使用材料は, 特記なき限り, 鋼管 : STKN490B, その他 SN490B

*3 : 図 5. 2. 1-3 にガレキ撤去用天井クレーンの位置を示す

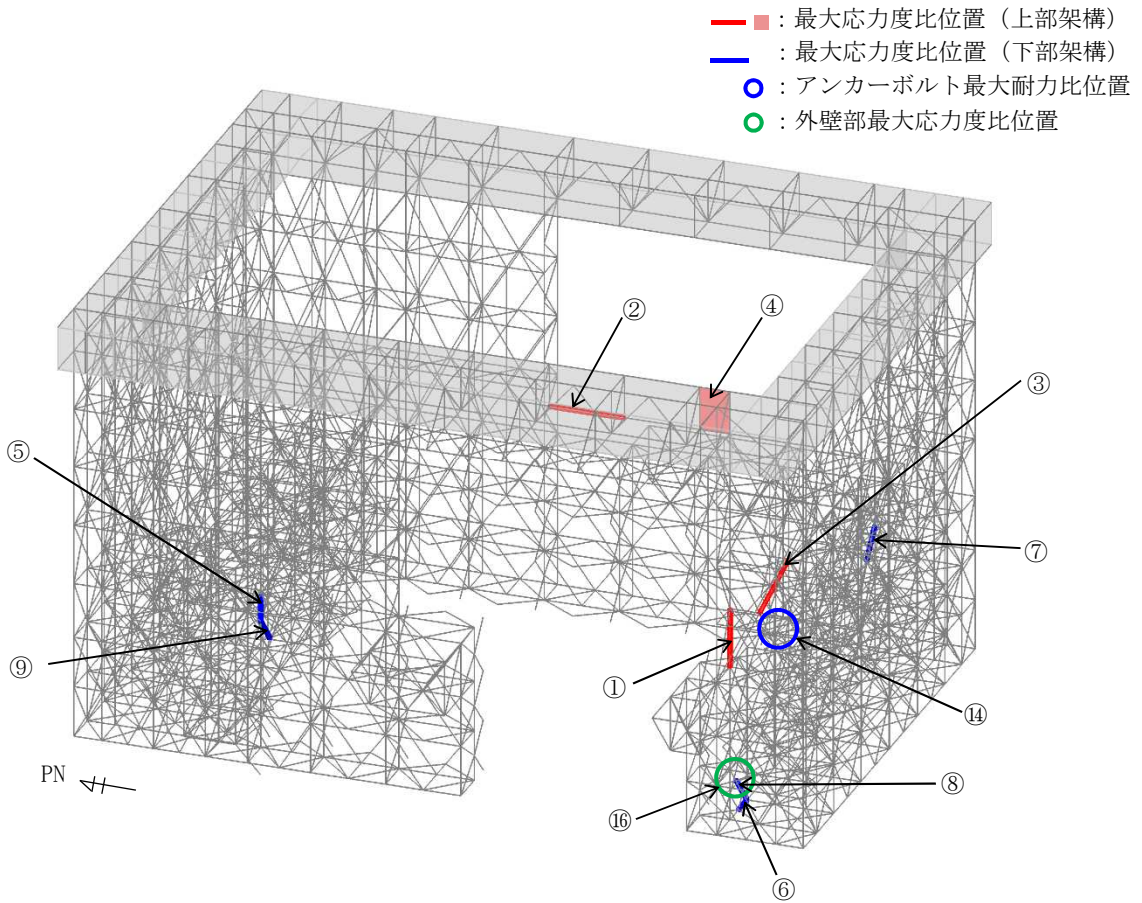


図 5.2.2-1(1) 最大応力度比位置図(一般部, 常時)

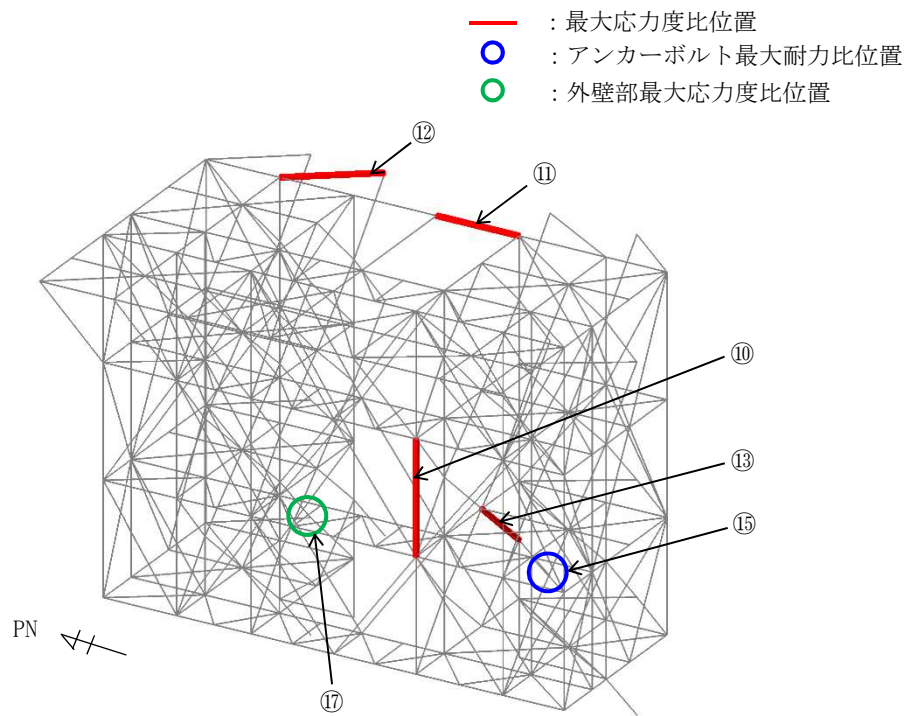


図 5.2.2-1(2) 最大応力度比位置図(燃料取扱設備支持部, 常時)

II-2-11-添 4-2-232

II-14-②-50

表 5. 2. 2-2(1) 断面検討結果（一般部，地震時）上部架構

部位*1	部材形状 (mm) 〈使用材料*2〉	荷重 ケース (位置)*3	作用 応力度 (N/mm ²)		許容 応力度 (N/mm ²)		応力 度比	判定
			σ_c		f_c			
①	柱 H-400×400×13×21	E4 (case1)	σ_c	142.0	f_c	256.4	0.56	O. K.
②	梁 B[-300×220×16×25]	E1 (case1)	σ_c	85.4	f_c	269.9	0.32	O. K.
③	鉛直 ブレース ϕ -355.6×9.5	E1 (case1)	σ_c	259.5	f_c	282.0	0.93	O. K.
④	鋼板 PL-16 〈SN400B〉	E2 (case1)	σ_x	1.9	f_t	235.0	0.35	O. K.
			σ_y	9.2				
			τ_{xy}	46.9				

表 5. 2. 2-2(2) 断面検討結果（一般部，地震時）下部架構

部位*1	部材形状 (mm) 〈使用材料*2〉	荷重 ケース (位置)*3	作用 応力度 (N/mm ²)		許容 応力度 (N/mm ²)		応力 度比	判定
			σ_c		f_c			
⑤	柱 H-400×400×13×21	E1 (case2)	σ_c	179.6	f_c	304.1	0.60	O. K.
⑥	梁 H-588×300×12×20	E4 (case1)	σ_c	136.9	f_c	301.6	0.46	O. K.
⑦	鉛直 ブレース ϕ -267.4×6.6	E1 (case2)	σ_t	301.3	f_t	325.0	0.93	O. K.
⑧	接続部 水平ブレース 十字 PL (PL-28×210 +2PL-28×91)	E4 (case2)	σ_t	306.2	f_t	325.0	0.95	O. K.
⑨	接続部 鉛直ブレース 十字 PL (PL-28×210 +2PL-28×91)	E1 (case2)	σ_c	266.8	f_c	297.4	0.90	O. K.

表 5. 2. 2-2(3) 断面検討結果 (燃料取扱設備支持部, 地震時)

部位*1		部材形状 (mm) 〈使用材料*2〉	荷重 ケース (位置)*3	作用 応力度 (N/mm ²)		許容 応力度 (N/mm ²)		応力 度比	判定
⑩	柱	H-400×400×13×21	E4 (case1)	σ_c	15.9	f_c	274.7	0.06	O. K.
⑪	梁	H-800×300×14×26	E4 (case1)	σ_c	23.5	f_c	263.7	0.09	O. K.
⑫	水平 ブレース	十字 PL (PL-28×210 +2PL-28×91)	E1 (case1)	σ_t	56.0	f_t	325.0	0.18	O. K.
⑬	鉛直 ブレース	ϕ -355.6×7.9	E1 (case1)	σ_c	68.4	f_c	311.5	0.22	O. K.

*1 : ⑩~⑬の符号は図 5. 2. 2-2 の応力検討箇所を示す

*2 : 各部材の使用材料は, 特記なき限り, 鋼管 : STKN490B, その他 SN490B

*3 : 図 5. 2. 1-3 にガレキ撤去用天井クレーンの位置を示す

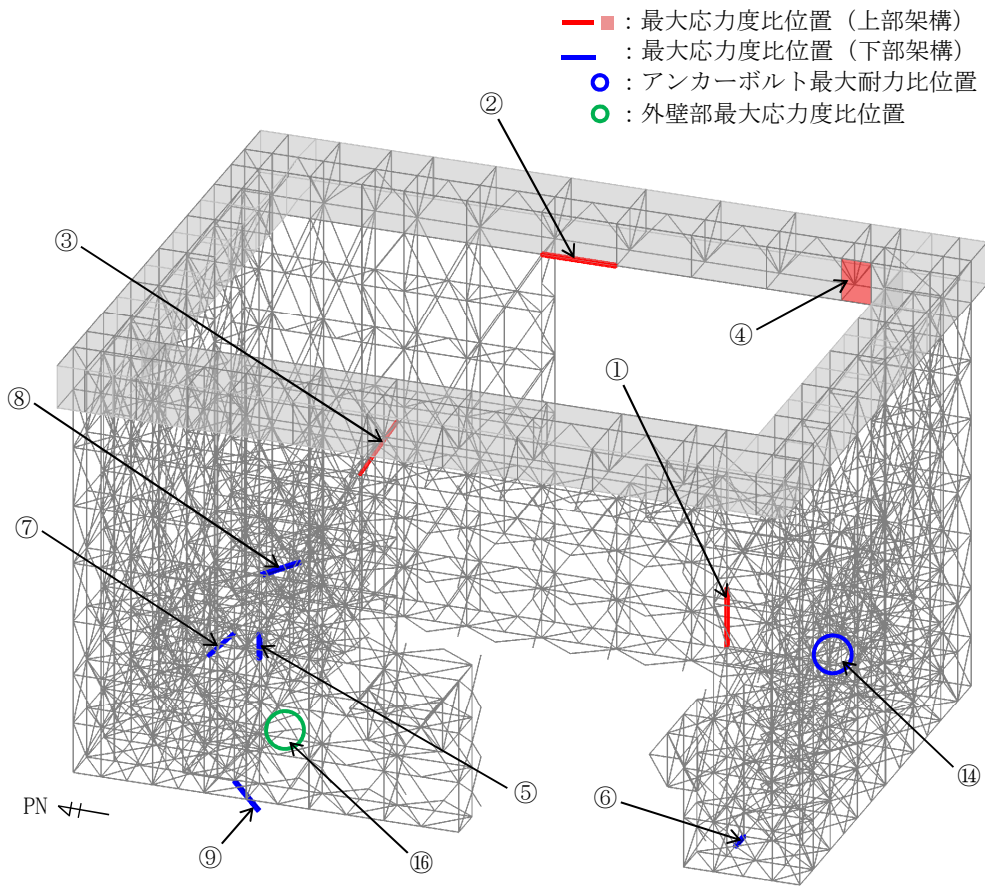


図 5. 2. 2-2(1) 最大応力度比位置図(一般部, 地震時)

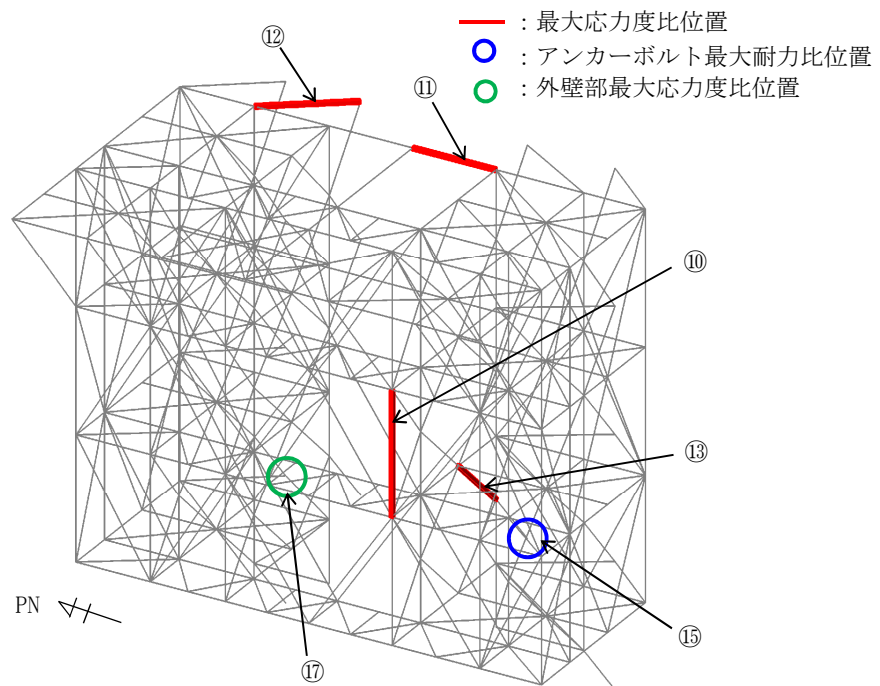


図 5. 2. 2-2(2) 最大応力度比位置図(燃料取扱設備支持部, 地震時)

II-2-11-添 4-2-235

II-14-②-53

4) 燃料取り出し時

表 5. 2. 2-3 及び表 5. 2. 2-4 に応力度比が最大となる部位の断面検討結果を示す。
断面検討の結果、全ての部材に対する応力度比が 1 以下になることを確認した。

表 5. 2. 2-3(1) 断面検討結果（一般部，常時）上部架構

部位*1	部材形状 (mm) 〈使用材料*2〉	荷重 ケース (位置)*3	作用 応力度 (N/mm ²)		許容 応力度 (N/mm ²)		応力 度比	判定	
			σ_c		f_c				
①	柱	H-400×400×13×21	C (case4)	σ_c	68.8	f_c	170.9	0.41	O. K.
②	梁	B[-300×220×16×25	C (case4)	σ_c	17.9	f_c	179.9	0.10	O. K.
③	鉛直 ブレース	ϕ -267.4×6.6	C (case4)	σ_c	57.0	f_c	173.0	0.33	O. K.
④	鋼板	PL-16 〈SN400B〉	C (case4)	σ_x	0.0	f_t	156.0	0.17	O. K.
				σ_y	9.5				
				τ_{xy}	13.8				

表 5. 2. 2-3(2) 断面検討結果（一般部，常時）下部架構

部位*1	部材形状 (mm) 〈使用材料*2〉	荷重 ケース (位置)*3	作用 応力度 (N/mm ²)		許容 応力度 (N/mm ²)		応力 度比	判定	
			σ_c		f_c				
⑤	柱	H-400×400×13×21	C (case4)	σ_c	93.1	f_c	202.7	0.46	O. K.
⑥	梁	H-350×350×12×19	C (case4)	σ_c	49.5	f_c	183.8	0.27	O. K.
⑦	鉛直 ブレース	ϕ -267.4×6.6	C (case4)	σ_c	122.8	f_c	196.2	0.63	O. K.
⑧	接続部 水平ブレース	十字 PL (PL-28×210 +2PL-28×91)	C (case4)	σ_c	90.1	f_c	187.5	0.49	O. K.
⑨	接続部 鉛直ブレース	十字 PL (PL-28×210 +2PL-28×91)	C (case4)	σ_c	112.4	f_c	197.7	0.57	O. K.

表 5. 2. 2-3(3) 断面検討結果 (燃料取扱設備支持部, 常時)

部位*1	部材形状 (mm) <使用材料*2>	荷重 ケース (位置)*3	作用 応力度 (N/mm ²)		許容 応力度 (N/mm ²)		応力 度比	判定
			σ_c		f_c			
⑩	柱 H-400×400×13×21	C (case4)	σ_c	34.7	f_c	202.7	0.18	O.K.
⑪	梁 H-350×350×12×19	C (case4)	σ_c	29.1	f_c	201.5	0.15	O.K.
⑫	水平 ブレース 十字 PL (PL-28×210 +2PL-28×91)	C (case4)	σ_t	42.9	f_t	216.6	0.20	O.K.
⑬	鉛直 ブレース ϕ -355.6×7.9	C (case4)	σ_c	93.6	f_c	207.7	0.46	O.K.

*1 : ⑩~⑬の符号は図 5. 2. 2-3 の応力検討箇所を示す

*2 : 各部材の使用材料は, 特記なき限り, 鋼管 : STKN490B, その他 SN490B

*3 : 図 5. 2. 1-4 に燃料取扱設備の位置を示す

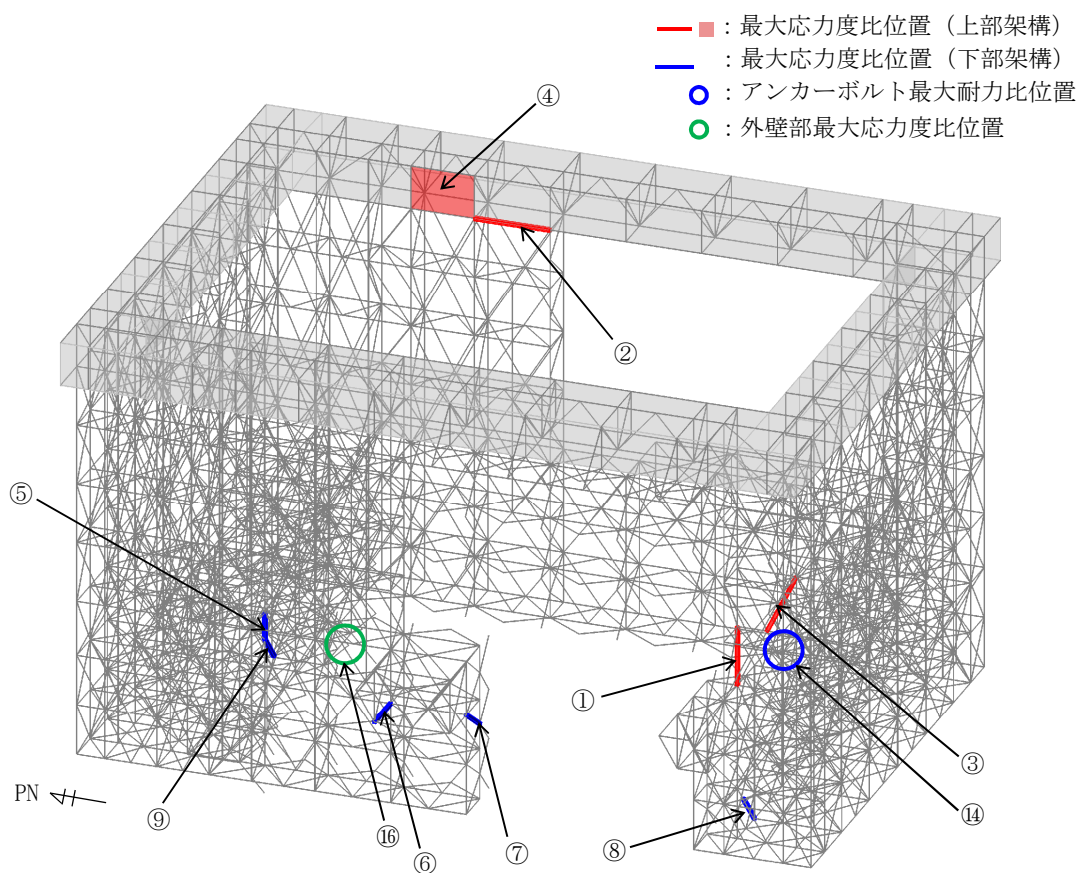


図 5. 2. 2-3(1) 最大応力度比位置図(一般部, 常時)

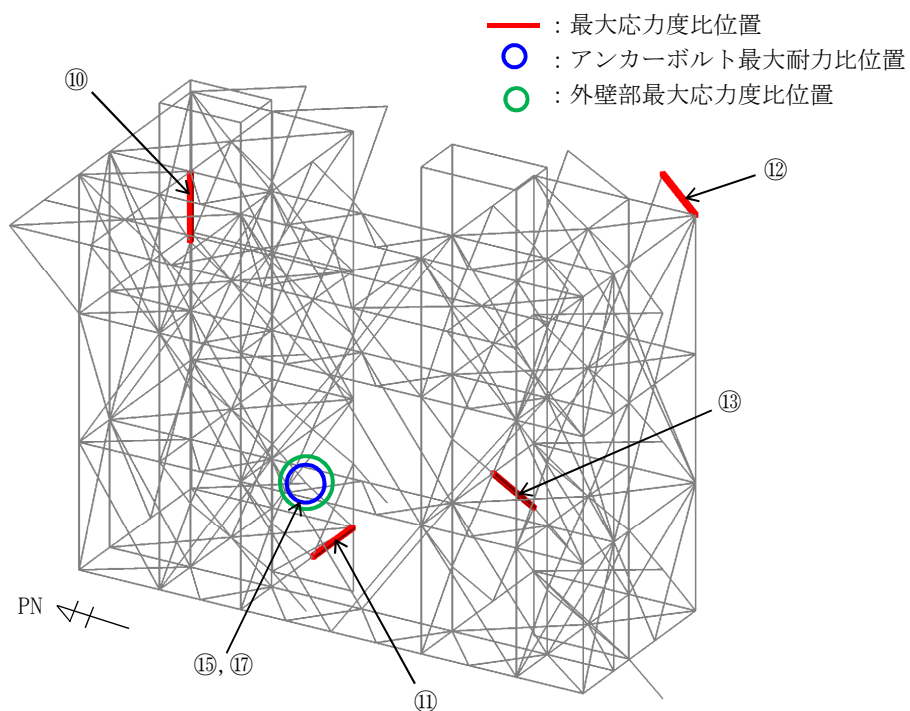


図 5. 2. 2-3(2) 最大応力度比位置図(燃料取扱設備支持部, 常時)

II-2-11-添 4-2-238

II-14-②-56

表 5. 2. 2-4(1) 断面検討結果 (一般部, 地震時) 上部架構

部位*1		部材形状 (mm) 〈使用材料*2〉	荷重 ケース (位置)*3	作用 応力度 (N/mm ²)		許容 応力度 (N/mm ²)		応力 度比	判定
①	柱	H-400×400×13×21	E2 (case4)	σ_c	136.8	f_c	256.4	0.54	O. K.
②	梁	B[-300×220×16×25	E1 (case4)	σ_c	67.5	f_c	269.9	0.26	O. K.
③	鉛直 ブレース	ϕ -355.6×9.5	E1 (case4)	σ_c	245.5	f_c	282.0	0.88	O. K.
④	鋼板	PL-16 〈SN400B〉	E4 (case4)	σ_x	28.0	f_t	235.0	0.33	O. K.
				σ_y	9.1				
				τ_{xy}	41.6				

表 5. 2. 2-4(2) 断面検討結果 (一般部, 地震時) 下部架構

部位*1		部材形状 (mm) 〈使用材料*2〉	荷重 ケース (位置)*3	作用 応力度 (N/mm ²)		許容 応力度 (N/mm ²)		応力 度比	判定
⑤	柱	H-400×400×13×21	E1 (case4)	σ_c	176.0	f_c	304.1	0.58	O. K.
⑥	梁	H-588×300×12×20	E1 (case4)	σ_t	138.0	f_t	325.0	0.43	O. K.
⑦	鉛直 ブレース	ϕ -267.4×6.6	E1 (case4)	σ_t	298.9	f_t	325.0	0.92	O. K.
⑧	接続部 水平ブレース	十字 PL (PL-28×210 +2PL-28×91)	E4 (case4)	σ_t	298.8	f_t	325.0	0.92	O. K.
⑨	接続部 鉛直ブレース	十字 PL (PL-28×210 +2PL-28×91)	E2 (case4)	σ_c	269.3	f_c	296.6	0.91	O. K.

表 5. 2. 2-4(3) 断面検討結果 (燃料取扱設備支持部, 地震時)

部位*1		部材形状 (mm) 〈使用材料*2〉	荷重 ケース (位置)*3	作用 応力度 (N/mm ²)		許容 応力度 (N/mm ²)		応力 度比	判定
⑩	柱	H-400×400×13×21	E4 (case4)	σ_c	33.0	f_c	274.7	0.13	O.K.
⑪	梁	H-350×350×12×19	E1 (case4)	σ_c	38.7	f_c	302.3	0.13	O.K.
⑫	水平 ブレース	十字 PL (PL-28×210 +2PL-28×91)	E1 (case4)	σ_t	60.6	f_t	325.0	0.19	O.K.
⑬	鉛直 ブレース	ϕ -355.6×7.9	E1 (case4)	σ_c	106.1	f_c	311.5	0.35	O.K.

*1 : ⑩~⑬の符号は図 5. 2. 2-4 の応力検討箇所を示す

*2 : 各部材の使用材料は, 特記なき限り, 鋼管 : STKN490B, その他 SN490B

*3 : 図 5. 2. 1-4 に燃料取扱設備の位置を示す

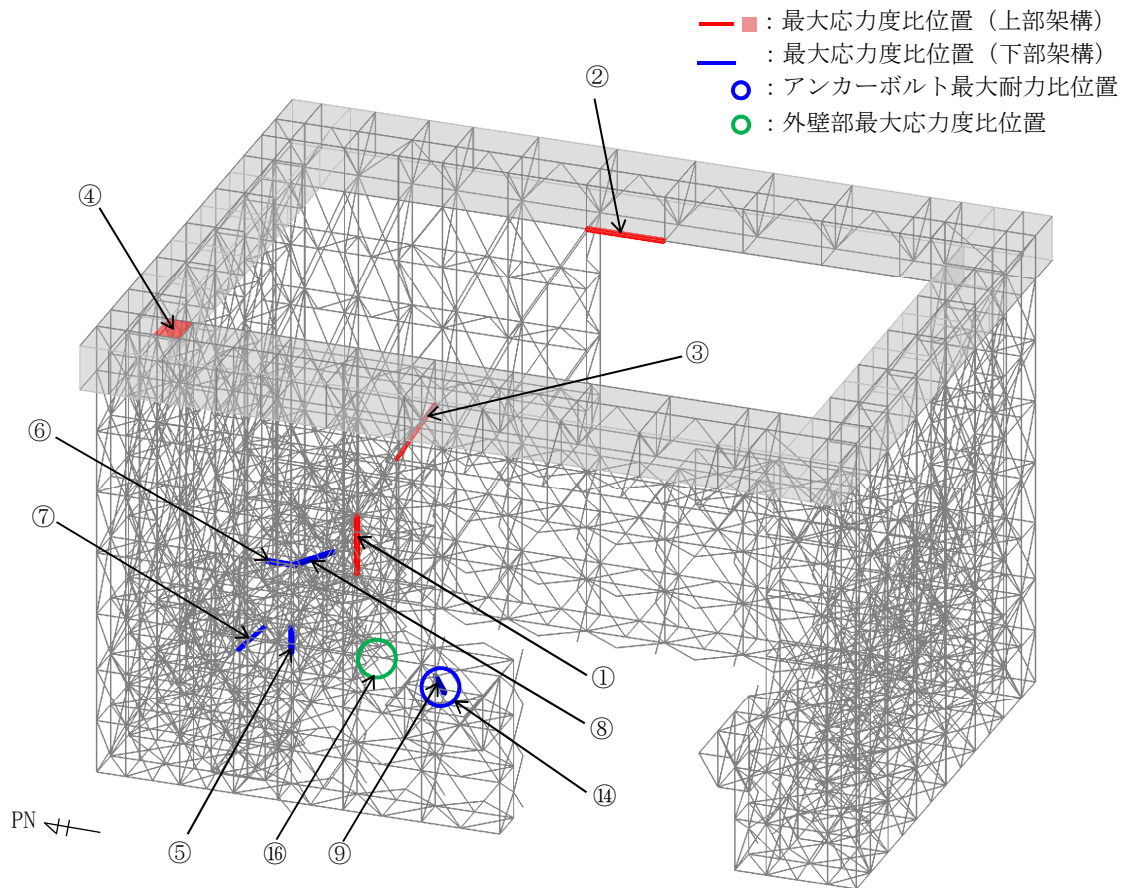


図 5. 2. 2-4(1) 最大応力度比位置図(一般部, 地震時)

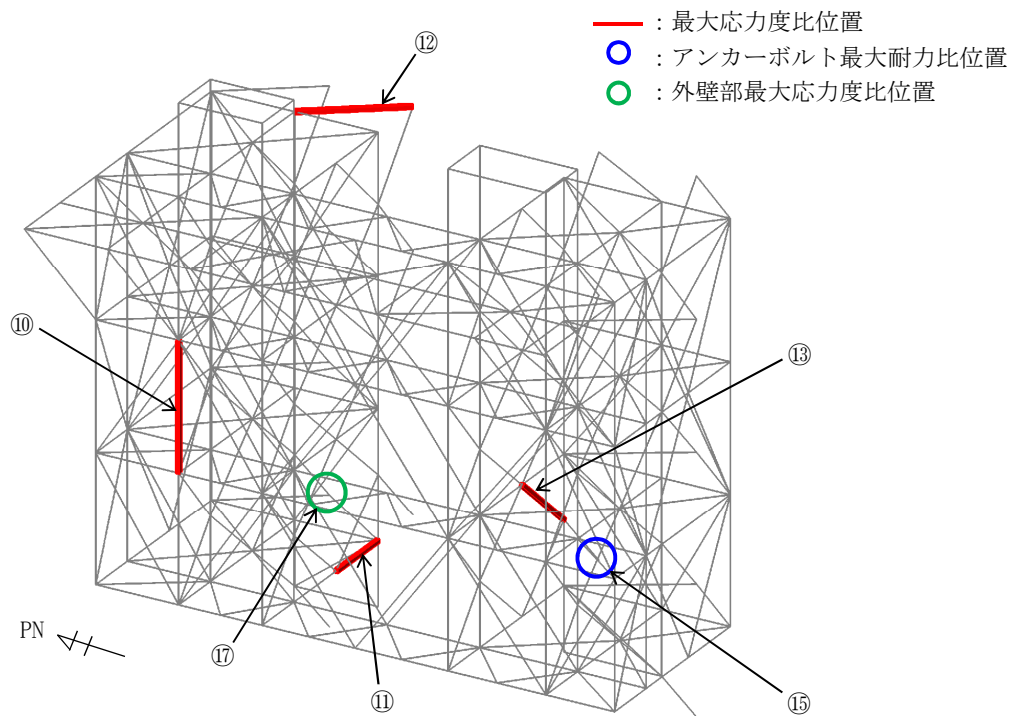


図 5. 2. 2-4(2) 最大応力度比位置図(燃料取扱設備支持部, 地震時)

II-2-11-添 4-2-241

II-14-②-59

5.2.3 屋根の構造強度に対する検討

(1) 断面検討

1) 弦材, 斜材, ブレース

部材の応力度比は, 「鋼構造設計規準」に従い, 下記にて検討を行う。

$$\cdot \text{軸圧縮の場合} \quad \frac{\sigma_c}{f_c} \leq 1$$

$$\cdot \text{軸引張の場合} \quad \frac{\sigma_t}{f_t} \leq 1$$

ここで, σ_c : 圧縮応力度 (N/A) (N/mm²)
 σ_t : 引張応力度 (T/A) (N/mm²)
N : 圧縮力 (N), T : 引張力 (N), A : 断面積 (mm²)
 f_c : 許容圧縮応力度 (N/mm²)
 f_t : 許容引張応力度 (N/mm²)

2) 検討結果

表 5.2.3-1 に応力度比が最大となる部位の断面検討結果を示す。

断面検討の結果, 全ての部材に対する応力度比が 1 以下になることを確認した。

表 5. 2. 3-1(1) 断面検討結果 (常時, ガレキ撤去時)

部位*1		部材形状 (mm)	荷重 ケース (位置)*2	作用 応力度 (N/mm ²)		許容 応力度 (N/mm ²)		応力 度比	判定
①	弦材	P-216.3φ×7.0t <STK490>	C (case1)	σ_c	48.2	f_c	213.1	0.23	O.K.
②	斜材	P-89.1φ×3.2t <STK400>	C (case1)	σ_t	42.3	f_t	156.7	0.27	O.K.
③	ブレース	1-M30 <SNR490B>	C (case1)	σ_t	107.7	f_t	216.7	0.50	O.K.

*1: ①~③の符号は図 5. 2. 3-1 の応力検討箇所を示す

*2: 図 5. 2. 1-3 にガレキ撤去用天井クレーンの位置を示す

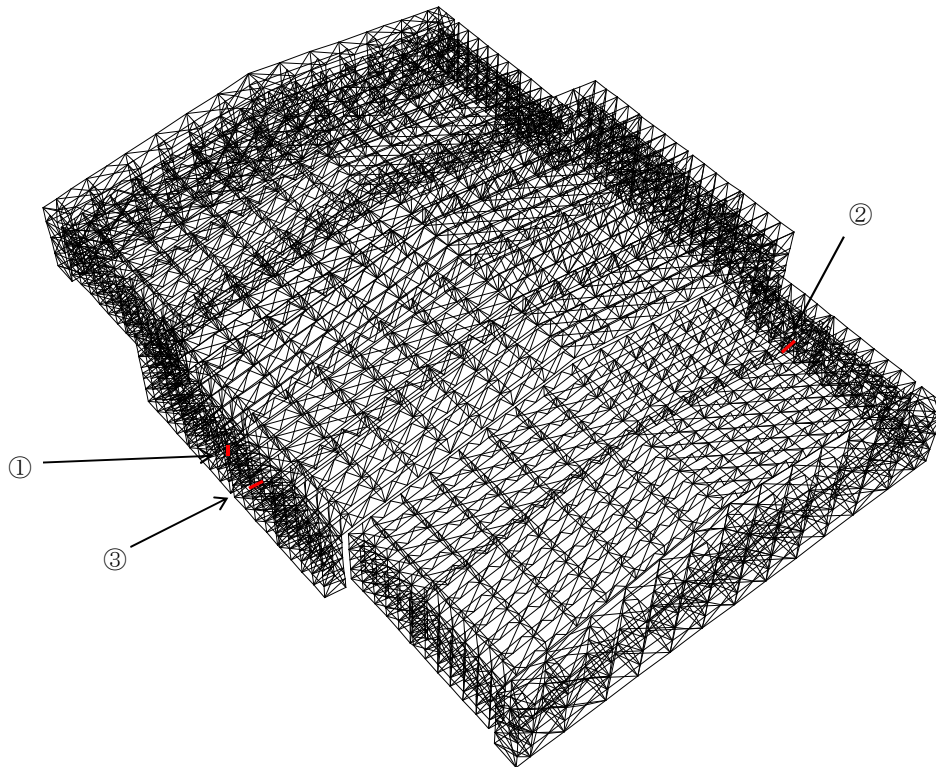


図 5. 2. 3-1 最大応力度比位置図

表 5. 2. 3-1(2) 断面検討結果 (常時, 燃料取り出し時)

部位*1		部材形状 (mm)	荷重 ケース (位置)*2	作用 応力度 (N/mm ²)		許容 応力度 (N/mm ²)		応力 度比	判定
①	弦材	P-216.3φ×6.0t <STK490>	C (case4)	σ_c	23.4	f_c	214.1	0.11	O.K.
②	斜材	P-89.1φ×3.2t <STK400>	C (case4)	σ_t	32.6	f_t	156.7	0.21	O.K.
③	ブレース	1-M27 <SNR490B>	C (case4)	σ_t	75.0	f_t	216.7	0.35	O.K.

*1: ①~③の符号は図 5. 2. 3-2 の応力検討箇所を示す

*2: 図 5. 2. 1-4 に燃料取扱設備の位置を示す

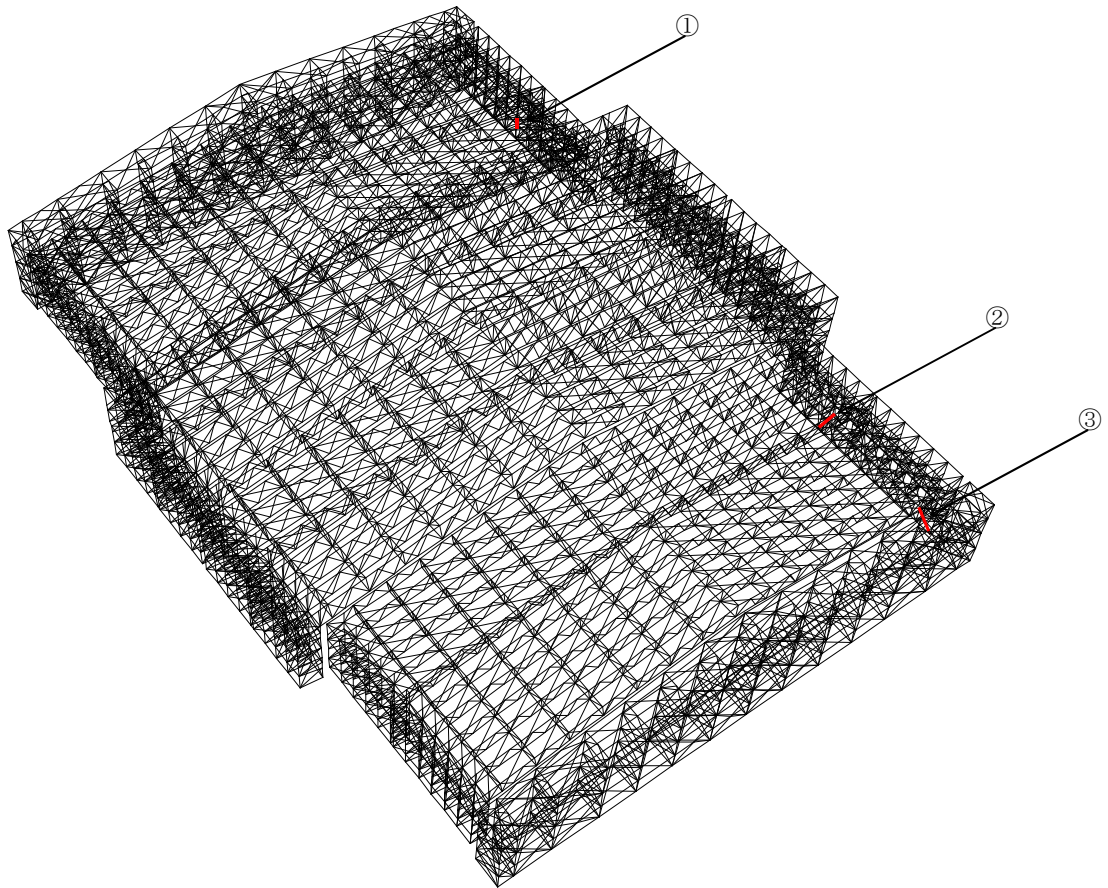


図 5. 2. 3-2 最大応力度比位置図

表 5. 2. 3-1 (3) 断面検討結果 (地震時, ガレキ撤去時)

部位*1		部材形状 (mm)	荷重 ケース (位置)*2	作用 応力度 (N/mm ²)		許容 応力度 (N/mm ²)		応力 度比	判定
①	弦材	P-216.3φ×7.0t <STK490>	E2 (case1)	σ_c	99.2	f_c	319.7	0.32	O.K.
②	斜材	P-89.1φ×3.2t <STK400>	E3 (case2)	σ_t	159.2	f_t	235.0	0.68	O.K.
③	ブレース	1-M27 <SNR490B>	E1 (case1)	σ_t	299.7	f_t	325.0	0.93	O.K.

*1: ①~③の符号は図 5. 2. 3-3 の応力検討箇所を示す

*2: 図 5. 2. 1-3 にガレキ撤去用天井クレーンの位置を示す

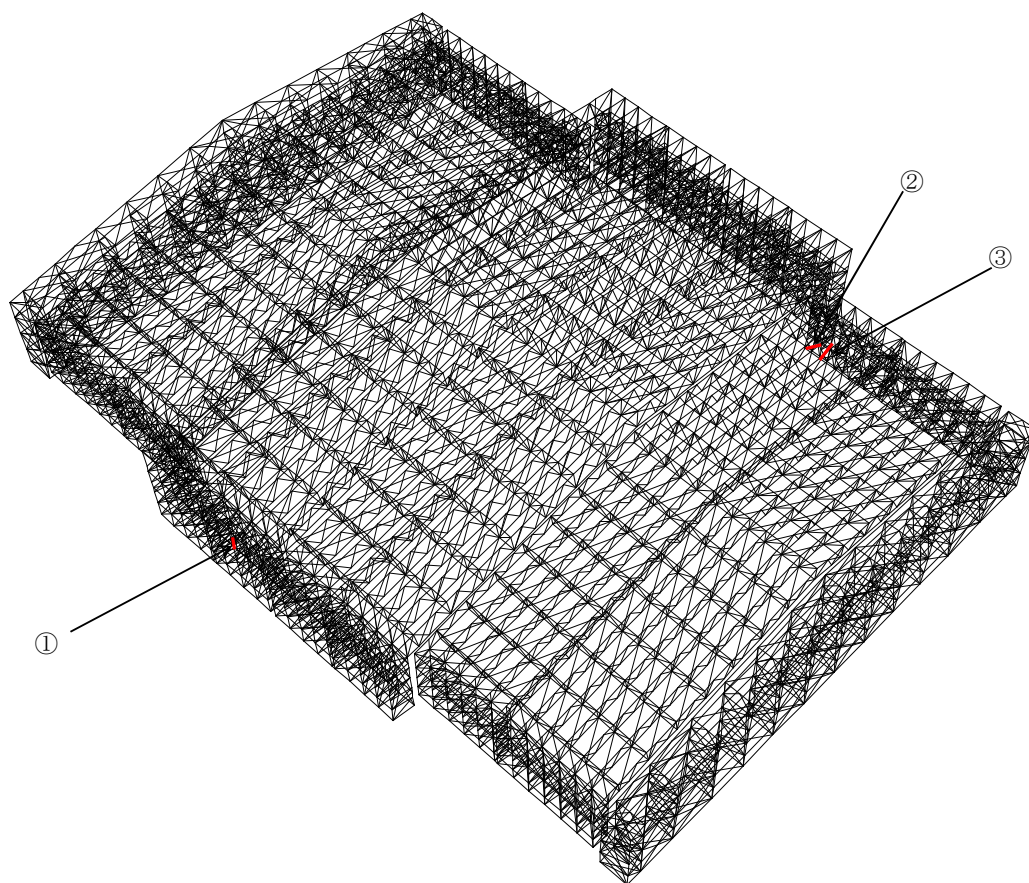


図 5. 2. 3-3 最大応力度比位置図

表 5. 2. 3-1(4) 断面検討結果 (地震時, 燃料取り出し時)

部位*1		部材形状 (mm)	荷重 ケース (位置)*2	作用 応力度 (N/mm ²)		許容 応力度 (N/mm ²)		応力 度比	判定
①	弦材	P-216.3φ×7.0t <STK490>	E2 (case4)	σ_t	81.6	f_t	325.0	0.26	O.K.
②	斜材	P-89.1φ×3.2t <STK400>	E3 (case4)	σ_t	154.2	f_t	235.0	0.66	O.K.
③	ブレース	1-M30 <SNR490B>	E1 (case4)	σ_t	261.0	f_t	325.0	0.81	O.K.

*1 : ①~③の符号は図 5. 2. 3-4 の応力検討箇所を示す

*2 : 図 5. 2. 1-4 に燃料取扱設備の位置を示す

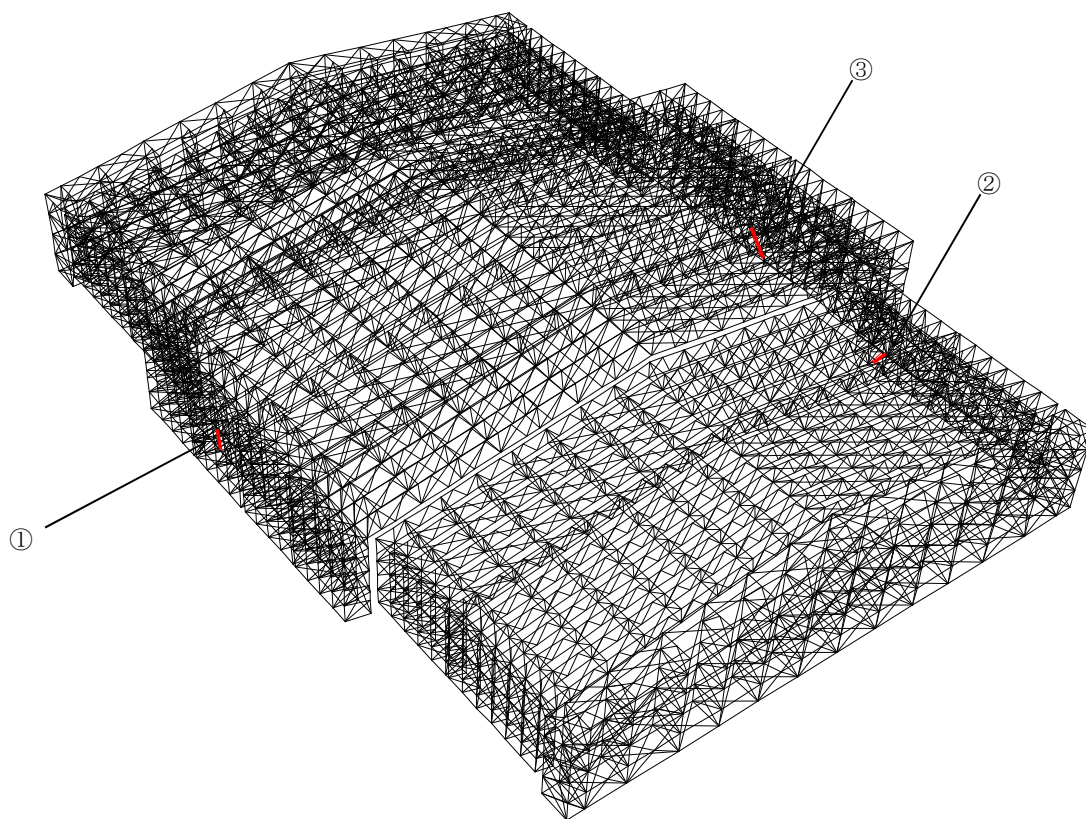


図 5. 2. 3-4 最大応力度比位置図

5.2.4 建屋取り合い部の構造強度に対する検討

(1) アンカーボルトの検討（引抜き，せん断）

大型カバーはアンカーボルトにより原子炉建屋外壁に取り付く。アンカーボルトの仕様は，M33（SNR490B）の接着系アンカーボルトとし，許容耐力は「あと施工アンカー施工指針（案）（一般社団法人日本建築あと施工アンカー協会）」，「各種合成構造設計指針・同解説」に従い，原子炉建屋の設計基準強度を用いて下式によって求める。表 5.2.4-1 にアンカーボルトの許容耐力を，図 5.2.4-1 にアンカー標準図を示す。

$$pa = \min(\phi_1 \cdot pa_1, \phi_2 \cdot pa_2, \phi_3 \cdot pa_3)$$

$$qa = \min(\phi_1 \cdot qa_1, \phi_2 \cdot qa_2)$$

$\phi_1 \sim \phi_3$: 低減係数（長期，短期）

pa : 接着系アンカーボルトの許容引張力（kN/本）

pa_1 : アンカーボルトの降伏により決まる許容引張力（kN/本）

pa_2 : 躯体のコーン状破壊により決まる許容引張力（kN/本）

pa_3 : 付着力により決まる許容引張力（kN/本）

qa : 接着系アンカーボルトの許容せん断力（kN/本）

qa_1 : アンカーボルトのせん断強度により決まる許容せん断力（kN/本）

qa_2 : 躯体の支圧強度により決まる許容せん断力（kN/本）

表 5.2.4-1 接着系アンカーボルトの許容耐力

部位		一般部	燃料取扱設備支持部	
			GL+13.7	
タイプ		標準	標準	
鋼材種類		M33	M33	
		SNR490B	SNR490B	
埋め込み長さ (mm)		345	345	
アンカーボルト間隔 (mm)		400	400	
長期	許容引張力 (pa_L) (kN/本)	78	106	92
	許容せん断力 (qa_L) (kN/本)	76	76	76
短期	許容引張力 (pa_S) (kN/本)	156	212	185
	許容せん断力 (qa_S) (kN/本)	152	152	152

アンカーボルトの検討は、建屋取り合い部に生じる最大支点反力に対し、下式にて検討を行う。

$$\frac{P}{P_a} \leq 1$$

$$\frac{Q}{Q_a} \leq 1$$

$$\left(\frac{P}{P_a}\right)^2 + \left(\frac{Q}{Q_a}\right)^2 \leq 1$$

P_a : アンカーボルトの許容引張耐力 (kN)

Q_a : アンカーボルトの許容せん断耐力 (kN)

P : アンカーボルトの引張力 (kN)

Q : アンカーボルトのせん断力 (kN)

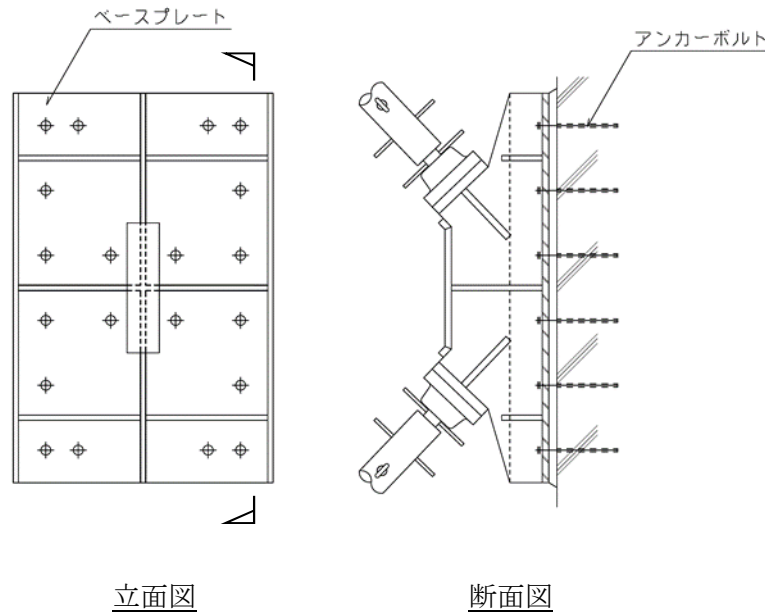


図 5.2.4-1 アンカー標準図

1) ガレキ撤去時

表 5.2.4-2 に耐力比が最大となる部位の検討結果を示す。

検討の結果、アンカーボルトの最大耐力比は1以下になることを確認した。

表 5.2.4-2(1) アンカーボルトの検討結果（一般部，常時）

部位*1 (アンカー本数)	荷重 ケース (位置)*2	作用応力		許容耐力		耐力比	判定
		引張力 P (kN)	せん断力 Q (kN)	許容 引張力 Pa (kN)	許容 せん断力 Qa (kN)		
⑭ アンカー ボルト (12)	C (case1)	36	749	936	912	0.83	0. K.

表 5.2.4-2(2) アンカーボルトの検討結果（燃料取扱設備支持部，常時）

部位*1 (アンカー本数)	荷重 ケース (位置)*2	作用応力		許容耐力		耐力比	判定
		引張力 P (kN)	せん断力 Q (kN)	許容 引張力 Pa (kN)	許容 せん断力 Qa (kN)		
⑮ アンカー ボルト (12)	C (case1)	0	349	1272	912	0.39	0. K.

*1：図 5.2.2-1 に応力検討箇所を示す

*2：図 5.2.1-3 にガレキ撤去用天井クレーンの位置を示す

表 5. 2. 4-2(3) アンカーボルトの検討結果 (一般部, 地震時)

部位*1 (アンカー本数)	荷重 ケース (位置)*2	作用応力		許容耐力		耐力比	判定
		引張力 P (kN)	せん断力 Q (kN)	許容 引張力 Pa (kN)	許容 せん断力 Qa (kN)		
⑭ アンカー ボルト (34)	E3 (case1)	0	3412	5304	5168	0.67	0. K.

表 5. 2. 4-2(4) アンカーボルトの検討結果 (燃料取扱設備支持部, 地震時)

部位*1 (アンカー本数)	荷重 ケース (位置)*2	作用応力		許容耐力		耐力比	判定
		引張力 P (kN)	せん断力 Q (kN)	許容 引張力 Pa (kN)	許容 せん断力 Qa (kN)		
⑮ アンカー ボルト (12)	E1 (case1)	0	474	2544	1824	0.26	0. K.

*1 : 図 5. 2. 2-2 に応力検討箇所を示す

*2 : 図 5. 2. 1-3 にガレキ撤去用天井クレーンの位置を示す

2) 燃料取り出し時

表 5. 2. 4-3 に耐力比が最大となる部位の検討結果を示す。

検討の結果、アンカーボルトの最大耐力比は 1 以下になることを確認した。

表 5. 2. 4-3(1) アンカーボルトの検討結果 (一般部, 常時)

部位*1 (アンカー本数)	荷重 ケース (位置)*2	作用応力		許容耐力		耐力比	判定
		引張力 P (kN)	せん断力 Q (kN)	許容 引張力 Pa (kN)	許容 せん断力 Qa (kN)		
⑭ アンカー ボルト (12)	C (case4)	0	744	936	912	0. 82	0. K.

表 5. 2. 4-3(2) アンカーボルトの検討結果 (燃料取扱設備支持部, 常時)

部位*1 (アンカー本数)	荷重 ケース (位置)*2	作用応力		許容耐力		耐力比	判定
		引張力 P (kN)	せん断力 Q (kN)	許容 引張力 Pa (kN)	許容 せん断力 Qa (kN)		
⑮ アンカー ボルト (16)	C (case4)	0	770	1472	1216	0. 64	0. K.

*1 : 図 5. 2. 2-3 に応力検討箇所を示す

*2 : 図 5. 2. 1-4 に燃料取扱設備の位置を示す

表 5. 2. 4-3(3) アンカーボルトの検討結果 (一般部, 地震時)

部位*1 (アンカー本数)	荷重 ケース (位置)*2	作用応力		許容耐力		耐力比	判定
		引張力 P (kN)	せん断力 Q (kN)	許容 引張力 Pa (kN)	許容 せん断力 Qa (kN)		
⑭ アンカー ボルト (36)	E2 (case4)	0	3537	5616	5472	0.65	0. K.

表 5. 2. 4-3(4) アンカーボルトの検討結果 (燃料取扱設備支持部, 地震時)

部位*1 (アンカー本数)	荷重 ケース (位置)*2	作用応力		許容耐力		耐力比	判定
		引張力 P (kN)	せん断力 Q (kN)	許容 引張力 Pa (kN)	許容 せん断力 Qa (kN)		
⑮ アンカー ボルト (12)	E1 (case4)	0	695	2544	1824	0.39	0. K.

*1 : 図 5. 2. 2-4 に応力検討箇所を示す

*2 : 図 5. 2. 1-4 に燃料取扱設備の位置を示す

(2) 原子炉建屋外壁部の検討

原子炉建屋外壁部に生じる最大圧縮反力に対し、下式にて検討を行う。

図 5. 2. 4-2 にベースプレート標準図を示す。

$$\frac{\sigma_c}{f_c} \leq 1$$

ここで、 σ_c : 圧縮応力度 (N/A) (N/mm²)

N : 圧縮力 (N), A : ベースプレート面積 (B×H) (mm²)

f_c : 許容応力度 (N/mm²)

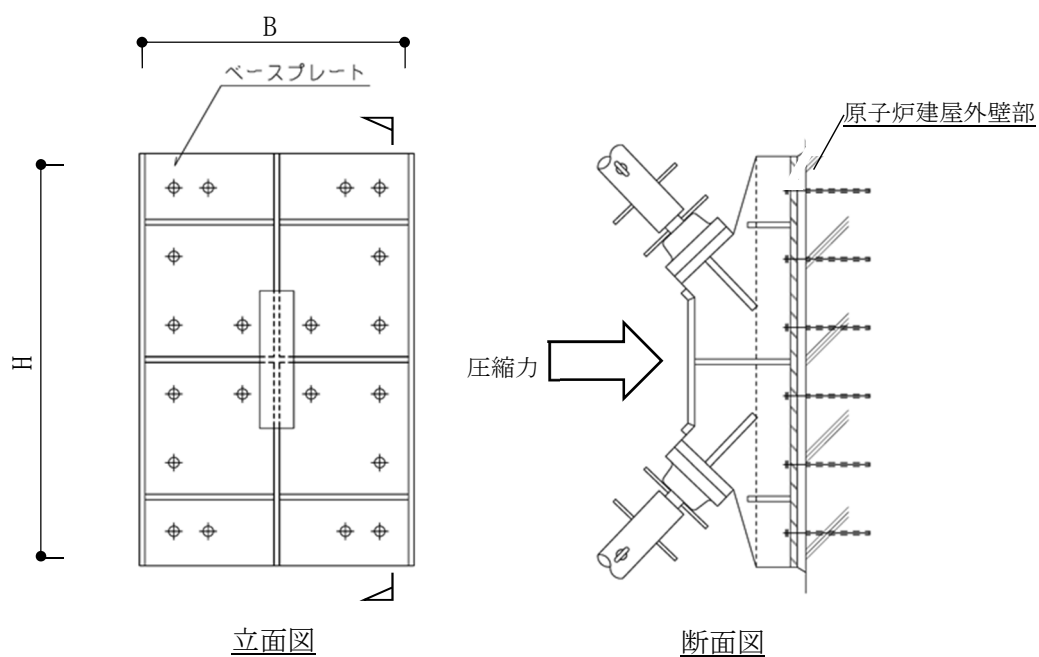


図 5. 2. 4-2 ベースプレート標準図

1) ガレキ撤去時

表 5. 2. 4-4 及び表 5. 2. 4-5 に応力度比が最大となる部位の検討結果を示す。

検討の結果，原子炉建屋外壁部の最大応力度比は 1 以下になることを確認した。

表 5. 2. 4-4(1) 外壁部の検討結果（一般部，常時）

部位 ^{*1}		荷重ケース (位置) ^{*2}	作用応力度 (N/mm ²)	許容応力度 (N/mm ²)	応力度比	判定
⑩⑥	外壁	C (case1)	0.3	7.4	0.05	O. K.

表 5. 2. 4-4(2) 外壁部の検討結果（燃料取扱設備支持部，常時）

部位 ^{*1}		荷重ケース (位置) ^{*2}	作用応力度 (N/mm ²)	許容応力度 (N/mm ²)	応力度比	判定
⑩⑦	外壁	C (case2)	0.3	7.4	0.05	O. K.

*1：図 5. 2. 2-1 に応力検討箇所を示す

*2：図 5. 2. 1-3 にガレキ撤去用天井クレーンの位置を示す

表 5. 2. 4-5(1) 外壁部の検討結果（一般部，地震時）

部位 ^{*1}		荷重ケース (位置) ^{*2}	作用応力度 (N/mm ²)	許容応力度 (N/mm ²)	応力度比	判定
⑩⑥	外壁	E1 (case2)	0.6	14.8	0.05	O. K.

表 5. 2. 4-5(2) 外壁部の検討結果（燃料取扱設備支持部，地震時）

部位 ^{*1}		荷重ケース (位置) ^{*2}	作用応力度 (N/mm ²)	許容応力度 (N/mm ²)	応力度比	判定
⑩⑦	外壁	E1 (case2)	0.3	14.8	0.03	O. K.

*1：図 5. 2. 2-2 に応力検討箇所を示す

*2：図 5. 2. 1-3 にガレキ撤去用天井クレーンの位置を示す

2) 燃料取り出し時の検討

表 5. 2. 4-6 及び表 5. 2. 4-7 に応力度比が最大となる部位の検討結果を示す。

検討の結果，原子炉建屋外壁部の最大応力度比は 1 以下になることを確認した。

表 5. 2. 4-6(1) 外壁部の検討結果（一般部，常時）

部位 ^{*1}		荷重ケース (位置) ^{*2}	作用応力度 (N/mm ²)	許容応力度 (N/mm ²)	応力度比	判定
⑩	外壁	C (case4)	0.3	7.4	0.05	0. K.

表 5. 2. 4-6(2) 外壁部の検討結果（燃料取扱設備支持部，常時）

部位 ^{*1}		荷重ケース (位置) ^{*2}	作用応力度 (N/mm ²)	許容応力度 (N/mm ²)	応力度比	判定
⑩	外壁	C (case4)	0.4	7.4	0.06	0. K.

*1：図 5. 2. 2-3 に応力検討箇所を示す

*2：図 5. 2. 1-4 に燃料取扱設備の位置を示す

表 5. 2. 4-7(1) 外壁部の検討結果（一般部，地震時）

部位 ^{*1}		荷重ケース (位置) ^{*2}	作用応力度 (N/mm ²)	許容応力度 (N/mm ²)	応力度比	判定
⑩	外壁	E1 (case4)	0.6	14.8	0.05	0. K.

表 5. 2. 4-7(2) 外壁部の検討結果（燃料取扱設備支持部，地震時）

部位 ^{*1}		荷重ケース (位置) ^{*2}	作用応力度 (N/mm ²)	許容応力度 (N/mm ²)	応力度比	判定
⑩	外壁	E1 (case4)	0.5	14.8	0.04	0. K.

*1：図 5. 2. 2-4 に応力検討箇所を示す

*2：図 5. 2. 1-4 に燃料取扱設備の位置を示す

5.2.5 天井クレーンの構造強度に対する検討

(1) 断面検討

1) クレーンガーダ

部材の応力度比は、「鋼構造設計規準」に従い、曲げモーメントに対して下式にて検討を行う。

$$\frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1$$

ここで、 σ_b : 曲げ応力度 (M/Z) (N/mm²)

f_b : 許容曲げ応力度 (N/mm²)

2) 検討結果

2.1) ガレキ撤去時

表 5.2.5-1 に断面検討結果を示す。

断面検討の結果、全応力度比が 1 以下になることを確認した。

表 5.2.5-1(1) 断面検討結果 (常時)

部位	部材形状 (mm)	荷重 ケース (位置) ^{*1}	作用 応力度 (鉛直) (N/mm ²)		許容 応力度 (鉛直) (N/mm ²)		応力 度比	判定
			σ_b		f_b			
① クレーン ガーダ	□-1500×2700 <SM490>	C (case1)	σ_b	82.3	f_b	216.7	0.38	O.K.

*1 : 図 5.2.1-3 にガレキ撤去用天井クレーンの位置を示す

表 5.2.5-1(2) 断面検討結果 (地震時)

部位	部材形状 (mm)	荷重 ケース (位置) ^{*1}	作用 応力度 (鉛直) (N/mm ²)		許容 応力度 (鉛直) (N/mm ²)		応力 度比	判定
			σ_b		f_b			
① クレーン ガーダ	□-1500×2700 <SM490>	E2 (case1)	σ_b	82.3	f_b	325.0	0.26	O.K.

*1 : 図 5.2.1-3 にガレキ撤去用天井クレーンの位置を示す

2.2) 燃料取り出し時

表 5.2.5-2 に断面検討結果を示す。

断面検討の結果，全応力度比が 1 以下になることを確認した。

表 5.2.5-2(1) 断面検討結果 (常時)

部位	部材形状 (mm)	荷重 ケース (位置)*1	作用 応力度 (鉛直) (N/mm ²)		許容 応力度 (鉛直) (N/mm ²)		応力 度比	判定
			σ_b		f_b			
① クレーン ガーダ	□-1500×2700 <SM490>	C (case4)	σ_b	55.6	f_b	216.7	0.26	O.K.

*1：図 5.2.1-4 に燃料取扱設備の位置を示す

表 5.2.5-2(2) 断面検討結果 (地震時)

部位	部材形状 (mm)	荷重 ケース (位置)*1	作用 応力度 (鉛直) (N/mm ²)		許容 応力度 (鉛直) (N/mm ²)		応力 度比	判定
			σ_b		f_b			
① クレーン ガーダ	□-1500×2700 <SM490>	E2 (case4)	σ_b	55.6	f_b	325.0	0.18	O.K.

*1：図 5.2.1-4 に燃料取扱設備の位置を示す

5.2.6 外装材の構造強度に対する検討

(1) 検討箇所

大型カバーの側面を覆う外装材は、折板を用いる。強度検討は、外装材に風圧力により生じる応力度が短期許容応力度以下であることを確認する。なお、短期事象においては、暴風時の影響が支配的であることから、積雪時及び地震時の検討は省略する。検討箇所を図 5.2.6-1 に示す。

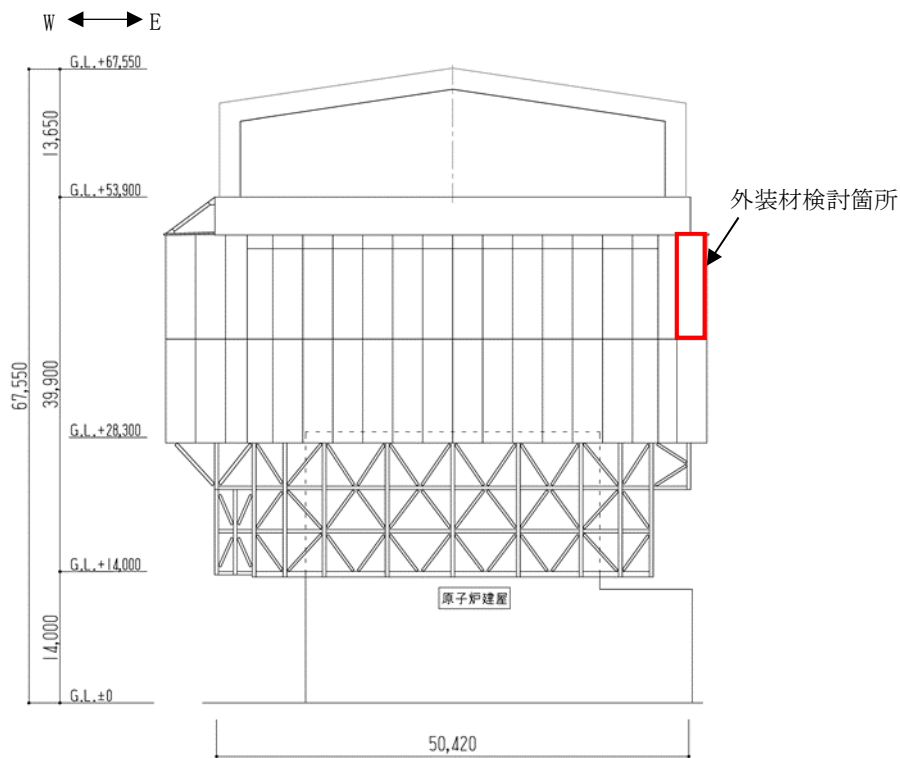


図 5.2.6-1 外装材検討箇所 (単位: mm)

(2) 設計用荷重の算定

設計用風圧力は、建築基準法施行令第 82 条の 4 及び建設省告示第 1458 号に基づき、基準風速 30m/s、地表面粗度区分Ⅱとして算定する。速度圧の算定結果を表 5.2.6-1 に、ピーク風力係数を表 5.2.6-2 に、風力係数の算定箇所を図 5.2.6-2 に示す。

表 5.2.6-1 速度圧の算定結果

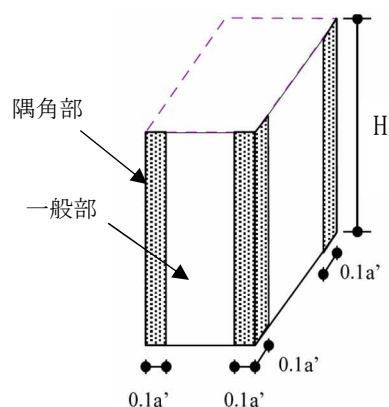
高さ*	平均風速の高さ方向の分布を表す係数	基準風速	平均速度圧
H (m)	E_r	V_0 (m/s)	q (N/m ²)
49.9	1.32	30	945

*：高さは外装材の最頂部の高さとした

表 5.2.6-2 ピーク風力係数

高さ*	壁面		
	正圧	負圧(一般部)	負圧(隅角部)
49.9	2.43	-2.40	-3.00

*：高さは外装材の最頂部の高さとした



a' は平面の短辺の長さ a と H の 2 倍の数値のうちいずれか小さな数値
(30 を超えるときは、30 とする) (単位 : m)

図 5.2.6-2 風力係数の算定箇所のイメージ

(3) 外装材の強度検討

検討は、応力が厳しくなる部位について行う。ここでは、折板の自重は考慮しないものとする。折板の間隔は0.6mで単純支持されているものと仮定する。

外装材の材料諸元を表5.2.6-3に示す。また、検討結果を表5.2.6-4に示す。

断面検討の結果、全ての外装材に対する応力度比が1以下になることを確認した。

表 5.2.6-3 外装材の材料諸元

板厚	自重	正曲げ方向		負曲げ方向	
		断面2次モーメント	断面係数	断面2次モーメント	断面係数
t (mm)	G (N/m ²)	I _x (cm ⁴ /m)	Z _x (cm ³ /m)	I _x (cm ⁴ /m)	Z _x (cm ³ /m)
0.6	59	2.31	1.67	2.31	1.67

表 5.2.6-4 応力度に対する検討結果

部位	作用応力度 (N/mm ²)	許容 応力度* (N/mm ²)	応力度比	判定
外装材	78	137	0.57	O. K.

* : 「JIS G 3321-2010」による

・ 応力度に対する検討

壁面

$$w = 945 \times (-3.00) = -2835 \text{ (N/m}^2\text{)}$$

$$M = (1/8) \times w \times L^2 = (1/8) \times (-2835) \times 0.6^2 \times 10^{-3} = -0.13 \text{ (kNm/m)}$$

$$\sigma_b = M/Z = 0.13 \times 10^6 / (1.67 \times 10^3) = 78 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\sigma_b / f_b = 78 / 137 = 0.57 \leq 1.0 \quad \text{O. K.}$$

5.3 耐震性（機能維持の検討）

5.3.1 検討方針

耐震性のうち機能維持の検討は、大型カバー、屋根、建屋取り合い部及び原子炉建屋について行い、1/2Ss450 に対して、これらの応答性状を適切に表現できる地震応答解析を用いて評価する。なお、地震応答解析は水平 2 方向及び鉛直方向の 3 方向の地震動を同時に入力する。

(1) 解析に用いる入力地震動

地震応答解析に用いる入力地震動の概念図を図 5.3.1-1 に示す。モデルに入力する地震動は一次元波動論に基づき、解放基盤表面で定義される地震動 1/2Ss450 に対する地盤の応答として評価する。解放基盤表面位置（G.L. -206.0m（震災前 O.P. -196.0m））における地震動 1/2Ss450 Ss-1 及び Ss-2 の加速度時刻歴波形を図 5.3.1-2～図 5.3.1-4 に示す。

地震波の入力方向は下記のように表し、3 方向の組合せを表現する。

+NS：建屋北側から南側方向への地震入力

-NS：建屋南側から北側方向への地震入力

+EW：建屋東側から西側方向への地震入力

-EW：建屋西側から東側方向への地震入力

+UD：建屋上側から下側方向への地震入力

-UD：建屋下側から上側方向への地震入力

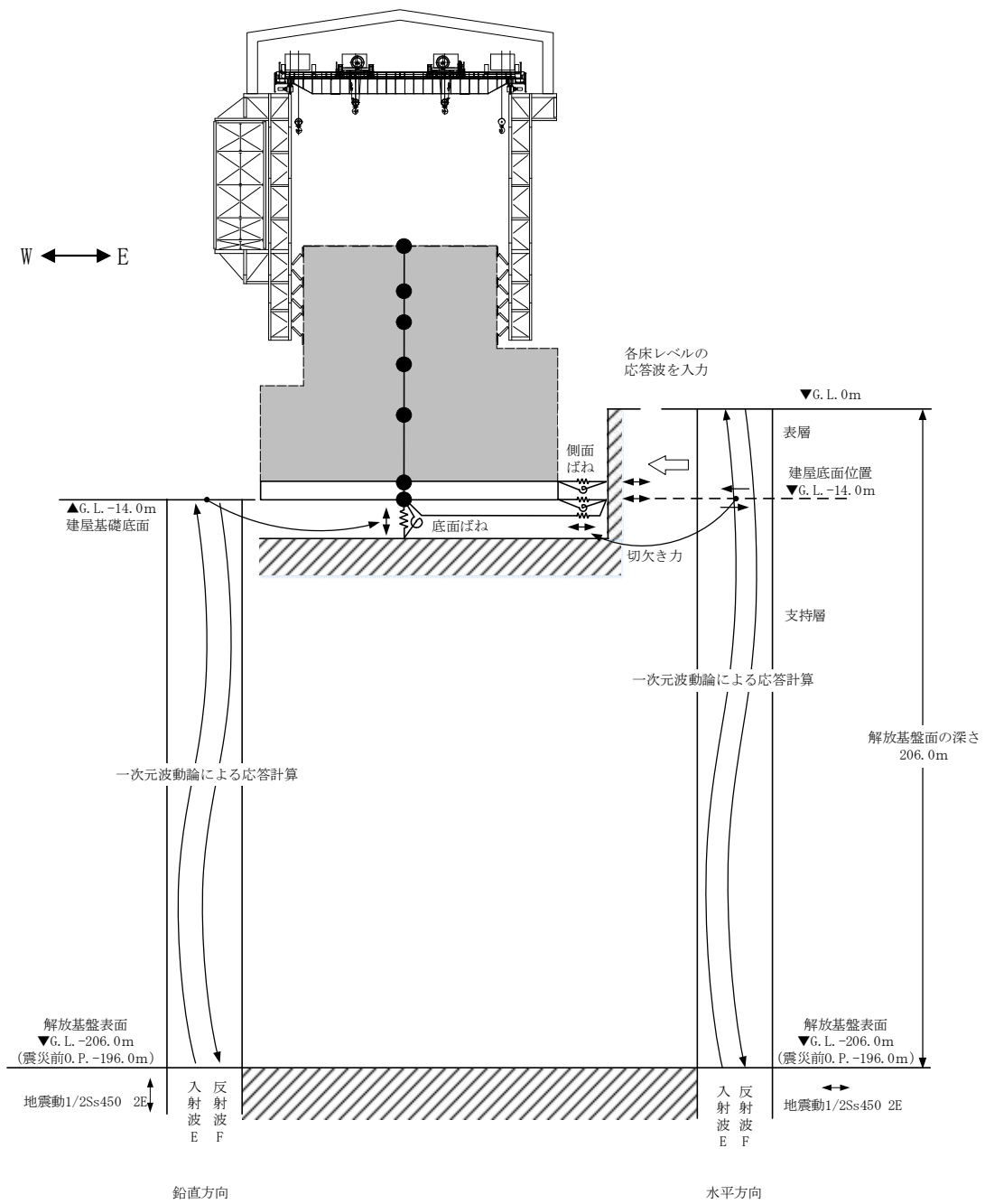
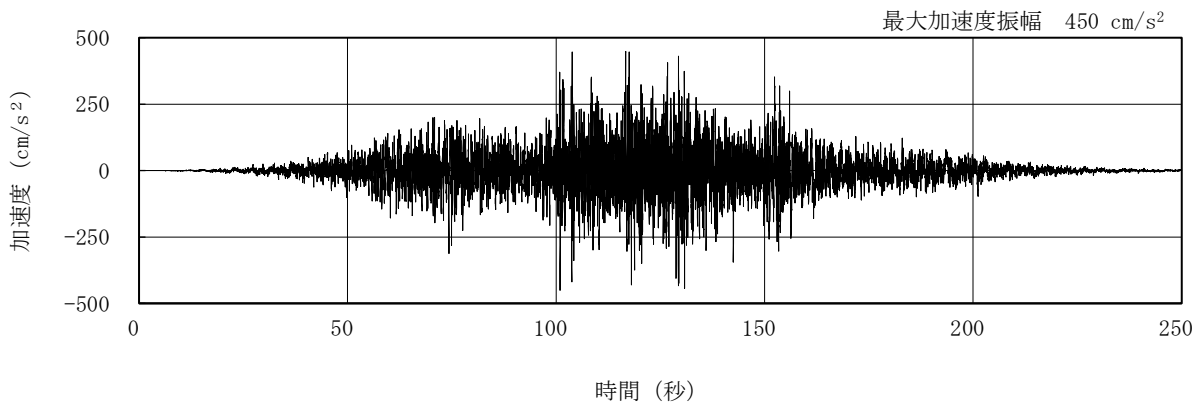
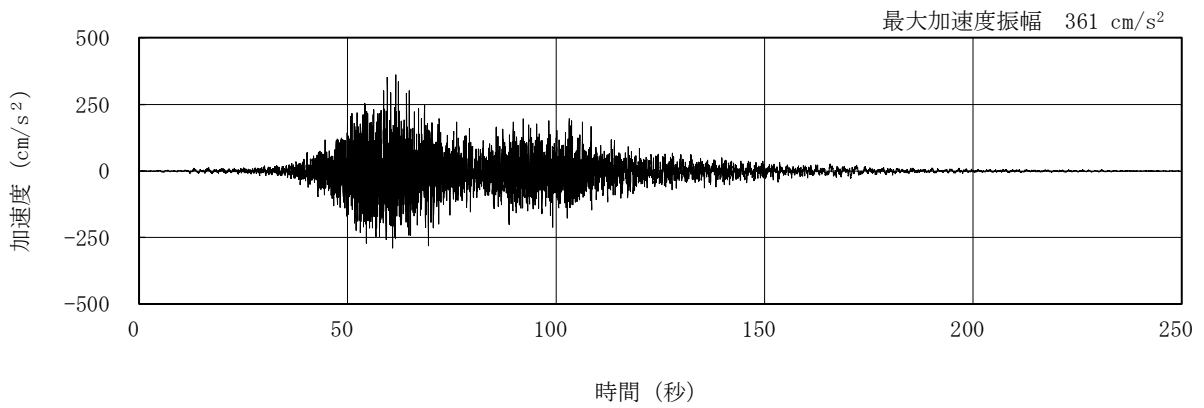


図 5.3.1-1 地震応答解析に用いる入力地震動の概念図

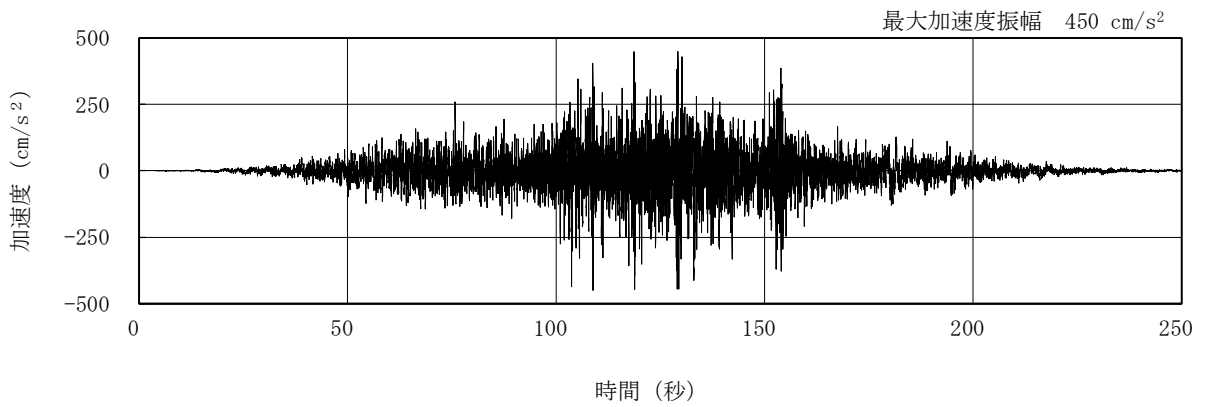


(1/2Ss450-1 NS 方向)

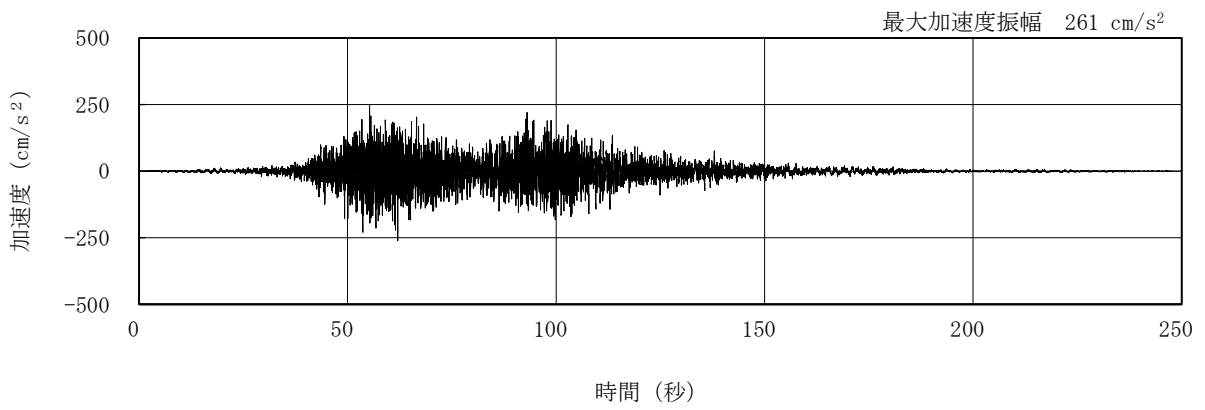


(1/2Ss450-2 NS 方向)

図 5.3.1-2 解放基盤表面における地震動の加速度時刻歴波形
(NS 方向)

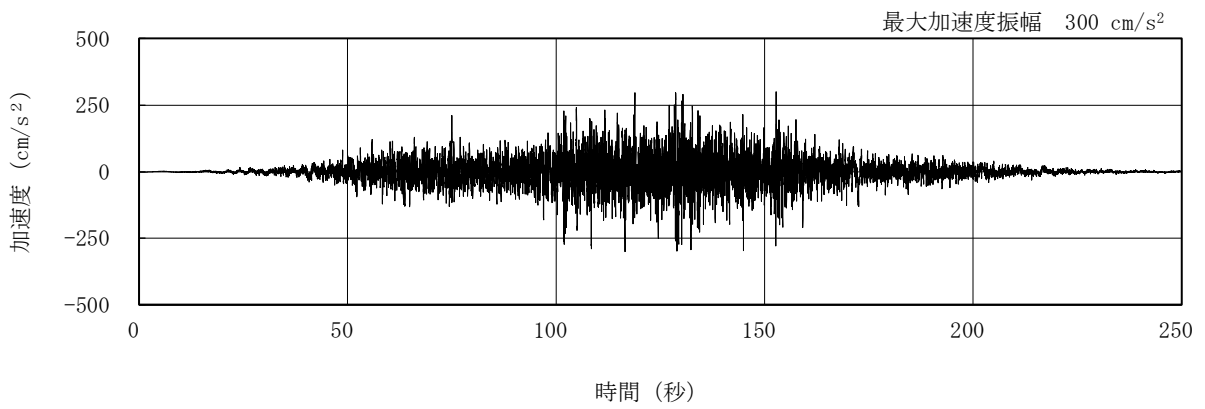


(1/2Ss450-1 EW 方向)

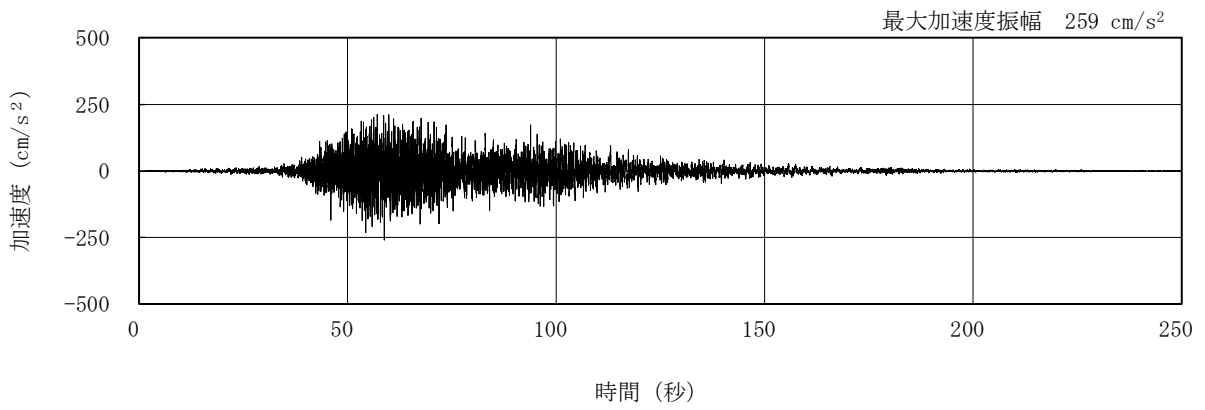


(1/2Ss450-2 EW 方向)

図 5.3.1-3 解放基盤表面における地震動の加速度時刻歴波形
(EW 方向)



(1/2Ss450-1 UD 方向)



(1/2Ss450-2 UD 方向)

図 5.3.1-4 解放基盤表面における地震動の加速度時刻歴波形
(鉛直方向)

(2) 地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは、曲げ、せん断剛性及び軸剛性を考慮した原子炉建屋の質点系モデルの質点に、立体架構でモデル化した大型カバーを接続し、地盤との相互作用を考慮した建屋－地盤連成系モデルとする。なお、原子炉建屋の質点は炉心位置にモデル化する。解析モデルを図 5.3.1-5 に示す。

地震応答解析に用いる鉄骨の物性値を表 5.3.1-1 に示す。大型カバーの部材接合部の節点は機器荷重・仕上げ材等を考慮した重量とし、原子炉建屋の諸元は表 5.3.1-2～表 5.3.1-3 に示す諸元とする。大型カバーの柱・梁・鋼板は弾性部材とし、大型カバーのブレースは「鉄骨 X 型ブレース架構の復元力特性に関する研究」（日本建築学会構造工学論文集 37B 号 1991 年 3 月）に示されている修正若林モデルによる。また、原子炉建屋の質点系モデルは、軸方向は弾性とし、曲げとせん断に「JEAG4601-1991」に示されている非線形特性を考慮する。

大型カバーの地盤定数は、「福島第一原子力発電所『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』の改訂に伴う耐震安全性評価結果 中間報告書」（東京電力株式会社，平成 20 年 3 月 31 日）と同様とし、その結果を表 5.3.1-4 に示す。

原子炉建屋の地盤ばねは、「JEAG4601-1991」に示されている手法を参考にして、底面地盤を成層補正し振動アドミッタンス理論によりスウェイ及びロッキングばねを、側面地盤を Novak の方法により建屋側面ばねとして評価する。NS 方向，EW 方向，UD 方向の 3 方向全ての地盤ばねが取り付けいた解析モデルを用いる。

表 5.3.1-1 地震応答解析に用いる物性値

材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比 ν	単位体積重量 γ (kN/m ³)	減衰定数 h (%)	備考
鉄骨	2.05×10^5	0.3	77.0	2	SS400, SN400B, SM490A, SN490B, STKN490B, TMCP325B, S45C

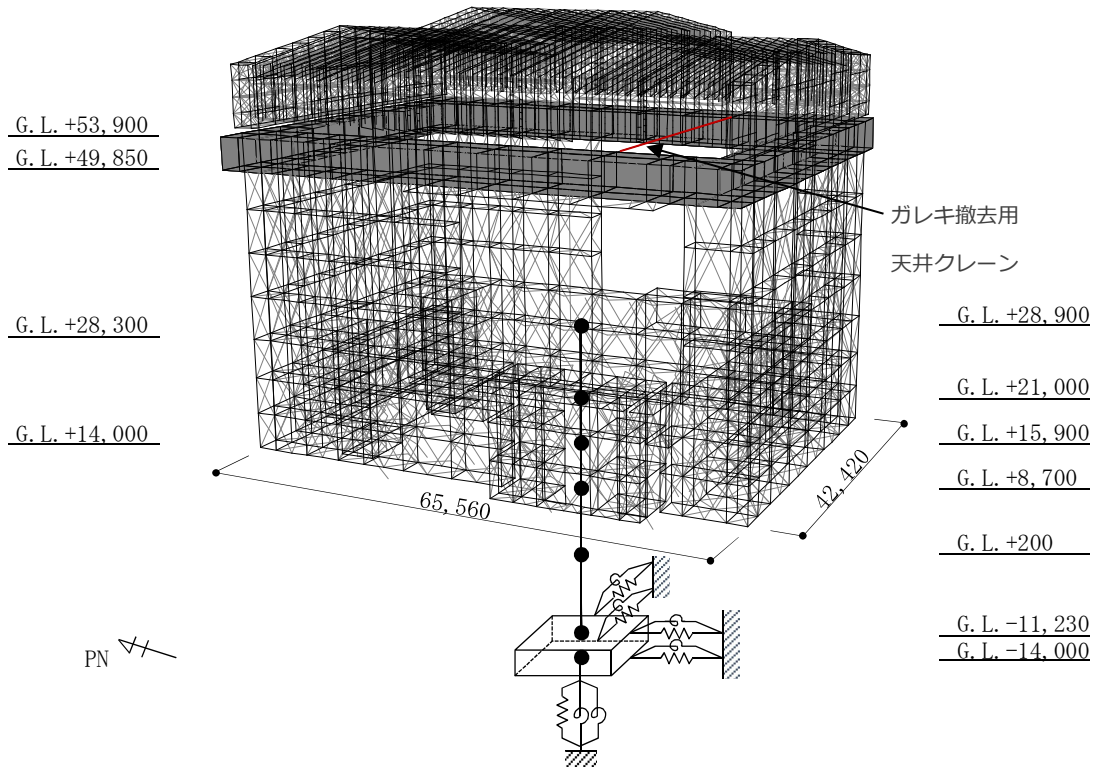


図 5.3.1-5 解析モデル

表 5.3.1-2(1) ガレキ撤去時の原子炉建屋の地震応答解析モデルの諸元

(a) 水平 (NS) 方向

G. L. (m)	質点重量* W (kN)	回転慣性重量 I_G ($\times 10^5$ kN \cdot m 2)	せん断断面積 A_s (m 2)	断面二次モーメント I (m 4)
+28.90	58690	84.43	135.0	16012
+21.00	72170	103.90		
+15.90	77220	111.11	160.8	21727
+8.70	87200	125.53	132.8	24274
+0.20	162800	234.31	155.6	36481
-11.23	185210	266.64	294.0	52858
-14.00	62400	89.83	1914.3	275530
合計	705690		ヤング係数 E_c 2.57×10^7 (kN/m 2) せん断弾性係数 G 1.07×10^7 (kN/m 2) ポアソン比 ν 0.20 減衰 h 5%	

(b) 水平 (EW) 方向

G. L. (m)	質点重量* W (kN)	回転慣性重量 I_G ($\times 10^5$ kN \cdot m 2)	せん断断面積 A_s (m 2)	断面二次モーメント I (m 4)
+28.90	58690	48.33	102.7	9702
+21.00	72170	59.41		
+15.90	77220	63.55	163.9	13576
+8.70	87200	125.53	131.6	14559
+0.20	162800	234.31	197.8	36427
-11.23	185210	327.39	294.0	52858
-14.00	62400	110.32	1914.3	338428
合計	705690		ヤング係数 E_c 2.57×10^7 (kN/m 2) せん断弾性係数 G 1.07×10^7 (kN/m 2) ポアソン比 ν 0.20 減衰 h 5%	

*:「II.2.6 滞留水を貯留している (滞留している場合を含む) 建屋 添付資料-2 構造強度及び耐震性 (地下滞留水を考慮した建屋の耐震安全評価)」において用いた各階重量

表 5.3.1-2(2) ガレキ撤去時の原子炉建屋の地震応答解析モデルの諸元

(c) 鉛直方向

G. L. (m)	質点重量* W (kN)	軸断面積 A_N (m ²)	軸ばね剛性 K_A ($\times 10^8$ kN/m)
+28.90	58690		
		151.1	4.92
+21.00	72170		
		205.0	10.33
+15.90	77220		
		221.7	7.91
+8.70	87200		
		301.0	9.10
+0.20	162800		
		495.7	11.15
-11.23	185210		
		1914.3	177.61
-14.00	62400		
合計	705690		
		ヤング係数 E_c	2.57×10^7 (kN/m ²)
		せん断弾性係数 G	1.07×10^7 (kN/m ²)
		ポアソン比 ν	0.20
		減衰 h	5%

* : 「II.2.6 滞留水を貯留している（滞留している場合を含む）建屋 添付資料-2 構造強度及び耐震性（地下滞留水を考慮した建屋の耐震安全評価）」において用いた各階重量

表 5.3.1-3(1) 燃料取り出し時の原子炉建屋の地震応答解析モデルの諸元

(a) 水平 (NS) 方向

G. L. (m)	質点重量* W (kN)	回転慣性重量 $I_G (\times 10^5 \text{ kN}\cdot\text{m}^2)$	せん断断面積 $A_s (\text{m}^2)$	断面二次モーメント I (m^4)
+28.90	106080	152.60		
			135.0	16012
+21.00	72170	103.90		
			160.8	21727
+15.90	77220	111.11		
			132.8	24274
+8.70	87730	126.29		
			155.6	36481
+0.20	163140	234.80		
			294.0	52858
-11.23	185210	266.64		
			1914.3	275530
-14.00	62400	89.83		
合計	753950			
			ヤング係数 E_c	$2.57 \times 10^7 (\text{kN}/\text{m}^2)$
			せん断弾性係数 G	$1.07 \times 10^7 (\text{kN}/\text{m}^2)$
			ポアソン比 ν	0.20
			減衰 h	5%

(b) 水平 (EW) 方向

G. L. (m)	質点重量* W (kN)	回転慣性重量 $I_G (\times 10^5 \text{ kN}\cdot\text{m}^2)$	せん断断面積 $A_s (\text{m}^2)$	断面二次モーメント I (m^4)
+28.90	106080	87.35		
			102.7	9702
+21.00	72170	59.41		
			163.9	13576
+15.90	77220	63.55		
			131.6	14559
+8.70	87730	126.29		
			197.8	36427
+0.20	163140	234.80		
			294.0	52858
-11.23	185210	327.39		
			1914.3	338428
-14.00	62400	110.32		
合計	753950			
			ヤング係数 E_c	$2.57 \times 10^7 (\text{kN}/\text{m}^2)$
			せん断弾性係数 G	$1.07 \times 10^7 (\text{kN}/\text{m}^2)$
			ポアソン比 ν	0.20
			減衰 h	5%

*: 「II.2.6 滞留水を貯留している (滞留している場合を含む) 建屋 添付資料-2 構造強度及び耐震性 (地下滞留水を考慮した建屋の耐震安全評価)」において用いた各階重量にガレキ撤去等による重量増減を考慮した数値

表 5.3.1-3(2) 燃料取り出し時の原子炉建屋の地震応答解析モデルの諸元

(c) 鉛直方向

G. L. (m)	質点重量* W (kN)	軸断面積 A_N (m ²)	軸ばね剛性 K_A ($\times 10^8$ kN/m)
+28.90	106080		
		151.1	4.92
+21.00	72170		
		205.0	10.33
+15.90	77220		
		221.7	7.91
+8.70	87730		
		301.0	9.10
+0.20	163140		
		495.7	11.15
-11.23	185210		
		1914.3	177.61
-14.00	62400		
合計	753950		
		ヤング係数 E_c	2.57×10^7 (kN/m ²)
		せん断弾性係数 G	1.07×10^7 (kN/m ²)
		ポアソン比 ν	0.20
		減衰 h	5%

*:「II.2.6 滞留水を貯留している（滞留している場合を含む）建屋 添付資料-2 構造強度及び耐震性（地下滞留水を考慮した建屋の耐震安全評価）」において用いた各階重量にガレキ撤去等による重量増減を考慮した数値

表 5.3.1-4 地盤定数の設定結果

(a) 1/2Ss450-1

G. L. (m)	地質	せん断 波速度 Vs (m/s)	単位体 積重量 γ (kN/m ³)	ポアソン 比 ν	せん断 弾性係数 G (×10 ⁵ kN/m ²)	初期せん断 弾性係数 G ₀ (×10 ⁵ kN/m ²)	剛性 低下率 G/G ₀	ヤング 係数 E (×10 ⁵ kN/m ²)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
0.0										
-8.1	砂岩	380	17.8	0.473	2.23	2.62	0.85	6.57	3	8.1
-20.0	泥岩	450	16.5	0.464	2.73	3.41	0.80	7.99	3	11.9
-90.0		500	17.1	0.455	3.49	4.36	0.80	10.16	3	70.0
-118.0		560	17.6	0.446	4.50	5.63	0.80	13.01	3	28.0
-206.0		600	17.8	0.442	5.22	6.53	0.80	15.05	3	88.0
		(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-

(b) 1/2Ss450-2

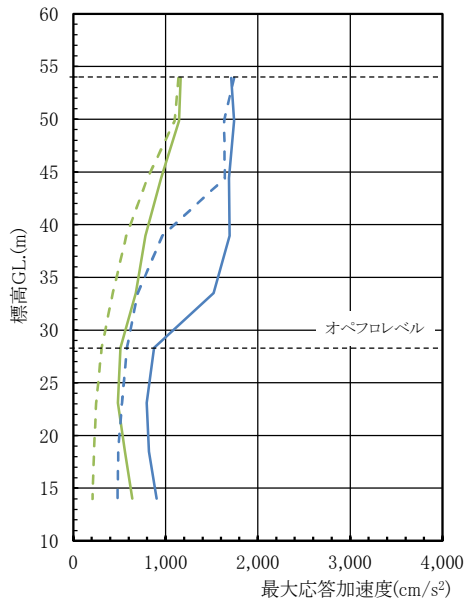
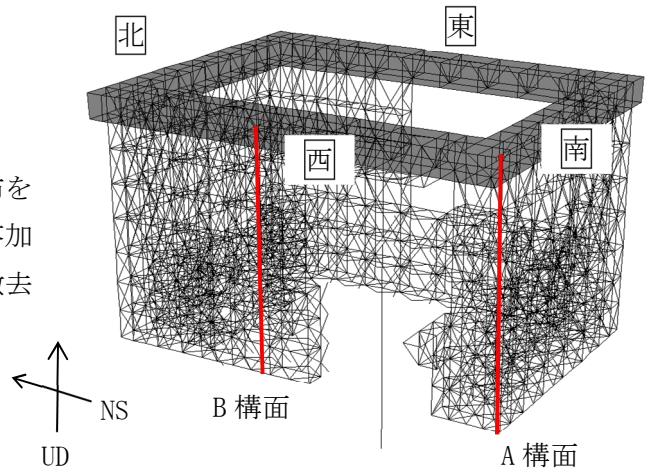
G. L. (m)	地質	せん断 波速度 Vs (m/s)	単位体 積重量 γ (kN/m ³)	ポアソン 比 ν	せん断 弾性係数 G (×10 ⁵ kN/m ²)	初期せん断 弾性係数 G ₀ (×10 ⁵ kN/m ²)	剛性 低下率 G/G ₀	ヤング 係数 E (×10 ⁵ kN/m ²)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
0.0										
-8.1	砂岩	380	17.8	0.473	2.33	2.62	0.89	6.86	3	8.1
-20.0	泥岩	450	16.5	0.464	3.03	3.41	0.89	8.87	3	11.9
-90.0		500	17.1	0.455	3.88	4.36	0.89	11.29	3	70.0
-118.0		560	17.6	0.446	5.01	5.63	0.89	14.49	3	28.0
-206.0		600	17.8	0.442	5.81	6.53	0.89	16.76	3	88.0
		(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-

5.3.2 大型カバーの耐震性に対する検討

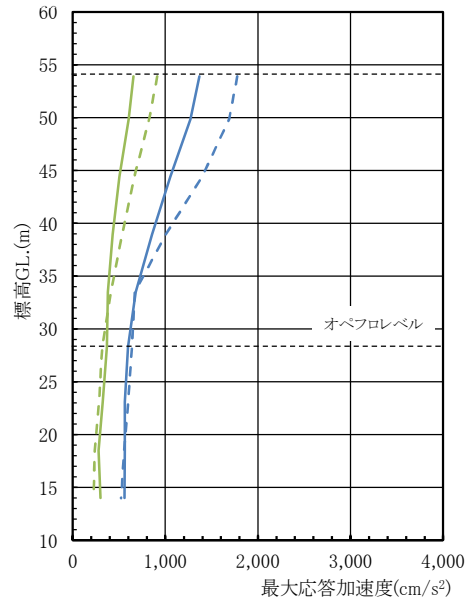
(1) 地震応答解析結果

1) ガレキ撤去時

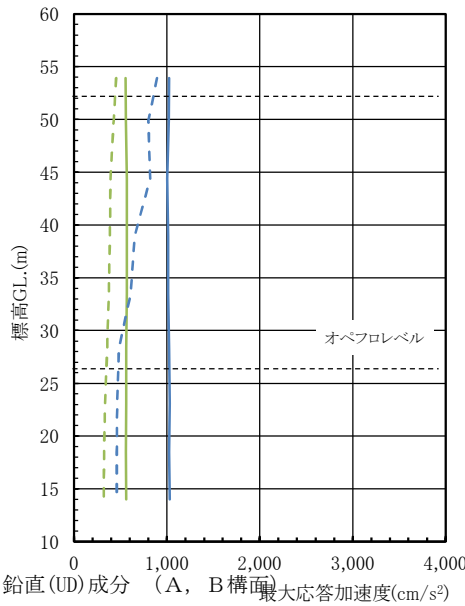
ガレキ撤去時の一般部の最大応答加速度分布を図 5.3.2-1 に、燃料取扱設備支持部の最大応答加速度分布を図 5.3.2-2 に示す。なお、ガレキ撤去用天井クレーン位置は case1 とする。



(a) 水平(NS)成分 (A, B 構面)



(b) 水平(EW)成分 (A, B 構面)



(c) 鉛直(UD)成分 (A, B 構面)

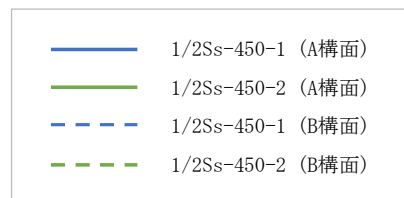
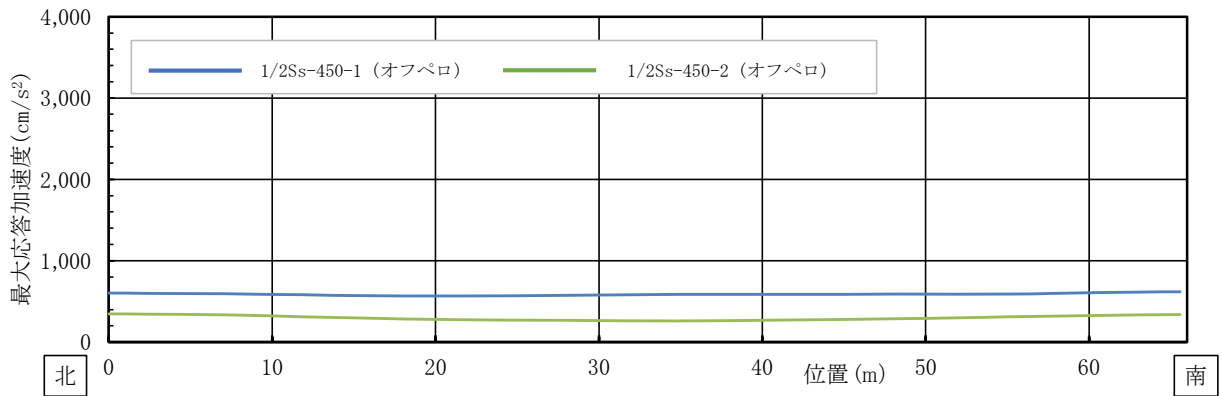
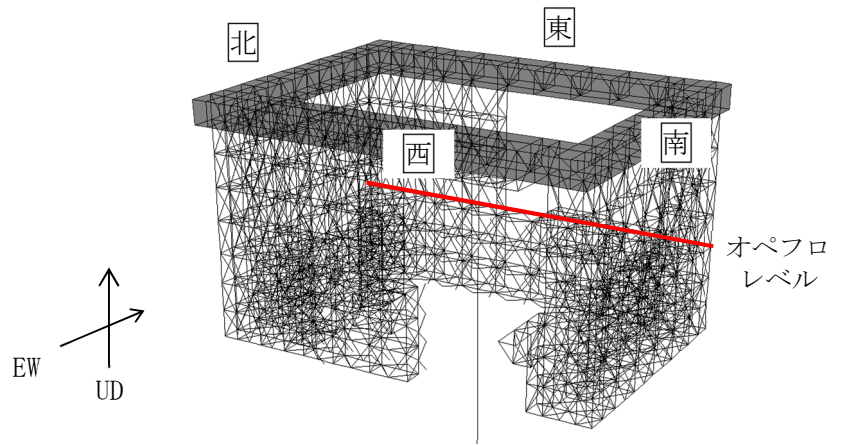
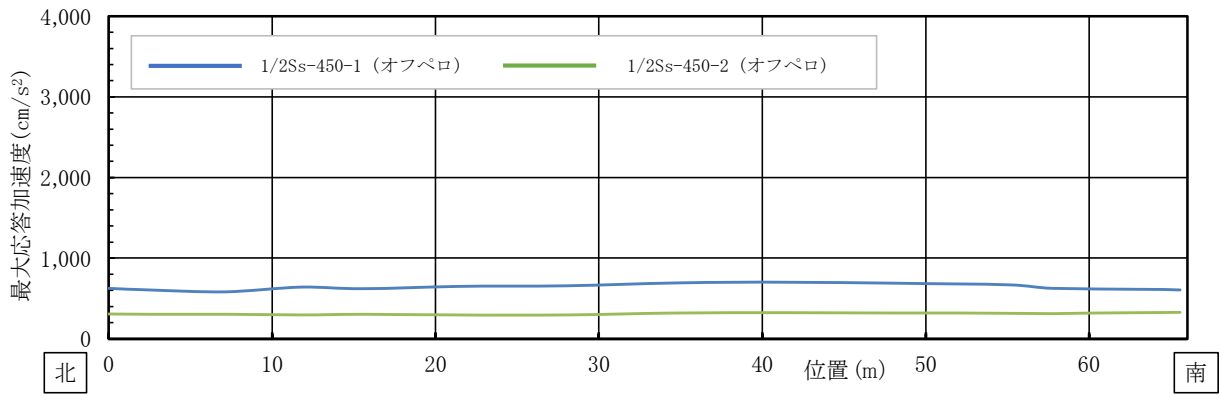


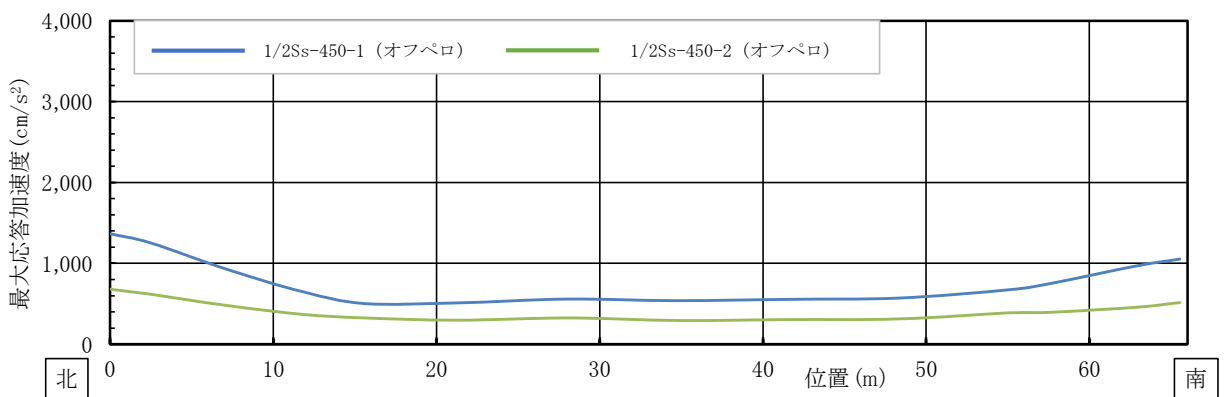
図 5.3.2-1(1) NS・EW・UD 方向 最大応答加速度分布(一般部)



(d) 水平(NS)成分 (オペフロレベル)

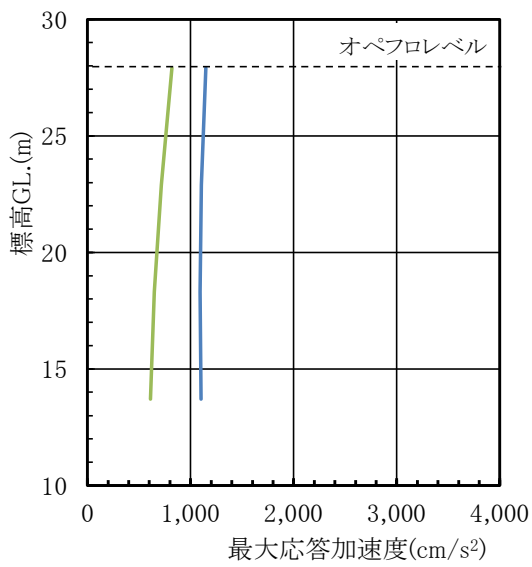
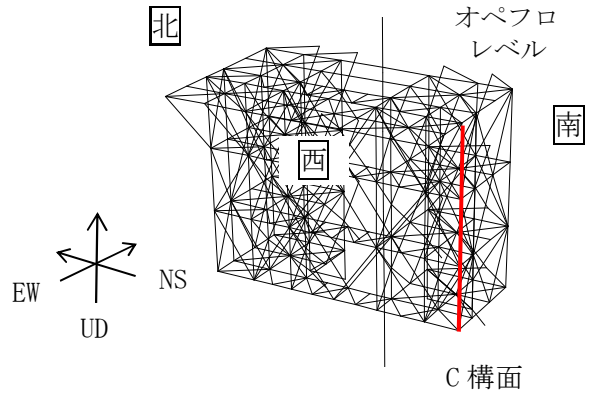


(e) 水平(EW)成分 (オペフロレベル)

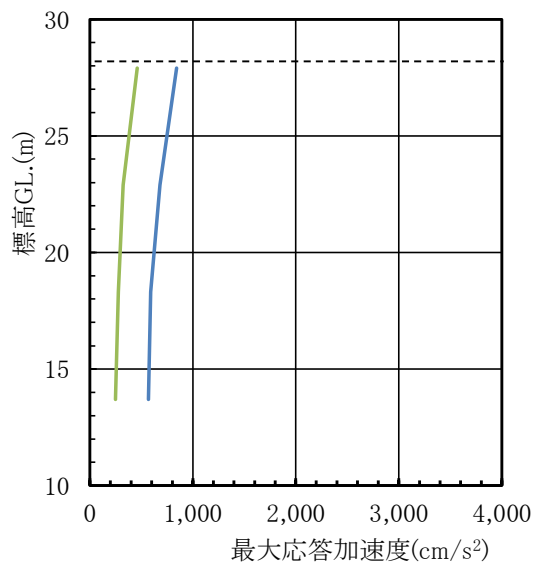


(f) 鉛直(UD)成分 (オペフロレベル)

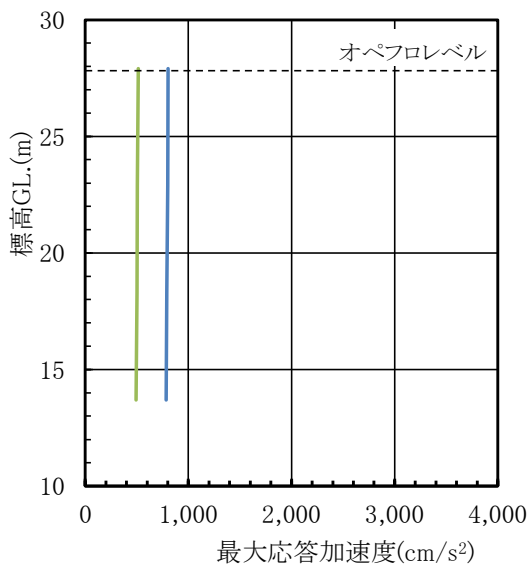
図 5.3.2-1(2) NS・EW・UD 方向 最大応答加速度分布(一般部)



(a) 水平(NS)成分 (C構面)



(b) 水平(EW)成分 (C構面)



(c) 鉛直(UD)成分 (C構面)

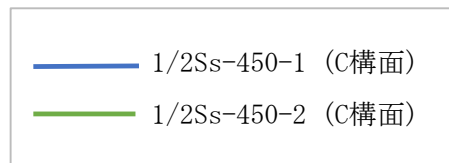
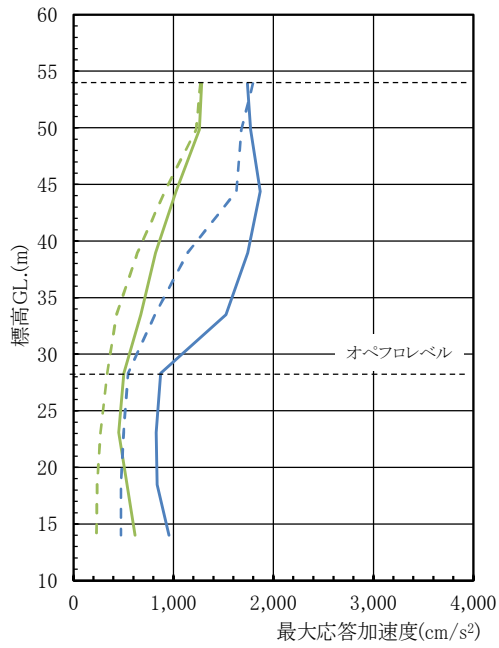
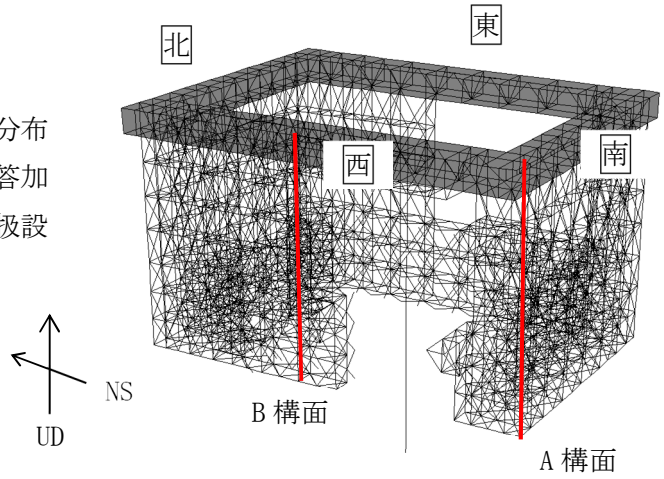


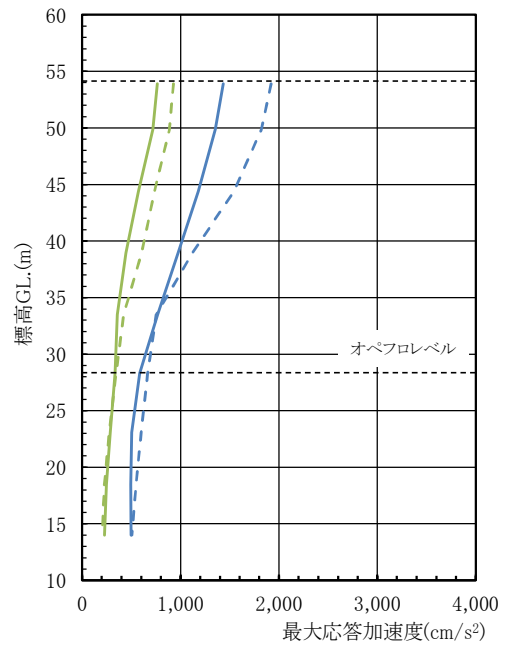
図 5.3.2-2 NS・EW・UD 方向 最大応答加速度分布 (燃料取扱設備支持部)

2) 燃料取り出し時

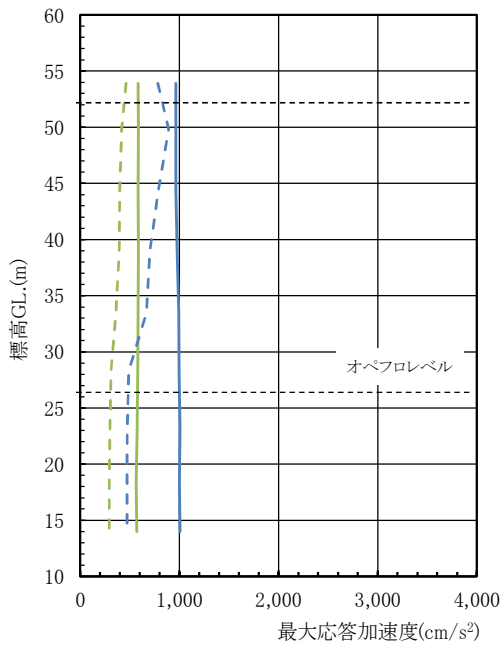
燃料取り出し時の一般部の最大応答加速度分布を図 5. 3. 2-3 に、燃料取扱設備支持部最大応答加速度分布を図 5. 3. 2-4 に示す。なお、燃料取扱設備位置は case4 とする。



(a) 水平(NS)成分 (A, B構面)



(b) 水平(EW)成分 (A, B構面)



(c) 鉛直(UD)成分 (A, B構面)

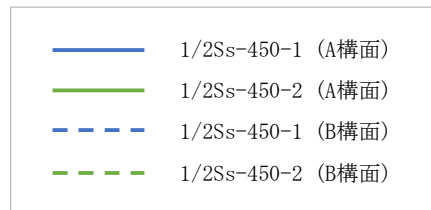
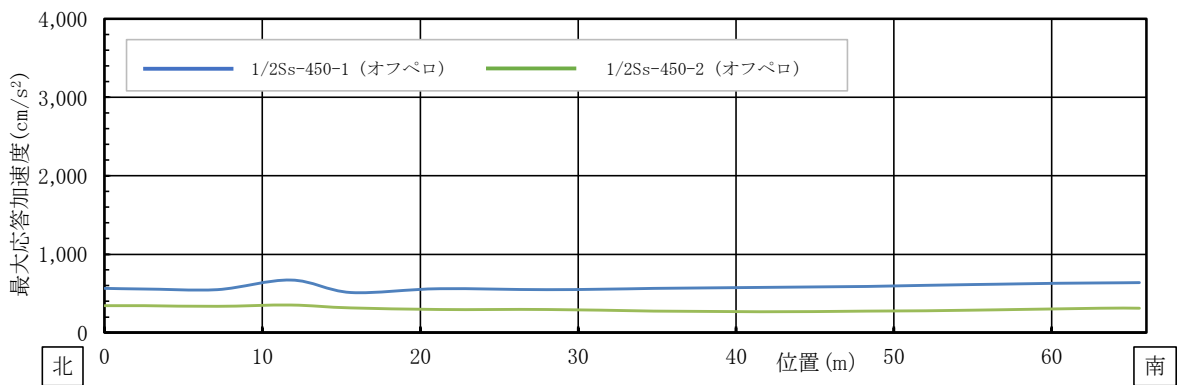
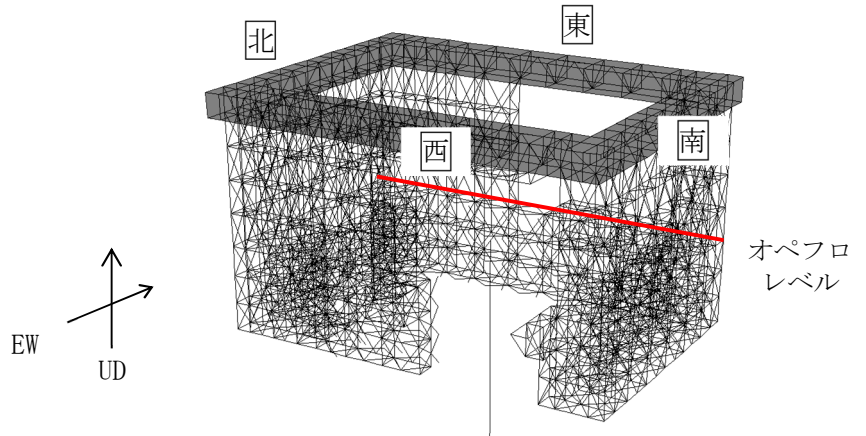
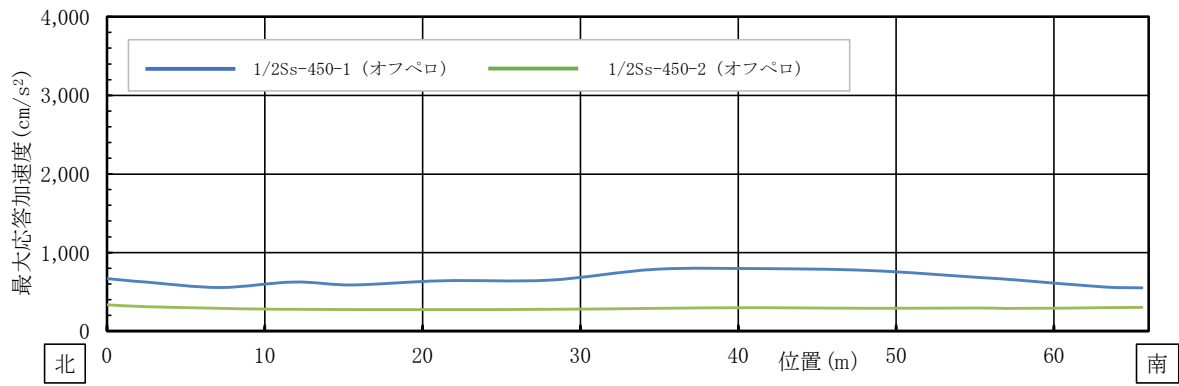


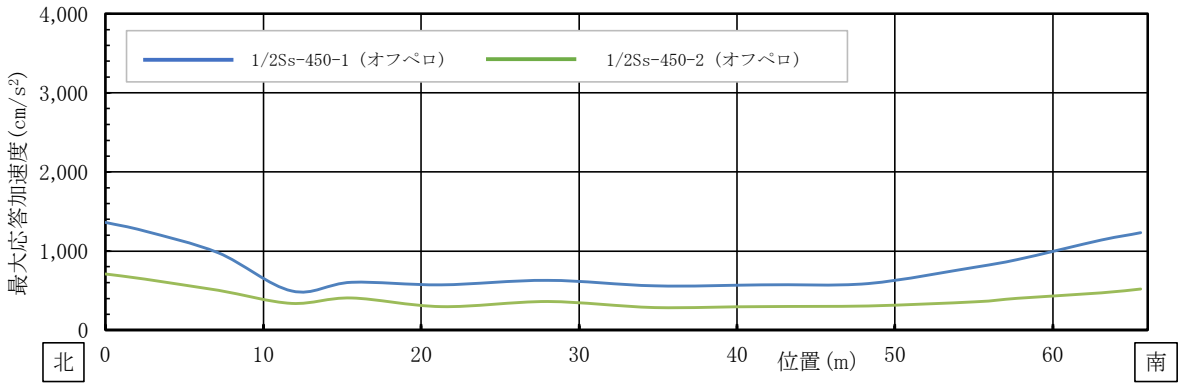
図 5. 3. 2-3(1) NS・EW・UD 方向 最大応答加速度分布(一般部)
II-2-11-添 4-2-276



(d) 水平(NS)成分 (オペフロレベル)

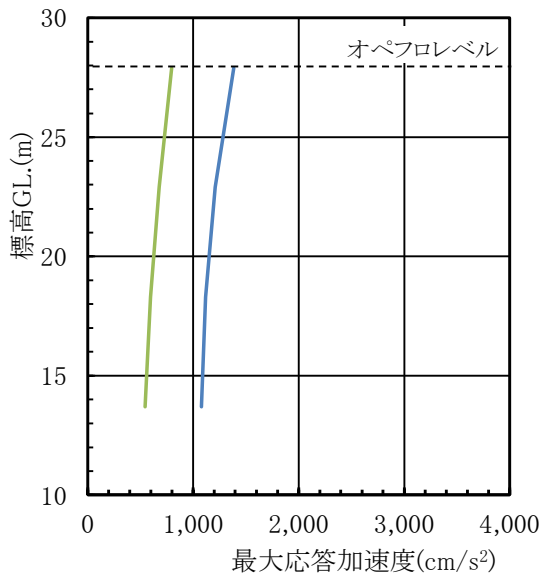
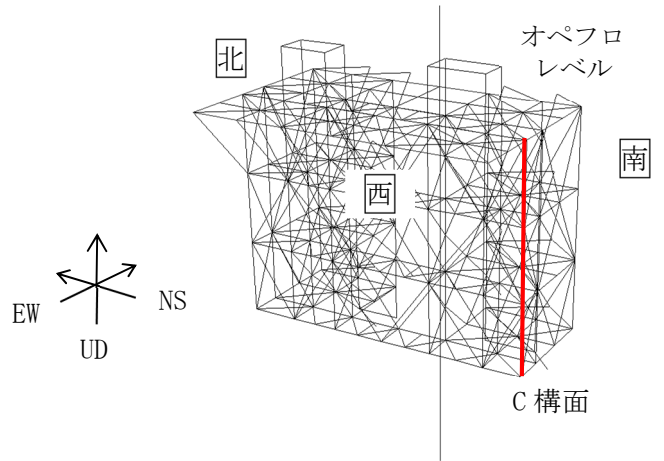


(e) 水平(EW)成分 (オペフロレベル)

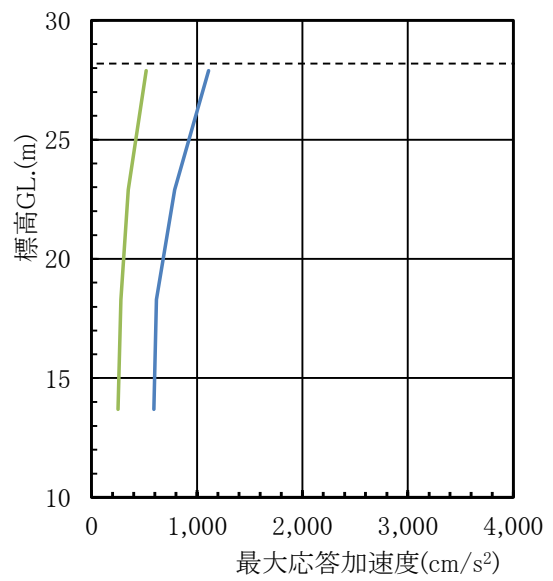


(f) 鉛直(UD)成分 (オペフロレベル)

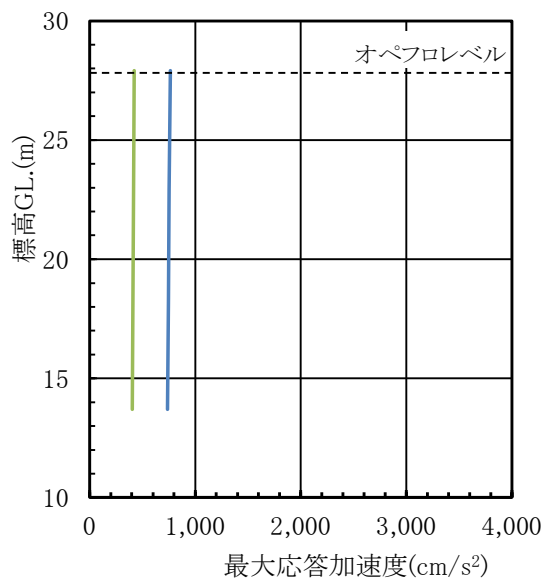
図 5. 3. 2-3(2) NS・EW・UD 方向 最大応答加速度分布 (一般部)



(a) 水平(NS)成分 (C構面)



(b) 水平(EW)成分 (C構面)



(c) 鉛直(UD)成分 (C構面)

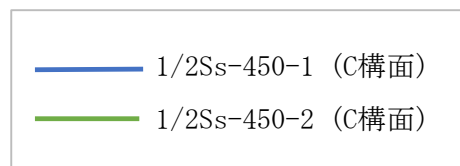


図 5. 3. 2-4 NS・EW・UD 方向 最大応答加速度分布 (燃料取扱設備支持部)

(2) 機能維持の検討

地震応答解析結果が、JSCA 性能設計説明書 2017 年版（社団法人日本建築構造技術者協会，2018 年）を参考に定めたクライテリア（「層間変形角は 1/75 以下，層の塑性率は 4 以下，部材の塑性率は 5 以下」*）を満足することを確認する。なお，大型カバーは立体架構による検討のため，JSCA 性能メニューのうち層の塑性率の評価を省略する。

また，主要架構（柱，梁）の解析結果が「時刻歴応答解析建築物性能評価業務方法書」（財団法人日本建築センター，平成 19 年 7 月 20 日）に示されるクライテリア（層間変形角は 1/100 以下，層の塑性率は 2 以下，部材の塑性率は 4 以下）を超える場合には水平変形に伴う鉛直荷重の付加的影響を考慮した解析を実施し，安全性を確認する。

*：北村春幸，宮内洋二，浦本弥樹「性能設計における耐震性能判断基準値に関する研究」，日本建築学会構造系論文集，第 604 号，2006 年 6 月

1) 層間変形角の検討

a) ガレキ撤去時

最大応答層間変形角を表 5.3.2-1 に示す。

検討の結果，最大応答層間変形角は 1/75 以下となりクライテリアを満足することを確認した。

表 5.3.2-1 一般部の最大応答層間変形角の検討結果

検討箇所	地震波 (位置)*1	方向	応答値	クライテリア	判定
南北側 G. L. +53.9(m) ～G. L. +28.3(m) h =25.6(m)	1/2Ss450-1 (case1)	NS	1/167	1/75	O. K.
東西側 G. L. +53.9(m) ～G. L. +28.3(m) h =25.6(m)	1/2Ss450-1 (case1)	EW	1/176	1/75	O. K.

*1：図 5.2.1-3 にガレキ撤去用天井クレーンの位置を示す

b) 燃料取り出し時

最大応答層間変形角を表 5.3.2-2 に示す。

検討の結果、最大応答層間変形角は 1/75 以下となりクライテリアを満足することを確認した。

表 5.3.2-2 一般部の最大応答層間変形角の検討結果

検討箇所	地震波 (位置)*1	方向	応答値	クライテリア	判定
南北側 G. L. +53.9 (m) ~G. L. +28.3 (m) h=25.6 (m)	1/2Ss450-1 (case4)	NS	1/160	1/75	O. K.
東西側 G. L. +53.9 (m) ~G. L. +28.3 (m) h=25.6 (m)	1/2Ss450-1 (case4)	EW	1/163	1/75	O. K.

*1 : 図 5.2.1-4 に燃料取扱設備の位置を示す

2) 断面検討

部材の応答結果が塑性化する箇所があるため、断面検討結果は応力度比または塑性率で示す。

部材の応力度比は、軸力と各許容応力度との比で表される。部材の塑性率は、引張及び圧縮に対して最大軸力時のひずみを引張耐力又は座屈耐力時のひずみで除した値で表される。表 5.3.2-3 及び 5.3.2-4 に断面検討結果を示す。なお、各許容応力度、引張耐力及び座屈耐力算定時の材料強度は「平成 12 年建設省告示第 2464 号」に定められた基準強度 F 値の 1.1 倍を用いる。

a) ガレキ撤去時

表 5.3.2-3 に応力度比が最大となる部位の断面検討結果を示す。断面検討の結果、全ての部材の応力度比が 1 以下または、塑性率が 5 以下になることを確認した。

表 5.3.2-3(1) 断面検討結果（一般部，1/2Ss450 地震時，応力度比）上部架構

部位*1		部材形状 (mm) 〈使用材料*2〉	地震波 (位置)*3	入力 方向	作用 応力度 (N/mm ²)		許容 応力度 (N/mm ²)		応力 度比	判定
①	柱	H-428×407×20×35	1/2Ss450-1 (case1)	-NS-EW-UD	σ_c	286.2	f_c	344.0	0.84	O. K.
②	梁	B[-300×220×16×25	1/2Ss450-1 (case1)	-NS-EW+UD	σ_c	175.1	f_c	322.9	0.55	O. K.
③	ブレース	ϕ -355.6×7.9	1/2Ss450-1 (case1)	-NS+EW+UD	σ_c	251.3	f_c	337.2	0.75	O. K.
④	鋼板	PL-16 〈SN400B〉	1/2Ss450-1 (case1)	+NS+EW+UD	σ_x	45.9	f_t	258.0	0.63	O. K.
					σ_y	15.0				
					τ_{xy}	90.7				

表 5.3.2-3(2) 断面検討結果（一般部，1/2Ss450 地震時，塑性率）上部架構

部位*1		部材形状 (mm) 〈使用材料*2〉	地震波 (位置)*3	入力 方向	塑性率	判定
⑤	鉛直ブレース	ϕ -267.4×6.6	1/2Ss450-1 (case1)	+NS-EW-UD	2.15	O. K.

表 5.3.2-3(3) 断面検討結果（一般部，1/2Ss450 地震時，応力度比）下部架構

部位*1		部材形状 (mm) 〈使用材料*2〉	地震波 (位置)*3	入力 方向	作用 応力度 (N/mm ²)		許容 応力度 (N/mm ²)		応力 度比	判定
⑥	柱	H-400×400×13×21	1/2Ss450-1 (case1)	-NS+EW-UD	σ_c	273.6	f_c	320.4	0.86	O. K.
⑦	梁	H-588×300×12×20	1/2Ss450-1 (case1)	+NS+EW+UD	σ_t	235.8	f_t	357.5	0.66	O. K.

表 5.3.2-3(4) 断面検討結果（一般部，1/2Ss450 地震時，塑性率）下部架構

部位*1	部材形状 (mm) 〈使用材料*2〉	地震波 (位置)*3	入力 方向	塑性率	判定
⑧	鉛直ブレース φ -267.4×6.6	1/2Ss450-1 (case1)	+NS+EW-UD	2.42	0. K.
⑨	接続部水平ブレース 十字 PL (PL-28×210 +2PL-28×91)	1/2Ss450-1 (case1)	+NS-EW-UD	2.82	0. K.
⑩	接続部鉛直ブレース 十字 PL (PL-28×210 +2PL-28×91)	1/2Ss450-1 (case1)	+NS+EW+UD	1.96	0. K.

表 5.3.2-3(5) 断面検討結果（燃料取扱設備支持部，1/2Ss450 地震時，応力度比）

部位*1	部材形状 (mm) 〈使用材料*2〉	地震波 (位置)*3	入力 方向	作用 応力度 (N/mm ²)		許容 応力度 (N/mm ²)		応力 度比	判定
⑪	柱 H-400×400×13×21	1/2Ss450-1 (case1)	-NS-EW+UD	σ_c	37.9	f_c	326.1	0.12	0. K.
⑫	梁 H-350×350×12×19	1/2Ss450-1 (case1)	+NS-EW-UD	σ_t	77.5	f_t	357.5	0.22	0. K.
⑬	水平 ブレース 十字 PL (PL-28×210 +2PL-28×91)	1/2Ss450-1 (case1)	+NS-EW-UD	σ_t	167.1	f_t	357.5	0.47	0. K.
⑭	鉛直 ブレース φ -355.6×7.9	1/2Ss450-1 (case1)	+NS-EW-UD	σ_c	144.2	f_c	349.6	0.42	0. K.

*1：①～⑭の符号は図 5.3.2-5 の応力検討箇所を示す

*2：特記なき限り，各部材の使用材料は，鋼管：STKN490B，その他は SN490B

*3：図 5.2.1-3 にガレキ撤去用天井クレーンの位置を示す

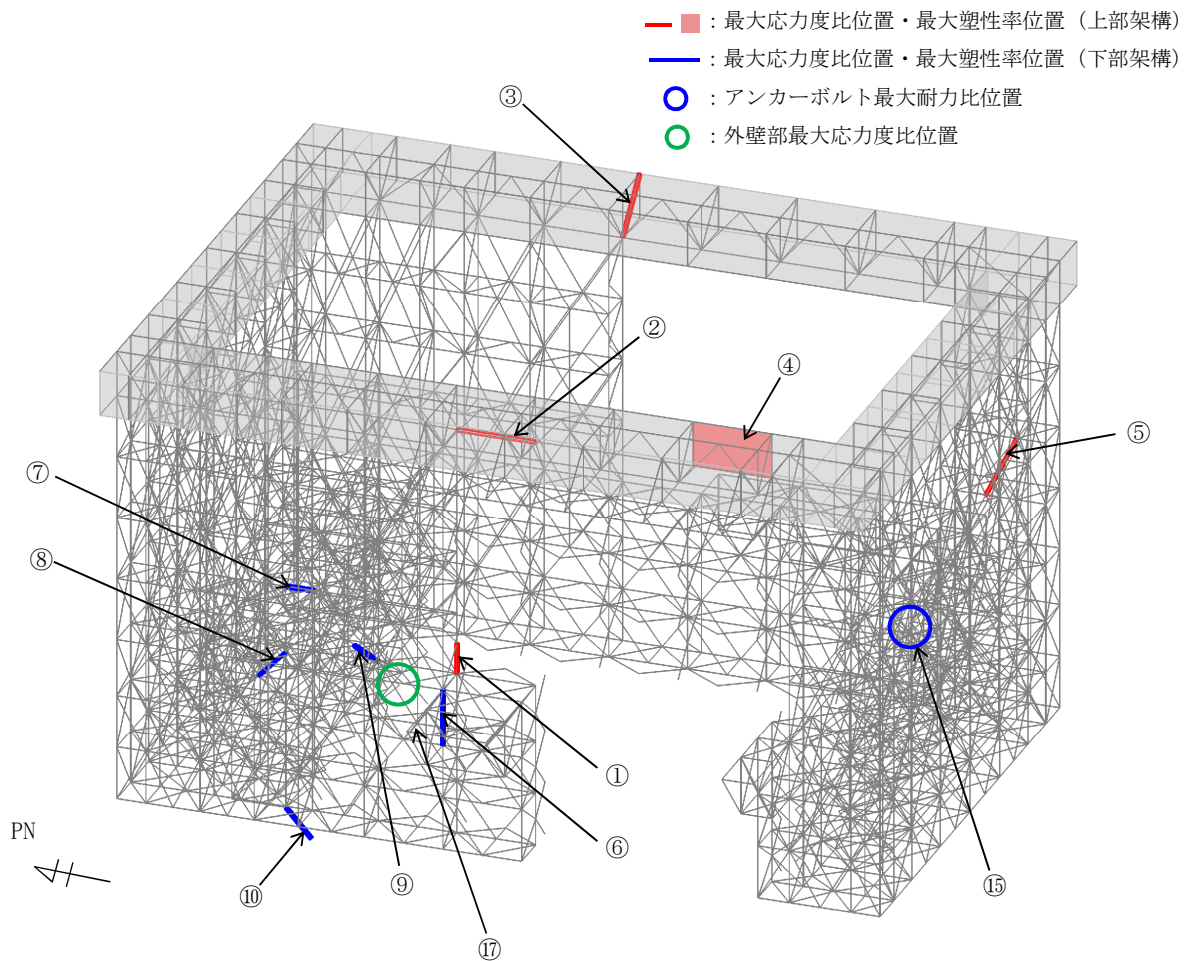


図 5. 3. 2-5(1) 最大応力度比位置図(一般部, 1/2Ss450 地震時)

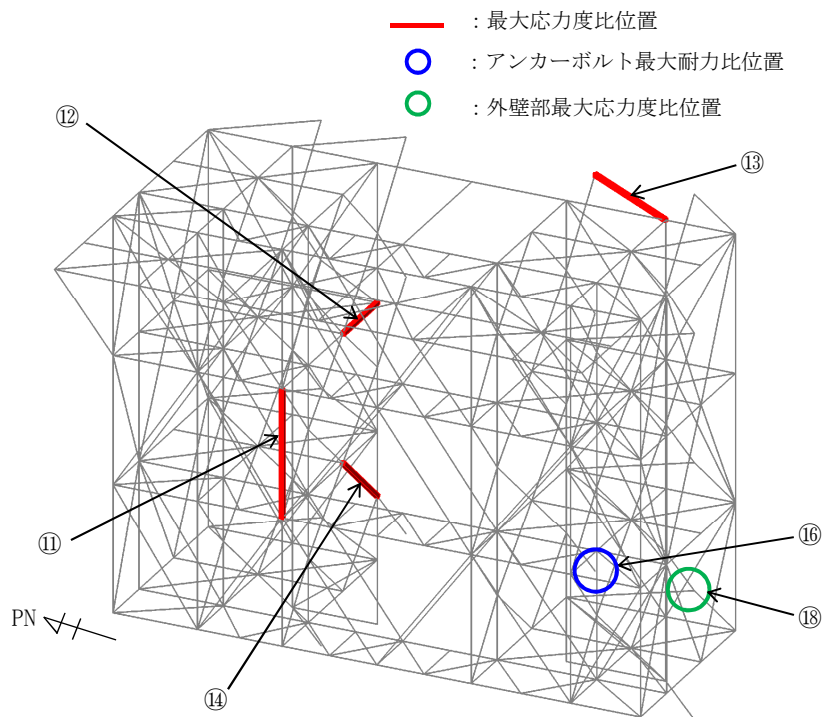


図 5. 3. 2-5(2) 最大応力度比位置図(燃料取扱設備支持部, 1/2Ss450 地震時)

b) 燃料取り出し時

表 5.3.2-4 に応力度比が最大となる部位の断面検討結果を示す。断面検討の結果、全ての部材の応力度比が 1 以下又は、塑性率が 5 以下になることを確認した。

表 5.3.2-4(1) 断面検討結果（一般部，1/2Ss450 地震時，応力度比）上部架構

部位*1	部材形状 (mm) 〈使用材料*2〉	地震波 (位置)*3	入力 方向	作用 応力度 (N/mm ²)		許容 応力度 (N/mm ²)		応力 度比	判定	
				σ_c		f_c				
①	柱	H-428×407×20×35	1/2Ss450-1 (case4)	-NS-EW+UD	σ_c	281.2	f_c	344.0	0.82	O. K.
②	梁	B[-300×220×16×25	1/2Ss450-1 (case4)	-NS+EW-UD	σ_c	142.2	f_c	322.9	0.45	O. K.
③	ブレース	ϕ -355.6×7.9	1/2Ss450-1 (case4)	+NS+EW+UD	σ_c	271.3	f_c	337.2	0.81	O. K.
④	鋼板	PL-16 〈SN400B〉	1/2Ss450-1 (case4)	+NS+EW-UD	σ_x	88.4	f_t	258.0	0.58	O. K.
					σ_y	56.9				
					τ_{xy}	72.4				

表 5.3.2-4(2) 断面検討結果（一般部，1/2Ss450 地震時，塑性率）上部架構

部位*1	部材形状 (mm) 〈使用材料*2〉	地震波 (位置)*3	入力 方向	塑性率	判定	
⑤	鉛直ブレース	ϕ -267.4×6.6	1/2Ss450-1 (case4)	+NS-EW-UD	2.23	O. K.

表 5.3.2-4(3) 断面検討結果（一般部，1/2Ss450 地震時，応力度比）下部架構

部位*1	部材形状 (mm) 〈使用材料*2〉	地震波 (位置)*3	入力 方向	作用 応力度 (N/mm ²)		許容 応力度 (N/mm ²)		応力 度比	判定	
				σ_c		f_c				
⑥	柱	H-400×400×13×21	1/2Ss450-1 (case4)	-NS-EW-UD	σ_c	309.6	f_c	345.1	0.90	O. K.
⑦	梁	H-588×300×12×20	1/2Ss450-1 (case4)	-NS-EW+UD	σ_t	238.9	f_t	357.5	0.67	O. K.

表 5.3.2-4(4) 断面検討結果（一般部，1/2Ss450 地震時，塑性率）下部架構

部位*1	部材形状 (mm) 〈使用材料*2〉	地震波 (位置)*3	入力 方向	塑性率	判定
⑧	鉛直ブレース φ -267.4×6.6	1/2Ss450-1 (case4)	+NS+EW+UD	2.86	0. K.
⑨	接続部水平ブレース 十字 PL (PL-28×210 +2PL-28×91)	1/2Ss450-1 (case4)	+NS-EW-UD	3.20	0. K.
⑩	接続部鉛直ブレース 十字 PL (PL-28×210 +2PL-28×91)	1/2Ss450-1 (case4)	-NS-EW-UD	2.20	0. K.

表 5.3.2-4(5) 断面検討結果（燃料取扱設備支持部，1/2Ss450 地震時，応力度比）

部位*1	部材形状 (mm) 〈使用材料*2〉	地震波 (位置)*3	入力 方向	作用 応力度 (N/mm ²)		許容 応力度 (N/mm ²)		応力 度比	判定
⑪	柱 H-400×400×13×21	1/2Ss450-1 (case4)	-NS-EW+UD	σ_c	70.4	f_c	326.1	0.22	0. K.
⑫	梁 H-350×350×12×19	1/2Ss450-1 (case4)	+NS-EW+UD	σ_t	116.3	f_t	357.5	0.33	0. K.
⑬	水平 ブレース 十字 PL (PL-28×210 +2PL-28×91)	1/2Ss450-1 (case4)	+NS-EW-UD	σ_t	199.0	f_t	357.5	0.56	0. K.
⑭	鉛直 ブレース φ -355.6×7.9	1/2Ss450-1 (case4)	-NS-EW+UD	σ_c	222.0	f_c	349.6	0.64	0. K.

*1：①～⑭の符号は図 5.3.2-6 の応力検討箇所を示す

*2：特記なき限り，各部材の使用材料は，鋼管：STKN490B，その他は SN490B

*3：図 5.2.1-4 に燃料取扱設備の位置を示す

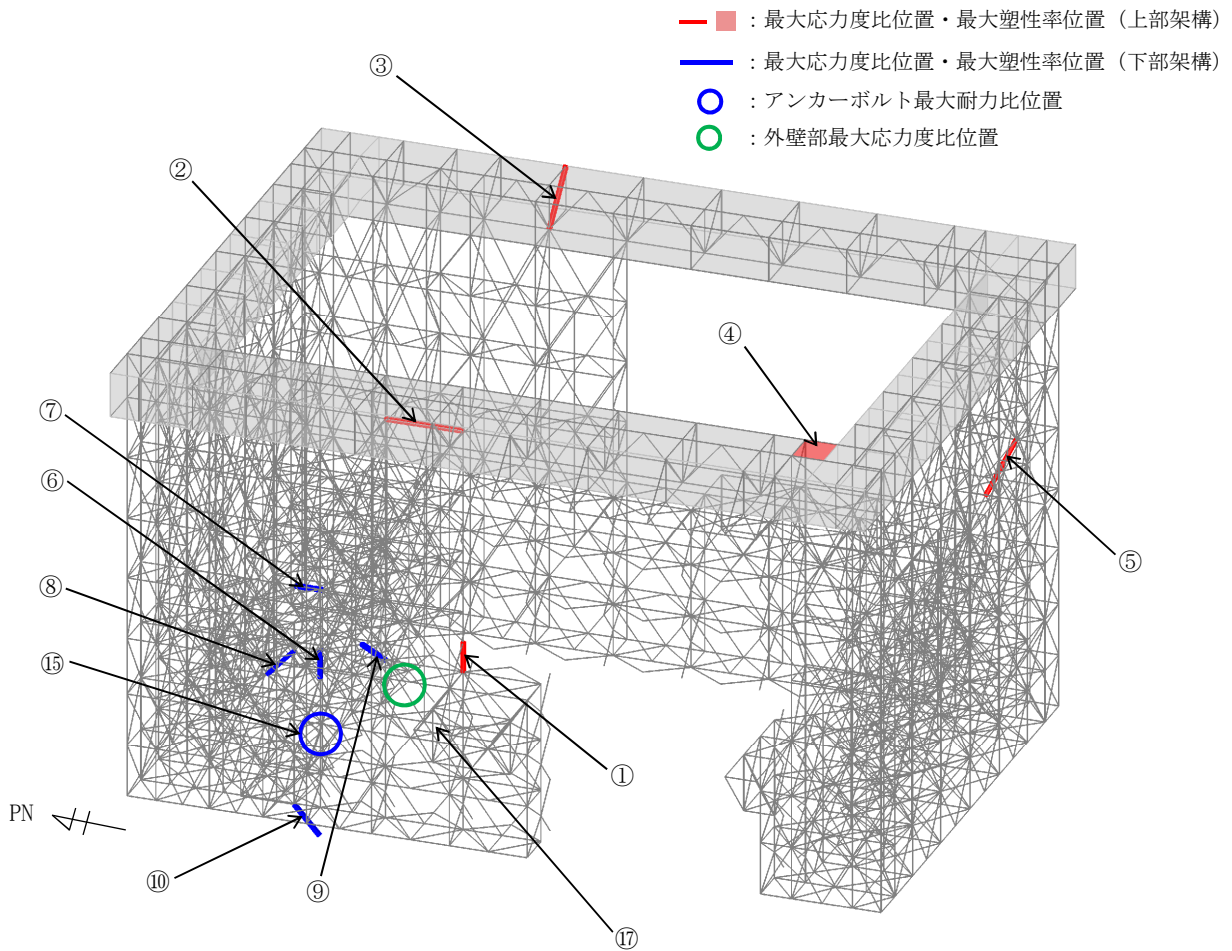


図 5. 3. 2-6(1) 最大応力度比位置図(一般部, 1/2Ss450 地震時)

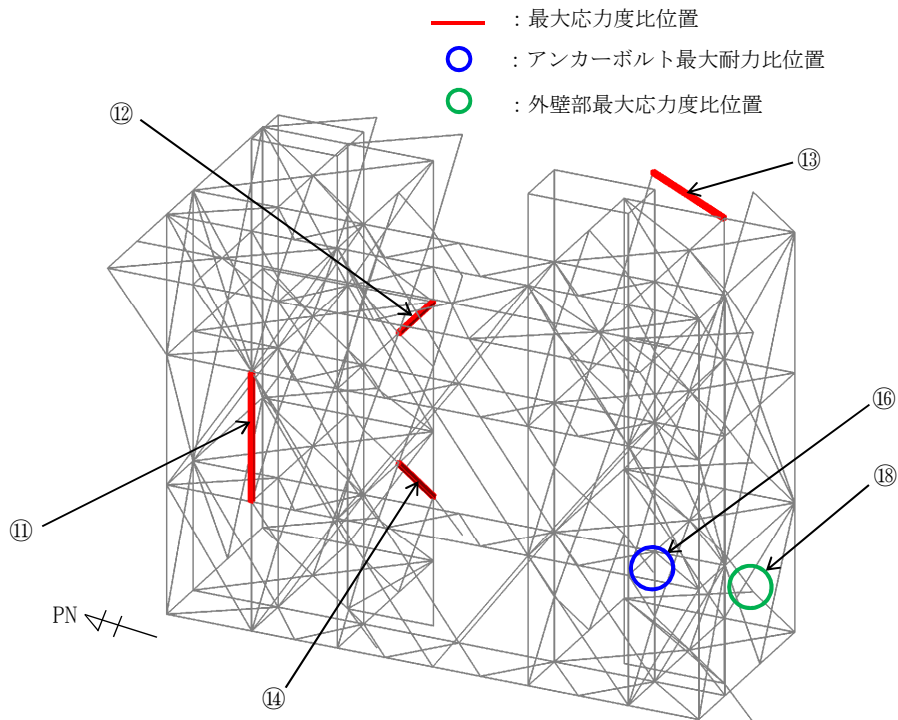


図 5. 3. 2-6(2) 最大応力度比位置図(燃料取扱設備支持部, 1/2Ss450 地震時)

5.3.3 屋根の耐震性に対する検討

(1) 断面検討

部材の塑性率は、引張及び圧縮に対して最大軸力時のひずみを引張耐力または座屈耐力時のひずみで除した値で表される。表 5.3.3-1 及び表 5.3.3-2 に断面検討結果を示す。なお、各許容応力度、引張耐力及び座屈耐力算定時の材料強度は「平成 12 年建設省告示第 2464 号」に定められた基準強度 F 値の 1.1 倍を用いる。

1) ガレキ撤去時

表 5. 3. 3-1 に塑性率が最大となる部位の断面検討結果を示す。断面検討の結果、全ての部材の塑性率が 5 以下になることを確認した。

表 5. 3. 3-1 断面検討結果 (屋根部, 1/2Ss450 地震時)

部位*1		部材形状 (mm) 〈使用材料〉	地震波 (位置) *2	塑性率	判定
①	弦材	P-190.7 φ × 5.3t 〈STK490〉	1/2Ss450-1 (case1)	0.62	0. K.
②	斜材	P-89.1 φ × 3.2t 〈STK400〉	1/2Ss450-1 (case1)	4.22	0. K.
③	ブレース	1-M16 〈SNR400B〉	1/2Ss450-1 (case1)	2.61	0. K.

*1 : ①～③の符号は図 5. 3. 3-1 の応力検討箇所を示す

*2 : 図 5. 2. 1-3 にガレキ撤去用天井クレーンの位置を示す

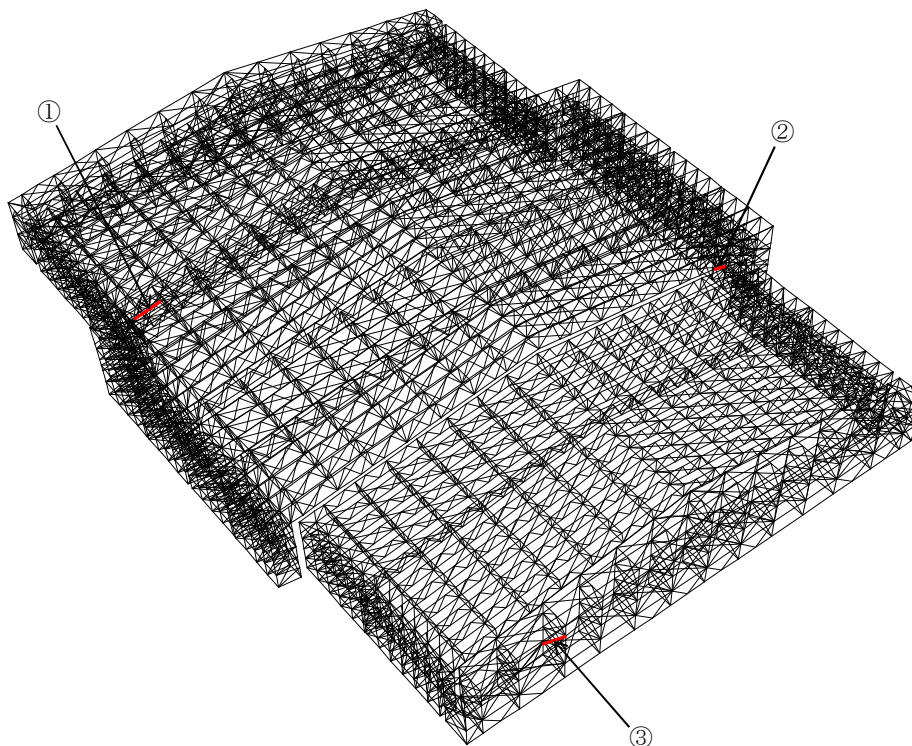


図 5. 3. 3-1 最大塑性率位置図

2) 燃料取り出し時

表 5. 3. 3-2 に塑性率が最大となる部位の断面検討結果を示す。断面検討の結果、全ての部材の塑性率が 5 以下になることを確認した。

表 5. 3. 3-2 断面検討結果 (屋根部, 1/2Ss450 地震時)

部位*1		部材形状 (mm) 〈使用材料〉	地震波 (位置) *2	塑性率	判定
①	弦材	P-190.7 φ × 5.3t 〈STK490〉	1/2Ss450-1 (case4)	0.60	0. K.
②	斜材	P-89.1 φ × 3.2t 〈STK400〉	1/2Ss450-1 (case4)	4.47	0. K.
③	ブレース	1-M16 〈SNR400B〉	1/2Ss450-1 (case4)	2.59	0. K.

*1 : ①～③の符号は図 5. 3. 3-2 の応力検討箇所を示す

*2 : 図 5. 2. 1-4 に燃料取扱設備の位置を示す

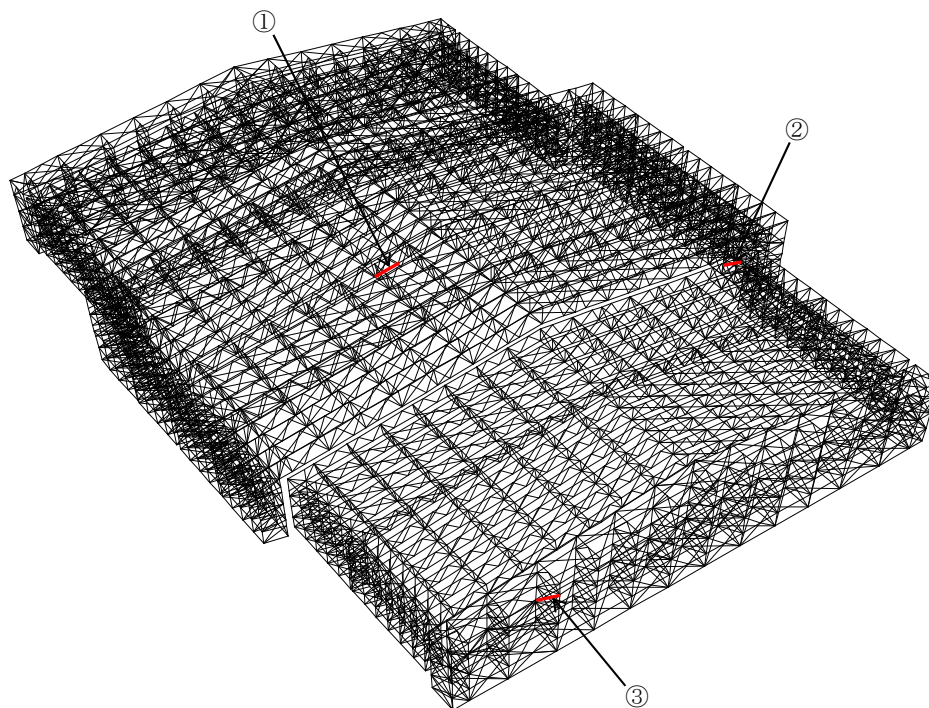


図 5. 3. 3-2 最大塑性率位置図

5.3.4 建屋取り合い部の耐震性に対する検討

(1) アンカーボルトの検討（引抜き、せん断）

大型カバーはアンカーボルトにより原子炉建屋外壁に取り付く。アンカーボルトの仕様は、M33（SNR490B）の接着系アンカーボルトとし、終局耐力は「あと施工アンカー施工指針（案）（一般社団法人日本建築あと施工アンカー協会）」に従い、原子炉建屋の設計基準強度を用いて下式によって求める。表 5.3.4-1 にアンカーボルトの終局耐力を示す。

$$p_u = \min(p_{u1}, p_{u2}, p_{u3})$$

$$q_u = \min(q_{u1}, q_{u2})$$

- p_u : 接着系アンカーボルトの終局引張力 (kN/本)
- p_{u1} : アンカーボルトの降伏により決まる終局引張力 (kN/本)
- p_{u2} : 躯体のコーン状破壊により決まる終局引張力 (kN/本)
- p_{u3} : 付着力により決まる終局引張力 (kN/本)
- q_u : 接着系アンカーボルトの終局せん断力 (kN/本)
- q_{u1} : アンカーボルトのせん断強度により決まる終局せん断力 (kN/本)
- q_{u2} : 躯体の支圧強度により決まる終局せん断力 (kN/本)

表 5.3.4-1 接着系アンカーボルトの終局耐力

部位	一般部	燃料取扱設備 支持部
		GL+13.7
タイプ	標準	標準
鋼材種類	M33	M33
	SNR490B	SNR490B
埋め込み長さ (mm)	345	345
アンカーボルト間隔 (mm)	400	400
終局	許容引張力 (p_u) (kN/本)	234
	許容せん断力 (q_u) (kN/本)	193

アンカーボルトの検討は、建屋取り合い部に生じる最大支点反力に対し、下式にて検討を行う。

$$\frac{P}{P_u} \leq 1$$

$$\frac{Q}{Q_u} \leq 1$$

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

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)

1) ガレキ撤去時

表 5.3.4-2 に耐力比が最大となる部位の検討結果を示す。

検討の結果、アンカーボルトの最大耐力比は1以下になることを確認した。

表 5.3.4-2(1) アンカーボルトの検討結果 (一般部, 1/2Ss450 地震時)

部位*1 (アンカー本数)	地震波 (位置)*2	入力 方向	作用応力		終局耐力		耐力比	判定
			引張力 P (kN)	せん断力 Q (kN)	引張 耐力 Pu (kN)	せん断 耐力 Qu (kN)		
⑮ アンカー ボルト (34)	1/2Ss450-1 (case1)	-NS+EW+UD	565	5056	7956	6562	0.78	O. K.

表 5.3.4-2(2) アンカーボルトの検討結果 (燃料取扱設備支持部, 1/2Ss450 地震時)

部位*1 (アンカー本数)	地震波 (位置)*2	入力 方向	作用応力		終局耐力		耐力比	判定
			引張力 P (kN)	せん断力 Q (kN)	引張 耐力 Pu (kN)	せん断 耐力 Qu (kN)		
⑯ アンカー ボルト (12)	1/2Ss450-1 (case1)	-NS-EW-UD	354	1191	3816	2316	0.52	O. K.

*1 : 図 5.3.2-5 に応力検討箇所を示す

*2 : 図 5.2.1-3 にガレキ撤去用天井クレーンの位置を示す

2) 燃料取り出し時

表 5. 3. 4-3 に耐力比が最大となる部位の検討結果を示す。

検討の結果、アンカーボルトの最大耐力比は 1 以下になることを確認した。

表 5. 3. 4-3(1) アンカーボルトの検討結果 (一般部, 1/2Ss450 地震時)

部位*1 (アンカー本数)	地震波 (位置)*2	入力 方向	作用応力		終局耐力		耐力比	判定
			引張力 P (kN)	せん断力 Q (kN)	引張 耐力 Pu (kN)	せん断 耐力 Qu (kN)		
⑮ アンカー ボルト (32)	1/2Ss450-1 (case4)	-NS-EW-UD	604	5145	7488	6176	0.84	O. K.

表 5. 3. 4-3(2) アンカーボルトの検討結果 (燃料取扱設備支持部, 1/2Ss450 地震時)

部位*1 (アンカー本数)	地震波 (位置)*2	入力 方向	作用応力		終局耐力		耐力比	判定
			引張力 P (kN)	せん断力 Q (kN)	引張 耐力 Pu (kN)	せん断 耐力 Qu (kN)		
⑯ アンカー ボルト (12)	1/2Ss450-1 (case4)	-NS-EW+UD	527	1635	3816	2316	0.71	O. K.

*1 : 図 5. 3. 2-6 に応力検討箇所を示す

*2 : 図 5. 2. 1-4 に燃料取扱設備の位置を示す

(2) 原子炉建屋外壁部の検討

「5.2.4(2) 原子炉建屋外壁部の検討」と同様に、壁面の圧縮応力度が許容応力度以下となることを確認する。

1) ガレキ撤去時

表 5.3.4-4 に応力度比が最大となる部位の検討結果を示す。

検討の結果、原子炉建屋外壁部の最大応力度比は 1 以下になることを確認した。

表 5.3.4-4(1) 外壁部の検討結果 (一般部, 1/2Ss450 地震時)

部位*1		地震波 (位置)*2	入力 方向	作用応力度 (N/mm ²)	許容応力度 (N/mm ²)	応力 度比	判定
⑰	外壁	1/2Ss450-1 (case1)	+NS-EW-UD	1.0	22.1	0.05	0. K.

表 5.3.4-4(2) 外壁部の検討結果 (燃料取扱設備支持部, 1/2Ss450 地震時)

部位*1		地震波 (位置)*2	入力 方向	作用応力度 (N/mm ²)	許容応力度 (N/mm ²)	応力 度比	判定
⑱	外壁	1/2Ss450-1 (case1)	-NS+EW+UD	0.6	22.1	0.03	0. K.

*1 : 図 5.3.2-5 に応力検討箇所を示す

*2 : 図 5.2.1-3 にガレキ撤去用天井クレーンの位置を示す

2) 燃料取り出し時

表 5. 3. 4-5 に応力度比が最大となる部位の検討結果を示す。

検討の結果、原子炉建屋外壁部の最大応力度比は 1 以下になることを確認した。

表 5. 3. 4-5(1) 外壁部の検討結果 (一般部, 1/2Ss450 地震時)

部位 ^{*1}		地震波 (位置) ^{*2}	入力 方向	作用応力度 (N/mm ²)	許容応力度 (N/mm ²)	応力 度比	判定
⑰	外壁	1/2Ss450-1 (case4)	+NS-EW+UD	1. 1	22. 1	0. 05	0. K.

表 5. 3. 4-5(2) 外壁部の検討結果 (燃料取扱設備支持部, 1/2Ss450 地震時)

部位 ^{*1}		地震波 (位置) ^{*2}	入力 方向	作用応力度 (N/mm ²)	許容応力度 (N/mm ²)	応力 度比	判定
⑱	外壁	1/2Ss450-1 (case4)	-NS-EW+UD	1. 0	22. 1	0. 05	0. K.

*1 : 図 5. 3. 2-6 に応力検討箇所を示す

*2 : 図 5. 2. 1-4 に燃料取扱設備の位置を示す

5.3.5 原子炉建屋の耐震性に対する検討

(1) 検討方針

大型カバーの設置に伴う原子炉建屋の耐震性の評価は、燃料取扱設備の間接支持機能維持の観点から、地震応答解析により得られる耐震壁のせん断ひずみが鉄筋コンクリート造耐震壁の許容限界に対応した評価基準値 (2.0×10^{-3}) 以下になることを確認する。また、最大接地圧が地盤の許容限界を超えないことを確認する。

(2) 原子炉建屋の地震応答解析

1) 解析に用いる入力地震動

検討に用いる地震動は、「5.3.1 検討方針」で示した 1/2Ss450 とする。

地震応答解析に用いる入力地震動の概念図は図 5.3.1-1 と同様である。

2) 地震応答解析モデル

原子炉建屋の地震応答解析モデルは、図 5.3.5-1 に示すように質点系でモデル化し、地盤を等価なばねで評価した建屋-地盤連成系モデルとする。

地震応答解析モデルの諸元は、「II.2.6 滞留水を貯留している（滞留している場合を含む）建屋 添付資料-2 構造強度及び耐震性（地下滞留水を考慮した建屋の耐震安全評価）」に示される内容に、ガレキ撤去等による重量増減及び新規に設置する大型カバー、燃料取扱設備等の重量を考慮した。地震応答解析モデルの諸元の質点重量および回転慣性重量を表 5.3.5-1 に示す。

地盤定数は、「5.3.1 検討方針」で示した地盤定数と同一である。

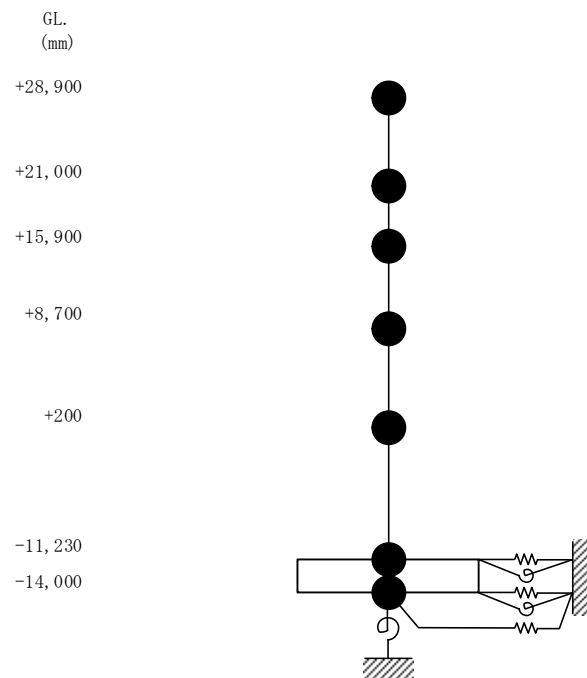


図 5.3.5-1 原子炉建屋の地震応答解析モデル

表 5. 3. 5-1(1) 原子炉建屋の地震応答解析モデルの諸元 (水平方向, ガレキ撤去時)

G. L. (m)	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I_G ($\times 10^5$ kN \cdot m 2)	
		水平(NS)方向	水平(EW方向)
+28.90	113830	163.75	93.73
+21.00	81500	117.34	67.09
+15.90	90680	130.48	74.63
+8.70	87510	125.98	125.98
+0.20	162800	234.31	234.31
-11.23	185210	266.64	327.39
-14.00	62400	89.83	110.32
合計	783930		

表 5. 3. 5-1(2) 原子炉建屋の地震応答解析モデルの諸元 (水平方向, 燃料取り出し時)

G. L. (m)	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I_G ($\times 10^5$ kN \cdot m 2)	
		水平(NS)方向	水平(EW方向)
+28.90	161390	232.17	132.90
+21.00	81500	117.34	67.09
+15.90	90670	130.46	74.62
+8.70	88080	126.80	126.80
+0.20	163140	234.80	234.80
-11.23	185210	266.64	327.39
-14.00	62400	89.83	110.32
合計	832390		

(3) 検討結果

1/2Ss450 に対する最大応答値を、「JEAG4601-1991」に基づき設定した耐震壁のせん断スケルトン曲線上にプロットした結果を、図 5.3.5-2 及び図 5.3.5-3 に示す。

検討の結果、地震応答解析により得られる最大応答値は、評価基準値 (2.0×10^{-3}) 以下となり、クライテリアを満足することを確認した。

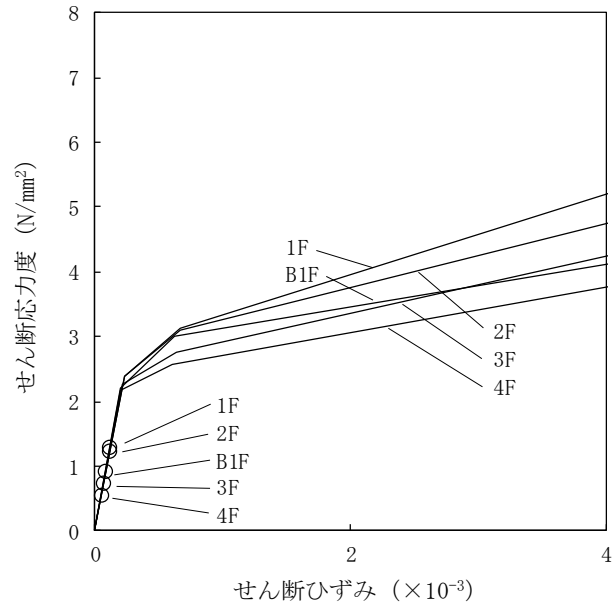
また、1/2Ss450 に対する最大接地圧を、表 5.3.5-2 に示す。最大接地圧は、地盤の極限支持力度 (9800kN/m^2) を超えないことを確認した。

表 5.3.5-2(1) 1/2Ss450 に対する最大接地圧 (ガレキ撤去時)

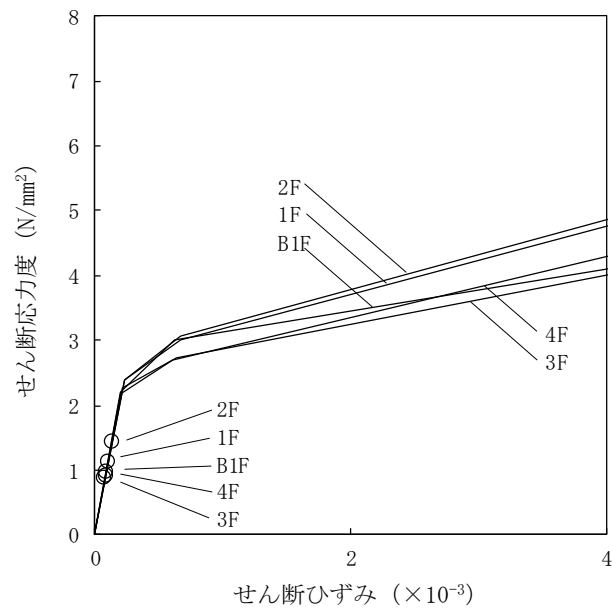
	NS 方向	EW 方向
地震波	1/2Ss450-1	1/2Ss450-1
鉛直力N ($\times 10^5\text{kN}$)	9.1	9.1
転倒モーメントM ($\times 10^6\text{kN}\cdot\text{m}$)	8.0	9.1
最大接地圧 (kN/m^2)	1210	1310

表 5.3.5-2(2) 1/2Ss450 に対する最大接地圧 (燃料取り出し時)

	NS 方向	EW 方向
地震波	1/2Ss450-1	1/2Ss450-1
鉛直力N ($\times 10^5\text{kN}$)	9.7	9.7
転倒モーメントM ($\times 10^6\text{kN}\cdot\text{m}$)	9.2	10.0
最大接地圧 (kN/m^2)	1380	1440

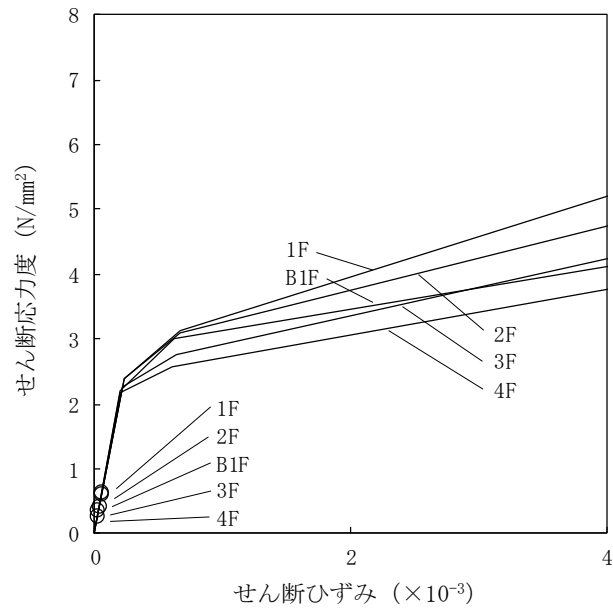


(a) NS 方向

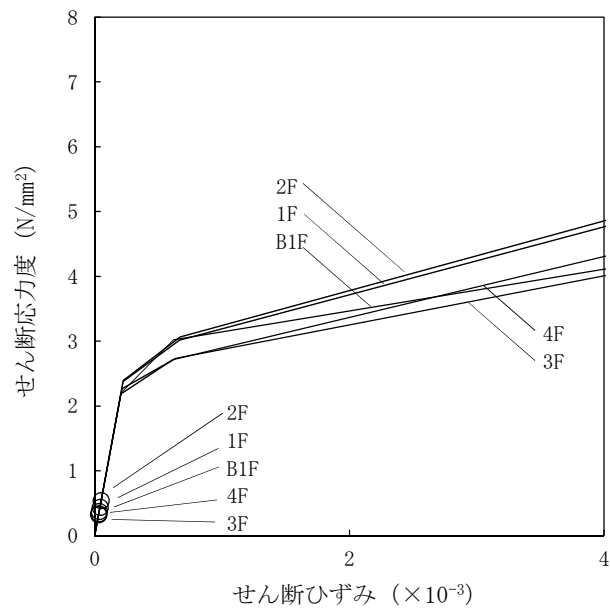


(b) EW 方向

図 5.3.5-2(1) せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (1/2Ss450-1) (ガレキ撤去時)

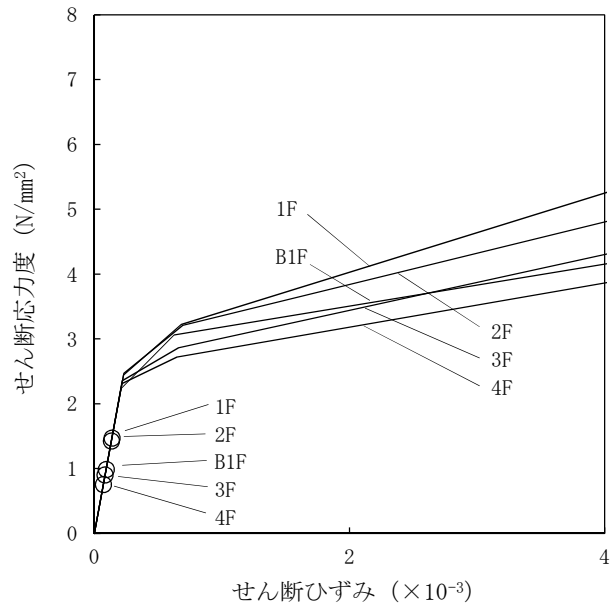


(a) NS 方向

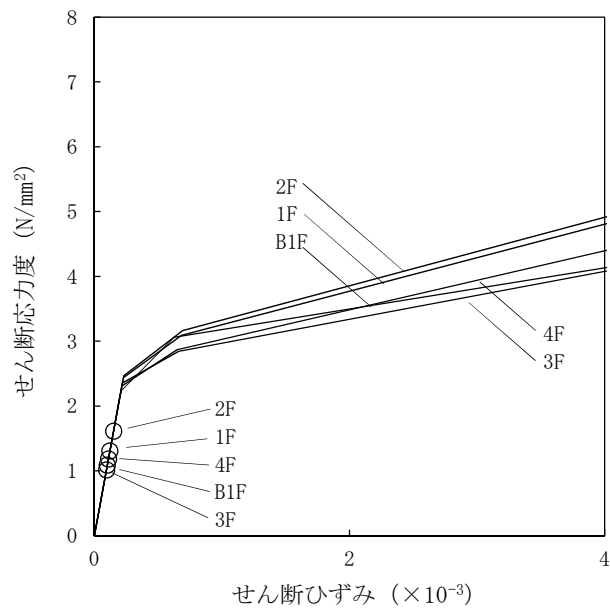


(b) EW 方向

図 5.3.5-2(2) せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (1/2Ss450-2) (ガレキ撤去時)

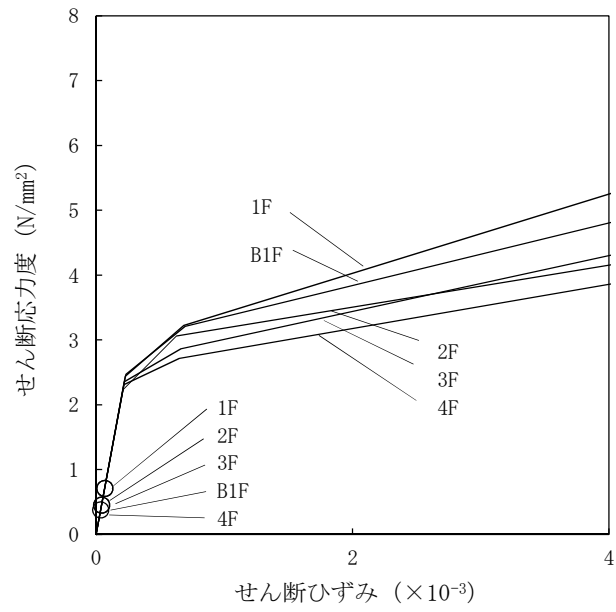


(a) NS 方向

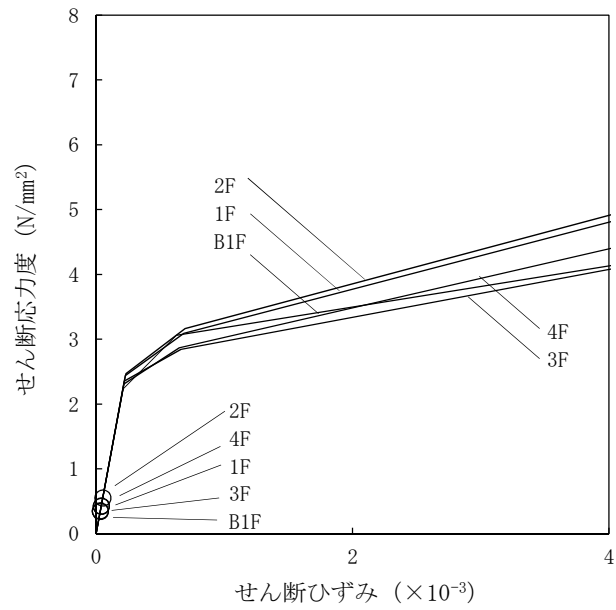


(b) EW 方向

図 5.3.5-3(1) せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (1/2Ss450-1) (燃料取り出し時)



(a) NS 方向



(b) EW 方向

図 5.3.5-3(2) せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (1/2Ss450-2) (燃料取り出し時)

5.4 耐震性（波及的影響の検討）

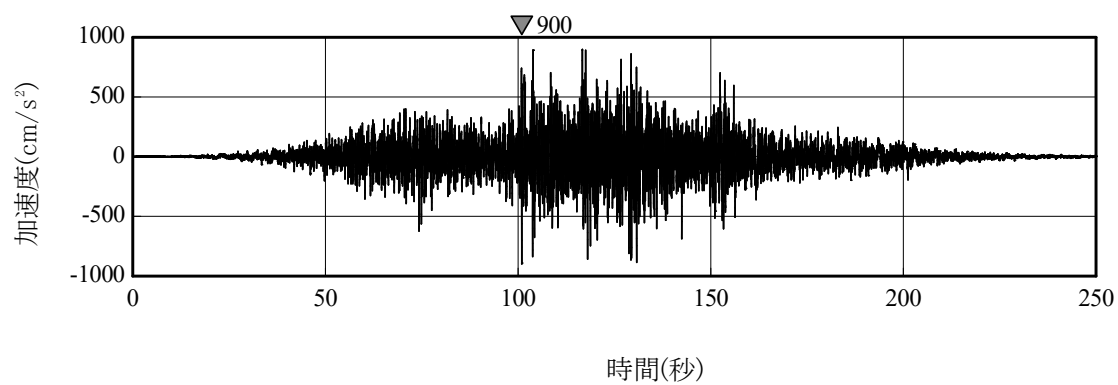
5.4.1 検討方針

耐震性のうち波及的影響の検討は、大型カバー、屋根、建屋取り合い部、ガレキ撤去用天井クレーン及び原子炉建屋について行い、Ss900 に対して、これらの応答性状を適切に表現できる地震応答解析を用いて評価する。なお、地震応答解析は水平 2 方向及び鉛直の 3 方向の地震動を同時に入力する。

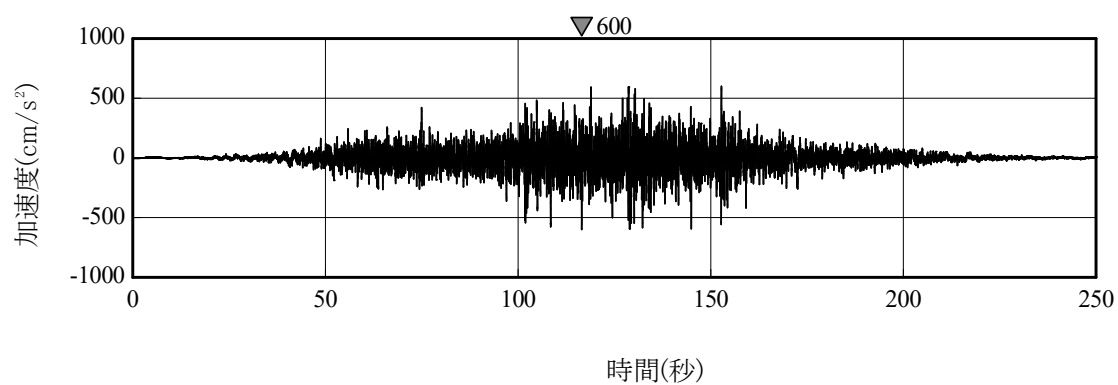
(1) 解析に用いる入力地震動

地震応答解析に用いる入力地震動の概念図は図 5.3.1-1 と同一である。モデルに入力する地震動は、2 波ある Ss900 のうち振幅の大きな検討用地震動①を用いる。Ss900 の加速度時刻歴波形を図 5.4.1-1～図 5.4.1-2 に示す。

Ss900 を用いた地震応答解析は水平 2 方向及び鉛直方向を同時に入力するが、全く同じ地震動が同時に水平 2 方向に入力されることは現実的に考えにくい。このため、応答スペクトルに基づく検討用地震動①を作成した方法と同一の方法で、目標とする応答スペクトルに適合し、Ss900-1 と直交する位相を用いた模擬地震波を利用する。検討用地震動①と組み合わせる模擬地震波の加速度時刻歴波形を図 5.4.1-3 に示す。

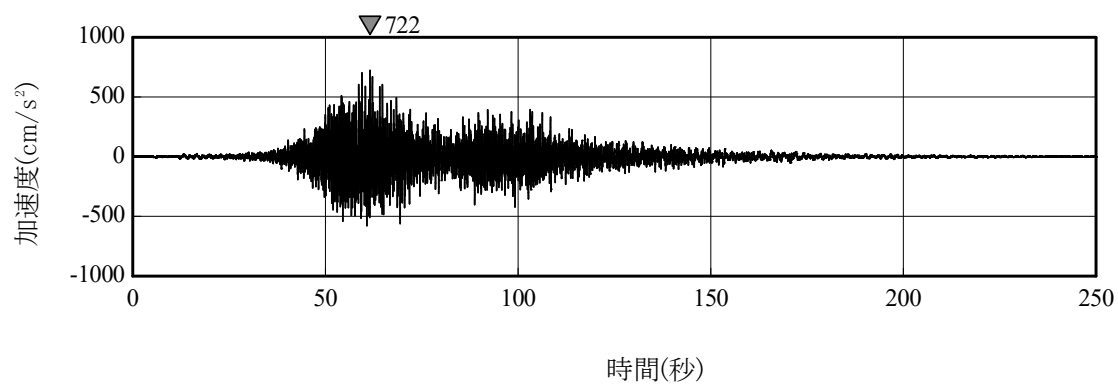


(a) 水平方向

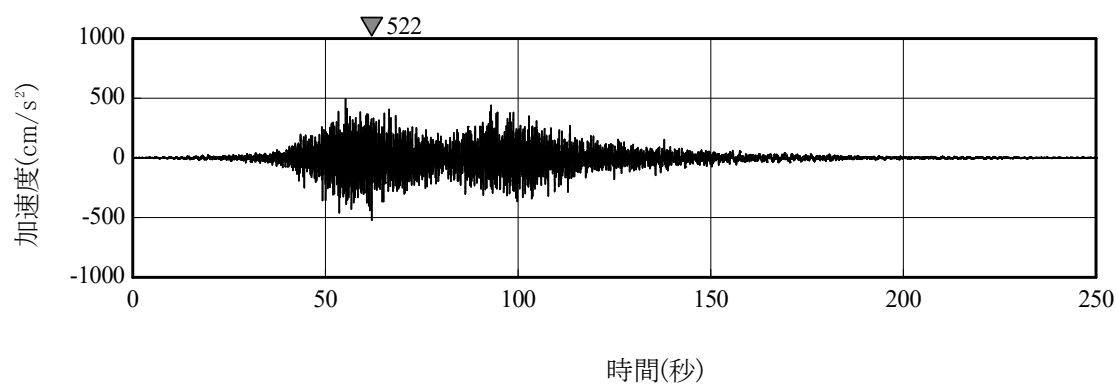


(b) 鉛直方向

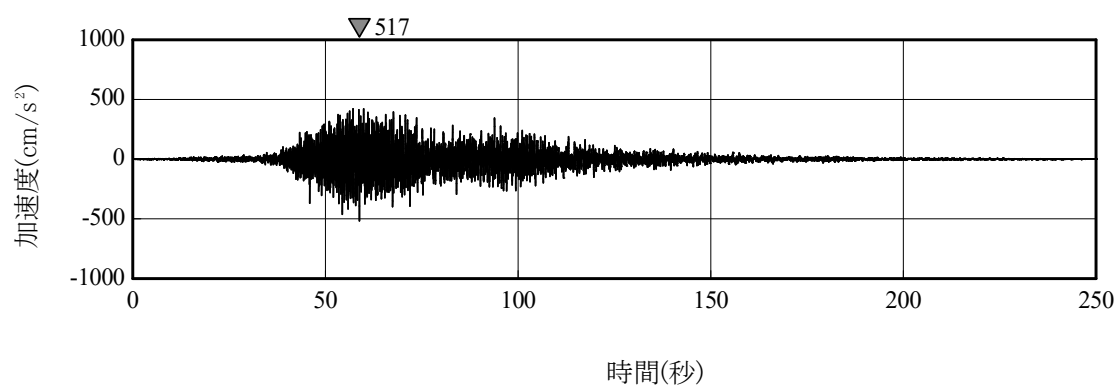
図 5.4.1-1 Ss900 のうち検討用地震動①



(a) NS 方向



(b) EW 方向



(c) 鉛直方向

図 5.4.1-2 Ss900 のうち検討用地震動②

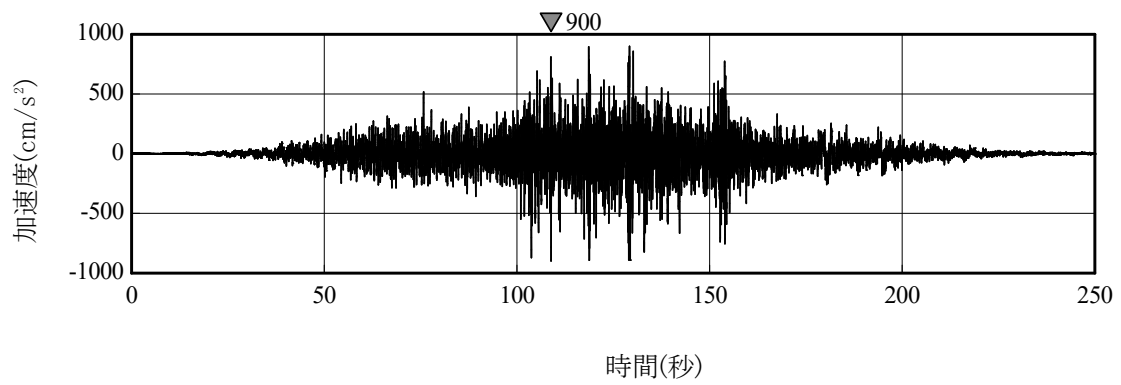


図 5. 4. 1-3 検討用地震動①（水平方向）と組み合わせる模擬地震波

(2) 地震応答解析モデル

地震応答解析モデル，地震応答解析に用いる鉄骨の物性値及び原子炉建屋の諸元は，「5.3.1(2)地震応答解析モデル」と同一である。

大型カバーの地盤定数は，「福島第一原子力発電所『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』の改訂に伴う耐震安全性評価結果 中間報告書」（東京電力株式会社，平成20年3月31日）と同様とし，その結果を表5.4.1-1に示す。

表 5.4.1-1 等価地盤物性

G. L. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位 体積重量 γ (kN/m ³)	ポアソン 比 ν	せん断 弾性係数 G (×10 ⁵ kN/m ²)	初期せん断 弾性係数 G ₀ (×10 ⁵ kN/m ²)	剛性 低下率 G/G ₀	ヤング 係数 E (×10 ⁵ kN/m ²)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
0.0	砂岩	380	17.8	0.473	2.04	2.62	0.78	6.01	4	8.1
-8.1		450	16.5	0.464	2.32	3.41	0.68	6.79	3	11.9
-20.0	泥岩	500	17.1	0.455	2.96	4.36	0.68	8.61	3	70.0
-90.0		560	17.6	0.446	3.83	5.63	0.68	11.08	3	28.0
-118.0		600	17.8	0.442	4.44	6.53	0.68	12.80	3	88.0
-206.0		(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-

(3) 解析ケース

ガレキ撤去時と燃料取り出し時の2ケースについて地震応答解析を行う。

ガレキ撤去時は，使用済み燃料プール上部にガレキ撤去用天井クレーンを配置し，定格荷重相当のガレキを吊った状態を想定する。

燃料取り出し時は，ガレキ撤去用天井クレーンの使用頻度は低いため，北側配置で吊り荷なしの状態を想定する。

表 5. 4. 1-2 解析ケース

ケース No.	状態	入力地震動 (3 方向同時入力)			ガレキ撤去用 天井クレーン状態
		NS 方向	EW 方向	UD 方向	
1	ガレキ撤去時	Ss900 +NS (N→S)	Ss900 +EW (E→W)	Ss900 +UD (U→D)	プール上部配置 吊り荷考慮 (case1)
2	燃料取り出し時	同上	同上	同上	北側配置 吊り荷なし (case2)

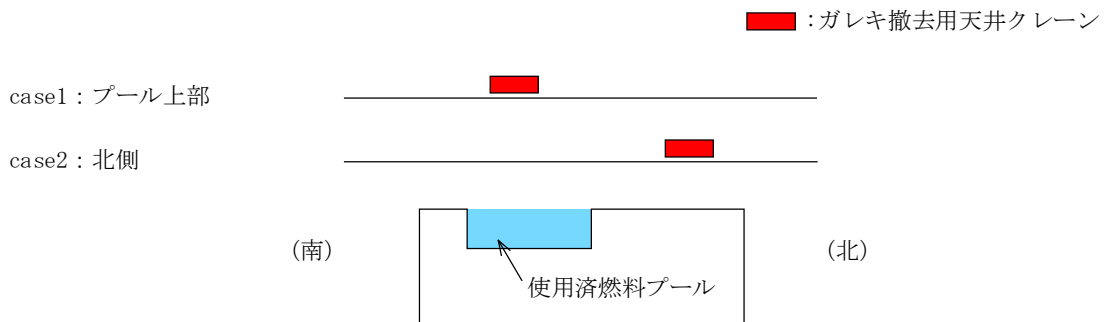


図 5. 4. 1-4 ガレキ撤去用天井クレーンの位置

(4) 評価項目とクライテリア

波及的影響の検討は、表 5.4.1-3 に示す項目について評価を行う。

表 5.4.1-3(1) 大型カバーのクライテリア

部位	考え方	許容限界
大型カバー架構 (一般部)	最大層間変形角が波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認	層間変形角 1/30 ^{※1}
大型カバー架構 (柱梁・鋼板) (屋根弦材)	部材に生じる応力が許容限界を超えないことを確認、超える場合はエネルギー一定則による評価を実施し、塑性率の許容限界を超えないことを確認	弾性限界強度または 塑性率 5.0 ^{※2}
大型カバー架構 (ブレース) (屋根斜材・ 屋根ブレース)	部材に生じる塑性率が許容限界を超えないことを確認、超える場合は応答による繰り返し回数が許容限界に対して十分な裕度を有することを確認	塑性率 5.0 または 評価最大ひずみ度に対する 破断寿命 1.0
大型カバー架構 アンカーボルト	引張とせん断の二乗累加則により検定し許容限界に至らないことを確認	終局強度に対する検定比 1.0

※1：「震災建築物の被災度区分判定基準及び復旧技術指針（(財)日本建築防災協会）」を参考に許容限界を設定している。なお、被災度区分判定基準においては、柱の残留傾斜角が 1/30 を超えた場合に大破と判定しているが、保守的に最大層間変形角を用いて評価を行う。

※2：JSCA 性能メニュー（社団法人日本建築構造技術者協会，2002 年）を参考に定めたクライテリア
（北村他：「性能設計における耐震性能判断基準値に関する研究」，日本建築学会構造系論文集，第 604 号，PP183-191，2006.6）

表 5.4.1-3(2) ガレキ撤去用天井クレーンのクライテリア

部位	考え方	許容限界
ガレキ撤去用 天井クレーン クレーンガーダ	東西レール間の最大相対水平変位がクレーンの水平かかり代に比べ小さいことを確認	東西レール間相対変位 2300mm
	クレーンガーダの最大応答値が全塑性モーメントを超える不安定状態に至らないことを確認	全塑性モーメント Mp
ガレキ撤去用 天井クレーン トロリー	クレーンガーダの最大応答変位がトロリ脱 落防止材の鉛直かかり代に比べ小さいことを確認	鉛直変位 259mm
	トロリの水平力による脱落防止材の発生応力が弾性限界強度を超えないことを確認	弾性限界せん断強度 149N/mm ² (SS400)

5.4.2 大型カバーの耐震性に対する検討

(1) 層間変形角の検討結果

大型カバー一般部の層間変形角を表 5.4.2-1 に示す。

ガレキ撤去時及び燃料取り出し時の最大層間変形角は、許容限界である 1/30 を超えないことを確認した。

表 5.4.2-1(1) 最大応答層間変形角（ガレキ撤去時）

方向	地震条件	検討箇所	最大層間変形角	許容限界	判定
南北方向	Ss900 (+NS+EW+UD)	G. L. +53.9(m) ～+28.3(m) h=25.6(m)	1/87	1/30	O. K.
東西方向	Ss900 (+NS+EW+UD)	G. L. +53.9(m) ～+28.3(m) h=25.6(m)	1/84	1/30	O. K.

表 5.4.2-1(2) 最大応答層間変形角（燃料取り出し時）

方向	地震条件	検討箇所	最大層間変形角	許容限界	判定
南北方向	Ss900 (+NS+EW+UD)	G. L. +53.9(m) ～+28.3(m) h=25.6(m)	1/73	1/30	O. K.
東西方向	Ss900 (+NS+EW+UD)	G. L. +53.9(m) ～+28.3(m) h=25.6(m)	1/78	1/30	O. K.

(2) 断面検討結果

1) 一般部

大型カバー一般部の断面検討結果を表 5. 4. 2-2 に示す。

柱、梁は一部で弾性限界を超えるものの、エネルギー一定則による評価で最大塑性率が5を超えないことを確認した。なお、弾性限に対する検定比は () 内に示す。また、ブレース、鋼板の最大塑性率は5を超えないことを確認した。

接続部ブレース及び下部ブレースは最大塑性率が5を超えることから、破断寿命評価を実施し、部材が破断しないことを確認した。

表 5. 4. 2-2(1) 断面検討結果 (一般部, ガレキ撤去時)

部位	部材形状 (mm)	地震条件		最大応力度 (N/mm ²)		許容応力度 (N/mm ²)		最大塑性率	判定
				σ_c		f_c			
柱	H-400×400×13×21	Ss900	+NS+EW+UD	σ_c	343.0	f_c	320.4	1.08 (1.08)	0. K.
梁	H-800×300×14×26	Ss900	+NS+EW+UD	σ_c	212.7	f_c	184.1	1.17 (1.16)	0. K.
ブレース	ϕ -355.6×7.9	Ss900	+NS+EW+UD	σ_c	—	f_c	337.2	2.09	0. K.
鋼板	PL-12	Ss900	+NS+EW+UD	σ_x	18.8	f_t	258.0	0.97	0. K.
				σ_y	256.6				
				τ_{xy}	19.8				

表 5. 4. 2-2(2) 断面検討結果 (一般部, 燃料取り出し時)

部位	部材形状 (mm)	地震条件		最大応力度 (N/mm ²)		許容応力度 (N/mm ²)		最大塑性率	判定
				σ_c		f_c			
柱	H-400×400×13×21	Ss900	+NS+EW+UD	σ_c	423.5	f_c	345.1	1.26 (1.23)	0. K.
梁	H-800×300×14×26	Ss900	+NS+EW+UD	σ_c	260.5	f_c	184.1	1.50 (1.42)	0. K.
ブレース	ϕ -355.6×7.9	Ss900	+NS+EW+UD	σ_c	—	f_c	337.2	2.20	0. K.
鋼板	PL-12	Ss900	+NS+EW+UD	σ_x	17.3	f_t	258.0	0.91	0. K.
				σ_y	239.5				
				τ_{xy}	19.5				

表 5. 4. 2-2(3) 断面検討結果 (一般部, ガレキ撤去時)

部位	部材形状 (mm)	地震条件		最大塑性率 (破断寿命評価)	判定
接続部ブレース	十字 PL (PL-28×210 +2PL-28×91)	Ss900	+NS+EW+UD	19.40 (0.37)	0. K.
下部ブレース	φ -267.4×6.6	Ss900	+NS+EW+UD	15.84 (0.69)	0. K.

表 5. 4. 2-2(4) 断面検討結果 (一般部, 燃料取り出し時)

部位	部材形状 (mm)	地震条件		最大塑性率 (破断寿命評価)	判定
接続部ブレース	十字 PL (PL-28×210 +2PL-28×91)	Ss900	+NS+EW+UD	10.64 (0.04)	0. K.
下部ブレース	φ -318.5×6.9	Ss900	+NS+EW+UD	16.57 (0.86)	0. K.

なお, 大型カバーと燃料取扱設備支持部との地震時の干渉について, 一般部と燃料取扱設備支持部のクリアランス 30cm に対して最大相対変位が 18.9cm (燃料取り出し時) であることから, 地震時に衝突しないことを確認している。

2) 燃料取扱設備支持部

大型カバー燃料取扱設備支持部の断面検討結果を表 5.4.2-3 に示す。

ガレキ撤去時，燃料取り出し時共に，応力度比 1.0 を超えないことを確認した。

表 5.4.2-3(1) 断面検討結果（燃料取扱設備支持部，ガレキ撤去時）

部位	部材形状 (mm) 〈使用材料〉	地震波 (位置)	入力 方向	作用 応力度 (N/mm ²)		許容 応力度 (N/mm ²)		応力 度比	判定
				σ_c		f_c			
柱	H-400×400×13×21	Ss900	+NS+EW+UD	σ_c	51.5	f_c	326.1	0.16	O. K.
梁	H-350×350×12×19	Ss900	+NS+EW+UD	σ_c	102.2	f_c	344.0	0.30	O. K.
接続部 ブレース	十字 PL (PL-28×10 +2PL-28×91)	Ss900	+NS+EW+UD	σ_t	240.3	f_t	357.5	0.68	O. K.
下部 ブレース	ϕ -355.6×7.9	Ss900	+NS+EW+UD	σ_c	202.4	f_c	349.6	0.58	O. K.

表 5.4.2-3(2) 断面検討結果（燃料取扱設備支持部，燃料取り出し時）

部位	部材形状 (mm) 〈使用材料〉	地震波 (位置)	入力 方向	作用 応力度 (N/mm ²)		許容 応力度 (N/mm ²)		応力 度比	判定
				σ_c		f_c			
柱	H-400×400×13×21	Ss900	+NS+EW+UD	σ_c	89.9	f_c	326.1	0.28	O. K.
梁	H-350×350×12×19	Ss900	+NS+EW+UD	σ_t	135.5	f_t	357.5	0.38	O. K.
接続部 ブレース	十字 PL (PL-28×10 +2PL-28×91)	Ss900	+NS+EW+UD	σ_t	246.2	f_t	357.5	0.69	O. K.
下部 ブレース	ϕ -406.4×9.5	Ss900	+NS+EW+UD	σ_c	279.8	f_c	351.3	0.80	O. K.

5.4.3 屋根の耐震性に対する検討

大型カバー屋根部の断面検討結果を表 5.4.3-1 に示す。弦材、ブレースは最大塑性率 5 を超えないことを確認した。斜材は最大塑性率が 5 を超えることから、破断寿命評価を実施し、部材が破断しないことを確認した。

表 5.4.3-1(1) 断面検討結果 (ガレキ撤去時)

部位	部材形状 (mm)	地震条件		最大塑性率 (破断寿命評価)	判定
		Ss900	+NS+EW+UD		
弦材	P-190.7φ×5.3t	Ss900	+NS+EW+UD	0.80	0. K.
斜材	P-89.1φ×3.2t	Ss900	+NS+EW+UD	15.72 (0.26)	0. K.
ブレース	1-M30	Ss900	+NS+EW+UD	4.12	0. K.

表 5.4.3-1(2) 断面検討結果 (燃料取り出し時)

部位	部材形状 (mm)	地震条件		最大塑性率 (破断寿命評価)	判定
		Ss900	+NS+EW+UD		
弦材	P-261.3φ×7.0t	Ss900	+NS+EW+UD	0.94	0. K.
斜材	P-89.1φ×3.2t	Ss900	+NS+EW+UD	20.90 (0.39)	0. K.
ブレース	1-M27	Ss900	+NS+EW+UD	4.69	0. K.

5.4.4 建屋取り合い部の耐震性に対する検討

大型カバーのアンカーボルトの終局強度に対する検定比を表5.4.4-1に示す。ガレキ撤去時及び燃料取り出し時ともに、検定比1.0を超えないこと確認した。

表 5.4.4-1(1) アンカーボルトの検討結果（一般部，ガレキ撤去時）

部位 (アンカー本数)	地震条件		最大反力		終局強度		耐力比	判定
			引張力 (kN)	せん断力 (kN)	引張 (kN)	せん断 (kN)		
アンカー ボルト (16)	Ss900	+NS+EW+UD	1860	2329	3744	3088	0.83	O. K.

表 5.4.4-1(2) アンカーボルトの検討結果（一般部，燃料取り出し時）

部位 (アンカー本数)	地震条件		最大反力		終局強度		耐力比	判定
			引張力 (kN)	せん断力 (kN)	引張 (kN)	せん断 (kN)		
アンカー ボルト (16)	Ss900	+NS+EW+UD	1802	2350	3744	3088	0.84	O. K.

表 5.4.4-1(3) アンカーボルトの検討結果（燃料取扱設備支持部，ガレキ撤去時）

部位 (アンカー本数)	地震条件		最大反力		終局強度		耐力比	判定
			引張力 (kN)	せん断力 (kN)	引張 (kN)	せん断 (kN)		
アンカー ボルト (12)	Ss900	+NS+EW+UD	906	1606	3816	2316	0.70	O. K.

表 5.4.4-1(4) アンカーボルトの検討結果（燃料取扱設備支持部，燃料取り出し時）

部位 (アンカー本数)	地震条件		最大反力		終局強度		耐力比	判定
			引張力 (kN)	せん断力 (kN)	引張 (kN)	せん断 (kN)		
アンカー ボルト (24)	Ss900	+NS+EW+UD	3577	2964	5832	4632	0.80	O. K.

5.4.5 天井クレーンの耐震性に対する検討

地震応答解析より得られた東西レール間の最大相対水平変位は、ガレキ撤去時 39mm、燃料取り出し時 41mm で、クレーン端部の水平かかり代 2300mm に比べ小さく、ガレキ撤去用天井クレーンが落下する危険性はないことを確認した。

地震応答解析より得られたガレキ撤去用天井クレーンガーダの水平方向（NS 方向）および鉛直方向の最大応答曲げモーメントを表 5.4.5-1 に示す。

ガレキ撤去時、燃料取り出し時ともに、クレーンガーダの全塑性曲げモーメント M_p を超える不安定状態には至らないことを確認した。

表 5.4.5-1(1) ガレキ撤去用天井クレーンガーダの断面検討結果（ガレキ撤去時）

部位	部材形状 (mm)	荷重 ケース	最大応答曲げ モーメント (鉛直) ($\times 10^6 \text{Nm}$)		全塑性 モーメント (鉛直) ($\times 10^6 \text{Nm}$)		応力 度比	判定
			M		M_p			
① クレーン ガーダ	□-1500×2700 <SM490>	Ss900	M	149.2	M_p	168.0	0.89	O. K.

表 5.4.5-1(2) ガレキ撤去用天井クレーンガーダの断面検討結果（燃料取出し時）

部位	部材形状 (mm)	荷重 ケース	最大応答曲げ モーメント (鉛直) ($\times 10^6 \text{Nm}$)		全塑性 モーメント (鉛直) ($\times 10^6 \text{Nm}$)		応力 度比	判定
			M		M_p			
① クレーン ガーダ	□-1500×2700 <SM490>	Ss900	M	107.9	M_p	168.0	0.65	O. K.

地震応答解析より得られたクレーンガーダの最大鉛直変位は、ガレキ撤去時 174mm、燃料取り出し時 119mm となり、トロリの脱落防止材の鉛直かかり代 259mm に比べ小さいことを確認した。

ガレキ撤去用天井クレーンの最大応答水平加速度にトロリ重量 (56ton) を乗じ求めた水平力に対し、トロリの脱落防止材に生じるせん断応力度を求めた結果を表 5.4.5-2 に示す。

ガレキ撤去時、燃料取り出し時ともに、トロリの脱落防止材に発生する応力は弾性限界強度を超えないことを確認した。

表 5.4.5-2(1) 脱落防止材の断面検討結果 (ガレキ撤去時)

天井クレーン 最大水平応答加速度 (m/s^2)	トロリー脱落防止材 水平力 (kN)	トロリー脱落防止材 せん断応力度 (N/mm^2)	弾性限界応力度 (N/mm^2)	検定比	判定
45.7	2559	94.8	149	0.64	O.K.

表 5.4.5-2(2) 脱落防止材の断面検討結果 (燃料取り出し時)

天井クレーン 最大水平応答加速度 (m/s^2)	トロリー脱落防止材 水平力 (kN)	トロリー脱落防止材 せん断応力度 (N/mm^2)	弾性限界応力度 (N/mm^2)	検定比	判定
42.0	2352	87.1	149	0.58	O.K.

5.4.6 原子炉建屋の耐震性に対する検討

(1) 検討方針

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

また、大型カバーを設置する前後でのオペフロでの最大応答加速度を比較する。

(2) 原子炉建屋の地震応答解析

1) 解析に用いる入力地震動

検討に用いる地震動は、「5.4.1 検討方針」で示した Ss900 とする。

地震応答解析に用いる入力地震動の概念図は図 5.3.1-1 と同様である。

2) 地震応答解析モデル

地震応答解析に用いるモデルは、図 5.4.6-1 に示すように建屋を質点系とし地盤を等価なばねで評価した建屋-地盤連成系モデルとする。

地震応答解析モデルの諸元は、「5.3.5 原子炉建屋の耐震性に対する検討」と同一である。

大型カバー設置前の原子炉建屋の建屋の諸元は「1/2Ss450gal 検討」に示す。また、地盤定数は、「5.3.1 検討方針」で示した地盤定数と同一である。

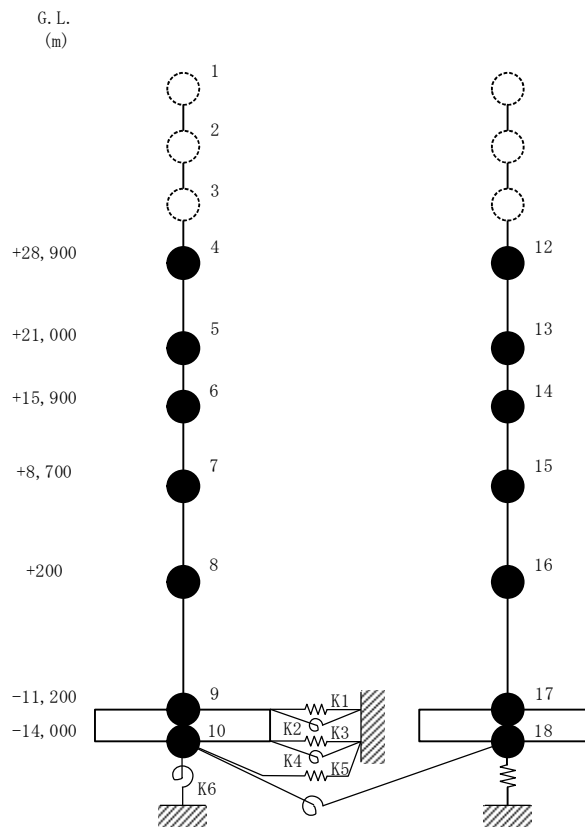


図 5.4.6-1 原子炉建屋の地震応答解析モデル

II-2-11-添 4-2-318

II-14-②-136

(3) 検討結果

大型カバー設置後のSs900に対する最大応答値を、「JEAG4601-1991」に基づき設定した耐震壁のせん断スケルトン曲線上にプロットした結果を図5.4.6-2に示す。

検討の結果、地震応答解析により得られる最大応答値は、評価基準値 (4.0×10^{-3}) 以下となり、クライテリアを満足することを確認した。

Ss900 に対する最大接地圧を、表 5.4.6-1 に示す。最大接地圧は、地盤の極限支持力度 (9800kN/m^2) を超えないことを確認した。

また、カバー設置前とカバー設置後のガレキ撤去時及び燃料取り出し時の最大応答加速度の比較を図5.4.6-3に示す。各階の最大応答加速度は大きな違いが見られず、大型カバーを設置した影響は小さい。

表 5.4.6-1(1) Ss900 に対する最大接地圧 (ガレキ撤去時)

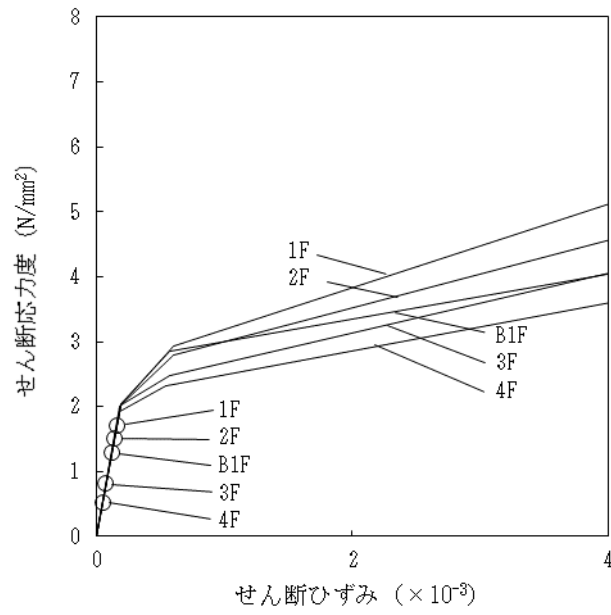
	NS 方向*1	EW 方向*1
地震波	Ss900-1	Ss900-1
鉛直力N ($\times 10^5\text{kN}$)	10.4	10.4
転倒モーメントM ($\times 10^6\text{kN}\cdot\text{m}$)	13.2	13.4
最大接地圧 (kN/m^2)	3480	3000

*1：誘発上下動考慮の結果を示す。

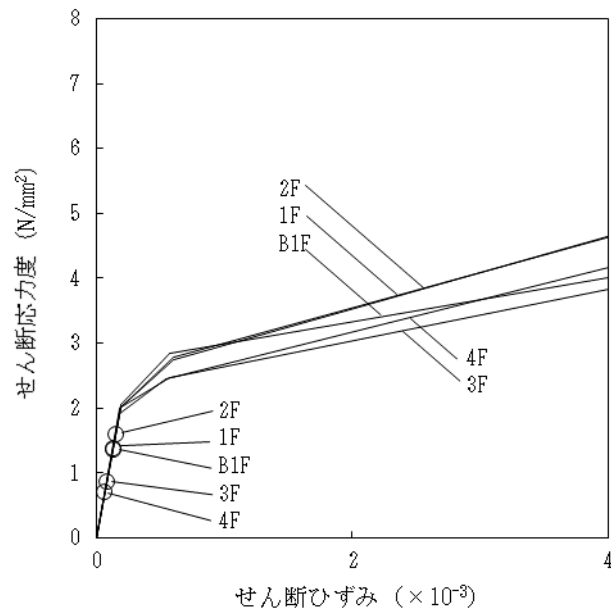
表 5.4.6-1(2) Ss900 に対する最大接地圧 (燃料取り出し時)

	NS 方向*1	EW 方向*1
地震波	Ss900-1	Ss900-1
鉛直力N ($\times 10^5\text{kN}$)	11.0	11.0
転倒モーメントM ($\times 10^6\text{kN}\cdot\text{m}$)	13.2	14.8
最大接地圧 (kN/m^2)	2950	3680

*1：誘発上下動考慮の結果を示す。

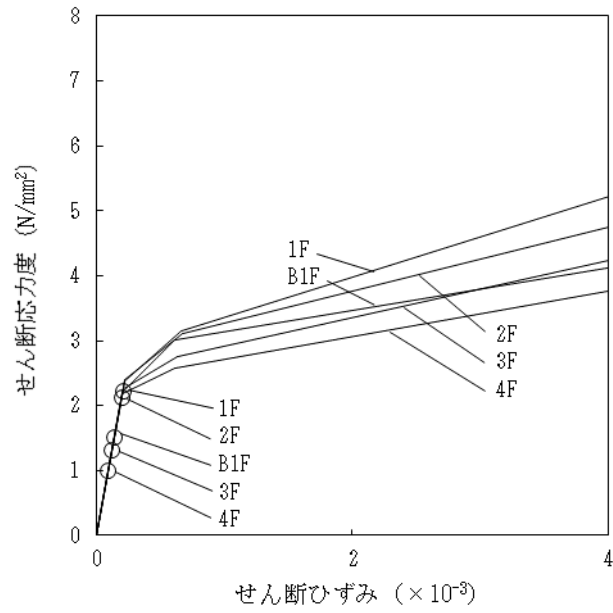


(a) NS 方向

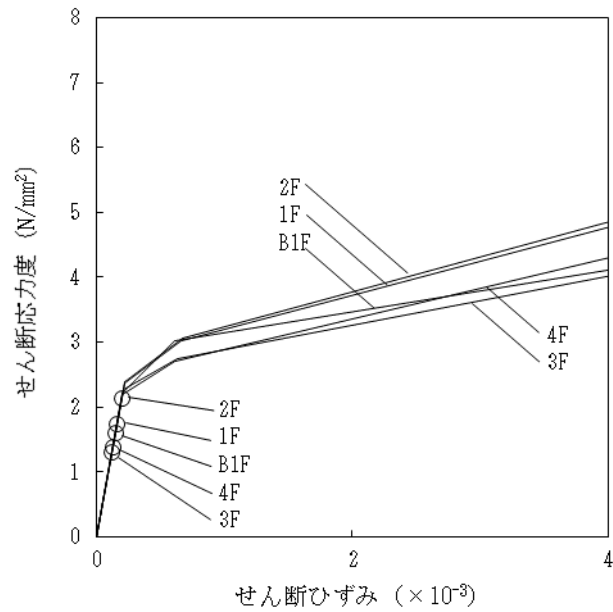


(b) EW 方向

図 5.4.6-2(1) せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (大型カバー設置前)

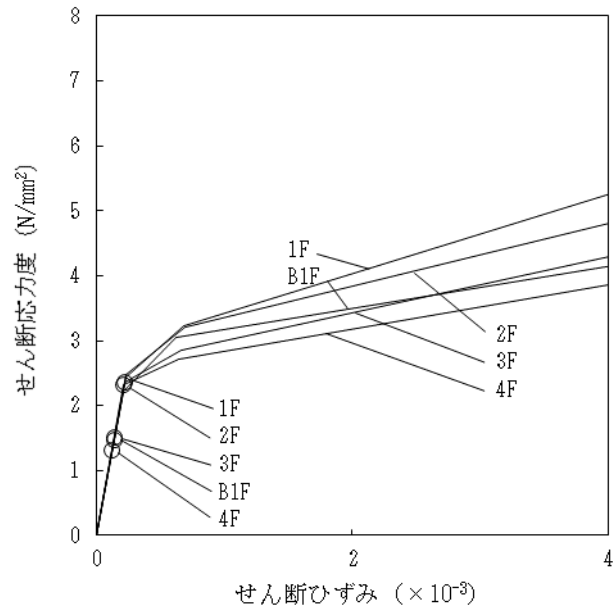


(a) NS 方向

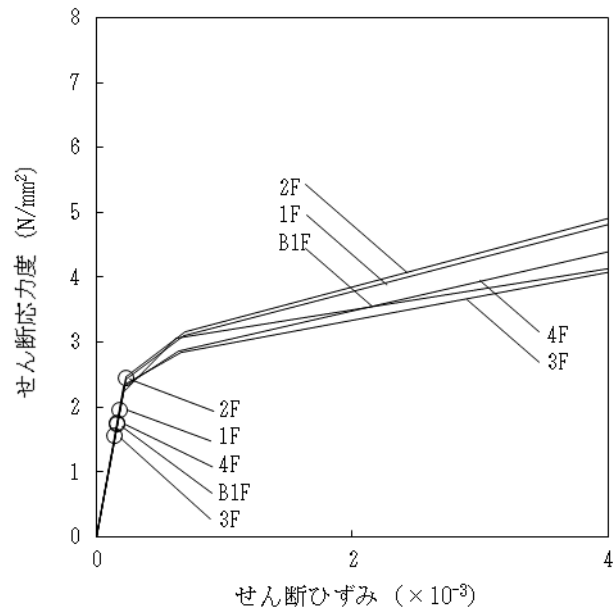


(b) EW 方向

図 5.4.6-2(2) せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (ガレキ撤去時)

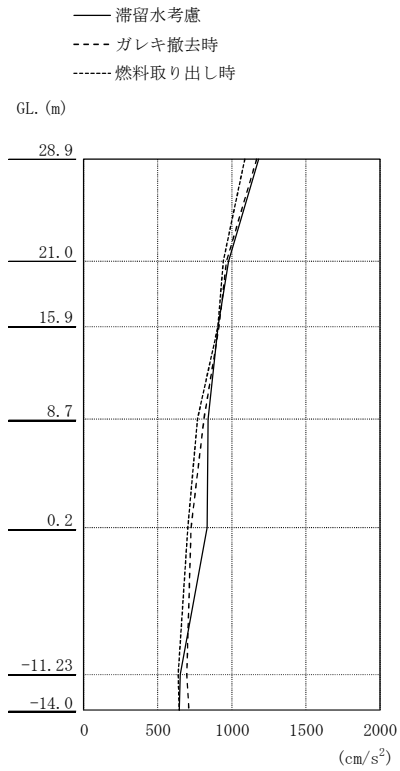


(a) NS 方向



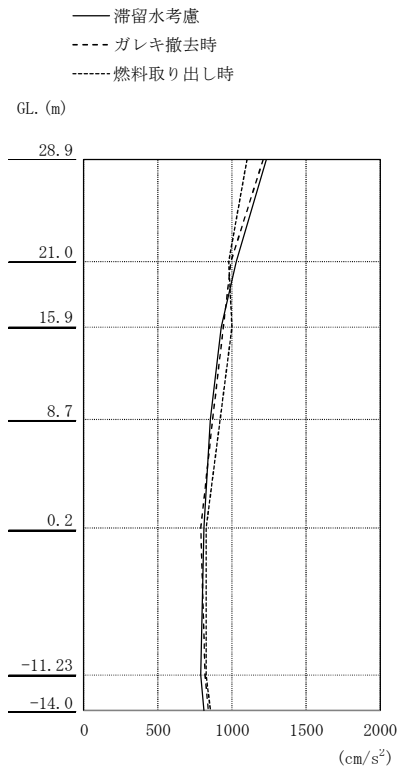
(b) EW 方向

図 5.4.6-2(3) せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (燃料取出し時)



(cm/s ²)		
滞留水考慮	ガレキ撤去時	燃料取り出し時
1185	1167	1087
977	966	940
909	916	905
840	813	766
832	725	706
654	699	637
648	709	647

(a) NS 方向



(cm/s ²)		
滞留水考慮	ガレキ撤去時	燃料取り出し時
1232	1212	1099
1031	990	981
926	944	999
856	867	922
812	789	828
793	816	827
813	844	856

(b) EW 方向

図 5.4.6-3 最大応答加速度の比較

6. 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

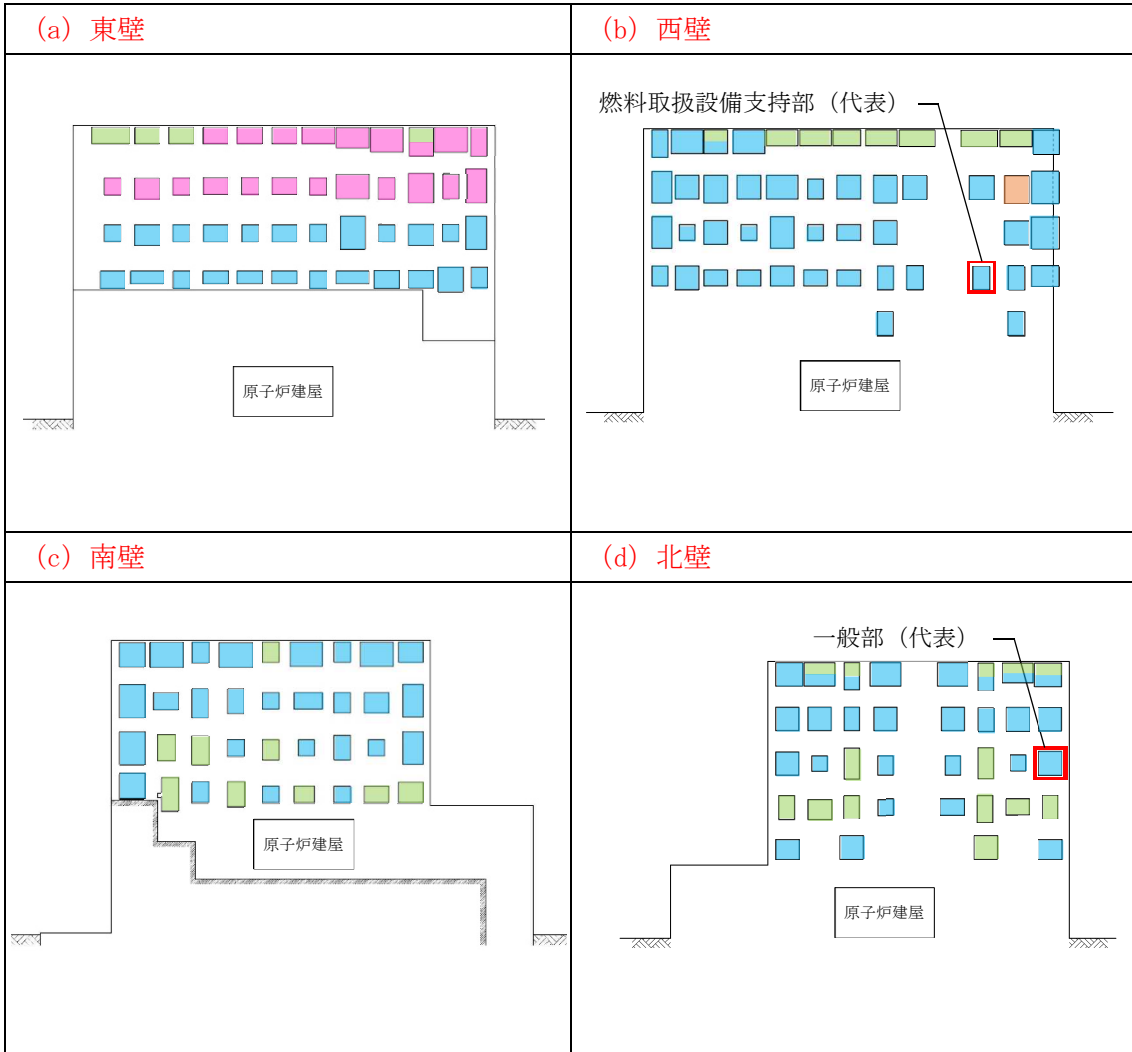
1号機大型カバーに係る確認事項

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

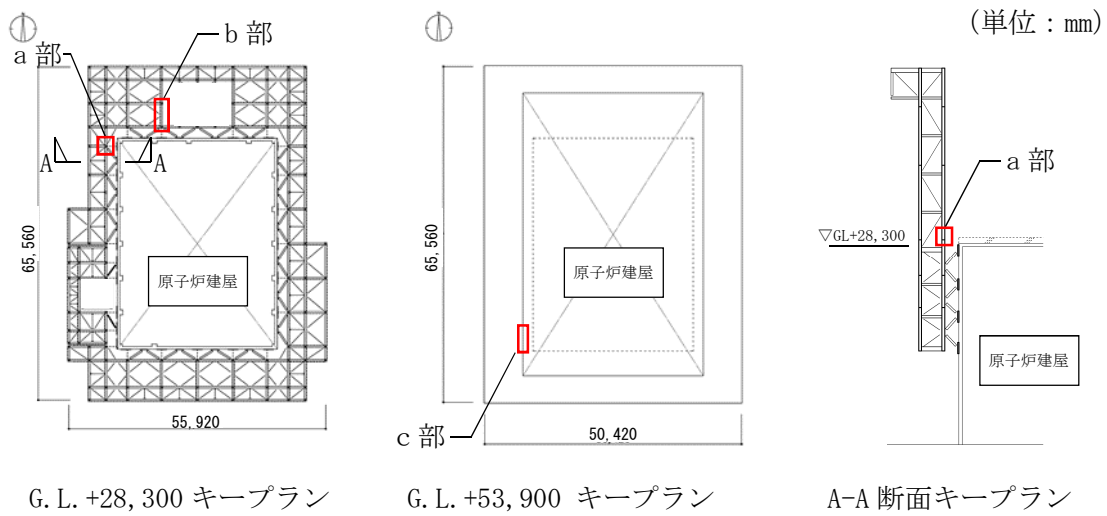
確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度 および 耐震性	材料確認	鋼材の材質, 強度, 化学成分を確認する。	JIS G 3101, JIS G 3106, JIS G 3136, JIS G 3138, JIS G 3444, JIS G 3475, JIS G 4051, JIS B 1186 又は建築基準法第 37 条第二号に基づく国土交通大臣の認定に適合すること。
		トルシア型超高力ボルト (SHTB)、トルシア型高力ボルト (HTB) 及び溶融亜鉛めっき高力ボルト (12G SHTB) の仕様を確認する。	建築基準法第 37 条第二号に基づく国土交通大臣の認定に適合すること。
		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。

	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。
--	----------------	----------------	----------------------



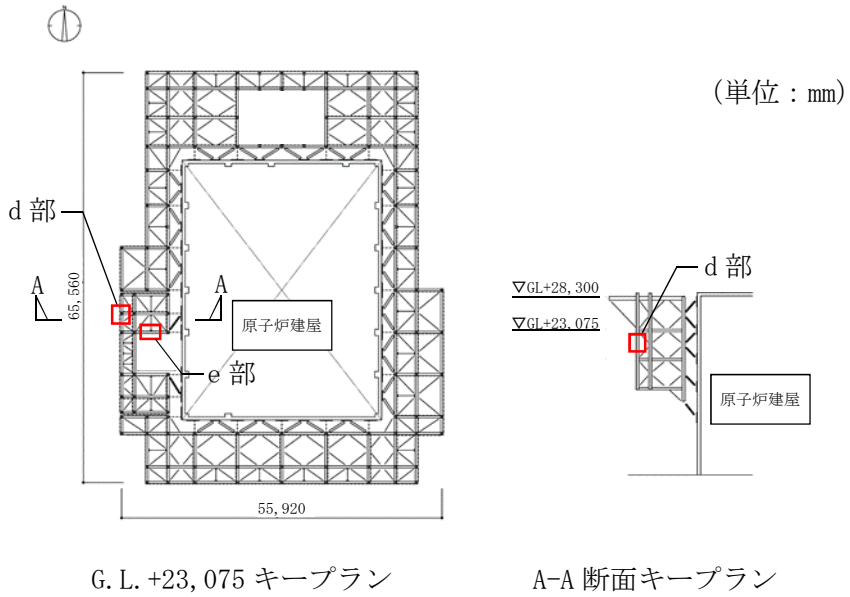
- 有効埋め込み長さ：280mm 以上
- 有効埋め込み長さ：345mm 以上
- 有効埋め込み長さ：375mm 以上
- 有効埋め込み長さ：420mm 以上

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



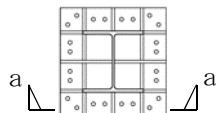
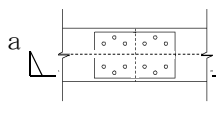
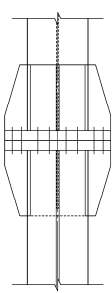
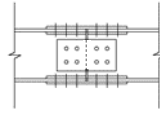
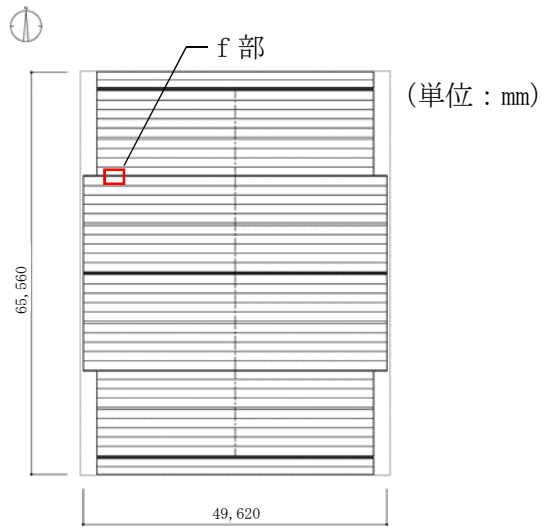
(d) 柱 材	(e) 梁 材
 <p>断面図</p>	 <p>断面図</p>
 <p>a-a 矢視図</p>	 <p>a-a 矢視図</p>
ボルト種類 : SHTB M24 本 数 : 24 本	ボルト種類 : SHTB M24 本 数 : 16 本×2

図-2 (2) 燃料取扱設備支持部接合部詳細



屋根伏図

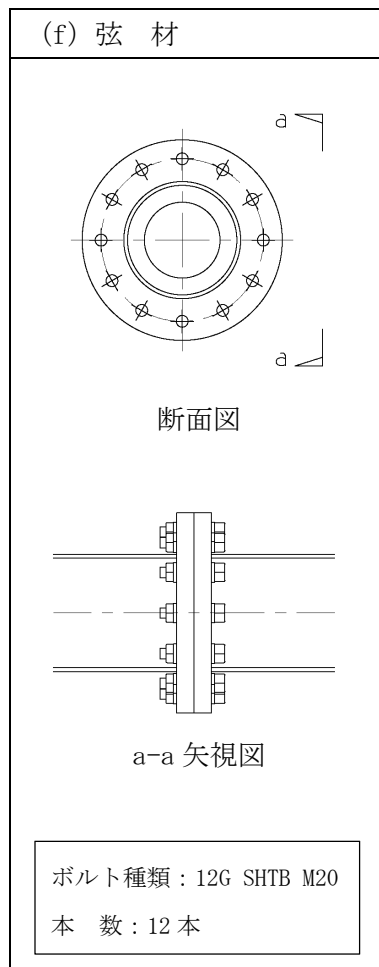
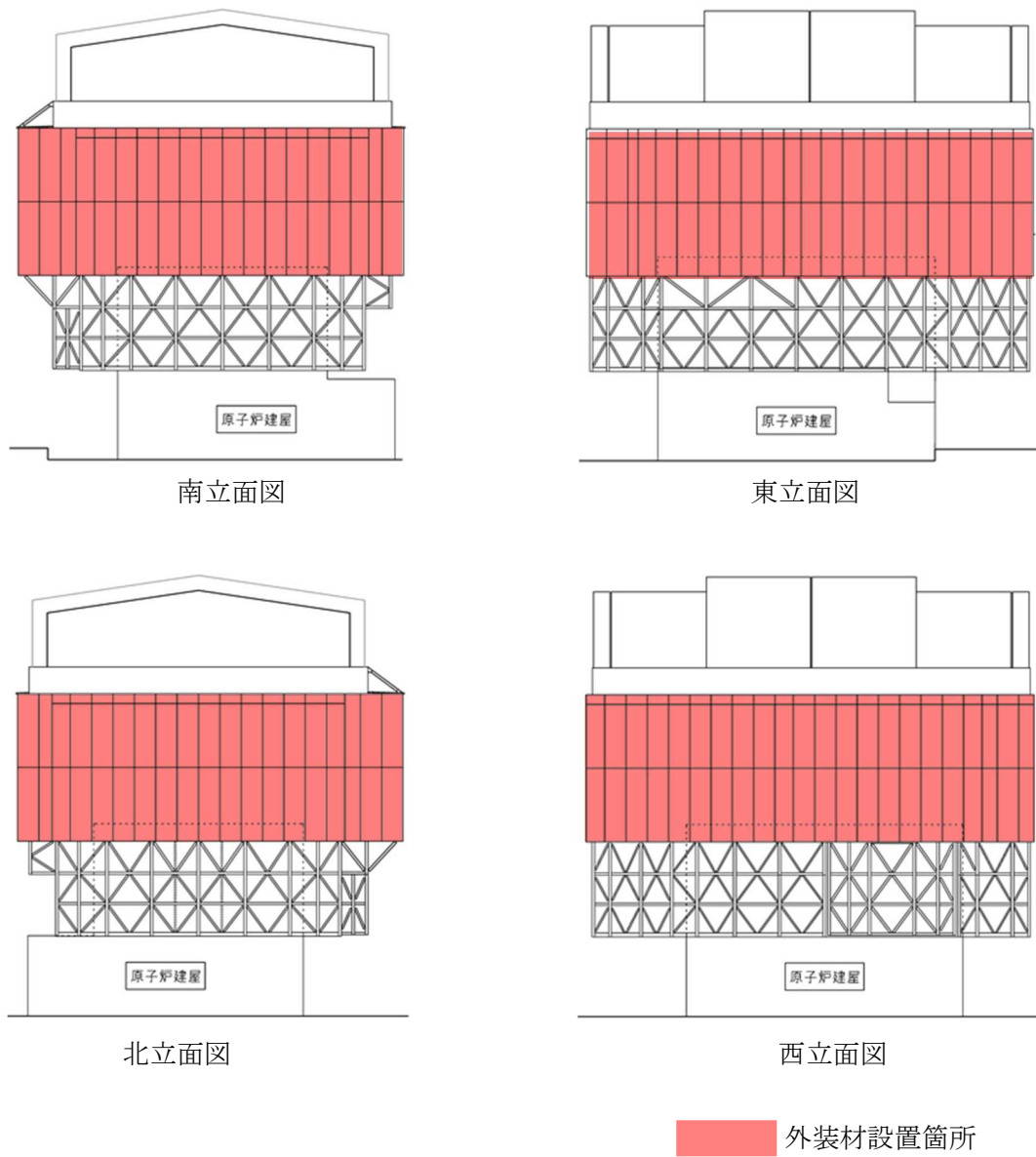


図-2 (3) 屋根部接合部詳細

II-2-11-添 4-2-476

II-14-②-147



図一 3 外装材設置範囲図

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。

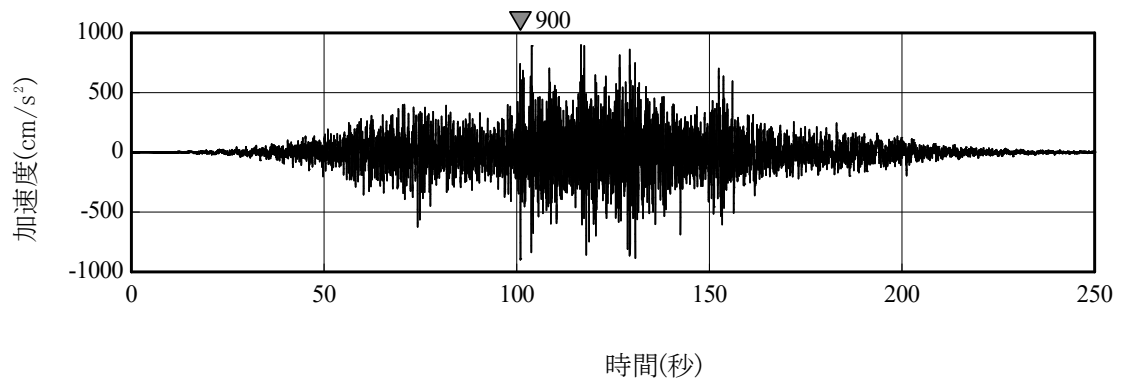
2. 模擬地震波の作成方針

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。

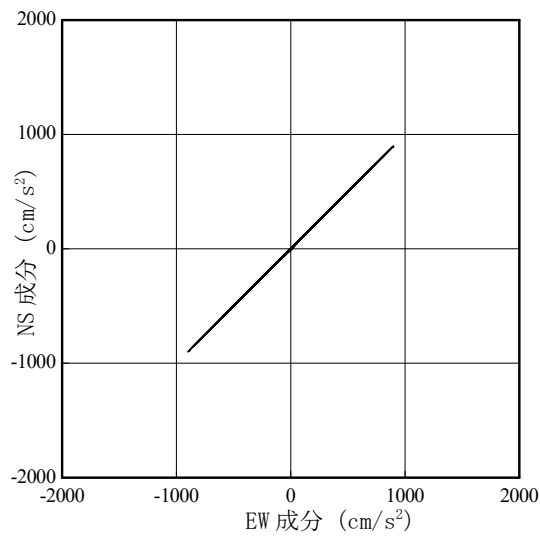
Ss900-1の位相は、2011年東北地方太平洋沖地震において福島第一原子力発電所内の地震観測記録のNS方向の位相を基に模擬地震波を作成している。そこで組み合わせる地震動は、同一の方法でNS方向と直交するEW方向の位相を基に作成した模擬地震波とする。

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。

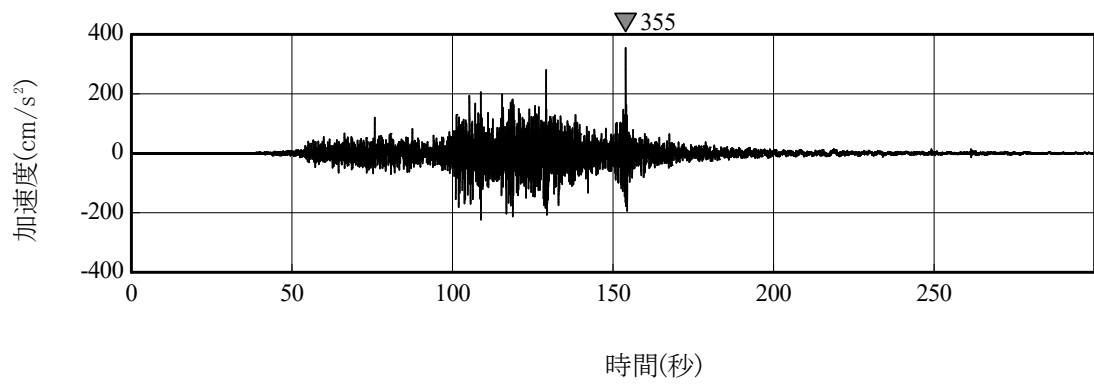
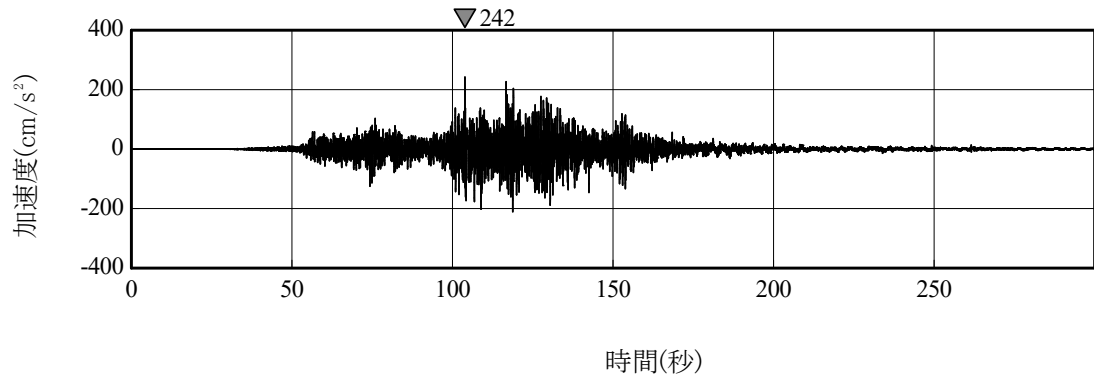


(a) 加速度時刻歴波形

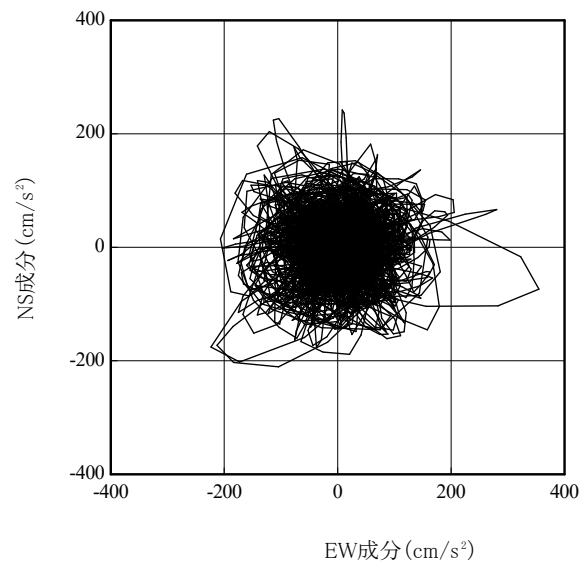


(b) 水平2方向の加速度成分のオービット

図 2.1-1 Ss900-1



(a) 加速度時刻歴波形

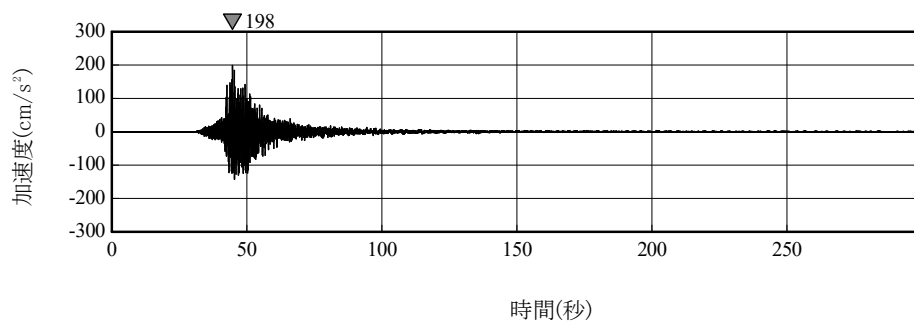
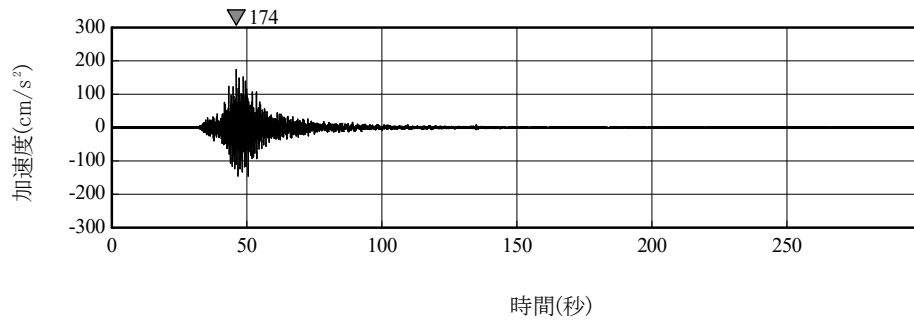


(b) 水平 2 方向の加速度成分のオービット

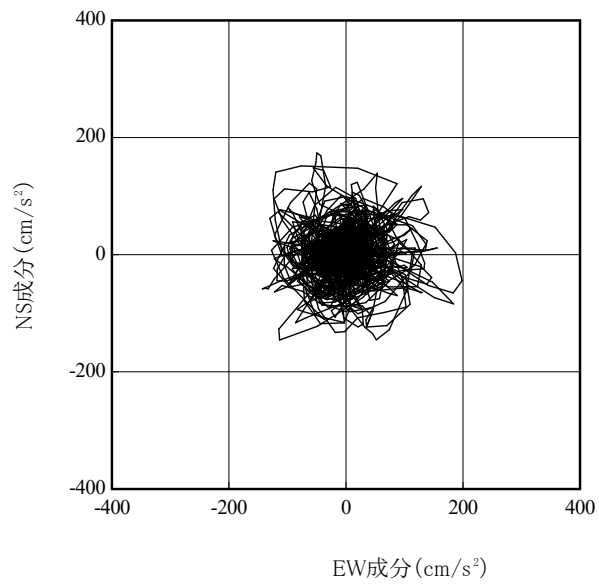
図 2.1-2 3.11 地震観測記録 (自由地盤観測点)

Ⅱ-2-11-添 4-2-480

Ⅱ-14-②-151

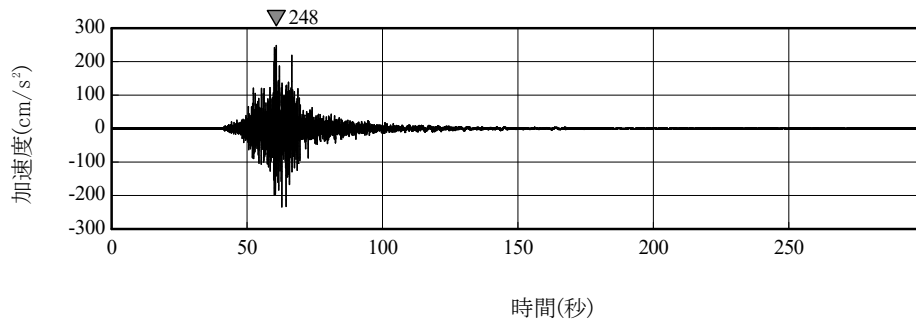


(a) 加速度時刻歴波形

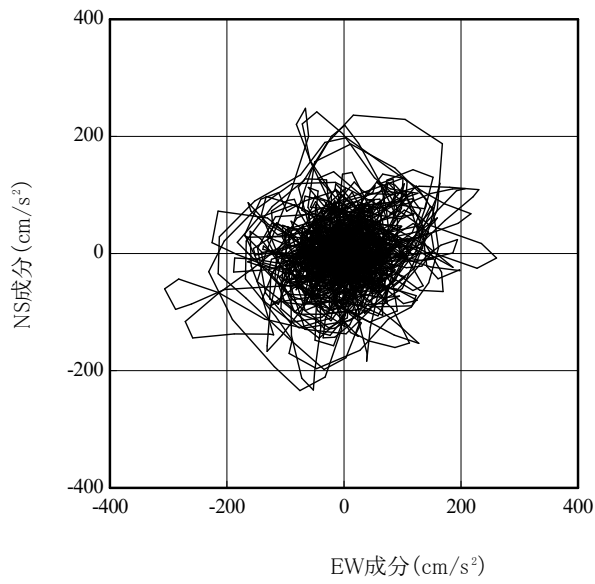


(b) 水平 2 方向の加速度成分のオービット

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

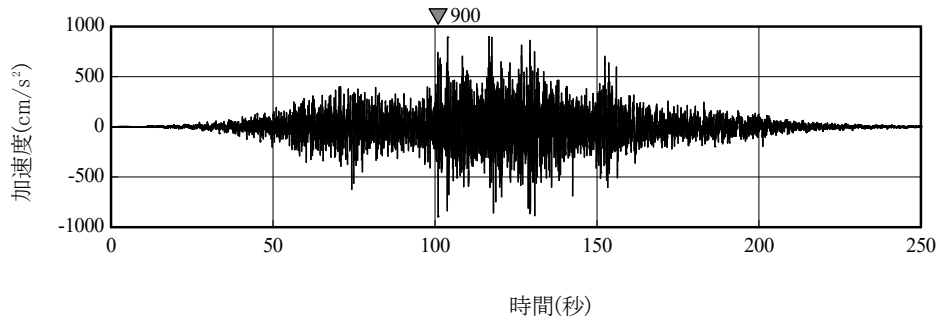


(b) 水平2方向の加速度成分のオービット

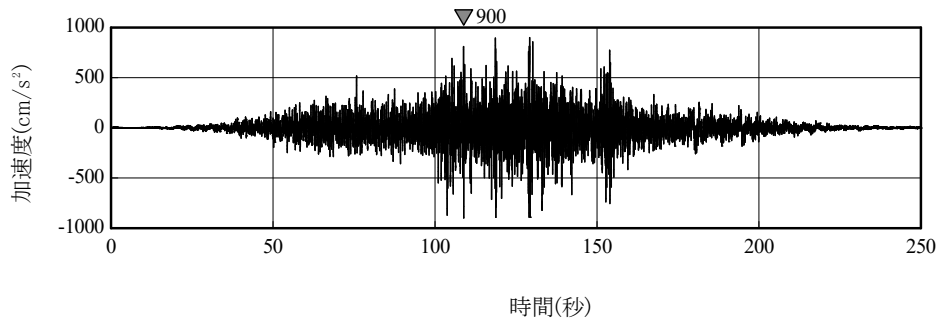
図 2.1-4 3.16 の福島県沖の地震観測記録 (自由地盤観測点)

3. 模擬地震波の作成結果

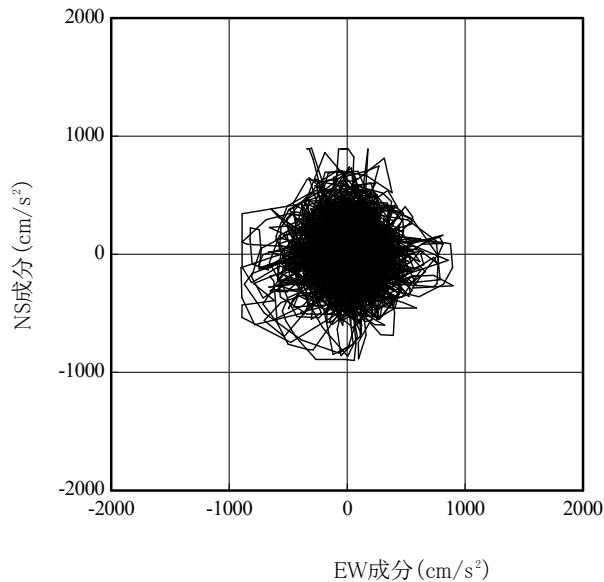
Ss900-1 及び Ss900-1 と組み合わせる模擬地震波の加速度時刻歴波形及びそれぞれの地震波を2方向入力した場合のオービット及び応答スペクトルを図 2.1-5 に示す。



(a) Ss900-1 の加速度時刻歴波形

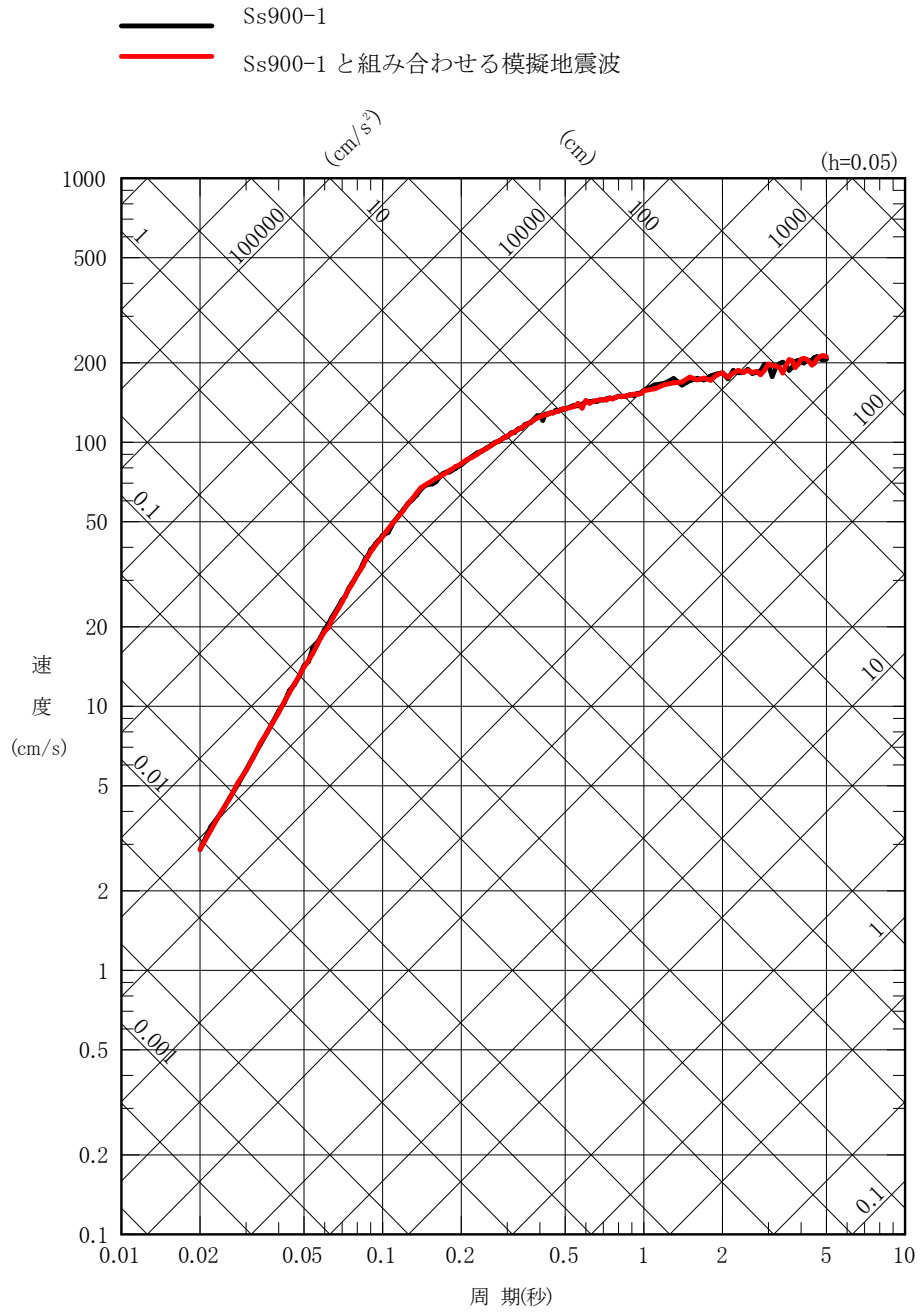


(b) Ss900-1 と組み合わせる模擬地震波の加速度時刻歴波形



(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。

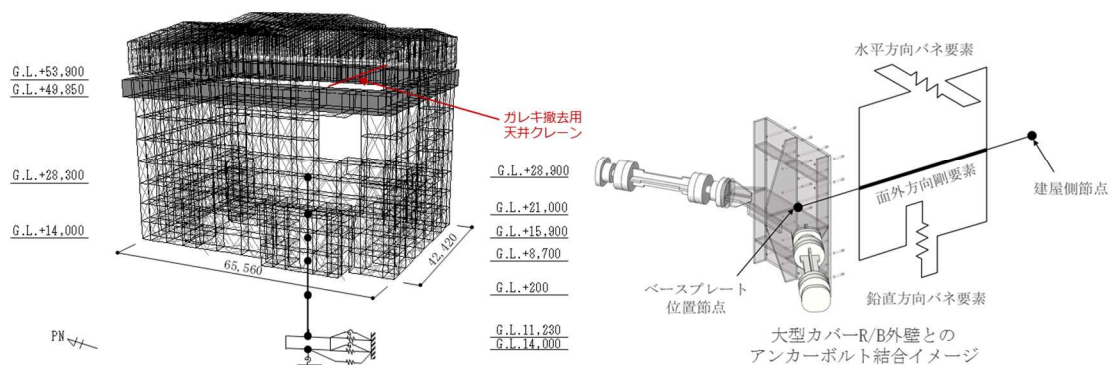


図 1.2.1-1 解析モデル

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)

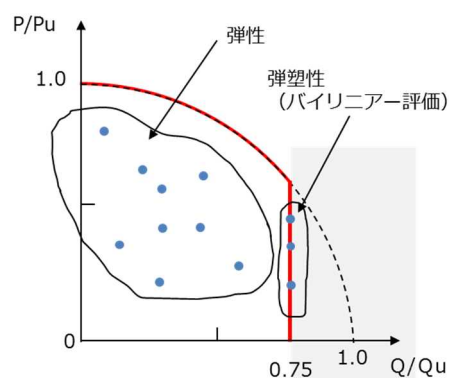


図 1.2.3-1 バイリニア評価の概要

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。

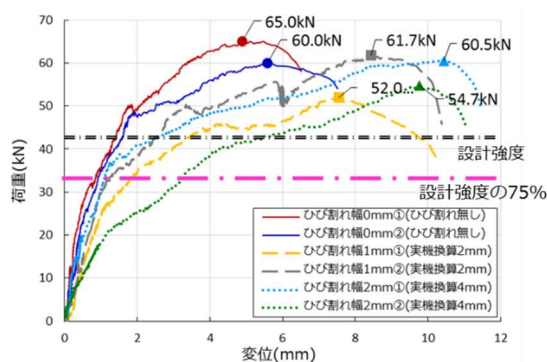


図 1.2.3-2 せん断実験結果（荷重変位関係）

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）

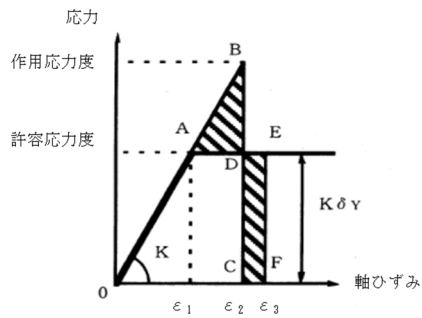
部位 (アンカー本数)	地震条件		最大反力		終局強度		耐力比	判定
			引張力 (kN)	せん断力 (kN)	引張 (kN)	せん断 (kN)		
アンカーボルト (16)	Ss900	+NS+EW+UD	1427	1837	4448	3088	0.60	0.K.

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。

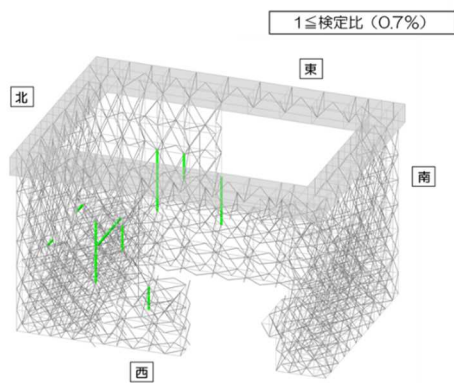


図 1.2.4-2

柱梁部材検定比1を超える割合図

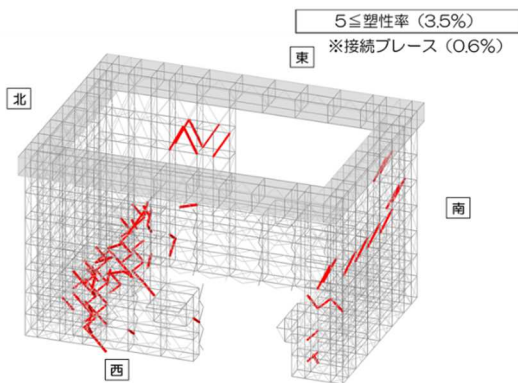


図 1.2.4-3

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 $\epsilon_{max} (\times 10^{-3})$	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。

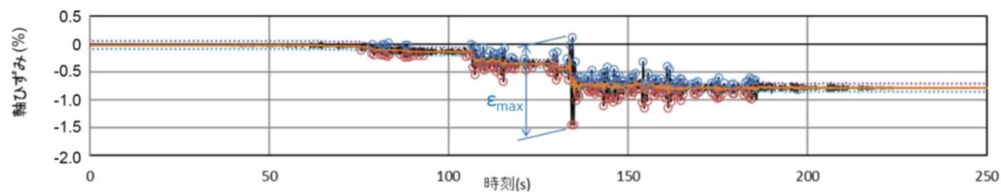


図 1.2.5-1 軸ひずみ時刻歴波形

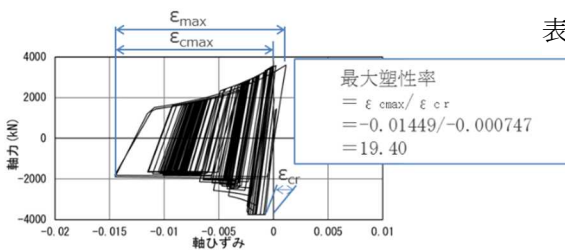


表 1.2.5-2 設定ひずみ振幅と疲労寿命

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し。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。

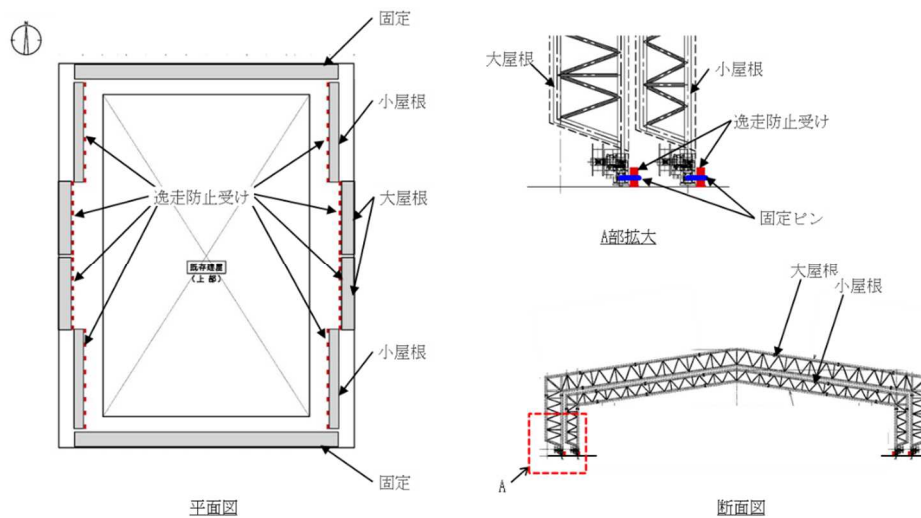


図 1.2.6-1 屋根部の逸走防止受けの概要

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))

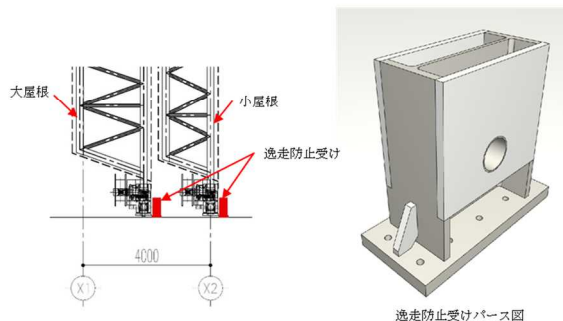


図 1.2.6-2 落下防止の検討

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。

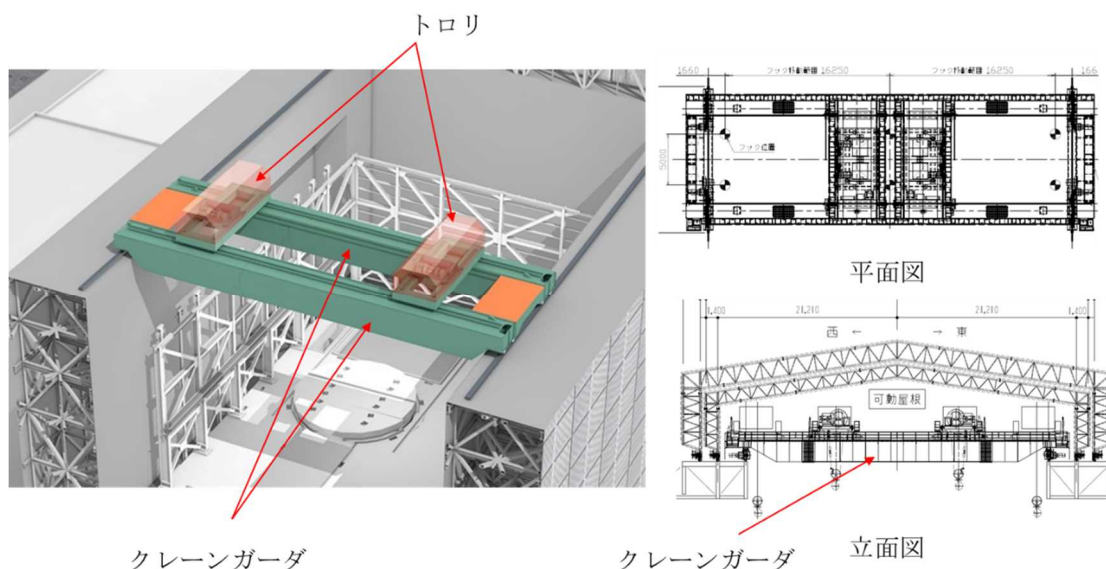


図 1.2.7-1 天井クレーンの概要図

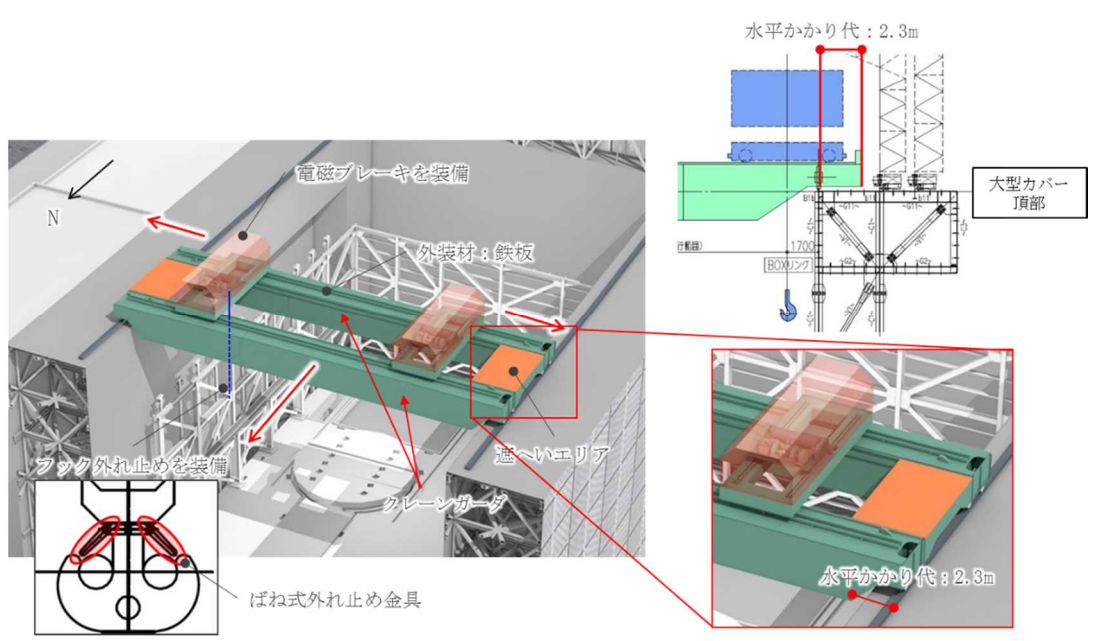
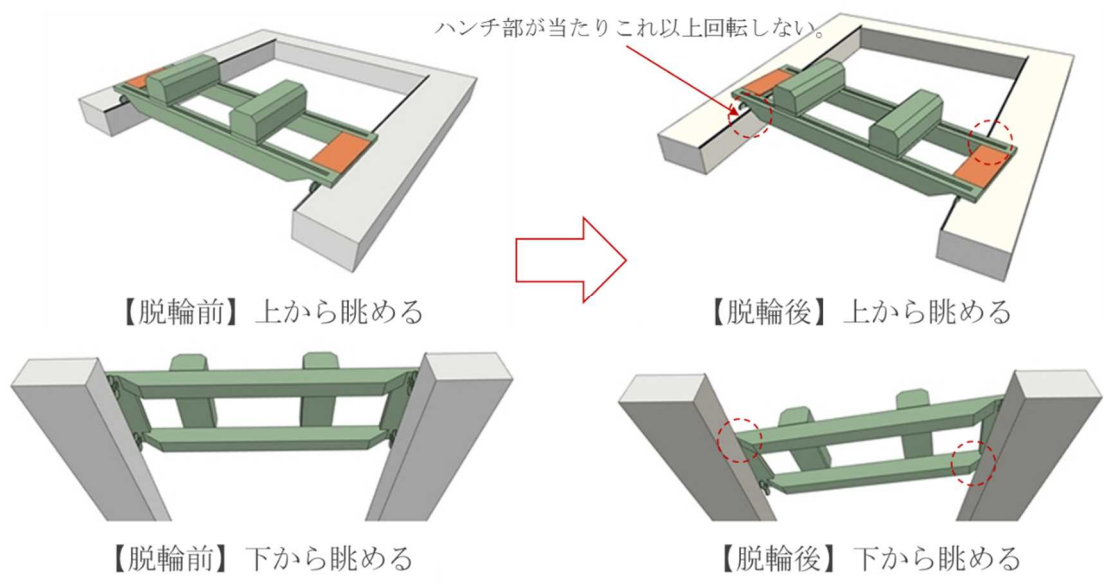
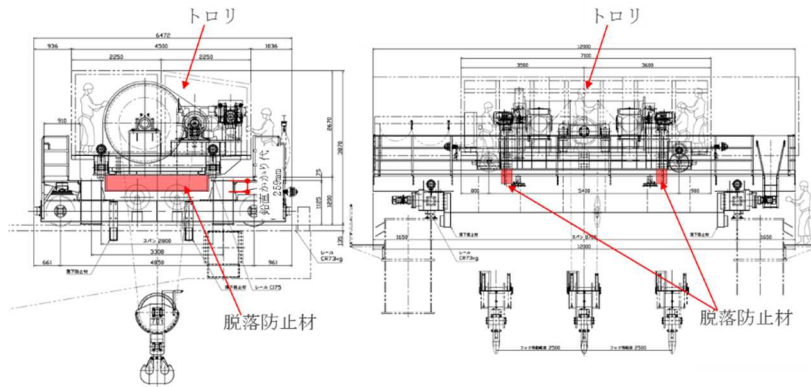


図 1.2.7-2 天井クレーン安全対策の概要図

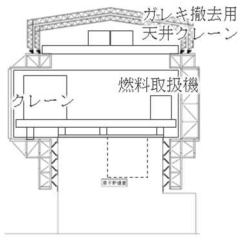
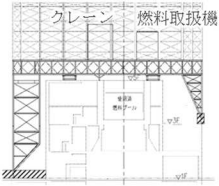
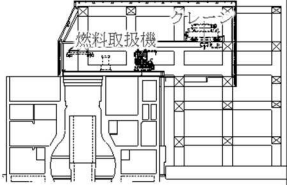


トロリの脱落防止材（赤色部：H-900×300×16×28(SS400)）

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

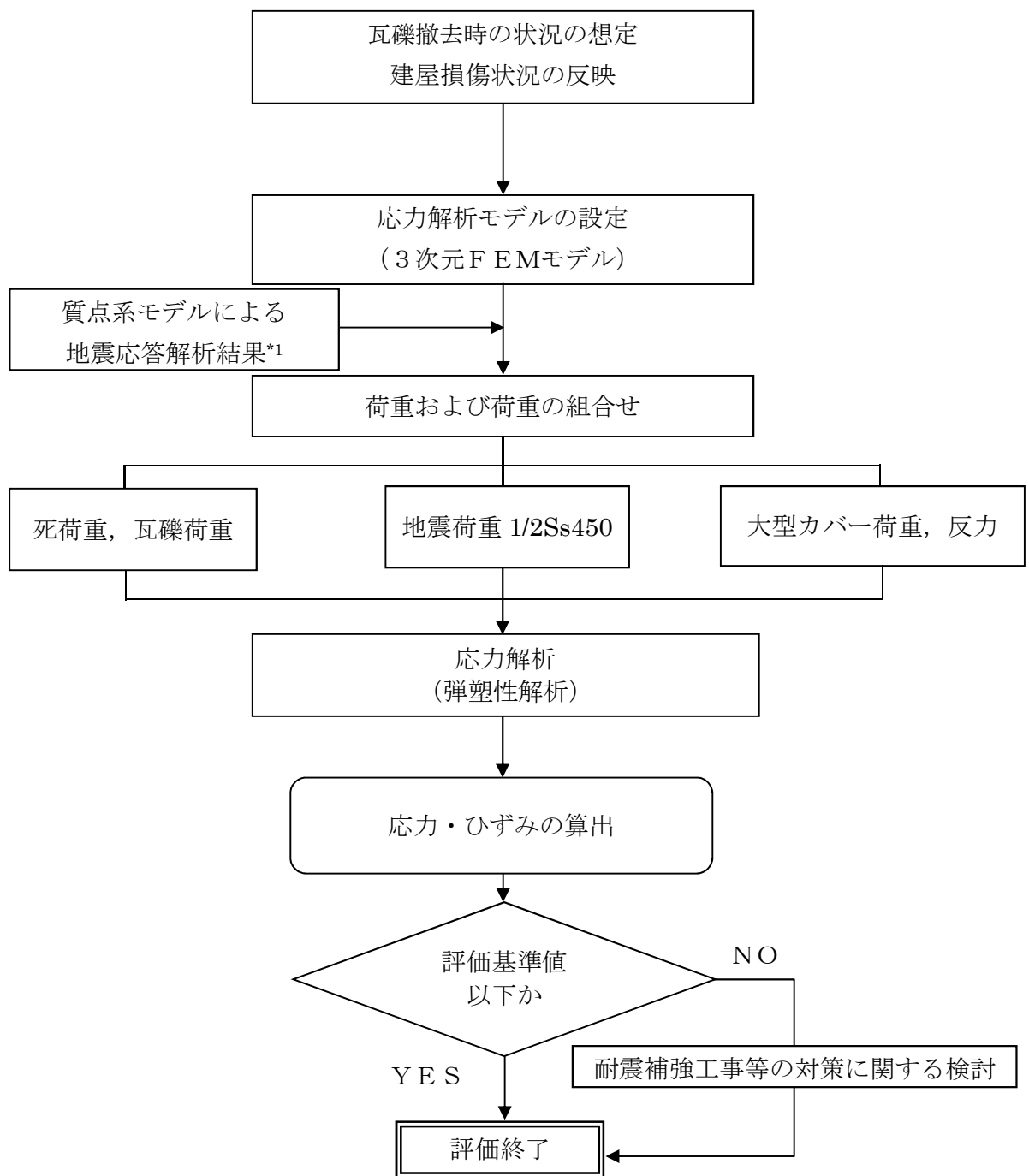
大型カバーは、原子炉建屋の外壁面に支持されており、原子炉建屋に波及的影響を及ぼさない設計としている。本章では、事前の外壁調査結果やその他損傷状況を反映し、かつ瓦礫撤去時の荷重状態を想定した原子炉建屋の 1/2Ss450 に対する 3次元 FEM 解析により、原子炉建屋外壁の耐震安全性評価を実施する。

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 カバーの構造強度及び耐震性について」中の1号機のがれき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。

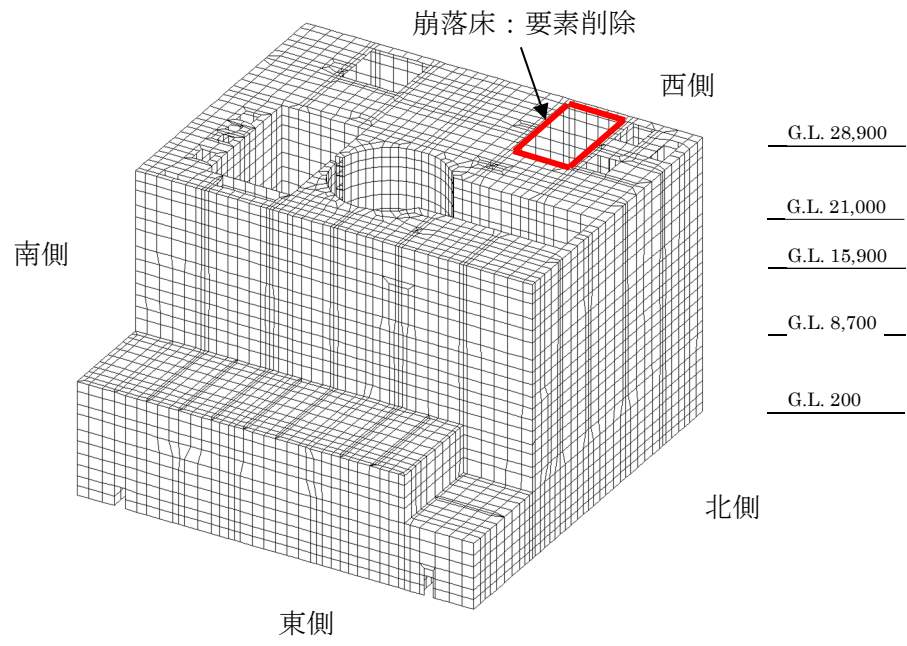


図-1.2 解析モデル概要図

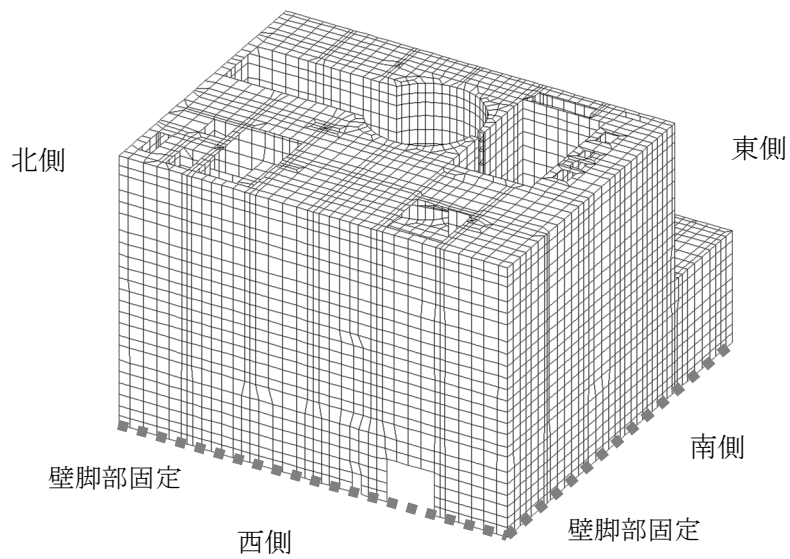
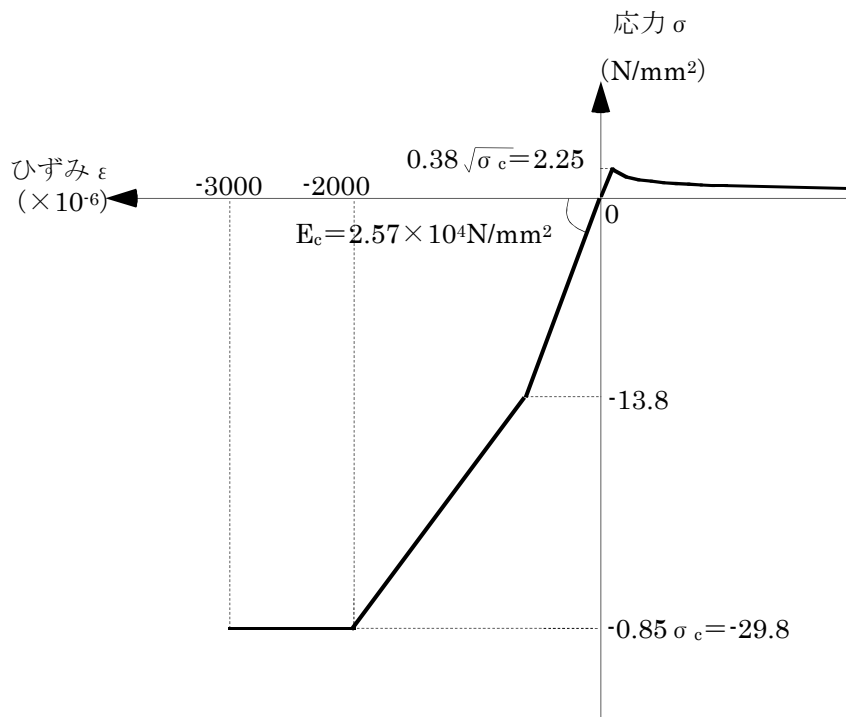
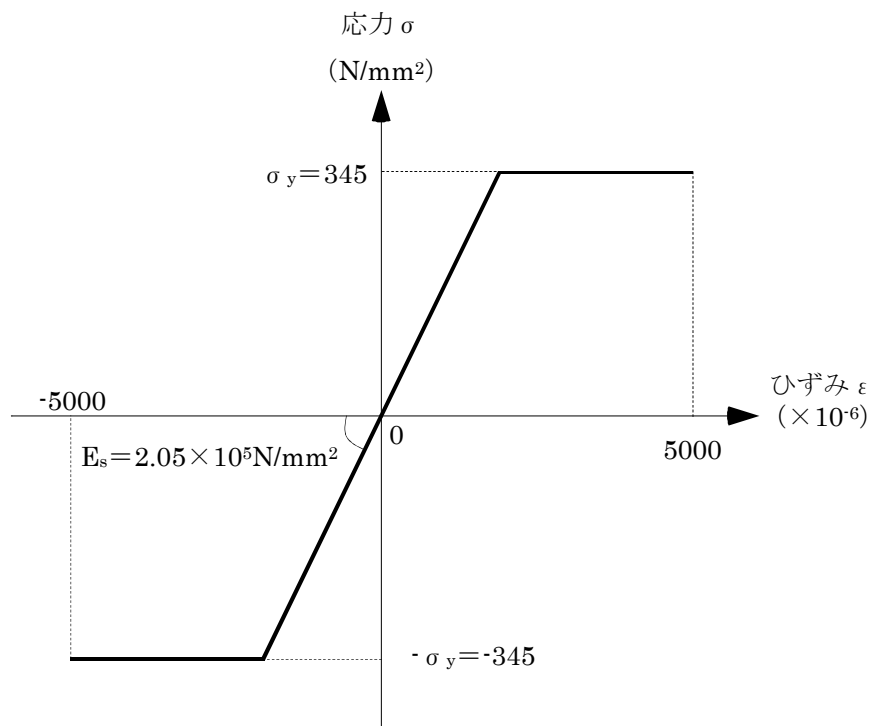


図-1.3 解析モデルの境界条件



(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。

$$Q_A = bj\alpha f_s$$

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

ここで、

- Q_A : 短期許容面外せん断力
- b : 断面の幅
- j : 断面の応力中心間距離で有効せいの(7/8)倍の値とすることができる
- α : せん断スパン比 $M/(Qd)$ による割増係数
- f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度
- M : 設計する壁の短期荷重による最大曲げモーメント
- Q : 設計する壁の短期荷重による最大せん断力
- d : 有効せい

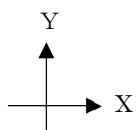
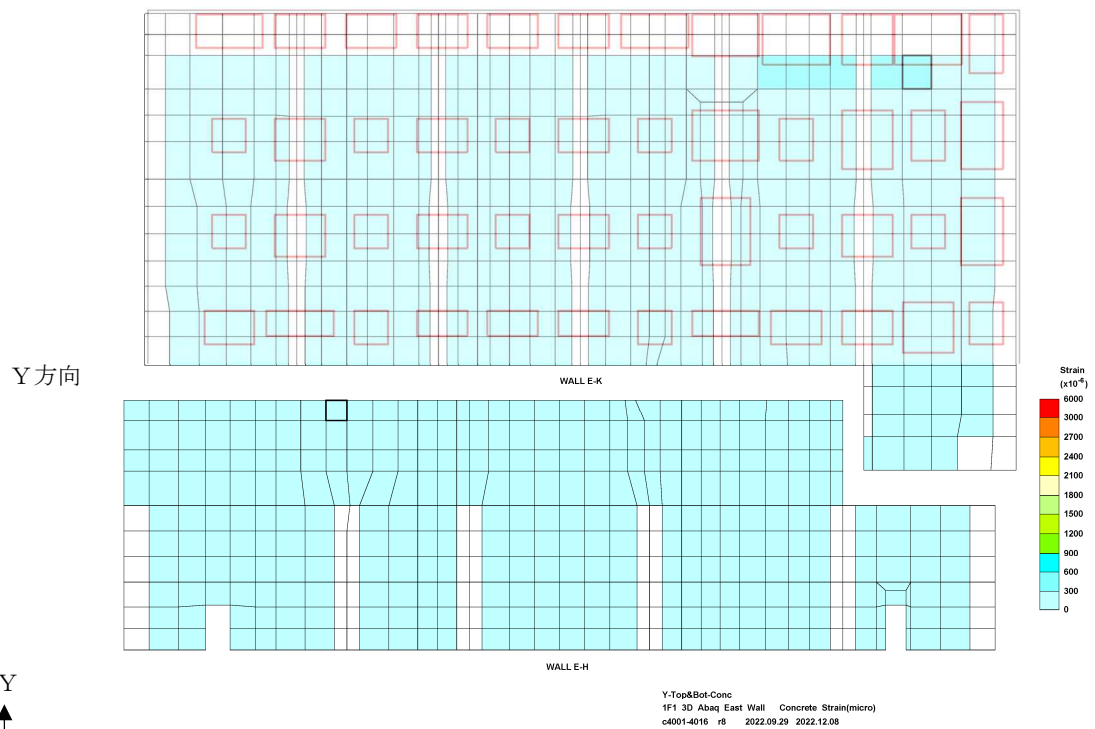
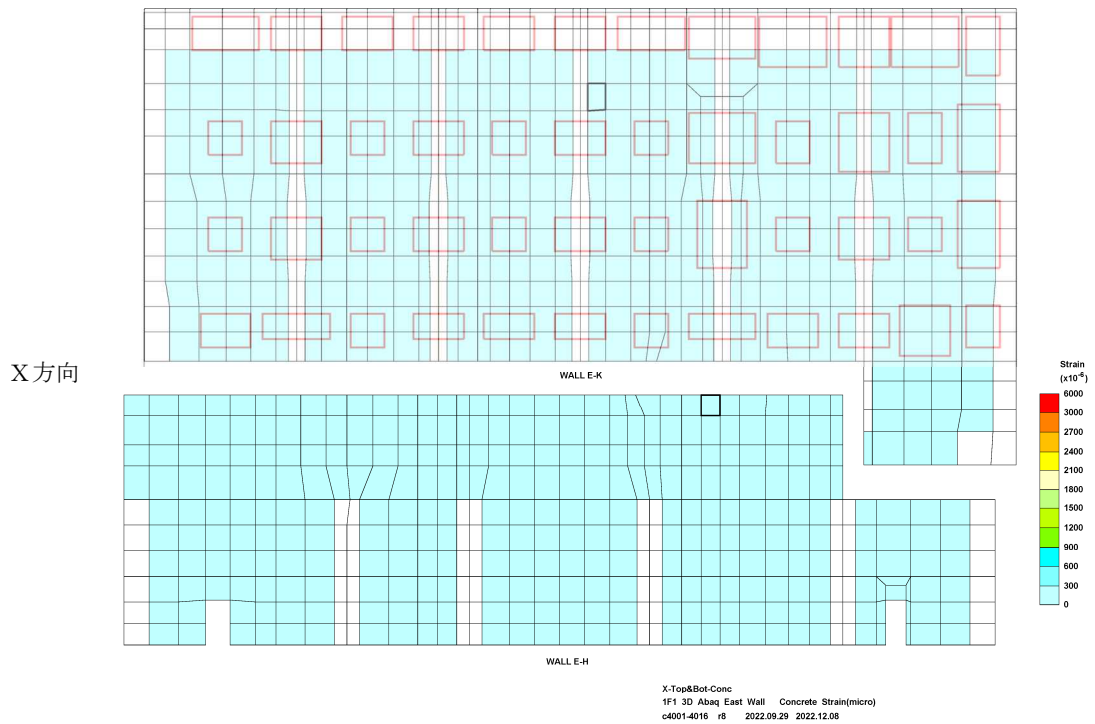
発生ひずみ及び面外せん断力の発生応力と評価基準値の比(検定比。1以下で評価基準値を満足する。)を示した結果を図-1.5～図-1.16に、各面の最大値一覧を表-1.3に示す。いずれの箇所においても発生ひずみ及び面外せん断力は許容限界以内であり、評価基準値を十分に下回っている。このことから、瓦礫撤去時の状況において、大型カバーが取りつく建屋外壁は、耐震安全性を有しているものと評価した。

表-1.2 ひずみの評価基準値

評価対象	評価基準値 ϵ_a ($\times 10^{-6}$)
コンクリート	-3000
鉄筋	± 5000

表-1.3 外壁各面の最大値一覧

部位	コンクリート ひずみ($\times 10^{-6}$)	鉄筋ひずみ ($\times 10^{-6}$)	面外せん断力 検定比
東壁	-389	367	0.703
西壁	-383	429	0.722
南壁	-359	470	0.656
北壁	-317	670	0.797

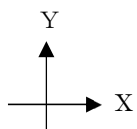
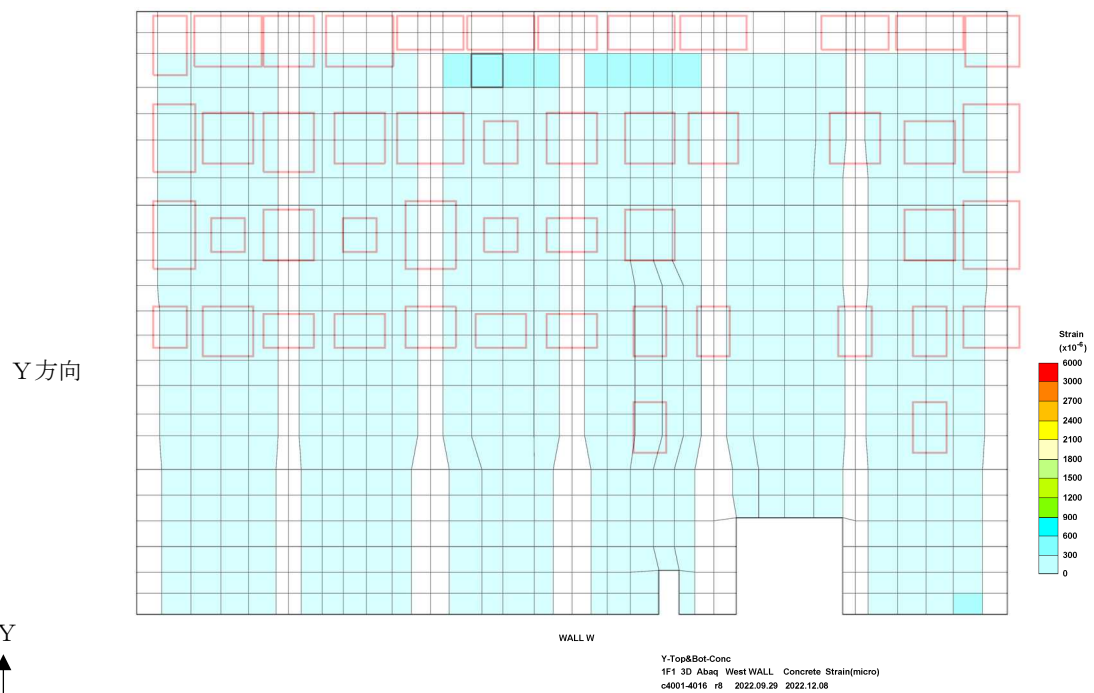
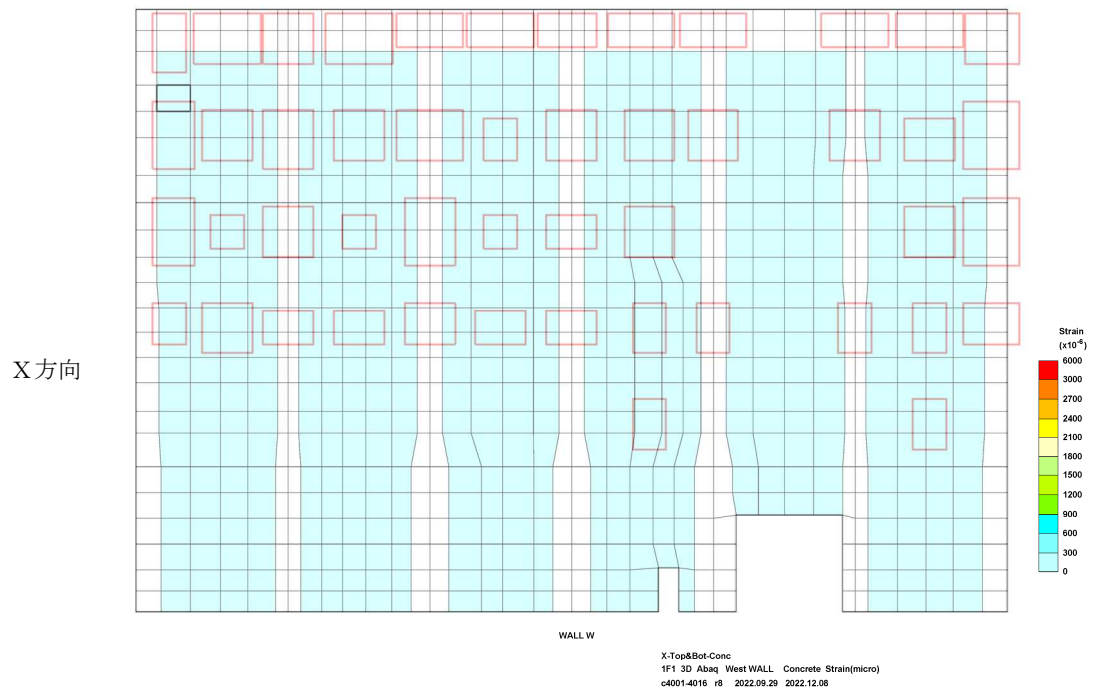


(图中赤枠はベースプレート設置位置を示す)

図-1.5 コンクリート圧縮ひずみの検定比 (建屋外壁東面)

Ⅱ-2-11-添 4-2-506

Ⅱ-14-②-177

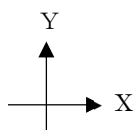
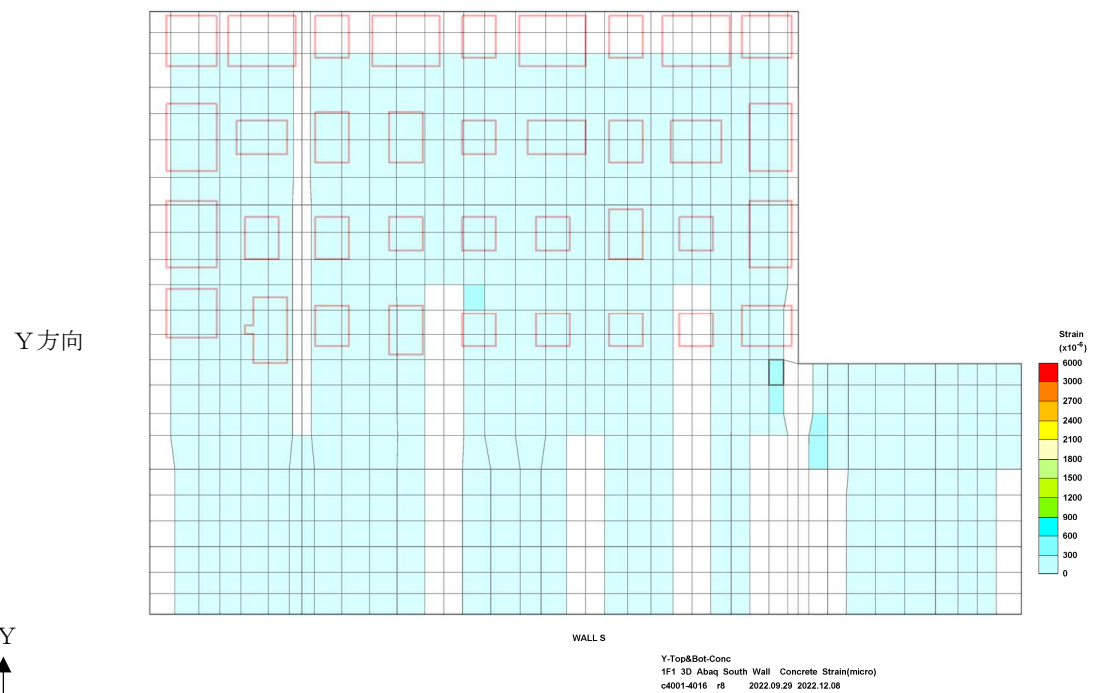
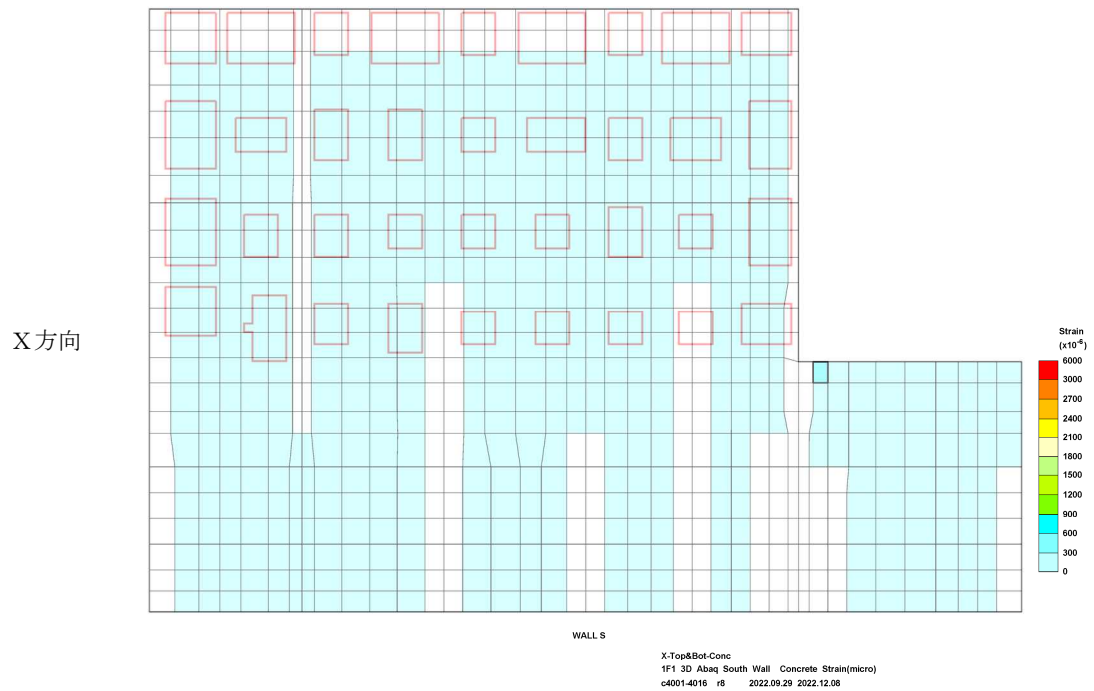


(图中赤枠はベースプレート設置位置を示す)

図-1.6 コンクリート圧縮ひずみの検定比 (建屋外壁西面)

Ⅱ-2-11-添 4-2-507

Ⅱ-14-②-178



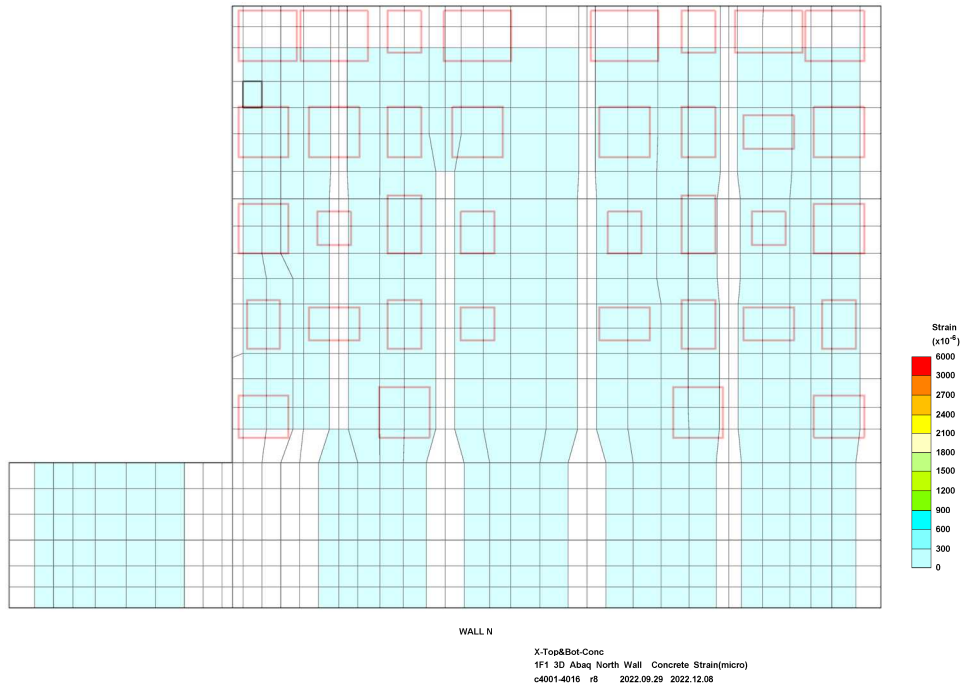
(图中赤枠はベースプレート設置位置を示す)

図-1.7 コンクリート圧縮ひずみの検定比 (建屋外壁南面)

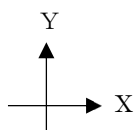
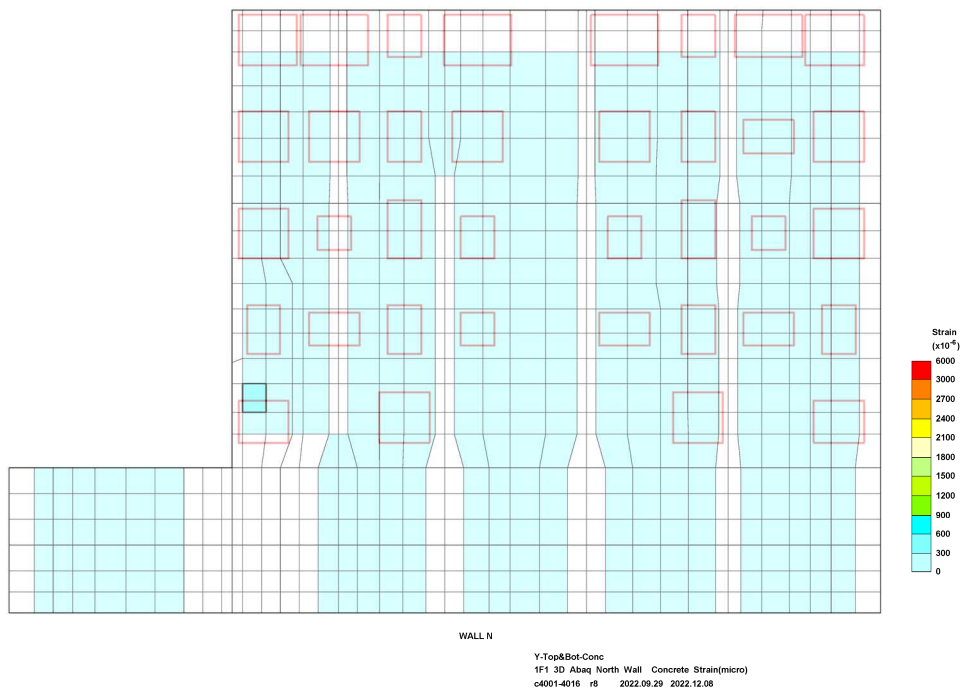
Ⅱ-2-11-添 4-2-508

Ⅱ-14-②-179

X方向



Y方向

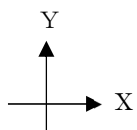
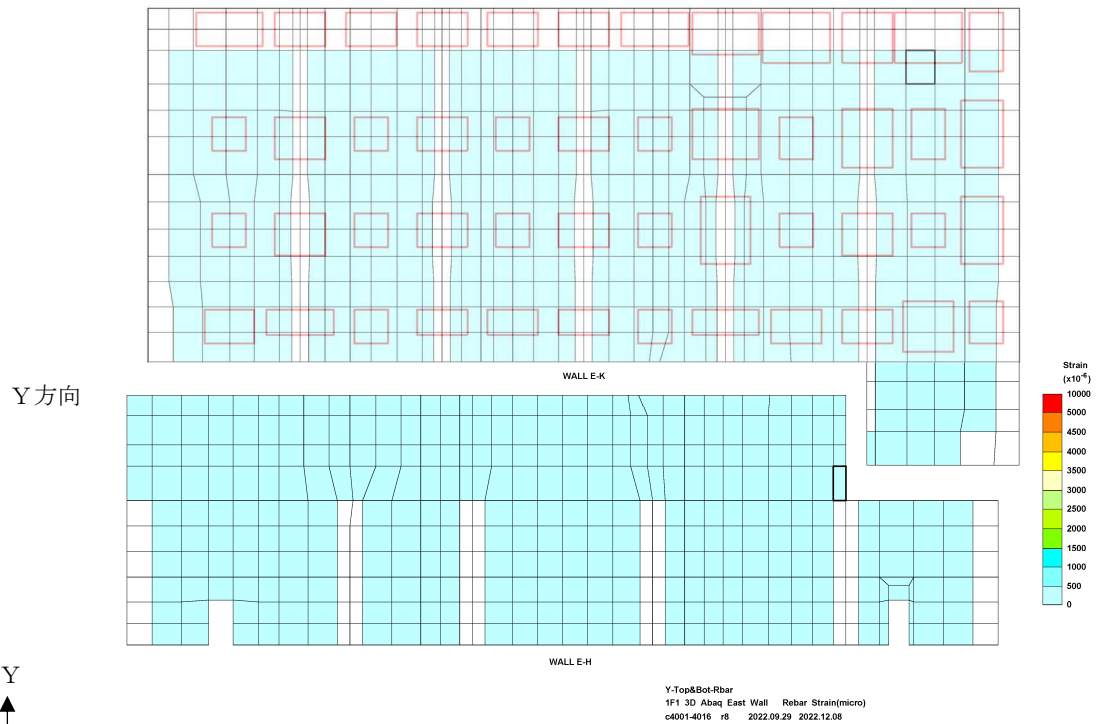
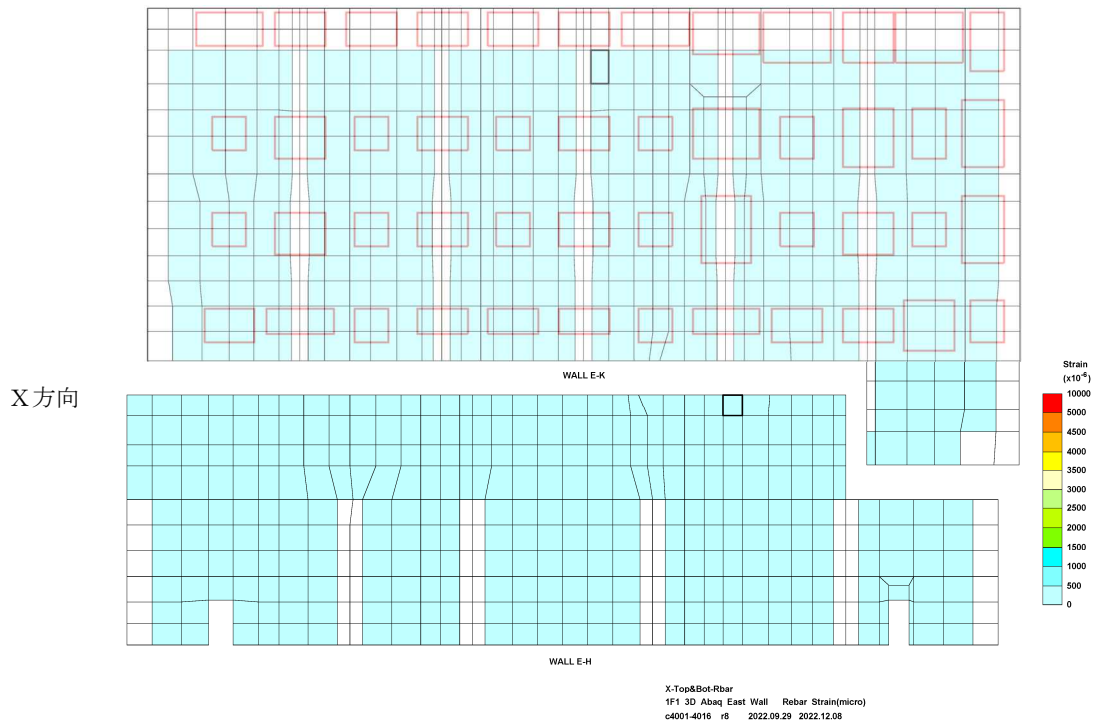


(图中赤枠はベースプレート設置位置を示す)

図-1.8 コンクリート圧縮ひずみの検定比 (建屋外壁北面)

Ⅱ-2-11-添 4-2-509

Ⅱ-14-②-180

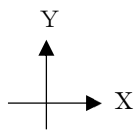
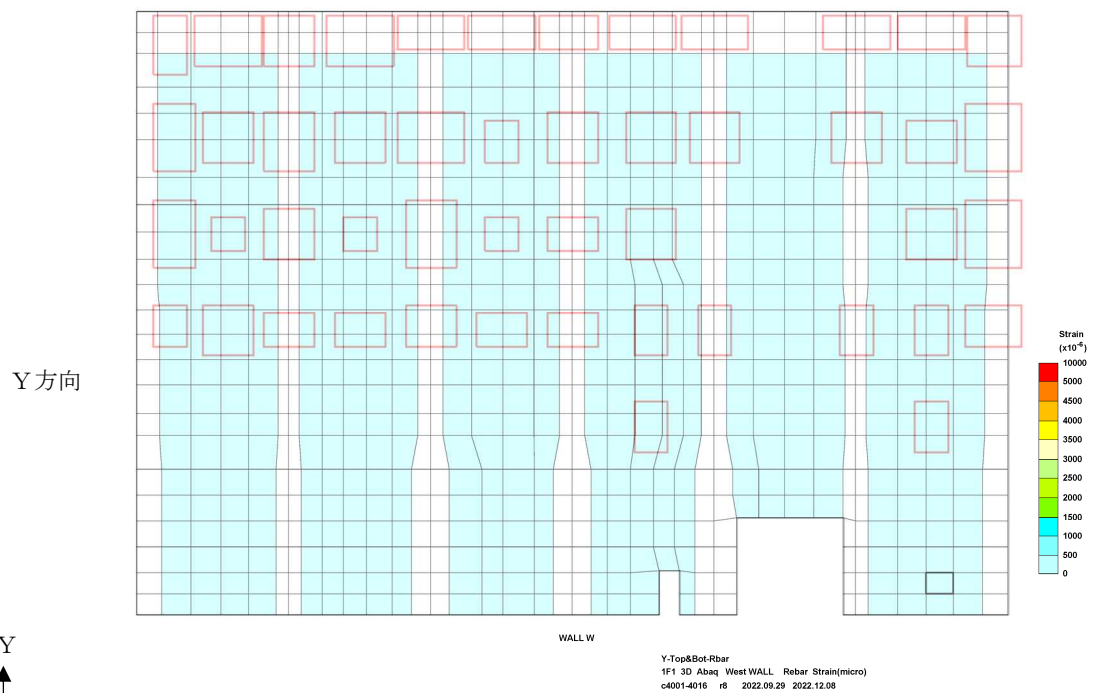
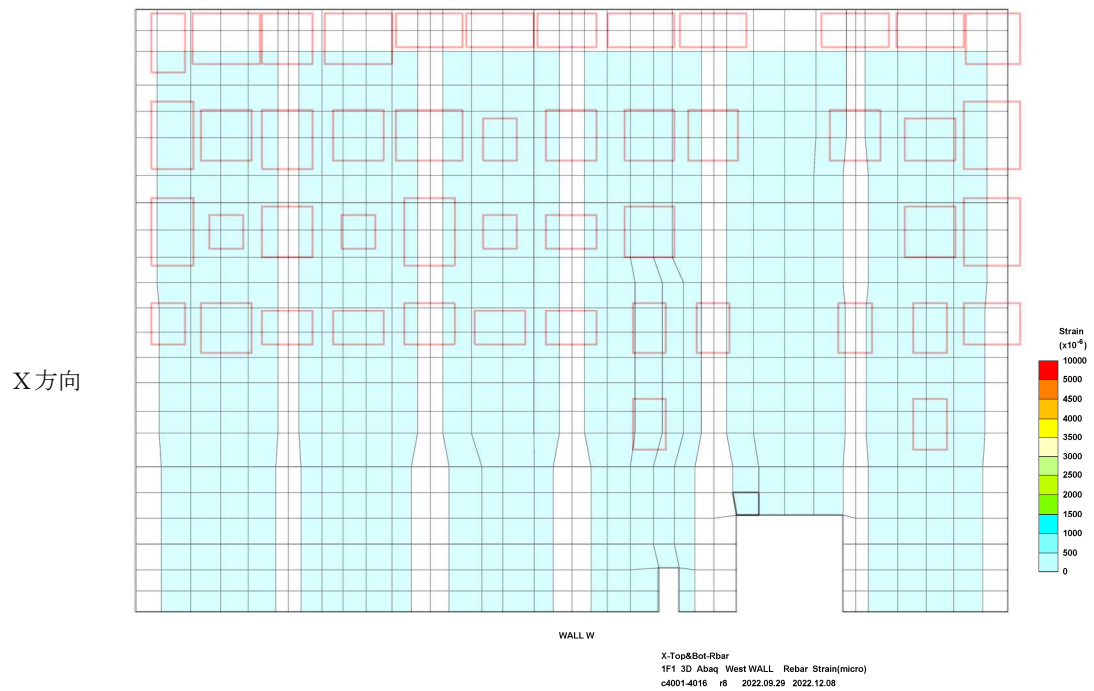


(图中赤枠はベースプレート設置位置を示す)

図-1.9 鉄筋ひずみの検定比 (建屋外壁東面)

Ⅱ-2-11-添 4-2-510

Ⅱ-14-②-181

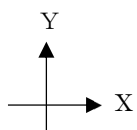
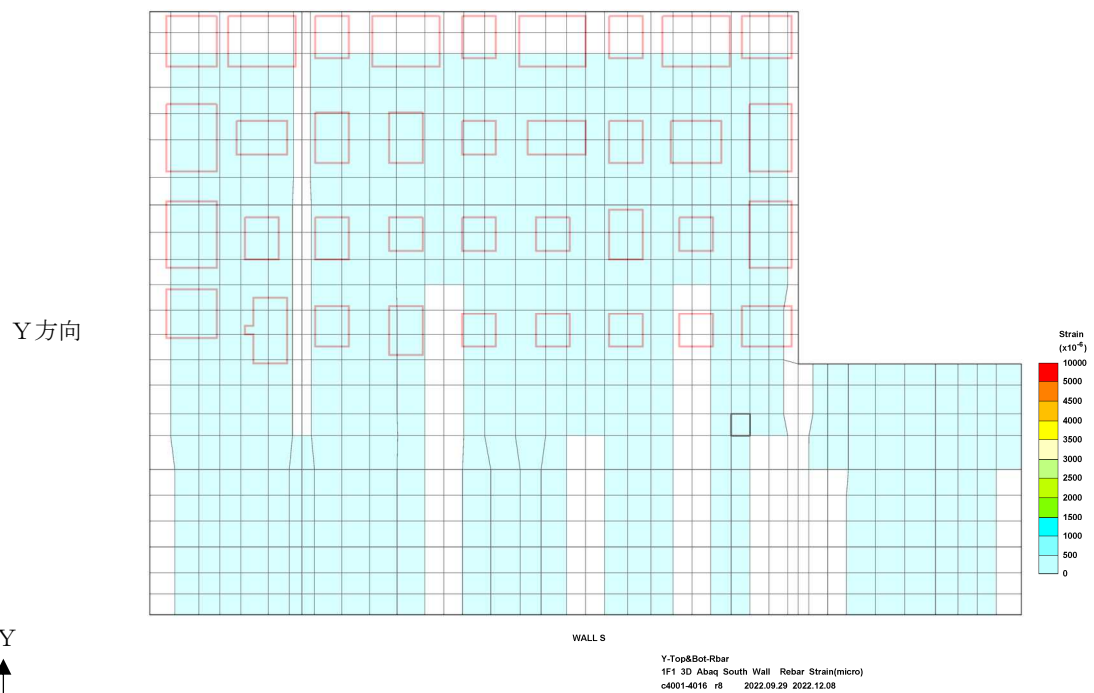
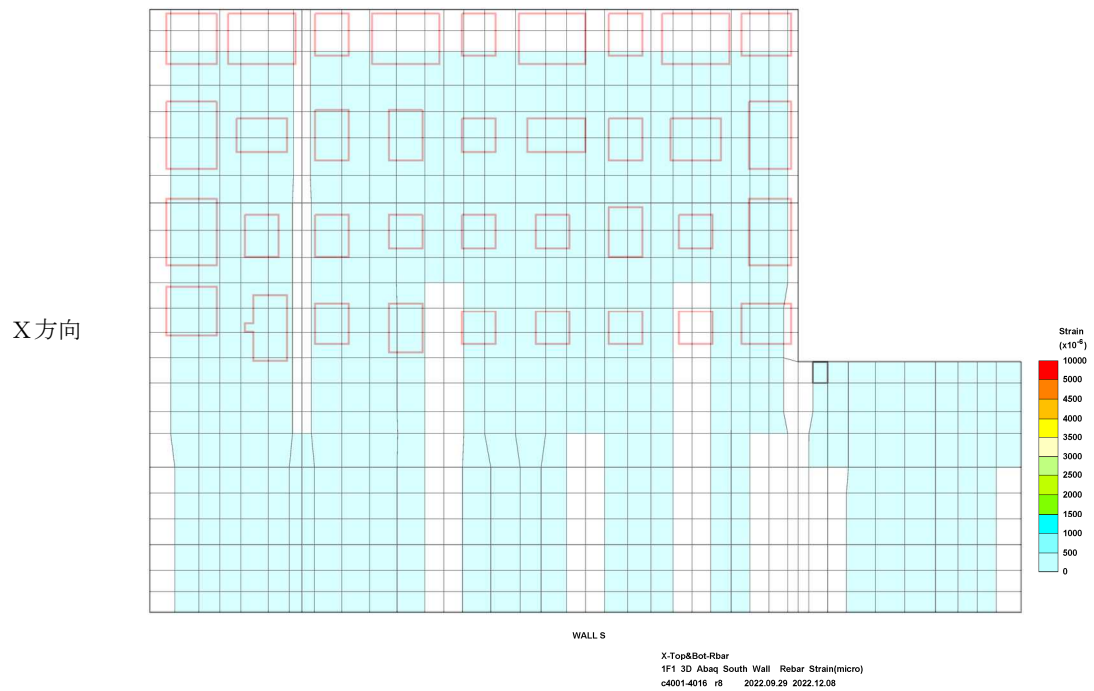


(图中赤枠はベースプレート設置位置を示す)

図-1.10 鉄筋ひずみの検定比 (建屋外壁西面)

Ⅱ-2-11-添 4-2-511

Ⅱ-14-②-182

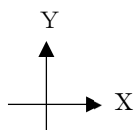
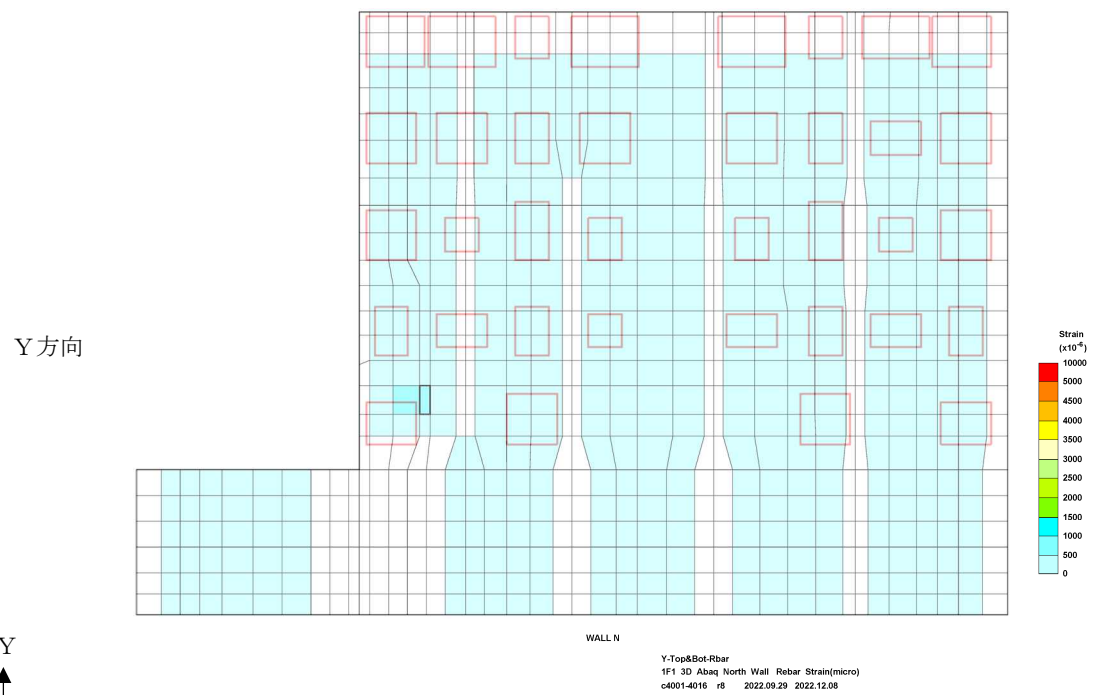
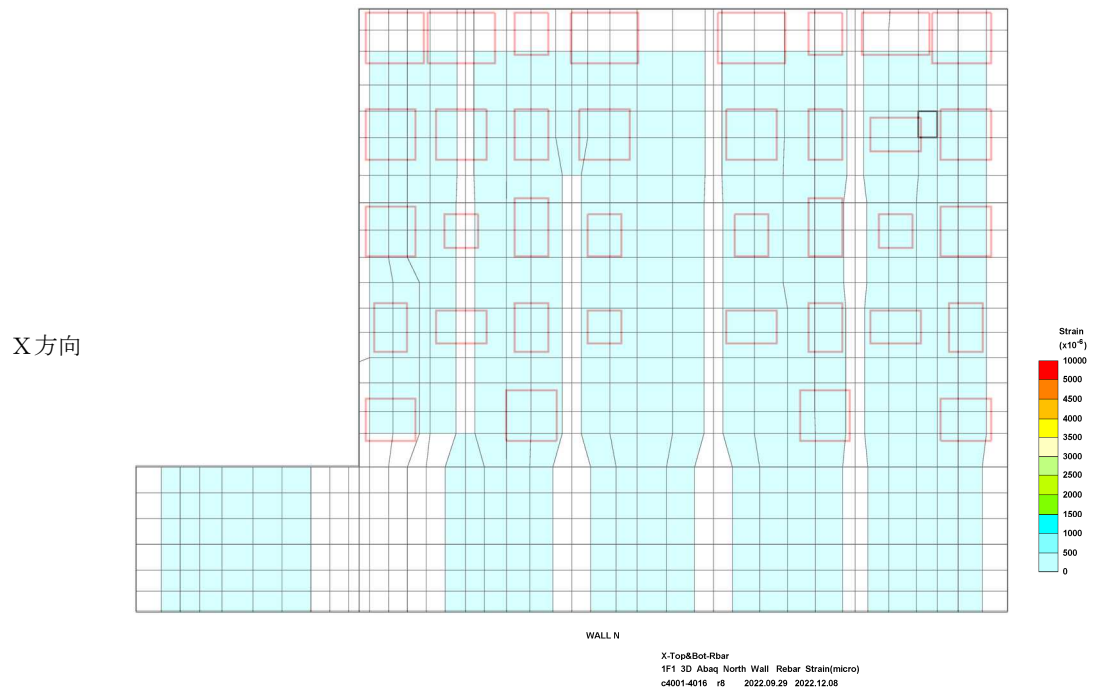


(图中赤枠はベースプレート設置位置を示す)

図-1.11 鉄筋ひずみの検定比 (建屋外壁南面)

Ⅱ-2-11-添 4-2-512

Ⅱ-14-②-183

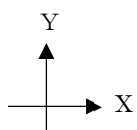
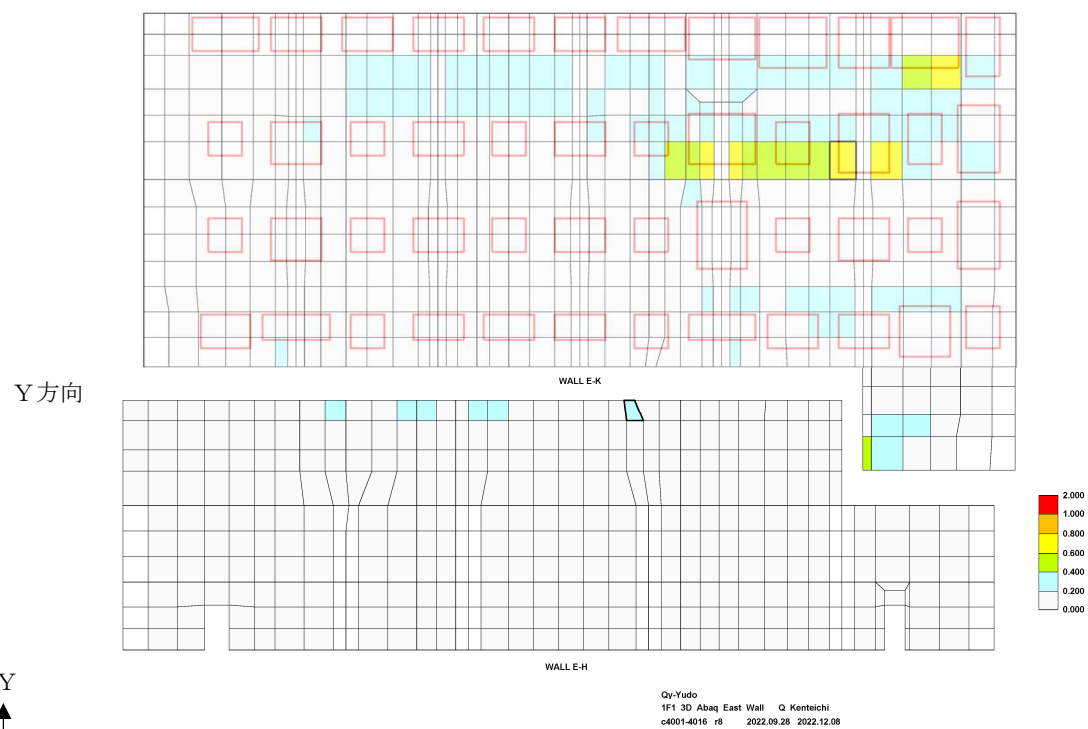
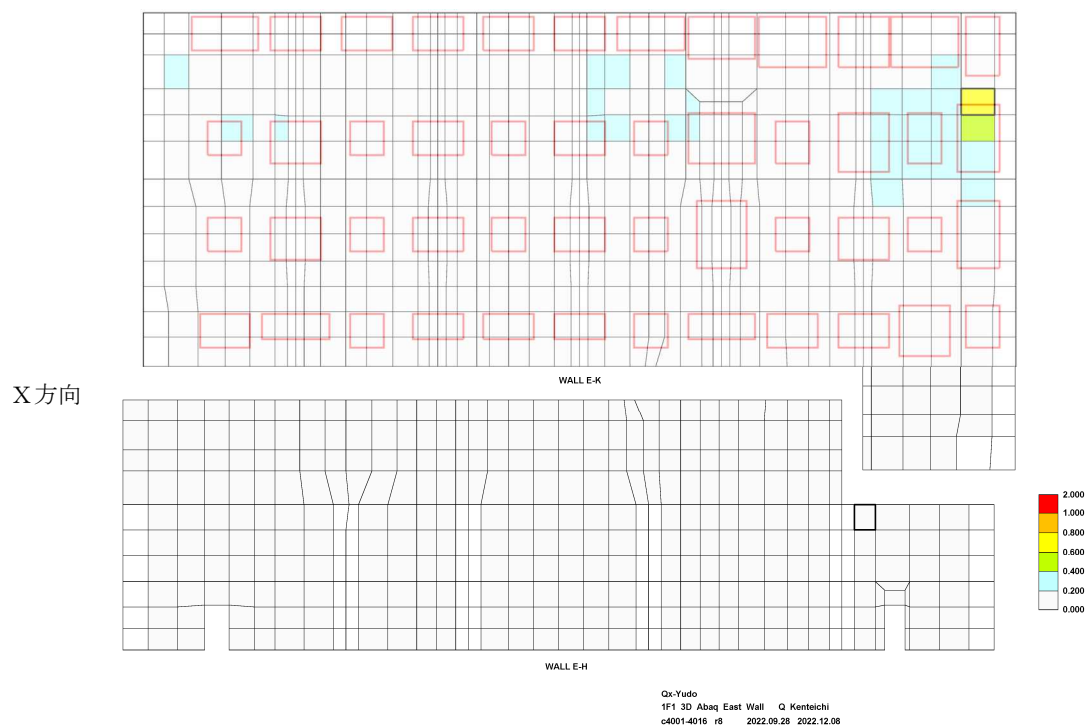


(图中赤枠はベースプレート設置位置を示す)

図-1.12 鉄筋ひずみの検定比 (建屋外壁北面)

Ⅱ-2-11-添 4-2-513

Ⅱ-14-②-184

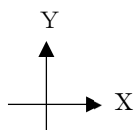
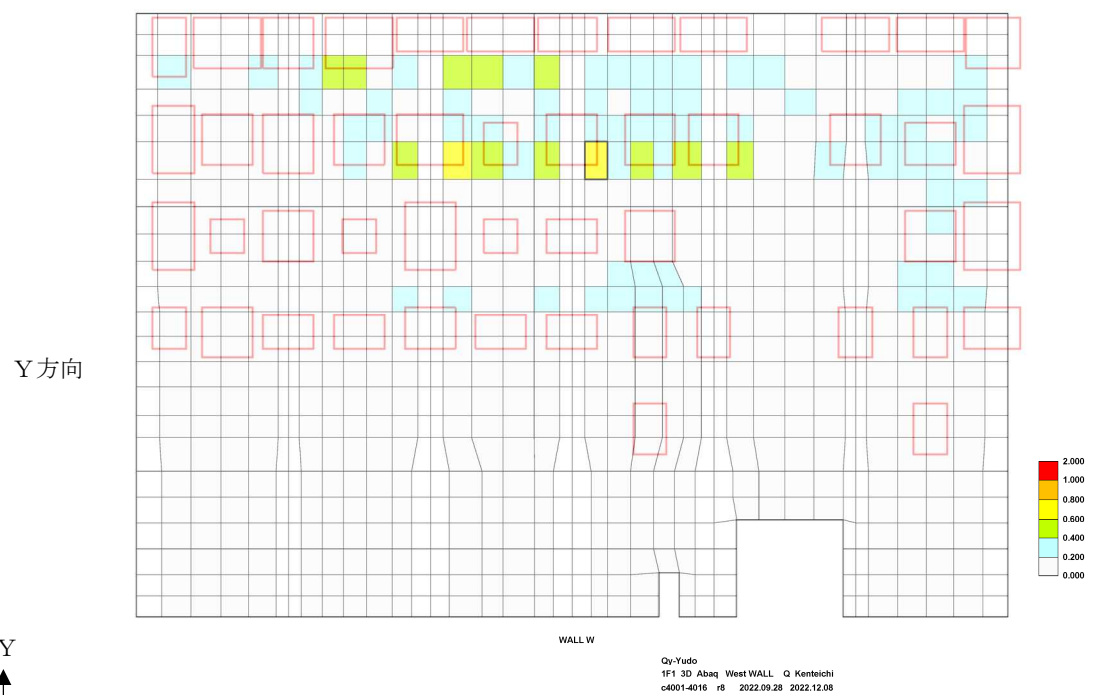
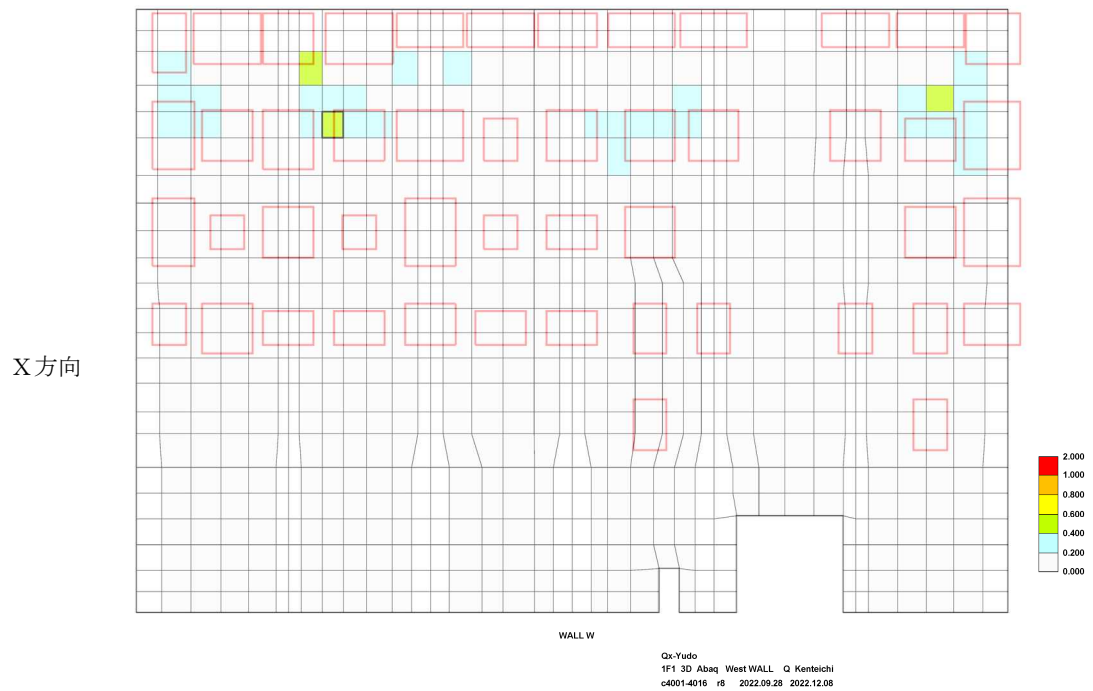


(图中赤枠はベースプレート設置位置を示す)

図-1.13 面外せん断力の検定比 (建屋外壁東面)

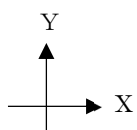
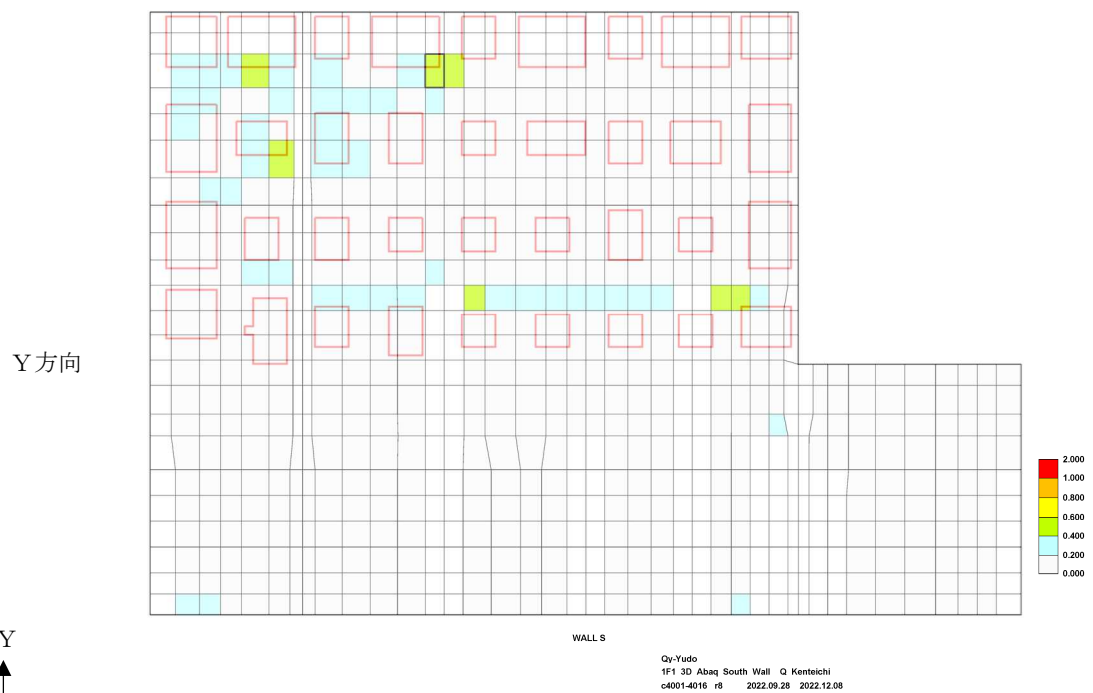
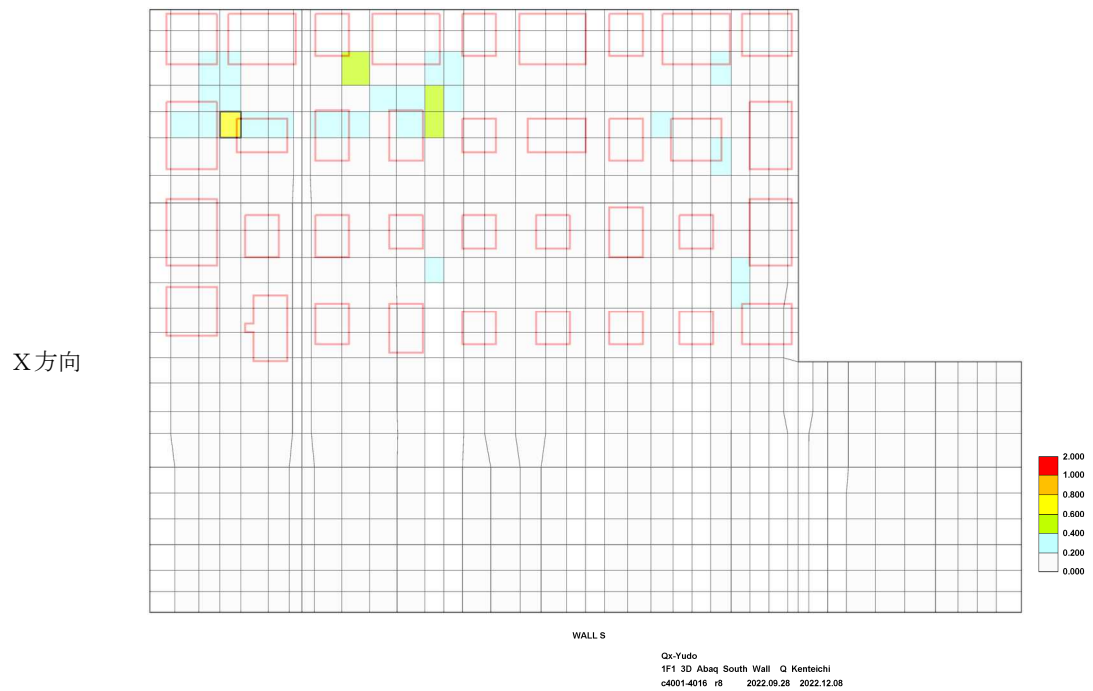
Ⅱ-2-11-添 4-2-514

Ⅱ-14-②-185



(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)



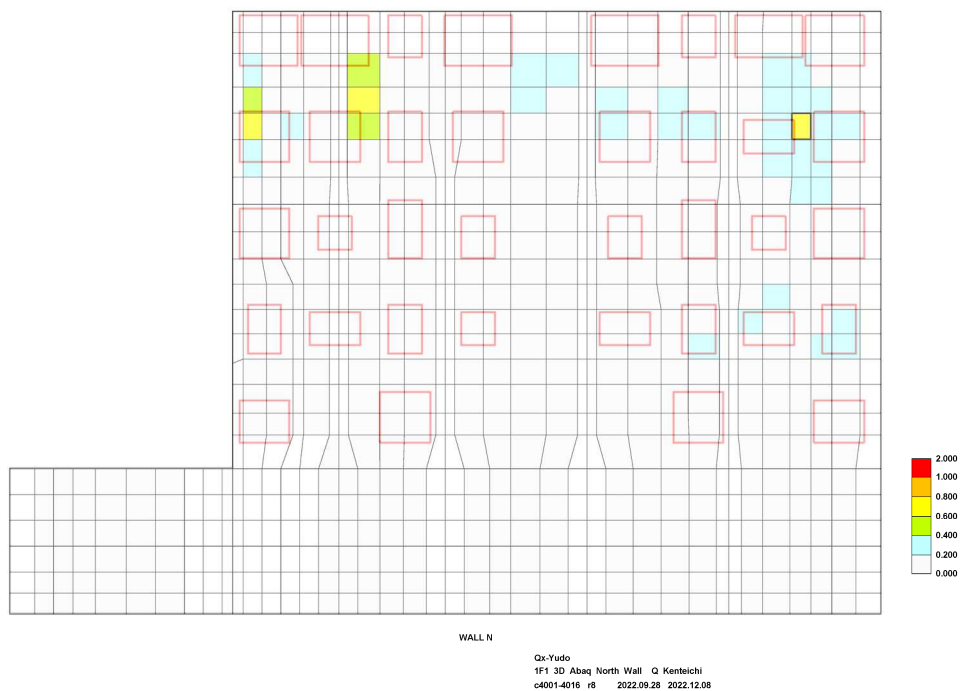
(图中赤枠はベースプレート設置位置を示す)

図-1.15 面外せん断力の検定比 (建屋外壁南面)

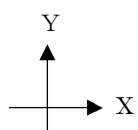
Ⅱ-2-11-添 4-2-516

Ⅱ-14-②-187

X方向



Y方向



(図中赤枠はベースプレート設置位置を示す)

図-1.16 面外せん断力の検定比 (建屋外壁北面)

Ⅱ-2-11-添 4-2-517

Ⅱ-14-②-188

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。

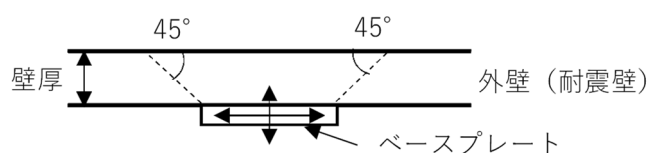


図-1.17 荷重分散範囲

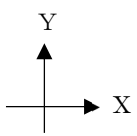
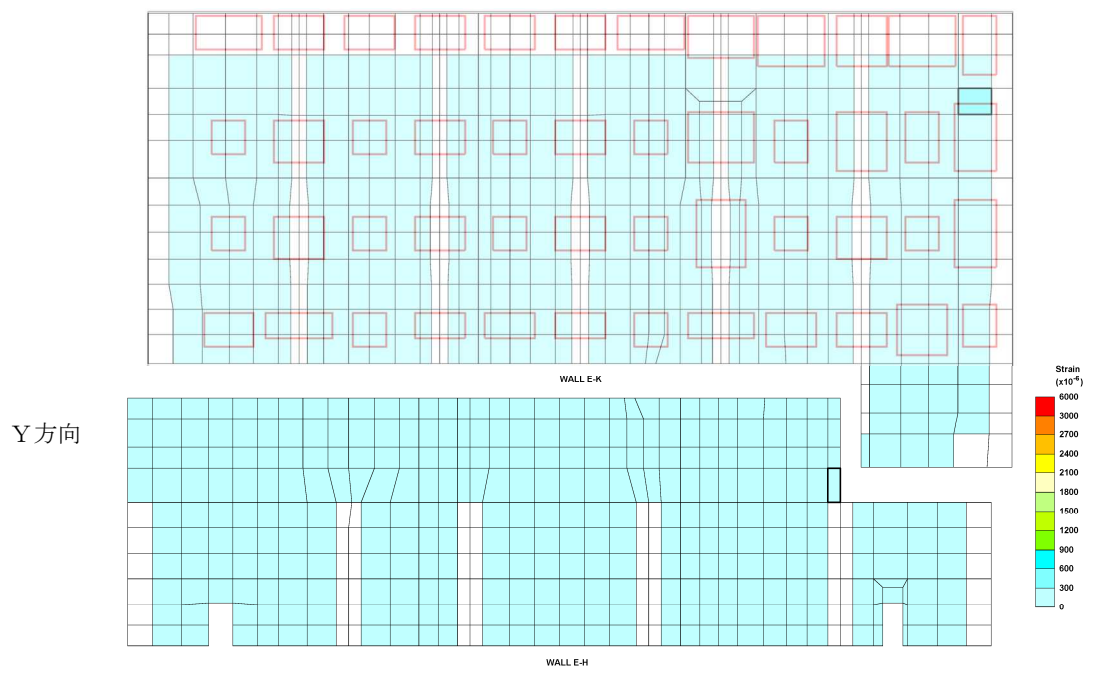
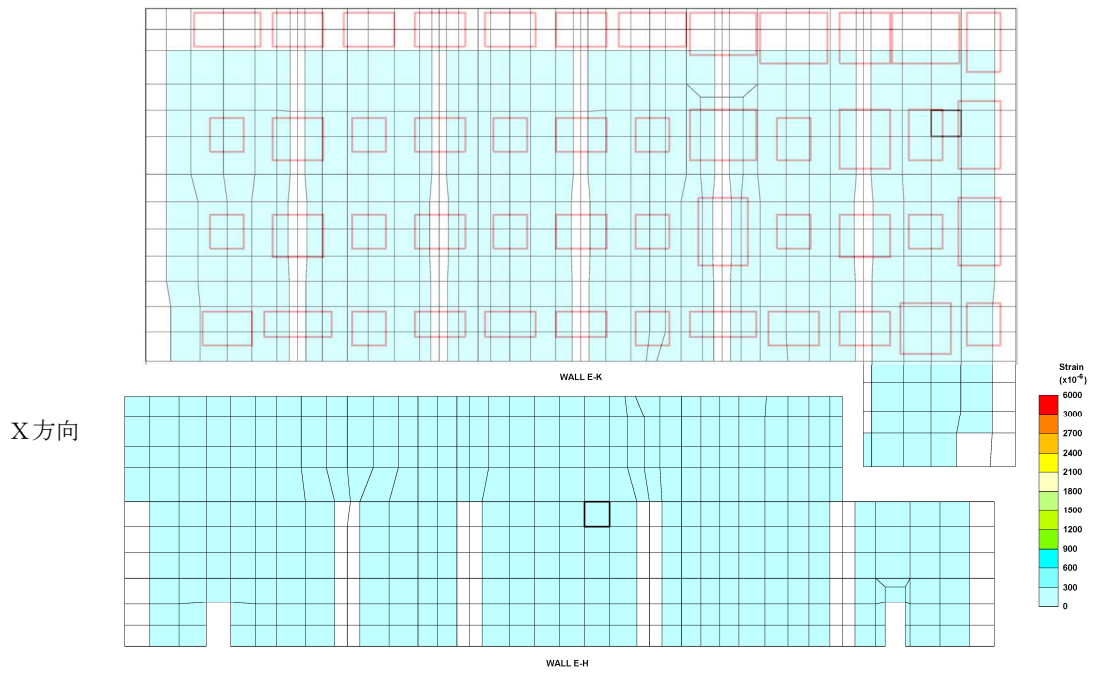
1.3.2 検討結果

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。

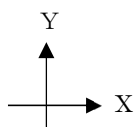
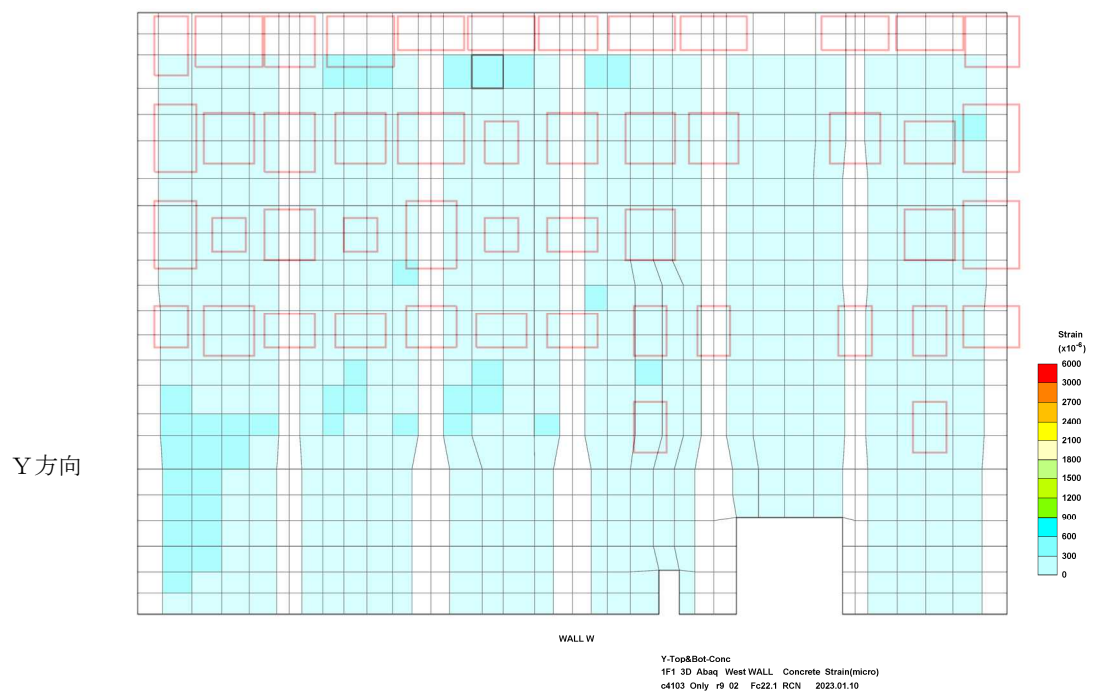
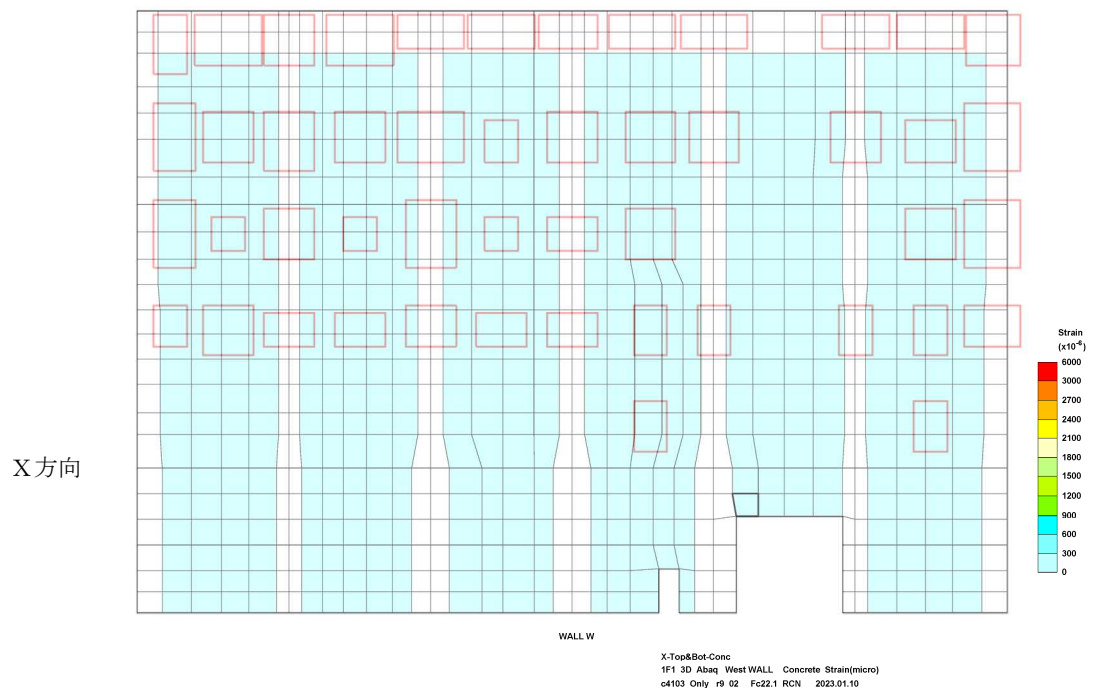
表-1.4 外壁各面の最大値一覧

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



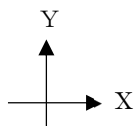
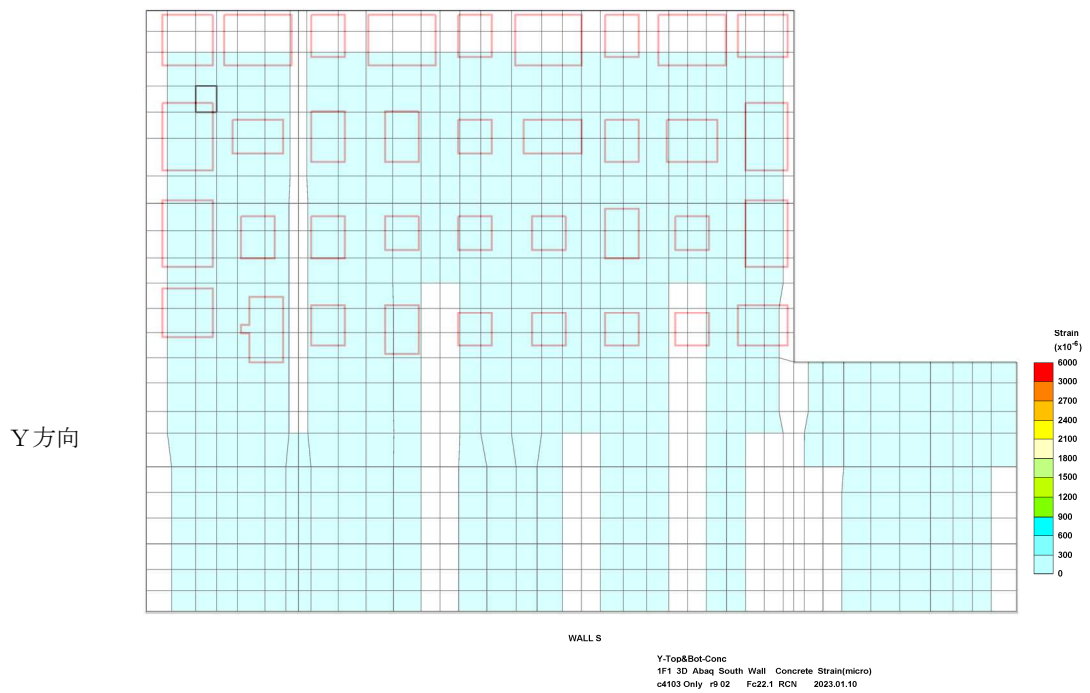
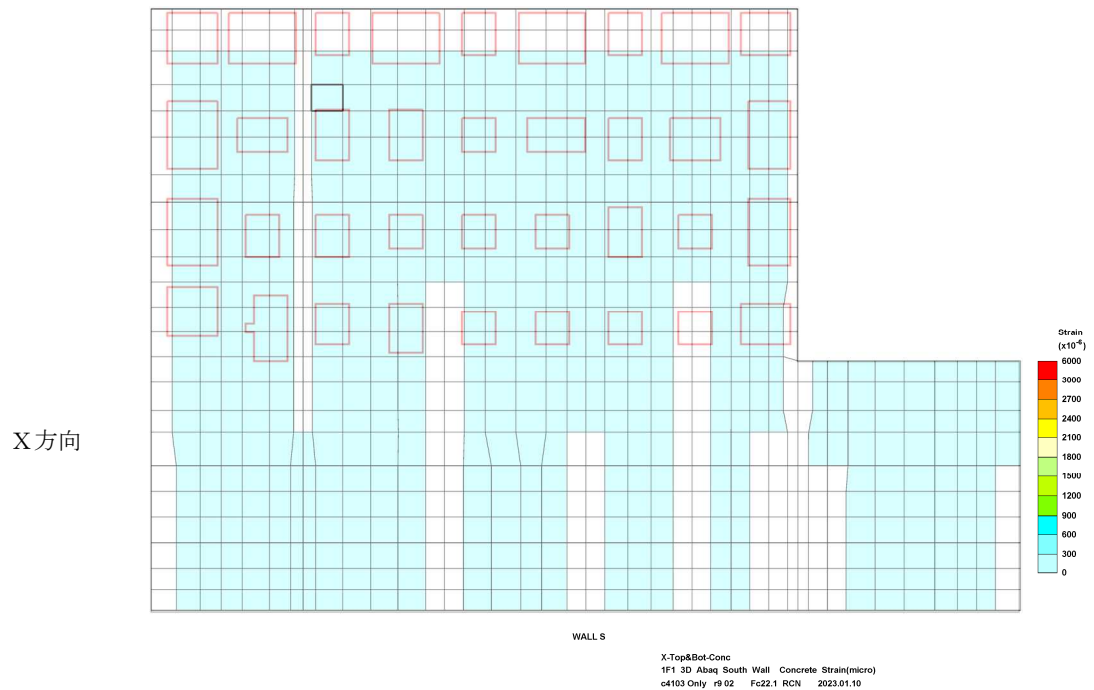
(图中赤枠はベースプレート設置位置を示す)

図-1.18 コンクリート圧縮ひずみの検定比 (建屋外壁東面)



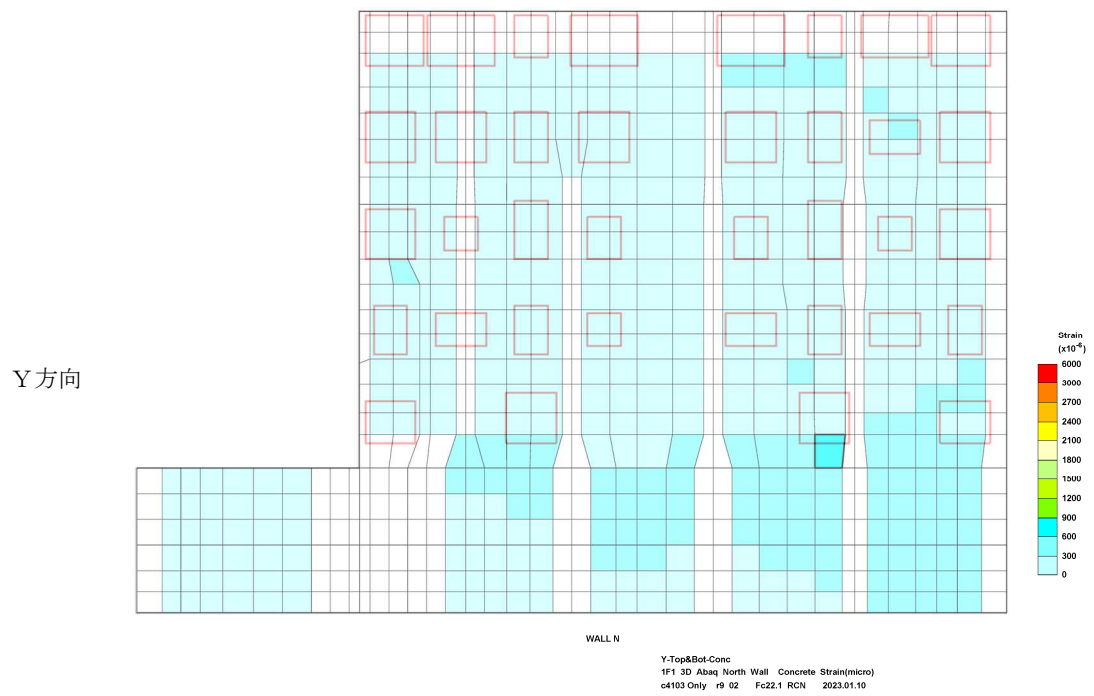
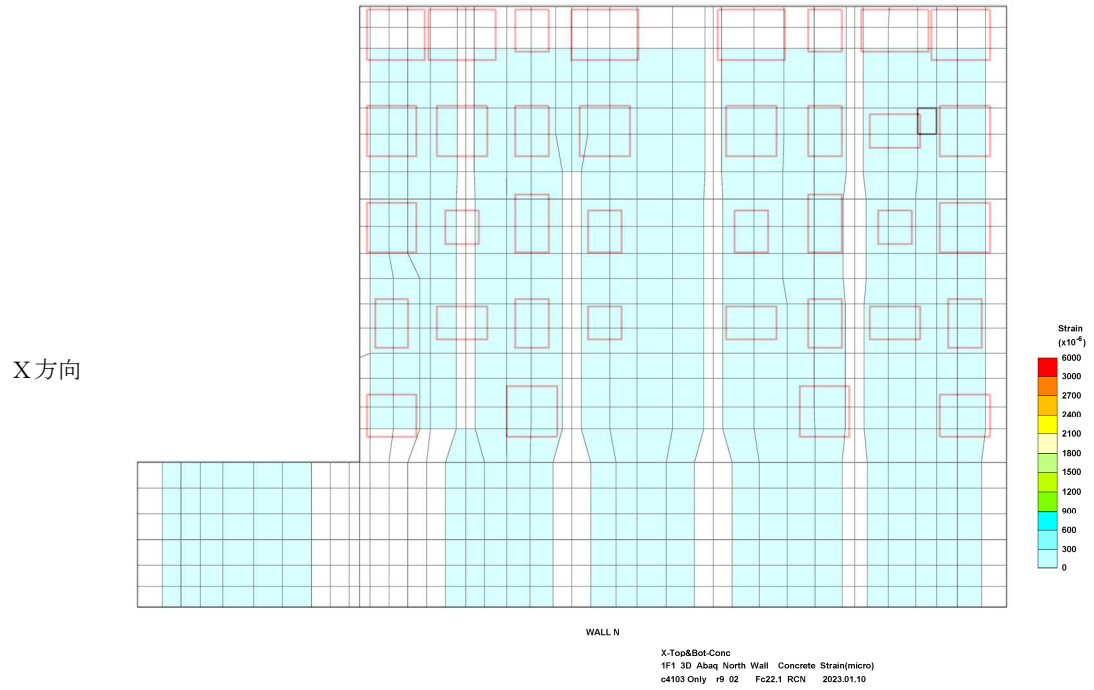
(图中赤枠はベースプレート設置位置を示す)

図-1.19 コンクリート圧縮ひずみの検定比 (建屋外壁西面)



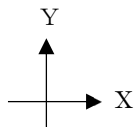
(图中赤枠はベースプレート設置位置を示す)

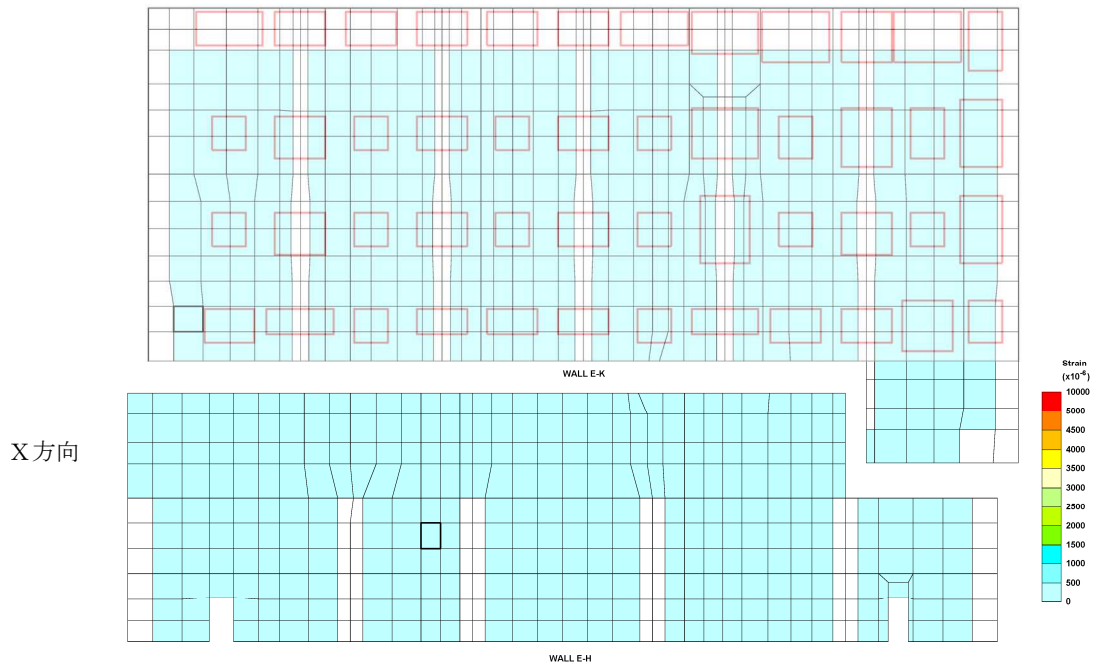
図-1.20 コンクリート圧縮ひずみの検定比 (建屋外壁南面)



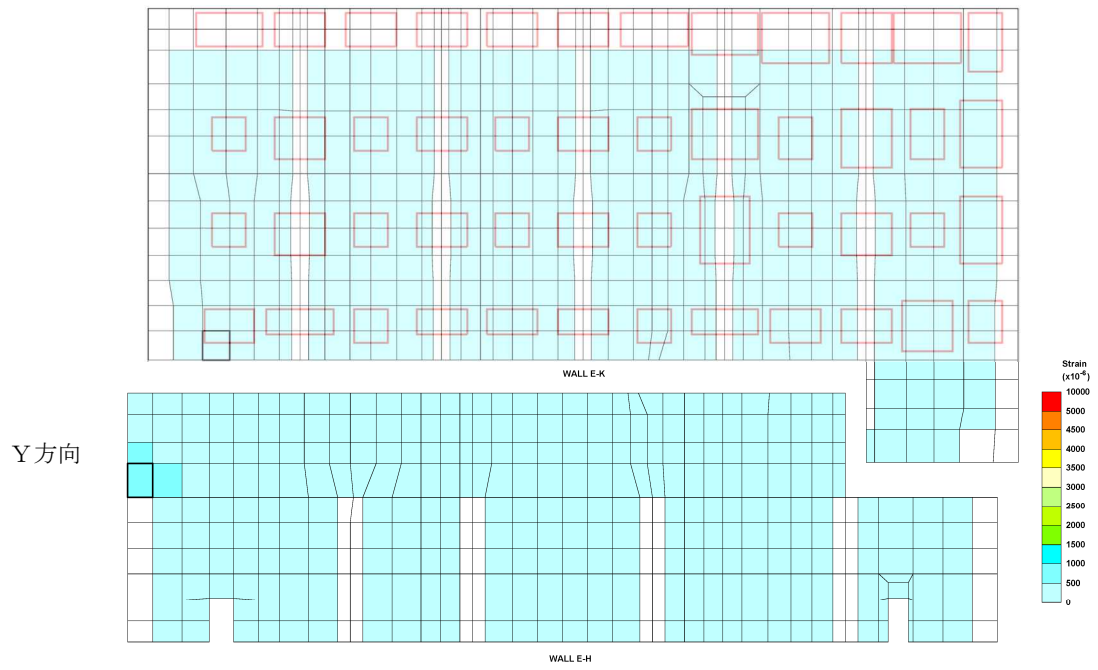
(图中赤枠はベースプレート設置位置を示す)

図-1.21 コンクリート圧縮ひずみの検定比 (建屋外壁北面)

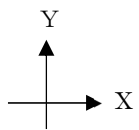




X-Top&Bot-Rbar
1F1 3D Abaq East Wall Rebar Strain(micro)
c4103 Only r9 02 FcZ2.1 RCN 2023.01.10

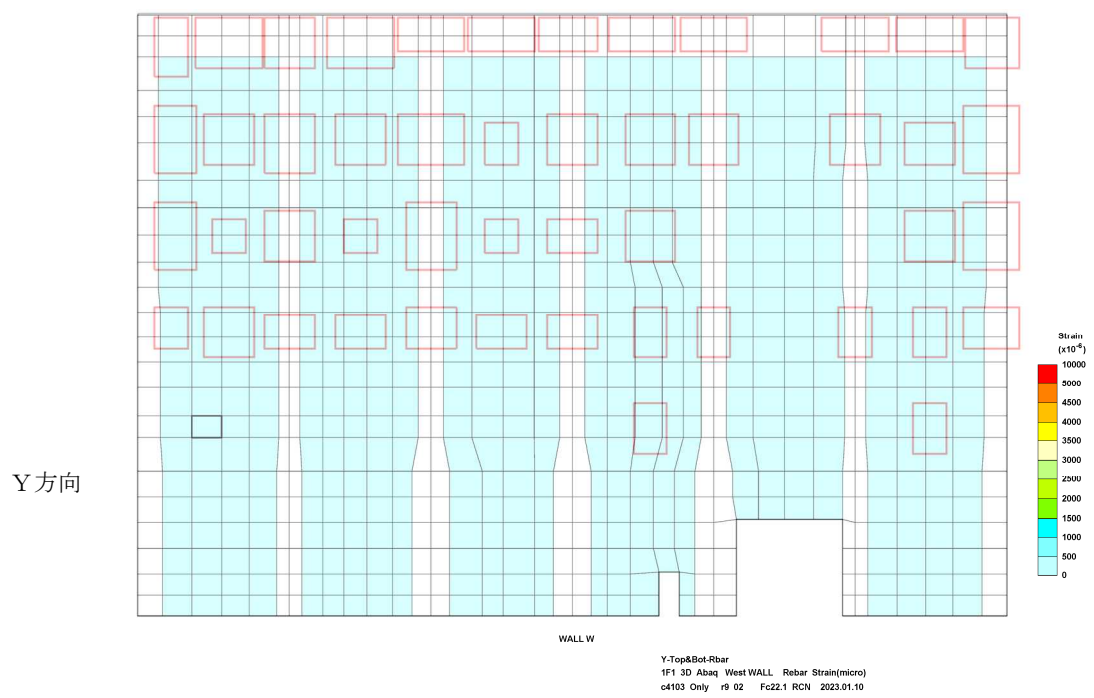


Y-Top&Bot-Rbar
1F1 3D Abaq East Wall Rebar Strain(micro)
c4103 Only r9 02 FcZ2.1 RCN 2023.01.10



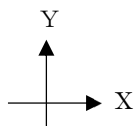
(图中赤枠はベースプレート設置位置を示す)

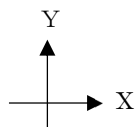
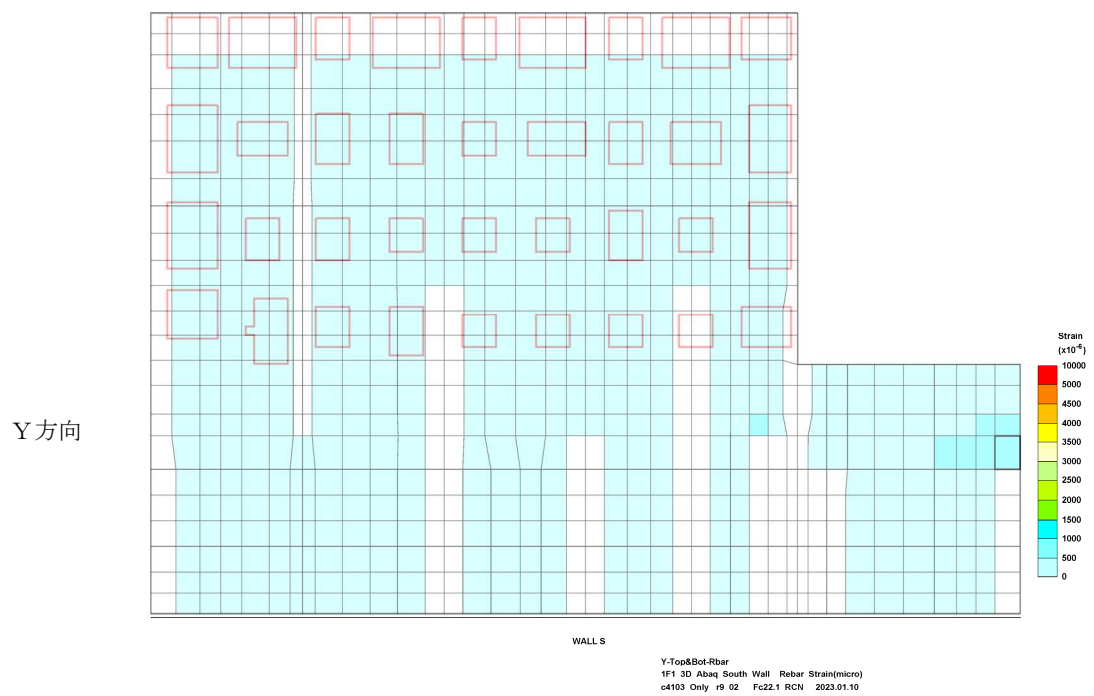
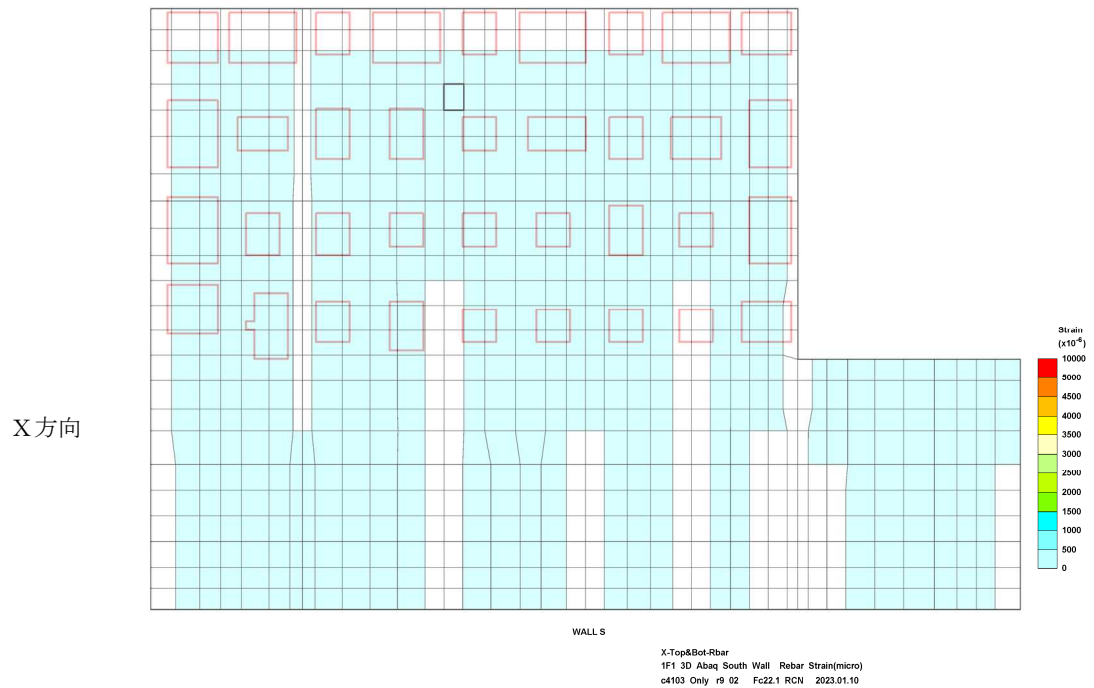
図-1.22 鉄筋ひずみの検定比 (建屋外壁東面)



(图中赤枠はベースプレート設置位置を示す)

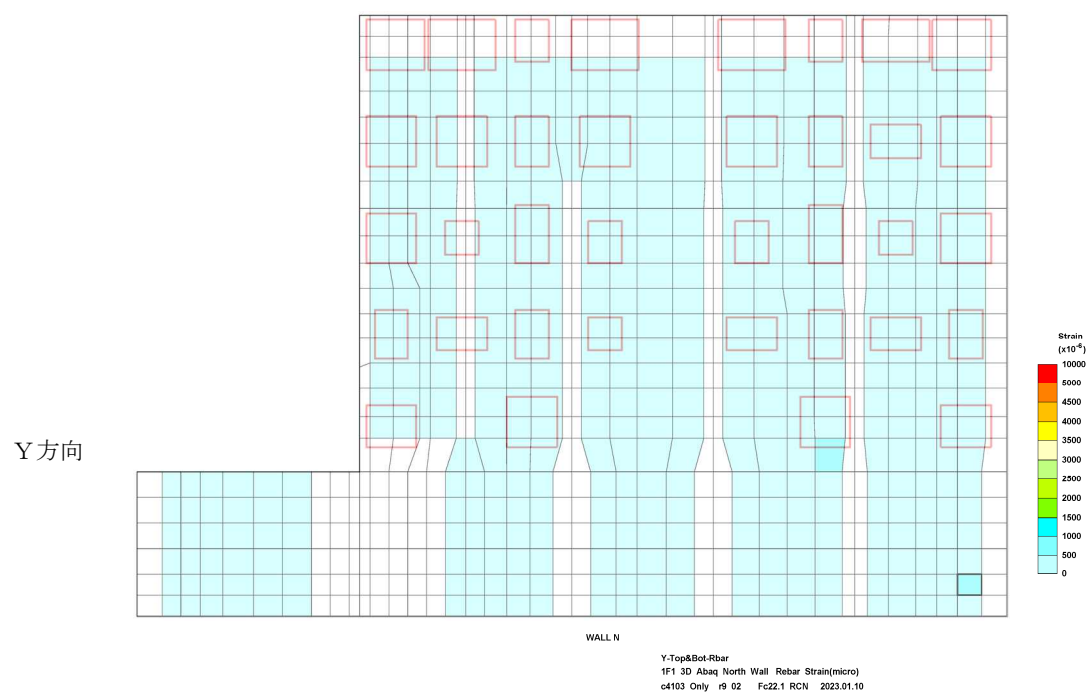
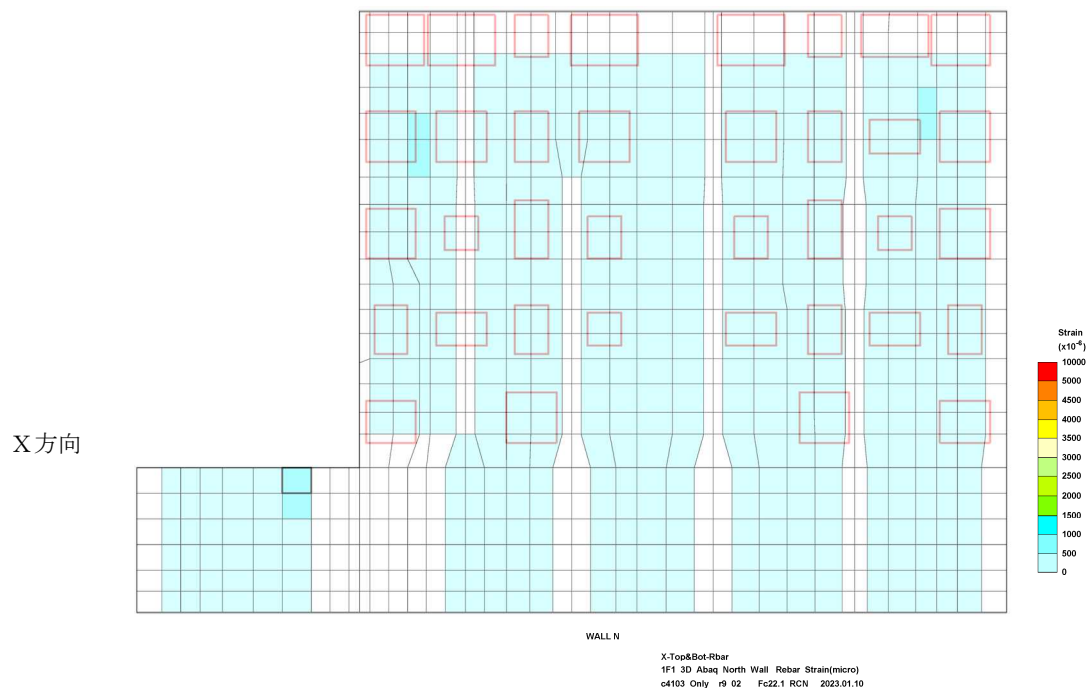
図-1.23 鉄筋ひずみの検定比 (建屋外壁西面)





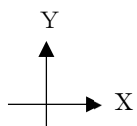
(图中赤枠はベースプレート設置位置を示す)

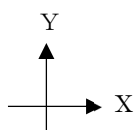
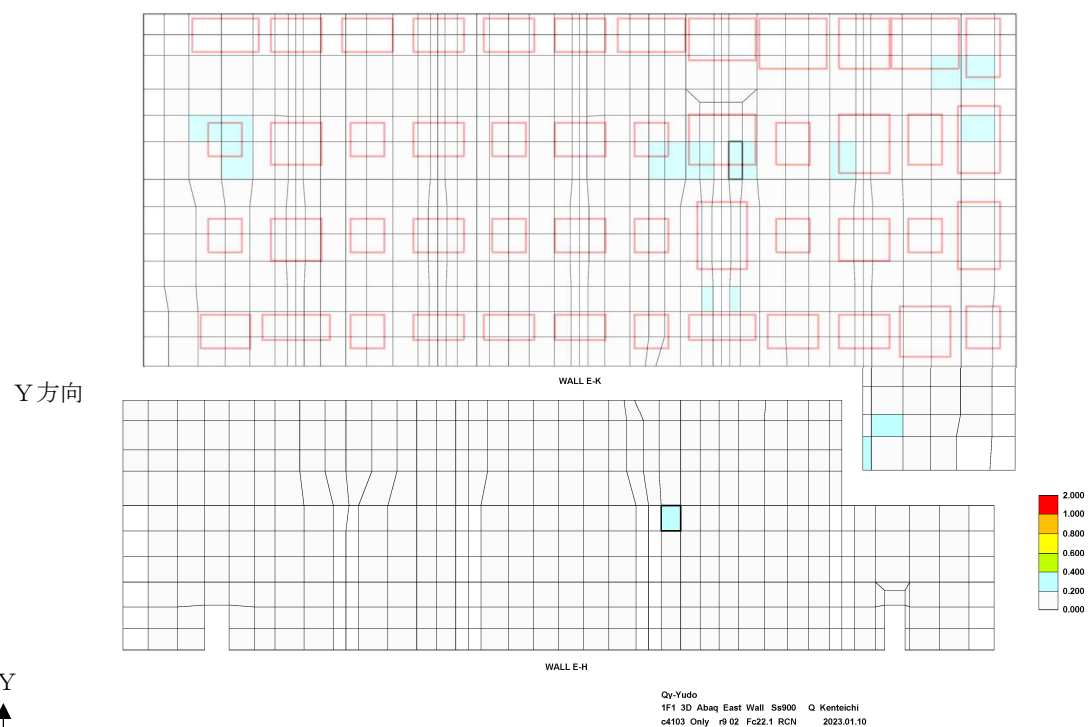
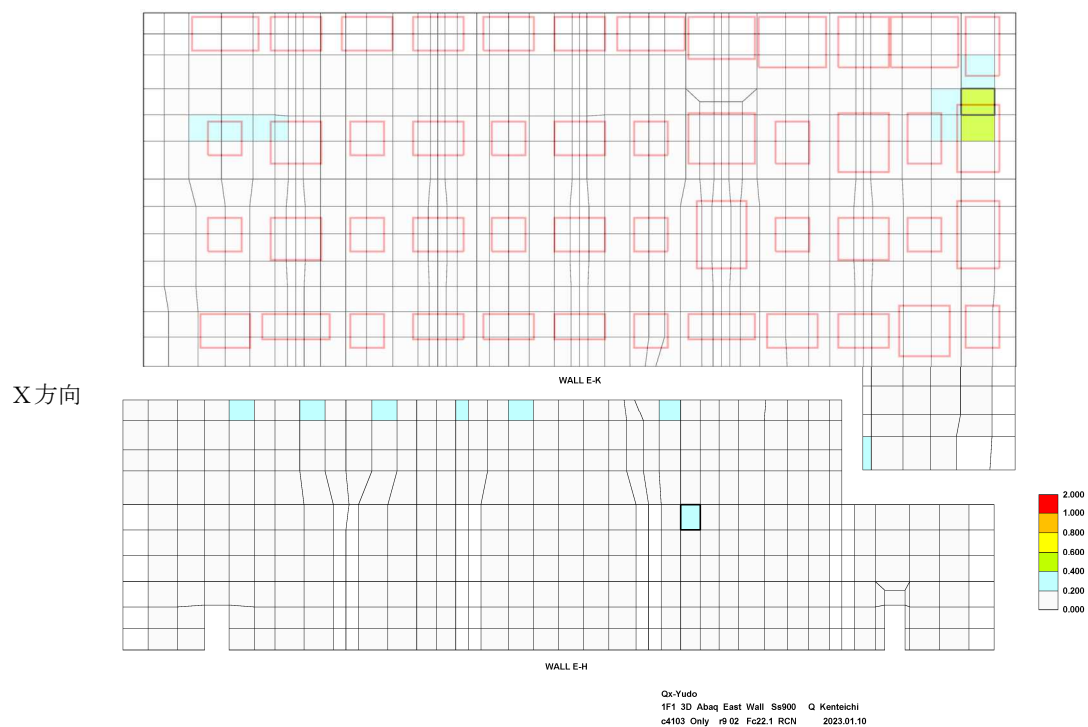
図-1.24 鉄筋ひずみの検定比 (建屋外壁南面)



(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)



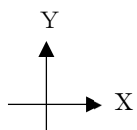
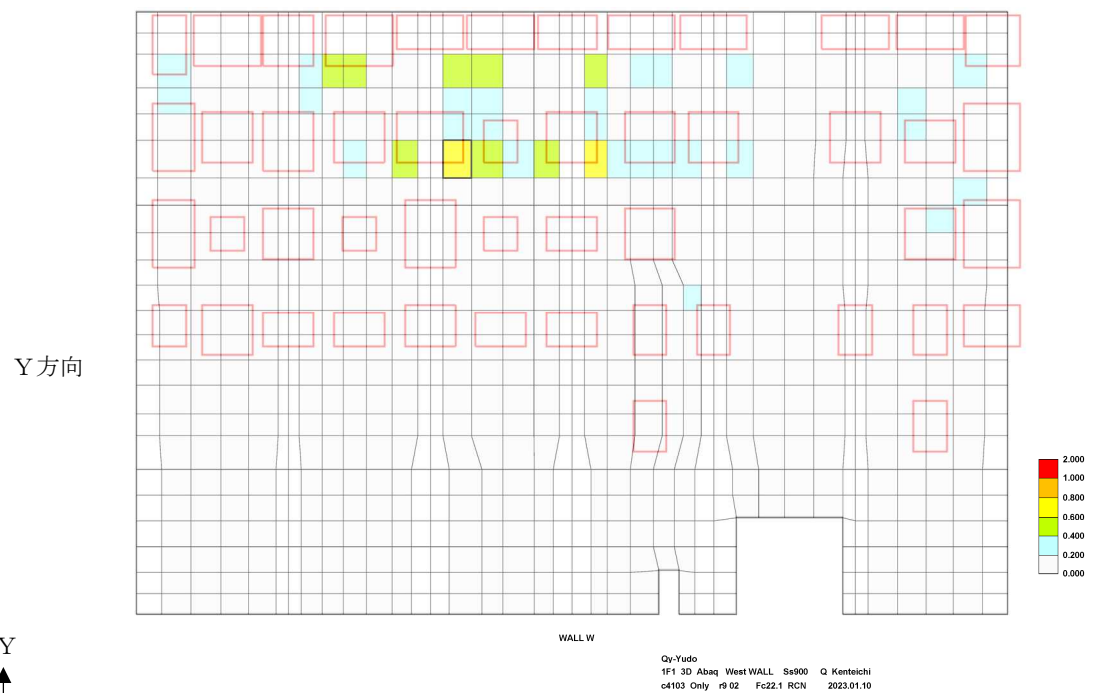
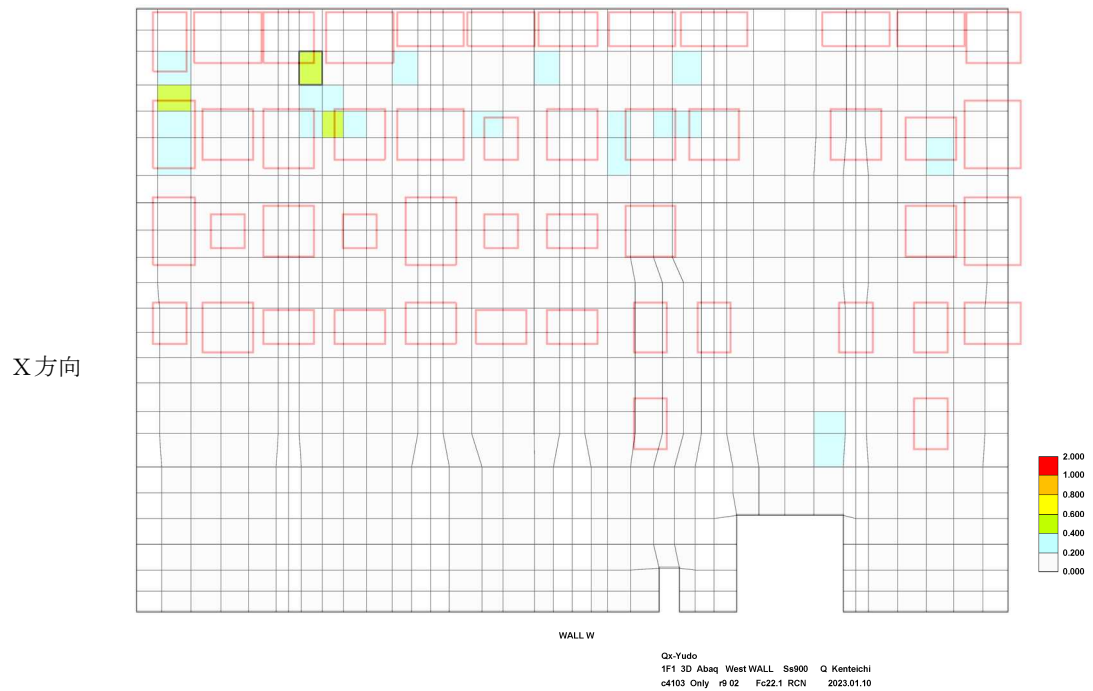


(図中赤枠はベースプレート設置位置を示す)

図-1.26 面外せん断力の検定比 (建屋外壁東面)

Ⅱ-2-11-添 4-2-527

Ⅱ-14-②-198

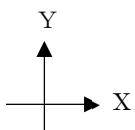
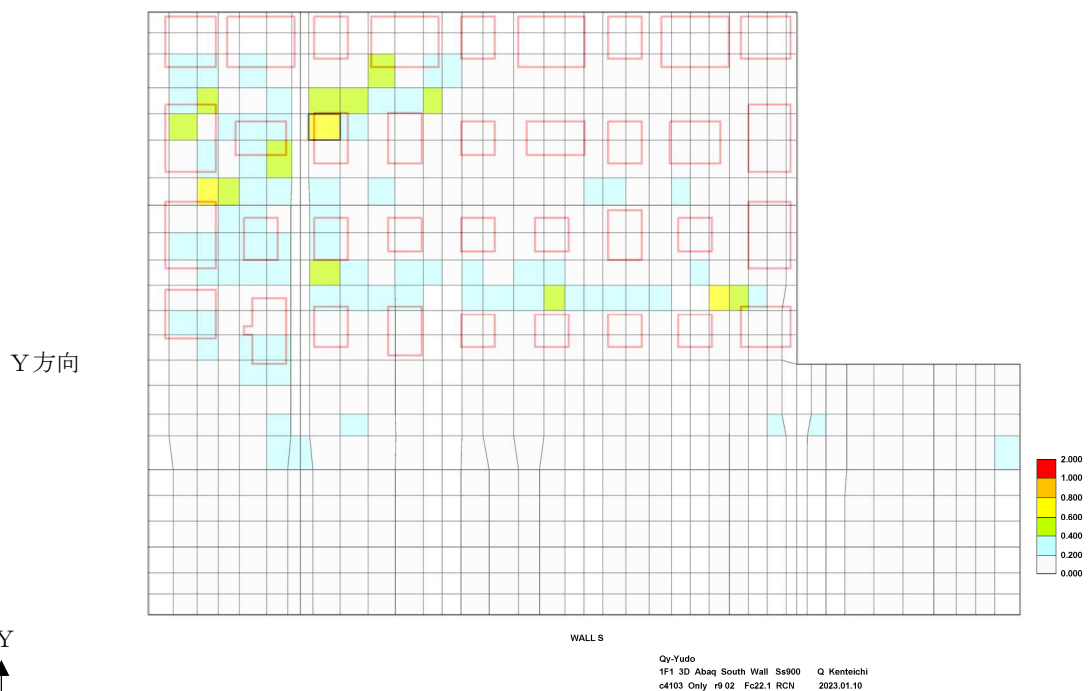
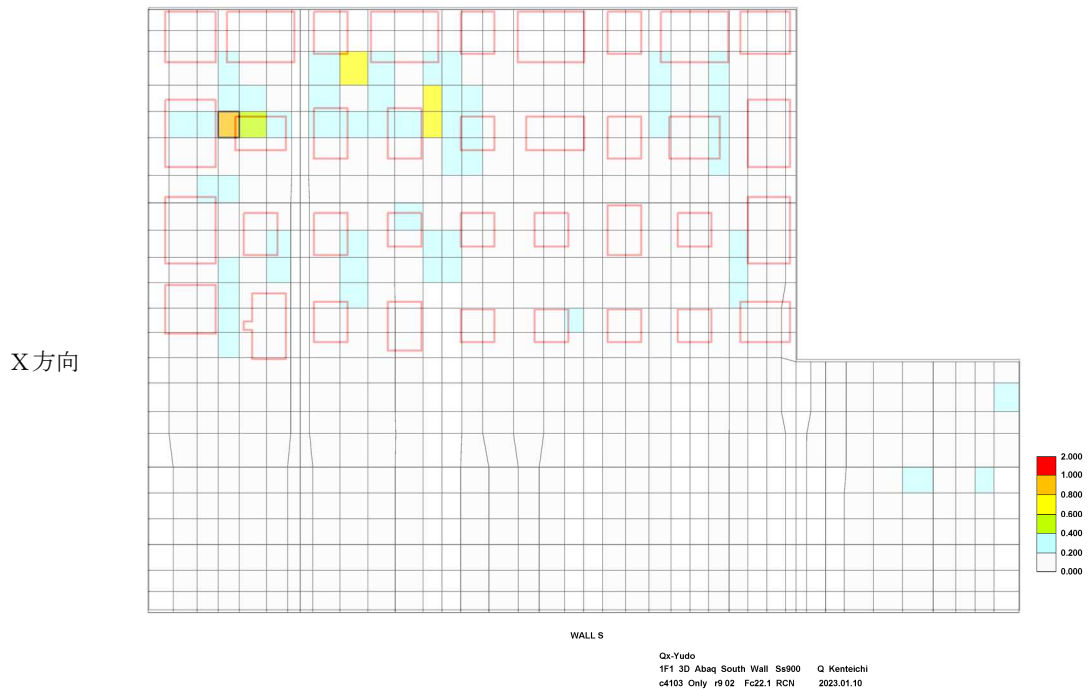


(図中赤枠はベースプレート設置位置を示す)

図-1.27 面外せん断力の検定比 (建屋外壁西面)

Ⅱ-2-11-添 4-2-528

Ⅱ-14-②-199

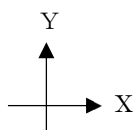
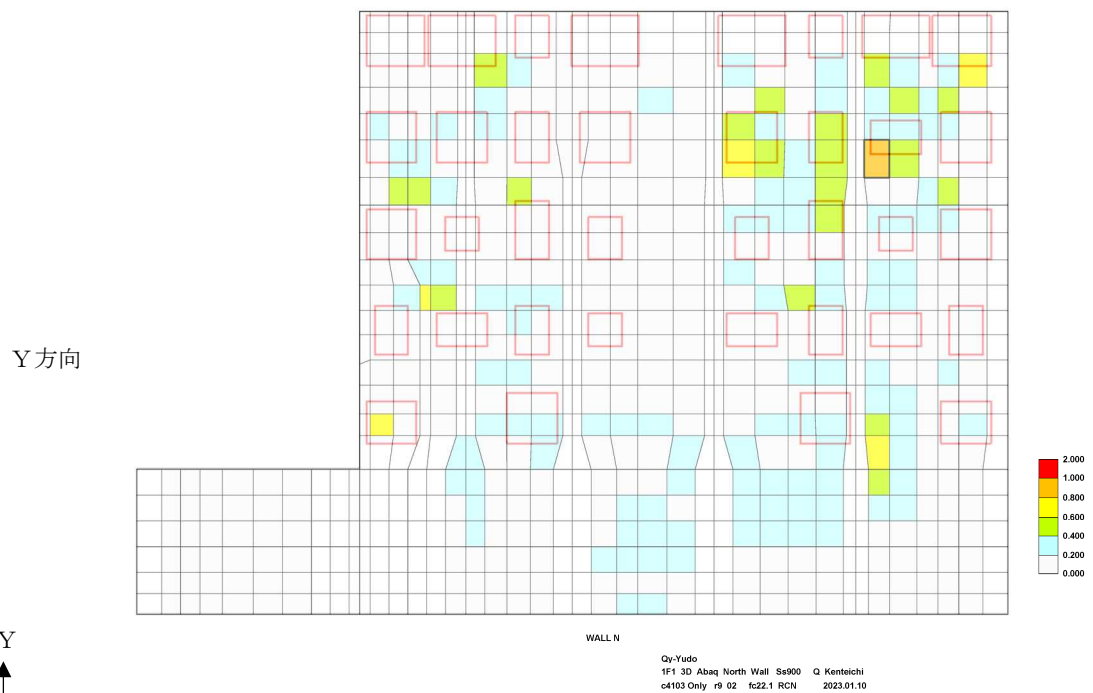
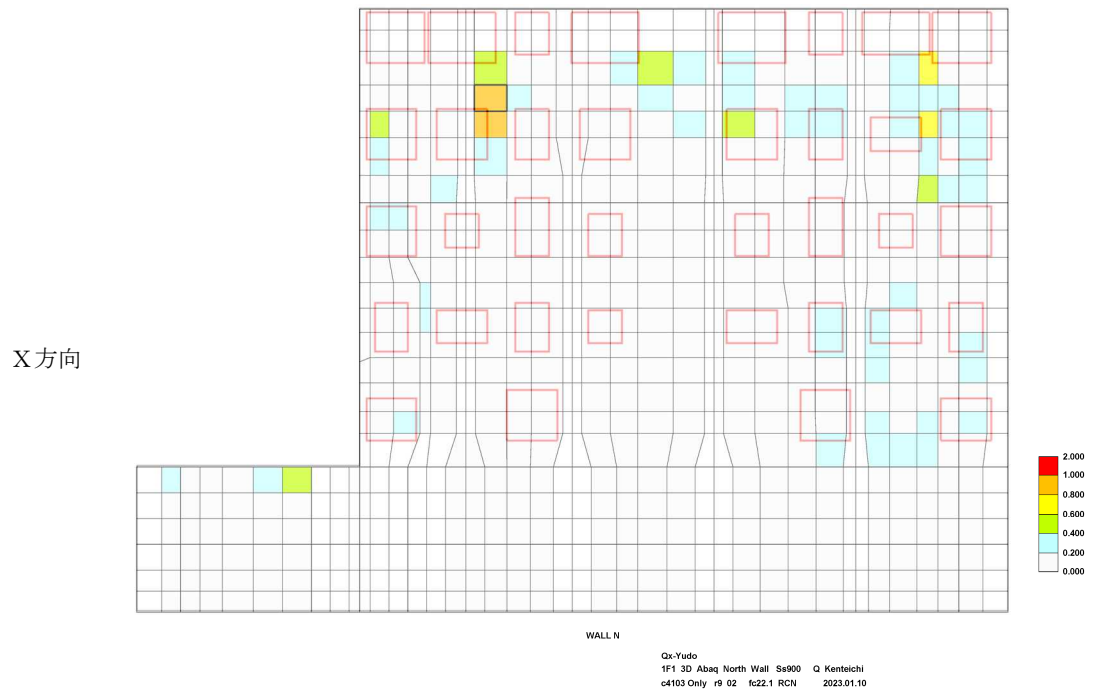


(図中赤枠はベースプレート設置位置を示す)

図-1.28 面外せん断力の検定比 (建屋外壁南面)

Ⅱ-2-11-添 4-2-529

Ⅱ-14-②-200



(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)

II. 設計, 設備について措置を講ずべき措置

1 4. 設計上の考慮

○施設の設計については, 安全上の重要度を考慮して以下に掲げる事項を適切に考慮されたものであること。

③外部人為事象に対する設計上の考慮

- ・安全機能を有する構築物, 系統及び機器は, 想定される外部人為事象によって, 施設の安全性を損なうことのない設計であること。
- ・安全機能を有する構築物, 系統及び機器に対する第三者の不法な接近等に対し, これを防御するため, 適切な措置を講じた設計であること。

措置を講ずべき事項への適合方針

施設の設計については, 安全上の重要度を考慮して以下について適切に考慮したものとする。

○外部人為事象に対する設計上の考慮

- ・ 想定される外部人為事象としては, 航空機落下, ダムの崩壊及び爆発, 漂流した船舶の港湾への衝突等が挙げられる。本特定原子力施設への航空機の落下確率は, これまでの事故実績等をもとに, 民間航空機, 自衛隊機及び米軍機を対象として評価した(原管発管 21 第 270 号 実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の再評価結果について(平成 21 年 10 月 30 日))。その結果は約 3.6×10^{-8} 回/炉・年であり, 1.0×10^{-7} 回/炉・年を下回る。したがって, 航空機落下を考慮する必要はない。また, 特定原子力施設の近くには, ダムの崩壊により特定原子力施設に影響を及ぼすような河川並びに爆発により特定原子力施設の安全性を損なうような爆発物の製造及び貯蔵設備はない。また, 最も距離の近い航路との離隔距離や周辺海域の流向を踏まえると, 航路を通行する船舶の衝突により, 特定原子力施設が安全機能を損なうことはない。
- ・ 安全機能を有する構築物, 系統及び機器に対する第三者の不法な接近, 妨害破壊行為(サイバーテロ等の不正アクセス行為を含む)及び核物質の不法な移動を未然に防止するため, 下記の措置を講ずる。

- (1) 安全機能を有する構築物, 系統及び機器を含む区域を設定し, それを取り囲む物的障壁を持つ防護された区域を設けて, これらの区域への接近管理, 入退域管理を徹底する。
- (2) 探知施設を設け, 警報, 映像監視等, 集中監視する設計とする。
- (3) 外部との通信設備を設ける。

(実施計画: II-1-14-1, 2)

具体的な対応方針

- 大型カバーは, 想定される外部人為事象によって, 施設の安全性を損なうことのない設計とする。また, 第三者の不法な接近等に対し, これを防御するため, 物的障壁を持つ防護された区域内に大型カバーを設置し, 接近管理, 入退域管理等を行う。
- 航空機の落下確率に用いられる 1 号炉の標的面積は, 大型カバーの設置に伴い, 新たに考慮すべき面積を 1 号炉の標的面積に加算しても, 標的面積の基準値である 0.01km^2 を下回ることか

ら、航空機の落下確率に影響を与えるものではないと判断する。具体的には、「原子力安全・保安院に当時報告した「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の再評価結果について（原管発官 21 第 270 号 平成 21 年 10 月 30 日）」において 1 号機の航空機落下確率評価に係わる標的面積は原子炉建屋 (0.001728km²)、コントロール建屋（中央制御室）(0.000729km²)、海水ポンプエリア (0.000121km²) の合計値で 0.002578km² と整理しており、「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率に対する評価基準」に示されている 0.01km² より小さい。これを踏まえ、航空機落下確率評価に使用する値は安全側の評価となるよう上記評価基準の 0.01km² としている。今回のカバー設置に伴い、原子炉建屋の標的面積は約 0.004km² となり、合計値としては約 0.00485km² となるが、同様に 0.01km² を下回るため、航空機落下確率評価に使用する値は 0.01km² のまま変更はない。

- 燃料取り出し用カバーは、想定される外部人為事象によって、施設の安全性を損なうことのない設計とする。また、第三者の不法な接近等に対し、これを防御するため、適切な措置を講じた設計とする。

(実施計画：II-11-添 3-4)

II. 設計，設備について措置を講ずべき措置

1 4. 設計上の考慮

○施設の設計については，安全上の重要度を考慮して以下に掲げる事項を適切に考慮されたものであること。

④火災に対する設計上の考慮

火災発生防止，火災検知及び消火並びに火災の影響の軽減の方策を適切に組み合わせて，火災により施設の安全性を損なうことのない設計であること。

措置を講ずべき事項への適合方針

施設の設計については，安全上の重要度を考慮して以下について適切に考慮したものとする。

○ 火災による設計上の考慮

火災により施設の安全性が損なわれることを防止するために火災発生防止，火災検知及び消火並びに火災の影響の軽減の方策を適切に組み合わせた措置を講じる。

(実施計画：II-1-14-2)

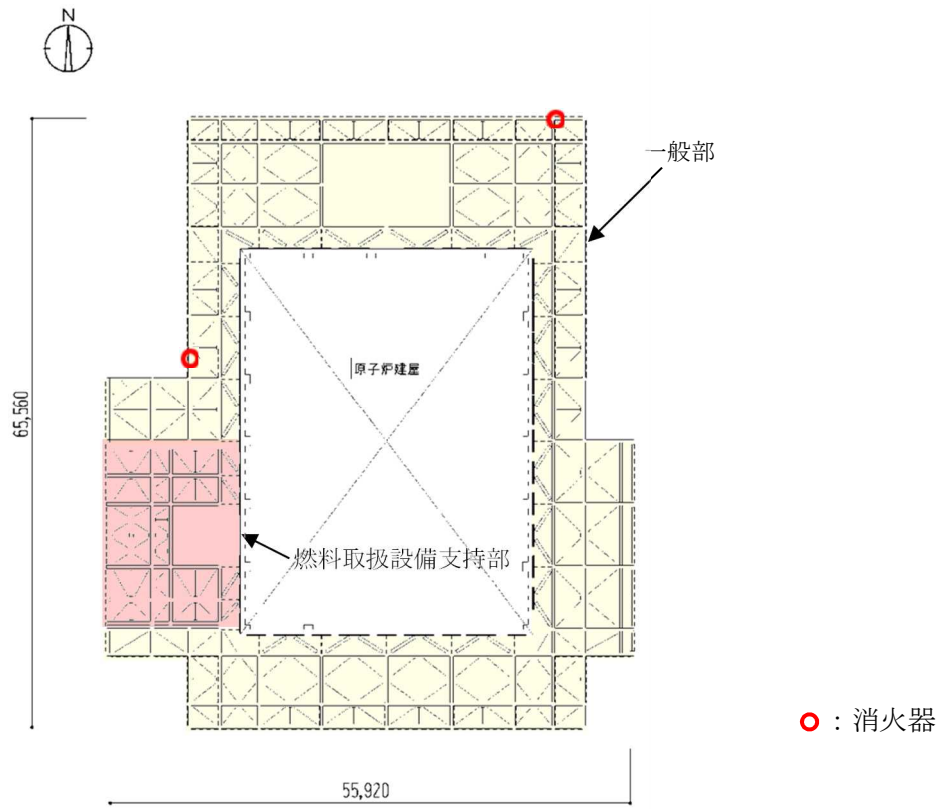
- 燃料取り出し用カバー及び燃料取り出し用カバー内外の主要構成部材は不燃性のものを使用し，電源盤については不燃性又は難燃性，ケーブルについては難燃性のものを可能な限り使用し，火災が発生することを防止する。火災の発生が考えられる箇所について，火災の早期検知に努めるとともに，消火器を設置することで初期消火活動を可能にし，火災による影響を軽減する。

(実施計画：II-2-11-4)

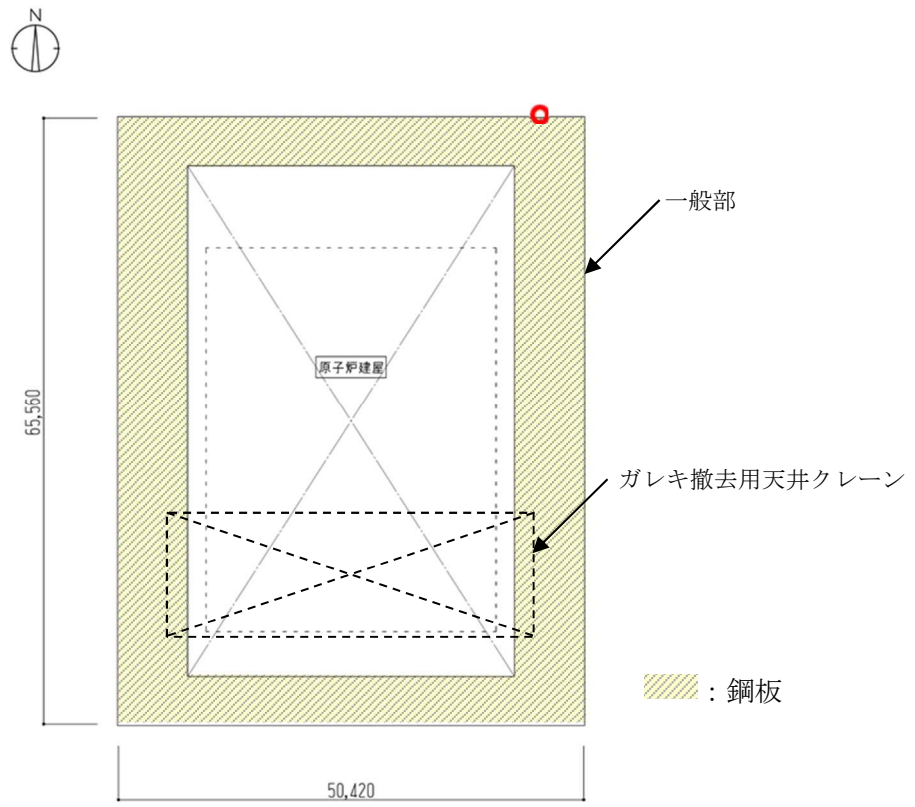
具体的な対応方針

- 大型カバーを構成する部材には、実用上可能な限り不燃又は難燃材料を使用し、可燃材料の使用を最小限とすることで火災の発生と延焼を防止するとともに、各所に消火器を設置することで、初期消火活動を可能にし、上位クラスの設備が当該火災により安全を損なうことのないようにする。
- 大型カバーを構成する構築物及び機器について、可燃物、難燃物、不燃物を整理した結果は表1の通り。
- 火災の検知は遠隔カメラより行い、初期消火は構内初期消火隊が実施する。火災発生場所までは北側と西側の階段の両方からアクセス可能とする。
- 燃料取り出し用カバーは、火災の発生を防止し、火災の検知及び消火を行い、並びに火災の影響を軽減するための対策を適切に組み合わせることにより、火災により施設の安全性を損なうことのない設計とする。

(実施計画：Ⅱ-2-11-添3-4)



○ : 消火器



■ : 鋼板

図1 大型カバーの消火器配置 (予定) (単位: mm)

表 1 大型カバー構成部材の整理

種別	部位	名称	分類	備考
大型カバー（一般部，燃料取扱設備支持部）	外装材	金属系パネル	不燃	
		除染シート	不燃	
	構造部	鉄骨	不燃	
大型カバー（屋根部）	外装材	膜材	準不燃	
	構造部	鉄骨	不燃	
	駆動部 ^{※1}	フレーム	不燃	
		モーター	不燃	
		減速機	不燃/一部可燃	ハウジング（不燃）内に潤滑油
		車輪	不燃	
	電気・計装品	盤筐体	不燃	
		電源ケーブル	難燃	IEEEstd. 383-1974
		制御盤内ケーブル	難燃	JIS 3005
		制御盤内機器	一部可燃	筐体（不燃）内に格納
ガレキ撤去用天井クレーン	構造部	鉄骨	不燃	
	駆動部 ^{※1}	フレーム	不燃	
		ドラム	不燃	
		減速機	不燃/一部可燃	ハウジング（不燃）内に潤滑油
		ワイヤロープ	不燃	
		車輪	不燃	
	電気・計装品	盤筐体	不燃	
		電源ケーブル	難燃	IEEEstd. 383-1974
		制御盤内ケーブル	難燃	JIS 3005
		制御盤内機器	一部可燃	筐体（不燃）内に格納

※1 駆動部各所にはグリース（可燃）を塗布

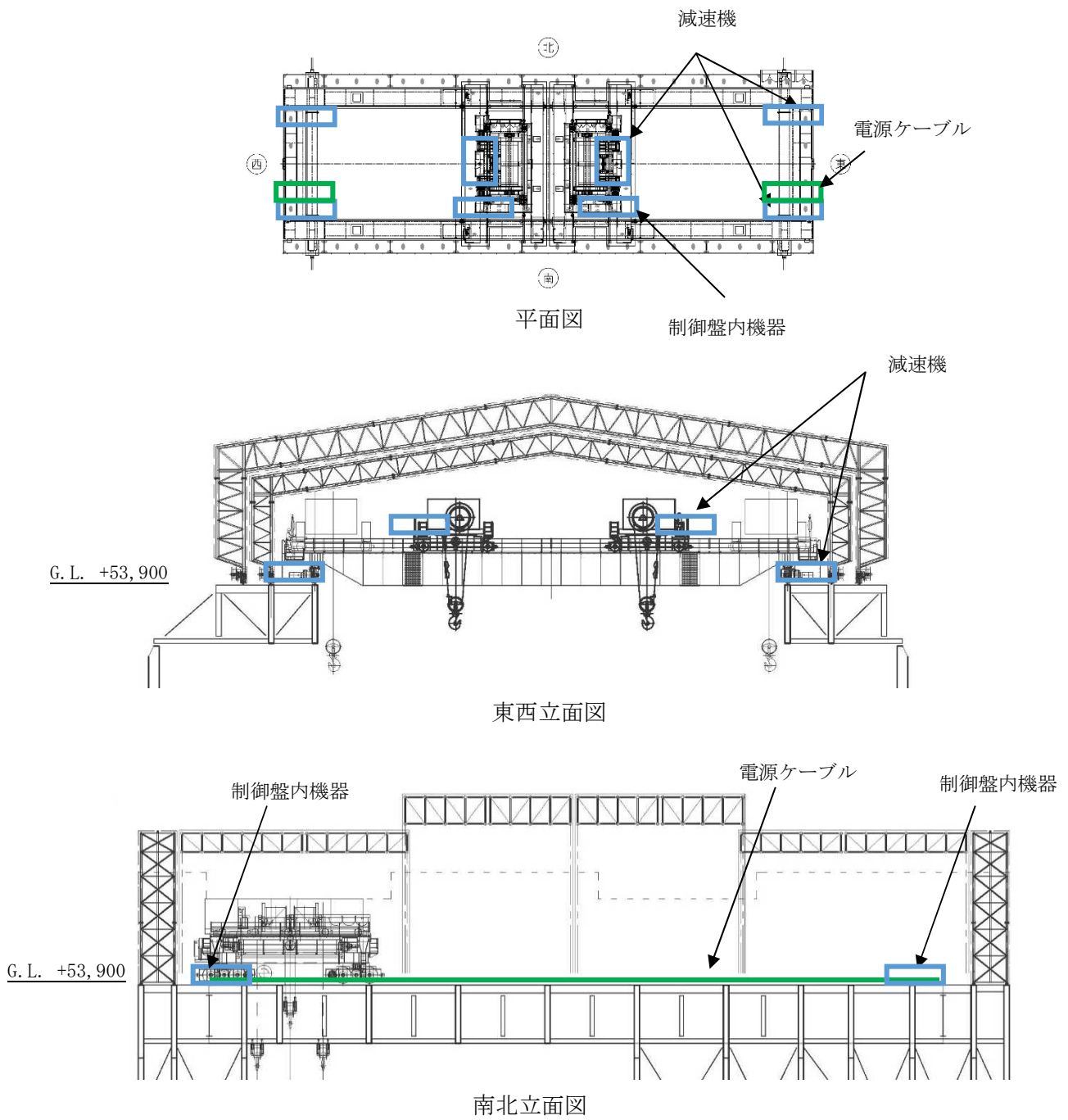
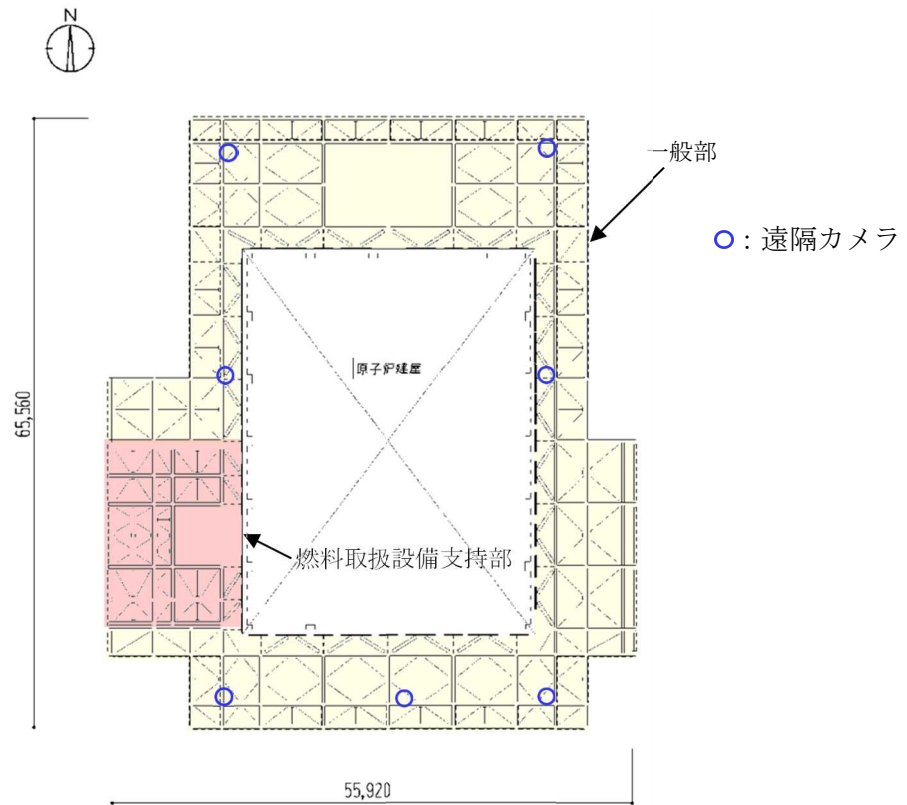
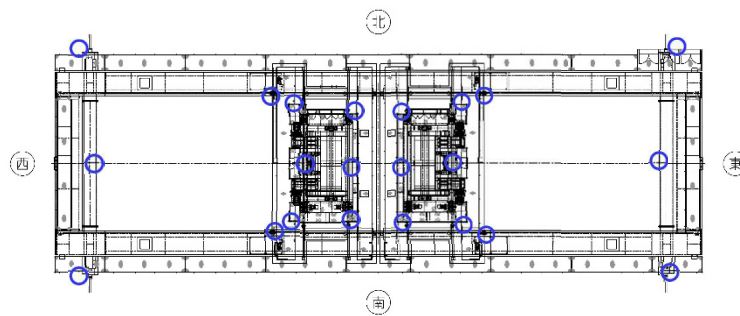


図 2 大型カバーの可燃性及び難燃性機器図



(a) オペレーティングフロア



(b) 天井クレーン

図3 大型カバー遠隔カメラ配置図 (予定)

II. 設計，設備について措置を講ずべき措置

1 4. 設計上の考慮

○施設の設計については，安全上の重要度を考慮して以下に掲げる事項を適切に考慮されたものであること。

⑤環境条件に対する設計上の考慮

安全機能を有する構築物，系統及び機器は，経年事象を含むすべての環境条件に適合できる設計であること。特に，事故や地震等により被災した構造物の健全性評価を十分に考慮した対策を講じること。

措置を講ずべき事項への適合方針

施設の設計については，安全上の重要度を考慮して以下について適切に考慮したものとする。

- 安全機能を有する構築物，系統及び機器は，それぞれの場所に応じた圧力，温度，湿度，放射線等に関する環境条件を考慮し，必要に応じて換気空調系，保温，遮へい等で維持するとともに，そこに設置する安全機能を有する構築物，系統及び機器は，これらの環境条件下で期待されている安全機能が維持できるものとする。特に，事故や地震等により被災した構造物については，健全性評価を実施して対策を講じる。

(実施計画：II-1-14-2)

具体的な対応方針

大型カバーの設計に当たっては，その設置時に想定される温度や圧力，周囲からの放射線量等を踏まえて，適切な材料，機器等を選定する。

また，大型カバーが1号機原子炉建屋外壁に設置するアンカーにより支持される構造であることから，当該外壁が過去に発生した地震及び水素爆発並びにその他経年劣化の影響を受けていることを踏まえ，その健全性の確認を目的としたひび割れ調査，コンクリート強度調査及びアンカーの引抜き試験等を行った上で，実機における外壁コンクリートの設計基準強度及びアンカーの許容耐力に影響がないことを確認できた場合にアンカーを施工する。

なお，既往文献では考慮されていないアンカー設置位置を貫通する1 mmを超えるひび割れが確認された場合は，アンカー設置位置を再検討するとともに，万一ひび割れを避けられない場合は，エポキシ樹脂により補修する

- 燃料取り出し用カバーは，経年事象を含む想定されるすべての環境条件に適合できる設計とする。特に，燃料取り出し用カバーの設計及び設置においては，事故や地震等により被災した原子炉建屋の健全性を十分に評価し，必要な対策を講じる。

(実施計画：II-11-添3-4)

- 大型カバーは，基本的な圧力，温度及び放射線量の他に，自然現象として地震，津波，豪雨，台風，竜巻，積雪，落雷，塩害，凍結，紫外線，高温，湿度，生物学的事象を考慮した設計を行う。基本的な圧力，温度及び放射線以外の自然現象については，「II-14-② 自然現象に対する設計上の考慮」で説明する。

- 圧力

大型カバーは、外装材で覆うことにより、風雨を遮る計画としており、基準風速 30m/s の風圧力に対して耐えられるよう設計する。

○ 温度

大型カバー内で使用する外装材等は 40℃の温度環境下で使用できる設計とする。

○ 放射線

大型カバーを支持するために用いるアンカーの固定材には、コンクリート躯体と同等の耐久性や耐放射性を有する、無機系材料（セメント系）を使用する。

文献¹によると原子炉建屋のひび割れ補修に使用するエポキシ樹脂は、集積線量が 1MGy 程度で強度及び接着性能が低下する傾向を示す。

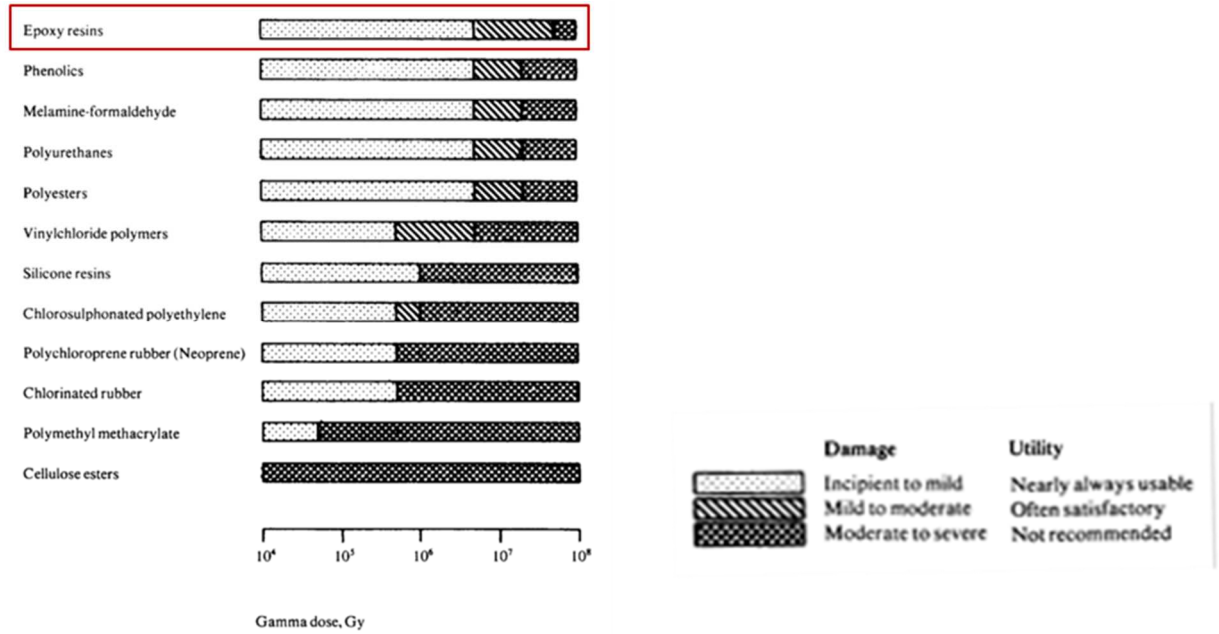


図 1 エポキシ樹脂の耐放射線性

原子炉建屋 4 階外壁レベルで最大の空間線量は南側外壁で、16.2mSv/h である。
 16.2 mSv/h=16.2 mGy/h とすると、1 MGy の照射量に達するには、7,000 年以上^{*}かかるため、エポキシ樹脂注入材に対する放射線の影響は極めて小さいと評価する。

^{*}エポキシの耐放射線性は 1MGy (=1,000,000Gy) とすると、

$$1,000,000\text{Gy} / (16.2\text{mGy} \times 1/1,000 \times 24 \text{時間} \times 365 \text{日}) \approx 7046 \text{年}$$

¹ [CERN, COMPILATION OF RADIATION DAMAGE TEST DATA PART III: Materials used around high-energy accelerators, 1982]

○ 1号機原子炉建屋の外壁調査

(1) 外壁調査の全体方針

大型カバーは、原子炉建屋外壁にアンカーにより支持させることから、原子炉建屋の外壁の状態を確認することが重要である。このため、アンカーを設置する上で確認が必要なひび割れ調査及びコンクリート強度調査を実施する。

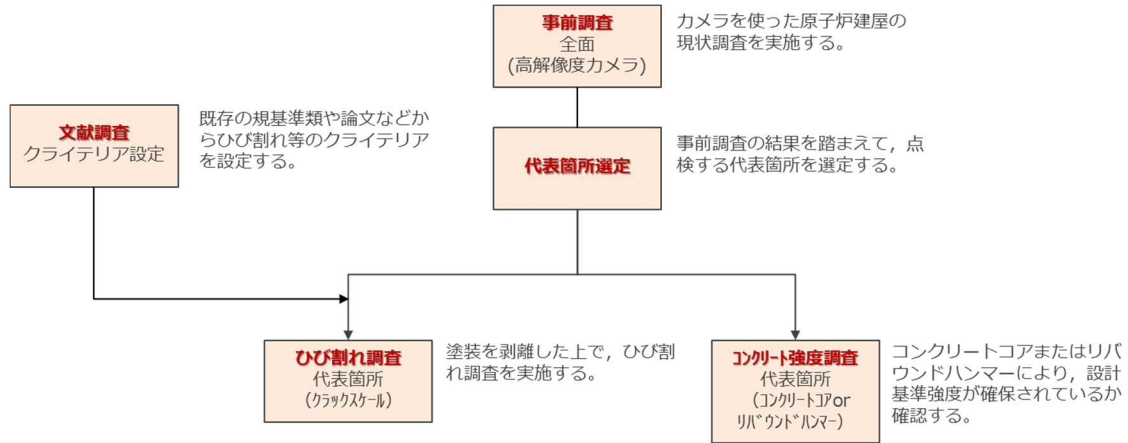


図 2 外壁調査の流れ

(2) 事前調査

原子炉建屋に地震、水素爆発、その他経年劣化によって、大きなひび割れ等の損傷が生じていないことを確認するため、目視による調査を実施する。

目視による調査に当たっては、高線量及び高所であることを考慮して、高解像度カメラによる調査を実施し、ひび割れ調査及びコンクリート強度調査の代表箇所を選定する。

(3) 調査代表箇所の選定方法

原子炉建屋外壁部は高線量であることから、ひび割れ調査及びコンクリート強度調査は代表的な箇所を選定し実施する。

選定にあたっては、事前調査で塗膜面に損傷が認められる箇所、応力集中箇所、アンカー反力最大箇所の中から各面各段 1~2 箇所を選定する。

・ 塗膜面に損傷がある箇所

各面各段のアンカー設置箇所の塗膜面に割れや剥離が比較的多い箇所を代表箇所とする。

・ 応力集中箇所

地震及び水素爆発の影響を受ける場合、柱梁に囲まれた有効スパンが広く、壁厚の薄い箇所が最も不利となることから、各面各段のアンカー設置箇所のうち、壁厚-有効スパンの比率が最も小さい箇所とする。

・ アンカー反力最大箇所

Ss600 による地震応答解析の結果から得られる、各面の大型カバーアンカー反力の最大箇所とする。なお、アンカーには引張力とせん断力が生じるが、本設計ではせん断力が支配的となる。

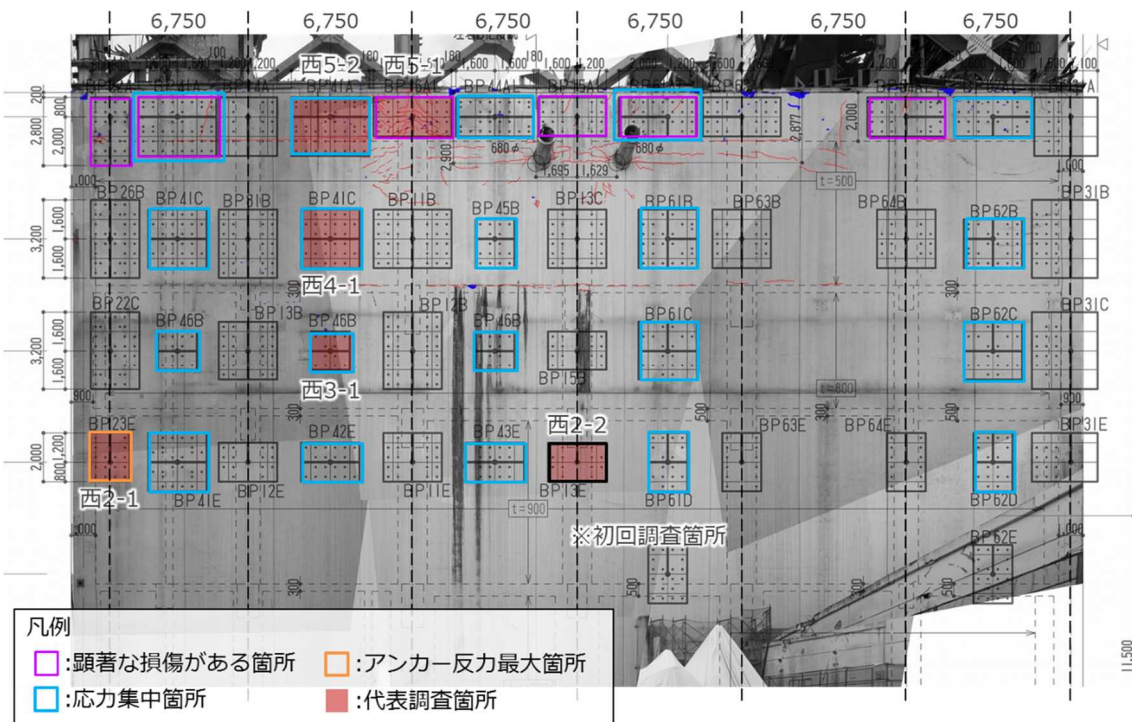


図 3 調査箇所（西面）

表 1 代表箇所の選定プロセス（西面）

段数	No.	選定理由
5	西5-1	塗膜面に損傷がある箇所の内、塗膜面の損傷が著しい箇所を選定
	西5-2	応力集中箇所の内、塗膜面の損傷が著しい西5-1近傍が、より応力を受けたと想定し選定
4	西4-1	応力集中箇所の内、調査の作業性を考慮し5段目調査箇所を近傍の列に選定
3	西3-1	西4-1と同理由
2	西2-1	当該面のアンカー反力検定比が最大の箇所を選定 $Q/Q_a=0.89(P/P_a=0.17)$
	西2-2	調査の作業性を考慮し初回アンカー設置箇所を選定

【凡例】
 Q : アンカーのせん断力
 Q_a : アンカーのせん断耐力
 P : アンカーの引張力
 P_a : アンカーの引張耐力

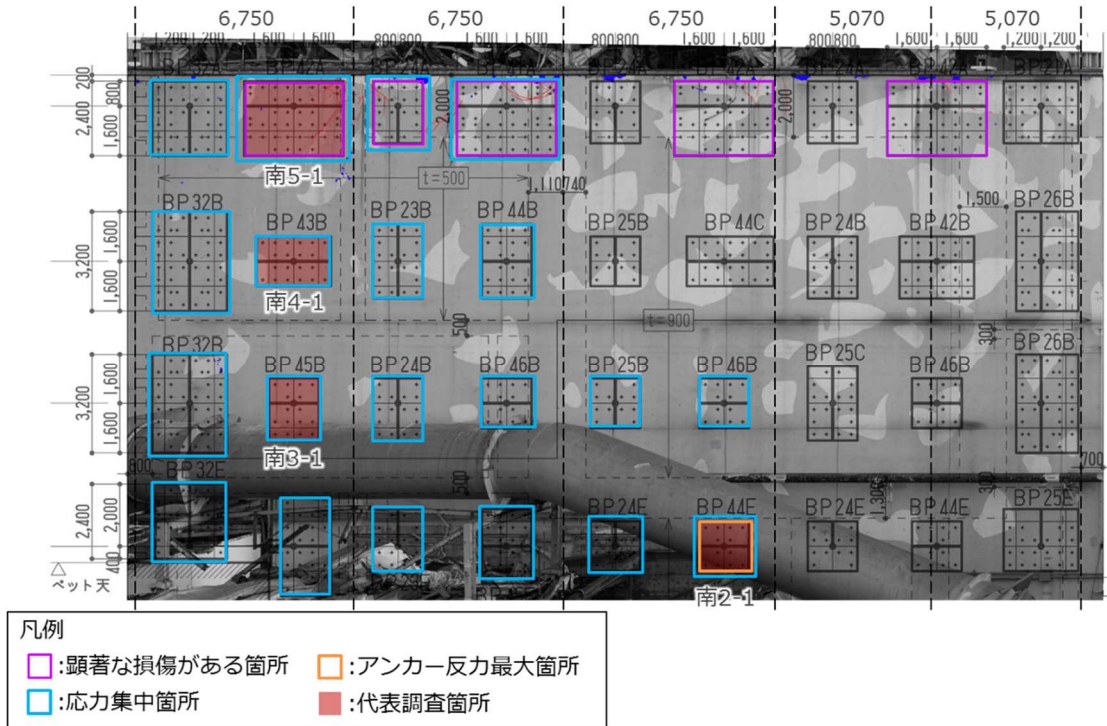


図 6 調査箇所（南面）

表 4 代表箇所の選定プロセス（東面）

段数	No.	選定理由
5	南5-1	塗膜面に損傷がある箇所と応力集中箇所が重複する箇所を選定
4	南4-1	応力集中箇所の内, 調査の作業性を考慮し南5-1近傍の列に選定
3	南3-1	南4-1と同理由
2	南2-1	当該面のアンカー反力検定比が最大の箇所と応力集中箇所が重複する箇所を選定 $Q/Q_a=0.90(P/P_a=0.00)$

【凡例】
 Q : アンカーのせん断力
 Q_a : アンカーのせん断耐力
 P : アンカーの引張力
 P_a : アンカーの引張耐力

(4) 文献調査

ひび割れ調査のクライテリア設定にあたり各種文献調査^{2,3}を行い、1mm以下のひび割れであれば、貫通の有無、位置が設計耐力に与える影響は軽微であることを確認した。

表 5 大型カバーに用いるアンカーと文献調査におけるアンカーの比較

	大型カバーに用いる セメフォースアンカー	電共研 A/D棟概 2018 ²	岐阜大 川口 JCI 2015 ³
アンカータイプ	接着系アンカー	頭付きスタッドボルト	接着系アンカー (カプセル式)
アンカーボルト径D	M33	試験部はφ19	M16
アンカー鋼材種類	SNR490B 全ねじ	SCM435 クロムモリブデン鋼	ABR400
アンカー強度 (N/mm ²)	降伏点400以上保証	降伏点785以上	引張強度400
コンクリート強度 (N/mm ²)	22.1	34.1~35.6 (目標値35)	22.2 (目標値24)
埋込長さ	300mm (9D) 375mm (11D) 450mm (13D)	90mm (4.7D)	130mm (8D)
ひび割れ幅 (mm)	—	0.35, 1.0	0.2, 0.5, 1.0
ひび割れ本数	—	1本	1本
ひび割れ位置	—	アンカー位置から0	アンカー位置から 0, 4D, 8D
設計耐力 (コーン破壊) (kN)	300mm (9D) : 250 375mm (11D) : 253 450mm (13D) : 264	63~65	24.4
東京電力見解 (論文通用の妥当性)	—	①試験体のコンクリート強度は、本設計の実強度と同程度である。 ②試験体厚さ方向に貫通するひび割れで保守的な設定となっている。 ③アンカー設置後のひび割れであり、ヘッドに沿って剥離してすべりが生じるなど、本設計のあと施工仕様より厳しい破壊状況となっている。 ④ひび割れ幅0.35mm, 1.0mmの引抜試験を実施しているが、1.0mmであっても設計耐力(コーン破壊)を上回っている。 ⑤埋込長さが4.7Dと本設計の仕様より短い。安定した耐力を保持している。 ⑥無筋ゾーンへの定着であり、実機のように壁筋の効果を見逃した保守的な設定である。	①セメフォースアンカーと同じ、接着系アンカーを対象としている。 ②試験体のコンクリート強度は、本設計と同程度である。 ③試験体厚さ方向に貫通するひび割れで保守的な設定となっている。 ④ひび割れ幅0.2, 0.5, 1.0mmの引抜試験を実施しているが設計耐力(コーン破壊)を上回っている。 ⑤ひび割れから4D・8D程度離れていても、ひび割れなしと同等の耐力を保持している。 ⑥無筋ゾーンへの定着であり、実機のように壁筋の効果を見逃しており保守的な設定である。

² [水谷他, ひび割れがあるアンカー部の耐力試験 (その 1~3), 2018]

³ [川口他, コンクリート強度及びひび割れがあと施工アンカーの耐荷性に与える影響, 2015]

(5) アンカー引抜・せん断実験

・ 目的

大型カバー設置工事で適用するあと施工アンカー⁴を対象に、既往文献では考慮されていない1mm 超えのひび割れ形態を模擬した場合のアンカー許容耐力を確認する。^{5,6}2mm 超えのひび割れは補修等を行うことから、ひび割れ幅 1~2mm 及びひび割れ無しを想定した実験とする。

・ 実験計画

静的加力試験における相似則を考慮し、おおむね実機の 1/2 縮尺となるよう試験体を設定する。

ひび割れの形態は、事前調査よりひび割れ間隔は 400mm 程度であることから、アンカーを貫通する貫通ひび割れに加え、アンカーから 200mm 離れた箇所に貫通ひび割れを設ける。ひび割れ幅は、1mm 以上のひび割れを対象とする。なお、今後のひび割れ調査に応じて別途追加実験を検討する。

表 6 実機と試験体の諸元比較

		実機	試験体 (1/2縮小)	相似則の考え方
RC壁	コンクリート強度	Fc=225 kg/cm ² 実強度 30N/mm ² 以上	Fc=21 N/mm ² 実強度 30N/mm ² 以下	アンカー強度計算に直接関連するため実機強度と同等以下のコンクリートを採用
	鉄筋	上下とも- 1.5段D25@200(SD35)	上下とも- 1段D16@100(SD345)	アンカー強度計算に直接関連しないが実機と同等程度の鉄筋比となるよう設定 (ρ _t ≒0.7%)
アンカーボルト	径	M33	M16	実機の概ね1/2の標準ボルト径を設定
	材質	SNR490B, Sy≧400	SNR490B, Sy≧400 (引抜試験はSCM435Hを使用)	せん断：実機ボルトを削り出し製作 引抜：破壊モードをコーン破壊とするため高強度材料を採用
	埋込深さ	375mm	160mm	ボルト径が実機の1/2よりも若干細いため確実にコーン破壊するよう若干浅めに埋込み深さを設定
ひび割れ幅		0mm ~ 2mm程度	0mm, 1mm, 2mm ^{*4} 実機換算：0mm,2mm,4mm	実機換算 (0mm, 2mm, 4mm ^{*4}) となるよう1/2倍の幅で設定
ひび割れ発生メカニズム		曲げひび割れ	貫通ひび割れ	既往実験知見 ^{*5} を参考に打設前にテフロンシートを狭み込み貫通ひび割れを模擬

※2：実機のひび割れ幅は最大で2mm程度であるが、参考として実機換算4mmについても実施した
 ※3：川上他：超速硬セメント系注入式あと施工アンカーの引抜耐力に及ぼすひび割れの影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.36，No.1，2014，pp1894-1899

試験日のコンクリート圧縮強度

せん断試験	28.3 N/mm ²
引抜試験	28.7 N/mm ²

アンカーボルトの降伏強度(引張試験結果)

SNR490B	445 N/mm ²
---------	-----------------------

SCM435は高強度鋼のため降伏強度はなし

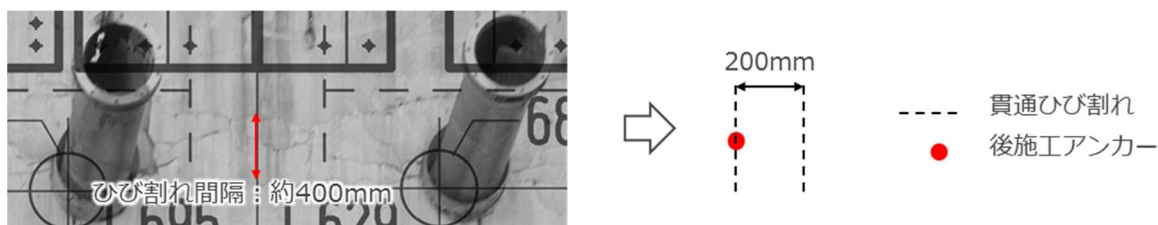


図 7 模擬するひび割れ幅

⁴ 住友大阪セメント社製 超速硬セメント系注入式あと施工アンカー「セメフォースアンカー」

⁵ [又吉他，補強アンカーを用いた既存ひび割れ部の耐力試験その1 試験計画，2022年]

⁶ [水谷他，補強アンカーを用いた既存ひび割れ部の耐力試験その2 試験結果，2022年]

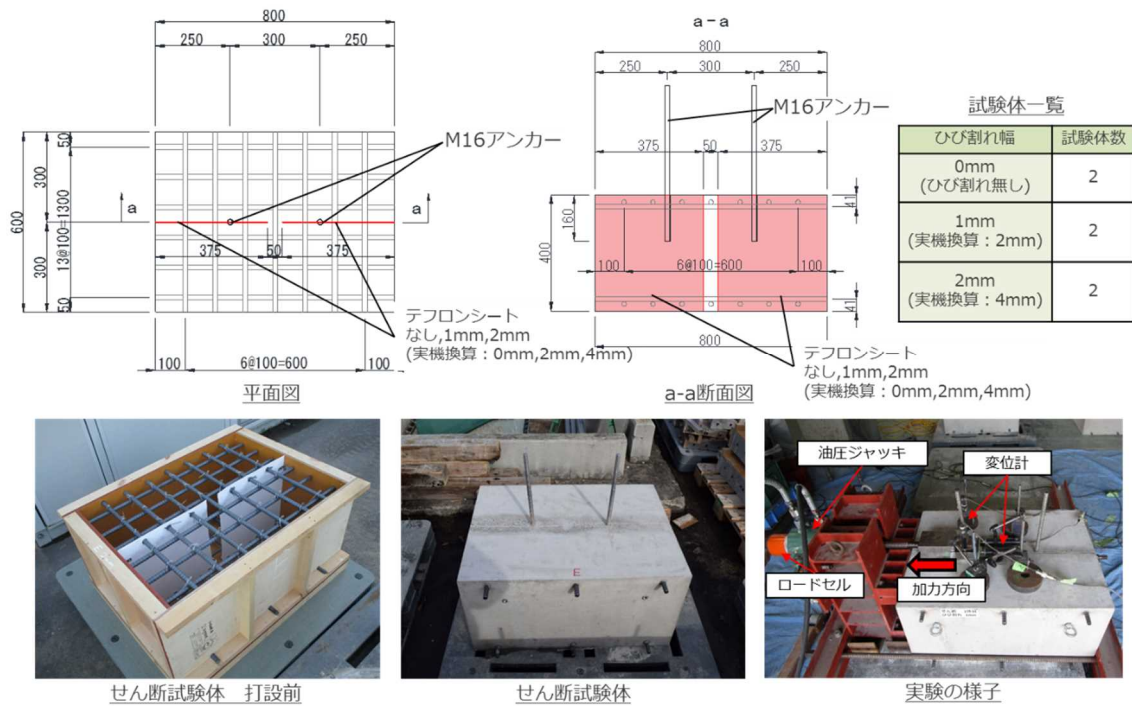


図 8 試験体概要 (せん断試験)

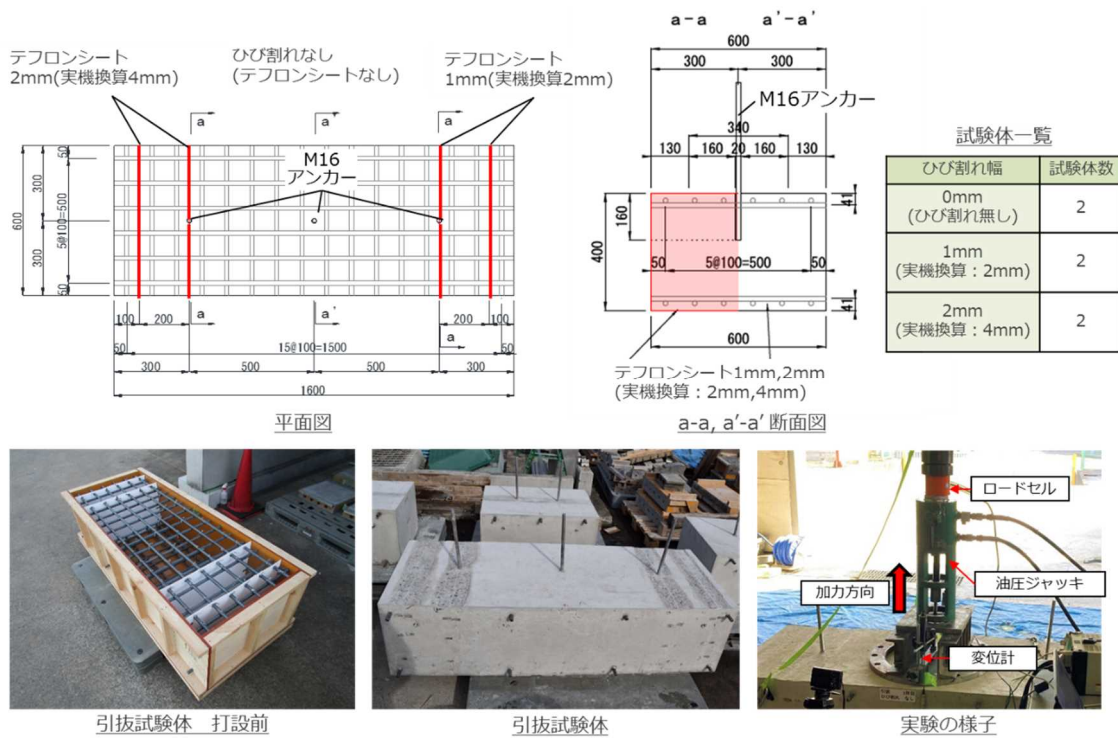


図 9 試験体概要 (引抜試験)

・ 試験結果

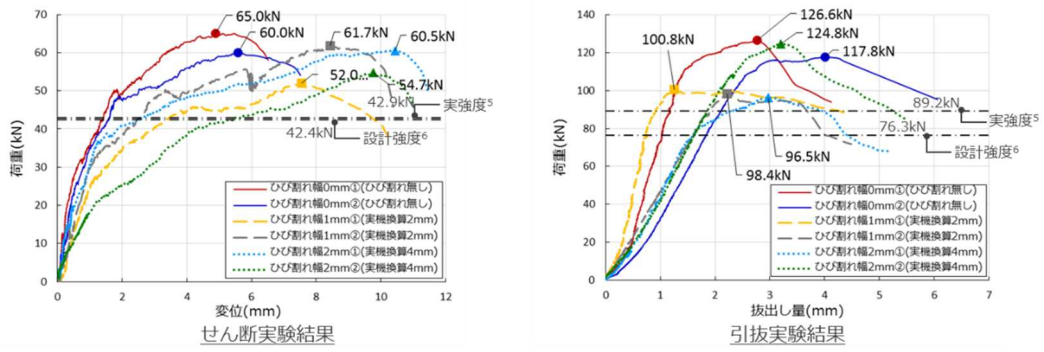


図 10 荷重変形関係

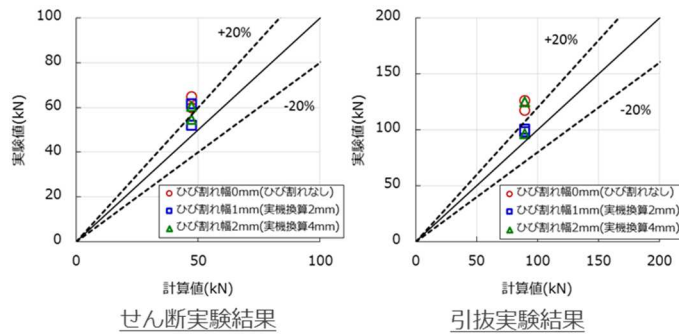


図 11 最大値と実強度⁷の比較

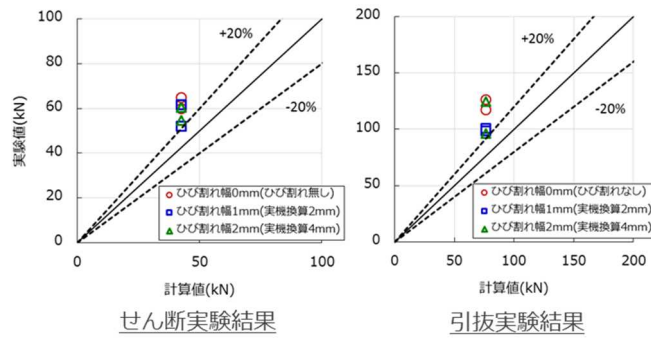


図 12 最大値と設計強度⁸の比較

⁷コンクリートの試験体実強度及び鉄筋の引張試験結果に基づき、実機設計式を用いて算定した終局強度

⁸コンクリートの設計基準強度及び鉄筋の規格降伏点強度に基づき、実機設計式を用いて算定した終局強度

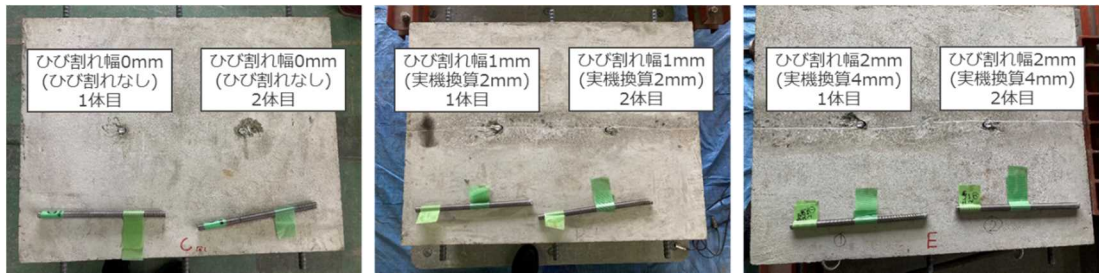


図 13 破壊性状 (せん断試験体)

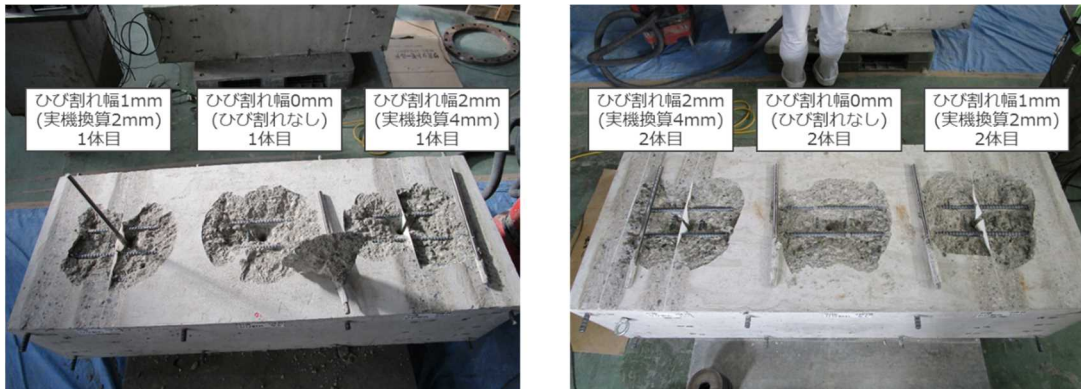


図 14 破壊性状 (引抜試験体)

- まとめ

せん断実験は、ひび割れの有無にかかわらず、実強度及び設計強度に対して2~5割程度それぞれ実験値が高い結果となった。

引抜実験は、ひび割れの有無にかかわらず、実強度に対して1~4割程度、設計強度に対して3~6割程度それぞれ実験値が高い結果となった。

いずれのケースにおいても、設計強度に対して実験値が高い結果となり、現状の設計クライテリアに十分な余裕があることを確認した。

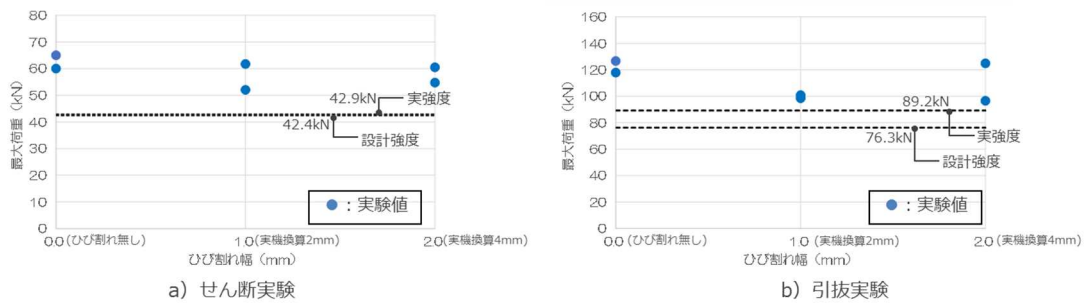


図 15 ひび割れ幅と最大荷重の関係

ひび割れ有無によって最大荷重が発現する時の変位が異なるが、同一変形時のマクロな荷重変形関係で整理しても、設計強度を十分上回っている。また、施工にあたっては、幅 1mm を超えるひび割れは補修もしくはアンカー位置をひび割れと干渉しない位置へ見直すことから、個々のアンカーの変位は抑制され、十分な安全裕度が保持されている。

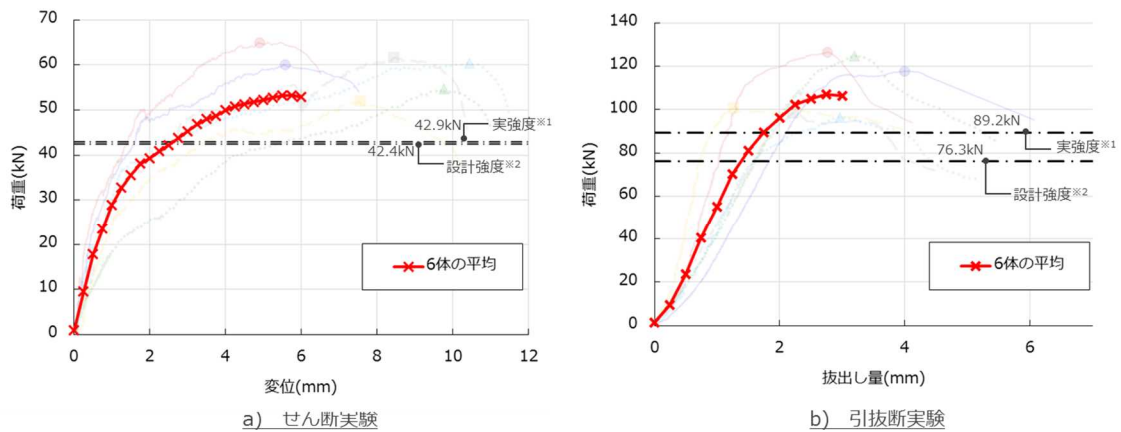


図 16 実験平均値と設計強度の関係

・ 参考

ひび割れ無しの試験体についてはせん断実験，引抜実験とも既往のセメフォースアンカーの実験結果と同様の傾向（設計値に対して2割程度の裕度を有する）が確認できた。

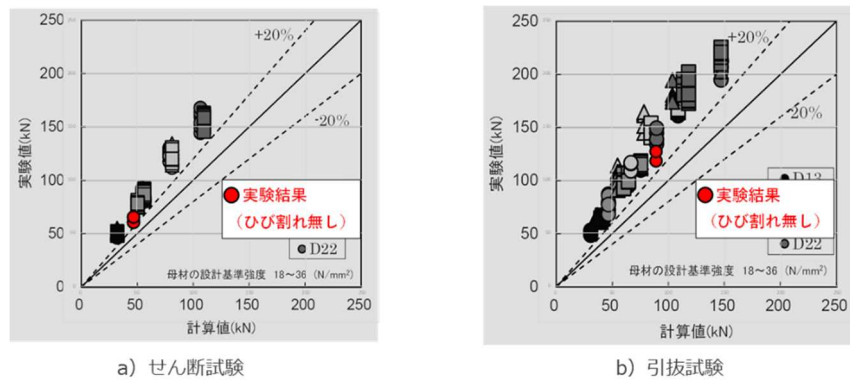


図 17 セメフォースアンカーの既往実験結果⁹に本実験結果をプロット

せん断実験は，下図の通り，アンカーボルトに加力治具と変位計を取り付け，水平方向変位の平均値をとることで，アンカーボルトの滑り変位を計測している。

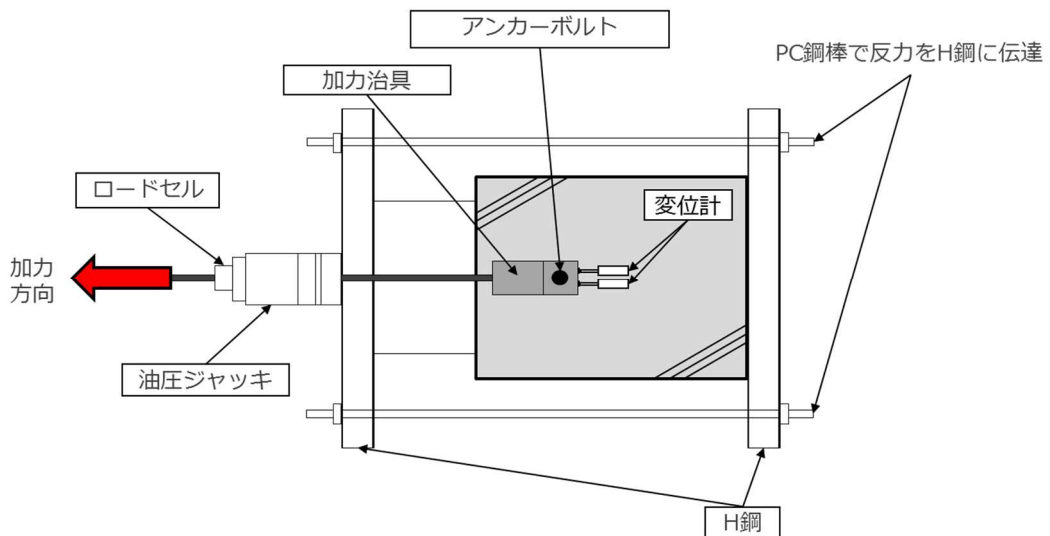


図 18 せん断実験装置平面図

⁹ [セメフォースアンカー技術資料(<http://cemef.jp/download/download.html>)]

引抜実験は、下図の通り、アンカーボルトに計測治具と変位計を取付け、アンカーボルトの左右2カ所の鉛直方向変位の平均値をとることで、アンカーボルトの抜け出し量を計測している。

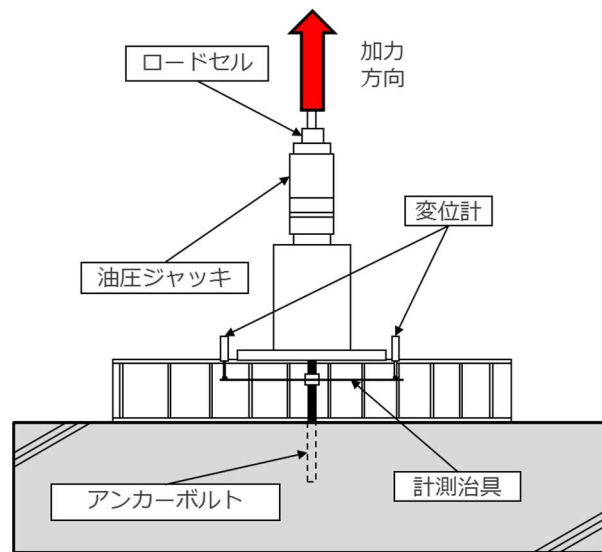


図 19 引抜実験装置立面図

(6) クライテリアの設定（ひび割れ）

- ・ 外壁の構造性能に関するもの

水素爆発による損傷の場合、曲げ部材の損傷程度を考慮する必要があるが、文献¹⁰によると、損傷度Ⅰ～Ⅲでは水平耐力と鉛直耐力はともにほとんど低下しないとされている。このため、ひび割れ調査にあたっては損傷度Ⅳ以降の損傷が確認された場合には耐力低下影響の詳細評価を実施する。

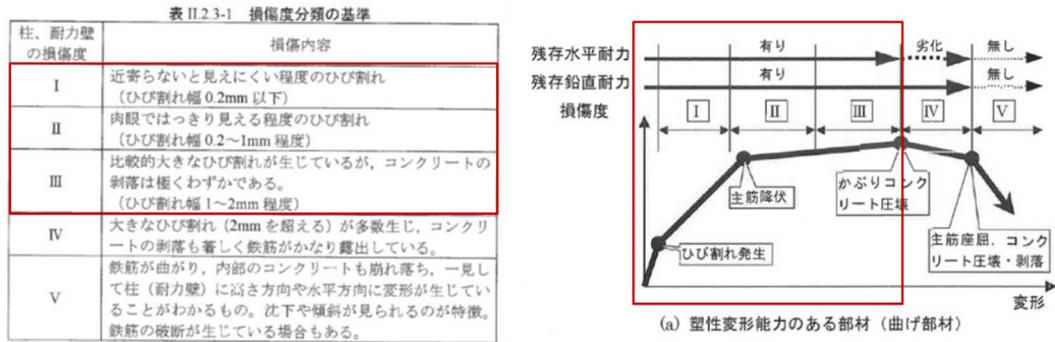


図 20 損傷度分類ほか

- ・ アンカーの耐力に関するもの

文献^{11,12}によると、アンカーを貫通するひび割れについて 1mm 以下であれば、最大耐力は低下するものの各種合成構造設計指針によるアンカー耐力を満足する結果が得られている。また、アンカーを貫通しないひび割れは、アンカー耐力に有意な影響を及ぼすものではない結果となっている。よって、アンカー位置に 1mm を超える貫通ひび割れが確認された場合は、アンカー位置を貫通しない位置に見直す。ひび割れを避けられない場合は、ひび割れを補修する。

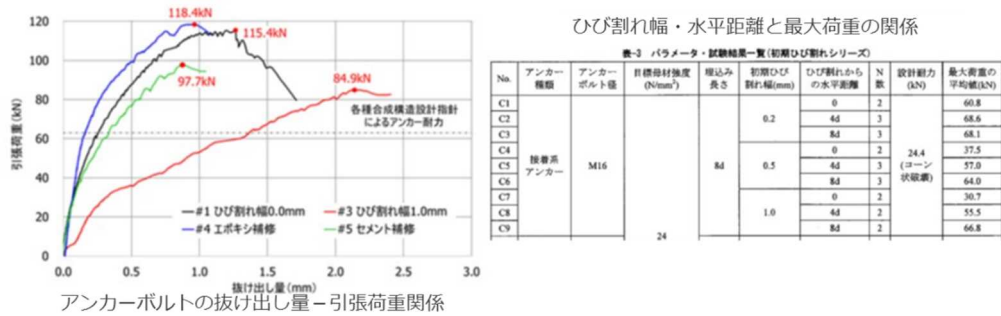


図 21 アンカーボルトとひび割れの関係

文献⁹では、中央の変位計 2 本平均の値を抜け出し量と称している。両脇の変位計は試験体全体の浮き等ないかを確認している。

試験体#3（ひび割れ幅 1.0mm）では、コーンひび割れは貫通ひび割れの片側にだけ進展し、他方はひび割れ形成には至っていないものの、アンカーヘッドがコンクリートにかかっており、支圧によりコンクリートが破壊しているように観察できる。コーンが両側に構成される

¹⁰ [震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針, 2016]
¹¹ [水谷他, ひび割れがあるアンカー部の耐力試験（その 1～3）, 2018]
¹² [川口他, コンクリート強度及びひび割れがあと施工アンカーの耐荷性に与える影響, 2015]

試験体に比べて、変形は大きくなるものの、AIJ 各種合成構造設計指針によるアンカー耐力を上回っている。



図 22 試験状況と試験体破壊状況

(7) 外壁調査フロー

文献調査に基づき外壁調査フローを設定した。

・ ひび割れ調査

「震災建築物の被災度被災度区分判定基準および復旧技術指針」（以下、「復旧技術指針」という）に基づき、損傷度ⅣまたはⅤを判定する。損傷度ⅣまたはⅤと判定した場合は、耐力低下影響の詳細評価を実施する。

なお、代表箇所において、損傷度ⅣまたはⅤに相当する損傷が確認された場合は、当該面・段の塗膜面に割れのある箇所もひび割れ調査の対象とする。

アンカー設置位置を貫通する 1mm を超えるひび割れが確認された場合はアンカー位置を再検討する。ひび割れを避けられない場合は、ひび割れを補修する。

・ コンクリート強度調査

各種合成構造設計に基づきアンカーの許容値を算定していることから、コンクリート強度が設計基準強度を上回ることを確認する。

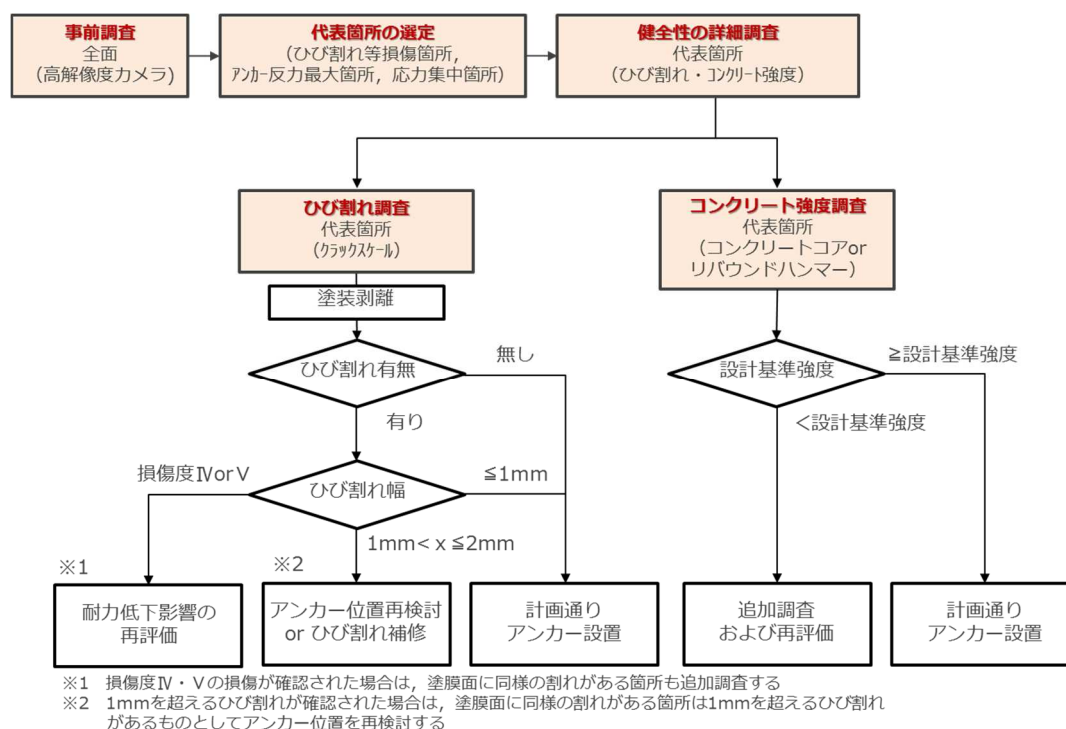


図 23 外壁調査フロー

(8) ひび割れ調査の方法

事前調査において選定した代表箇所について、塗膜を剥離し躯体表面のひび割れ幅をクラックスケールにより測定する。

塗膜の剥離は、ひび割れ等の痕跡に影響を及ぼさないよう、塗膜剥離剤を塗布した後にスクレーパー（人力）により剥離する。

アンカー削孔時に削孔装置より打音調査を行い、コンクリート浮きを確認する。

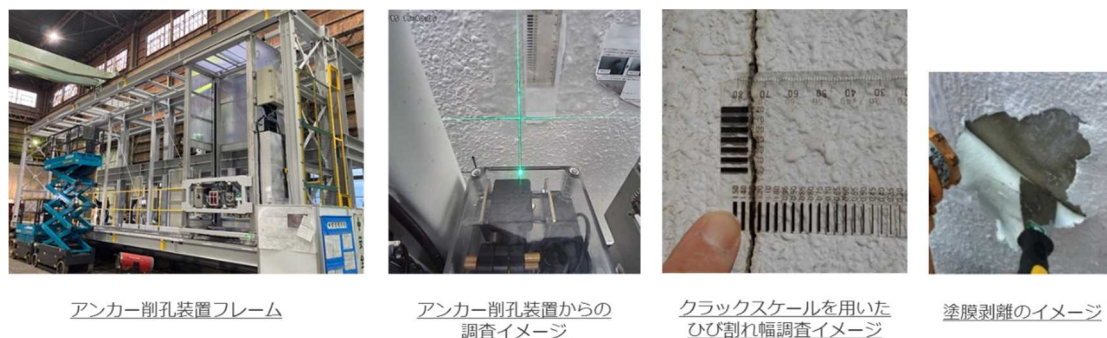


図 24 ひび割れ調査状況

(9) コンクリート強度調査の方法

代表箇所では3本のコンクリートコアの強度試験を行い、コンクリートコアの強度が設計基準強度以上であることを確認し、健全性およびアンカー計画全体の見直し有無を判断する。

被ばく線量低減を目的とし、代表箇所のうち西 2-2 で実施するコンクリートコアの強度試験以降はリバウンドハンマーによるコンクリート強度調査（非破壊試験）を採用する。



図 25 コンクリート強度調査状況

(10) 調査結果

・ 西面の調査結果（西 5-1）

ひび割れ幅は最大 1.3mm であった。

打音調査の結果コンクリートの浮きが一部認められたが、かぶり厚さ以内であることを確認した。

リバウンドハンマーによる推定強度は設計基準強度 22.1N/mm²を上回った。

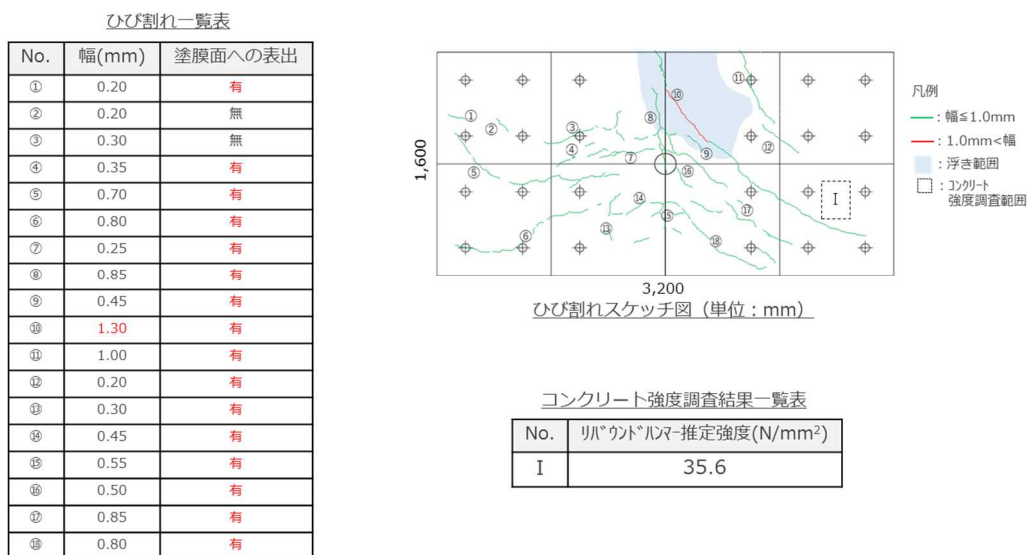


図 26 調査結果（西 5-1）

・ 西面の調査結果（西 5-2）

ひび割れ幅は最大 0.8mm であった。

リバウンドハンマーによる推定強度は設計基準強度 22.1N/mm²を上回った。

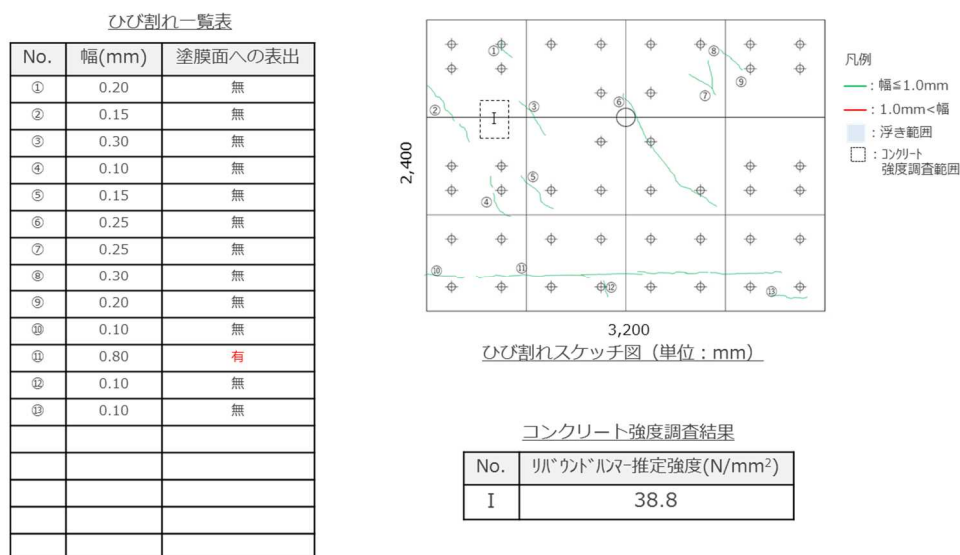


図 27 調査結果（西 5-2）

(11) 調査結果まとめ

・ ひび割れ調査結果

幅 1mm 超えのひび割れは計 3 本認められたが、最大ひび割れ幅は 1.6mm であり、幅 2mm を超えるひび割れは認められなかった。

打音調査の結果、コンクリートの浮きが 2 箇所認められたが、いずれも、かぶり厚さ以内であることを確認した。

幅 0.5mm 以上のひび割れは、事前調査で確認した塗膜面割れと一致しており、クライテリアとした 1mm 超えのひび割れは塗膜面の上から判断が可能であることを確認した。

内部損傷状況を確認するため、浮きが確認された 2 箇所について浮き部分を研り取り再度打音調査を行い異音がない（問題がない）ことを確認した。また、ひび割れの評価にあたっては貫通ひび割れを考慮していることから、内部損傷状況調査のための非破壊試験は省略する。

・ コンクリート強度調査

リバウンドハンマーによる推定強度は、いずれも設計基準強度である 22.1N/mm^2 を上回った。

・ 調査結果を受けた対応と考察

幅 1mm を超えるひび割れはエポキシ補修もしくはアンカー位置をひび割れと干渉しない位置へ見直す。なお、前述したアンカー引抜き・せん断実験では、ひび割れ幅 4mm の貫通ひび割れがあったとしても、強度上問題ないことを確認している。

浮きが認められた部分は、すべて研り取りモルタルを充填する。

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する。

・ 今後のアンカー設置への展開

塗膜面に割れが存在する箇所の塗膜を局所的に剥離し、ひび割れ幅が 1mm を超える場合はエポキシ補修もしくはアンカー位置をひび割れと干渉しない位置へ見直す。

アンカー削孔前にアンカー削孔装置から打音調査を行い、かぶり厚さより深い浮きが認められた範囲は、アンカー位置を浮きと干渉しない位置へ見直す。浮きが認められる範囲は深さによらず、すべて研り取りモルタルで充填する。

(12) ひび割れ発生要因の推定

西面 5 段目の調査結果を代表として、分析結果を示す。

- ・ 現状

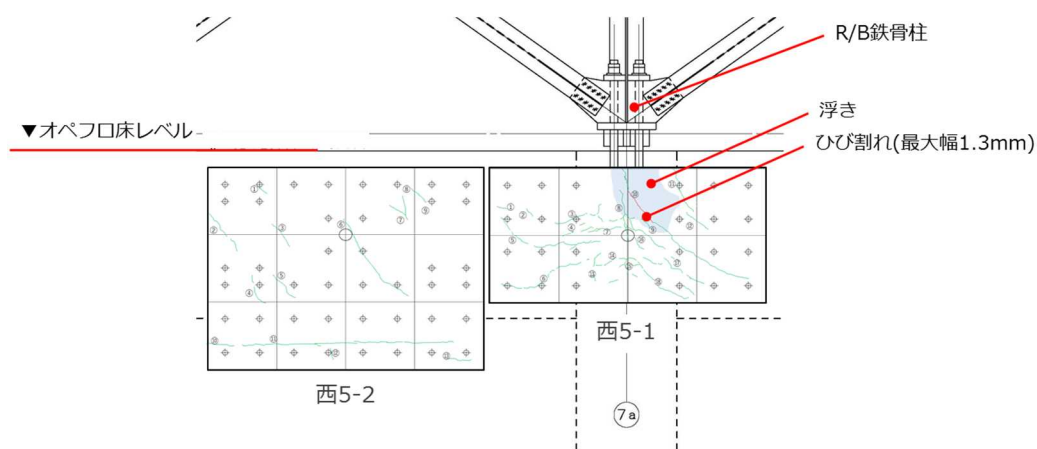


図 43 西面 5 段目のひび割れスケッチ図

- ・ 地震によるひび割れ

東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いた 1 号機原子炉建屋の地震応答解析の結果、耐震壁のせん断ひずみは第一折点以下であり、ほぼ弾性範囲内であったことから、地震の影響はないと評価している。

(※Ⅲ章 1.3 地震及び津波への対応)

- ・ 水素爆発について

当社は、1 号機の水素爆発に係わる解析を通じ、水素爆発は 5 階で始まったと推定している。

1 号機は 5 階（オペフロ）の壁が鉄骨構造に鋼板（外装材）を取り付けた構造形式であり、水素爆発の内圧に対して壁の部分が非常に脆弱であったため、この部分が先行破壊して 4 階以下に爆発が大きく広がる前に内圧を解放したと考えられる。

一方、3、4 号機は壁が鉄筋コンクリート構造でできており、1 号機のような脆弱な構造がないことから、1 号機よりも爆発による圧力上昇が大きくなったと思われる。

以上より、1 号機の 4 階以下の損傷は 3、4 号機と比較し軽微であったと考えられる。

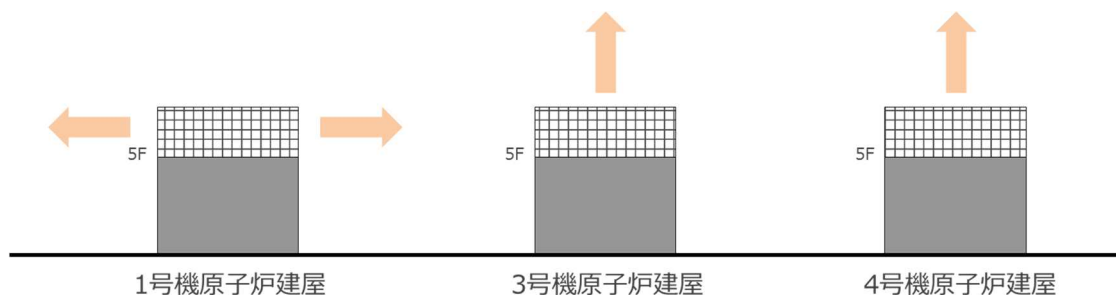


図 44 各号機の水素爆発のイメージ

- 水素爆発によるひび割れ発生要因の一覧を以下に示す。

表 7 水素爆発によるひび割れ発生要因の一覧

推定要因	事象概要	応力分布	ひび割れ形態	判定
オペフロ鉄骨柱の押し出し	水素爆発により、外壁および鉄骨柱へ面外方向に荷重が生じ、鉄骨柱を固定している柱脚アンカーボルト等を介して外壁へひび割れや浮きが生じた。			○可能性あり
オペフロ外装材の破損	水素爆発により、外装材が外れたことにより埋込金物や差し筋を介して外壁上部を境界に引き剥がすせん断力が生じひび割れや浮きが生じた。			○可能性あり
4階大梁の外壁押し出し	水素爆発により、床や梁へ鉛直方向へ押し出す力が生じ、大梁を介して外壁へひび割れが生じた。			○可能性あり
水素爆発の爆風	水素爆発により、4階外壁に面外方向へ押し出す力が生じ、外壁へひび割れが生じた。			×可能性なし
水平打ち継ぎ部の乖離	水素爆発により、オペフロ近傍の大梁と外壁の水平打ち継ぎ部に局所的な乖離が生じた。			○可能性あり

- ひび割れ発生要因と実機の比較

西面最上段を代表に推定したひび割れ発生要因と実機との比較を以下に示す。

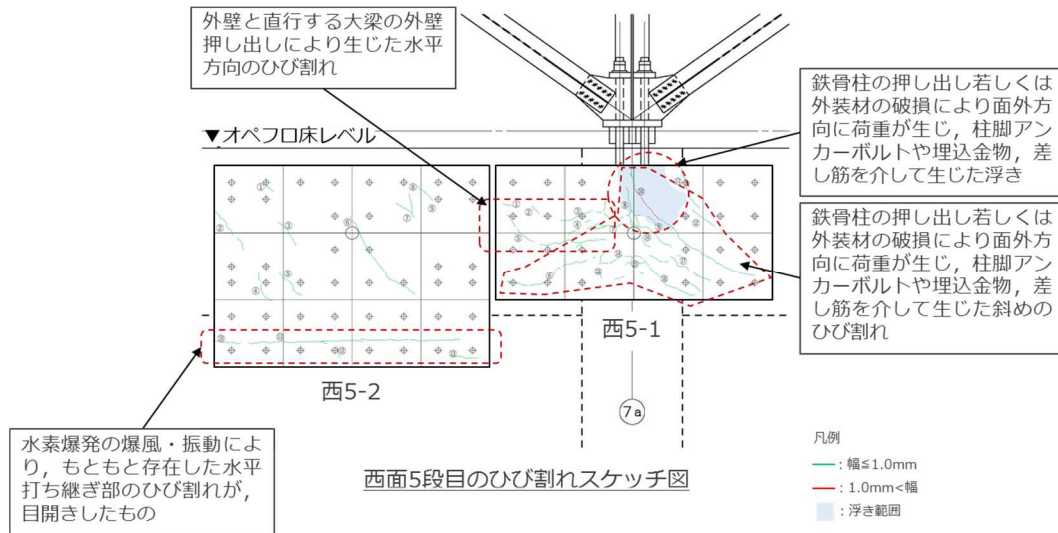


図 45 西面 5 段目のひび割れスケッチ図

北面最上段を代表に推定したひび割れ発生要因と実機との比較を以下に示す。

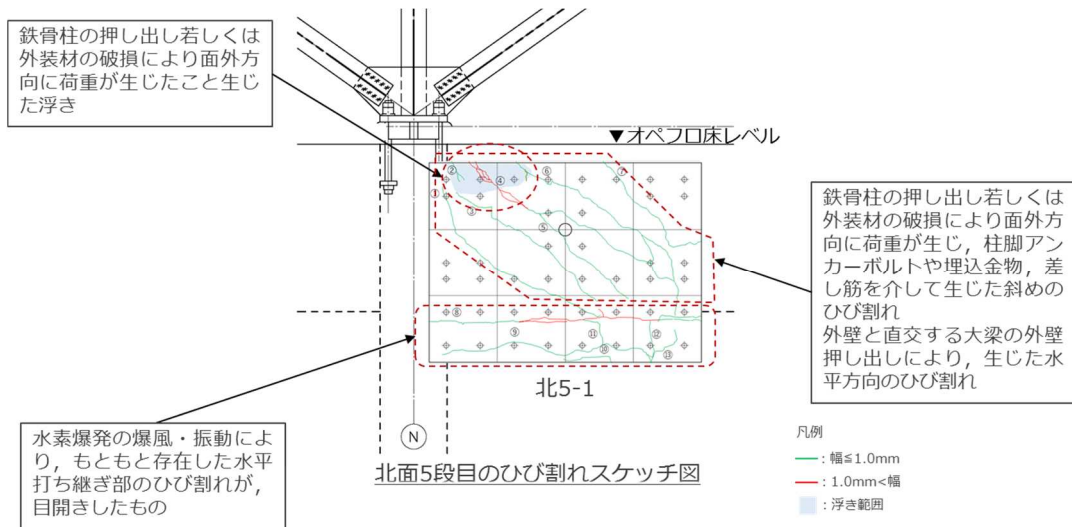


図 46 北面 5 段目のひび割れスケッチ図

① オペフロ鉄骨柱の押し出しによるもの

・ 推定事象

5 階（オペフロ）での水素爆発の爆風により、外壁及び鉄骨柱に面外方向の荷重が生じた。

これにより、オペフロ床に埋設された鉄骨柱を固定しているアンカーボルトを介して 4 階外壁へ柱脚より曲げモーメント及びアンカーボルトより外壁を引き剥がすせん断力が生じた。

・ 応力分布およびひび割れ形態の推定

屋外側は、鉄骨からの曲げモーメントで圧縮側となるため、ひび割れが生じない。一方で、せん断力でアンカーボルトがずれた場合、大きく深い範囲での剥離・剥落を生じる。したがって、実機とは一致していないが、若干のせん断力は伝わり、他の要因と併せて生じるひび割れ発生の可能性はある。

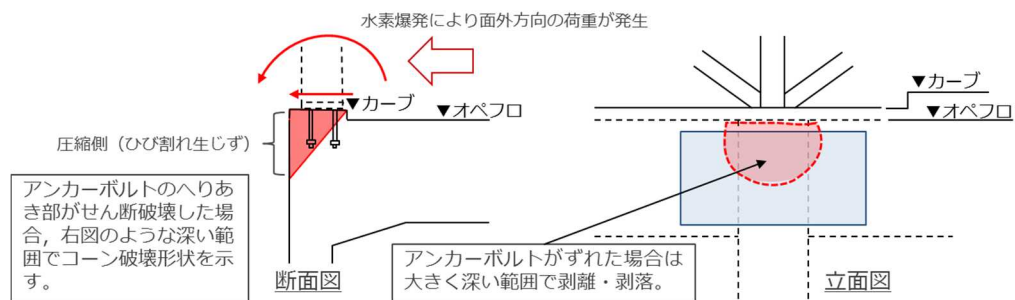


図 47 オペフロ鉄骨柱の押し出しによるひび割れ

② オペフロ外装材の破損によるもの

・ 推定事象

5階（オペフロ）での水素爆発の爆風により、外装材に面外方向の荷重が生じた。

これにより、外装材が外れ、オペフロ床立ち上がり部に埋設された外装材を固定している埋込金物や差し筋を介して外壁上部を境界に引き剥がすせん断力が生じた。

・ 応力分布およびひび割れ形態の推定

せん断力で埋込金物がずれた場合、外壁頂部から浅い深さの浮き及びそれに伴うひび割れが生じると考えられる。したがって、かぶり厚さ程度の浮き及び浮きに伴う割れ程度であるため、実機とは一致している。

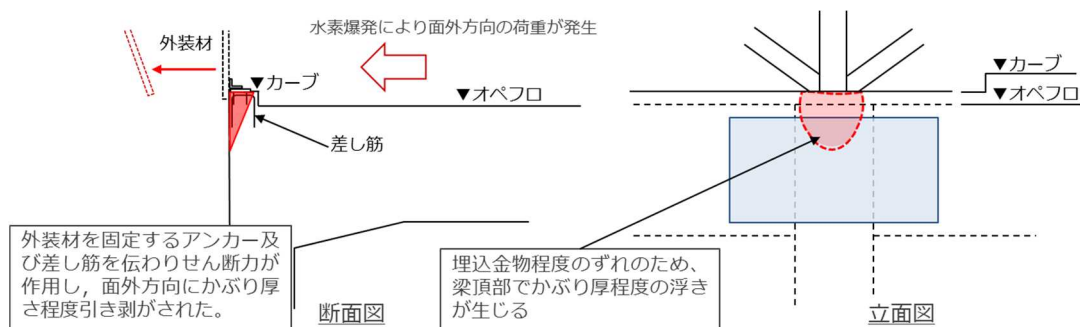


図 48 オペフロ外装材の破損によるひび割れ

③ 4階大梁の外壁押し出しによるもの

・ 推定事象

5階（オペフロ）での水素爆発の爆風により、当該部に直交する大梁に鉛直方向に荷重が生じた。

その結果、梁下端の定着筋等により面外に押し出す力が生じ、当該部にひび割れが生じた。

・ 応力分布およびひび割れ形態の推定

外壁の屋外側に①面外押し出しに伴う曲げひび割れや、②曲げ変形（引張）に伴うひび割れが生じるため、外壁面に水平方向等に複合的なひび割れが生じる。したがって実機と概ね一致している。

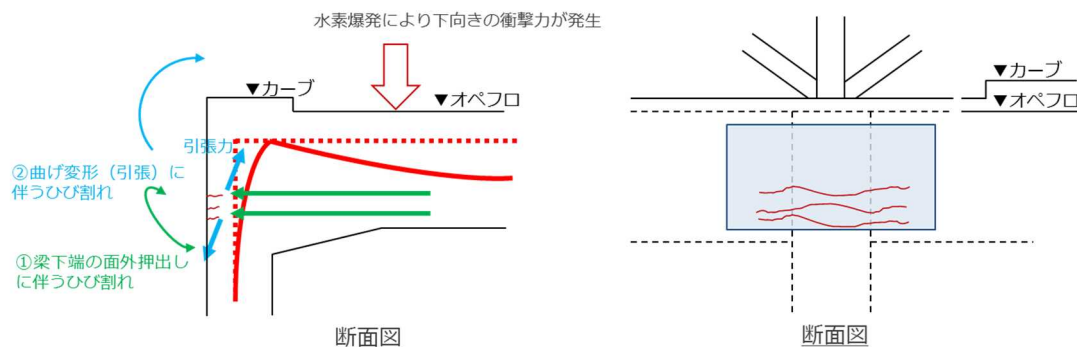


図 49 オペフロ外装材の破損によるひび割れ

④ 水素爆発の爆風を受けたことによるもの

・ 推定事象

水素爆発の爆風により、4階外壁に面外方向へ押し出す力が生じ、外壁へひび割れが生じた。

・ 応力分布およびひび割れ形態の推定

水素爆発の爆風によるものであれば、3号機及び4号機の事例から推定すると、ひび割れだけの損傷に留まらず、壁全体の剥落・剥離・崩落が考えられる。したがって、実機と一致していない。

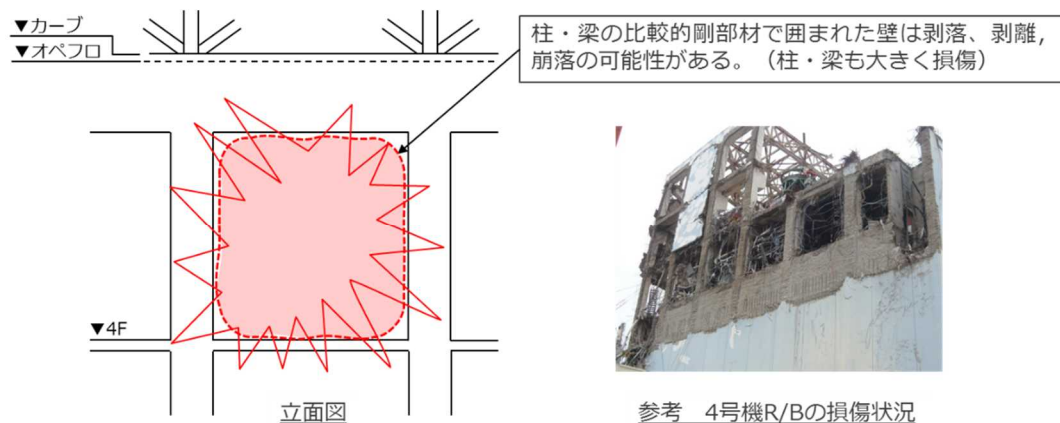


図 50 水素爆発の爆発を受けたことによるひび割れ

⑤ 水平打ち継ぎ部の乖離によるもの

・ 推定事象

水素爆発の爆風により、オペフロ近傍の外壁と大梁の水平打ち継ぎ部に局所的な乖離が生じた。

・ 応力分布およびひび割れ形態の推定

外壁面が屋外側に若干膨らみ、打ち継ぎ部に沿ったひび割れを生じる。特に収縮ひび割れ等で元々ひび割れのあった箇所のひび割れ幅が目開き等で多少大きくなると考えられる。したがって、実機と一致している。

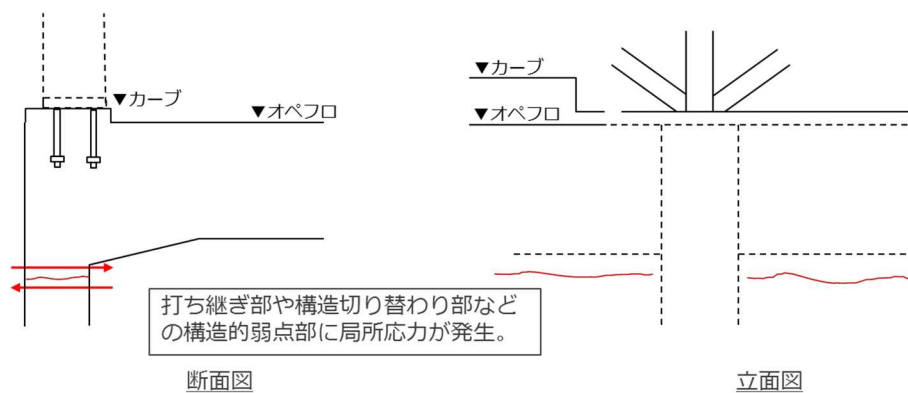


図 51 水平打ち継ぎ部の乖離によるひび割れ

・ ひび割れ発生要因のまとめ

実機のひび割れや浮きは、オペフロ直下かつオペフロ柱下部に集中していることから、推定した発生要因のうち以下の要因が複合して生じたものと推定した。

- ①オペフロ鉄骨柱の押し出しによるもの
- ②オペフロ外装材の破損によるもの
- ③4階大梁の外壁押し出しによるもの
- ⑤水平打ち継ぎ部の乖離によるもの

水素爆発時には爆発に伴う振動も観測されており、外壁調査の結果からひび割れが限定的な範囲であることから、この振動が単独で外壁に影響を及ぼしたとは考えにくいですが、上記ひび割れ発生要因に加えてひび割れを助長する要因にはなった可能性がある。

なお、西面の損傷が顕著であった理由は、外壁に直行する間仕切り壁が独立する間仕切り壁のみであることや、5階（オペフロ）には東面のみブローアウトパネルが存在したことも関係していると推定した。

推定した発生要因では、外壁の損傷は表層に局所的なひび割れや浮きを発生させるものであり、外壁調査結果からも内部の損傷には至っていないと評価する。

(13) 事前調査結果（イソコン配管周囲）

ベースプレート施工に当たり、壁面の凹凸を確認するため、3次元測量器を用いて計測を行ったところイソコン周りに最大約7cmの膨らみが確認されたことから、イソコン配管周辺についても、塗膜面に割れが存在する箇所の塗膜を局部的に剥離し、ひび割れ幅2mmを超える場合はエポキシ補修を行う。

また、打音調査を行い、かぶり厚さより深い浮きが認められた範囲は、すべて研り取りモルタルで充填する。

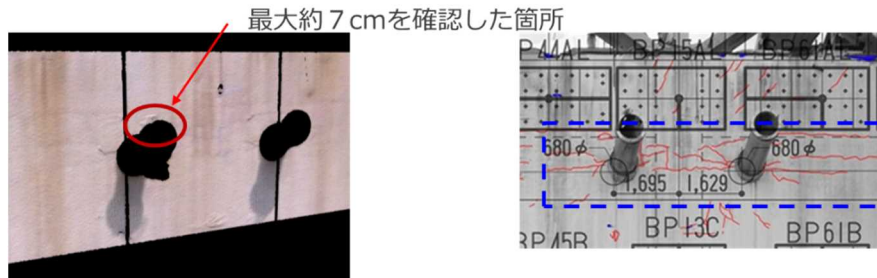


図 52 イソコン配管周囲の事前調査状況

○ アンカー削孔に伴う原子炉建屋への影響

・ 背景・目的

原子炉建屋外壁に大型カバーを支持するにあたり、アンカー削孔に伴う原子炉建屋への影響を確認する。大型カバーをアンカーにより原子炉建屋外壁へ支持するにあたり、アンカー削孔が原子炉建屋の耐震壁の強度等に有意な影響を与えないことを既往文献調査や解析をもって確認する。

・ アンカー取り付け部の構造

アンカー取り付け部の構造を図 53 に示す。アンカー縦横共に約 400mm 間隔を基本とし配置され、アンカー径 33mm に対して最大径 40mm で外壁外面から外壁を貫通しないよう削孔しベースプレートを紹介して取り付ける。

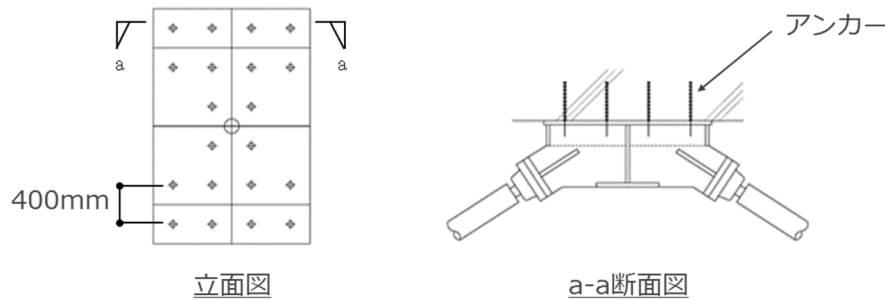


図 53 アンカー取り付け部の概要

・ アンカー削孔による欠損影響

外壁を削孔することによる剛性低下の影響は、外壁見付け面積当たりの削孔面積で換算できる。 $\Phi 40\text{mm}$ が仮に $400\text{mm} \times 400\text{mm}$ 間隔で外壁全面に開けられた場合の欠損率は 1%弱であり、影響は極めて小さい。

$$20 \times 20 \times \pi \times (1000/400) \times (1000/400) / (1000 \times 1000) = 0.79\%$$

削孔後、速やかにアンカー+モルタルで充填するため削孔中の影響は一時的であり耐震性の低下に至ることはない。

・ 既往文献調査

文献¹³により、開口のない試験体と 1 号機外壁と類似欠損率となる小開口を有する試験体による水平加力試験結果を以下に示す。文献よると、「ひび割れ発達に開口影響は少ないように思われる」と報告されている。また、両試験体の水平荷重-変位関係の比較では、両者の結果に顕著な差は見られない。

開口のない試験体と小開口を有する試験体は荷重変形曲線やせん断強度に顕著な差は見られず、同等の欠損率であれば、耐力低下の影響は無いと言える。また、本文献は原子炉建屋建設時に設ける機器配管の開口を想定しているものの、開口補強筋は考慮していないことから、アンカー設置と同等の条件であると言える。一方、アンカー設置時の開口間隔に対する知見が得られなかったことから、アンカー削孔を考慮した FEM (有限要素法) による解析評価を行う。

¹³ [吉崎他, 多数の小開口をもつ原子炉建屋耐震壁の終局せん断強度, 1984]

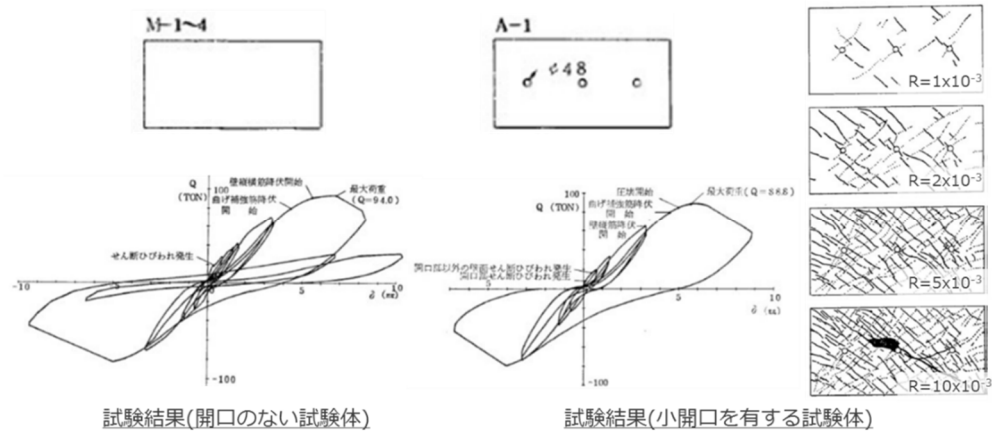


図 54 試験結果

○ アンカー削孔欠損を考慮した R/B 外壁部の評価について

・ 基本方針

アンカー削孔に伴う外壁の耐力低下を確認するための応力解析は、3次元 FEM モデルを用いた弾塑性応力解析により実施する。

解析には、解析コード「ABAQUS」を用いる。解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、「検証(Verification)と妥当性確認 (Validation)」に示す。

応力解析モデルは、福島第一原子力発電所 1 号機の外壁を想定したものである。

・ 使用要素

解析モデルに使用する FEM 要素は、積層シェル要素とする。使用する要素は四辺形及び三角形で、この要素は鉄筋層をモデル化した異方性材料によるものである。

各要素には、板の曲げと軸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する。

解析モデルの節点数は 5185、要素数は 5072 である。

・ モデル化概要

外壁は、アンカーボルトの検定比が最も厳しい箇所を代表としてモデル化する。モデルのサイズは幅 5.6m、高さ 5.6m、厚さ 1.1m とし、配筋は、D25 相当とする。また、アンカー削孔を行う前のケース（ケース A）と保守的に壁全面にアンカー削孔を実施したケース（ケース B）のモデルを作成する。アンカー孔（φ40）は、400mm の間隔で設置する。また、アンカー孔は深さ方向には壁を貫通させており、貫通しない場合より剛性が下がるため保守的な検討としている。

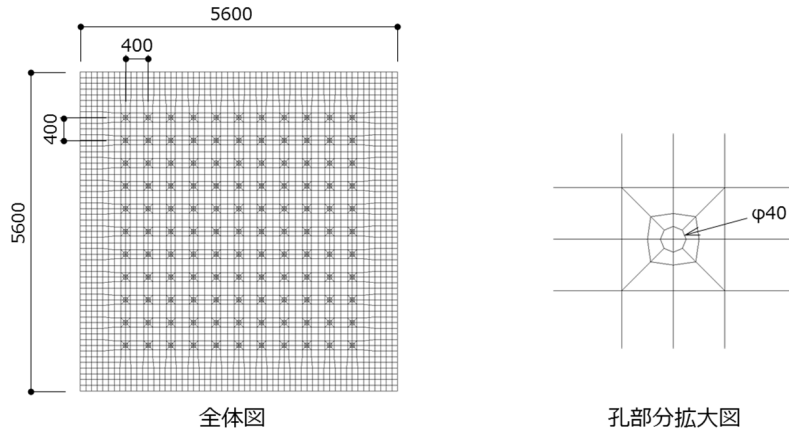


図 55 解析モデル図 (単位 : mm)

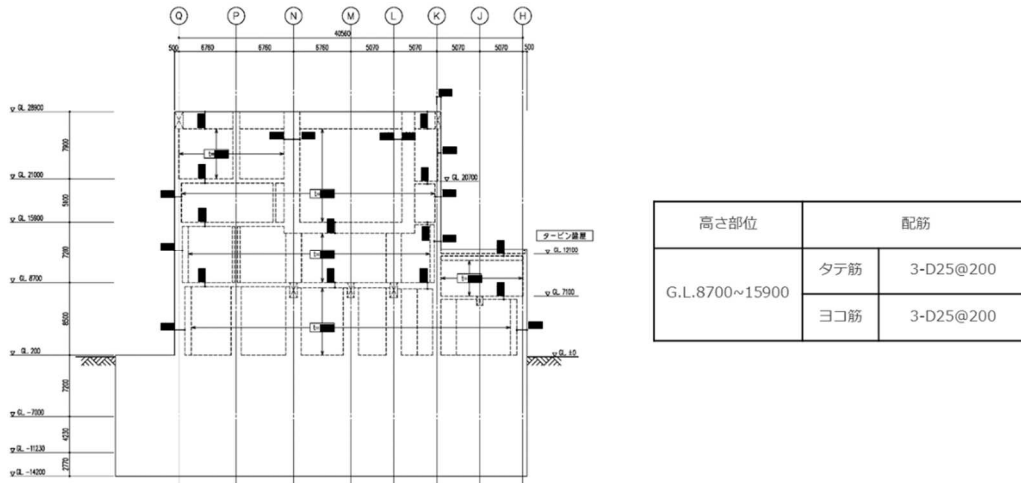


図 56 南面外壁軸組図と外壁配筋リスト (単位 : mm)

・ 解析諸元

表 8 解析に用いる使用材料の物性値

諸元		物性値
コンクリート	圧縮強度 σ_c	22.1 N/mm ²
	引張強度 σ_t	1.46 N/mm ²
	ヤング係数	2.57×10^4 N/mm ²
	ポアソン比	0.2
鉄筋	降伏強度 σ_y	345 N/mm ²
	ヤング係数	2.05×10^5 N/mm ²

・ 材料構成則

評価で用いる材料構成則を図に示す。なお、ヤング係数は実強度に基づく値とし、コンクリートの圧縮強度は設計基準強度に基づく値とする。

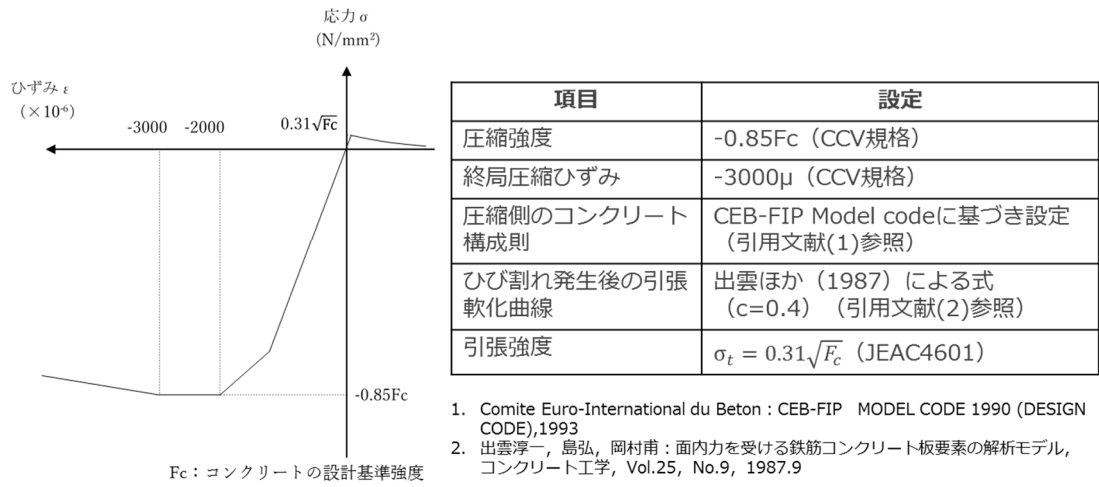


図 57 コンクリートの応力-ひずみ関係

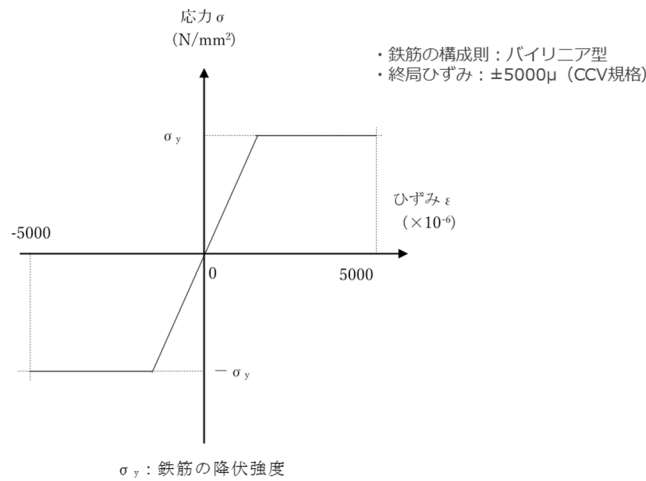


図 58 鉄筋の応力-ひずみ関係

- 応力解析方法

両ケース共に 3次元 FEM モデルを用いた弾塑性応力解析を実施する。

境界条件としては、鉄筋コンクリート造平板が純せん断変形するように、4隅をローラー支持とし、黄緑色で示す節点が直線を保つよう拘束する。

荷重としては、緑色で示す4辺上の節点に集中荷重を与え、面内せん断力を入力する。

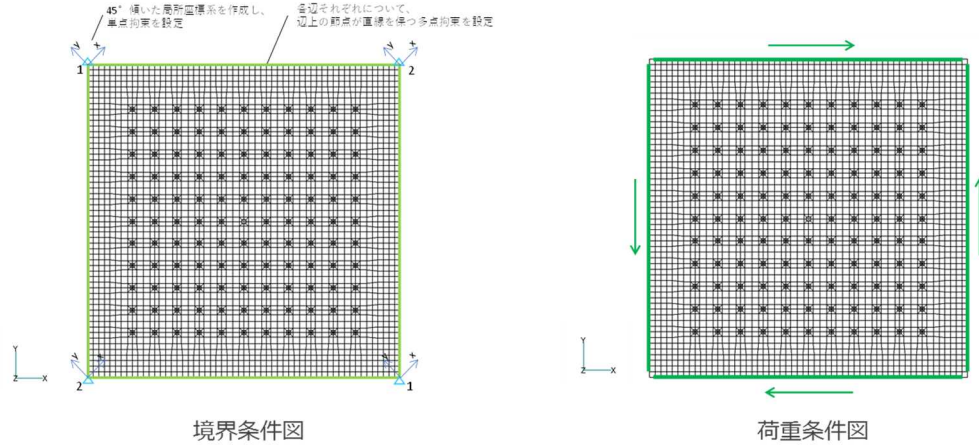


図 59 条件図

- せん断ひずみ応力関係

ケース A とケース B の荷重変形関係を下図に示す。

削孔があるケース B においても、ケース A とほぼ同様な荷重変形関係を示しており、削孔は外壁の耐力に影響を与えないと考えられる。

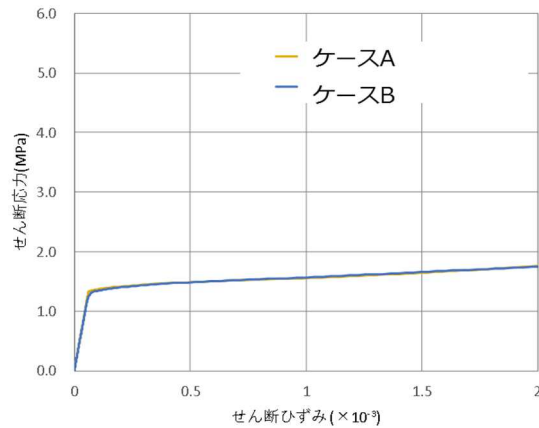


図 60 荷重変形関係

・ 主ひずみコンター図

ケース A とケース B を比較すると、ケース B では孔周辺に局部的にひずみが発生する。一方で、全体としては大きな違いは見られない。

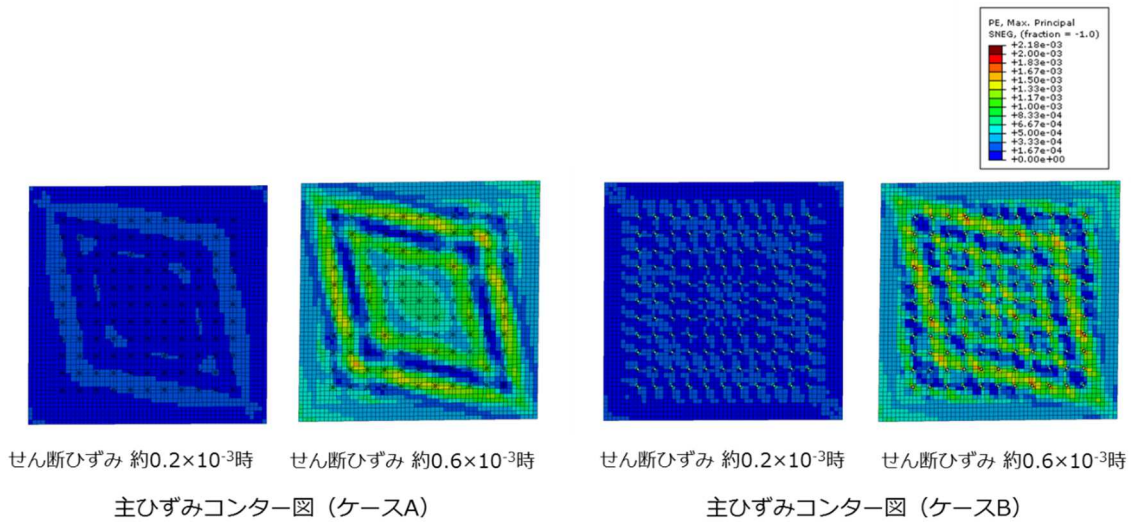


図 61 主ひずみコンター図

・ コンクリート及び鉄筋のひずみ

評価するせん断ひずみは、評価した外壁のスケルトン第一折れ点のひずみ (約 0.2×10^{-3}), Ss900 における最大せん断ひずみ (最大 0.23×10^{-3}) を考慮した。

ケース A, ケース B ともに発生するひずみは、CCV 規格に基づく許容限界ひずみ (コンクリート 3.0×10^{-3} , 鉄筋 5.0×10^{-3}) よりも小さく、許容値を満たしている。

表 9 最大主ひずみ

単位: $\times 10^{-3}$

ケースA					
せん断ひずみ	コンクリート			鉄筋	
	発生値	発生値	許容値	発生値	許容値
約0.200	0.358	3.00		0.055	5.00
約0.230	0.440	3.00		0.067	5.00

ケースB(一般部)					
せん断ひずみ	コンクリート			鉄筋	
	発生値	発生値	許容値	発生値	許容値
約0.200	0.391	3.00		0.073	5.00
約0.230	0.465	3.00		0.092	5.00

ケースB(開口部)					
せん断ひずみ	コンクリート			鉄筋	
	発生値	発生値	許容値	発生値	許容値
約0.200	1.134	3.00		0.412	5.00
約0.230	1.243	3.00		0.461	5.00

・ 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation) の概要

本解析コードが弾塑性応力解析において妥当であることを検証する。

文献¹⁴に示される面内せん断荷重を受ける鉄筋コンクリート造平板の崩壊問題を、積層シェル要素と鉄筋要素でモデル化し静的非線形解析を行い、実験結果の荷重-変位関係と解析結果の整合を確認する。

・ 引用文献の実験概要

試験体は一辺 2500mm, 厚さ 140mm の正方形の RC 平板を用い、配筋は直径 10mm の異形鉄筋を縦横同量の直交ダブル配筋とし、被り厚さは 15mm としている。

鉄筋の材質は SD30A の電炉品、コンクリートは早強ポルトランドセメントを用いた骨材最大粒径 10mm の川砂利コンクリートであり、目標強度を 30MPa としている。

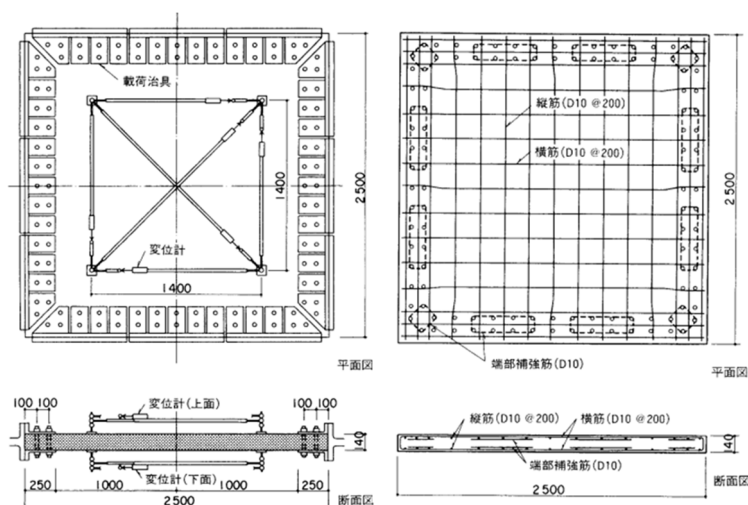


図 62 試験体の形状・寸法 (単位: mm)

表 10 鉄筋の機械的性質

鉄筋径	公称断面積 A_s (cm^2)	降伏強度 f_y (Mpa)	最大強度 f_u (Mpa)	降伏ひずみ $y \epsilon$ ($\times 10^{-3}$)	弾性係数 E_s (MPa)
D10	0.713	398	570	2.00	200000

表 11 コンクリートの機械的性質

圧縮強度 $f_{c'}$ (Mpa)	弾性係数 E_c (Mpa)	最大ひずみ ϵ_0 ($\times 10^{-3}$)	割裂強度 f_t (Mpa)
31.4	22100	2.70	2.83

¹⁴ [大森, 高橋, 坪田, 井上, 栗原, 渡辺: 「繰返し面内せん断力を受ける鉄筋コンクリート平板の弾塑性挙動に関する実験研究」第 403 号, 1989 年 9 月]

- 引用文献の実験概要

加力方法は、正側単調載荷としている。

試験体の面内変形は試験体の上下面に取り付けた 12 個の変位計で計測している。各方向のひずみは上下面の平均変位を測定スパンで除したものとシモールのひずみ解析を用いて軸ひずみ (ϵ_x, ϵ_y)、せん断ひずみ (γ)、主ひずみ (ϵ_1, ϵ_2)、主ひずみ角 (θ) を求めている。

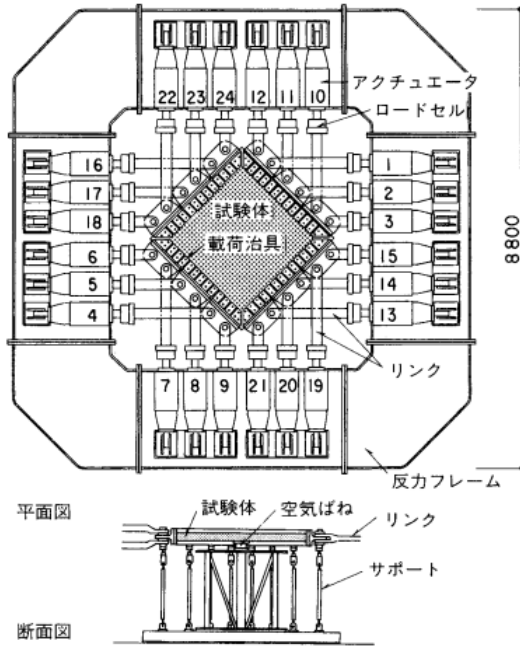


図 63 平板複合加力実験装置 (単位: mm)

- 引用文献の実験結果

実験により得られたせん断応力 V とせん断ひずみ γ の関係を示す。

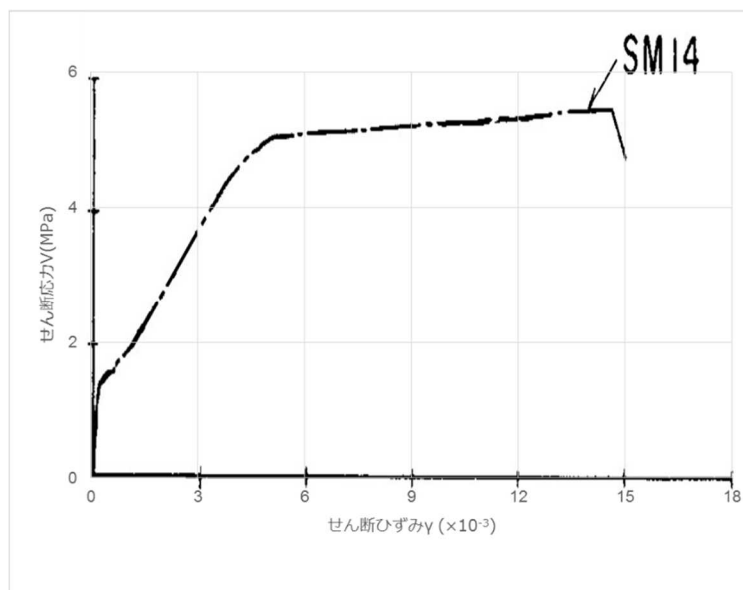


図 64 せん断応力-せん断ひずみ関係

- ・ 検証モデル

下図に解析モデルを示す。正方形の鉄筋コンクリート造平板が純せん断変形をするよう 4 隅をローラー支持し、4 辺上の節点に集中荷重を与え面内せん断力を入力する。鉄筋は上端、下端及び平面 2 方向に D10 が 75mm ピッチで配筋されている。

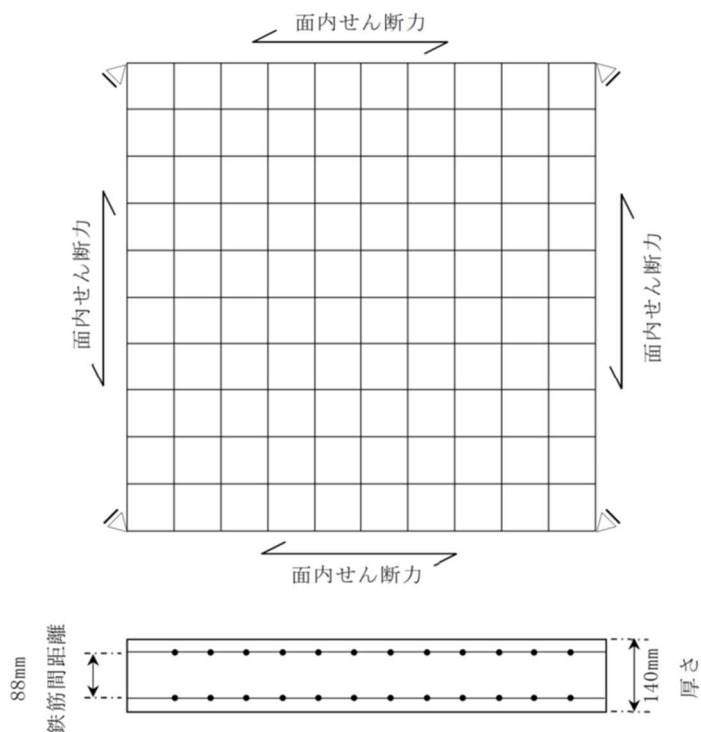


図 65 解析モデル図

- ・ 材料物性値

下表に解析に用いる材料物性値を示す。材料物性値は原則として文献¹²に記載の値を用いる。ただし、コンクリートのポアソン比は文献から得ることができないため「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 2010」に基づき算定した値を用いる。

表 12 解析に用いる物性値

諸元		物性値
コンクリート	圧縮強度 σ_c	31.4 N/mm ²
	引張強度 σ_t	1.40 N/mm ²
	ヤング係数	2.21×10^4 N/mm ²
	ポアソン比	0.2
鉄筋	降伏強度 σ_y	398 N/mm ²
	ヤング係数	2.00×10^5 N/mm ²

- 材料構成則

鉄筋コンクリートの材料構成則は以下の通り。引張強度は文献¹²の実験で得られた $0.25\sqrt{f_c}$ を用いる。

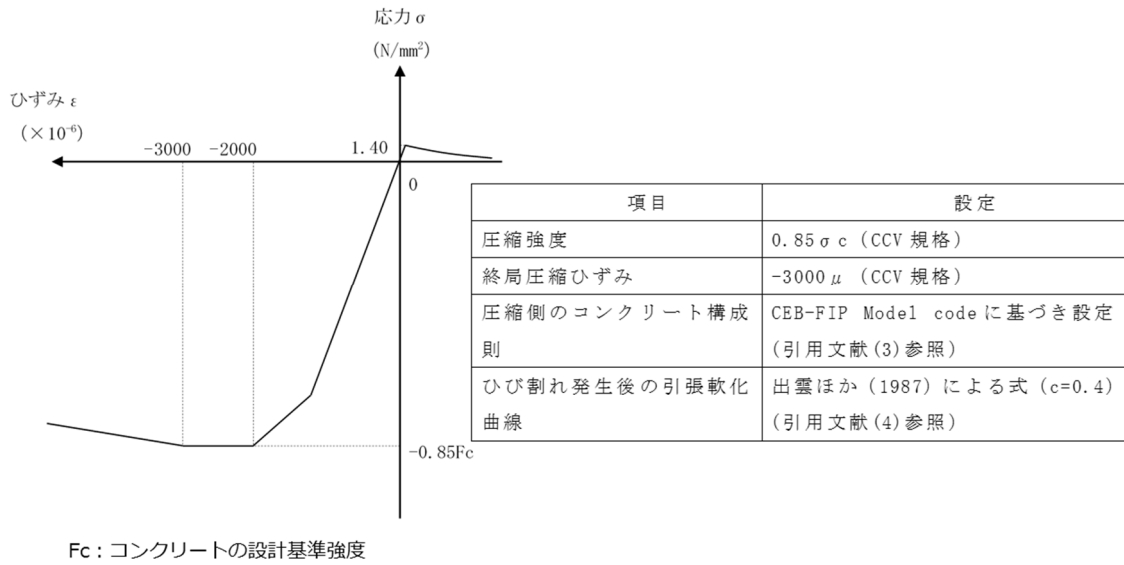


図 66 コンクリートの応力-ひずみ関係

鉄筋の材料構成則は以下の通り。

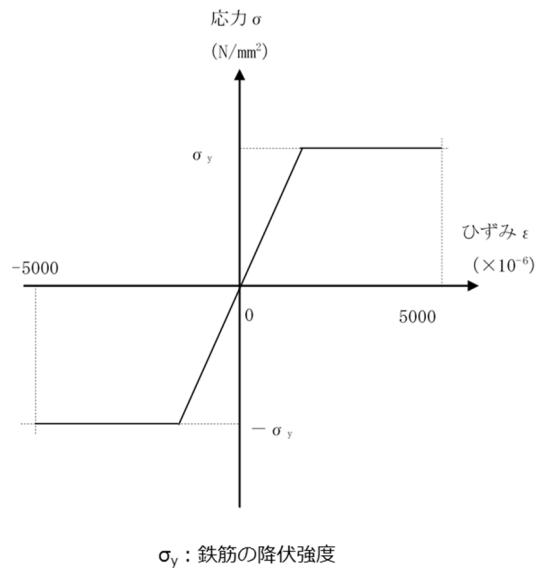


図 67 鉄筋の応力-ひずみ関係

・ 解析結果

解析結果の荷重－変形関係を文献の図¹²に重ねて図に示す。図より両者は概ね一致していることから、解析の目的に照らして今回の解析に使用することは妥当である。

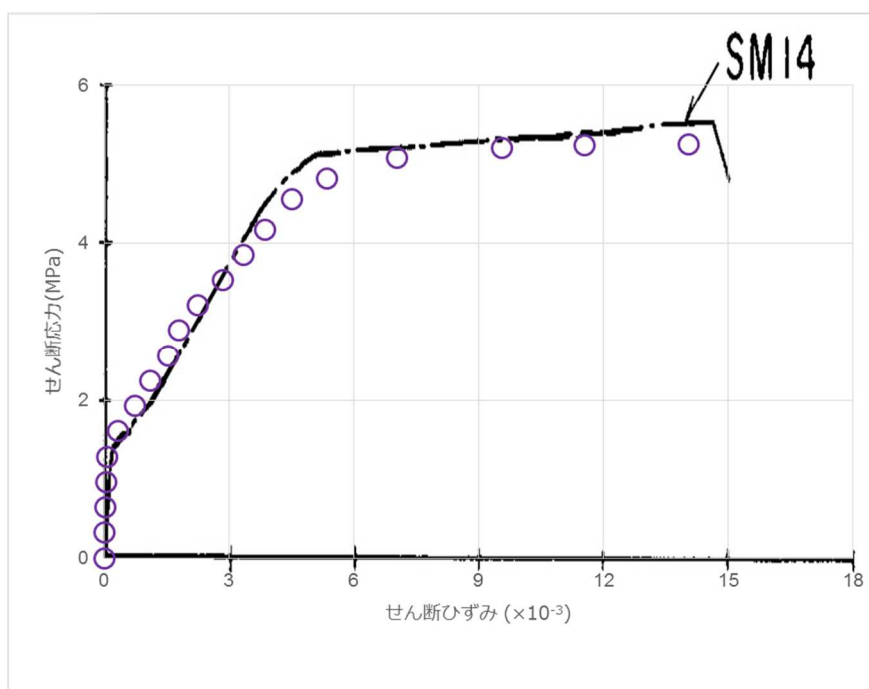


図 68 検証解析結果

○ アンカー設置方法について

大型カバーを原子炉建屋に固定するアンカーは作業フローに基づき設置する。(図 69)
 この内、時間を要する壁の鉄筋探査、壁への削孔作業については、アンカー削孔装置を用いて自動
 で実施する。なお、配筋が 200mm 間隔で設置されているのに対し、アンカーは 400mm 間隔、削孔径
 40mm で設置することから、探査により鉄筋を確認した上で、できる限りこれらを避けて孔を設ける
 計画である。(図 70) アンカーの固定材は無機系材料(セメント系)を使用しており、耐久性や耐
 放射性はコンクリート躯体同等である。

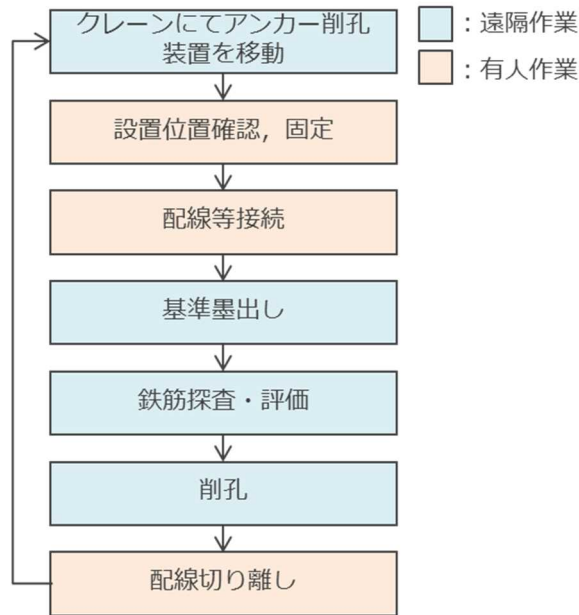


図 69 アンカー削孔作業フロー

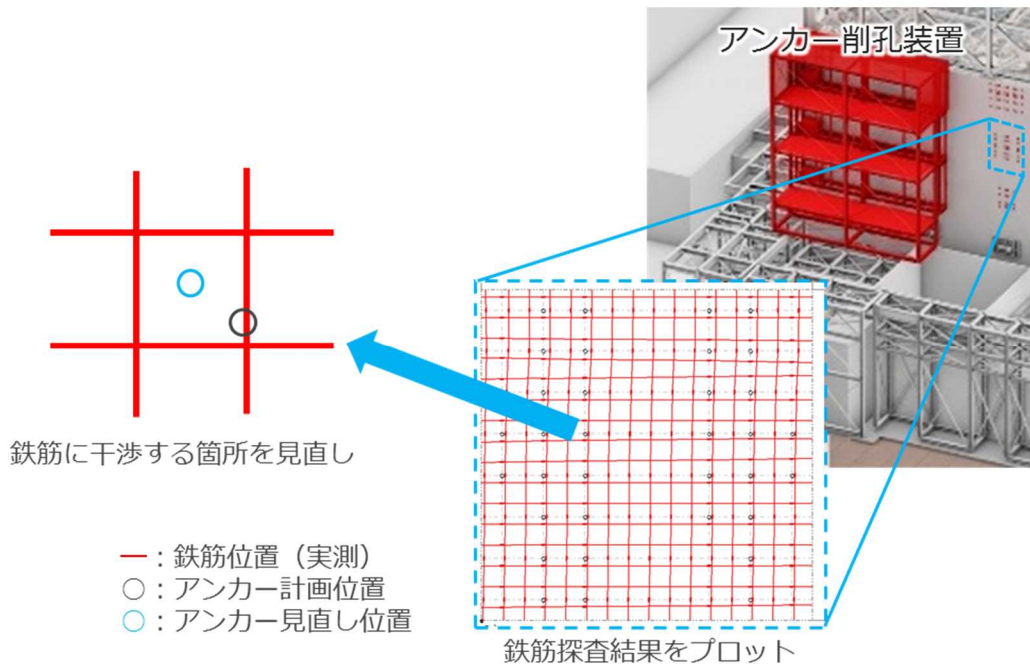


図 70 鉄筋探査方法

○ アンカー削孔装置について

アンカー削孔前の鉄筋探査は、アンカー削孔装置に設ける鉄筋探査装置により遠隔で行う。

アンカー削孔装置は、鉄筋探査や削孔を遠隔で行うために、鉄筋探査装置や削孔用ドリルを有するアンカー削孔機をフレームに組み込み、このフレーム内を上下左右に可動することで範囲内の鉄筋探査、削孔を可能としている。

鉄筋探査装置は、一般現場でも使用実績のあるレーダー方式の装置を用いる。¹⁵ (図 72)

アンカー削孔装置に設置した鉄筋探査装置により測定した探査結果を図面にプロットし鉄筋と干渉するアンカー位置を見直す。(図 73)

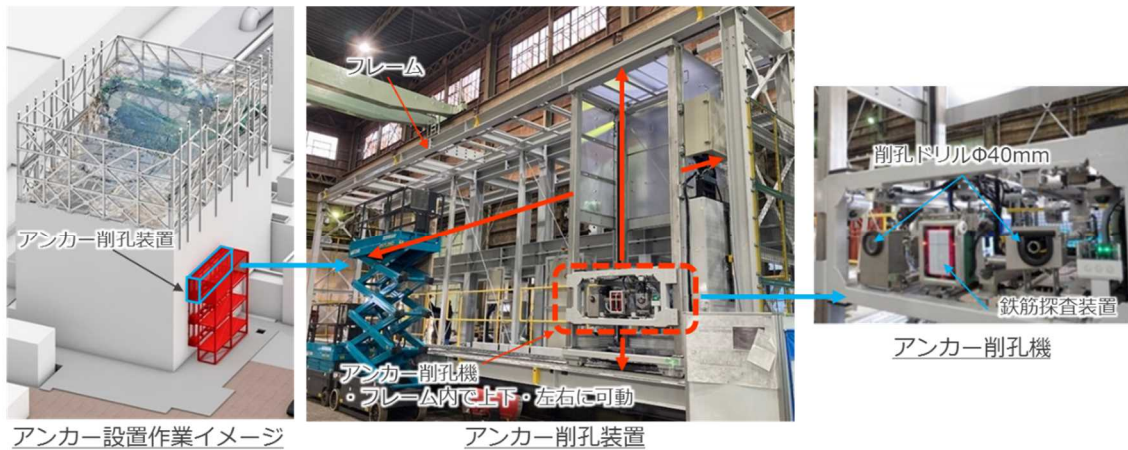


図 71 アンカー削孔装置



図 72 鉄筋探査装置

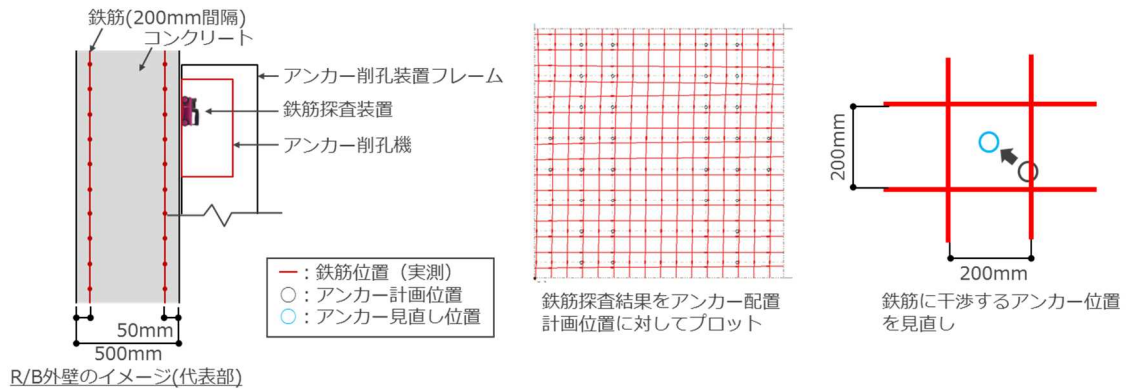


図 73 鉄筋探査からアンカー位置見直しまで

¹⁵ [HANDY SEARCH NJJ-200K カタログ 株式会社計測技術サービス]

II. 設計，設備について措置を講ずべき措置

1 4. 設計上の考慮

○施設の設計については，安全上の重要度を考慮して以下に掲げる事項を適切に考慮されたものであること。

⑦運転員操作に対する設計上の考慮

運転員の誤操作を防止するための適切な措置を講じた設計であること。

措置を講ずべき事項への適合方針

○ 運転員の誤操作を防止するため，盤の配置，操作器具等の操作性に留意するとともに，計器表示及び警報表示により施設の状態が正確，かつ，迅速に把握できるものとする等，適切な措置を講じた設計とする。また，保守点検において誤りを生じにくいよう留意したものである。

(実施計画：II-1-14-2)

具体的な対応方針

○ 大型カバーの可動屋根は，実施計画II章「1.14 (7) 運転員操作に対する設計上の考慮」の規定に従い，制御盤のダブルアクション等の誤操作防止対策に加えて，可動屋根の操作者の誤操作を防止するために，通常時は可動屋根と逸走防止受けを固定ピンにより固定することで，物理的に誤操作を防止できる設計とする。

○ 燃料取り出し用カバーは，運転員の誤操作を防止するための適切な措置を講じた設計とする。

(実施計画：II-11-添3-4)

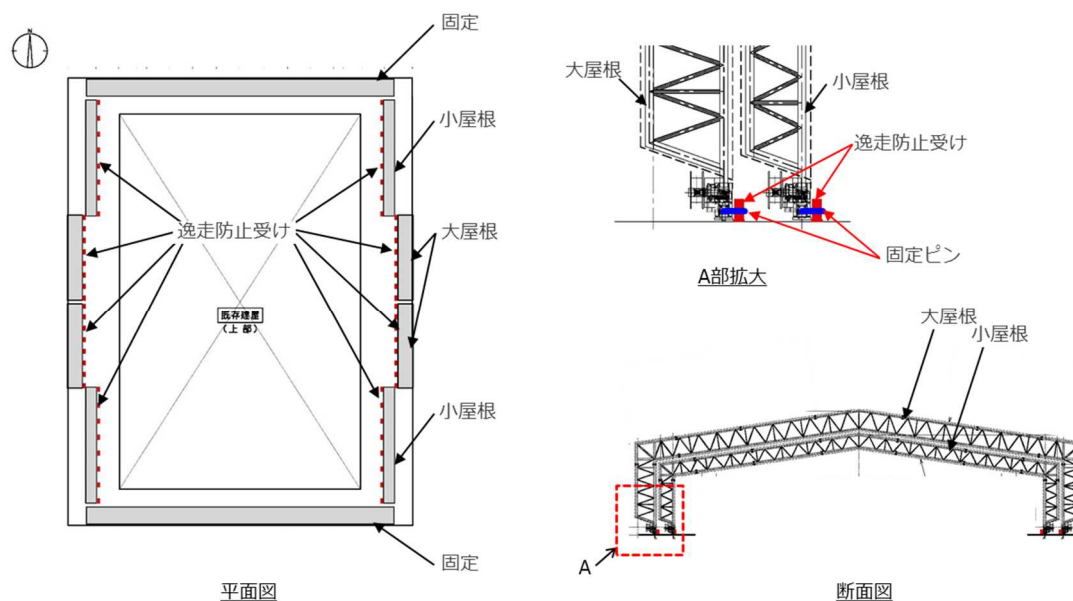


図 1 屋根部の逸走防止受けの概要

II. 設計，設備について措置を講ずべき措置

1 4. 設計上の考慮

○施設の設計については，安全上の重要度を考慮して以下に掲げる事項を適切に考慮されたものであること。

⑧信頼性に対する設計上の考慮

- ・安全機能や監視機能を有する構築物，系統及び機器は，十分に高い信頼性を確保し，かつ，維持し得る設計であること。
- ・重要度の特に高い安全機能を有するべき系統については，その系統の安全機能が達成できる設計であるとともに，その構造，動作原理，果たすべき安全機能の性質等を考慮して，多重性又は多様性及び独立性を備えた設計であること。

措置を講ずべき事項への適合方針

- 安全機能や監視機能を有する構築物，系統及び機器は，十分に高い信頼性を確保し，かつ，維持し得るものとする。
- 重要度の特に高い安全機能を有する系統については，その構造，動作原理，果たすべき安全機能の性質等を考慮し，原則として多重性又は多様性及び独立性を備えたものとする。

(実施計画：II-1-14-2)

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

(実施計画：II-2-11-3)

具体的な対応方針

- 大型カバーは、閉じ込め機能を有する可動屋根等に対して、駆動電源の二重化等により、十分に高い信頼性を確保し、かつ、維持し得る設計とする。
- 燃料取り出し用カバーは、その安全上の重要度等を考慮して、十分に高い信頼性を確保し、かつ、維持し得る設計とする。

(実施計画：Ⅱ-2-11-添 3-4)

大型カバーの電源構成並びに電源停止時の対応についての補足説明

- 大型カバーに使用する電源は、常用2系統の確保に加え、電源停止等の非常時には有人により発電機（150kVA相当）をヤードに設置し受電盤へ接続することで可動屋根等へ給電が可能な設計とする。
- 大型カバーの可動屋根は、電動の他に、電源停止に備え電動ウインチ、スリング等を可動屋根走行レールレベルに設置し、牽引することで閉鎖が可能な設計とする。電動ウインチの設置や牽引作業にかかる要員は10人/班を想定しており、鋼製の箱桁架構上で作業を行うことで被ばく低減を図る。可動屋根の全閉に要する時間は電動ウインチ設置後2時間程度を想定している。

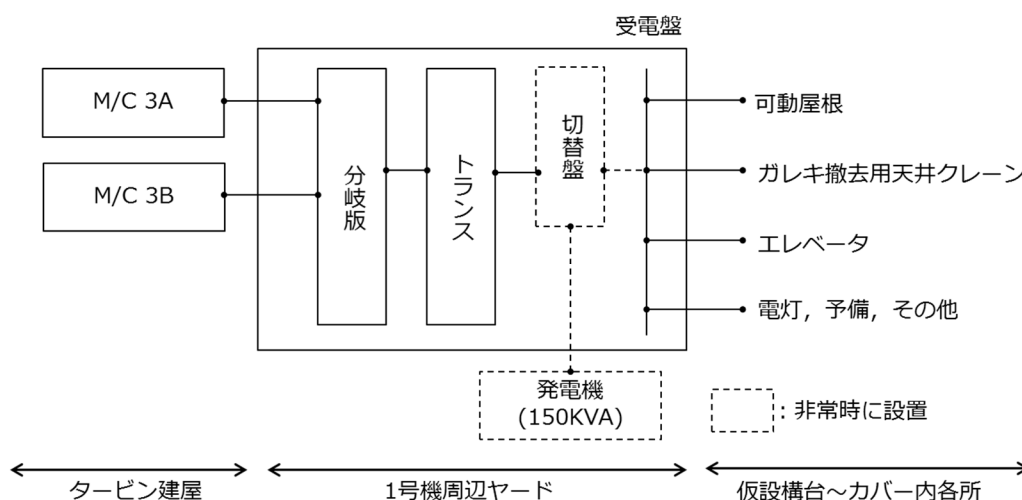


図 1 大型カバー電源構成の概要

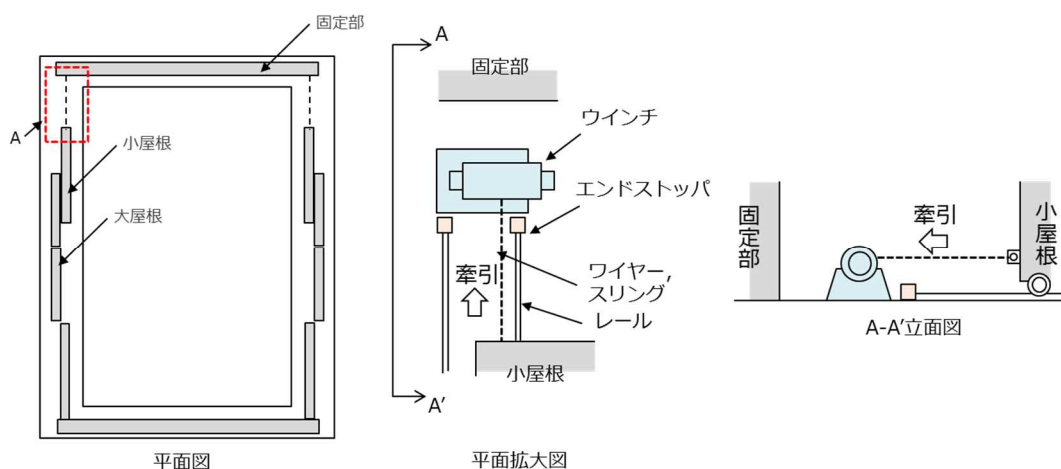


図 2 電源停止時の可動屋根閉操作の概要

II. 設計, 設備について措置を講ずべき措置

1 4. 設計上の考慮

○施設の設計については, 安全上の重要度を考慮して以下に掲げる事項を適切に考慮されたものであること。

⑨検査可能性に対する設計上の考慮

安全機能を有する構築物, 系統及び機器は, それらの健全性及び能力を確認するために, 適切な方法によりその機能を検査できる設計であること。

措置を講ずべき事項への適合方針

○ 安全機能を有する構築物, 系統及び機器は, それらの健全性及び能力を確認するため, その安全機能の重要度に応じ, 必要性及び施設に与える影響を考慮して適切な方法により, 検査ができるものとする。

(実施計画: II-1-14-2)

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

(実施計画: II-2-11-3)

具体的な対応方針

○ 大型カバーは, 閉じ込め機能を有する可動屋根等に対して, それらの健全性及び能力を確認するために, 外観目視点検の他, 分解点検等が適切に行うことができる設計とする。

○ 大型カバー可動屋根の駆動部は, 減速機付き電動機とオープンギアで構成され, オープンギアは目視点検や給脂ができ, 減速機付き電動機は構造安定性に影響を与えずに取り外すことができる設計とする。

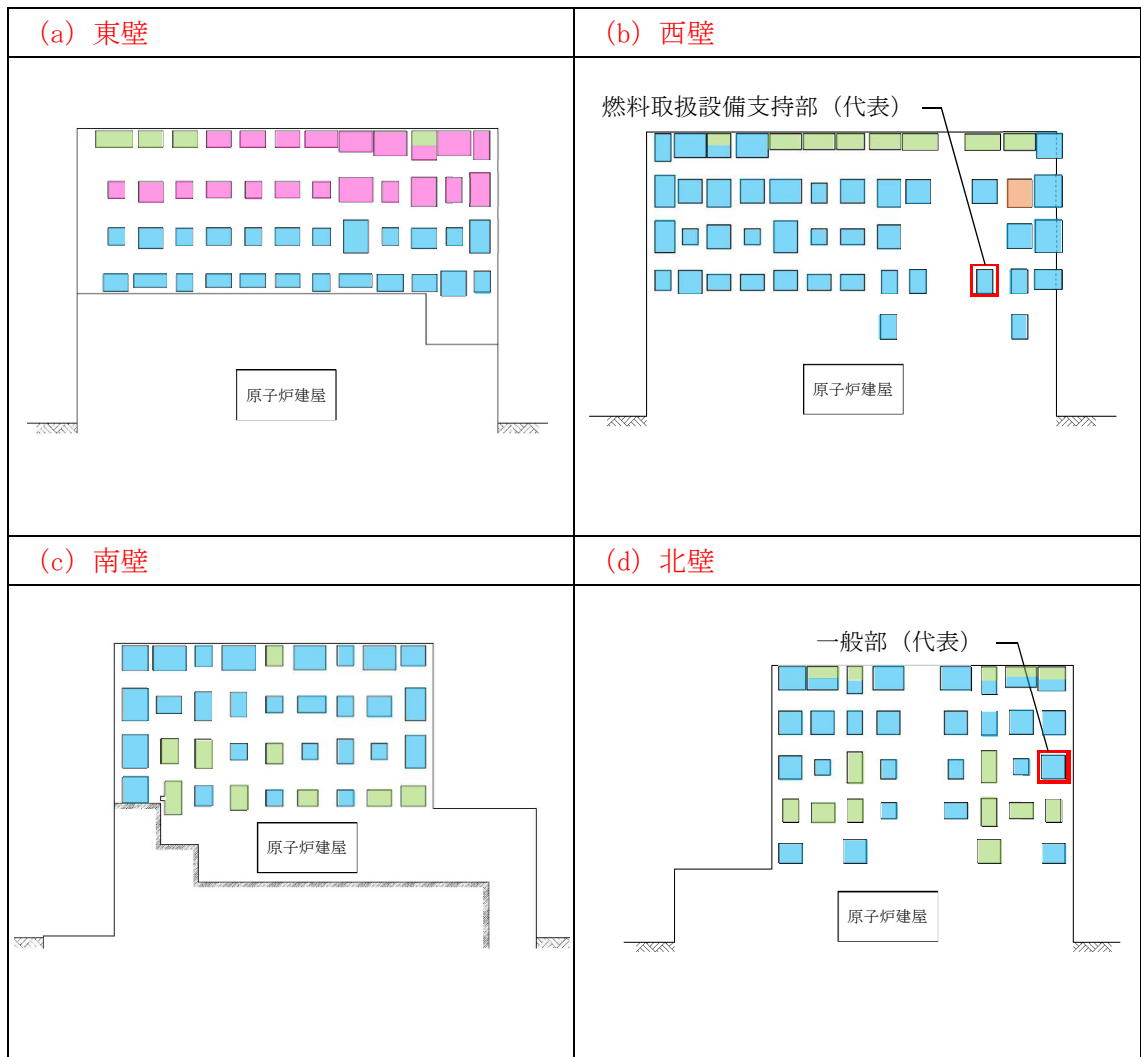
○ 1号機大型カバーの工事に係る主要な確認項目を表一1に示す。燃料取り出し用カバーは, その安全上の重要度等を考慮して, 十分に高い信頼性を確保し, かつ, 維持し得る設計とする。

○ 燃料取り出し用カバーは, その健全性及び能力を確認するために, 適切な方法によりその機能を検査できる設計とする。

(実施計画: II-2-11-添付3-4)

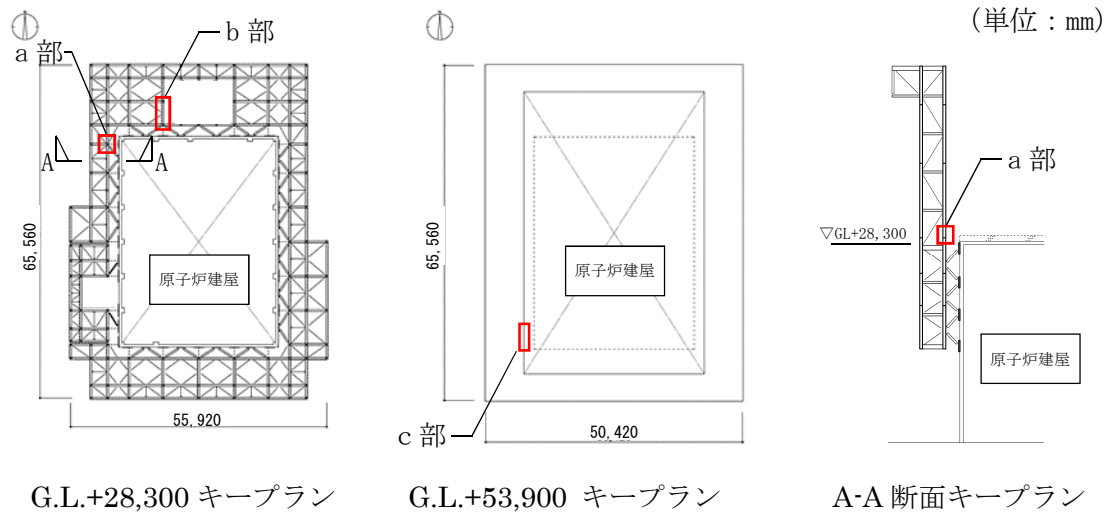
表-1 1号機大型カバーに係る確認項目

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。
	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



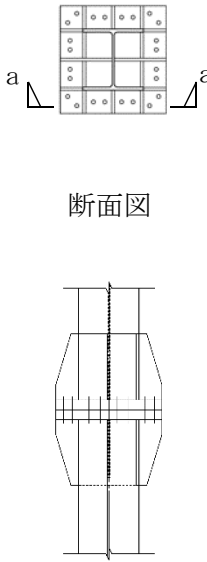

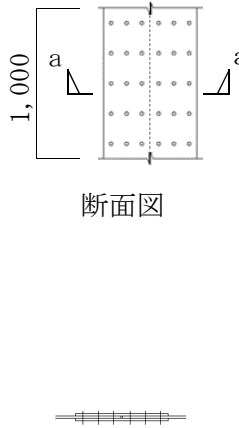
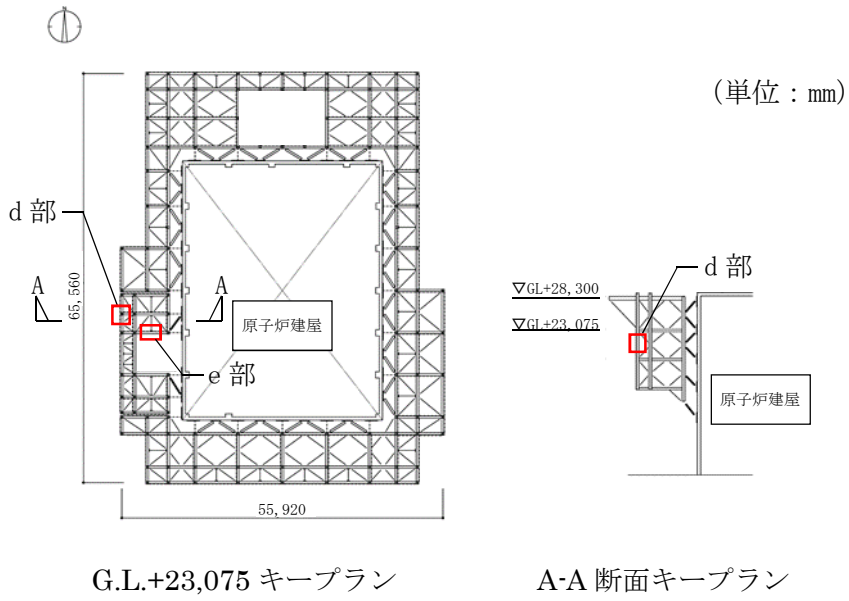
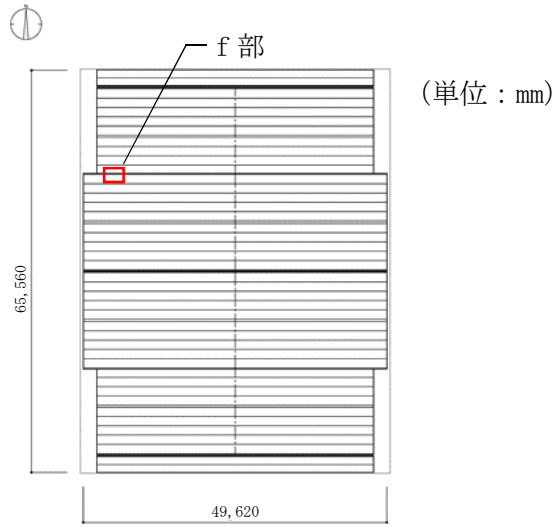
(a) 柱 材	(b) 梁 材	(c) 鋼 板
 <p>断面図</p> <p>a-a 矢視図</p> <div data-bbox="225 1592 533 1704" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> ボルト種類：SHTB M24 本 数：24 本 </div>	 <p>断面図</p> <p>a-a 矢視図</p> <div data-bbox="603 1592 911 1704" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> ボルト種類：SHTB M24 本 数：18 本×2 </div>	 <p>断面図</p> <p>a-a 矢視図</p> <div data-bbox="962 1592 1318 1704" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> ボルト種類：HTB M22 本 数：15 本×2 @1,000mm </div>

図-2 (1) 一般部接合部詳細



(d) 柱 材	(e) 梁 材
 断面図	 断面図
 a-a 矢視図	 a-a 矢視図
ボルト種類 : SHTB M24 本 数 : 24 本	ボルト種類 : SHTB M24 本 数 : 16 本×2

図-2 (2) 燃料取扱設備支持部接合部詳細



屋根伏図

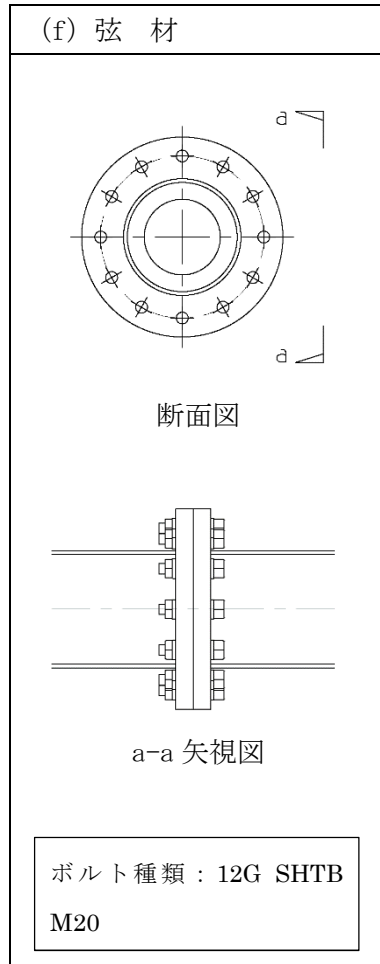


図-2 (3) 屋根部接合部詳細

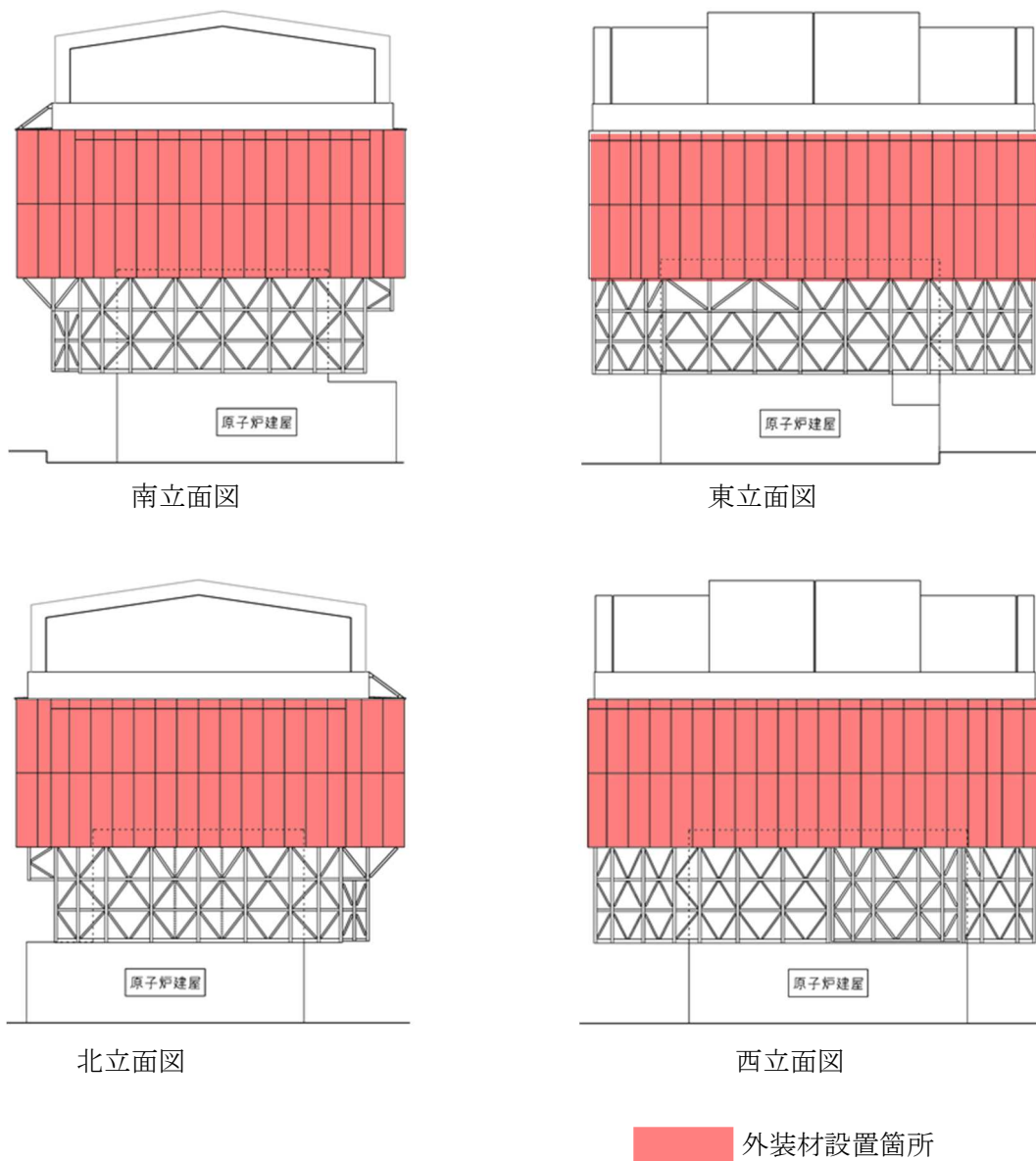


図-3 外装材設置範囲図