

## 『特定原子力施設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』 該当項目の整理表 (案件：キャスク仮保管設備増設)

目次	該当項目	理由
I 全体工程及びリスク評価について講ずべき事項	○	キャスク仮保管設備による使用済燃料の管理におけるリスクを評価し、問題なく管理を行えることを確認するため。
II 設計、設備について措置を講ずべき事項		
1 原子炉等の監視	-	キャスク仮保管設備は乾式キャスクに収納された燃料を仮保管する設備であり、RPV/PCV/SFP内の使用済燃料等に関連する内容ではないため。
2 残留熱の除去	-	キャスク仮保管設備は乾式キャスクに収納された燃料を仮保管する設備であり、RPV/PCV内の燃料デブリ、SFP内の燃料体に関連する内容ではないため。
3 原子炉格納施設雰囲気等の監視等	-	キャスク仮保管設備は乾式キャスクに収納された燃料を仮保管する設備であり、PCV内の気体に関する内容ではないため。
4 不活性雰囲気等の維持	-	キャスク仮保管設備は乾式キャスクに収納された燃料を仮保管する設備であり、RPV/PCV内の可燃性ガスに関する内容ではないため。
5 燃料取出し及び取り出した燃料の適切な貯蔵・管理	○	増設する乾式キャスクに収納された燃料を適切に貯蔵・管理する必要があるため。
6 電源の確保	-	キャスク仮保管設備は乾式キャスクに収納された燃料を仮保管する設備であり、安全機能を達成するために電力を必要としないため。
7 電源喪失に対する設計上の考慮	-	キャスク仮保管設備は乾式キャスクに収納された燃料を仮保管する設備であり、全交流電源喪失時のRPV/PCV内やSFPへの冷却を確保し、かつ復旧するための手段ではないため。
8 放射性固体廃棄物の処理・保管・管理	-	キャスク仮保管設備は乾式キャスクに収納された燃料を仮保管する設備であり、放射性固体廃棄物の処理に関する内容ではないため。
9 放射性液体廃棄物の処理・保管・管理	-	キャスク仮保管設備は乾式キャスクに収納された燃料を仮保管する設備であり、放射性液体廃棄物の処理に関する内容ではないため。
10 放射性気体廃棄物の処理・管理	-	キャスク仮保管設備は乾式キャスクに収納された燃料を仮保管する設備であり、放射性気体廃棄物の処理に関する内容ではないため。
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	-	キャスク仮保管設備は乾式キャスクに収納された燃料を仮保管する設備であり、大気、海等の環境中へ放出される放射性物質に関する内容ではないため。
12 作業員の被ばく線量の管理等	○	増設する乾式キャスク取り扱い作業での作業員の被ばく線量の管理等を実施するため。
13 緊急時対策	○	キャスク仮保管設備拡張工事及び運用時において、現在準備している、事故時に通信連絡設備等で問題ないことを説明する必要があるため。
14 設計上の考慮		(各項目参照)
① 準拠規格及び基準	○	増設するキャスク仮保管設備は、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必要があるため。
② 自然現象に対する設計上の考慮	○	増設するキャスク仮保管設備は、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必要があるため。
③ 外部人為事象に対する設計上の考慮	○	キャスク仮保管設備は乾式キャスクに収納された燃料を仮保管する設備であり、外部人為事象によって、施設の安全性を損なうことなく、第三者の不法な接近等に対し、これを防御するため、適切な措置を講じる必要があるため。
④ 火災に対する設計上の考慮	○	増設するキャスク仮保管設備は、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必要があるため。
⑤ 環境条件に対する設計上の考慮	○	増設するキャスク仮保管設備は、経年事象を含む全ての環境条件に適合できる設計である必要があるため。
⑥ 共用に対する設計上の考慮	-	増設するキャスク仮保管設備は、複数の施設間で共用をしないため。
⑦ 運転員操作に対する設計上の考慮	○	増設するキャスク仮保管設備は、運転員の誤操作を防止する適切な措置を講じる必要があるため。
⑧ 信頼性に対する設計上の考慮	○	増設するキャスク仮保管設備は、十分に高い信頼性を確保し、かつ維持し得る設計である必要があるため。
⑨ 検査可能性に対する設計上の考慮	○	増設するキャスク仮保管設備は、それらの健全性及び能力を確認する検査ができる設計である必要があるため。
15 その他措置を講ずべき事項	-	今回の申請は本節に関わる内容ではないため。
III 特定原子力施設の保安のために措置を講ずべき事項	○	本変更申請によって、燃料管理、放射線管理及び敷地境界線量の値が変更となるため。
IV 特定核燃料物質の防護	-	本変更申請とは別申請で対応するため。
V 燃料デブリの取出し・廃炉のために措置を講ずべき事項	-	増設するキャスク仮保管設備は、燃料デブリの取出しやそれに関連した措置に非該当であるため。 本変更申請は、新規に実施計画の変更認可申請を行うことから、1～3に非該当であるため。
VI 実施計画を策定するにあたり考慮すべき事項	-	1. 法第67条第1項の規定に基づく報告の徴収に従って報告している計画等 2. 原子力安全・保安院からの指示に従い、報告した計画等 3. 法の規定に基づき認可を受けている規定等
VII 実施計画の実施に関する理解促進	-	本変更申請によって、理解促進に関する取組みに変更はないため。
VIII 実施計画に係る検査の受検	-	本変更申請によって、検査受検の考え方に変更はないため。

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  
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  
(使用済燃料乾式キャスク仮保管設備の増設  
について)

令和5年7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使用済燃料乾式キャスク仮保管設備増設に関連する「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。

## 目 次

- I. 全体工程及びリスク評価について講ずべき措置
- II. 設計，設備について措置を講ずべき事項
  - II-5 燃料取出し及び取り出した燃料の適切な貯蔵・管理への適合性
  - II-12 作業者の被ばく線量の管理等への適合性
  - II-13 緊急時対策への適合性
  - II-14 設計上の考慮への適合性
    - II-14-① 準拠規格及び基準への適合性
    - II-14-② 自然現象に対する設計上の考慮への適合性
    - II-14-③ 外部人為事象に対する設計上の考慮への適合性
    - II-14-④ 火災に対する設計上の考慮への適合性
    - II-14-⑤ 環境条件に対する設計上の考慮への適合性
    - II-14-⑦ 運転員操作に対する設計上の考慮への適合性
    - II-14-⑧ 信頼性に対する設計上の考慮への適合性
    - II-14-⑨ 検査可能性に対する設計上の考慮への適合性
- III. 特定原子力施設の保安のために措置を講ずべき事項への適合性

# I 全体工程及びリスク評価について講 ずべき措置

## 措置を講ずべき事項

### I. 全体工程及びリスク評価について講ずべき措置

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。

特定原子力施設全体及び各設備のリスク評価については，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よう実施する。リスク評価については下記の通り実施している。

---

#### 1 特定原子力施設の全体工程及びリスク評価

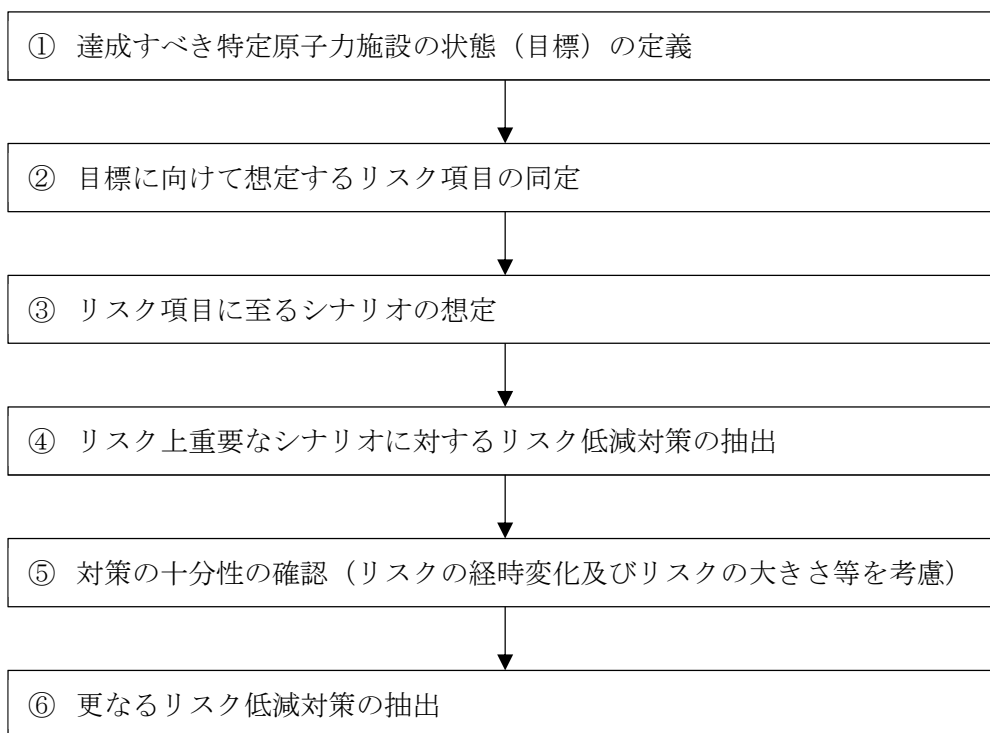
##### 1.1 リスク評価

###### 1.1.1 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以下に示す。

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1.1.2～1.1.3に示す。1.1.2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，1.1.3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。

(1) 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極力低減させ、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、廃止措置を出来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あ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し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。

## (2) リスク低減対策の適切性確認

上記(1)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。

(3) 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-2-1-1～5)

### 1.1.2 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 $3.0 \times 10^{-2}$ mSv/年であり、特定原子力施設から5km地点では最大約 $2.5 \times 10^{-3}$ mSv/年、10km地点では最大約 $8.9 \times 10^{-4}$ 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 $1.4 \times 10^{-18}$ mSv/年、10km地点では最大約 $2.4 \times 10^{-36}$ 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）

### 1.1.3 特定原子力施設における主なリスク

#### 1.1.3.1 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）
- (3) 5・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)

(5) 使用済燃料乾式キャスクの燃料

使用済燃料乾式キャスクに装填した燃料の保管については、使用済燃料輸送容器保管建屋に保管されていた9基を搬出し、使用済燃料乾式キャスク仮保管設備に保管している。また、現在使用済燃料共用プールに貯蔵中の使用済燃料の一部を使用済燃料乾式キャスクに装填し、使用済燃料乾式キャスク仮保管設備に保管する作業を進めている。

使用済燃料乾式キャスクについては、除熱、遮蔽、密封、臨界防止の安全機能及び必要な構造強度が設計上考慮されている。

また、使用済燃料乾式キャスク仮保管設備において、使用済燃料乾式キャスクは支持架台に支持され基礎に固定された状態で保管する。この保管状況において使用済燃料乾式キャスク仮保管設備は、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公衆への被ばく影響を考慮した上で、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対し、使用済燃料乾式キャスクの安全機能が維持される設計となっている。

ただし、2022年11月16日以前に認可された設備については、基準地震動 $S_s$ （最大加速度600gal）を考慮しても使用済燃料乾式キャスクの安全機能が維持される設計となっている。

使用済燃料乾式キャスクを取り扱うクレーンは、使用済燃料共用プール、使用済燃料乾式キャスク仮保管設備共に、落下防止対策を施した設計となっている。

以上のことから、使用済燃料乾式キャスクにかかるリスクは非常に小さい。

(実施計画：I-2-3-6-1)

(中略)

1.1.4 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（1.1.2参照）。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（1.1.3参照）。

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、「1.1.3(6) 放射性廃棄物」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。

#### 1.1.4.1 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	共用プール	貯蔵容量の不足リスク	共用プールから仮保管設備への燃料移動	共用プールには保管容量6840本に対して、既に6377本保管している。今後、使用済燃料プールから使用済燃料を受け入れるため、十分に冷却が進んだ使用済燃料を乾式キャスクに移し、共用プールの燃料受入容量を確保する。	平成25年6月以降順次実施	①対策を実施しない場合、使用済燃料プールからの燃料移送が困難となり、使用済燃料プールでの冷却機能喪失時におけるリスク等が低減されない。 ②冷却機能が長期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。 ③乾式キャスクに移し、高台の仮保管施設に移動することにより津波に対するリスクが低減する。 ④対策を実施しない場合、使用済燃料プールからの燃料移送が困難となり、使用済燃料プールでの冷却機能喪失時におけるリスク等が低減されない。 ⑤使用済燃料取り出しのために空き容量確保のため、計画的に実施する必要がある。 ⑥キャスク移送時の燃料落下防止対策等を講じる。 ⑦従前より実績のある取扱作業であるが、共用プール内の燃料払い出し作業と受け入れ作業の輻輳による遅延が発生しないよう工程管理を検討する必要がある。

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)

使用済燃料共用プール（以下、「共用プール」という。）にある燃料の使用済燃料乾式キャスク仮保管設備（以下、「キャスク仮保管設備」という。）への搬出については、予め設定した燃料搬出のハンドリングフローに基づき、下記の通り異常時の評価を行い、リスク低減及び最適化を図っている。

---

## 2 異常時の評価

### 2.1 異常事象の抽出

#### 2.1.1 想定すべき異常事象の抽出

乾式キャスクの取扱い及び仮保管時の作業の際に想定される異常事象の発生原因として、図1.1-1に示すように機器の破損、誤操作等の内部事象に起因するもの及び地震、火災等の外部事象に起因するものに分け、以下に示すような設計／運用による対応等を考慮して、選定された異常事象の選定結果の妥当性を確認し、安全評価において想定すべき異常事象として抽出する。

- ① 設計／運用による対応の有効性
- ② 事象の結果の大きさ（影響度）
- ③ 原子炉施設の安全評価事象との包絡性

#### 2.1.2 評価条件の設定

乾式キャスクの取扱い時及び仮保管時の各作業における、以下の諸条件を考慮して、抽出された異常事象の評価条件を設定する。

- ① 乾式キャスクの取扱いに係る機器の仕様，状態
- ② 乾式キャスクを取扱う際の位置
- ③ 移送用機器の仕様，状態
- ④ 仮保管に係る設備の仕様，状態

#### 2.1.3 安全評価基準

乾式キャスクの輸送，保管等の取扱いは構内にて行われることからキャスク仮保管設備の安全評価における各安全機能の評価基準は，専門部会報告書「原子力発電所内の使用済燃料の乾式キャスク貯蔵について（平成4年8月27日原子力安全委員会了承，平成18年9月19日一部改訂）」に基づき，以下のとおりとする。

##### (1) 除熱

想定される異常事象に対して，乾式キャスク各部の温度の異常な上昇を防止できること。

具体的評価にあたっては，乾式キャスクの温度解析を行い，各部の温度が密封，遮蔽及び臨界防止のために設定する温度制限を上回らず，各安全機能を確保するために

支障のない温度であることを確認する。

(2) 密封

想定される異常事象に対して、必要とされる漏えい率が維持できること等乾式キャスクの密封機能を維持できること。

具体的評価にあたっては、乾式キャスク本体及び一次蓋が破損しないこと、一次蓋締め付けボルト及び密封シール面に塑性変形が生じないこと並びに金属ガスケット等のシール部温度が密封健全性を維持できる温度を上回らないことを確認する。

(3) 遮蔽

想定される異常事象に対して、遮蔽機能を維持できること。

具体的評価にあたっては、荷重、温度上昇等が遮蔽材に及ぼす影響を考慮した上で乾式キャスクの線量率を評価し、乾式キャスク表面より 1m の点において 10mSv/h 以下であることを確認する。

(4) 臨界防止

想定される異常事象に対して、乾式キャスクに収納される使用済燃料が臨界に達しないこと。

具体的評価にあたっては、乾式キャスク本体、バスケット、使用済燃料等に及ぼされる形状変形等の影響を考慮した上で実効増倍率を評価し、計算誤差等を考慮しても、実効増倍率が 0.95 を上回らないことを確認する。

#### 2.1.4 異常事象の抽出

図 1. 1-2 に示すハンドリングフローに基づき、乾式キャスクの取扱い及び仮保管時までの各作業において想定される起因事象に着目し、発生防止対策を考慮して異常事象の発生の可能性を検討し、想定すべき異常事象を抽出した。異常事象の抽出結果を表 1. 1-1 に示す。

抽出した異常事象は以下のとおりである。

- ・ 輸送貯蔵兼用キャスクを搬送台車架台に吊下げる際に、クレーンの誤操作が原因となって、輸送貯蔵兼用キャスクが搬送台車架台に異常着床する。
- ・ 輸送貯蔵兼用キャスクを輸送架台に吊下げる際に、クレーンの誤操作が原因となって、輸送貯蔵兼用キャスクが輸送架台に異常着床する。
- ・ 輸送貯蔵兼用キャスクを支持架台に吊下げる際に、クレーンの誤操作が原因となって、輸送貯蔵兼用キャスクが支持架台に異常着床する。



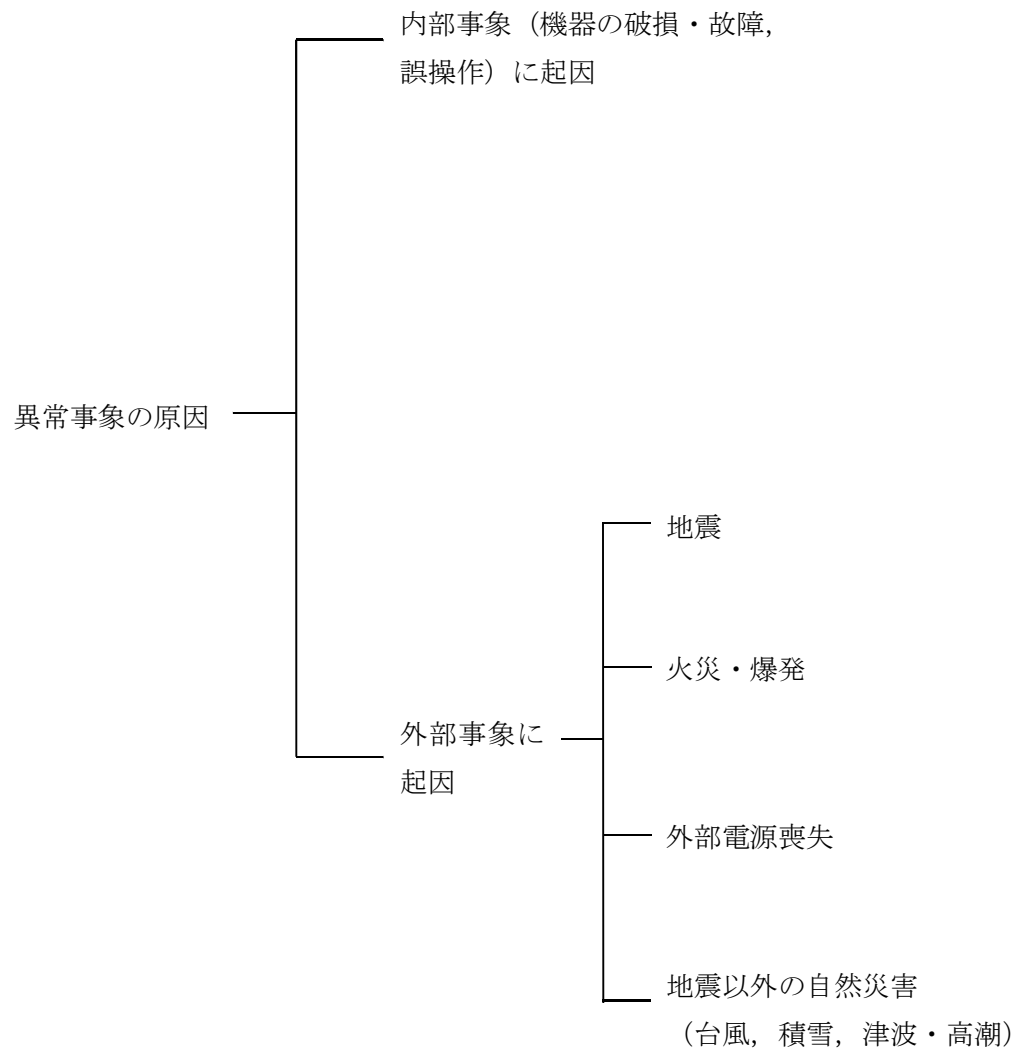


図 1. 1 - 1 異常事象の発生原因  
(実施計画：II-2-13-添 3-1-234～236)

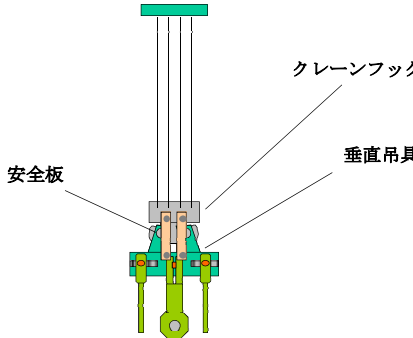
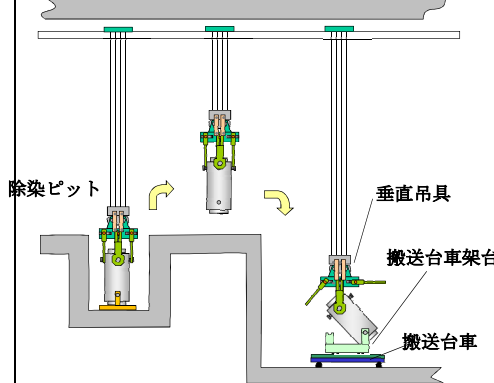
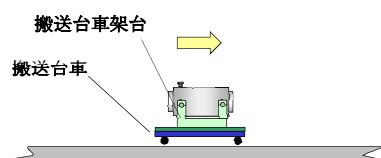
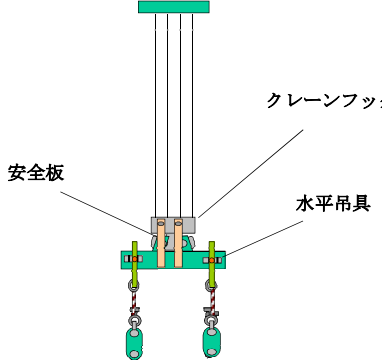
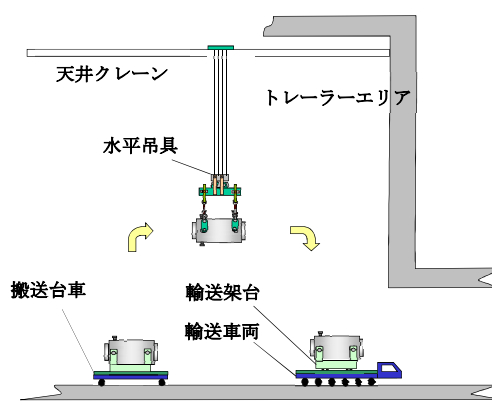
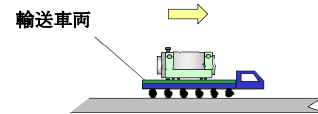
No.	取り扱いモード	No.	取り扱いモード
1	垂直吊具をクレーンフックに取り付ける。 	2	輸送貯蔵兼用キャスクを共用プール除染ピットから垂直吊具で吊上げ、搬送台車上の架台に積載する。 
3	搬送台車でトレーラーエリアに移動させる。 	4	水平吊具をクレーンフックに取り付ける。 
5	トレーラーエリアで搬送台車から輸送貯蔵兼用キャスクを水平吊具で吊上げ、輸送車両上の輸送架台に積載する。 	6	輸送車両でキャスク仮保管設備へ構内輸送する。 

図1. 1-2 輸送貯蔵兼用キャスクのハンドリングフロー (1/5)

No.	取り扱いモード	No.	取り扱いモード
7	コンクリート支持架台を設置し、コンクリートモジュールの3面を立てる。 (事前に実施する)	8	鋼製支持架台をコンクリート支持架台に取り付ける。 (事前に実施する)
9	水平吊具をクレーンフックに取り付ける。	10	輸送車両で輸送貯蔵兼用キャスクを搬入させる。
11	輸送架台の上部と下部のトラニオン押さえを取り外す。	12	輸送車両上の輸送貯蔵兼用キャスクに水平吊具を取り付ける。

図1. 1-2 輸送貯蔵兼用キャスクのハンドリングフロー (2/5)

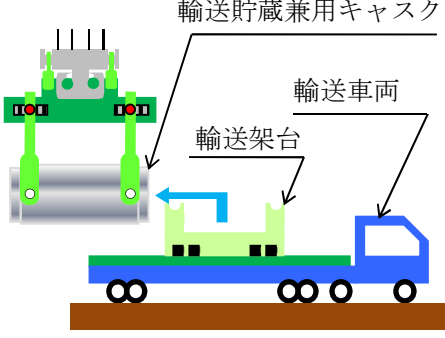
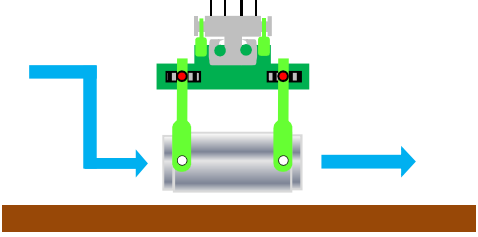
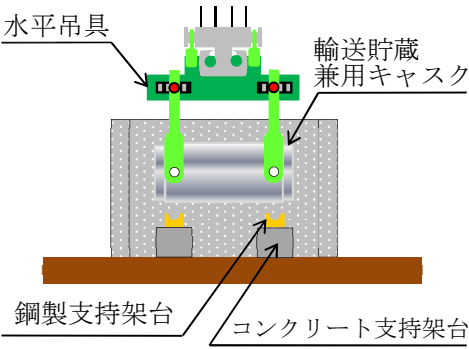
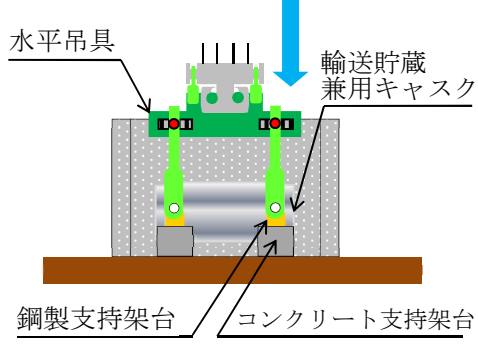
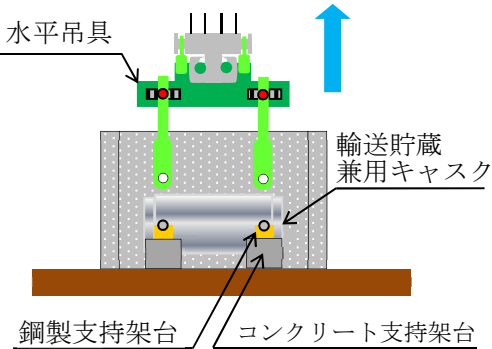
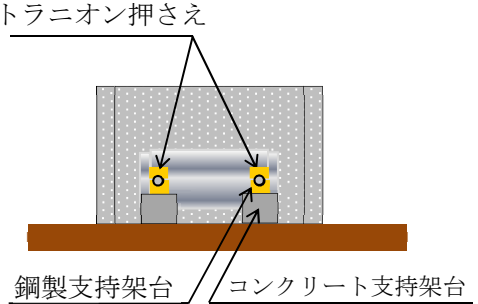
No.	取り扱いモード	No.	取り扱いモード
13	<p>トラニオンが輸送架台をかわすまで輸送貯蔵兼用キャスクをクレーンで吊上げた後、水平に移動する。</p> 	14	<p>輸送貯蔵兼用キャスクを保管場所までクレーンで移動する。</p> 
15	<p>輸送貯蔵兼用キャスクを鋼製支持架台の上まで移動する。</p> 	16	<p>クレーンを下降させて、輸送貯蔵兼用キャスクを鋼製支持架台に載せる。</p> 
17	<p>輸送貯蔵兼用キャスクから水平吊具を取り外し、クレーンを上昇させる。</p> 	18	<p>トラニオンをトラニオン押さえで支持架台に固定する。</p> 

図1. 1-2 輸送貯蔵兼用キャスクのハンドリングフロー (3/5)

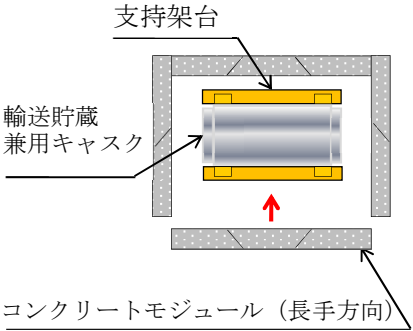
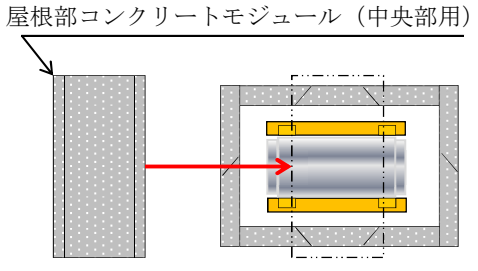
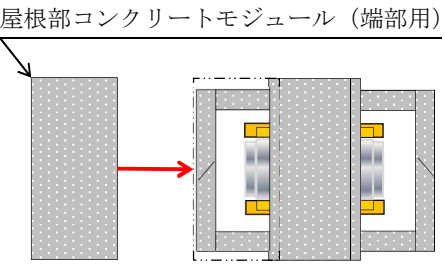
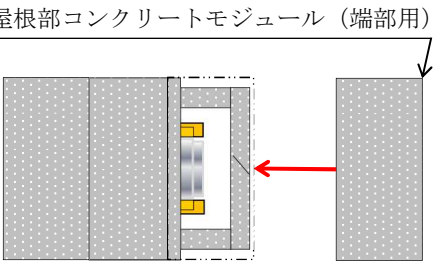
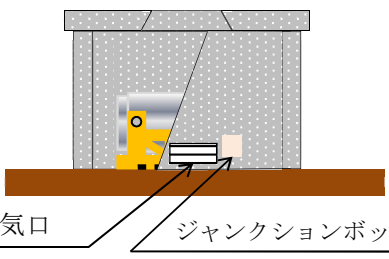
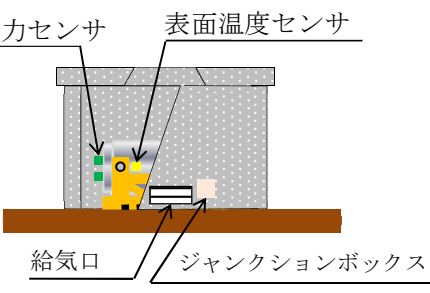
No.	取り扱いモード	No.	取り扱いモード
19	<p>コンクリートモジュールの長手方向の残り1面を立てて、先に組み立てたコンクリートモジュールに固定する。</p>  <p>(図は平面図を示す)</p>	20	<p>中央部用の屋根のコンクリートモジュールをクレーンで吊って、組み立てたコンクリートモジュールの短手側から載せる。</p>  <p>(図は平面図を示す)</p>
21	<p>端部の屋根のコンクリートモジュールをクレーンで吊って、短手側から載せて固定する。</p>  <p>(図は平面図を示す)</p>	22	<p>もう一方の端部の屋根のコンクリートモジュールをクレーンで吊って、短手側から載せて固定する。</p>  <p>(図は平面図を示す)</p>
23	<p>コンクリートモジュールの長手方向の1面に、ジャンクションボックスを取り付ける。</p> 	24	<p>輸送貯蔵兼用キャスクに監視用センサ（圧力用2個、表面温度用1個）を取り付ける。</p> 

図1. 1-2 輸送貯蔵兼用キャスクのハンドリングフロー (4/5)

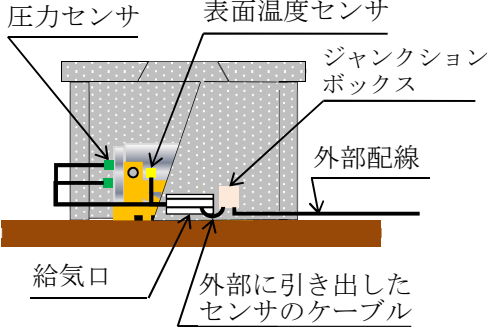
No.	取り扱いモード	No.	取り扱いモード
25	<p>監視用センサのケーブルを、給排気口からコンクリートモジュールの外に出し、ジャンクションボックス内で外部配線と接続する。</p> 		

図1. 1-2 輸送貯蔵兼用キャスクのハンドリングフロー (5/5)

表 1. 1-1 異常事象の抽出 (1/3)

起因事象 (ハンドリングフローNo.)		原因	異常事象発生の可能性	発生の 要否	想定シナリオ	抽出の 要否
乾式キャスクの落下 (2~16)	輸送車両取扱い時の 落下	固定ボルトの取付け不 良	乾式キャスクは、輸送車両に複数の固定ボルトで固縛されていることを確認する。また、乾式キャスクは輸送車両で徐行して輸送すること、輸送経路は輸送に係る人、車両以外の立入を制限することから落下しない。	×		×
	搬送台車取扱い時の 落下	固定ボルトの取付け不 良	輸送貯蔵兼用キャスクは搬送台車に複数のボルトで固縛されていることを確認する。また、搬送台車はレール上を走行し、走行範囲インターロック及び障害物検知装置を有していることから他の構築物等に衝突はしないため、落下しない。	×		×
	クレーン取扱い時の 落下	吊具の取り付け不良	吊具の二重化、始業前の吊具点検、取付け後の外れ止めを施すため、乾式キャスクは落下しない。	×		×
ワイヤーロープの切断		ワイヤーロープの二重化、始業前のワイヤーロープ点検を行うため、乾式キャスクは落下しない。				
乾式キャスクの衝突 (2, 5, 13~16)	クレーンでの移動時 (走行, 横行) の衝突 (2, 5, 13~15)	ブレーキの故障	移動前に移動経路に障害物がないことを確認し、乾式キャスクと移動経路の芯あわせを行い、走行の両輪及び横行それぞれにインバータによる停止機能に加えてブレーキによる停止機能により二重化しているため、乾式キャスクは他の構築物等へ衝突しない。	×		×
		操作員の誤操作	クレーンの横行範囲に制限機構を設ける。また、移動前に移動経路に障害物がないことの確認、乾式キャスクと移動経路の芯あわせを行うため、乾式キャスクは他の構築物等へ衝突しない。	×		×
	クレーンでの吊下げ 時の衝突 (異常着床) (2, 5, 16)	ブレーキの故障	巻き上げ装置ブレーキを二重化しているため、乾式貯蔵キャスクは架台基礎コンクリートへ衝突 (異常着床) しない。	×		×
			巻き上げ装置ブレーキを二重化しているため、輸送貯蔵兼用キャスクは搬送台車架台、輸送架台及び支持架台に衝突 (異常着床) しない。	×		×
		操作員の誤操作	吊下げ時の誤操作により、支持架台を装着した状態で乾式貯蔵キャスクは吊下げ速度で架台基礎コンクリートに異常着床する可能性がある。	○	クレーンの最大吊下げ速度 1.5m/min で、支持架台を装着した状態で乾式貯蔵キャスクは、架台基礎コンクリート上に異常着床する場合を異常事象として抽出する。	○
			吊下げ時の誤操作により、輸送貯蔵兼用キャスクは吊下げ速度で搬送台車架台、輸送架台及び支持架台に異常着床する可能性がある。	○	クレーンの最大吊下げ速度 1.5m/min で、輸送貯蔵兼用キャスクは、搬送台車架台、輸送架台及び支持架台に異常着床する場合を異常事象として抽出する。	○

表 1. 1-1 異常事象の抽出 (2/3)

起回事象 (ハンドリングフローNo.)	原因	異常事象発生の可能性	発生の 要否	想定シナリオ	抽出の 要否	
乾式キャスクへの重量物の落下 (19~22)	コンクリートモジュール側壁部の転倒 (19)	固定具取り付け不良	コンクリートモジュールはコの字形に接合されているために自立すること、複数の固定具で基礎に固定されていることから、1個の固定具が取り付け不良であっても、コンクリートモジュールは転倒しない。	×		×
	コンクリートモジュール(長手方向)の落下 (20~22)	吊具取り付け不良	始業前に吊具の点検を行い、吊具は外れ止め防止金具を取り付けるため、コンクリートモジュール(長手方向)は落下しない。	×		×
		ワイヤーロープの切断	始業前にワイヤーロープの点検を行い、ワイヤーロープは二重化しているため、コンクリートモジュールは落下しない。	×		×
		操作員の誤操作	コンクリートモジュール(長手方向)の移動前に、コンクリートモジュール(長手方向)と移動経路の芯あわせを行い、荷振れ対策としてガイドロープを使用するため、コンクリートモジュール(長手方向)は乾式キャスクへ落下しない。	×		×
	屋根部コンクリートモジュールの落下	吊具取り付け不良	始業前に吊具の点検を行い、吊具は外れ止め防止金具を取り付けるため、天板コンクリートモジュールは落下しない。 天板コンクリートモジュールは矩形に組んだ側板コンクリートモジュールに比べて迫出した形状であり、天板コンクリートモジュールの移動前に側板コンクリートモジュールとの接合位置があうように芯あわせするため、仮に天板コンクリートモジュールが落下したとしてもキャスク上には落下しない。	×		×
		ワイヤーロープの切断	始業前にワイヤーロープの点検を行い、ワイヤーロープは二重化しているため、天板コンクリートモジュールは落下しない。	×		×
		操作員の誤操作	天板コンクリートモジュールは矩形に組んだ側板コンクリートモジュールに比べて迫出した形状であり、天板コンクリートモジュールの移動前に、側板コンクリートモジュールとの接合位置があうように芯あわせを行い、荷振れ対策としてガイドロープを使用するため、天板コンクリートモジュールは乾式キャスクへ落下しない。	×		×
コンクリートモジュール給排気口の閉塞	異物の付着	異物の飛来により給気口の閉塞が想定される。	○	給気口の閉塞により、除熱機能への影響が懸念されるものの、日常の巡視点検により閉塞の有無を確認できる。また、乾式キャスク表面温度は免震重要棟で連続監視し、所定の設定温度で警報を発報するため事前に異常を検知できる。なお、温度センサーの断線により、データが採取されない場合にも警報を発報する。	×	
	積雪	積雪による閉塞がないような設計対応及び日常の巡視等の運用対応により、給排気口が閉塞することはない。	×		×	



表 1. 1-1 異常事象の抽出 (3/3)

起因事象 (ハンドリングフローNo.)	原因	異常事象発生の可能性	発生の 要否	想定シナリオ	抽出の 要否
地震		乾式キャスク、コンクリートモジュールは、地震時にも基本的安全機能を維持できるよう設計する。	×		×
火災・爆発		動力機関として内燃機関を使用するものはなく、実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用し、持ち込み物品の制限等の運用対応をするため、火災の発生する可能性は非常に低い。	×		×
外部電源喪失		クレーンのフェイルセーフ設計により、乾式キャスクの落下防止、衝突防止が施されている。	×		×
経年変化		乾式貯蔵キャスクは設計貯蔵期間 40 年で、輸送貯蔵兼用キャスクは設計貯蔵期間 50 年で設計されており、それより短い期間で使用するため、経年変化を考慮する必要はない。	×		×
地震以外の自然災害	台風	コンクリートモジュールの風荷重に対する設計は、「建築基準法」に定める設計基準に従う。	×		×
	積雪、凍結	敷地周辺の過去の記録に基づいて敷地で考えられる最も過酷な場合を想定した設計を行う。	×		×
	津波、高潮	敷地の標高 (T.P. 約 38m)、海岸からの距離等から判断して、敷地が被害を受けることは考えられない。	×		×

(実施計画：II-2-13-添 3-1-239～246)

## 2.2 異常事象の評価

### (1) 評価方針

輸送貯蔵兼用キャスクがクレーンの最大吊下げ速度 (1.5m/min) のまま搬送台車架台, 輸送架台及び, 支持架台に衝突した場合に, 輸送貯蔵兼用キャスクに生じる衝撃加速度を算出する。概念図を図1. 2-1~3に示す。

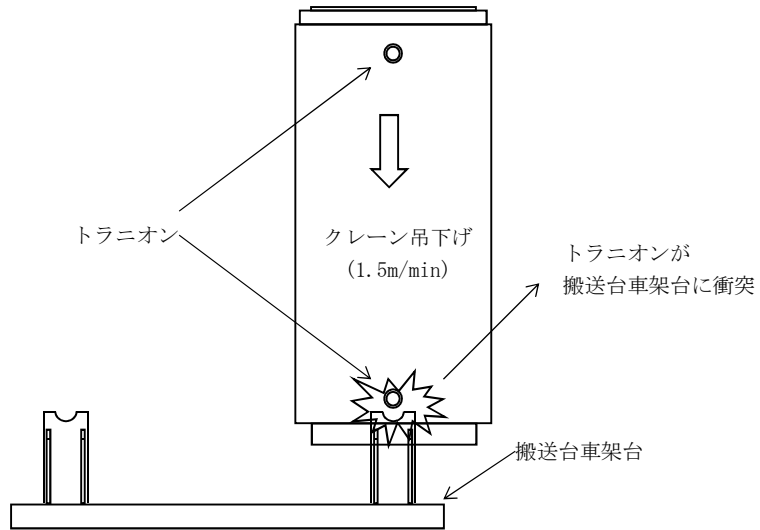


図1. 2-1 異常着床概念図 (搬送台車架台への衝突)

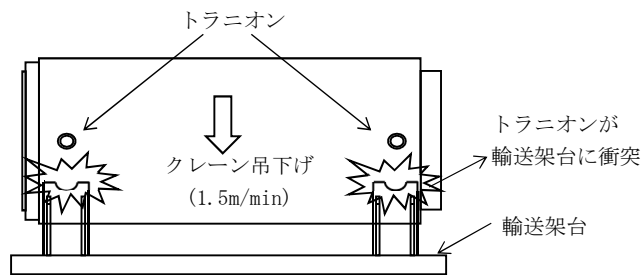


図1. 2-2 異常着床概念図 (輸送架台への衝突)

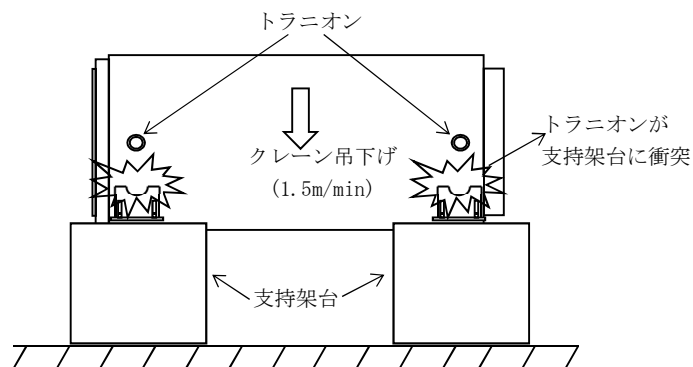


図1. 2-3 異常着床概念図 (支持架台への衝突)

(2) 輸送貯蔵兼用キャスクの評価条件および方法

輸送貯蔵兼用キャスクが搬送台車架台，輸送架台，支持架台に衝突する際に生じる衝撃加速度の計算条件は以下のとおりである。

- ・搬送台車架台，輸送架台，支持架台の弾性により輸送貯蔵兼用キャスクの運動エネルギーを吸収する。
- ・輸送貯蔵兼用キャスク本体（トラニオン含む）を剛とする。
- ・搬送台車架台，輸送架台，支持架台の自重は無視する。

a. 衝撃加速度の算出式

エネルギー保存則によりキャスクに生じる衝撃加速度を算出する。

$$\frac{1}{2}m \cdot v^2 + m \cdot g \cdot \delta = \frac{1}{2}K \cdot \delta^2$$

ここで，

- m : 輸送貯蔵兼用キャスク質量  
輸送貯蔵兼用キャスク :  $1.186 \times 10^5$  (kg)
- v : クレーン巻下定格速度 = 1.5 (m/min) = 0.025 (m/s)
- g : 重力加速度 = 9.80665 (m/s<sup>2</sup>)
- δ : 架台の最大変形量 (m)
- K : 架台のばね定数 (N/m)

上式を変形すると

$$\delta = \frac{m \cdot g}{K} + \sqrt{\frac{m^2 \cdot g^2}{K^2} + \frac{m \cdot v^2}{K}} \quad (\delta \geq 0)$$

また，輸送貯蔵兼用キャスクに生じる衝撃加速度は次式で算出する。

$$\alpha = \frac{F}{m}$$

$$F = K \cdot \delta$$

ここで，

- α : 輸送貯蔵兼用キャスクに生じる衝撃加速度 (m/s<sup>2</sup>)
- F : 輸送貯蔵兼用キャスクに作用する衝撃力 (N)

以上より，輸送貯蔵兼用キャスクに生じる衝撃加速度は次式のとおりとなる。

$$\alpha = g + \sqrt{g^2 + \frac{K \cdot v^2}{m}}$$

b. 架台のばね定数

架台のばね定数は、搬送台車架台、輸送架台、支持架台の鉛直方向の弾性から算出した。

- 搬送台車架台のばね定数 :  $1.36 \times 10^{10}$  (N/m) (2脚分)
- 輸送架台のばね定数  
     輸送貯蔵兼用キャスク用 :  $4.0 \times 10^{10}$  (N/m) (4脚分)
- 支持架台のばね定数  
     輸送貯蔵兼用キャスク用 :  $4.56 \times 10^{10}$  (N/m) (4脚分)

(3) 評価結果

輸送貯蔵兼用キャスクに生じる衝撃加速度を表1. 2-1に示す。表1. 2-1より設計事象Ⅱの衝撃加速度は、構造強度評価で用いている衝撃加速度、横姿勢:3G, 縦姿勢(キャスク, バスケット):5G, 縦姿勢(トラニオン):2.5Gに包絡されており、輸送貯蔵兼用キャスクの安全機能は維持されることを確認している。

表1. 2-1 輸送貯蔵兼用キャスクに生じる衝撃加速度

異常事象	キャスクタイプ	支持架台の ばね定数 K (N/m)	衝撃加速度	
			$\alpha$ (m/s <sup>2</sup> )	(G)
搬送台車架台への衝突 (縦姿勢)	輸送貯蔵兼用キャスク	$1.36 \times 10^{10}$	22.8	2.33
輸送架台への衝突 (横姿勢)		$4.0 \times 10^{10}$	27.4	2.80
支持架台への衝突 (横姿勢)		$4.56 \times 10^{10}$	28.2	2.88

(実施計画: II-2-13-添 3-1-250~252)

## Ⅱ 設計，設備について措置を講ずべき 事項

## Ⅱ.5 燃料取出し及び取り出した燃料の適切な貯蔵・管理への適合性

措置を講ずべき事項

## II. 設計，設備について措置を講ずべき事項

### 5. 燃料取出し及び取り出した燃料の適切な貯蔵・管理

#### < 1～4号炉 >

使用済燃料貯蔵設備からの燃料の取出しにあたっては，確実に臨界未満に維持し，落下防止，落下時の影響緩和措置及び適切な遮へいを行い，取り出した燃料は適切に冷却及び貯蔵すること。

#### < 5・6号炉 >

原子炉及び使用済燃料貯蔵設備からの燃料の取出しにあたっては，確実に臨界未満に維持し，落下防止及び遮へいを行い，適切に冷却及び貯蔵を行うために必要な設備を健全な状態に維持・管理すること。

キャスク仮保管設備は，共用プールに貯蔵中で健全性が確認された使用済燃料を乾式キャスクに装填し，一時的に保管するための設備であり，保管する燃料は確実に臨界未満に維持し，適切に冷却及び貯蔵するよう維持・管理する必要がある。また，使用済燃料の臨界未満の維持，適切な遮蔽のために要求される安全機能を有するものとする。

#### ○ 安全機能

輸送貯蔵兼用キャスクが除熱，密封，遮蔽，臨界防止の各安全機能を有すること，輸送貯蔵兼用キャスク用コンクリートモジュールが除熱機能を有することを評価する。増設する輸送貯蔵兼用キャスクの安全機能については，下記の型式証明申請書で評価されている。

- ・使用済燃料貯蔵施設に係る特定容器等の設計の型式証明申請書（平成 29 年 11 月 日立 GE ニュークリア・エナジー株式会社）
- ・使用済燃料貯蔵施設に係る特定容器等の設計の型式証明申請書 本文及び添付資料の一部補正について（平成 30 年 7 月 日立 GE ニュークリア・エナジー株式会社）
- ・使用済燃料貯蔵施設に係る特定容器等の設計の型式証明申請書 本文及び添付資料の一部補正について（平成 30 年 12 月 日立 GE ニュークリア・エナジー株式会社）

なお，型式証明申請書における評価対象設備とキャスク仮保管設備では保管姿勢が異なり，除熱については保管姿勢の違いにより評価への影響が生じる。また，輸送貯蔵兼用キャスクの収納可能燃料タイプの追加に伴い，既認可の輸送貯蔵兼用キャスクとは収納燃料配置が異なる。このため，輸送貯蔵兼用キャスクの除熱についてはキャスク仮保管設備に応じた保管姿勢による評価を別途行っており，輸送貯蔵兼用キャスクを構成する各部材は設計基準温度を下回り，本設備で要求される除熱機能を有することを確認している。なお，型式

証明申請書と福島第一原子力発電所における輸送貯蔵兼用キャスクの使用条件との比較については参考資料を参照。

輸送貯蔵兼用キャスク用コンクリートモジュールの除熱機能については既設設備との差異を確認し、除熱評価が既設設備と同一または包絡されることを確認している。

密封、遮蔽、臨界防止の各安全機能の安全評価に対しては、福島第一原子力発電所における輸送貯蔵兼用キャスクの使用条件との差異を確認し、福島第一原子力発電所における使用条件が型式証明申請書と同一又は型式証明申請書に包絡され、本設備で要求される安全機能を有していることを下記の通り確認している。各機能の評価を以下の通り記載する。

---

## 1 除熱機能

### 1.1 輸送貯蔵兼用キャスク

「使用済燃料貯蔵施設に係る特定容器等の設計の型式証明申請書(以下、「既存評価」という。)」の「添付書類一 特定容器等の安全設計に関する説明書 3.4 除熱機能」より除熱機能が評価されている。既存評価では保管姿勢を縦置きとして評価しているが、キャスク仮保管設備における保管姿勢は横置きとなるため、既存評価を基に横置きであることを考慮した評価を行う。

#### (1) 基本的な考え方

除熱設計に当たっては、使用済燃料の健全性及び安全機能を有する構成部材の健全性が維持できるよう、使用済燃料の崩壊熱を適切に除去できる設計とする。そのため、以下の配慮を行う。

- a) 輸送貯蔵兼用キャスク内部のバスケットは、熱伝導の優れた伝熱プレート of 設置により必要な伝熱性能を確保する。
- b) 輸送貯蔵兼用キャスク内部には、熱伝導率の高いヘリウムガスを充てんする。
- c) 側部中性子遮蔽材には熱伝導の低いレジンを用いており、伝熱フィンを設けることにより必要な伝熱性能を確保する。

輸送貯蔵兼用キャスクの除熱解析フローを図1.1-1に示す。なお、輸送貯蔵兼用キャスク用コンクリートモジュールの除熱解析フローは乾式貯蔵キャスクと同様であるため、輸送貯蔵兼用キャスクの除熱解析フローのみを示す。



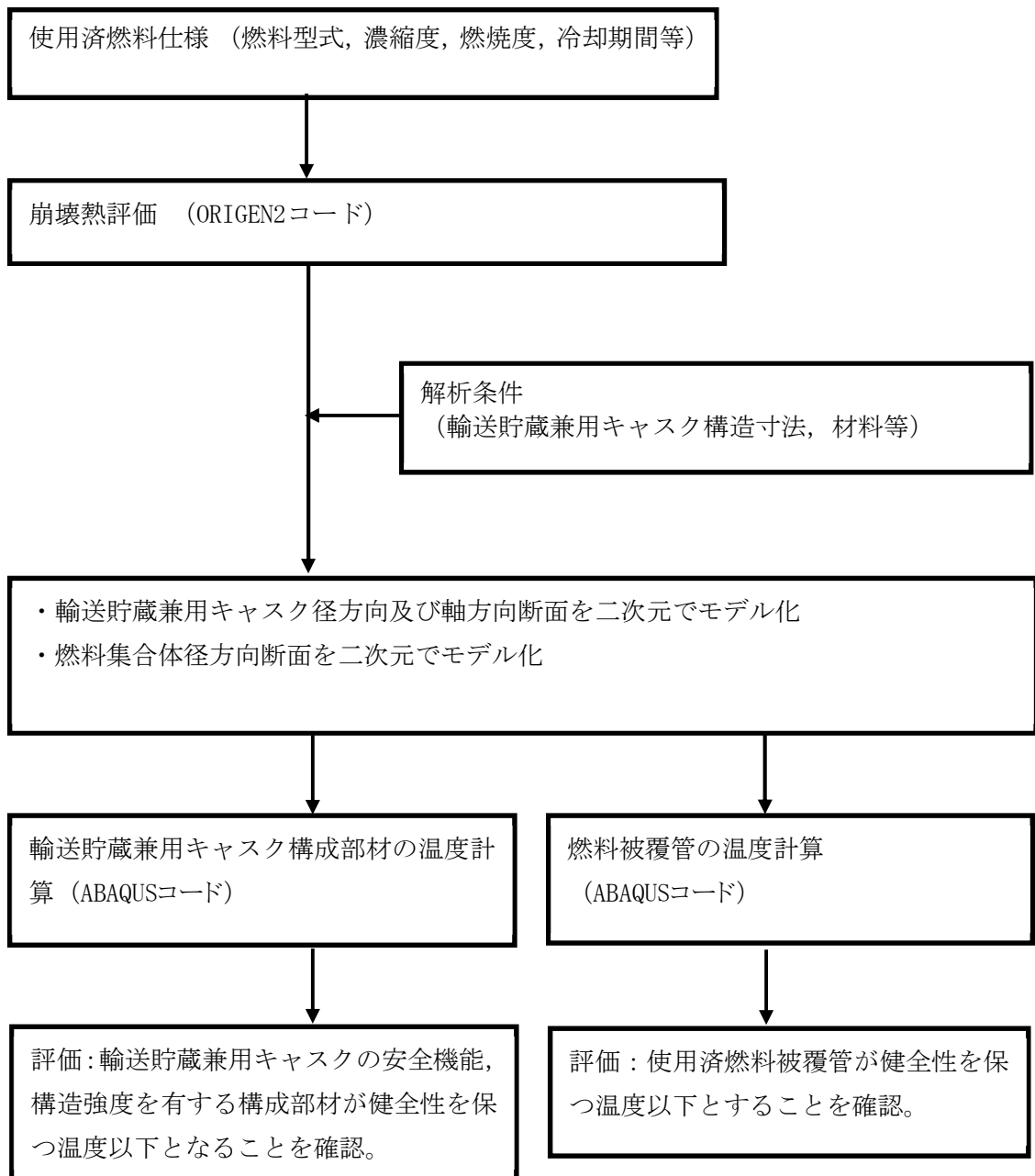


図 1. 1-1 輸送貯蔵兼用キャスク 除熱評価フロー図

(2) 設計基準

設計基準を表 1. 1-1 に示す。

表 1. 1-1 設計基準

(単位：℃)

対象となる部材	材質	設計基準	設計基準温度	備考
燃料被覆管	ジルカロイ-2	使用済燃料被覆管の累積クリープ量が1%を超えない温度, 照射硬化回復現象により燃料被覆管の機械的特性が著しく低下しない温度及び水素化物の再配向による燃料被覆管の機械的特性の低下が生じない温度以下となる温度とする	300 <sup>*</sup>	使用済燃料 (新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料, 高燃焼度 8×8 燃料)
			200	使用済燃料 (新型 8×8 燃料)
輸送貯蔵兼用キャスク B	レジン	中性子遮蔽材の性能が維持される制限温度	150	中性子遮蔽材
	炭素鋼	構造強度が維持される制限温度	350	密封容器
				二次蓋
	アルミニウム合金, ニッケル基合金	閉じ込め機能が維持される制限温度	130	金属ガスケット
ボロン添加ステンレス鋼	構造強度が維持される制限温度	300	バスケット	

\*水素化物の再配向による燃料被覆管の機械的特性の低下が生じない温度を設計基準温度として設定したもので、燃料被覆管の周方向応力は設計基準温度状態で 70 MPa 以下とする。燃料被覆管の累積クリープ量が 1%を超えない初期温度は 360℃程度と評価され、上記設計基準温度を超えている。また、燃料被覆管の照射硬化の回復については機械的強度への影響を評価するものとする。

(3) 燃料仕様

輸送貯蔵兼用キャスク 1 基当たりの評価に用いる発熱量を表 1. 1-2 に示す。使用済燃料の発熱量は ORIGEN2 コードにより求める。

表 1. 1-2 輸送貯蔵兼用キャスク 1 基当たりの発熱量

使用済燃料の 収納配置条件		配置(i)		配置(ii)		配置(iii)
燃料集合体の種類		新型8×8 ジルコニウム ライナ燃料	高燃焼度 8×8燃料	新型8×8 ジルコニウム ライナ燃料	高燃焼度 8×8燃料	新型8×8燃料
初期濃縮度 (wt%)		約2.9	約3.4	約2.9	約3.4	約2.9
収納物 の 燃焼度	平均燃焼度 (MWd/t)	34,000	34,000	40,000	40,000	29,000
冷却期間 (年)		18	18	22	22/20 <sup>注1)</sup>	28
収納体数 (体)		69		69		69
評価に用いる発熱量 (kW) <sup>注2)</sup>		15.3		15.3		10.4

注 1) 燃焼度 40,000MWd/t 時の冷却期間は 22 年, 燃焼度 48,000MWd/t 時の冷却期間は 20 年である。

注 2) 輸送貯蔵兼用キャスクの最大発熱量は配置(i)で 12.1kW, 配置(ii)で 13.8kW, 配置(iii)で 8.4kW であるが, 除熱設計では燃料集合体の軸方向の燃焼度分布を保守的に考慮した設計発熱量を用いる。

(4) 評価条件

輸送貯蔵兼用キャスクの除熱評価は以下の 3 種類の解析モデルを用いて行う。

- a. 軸方向断面モデル (輸送貯蔵兼用キャスク全体の二次元軸対称モデル)
- b. 半径方向断面モデル (胴中央部断面形状の二次元平面モデル)
- c. 燃料集合体断面モデル (燃料集合体の断面形状の二次元平面モデル)

上記解析モデルを図 1. 1-2~4 に示す。また, 評価条件を表 1. 1-3 に示す。

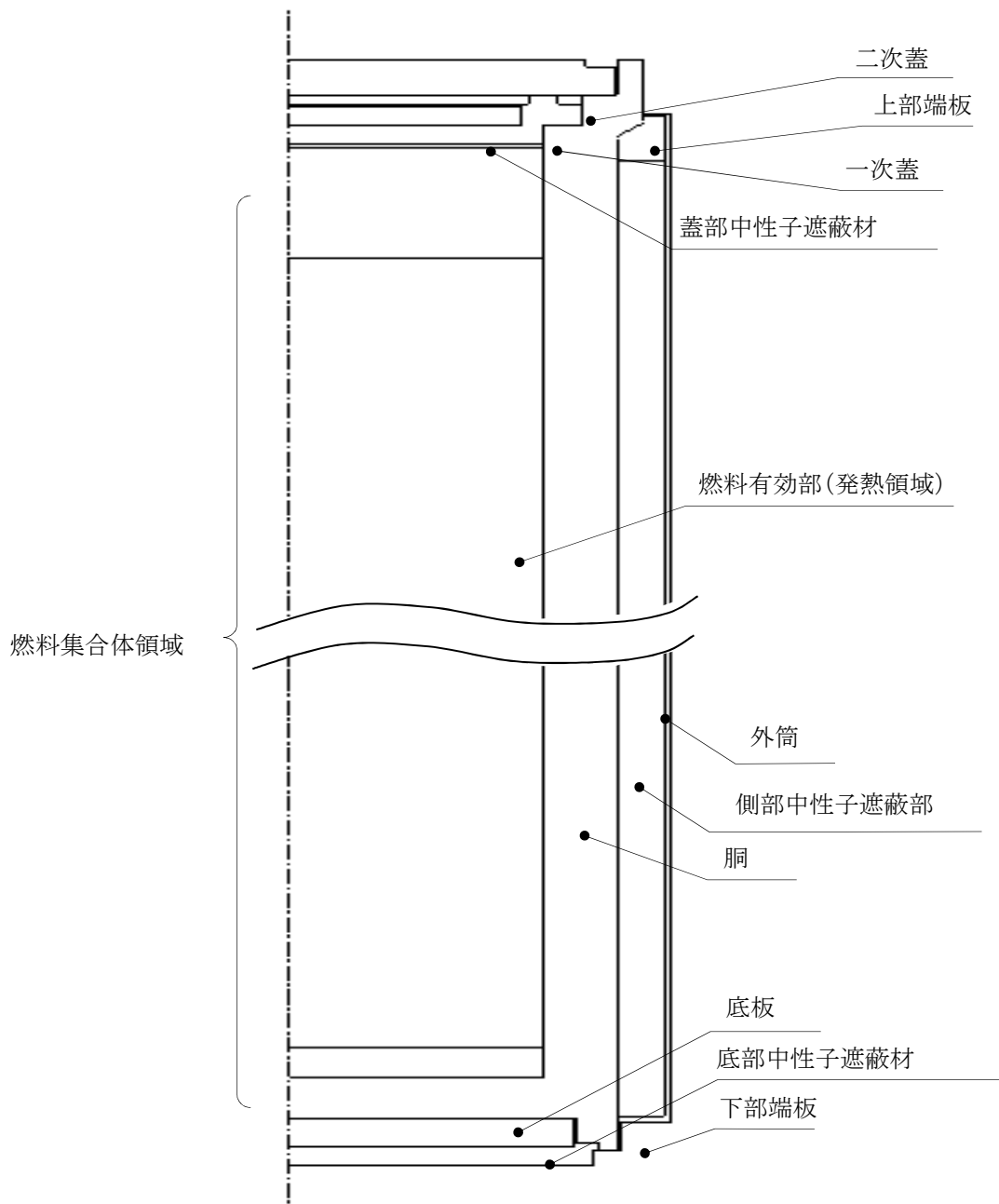


図 1. 1-2 軸方向断面モデル

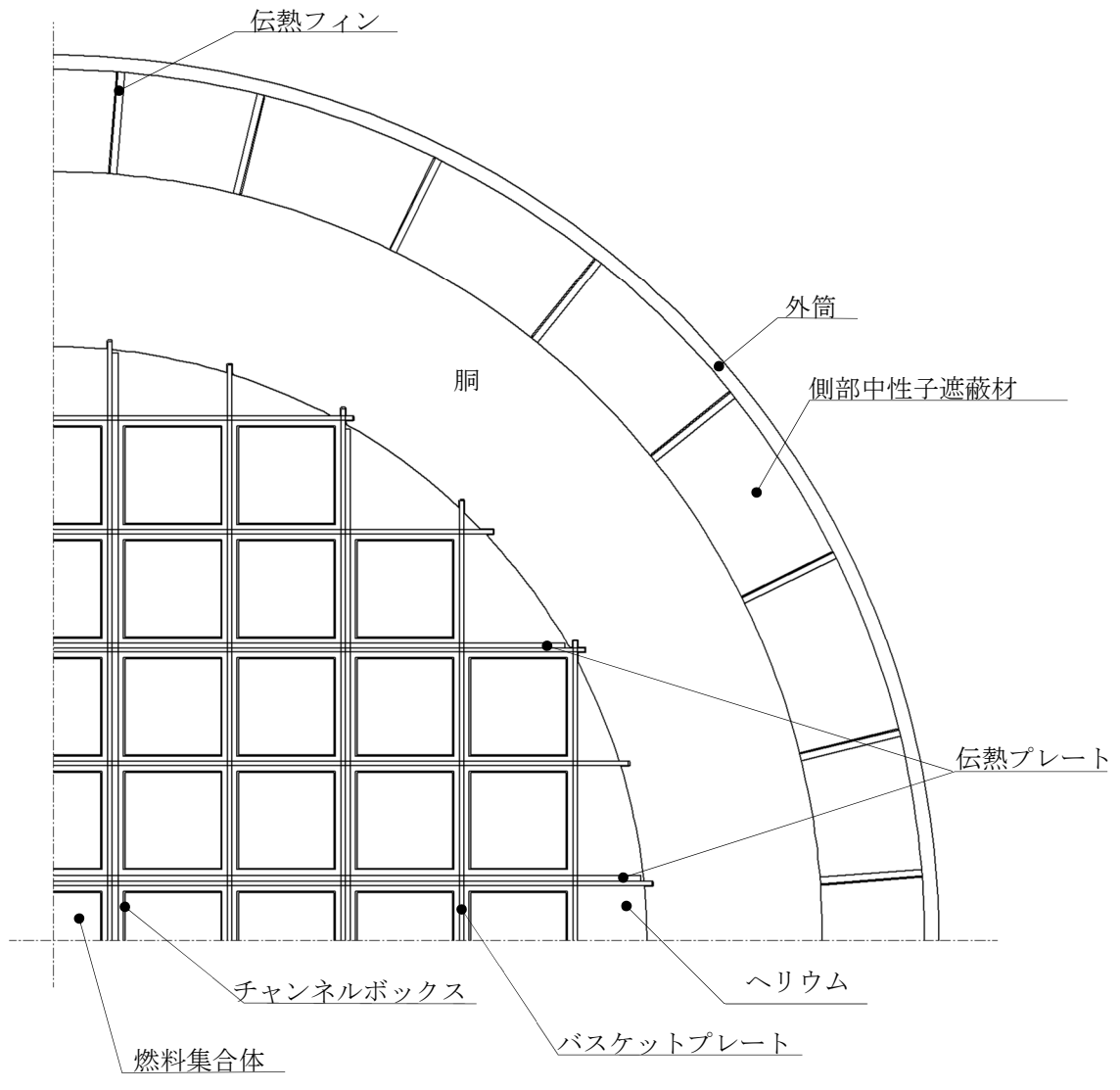
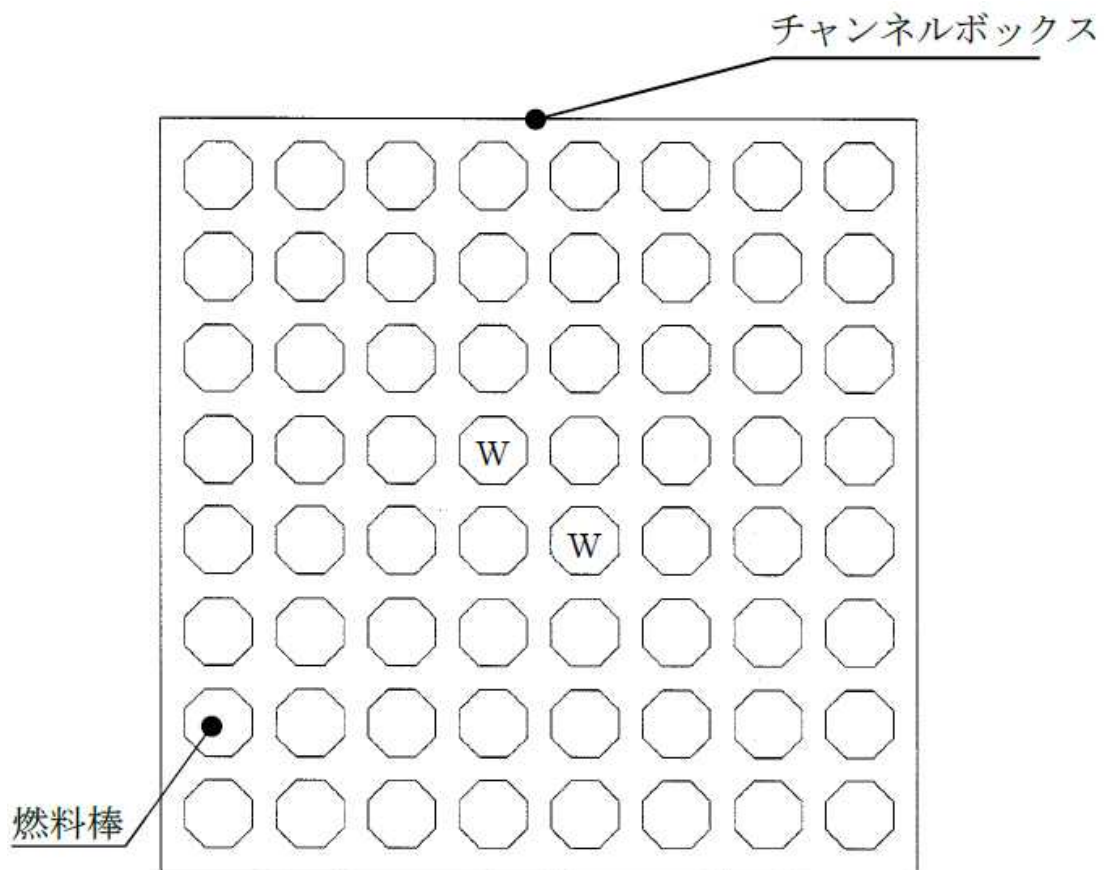
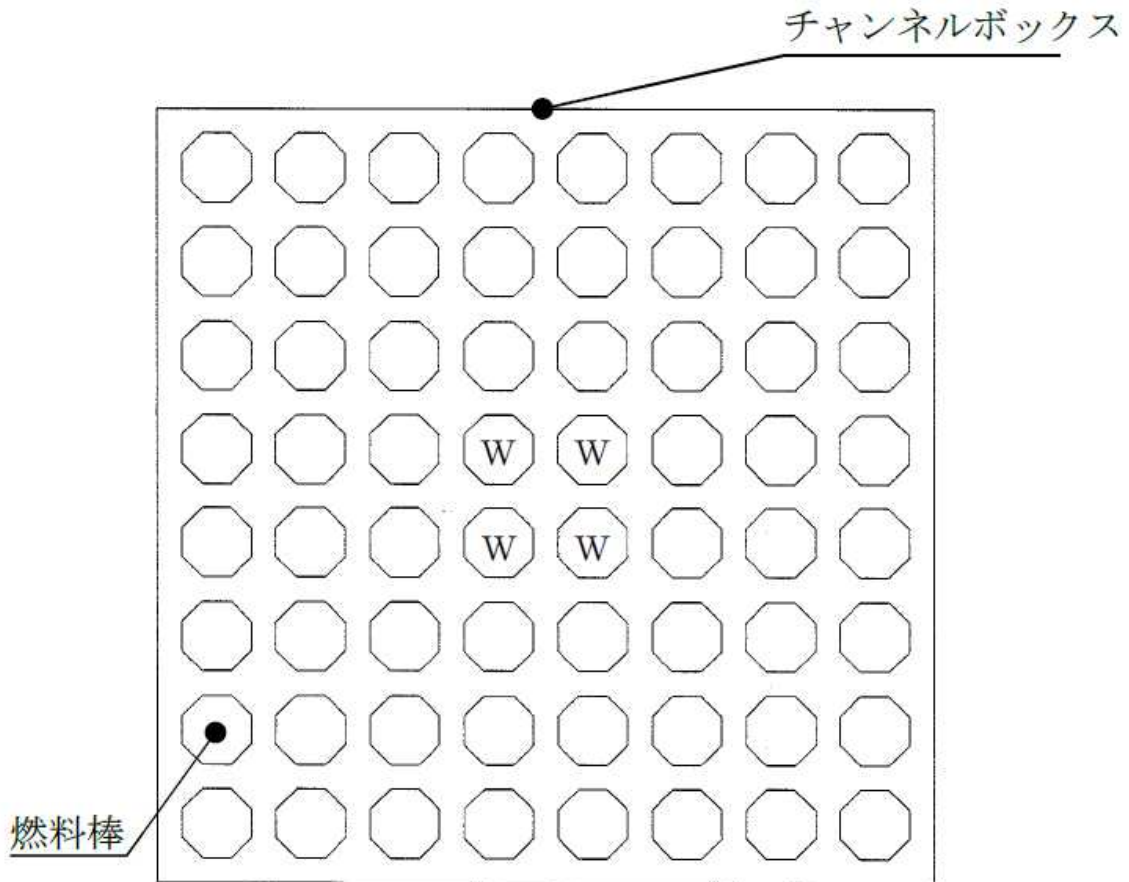


図1. 1-3 半径方向断面モデル



注) Wはウォーターロッドであり，発熱はない。

図1. 1-4 (1) 燃料集合体断面モデル  
(新型8×8ジルコニウムライナ燃料，新型8×8燃料)



注) Wはウォーターロッドであり，発熱はない。

図1. 1-4 (2) 燃料集合体断面モデル  
(高燃焼度8×8燃料)

表1. 1-3 評価条件

項目	評価条件
収納体数 (体)	69
姿勢	横置き
発熱量 (kW)	15.3 <sup>注1)</sup> / 10.4 <sup>注2)</sup>
周囲温度 (°C)	空気：45 コンクリートモジュール内面：65

注1) 配置(i)及び配置(ii)

注2) 配置(iii)

#### (5) 評価方法

はじめに、輸送貯蔵兼用キャスク B 各部の温度分布を軸方向断面モデルにて求める。軸方向断面モデルでは、燃料集合体の軸方向発熱分布を考慮する。

次に、径方向断面モデルにて輸送貯蔵兼用キャスク B 中央断面各部の温度分布及びチャンネルボックスの最高温度を求める。径方向断面モデルでは、径方向の発熱分布を考慮して、燃料の配置制限に従い、中央に最高燃焼度燃料に対応した発熱量の燃料を配置し、当該断面の発熱量が設計発熱量の設定と等しくなるように外周には低い発熱量の燃料を配置する。また、径方向断面モデルでは、熱の軸方向移動による蓋板上面や底板下面からの放熱を模擬できないため、輸送貯蔵兼用キャスク B の温度分布が現実に比べて高めとなる。このため、軸方向断面モデルで得られた結果に基づいて軸方向への熱の移動を考慮する。

最後に、径方向断面モデルの熱解析から得られたチャンネルボックスの温度分布を境界温度として燃料集合体断面モデルによる熱解析を実施し、燃料被覆管の温度分布を求める。

解析は ABAQUS コードを用いる。

#### (6) 評価結果

評価結果を表 1. 1-4 に示す。本表に示すとおり、使用済燃料の健全性を示す燃料被覆管の温度及び輸送貯蔵兼用キャスク B を構成する各部材はいずれの配置でも設計基準温度を下回っており、熱的健全性は維持される。

表 1. 1-4 評価結果

(単位：℃)

部材	評価結果			設計基準 温度	備考
	配置(i)	配置(ii)	配置(iii)		
燃料被覆管	249	252	190	300 <sup>注1)</sup>	使用済燃料
				200 <sup>注2)</sup>	
レジン	117	117	99	150	中性子遮蔽材
炭素鋼	123	123	104	350	密封容器
	83	83	76		二次蓋
アルミニウム合金, ニッケル基合金	86	87	78	130	金属ガスケット
ボロン添加 ステンレス鋼	238	241	182	300	バスケット

注 1) 配置(i)及び配置(ii)

注 2) 配置(iii)

(実施計画：II-2-13-添 4-2-1~6)



### 型式証明申請書との比較について

評価項目及び評価項目に対する型式証明申請書と 1F 使用条件を表 1 に示し、除熱解析フローを図 1 に示す。

表 1 より 1F 使用条件は型式証明申請書と同一または型式証明に包絡しており、型式証明申請書はより保守的な評価である。

表 1 型式証明申請書と 1F 使用条件の評価項目に対する比較

項目		型式証明申請書	1F 使用条件	
仕様	使用済燃料	燃料型式	・ BJ, STEP II, RJ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・型式証明で規定された燃料のみをキャスクに装填しキャスク仮保管設備で保管する</li> <li>・なお, 型式証明で規定された燃料が 1~6 号機燃料取り出しに必要な基数分 (増設キャスク 30 基分) あることを確認済み</li> </ul>
		濃縮度	・ BJ:2.88, STEP II :3.35, RJ:2.88	
		燃焼度	・ 燃料型式及び燃料配置ごとに規定されている	
		冷却期間		
		収納体数	・ 69 体 <sup>※</sup>	
崩壊熱評価		・ 燃焼計算コード ORIGEN2 <sup>※</sup>	—	
解析条件	キャスク仕様	構造	・ HDP-69B (B) 型	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ HDP-69B 型</li> <li>・ 型式証明の認可キャスク (HDP-69B (B) 型) と同一仕様</li> </ul>
		材料		
		使用済燃料配置		
	貯蔵施設境界条件	周囲温度	・ 45℃ <sup>※</sup>	・ 同左
		壁面温度	・ 65℃ <sup>※</sup>	・ 同左
		キャスク配列	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 縦置き</li> <li>・ 周囲のキャスク影響を考慮した形態係数 0.232 を設定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 横置き</li> <li>・ 周囲の影響がないため形態係数 1 を設定 (型式証明よりも熱が逃げやすい条件設定)</li> </ul>
解析モデル	キャスク		・ 全体モデル (軸方向断面モデル) <sup>※</sup>	・ 同左
			・ 輪切りモデル (径方向輪切りモデル) <sup>※</sup>	・ 同左
	燃料被覆管		・ 燃料集合体モデル <sup>※</sup>	・ 同左
伝熱解析		・ 伝熱解析コード ABAQUS <sup>※</sup>	—	

※：既設評価と同一

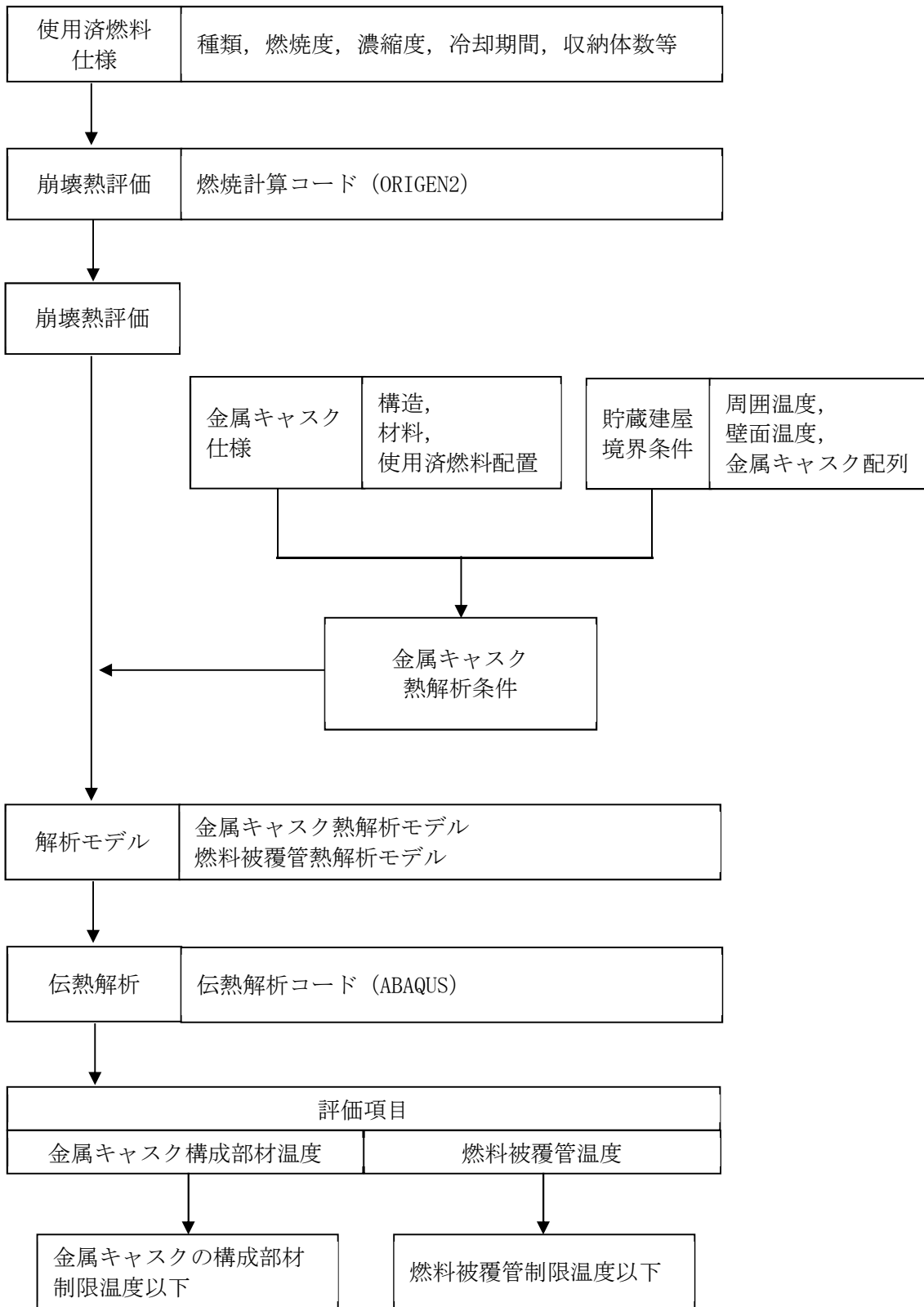


図1 除熱解析フロー図

## 除熱解析に用いるコード (ABAQUS) について

### (1) 概要

ABAQUS コードは、米国 Hibbitt, Karlsson & Sorensen, Inc. (HKS 社) で開発された有限要素法に基づく伝熱解析等の汎用解析コードであり、輸送キャスクの伝熱解析などに広く利用されている。

### (2) 機能

ABAQUS コードは、伝熱解析に際して以下の機能を有している。

- ① 定常、非定常のいずれの解も得ることができる。
- ② 一次元～三次元の任意形状の構造に対して解くことが可能である。
- ③ 初期条件 (温度) は要素ごとに変化させることができ、計算ステップの自動決定も可能である。
- ④ 境界条件として、時間に依存する熱流束、温度、伝導、対流及びふく射が考慮できる。
- ⑤ 構成物質の相変態が考慮できる。

### (3) 解析フロー

ABAQUS コードの解析フローを図 2 に示す。

### (4) 使用実績

ABAQUS コードは、多くの伝熱解析に使用された実績がある。

### (5) 検証方法

貯蔵キャスクの定常伝熱試験に対して ABAQUS による解析結果と試験結果を比較・検討し、本コードの妥当性が検証されている<sup>1)</sup>。

1) 山川秀次, 五味義雄, 尾崎幸男, 尾崎明朗「使用済燃料キャスク貯蔵技術の確立—キャスクの伝熱特性評価—」, 電中研報告書, U92038, (1993)

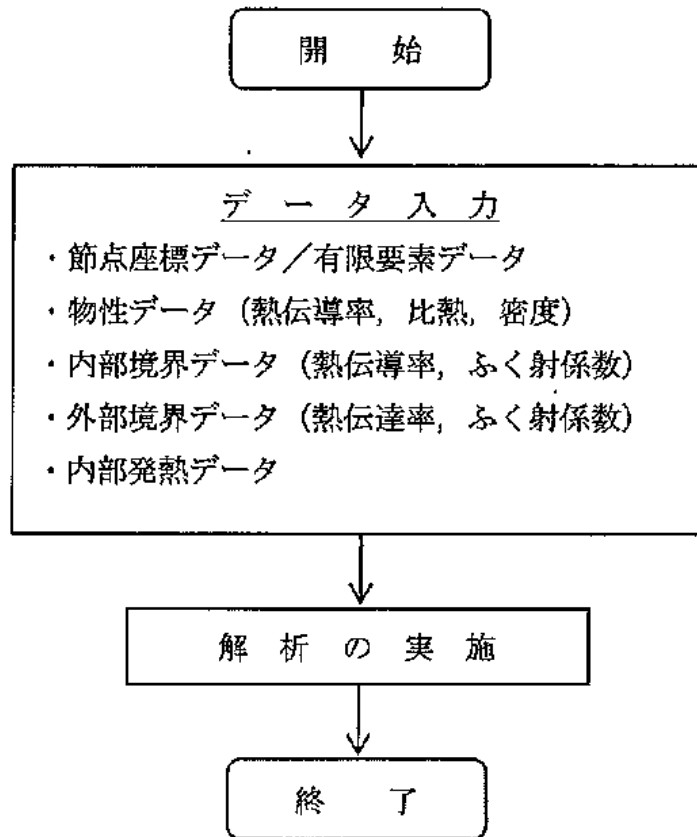


図2 ABAQUS コードの解析フロー図

## 除熱解析に用いるコード (ORIGEN2) について

### (1) 概要

ORIGEN2 コードは、米国オークリッジ国立研究所 (ORNL) で開発された炉内中性子束の 1 点近似による燃焼計算コードである。ORIGEN2 コードは汎用解析コードであり、輸送キャスクの崩壊熱計算等に広く利用されている。

### (2) 機能

ORIGEN2 コードは、燃焼解析に際して以下の機能を有している。

- ① 燃料の炉内での燃焼計算、炉取出し後の減衰計算により、冷却期間に対応した崩壊熱、放射線の強度、各核種の放射エネルギー等が求められる。
- ② 原子炉の炉型と燃料の組合せに対し、中性子エネルギースペクトルの違いにより重みをつけた断面積ライブラリが内蔵されており、任意に選択できる。
- ③ 計算結果は、放射化生成物、アクチニド、核分裂生成物に分類して出力される。
- ④ 燃焼計算に必要な放射性核種データ (崩壊熱、ガンマ線のエネルギー分布、自発核分裂と  $(\alpha, n)$  反応により発生する中性子源強度等) に関しては、ORIGEN2 コード専用のライブラリがあり、これを用いる。

### (3) 計算フロー

ORIGEN2 コードの計算フローを図 3 に示す。

### (4) 使用実績

ORIGEN2 コードは、輸送キャスク、核燃料施設の崩壊熱計算に広く使用されている<sup>1)</sup>。

### (5) 検証方法

汎用コードの導入評価<sup>1)</sup> が実施されていることが確認されている。

大型実験/ベンチマーク試験による検証<sup>2)</sup> が実施されていることが確認されている。

1) A. G. Croff, “ORIGEN2 Isotope Generation and Depletion Code MATRIX EXPONENTIALMETHOD”, CCC-371 (1987)

2) (社) 日本原子力学会 “原子炉崩壊熱とその推奨値”, 1989 年 8 月

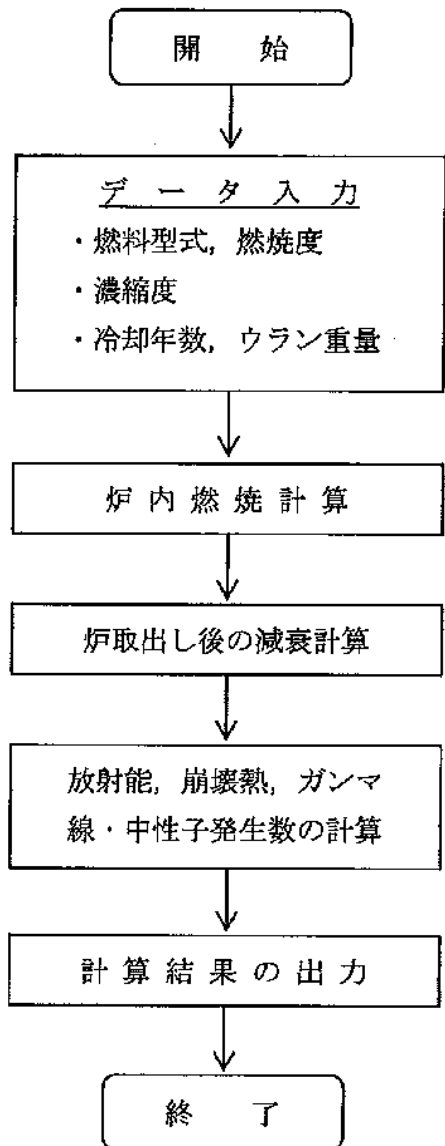


図3 ORIGEN2 コードの計算フロー図

(実施計画：II-2-13-添4-1-12～15)

## 1.2 輸送貯蔵兼用キャスク用コンクリートモジュール

評価項目及び評価項目に対する既設 65 基と増設 30 基の比較を表 1. 2-1 に示す。

表 1. 2-1 より既設 65 基と増設 30 基の除熱評価は同一または既設評価に包絡するため、増設 30 基で要求される除熱機能を有している。

表 1. 2-1 既設 65 基と増設 30 基の評価項目に対する比較

項目			既設 65 基と増設 30 基の比較
仕様	輸送貯蔵兼用キャスク，輸送貯蔵兼用キャスク用コンクリートモジュール，コンクリート基礎	寸法	・既設と増設は同一仕様
		物性値	
解析条件	設計給気温度		・既設と増設は同一エリアに設置するため設計給気温度は同一
	発熱量		・除熱解析上の発熱量は $BJ = \text{STEP II} > RJ$ であるため，既設と増設で発熱量は同一または増設は既設に包絡される
	圧力損失係数		・既設と増設は同一仕様であるため圧力損失係数も同一
	境界条件		・既設と増設で同一の断熱条件
解析モデル			・既設と増設は同一仕様であるため解析モデルも同一
除熱解析	解析コード		・既設と増設で同一の解析コード FLUENT を使用



## 2 密封機能

1F 使用条件は型式証明の評価条件と同一または包絡されるため、型式証明と同一のリークテスト判定基準を設定することで輸送貯蔵兼用キャスク（増設 30 基）の密封機能は維持される。

表 2-1 型式証明申請書と 1F 使用条件の評価項目に対する比較

項目		型式証明申請書	1F 使用条件	
評価 条件	設計貯蔵期間	・ 60 年 <sup>※1</sup>	・ 50 年 <sup>※2</sup>	
	キャスク 本体内部 初期温度	キャスク内部 代表温度 (最高温度)	・ 262℃ (除熱解析結果)	・ 252℃ (除熱解析結果)
		シール部 代表温度 (最低温度)	・ -22.4℃ <sup>※1</sup>	・ -4.5℃ <sup>※3</sup>
	圧力	キャスク内部	・ $8.0 \times 10^4$ Pa abs (初期) <sup>※1</sup>	・ 同左
		蓋間空間	・ $4.1 \times 10^5$ Pa abs (初期) <sup>※1</sup>	・ 同左
		大気圧	・ $9.7 \times 10^4$ Pa abs <sup>※1</sup>	・ 同左
	キャスク本体内部空間容積	・ 約 6m <sup>3</sup> <sup>※1</sup>	・ 同左	
	内部流体	・ ヘリウム <sup>※1</sup>	・ 同左	
漏えい率計算		・ ボイル・シャルルの法則 <sup>※1</sup> ・ クヌッセンの式 <sup>※1</sup>	—	
基準漏えい率 Qs		・ $2.4 \times 10^{-6}$ Pa・m <sup>3</sup> /s <sup>※1</sup>	—	
リークテスト判定基準 Qt		・ $1.6 \times 10^{-6}$ Pa・m <sup>3</sup> /s <sup>※1</sup>	—	

※1：既設評価と同一

※2：実施計画では設計貯蔵期間を 50 年としているが、設計承認書や型式証明申請書では 60 年で評価されている

※3：小名浜特別地域気象観測所で観測された 2007 年 12 月～2012 年 2 月の冬季(12 月～2 月)毎正時観測データにおける累積出現率が 99%以上となる温度

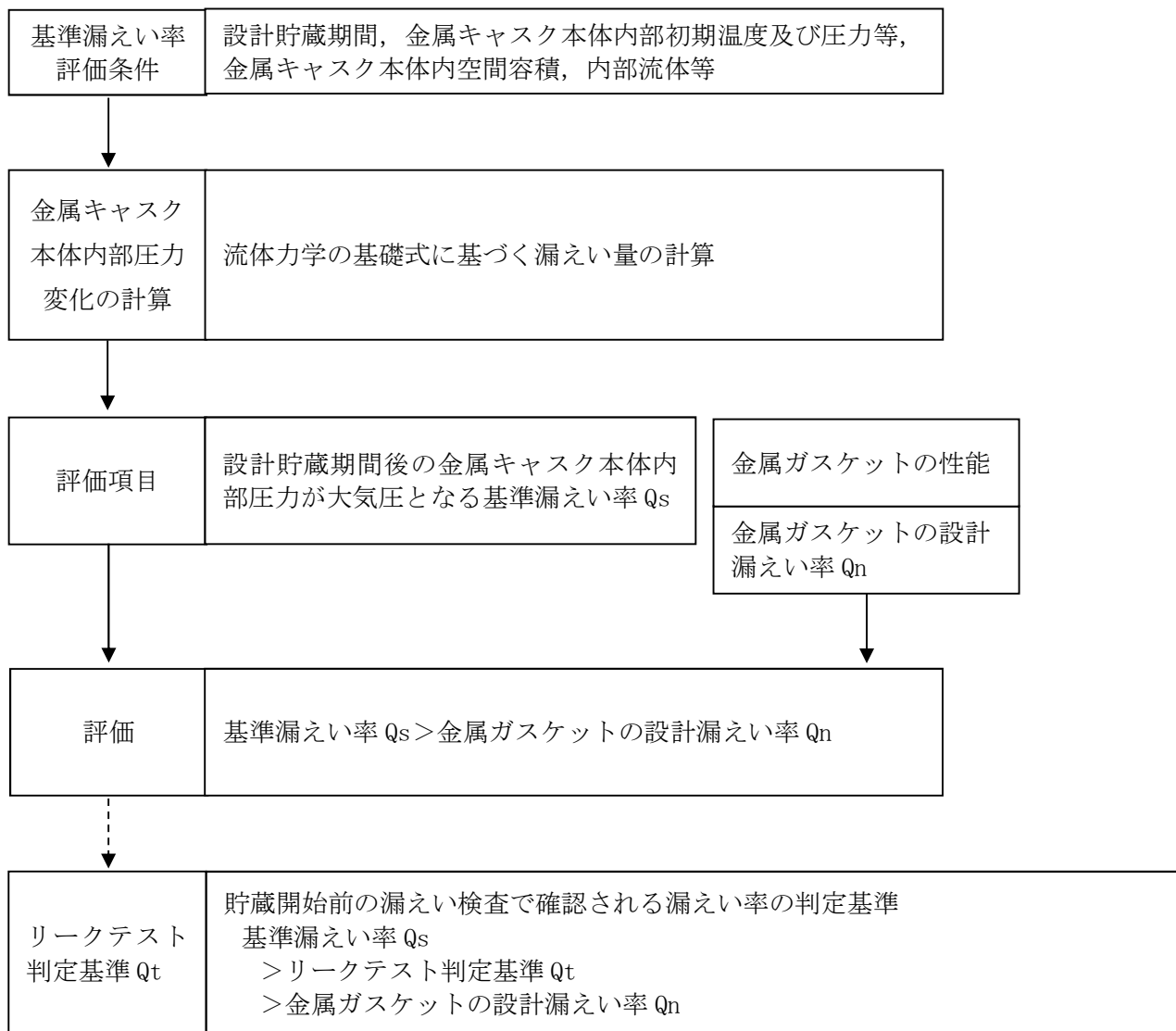


図 2 - 1 密封評価フロー図

### 3 遮蔽機能

1F 使用条件は型式証明の評価条件と同一または包絡されるため、型式証明より輸送貯蔵兼用キャスク（増設 30 基）に要求される遮蔽機能を有する。

表 3-1 型式証明申請書と 1F 使用条件の評価項目に対する比較

項目		型式証明申請書	1F 使用条件	
仕様	使用済燃料	燃料型式	・ BJ, STEP II, RJ	
		濃縮度	・ BJ:2.88, STEP II :3.35, RJ:2.88	
		燃焼度	・ 燃料型式及び燃料配置ごとに規定されている	
		冷却期間		
線源強度評価	使用済燃料	・ 燃焼計算コード ORIGEN2 <sup>※</sup>	—	
	使用済燃料構造材, チャンネルボックス	・ 構造材の放射化計算式 <sup>※</sup>	—	
線源強度		・ ガンマ線線源強度 <sup>※</sup> ・ 中性子線源強度 <sup>※</sup>	—	
解析条件	キャスク仕様	構造	・ HDP-69B(B)型	・ HDP-69B 型 ・ 型式証明の認可キャスク (HDP-69B(B)型) と同一仕様
		材料		
		使用済燃料収納体数		
	使用済燃料収納位置	・ 縦置き ・ 貯蔵時の燃料と底板との隙間をなくした保守的なモデルとする	・ 横置き ・ 貯蔵時の隙間をなくしたモデルとする (縦置きと同様のモデル)	
中性子遮蔽材の質量減損量		・ 設計貯蔵期間より 2% <sup>※</sup>	・ 設計貯蔵期間は型式証明に包絡されるため質量減損量も包絡	
解析モデル		・ ガンマ線遮蔽解析モデル <sup>※</sup> ・ 中性子遮蔽解析モデル <sup>※</sup>	・ 同左 ・ 同左	
遮蔽解析		・ 輸送計算コード DOT3.5 <sup>※</sup> ・ 断面積ライブラリ DLC-23/CASK <sup>※</sup>	— —	

※：既設評価と同一

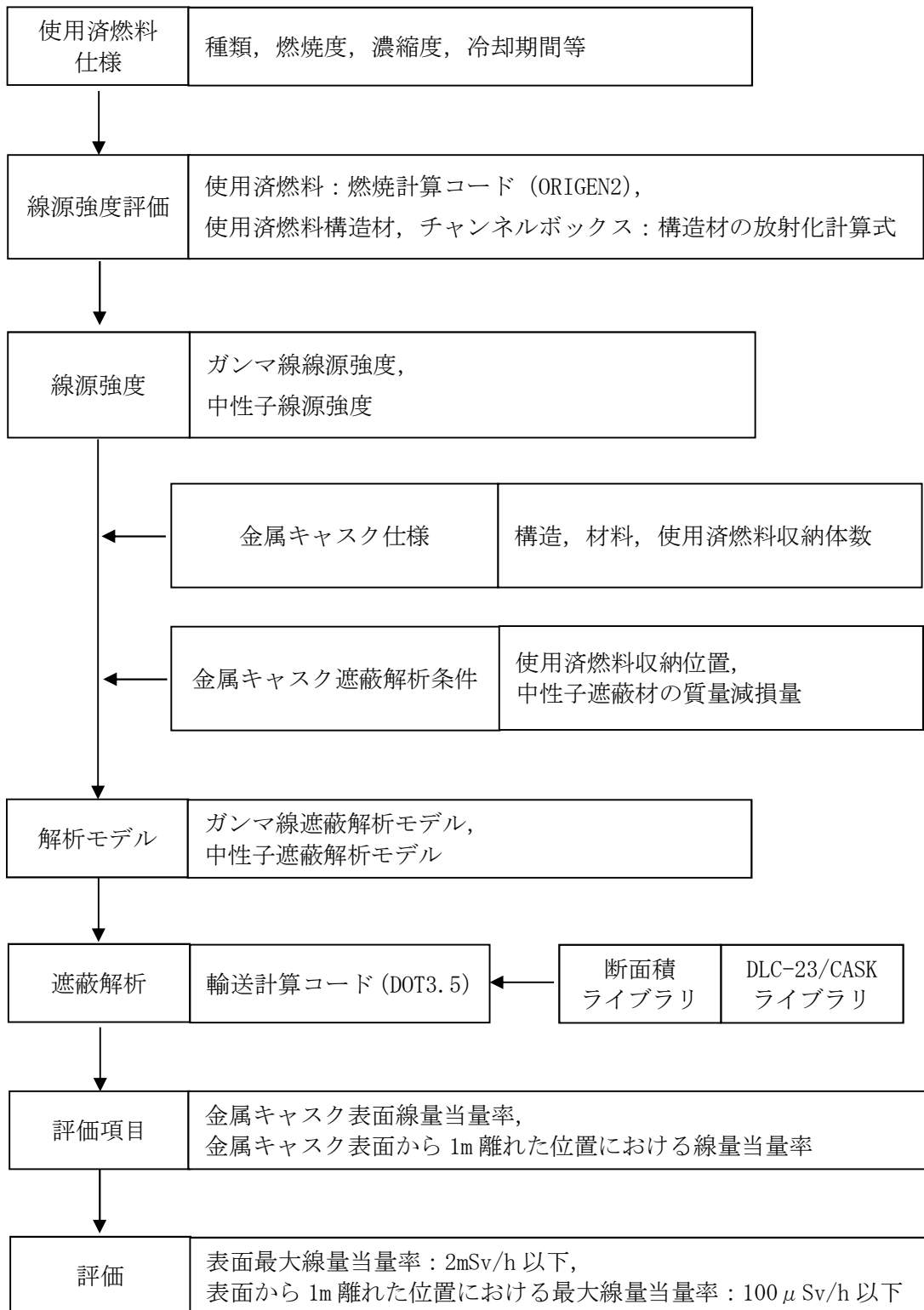


図 3 - 1 遮蔽解析フロー図

表 3 - 2 評価結果

(単位： $\mu$ Sv/h)

	表面			表面から 1m		
	側部	蓋部	底部	側部	蓋部	底部
型式証明申請書	1100 <sup>※1</sup>	—	—	—	—	81
補足説明資料 <sup>※2</sup>	1107.7	193.9	290.3	77.9	75.0	80.3
設計基準値	2000			100		

※ 1 : 型式証明申請書では 1.1mSv/h で記載されているため、 $\mu$ Sv/h に変換した値を記載

※ 2 : 「補足説明資料 1-2 HDP-69B(B)型の遮蔽設計に関する説明資料 (FRO-TA-0003)」

#### 4 臨界防止機能

1F 使用条件は型式証明の評価条件と同一または包絡されるため、型式証明より輸送貯蔵兼用キャスク（増設 30 基）に要求される臨界防止機能を有する。

表 4-1 型式証明申請書と 1F 使用条件の評価項目に対する比較

項目		型式証明申請書	1F 使用条件	
仕様	使用済燃料	燃料型式	・ BJ, STEP II, RJ	
		濃縮度	・ BJ:約 3.1, STEP II :3.66, RJ:約 3.1	
	金属キャスク	構造	・ HDP-69B(B)型	
		材料		
使用済燃料 収納体数	・ HDP-69B 型 ・ 型式証明の認可キャスク (HDP-69B(B)型)と同一仕様			
解析条件	キャスク仕様	内部水密度	・ 想定されるいかなる場合にも臨界に達することを防止する設計であるため、解析条件はいずれも保守的であり 1F 使用条件は包絡される	
		使用済燃料 収納配置		・ 1.0g/cm <sup>3</sup> **
		金属キャスク 配列		・ キャスク中心偏向配置** ・ キャスクに外接する四角柱表面で完全反射（無限配列）**
燃料棒単位セル計算		・ 輸送計算コード XSDRNPM**	—	
		・ 中性子断面積ライブラリ 238 群ライブラリ**	—	
解析モデル		・ 臨界解析モデル**	・ 同左	
臨界解析		・ 臨界解析コード (KENO-V. a) **	—	

※：既設評価と同一

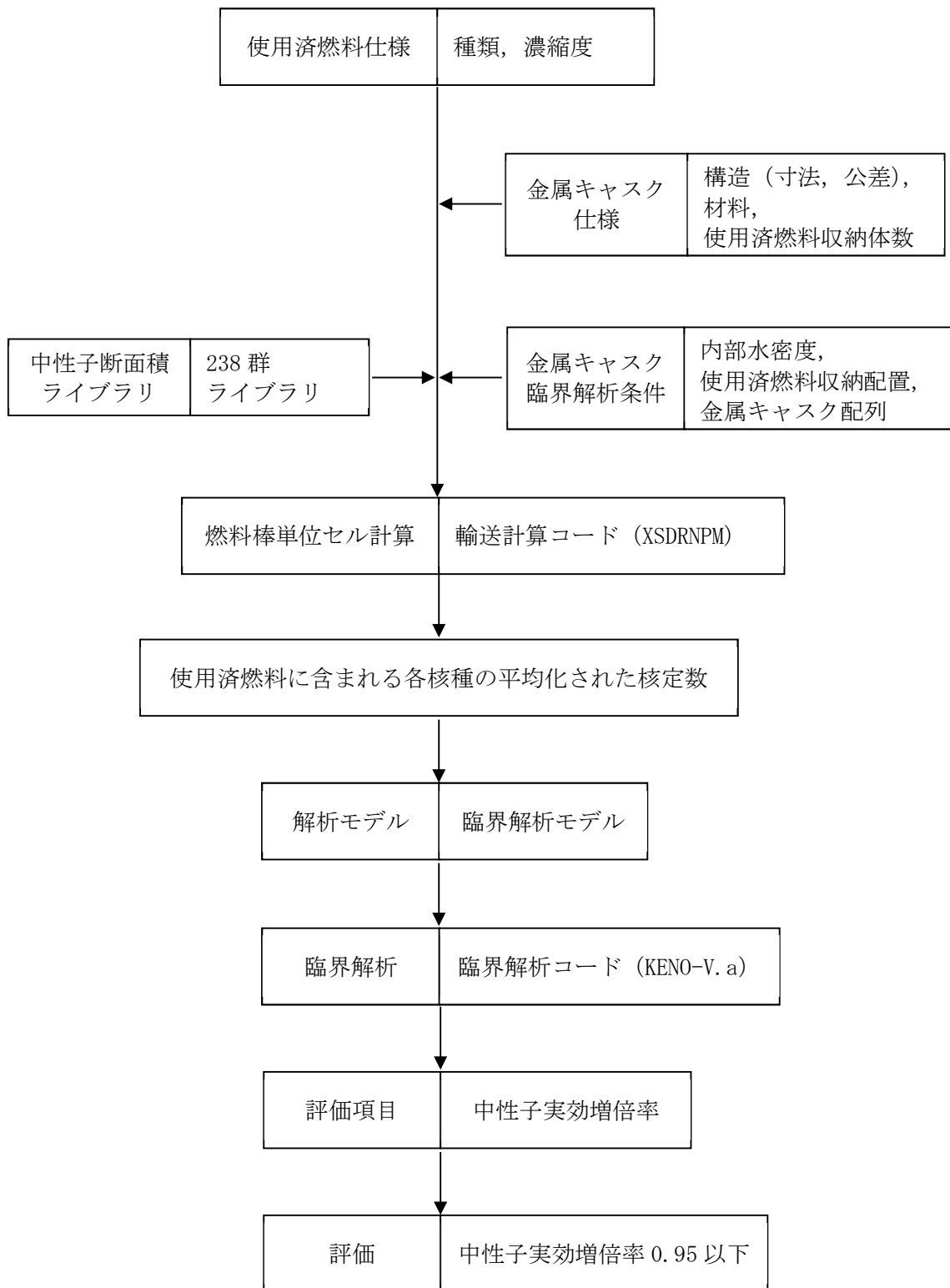


図 4-1 臨界解析フロー図

表 4 - 2 評価結果

		実効増倍率※	設計基準値
型式証明申請書	乾燥状態	0.41	0.95
	冠水状態	0.89	

※：モンテカルロ計算の統計誤差（ $3\sigma$ ）を考慮した値



キャスク仮保管設備の維持・管理については以下に記載の通り実施する。

## 5 二重蓋間圧力及び表面温度の監視

キャスク仮保管設備には、乾式キャスクの一次蓋、二次蓋間の圧力を監視することにより密封機能を監視する密封監視装置と、乾式キャスク表面の温度を監視することにより乾式キャスクの除熱機能を監視する表面温度監視装置を設置する。

監視装置の概要を図5-1に示す。

密封監視装置は各乾式キャスクに圧力センサ2個をそれぞれ系統分離し2系統として設置され、万一、蓋間圧力が設定値まで低下した場合には免震重要棟に設置した監視装置にて警報が確認でき、指示値も確認できる。

表面温度監視装置は各乾式キャスクに温度センサ1個を設置し、万一、表面温度が設定値まで上昇した場合には免震重要棟に設置した監視装置にて警報が確認でき、指示値も確認できる。

なお、温度センサの接続ケーブルが断線によりデータが採取されない場合にも免震重要棟に設置した監視装置に警報が発生する。

また、密封監視装置および表面温度監視装置のデータは記録される。

監視装置の仕様を表5-1に示す。

## 6 放射線量の監視

キャスク仮保管設備内に設置するエリア放射線モニタにより放射線量の監視を行うとともに、モニタリングポストにより周辺公衆に対する影響を確認する。また、巡視点検時にキャスク仮保管設備の線量測定を行う。エリア放射線モニタおよびモニタリングポストの測定値は免震重要棟に表示する。

エリア放射線モニタの仕様を表6-1に示す。また、モニタリングポストの位置を図6-1に、エリア放射線モニタの配置図を図6-2に示す。エリア放射線モニタは、乾式キャスクからの放射線量が大幅に変動する事象が発生した場合に放射線量の監視ができるよう、図6-2に示す第1レーンから第4レーンの東部と西部に1基ずつ、計8基設置する。各エリア放射線モニタの監視範囲である乾式キャスクは、図6-2の青枠で示す、対応する各レーン毎の乾式キャスクである。各レーン毎に乾式キャスクを搬入する前までに、対応するエリア放射線モニタを監視可能にする。なお、エリア放射線モニタの検出位置は乾式キャスクの設置高さおよび作業員の身長を考慮した位置に設置する。

## 7 巡視点検

キャスク仮保管設備に対しては定期的に巡視点検を行い、キャスク仮保管設備の状態の異常の有無を確認する。

また、地震発生時には適宜、巡視点検を行い、コンクリートモジュール及び乾式キャスクの外観などを確認する。

## 8 運搬時の運用

「Ⅲ. 3. 3. 1 放射線防護及び管理」において、管理区域と同等の管理を要する区域として管理対象区域を定義しており、「Ⅲ. 特定原子力施設の保安」により作業場所も管理対象区域に設定される。

構内輸送時に講じる措置は、「東京電力株式会社 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する規則の第 14 条の 2（工場又は事業所において行われる運搬）」に準じて実施する。

## 9 留意事項

乾式キャスクに収納する燃料は原子炉の運転中のデータや SHIPPING 検査により健全であることが確認された燃料とする。キャスク仕立て作業では真空乾燥を確実に行ない、残留水の除去を徹底するとともに、気密漏えい等の必要な確認を実施する。

また、仮保管中の二重蓋間圧力データ等の記録の保存については、「Ⅲ. 特定原子力施設の保安」等にて定めるものとする。

表 5 - 1 監視装置の仕様

項目	仕様	
名称	蓋間圧力検出器	温度検出器
検出器の個数	2 個/基	1 個/基
計測対象	蓋間圧力	外筒表面温度
取付箇所	二次蓋	外筒表面
計測範囲	50~500kPa abs	-20~160℃
警報動作範囲	50~500kPa abs 注1)	-20~160℃注2)

注1) 警報設定値は別途定める。

注2) 警報設定値は別途定める。

表 6 - 1 エリア放射線モニタの仕様

項目	仕様
基数	8 基
種類	半導体検出器
計測対象	ガンマ線量率
取付箇所	設備敷地内
検出高さ	基礎から 600mm 以上 1800mm 以下
計測範囲	$10^{-1} \mu\text{Sv/h} \sim 10^5 \mu\text{Sv/h}$ 注)

注) 警報設定値はバックグラウンドレベルを鑑み設定する。

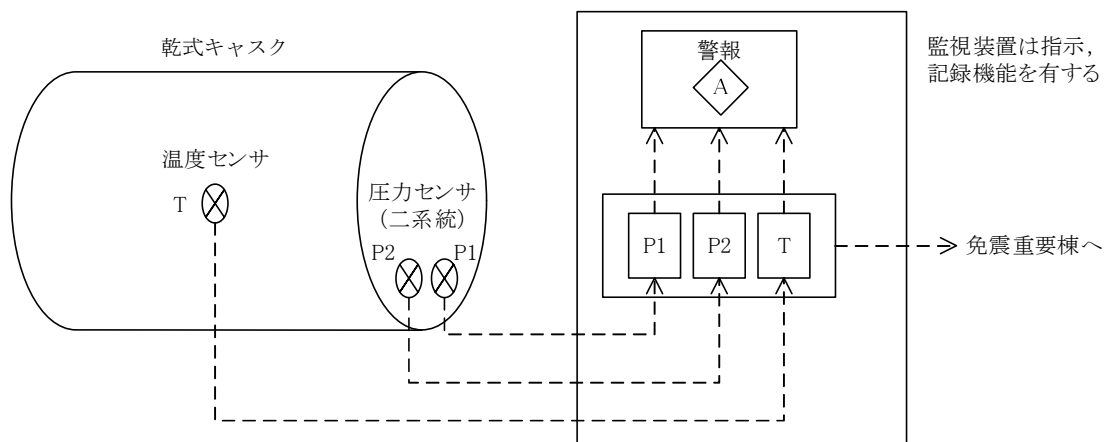


図 5 - 1 監視装置の概要

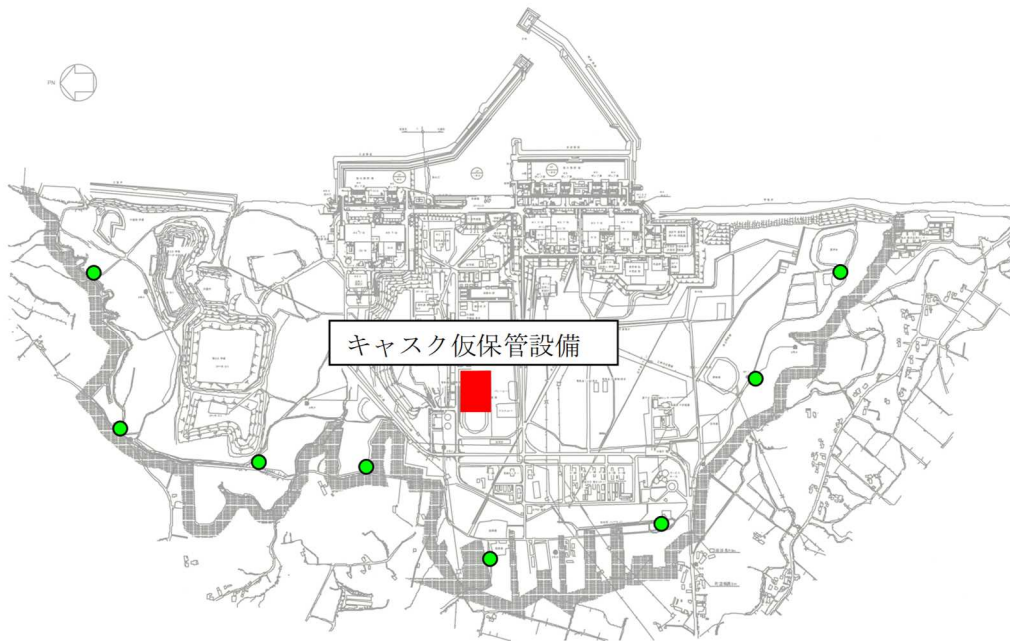


図 6-1 モニタリングポスト位置図

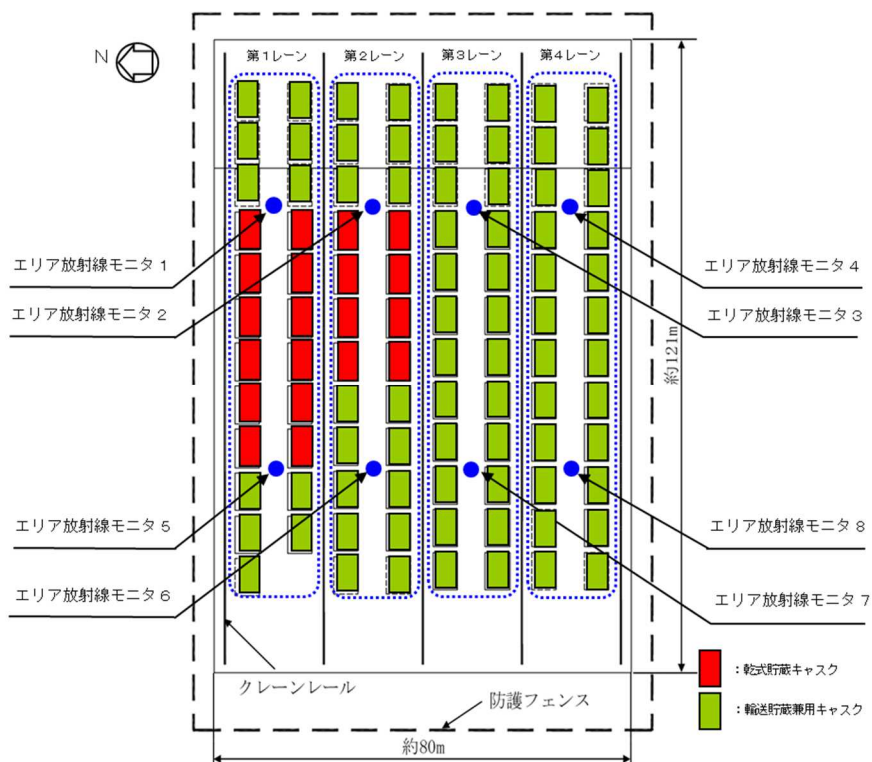


図 6-2 エリア放射線モニタ配置図

(実施計画：II-2-13-添 6-1~4)

## Ⅱ.12 作業者の被ばく線量の管理等への 適合性

措置を講ずべき事項

## II. 設計，設備について措置を講ずべき事項

### 12. 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。

作業者の被ばく管理等において，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，遮蔽，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。

---

## 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)

## 2 放射線管理に係る補足説明

### 2.1 放射線防護及び管理

#### 2.1.1 放射線管理

##### (1) 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。



(2) 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-3-3-1-2-2～4)

## Ⅱ.13 緊急時対策への適合性

措置を講ずべき事項

## II. 設計，設備について措置を講ずべき事項

### 13. 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。

#### (1) 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

緊急時において必要な施設及び安全避難経路等事故等において必要な施設及び緊急時の資機材等の整備を行う。

#### (2) 緊急時の避難指示について

緊急時の特定原子力施設内に居るすべての人に対し避難指示を実施できるようにする。

#### (3) 所外必要箇所との通信連絡設備の多重性及び多様性について

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。

---

## 1 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。

## 2 緊急時の避難指示について

### ○ 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員に対して上記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。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。

(実施計画：II-1-13-1～3)

## Ⅱ.14 設計上の考慮への適合性

## Ⅱ.14.① 準拠規格及び基準への適合性



措置を講ずべき事項

## II. 設計，設備について措置を講ずべき事項

### 14. 設計上の考慮

#### 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。

キャスク仮保管設備は，構造強度，除熱，密封，遮蔽，臨界防止の各安全機能が以下の規則，告示及び内規に適合するように設計，材料の選定，製作されている。また，各条件を満足していることを検査により確認している。

#### ○輸送貯蔵兼用キャスク

- ・使用済燃料貯蔵施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則（平成 25 年 12 月 6 日付，平成 25 年原子力規制委員会規則第 24 号）
- ・使用済燃料貯蔵施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈（原管廃発第 1311272 号（平成 25 年 11 月 27 日原子力規制委員会決定））
- ・使用済燃料貯蔵施設に係る特定容器等の型式証明及び型式指定運用ガイド（原管廃発第 1311276 号（平成 25 年 11 月 27 日原子力規制委員会決定））
- ・使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則（令和 2 年 3 月 17 日付，令和 2 年原子力規制委員会第 8 号）
- ・使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則の解釈（令和 2 年 2 月 5 日 原規規発第 2002054 号-3 原子力規制委員会決定）
- ・核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則（昭和 53 年 12 月 28 日付，総理府令第 57 号）
- ・核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する技術上の基準に係る細目等を定める告示（平成 2 年 11 月 28 日付，科学技術庁告示第 5 号）
- ・使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格(JSME S FA1-2007)

○輸送貯蔵兼用キャスク用支持架台

- ・原子力発電所耐震設計技術規程 (JEAC4601-2008)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 2005 年版(2007 年追補版含む)  
(JSME SNC1-2005/2007)
- ・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 (2010 年版)
- ・コンクリート標準示方書 構造性能照査編 (2002)
- ・コンクリート標準示方書 設計編 (2007)

○輸送貯蔵兼用キャスク用コンクリートモジュール

- ・建築基準法施行令第 82 条
- ・建築基準法施行令第 86 条
- ・平成 12 年建設省告示第 1455 号
- ・福島県建築基準法施行細則
- ・建築基準法施行令第 87 条
- ・平成 12 年建設省告示第 1454 号
- ・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説
- ・鋼構造設計規準・同解説
- ・国土交通省告示
- ・建築基準法施行令第 91 条
- ・平成 12 年建設省告示第 1450 号
- ・平成 12 年建設省告示第 2464 号
- ・建築基準法施行令第 90 条
- ・平成 12 年建設省告示第 1451 号
- ・発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格(JSME S NE1-2003)

○クレーン

- ・クレーン構造規格 (平成 7 年 12 月 26 日 労働省告示第 134 号)

○コンクリート基礎

- ・原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008 (社) 日本電気協会
- ・乾式キャスクを用いる使用済み燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程  
JEAC4616-2009 (社) 日本電気協会
- ・コンクリート標準示方書 設計編 (2007) (社) 土木学会
- ・コンクリート標準示方書 構造性能照査編 (2002) (社) 土木学会
- ・原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震設計に関する安全性照査マニュアル (1992)  
(社) 土木学会

- ・原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（2005）（社）土木学会
- ・道路橋示方書・同解説 I 共通編 IV 下部構造編 （社）日本道路協会（平成 14 年）
- ・道路橋示方書・同解説 I 共通編 V 耐震設計編 （社）日本道路協会（平成 14 年）

## Ⅱ.14.② 自然現象に対する設計上の考慮 への適合性

措置を講ずべき事項

## II. 設計，設備について措置を講ずべき事項

### 14. 設計上の考慮

#### 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。

キャスク仮保管設備は，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

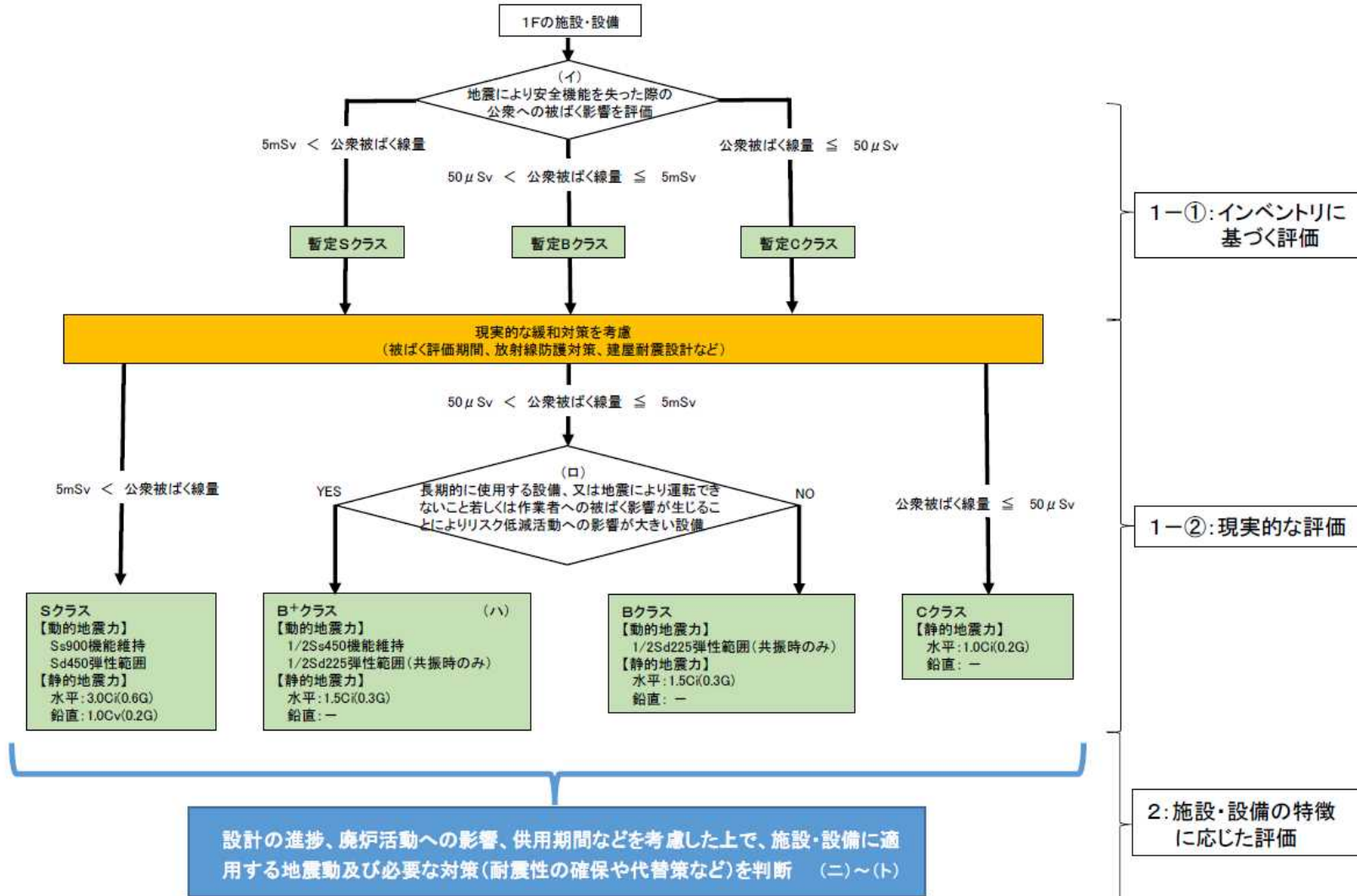
- ・安全機能を有する構築物，系統及び機器は，その安全機能の重要度，地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響（公衆被ばく影響）や廃炉活動への影響等を考慮した上で，核燃料物質を非密封で扱う燃料加工施設や使用施設等における耐震クラス分類を参考にして耐震設計上の区分を行うとともに，適切と考えられる設計用地震力に耐えられる設計とする。また，確保できない場合は必要に応じて多様性を考慮した設計とする。

(実施計画：II-1-14-1)

#### ○ 耐震設計

キャスク仮保管設備の耐震設計については，設備を構成する乾式キャスク，支持架台，コンクリートモジュール，クレーン及びコンクリート基礎について評価する。これらは 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公衆への被ばく影響を考慮した上で，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対し，安全機能を維持するために必要な構造強度を有する設計とする。

耐震クラス分類と施設・設備の特徴に応じた地震動の設定及び必要な対策を判断する流れ



(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※。

※：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。



各設備の耐震設計方針及び耐震評価を以下に記載する。

---

## 1 耐震設計方針

### (1) 耐震設計の基本方針

キャスク仮保管設備は、本文「設計方針」に基づき、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公衆への被ばく影響を考慮した上で、各設備に対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対し、設備の設計方針に示される除熱機能、密封機能、遮蔽機能、臨界防止機能等の安全機能が維持されていることを確認する。

### (2) 対象設備と構造計画

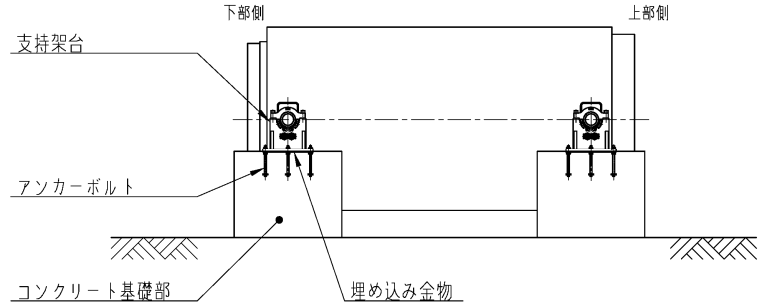
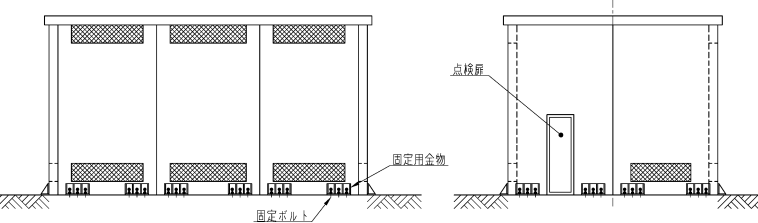
キャスク仮保管設備は、乾式キャスク、支持架台、コンクリートモジュール、クレーン、並びにコンクリート基礎から構成される。

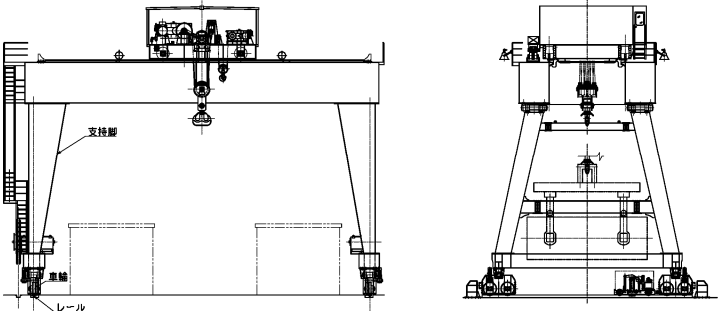
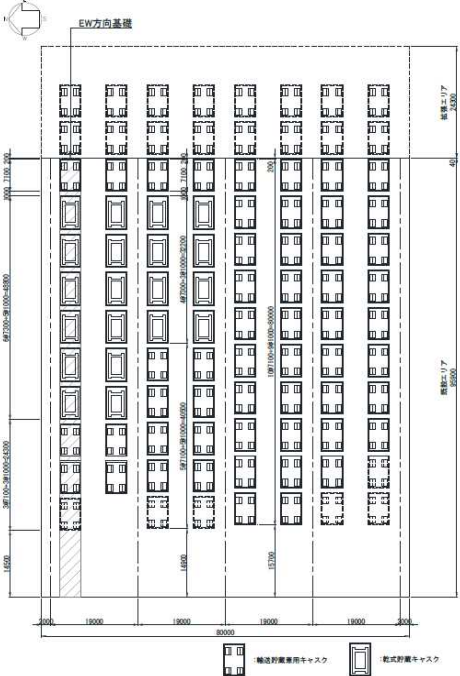
これらの設備のうち、乾式キャスクは、使用済燃料を収納し、除熱、密封、遮蔽、臨界防止等の基本的安全機能を有する。また、コンクリートモジュールについては、遮蔽機能を有する。このことから増設30基の耐震評価は、乾式キャスク及びコンクリートモジュールの健全性維持の観点から、次の設備を対象に実施する。

- ① 輸送貯蔵兼用キャスク及び支持架台
- ② コンクリートモジュール
- ③ クレーン
- ④ コンクリート基礎

表1-1に各設備の構造計画の概要と概略図を示す。

表 1-1 主要設備の構造計画

主要設備	構造計画の概要	概略構造図
① 輸送貯蔵兼用キャスク及び支持架台	<p>輸送貯蔵兼用キャスクは横置きで、トレーニオンを介し鋼製の支持架台で支持され、支持架台は、アンカーボルトで埋め込み金物に固定される。埋め込み金物は、アンカーボルトで基礎から立ち上げたコンクリート基礎部に固定される。</p>	
② コンクリートモジュール	<p>コンクリートモジュールの平面寸法は、約 7.3m × 約 4.7m 又は 約 7.1m × 約 4.7m であり、高さは約 4m ある。コンクリートモジュールは、厚さ 200mm の鉄筋コンクリート製パネルで構成され、各パネルは金物にて連結され、基礎とは固定用金物を介して固定ボルトで固定される。</p>	

主要設備	構造計画の概要	概略構造図
③クレーン	<p>クレーンはスパン約 19mの門型クレーンで、定格荷重は約 150 トンである。</p> <p>クレーンは、4つの支持脚、車輪を介して、レール上を走行する。</p>	
④コンクリート基礎	<p>基礎は、NS 方向約 80m、EW 方向約 121 m、厚さ 0.8m (一部 1.0m、1.8m) の鉄筋コンクリート基礎から成る。</p> <p>基礎は、埋め込まれる固定ボルトや固定金具を介して、①乾式キャスク及び支持架台並びに、②コンクリートモジュールを固定する。また、③クレーンのレールを固定する。</p>	

(3) 設計用地震力

各機器の耐震設計に用いる設計用地震力は、以下より算定する。

項目	機器等	摘要
(1) 基準地震動	Ss, 1/2Ss	
(2) 設計用地震動	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ss900-① (検討用地震動①) (水平)最大加速度振幅 900gal, 約 250 秒間 (鉛直)最大加速度振幅 600gal, 約 250 秒間</li> <li>• Ss900-② (検討用地震動②) (南北)最大加速度振幅 722gal, 約 250 秒間 (東西)最大加速度振幅 522gal, 約 250 秒間 (鉛直)最大加速度振幅 517gal, 約 250 秒間</li> <li>• 1/2Ss450-① Ss900-①の加速度振幅に 1/2 を乗じたもの</li> <li>• 1/2Ss450-② Ss900-②の加速度振幅に 1/2 を乗じたもの</li> </ul>	T.P. 約-197m の基盤 ( $V_s$ =約 700m/s) を解放基盤表面として定義する。
(3) 動的解析の方法	時刻歴応答解析法 応答スペクトル法	

(4) 運転状態と地震動の組合せに対する供用状態

運転状態と地震動の組合せに対応する供用状態は以下とする。

運転状態と地震動の組合せ	供用状態
I <sup>注1)</sup> +Ss900	D (IVAS) <sup>注2)</sup>
I <sup>注1)</sup> +1/2Ss450	D (IVAS) <sup>注2)</sup>

注 1) 「運転状態 I」とは、通常運転の運転状態をいい、乾式キャスクの場合は、取り扱い時及び本設備での機器の通常の保管時の状態で「設計事象 I」に読み替える。

注 2) 「原子力発電所耐震設計技術指針」において規定される許容応力状態（「設計・建設規格」の許容状態 D 相当）

本設備の乾式キャスクに対する耐震性能の基本的な考え方は以下とする。

表 1-2 主要設備の耐震クラス

設備区分	施設自体の耐震クラス	上位クラスへの波及影響を考慮し実施する評価	適用する設計用地震動と要求性能
乾式キャスク	Sクラス	—	設計用地震動 Ss900・1/2Ss450 に対し、乾式キャスクの安全機能を維持するために必要な構造強度を有すること。
支持架台	Cクラス	B+クラス (コンクリートモジュール)	設計用地震動 1/2Ss450 に対し、乾式キャスクを落下・転倒させず、コンクリートモジュールの遮蔽機能に影響を与えないこと。
コンクリートモジュール	B+クラス	—	設計用地震動 1/2Ss450 に対し、遮蔽機能を維持し、倒壊等により、乾式キャスクの安全機能に波及的影響を与えないこと。
クレーン	Cクラス	B+クラス (コンクリートモジュール)	設計用地震動 1/2Ss450 に対し、転倒・倒壊・逸走等により、乾式キャスクの安全機能及びコンクリートモジュールの遮蔽機能に波及的影響を与えないこと。
コンクリート基礎	Cクラス	B+クラス (コンクリートモジュール)	設計用地震動 1/2Ss450 に対し、支持架台及び遮蔽機能を有するコンクリートモジュールを支持すること。 基礎の傾斜により、クレーンの転倒、倒壊などが生じないこと。

(5) 地盤の応答解析による設計用地震力の算定

1) 解析概要

本検討では基礎—地盤連成系の2次元FEM応答解析を行い、基礎上面での応答波の応答スペクトルの作成、設計用地震力の算定を行う。解析プログラムはSuper-FLUSH/2Dを用いる。

2) 解析に用いる検討用地震動

検討用地震動は、解放基盤表面で定義される検討用地震動を用いる。解放基盤表面位置における検討用地震動および加速度振幅に1/2を乗じた設計用地震動の加速度時刻歴波形を図1-1～10に示す。

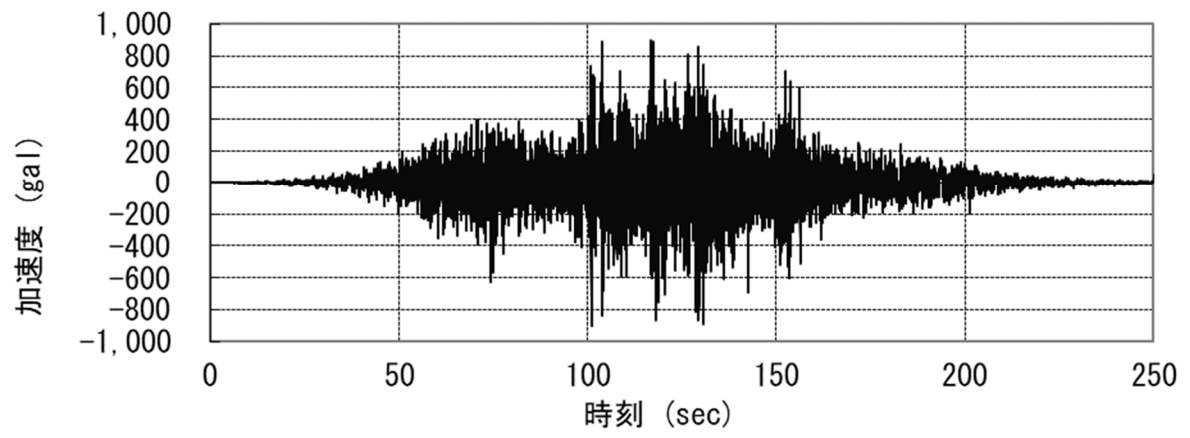


图 1 - 1 Ss900-① (水平方向)

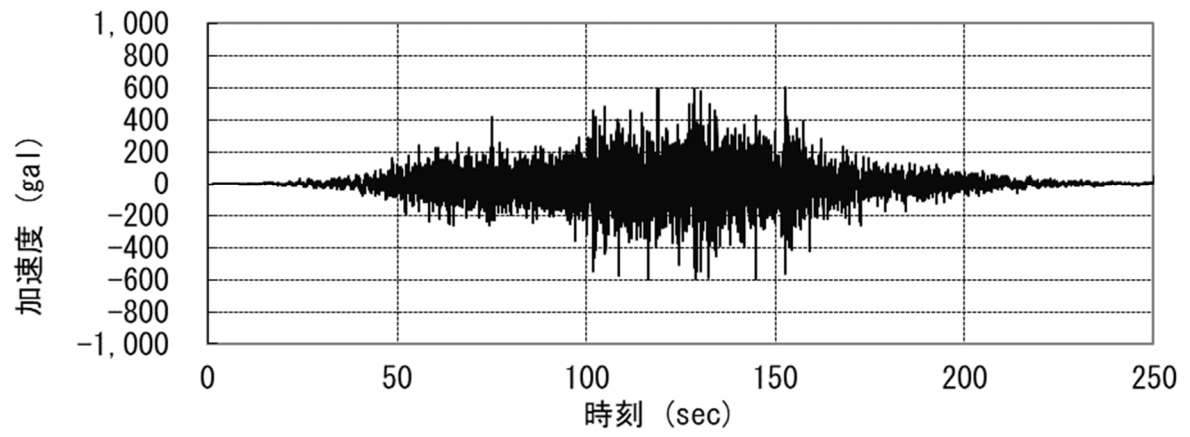


图 1 - 2 Ss900-① (鉛直方向)

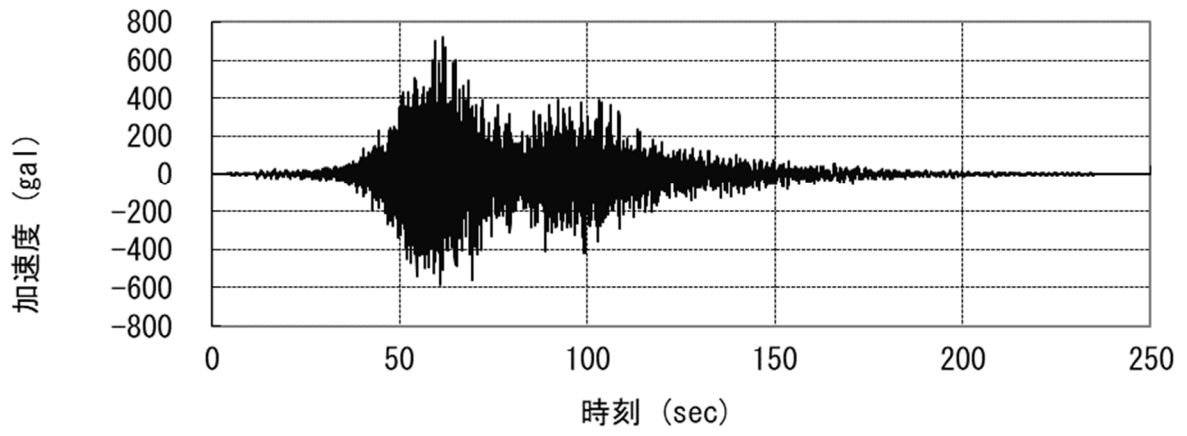


图 1-3 Ss900-② (NS 方向)

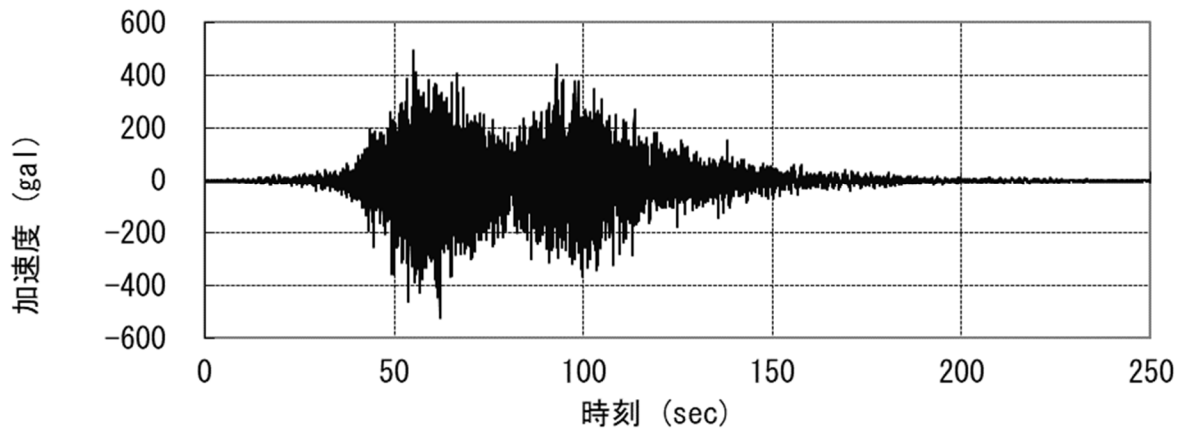


图 1-4 Ss900-② (EW 方向)

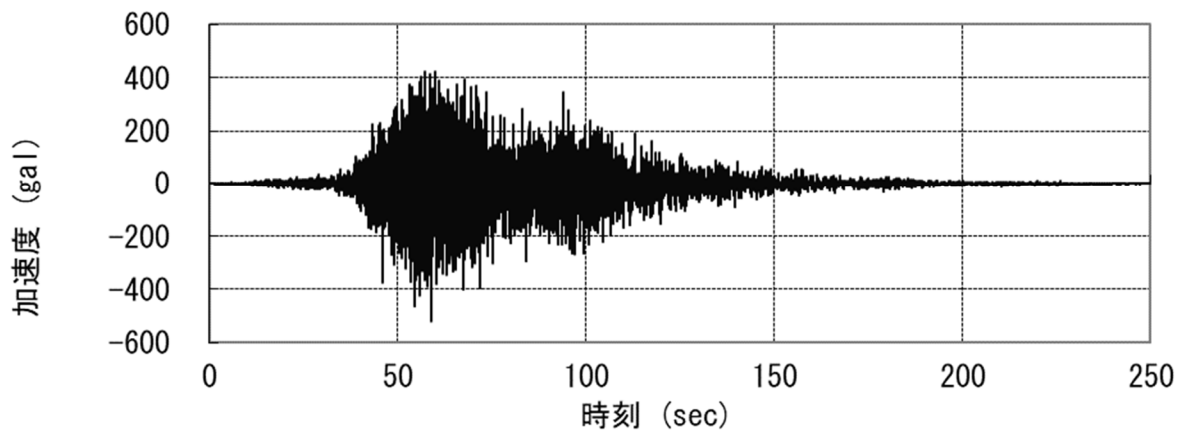


图 1-5 Ss900-② (UD 方向)

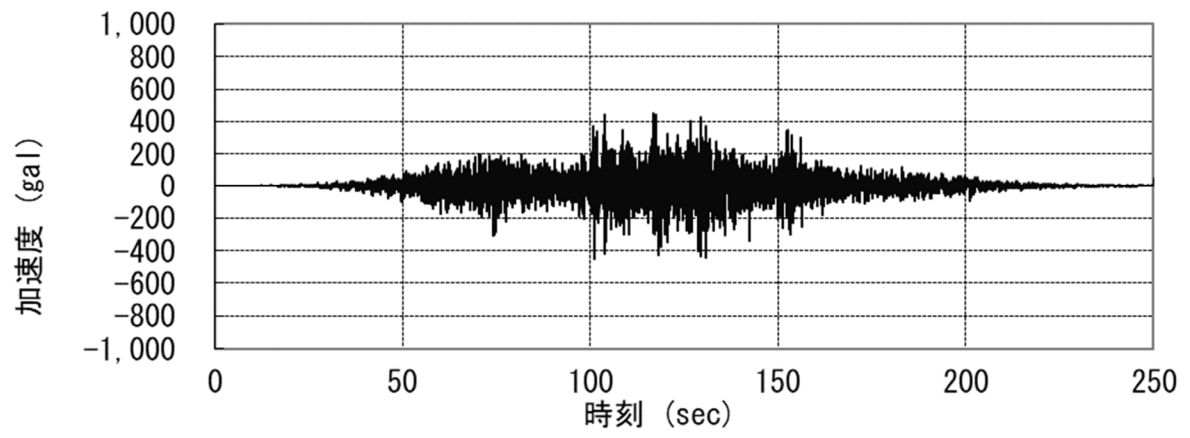


图 1 - 6 1/2Ss450-① (水平方向)

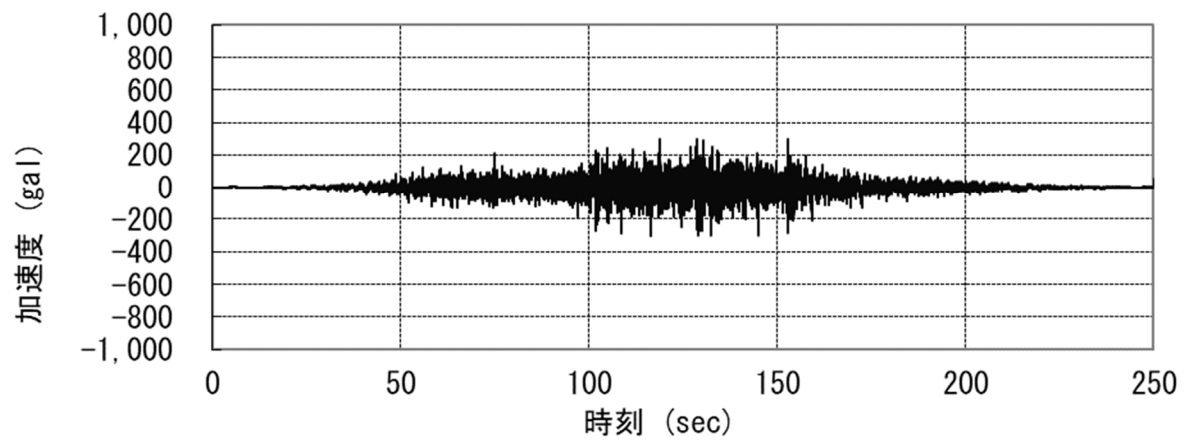


图 1 - 7 1/2Ss450-① (铅直方向)



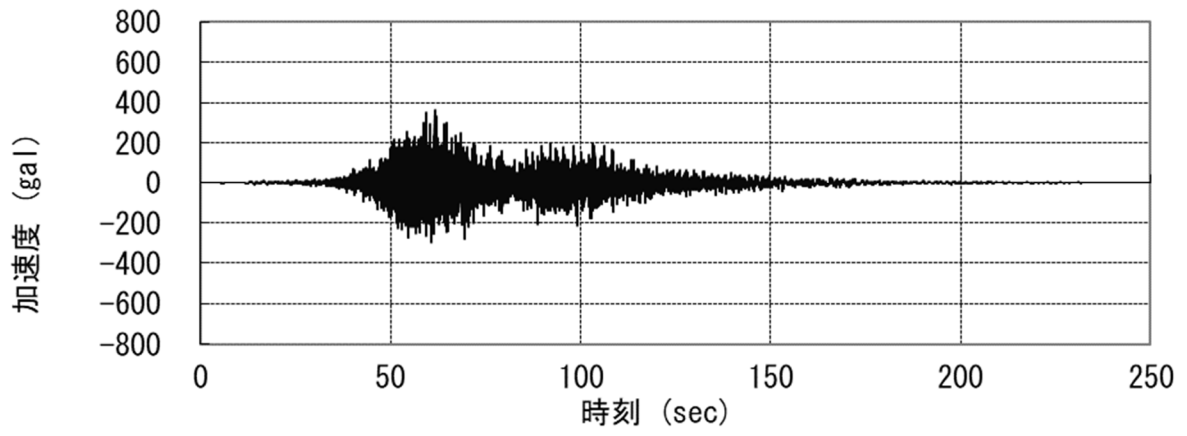


图 1-8 1/2Ss450-② (NS 方向)

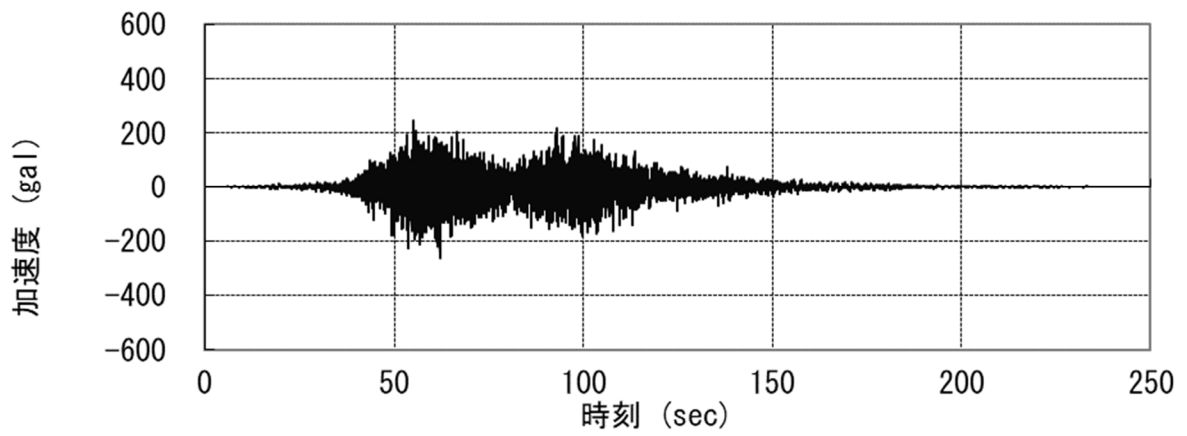


图 1-9 1/2Ss450-② (EW 方向)

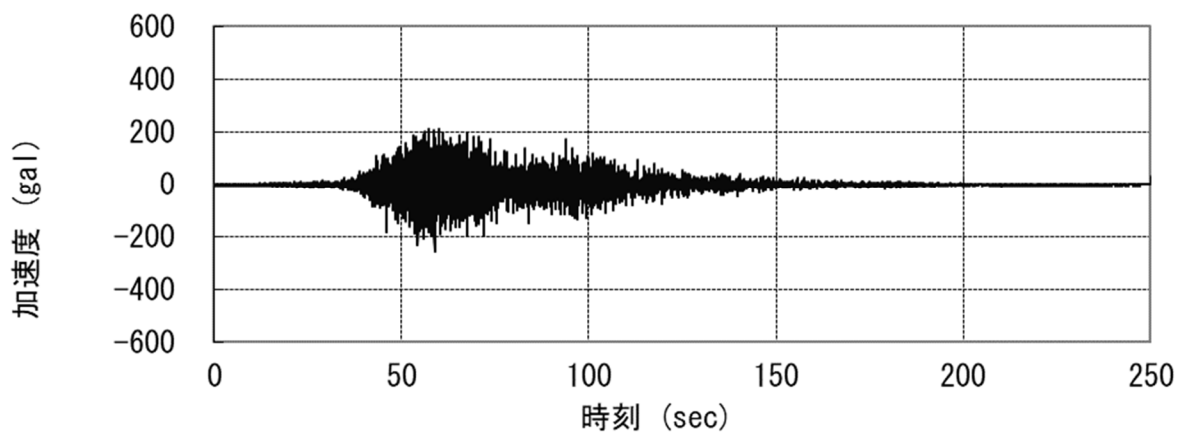


图 1-10 1/2Ss450-② (UD 方向)

### 3) 地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは図1-11, 12のように、基礎-地盤連成系モデルとする。地盤応答解析に用いる地盤定数の設定結果を表1-3に示す。また、コンクリート基礎を除く各層のモデル化においては、地盤の非線形性を考慮する。図1-13に各層の動的変形特性を示す。

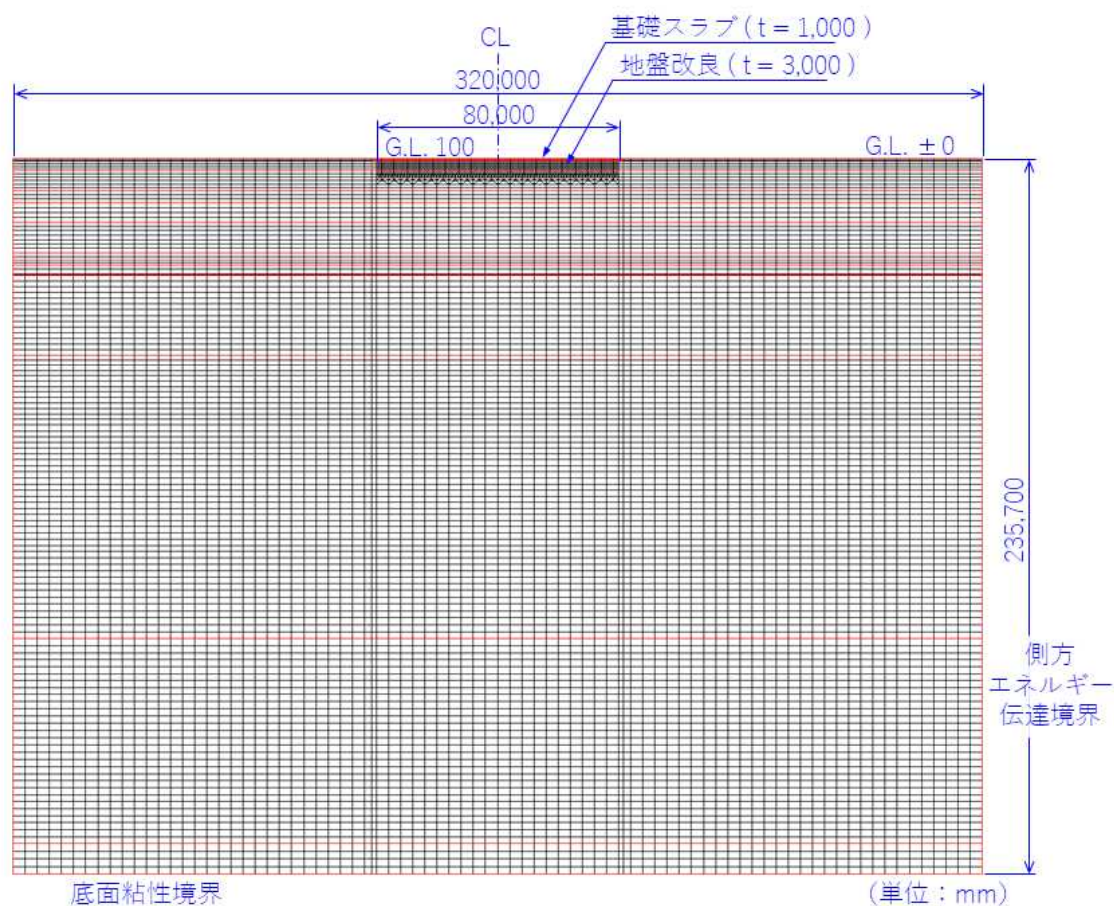


図1-11 解析モデルの概要（NS方向）

2-13では、 $G.L. \pm 0m = T.P. 38.264m$  (\*) とする。  
 (\*) 震災後の地盤沈下量 (-709mm) と O.P. から T.P. への換算値 (-727mm) を用いて、下式に基づき換算している。  
 <換算式>  $T.P. = \text{旧 O.P.} - 1,436\text{mm}$

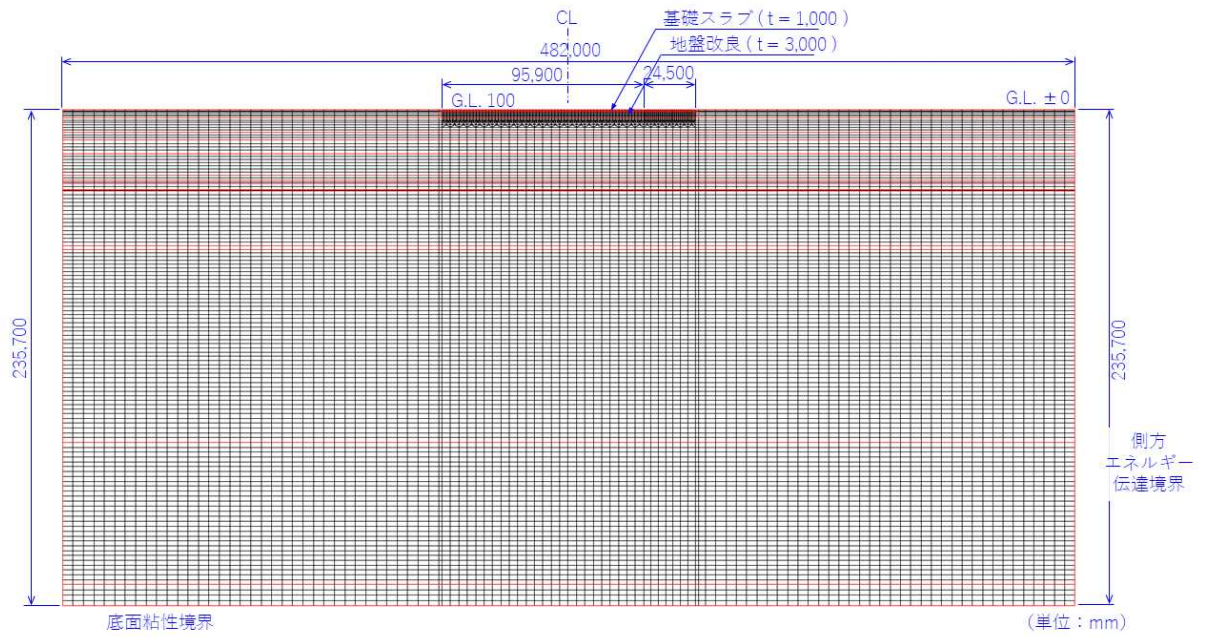


図 1 - 1 2 解析モデルの概要 (EW 方向)

2-13 では、G.L. ±0m=T.P. 38.264m<sup>(※)</sup> とする。  
 (※) 震災後の地盤沈下量 (-709mm) と O.P. から T.P. への換  
 算値 (-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

表 1-3 解析用地盤定数

地層名	層標高		各地層厚 (m)	湿潤密度 $\rho$ (t/m <sup>3</sup> )	せん断弾性 係数 $G_0$ (kN/m <sup>2</sup> )	せん断波 速度 $V_s$ (m/sec)	強度特性	
	上端 G.L. (m)	下端 G.L. (m)					C (N/mm <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)
	コンクリート基礎	0.100	-0.900	1.000	2.679	10,420,000	1972	-
埋戻し土	0.000	-3.900	3.900	1.8	72,600	201	0	30
改良地盤	-0.900	-3.900	3.000	1.8	380,000	459	-	-
段丘堆積物	-3.900	-10.674	6.774	1.59	158,000	315	0.039	24.7
T3 部層 中粒砂岩層	-10.674	-14.485	3.811	1.84	210,000	338	0.098	38.6
T3 部層 泥質部	-14.485	-20.863	6.378	1.71	427,000	500	1.5	0
T3 部層 互層部	-20.863	-31.006	10.143	1.76	302,000	414	0.098	38.6
T3 部層 泥質部	-31.006	-33.591	2.585	1.71	427,000	500	1.5	0
T3 部層 中粒砂岩層	-33.591	-34.946	1.355	1.84	210,000	338	0.098	38.6
T3 部層 泥質部	-34.946	-38.007	3.061	1.71	427,000	500	1.5	0
T3 部層 粗粒砂岩層	-38.007	-38.572	0.565	1.84	210,000	338	0.098	38.6
T3 部層 泥質部	-38.572	-64.680	26.108	1.71	427,000	500	1.5	0
T2 部層	-64.680	-158.100	93.420	深度依存 1.76~ 1.80	深度依存 334,000~ 635,000	深度依存 436~594	深度依存 1.131~ 1.839	0
T1 部層	-158.100	-225.580	67.480	1.79	667,000	610	1.62	0
先富岡層	-225.580	-235.700	10.120	1.88	954,000	712	1.8	0
解放基盤面	-235.700	-	-	1.88	954,000	712	1.8	0

出典：「福島第一原子力発電所 原子炉設置変更許可申請書」(平成5年4月)等

2-13 では、G.L. ±0m=T.P. 38.264m<sup>(※)</sup> とする。

(※) 震災後の地盤沈下量(-709mm)とO.P.からT.P.への換算値(-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

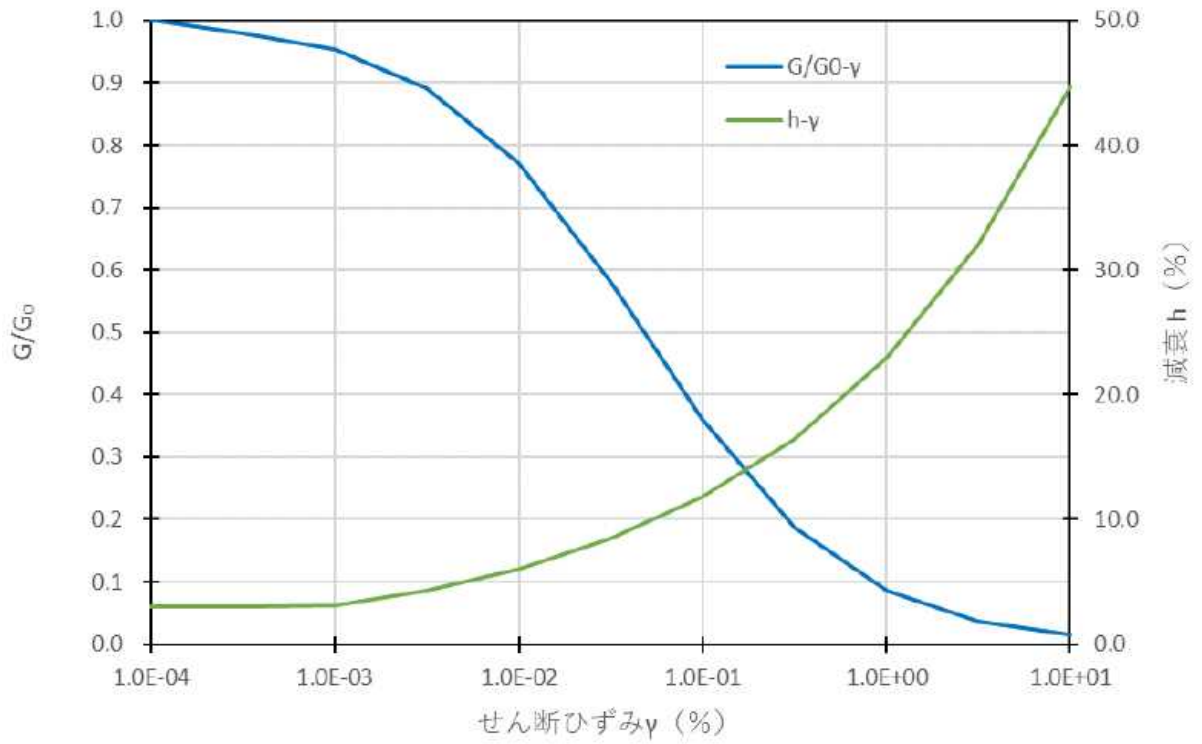


図 1 - 1 3 ( 1 ) 埋戻土層の動的変形特性

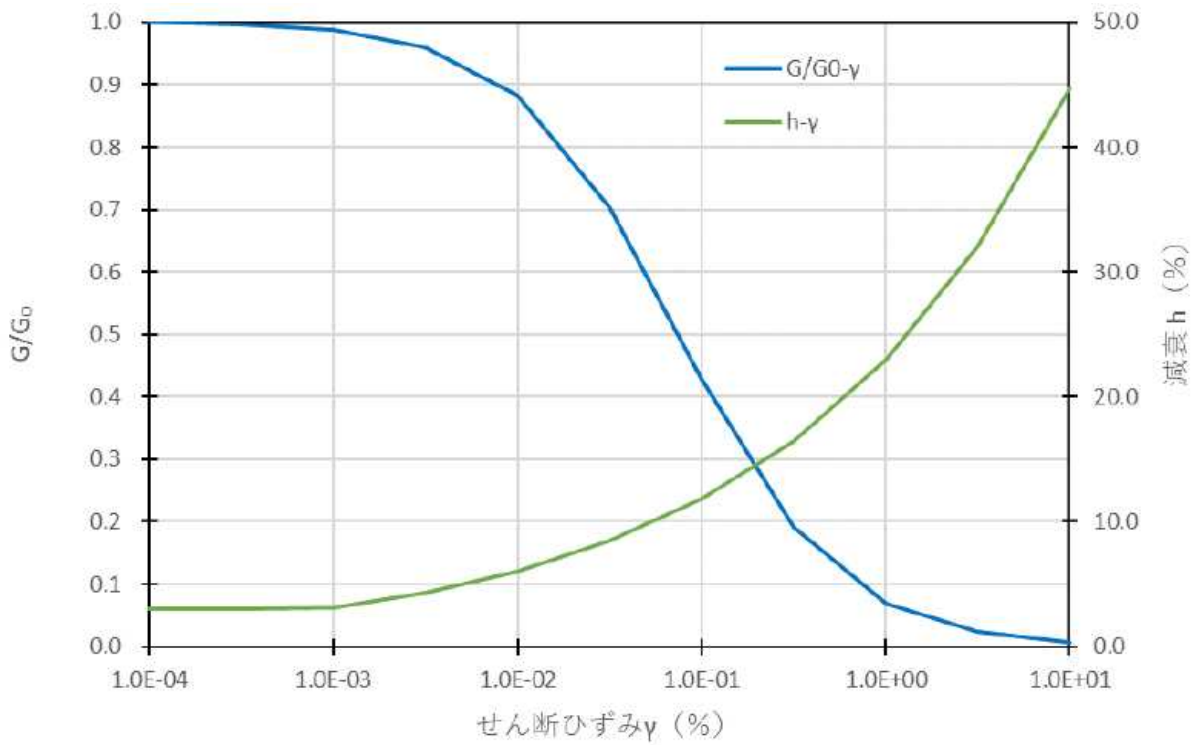


図 1 - 1 3 ( 2 ) 改良地盤の動的変形特性

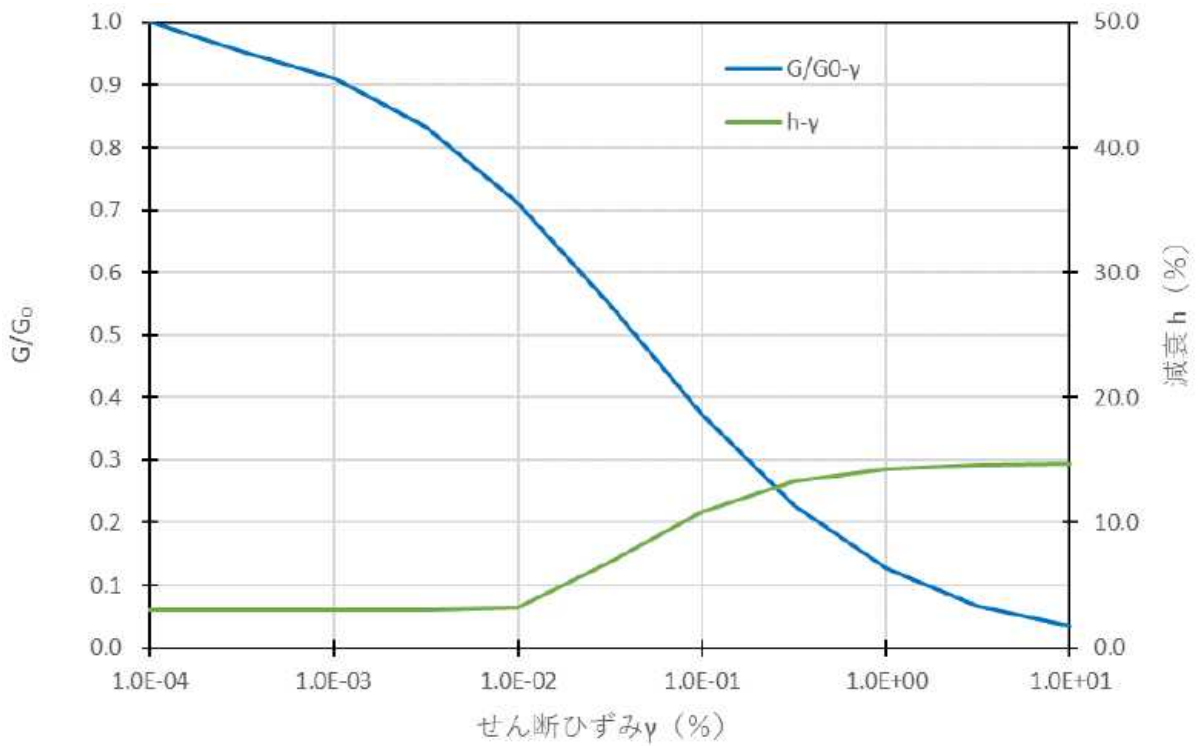


図 1 - 1 3 ( 3 ) 段丘堆積物の動的変形特性

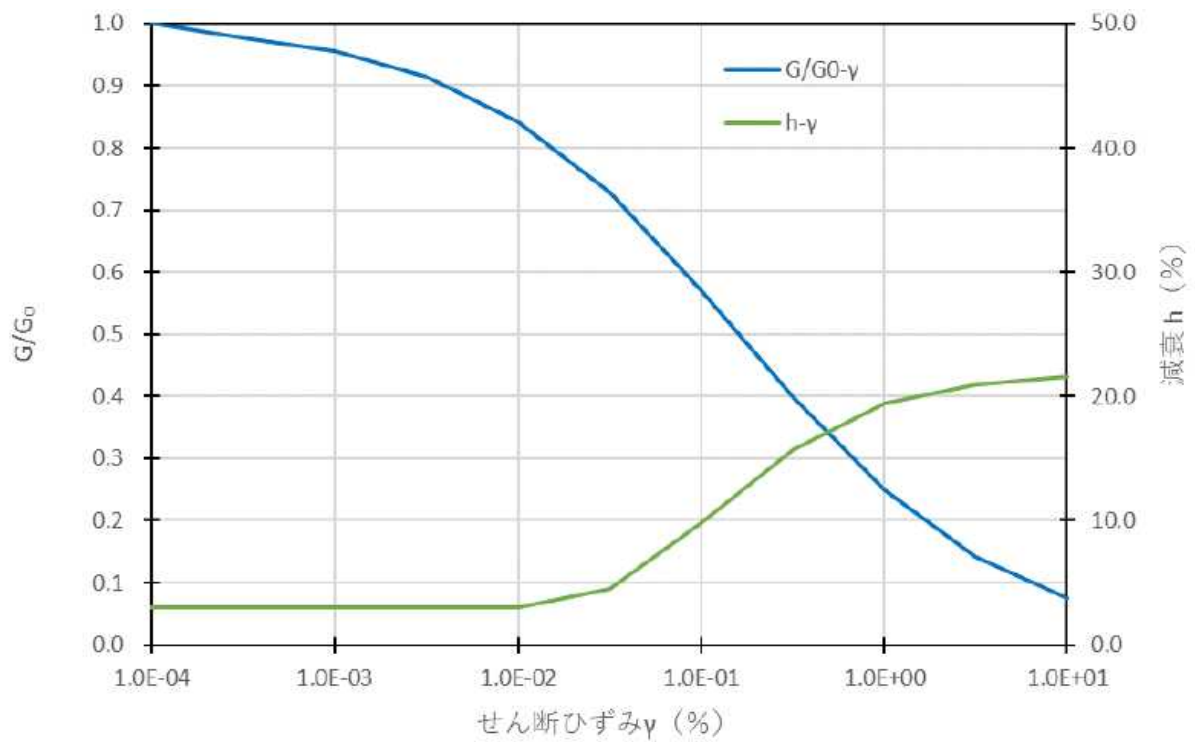


図 1 - 1 3 ( 4 ) T3 部層中粒砂岩層の動的変形特性

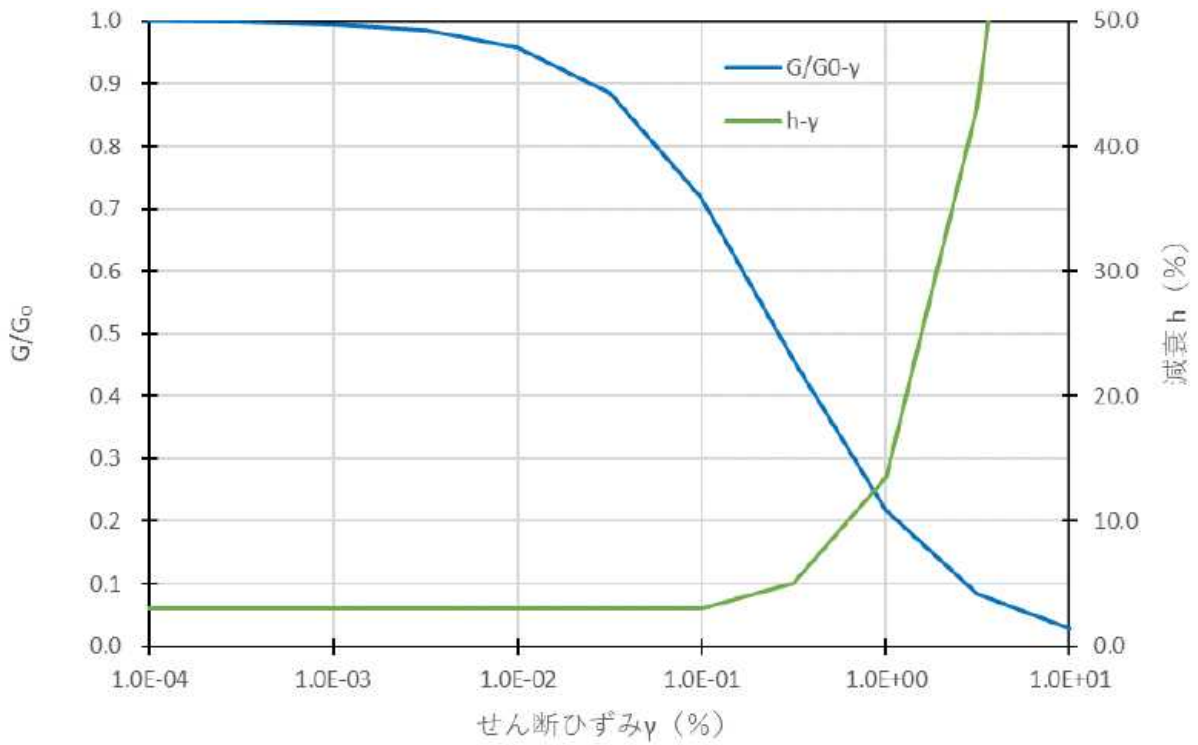


図 1 - 1 3 ( 5 ) T3 部層泥質部の動的変形特性

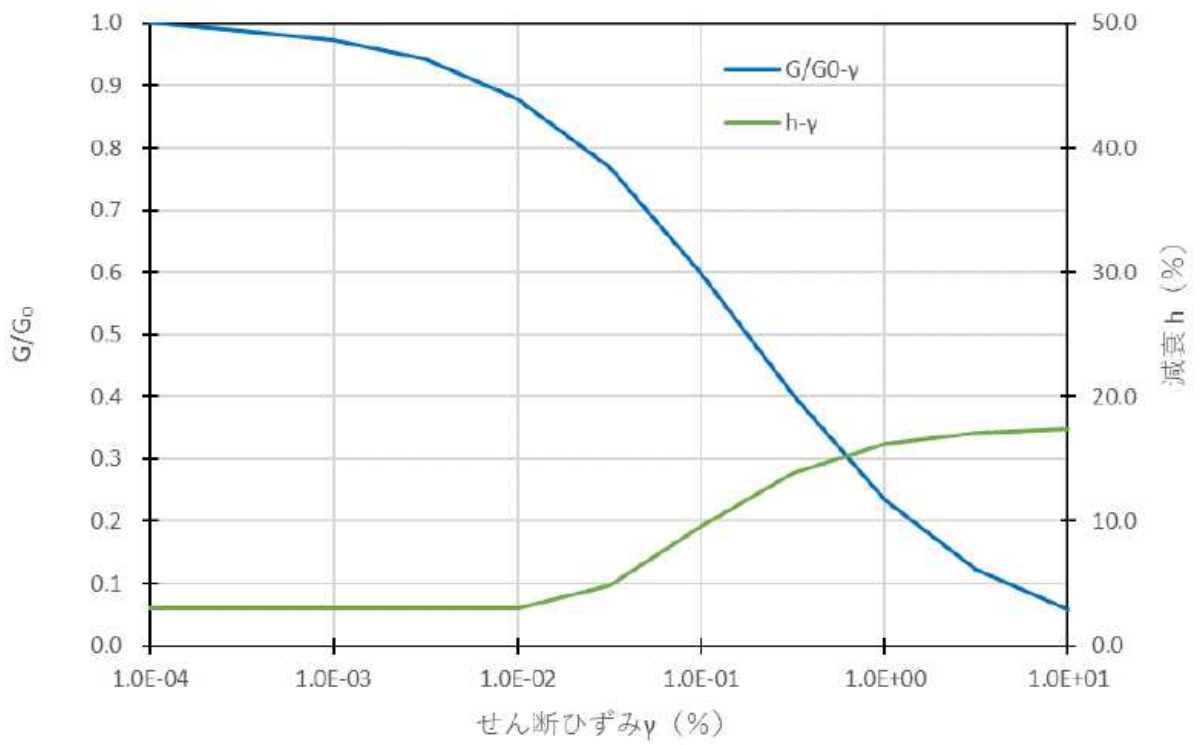


図 1 - 1 3 ( 6 ) T3 部層互層部の動的変形特性

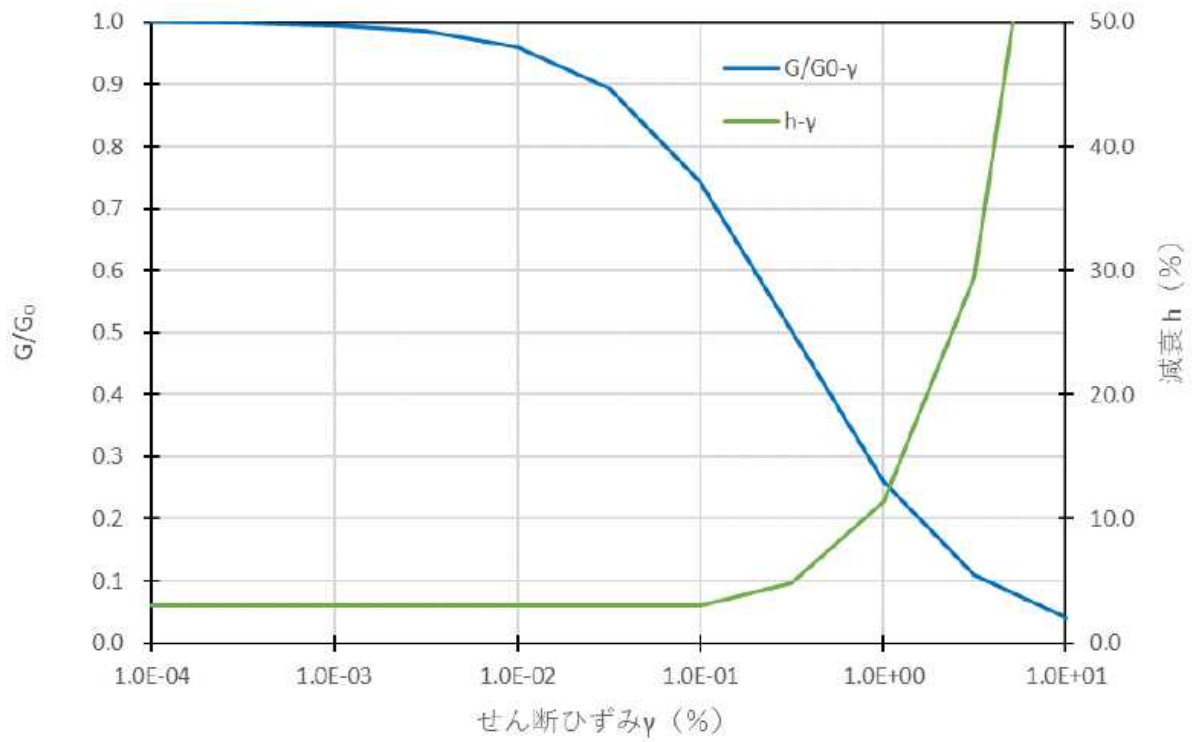


図 1 - 1 3 ( 7 ) T2 部層の動的変形特性

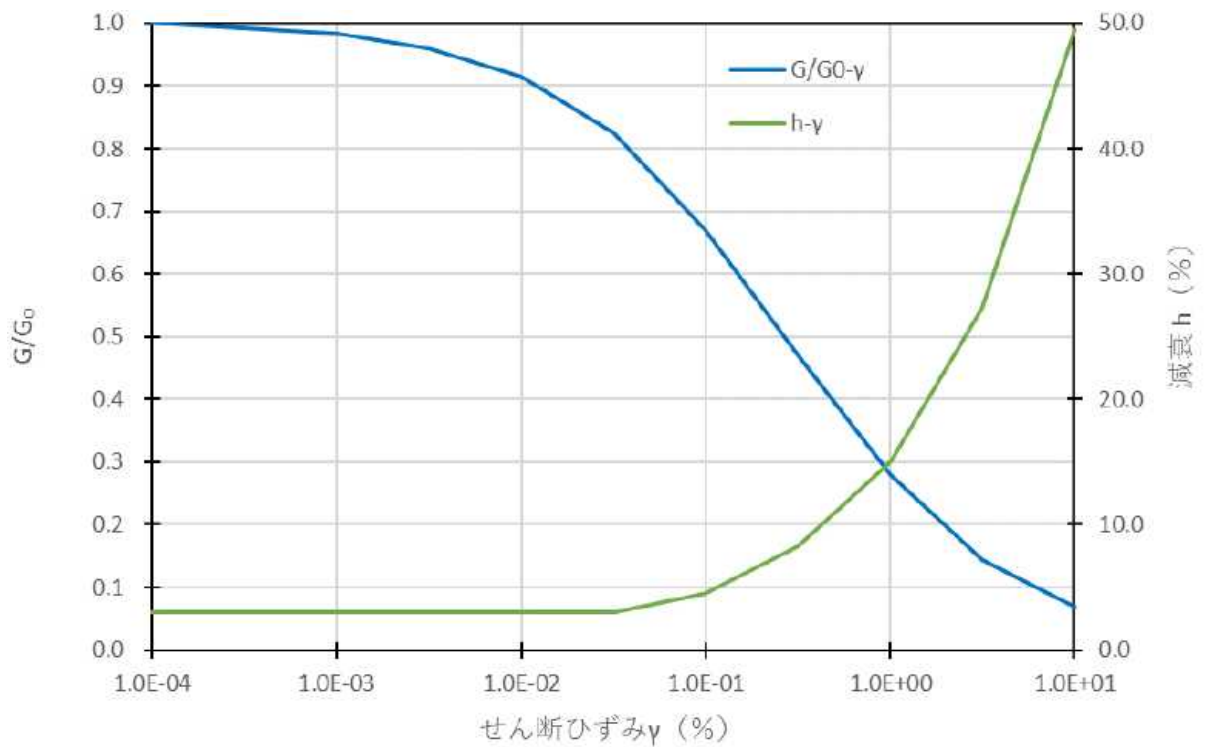


図 1 - 1 3 ( 8 ) T1 部層の動的変形特性



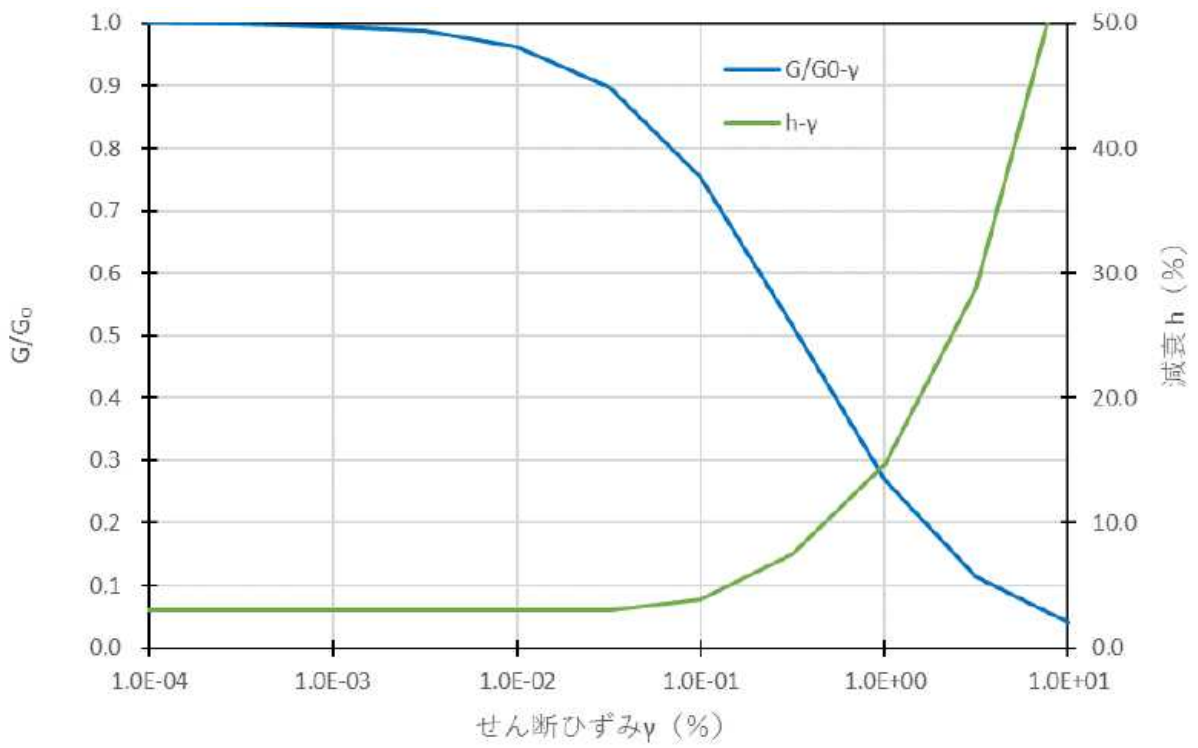


図 1 - 1 3 ( 9 ) 先富岡層の動的変形特性

4) 設計用地震力の算定

基礎上面における地震波の加速度応答の包絡スペクトルを図1-14, 15に示す。設計用地震力は、床応答スペクトルを周期軸方向に±10%拡幅したスペクトルを用いて算定する。

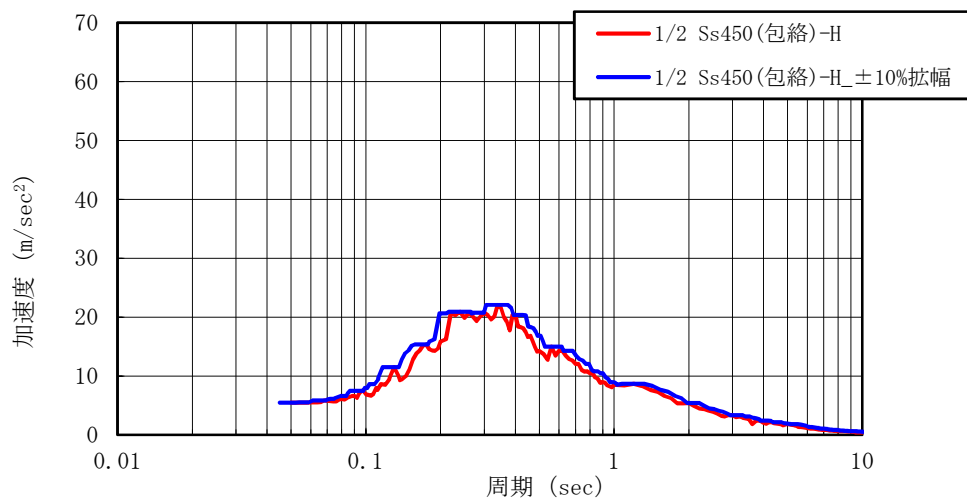


図1-14 (1) 1/2Ss450 既設 NS 断面水平方向(減衰 2%)

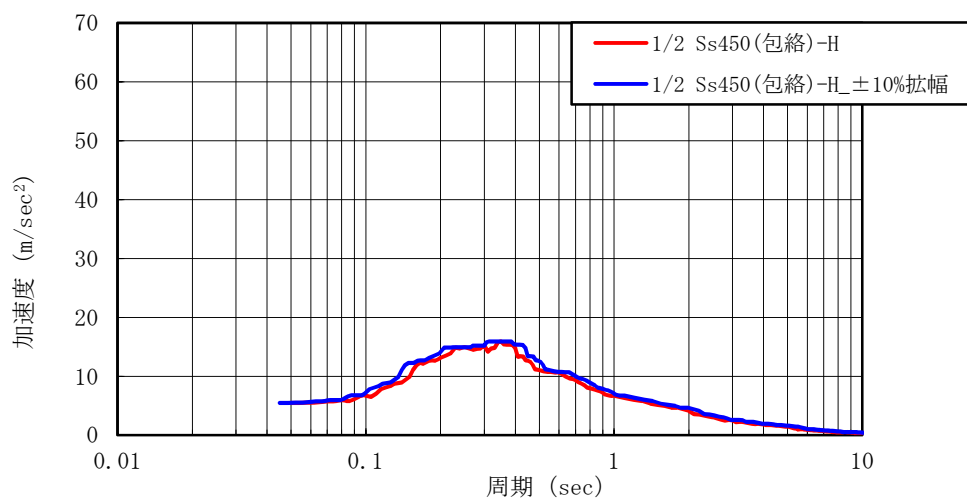


図1-14 (2) 1/2Ss450 既設 NS 断面水平方向(減衰 5%)

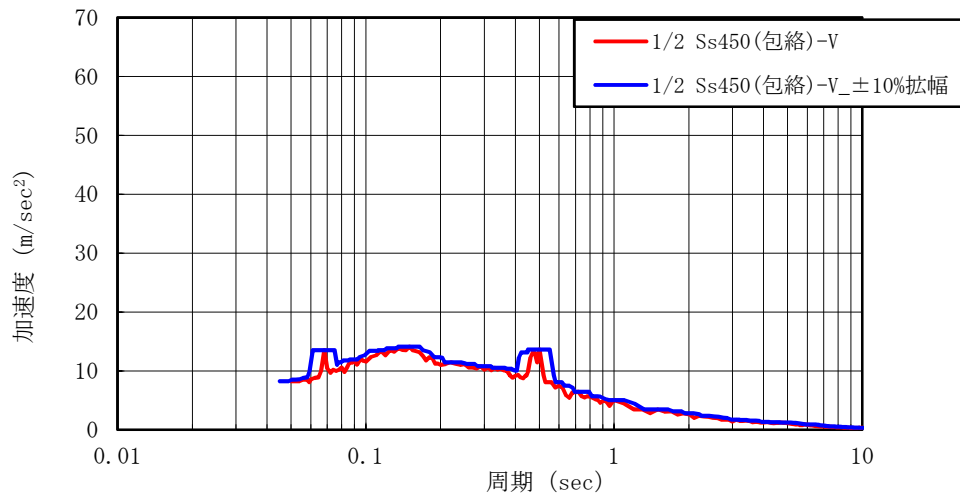


図 1 - 1 4 ( 3 ) 1/2Ss450 既設 NS 断面垂直方向(減衰 2%)

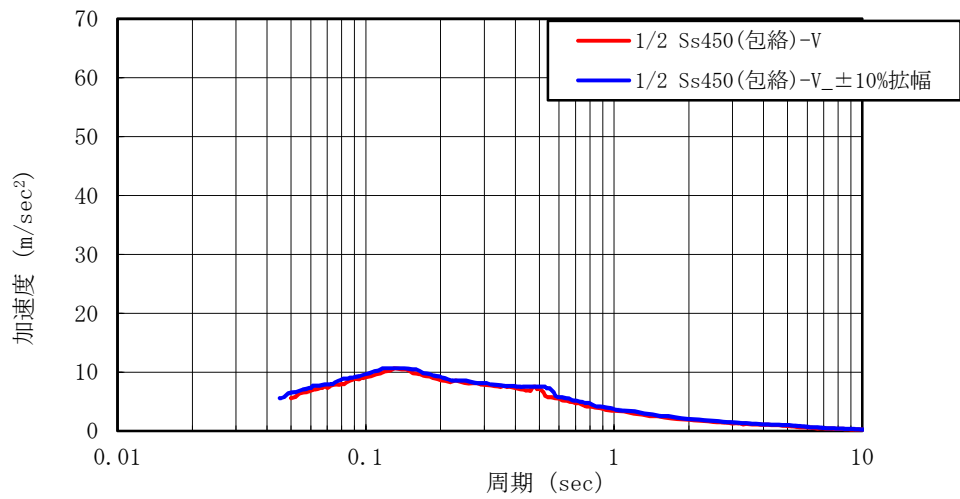


図 1 - 1 4 ( 4 ) 1/2Ss450 既設 NS 断面垂直方向(減衰 5%)

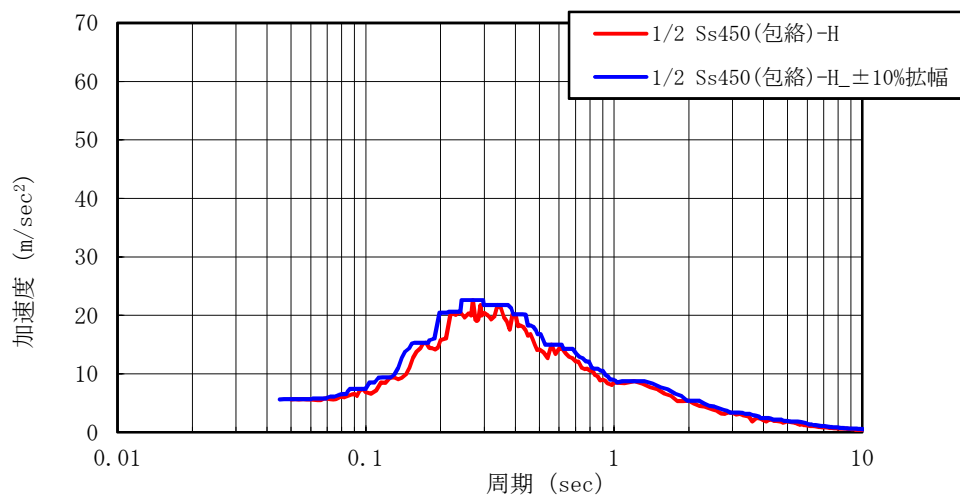


図 1 - 1 4 ( 5 ) 1/2Ss450 既設 EW 断面水平方向(減衰 2%)

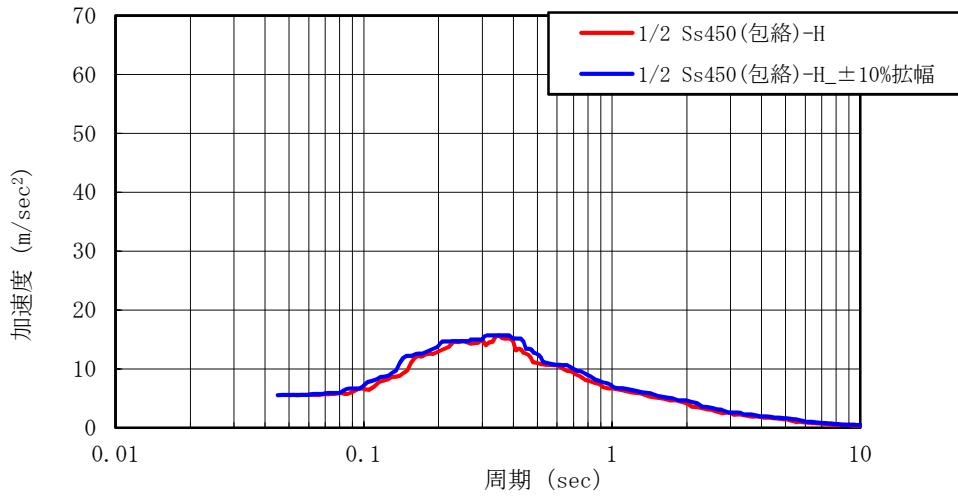


図 1 - 1 4 ( 6 ) 1/2Ss450 既設 EW 断面水平方向(減衰 5%)

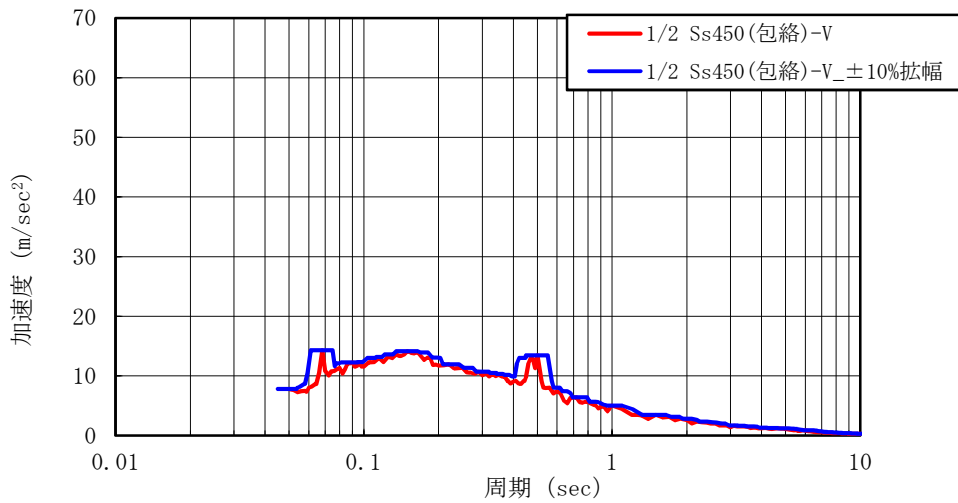


図 1 - 1 4 ( 7 ) 1/2Ss450 既設 EW 断面垂直方向(減衰 2%)

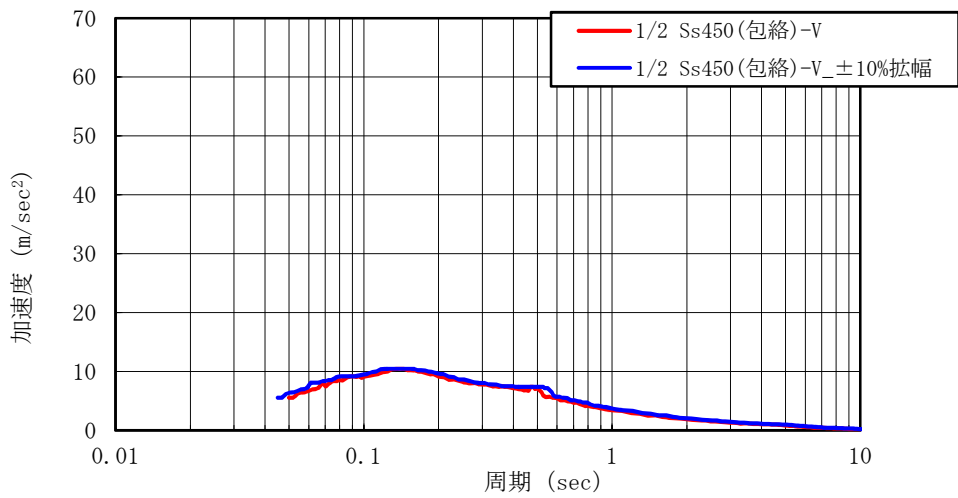


図 1 - 1 4 ( 8 ) 1/2Ss450 既設 EW 断面垂直方向(減衰 5%)

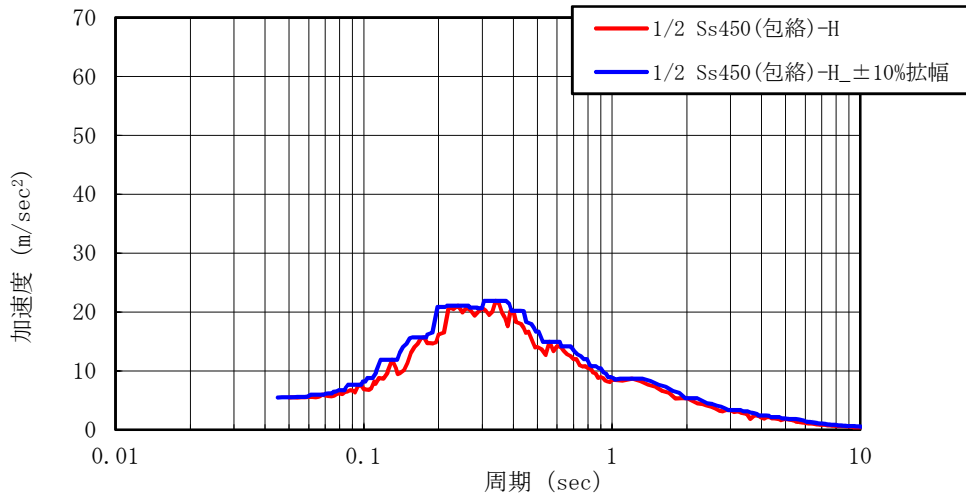


図 1 - 1 5 ( 1 ) 1/2Ss450 拡張 NS 断面水平方向(減衰 2%)

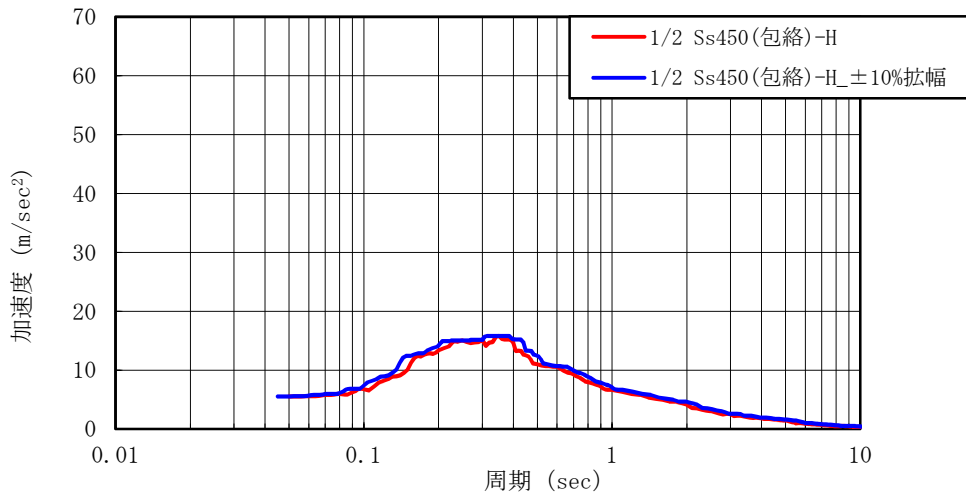


図 1 - 1 5 ( 2 ) 1/2Ss450 拡張 NS 断面水平方向(減衰 5%)

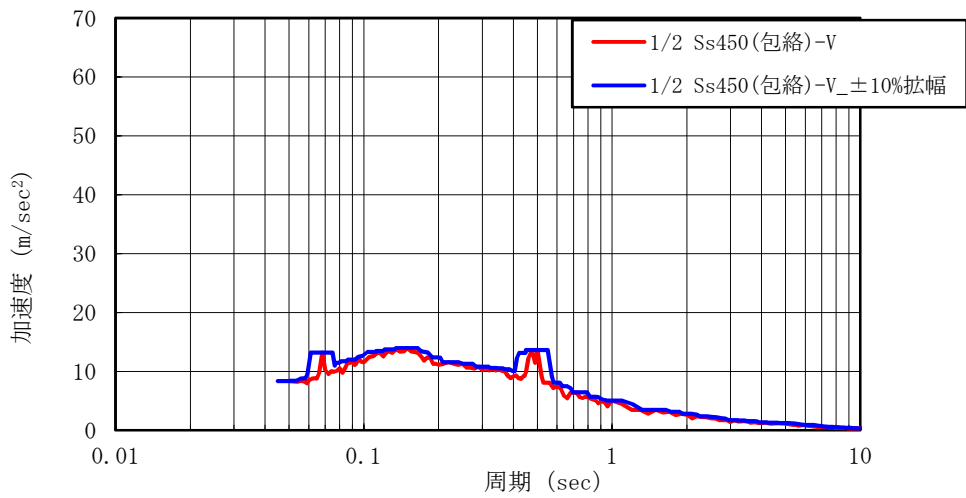


図 1 - 1 5 ( 3 ) 1/2Ss450 拡張 NS 断面垂直方向(減衰 2%)

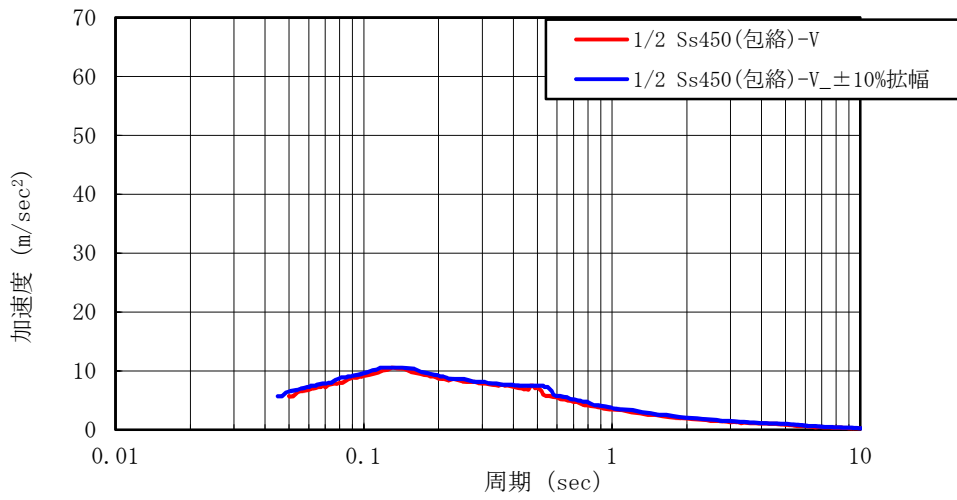


图 1 - 1 5 ( 4 ) 1/2Ss450 擴張 NS 断面垂直方向(減衰 5%)

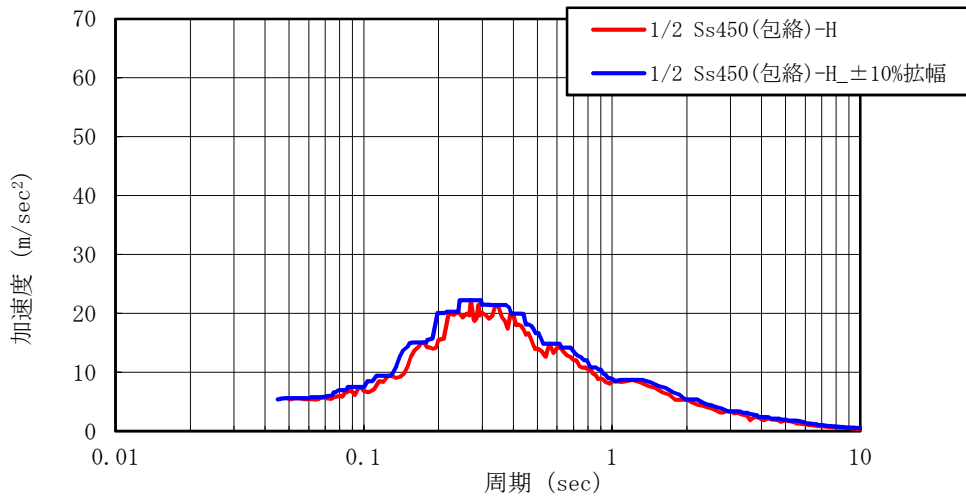


图 1 - 1 5 ( 5 ) 1/2Ss450 擴張 EW 断面水平方向(減衰 2%)

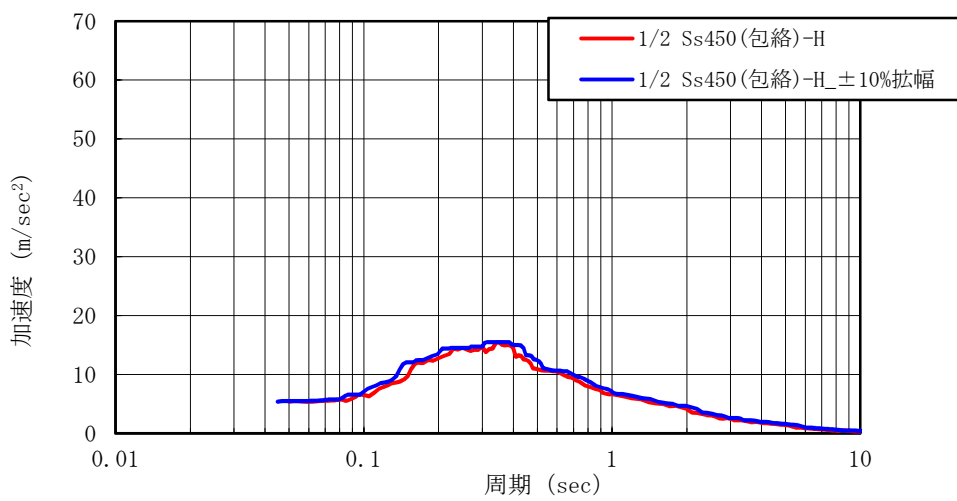


图 1 - 1 5 ( 6 ) 1/2Ss450 擴張 EW 断面水平方向(減衰 5%)

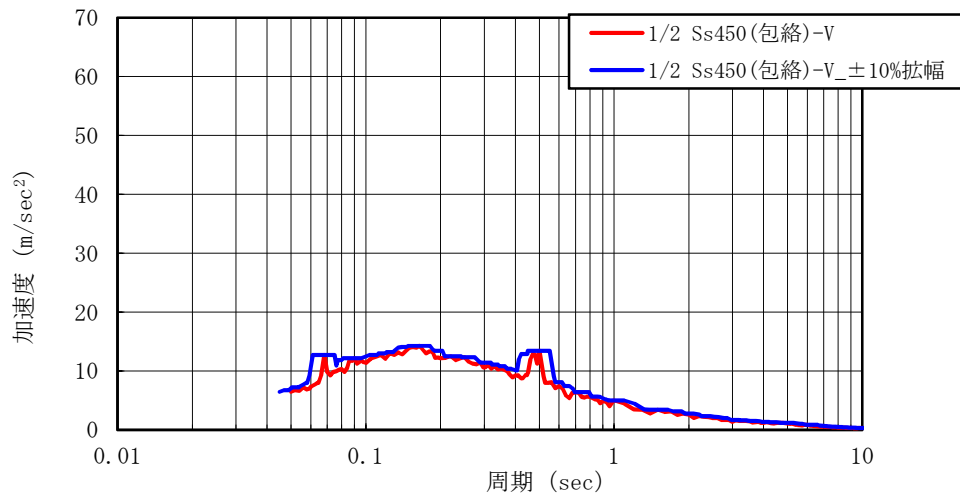


図 1 - 1 5 ( 7 ) 1/2Ss450 拡張 EW 断面垂直方向(減衰 2%)

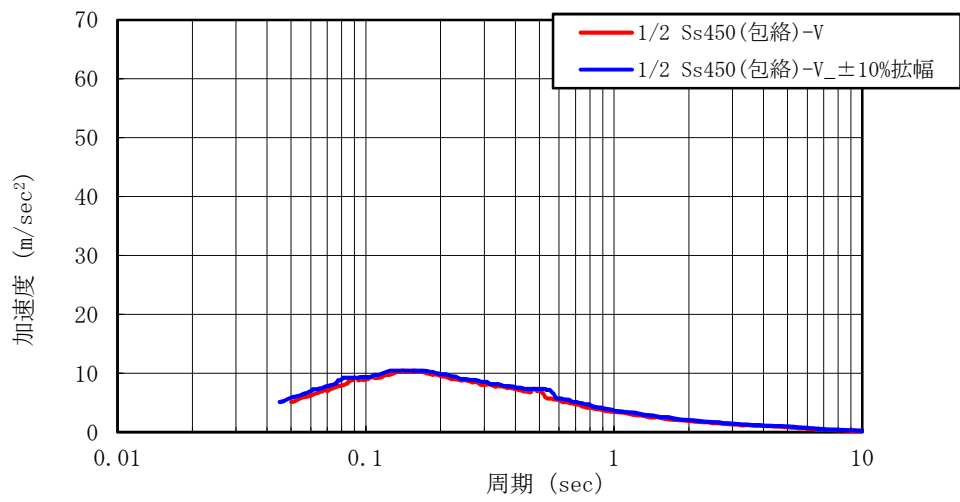


図 1 - 1 5 ( 8 ) 1/2Ss450 拡張 EW 断面垂直方向(減衰 5%)

(実施計画：II-2-13-添 2-2-3~19)

## 2 耐震性

### 2.1 輸送貯蔵兼用キャスク

#### (1) 評価方針

キャスク仮保管設備における輸送貯蔵兼用キャスク（増設 30 基）の 1/2Ss450 及び Ss900 に対する耐震強度を確認する。

#### (2) 主な構成部材と適用基準

##### 1) 主な構成部材

輸送貯蔵兼用キャスクの耐震設計は、地震時に要求される安全機能を維持するため、キャスク容器、二次蓋、バスケット及びトラニオンについて評価する。

##### 2) 適用基準

輸送貯蔵兼用キャスクの強度評価については「使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格(JSME S FA1-2007)」を適用する。

#### (3) 固有周期の算定

##### ① 固有周期の計算条件

- A. 輸送貯蔵兼用キャスクは、横置きで支持される。
- B. 輸送貯蔵兼用キャスクの自重（内部を含む）は、4 個のトラニオンを介してキャスク支持架台に固定される。
- C. 二次蓋は二次蓋締付けボルトでキャスク容器に固定される。
- D. 鋼製支持架台は基礎ボルトでコンクリート支持架台に固定され、コンクリート支持架台は基礎と一体の構造となっている。概略構造図を図 2. 1-1 に示す。

##### ② 固有周期の計算方法

##### A. 設定条件

- a. 自重及び鉛直方向地震力に対して、キャスク支持架台の 4 本の脚柱で支える。
- b. キャスク容器軸方向水平地震力に対して、キャスク支持架台の 2 本の脚柱で支える。
- c. キャスク容器軸直角方向水平地震力に対して、キャスク支持架台の 4 本の脚柱で支える。

##### B. 計算モデル及び計算方法

- a. キャスク容器及びキャスク支持架台をはりでモデル化する。
- b. キャスク容器のはりは、その質量（内部のバスケット、使用済燃料等を含む）と等価質量となるはり要素を用いる。



- c. コンクリート支持架台の下部を固定端とする。
- d. 計算コードとして NASTRAN を用いる。
- e. 計算モデルは図 2. 1-2 とする。

③ 固有周期

固有周期の算定結果を表 2. 1-1 に示す。

表 2. 1-1 保管時の輸送貯蔵兼用キャスクの固有周期  
(単位:s)

方 向	固有周期
キャスク容器軸方向	0.047
キャスク容器軸直角方向	0.041
キャスク容器鉛直方向	0.020

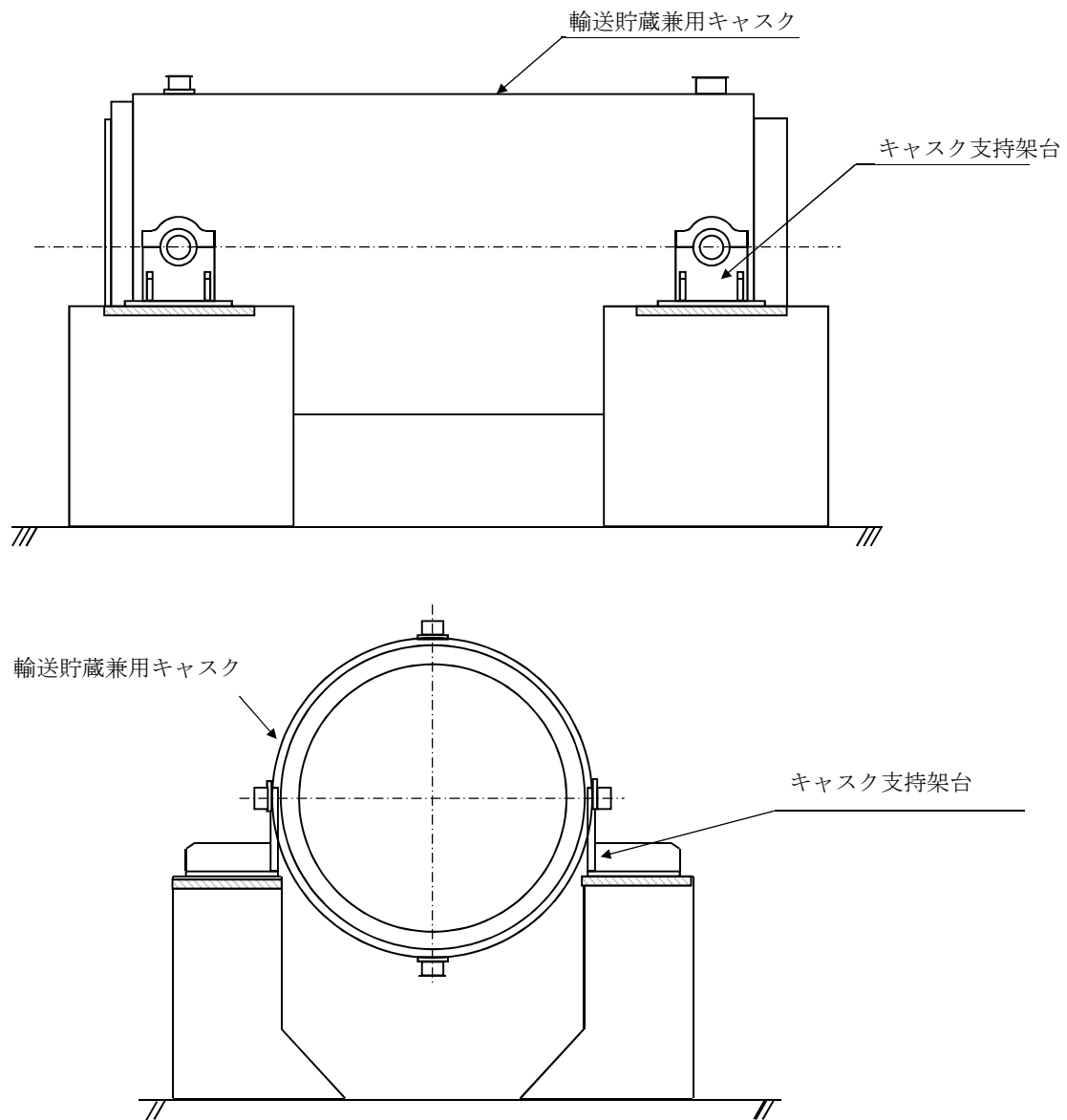


図 2. 1 - 1 輸送貯蔵兼用キャスクの概略構造図

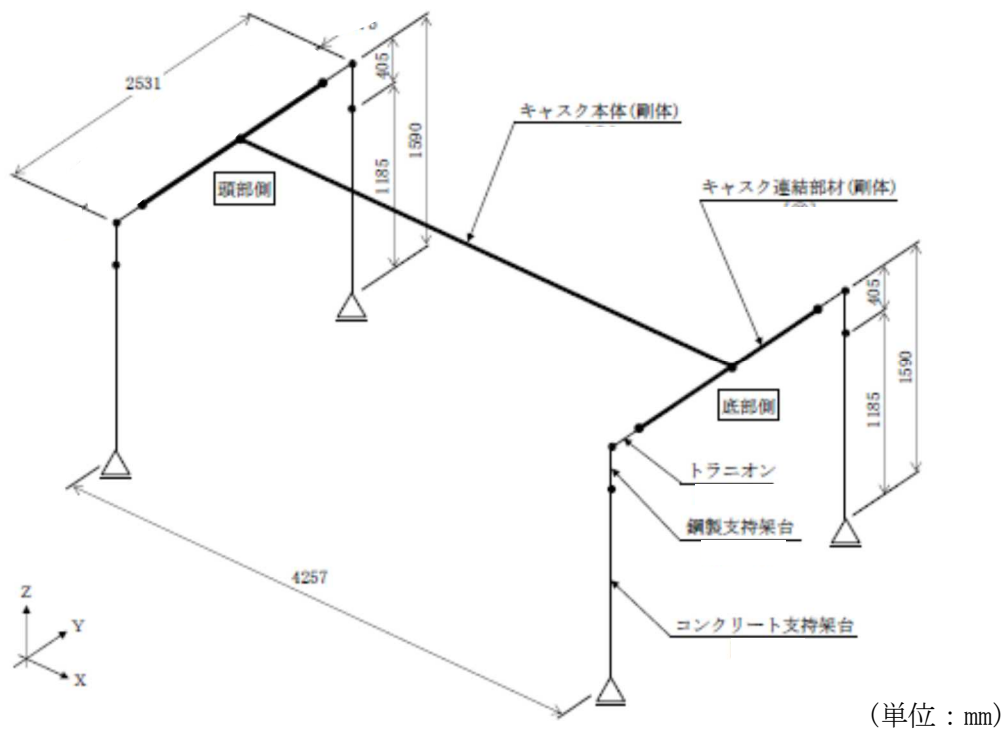


図 2. 1-2 固有周期解析モデル

(4) 設計震度

「(3) 固有周期の算定」で求めた固有周期と「1 耐震設計方針」に基づき、輸送貯蔵兼用キャスクの耐震性の評価に用いる設計用地震力を定める。

輸送貯蔵兼用キャスクの固有周期は全て 0.05sec 以下であることから、輸送貯蔵兼用キャスクは剛体とみなすことができる。従って設計用地震力は 1.2ZPA とする。表 2. 1-2 に 1/2Ss450 及び Ss900 の 1.2ZPA を示す。

表 2. 1-2 1/2Ss450 及び Ss900 の 1.2ZPA

	1.2ZPA(水平)	1.2ZPA(鉛直)
1/2Ss450	0.66G	0.41G
Ss900	1.14G	0.84G

(5) 解析条件

1) 荷重の組合せ

1/2Ss450 及び Ss900 地震時の評価において、キャスク容器及び二次蓋、バスケット、トラニオンの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せを表 2. 1-3 (1) ~ (3) に示す。

表 2. 1-3 (1) キャスク容器及び二次蓋の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

設計事象 / 評価事象		荷 重	圧力による荷重	自重による荷重	ボルト初期締付け力	熱荷重	地震荷重
I + 1/2Ss450	1/2Ss450 地震力が作用する場合		○	○	○	—注)	○
I + Ss900	Ss900 地震力が作用する場合		○	○	○	—注)	○

注) 密封シール部及び密封蓋締付けボルトの応力評価に当たっては、熱荷重を考慮する。

表 2. 1-3 (2) バスケットの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

設計事象 / 評価事象		荷 重	自重による荷重	熱荷重	地震荷重
I + 1/2Ss450	1/2Ss450 地震力が作用する場合		○	—	○
I + Ss900	Ss900 地震力が作用する場合		○	—	○

表 2. 1-3 (3) トラニオンの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

設計事象 / 評価事象		荷 重	自重による荷重	熱荷重 注)	地震荷重
I + 1/2Ss450	1/2Ss450 地震力が作用する場合		○	○	○
I + Ss900	Ss900 地震力が作用する場合		○	○	○

注) キャスク容器の熱膨張により生じる応力に限る。

2) 最高使用圧力と温度

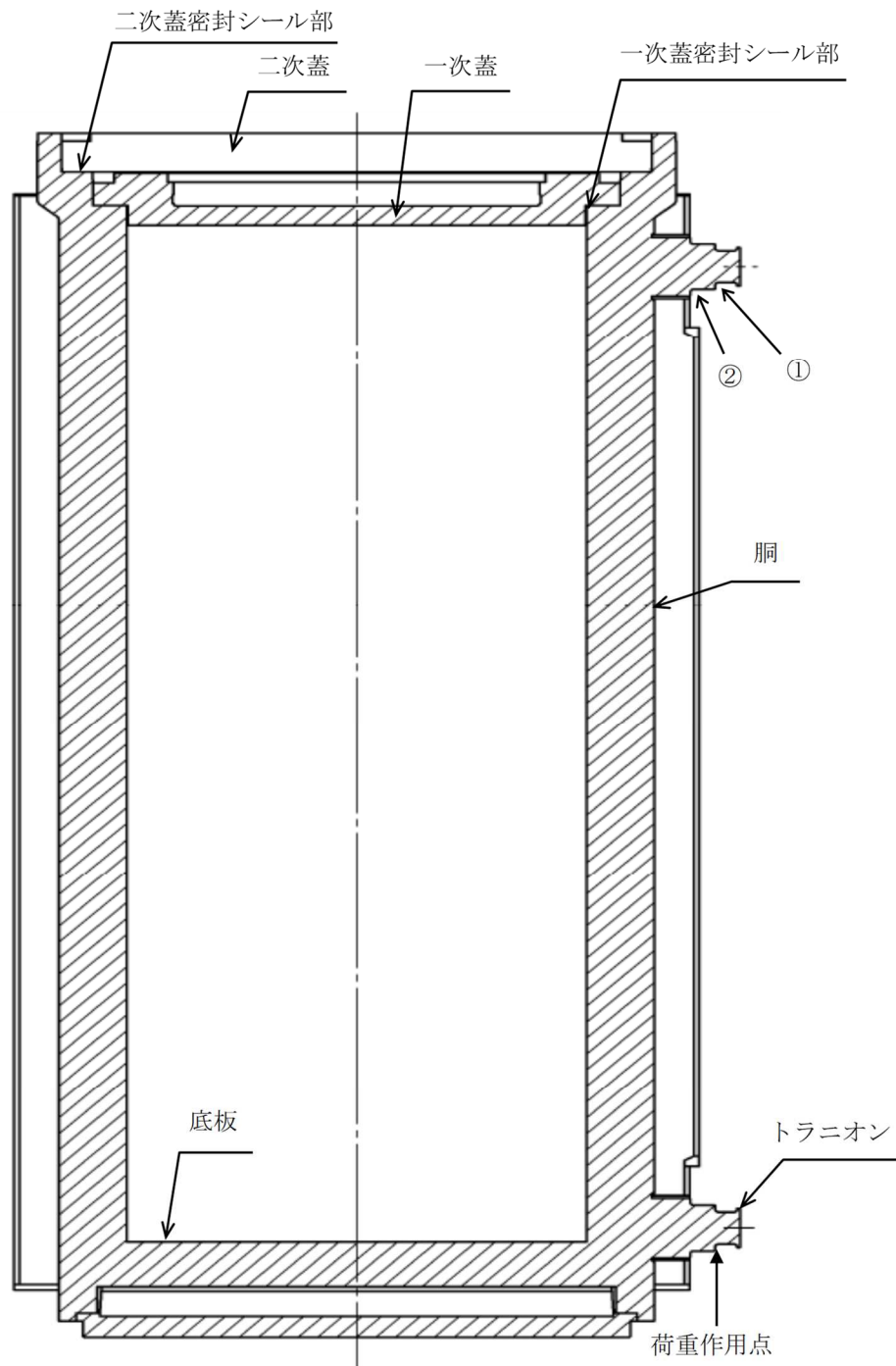
各機器の最高使用圧力及び最高使用温度を表 2. 1-4 に示す。

表 2. 1-4 最高使用圧力及び最高使用温度

キャスク容器	最高使用圧力	1.0 MPa
	最高使用温度	150 °C
二次蓋	最高使用圧力	0.4 MPa
	最高使用温度	110 °C
バスケット	最高使用温度	260 °C
トラニオン	最高使用温度	130 °C

3) 解析箇所

解析箇所を図 2. 1-3, 4 に示す。



①, ②はトランニオンの評価点を示す

図2. 1-3 キャスク容器等の応力解析箇所

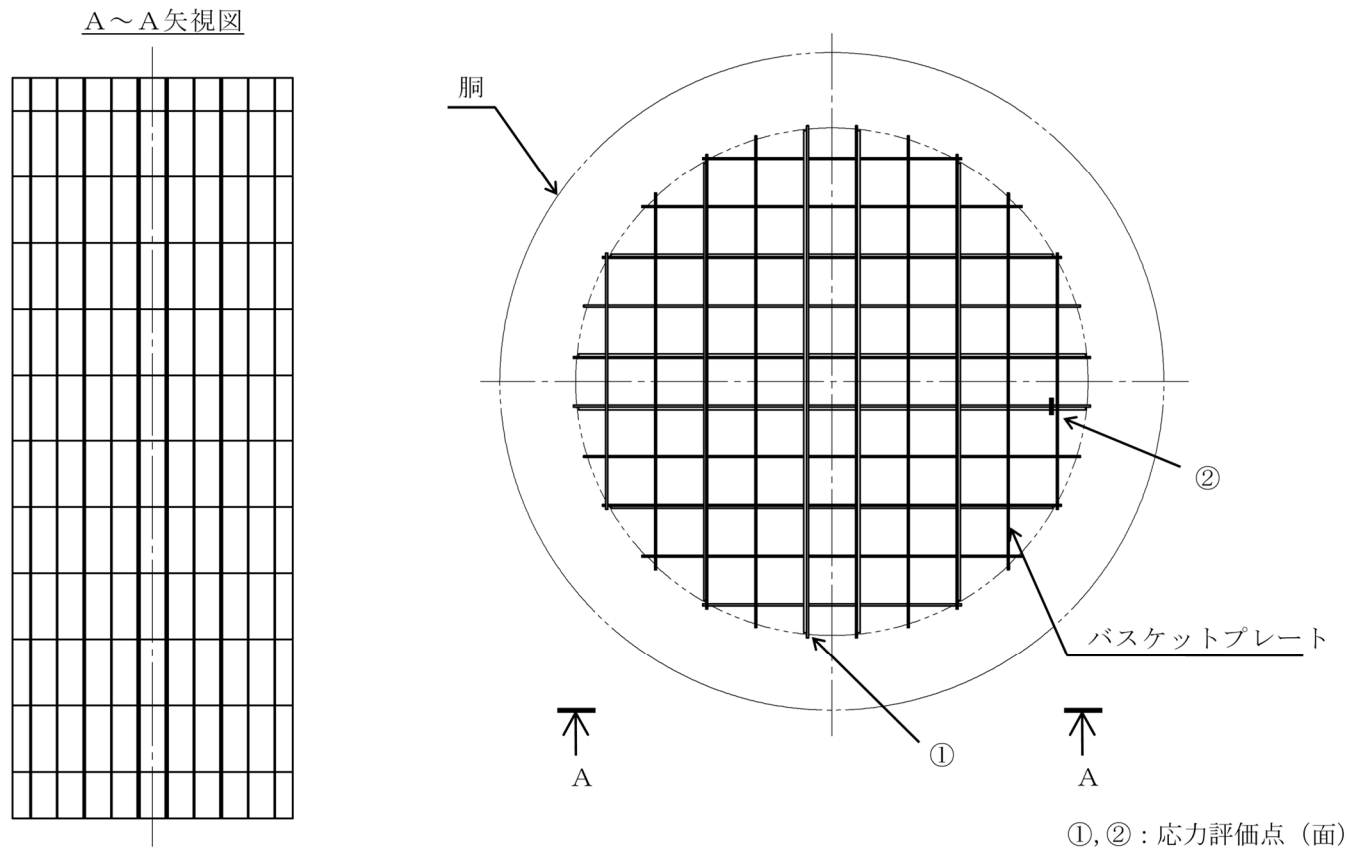


図2. 1-4 バスケットの応力解析箇所

#### 4) 物性値

##### A. キャスク容器及び二次蓋

熱応力計算に使用する材料の物性値を表 2. 1 - 5 に示す。なお、熱応力計算に使用する物性値はその温度依存性を考慮する。

内圧及び機械的荷重による応力計算に使用する物性値は、温度分布計算で得られた温度を各部ごとに設定し、これに対応した値を用いる。なお、常温は 20°C とする。

##### B. バスケット

熱応力計算に使用する材料の物性値を表 2. 1 - 6 に示す。なお、熱応力計算に使用する物性値はその温度依存性を考慮する。

機械的荷重による応力計算に使用する物性値は、最高使用温度に対する値を用いる。なお、常温は 20°C とする。

##### C. トラニオン

熱応力計算に使用する材料の物性値を表 2. 1 - 7 に示す。

機械的荷重による応力計算に使用する物性値は、最高使用温度に対する値を用いる。なお、常温は 20°C とする。



表 2. 1-5 熱応力計算に使用する材料の物性値 (キャスク容器及び二次蓋)

構成部材	材料	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	平均熱膨張係数 ( $\times 10^{-6}$ mm/(mm $\cdot$ °C))	ポアソン比 (-)
胴 底板 一次蓋	炭素鋼 (GLF1)	20	203000	9.73	0.3
		50	201000	10.10	
		75	200000	10.39	
		100	198000	10.69	
		125	196000	11.00	
		150	195000	11.28	
		175	193000	11.56	
		200	191000	11.85	
二次蓋 底部中性子 遮蔽材カバー	炭素鋼 (SGV480)	20	202000	9.73	0.3
		50	200000	10.10	
		75	198000	10.39	
		100	197000	10.69	
		125	195000	11.00	
		150	193000	11.28	
		175	192000	11.56	
		200	190000	11.85	
一次蓋締付けボルト 二次蓋締付けボルト	低合金鋼 (SNB23-3)	20	192000	11.14	0.3
		50	189000	11.40	
		75	188000	11.62	
		100	186000	11.82	
		125	185000	12.00	
		150	184000	12.21	
		175	182000	12.37	
		200	180000	12.54	

表 2. 1-6 熱応力計算に使用する材料の物性値 (バスケット)

構成部材	材料	温度 (°C)	縦弾性係数*1 (MPa)	平均熱膨張係数*1 ( $\times 10^{-6}$ mm/(mm $\cdot$ °C))	ポアソン比 (-)
バスケット プレート	ボロン添加 ステンレス鋼板 (B-SUS304P-1)	20	216000	15.22	0.3
		50	216000	15.52	
		75	214000	15.88	
		100	212000	16.24	
		125	210000	16.24	
		150	208000	16.24	
		175	206000	16.43	
		200	204000	16.63	
		225	202000	16.83	
		250	200000	17.02	
		275	199000	17.12	
		300	197000	17.22	

\* 1 事例規格参照

表 2. 1-7 熱応力計算に使用する材料の物性値 (トラニオン)

構成部材	材 料	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	平均熱膨張係数 ( $\times 10^{-6}$ mm/(mm $\cdot$ °C))
トラニオン	ステンレス鋼 (SUS630 H1150)	130	188000	11.25

(6) 解析

1) 解析手順

A. キャスク容器及び二次蓋

キャスク容器の応力解析フローを図2. 1-5に示す。

キャスク容器の応力解析は、想定される圧力荷重、機械的荷重及び熱荷重を基に、キャスク容器の実形状をモデル化し、解析コードである ABAQUS 及び応力評価式を用いて行う。

なお、二次蓋についてもキャスク容器と同様に評価を行う。

B. バスケット

バスケットの応力解析フローを図2. 1-6に示す。

バスケットの応力解析は、想定される機械的荷重及び熱荷重を基に、応力評価式を用いて行う。

C. トラニオン

トラニオンの応力解析フローを図2. 1-7に示す。

トラニオンの応力解析は、想定される機械的荷重及び熱荷重を基に応力評価式を用いて行う。

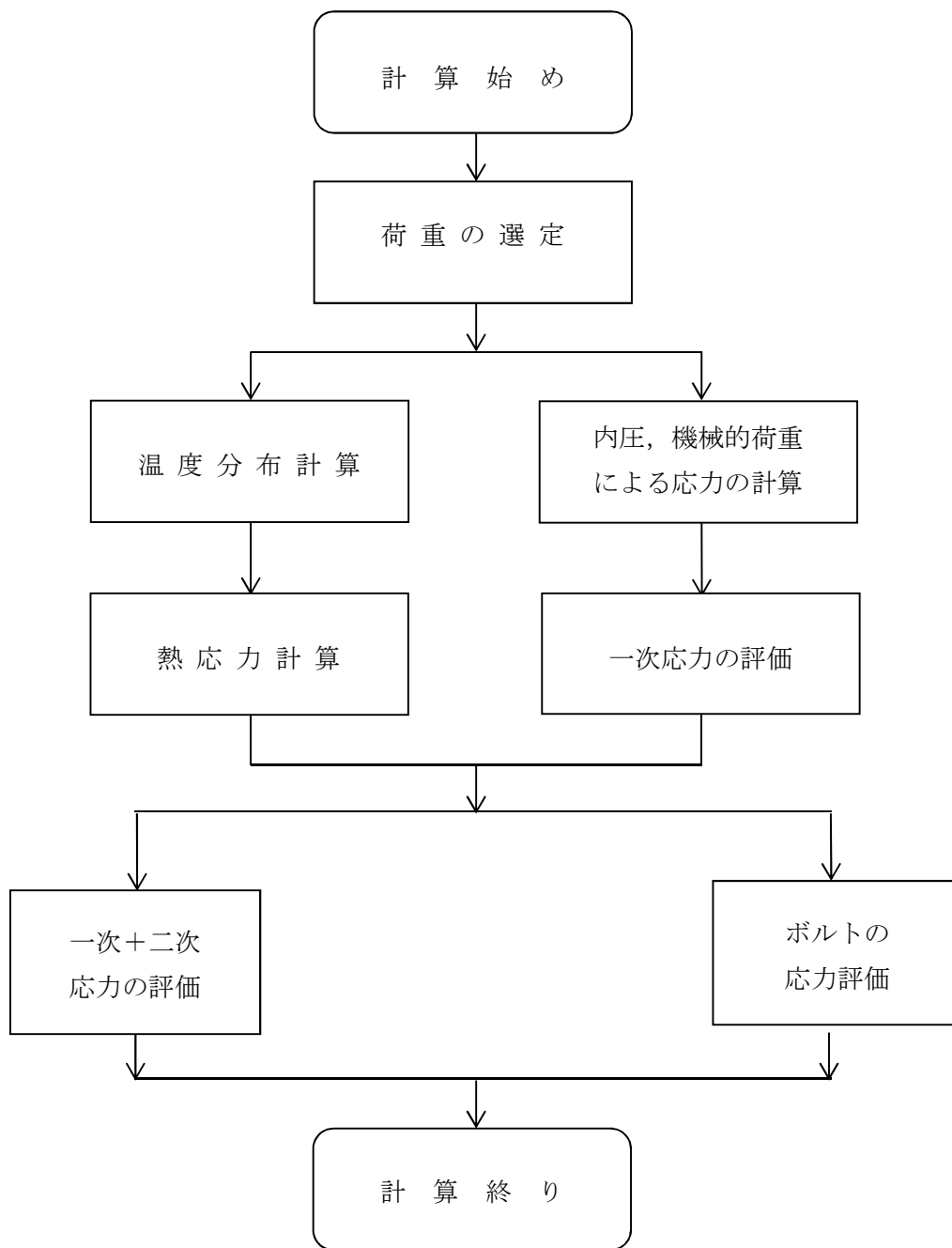


図2. 1-5 キャスク容器及び二次蓋の応力解析フロー図

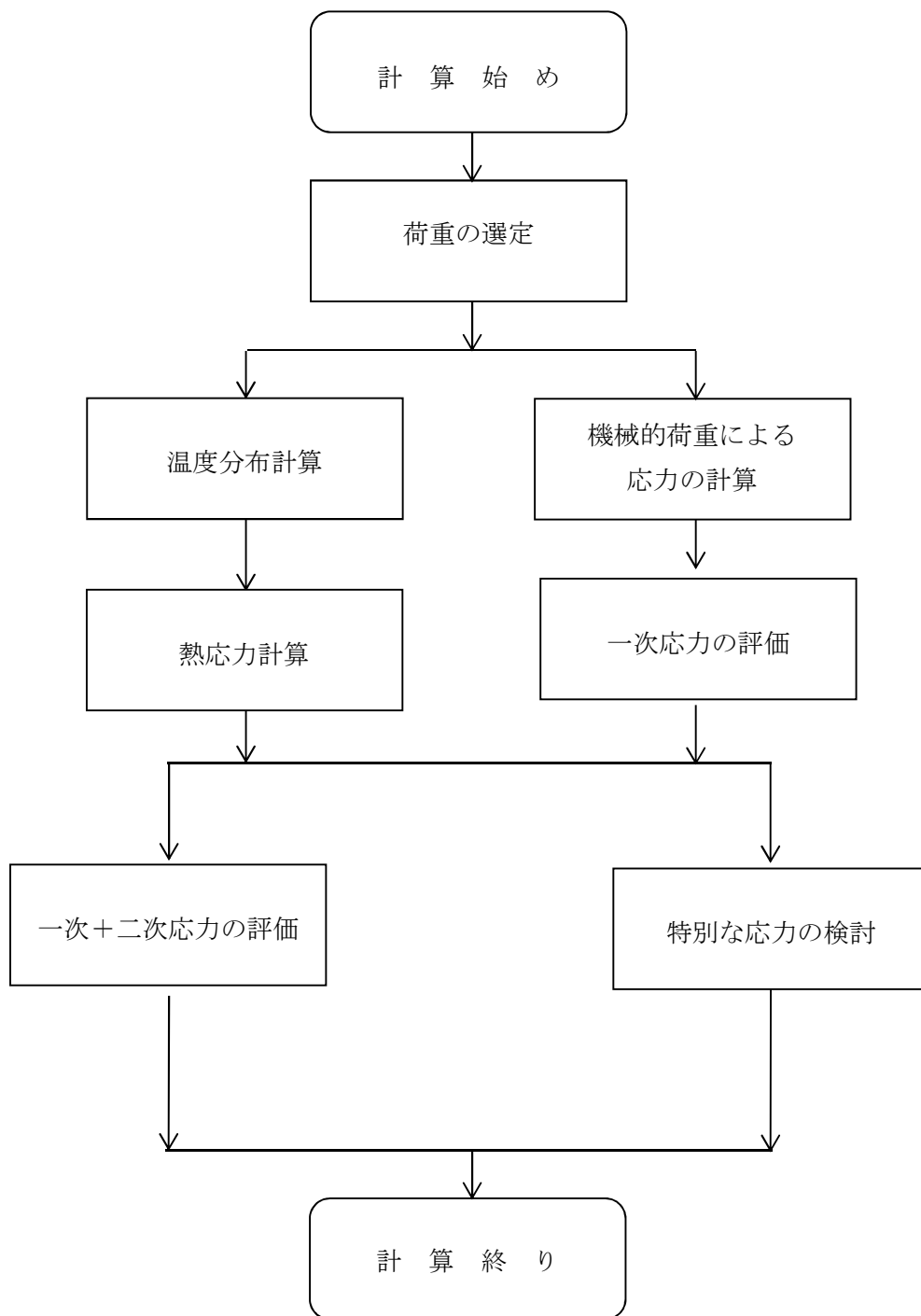


図2. 1-6 バスケットの応力解析フロー図

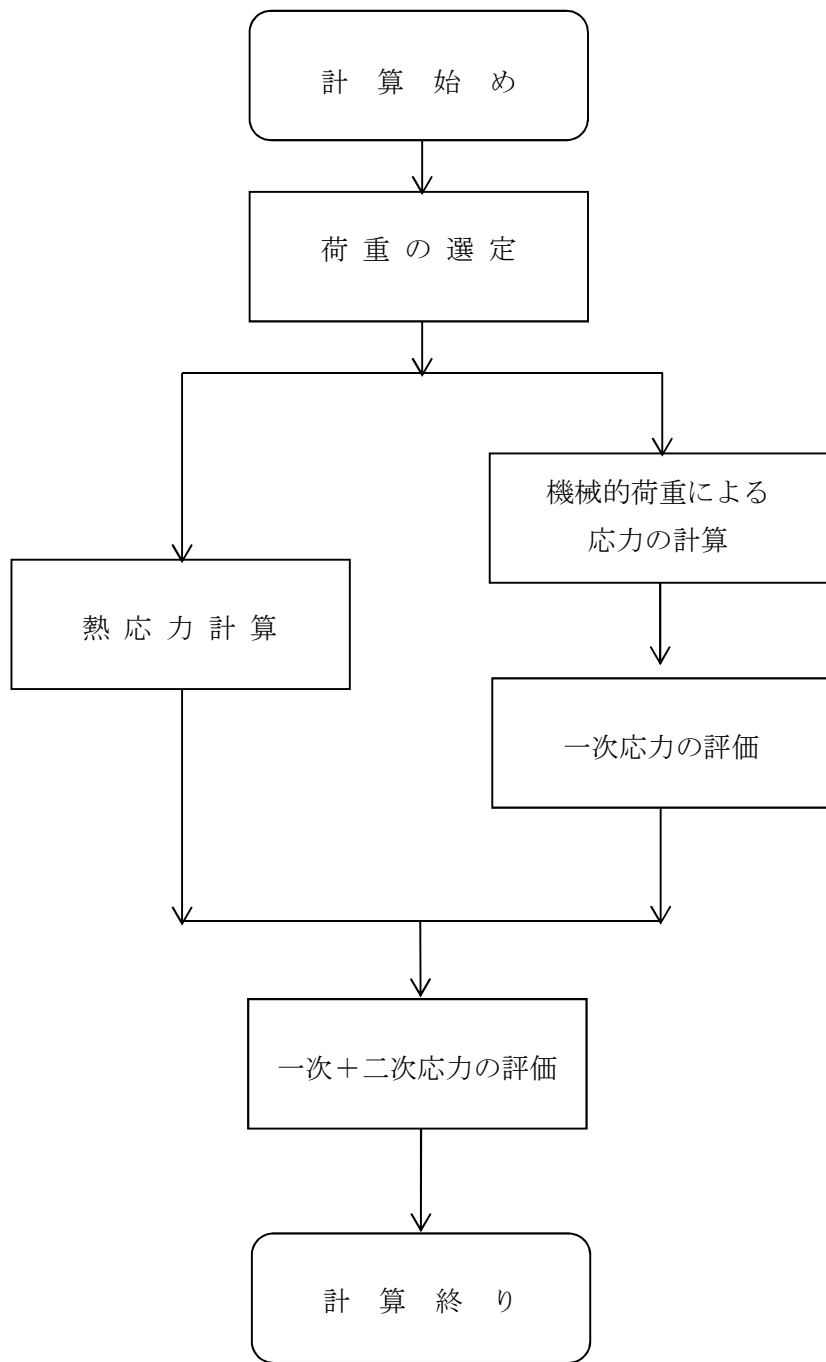


図2. 1-7 トラニオンの応力解析フロー図

## 2) 応力の評価

### A-1. キャスク容器及び二次蓋 (1/2Ss450 地震力が作用する場合)

#### a. 一次応力

一次蓋，一次蓋締付けボルト，胴，底板，底部中性子遮蔽材カバー，二次蓋及び二次蓋締付けボルトの応力計算は，解析コード ABAQUS により行う。

水平方向加速度及び鉛直方向加速度として次の値を用いる。

$$\left. \begin{aligned} G_1 &= C_H \cdot G \\ G_2 &= (1 + C_V) \cdot G \end{aligned} \right\}$$

ここで， $C_H$ ：水平方向設計震度 (=0.66)

$C_V$ ：鉛直方向設計震度 (=0.41)

水平方向加速度がキャスク左右方向に作用する場合と，キャスク軸方向に作用する場合では各部に生じる応力状態が変わるため，両方の状態を評価する。また，キャスク軸方向に作用する場合において，キャスク底部から蓋部方向に作用する場合と蓋部から底部方向に作用する場合でも各部に生じる応力状態が変わるため，両方の状態を評価する。

#### b. 一次+二次応力

##### (a) 密封シール部を除く，一次蓋，胴，底板，底部中性子遮蔽材カバー及び二次蓋

応力計算の方法は，a. と同様である。ただし，荷重条件は地震力のみとして計算を行い，振幅を考慮して最大値を2倍して求める。

##### (b) 密封シール部，一次蓋締付けボルト及び二次蓋締付けボルト

応力計算の方法は，a. と同様である。ただし，荷重条件として熱荷重を含める。

#### c. 平均支圧応力

胴側面とバスケット側面との接触部に発生する平均支圧応力 ( $\sigma_p$ ) は次式で計算する。評価を行う位置は最大の荷重が発生するバスケットプレート対向面で代表する。

$$\sigma_p = \frac{m_G \cdot G_2}{A_2}$$

ここで， $G_2 = (1 + C_V) \cdot G$

$C_V$ ：a. と同じ

$m_G$ ：バスケットプレート及び燃料の質量(kg)

$A_2$ ：バスケットプレートの接触面積(mm<sup>2</sup>)

A-2. キャスク容器及び二次蓋 (Ss900 地震力が作用する場合)

応力計算方法は, A-1. と同様である。

ただし, 水平方向加速度及び鉛直方向加速度として次の値を用いる。

$$\left. \begin{aligned} G_1 &= C_H \cdot G \\ G_2 &= (1 + C_V) \cdot G \end{aligned} \right\}$$

ここで,  $C_H$ : 水平方向設計震度 (=1.14)

$C_V$ : 鉛直方向設計震度 (=0.84)



B-1. バスケット (1/2Ss450 地震力が作用する場合)

a. 地震力が鉛直方向と軸直角方向に作用する場合

(a) 一次一般膜応力

最大応力が発生するのはバスケットプレート端部 (図 2. 1-4 ①部) である。  
鉛直方向加速度により発生する一次一般膜応力 ( $\sigma_x$ ) は次式で計算する。

$$\sigma_x = \frac{m_A \cdot G_1}{A_1}$$

ここで,  $G_1 = (1 + C_V) \cdot G$

$C_V$ : 鉛直方向設計震度 (=0.41)

$m_A$ : 使用済燃料とバスケットプレート等の合計質量 (kg)

$A_1$ : バスケットプレートの断面積 ( $\text{mm}^2$ )

(b) 一次一般膜+一次曲げ応力

最大応力が発生するのはバスケットプレート格子端部 (図 2. 1-4 ②部) である。

水平方向加速度により発生する一次一般膜応力 ( $\sigma_y$ ) は次式で計算する。

$$\sigma_y = \frac{m_A \cdot G_2}{A_1}$$

ここで,  $G_2 = C_H \cdot G$

$C_H$ : 水平方向設計震度 (=0.66)

$m_A$ : 使用済燃料とバスケットプレート等の合計質量 (kg)

$A_1$ : バスケットプレートの断面積 ( $\text{mm}^2$ )

鉛直方向加速度により発生する一次曲げ応力 ( $\sigma_y$ ) は次式で計算する。

$$\sigma_y = \frac{M}{Z}$$

$$M = \frac{m_B \cdot G_1 \cdot l_p}{12 \cdot \frac{l_w}{2}}$$

ここで,  $G_1$ : (a) と同じ

$M$ : バスケットプレート格子端部の単位幅当たりの曲げモーメント  
( $\text{N} \cdot \text{mm}/\text{mm}$ )

$Z$ : バスケットプレートの単位幅当たりの断面係数 ( $\text{mm}^3/\text{mm}$ )

$m_B$ : 使用済燃料, 伝熱プレート及びバスケットプレートの合計質量 (kg)

$l_p$ : バスケットプレートの内のり (mm)

$l_w$ : バスケットプレートのキャスク容器軸方向長さ (mm)

ただし, バスケットプレート同士の嵌合のため切欠きがあり, 実際の荷重負荷面の長さを  $l_w/2$  とする。

鉛直方向加速度によりバスケットプレート格子端部（図 2. 1-4 ②部）に発生する平均せん断応力（ $\tau_{xy}$ ）は、次式で計算する。

$$\tau_{xy} = \frac{m_B \cdot G_1}{2 \cdot \frac{A_1}{2}}$$

ここで、 $G_1$ : (a) と同じ

$m_B$ : 使用済燃料、伝熱プレート及びバスケットプレートの合計質量(kg)

$A_1$ : バスケットプレートの断面積(mm<sup>2</sup>)

(c) 平均せん断応力

バスケットプレート格子端部（図 2. 1-4 ②部）に発生する特別な応力の検討の対象である平均せん断応力（ $\sigma_s$ ）は次式で計算する。

$$\sigma_s = \frac{m_B \cdot G_1}{2 \cdot \frac{A_1}{2}}$$

ここで、 $G_1$ : (a) と同じ

$m_B$ : 使用済燃料、伝熱プレート及びバスケットプレートの合計質量(kg)

$A_1$ : バスケットプレートの断面積(mm<sup>2</sup>)

(d) 平均支圧応力

バスケットプレート端部（図 2. 1-4 ①部）に発生する特別な応力の検討の対象である平均支圧応力（ $\sigma_p$ ）は次式で計算する。

$$\sigma_p = \frac{m_A \cdot G_1}{A_1}$$

ここで、 $G_1$ : (a) と同じ

$m_A$ : 使用済燃料とバスケットプレート等の合計質量(kg)

$A_1$ : バスケットプレートの断面積(mm<sup>2</sup>)

(e) 圧縮応力

バスケットプレート端部（図 2. 1-4 ①部）に発生する特別な応力の検討の対象である圧縮応力（ $\sigma_c$ ）は次式で計算する。

$$\sigma_c = \frac{m_A \cdot G_1}{A_1}$$

ここで、 $G_1$ : (a) と同じ

$m_A$ : 使用済燃料とバスケットプレート等の合計質量(kg)

$A_1$ : バスケットプレートの断面積(mm<sup>2</sup>)

b. 地震力が鉛直方向と軸水平方向に作用する場合

(a) 一次一般膜応力

最大応力が発生するのはバスケットプレート端部（図2. 1-4 ①部）である。  
鉛直方向加速度により発生する一次一般膜応力（ $\sigma_x$ ）は次式で計算する。

$$\sigma_x = \frac{m_A \cdot G_1}{A_1}$$

ここで、 $G_1 = (1 + C_V) \cdot G$

$C_V$ : 鉛直方向設計震度 (=0.41)

$m_A$ : 使用済燃料とバスケットプレート等の合計質量 (kg)

$A_1$ : バスケットプレートの断面積 (mm<sup>2</sup>)

水平方向加速度により発生する一次一般膜応力（ $\sigma_z$ ）は次式で計算する。

$$\sigma_z = \rho \cdot l_W \cdot G_3$$

ここで、 $G_3 = C_H \cdot G$

$C_H$ : 水平方向設計震度 (=0.66)

$\rho$ : バスケットプレートの密度 (kg/mm<sup>3</sup>)

$l_W$ : バスケットプレートの全長 (mm)

(b) 一次一般膜+一次曲げ応力

最大応力が発生するのはバスケットプレート格子端部（図2. 1-4 ②部）である。

鉛直方向加速度により発生する一次曲げ応力（ $\sigma_y$ ）は次式で計算する。

$$\sigma_y = \frac{M}{Z}$$

$$M = \frac{m_B \cdot G_1 \cdot l_p}{12 \cdot \frac{l_W}{2}}$$

ここで、 $G_1$ : (a) と同じ

$M$ : バスケットプレート格子端部の単位幅当たりの曲げモーメント  
(N・mm/mm)

$Z$ : バスケットプレートの単位幅当たりの断面係数 (mm<sup>3</sup>/mm)

$m_B$ : 使用済燃料, 伝熱プレート及びバスケットプレートの合計質量 (kg)

$l_p$ : バスケットプレートの内のり (mm)

$l_W$ : バスケットプレートのキャスク容器軸方向長さ (mm)

ただし、バスケットプレート同士の嵌合のため切欠きがあり、実際の荷重負荷面の長さを  $l_W/2$  とする。

水平方向加速度により発生する一次一般膜応力( $\sigma_z$ )は次式で計算する。

$$\sigma_z = \rho \cdot l_w \cdot G_3$$

ここで、 $G_3$  : (a) と同じ

$C_H$ : 水平方向設計震度 (=0.66)

$\rho$  : バスケットプレートの密度 (kg/mm<sup>3</sup>)

$l_w$ : バスケットプレートの全長 (mm)

鉛直方向加速度により発生するバスケットプレート格子端部 (図 2. 1-4 ②部) に発生する平均せん断応力( $\tau_{xy}$ )は次式で計算する。

$$\tau_{xy} = \frac{m_B \cdot G_1}{2 \cdot \frac{A_1}{2}}$$

ここで $G_1$ : (a) と同じ

$m_B$ : 使用済燃料, 伝熱プレート及びバスケットプレートの合計質量 (kg)

$A_1$ : バスケットプレートの断面積 (mm<sup>2</sup>)

(c) 平均せん断応力

バスケットプレート格子端部 (図 2. 1-4 ②部) に発生する特別な応力の検討の対象である平均せん断応力( $\sigma_s$ )は次式で計算する。

$$\sigma_s = \frac{m_B \cdot G_1}{2 \cdot \frac{A_1}{2}}$$

ここで $G_1$ : (a) と同じ

$m_B$ : 使用済燃料, 伝熱プレート及びバスケットプレートの合計質量 (kg)

$A_1$ : バスケットプレートの断面積 (mm<sup>2</sup>)

(d) 平均支圧応力

バスケットプレート端部 (図 2. 1-4 ①部) に発生する特別な応力の検討の対象である平均支圧応力( $\sigma_p$ )は次式で計算する。

$$\sigma_p = \frac{m_A \cdot G_1}{A_1}$$

ここで $G_1$ : (a) と同じ

$m_A$ : 使用済燃料とバスケットプレート等の合計質量 (kg)

$A_1$ : バスケットプレートの断面積 (mm<sup>2</sup>)

(e) 圧縮応力

バスケットプレート端部 (図 2. 1-4 ①部) に発生する特別な応力の検討の対象である圧縮応力 ( $\sigma_c$ ) は次式で計算する。

$$\sigma_c = \frac{m_A \cdot G_1}{A_1}$$

ここで  $G_1$ : (a) と同じ

$m_A$ : 使用済燃料とバスケットプレート等の合計質量 (kg)

$A_1$ : バスケットプレートの断面積 ( $\text{mm}^2$ )

B-2. バスケット (Ss900 地震力が作用する場合)

a. 地震力が鉛直方向と軸直角方向に作用する場合

応力計算は B-1. a. と同様である。

ただし,  $G_1 = (1 + C_V) \cdot G$

$$G_2 = C_H \cdot G$$

$C_V$ : 鉛直方向設計震度 (=0.84)

$C_H$ : 水平方向設計震度 (=1.14)

b. 地震力が鉛直方向と軸水平方向に作用する場合

応力計算は B-1. b. と同様である。

ただし,  $G_1 = (1 + C_V) \cdot G$

$$G_3 = C_H \cdot G$$

$C_V$ : 鉛直方向設計震度 (=0.84)

$C_H$ : 水平方向設計震度 (=1.14)

C-1. トラニオン (1/2Ss450 地震力が作用する場合)

a. 地震力が鉛直方向と軸直角方向に作用する場合

(a) 一次応力

イ. せん断応力

最大応力が発生する箇所は図2. 1-3に示す下部トラニオンの評価点①である。

鉛直方向加速度により発生するせん断応力( $\tau$ )は、次式で計算する。

$$\tau = \frac{F_m}{A}$$

$$F_m = \frac{m_2 \cdot G_2}{4}$$

ここで、 $G_2 = (1 + C_v) \cdot G$

$C_v$ : 鉛直方向設計震度 (=0.41)

$F_m$ : 地震力によりトラニオンに作用する荷重(N)

$m_2$ : 保管時における金属キャスクの質量(kg)

$A$ : 評価点①の断面積(mm<sup>2</sup>)

ロ. 曲げ応力

最大応力が発生する箇所は図2. 1-3に示す下部トラニオンの評価点②である。

鉛直方向加速度により発生する曲げ応力( $\sigma_b$ )は次式で計算する。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

$$M = F_m \cdot L$$

ここで、 $F_m$ :イ. と同じ

$Z$ : 評価点②の断面係数(mm<sup>3</sup>)

$L$ : 評価点②と荷重作用位置との距離(mm)

ハ. 圧縮応力

最大応力が発生する箇所は図2. 1-3に示す下部トラニオンの評価点①である。

水平方向加速度により発生する圧縮応力( $\sigma_c$ )は、次式で計算する。

$$\sigma_c = \frac{F_m}{A}$$

$$F_m = \frac{m_2 \cdot G_1}{4}$$

ここで、 $G_1 = C_H \cdot G$

$C_H$ : 水平方向設計震度 (=0.66)

$F_m$ : 地震力によりトラニオンに作用する荷重(N)

$m_2$  : 保管時における金属キャスクの質量(kg)

$A$  : 評価点①の断面積(mm<sup>2</sup>)

## ニ. 組合せ応力

### I. せん断応力と曲げ応力

最大応力が発生する箇所は図2. 1-3に示す下部トラニオンの評価点①である。

せん断応力( $\tau$ )と曲げ応力( $\sigma_b$ )との組合せ応力( $\sigma_T$ )は、次式で計算する。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、 $\tau$  : イ. と同じ

$\sigma_b$  : ロ. と同じ

ただし、 $Z$  : 評価点①の断面係数(mm<sup>3</sup>)

$L$  : 評価点①と荷重作用位置との距離(mm)

### (b) 一次+二次応力

#### イ. せん断応力

地震力によるせん断応力( $\tau$ )の全振幅は、(a) イ. で求めたせん断応力( $\tau$ )の2倍とする。

#### ロ. 曲げ応力

地震力による曲げ応力( $\sigma_b$ )の全振幅は、(a) ロ. で求めた曲げ応力( $\sigma_b$ )の2倍とする。

#### ハ. 圧縮応力

地震力による圧縮応力( $\sigma_c$ )は左右方向荷重により作用し、左右方向が反転した場合、対向する別のトラニオンで荷重を受ける。地震力による圧縮応力( $\sigma_c$ )の最大値は、(a) ハ. で求めた圧縮応力( $\sigma_c$ )と同様である。

### b. 地震力が鉛直方向と軸水平方向に作用する場合

#### (a) 一次応力

##### イ. せん断応力

最大応力が発生する箇所は図2. 1-3に示す下部トラニオンの評価点①である。

水平方向加速度及び鉛直方向加速度により発生するせん断応力( $\tau$ )は、次式で計算する。

$$\tau = \frac{F_m}{A}$$

$$F_m = \frac{m_2 \sqrt{4G_1^2 + G_2^2}}{4}$$

ここで,  $G_1 = C_H \cdot G$

$$G_2 = (1 + C_V) \cdot G$$

$C_H$ : 水平方向設計震度 (=0.66)

$C_V$ : 鉛直方向設計震度 (=0.41)

$F_m$ : 地震力によりトラニオンに作用する荷重(N)

$m_2$ : 保管時における金属キャスクの質量(kg)

$A$ : 評価点①の断面積(mm<sup>2</sup>)

#### ロ. 曲げ応力

最大応力が発生する箇所は図2. 1-3に示す下部トラニオンの評価点②である。

水平方向加速度及び鉛直方向加速度により発生する曲げ応力( $\sigma_b$ )は次式で計算する。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

$$M = F_m \cdot L$$

ここで,  $F_m$ : イ. と同じ

$Z$ : 評価点②の断面係数(mm<sup>3</sup>)

$L$ : 評価点②と荷重作用位置との距離(mm)

#### ハ. 組合せ応力

##### I. せん断応力と曲げ応力

最大応力が発生する箇所は図2. 1-3に示す下部トラニオンの評価点①である。

せん断応力( $\tau$ )と曲げ応力( $\sigma_b$ )との組合せ応力( $\sigma_T$ )は次式で計算する。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで,  $\tau$ : イ. と同じ

$\sigma_b$ : ロ. と同じ

ただし,  $Z$ : 評価点①の断面係数(mm<sup>3</sup>)

$L$ : 評価点①と荷重作用位置との距離(mm)

#### (b) 一次+二次応力

##### イ. せん断応力

地震力によるせん断応力( $\tau$ )の全振幅は, (a)イ. で求めたせん断力( $\tau$ )の2倍とする。



ロ. 曲げ応力

地震力による曲げ応力( $\sigma_b$ )の全振幅は、(a)ロ. で求めた曲げ応力( $\sigma_b$ )の2倍とする。

C-2. トラニオン (Ss900 地震力が作用する場合)

a. 地震力が鉛直方向と軸直角方向に作用する場合

応力計算はC-1. a. と同様である。

ただし、 $G_1 = C_H \cdot G$

$$G_2 = (1 + C_V) \cdot G$$

$C_H$  : 水平方向設計震度 (=1.14)

$C_V$  : 鉛直方向設計震度 (=0.84)

b. 地震力が鉛直方向と軸水平方向に作用する場合

応力計算はC-1. b. と同様である。

ただし、 $G_1 = C_H \cdot G$

$$G_2 = (1 + C_V) \cdot G$$

$C_H$  : 水平方向設計震度 (=1.14)

$C_V$  : 鉛直方向設計震度 (=0.84)

(7) 解析結果

応力計算結果を表2. 1-8～表2. 1-11に示す。バスケットとトラニオンの応力計算結果は、「地震力が鉛直方向と軸直角方向に作用する場合」と「地震力が鉛直方向と軸水平方向に作用する場合」のうち、より応力が大きい値を記載している。いずれの機器も許容応力を満足している。

表 2. 1-8 (1) 計算結果 (キャスク容器)

(単位 : MPa)

部 位	材 料	許容応力 区分	一次一般膜応力強さ		一次膜+一次曲げ応力強さ		一次+二次応力強さ	
			計算値	許容応力	計算値	許容応力	計算値	許容応力
一次 蓋	炭素鋼	供用状態 C <sub>s</sub>	4	183	18	274	48	366
		供用状態 D <sub>s</sub>	5	251	18	377	49	366
胴	炭素鋼	供用状態 C <sub>s</sub>	2	183	10	274	16	366
		供用状態 D <sub>s</sub>	2	251	14	377	29	366
底板	炭素鋼	供用状態 C <sub>s</sub>	3	183	10	274	9	366
		供用状態 D <sub>s</sub>	3	251	10	377	15	366
底部中性子 遮蔽材 カバー	炭素鋼	供用状態 C <sub>s</sub>	5	232	45	348	13	465
		供用状態 D <sub>s</sub>	6	282	46	424	22	465
一次 蓋密封 シール部	炭素鋼	供用状態 C <sub>s</sub>	—	—	13	183	58	183
		供用状態 D <sub>s</sub>	—	—	14	183	59	183

表 2. 1-8 (2) 計算結果 (キャスク容器)

(単位 : MPa)

部 位	材 料	許容応力 区分	平均支圧応力	
			計算値	許容応力
胴	炭素鋼	供用状態 C <sub>s</sub>	2	183
		供用状態 D <sub>s</sub>	3	377

表 2. 1-8 (3) 計算結果 (キャスク容器)

(単位 : MPa)

部 位	材 料	許容応力 区分	平均引張応力		平均引張応力 + 曲げ応力	
			計算値	許容応力	計算値	許容応力
一次蓋締付けボルト	低合金鋼	供用状態 C <sub>s</sub>	247	554	342	831
		供用状態 D <sub>s</sub>	247	831	351	831

表 2. 1-9 (1) 計算結果(二次蓋)

(単位：MPa)

部 位	材 料	許容応力 区分	一次一般膜応力強さ		一次膜+一次曲げ応力強さ		一次+二次応力強さ	
			計算値	許容応力	計算値	許容応力	計算値	許容応力
二次蓋	炭素鋼	供用状態 C <sub>s</sub>	1	236	30	355	63	474
		供用状態 D <sub>s</sub>	1	286	30	429	63	474
二次蓋密封 シール部	炭素鋼	供用状態 C <sub>s</sub>	—	—	17	183	37	183
		供用状態 D <sub>s</sub>	—	—	17	183	37	183

表 2. 1-9 (2) 計算結果(二次蓋)

(単位：MPa)

部 位	材 料	許容応力 区分	平均引張応力		平均引張応力+曲げ応力	
			計算値	許容応力	計算値	許容応力
二次蓋締付けボルト	低合金鋼	供用状態 C <sub>s</sub>	251	565	271	847
		供用状態 D <sub>s</sub>	251	848	276	848

表 2. 1-10 (1) 計算結果 (バスケット)

(単位 : MPa)

部 位	材 料	許容応力 区分	一次一般膜応力強さ		一次一般膜+一次曲げ応力強さ	
			計算値	許容応力	計算値	許容応力
バスケット プレート	ボロン添加 ステンレス鋼板	供用状態 C <sub>s</sub>	2	219	7	328
		供用状態 D <sub>s</sub>	3	291	9	437

表 2. 1-10 (2) 計算結果 (バスケット)

(単位 : MPa)

部 位	材 料	許容応力 区分	平均せん断応力		平均支圧応力		圧縮応力	
			計算値	許容応力	計算値	許容応力	計算値	許容応力
バスケット プレート	ボロン添加 ステンレス鋼板	供用状態 C <sub>s</sub>	1	131	2	303	2	176
		供用状態 D <sub>s</sub>	1	175	3	404	3	176

表 2. 1-11 (1) 計算結果 (トラニオン)

(単位: MPa)

部 位	材 料	許容応力 区分	一次応力							
			せん断応力		曲げ応力		圧縮応力		垂直応力とせん断 応力の組合せ	
			計算値	許容応力	計算値	許容応力	計算値	許容応力	計算値	許容応力
トラニオン	ステンレス鋼	供用状態 C <sub>s</sub>	37	341	73	591	26	590	86	591
		供用状態 D <sub>s</sub>	57	341	110	591	44	590	130	591

表 2. 1-11 (2) 計算結果 (トラニオン)

(単位: MPa)

部 位	材 料	許容応力 区分	一次+二次応力					
			せん断応力		曲げ応力		圧縮応力	
			計算値	許容応力	計算値	許容応力	計算値	許容応力
トラニオン	ステンレス鋼	供用状態 C <sub>s</sub>	74	682	145	1182	26	590
		供用状態 D <sub>s</sub>	113	682	219	1182	44	590

## 2.2 輸送貯蔵兼用キャスク用支持架台

### (1) 評価方針

キャスク仮保管設備における輸送貯蔵兼用キャスク用支持架台の 1/2Ss450 に対する耐震性について示すものである。

### (2) 主な構成部材と適用基準

#### 1) 主な構成部材

輸送貯蔵兼用キャスク用支持架台の耐震強度は、地震時に要求される安全機能を維持するため、鋼製支持架台、埋め込み金物、基礎ボルト、コンクリート支持架台により構成される。

#### 2) 適用基準と規格

輸送貯蔵兼用キャスク用支持架台は原子力発電所耐震設計技術規程 [JEAC4601-2008] 及び、発電用原子力設備規格 設計・建設規格 2005 年版 (2007 年追補版含む) [JSME S NC1-2005/2007] を適用する。

### (3) 固有周期の算定

固有周期は「2.1 輸送貯蔵兼用キャスク (3) 固有周期の算定」と同一である。

### (4) 設計震度

「(3) 固有周期の算定」で求めた固有周期と「1 耐震設計方針」に基づき、支持架台の耐震性の評価に用いる設計用地震力を定める。

支持架台の固有周期は全て 0.05sec 以下であることから、支持架台は剛体とみなすことができる。従って設計用地震力は 1.2ZPA とする。表 2. 2-1 に 1/2Ss450 の 1.2ZPA を示す。

表 2. 2-1 1/2Ss450 の 1.2ZPA

	1.2ZPA(水平)	1.2ZPA(鉛直)
1/2Ss450	0.67G	0.42G

(5) 解析条件

1) 荷重の組合せ

1/2Ss450 地震時の評価において、輸送貯蔵兼用キャスクの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せを表 2. 2-2 に示す。

表 2. 2-2 輸送貯蔵兼用キャスク用支持架台の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

設計事象		荷 重	自重による荷重	地震荷重
設計事象	評 価 事 象			
I + 1/2Ss450	1/2Ss450 地震力が作用する場合		○	○



2) 解析箇所

輸送貯蔵兼用キャスク用支持架台の応力解析を行う箇所を図2. 2-1に示す。

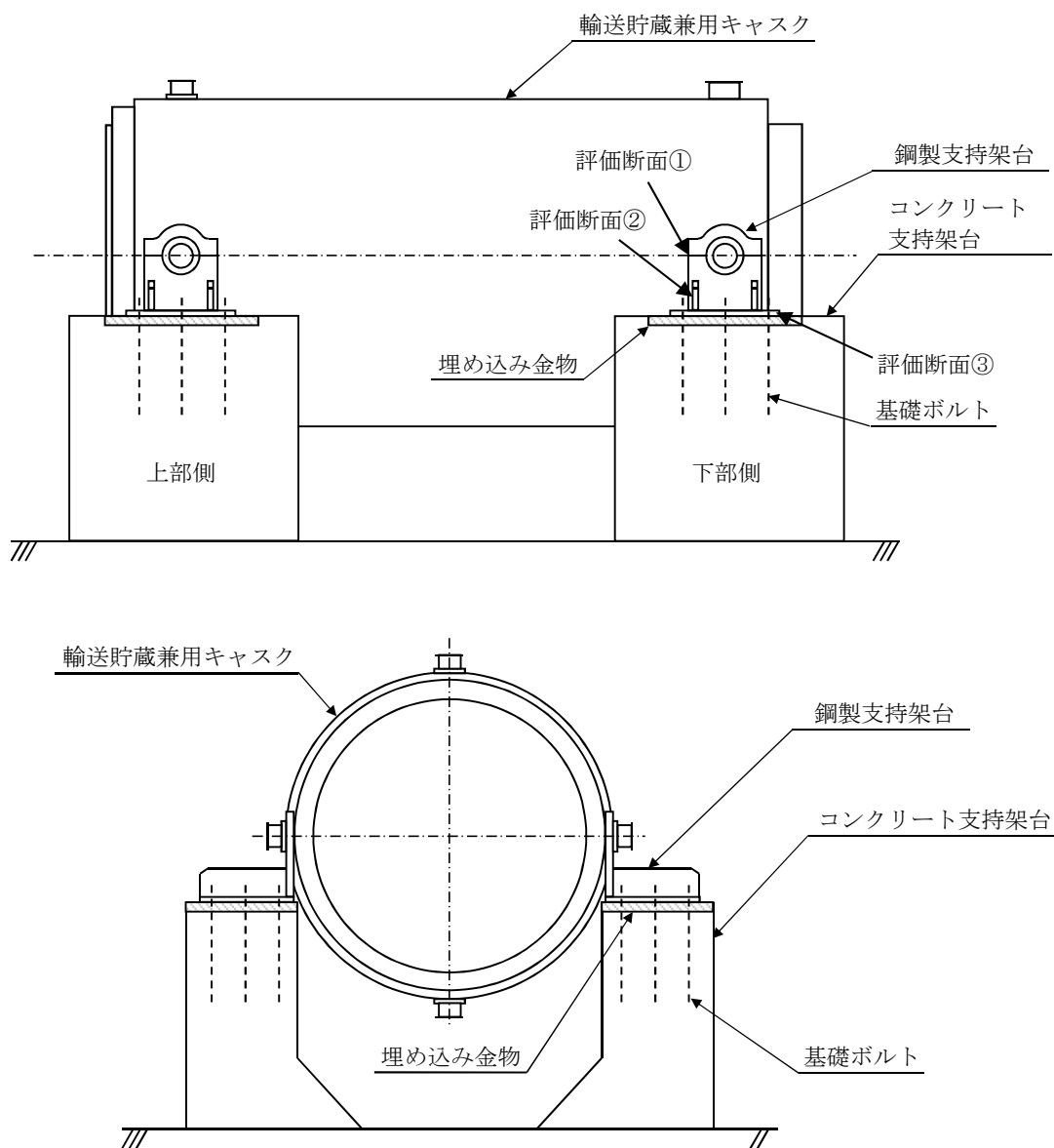


図2. 2-1 輸送貯蔵兼用キャスク用支持架台

(6) 解析

1) 解析手順

輸送貯蔵兼用キャスク用支持架台の応力解析フローを図2. 2-2に示す。

輸送貯蔵兼用キャスク用支持架台の応力解析は、想定される機械的荷重を基に応力評価式を用いて行う。

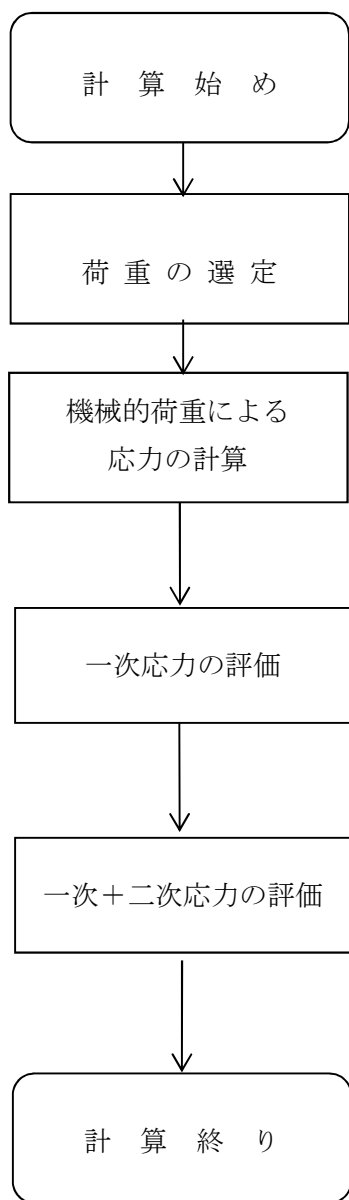


図2. 2-2 輸送貯蔵兼用キャスク用支持架台の応力解析フロー図

2) 荷重条件の選定

貯蔵時において 1/2Ss450 地震力が作用する場合の荷重は次に示す組合せとする。

自重+地震力

3) 荷重計算

図 2. 2-3 に示す鋼製支持架台 1 脚に作用するキャスクの自重 ( $F_{WU}$ ,  $F_{WL}$ ) は次式で表される。

$$F_{WU} = \frac{P_W}{2} \cdot \frac{b}{(a+b)}$$

$$F_{WL} = \frac{P_W}{2} \cdot \frac{a}{(a+b)}$$

$$P_W = W \cdot g$$

ここで,

$F_{WU}$  : 鋼製支持架台 1 脚 (上部側) に作用するキャスクの自重 (N)

$F_{WL}$  : 鋼製支持架台 1 脚 (下部側) に作用するキャスクの自重 (N)

$P_W$  : キャスク自重 (N)

$a$  : キャスク重心から上部トラニオン軸心までの距離 (mm)

$b$  : キャスク重心から下部トラニオン軸心までの距離 (mm)

$W$  : キャスク設計質量 (kg)

$g$  : 重力加速度 ( $m/s^2$ )

図 2. 2-3 に示す鋼製支持架台 1 脚に作用する鉛直方向地震力 ( $F_{VU}$ ,  $F_{VL}$ ) は次式で表される。

$$F_{VU} = \frac{P_V}{2} \cdot \frac{b}{(a+b)}$$

$$F_{VL} = \frac{P_V}{2} \cdot \frac{a}{(a+b)}$$

$$P_V = W \cdot C_V \cdot g$$

ここで,

$F_{VU}$  : 鋼製支持架台 1 脚 (上部側) に作用する鉛直方向地震力 (N)

$F_{VL}$  : 鋼製支持架台 1 脚 (下部側) に作用する鉛直方向地震力 (N)

$P_V$  : キャスクに作用する鉛直方向地震力 (N)

$a$  : キャスク重心から上部トラニオン軸心までの距離 (mm)

$b$  : キャスク重心から下部トラニオン軸心までの距離 (mm)

$W$  : キャスク設計質量 (kg)

$C_V$  : 鉛直方向震度  
 $g$  : 重力加速度 ( $m/s^2$ )

図 2. 2-3 に示す鋼製支持架台 1 脚に作用する軸方向水平地震力 ( $F_{HXU}$ ,  $F_{HXL}$ ) は次式で表される。なお, 上部側のトラニオン受けには, キャスク軸方向にスライドできる機構を備えており, 軸方向水平地震力は作用しない。

$$F_{HXU} = 0$$

$$F_{HXL} = \frac{P_{HX}}{2}$$

$$P_{HX} = W \cdot C_H \cdot g$$

ここで,

$F_{HXU}$  : 鋼製支持架台 1 脚 (上部側) に作用する軸方向水平地震力 (N)

$F_{HXL}$  : 鋼製支持架台 1 脚 (下部側) に作用する軸方向水平地震力 (N)

$P_{HX}$  : キャスクに作用する軸方向水平地震力 (N)

$W$  : キャスク設計質量 (kg)

$C_H$  : 水平方向震度

$g$  : 重力加速度 ( $m/s^2$ )

図 2. 2-3 に示す鋼製支持架台 1 脚に作用する軸直角方向水平地震力 ( $F_{HYU}$ ,  $F_{HYL}$ ) は次式で表される。なお, トラニオン受けには, 鋼製支持架台に作用する軸直角方向荷重が, キャスクから支持架台の方向にのみ作用する機構を備えている。

$$F_{HYU} = P_{HY} \cdot \frac{b}{(a+b)}$$

$$F_{HYL} = P_{HY} \cdot \frac{a}{(a+b)}$$

$$P_{HY} = W \cdot C_H \cdot g$$

ここで,

$F_{HYU}$  : 鋼製支持架台 1 脚 (上部側) に作用する軸直角方向水平地震力 (N)

$F_{HYL}$  : 鋼製支持架台 1 脚 (下部側) に作用する軸直角方向水平地震力 (N)

$P_{HY}$  : キャスクに作用する軸直角方向水平地震力 (N)

$a$  : キャスク重心から上部トラニオン軸心までの距離 (mm)

$b$  : キャスク重心から下部トラニオン軸心までの距離 (mm)

$W$  : キャスク設計質量 (kg)

$C_H$  : 水平方向震度

$g$  : 重力加速度 ( $m/s^2$ )

4) 応力評価

①. 鋼製支持架台（評価断面①）

自重＋鉛直方向地震力＋軸方向水平地震力＋軸直角方向水平地震力

A. 一次応力

図2. 2-4において自重のみによる軸応力（ $\sigma_{cW}$ ），鉛直方向地震力による軸応力（ $\sigma_{cV}$ ），軸方向水平地震力による軸応力（ $\sigma_{cHX}$ ）と軸直角方向水平地震力による軸応力（ $\sigma_{cHY}$ ）は次式で表される。

$$\sigma_{cW} = \frac{F_W}{B \cdot t}$$

$$\sigma_{cV} = \frac{F_V}{B \cdot t}$$

$$\sigma_{cHX} = 0$$

$$\sigma_{cHY} = 0$$

鉛直方向地震力による軸応力（ $\sigma_{cV}$ ），軸方向水平地震力による軸応力（ $\sigma_{cHX}$ ），軸直角方向水平地震力による軸応力（ $\sigma_{cHY}$ ）の組合せ軸応力（ $\sigma_{cK}$ ）は次式で表される。

$$\sigma_{cK} = \sqrt{\sigma_{cV}^2 + \sigma_{cHX}^2 + \sigma_{cHY}^2}$$

自重のみによる軸応力（ $\sigma_{cW}$ ）と地震力同士の組合せ軸応力（ $\sigma_{cK}$ ）との組み合わせ軸応力（ $\sigma_c$ ）は次式で表される。

$$\sigma_c = |\sigma_{cW}| + \sigma_{cK}$$

図2. 2-4において自重のみによる軸方向まわり曲げ応力（ $\sigma_{bXW}$ ），鉛直方向地震力による軸方向まわり曲げ応力（ $\sigma_{bXV}$ ），軸方向水平地震力による軸方向まわり曲げ応力（ $\sigma_{bXHX}$ ）と軸直角方向水平地震力による軸方向まわり曲げ応力（ $\sigma_{bXHY}$ ）は次式で表される。

$$\sigma_{bXW} = 0$$

$$\sigma_{bXV} = 0$$

$$\sigma_{bXHX} = 0$$

$$\sigma_{bXHY} = \frac{F_{HY} \cdot l_2}{B \cdot t^2 / 6}$$

鉛直方向地震力による軸方向まわり曲げ応力（ $\sigma_{bXV}$ ），軸方向水平地震力による軸方向まわり曲げ応力（ $\sigma_{bXHX}$ ），軸直角方向水平地震力による軸方向まわり曲げ応力

( $\sigma_{bXHY}$ ) の組合せ軸方向まわり曲げ応力 ( $\sigma_{bXK}$ ) は次式で表される。

$$\sigma_{bXK} = \sqrt{\sigma_{bXV}^2 + \sigma_{bXHX}^2 + \sigma_{bXHY}^2}$$

自重のみによる軸方向まわり曲げ応力 ( $\sigma_{bXW}$ ) と地震力同士の組合せ軸方向まわり曲げ応力 ( $\sigma_{bXK}$ ) との組合せ軸方向まわり曲げ応力 ( $\sigma_{bX}$ ) は次式で表される。

$$\sigma_{bX} = |\sigma_{bXW}| + \sigma_{bXK}$$

図 2. 2-4 において自重のみによる軸直角方向まわり曲げ応力 ( $\sigma_{bYW}$ )、鉛直方向地震力による軸直角方向まわり曲げ応力 ( $\sigma_{bYV}$ )、軸方向水平地震力による軸直角方向まわり曲げ応力 ( $\sigma_{bYHX}$ ) と軸直角方向水平地震力による軸直角方向まわり曲げ応力 ( $\sigma_{bYHY}$ ) は次式で表される。

$$\sigma_{bYW} = 0$$

$$\sigma_{bYV} = 0$$

$$\sigma_{bYHX} = \frac{F_{HX} \cdot l_1}{t \cdot B^2 / 6}$$

$$\sigma_{bYHY} = 0$$

鉛直方向地震力による軸直角方向まわり曲げ応力 ( $\sigma_{bYV}$ )、軸方向水平地震力による軸直角方向まわり曲げ応力 ( $\sigma_{bYHX}$ )、軸直角方向水平地震力による軸直角方向まわり曲げ応力 ( $\sigma_{bYHY}$ ) の組合せ軸直角方向まわり曲げ応力 ( $\sigma_{bYK}$ ) は次式で表される。

$$\sigma_{bYK} = \sqrt{\sigma_{bYV}^2 + \sigma_{bYHX}^2 + \sigma_{bYHY}^2}$$

自重のみによる軸直角方向まわり曲げ応力 ( $\sigma_{bYW}$ ) と地震力同士の組合せ軸直角方向まわり曲げ応力 ( $\sigma_{bYK}$ ) との組合せ軸方向まわり曲げ応力 ( $\sigma_{bY}$ ) は次式で表される。

$$\sigma_{bY} = |\sigma_{bYW}| + \sigma_{bYK}$$

図 2. 2-4 において軸方向まわりの曲げ応力 ( $\sigma_{bX}$ ) と軸直角方向まわりの曲げ応力 ( $\sigma_{bY}$ ) の合成曲げ応力 ( $\sigma_b$ ) は次式で表される。

$$\sigma_b = \sigma_{bX} + \sigma_{bY}$$

図 2. 2-4 において自重のみによる軸方向せん断応力 ( $\tau_{XW}$ )、鉛直方向地震力による軸方向せん断応力 ( $\tau_{XV}$ )、軸方向水平地震力による軸方向せん断応力 ( $\tau_{XHX}$ ) と軸直角方向水平地震力による軸方向せん断曲げ応力 ( $\tau_{XHY}$ ) は次式で表される。

$$\tau_{XW} = 0$$

$$\tau_{XV} = 0$$

$$\tau_{XHX} = \frac{F_{HX}}{B \cdot t}$$

$$\tau_{XHY} = 0$$

鉛直方向地震力による軸方向せん断応力 ( $\tau_{XV}$ )、軸方向水平地震力による軸方向せん断応力 ( $\tau_{XHX}$ )、軸直角方向水平地震力による軸方向せん断応力 ( $\tau_{XHY}$ ) の組合せ軸方向せん断応力 ( $\tau_{XK}$ ) は次式で表される。

$$\tau_{XK} = \sqrt{\tau_{XV}^2 + \tau_{XHX}^2 + \tau_{XHY}^2}$$

自重のみによる軸方向せん断応力 ( $\tau_{XW}$ ) と地震力同士の組合せ軸方向せん断応力 ( $\tau_{XK}$ ) との組合せ軸方向せん断応力 ( $\tau_X$ ) は次式で表される。

$$\tau_X = |\tau_{XW}| + \tau_{XK}$$

図 2. 2-4 において自重のみによる軸直角方向せん断応力 ( $\tau_{YW}$ )、鉛直方向地震力による軸直角方向せん断応力 ( $\tau_{YV}$ )、軸方向水平地震力による軸直角方向せん断応力 ( $\tau_{YHX}$ ) と軸直角方向水平地震力による軸直角方向せん断応力 ( $\tau_{YHY}$ ) は次式で表される。

$$\tau_{YW} = 0$$

$$\tau_{YV} = 0$$

$$\tau_{YHX} = 0$$

$$\tau_{YHY} = \frac{F_{HY}}{B \cdot t}$$

鉛直方向地震力による軸直角方向せん断応力 ( $\tau_{YV}$ )、軸方向水平地震力による軸直角方向せん断応力 ( $\tau_{YHX}$ )、軸直角方向水平地震力による軸直角方向せん断応力 ( $\tau_{YHY}$ ) の組合せ軸直角方向せん断応力 ( $\tau_{YK}$ ) は次式で表される。

$$\tau_{YK} = \sqrt{\tau_{YV}^2 + \tau_{YHX}^2 + \tau_{YHY}^2}$$

自重のみによる軸直角方向せん断応力 ( $\tau_{YW}$ ) と地震力同士の組合せ軸直角方向せん断応力 ( $\tau_{YK}$ ) との組合せ軸直角方向せん断応力 ( $\tau_Y$ ) は次式で表される。

$$\tau_Y = |\tau_{YW}| + \tau_{YK}$$

図2. 2-4において軸方向せん断応力 ( $\tau_x$ ) と軸直角方向せん断応力 ( $\tau_y$ ) の合成せん断応力 ( $\tau$ ) は次式で表される。

$$\tau = \sqrt{\tau_x^2 + \tau_y^2}$$

以上の軸応力 ( $\sigma_c$ ) , 曲げ応力 ( $\sigma_b$ ) , 平均せん断応力 ( $\tau$ ) による組合せ応力 ( $\sigma_T$ ) は次式で表される。

$$\sigma_T = \sqrt{(\sigma_c + \sigma_b)^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで,

$F_W$  : 図2. 2-3に示す自重の設計用値(N)

$F_V$  : 図2. 2-3に示す鉛直方向地震力の設計用値(N)

$F_{HX}$  : 図2. 2-3に示す軸方向水平地震力の設計用値(N)

$F_{HY}$  : 図2. 2-3に示す軸直角方向水平地震力の設計用値(N)

$B$  : 図2. 2-4に示す評価断面の幅(mm)

$t$  : 図2. 2-4に示すトラニオン受部の板厚(mm)

$l_1$  : 図2. 2-4に示す軸方向水平地震力に対するモーメントアーム(mm)

$l_2$  : 図2. 2-4に示す軸直角方向水平地震力に対するモーメントアーム(mm)

#### B. 一次+二次応力

地震力のみによる引張・圧縮の応力範囲 ( $\Delta \sigma_c$ ) , 曲げの応力範囲 ( $\Delta \sigma_b$ ) , せん断の応力範囲 ( $\Delta \tau$ ) , 及び座屈応力 ( $\sigma_{bc}$ ) は次式により表される。

なお, この部位では支圧応力, せん断座屈, 曲げ座屈は生じないので圧縮応力に対する座屈応力を評価する。

$$\Delta \sigma_c = 2 \cdot \sigma_{cK}$$

$$\Delta \sigma_b = \sigma_{bXK} + 2 \cdot \sigma_{bYK}$$

$$\Delta \tau = 2 \cdot \tau_{XK} + \tau_{YK}$$

$$\sigma_{bc} = \sigma_c$$



②. 鋼製支持架台（評価断面②）

自重＋鉛直方向地震力＋軸方向水平地震力＋軸直角方向水平地震力

A. 一次応力

図2. 2-5において自重のみによる軸応力（ $\sigma_{cW}$ ），鉛直方向地震力による軸応力（ $\sigma_{cV}$ ），軸方向水平地震力による軸応力（ $\sigma_{cHX}$ ）と軸直角方向水平地震力による軸応力（ $\sigma_{cHY}$ ）は次式で表される。

$$\sigma_{cW} = \frac{F_W}{B_1 \cdot t_1 + 2 \cdot B_2 \cdot t_2}$$

$$\sigma_{cV} = \frac{F_V}{B_1 \cdot t_1 + 2 \cdot B_2 \cdot t_2}$$

$$\sigma_{cHX} = 0$$

$$\sigma_{cHY} = 0$$

鉛直方向地震力による軸応力（ $\sigma_{cV}$ ），軸方向水平地震力による軸応力（ $\sigma_{cHX}$ ），軸直角方向水平地震力による軸応力（ $\sigma_{cHY}$ ）の組合せ軸応力（ $\sigma_{cK}$ ）は次式で表される。

$$\sigma_{cK} = \sqrt{\sigma_{cV}^2 + \sigma_{cHX}^2 + \sigma_{cHY}^2}$$

自重のみによる軸応力（ $\sigma_{cW}$ ）と地震力同士の組合せ軸応力（ $\sigma_{cK}$ ）との組み合わせ軸応力（ $\sigma_c$ ）は次式で表される。

$$\sigma_c = |\sigma_{cW}| + \sigma_{cK}$$

図2. 2-5において自重のみによる軸方向まわり曲げ応力（ $\sigma_{bXW1}$ ， $\sigma_{bXW2}$ ），鉛直方向地震力による軸方向まわり曲げ応力（ $\sigma_{bXV1}$ ， $\sigma_{bXV2}$ ），軸方向水平地震力による軸方向まわり曲げ応力（ $\sigma_{bXHX1}$ ， $\sigma_{bXHX2}$ ）と軸直角方向水平地震力による軸方向まわり曲げ応力（ $\sigma_{bXHY1}$ ， $\sigma_{bXHY2}$ ）は次式で表される。

$$\sigma_{bXW1} = \frac{F_W \cdot (L_1 - t_1/2)}{I_X} \cdot L_1 \quad (\text{トラニオン受側})$$

$$\sigma_{bXW2} = \frac{F_W \cdot (L_1 - t_1/2)}{I_X} \cdot L_2 \quad (\text{リブ側})$$

$$\sigma_{bXV1} = \frac{F_V \cdot (L_1 - t_1/2)}{I_X} \cdot L_1 \quad (\text{トラニオン受側})$$

$$\sigma_{bXV2} = \frac{F_V \cdot (L_1 - t_1/2)}{I_X} \cdot L_2 \quad (\text{リブ側})$$

$$\sigma_{bXHX1} = 0 \quad (\text{トラニオン受側})$$

$$\begin{aligned}\sigma_{bXHX2} &= 0 && \text{(リブ側)} \\ \sigma_{bXHY1} &= \frac{F_{HY} \cdot l_2}{I_X} \cdot L_1 && \text{(トラニオン受側)} \\ \sigma_{bXHY2} &= \frac{F_{HY} \cdot l_2}{I_X} \cdot L_2 && \text{(リブ側)}\end{aligned}$$

鉛直方向地震力による軸方向まわり曲げ応力 ( $\sigma_{bXV1}$ ,  $\sigma_{bXV2}$ ) , 軸方向水平地震力による軸方向まわり曲げ応力 ( $\sigma_{bXH1}$ ,  $\sigma_{bXH2}$ ) , 軸直角方向水平地震力による軸方向まわり曲げ応力 ( $\sigma_{bXHY1}$ ,  $\sigma_{bXHY2}$ ) の組合せ軸方向まわり曲げ応力 ( $\sigma_{bXK1}$ ,  $\sigma_{bXK2}$ ) は次式で表される。

$$\begin{aligned}\sigma_{bXK1} &= \sqrt{\sigma_{bXV1}^2 + \sigma_{bXH1}^2 + \sigma_{bXHY1}^2} && \text{(トラニオン受側)} \\ \sigma_{bXK2} &= \sqrt{\sigma_{bXV2}^2 + \sigma_{bXH2}^2 + \sigma_{bXHY2}^2} && \text{(リブ側)}\end{aligned}$$

自重のみによる軸方向まわり曲げ応力 ( $\sigma_{bXW1}$ ,  $\sigma_{bXW2}$ ) と地震力同士の組合せ軸方向まわり曲げ応力 ( $\sigma_{bXK1}$ ,  $\sigma_{bXK2}$ ) との組合せ軸方向まわり曲げ応力 ( $\sigma_{bX1}$ ,  $\sigma_{bX2}$ ) は次式で表される。

$$\begin{aligned}\sigma_{bX1} &= |\sigma_{bXW1}| + \sigma_{bXK1} && \text{(トラニオン受側)} \\ \sigma_{bX2} &= |\sigma_{bXW2}| + \sigma_{bXK2} && \text{(リブ側)}\end{aligned}$$

図2. 2-5において自重のみによる軸直角方向まわり曲げ応力 ( $\sigma_{bYW1}$ ,  $\sigma_{bYW2}$ ) , 鉛直方向地震力による軸直角方向まわり曲げ応力 ( $\sigma_{bYV1}$ ,  $\sigma_{bYV2}$ ) , 軸方向水平地震力による軸直角方向まわり曲げ応力 ( $\sigma_{bYHX1}$ ,  $\sigma_{bYHX2}$ ) と軸直角方向水平地震力による軸直角方向まわり曲げ応力 ( $\sigma_{bYHY1}$ ,  $\sigma_{bYHY2}$ ) は次式で表される。

$$\begin{aligned}\sigma_{bYW1} &= 0 && \text{(トラニオン受側)} \\ \sigma_{bYW2} &= 0 && \text{(リブ側)} \\ \sigma_{bYV1} &= 0 && \text{(トラニオン受側)} \\ \sigma_{bYV2} &= 0 && \text{(リブ側)} \\ \sigma_{bYHX1} &= \frac{F_{HX} \cdot l_1}{I_Y} \cdot L_3 && \text{(トラニオン受側)} \\ \sigma_{bYHX2} &= \frac{F_{HX} \cdot l_1}{I_Y} \cdot L_4 && \text{(リブ側)} \\ \sigma_{bYHY1} &= 0 && \text{(トラニオン受側)} \\ \sigma_{bYHY2} &= 0 && \text{(リブ側)}\end{aligned}$$

鉛直方向地震力による軸直角方向まわり曲げ応力 ( $\sigma_{bYV1}$ ,  $\sigma_{bYV2}$ ) , 軸方向水平地震力による軸直角方向まわり曲げ応力 ( $\sigma_{bYHX1}$ ,  $\sigma_{bYHX2}$ ) , 軸直角方向水平地震力による軸直角方向まわり曲げ応力 ( $\sigma_{bYHY1}$ ,  $\sigma_{bYHY2}$ ) の組合せ軸直角方向まわり曲げ応力 ( $\sigma_{bYK1}$ ,  $\sigma_{bYK2}$ ) は次式で表される。

$$\sigma_{bYK1} = \sqrt{\sigma_{bYV1}^2 + \sigma_{bYHX1}^2 + \sigma_{bYHY1}^2} \quad (\text{トラニオン受側})$$

$$\sigma_{bYK2} = \sqrt{\sigma_{bYV2}^2 + \sigma_{bYHX2}^2 + \sigma_{bYHY2}^2} \quad (\text{リブ側})$$

自重のみによる軸直角方向まわり曲げ応力 ( $\sigma_{bYW1}$ ,  $\sigma_{bYW2}$ ) と地震力同士の組合せ軸直角方向まわり曲げ応力 ( $\sigma_{bYK1}$ ,  $\sigma_{bYK2}$ ) との組合せ軸直角方向まわり曲げ応力 ( $\sigma_{bY1}$ ,  $\sigma_{bY2}$ ) は次式で表される。

$$\sigma_{bY1} = |\sigma_{bYW1}| + \sigma_{bYK1} \quad (\text{トラニオン受側})$$

$$\sigma_{bY2} = |\sigma_{bYW2}| + \sigma_{bYK2} \quad (\text{リブ側})$$

図 2. 2-5 において軸方向まわりの曲げ応力 ( $\sigma_{bX1}$ ,  $\sigma_{bX2}$ ) と軸直角方向まわりの曲げ応力 ( $\sigma_{bY1}$ ,  $\sigma_{bY2}$ ) の合成曲げ応力 ( $\sigma_{b1}$ ,  $\sigma_{b2}$ ) は次式で表される。

$$\sigma_{b1} = \sigma_{bX1} + \sigma_{bY1} \quad (\text{トラニオン受側})$$

$$\sigma_{b2} = \sigma_{bX2} + \sigma_{bY2} \quad (\text{リブ側})$$

図 2. 2-5 において自重のみによる軸方向せん断応力 ( $\tau_{XW}$ ) , 鉛直方向地震力による軸方向せん断応力 ( $\tau_{XV}$ ) , 軸方向水平地震力による軸方向せん断応力 ( $\tau_{XHX}$ ) と軸直角方向水平地震力による軸方向せん断応力 ( $\tau_{XHY}$ ) は次式で表される。

$$\tau_{XW} = 0$$

$$\tau_{XV} = 0$$

$$\tau_{XHX} = \frac{F_{HX}}{B_1 \cdot t_1 + 2 \cdot B_2 \cdot t_2}$$

$$\tau_{XHY} = 0$$

鉛直方向地震力による軸方向せん断応力 ( $\tau_{XV}$ ) , 軸方向水平地震力による軸方向せん断応力 ( $\tau_{XHX}$ ) , 軸直角方向水平地震力による軸方向せん断応力 ( $\tau_{XHY}$ ) の組合せ軸方向せん断応力 ( $\tau_{XK}$ ) は次式で表される。

$$\tau_{XK} = \sqrt{\tau_{XV}^2 + \tau_{XHX}^2 + \tau_{XHY}^2}$$

自重のみによる軸方向せん断応力 ( $\tau_{XW}$ ) と地震力同士の組合せ軸方向せん断応力 ( $\tau_{XK}$ ) との組合せ軸方向せん断応力 ( $\tau_X$ ) は次式で表される。

$$\tau_X = |\tau_{XW}| + \tau_{XK}$$

図2. 2-5において自重のみによる軸直角方向せん断応力 ( $\tau_{YW}$ ) , 鉛直方向地震力による軸直角方向せん断応力 ( $\tau_{YV}$ ) , 軸方向水平地震力による軸直角方向せん断応力 ( $\tau_{YHX}$ ) と軸直角方向水平地震力による軸直角方向せん断応力 ( $\tau_{YHY}$ ) は次式で表される。

$$\tau_{YW} = 0$$

$$\tau_{YV} = 0$$

$$\tau_{YHX} = 0$$

$$\tau_{YHY} = \frac{F_{HY}}{B_1 \cdot t_1 + 2 \cdot B_2 \cdot t_2}$$

鉛直方向地震力による軸直角方向せん断応力 ( $\tau_{YV}$ ) , 軸方向水平地震力による軸直角方向せん断応力 ( $\tau_{YHX}$ ) , 軸直角方向水平地震力による軸直角方向せん断応力 ( $\tau_{YHY}$ ) の組合せ軸直角方向せん断応力 ( $\tau_{YK}$ ) は次式で表される。

$$\tau_{YK} = \sqrt{\tau_{YV}^2 + \tau_{YHX}^2 + \tau_{YHY}^2}$$

自重のみによる軸直角方向せん断応力 ( $\tau_{YW}$ ) と地震力同士の組合せ軸直角方向せん断応力 ( $\tau_{YK}$ ) との組合せ軸直角方向せん断応力 ( $\tau_Y$ ) は次式で表される。

$$\tau_Y = |\tau_{YW}| + \tau_{YK}$$

図2. 2-5において軸方向せん断応力 ( $\tau_X$ ) と軸直角方向せん断応力 ( $\tau_Y$ ) の合成せん断応力 ( $\tau$ ) は次式で表される。

$$\tau = \sqrt{\tau_X^2 + \tau_Y^2}$$

以上の軸応力 ( $\sigma_c$ ) , 合成曲げ応力 ( $\sigma_{b1}$  ,  $\sigma_{b2}$ ) , 平均せん断応力 ( $\tau$ ) による組合せ応力 ( $\sigma_{T1}$  ,  $\sigma_{T2}$ ) は次式で表される。

$$\sigma_{T1} = \sqrt{(\sigma_c + \sigma_{b1})^2 + 3 \cdot \tau^2} \quad (\text{トラニオン受側})$$

$$\sigma_{T2} = \sqrt{(\sigma_c + \sigma_{b2})^2 + 3 \cdot \tau^2} \quad (\text{リブ側})$$

ここで,

$F_W$  : 図2. 2-3に示す自重の設計用値(N)

- $F_V$  : 図 2. 2-3 に示す鉛直方向地震力の設計用値 (N)  
 $F_{HX}$  : 図 2. 2-3 に示す軸方向水平地震力の設計用値 (N)  
 $F_{HY}$  : 図 2. 2-3 に示す軸直角方向水平地震力の設計用値 (N)  
 $B_1$  : 図 2. 2-5 に示すトラニオン受部の幅 (mm)  
 $B_2$  : 図 2. 2-5 に示すリブの幅 (mm)  
 $t_1$  : 図 2. 2-5 に示すトラニオン受部の板厚 (mm)  
 $t_2$  : 図 2. 2-5 に示すリブの板厚 (mm)  
 $L_1$  : 図 2. 2-5 に示す中立軸 (X 軸) からトラニオン受け端部までの Y 方向距離 (mm)  
 $L_2$  : 図 2. 2-5 に示す中立軸 (X 軸) からリブ端部までの Y 方向距離 (mm)  
 $L_3$  : 図 2. 2-5 に示す中立軸 (Y 軸) からトラニオン受け端部までの X 方向距離,  
 $L_3'$  及び  $L_3''$  の大きい方の値 (mm)  
 $L_4$  : 図 2. 2-5 に示す中立軸 (Y 軸) からリブ端部までの X 方向距離,  $L_4'$  及び  $L_4''$   
の大きい方の値 (mm)  
 $l_1$  : 図 2. 2-5 に示す軸方向水平地震力に対するモーメントアーム (mm)  
 $l_2$  : 図 2. 2-5 に示す軸直角方向水平地震力に対するモーメントアーム (mm)  
 $I_X$  : 図 2. 2-5 に示す断面の中立軸 (X 軸) に関する断面二次モーメント (mm<sup>4</sup>)  
 $I_Y$  : 図 2. 2-5 に示す断面の中立軸 (Y 軸) に関する断面二次モーメント (mm<sup>4</sup>)

## B. 一次+二次応力

地震力のみによる引張・圧縮の応力範囲 ( $\Delta \sigma_c$ ), 曲げの応力範囲 ( $\Delta \sigma_{b1}$ ,  $\Delta \sigma_{b2}$ ), せん断の応力範囲 ( $\Delta \tau$ ), 及び座屈応力 ( $\sigma_{bc}$ ) は次式により表される。

なお, この部位では支圧応力, せん断座屈, 曲げ座屈は生じないので圧縮応力に対する座屈応力を評価する。

$$\Delta \sigma_c = 2 \cdot \sigma_{cK}$$

$$\Delta \sigma_{b1} = \sigma_{bXK1} + 2 \cdot \sigma_{bYK1} \quad (\text{トラニオン受側})$$

$$\Delta \sigma_{b2} = \sigma_{bXK2} + 2 \cdot \sigma_{bYK2} \quad (\text{リブ側})$$

$$\Delta \tau = 2 \cdot \tau_{XK} + \tau_{YK}$$

$$\sigma_{bc} = \sigma_c$$

### ③. 鋼製支持架台（評価断面③）

自重＋鉛直方向地震力＋軸方向水平地震力＋軸直角方向水平地震力

#### A. 一次応力

図 2. 2-6 において自重，鉛直方向地震力，軸方向水平地震力及び軸直角方向水平地震力により基礎ボルトから引張力を受けて発生する曲げ応力（ $\sigma_{bb}$ ），コンクリート支持架台から圧縮力を受けて発生する曲げ応力（ $\sigma_{bc}$ ）は次式で表される。なお，この部位では曲げ応力が支配的となり圧縮応力が本体に及ぼす影響は小さいため，圧縮応力は評価対象外とする。

$$\sigma_{bb} = \frac{T \cdot L_1}{B \cdot t^2 / 6}$$

$$\sigma_{bc} = \frac{\sigma_{cT} \cdot L_2^2 / 2}{t^2 / 6}$$

$$T = \sigma_{tT} \cdot A_m$$

ここで，

$\sigma_{tT}$ ：図 2. 2-6 に示す基礎ボルトに発生する本荷重条件下における引張応力(N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{cT}$ ：図 2. 2-6 に示すコンクリートに発生する本荷重条件下における圧縮応力(N/mm<sup>2</sup>)

T：図 2. 2-6 に示す基礎ボルトに発生する本荷重条件下における引張力(N)

t：図 2. 2-6 に示す鋼製支持架台底板の板厚(mm)

B：図 2. 2-6 に示す基礎ボルトから引張力を受けて発生する曲げ応力の評価断面幅(mm)

L<sub>1</sub>：図 2. 2-6 に示す基礎ボルトから引張力を受けて発生する曲げモーメントのモーメントアーム長さ(mm)

L<sub>2</sub>：図 2. 2-6 に示すコンクリートから圧縮力を受ける長さ(mm)

A<sub>m</sub>：基礎ボルト呼び径断面積(mm<sup>2</sup>)

図 2. 2-6 において自重，鉛直方向地震力，軸方向水平地震力及び軸直角方向水平地震力により基礎ボルトから引張力を受けて発生する平均せん断応力（ $\tau_b$ ），コンクリート支持架台から圧縮力を受けて発生する平均せん断応力（ $\tau_c$ ）は次式で表される。

$$\tau_b = \frac{T}{B \cdot t}$$

$$\tau_c = \frac{\sigma_{cT} \cdot L_2}{t}$$

ここで、各記号は上記と同様である。

以上の曲げ応力 ( $\sigma_{bb}$ ,  $\sigma_{bc}$ ) , 平均せん断応力 ( $\tau_b$ ,  $\tau_c$ ) による組合せ応力 ( $\sigma_b$ ,  $\sigma_c$ ) は次式で表される。

$$\sigma_b = \sqrt{\sigma_{bb}^2 + 3 \cdot \tau_b^2}$$

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_{bc}^2 + 3 \cdot \tau_c^2}$$

#### B. 一次+二次応力

地震力のみによる曲げの応力範囲 ( $\Delta \sigma_b$ ) , せん断の応力範囲 ( $\Delta \tau$ ) は次式により表される。なお、この部位では圧縮応力、支圧応力、せん断座屈、曲げ座屈は評価対象外とする。

$$\Delta \sigma_b = \sigma_{bb} + \sigma_{bc}$$

$$\Delta \tau = \tau_b + \tau_c$$

④. 埋め込み金物

自重及び鉛直方向地震力により埋め込み金物に発生する応力は微小であるためこれらの荷重は無視する。したがって、軸方向水平地震力及び軸直角方向水平地震力により発生する応力を計算する。

自重＋鉛直方向地震力＋軸方向水平地震力＋軸直角方向水平地震力

A. 一次応力

自重及び鉛直方向地震力は無視する。

図2. 2-7において軸方向水平地震力による発生する軸方向まわり曲げ応力 ( $\sigma_{bXHX}$ ) と軸直角方向水平地震力により発生する軸方向まわり曲げ応力 ( $\sigma_{bXHY}$ ) は次式で表される。

$$\sigma_{bXHX} = 0 \quad (\text{内側シアプレート})$$

$$\sigma_{bXHY} = \frac{F_{HY} \cdot H/2}{(L - 4 \cdot t) \cdot t^2/6} \quad (\text{内側シアプレート})$$

軸方向水平地震力により発生する軸方向まわり曲げ応力 ( $\sigma_{bXHX}$ ) と軸直角方向水平地震力により発生する軸方向まわり曲げ応力 ( $\sigma_{bXHY}$ ) の組合せ軸方向まわり曲げ応力 ( $\sigma_{bXK}$ ) は次式で表される。

$$\sigma_{bXK} = \sqrt{\sigma_{bXHX}^2 + \sigma_{bXHY}^2} \quad (\text{内側シアプレート})$$

図2. 2-7において軸方向水平地震力により発生する軸直角方向まわり曲げ応力 ( $\sigma_{bYHX1}$ )、軸方向水平地震力作用点の偏心により発生する最大曲げ応力 ( $\sigma_{bYHX2}$ )、その合成曲げ応力 ( $\sigma_{bYHX}$ ) と軸直角方向水平地震力により発生する軸直角方向まわり曲げ応力 ( $\sigma_{bYHY}$ ) は次式で表される。

$$\sigma_{bYHX1} = \frac{F_{HX} \cdot H/2}{4 \cdot B \cdot t^2/6} \quad (\text{外側シアプレート})$$

$$\sigma_{bYHX2} = \sigma_{bYHX1} \cdot \frac{\tau_{XHX2}}{\tau_{XHX1}} \quad (\text{外側シアプレート})$$

$$\sigma_{bYHX} = \sigma_{bYHX1} + \sigma_{bYHX2} \quad (\text{外側シアプレート})$$

$$\sigma_{bYHY} = 0 \quad (\text{外側シアプレート})$$

軸方向水平地震力により発生する軸直角方向まわり合成曲げ応力 ( $\sigma_{bYHX}$ ) と軸直角方向水平地震力により発生する軸直角方向まわり曲げ応力 ( $\sigma_{bYHY}$ ) の組合せ軸直角方向まわり曲げ応力 ( $\sigma_{bYK}$ ) は次式で表される。



$$\sigma_{bYK} = \sqrt{\sigma_{bYHX}^2 + \sigma_{bYHY}^2} \quad (\text{外側シアプレート})$$

図2. 2-7において軸方向水平地震力による軸方向せん断応力 ( $\tau_{XHX1}$ ) と軸直角方向水平地震力による軸方向せん断応力 ( $\tau_{XHY1}$ ) のは次式で表される。

$$\tau_{XHX1} = \frac{F_{HX}}{4 \cdot B \cdot t} \quad (\text{外側シアプレート})$$

$$\tau_{XHY1} = 0 \quad (\text{外側シアプレート})$$

軸方向水平地震力による軸方向せん断応力 ( $\tau_{XHX1}$ ) と軸直角方向水平地震力による軸方向せん断応力 ( $\tau_{XHY1}$ ) の組合せ軸方向せん断応力 ( $\tau_{X1}$ ) は次式で表される。

$$\tau_{X1} = \sqrt{\tau_{XHX1}^2 + \tau_{XHY1}^2} \quad (\text{外側シアプレート})$$

図2. 2-7において軸方向水平地震力作用点の偏心による最大ねじりせん断応力 ( $\tau_{XHX2}$ ) と軸直角方向水平地震力によるねじりせん断応力 ( $\tau_{XHY2}$ ) は次式で表される。

$$\tau_{XHX2} = \frac{F_{HX} \cdot l}{I_p} \cdot r_{max} \quad (\text{外側シアプレート})$$

$$\tau_{XHY2} = 0 \quad (\text{外側シアプレート})$$

軸方向水平地震力作用点の偏心による最大ねじりせん断応力 ( $\tau_{XHX2}$ ) と軸直角方向水平地震力によるねじりせん断応力 ( $\tau_{XHY2}$ ) の組合せねじりせん断応力 ( $\tau_{X2}$ ) は次式で表される。

$$\tau_{X2} = \sqrt{\tau_{XHX2}^2 + \tau_{XHY2}^2} \quad (\text{外側シアプレート})$$

外側シアプレートにおける軸方向せん断応力 ( $\tau_{X1}$ ) とねじりせん断応力 ( $\tau_{X2}$ ) の合成せん断応力 ( $\tau_X$ ) は次式で表される。

$$\tau_X = \tau_{X1} + \tau_{X2} \quad (\text{外側シアプレート})$$

図2. 2-7において軸方向水平地震力による軸直角方向せん断応力 ( $\tau_{YHX}$ ) と軸直角方向水平地震力による軸直角方向せん断応力 ( $\tau_{YHY}$ ) は次式で表される。

$$\tau_{YHX} = 0 \quad (\text{内側シアプレート})$$

$$\tau_{YHY} = \frac{F_{HY}}{(L - 4 \cdot t) \cdot t} \quad (\text{内側シアプレート})$$

軸方向水平地震力による軸直角方向せん断応力 ( $\tau_{YHX}$ ) と軸直角方向水平地震力による軸直角方向せん断応力 ( $\tau_{YHY}$ ) の組合せ軸直角方向せん断応力 ( $\tau_Y$ ) は次式で表される。

$$\tau_Y = \sqrt{\tau_{YHX}^2 + \tau_{YHY}^2} \quad (\text{内側シアプレート})$$

以上の曲げ応力 ( $\sigma_{bXK}$ ,  $\sigma_{bYK}$ ) , 平均せん断応力 ( $\tau_X$ ,  $\tau_Y$ ) による組合せ応力 ( $\sigma_{T1}$ ,  $\sigma_{T2}$ ) は次式で表される。

$$\sigma_{T1} = \sqrt{\sigma_{bYK}^2 + 3 \cdot \tau_X^2} \quad (\text{外側シアプレート})$$

$$\sigma_{T2} = \sqrt{\sigma_{bXK}^2 + 3 \cdot \tau_Y^2} \quad (\text{内側シアプレート})$$

ここで,

$F_{HX}$  : 図 2. 2-3 に示す軸方向水平地震力の設計用値 (N)

$F_{HY}$  : 図 2. 2-3 に示す軸直角方向水平地震力の設計用値 (N)

$H$  : 図 2. 2-7 に示すシアプレート部の高さ (mm)

$B$  : 図 2. 2-7 に示すシアプレート部の幅 (mm)

$L$  : 図 2. 2-7 に示すシアプレート部の幅 (mm)

$t$  : 図 2. 2-7 に示すシアプレート部の板厚 (mm)

$\tau_{XHX1}$  : 図 2. 2-7 において軸方向水平地震力により発生する軸方向平均せん断応力 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_{XHX2}$  : 図 2. 2-7 において軸方向水平地震力作用点の偏心により発生する最大ねじりせん断応力 (N/mm<sup>2</sup>)

$l$  : 図 2. 2-7 において軸方向水平地震力作用点から振りせん断中心までの Y 方向距離 (mm)

$I_P$  : 図 2. 2-7 に示すシアプレートの断面極二次モーメント (mm<sup>4</sup>)

$r_{max}$  : 図 2. 2-7 に示す振りせん断中心からシアプレートまでの最大距離 (mm)

## B. 一次+二次応力

地震力のみによる曲げの応力範囲 ( $\Delta \sigma_{b1}$ ,  $\Delta \sigma_{b2}$ ) , せん断の応力範囲 ( $\Delta \tau_1$ ,  $\Delta \tau_2$ ) は次式により表される。なお, この部位では圧縮応力, 支圧応力, せん断座屈, 曲げ座屈は生じない。

$$\Delta \sigma_{b1} = 2 \cdot \sigma_{bYK} \quad (\text{外側シアプレート})$$

$$\Delta \sigma_{b2} = \sigma_{bXK} \quad (\text{内側シアプレート})$$

$$\Delta \tau_1 = 2 \cdot \tau_X \quad (\text{外側シアプレート})$$

$$\Delta \tau_2 = \tau_Y \quad (\text{内側シアプレート})$$

⑤. 基礎ボルト

自重+鉛直方向地震力+軸方向水平地震力+軸直角方向水平地震力

A. 一次応力

基礎ボルトに発生する合成引張応力 ( $\sigma_t$ ) 及び合成せん断応力 ( $\tau$ ) は次式で表される。

$$\sigma_t = |\sigma_{tW}| + \sqrt{\sigma_{tV}^2 + \sigma_{tHX}^2 + \sigma_{tHY}^2}$$

$$\tau = |\tau_W| + \sqrt{\tau_V^2 + \tau_{HX}^2 + \tau_{HY}^2}$$

ここで,

- $\sigma_{tW}$  : 自重により発生する引張応力(N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_{tV}$  : 鉛直方向地震力により発生する引張応力(N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_{tHX}$  : 軸方向水平地震力により発生する引張応力(N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_{tHY}$  : 軸直角方向水平地震力により発生する引張応力(N/mm<sup>2</sup>)
- $\tau_W$  : 自重により発生するせん断応力(N/mm<sup>2</sup>)
- $\tau_V$  : 鉛直方向地震力により発生するせん断応力(N/mm<sup>2</sup>)
- $\tau_{HX}$  : 軸方向水平地震力により発生するせん断応力(N/mm<sup>2</sup>)
- $\tau_{HY}$  : 軸直角方向水平地震力により発生するせん断応力(N/mm<sup>2</sup>)

なお, 各値の計算は以下に示す。

a. 自重による引張応力

図2. 2-8 (1)において自重により基礎ボルトに発生する引張応力 ( $\sigma_{tW}$ ) は, 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 (2010年版) より次式で表される。

$$\sigma_{tW} = \sigma_{cW} \cdot n \cdot \frac{(D - d_t - X_n)}{X_n} \cdot \frac{A_b}{A_m}$$

$$\sigma_{cW} = N \cdot X_n / S_n$$

$$S_n = [X_{n1}^2 / 2 - n \cdot P_t \cdot (1 - d_{t1} - X_{n1})] \cdot b \cdot D^2$$

$$I_n = [X_{n1}^3 / 3 + n \cdot P_t \cdot (1 - d_{t1} - X_{n1})^2] \cdot b \cdot D^3$$

$$X_{n1} = X_n / D$$

$$d_{t1} = d_t / D$$

$$P_t = a_t / (b \cdot D)$$

$$a_t = A_b \cdot N_b$$

ここで,

- $\sigma_{cW}$  : 図2. 2-8 (1) に示すコンクリートの最大圧縮応力(N/mm<sup>2</sup>)
- $n$  : ヤング係数比(-)

- $D$  : 図2. 2-8 (1) に示す断面高さ (mm)  
 $b$  : 図2. 2-8 (1) に示す断面幅 (mm)  
 $d_t$  : 図2. 2-8 (1) に示す引張側ボルトに関する距離 (mm)  
 $d_{t1}$  : 引張側ボルトに関する係数(一)  
 $X_n$  : 図2. 2-8 (1) に示す中立軸距離(mm)を表し, 次式を満足する値  

$$X_n - D/2 + e = I_n/S_n$$
ただし,  $e$  : 図2. 2-8 (1) に示す鉛直力偏心距離 (mm)  
 $X_{n1}$  : 中立軸比 (一)  
 $N$  : 図2. 2-8 (1) に示す鉛直力であり, 次式により算出した値 (N)  

$$N = [\text{自重の設計用値}]$$
 $a_t$  : 有効ボルト総断面積 (mm<sup>2</sup>)  
 $P_t$  : 引張鉄筋比(一)  
 $A_b$  : 基礎ボルト有効断面積 (mm<sup>2</sup>)  
 $A_m$  : 基礎ボルト呼び径断面積 (mm<sup>2</sup>)  
 $N_b$  : 有効引張側ボルト本数 (本)  
 $S_n$  : 有効等価断面一次モーメント (mm<sup>3</sup>)  
 $I_n$  : 有効等価断面二次モーメント (mm<sup>4</sup>)

b. 鉛直方向地震力による引張応力

図2. 2-8 (2) において鉛直方向地震力により基礎ボルトに発生する引張応力 ( $\sigma_{tv}$ ) は, 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 (2010年版) より次式で表される。

$$\sigma_{tv} = \sigma_{cv} \cdot n \cdot \frac{(D - d_t - X_n)}{X_n} \cdot \frac{A_b}{A_m}$$

$$\sigma_{cv} = N \cdot X_n / S_n$$

$$S_n = [X_{n1}^2 / 2 - n \cdot P_t \cdot (1 - d_{t1} - X_{n1})] \cdot b \cdot D^2$$

$$I_n = [X_{n1}^3 / 3 + n \cdot P_t \cdot (1 - d_{t1} - X_{n1})^2] \cdot b \cdot D^3$$

$$X_{n1} = X_n / D$$

$$d_{t1} = d_t / D$$

$$P_t = a_t / (b \cdot D)$$

$$a_t = A_b \cdot N_b$$

ここで,

$\sigma_{cv}$  : 図2. 2-8 (2) に示すコンクリートの最大圧縮応力 (N/mm<sup>2</sup>)

$n$  : ヤング係数比(一)

$D$  : 図2. 2-8 (2) に示す断面高さ (mm)

$b$  : 図2. 2-8 (2) に示す断面幅 (mm)

$d_t$  : 図 2. 2-8 (2) に示す引張側ボルトに関する距離 (mm)

$d_{t1}$  : 引張側ボルトに関する係数(-)

$X_n$  : 図 2. 2-8 (2) に示す中立軸距離 (mm) を表し, 次式を満足する値

$$X_n - D/2 + e = I_n/S_n$$

ただし,  $e$  : 図 2. 2-8 (2) に示す鉛直力偏心距離 (mm)

$X_{n1}$  : 中立軸比(-)

$N$  : 図 2. 2-8 (2) に示す鉛直力であり, 次式により算出した値 (N)

$$N = [\text{鉛直方向地震力の設計用値}]$$

$a_t$  : 有効ボルト総断面積 (mm<sup>2</sup>)

$P_t$  : 引張鉄筋比(-)

$A_b$  : 基礎ボルト有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

$A_m$  : 基礎ボルト呼び径断面積 (mm<sup>2</sup>)

$N_b$  : 有効引張側ボルト本数 (本)

$S_n$  : 有効等価断面一次モーメント (mm<sup>3</sup>)

$I_n$  : 有効等価断面二次モーメント (mm<sup>4</sup>)

c. 軸方向水平地震力による引張応力

図 2. 2-8 (3) において軸方向水平地震力により基礎ボルトに発生する引張応力 ( $\sigma_{tHX}$ ) は, 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 (2010 年版) より次式で表される。

$$\sigma_{tHX} = \frac{F_{HX} \cdot l_1}{I} \cdot n \cdot (d - X_n) \cdot \frac{A_b}{A_m}$$

$$\sigma_{cHX} = \frac{F_{HX} \cdot l_1}{I} \cdot X_n$$

$$X_{n1} = -n \cdot P_t + \sqrt{n \cdot P_t \cdot (2 + n \cdot P_t)}$$

$$X_n = d \cdot X_{n1}$$

$$a_t = A_b \cdot N_b$$

$$P_t = a_t / (b \cdot d)$$

ここで,

$\sigma_{cHX}$  : 図 2. 2-8 (3) に示すコンクリートの最大圧縮応力 (N/mm<sup>2</sup>)

$F_{HX}$  : 図 2. 2-3 に示す軸方向水平地震力の設計用値 (N)

$I$  : 断面の断面二次モーメント (mm<sup>4</sup>)

$n$  : ヤング係数比(-)

$l_1$  : 軸方向水平地震力作用点から鋼製支持架台下面までの Z 方向距離 (mm)

$b$  : 図 2. 2-8 (3) に示す断面幅 (mm)

$d$  : 図 2. 2-8 (3) に示す断面有効高さ (mm)

- $X_n$  : 図 2. 2-8 (3) に示す中立軸距離 (mm)  
 $X_{n1}$  : 中立軸比 (-)  
 $a_t$  : 有効ボルト総断面積 (mm<sup>2</sup>)  
 $P_t$  : 引張鉄筋比 (-)  
 $A_b$  : 基礎ボルト有効断面積 (mm<sup>2</sup>)  
 $A_m$  : 基礎ボルト呼び径断面積 (mm<sup>2</sup>)  
 $N_b$  : 有効引張側ボルト本数 (本)

d. 軸直角方向水平地震力による引張応力

図 2. 2-8 (4) において軸直角方向水平地震力により基礎ボルトに発生する引張応力 ( $\sigma_{tHY}$ ) は、鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 (2010 年版) より次式で表される。

$$\sigma_{tHY} = \frac{F_{HY} \cdot l_2}{I} \cdot n \cdot (d - X_n) \cdot \frac{A_b}{A_m}$$

$$\sigma_{cHY} = \frac{F_{HY} \cdot l_2}{I} \cdot X_n$$

$$X_{n1} = -n \cdot P_t + \sqrt{n \cdot P_t \cdot (2 + n \cdot P_t)}$$

$$X_n = d \cdot X_{n1}$$

$$a_t = A_b \cdot N_b$$

$$P_t = a_t / (b \cdot d)$$

ここで、

$\sigma_{cHY}$  : 図 2. 2-8 (4) に示すコンクリートの最大圧縮応力 (N/mm<sup>2</sup>)

$F_{HX}$  : 図 2. 2-3 に示す軸直角方向水平地震力の設計用値 (N)

$I$  : 断面の断面二次モーメント (mm<sup>4</sup>)

$n$  : ヤング係数比 (-)

$l_2$  : 図 2. 2-8 (4) に示す軸直角方向水平地震力作用点から鋼製支持架台下面までの Z 方向距離 (mm)

$b$  : 図 2. 2-8 (4) に示す断面幅 (mm)

$d$  : 図 2. 2-8 (4) に示す断面有効高さ (mm)

$X_n$  : 図 2. 2-8 (4) に示す中立軸距離 (mm)

$X_{n1}$  : 中立軸比 (-)

$a_t$  : 有効ボルト総断面積 (mm<sup>2</sup>)

$P_t$  : 引張鉄筋比 (-)

$A_b$  : 基礎ボルト有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

$A_m$  : 基礎ボルト呼び径断面積 (mm<sup>2</sup>)

$N_b$  : 有効引張側ボルト本数 (本)

e. 自重及び鉛直方向地震力によるせん断応力

自重による基礎ボルトの平均せん断応力 ( $\tau_w$ ) と鉛直方向地震力による基礎ボルトの平均せん断応力 ( $\tau_v$ ) は発生しない。

$$\tau_w = 0$$

$$\tau_v = 0$$

f. 軸方向水平地震力によるせん断応力

軸方向水平地震力により基礎ボルトに発生する平均せん断応力 ( $\tau_{HX1}$ )、軸方向水平地震力作用点が図 2. 2-8 (3) に示す基礎ボルト重心位置から偏心していることにより発生する最大ねじりせん断応力 ( $\tau_{HX2}$ ) 及び軸方向水平地震力による合成せん断応力 ( $\tau_{HX}$ ) は次式で表される。

$$\tau_{HX} = \tau_{HX1} + \tau_{HX2}$$

$$\tau_{HX1} = \frac{F_{HX}}{A_b \cdot N_{bs}}$$

$$\tau_{HX2} = \frac{F_{HX} \cdot l_3}{I_p} \cdot r_{max}$$

ここで、

$F_{HX}$  : 図 2. 2-3 に示す軸方向水平地震力の設計用値 (N)

$N_{bs}$  : 図 2. 2-8 (3) に示す基礎ボルト本数 (本)

$A_b$  : 図 2. 2-8 (3) に示す基礎ボルト有効断面積 ( $\text{mm}^2$ )

$I_p$  : 図 2. 2-8 (3) に示す基礎ボルトの断面二次極モーメント ( $\text{mm}^4$ )

$l_3$  : 図 2. 2-8 (3) に示す軸方向水平地震力作用点から基礎ボルト有効断面の図心位置 (捩りせん断中心) までの Y 方向距離 (mm)

$r_{max}$  : 上記図心位置から基礎ボルトまでの最大距離 (mm)

g. 軸直角方向水平地震力によるせん断応力

軸直角方向水平地震力により基礎ボルトに発生する平均せん断応力 ( $\tau_{HY}$ ) は次式で表される。

$$\tau_{HY} = \frac{F_{HY}}{A_b \cdot N_{bs}}$$

ここで、

$F_{HY}$  : 図 2. 2-3 に示す軸直角方向水平地震力の設計用値 (N)

$N_{bs}$  : 図 2. 2-8 (4) に示す基礎ボルト本数 (本)

$A_b$  : 図 2. 2-8 (4) に示す基礎ボルト有効断面積 ( $\text{mm}^2$ )

B. 一次+二次応力

基礎ボルトについては一次+二次応力評価を行わない。

⑥. コンクリート支持架台

コンクリート支持架台の下端に発生する荷重は表2. 2-3の通りである。これらの荷重を用いて「コンクリート標準示方書 設計編 (2007)」に基づき評価を行う。

表2. 2-3 コンクリート支持架台下端における荷重

	軸水平方向(EW 方向)			軸直角方向(NS 方向)		
	鉛直力	水平力	モーメント	鉛直力	水平力	モーメント
	(kN)	(kN)	(kN・m)	(kN)	(kN)	(kN・m)
キャスク	455.00	411.00	167.00	455.00	429.00	243.00
	-	-	487.04	-	-	508.37
ペDESTAL	47.27	25.67	10.29	47.27	25.67	10.29
合計	502.27	436.67	664.33	502.27	454.67	761.66



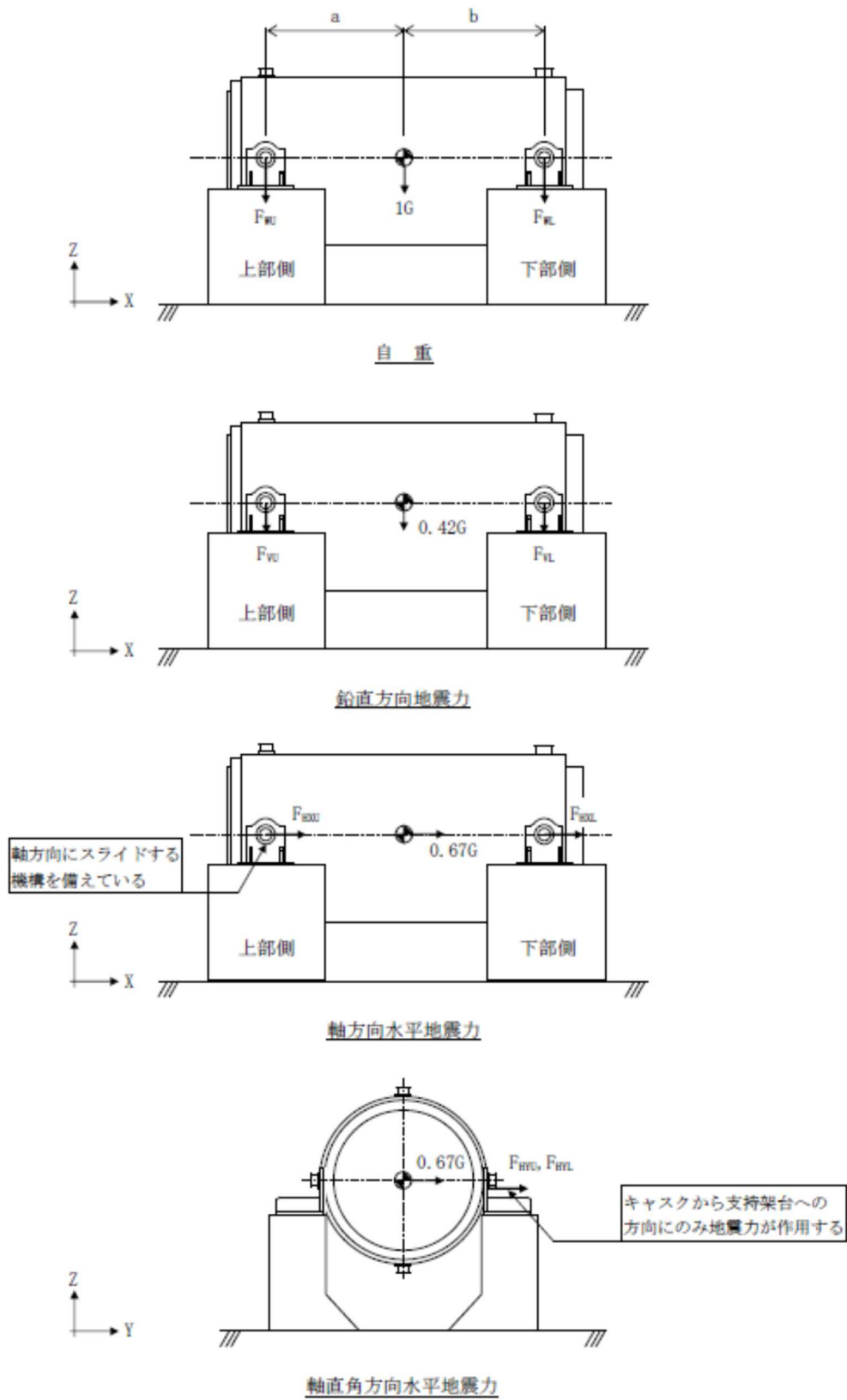


図 2. 2-3 鋼製支持架台に作用する荷重

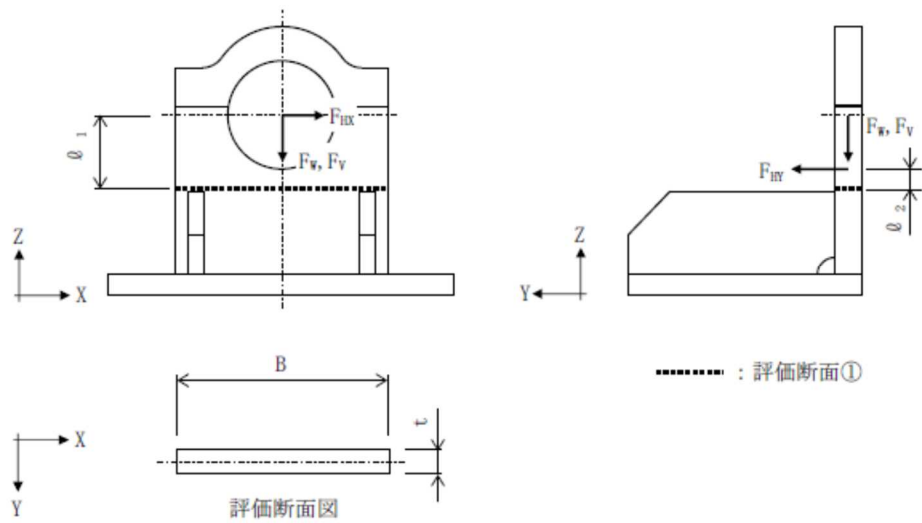


図 2. 2-4 計算モデル図 (鋼製支持架台, 評価断面①)

[設計事象 I + 1/2Ss450, 自重+鉛直方向地震力+軸方向水平地震力+軸直角方向水平地震力]

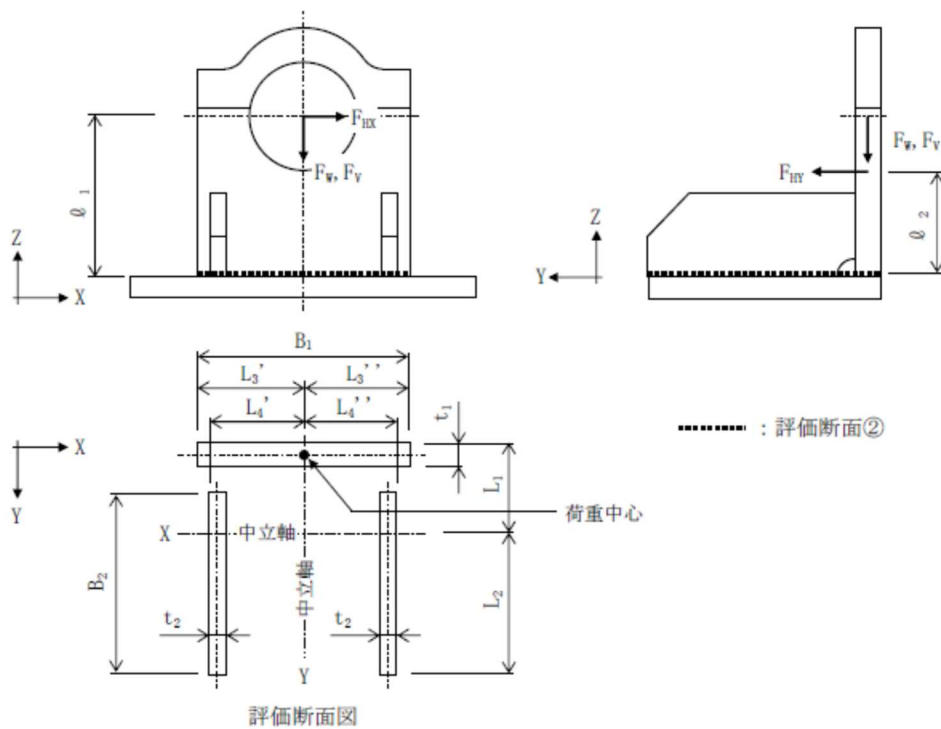


図 2. 2-5 計算モデル図 (鋼製支持架台, 評価断面②)

[設計事象 I + 1/2Ss450, 自重+鉛直方向地震力+軸方向水平地震力+軸直角方向水平地震力]

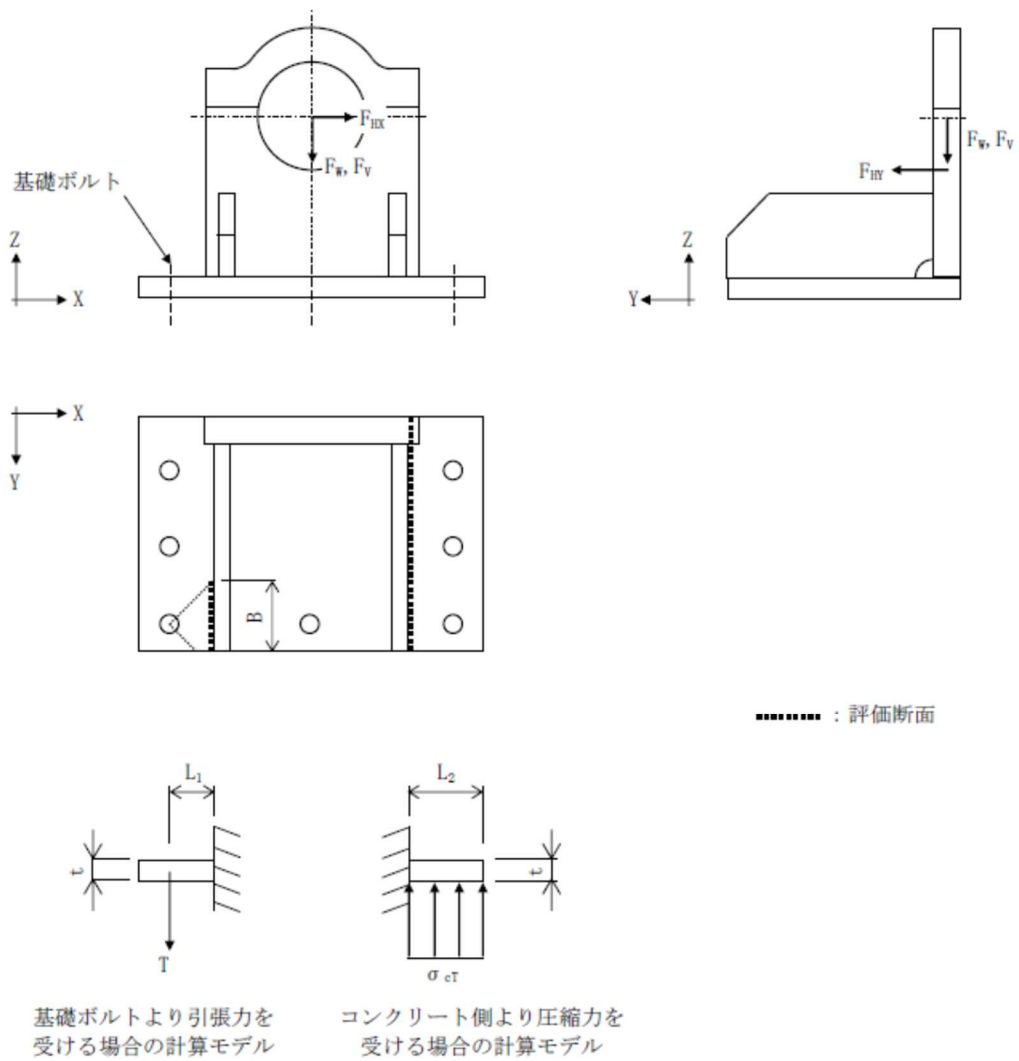


図 2. 2-6 計算モデル図 (鋼製支持架台, 評価断面③)

[設計事象 I + 1/2Ss450, 自重+鉛直方向地震力+軸方向水平地震力+軸直角方向水平地震力]

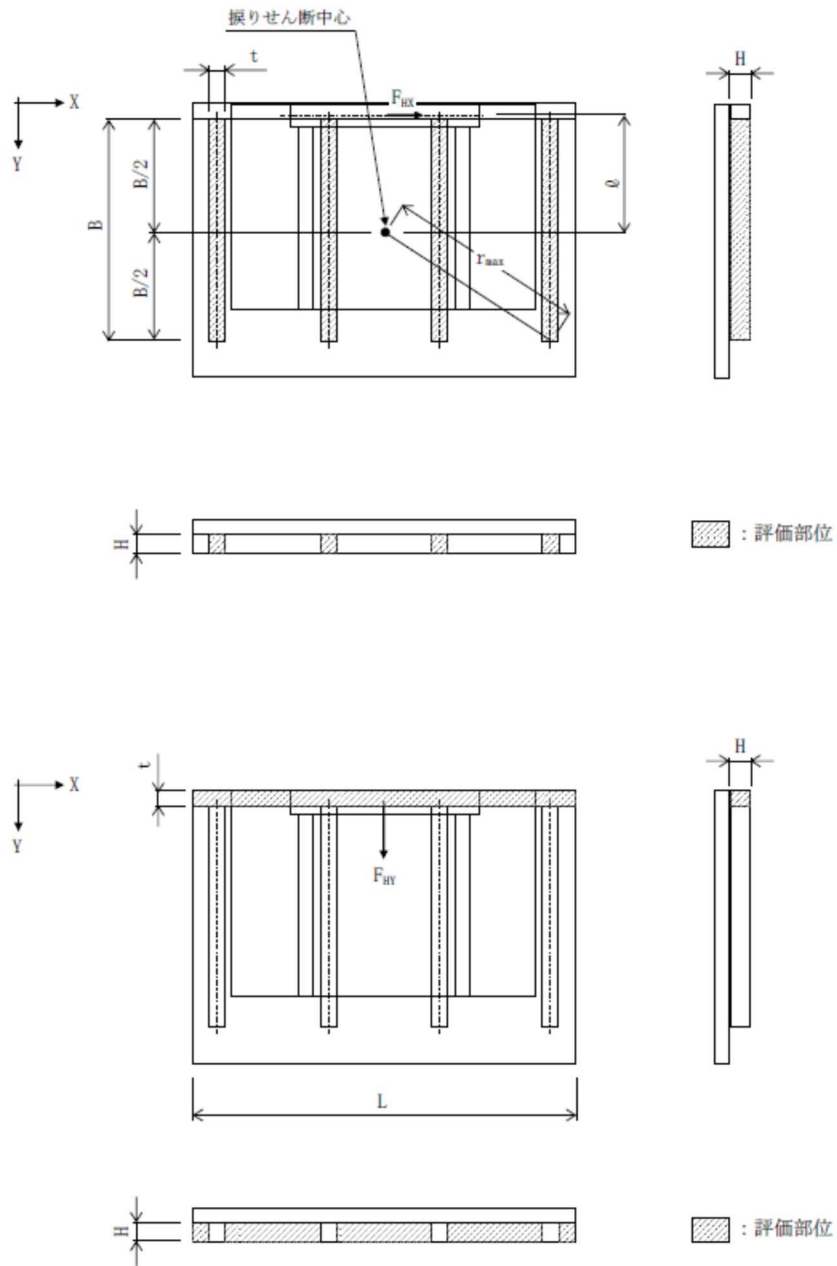


図 2. 2-7 計算モデル図 (埋め込み金物)  
 [設計事象 I + 1/2Ss450, 自重 + 鉛直方向地震力 + 軸直角方向水平地震力]

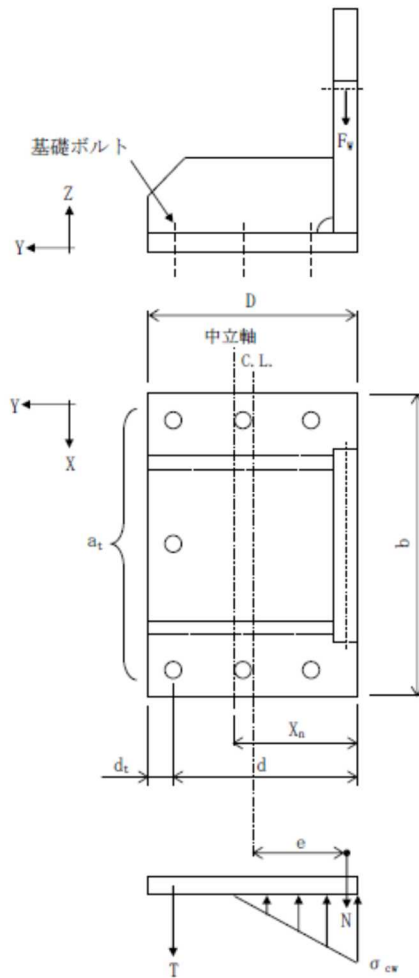


図2. 2-8 (1) 計算モデル図 (基礎ボルト)

〈自重のみにより発生する引張応力計算モデル〉

[設計事象 I +1/2Ss450, 自重+鉛直方向地震力+軸方向水平地震力+軸直角方向水平地震力]

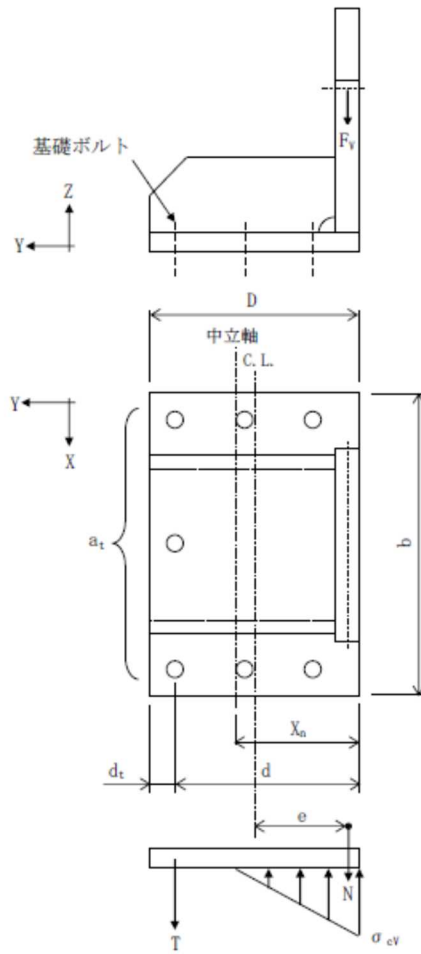


図 2. 2-8 (2) 計算モデル図 (基礎ボルト)

〈鉛直方向地震力のみにより発生する引張応力計算モデル〉

[設計事象 I + 1/2Ss450, 自重 + 鉛直方向地震力 + 軸方向水平地震力 + 軸直角方向水平地震力]

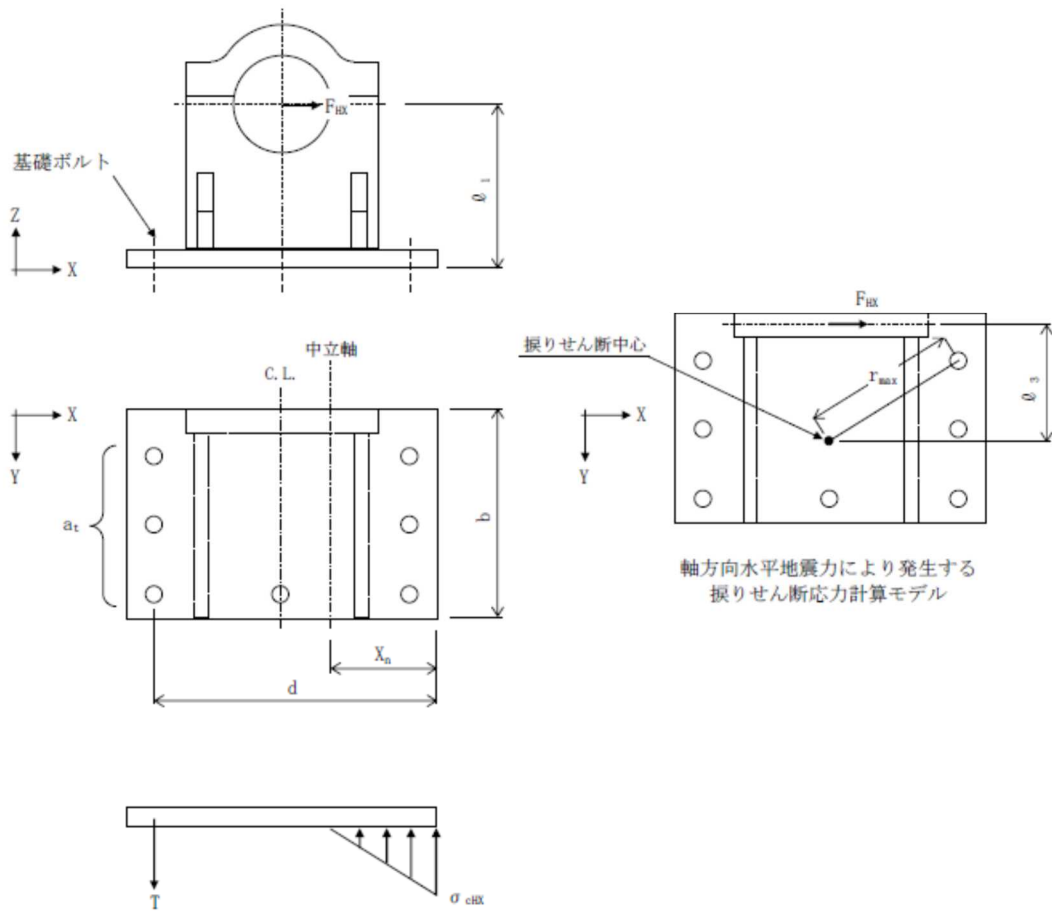
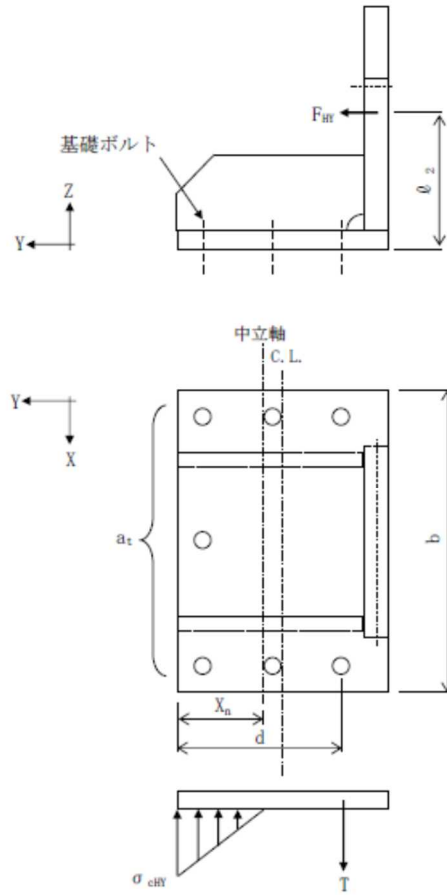


図2. 2-8 (3) 計算モデル図 (基礎ボルト)

<軸方向水平地震力により発生する引張応力計算モデル>

[設計事象 I + 1/2Ss450, 自重 + 鉛直方向地震力 + 軸方向水平地震力 + 軸直角方向水平地震力]



軸直角水平地震力のみにより発生する  
引張応力計算モデル

図2. 2-8 (4) 計算モデル図 (基礎ボルト)

<軸直角方向水平地震力により発生する引張応力計算モデル>

[設計事象 I + 1/2Ss450, 自重+鉛直方向地震力+軸方向水平地震力+軸直角方向水平地震力]



(7) 評価結果

評価結果は表 2. 2-4 (1) ~ (3)となる。

表 2. 2-4 (1) 鋼製支持架台の応力評価  
(設計事象 I +1/2Ss450, 輸送貯蔵兼用キャスク B)

(単位 : N/mm<sup>2</sup>)

部 位		応力の種類		計 算 値	許容応力	評 価
鋼製 支持架台	評価 断面①	一次応力	圧縮	14	322	OK
			曲げ	159	326	OK
			せん断	19	188	OK
			組合せ	176	326	OK
		一次 + 二次応力	引張・圧縮	9	564	OK
			曲げ	191	564	OK
			せん断	39	324	OK
			座屈	14	279	OK
	評価 断面②	一次応力	圧縮	6	325	OK
			曲げ	34	326	OK
			せん断	8	188	OK
			組合せ	43	326	OK
		一次 + 二次応力	引張・圧縮	4	564	OK
			曲げ	39	564	OK
			せん断	17	324	OK
			座屈	6	280	OK
	評価 断面③	一次応力	曲げ	201	326	OK
			せん断	21	188	OK
			組合せ	204	326	OK
		一次+ 二次応力	曲げ	368	564	OK
			せん断	40	324	OK

表 2. 2-4 (2) 埋め込み金物, 基礎ボルトの応力評価  
(設計事象 I +1/2Ss450, 輸送貯蔵兼用キャスク B)

(単位: N/mm<sup>2</sup>)

部 位	応力の種類		計 算 値	許容応力 <sup>(注1)</sup>	評価
埋め込み金物	一次応力	曲げ	72	270	OK
		せん断	16	155	OK
		組合せ	77	270	OK
	一次+ 二次応力	曲げ	111	450	OK
		せん断	24	258	OK
基礎ボルト	一次応力	引張	177	186	OK
		せん断	180	261	OK

(注1) 基礎ボルトの許容引張応力は, 発生せん断応力を考慮し低減させた値

表 2. 2-4 (3) コンクリート支持架台の応力評価 (設計事象 I +1/2Ss450)

項目		記号	単位	ケース 1 (EW 方向)	ケース 2 (NS 方向)
曲げ	曲げモーメント	Md	(kN・m)	664	762
	曲げ耐力	Mud	(kN・m)	2969	1040
	構造物係数	$\gamma_i$	-	1.00	1.00
	$\gamma_i \cdot Md / Mud \leq 1.0$		-	0.22	0.73
	判定		-	OK	OK
せん断	せん断力	Vd	(kN)	437	455
	せん断耐力	Vyd	(kN)	890	777
	構造物係数	$\gamma_i$	-	1.00	1.00
	$\gamma_i \cdot Vd / Vyd \leq 1.0$		-	0.49	0.59
	判定		-	OK	OK

(注1) ケース 1: 自重+鉛直方向地震力+軸方向水平地震力

ケース 2: 自重+鉛直方向地震力+軸直角方向水平地震力

## 2.3 輸送貯蔵兼用キャスク用コンクリートモジュール

### (1) 評価方針

本設備で使用する輸送貯蔵兼用キャスク用コンクリートモジュールが、1/2Ss450 に対し、遮蔽機能を維持し、輸送貯蔵兼用キャスクの安全機能に影響を与えるような、倒壊等をしないことを確認する。

### (2) コンクリートモジュールの構成

コンクリートモジュールの概略図を図2. 3-1に示す。

コンクリートモジュールは長辺側板3枚、短辺側板2枚、天板3枚のコンクリート製パネルで構成されている。それぞれのパネルは金物とボルトにより連結されている。

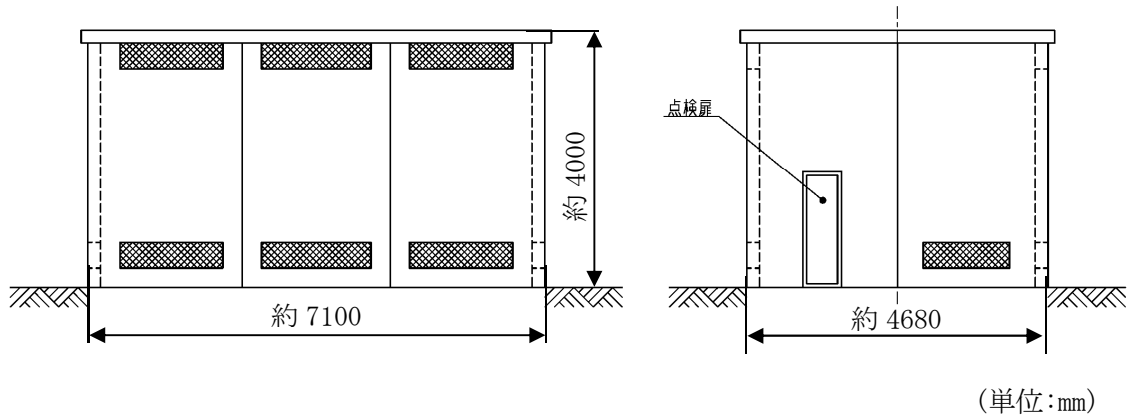


図2. 3-1 コンクリートモジュール概略図

### (3) 評価方法

1/2Ss450 に対する耐震評価では、以下の条件を考慮する。

- ・地震応答解析は、コンクリート基礎上面の応答加速度を用いた時刻歴解析とする。  
なお、時刻歴解析は汎用構造解析プログラム「NASTRAN」を使用する。
- ・地震力は水平2方向と鉛直方向の時刻歴データを同時に入力する。
- ・入力する時刻歴は、水平方向(NS, EW)及び鉛直方向の各々について、最大応答加速度の値が最も大きな時刻歴データを使用する。

評価に用いた基礎上面の加速度時刻歴波形を図2. 3-2～図2. 3-4に示す。

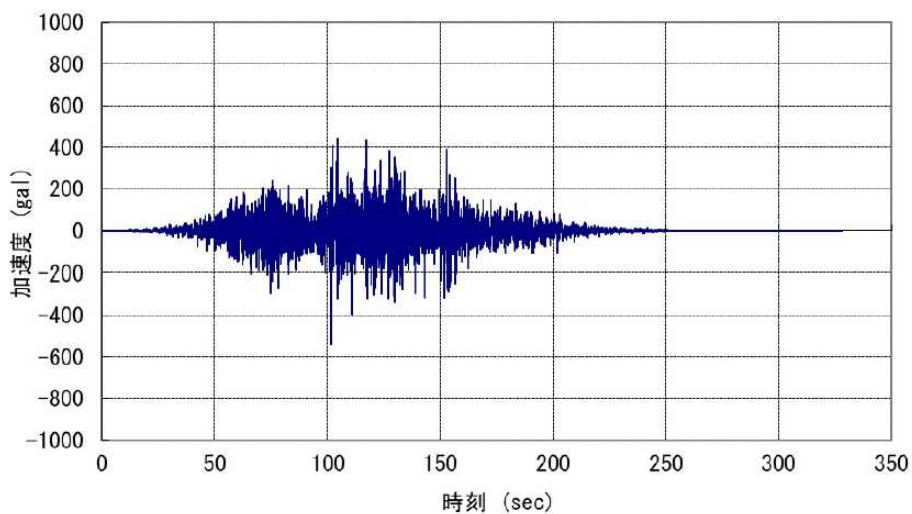


図2. 3-2 基礎上面の加速度時刻歴波形 水平 (NS) 方向

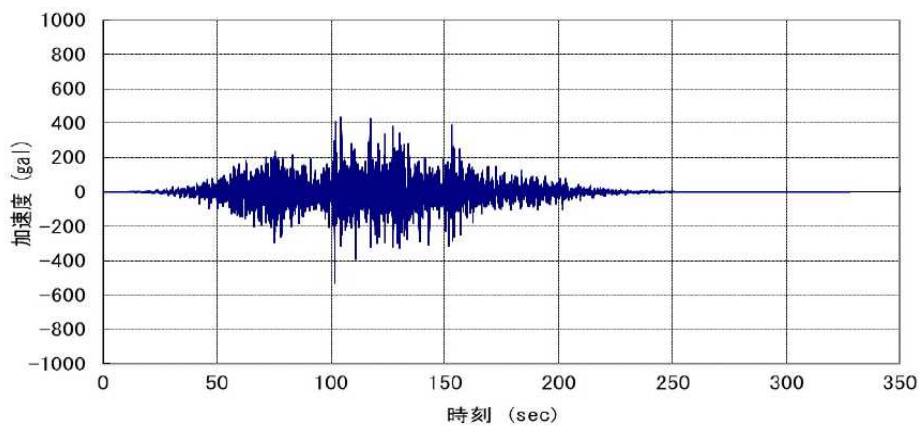


図2. 3-3 基礎上面の加速度時刻歴波形 水平 (EW) 方向

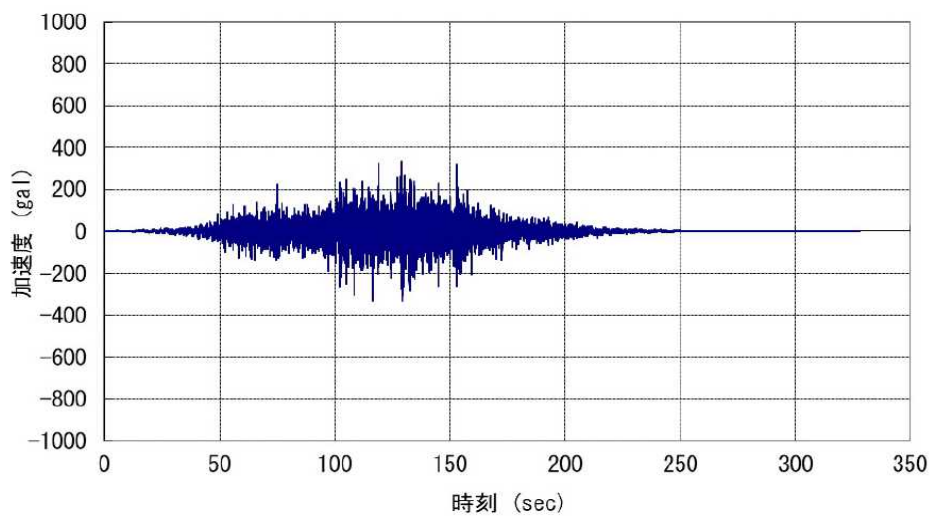


図2. 3-4 基礎上面の加速度時刻歴波形 鉛直 (UD) 方向

(4) 解析モデル

許容応力度設計及び 1/2Ss450 に対する検討には 3 次元 FEM モデルを採用し、解析コードとして NASTRAN を用いる。

FEM モデルとして、コンクリートモジュールの PC 板（側板及び天板）及び接合部の金物は板厚一様な平板要素でモデル化する。PC 板と金物の接合部はボルト位置で同一変位とし、基礎とベースプレートの接合部はアンカーボルト位置で拘束する。解析モデルを図 2. 3-5 に示す。

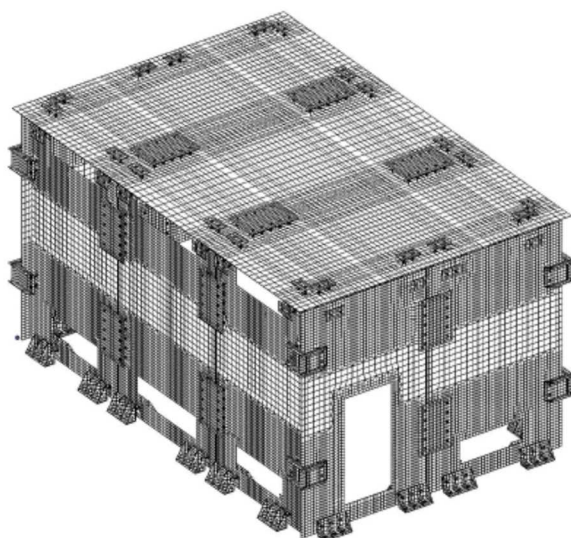


図 2. 3-5 コンクリートモジュールの解析モデル

(5) 許容応力

許容応力を以下のように定める。材料の許容応力度は建築基準法・同施行令及び国土交通省告示に定める値とし、表2. 3-1～3に示す。

表2. 3-1 コンクリートの許容応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

種類	長期			短期		
	圧縮	引張	せん断	圧縮	引張	せん断
普通コンクリート	$\frac{1}{3}F_c$	$\frac{1}{30}F_c$	$\frac{1}{30}F_c$ かつ $\left(0.49 + \frac{1}{100}F_c\right)$ 以下	長期に対する2倍		

$F_c=36 \text{ N/mm}^2$  とする。

表2. 3-2 鉄筋の許容応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

種類	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
SD295A 及び B	195	195	295	295

表2. 3-3 鋼材の許容応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

鋼材	長期				短期			
	圧縮	引張	曲げ	せん断	圧縮	引張	曲げ	せん断
SS400	156.6	156.6	156.6	90.4	235	235	235	135.6

板厚 $\leq 40\text{mm}$  とする。

(6) 応力計算

1) 応力評価点

応力評価点は時刻歴解析により求められる各部材応力の中から最大応力となる部材を抽出して評価を行う。評価箇所は図2. 3-6に示す箇所とする。

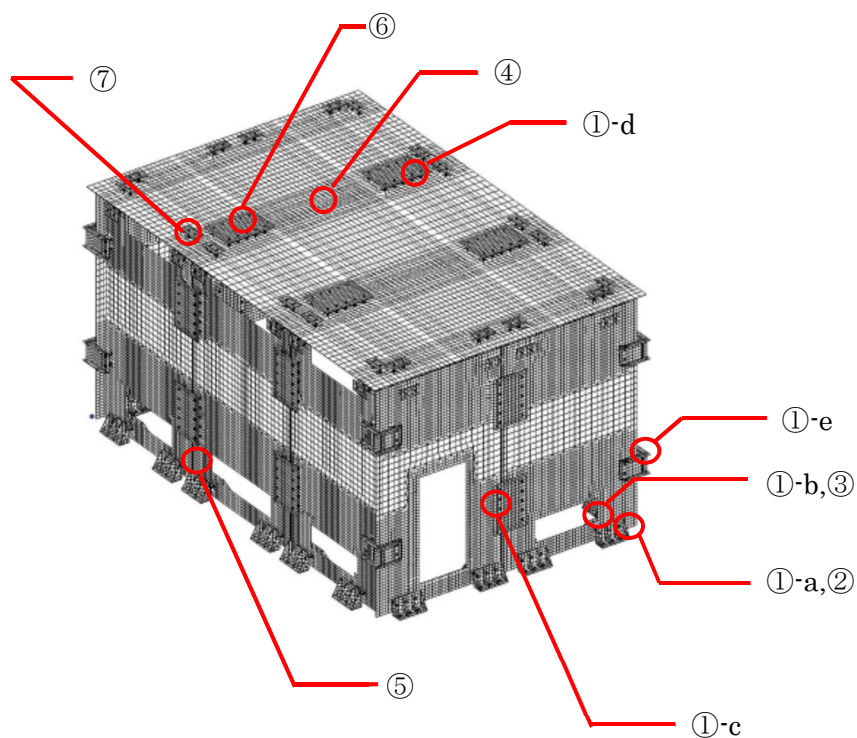


図2. 3-6 応力評価箇所

応力評価箇所名称

- ①-a アンカーボルト
- ①-b 側板柱脚ボルト
- ①-c 側板接合ボルト
- ①-d 天板接合ボルト
- ①-e コーナー接合ボルト
- ② ベースプレート
- ③ 側板アンカー部はしあき
- ④ 天板パネル
- ⑤ 側板パネル
- ⑥ 側板, 天板接合プレート
- ⑦ 側板, 天板コーナー接合プレート

2) 荷重条件

コンクリートモジュールの耐震安全性の評価においては建築基準法施行令第 82 条より表 2. 3-4 の地震時の荷重組合せに基づき評価を行う。ただし、コンクリートモジュールには積載荷重が無いため、考慮する荷重は固定荷重と地震力のみとする。また、コンクリートモジュールの厚さは 200mm と比較的薄いため温度勾配による影響は小さいと考えられ、温度応力は考慮しないものとする。

表 2. 3-4 荷重組合せ

力の種類	荷重及び外力について想定する状態	本設計
短期に生ずる力	地震時	G + P + K

ただし、G：固定荷重，P：積載荷重，K：地震力

3) 応力評価

A. ボルト

ボルトの基準強度は平成 12 年建設省告示第 2464 号，許容応力度は建築基準法施行令第 90 条及び平成 12 年建設省告示第 1451 号を用いる。

a. アンカーボルト (①-a) M20 (SS400 : F=235)

せん断力  $Q_d=19.9\text{kN}$

引張力  $N_d=32.9\text{kN}$

有効断面積  $A_e=245\text{mm}^2$

・短期許容引張応力度

引張力とせん断力を同時に受けるボルトの引張応力度

(鋼構造設計規準・同解説より)

$$f_{ts} = 1.4f_{t0} - 1.6\tau \quad \text{かつ} \quad f_{ts} \leq f_{t0}$$

$$f_{ts}=1.4 \times 235 - 1.6 \times (19.9 \times 10^3 / 245) = 199\text{N/mm}^2 \rightarrow 199\text{N/mm}^2$$

短期引張応力度

$$\sigma_t = N_d / A_e = 32.9 \times 1000 / 245 = 135\text{N/mm}^2$$

検定値

$$f_{ts} / \sigma_t = 199 / 135 = 1.47 > 1.0 \dots \text{OK}$$

b. 側板柱脚ボルト (①-b) M27 (強度区分 6.8 : F=420)

せん断力  $Q_d=57.1\text{kN}$

有効断面積  $A_e=459\text{mm}^2$

せん断応力度  $\tau = Q_d / A_e = 57.1 \times 1000 / 459 = 125\text{N/mm}^2$



$$\text{短期許容せん断応力度 } f_s = \frac{F}{\sqrt{3}} = \frac{420}{\sqrt{3}} = 242.4 \text{ N/mm}^2$$

検定値

$$f_s / \tau = 242.4 / 125 = 1.93 > 1.0 \dots \text{OK}$$

c. 側板接合ボルト(①-c) M20 (強度区分 6.8 : F=420)

せん断力 Qd=29.8kN

有効断面積 Ae=245mm<sup>2</sup>

せん断応力度  $\tau = Qd/Ae = 29.8 \times 1000 / 245 = 122 \text{ N/mm}^2$

$$\text{短期許容せん断応力度 } f_s = \frac{F}{\sqrt{3}} = \frac{420}{\sqrt{3}} = 242.4 \text{ N/mm}^2$$

検定値

$$f_s / \tau = 242.4 / 122 = 1.98 > 1.0 \dots \text{OK}$$

d. 天板接合ボルト(①-d) M16 (強度区分 6.8 : F=420)

せん断力 Qd=17.0kN

有効断面積 Ae=157mm<sup>2</sup>

せん断応力度  $\tau = Qd/Ae = 17.0 \times 1000 / 157 = 109 \text{ N/mm}^2$

$$\text{短期許容せん断応力度 } f_s = \frac{F}{\sqrt{3}} = \frac{420}{\sqrt{3}} = 242.4 \text{ N/mm}^2$$

検定値

$$f_s / \tau = 242.4 / 109 = 2.22 > 1.0 \dots \text{OK}$$

e. コーナー接合ボルト(①-e) M20 (強度区分 6.8 : F=420)

せん断力 Qd=38.5kN

有効断面積 Ae=245mm<sup>2</sup>

せん断応力度  $\tau = Qd/Ae = 38.5 \times 1000 / 245 = 158 \text{ N/mm}^2$

$$\text{短期許容せん断応力度 } f_s = \frac{F}{\sqrt{3}} = \frac{420}{\sqrt{3}} = 242.4 \text{ N/mm}^2$$

検定値

$$f_s / \tau = 242.4 / 158 = 1.53 > 1.0 \dots \text{OK}$$

B. ベースプレート(②)  $t=19$ (SS400 :  $F=235$ )

負担幅は 165mm とする。断面係数  $z=b \times h^2/6=165 \times 19^2/6=9927.5\text{mm}^3$

短期許容曲げ応力度  $f_b=235\text{N/mm}^2$

引張時 (A. a. アンカーボルトによる 計算モデルは図 2. 3-7 参照)

設計曲げモーメント(2辺固定として算定)

$$M_d=32.9 \times 0.0825/2=1.36\text{kNm}$$

短期曲げ応力度

$$\sigma_b=M_d/z=1.36 \times 10^6/9927.5=137\text{N/mm}^2$$

検定値

$$f_b/\sigma_b=235/137=1.71 > 1.0 \dots \text{OK}$$

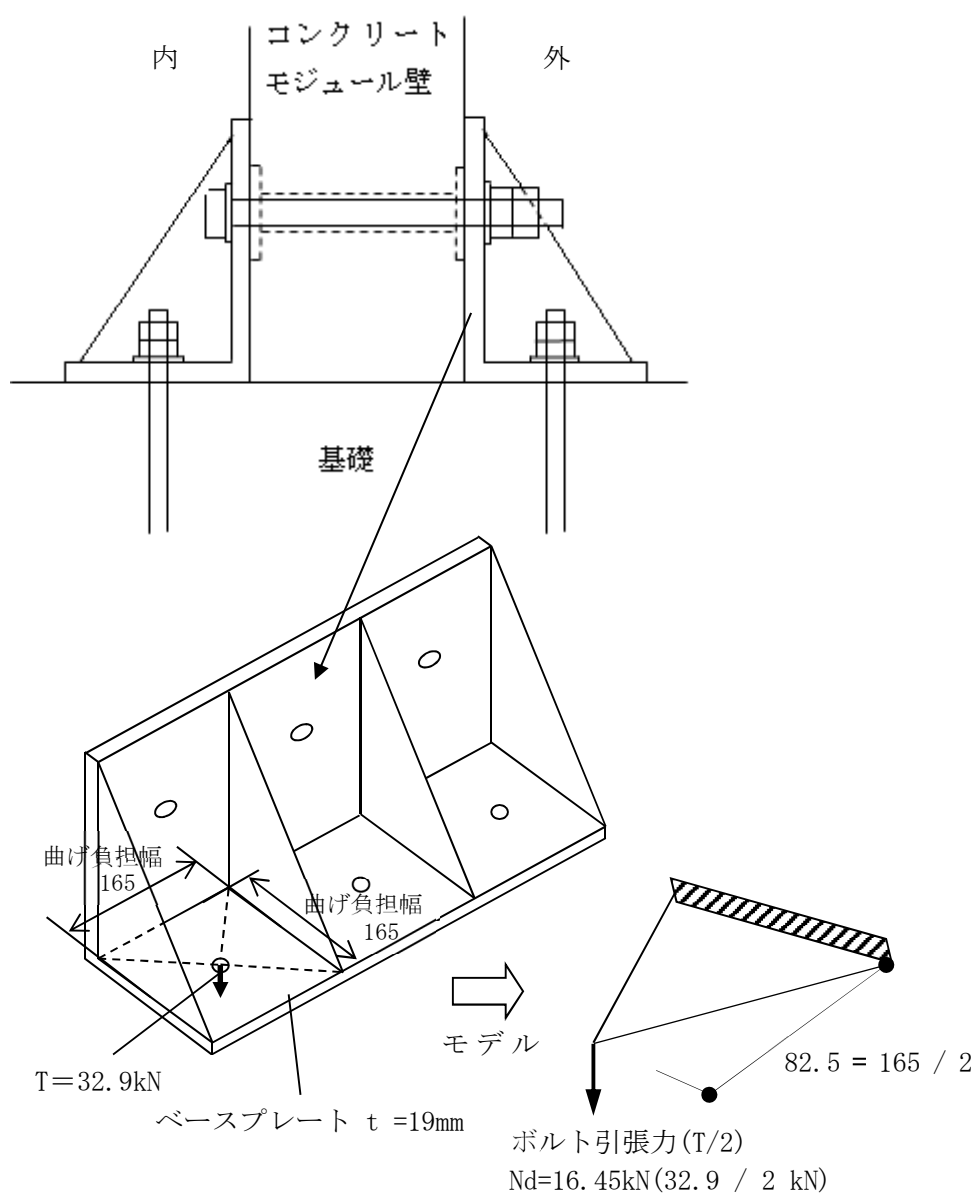


図 2. 3-7 ベースプレート (引張時)

圧縮時 (A. a. アンカーボルトによる 計算モデルは図 2. 3-8 参照)  
 ボルト位置に生じる圧縮力を面荷重に置き換えて算定する。

設計曲げモーメント(1 辺固定 1 辺単純支持の 1 方向板として)

$$M_d = (16.2 / 0.165^2 \times 0.165 \times 0.165^2) / 8 = 0.34 \text{ kNm}$$

短期曲げ応力度

$$\sigma_b = M_d / z = 0.34 \times 10^6 / 9927.5 = 34.3 \text{ N/mm}^2$$

検定値

$$f_b / \sigma_b = 235 / 34.3 = 6.85 > 1.0 \dots \text{OK}$$

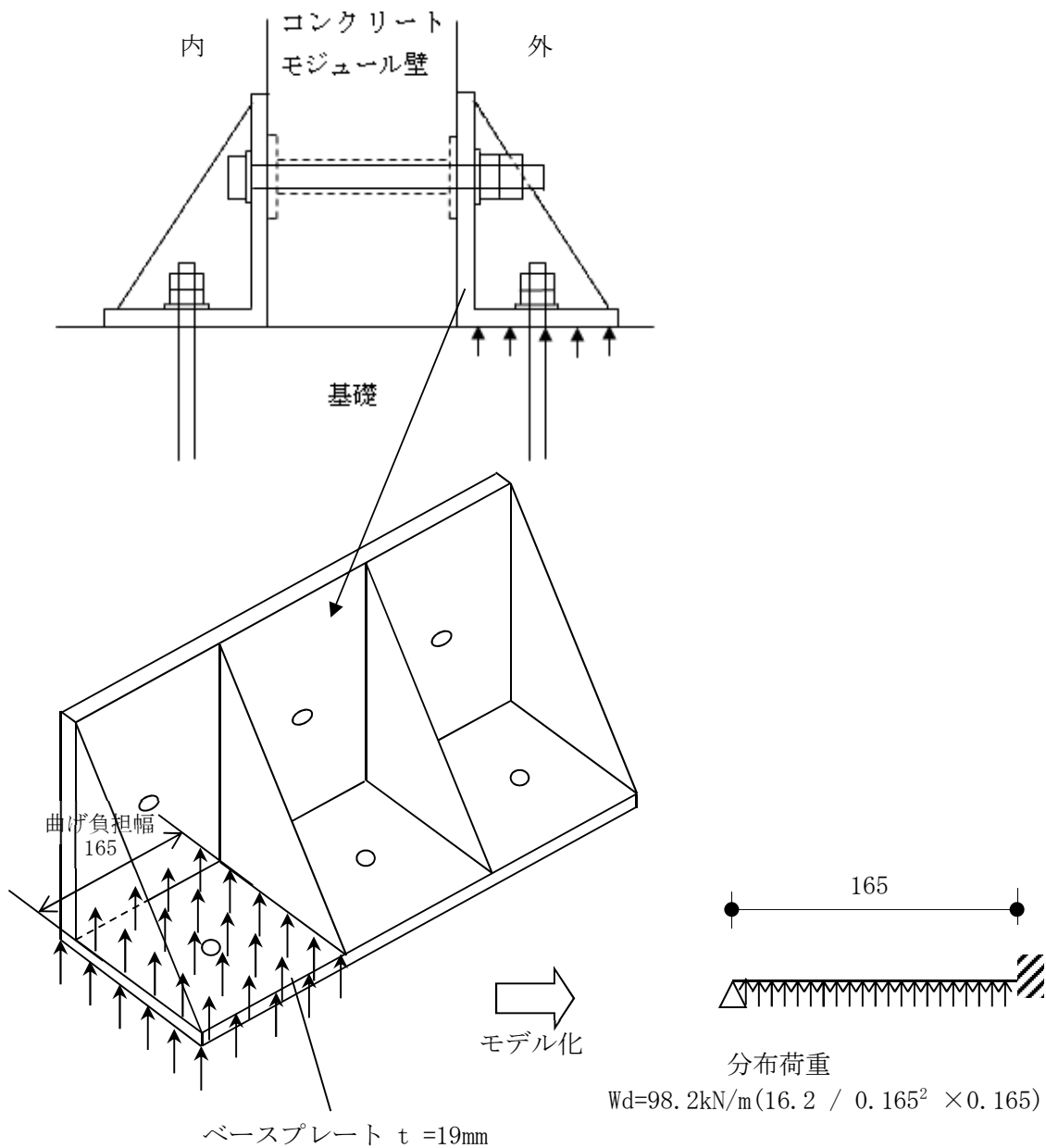


図 2. 3-8 ベースプレート (圧縮時)

C. 側板アンカー部はしあき(③) (図2. 3-9参照)

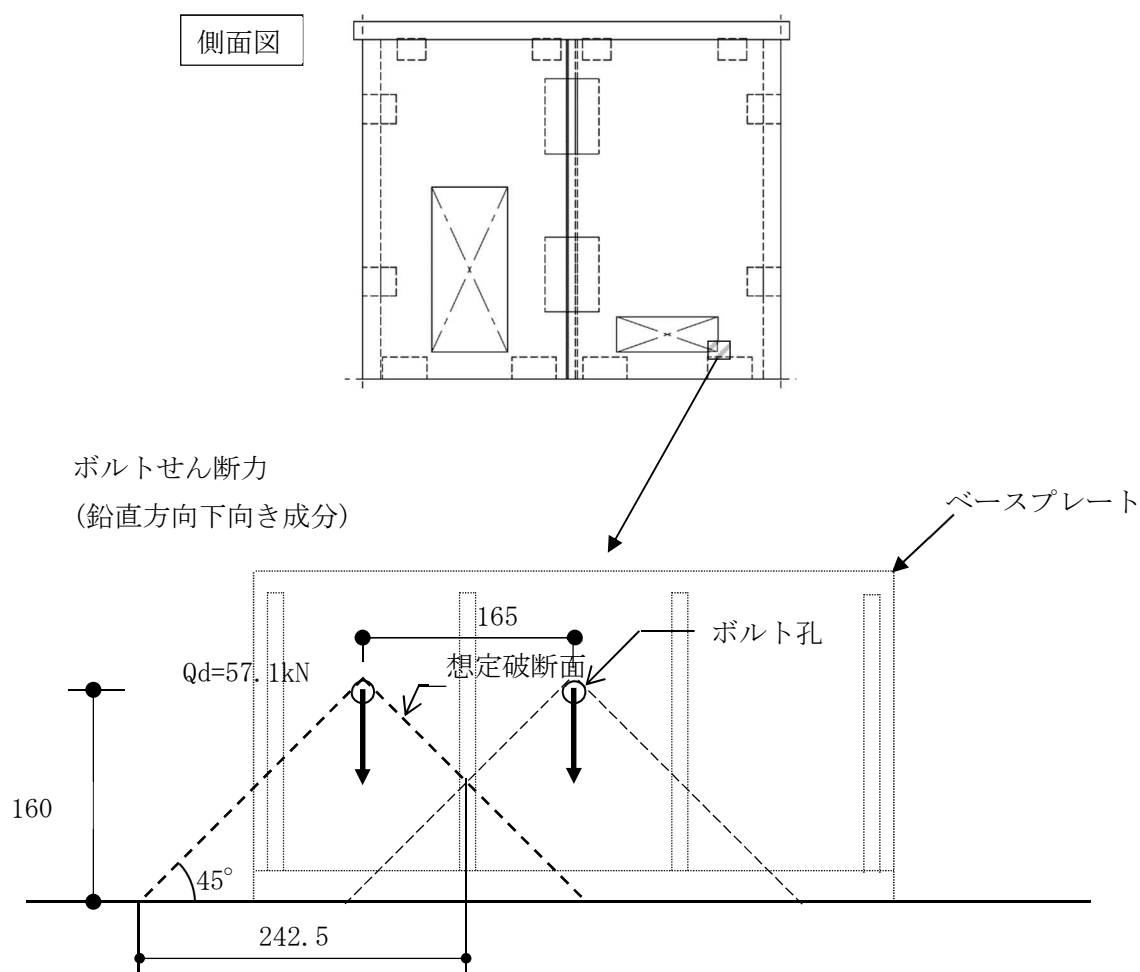


図2. 3-9 側板アンカー

せん断力  $Q_d=57.1\text{kN}$

短期許容せん断力応力度

(建築基準法施行令第91条及び平成12年建設省告示第1450号より)

$$f_{sa} = (0.49 + F_c/100) \times 2 = 1.70\text{N/mm}^2$$

想定破断面積

$$A = 242.5 \times \sqrt{2} \times 200 = 68589\text{mm}^2$$

せん断力応力度

$$\tau = Q_d / (A / \sqrt{2}) = 57.1 \times 1000 / (68589 / \sqrt{2}) = 1.18\text{N/mm}^2$$

検定値

$$f_{sa} / \tau = 1.7 / 1.18 = 1.44 > 1.0 \dots \text{OK}$$

D. 天板パネル(④) (図2. 3-10参照)

天板パネル t=200, 鉄筋: SD295A ( $\sigma_t = 295\text{N/mm}^2$ )

D10@200 (長辺方向 上筋, 短辺方向 上下筋) D10: 断面積  $A=71\text{mm}^2$

D13@200 (長辺方向 下筋) D13: 断面積  $A=127\text{mm}^2$

d=150mm, j=131mm

短期許容曲げモーメント (鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説より)

$$M_a = a_t \cdot f_t \cdot j$$

$$\Rightarrow f_t = \frac{M_a}{a_t \cdot j} \quad f_t \text{を } \sigma_t, M_a \text{を } M_d \text{に置き換え, 鉄筋の引張応力度を算定する。}$$

設計曲げモーメント

最大曲げモーメント  $8161\text{Nmm/mm}$  → 1m 辺りに換算すると  $M_d=8.17\text{kNm}$

$$\sigma_t = \frac{M_d}{a_t \cdot j} = \frac{8.17 \times 10^6}{127 \times 5 \times 131} = 98.3\text{N/mm}^2$$

検定値

$$f_t / \sigma_t = 295 / 98.3 = 3.00 > 1.0 \dots \text{OK}$$

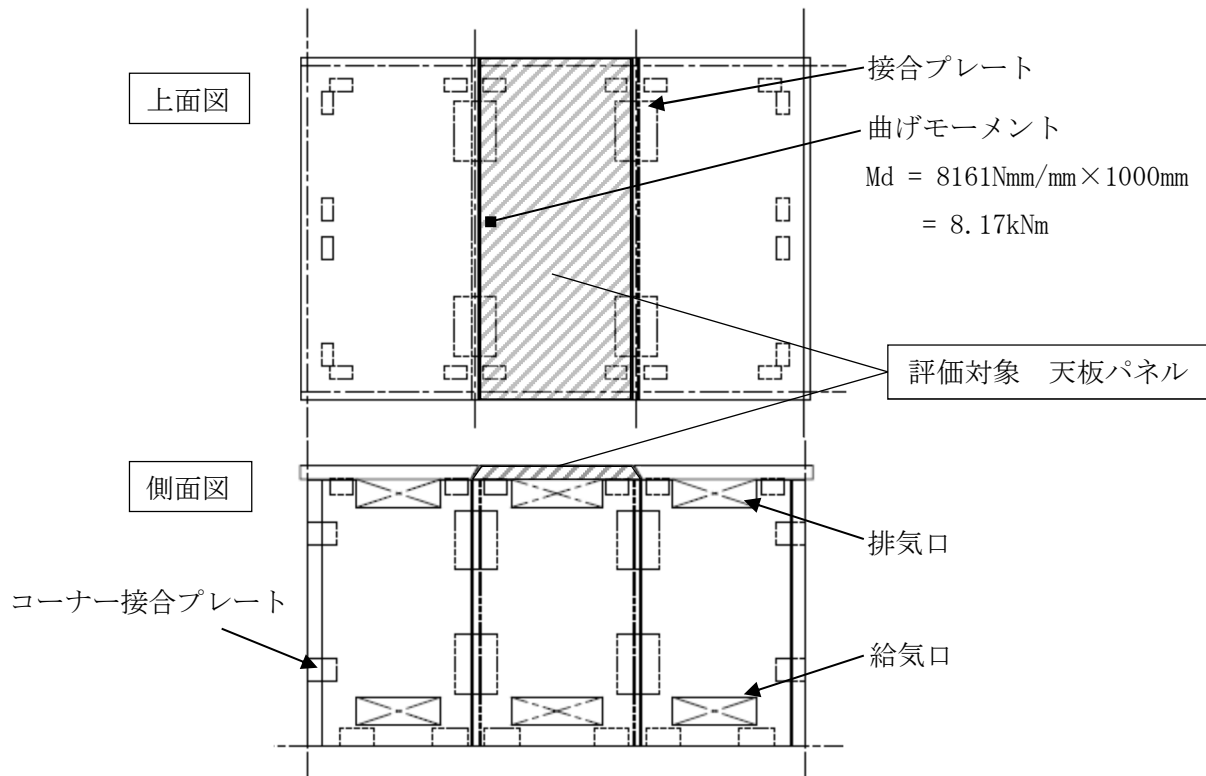


図2. 3-10 天板パネル

E. 側板パネル(⑤) (図2. 3-11参照)

側板パネル t=200, 鉄筋: SD295A ( $\sigma_t = 295\text{N/mm}^2$ )

D10@200 (縦筋・横筋, 内外共) D10: 断面積  $A=71\text{mm}^2$

D13 (開口部及び外周部の補強筋) D13: 断面積  $A=127\text{mm}^2$

$d=150\text{mm}$ ,  $j=131\text{mm}$

短期許容曲げモーメント (鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説より)

$$M_a = a_t \cdot f_t \cdot j$$

$$\Rightarrow f_t = \frac{M_a}{a_t \cdot j} \quad f_t \text{を } \sigma_t, M_a \text{を } M_d \text{に置き換え, 鉄筋の引張応力度を算定する。}$$

設計曲げモーメント

最大曲げモーメント  $7295\text{Nmm/mm}$  → 1m 辺りに換算すると  $M_d=7.30\text{kNm}$

$$\sigma_t = \frac{M_d}{a_t \cdot j} = \frac{0.7 \times 7.30 \times 10^6}{(127+71+71+127) \times 131} = 98.6\text{N/mm}^2$$

検定値

$$f_t / \sigma_t = 295 / 98.6 = 2.99 > 1.0 \dots \text{OK}$$

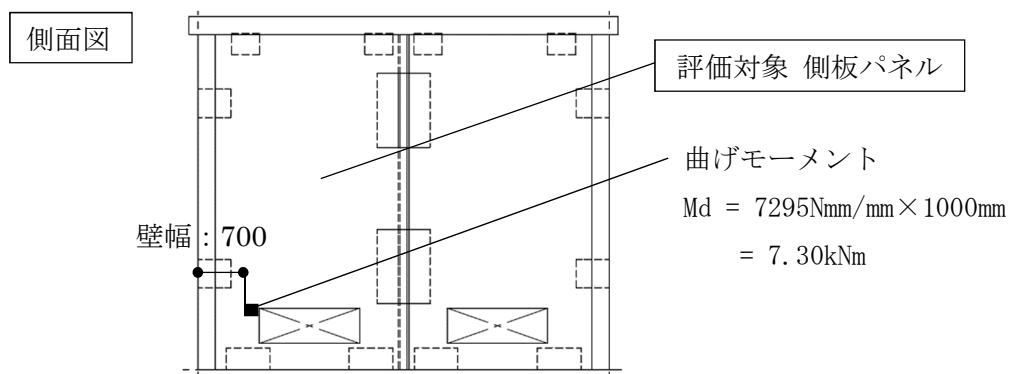


図2. 3-11 側板パネル

F. 側板, 天板接合プレート(⑥)  $t=6$  (SS400) (図2. 3-12参照)

負担幅は 840mm とする。断面係数  $z=b \times h^2/6=840 \times 6^2/6=5040\text{mm}^3$

設計曲げモーメント

最大曲げモーメント 101Nmm/mm  $\rightarrow$  840mm 辺りに換算すると  $M_d=0.09\text{kNm}$

$\sigma_b/f_b=0.09 \times 10^6/5040=17.9\text{N/mm}^2$

検定値

$f_b/\sigma_b=235/17.9=13.1 > 1.0 \dots \text{OK}$

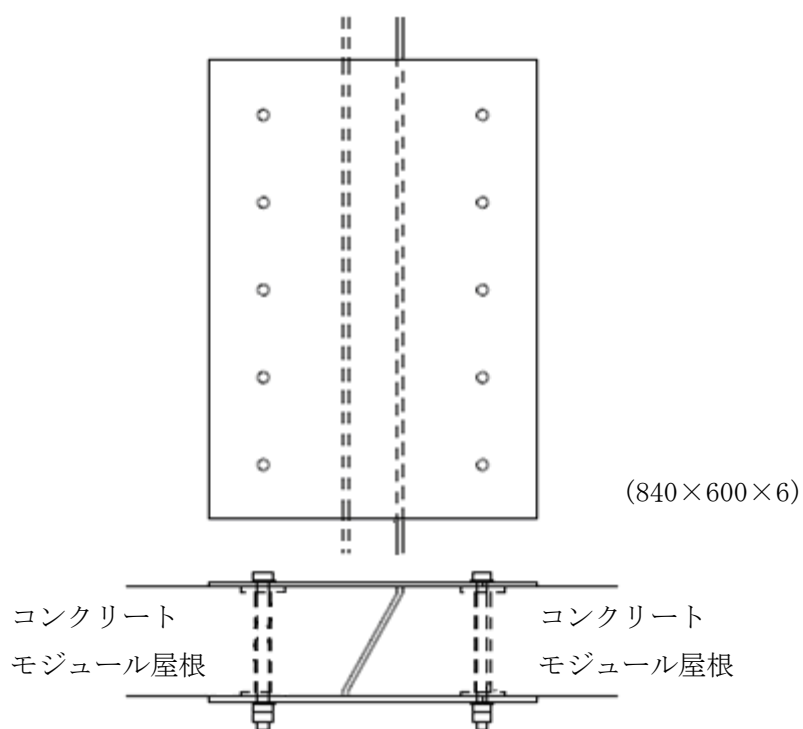


図2. 3-12 側板, 天板接合プレート

G. 側板, 天板コーナー接合プレート(⑦) t=9 (SS400) (図2. 3-13参照)

負担幅は160mmとする。断面係数  $z=b \times h^2/6=160 \times 9^2/6=2160\text{mm}^3$

設計曲げモーメント

ボルト位置に生じる圧縮力を面荷重に置き換えて算定する。

設計曲げモーメント(1辺固定1辺単純支持の1方向板として)

$$M_d = (13.4/0.160^2 \times 0.160 \times 0.160^2)/8 = 0.27\text{kNm}$$

$$\sigma_b/f_b = 0.27 \times 10^6 / 2160 = 125\text{N/mm}^2$$

検定値

$$f_b/\sigma_b = 235/125 = 1.88 > 1.0 \dots \text{OK}$$

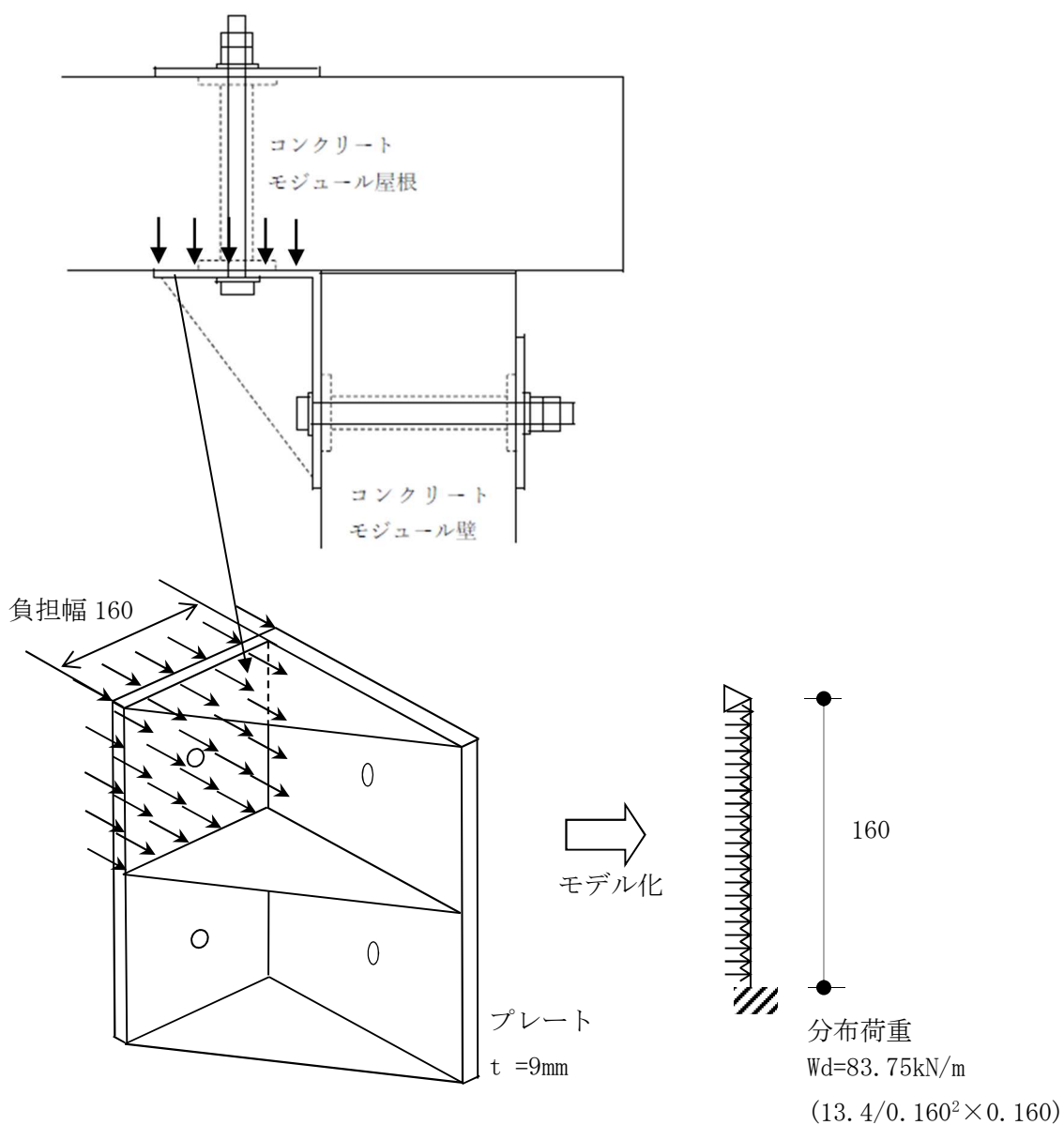


図2. 3-13 側板, 天板コーナー接合プレート



4) 評価結果

評価結果を表 2. 3-5 に示す。

表 2. 3-5 評価結果(単位 : N/mm<sup>2</sup>)

項目		計算値	許容値	評価結果
①-a	アンカーボルト	135	199	OK
①-b	側板柱脚ボルト	125	242	OK
①-c	側板接合ボルト	122	242	OK
①-d	天板接合ボルト	109	242	OK
①-e	コーナー接合ボルト	158	242	OK
②	ベースプレート (引張時)	137	235	OK
②	ベースプレート (圧縮時)	34.3	235	OK
③	側板アンカー部はしあき	1.18	1.70	OK
④	天板パネル	98.3	295	OK
⑤	側板パネル	98.6	295	OK
⑥	側板, 天板接合プレート	17.9	235	OK
⑦	側板, 天板コーナー接合プレート	125	235	OK

以上よりコンクリートモジュールは 1/2Ss450 に対する耐震安全性を確保できる。

## 2.4 クレーンの 1/2Ss450 に対する波及的影響

### (1) 評価方針

本設備で使用するクレーンが 1/2Ss450 により乾式キャスクの安全機能及びコンクリートモジュールの遮蔽機能に波及的影響を与えるような倒壊，転倒，逸走等が生じないことを確認する。なお，当該クレーンは一般産業用施設と同等の耐震性を有する設計とし，クレーン構造規格に基づき設計を行っている。また，キャスク仮保管設備クレーン間移動時の転倒については参考資料を参照。

### (2) 波及的影響評価方法の概要

評価対象とするクレーンの主要仕様を表 2. 4-1 に，概要図を図 2. 4-1 に示す。

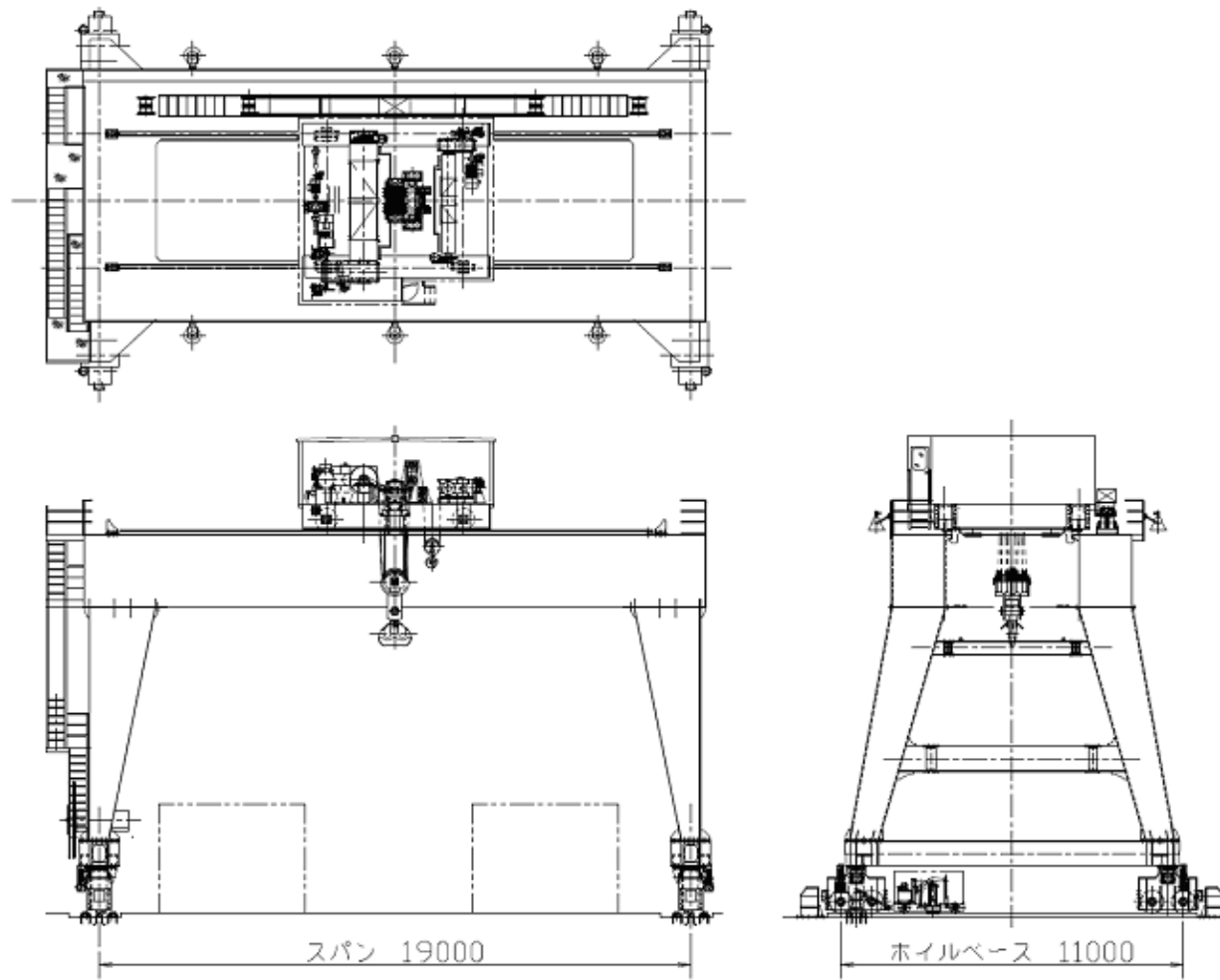
表 2. 4-1 クレーンの仕様

項目	仕様
型式	門形クレーン
主巻定格	150ton
補巻定格	20ton
スパン	19m

クレーンの波及的影響評価フローを図 2. 4-2 に示す。

以下の手順により 1/2Ss450 によるクレーンの波及的影響が，コンクリートモジュールの遮蔽機能に及ばないことを確認する。

- ・評価には 1/2Ss450 に基づく地表面加速度応答スペクトルを用いて行う。
- ・汎用有限要素解析コード ABAQUS を使用した三次元有限要素モデルによりクレーンの固有周期を求める。
- ・地表面加速度応答スペクトルと固有周期により設計用加速度を定め，クレーン各部に発生する応力を算定し，クレーンが倒壊しないことを確認する。
- ・汎用有限要素解析コード ABAQUS を用いて，地表面時刻歴データによる非線形応答解析を行い，クレーン本体の浮き上がり量から，クレーンが転倒しないことを確認する。
- ・クレーン本体の浮き上がり量からクレーンがレールピットから飛び出し，逸走しないことを確認する。



(単位:mm)

図 2. 4-1 クレーン全体図

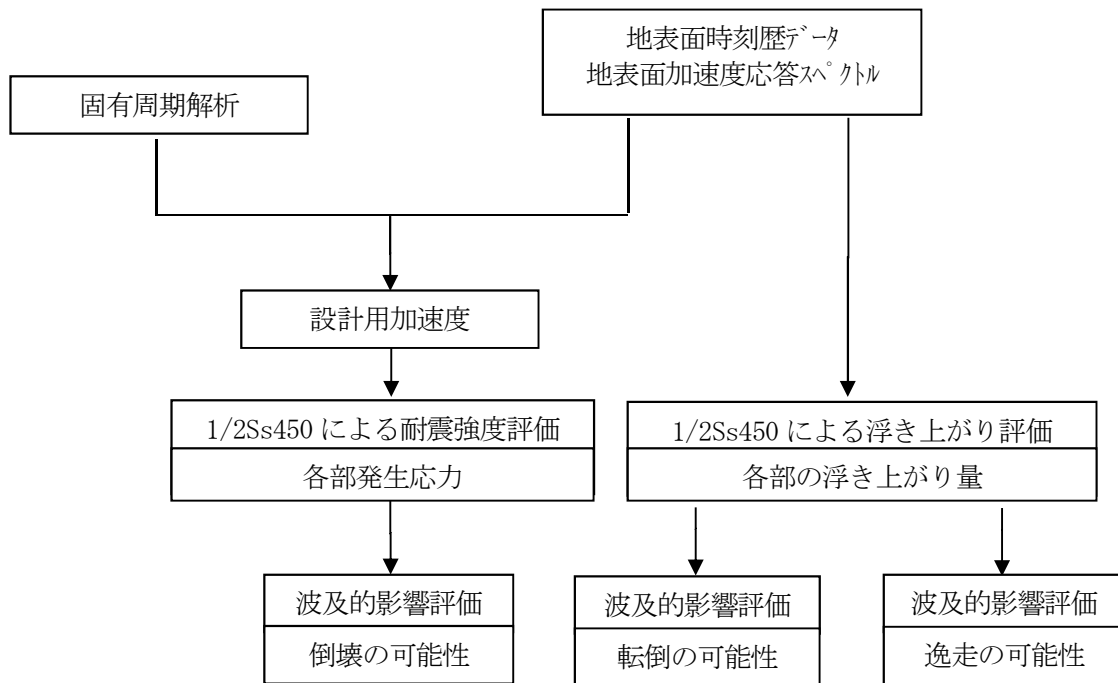


図 2. 4-2 クレーンの波及的影響評価フロー

(3) 波及的影響評価

1) クレーンの倒壊評価

① 固有周期の算定

A. 固有周期の計算方法

汎用有限要素解析コード ABAQUS を使用した三次元有限要素モデルにより、各方向に関するクレーンの固有周期の評価を行う。図 2. 4-3 に解析モデル図を示す。

- a. ガーダ、剛脚及びサドル等の構造物は、断面積、断面二次モーメントなどの断面特性を考慮したビーム要素でモデル化する。
- b. トロリは質量特性のみを考慮した剛体要素でモデル化する。
- c. ワイヤロープは剛な鉛直線形ばねでモデル化する。
- d. 走行方向の水平力がクレーンに加わった場合、クレーンはレール上を滑り、クレーン自体にはレールと走行車輪間の最大静止摩擦力以上の水平力は加わらない。このため走行方向の固有周期の算定は行わない。

B. 固有周期

固有周期の算定結果を表 2. 4-2 に示す。

表 2. 4-2 クレーンの固有周期

トロリ位置	本体ガーダ中央			本体ガーダ端部 <sup>注記</sup>		
	走行方向 (EW方向)	横行方向 (NS方向)	鉛直方向 (UD方向)	走行方向 (EW方向)	横行方向 (NS方向)	鉛直方向 (UD方向)
固有周期 ( sec )	-	-	0.137	-	0.332	0.097

注記：トロリが剛脚にもっとも近づいた位置とする。

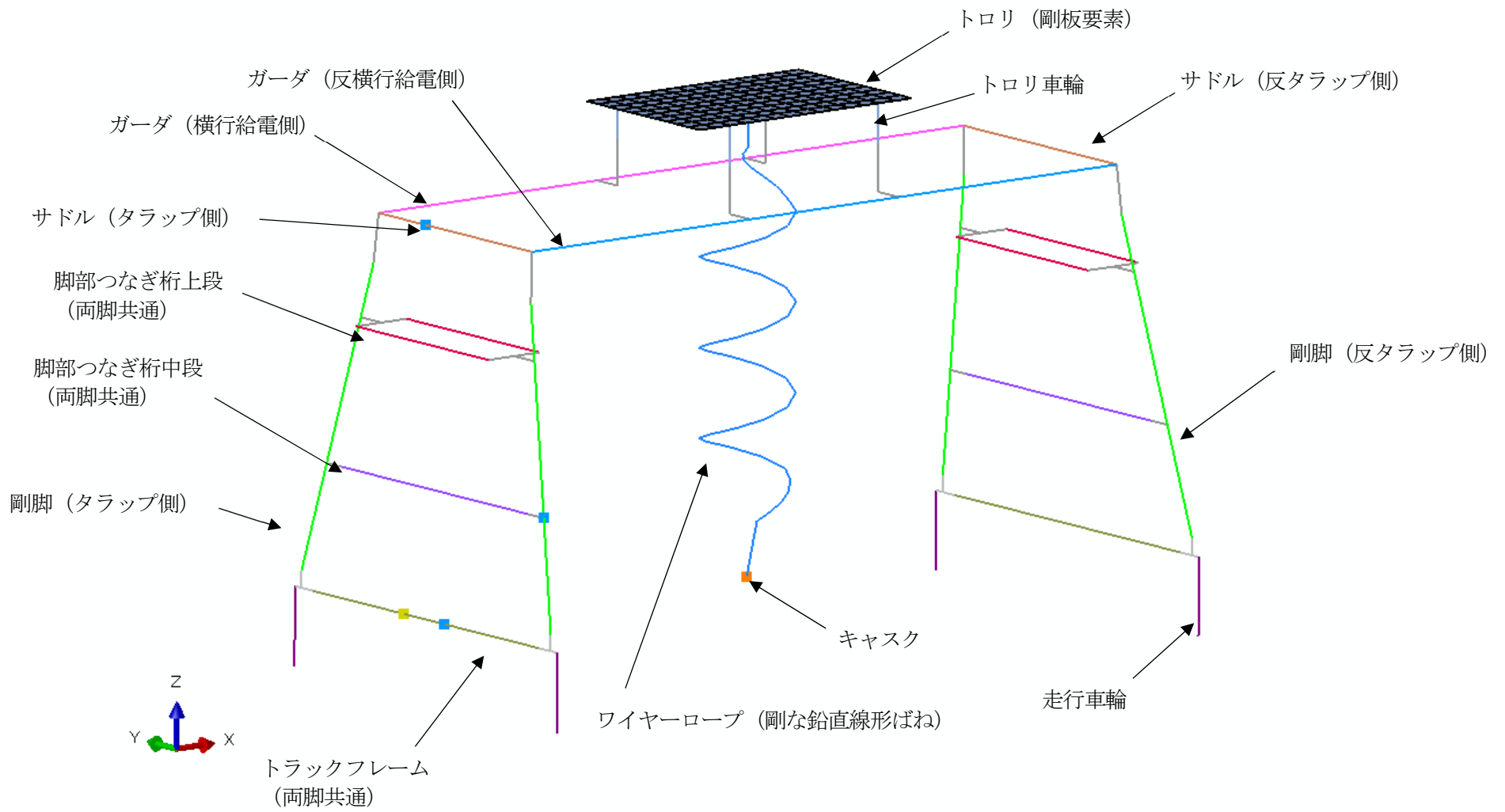


図2. 4-3 解析モデル図 鳥瞰図(トロリ中央の場合)

② 本設備の設計加速度

「1 耐震設計方針」の加速度応答スペクトル及び表 2. 4-2 に示した固有周期から算定される設計用加速度を表 2. 4-3 に示す。

表 2. 4-3 クレーンの設計用加速度

加振方向	走行方向 (EW方向)	横行方向 (NS方向)	鉛直方向 (UD方向)
設計用加速度 (G)	0.15 <sup>注1</sup>	2.25 0.15 <sup>注2</sup>	1.45 <sup>注3</sup> 1.28 <sup>注4</sup>

注 1：走行方向の設計用加速度は、走行駆動輪とレールの最大静止摩擦係数により定まる加速度とする。

注 2：トロリに作用する横行方向の設計用加速度は、横行駆動輪と横行レールの最大静止摩擦係数により定まる加速度とする。

注 3：本体ガーダ中央にトロリがある場合

注 4：本体ガーダ端部にトロリがある場合

③ クレーン各部の応力評価

A. 評価対象部位の形状

評価対象箇所を図 2. 4-4 に示す。また評価対象部位の形状を図 2. 4-5～図 2. 4-8 に示す。

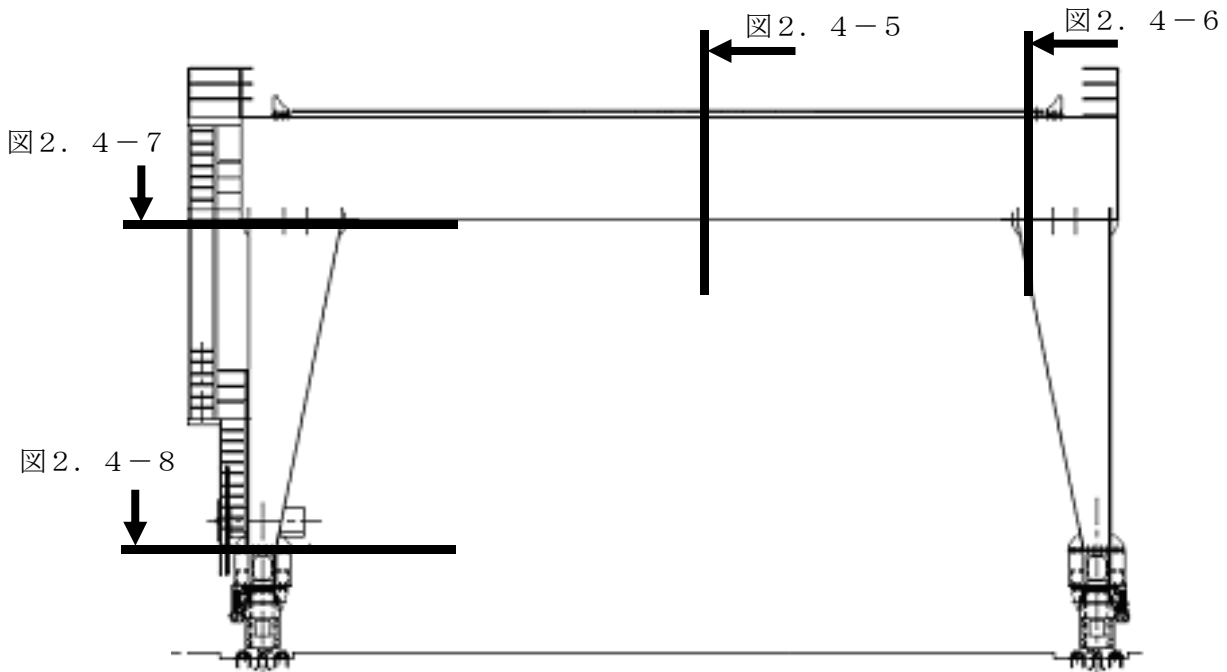


図 2. 4-4 応力評価部位対象箇所

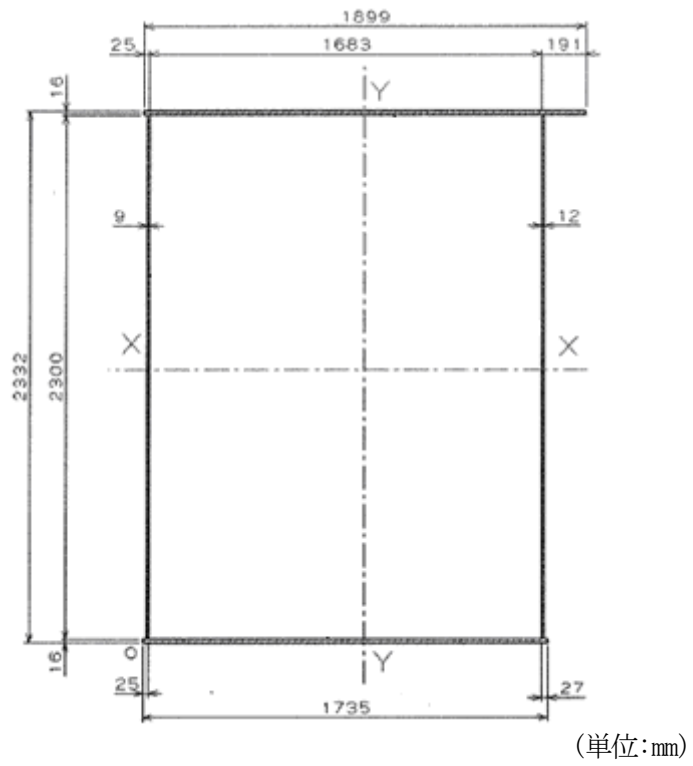


図2. 4-5 本体ガーダ中央部

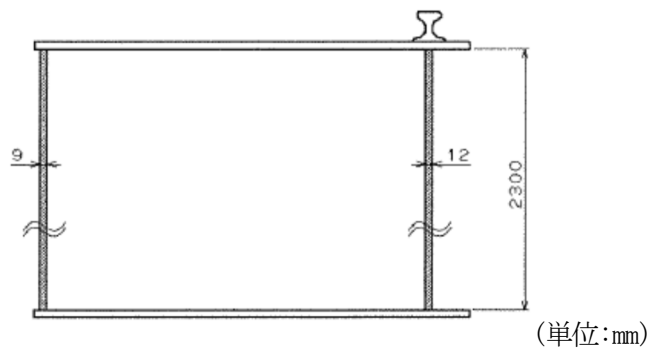
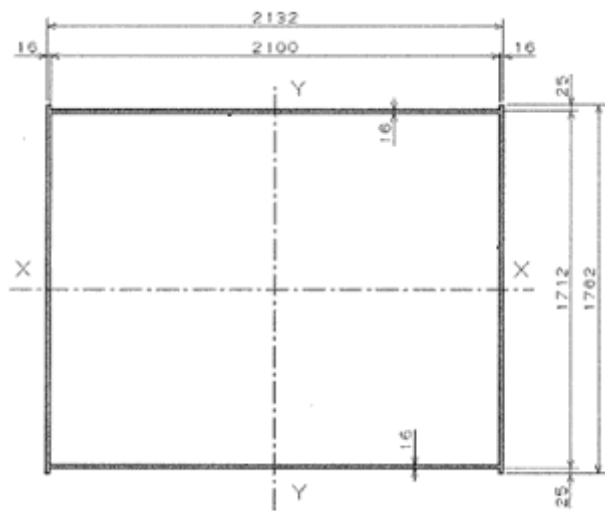


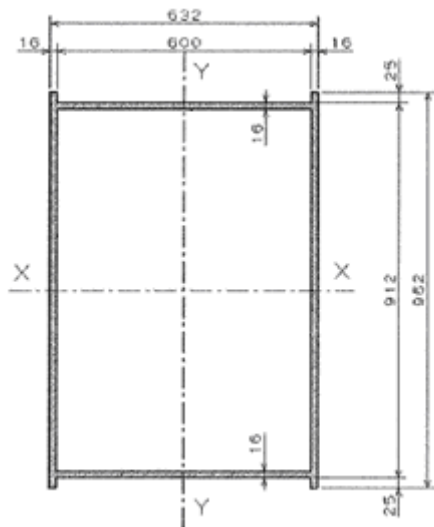
図2. 4-6 本体ガーダ端部





(单位: mm)

图 2. 4-7 刚脚上部



(单位: mm)

图 2. 4-8 刚脚下部

## B. 発生応力と許容応力

1/2Ss450 によりクレーン各部に発生する応力と許容応力の比較を表 2. 4-4 に示す。

表 2. 4-4 クレーン各部応力の評価結果

	材料	応力の種類	算出応力 (N/mm <sup>2</sup> )	許容応力 (N/mm <sup>2</sup> )	評価結果
本体ガーダ	SM490A	曲げ	133	343	O. K.
		せん断	49	198	O. K.
		組合せ	135	343	O. K.
剛脚 (上部)	SS400	曲げ	94	280	O. K.
		圧縮	71	246	O. K.
剛脚 (下部)		曲げ	146	280	O. K.
		圧縮	71	246	O. K.

### ④ 評価結果

本体ガーダ、剛脚などクレーン本体に発生する応力は許容値内に留まる。このことから 1/2Ss450 がクレーンに生じた場合、クレーン本体は倒壊しない。なお、参考としてクレーンレールについても 1/2Ss450 により応力評価を行ったところ、レールが湾曲するおそれがあることが判明した。このことから次項ではクレーンが 1/2Ss450 によりクレーンが転倒、逸走をしないことを確認し、当該クレーンがコンクリートモジュールの遮蔽機能に波及的影響を及ぼさないことを確認する。

### 2) クレーンの転倒評価

図 2. 4-9 の転倒評価モデルを用いて非線形時刻歴応答解析を行い、クレーンが転倒しないことを確認する。

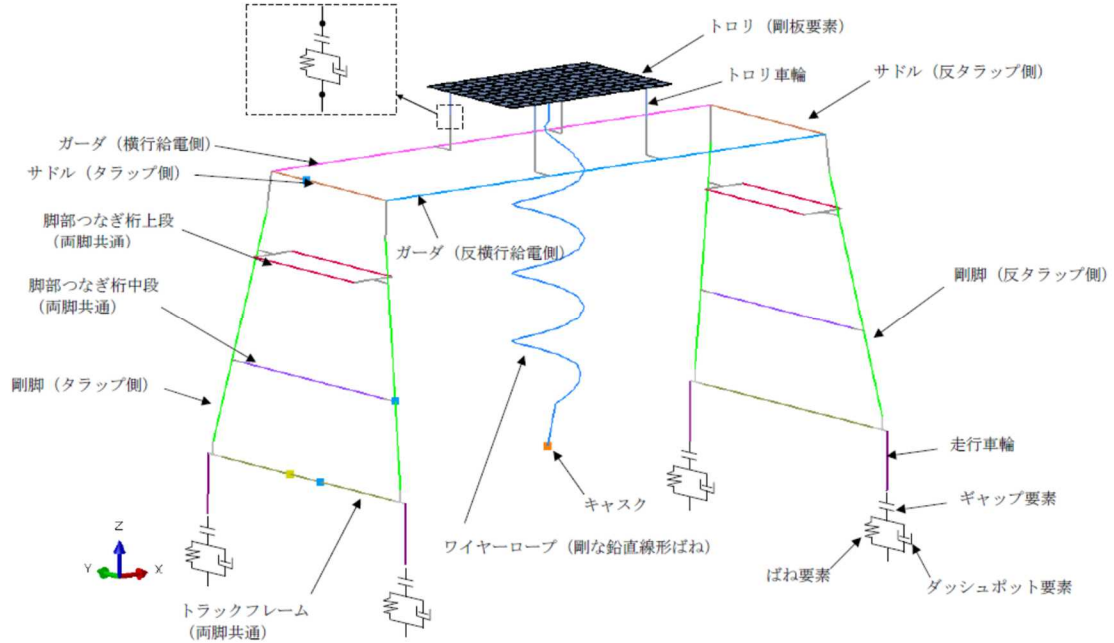


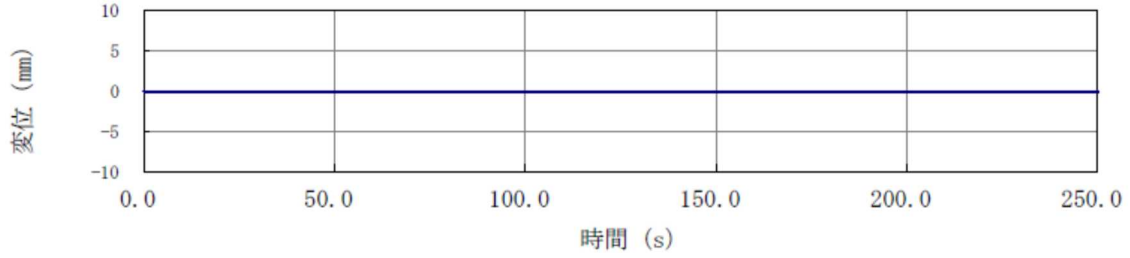
図 2. 4-9 転倒評価モデル

① 地表面時刻歴データ

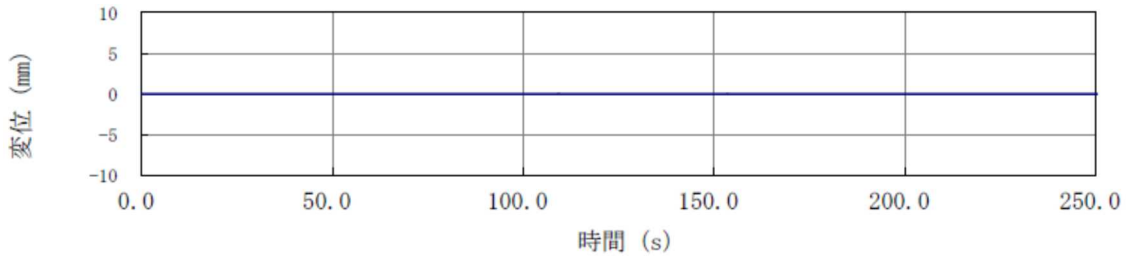
本解析は、横行方向、走行方向及び上下方向の3軸方向同時加振とする非線形時刻歴応答解析を行う。本解析に用いる地表面時刻歴波形は、1/2Ss450-①及び1/2Ss450-②の既設基礎及び拡張基礎のうち、加振方向毎に最大応答加速度が大きいほうの地震波を用いる。用いた地表面時刻歴波形は「2.3 輸送貯蔵兼用キャスク用コンクリートモジュール 図2.3-2～図2.3-4」と同一である。

② 浮き上がり量結果

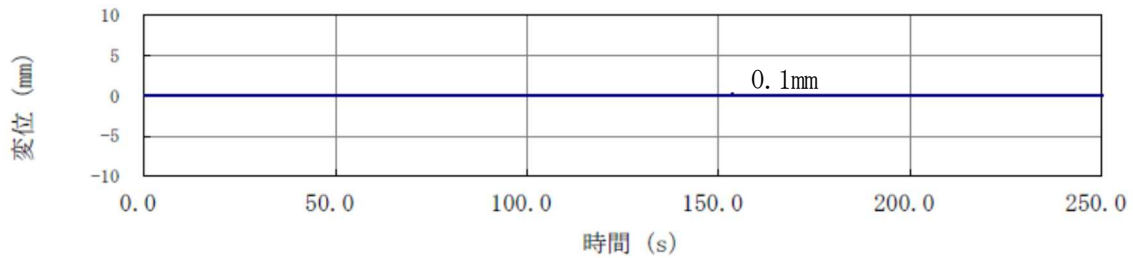
非線形時刻歴応答解析によるクレーンの浮き上がり量の時刻歴データを図2. 4-10に示す。また本解析の評価箇所各部の最大浮き上がり量を表2. 4-5に示す。



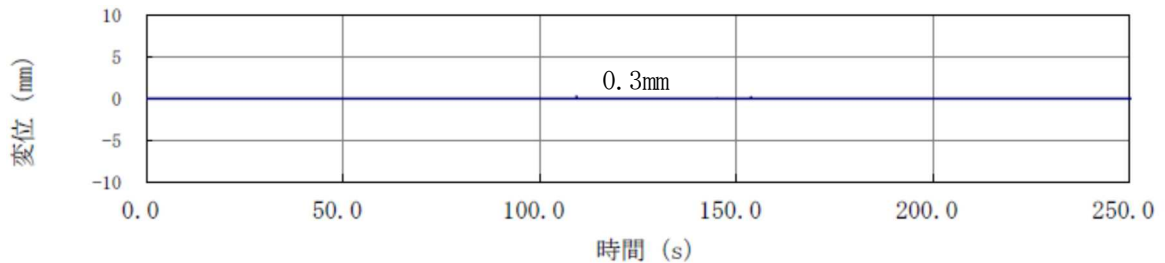
F1 浮き上がり量



F2 浮き上がり量



F3 浮き上がり量



F4 浮き上がり量

図2. 4-10 車輪浮き上がり量

表 2. 4-5 非線形時刻歴応答解析によるクレーン最大浮き上がり量の結果

評価応答	評価部位	方向	番号	解析結果
床面-走行車輪の 浮き上がり (mm)	走行車輪部	Z方向	F1	0.0
			F2	0.0
			F3	0.1
			F4	0.3

注記：評価点の位置を図 2. 4-1 1 に示す。

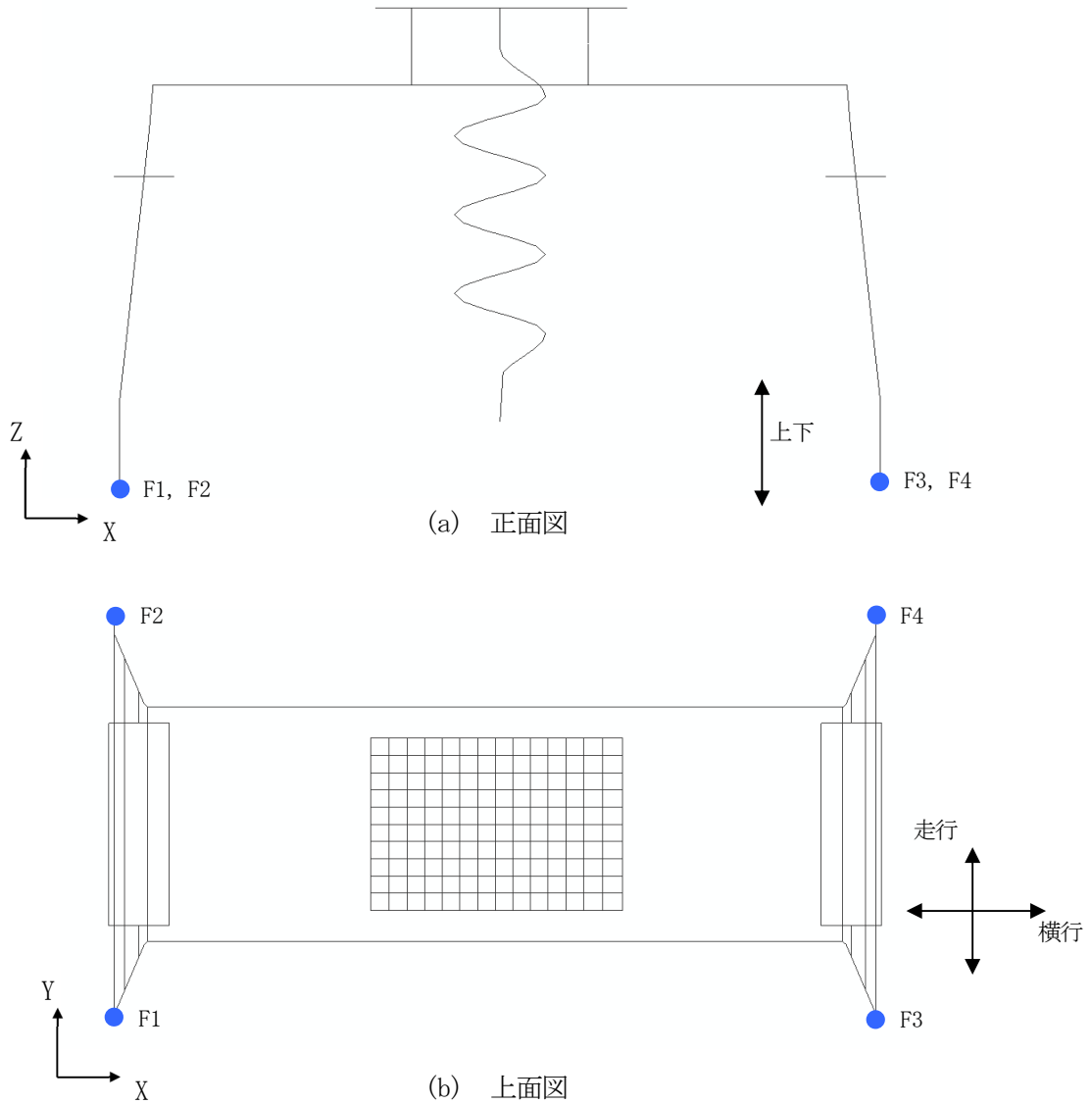


図 2. 4-1 1 非線形時刻歴応答解析における評価点記号

### ③ 評価結果

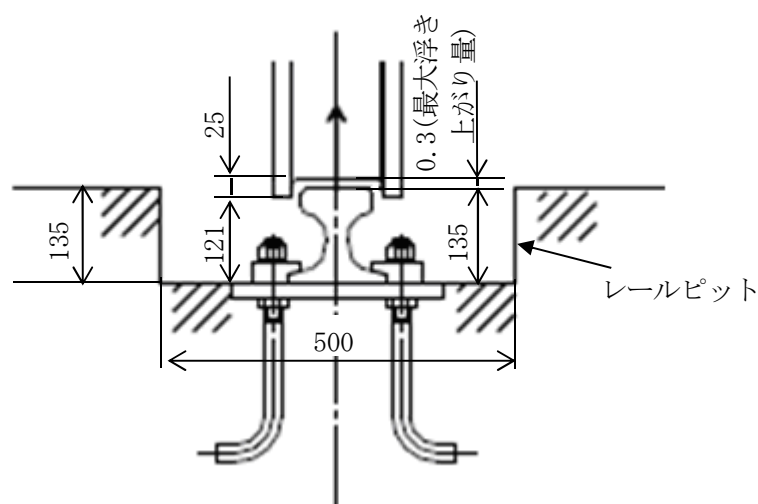
表2. 4-5よりクレーンの車輪は最大で0.3mm浮き上がる。クレーンの重心の位置関係から片側の車輪が14,706mm浮きあがらなければクレーンは転倒しないことから、当該クレーンは1/2Ss450に対して転倒しない。

### 3) クレーンの逸走評価

クレーンが逸走する条件として、クレーンの車輪が全てレールピットから飛び出すことが挙げられる。このことから当該クレーンが1/2Ss450に対して車輪がレールピット内に収まっていることを確認する。

#### ① レールピット高さとの浮き上がり時の車輪位置の比較

2)で検討した最大の浮き上がりが生じた場合の車輪とレールピットの位置関係は図2. 4-12のようになる。車輪の下端の高さはレールピットの底部から121mmであり、レールピットの高さ135mmを超えることはない。



(単位:mm)

図2. 4-12 車輪とレールピットの位置関係(最大浮き上がり時)

#### ② 評価結果

レールピットの高さとクレーンが浮き上がった場合の車輪の高さを比較した結果、最大の浮き上がりが予想される車輪においてもレールピットを超えないことが確認された。このことから当該クレーンはレールピットから飛び出し、逸走することはない。

#### 4) 評価結果

1/2Ss450 に基づく評価では以下が確認され、クレーンには倒壊、転倒、逸走が生じない結果となった。

- ① クレーン本体に発生する応力は、許容応力を下回る。
- ② 地表面時刻歴データによる非線形応答解析評価により浮き上がりの評価では最大 0.3mm の浮き上がりであるが、転倒が生じる浮き上がり高さまで十分な余裕がある。
- ③ クレーンの浮き上がりにより車輪の下端がレールピットより高くなることはない。

従って、地震時にクレーンが乾式キャスクの安全機能及びコンクリートモジュールの遮蔽機能に影響を及ぼすことはない。

(実施計画：II-2-13-添3-2-31～109)

## キャスク仮保管設備クレーンレーン間移動時の転倒について

1 基準地震動 $S_s$ による評価

## 1.1 クレーンレーン間移動手順

キャスク仮保管設備は複数のレーンに分かれており、どのレーンに乾式キャスクを設置するかにより、クレーンをレーン間移動させる必要がある。この時、クレーンのレーン間移動は以下の手順にて行う。

- (1) 図1-1のようにクレーンを待機位置(コンクリートモジュールとの最短距離が1000mm)に移動し、停止させる。
- (2) 図1-2のようにH鋼レールをクレーン走行装置の内側に設置し、図1-3のようにアンカーを用いて設置したレールズレ止めにより固定する。
- (3) 図1-2のようにH鋼レール上を移動できるように、逸走を防止するためのガイドローラが付いたチルタンクと油圧ジャッキを取り付けた移動受台をH鋼レール上に乗せ、クレーンのトラックフレームの下に移動する。
- (4) 図1-1のように電動チルホールまたは電動ウインチ、おしみチルホール、ワイヤロープ、滑車を取り付ける。
- (5) 油圧ジャッキを操作してクレーンを押し上げ、車輪がレールから浮き上がった状態にする。
- (6) 電動チルホールまたは電動ウインチを操作して、横行方向に移動させる。また、逸走防止を目的として同時におしみチルホールを併用して移動操作を行う。
- (7) クレーンが移動レーンのレール上にあることを確認し、油圧ジャッキを操作して走行レール上に降ろす。

## 1.2 レーン間移動中の逸走評価

クレーンが本設レール上にある時に地震(基準地震動 $S_s$ )により鉛直方向と走行方向に同時に加振された場合と鉛直方向と横行方向に同時に加振された場合について非線形時刻歴応答解析を実施した結果、クレーンの走行方向への滑り量は最大で約330mmであった。

レーン間移動時に地震が発生した場合、クレーンは基礎上面を逸走する可能性があるが、以下の点よりクレーンの逸走量は330mmを下回ると考えられる。

- ・車輪とレールの摩擦係数が0.3であるのに対し、車輪とコンクリートの摩擦係数は0.4程度であり、逸走に対する抵抗が大きい。
- ・図1-2のように、クレーンの走行部の間にレーン間移動用のH鋼を設置することから、クレーンの逸走を阻害することになる。

以上からクレーンとコンクリートモジュールの最短距離を1000mm確保することで、クレーンが逸走したとしても、モジュールに衝突することを防ぐことができる。



### 1.3 レーン間移動中の転倒評価

レーン間移動中に最もクレーンが乾式キャスク設置の位置側に傾く事象として、クレーンが乾式キャスク設置側にある油圧ジャッキより脱落し、かつ地震によりクレーンの脚が浮き上がる場合が考えられる。

クレーンをジャッキアップした状態で片側の油圧ジャッキが外れる事象を想定した場合、ジャッキアップの量及び油圧ジャッキの配置等から、図1-4のように乾式キャスク設置位置と逆側の車輪は基礎から82mm程度浮き上がる。

さらに地震（基準地震動Ss）によりクレーンが浮き上がる場合を考える。クレーンが本設レール上にあるときに、地震により鉛直方向と走行方向に同時に加振された場合と鉛直方向と横行方向に同時に加振された場合について非線形時刻歴応答解析を実施した結果、クレーンの脚は最大で11mm浮き上がると評価されている。このクレーン脚の最大浮き上がり量11mmをクレーンの重心位置の浮き上がり量として扱うことにより、保守的な条件として浮き上がり量11mmを仮定する。

クレーンの重心の浮き上がり量を11mmと仮定した場合、乾式キャスク設置位置と逆側の脚が最も浮き上がるのは、乾式キャスク設置側の脚が浮き上がらない時であり、その浮き上がり量は脚と浮き上がり量算定位置（クレーンの重心位置または片側の脚）間のスパン長比による線形補間から求めると、22mmになる。

以上から脚の浮き上がり量は最大で104mm(=82mm+22mm)となる。

クレーンが乾式キャスク設置側に転倒する場合における乾式キャスク設置位置と逆側の車輪の浮上がり量は5700mm程度であることから、クレーンが乾式キャスク設置側に転倒することはない。またクレーンが待機位置から乾式キャスク方向に330mm逸走し、乾式キャスク設置側に傾いても乾式キャスクと衝突しない乾式キャスク設置位置と逆側の車輪の浮上がり量は補足資料のように4600mm程度であることから、クレーンが乾式キャスクに衝突することはない。

### 1.4 レーン間移動中のクレーンの回転移動評価

図1-5のように、クレーンが乾式キャスク設置位置と逆側にある油圧ジャッキの内一本を中心に回転した場合は、他の位置を回転中心とした場合に比べて、クレーンが乾式キャスクに最も接近しやすい保守的な条件であることから、この条件について評価を行う。

クレーンが回転しチルトタンクがH鋼レールから落ちた場合、もしくはクレーンが油圧ジャッキから落ちた場合については、クレーンの車輪とコンクリートとの摩擦係数が0.4程度であり、本設レールとクレーンの車輪との摩擦係数0.3に比べて摩擦による影響が大きくなる。このことから、本設レール上にクレーンが上載している条件により、基準地震動Ssを用いた非線形時刻歴応答解析を実施した結果（クレーンの重心の移動量330mm）は、レーン間移動中に当てはめると保守的な数値であると考えられる。

したがって、レーン間移動中のクレーンの重心の移動量を330mmと仮定し、クレーンの回

転による脚の最大移動量を推定すると、図1-5のように約700mm程度となる。なお、図1-2のように、クレーンの走行部の間にレーン間移動用のH鋼を設置することから、クレーンの回転を阻害することになり、クレーンの脚の移動量は700mmを下回ると考えられる。

以上からクレーンとコンクリートモジュールの最短距離を1000mm確保することで、クレーンが回転したとしても、モジュールに衝突することを防ぐことができる。

## 1.5 結論

レーン間移動を行う場所は図1-1のように第三レーンのコンクリートモジュールとクレーンの距離が1000mmとなる位置としており、この場合以下のことがいえる。

- ・クレーンのレーン間移動中に地震が起きた場合に、クレーンが走行方向に逸走すると、その距離は330mm以下であり、コンクリートモジュールに衝突することはない。
- ・地震によるクレーンの脚の最大浮き上がり量は104mmとなり、クレーンが停止位置から330mm逸走した後にクレーンが傾いてコンクリートモジュールに衝突する脚の浮き上がり量が4600mmであることから、クレーンが地震により浮き上がってもコンクリートモジュールに衝突することはない。
- ・移動受台の反乾式キャスク側の油圧ジャッキ一本を中心にクレーンが回転した場合、乾式キャスク側の脚の移動量は700mm以下であり、コンクリートモジュールにクレーンが衝突することはない。

## 2 1/2Ss450 による評価

### 2.1 クレーンレーン間移動手順

既設クレーンを使用するため移動手順は1.1と同様。

### 2.2 レーン間移動中の逸走評価

クレーンが本設レール上にある時に地震（1/2Ss450）により横行方向，走行方向及び上下方向の3軸方向同時に加振された場合について非線形時刻歴応答解析を実施した結果，クレーンの走行方向への滑り量は最大で約160mmであり，1.2の評価に包絡される。

### 2.3 レーン間移動中の転倒評価

1/2Ss450によるクレーンの最大浮き上がり量は「2.4 クレーンの1/2Ss450に対する波及的影響」において0.3mmと評価され，1.3の評価に包絡される。

### 2.4 レーン間移動中のクレーンの回転移動評価

2.2と同様にクレーンの重心の移動量160mmは1.2の評価に包絡される。

### 2.5 結論

いずれの場合においても基準地震動Ssによる評価に包絡されるためクレーンがコンクリートモジュールに衝突することはない。

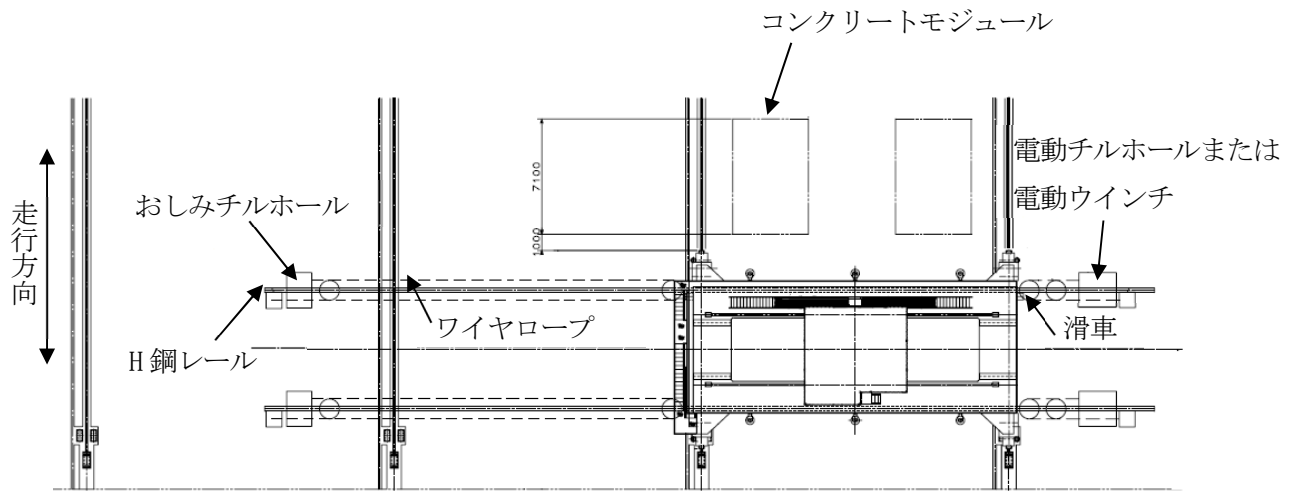


図 1-1 レーン間移動時機材配置図

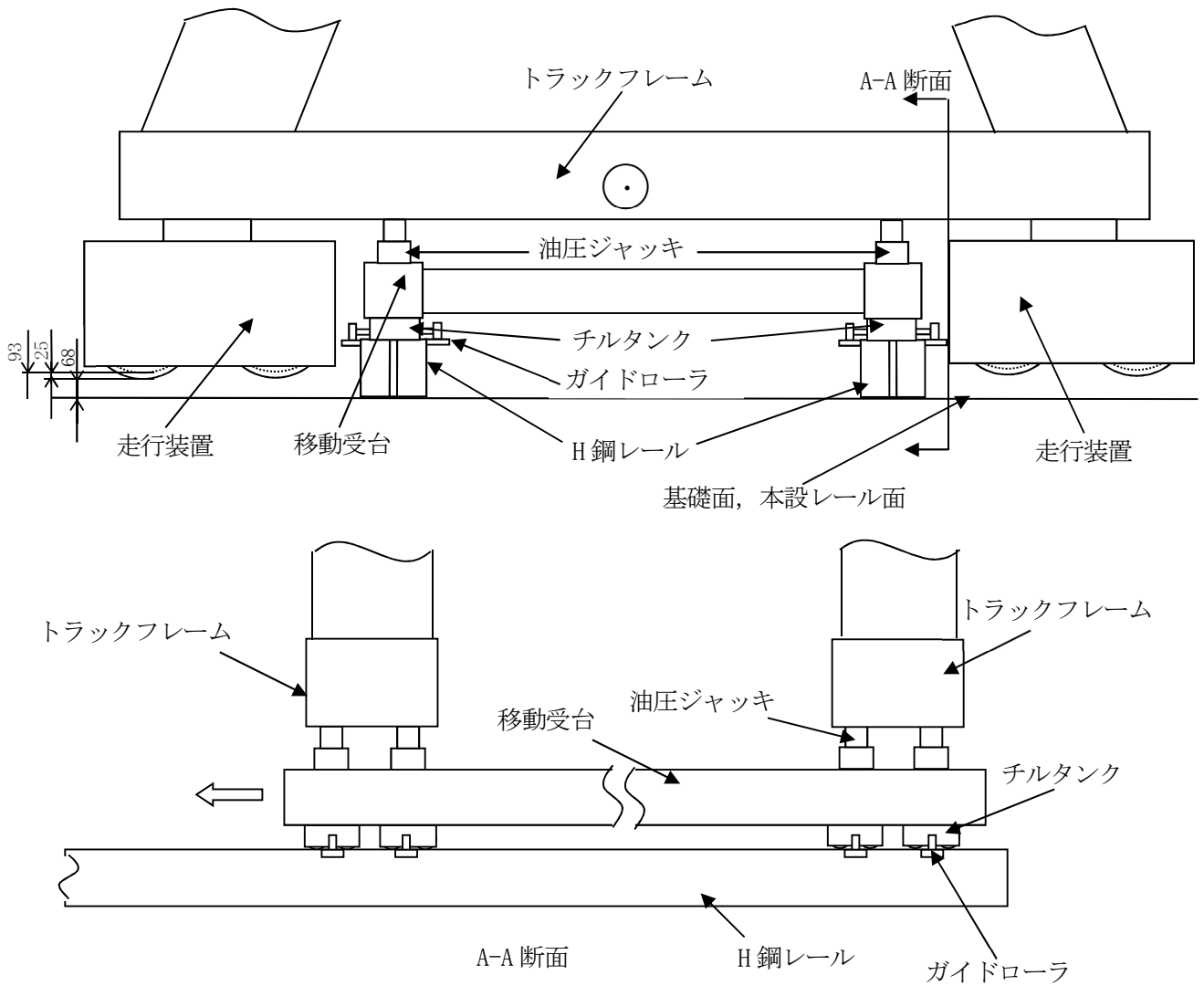


図 1-2 クレーンジャッキアップ時概略図

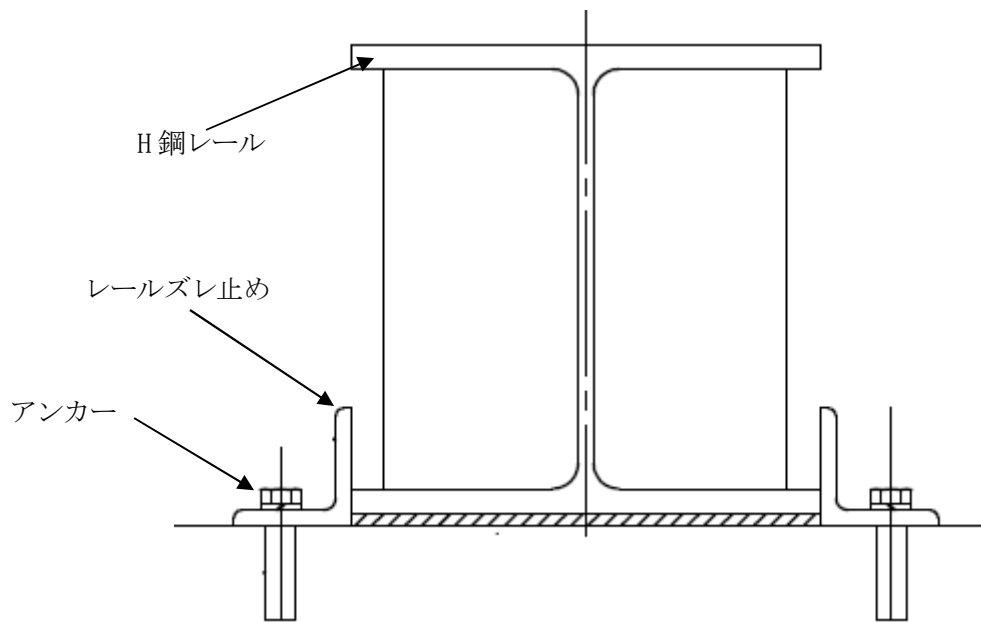


図1-3 H鋼レール拡大図

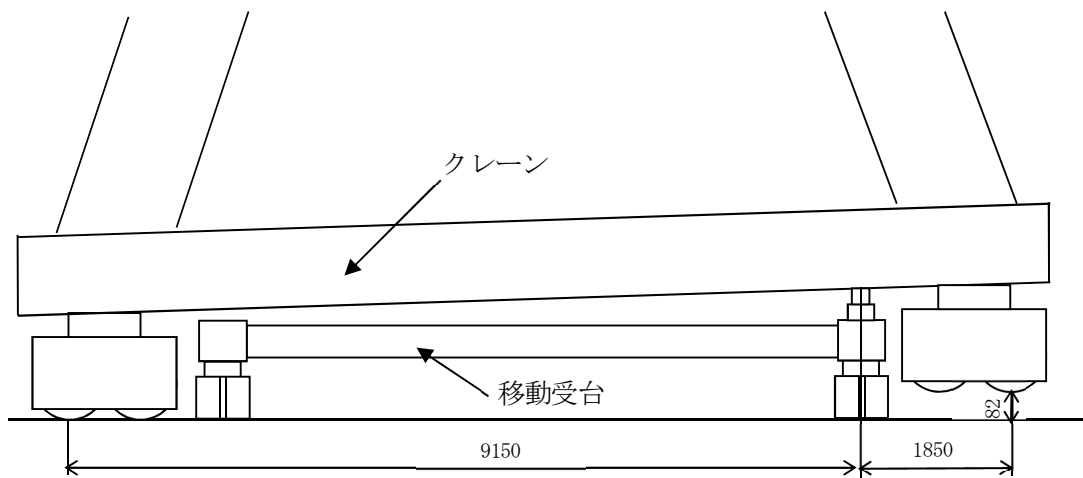


図1-4 油圧ジャッキが外れた場合の概略図

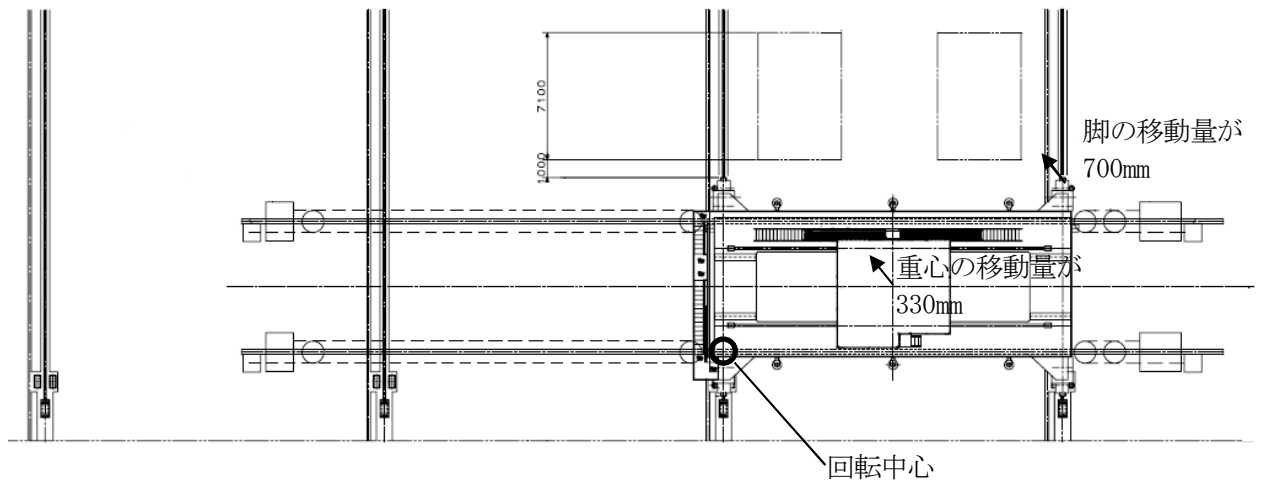


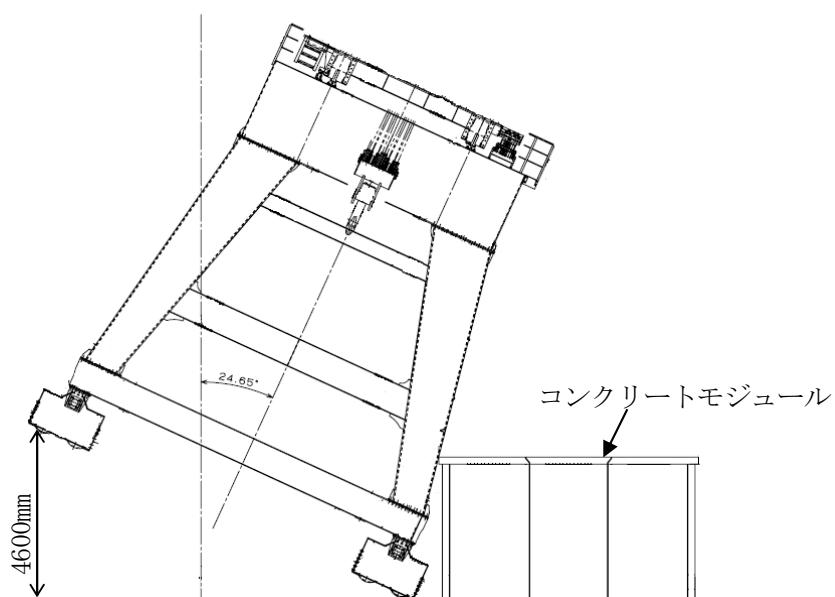
図 1 - 5 クレーン回転時の説明図

クレーンがコンクリートモジュールに衝突する浮上がり量について

クレーンがコンクリートモジュールに衝突する脚部浮上り量を以下のように考える。

1. レーン間移動を行う場所を第三レーンのコンクリートモジュールとクレーンの距離が1000mmとなる位置とする。
2. クレーンの位置は走行方向に330mm逸走することを考慮し、評価を行う。

上記条件の下で評価を行った結果、補足図1のように乾式キャスク設置位置と逆側の脚が4600mm以上持ち上がると、クレーンはコンクリートモジュールに衝突する。



補足図1 脚の浮上がり量

(実施計画：II-2-13-添10-1～8)

## 2.5 コンクリート基礎の耐震性

### (1) 評価方針

地震時のコンクリート基礎に対する要求性能は、1/2Ss450 に対し、キャスク支持架台とコンクリートモジュールを支持するとともに、基礎の傾斜により、クレーンの転倒、倒壊などが生じないことである。ここでは、コンクリート基礎の耐震性評価を行い、基礎が要求性能を有していることを確認する。

評価の方法は、1/2Ss450 の荷重に対する梁モデルによる構造計算を行い、コンクリート基礎の終局限界状態の照査、地盤改良体強度の照査、地盤の支持力の照査を行うこととする。

なお、本設備の周辺に評価対象となる斜面は存在しない。



(2) 評価方法の概要

1) 構造図面

図2.5-1～図2.5-4にキャスク配置図，基礎平面図，基礎断面図及び地盤改良断面図を示す。

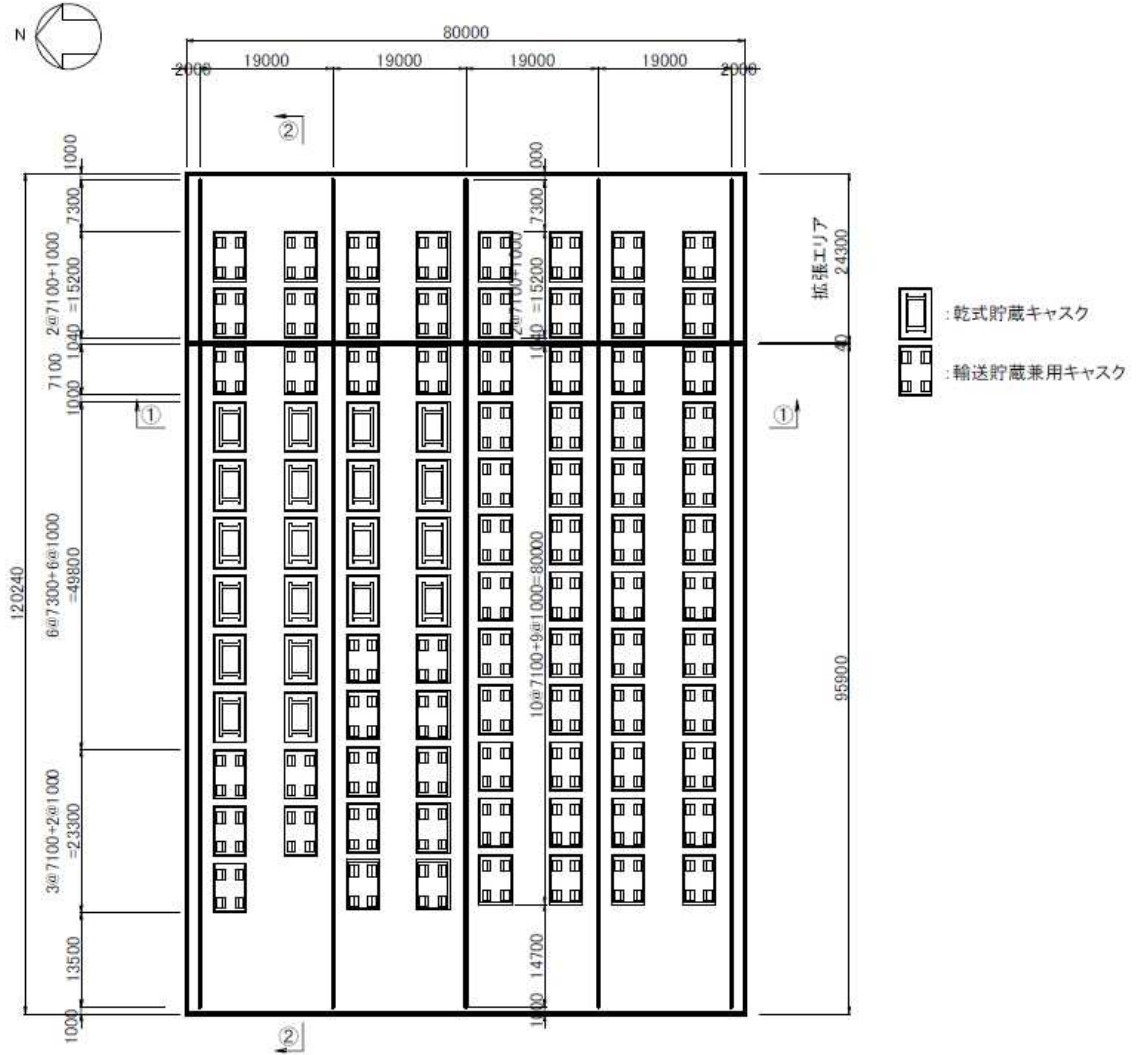


図2.5-1 キャスク配置図 (単位: mm)

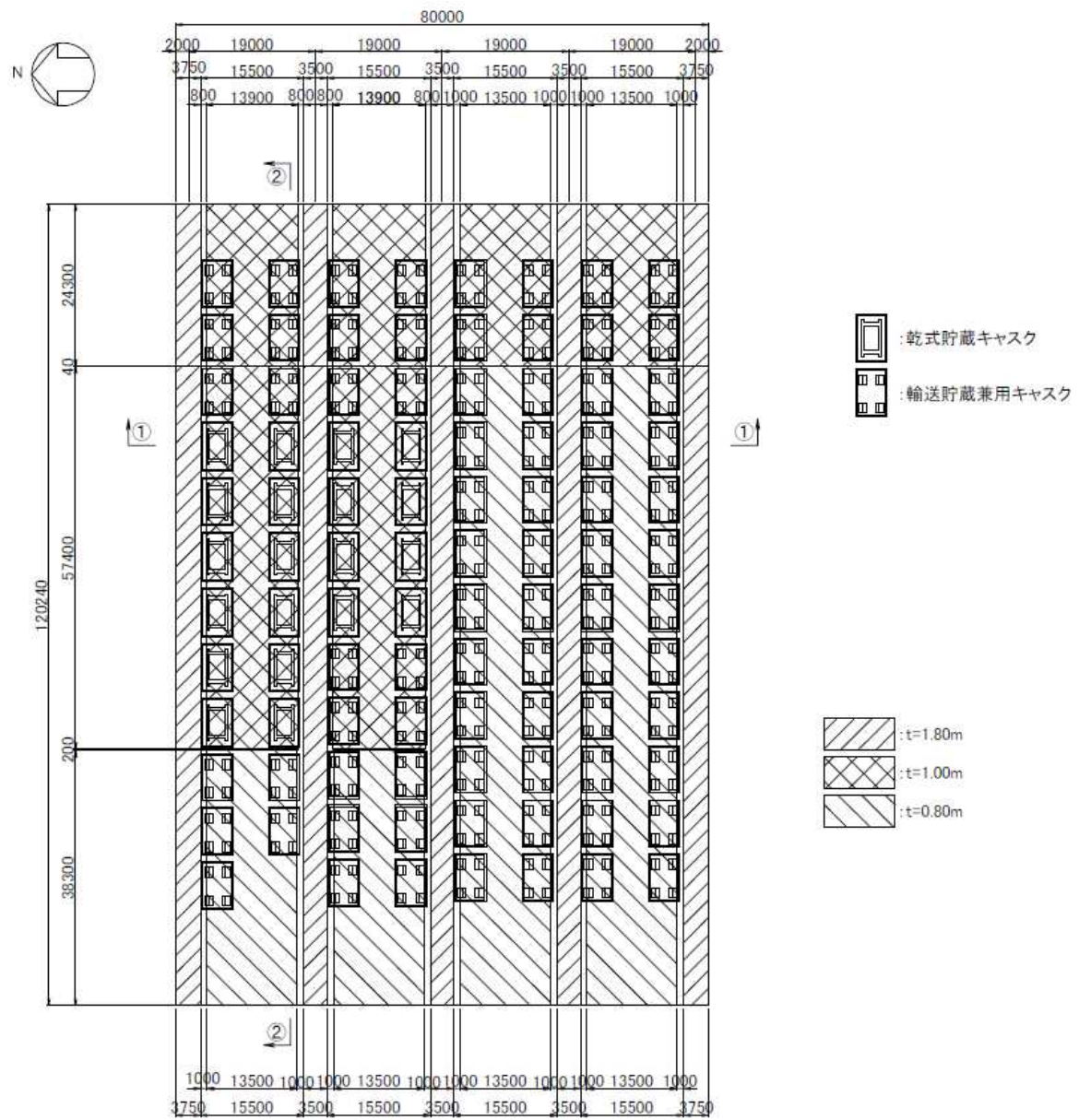
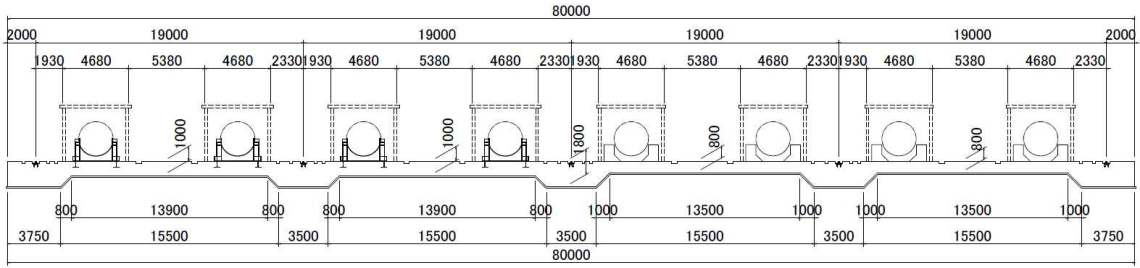


図 2. 5 - 2 基礎平面図 (単位 : mm)

①-①断面 (NS方向)



②-②断面 (EW方向)

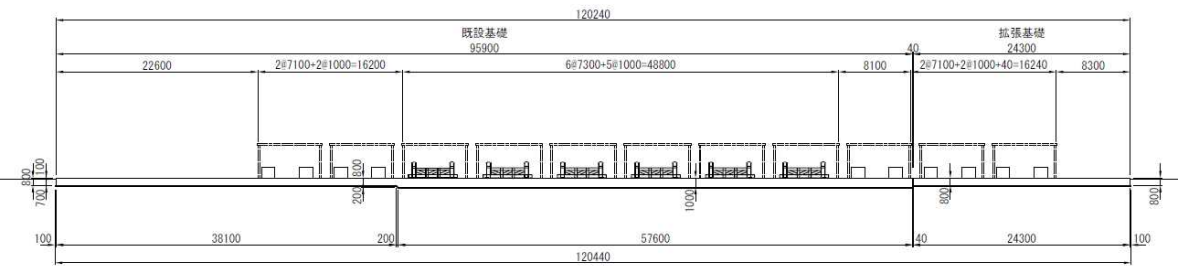
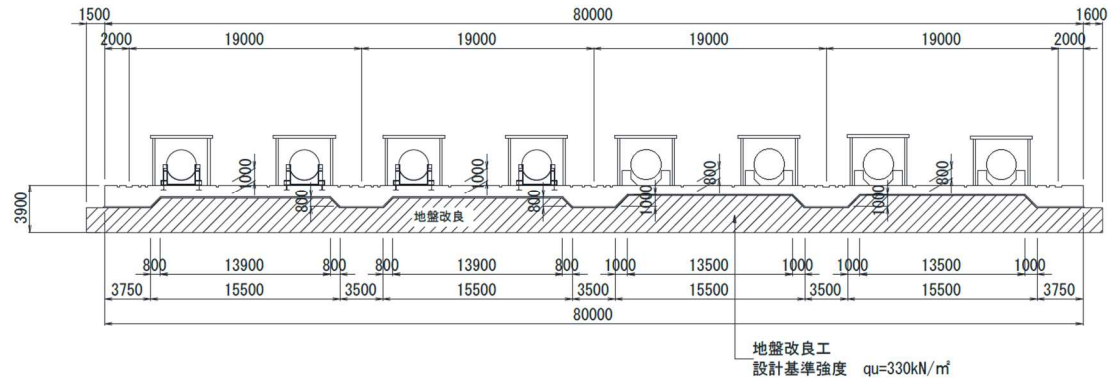


図 2. 5 - 3 基礎断面図 (単位 : mm)

①-①断面 (NS方向)



②-②断面 (EW方向)

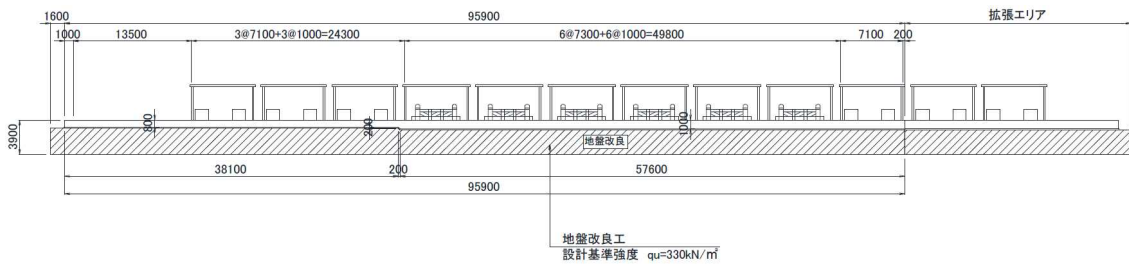
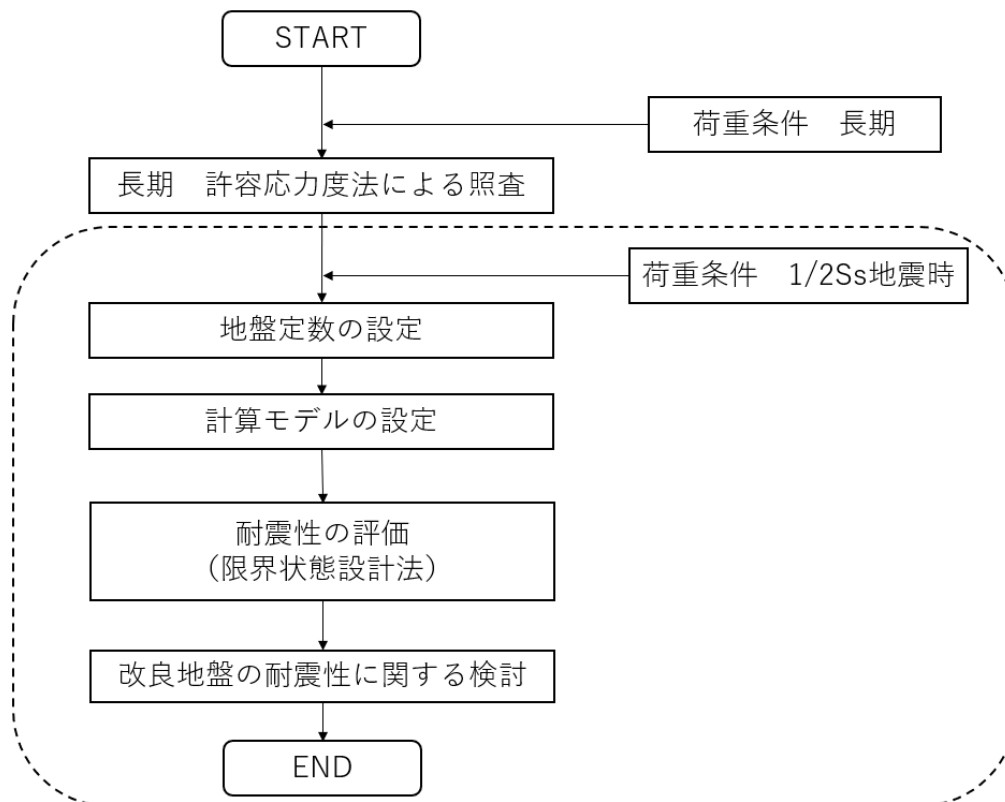


図 2. 5 - 4 地盤改良断面図 (単位 : mm)

2) 検討フロー

コンクリート基礎の耐震性検討フローを図2. 5-5に示す。



※本項での検討範囲

図2. 5-5 キャスク仮保管設備コンクリート基礎の耐震性検討フロー

### 3) 準拠規準

コンクリート基礎の検討は、以下の法規及び規準類に準拠して行う。

- ① 原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008 (社) 日本電気協会
- ② 乾式キャスクを用いる使用済み燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程 JEAC4616-2009 (社) 日本電気協会
- ③ コンクリート標準示方書 設計編 (2007) (社) 土木学会
- ④ コンクリート標準示方書 構造性能照査編 (2002) (社) 土木学会
- ⑤ 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震設計に関する安全性照査マニュアル (1992) (社) 土木学会
- ⑥ 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル (2005) (社) 土木学会
- ⑦ 道路橋示方書・同解説 I 共通編 IV 下部構造編 (社) 日本道路協会 (平成 14 年)
- ⑧ 道路橋示方書・同解説 I 共通編 V 耐震設計編 (社) 日本道路協会 (平成 14 年)

### 4) 評価方法

耐震性の評価方法を表 2. 5-1 に示す。

表 2. 5-1 耐震性の評価方法

評価対象	評価方法	準拠基準
鉄筋コンクリート	検討用断面力が部材の終局耐力を下回ることを確認する。	③
改良地盤	改良地盤に作用する地盤反力度が、改良地盤の設計圧縮強度、せん断抵抗に対する安全率に基づき設定した改良地盤の許容限界を下回ることを確認する。	②
支持地盤	改良体下面に作用する鉛直荷重が、極限支持力に対する安全率に基づき設定した支持地盤の許容限界を下回ることを確認する。	②及び⑦

5) 使用材料

使用材料の物性値及び設計強度を表 2. 5-2 及び表 2. 5-3 に示す。

表 2. 5-2 コンクリートの材料定数, 設計強度及び鉄筋の設計強度

コンクリートの材料定数

	記号	単位	
ヤング係数	E	(N/mm <sup>2</sup> )	2.50×10 <sup>4</sup>
単位体積重量	γ	(kN/m <sup>3</sup> )	24.0

コンクリートの仕様

	記号	単位	
設計基準強度	f' <sub>ck</sub>	(N/mm <sup>2</sup> )	24.00

鉄筋の仕様

	記号	単位	
品質	-	-	SD345
使用径	-	-	D13~D32

表 2. 5-3 改良地盤, 支持地盤の物性値及び設計強度

改良地盤の物性値, 設計強度

	記号	単位	設計強度
設計圧縮強度	<sub>ss</sub> f <sub>sc</sub>	(N/mm <sup>2</sup> )	548
設計基準強度	F <sub>sc</sub>	(N/mm <sup>2</sup> )	329
変形係数	E	(kN/mm <sup>2</sup> )	32900
せん断強度	<sub>ss</sub> f <sub>ss</sub>	(N/mm <sup>2</sup> )	109.6

支持地盤の極限支持力

	記号	単位	設計強度
極限支持力	R <sub>u</sub>	(kN)	5320389

(3) 本設備の設計荷重とコンクリート基礎のモデル化

1) 設計荷重

設計で考慮する荷重を以下に示す。

・鉛直荷重 (VL)

コンクリート基礎自重による鉛直方向の荷重で、基礎及びペDESTALの鉛直荷重を対象とする。表2. 5-4に鉛直荷重を示す。

表2. 5-4 鉛直荷重

		奥行き方向幅	部材高	鉛直荷重
		(m)	(m)	(kN/m)
レール支持梁(EW方向)	レール部スラブ	3.50	1.80	151
NS方向スラブ	レール部スラブ	8.30	1.80	359
	キャスク部スラブ	8.30	1.00	199
	キャスク部スラブ	8.30	0.80	159
	支持架台	1.50×0.72×1.185		70
EW方向スラブ	キャスク部スラブ	5.17	1.00	132
	キャスク部スラブ	5.17	0.80	111
	支持架台	1.50×0.72×1.185		70

・クレーン荷重(CL)

クレーンによる荷重を表2. 5-5に示す。

表2. 5-5 クレーン荷重

1輪当たり

	状態	フック寄り	走行車輪荷重					
			走行給電側			反走行給電側		
			鉛直方向	横行方向	走行方向	鉛直方向	横行方向	走行方向
			(UD方向)	(NS方向)	(EW方向)	(UD方向)	(NS方向)	(EW方向)
			(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
1/2Ss450	定格荷重 (150t)	走行給電側	2341	446	185	319	446	84

・キャスク荷重(CAL)

キャスクによる荷重を表2. 5-6に示す。

表2. 5-6 キャスク荷重

乾式貯蔵キャスク			1 基当たり
	項目	単位	1/2Ss450
NS 方向	鉛直力	(kN)	1820
	水平力	(kN)	855
	モーメント	(kN・m)	1270
EW 方向	鉛直力	(kN)	1820
	水平力	(kN)	855
	モーメント	(kN・m)	1360

輸送貯蔵兼用キャスク			1 脚当たり
	項目	単位	1/2Ss450
NS 方向	鉛直力	(kN)	455
	水平力	(kN)	429
	モーメント	(kN・m)	243
EW 方向	鉛直力	(kN)	455
	水平力	(kN)	411
	モーメント	(kN・m)	167

・モジュール荷重(MJL)

モジュールによる荷重を表2. 5-7に示す。

表2. 5-7 モジュール荷重

			1 基当たり		
			単位	NS 方向断面	EW 方向断面
乾式貯蔵キャスク	1/2Ss450	鉛直方向	(kN)	1269	1269
		水平方向	(kN)	-381	376
輸送貯蔵兼用キャスク		鉛直方向	(kN)	1247	1247
		水平方向	(kN)	-374	370



・地震荷重(K)

地震震度はNS・EW方向それぞれについて水平・鉛直の応答加速度の最大値を用いて算出する。

応答加速度の最大値を表2. 5-8に示す。

表2. 5-8 応答加速度

	単位	水平	鉛直
NS 方向	(gal)	535.55	327.81
EW 方向	(gal)	532.55	335.46

コンクリート基礎の震度を表2. 5-9に示す。

表2. 5-9 震度

	水平	鉛直
NS 方向	0.546	0.334
EW 方向	0.543	0.342

鉛直震度方向は下向きが支配的であり、鉛直震度方向下向きについて検討する。

・風荷重(WL)

コンクリート基礎に対しては、風荷重は考慮しない(コンクリート基礎が扁平な形状であり大部分が地中構造物のため)。

・積雪荷重(SL)

積雪荷重については、考慮しない。

2) コンクリート基礎のモデル化

コンクリート基礎は梁バネモデルにより解析する。検討モデルは荷重と基礎形状の特性により、表2. 5-10に示す3タイプについてモデル化する。

表2. 5-10 検討タイプ

検討タイプ	考慮する設備荷重	形状特性
レール支持梁(EW方向)	クレーン	幅3.5m, 厚1.8mの一定形状
NS方向基礎	キャスク, モジュール	厚1.8m, 1.0m, 0.8m
EW方向基礎	キャスク, クレーン, モジュール	厚1.0m, 0.8m

3タイプの検討位置を図2. 5-6に、解析モデルを表2. 5-11に示す。

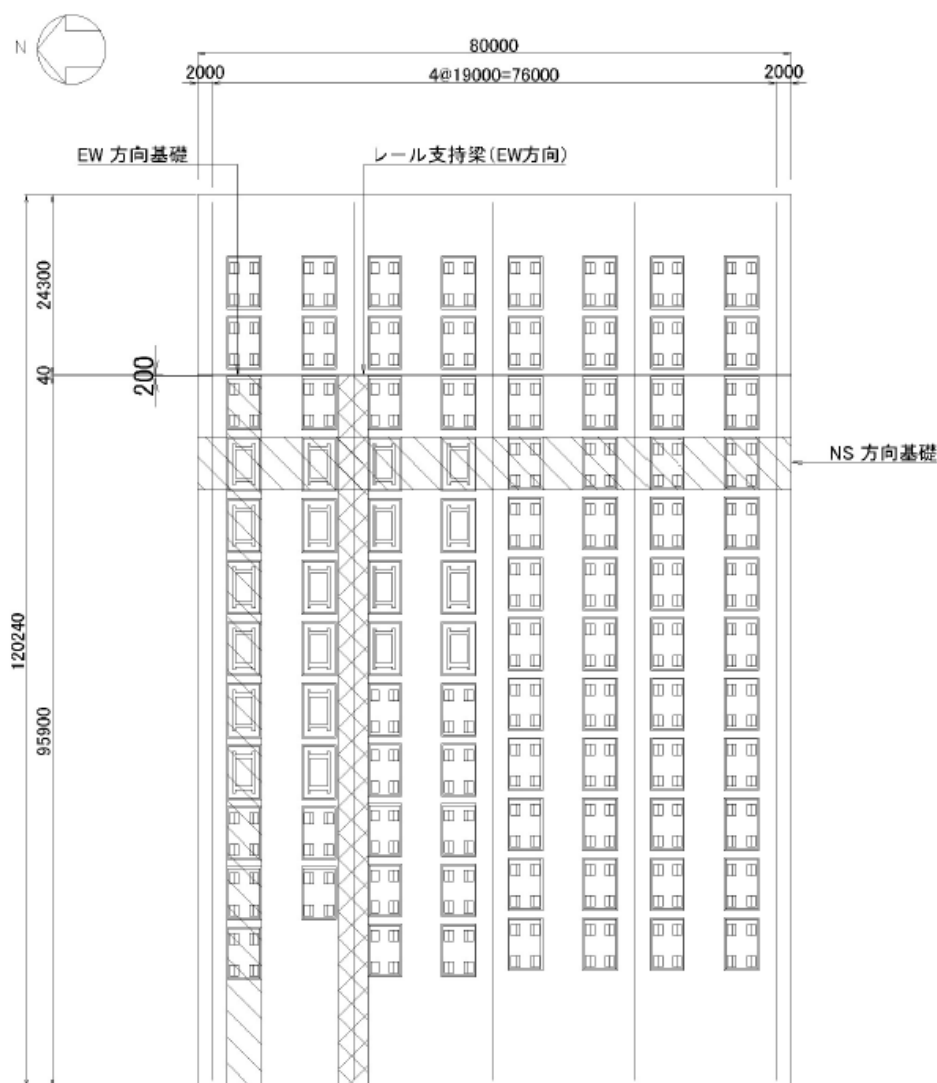


図2. 5-6 検討タイプ (単位: mm)

表2. 5-11 検討タイプの形状とモデル図

レール支持梁	
N S 方向基礎	
E W 方向基礎	

(単位:mm)

3) 荷重の組合せ

荷重組合せを表 2. 5-12 に示す。

表 2. 5-12 基礎の荷重組合せ

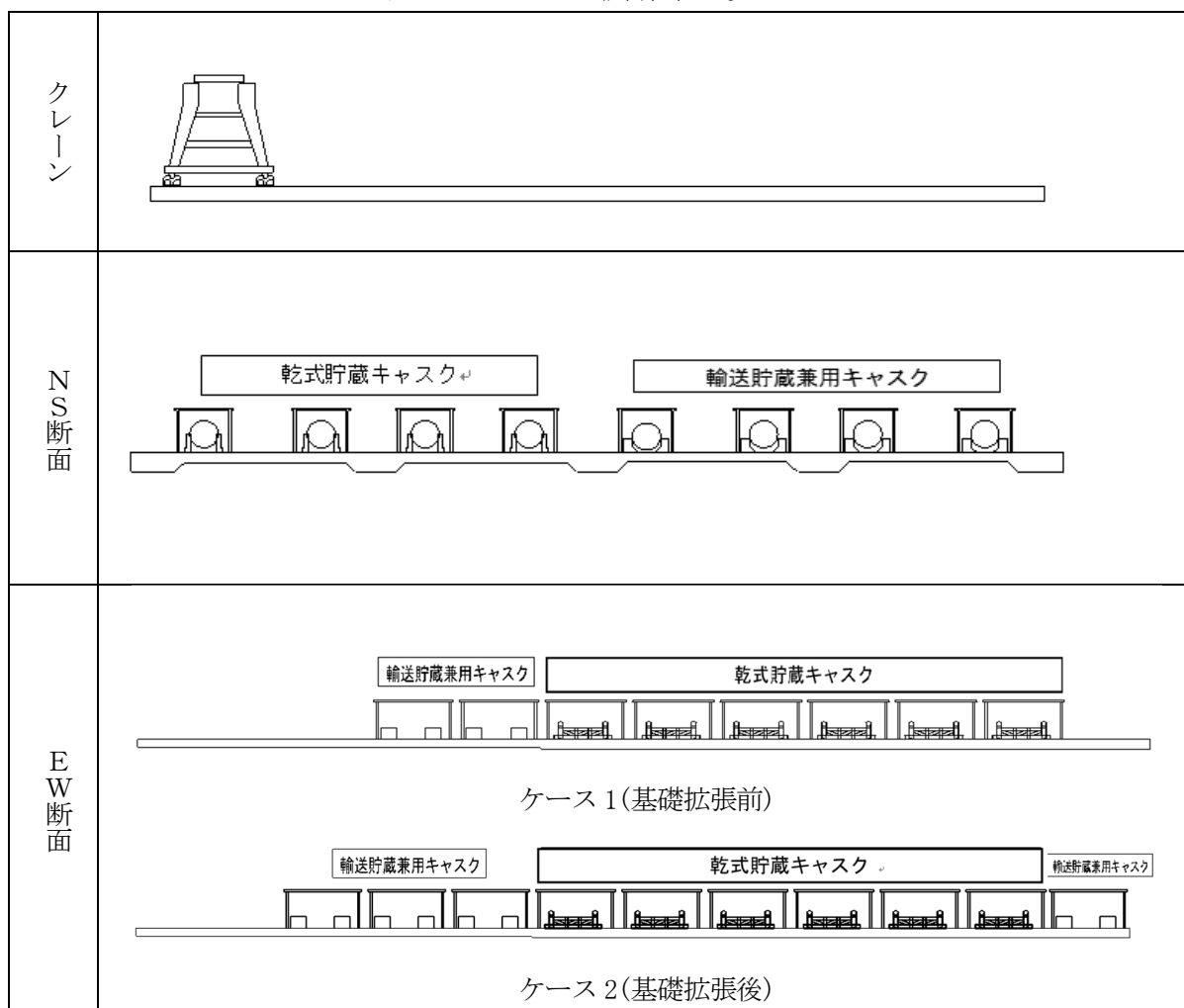
		荷重組合せ内容
レール支持梁	1/2Ss450	VL+CL+K(H)+K(V <sub>下向き</sub> )
NS 方向基礎		VL+CL+CAL+MJL+K(H)+K(V <sub>下向き</sub> )
EW 方向基礎		VL+CAL+MJL+K(H)+K(V <sub>下向き</sub> )

4) 基礎への載荷位置

解析時のクレーン及びキャスク・モジュールの載荷位置を表 2. 5-13 に示す。

クレーンについては待機位置への載荷とし、EW 断面のキャスク・モジュールについては基礎拡張前と基礎拡張後の 2 ケースについて検討を行う。

表 2. 5-13 載荷位置一覧



5) 設計断面力

各断面について最大値（負の値は最小値）を抽出し，設計断面力とする。

(4) 耐震性の評価

耐震性の評価は次式に示すように検討用断面力が部材の終局耐力を下回ることを確認する。

曲げ耐力の照査

$$\gamma_i \cdot \frac{M_d}{M_{ud}} \leq 1.0$$

ここに，

$\gamma_i$ ： 構造物係数  $\gamma_i=1.0$

$M_d$ ： 設計曲げモーメント (kN・m)

$M_{ud}$ ： 設計曲げ耐力 (kN・m)

せん断耐力の照査

$$\gamma_i \cdot \frac{V_d}{V_{yd}} \leq 1.0$$

ここに，

$\gamma_i$ ： 構造物係数  $\gamma_i=1.0$

$V_d$ ： 設計せん断力 (kN)

$V_{yd}$ ： 設計せん断耐力 (kN)

断面検討結果を表2.5-14～表2.5-22，図2.5-7～図2.5-8に示す。

断面検討の結果，検討用断面力が部材の終局耐力以下であることを確認した。

表 2. 5-14 断面諸元 (レール支持梁 (EW 方向))

項目		記号	単位	レール支持梁	
部材	部材幅	b	(mm)	3500	
	部材高	h	(mm)	1800	
鉄筋	1 段目	位置	d	(mm)	525
		鉄筋	-	-	D25
		断面積	-	(cm <sup>2</sup> )	5.067
		本数	-	(本)	24.000
		鉄筋量	A <sub>s</sub>	(cm <sup>2</sup> )	121.61
	2 段目	位置	d	(mm)	866
		鉄筋	-	-	D25
		断面積	-	(cm <sup>2</sup> )	5.067
		本数	-	(本)	6.000
		鉄筋量	A <sub>s</sub>	(cm <sup>2</sup> )	30.40
	3 段目	位置	d	(mm)	1658
		鉄筋	-	-	D32
		断面積	-	(cm <sup>2</sup> )	7.942
		本数	-	(本)	24.000
		鉄筋量	A <sub>s</sub>	(cm <sup>2</sup> )	190.61
	せん断	鉄筋	-	-	D22
断面積		-	(cm <sup>2</sup> )	3.871	
本数		-	(本)	4.000	
配置間隔		S <sub>a</sub>	(mm)	450	

表 2. 5-15 断面力 (レール支持梁 (EW 方向))

項目		記号	単位	1/2S <sub>s</sub> 地震時
上側 引張	曲げモーメント	M <sub>d</sub>	(kN・m)	-4388
	軸力	N <sub>d</sub>	(kN)	280
	せん断力	V <sub>d</sub>	(kN)	0
下側 引張	曲げモーメント	M <sub>d</sub>	(kN・m)	2562
	軸力	N <sub>d</sub>	(kN)	316
	せん断力	V <sub>d</sub>	(kN)	1961
せん断力 最大	曲げモーメント	M <sub>d</sub>	(kN・m)	909
	軸力	N <sub>d</sub>	(kN)	173
	せん断力	V <sub>d</sub>	(kN)	2533

表 2. 5 - 1 6 照査結果 (レール支持梁 (EW 方向))

項目		記号	単位	スラブ
上側 引張	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)	-4388
	曲げ耐力	$M_{ud}$	(kN・m)	-5821
	構造物係数	$\gamma_i$	-	1.00
	$\gamma_i \cdot M_d / M_{ud} \leq 1.0$		-	0.75
	判定		-	OK
下側 引張	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)	2562
	曲げ耐力	$M_{ud}$	(kN・m)	12062
	構造物係数	$\gamma_i$	-	1.00
	$\gamma_i \cdot M_d / M_{ud} \leq 1.0$		-	0.21
	判定		-	OK
せん断	せん断力	$V_d$	(kN)	2533
	せん断耐力	$V_{yd}$	(kN)	3006
	構造物係数	$\gamma_i$	-	1.00
	$\gamma_i \cdot V_d / V_{yd} \leq 1.0$		-	0.84
	判定		-	OK

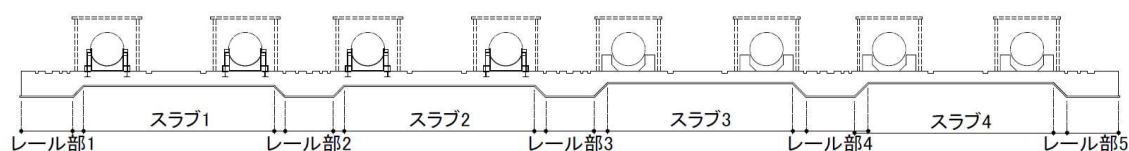


図 2. 5 - 7 NS 方向基礎検討位置図

表2. 5-17 断面諸元 (NS 方向基礎レール・スラブ)

項目		記号	単位	レール部 1	レール部 2	レール部 3	レール部 4	レール部 5	
部材	部材幅	b	(mm)	8300	8300	8300	8300	8300	
	部材高	h	(mm)	1650	1650	1650	1650	1650	
鉄筋	1 段目	位置	d	(mm)	350	350	350	540	540
		鉄筋	-	-	D25	D25	D25	D32	D32
		断面積	-	(cm <sup>2</sup> )	5.067	5.067	5.067	7.942	7.942
		本数	-	(本)	110.000	55.000	55.000	55.000	55.000
		鉄筋量	A <sub>s</sub>	(cm <sup>2</sup> )	557.37	278.69	278.69	436.81	436.81
	2 段目	位置	d	(mm)	1540	1540	1540	1540	1540
		鉄筋	-	-	D32	D32	D32	D32	D32
		断面積	-	(cm <sup>2</sup> )	7.942	7.942	7.942	7.942	7.942
		本数	-	(本)	55.000	55.000	55.000	55.000	55.000
		鉄筋量	A <sub>s</sub>	(cm <sup>2</sup> )	436.81	436.81	436.81	436.81	436.81
	せん断	鉄筋	-	-	D16	D16	D16	D16	D16
		断面積	-	(cm <sup>2</sup> )	1.986	1.986	1.986	1.986	1.986
		ピッチ	-	(mm)	600	600	600	600	600
		本数	-	(本)	13.833	13.833	13.833	13.833	13.833
		配置間隔	S <sub>s</sub>	(mm)	900	900	900	900	900

項目		記号	単位	スラブ 1	スラブ 2	スラブ 3	スラブ 4	
部材	部材幅	b	(mm)	8300	8300	8300	8300	
	部材高	h	(mm)	850	850	650	650	
鉄筋	1 段目	位置	d	(mm)	350	350	100	100
		鉄筋	-	-	D25	D25	D25	D25
		断面積	-	(cm <sup>2</sup> )	5.067	5.067	5.067	5.067
		本数	-	(本)	110.000	55.000	55.000	110.000
		鉄筋量	A <sub>s</sub>	(cm <sup>2</sup> )	557.37	278.69	278.69	557.37
	2 段目	位置	d	(mm)	740	740	540	540
		鉄筋	-	-	D25	D25	D32	D32
		断面積	-	(cm <sup>2</sup> )	5.067	5.067	7.942	7.942
		本数	-	(本)	55.000	55.000	55.000	55.000
		鉄筋量	A <sub>s</sub>	(cm <sup>2</sup> )	278.69	278.69	436.81	436.81
	せん断	鉄筋	-	-	D16	D16	D16	D16
		断面積	-	(cm <sup>2</sup> )	1.986	1.986	1.986	1.986
		ピッチ	-	(mm)	600	600	600	600
		本数	-	(本)	13.833	13.833	13.833	13.833
		配置間隔	S <sub>s</sub>	(mm)	600	600	600	600



表 2. 5-18 断面力 (NS 方向基礎レール・スラブ)

項目		記号	単位	レール部 1	レール部 2	レール部 3	レール部 4	レール部 5	
上側 引張	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)	-1256	※				
	軸力	$N_d$	(kN)	683					
	せん断力	$V_d$	(kN)	-942					
下側 引張	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)	2501	2480	2305	2457	450	
	軸力	$N_d$	(kN)	-162	1119	813	390	228	
	せん断力	$V_d$	(kN)	2411	671	880	844	-131	
せん断力 最大	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)	2501	2010	1187	1317	333	
	軸力	$N_d$	(kN)	-162	394	1804	1382	359	
	せん断力	$V_d$	(kN)	2411	883	-923	-953	-264	

※：レール部 2, 3, 4, 5 では上側引張が発生しない

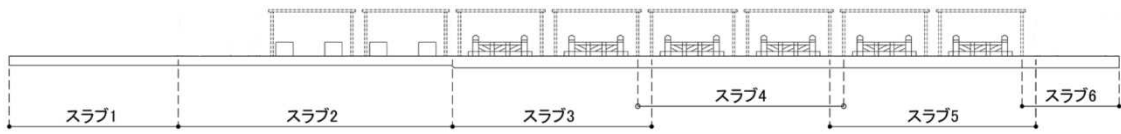
項目		記号	単位	スラブ 1	スラブ 2	スラブ 3	スラブ 4
上側 引張	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)	-4892	-1725	-1269	-1128
	軸力	$N_d$	(kN)	953	1317	956	560
	せん断力	$V_d$	(kN)	0	0	0	0
下側 引張	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)	1913	2551	2305	2457
	軸力	$N_d$	(kN)	-55	954	813	390
	せん断力	$V_d$	(kN)	1537	538	880	844
せん断力 最大	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)	-505	748	1074	1312
	軸力	$N_d$	(kN)	126	696	276	-130
	せん断力	$V_d$	(kN)	1753	1346	1325	1330

表 2. 5 - 1 9 断面照査結果

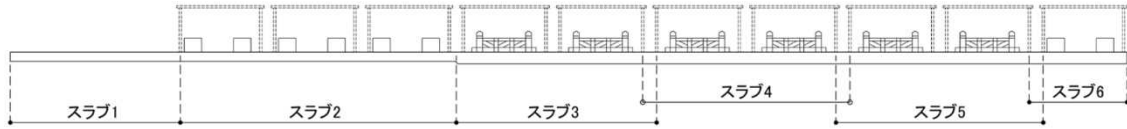
項目		記号	単位	レール部 1	レール部 2	レール部 3	レール部 4	レール部 5	
上側 引張	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)	-1256	※				
	曲げ耐力	$M_{ud}$	(kN・m)	-34487					
	構造物係数	$\gamma_i$	-	1.00					
	$\gamma_i \cdot M_d / M_{ud} \leq 1.0$	-	0.04						
	判定	-	OK						
下側 引張	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)	2501	2480	2305	2457	450	
	曲げ耐力	$M_{ud}$	(kN・m)	21648	29069	27177	27738	32977	
	構造物係数	$\gamma_i$	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
	$\gamma_i \cdot M_d / M_{ud} \leq 1.0$	-	0.12	0.09	0.08	0.09	0.01		
	判定	-	OK	OK	OK	OK	OK		
せん断	せん断力	$V_d$	(kN)	2411	883	924	954	265	
	せん断耐力	$V_{yd}$	(kN)	4555	4575	4689	4640	3784	
	構造物係数	$\gamma_i$	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
	$\gamma_i \cdot V_d / V_{yd} \leq 1.0$	-	0.53	0.19	0.20	0.21	0.07		
	判定	-	OK	OK	OK	OK	OK		

※：レール部 2, 3, 4, 5 では上側引張が発生しない

項目		記号	単位	スラブ 1	スラブ 2	スラブ 3	スラブ 4
上側 引張	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)	-4892	-1725	-1269	-1128
	曲げ耐力	$M_{ud}$	(kN・m)	-7993	-5397	-5410	-9375
	構造物係数	$\gamma_i$	-	1.00	1.00	1.00	1.00
	$\gamma_i \cdot M_d / M_{ud} \leq 1.0$	-	0.61	0.32	0.23	0.12	
	判定	-	OK	OK	OK	OK	
下側 引張	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)	1913	2551	2305	2457
	曲げ耐力	$M_{ud}$	(kN・m)	9224	9079	7170	6846
	構造物係数	$\gamma_i$	-	1.00	1.00	1.00	1.00
	$\gamma_i \cdot M_d / M_{ud} \leq 1.0$	-	0.21	0.28	0.32	0.36	
	判定	-	OK	OK	OK	OK	
せん断	せん断力	$V_d$	(kN)	1754	1347	1325	1331
	せん断耐力	$V_{yd}$	(kN)	2976	3036	2801	2791
	構造物係数	$\gamma_i$	-	1.00	1.00	1.00	1.00
	$\gamma_i \cdot V_d / V_{yd} \leq 1.0$	-	0.59	0.44	0.47	0.48	
	判定	-	OK	OK	OK	OK	



ケース 1(基礎拡張前)



ケース 2(基礎拡張後)

図 2. 5 - 8 EW 方向基礎検討位置図

表 2. 5 - 2 0 断面諸元 (EW 方向基礎)

項目		記号	単位	スラブ 1	スラブ 2	スラブ 3	スラブ 4	スラブ 5	スラブ 6
部材	部材幅	b	(mm)	5170	5170	5170	5170	5170	5170
	部材高	h	(mm)	800	800	1000	1000	1000	1000
鉄筋	1 段目	位置	d	(mm)	113	113	113	113	113
		鉄筋	-	-	D13	D13	D13	D13	D13
		断面積	-	(cm <sup>2</sup> )	1.267	1.267	1.267	1.267	1.267
		本数	-	(本)	17.000	17.000	14.000	14.000	14.000
		鉄筋量	A <sub>s</sub>	(cm <sup>2</sup> )	21.54	21.54	17.74	17.74	17.74
	2 段目	位置	d	(mm)	275	275	525	525	525
		鉄筋	-	-	D25	D25	D25	D25	D25
		断面積	-	(cm <sup>2</sup> )	5.067	5.067	5.067	5.067	5.067
		本数	-	(本)	28.000	28.000	32.000	32.000	32.000
		鉄筋量	A <sub>s</sub>	(cm <sup>2</sup> )	141.88	141.88	162.14	162.14	162.14
	3 段目	位置	d	(mm)	661	661	866	866	866
		鉄筋	-	-	D25	D25	D22	D22	D22
		断面積	-	(cm <sup>2</sup> )	5.067	5.067	3.871	3.871	3.871
		本数	-	(本)	34.000	34.000	34.000	34.000	34.000
		鉄筋量	A <sub>s</sub>	(cm <sup>2</sup> )	172.28	172.28	131.61	131.61	131.61
	せん断	鉄筋	-	-	D16	D16	D16	D16	D16
		断面積	-	(cm <sup>2</sup> )	1.986	1.986	1.986	1.986	1.986
		ピッチ	-	(mm)	600	600	600	600	600
		本数	-	(本)	8.617	8.617	8.617	8.617	8.617
		配置間隔	S <sub>s</sub>	(mm)	600	600	600	600	600

表 2. 5-2 1 断面力 (EW 方向基礎)

項目		記号	単位	スラブ 1	スラブ 2	スラブ 3	スラブ 4	スラブ 5	スラブ 6	
1/2Ss 地震時 ケース 1	上側 引張	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)	-543	-948	-473	-420	-251	-129
		軸力	$N_d$	(kN)	1542	2061	1433	248	-130	-312
		せん断力	$V_d$	(kN)	-120	0	0	0	0	0
	下側 引張	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)	12	1717	423	411	1531	1531
		軸力	$N_d$	(kN)	445	1091	1520	-63	-846	-846
		せん断力	$V_d$	(kN)	0	-1201	-428	-576	-811	-811
	せん断力 最大	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)	-543	1717	351	372	1531	1531
		軸力	$N_d$	(kN)	1542	1091	1512	326	-846	-846
		せん断力	$V_d$	(kN)	-120	-1201	-649	-610	-811	-811

項目		記号	単位	スラブ 1	スラブ 2	スラブ 3	スラブ 4	スラブ 5	スラブ 6	
1/2Ss 地震時 ケース 2	上側 引張	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)	-918	-540	-459	-360	-1164	-1483
		軸力	$N_d$	(kN)	1500	1532	1241	873	345	295
		せん断力	$V_d$	(kN)	0	-103	0	0	-226	-150
	下側 引張	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)	※	1697	416	462	462	276
		軸力	$N_d$	(kN)		846	879	529	529	-565
		せん断力	$V_d$	(kN)		-1212	-603	-604	-604	-1155
	せん断力 最大	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)	-349	1697	281	462	-602	276
		軸力	$N_d$	(kN)	1933	846	1244	529	192	-565
		せん断力	$V_d$	(kN)	412	-1212	-605	-604	-707	-1155

※ケース 2 スラブ 1 では下側引張が生じない

表 2. 5 - 2 2 断面照査結果 (EW 方向基礎)

項目		記号	単位	スラブ 1	スラブ 2	スラブ 3	スラブ 4	スラブ 5	スラブ 6	
1/2Ss 地震時 ケース 1	上側 引張	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)	-543	-948	-473	-420	-251	-129
		曲げ耐力	$M_{ud}$	(kN・m)	-7488	-6164	-10217	-3541	-2294	-1427
		構造物係数	$\gamma_i$	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
		$\gamma_i \cdot M_d / M_{ud} \leq 1.0$	-	0.07	0.15	0.05	0.12	0.11	0.09	
		判定	-	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
	下側 引張	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)	12	1717	423	411	1531	1531
		曲げ耐力	$M_{ud}$	(kN・m)	1548	4816	10257	5342	4652	4652
		構造物係数	$\gamma_i$	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
		$\gamma_i \cdot M_d / M_{ud} \leq 1.0$	-	0.01	0.36	0.04	0.08	0.33	0.33	
		判定	-	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
	せん 断	せん断力	$V_d$	(kN)	120	1202	649	610	811	811
		せん断耐力	$V_{yd}$	(kN)	1353	1824	2036	1948	1800	1800
		構造物係数	$\gamma_i$	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
		$\gamma_i \cdot V_d / V_{yd} \leq 1.0$	-	0.09	0.66	0.32	0.31	0.45	0.45	
		判定	-	OK	OK	OK	OK	OK	OK	

項目		記号	単位	スラブ 1	スラブ 2	スラブ 3	スラブ 4	スラブ 5	スラブ 6	
1/2Ss 地震時 ケース 2	上側 引張	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)	-918	-540	-459	-360	-1164	-1483
		曲げ耐力	$M_{ud}$	(kN・m)	-4841	-7482	-9739	-9266	-3097	-2973
		構造物係数	$\gamma_i$	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
		$\gamma_i \cdot M_d / M_{ud} \leq 1.0$	-	0.19	0.07	0.05	0.04	0.38	0.50	
		判定	-	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
	下側 引張	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)	※	1697	416	462	462	276
		曲げ耐力	$M_{ud}$	(kN・m)		4683	10164	8764	8764	3077
		構造物係数	$\gamma_i$	-		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
		$\gamma_i \cdot M_d / M_{ud} \leq 1.0$	-	0.36		0.04	0.05	0.05	0.09	
		判定	-	OK		OK	OK	OK	OK	
	せん 断	せん断力	$V_d$	(kN)	412	1212	606	604	708	1155
		せん断耐力	$V_{yd}$	(kN)	1310	1806	2016	1963	1896	1842
		構造物係数	$\gamma_i$	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
		$\gamma_i \cdot V_d / V_{yd} \leq 1.0$	-	0.31	0.67	0.30	0.31	0.37	0.63	
		判定	-	OK	OK	OK	OK	OK	OK	

※ケース 2 スラブ 1 では下側引張が生じない

(5) 改良地盤の耐震性に対する検討

1) 検討方針

検討は「JEAC 4616-2009」に準拠し、1/2Ss450により発生する荷重に対して許容限界を満足することを確認する。

改良地盤の許容限界は、改良地盤の設計圧縮強度、せん断抵抗に対する安全率に基づき設定する。

支持地盤の許容限界は、支持地盤の極限支持力に対する安全率に基づき設定する。

2) 検討モデル

改良地盤の範囲は、コンクリート基礎下面から G.L. -3.90m までである。図 2. 5-9 に地盤改良平面図、図 2. 5-10 に 1-1 断面を示す。

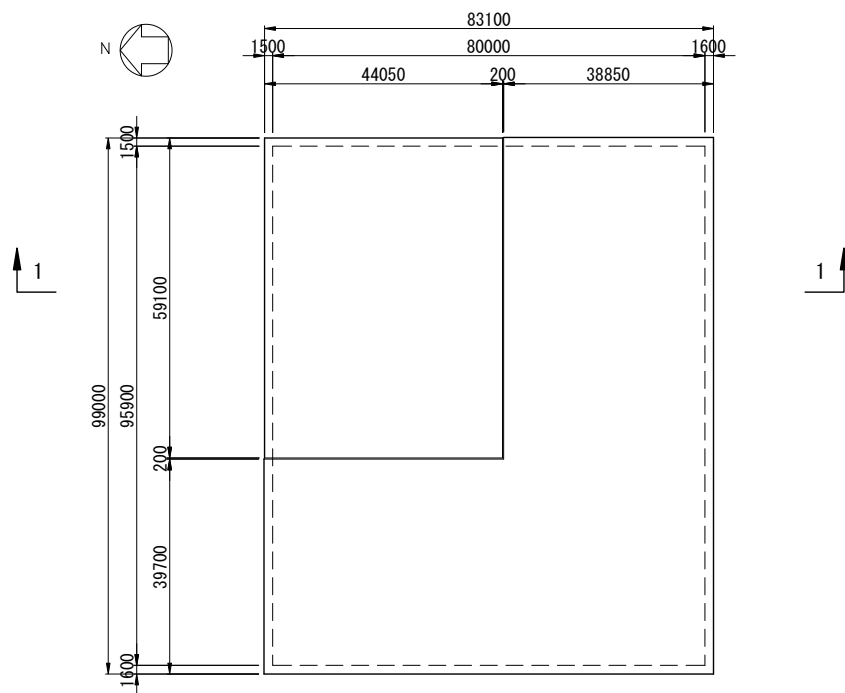


図 2. 5-9 地盤改良平面図 (単位: mm)

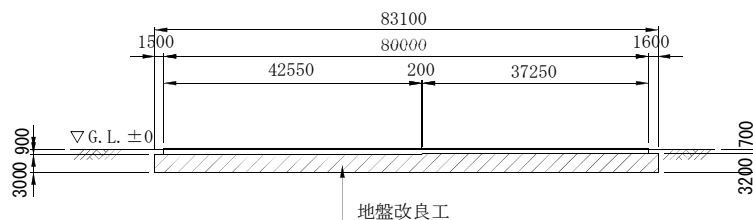


図 2. 5-10 1-1 断面 (単位: mm)

3) 改良地盤に生じる地盤反力度に対する検討

改良地盤に生じる地盤反力度に対する検討は、改良地盤に発生する最大地盤反力度（梁バネモデルにより算出するバネ反力度）に対して圧縮強度が 1.5 以上の安全率を有していることを確認する。

$$\frac{{}_{ss}f_{sc}}{q_{max}} \geq 1.5$$

ここに、

${}_{ss}f_{sc}$  : 改良地盤の圧縮強度 (kN/m<sup>2</sup>)

$q_{max}$  : 最大地盤反力度 (kN/m<sup>2</sup>)

安全率の検討結果を表 2. 5 - 2 3 に示す。検討結果より改良地盤の圧縮強度はコンクリート基礎直下の最大地盤反力度の 1.5 以上の安全率を有していることを確認した。

表 2. 5 - 2 3 改良地盤の地盤反力度に対する検討結果（基礎下面）

		最大地盤 反力度 $q_{max}$ (kN/m <sup>2</sup> )	改良地盤の 圧縮強度 ${}_{L}f_{sc}$ (kN/m <sup>2</sup> )	検定値 ${}_{ss}f_{sc}/q_{max}$	判定
レール支持梁	1/2Ss450	293	548	1.87 > 1.5	OK
NS 方向スラブ		219	548	2.50 > 1.5	OK
EW 方向スラブ		146	548	3.75 > 1.5	OK

4) 改良地盤に生じるせん断力に対する検討

改良地盤に生じるせん断力に対する検討は、改良地盤に発生する設計せん断力に対して地盤のせん断抵抗力が 1.5 以上の安全率を有していることを確認する。

$$\frac{H_u}{H_d} \geq 1.5$$

$$H_u = f_{ss} \cdot B \cdot L$$

$$f_{ss} = 1/5 \cdot f_{sc}$$

ここに、

$H_u$  : 改良地盤のせん断抵抗力 (kN)

$H_d$  : 設計せん断力 (コンクリート基礎底面に作用する水平力) (kN)

$f_{ss}$  : 改良地盤のせん断強度 (kN/m<sup>2</sup>)

$f_{sc}$  : 改良地盤の圧縮強度 (kN/m<sup>2</sup>)  $f_{sc} = 548$  (kN/m<sup>2</sup>)

$B$  : コンクリート基礎幅  $B = 80.0$  (m)

$L$  : コンクリート基礎長  $L = 95.9$  (m)

改良地盤のせん断抵抗力は次式により算定する。

$$f_{ss} = 1/5 \cdot 548 = 109.6 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$H_u = 109.6 \times 80.0 \times 95.9 = 840851 \text{ (kN)}$$

安全率の検討結果を表 2. 5 - 2 4 に示す。検討結果より改良地盤のせん断抵抗力はコンクリート基礎直下の設計せん断力の 1.5 以上の安全率を有していることを確認した。

表 2. 5 - 2 4 改良地盤のせん断力に対する検討結果

	設計せん断力 $H_d$ (kN)	改良地盤の せん断抵抗力 $H_u$ (kN)	安全率	判定
1/2Ss450	217732	840851	3.86 > 1.50	OK



5) 支持力の検討

改良地盤直下の支持地盤については、改良体下面に作用する設計鉛直力に対して支持地盤の極限支持力が 1.5 以上の安全率を有していることを確認する。

$$\frac{R_u}{V_d} \geq 1.5$$

$$\begin{aligned} R_u &= q_u \times A_e \\ &= 674.5 \times 7887.9 = 5320389 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

ここに、

- R<sub>u</sub> : 支持地盤の極限支持力 (kN)
- q<sub>u</sub> : 極限支持力度 (kN/m<sup>2</sup>)
- A<sub>e</sub> : 基礎地盤の有効載荷面積 (m<sup>2</sup>)

$$V_d = V_{d1} + V_{d2}$$

ここに、

- V<sub>d</sub> : 設計鉛直力 (kN)
- V<sub>d1</sub> : コンクリート基礎下面に作用する鉛直力 (kN)  
V<sub>d1</sub> = 538633 (kN)
- V<sub>d2</sub> : 改良地盤による鉛直力 (kN)      V<sub>d2</sub> = 589294 (kN)

$$V_d = V_{d1} + V_{d2} = 1127927 \text{ (kN)}$$

安全率の検討結果を表 2. 5 - 2 5 に示す。検討結果より地盤の極限支持力は設計鉛直力の 1.5 以上の安全率を有していることを確認した。

表 2. 5 - 2 5 支持力に対する検討結果

	改良体下面の 鉛直力 V <sub>d</sub> (kN)	極限支持力 R <sub>u</sub> (kN)	安全率	判定
1/2Ss450	1127927	5320389	4.72 > 1.50	OK

(実施計画 : II-2-13-添 3-2-110~135)

### 3 波及的影響評価について

#### 3.1 評価方針

使用済燃料を収納する乾式キャスクは耐震 S クラスとし、検討用地震動（最大加速度 900gal）（以下、「Ss900」という。）によってキャスク仮保管設備を構成する主要設備が機能喪失した場合の輸送貯蔵兼用キャスク（増設）への波及的影響を評価する。

また、コンクリートモジュールが遮蔽機能を喪失した場合の公衆への被ばく影響を評価する。

#### 3.2 地震による損傷モードの抽出

乾式キャスク以外の主要設備が Ss900 により機能喪失した場合の損傷モード及び想定シナリオを下表に示す。

表 3. 2-1 地震による損傷モードの抽出

対象設備	地震に対する設備への影響	想定される損傷モード	想定シナリオ
支持架台	Ss900 に耐えられないため、保守的に設備に損傷等が生じることを想定	支持架台の損傷	<ul style="list-style-type: none"> <li>乾式キャスクの落下 (3.3.1.1)</li> <li>乾式キャスク同士の衝突 (3.3.1.2)</li> </ul>
コンクリートモジュール		天板の落下・側板の転倒	<ul style="list-style-type: none"> <li>乾式キャスクへの落下・転倒による衝突 (3.3.2.1)</li> <li>乾式キャスクの埋没 (3.3.2.2)</li> </ul>
クレーン		転倒	<ul style="list-style-type: none"> <li>乾式キャスクへの転倒による衝突 (3.3.3.1)</li> </ul>
コンクリート基礎	基礎版にひび割れが生じる可能性があるため、保守的に基礎上に設置される設備（支持架台・コンクリートモジュール・クレーン）に損傷等が生じることを想定	支持架台・コンクリートモジュール・クレーンに同じ	

### 3.3 波及的影響評価

#### 3.3.1 支持架台の支持機能喪失による乾式キャスクの落下

##### 3.3.1.1 乾式キャスクの落下評価

###### (1) 水平落下

###### 1) 評価方針

Ss900 に対して支持架台は即座かつ完全に支持機能を失うことは考えにくく、また支持架台が損傷したとしても支持架台のコンクリート塊や鉄筋は物理的に存在する。ただし、支持架台の損傷具合を定量的に評価することは困難なため保守的に前後左右の支持架台の支持機能が同時に喪失し、支持架台を無視して保管位置の高さからコンクリート床板まで自由落下する場合の衝突評価を行う。

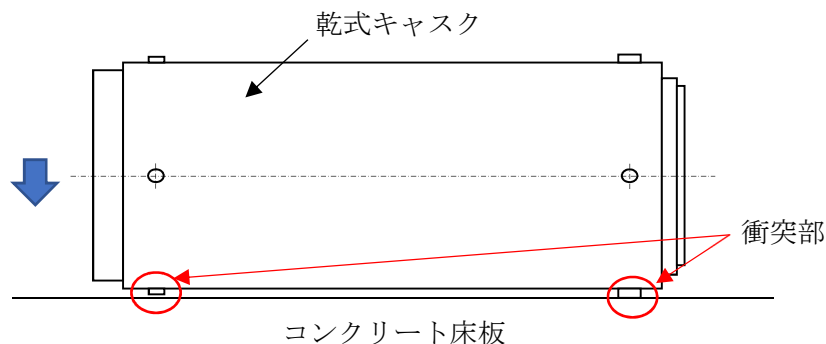


図 3. 3. 1 - 1 乾式キャスクの水平落下

###### 2) 評価方法

###### i. 衝突荷重及び加速度の算出

水平落下により乾式キャスクの上部トラニオン及び下部トラニオンとコンクリート床板が衝突する。乾式キャスクは剛であるためコンクリート床板が損傷すると考えられるが、保守的にコンクリート床板を剛としトラニオンが塑性変形するものとする。

衝突荷重を保守的に設定するため、衝突荷重  $F$  はトラニオンの圧縮強度(引張強さ)を用いて次式で表され 40MN となる。

$$F = (A_1 + A_2) \cdot \sigma$$

ここで、 $A_1$  : 上部トラニオンの断面積 ( $\text{mm}^2$ )

$A_2$  : 下部トラニオンの断面積 ( $\text{mm}^2$ )

$\sigma$  : トラニオンの引張強さ (MPa)

乾式キャスクに作用する衝撃加速度  $\alpha$  は次式で表され 35G となる。

$$\alpha = F / (m \cdot g)$$

ここで、 $m$  : 乾式キャスクの質量 (kg)

$g$  : 重力加速度 ( $\text{m/s}^2$ )

ii. 応力評価

構造解析コード ABAQUS を用いて  $0^{\circ}$  ～  $180^{\circ}$  方向をモデル化したハーフモデルを使用する。

鉛直下側の上部トラニオン及び下部トラニオンを拘束し、キャストモデルに上記で算出した衝撃加速度 35G を与え、密封シール部の塑性ひずみ及び締付けボルトの応力評価を行う。

3) 判定基準

密封性能が維持できることを確認するため、密封機能評価の判定基準として下表の内容とする。

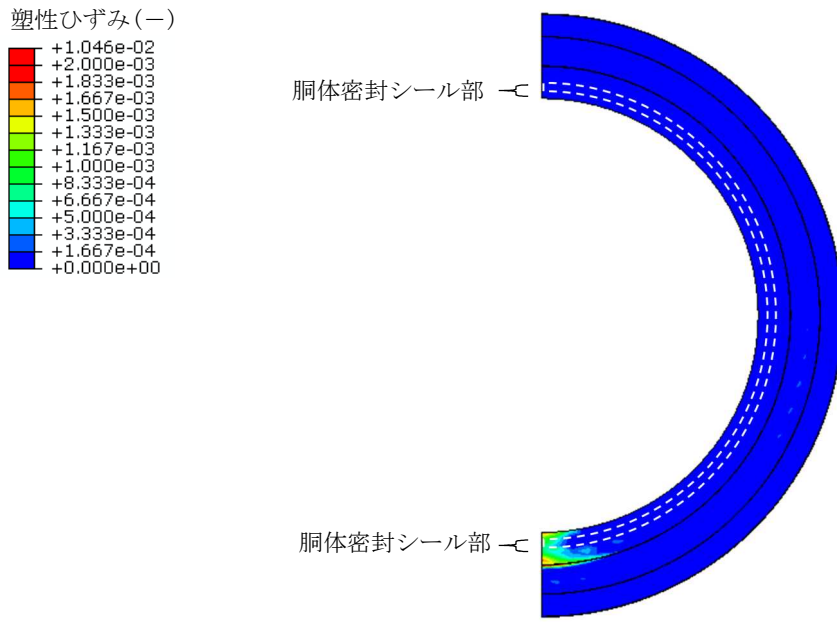
表 3. 3. 1 - 1 判定基準

評価部位	判定基準	備考
胴体密封シール部	おおむね弾性範囲	塑性ひずみ 0.2%以下
一次蓋密封シール部	おおむね弾性範囲	塑性ひずみ 0.2%以下
一次蓋締付けボルト	831MPa <sup>※</sup>	ボルト材料の設計降伏点

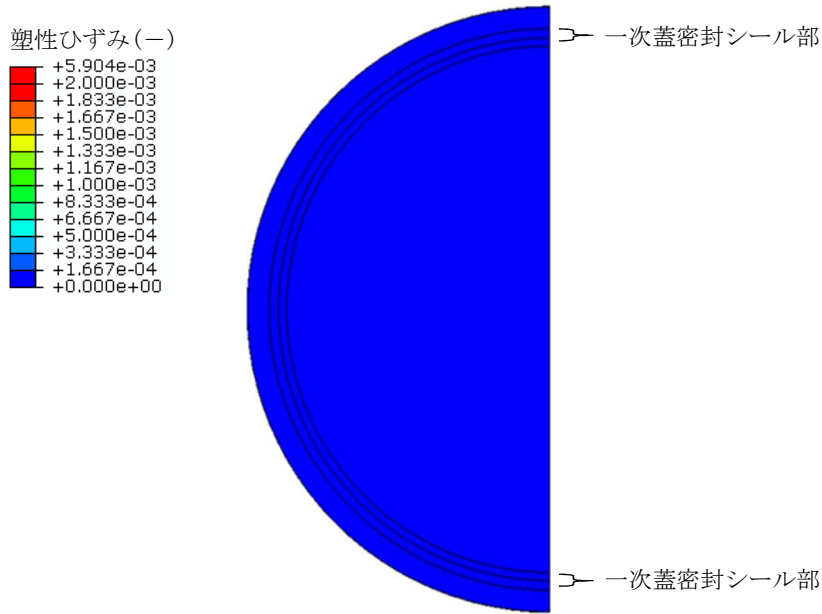
※：仮保管時最高使用温度に対する値

4) 評価結果

胴体密封シール部及び一次蓋密封シール部に生じるひずみを図 3. 3. 1 - 2 に示す通り、おおむね弾性範囲内であり判定基準を満足する。また、一次蓋締付けボルトに生じる応力は表 3. 3. 1 - 2 の通りで判定基準を満足する。



(a) 胴体 (密封シール部)



(b) 一次蓋 (密封シール部)

図 3. 3. 1-2 一次蓋密封シール部の塑性ひずみ分布

表 3. 3. 1-2 一次蓋締付けボルト応力評価結果

評価部位	一次応力		判定基準
	引張応力	引張+曲げ応力	
一次蓋締付けボルト	279MPa	704MPa	831MPa

(2) 回転落下

1) 評価方針

「(1) 水平落下」と同様に, Ss900 に対して支持架台は即座かつ完全に支持機能を失うことは考えにくい, 保守的に前方(蓋側)左右の支持架台の支持機能が喪失し, 支持架台を無視して保管位置の高さからコンクリート床板まで後方の支持架台を中心に回転落下(蓋部とコンクリート床板との衝突)する場合の衝突評価を行う。

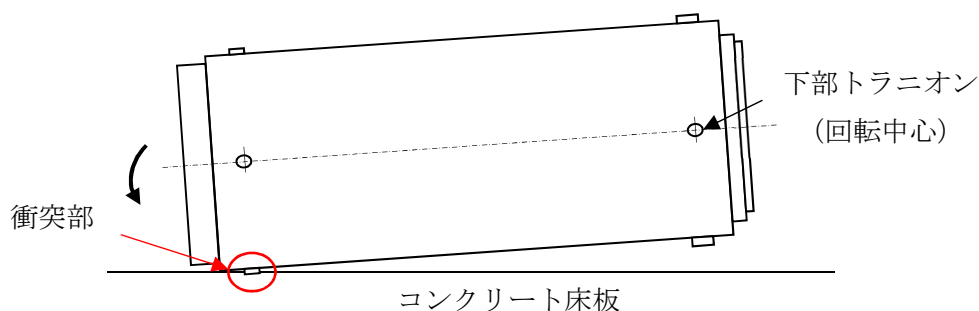


図 3. 3. 1-3 乾式キャスクの回転落下

2) 評価方法

i. 衝突荷重及び加速度の算出

下部トラニオンを回転中心とした回転落下により乾式キャスクの上部トラニオンとコンクリート床板が衝突する。乾式キャスクは剛であるためコンクリート床板が損傷すると考えられるが, 保守的にコンクリート床板を剛としトラニオンが塑性変形するものとする。

衝突荷重を保守的に設定するため, 衝突荷重  $F$  はトラニオンの圧縮強度(引張強さ)を用いて次式で表され 13MN となる。

$$F = A_1 \cdot \sigma$$

ここで,  $A_1$ : 上部トラニオンの断面積 ( $\text{mm}^2$ )

$\sigma$ : トラニオンの引張強さ (MPa)

図 3. 3. 1-4 より加速度分布は蓋側を最大として下部トラニオンで 0 になるように直線的に変化するため, 乾式キャスクに作用する衝撃加速度  $\alpha$  は下部トラニオンを頂点とした三角形となる。このため, 力としては先端の加速度の 1/2 を全質量に乗じればよい。

また, 距離は全ての力が三角形の重心で作用した場合と等価であるため, 蓋側の端点で生じる衝撃加速度を  $\alpha$ , 単位長さあたりの質量を  $m$ , 分布長さを  $L_2$  とすると,  $M_1$  は次式で表される。

$$M_1 = 2/3 \cdot L_2 \cdot (\alpha / 2 \cdot m \cdot L_2)$$

ここで、 $M_1$ ：荷重  $F$  が作用したことによる慣性力によるモーメント（蓋側）

$\alpha$ ：キャスク上端の加速度 ( $m/s^2$ )

$L_2$ ：キャスク上面から下部トラニオンまでの長さ (mm)

$M_2$  については、 $M_1$  と同様に次式で表される。

$$M_2 = 2/3 \cdot L_1 \cdot ((L_1/L_2) \alpha / 2 \cdot m \cdot L_1)$$

ここで、 $M_2$ ：荷重  $F$  が作用したことによる慣性力によるモーメント（底側）

$L_1$ ：キャスク底面から下部トラニオンまでの長さ (mm)

$M_3$  については、 $F$  の荷重が距離  $L_3$  の位置で作用しているのので、次式で表される。

$$M_3 = F \cdot L_3$$

ここで、 $M_3$ ：荷重  $F$  の作用によるモーメント

$L_3$ ：トラニオン間距離 (mm)

これらの式とモーメントの釣り合い式 ( $M_1 + M_2 = M_3$ ) より加速度  $\alpha$  は 35G となる。

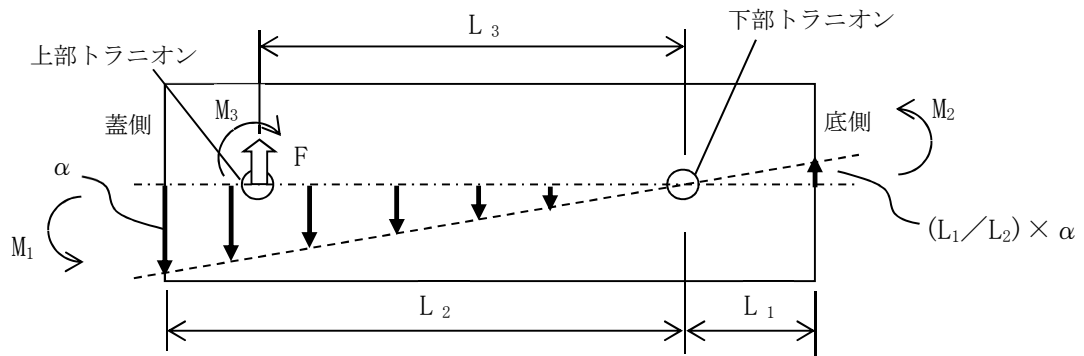


図 3. 3. 1-4 下部トラニオン周りの回転状態図

## ii. 応力評価

構造解析コード ABAQUS を用いて  $0^\circ \sim 180^\circ$  方向をモデル化したハーフモデルを使用する。

水平方向下部トラニオンを回転軸として固定し、鉛直下側の上部トラニオンを拘束し、キャスク先端が 35G となる角速度を与え、密封シール部の塑性ひずみ及び締付けボルトの応力評価を行う。

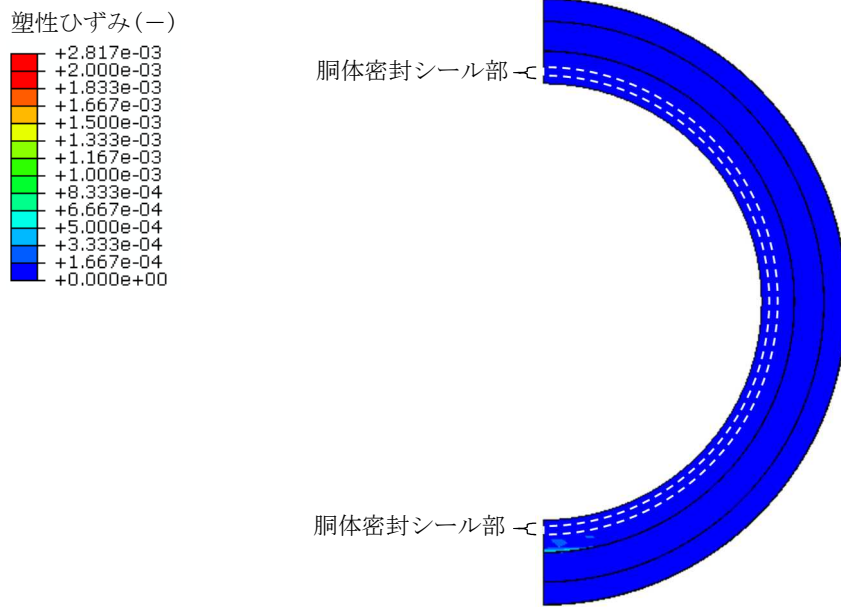
## 3) 判定基準

「(1) 水平落下」と同様に、密封機能評価の判定基準である表 3. 3. 1-1 を判定基準とする。

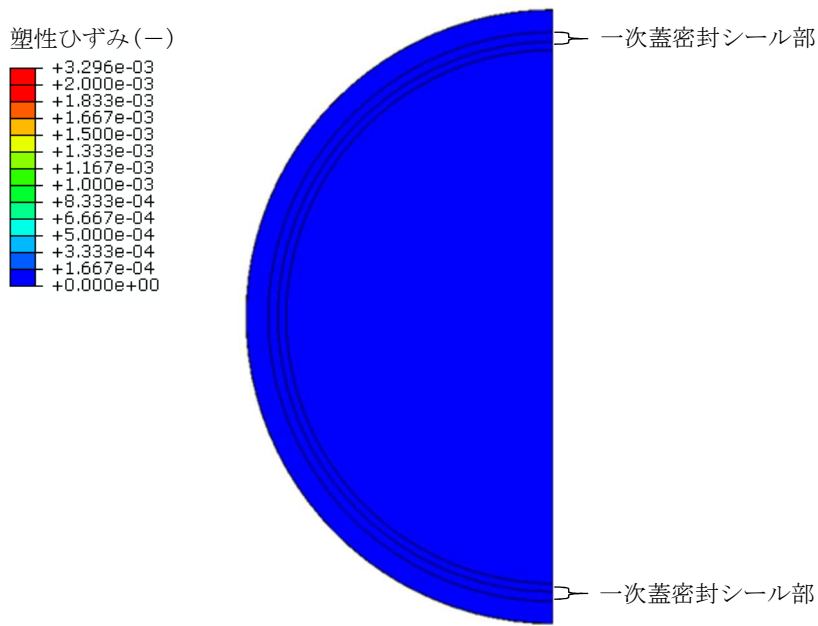
4) 評価結果

胴体密封シール部及び一次蓋密封シール部に生じるひずみを図3.3.1-5に示す通り、塑性ひずみは発生せず判定基準を満足する。また、一次蓋締付けボルトに生じる応力は表3.3.1-3の通りで判定基準を満足する。





(a) 胴体（密封シール部）



(b) 一次蓋（密封シール部）

図 3. 3. 1 - 5 一次蓋密封シール部の塑性ひずみ分布

表 3. 3. 1 - 3 一次蓋締付けボルト応力評価結果

評価部位	一次応力		判定基準
	引張応力	引張+曲げ応力	
一次蓋締付けボルト	265MPa	616MPa	831MPa

### 3.3.1.2 乾式キャスク同士の衝突性評価

#### 1) 評価方針

支持架台，コンクリートモジュールの天板及び側板並びにコンクリート基礎版は Ss900 に対して即座かつ完全に損壊することは考えにくく，例え損壊したとしてもコンクリートガレキや鉄筋は物理的に存在し，これら残存物は地震による乾式キャスクの並進運動を阻害する方向に作用する。

支持架台やコンクリートモジュール，コンクリート基礎の損傷具合，運動阻害の程度を定量的に評価することは困難なため保守的に支持架台，コンクリートモジュール，コンクリート基礎などによる減速効果を完全に無視し，水平面に置かれた円筒形の剛体がコンクリート床板上を並進運動する場合を評価する。

さらに，地震が発生した場合，敷地全体がある同一方向に動き，乾式キャスク全体も同一方向に動く。しかしながら，現実的にはありえない乾式キャスク同士が同時かつ互いに近接する方向に運動するとし，コンクリート床板との摩擦を考慮した移動距離により乾式キャスク同士の衝突性を評価する。

#### 2) 評価方法

##### i. 移動距離の算出

乾式キャスクは床面からの摩擦力以外の影響を受けず，コンクリート床板上を一定の摩擦力を受けて水平移動した際の移動距離を算出する。

乾式キャスクの運動エネルギー  $E$  は次式で表される。

$$E = m \cdot V_0^2 / 2$$

ここで， $V_0$ ：初速 (m/s)

$m$ ：乾式キャスクの質量 (kg)

摩擦力により消費されるエネルギー  $E_f$  は次式で表される。

$$E_f = \mu \cdot N \cdot L = \mu \cdot m \cdot g \cdot L$$

ここで， $\mu$ ：摩擦係数 (-)

$N$ ：垂直抗力 (N)

$g$ ：重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)

$L$ ：移動距離 (m)

運動エネルギーが摩擦力により消費されるとき， $E = E_f$  となるため，移動距離  $L$  は次式で算出する。

$$L = V_0^2 / (2 \cdot \mu \cdot g)$$

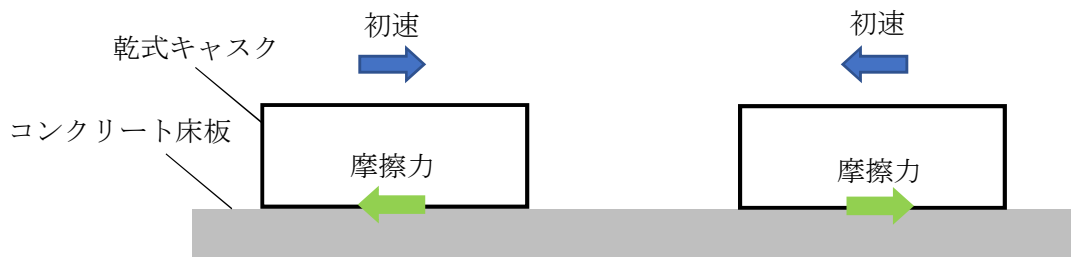


図 3. 3. 1-6 評価モデル

ii. 初速

初速の最大値は「原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド」(以降、「審査ガイド」という。)で示される水平方向速度 2.0m/s を最大とし、0.5m/s, 1.0m/s, 1.5m/s のケースについても評価する。

iii. 摩擦係数

表 3. 3. 1-4 に記載する鋼材とコンクリートの摩擦係数を適用する。

表 3. 3. 1-4 摩擦係数と鉛直震度の組合せ

CASE	摩擦面	摩擦係数	備考
1	鋼材とコンクリート	0.40	鋼構造設計規準 (日本建築学会)
2	鋼材とコンクリート	0.25	電中研報告書「使用済燃料キャスク貯蔵技術の確立-地震時のキャスク転倒評価-」(研究報告:U92037) コンクリート及び鋼材表面の塗装条件を様々に変化させた試験結果のうち最も不利な摩擦係数。
3	鋼材とコンクリート	0.25	CASE2 に鉛直震度 (0.45G) による鉛直力Nを低減させた場合。

3) 判定基準

キャスク同士の衝突有無を確認するため、相互のキャスク間距離で短い距離を用いて判定基準を 1.39m (=2.78/2) とする。

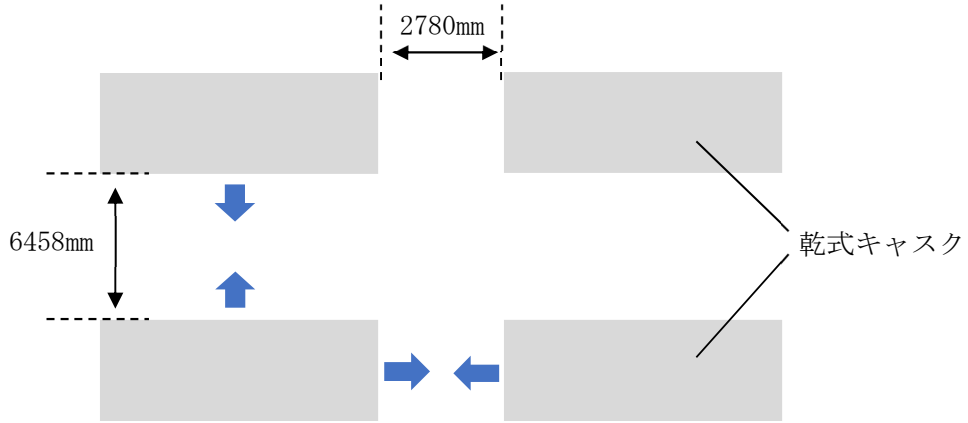


図 3. 3. 1-7 真上から見た乾式キャスクの配置図

4) 評価結果

表 3. 3. 1-4 に記載の摩擦係数のうち最小値 0.25 及び審査ガイドで示される初速 2.0m/s としても判定基準を満足するため乾式キャスク同士の衝突は生じない。

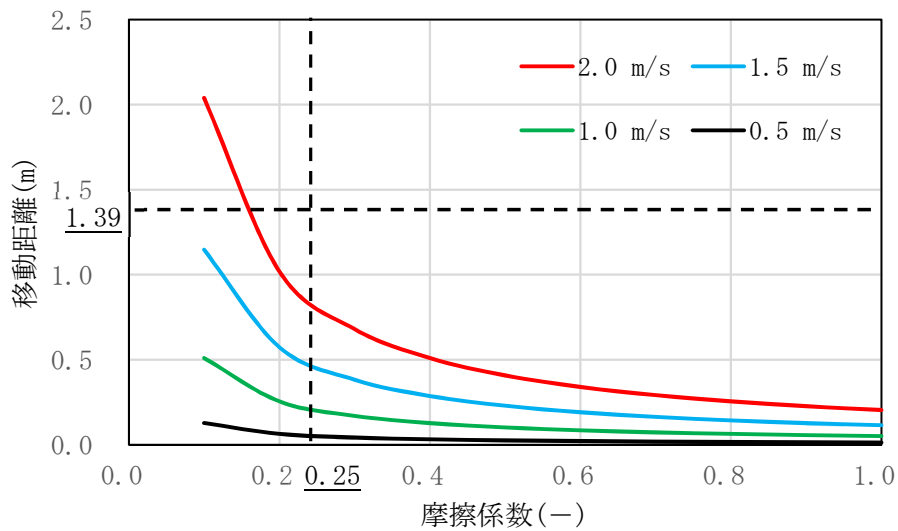


図 3. 3. 1-8 評価結果

### 3.3.2 コンクリートモジュールの落下・転倒

#### 3.3.2.1 乾式キャスクへの落下・転倒による衝突評価

地震によりコンクリートモジュールが損傷し、貯蔵中の乾式キャスクにコンクリートモジュールが落下・転倒した場合の影響を評価する。

Ss900 に対して支持架台が即座かつ完全に支持機能を失うことは考えにくい、保守的に落下エネルギーを大きくするため支持架台を無視し乾式キャスクがコンクリート床板上に置かれた場合の衝突とする。

乾式キャスクの安全機能への影響を考慮し、想定される衝突事象におけるコンクリートモジュールの落下エネルギーが大きいケース（表3.3.2-1の太枠内）について評価を行う。落下エネルギーを表3.3.2-1, 評価ケースを表3.3.2-2に示す。

表3.3.2-1 想定される衝突事象と落下エネルギー

衝突物	質量 (kg)	寸法 (mm)	姿勢	キャスク 衝突位置	重心変位 (mm)	落下エネルギー (N・mm)
天板	16,300 (全体)	4680×7100 ×200	水平	トラニオン	1261	$2.1 \times 10^8$
			傾斜	胴フランジ部	807	$1.3 \times 10^8$
	5,500 (パネル 1枚)	4680×2370 ×200	水平	トラニオン	1261	$6.8 \times 10^7$
			傾斜	外筒	1318	$7.1 \times 10^7$
側板 (蓋側)	8,000 (全体)	3800×4280 ×200	傾斜	胴フランジ部	113	$8.9 \times 10^6$
	4,000 (パネル 1枚)	3800×2140 ×200				$4.5 \times 10^6$
側板 (底部側)	8,000 (全体)	3800×4280 ×200	傾斜	キャスク 底部	49	$3.9 \times 10^6$
	4,000 (パネル 1枚)	3800×2140 ×200				$2.0 \times 10^6$
側板 (側部側)	13,200 (全体)	3800×7100 ×200	傾斜	外筒	251	$3.3 \times 10^7$
	4,400 (パネル 1枚)	3800×2370 ×200		外筒	251	$1.1 \times 10^7$

表 3. 3. 2-2 評価ケース

評価ケース	衝突位置	安全機能への影響	衝突条件
(1)	鉛直上側 トラニオン	鉛直上側トラニオンへの衝突により、トラニオン取付位置の胴が損傷し、閉じ込め機能を喪失	天板（全体）が水平姿勢で落下
(2)	胴フランジ部	密封シール部が変形し、閉じ込め機能を喪失	天板（全体）が傾斜姿勢で落下
(3)	外筒及び 伝熱フィン	外筒部が破損し、線量が増加 伝熱フィンが破断し、除熱機能が低下	天板（パネル1枚）が水平姿勢及び傾斜姿勢で落下

(1) 天板（全体）の水平姿勢での落下

1) 評価方針

天板パネル 3 枚が連結し形状（全体）を維持したまま水平姿勢で落下しトラニオンに衝突する場合を評価する。衝突荷重が荷重作用位置の同じ乾式キャスク水平落下事象に包絡されることを示す。

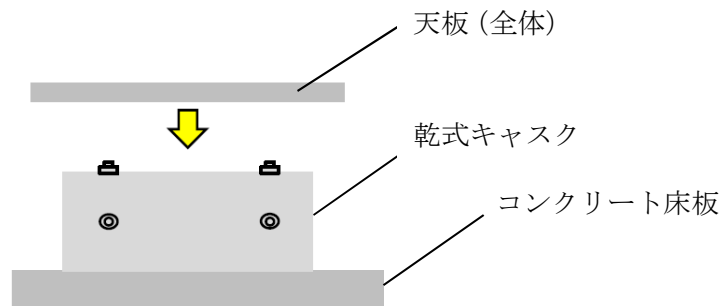


図 3. 3. 2-1 天板（全体）の水平姿勢での落下

2) 評価方法

コンクリートモジュール天板の許容曲げモーメントに相当する限界荷重を算出する。トラニオンとの衝突時に限界荷重以上の荷重が作用する場合、コンクリートモジュール天板は曲げ荷重により破損するため、それ以上の荷重を支えない。

コンクリートモジュール天板には上下部トラニオンから荷重が作用し、最大曲げモーメントは上部トラニオンからの荷重が作用する位置となる。

最大曲げモーメントの値は以下の式となる。

$$M=w \cdot a^2 / 2$$

ここで、 $w$  : 分布荷重 (N/mm)

$$w=F/L$$

ここで、 $F$  : 上下部トラニオンからコンクリートモジュールに作用する荷重 (N)

L: コンクリートモジュール長さ (mm)

a: コンクリートモジュールの荷重の作用点からコンクリートモジュール端部までの距離 (mm)

一方、コンクリートモジュール天板の許容曲げモーメントは  $2.454 \times 10^4 \text{N} \cdot \text{mm}/\text{mm}$  であり、コンクリートモジュール天板の幅は 4680 mm のため、最大曲げモーメント M は

$$M = 2.454 \times 10^4 \times 4680 = 1.15 \times 10^8 \text{N} \cdot \text{mm}$$

以上より、コンクリートモジュール天板に作用する荷重 F は

$$F = 2 \times M \times L / a^2 = 2 \times 1.15 \times 10^8 \times 7100 / 1653^2 = 0.6 \text{MN}$$

鉛直上側トラニオンに作用する荷重は力のつり合いより 0.6MN となる。

### 3) 判定基準

乾式キャスク水平落下事象への包絡性を示すため、「3.3.1.1(1) 水平落下」で算出されたトラニオンへの衝突荷重 40MN を判定基準とする。

### 4) 評価結果

鉛直上側トラニオンに作用する荷重は 0.6MN であり判定基準 40MN 以下であるため、本事象は乾式キャスク水平落下事象に包絡される。

## (2) 天板（全体）の傾斜姿勢の落下

### 1) 評価方針

天板パネル 3 枚が連結し形状を維持したまま傾斜姿勢で落下し胴フランジ部側面に衝突する場合を評価する。衝突荷重が荷重作用位置の同じクレーン転倒事象（参考資料 2 参照）に包絡されることを示す。

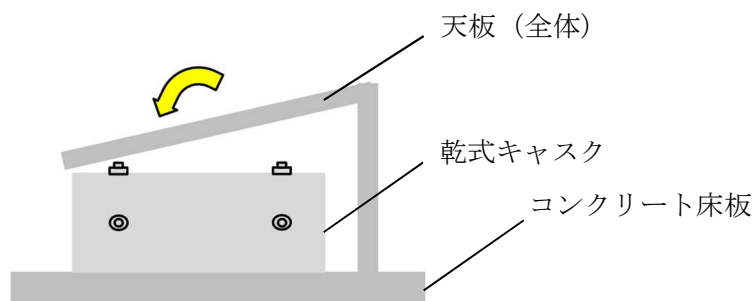


図 3. 3. 2-2 天板（全体）の傾斜姿勢での落下

## 2) 評価方法

「(1) 天板 (全体) の水平姿勢での落下」と同様, コンクリートモジュール天板の許容曲げモーメントに相当する限界荷重を算出する。

最大曲げモーメントの式及びコンクリートモジュールの寸法より乾式キャスクに作用する荷重は 0.6MN となる。

## 3) 判定基準

クレーン転倒事象への包絡性を示すため, 「参考資料 2」で算出された胴フランジ部への衝突荷重 41MN を判定基準とする。

## 4) 評価結果

胴フランジ部に作用する荷重は 0.6MN であり判定基準 41MN 以下であるため, 本事象はクレーン転倒事象に包絡される。

### (3) 天板 (パネル 1 枚) の水平姿勢及び傾斜姿勢の落下

#### 1) 評価方針

天板パネル 1 枚が形状を維持したまま水平姿勢及び傾斜姿勢で落下し外筒に衝突する場合を評価する。外筒への衝突により, 外筒及び伝熱フィンの損傷範囲を評価し, 遮蔽機能及び除熱機能への影響を評価する。

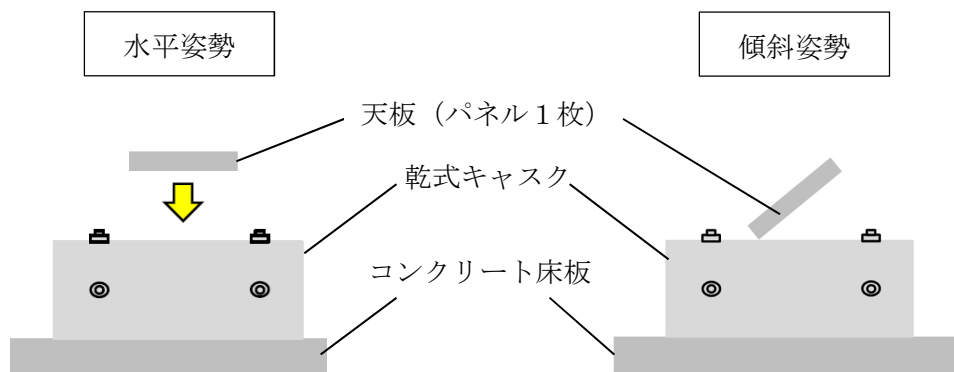


図 3. 3. 2-3 天板 (パネル 1 枚) の水平姿勢及び傾斜姿勢での落下

## 2) 評価方法

外筒に荷重が作用した場合, 外筒のせん断による破断が生じる前に伝熱フィンが圧縮されて塑性変形する。そのため, コンクリートモジュール天板落下の落下エネルギー  $E$  に対して外筒のせん断に要するエネルギー  $E_s$  及び伝熱フィンの圧縮変形エネルギー  $E_c$  が大きければ, 外筒が破断して中性子遮蔽材が欠落することはない。

コンクリートモジュール天板の落下エネルギー  $E$  は次式で表される。



$$E=m \cdot g \cdot H$$

ここで、m：落下物の質量 (kg)

g：重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)

H：落下高さ (mm)

外筒のせん断に要するエネルギーEs は次式で表される。

$$E_s=D \cdot t^2 \cdot S / 2$$

ここで、D：破断領域の周長 (mm)

t：外筒の板厚 (mm)

S：外筒のせん断強さ (MPa)

伝熱フィンが圧縮されて塑性変形するエネルギーEc は次式で表される。

$$E_c=A \cdot S_u \cdot L$$

ここで、A：荷重を受け持つ伝熱フィンの総面積 (mm<sup>2</sup>)

Su：伝熱フィンの設計引張強さ (MPa)

L：伝熱フィンの圧縮変形長さ (伝熱フィン高さ) (mm)

### 3) 判定基準

コンクリートモジュール天板の落下エネルギーE が外筒のせん断に要するエネルギーEs と伝熱フィンの圧縮変形エネルギーEc の合計を超えなければ外筒が破断に至ることはないため Es+Ec を判定基準とする。

### 4) 評価結果

下表に示す通り、いずれも落下エネルギーが外筒のせん断エネルギーと伝熱フィンの圧縮変形エネルギーの合計を超えないため、外筒が破断することはない。

表 3. 3. 2-3 評価結果

落下物	質量 (kg)	落下高さ (mm)	落下物の落下姿勢	落下エネルギー (N・mm)	外筒のせん断+伝熱フィン圧縮エネルギー (N・mm)		外筒のせん断の有無
					外筒	フィン	
天板 (パネル1枚)	5,500	1318	水平	$7.1 \times 10^7$	外筒	$2.1 \times 10^8$	無
					フィン	$2.5 \times 10^9$	
					合計	$2.7 \times 10^9$	
	659	傾斜	$3.6 \times 10^7$	外筒	$3.4 \times 10^7$	無	
				フィン	$3.2 \times 10^8$		
				合計	$3.5 \times 10^8$		

### 3.3.2.2 乾式キャスクの埋没による除熱評価

#### 1) 評価方針

地震によりコンクリートモジュールが損傷し、貯蔵中の乾式キャスクにコンクリートモジュールが落下・転倒することで乾式キャスクが埋没する場合の除熱機能への影響を評価する。

コンクリートパネルには鉄筋が入っているため乾式キャスクとコンクリートパネルにはある程度の空隙が生じると考えられるが、保守的に乾式キャスクの上半分に対して隙間なくコンクリートパネルが張り付いて覆う場合を評価する。

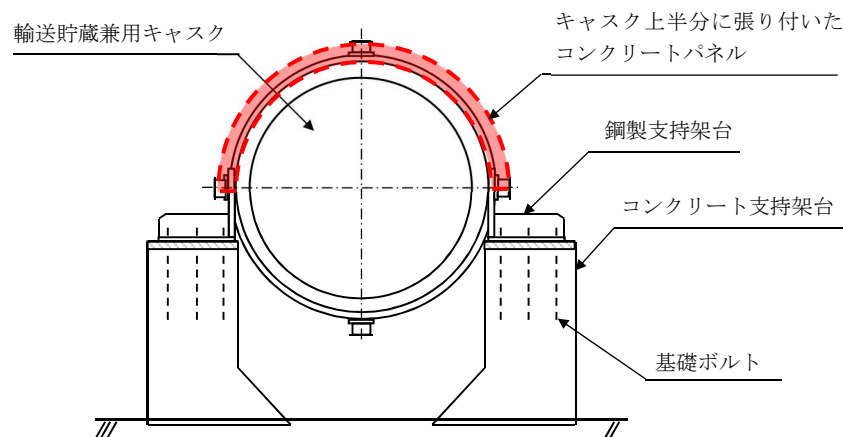


図 3. 3. 2-4 乾式キャスクの埋没想定

#### 2) 評価方法

乾式キャスクの上半分には厚さ 200mm のコンクリートモジュール天板が密着状態で覆い、さらに保守的に断熱と設定して評価する。下半分については物理的にコンクリートが密着しないため、自然対流熱伝達、放射伝熱を考慮する。

定常状態の温度分布を時刻 0 とし、1000h (約 42 日) までの温度変動を評価する。

#### 3) 判定基準

「Ⅱ.5 燃料取出し及び取り出した燃料の適切な貯蔵・管理への適合性 1 除熱機能 1.1 輸送貯蔵兼用キャスク」における制限温度は設計貯蔵期間を考慮して長期的な保管を担保する温度を設定している。本評価では、大規模な地震により乾式キャスクに損傷が生じた場合の短期間の保管を前提とした制限温度を表 3. 3. 2-4 の通り設定する。

表 3. 3. 2-4 各部材における制限温度

(単位：℃)

部位	材質	制限温度		根拠
		長期的な使用	短期的な使用	
新型 8×8 燃料	ジルカロイ - 2	200	■	学会標準 <sup>※1</sup> 安全機能を確保する期間において、累積クリープひずみが 1 % 以下となる温度
新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料 高燃焼度 8×8 燃料		300	■	
密封容器、外筒等 密封蓋締付けボルト	炭素鋼、合金鋼	350	350	構造規格
金属ガスケット	アルミニウム合金 ニッケル基合金	130	■	電中研 <sup>※2</sup> 安全機能を確保する期間において、累積 LMP が $11.09 \times 10^3$ 以下となる温度
バスケット	ボロン添加ステンレス鋼	300	300	臨界防止の観点でバスケットの変形を抑制するうえで構造強度が確保される温度
中性子遮蔽材	レジン	150	■	一般に熱分解が生じるとされる温度以下 <sup>※3</sup>

※1：日本原子力学会標準，使用済燃料中間貯蔵施設用金属キャスクの安全設計及び検査基準：2021，附属書N

※2：加藤治，伊藤千浩，「電力中央研究所報告 使用済燃料貯蔵容器用ガスケットの長期密封特性」，(一財)電力中央研究所，U92009（平成4年7月）

※3：例えば，熱重量・示差熱 (TG・DTA) 分析で，熱分解が観察されない温度

#### 4) 評価結果

温度上昇は 400h（約 2 週間）程度でほぼ定常となり，すべての部位で制限温度を満足する。

図 3. 3. 2-5 に部位ごとの最高温度変化を示す。時刻 0（定常時）より，キャスク上面側の温度が上昇し，400h（約 2 週間）程度でほぼ定常となった。各部材の 1000h 経過時の温度は表 3. 3. 2-5 に示す通り，すべての部位で安全機能が確保できる制限温度を満足できる結果となった。

表 3. 3. 2-5 評価結果

(単位：℃)

部材		1000h 経過時の温度	判定基準
燃料被覆管		■■■■	■■■■
炭素鋼	胴	■■■■	350
	一次蓋	■■■■	
	二次蓋	■■■■	
アルミニウム合金, ニッケル基合金	一次蓋金属ガスケット	■■■■	■■■■
	二次蓋金属ガスケット	■■■■	
ボロン添加ステンレス鋼		■■■■	300
中性子遮蔽材	側部	■■■■	■■■■
	蓋部	■■■■	
	底部	■■■■	

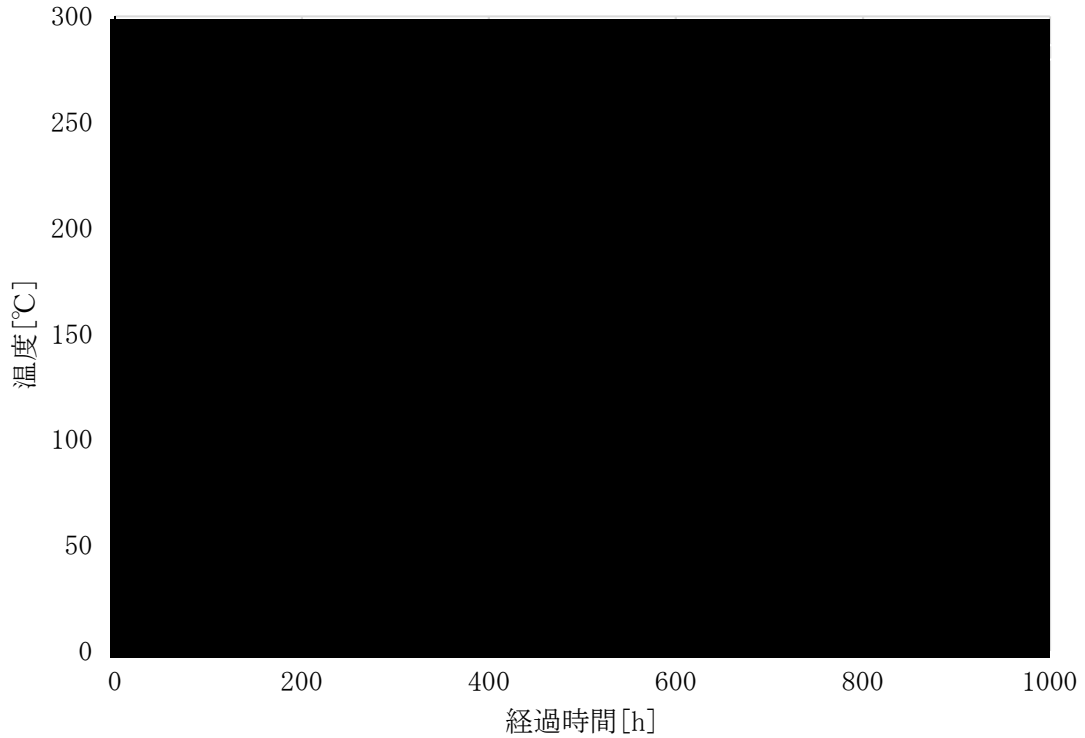


図 3. 3. 2-5 部位ごとの最高温度変化

### 3.3.3 クレーンの転倒

#### 3.3.3.1 乾式キャスクへの転倒による衝突評価

##### 1) 評価方針

クレーンは乾式キャスクの搬出入やコンクリートモジュールの組み立てに使用し、使用期間は全体の供用期間に対して十分小さいため、待機位置におけるクレーン転倒時の乾式キャスクへの影響を評価する。(参考資料1参照)

また、クレーンが壊れて倒れるよりも、形状を維持したまま倒れるケースのほうが衝突荷重が大きいいため、形状を維持した状態のクレーンがコンクリート床板に置かれた乾式キャスクの胴下部外筒表面へ回転転倒する。

さらに、乾式キャスク1基へ衝突する場合、キャスクの衝突部位を起点にクレーンが回転転倒し衝突荷重がコンクリート床板へ分散する。その結果、乾式キャスク1基へ衝突した場合の衝突荷重と乾式キャスク2基へ衝突した場合の1基あたりの衝突荷重では、後者のほうが大きいいため本評価は保守的に乾式キャスク2基への衝突とする。

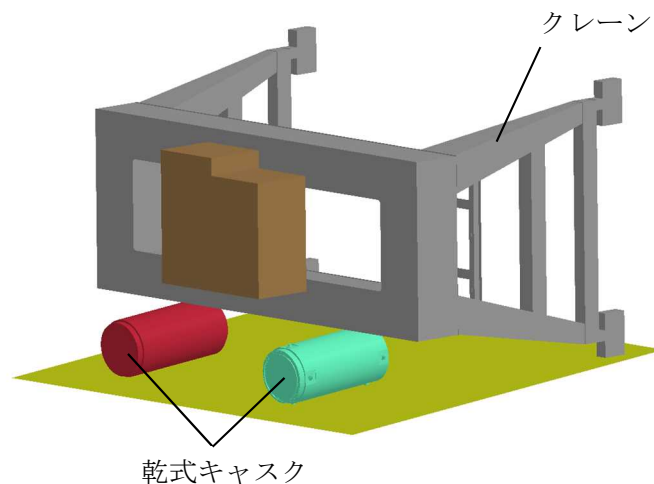


図3.3.3-1 クレーンの転倒

##### 2) 評価方法

###### i. 衝突荷重の算出

クレーンの待機位置からの転倒により乾式キャスク胴下部外筒とクレーンの桁(立板, 補強板, 補強リブ)が衝突する。乾式キャスクは剛でありクレーンの桁が塑性変形すると考えられるため、クレーンの塑性変形に要するエネルギーに基づき衝突荷重を算出する。

クレーンの落下エネルギーと塑性変形に要するエネルギーが等しくなるよう変形量を算出する。変形量を算出する上では、衝突荷重を保守的に算出するため、クレーンの落下エネルギーは実際には乾式キャスクの塑性変形や落下物の衝突後の運動エネルギーにも変換されるが、すべてクレーンの塑性変形で吸収されるものとする。

さらに、荷重作用時間が短いほうが衝突荷重は保守的であるため、衝突時の減速を考慮せず、荷重作用時間  $t_e$  は、変形量  $h$  を初期速度  $V_0$  で除して算出する。

$$t_e = h / V_0$$

クレーンは乾式キャスク 2 基に衝突するため、乾式キャスク 1 基あたりのクレーン質量は  $mc/2$  であることを考慮し、次式により衝突荷重  $F_0$  を算出する。衝突荷重評価結果を下表に示す。

$$\frac{mc}{2} \cdot V_0 = \int_0^{t_e} F(t) dt = \int_0^{t_e} F_0 \left(1 - \frac{t}{t_e}\right) dt = F_0 \cdot \frac{t_e}{2}$$

表 3. 3. 3-1 クレーン衝突荷重

クレーンの質量 (kg)	落下高さ (m)	初期速度 $V_0$ (m/s)	単位体積当たりの塑性エネルギー ( $J/m^3$ ) ※	変形量 (m)	落下エネルギー (J)	荷重作用時間 $t_e$ (sec)	落下時の運動量 ( $N \cdot s$ )	最大荷重 $F_0$ (MN)
209700	4.6	9.5	$5.14 \times 10^8$ $4.02 \times 10^8$	0.401	$1.03 \times 10^7$	0.042	$1.99 \times 10^6$	48

※：上段はクレーンの立板、下段はクレーンの補強板又は補強リブの塑性エネルギーを表す

## ii. 応力評価

構造解析コード ABAQUS を用いて  $0^\circ \sim 180^\circ$  方向をモデル化したハーフモデルを使用する。

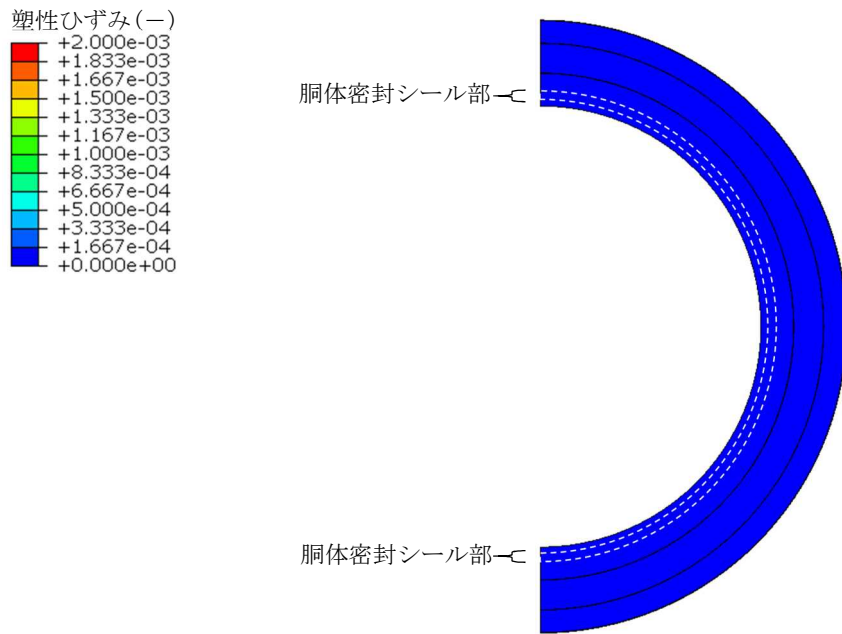
衝突部（キャスク胴）に衝突荷重を作用させ、密封シール部の塑性ひずみ及び締付けボルトの応力評価を行う。

## 3) 判定基準

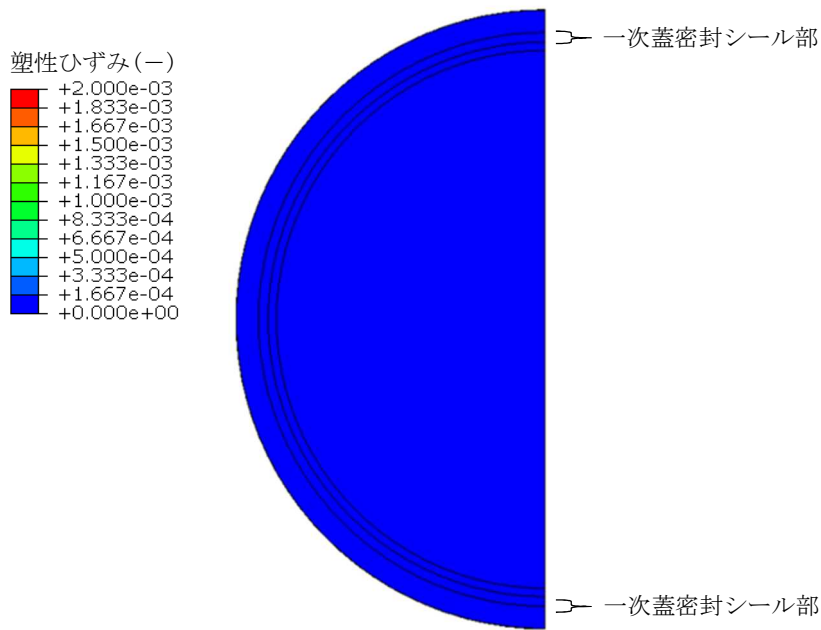
「3.3.1.1(1) 水平落下」と同様に、密封機能評価の判定基準である表 3. 3. 1-1 を判定基準とする。

## 4) 評価結果

胴体密封シール部及び一次蓋密封シール部に生じるひずみを図 3. 3. 3-2 に示す通り、塑性ひずみは発生せず判定基準を満足する。また、一次蓋締付けボルトに生じる応力は表 3. 3. 3-2 の通りで判定基準を満足する。



(a) 胴体 (密封シール部)



(b) 一次蓋 (密封シール部)

図 3. 3. 3-2 一次蓋密封シール部の塑性ひずみ分布

表 3. 3. 3-2 一次蓋締付けボルト応力評価結果

評価部位	一次応力		判定基準
	引張応力	引張+曲げ応力	
一次蓋締付けボルト	255MPa	286MPa	831MPa

### 3.4 コンクリートモジュールの倒壊等による公衆への被ばく影響

#### 3.4.1 評価方針

地震によりキャスク仮保管設備内に設置された95基すべてのコンクリートモジュールが損壊した場合の乾式キャスクからの直接線・スカイシャイン線による敷地境界へ与える線量影響を評価する。

コンクリートパネルには鉄筋が入っておりある程度の塊で乾式キャスクを覆うと考えられるため遮蔽効果が完全になくなるとは考えにくいですが、保守的に遮蔽効果を無視した評価を行う。

#### 3.4.2 評価方法

##### (1) 線量評価点

施設と評価点との高低差を考慮し、各施設からの影響を考慮した敷地境界線上の最大実効線量評価地点における直接線及びスカイシャイン線による実効線量を算出する。

##### (2) 評価に使用するコード

MCNP等、他の原子力施設における評価で使用実績があり、信頼性の高いコードを使用する。

##### (3) 線源及び遮蔽

線源は各施設が内包する放射性物質質量に容器厚さ、建屋壁、天井等の遮蔽効果を考慮して設定する。内包する放射性物質質量や、遮蔽が明らかでない場合は、設備の表面線量率を測定し、これに代えるものとする。

なお、コンクリートモジュール200mm(密度2.15g/cm<sup>3</sup>)による遮蔽効果は考慮しない。

#### 3.4.3 評価結果

遮蔽効果を考慮しない乾式キャスク95基からの直接線・スカイシャイン線による敷地境界線量は約 $5.23 \times 10^{-1}$ mSv/年となる。

#### 3.4.4 コンクリートモジュールの耐震クラスについて

損壊したコンクリートモジュールの設備復旧には数ヶ月はかかると想定されることから公衆被ばく線量は50 $\mu$ Svを超過し、なおかつ当該設備は長期的に使用する設備であることから耐震クラスはB+クラスと考える。



クレーン使用中における Ss 発生の時間確率

クレーン使用期間中における Ss 発生の時間確率は次式より計算される。

$$\text{時間確率} = \frac{\text{クレーン使用时间} \times \text{仕立て基数}}{\text{燃料取り出し期間}} \times \text{Ss の発生確率}$$

下表に示す通り、クレーンの使用期間はキャスク仮保管設備全体の供用期間に比べ十分小さいため、時間確率も十分小さい。

したがって、クレーン使用期間中に Ss900 が重畳して起きる確率は十分小さい。

表 1-1 時間確率算出結果

	乾式キャスク取扱※1	コンクリートモジュール組立※2	備考
クレーン使用时间	20 分/基	10 時間/基	乾式キャスク 1 基あたりの実績
仕立て基数	30 基		増設 30 基
燃料取り出し期間	50 年		輸送貯蔵兼用キャスクの設計貯蔵期間
Ss 発生確率	$5 \times 10^{-4} \sim 10^{-5}$ /年		JEAC4601-2008
時間確率	$1.1 \times 10^{-8} \sim 2.3 \times 10^{-10}$	$3.4 \times 10^{-7} \sim 6.8 \times 10^{-9}$	

※1：乾式キャスク取扱とは、輸送架台上の乾式キャスクをクレーンで吊って、支持架台上に移動するまでの状態

※2：コンクリートモジュール組立とは、コンクリートモジュールをクレーンで吊ってコの字に組み立てるまでの状態及び乾式キャスク設置後、残りの天板・側板を組み立てるまでの状態

クレーン転倒による乾式キャスクの胴フランジ部への衝突について

1) 評価方針

待機位置以外からのクレーン転倒を想定し，乾式キャスクの密封機能に影響する胴フランジ部にクレーンが転倒する場合を評価する。

その他評価方針は「3.3.3.1 乾式キャスクへの転倒による衝突評価」と同様とする。

2) 評価方法

i. 衝突荷重の算出

クレーン転倒により乾式キャスク胴フランジ部とクレーンの桁（立板，補強リブ）が衝突する。

以降の評価方法は「3.3.3.1 乾式キャスクへの転倒による衝突評価」と同様であり，衝突荷重評価結果を下表に示す。

表 2-1 クレーン衝突荷重

クレーンの質量 (kg)	落下高さ (m)	初期速度 V0 (m/s)	単位体積当たりの塑性エネルギー (J/m <sup>3</sup> ) ※	変形量 (m)	落下エネルギー (J)	荷重作用時間 te (sec)	落下時の運動量 (N・s)	最大荷重 F0 (MN)
209700	4.7	9.6	5.14×10 <sup>8</sup> 4.02×10 <sup>8</sup>	0.474	1.06×10 <sup>7</sup>	0.049	2.01×10 <sup>6</sup>	41

※：上段はクレーンの立板，下段はクレーンの補強リブの塑性エネルギーを表す

ii. 応力評価

構造解析コード ABAQUS を用いて 0° ～180° 方向をモデル化したハーフモデルを使用する。

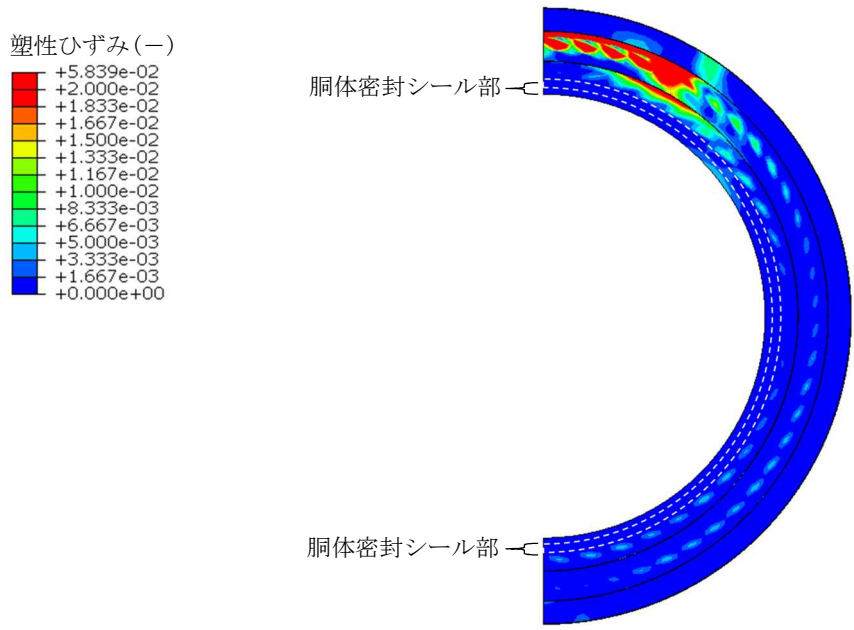
衝突部（胴フランジ部）に衝突荷重を作用させ，密封シール部の塑性ひずみ及び締付けボルトの応力評価を行う。

3) 判定基準

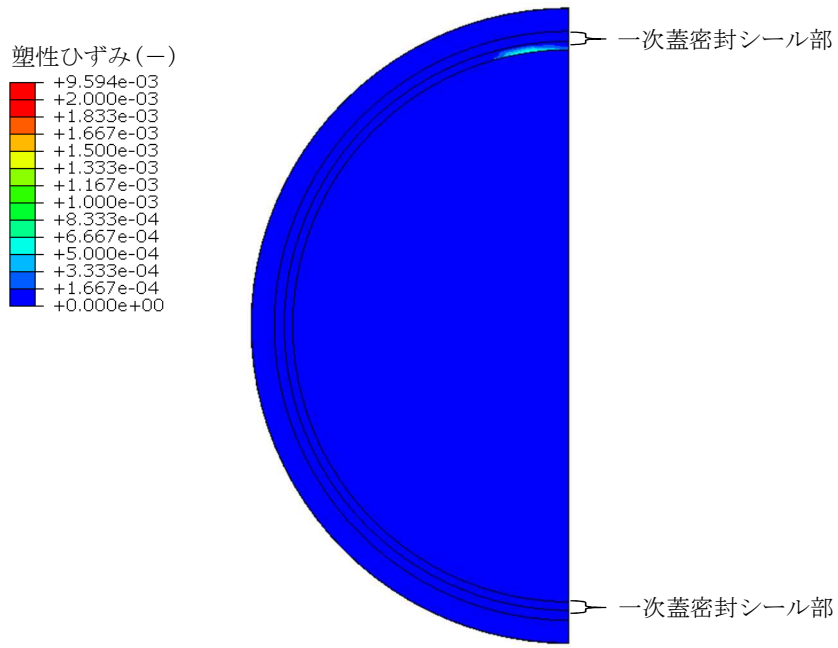
「3.3.1.1(1) 水平落下」と同様に，密封機能評価の判定基準である表 3.3.1-1 を判定基準とする。

4) 評価結果

胴体密封シール部及び一次蓋密封シール部に生じるひずみを図2-1に示す通り、おおむね弾性範囲内であり判定基準を満足する。また、一次蓋締付けボルトに生じる応力は表2-2の通りで判定基準を満足する。



(a) 胴体 (密封シール部)



(b) 一次蓋 (密封シール部)

図 2 - 1 一次蓋密封シール部の塑性ひずみ分布

表 2 - 2 一次蓋締付けボルト応力評価結果

評価部位	一次応力		判定基準
	引張応力	引張+曲げ応力	
一次蓋締付けボルト	335MPa	701MPa	831MPa

(実施計画：II-2-13-添 12-1~25)

設計用地震力の算定に用いるコード (Super-FLUSH/2D) について

(1) 概要

Super-FLUSH/2D は、主に地盤－構造物連成系の相互作用解析を行う二次元有限要素プログラムである。

(2) 機能

Super-FLUSH/2D は、解析に際して以下の機能を有している。

- ①面外方面へのエネルギーの逸散を考慮した疑似三次元解析を行うことができる。
- ②側方の十分な拡がりを持った成層構造の地盤を表せる。
- ③歪依存による土の非線形特性を考慮できる。

(3) 使用実績

原子力発電環境整備機構の「地層処分施設の耐震性評価」にて用いられている。

(実施計画：II-2-13-添 2-2-20)

## 耐震安全性解析に用いるコード (NASTRAN) について

### (1) 概要

NASTRAN コードは 1968 年アメリカ航空宇宙局 (NASA) で開発され、1971 年に米国 MacNeal-Schwendler Corporation (MSC 社) から発売された有限要素法に基づく構造解析等の汎用解析コード (MSCNastran) であり、航空宇宙、自動車、造船、重機械、原子力機器、土木・建設など重工業を中心に広く受け入れられている。輸送キャスクでは固有振動解析に利用されている。

### (2) 機能

NASTRAN コードは固有振動解析に際して以下の機能を有している。

- ①ある固有振動範囲の設定、あるいは必要固有値個数を設定すればその範囲の多くの固有振動及び必要固有値個数に対応する固有振動を求めることができる。
- ②各振動モードに対する刺激係数、有効質量を算出できる。
- ③引張等の初期応力があれば、この初期応力を考慮した固有振動解析ができる。
- ④スペクトルモード解析の入力データとして固有振動解析結果をそのまま利用できる。
- ⑤使用要素は一次元～三次元の多くの要素が適用できる。
- ⑥質量は集中質量、分布質量が適用できる。

### (3) 解析フロー

NASTRAN コードの固有振動解析フローを図 1 に示す。

### (4) 使用実績

NASTRAN コードは、これまで多くの固有振動解析に対し使用実績がある。

### (5) 検証方法

理論値との比較による検証が実施されていることを確認。

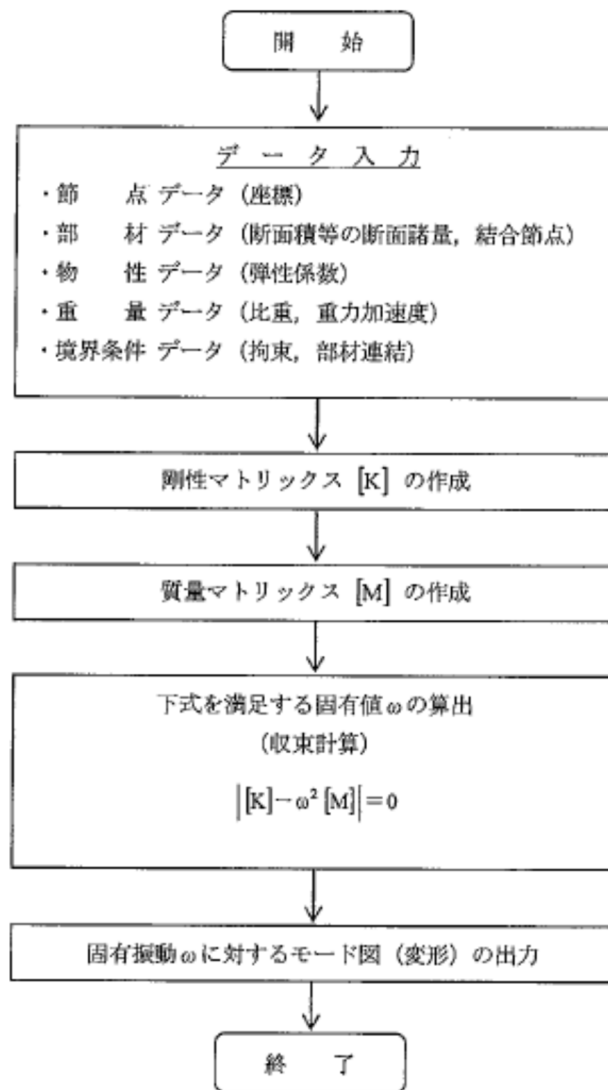


図1 NASTRAN コードの固有振動解析フロー図

(実施計画：II-2-13-添 2-2-21～22)

耐震安全性解析に用いるコード (ABAQUS) について

(1) 概要

ABAQUS コードは米国 Hibbitt, Karlsson&Sorensen, Inc (KHS 社) で開発された有限要素法に基づく応力・座屈解析等の汎用解析コードであり, 輸送キャスクの応力解析等に広く利用されている。

(2) 機能

ABAQUS コードは, 応力解析に際して以下の機能を有している。

- ①定常・非定常の弾性・弾塑性のいずれの解も得ることができる。
- ②材料特性として時間依存, 歪の履歴依存並びに等方性・異方性等を考慮することができる。
- ③モデルの形状は一次元～三次元, また連続体についても取り扱うことができる。
- ④伝熱解析結果をそのまま境界条件として熱応力解析に用いることが可能である。
- ⑤荷重条件として集中荷重, 分布荷重, モーメント, 加速度力 (慣性力), 圧力, 遠心力, コリオリ力等が取り扱える。また, これら条件の時間依存, 線形変化に対しても対応可能である。

(3) 解析フロー

ABAQUS コードの解析フローを図 1 に示す。

(4) 使用実績

ABAQUS コードは, これまで多くの固有振動解析及び応力解析に対し使用実績がある。

(5) 検証方法

理論値との比較による検証が実施されていることを確認している。



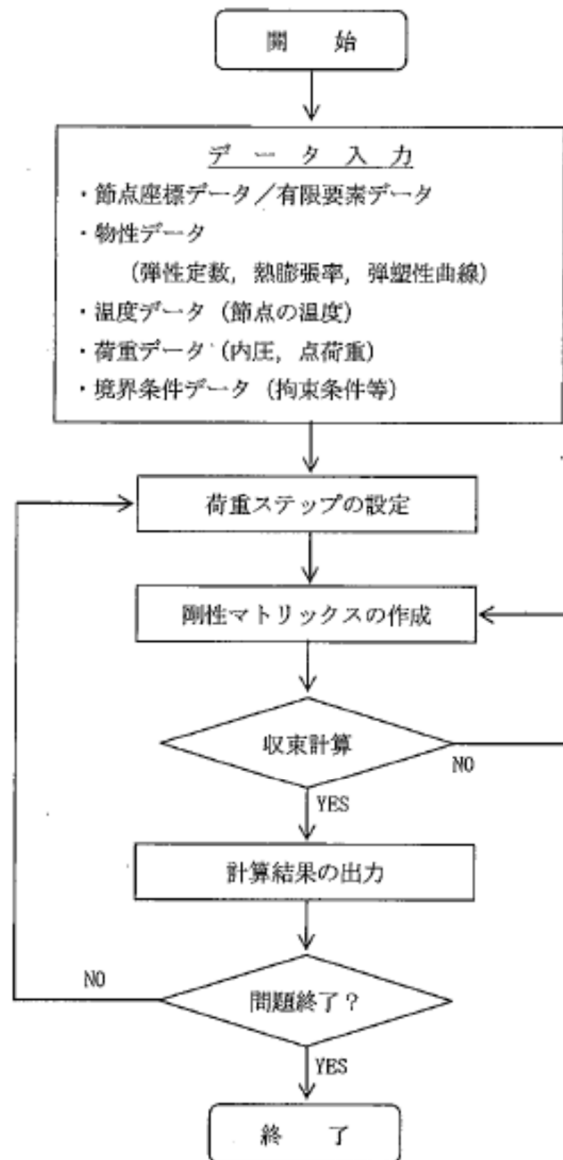


図 1 ABAQUS コードの解析フロー図

(実施計画：Ⅱ-2-13-添 2-2-23～24, Ⅱ-2-13-添 3-1-27～28, Ⅱ-2-13-添 12-26～27)

キャスク仮保管設備は、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、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。

(実施計画：II-1-14-1)

○ 地震以外の自然現象

キャスク仮保管設備における地震以外の自然現象に対しては以下の通りとする。

4 自然災害対策等

(1) 津波

キャスク仮保管設備は、発電所構内の高台（T.P. 約 38m）に位置するグラウンドに設置することから、津波の影響を受けることはない。

(2) 台風・竜巻

乾式キャスクは基礎に据え付けられ、コンクリートモジュールの中に保管されているため、台風・竜巻の影響を受けない。

(実施計画：II-2-13-3～4)

---

Ⅱ.14.③ 外部人為事象に対する設計上の  
考慮への適合性

措置を講ずべき事項

## II. 設計，設備について措置を講ずべき事項

### 14. 設計上の考慮

#### 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。

キャスク仮保管設備は，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。

キャスク仮保管設備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とする。

---

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  $3.6 \times 10^{-8}$  回/炉・年であり， $1.0 \times 10^{-7}$  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)

## Ⅱ.14.④ 火災に対する設計上の考慮への 適合性

措置を講ずべき事項

## II. 設計，設備について措置を講ずべき事項

### 14. 設計上の考慮

#### 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。

キャスク仮保管設備は，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とする。

#### ○ 火災に対する設計上の考慮

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)

#### ○ 火災

火災の発生が考えられる箇所について，火災の早期検知につとめるとともに，消火器を設置することで初期消火を可能にし，火災により安全性を損なうことのないようにする。

(実施計画：II-2-13-3～4)

Ⅱ.14.⑤ 環境条件に対する設計上の考慮  
への適合性

措置を講ずべき事項

## II. 設計，設備について措置を講ずべき事項

### 14. 設計上の考慮

#### 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。

キャスク仮保管設備は，経年事象を含むすべての環境条件に適合できる設計とする。

#### ○ 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，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)

#### ○ 環境条件

乾式キャスクの除熱機能，密封機能，遮蔽機能，臨界防止機能及びコンクリートモジュールの除熱機能については，保守的な環境条件にて設計を行っている。またその他の経年的な影響についても，監視や定期的な巡視点検等を行うことで劣化等の早期発見に努め，機能維持を図る。

また，キャスク仮保管設備に保管する乾式貯蔵キャスクのうち，津波により一時的に水没したとみられるキャスク保管建屋に保管している既設9基については，必要な点検や消耗品の交換を行ったうえで，キャスク仮保管設備に搬入し，他の乾式キャスクと同様に管理する。

(実施計画：II-2-13-4)



Ⅱ.14.⑦ 運転員操作に対する設計上の考  
慮への適合性

措置を講ずべき事項

## II. 設計，設備について措置を講ずべき事項

### 14. 設計上の考慮

#### 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。

キャスク仮保管設備は，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。

#### ○ 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，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とする。

(実施計画：II-1-14-2)

#### ○ 異常時の評価

「I. 全体工程及びリスク評価について講ずべき措置」の「2 異常時の評価 表

1. 1-1 異常事象の抽出」を参照。

(実施計画：II-2-13-添 3-1-244～246)

## Ⅱ.14.⑧ 信頼性に対する設計上の考慮への適合性

措置を講ずべき事項

## II. 設計，設備について措置を講ずべき事項

### 14. 設計上の考慮

#### 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。

キャスク仮保管設備は，十分に高い信頼性を確保し，かつ，維持し得る設計とする。

#### ○ 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)

#### ○ キャスク仮保管設備の信頼性

キャスク仮保管設備の信頼性については，輸送貯蔵兼用キャスク，支持架台，コンクリートモジュール，クレーン及びコンクリート基礎が十分な構造強度を有することを評価する。なお，輸送貯蔵兼用キャスク，支持架台，コンクリートモジュール及びクレーンは既設設備と構造強度が同一または同等であることを下記の通り確認する。

### 1 構造強度

#### 1.1 輸送貯蔵兼用キャスク

評価項目及び評価項目に対する既設 65 基と増設 30 基の比較を表 1. 1-1 に示し，構造強度評価フローを図 1. 1-1 に示す。

表 1 より既設 65 基と増設 30 基の構造強度評価は同一であるため，増設 30 基で要求される構造強度を有している。

表 1. 1-1 既設 65 基と増設 30 基の評価項目に対する比較

項目		既設 65 基と増設 30 基の比較	
仕様	使用済燃料	重量	・BJ, STEP II, RJ の重量は同等であるため既設 (BJ) と増設 (BJ, STEP II, RJ) は同等
		寸法	・BJ, STEP II と RJ では燃料被覆管のジルコニウム内張の有無による内径の差はあるが, 応力評価への影響はないため既設 (BJ) と増設 (BJ, STEP II, RJ) は同等
	輸送貯蔵兼用 キャスク	重量	・既設と増設は同一仕様
		材料	
解析条件	キャスク本体, 一次蓋, 一次蓋締付け ボルト等	圧力荷重	・既設と増設で同一設備を使用した同一手順によるキャスク取扱いであり, 設計事象も既設と増設で同一であるため, 生じる圧力荷重及び衝撃荷重も同一
		衝撃荷重	
		熱荷重	
	バスケット	衝撃荷重	・キャスク本体等と同様に, 既設と増設は同一または同等
		熱荷重	
	トラニオン	衝撃荷重	
		熱荷重	
	二次蓋	圧力荷重	
	支持架台	自重	
	解析モデル	構造解析モデル	
構造解析	解析コード		・評価する場合, 既設と増設で同一の解析コード ABAQUS を使用
	応力評価式		・既設と増設で同一設備を使用した同一手順によるキャスク取扱いであり, 設計事象も既設と増設で同一であるため用いる応力評価式も同一

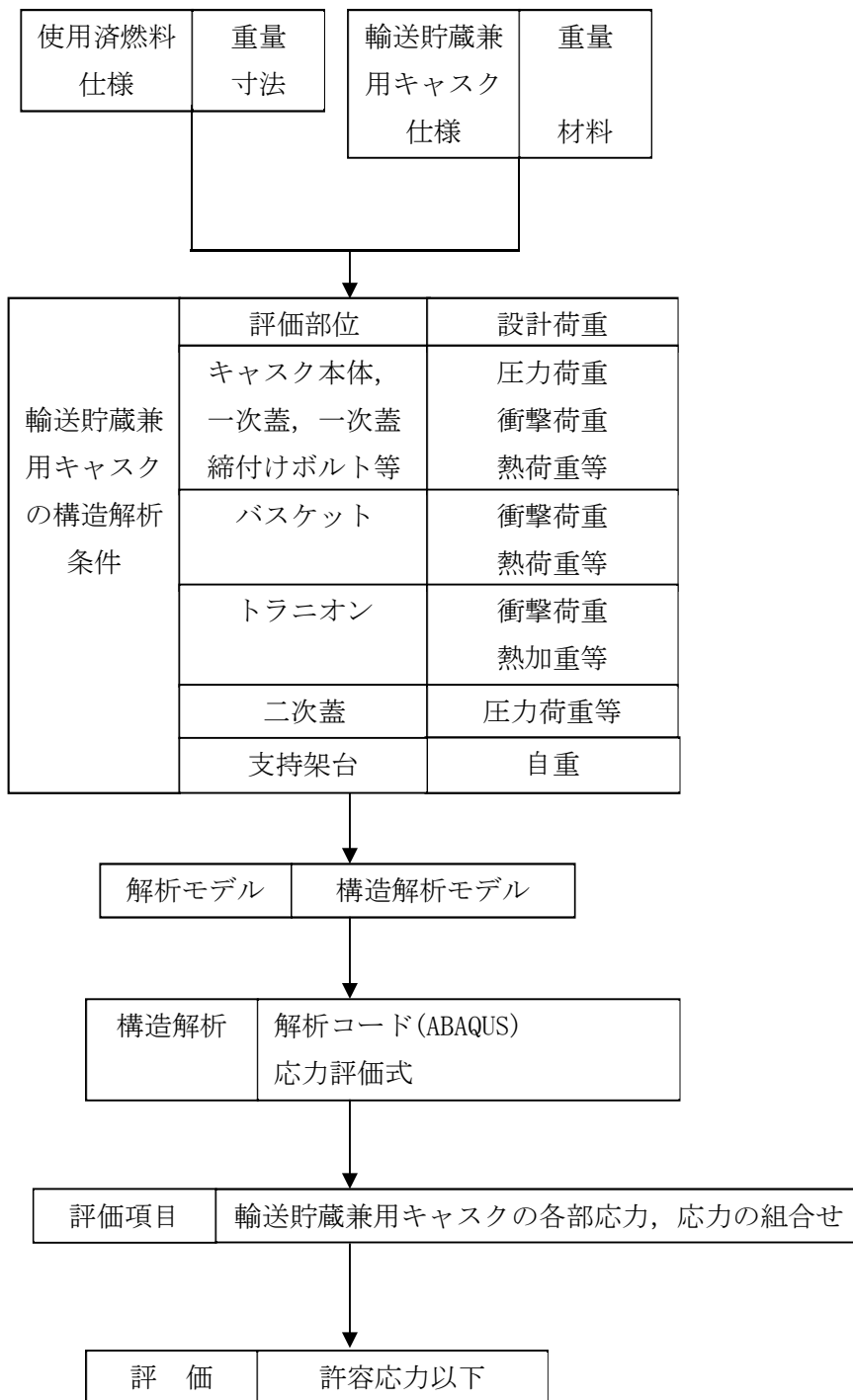


図1. 1-1 輸送貯蔵兼用キャスクの構造強度評価フロー  
(実施計画：II-2-13-添3-1-32)

## 1.2 輸送貯蔵兼用キャスク用支持架台

評価項目及び評価項目に対する既設 65 基と増設 30 基の比較を表 1. 2-1 に示し、構造強度評価フローを図 1. 2-1 に示す。

表 1. 2-1 より既設 65 基と増設 30 基の構造強度評価は同一であるため、増設 30 基で要求される構造強度を有している。

表 1. 2-1 既設 65 基と増設 30 基の評価項目に対する比較

項目		既設 65 基と増設 30 基の比較	
仕様	輸送貯蔵兼用 キャスク	重量	・既設と増設は同一仕様
		寸法	
	支持架台	重量	・既設と増設は同一仕様
		材料	
解析条件	鋼製支持架台、基礎ボルト、コンクリート支持架台	機械荷重	・既設と増設で同一設備を使用した同一手順によるキャスク取扱いであり、設計事象も既設と増設で同一であるため、生じる機械荷重も同一
解析モデル	構造解析モデル		・既設と増設は同一仕様であるため解析モデルも同一
構造解析	応力評価式		・既設と同一設備を使用した同一手順によるキャスク取扱いであり、設計事象も既設と同一であるため用いる応力評価式も同一

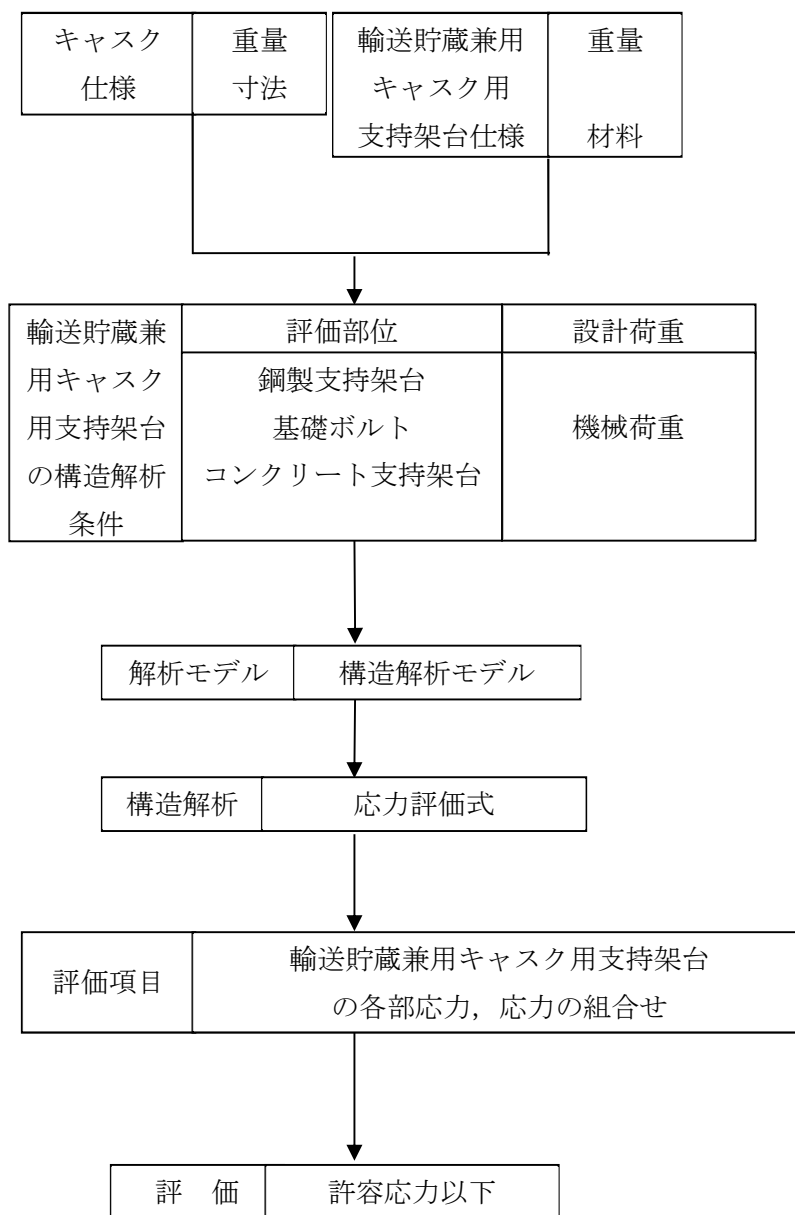


図1. 2-1 輸送貯蔵兼用カヤスク用支持架台の構造強度評価フロー  
(実施計画：II-2-13-添3-1-51)



### 1.3 輸送貯蔵兼用キャスク用コンクリートモジュール

評価項目及び評価項目に対する既設 65 基と増設 30 基の比較を表 1. 3 - 1 に示す。

表 1. 3 - 1 より既設 65 基と増設 30 基の構造強度評価は同一であるため、増設 30 基で要求される構造強度を有している。

表 1. 3 - 1 既設 65 基と増設 30 基の評価項目に対する比較

項目			既設 65 基と増設 30 基の比較
仕様	コンクリート モジュール	重量	・既設と増設は同一仕様
		寸法	
		材料	
荷重条件	固定荷重		・既設と増設は同一仕様であるため荷重も同一
	積載荷重		
	積雪荷重		・既設と同様に建築基準法を適用
	風圧力		
解析モデル	3次元 FEM モデル		・既設と増設は同一仕様であるため解析モデルも同一
構造解析	解析コード		・評する価場合、既設と増設は同一の解析コード NASTRAN を使用

#### 1.4 クレーン

評価項目及び評価項目に対する既設 65 基と増設 30 基の比較を表 1. 4 - 1 に示す。

表 1. 4 - 1 より既設 65 基と増設 30 基の構造強度評価は同一であるため、増設 30 基で要求される構造強度を有している。

表 1. 4 - 1 既設 65 基と増設 30 基の評価項目に対する比較

項目			既設 65 基と増設 30 基の比較
仕様	クレーン	重量	・既設クレーンを増設設備でも使用
		寸法	
		材料	
荷重条件	垂直動荷重	・既設クレーンを使用するため荷重条件は同一 ・既設評価と同様にクレーン構造規格を適用	
	垂直静荷重		
	水平動荷重		
	熱荷重		
	風荷重		
	地震荷重		
	衝突荷重		

## 1.5 コンクリート基礎

### (1) 評価方針

長期荷重時のコンクリート基礎に対する要求性能は、キャスク支持架台とコンクリートモジュールを支持するとともに、基礎の傾斜がクレーンの許容傾斜量を下回ることである。ここでは、コンクリート基礎の構造強度評価を行い、基礎が要求性能を有していることを確認する。

評価の方法は、長期荷重時に対する梁モデルによる構造計算を行い、コンクリート基礎の応力度の照査、地盤改良体強度の照査、地盤の支持力度の照査を行うこととする。

(2) 評価方法の概要

1) 構造図面

図1.5-1～図1.5-4にキャスク配置図，基礎平面図，基礎断面図及び地盤改良断面図を示す。

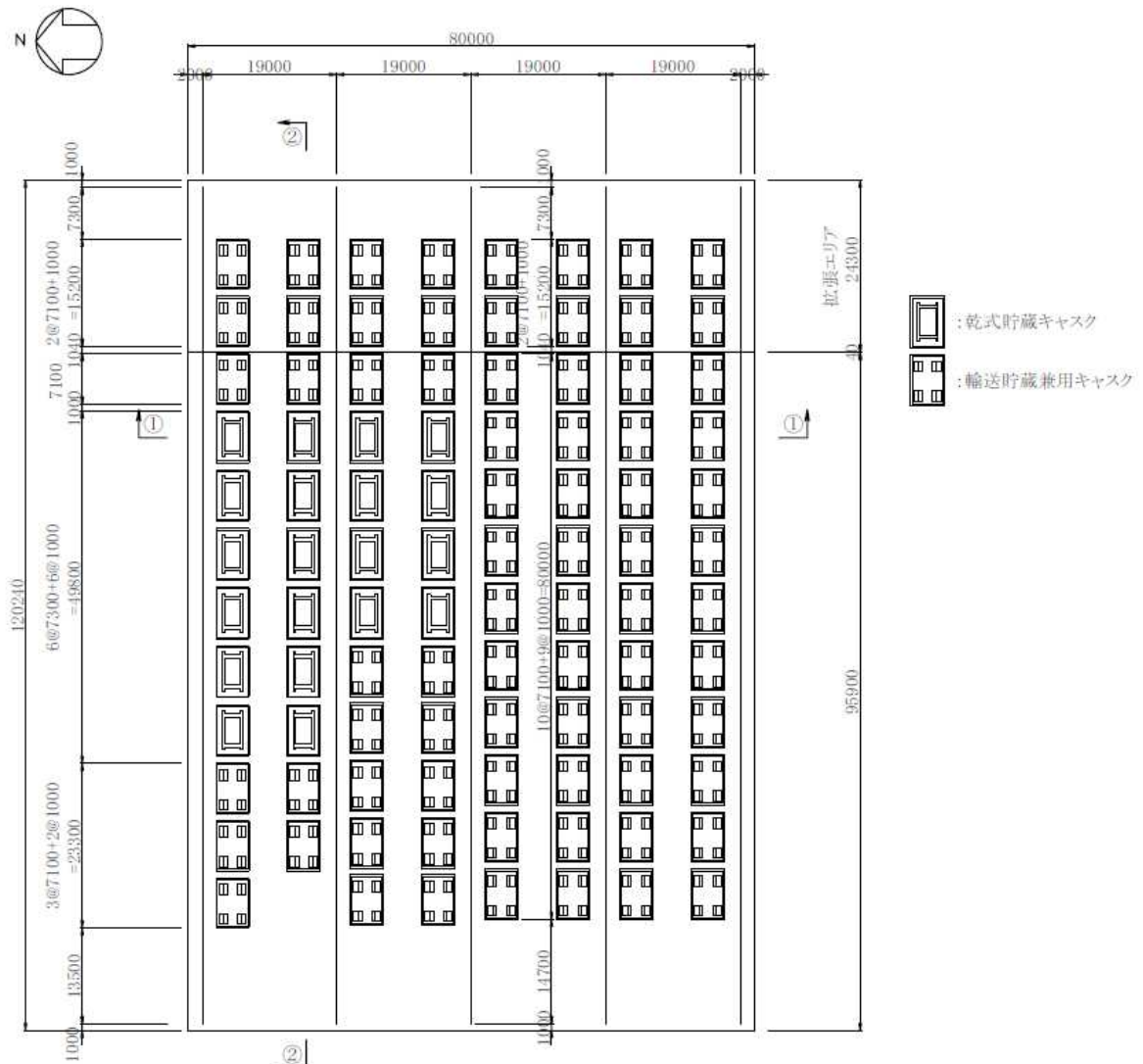


図1.5-1 キャスク配置図 (単位: mm)

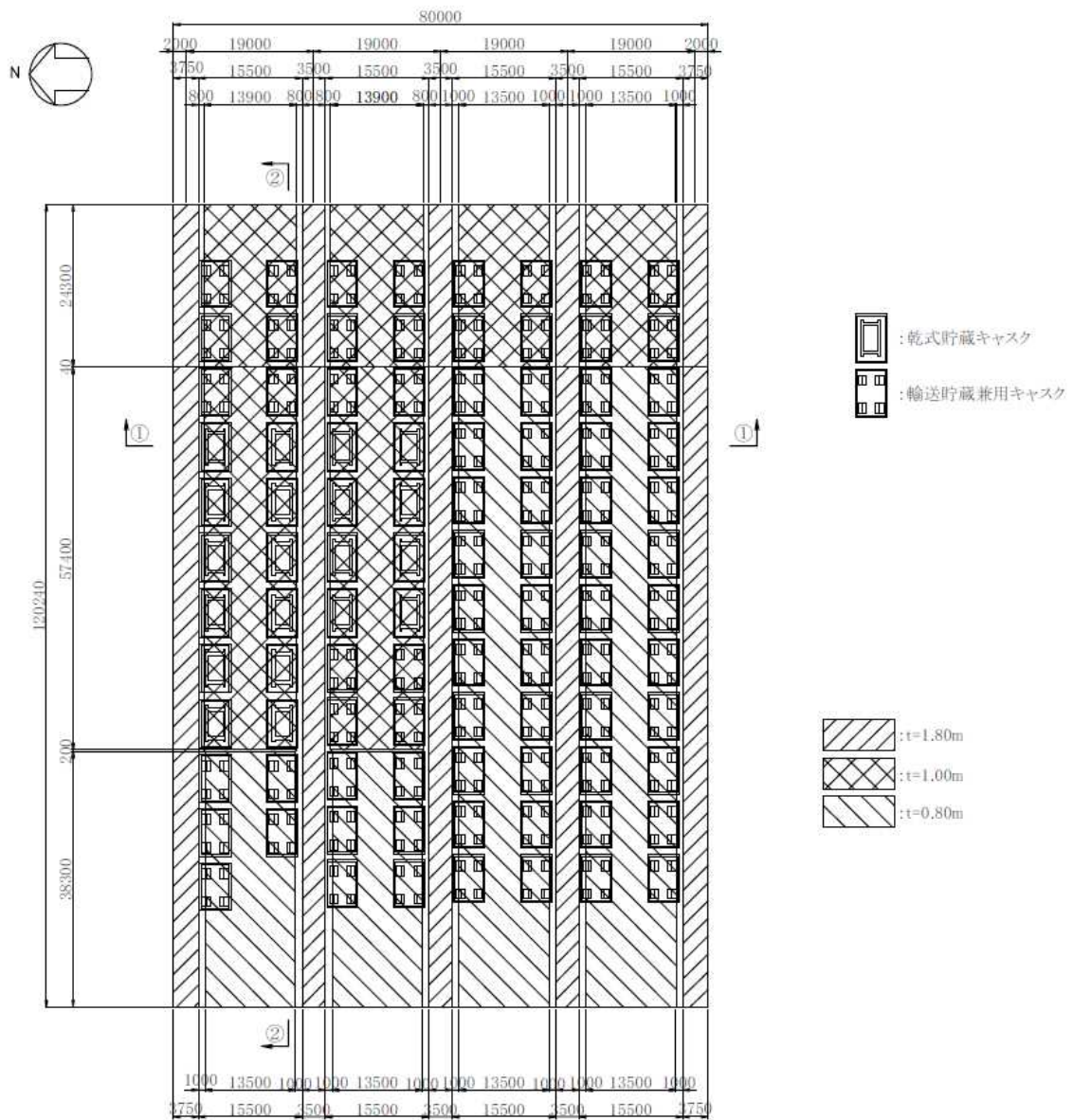
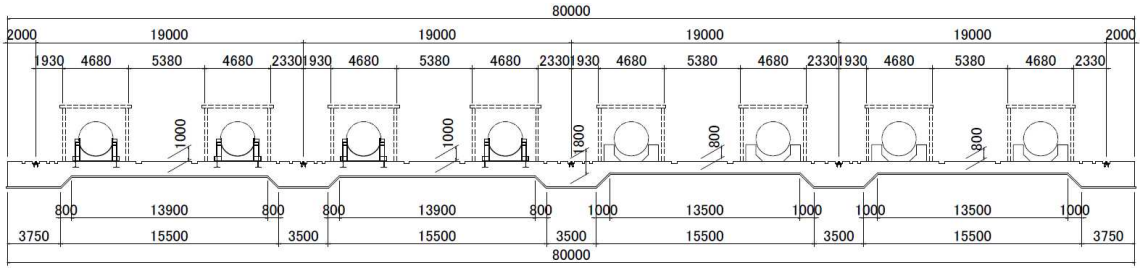


図 1. 5 - 2 基礎平面図 (単位 : mm)

①-①断面 (NS 方向)



②-②断面 (EW 方向)

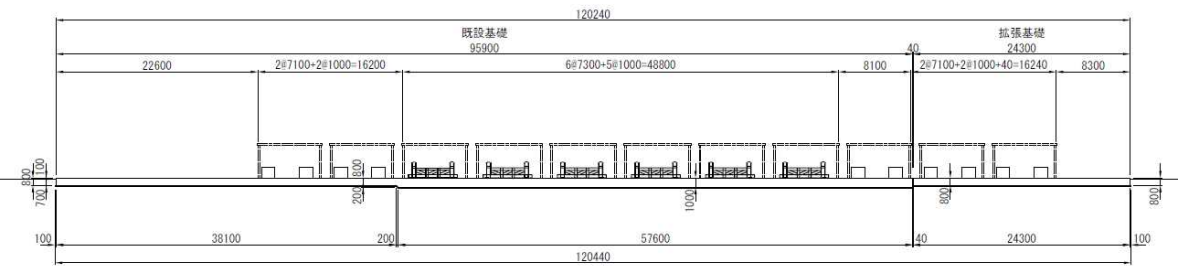
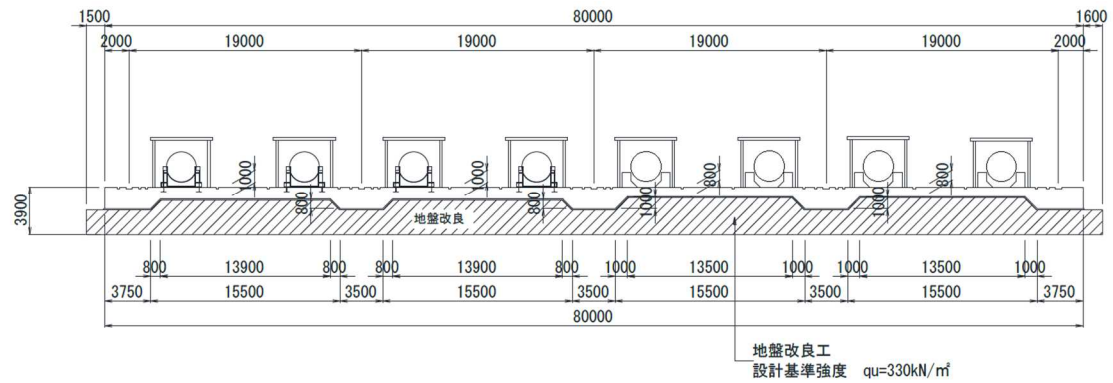


図 1. 5 - 3 基礎断面図 (単位 : mm)

①-①断面 (NS 方向)



②-②断面 (EW 方向)

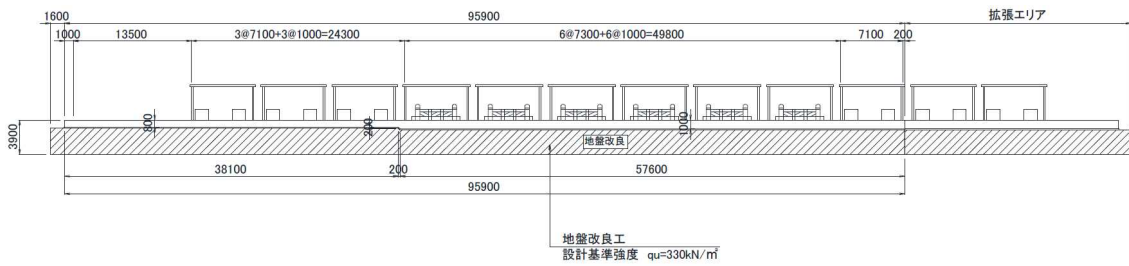


図 1. 5 - 4 地盤改良断面図 (単位 : mm)

2) 検討フロー

コンクリート基礎の構造強度の検討フローを図1. 5-5に示す。

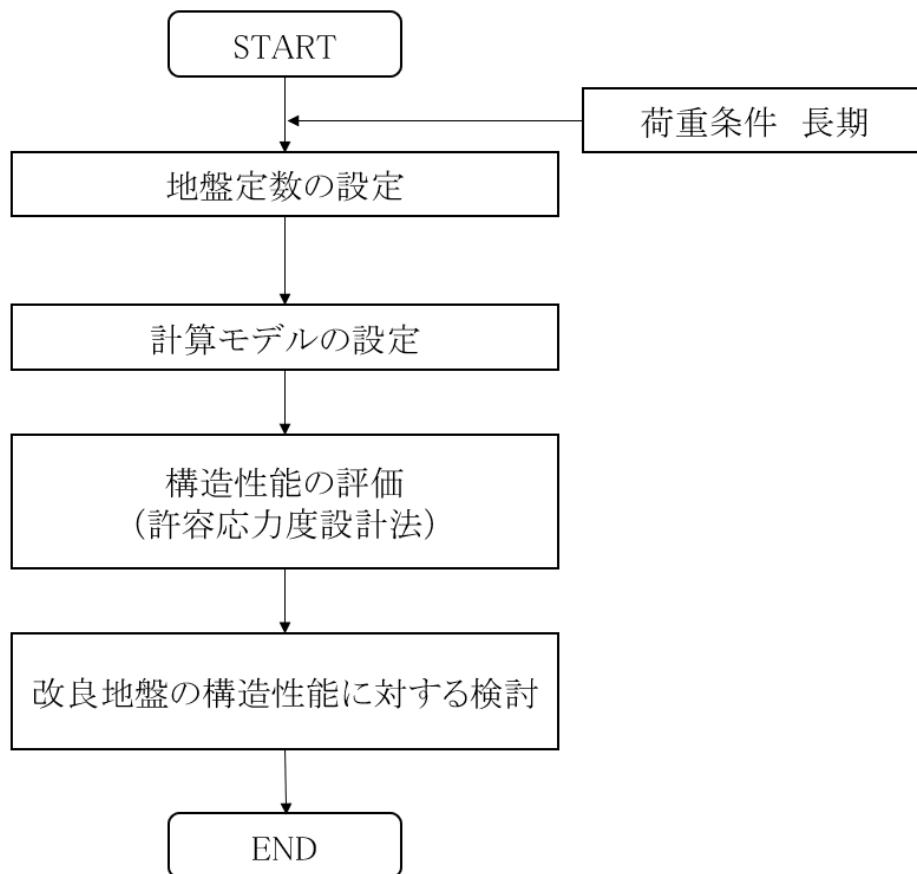


図1. 5-5 キャスク仮保管設備コンクリート基礎の構造強度の検討フロー

### 3) 準拠規準

コンクリート基礎の検討は、以下の法規及び規準類に準拠して行う。

- ① 原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008 (社) 日本電気協会
- ② 乾式キャスクを用いる使用済み燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程 JEAC4616-2009 (社) 日本電気協会
- ③ コンクリート標準示方書 設計編 (2007) (社) 土木学会
- ④ コンクリート標準示方書 構造性能照査編 (2002) (社) 土木学会
- ⑤ 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震設計に関する安全性照査マニュアル (1992) (社) 土木学会
- ⑥ 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル (2005) (社) 土木学会
- ⑦ 道路橋示方書・同解説 I 共通編 IV 下部構造編 (社) 日本道路協会 (平成 14 年)
- ⑧ 道路橋示方書・同解説 I 共通編 V 耐震設計編 (社) 日本道路協会 (平成 14 年)

### 4) 評価方法

構造強度の評価方法を表 1. 5-1 に示す。

表 1. 5-1 構造強度の評価方法

評価対象	評価方法	準拠基準
鉄筋コンクリート	コンクリート及び鉄筋の発生応力度が許容応力度を下回ることを確認する。	④
改良地盤	改良地盤に作用する地盤反力度，せん断応力度が，改良地盤の許容圧縮応力度，許容せん断応力度を下回ることを確認する。	②
支持地盤	改良体下面に作用する地盤反力度が，許容地盤反力度を下回ることを確認する。	②及び⑦
基礎の沈下	クレーンレール部基礎の沈下に伴うレールの傾斜が許容値を下回ることを確認する。	—



5) 使用材料及び許容応力度

使用材料の仕様、物性値及び設計強度を表 1. 5-2 及び表 1. 5-3 に示す。

表 1. 5-2 コンクリートの材料定数、許容応力度及び鉄筋の許容応力度

コンクリートの材料定数

	記号	単位	長期
ヤング係数	E	(N/mm <sup>2</sup> )	2.50×10 <sup>4</sup>
単位体積重量	γ	(kN/m <sup>3</sup> )	24.0

コンクリートの仕様

	記号	単位	長期
設計基準強度	f' <sub>ck</sub>	(N/mm <sup>2</sup> )	24.00
許容圧縮応力度	σ <sub>ca</sub>	(N/mm <sup>2</sup> )	9.00
許容せん断応力度	τ <sub>al</sub>	(N/mm <sup>2</sup> )	0.45

鉄筋の仕様

	記号	単位	長期
品質	-	-	SD345
降伏強度	f <sub>yd</sub>	(N/mm <sup>2</sup> )	345
使用径	-	-	D13~D32
許容引張応力度	σ <sub>sa</sub>	(N/mm <sup>2</sup> )	196

表 1. 5 - 3 改良地盤，支持地盤の物性値，許容応力度  
並びにクレーンレールの許容傾斜量

改良地盤の物性値，設計強度

	記号	単位	設計強度
設計圧縮強度	$_{ss}f_{sc}$	(N/mm <sup>2</sup> )	548
設計基準強度	$F_{sc}$	(N/mm <sup>2</sup> )	329
変形係数	E	(kN/mm <sup>2</sup> )	32900
許容圧縮応力度(長期)	$f_{sc}$	(N/mm <sup>2</sup> )	110
許容せん断応力度(長期)	$f_{ss}$	(N/mm <sup>2</sup> )	22
せん断強度	$_{ss}f_{ss}$	(N/mm <sup>2</sup> )	109.6

支持地盤の許容支持力度

	記号	単位	設計強度
許容支持力度	$q_a$	(kN/m <sup>2</sup> )	667

クレーンの許容傾斜量

	記号	単位	長期
許容傾斜量	i	—	1/800

(3) 本設備の設計荷重とコンクリート基礎のモデル化

1) 設計荷重

設計で考慮する荷重を以下に示す。

・鉛直荷重 (VL)

コンクリート基礎自重による鉛直方向の荷重で、基礎及び支持架台の鉛直荷重を対象とする。表 1. 5-4 に鉛直荷重を示す。

表 1. 5-4 鉛直荷重

		奥行き方向幅	部材高	鉛直荷重
		(m)	(m)	(kN/m)
レール支持梁(EW 方向)	レール部スラブ	3.50	1.80	151
NS 方向スラブ	レール部スラブ	8.30	1.80	359
	キャスク部スラブ	8.30	1.00	199
	キャスク部スラブ	8.30	0.80	159
	支持架台	1.50×0.72×1.185		70
EW 方向スラブ	キャスク部スラブ	5.17	1.00	132
	キャスク部スラブ	5.17	0.80	111
	支持架台	1.50×0.72×1.185		70

・クレーン荷重(CL)

クレーンによる荷重を表 1. 5-5 に示す。

表 1. 5-5 クレーン荷重

1 輪当たり

	状態	フック寄り	走行車輪荷重					
			走行給電側			反走行給電側		
			鉛直方向	横行方向	走行方向	鉛直方向	横行方向	走行方向
			(UD 方向)	(NS 方向)	(EW 方向)	(UD 方向)	(NS 方向)	(EW 方向)
長期	定格荷重(150t)	走行給電側	622	62	93	262	26	39

・キャスク荷重(CAL)

キャスクによる荷重を表1. 5-6に示す。

表1. 5-6 キャスク荷重

乾式貯蔵キャスク 1基当たり

	項目	単位	長期
NS 方向	鉛直力	(kN)	1280
	水平力	(kN)	0
	モーメント	(kN・m)	0
EW 方向	鉛直力	(kN)	1280
	水平力	(kN)	0
	モーメント	(kN・m)	89

輸送貯蔵兼用キャスク 1脚当たり

	項目	単位	長期
NS 方向	鉛直力	(kN)	320
	水平力	(kN)	0
	モーメント	(kN・m)	105
EW 方向	鉛直力	(kN)	320
	水平力	(kN)	0
	モーメント	(kN・m)	0

・モジュール荷重(MJL)

モジュールによる荷重を表1. 5-7に示す。

表1. 5-7 モジュール荷重

1基当たり

			単位	NS 方向断面	EW 方向断面
乾式貯蔵キャスク	長期	鉛直方向	(kN)	576	576
		水平方向	(kN)	0	0
輸送貯蔵兼用キャスク		鉛直方向	(kN)	565	566
		水平方向	(kN)	0	0

- ・風荷重(WL)

コンクリート基礎に対しては、風荷重は考慮しない（コンクリート基礎が扁平な形状であり大部分が地中構造物のため）。

- ・積雪荷重(SL)

積雪荷重については、考慮しない。

2) コンクリート基礎のモデル化

コンクリート基礎は梁バネモデルにより解析する。検討モデルは荷重と基礎形状の特性により、表1. 5-8に示す3タイプについてモデル化する。

表1. 5-8 検討タイプ

検討タイプ	考慮する設備荷重	形状特性
レール支持梁(EW方向)	クレーン	幅3.5m, 厚1.8mの一定形状
NS方向基礎	キャスク, モジュール	厚1.8m, 1.0m, 0.8m
EW方向基礎	キャスク, クレーン, モジュール	厚1.0m, 0.8m

3タイプの検討位置を図1. 5-6に、解析モデルを表1. 5-9に示す。

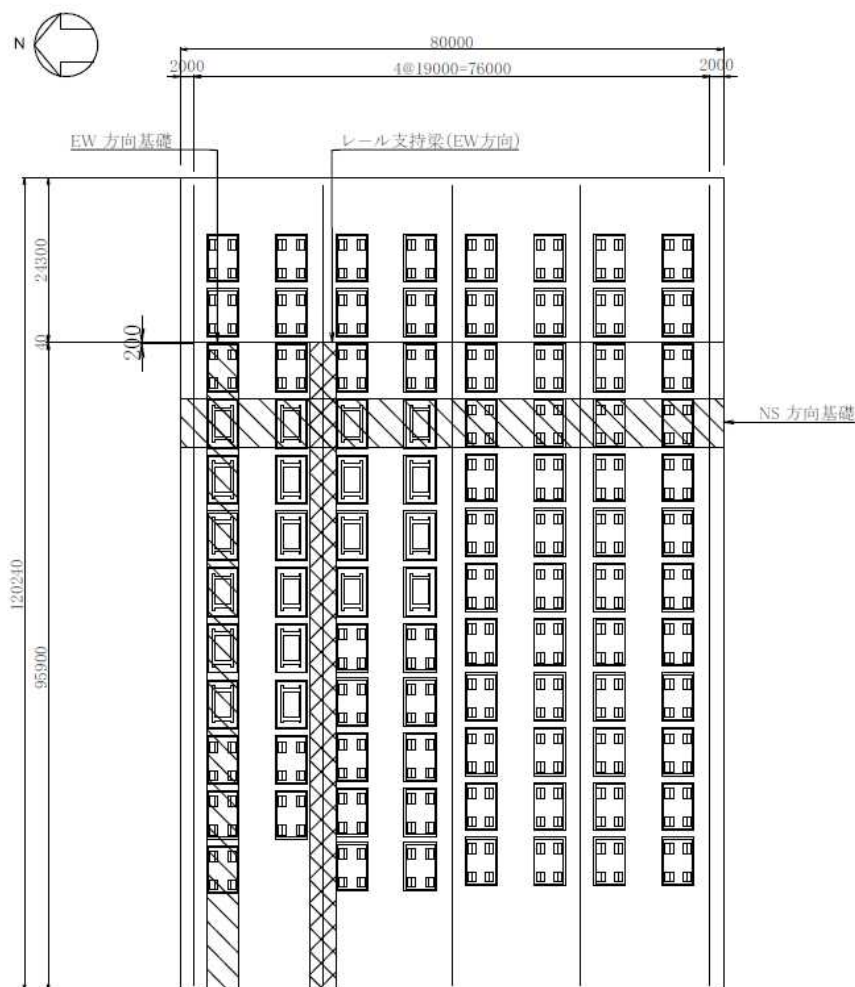


図1. 5-6 検討タイプ (単位: mm)

表1. 5-9 検討タイプの形状とモデル図

<p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">レール支持梁</p>	
<p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">N S 方向基礎</p>	
<p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">E W 方向基礎</p>	

(単位:mm)

3) 荷重の組合せ

荷重組合せを表1. 5-10に示す。

表1. 5-10 コンクリート基礎の荷重組合せ

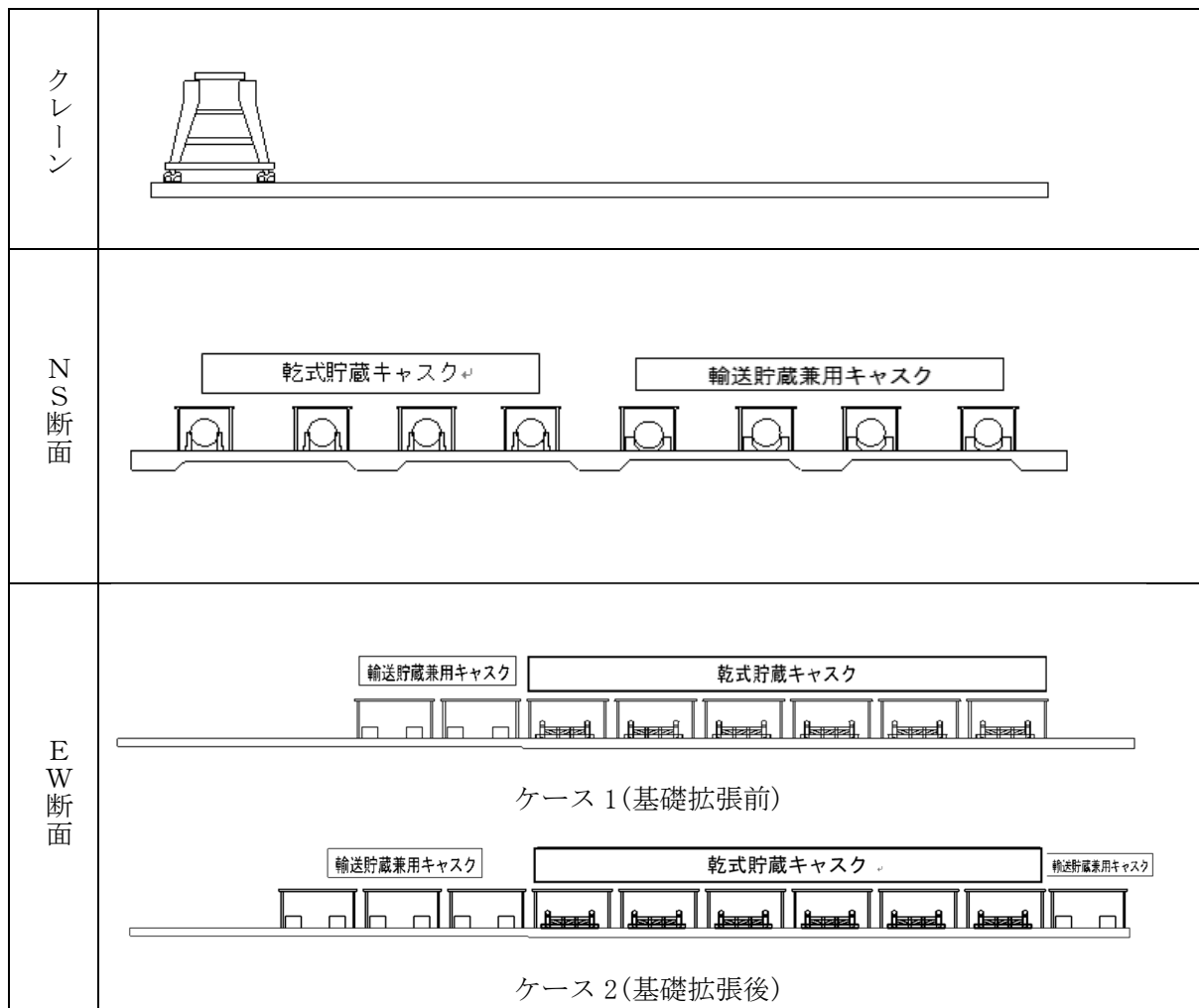
		荷重組合せ内容
レール支持梁	長期	VL+CL
NS 方向基礎		VL+CL+CAL+MJL
EW 方向基礎		VL+CAL+MJL

4) 基礎への載荷位置

解析時のクレーン及びキャスク・モジュールの載荷位置を表1. 5-11に示す。

クレーンについては待機位置への載荷とし、EW 断面のキャスク・モジュールについては基礎拡張前と基礎拡張後の2ケースについて検討を行う。

表1. 5-11 載荷位置一覧





#### 5) 設計断面力

各断面について最大値（負の値は最小値）を抽出し，設計断面力とする。

#### (4) 構造強度の評価

構造強度の評価は次式に示すように応力度が許容応力度を下回ることを確認する。

#### 曲げ応力度の照査

$$\sigma_c \leq \sigma_{ca}$$

$$\sigma_s \leq \sigma_{sa}$$

ここに，

$\sigma_c$  : コンクリートの曲げ圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{ca}$  : コンクリートの許容曲げ圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_s$  : 鉄筋の引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{sa}$  : 鉄筋の許容引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

#### せん断応力度の照査

$$\tau \leq \tau_a$$

ここに，

$\tau$  : コンクリートのせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_a$  : コンクリートの許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

断面検討結果を表 1. 5-12～表 1. 5-20，図 1. 5-7～図 1. 5-8 に示す。  
断面検討の結果，すべての検討箇所において応力度が許容応力度以下であることを確認した。

表 1. 5-12 断面諸元 (レール支持梁 (EW 方向))

項目		記号	単位	レール支持梁	
部材	部材幅	b	(mm)	3500	
	部材高	h	(mm)	1800	
鉄筋	1 段目	位置	d	(mm)	525
		鉄筋	-	-	D25
		断面積	-	(cm <sup>2</sup> )	5.067
		本数	-	(本)	24.000
		鉄筋量	A <sub>s</sub>	(cm <sup>2</sup> )	121.61
	2 段目	位置	d	(mm)	866
		鉄筋	-	-	D25
		断面積	-	(cm <sup>2</sup> )	5.067
		本数	-	(本)	6.000
		鉄筋量	A <sub>s</sub>	(cm <sup>2</sup> )	30.40
	3 段目	位置	d	(mm)	1658
		鉄筋	-	-	D32
		断面積	-	(cm <sup>2</sup> )	7.942
		本数	-	(本)	24.000
		鉄筋量	A <sub>s</sub>	(cm <sup>2</sup> )	190.61
	せん断	鉄筋	-	-	D22
断面積		-	(cm <sup>2</sup> )	3.871	
本数		-	(本)	4.000	
配置間隔		S <sub>a</sub>	(mm)	450	

表 1. 5-13 断面力 (レール支持梁 (EW 方向))

項目		記号	単位	長期
上側 引張	曲げモーメント	M <sub>d</sub>	(kN・m)	-1797
	軸力	N <sub>d</sub>	(kN)	142
	せん断力	V <sub>d</sub>	(kN)	0
下側 引張	曲げモーメント	M <sub>d</sub>	(kN・m)	414
	軸力	N <sub>d</sub>	(kN)	90
	せん断力	V <sub>d</sub>	(kN)	260
せん断力 最大	曲げモーメント	M <sub>d</sub>	(kN・m)	249
	軸力	N <sub>d</sub>	(kN)	88
	せん断力	V <sub>d</sub>	(kN)	-695

表 1. 5 - 1 4 照査結果 (レール支持梁 (EW 方向))

項目		記号	単位	長期	
上側引張	断面力	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)	-1797
		軸力	$N_d$	(kN)	142
		せん断力	$V_d$	(kN)	0
	コンクリート	圧縮応力度	$\sigma_c$	(N/mm <sup>2</sup> )	2.34
		許容曲げ圧縮応力度	$\sigma_{ca}$	(N/mm <sup>2</sup> )	9.00
		$\sigma_c / \sigma_{ca} \leq 1.0$		-	0.26
		判定		-	OK
	鉄筋	引張応力度	$\sigma_s$	(N/mm <sup>2</sup> )	107
		許容引張応力度	$\sigma_{sa}$	(N/mm <sup>2</sup> )	196
		$\sigma_s / \sigma_{sa} \leq 1.0$		-	0.55
		判定		-	OK
	下側引張	断面力	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)
軸力			$N_d$	(kN)	90
せん断力			$V_d$	(kN)	260
コンクリート		圧縮応力度	$\sigma_c$	(N/mm <sup>2</sup> )	0.41
		許容曲げ圧縮応力度	$\sigma_{ca}$	(N/mm <sup>2</sup> )	9.00
		$\sigma_c / \sigma_{ca} \leq 1.0$		-	0.05
		判定		-	OK
鉄筋		引張応力度	$\sigma_s$	(N/mm <sup>2</sup> )	12
		許容引張応力度	$\sigma_{sa}$	(N/mm <sup>2</sup> )	196
		$\sigma_s / \sigma_{sa} \leq 1.0$		-	0.06
		判定		-	OK
せん断力		断面力	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)
	軸力		$N_d$	(kN)	88
	せん断力		$V_d$	(kN)	695
	せん断応力度		$\tau$	(N/mm <sup>2</sup> )	0.137
	許容せん断応力度		$\tau_a$	(N/mm <sup>2</sup> )	0.450
	$\tau / \tau_a \leq 1.0$		-	0.30	
	判定		-	OK	

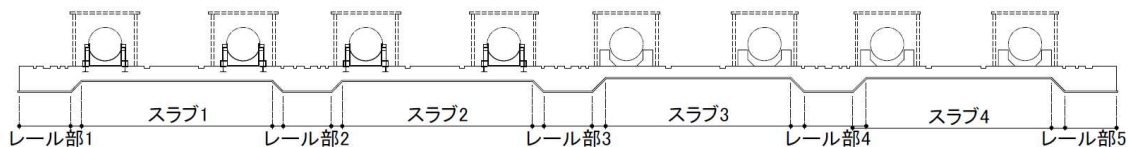


図 1. 5 - 7 NS 方向基礎検討位置図

表 1. 5-15 断面諸元 (NS 方向基礎レール・スラブ)

項目		記号	単位	レール部 1	レール部 2	レール部 3	レール部 4	レール部 5	
部材	部材幅	b	(mm)	8300	8300	8300	8300	8300	
	部材高	h	(mm)	1650	1650	1650	1650	1650	
鉄筋	1 段目	位置	d	(mm)	350	350	350	540	540
		鉄筋	-	-	D25	D25	D25	D32	D32
		断面積	-	(cm <sup>2</sup> )	5.067	5.067	5.067	7.942	7.942
		本数	-	(本)	110.000	55.000	55.000	55.000	55.000
		鉄筋量	A <sub>s</sub>	(cm <sup>2</sup> )	557.37	278.69	278.69	436.81	436.81
	2 段目	位置	d	(mm)	1540	1540	1540	1540	1540
		鉄筋	-	-	D32	D32	D32	D32	D32
		断面積	-	(cm <sup>2</sup> )	7.942	7.942	7.942	7.942	7.942
		本数	-	(本)	55.000	55.000	55.000	55.000	55.000
		鉄筋量	A <sub>s</sub>	(cm <sup>2</sup> )	436.81	436.81	436.81	436.81	436.81
	せん断	鉄筋	-	-	D16	D16	D16	D16	D16
		断面積	-	(cm <sup>2</sup> )	1.986	1.986	1.986	1.986	1.986
		ピッチ	-	(mm)	600	600	600	600	600
		本数	-	(本)	13.833	13.833	13.833	13.833	13.833
		配置間隔	S <sub>s</sub>	(mm)	900	900	900	900	900

項目		記号	単位	スラブ 1	スラブ 2	スラブ 3	スラブ 4	
部材	部材幅	b	(mm)	8300	8300	8300	8300	
	部材高	h	(mm)	850	850	650	650	
鉄筋	1 段目	位置	d	(mm)	350	350	100	100
		鉄筋	-	-	D25	D25	D25	D25
		断面積	-	(cm <sup>2</sup> )	5.067	5.067	5.067	5.067
		本数	-	(本)	110.000	55.000	55.000	110.000
		鉄筋量	A <sub>s</sub>	(cm <sup>2</sup> )	557.37	278.69	278.69	557.37
	2 段目	位置	d	(mm)	740	740	540	540
		鉄筋	-	-	D25	D25	D32	D32
		断面積	-	(cm <sup>2</sup> )	5.067	5.067	7.942	7.942
		本数	-	(本)	55.000	55.000	55.000	55.000
		鉄筋量	A <sub>s</sub>	(cm <sup>2</sup> )	278.69	278.69	436.81	436.81
	せん断	鉄筋	-	-	D16	D16	D16	D16
		断面積	-	(cm <sup>2</sup> )	1.986	1.986	1.986	1.986
		ピッチ	-	(mm)	600	600	600	600
		本数	-	(本)	13.833	13.833	13.833	13.833
		配置間隔	S <sub>s</sub>	(mm)	600	600	600	600

表 1. 5-16 断面力 (NS 方向基礎レール・スラブ)

※：レール部 2, 3, 4, 5 では上側引張が発生しない。

項目		記号	単位	レール部 1	レール部 2	レール部 3	レール部 4	レール部 5	
上側 引張	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)	-385	※				
	軸力	$N_d$	(kN)	116					
	せん断力	$V_d$	(kN)	-251					
下側 引張	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)	622	1453	1043	1200	563	
	軸力	$N_d$	(kN)	-5	76	82	41	12	
	せん断力	$V_d$	(kN)	604	347	-638	-657	-80	
せん断力 最大	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)	560	1453	1043	1200	550	
	軸力	$N_d$	(kN)	120	76	82	41	9	
	せん断力	$V_d$	(kN)	-640	347	-638	-657	-289	

項目		記号	単位	スラブ 1	スラブ 2	スラブ 3	スラブ 4
上側 引張	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)	-2242	-1160	-1025	-960
	軸力	$N_d$	(kN)	99	107	65	25
	せん断力	$V_d$	(kN)	0	0	0	0
下側 引張	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)	1005	1336	1055	1200
	軸力	$N_d$	(kN)	80	120	53	41
	せん断力	$V_d$	(kN)	166	317	641	-657
せん断力 最大	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)	813	1336	-137	1200
	軸力	$N_d$	(kN)	88	120	59	41
	せん断力	$V_d$	(kN)	1045	-963	644	-657

表 1. 5-17 (1) 照査結果 (NS 方向基礎レール)

項目		記号	単位	レール部 1	レール部 2	レール部 3	レール部 4	レール部 5	
上側 引張	断面力	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)	-385	※			
		軸力	$N_d$	(kN)	116				
		せん断力	$V_d$	(kN)	-251				
	コンクリート	圧縮応力度	$\sigma_c$	(N/mm <sup>2</sup> )	0.16				
		許容曲げ圧縮応力度	$\sigma_{ca}$	(N/mm <sup>2</sup> )	9.00				
		$\sigma_c / \sigma_{ca} \leq 1.0$	-	0.02					
		判定	-	OK					
	鉄筋	引張応力度	$\sigma_s$	(N/mm <sup>2</sup> )	5				
		許容引張応力度	$\sigma_{sa}$	(N/mm <sup>2</sup> )	196				
		$\sigma_s / \sigma_{sa} \leq 1.0$	-	0.02					
		判定	-	OK					
	下側 引張	断面力	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)				
軸力			$N_d$	(kN)	-5	76	82	41	12
せん断力			$V_d$	(kN)	604	347	-638	-657	-80
コンクリート		圧縮応力度	$\sigma_c$	(N/mm <sup>2</sup> )	0.25	0.59	0.42	0.51	0.24
		許容曲げ圧縮応力度	$\sigma_{ca}$	(N/mm <sup>2</sup> )	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
		$\sigma_c / \sigma_{ca} \leq 1.0$	-	0.03	0.07	0.05	0.06	0.03	
		判定	-	OK	OK	OK	OK	OK	
鉄筋		引張応力度	$\sigma_s$	(N/mm <sup>2</sup> )	10	23	16	19	9
		許容引張応力度	$\sigma_{sa}$	(N/mm <sup>2</sup> )	196	196	196	196	196
		$\sigma_s / \sigma_{sa} \leq 1.0$	-	0.05	0.12	0.08	0.1	0.05	
		判定	-	OK	OK	OK	OK	OK	
せん 断力		断面力	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)	560	1453	1043	1200
	軸力		$N_d$	(kN)	120	76	82	41	9
	せん断力		$V_d$	(kN)	641	347	638	657	290
	せん断応力度	$\tau$	(N/mm <sup>2</sup> )	0.057	0.031	0.057	0.059	0.036	
	許容せん断応力度	$\tau_a$	(N/mm <sup>2</sup> )	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450	
	$\tau / \tau_a \leq 1.0$	-	0.13	0.07	0.13	0.13	0.08		
	判定	-	OK	OK	OK	OK	OK		

※：レール部 2, 3, 4, 5 では上側引張が発生しない。

表 1. 5 - 1 7 ( 2 ) 照査結果 ( NS 方向基礎スラブ )

項目		記号	単位	スラブ 1	スラブ 2	スラブ 3	スラブ 4	
上側 引張	断面力	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)	-2242	-1160	-1025	-960
		軸力	$N_d$	(kN)	99	107	65	25
		せん断力	$V_d$	(kN)	0	0	0	0
	コンクリート	圧縮応力度	$\sigma_c$	(N/mm <sup>2</sup> )	4.83	3.17	2.29	1.66
		許容曲げ圧縮応力度	$\sigma_{ca}$	(N/mm <sup>2</sup> )	9.00	9.00	9.00	9.00
		$\sigma_c / \sigma_{ca} \leq 1.0$		-	0.54	0.35	0.25	0.18
		判定		-	OK	OK	OK	OK
	鉄筋	引張応力度	$\sigma_s$	(N/mm <sup>2</sup> )	94	93	75	37
		許容引張応力度	$\sigma_{sa}$	(N/mm <sup>2</sup> )	196	196	196	196
		$\sigma_s / \sigma_{sa} \leq 1.0$		-	0.48	0.47	0.38	0.19
		判定		-	OK	OK	OK	OK
	下側 引張	断面力	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)	1005	1336	1055
軸力			$N_d$	(kN)	80	120	53	41
せん断力			$V_d$	(kN)	166	317	641	-657
コンクリート		圧縮応力度	$\sigma_c$	(N/mm <sup>2</sup> )	1.71	2.23	2.13	2.17
		許容曲げ圧縮応力度	$\sigma_{ca}$	(N/mm <sup>2</sup> )	9.00	9.00	9.00	9.00
		$\sigma_c / \sigma_{ca} \leq 1.0$		-	0.19	0.25	0.24	0.24
		判定		-	OK	OK	OK	OK
鉄筋		引張応力度	$\sigma_s$	(N/mm <sup>2</sup> )	47	65	51	59
		許容引張応力度	$\sigma_{sa}$	(N/mm <sup>2</sup> )	196	196	196	196
		$\sigma_s / \sigma_{sa} \leq 1.0$		-	0.24	0.33	0.26	0.30
		判定		-	OK	OK	OK	OK
せん断 力		断面力	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)	813	1336	-137
	軸力		$N_d$	(kN)	88	120	59	41
	せん断力		$V_d$	(kN)	1045	964	644	657
	せん断応力度		$\tau$	(N/mm <sup>2</sup> )	0.194	0.179	0.120	0.122
	許容せん断応力度		$\tau_a$	(N/mm <sup>2</sup> )	0.450	0.450	0.450	0.450
	$\tau / \tau_a \leq 1.0$		-	0.43	0.40	0.27	0.27	
	判定		-	OK	OK	OK	OK	

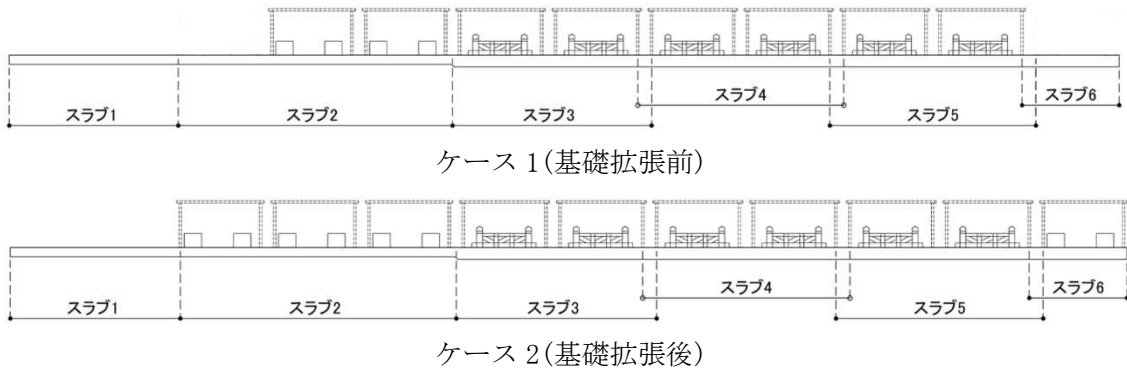


図1. 5-8 EW方向基礎検討位置図

表1. 5-18 断面諸元 (EW方向基礎)

項目		記号	単位	スラブ1	スラブ2	スラブ3	スラブ4	スラブ5	スラブ6	
部材	部材幅	b	(mm)	5170	5170	5170	5170	5170	5170	
	部材高	h	(mm)	800	800	1000	1000	1000	1000	
鉄筋	1段目	位置	d	(mm)	113	113	113	113	113	113
		鉄筋	-	-	D13	D13	D13	D13	D13	D13
		断面積	-	(cm <sup>2</sup> )	1.267	1.267	1.267	1.267	1.267	1.267
		本数	-	(本)	17.000	17.000	14.000	14.000	14.000	14.000
		鉄筋量	A <sub>s</sub>	(cm <sup>2</sup> )	21.54	21.54	17.74	17.74	17.74	17.74
	2段目	位置	d	(mm)	275	275	525	525	525	525
		鉄筋	-	-	D25	D25	D25	D25	D25	D25
		断面積	-	(cm <sup>2</sup> )	5.067	5.067	5.067	5.067	5.067	5.067
		本数	-	(本)	28.000	28.000	32.000	32.000	32.000	32.000
		鉄筋量	A <sub>s</sub>	(cm <sup>2</sup> )	141.88	141.88	162.14	162.14	162.14	162.14
	3段目	位置	d	(mm)	661	661	866	866	866	866
		鉄筋	-	-	D25	D25	D22	D22	D22	D22
		断面積	-	(cm <sup>2</sup> )	5.067	5.067	3.871	3.871	3.871	3.871
		本数	-	(本)	34.000	34.000	34.000	34.000	34.000	34.000
		鉄筋量	A <sub>s</sub>	(cm <sup>2</sup> )	172.28	172.28	131.61	131.61	131.61	131.61
せん断	鉄筋	-	-	D16	D16	D16	D16	D16	D16	
	断面積	-	(cm <sup>2</sup> )	1.986	1.986	1.986	1.986	1.986	1.986	
	ピッチ	-	(mm)	600	600	600	600	600	600	
	本数	-	(本)	8.617	8.617	8.617	8.617	8.617	8.617	
	配置間隔	S <sub>s</sub>	(mm)	600	600	600	600	600	600	



表 1. 5-19 断面力 (EW 方向基礎)

項目		記号	単位	スラブ 1	スラブ 2	スラブ 3	スラブ 4	スラブ 5	スラブ 6	
長期 ケース 1	上側 引張	曲げモーメント	M <sub>d</sub>	(kN・m)	-651	-730	-123	-123	※	-66
		軸力	N <sub>d</sub>	(kN)	0	0	-2	-2		0
		せん断力	V <sub>d</sub>	(kN)	-60	0	0	0		0
	下側 引張	曲げモーメント	M <sub>d</sub>	(kN・m)	※	906	326	293	1160	856
		軸力	N <sub>d</sub>	(kN)		-3	-3	0	-2	-2
		せん断力	V <sub>d</sub>	(kN)		468	-273	235	0	-235
	せん断力 最大	曲げモーメント	M <sub>d</sub>	(kN・m)	-524	721	326	180	678	678
		軸力	N <sub>d</sub>	(kN)	0	-3	-3	-2	0	0
		せん断力	V <sub>d</sub>	(kN)	-76	-618	-273	241	-378	-378

項目		記号	単位	スラブ 1	スラブ 2	スラブ 3	スラブ 4	スラブ 5	スラブ 6	
長期 ケース 2	上側 引張	曲げモーメント	M <sub>d</sub>	(kN・m)	-606	-365	-74	-76	-181	-522
		軸力	N <sub>d</sub>	(kN)	0	-3	-2	-2	-2	-3
		せん断力	V <sub>d</sub>	(kN)	0	0	0	0	0	0
	下側 引張	曲げモーメント	M <sub>d</sub>	(kN・m)	431	892	114	59	32	56
		軸力	N <sub>d</sub>	(kN)	0	-3	-3	-2	-2	-3
		せん断力	V <sub>d</sub>	(kN)	481	468	-225	-122	-128	183
	せん断力 最大	曲げモーメント	M <sub>d</sub>	(kN・m)	431	719	114	8	-84	56
		軸力	N <sub>d</sub>	(kN)	0	-3	-3	-2	-2	-3
		せん断力	V <sub>d</sub>	(kN)	481	-612	-225	188	212	-527

※ケース 1 スラブ 1 では下側引張が、スラブ 5 では上側引張が発生しない。

表 1. 5 - 2 0 ( 1 ) 照査結果 (EW 方向基礎ケース 1)

項目			記号	単位	スラブ 1	スラブ 2	スラブ 3	スラブ 4	スラブ 5	スラブ 6	
長期 ケース 1	上側 引張	断面力	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)	-651	-730	-123	-123	※	-66
			軸力	$N_d$	(kN)	0	0	-2	-2		0
			せん断力	$V_d$	(kN)	-60	0	0	0		0
		コンクリート	圧縮応力度	$\sigma_c$	(N/mm <sup>2</sup> )	2.61	2.93	0.49	0.49		0.26
			許容曲げ圧縮応 力度	$\sigma_{ca}$	(N/mm <sup>2</sup> )	9.00	9.00	9.00	9.00		9.00
			$\sigma_c / \sigma_{ca} \leq 1.0$		-	0.29	0.33	0.05	0.05		0.03
			判定		-	OK	OK	OK	OK		OK
		鉄筋	引張応力度	$\sigma_s$	(N/mm <sup>2</sup> )	113	127	29	29		16
			許容引張応力度	$\sigma_{sa}$	(N/mm <sup>2</sup> )	196	196	196	196		196
			$\sigma_s / \sigma_{sa} \leq 1.0$		-	0.58	0.65	0.15	0.15		0.08
			判定		-	OK	OK	OK	OK		OK
		下側 引張	断面力	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)	※	906	326		293
	軸力			$N_d$	(kN)	-3		-3	0	-2	-2
	せん断力			$V_d$	(kN)	468		-273	235	0	-235
	コンクリート		圧縮応力度	$\sigma_c$	(N/mm <sup>2</sup> )	2.84		0.71	0.64	2.53	1.87
			許容曲げ圧縮応 力度	$\sigma_{ca}$	(N/mm <sup>2</sup> )	9.00		9.00	9.00	9.00	9.00
			$\sigma_c / \sigma_{ca} \leq 1.0$		-	0.32		0.08	0.07	0.28	0.21
			判定		-	OK		OK	OK	OK	OK
	鉄筋		引張応力度	$\sigma_s$	(N/mm <sup>2</sup> )	87		25	22	87	64
			許容引張応力度	$\sigma_{sa}$	(N/mm <sup>2</sup> )	196		196	196	196	196
			$\sigma_s / \sigma_{sa} \leq 1.0$		-	0.44		0.13	0.11	0.45	0.33
			判定		-	OK		OK	OK	OK	OK
	せん断 力		断面力	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)		-524	721	326	180
		軸力		$N_d$	(kN)	0	-3	-3	-2	0	0
せん断力		$V_d$		(kN)	76	619	274	242	378	378	
せん断応力度		$\tau$	(N/mm <sup>2</sup> )	0.032	0.207	0.070	0.062	0.096	0.096		
許容せん断応力度		$\tau_a$	(N/mm <sup>2</sup> )	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450		
$\tau / \tau_a \leq 1.0$		-	0.07	0.46	0.16	0.14	0.21	0.21			
判定		-	OK	OK	OK	OK	OK	OK			

※ケース 1 スラブ 1 では下側引張が、スラブ 5 では上側引張が発生しない。

表 1. 5 - 2 0 ( 2 ) 照査結果 (EW 方向基礎ケース 2)

項目			記号	単位	スラブ 1	スラブ 2	スラブ 3	スラブ 4	スラブ 5	スラブ 6	
長期 ケース 2	上側 引張	断面力	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)	-606	-365	-74	-76	-181	-522
			軸力	$N_d$	(kN)	0	-3	-2	-2	-2	-3
			せん断力	$V_d$	(kN)	0	0	0	0	0	0
		コンクリート	圧縮応力度	$\sigma_c$	(N/mm <sup>2</sup> )	2.43	1.46	0.30	0.30	0.72	2.07
			許容曲げ圧縮応 力度	$\sigma_{ca}$	(N/mm <sup>2</sup> )	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
			$\sigma_c / \sigma_{ca} \leq 1.0$	-	0.27	0.16	0.03	0.03	0.08	0.23	
			判定	-	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
		鉄筋	引張応力度	$\sigma_s$	(N/mm <sup>2</sup> )	105	63	18	18	43	124
			許容引張応力度	$\sigma_{sa}$	(N/mm <sup>2</sup> )	196	196	196	196	196	196
			$\sigma_s / \sigma_{sa} \leq 1.0$	-	0.54	0.32	0.09	0.09	0.22	0.63	
			判定	-	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
		下側 引張	断面力	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)	431	892	114	59	32
	軸力			$N_d$	(kN)	0	-3	-3	-2	-2	-3
	せん断力			$V_d$	(kN)	481	468	-225	-122	-128	183
	コンクリート		圧縮応力度	$\sigma_c$	(N/mm <sup>2</sup> )	1.35	2.80	0.25	0.13	0.07	0.12
			許容曲げ圧縮応 力度	$\sigma_{ca}$	(N/mm <sup>2</sup> )	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
			$\sigma_c / \sigma_{ca} \leq 1.0$	-	0.15	0.31	0.03	0.01	0.01	0.01	
			判定	-	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
	鉄筋		引張応力度	$\sigma_s$	(N/mm <sup>2</sup> )	41	85	9	5	2	4
			許容引張応力度	$\sigma_{sa}$	(N/mm <sup>2</sup> )	196	196	196	196	196	196
			$\sigma_s / \sigma_{sa} \leq 1.0$	-	0.21	0.43	0.04	0.02	0.01	0.02	
			判定	-	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
	せん断 力		断面力	曲げモーメント	$M_d$	(kN・m)	431	719	114	8	-84
		軸力		$N_d$	(kN)	0	-3	-3	-2	-2	-3
せん断力		$V_d$		(kN)	481	612	226	189	213	528	
せん断応力度		$\tau$	(N/mm <sup>2</sup> )	0.203	0.205	0.058	0.048	0.054	0.135		
許容せん断応力度		$\tau_a$	(N/mm <sup>2</sup> )	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450		
$\tau / \tau_a \leq 1.0$		-	0.45	0.45	0.13	0.11	0.12	0.30			
判定		-	OK	OK	OK	OK	OK	OK			

(5) 改良地盤の構造強度に対する検討

1) 検討方針

検討は「JEAC 4616-2009」に準拠し、長期荷重により発生する荷重に対して許容応力度を満足することを確認する。

改良地盤の許容応力度は、改良地盤の設計圧縮強度、圧縮応力度及びせん断応力度に対する安全率に基づき設定する。

支持地盤の許容支持力度は、支持地盤の極限支持力度に対する安全率に基づき設定する。

2) 検討モデル

改良地盤の範囲は、コンクリート基礎下面から G.L. -3.90m までである。図 1. 5-9 に地盤改良平面図、図 1. 5-10 に 1-1 断面を示す。

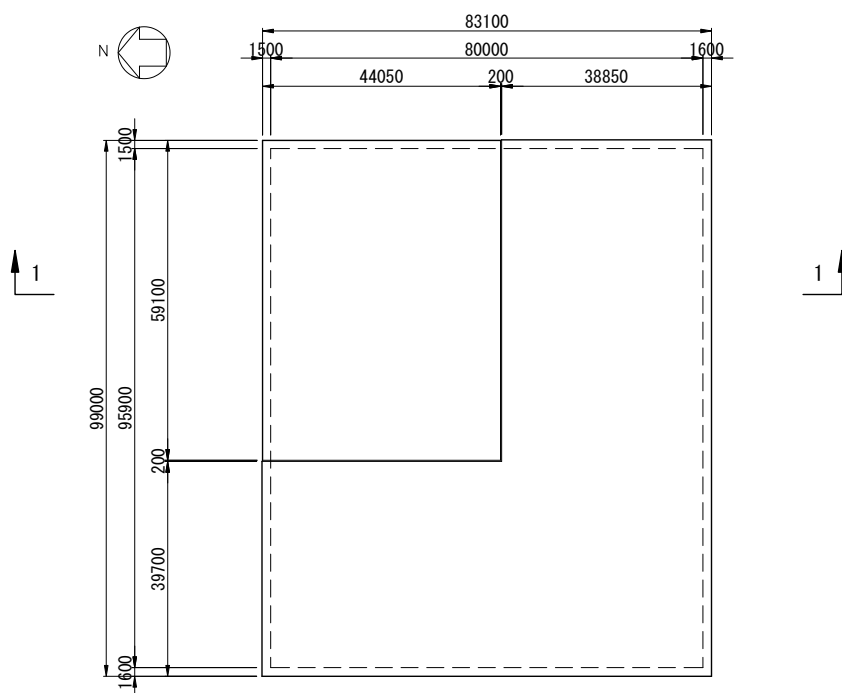


図 1. 5-9 地盤改良平面図 (単位: mm)

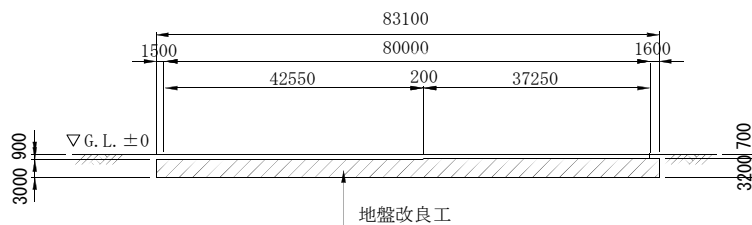


図 1. 5-10 1-1 断面 (単位: mm)

3) 改良地盤に生じる地盤反力度に対する検討

改良地盤に生じる地盤反力度に対する検討は、改良地盤に発生する最大地盤反力度（梁バネモデルにより算出するバネ反力度）が改良地盤の許容圧縮応力度を下回ることを確認する。

$$q_{\max} \leq f_{sc}$$

ここに、

$q_{\max}$  : 最大地盤反力度 (kN/m<sup>2</sup>)

$f_{sc}$  : 改良地盤の許容圧縮応力度 (kN/m<sup>2</sup>)

長期  ${}_L f_{sc} = 110$  (kN/m<sup>2</sup>)

安全率の検討結果を表 1. 5 - 2 1 に示す。検討結果より改良地盤に発生する最大地盤反力度が改良地盤の許容圧縮応力度を下回ることを確認した。

表 1. 5 - 2 1 改良地盤の地盤反力度に対する検討結果（基礎下面）

		最大地盤 反力度 $q_{\max}$ (kN/m <sup>2</sup> )	改良地盤の 許容圧縮応力度 ${}_L f_{sc}$ (kN/m <sup>2</sup> )	検定値 $q_{\max}/f_{sc}$	判定
レール支持梁	長期	103	110	0.94 < 1.0	OK
NS 方向スラブ	長期	83	110	0.75 < 1.0	OK
EW 方向スラブ	長期	76	110	0.69 < 1.0	OK

4) 改良地盤に生じるせん断応力に対する検討

改良地盤に生じるせん断応力に対する検討は、改良地盤に発生する最大せん断応力度が許容せん断応力度を下回ることを確認する。

$$\tau_{\max} \leq f_{SS}$$

$$\tau_{\max} = \kappa \cdot \tau$$

$$f_{SS} = 1/5 \cdot f_{SC}$$

ここに、

$\tau_{\max}$  : 最大せん断応力度 (kN/m<sup>2</sup>)

$f_{SS}$  : 改良地盤の許容せん断応力度 (kN/m<sup>2</sup>)

$\kappa$  : 形状係数 ( $\kappa = 1.2$ )

$\tau$  : 平均せん断応力度 (kN/m<sup>2</sup>)

$f_{SC}$  : 改良地盤の許容圧縮応力度 (kN/m<sup>2</sup>)

長期  ${}_L f_{SC} = 110$  (kN/m<sup>2</sup>)

${}_L f_{SS} = 1/5 \cdot 110 = 22$  (kN/m<sup>2</sup>)

長期  $\tau = 0.046$  (kN/m<sup>2</sup>)      $\tau_{\max} = 0.046 \times 1.2 = 0.055$  (kN/m<sup>2</sup>)

せん断応力度の検討結果を表 1. 5-22 に示す。検討結果より改良地盤に発生する最大せん断応力度が許容せん断応力度を下回ることを確認した。

表 1. 5-22 改良地盤のせん断応力度に対する検討結果

	最大せん断 反力度 $\tau_{\max}$ (kN/m <sup>2</sup> )	許容せん断 応力度 ${}_L f_{SS}$ (kN/m <sup>2</sup> )	検定値 $\tau_{\max}/f_{SS}$	判定
長期	0.055	22	0.003 < 1.0	OK

5) 支持力の検討

改良地盤直下の支持地盤については、改良体下面に作用する設計地盤反力度が許容支持力度を下回ることを確認する。

$$q_{\max} \leq q_a$$

ここに、

$q_{\max}$  : 最大地盤反力度 (kN/m<sup>2</sup>)                      長期  $q_{\max} = 99.7$  (kN/m<sup>2</sup>)

$q_a$  : 支持地盤の許容支持力度 (kN/m<sup>2</sup>)              長期  $q_a = 667$  (kN/m<sup>2</sup>)

支持力の検討結果を表 1. 5-23 に示す。検討結果より改良体下面に作用する設計地盤反力度が許容支持力度を下回ることを確認した。

表 1. 5-23 支持力に対する検討結果

	設計地盤 反力度 $q_{\max}$ (kN/m <sup>2</sup> )	支持地盤の 許容支持力度 $q_a$ (kN/m <sup>2</sup> )	検定値 $q_{\max}/q_a$	判定
長期	99.7	667	0.15 < 1.0	OK

6) 基礎の沈下に対する検討

レール支持梁において、梁の傾斜量が許容値を下回ることを確認する。傾斜量は梁モデルの隣接格点の沈下差を要素長で除して求める。基礎の沈下の検討結果を表 1. 5-24 に示す。検討結果より梁の傾斜量が許容値を下回ることを確認した。

表 1. 5-24 基礎の沈下に対する検討結果

	傾斜量	許容傾斜量	判定
長期	1/1075	1/800	OK

(実施計画 : II-2-13-添 3-2-2~30)

## Ⅱ.14.⑨ 検査可能性に対する設計上の考慮への適合性



措置を講ずべき事項

II. 設計，設備について措置を講ずべき事項

14. 設計上の考慮

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。

キャスク仮保管設備は，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とする。

---

○ 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、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)

○ キャスク仮保管設備に係る確認事項について

キャスク仮保管設備に係る検査における輸送貯蔵兼用キャスクの確認事項について、「気密漏えい確認」を使用済燃料収納前と収納後、それぞれ実施することを明記するよう記載を変更する。これに伴い、使用済燃料収納前の確認は工場で、収納後の確認は現地で行うことから、他の確認項目も検査場所を明記し、それぞれの確認項目が工場、現地又は両方で行われることを明確化する。変更する検査項目は下記の通り。

表 確認事項（輸送貯蔵兼用キャスク）(1/2)

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準	検査場所
構造強度・耐震性	材料確認※		実施計画に記載されている主な材料について確認する。	実施計画のとおりであること。	工場
	強度・漏えい確認	耐圧・漏えい確認※	確認圧力(水圧 1.25MPa)で保持した後、確認圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後、耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。	確認圧力に耐え、かつ構造物の変形等がないこと。 また、耐圧部から著しい漏えいがないこと。	工場
構造強度・耐震性 遮蔽機能	構造確認	寸法確認※	実施計画に記載されている主要寸法を確認する。	寸法が許容範囲内であること。	工場
		外観確認※	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。	工場 現地
		据付確認	機器の据付位置、据付状態について確認する。	実施計画の通りに施工・据付されていること。	現地
除熱機能	機能確認	伝熱確認	容器内部に使用済燃料を模擬するヒータを挿入して発熱させ、温度を確認する。	周囲温度を補正した温度が最高使用温度以下であること。	工場
密封機能	機能確認	気密漏えい確認	使用済燃料収納前、ヘリウムリーク法等により、漏えい率を確認する。	基準漏えい率以下であること。	工場
			使用済燃料収納後、ヘリウムリーク法等により、漏えい率を確認する。		現地
臨界防止機能	機能確認	未臨界確認	バスケットの材料特性及び主要寸法が、実施計画の評価の前提条件となっている値を満足していることを確認し、バスケットの外観に異常のないことを確認する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計の材料特性に適合し、寸法が許容範囲内であること。</li> <li>有意な変形、破損等の異常がないこと。</li> </ul>	工場

取扱機能	機能確認	吊上荷重確認	キャスクの吊上げ時重量の2倍以上の荷重をトラニオンに負荷し，トラニオンの外観に異常のないことを確認する。	トラニオンの外観に有害な変形がないこと。	工場
		模擬燃料集合体挿入確認	代表5セルについてバスケットへ模擬燃料集合体の挿入，取出しを行い，支障がないことを確認する。	バスケットへの模擬燃料集合体の挿入，取出しが支障なく行えること。	工場
監視	機能確認	密封監視機能確認	検査用計器により指示値を変化させ，設定値どおり警報及び表示灯が作動することを確認する。	許容範囲以内で警報及び表示灯が作動すること。	現地
		除熱監視機能確認	検査用計器により指示値を変化させ，設定値どおり警報及び表示灯が作動することを確認する。	許容範囲以内で警報及び表示灯が作動すること。	現地

※旧炉規制法第四十三条の九に則って使用前検査を実施しているときは，これをもって確認とする。

表 確認事項（輸送貯蔵兼用キャスク）(2/2)

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準	検査場所
構造強度・耐震性	溶接確認*	材料確認	溶接に使用する材料が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	計画書のとおりであること。（設計仕様のとおり又は相当の材料であること）	工場
		開先確認	開先面の状態、開先形状及び各部寸法等を確認する。	・有意な欠陥がないこと。 ・計画書のとおりであること。	工場
		溶接作業確認	溶接規格等に適合していることが確認された溶接施工法及び溶接士により溶接施工しているかを確認する。	計画書、溶接規格のとおりであること。	工場
		溶接後熱処理確認	溶接後熱処理の方法等が計画書及び溶接規格等に適合するものであることを確認する。	計画書及び溶接規格等に適合するものであること	工場
		非破壊確認	溶接部について非破壊確認を行い、その試験方法及び結果が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	溶接規格等に適合するものであること	工場
		機械確認	溶接部について機械試験をおこない、当該溶接部の機械的性質が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	溶接規格等に適合するものであること	工場
		耐圧・外観確認	規定圧力*で耐圧確認を行い、これに耐え、かつ、漏えいがないことを確認する。 *：容器内部：水圧 1.25MPa 一部蓋及び二次蓋の蓋間部： 気圧 0.5MPa	規定圧力に耐え、かつ、漏えいがないこと。	工場

※旧炉規制法第四十三条の十に則って溶接の方法及び検査に係る認可や検査を実施しているときは、これをもって確認とする。

(実施計画：II-2-13-添11-4～5)

### Ⅲ 特定原子力施設の保安のために措置を講ずべき事項への適合性

措置を講ずべき事項

### Ⅲ. 特定原子力施設の保安のために措置を講ずべき事項

運転管理，保守管理，放射線管理，放射性廃棄物管理，緊急時の措置，敷地内外の環境放射線モニタリング等適切な措置を講じることにより，「Ⅱ. 設計，設備について措置を講ずべき事項」の適切かつ確実な実施を確保し，かつ，作業員及び敷地内外の安全を確保すること。

特に，事故や災害時等における緊急時の措置については，緊急事態への対処に加え，関係機関への連絡通報体制や緊急時における医療体制の整備等を行うこと。

また，協力企業を含む社員や作業従事者に対する教育・訓練を的確に行い，その技量や能力の維持向上を図ること。

キャスク仮保管設備は，運転管理，保守管理，放射線管理，放射性廃棄物管理，緊急時の措置，敷地内外の環境放射線モニタリング等適切な措置を講じることにより，「Ⅱ. 設計，設備について措置を講ずべき事項」の適切かつ確実な実施を確保し，かつ，作業員及び敷地内外の安全を確保する。

#### ○ 1号炉～4号炉の使用済燃料の貯蔵

1. プール燃料取り出しプログラム部長は，1号炉，2号炉，3号炉又は4号炉の使用済燃料を貯蔵する場合は，次の事項を遵守する。
  - (1) 表1に定める貯蔵可能な使用済燃料貯蔵施設の使用済燃料プール，使用済燃料共用プール又は使用済燃料乾式キャスク仮保管設備に貯蔵すること。使用済燃料乾式キャスク仮保管設備に貯蔵する場合には，使用済燃料乾式貯蔵容器又は使用済燃料輸送貯蔵兼用容器に収納されていることを確認すること。
  - (2) 3号炉の使用済燃料プールにおいては，燃料取扱機を使用し，4号炉の使用済燃料プールにおいては，クレーン又は燃料取扱機を使用し，使用済燃料共用プールにおいては，天井クレーン又は燃料取扱装置を使用すること。
  - (3) 使用済燃料共用プールにおいて燃料が臨界に達しない措置を講じること。
  - (4) 使用済燃料乾式キャスク仮保管設備において燃料が臨界に達しない措置が講じられていることを確認すること。
2. プール燃料取り出しプログラム部長は，使用済燃料輸送貯蔵兼用容器に1号炉，2号炉，3号炉又は4号炉の使用済燃料を収納する場合は，次の事項を遵守する。
  - (1) 福島第一炉規則第15条第2項第2号に基づき，使用済燃料を選定すること。
  - (2) 使用済燃料について，貯蔵の終了まで密封し，健全性を維持するよう容器に封入すること。
3. プール燃料取り出しプログラム部長は，使用済燃料共用プール及び使用済燃料乾式キャス

ク仮保管設備の目につきやすい場所に貯蔵上の注意事項を掲示すること。

4. 当直長は、使用済燃料乾式キャスク仮保管設備に貯蔵している使用済燃料乾式貯蔵容器並びに使用済燃料輸送貯蔵兼用容器の密封性能及び除熱性能が保持されていることを監視するとともに、その結果、異常が認められた場合にはプール燃料取り出しプログラム部長に連絡し、プール燃料取り出しプログラム部長は必要な措置を講じる。ただし、密封性能及び除熱性能の監視を行うための監視設備が設置されるまでの間は、プール燃料取り出しプログラム部長は密封性能及び除熱性能が保持されていることを確認するとともに、その結果、異常が認められた場合には必要な措置を講じる。

表 1

各号炉の使用済燃料	貯蔵可能な使用済燃料貯蔵施設
1号炉	1号炉の使用済燃料プール、使用済燃料共用プール <sup>※1</sup> 又は使用済燃料乾式キャスク仮保管設備 <sup>※2</sup>
2号炉	2号炉の使用済燃料プール、使用済燃料共用プール <sup>※1</sup> 又は使用済燃料乾式キャスク仮保管設備 <sup>※2</sup>
3号炉	3号炉の使用済燃料プール、使用済燃料共用プール <sup>※1</sup> 又は使用済燃料乾式キャスク仮保管設備 <sup>※2</sup>
4号炉	4号炉の使用済燃料プール、使用済燃料共用プール <sup>※1</sup> 又は使用済燃料乾式キャスク仮保管設備 <sup>※2</sup>

※1：使用済燃料共用プールには、使用済燃料プールで19ヶ月以上冷却した燃料を貯蔵する。

※2：使用済燃料乾式キャスク仮保管設備に貯蔵する使用済燃料乾式貯蔵容器には、使用済燃料プール又は使用済燃料共用プールで既設については4年以上、増設については13年以上冷却され、かつ運転中のデータ、 SHIPPING 検査等により健全であることを確認した使用済燃料（8×8燃料、新型8×8燃料及び新型8×8ジルコニウムライナ燃料）を収納する。ただし、使用済燃料乾式貯蔵容器に収納した燃料を使用済燃料共用プールに貯蔵した燃料と入れ替える場合は、使用済燃料プール又は使用済燃料共用プールで13年以上冷却された燃料を使用済燃料乾式貯蔵容器に収納する。使用済燃料輸送貯蔵兼用容器には、使用済燃料プール又は使用済燃料共用プールで既設については18年以上、増設については使用済燃料のタイプに応じて18年以上、22年以上又は28年以上冷却され、かつ運転中のデータ、 SHIPPING 検査等により健全であることを確認した使用済燃料（新型8×8ジルコニウムライナ燃料、高燃焼度8×8燃料及び新型8×8燃料）を収納するとともに、使用済燃料のタイプ、燃焼度に応じた配置とする。

(実施計画：Ⅲ-1-36-1～2)

○放射線計測器類の管理

各GMは、表2に定める放射線計測器類について、同表に定める数量を確保する。ただし、故障等により使用不能となった場合は、修理又は代替品を補充する。

表2

分類	計測器種類	所管GM	数量 <sup>※1</sup>
1. 被ばく管理用計測器	ホールボディカウンタ	保安総括GM	1台
2. 放射線管理用計測器	線量当量率測定用サーベイメータ	保安総括GM	7台
	汚染密度測定用サーベイメータ	保安総括GM	7台
	退出モニタ	保安総括GM	2台
	試料放射能測定装置	分析評価GM	1台 <sup>※2</sup>
	集積線量計	保安総括GM	1式
3. 放射線監視用計測器	モニタリングポスト	保安総括GM	8台
	エリアモニタ	燃料計装設備GM	7台 <sup>※3</sup>
		燃料計装設備GM	14台 <sup>※4</sup>
4. 環境放射能用計測器	試料放射能測定装置 <sup>※5</sup>	分析評価GM	1台 <sup>※2</sup>
	積算線量計測定装置	保安総括GM	1台

※1：5号炉及び6号炉の放射線計測器類と共用で確保する数量（エリアモニタを除く。）

※2：表43の試料放射能測定装置と共用

※3：使用済燃料共用プールにおけるエリアモニタの合計の台数（エリアモニタが復旧していない場合には、未復旧のエリアモニタを除いた台数とする。）

※4：使用済燃料乾式キャスク仮保管設備におけるエリアモニタ、2号炉燃料取り出し用構台におけるエリアモニタ、3号炉原子炉建屋5階におけるエリアモニタ及び4号炉原子炉建屋5階におけるエリアモニタの台数

※5：福島第二原子力発電所と共用

（実施計画：Ⅲ-1-61-1）



○5・6号炉の使用済燃料の貯蔵

1. プール燃料取り出しプログラム部長は、5号炉又は6号炉の使用済燃料を貯蔵する場合は、次の事項を遵守する。
  - (1) 表3に定める貯蔵可能な使用済燃料貯蔵施設の使用済燃料プール、使用済燃料共用プール又は使用済燃料乾式キャスク仮保管設備に貯蔵すること。使用済燃料乾式キャスク仮保管設備に貯蔵する場合には、使用済燃料乾式貯蔵容器又は使用済燃料輸送貯蔵兼用容器に収納されていることを確認すること。
  - (2) 使用済燃料プールにおいては燃料取替機を使用し、使用済燃料共用プールにおいては燃料取扱装置を使用すること。
  - (3) 使用済燃料プール及び使用済燃料共用プールにおいて燃料が臨界に達しない措置を講じること。
  - (4) 使用済燃料乾式キャスク仮保管設備において燃料が臨界に達しない措置が講じられていることを確認すること。
2. プール燃料取り出しプログラム部長は、使用済燃料輸送貯蔵兼用容器に5号炉又は6号炉の使用済燃料を収納する場合は、次の事項を遵守する。
  - (1) 福島第一炉規則第15条第2項第2号に基づき、使用済燃料を選定すること。
  - (2) 使用済燃料について、貯蔵の終了まで密封し、健全性を維持するよう容器に封入すること。
3. プール燃料取り出しプログラム部長は、5号炉及び6号炉の使用済燃料プール、使用済燃料共用プール並びに使用済燃料乾式キャスク仮保管設備の目につきやすい場所に貯蔵上の注意事項を掲示すること。
4. 1/2/3/4号炉の当直長は、使用済燃料乾式キャスク仮保管設備に貯蔵している使用済燃料乾式貯蔵容器並びに使用済燃料輸送貯蔵兼用容器の密封性能及び除熱性能が保持されていることを監視するとともに、その結果、異常が認められた場合にはプール燃料取り出しプログラム部長に連絡し、プール燃料取り出しプログラム部長は必要な措置を講じる。ただし、密封性能及び除熱性能の監視を行うための監視設備が設置されるまでの間は、プール燃料取り出しプログラム部長は密封性能及び除熱性能が保持されていることを確認するとともに、その結果、異常が認められた場合には必要な措置を講じる。

表 3

各号炉の使用済燃料	貯蔵可能な使用済燃料貯蔵施設
5号炉	5号炉の使用済燃料プール，使用済燃料共用プール <sup>※1</sup> 又は使用済燃料乾式キャスク仮保管設備 <sup>※2</sup>
6号炉	6号炉の使用済燃料プール，使用済燃料共用プール <sup>※1</sup> 又は使用済燃料乾式キャスク仮保管設備 <sup>※2</sup>

※1：使用済燃料共用プールには，使用済燃料プール又は炉内で19ヶ月以上冷却した燃料を貯蔵する。

※2：使用済燃料乾式キャスク仮保管設備に貯蔵する使用済燃料乾式貯蔵容器には，使用済燃料プール又は使用済燃料共用プールで既設については4年以上，増設については13年以上冷却され，かつ運転中のデータ， SHIPPING 検査等により健全であることを確認した使用済燃料（8×8燃料，新型8×8燃料及び新型8×8ジルコニウムライナ燃料）を収納する。ただし，使用済燃料乾式貯蔵容器に収納した燃料を使用済燃料共用プールに貯蔵した燃料と入れ替える場合は，使用済燃料プール又は使用済燃料共用プールで13年以上冷却された燃料を使用済燃料乾式貯蔵容器に収納する。使用済燃料輸送貯蔵兼用容器には，使用済燃料プール又は使用済燃料共用プールで既設については18年以上，増設については使用済燃料のタイプに応じて18年以上，22年以上又は28年以上冷却され，かつ運転中のデータ， SHIPPING 検査等により健全であることを確認した使用済燃料（新型8×8ジルコニウムライナ燃料，高燃焼度8×8燃料及び新型8×8燃料）を収納するとともに，使用済燃料のタイプ，燃焼度に応じた配置とする。

(実施計画：Ⅲ-2-85-1～2)

## ○線量の評価方法

### ・線量評価点

施設と評価点との高低差を考慮し、各施設からの影響を考慮した敷地境界線上の最大実効線量評価地点における直接線及びスカイシャイン線による実効線量を算出する。

### ・評価に使用するコード

MCNP 等、他の原子力施設における評価で使用実績があり、信頼性の高いコードを使用する。

### ・線源及び遮蔽

線源は各施設が内包する放射性物質質量に容器厚さ、建屋壁、天井等の遮蔽効果を考慮して設定する。内包する放射性物質質量や、遮蔽が明らかでない場合は、設備の表面線量率を測定し、これに代えるものとする。

対象設備は事故処理に係る使用済セシウム吸着塔保管施設、廃スラッジ貯蔵施設、貯留設備（タンク類）、固体廃棄物貯蔵庫、使用済燃料乾式キャスク仮保管設備及び瓦礫類、伐採木の一時保管エリア等とし、現に設置あるいは現時点で設置予定があるものとする。

(実施計画：Ⅲ-3-2-2-2-1)

## ○線量評価

使用済燃料乾式キャスク仮保管設備については、線源スペクトル、線量率、乾式キャスク本体の寸法等の仕様は、工事計画認可申請書又は核燃料輸送物設計承認申請書等、乾式キャスクの設計値及び収納する使用済燃料の収納条件に基づく値とする。なお、乾式キャスクの線量率は、側面、蓋面、底面の3領域に分割し、ガンマ線、中性子線毎にそれぞれ表面から1mの最大線量率で規格化する。乾式キャスクの配置は、設備の配置設計を反映し、隣接する乾式キャスク等による遮蔽効果を考慮し、敷地境界における直接線及びスカイシャイン線の合計の線量率を評価する。

貯 蔵 容 量：95基(乾式貯蔵キャスク20基及び輸送貯蔵兼用キャスク75基)

エ リ ア 面 積：約80m×約121m

遮 蔽：コンクリートモジュール 200mm(密度2.15g/cm<sup>3</sup>)

評価点までの距離：約350m

評価結果の種類：MCNPコードによる評価結果

線 源 の 標 高：T.P.約38m

評 価 結 果：約 $5.69 \times 10^{-2}$ mSv/年

(実施計画：Ⅲ-3-2-2-2-31～32)

敷地境界における直接線・スカイシャイン線の評価結果

敷地境界 評価地点	評価地点 の標高 「m」	敷地内各施設からの 直接線・スカイシャイン線 「単位:mSv/年」	敷地境界 評価地点	評価地点 の標高 「m」	敷地内各施設からの 直接線・スカイシャイン線 「単位:mSv/年」
No.1	T.P.約4	0.06	No.51	T.P.約32	0.02
No.2	T.P.約18	0.11	No.52	T.P.約39	0.04
No.3	T.P.約18	0.10	No.53	T.P.約39	0.16
No.4	T.P.約19	0.18	No.54	T.P.約39	0.17
No.5	T.P.約16	0.29	No.55	T.P.約39	0.04
No.6	T.P.約16	0.29	No.56	T.P.約33	0.01
No.7	T.P.約21	0.53	No.57	T.P.約39	0.02
No.8	T.P.約16	0.31	No.58	T.P.約39	0.04
No.9	T.P.約14	0.17	No.59	T.P.約39	0.09
No.10	T.P.約15	0.09	No.60	T.P.約41	0.05
No.11	T.P.約17	0.18	No.61	T.P.約42	0.03
No.12	T.P.約17	0.14	No.62	T.P.約38	0.02
No.13	T.P.約16	0.14	No.63	T.P.約44	0.04
No.14	T.P.約18	0.15	No.64	T.P.約44	0.07
No.15	T.P.約21	0.13	No.65	T.P.約41	0.14
No.16	T.P.約26	0.12	No.66	T.P.約40	0.52
No.17	T.P.約34	0.16	No.67	T.P.約39	0.30
No.18	T.P.約37	0.10	No.68	T.P.約37	0.41
No.19	T.P.約33	0.04	No.69	T.P.約36	0.26
No.20	T.P.約37	0.04	No.70	T.P.約35	0.54
No.21	T.P.約38	0.04	No.71	T.P.約32	0.55
No.22	T.P.約34	0.02	No.72	T.P.約29	0.48
No.23	T.P.約35	0.02	No.73	T.P.約29	0.23
No.24	T.P.約38	0.03	No.74	T.P.約35	0.10
No.25	T.P.約39	0.03	No.75	T.P.約31	0.08
No.26	T.P.約32	0.02	No.76	T.P.約31	0.12
No.27	T.P.約31	0.02	No.77	T.P.約15	0.40
No.28	T.P.約39	0.04	No.78	T.P.約19	0.46
No.29	T.P.約39	0.12	No.79	T.P.約19	0.28
No.30	T.P.約39	0.13	No.80	T.P.約19	0.11
No.31	T.P.約39	0.04	No.81	T.P.約35	0.23
No.32	T.P.約31	0.02	No.82	T.P.約38	0.34
No.33	T.P.約33	0.02	No.83	T.P.約40	0.21
No.34	T.P.約38	0.02	No.84	T.P.約41	0.10
No.35	T.P.約38	0.02	No.85	T.P.約37	0.05
No.36	T.P.約39	0.06	No.86	T.P.約33	0.06
No.37	T.P.約39	0.14	No.87	T.P.約26	0.08
No.38	T.P.約39	0.13	No.88	T.P.約22	0.16
No.39	T.P.約39	0.04	No.89	T.P.約20	0.34
No.40	T.P.約32	0.01	No.90	T.P.約20	0.47
No.41	T.P.約31	0.02	No.91	T.P.約20	0.31
No.42	T.P.約39	0.04	No.92	T.P.約21	0.47
No.43	T.P.約39	0.12	No.93	T.P.約20	0.49
No.44	T.P.約39	0.12	No.94	T.P.約28	0.37
No.45	T.P.約39	0.04	No.95	T.P.約21	0.25
No.46	T.P.約30	0.02	No.96	T.P.約19	0.14
No.47	T.P.約32	0.01	No.97	T.P.約15	0.06
No.48	T.P.約39	0.03	No.98	T.P.約23	0.08
No.49	T.P.約39	0.03	No.99	T.P.約25	0.03
No.50	T.P.約35	0.02	No.100	T.P.約-1	0.02

(実施計画：Ⅲ-3-2-2-2-添4-1)