

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

| | |
|-------------------------|-----------------|
| 柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料 | |
| 資料番号 | KK7補足-026-11 改9 |
| 提出年月日 | 2020年9月4日 |

原子炉格納容器コンクリート部の耐震性についての
計算書に関する補足説明資料

2020年9月

東京電力ホールディングス株式会社

1. 工事計画添付書類に係る補足説明資料

V-2-9-2-1「原子炉格納容器コンクリート部の耐震性についての計算書」の記載内容を補足するための資料を以下に示す。

別紙 1 応力解析における既工認と今回工認の解析モデル及び手法の比較

別紙 2 応力解析におけるモデル化、境界条件及び拘束条件の考え方

別紙 3 地震荷重の入力方法

別紙 4 応力解析における断面の評価部位の選定

別紙 5 応力解析における応力平均化の考え方

別紙 6 地震荷重の算定方法

別紙 7 貫通部における平均応力の考え方

別紙 8 重大事故等時の高温による剛性低下の考え方

別紙 9 床スラブによる拘束条件に対する補助壁等の影響

別紙 1 応力解析における既工認と今回工認の解析モデル及び手法の比較

目 次

1. 概要 別紙 1-1
2. 応力解析モデル及び手法の比較 別紙 1-2

別紙 1-1 今回工認における異常時荷重の考え方

1. 概要

本資料は、原子炉格納容器コンクリート部（以下「RCCV」という。）の既工認時及び今回工認時の応力解析モデル及び手法の比較を示すものである。

2. 応力解析モデル及び手法の比較

RCCVの応力解析モデル及び手法の比較を表2-1に示す。また、今回工認時の応力解析モデルを図2-1に示す。

比較に用いる既工認時の応力解析モデル及び手法は、平成3年8月23日付け3資庁第6675号にて認可された工事計画の添付資料IV-2-7-1（Ⅱ）「原子炉格納容器コンクリート部の耐震性についての計算書」（以下「既工認」という。）のものである。

表 2-1 応力解析モデル及び手法の比較 (RCCV) (1/3)

| 項目 | 内容 | 既工認 | 今回工認 | 備考 |
|-------|--------|---|--|-------------|
| 解析手法 | | <ul style="list-style-type: none"> ・ 3次元 FEM モデルを用いた応力解析 (弾性解析) | <ul style="list-style-type: none"> (荷重状態Ⅲ) ・ 同左 (荷重状態Ⅳ, V) ・ 3次元 FEM モデルを用いた応力解析 (弾塑性解析) | — |
| 解析コード | | <ul style="list-style-type: none"> ・ N A S T R A N | <ul style="list-style-type: none"> (荷重状態Ⅲ) ・ M S C N A S T R A N (荷重状態Ⅳ, V) ・ A B A Q U S | — |
| モデル | モデル化範囲 | <ul style="list-style-type: none"> (上部構造モデル) ・ RCCV シェル部, トップスラブ部, 使用済燃料貯蔵プール, 蒸気乾燥器・気水分離器ピット及びダイヤフラムフロア (東西軸に対して北半分をモデル化) (基礎スラブモデル) ・ RCCV 底部を含む基礎スラブ 上記をそれぞれモデル化 | <ul style="list-style-type: none"> (上部構造モデル部分) ・ RCCV シェル部, トップスラブ部, 使用済燃料貯蔵プール, 蒸気乾燥器・気水分離器ピット及びダイヤフラムフロア (全周をモデル化) (基礎スラブモデル部分) ・ RCCV 底部を含む基礎スラブ 上記を一体でモデル化 | ① ② |
| | 材料物性 | <ul style="list-style-type: none"> 検討時の各規準, コンクリートの設計基準強度に基づき設定 ・ コンクリートのヤング係数 上部構造 : $E = 2.65 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ (SI 換算) 基礎スラブ : $E = 2.55 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ (SI 換算) ・ コンクリートのポアソン比 : $\nu = 0.167$ | <ul style="list-style-type: none"> 適用規準等の見直しによる再設定 ・ コンクリートのヤング係数 上部構造 : $E = 2.88 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 基礎スラブ : $E = 2.79 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ ・ コンクリートのポアソン比 : $\nu = 0.2$ ・ 鉄筋のヤング係数 : $E = 2.05 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ ・ 鉄筋のポアソン比 : $\nu = 0.3$ | ③ ④ ⑤ |
| | 要素種別 | <ul style="list-style-type: none"> ・ シェル要素 | <ul style="list-style-type: none"> (荷重状態Ⅲ) ・ 同左 (荷重状態Ⅳ, V) ・ 積層シェル要素 | — |
| | 境界条件 | <ul style="list-style-type: none"> (上部構造モデル) ・ 東西軸に対して対称 ・ 基礎スラブの上端で固定 ・ 側面の水平及び回転ばねを考慮せず ・ 周辺床の剛性を考慮 ・ ライナの剛性を考慮せず (基礎スラブモデル) ・ 底面を弾性地盤ばねにより支持 ・ 底面の弾性地盤ばねは, 浮上りを考慮 ・ 側面の水平及び回転ばねを考慮せず ・ 上部構造物の剛性を考慮 | <ul style="list-style-type: none"> (上部構造モデル部分) ・ 全周をモデル化 ・ 基礎スラブモデル部分と一体化 ・ 側面の水平及び回転ばねを考慮せず ・ 周辺床の剛性を考慮 ・ ライナの剛性を考慮せず (基礎スラブモデル部分) ・ 底面を弾性地盤ばねにより支持 ・ 底面の弾性地盤ばねは, 浮上りを考慮 ・ 側面の水平及び回転ばねを考慮 ・ 上部構造物の剛性を考慮 | ② |

表 2-1 応力解析モデル及び手法の比較 (RCCV) (2/3)

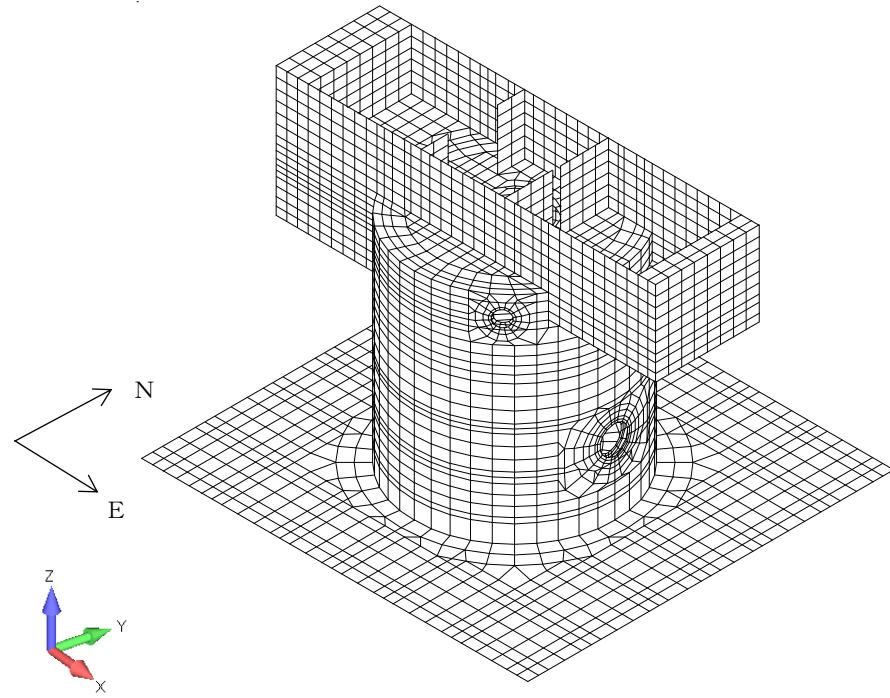
| 項目 | 内容 | 既工事認 | 今回工事認 | 備考 |
|-------------------|--|---|---|----|
| モデル | 非線形特性 | ・考慮しない | (荷重状態Ⅲ) ・同左 (荷重状態Ⅳ, V) コンクリート ・圧縮側のコンクリート構成則 : CEB-FIP Model code に基づき設定 ・ひび割れ発生後の引張軟化曲線 : 出雲ほか (1987) による式 鉄筋 ・バイリニア型 | — |
| 地震荷重との 組合せ | 荷重状態Ⅲ : $DL + P_1 (+T_1) + H_1 + K_1 + R_{41}$, $DL + P_{25} (+T_{25}) + K_1 + R_{41}$ 荷重状態Ⅳ : $DL + P_1 + H_1 + K_2 + R_{42}$, $DL + P_{21} + K_1 + R_{41}$ DL : 死荷重及び活荷重 (浮力を含む) P ₁ : 運転時圧力 T ₁ : 運転時温度荷重 P ₂₁ : 異常時圧力 (直後) P ₂₅ : 異常時圧力 (720 時間後) T ₂₅ : 異常時温度荷重 (720 時間後) H ₁ : 逃がし安全弁作動時荷重 K ₁ : S ₁ 地震荷重 (地震時土圧荷重を含む) K ₂ : S ₂ 地震荷重 (地震時土圧荷重を含む) R ₄₁ : S ₁ 地震時配管荷重 R ₄₂ : S ₂ 地震時配管荷重 | 荷重状態Ⅲ : $DL + P_1 (+T_1) + H_1 + K_d + R_d + E_d$, $DL + P_{25} (+T_{25}) + K_d + R_d + E_d$ 荷重状態Ⅳ : $DL + P_1 + H_1 + K_s + R_s + E_s$, $DL + P_{21} + K_d + R_d + E_d$ 荷重状態Ⅴ : $DL + P_{SAL} + H S_{SAL} + H_{SA} + K_d + R_d + E_d$, $DL + P_{SALL} + H S_{SALL} + K_s + R_s + E_s$ DL : 死荷重及び活荷重 (浮力を含む) P ₁ : 運転時圧力 T ₁ : 運転時温度荷重 P ₂₁ : 異常時圧力 (直後) P ₂₅ : 異常時圧力 (720 時間後) T ₂₅ : 異常時温度荷重 (720 時間後) H ₁ : 逃がし安全弁作動時荷重 K _d : S _d 地震荷重 E _d : S _d 地震時土圧荷重 K _s : S _s 地震荷重 E _s : S _s 地震時土圧荷重 R _d : S _d 地震時配管荷重 R _s : S _s 地震時配管荷重 P _{SAL} : SA(L)時圧力 H S _{SAL} : SA(L)時水圧荷重 H _{SA} : チャギング荷重 (SA 時) P _{SALL} : SA(LL)時圧力 H S _{SALL} : SA(LL)時水圧荷重 | — | |
| 荷重 の 設 定 | 死荷重 及び 活荷重 | (上部構造モデル) ・躯体自重, 機器配管重量, 静水圧 (基礎スラブモデル) ・躯体自重, 機器配管重量, 静水圧, 上部構造物からの荷重及び浮力 | (上部構造モデル部分) ・同左 (基礎スラブモデル部分) ・同左 | — |
| | 運転時荷重 | ・運転時圧力, 運転時温度荷重及び逃がし安全弁作動時荷重 | ・同左 | — |
| | 異常時荷重 | ・異常時圧力, 異常時温度荷重 | ・同左 | — |
| | 重大事故等 時荷重 | ・考慮せず | ・重大事故等時圧力, 重大事故等時水圧荷重及び重大事故等時水力的動荷重 | — |

表 2-1 応力解析モデル及び手法の比較 (RCCV) (3/3)

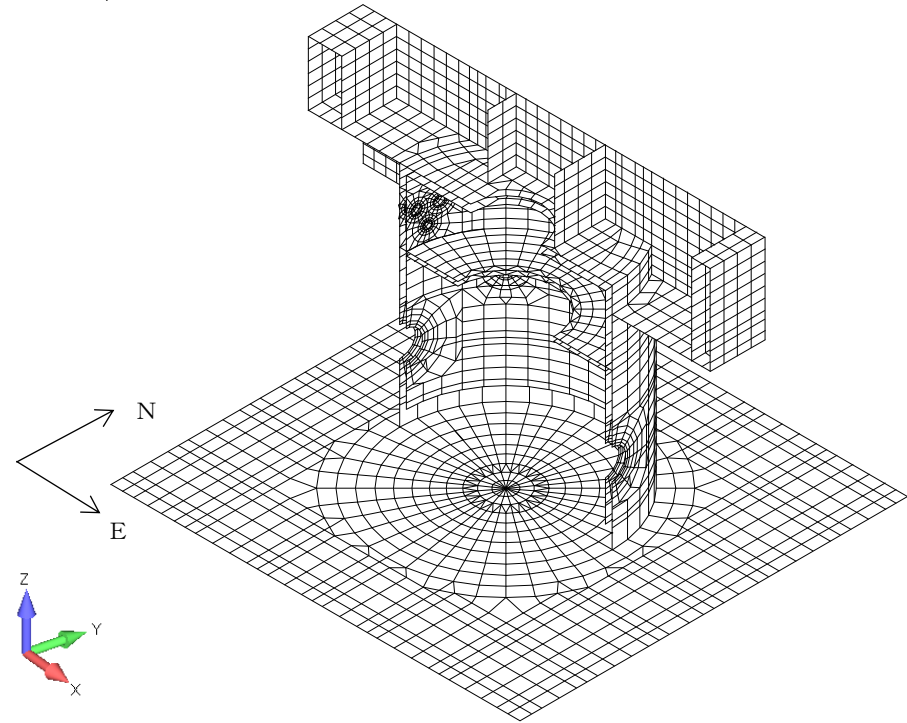
| 項目 | 内容 | 既工認 | 今回工認 | 備考 |
|-------|---------|--|---|--------|
| 荷重の設定 | 地震荷重 | (上部構造モデル) ・上部構造の各階床位置に地震力(水平力, 曲げモーメント, 鉛直力)を入力 (基礎スラブモデル) ・上部構造からの地震力(水平力, 曲げモーメント, 鉛直力)及び基礎部の付加地震力を入力 | (上部構造モデル部分) ・同左 (基礎スラブモデル部分) ・同左 | — |
| | 地震時土圧荷重 | $P_a = 10.0 + 0.65 \cdot \gamma \cdot h$ γ : 土の単位体積重量 (t/m ³) h : 地表面からの深さ (m) | S d 地震時 $P_a = 260 + 0.65 \cdot \gamma \cdot h$ S s 地震時 $P_a = 460 + 0.65 \cdot \gamma \cdot h$ γ : 土の単位体積重量 (kN/m ³) h : 地表面からの深さ (m) ・地震時土圧は, 常時土圧に地震時増分土圧を加えて算出 ・地震時増分土圧は「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)」の地震時増分土圧算定式から加力側増分土圧及び支持側増分土圧を包絡したもものとして評価 | — |
| | 地震時配管荷重 | ・配管貫通部の地震時配管反力 | ・同左 | — |
| 評価方法 | 応力解析 | ・荷重状態Ⅲ: 発生応力が許容限界を超えないことを確認 ・荷重状態Ⅳ: 発生応力又はひずみが許容限界を超えないことを確認 | ・荷重状態Ⅲ, Ⅳ: 同左 ・荷重状態Ⅴ: 発生応力又はひずみが許容限界を超えないことを確認 | ⑥ ⑦ |

【具体的な反映事項】(表の備考欄に対応)

- ①荷重状態Ⅲ及びⅣのモデルについて, 設置変更許可時は上部構造モデルと基礎スラブモデルをそれぞれモデル化する方針としていたが, 上部構造と基礎スラブを一体でモデル化する荷重状態Ⅴとの評価の整合性及び近年の計算機能力の向上を踏まえ, 荷重状態Ⅲ及びⅣも一体でモデル化することとした。
- ②記載したモデル化範囲及び境界条件は, 地震荷重時のものである。地震荷重以外の荷重時については, 以下の変更を行っている。
温度荷重以外の荷重時: 原子炉本体基礎及び下部ドライウェルアクセストンネルをモデル化範囲に加え, 境界条件として外壁の剛性を考慮したロッド要素を基礎スラブに接続する。
温度荷重時: 上記に加えてライナの剛性を考慮する。
それぞれの詳細については, 別紙2「応力解析におけるモデル化, 境界条件及び拘束条件の考え方」に示す。
- ③コンクリートのヤング係数及びせん断弾性係数については, 「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説—許容応力度設計法—」((社)日本建築学会, 1999 改定)に基づき再計算
- ④「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」((社)日本建築学会, 2005 改定)に基づき設定
- ⑤コンクリートのヤング係数を算出するための圧縮強度は実強度, 断面の評価のための圧縮強度は設計基準強度を採用
- ⑥「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」((社)日本機械学会, 2003)に基づき評価
- ⑦弾性解析による荷重状態Ⅲについては, 既工認時と同様に, モデル化範囲及び境界条件が異なる荷重ごとに解析を行い, 解析結果を組み合わせた応力により評価を実施する。
弾塑性解析による荷重状態Ⅳ及びⅤについては, 荷重の種類で区分した解析ステップを設定し, 解析ステップごとにモデル化範囲及び境界条件を変えて荷重を入力する一連の解析を実施し, 最終的な応力又はひずみにより評価を実施する。なお, 解析ステップは圧力及び地震荷重以外の荷重, 圧力, 地震荷重の順であり, 荷重ごとのモデル化範囲及び境界条件の考え方は弾性解析と同じである。



(a) 全体図



(b) 北側半分図化

図 2-1 応力解析モデル図 (地震荷重時)

別紙 1-1 今回工認における異常時荷重の考え方

目 次

| | |
|--------------------------------|----------|
| 1. 概要 | 別紙 1-1-1 |
| 2. 今回工認における荷重の組合せ | 別紙 1-1-2 |
| 3. 既工認における異常時圧力及び異常時温度荷重 | 別紙 1-1-5 |
| 4. まとめ | 別紙 1-1-8 |

1. 概要

原子炉格納容器コンクリート部（以下「RCCV」という。）の応力解析においては、既工認*における異常時圧力及び異常時温度荷重から今回工認における異常時圧力及び異常時温度荷重を設定している。本資料は、その考え方について示すものである。

注記*：平成4年3月27日付け3資庁第13034号にて認可された工事計画の添付資料Ⅳ-1-3「原子炉格納施設の基礎の説明書」及びⅣ-3-4-1-1「原子炉格納容器コンクリート部の強度計算書」

2. 今回工認における荷重の組合せ

RCCV の応力解析における荷重の組合せは、V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している荷重の組合せを用いている。V-2-1-9「機能維持の基本方針」における荷重の組合せを表 2-1 に示す。表 2-1 に示すとおり、荷重状態Ⅲ及びⅣにおいて、異常時圧力 P_2 及び異常時温度荷重 T_2 を用いた荷重の組合せを設定しており、荷重状態Ⅲの注記に「冷却材喪失事故時の荷重としての圧力の最大値は考慮しない」、荷重状態Ⅳの注記に「冷却材喪失事故後の最大内圧と S_d （又は静的地震力）との組合せを考慮する」と記載している。

また、V-2-1-9「機能維持の基本方針」における荷重及び荷重の組合せは、「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（（社）日本機械学会，2003）」（以下「CCV 規格」という。）における荷重の組合せに基づき設定している。CCV 規格における荷重の組合せを表 2-2 に示す。表 2-2 に示すとおり、荷重状態Ⅲの（異常＋地震）時は、異常発生から 10^{-1} 年以降の圧力及び温度荷重を考慮すること、荷重状態Ⅳの（異常＋地震）時は、異常時圧力の最大値を考慮することが備考に記載されている。

以上より、RCCV の応力解析における異常時圧力及び異常時温度荷重は、異常発生から 10^{-1} 年以降の圧力及び温度荷重並びに異常時圧力の最大値を用いることとしている。

表 2-1 V-2-1-9 「機能維持の基本方針」における荷重の組合せ

b. 原子炉格納容器

| | | 荷重状態 | 荷重の組合せ | 許容限界 |
|---------|---------|------|---|--|
| | | | | 建物・構築物 |
| 原子炉格納容器 | コンクリート部 | Ⅲ | $D + L + P_1 + R_1 + T_1 + H + S d^*$ | 部材に生じる応力が CCV 規格* ³ における荷重状態Ⅲの許容値を超えないこととする。 |
| | | | $D + L + P_2 + R_2 + T_2 + S d^*$ ^{*1} | 部材に生じる応力が CCV 規格* ³ における荷重状態Ⅲの許容値を超えないこととする。 |
| | | Ⅳ | $D + L + P_1 + R_1 + H + S s$ | 部材に生じる応力若しくはひずみが CCV 規格* ³ における荷重状態Ⅳの許容値を超えないこととする。 |
| | | | $D + L + P_2 + R_2 + S d^*$ ^{*2} | 部材に生じる応力若しくはひずみが CCV 規格* ³ における荷重状態Ⅳの許容値を超えないこととする。 |

〔記号の説明〕

D : 死荷重

L : 活荷重

P₁ : 運転時圧力荷重

R₁ : 運転時配管荷重

T₁ : 運転時温度荷重

P₂ : 異常時圧力荷重

R₂ : 異常時配管荷重

T₂ : 異常時温度荷重

H : 水力学的動荷重

S d* : 弾性設計用地震動 S d により定まる地震力又は S クラス設備に適用される静的地震力のいずれか大きい方の地震力

S s : 基準地震動 S s により定まる地震力

注記*1 : 冷却材喪失事故時の荷重として圧力の最大値は考慮しない。

*2 : 原子炉格納容器は原子炉冷却材喪失時の最終障壁となることから、構造体全体としての安全余裕を確認する意味で、原子炉冷却材喪失後の最大内圧と S d (又は静的地震力) との組合せを考慮する。

*3 : 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
((社) 日本機械学会, 2003)

表 2-2 CCV 規格における荷重の組合せ (抜粋)

別表 4 コンクリート部に作用する荷重

| 荷重状態 | 荷重時 | 荷重 | 死荷重 | 活荷重 | プレストレス荷重 | 運転時圧力 | 運転時配管荷重 | 運転時温度荷重 | 異常時圧力 | 異常時配管荷重 | 異常時温度荷重 | ジェット力 | S ₁ 地震荷重 | S ₂ 地震荷重 | 積雪荷重 | 風圧力 | 試験圧力 | |
|------|-----------|----|-----|-----|----------|-------|---------|---------|-------|---------|---------|-------|---------------------|---------------------|------|-----|------|-----|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| I | 通常運転時 | | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | | | | | | | | | | |
| II | 逃がし安全弁作動時 | | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | | | | | | | | | | |
| | 試験時 | | 1.0 | 1.0 | 1.0 | | | | | | | | | | | | | 1.0 |
| | 積雪時 | | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | | | | | | | 1.0 | | | |
| III | 暴風時 | | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | | | | | | | | | 1.0 | |
| | 地震時 | | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | | | | | 1.0 | | | | | |
| | 異常時 | | 1.0 | 1.0 | 1.0 | | | | 1.0 | 1.0 | 1.0 | | | | | | | |
| | (異常+地震)時 | | 1.0 | 1.0 | 1.0 | | | | 1.0 | 1.0 | 1.0 | | 1.0 | | | | | |
| IV | 地震時 | | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | | | | | | | 1.0 | | | | |
| | 異常時 | | 1.0 | 1.0 | 1.0 | | | | 1.5 | 1.0 | | | | | | | | |
| | ジェット力作用時 | | 1.0 | 1.0 | 1.0 | | | | | | | 1.0 | | | | | | |
| | (異常+地震)時 | | 1.0 | 1.0 | 1.0 | | | | 1.0 | 1.0 | | | 1.0 | | | | | |
| | (異常+積雪)時 | | 1.0 | 1.0 | 1.0 | | | | 1.25 | 1.0 | | | | | 1.25 | | | |
| | (異常+暴風)時 | | 1.0 | 1.0 | 1.0 | | | | 1.25 | 1.0 | | | | | | | 1.25 | |

(備考) 1. この表に掲げる荷重状態の荷重時において、上欄に掲げる荷重に表中の荷重係数を乗じて加えたものが作用するものとする。この場合において、上欄に掲げる荷重は、各荷重時において想定される荷重の発生状況について検討を加え、適切に定めるものとする。

4. 荷重状態Ⅲの(異常+地震)時は、異常時圧力および異常時配管荷重の最大値とS₁地震荷重が同時に作用しないものとする。

この組合せにおいて考慮する異常時荷重は、異常発生から10⁻¹年以降の圧力による荷重、温度荷重および配管荷重とする。

5. 荷重状態Ⅳの(異常+地震)時は、異常時圧力および異常時配管荷重の最大値とS₁地震荷重が同時に作用するものとする。荷重状態Ⅳのジェット力は、沸騰水型原子炉において考慮する。

3. 既工認における異常時圧力及び異常時温度荷重

今回工認においては、異常時の条件が既工認から変更ないため、既工認の異常時圧力及び異常時温度荷重をそのまま用いている。

既工認における異常時圧力を表 3-1 に、異常時温度荷重を表 3-2 に示す。表 3-1 及び表 3-2 に示すとおり、既工認においては、異常発生後の経過時間として「直後」、「30 分」、「6 時間」、「230 時間」及び「720 時間」の 5 種類を設定している。今回工認においては、これらの中から「2. 今回工認における荷重の組合せ」に示した「異常発生から 10^{-1} 年以降の圧力及び温度荷重並びに異常時圧力の最大値」に相当するものを選定している。即ち、 10^{-1} 年（ ≈ 30 日 = 720 時間）以降に相当する「720 時間」の圧力 P_{25} 及び温度荷重 T_{25} 、並びに、異常時圧力の最大値に相当する「直後」の圧力 P_{21} を選定している。なお、「30 分」、「6 時間」及び「230 時間」の異常時圧力及び異常時温度荷重については、既工認において、地震荷重と組み合わせない荷重状態Ⅲの異常時に用いている。

表 3-1 既工認における異常時圧力

(a) シェル部, トップスラブ部

表3-3 異常時圧力 (P₂)

(単位: kg/cm²)

| 異常発生後の経過時間 | 記号 | ドライウエル | サブレッション チェンバ |
|------------|-----------------|--------|-----------------|
| 直後 | P ₂₁ | | |
| 30分 | P ₂₂ | | |
| 6時間 | P ₂₃ | | |
| 24時間 | P ₂₄ | | |
| 720時間 | P ₂₅ | | |

(b) 基礎スラブ

表3-2 異常時圧力 (P₂)

(単位: kg/cm²)

| 異常発生後の経過時間 | 記号 | ドライウエル | サブレッション チェンバ |
|------------|-----------------|--------|-----------------|
| 直後 | P ₂₁ | | |
| 30分 | P ₂₂ | | |
| 6時間 | P ₂₃ | | |
| 230時間 | P ₂₄ | | |
| 720時間 | P ₂₅ | | |

表 3-2 既工認における異常時温度荷重

(a) シェル部, トップスラブ部

表 3-5 異常時温度荷重(T_2)

(単位: °C)

| 異常発生後の経過時間 | 記号 | 季節 | シェル部 | | | | トップスラブ部 | |
|------------|----------|-------------|------|----|----|----|---------|----|
| | | | A部 | | B部 | | 内面 | 外面 |
| | | | 内面 | 外面 | 内面 | 外面 | | |
| 直後 | T_{21} | sT_{21} 夏 | | | | | | |
| | | wT_{21} 冬 | | | | | | |
| 30分 | T_{22} | sT_{22} 夏 | | | | | | |
| | | wT_{22} 冬 | | | | | | |
| 6時間 | T_{23} | sT_{23} 夏 | | | | | | |
| | | wT_{23} 冬 | | | | | | |
| 24時間 | T_{24} | sT_{24} 夏 | | | | | | |
| | | wT_{24} 冬 | | | | | | |
| 720時間 | T_{25} | sT_{25} 夏 | | | | | | |
| | | wT_{25} 冬 | | | | | | |

注: シェル部のA部, B部の位置は, 表3-2の説明図参照のこと。

(b) 基礎スラブ

表 3-3 異常時温度荷重(T_2)

(単位: °C)

| 異常発生後の経過時間 | 記号 | 季節 | RCCV底部 | | | | その他 | |
|------------|----------|-------------|--------|----|----|----|-----|----|
| | | | A部 | | B部 | | C部 | |
| | | | 上面 | 下面 | 上面 | 下面 | 上面 | 下面 |
| 直後 | T_{21} | sT_{21} 夏 | | | | | | |
| | | wT_{21} 冬 | | | | | | |
| 30分 | T_{22} | sT_{22} 夏 | | | | | | |
| | | wT_{22} 冬 | | | | | | |
| 6時間 | T_{23} | sT_{23} 夏 | | | | | | |
| | | wT_{23} 冬 | | | | | | |
| 230時間 | T_{24} | sT_{24} 夏 | | | | | | |
| | | wT_{24} 冬 | | | | | | |
| 720時間 | T_{25} | sT_{25} 夏 | | | | | | |
| | | wT_{25} 冬 | | | | | | |

注: 基礎スラブのA部, B部, C部の位置は, 表3-1の説明図参照のこと。

4. まとめ

RCCV の応力解析における今回工認の異常時圧力及び異常時温度荷重の設定の考え方について整理した。今回工認における荷重の組合せと既工認における異常時圧力及び異常時温度荷重を踏まえ、今回工認における異常時圧力及び異常時温度荷重を適切に設定していることを確認した。

別紙2 応力解析におけるモデル化，境界条件及び拘束条件の考え方

目 次

1. 概要 別紙 2-1
2. 応力解析におけるモデル化, 境界条件及び拘束条件 別紙 2-2

1. 概要

本資料は、原子炉格納容器コンクリート部（以下「RCCV」という。）の応力解析におけるモデル化、境界条件及び拘束条件についての概要を示すものである。

2. 応力解析におけるモデル化，境界条件及び拘束条件

RCCV の応力解析におけるモデル化，境界条件及び拘束条件を表 2-1 に示す。

直接基礎の底面及び側面の地盤ばねの設定における基本的な考え方は，以下のとおり。

(1) 底面地盤ばね

- 水平ばね

振動アドミタンス理論に基づく水平ばねより算出する。

- 鉛直ばね

基礎浮上りを考慮し，回転ばね反力として生じる転倒モーメントを適切に評価するため，振動アドミタンス理論に基づく回転ばねより算出する。

(2) 側面地盤ばね

- 水平ばね

Novak の手法に基づく水平ばねにより算出する。

- 鉛直ばね

Novak の手法に基づく回転ばねにより算出する。

有限要素法を用いた解析モデルにおける要素分割の考え方*については，以下のとおり。

- はり要素

はり要素の場合は，曲げの変位関数が 3 次で精度が高いため，基本的に要素分割の細分化は不要であるが，部材の接合点間で変位情報出力や荷重入力がある場合には複数要素に細分し，曲線部材がある場合は，その曲線が直線近似できる程度の分割にすることが一般的である。また，分布荷重がある場合や分布質量が関係する自重荷重などの計算では，要素分割することにより質量分布がより正確になり，解析結果の精度が向上する。更に，要素分割の細分化により，変形図やモード図で構造物の変形状態を容易に把握することが可能となる。

- シェル要素

要素分割は，基本的には発生する応力状態によって決まり，構造形状と荷重条件より要素分割数を考慮する。要素形状の縦横比（アスペクト比）は，重要部分で 1:2 以下，その他の領域や応力変化が少ない領域では，1:3 程度までで，分割に際しては 4 角形要素を利用して格子状とするのが一般的である。曲面板構造の場合は，平板要素や軸対称シェル要素の大きさは，集中荷重や不連続部を含む曲面部近傍では $2.5\sqrt{R/t}$ を 10~20 分割すると適切な応力分布が求められ，構造物の半径 (R) と板厚 (t) が考慮されている。また，面内曲げ・軸力及び面外のせん断や曲げを受ける部材のシェル要素の辺の長さは，シェルの広がり方向の応力分布の状態から決まり，応力変化が大きい領域は要素を小さくする必要がある。

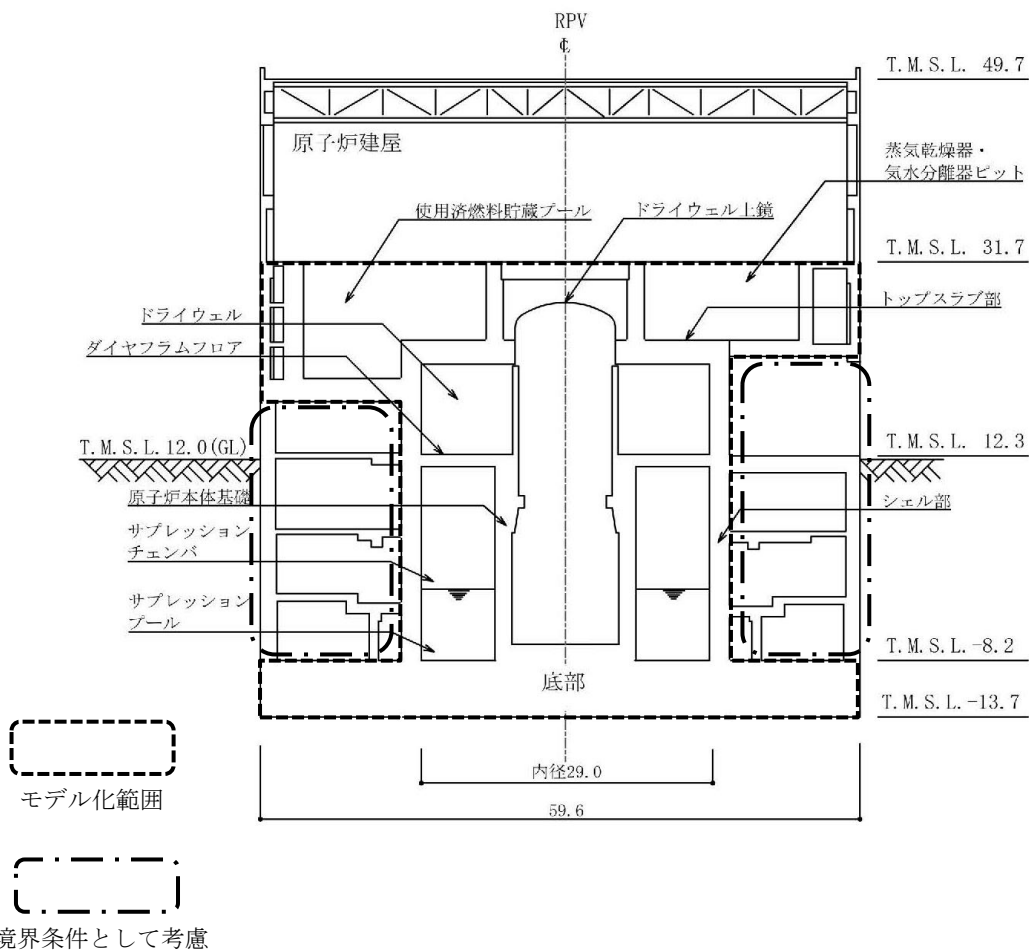
注記*：構造解析のための有限要素法実践ハンドブック（非線形 CAE 協会，2008 年）

表 2-1 モデル化, 境界条件及び拘束条件 (1/6)

モデル概要

○モデル化範囲

- ・地震荷重時は RCCV シェル部, トップスラブ部, 使用済燃料貯蔵プール, 蒸気乾燥器・気水分離器ピット, ダイヤフラムフロア及び RCCV 底部を含む基礎スラブをモデル化する。
- ・地震荷重以外の荷重時は, 原子炉本体基礎及び下部ドライウエルアクセストンネルを上記のモデル化範囲に加える。
- ・上部構造モデル部分については周辺床及び外壁の剛性を境界条件として考慮する。
- ・基礎スラブモデル部分については外壁及び中間壁の剛性を境界条件として考慮する。



モデル化範囲 (単位 : m)

表 2-1 モデル化、境界条件及び拘束条件 (2/6)

モデル概要

○使用要素

【荷重状態Ⅲ】

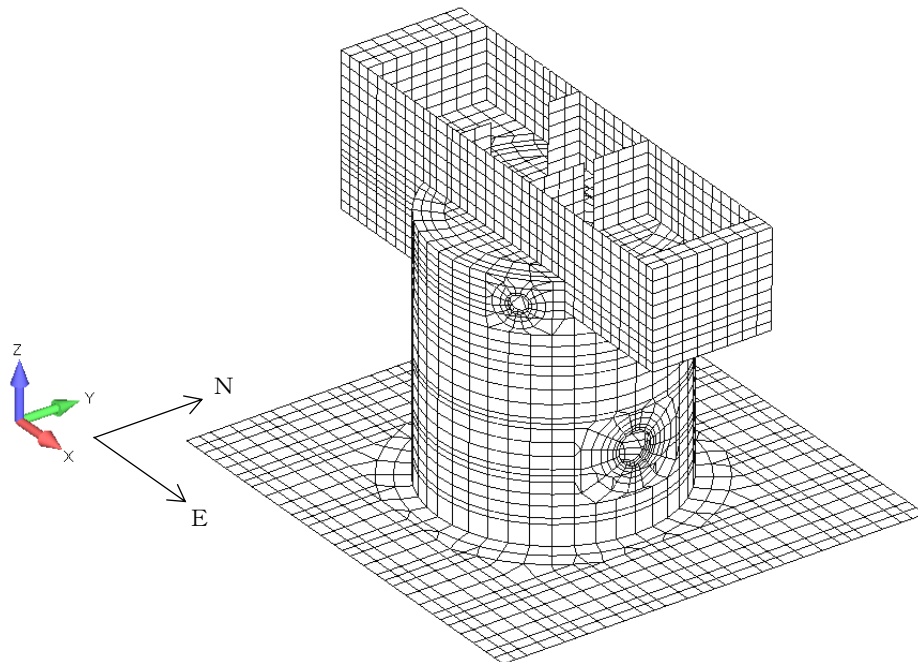
- ・シェル要素

【荷重状態Ⅳ, Ⅴ】

- ・積層シェル要素

○要素分割

- ・要素の一边の長さを 2.0m 程度とし、壁、スラブ及び開口の配置を考慮して分割する。



モデル概要

表 2-1 モデル化, 境界条件及び拘束条件 (3/6)

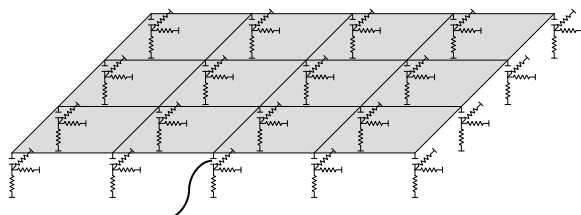
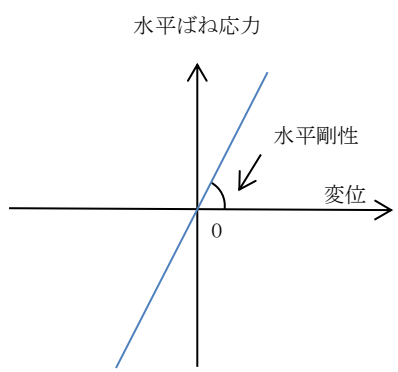
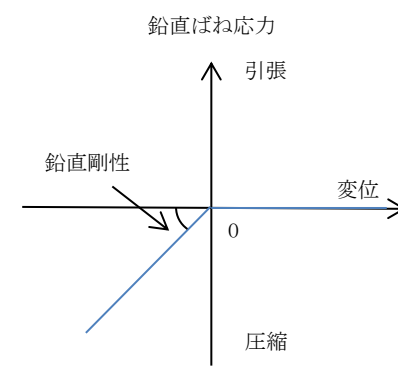
| 境界条件, 拘束条件 | |
|--|--|
| 上部構造物と基礎スラブの境界 | |
| <ul style="list-style-type: none"> 基礎スラブと上部構造物の境界部においては, 上部構造物の剛性を考慮することで, 基礎スラブの応力・変形状態を評価する。 外壁の脚部については, 多点拘束を設ける。(外壁の脚部の節点の鉛直方向が平面保持するように変形を拘束する。) 中間壁の脚部については, はり要素を設ける。 開口部については, はり要素の剛性を低減することで考慮する。 基礎スラブから立ち上がる独立柱については, その剛性を考慮しない。 | |
| はり要素の剛性 (断面性能) | |
| <ul style="list-style-type: none"> 曲げ剛性 (断面二次モーメント) : $I = t \times h^3 / 12$ せん断剛性 (せん断断面積) : $A_s = t \times h$ | <ul style="list-style-type: none"> t : 壁の厚さ h : モデル化する壁の高さ |
| 基礎スラブと地盤の境界 | |
| <ul style="list-style-type: none"> 地震時の評価については, 基礎スラブと底面地盤との間に底面地盤を表現するギャップ要素を設け, 基礎スラブと底面地盤との間の剥離 (基礎スラブの浮上り) を考慮している。 地震時以外の評価については, 基礎スラブの浮上りは考慮せず, 静的地盤定数から算定される地盤ばねを設ける。なお, 静的地盤ばね定数は既工認と同じ値とする。 | |
|  <p>ギャップ要素</p> | |
| モデル概要 | |
| ○ギャップ要素 | |
| 鉛直ばねに引張力が発生した際に, 水平剛性及び鉛直剛性をゼロとし, 浮上りを考慮する。 | |
|  |  |
| 注: 鉛直ばねに引張力が発生した場合には, 水平剛性もゼロとする。 | |
| (a) 水平剛性 | (b) 鉛直剛性 |
| ギャップ要素の概念図 | |

表 2-1 モデル化, 境界条件及び拘束条件 (4/6)

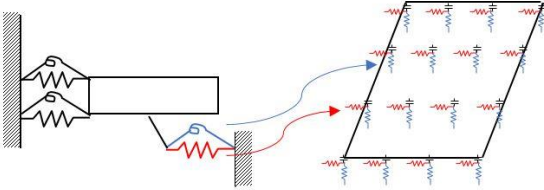
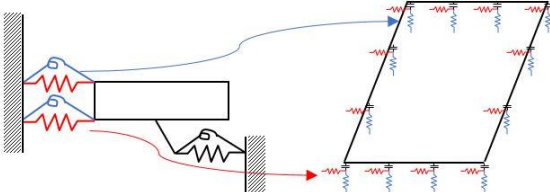
| 境界条件, 拘束条件 |
|---|
| <p>基礎スラブと地盤の境界</p> <p>○底面地盤ばね</p> <p>水平剛性及び鉛直剛性は以下のとおり設定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 水平剛性：振動アドミタンス理論による水平ばね K_H を節点支配面積 A_i で離散化。 $K_{Hi} = (K_{H NS} / A + K_{H EW} / A) / 2 \times A_i \quad A : \text{基礎スラブの底面積}$ ・ 鉛直剛性：地震時は、転倒モーメントが支配的となるため振動アドミタンス理論による回転ばね K_R を節点支配面積 A_i で離散化。地震時以外は、静的地盤ばね定数 K_V を節点支配面積 A_i で離散化。 地震時 $K_{Vi} = (K_{R NS} / I_{NS} + K_{R EW} / I_{EW}) / 2 \times A_i$ $I : \text{基礎スラブの断面二次モーメント}$ 地震時以外 $K_{Vi} = (K_V / A) \times A_i \quad A : \text{基礎スラブの底面積}$ <div style="text-align: center;">  <p style="text-align: right;">基礎スラブ底面全体で 離散化</p> <p style="text-align: center;">底面地盤ばね</p> </div> |
| <p>○側面地盤ばね</p> <p>水平剛性及び鉛直剛性は以下のとおり設定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 水平剛性：Novak の手法に基づく側面水平地盤ばね定数 ${}_sK_s$ を節点支配長さ L_i で離散化。 ${}_s k_{si} = ({}_s K_s / (2 \times L_{NS} + 2 \times L_{EW})) \times L_i$ $L_{NS} : \text{基礎スラブ辺長 (NS 方向)}$ $L_{EW} : \text{基礎スラブ辺長 (EW 方向)}$ ・ 鉛直剛性：Novak の手法に基づく側面回転地盤ばね定数 ${}_sK_r$ を節点支配長さ L_i で離散化。 ${}_s k_{vi} = ({}_s K_r / I'_{NS} + {}_s K_r / I'_{EW}) / 2 \times L_i$ $I'_{NS(EW)} = L_{EW(NS)} \times L_{NS(EW)}^2 / 2 + L_{NS(EW)}^3 / 6$ <div style="text-align: center;">  <p style="text-align: right;">基礎スラブ外周で 離散化</p> <p style="text-align: center;">側面地盤ばね</p> </div> |

表 2-1 モデル化, 境界条件及び拘束条件 (5/6)

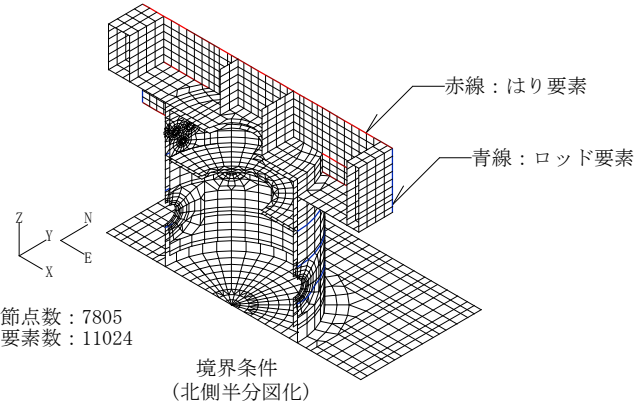
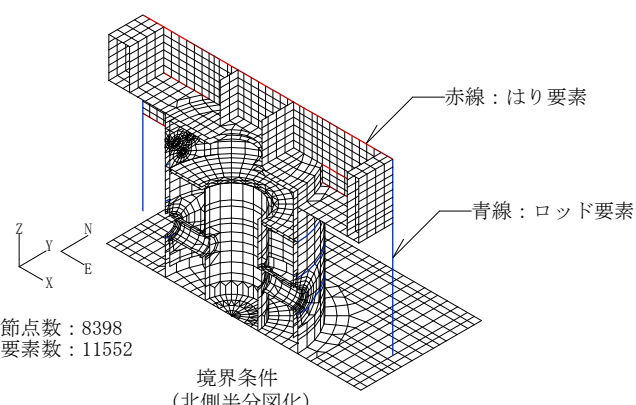
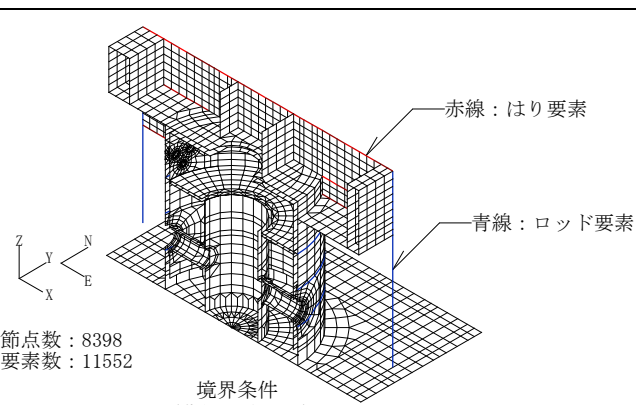
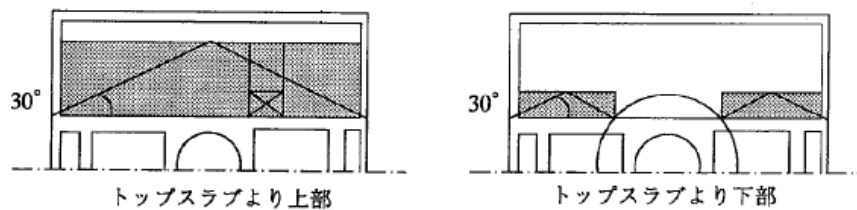
| 境界条件, 拘束条件 | |
|--|--|
| 上部構造物と周辺構造物との境界 | |
| 地震荷重時 | |
|  <p>赤線：はり要素 青線：ロッド要素</p> <p>節点数：7805 要素数：11024</p> <p>境界条件 (北側半分図化)</p> | <ul style="list-style-type: none"> 原子炉本体基礎及び下部ドライウエルアクセストンネルはモデル化しない。 RCCV シェル部, トップスラブ部, 使用済燃料貯蔵プール及び蒸気乾燥器・気水分離器ピットは, 周辺床 (はり要素, ロッド要素) の剛性による拘束を考慮するが, 外壁の剛性を考慮したロッド要素は基礎スラブに接続しない。 ライナの剛性は考慮しない。 |
| 地震荷重及び温度荷重以外の荷重時 | |
|  <p>赤線：はり要素 青線：ロッド要素</p> <p>節点数：8398 要素数：11552</p> <p>境界条件 (北側半分図化)</p> | <ul style="list-style-type: none"> RCCV シェル部, トップスラブ部, 使用済燃料貯蔵プール及び蒸気乾燥器・気水分離器ピットは, 周辺床 (はり要素, ロッド要素) の剛性による拘束を考慮し, 外壁の剛性を考慮したロッド要素は基礎スラブに接続する。 ライナの剛性は考慮しない。 |
| 温度荷重時 | |
|  <p>赤線：はり要素 青線：ロッド要素</p> <p>節点数：8398 要素数：11552</p> <p>境界条件 (北側半分図化)</p> | <ul style="list-style-type: none"> RCCV シェル部, トップスラブ部, 使用済燃料貯蔵プール及び蒸気乾燥器・気水分離器ピットは, 周辺床 (はり要素, ロッド要素) の剛性による拘束を考慮し, 外壁の剛性を考慮したロッド要素は基礎スラブに接続する。 ライナの剛性を考慮する。 |

表 2-1 モデル化, 境界条件及び拘束条件 (6/6)

| 境界条件, 拘束条件 | | |
|--|--|---|
| 上部構造物と周辺構造物との境界 | | |
| はり要素の剛性 (断面性能) | | |
| <ul style="list-style-type: none"> ・ 軸剛性 (軸断面積) : $A = t \times h$ ・ 曲げ剛性 (断面二次モーメント) : $I = t \times h^3 / 12 + A \times (h/2 + D/2)^2$ ・ せん断剛性 (せん断断面積) : $A_s = t \times h$ | | <ul style="list-style-type: none"> t : 床の厚さ h : モデル化する床の幅*1 D : 壁の厚さ |
| ロッド要素の剛性 (断面性能) | | |
| <ul style="list-style-type: none"> ・ 軸剛性 (軸断面積*2) : $A = t \times h$ | | <ul style="list-style-type: none"> t : 壁の厚さ h : モデル化する壁の幅*3 |

注記*1: プールガーダに取り付く床の幅については, 既工認と同様に, 下図のとおりプールの最外端からプールガーダに対して 30° の角度の範囲として設定する。



*2: RCCV 周辺床の軸断面積については, 既工認と同様に, 各階の床スラブと等価な面積となる穴あき円盤の半径方向軸剛性をもとに設定する。

*3: プールガーダに取り付く外壁の幅については, 既工認と同様に, 東側及び西側の外壁長さの 1/2 として設定する。

別紙 3 地震荷重の入力方法

目 次

1. 概要 別紙 3-1
2. 地震荷重の入力方法 別紙 3-2

1. 概要

本資料は、コンクリート製原子炉格納容器（以下「RCCV」という。）に作用する地震荷重の入力方法について示すものである。

2. 地震荷重の入力方法

RCCV の応力解析に当たって、FEM モデルに入力する地震荷重として、水平地震力、鉛直地震力及び地震時土圧荷重を考慮する。

地震荷重の入力は、基準地震動 S_s 、弾性設計用地震動 S_d 及び静的地震力に対する地震応答解析結果を考慮し、FEM モデルに入力する水平力、曲げモーメント及び鉛直力が、各質点位置で地震応答解析結果と等価になるように設定する。

具体的には、水平地震力については、地震応答解析により求まる各層の最大応答せん断力に基づく水平力を FEM モデルに入力する。上部構造モデル部分については、地震応答解析モデルの各質点位置に相当する FEM モデルの各節点に節点荷重として入力する。上部構造物から作用する基礎スラブへの地震時反力については、FEM モデルにおける上部構造物脚部に対応する各節点に、節点の支配面積に応じて分配し、節点荷重として入力する。基礎スラブモデル部分については、地震応答解析より求まる基礎スラブ底面地盤ばねと基礎スラブ側面地盤ばねのそれぞれの最大水平力の合算値から、上部構造物から作用する水平力を差し引いた値と等価になる荷重（以下「付加せん断力」という。）を FEM モデルの基礎スラブの各節点に、節点の支配面積に応じて分配し、節点荷重として入力する。

また、地震応答解析により求まる各質点の最大応答曲げモーメントと FEM モデルに入力した水平力により発生する曲げモーメントの差分を FEM モデルに入力する。上部構造モデル部分については、偶力に置換して節点荷重として入力する。上部構造物から作用する基礎スラブへの地震時反力は、偶力に置換して水平力の入力位置に節点荷重として入力する。基礎スラブモデル部分については、地震応答解析より求まる基礎スラブ底面地盤ばねと基礎スラブ側面地盤ばねのそれぞれの最大曲げモーメントの合算値から、上部構造物から作用する曲げモーメントを差し引いた値と等価になる荷重（以下「付加曲げモーメント」という。）を FEM モデルの基礎スラブの各節点に、節点の支配面積と中心位置からの距離に応じて偶力に置換して分配し、節点荷重として入力する。EW 方向のプール部の回転ばねによる曲げモーメントについては、プールガーダの長さで除して求めた外壁からの鉛直方向の反力を、プールガーダの端部及び基礎スラブの外壁脚部に節点荷重として入力する。

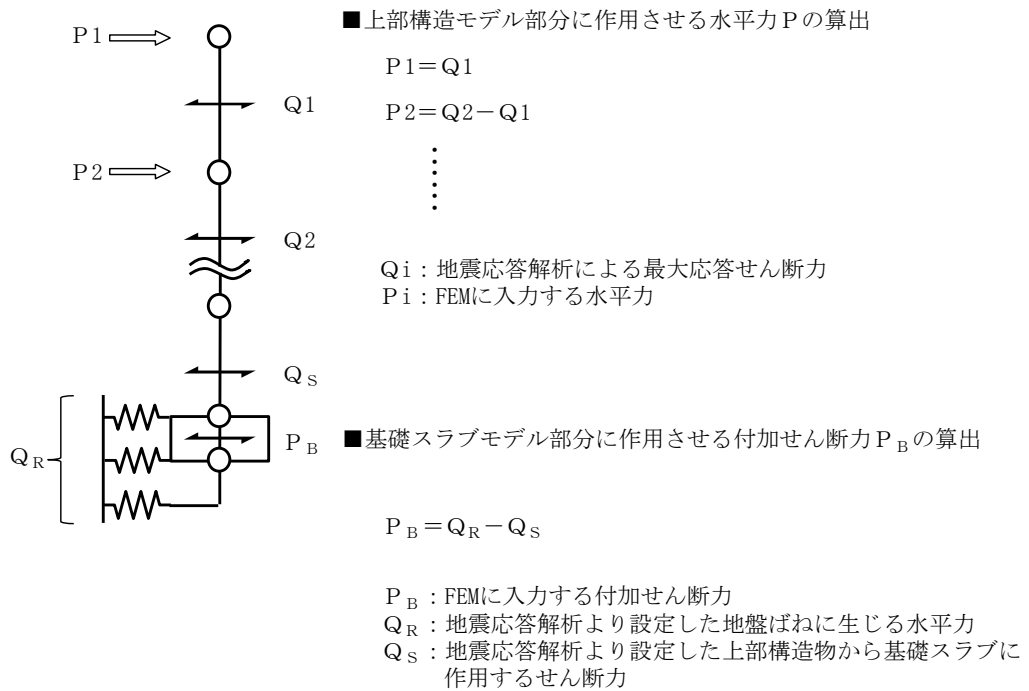
なお、水平地震力及び曲げモーメントについては、耐震壁の位置に対応する節点に入力することを原則とするが、プールガーダは建屋中央部の耐震壁と同じ厚さの壁が外壁まで連続することから、プールガーダ全体に対応する節点に入力する。また、曲げモーメントの偶力への置換については、建屋中心軸からの平面保持を仮定している。外壁部については、地震応答解析モデルの曲げ剛性評価において考慮しているフランジ部脚部への入力も可能であるが、外壁脚部は多点拘束していることから、フランジ部の負担分を含め、ウェブ部にのみ入力する。

鉛直地震力については、地震応答解析により求まる各質点の最大応答加速度及び基礎

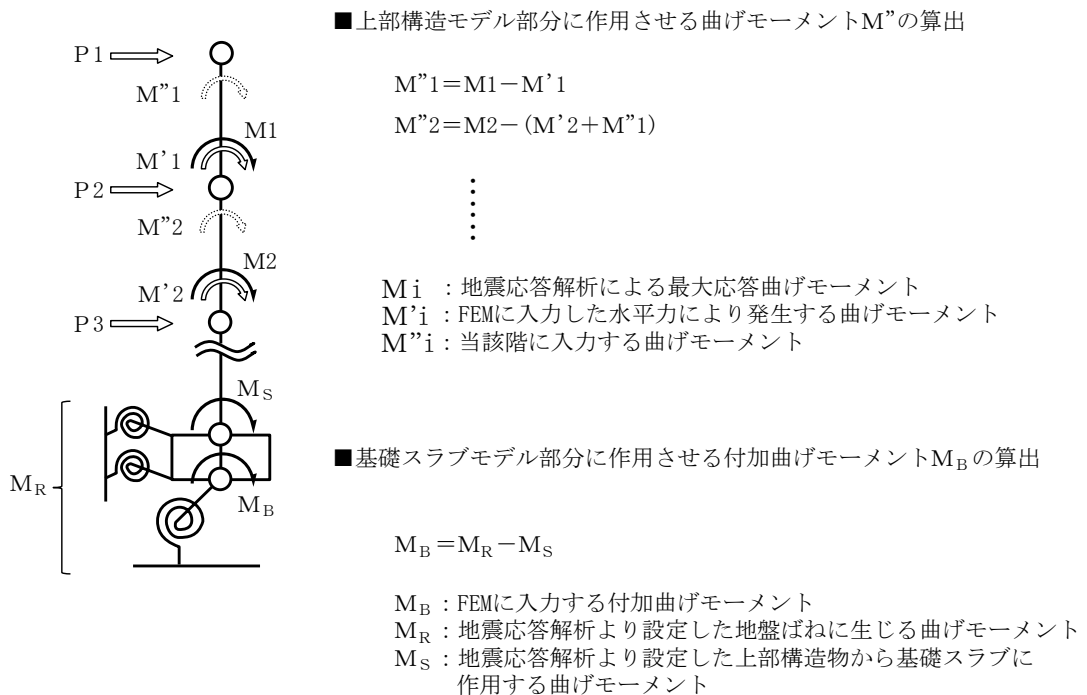
直上の部材の軸力から算出した鉛直震度及び軸力係数に基づく鉛直力を FEM モデルに入力する。上部構造モデル部分については、FEM モデルの各節点に、節点の支配重量に鉛直震度を乗じた節点荷重として入力する。上部構造物から作用する基礎スラブへの地震時反力については、FEM モデルにおける上部構造物脚部位置に対応する各節点の支配面積に応じて上部構造物の重量を分配した支配重量に鉛直震度（軸力係数）を乗じた節点荷重として入力する。基礎スラブモデル部分については、地震応答解析より求まる基礎スラブ底面地盤ばねの鉛直力から上部構造物から作用する鉛直力を差し引いた値と等価になる荷重（以下「付加軸力」という。）を基礎スラブの重量で除して付加軸力係数を算定する。そして、FEM モデルの基礎スラブの各節点の支配重量に付加軸力係数を乗じた節点荷重として入力する。

地下外壁部に作用する地震時土圧荷重により基礎スラブに作用する荷重は、外壁を各階スラブ位置で支持した連続ばりモデルを用いて算定する。算定した外壁脚部に生じる単位長さ当たりの曲げモーメント及びせん断力は、基礎スラブ外周の節点の支配長さに応じて分配し、節点荷重として入力する。なお、曲げモーメントについては、壁厚を考慮した偶力に置換し、節点荷重として入力する。

FEM モデルに入力する地震荷重の概念図を図 2-1 に示す。また、FEM モデルに入力する地震荷重を図 2-2 に示す。なお、図 2-2 における地震時土圧荷重は、地震時増分土圧荷重として示す。

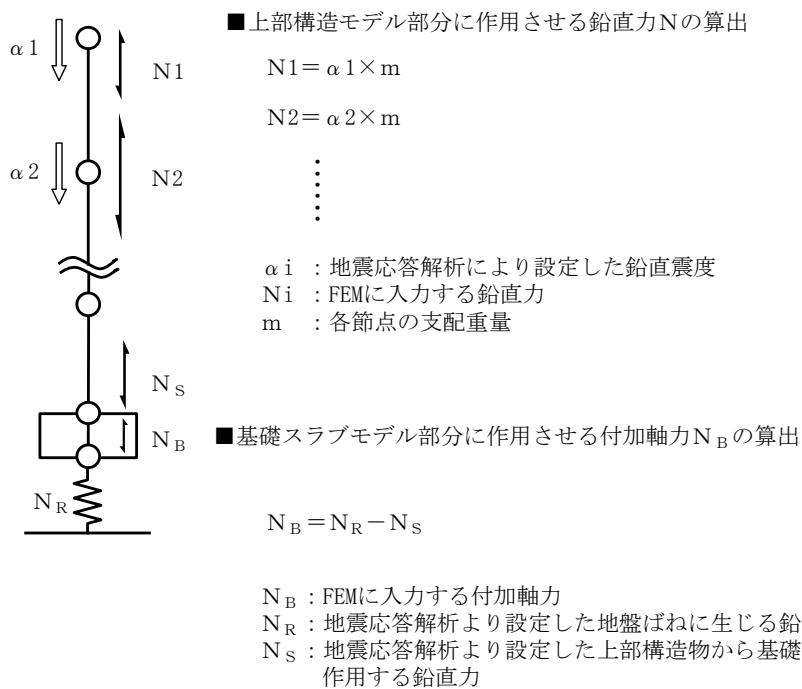


(a) 水平地震力

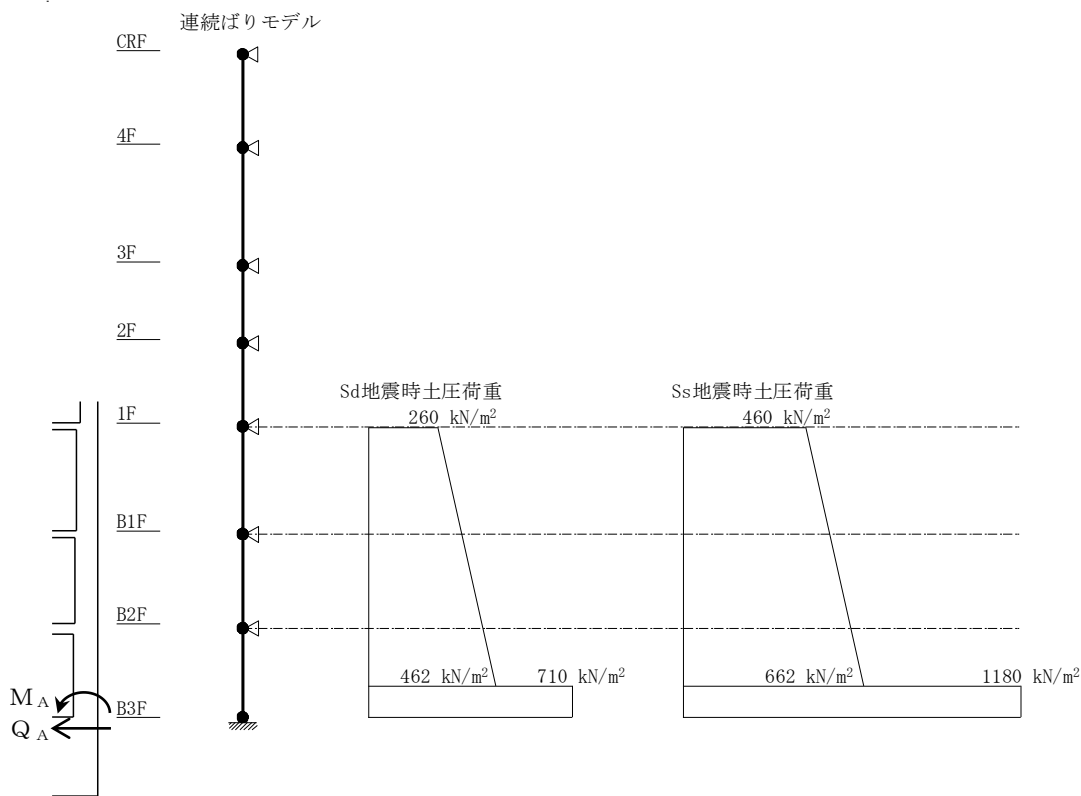


(b) 曲げモーメント

図 2-1 FEM モデルに入力する地震荷重の概念図 (1/2)



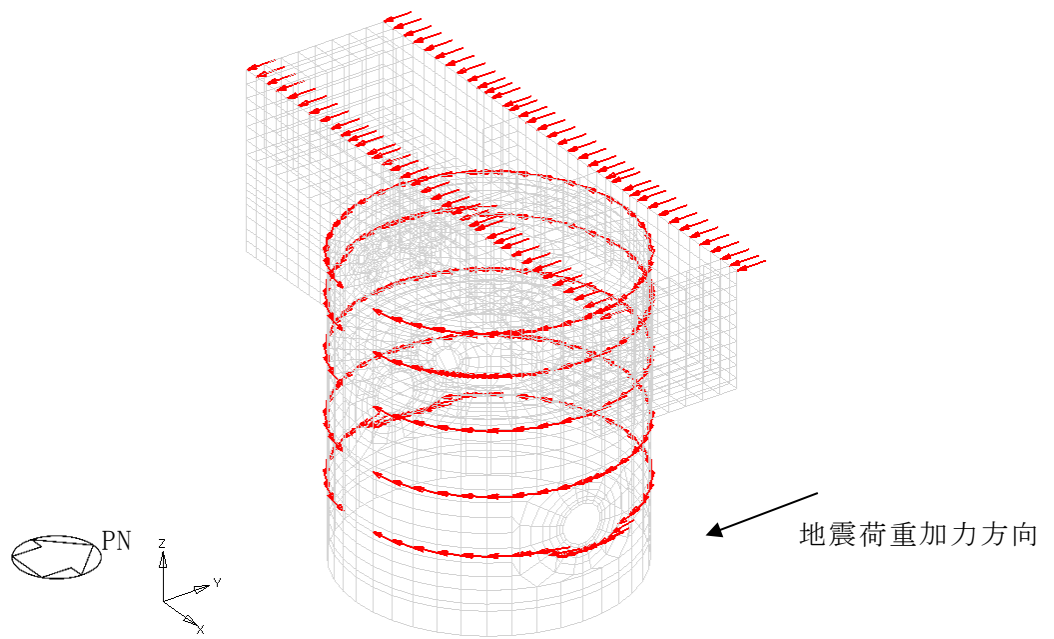
(c) 鉛直地震力



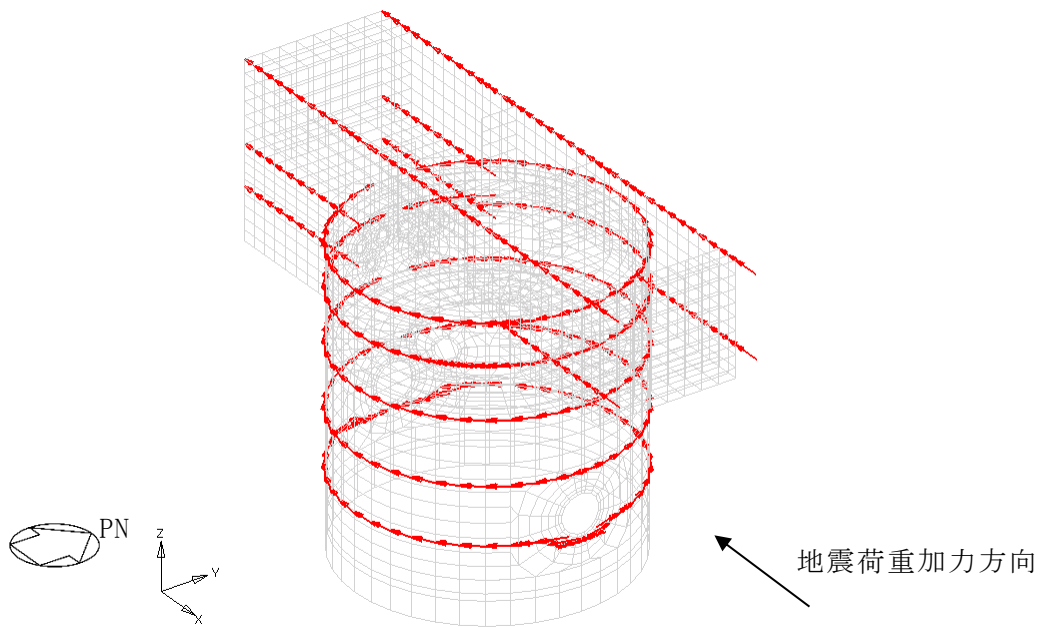
Q_A : 基礎スラブに入力するせん断力
 M_A : 基礎スラブに入力する曲げモーメント

(d) 地震時土圧荷重

図 2-1 FEM モデルに入力する地震荷重の概念図 (2/2)

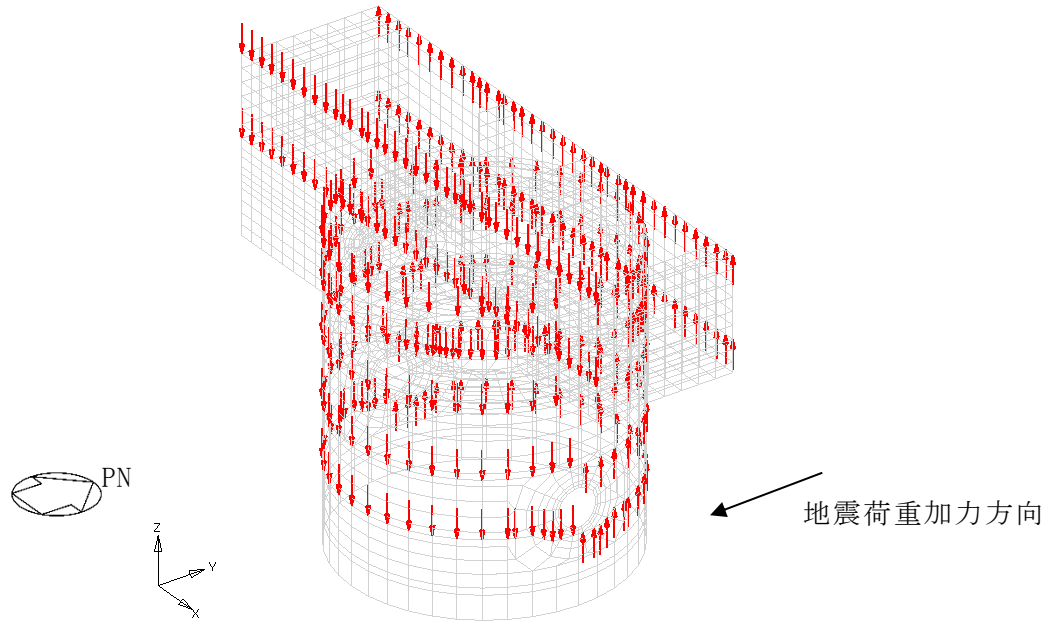


(a) 水平力 (NS 方向) 上部構造モデル部分

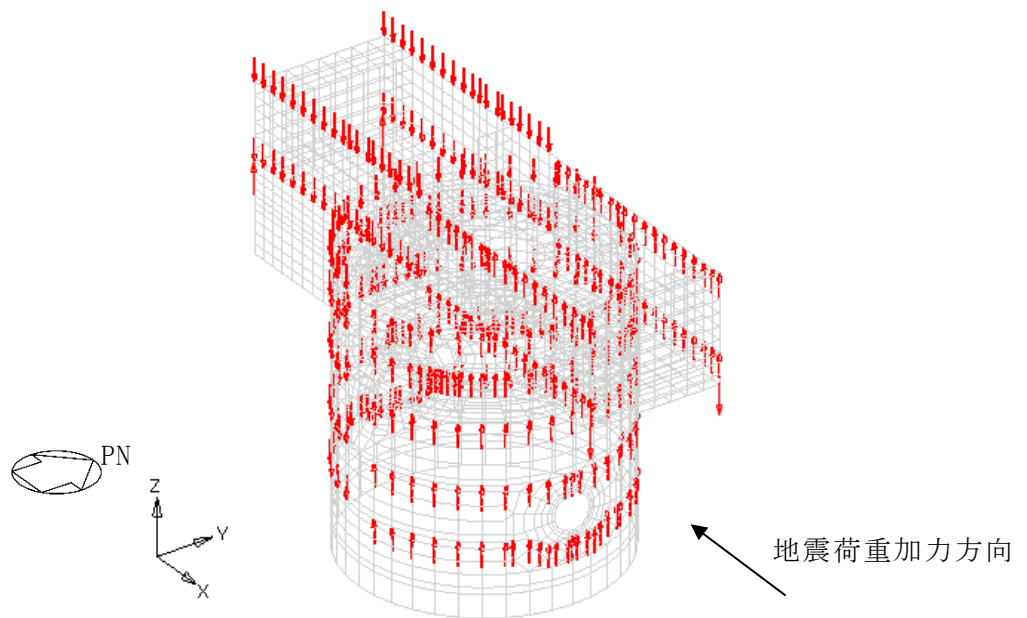


(b) 水平力 (EW 方向) 上部構造モデル部分

図 2-2 FEM モデルに入力する地震荷重 (1/11)

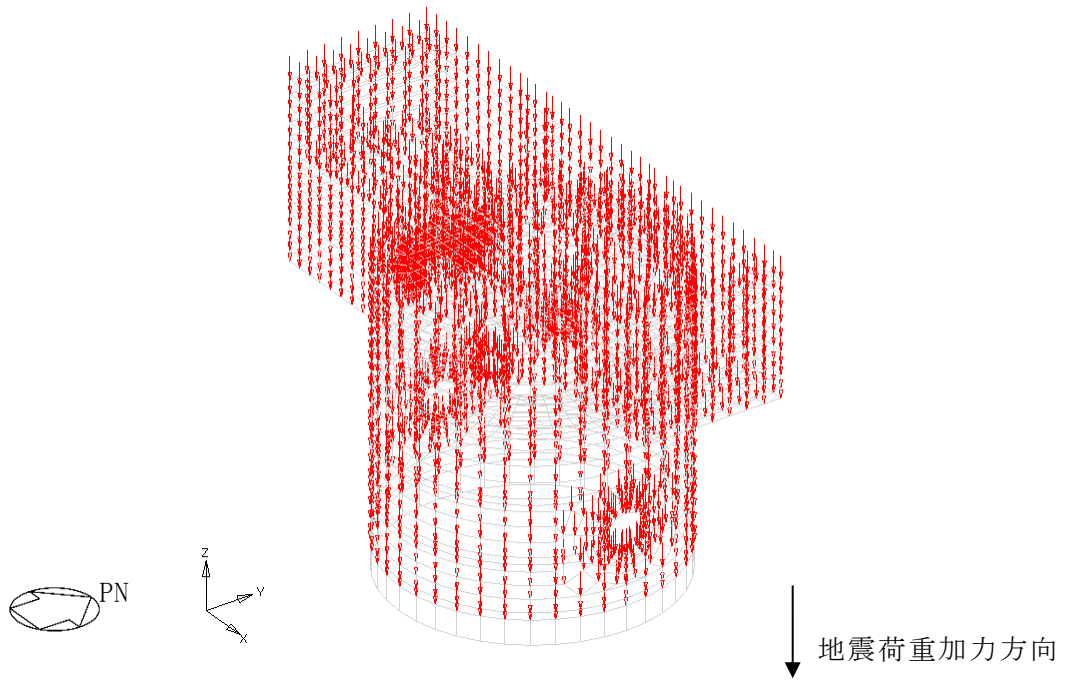


(c) 曲げモーメント (NS 方向) 上部構造モデル部分



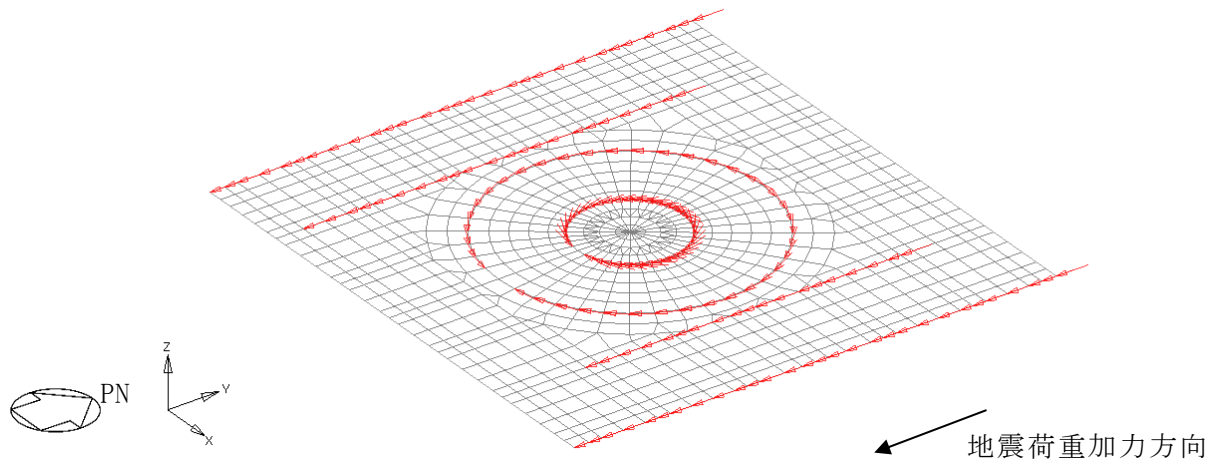
(d) 曲げモーメント (EW 方向) 上部構造モデル部分

図 2-2 FEM モデルに入力する地震荷重 (2/11)

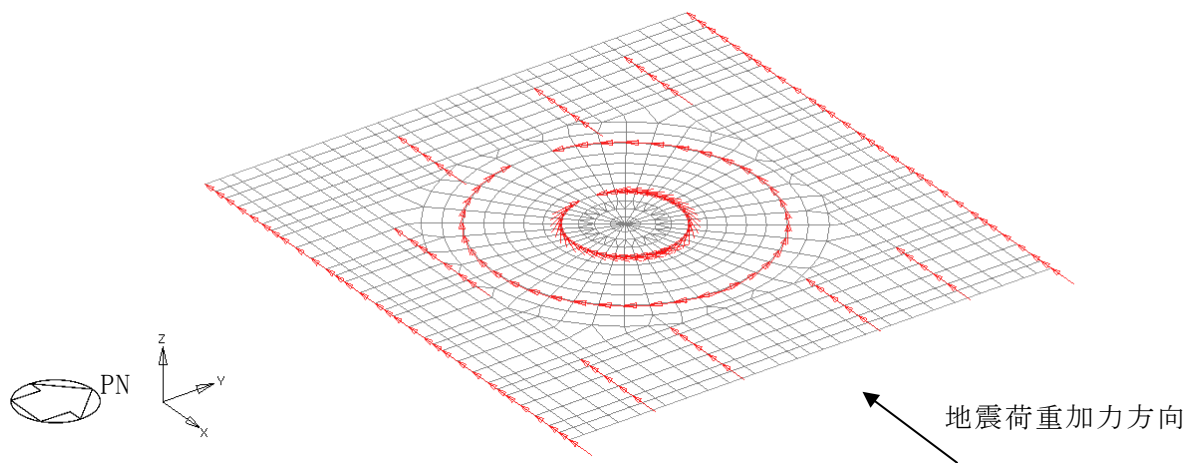


(e) 鉛直力 上部構造モデル部分

図 2-2 FEM モデルに入力する地震荷重 (3/11)

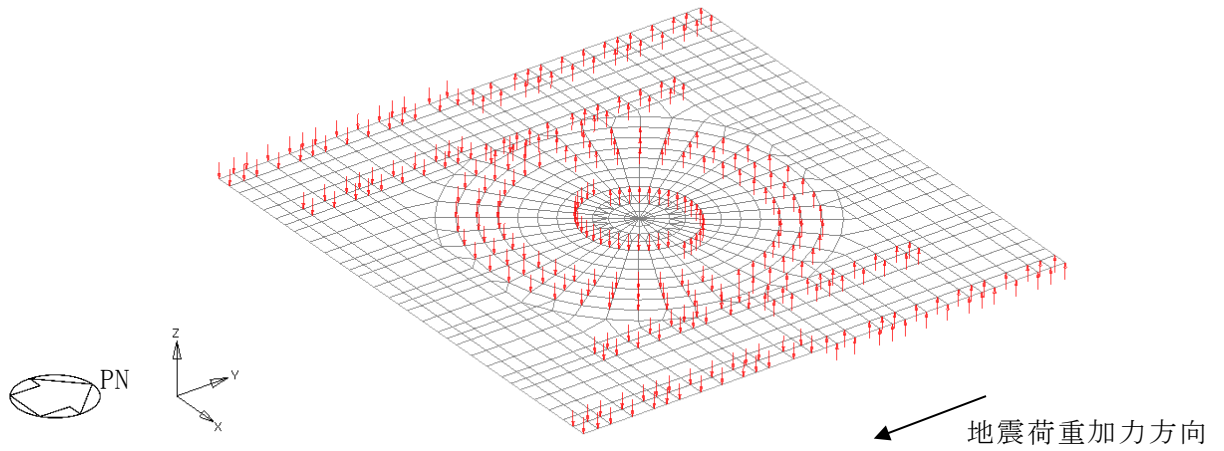


(f) 水平力 (NS 方向) 基礎スラブモデル部分

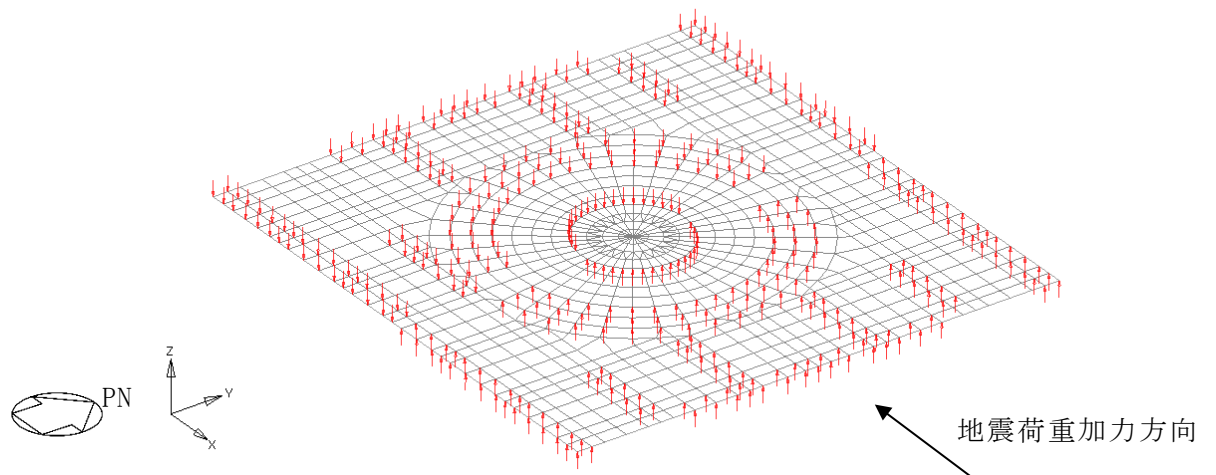


(g) 水平力 (EW 方向) 基礎スラブモデル部分

図 2-2 FEM モデルに入力する地震荷重 (4/11)

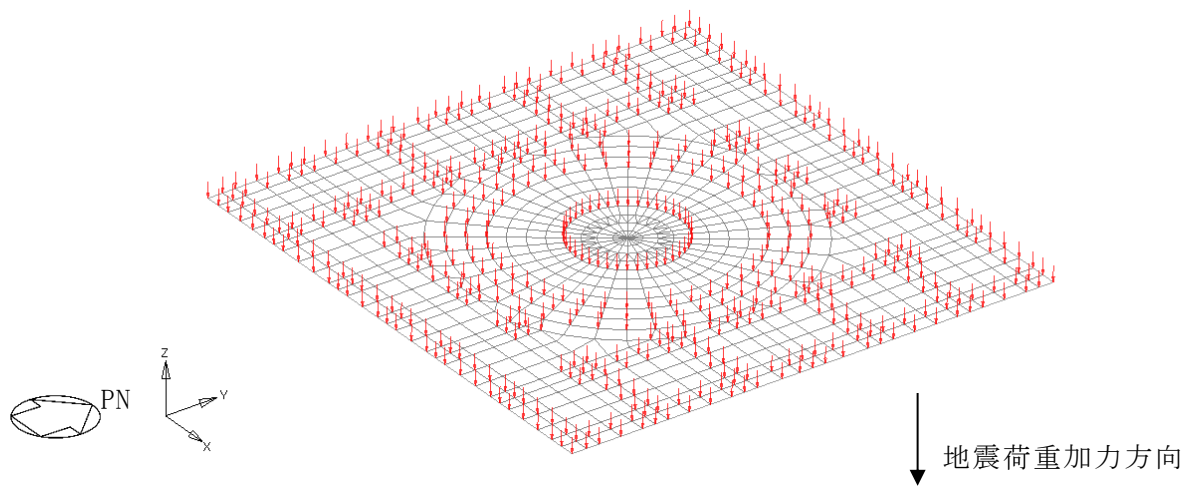


(h) 曲げモーメント (NS 方向) 基礎スラブモデル部分



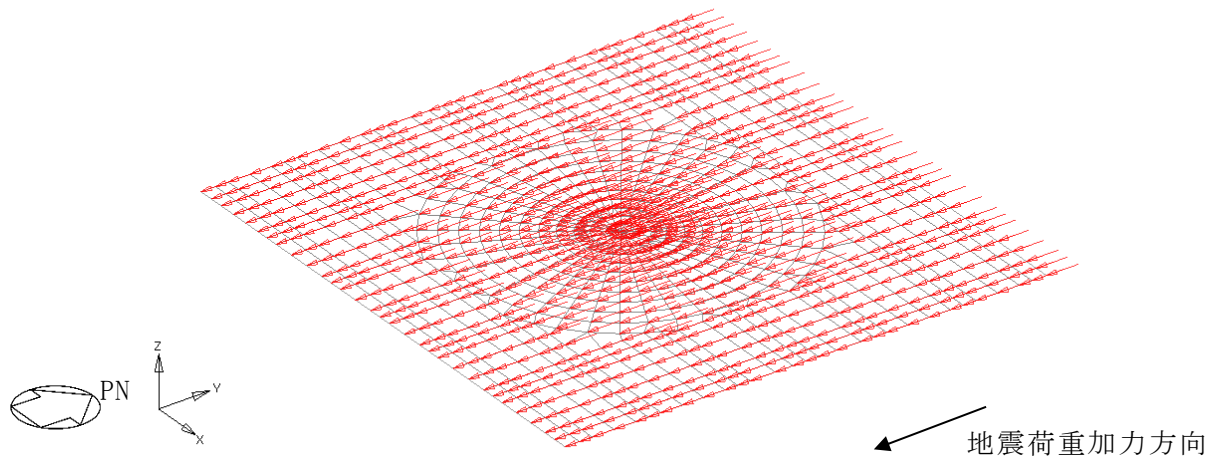
(i) 曲げモーメント (EW 方向) 基礎スラブモデル部分

図 2-2 FEM モデルに入力する地震荷重 (5/11)

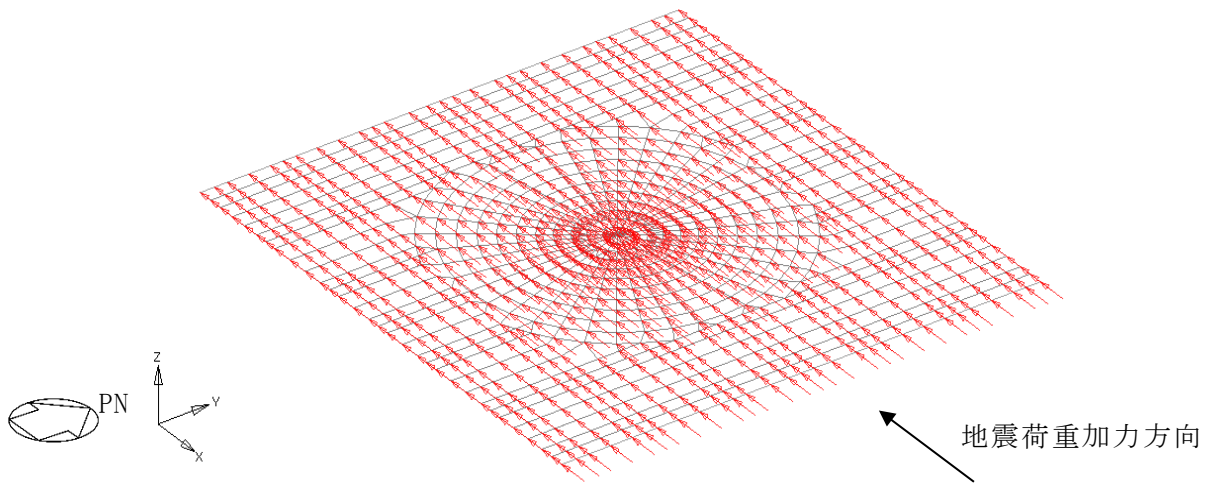


(j) 鉛直力 基礎スラブモデル部分

図 2-2 FEM モデルに入力する地震荷重 (6/11)

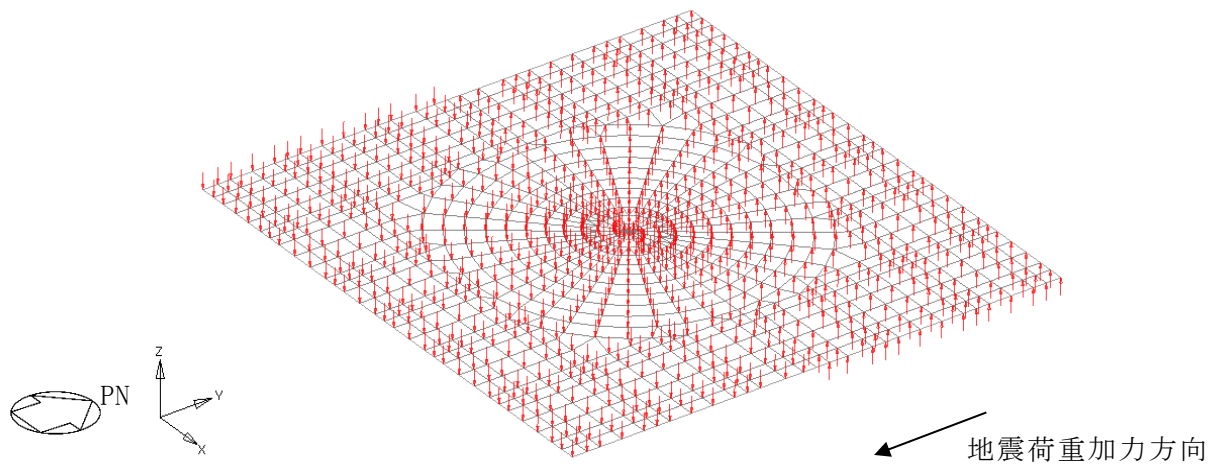


(k) 付加せん断力 (NS 方向)

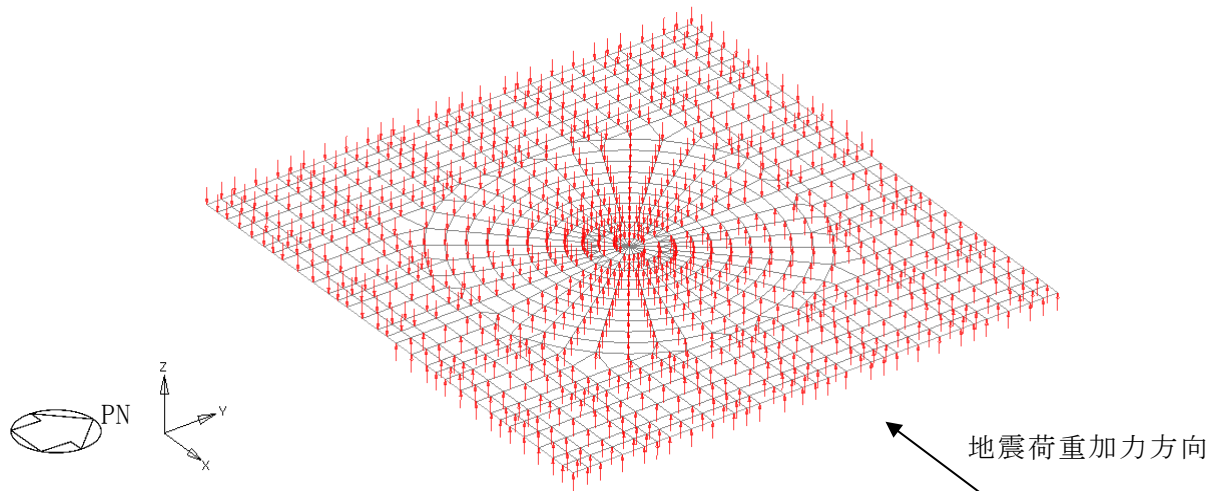


(l) 付加せん断力 (EW 方向)

図 2-2 FEM モデルに入力する地震荷重 (7/11)

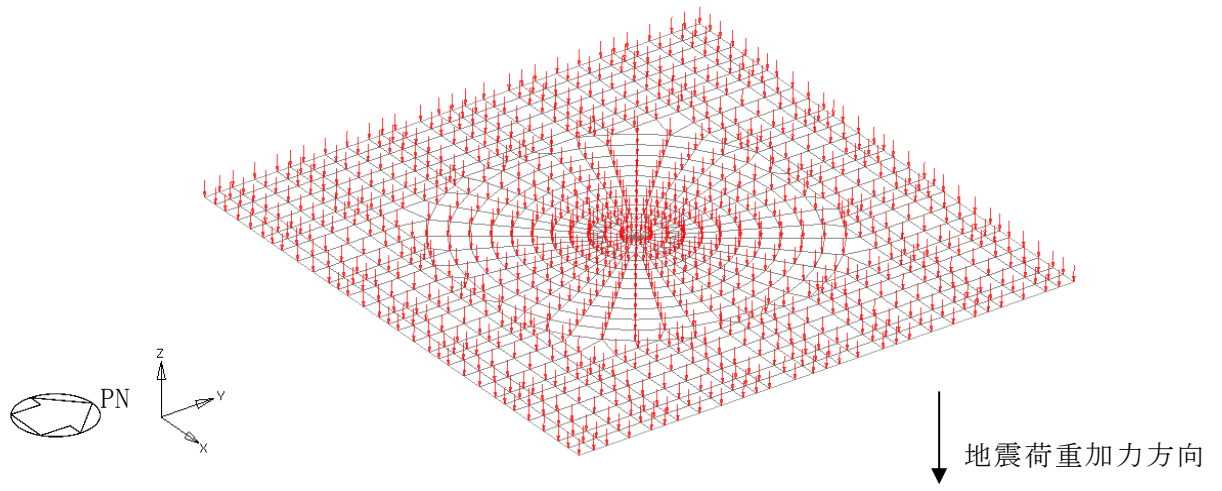


(m) 付加曲げモーメント (NS 方向)



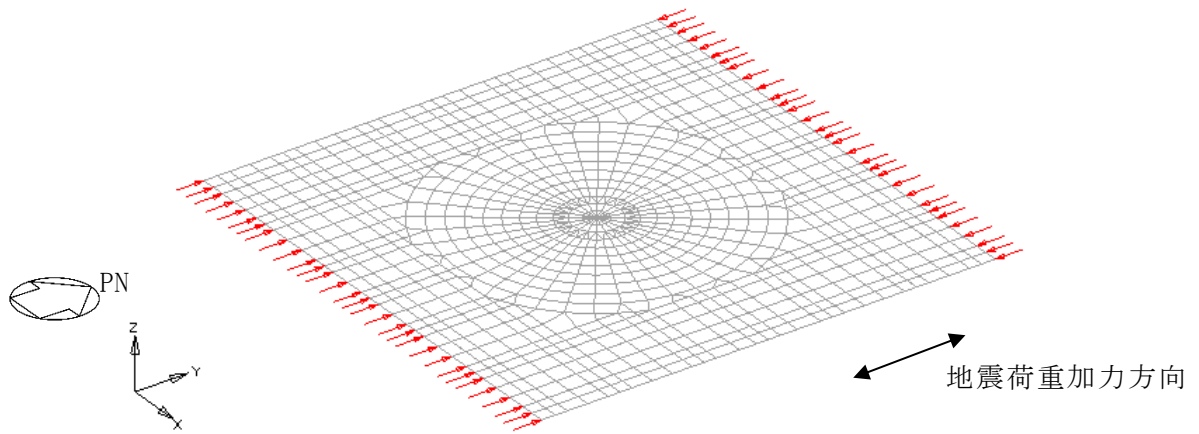
(n) 付加曲げモーメント (EW 方向)

図 2-2 FEM モデルに入力する地震荷重 (8/11)

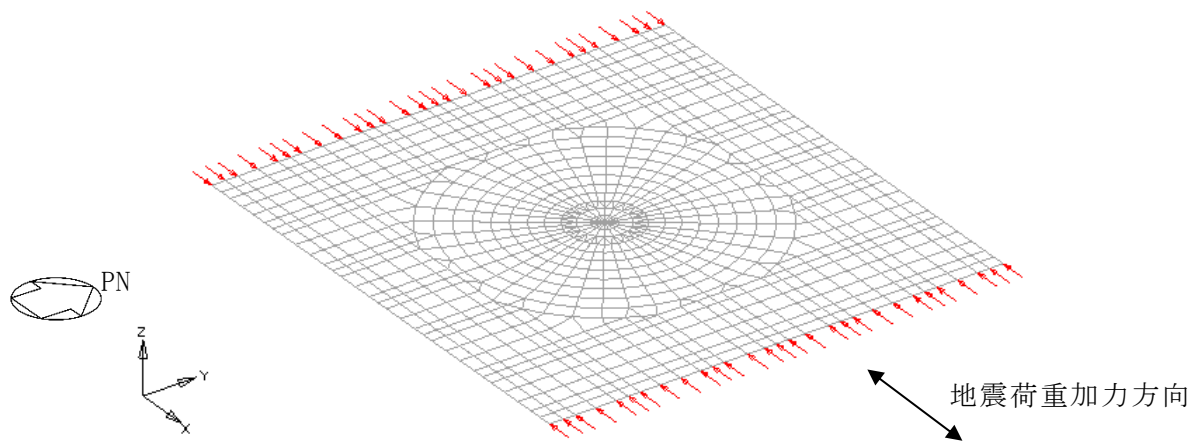


(o) 付加軸力

図 2-2 FEM モデルに入力する地震荷重 (9/11)

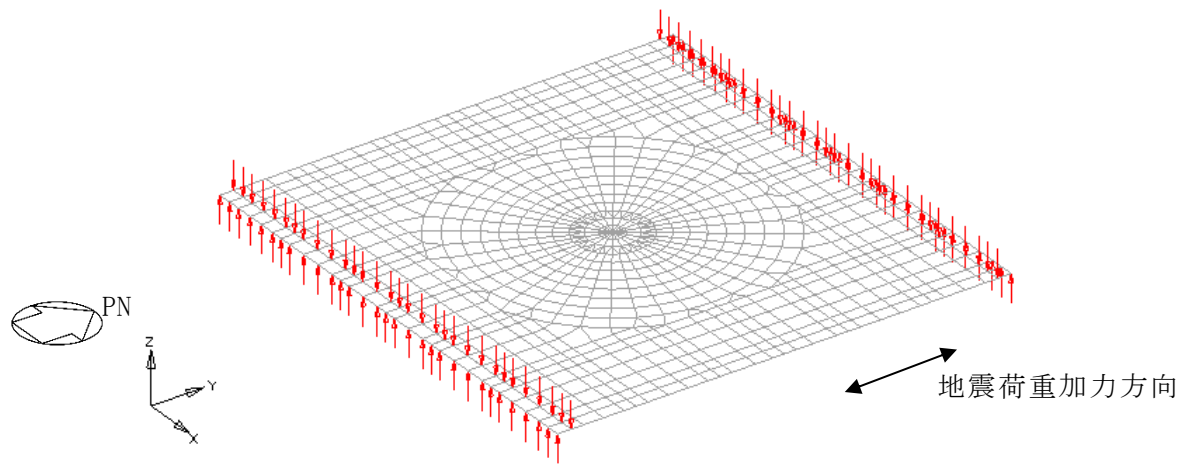


(p) 地震時増分土圧荷重 (NS 方向) せん断力

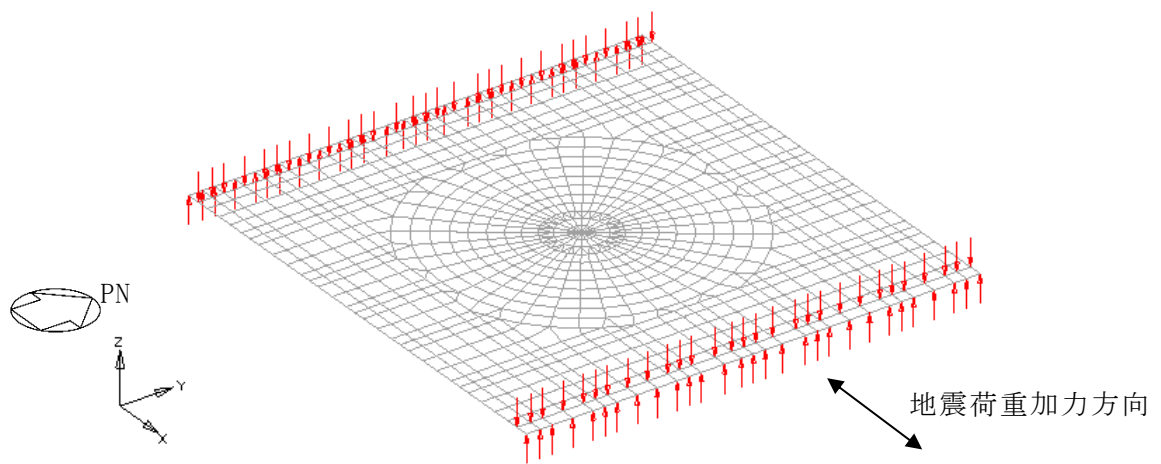


(q) 地震時増分土圧荷重 (EW 方向) せん断力

図 2-2 FEM モデルに入力する地震荷重 (10/11)



(r) 地震時増分土圧荷重 (NS 方向) 曲げモーメント



(s) 地震時増分土圧荷重 (EW 方向) 曲げモーメント

図 2-2 FEM モデルに入力する地震荷重 (11/11)

別紙 4 応力解析における断面の評価部位の選定

目 次

| | |
|---------------|---------|
| 1. 概要 | 別紙 4-1 |
| 2. 断面の評価部位の選定 | 別紙 4-2 |
| 2.1 シェル部 | 別紙 4-8 |
| 2.2 トップスラブ部 | 別紙 4-21 |
| 2.3 底部 | 別紙 4-31 |
| 2.4 貫通部 | 別紙 4-44 |
| 2.5 局部 | 別紙 4-56 |

1. 概要

本資料は、原子炉格納容器コンクリート部（以下「RCCV」という。）の応力解析における断面の評価部位の選定に関し、工認記載の断面の評価要素の選定結果について示すものである。

2. 断面の評価部位の選定

RCCV の荷重の組合せケースを表 2-1 に示す。

表 2-1 荷重の組合せケース (1/6)

| 荷重 状態 | 荷重時 名称 | ケース No. | 荷重の組合せ |
|----------|------------|------------|---|
| Ⅲ | 地震時 (1) | 1-1 | $DL + P_1 + [T_1] + H_1 + 1.0K_{d1SN} + 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0E_{dNS}$ |
| | | 1-2 | $DL + P_1 + [T_1] + H_1 + 1.0K_{d1WE} + 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0E_{dEW}$ |
| | | 1-3 | $DL + P_1 + [T_1] + H_1 - 1.0K_{d1SN} + 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0E_{dNS}$ |
| | | 1-4 | $DL + P_1 + [T_1] + H_1 - 1.0K_{d1WE} + 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0E_{dEW}$ |
| | | 1-5 | $DL + P_1 + [T_1] + H_1 + 1.0K_{d1SN} - 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0E_{dNS}$ |
| | | 1-6 | $DL + P_1 + [T_1] + H_1 + 1.0K_{d1WE} - 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0E_{dEW}$ |
| | | 1-7 | $DL + P_1 + [T_1] + H_1 - 1.0K_{d1SN} - 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0E_{dNS}$ |
| | | 1-8 | $DL + P_1 + [T_1] + H_1 - 1.0K_{d1WE} - 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0E_{dEW}$ |
| | | 1-9 | $DL + P_1 + [T_1] + H_1 + 0.4K_{d1SN} + 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4E_{dNS}$ |
| | | 1-10 | $DL + P_1 + [T_1] + H_1 + 0.4K_{d1WE} + 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4E_{dEW}$ |
| | | 1-11 | $DL + P_1 + [T_1] + H_1 - 0.4K_{d1SN} + 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4E_{dNS}$ |
| | | 1-12 | $DL + P_1 + [T_1] + H_1 - 0.4K_{d1WE} + 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4E_{dEW}$ |
| | | 1-13 | $DL + P_1 + [T_1] + H_1 + 0.4K_{d1SN} - 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4E_{dNS}$ |
| | | 1-14 | $DL + P_1 + [T_1] + H_1 + 0.4K_{d1WE} - 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4E_{dEW}$ |
| | | 1-15 | $DL + P_1 + [T_1] + H_1 - 0.4K_{d1SN} - 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4E_{dNS}$ |
| | | 1-16 | $DL + P_1 + [T_1] + H_1 - 0.4K_{d1WE} - 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4E_{dEW}$ |
| | | 1-17 | $DL + P_1 + [T_1] + H_1 + 1.0K_{d2SN} + 1.0K_{d2DU} + R_d + 1.0E_{dNS}$ |
| | | 1-18 | $DL + P_1 + [T_1] + H_1 + 1.0K_{d2WE} + 1.0K_{d2DU} + R_d + 1.0E_{dEW}$ |
| | | 1-19 | $DL + P_1 + [T_1] + H_1 - 1.0K_{d2SN} + 1.0K_{d2DU} + R_d + 1.0E_{dNS}$ |
| | | 1-20 | $DL + P_1 + [T_1] + H_1 - 1.0K_{d2WE} + 1.0K_{d2DU} + R_d + 1.0E_{dEW}$ |
| | | 1-21 | $DL + P_1 + [T_1] + H_1 + 1.0K_{d2SN} - 1.0K_{d2DU} + R_d + 1.0E_{dNS}$ |
| | | 1-22 | $DL + P_1 + [T_1] + H_1 + 1.0K_{d2WE} - 1.0K_{d2DU} + R_d + 1.0E_{dEW}$ |
| | | 1-23 | $DL + P_1 + [T_1] + H_1 - 1.0K_{d2SN} - 1.0K_{d2DU} + R_d + 1.0E_{dNS}$ |
| | | 1-24 | $DL + P_1 + [T_1] + H_1 - 1.0K_{d2WE} - 1.0K_{d2DU} + R_d + 1.0E_{dEW}$ |

注：[]は応力状態 2 に対する荷重を表す。

表 2-1 荷重の組合せケース (2/6)

| 荷重状態 | 荷重時名称 | ケース No. | 荷重の組合せ |
|------|-----------------|---------|---|
| Ⅲ | (異常+地震)時 (1) | 2-1 | $DL + P_{25} + [T_{25}] + 1.0K_{d1SN} + 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0E_{dNS}$ |
| | | 2-2 | $DL + P_{25} + [T_{25}] + 1.0K_{d1WE} + 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0E_{dEW}$ |
| | | 2-3 | $DL + P_{25} + [T_{25}] - 1.0K_{d1SN} + 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0E_{dNS}$ |
| | | 2-4 | $DL + P_{25} + [T_{25}] - 1.0K_{d1WE} + 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0E_{dEW}$ |
| | | 2-5 | $DL + P_{25} + [T_{25}] + 1.0K_{d1SN} - 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0E_{dNS}$ |
| | | 2-6 | $DL + P_{25} + [T_{25}] + 1.0K_{d1WE} - 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0E_{dEW}$ |
| | | 2-7 | $DL + P_{25} + [T_{25}] - 1.0K_{d1SN} - 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0E_{dNS}$ |
| | | 2-8 | $DL + P_{25} + [T_{25}] - 1.0K_{d1WE} - 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0E_{dEW}$ |
| | | 2-9 | $DL + P_{25} + [T_{25}] + 0.4K_{d1SN} + 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4E_{dNS}$ |
| | | 2-10 | $DL + P_{25} + [T_{25}] + 0.4K_{d1WE} + 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4E_{dEW}$ |
| | | 2-11 | $DL + P_{25} + [T_{25}] - 0.4K_{d1SN} + 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4E_{dNS}$ |
| | | 2-12 | $DL + P_{25} + [T_{25}] - 0.4K_{d1WE} + 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4E_{dEW}$ |
| | | 2-13 | $DL + P_{25} + [T_{25}] + 0.4K_{d1SN} - 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4E_{dNS}$ |
| | | 2-14 | $DL + P_{25} + [T_{25}] + 0.4K_{d1WE} - 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4E_{dEW}$ |
| | | 2-15 | $DL + P_{25} + [T_{25}] - 0.4K_{d1SN} - 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4E_{dNS}$ |
| | | 2-16 | $DL + P_{25} + [T_{25}] - 0.4K_{d1WE} - 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4E_{dEW}$ |
| | | 2-17 | $DL + P_{25} + [T_{25}] + 1.0K_{d2SN} + 1.0K_{d2DU} + R_d + 1.0E_{dNS}$ |
| | | 2-18 | $DL + P_{25} + [T_{25}] + 1.0K_{d2WE} + 1.0K_{d2DU} + R_d + 1.0E_{dEW}$ |
| | | 2-19 | $DL + P_{25} + [T_{25}] - 1.0K_{d2SN} + 1.0K_{d2DU} + R_d + 1.0E_{dNS}$ |
| | | 2-20 | $DL + P_{25} + [T_{25}] - 1.0K_{d2WE} + 1.0K_{d2DU} + R_d + 1.0E_{dEW}$ |
| | | 2-21 | $DL + P_{25} + [T_{25}] + 1.0K_{d2SN} - 1.0K_{d2DU} + R_d + 1.0E_{dNS}$ |
| | | 2-22 | $DL + P_{25} + [T_{25}] + 1.0K_{d2WE} - 1.0K_{d2DU} + R_d + 1.0E_{dEW}$ |
| | | 2-23 | $DL + P_{25} + [T_{25}] - 1.0K_{d2SN} - 1.0K_{d2DU} + R_d + 1.0E_{dNS}$ |
| | | 2-24 | $DL + P_{25} + [T_{25}] - 1.0K_{d2WE} - 1.0K_{d2DU} + R_d + 1.0E_{dEW}$ |

注：[]は応力状態 2 に対する荷重を表す。

表 2-1 荷重の組合せケース (3/6)

| 荷重 状態 | 荷重時 名 称 | ケース No. | 荷重の組合せ |
|----------|------------|------------|---|
| IV | 地震時 (2) | 3-1 | $DL + P_1 + H_1 + 1.0K_{sSN} + 0.4K_{sDU} + R_s + 1.0E_{sNS}$ |
| | | 3-2 | $DL + P_1 + H_1 + 1.0K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + R_s + 1.0E_{sEW}$ |
| | | 3-3 | $DL + P_1 + H_1 - 1.0K_{sSN} + 0.4K_{sDU} + R_s + 1.0E_{sNS}$ |
| | | 3-4 | $DL + P_1 + H_1 - 1.0K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + R_s + 1.0E_{sEW}$ |
| | | 3-5 | $DL + P_1 + H_1 + 1.0K_{sSN} - 0.4K_{sDU} + R_s + 1.0E_{sNS}$ |
| | | 3-6 | $DL + P_1 + H_1 + 1.0K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + R_s + 1.0E_{sEW}$ |
| | | 3-7 | $DL + P_1 + H_1 - 1.0K_{sSN} - 0.4K_{sDU} + R_s + 1.0E_{sNS}$ |
| | | 3-8 | $DL + P_1 + H_1 - 1.0K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + R_s + 1.0E_{sEW}$ |
| | | 3-9 | $DL + P_1 + H_1 + 0.4K_{sSN} + 1.0K_{sDU} + R_s + 0.4E_{sNS}$ |
| | | 3-10 | $DL + P_1 + H_1 + 0.4K_{sWE} + 1.0K_{sDU} + R_s + 0.4E_{sEW}$ |
| | | 3-11 | $DL + P_1 + H_1 - 0.4K_{sSN} + 1.0K_{sDU} + R_s + 0.4E_{sNS}$ |
| | | 3-12 | $DL + P_1 + H_1 - 0.4K_{sWE} + 1.0K_{sDU} + R_s + 0.4E_{sEW}$ |
| | | 3-13 | $DL + P_1 + H_1 + 0.4K_{sSN} - 1.0K_{sDU} + R_s + 0.4E_{sNS}$ |
| | | 3-14 | $DL + P_1 + H_1 + 0.4K_{sWE} - 1.0K_{sDU} + R_s + 0.4E_{sEW}$ |
| | | 3-15 | $DL + P_1 + H_1 - 0.4K_{sSN} - 1.0K_{sDU} + R_s + 0.4E_{sNS}$ |
| | | 3-16 | $DL + P_1 + H_1 - 0.4K_{sWE} - 1.0K_{sDU} + R_s + 0.4E_{sEW}$ |

表 2-1 荷重の組合せケース (4/6)

| 荷重状態 | 荷重時名称 | ケース No. | 荷重の組合せ |
|------|-----------------|---------|--|
| IV | (異常+地震)時 (2) | 4-1 | $DL + P_{21} + 1.0K_{d1SN} + 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0E_{dNS}$ |
| | | 4-2 | $DL + P_{21} + 1.0K_{d1WE} + 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0E_{dEW}$ |
| | | 4-3 | $DL + P_{21} - 1.0K_{d1SN} + 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0E_{dNS}$ |
| | | 4-4 | $DL + P_{21} - 1.0K_{d1WE} + 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0E_{dEW}$ |
| | | 4-5 | $DL + P_{21} + 1.0K_{d1SN} - 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0E_{dNS}$ |
| | | 4-6 | $DL + P_{21} + 1.0K_{d1WE} - 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0E_{dEW}$ |
| | | 4-7 | $DL + P_{21} - 1.0K_{d1SN} - 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0E_{dNS}$ |
| | | 4-8 | $DL + P_{21} - 1.0K_{d1WE} - 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0E_{dEW}$ |
| | | 4-9 | $DL + P_{21} + 0.4K_{d1SN} + 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4E_{dNS}$ |
| | | 4-10 | $DL + P_{21} + 0.4K_{d1WE} + 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4E_{dEW}$ |
| | | 4-11 | $DL + P_{21} - 0.4K_{d1SN} + 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4E_{dNS}$ |
| | | 4-12 | $DL + P_{21} - 0.4K_{d1WE} + 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4E_{dEW}$ |
| | | 4-13 | $DL + P_{21} + 0.4K_{d1SN} - 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4E_{dNS}$ |
| | | 4-14 | $DL + P_{21} + 0.4K_{d1WE} - 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4E_{dEW}$ |
| | | 4-15 | $DL + P_{21} - 0.4K_{d1SN} - 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4E_{dNS}$ |
| | | 4-16 | $DL + P_{21} - 0.4K_{d1WE} - 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4E_{dEW}$ |
| | | 4-17 | $DL + P_{21} + 1.0K_{d2SN} + 1.0K_{d2DU} + R_d + 1.0E_{dNS}$ |
| | | 4-18 | $DL + P_{21} + 1.0K_{d2WE} + 1.0K_{d2DU} + R_d + 1.0E_{dEW}$ |
| | | 4-19 | $DL + P_{21} - 1.0K_{d2SN} + 1.0K_{d2DU} + R_d + 1.0E_{dNS}$ |
| | | 4-20 | $DL + P_{21} - 1.0K_{d2WE} + 1.0K_{d2DU} + R_d + 1.0E_{dEW}$ |
| | | 4-21 | $DL + P_{21} + 1.0K_{d2SN} - 1.0K_{d2DU} + R_d + 1.0E_{dNS}$ |
| | | 4-22 | $DL + P_{21} + 1.0K_{d2WE} - 1.0K_{d2DU} + R_d + 1.0E_{dEW}$ |
| | | 4-23 | $DL + P_{21} - 1.0K_{d2SN} - 1.0K_{d2DU} + R_d + 1.0E_{dNS}$ |
| | | 4-24 | $DL + P_{21} - 1.0K_{d2WE} - 1.0K_{d2DU} + R_d + 1.0E_{dEW}$ |

表 2-1 荷重の組合せケース (5/6)

| 荷重状態 | 荷重時名称 | ケース No. | 荷重の組合せ |
|------|-----------------|---------|---|
| V | (異常+地震)時 (3) | 5-1 | $DL + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} + 1.0K_{d1SN} + 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0E_{dNS}$ |
| | | 5-2 | $DL + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} + 1.0K_{d1WE} + 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0E_{dEW}$ |
| | | 5-3 | $DL + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} - 1.0K_{d1SN} + 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0E_{dNS}$ |
| | | 5-4 | $DL + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} - 1.0K_{d1WE} + 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0E_{dEW}$ |
| | | 5-5 | $DL + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} + 1.0K_{d1SN} - 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0E_{dNS}$ |
| | | 5-6 | $DL + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} + 1.0K_{d1WE} - 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0E_{dEW}$ |
| | | 5-7 | $DL + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} - 1.0K_{d1SN} - 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0E_{dNS}$ |
| | | 5-8 | $DL + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} - 1.0K_{d1WE} - 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0E_{dEW}$ |
| | | 5-9 | $DL + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} + 0.4K_{d1SN} + 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4E_{dNS}$ |
| | | 5-10 | $DL + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} + 0.4K_{d1WE} + 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4E_{dEW}$ |
| | | 5-11 | $DL + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} - 0.4K_{d1SN} + 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4E_{dNS}$ |
| | | 5-12 | $DL + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} - 0.4K_{d1WE} + 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4E_{dEW}$ |
| | | 5-13 | $DL + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} + 0.4K_{d1SN} - 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4E_{dNS}$ |
| | | 5-14 | $DL + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} + 0.4K_{d1WE} - 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4E_{dEW}$ |
| | | 5-15 | $DL + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} - 0.4K_{d1SN} - 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4E_{dNS}$ |
| | | 5-16 | $DL + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} - 0.4K_{d1WE} - 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4E_{dEW}$ |

表 2-1 荷重の組合せケース (6/6)

| 荷重状態 | 荷重時名称 | ケース No. | 荷重の組合せ |
|------|-----------------|---------|--|
| V | (異常+地震)時 (4) | 6-1 | $DL + P_{SALL} + HS_{SALL} + 1.0K_{sSN} + 0.4K_{sDU} + R_s + 1.0E_{sNS}$ |
| | | 6-2 | $DL + P_{SALL} + HS_{SALL} + 1.0K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + R_s + 1.0E_{sEW}$ |
| | | 6-3 | $DL + P_{SALL} + HS_{SALL} - 1.0K_{sSN} + 0.4K_{sDU} + R_s + 1.0E_{sNS}$ |
| | | 6-4 | $DL + P_{SALL} + HS_{SALL} - 1.0K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + R_s + 1.0E_{sEW}$ |
| | | 6-5 | $DL + P_{SALL} + HS_{SALL} + 1.0K_{sSN} - 0.4K_{sDU} + R_s + 1.0E_{sNS}$ |
| | | 6-6 | $DL + P_{SALL} + HS_{SALL} + 1.0K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + R_s + 1.0E_{sEW}$ |
| | | 6-7 | $DL + P_{SALL} + HS_{SALL} - 1.0K_{sSN} - 0.4K_{sDU} + R_s + 1.0E_{sNS}$ |
| | | 6-8 | $DL + P_{SALL} + HS_{SALL} - 1.0K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + R_s + 1.0E_{sEW}$ |
| | | 6-9 | $DL + P_{SALL} + HS_{SALL} + 0.4K_{sSN} + 1.0K_{sDU} + R_s + 0.4E_{sNS}$ |
| | | 6-10 | $DL + P_{SALL} + HS_{SALL} + 0.4K_{sWE} + 1.0K_{sDU} + R_s + 0.4E_{sEW}$ |
| | | 6-11 | $DL + P_{SALL} + HS_{SALL} - 0.4K_{sSN} + 1.0K_{sDU} + R_s + 0.4E_{sNS}$ |
| | | 6-12 | $DL + P_{SALL} + HS_{SALL} - 0.4K_{sWE} + 1.0K_{sDU} + R_s + 0.4E_{sEW}$ |
| | | 6-13 | $DL + P_{SALL} + HS_{SALL} + 0.4K_{sSN} - 1.0K_{sDU} + R_s + 0.4E_{sNS}$ |
| | | 6-14 | $DL + P_{SALL} + HS_{SALL} + 0.4K_{sWE} - 1.0K_{sDU} + R_s + 0.4E_{sEW}$ |
| | | 6-15 | $DL + P_{SALL} + HS_{SALL} - 0.4K_{sSN} - 1.0K_{sDU} + R_s + 0.4E_{sNS}$ |
| | | 6-16 | $DL + P_{SALL} + HS_{SALL} - 0.4K_{sWE} - 1.0K_{sDU} + R_s + 0.4E_{sEW}$ |

2.1 シェル部

シェル部の配筋領域図を図2-1に，配筋一覧を表2-2に示す。

各評価項目の検定値一覧を表2-3に，断面力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果を図2-2に，断面の評価部位の選定に関する荷重組合せケースの断面力コンター図を図2-3に示す。

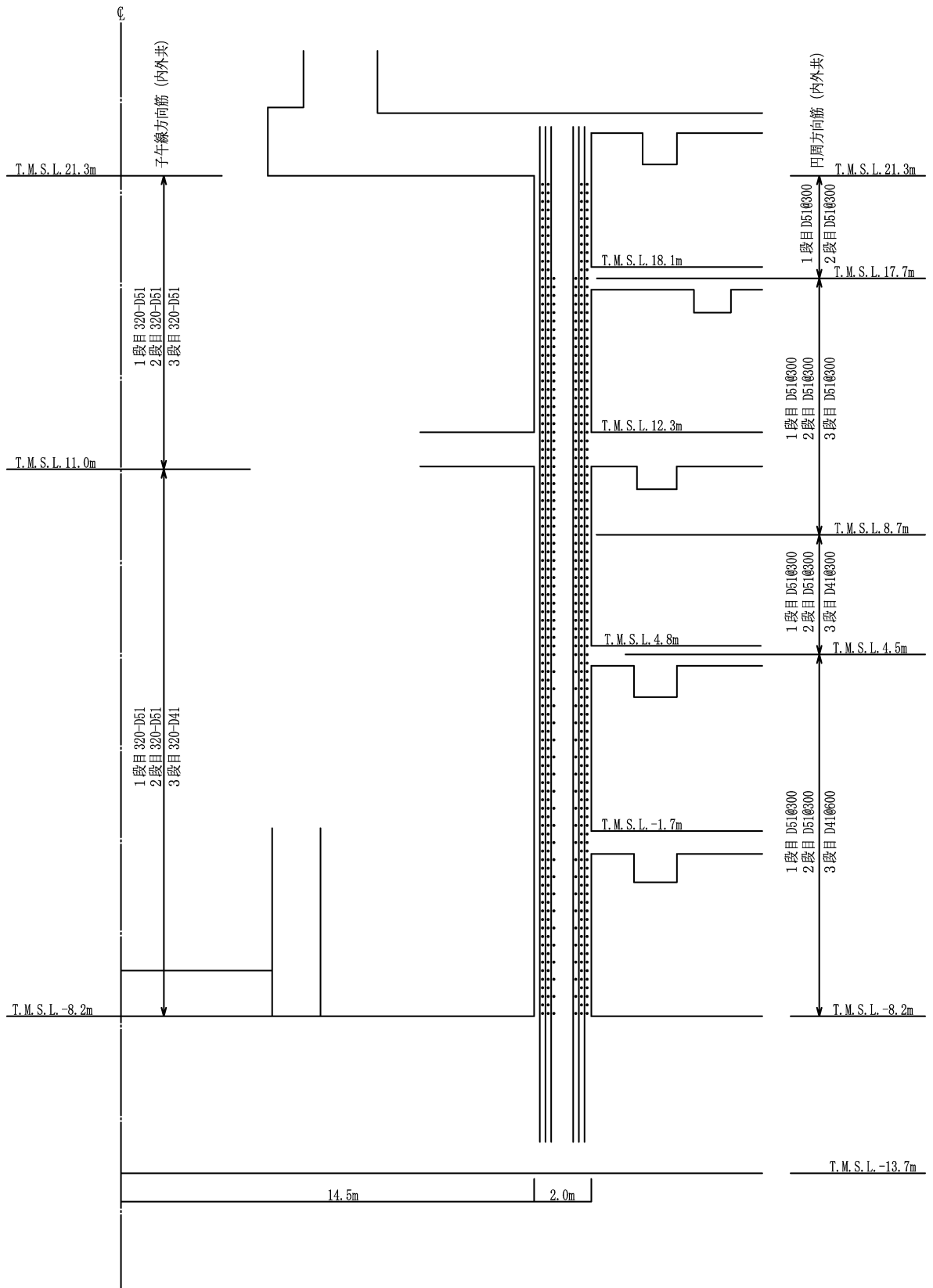


図 2-1 配筋領域図 (シェル部)

表 2-2 配筋一覧 (シェル部)

(a) 子午線 (ϕ) 方向

| T. M. S. L. (m) | 配筋* |
|--------------------|--------------------------|
| 21.3 | 3×320-D51 |
| 11.0 | 2×320-D51 + 1×320-D41 |
| -8.2 | |

注記* : 内側及び外側とも, 同一配筋。

(b) 円周 (θ) 方向

| T. M. S. L. (m) | 配筋* |
|--------------------|--------------------------|
| 21.3 | 2-D51@300 |
| 17.7 | 3-D51@300 |
| 8.7 | 2-D51@300 + 1-D41@300 |
| 4.5 | 2-D51@300 + 1-D41@600 |
| -8.2 | |

注記* : 内側及び外側とも, 同一配筋。

表 2-3 各評価項目の検定値一覧 (1/3)

(a) 荷重状態Ⅲ・地震時 (1)

| 評価項目 | | 方向 | 要素番号 | 組合せ ケース | 検定値 |
|----------------------|-------------|-----|--------|------------|-------|
| 等価膜力 + 曲げモーメント | コンクリート圧縮応力度 | 子午線 | 13 | 1-21 | 0.351 |
| | 鉄筋引張応力度 | 子午線 | 9 | 1-3 | 0.680 |
| 面内せん断力 | 面内せん断応力度 | - | 21 | 1-23 | 0.552 |
| 面外せん断力 | 面外せん断応力度 | 子午線 | 100010 | 1-19 | 0.407 |

(b) 荷重状態Ⅲ・(異常+地震)時 (1)

| 評価項目 | | 方向 | 要素番号 | 組合せ ケース | 検定値 |
|----------------------|-------------|-----|--------|------------|-------|
| 等価膜力 + 曲げモーメント | コンクリート圧縮応力度 | 子午線 | 9 | 2-23 | 0.350 |
| | 鉄筋引張応力度 | 子午線 | 9 | 2-3 | 0.770 |
| 面内せん断力 | 面内せん断応力度 | - | 100210 | 2-23 | 0.505 |
| 面外せん断力 | 面外せん断応力度 | 子午線 | 100432 | 2-8 | 0.426 |

注：■ は、検定値が最大となる要素を示す。

表 2-3 各評価項目の検定値一覧 (2/3)

(c) 荷重状態Ⅳ・地震時 (2)

| 評価項目 | | 方向 | 要素番号 | 組合せ ケース | 検定値 |
|----------------------|-------------|-----|------|------------|-------|
| 等価膜力 + 曲げモーメント | コンクリート圧縮ひずみ | 子午線 | 11 | 3-1 | 0.228 |
| | 鉄筋引張ひずみ | 子午線 | 109 | 3-3 | 0.171 |
| 膜力 | 圧縮応力度 | 子午線 | 11 | 3-1 | 0.692 |
| 面内せん断力 | 面内せん断応力度 | - | 111 | 3-5 | 0.698 |
| 面外せん断力 | 面外せん断応力度 | 子午線 | 431 | 3-8 | 0.500 |

(d) 荷重状態Ⅳ・(異常+地震)時 (2)

| 評価項目 | | 方向 | 要素番号 | 組合せ ケース | 検定値 |
|----------------------|-------------|-----|------|------------|-------|
| 等価膜力 + 曲げモーメント | コンクリート圧縮ひずみ | 子午線 | 11 | 4-17 | 0.092 |
| | 鉄筋引張ひずみ | 子午線 | 177 | 4-3 | 0.086 |
| 膜力 | 圧縮応力度 | 子午線 | 11 | 4-5 | 0.301 |
| 面内せん断力 | 面内せん断応力度 | - | 100 | 4-17 | 0.423 |
| 面外せん断力 | 面外せん断応力度 | 子午線 | 431 | 4-8 | 0.266 |

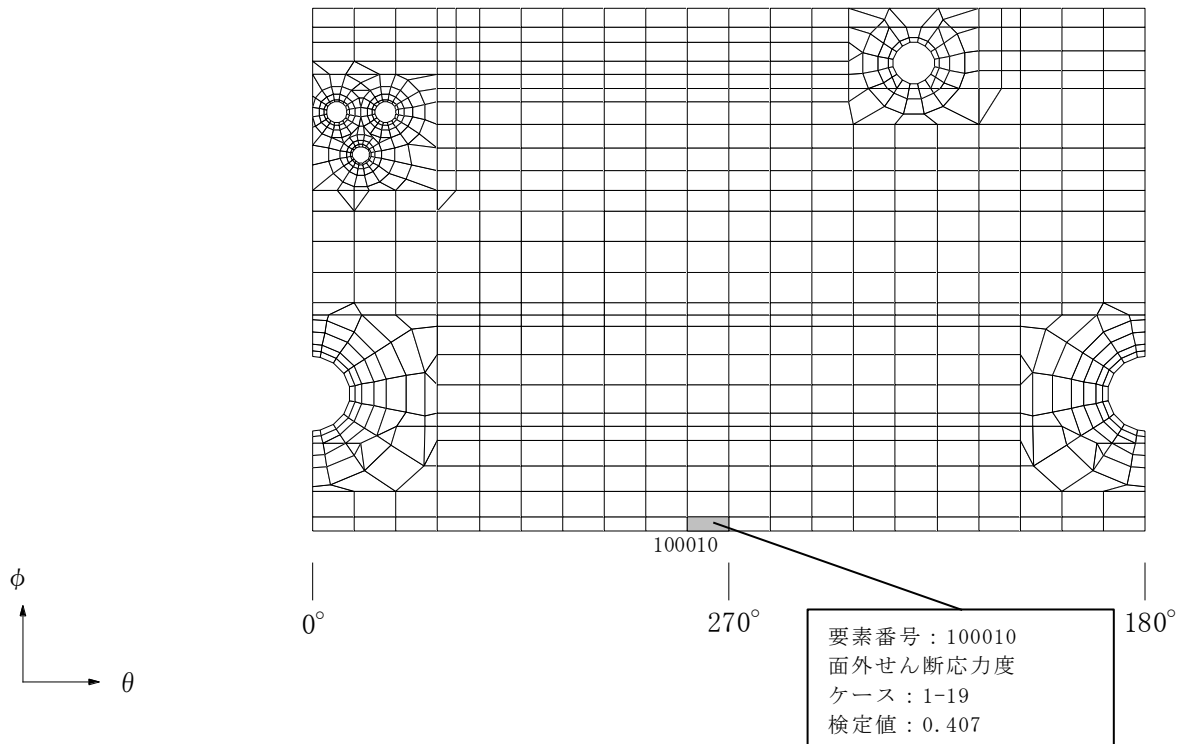
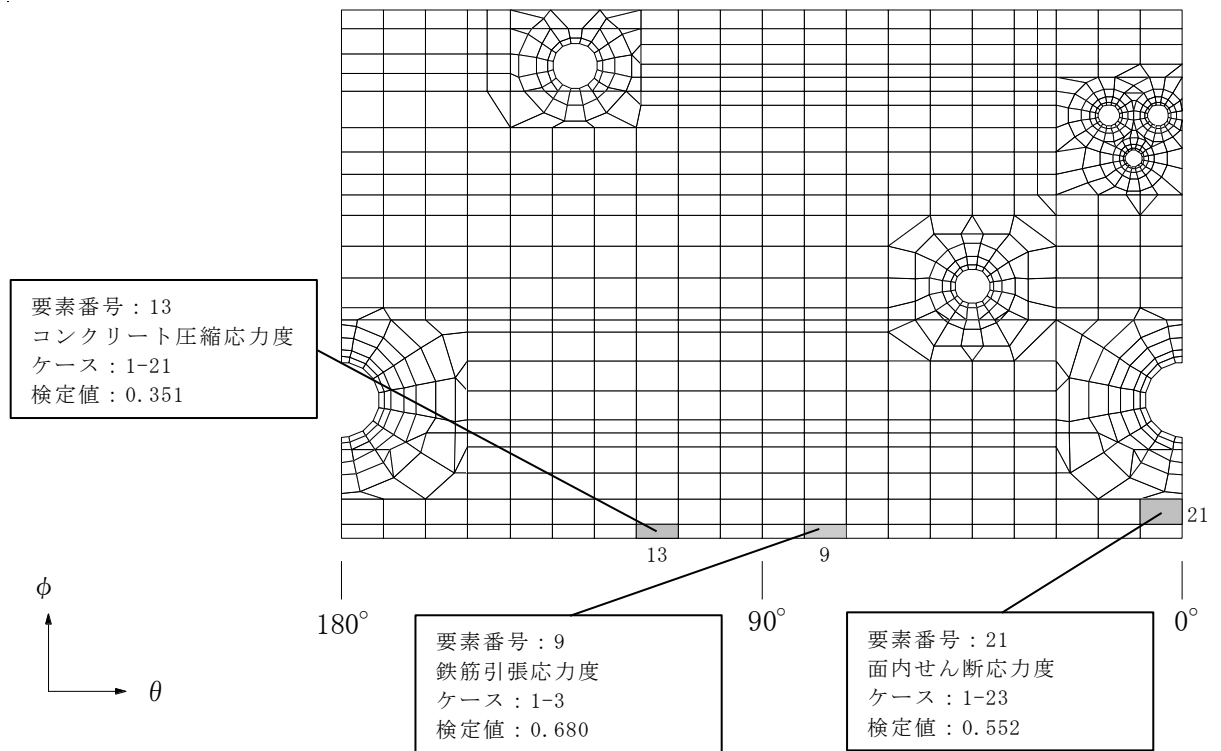
表 2-3 各評価項目の検定値一覧 (3/3)

(e) 荷重状態 V・(異常+地震) 時 (3)

| 評価項目 | | 方向 | 要素番号 | 組合せ ケース | 検定値 |
|----------------------|-------------|-----|--------|------------|-------|
| 等価膜力 + 曲げモーメント | コンクリート圧縮ひずみ | 子午線 | 11 | 5-1 | 0.146 |
| | 鉄筋引張ひずみ | 子午線 | 40 | 5-4 | 0.216 |
| 膜力 | 圧縮応力度 | 子午線 | 100011 | 5-7 | 0.393 |
| 面内せん断力 | 面内せん断応力度 | - | 111 | 5-5 | 0.429 |
| 面外せん断力 | 面外せん断応力度 | 子午線 | 94 | 5-4 | 0.514 |

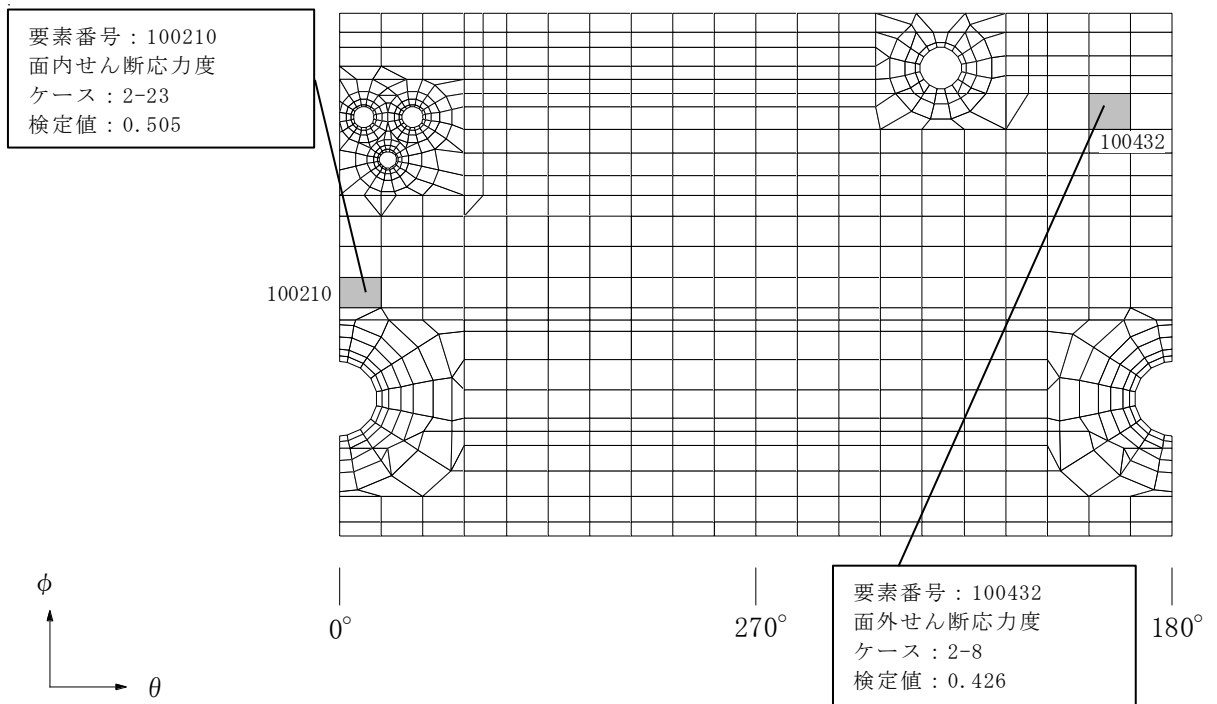
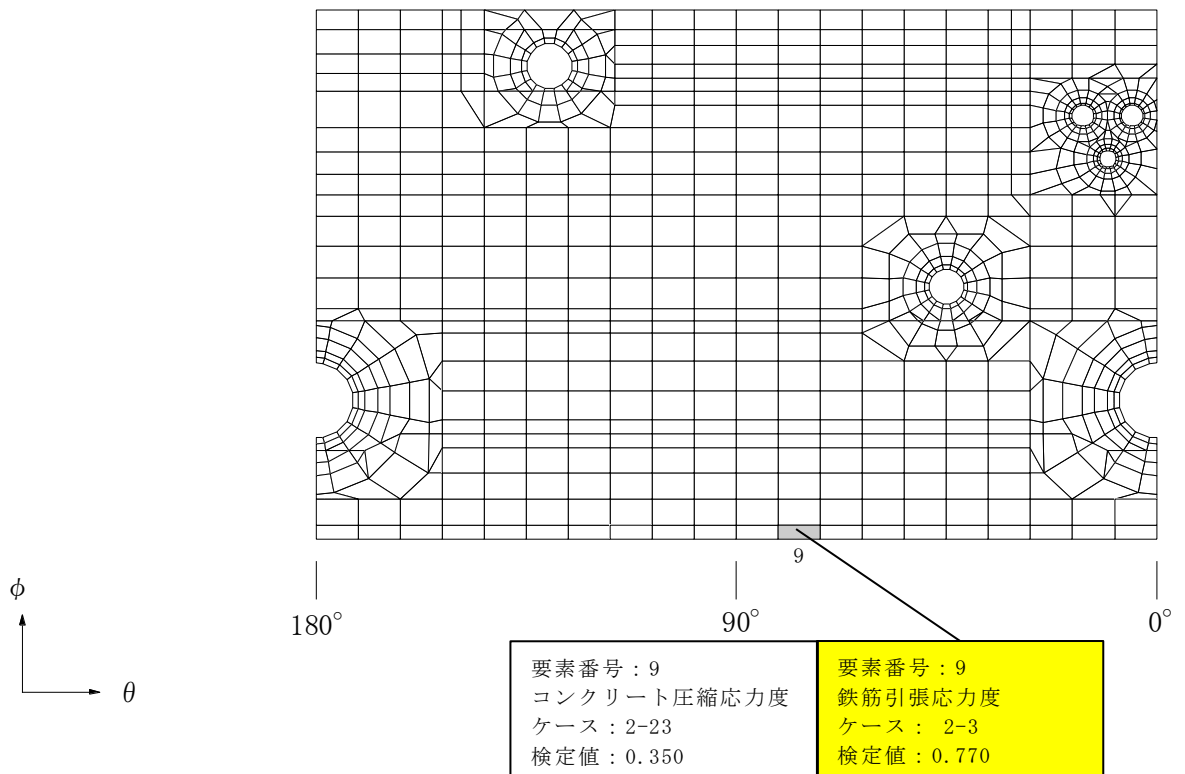
(f) 荷重状態 V・(異常+地震) 時 (4)

| 評価項目 | | 方向 | 要素番号 | 組合せ ケース | 検定値 |
|----------------------|-------------|-----|--------|------------|-------|
| 等価膜力 + 曲げモーメント | コンクリート圧縮ひずみ | 子午線 | 11 | 6-1 | 0.255 |
| | 鉄筋引張ひずみ | 子午線 | 39 | 6-4 | 0.218 |
| 膜力 | 圧縮応力度 | 子午線 | 11 | 6-1 | 0.739 |
| 面内せん断力 | 面内せん断応力度 | - | 111 | 6-5 | 0.679 |
| 面外せん断力 | 面外せん断応力度 | 子午線 | 100003 | 6-4 | 0.485 |



(a) 荷重状態Ⅲ・地震時 (1)

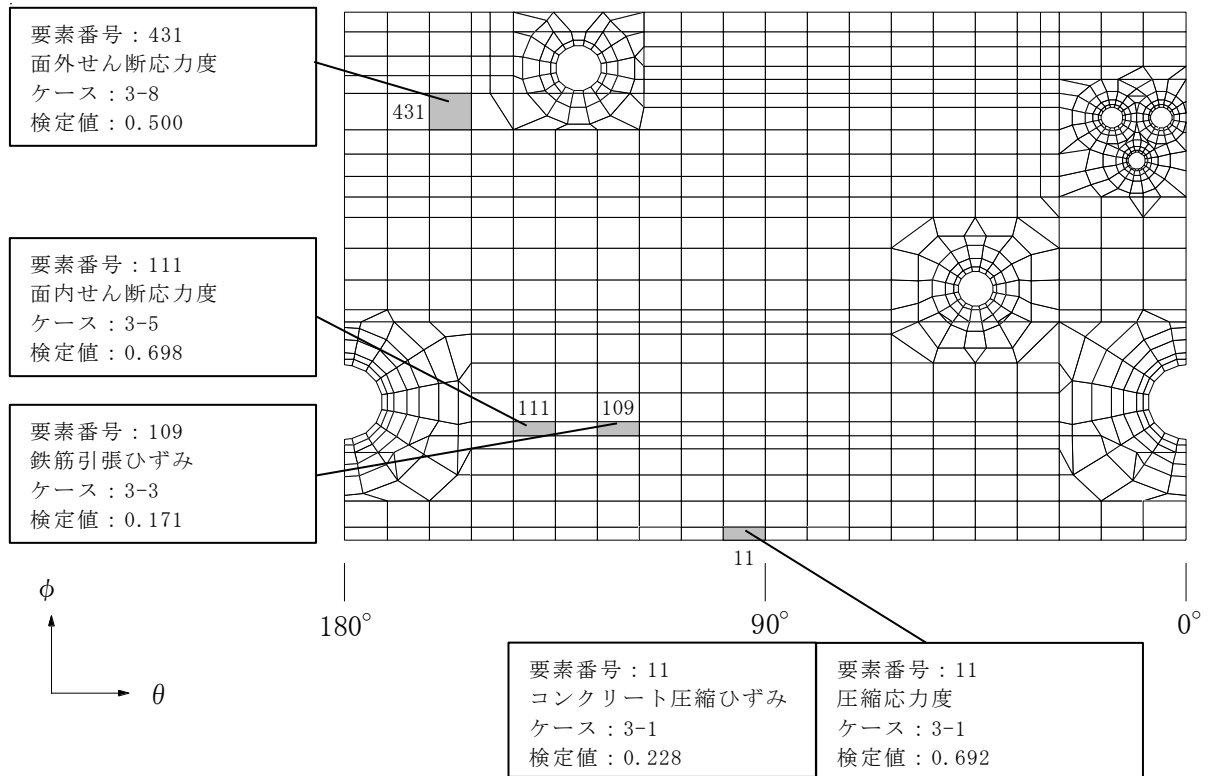
図 2-2 断面力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果 (1/6)



注 : ■ は, 検定値が最大となる要素を示す。

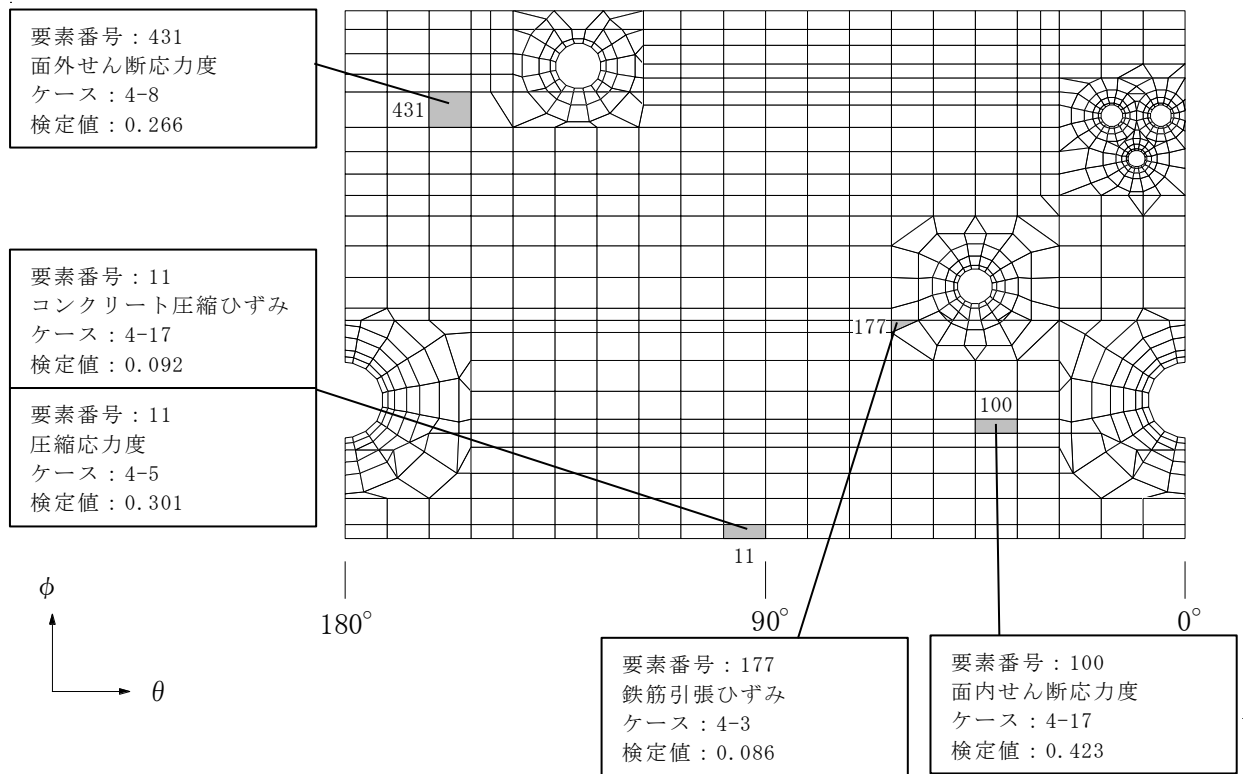
(b) 荷重状態Ⅲ・(異常+地震)時 (1)

図 2-2 断面力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果 (2/6)



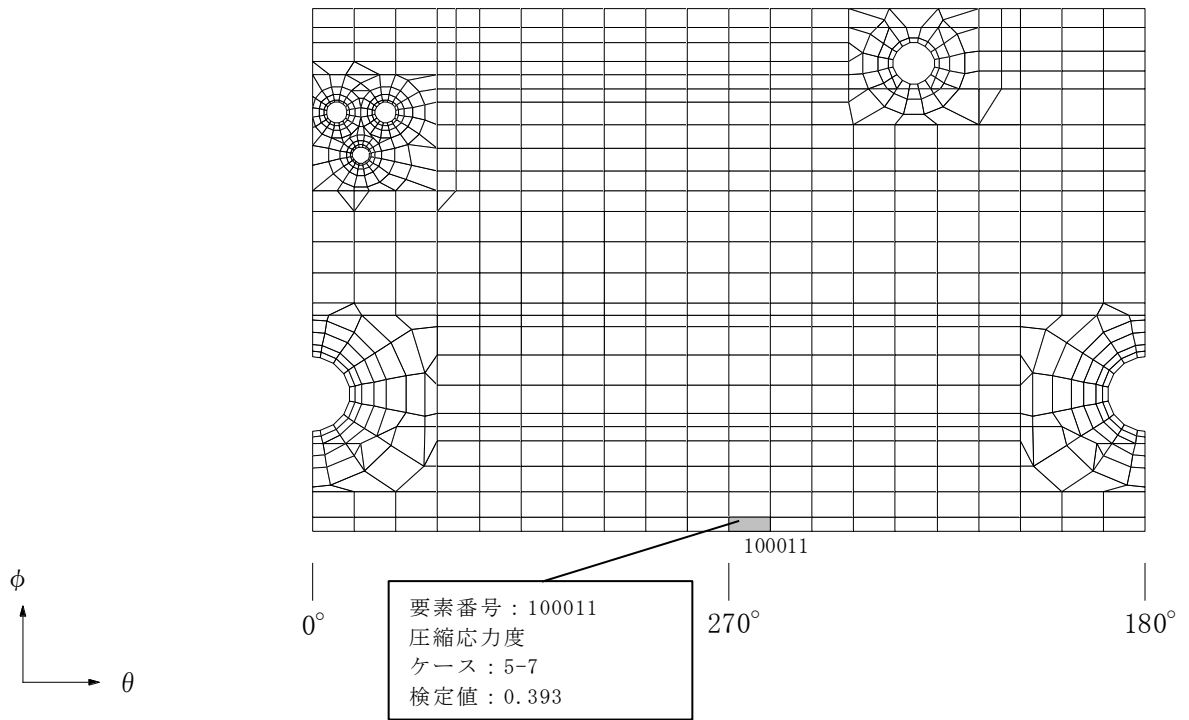
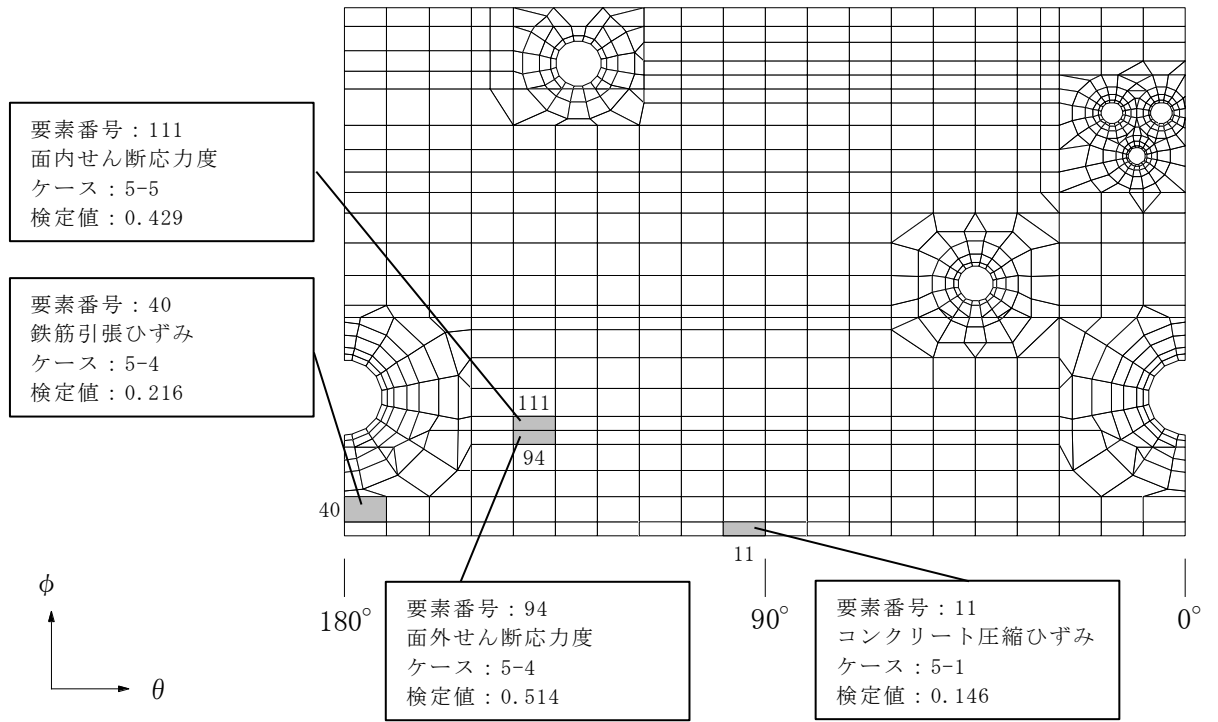
(c) 荷重状態IV・地震時(2)

図2-2 断面力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果(3/6)



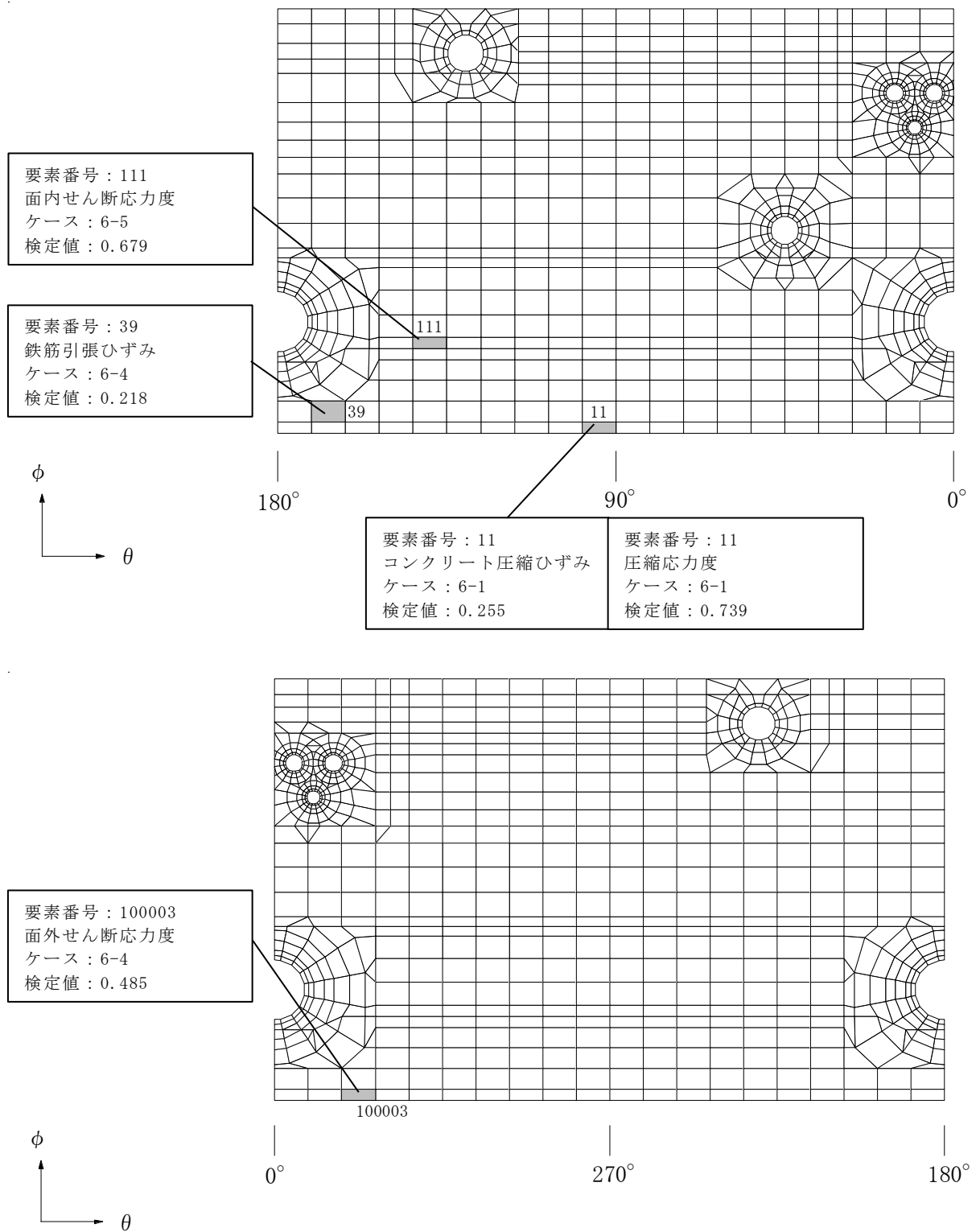
(d) 荷重状態Ⅳ・(異常+地震)時 (2)

図 2-2 断面力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果 (4/6)



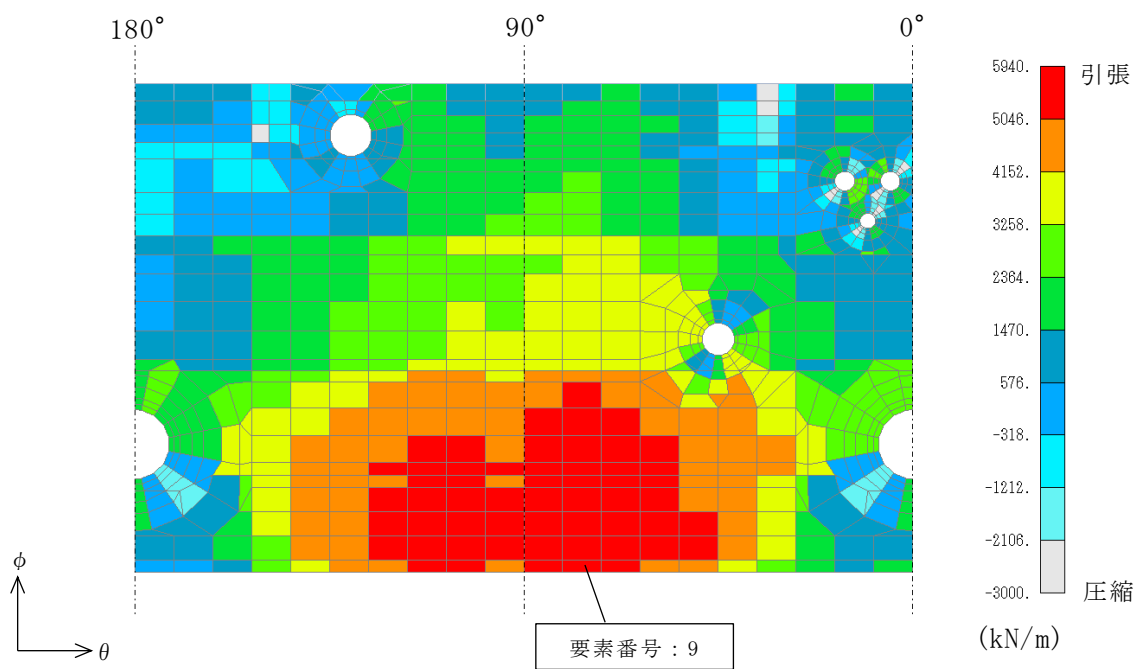
(e) 荷重状態 V ・ (異常 + 地震) 時 (3)

図 2-2 断面力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果 (5/6)

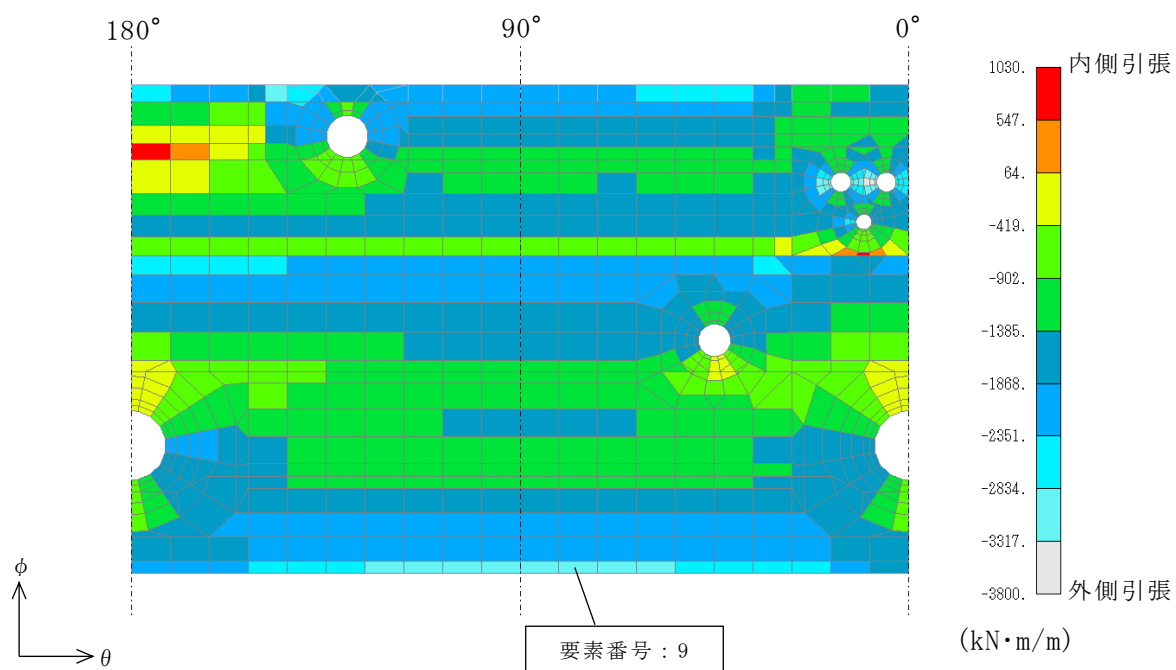


(f) 荷重状態 V・(異常+地震)時 (4)

図 2-2 断面力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果 (6/6)



(a) 等価膜力 (子午線方向, ケース 2-3)



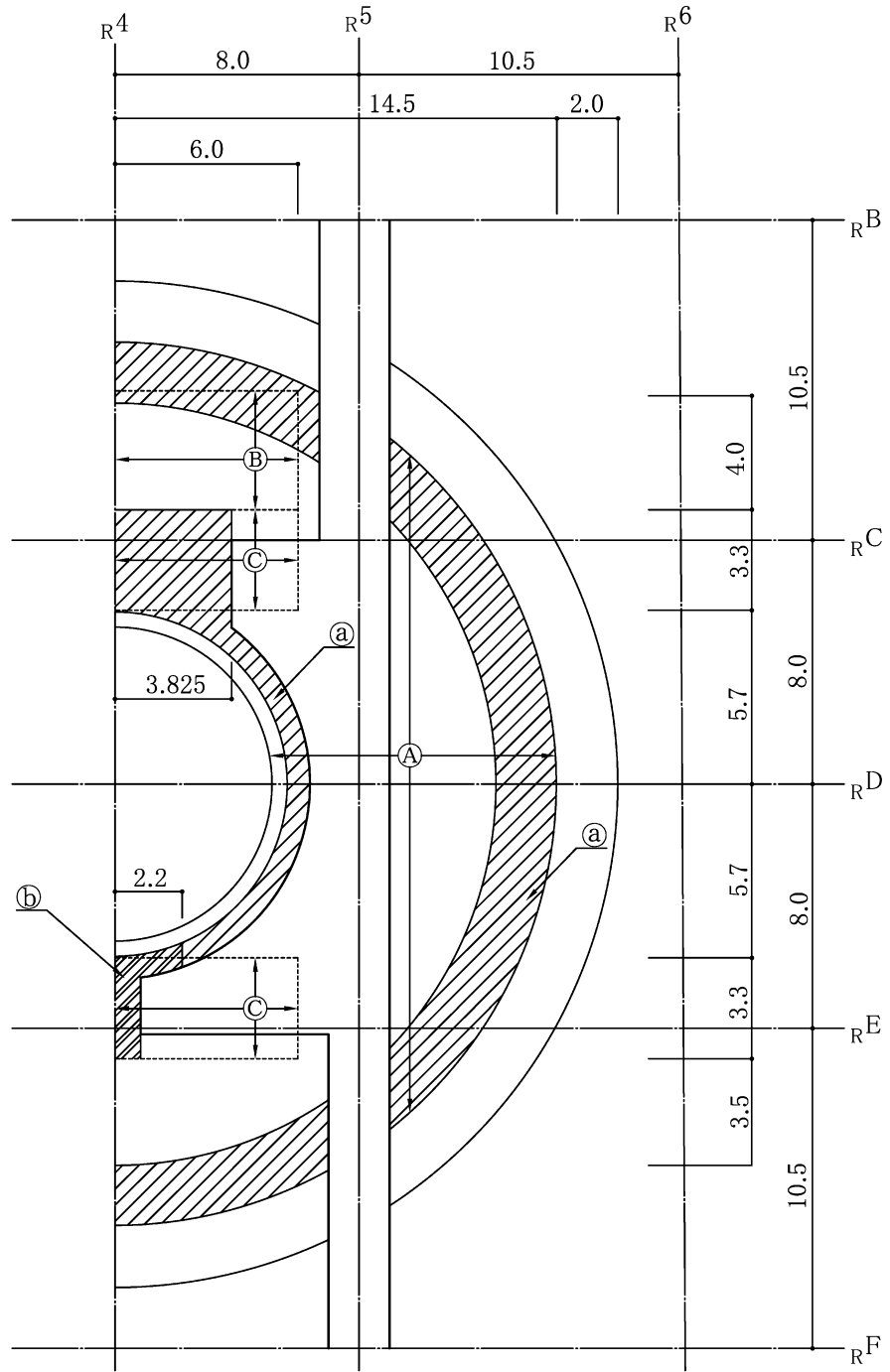
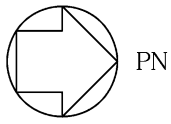
(b) 曲げモーメント (子午線方向, ケース 2-3)

図 2-3 断面の評価部位の選定に関する荷重組合せケースの断面力コンター図

2.2 トップスラブ部

トップスラブ部の配筋領域図を図2-4に，配筋一覧を表2-4に示す。

各評価項目の検定値一覧を表2-5に，断面力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果を図2-5に，断面の評価部位の選定に関する荷重組合せケースの断面力コンター図を図2-6に示す。



注：配筋は R_4 通りに対して対称である。

図 2-4 配筋領域図 (トッスラブ部) (単位 : m)

表 2-4 配筋一覧 (トッブスラブ部)

(a) 主筋

| 領域 | 方向 | 配筋* |
|----|----|--------------------------|
| A | NS | 3-D41@300 |
| | EW | 3-D41@300 |
| B | NS | 1-D41@150 + 2-D41@300 |
| | EW | 3-D41@300 |
| C | NS | 2-D41@150 + 1-D41@300 |
| | EW | 3-D41@300 |

注記* : 上ば筋及び下ば筋とも, 同一配筋。

(b) せん断補強筋

| 領域 | せん断補強筋 |
|----|-------------|
| a | D19@300×300 |
| b | D19@150×150 |

表 2-5 各評価項目の検定値一覧 (1/3)

(a) 荷重状態Ⅲ・地震時 (1)

| 評価項目 | | 方向 | 要素番号 | 組合せ ケース | 検定値 |
|--------------------|-------------|----|--------|------------|-------|
| 軸力 + 曲げモーメント | コンクリート圧縮応力度 | EW | 101425 | 1-14 | 0.341 |
| | 鉄筋引張応力度 | NS | 1411 | 1-23 | 0.544 |
| 面外せん断力 | 面外せん断応力度 | NS | 101413 | 1-23 | 0.839 |

(b) 荷重状態Ⅲ・(異常+地震)時 (1)

| 評価項目 | | 方向 | 要素番号 | 組合せ ケース | 検定値 |
|--------------------|-------------|----|--------|------------|-------|
| 軸力 + 曲げモーメント | コンクリート圧縮応力度 | EW | 101425 | 2-14 | 0.358 |
| | 鉄筋引張応力度 | NS | 1411 | 2-23 | 0.559 |
| 面外せん断力 | 面外せん断応力度 | NS | 101413 | 2-23 | 0.887 |

表 2-5 各評価項目の検定値一覧 (2/3)

(c) 荷重状態Ⅳ・地震時 (2)

| 評価項目 | | 方向 | 要素番号 | 組合せ ケース | 検定値 |
|--------------------|-------------|----|--------|------------|-------|
| 軸力 + 曲げモーメント | コンクリート圧縮ひずみ | NS | 101412 | 3-5 | 0.069 |
| | 鉄筋引張ひずみ | NS | 101412 | 3-5 | 0.041 |
| 面外せん断力 | 面外せん断応力度 | NS | 1413 | 3-3 | 0.875 |

(d) 荷重状態Ⅳ・(異常+地震)時 (2)

| 評価項目 | | 方向 | 要素番号 | 組合せ ケース | 検定値 |
|--------------------|-------------|----|--------|------------|-------|
| 軸力 + 曲げモーメント | コンクリート圧縮ひずみ | NS | 101411 | 4-19 | 0.054 |
| | 鉄筋引張ひずみ | NS | 1411 | 4-17 | 0.039 |
| 面外せん断力 | 面外せん断応力度 | NS | 101413 | 4-17 | 0.742 |

表 2-5 各評価項目の検定値一覧 (3/3)

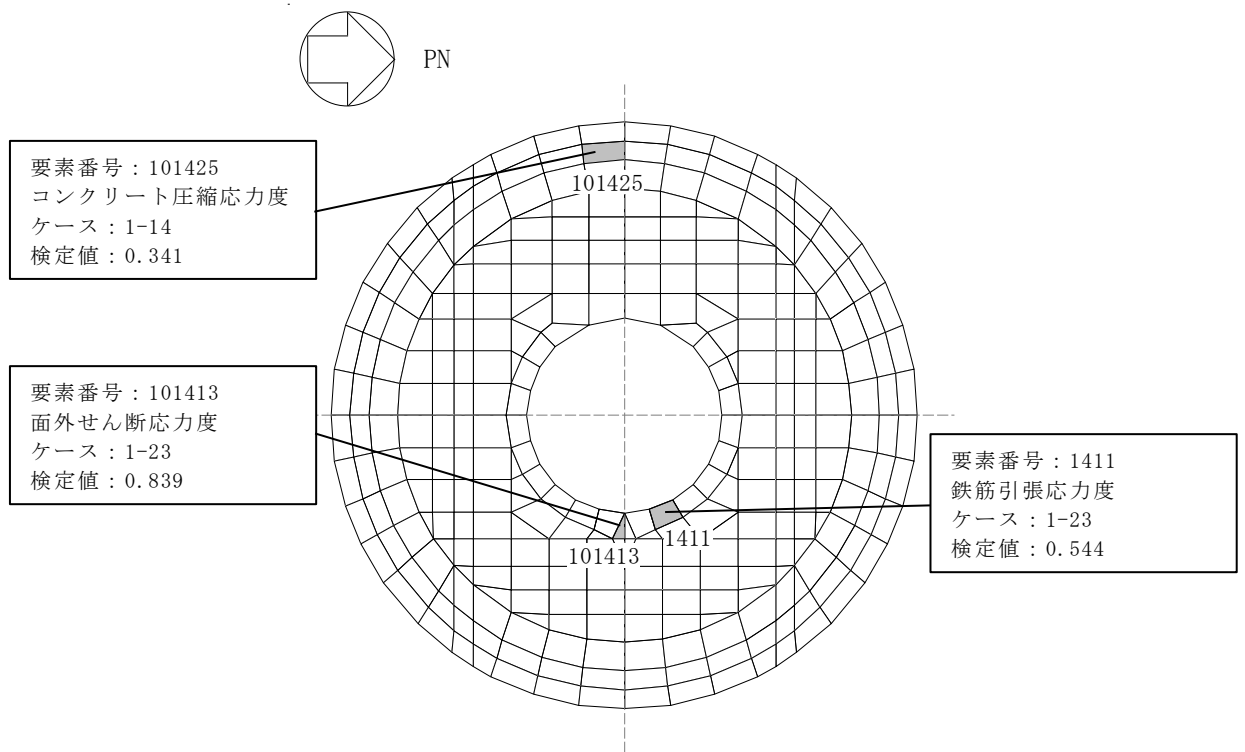
(e) 荷重状態 V・(異常+地震) 時 (3)

| 評価項目 | | 方向 | 要素番号 | 組合せ ケース | 検定値 |
|--------------------|-------------|----|------|------------|-------|
| 軸力 + 曲げモーメント | コンクリート圧縮ひずみ | NS | 1401 | 5-9 | 0.105 |
| | 鉄筋引張ひずみ | NS | 1413 | 5-12 | 0.162 |
| 面外せん断力 | 面外せん断応力度 | EW | 1471 | 5-4 | 0.860 |

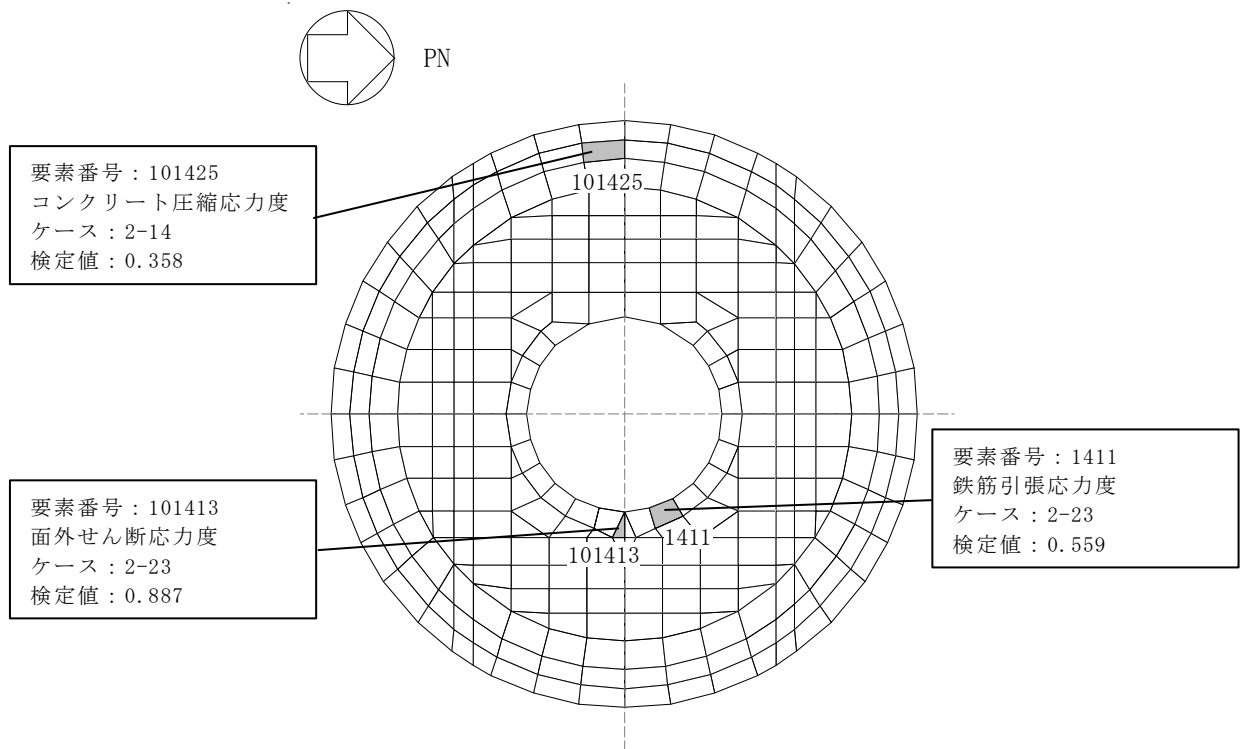
(f) 荷重状態 V・(異常+地震) 時 (4)

| 評価項目 | | 方向 | 要素番号 | 組合せ ケース | 検定値 |
|--------------------|-------------|----|--------|------------|-------|
| 軸力 + 曲げモーメント | コンクリート圧縮ひずみ | NS | 101411 | 6-3 | 0.055 |
| | 鉄筋引張ひずみ | EW | 1472 | 6-2 | 0.033 |
| 面外せん断力 | 面外せん断応力度 | NS | 1413 | 6-3 | 0.897 |

注：■ は、検定値が最大となる要素を示す。

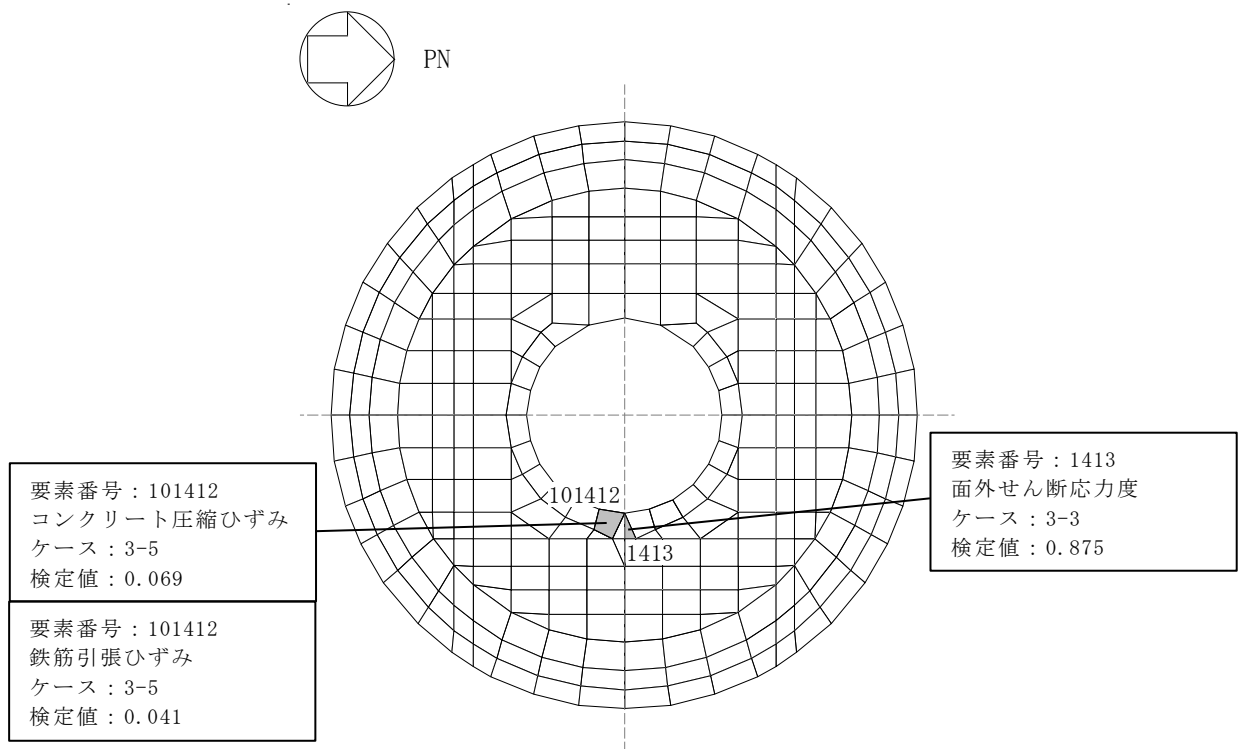


(a) 荷重状態Ⅲ・地震時 (1)

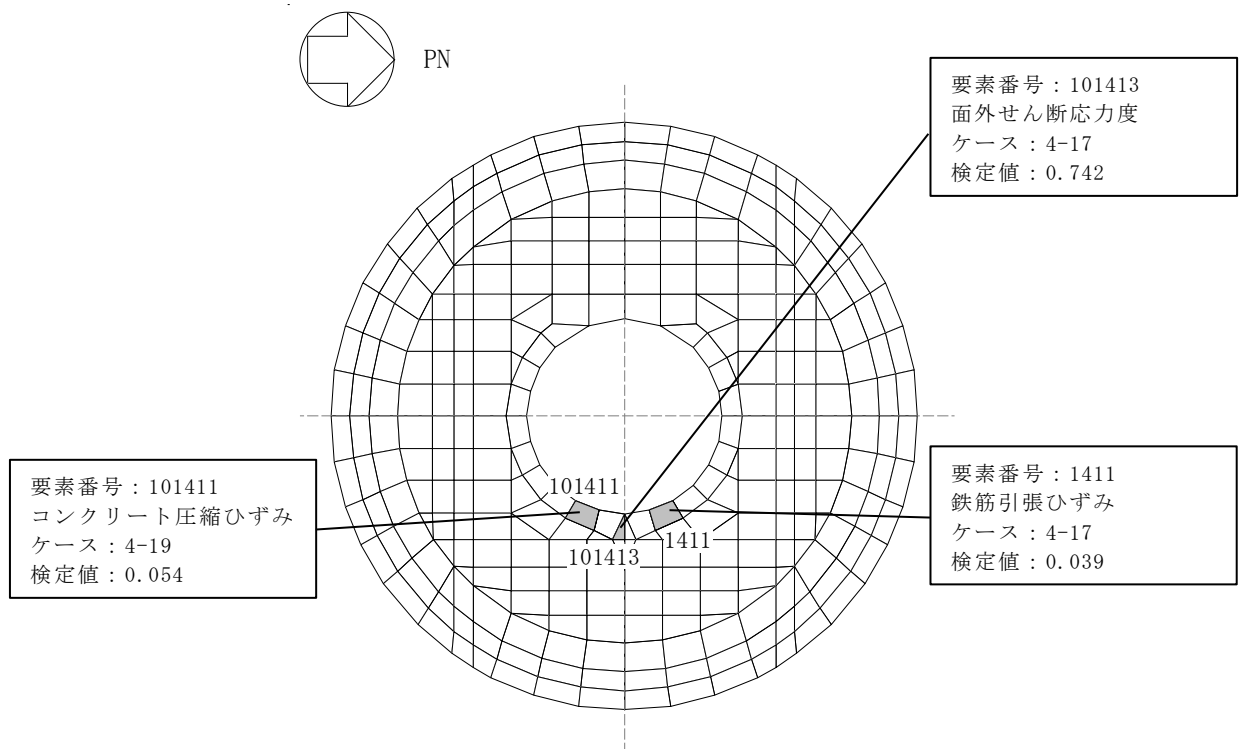


(b) 荷重状態Ⅲ・(異常+地震)時 (1)

図 2-5 断面力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果 (1/3)

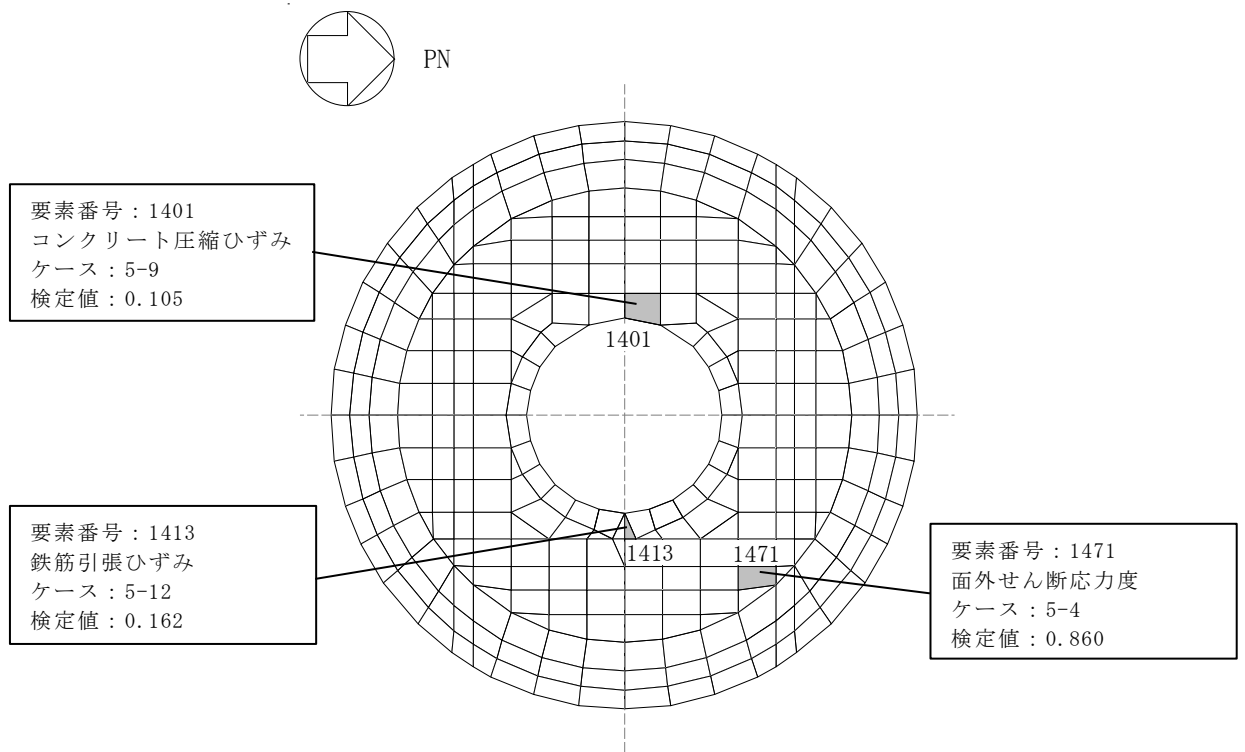


(c) 荷重状態IV・地震時 (2)

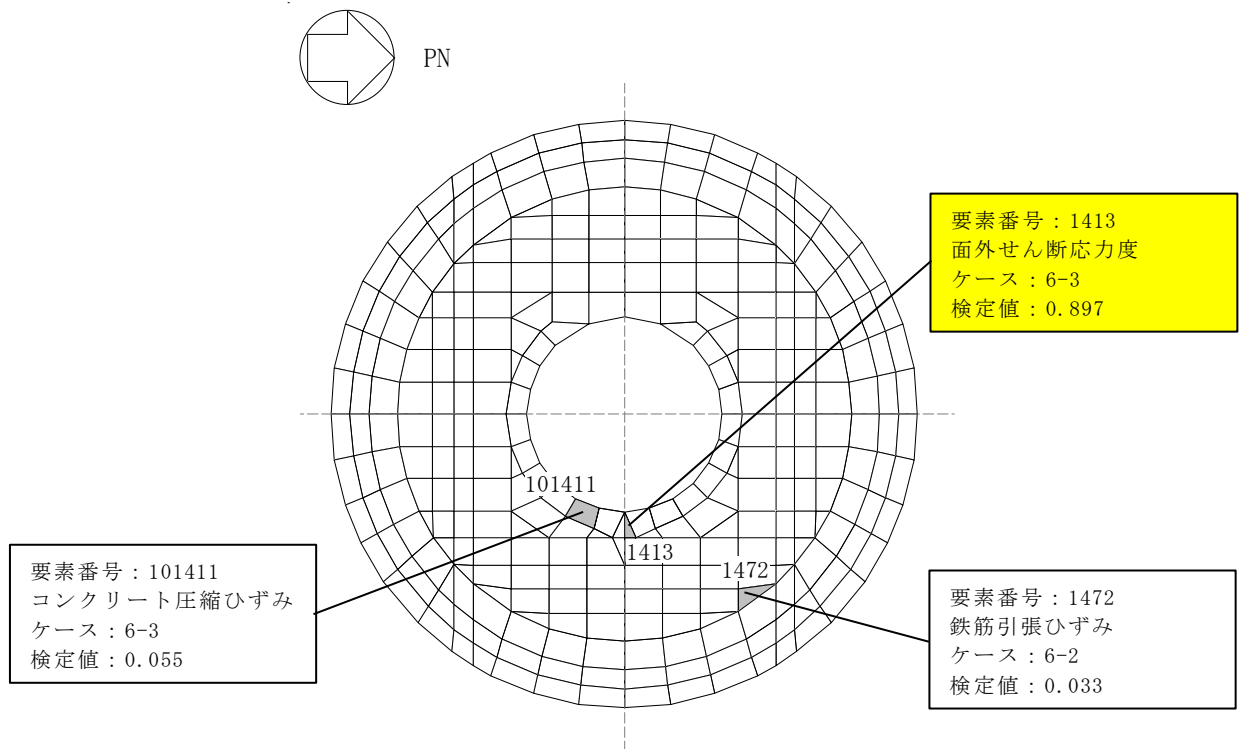


(d) 荷重状態IV・(異常+地震)時 (2)

図 2-5 断面力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果 (2/3)



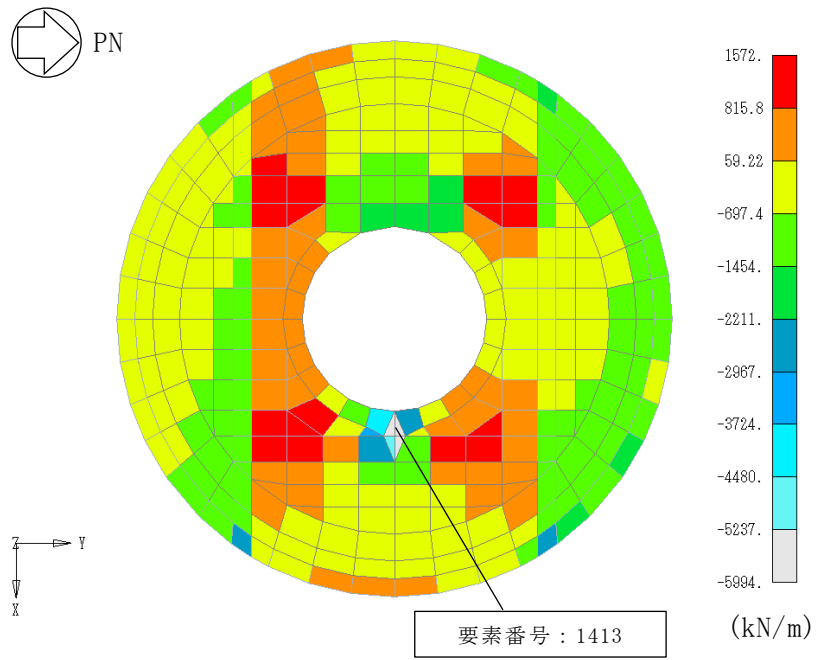
(e) 荷重状態 V ・ (異常 + 地震) 時 (3)



注：■ は、検定値が最大となる要素を示す。

(f) 荷重状態 V ・ (異常 + 地震) 時 (4)

図 2-5 断面力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果 (3/3)



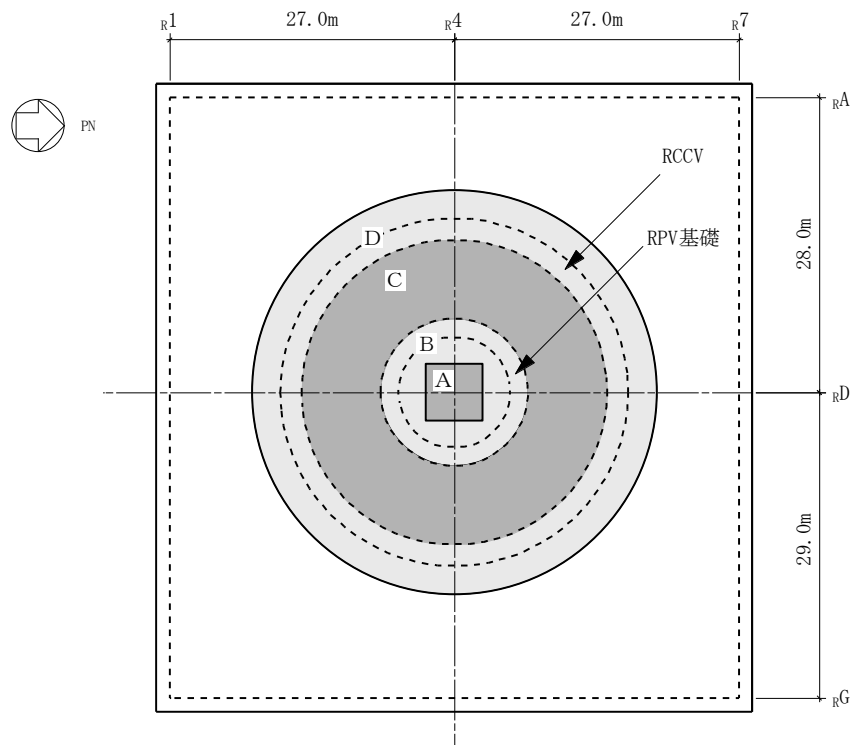
面外せん断力 (NS 方向, ケース 6-3)

図 2-6 断面の評価部位の選定に関する荷重組合せケースの断面力コンター図

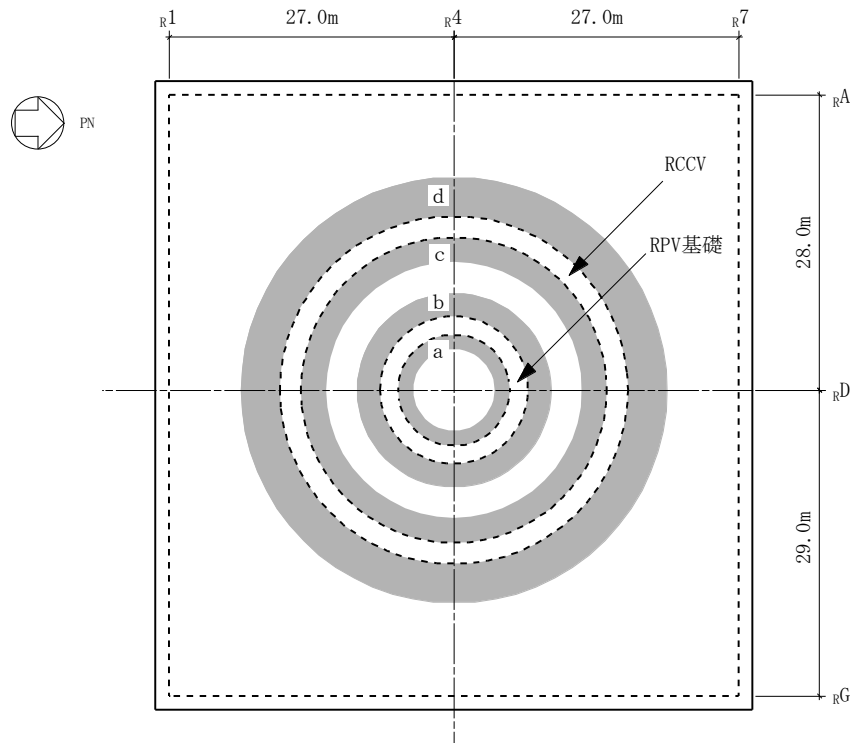
2.3 底部

底部の配筋領域図を図2-7に，配筋一覧を表2-6に示す。

各評価項目の検定値一覧を表2-7に，断面力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果を図2-8に，断面の評価部位の選定に関する荷重組合せケースの断面力コンター図を図2-9に示す。



(a) 主筋



(b) せん断補強筋

図 2-7 配筋領域図 (底部)

表 2-6 配筋一覧 (底部)

(a) 主筋

| 領域 | 上ば筋 | | 下ば筋 | |
|----|-----|--------------------------|-----|-----------|
| | 方向 | 配筋 | 方向 | 配筋 |
| A | NS | 3-D38@130 | NS | 5-D38@200 |
| | EW | 3-D38@130 | EW | 5-D38@200 |
| B | 放射 | 5×160-D38 | NS | 5-D38@200 |
| | 円周 | 2-D38@200 + 3-D38@400 | EW | 5-D38@200 |
| C | 放射 | 5×320-D38 | NS | 5-D38@200 |
| | 円周 | 2-D38@200 + 3-D38@400 | EW | 5-D38@200 |
| D | 放射 | 5×320-D38 | NS | 5-D38@200 |
| | 円周 | 5-D38@200 | EW | 5-D38@200 |

(b) せん断補強筋

| 領域 | 配筋 |
|----|---------------|
| a | D35@200×80/周 |
| b | D35@200×160/周 |
| c | D35@200×160/周 |
| d | D35@400×400 |

表 2-7 各評価項目の検定値一覧 (1/3)

(a) 荷重状態Ⅲ・地震時 (1)

| 評価項目 | | 方向 | 要素番号 | 組合せ ケース | 検定値 |
|--------------------|-------------|----|----------|------------|-------|
| 軸力 + 曲げモーメント | コンクリート圧縮応力度 | 放射 | 10002161 | 1-19 | 0.464 |
| | 鉄筋引張応力度 | NS | 10002161 | 1-19 | 0.525 |
| 面外せん断力 | 面外せん断応力度 | 放射 | 10002374 | 1-22 | 0.592 |

(b) 荷重状態Ⅲ・(異常+地震)時 (1)

| 評価項目 | | 方向 | 要素番号 | 組合せ ケース | 検定値 |
|--------------------|-------------|----|----------|------------|-------|
| 軸力 + 曲げモーメント | コンクリート圧縮応力度 | 放射 | 10002161 | 2-19 | 0.519 |
| | 鉄筋引張応力度 | 放射 | 10002180 | 2-23 | 0.653 |
| 面外せん断力 | 面外せん断応力度 | 放射 | 10002374 | 2-22 | 0.575 |

表 2-7 各評価項目の検定値一覧 (2/3)

(c) 荷重状態Ⅳ・地震時 (2)

| 評価項目 | | 方向 | 要素番号 | 組合せ ケース | 検定値 |
|--------------------|-------------|----|----------|------------|-----------------|
| 軸力 + 曲げモーメント | コンクリート圧縮ひずみ | 放射 | 10002171 | 3-2 | 0.153 |
| | 鉄筋引張ひずみ | NS | 10002141 | 3-1 | 0.067 |
| 面外せん断力 | 面外せん断応力度 | 放射 | 10002371 | 3-2 | 0.832 (1.02) |

注 1 : は、検定値が最大となる要素を示す。

注 2 : ()内は、応力平均化前の値を示す。

(d) 荷重状態Ⅳ・(異常+地震)時 (2)

| 評価項目 | | 方向 | 要素番号 | 組合せ ケース | 検定値 |
|--------------------|-------------|----|----------|------------|-------|
| 軸力 + 曲げモーメント | コンクリート圧縮ひずみ | 放射 | 10002161 | 4-19 | 0.065 |
| | 鉄筋引張ひずみ | NS | 10002161 | 4-19 | 0.025 |
| 面外せん断力 | 面外せん断応力度 | 放射 | 10002374 | 4-22 | 0.502 |

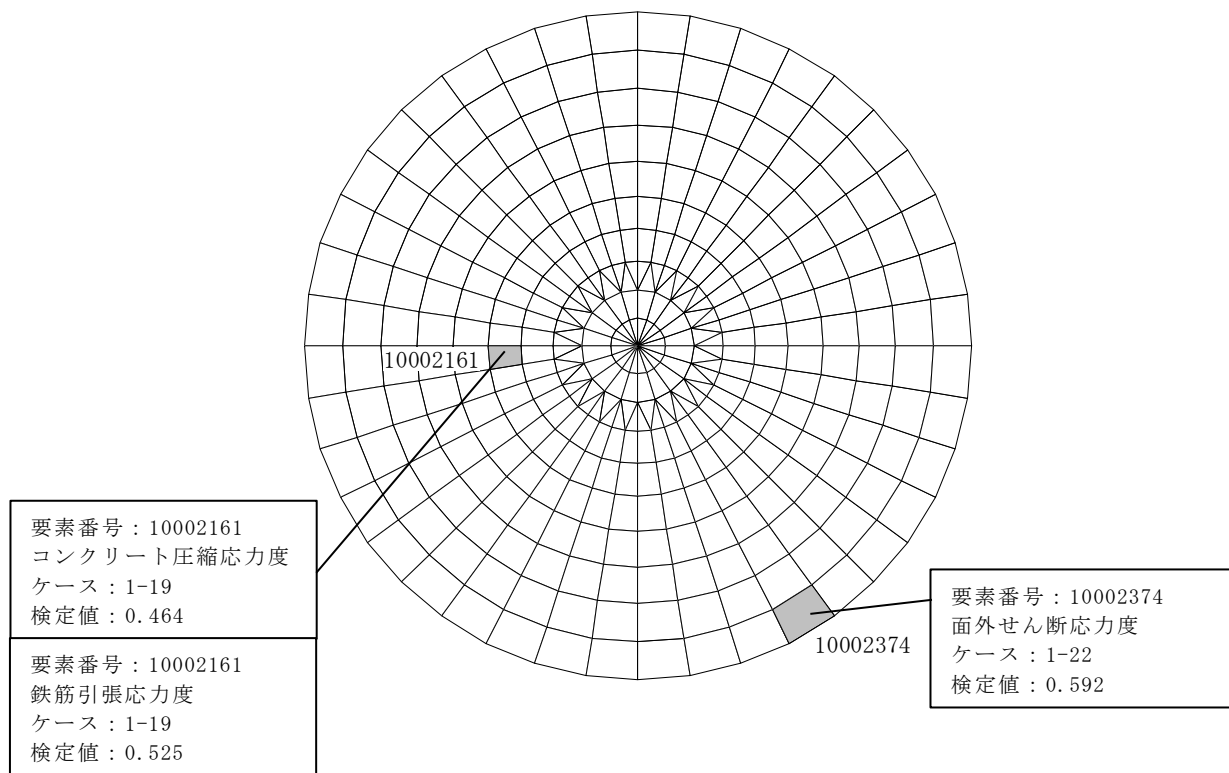
表 2-7 各評価項目の検定値一覧 (3/3)

(e) 荷重状態 V・(異常+地震) 時 (3)

| 評価項目 | | 方向 | 要素番号 | 組合せ ケース | 検定値 |
|--------------------|-------------|----|----------|------------|-------|
| 軸力 + 曲げモーメント | コンクリート圧縮ひずみ | 放射 | 10002171 | 5-2 | 0.083 |
| | 鉄筋引張ひずみ | NS | 10002141 | 5-5 | 0.062 |
| 面外せん断力 | 面外せん断応力度 | 放射 | 10002250 | 5-2 | 0.872 |

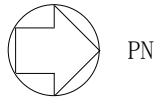
(f) 荷重状態 V・(異常+地震) 時 (4)

| 評価項目 | | 方向 | 要素番号 | 組合せ ケース | 検定値 |
|--------------------|-------------|----|----------|------------|-------|
| 軸力 + 曲げモーメント | コンクリート圧縮ひずみ | 放射 | 10002171 | 6-2 | 0.160 |
| | 鉄筋引張ひずみ | NS | 10002141 | 6-1 | 0.080 |
| 面外せん断力 | 面外せん断応力度 | 放射 | 10002371 | 6-2 | 0.967 |

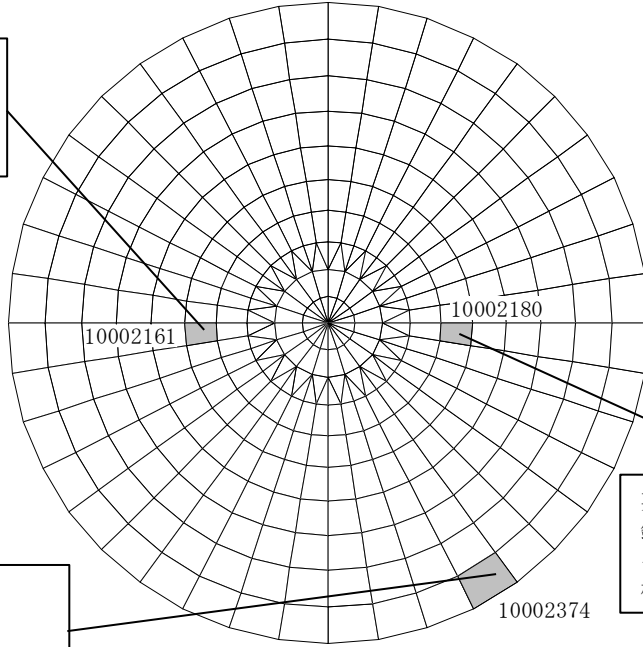


(a) 荷重状態Ⅲ・地震時 (1)

図 2-8 断面力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果 (1/6)



要素番号：10002161
コンクリート圧縮応力度
ケース：2-19
検定値：0.519

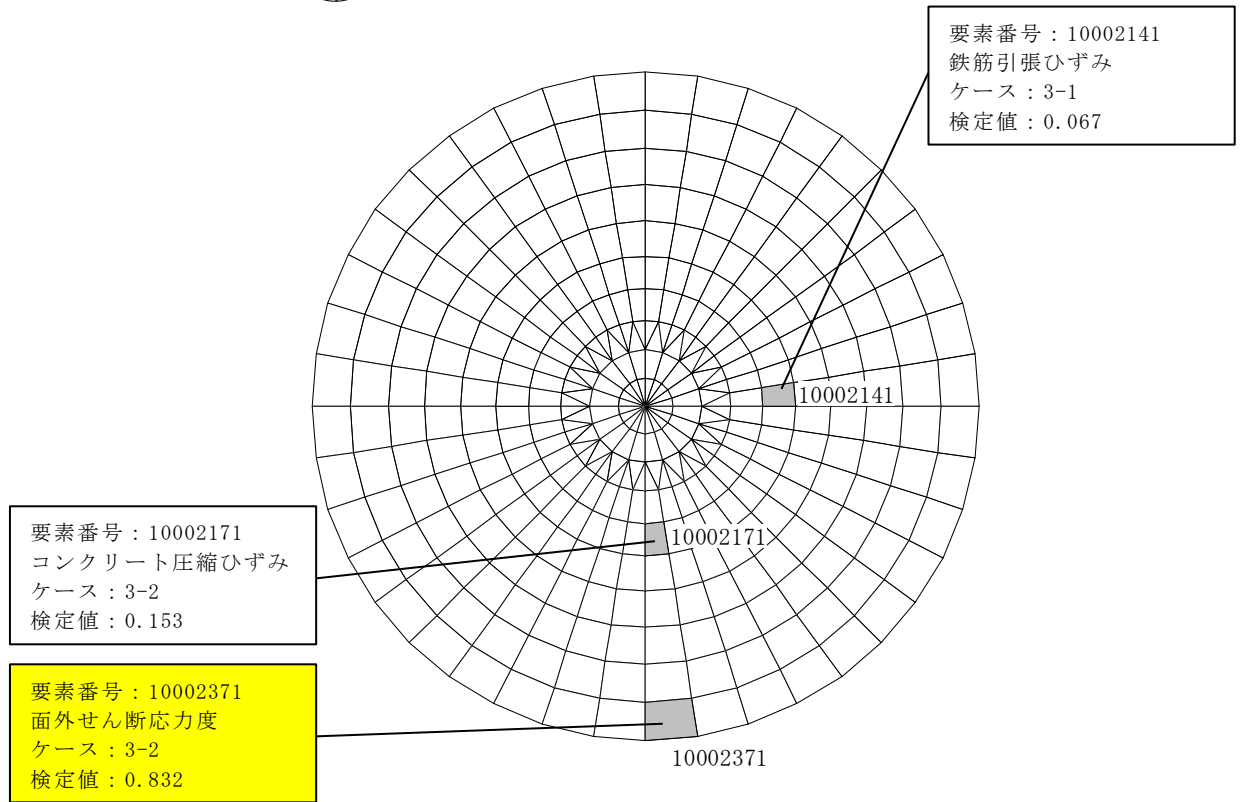
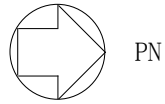


要素番号：10002180
鉄筋引張応力度
ケース：2-23
検定値：0.653

要素番号：10002374
面外せん断応力度
ケース：2-22
検定値：0.575

(b) 荷重状態Ⅲ・(異常+地震)時 (1)

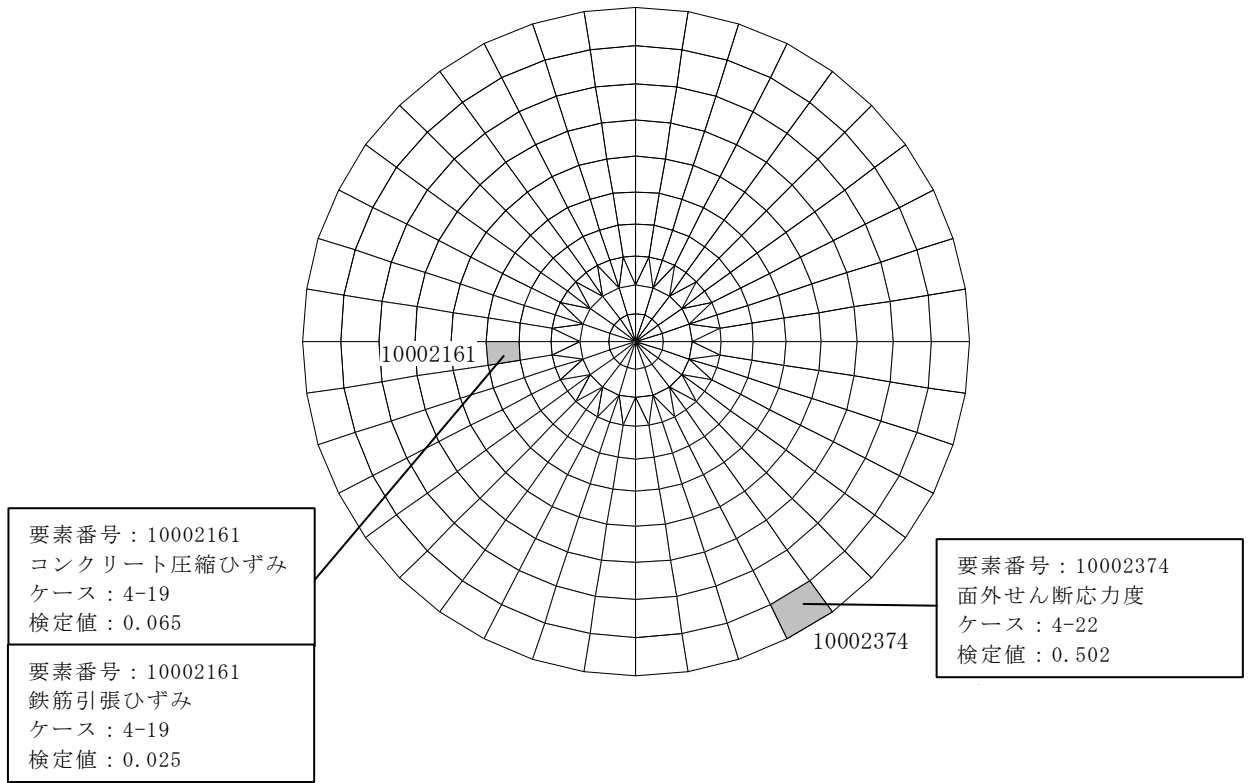
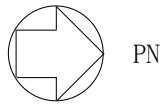
図2-8 断面力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果 (2/6)



注：■ は、検定値が最大となる要素を示す。

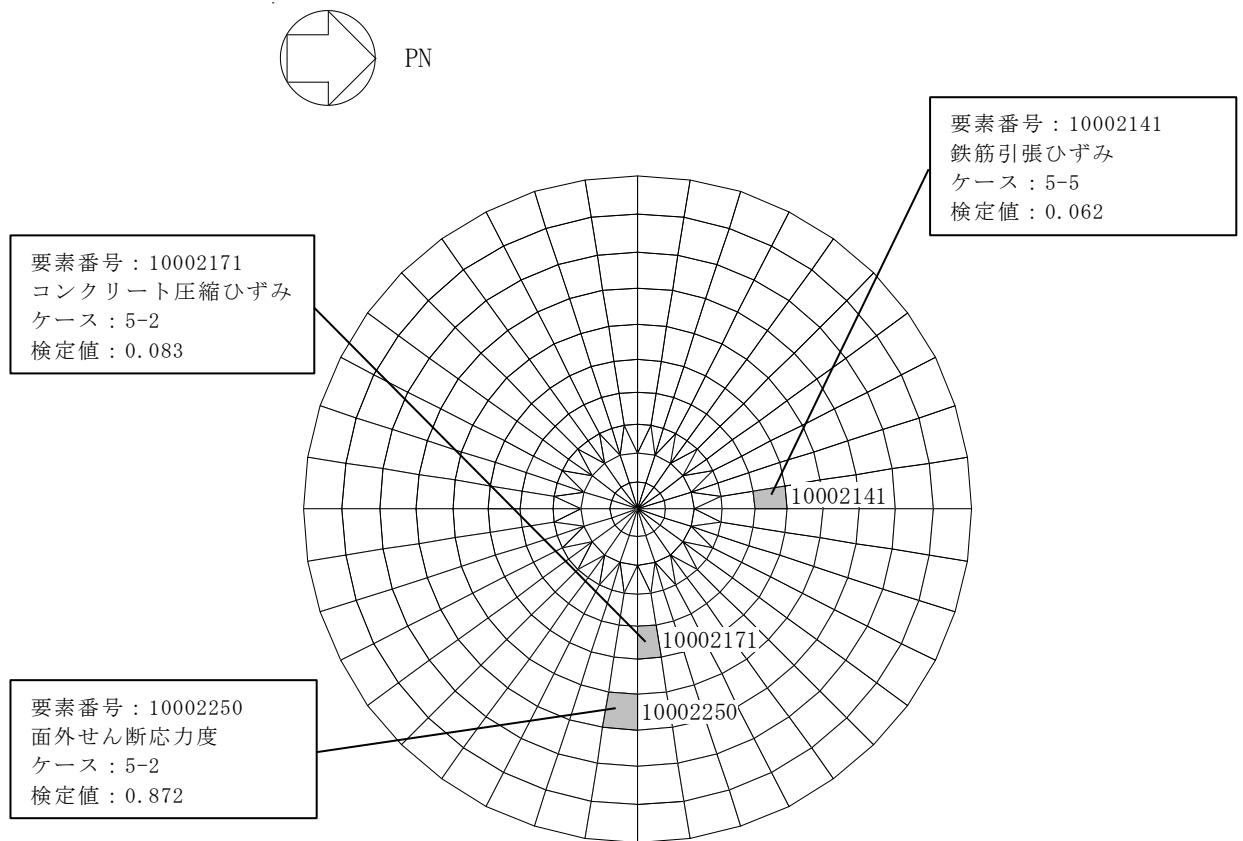
(c) 荷重状態IV・地震時 (2)

図 2-8 断面力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果 (3/6)



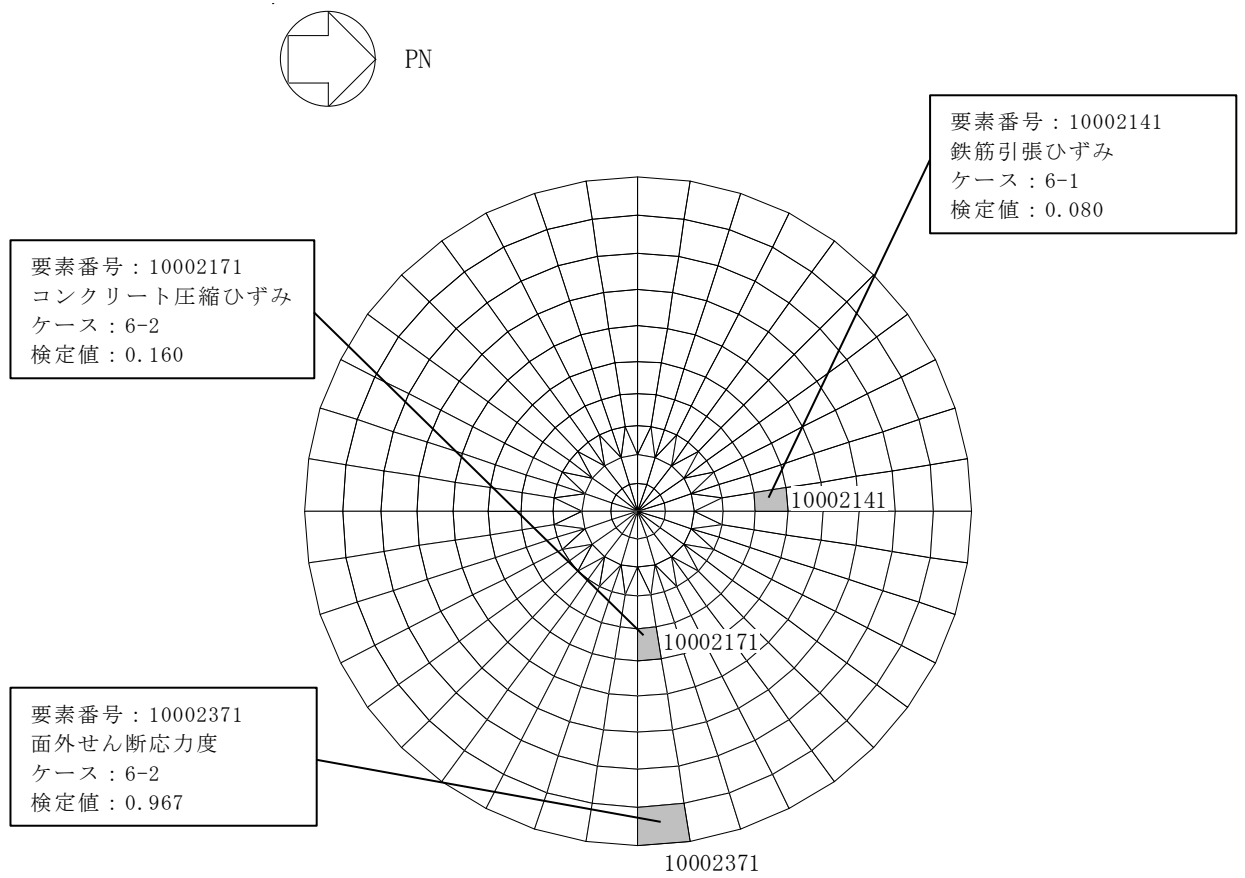
(d) 荷重状態Ⅳ・(異常+地震)時 (2)

図2-8 断面力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果 (4/6)



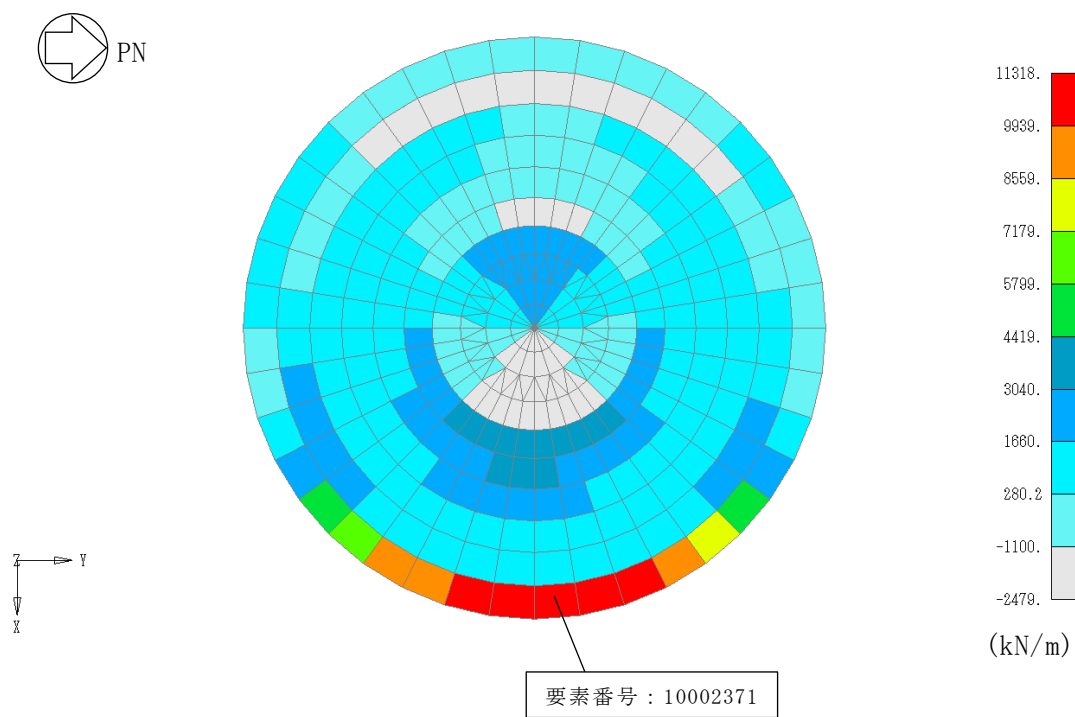
(e) 荷重状態 V ・ (異常 + 地震) 時 (3)

図 2-8 断面力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果 (5/6)



(f) 荷重状態 V ・ (異常 + 地震) 時 (4)

図 2-8 断面力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果 (6/6)



面外せん断力（放射方向，ケース 3-2）

図 2-9 断面の評価部位の選定に関する荷重組合せケースの断面力コンター図

2.4 貫通部

貫通部の開口補強筋概要図を図2-10に示す。

各評価項目の検定値一覧を表2-8に，断面力ごとの検定値が最大となる領域及び断面の評価結果を図2-11～図2-16に，断面の評価部位の選定に関する荷重組合せケースの断面力コンター図を図2-17に示す。

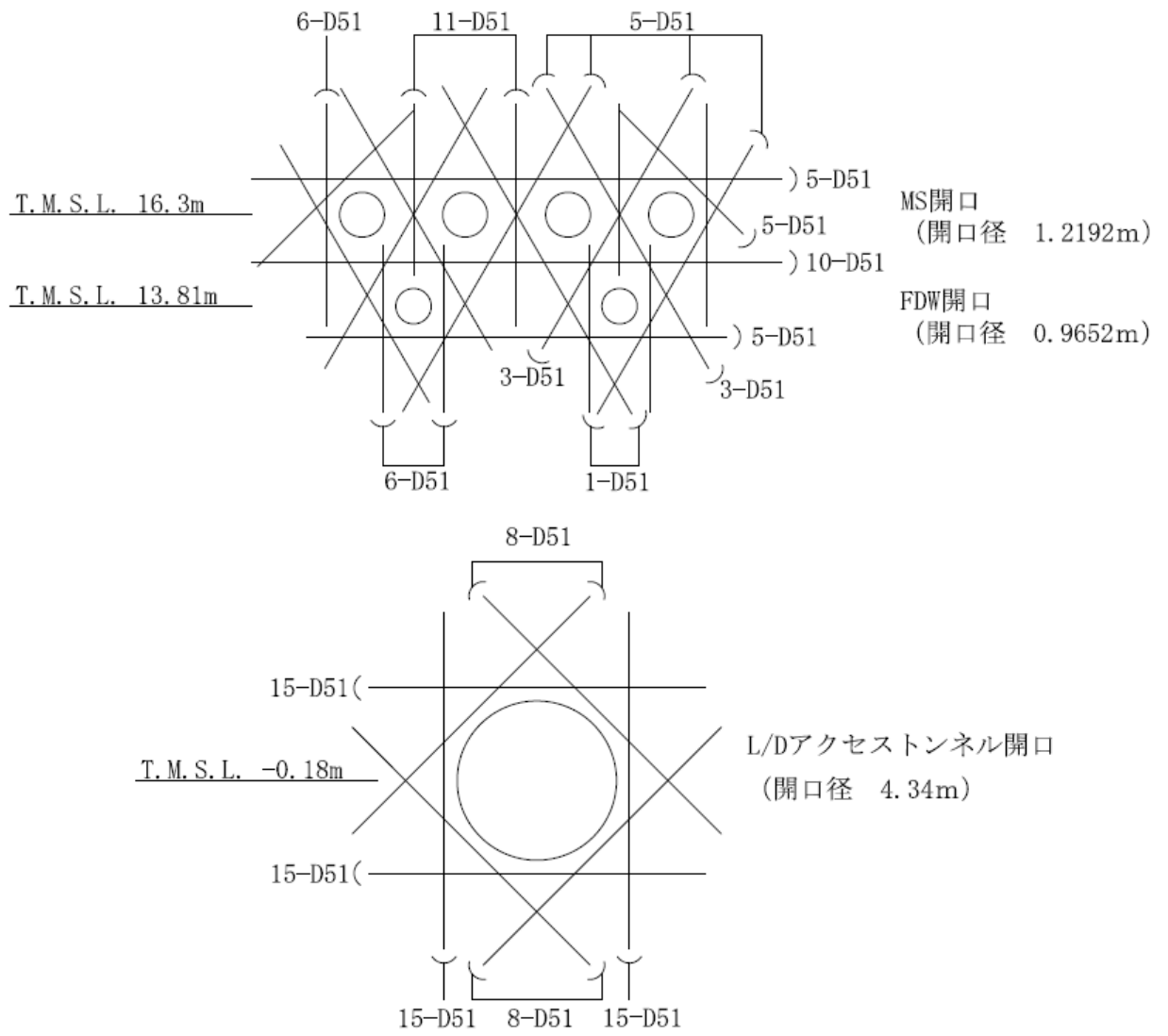


図 2-10 開口補強筋概要図 (片面当たり)

表 2-8 各評価項目の検定値一覧 (1/3)

(a) 荷重状態Ⅲ・地震時 (1)

| 部位 | 評価項目 | | 方向 | 領域番号 | 組合せ ケース | 検定値 |
|-------------------|----------------------|-------------|-----|-------|------------|-------|
| MS/FDW 開口 | 等価膜力 + 曲げモーメント | コンクリート圧縮応力度 | 子午線 | MA3 | 1-16 | 0.377 |
| | | 鉄筋引張応力度 | 円周 | MD4 | 1-17 | 0.675 |
| | 面外せん断力 | 面外せん断応力度 | 円周 | MA5 | 1-9 | 0.743 |
| L/Dアクセス トンネル開口 | 等価膜力 + 曲げモーメント | コンクリート圧縮応力度 | 子午線 | LDH13 | 1-6 | 0.334 |
| | | 鉄筋引張応力度 | 円周 | LDA16 | 1-19 | 0.529 |
| | 面外せん断力 | 面外せん断応力度 | 子午線 | LDA3 | 1-8 | 0.156 |

(b) 荷重状態Ⅲ・(異常+地震)時 (1)

| 部位 | 評価項目 | | 方向 | 領域番号 | 組合せ ケース | 検定値 |
|-------------------|----------------------|-------------|-----|-------|------------|-------|
| MS/FDW 開口 | 等価膜力 + 曲げモーメント | コンクリート圧縮応力度 | 子午線 | MA3 | 2-16 | 0.316 |
| | | 鉄筋引張応力度 | 円周 | MB6 | 2-19 | 0.785 |
| | 面外せん断力 | 面外せん断応力度 | 円周 | MA5 | 2-9 | 0.729 |
| L/Dアクセス トンネル開口 | 等価膜力 + 曲げモーメント | コンクリート圧縮応力度 | 子午線 | LDH14 | 2-6 | 0.365 |
| | | 鉄筋引張応力度 | 円周 | LDA16 | 2-19 | 0.511 |
| | 面外せん断力 | 面外せん断応力度 | 子午線 | LDA16 | 2-17 | 0.187 |

表 2-8 各評価項目の検定値一覧 (2/3)

(c) 荷重状態Ⅳ・地震時 (2)

| 部位 | 評価項目 | | 方向 | 領域番号 | 組合せ ケース | 検定値 |
|-------------------|----------------------|-------------|-----|-------|------------|-------|
| MS/FDW 開口 | 等価膜力 + 曲げモーメント | コンクリート圧縮ひずみ | 子午線 | MA5 | 3-8 | 0.122 |
| | | 鉄筋引張ひずみ | 円周 | MB15 | 3-7 | 0.100 |
| | 面外せん断力 | 面外せん断応力度 | 円周 | MD13 | 3-13 | 0.716 |
| L/Dアクセス トンネル開口 | 等価膜力 + 曲げモーメント | コンクリート圧縮ひずみ | 子午線 | LDH14 | 3-6 | 0.280 |
| | | 鉄筋引張ひずみ | 子午線 | LDH14 | 3-4 | 0.284 |
| | 面外せん断力 | 面外せん断応力度 | 子午線 | LDA5 | 3-3 | 0.174 |

(d) 荷重状態Ⅳ・(異常+地震)時 (2)

| 部位 | 評価項目 | | 方向 | 領域番号 | 組合せ ケース | 検定値 |
|-------------------|----------------------|-------------|-----|-------|------------|-------|
| MS/FDW 開口 | 等価膜力 + 曲げモーメント | コンクリート圧縮ひずみ | 子午線 | MA12 | 4-23 | 0.081 |
| | | 鉄筋引張ひずみ | 子午線 | MB14 | 4-19 | 0.100 |
| | 面外せん断力 | 面外せん断応力度 | 円周 | MA5 | 4-13 | 0.535 |
| L/Dアクセス トンネル開口 | 等価膜力 + 曲げモーメント | コンクリート圧縮ひずみ | 子午線 | LDH14 | 4-6 | 0.161 |
| | | 鉄筋引張ひずみ | 円周 | LDA16 | 4-19 | 0.132 |
| | 面外せん断力 | 面外せん断応力度 | 子午線 | LDA6 | 4-3 | 0.155 |

表 2-8 各評価項目の検定値一覧 (3/3)

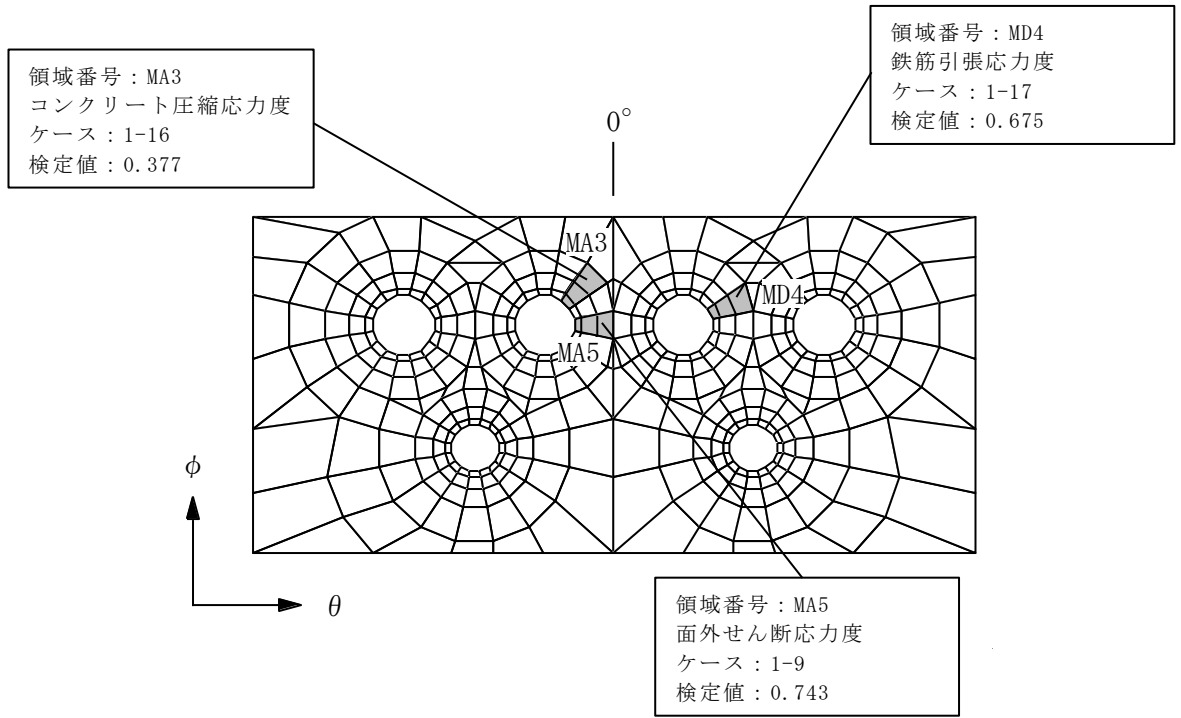
(e) 荷重状態 V・(異常+地震) 時 (3)

| 部位 | 評価項目 | | 方向 | 領域番号 | 組合せ ケース | 検定値 |
|-------------------|----------------------|-------------|-----|-------|------------|-------|
| MS/FDW 開口 | 等価膜力 + 曲げモーメント | コンクリート圧縮ひずみ | 子午線 | MD15 | 5-4 | 0.168 |
| | | 鉄筋引張ひずみ | 子午線 | MB13 | 5-3 | 0.230 |
| | 面外せん断力 | 面外せん断応力度 | 子午線 | FA11 | 5-3 | 0.894 |
| L/Dアクセス トンネル開口 | 等価膜力 + 曲げモーメント | コンクリート圧縮ひずみ | 子午線 | LDH14 | 5-6 | 0.295 |
| | | 鉄筋引張ひずみ | 子午線 | LDA12 | 5-2 | 0.376 |
| | 面外せん断力 | 面外せん断応力度 | 子午線 | LDA3 | 5-16 | 0.329 |

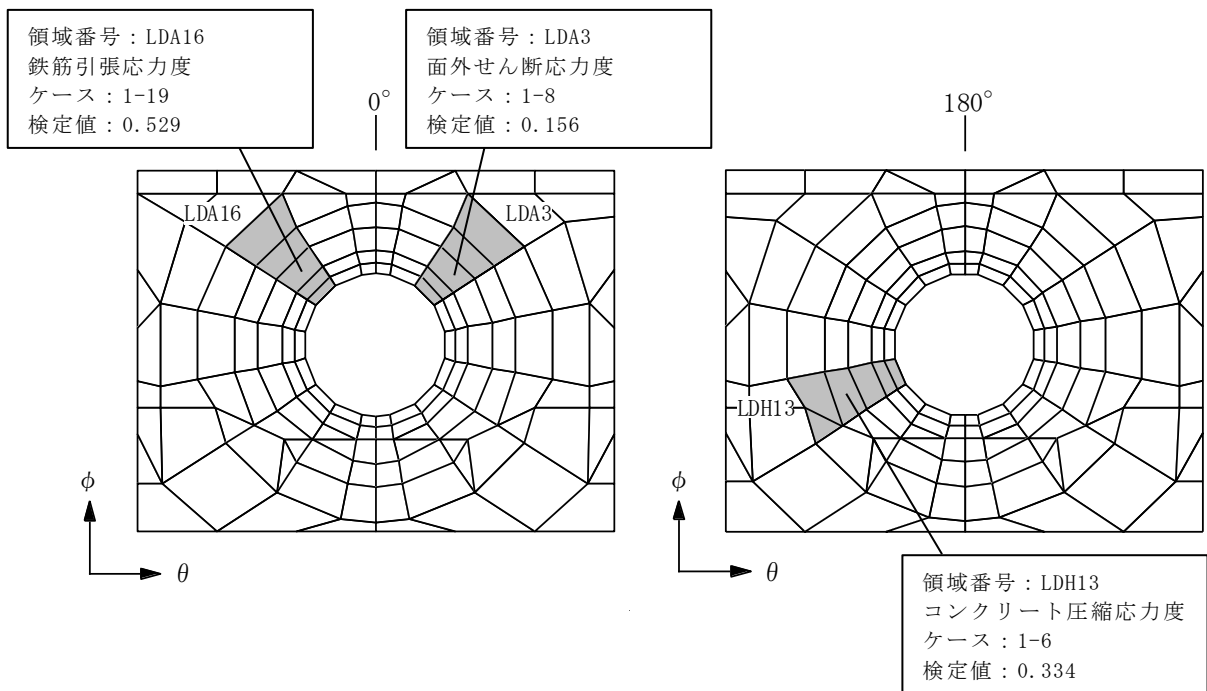
注： は、検定値が最大となる領域を示す。

(f) 荷重状態 V・(異常+地震) 時 (4)

| 部位 | 評価項目 | | 方向 | 領域番号 | 組合せ ケース | 検定値 |
|-------------------|----------------------|-------------|-----|-------|------------|-------|
| MS/FDW 開口 | 等価膜力 + 曲げモーメント | コンクリート圧縮ひずみ | 子午線 | MA3 | 6-4 | 0.133 |
| | | 鉄筋引張ひずみ | 子午線 | MB13 | 6-3 | 0.131 |
| | 面外せん断力 | 面外せん断応力度 | 円周 | MA5 | 6-13 | 0.709 |
| L/Dアクセス トンネル開口 | 等価膜力 + 曲げモーメント | コンクリート圧縮ひずみ | 子午線 | LDH14 | 6-6 | 0.325 |
| | | 鉄筋引張ひずみ | 子午線 | LDH14 | 6-4 | 0.324 |
| | 面外せん断力 | 面外せん断応力度 | 子午線 | LDA3 | 6-7 | 0.264 |

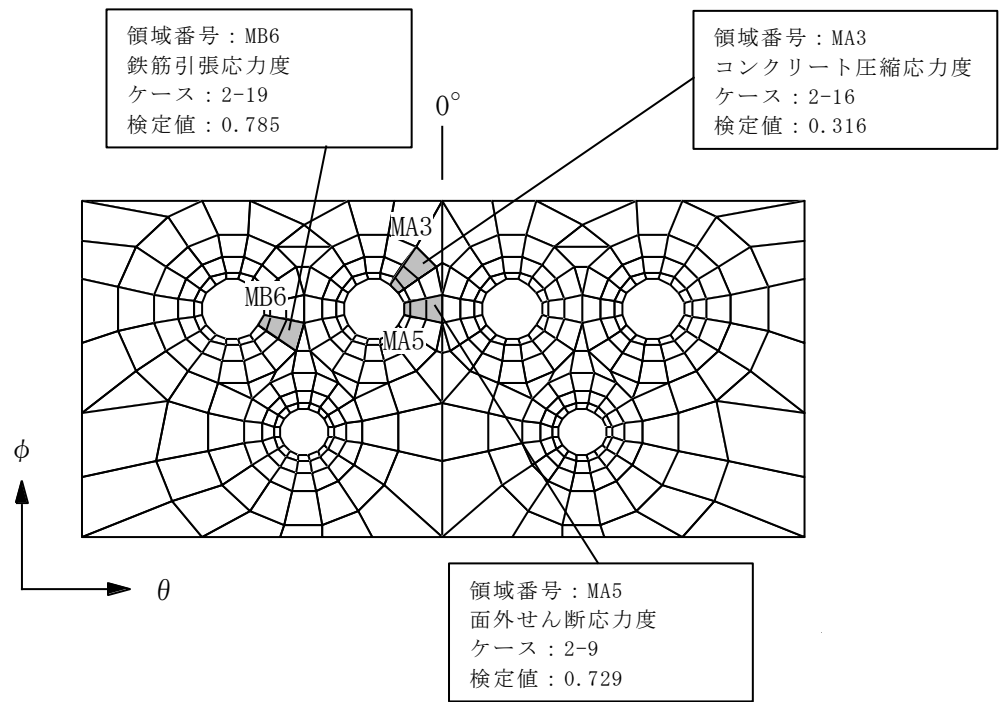


(a) MS/FDW 開口

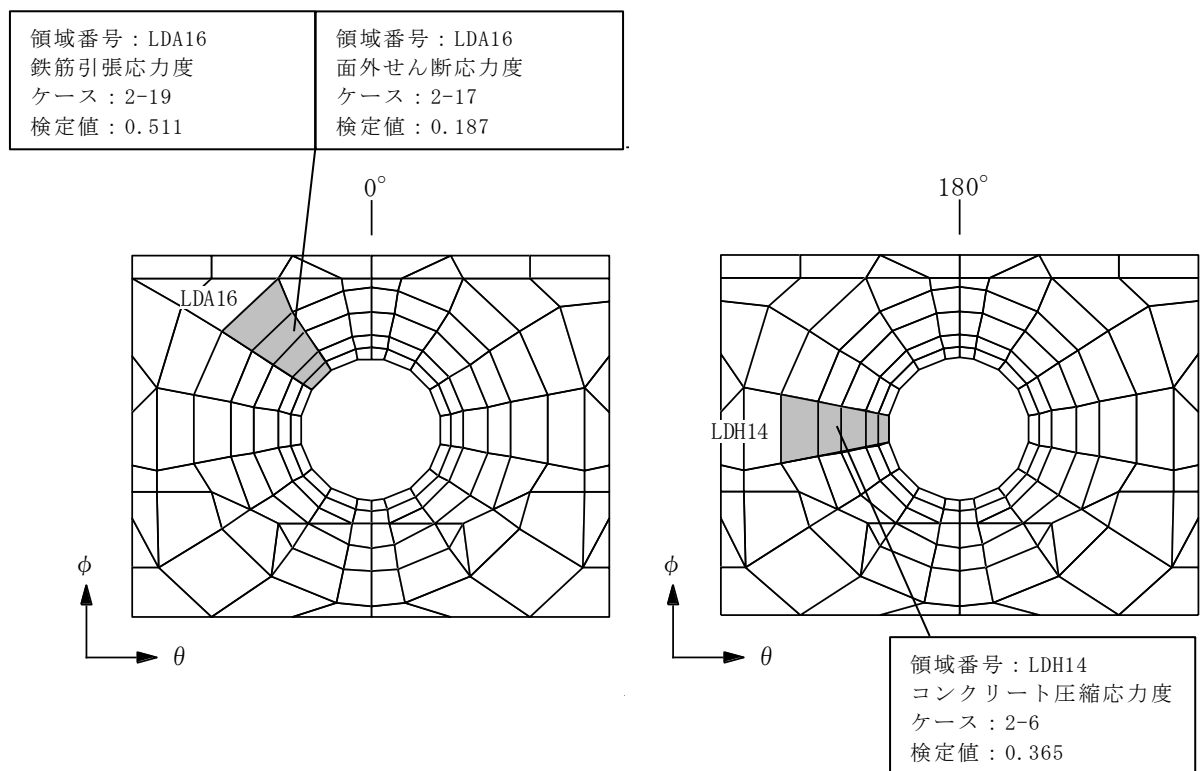


(b) L/D アクセストンネル開口

図 2-11 断面力ごとの検定値が最大となる領域及び断面の評価結果
荷重状態Ⅲ・地震時 (1)

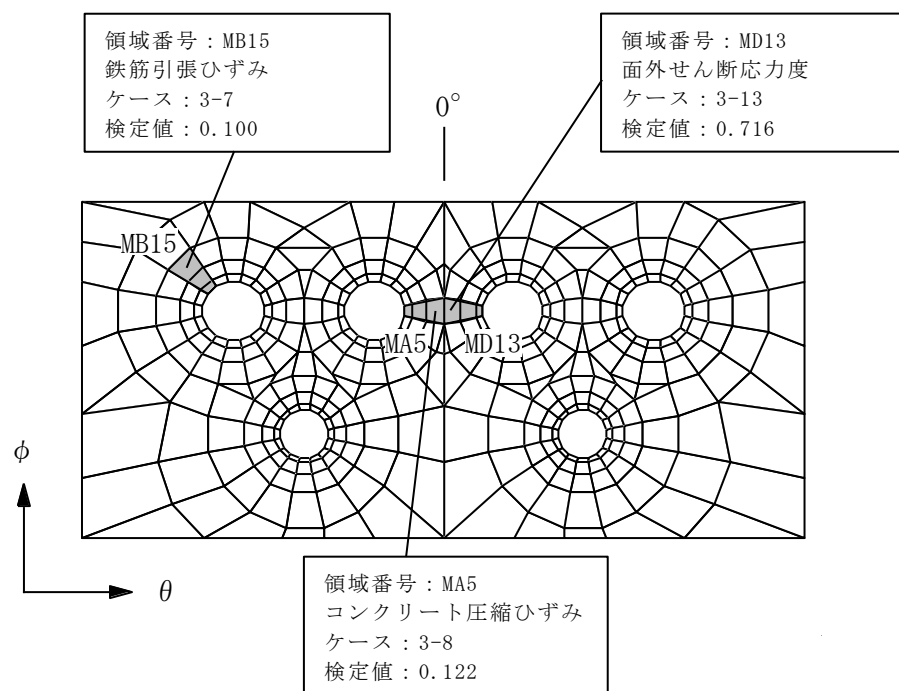


(a) MS/FDW 開口

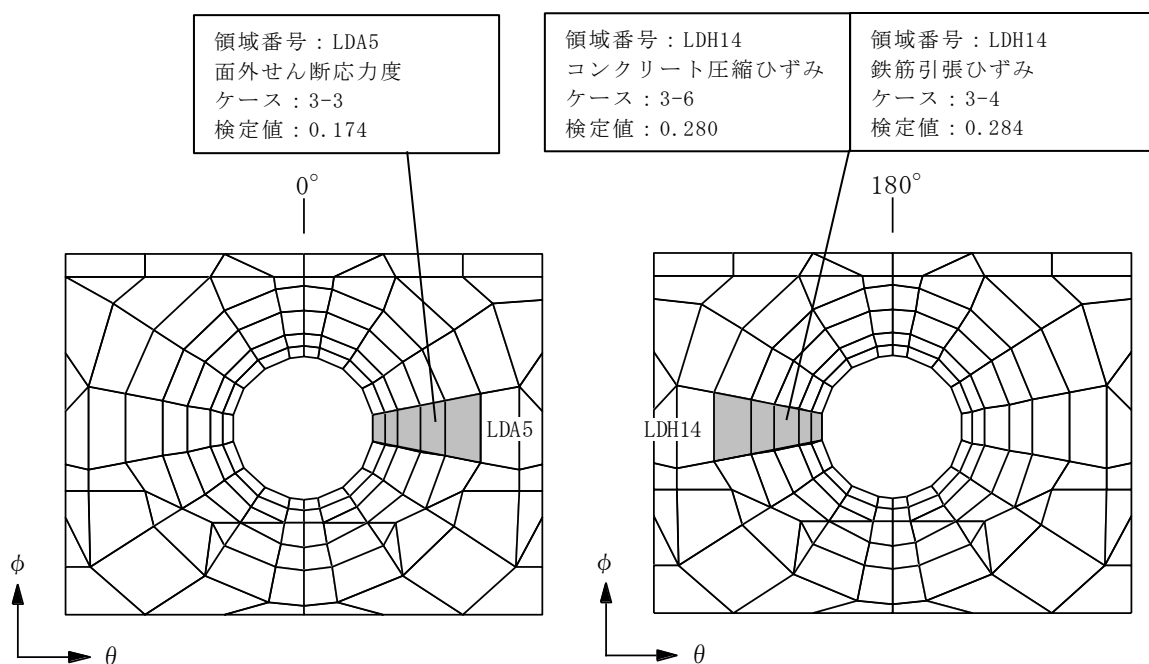


(b) L/D アクセストンネル開口

図 2-12 断面力ごとの検定値が最大となる領域及び断面の評価結果
荷重状態Ⅲ・(異常+地震)時 (1)

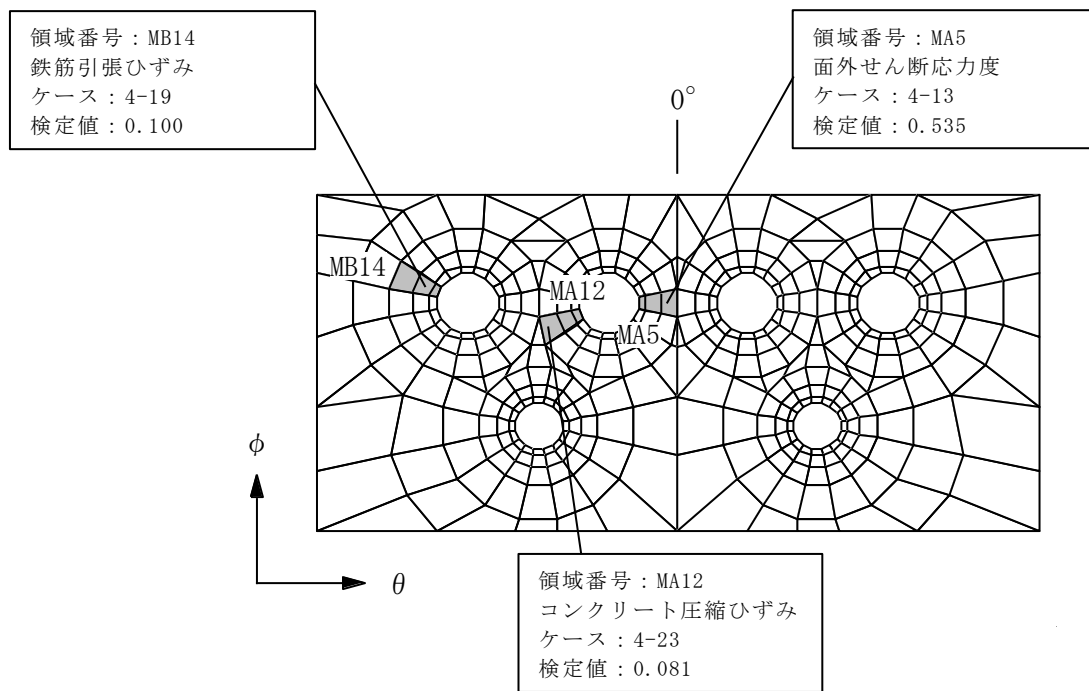


(a) MS/FDW 開口

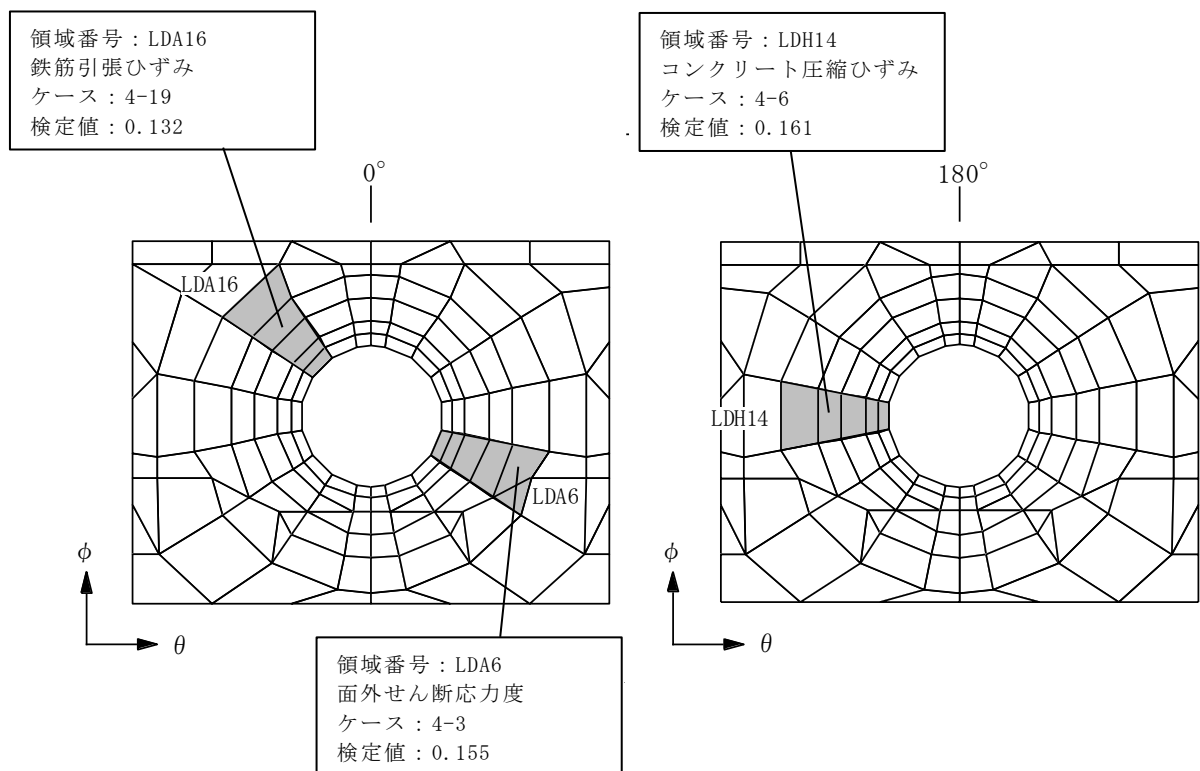


(b) L/D アクセストンネル開口

図 2-13 断面力ごとの検定値が最大となる領域及び断面の評価結果
荷重状態Ⅳ・地震時 (2)

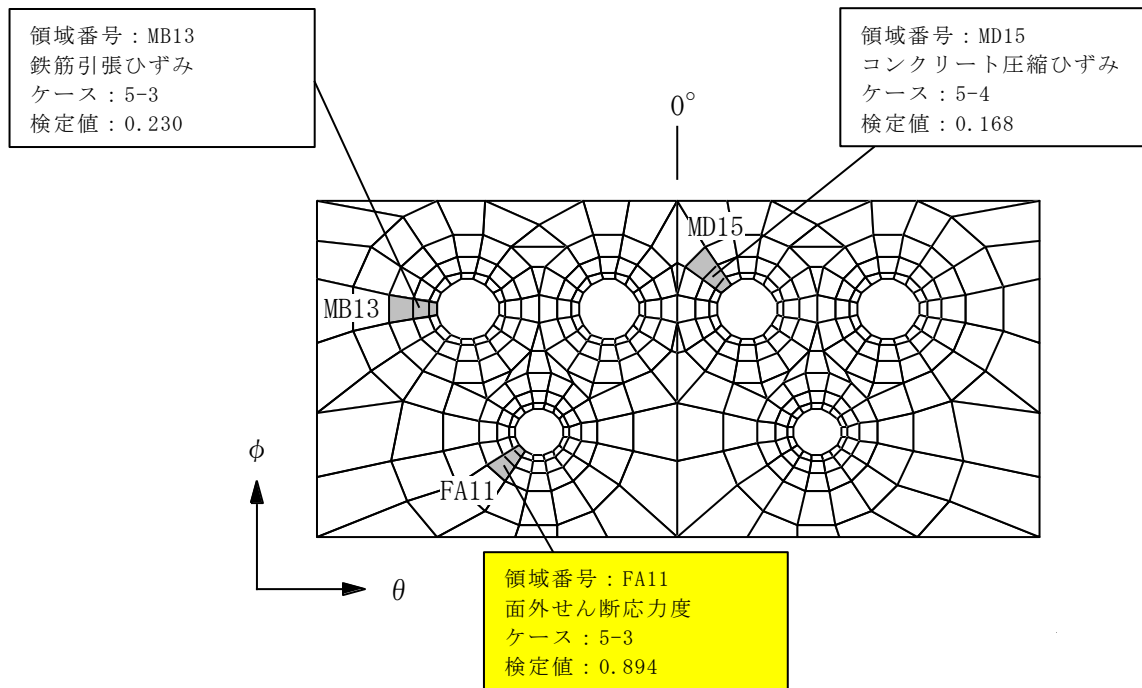


(a) MS/FDW 開口



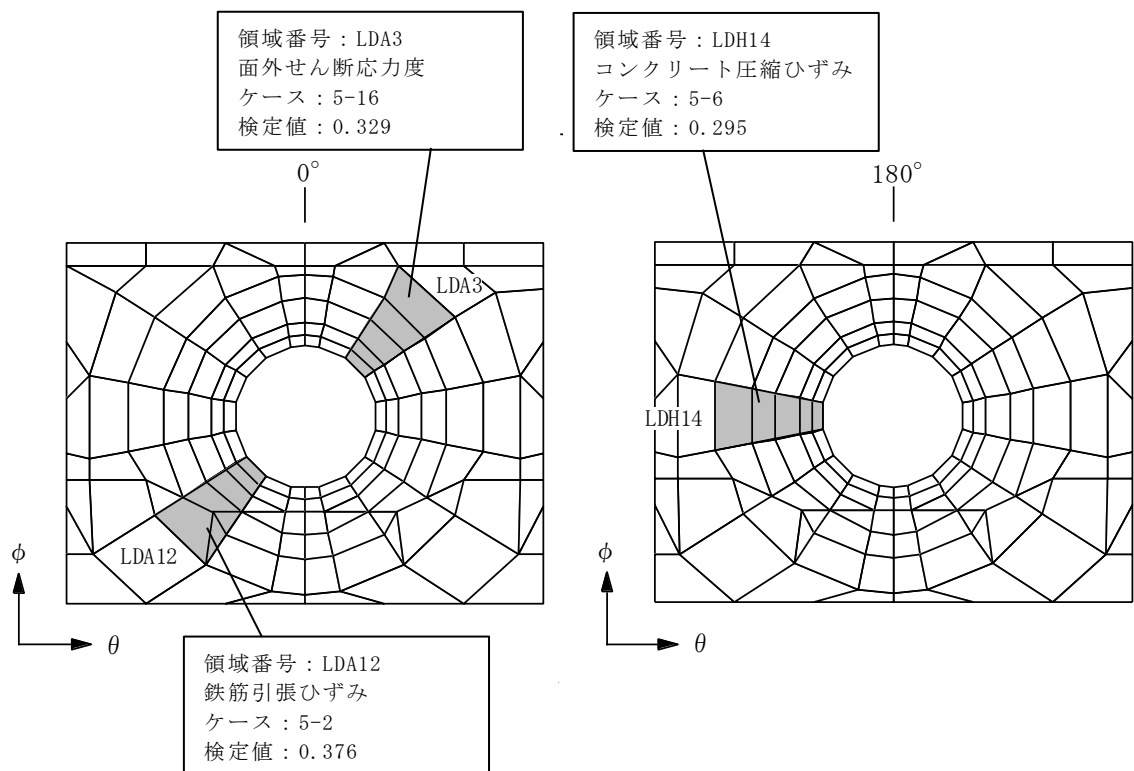
(b) L/D アクセストンネル開口

図 2-14 断面力ごとの検定値が最大となる領域及び断面の評価結果
荷重状態IV・(異常+地震)時 (2)



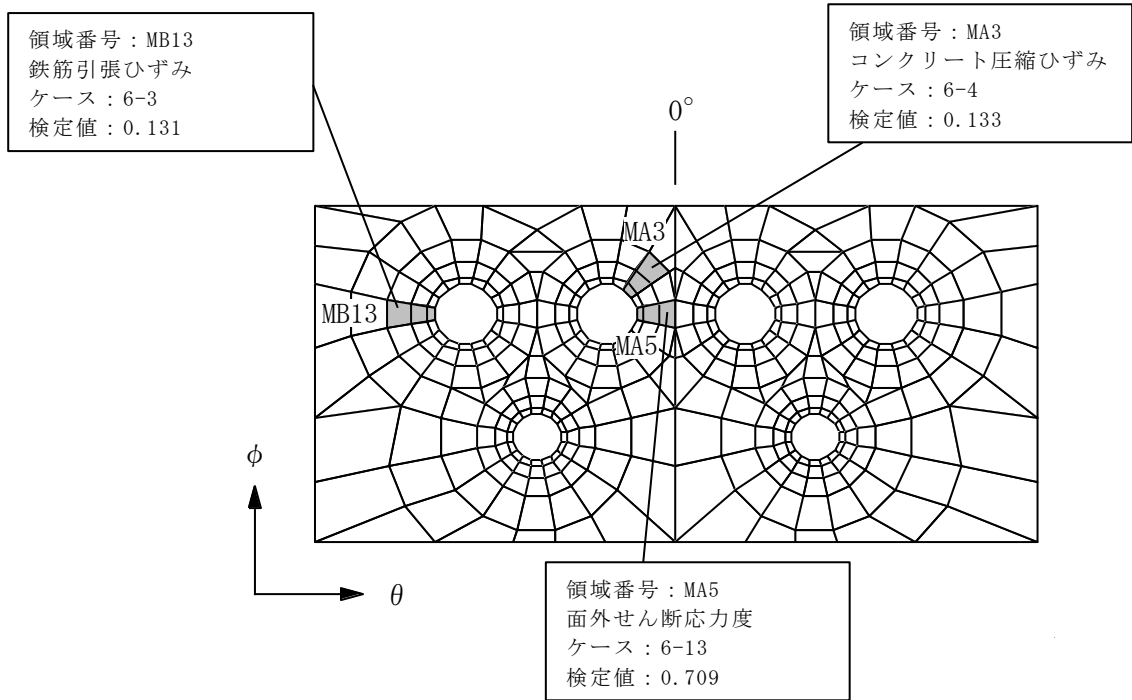
注：■ は、検定値が最大となる領域を示す。

(a) MS/FDW 開口

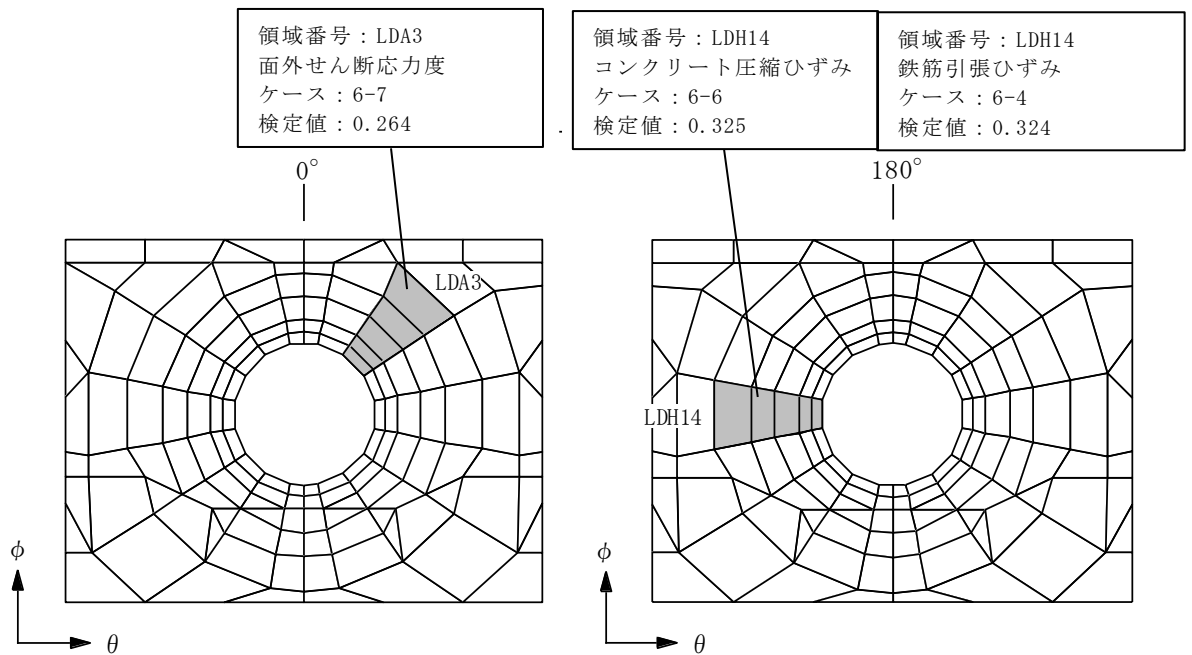


(b) L/D アクセストンネル開口

図 2-15 断面力ごとの検定値が最大となる領域及び断面の評価結果
荷重状態 V・(異常+地震)時 (3)

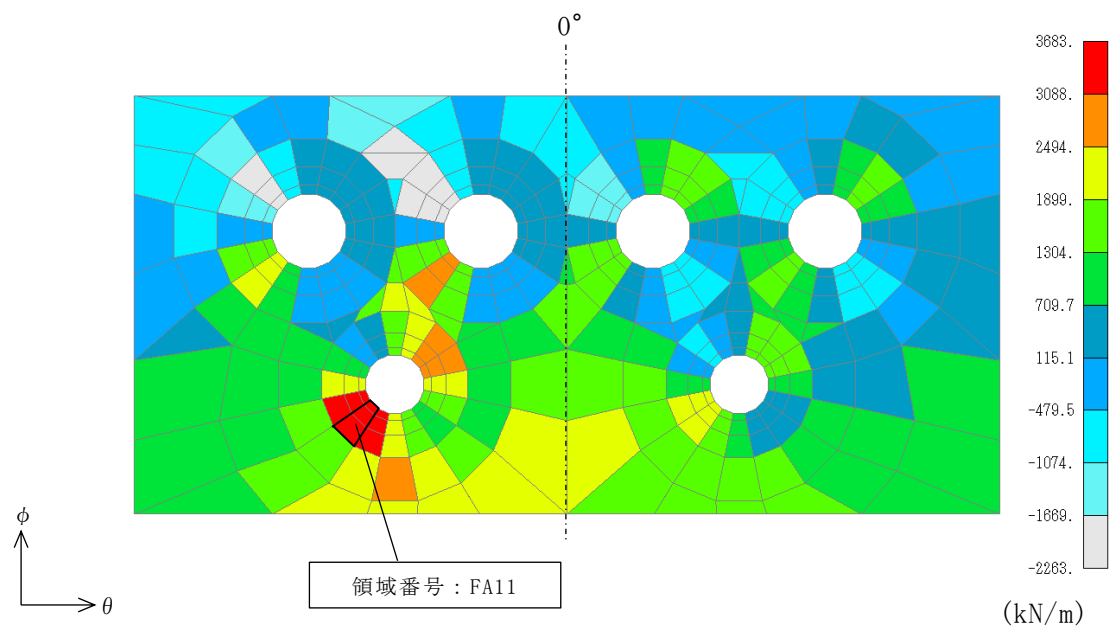


(a) MS/FDW 開口



(b) L/D アクセストンネル開口

図 2-16 断面力ごとの検定値が最大となる領域及び断面の評価結果
荷重状態 V・(異常+地震) 時 (4)



面外せん断力（子午線方向，ケース 5-3）

図 2-17 断面の評価部位の選定に関する荷重組合せケースの断面力コンター図

2.5 局部

局部の局部補強筋範囲を図2-18に，局部補強筋一覧を表2-9に示す。

各評価項目の検定値一覧を表2-10に，断面力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果を図2-19に，断面の評価部位の選定に関する荷重組合せケースの断面力コンター図を図2-20に示す。

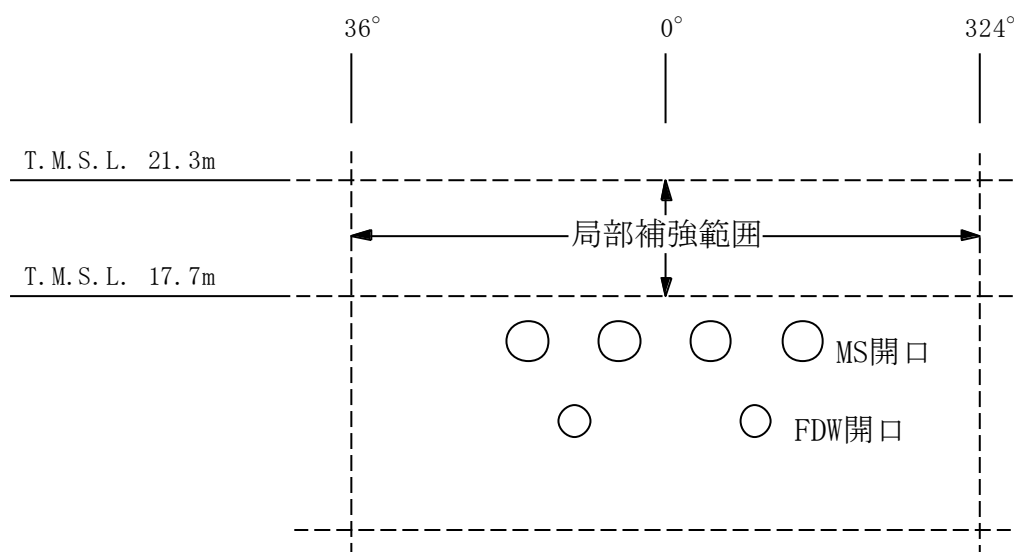


図 2-18 局部補強範囲

表 2-9 局部補強筋一覽

| 方向 | 配筋* |
|-----------------|-----------|
| 円周 (θ) | 3-D51@300 |

注記* : 内側及び外側とも, 同一配筋。

表 2-10 各評価項目の検定値一覧 (1/3)

(a) 荷重状態Ⅲ・地震時 (1)

| 評価項目 | | 方向 | 要素番号 | 組合せ ケース | 検定値 |
|----------------------|-------------|-----|--------|------------|-------|
| 等価膜力 + 曲げモーメント | コンクリート圧縮応力度 | 子午線 | 401 | 1-24 | 0.368 |
| | 鉄筋引張応力度 | 円周 | 361 | 1-17 | 0.590 |
| 面内せん断力 | 面内せん断応力度 | - | 404 | 1-23 | 0.586 |
| 面外せん断力 | 面外せん断応力度 | 円周 | 100318 | 1-6 | 0.577 |

(b) 荷重状態Ⅲ・(異常+地震)時 (1)

| 評価項目 | | 方向 | 要素番号 | 組合せ ケース | 検定値 |
|----------------------|-------------|-----|--------|------------|-------|
| 等価膜力 + 曲げモーメント | コンクリート圧縮応力度 | 子午線 | 401 | 2-24 | 0.316 |
| | 鉄筋引張応力度 | 円周 | 361 | 2-17 | 0.583 |
| 面内せん断力 | 面内せん断応力度 | - | 435 | 2-21 | 0.558 |
| 面外せん断力 | 面外せん断応力度 | 円周 | 100318 | 2-6 | 0.689 |

表 2-10 各評価項目の検定値一覧 (2/3)

(c) 荷重状態Ⅳ・地震時 (2)

| 評価項目 | | 方向 | 要素番号 | 組合せ ケース | 検定値 |
|----------------------|-------------|-----|--------|------------|-------|
| 等価膜力 + 曲げモーメント | コンクリート圧縮ひずみ | 子午線 | 401 | 3-8 | 0.093 |
| | 鉄筋引張ひずみ | 円周 | 406 | 3-7 | 0.043 |
| 膜力 | 圧縮応力度 | 子午線 | 100284 | 3-15 | 0.250 |
| 面内せん断力 | 面内せん断応力度 | - | 100284 | 3-3 | 0.541 |
| 面外せん断力 | 面外せん断応力度 | 円周 | 100283 | 3-6 | 0.967 |

注：■ は、検定値が最大となる要素を示す。

(d) 荷重状態Ⅳ・(異常+地震)時 (2)

| 評価項目 | | 方向 | 要素番号 | 組合せ ケース | 検定値 |
|----------------------|-------------|-----|--------|------------|-------|
| 等価膜力 + 曲げモーメント | コンクリート圧縮ひずみ | 子午線 | 303 | 4-21 | 0.063 |
| | 鉄筋引張ひずみ | 子午線 | 100309 | 4-17 | 0.047 |
| 膜力 | 圧縮応力度 | 子午線 | 100284 | 4-7 | 0.153 |
| 面内せん断力 | 面内せん断応力度 | - | 100336 | 4-21 | 0.348 |
| 面外せん断力 | 面外せん断応力度 | 円周 | 100318 | 4-6 | 0.487 |

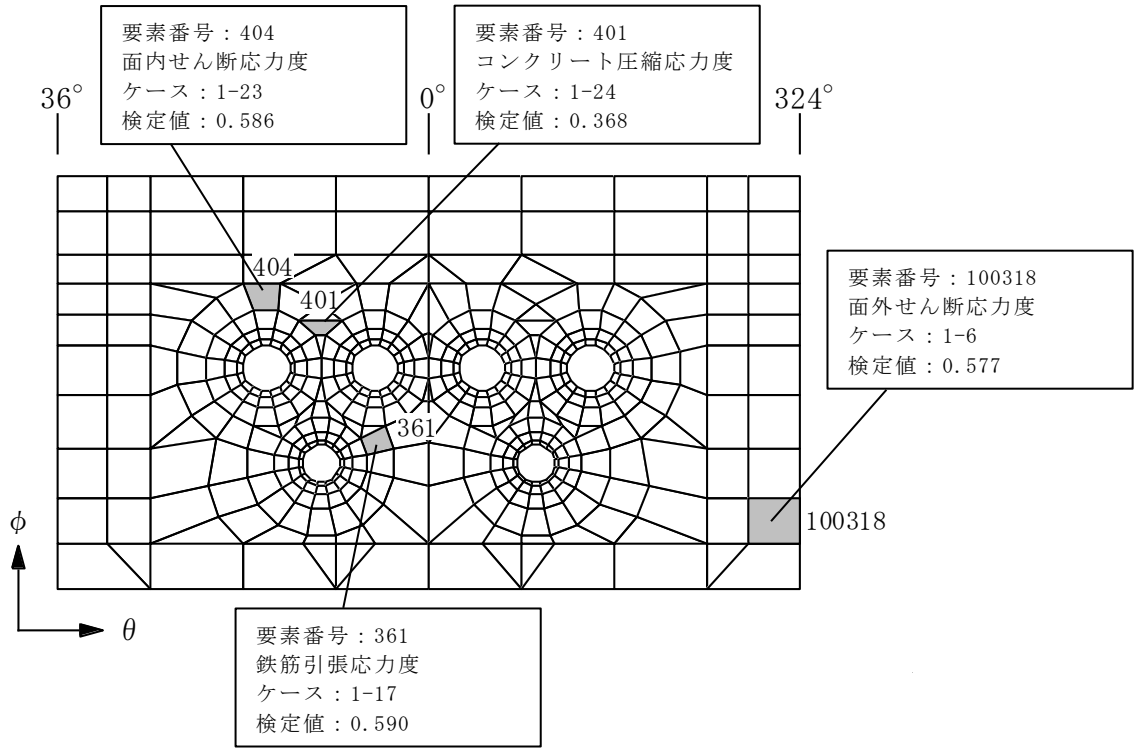
表 2-10 各評価項目の検定値一覧 (3/3)

(e) 荷重状態 V・(異常+地震) 時 (3)

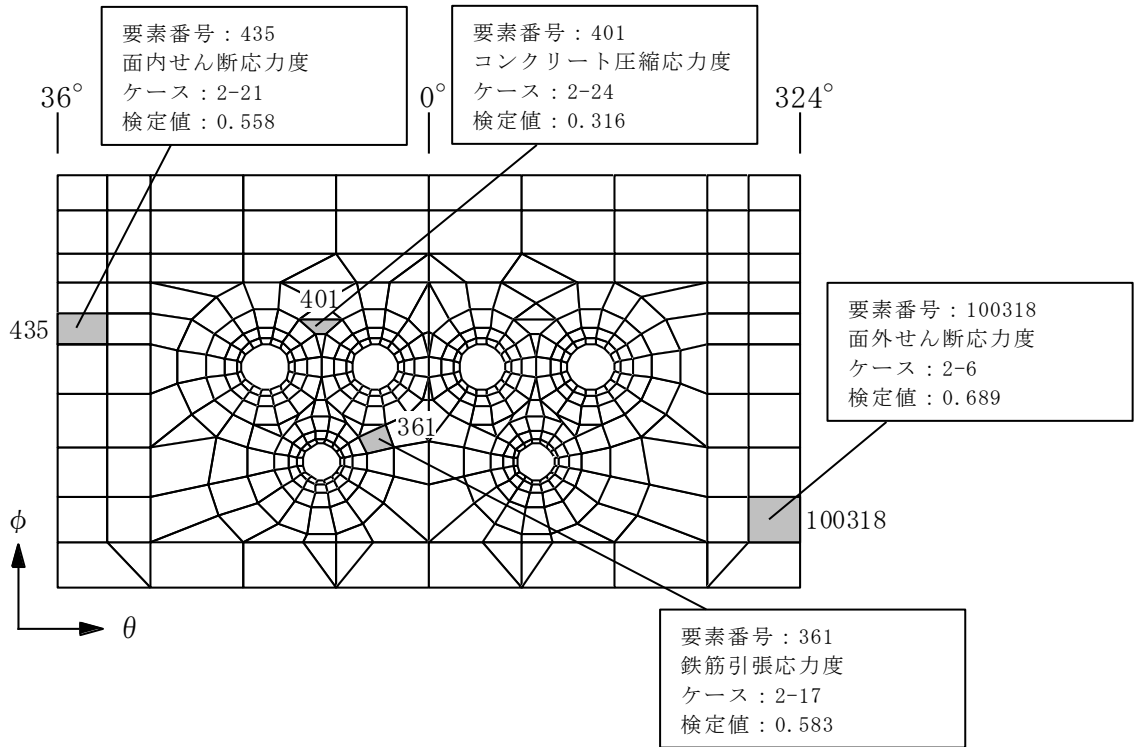
| 評価項目 | | 方向 | 要素番号 | 組合せ ケース | 検定値 |
|----------------------|-------------|-----|------|------------|-------|
| 等価膜力 + 曲げモーメント | コンクリート圧縮ひずみ | 子午線 | 401 | 5-4 | 0.158 |
| | 鉄筋引張ひずみ | 子午線 | 305 | 5-3 | 0.176 |
| 膜力 | 圧縮応力度 | 子午線 | 278 | 5-8 | 0.052 |
| 面内せん断力 | 面内せん断応力度 | - | 283 | 5-1 | 0.253 |
| 面外せん断力 | 面外せん断応力度 | 子午線 | 395 | 5-12 | 0.677 |

(f) 荷重状態 V・(異常+地震) 時 (4)

| 評価項目 | | 方向 | 要素番号 | 組合せ ケース | 検定値 |
|----------------------|-------------|-----|--------|------------|-------|
| 等価膜力 + 曲げモーメント | コンクリート圧縮ひずみ | 子午線 | 401 | 6-4 | 0.123 |
| | 鉄筋引張ひずみ | 子午線 | 100284 | 6-1 | 0.075 |
| 膜力 | 圧縮応力度 | 子午線 | 284 | 6-8 | 0.220 |
| 面内せん断力 | 面内せん断応力度 | - | 100284 | 6-3 | 0.524 |
| 面外せん断力 | 面外せん断応力度 | 円周 | 100283 | 6-6 | 0.944 |

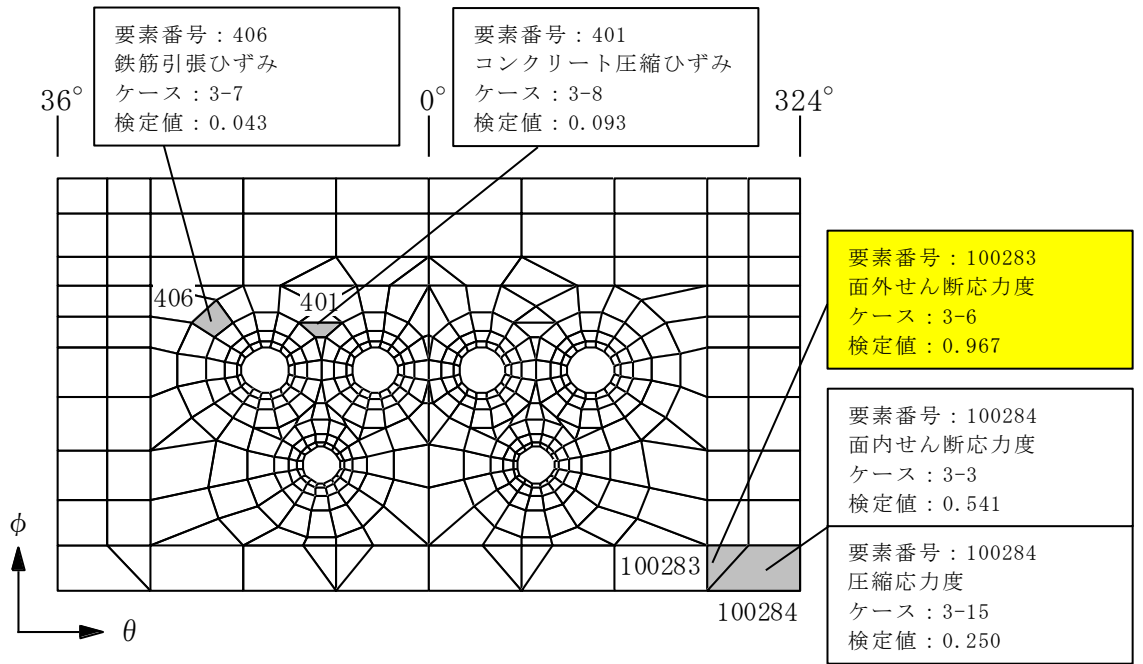


(a) 荷重状態Ⅲ・地震時 (1)



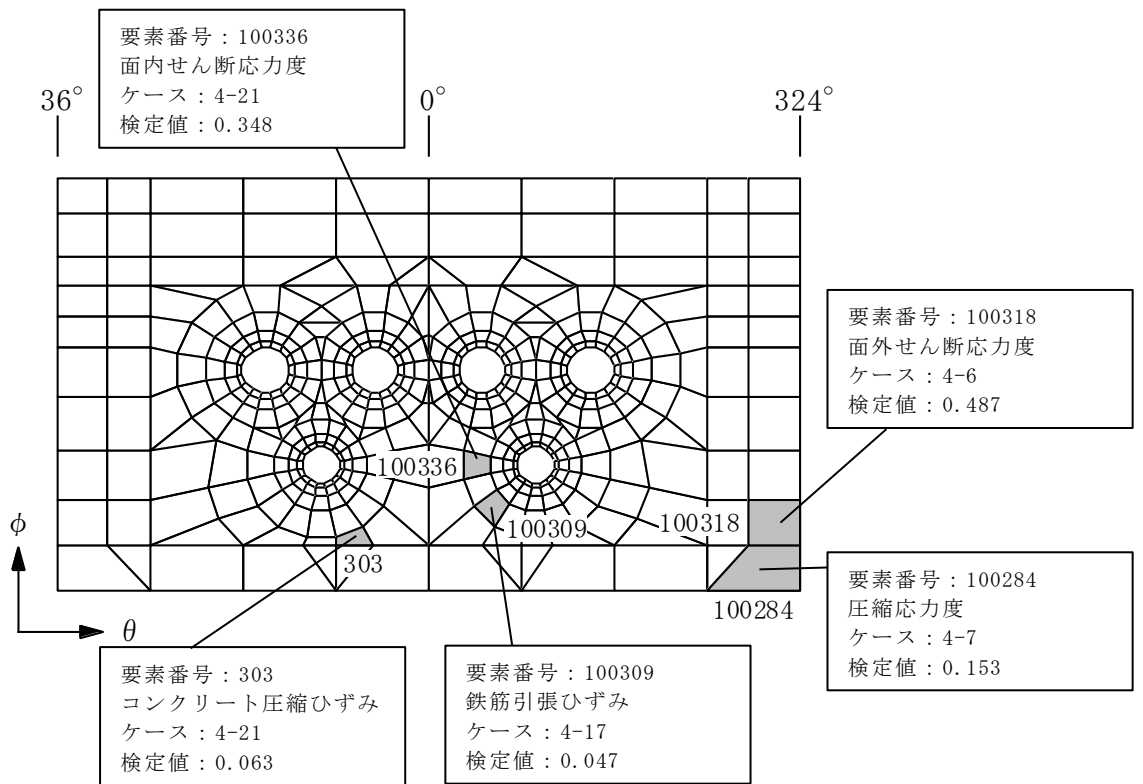
(b) 荷重状態Ⅲ・(異常+地震)時 (1)

図 2-19 断面力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果 (1/3)



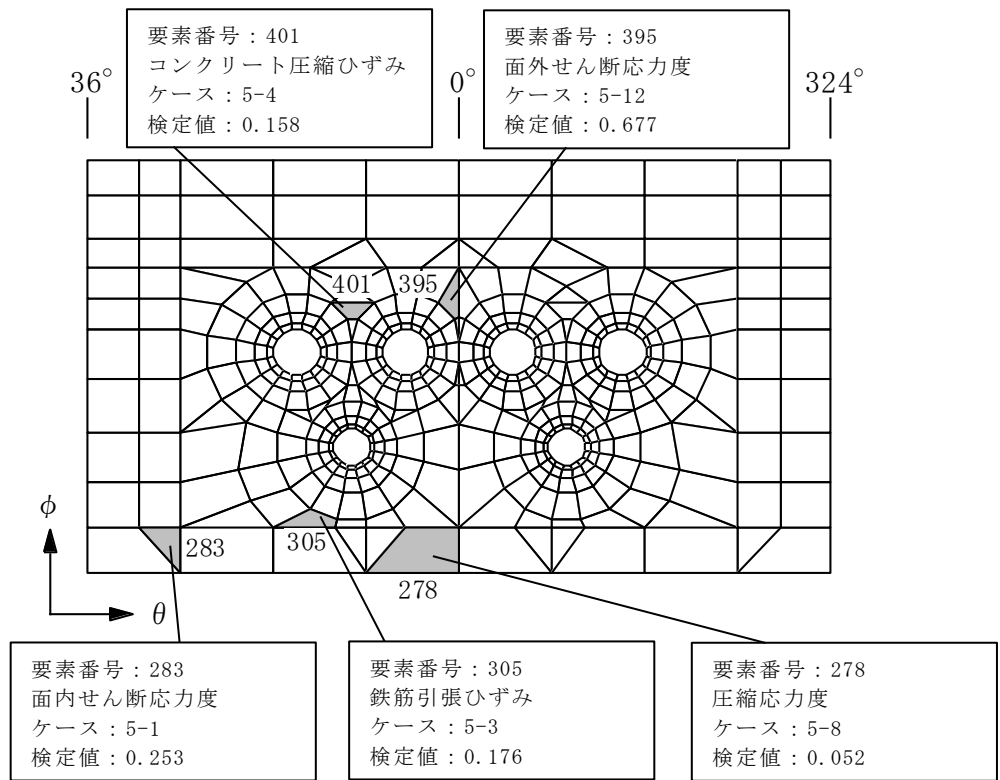
注：黄色は、検定値が最大となる要素を示す。

(c) 荷重状態IV・地震時 (2)

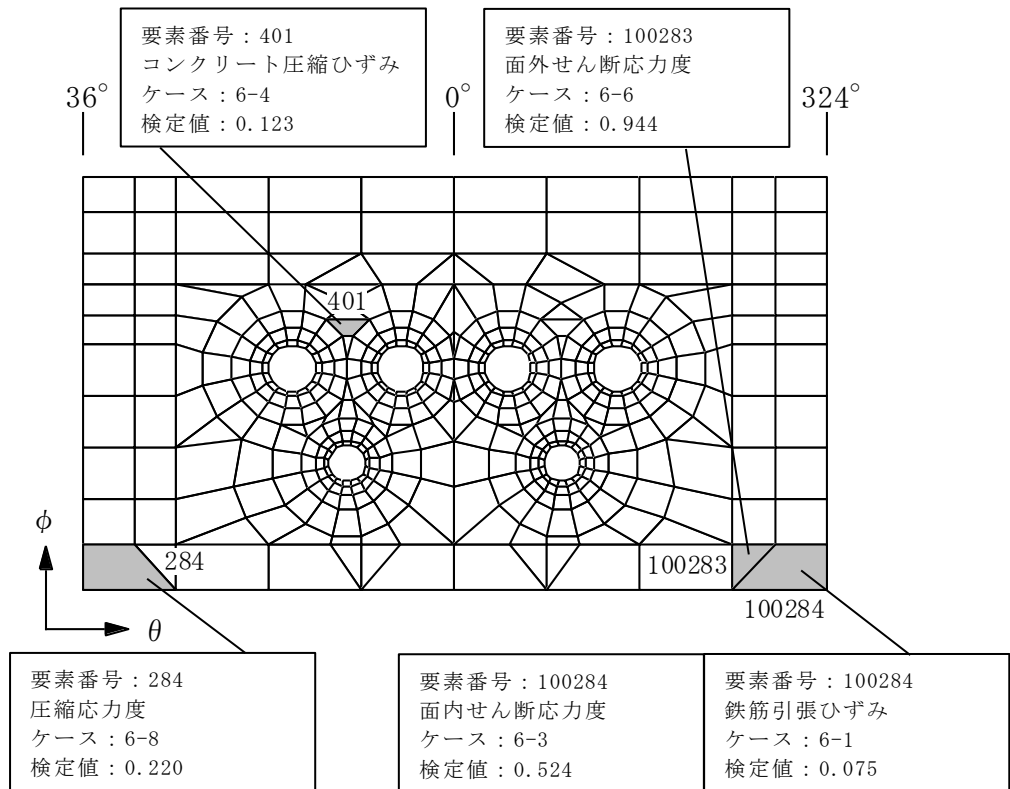


(d) 荷重状態IV・(異常+地震)時 (2)

図 2-19 断面力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果 (2/3)

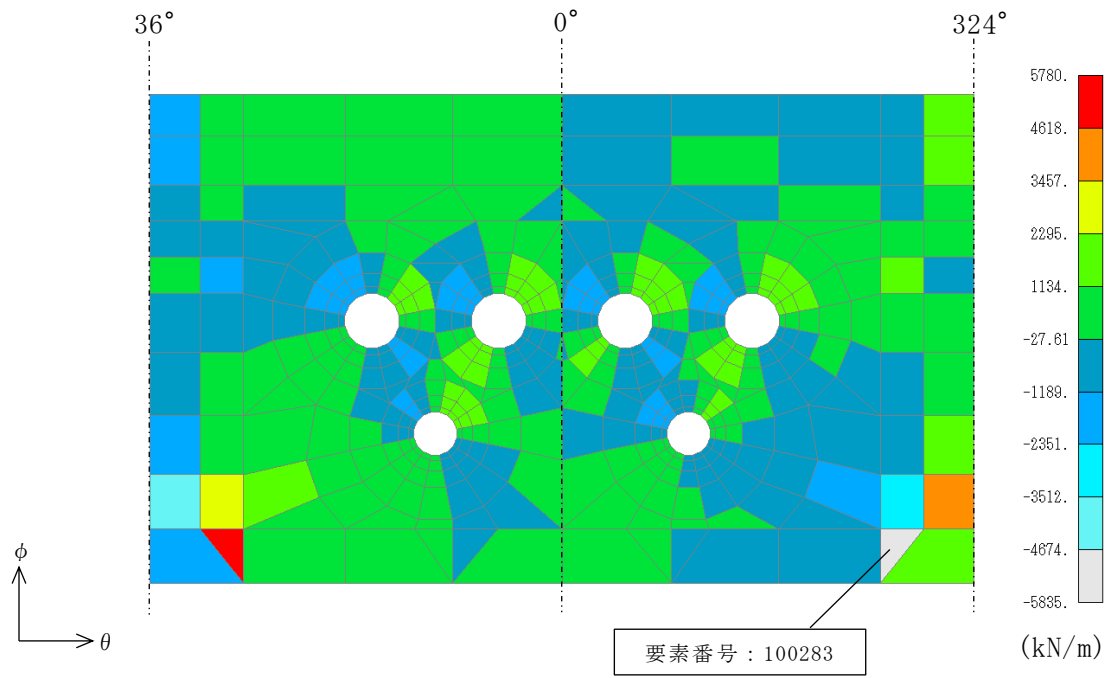


(e) 荷重状態 V・(異常+地震)時 (3)



(f) 荷重状態 V・(異常+地震)時 (4)

図 2-19 断面力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果 (3/3)



面外せん断力（円周方向，ケース 3-6）

図 2-20 断面の評価部位の選定に関する荷重組合せケースの断面力コンター図

別紙 5 応力解析における応力平均化の考え方

目 次

| | |
|-----------------------------------|---------|
| 1. 概要 | 別紙 5-1 |
| 2. 応力平均化の考え方 | 別紙 5-2 |
| 2.1 応力平均化を実施した領域における断面の評価要素 | 別紙 5-2 |
| 2.2 応力平均化の方法 | 別紙 5-4 |
| 2.3 応力平均化の結果 | 別紙 5-10 |
| 2.4 断面の評価結果 | 別紙 5-12 |

1. 概要

3次元 FEM モデルを用いた応力の算定において、FEM 要素に応力集中等が見られる場合については、「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会、2005）」（以下「RC-N 規準」という。）に基づき、応力の再配分等を考慮してある一定の領域の応力を平均化したうえで断面の評価を行っている。この場合、当該要素における応力度ではなく、周囲の複数の要素で平均化した応力度に対して断面の評価を実施していることから、本資料では、原子炉格納容器コンクリート部（以下「RCCV」という。）における複数の要素での応力平均化の考え方及びその結果を示す。

2. 応力平均化の考え方

2.1 応力平均化を実施した領域における断面の評価要素

断面の評価要素は、応力平均化を行うことによって応力が変わることから、応力平均化前の断面力に対する検定値を元に選定している。

RCCV 底部では、応力平均化前の応力分布において、局所的に大きな面外せん断力が発生している要素を断面の評価要素とし、応力平均化を行い、応力平均化後の値に対する断面の評価を実施した。

応力平均化を実施した要素を表 2-1、要素位置図を図 2-1 に示す。

表 2-1 応力平均化要素

| 部位 | 評価項目 | | 方向 | 要素番号 | 組合せケース | 平均化前の検定値 (発生値/許容値) |
|----|------------|------------------|----|----------|---------------------------|-----------------------|
| 底部 | 面外 せん断力 | 面外 せん断 応力度 | 放射 | 10002370 | 3-2 (荷重状態Ⅳ・ 地震時(2)) | 1.01 |
| | | | 放射 | 10002371 | 3-2 (荷重状態Ⅳ・ 地震時(2)) | 1.02 |

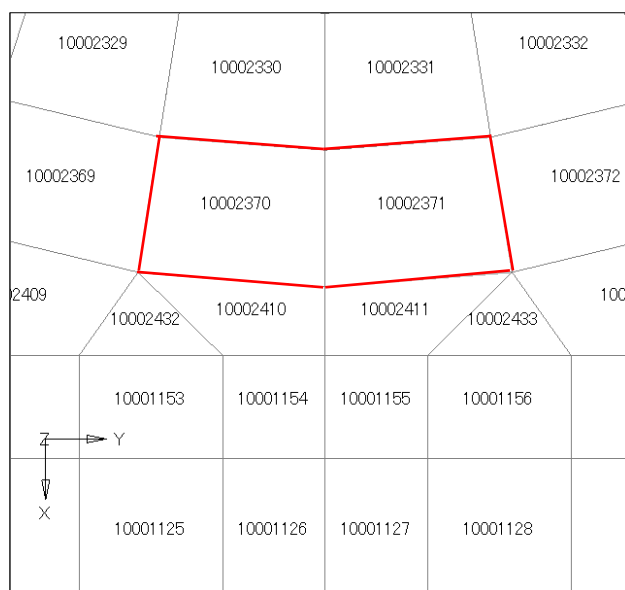
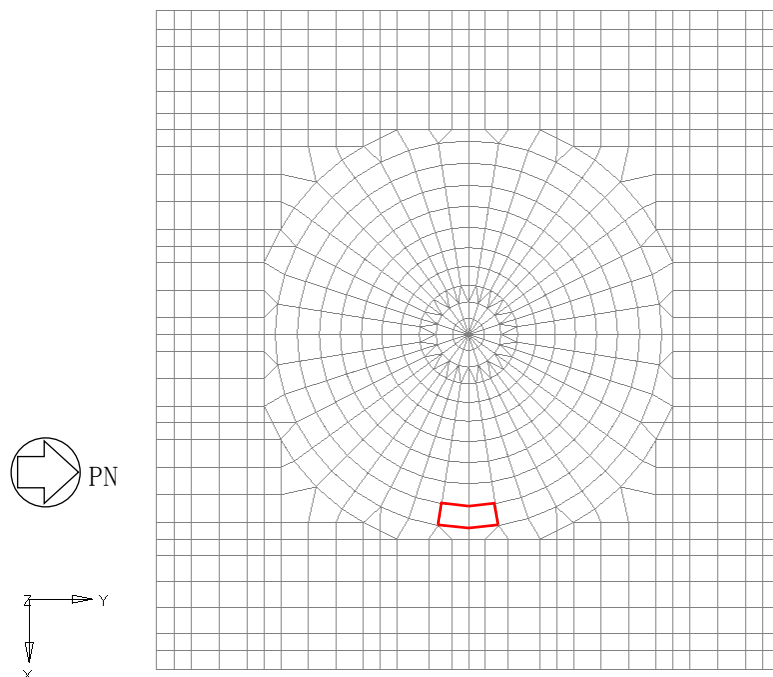


图 2-1 要素位置图

2.2 応力平均化の方法

3次元 FEM モデルを用いた応力解析においては、部材断面やモデル形状が大きく変化して不連続になっている箇所は、局所的な応力集中が発生しやすい。

図 2-2 に RCCV の 3次元 FEM モデルを示す。図 2-2 に示すように、当該部はシェル部との接続部分であり、応力が集中しやすい。図 2-3 に示す面外せん断力のコンター図を見ると、当該要素周辺では大きな面外せん断力が発生していることが分かる。

そこで、今回の RCCV の応力解析においては、RC-N 規準を参考に、コンクリートのひび割れによる応力の再配分を考慮し、応力の平均化を行った。なお、今回の RCCV の応力解析には弾塑性解析を採用し、材料の非線形特性を設定しているが、面外せん断力に対しては非線形特性を考慮できないことから、算出された応力に対して平均化を行った。

RC-N 規準においては、「線材では、部材端に生じる斜めせん断ひび割れによって部材有効せい程度離れた断面の引張鉄筋の応力度が部材端と同じ大きさまで増大する現象（テンションシフト）が生じるが、面材では、斜めひび割れが発生した場合においても、材軸直交方向への応力再配分によって、線材におけるテンションシフトのような現象は生じにくいと考えられる。」とされており、耐震壁の面外せん断力について、「面材であるため、局所的に応力の集中があつたとしても、応力の再配分を生じ、破壊に至ることはない。」とされている。また、基礎スラブのような大断面を有する面材の面外せん断力について、「通常の場合、FEM 解析の要素サイズは、基礎スラブ版厚より小さいため、付図 2.2 に模式的に示されるように設計用面外せん断力は想定されるひび割れ領域での平均面外せん断力に対して大きめの評価となっているといえる。また、基礎スラブにおいても、耐震壁と同様、面材における面外せん断力の再配分も期待できる。」とされている。RC-N 規準の付図 2.2 を図 2-4 に示す。

壁、床スラブ、基礎スラブのような面材については、RC-N 規準に示されるように、面材に荷重を作用させる直交部材からせん断破壊面が 45 度の角度で進展すると考えられることから、せん断破壊面が面材の表面から裏面まで貫通する範囲、すなわち部材厚の範囲に応力が再配分されると考えられる。RCCV 底部における面外せん断力に対する応力平均化の考え方を図 2-5 に示す。

以上より、応力の平均化は、応力コンター図及び基礎スラブの直上の壁配置等を考慮し、当該要素の壁から離れる側の応力方向に位置する隣接要素に対して、壁面から基礎スラブの部材厚である 5.5m 分の範囲で行った。各要素について応力平均化範囲を図 2-6 に示す。なお、応力平均化範囲には中間壁が存在するが、図 2-5 のとおり、せん断破壊面が中間壁の下部を通ること、図 2-3 のとおり、中間壁の位置でせん断力分布が不連続になっていないことから、中間壁の下部も応力平均化範囲として考慮する。

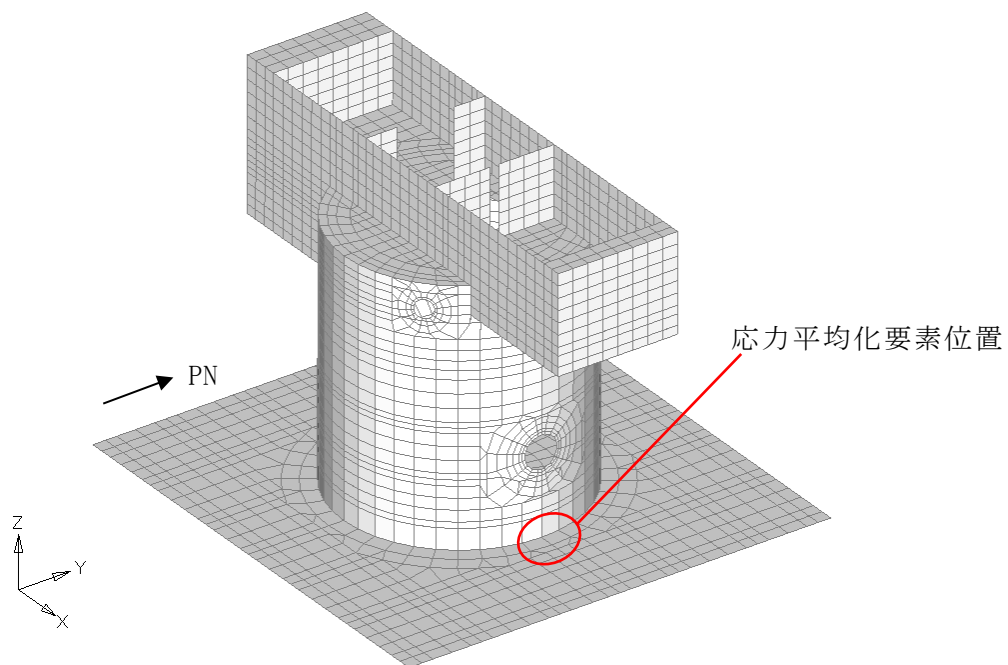
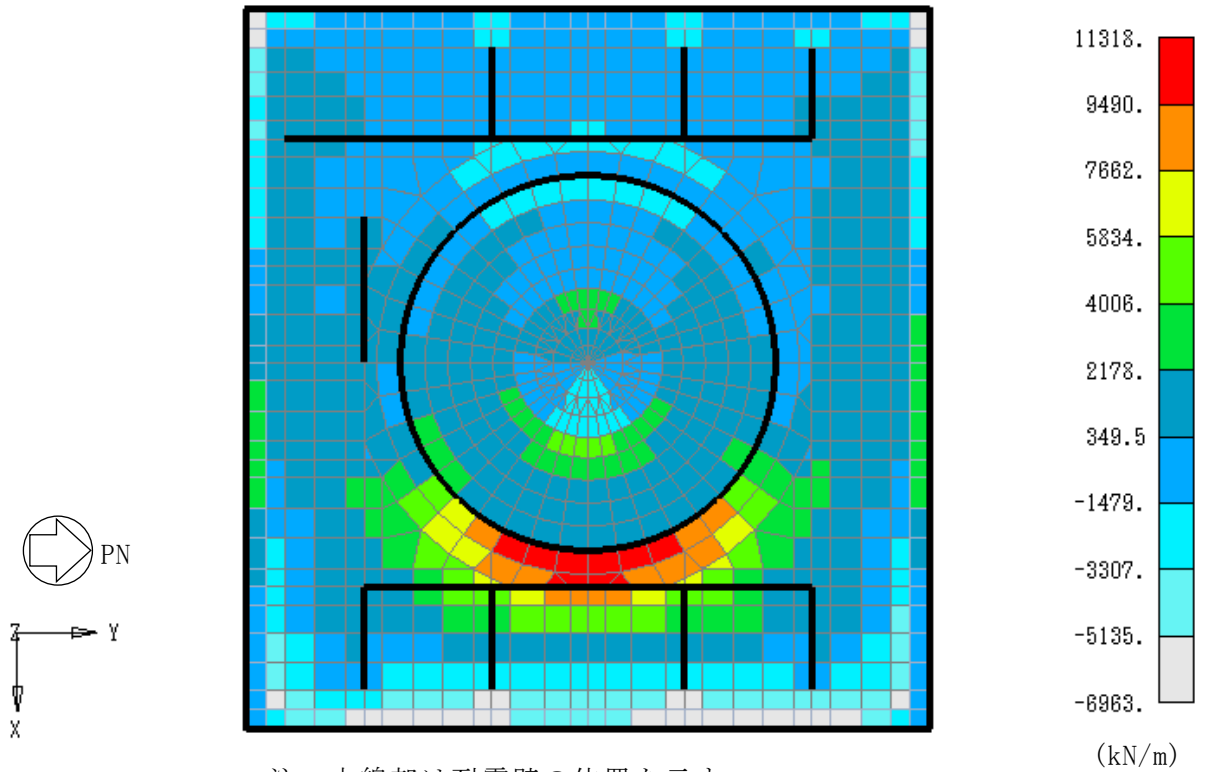


図 2-2 RCCV の 3 次元 FEM モデル



注：太線部は耐震壁の位置を示す。

組合せケース 3-2 (放射方向)
図 2-3 面外せん断力のコンター図

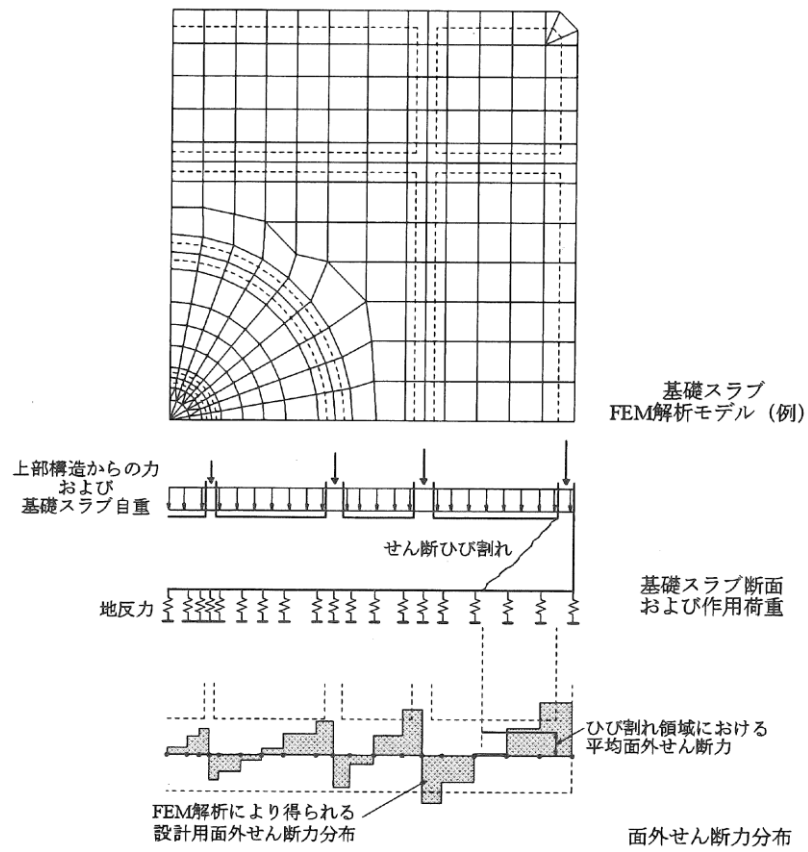


図 2-4 RC-N 規準の付図 2.2

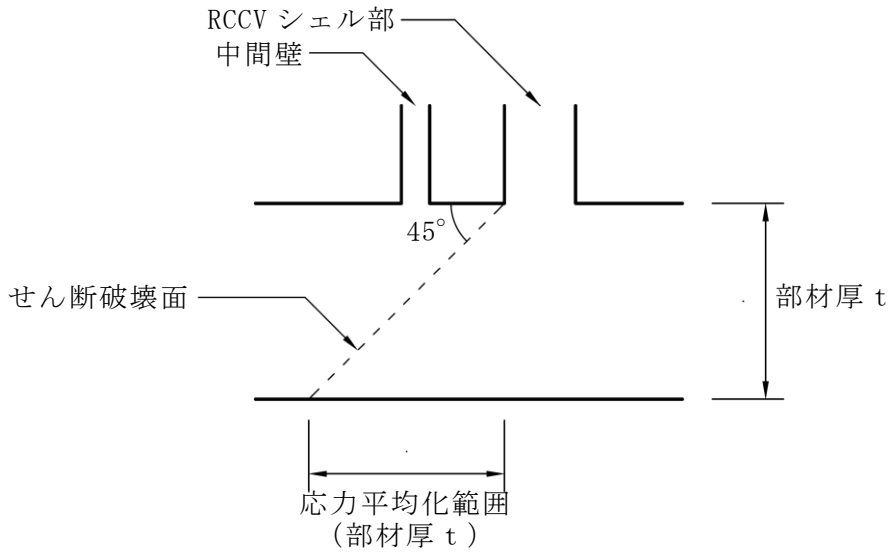
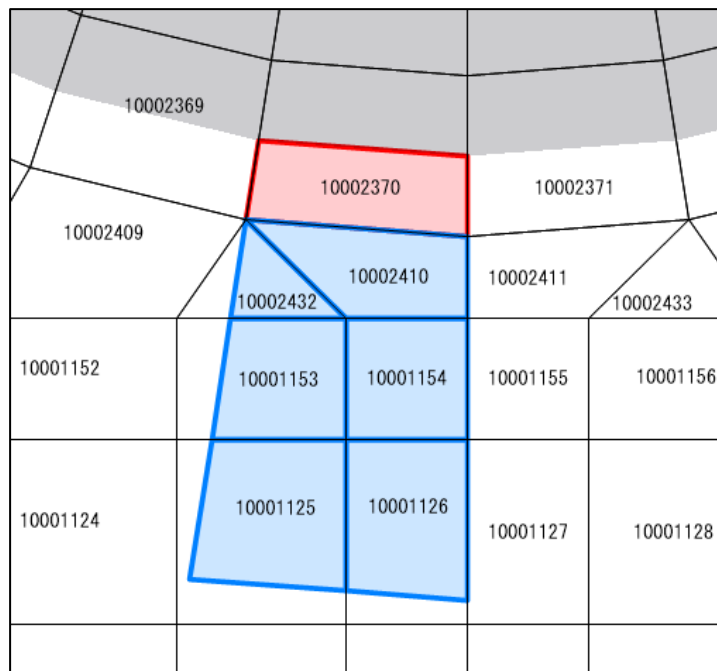
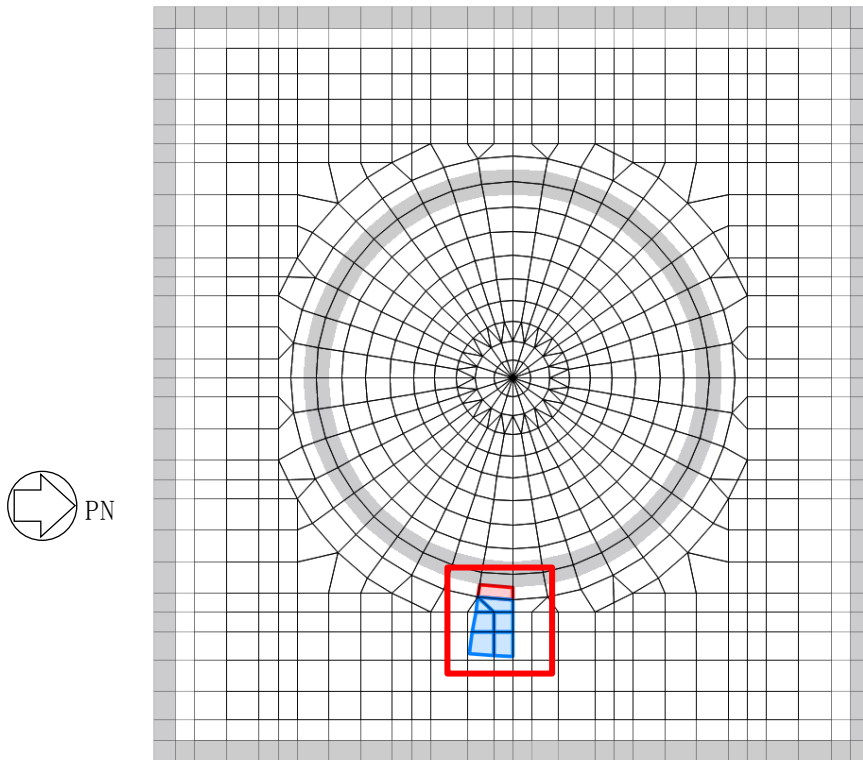


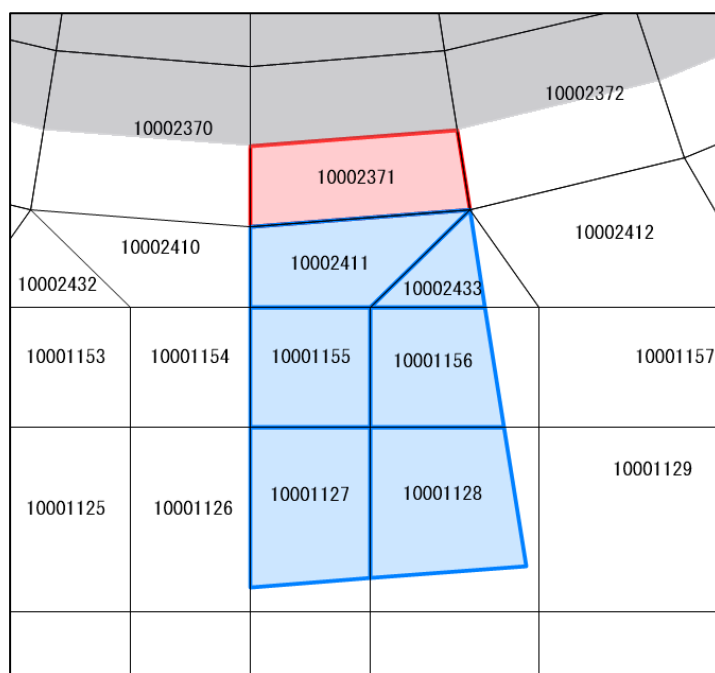
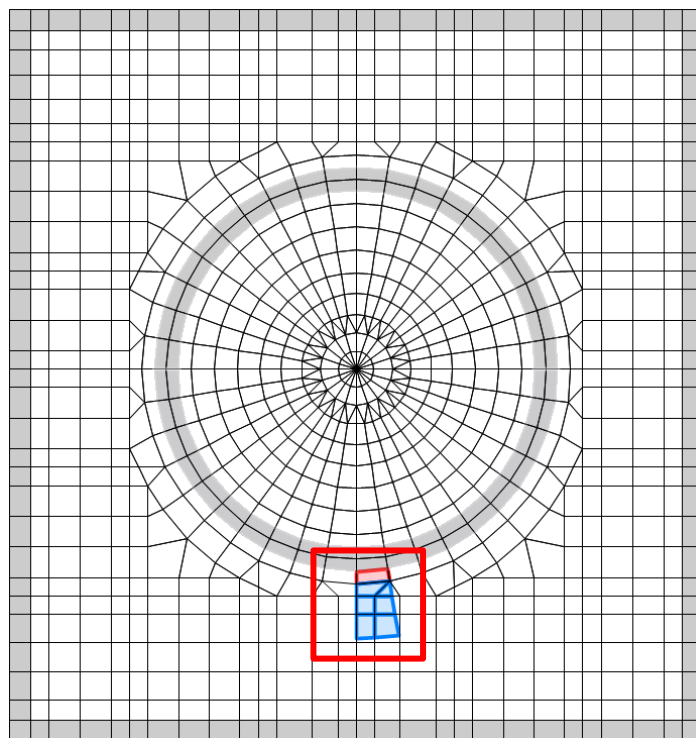
図 2-5 RCCV 底部における面外せん断力に対する応力平均化の考え方



- 応力平均化実施要素
- 平均化実施に用いた周辺要素
- 壁直下の範囲（平均化対象外）

(a) 要素番号 10002370

図 2-6 応力平均化範囲 (1/2)



- 応力平均化実施要素
- 平均化実施に用いた周辺要素
- 壁直下の範囲（平均化対象外）

(b) 要素番号 10002371

図 2-6 応力平均化範囲 (2/2)

2.3 応力平均化の結果

応力平均化の手法として、下式のとおり、要素面積を考慮した重み付け平均で平均化を行っている。応力平均化に用いる各要素の発生値、面積及び重み付け値を表2-2に示す。また、応力平均化の結果を表2-3に示す。

$$\tau_{ave} = \Sigma (\tau_i \times A_i) / \Sigma A_i$$

ここで、

τ_{ave} : 平均化後の面外せん断応力度

τ_i : 平均化前の各要素の面外せん断応力度（発生値）

A_i : 応力平均化範囲における各要素の面積

表2-2 応力平均化に用いる各要素の発生値、面積及び重み付け値

| 応力平均化対象要素 | 方向 | 組合せケース | 要素番号 | 発生値 τ_i (N/mm ²) | 要素面積 A_i (m ²) | 重み付け値 $\tau_i \times A_i$ ($\times 10^6$ N) |
|-----------|----|--------|----------|---|------------------------------------|--|
| 10002370 | 放射 | 3-2 | 10001125 | 1.23 | 3.27 | 4.01 |
| | | | 10001126 | 1.28 | 2.91 | 3.71 |
| | | | 10001153 | 1.89 | 2.32 | 4.39 |
| | | | 10001154 | 1.86 | 2.25 | 4.19 |
| | | | 10002410 | 2.35 | 2.28 | 5.37 |
| | | | 10002432 | 2.22 | 0.87 | 1.93 |
| | | | 10002370 | 3.04 | 2.66 | 8.08 |
| 合計 | | | | | 16.56 | 31.68 |
| 10002371 | 放射 | 3-2 | 10001127 | 1.28 | 2.91 | 3.73 |
| | | | 10001128 | 1.25 | 3.27 | 4.08 |
| | | | 10001155 | 1.87 | 2.25 | 4.21 |
| | | | 10001156 | 1.92 | 2.32 | 4.46 |
| | | | 10002411 | 2.37 | 2.28 | 5.40 |
| | | | 10002433 | 2.28 | 0.87 | 1.98 |
| | | | 10002371 | 3.07 | 2.66 | 8.18 |
| 合計 | | | | | 16.56 | 32.04 |

表2-3 応力平均化結果

| 要素番号 | 方向 | 組合せケース | 面外せん断応力度 (N/mm ²) | |
|----------|----|--------|----------------------------------|------|
| | | | 平均化前 | 平均化後 |
| 10002370 | 放射 | 3-2 | 3.04 | 1.91 |
| 10002371 | 放射 | 3-2 | 3.07 | 1.93 |

2.4 断面の評価結果

2.4.1 断面の評価方法

荷重状態Ⅳ・地震時(2)の面外せん断応力度について、発生値が許容値を超えないことを確認する。許容値は、「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 ((社) 日本機械学会, 2003)」に基づき算出する。

2.4.2 断面の評価結果

応力平均化後の評価結果を表2-4に示す。表2-4より、応力平均化後の面外せん断応力度の発生値が許容値を超えないことを確認した。

表2-4 応力平均化後の評価結果

| 要素番号 | 方向 | 組合せケース | 面外せん断応力度 (N/mm ²) | | 平均化後の検定値 (発生値/許容値) |
|----------|----|--------|-------------------------------|------|--------------------|
| | | | 発生値 | 許容値 | |
| 10002370 | 放射 | 3-2 | 1.91 | 2.32 | 0.824 |
| 10002371 | 放射 | 3-2 | 1.93 | 2.32 | 0.832 |

別紙 6 地震荷重の算定方法

目 次

| | |
|---------------|---------|
| 1. 概要 | 別紙 6-1 |
| 2. 動的地震力の算定 | 別紙 6-2 |
| 2.1 上部構造物 | 別紙 6-6 |
| 2.1.1 動的水平地震力 | 別紙 6-6 |
| 2.1.2 動的鉛直地震力 | 別紙 6-13 |
| 2.2 基礎スラブ | 別紙 6-14 |
| 2.2.1 動的水平地震力 | 別紙 6-14 |
| 2.2.2 動的鉛直地震力 | 別紙 6-20 |
| 3. 静的地震力の算定 | 別紙 6-22 |
| 4. 地震時土圧荷重の算定 | 別紙 6-23 |
| 4.1 算定方法 | 別紙 6-23 |
| 4.2 算定結果 | 別紙 6-25 |
| 5. 地震時配管荷重の算定 | 別紙 6-26 |

別紙 6-1 原子炉建屋の 3 次元 FEM モデルを用いたせん断力負担割合の検討

1. 概要

本資料は、原子炉格納容器コンクリート部（以下「RCCV」という。）の応力解析におけるS_d地震荷重、S_s地震荷重、地震時土圧荷重及び地震時配管荷重の算定方法について示すものである。

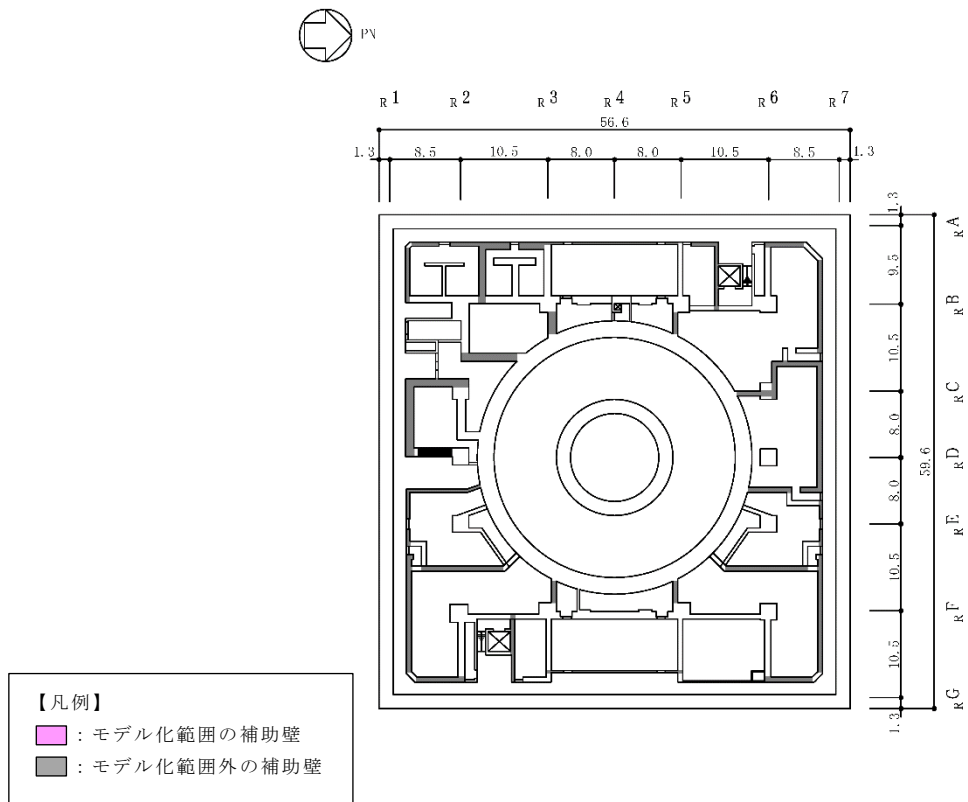
なお、S_d地震荷重は、弾性設計用地震動S_dに対する地震応答解析より計算される動的地震力と静的地震力の2つに分類されるため、それぞれの算定方法を示す。

2. 動的地震力の算定

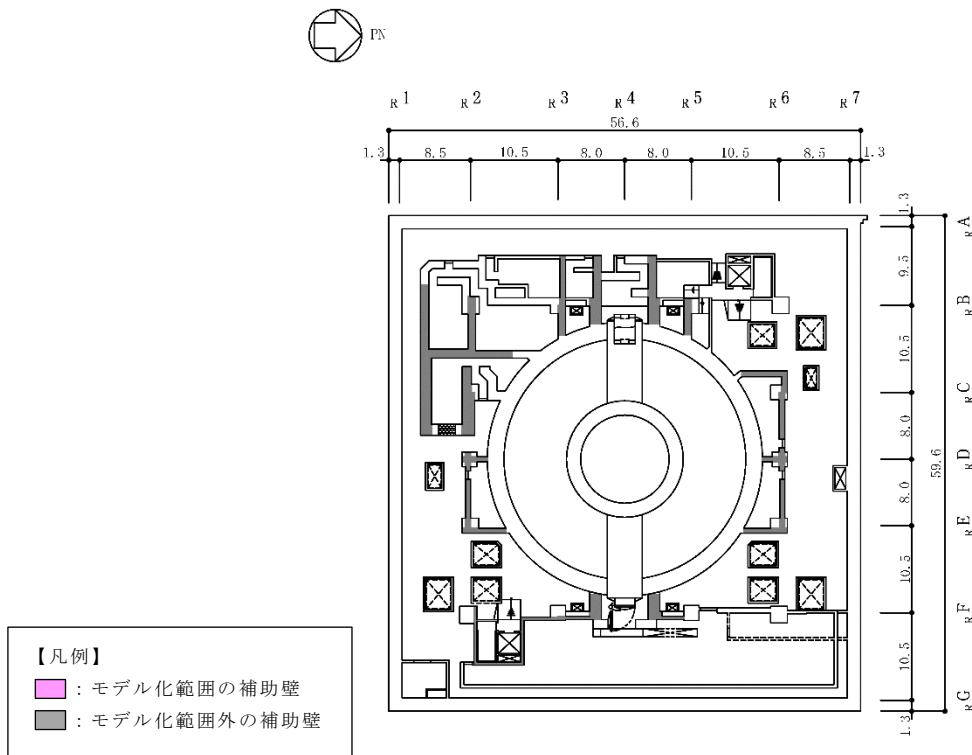
動的地震力は、V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」における材料物性の不確かさ等を考慮した地震応答解析により算定する地震荷重である。具体的には、「工事計画に係る説明資料（建屋・構築物の地震応答計算書）」のうち「原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料」の別紙 3-2「材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果」に示す弾性設計用地震動 S_d 及び基準地震動 S_s に対する地震応答解析結果における水平方向の最大応答せん断力及び最大応答曲げモーメント並びに鉛直方向の最大応答加速度及び最大応答軸力を用いて算定する。

ここで、応力解析モデルは、RCCV、使用済燃料貯蔵プール（以下「SFP」という。）、蒸気乾燥器・気水分離器ピット、ダイヤフラムフロア及び基礎スラブを一体としたモデルであるが、本章では、応力解析モデルのうち基礎スラブを除いた部分（以下「上部構造物」という。）と基礎スラブについて、それぞれの動的地震力の算定方法を示す。

なお、今回工認の地震応答解析モデルにおいて考慮している補助壁については、応力解析モデルにおいてモデル化している補助壁とモデル化していない補助壁があるため、本資料ではそれらを分類して取り扱う。応力解析モデルにおける補助壁の分類を図 2-1 に示す。



(a) B3F, T.M.S.L. -8.2m



(b) B2F, T.M.S.L. -1.7m

図 2-1 応力解析モデルにおける補助壁の分類 (単位 : m) (1/3)

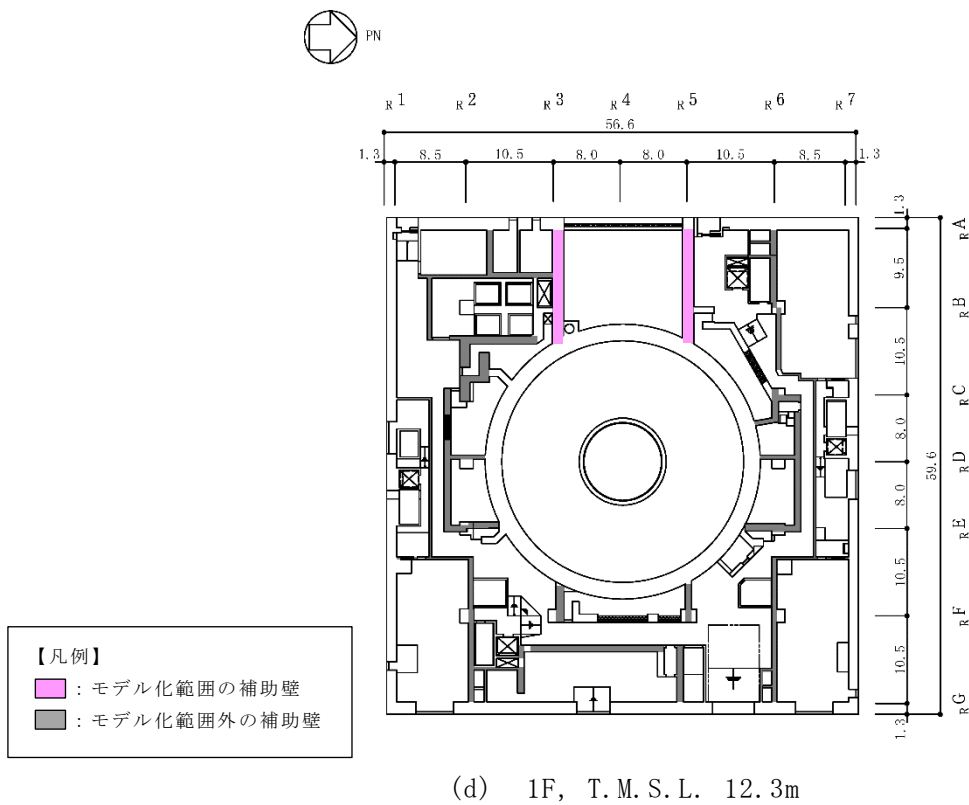
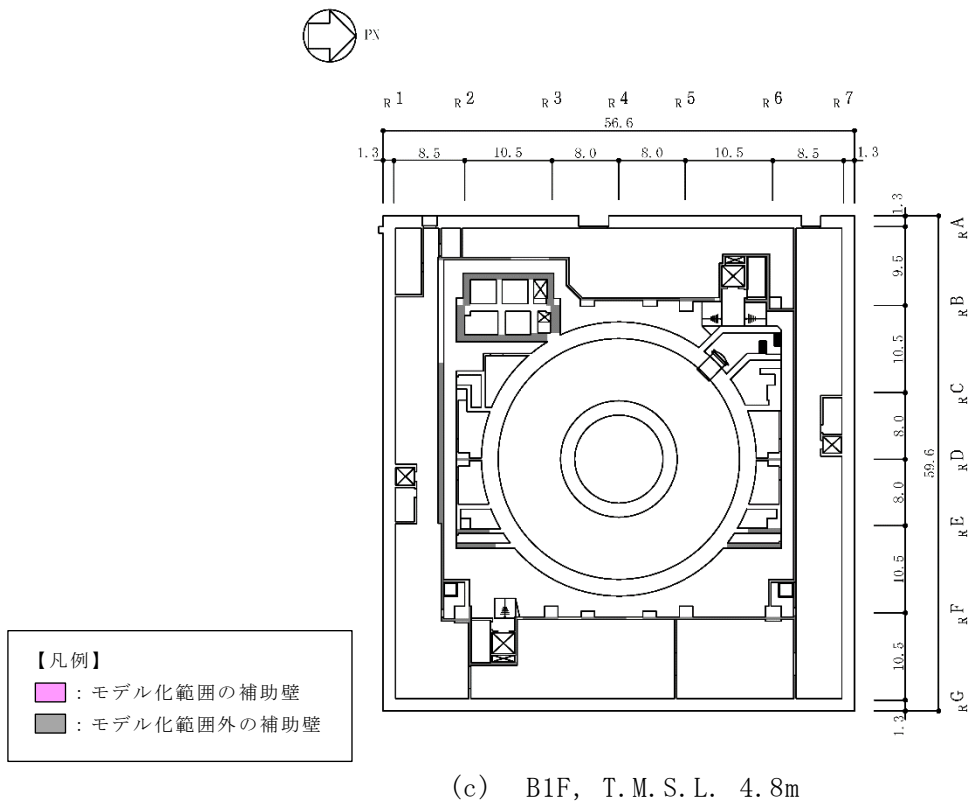
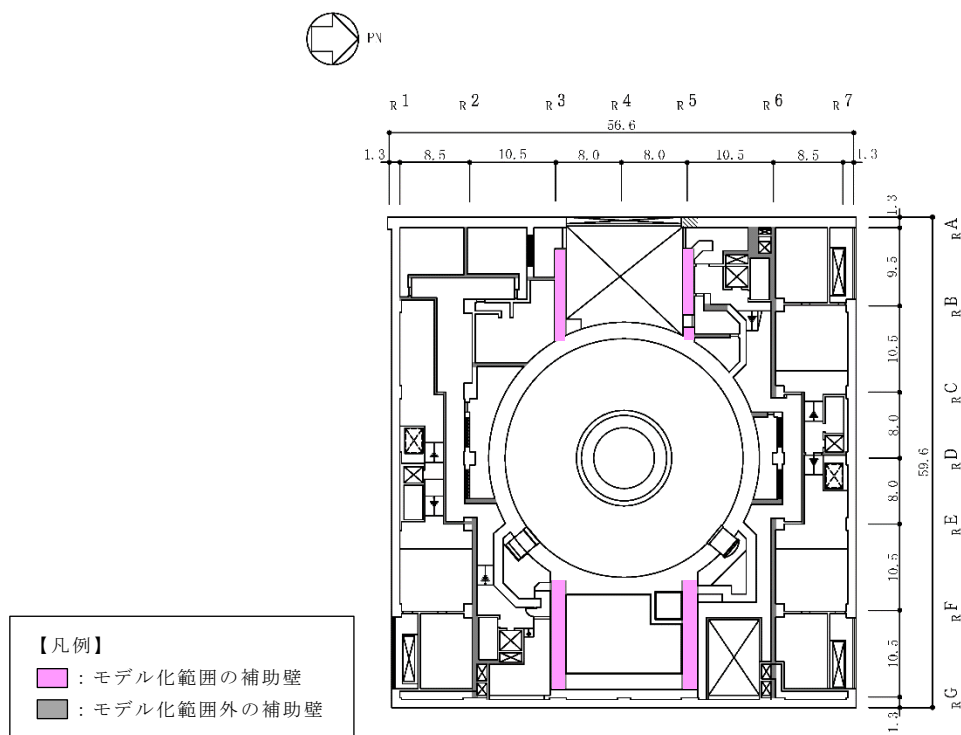
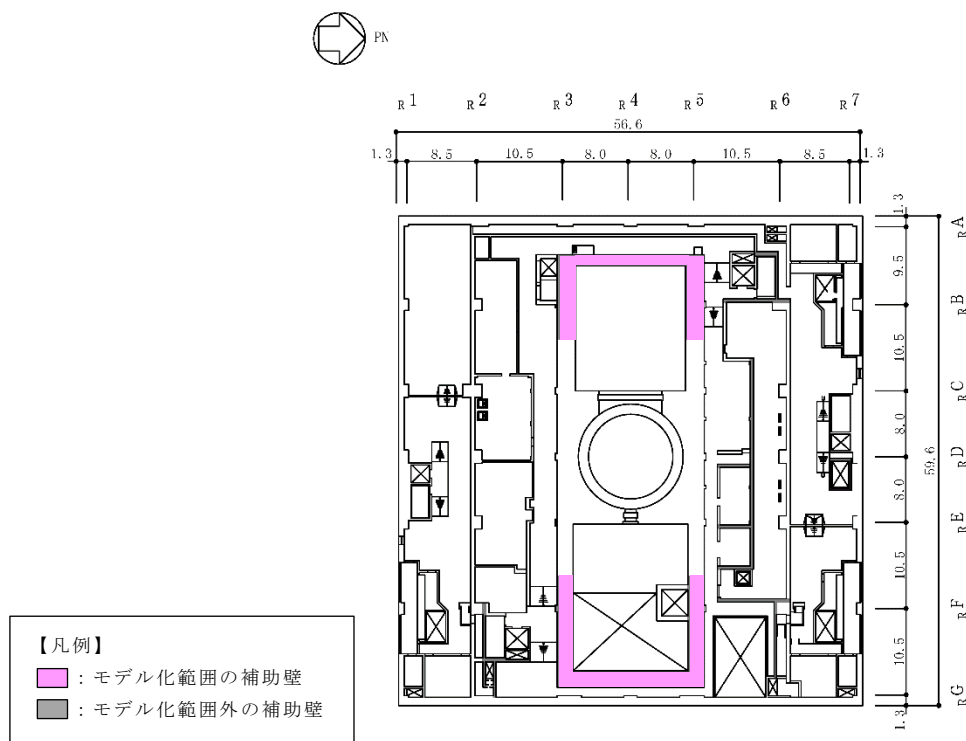


図 2-1 応力解析モデルにおける補助壁の分類 (単位: m) (2/3)



(e) 2F, T. M. S. L. 18.1m



(f) 3F, T. M. S. L. 23.5m

図 2-1 応力解析モデルにおける補助壁の分類 (単位: m) (3/3)

2.1 上部構造物

2.1.1 動的水平地震力

上部構造物に入力する動的水平地震力は、水平方向の地震応答解析における RCCV 部の各階の最大応答せん断力及び最大応答曲げモーメントを用いて、入力せん断力及び入力曲げモーメントを算定する。

(1) 入力せん断力

上部構造物の入力せん断力の算定フローを図 2-2 に示す。

まず、水平方向の地震応答解析における基本ケース（ケース 1）及び材料物性の不確かさを考慮したケース（ケース 2~6）（以下「パラスタケース」という。）の RCCV 部の最大応答せん断力を各層で包絡する。

次に、各層で包絡した最大応答せん断力からモデル化範囲外の補助壁が負担するせん断力を減じる。モデル化範囲外の補助壁が負担するせん断力は、せん断断面積比より算定したせん断力と、モデル化範囲外の補助壁のせん断スケルトン曲線における第 1 折れ点のせん断耐力の 90%のうち、小さい方とする。これは、モデル化範囲の負担せん断力と整合させるためであり、また、地震応答解析における補助壁の耐力の設定に対して、応力解析における補助壁負担分を保守的に小さく設定するためである。

さらに、モデル化範囲外の補助壁が負担するせん断力を減じたせん断力から、中間壁が負担するせん断力を減じる。中間壁が負担するせん断力は、せん断断面積比より算定する。

以上の手順により算定した上部構造物の入力せん断力を表 2-1 及び表 2-2 に示す。

(2) 入力曲げモーメント

上部構造物の入力曲げモーメントの算定フローを図 2-3 に示す。

まず、水平方向の地震応答解析における RCCV 部の基本ケース及びパラスタケースの最大応答曲げモーメントを各層で包絡する。

次に、各層で包絡した最大応答曲げモーメントから中間壁が負担する曲げモーメントを減じる。中間壁が負担する曲げモーメントは、既工認における RCCV と中間壁の曲げモーメントの負担比率より算定する。なお、曲げモーメントについては、地震応答解析と同様に補助壁負担分を考慮せず、保守的にすべて耐震壁が負担することとしている。

以上の手順により算定した上部構造物の入力曲げモーメントを表 2-3 及び表 2-4 に示す。

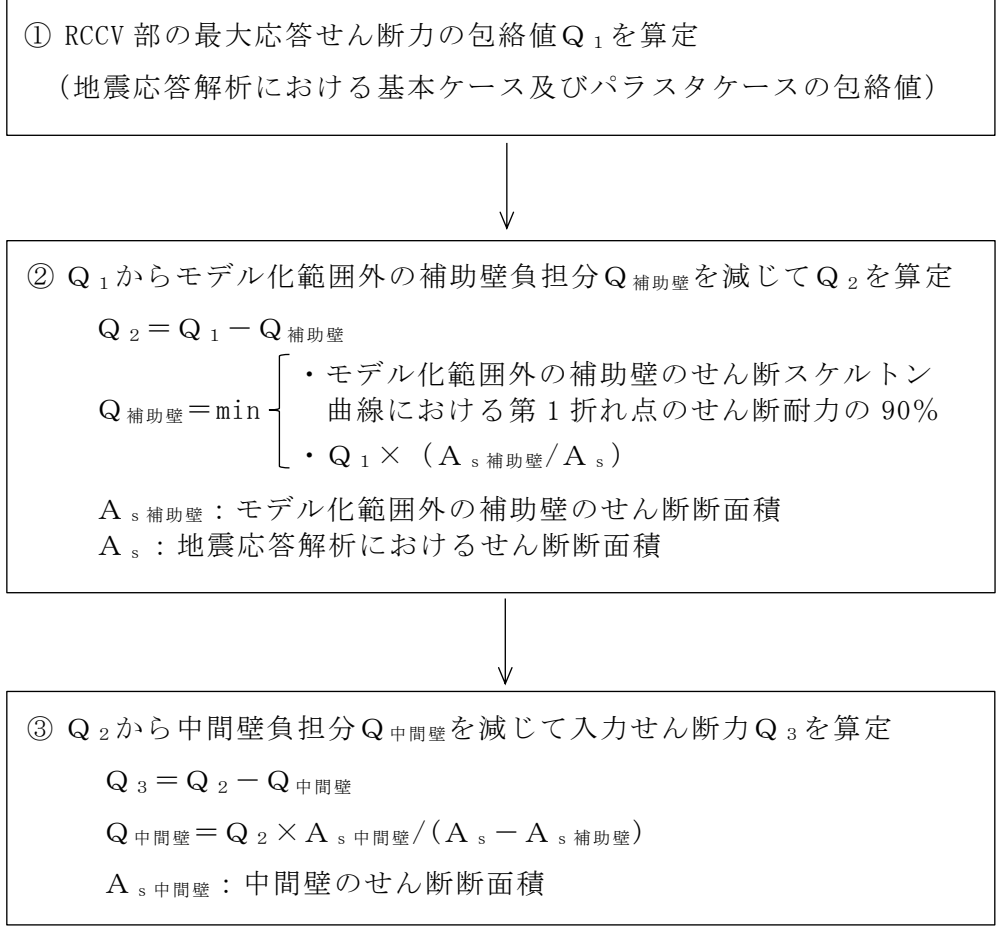
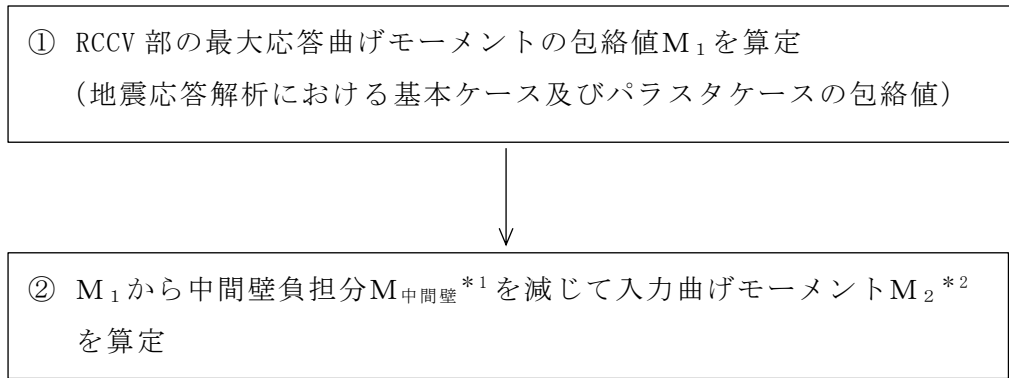


図 2-2 上部構造物の入力せん断力の算定フロー



注記*1：中間壁負担分は、既工認における RCCV と中間壁の曲げモーメントの負担比率より算定する。

*2：曲げモーメントの符号は既工認と同様とする。

図 2-3 上部構造物の入力曲げモーメントの算定フロー

表 2-1 上部構造物の入力せん断力の算定結果 (S d)

(a) NS 方向

| T. M. S. L. (m) | 最大応答せん断力 | | 入力 せん断力 Q_3 ($\times 10^3$ kN) |
|--------------------|-------------------------------------|-----------|--|
| | 包絡値 Q_1 ($\times 10^3$ kN) | 決定ケース | |
| 23.5~31.7 | 23.1 | Sd-1 ケース6 | 20.9 |
| 18.1~23.5 | 95.3 | Sd-1 ケース6 | 81.8 |
| 12.3~18.1 | 125 | Sd-8 ケース3 | 86.6 |
| 4.8~12.3 | 159 | Sd-8 ケース3 | 111 |
| -1.7~4.8 | 206 | Sd-8 ケース3 | 137 |
| -8.2~-1.7 | 261 | Sd-8 ケース3 | 137 |

(b) EW 方向

| T. M. S. L. (m) | 最大応答せん断力 | | 入力 せん断力 Q_3 ($\times 10^3$ kN) |
|--------------------|-------------------------------------|-----------|--|
| | 包絡値 Q_1 ($\times 10^3$ kN) | 決定ケース | |
| 23.5~31.7 | 49.9 | Sd-2 ケース6 | 44.4 |
| 18.1~23.5 | 149 | Sd-2 ケース3 | 129 |
| 12.3~18.1 | 152 | Sd-2 ケース3 | 97.8 |
| 4.8~12.3 | 177 | Sd-2 ケース6 | 113 |
| -1.7~4.8 | 229 | Sd-2 ケース6 | 124 |
| -8.2~-1.7 | 232 | Sd-2 ケース3 | 138 |

表 2-2 上部構造物の入力せん断力の算定結果 (S s)

(a) NS 方向

| T. M. S. L. (m) | 最大応答せん断力 | | 入力 せん断力 Q_3 ($\times 10^3$ kN) |
|--------------------|-------------------------------------|-----------|--|
| | 包絡値 Q_1 ($\times 10^3$ kN) | 決定ケース | |
| 23.5~31.7 | 86.1 | Ss-1 ケース5 | 77.7 |
| 18.1~23.5 | 185 | Ss-1 ケース5 | 161 |
| 12.3~18.1 | 261 | Ss-1 ケース5 | 182 |
| 4.8~12.3 | 340 | Ss-8 ケース3 | 254 |
| -1.7~ 4.8 | 382 | Ss-1 ケース4 | 279 |
| -8.2~-1.7 | 447 | Ss-1 ケース3 | 246 |

(b) EW 方向

| T. M. S. L. (m) | 最大応答せん断力 | | 入力 せん断力 Q_3 ($\times 10^3$ kN) |
|--------------------|-------------------------------------|-----------|--|
| | 包絡値 Q_1 ($\times 10^3$ kN) | 決定ケース | |
| 23.5~31.7 | 82.5 | Ss-2 ケース4 | 73.4 |
| 18.1~23.5 | 259 | Ss-2 ケース5 | 223 |
| 12.3~18.1 | 302 | Ss-2 ケース5 | 194 |
| 4.8~12.3 | 379 | Ss-2 ケース6 | 268 |
| -1.7~ 4.8 | 462 | Ss-2 ケース4 | 299 |
| -8.2~-1.7 | 434 | Ss-2 ケース2 | 268 |

表 2-3 上部構造物の入力曲げモーメントの算定結果 (S d)

(a) NS 方向

| T. M. S. L (m) | 最大応答曲げモーメント | | 入力曲げ モーメント M ₂ (×10 ⁶ kN・m) |
|-------------------|--|-----------|--|
| | 包絡値 M ₁ (×10 ⁶ kN・m) | 決定ケース | |
| 31.7 | 0.0711 | Sd-1 ケース2 | 0.0720 |
| 23.5 | 0.213 | Sd-1 ケース2 | 0.213 |
| | 1.00 | Sd-1 ケース2 | 1.00 |
| 18.1 | 1.45 | Sd-1 ケース2 | 1.45 |
| | 2.03 | Sd-1 ケース2 | 2.04 |
| 12.3 | 2.63 | Sd-1 ケース2 | 2.63 |
| | 3.28 | Sd-1 ケース2 | 3.28 |
| 4.8 | 4.16 | Sd-1 ケース2 | 4.16 |
| | 4.59 | Sd-1 ケース2 | 4.59 |
| -1.7 | 5.43 | Sd-1 ケース2 | 5.27 |
| | 5.73 | Sd-1 ケース2 | 5.27 |
| -8.2 | 6.91 | Sd-8 ケース3 | 6.08 |

(b) EW 方向

| T. M. S. L (m) | 最大応答曲げモーメント | | 入力曲げ モーメント M ₂ (×10 ⁶ kN・m) |
|-------------------|--|-----------|--|
| | 包絡値 M ₁ (×10 ⁶ kN・m) | 決定ケース | |
| 31.7 | 0.615 | Sd-1 ケース6 | 0.616 |
| 23.5 | 0.905 | Sd-1 ケース6 | 0.906 |
| | 1.16 | Sd-2 ケース5 | -1.16 |
| 18.1 | 0.582 | Sd-2 ケース2 | -0.583 |
| | 0.796 | Sd-2 ケース2 | -0.797 |
| 12.3 | 1.27 | Sd-1 ケース2 | 1.28 |
| | 1.97 | Sd-1 ケース2 | 1.97 |
| 4.8 | 2.92 | Sd-1 ケース2 | 2.93 |
| | 3.48 | Sd-1 ケース2 | 3.48 |
| -1.7 | 4.49 | Sd-2 ケース3 | 4.49 |
| | 4.84 | Sd-2 ケース3 | 4.84 |
| -8.2 | 6.21 | Sd-2 ケース3 | 5.78 |
| 回転ばね* | 2.39 | Sd-1 ケース2 | 2.40 |

注記* : プール壁がRCCVの曲げ変形を拘束する影響を考慮した回転ばね。

表 2-4 上部構造物の入力曲げモーメントの算定結果 (S s)

(a) NS 方向

| T. M. S. L (m) | 最大応答曲げモーメント | | 入力曲げ モーメント M ₂ (×10 ⁶ kN・m) |
|-------------------|--|-----------|--|
| | 包絡値 M ₁ (×10 ⁶ kN・m) | 決定ケース | |
| 31.7 | 0.136 | Ss-1 ケース5 | 0.137 |
| 23.5 | 0.644 | Ss-1 ケース5 | 0.644 |
| | 1.53 | Ss-1 ケース4 | 1.53 |
| 18.1 | 2.17 | Ss-1 ケース4 | 2.17 |
| | 3.13 | Ss-1 ケース6 | 3.13 |
| 12.3 | 4.19 | Ss-1 ケース2 | 4.19 |
| | 5.10 | Ss-1 ケース2 | 5.10 |
| 4.8 | 6.79 | Ss-1 ケース2 | 6.79 |
| | 7.86 | Ss-1 ケース2 | 7.86 |
| -1.7 | 9.38 | Ss-1 ケース2 | 9.11 |
| | 9.91 | Ss-1 ケース2 | 9.11 |
| -8.2 | 12.1 | Ss-8 ケース3 | 10.7 |

(b) EW 方向

| T. M. S. L (m) | 最大応答曲げモーメント | | 入力曲げ モーメント M ₂ (×10 ⁶ kN・m) |
|-------------------|--|-----------|--|
| | 包絡値 M ₁ (×10 ⁶ kN・m) | 決定ケース | |
| 31.7 | 1.26 | Ss-1 ケース6 | 1.26 |
| 23.5 | 1.63 | Ss-1 ケース6 | 1.63 |
| | 3.49 | Ss-2 ケース3 | -3.49 |
| 18.1 | 2.19 | Ss-2 ケース3 | -2.19 |
| | 1.58 | Ss-2 ケース5 | -1.58 |
| 12.3 | 1.81 | Ss-1 ケース4 | 1.81 |
| | 3.01 | Ss-1 ケース2 | 3.01 |
| 4.8 | 4.66 | Ss-1 ケース4 | 4.66 |
| | 5.73 | Ss-1 ケース2 | 5.73 |
| -1.7 | 7.45 | Ss-2 ケース3 | 7.46 |
| | 8.06 | Ss-2 ケース3 | 8.06 |
| -8.2 | 10.3 | Ss-2 ケース1 | 9.60 |
| 回転ばね* | 5.18 | Ss-1 ケース2 | 5.18 |

注記* : プール壁がRCCVの曲げ変形を拘束する影響を考慮した回転ばね。

2.1.2 動的鉛直地震力

上部構造物に入力する動的鉛直地震力は、鉛直方向の地震応答解析における外壁・RCCV部の各質点の最大応答加速度を用いて鉛直震度として算定する。ここで、最大応答加速度は、地震応答解析における基本ケース及びパラスタケースの誘発上下動を考慮した最大応答加速度を各質点で包絡したものとする。

鉛直震度の算定結果を表2-5に示す。

表2-5 上部構造物の鉛直震度の算定結果

(a) S_d

| T. M. S. L (m) | 最大応答加速度 | | 鉛直震度 |
|-------------------|----------------------------|------------|------|
| | 包絡値 (m/s ²) | 決定ケース | |
| 31.7 | 4.63 | Sd-1 ケース 2 | 0.47 |
| 23.5 | 4.51 | Sd-1 ケース 2 | 0.46 |
| 18.1 | 4.38 | Sd-1 ケース 2 | 0.45 |
| 12.3 | 4.23 | Sd-1 ケース 2 | 0.43 |
| 4.8 | 4.10 | Sd-1 ケース 3 | 0.42 |
| -1.7 | 4.03 | Sd-1 ケース 3 | 0.41 |
| -8.2 | 4.02 | Sd-1 ケース 3 | 0.41 |

(b) S_s

| T. M. S. L (m) | 最大応答加速度 | | 鉛直震度 |
|-------------------|----------------------------|------------|------|
| | 包絡値 (m/s ²) | 決定ケース | |
| 31.7 | 9.33 | Ss-1 ケース 2 | 0.95 |
| 23.5 | 9.09 | Ss-1 ケース 2 | 0.93 |
| 18.1 | 8.83 | Ss-1 ケース 2 | 0.90 |
| 12.3 | 8.52 | Ss-1 ケース 2 | 0.87 |
| 4.8 | 8.17 | Ss-1 ケース 3 | 0.83 |
| -1.7 | 8.13 | Ss-1 ケース 3 | 0.83 |
| -8.2 | 8.18 | Ss-1 ケース 3 | 0.84 |

2.2 基礎スラブ

上部構造物から基礎スラブに入力する動的地震力は、補助壁を介さず、既工認と同様に RCCV、中間壁及び外壁を介して基礎スラブに入力する。これは、補助壁を介した基礎スラブへの入力を考慮しないことで荷重を集中させ、基礎スラブを保守的に評価するためである。

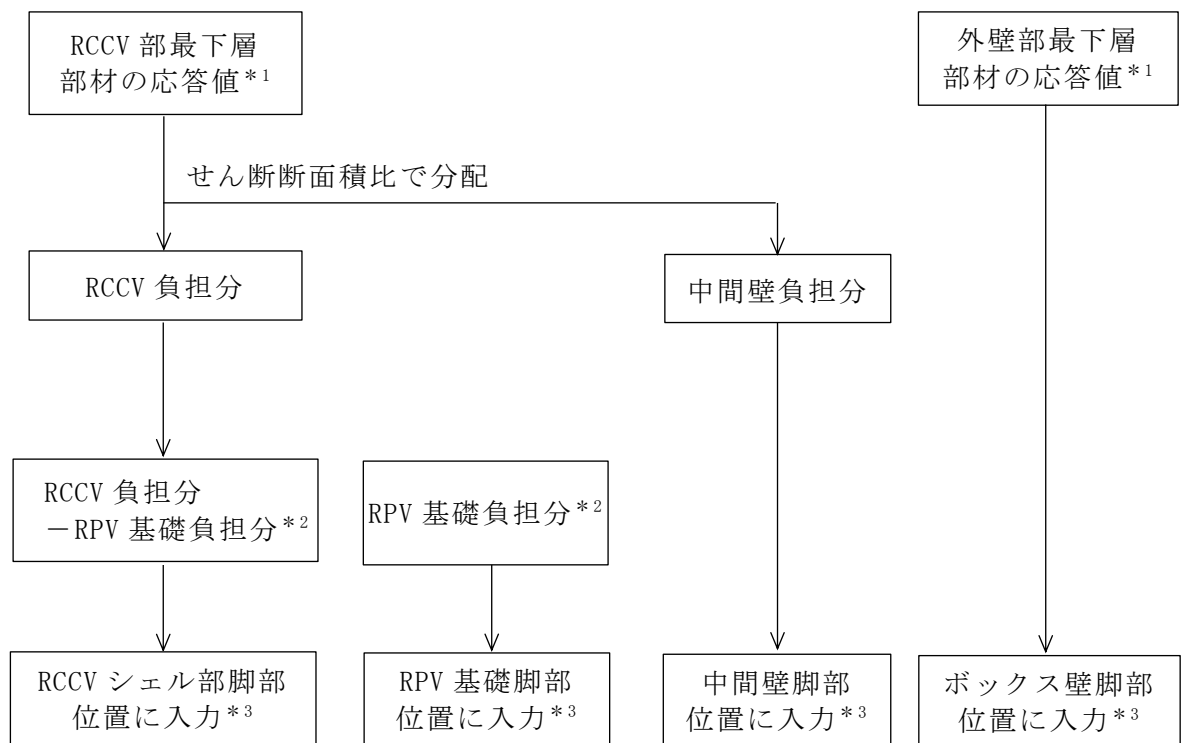
2.2.1 動的水平地震力

基礎スラブに入力する動的水平地震力の算定フローを図 2-4 に示す。図 2-4 に示す RCCV 部及び外壁部最下層部材の応答値は、水平方向の地震応答解析における基本ケース及びパラスタケースの最大応答せん断力及び最大応答曲げモーメントをそれぞれ包絡したものである。

外壁部の応答値については、基礎スラブの外壁（以下「ボックス壁」という。）脚部位置に入力する。

RCCV 部の応答値については、せん断断面積比に応じて中間壁負担分と RCCV 負担分に分配し、中間壁負担分は基礎スラブの中間壁脚部位置に入力する。一方、原子炉本体基礎（以下「RPV 基礎」という。）負担分は、V-2-2-4「原子炉本体の基礎の地震応答計算書」における RPV 基礎の最下層の応答を包絡した値を、RPV 基礎脚部位置に入力する。RCCV 負担分は、RPV 基礎負担分を減じた上で基礎スラブの RCCV シェル部脚部位置に入力する。

以上の手順により算定した基礎スラブに入力する動的水平地震力の算定結果を表 2-6 及び表 2-7 に示す。



注記*1：地震応答解析における基本ケース及びパラスタケースの包絡値。

*2：V-2-2-4「原子炉本体の基礎の地震応答計算書」におけるRPV基礎の最下層の応答を包絡した値。

*3：入力曲げモーメントを算定する際は、最大応答曲げモーメントが基礎スラブ上端位置での曲げモーメントであることを考慮して、基礎スラブの厚さ中心位置での曲げモーメントに補正する。補正は、下式から算定する付加曲げモーメント ΔM を加算することで行う。

$$\Delta M = Q \times t / 2$$

Q：入力せん断力， t：基礎スラブ厚(5.5m)

図2-4 基礎スラブに入力する動的水平地震力の算定フロー

表 2-6 基礎スラブに入力する動的水平地震力の算定結果 (S d) (1/2)

(a) NS 方向 せん断力

| 最大応答せん断力 | | | 入力せん断力 | |
|----------|----------------------------|-----------|-------------------|----------------------------|
| 応答軸 | 包絡値 ($\times 10^3$ kN) | 決定ケース | 部位 | 入力値 ($\times 10^3$ kN) |
| 外壁部 | 348 | Sd-8 ケース3 | ボックス壁 (r_A 通り) | 174 |
| | | | ボックス壁 (r_G 通り) | 174 |
| RCCV部 | 261 | Sd-8 ケース3 | 中間壁 (r_B 通り) | 49.0 |
| | | | 中間壁 (r_F 通り) | 36.7 |
| | | | RCCV | 133 |
| | | | RPV基礎 | 43.3 |

(b) EW 方向 せん断力

| 最大応答せん断力 | | | 入力せん断力 | |
|----------|----------------------------|-----------|-------------------|----------------------------|
| 応答軸 | 包絡値 ($\times 10^3$ kN) | 決定ケース | 部位 | 入力値 ($\times 10^3$ kN) |
| 外壁部 | 415 | Sd-2 ケース3 | ボックス壁 (r_1 通り) | 208 |
| | | | ボックス壁 (r_7 通り) | 208 |
| RCCV部 | 232 | Sd-2 ケース3 | 中間壁 (r_2 通り) | 26.6 |
| | | | 中間壁 (r_3 通り) | 15.7 |
| | | | 中間壁 (r_5 通り) | 12.7 |
| | | | 中間壁 (r_6 通り) | 17.0 |
| | | | RCCV | 117 |
| | | | RPV基礎 | 43.3 |

表 2-6 基礎スラブに入力する動的水平地震力の算定結果 (S d) (2/2)

(c) NS 方向 曲げモーメント

| 最大応答曲げモーメント | | | 入力曲げモーメント | |
|-------------|---|-----------|-------------------|---|
| 応答軸 | 包絡値 ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$) | 決定ケース | 部位 | 入力値 ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$) |
| 外壁部 | 12.3 | Sd-1 ケース6 | ボックス壁 (R_A 通り) | 6.62 |
| | | | ボックス壁 (R_G 通り) | 6.62 |
| RCCV部 | 6.91 | Sd-8 ケース3 | 中間壁 (R_B 通り) | 1.43 |
| | | | 中間壁 (R_F 通り) | 1.07 |
| | | | RCCV | 4.23 |
| | | | RPV基礎 | 0.904 |

(d) EW 方向 曲げモーメント

| 最大応答曲げモーメント | | | 入力曲げモーメント | |
|-------------|---|-----------|-------------------|---|
| 応答軸 | 包絡値 ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$) | 決定ケース | 部位 | 入力値 ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$) |
| 外壁部 | 12.6 | Sd-2 ケース3 | ボックス壁 (R_1 通り) | 6.87 |
| | | | ボックス壁 (R_7 通り) | 6.87 |
| RCCV部 | 6.21 | Sd-2 ケース3 | 中間壁 (R_2 通り) | 0.782 |
| | | | 中間壁 (R_3 通り) | 0.462 |
| | | | 中間壁 (R_5 通り) | 0.374 |
| | | | 中間壁 (R_6 通り) | 0.501 |
| | | | RCCV | 3.83 |
| | | | RPV基礎 | 0.904 |

表 2-7 基礎スラブに入力する動的水平地震力の算定結果 (S s) (1/2)

(a) NS 方向 せん断力

| 最大応答せん断力 | | | 入力せん断力 | |
|----------|----------------------------|-----------|---------------------------|----------------------------|
| 応答軸 | 包絡値 ($\times 10^3$ kN) | 決定ケース | 部位 | 入力値 ($\times 10^3$ kN) |
| 外壁部 | 624 | Ss-8 ケース4 | ボックス壁 (R _A 通り) | 312 |
| | | | ボックス壁 (R _G 通り) | 312 |
| RCCV部 | 447 | Ss-1 ケース3 | 中間壁 (R _B 通り) | 83.6 |
| | | | 中間壁 (R _F 通り) | 62.7 |
| | | | RCCV | 241 |
| | | | RPV基礎 | 59.3 |

(b) EW 方向 せん断力

| 最大応答せん断力 | | | 入力せん断力 | |
|----------|----------------------------|-----------|---------------------------|----------------------------|
| 応答軸 | 包絡値 ($\times 10^3$ kN) | 決定ケース | 部位 | 入力値 ($\times 10^3$ kN) |
| 外壁部 | 758 | Ss-2 ケース4 | ボックス壁 (R ₁ 通り) | 379 |
| | | | ボックス壁 (R ₇ 通り) | 379 |
| RCCV部 | 434 | Ss-2 ケース2 | 中間壁 (R ₂ 通り) | 49.7 |
| | | | 中間壁 (R ₃ 通り) | 29.3 |
| | | | 中間壁 (R ₅ 通り) | 23.8 |
| | | | 中間壁 (R ₆ 通り) | 31.8 |
| | | | RCCV | 241 |
| RPV基礎 | 59.3 | | | |

表 2-7 基礎スラブに入力する動的水平地震力の算定結果 (S s) (2/2)

(c) NS 方向 曲げモーメント

| 最大応答曲げモーメント | | | 入力曲げモーメント | |
|-------------|---|-----------|---------------------------|---|
| 応答軸 | 包絡値 ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$) | 決定ケース | 部位 | 入力値 ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$) |
| 外壁部 | 21.3 | Ss-1 ケース6 | ボックス壁 (R _A 通り) | 11.5 |
| | | | ボックス壁 (R _G 通り) | 11.5 |
| RCCV部 | 12.1 | Ss-8 ケース3 | 中間壁 (R _B 通り) | 2.50 |
| | | | 中間壁 (R _F 通り) | 1.88 |
| | | | RCCV | 7.79 |
| | | | RPV基礎 | 1.20 |

(d) EW 方向 曲げモーメント

| 最大応答曲げモーメント | | | 入力曲げモーメント | |
|-------------|---|-----------|---------------------------|---|
| 応答軸 | 包絡値 ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$) | 決定ケース | 部位 | 入力値 ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$) |
| 外壁部 | 21.4 | Ss-2 ケース6 | ボックス壁 (R ₁ 通り) | 11.8 |
| | | | ボックス壁 (R ₇ 通り) | 11.8 |
| RCCV部 | 10.3 | Ss-2 ケース1 | 中間壁 (R ₂ 通り) | 1.31 |
| | | | 中間壁 (R ₃ 通り) | 0.776 |
| | | | 中間壁 (R ₅ 通り) | 0.629 |
| | | | 中間壁 (R ₆ 通り) | 0.841 |
| | | | RCCV | 6.75 |
| | | | RPV基礎 | 1.20 |

2.2.2 動的鉛直地震力

上部構造物から基礎スラブに入力する動的鉛直地震力は、鉛直方向の地震応答解析における最下層の最大応答軸力を上部構造物の重量で除すことにより、軸力係数として算定する。最大応答軸力は、地震応答解析における基本ケース及びパラスタケースの包絡値とする。ここで、最大応答軸力は、誘発上下動の影響を考慮したものである。上部構造物から入力する動的鉛直地震力（軸力係数）の算定結果を表 2-8 に示す。

RPV 基礎から基礎スラブに入力する動的鉛直地震力は、V-2-2-4「原子炉本体の基礎の地震応答計算書」における RPV 基礎の最下層の軸力を包絡した値を、RPV 基礎の重量で除すことにより、軸力係数として算定する。RPV 基礎から入力する動的鉛直地震力（軸力係数）の算定結果を表 2-9 に示す。

基礎スラブ全体に作用する動的鉛直地震力は、鉛直方向の地震応答解析における底面地盤ばねの鉛直力から、上部構造物から基礎スラブに入力する動的鉛直地震力を減じた値と等価になる荷重（以下「付加軸力」という。）を基礎スラブの重量で除した付加軸力係数として算定する。付加軸力は、地震応答解析における基本ケース及びパラスタケースの包絡値とする。ここで、付加軸力係数は、誘発上下動の影響を考慮したものである。付加軸力係数の算定結果を表 2-10 に示す。

表 2-8 上部構造物から入力する動的鉛直地震力（軸力係数）の算定結果

| 地震動 | 最大応答軸力 | | 軸力係数 |
|-----|------------------------------------|------------|------|
| | 包絡値 ($\times 10^4 \text{kN}$) | 決定ケース | |
| S d | 60.9 | Sd-1 ケース 2 | 0.44 |
| S s | 122 | Ss-1 ケース 2 | 0.88 |

表 2-9 RPV 基礎から入力する動的鉛直地震力（軸力係数）の算定結果

| 地震動 | 最大応答軸力* ($\times 10^4 \text{kN}$) | 軸力係数 |
|-----|--|------|
| S d | 4.02 | 0.49 |
| S s | 7.97 | 0.96 |

注記*：V-2-2-4「原子炉本体の基礎の地震応答計算書」における RPV 基礎の最下層の軸力を包絡した値。

表 2-10 付加軸力係数の算定結果

| 地震動 | 付加軸力 | | 付加 軸力係数 |
|-----|------------------------------------|------------|------------|
| | 包絡値 ($\times 10^4 \text{kN}$) | 決定ケース | |
| S d | 21.3 | Sd-1 ケース 3 | 0.38 |
| S s | 42.2 | Ss-1 ケース 3 | 0.76 |

3. 静的地震力の算定

上部構造物及び基礎スラブに入力する静的水平地震力及び静的鉛直地震力は，既工認の値を用いる。

4. 地震時土圧荷重の算定

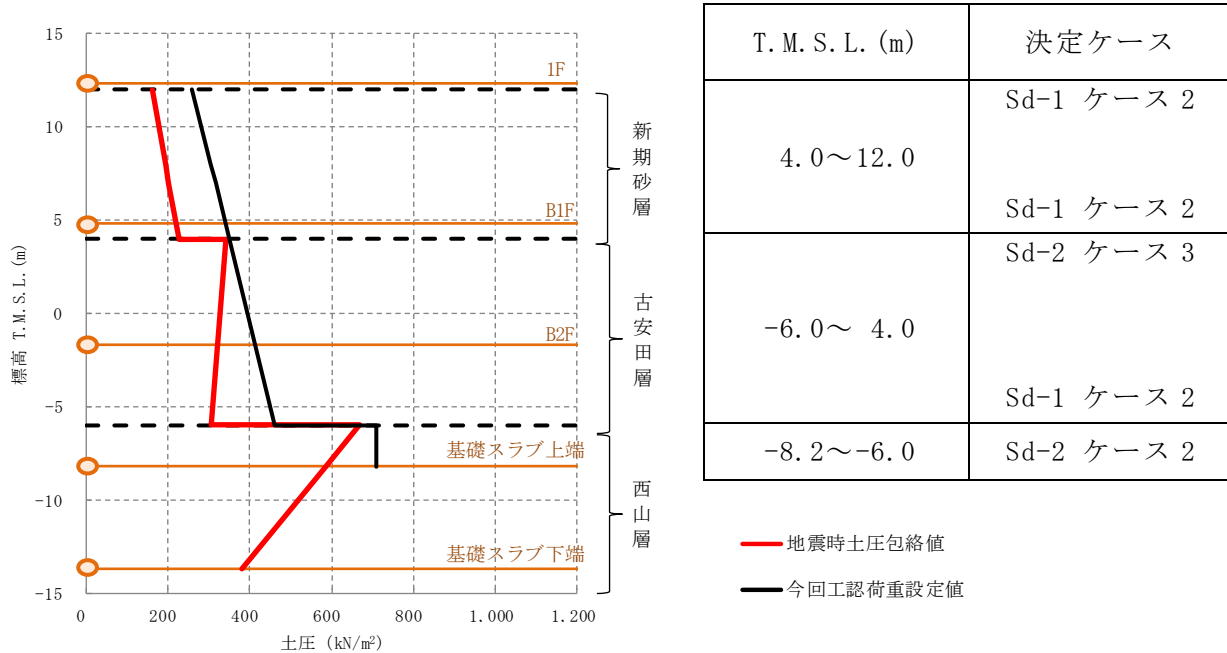
4.1 算定方法

図 4-1 に地震時土圧荷重の算定方法を示す。地震時土圧荷重は、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)」に基づき、常時土圧に地震時増分土圧を加えて算定した地震時土圧を包絡させて設定する。

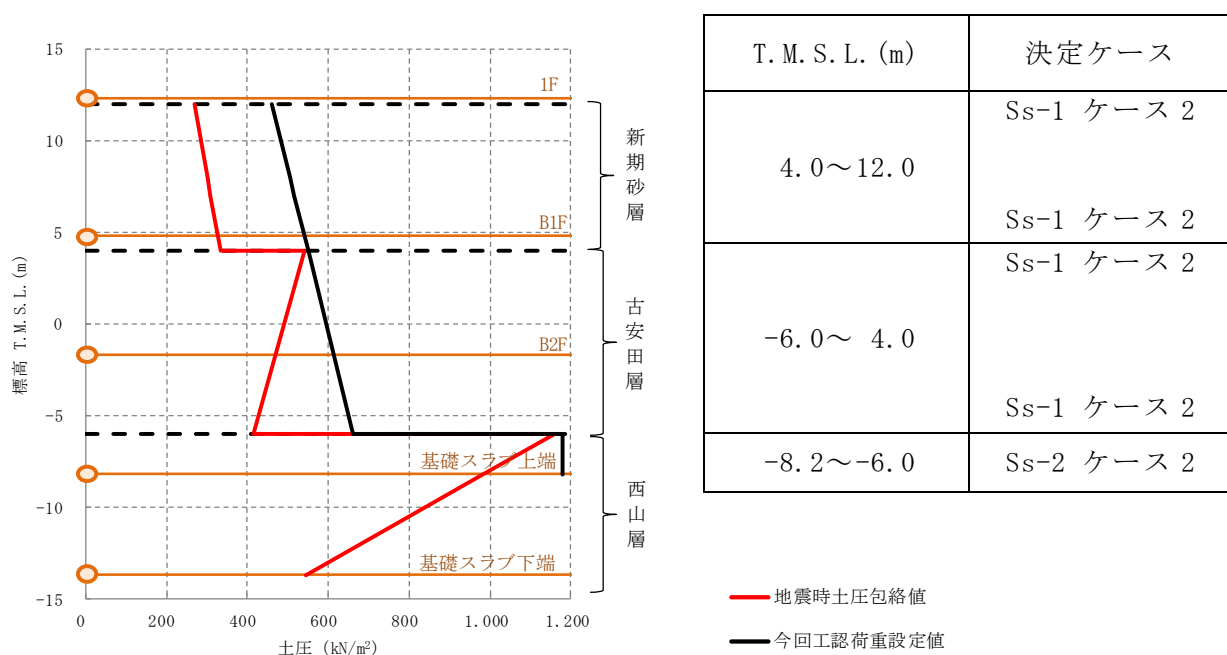
地震時増分土圧は、建物・構築物に対し加力側に作用する地震時増分土圧と建物・構築物を支える支持側の地震時増分土圧を算定し、地盤一般部は加力側増分土圧及び支持側増分土圧を包絡した値とし、岩盤部は支持側増分土圧とする。

地表面から古安田層まで (T. M. S. L. -6.0m~T. M. S. L. 12.0m) の荷重は、基本ケース及びパラスタケースごとに算定した地震時土圧を包絡するように、既工認の荷重分布形状に合わせて設定する。

西山層 (T. M. S. L. -13.7m~T. M. S. L. -6.0m) については、基本ケース及びパラスタケース毎に算定した地震時土圧のうち T. M. S. L. -13.7m~T. M. S. L. -6.0m の地震時土圧の包絡値を一定として設定する。



(a) S d 地震時土圧



(b) S s 地震時土圧

図 4-1 地震時土圧荷重の算定方法

4.2 算定結果

表 4-1 に地震時土圧荷重の算定結果，図 4-2 に地震時土圧による荷重分布を示す。

表 4-1 地震時土圧荷重の算定結果

| T. M. S. L. (m) | S d 地震時土圧荷重 (kN/m ²) | S s 地震時土圧荷重 (kN/m ²) |
|--------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| -6.0~12.0 | $260 + 0.65 \cdot \gamma \cdot h$ | $460 + 0.65 \cdot \gamma \cdot h$ |
| -8.2~-6.0 | 710 | 1180 |

注：記号は以下のとおり。

γ ：土の単位体積重量 (kN/m³)

h：地表面からの深さ (m)

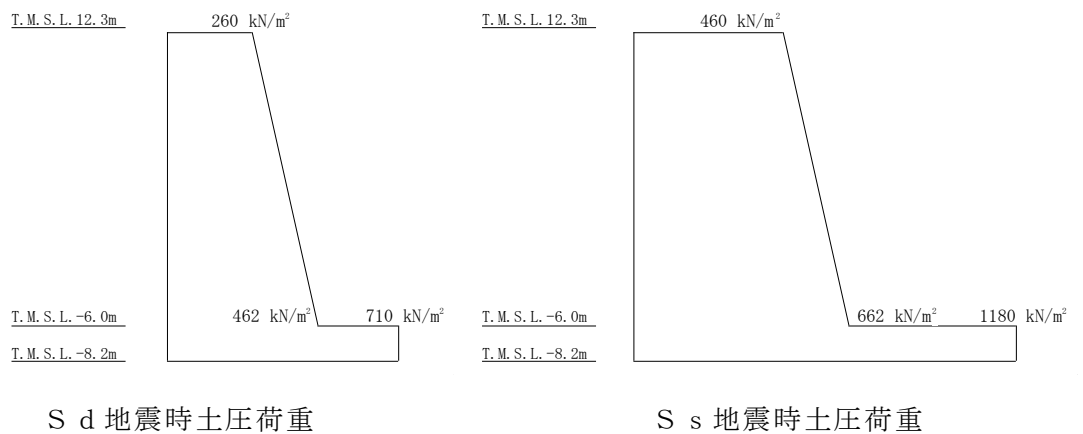


図 4-2 地震時土圧による荷重分布

5. 地震時配管荷重の算定

地震時配管荷重については、設計荷重として設定している。設計荷重は主蒸気配管についてはV-2-5-2-1-2「管の耐震性についての計算書」に、給水配管についてはV-2-5-1(2)「管の耐震性についての計算書」において実施する解析の結果を包絡するよう設定する。

別紙 6-1 原子炉建屋の 3 次元 FEM モデルを用いた
せん断力負担割合の検討

目 次

| | |
|-------------------------|----------|
| 1. 概要 | 別紙 6-1-1 |
| 2. 検討方針 | 別紙 6-1-2 |
| 3. 検討条件 | 別紙 6-1-3 |
| 3.1 モデル化の基本方針 | 別紙 6-1-3 |
| 3.2 せん断力負担割合の算出方針 | 別紙 6-1-6 |
| 4. 検討結果 | 別紙 6-1-8 |
| 5. まとめ | 別紙 6-1-9 |

1. 概要

本資料は、原子炉建屋の外壁（以下「ボックス壁」という。）、鉄筋コンクリート製原子炉格納容器（以下「RCCV」という。）、RCCV とボックス壁の間の耐震壁（以下「中間壁」という。）及び補助壁が負担するせん断力の割合を、3次元 FEM を用いて確認した結果を示すものである。

なお、本検討は、原子炉建屋の高さ及び平面形状が共通であることを踏まえ、柏崎刈羽原子力発電所 6 号機原子炉建屋を対象に実施したものである。

2. 検討方針

原子炉建屋の一層分を取り出した 3 次元 FEM モデルを用いて、上階の床スラブ位置に単位長さの強制変位を入力した際のボックス壁，RCCV，中間壁及び補助壁が負担するせん断力の割合を算定し、応力解析に用いているせん断力負担割合が妥当であることを確認する。

本検討においては、以下の理由により B3F を代表して検討を行う。

- ・地震応答解析で発生する層せん断力が最も大きく、RCCV 部のせん断力が最も大きくなる層である。
- ・中間壁は B3F の NS 方向及び EW 方向と B2F の NS 方向の一部のみに存在しており、ボックス壁，RCCV，中間壁及び補助壁へのせん断力の分配が網羅的に確認できる層である。
- ・一層分を取り出し、地震応答解析モデルと同様の床剛の仮定に基づき一様の強制変位を入力し各壁のせん断力負担割合を算定した場合、他の階でも同様の結果となることが予想される。
- ・建屋上層まで 3 次元 FEM でモデル化し、上部に強制変形を加え最下層で評価する検討方法も考えられるが、原子炉建屋の耐震壁の変形はせん断変形の割合が大きく、最下層のみをモデル化し強制変形を与えた場合と同等の結果になると予想される。

3. 検討条件

3.1 モデル化の基本方針

本検討では、3次元 FEM モデルを用いた弾性応力解析を実施する。

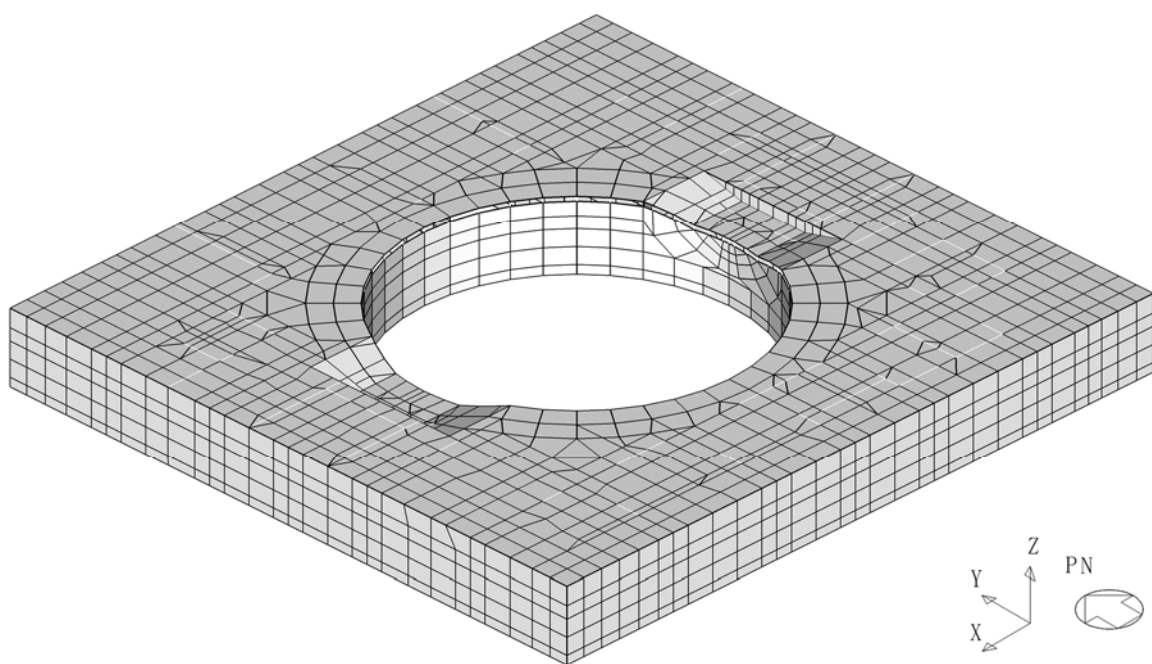
応力解析モデルは、原子炉建屋の B3F のボックス壁、RCCV、中間壁、補助壁及び B2F の床スラブを取り出したモデルである。

解析モデルに使用する FEM 要素は、シェル要素とする。使用する要素は四辺形及び三角形で、この要素は均質等方性材料によるシェル要素である。

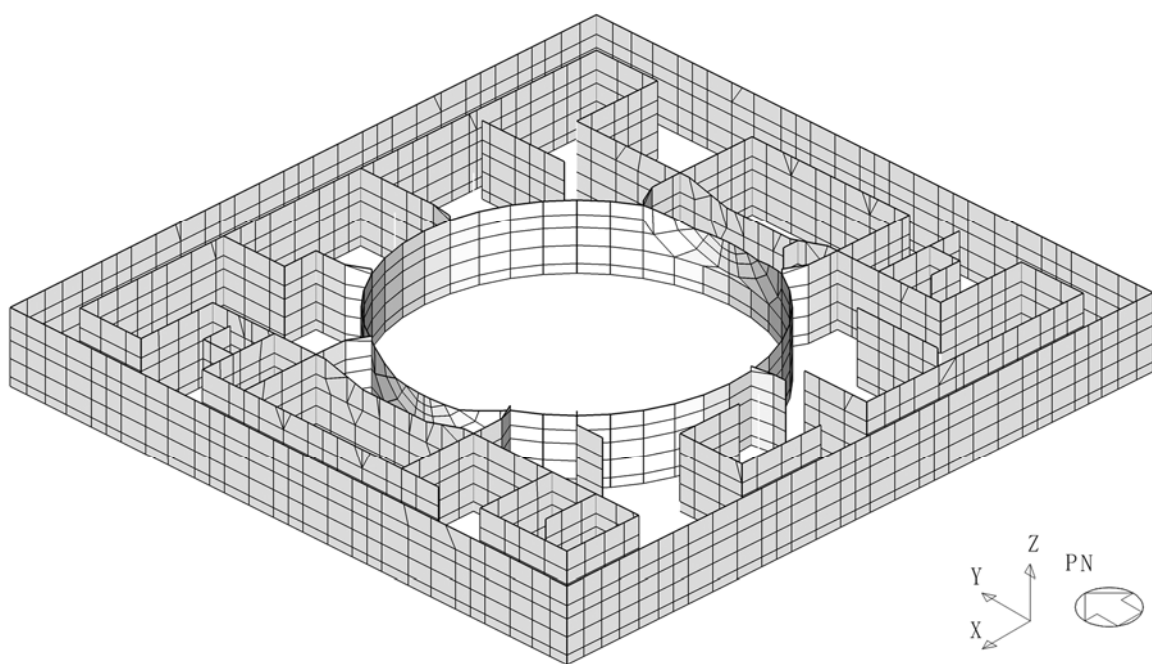
境界条件は、B3F の各壁脚部を固定条件とし、B2F の床スラブ全節点に NS 方向と EW 方向のそれぞれに単位長さの強制変位を与える。B2F の床スラブ全節点は、NS 方向と EW 方向の水平方向の強制変位以外の拘束は考慮せず、B2F 床スラブの面外剛性のみが壁部材の鉛直方向の変形を拘束する条件としている。

なお、基準地震動 S_s により各壁部材の剛性が低下することが考えられるが、外壁部及び RCCV 部が同様に剛性低下した場合、強制変位を与えた際の各壁のせん断力負担割合は剛性低下を考慮しない場合と変わらないことから、弾性応力解析を用いる。

3次元 FEM モデルを図 3-1 に、使用材料の物性値を表 3-1 に示す。



(a) モデル全体図 (南西面)



(b) モデル壁図 (南西面)

図 3-1 3次元 FEM モデル図

表 3-1 使用材料（コンクリート）の物性値

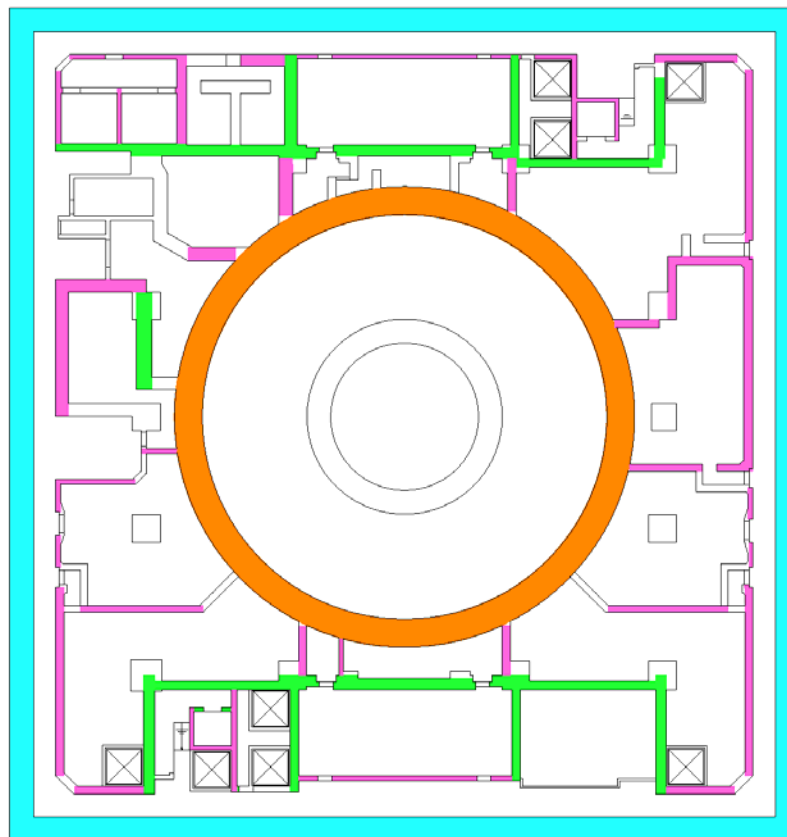
| 諸元 | 物性値 |
|-------------------------------|------------------------|
| ヤング係数 (N/mm ²) | 2.88×10 ⁴ * |
| ポアソン比 | 0.2 |

注記*：剛性はコンクリートの実強度（43.1N/mm²）に基づく。

3.2 せん断力負担割合の算出方針

3次元 FEM モデルの各壁脚部に生じる加力方向と同方向の水平反力値を、ボックス壁、RCCV、中間壁及び補助壁ごとに集計し、各壁の水平反力値の合計値に対する各壁の水平反力値の比率をせん断力の負担割合として算出する。その際、集計する各壁は、地震応答解析モデルで考慮している壁と同様とするが、地震応答解析モデルで考慮している壁に、直交して取り付く壁（以下「直交壁」という。）に発生する水平反力値についても、取り付いている壁の水平反力値として集計する。

6号機原子炉建屋のB3Fの各壁分類を図3-2に示す。



凡 例

-  ボックス壁
-  RCCV
-  中間壁
-  補助壁

図 3-2 B3F の各壁の分類 (6号機原子炉建屋)

4. 検討結果

本検討によるせん断力負担割合（以下「3次元FEMせん断力負担割合」という。）を、別紙6「地震荷重の算定方法」の「2.1.1(1) 入力せん断力」の方法で算定したせん断力に基づくせん断力負担割合（以下「応力解析せん断力負担割合」という。）と比較して表4-1に示す。

3次元FEMせん断力負担割合は、応力解析せん断力負担割合と概ね同程度となっていることを確認した。

なお、直交壁に発生する水平力の割合は、表4-2に示すとおり10%程度となっており、直交壁のせん断力負担割合に対する影響は小さい。また、表4-1に示す応力解析せん断力負担割合のうち、補助壁の負担割合は、せん断面積比により算定した補助壁が負担するせん断力と、補助壁のせん断スケルトン曲線における第1折れ点のせん断耐力の90%のうち、小さい方のせん断力による負担割合を示している。

表4-1(a) 各壁せん断力負担割合 NS方向

| | 3次元FEM せん断力負担割合 | 応力解析 せん断力負担割合 |
|-------|--------------------|------------------|
| ボックス壁 | 0.51 | 0.53 |
| RCCV | 0.24 | 0.24 |
| 中間壁 | 0.12 | 0.11 |
| 補助壁 | 0.13 | 0.12 |

表4-1(b) 各壁せん断力負担割合 EW方向

| | 3次元FEM せん断力負担割合 | 応力解析 せん断力負担割合 |
|-------|--------------------|------------------|
| ボックス壁 | 0.53 | 0.54 |
| RCCV | 0.22 | 0.23 |
| 中間壁 | 0.08 | 0.10 |
| 補助壁 | 0.17 | 0.13 |

表4-2 直交壁に発生する水平力の割合

| 方向 | 3次元FEM水平力合計 (直交壁含む) ($\times 10^6$ kN) | 3次元FEM水平力合計 (直交壁のみ) ($\times 10^6$ kN) | 直交壁に発生する 水平力の割合 |
|------|---|---|--------------------|
| NS方向 | 699 | 73 | 0.10 |
| EW方向 | 721 | 78 | 0.11 |

5. まとめ

3次元 FEM モデルを用いて算出したせん断力負担割合を，応力解析で用いているせん断力負担割合と比較し，応力解析に用いているせん断力負担割合が妥当であることを確認した。

別紙 7 貫通部における平均応力の考え方

目 次

| | |
|----------------------|--------|
| 1. 概要 | 別紙 7-1 |
| 2. 貫通部における平均応力 | 別紙 7-2 |
| 3. まとめ | 別紙 7-4 |

1. 概要

原子炉格納容器コンクリート部（以下「RCCV」という。）の応力解析においては、弾塑性解析を採用している。一方、貫通部の断面の評価においては、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（（社）日本機械学会，2003）（以下「CCV 規格」という。）の CVE-3531 に基づく平均応力を用いている。本資料は，その妥当性について説明するものである。

2. 貫通部における平均応力

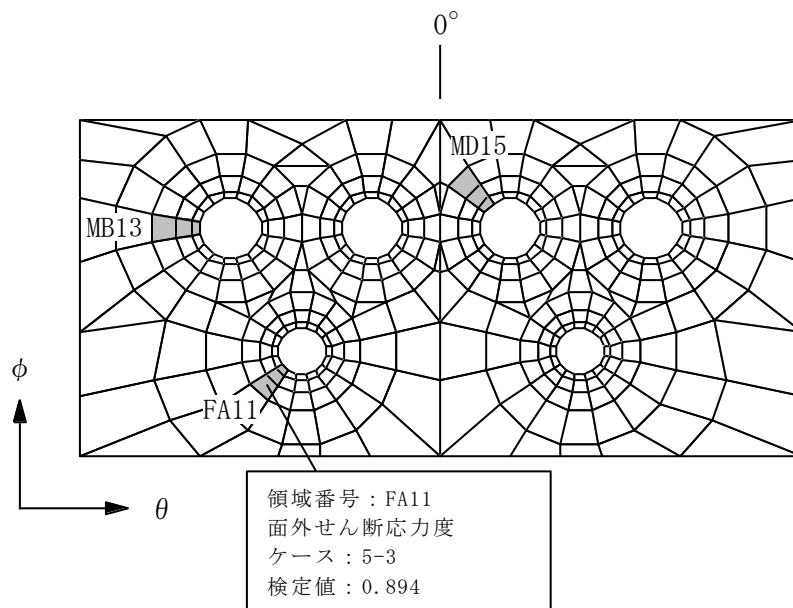
RCCV の応力解析では、V-2-9-2-1「原子炉格納容器コンクリート部の耐震性についての計算書」（以下「RCCV の耐震計算書」という。）に示すとおり、荷重状態Ⅳ及びⅤに対する評価では弾塑性解析を採用している。また、CCV 規格の CVE-3531 では、弾性解析により求まる応力に対して検討を行う場合、開口の直径の $3/4$ 倍を超えない範囲の平均応力を用いることができるとされている。

RCCV の耐震計算書の「6.1.2 貫通部の評価結果」における荷重状態Ⅳ及びⅤに対する貫通部の断面の評価のうち、膜力及び曲げモーメント並びに面外せん断力に対する断面の評価の検定値が最大となる領域及び断面の評価結果を図 2-1 に示す。

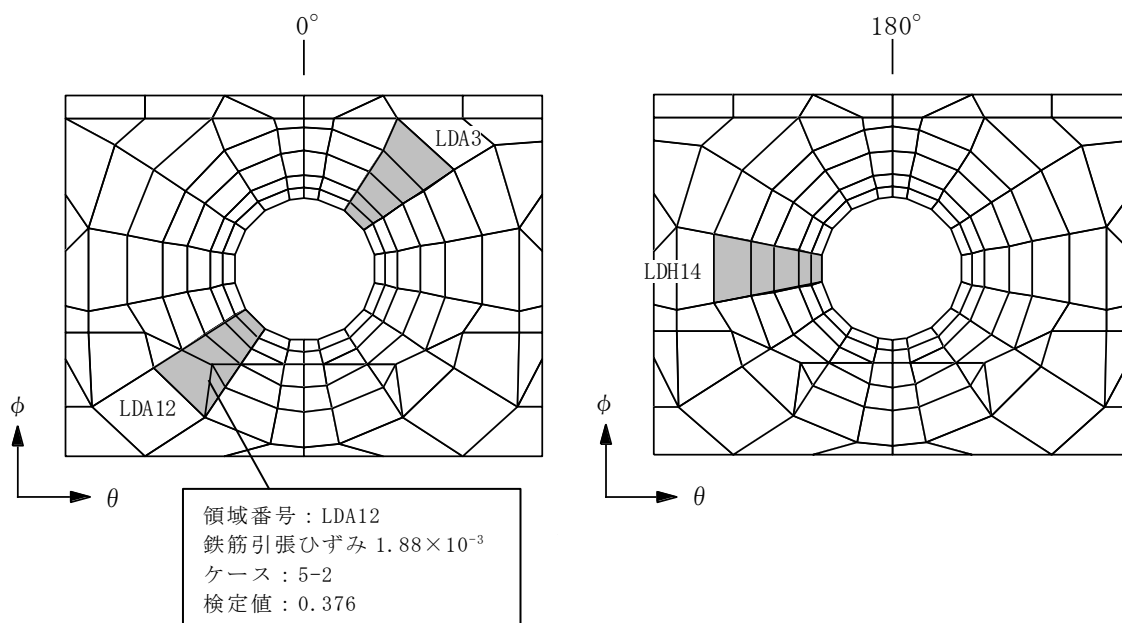
膜力及び曲げモーメントに対する断面の評価に用いるコンクリート及び鉄筋のひずみについては、材料の非線形特性を考慮して算定しているため、平均応力を用いず、各領域内で要素ごとに算定されたひずみの最大値を用いた評価を行っている。

それに対して、面外せん断力に対する断面の評価に用いる面外せん断力については、弾塑性解析においても材料の非線形特性を考慮できないことから、平均応力を用いた断面の評価を行っている。なお、応力解析モデルにおける開口の周辺は、シェル部厚の $1/2$ 程度以下の幅で詳細にモデル化している。このような場合には、開口の縁から適切な範囲での平均的な応力に対して構造の検討を実施することができると考えられる。

以上より、今回工認では荷重状態Ⅳ及びⅤに対する評価において弾塑性解析を採用しているものの、貫通部の断面の評価において CCV 規格における平均応力の規定を適用することは妥当である。



(a) 主蒸気配管及び給水配管開口



(b) 下部ドライウェルアクセストンネル開口

図 2-1 膜力及び曲げモーメント並びに面外せん断力に対する断面の評価の
検定値が最大となる領域及び断面の評価結果 (荷重状態IV及びV)

3. まとめ

RCCV の貫通部の断面の評価において、弾塑性解析を用いた評価を行う場合に、CCV 規格に基づき平均応力の規定を適用することの妥当性を確認した。

別紙 8 重大事故等時の高温による剛性低下の考え方

目 次

| | |
|-------------------------|--------|
| 1. 概要 | 別紙 8-1 |
| 2. 重大事故等時の高温による剛性低下の考え方 | 別紙 8-2 |
| 3. 先行審査実績との比較 | 別紙 8-4 |
| 4. まとめ | 別紙 8-6 |

1. 概要

原子炉格納容器コンクリート部の応力解析について、V-2-9-2-1「原子炉格納容器コンクリート部の耐震性についての計算書」（以下「耐震計算書」という。）では、重大事故等時の高温による剛性低下を考慮していない。一方、V-3-3-6-1-1-1「原子炉格納容器コンクリート部の強度計算書」（以下「強度計算書」という。）では、重大事故等時の高温による剛性低下を考慮している。本資料は、その考え方について示すものである。

2. 重大事故等時の高温による剛性低下の考え方

耐震計算書の「別紙 鉄筋コンクリート構造物の重大事故等時の高温による影響（原子炉格納容器コンクリート部）」において示しているとおり、重大事故等時の高温状態に対して鉄筋コンクリート構造物の強度及び剛性への影響が小さいことから、鉄筋コンクリート構造物においては剛性低下を考慮しないことを基本としている。

図2-1に重大事故等時の原子炉格納容器温度の変化を示す。原子炉格納容器気相部の温度は一時的に200℃を超えるが、構造健全性評価上考慮すべき壁面の温度は最高で約165℃である。

耐震計算書における温度の考え方は、「工事計画に係る説明資料（耐震性に関する説明書）」のうち「重大事故等対処施設の耐震設計における重大事故と地震の組合せについて」に示すとおり、事象発生後以降の最高となる壁面温度である約165℃を包絡する値として、限界圧力（0.62MPa）における飽和温度（約168℃）を考慮することとしている。

一方、強度計算書における温度の考え方は、V-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」において示している。重大事故等時の原子炉格納容器の放射性物質閉じ込め機能の確認を行うために、評価温度として設定しており、その温度は、産業界でシビアアクシデント時の原子炉格納容器の耐性の指標として用いられている200℃としている。この温度は、耐震計算書における温度の考え方を踏まえると、実現象を超えた保守的な設定値となっていると言える。

以上より、鉄筋コンクリート構造物においては剛性低下を考慮しないことが基本であるが、強度計算書においては、実現象を超えた評価温度として高い値を設定していることから、重大事故等時の温度影響を確認する観点から剛性低下を考慮することとしている。

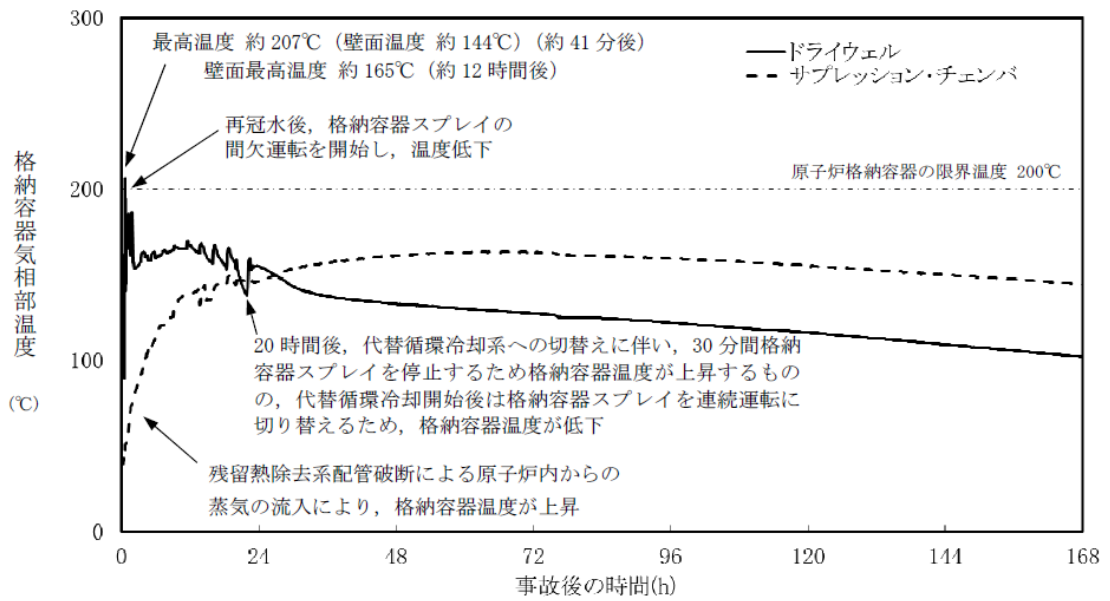


図 2-1 重大事故等時の原子炉格納容器温度の変化

(V-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」より引用)

3. 先行審査実績との比較

耐震計算書及び強度計算書における重大事故等時の剛性低下についての先行審査実績との比較を表 3-1 に示す。なお、比較対象は、原子炉格納容器がコンクリート製原子炉格納容器である大飯 3/4 号と、BWR の最新審査実績である東海第二とした。

耐震計算書において剛性低下を考慮せず、強度計算書において剛性低下を考慮するという考え方は、柏崎刈羽 7 号と整合していることが確認できる。

表 3-1 先行審査実績との比較

| | | 大飯 3/4 号 | 東海第二 | 柏崎刈羽 7 号 |
|-------------|-------------------|----------|---------|----------|
| 耐震計算書*1, *2 | 剛性低下の考慮 | 考慮していない | 考慮していない | 考慮していない |
| 強度計算書*3, *4 | 剛性低下の考慮 | 考慮している | 考慮している | 考慮している |
| | 原子炉格納容器内の 評価温度 | 200℃ | 200℃ | 200℃ |

注記*1：大飯 3/4 号については，資料 13-17-7-5-1「原子炉格納容器の耐震計算書(コンクリート部)」を指す。

*2：東海第二については，V-2-9-2-2「原子炉格納容器底部コンクリートマットの耐震性についての計算書」を指す。

*3：大飯 3/4 号については，資料 36 別添 1「原子炉格納容器 重大事故等時の閉じ込め機能健全性について」を指す。大飯 3/4 号の資料 14-3-6「重大事故等クラス 2 容器の強度計算書」においては，資料 36 別添 1「原子炉格納容器 重大事故等時の閉じ込め機能健全性について」を引用している。

*4：東海第二については，V-3-9-1-1-7「原子炉格納容器底部コンクリートマットの強度計算書」を指す。

注：大飯 3/4 号及び東海第二の欄の記載内容については，公開資料を基に解釈したものである。

4. まとめ

原子炉格納容器コンクリート部の応力解析について，重大事故等時の高温による剛性低下を，耐震計算書では考慮せず，強度計算書では考慮することの考え方を整理した上で，先行審査実績との整合性を確認した。

別紙9 床スラブによる拘束条件に対する補助壁等の影響

目 次

| | |
|---------------------------------|---------|
| 1. 概要 | 別紙 9-1 |
| 2. 床スラブによる拘束条件に対する補助壁等の影響 | 別紙 9-2 |
| 2.1 床スラブの拘束効果の変動による感度解析 | 別紙 9-2 |
| 2.1.1 検討方法 | 別紙 9-2 |
| 2.1.2 検討ケース | 別紙 9-3 |
| 2.1.3 検討結果 | 別紙 9-4 |
| 2.2 補助壁等による床スラブの拘束効果への影響 | 別紙 9-5 |
| 2.2.1 既工認時の検討 | 別紙 9-5 |
| 2.2.2 検討方法 | 別紙 9-7 |
| 2.2.3 検討結果 | 別紙 9-12 |
| 3. まとめ | 別紙 9-16 |

1. 概要

原子炉格納容器コンクリート部（以下「RCCV」という。）の応力解析では，RCCVに取り付く床スラブの剛性による拘束効果を考慮している。本資料は，床スラブの剛性について，コンクリート強度のばらつきや補助壁等の考慮により拘束効果が大きくなった場合に，RCCVの評価結果に与える影響を検討するものである。

まず，RCCVの応力解析において，RCCVに対して床スラブの剛性が極端に大きくなった場合を想定した感度解析を実施し，評価結果に与える影響が小さいことを確認する。次に，補助壁等の考慮の有無による床スラブの拘束効果の変動を確認し，その変動が上記の感度解析で考慮した変動に比べて小さいことを確認する。

2. 床スラブによる拘束条件に対する補助壁等の影響

2.1 床スラブの拘束効果の変動による感度解析

2.1.1 検討方法

感度解析は、図 2-1 に示す RCCV の応力解析モデルと同一のモデルを用いて、床スラブによる拘束効果として考慮しているロッド要素及びはり要素の剛性のみを変更した弾塑性応力解析として実施する。

床スラブの剛性の変動は、コンクリート強度を 43.1N/mm^2 (ヤング係数 $2.88 \times 10^4\text{N/mm}^2$) から実機のコア平均の強度 55.7N/mm^2 (ヤング係数 $3.27 \times 10^4\text{N/mm}^2$) にすることで考慮し、ヤング係数比で約 14%大きくする。実際には RCCV と床スラブのコンクリートが同一であることを踏まえると、このような拘束効果の変動は生じないものと考えられるが、床スラブに加えて RCCV のコンクリート強度も大きくする場合、両者の剛性が同等となり、解析結果の差が小さくなると予測され、拘束効果及び評価結果に与える影響の把握には適さないと考えられるため、RCCV の剛性に対して床スラブの剛性が極端に大きくなるように、RCCV のコンクリート強度は変更しないこととする。

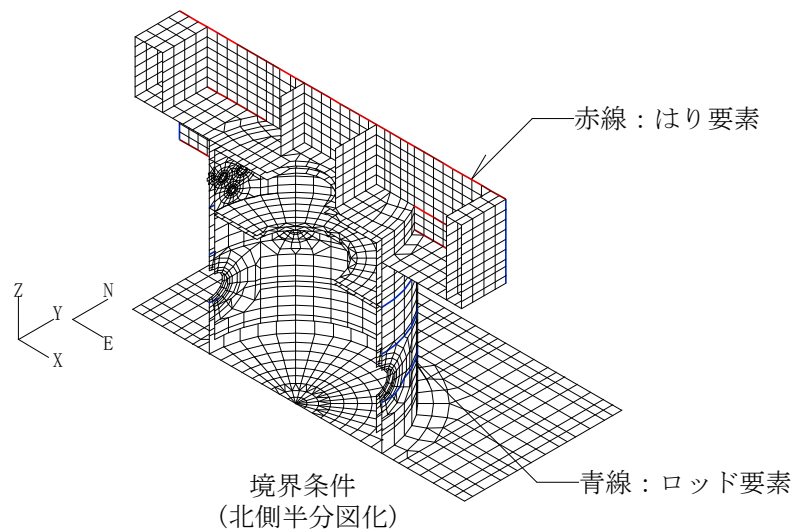


図 2-1 RCCV の応力解析モデル

2.1.2 検討ケース

表 2-1 に弾塑性解析による RCCV の評価における検定値一覧を示す。検討用の組合せケースは、RCCV に対する床スラブの拘束効果の影響が大きいと考えられるシェル部及び局部で検定値が最も大きい組合せケース No. 3-6（荷重状態Ⅳ・地震時（2）、水平 1.0、W→E 方向、鉛直下向き）とする。

表 2-1 弾塑性解析による RCCV の評価における検定値一覧

| 評価項目 | | シェル部 | トップ スラブ部 | 底部 | 貫通部 | 局部 |
|------------------------|-----------------|----------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|
| 等価膜力*1 + 曲げモーメント | コンクリート 圧縮ひずみ | 0.255 (6-1) | 0.105 (5-9) | 0.160 (6-2) | 0.325 (6-6) | 0.158 (5-4) |
| | 鉄筋ひずみ | 0.218 (6-4) | 0.162 (5-12) | 0.080 (6-1) | 0.376 (5-2) | 0.176 (5-3) |
| 膜力 | 圧縮応力度 | 0.739 (6-1) | — | — | — | 0.250 (3-15) |
| 面内せん断力 | 面内せん断 応力度 | 0.698 (3-5) | — | — | — | 0.541 (3-3) |
| 面外せん断力 | 面外せん断 応力度 | 0.514 (5-4) | 0.897 (6-3) | 0.832*2 (3-2) | 0.894*2 (5-3) | 0.967 (3-6) |

注 1：（）内は検定値に対応する組合せケース No. を示す。

注 2：■ は、シェル部及び局部で最大の検定値を示す。

注記*1：トップスラブ部及び底部では軸力+曲げモーメントを示す。

*2：応力平均化後の値を示す。

2.1.3 検討結果

表 2-2 に影響検討における検定値一覧を示す。コンクリート強度による床スラブの拘束効果の変動としてヤング係数比で約 14%の増加を考慮したが、各評価項目に対して剛性の変更前後で検定値の変化はほとんどなく、検定値は 1.0 以下である。したがって、床スラブの拘束効果の変動が RCCV の評価結果に与える影響は小さいと考えられる。

表 2-2 影響検討における検定値一覧（組合せケース No. 3-6）

(a) 剛性変更前

| 評価項目 | | シェル部 | トップスラブ部 | 底部 | 貫通部 | 局部 |
|------------------------------------|-----------------|-------|---------|-------|---------------------|-------|
| 等価膜力* ¹ + 曲げモーメント | コンクリート 圧縮ひずみ | 0.163 | 0.050 | 0.054 | 0.280 | 0.070 |
| | 鉄筋ひずみ | 0.085 | 0.026 | 0.021 | 0.165 | 0.028 |
| 膜力 | 圧縮応力度 | 0.571 | — | — | — | 0.191 |
| 面内せん断力 | 面内せん断 応力度 | 0.602 | — | — | — | 0.330 |
| 面外せん断力 | 面外せん断 応力度 | 0.344 | 0.599 | 0.708 | 0.480* ² | 0.967 |

注記*1：トップスラブ部及び底部では軸力+曲げモーメントを示す。

*2：応力平均化後の値を示す。

(b) 剛性変更後

| 評価項目 | | シェル部 | トップスラブ部 | 底部 | 貫通部 | 局部 |
|------------------------------------|-----------------|-------|---------|-------|---------------------|-------|
| 等価膜力* ¹ + 曲げモーメント | コンクリート 圧縮ひずみ | 0.162 | 0.049 | 0.054 | 0.279 | 0.068 |
| | 鉄筋ひずみ | 0.085 | 0.025 | 0.021 | 0.164 | 0.027 |
| 膜力 | 圧縮応力度 | 0.571 | — | — | — | 0.192 |
| 面内せん断力 | 面内せん断 応力度 | 0.600 | — | — | — | 0.332 |
| 面外せん断力 | 面外せん断 応力度 | 0.345 | 0.593 | 0.708 | 0.480* ² | 0.964 |

注記*1：トップスラブ部及び底部では軸力+曲げモーメントを示す。

*2：応力平均化後の値を示す。

2.2 補助壁等による床スラブの拘束効果への影響

2.2.1 既工認時の検討

RCCV の応力解析モデルにおいて、RCCV に取り付く床スラブは、その円周方向の剛性により、RCCV が圧力等を受けた場合の半径方向の変位を拘束するロッド要素として考慮している。ロッド要素の円周方向剛性は、図 2-2 に示すように内圧を作用させた場合の半径方向の変位が、床スラブを面積が等価な穴あき円盤に置換した場合の変位と同一になるように既工認時から設定している。

また、既工認時においては、構造が類似した第 6 号機と併せて、図 2-3 に示すように床スラブをシェル要素、外壁をはり要素でモデル化した FEM 解析による床スラブの半径方向ばね剛性と、穴あき円盤の半径方向ばね剛性がほぼ等しいことにより、ロッド要素の妥当性を確認している。表 2-3 に、半径方向のばね剛性の比較を示す。表に示すように、外壁等の影響による拘束効果の変動は約 5~9% である。

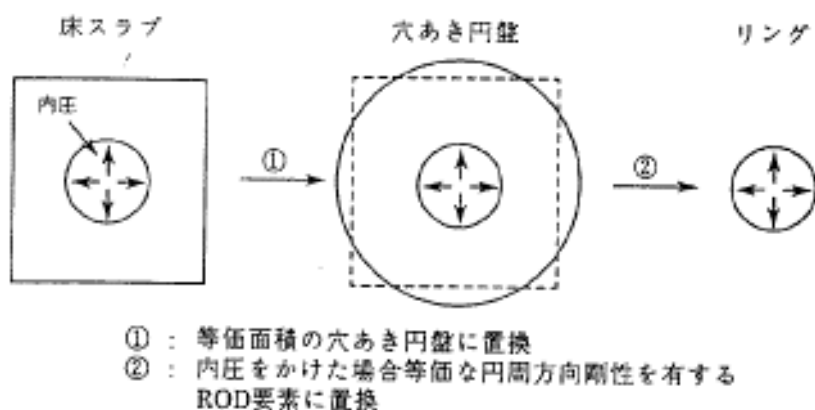


図 2-2 RCCV に取り付く床スラブのロッド要素への置換方法

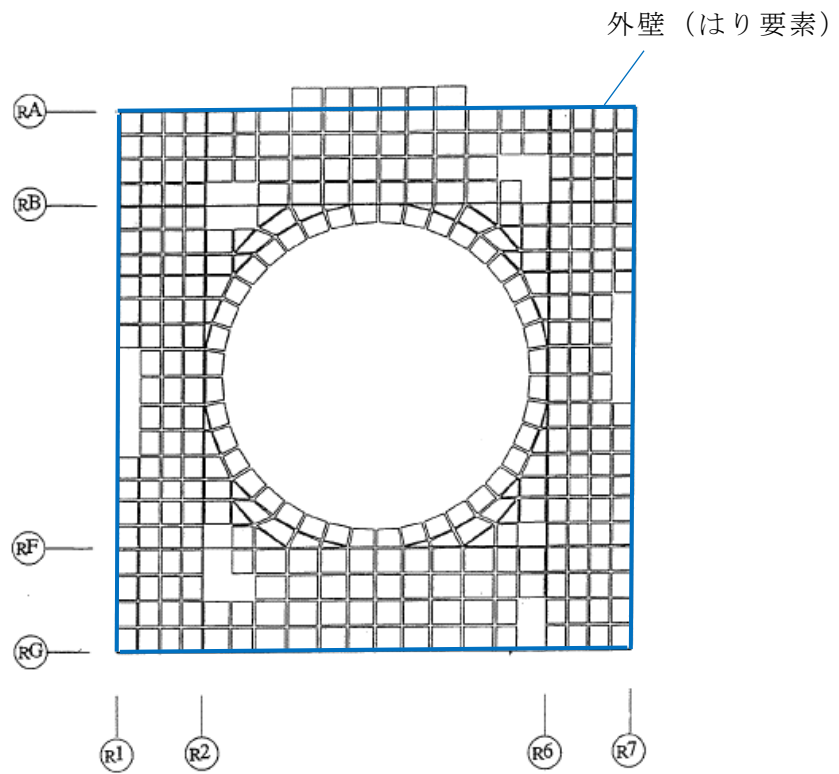


図 2-3 既工認時の FEM 解析モデル (1 階, T.M.S.L. 12.3m)

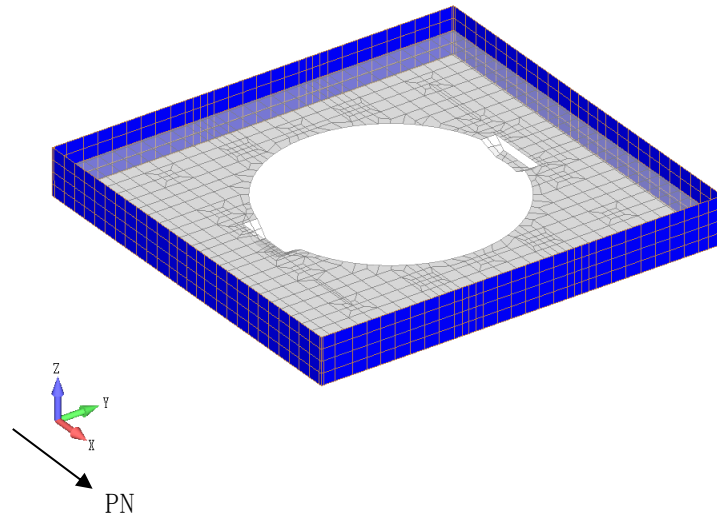
表 2-3 半径方向ばね剛性の比較

| | ①FEM 解析 ($\times 10^4 \text{t/m}$) | ②円盤置換 ($\times 10^4 \text{t/m}$) | ②/① |
|--------|---|---------------------------------------|------|
| 第 6 号機 | 8.737 | 8.313 | 0.95 |
| 第 7 号機 | 9.235 | 8.367 | 0.91 |

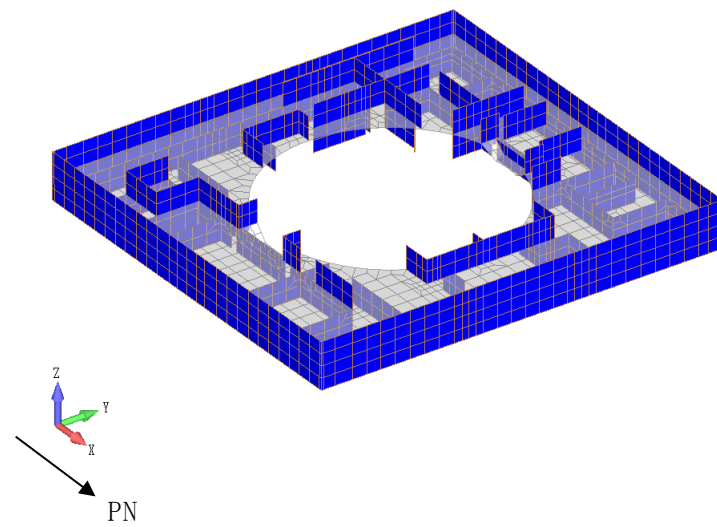
2.2.2 検討方法

今回工認では、RCCV に取り付く床スラブについて、既工認時に外壁を考慮した FEM モデルにより剛性の妥当性を確認していたことを考慮し、補助壁及び中間壁の考慮の有無が拘束効果に与える影響を確認する。具体的には、各階を取り出した床スラブの補助壁及び中間壁がない場合とある場合の FEM モデルを作成し、RCCV 側から半径方向の単位荷重を入力した弾性応力解析を実施し、半径方向の変位の比較を行う。

図 2-4～図 2-6 に各階床スラブの FEM モデルを示す。床スラブから立ち上がる外壁、補助壁及び中間壁のモデル化範囲は、上下階の中心間の高さまでとする。材料物性については、ヤング係数を $2.88 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ 、ポアソン比を 0.2 としている。境界条件については、壁の上下端の節点及び RCCV 外周の節点を鉛直方向固定としている。入力荷重については、 1.0kN/m の単位荷重を床スラブの最内周節点の支配長さに応じた節点荷重として、半径方向に作用させる。図 2-7 に入力荷重図の例を示す。

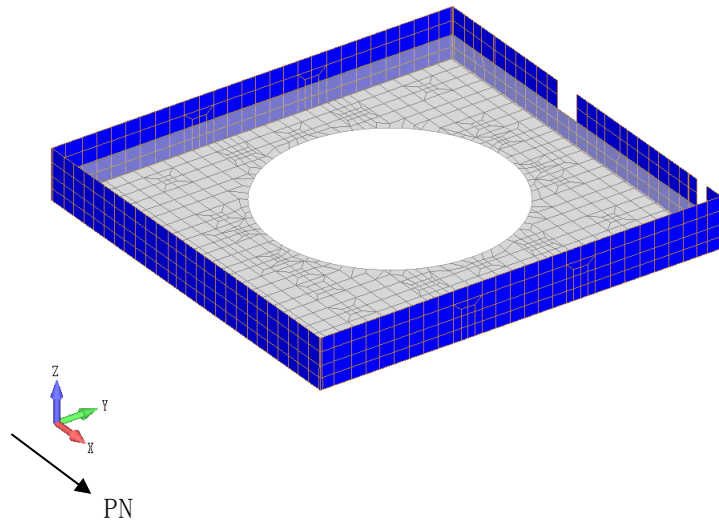


(a) 補助壁及び中間壁がない場合

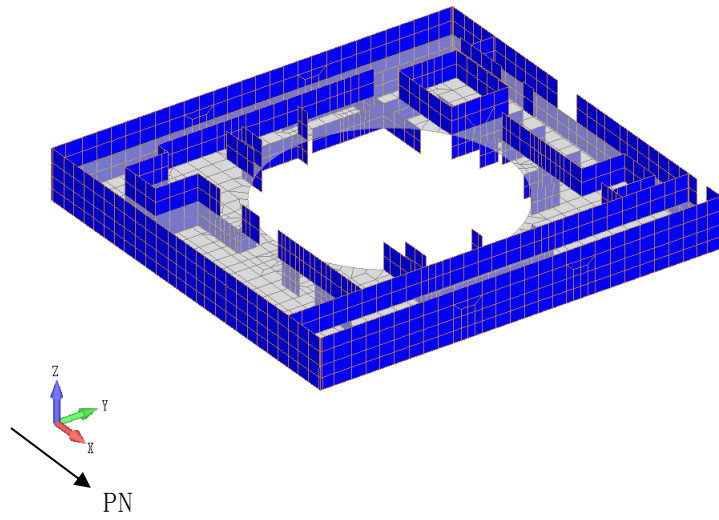


(b) 補助壁及び中間壁がある場合

図 2-4 地下 2 階床スラブの FEM モデル (T. M. S. L. -1.7m)

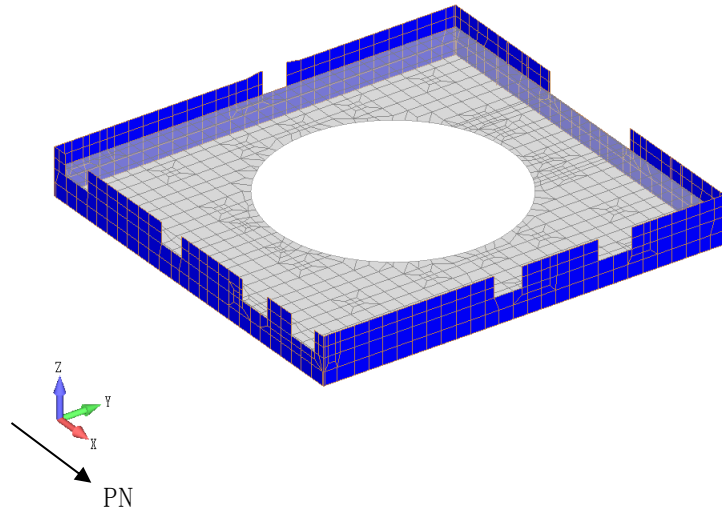


(a) 補助壁及び中間壁がない場合

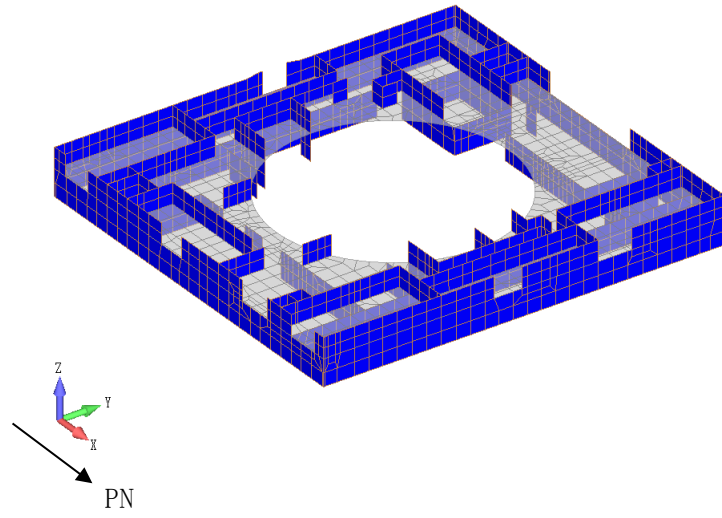


(b) 補助壁及び中間壁がある場合

図 2-5 地下 1 階床スラブの FEM モデル (T. M. S. L. 4.8m)



(a) 補助壁及び中間壁がない場合



(b) 補助壁及び中間壁がある場合

図 2-6 1階床スラブの FEM モデル (T. M. S. L. 12. 3m)

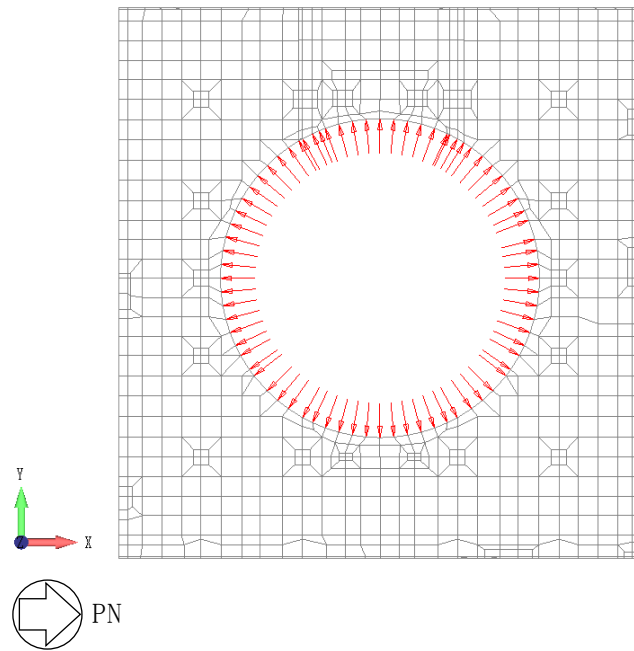


図 2-7 入力荷重図の例 (1 階床スラブ)

2.2.3 検討結果

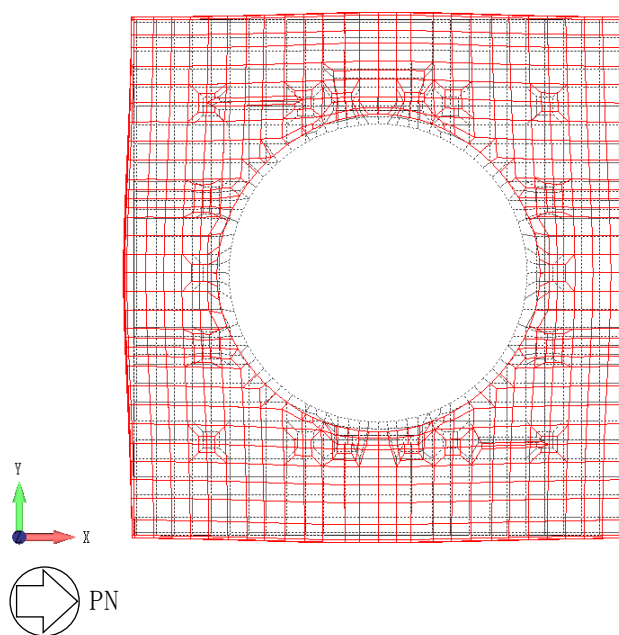
表 2-4 に半径方向変位の比較を示す。ここで、半径方向変位は、図 2-8～図 2-10 の変形図に示すように、床スラブの最内周節点の半径方向変位の分布はほぼ均等となっていることから、各階床スラブの最内周節点の半径方向変位の平均値としている。表に示すように補助壁及び中間壁がない場合とある場合で半径方向変位に大きな差がなく、拘束効果は約 5% の増大となっており、補助壁及び中間壁の影響は小さいと考えられる。これは、補助壁及び中間壁の拘束効果に寄与する剛性が、床スラブ自体の面内剛性に比べて小さいためと考えられる。

表 2-4 半径方向変位の比較

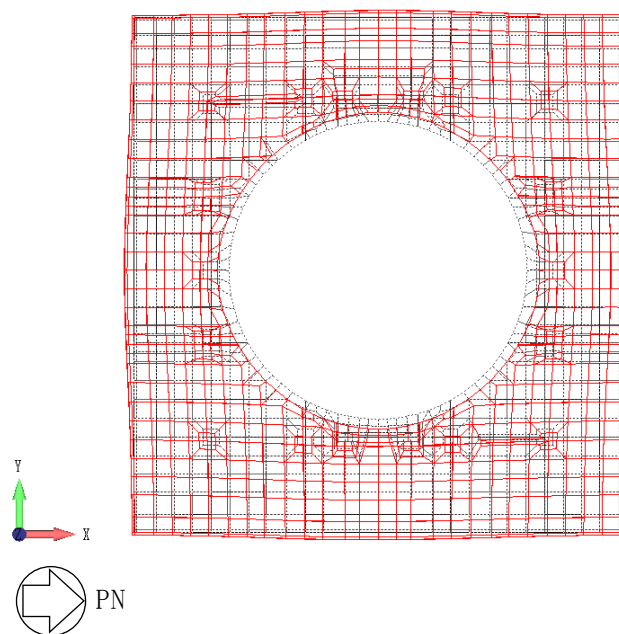
| フロア | ① 補助壁及び 中間壁がない場合 ($\times 10^{-6}\text{m}$) | ② 補助壁及び 中間壁がある場合 ($\times 10^{-6}\text{m}$) | 比率 (②/①) |
|-------------------------------|--|--|-------------|
| 1 階 (T. M. S. L. 12.3m) | 0.921 | 0.873 | 0.95 |
| 地下 1 階 (T. M. S. L. 4.8m) | 1.16 | 1.10 | 0.95 |
| 地下 2 階 (T. M. S. L. -1.7m) | 1.11 | 1.05 | 0.95 |

黒破線：変形前

赤実線：変形後



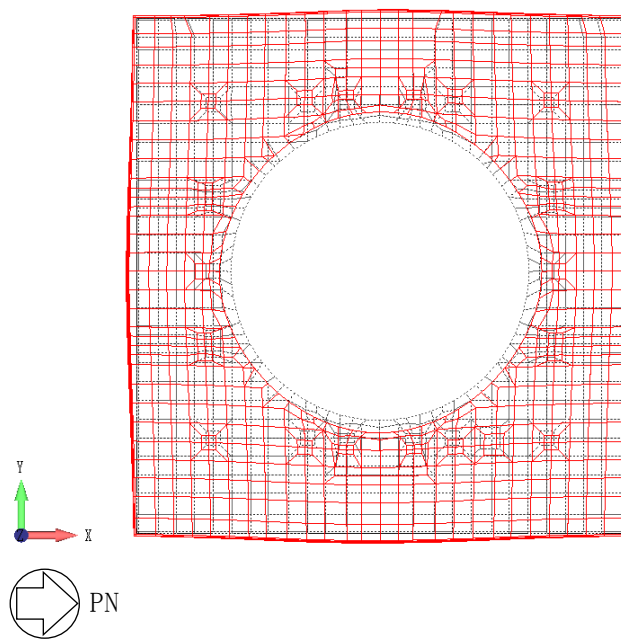
(a) 補助壁及び中間壁がない場合



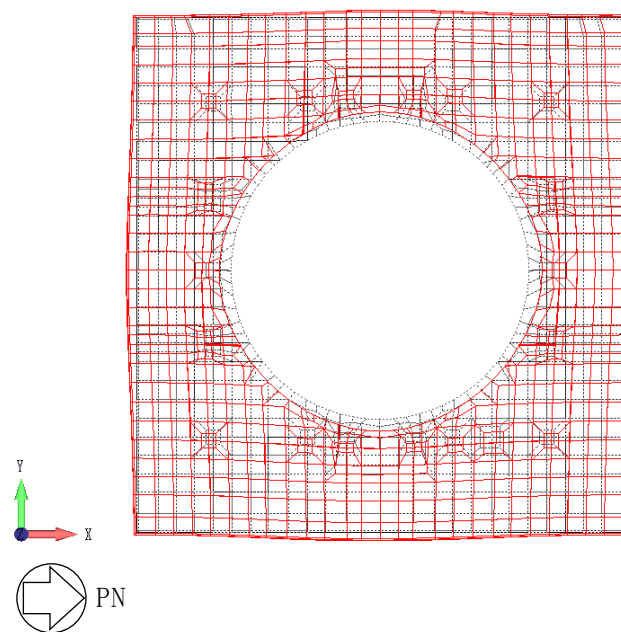
(b) 補助壁及び中間壁がある場合

図 2-8 地下 2 階床スラブの変形図 (T. M. S. L. -1.7m)

黒破線：変形前
赤実線：変形後



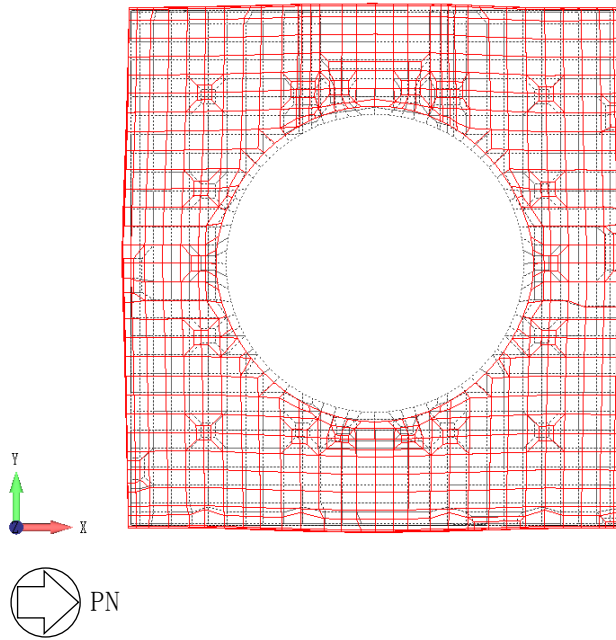
(a) 補助壁及び中間壁がない場合



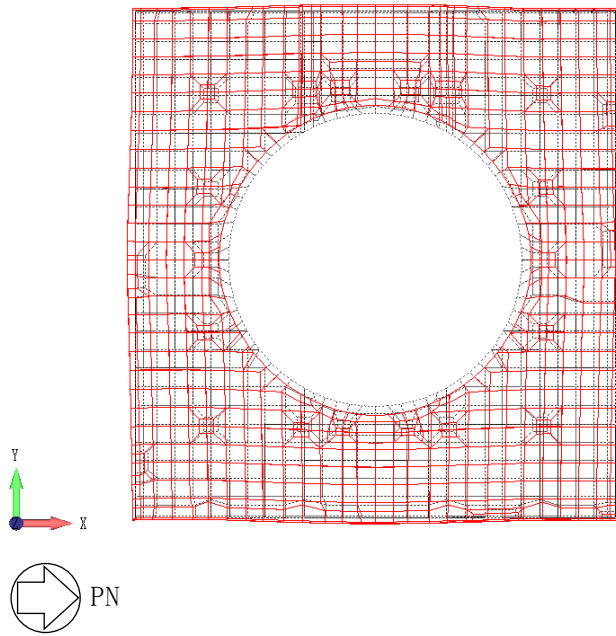
(b) 補助壁及び中間壁がある場合

図 2-9 地下 1 階床スラブの変形図 (T. M. S. L. 4.8m)

黒破線：変形前
赤実線：変形後



(a) 補助壁及び中間壁がない場合



(b) 補助壁及び中間壁がある場合

図 2-10 1階床スラブの変形図 (T. M. S. L. 12. 3m)

3. まとめ

RCCV の応力解析において、RCCV に取り付く床スラブの拘束効果がコンクリート強度のばらつきや補助壁等の考慮により大きくなった場合に、RCCV の評価結果に与える影響を検討した。

2.1 では、コンクリート強度による床スラブの拘束効果の変動として、床スラブのコンクリート強度を大きくし、RCCV に対してヤング係数比で約 14% 増加させた感度解析を、床スラブの拘束効果の影響が大きいと考えられる RCCV シェル部及び局部で検定値が最も大きいケースについて実施した。解析の結果、検定値の変化はほとんどないことから、床スラブの拘束効果の変動が評価結果に与える影響が小さいことを確認した。

2.2 では、補助壁等による床スラブの拘束効果の変動は、外壁等により約 5~9%、補助壁及び中間壁により約 5% となり、小さいことを確認した。

以上より、床スラブの拘束効果の変動は、外壁等と補助壁及び中間壁で併せて約 10~14% となり、2.1 における感度解析で考慮した変動と同程度であることから、2.1 で床スラブの拘束効果の変動による感度が小さかったことを踏まえると、補助壁等による床スラブの拘束効果の変動が評価結果に与える影響も小さいと考えられる。