

柏崎刈羽原子力発電所第6号機 設計及び工事計画審査資料	
資料番号	KK6 補足-026-11 改1
提出年月日	2024年2月6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

2024年2月  
東京電力ホールディングス株式会社

1. 設計及び工事計画添付書類に係る補足説明資料

VI-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。なお、応力解析には解析コード「MSC NASTRAN」及び「ABAQUS」を用いる。

別紙 1 応力解析における既工認と今回設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

: 今回提出範囲

## 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は、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 RCCV 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。

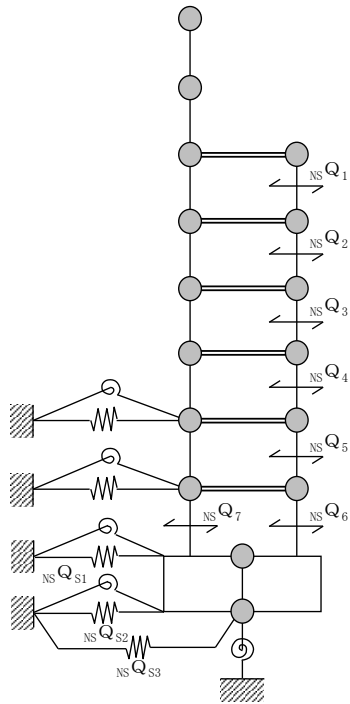
以上より、基礎スラブモデル部分においては、地震応答解析モデル及び応力解析モデ

ル両者に、基礎スラブ底面地盤ばねに加え基礎スラブ側面水平・回転地盤ばねを設定しており、また、FEM モデルへの地震荷重の入力には基礎スラブ底面地盤ばね及び基礎スラブ側面水平・回転地盤ばねからの反力の合算値を用いている。したがって、地震応答解析で生じる基礎スラブ底面地盤ばね及び基礎スラブ側面水平・回転地盤ばねからの反力を考慮した地震荷重の設定となっている。

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、せん断力、曲げモーメント及びせん断力により発生する付加曲げモーメントを考慮し、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。



■ 上部構造モデル部分に入力する水平力  ${}_{NS}P$  の算出

$$\begin{aligned} {}_{NS}P_1 &= {}_{NS}Q_1 \quad \dots\dots\dots (2. 1) \\ {}_{NS}P_2 &= {}_{NS}Q_2 - {}_{NS}Q_1 \quad \dots\dots\dots (2. 2) \\ {}_{NS}P_3 &= {}_{NS}Q_3 - {}_{NS}Q_2 \quad \dots\dots\dots (2. 3) \\ {}_{NS}P_4 &= {}_{NS}Q_4 - {}_{NS}Q_3 \quad \dots\dots\dots (2. 4) \\ {}_{NS}P_5 &= {}_{NS}Q_5 - {}_{NS}Q_4 \quad \dots\dots\dots (2. 5) \\ {}_{NS}P_6 &= {}_{NS}Q_6 - {}_{NS}Q_5 \quad \dots\dots\dots (2. 6) \end{aligned}$$

${}_{NS}P_i$  : FEM モデルに入力する水平力  
 ${}_{NS}Q_i$  : 地震応答解析による最大応答せん断力

■ 基礎スラブモデル部分に入力する付加せん断力  ${}_{NS}P_B$  の算出

$${}_{NS}P_B = {}_{NS}Q_{S1} + {}_{NS}Q_{S2} + {}_{NS}Q_{S3} - ({}_{NS}Q_6 + {}_{NS}Q_7) \quad \dots\dots\dots (2. 7)$$

${}_{NS}P_B$  : 基礎スラブ部分の FEM モデルに入力する付加せん断力  
 ${}_{NS}Q_{S1}$  : 地震応答解析より設定した基礎スラブ側面上端の水平地盤ばねに生じる水平力  
 ${}_{NS}Q_{S2}$  : 地震応答解析より設定した基礎スラブ側面下端の水平地盤ばねに生じる水平力  
 ${}_{NS}Q_{S3}$  : 地震応答解析より設定した基礎スラブ底面の水平地盤ばねに生じる水平力

(a) 水平地震力 (NS 方向)

■ 上部構造モデル部分に入力する曲げモーメント  ${}_{NS}M''$  の算出

$$\begin{aligned} {}_{NS}M''_1 &= {}_{NS}M_1 - {}_{NS}M'_1 \quad \dots\dots\dots (2. 8) \\ {}_{NS}M''_2 &= {}_{NS}M_2 - ({}_{NS}M'_2 + {}_{NS}M''_1) \quad \dots\dots\dots (2. 9) \\ {}_{NS}M''_3 &= {}_{NS}M_3 - ({}_{NS}M'_3 + {}_{NS}M''_2) \quad \dots\dots\dots (2. 10) \\ {}_{NS}M''_4 &= {}_{NS}M_4 - ({}_{NS}M'_4 + {}_{NS}M''_3) \quad \dots\dots\dots (2. 11) \\ {}_{NS}M''_5 &= {}_{NS}M_5 - ({}_{NS}M'_5 + {}_{NS}M''_4) \quad \dots\dots\dots (2. 12) \\ {}_{NS}M''_6 &= {}_{NS}M_6 - ({}_{NS}M'_6 + {}_{NS}M''_5) \quad \dots\dots\dots (2. 13) \end{aligned}$$

${}_{NS}M''_i$  : FEM モデルに入力する曲げモーメント  
 ${}_{NS}M'_i$  : 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  
 ${}_{NS}M_i$  : 地震応答解析による最大応答曲げモーメント

■ 基礎スラブモデル部分に入力する付加曲げモーメント  ${}_{NS}M_B$  の算出

$${}_{NS}M_B = {}_{NS}M_{S1} + {}_{NS}M_{S2} + {}_{NS}M_{S3} - \{ {}_{NS}M_6 + {}_{NS}M_7 + (D/2) ({}_{NS}Q_6 + {}_{NS}Q_7) \} \quad \dots\dots\dots (2. 14)$$

${}_{NS}M_B$  : 基礎スラブ部分の FEM モデルに入力する付加曲げモーメント  
 ${}_{NS}M_{S1}$  : 地震応答解析より設定した基礎スラブ側面上端の側面地盤回転ばねに生じる曲げモーメント  
 ${}_{NS}M_{S2}$  : 地震応答解析より設定した基礎スラブ側面下端の側面地盤回転ばねに生じる曲げモーメント  
 ${}_{NS}M_{S3}$  : 地震応答解析より設定した基礎スラブ底面地盤回転ばねに生じる曲げモーメント  
 $D$  : 基礎スラブ厚

(b) 曲げモーメント (NS 方向)

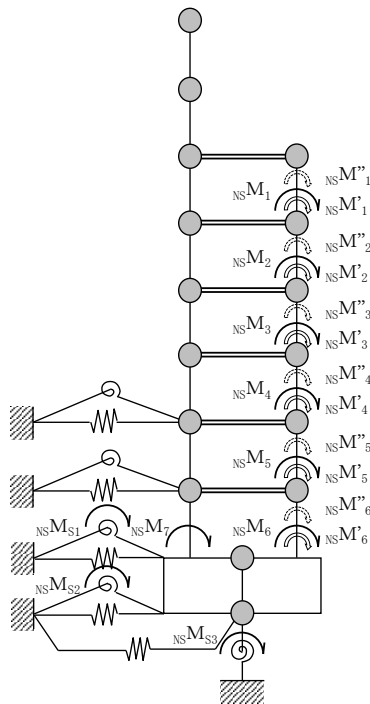
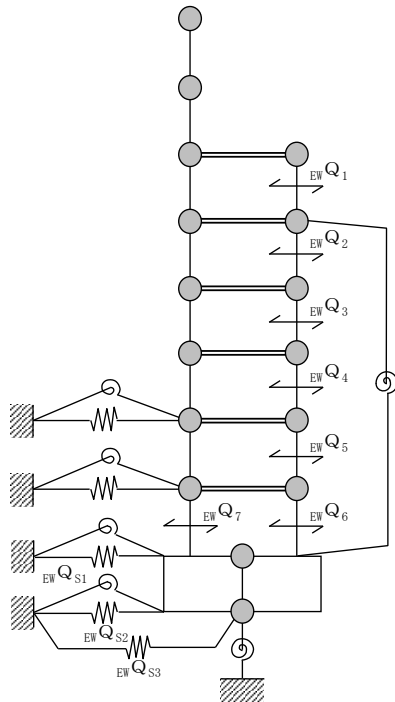


図 2-1 FEM モデルに入力する地震荷重の概念図 (1/3)





■ 上部構造モデル部分に入力する水平力  $EW P$  の算出

$$EW P_1 = EW Q_1 \dots\dots\dots (2. 15)$$

$$EW P_2 = EW Q_2 - EW Q_1 \dots\dots\dots (2. 16)$$

$$EW P_3 = EW Q_3 - EW Q_2 \dots\dots\dots (2. 17)$$

$$EW P_4 = EW Q_4 - EW Q_3 \dots\dots\dots (2. 18)$$

$$EW P_5 = EW Q_5 - EW Q_4 \dots\dots\dots (2. 19)$$

$$EW P_6 = EW Q_6 - EW Q_5 \dots\dots\dots (2. 20)$$

$EW P_i$  : FEM モデルに入力する水平力

$EW Q_i$  : 地震応答解析による最大応答せん断力

■ 基礎スラブモデル部分に入力する付加せん断力  $EW P_B$  の算出

$$EW P_B = EW Q_{S1} + EW Q_{S2} + EW Q_{S3} - (EW Q_6 + EW Q_7) \dots\dots\dots (2. 21)$$

$EW P_B$  : 基礎スラブ部分の FEM モデルに入力する付加せん断力

$EW Q_{S1}$  : 地震応答解析より設定した基礎スラブ側面上端の水平地盤ばねに生じる水平力

$EW Q_{S2}$  : 地震応答解析より設定した基礎スラブ側面下端の水平地盤ばねに生じる水平力

$EW Q_{S3}$  : 地震応答解析より設定した基礎スラブ底面の水平地盤ばねに生じる水平力

(c) 水平地震力 (EW 方向)

■ 上部構造モデル部分に入力する曲げモーメント  $EW M''$  の算出

$$EW M''_1 = EW M_1 - EW M'_1 \dots\dots\dots (2. 22)$$

$$EW M''_2 = EW M_2 - (EW M'_2 + EW M''_1) \dots\dots\dots (2. 23)$$

$$EW M''_3 = EW M_3 - (EW M'_3 + EW M''_2) \dots\dots\dots (2. 24)$$

$$EW M''_4 = EW M_4 - (EW M'_4 + EW M''_3) \dots\dots\dots (2. 25)$$

$$EW M''_5 = EW M_5 - (EW M'_5 + EW M''_4) \dots\dots\dots (2. 26)$$

$$EW M''_6 = EW M_6 - (EW M'_6 + EW M''_5) \dots\dots\dots (2. 27)$$

$EW M''_i$  : FEM モデルに入力する曲げモーメント

$EW M'_i$  : 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

$EW M_i$  : 地震応答解析による最大応答曲げモーメント

■ 基礎スラブモデル部分に入力する付加曲げモーメント  $EW M_B$  の算出

$$EW M_B = EW M_{S1} + EW M_{S2} + EW M_{S3} - \{EW M_6 + EW M_7 + EW M_\theta + (D/2)(EW Q_6 + EW Q_7)\} \dots\dots (2. 28)$$

$EW M_B$  : 基礎スラブ部分の FEM モデルに入力する付加曲げモーメント

$EW M_{S1}$  : 地震応答解析より設定した基礎スラブ側面上端の側面地盤回転ばねに生じる曲げモーメント

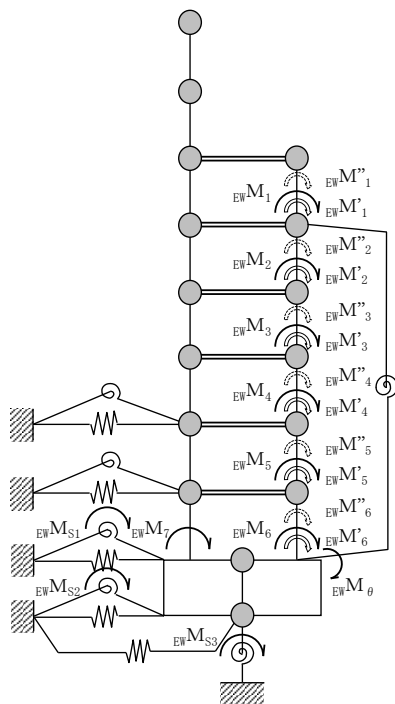
$EW M_{S2}$  : 地震応答解析より設定した基礎スラブ側面下端の側面地盤回転ばねに生じる曲げモーメント

$EW M_{S3}$  : 地震応答解析より設定した基礎スラブ底面地盤回転ばねに生じる曲げモーメント

$EW M_\theta$  : 地震応答解析より設定した RCCV 回転ばねに生じる曲げモーメント\*

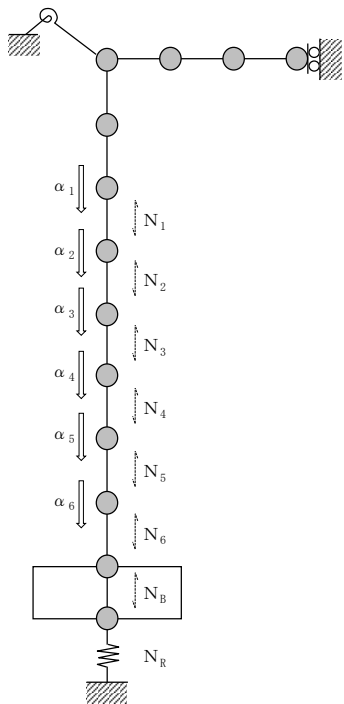
D : 基礎スラブ厚

注記\* : RCCV 回転ばねによる曲げモーメントは、基礎スラブ外壁脚部に節点荷重として考慮する。



(d) 曲げモーメント (EW 方向)

図 2-1 FEM モデルに入力する地震荷重の概念図 (2/3)



■ 上部構造モデル部分に入力する鉛直力Nの算出

$$N_1 = \alpha_1 \cdot m_1 \quad \dots \dots \dots (2. 29)$$

$$N_2 = \alpha_2 \cdot m_2 \quad \dots \dots \dots (2. 30)$$

$$N_3 = \alpha_3 \cdot m_3 \quad \dots \dots \dots (2. 31)$$

$$N_4 = \alpha_4 \cdot m_4 \quad \dots \dots \dots (2. 32)$$

$$N_5 = \alpha_5 \cdot m_5 \quad \dots \dots \dots (2. 33)$$

$$N_6 = \alpha_6 \cdot m_6 \quad \dots \dots \dots (2. 34)$$

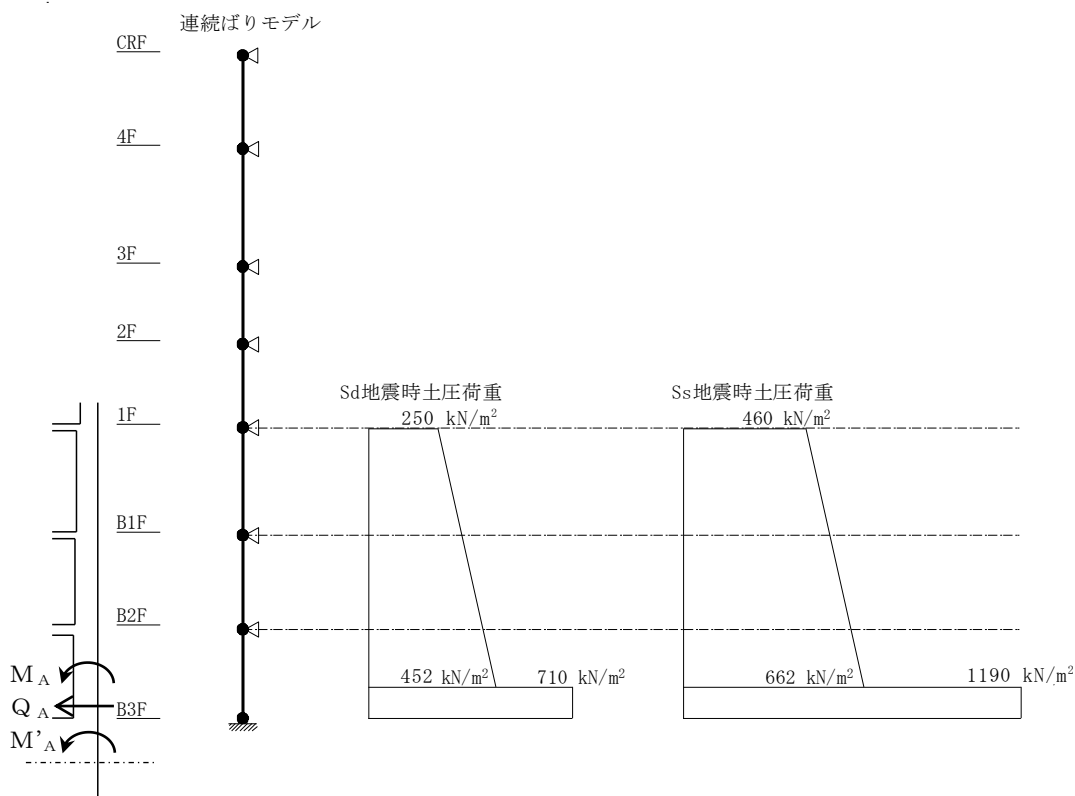
$N_i$  : FEM モデルに入力する鉛直力  
 $\alpha_i$  : 地震応答解析より設定した鉛直震度  
 $m_i$  : FEM モデルの各節点の支配重量

■ 基礎スラブモデル部分に入力する付加軸力NBの算出

$$N_B = N_R - N_6 \quad \dots \dots \dots (2. 35)$$

$N_B$  : 基礎スラブ部分の FEM モデルに入力する付加軸力  
 $N_R$  : 地震応答解析より設定した基礎スラブ底面の地盤ばねに生じる鉛直力

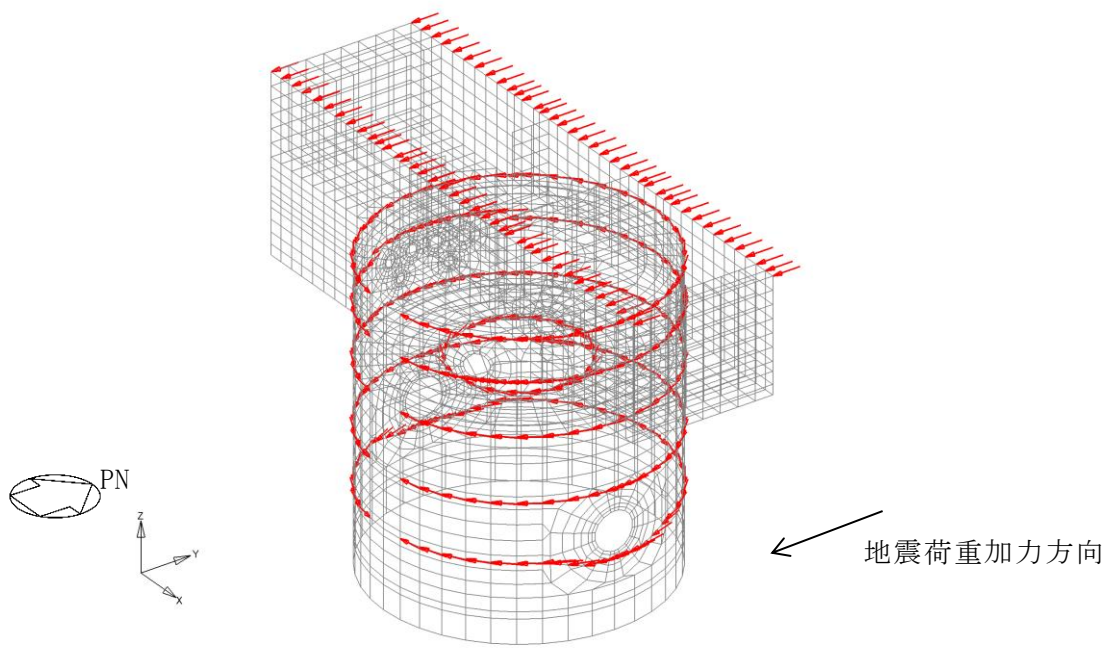
(e) 鉛直地震力



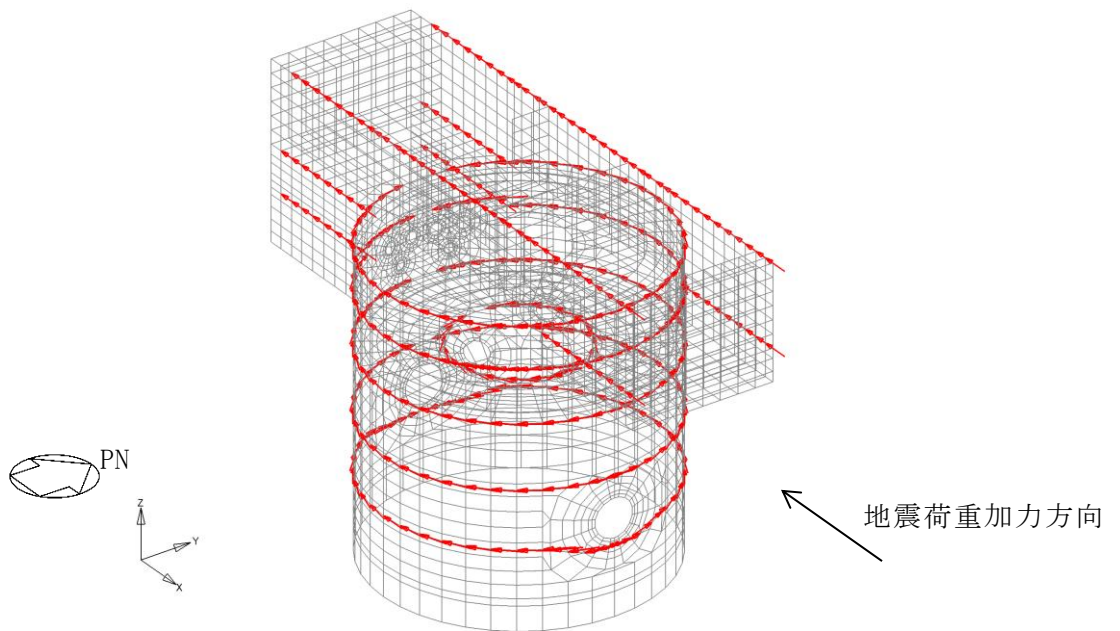
$Q_A$  : 基礎スラブに入力するせん断力  
 $M_A$  : 基礎スラブに入力する曲げモーメント  
 $M'_A$  : せん断力により発生する付加曲げモーメント

(f) 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 (3/3)

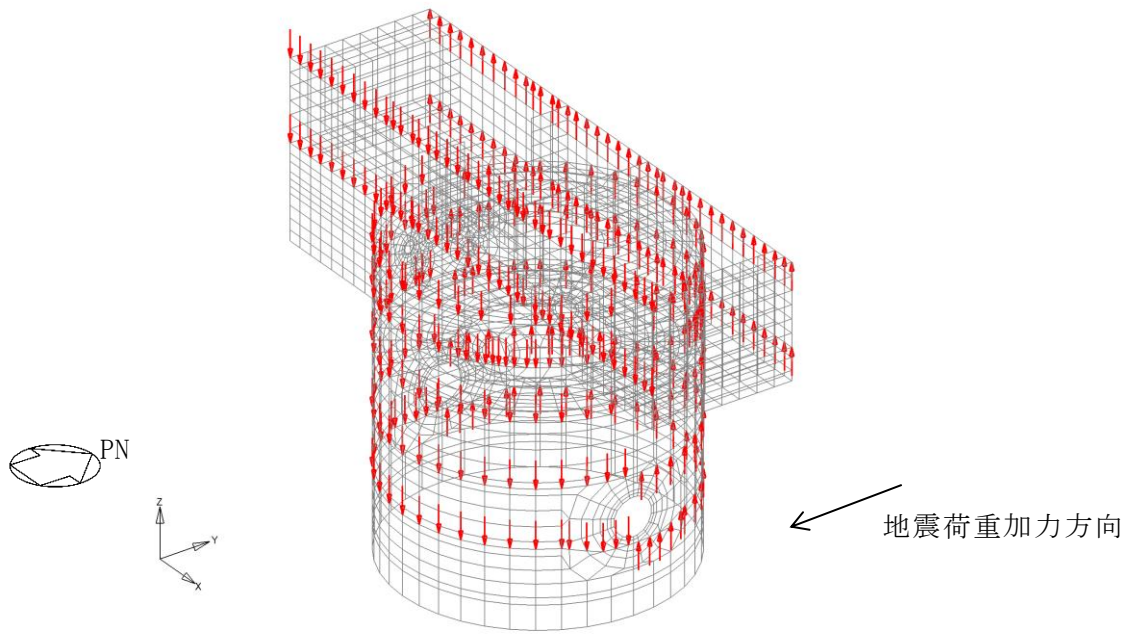


(a) 水平力 (NS 方向) 上部構造モデル部分

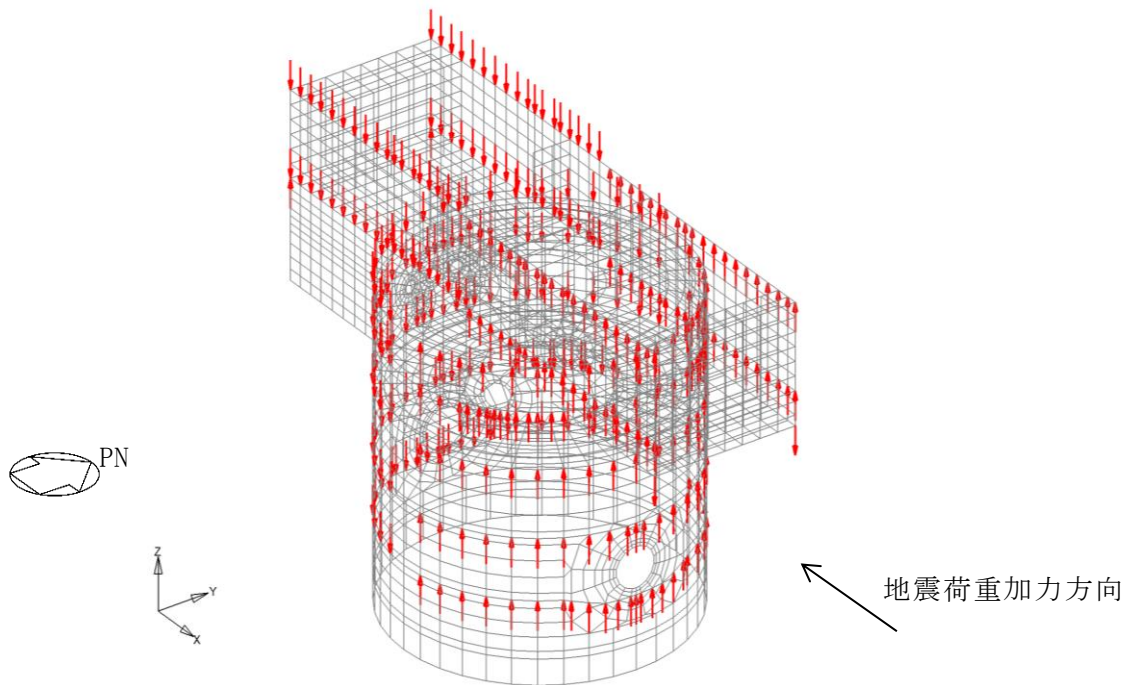


(b) 水平力 (EW 方向) 上部構造モデル部分

図 2-2 FEM モデルに入力する地震荷重 (1/11)

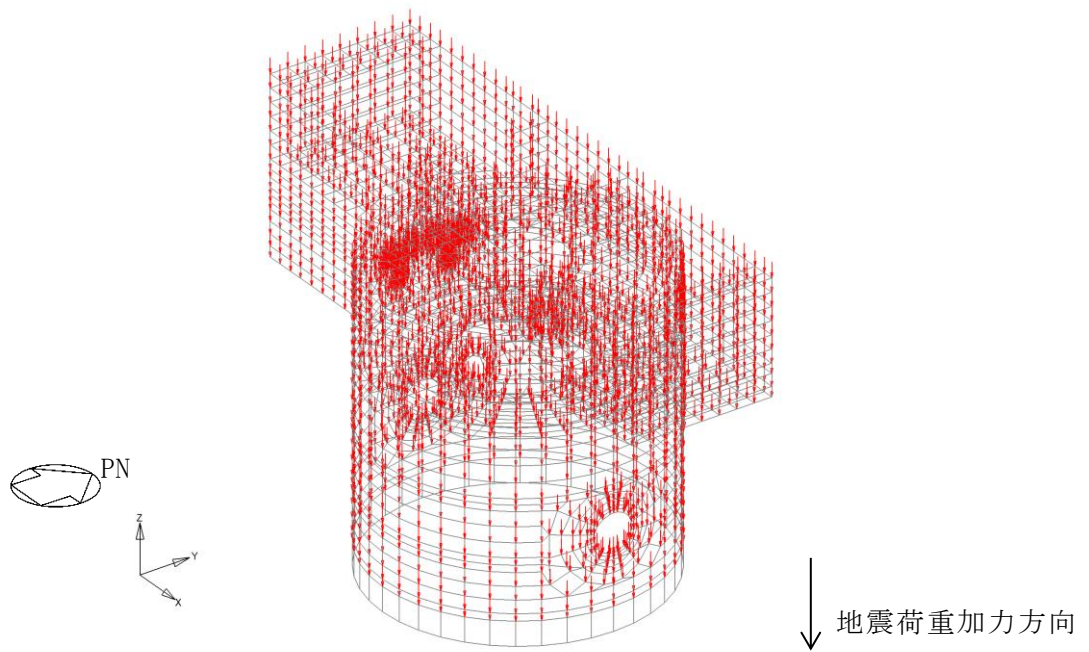


(c) 曲げモーメント (NS 方向) 上部構造モデル部分



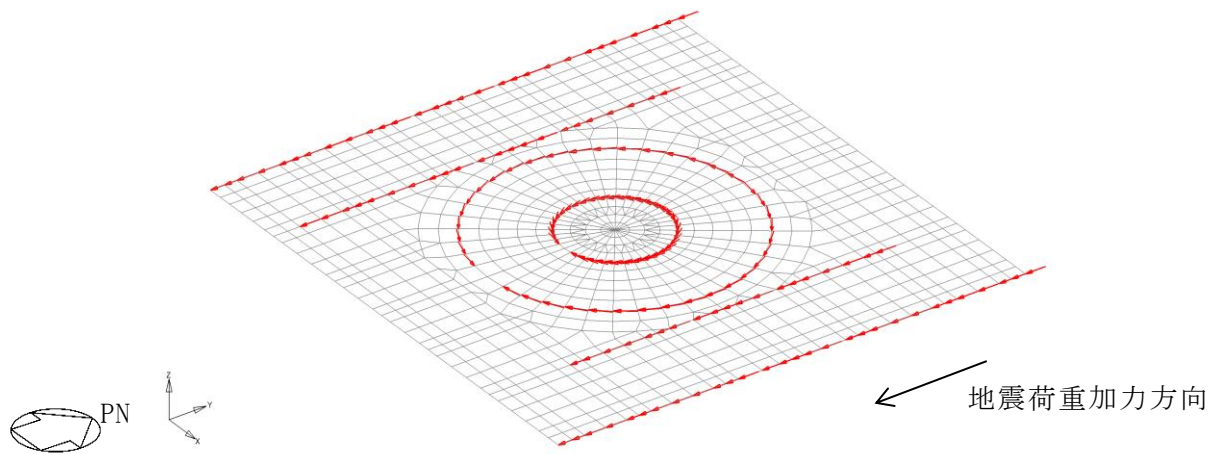
(d) 曲げモーメント (EW 方向) 上部構造モデル部分

図 2-2 FEM モデルに入力する地震荷重 (2/11)

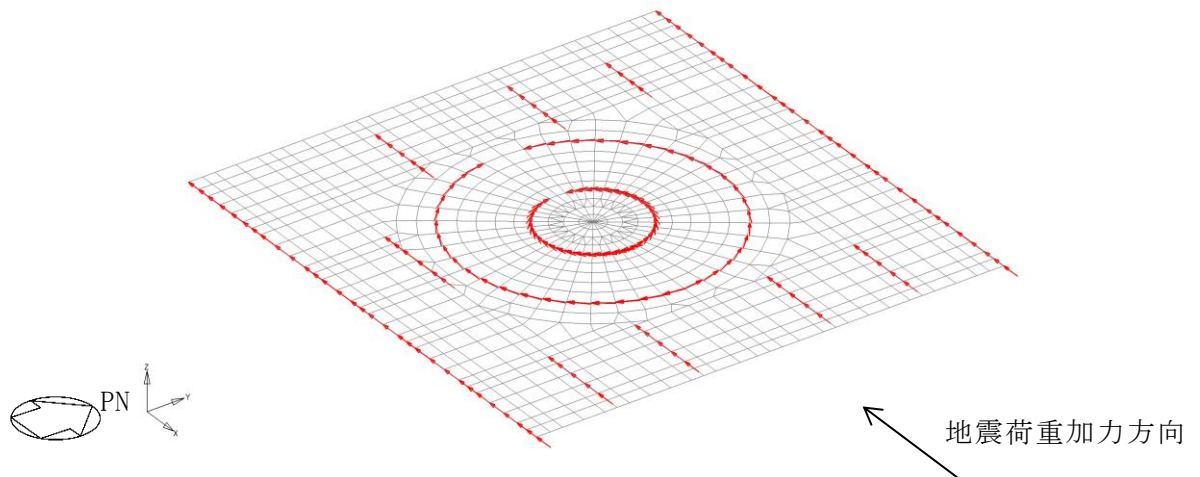


(e) 鉛直力 上部構造モデル部分

図 2-2 FEM モデルに入力する地震荷重 (3/11)

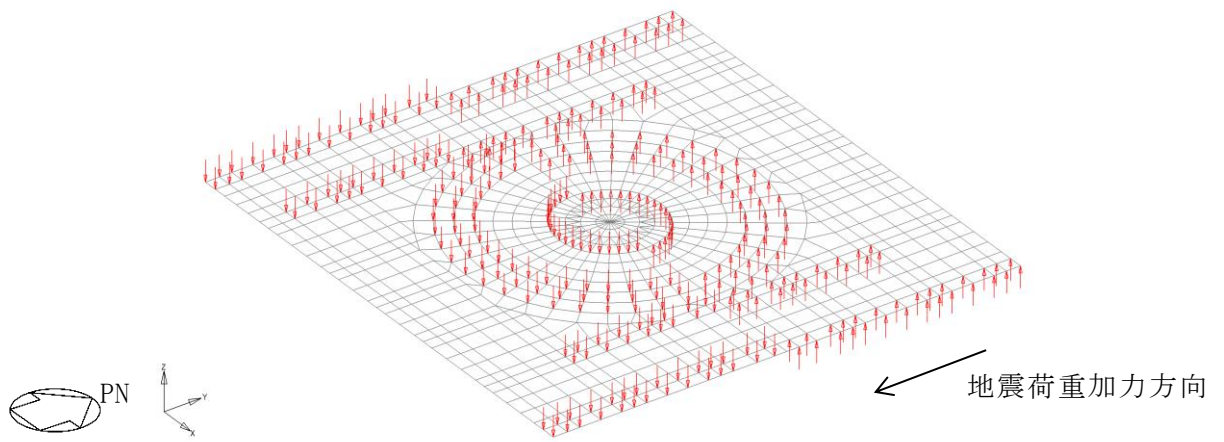


(f) 水平力 (NS 方向) 基礎スラブモデル部分

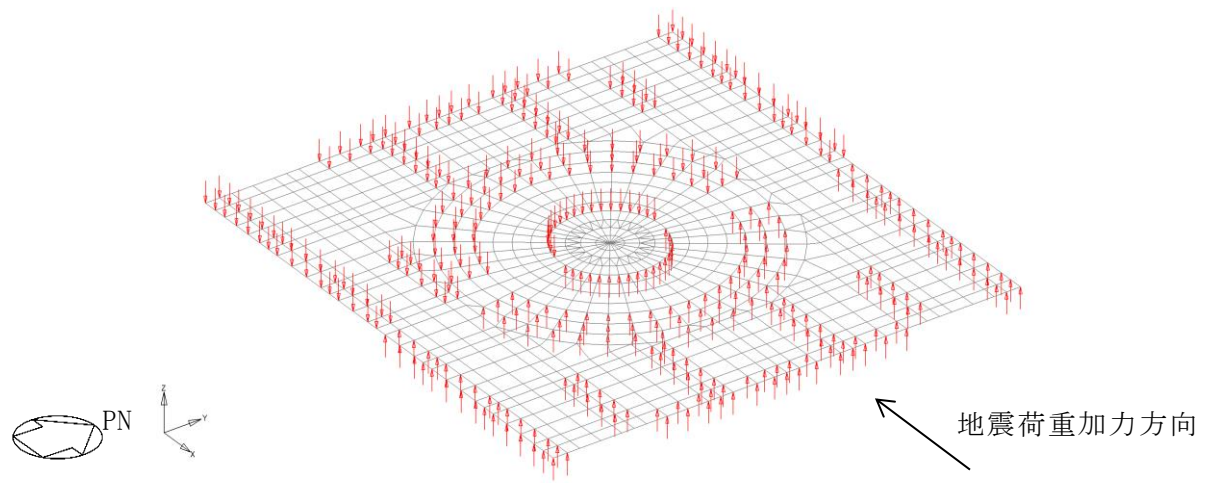


(g) 水平力 (EW 方向) 基礎スラブモデル部分

図 2-2 FEM モデルに入力する地震荷重 (4/11)

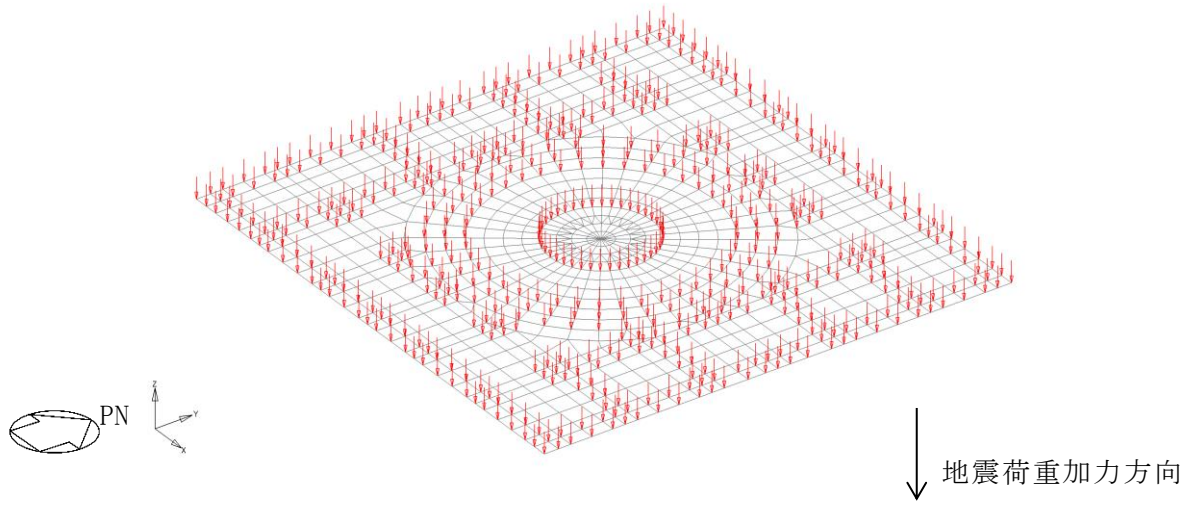


(h) 曲げモーメント (NS 方向) 基礎スラブモデル部分



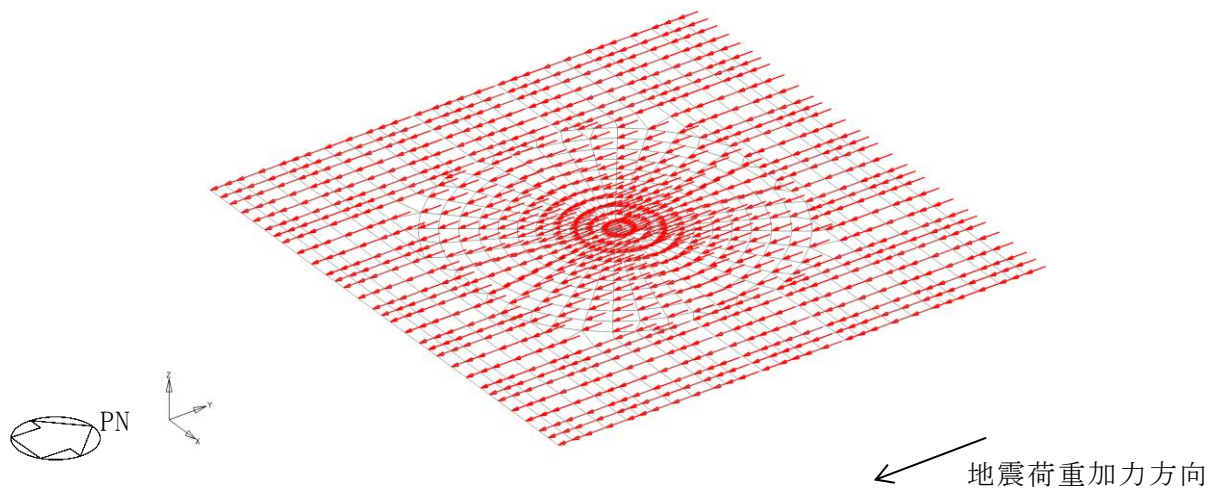
(i) 曲げモーメント (EW 方向) 基礎スラブモデル部分

図 2-2 FEM モデルに入力する地震荷重 (5/11)

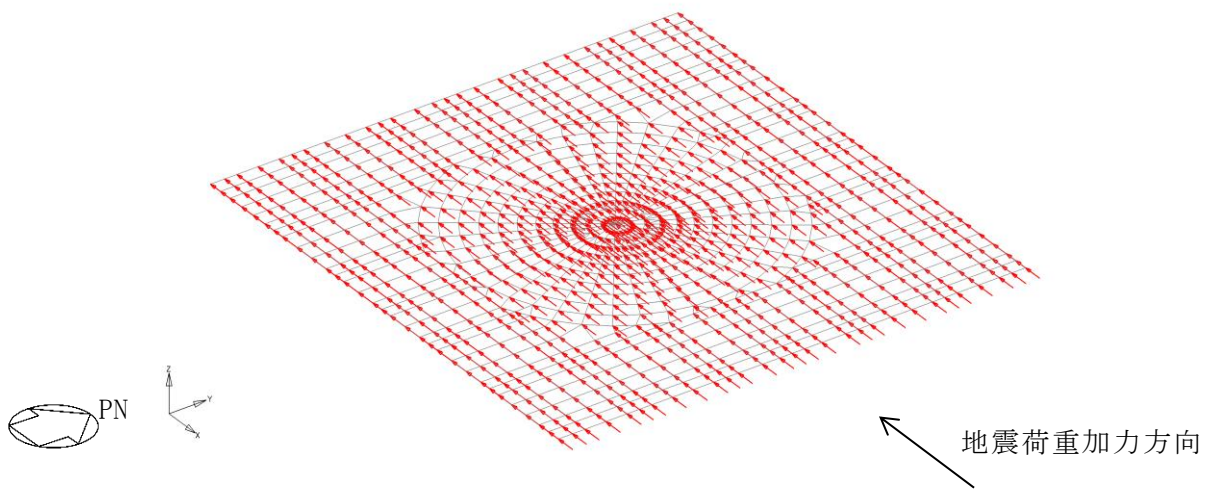


(j) 鉛直力 基礎スラブモデル部分  
 図 2-2 FEM モデルに入力する地震荷重 (6/11)



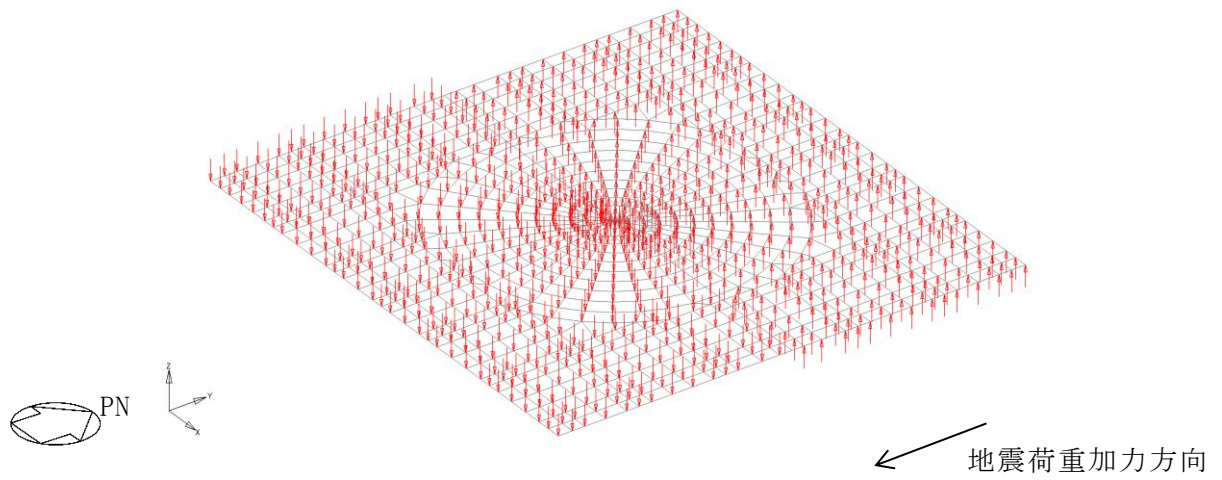


(k) 付加せん断力 (NS 方向)

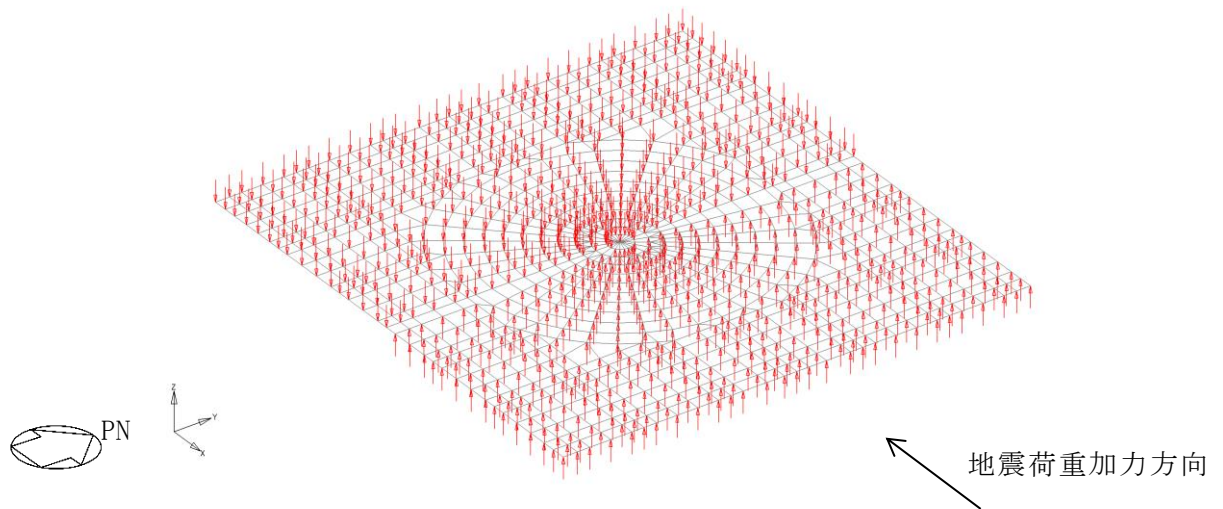


(1) 付加せん断力 (EW 方向)

図 2-2 FEM モデルに入力する地震荷重 (7/11)

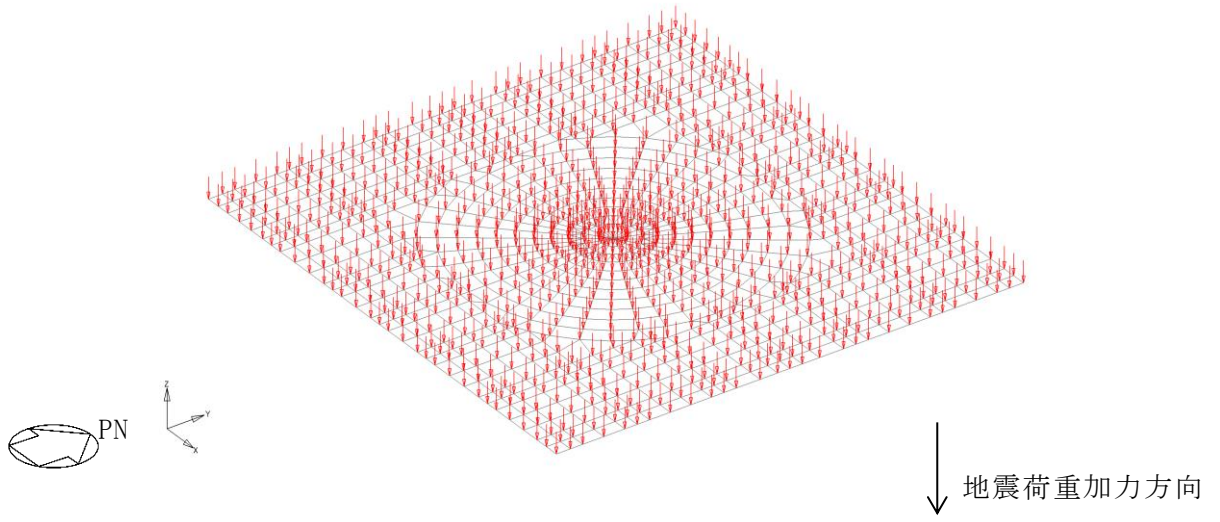


(m) 付加曲げモーメント (NS 方向)



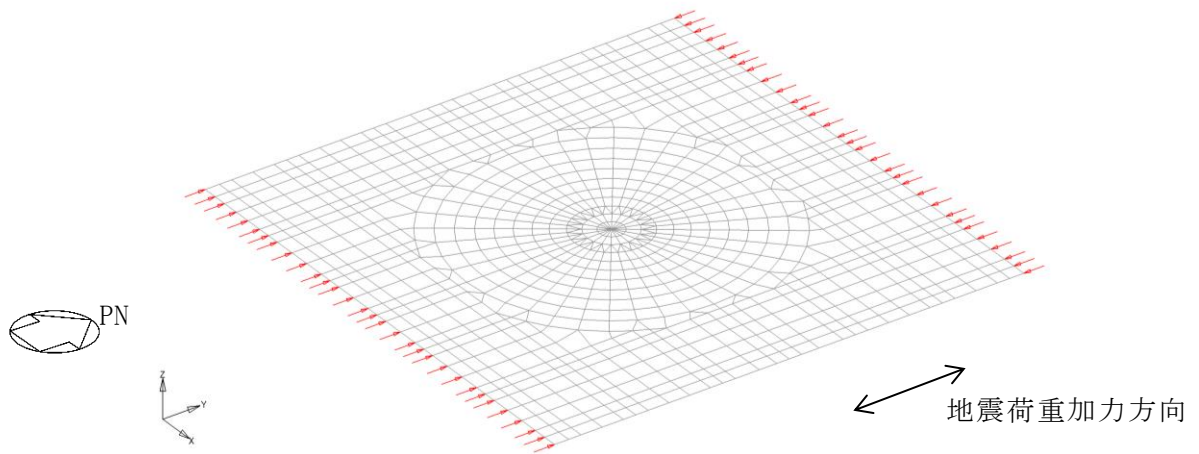
(n) 付加曲げモーメント (EW 方向)

図 2-2 FEM モデルに入力する地震荷重 (8/11)

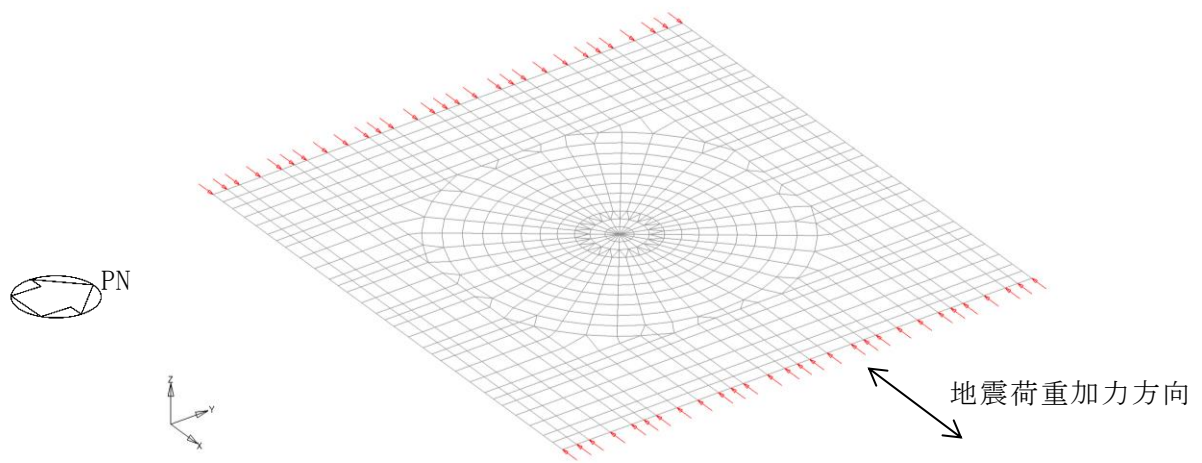


(o) 付加軸力

図 2-2 FEM モデルに入力する地震荷重 (9/11)

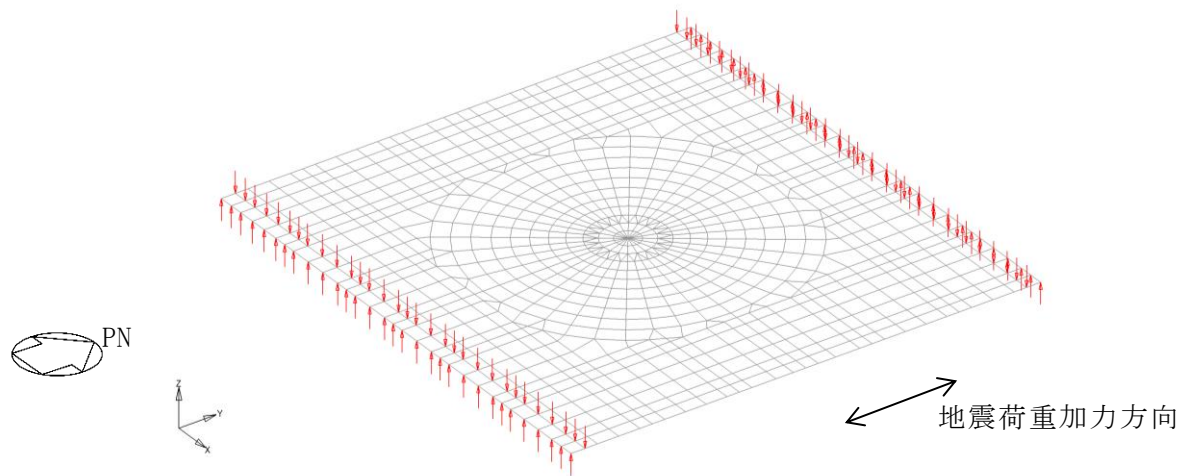


(p) 地震時増分土圧荷重 (NS 方向) せん断力

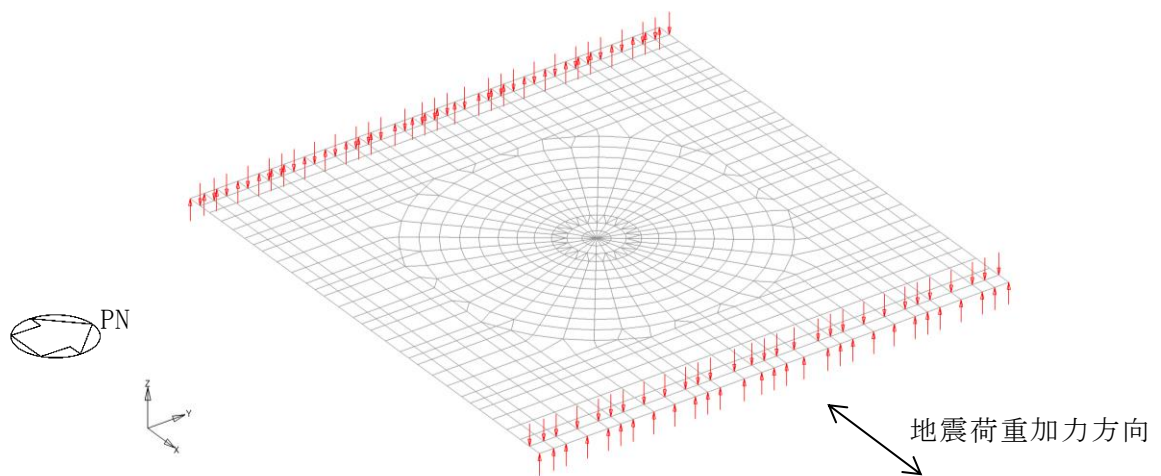


(q) 地震時増分土圧荷重 (EW 方向) せん断力

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 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。

なお、本資料では、平成4年3月27日付け3資庁第13033号にて認可された工事計画の添付書類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」を、以下「既工認」という。）



## 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。解析には、解析コード「ABAQUS」を用いる。

床スラブの剛性の変動は、コンクリート強度を  $43.1\text{N/mm}^2$  (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  $55.7\text{N/mm}^2$  (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。

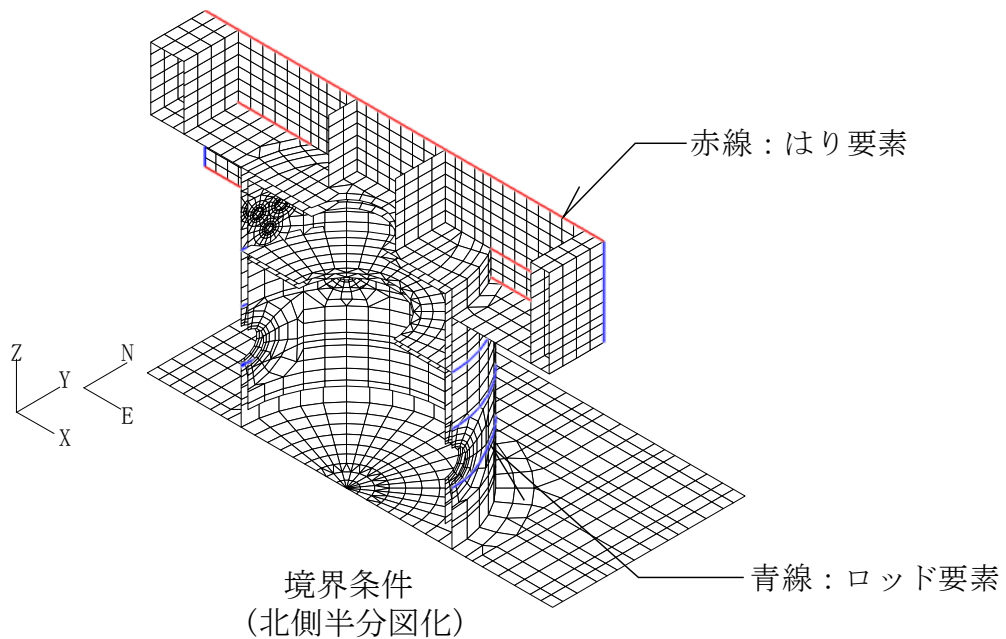


図 2-1 RCCV の応力解析モデル (地震荷重時)

## 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. 6-3（荷重状態 V・（異常+地震）時(4)，水平 1.0，N→S 方向，鉛直上向き）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	0.321 (6-3)	0.133 (5-9)	0.160 (6-2)	0.387 (6-6)	0.196 (5-1)
	鉄筋ひずみ	0.282 (6-4)	0.144 (5-9)	0.078 (6-2)	0.480 (6-4)	0.192 (5-1)
膜力	圧縮応力度	<u>0.870</u> (6-3)	—	—	—	0.287 (3-8)
面内せん断力	面内せん断 応力度	0.818 (3-3)	—	—	—	0.570 (3-5)
面外せん断力	面外せん断 応力度	0.582 (5-2)	0.877 (5-11)	0.864 (3-2)	0.784*2 (5-1)	0.216*2 (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：下線部は、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（組合せケース No. 6-3）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. 6-3）

#### (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	0.321	0.046	0.151	0.239	0.144
	鉄筋ひずみ	0.256	0.014	0.077	0.282	0.105
膜力	圧縮応力度	0.870	—	—	—	0.172
面内せん断力	面内せん断 応力度	0.773	—	—	—	0.546
面外せん断力	面外せん断 応力度	0.471	0.724	0.748	0.545*2	0.405

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	0.319	0.046	0.151	0.237	0.144
	鉄筋ひずみ	0.250	0.014	0.077	0.282	0.106
膜力	圧縮応力度	0.874	—	—	—	0.172
面内せん断力	面内せん断 応力度	0.773	—	—	—	0.543
面外せん断力	面外せん断 応力度	0.473	0.724	0.745	0.545*2	0.406

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、構造が類似した柏崎刈羽原子力発電所第 7 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。

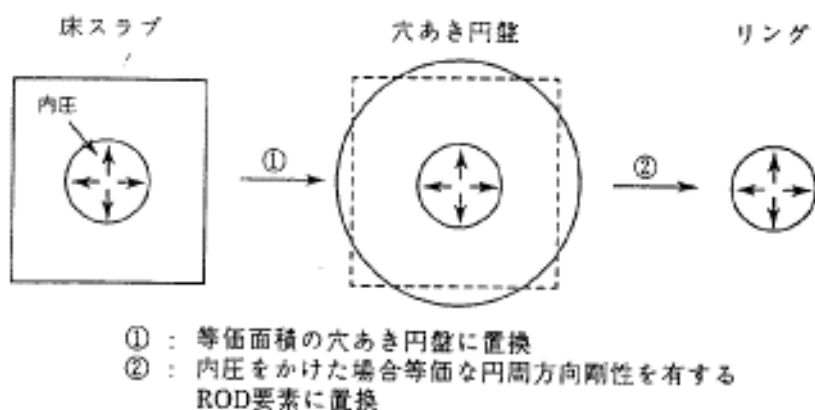
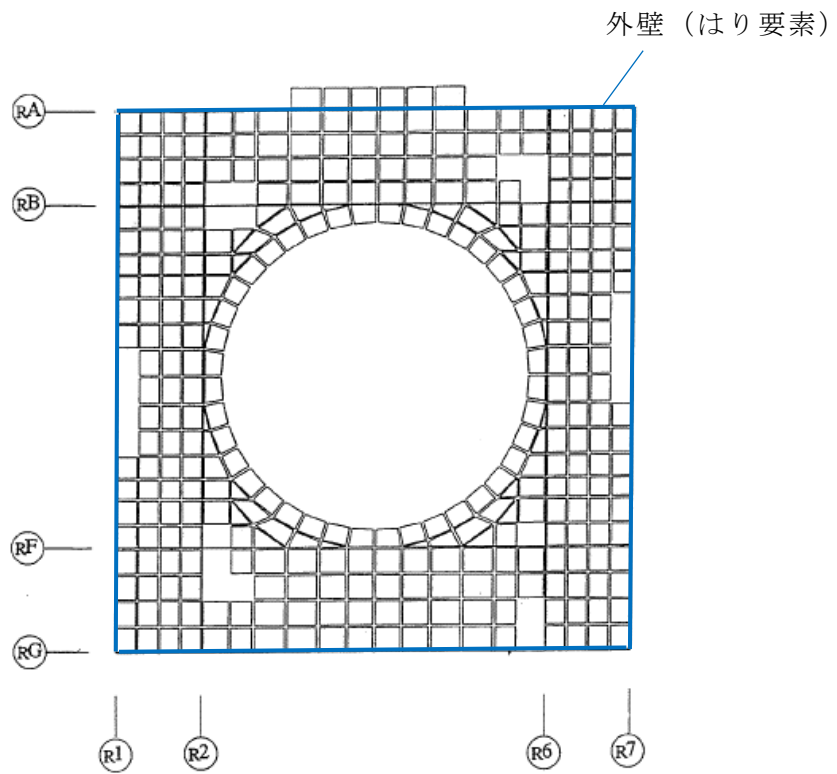


図 2-2 RCCV に取り付く床スラブのロッド要素への置換方法



注：東京湾平均海面を，以下「T.M.S.L.」という。

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

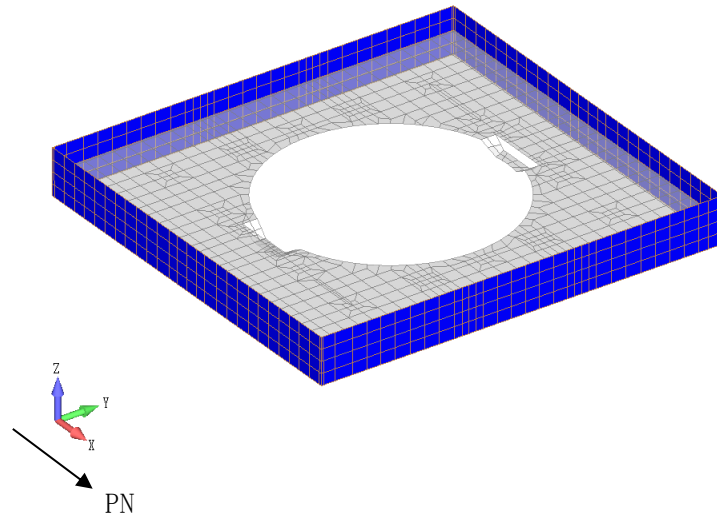
表 2-3 半径方向ばね剛性の比較

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

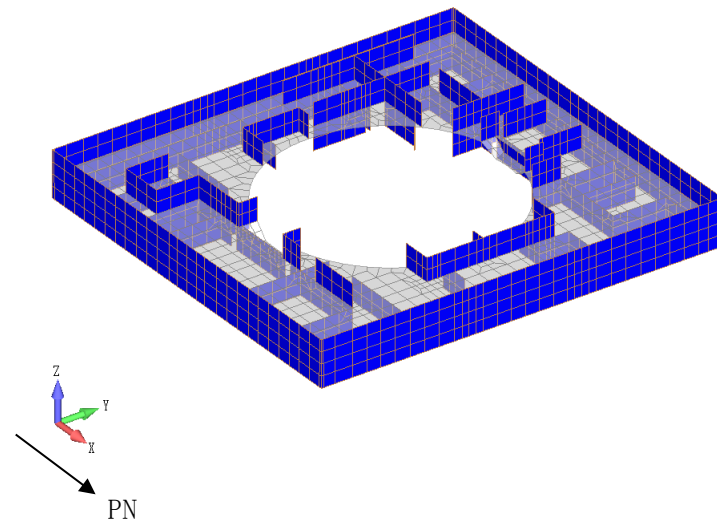
### 2.2.2 検討方法

今回設工認では、原子炉建屋の平面形状が類似していることを踏まえ、柏崎刈羽原子力発電所第7号機原子炉建屋を対象とする。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。解析には、解析コード「MSC NASTRAN」を用いる。

図2-4～図2-6に各階床スラブのFEMモデル（7号機原子炉建屋）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、 $1.0 \text{kN/m}$ 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。

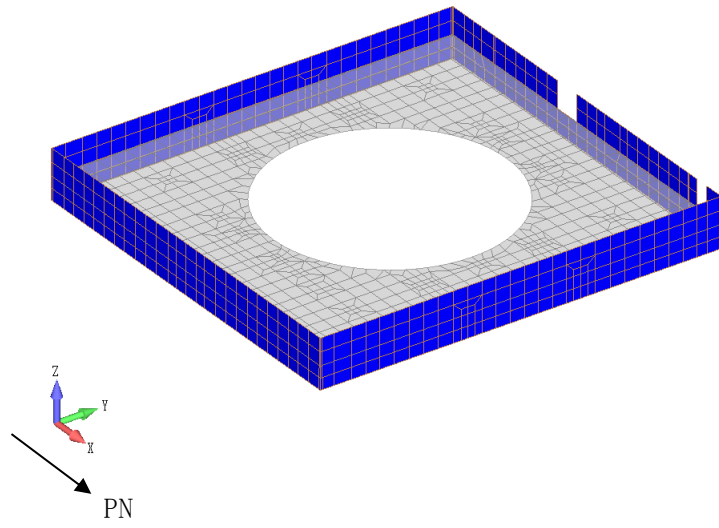


(a) 補助壁及び中間壁がない場合

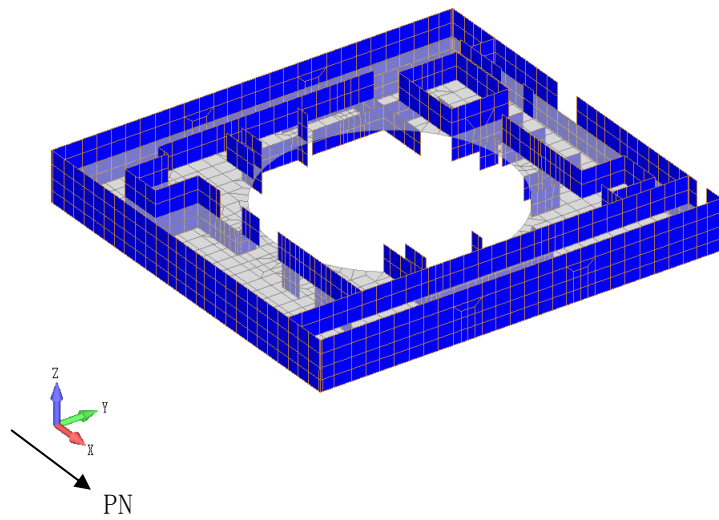


(b) 補助壁及び中間壁がある場合

図 2-4 地下 2 階床スラブの FEM モデル (T. M. S. L. -1.7m)  
(7 号機原子炉建屋)



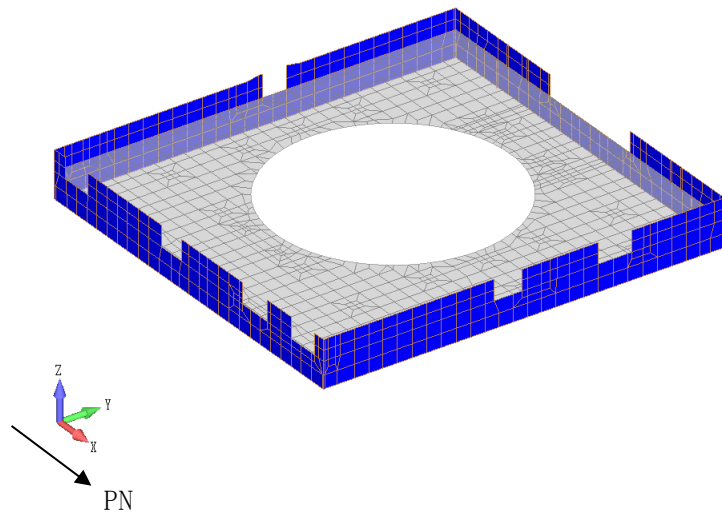
(a) 補助壁及び中間壁がない場合



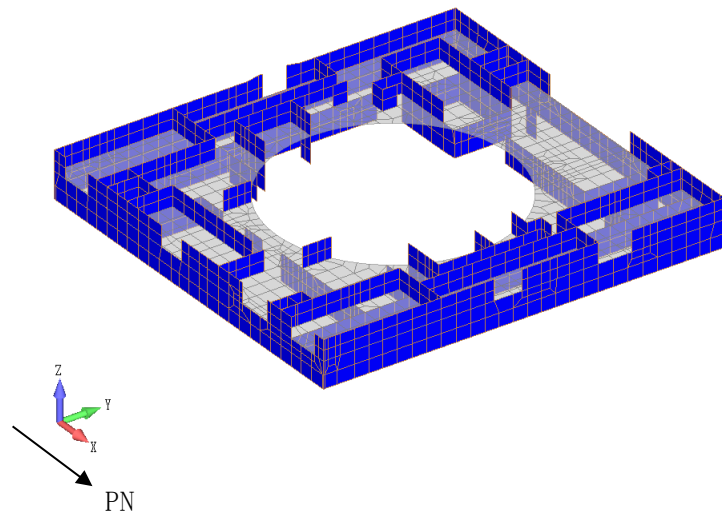
(b) 補助壁及び中間壁がある場合

図 2-5 地下 1 階床スラブの FEM モデル (T. M. S. L. 4.8m)  
(7 号機原子炉建屋)





(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)  
(7 号機原子炉建屋)

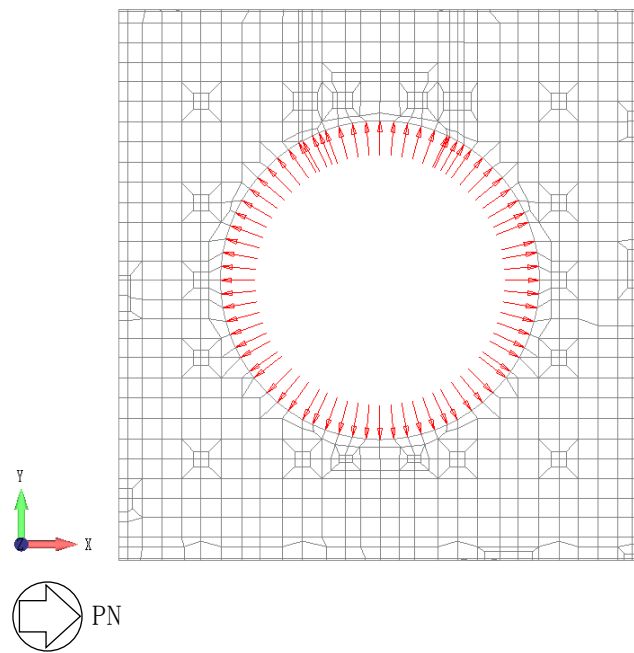


図 2-7 入力荷重図の例 (1 階床スラブ)

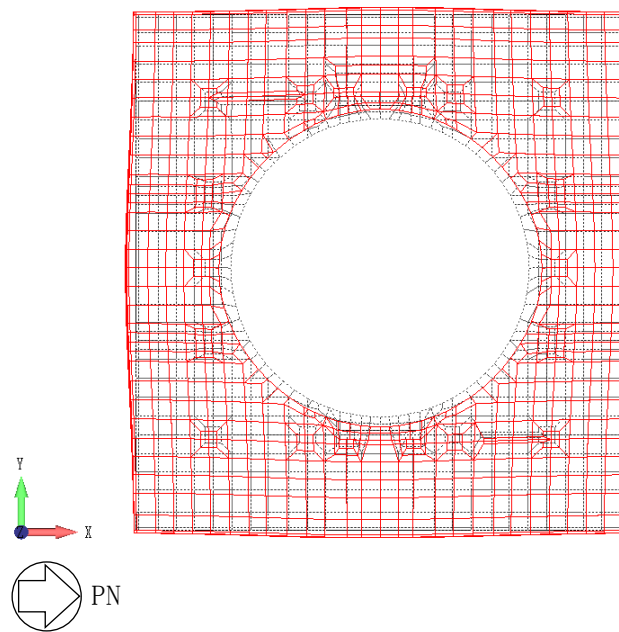
### 2.2.3 検討結果

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。

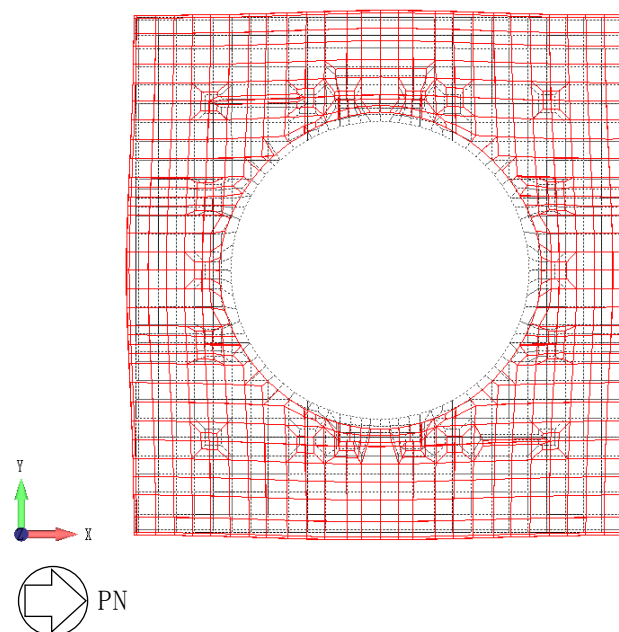
表 2-4 半径方向変位の比較

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



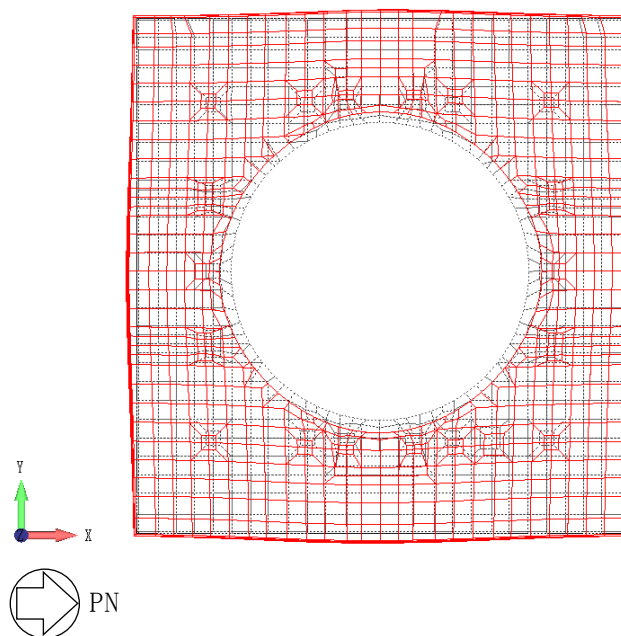
(a) 補助壁及び中間壁がない場合



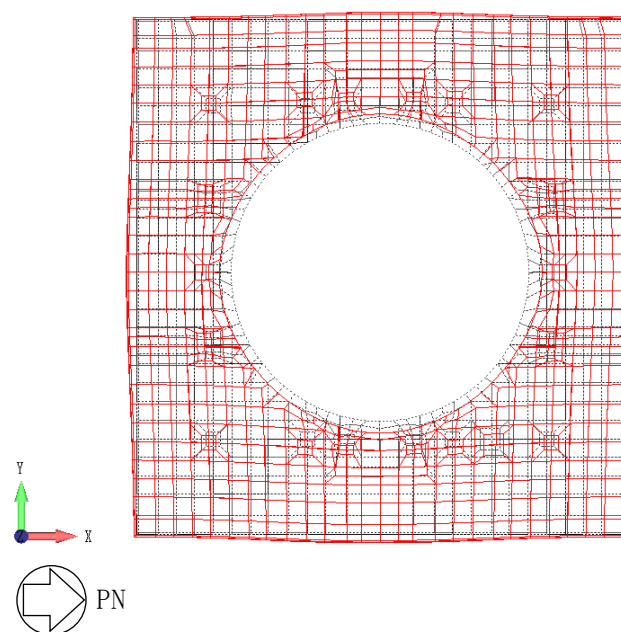
(b) 補助壁及び中間壁がある場合

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



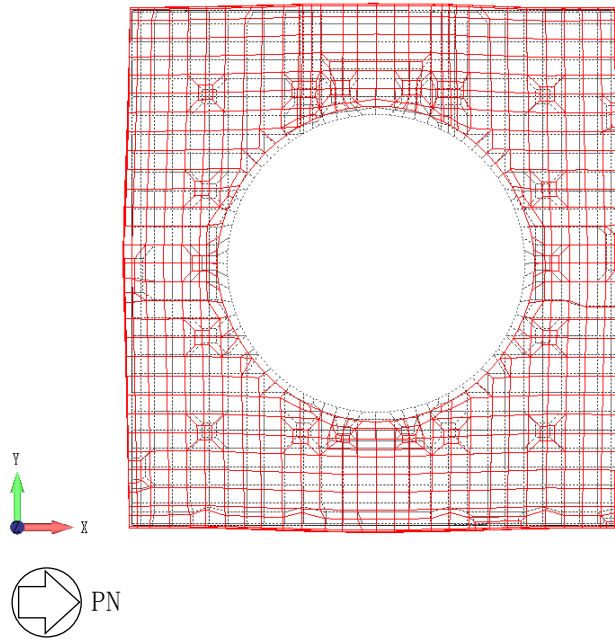
(a) 補助壁及び中間壁がない場合



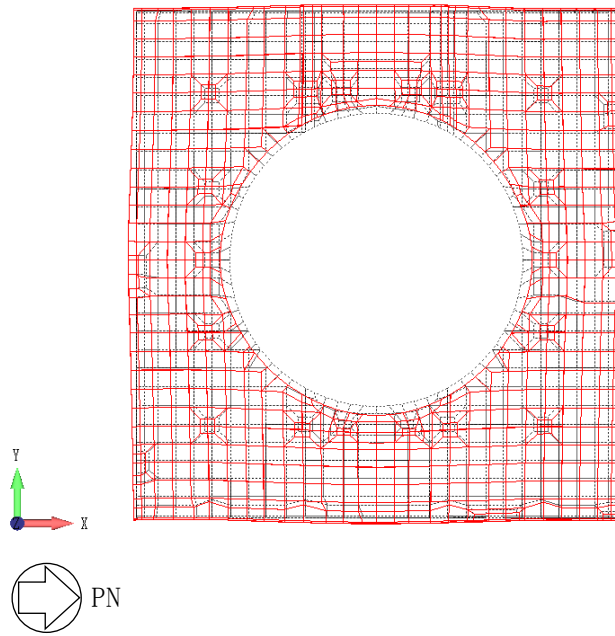
(b) 補助壁及び中間壁がある場合

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合わせて約 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。