

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8
提出年月日	2020年8月7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8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

下線：今回ご提示資料

## 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
2.2.1 検討方法	別紙 9-2
2.2.2 検討ケース	別紙 9-3
2.2.3 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

#### 2.2.1 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  $43.1\text{N/mm}^2$  (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。

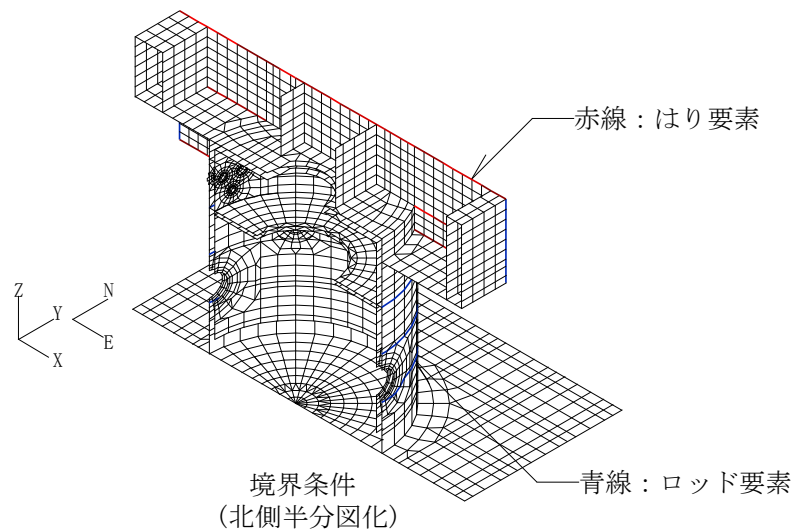


図 2-1 RCCV の応力解析モデル

## 2.2.2 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。

### 2.2.3 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。

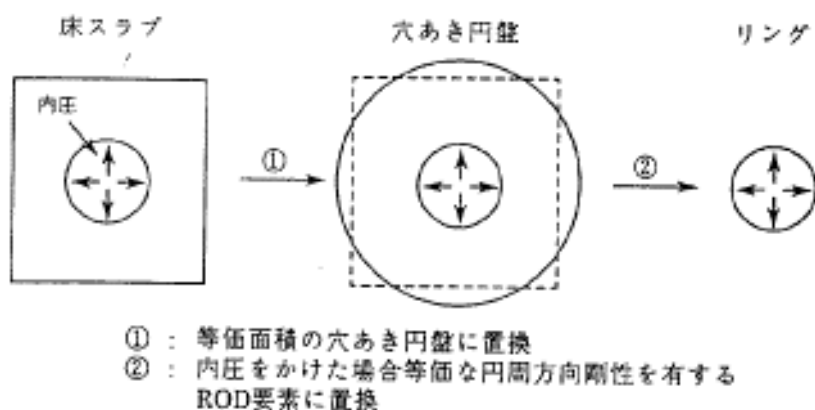


図 2-2 RCCV に取り付く床スラブのロッド要素への置換方法

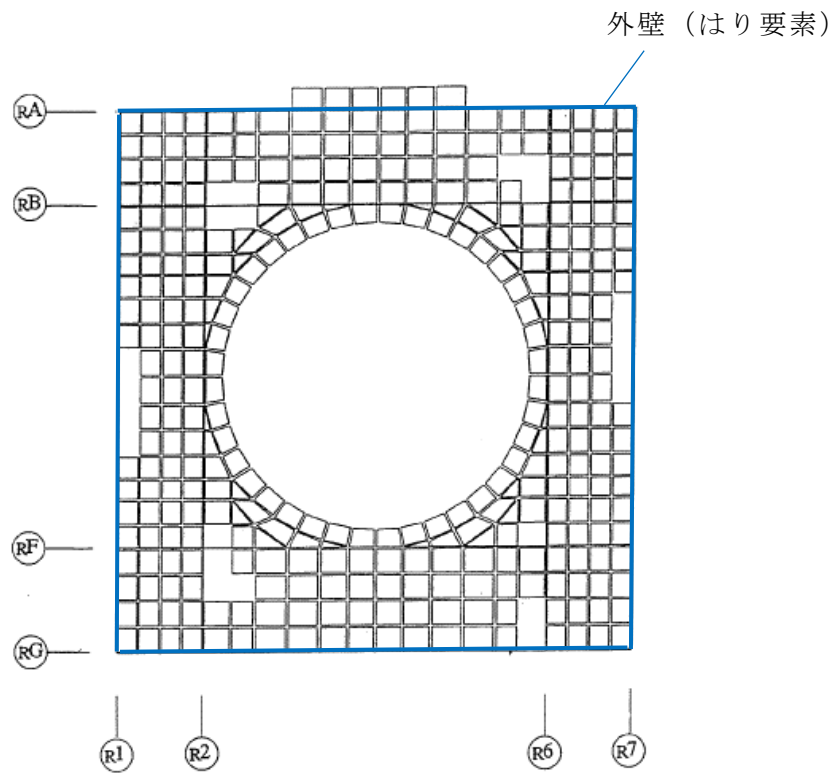


図 2-3 既工認時の FEM 解析モデル (1 階, T. M. S. L. 12.3m)

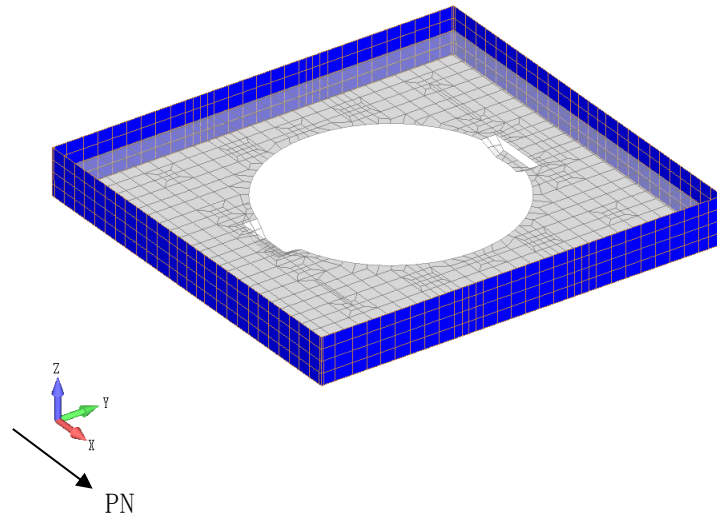
表 2-3 半径方向ばね剛性の比較

	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

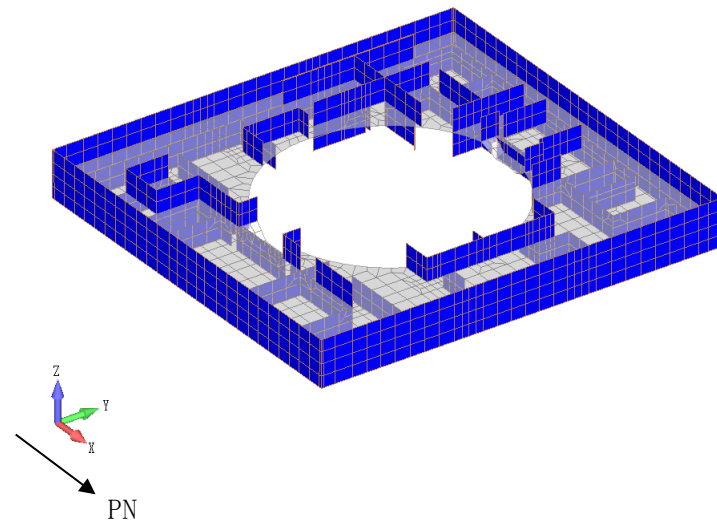
### 2.2.2 検討方法

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、 $1.0 \text{kN/m}$  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。

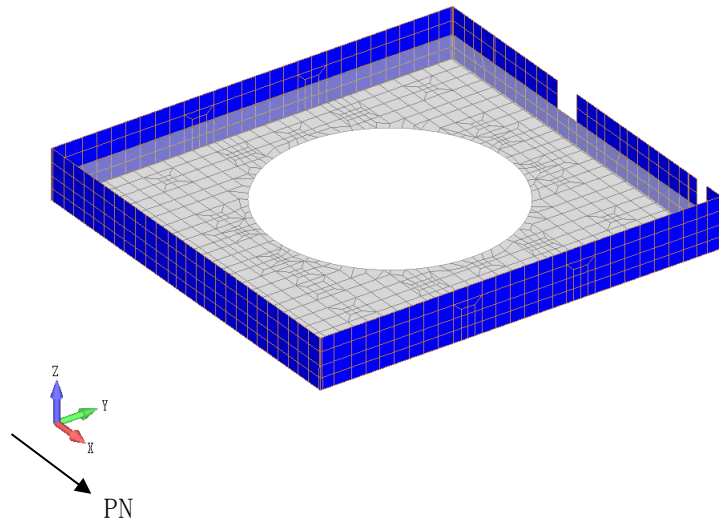


(a) 補助壁及び中間壁がない場合

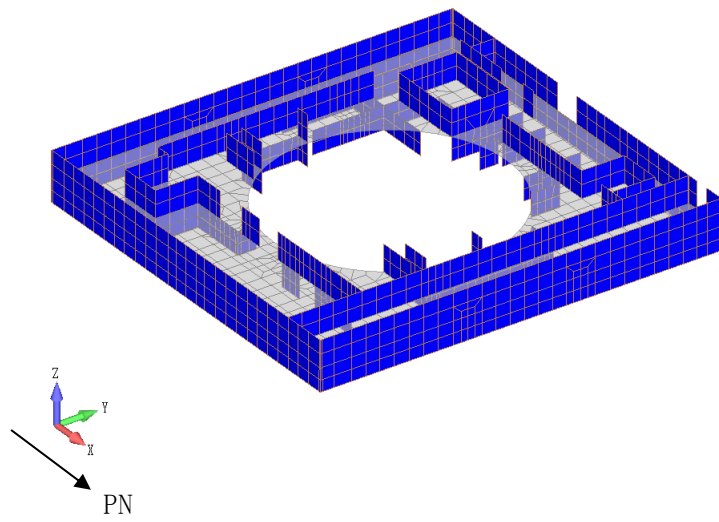


(b) 補助壁及び中間壁がある場合

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

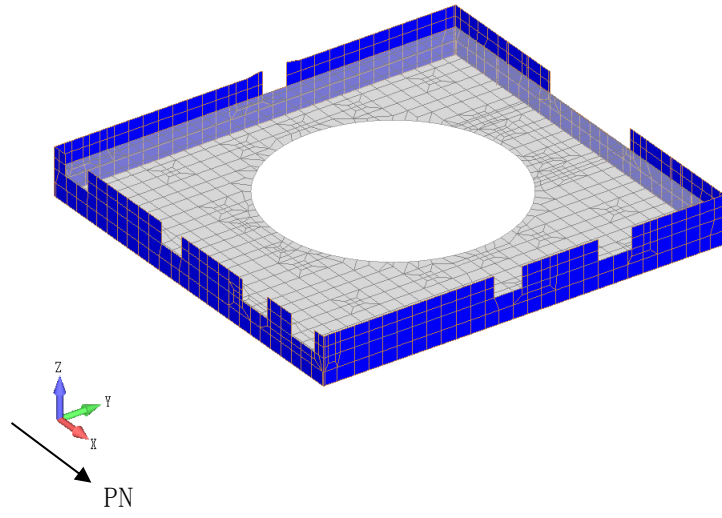


(a) 補助壁及び中間壁がない場合

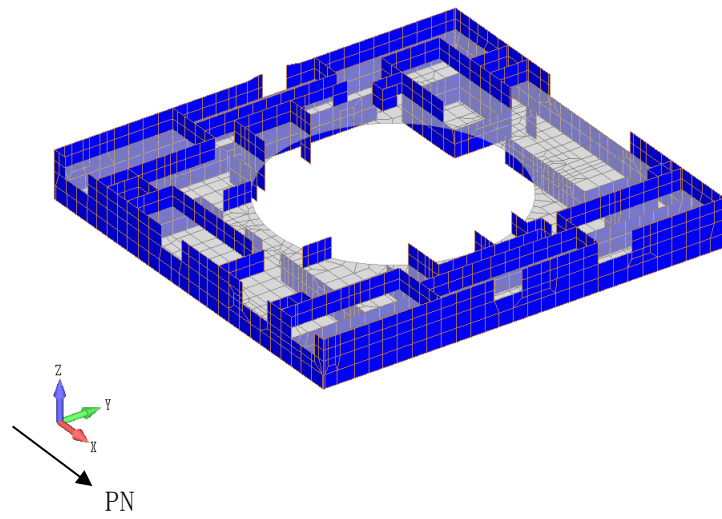


(b) 補助壁及び中間壁がある場合

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)

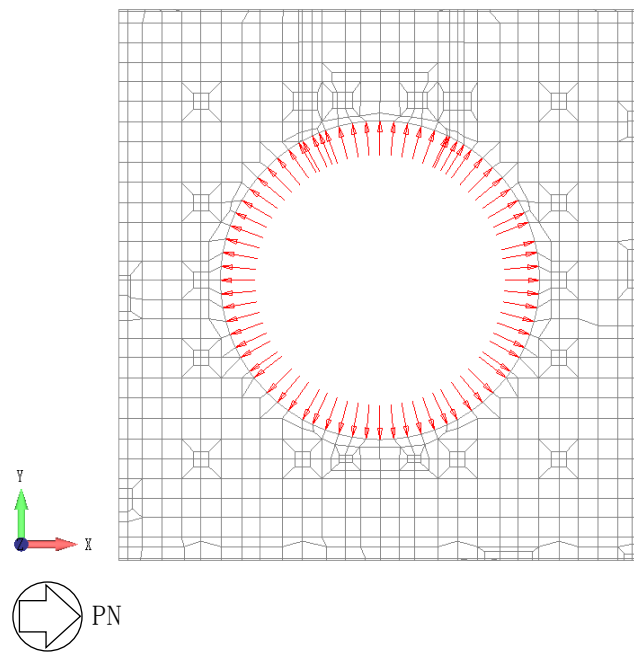


図 2-7 入力荷重図の例 (1 階床スラブ)

### 2.2.3 検討結果

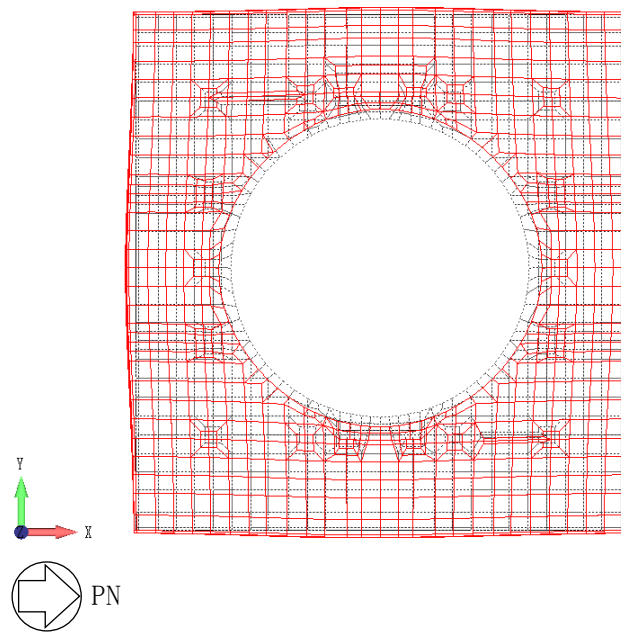
表 2-4 に半径方向変位の比較を示す。ここで、半径方向変位は、図 2-8～図 2-10 の変形図に示すように、床スラブの最内周節点の半径方向変位の分布はほぼ均等となっていることから、各階床スラブの最内周節点の半径方向変位の平均値としている。表に示すように補助壁及び中間壁がない場合とある場合で半径方向変位に大きな差がなく、拘束効果は約 5%の増大となっており、補助壁及び中間壁の影響は小さいと考えられる。

表 2-4 半径方向変位の比較

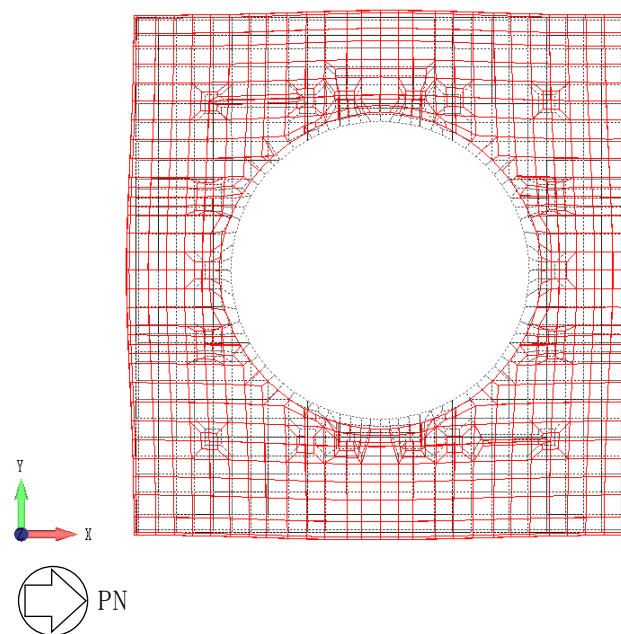
フロア	① 補助壁及び 中間壁がない場合 ( $\times 10^{-6}\text{m}$ )	② 補助壁及び 中間壁がある場合 ( $\times 10^{-6}\text{m}$ )	比率 (②/①)
1 階 (T. M. S. L. 12.3m)	0.921	0.873	0.95
地下 1 階 (T. M. S. L. 4.8m)	1.16	1.10	0.95
地下 2 階 (T. M. S. L. -1.7m)	1.11	1.05	0.95



黒破線：変形前  
赤実線：変形後



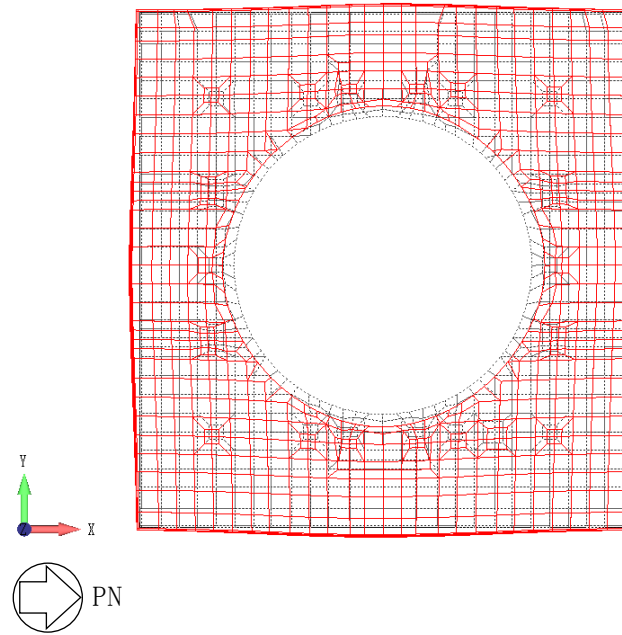
(a) 補助壁及び中間壁がない場合



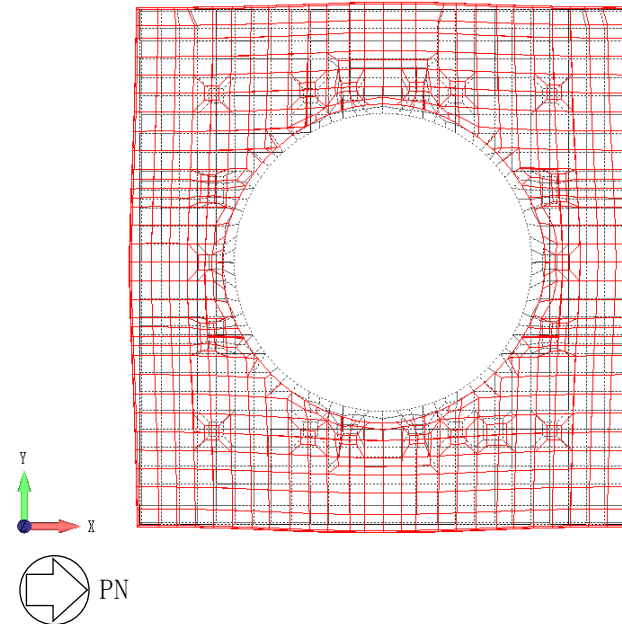
(b) 補助壁及び中間壁がある場合

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



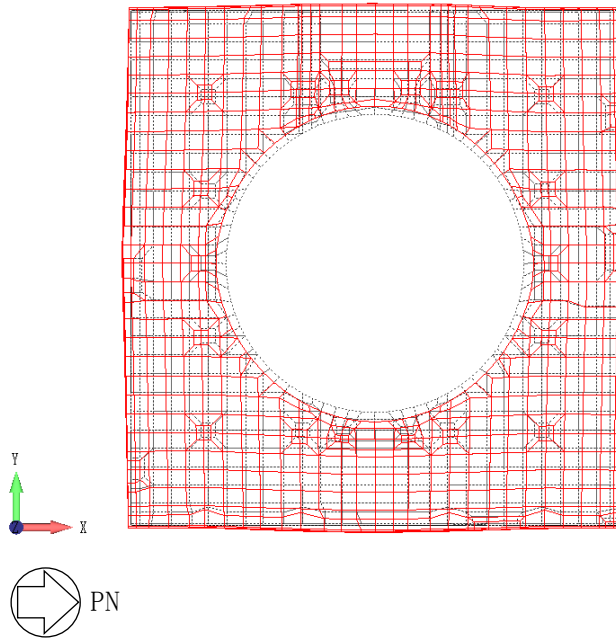
(a) 補助壁及び中間壁がない場合



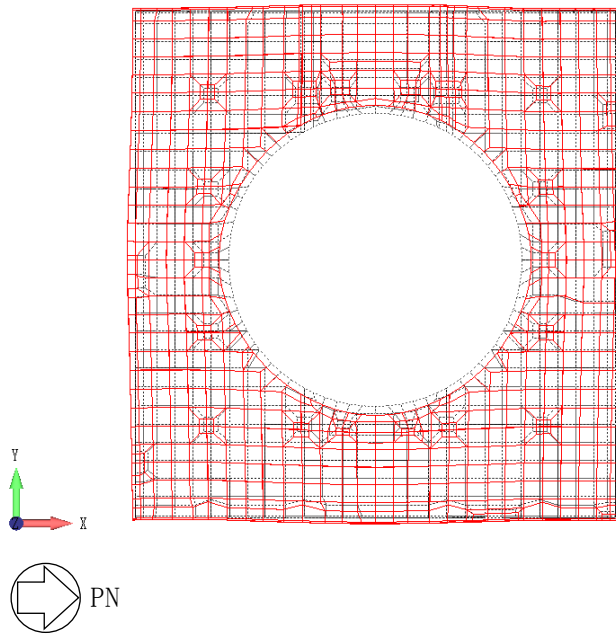
(b) 補助壁及び中間壁がある場合

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。