

| | |
|-------------------------|------------------|
| 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-026-12 改2 |
| 提出年月日 | 2020年5月14日 |

原子炉建屋基礎スラブの耐震性についての
計算書に関する補足説明資料

2020年5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-2-9-3-4「原子炉建屋基礎スラブ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 原子炉格納容器コンクリート部の荷重組合せに対する影響検討

別紙 6 地震応答解析による壁の塑性化に対する影響検討

下線：今回ご提示資料

別紙 6 地震応答解析による壁の塑性化に対する影響検討

目 次

| | |
|-------------------|---------|
| 1. 概要 | 別紙 6-1 |
| 2. 壁の塑性化に対する影響検討 | 別紙 6-2 |
| 2.1 検討方針 | 別紙 6-2 |
| 2.2 検討モデルの妥当性確認 | 別紙 6-2 |
| 2.2.1 解析モデル | 別紙 6-2 |
| 2.2.2 入力荷重 | 別紙 6-4 |
| 2.2.3 検討結果 | 別紙 6-4 |
| 2.3 壁の塑性化に対する影響検討 | 別紙 6-6 |
| 2.3.1 検討方法 | 別紙 6-6 |
| 2.3.2 検討用地震動の選定 | 別紙 6-8 |
| 2.3.3 解析モデル | 別紙 6-9 |
| 2.3.4 入力荷重 | 別紙 6-10 |
| 2.3.5 検討結果 | 別紙 6-12 |
| 3. まとめ | 別紙 6-14 |

1. 概要

原子炉建屋基礎スラブは、原子炉格納容器の底部に該当する部分（以下「RCCV 底部」という。）及び原子炉建屋のうち RCCV 底部以外の基礎（以下「周辺部基礎」という。）で構成される。

V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」に示すように、原子炉建屋は基準地震動 S_s について弾塑性時刻歴応答解析を実施しており、せん断スケルトン曲線上の最大応答値が第 1 折点を超え、塑性化する結果となっている。

一方、RCCV 底部及び周辺部基礎の応力解析では、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。）及びV-2-9-3-4「原子炉建屋基礎スラブの耐震性についての計算書」（以下「基礎スラブの耐震計算書」という。）における「4.4 解析モデル及び諸元」に示すように、 S_s 地震時に対する解析においては、基礎スラブ等のシェル要素では材料物性の塑性化を考慮しているが、基礎スラブへの拘束効果を考慮するためにモデル化した中間壁及び外壁（以下「ボックス壁」という。）については、弾性部材としており塑性化を考慮していない。

本資料は、RCCV 底部及び周辺部基礎の応力解析において、地震時の中間壁及びボックス壁の塑性化が基礎スラブの応力に及ぼす影響を検討するものである。

2. 壁の塑性化に対する影響検討

2.1 検討方針

RCCV 底部及び周辺部基礎の応力解析モデル（以下「基準モデル」という。）においては、基礎スラブに対するボックス壁の拘束効果を多点拘束として考慮しており、ボックス壁の塑性化を考慮できないため、中間壁及びボックス壁を、拘束効果及び塑性化をより忠実に再現できるシェル要素に変更したモデル（以下「検討モデル」という。）を用いた解析を実施する。

検討においては、まず、中間壁及びボックス壁の剛性を、基準モデルと同様に塑性化を考慮しない条件の検討モデル（以下「検討モデル①」という。）を用いた S s 地震荷重による応力解析を行い、基準モデルの結果との比較を行うことで、検討モデルを用いた評価の妥当性を確認する。

そして、検討モデルにおける中間壁及びボックス壁に対して、地震応答解析に基づく壁の塑性化を考慮したモデル（以下「検討モデル②」という。）を用いた S s 地震荷重による応力解析を行い、基準モデルの S s 地震荷重による応力解析結果との比較を行うことで、壁の塑性化に対する影響を検討する。

検討項目は、RCCV 底部及び周辺部基礎における発生値に対する許容値の比が最も小さくなる面外せん断力とする。今回工認における弾塑性解析においても、面外せん断力に対しては非線形特性を考慮できず、弾性として解析を行っているため、本検討は弾性応力解析にて実施する。

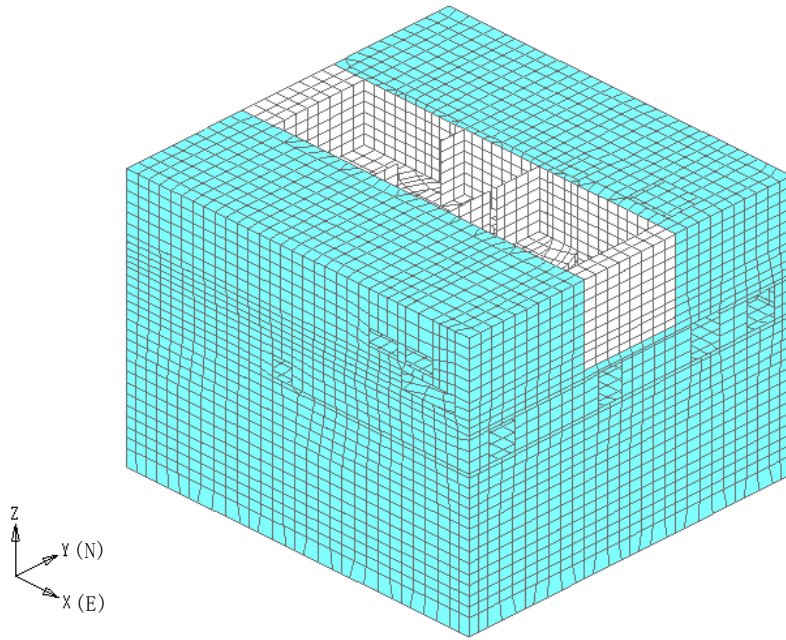
2.2 検討モデルの妥当性確認

2.2.1 解析モデル

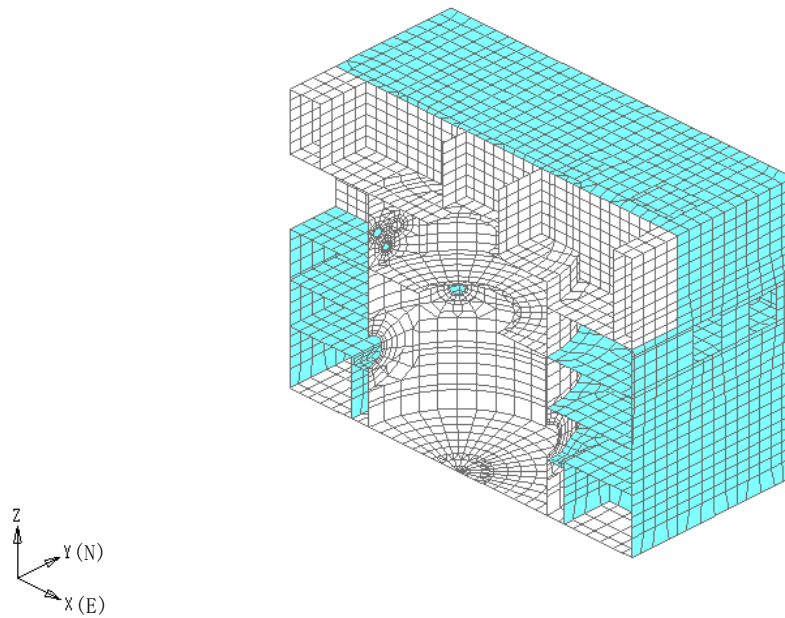
検討モデル①を図 2-1 に示す。検討モデル①は、基準モデルと同様に東京湾平均海面（以下「T.M.S.L.」という。）31.7m 以下をモデル化範囲とし、基準モデルに下記の変更を加えたモデルとする。

- ・ 中間壁及びボックス壁を、シェル要素でモデル化する。
- ・ はり要素およびロッド要素でモデル化している周辺床を、シェル要素でモデル化する。
- ・ モデル化範囲の部材の材料物性はすべて弾性とする。なお、基礎スラブの浮上り非線形性は考慮する。

■ : 基準モデルからの変更範囲



(a) 全体鳥瞰図



(b) 全体断面図

図 2-1 検討モデル①

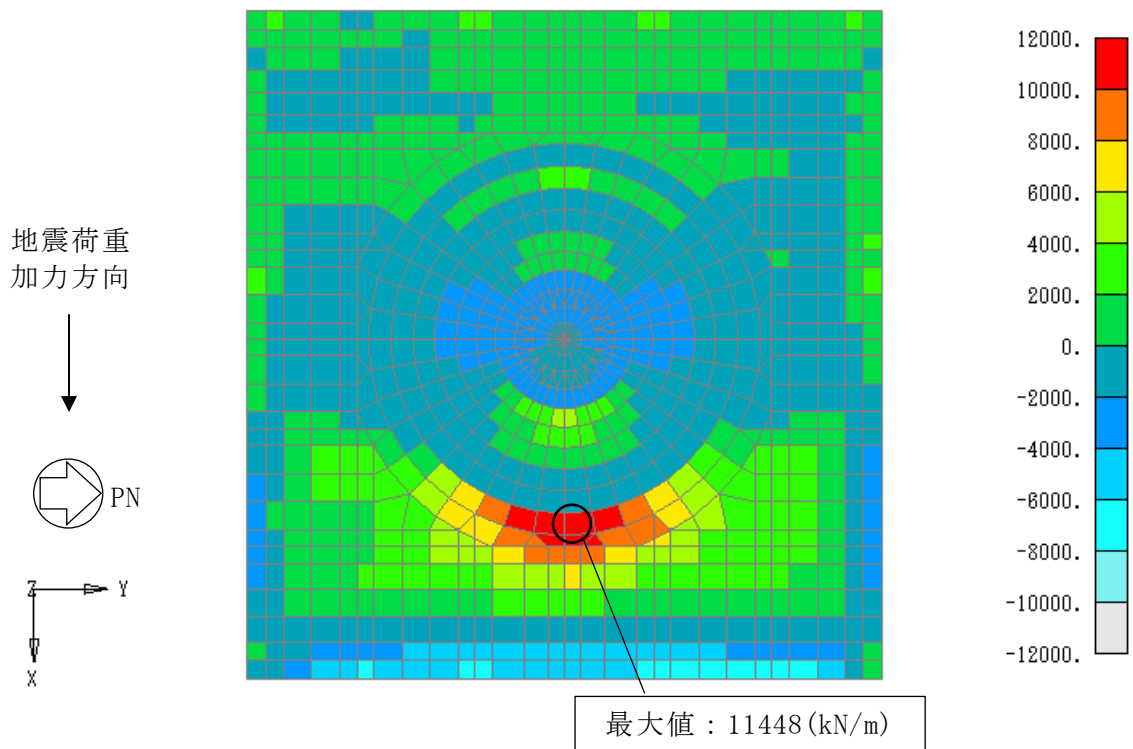
2.2.2 入力荷重

入力荷重は、RCCV 底部及び周辺部基礎の評価において最大検定値をもたらす荷重の組合せケース*を参考に、加力方向が水平方向 W→E、鉛直方向上向きの S s 地震荷重を選定し、基礎スラブの浮上り性状を適切に評価するため、固定荷重、水平地震荷重及び鉛直地震荷重を組み合わせる。ここで、固定荷重は RCCV 及び基礎スラブの耐震計算書と同じである。また、水平地震荷重及び鉛直地震荷重は、RCCV 及び基礎スラブの耐震計算書における基礎スラブに入力する S s 地震荷重と同じである。

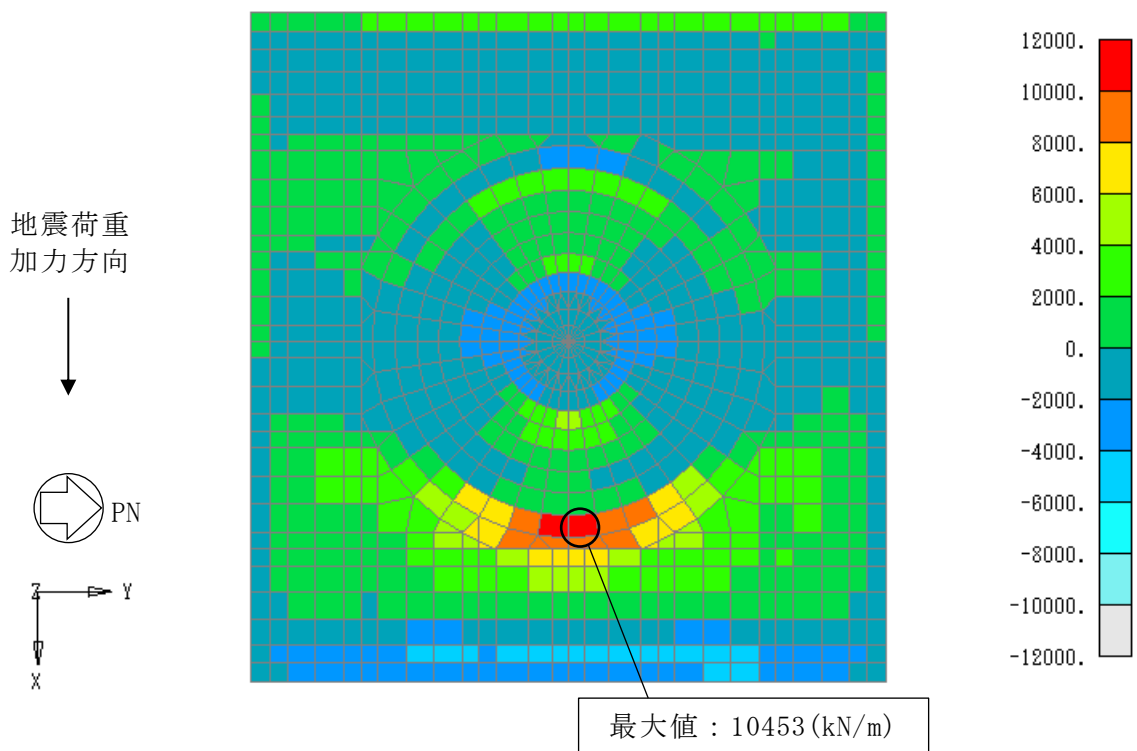
注記*：「原子炉格納容器コンクリート部の耐震性についての計算書に関する補足説明資料」及び「原子炉建屋基礎スラブの耐震性についての計算書に関する補足説明資料」の別紙 4「応力解析における断面の評価部位の選定」参照。

2.2.3 検討結果

図 2-2 に基準モデルと検討モデル①の基礎スラブの面外せん断力のコンター図を示す。基準モデルと検討モデル①の面外せん断力分布は同様の傾向であり、最大面外せん断力もほぼ同じである。以上より、検討モデルを用いた検討の妥当性を確認した。



(a) 基準モデル



(b) 検討モデル①

図 2-2 基礎スラブの面外せん断力のコンター図 EW 方向 (単位：kN/m)

2.3 壁の塑性化に対する影響検討

2.3.1 検討方法

図 2-3 に壁の塑性化に対する影響検討フローを示す。

まず、基準地震動 S_s に対する地震応答解析の基本ケース（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。）における外壁部及びRCCV部の基礎スラブ直上要素の応答値*に基づき、基礎スラブ直上の壁部材の剛性が最も低下する地震動を選定する。これは、基礎スラブ直上の壁部材の剛性が、基礎スラブに対する拘束効果に最も影響するためである。

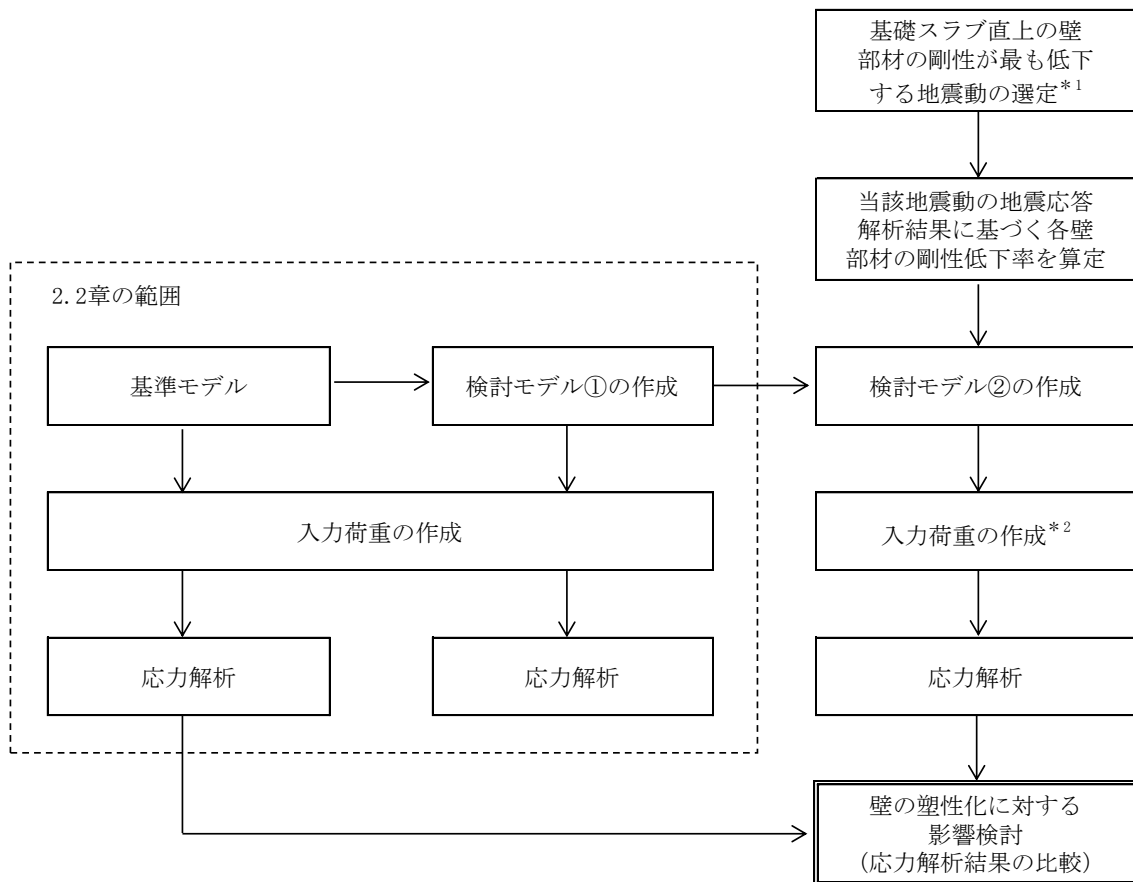
次に、選定した地震動に対する地震応答解析結果に基づき、各壁部材の剛性低下率を算定する。

そして、検討モデル①における壁の剛性に対して、各壁部材の剛性低下率を乗じることで、検討モデル②を作成する。入力地震荷重は、剛性低下率を算定した地震動に対する地震応答解析の応答値に基づき算定する。

最後に、検討モデル②による応力解析を実施し、基準モデルの応力解析結果との比較を行い、壁の塑性化に対する影響を検討する。

ここで、検討方向は、「2.2 検討モデルの妥当性確認」と同様に、加力方向が水平方向 W→E、鉛直方向上向きとする。

注記*：「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「地震応答解析における材料物性の不確かさに関する検討」参照。



注記*1 基本ケース及びパラスタケースの地震応答解析結果に基づき選定
 *2 剛性低下率を算定した地震動に対する地震応答解析の応答値に基づき算定

図 2-3 壁の塑性化に対する影響検討フロー

2.3.2 検討用地震動の選定

検討用地震動は、基本ケース及びパラスタケースのEW方向の地震応答解析の基礎スラブ直上の壁部材において最小の剛性低下率を生じる地震動とする。剛性低下率は、初期剛性に対するせん断スケルトン曲線の最大応答値と原点を結んだ割線剛性の比として算定する。表2-1に剛性低下率の算定結果を示す。剛性低下率の最小値はSs-2ケース5（建屋剛性 -2σ ）の地震動により生じていることから、当該地震動を検討用地震動とする。

表2-1 剛性低下率の算定結果

| 検討ケース | 剛性低下率 | | | |
|-------|-------|-------------|-------|------|
| | 外壁部 | | RCCV部 | |
| ケース1 | Ss-2 | 0.71 | Ss-2 | 0.82 |
| ケース2 | Ss-2 | 0.76 | Ss-2 | 0.84 |
| ケース3 | Ss-2 | 0.76 | Ss-2 | 0.80 |
| ケース4 | Ss-2 | 0.90 | — | — |
| ケース5 | Ss-2 | <u>0.61</u> | Ss-2 | 0.69 |
| ケース6 | Ss-2 | 0.76 | Ss-2 | 0.84 |

注1：「—」は、塑性化していないことを示す。

注2：下線部は、剛性低下率の最小値を示す。

2.3.3 解析モデル

解析に用いる検討モデル②は，検討モデル①における中間壁，ボックス壁及びRCCV シェル部の剛性に対して，Ss-2 ケース 5 の地震動による地震応答解析結果に基づき算定する各壁部材の剛性低下率を乗じたものとする。表 2-2 に各壁部材の剛性低下率の算定結果を示す。中間壁及びボックス壁の剛性低下率は，壁と平行方向の値を用いるが，円筒形である RCCV に乗じる剛性低下率は，低下が大きい EW 方向の値を用いる。また，中間壁の剛性低下率は RCCV 部の剛性低下率とする。

表 2-2 各壁部材の剛性低下率の算定結果

| 方向 | T. M. S. L. (m) | 外壁部 | RCCV 部 |
|----|--------------------|------|--------|
| NS | 23.5～31.7 | — | — |
| | 18.1～23.5 | — | — |
| | 12.3～18.1 | — | — |
| | 4.8～12.3 | 0.99 | — |
| | -1.7～4.8 | 0.91 | — |
| | -8.2～-1.7 | — | — |
| EW | 23.5～31.7 | — | — |
| | 18.1～23.5 | 0.85 | — |
| | 12.3～18.1 | 0.72 | — |
| | 4.8～12.3 | 0.48 | 0.58 |
| | -1.7～4.8 | 0.49 | 0.56 |
| | -8.2～-1.7 | 0.61 | 0.69 |

注：「—」は，塑性化していないことを示す。

2.3.4 入力荷重

入力荷重は、「2.2 検討モデルの妥当性確認」と同様に、W→E 方向、鉛直方向上向き S_s 地震荷重とし、固定荷重、水平地震荷重及び鉛直地震荷重を組み合わせたものとする。固定荷重は、「2.2.2 入力荷重」に示すものと同様である。

検討モデル②に入力する地震荷重は、剛性低下率を設定した S_s -2 ケース 5 の地震動による地震応答解析の応答値に基づき、「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」の別紙 6「地震荷重の算定方法」に示す方法により算定する。表 2-3 に入力地震荷重を示す。

表 2-3 入力地震荷重 (S_s -2 ケース 5) (1/2)

(a) EW 方向 せん断力

| 応答せん断力 | | 入力せん断力 | |
|--------|------------------------------------|-------------------|------------------------------------|
| 応答軸 | 応答値 ($\times 10^3 \text{kN}$) | 部位 | 入力値 ($\times 10^3 \text{kN}$) |
| 外壁部 | 699 | ボックス壁 (R_1 通り) | 350 |
| | | ボックス壁 (R_7 通り) | 350 |
| RCCV部 | 422 | 中間壁 (R_2 通り) | 48.2 |
| | | 中間壁 (R_3 通り) | 28.4 |
| | | 中間壁 (R_5 通り) | 23.1 |
| | | 中間壁 (R_6 通り) | 30.8 |
| | | RCCV | 234 |
| | | RPV基礎 | 57.6 |

(b) EW 方向 曲げモーメント

| 応答曲げモーメント | | 入力曲げモーメント | |
|-----------|---|-------------------|---|
| 応答軸 | 応答値 ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$) | 部位 | 入力値 ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$) |
| 外壁部 | 19.9 | ボックス壁 (R_1 通り) | 10.9 |
| | | ボックス壁 (R_7 通り) | 10.9 |
| RCCV部 | 10.2 | 中間壁 (R_2 通り) | 1.30 |
| | | 中間壁 (R_3 通り) | 0.764 |
| | | 中間壁 (R_5 通り) | 0.619 |
| | | 中間壁 (R_6 通り) | 0.828 |
| | | RCCV | 6.65 |
| | | RPV基礎 | 1.19 |

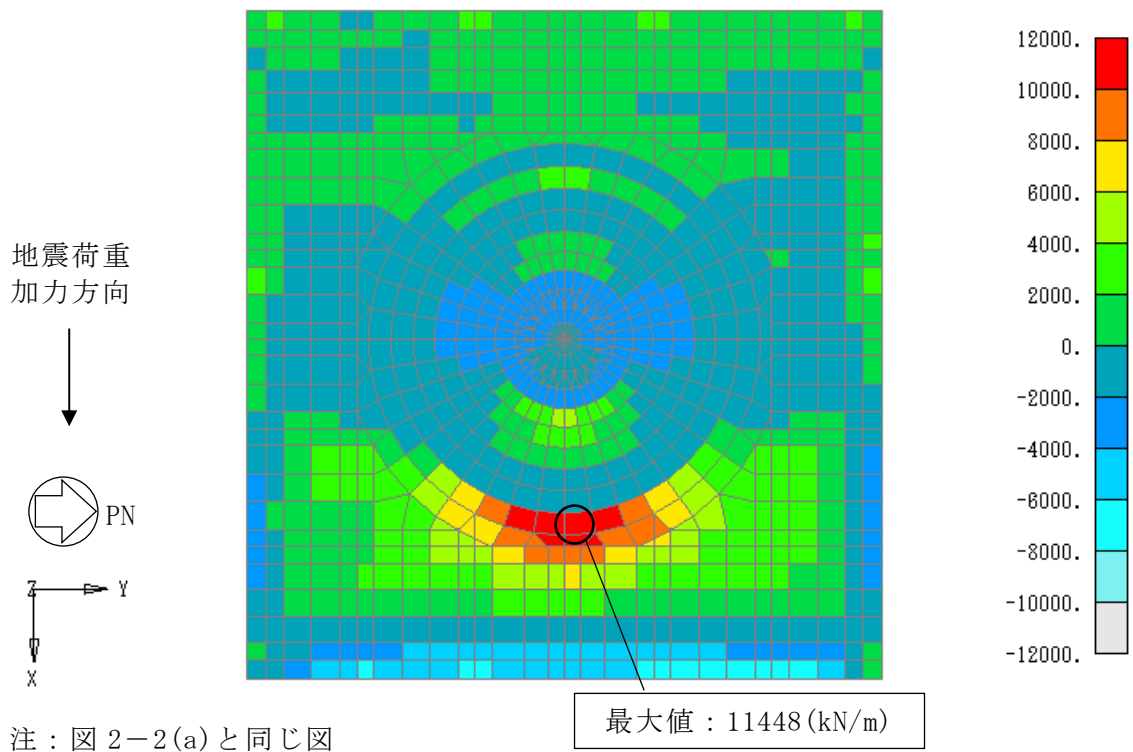
表 2-3 入力地震荷重 (Ss-2 ケース 5) (2/2)

(c) 鉛直地震荷重

| 部位 | 応答値 ($\times 10^4 \text{kN}$) | 軸力係数 |
|----------------------|------------------------------------|------|
| RCCV, ボックス壁 及び中間壁 | 77.0 | 0.55 |
| RPV 基礎 | 5.02 | 0.60 |
| 基礎スラブ | 26.9 | 0.48 |

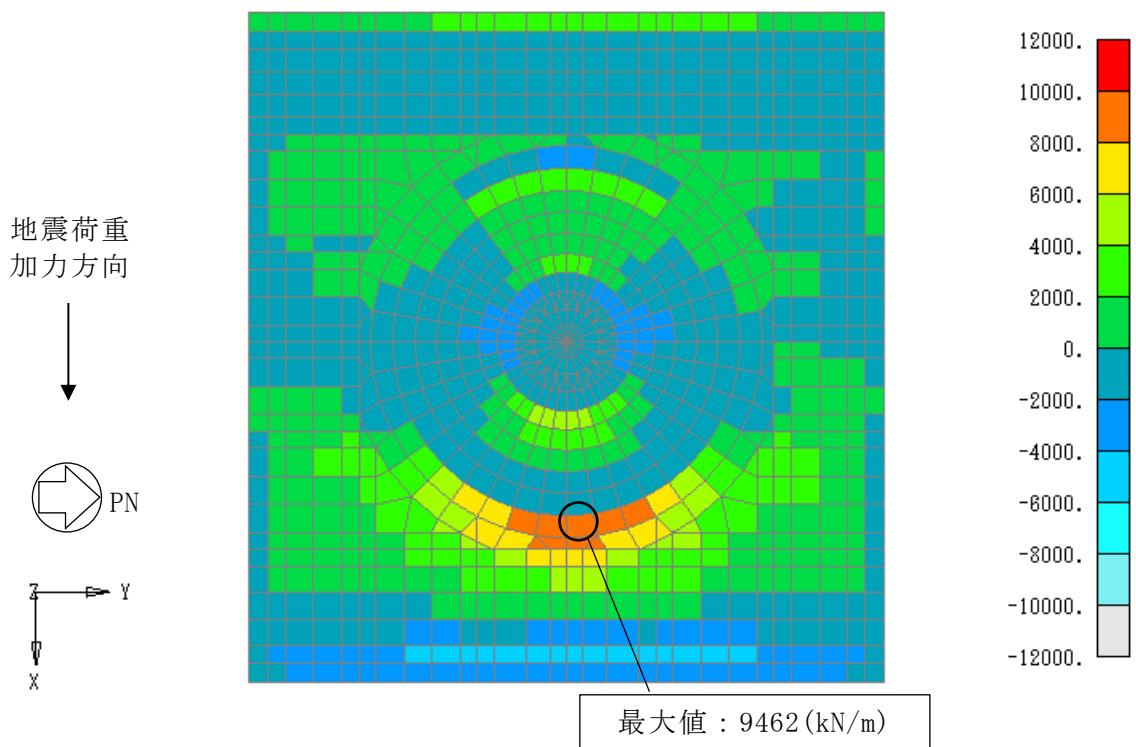
2.3.5 検討結果

基礎スラブの面外せん断力のコンター図について、検討モデル②の解析結果を、「2.2 検討モデルの妥当性確認」に示す基準モデルの解析結果と比較して図 2-4 に示す。基礎スラブの最大面外せん断力は、基準モデルよりも検討モデル②の方が小さくなる。このことから、今回工認における基礎スラブの応力は、最も壁が塑性化した状態での応力に対して、保守的に評価していると判断できる。



注：図 2-2(a) と同じ図

(a) 基準モデル



(b) 検討モデル②

図 2-4 基礎スラブの面外せん断力のコンター図 EW 方向 (単位：kN/m)

3. まとめ

RCCV 底部及び周辺部基礎の応力解析において、地震時の中間壁及びボックス壁の塑性化が基礎スラブの応力に及ぼす影響を検討した。その結果、今回工認における基礎スラブの応力は、最も壁が塑性化した状態での応力に対して、保守的に評価していることを確認した。