

# 柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画認可申請に係る論点整理について

**TEPCO**

---

2020年7月20日  
東京電力ホールディングス株式会社

## 【説明内容】

- 下記の工事計画認可申請に係る論点及び第870回審査会合における指摘事項に対する回答について説明する。

### ■ 耐震評価に関する論点整理・指摘事項への回答

| 分類 | No. | 説明項目（論点/指摘事項への回答）                         | 関連する<br>主な説明事項 |
|----|-----|---|----------------|
| 耐震 | 1   | 建物・構築物における地震応答解析モデルの既工認からの変更点【指摘事項に対する回答】 | [3]－4          |
|    | 2   | 建物・構築物の応力解析における弾塑性解析の採用【指摘事項に対する回答】       | [3]－6          |

## 【論点1】

建物・構築物における地震応答解析モデルの既工認からの変更点  
【指摘事項に対する回答】

## 本日のご説明内容

### ▶ 原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合の指摘事項に対する回答

| No. | 実施日                     | 指摘事項  |
|-----|-------------------------|---|
| 1   | 令和2年6月30日<br>第870回 審査会合 | 今回工認において、補助壁の負担せん断力を減じて設計を行っているRCCVについて、地震応答解析、応力解析、許容限界等の観点に対する保守性の考え方を整理して説明すること。 |
| 2   | 令和2年6月30日<br>第870回 審査会合 | 床スラブについて、補助壁が負担したせん断力を下層へ伝達する役割を担うことから、補助壁が負担するせん断力を床スラブが十分に伝達できていることを説明すること。       |

## 目次

---

1. 指摘事項及び回答の概要
2. RCCVの保守性の考え方
3. 床スラブによるせん断力の伝達

## 1. 指摘事項及び回答の概要

## 第870回 審査会合（令和2年6月30日）における説明

- 第870回 審査会合では、RCCVの評価における補助壁の取扱いとして、補助壁にせん断力を負担させることを説明した。

【論点1】 3. 補助壁の取扱いの整理並びに設計体系の合理性及び結果の保守性の確認

### RCCVの評価における補助壁の取扱い並びに各部材の設計体系の合理性及び結果の保守性

- 既工認時は、地震応答解析では間仕切壁（補助壁含む）を考慮しておらず、応力解析においても間仕切壁（補助壁含む）をモデル化せず、RCCVのみで地震荷重を負担する設計としていた。
- 今回工認では、地震応答解析では補助壁を考慮しているが、応力解析では補助壁をモデル化していないことを踏まえ、RCCVに入力する地震荷重を精緻化するため、補助壁分のせん断力を除いた地震荷重をRCCVで負担する評価を実施している。
- 補助壁にせん断力を負担させることについては、3次元FEMモデルを用いたせん断力負担割合の検討により、妥当性を確認している。
- せん断力を負担させた補助壁の健全性については、弾性設計用地震動  $S_d$  による動的地震力では、補助壁がRC-N規準を参考とした耐震要素の条件を満たしており、地震応答解析結果においてせん断応力度がせん断スケルトンの第1折点のせん断応力度より小さいことにより確認している。
- せん断力を負担させた補助壁の健全性については、基準地震動  $S_s$  による動的地震力では、地震応答解析結果において、補助壁に発生するせん断力が終局強度を下回ること、せん断ひずみが  $2.0 \times 10^{-3}$  以下であることにより確認している。
- 以上より、RCCVの評価における補助壁の取扱い並びに各部材の設計体系の合理性及び結果の保守性を確認した。

| 項目      | 内容        |      | 既工認時        | 今回工認                         | 備考                                   |
|---------|-----------|------|-------------|------------------------------|--------------------------------------|
| RCCVの評価 | 応力解析による評価 | モデル化 | 間仕切壁をモデル化せず | 間仕切壁及び補助壁をモデル化せず             | -                                    |
|         |           | 地震荷重 | RCCVのみで負担   | 補助壁のせん断力の負担分を考慮（せん断断面積比より算定） | 補助壁にせん断力を負担させることについて、妥当性及び補助壁の健全性を確認 |

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

**TEPCO**

31

（第870回 審査会合（令和2年6月30日）スライド31より抜粋）

## 審査会合での指摘事項

---

- 第870回 審査会合では、RCCVの評価において補助壁にせん断力を負担させることに関連し、以下の指摘を受けた。

### ■ 指摘事項No.1

今回工認において、補助壁の負担せん断力を減じて設計を行っているRCCVについて、地震応答解析、応力解析、許容限界等の観点に対する保守性の考え方を整理して説明すること。

### ■ 指摘事項No.2

床スラブについて、補助壁が負担したせん断力を下層へ伝達する役割を担うことから、補助壁が負担するせん断力を床スラブが十分に伝達できていることを説明すること。



## 指摘事項に対する回答

- 第870回 審査会合での指摘事項No.1, 2に対し、以下のとおり回答する。

### ■ 指摘事項No.1

今回工認において、補助壁の負担せん断力を減じて設計を行っているRCCVについて、地震応答解析、応力解析、許容限界等の観点に対する保守性の考え方を整理して説明すること。

### ■ 指摘事項No.2

床スラブについて、補助壁が負担したせん断力を下層へ伝達する役割を担うことから、補助壁が負担するせん断力を床スラブが十分に伝達できていることを説明すること。



### ■ 回答

- RCCVについて、地震応答解析、応力解析、許容限界の観点に対するそれぞれの保守性を整理し、総合的に余裕を有していることを確認した。
- 原子炉建屋の3次元FEMモデルを用いた地震応答解析結果における床スラブの面内せん断応力度より、床スラブが弾性状態であることから、補助壁が負担するせん断力を床スラブを介して下層へ十分に伝達できることを確認した。

## 2. RCCVの保守性の考え方

## A. 地震応答解析における保守性

---

地震応答解析においては、以下の保守性があり、RCCVは余裕を有している。

### A-1. 地震動の策定

地震応答解析の入力である基準地震動  $S_s$  及び弾性設計用地震動  $S_d$  については、震源モデルの不確かさ（断層長さ及び連動、断層傾斜角、応力降下量、破壊伝播速度、アスペリティの位置、破壊開始点）を考慮し、必要に応じてそれらを組み合わせて評価している。

### A-2. 地震応答解析モデル

地震応答解析モデルについては、建屋質点系・地盤2次元FEMモデルと今回工認モデルである埋込みSRモデルを比較すると、応答は概ね同等ではあるが若干埋込みSRモデルの方が大きくなる傾向にある。

### A-3. 補助壁のスケルトン曲線

- ・「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制定）」（RC-N規準）を参考としたプロセスにより間仕切壁から補助壁を選定しており、選定しなかった間仕切壁のせん断剛性を考慮していない。
- ・「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）」で評価される第1折点で降伏する、完全弾塑性型のせん断スケルトン曲線で評価している。

### A-4. コンクリート剛性

地震応答解析モデルにおけるコンクリート剛性については、実機のコア平均の強度が $55.7\text{N/mm}^2$ であることを確認しているが、基本モデルとして建設時コンクリートの91日強度 $43.1\text{N/mm}^2$ を設定し、不確かさとして $-2\sigma$ の強度 $37.2\text{N/mm}^2$ を考慮している。

### A-5. 側面地盤回転ばね

地震応答解析モデルにおける側面地盤回転ばねについては、不確かさとしてばね値を50%に低減したケースを考慮している。

## B. 応力解析における保守性

---

応力解析においては、以下の保守性があり、RCCVは余裕を有している。

### B-1. 地震荷重

- ・ 基準地震動  $S_s$  及び弾性設計用地震動  $S_d$  による地震荷重については、各波の地震応答解析結果ごとに設定することも考えられるが、全波の材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果を包絡して設定している。
- ・ 基準地震動  $S_s$  によるせん断力については、補助壁が負担するせん断力を除いてRCCVに入力するせん断力を算定しているが、補助壁のせん断スケルトン曲線における第1折点のせん断耐力の90%を上限としており、RCCVに入力するせん断力が大きくなるように設定している。
- ・ 静的地震力については、既工認時の静的地震力をそのまま用いることも考えられるが、基準地震動  $S_1$  による動的地震力及び静的地震力に余裕を考慮して設定した既工認時の設計用地震力の値を適用している。

### B-2. 圧力

荷重状態 V の弾性設計用地震動  $S_d$  による地震荷重と組み合わせる圧力については、事象の発生確率、継続時間、地震動の発生確率を踏まえると、事象発生後  $10^{-2}$  年以上  $2 \times 10^{-1}$  年未満の期間の圧力を設定することが考えられるが、事象発生以降の最大となる圧力を設定している。

### B-3. 応力解析手法

圧力や地震荷重は時々刻々と変化する荷重であり、時刻歴を考慮すると最大値同士が同時に作用しないことも考えられるが、最大値同士を同時に作用させる静的応力解析を採用している。

## C. 許容限界における保守性

---

許容限界においては、以下の保守性があり、RCCVは余裕を有している。

### C-1. コンクリート

コンクリートの許容応力度については、地震応答解析におけるコンクリート剛性の不確かさとして考慮している $-2\sigma$ の強度 $37.2 \text{ N/mm}^2$ よりも小さい設計基準強度 $32.3 \text{ N/mm}^2$ に基づき設定している。

### C-2. 鉄筋

荷重状態Ⅳ及びⅤの鉄筋のひずみの許容値 $0.005$ については、「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）」（CCV規格）の解説に「部材の変形が過大にならないように配慮して定めた」とあり、「降伏ひずみの2から3倍程度とした」と記載されている。

一般的に、降伏ひずみの2から3倍程度は、最大引張強度に至るまでには程遠い状態であり、日本産業規格（JIS）に示されるSD345及びSD390の伸びが $16\sim 19\%$ （ $0.16\sim 0.19$ ）であることを踏まえると、破断に対しても十分余裕がある。

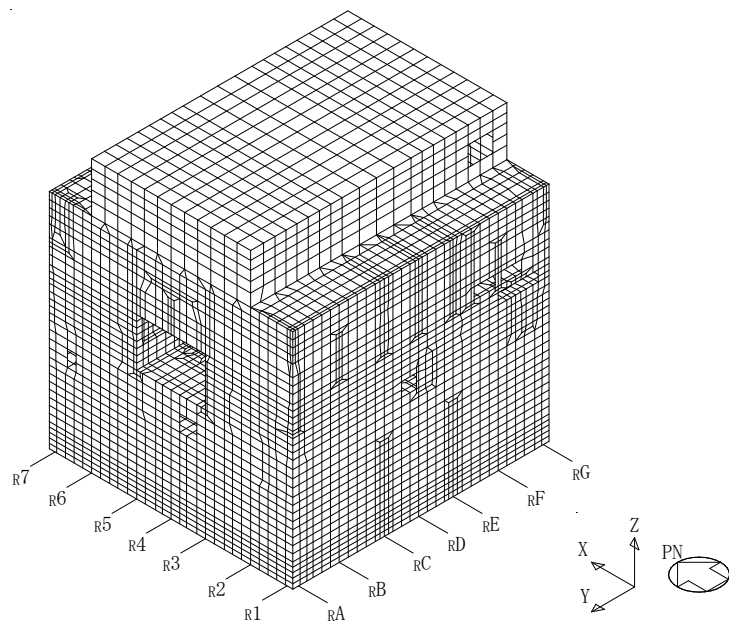
### C-3. 断面の評価

- 荷重状態Ⅳ及びⅤのシェル部の面内せん断力及び面外せん断力に対する評価については、CCV規格において鉄筋の許容応力度に最大引張強度ではなく規格降伏点強度を用いることとされており、終局状態に対して保守的な設定となっている。また、CCV規格の式は実験結果の下限を評価している。
- 荷重状態Ⅳ及びⅤのトップスラブ部及び底部の面外せん断力に対する評価については、CCV規格において荷重状態Ⅲの式を用いることとされており、終局状態に対して保守的な設定となっている。

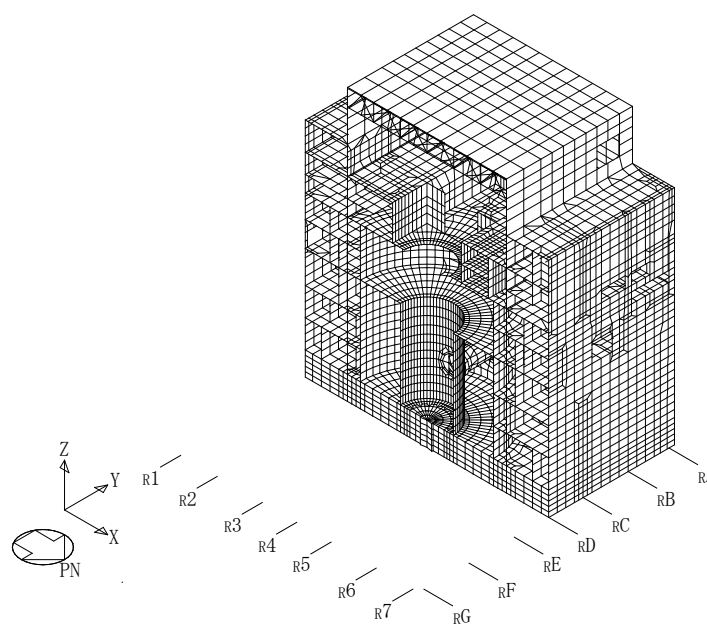
### 3. 床スラブによるせん断力の伝達

## 検討方針

- 床スラブが弾性状態であれば、床スラブは補助壁が負担するせん断力を下層へ十分に伝達できると考えられることから、 $S_s$ 地震時に原子炉建屋の床スラブが弾性状態であるかを確認する。
- 原子炉建屋については、3次元挙動を把握するために3次元FEMモデルを用いた地震応答解析を実施しており、その結果における床スラブの面内せん断応力度を確認する。
- ただし、3次元FEMモデルを用いた地震応答解析は弾性応答解析としており、弾性設計用地震動  $S_d$  を入力していることから、弾性設計用地震動  $S_d$  と基準地震動  $S_s$  の比率として2を乗じることにより、 $S_s$ 地震時の面内せん断応力度を算定する。
- 検討に用いる地震動は、全周期帯の応答が大きく、建屋への影響も大きい  $S_d-1$  とする。



建屋全景（南西面）



NS断面図

### 3次元FEMモデル

## 検討結果（1 / 2）

- 各階の床スラブの面内せん断応力度の平均値がコンクリートのせん断ひび割れ強度  $1.76\text{N/mm}^2$ （ $= 0.31\sqrt{F_c}$ ）を下回っていることから、S s 地震時に床スラブが弾性状態であることを確認した。

各階の床スラブの面内せん断応力度の平均値（単位： $\text{N/mm}^2$ ）

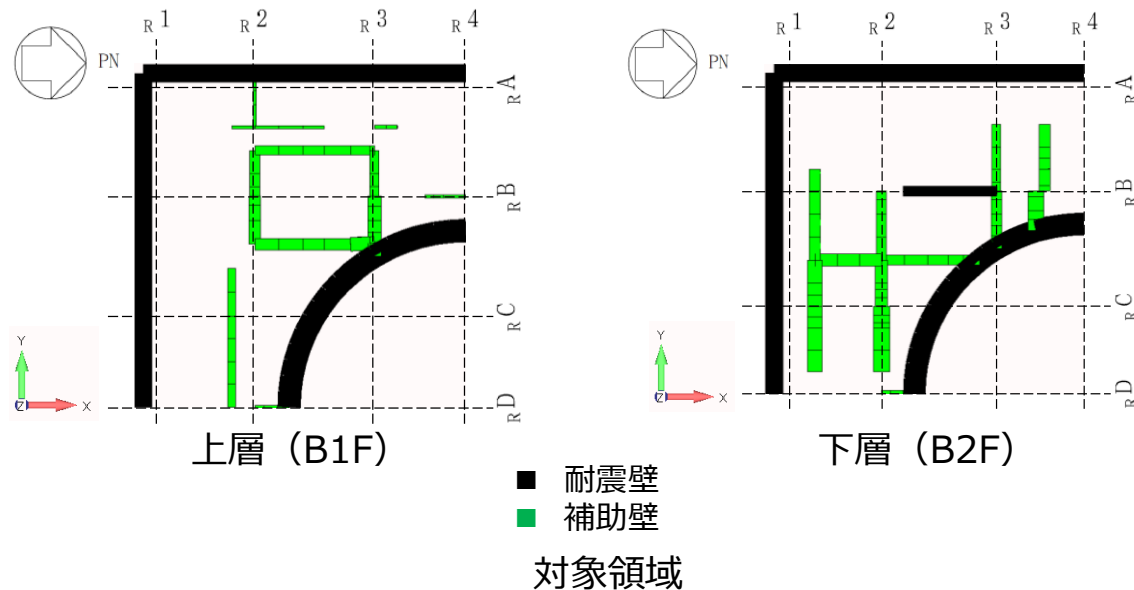
| 階                       | NS方向（X方向） | EW方向（Y方向） |
|-------------------------|-----------|-----------|
| 4F<br>(T.M.S.L. 31.7m)  | 0.802     | 0.460     |
| 3F<br>(T.M.S.L. 23.5m)  | 0.392     | 0.342     |
| 2F<br>(T.M.S.L. 18.1m)  | 0.374     | 0.356     |
| 1F<br>(T.M.S.L. 12.3m)  | 0.496     | 0.463     |
| B1F<br>(T.M.S.L. 4.8m)  | 0.431     | 0.425     |
| B2F<br>(T.M.S.L. -1.7m) | 0.517     | 0.478     |

注：表中の値は、Sd-1による面内せん断応力度に2を乗じて算定した値。



## 検討結果（2 / 2）

- また、補助壁が通り芯から大きく離れており、上層と下層で補助壁が連続しない領域の代表としてB1F南西部を抽出し、その領域の床スラブの面内せん断応力度の平均値についても確認した。
- 対象領域の床スラブの面内せん断応力度の平均値がコンクリートのせん断ひび割れ強度 $1.76\text{N/mm}^2$ （ $= 0.31\sqrt{F_c}$ ）を下回っていることから、S s地震時に床スラブが弾性状態であることを確認した。



対象領域の床スラブの面内せん断応力度の平均値（単位： $\text{N/mm}^2$ ）

| 階                      | NS方向（X方向） | EW方向（Y方向） |
|------------------------|-----------|-----------|
| B1F<br>(T.M.S.L. 4.8m) | 0.534     | 0.338     |

注：表中の値は、Sd-1による面内せん断応力度に2を乗じて算定した値。

## まとめ

---

### 1. 指摘事項及び回答の概要

- 指摘事項及び回答の概要を示した。

### 2. RCCVの保守性の考え方

- RCCVについて、地震応答解析、応力解析、許容限界の観点に対するそれぞれの保守性を整理し、総合的に余裕を有していることを確認した。

### 3. 床スラブによるせん断力の伝達

- 原子炉建屋の3次元FEMモデルを用いた地震応答解析結果における床スラブの面内せん断応力度より、床スラブが弾性状態であることから、補助壁が負担するせん断力を床スラブを介して下層へ十分に伝達できることを確認した。

## 【論点2】

建物・構築物の応力解析における弾塑性解析の採用  
【指摘事項に対する回答】

## 本日のご説明内容

### ▶ 原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合の指摘事項に対する回答

| No. | 実施日                     | 指摘事項  |
|-----|-------------------------|---|
| 3   | 令和2年6月30日<br>第870回 審査会合 | 弾塑性解析を適用するRCCVの評価について、境界条件として用いている床スラブを弾性としてモデル化していることの根拠を説明すること。また、コンクリート強度のばらつきや補助壁等の考慮の有無が拘束効果及び評価結果に与える影響に対する考察を説明すること。                       |
| 4   | 令和2年6月30日<br>第870回 審査会合 | 弾塑性解析結果による応力、ひずみの程度、分布状況等を示した上で、今回工認において応力平均化を適用する対象領域及びその周辺領域の配筋の状況、各応力の分布状況等を分析して説明すること。また、今回工認において、弾塑性解析を適用し、更に応力平均化を行うことの合理性及び適用範囲について説明すること。 |

## 目次

---

1. 指摘事項及び回答の概要
2. 床スラブのコンクリート強度による評価結果への影響
3. 補助壁等による床スラブの拘束効果への影響
4. 弾塑性解析における応力平均化

## 1. 指摘事項及び回答の概要

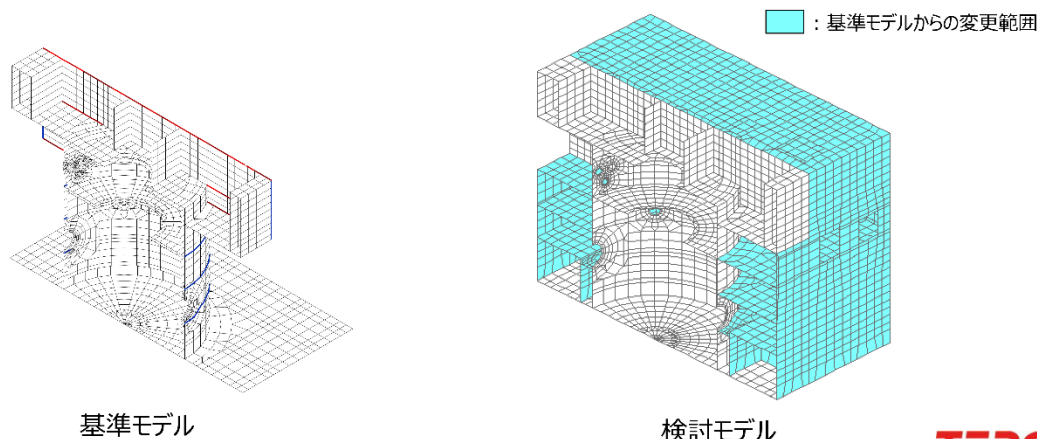
## 第870回 審査会合（令和2年6月30日）における説明

- 第870回 審査会合では、RCCVの評価についての課題として地震による壁の塑性化を挙げ、境界条件として考慮している壁（基礎スラブ上の中間壁及びボックス壁）の塑性化に対する影響検討結果を説明した。

【論点2】 3. 各課題に対する検討

### 影響検討（B-1：地震による壁の塑性化）

- RCCV底部及び周辺部基礎の応力解析モデル（基準モデル）に弾性部材として考慮している壁は基礎スラブ上の中間壁及びボックス壁であることから基礎スラブに着目し、中間壁及びボックス壁の地震時の塑性化が基礎スラブの応力に及ぼす影響を確認するため、影響検討を実施する。
- 影響検討は、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（検討モデル）を用いて実施する。
- 検討項目は、RCCV底部及び周辺部基礎の断面の評価において検定値が最も大き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。
- 検討方向は、RCCV底部及び周辺部基礎の評価において検定値が最も大きくなる荷重の組合せケースを参考に、加力方向は水平方向W→E、鉛直方向上向きとする。



©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

TEPCO

57

（第870回 審査会合（令和2年6月30日）スライド57より抜粋）

## 審査会合での指摘事項

---

- 第870回 審査会合では、RCCVの評価における境界条件に関連し、以下の指摘を受けた。

### ■ 指摘事項No.3

弾塑性解析を適用するRCCVの評価について、境界条件として用いている床スラブを弾性としてモデル化していることの根拠を説明すること。また、コンクリート強度のばらつきや補助壁等の考慮の有無が拘束効果及び評価結果に与える影響に対する考察を説明すること。



## 指摘事項に対する回答

- 第870回 審査会合での指摘事項No.3に対し、以下のとおり回答する。

### ■ 指摘事項No.3

弾塑性解析を適用するRCCVの評価について、境界条件として用いている床スラブを弾性としてモデル化していることの根拠を説明すること。また、コンクリート強度のばらつきや補助壁等の考慮の有無が拘束効果及び評価結果に与える影響に対する考察を説明すること。



### ■ 回答

- 原子炉建屋の3次元FEMモデルを用いた地震応答解析結果における床スラブの面内せん断応力度より、床スラブが弾性状態であることを確認した。（指摘事項No.2に対する回答のとおり）
- RCCVの応力解析モデルにおいて拘束条件として考慮している床スラブについて、コンクリート強度のばらつきを考慮した応力解析を実施し、評価結果に与える影響が小さいことを確認した。
- RCCVの応力解析モデルにおいて拘束条件として考慮している床スラブについて、各階を取り出したFEMモデルを用いた検討により、補助壁等の考慮の有無が拘束効果に与える影響が小さいことを確認した。

# 第870回 審査会合（令和2年6月30日）における説明（1 / 2）

- 第870回 審査会合では、弾塑性解析についての課題として応力平均化を挙げ、応力平均化の適用例を説明した。

【論点2】 3. 各課題に対する検討

## 応力平均化の適用例（A - 1 : 応力平均化）

- 応力平均化の適用例として、RCCVの底部での応力平均化を示す。
- 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。

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

$\tau_{ave}$  : 平均化後の面外せん断応力度  
 $\tau_i$  : 平均化前の各要素の面外せん断応力度  
 $A_i$  : 応力平均化範囲における各要素の面積

■ 応力平均化実施要素  
■ 平均化実施に用いた周辺要素

応力平均化範囲

応力平均化の結果

| 応力平均化対象要素                         | 要素番号     | 発生値 $\tau_i$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 要素面積 $A_i$ (m <sup>2</sup> ) | 重み付け値 $\tau_i \times A_i$ ( $\times 10^6$ N) |
|-----------------------------------|----------|-----------------------------------|------------------------------|--|
| 10002371                          | 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  |
| $\tau_{ave}$ (N/mm <sup>2</sup> ) |          |                                   |                              | 1.93   |

赤字 : 応力平均化前のせん断応力度  
青字 : 応力平均化後のせん断応力度

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社 **TEPCO**

（第870回 審査会合（令和2年6月30日）スライド54より抜粋）

## 第870回 審査会合（令和2年6月30日）における説明（2 / 2）

- 第870回 審査会合では、弾塑性解析についての課題として応力平均化を挙げ、弾塑性解析における応力平均化の考え方を説明した。

【論点2】 3. 各課題に対する検討

### 弾塑性解析における応力平均化の考え方（A - 1：応力平均化）

- 先行審査においては、応力解析は弾性解析であるが、応力平均化については、面外せん断力に対する断面の評価だけでなく、面外せん断力以外に対する断面の評価においても適用実績があり、適用性が確認されている。
- 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おり、面外せん断力以外に対する断面の評価では、応力平均化を適用していない。
- 一方、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、算出された応力に対して平均化を行っている。なお、応力平均化を適用した要素において、鉄筋は降伏していない。
- 以上より、弾塑性解析においても、面外せん断力に対する断面の評価に応力平均化を適用することは妥当と考える。

（第870回 審査会合（令和2年6月30日）スライド55より抜粋）

## 審査会合での指摘事項

---

- 第870回 審査会合では、弾塑性解析における応力平均化に関連し、以下の指摘を受けた。

### ■ 指摘事項No.4

弾塑性解析結果による応力、ひずみの程度、分布状況等を示した上で、今回工認において応力平均化を適用する対象領域及びその周辺領域の配筋の状況、各応力の分布状況等进行分析して説明すること。また、今回工認において、弾塑性解析を適用し、更に応力平均化を行うことの合理性及び適用範囲について説明すること。

## 指摘事項に対する回答

- 第870回 審査会合での指摘事項No.4に対し、以下のとおり回答する。

### ■ 指摘事項No.4

弾塑性解析結果による応力、ひずみの程度、分布状況等を示した上で、今回工認において応力平均化を適用する対象領域及びその周辺領域の配筋の状況、各応力の分布状況等进行分析して説明すること。また、今回工認において、弾塑性解析を適用し、更に応力平均化を行うことの合理性及び適用範囲について説明すること。



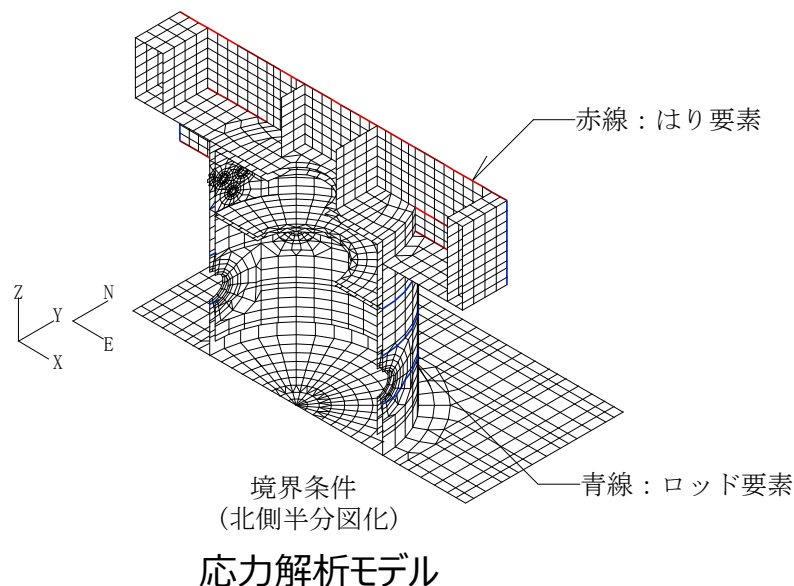
### ■ 回答

- RCCV底部の応力平均化範囲及びその周辺領域の配筋並びに応力及びひずみのコンター図より、応力平均化範囲でせん断補強筋を考慮可能であり、面外せん断力以外に局所的に大きな応力が発生していないことを確認した。
- 応力平均化範囲におけるせん断破壊面とFEM要素サイズの関係を確認し、弾塑性解析を適用し、更に応力平均化を行うことの合理性を示した。

## 2. 床スラブのコンクリート強度による評価結果への影響

## 検討方針（1 / 2）

- RCCVの応力解析モデルにおいて拘束条件として考慮している床スラブについて、拘束効果が大きい場合にRCCVにおいて検定値が大きくなっている面外せん断力に対する評価結果が厳しくなることを想定し、床スラブのコンクリート強度が大きい場合の弾塑性応力解析を実施し、評価結果に与える影響を確認する。
- 応力解析モデルは、RCCVの評価に用いているモデルと同一とし、床スラブによる拘束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変更する。
- 床スラブの剛性は、コンクリート強度を $43.1\text{N/mm}^2$ から実機のコア平均の強度 $55.7\text{N/mm}^2$ に変更して算定する。ただし、シェル要素としてモデル化しているRCCVシェル部等は $43.1\text{N/mm}^2$ のままとし、床スラブとの剛性の差が極端に大きい場合を想定する。



## 検討方針（2 / 2）

- 荷重の組合せケースは、弾塑性解析によるRCCVの評価において、床スラブによる拘束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）を選定する。

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<br>+<br>曲げモーメント <sup>*1</sup> | コンクリート圧縮ひずみ | 0.255 | 0.105   | 0.160               | 0.325               | 0.158 |
|                                    | 鉄筋ひずみ       | 0.218 | 0.162   | 0.080               | 0.376               | 0.176 |
| 膜力                                 | 圧縮応力度       | 0.739 | —       | —                   | —                   | 0.250 |
| 面内せん断力                             | 面内せん断応力度    | 0.698 | —       | —                   | —                   | 0.541 |
| 面外せん断力                             | 面外せん断応力度    | 0.514 | 0.897   | 0.832 <sup>*2</sup> | 0.894 <sup>*2</sup> | 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。

ケースNo.3-6の検定値



## 検討結果

- 各評価項目に対して、検定値（発生値／許容値）が1.0以下であり、評価結果に与える影響が小さいことを確認した。

影響検討の検定値一覧

| 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<br>+<br>曲げモーメント <sup>*1</sup> | 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 <sup>*2</sup> | 0.964 |

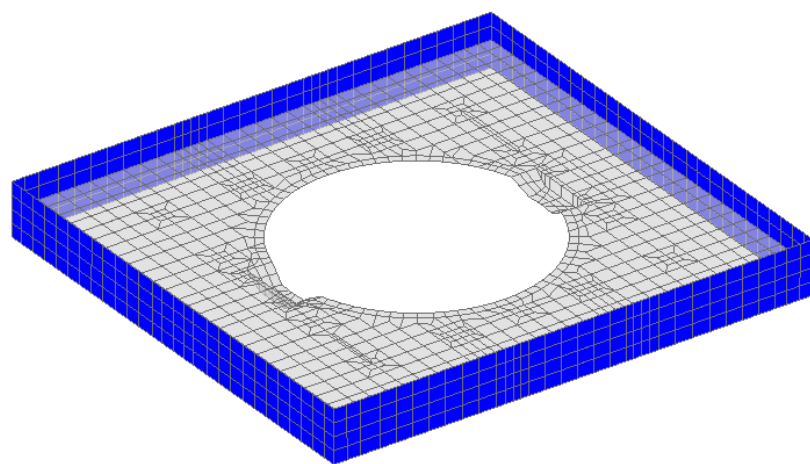
注記\*1：トップスラブ部及び底部では軸力＋曲げモーメントを示す。

\*2：応力平均化後の値を示す。

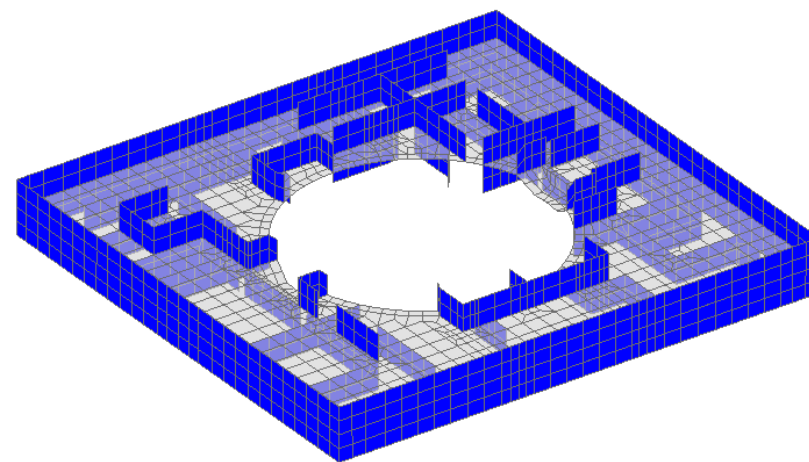
### 3. 補助壁等による床スラブの拘束効果への影響

## 検討方針

- RCCVの応力解析モデルにおいて拘束条件として考慮している床スラブについては、既工認時に床スラブと外壁をモデル化したFEMモデルにより妥当性を確認した上で設定していたため、今回の検討では、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。
- 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。



補助壁及び中間壁がない場合



補助壁及び中間壁がある場合

応力解析モデル (B2F(T.M.S.L.-1.7m)の例)

## 検討結果

- 補助壁及び中間壁がない場合とある場合で半径方向の変位に大きな差がないことから、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が小さいことを確認した。

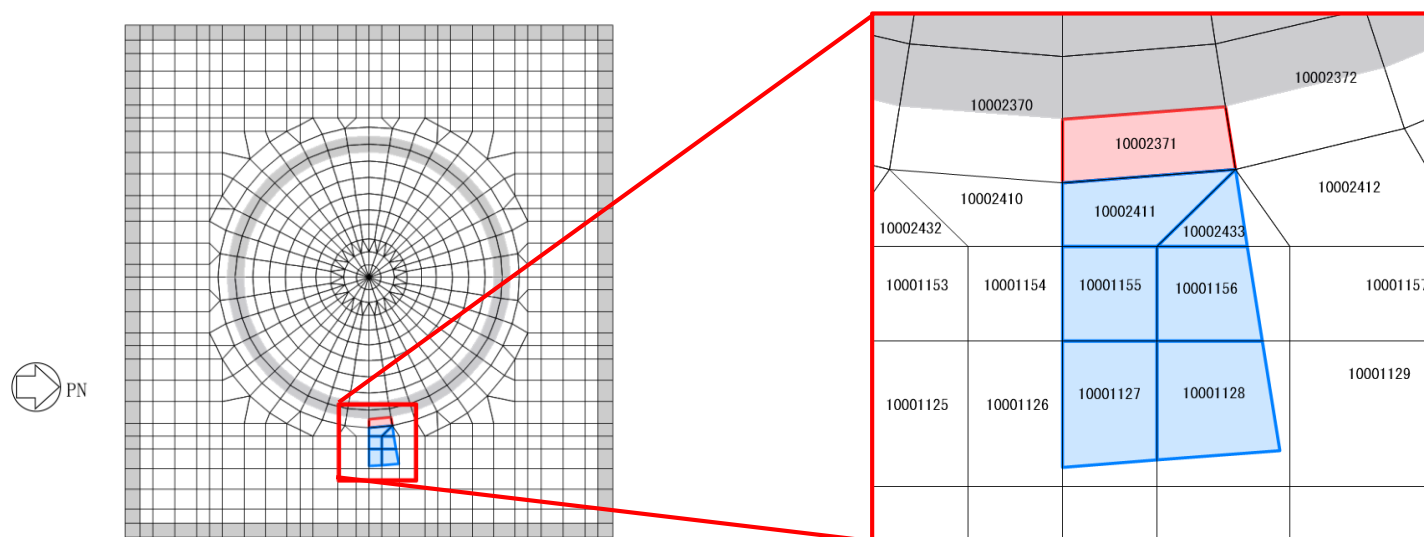
半径方向の変位の比較

| 階                       | ①<br>補助壁及び<br>中間壁がない場合<br>( $\times 10^{-6}\text{m}$ ) | ②<br>補助壁及び<br>中間壁がある場合<br>( $\times 10^{-6}\text{m}$ ) | 比率<br>(②/①) |
|-------------------------|--|--|-------------|
| 1F<br>(T.M.S.L. 12.3m)  | 0.921  | 0.873  | 0.95        |
| B1F<br>(T.M.S.L. 4.8m)  | 1.16   | 1.10   | 0.95        |
| B2F<br>(T.M.S.L. -1.7m) | 1.11   | 1.05   | 0.94        |

## 4. 弾塑性解析における応力平均化

## 応力平均化の適用箇所

- RCCV底部ではRC-N規準を参考に、壁面から基礎スラブの部材厚の範囲で、面外せん断力に対して応力平均化を適用している。
- 以降では、この応力平均化範囲及びその周辺領域の配筋並びに応力及びひずみのコンター図を確認する。
- なお、RCCVと同様に弾塑性解析を実施しているコントロール建屋では、応力平均化を適用していない。

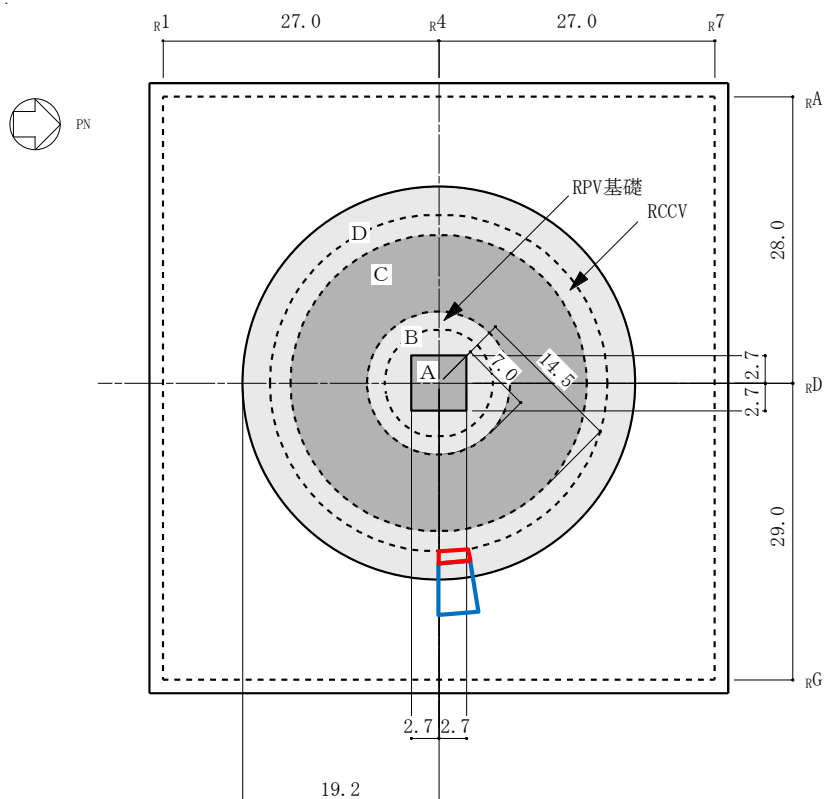


- 応力平均化実施要素
- 平均化実施に用いた周辺要素

RCCV底部の応力平均化範囲

# 配筋 (1 / 3)

- 応力平均化範囲とRCCV底部の主筋の関係は、以下の図のとおりとなっている。



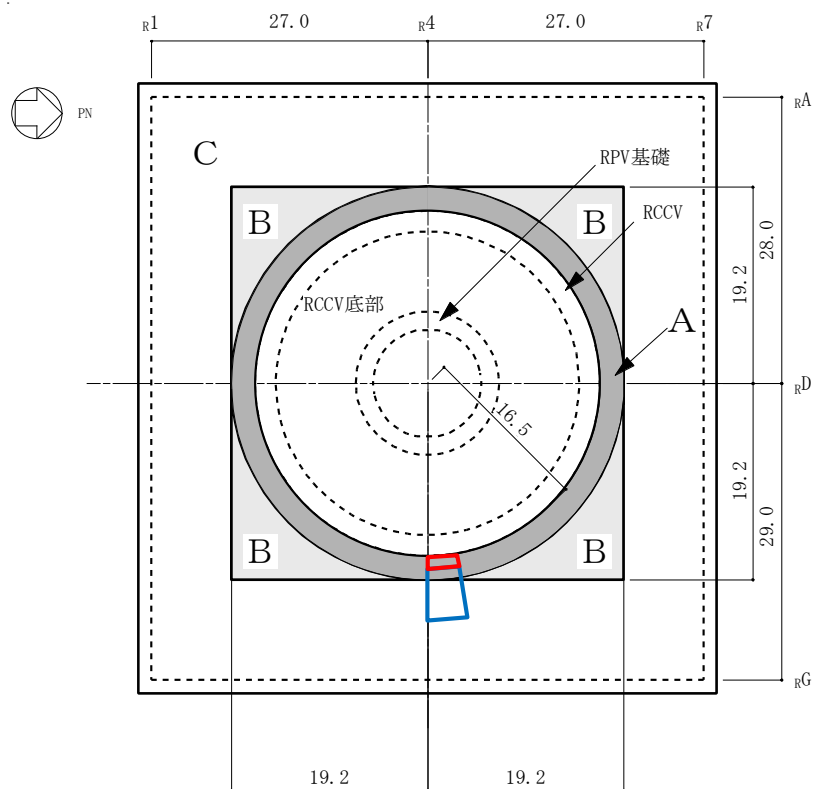
- 応力平均化実施要素
- 平均化実施に用いた周辺要素

| 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<br>+ 3-D38@400 | EW  | 5-D38@200 |
| C  | 放射  | 5×320-D38                | NS  | 5-D38@200 |
|    | 円周  | 2-D38@200<br>+ 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 |

## 主筋 (RCCV底部)

## 配筋 (2 / 3)

- 応力平均化範囲と周辺部基礎の主筋の関係は、以下の図のとおりとなっている。



| 領域 | 上ば筋 |           | 下ば筋 |           |
|----|-----|-----------|-----|-----------|
|    | 方向  | 配筋        | 方向  | 配筋        |
| A  | 放射  | 5×320-D38 | NS  | 5-D38@200 |
|    | 円周  | 5-D38@200 | EW  | 5-D38@200 |
| B  | NS  | 3-D38@200 | NS  | 5-D38@200 |
|    | EW  | 3-D38@200 | EW  | 5-D38@200 |
| C  | NS  | 3-D38@200 | NS  | 3-D38@200 |
|    | EW  | 3-D38@200 | EW  | 3-D38@200 |

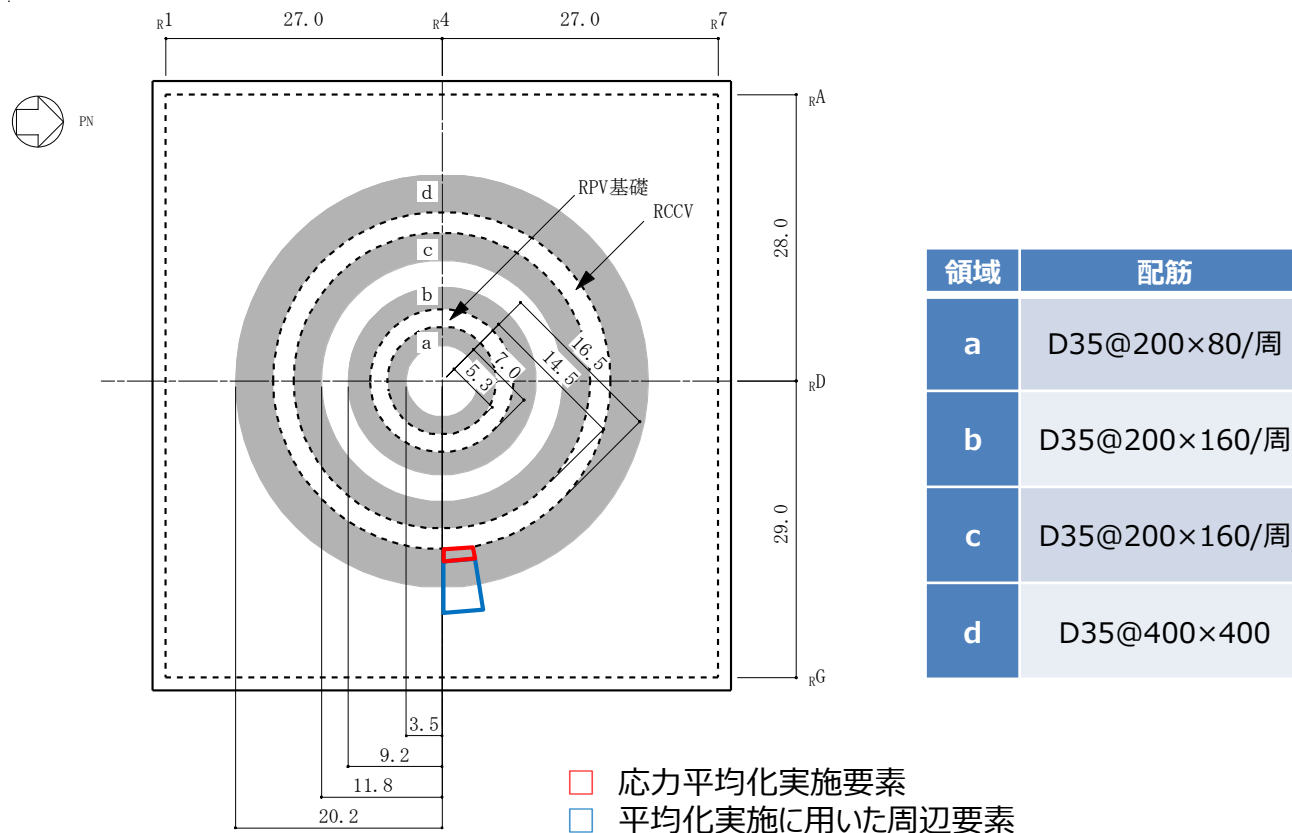
- 応力平均化実施要素
- 平均化実施に用いた周辺要素

主筋 (周辺部基礎)



## 配筋 (3 / 3)

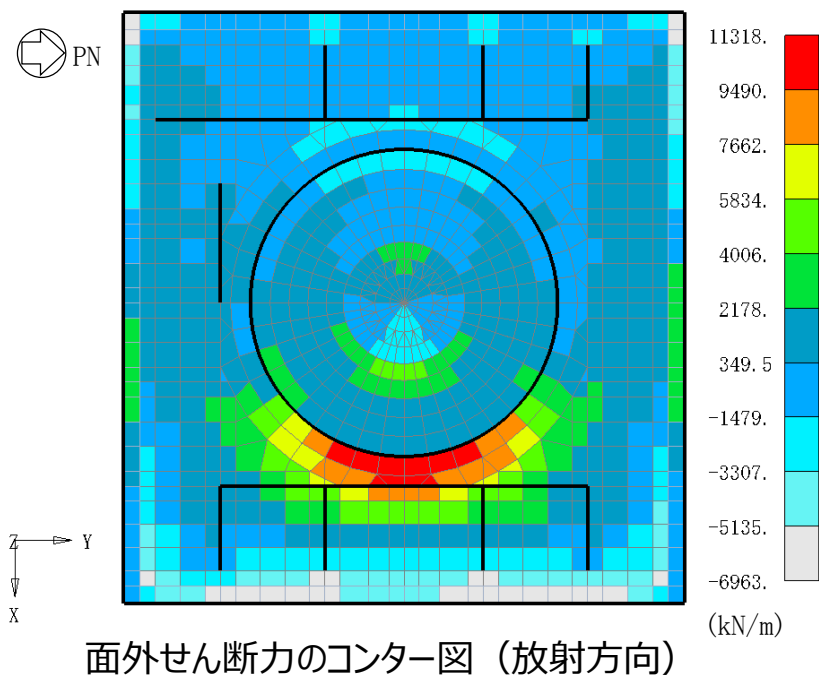
- 応力平均化範囲とせん断補強筋の関係は、以下の図のとおりとなっており、応力平均化範囲にせん断補強筋が存在する。
- CCV規格においては、せん断補強筋比が0.002以上であればせん断補強筋を考慮することが可能であるとされており、今回の応力平均化範囲においても、せん断補強筋比が0.002以上の範囲ではせん断補強筋を考慮し、0.002未満の範囲ではせん断補強筋を考慮していない。



### せん断補強筋

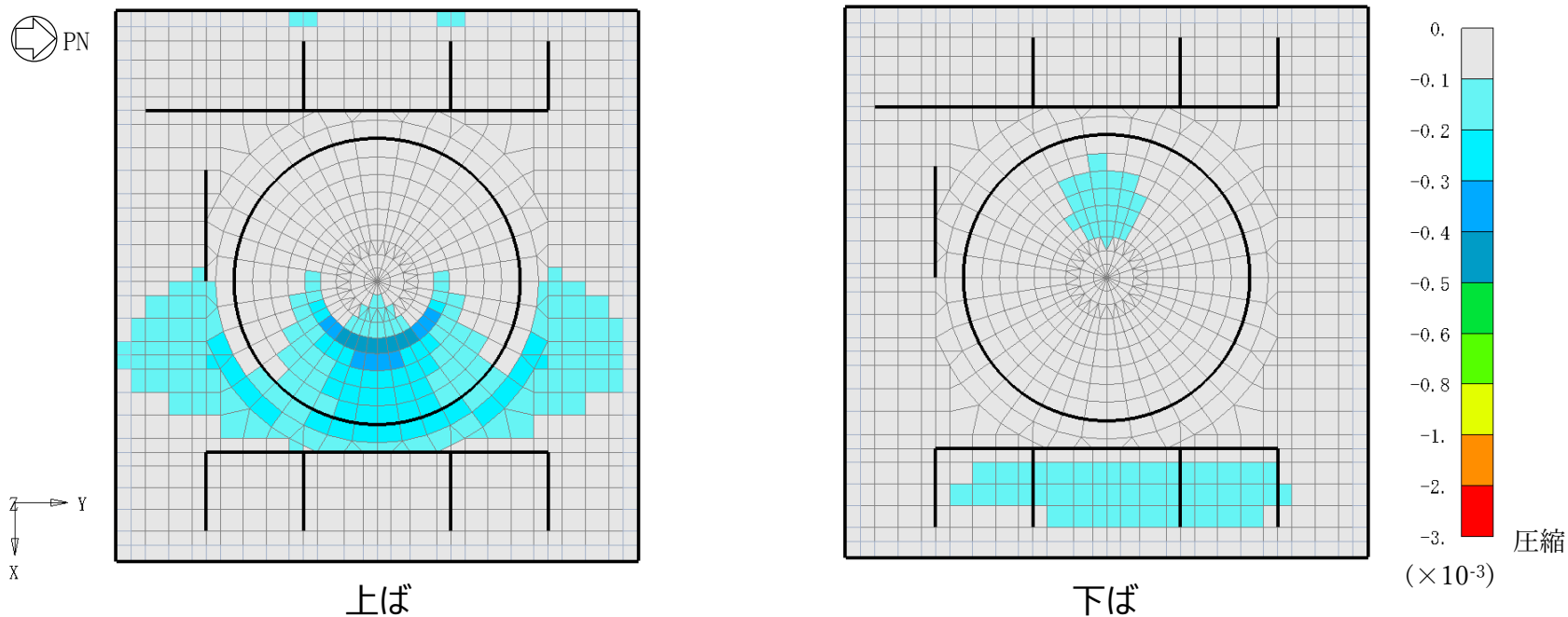
## 応力及びひずみのコンター図（1 / 3）

- 応力平均化を適用している荷重の組合せケースNo.3-2（荷重状態Ⅳ・地震時(2), 水平1.0, W→E方向, 鉛直上向き）における面外せん断力並びにコンクリート圧縮ひずみ及び鉄筋ひずみのコンター図を確認する。
- 面外せん断力のコンター図より, 応力平均化範囲及びその周辺領域では大きな面外せん断力が発生していることを確認した。



## 応力及びひずみのコンター図 (2 / 3)

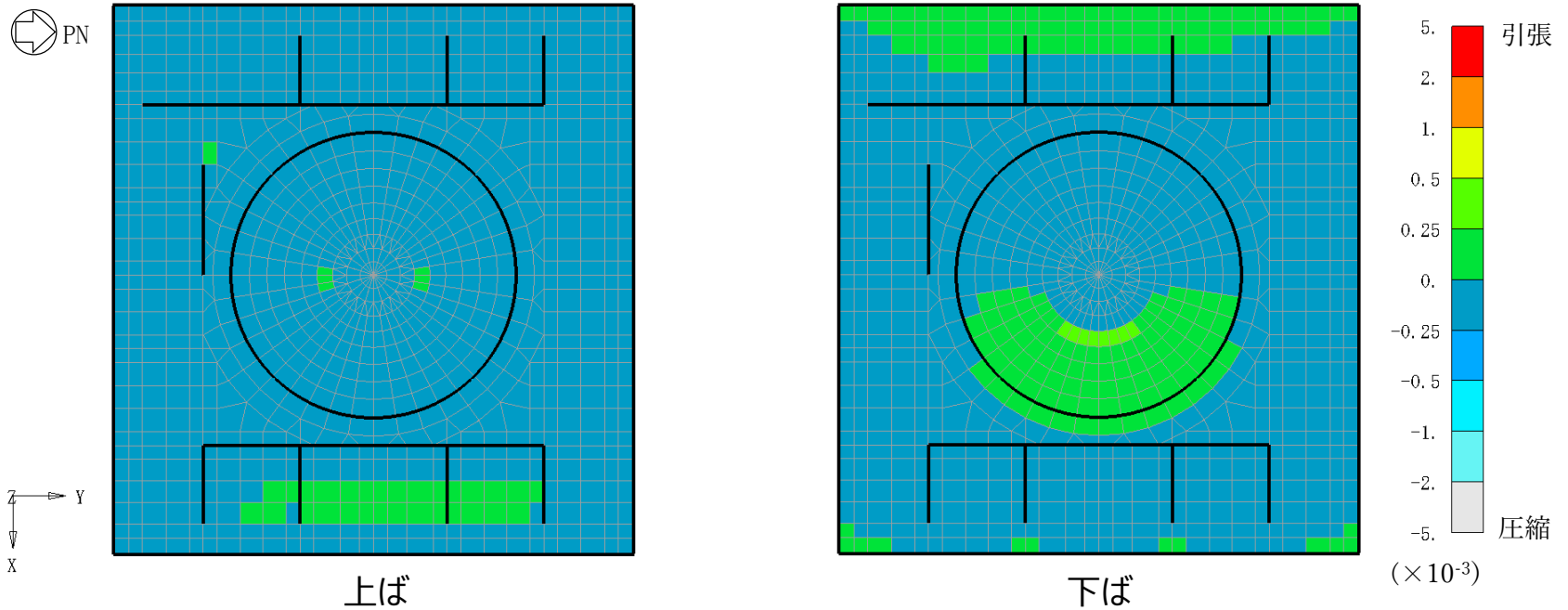
- コンクリート圧縮ひずみのコンター図より、応力平均化範囲及びその周辺領域では、局所的に大きなひずみは発生しておらず、コンクリート圧縮ひずみは許容値 $3.00 \times 10^{-3}$ に対して十分小さいことを確認した。



コンクリート圧縮ひずみのコンター図  
(円周放射配筋部分は放射方向，格子配筋部分はEW方向)

## 応力及びひずみのコンター図 (3 / 3)

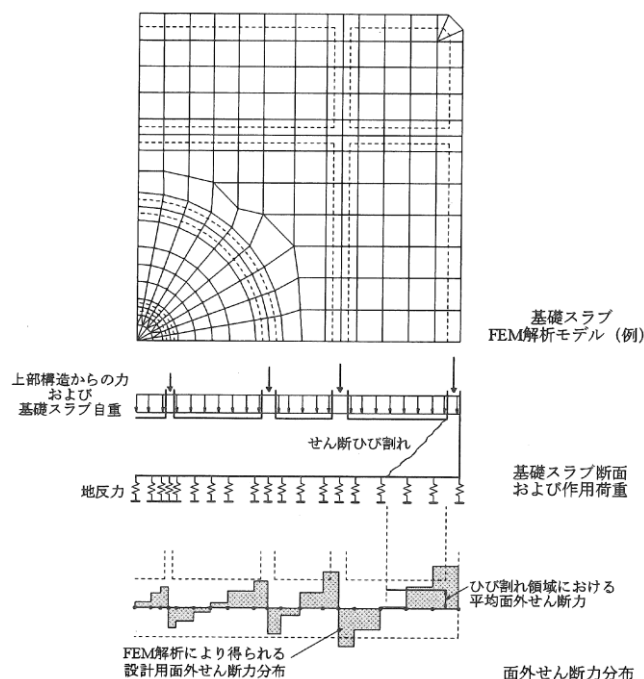
- 鉄筋ひずみのコンター図より、応力平均化範囲及びその周辺領域では、局所的に大きなひずみは発生しておらず、鉄筋引張ひずみは許容値 $5.00 \times 10^{-3}$ に対して十分小さく、弾性範囲であることを確認した。



鉄筋ひずみのコンター図  
(円周放射配筋部分は放射方向，格子配筋部分はEW方向)

## せん断破壊面とFEM要素サイズの関係（1 / 2）

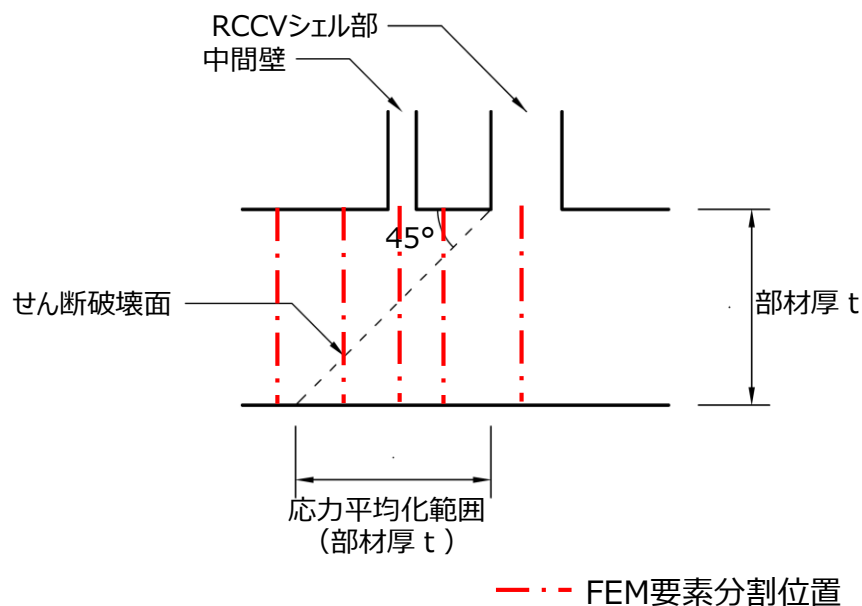
- RC-N規準においては、「通常の場合，FEM解析の要素サイズは，基礎スラブ版厚より小さいため，付図2.2に模式的に示されるように設計用面外せん断力は想定されるひび割れ領域での平均面外せん断力に対して大きめの評価となっているといえる。」とされている。
- FEM要素サイズが部材厚より小さい場合，FEM要素に生じる面外せん断力がひび割れ領域の面外せん断力と対応しないことから，弾塑性解析においても，面外せん断力については応力を平均化して求めることができる。



RC-N規準の付図2.2

## せん断破壊面とFEM要素サイズの関係 (2 / 2)

- RC-N規準の付図2.2より、せん断破壊面は荷重を作用させる部材から45°の角度で進展すると考えられる。
- これより、RCCV底部ではせん断破壊面が面材の表面から裏面まで貫通する範囲を応力平均化範囲としており、応力平均化範囲内のFEM要素に生じるせん断力をFEM要素サイズに応じた比率で平均化している。
- この場合、平均化後の面外せん断力は、弾塑性解析においても、せん断破壊面とFEM要素サイズの幾何学的関係で決まると言える。



RCCV底部のせん断破壊面とFEM要素サイズの関係

## まとめ

---

### 1. 指摘事項及び回答の概要

- 指摘事項及び回答の概要を示した。

### 2. 床スラブのコンクリート強度による評価結果への影響

- RCCVの応力解析モデルにおいて拘束条件として考慮している床スラブについて、コンクリート強度のばらつきを考慮した応力解析を実施し、評価結果に与える影響が小さいことを確認した。

### 3. 補助壁等による床スラブの拘束効果への影響

- RCCVの応力解析モデルにおいて拘束条件として考慮している床スラブについて、各階を取り出したFEMモデルを用いた検討により、補助壁等の考慮の有無が拘束効果に与える影響が小さいことを確認した。

### 4. 弾塑性解析における応力平均化

- RCCV底部の応力平均化範囲及びその周辺領域の配筋並びに応力及びひずみのコンター図より、応力平均化範囲でせん断補強筋を考慮可能であり、面外せん断力以外に局所的に大きな応力が発生していないことを確認した。
- 応力平均化範囲におけるせん断破壊面とFEM要素サイズの関係を確認し、弾塑性解析を適用し、更に応力平均化を行うことの合理性を示した。

【参考】



| 主な説明事項                                |    |                                   |
|---------------------------------------|----|-----------------------------------|
| [1]<br>詳細設計段階における設置変更<br>許可審査時からの設計変更 | 1  | 中央制御室待避室の遮蔽設計の見直し                 |
|                                       | 2  | 5号機原子炉建屋内緊急時対策所の遮蔽設計の見直し          |
|                                       | 3  | 5号機原子炉建屋内緊急時対策所可搬型電源設備の保管方法の変更    |
|                                       | 4  | 復水移送ポンプ周りの手動弁の電動弁化及び屋内アクセスルートの見直し |
| [2]<br>設計方針に関する説明事項                   | 1  | 使用済燃料貯蔵プール水位の監視                   |
|                                       | 2  | 重大事故等時の格納容器評価における評価条件             |
|                                       | 3  | 火災感知器の配置                          |
|                                       | 4  | 地下水に対する浸水防護対策                     |
|                                       | 5  | 竜巻設計飛来物の感度解析                      |
|                                       | 6  | ブローアウトパネル及びブローアウトパネル閉止装置          |
| [3]<br>耐震・強度評価に関する説明事項                | 1  | 津波漂流物の衝撃荷重（海水貯留堰）                 |
|                                       | 2  | 地盤物性の設定                           |
|                                       | 3  | 基礎地盤傾斜による建物・構築物及び機器の耐震性への影響       |
|                                       | 4  | 建物・構築物における地震応答解析モデルの既工認からの変更点     |
|                                       | 5  | 原子炉本体基礎の復元力特性                     |
|                                       | 6  | 建物・構築物の応力解析における弾塑性解析の採用           |
|                                       | 7  | 格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答解析モデルのモデル化方針    |
|                                       | 8  | 屋外重要土木建造物のモデル化方針                  |
|                                       | 9  | 耐震評価における等価繰返し回数                   |
|                                       | 10 | 加振試験に基づく使用済燃料貯蔵ラックの減衰定数の設定        |
|                                       | 11 | 弁の動的機能維持評価（一定の余裕の確保）              |
|                                       | 12 | 燃料集合体の耐震性                         |
|                                       | 13 | 制御棒・破損燃料貯蔵ラックにおける排除水体積質量減算の適用     |
|                                       | 14 | ECCSストレナの耐震・強度評価への流動解析の適用         |