

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  
(指摘事項に対する回答)

**TEPCO**

---

2020年6月8日  
東京電力ホールディングス株式会社

# 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	回答頁	目次
1	令和2年2月4日 第830回 審査会合	地震応答解析モデルにおいて補助壁を耐震要素として考慮することに関連して、設計体系の他のプロセスにおいての補助壁の取扱いを整理するとともに、設計体系の合理性及び結果の保守性の観点から設計体系の考え方を説明すること。	p.2~25	原子炉建屋の設計体系における補助壁の取扱い

# 1. 原子炉建屋の設計体系における補助壁の取扱い

---

# 1. 原子炉建屋の設計体系における補助壁の取扱い

## 第830回 審査会合（令和2年2月4日）における説明

- 前回の審査会合では、地震応答解析モデルの既工認からの変更点として、コンクリート実剛性の採用、補助壁の考慮、側面地盤回転ばねの考慮、表層地盤ばねの非考慮の4点を説明した。

### 【論点5】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(1/6) **TEPCO**

#### 1. 概要

##### (1) 主要な変更項目

基準地震動のレベルの増大に伴い、より現実に近い地震応答を算出することを目的として、下記を変更した地震応答解析モデルを採用する。

項目	既工認モデル	今回工認の動解モデル	主な目的
コンクリート実剛性の採用	コンクリート剛性に設計基準強度に基づく剛性を使用	コンクリート剛性にコンクリート強度データに基づく剛性を使用	建屋全体の剛性を設計時の条件に基づくものから現実のデータに基づくものに変更することで、建屋の振動性状や変形をより実状に近い応答に適正化
補助壁の考慮	耐震要素として外壁などの主要な壁のみモデル化	設計時には耐震要素として考慮していなかったが耐震要素として考慮可能な壁（補助壁）を追加でモデル化	建屋全体の剛性を、より実態に近い条件に基づくものに変更することで、建屋の振動性状や変形をより実状に近い応答に適正化
側面地盤回転ばねの考慮	地盤が建屋の回転を抑制する効果を考慮せず	地盤が建屋の回転を抑える効果をモデル化	建屋地下躯体部分と地盤間の接触部に生じる摩擦による拘束効果を回転ばねとして考慮することにより、建屋の接地率を改善するとともに、建屋の振動性状をより実状に近い応答に適正化
表層地盤ばねの非考慮	表層部の地盤ばねを考慮	表層部の地盤ばねを非考慮	地盤表層部については、地震動の増大に伴い、地盤—建屋相互作用効果が見込めないと考えられる事から、ばね評価を行わない

## 審査会合での指摘事項

---

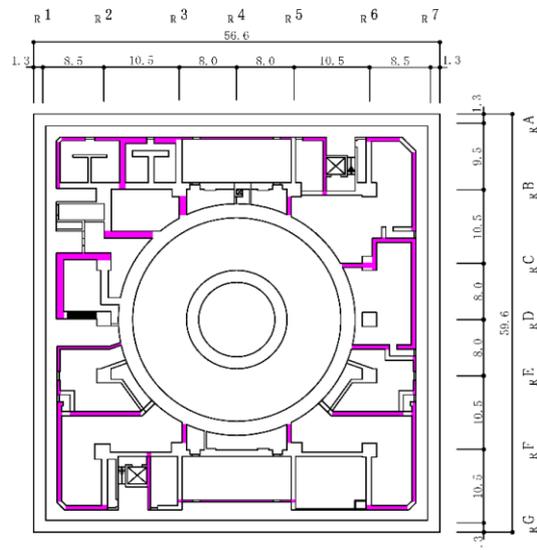
- 前回の審査会合では、地震応答解析モデルの既工認からの変更点のうち補助壁の考慮に関連し、以下の指摘を受けた。

### ■ 指摘事項No.1

地震応答解析モデルにおいて補助壁を耐震要素として考慮することに関連して、設計体系の他のプロセスにおいての補助壁の取扱いを整理するとともに、設計体系の合理性及び結果の保守性の観点から設計体系の考え方を説明すること。

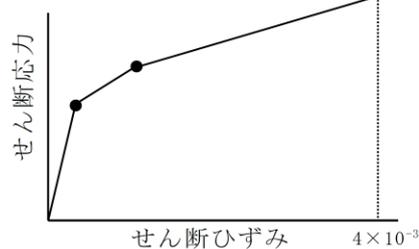
## 指摘事項の背景

- 今回工認の地震応答解析においては、以下のとおり補助壁を考慮することの妥当性を確認している。
  - 「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）」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，耐震要素として考慮可能な条件を満たしている。
  - 「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）」（J E A G 4 6 0 1-1991 追補版）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おり，保守的な設定としている。
  - 2007年新潟県中越沖地震のシミュレーション解析により，地震時の挙動をより実応答に近い形で評価できることを確認している。
- 上記の地震応答解析の結果は，後段の設計プロセスである耐震壁，RCCV，基礎スラブの評価に用いる。



補助壁の考慮範囲の例（B3F）

J E A G 4 6 0 1-1991 追補版 終局点



(a) 耐震壁



(b) 補助壁

せん断スケルトン曲線の概念図

## 指摘事項に対する課題の整理及び回答

### ■ 指摘事項No.1

地震応答解析モデルにおいて補助壁を耐震要素として考慮することに関連して、設計体系の他のプロセスにおいての補助壁の取扱いを整理するとともに、設計体系の合理性及び結果の保守性の観点から設計体系の考え方を説明すること。



### ■ 課題

- ・ 地震応答解析の他の設計プロセスである耐震壁，RCCV，基礎スラブの評価において，補助壁の取扱いが整理されていない。

⇒設計体系全体として，補助壁を考慮することの合理性及び結果の保守性が確認できていない。

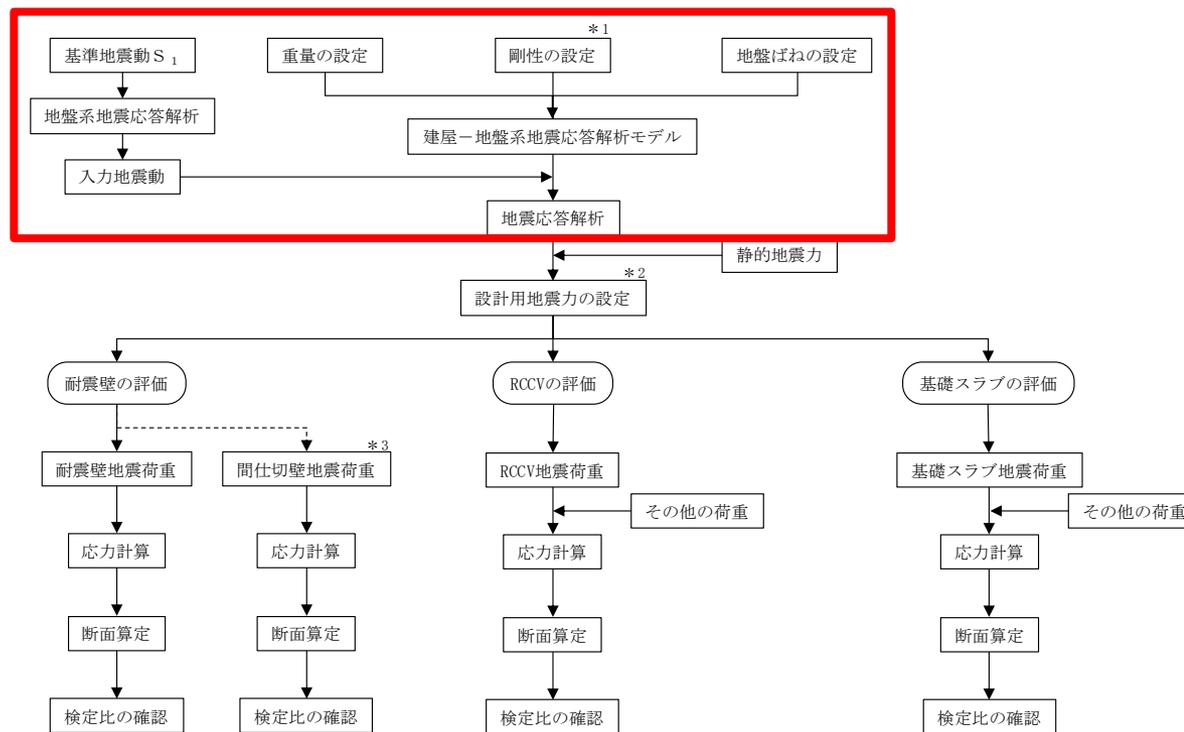


### ■ 回答

- ・ 設計体系のプロセスについて，既工認時及び今回工認における地震応答解析，設計用地震力，評価のフローを整理した。
- ・ 今回工認の耐震壁，RCCV，基礎スラブの評価における補助壁の取扱いを整理し，設計体系の合理性及び結果の保守性の観点から設計体系の考え方を示した。

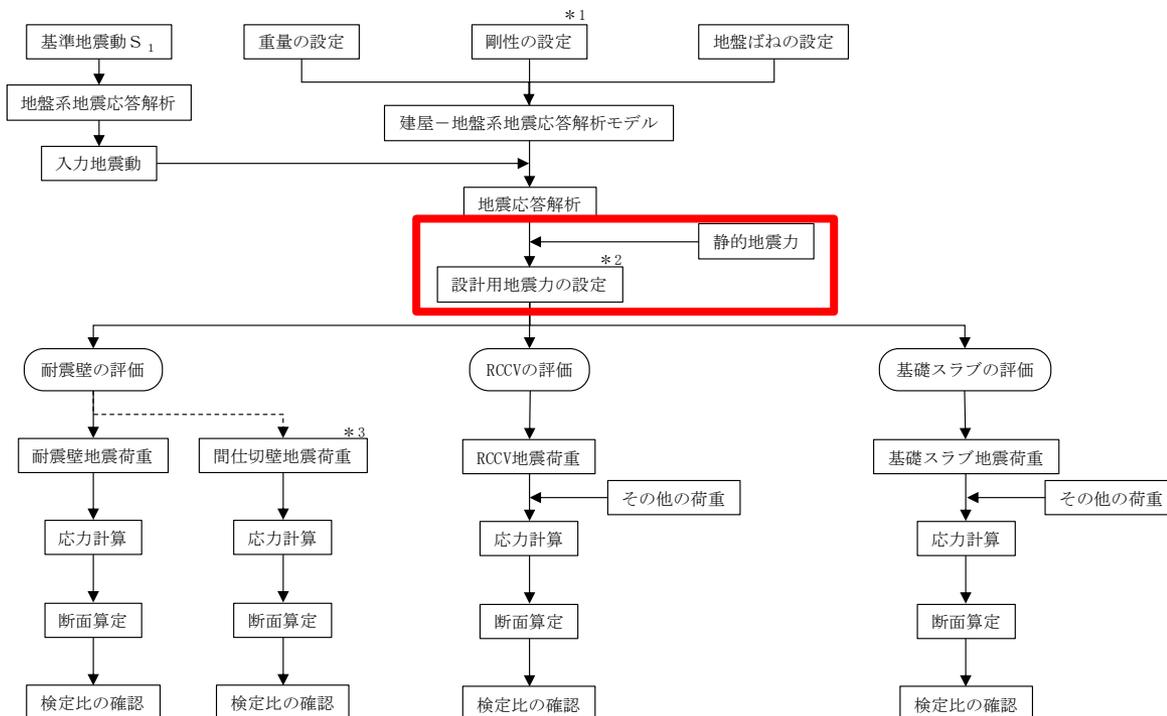
## 既工認時のフロー（地震応答解析）

- 原子炉建屋は、既工認時において、外壁及び中間壁（以下これらを「耐震壁」という。）並びにRCCVを耐震要素とし、それ以外の壁を間仕切壁として設計している。
- 既工認時の地震応答解析における建屋剛性としては、耐震壁及びRCCVのみを考慮し、間仕切壁は考慮せず解析を実施している。（\* 1）



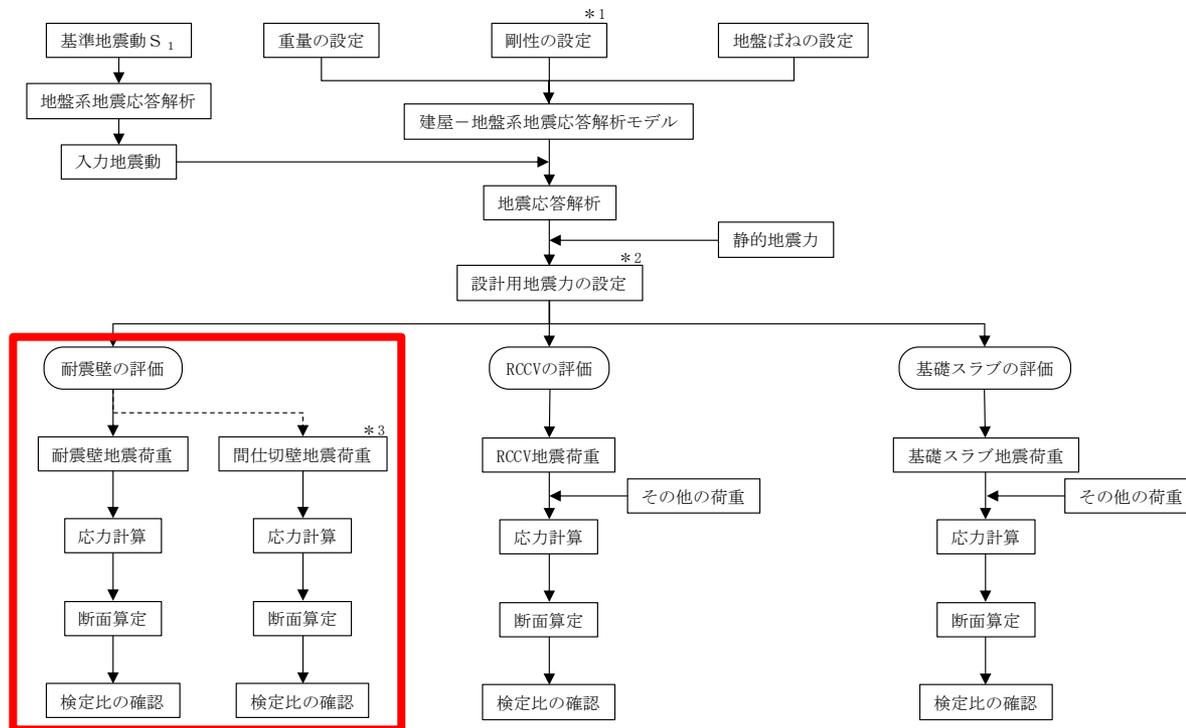
## 既工認時のフロー（設計用地震力）

- 既工認時における設計用地震力は、基準地震動  $S_1$  による動的地震力並びに層せん断力係数  $3.0 C_i$  及び地下部分の水平震度  $K$  による静的地震力より設定している。（\*2）
- 静的地震力は建屋全体で評価されるため、耐震壁及びRCCVの地震荷重は、それぞれの剛性を考慮して配分している。この際、間仕切壁は地震荷重を負担しないものとしている。
- なお、基準地震動  $S_2$  による動的地震力は、設計用地震力を下回ることを確認している。



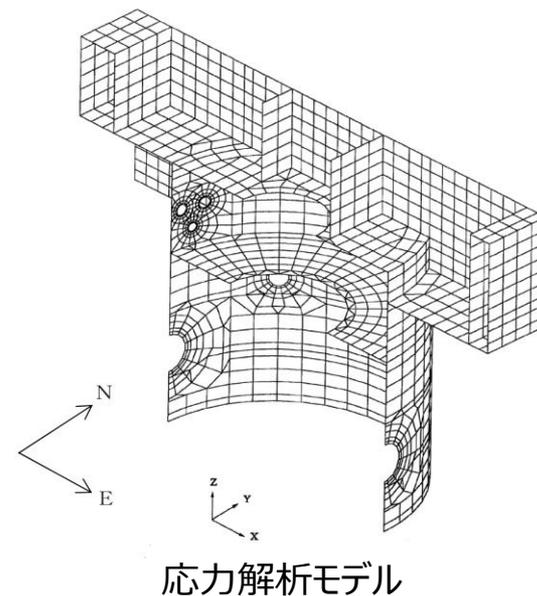
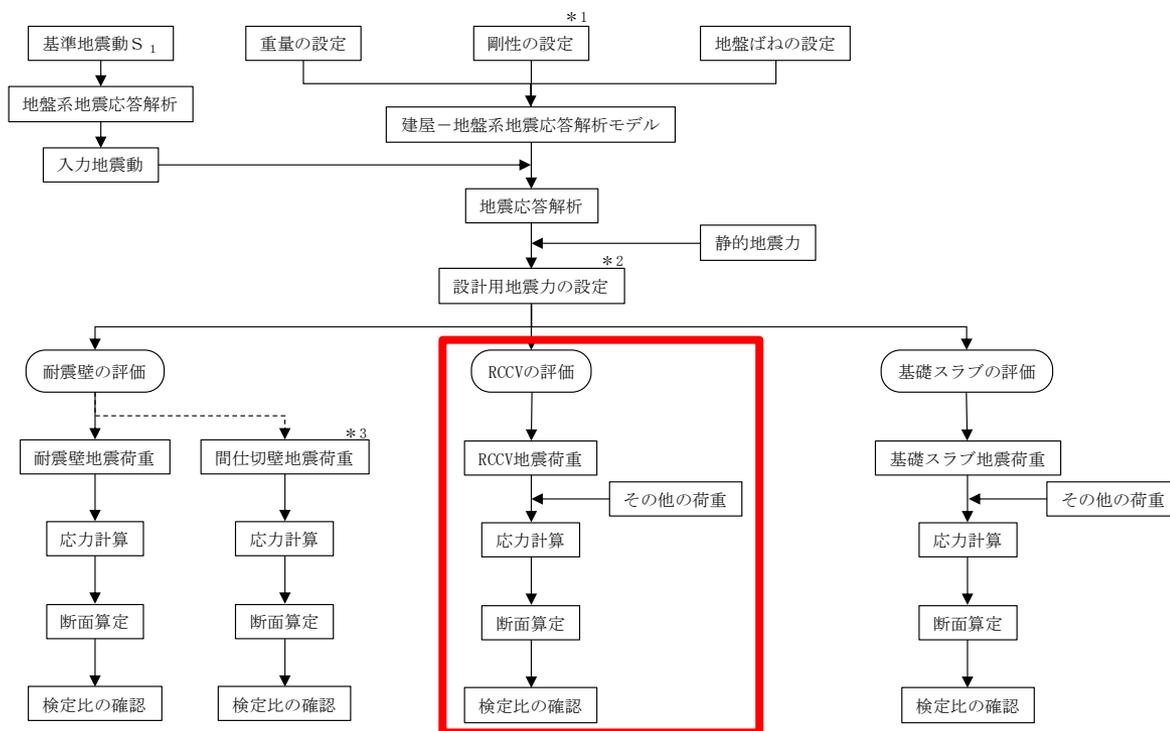
## 既工認時のフロー（耐震壁の評価）

- 既工認時における耐震壁の評価は、耐震壁の地震荷重に対する応力計算及び断面算定を実施し、許容応力度に対する発生応力度の比率（検定比）を確認している。
- なお、地震荷重はすべて耐震壁で負担する設計としており、間仕切壁は地震荷重を負担しないものの、耐震壁の地震荷重から、間仕切壁の分類に応じた地震荷重を設定して設計している。（\*3）



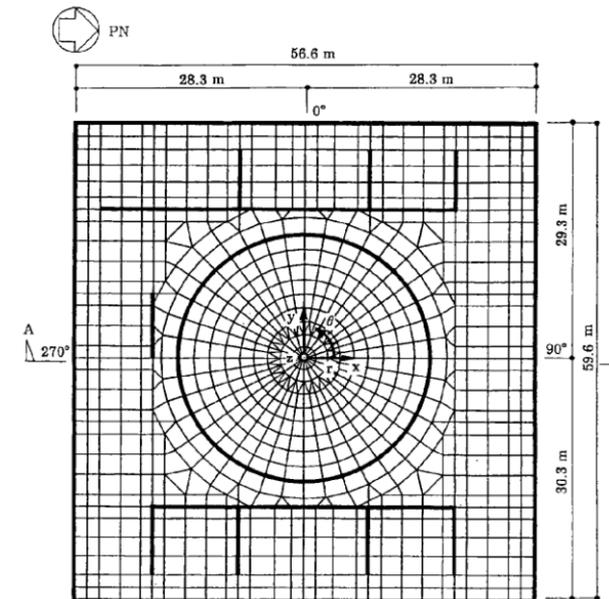
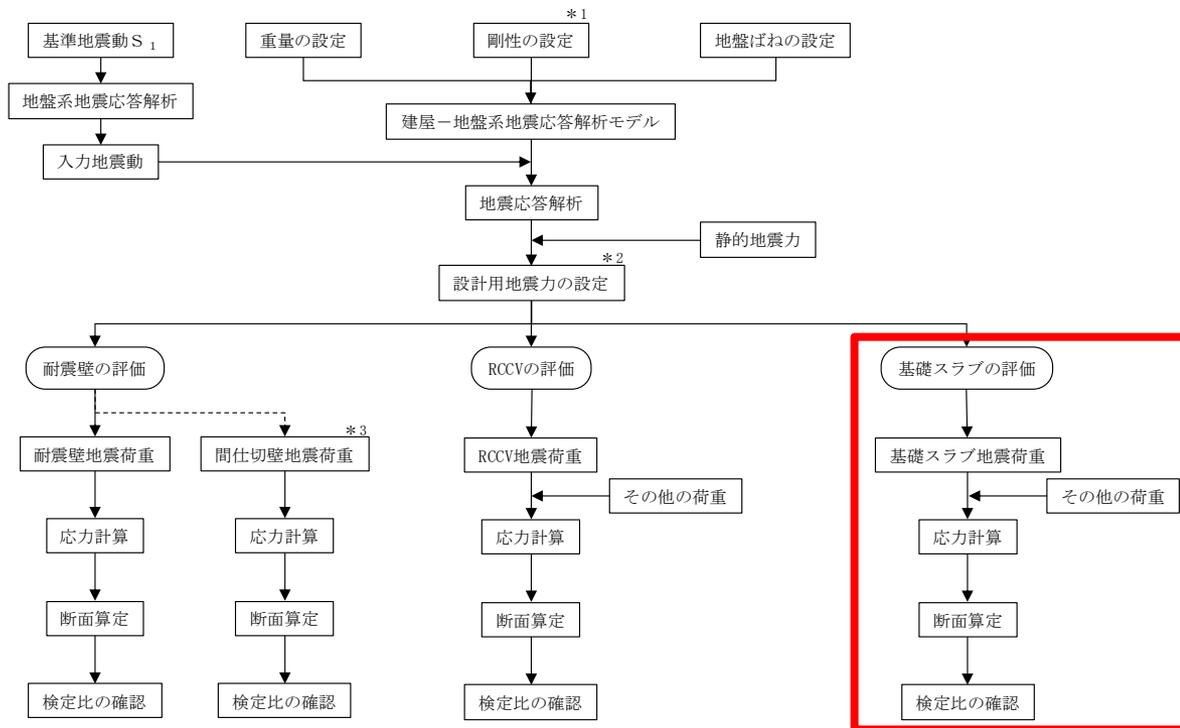
## 既工認時のフロー（RCCVの評価）

- 既工認時におけるRCCVの評価は、RCCVの地震荷重とその他の荷重を組み合わせることで応力計算及び断面算定を実施し、検定比を確認している。
- 応力解析モデルは、RCCV及びプール部をモデル化し、間仕切壁をモデル化せず、地震荷重は、地震応答解析モデルの各質点に相当する位置に入力している。



## 既工認時のフロー（基礎スラブの評価）

- 既工認時における基礎スラブの評価は、耐震壁及びRCCVの地震荷重とその他の荷重を組み合わせることで応力計算及び断面算定を実施し、検定比を確認している。
- 応力解析モデルは、基礎スラブに加えて耐震壁及びRCCVの拘束効果をモデル化し、間仕切壁をモデル化せず、地震荷重は、耐震壁及びRCCVの脚部に対応する位置に入力している。

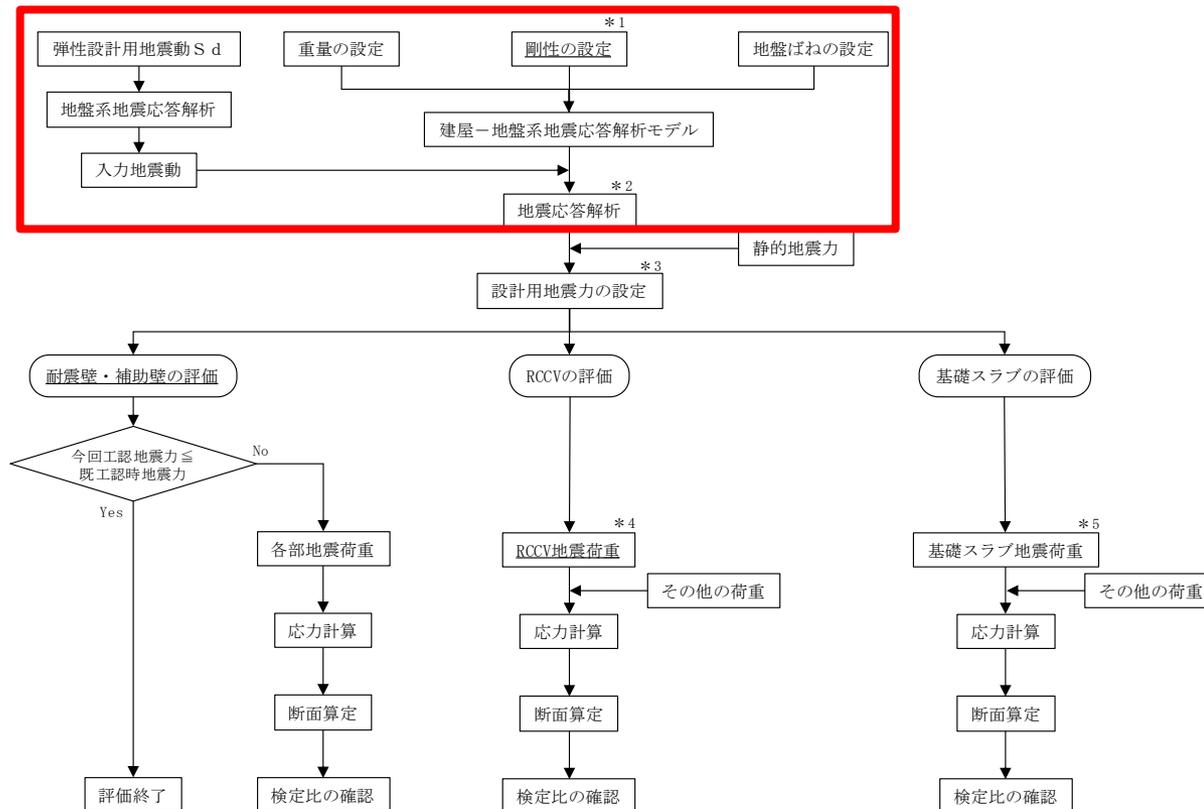


注：太線は耐震壁及びRCCVを示す。

応力解析モデル

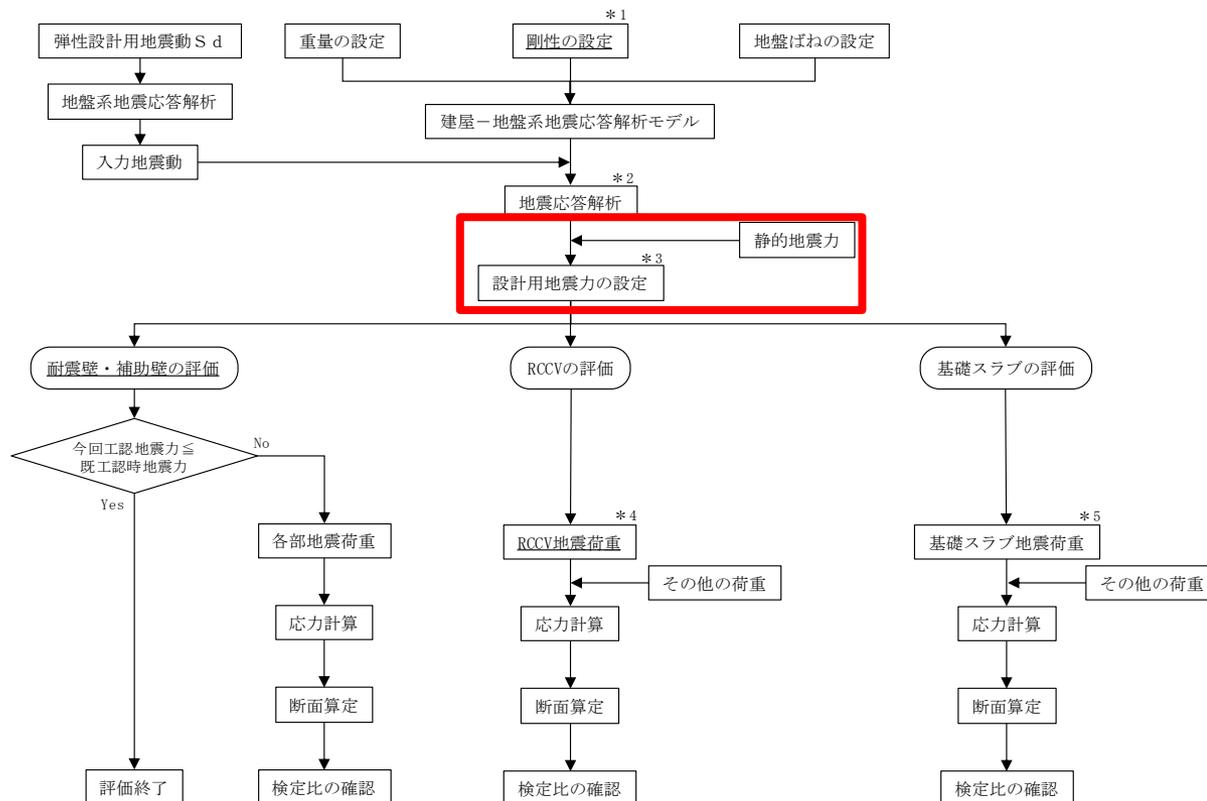
## 今回工認のS d地震時のフロー（地震応答解析）

- 今回工認における地震応答解析では、地震時の挙動をより実応答に近い形で評価するため、建屋剛性として補助壁のせん断剛性を考慮している。（\*1）
- 補助壁は第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おり、保守的な設定としている。なお、補助壁のせん断終局強度は、第1折点のせん断力を上回ることを確認している。



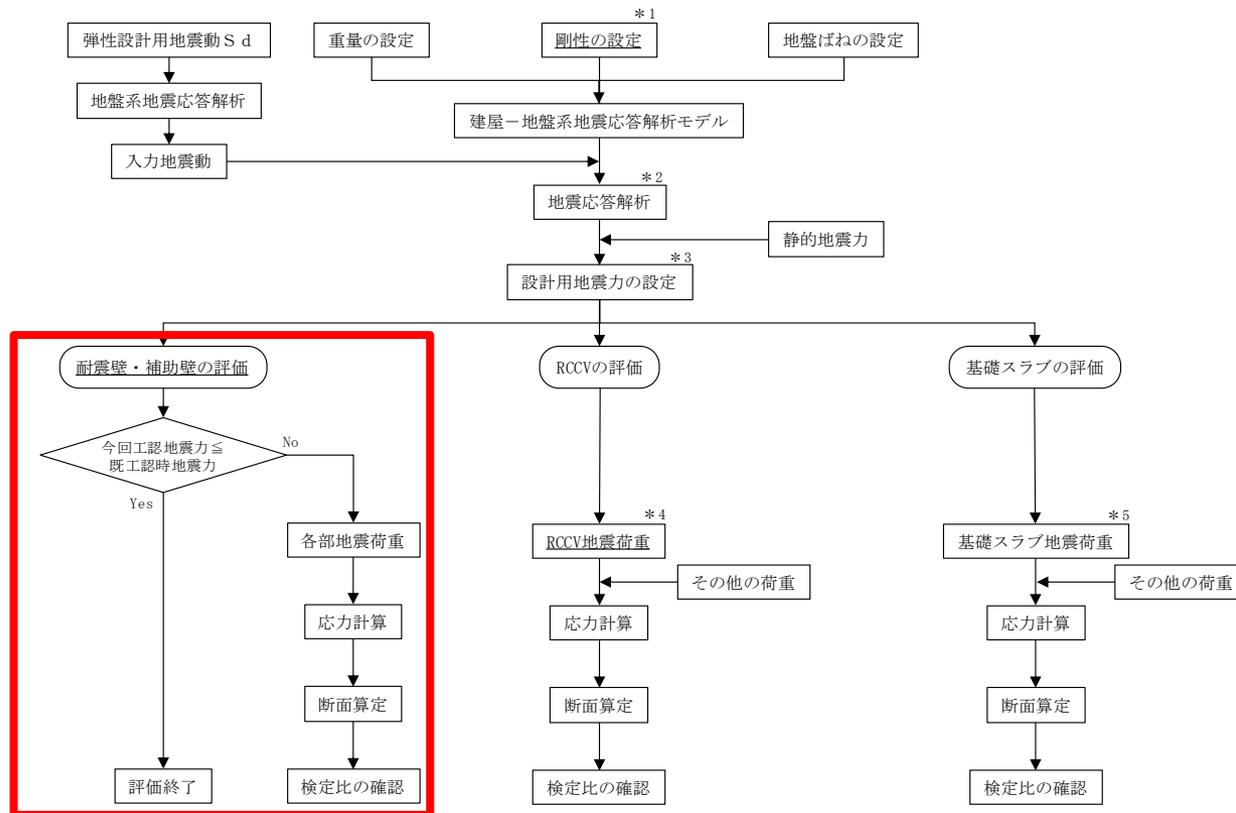
## 今回工認のS d地震時のフロー（設計用地震力）

- 今回工認における設計用地震力は、弾性設計用地震動S dによる動的地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力より設定している。（\* 3）
- 静的地震力は既工認時の値を用いており、耐震壁及びRCCVへの配分も既工認時と同じとしている。



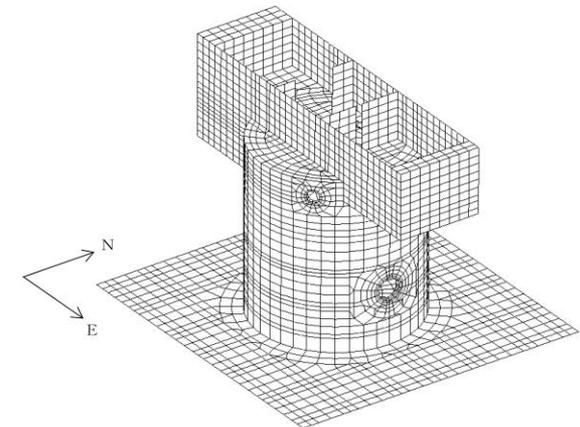
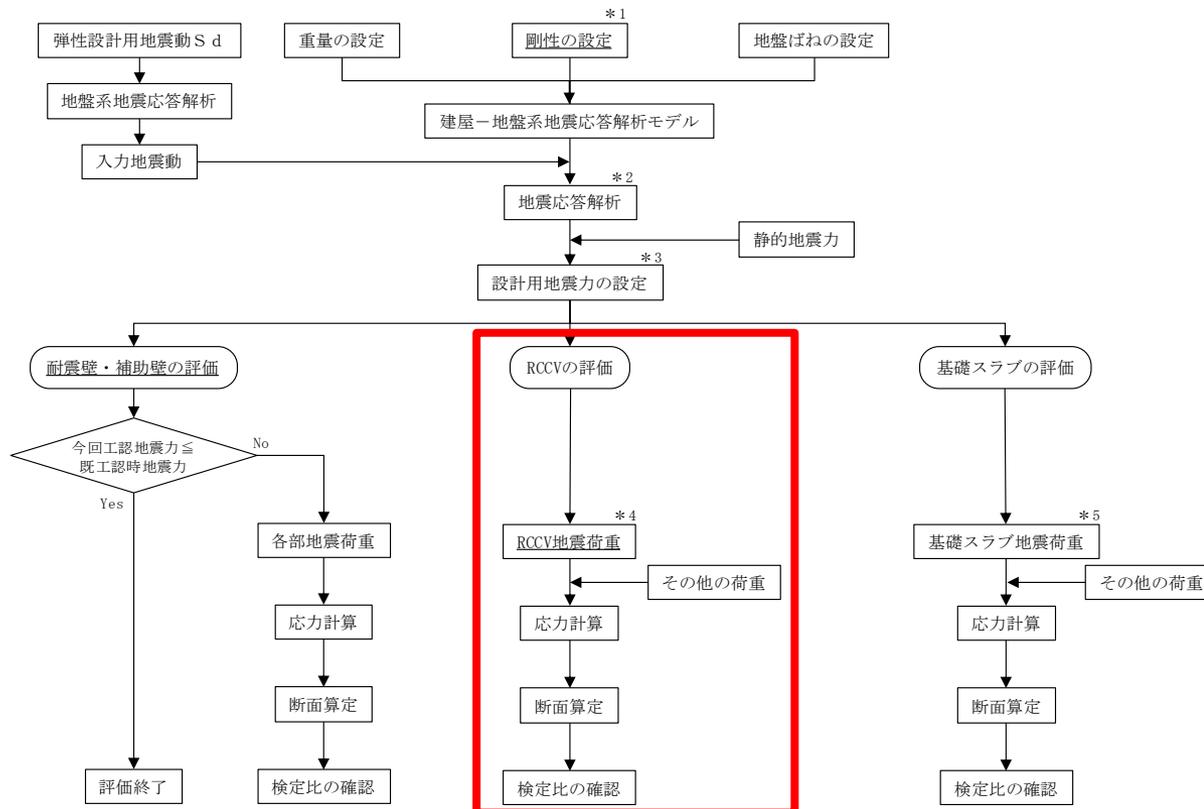
## 今回工認のS d地震時のフロー（耐震壁及び補助壁の評価）

- 今回工認における耐震壁の評価では、層せん断力について、今回工認におけるS d地震時が既工認時の設計用地震力を下回り、耐震壁のみで負担できることを確認している。
- なお、弾性設計用地震動S dに対する地震応答解析結果において、層に生じるせん断応力度が、J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版により評価される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を確認している。



## 今回工認のS d地震時のフロー（RCCVの評価）

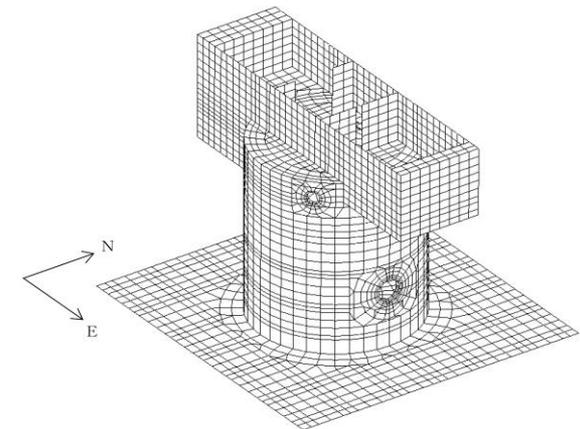
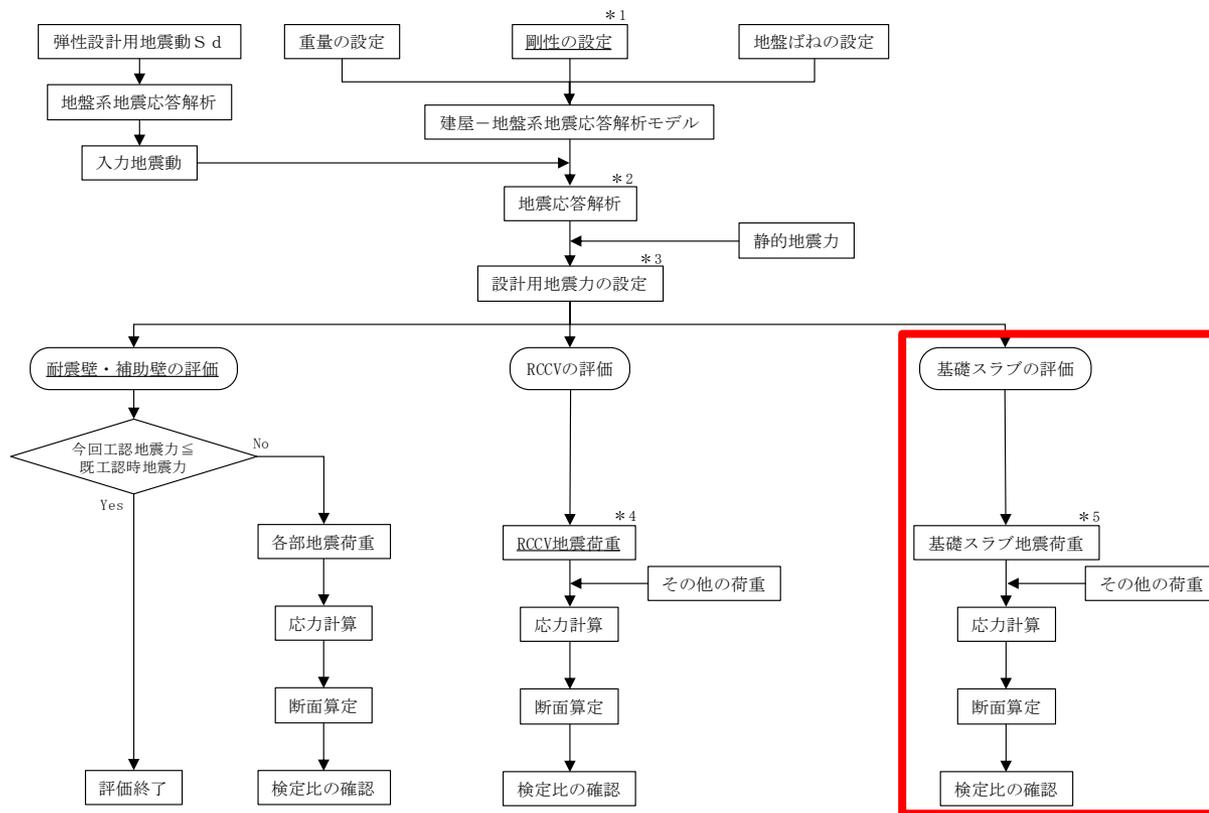
- 今回工認におけるRCCVの評価では、弾性設計用地震動S dによる動的地震力について、RCCVに入力するせん断力は、RCCVと補助壁のせん断断面積比により算定した補助壁が負担するせん断力を、地震応答解析におけるRCCV部の最大応答せん断力から除いて算定している。（\*4）
- 今回工認においてはRCCVは基礎スラブと一体でモデル化しているが、既工認時と同様に、応力解析モデルは、RCCV及びプール部をモデル化し、間仕切壁及び補助壁をモデル化せず、地震荷重は、地震応答解析モデルの各質点に相当する位置に入力している。



応力解析モデル

## 今回工認のSd地震時のフロー（基礎スラブの評価）

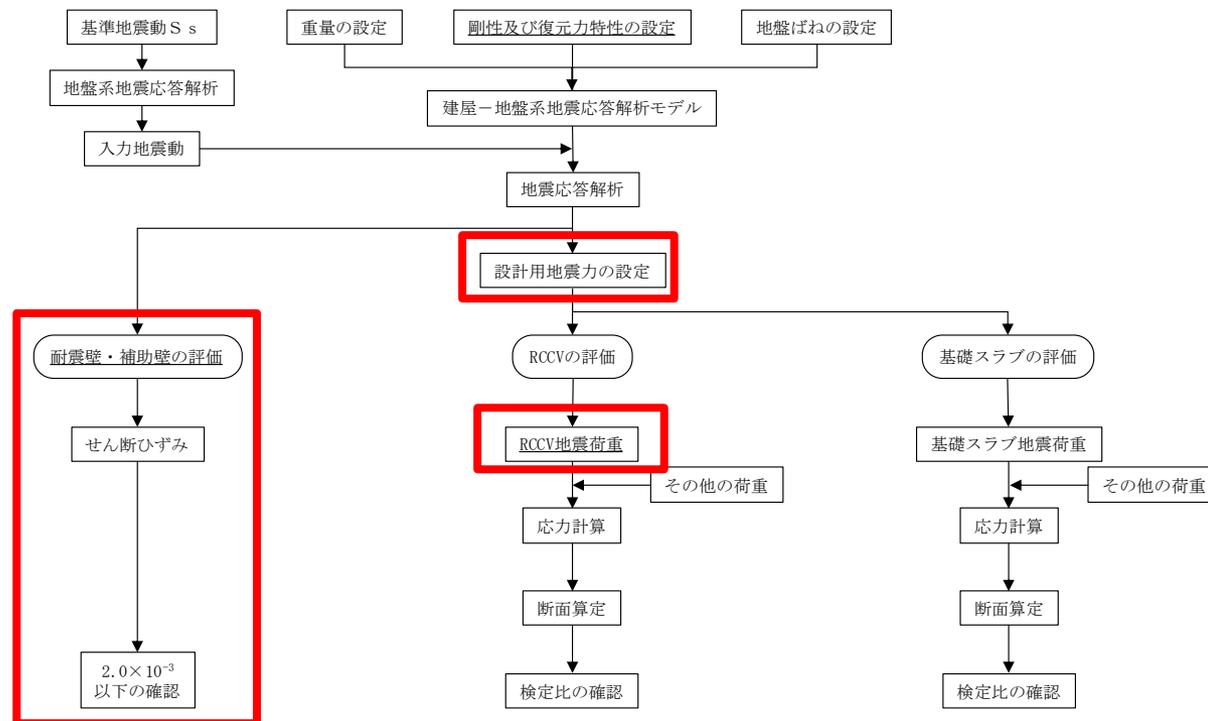
- 今回工認における基礎スラブの評価では、基礎スラブに入力するせん断力は、補助壁が負担するせん断力は除かず、耐震壁及びRCCVの地震荷重に含んでいる。（\*5）
- 今回工認においてはRCCVは基礎スラブと一体でモデル化しているが、既工認時と同様に、応力解析モデルは、基礎スラブに加えて耐震壁及びRCCVの拘束効果をモデル化し、間仕切壁及び補助壁をモデル化せず、地震荷重は、耐震壁及びRCCVの脚部に対応する位置に入力している。



応力解析モデル

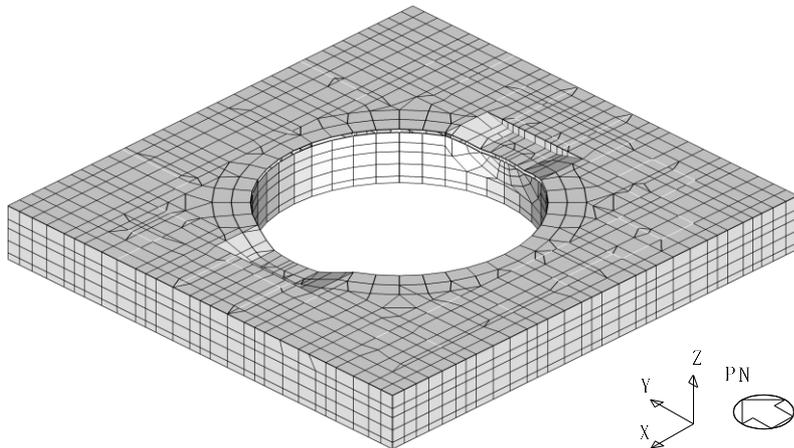
## 今回工認の S s 地震時のフロー

- S s 地震時のフローは、S d 地震時のフローと概ね同様であり、S d 地震時と異なる点は以下のとおりである。
- 耐震壁及び補助壁の評価では、地震応答解析結果より、層としてのせん断ひずみが $2.0 \times 10^{-3}$ 以下であることを確認している。
- RCCV及び基礎スラブの評価では、基準地震動 S s に対する動的地震力より設計用地震力を設定している。
- RCCVに入力するせん断力は、RCCVと補助壁のせん断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折点のせん断耐力の90%のうち、小さい方の値を地震応答解析におけるRCCV部の最大応答せん断力から除いて算定している。

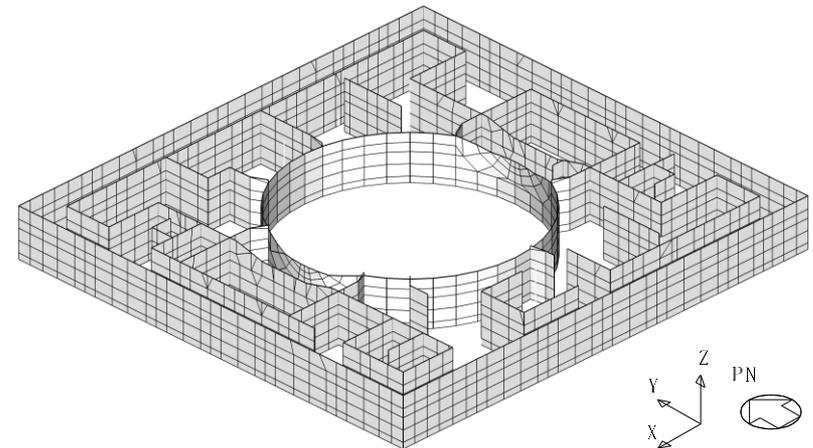


## 3次元FEMモデルを用いたせん断力負担割合の検討（検討方針）

- 今回工認のRCCVの評価において、RCCVに入力するせん断力をRCCVと補助壁のせん断断面積比により算定していることの妥当性を確認するため、3次元FEMモデルを用いたせん断力負担割合の検討を実施した。
- 本検討は、地震応答解析より算定される地震荷重が最も大きく、中間壁へのせん断力の分配も確認できるB3Fを代表して検討を行う。
- 原子炉建屋のB3Fを取り出した3次元FEMモデルを用いて、B2F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、RCCVの評価に用いるせん断力負担割合が妥当であることを確認する。



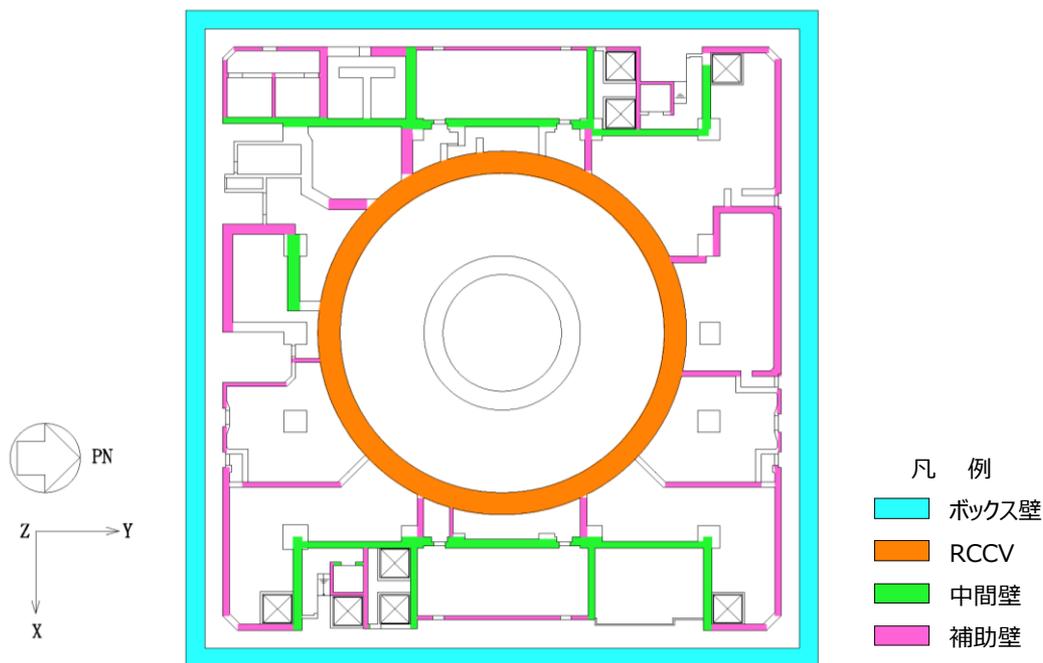
モデル全体図



モデル壁図

## 3次元FEMモデルを用いたせん断力負担割合の検討（せん断力負担割合の算出方針）

- 3次元FEMモデルによるせん断力負担割合は、3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析結果における各壁脚部の反力値を、ボックス壁、RCCV、中間壁及び補助壁ごとに集計し、その比率により負担割合を算出する。
- RCCVの評価におけるせん断力負担割合は、せん断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、小さい方を補助壁の負担せん断力として、せん断面積比により算定する。



B3Fの各壁の分類

## 3次元FEMモデルを用いたせん断力負担割合の検討（検討結果）

- 3次元FEMモデルを用いて算出したせん断力負担割合は、RCCVの評価で用いる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。
- 以上より、今回工認のRCCVの評価において、RCCVに入力するせん断力をRCCVと補助壁のせん断断面積比により算定していることの妥当性を確認した。

各壁せん断力負担割合の比較（NS方向）

	3次元FEM	RCCVの評価
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

各壁せん断力負担割合の比較（EW方向）

	3次元FEM	RCCVの評価
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

## 耐震壁の評価における補助壁の取扱い

- 既工認時は、間仕切壁（補助壁含む）を考慮せずに設計用地震力を設定しており、耐震壁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、弾性設計用地震動  $S_d$  による動的地震力及び静的地震力は、既工認時の設計用地震力を下回ることを確認しており、耐震壁のみで負担できることを確認している。
- また、基準地震動  $S_s$  に対しては、耐震壁及び補助壁のせん断ひずみが  $2.0 \times 10^{-3}$  以下であることを確認している。
- 以上より、設計体系における耐震壁の評価のプロセスにおける補助壁の取扱い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
設計用地震力	設計用地震力の設定	<ul style="list-style-type: none"> <li>基準地震動 <math>S_1</math> による動的地震力及び静的地震力より設定（間仕切壁は地震荷重を負担しない）</li> <li>（基準地震動 <math>S_2</math> による動的地震力は設計用地震力を下回る）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>弾性設計用地震動 <math>S_d</math> による動的地震力及び静的地震力より設定（静的地震力は既工認時と同じ）</li> <li>基準地震動 <math>S_s</math> による動的地震力より設定</li> </ul>	-
耐震評価	断面算定	耐震壁の地震荷重に対する応力計算及び断面算定を実施し、許容応力度に対する発生応力度の比率（検定比）を確認	弾性設計用地震動 $S_d$ による動的地震力及び静的地震力は、既工認時の設計用地震力を下回ることを確認	補助壁分の地震荷重を耐震壁のみで負担する
	地震応答解析による評価	耐震壁のせん断ひずみが $2.0 \times 10^{-3}$ 以下であることを確認	耐震壁及び補助壁のせん断ひずみが $2.0 \times 10^{-3}$ 以下であることを確認	耐震壁、補助壁ともに確認

## RCCVの評価における補助壁の取扱い

- 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から、補助壁分を除いた地震荷重をRCCVで負担する評価を実施している。
- 弾性設計用地震動  $S_d$  については、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、補助壁の健全性を確認している。
- 基準地震動  $S_s$  については、地震応答解析結果において、せん断ひずみが  $2.0 \times 10^{-3}$  以下であることにより、補助壁の健全性を確認している。
- 以上より、設計体系におけるRCCVの耐震評価のプロセスにおける補助壁の取扱い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
耐震評価	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、以下により健全性を確認 ・弾性設計用地震動 $S_d$ に対する地震応答解析結果において、 <b>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</b> ・基準地震動 $S_s$ に対する地震応答解析結果において、 <b>せん断ひずみが <math>2.0 \times 10^{-3}</math> 以下</b> であること

## 基礎スラブの評価における補助壁の取扱い

- 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、耐震壁及びRCCVのみから地震荷重を作用させる設計としていた。
- 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せず、耐震壁及びRCCVのみから地震荷重を作用させる評価を実施している。
- これは、基礎スラブ上には耐震壁及びRCCVだけでなく補助壁も存在しているが、地震荷重を作用させる際には補助壁分も耐震壁及びRCCVに集中させ、基礎スラブを保守的に評価するためである。
- 以上より、設計体系における基礎スラブの耐震評価のプロセスにおける補助壁の取扱い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
耐震評価	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	耐震壁及びRCCVのみから作用させる	耐震壁及びRCCVのみから作用させる	<b>補助壁分の地震荷重を耐震壁及びRCCVのみから作用させる</b>

## まとめ

---

### 1. 原子炉建屋の設計体系における補助壁の取扱い

- 設計体系のプロセスについて、既工認時及び今回工認における地震応答解析、設計用地震力、評価のフローを整理した。
- 今回工認の耐震壁、RCCV、基礎スラブの評価における補助壁の取扱いを整理し、設計体系の合理性及び結果の保守性の観点から設計体系の考え方を示した。