

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1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 |
|-----|------------------------|--|---------|--------------------------|
| 1-1 | 令和2年2月4日 第830回 審査会合 | 補助壁を解析モデルに考慮すること並びに側面地盤ばねに回転入力进行考慮しないこと及び表層地盤ばねを考慮しないことについて、建屋及び機器の耐震性に与える影響を検討し説明すること。 | p.3~24 | 原子炉建屋の地震応答解析に影響を与える要因の確認 |
| 1-2 | 令和2年2月4日 第830回 審査会合 | コンクリート製原子炉格納容器（RCCV）については、構造性能確認試験がRCCVの剛性に与える影響並びに建屋及び機器の耐震性に与える影響を検討し説明すること。 | | |
| 1-3 | 令和2年2月4日 第830回 審査会合 | 建屋及び機器の耐震性に影響を与える他の要因についても網羅的に抽出して整理すること。また、それらについて、設計上の不確かさ要因として考慮の要否又は影響評価の要否を検討した上で、設計上の取扱いについて詳細に説明すること。 | | |
| 2-1 | 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ける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.25~31 | 原子炉建屋の設計体系における補助壁の取扱い |

目次

1. 原子炉建屋の地震応答解析に影響を与える要因の確認
2. 原子炉建屋の設計体系における補助壁の取扱い

1. 原子炉建屋の地震応答解析に影響を与える要因の確認

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（指摘事項No.1-1～1-3）

- 前回の審査会合では、原子炉建屋の地震応答解析に影響を与える要因に関連し、以下の3つの指摘を受けた。

■ 指摘事項No.1-1

補助壁を解析モデルに考慮すること並びに側面地盤ばねに回転入力を考慮しないこと及び表層地盤ばねを考慮しないことについて、建屋及び機器の耐震性に与える影響を検討し説明すること。

■ 指摘事項No.1-2

コンクリート製原子炉格納容器（RCCV）については、構造性能確認試験がRCCVの剛性に与える影響並びに建屋及び機器の耐震性に与える影響を検討し説明すること。

■ 指摘事項No.1-3

建屋及び機器の耐震性に影響を与える他の要因についても網羅的に抽出して整理すること。また、それらについて、設計上の不確かさ要因として考慮の要否又は影響評価の要否を検討した上で、設計上の取扱いについて詳細に説明すること。

指摘事項に対する課題の整理 (指摘事項No.1-1)

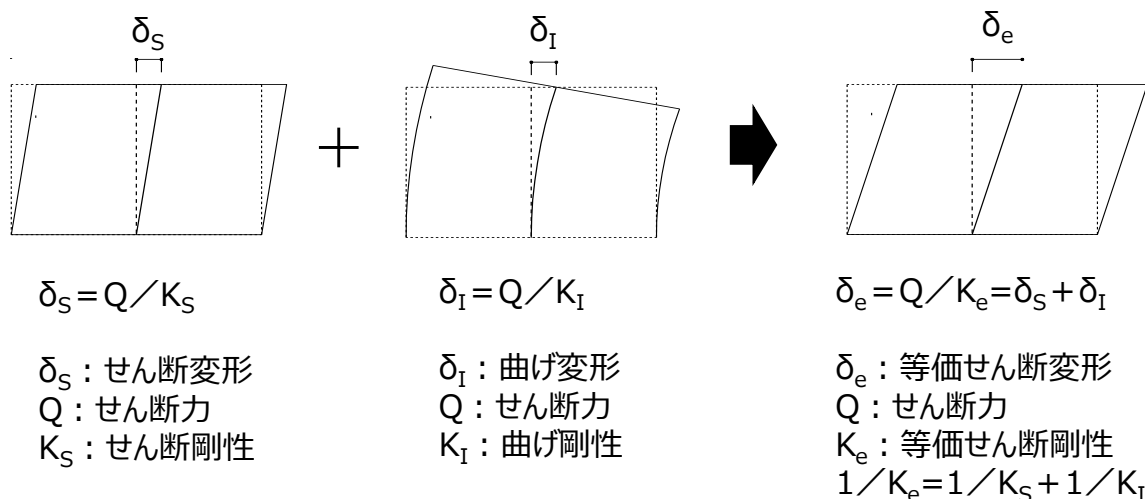
■ 指摘事項No.1-1

補助壁を解析モデルに考慮すること並びに側面地盤ばねに回転入力进行考慮しないこと及び表層地盤ばねを考慮しないことについて、建屋及び機器の耐震性に与える影響を検討し説明すること。

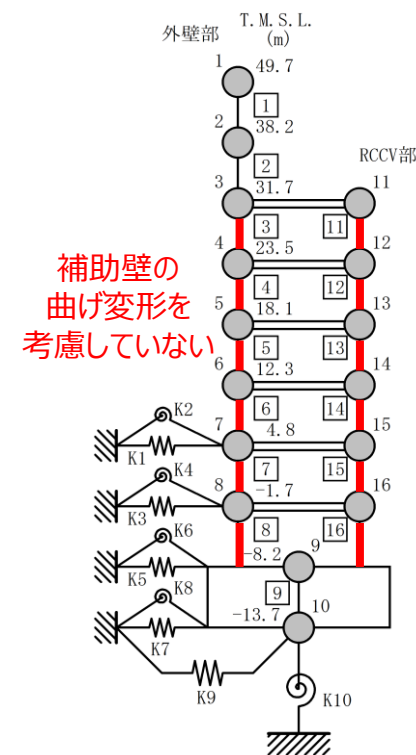
■ 課題

①既工認からの変更点「補助壁の考慮」について、補助壁のせん断剛性を考慮しているが、補助壁の曲げ変形を考慮していない。

⇒補助壁の曲げ変形を考慮することで、補助壁の等価せん断剛性が小さくなり、応答に影響を与える可能性がある。



補助壁の曲げ変形の考慮による等価せん断剛性算出のイメージ



課題のイメージ

指摘事項に対する課題の整理 (指摘事項No.1-1)

■ 指摘事項No.1-1

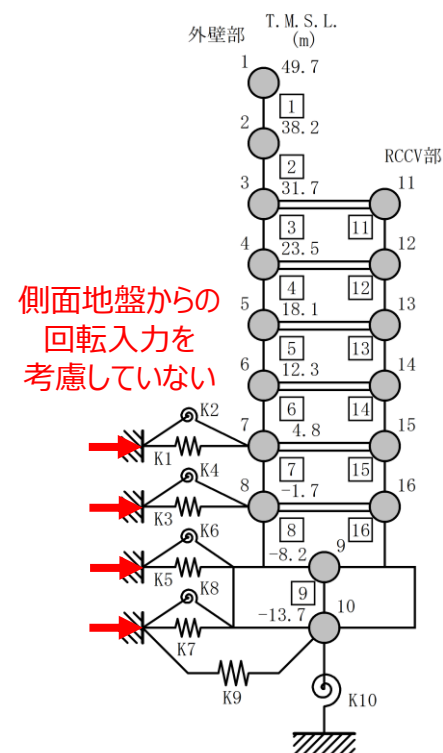
補助壁を解析モデルに考慮すること並びに側面地盤ばねに回転入力を考慮しないこと及び表層地盤ばねを考慮しないことについて、建屋及び機器の耐震性に与える影響を検討し説明すること。



■ 課題

②既工認からの変更点「側面地盤回転ばねの考慮」について、側面地盤回転ばねを考慮しているが、側面地盤からの回転入力を考慮していない。

⇒側面地盤からの回転入力を考慮することで、応答に影響を与える可能性がある。



課題のイメージ

指摘事項に対する課題の整理 (指摘事項No.1-1)

■ 指摘事項No.1-1

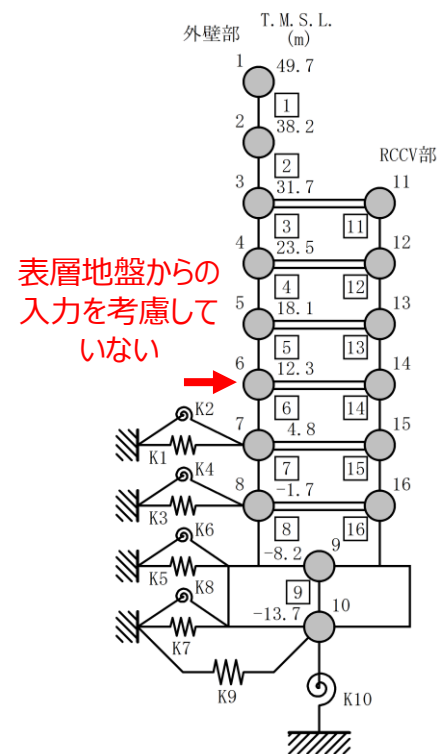
補助壁を解析モデルに考慮すること並びに側面地盤ばねに回転入力を考慮しないこと及び表層地盤ばねを考慮しないことについて、建屋及び機器の耐震性に与える影響を検討し説明すること。



■ 課題

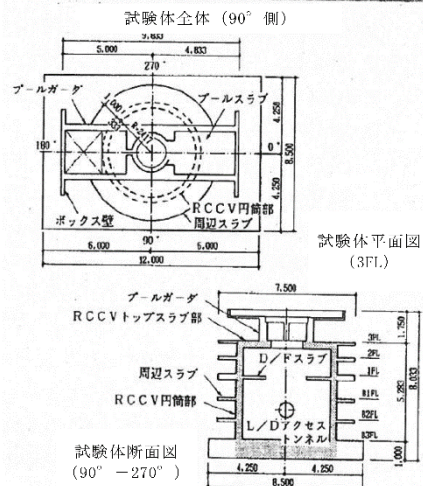
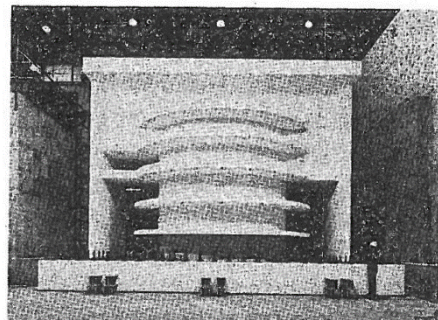
③既工認からの変更点「表層地盤ばねの非考慮」について、表層地盤ばねを非考慮としており、表層地盤からの入力を考慮していない。

⇒表層地盤からの入力を考慮することで、応答に影響を与える可能性がある。



指摘事項の背景 (指摘事項No.1-2)

- 構造性能確認試験 (SIT) は、鉄筋コンクリート製原子炉格納容器 (RCCV) について、内圧に対する挙動を把握し、その健全性を確認することを目的に、建設時に実機で実施した試験である。
- 一方、実機での試験より以前に実施された大型全体モデルによる実験 (既往実験) の結果 (引用文献(1)参照) では、実機とは条件が異なるものの、RCCV部の剛性が約70%に低減する結果が得られている。



既往実験の試験体形状

既往実験と実機との差異

| 条件 | 既往実験 | 実機 | 備考 |
|------------|--|---|--------------------------------------|
| 軸力 | 4kg/cm ² 【0.39N/mm ² 】 | 15kg/cm ² 【1.47N/mm ² 】 (平均値) | 圧縮軸力が大きい方が、内圧によるひび割れ発生が少ない。 |
| コンクリート圧縮強度 | 299kg/cm ² 【29.3N/mm ² 】 (実測値) | 330kg/cm ² 【32.3N/mm ² 】 (設計基準強度) 440kg/cm ² 【43.1N/mm ² 】 (実強度) | コンクリート圧縮強度が大きい方が内圧によるひび割れ発生が少ない。* |
| 円筒部周辺スラブ | 円筒部壁面から1mの範囲のみ試験体を作成 | 各階の床スラブが壁と接合し建屋と一体化 | 建屋と一体化している方が拘束効果が高く、内圧によるひび割れ発生が少ない。 |

注記 * : ひび割れの発生に直接関係するのはコンクリートの引張強度であるが、一般的にコンクリートの引張強度は圧縮強度のおよそ1/10となる関係があることから、圧縮強度で比較している。

引用文献(1) : 齋藤ほか : 「鉄筋コンクリート製格納容器 (RCCV) の開発」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1241-1250, 1988年10月

指摘事項に対する課題の整理 (指摘事項No.1-2)

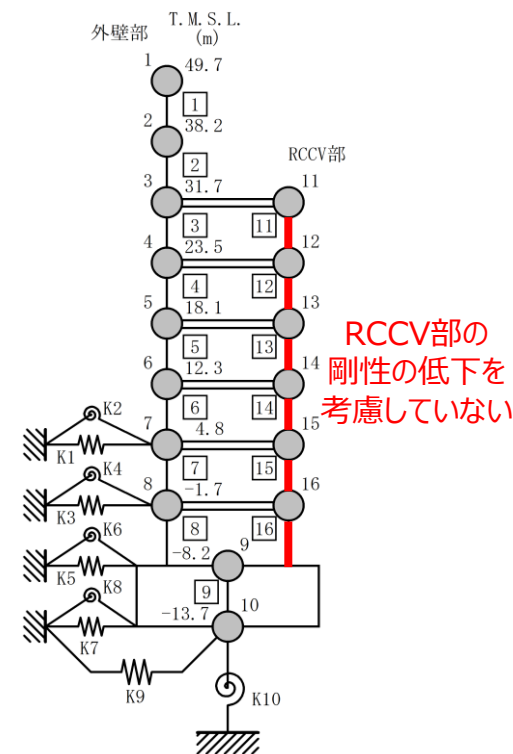
■ 指摘事項No.1-2

コンクリート製原子炉格納容器 (RCCV) については、構造性能確認試験がRCCVの剛性に与える影響並びに建屋及び機器の耐震性に与える影響を検討し説明すること。

■ 課題

- 既工認からの変更点「コンクリート実剛性の採用」について、既工認よりコンクリートの剛性を大きくしているが、SITによるRCCV部の剛性の低下を考慮していない。

⇒SITによる剛性の低下を考慮することで、応答に影響を与える可能性がある。



RCCV部の
剛性の低下を
考慮していない

課題のイメージ

指摘事項に対する課題の整理 (指摘事項No.1-3)

■ 指摘事項No.1-3

建屋及び機器の耐震性に影響を与える他の要因についても網羅的に抽出して整理すること。また、それらについて、設計上の不確かさ要因として考慮の要否又は影響評価の要否を検討した上で、設計上の取扱いについて詳細に説明すること。



■ 課題

- ・ 指摘事項No.1-1, 指摘事項No.1-2の他にも応答に影響を与える要因がある可能性がある。
⇒応答に影響を与える他の要因とそれらの設計上の取扱いが整理されていない。

指摘事項に対する回答（指摘事項No.1-1～1-3）

■ 指摘事項No.1-1

補助壁を解析モデルに考慮すること並びに側面地盤ばねに回転入力を考慮しないこと及び表層地盤ばねを考慮しないことについて、建屋及び機器の耐震性に与える影響を検討し説明すること。

■ 指摘事項No.1-2

コンクリート製原子炉格納容器（RCCV）については、構造性能確認試験がRCCVの剛性に与える影響並びに建屋及び機器の耐震性に与える影響を検討し説明すること。

■ 指摘事項No.1-3

建屋及び機器の耐震性に影響を与える他の要因についても網羅的に抽出して整理すること。また、それらについて、設計上の不確かさ要因として考慮の要否又は影響評価の要否を検討した上で、設計上の取扱いについて詳細に説明すること。



■ 回答

- 2007年新潟県中越沖地震のシミュレーション解析結果、建屋質点系・地盤2次元FEMモデルとの比較、地盤の等価線形解析結果、実機におけるSITの結果から、今回工認モデルが基本モデルとして妥当であることを確認した。
- その上で、仮に補助壁の曲げ変形、側面地盤からの回転入力、表層地盤からの入力、SITによる剛性低下を考慮した場合の地震応答解析を実施し、それぞれの影響を確認した。
- その結果、それぞれの地震応答解析結果は今回工認モデルと同等であり、耐震評価に与える影響がないことを確認した。
- また、耐震性に影響を与える他の要因について検討を実施し、設計上の考え方を整理した。

2007年新潟県中越沖地震のシミュレーション解析（指摘事項No.1-1, 1-2）

- 以下のケースについて2007年新潟県中越沖地震のシミュレーション解析を実施している。既工認からの変更点に対応するケースは1, 2, 3, 4であり、それらをすべて反映したシミュレーション解析モデル（今回工認モデル相当）の結果を確認した。

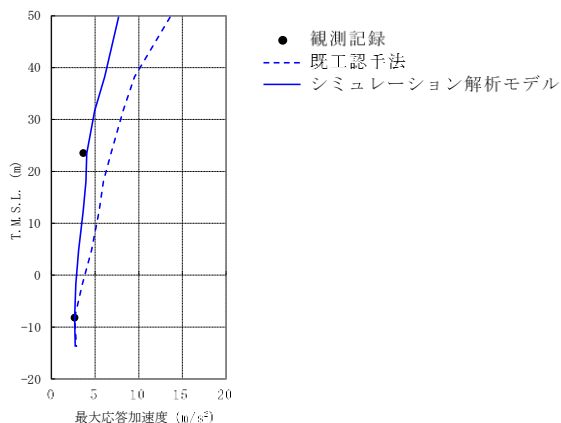
| ケース名 | 建屋モデル | | 地盤モデル | | 備考 |
|--|--------------|----------------|-------------------------|----------------|---------------------|
| | コンクリートのヤング係数 | 剛性を考慮する部位 | 側面ばね | 表層部での建屋-地盤相互作用 | |
| 既工認手法に基づく解析モデル | 設計基準強度に基づく | 耐震壁 | 水平 | 考慮 | - |
| ケース1 実剛性考慮 | 実剛性* | 耐震壁 | 水平 | 考慮 | SITによる剛性低下は考慮していない |
| ケース2 補助壁考慮 | 設計基準強度に基づく | 耐震壁+補助壁 | 水平 | 考慮 | 補助壁の曲げ変形は考慮していない |
| ケース3 側面回転ばね | 設計基準強度に基づく | 耐震壁 | 水平・回転 | 考慮 | 側面地盤からの回転入力は考慮していない |
| ケース4 表層非考慮 | 設計基準強度に基づく | 耐震壁 | 水平 | 非考慮 | 表層地盤からの入力は考慮していない |
| シミュレーション解析モデル (ケース1~4の項目を全て反映したモデル) | 実剛性* | 耐震壁+補助壁 | 水平・回転 (表層無視) | 非考慮 | - |

今回確認したケース

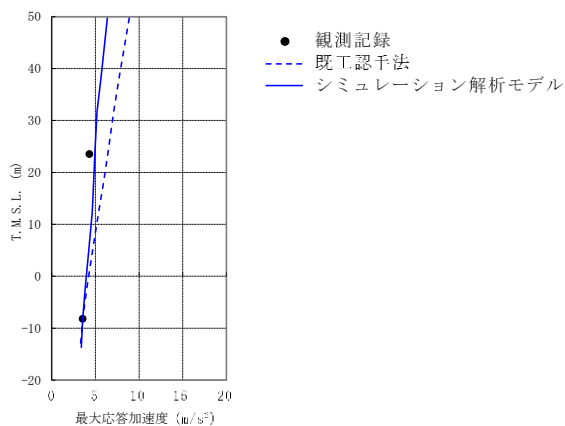
注記*：本シミュレーション解析においては、建設時の取得データを基に文献調査等を踏まえて経年による強度増進効果を加味して設定した推定実強度（49.0N/mm²（500kgf/cm²））に基づく剛性を使用する。なお、今回工認では、妥当性、信頼性の観点から、建設時の91日強度の平均値に相当する値（43.1N/mm²（440kgf/cm²））をコンクリート実強度として剛性を算定する。

2007年新潟県中越沖地震のシミュレーション解析 (指摘事項No.1-1, 1-2)

- シミュレーション解析モデル (今回工認モデル相当) について, 既工認手法と比べ観測記録との整合性が向上し, 補助壁の曲げ変形, 側面地盤からの回転入力, 表層地盤からの入力, SITによる剛性低下を考慮していない状態でも, 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た。

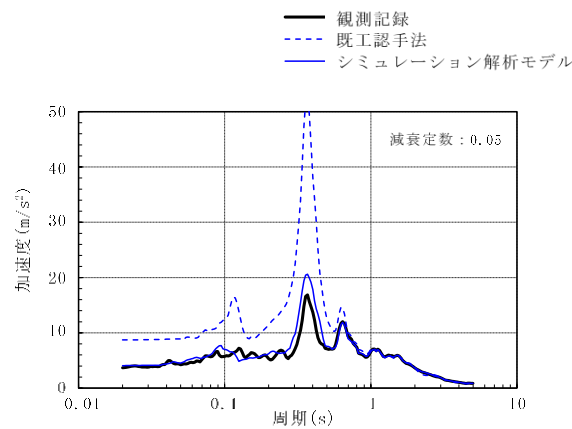


NS方向

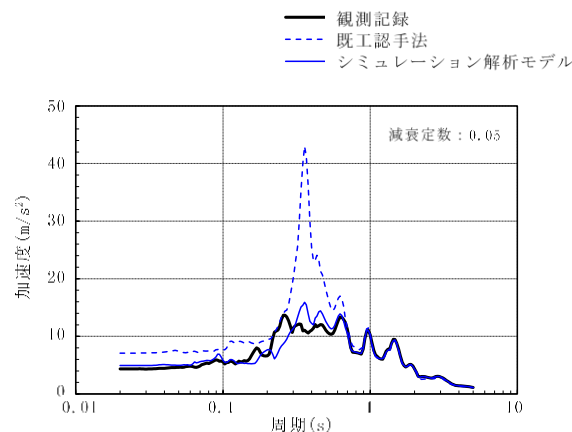


EW方向

最大応答加速加速度



NS方向

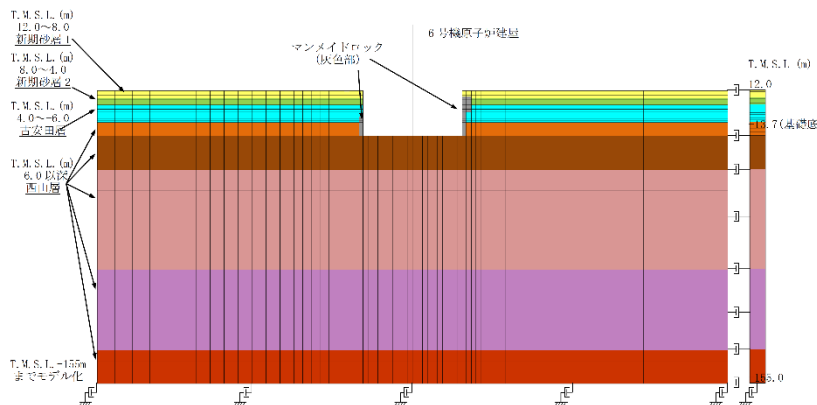


EW方向

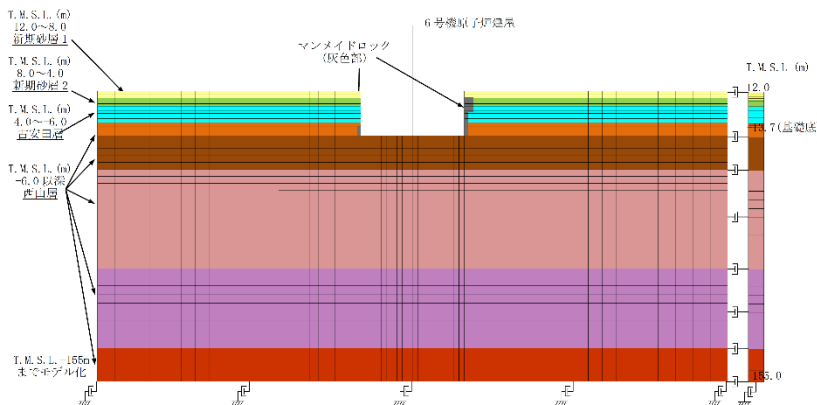
床応答スペクトル (T.M.S.L. 23.5m)

建屋質点系・地盤2次元FEMモデルとの比較 (指摘事項No.1-1)

- 建屋を質点系、地盤を2次元FEMとした詳細なモデル（建屋質点系・地盤2次元FEMモデル）を用いて基準地震動Ss-1による地震応答解析を実施し、今回工認モデルである埋込みSRモデルと比較した。建屋質点系・地盤2次元FEMモデルにおいては、側面地盤からの回転入力 が考慮される。

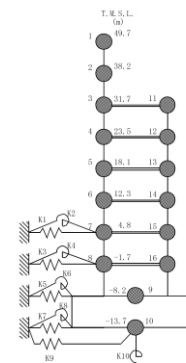


NS方向

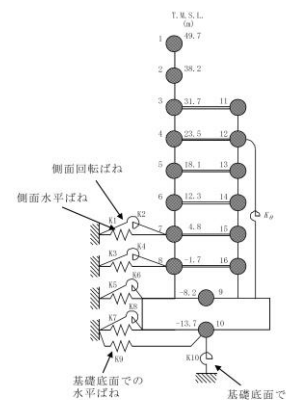


EW方向

建屋質点系・地盤2次元FEMモデル



NS方向

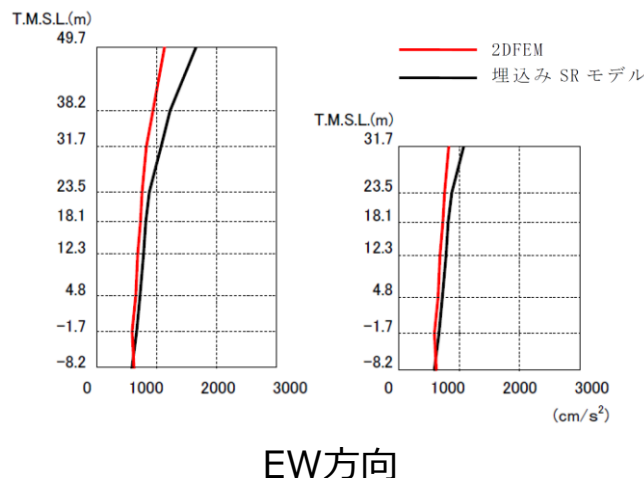
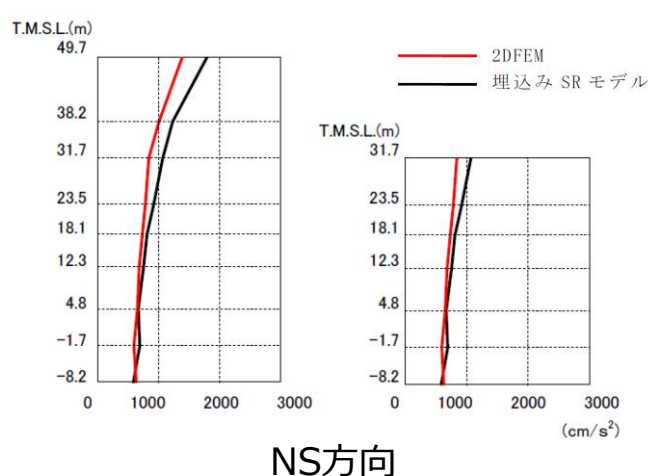


EW方向

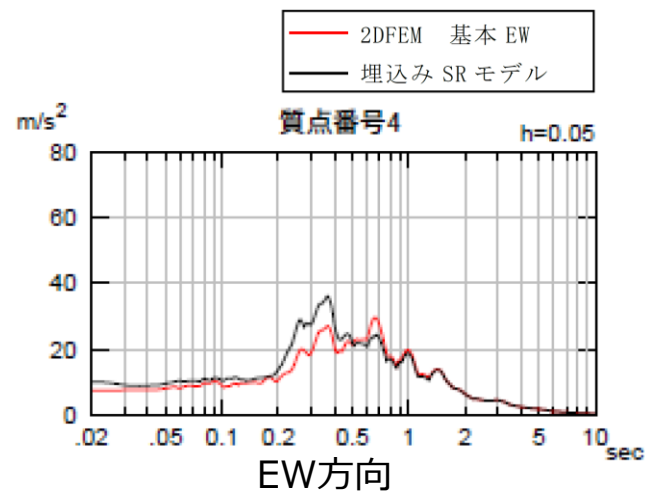
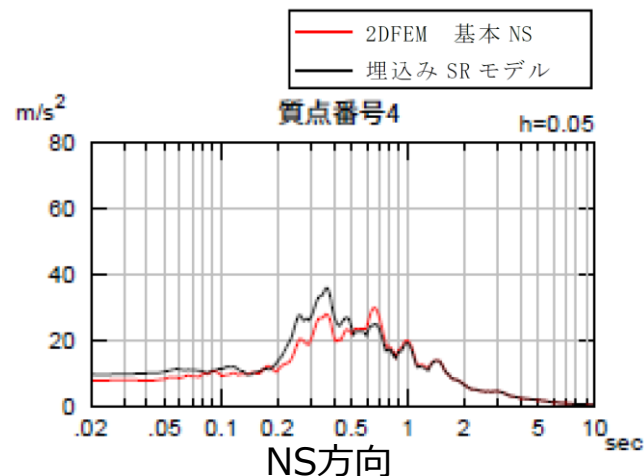
埋込みSRモデル

建屋質点系・地盤2次元FEMモデルとの比較 (指摘事項No.1-1)

- 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り、今回工認モデルは保守的な設定となっていることを確認した。



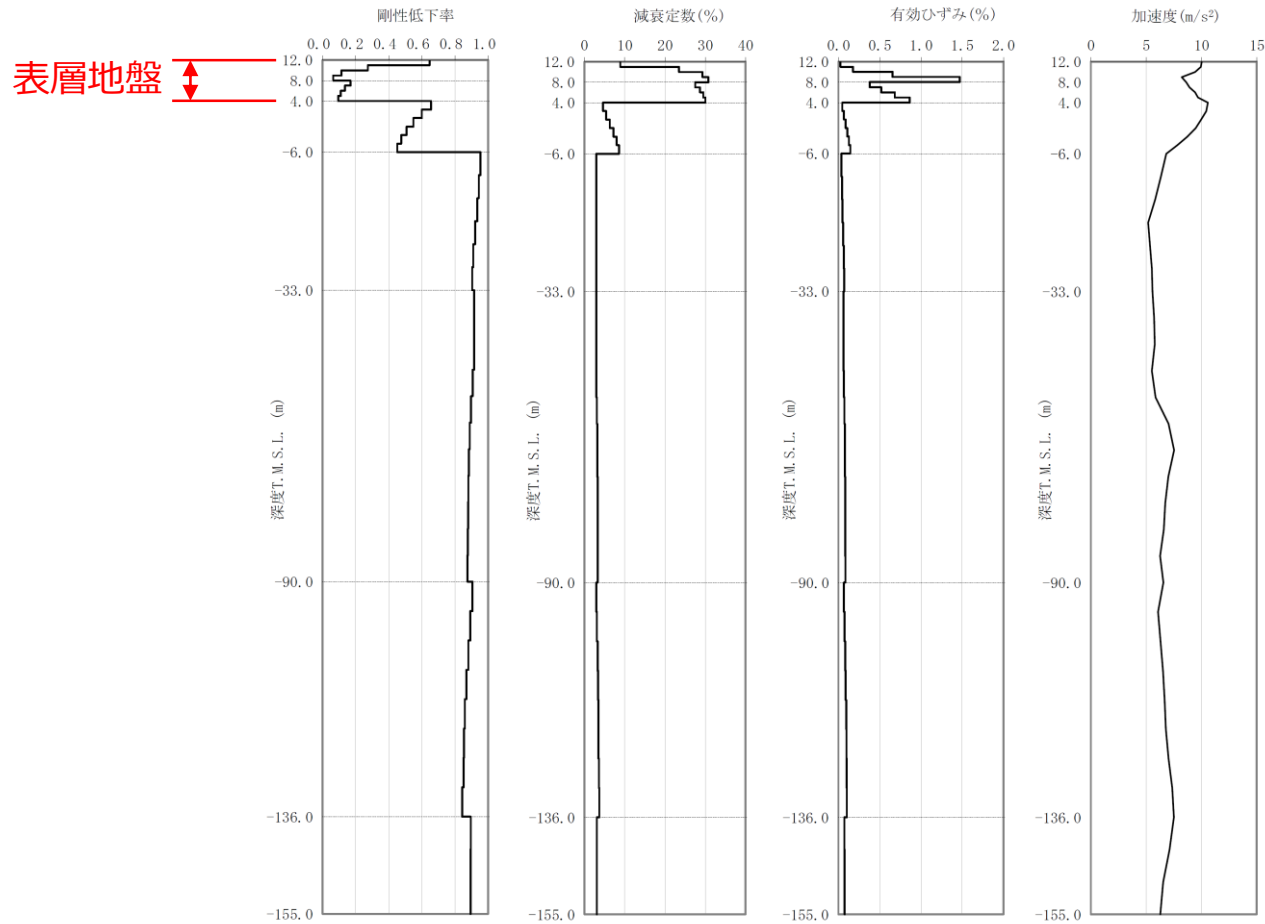
最大応答加速加速度



床応答スペクトル(T.M.S.L. 23.5m)

地盤の等価線形解析 (指摘事項No.1-1)

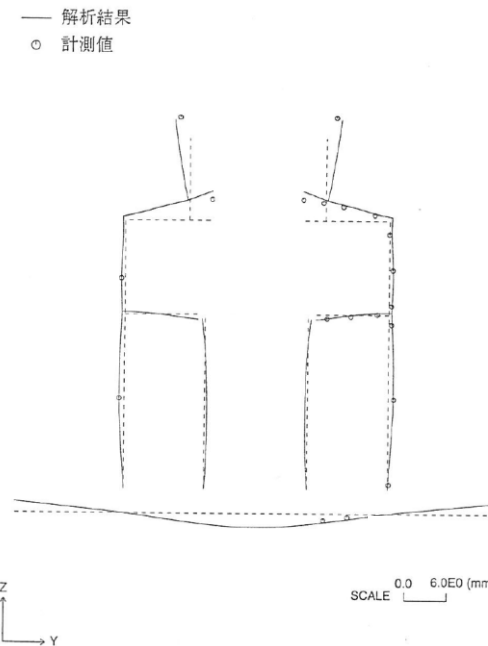
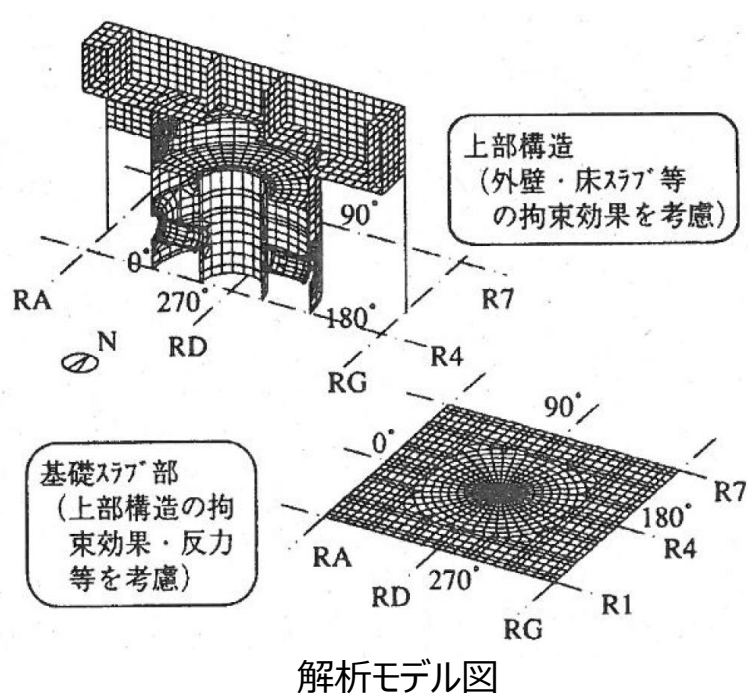
- 基準地震動Ss-1による地盤の等価線形解析を実施し、表層地盤において剛性が急激に低下しており、有効ひずみが大きくなっていることから、表層地盤では建屋－地盤連成効果は見込めず、表層部での建屋－地盤相互作用を考慮しない今回工認モデルは妥当であることを確認した。



地盤の等価線形解析結果

実機におけるSITの結果（指摘事項No.1-2）

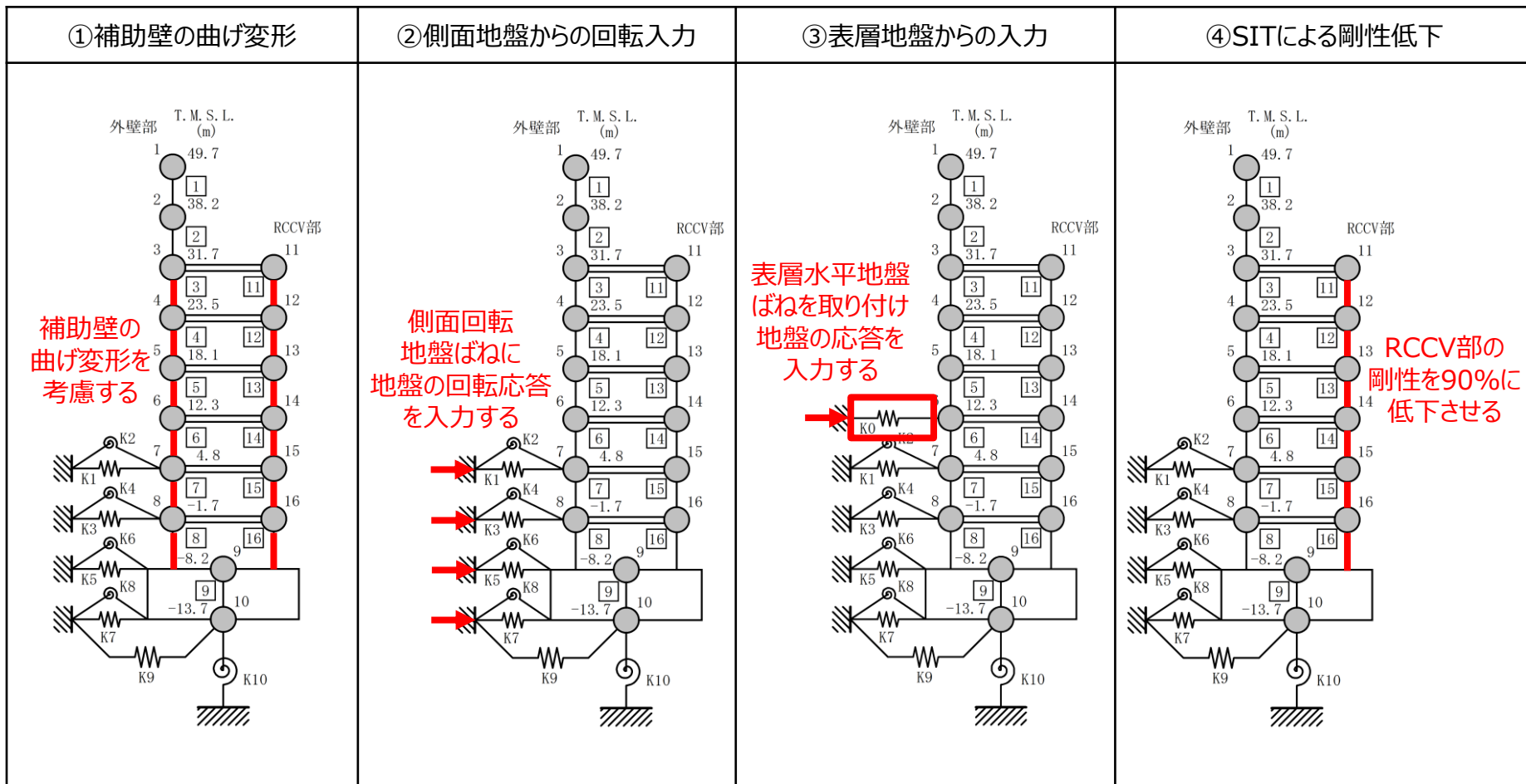
- 実機におけるSITの結果（引用文献(2)参照）では、試験及び解析の結果より、以下のことが確認できたとしている。
 - 外観についてはひび割れの進展はほとんどなく構造上の問題となる損傷は認められなかったこと。
 - 内圧-変位関係は線形関係を保ち、残留変位も少なく、試験圧力に対して弾性的挙動と認められること。
 - SIT直後の全体漏洩率試験による内圧の繰り返しに対して剛性の低下は認められないこと。
 - 3次元FEMモデルによる弾性解析によりRCCVのSIT時構造挙動を良く把握出来ること。
- 以上を踏まえるとSITにおけるRCCVの挙動は概ね弾性範囲であったと考えられ、SITの実施によるRCCV部の剛性低下はなかったものと判断できる。



引用文献(2)：笹沼ほか：「鉄筋コンクリート製原子炉格納容器の構造性能確認試験（K7号機）」、日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1019-1022，1997年9月

影響検討 (指摘事項No.1-1, 1-2)

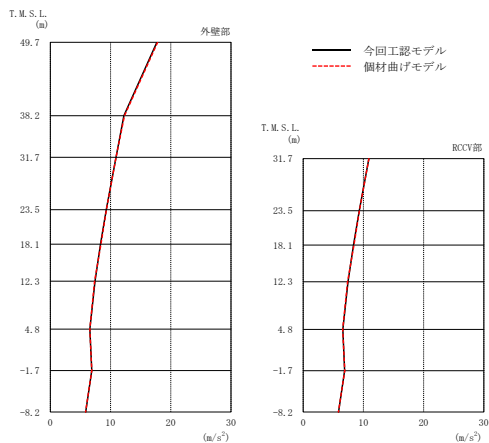
- 以上より、今回工認モデルが基本モデルとして妥当であることを確認した。
- その上で、仮に以下を考慮を考慮した場合の基準地震動Ss-1による地震応答解析を実施し、それぞれの影響を確認した。



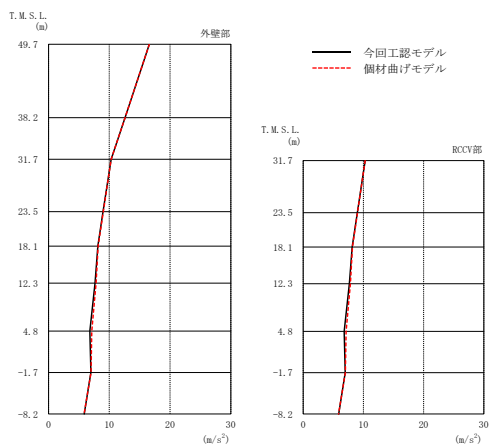
影響検討のイメージ

影響検討 ①補助壁の曲げ変形 (指摘事項No.1-1)

- 補助壁の曲げ変形は、補助壁個材の曲げ変形による等価せん断剛性として考慮する。(個材曲げモデル)
- 個材曲げモデルの応答は、今回工認モデルと同等であり、耐震評価に与える影響がないことを確認した。

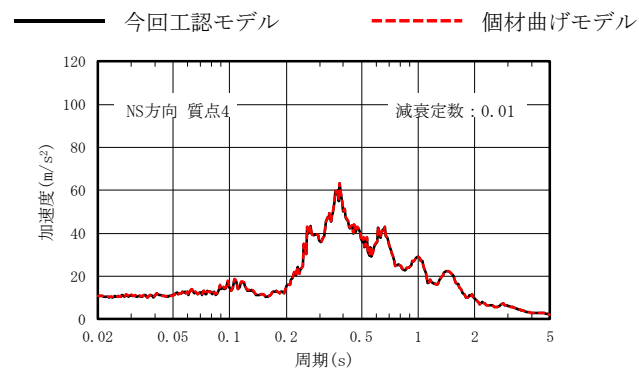


NS方向

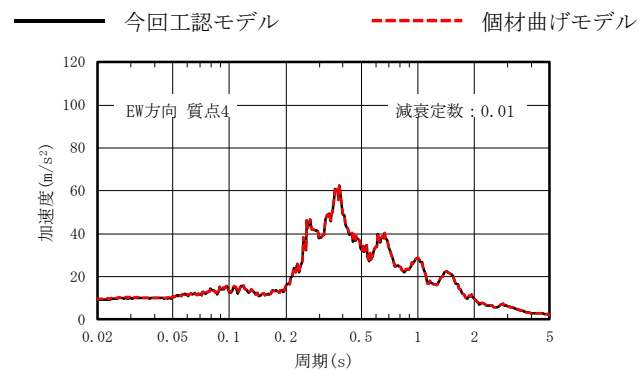


EW方向

最大応答加速加速度



NS方向

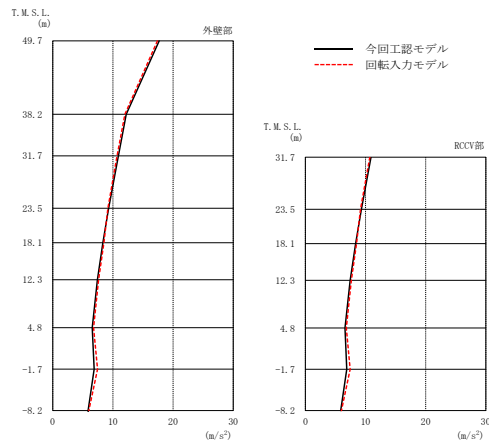


EW方向

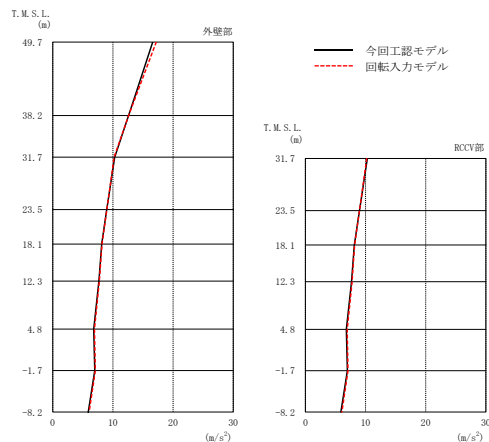
床応答スペクトル(T.M.S.L. 23.5m)

影響検討 ②側面地盤からの回転入力 (指摘事項No.1-1)

- 側面地盤からの回転入力を考慮したモデル (回転入力モデル) の応答は、今回工認モデルと同等であり、耐震評価に与える影響がないことを確認した。

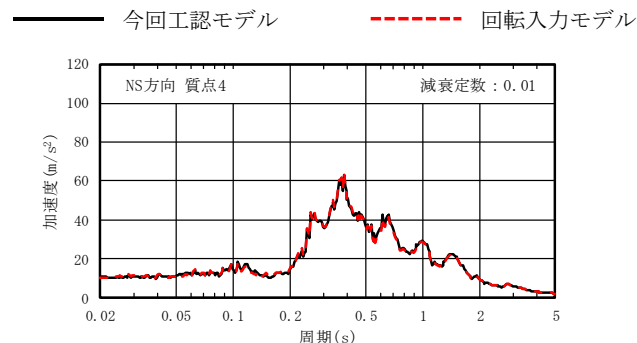


NS方向

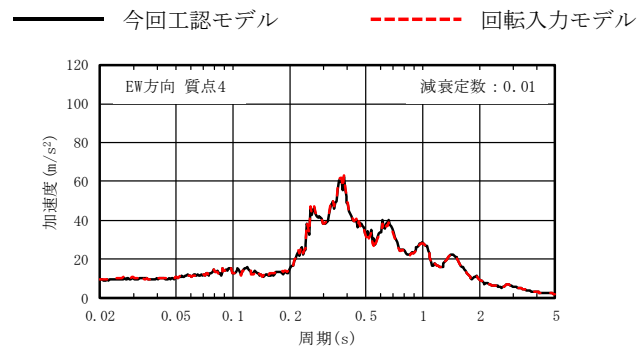


EW方向

最大応答加速加速度



NS方向

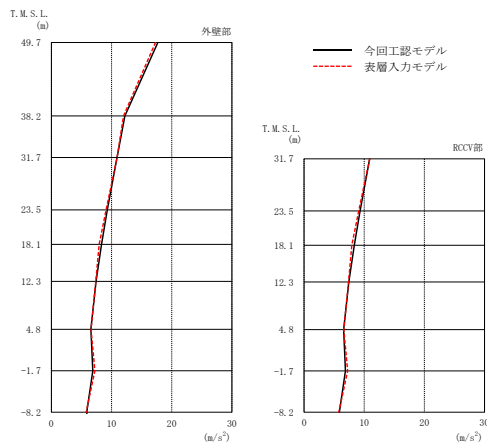


EW方向

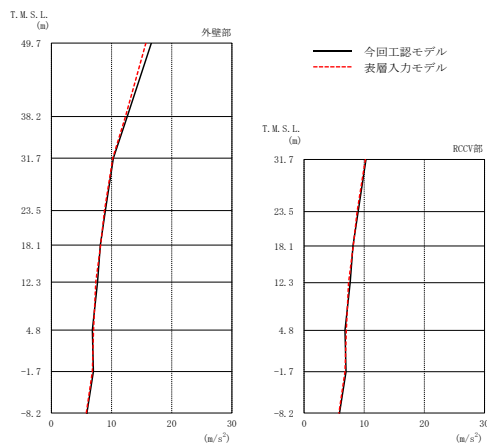
床応答スペクトル(T.M.S.L. 23.5m)

影響検討 ③表層地盤からの入力 (指摘事項No.1-1)

- 表層地盤からの入力を考慮したモデル (表層入力モデル) の応答は, 今回工認モデルと同等であり, 耐震評価に与える影響がないことを確認した。

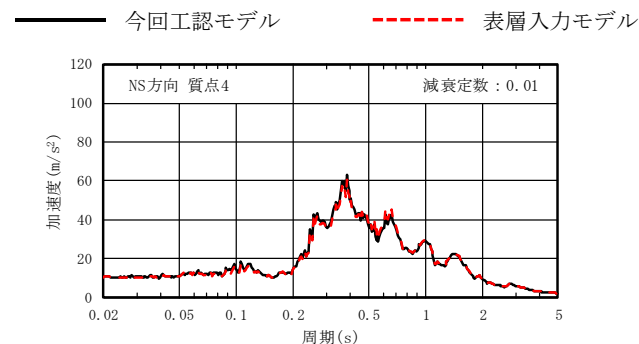


NS方向

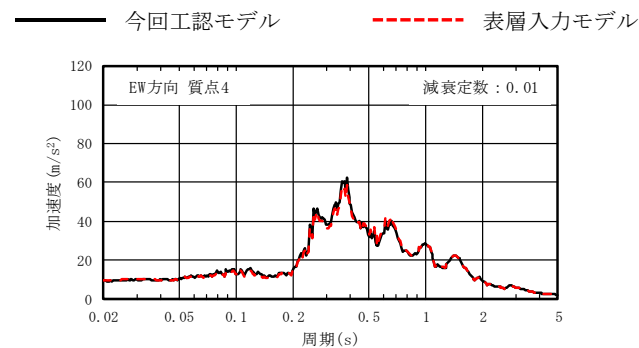


EW方向

最大応答加速加速度



NS方向

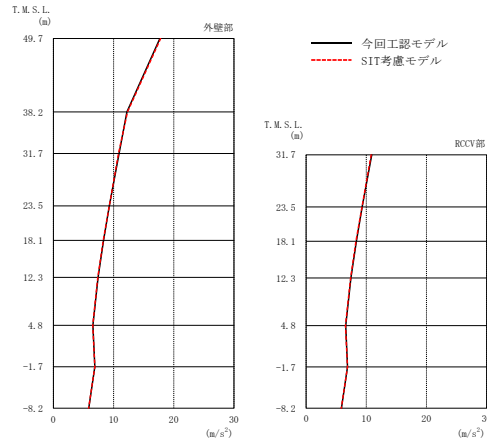


EW方向

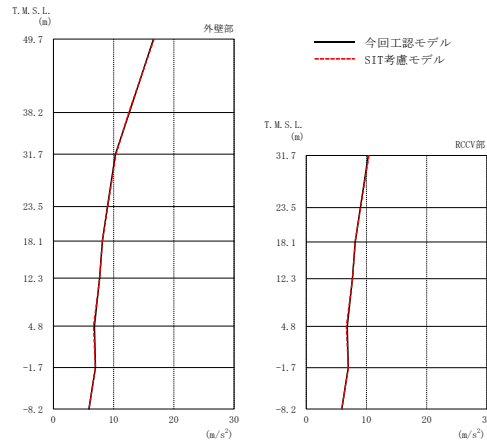
床応答スペクトル(T.M.S.L. 23.5m)

影響検討 ④SITによる剛性低下 (指摘事項No.1-2)

- SITによる剛性低下を考慮したモデル (SIT考慮モデル) の応答は、今回工認モデルと同等であり、耐震評価に与える影響がないことを確認した。

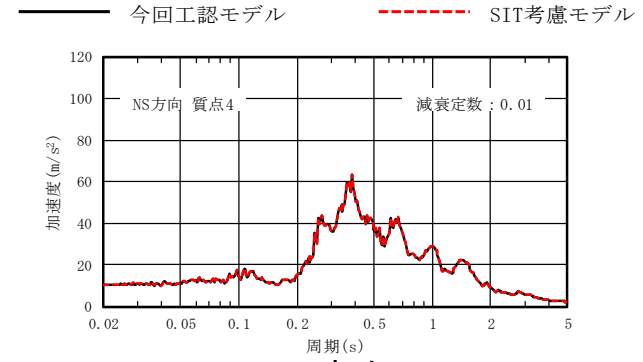


NS方向

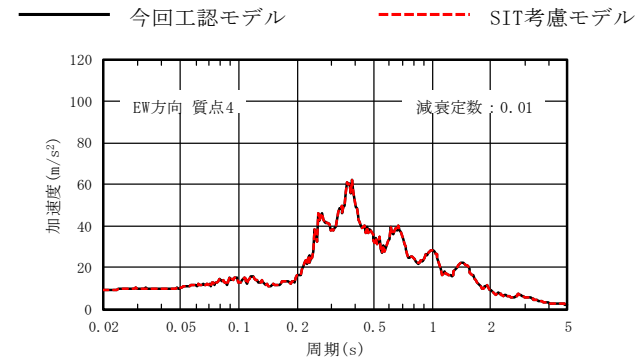


EW方向

最大応答加速加速度



NS方向



EW方向

床応答スペクトル(T.M.S.L. 23.5m)

耐震性に影響を与える他の要因（指摘事項No.1-3）

- 耐震性に影響を与える他の要因について、以下のとおり検討を実施し、設計上の考え方を整理した。

| 耐震性に影響を与える要因 | 検討内容 | 設計上の考え方 |
|-----------------|--|--|
| 材料物性の不確かさ | 基本モデルの妥当性を確認した上で、物性値の不確かさとして設計上考慮することとした。 | 設計上の保守性を担保するため、設計用地震力に考慮する。 |
| 改造工事に伴う重量の増加 | 応答性状への影響が大きい重量の変更を基本モデルへ取り入れた上で、その他の重量の増加による影響も設計上考慮することとした。 | 設計上の保守性を担保するため、耐震評価における発生値に応答比率を乗じて許容値以下であることを確認する等の方法により考慮する。 |
| 鉄筋コンクリート造部の減衰定数 | 以下の検討・考察により、基本モデルの妥当性を確認できるため、設計上考慮しない。 ・既往の知見による検討 ・地震観測記録による検討 ・入力地震動及び建物・構築物の構造と形状を踏まえた考察 | 今回工認モデルの妥当性を確認している。 |
| 重大事故時の高温による剛性低下 | 基本モデルの妥当性を確認した上で、現象の不確かさとして影響検討することとした。 | 影響検討結果より、耐震評価に与える影響がない。 |
| 3次元挙動 | 以下の検討・考察により、基本モデルの妥当性を確認できるものの、現象の不確かさとして影響検討することとした。 ・基礎のロッキング ・建屋のねじれ ・床柔性 ・水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ | 影響検討結果より、耐震評価に与える影響がない。 |
| 隣接建屋の影響 | 既往の知見による検討・考察により、基本モデルの妥当性を確認できるものの、現象の不確かさとして影響検討することとした。 | 影響検討結果より、耐震評価に与える影響がない。 |

2. 原子炉建屋の設計体系における補助壁の取扱い

審査会合での指摘事項（指摘事項No.2-1）

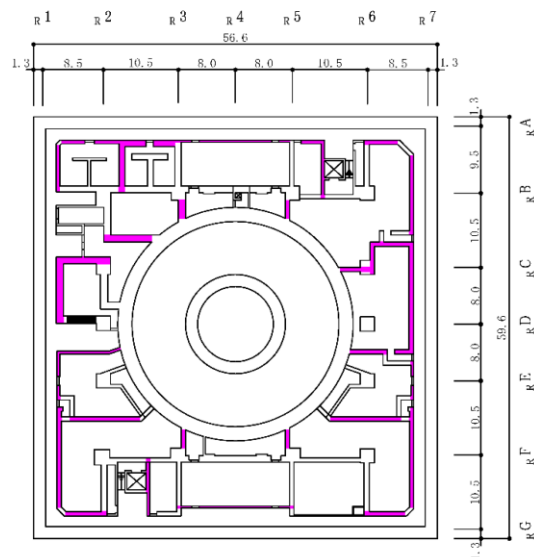
- 前回の審査会合では、地震応答解析モデルの既工認からの変更点のうち補助壁の考慮に関連し、以下の指摘を受けた。

■ 指摘事項No.2-1

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。

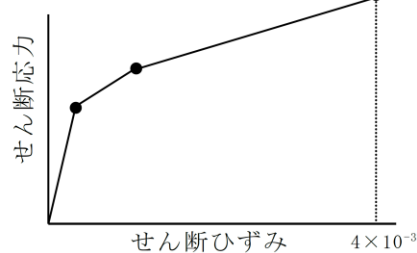
指摘事項の背景（指摘事項No.2-1）

- 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）」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，基礎スラブの耐震評価に用いる。

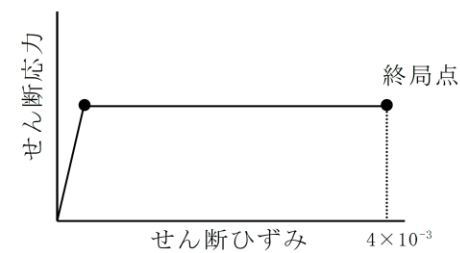


補助壁の考慮範囲の例（B3F）

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.2-1）

■ 指摘事項No.2-1

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，基礎スラブの耐震評価において，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

- ・ 今回工認の耐震壁，RCCV，基礎スラブの耐震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。

耐震壁の耐震評価における補助壁の取扱い（指摘事項No.2-1）

- 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 2.0×10^{-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 |
|--------|-------------|---|---|----------------------|
| 設計用地震力 | 設計用地震力の設定 | <ul style="list-style-type: none"> 基準地震動 S_1 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） （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） | <ul style="list-style-type: none"> 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より設定（静的地震力は既工認時と同じ） 基準地震動 S_s による動的地震力より設定 | - |
| 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 2.0×10^{-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 2.0×10^{-3} 以下であることを確認 | 耐震壁、補助壁ともに確認 |

RCCVの耐震評価における補助壁の取扱い（指摘事項No.2-1）

- 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で負担する耐震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 2.0×10^{-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、 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 ・基準地震動 S_s に対する地震応答解析結果において、 せん断ひずみが 2.0×10^{-3} 以下 であること |

基礎スラブの耐震評価における補助壁の取扱い（指摘事項No.2-1）

- 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耐震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 | 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 |

まとめ

1. 原子炉建屋の地震応答解析に影響を与える要因の確認

- 以下より、今回工認モデルが基本モデルとして妥当であることを確認した。
 - 2007年新潟県中越沖地震のシミュレーション解析結果
 - 建屋質点系・地盤2次元FEMモデルとの比較
 - 地盤の等価線形解析結果
 - 実機におけるSITの結果
- その上で、仮に以下を考慮した場合の地震応答解析を実施し、それぞれの影響を確認した。
 - 補助壁の曲げ変形
 - 側面地盤からの回転入力
 - 表層地盤からの入力
 - SITによる剛性低下
- その結果、それぞれの地震応答解析結果は今回工認モデルと同等であり、耐震評価に与える影響がないことを確認した。
- また、耐震性に影響を与える他の要因について検討を実施し、設計上の考え方を整理した。

2. 原子炉建屋の設計体系における補助壁の取扱い

- 今回工認の耐震壁、RCCV、基礎スラブの耐震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。