

柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉審査資料	
資料番号	KK67-0100 改19
提出年月日	平成28年9月9日

柏崎刈羽原子力発電所 6号及び7号炉

地震による損傷の防止について
(補足説明資料)

平成28年9月

東京電力ホールディングス株式会社

目次

- I. 耐震評価対象の網羅性，既工認との手法の相違点の整理について
 - I-1 耐震評価対象の網羅性について
 - 1. 申請施設の網羅性，代表性について
 - I-2 既工認との手法の相違点の整理について
 - 1. 建屋及び原子炉の地震応答解析モデルの詳細化について
 - 別紙1 原子炉建屋の地震応答解析におけるコンクリート実剛性の採用について
 - 別紙2 地震応答解析モデルにおける補助壁の評価方法について
 - 別紙3 建屋側面地盤回転ばねを考慮することの妥当性について
 - 別紙4 原子炉本体基礎の復元力特性について
 - 2. 既工認実績のない規格・手法の適用性について
 - 2-1 原子炉格納容器コンクリート部の応力解析における弾塑性解析の採用について
 - 2-2 土木構造物の解析手法および解析モデルの精緻化について
 - 2-3 使用済燃料貯蔵ラックの減衰定数について
 - 3. その他手法の相違点等について
 - 3-1 原子炉建屋屋根トラス及び排気筒の評価モデルについて
 - 3-2 機器・配管系の減衰定数について
 - 4. 機器・配管系の設備の既工認からの構造変更について

下線部：今回ご提出資料

1. 建屋及び原子炉の地震応答解析モデルの詳細化について

目次

1. はじめに
2. 建屋及び原子炉の地震応答解析モデルの概要
 2. 1 原子炉建屋地震応答解析モデル
 2. 2 原子炉本体基礎の地震応答解析モデル
 2. 3 炉心、原子炉圧力容器および圧力容器内部構造物の地震応答解析モデル
3. 詳細化の検討内容及び妥当性
 3. 1 コンクリート実強度を考慮した建屋剛性
 3. 2 補助壁の考慮
 3. 3 側面地盤回転ばねの考慮
 3. 4 原子炉本体基礎の復元力特性
4. 地震応答解析モデルの不確かさへの対応方針
 4. 1 不確かさを設定する項目
 4. 2 不確かさの設定
 4. 3 検討ケース
 4. 4 不確かさの設計への反映方針
5. まとめ

添付資料ー1 [3次元 FEM モデルによる妥当性検証](#)

参考資料ー1 既工認モデルによる評価

参考資料ー2 地震応答解析モデル詳細化の定量的な効果

参考資料ー3 地震応答解析モデルの不確かさの影響（試検討）

参考資料ー4 各モデルの変更点が新潟県中越沖地震時のシミュレーション解析結果に与える影響について

参考資料ー5 新潟県中越沖地震本震以外の地震観測記録によるシミュレーション解析結果

参考資料ー6 表層地盤ばねの取扱いについて

1. はじめに

柏崎刈羽原子力発電所6，7号炉の今回の工事計画認可申請書（以下、「今回工認」という）では，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，建設時の工事計画認可申請書（以下、「既工認」という）の地震応答解析モデルを詳細化した地震応答解析モデルを採用することとする（表 1-1）。

本資料では，今回工認において地震応答解析モデルを詳細化することの目的及び妥当性，地震応答解析モデルの不確かさへの対応方針について説明する。

表 1-1 地震応答解析モデルの詳細化の概要

詳細化項目	既工認の地震応答解析モデル	今回工認の地震応答解析モデル
建屋コンクリート剛性	設計基準強度を使用	コンクリート強度データに基づく剛性を使用
耐震要素（建屋壁）のモデル化	外壁などの主要な壁のみモデル化	左記に加え，考慮可能な壁（補助壁）を追加でモデル化
建屋側面地盤による拘束効果（側面地盤回転ばね）	考慮せず	考慮する
原子炉本体基礎のモデル化	剛性一定とした線形解析モデル	コンクリートのひび割れによる剛性低下を考慮した非線形解析モデル

※建屋の弾塑性解析は，既工認では採用していないが，今回工認では，最新の知見「原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601-1991 追補版）」に基づき採用する。

2. 建屋及び原子炉の地震応答解析モデルの概要

2. 1 原子炉建屋地震応答解析モデル

原子炉建屋は地下3階、地上4階建で、基礎底面からの高さは、63.4mである。平面の大きさは地下部分で56.6m(NS方向)×59.6m(EW方向)、最上階は39.0m(NS)×59.6m(EW)である。

建屋の主体構造は鉄筋コンクリート造(一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造)であり、その総重量は約20万tである。また、建屋の主な耐震要素は、鉄筋コンクリート製原子炉格納容器と原子炉建屋の外壁である。

地震応答計算に用いる解析モデルは、建屋を鉄筋コンクリート製原子炉格納容器(以下、「RCCV部」と呼ぶ。)と外壁(以下、「外壁部」と呼ぶ。)に分けた曲げ変形とせん断変形をする質点系とし、地盤を等価なばねで評価した建屋-地盤連成系モデルとする。尚、中間壁の曲げ及びせん断剛性は、RCCV部または外壁部に加える。

モデル化はNS方向、EW方向それぞれについて行っているが、EW方向においては、プール壁がRCCVの曲げ変形を拘束する影響を考慮して回転ばねを取り付けている。

建屋側方の地盤は水平ばね及び回転ばねで、建屋底面下の地盤は水平ばね及び回転ばねで置換している。地下部分側面の地盤水平ばねは、各質点の支配深さに従って地盤を水平に分割し、波動論により評価している。なお、表層部分については、基準地震動 S_s による地盤の応答レベルを踏まえ、ばね評価を行わないこととする。また、基礎スラブ底面における地盤の水平及び回転ばねは、それ以降の地盤を等価な半無限地盤とみなして、波動論により評価している。

建屋の断面図を図2-1、解析モデルを図2-2に示す。

2. 2 原子炉本体基礎の地震応答解析モデル

原子炉建屋内の原子炉圧力容器、原子炉遮蔽壁、原子炉本体基礎等の大型機器・構造物は、原子炉建屋基礎版やダイヤフラムフロアを介して原子炉建屋からの地震の入力があることを考慮して、図2-3に示すように原子炉建屋と原子炉本体基礎を連成させている。

原子炉圧力容器は、原子炉圧力容器スタビライザと等価なばねで原子炉遮蔽壁と結ばれ、原子炉本体基礎と剛に結合される。原子炉本体基礎は、その下端において原子炉建屋基礎スラブ上端と剛に結合され、更にダイヤフラムフロアの剛性と等価なばねにより原子炉格納容器を介し、原子炉建屋に支持される。

なお、上記のモデル化の考え方については、今回工認においても既工認から変更は無い。

2. 3 炉心，原子炉圧力容器および圧力容器内部構造物の地震応答解析モデル

原子炉圧力容器内には，燃料集合体，制御棒，炉心シュラウド，制御棒案内管，制御棒駆動機構ハウジング，気水分離器，原子炉冷却材再循環ポンプ等が収納されている。

炉心シュラウドは薄肉円筒形で，下端において水平方向をシュラウドサポートプレート，鉛直方向をシュラウドサポートシリンダ及びレグにより原子炉圧力容器に支持される。炉心シュラウド上部はさら形のシュラウドヘッド，その上の気水分離器で構成している。

炉心シュラウド内部には燃料集合体が収納され，下端を炉心支持板，上端を上部格子板により正確に位置が定められている。燃料集合体に加わる荷重は水平方向は上部格子板及び炉心支持板を支持する炉心シュラウド，鉛直方向は制御棒案内管を支持する制御棒駆動機構ハウジングを介し，原子炉圧力容器に伝達される。

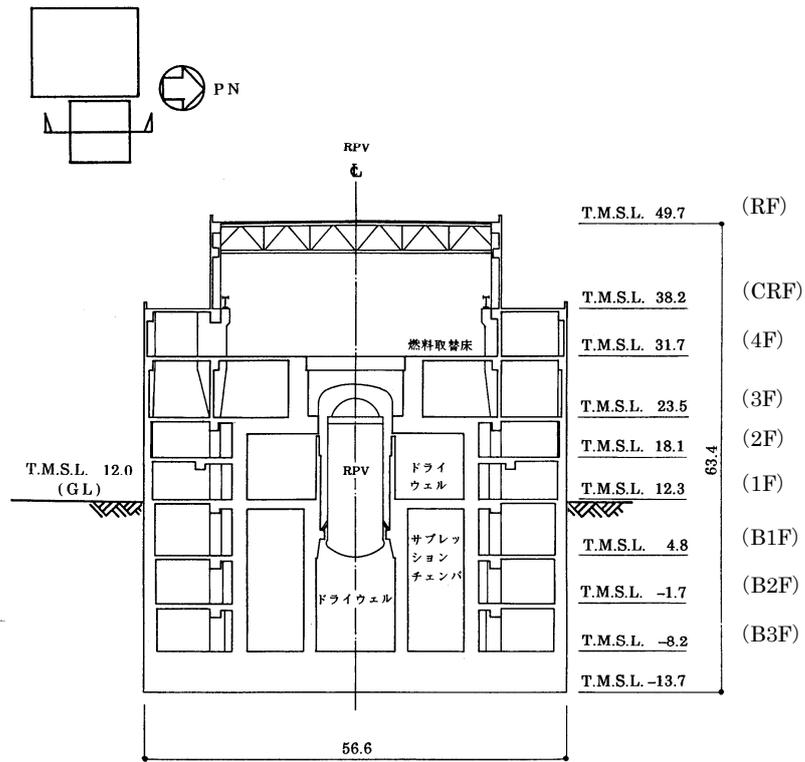
制御棒駆動機構は，原子炉圧力容器下部鏡板を貫通して取り付けられる制御棒駆動機構ハウジング内に納められ，その上端に取り付けられる制御棒を炉心に挿入する機能を有している。

原子炉冷却材再循環ポンプは原子炉圧力容器下部に環状に設置され，原子炉冷却材を循環し，その流量を調整する機能を有している。その原動機は，原子炉圧力容器下部鏡板に溶接された原子炉冷却材再循環ポンプモーターケーシング内に収納される。これらの構造図を図 2-4 に示す。

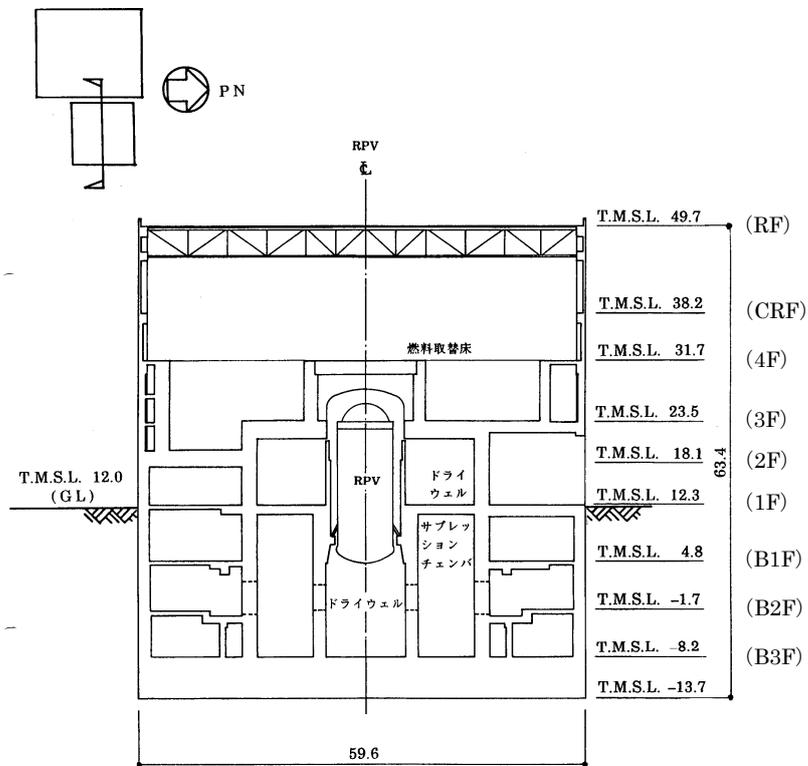
また，中性子計測案内管，中性子束計測ハウジングについては，重量が小さく炉内構造物の振動に与える影響は小さいため重量のみを考慮する。

地震応答解析モデルは図 2-5 に示すように，原子炉建屋，原子炉格納容器，原子炉遮蔽壁，原子炉本体基礎，原子炉圧力容器，炉心シュラウド，燃料集合体，制御棒駆動機構ハウジング及び原子炉冷却材再循環ポンプ等の各質点を等価な曲げ，せん断剛性を有する無質量のばねにより結合した多質点集中系とする。燃料集合体，制御棒案内管，制御棒駆動機構ハウジング，気水分離器，炉心シュラウドはシュラウドサポートと等価な回転ばねを介して，原子炉圧力容器と結合する。原子炉冷却材再循環ポンプは，原子炉圧力容器と結合する。原子炉圧力容器は原子炉圧力容器スタビライザおよび原子炉本体基礎を介して，原子炉建屋に支持される。

なお，上記のモデル化の考え方については，今回工認においても既工認から変更は無い。

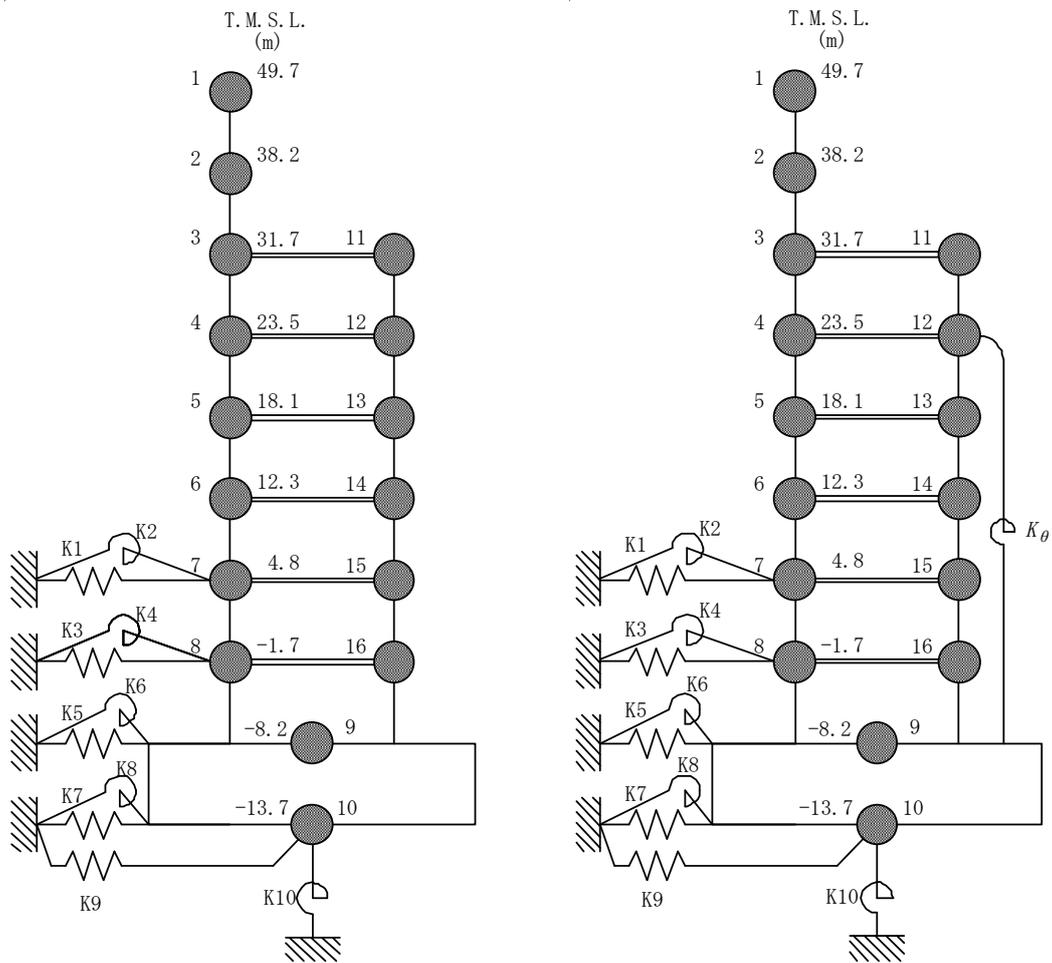


NS 方向断面 (単位 : m)



EW 方向断面 (単位 : m)

図 2-1 原子炉建屋断面 (7号炉の例)



NS 方向

EW 方向

図 2-2 建屋—地盤連成地震応答解析モデル (7 号炉の例)

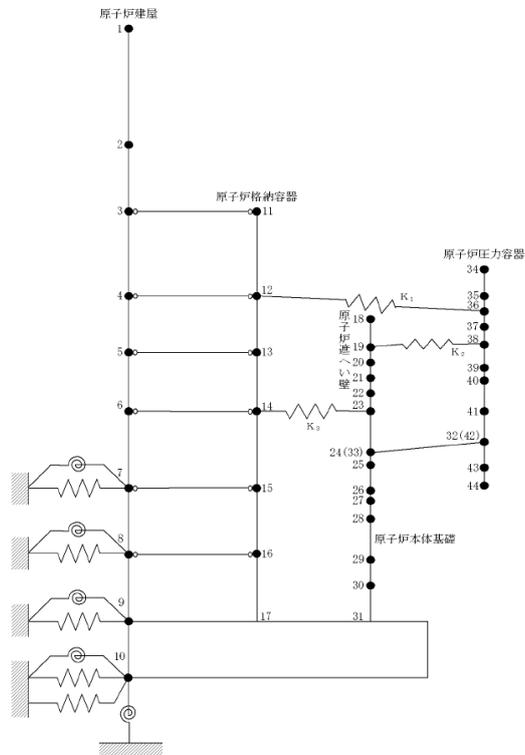


図 2-3 原子炉本体基礎の地震応答解析モデル
(7号炉 水平方向 (NS 方向) の例)

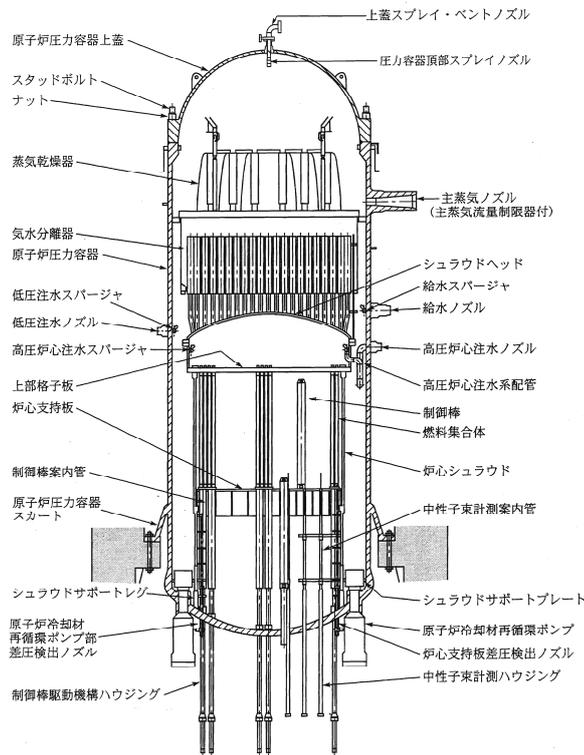


図 2-4 原子炉内部構造図

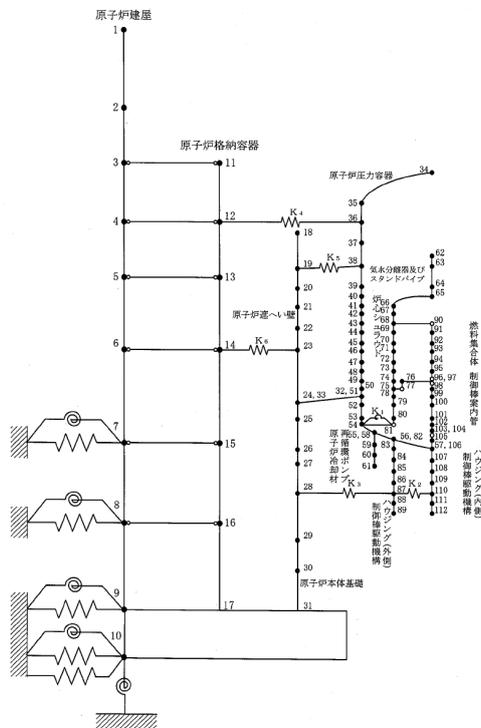


図 2-5 炉心，原子炉压力容器および压力容器内部構造物の地震応答解析モデル (7号炉 水平方向 (NS 方向) の例)

3. 詳細化の検討内容及び妥当性

各詳細化項目の検討内容及び妥当性について以下に示す（詳細は別紙1～4参照）。

なお、詳細化後の建屋動解モデルの妥当性については、観測記録でベンチマーキングした別の解析モデル(建屋3次元FEMモデル)との比較により確認している。(添付資料-1)

3. 1 コンクリート実強度を考慮した建屋剛性【別紙1】

既工認も含め、通常の構造設計において、地震応答解析は対象構造物の構築前に実施することから、地震応答解析時に実際の構造物のデータを得ることは物理的に不可能である。そのため、解析で用いるコンクリート剛性の評価には、設計基準強度を用いるのが一般的である。

今回工認の場合、既工認や通常の構造設計とは異なり、対象構造物が解析実施以前に現に存在しているため、材料物性値を推定することは物理的に可能であることから、地震時の建屋挙動を実応答に近い形で評価できる条件で設計することを目的として、コンクリート剛性の評価に実強度を採用する。

コンクリート実強度を採用する際の論点を整理し、抽出された論点に対して、原子炉建屋を例として、既往の知見や試験等から得られたデータを通してその妥当性・信頼性について考察した上で、今回工認に用いる実剛性の値を設定する方針とした。また、原子炉建屋以外の建屋についても同様のデータ整理を行い、原子炉建屋同様のコンクリート実剛性が適用可能であることを確認する。

原子炉建屋における建設時コンクリートの91日強度データを整理し、網羅的にデータ取得されていること及びデータ数が妥当であることを確認した。

その上で、経年によるコンクリート強度の変化を考察している既往の知見について整理することによりコンクリート強度の経年による影響について検討し、材齢91日から10年にかけてのコンクリート強度の増加を考慮して推定される実強度（推定実強度）を設定した。

更に長期的な強度増進効果を考慮した推定実強度について、実機から直接採取して得られる強度と比較して数値に大きな差異がないかを確認した。

以上の検討を踏まえた上で、妥当性・信頼性を有していると考えられる実強度を設定した。

また、原子炉建屋以外の建屋についても同様のデータ整理を行い、原子炉建屋同様のコンクリート実剛性が共通的に適用可能であることを確認した。

地震応答解析に用いる材料定数は、材料のばらつきによる変動幅を適切に考慮する必要があることから、コンクリート実強度の値のばらつきについて検討し、不確かさを設計上考慮することにより地震応答解析における保守性を確保することとした。

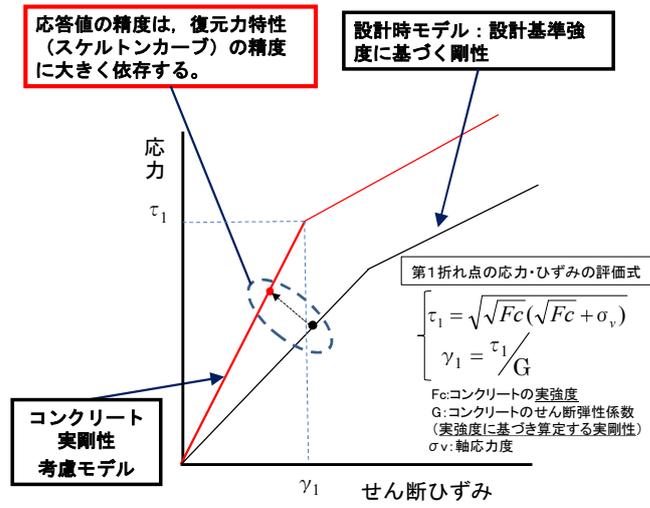


図 3-1 コンクリート実剛性の採用（概念図）

3. 2 補助壁の考慮【別紙2】

既設建屋の地震応答解析の実施にあたっては、より実現象に近い応答を模擬するという観点から、設計時には考慮されていなかったが実際には耐震要素として考慮可能な壁を補助壁と位置づけ、地震応答解析モデルに取り込むこととした。

補助壁の選定基準の設定にあたっては、先行審査を含む既工認で適用実績のある規準である、日本建築学会：「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（2005）」（以下、「RC-N」規準という）を参考に設定する。RC-N 規準 19 条「耐震壁の断面算定」には、耐震壁の壁厚、せん断補強筋比等に関する規定として「算定外の規定」が示されており、今回工認の補助壁の選定条件を設定するにあたっては、「算定外の規定」の記載を踏まえて選定条件を設定することとした。建屋内の鉄筋コンクリート壁のうち、選定条件に適合する壁を補助壁として選定した。

また、選定された補助壁の地震応答解析で用いる解析モデルへの反映方針としては、JEAG4601-1991 追補版におけるスケルトン評価法のベースとなった実験の内容や耐震壁と補助壁の違い（鉄筋比、直交壁の有無）を踏まえ、補助壁のせん断スケルトンカーブとしては第1折れ点で降伏する完全弾塑性型とし、曲げスケルトンとしては補助壁の剛性を無視する保守的な設定とした。

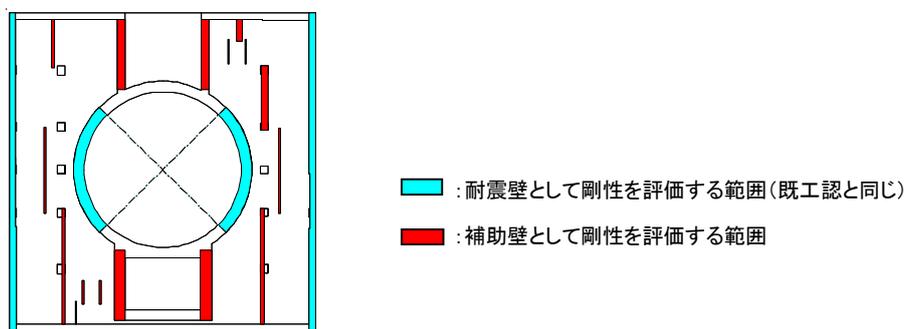


図 3-2 補助壁の考慮例 (6号炉 原子炉建屋 2階)

3. 3 側面地盤回転ばねの考慮【別紙3】

側面回転ばねを考慮することの妥当性検証にあたって、地中に埋め込まれた建屋と地盤との相互作用に関する知見及び6、7号炉原子炉建屋の設置状況を整理し、その上で大きな地震動が作用する場合の側面回転ばねの妥当性に関して、以下の3つの論点を抽出した。

各論点に対する検討方針を設定し、それぞれの論点について検証を実施した。

【論点①】 建屋側面に防水層が存在する場合に防水層と地盤間で摩擦力が伝達可能か

【論点②】 地震時の側面地盤の剥離や土圧変動を考慮しても建屋拘束効果が得られ埋め込みSRモデルへ回転ばねを適用することが妥当か

【論点③】 隣接建屋や建屋周辺の詳細な地盤状況が側面回転ばねの適用性に影響しないか

論点①に対する検討としては、6、7号炉原子炉建屋の実機の地下外壁（防水層付き）と側面地盤の間を模擬した摩擦試験により、建屋側面と地盤間に摩擦力があることを確認した。また、試験結果を踏まえて、論点②及び論点③に対する検証で使用する解析モデルで使用する摩擦特性を設定した。

論点②に対する検討としては、地下外壁と側面地盤の間の接触・剥離や摩擦特性を考慮した詳細な解析モデルによる地震応答解析を行い、地震時の建屋と地盤間の接触状況、建屋と地盤間の摩擦による応力伝達状況、側面地盤反力について検討し、拘束効果が得られることを確認した。その上で、埋め込みSRモデルに側面回転ばねを適用した場合の建屋応答と詳細モデルによる建屋応答を比較し、埋め込みSRモデルによる建屋応答が妥当であることを確認した。

論点③に対する検討としては、論点②のモデルで考慮した接触剥離・摩擦滑り現象に加えて、原子炉建屋に隣接するタービン建屋や周辺の地盤状況（埋戻し土、マンメイドロック等）を考慮した解析モデルを用いた解析を実施し、論点②のモデルによる解析結果と比較することにより、隣接建屋や建屋周辺の詳細な地盤状況が建屋応答に与える影響がないことを確認した。

また、上記の解析的な検証は6号炉原子炉建屋を代表として実施したものであるが、6号炉原子炉建屋と7号炉原子炉建屋の設置状況の類似性や6号炉を対象とした解析結果の傾向を踏まえ、7号炉原子炉建屋についても側面回転ばねを適用することが妥当であることを確認した。

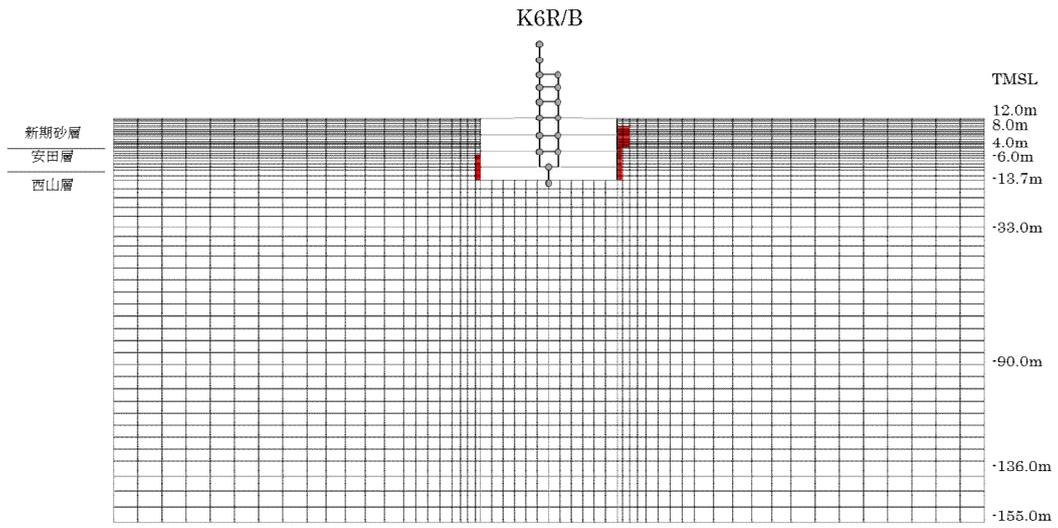


図 3-3 地盤 2 次元 FEM による解析モデル図 (6 号炉原子炉建屋 NS 方向の例)

3. 4 原子炉本体基礎の復元力特性【別紙4】

原子炉本体基礎は、鋼板とコンクリートの複合構造物であり、既工認の地震応答解析モデルでは、基準地震動のレベルが小さく地震応答は概ね弾性領域と考えられたことから、剛性一定の線形仮定としていた。

しかしながら、今回工認では基準地震動のレベルが増大し、地震応答が線形領域を超えることから、より現実に近い適正な地震応答解析を実施する観点から、コンクリートのひび割れによる剛性変化を考慮した非線形解析モデルを採用することとする。

非線形解析モデルの評価は、鉄筋コンクリートの評価手法として実績のある手法に加え、鋼板とコンクリートの複合構造としての特徴に留意した既往の知見を参考にしておこない、実物の原子炉本体基礎を模擬した試験体による加力試験結果を用いてその妥当性を確認する。

原子炉本体基礎の非線形特性を考慮した復元力特性（スケルトンカーブ）の設定は、規格基準や既往の知見を参考に、曲げ及びせん断のそれぞれに対し、コンクリートのひび割れを表す第1折点と鋼板の降伏を表す第2折点を設定することによりおこなった。

曲げの第1、第2折点及びせん断の第1折点の評価は、「原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601-1991 追補版）」に規定されるスケルトンカーブ評価方法を基本とし、せん断の第2折点の評価は、鋼板及びコンクリートで構成された複合構造物に関する既往知見に示されたコンクリートひび割れ後の荷重変形関係の理論式を基本とした。

実機原子炉本体基礎の構造の特徴を踏まえ、評価式への反映方法について検討し、実機を模擬した試験体でその妥当性を確認した。

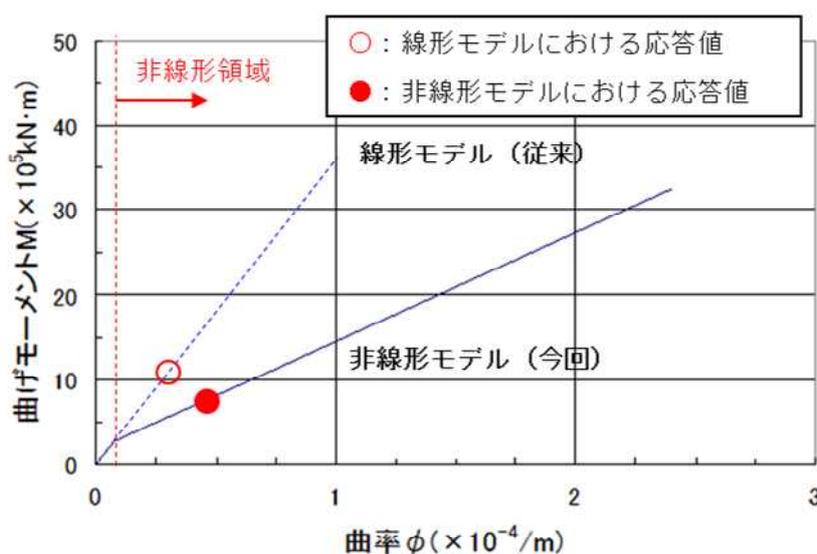


図 3-4 原子炉本体基礎の復元力特性の例
(7号炉, Ss-1, NS 方向の概念図)

4. 地震応答解析モデルの不確かさへの対応方針

4. 1 不確かさを設定する項目

地震応答解析モデルの建屋剛性は、実測したコンクリート強度を用いて算出していることから、コンクリート強度の不確かさが地震応答解析結果へ影響を及ぼすことが考えられる。

側面地盤回転ばねについては、防水層がある建屋外壁と側面地盤の間を模擬した摩擦試験ではせん断剛性にばらつきが見られたため、せん断剛性のばらつきの影響を考慮した検討をおこなったものの、地震応答解析結果に有意な変動が見られなかったことから、ばね剛性の不確かさは設定しない。

建物・構築物と地盤との相互作用を考慮したモデルによる地震応答解析において、地盤剛性は実測した地盤のせん断波速度を用いて算出していることから、地盤のせん断波速度の不確かさが地震応答解析結果へ影響を及ぼすことが考えられる。

建屋と連成させる「原子炉本体基礎の地震応答解析モデル」及び「炉心、原子炉压力容器および压力容器内部構造物の地震応答解析モデル」（以下、「原子炉系の地震応答解析モデル」という）に含まれるコンクリート構造物は、建物のように実測したコンクリート強度がないことから設計基準強度を用いているが、コンクリート強度は設計基準強度を上回るよう設計されるため、実構造物と地震応答解析モデルとで剛性が異なることが考えられる。また、原子炉本体基礎の復元力特性（スケルトンカーブ）の設定は、折線近似で評価しており、現実の挙動は上に凸な曲線になると考えられることから、折線近似による不確かさが地震応答解析結果へ影響を及ぼすことが考えられる。

以上を踏まえ、地震応答解析モデルの不確かさの検討対象として下記を考慮することとする。

なお、本検討では動解モデルにおけるコンクリート減衰定数を既工認時同様5%としているが、先行審査では減衰定数を3%とした場合の影響についても確認している。柏崎刈羽原子力発電所は、軟岩サイトであり、かつ建屋が地中に深く埋め込まれていることから、建屋地盤相互作用による減衰効果の影響が大きく、コンクリートの減衰定数による影響はほとんど無いと考えられるためここでは検討の対象とはしていない。ただし、今回工認では、念のため、コンクリートの減衰定数を3%とした場合の影響についても検討を実施する予定である。

- ・ 建屋剛性（コンクリート強度）の不確かさ
- ・ 地盤剛性の不確かさ
- ・ 原子炉系の地震応答解析モデルにおけるコンクリート強度の不確かさ
- ・ 原子炉本体基礎の復元力特性の設定における折線近似による不確かさ

4. 2 不確かさの設定

(1) 建屋剛性（コンクリート強度）の不確かさ

今回工認では、建屋の地震応答解析モデルにおけるコンクリート剛性の評価にコンクリート実強度を採用する予定であり、その数値は概ね建設時コンクリートの91日強度の平均値と同等となっている。不確かさの検討にあたっては、データベースである91日強度の分布を考慮し、平均値に対して $\pm 1\sigma$ を考慮することとした。さらに保守的な評価として、実強度値のマイナス側については、91日強度の値として95%信頼区間の下限値に相当する値（平均値 -2σ ）を、プラス側については、実機の経年後のコア強度の平均値である $568\text{kg}/\text{cm}^2$ ($55.7\text{N}/\text{mm}^2$)を考慮する。

表 4-2 (1) コンクリート強度の不確かさ検討の考え方

地震応答解析モデル	コンクリート強度
基本ケース	実強度 $440\text{kg}/\text{cm}^2$ ($43.1\text{N}/\text{mm}^2$)
不確かさケース	・ばらつき： $\pm 1\sigma$ $470\text{kg}/\text{cm}^2$, $410\text{kg}/\text{cm}^2$ ($46.1\text{N}/\text{mm}^2$, $40.2\text{N}/\text{mm}^2$) ・保守性 プラス側： $568\text{kg}/\text{cm}^2$ ($55.7\text{N}/\text{mm}^2$) マイナス側： $380\text{kg}/\text{cm}^2$ ($37.3\text{N}/\text{mm}^2$)

(2) 地盤剛性の不確かさ

地盤剛性については、地盤調査結果の平均値を元に設定した数値を基本ケースとして採用している。地盤剛性の不確かさ検討にあたっては、初期せん断波速度に対して、標準偏差に相当するばらつきを考慮することにより、影響評価を行うこととする。

表 4-2 (2) 地盤剛性の不確かさ検討の考え方

地震応答解析モデル	せん断波速度
基本ケース	・標準地盤（平均値）
不確かさケース	+地盤（表層（+13%）、安田層（+25%）、西山層（+10%）） -地盤（表層（-13%）、安田層（-25%）、西山層（-10%））

(3) 原子炉系の地震応答解析モデルにおけるコンクリート強度の不確かさ

原子炉系の地震応答解析モデルにおけるコンクリート強度は、建物のように実測値がないことから、既工認と同様に設計基準強度を用いている。しかしながら、現実のコンクリート強度は設計基準強度を上回ると考えられることから、原子炉系の地震応答解析モデルのうち、コンクリート構造物である原子炉本体基礎とダイヤフラムフロアについて、コンクリート実強度を考慮した影響評価をおこなうこととする。

表 4-2 (3) 原子炉系の地震応答解析モデルにおけるコンクリート強度の不確かさ検討の考え方

地震応答解析モデル	設定方法
基本ケース	・コンクリート強度：設計基準強度 原子炉本体基礎：300kg/cm ² (29.4N/mm ²) ダイヤフラムフロア：330kg/cm ² (32.4N/mm ²)
不確かさケース	・コンクリート強度：想定実強度 原子炉本体基礎：400kg/cm ² (39.2N/mm ²) ダイヤフラムフロア※：440kg/cm ² (43.1N/mm ²)

※ダイヤフラムフロアの設計基準強度は原子炉建屋と同じ値であることから、実強度は原子炉建屋と同じ値を用いる。

(4) 原子炉本体基礎の復元力特性の設定における折線近似による不確かさ

原子炉本体基礎の復元力特性（スケルトンカーブ）の設定は、「原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601-1991 追補版）」等で示される折線近似で評価しており，現実には上に凸な曲線となることが考えられることから，折線近似による不確かさを考慮した影響評価をおこなう。

表 4-2 (4) 原子炉本体基礎の復元力特性の設定における折線近似による不確かさ検討の考え方

地震応答解析モデル	設定方法
基本ケース	・スケルトンカーブ：折線近似
不確かさケース	・スケルトンカーブ：包絡スケルトンカーブ※

※別紙 4 添付資料-10 参照

4. 3 検討ケース

前項で述べた不確かさに対しては、基本的に、個別に影響を確認することとする。但し、建物のコンクリート剛性の不確かさのうち $\pm 1\sigma$ のケースと地盤剛性の不確かさについては、建屋-地盤連成系の剛性が最も硬い側（全体系の固有周期が短い側）及び最も柔らかい側（全体系の固有周期が長い側）の組み合わせで検討をおこない、個別の検討は省略する。以上を踏まえ、検討ケースを下表に示す。

表 4-3 検討ケース

検討ケース	コンクリート剛性	地盤剛性	RPV ペDESTAL	備考
◆ケース 1 (基本ケース)	実強度 (440kg/cm ²)	標準地盤	非線形 (折線近似)	
◆ケース 2 (建屋剛性+ σ , 地盤剛性+ σ)	実強度+ σ (470kg/cm ²)	標準地盤+ σ	非線形 (折線近似)	
◆ケース 3 (建屋剛性- σ , 地盤剛性- σ)	実強度- σ (410kg/cm ²)	標準地盤- σ	非線形 (折線近似)	
◆ケース 4 (建屋剛性コア平均)	実強度 (コア平均) (568kg/cm ²)	標準地盤	非線形 (折線近似)	
◆ケース 5 (建屋剛性-2 σ)	実強度-2 σ (380kg/cm ²)	標準地盤	非線形 (折線近似)	
◆ケース 6 (原子炉系コンクリート実強度相当)	実強度 (440kg/cm ²)	標準地盤	非線形・実強度 (折線近似)	原子炉本体基礎： 400kg/cm ² ダイヤフラムフロア： 440kg/cm ²
◆ケース 7 (原子炉本体基礎曲線包絡スケルトンカーブ)	実強度 (440kg/cm ²)	標準地盤	非線形 (曲線包絡)	

4. 4 不確かさの設計への反映方針

(1) 建物・構築物

今回工認の設計においては、基本ケースの地震応答解析モデルを用いることとする。但し、不確かさを考慮した各検討ケースの地震応答解析から得られる地震力（せん断力、曲げモーメント、最大せん断ひずみ等）が基本ケースの地震力を上回る場合には、それらの影響を考慮した場合でも許容値を満足することを確認する。

(2) 機器・配管系

今回工認の設計においては、基本ケースの地震応答解析モデルによる地震応答解析結果を用いることとする。但し、不確かさを考慮した各検討ケースの地震応答解析結果から得られる地震荷重等が基本ケースの地震荷重等を上回る場合には、それらの影響を考慮した場合でも許容値を満足することを確認する。

a. 建屋床面の最大加速度を用いて設計する設備

各建屋のフロア毎に、基本ケースの最大加速度と各検討ケースの最大加速度の比較をおこなう。各検討ケースの最大加速度が基本ケースの最大加速度を上回る場合には、上回るフロアに設置されている設備に対して、その影響を考慮した場合でも許容値を満足することを確認する。

b. 地震応答解析結果から得られる荷重（モーメント、せん断力等）を用いて設計する設備

地震応答解析モデルの質点のうち設備の設計に用いる箇所について、基本ケースの荷重と各検討ケースの荷重の比較をおこなう。各検討ケースの荷重が基本ケースの荷重を上回る場合には、上回る荷重を用いて設計する設備に対して、その影響を考慮した場合でも許容値を満足することを確認する。

c. 床応答スペクトルを用いて設計する設備

設計用スペクトル（基本ケースの床応答スペクトルを周期方向に±10%拡幅）と各検討ケースの床応答スペクトル（拡幅無し）の比較をおこなう。各検討ケースのスペクトルが基本ケースのスペクトルを上回る場合には、上回る箇所に固有周期を持つ設備に対して、その影響を考慮した場合でも許容値を満足することを確認する。

5. まとめ

柏崎刈羽原子力発電所6，7号炉の今回工認の耐震設計に用いる建屋及び原子炉の地震応答解析モデルを，既工認の地震応答解析モデルから詳細化するにあたって，詳細化する目的及び妥当性について検討した。その結果，今回の詳細化は，既往の知見や得られた試験データ等に基づき適切に設定されていることから，妥当であると考えられる。

また，地震応答解析モデルにおける不確かさについて，不確かさの変動幅や不確かさの検討ケースを設定し，地震応答解析結果における影響検討方針を示した。今後，本方針に従い検討を実施する。

以上

添付資料ー 1 3次元 FEM モデルによる妥当性検証

目 次

1. はじめに
2. 3次元 FEM モデルの構築
3. 3次元 FEM モデルによる評価
4. まとめ

1. はじめに

詳細化した原子炉建屋の地震応答解析モデル（以下、「今回工認モデル」という。）の妥当性検証として、今回工認モデルと、過去の地震観測記録でベンチマーキングした別の解析モデル（以下、「建屋 3 次元 FEM モデル」という。）の地震応答解析結果の比較を行う。

検証にあたっては、建屋 3 次元 FEM モデルについて、新潟県中越沖地震によるシミュレーション解析によりその妥当性を確認した上で、今回工認モデルと建屋 3 次元 FEM モデルのそれぞれに対して弾性設計用地震動 Sd を入力とした地震応答解析を行い、両者の応答結果を比較することにより今回工認モデルの妥当性を確認する。

なお、検証にあたっては、6, 7 号炉原子炉建屋の構造が類似していることを踏まえ、6 号炉を代表として実施するものとする。

2. 3 次元 FEM モデルの構築

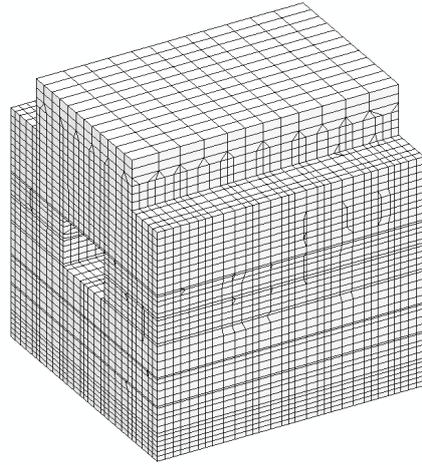
2.1 原子炉建屋の 3 次元 FEM モデル

原子炉建屋の 3 次元 FEM モデルを構築する。建屋 3 次元 FEM モデルの解析モデルを図 2.1-1 に示す。

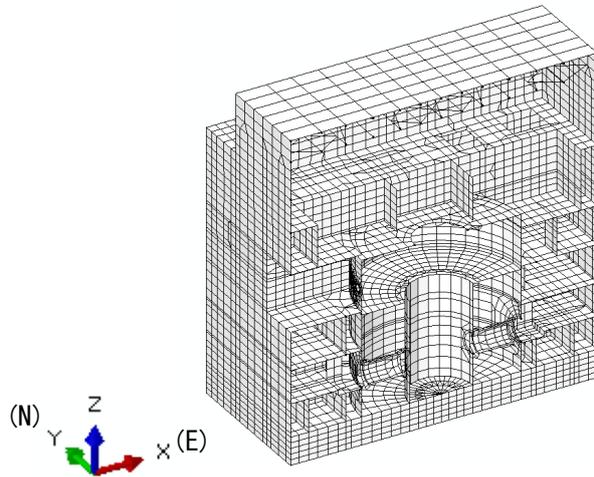
モデル化の範囲は、原子炉建屋、鉄筋コンクリート製原子炉格納容器（以下、「RCCV」という。）及び基礎とする。

3 次元 FEM モデルで設定する各部材の要素タイプは、基礎スラブをソリッド要素（約 5600 要素）、床スラブ・壁をシェル要素（約 21000 要素）、柱・梁をビーム要素、屋根トラスのメイントラス・サブトラス・サブビームをビーム要素（約 3600 要素）、斜材・束材・水平ブレースをトラス要素（約 600 要素）でモデル化する。壁・床の開口部については、主要な開口部のみモデル化する。

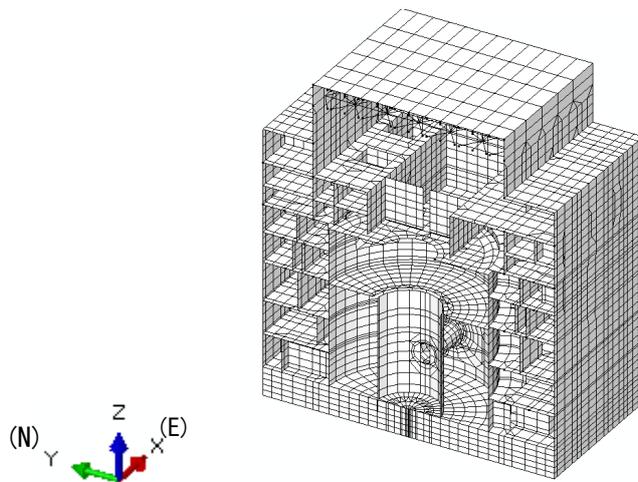
使用材料の物性値を表 2.1-1 に示す。コンクリートの実強度及びヤング係数については、今回工認モデルと同一の設定である。



(a) 建屋全景



(b) EW 断面図



(c) NS 断面図

図 2.1-1 建屋 3 次元モデル

表 2.1-1 使用材料の物性値

部位他		使用材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断弾性 係数 G (N/mm ²)	ポアソン比	減衰定数 h (%)
建屋部	実強度	コンクリート Fc = 440kg/cm ²	2.88×10 ⁴	1.20×10 ⁴	0.2	5
基礎部	実強度	コンクリート Fc = 400kg/cm ²	2.79×10 ⁴	1.16×10 ⁴	0.2	5
屋根トラス, 鉄骨部		鋼材	2.05×10 ⁵	7.90×10 ⁴	0.3	2

2.2 観測記録を用いた検討

(1) 観測記録を用いた検討の概要

2007年新潟県中越沖地震に対して、建屋3次元FEMモデルを用いて解析を実施する。

解析に用いる地震の諸元を図2.2-1に、地震計位置を図2.2-2に示す。原子炉建屋基礎上で得られた観測記録を図2.2-3および図2.2-4に示す。

観測記録を用いた解析は、原子炉建屋基礎上(6-R2:T.M.S.L.-8.2m)で観測された記録を使用する。

地震計を設置している3階位置(6-R2:T.M.S.L.23.5m)での応答解析結果と観測記録とを比較する。

地震名	新潟県中越沖地震
発生日時	2007年7月16日 午前10時13分頃
マグニチュード	6.8
震源深さ	17km
震央距離	16km
震源距離	約23km

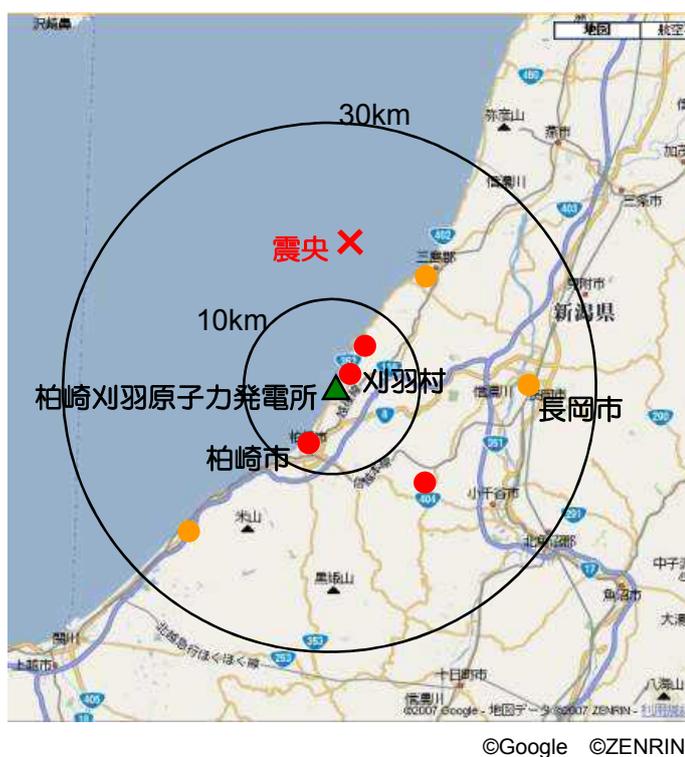


図 2. 2-1 検討に用いる地震の諸元 (2007 年新潟県中越沖地震)

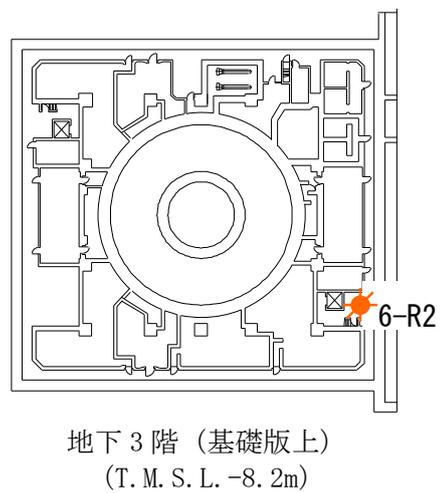
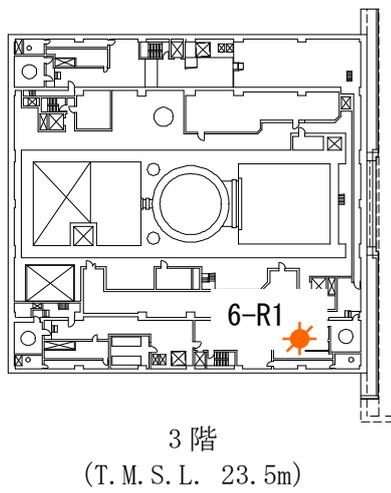
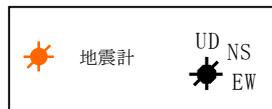
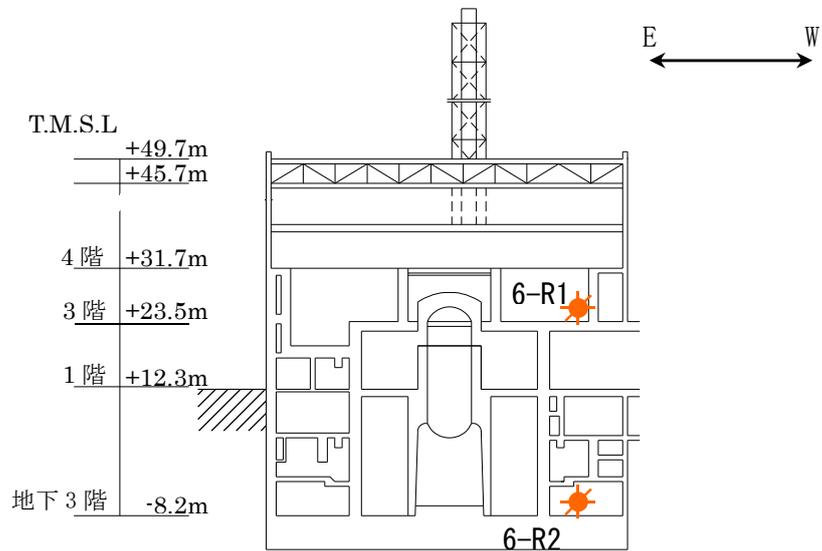
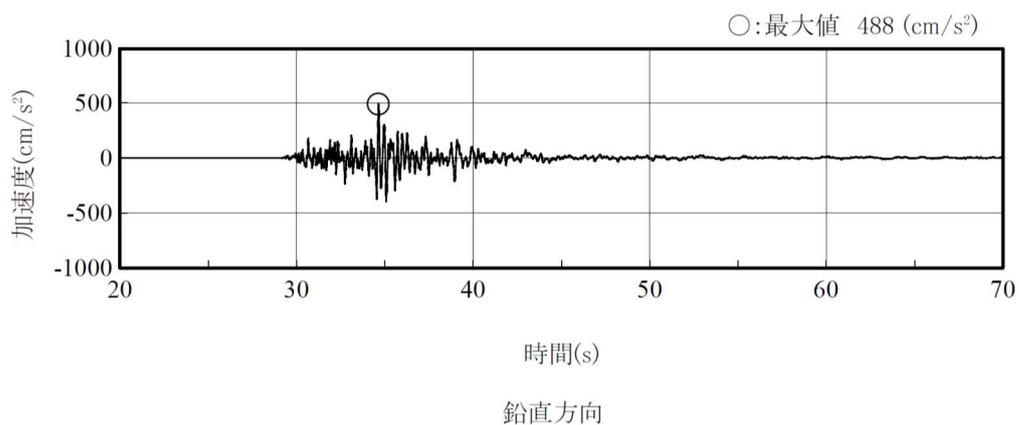
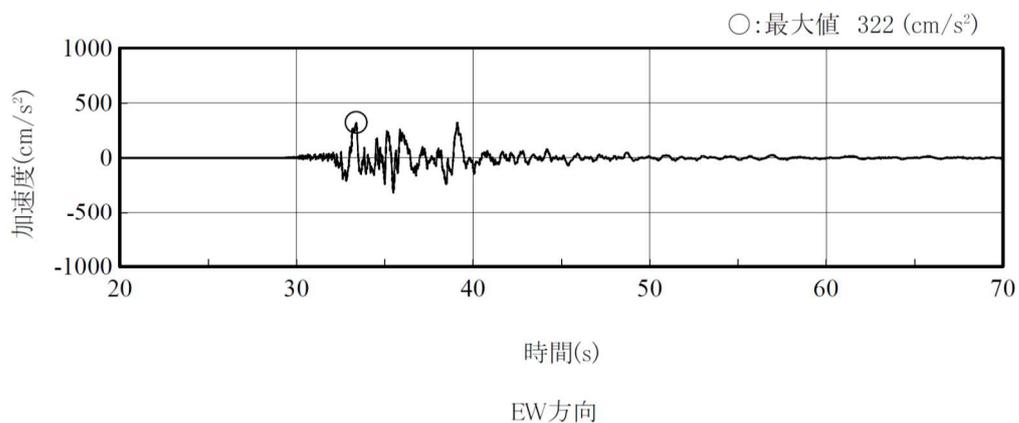
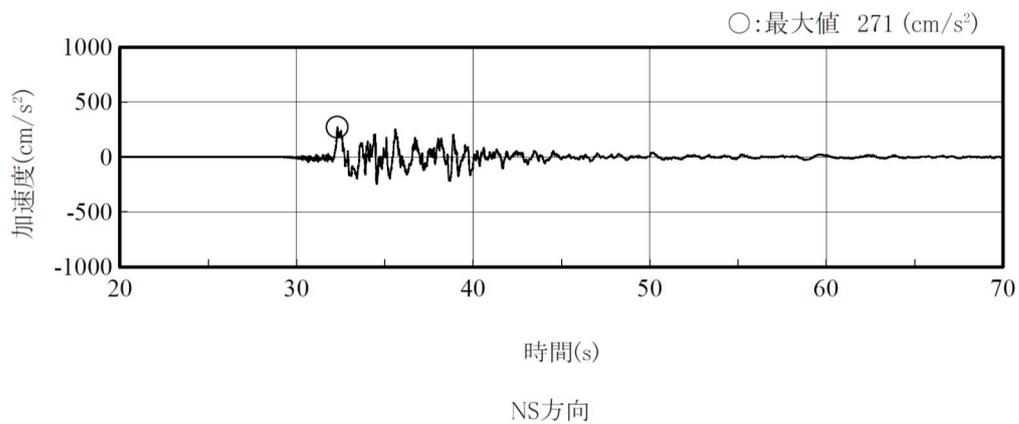


図 2.2-2 地震計位置



(記録の主要動を含む 50 秒間を表示)

図 2.2-3 原子炉建屋の基礎上の観測記録 加速度時刻歴波形
(6-R2 : T. M. S. L. -8.2m)

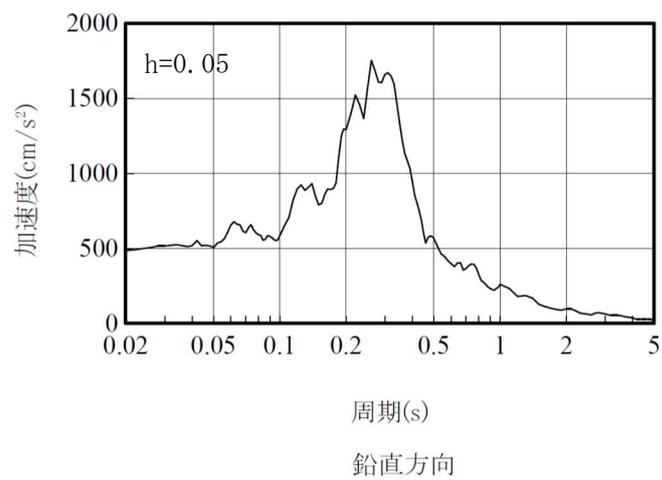
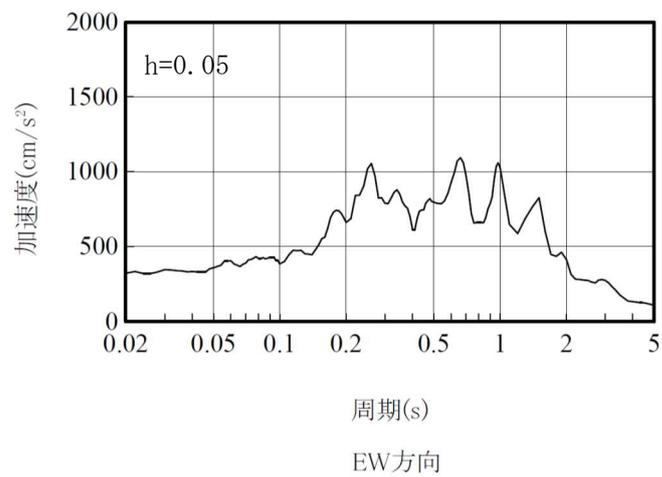
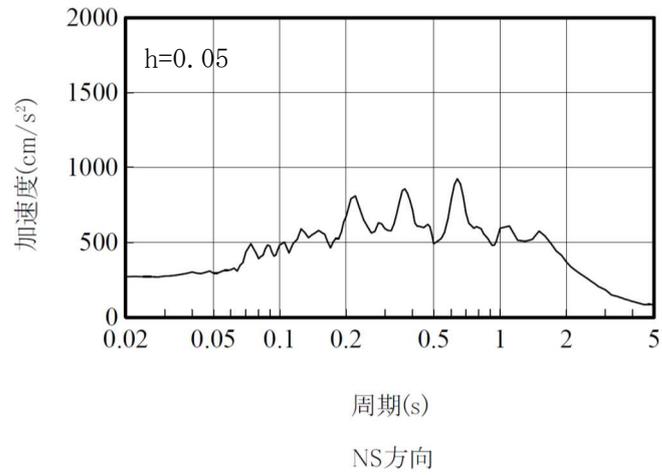


図 2.2-4 原子炉建屋の基礎上の観測記録 加速度応答スペクトル
(6-R2 : T. M. S. L. -8. 2m)

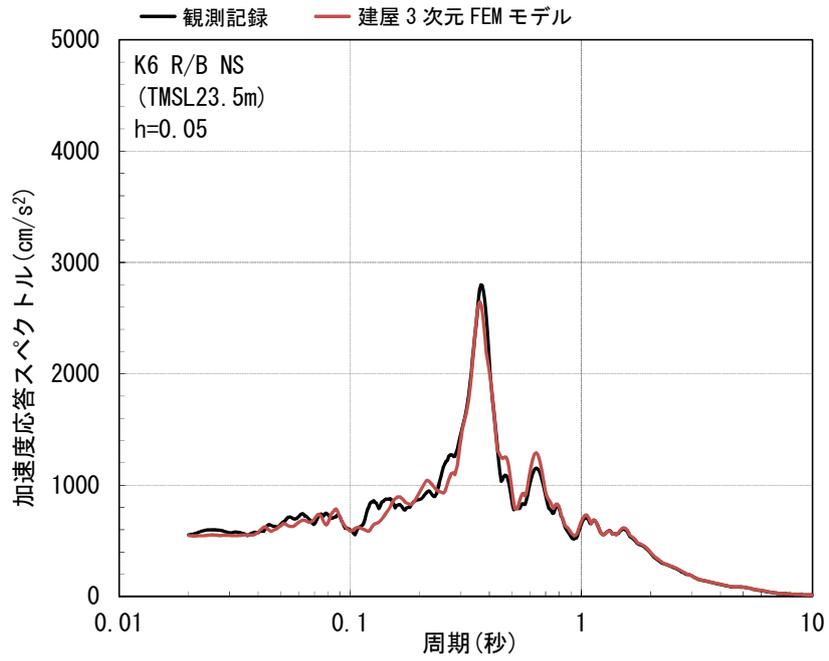
(2) 観測記録による解析結果

原子炉建屋 3 階の地震計位置 (6-R1 : T. M. S. L. 23.5m) での観測記録及び解析結果の加速度応答スペクトルの比較を図 2.2-5 に示す。なお、観測記録と比較するための解析結果は、地震計位置近傍の節点を用いる。

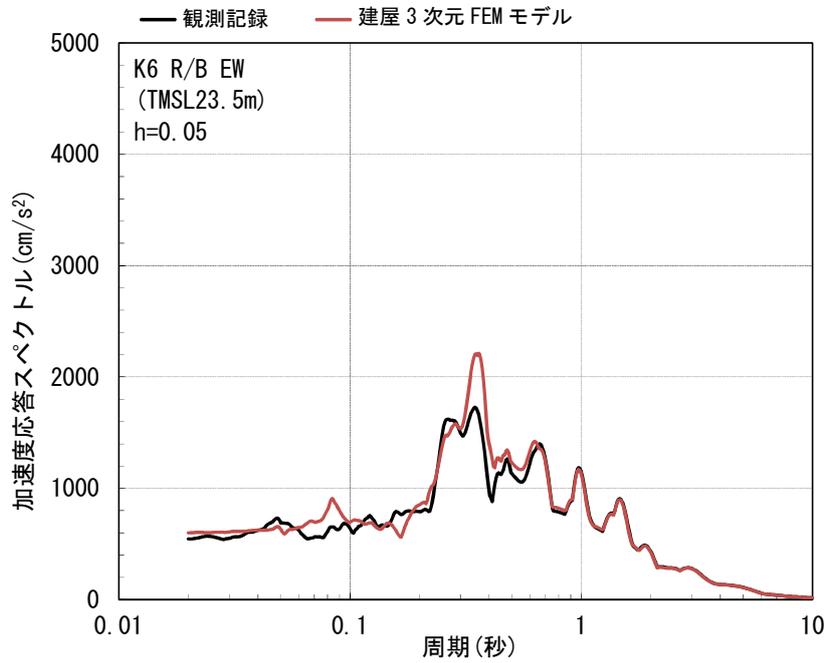
(3) 観測記録と解析結果の比較・考察

図 2.2-5 に示した通り、加速度応答スペクトルにおいて、NS 方向、EW 方向及び鉛直方向の解析結果は、観測記録と概ね対応する結果となった。

以上より、建屋 3 次元 FEM モデルは観測記録を再現可能なモデルであると考えられる。

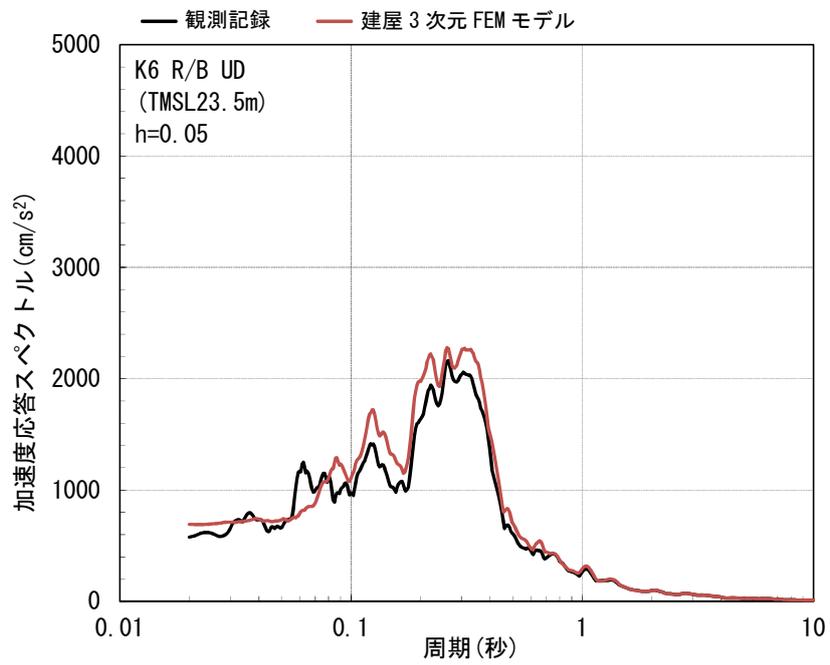


(a) NS 方向



(b) EW 方向

図 2.2-5 観測記録と解析結果の加速度応答スペクトルの比較
(6-R1 : T. M. S. L. 23.5m) (1/2)



(c) UD 方向

図 2.2-5 観測記録と解析結果の加速度応答スペクトルの比較
(6-R1 : T. M. S. L. 23.5m) (2/2)

3 3次元 FEM モデルによる評価

3.1 地震応答解析の概要

今回工認モデルの妥当性の確認として、今回工認モデルと建屋 3 次元 FEM モデルの各フロアの最大応答加速度および加速度応答スペクトルの比較を行う。

3 次元 FEM モデルによる地震応答解析は弾性応答解析としていることから、地震動は弾性設計用地震動 S_d を用いて、基礎底面及び側面に地盤ばねを介して入力する。

基準地震動 S_s の加速度応答スペクトルを図 3.1-1 に示す。図 3.1-1 より、耐震評価へおよびす影響が大きい基準地震動として S_s-1 と S_s-2 が挙げられるが、今回検討では、基準地震動 S_s-2 より算出される弾性設計用地震動 S_d-2 を検討用地震動として選定し、解析を実施した。

弾性設計用地震動 S_d-2 の加速度時刻歴波形を図 3.1-2 に、加速度応答スペクトルを図 3.1-3 に示す。

- | | | |
|---|--|---|
| — Ss-1 | — Ss-5 (NS) | — Ss-8 |
| — Ss-2 (NS) | - - - Ss-5 (EW) | |
| - - - Ss-2 (EW) | — Ss-6 (NS) | |
| — Ss-3 | - - - Ss-6 (EW) | |
| — Ss-4 (NS) | — Ss-7 (NS) | |
| - - - Ss-4 (EW) | - - - Ss-7 (EW) | |

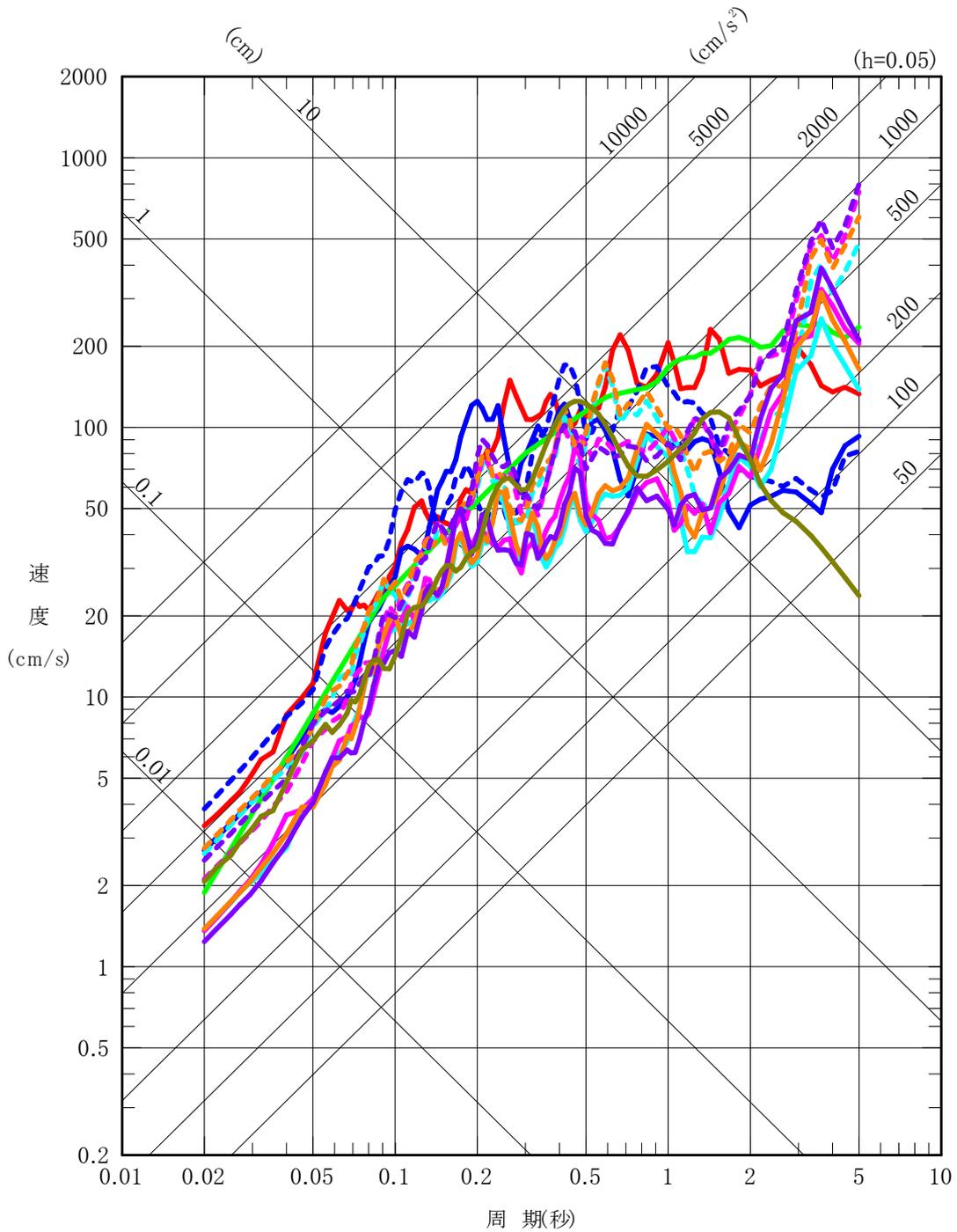


図 3.1-1 基準地震動の応答スペクトル (水平方向) (大湊側) (1/2)

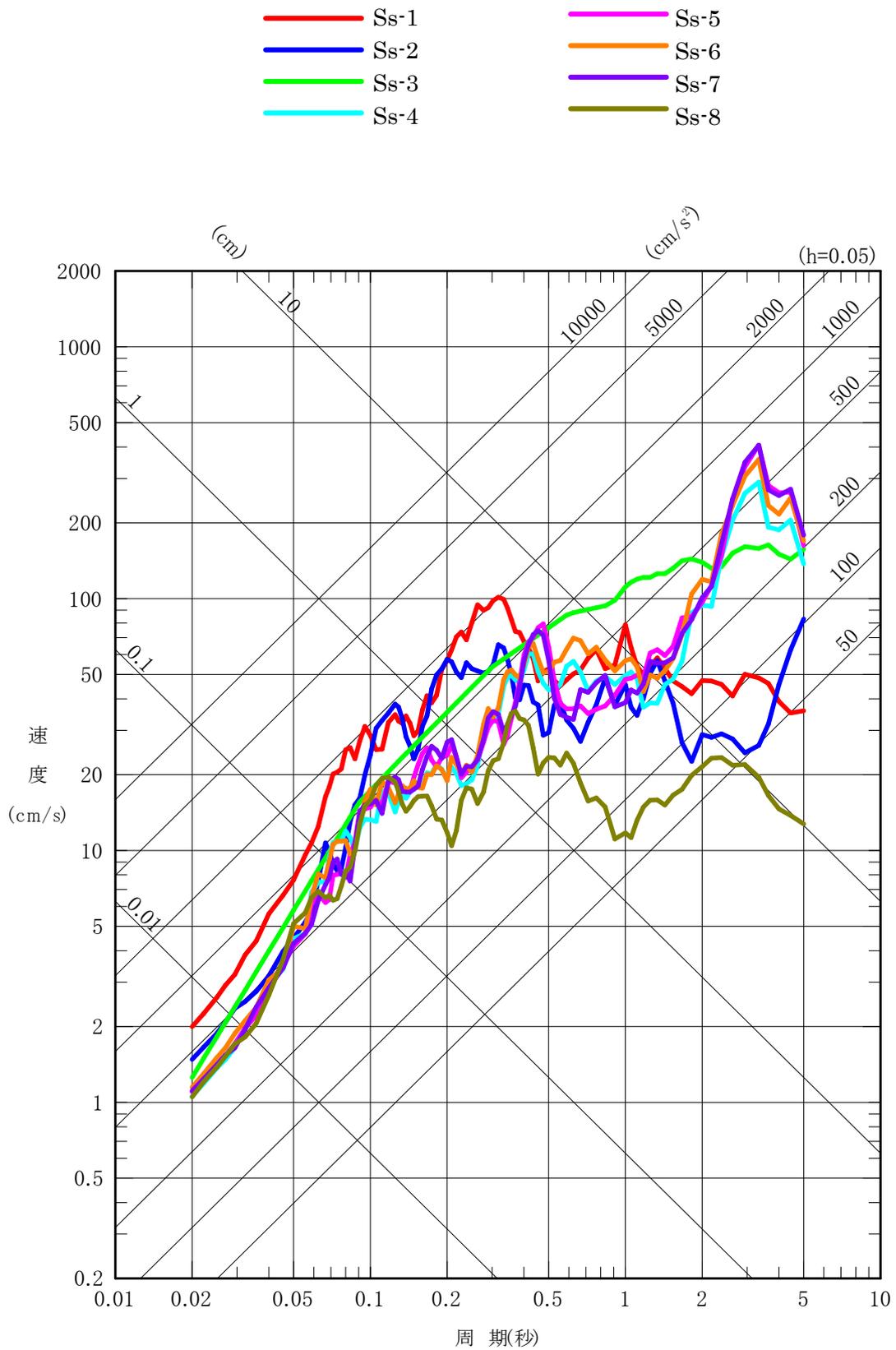


図 3.1-1 基準地震動の応答スペクトル (鉛直方向) (大湊側) (2/2)

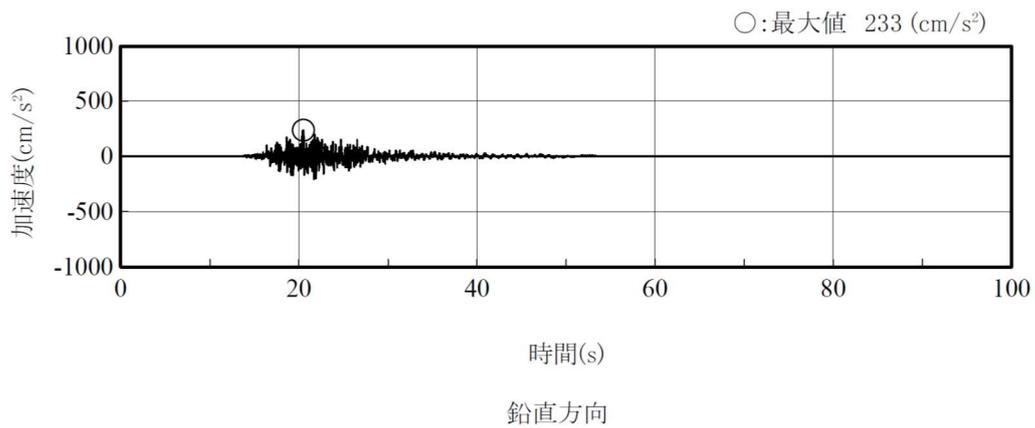
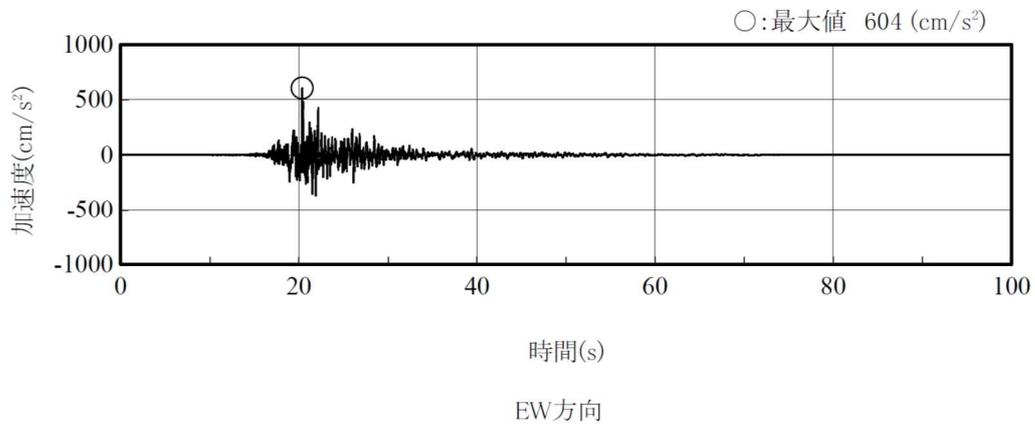
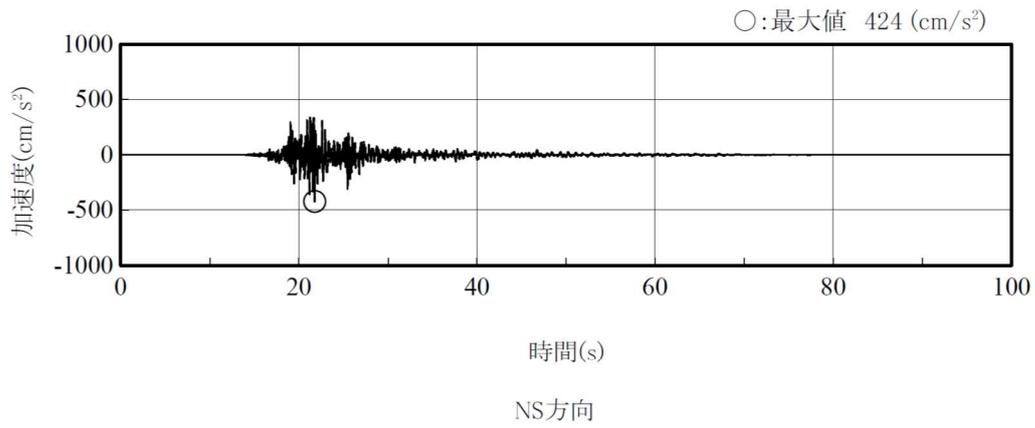


图 3.1-2 弹性设计用地震动 Sd-2 加速度时刻历波形 (解放基盘面)

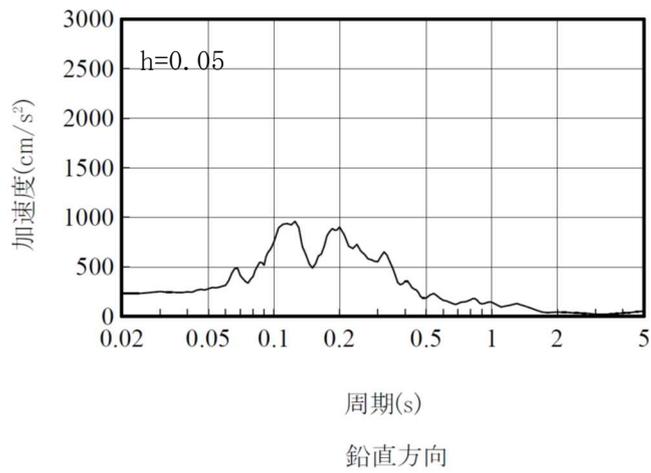
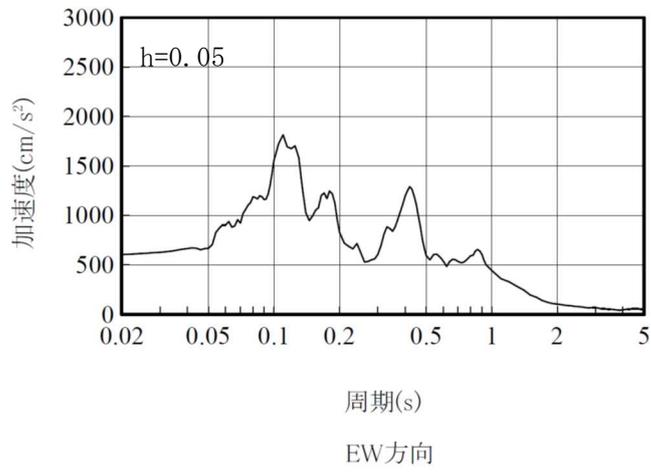
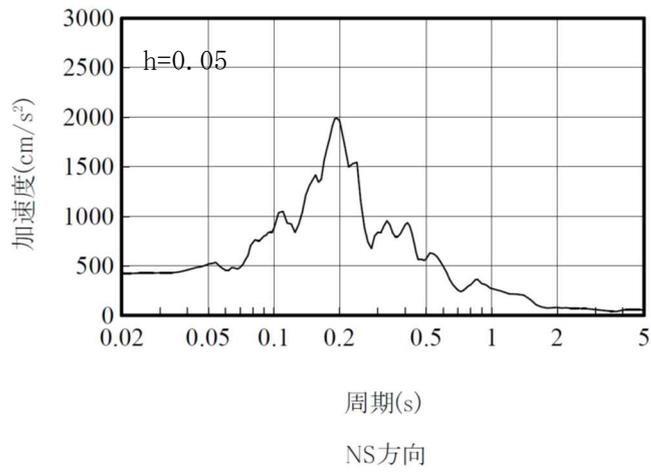


図 3.1-3 弾性設計用地震動 Sd-2 加速度応答スペクトル (解放基盤面)

3.2 最大応答加速度の比較による妥当性の検討

(1) 検討方針

建屋 3 次元 FEM モデル及び今回工認モデルの最大応答加速度の比較を行い、今回工認モデルの妥当性を検討する。

評価に当たっては、今回工認モデルの質点位置（床レベル）での応答を評価対象とし、今回工認モデルの各質点位置に対応する 3 次元 FEM モデルの評価点としては、原子炉建屋外壁（以下、「ボックス壁」という。）の隅部および中間部を評価点とし、また RCCV 部についても NS・EW 方向での影響が検討できるよう直行方向よりそれぞれ評価点を抽出した。なお、建屋の対称性を考慮し、各床の評価点は 5 点程度とした。

(2) 検討結果

図 3.2-1 及び表 3.2-1 に最大応答加速度の比較結果を示す。

図 3.2-1 及び表 3.2-1 より、両モデル間で、最大応答加速度は概ね同等となっていることが確認できた。

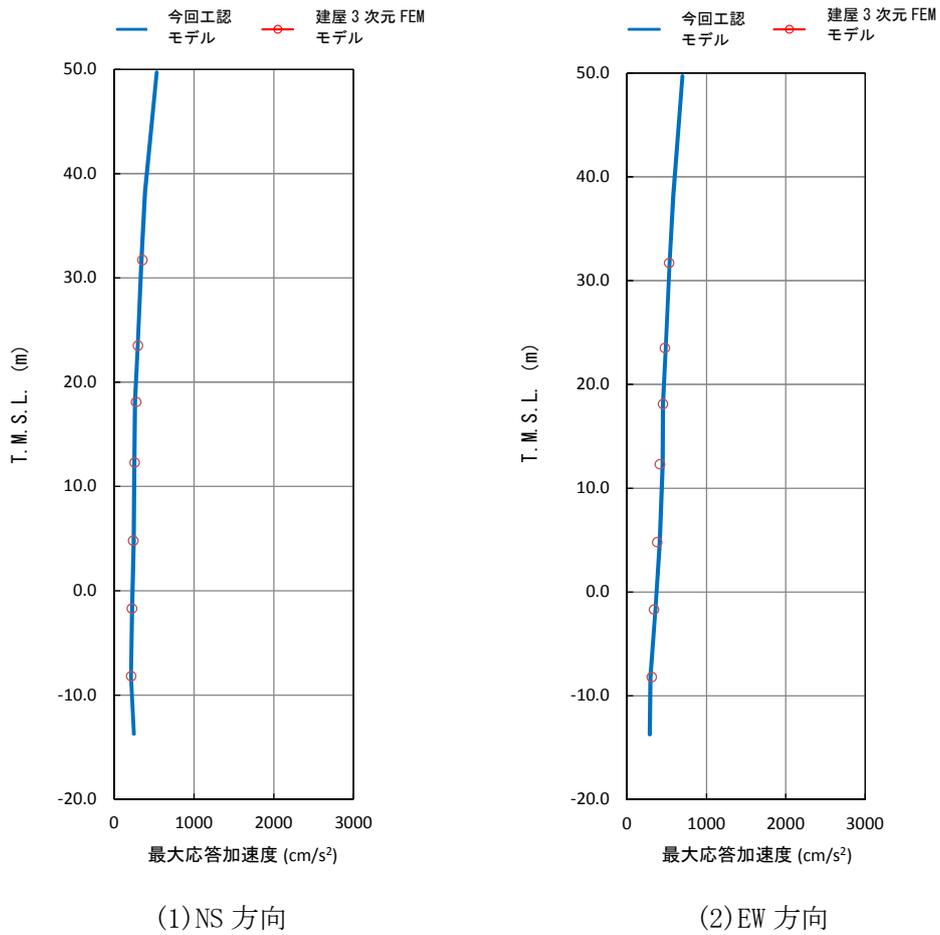


図 3.2-1 建屋 3 次元 FEM 及び今回工認モデルにおける最大応答加速度の比較

表 3.2-1 最大応答加速度一覧

部位	質点番号	最大応答加速度 (cm/s ²)			
		NS 方向		EW 方向	
		今回工認 モデル	3 次元 FEM モデル	今回工認 モデル	3 次元 FEM モデル
原子炉建屋	3	341	355	536	533
	4	295	300	489	477
	5	262	278	455	454
	6	253	257	449	416
	7	245	240	410	381
	8	225	224	358	341
	9	212	216	294	315

3.3 加速度応答スペクトルの比較による妥当性の検討

(1) 検討方針

建屋 3 次元 FEM モデル及び今回工認モデルの加速度応答スペクトルの比較を行い、今回工認モデルの妥当性を検討する。

建屋 3 次元 FEM モデル及び今回工認モデルの加速度応答スペクトルの比較について、地震動の入力は今回工認モデルで 1 方向入力していることから、建屋 3 次元 FEM モデルにおいても 1 方向入力と比較する。

建屋 3 次元 FEM モデルの応答評価位置について、高さ方向については原子炉建屋の地下部及び地上部(下部, 上部)を網羅できるように、地下 3 階(T. M. S. L. -8. 2m), 1 階(T. M. S. L. 12. 3m) および 3 階 (T. M. S. L. 23. 5m) を代表高さとし、ボックス壁の隅部および中間部を評価点とし、また RCCV 部についても NS・EW 方向での影響が検討できるように直行方向よりそれぞれ評価点を抽出した。なお、建屋の対称性を考慮し、各床の評価点は 5 点程度とし、合計 14 点を評価点とし抽出した。

(2) 検討結果

図 3. 3-1 に加速度応答スペクトルの比較結果を示す。

建屋 3 次元 FEM モデル及び質点系モデルの加速度応答スペクトルを比較すると、NS 方向、EW 方向、UD 方向とも、大部分の周期帯で、両者は同等の値となっている。ただし、NS 方向の一部の周期帯(周期 0. 2 秒付近)で建屋 3 次元 FEM モデルの応答が質点系モデルより大きくなる傾向を示した。これは図 3. 1-3 に示すように周期 0. 2 秒付近に NS 方向の入力地震動のピークがあることに加え、別途実施した固有値解析結果にみられるように、建屋 3 次元 FEM モデルの周期 0. 2 秒付近において質点系モデルでモデル化されない屋根中央部が水平方向に振動するモードがあることが影響していると考えられる。固有値解析結果を表 3. 3-1 に、固有モードを図 3. 3-2 に示す。

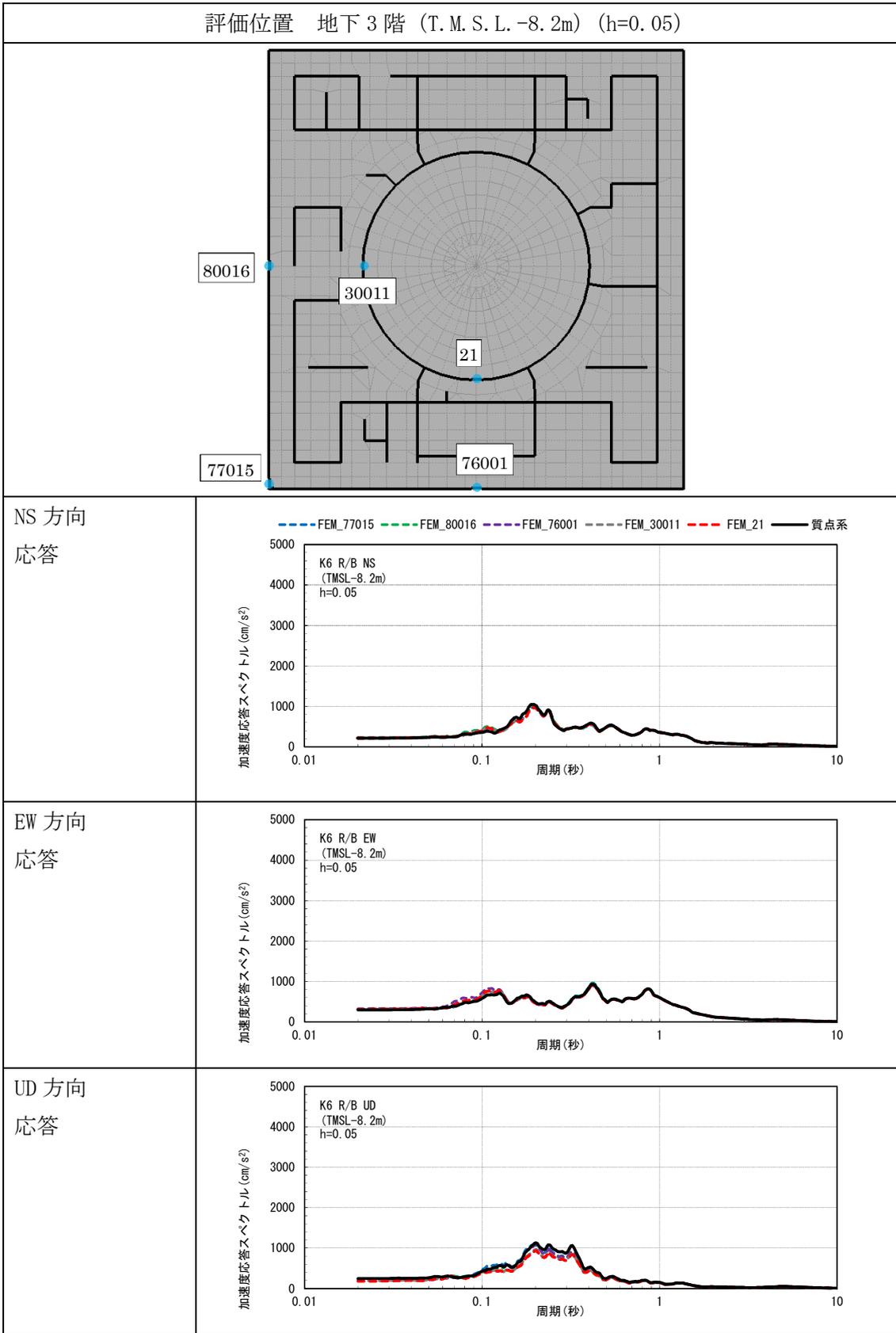


図 3.3-1 建屋3次元 FEM モデル及び今回工認モデルの応答スペクトルの比較 (1/6)

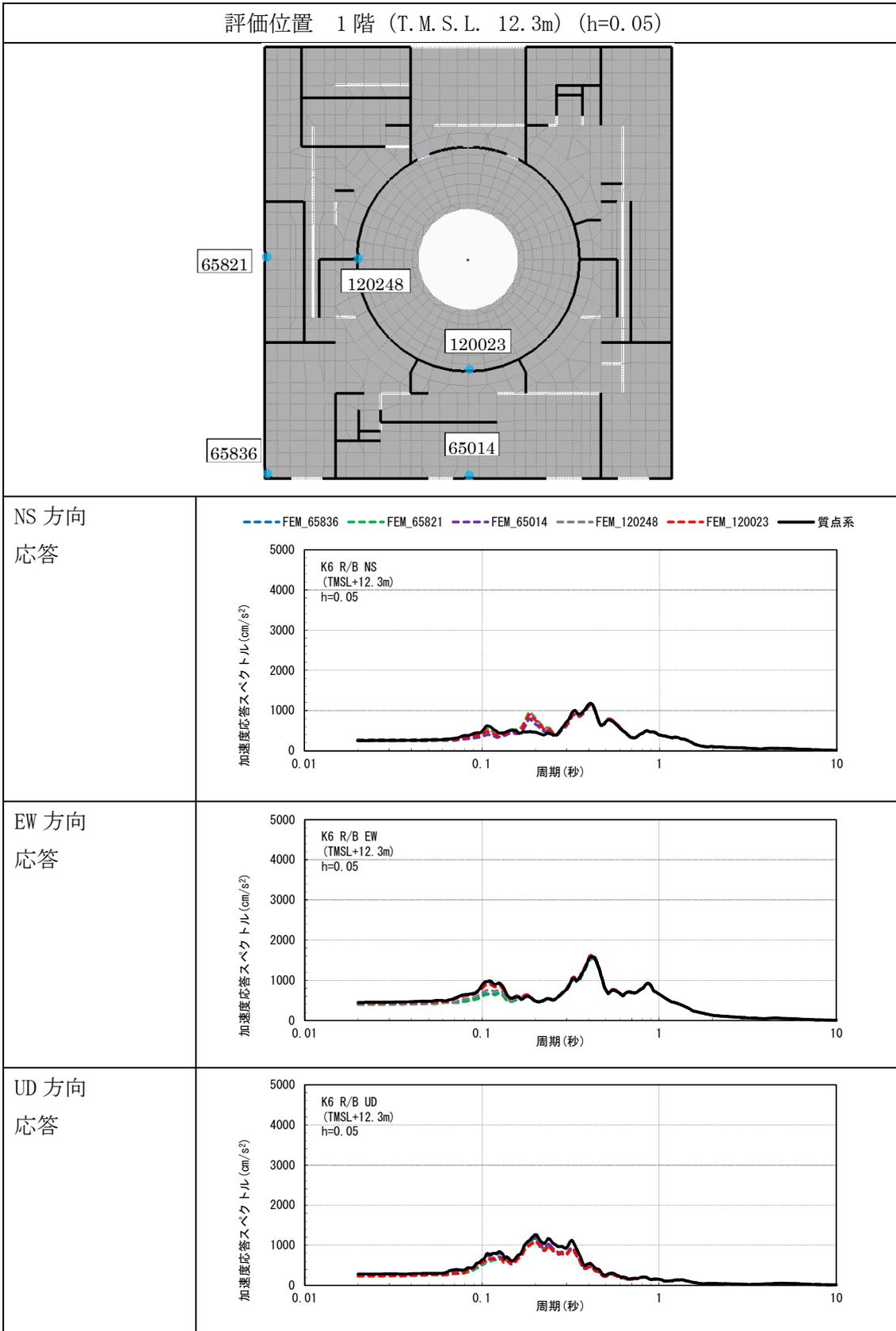


図 3.3-1 建屋 3 次元 FEM モデル及び今回工認モデルの応答スペクトルの比較 (2/6)

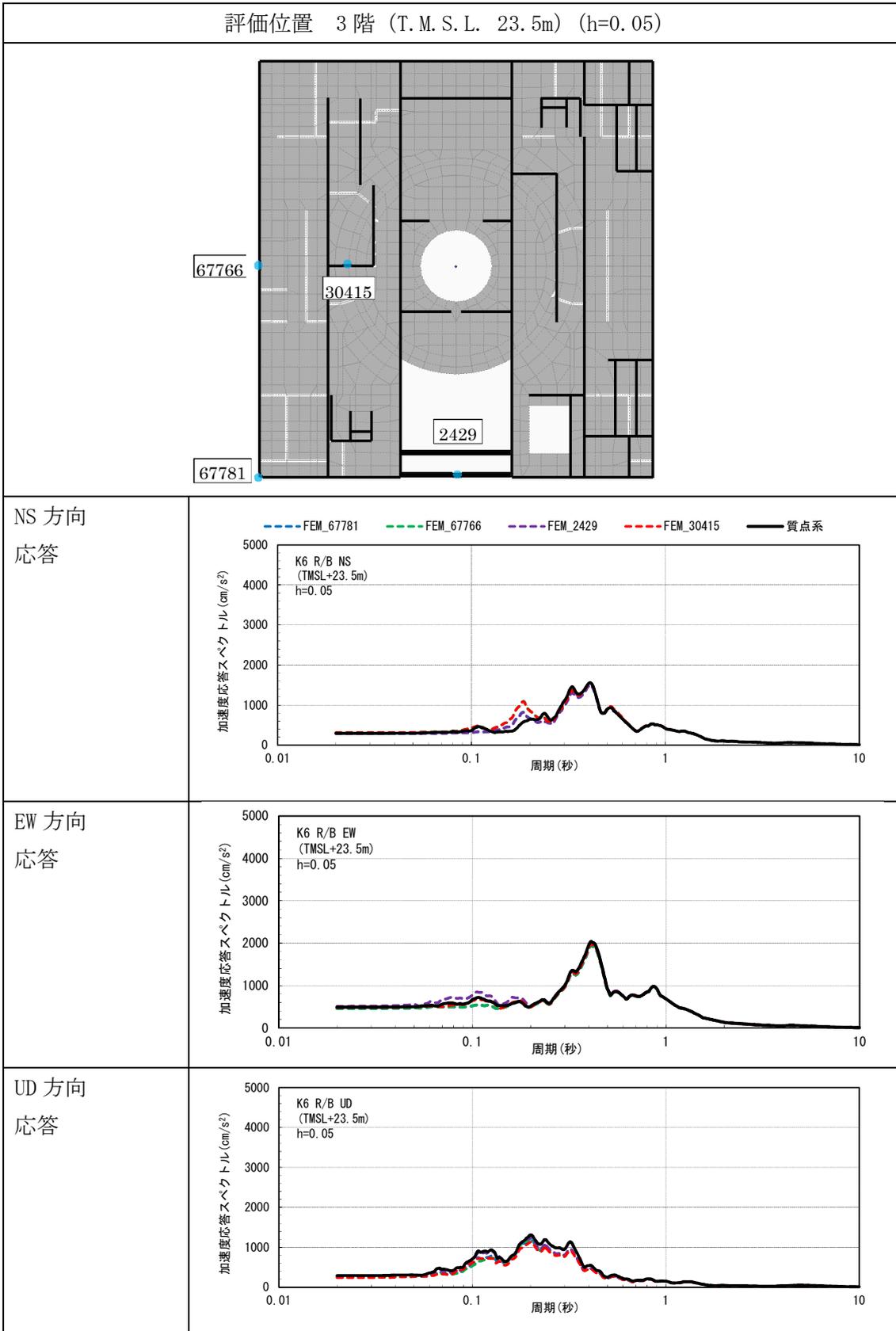
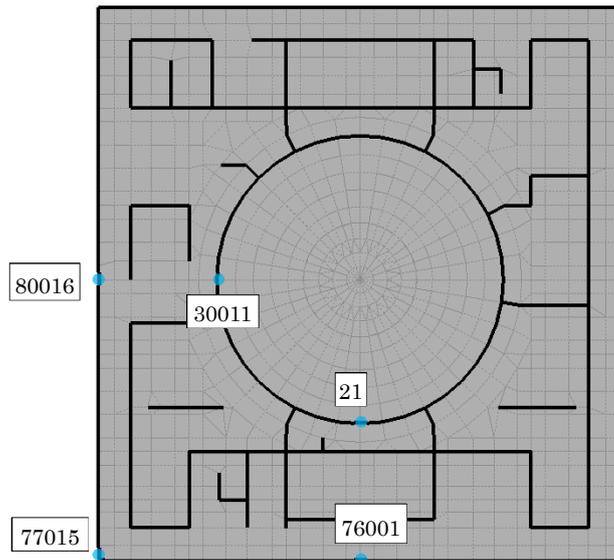
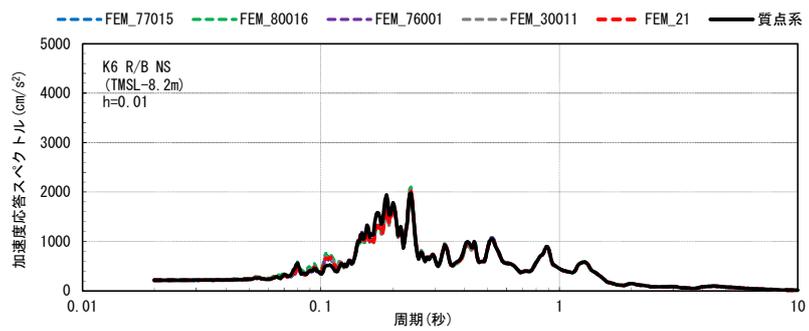


図 3.3-1 建屋 3 次元 FEM モデル及び今回工認モデルの応答スペクトルの比較 (3/6)

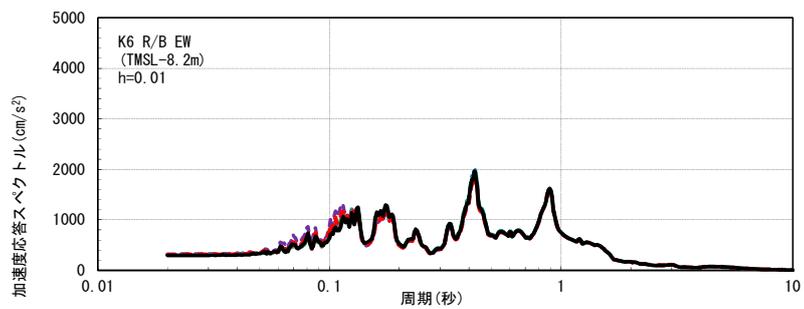
評価位置 地下3階 (T.M.S.L. -8.2m) (h=0.01)



NS 方向
応答



EW 方向
応答



UD 方向
応答

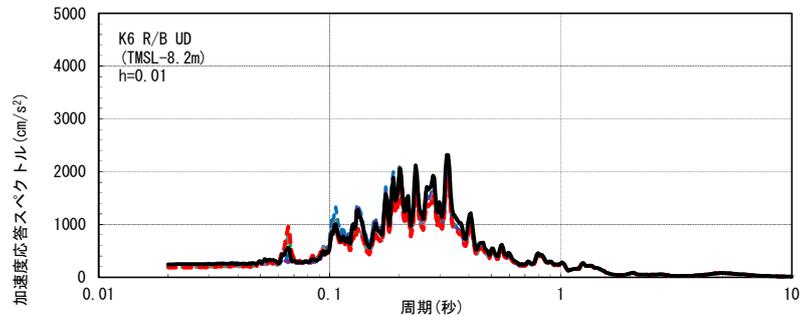


図 3.3-1 建屋3次元 FEM モデル及び今回工認モデルの応答スペクトルの比較 (4/6)

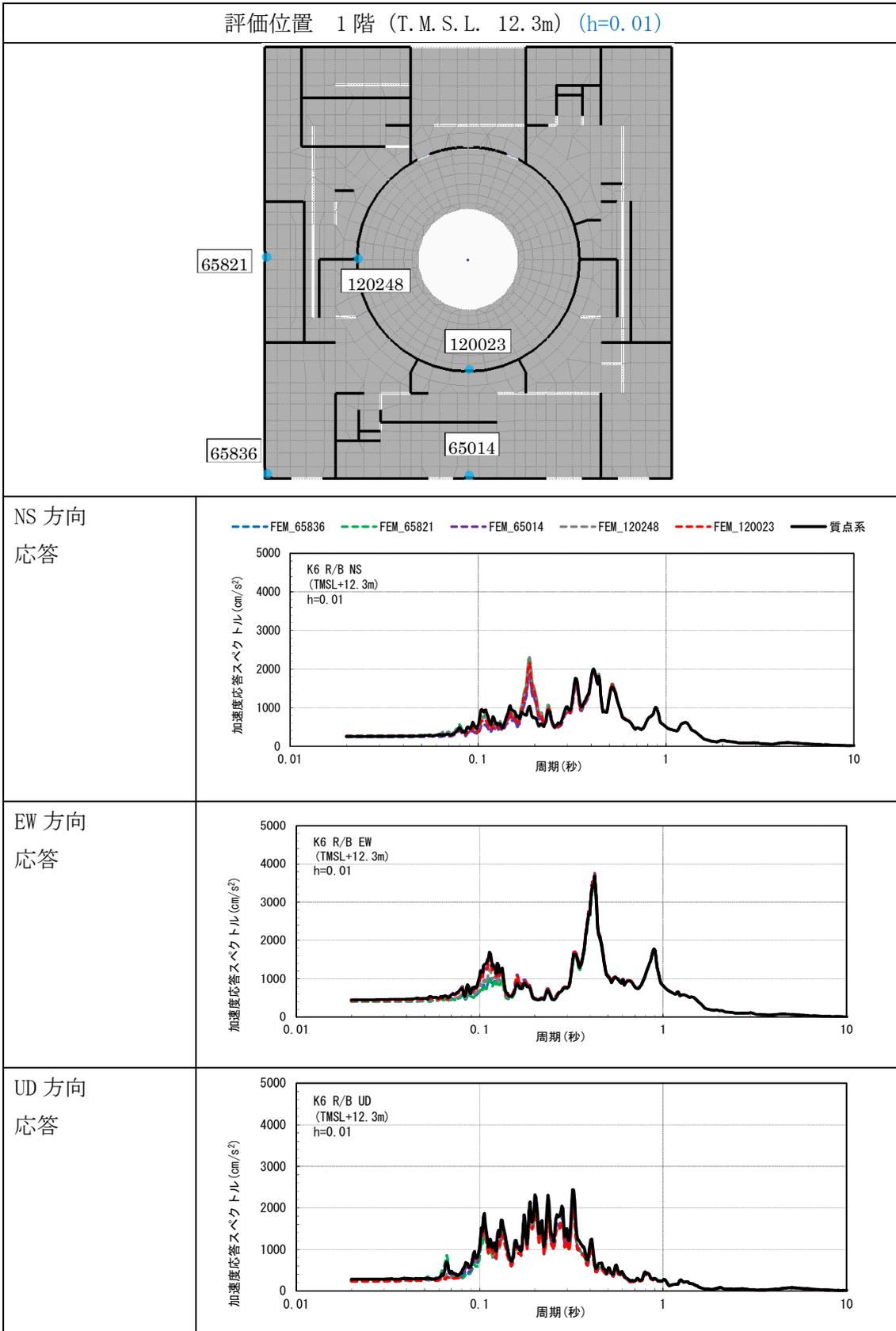
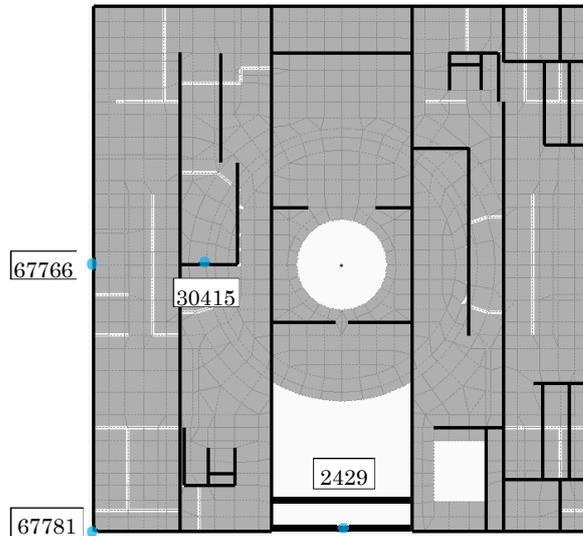
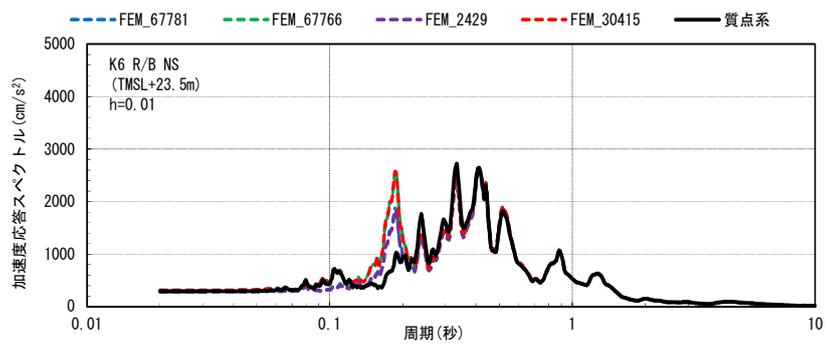


図 3.3-1 建屋 3 次元 FEM モデル及び今回工認モデルの応答スペクトルの比較 (5/6)

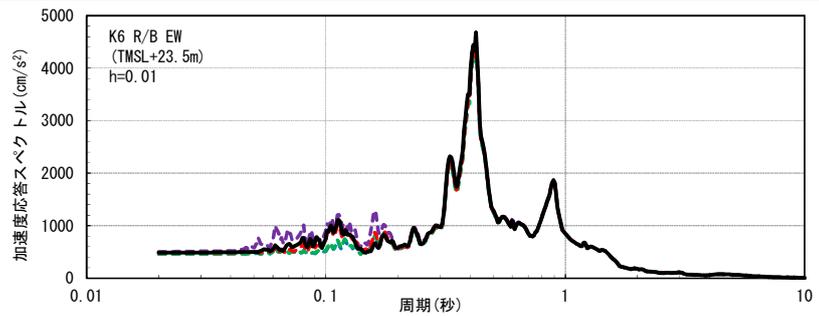
評価位置 3階 (T.M.S.L. 23.5m) (h=0.01)



NS 方向
応答



EW 方向
応答



UD 方向
応答

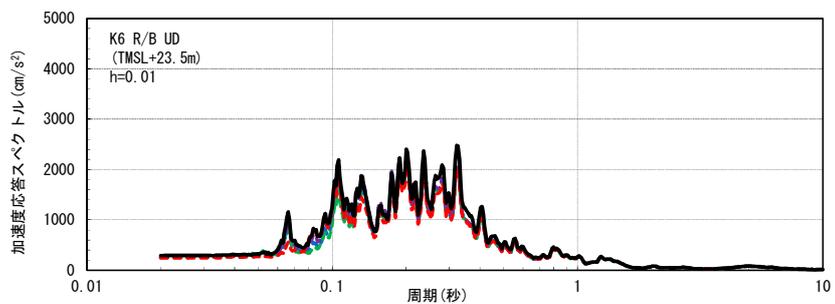
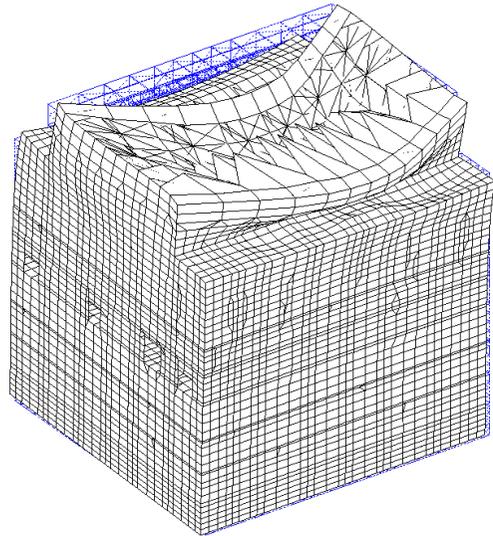


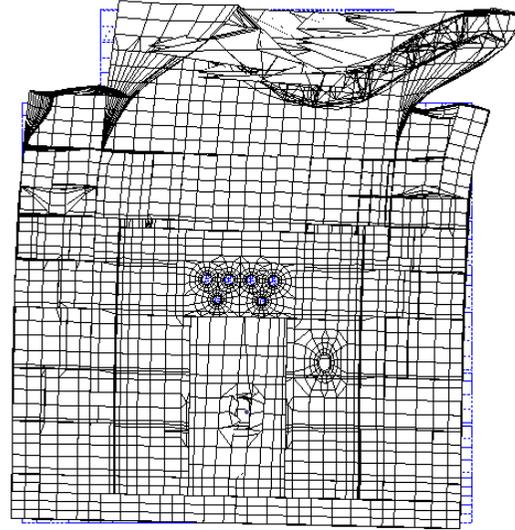
図 3.3-1 建屋 3 次元 FEM モデル及び今回工認モデルの応答スペクトルの比較 (6/6)

表 3.3-1 固有値解析結果一覧

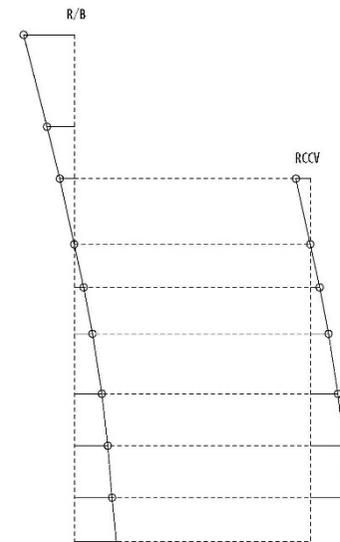
モード	FEMモデル					質点系モデル		
	固有振動数 (Hz)	固有周期 (sec)	刺激係数			固有振動数 (Hz)	固有周期 (sec)	刺激係数
			EW方向 (X)	NS方向 (Y)	UD方向 (Z)			
NS1次	2.296	0.435	-3.86	385.27	-0.19	2.343	0.427	1.59
EW1次	2.387	0.419	-390.67	-3.89	-0.43	2.397	0.417	1.55
NS2次	5.023	0.199	-1.24	-165.64	-16.10	5.347	0.187	0.71
EW2次	5.316	0.188	-161.01	0.38	6.92	5.390	0.186	0.62
EW3次	5.614	0.178	122.79	-4.95	44.02	12.960	0.077	0.16
NS3次	5.908	0.169	3.15	138.08	7.78	12.804	0.078	0.10



(a) FEM モデル建屋全景



(b) FEM モデル建屋 NS 断面



(c) 質点系モデル

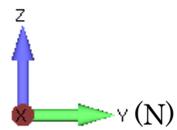
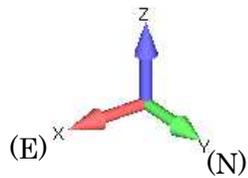


図 3.3-2 固有モード図 : NS 方向 2 次

4. まとめ

今回工認モデルの妥当性の検証の観点から、6号炉原子炉建屋を対象として、建屋3次元FEMモデルによる地震応答解析を実施した。

建屋3次元FEMモデルと、今回工認モデルの最大応答加速度の比較を行い、応答は概ね同等となっていることが確認できた。

建屋3次元FEMモデルにより得られた加速度応答スペクトルと今回工認モデルより得られた床応答を比較した結果、一部、建屋3次元FEMモデルの応答が大きくなる周期はあるが応答は概ね同等となっていることが確認できた。

以上のことから、今回工認モデルは妥当と考えられる。

参考資料－1 既工認モデルによる評価

今回工認で既工認モデルを地震応答解析モデルとして採用し耐震評価を実施した場合に、計算値等が規格基準で定められる許容値を満足することが可能かを見極めるため、基準地震動 S_s に対して既工認モデルを用いた地震応答解析をおこない、算出される地震荷重を確認した。確認にあたっては、改造が困難な原子炉本体の設備に着目して、地震応答結果から算出された各設備の地震荷重と、許容値を満足する地震荷重の目安値（規格基準上の各設備の許容値から逆算して算出）との比較をおこなった。

表1 既工認モデルに基づく原子炉本体設備の地震荷重

設備名	荷重（単位）	地震荷重※1	許容値を満足する地震荷重の目安値※1	判定
原子炉本体の基礎	モーメント (kN・m)	2000000	1200000	<u>目安値を超える</u>
原子炉圧力容器 (基礎ボルト)	モーメント (kN・m)	146000	461000	目安値以下
炉心支持構造物 (シャフトサポート)	モーメント (kN・m)	38700	171500	目安値以下
気水分離器	モーメント (kN・m)	2660	4800	目安値以下
制御棒駆動機構貫通部 ※2	モーメント (kN・m)	5.6	9.2	目安値以下
原子炉圧力容器 スタビライザ	反力 (kN)	2900	12000	目安値以下
ダイヤフラムフロア	反力 (kN)	66100	53000	<u>目安値を超える</u>
原子炉冷却材再循環ポンプ 付け根部	モーメント (kN・m)	1720	2310	目安値以下

※1 7号炉を例とした概算値（地震荷重は S_s-1 及び S_s-2 包絡値）

※2 1本あたりの地震荷重

参考資料ー 2 地震応答解析モデル詳細化の定量的な効果

1. はじめに

地震応答解析モデルの詳細化が地震応答へ与える効果を定量的に把握するため、地震応答解析モデルのパラメータスタディを実施した。

検討にあたっては、既工認モデル、既工認モデルに詳細化項目の一部を加えた地震応答解析モデル、既工認モデルに詳細化項目の全てを加えた地震応答解析モデルのそれぞれで地震応答解析をおこない、地震荷重等の比較をおこなった。

なお、柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉と 7 号炉は、同設計、同構造であり、地震応答性状も概ね同等と考えられることから、本検討は 7 号炉を代表としておこなった。

2. 検討に用いた地震動

本検討は詳細化の定量的な効果の確認を目的として、暫定モデルを用いておこなう試験であることから、柏崎刈羽原子力発電所の基準地震動 S_s のうち、施設の耐震性評価において支配的な地震動である S_s-1 及び S_s-2 を用いておこなった。

3. 詳細化の効果を測る指標

今回の地震応答解析モデルの詳細化による効果が現れるのは主に水平方向であることから、水平方向の地震荷重等（加速度，せん断力，モーメント等）の変化に着目した。具体的には，地震応答解析モデルでモデル化される部位のうち，主要な部位（図1）における地震荷重等の比較をおこない，詳細化の効果を確認した。

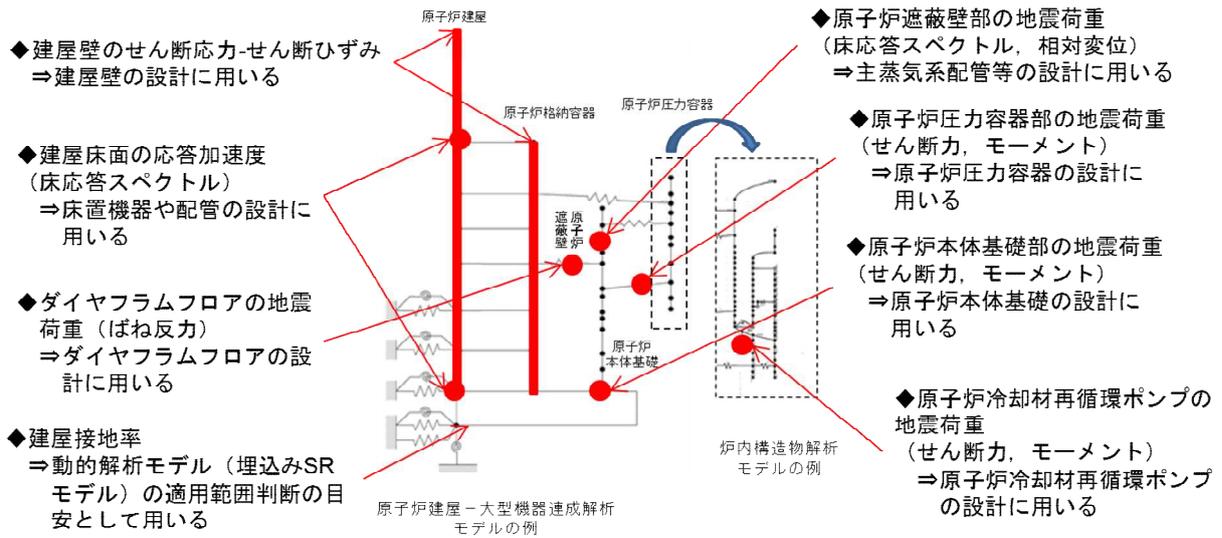


図1 詳細化の効果を測る指標

4. 検討ケース

地震応答解析モデルの個々の詳細化項目が地震応答へ与える効果を定量的に把握するため、「既工認モデル」、「既工認モデルに対して詳細化項目を1項目のみ加えた地震応答解析モデル（表1のケース1～4）」、「詳細化モデル」のそれぞれで地震応答解析を実施し、地震荷重等（加速度、せん断力、モーメント等）の比較をおこなった。なお、比較に際しては、既工認モデルにおける地震荷重等からの増減に着目して整理した。

表1 検討ケース

（網掛けは、既工認モデルからの変更箇所を示す）

ケース名	①コンクリート剛性	②補助壁	③回転ばね	④原子炉本体基礎
既工認モデル	設計基準強度	無	無	線形
ケース1 (コンクリート実強度)	実強度※	無	無	線形
ケース2 (補助壁考慮)	設計基準強度	有	無	線形
ケース3 (回転ばね考慮)	設計基準強度	無	有	線形
ケース4 (原子炉本体基礎)	設計基準強度	無	無	非線形
詳細化モデル	実強度※	有	有	非線形

※本検討では暫定的に耐震バックチェック時に採用した値である500kg/cm²を用いている（今回工認で採用する地震応答解析モデル（基本ケース）では440kg/cm²を用いる）。

5. 検討結果

5. 1 原子炉建屋

地震応答解析モデルの詳細化が建物の応答等に与える影響を把握するため、建屋壁のせん断ひずみ、せん断力の比較をおこなった。また、建屋の接地率と建屋床面の加速度（床応答スペクトル）の比較をおこなった。

(1) せん断ひずみ、せん断力

各ケースにおける建屋のせん断ひずみの比較を図2に、せん断力の比較を図3に示す。せん断ひずみは、各ケースとも耐震壁の評価基準値である 2.0×10^{-3} に対して十分に余裕のある結果となっており、耐震安全性評価への影響が無いことを確認した。せん断力については、各ケースとも大きな変動が無いことを確認した。

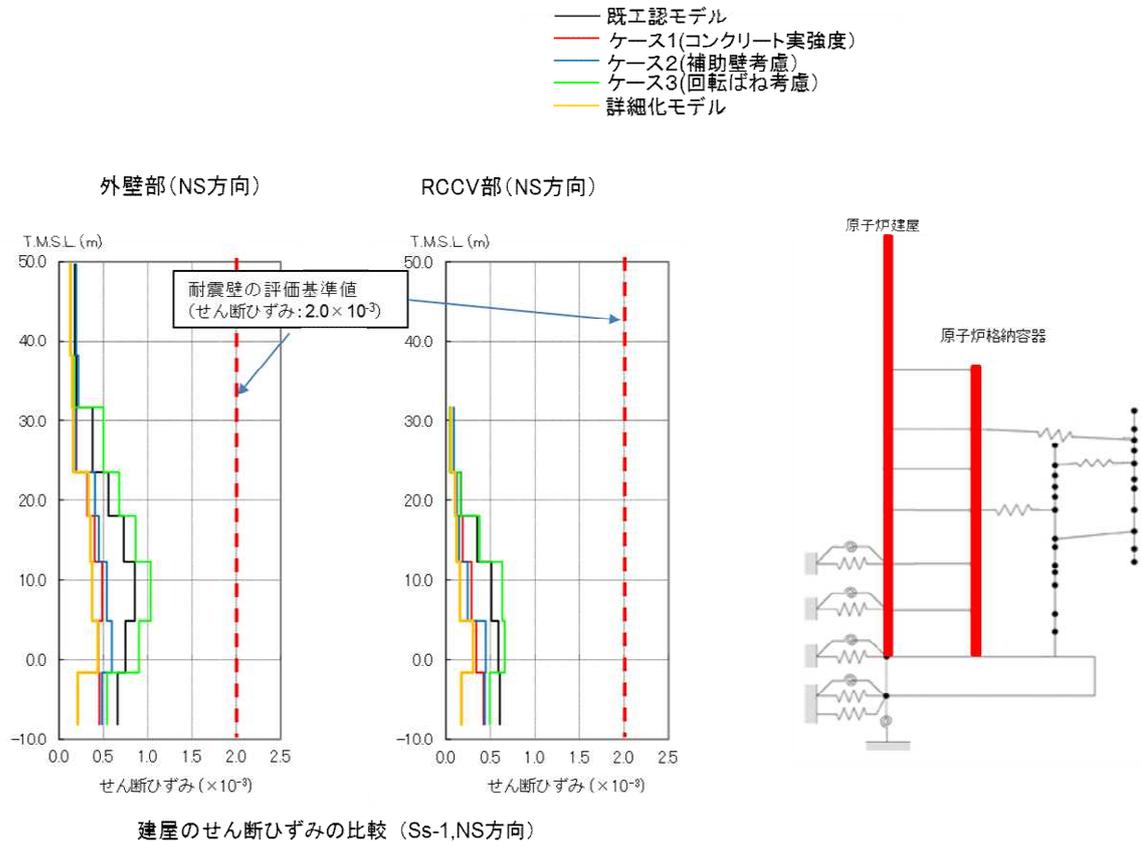
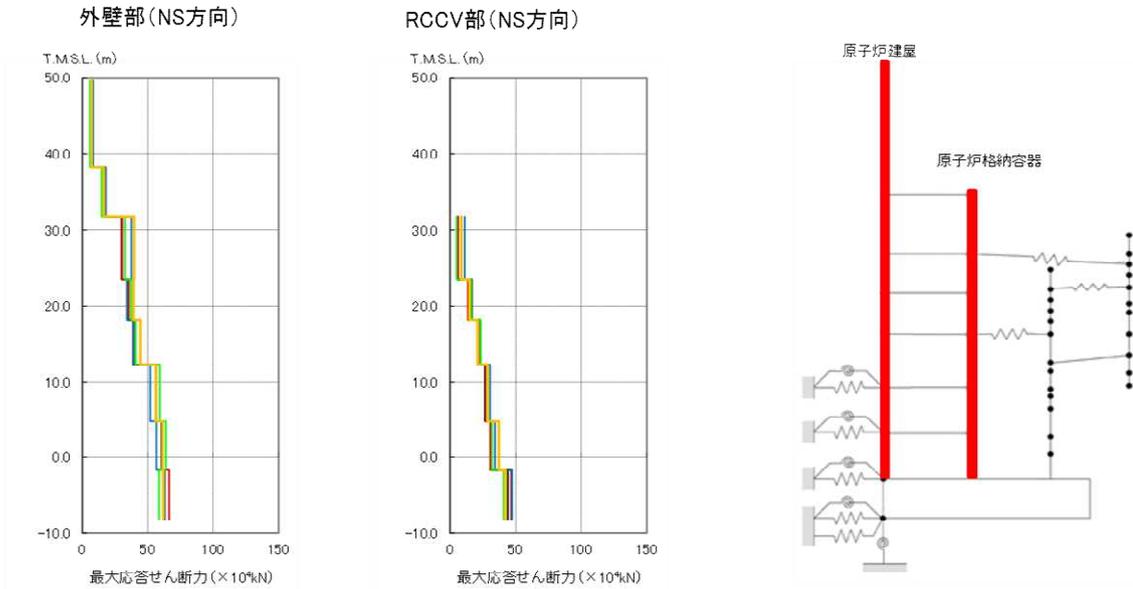


図2 建屋せん断ひずみの比較

- 既工認モデル
- ケース1(コンクリート実強度)
- ケース2(補助壁考慮)
- ケース3(回転ばね考慮)
- 詳細化モデル



建屋のせん断力の比較 (Ss-1,NS方向)

図3 建屋せん断力の比較

(2) 建屋接地率

各ケースにおける建屋接地率を表 2 に示す。既工認モデルでは SR モデルの適用範囲である接地率 50%を下回るが、既工認モデルに回転ばねを考慮することにより接地率が改善されることを確認した。

表 2 建屋接地率の比較

解析ケース	接地率 (%)	
	NS 方向	EW 方向
既工認モデル	51.5 (Ss-1)	49.9 (Ss-2)
ケース 1 (コンクリート実強度)	50.3 (Ss-1)	47.3 (Ss-2)
ケース 2 (補助壁考慮)	51.0 (Ss-1)	47.4 (Ss-2)
ケース 3 (回転ばね考慮)	70.1 (Ss-1)	67.0 (Ss-2)
詳細化モデル	68.5 (Ss-1)	65.0 (Ss-2)

※接地率の下の括弧内は接地率が最小となる地震動

(3) 床応答スペクトル

図4に床応答スペクトルを示す。各ケースの解析結果は、多少のばらつきは見られるものの、建屋の応答性状を大きく変更させるようなものでないことを確認した。

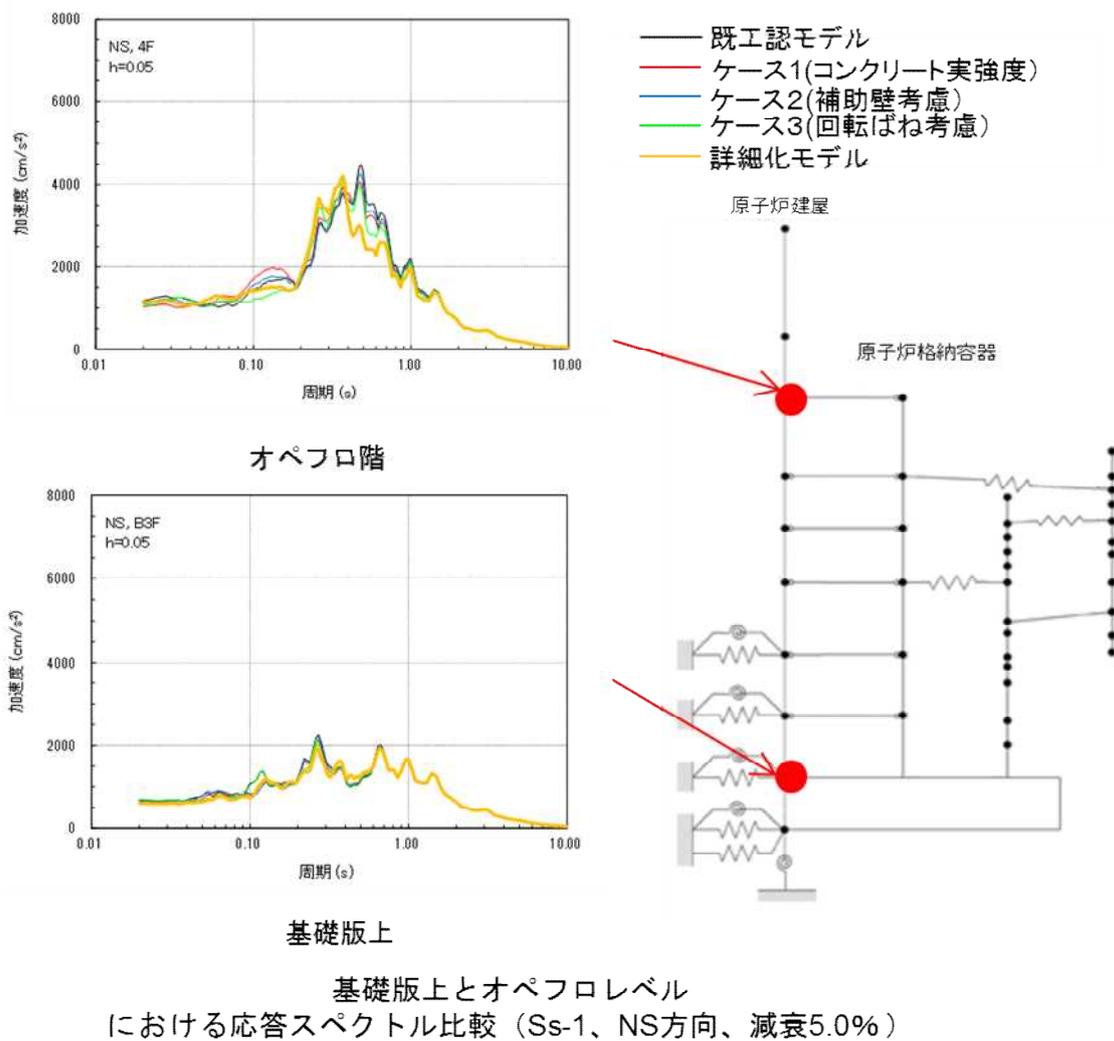


図4 原子炉建屋の床応答スペクトルの比較

5. 2 機器・配管系

地震応答解析モデルの詳細化が機器・配管系に与える影響を把握するため、代表部位の地震荷重（せん断力，モーメント，ばね反力），床応答スペクトルの比較をおこなった。また，配管の評価に用いる構築物間の相対変位の比較をおこなった。

（1）地震荷重

原子炉圧力容器支持スカート地震荷重の比較を図 5 に示す。原子炉圧力容器支持スカートの地震荷重は，地震応答解析モデルを詳細化することにより，若干の減少傾向が見られた。

原子炉本体基礎基部地震荷重の比較を図 6 に示す。原子炉本体基礎基部地震荷重は，回転ばねのみを考慮することにより若干の増加が見られるが，地震応答解析モデルを詳細化することにより大幅に低減することが確認された。

ダイヤフラムフロアのばね反力の比較を図 7 に示す。ダイヤフラムフロアのばね反力は，回転ばねのみを考慮することにより若干の増加が見られるが，地震応答解析モデルを詳細化することにより大幅に低減することが確認された。

原子炉冷却材再循環ポンプ付け根部地震荷重の比較を図 8 に示す。原子炉冷却材再循環ポンプ付け根部地震荷重は，地震応答解析モデルを詳細化することにより若干増加することが確認された。

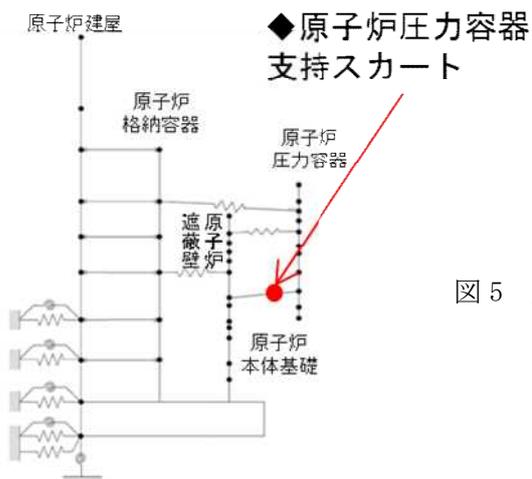
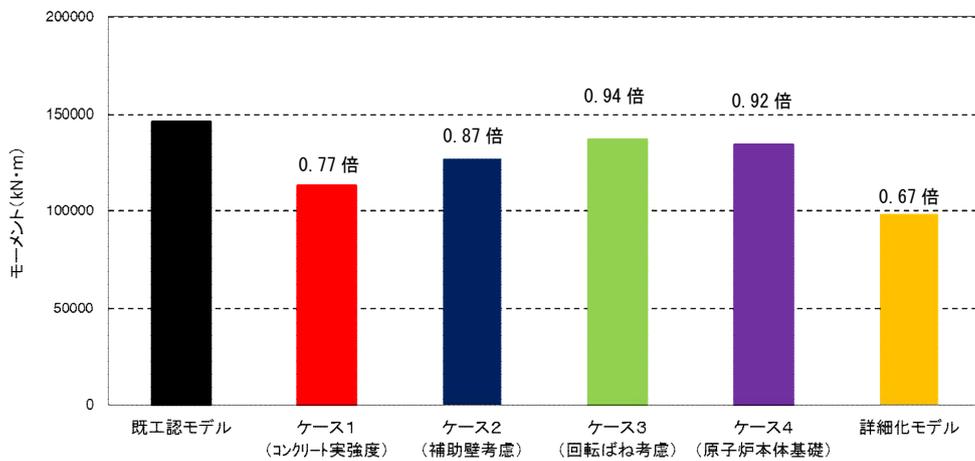
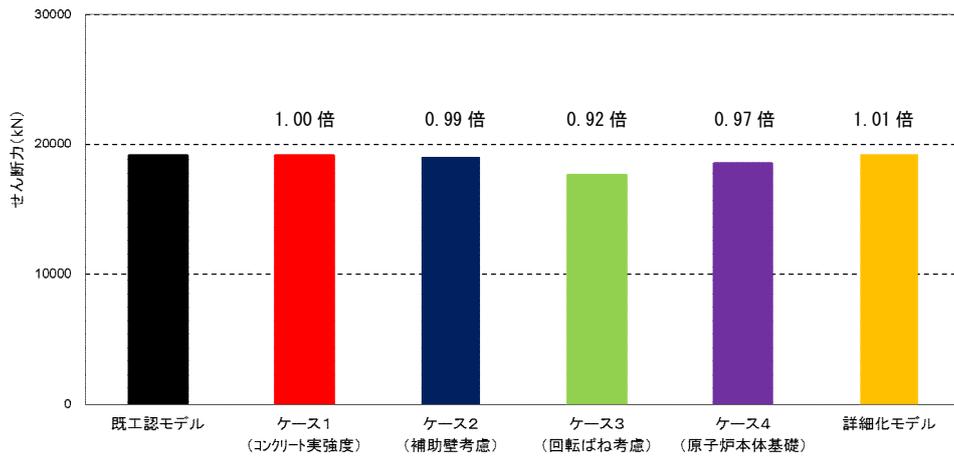


図5 原子炉压力容器スカートにおける地震荷重の比較
 (上：せん断力，下：モーメント)
 (Ss-1 及び Ss-2 包絡値)

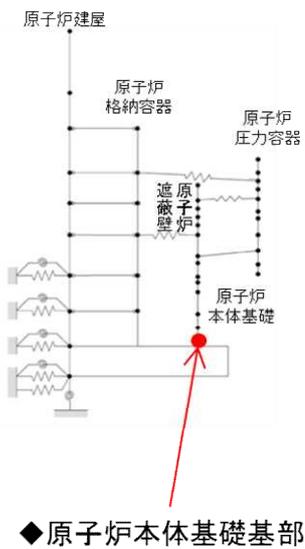
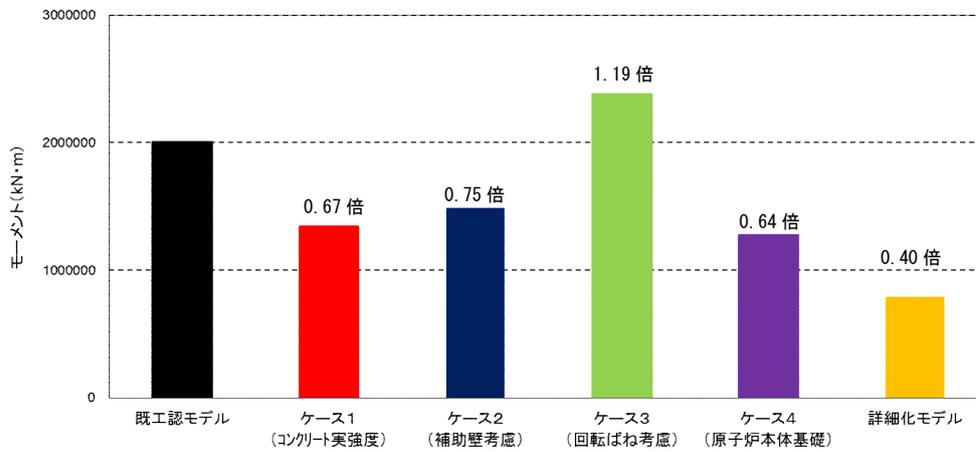
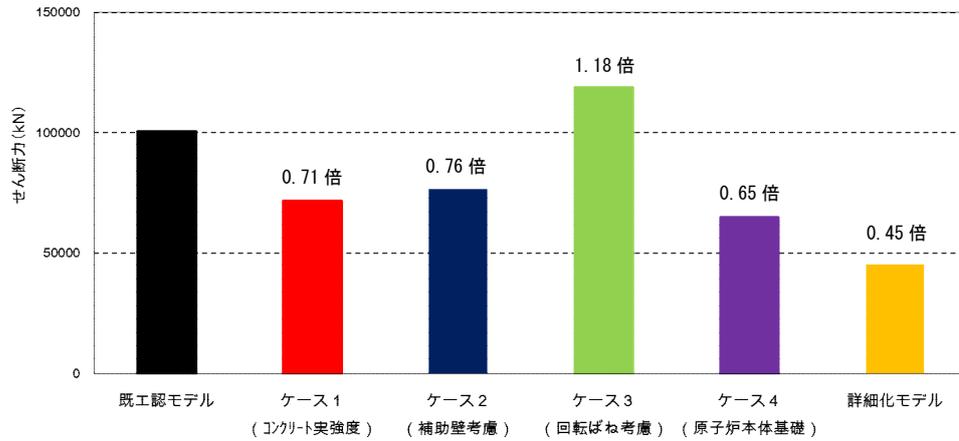


図6 原子炉本体基礎基部における地震荷重の比較
 (上：せん断力，下：モーメント)
 (Ss-1 及び Ss-2 包絡値)

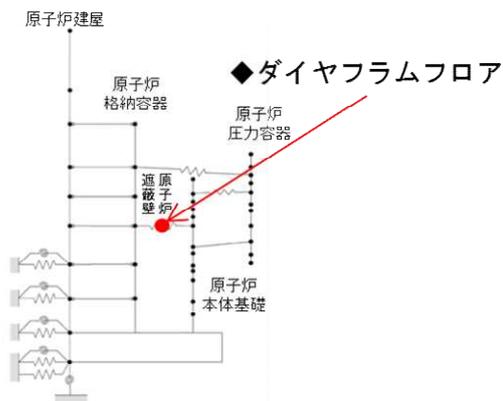
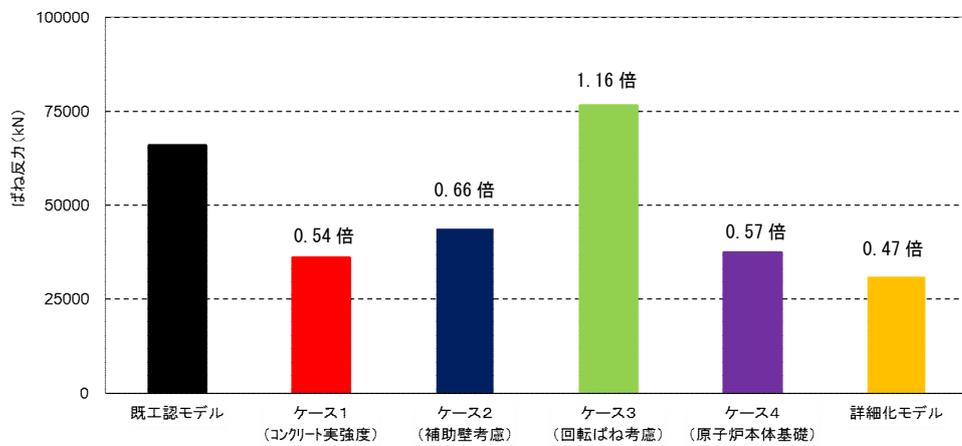


図7 ダイヤフラムフロアにおけるばね反力の比較
(Ss-1 および Ss-2 包絡値)

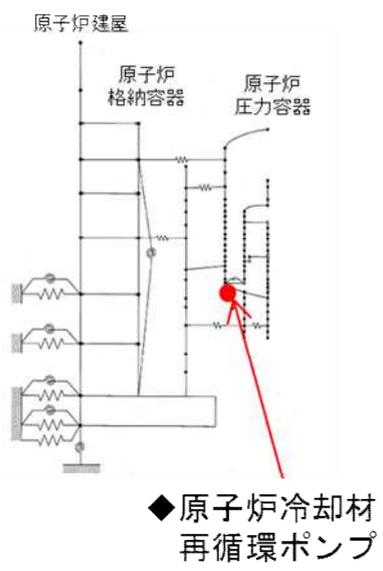
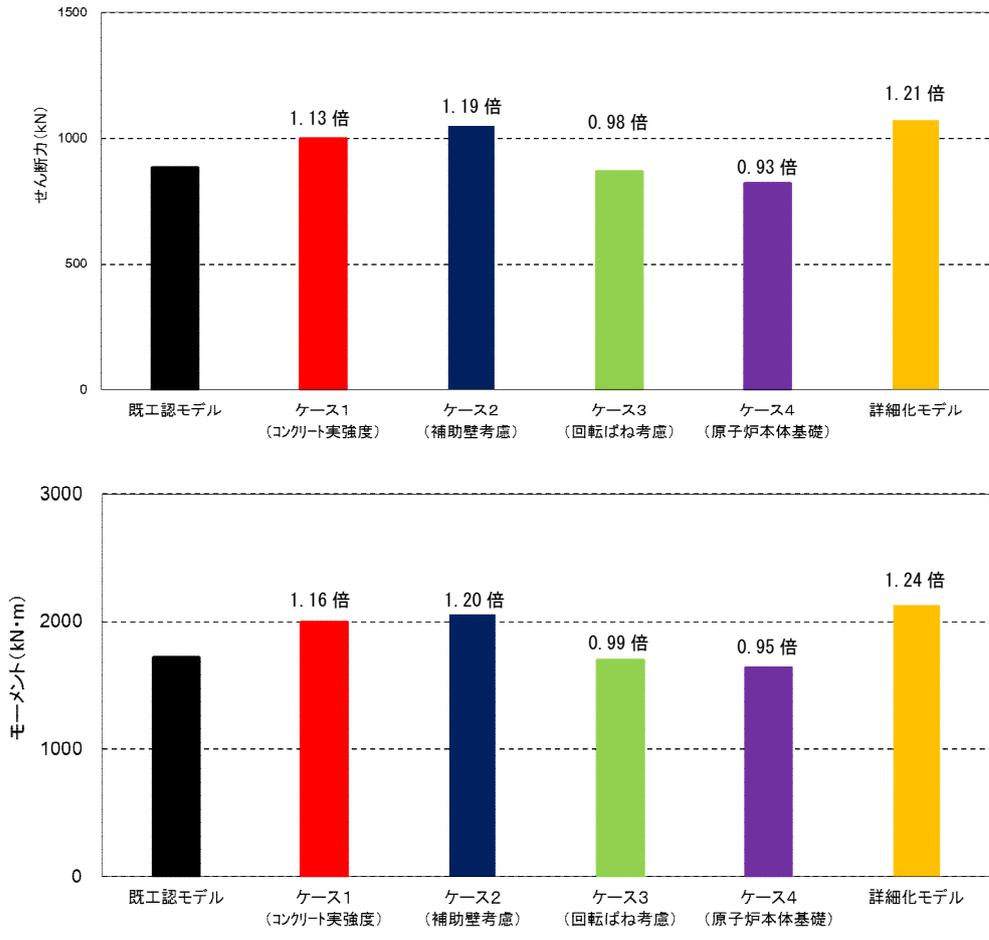


図8 原子炉冷却材再循環ポンプ付け根部における地震荷重の比較 (上：せん断力，下：モーメント)
(Ss-1 及び Ss-2 包絡値)

(2) 床応答スペクトル

原子炉遮蔽壁における床応答スペクトルの比較を図9に示す。ケース4以外では、固有周期が約0.2秒以下の領域で既工認モデルより震度が若干減少し、固有周期が約0.2秒以上の領域で既工認モデルより震度が若干増加することが確認された。なお、ケース4（原子炉本体基礎）ではほとんど変化が無いことが確認された。

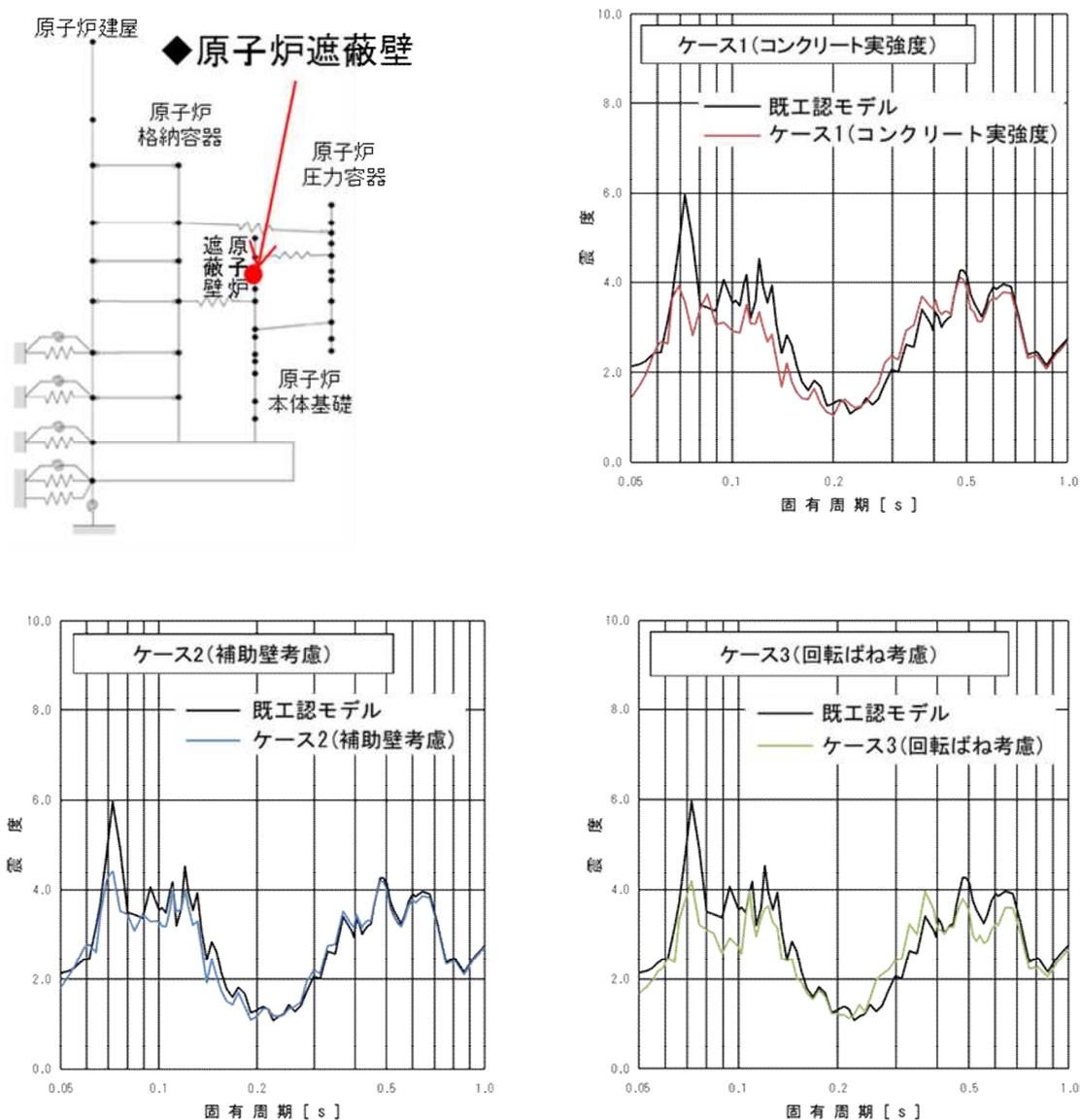


図9 (1/2) 原子炉遮蔽壁における床応答スペクトル比較
(T. M. S. L. 18. 440m, Ss-1, NS 方向, 減衰 2.0%)

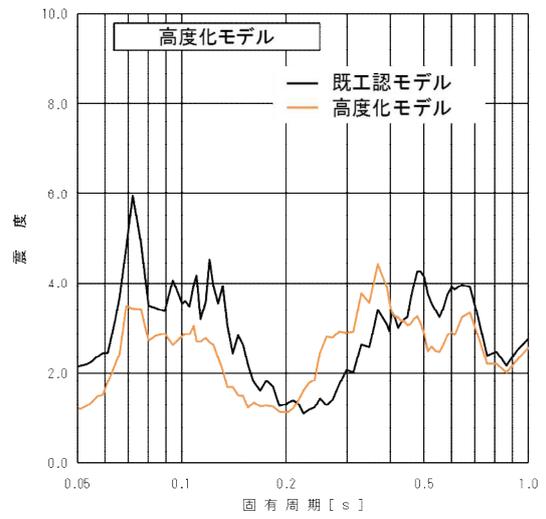
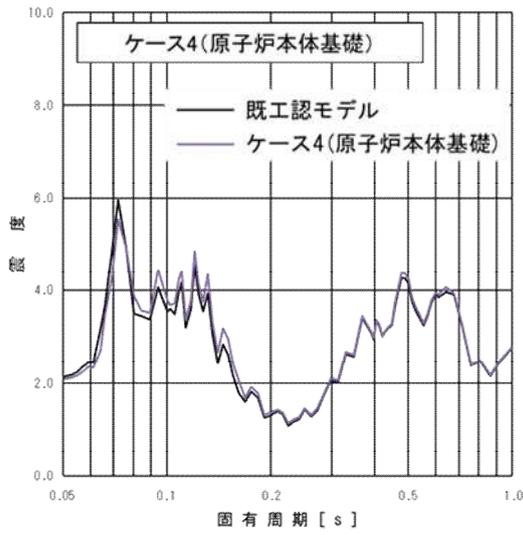


図9 (2/2) 原子炉遮蔽壁における床応答スペクトル比較
 (T. M. S. L. 18.440m, Ss-1, NS方向, 減衰2.0%)

(3) 相対変位

原子炉格納容器内の主蒸気系配管の評価に用いる構築物間の相対変位の比較を表 3 に示す。回転ばねのみを考慮することにより若干の増加が見られるが、地震応答解析モデルを詳細化することにより低減することが確認された。

表 3 主蒸気系配管評価用構築物間相対変位の比較
(水平方向, S_s-1 及び S_s-2 包絡値)

解析ケース	相対変位 (mm)
既工認モデル	2.6
ケース 1 (コンクリート実強度)	1.5
ケース 2 (補助壁考慮)	1.8
ケース 3 (回転ばね考慮)	2.7
ケース 4 (原子炉本体基礎)	2.4
詳細化モデル	1.3

※原子炉圧力容器－原子炉遮蔽壁間及び原子炉遮蔽壁－原子炉格納容器間のうち、最大値を記載

6. 詳細化の効果 (まとめ)

本検討より得られた結果を整理したものを表4に示す。

表4 地震応答解析モデル詳細化の効果 (まとめ)

変更点	応答への効果 (建物系)	応答への効果 (機器系)
①コンクリート剛性に実強度を使用	採用により、 S_s による建屋のせん断ひずみを小さくする効果があるが、原子炉建屋は評価基準値に対して十分余裕のある設計となっており、既工認モデルで評価した場合も、評価基準値を満足する。	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉系 (特に、原子炉本体基礎、ダイヤフラムフロア) の地震荷重を低減する効果がある。 配管系の設計条件 (床応答スペクトル, 相対変位) を低減する効果もある。
②耐震要素に補助壁をモデル化		
③側面地盤ばねに回転ばねを追加	回転ばねを採用することにより、接地率を大きく改善する効果がある。採用しない場合、接地率が小さくなり、浮き上がりの影響を考慮した検討が必要となる可能性がある。	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉系の地震荷重は、概ね既工認モデルと同等か若干増加する傾向。 配管系の設計条件 (床応答スペクトル, 相対変位) を低減する効果もある。
④RPVペデスタルに非線形特性を考慮	—	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉系 (特に、原子炉本体基礎、ダイヤフラムフロア) の地震荷重を低減する効果がある。 配管系の設計条件 (床応答スペクトル, 相対変位) に与える影響は軽微。

参考資料－3 地震応答解析モデルの不確かさの影響（試検討）

1. はじめに

本文4項に示した地震応答解析モデルの不確かさへの対応方針に基づき、7号炉の原子炉建屋を例に試検討をおこなった。

2. 検討に用いた地震動

本検討は試検討であり耐震成立性の見通しの確認をおこなうことを目的として、柏崎刈羽原子力発電所の基準地震動 S_s のうち、施設の耐震性評価において支配的な地震動である S_s-1 及び S_s-2 を用いておこなう。

表1 検討ケース

検討ケース	コンクリート剛性	地盤剛性	RPV ベDESTAL	備考
◆ケース1 (基本ケース)	実強度 (440kg/cm ²)	標準地盤	非線形 (折線近似)	
◆ケース2 (建屋剛性+ σ , 地盤剛性+ σ)	実強度+ σ (470kg/cm ²)	標準地盤+ σ	非線形 (折線近似)	
◆ケース3 (建屋剛性- σ , 地盤剛性- σ)	実強度- σ (410kg/cm ²)	標準地盤- σ	非線形 (折線近似)	
◆ケース4 (建屋剛性コア平均)	実強度(コア平均) (568kg/cm ²)	標準地盤	非線形 (折線近似)	
◆ケース5 (建屋剛性-2 σ)	実強度-2 σ (380kg/cm ²)	標準地盤	非線形 (折線近似)	
◆ケース6 (原子炉系コンクリート実強度相当)	実強度 (440kg/cm ²)	標準地盤	非線形・実強度 (折線近似)	原子炉本体基礎： 400kg/cm ² ダイヤフラムフロア： 440kg/cm ²
◆ケース7 (原子炉本体基礎曲線包絡スケルトンカーブ)	実強度 (440kg/cm ²)	標準地盤	非線形 (曲線包絡)	

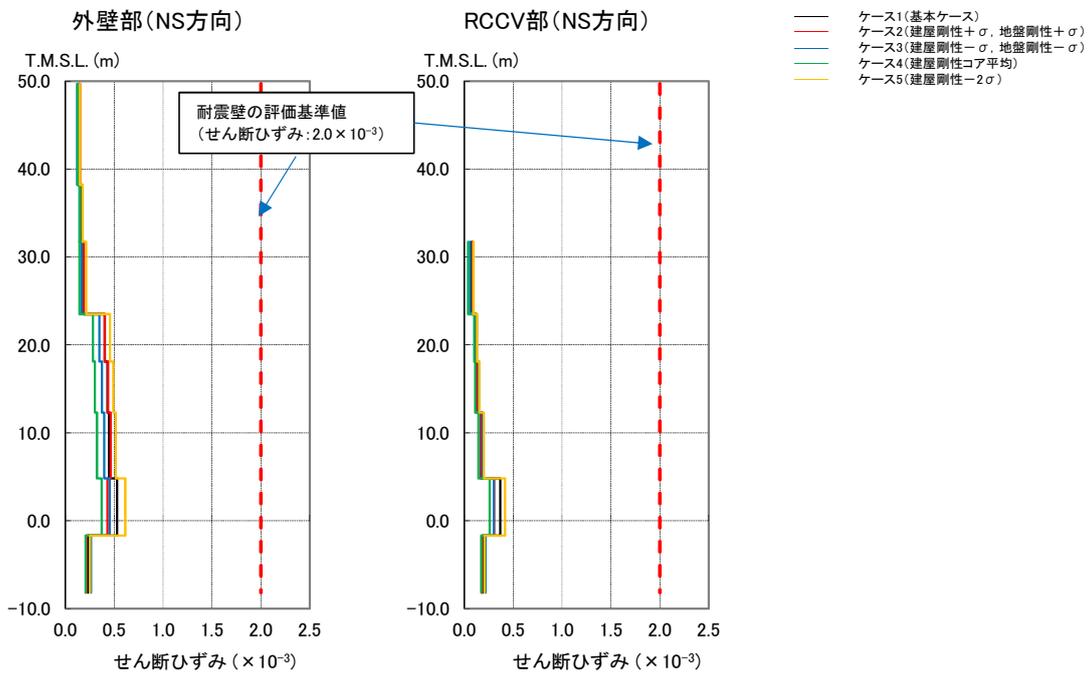
3. 検討結果

3. 1 建物・構築物

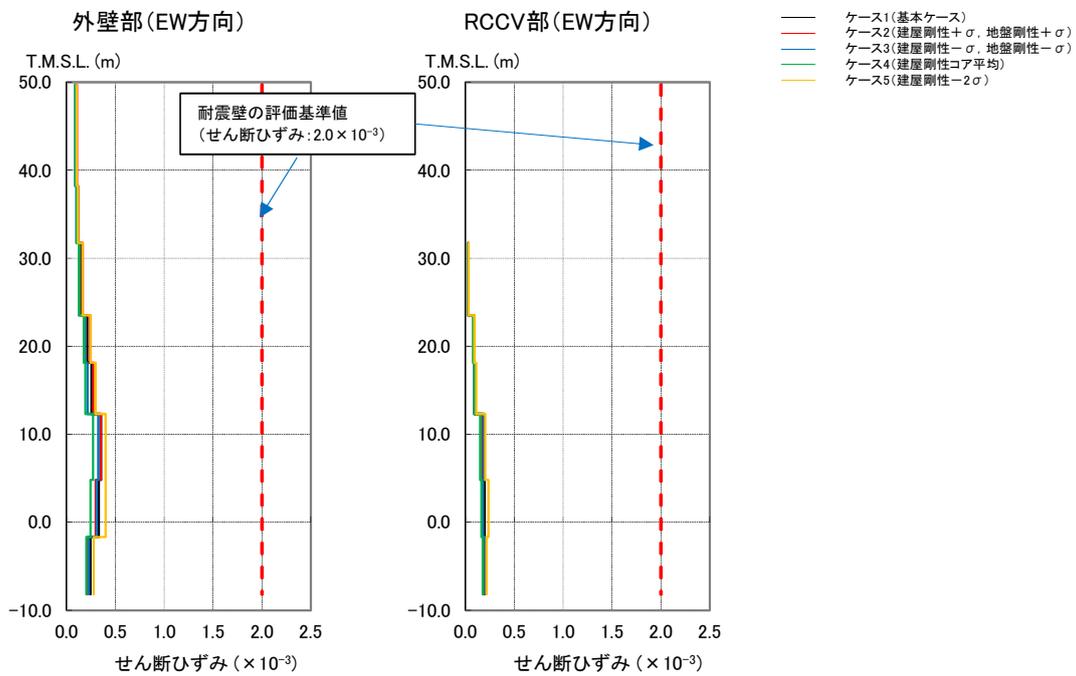
図 1 に最大せん断ひずみを示す。各ケースとも耐震壁の評価基準値 (2.0×10^{-3}) に対して十分な余裕があり、耐震安全性へ与える影響が無いことを確認した。

図 2 に各階の最大せん断力、図 3 及び図 4 にオペフロ階（4 階）と基礎版上の加速度応答スペクトル（減衰定数 5%及び 1%）を示す。これより、材料物性の不確かさが最大せん断力及び加速度応答スペクトルに与える影響は軽微であることを確認した。

表 2 に建屋の接地率を示す。建屋の接地率に有意な変動が無く、埋め込み SR モデルの適用範囲内（接地率 50%以上）にあることを確認した。

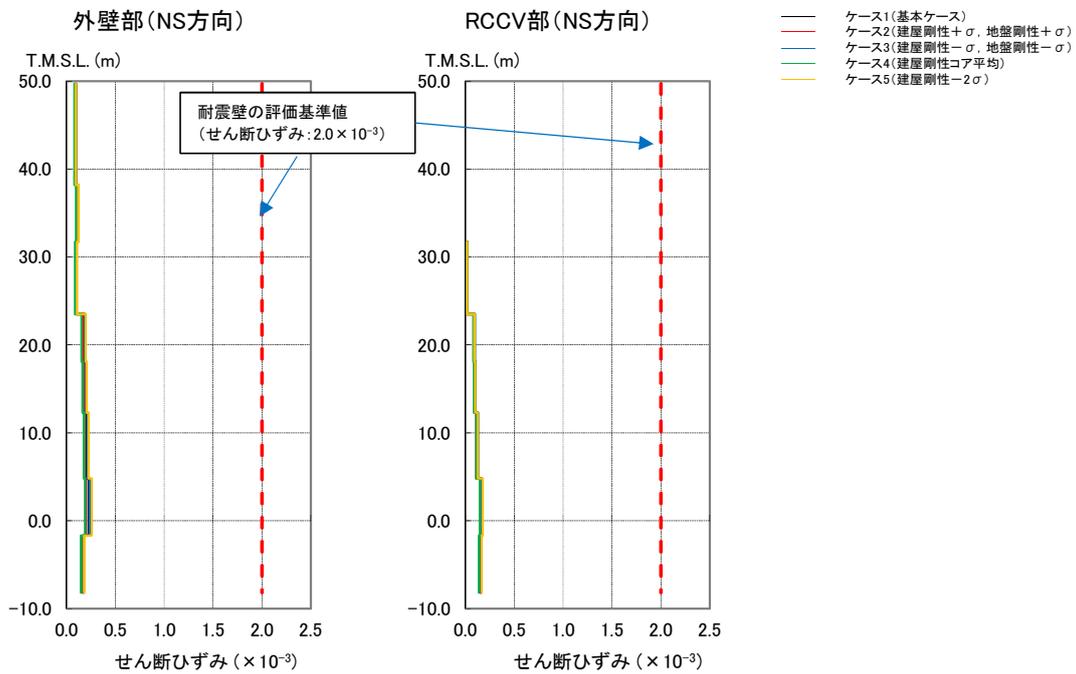


(a) Ss-1、NS 方向

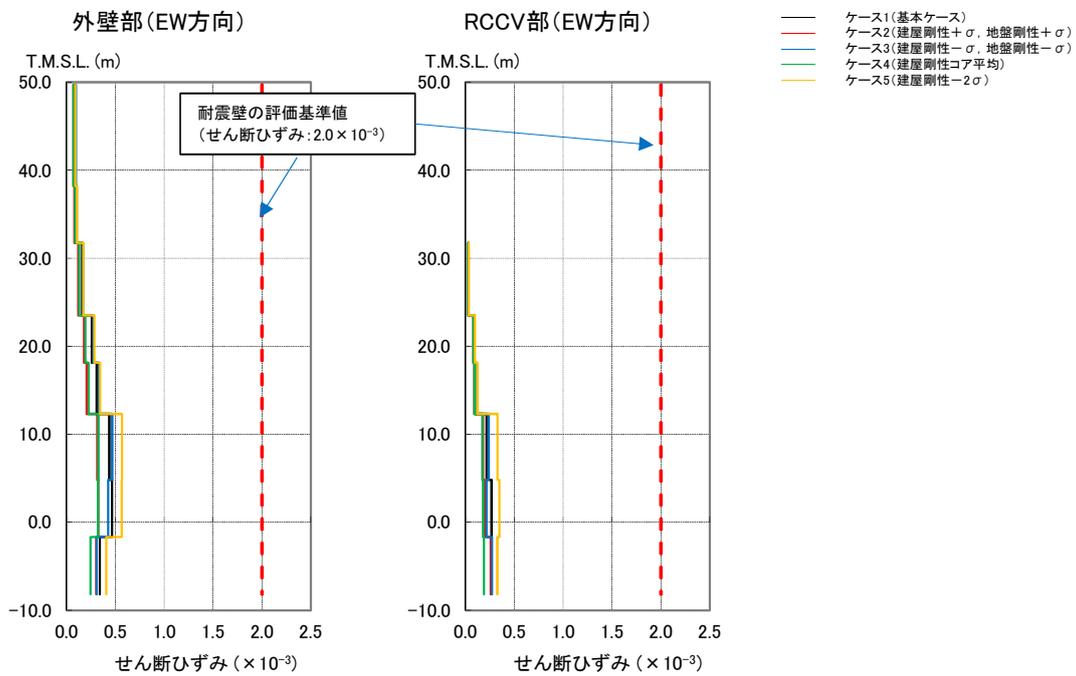


(b) Ss-1、EW 方向

図 1 (1/2) 建屋せん断ひずみの比較

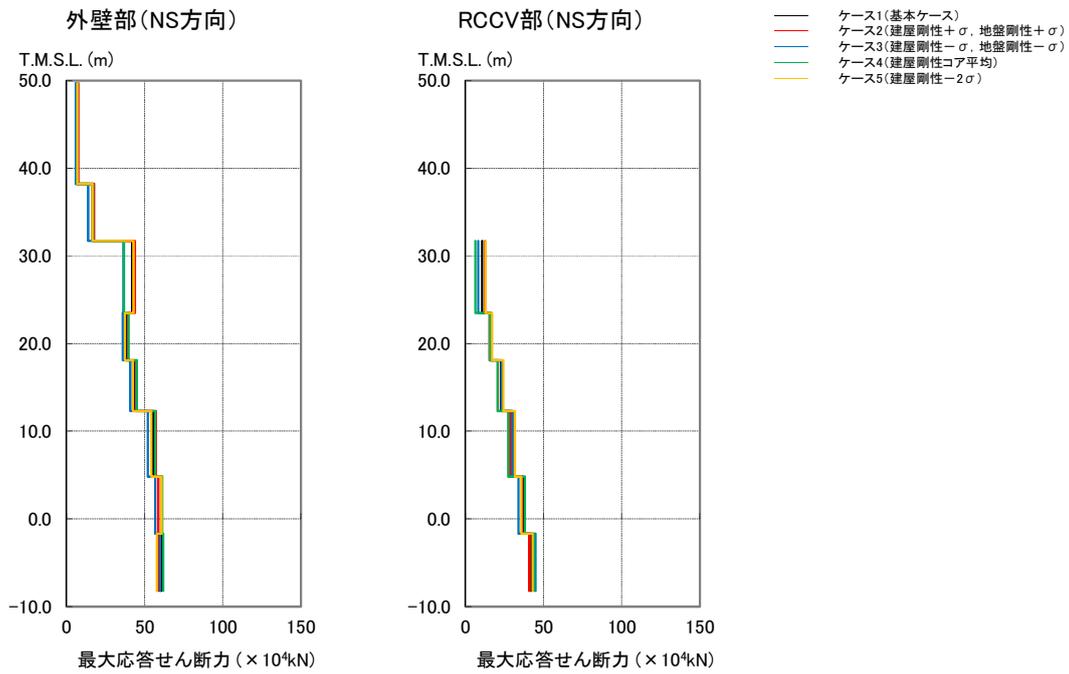


(c) Ss-2、NS 方向

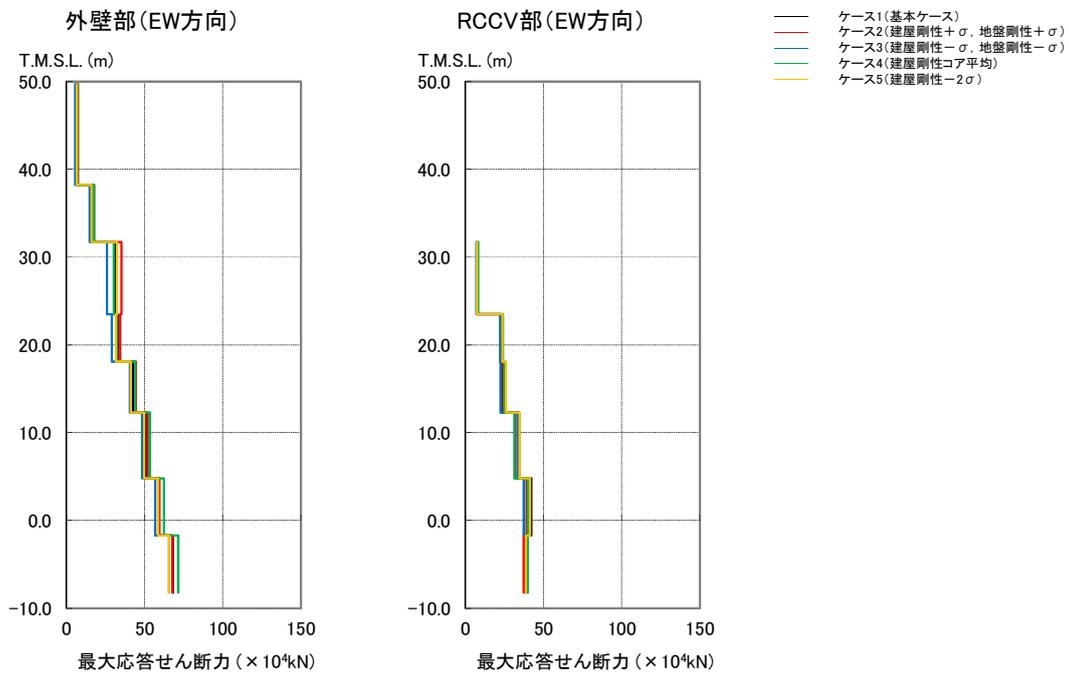


(d) Ss-2、EW 方向

図 1 (2/2) 建屋せん断ひずみの比較

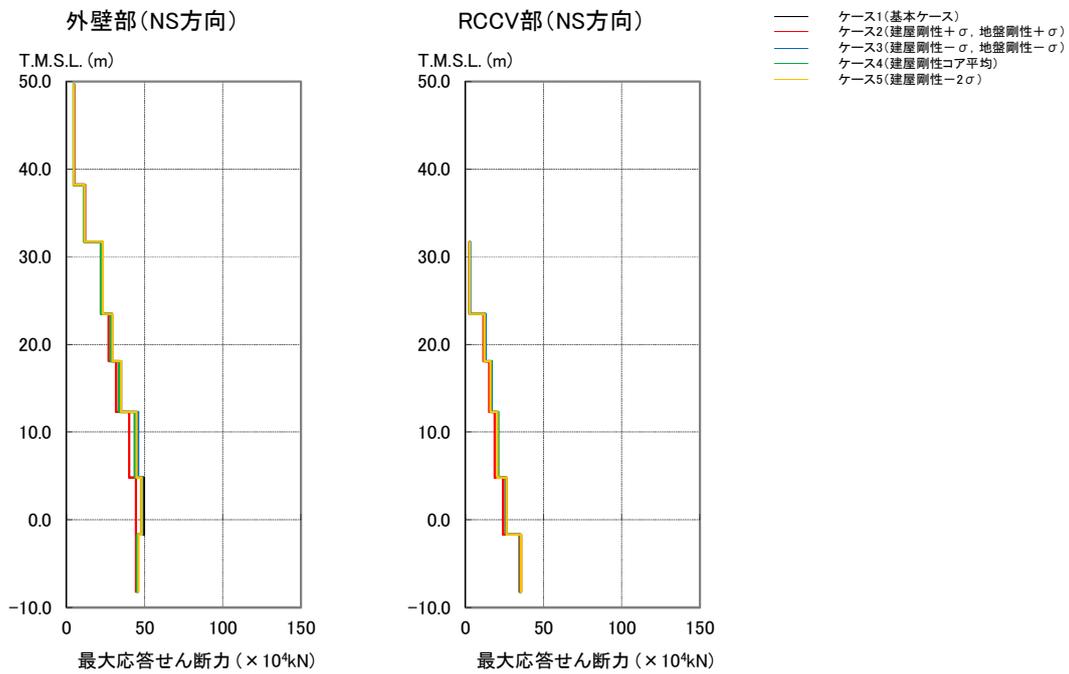


(a) Ss-1、NS 方向

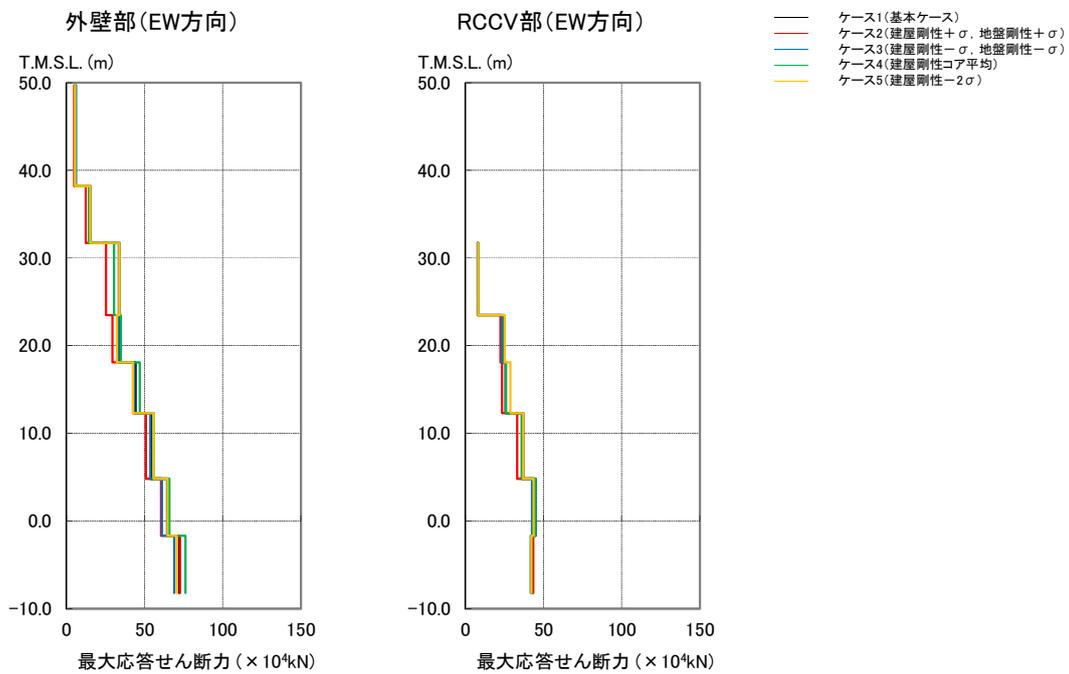


(b) Ss-1、EW 方向

図 2 (1/2) 建屋せん断力の比較



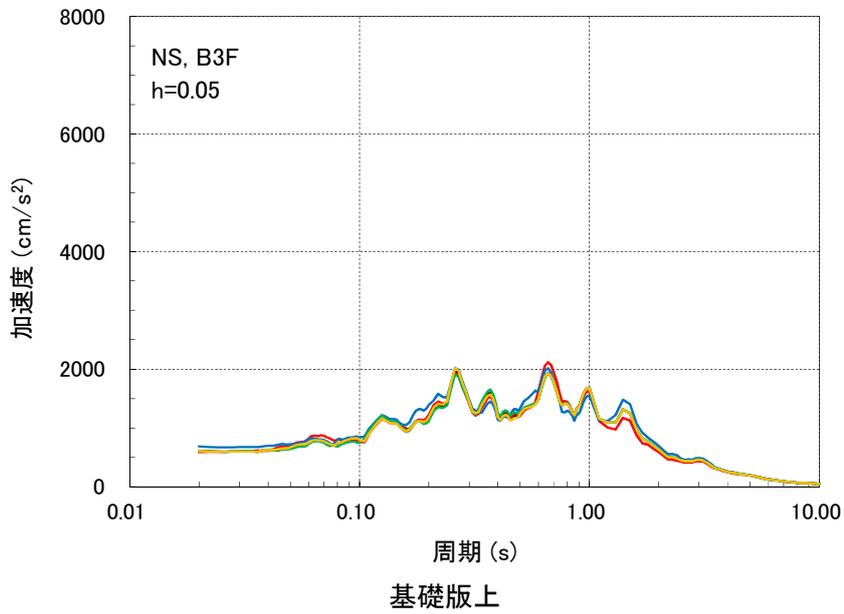
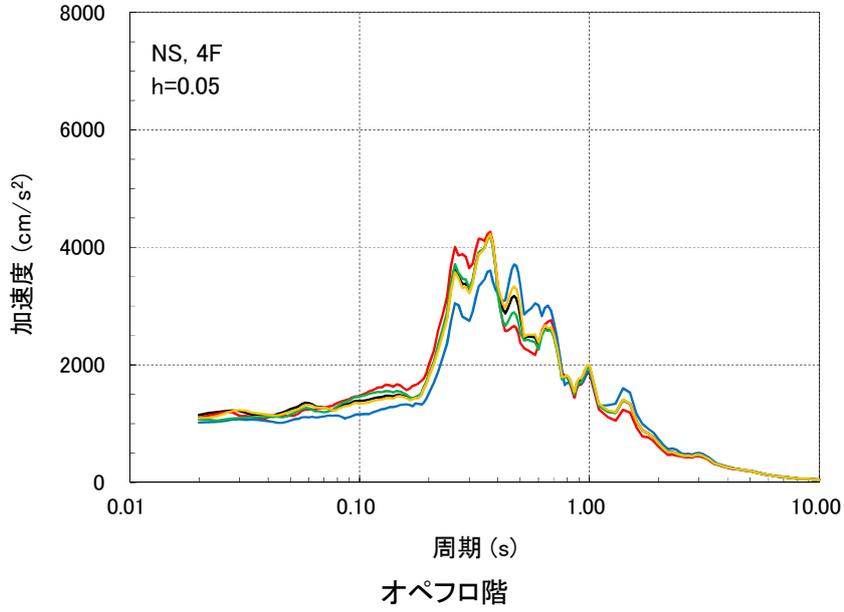
(c) Ss-2、NS 方向



(d) Ss-2、EW 方向

図 2 (2/2) 建屋せん断力の比較

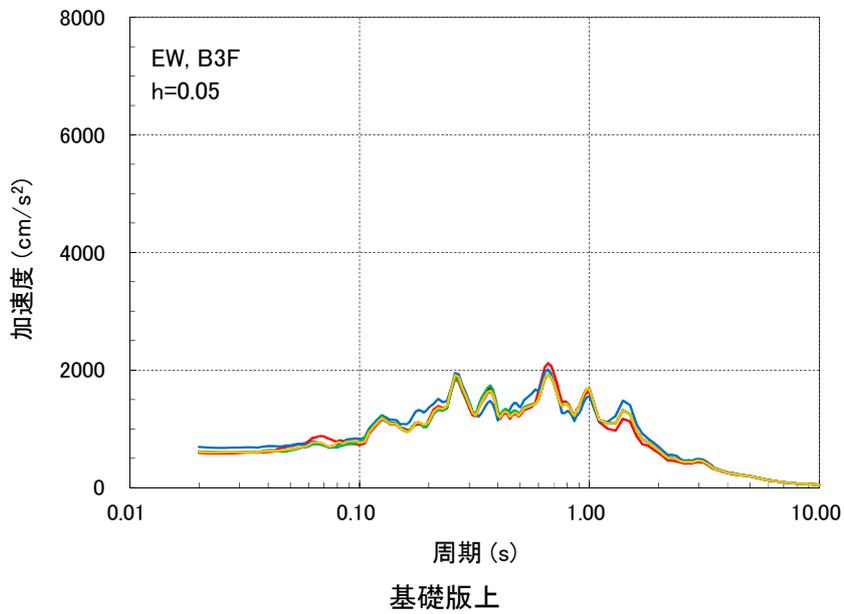
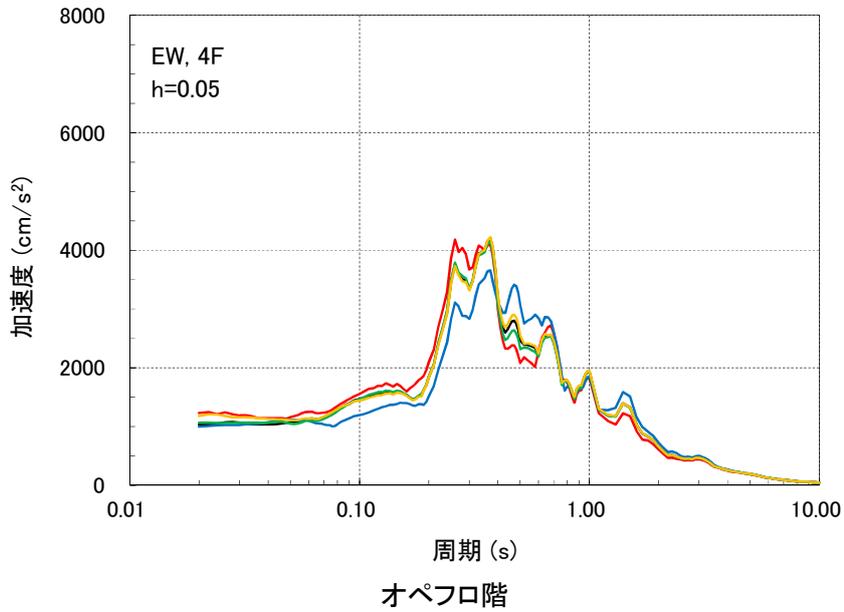
- ケース1(基本ケース)
- ケース2(建屋剛性+ σ , 地盤剛性+ σ)
- ケース3(建屋剛性- σ , 地盤剛性- σ)
- ケース4(建屋剛性コア平均)
- ケース5(建屋剛性- 2σ)



(a) Ss-1、NS 方向

図 3 (1/4) 建屋床応答スペクトルの比較 (h=5%)

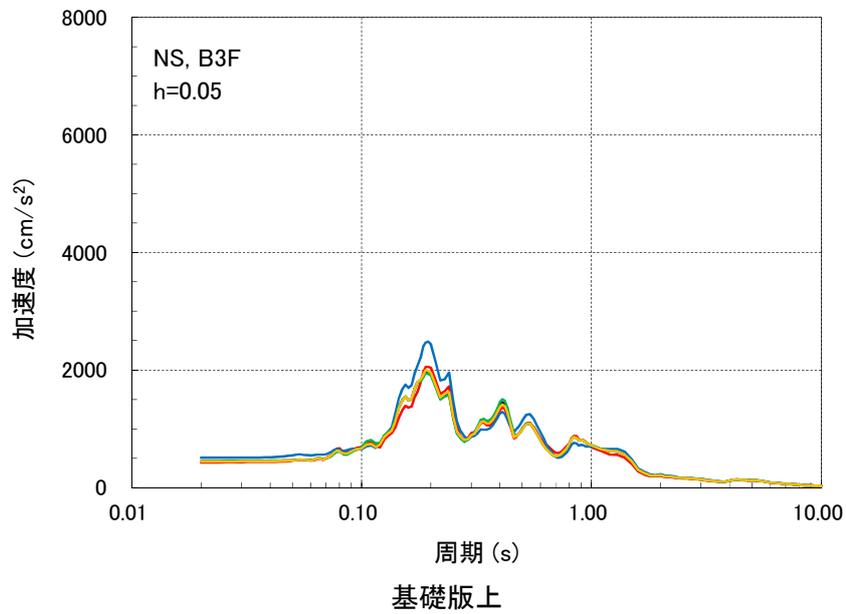
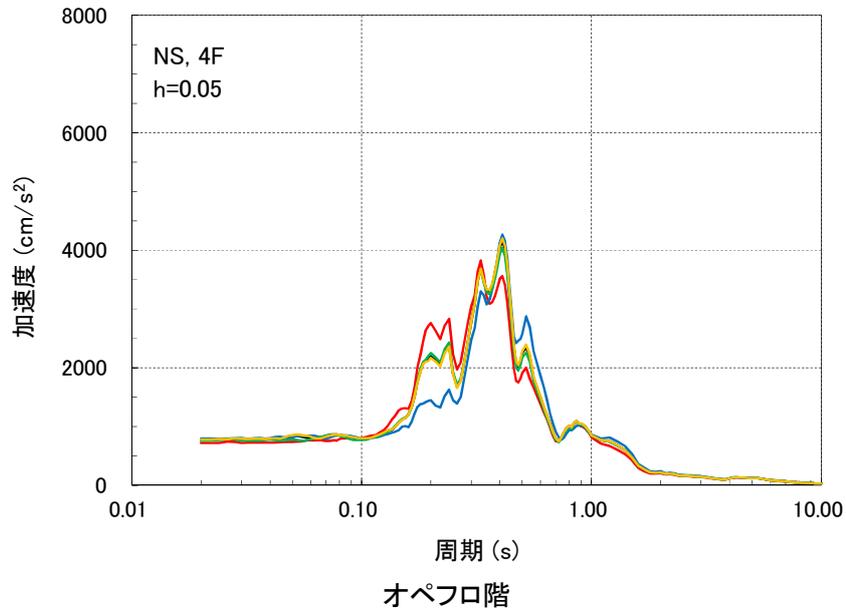
- ケース1(基本ケース)
- ケース2(建屋剛性+ σ , 地盤剛性+ σ)
- ケース3(建屋剛性- σ , 地盤剛性- σ)
- ケース4(建屋剛性コア平均)
- ケース5(建屋剛性- 2σ)



(b) Ss-1、EW 方向

図3 (2/4) 建屋床応答スペクトルの比較 (h=5%)

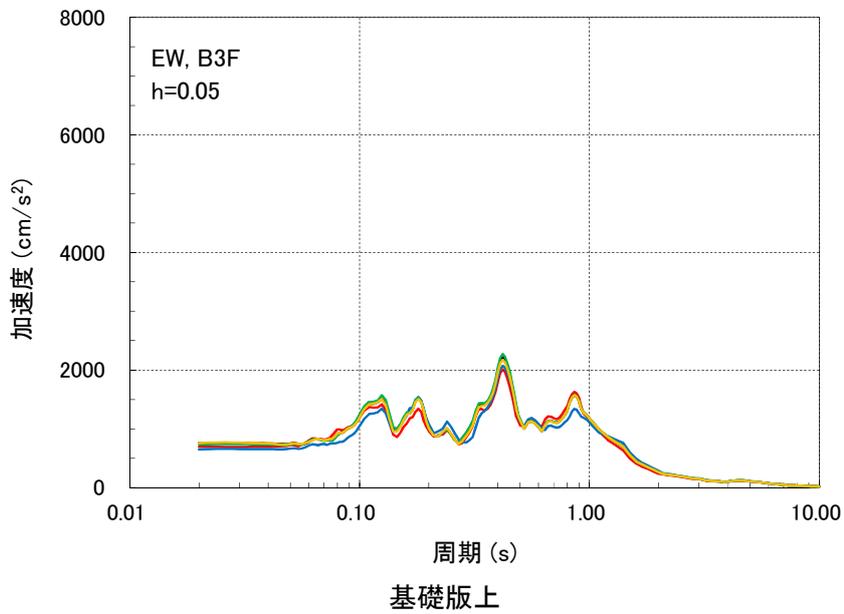
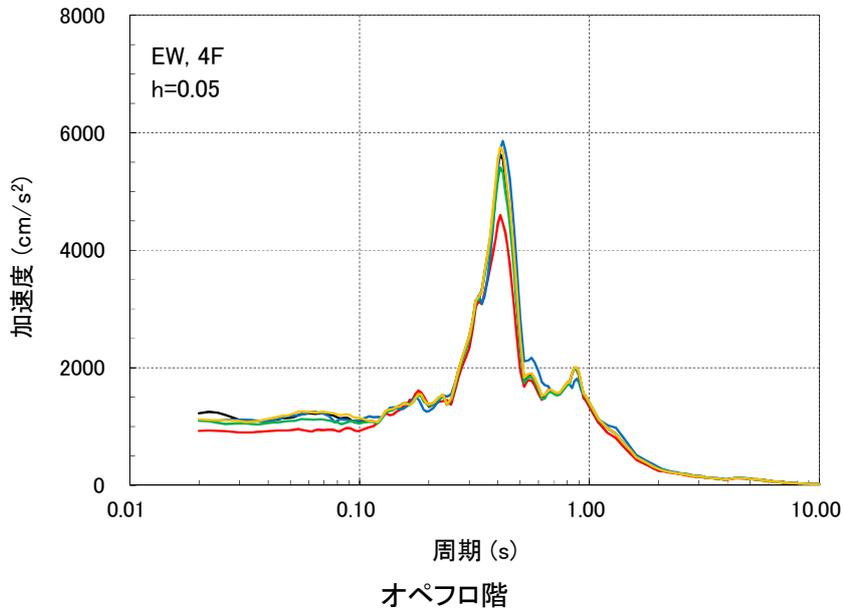
- ケース1(基本ケース)
- ケース2(建屋剛性+ σ , 地盤剛性+ σ)
- ケース3(建屋剛性- σ , 地盤剛性- σ)
- ケース4(建屋剛性コア平均)
- ケース5(建屋剛性- 2σ)



(c) Ss-2、NS 方向

図 3 (3/4) 建屋床応答スペクトルの比較 (h=5%)

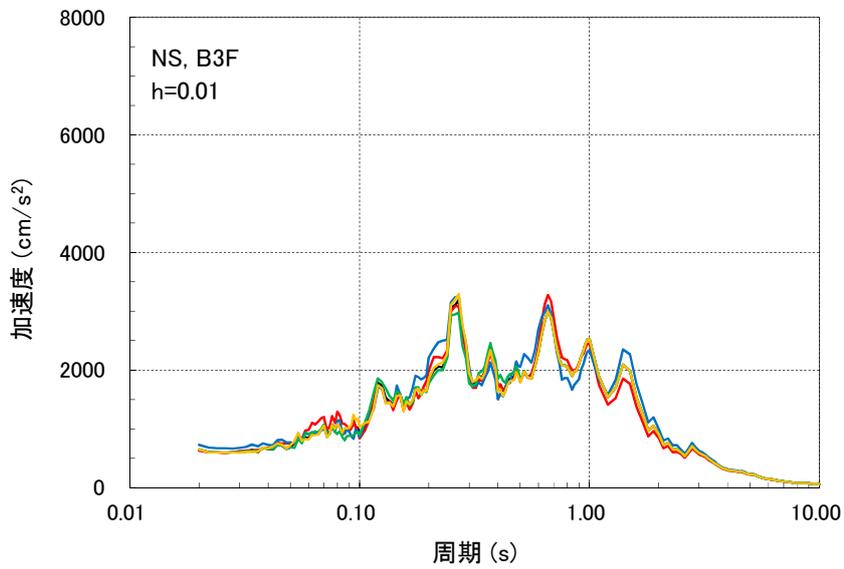
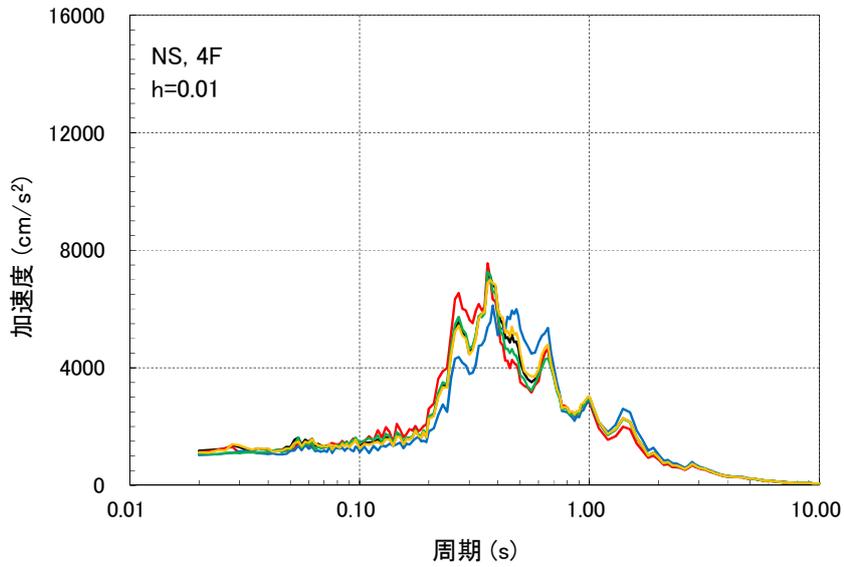
- ケース1(基本ケース)
- ケース2(建屋剛性+ σ , 地盤剛性+ σ)
- ケース3(建屋剛性- σ , 地盤剛性- σ)
- ケース4(建屋剛性コア平均)
- ケース5(建屋剛性- 2σ)



(d) Ss-2、EW 方向

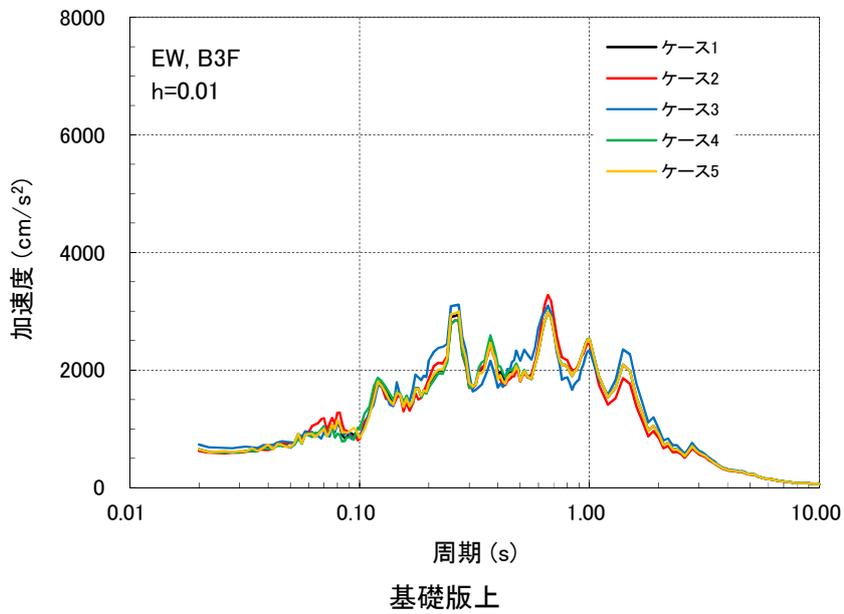
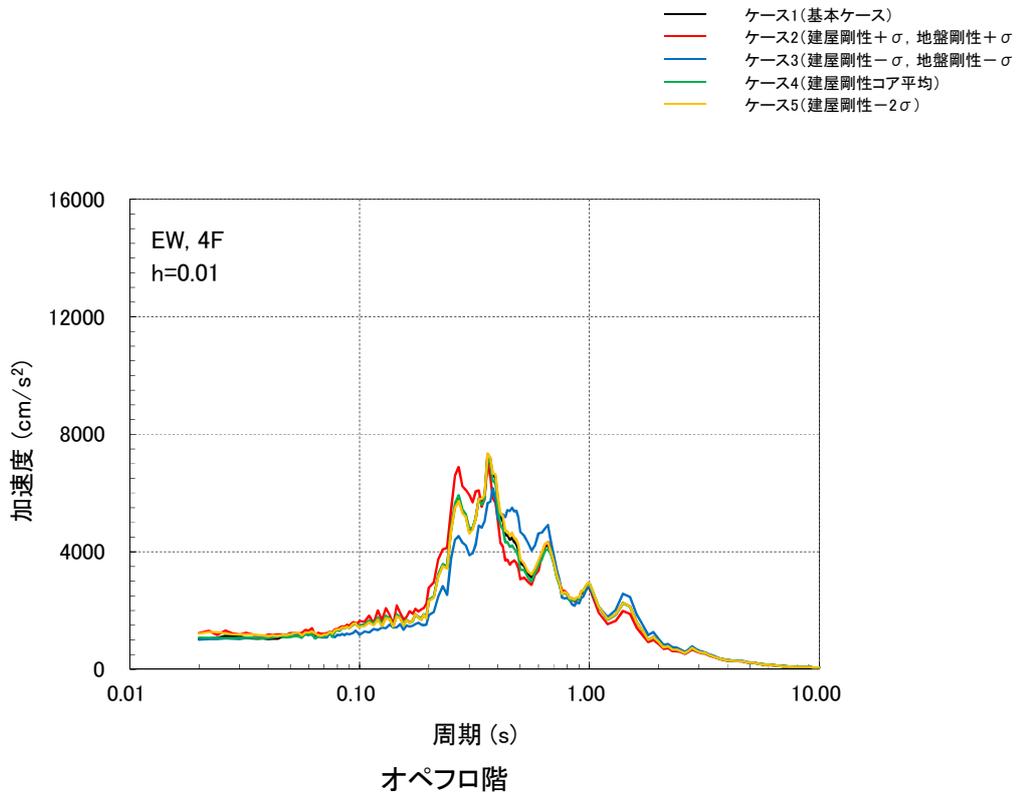
図3 (4/4) 建屋床応答スペクトルの比較 (h=5%)

- ケース1(基本ケース)
- ケース2(建屋剛性+ σ , 地盤剛性+ σ)
- ケース3(建屋剛性- σ , 地盤剛性- σ)
- ケース4(建屋剛性コア平均)
- ケース5(建屋剛性- 2σ)



(a) Ss-1、NS 方向

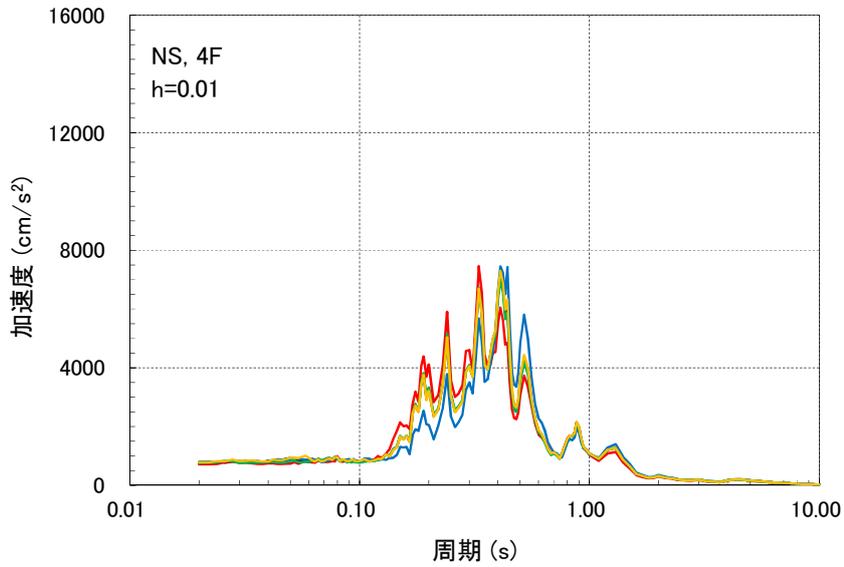
図 4 (1/4) 建屋床応答スペクトルの比較 (h=1%)



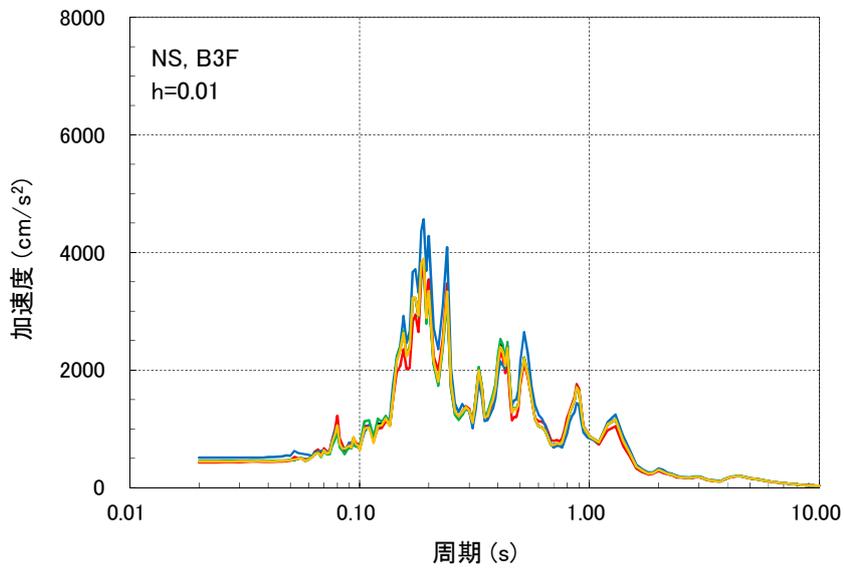
(b) Ss-1、EW 方向

図 4 (2/4) 建屋床応答スペクトルの比較 (h=1%)

- ケース1(基本ケース)
- ケース2(建屋剛性+ σ , 地盤剛性+ σ)
- ケース3(建屋剛性- σ , 地盤剛性- σ)
- ケース4(建屋剛性コア平均)
- ケース5(建屋剛性- 2σ)



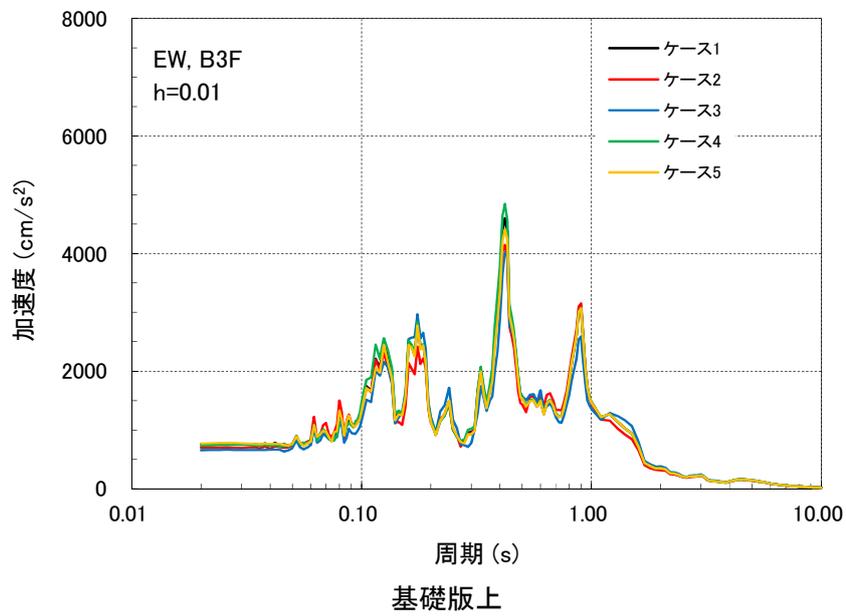
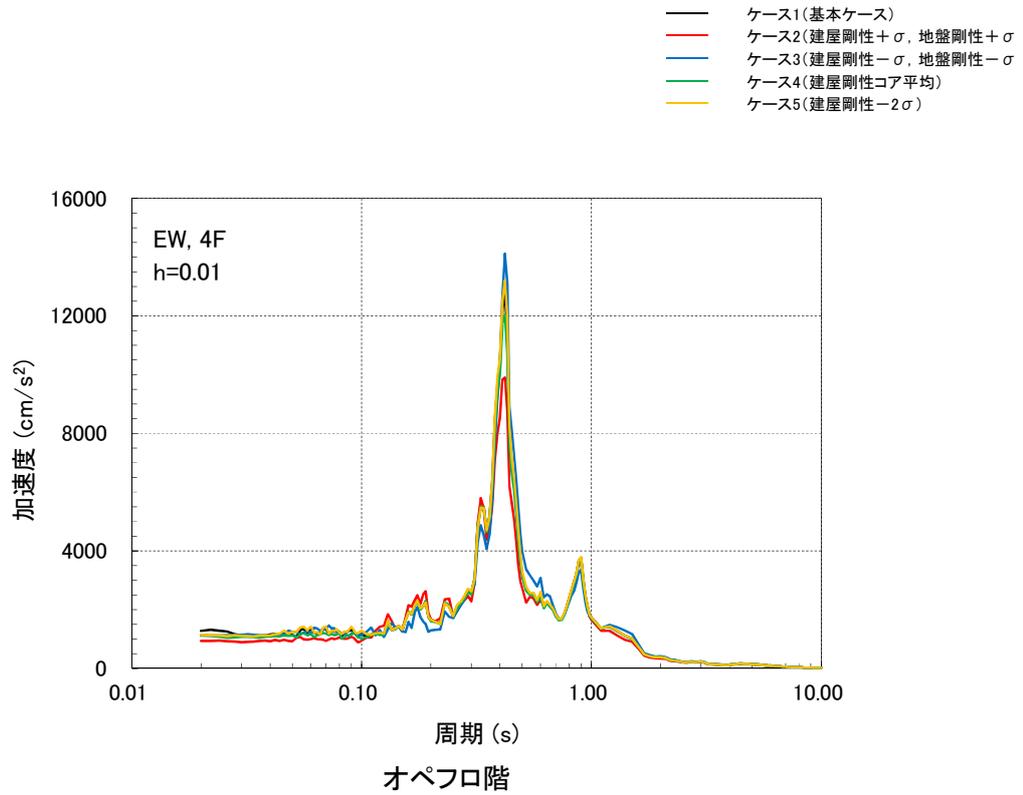
オベフロ階



基礎版上

(c) Ss-2、NS 方向

図4 (3/4) 建屋床応答スペクトルの比較 (h=1%)



(d) Ss-2、EW 方向

図 4 (4/4) 建屋床応答スペクトルの比較 (h=1%)

表 2 建屋接地率の比較

解析ケース	接地率			
	NS 方向		EW 方向	
	Ss-1	Ss-2	Ss-1	Ss-2
ケース 1	68.9	81.8	69.2	67.7
ケース 2	70.5	88.5	69.2	71.0
ケース 3	68.7	80.4	69.4	66.7
ケース 4	68.1	82.6	69.3	67.8
ケース 5	69.3	81.7	69.5	67.7

3. 2 機器・配管系

耐震成立性の見直し確認評価に用いる「原子炉本体基礎の地震応答解析モデル」および「炉心、原子炉圧力容器および圧力容器内部構造物の地震応答解析モデル」の地震荷重等について以下に示す。なお、ここでは基本ケースに加えて、建物・構築物の検討において主要な応答を示したケース2およびケース5と、機器・配管系のみの検討ケースであるケース6およびケース7を代表として実施した。

なお、不確かさの設計への反映は全てのケースを対象とし、上記の地震応答解析モデルを用いない原子炉建屋等に設置される機器・配管系に対してもおこなう予定である。

(1) 地震荷重

各ケースの地震応答解析から得られる代表設備の地震荷重（モーメント、せん断力、ばね反力）の比較を表3に示す。

表3 代表部位における地震荷重等の比較

設備名	原子炉本体の基礎	原子炉圧力容器（基礎ボルト）	ダイヤフラムフロア	原子炉冷却材再循環ポンプ付け根部
荷重（単位）	モーメント (kN・m)	モーメント (kN・m)	反力 (kN)	モーメント (kN・m)
【参考】許容値を満足する地震荷重の目安値※1	1200000	461000	53000	2310
◆ケース1 (基本ケース)	843000	100000	32000	2110
◆ケース2 (建屋剛性+ σ , 地盤剛性+ σ)	808000	108000	35200	2160
◆ケース5 (建屋剛性- 2σ)	937000	101000	29000	2110
◆ケース6 (原子炉系コンクリート実強度相当)	902000	99100	29600	2080
◆ケース7 (原子炉本体基礎曲線包絡スケルトンカーブ)	903000	99000	27200	2120

※1 7号炉を例とした概算値（地震荷重はSs-1及びSs-2包絡値）

(2) 床応答スペクトル

代表箇所（原子炉遮蔽壁）における設計用スペクトル（基本ケースの床応答スペクトルを周期方向に±10%拡幅）と各ケースの床応答スペクトルの比較を図5に示す。

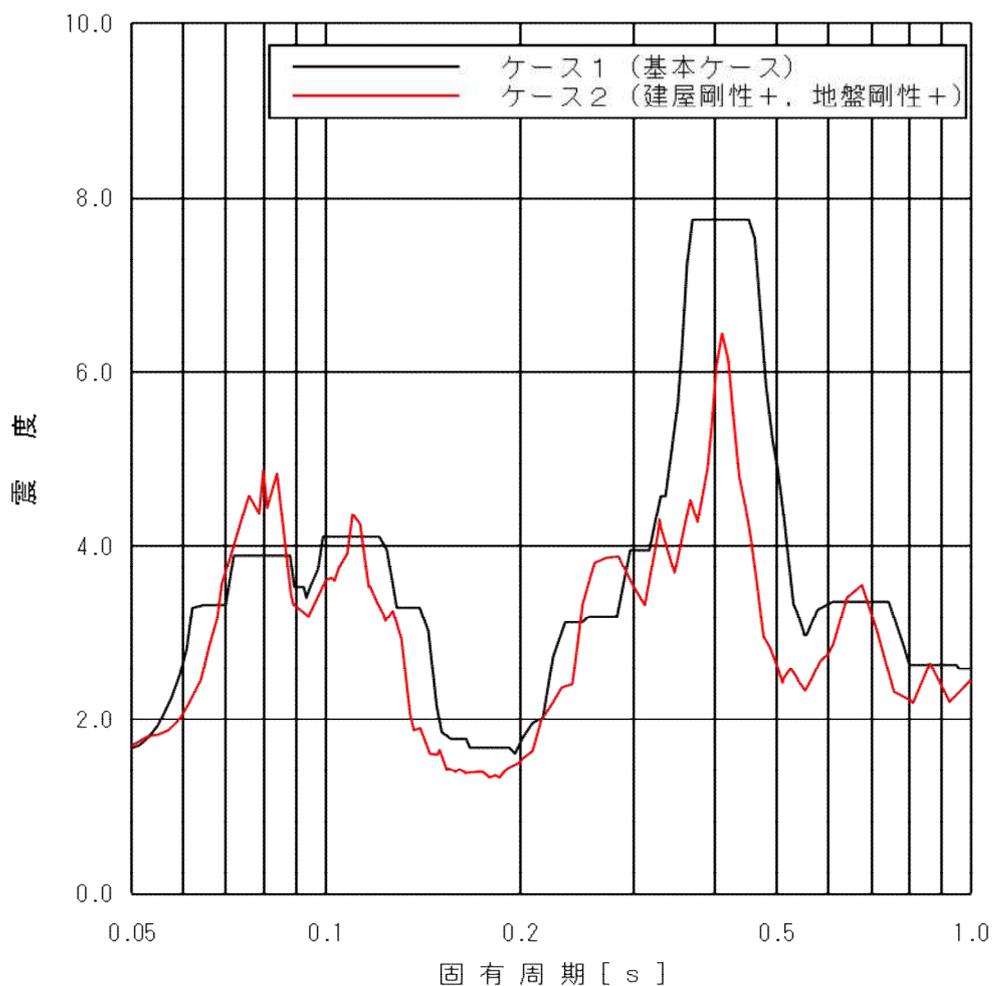


図5 (1/4) 原子炉遮蔽壁における床応答スペクトル比較 (ケース2)
(T.M.S.L. 18.44m, S_s-1 及び S_s-2 包絡, 水平方向 (NS/EW 包絡), 減衰 2.0%)

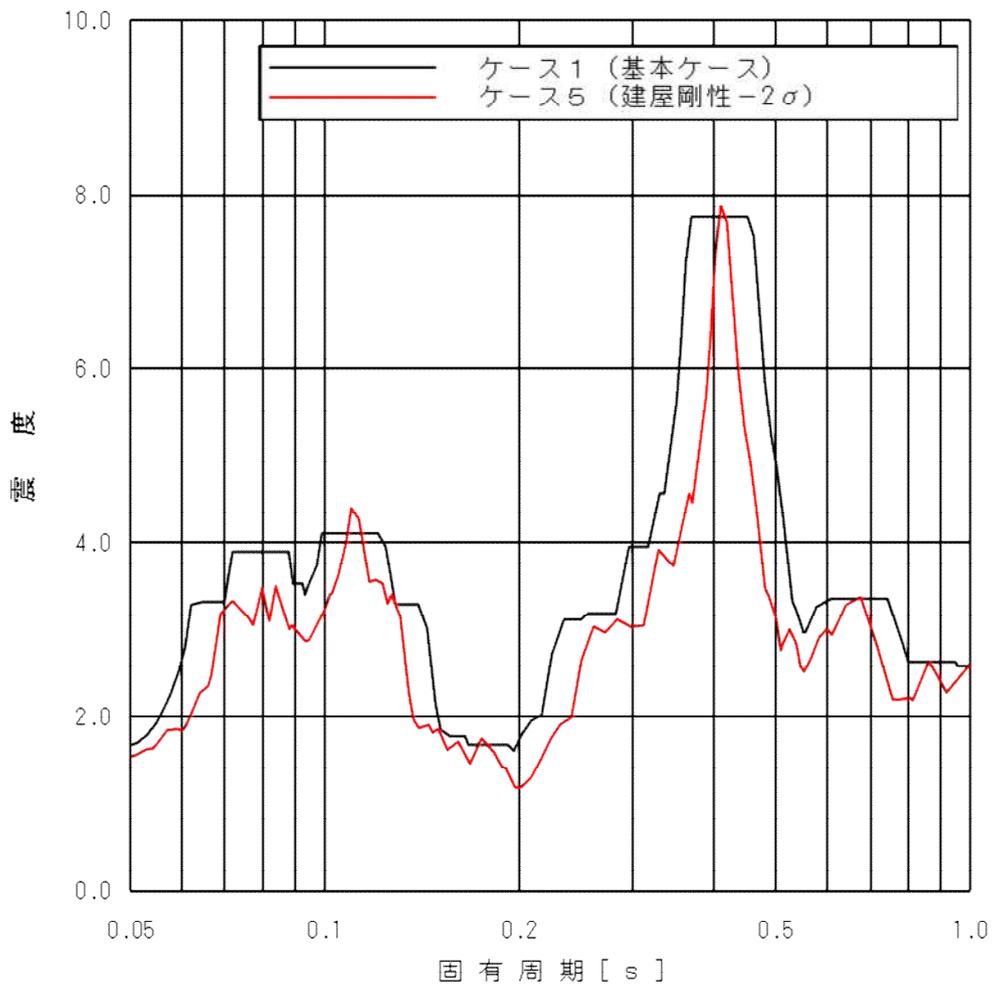


図5 (2/4) 原子炉遮蔽壁における床応答スペクトル比較 (ケース5)
 (T.M.S.L. 18.44m, Ss-1 及び Ss-2 包絡, 水平方向 (NS/EW 包絡), 減衰 2.0%)

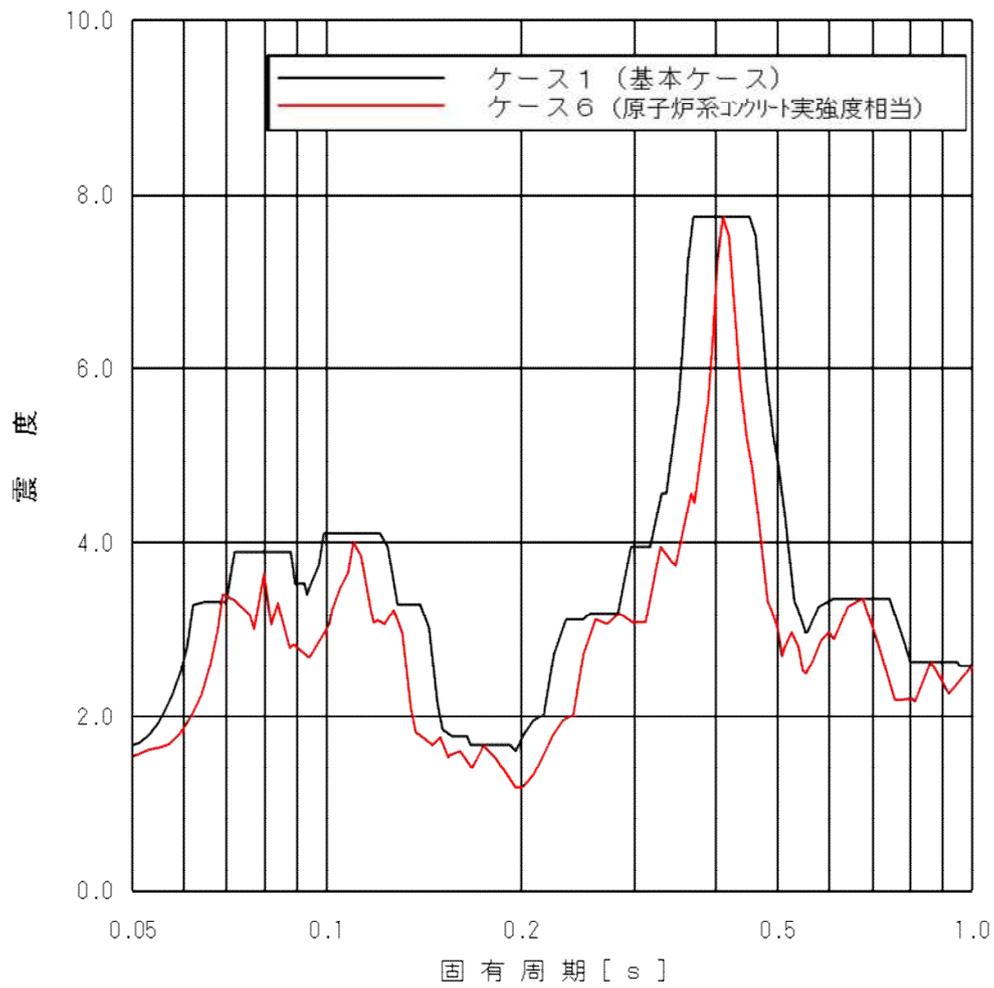


図5 (3/4) 原子炉遮蔽壁における床応答スペクトル比較 (ケース6)
 (T. M. S. L. 18. 44m, Ss-1 及び Ss-2 包絡, 水平方向 (NS/EW 包絡), 減衰 2.0%)

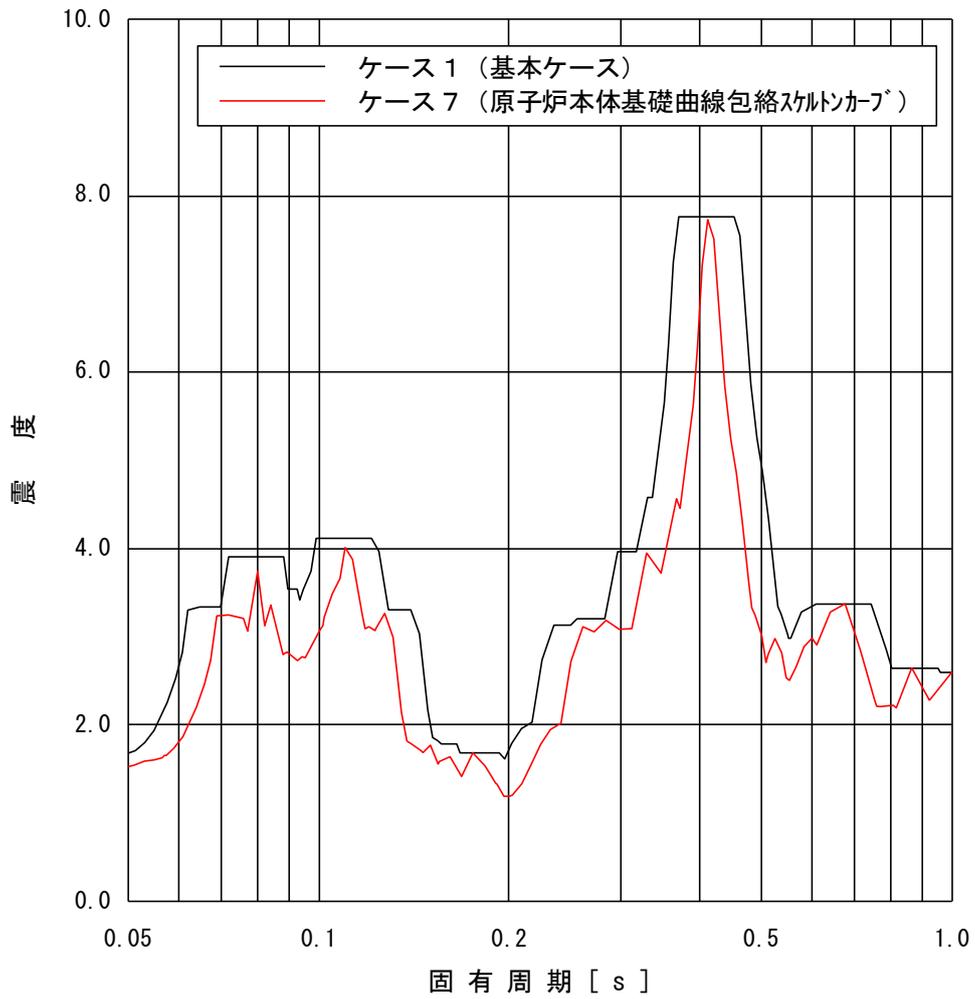


図5 (4/4) 原子炉遮蔽壁における床応答スペクトル比較 (ケース7)
 (T.M.S.L. 18.44m, S_S-1 及び S_S-2 包絡, 水平方向 (NS/EW 包絡), 減衰 2.0%)

4. 機器・配管系への影響検討

(1) 検討方法

各ケースの地震応答解析結果を用いて、代表設備（図6）の評価を実施し、評価結果へ与える影響を確認した。

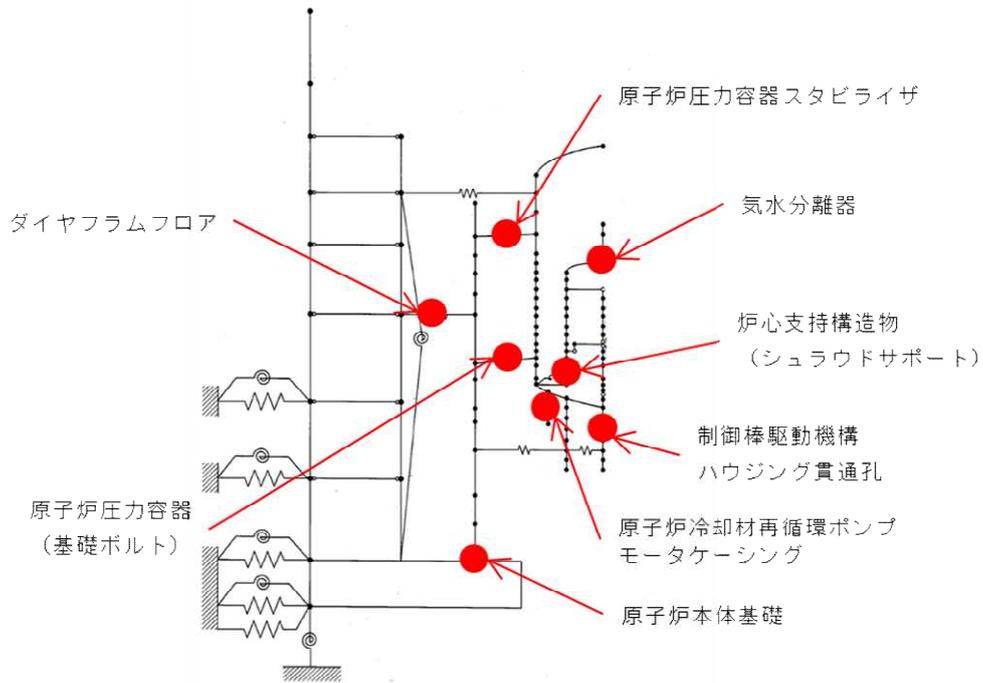


図6 評価対象設備（代表設備）

(2) 評価結果

代表設備の評価結果を表 4 に示す。なお、ケース 6 およびケース 7 については、地震荷重等と床応答スペクトルがケース 2 およびケース 5 に包絡されることから、評価結果はケース 1, 2, 5 について示す。

表 4 代表設備の評価結果

設備名	評価部位 (応力分類)	検討ケース	発生値 ^{※1}	許容値 ^{※2}	単位
原子炉本体 の基礎	アンカボルト (引抜力)	ケース 1	3607	5907	kN/4.5°
		ケース 2	3303		
		ケース 5	3954		
原子炉 圧力容器	基礎ボルト (引張)	ケース 1	233	499	MPa
		ケース 2	237		
		ケース 5	233		
炉心支持 構造物 (シュラウド サポート)	レグ (一次一般膜)	ケース 1	58	334	MPa
		ケース 2	56		
		ケース 5	57		
気水分離器	スタンド パイプ (一次一般膜 +一次曲げ)	ケース 1	76	205	MPa
		ケース 2	78		
		ケース 5	80		
制御棒駆動 機構ハウジ ング貫通孔	スタブ チューブ (軸圧縮)	ケース 1	90	124	MPa
		ケース 2	91		
		ケース 5	96		
原子炉圧力 容器スタビ ライザ	ロッド (引張)	ケース 1	241	513	MPa
		ケース 2	244		
		ケース 5	240		
ダイヤフラ ムフロア	シアプレート (曲げ応力度)	ケース 1	297	492	MPa
		ケース 2	326		
		ケース 5	269		
原子炉再循 環ポンプモ ータケーシ ング	ケーシング (軸圧縮)	ケース 1	184	207	MPa
		ケース 2	184		
		ケース 5	184		

※1：7号炉を例とした概算値。

※2：許容応力状態IV_ASにおける許容値。

参考資料-4 各モデルの変更点がシミュレーション解析結果に与える影響について

1. はじめに

今回工認で採用を予定している建屋の地震応答解析モデルは、平成19年新潟県中越沖地震時の観測記録に基づく建屋シミュレーション解析から得られた知見を踏まえて、より実現象に近い応答を再現するという観点から、既工認で構築していた建屋解析モデルに対して、①コンクリート実剛性、②補助壁の考慮、③側面地盤ばねにおける回転成分の考慮を反映する予定である。本資料は、シミュレーション解析の結果と観測記録との整合性及び各変更項目がシミュレーション解析結果に与える影響を示すものである。なお、6号炉原子炉建屋と7号炉原子炉建屋はほぼ同様の構造となっていることから、7号炉原子炉建屋を代表として検討を実施する。

2. 新潟県中越沖地震時に取得された観測記録を用いたシミュレーション解析

(1) 観測記録を用いた検討の概要

シミュレーション解析に用いる地震の諸元を図-1に、地震計位置を図-2に示す。原子炉建屋基礎版上で得られた観測記録を図-3に示す。

また、本検討におけるシミュレーション解析は、地震時に観測した基礎版上における水平方向及び鉛直方向の地震観測記録を用いた弾性応答解析による。建屋各部位の応答は、原子炉建屋の基礎版上での観測記録波を解析モデルの基礎版上に入力し、基礎版上からの建屋各部の伝達関数を用いて算定する。シミュレーション解析における地震応答解析のフローを図-4に示す。

地震名	新潟県中越沖地震
発生日時	2007年7月16日 午前10時13分頃
マグニチュード	6.8
震源深さ	17km
震央距離	16km
震源距離	23km



図-1 検討に用いる地震の諸元 (2007年新潟県中越沖地震)

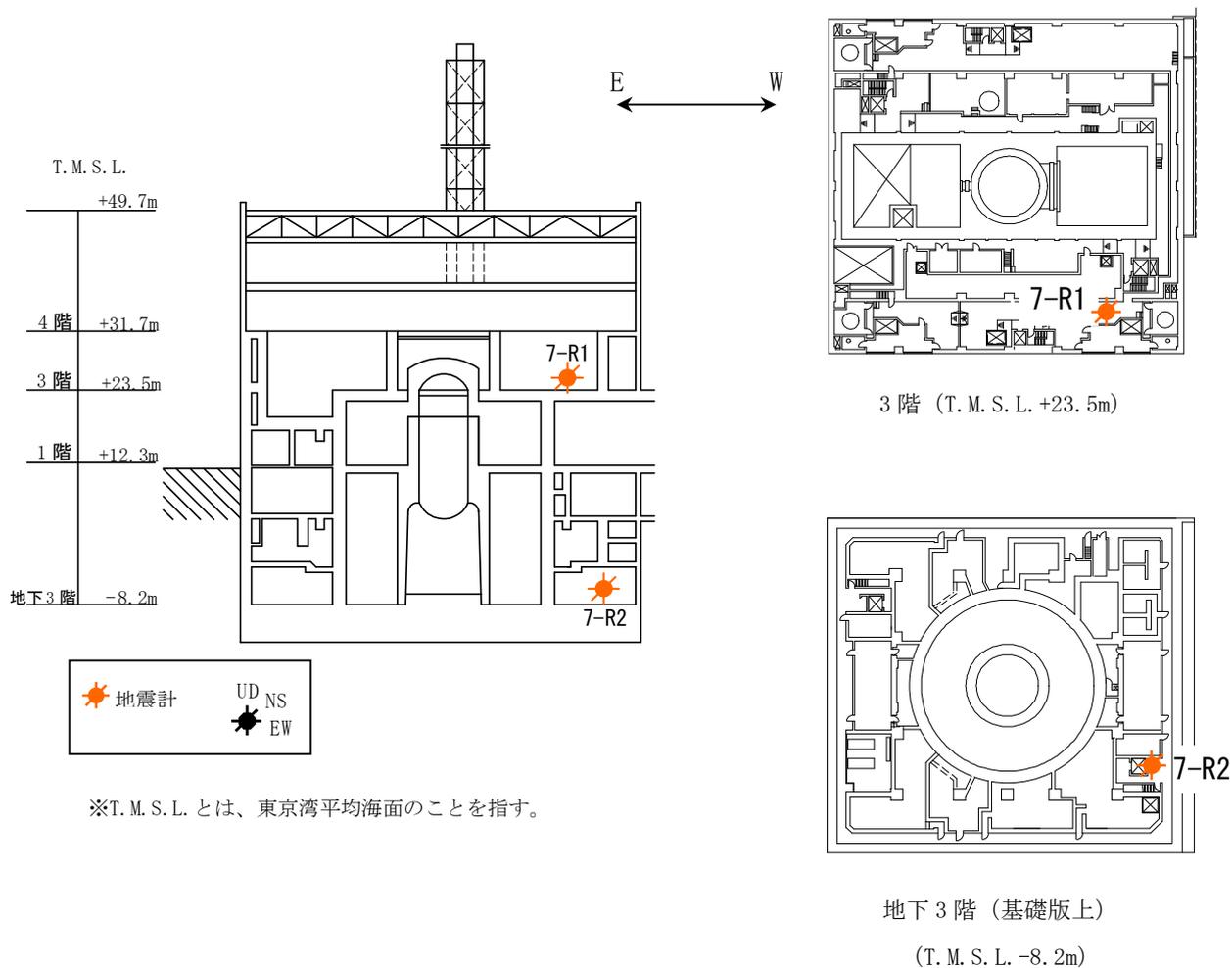


図-2 7号炉原子炉建屋 地震計設置位置

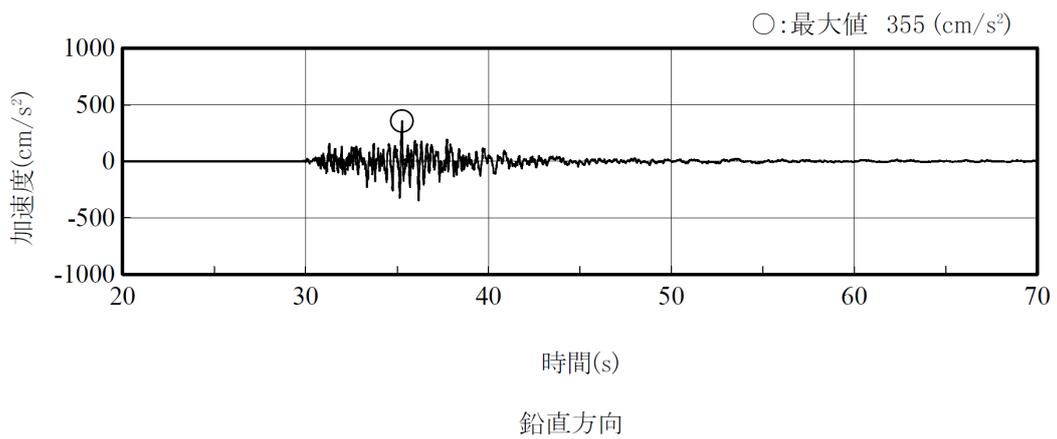
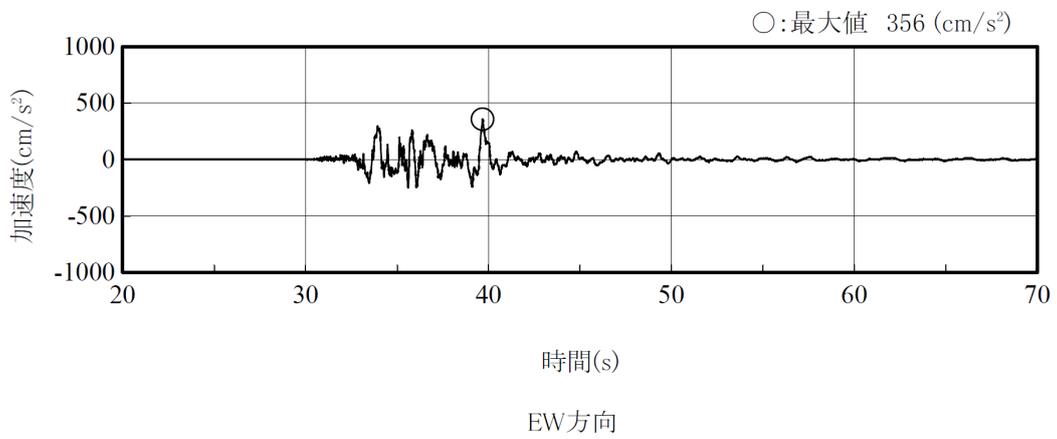
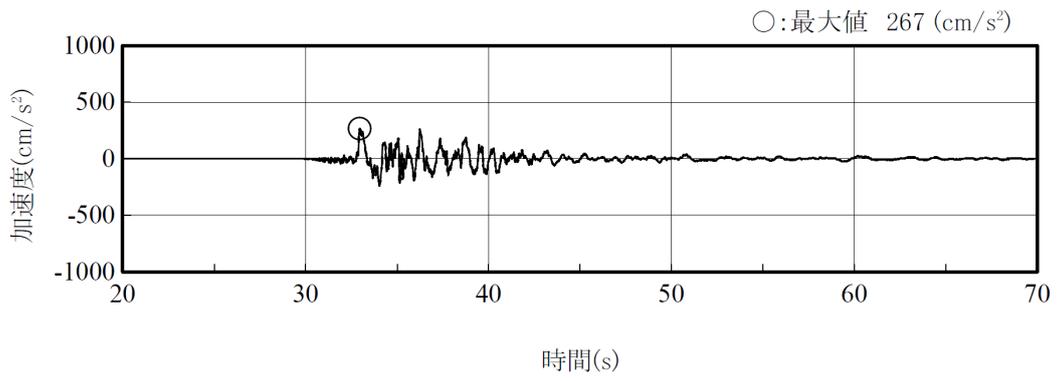


図-3 原子炉建屋基礎版上の地震観測記録 加速度時刻歴波形
(7-R2 : T. M. S. L. -8.2m)

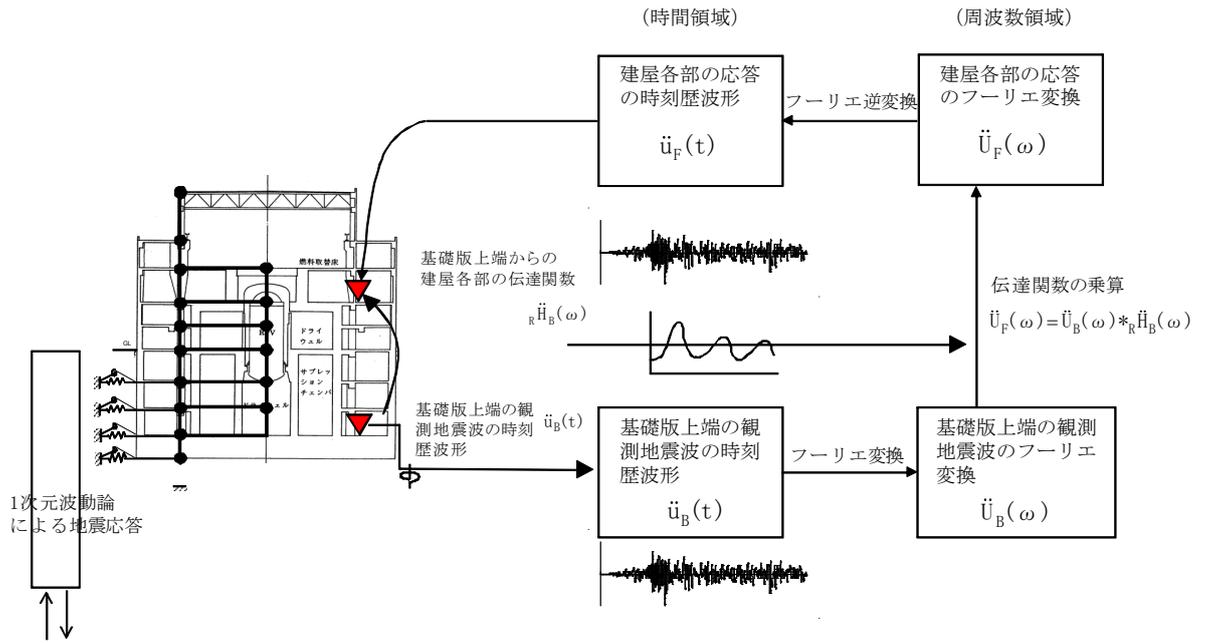


図-4 解析フロー図

(2) 検討ケース

表 2-1 に示す全 5 ケースについて解析を実施した。鉛直方向の解析モデルでは、側面地盤の効果は考慮していないことから、Case1 および Case2 でのみ検討を実施している。

表 2-1 パラメータスタディケース

ケース名	建屋モデル		地盤モデル
	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
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
Case1	実剛性*	耐震壁	水平
Case2	設計基準強度に基づく	耐震壁＋補助壁	水平
Case3	設計基準強度に基づく	耐震壁	水平・回転
シミュレーション解析モデル（今回工認採用予定の項目を反映したモデル）	実剛性*	耐震壁＋補助壁	水平・回転

※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元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（ $F_c=500\text{kg/cm}^2$ 、詳細は別紙-1 参照）に基づく剛性を使用している。なお、工認計算では、別紙-1 で検討した通り、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（ $F_c=440\text{kg/cm}^2$ ）をコンクリート実強度として剛性を算定する予定である。

3. シミュレーション解析結果

Case 1～3 の各ケースの地震応答解析結果と既工認手法の地震応答解析結果、観測記録とを比較した結果（床応答スペクトル、最大応答加速度）を図 3-1～6 に示す。また、シミュレーション解析モデル（今回工認で採用予定の項目を反映したモデル）による解析結果を図 3-7,8 に示す。表 3-1 に各解析ケースを考察した結果を示す。

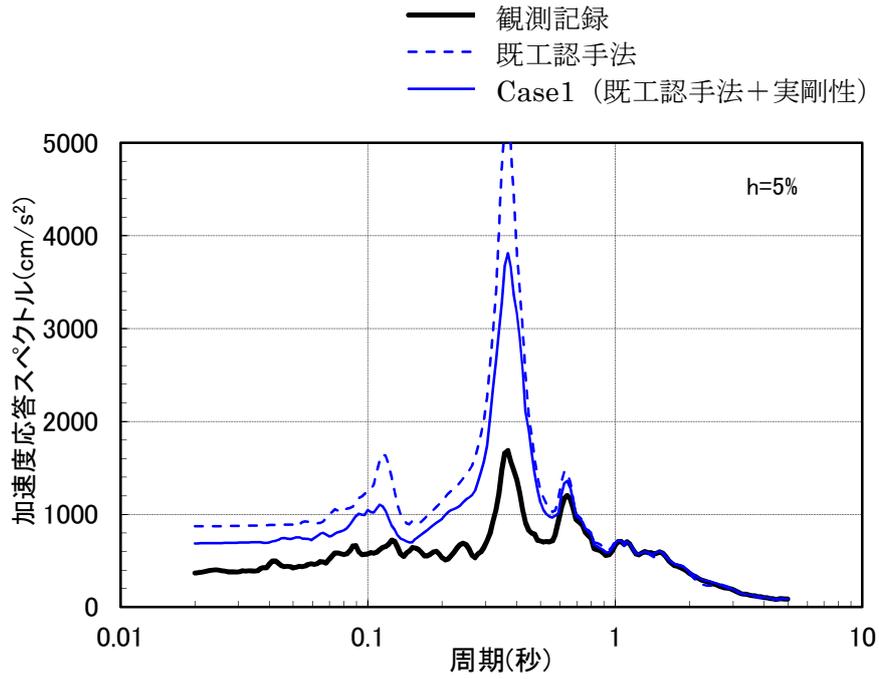
4. まとめ

各モデルの変更点が中越沖地震時のシミュレーション解析結果に与える影響を把握するために、パラメータスタディを実施し、各変更点がシミュレーション解析結果に与える影響を確認した。

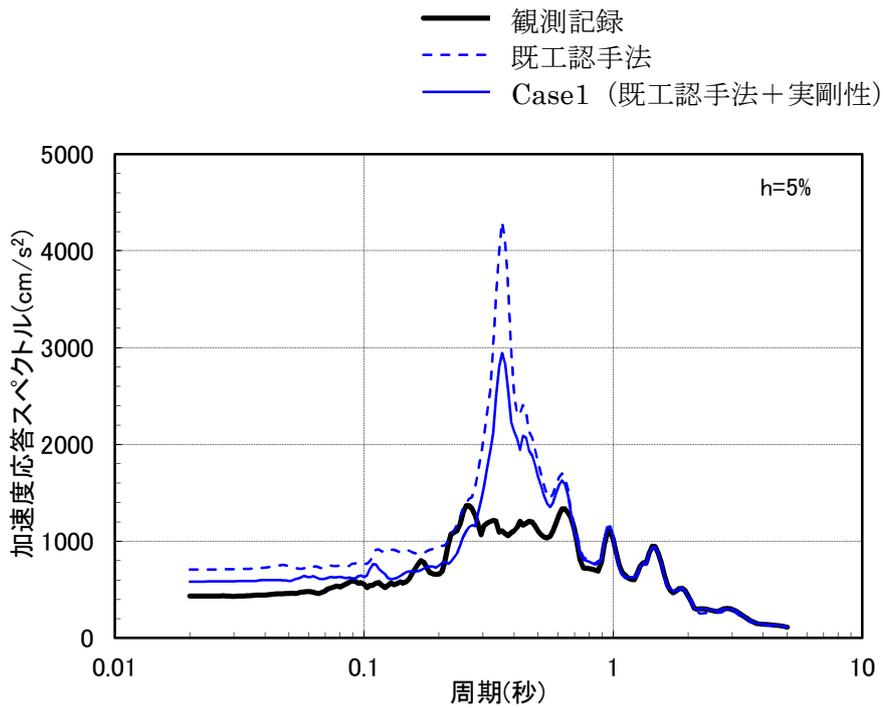
表 3-1 考察結果

解析ケース		考察
Case1 (NS/EW/UD)	実剛性考慮	<ul style="list-style-type: none"> ・加速度応答スペクトルについては、NS,EW, 鉛直方向共に、既工認手法と比較して、観測記録との整合性が向上している。 ・最大応答加速度については、NE・EW 方向については、既工認手法よりも整合性が向上するかほぼ同等の結果となっており、鉛直方向については、記録と整合性が大きく向上している。
Case2 (NS/EW/UD)	補助壁考慮	<ul style="list-style-type: none"> ・加速度応答スペクトルについては、NS,EW では既工認手法と比較して観測記録との整合性が向上している。鉛直方向については、周期 0.1 秒より長周期側での整合性は向上している。 ・最大応答加速度については、NE・EW 方向については、既工認手法よりも整合性が向上している。鉛直方向については、観測記録取得位置では、設計モデルよりも少し応答が大きめとなっている。
Case3 (NS/EW)	回転バネ考慮	<ul style="list-style-type: none"> ・加速度応答スペクトルについては、NS,EW 共に既工認手法と比較して観測記録との整合性が向上している。他のケースと比べても向上度合いは大きい。 ・最大加速度についても、NS・EW 方向共に既工認手法と比較して整合性が向上している。
シミュレーション解析モデル (NS/EW/UD)	全項目反映	<ul style="list-style-type: none"> ・加速度応答スペクトルについては、NS,EW 方向共に Case 1～3 と比較して、観測記録とより整合する結果となっている。鉛直方向についても、建屋モデルを 1 項目のみを変更した Case1,2 と比較して整合性は向上している。 ・最大加速度についても 1 項目のみを変更した Case1～3 と比較して、整合性は向上する結果となっている。

Case1 (実剛性考慮ケース) の検討結果

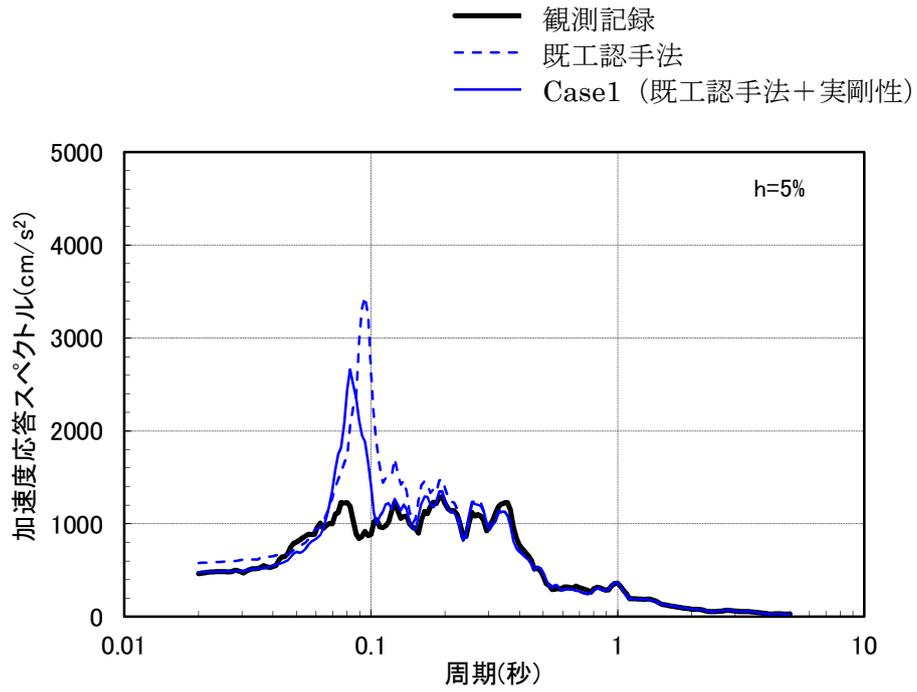


(1) NS 方向



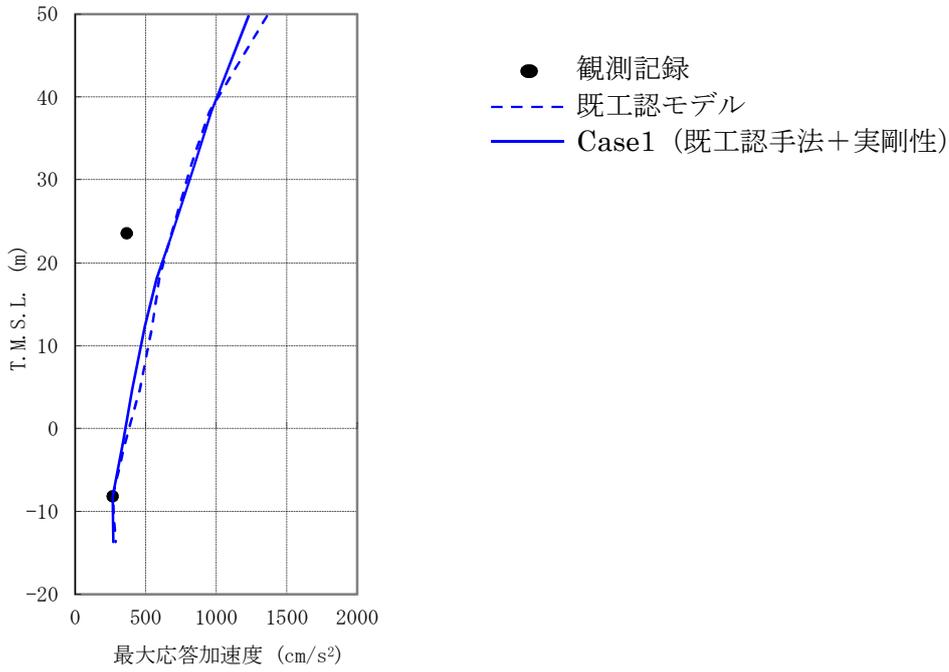
(2) EW 方向

図 3-1(a) 7号炉原子炉建屋加速度応答スペクトルの比較 (T.M.S.L.+23.5m) 【Case1】

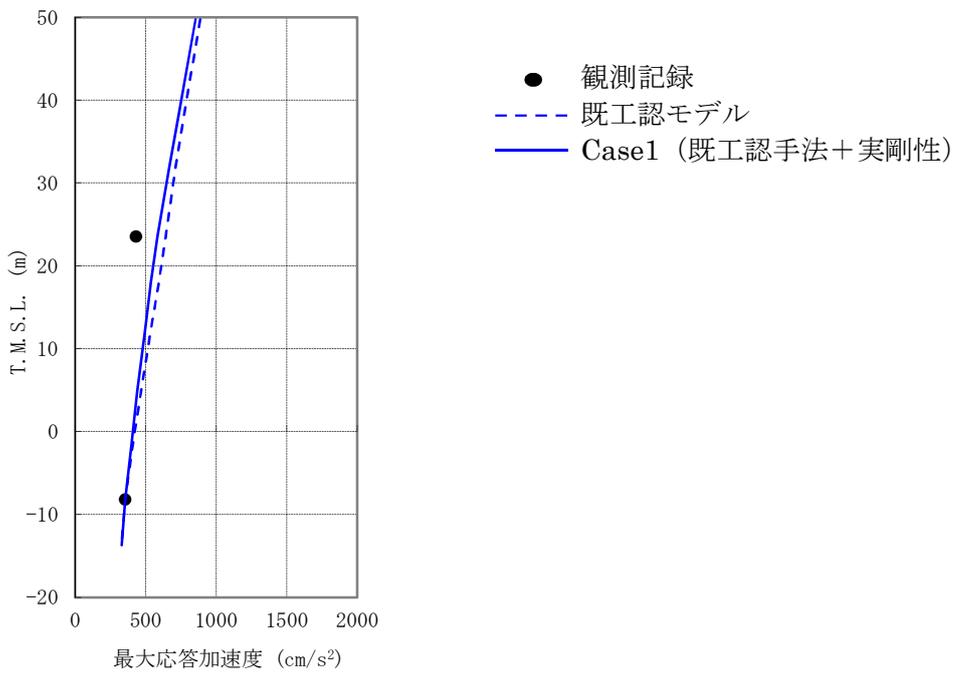


(3) 鉛直方向

図 3-1(b) 7号炉原子炉建屋加速度応答スペクトルの比較 (T.M.S.L.+23.5m) 【Case1】



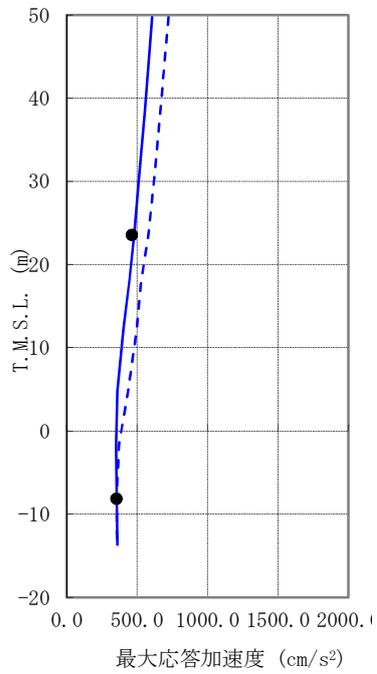
(1) NS 方向



(2) EW 方向

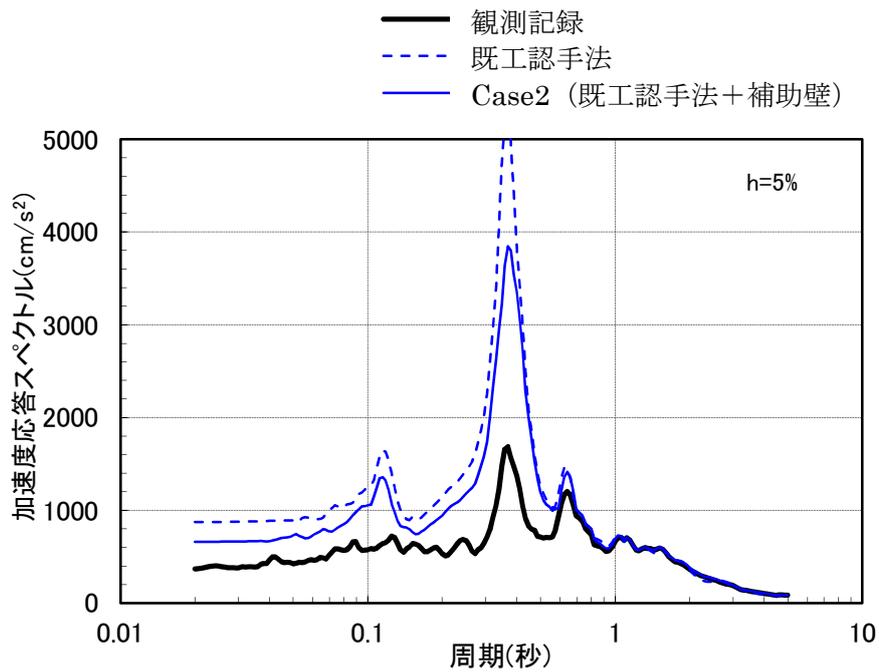
図 3-2(a) 7号炉原子炉建屋最大応答加速度の比較【Case1】

- 観測記録
- - - 既工認モデル
- Case1 (既工認手法+実剛性)

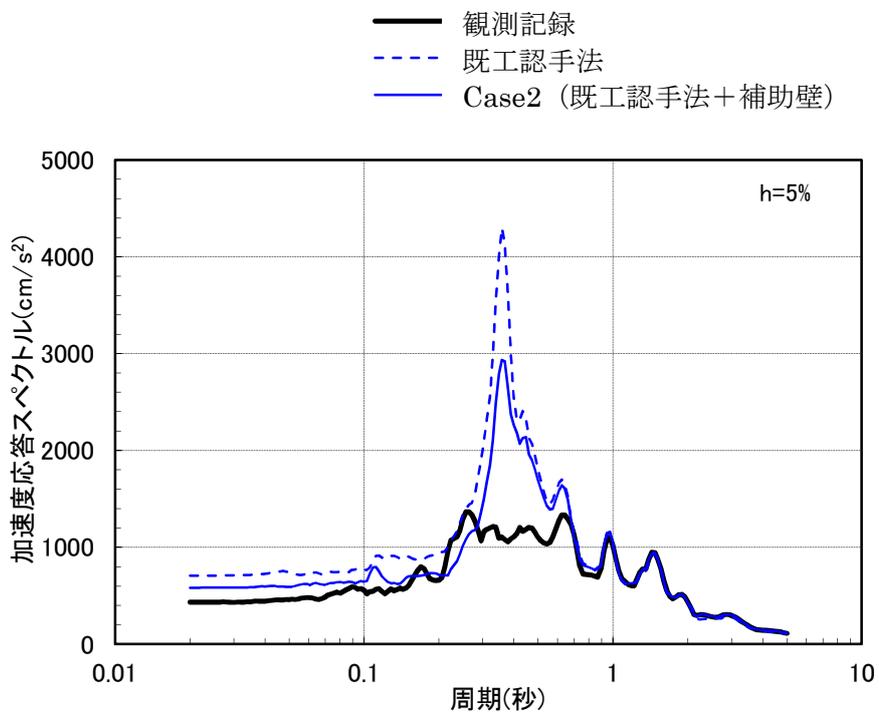


(3) 鉛直方向

図 3-2(b) 7号炉原子炉建屋最大応答加速度の比較【Case1】

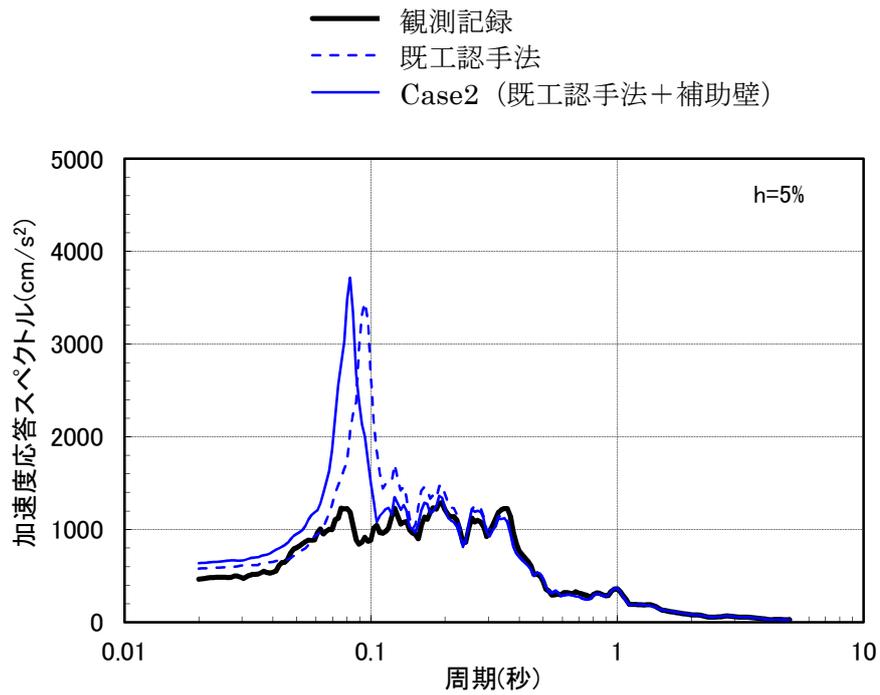


(1) NS 方向



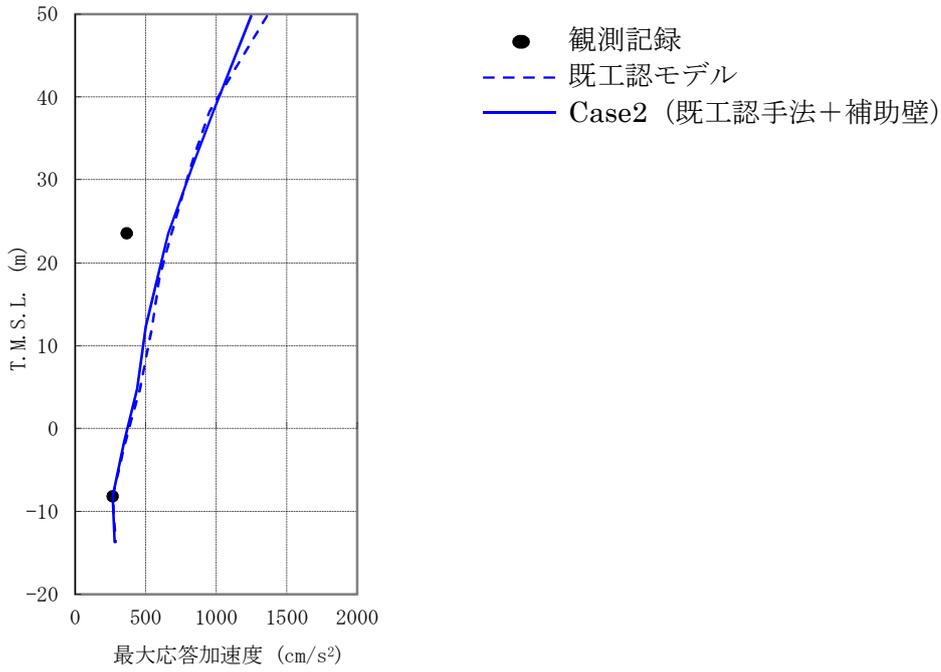
(2) EW 方向

図 3-3(a) 7号炉原子炉建屋加速度応答スペクトルの比較 (T.M.S.L.+23.5m) 【Case2】

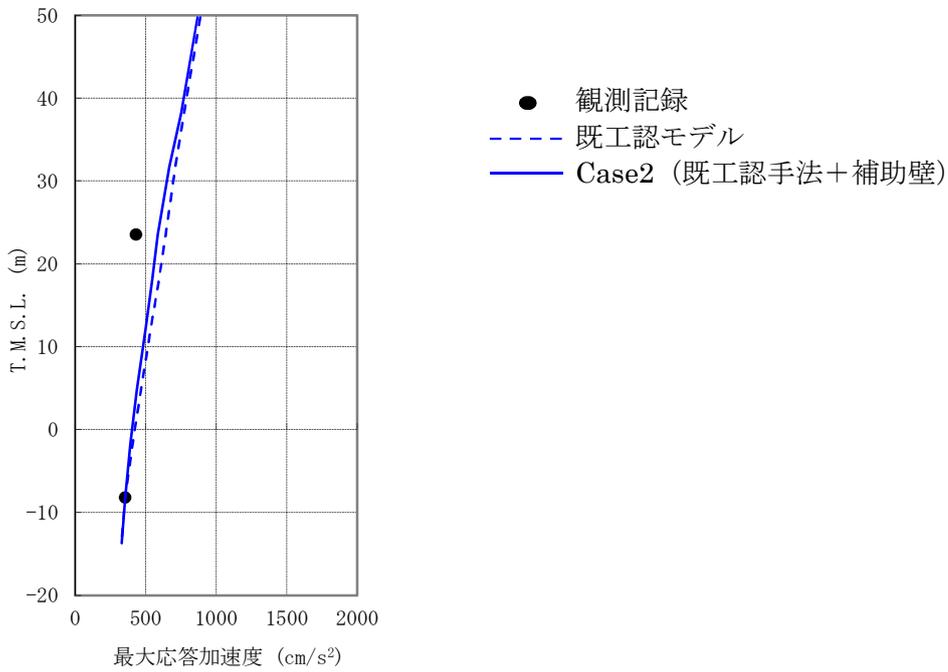


(3) 鉛直方向

図 3-3(b) 7号炉原子炉建屋加速度応答スペクトルの比較 (T.M.S.L.+23.5m) 【Case2】



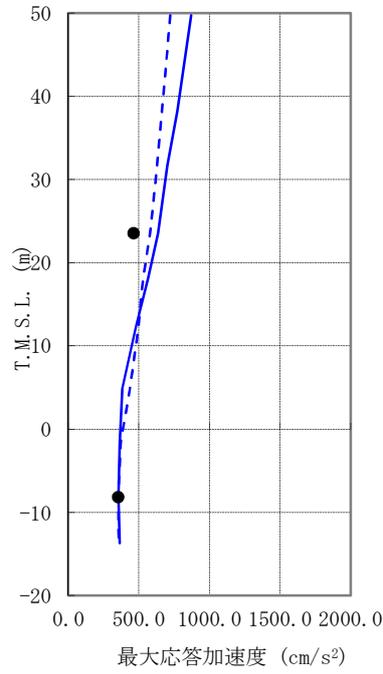
(1) NS 方向



(2) EW 方向

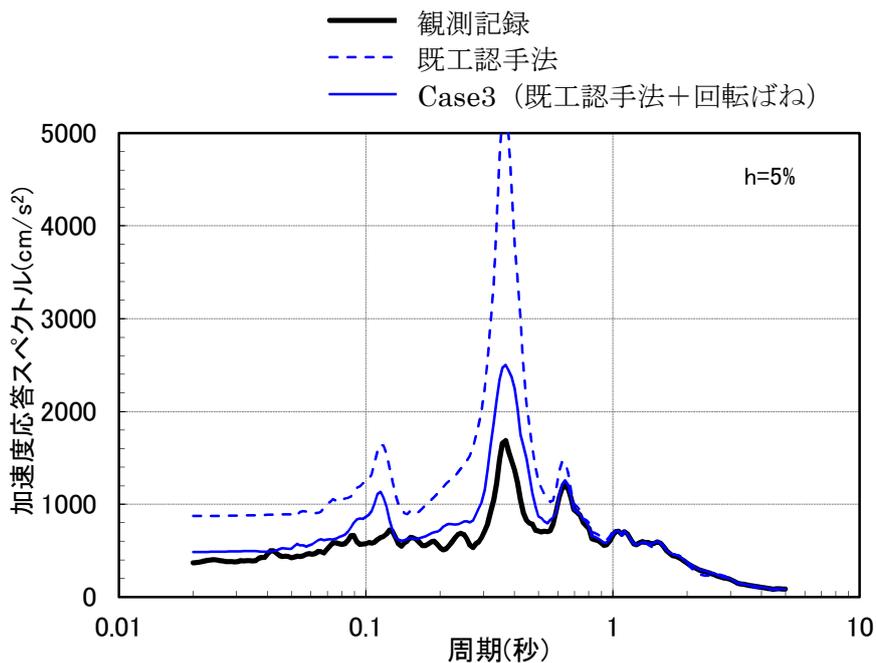
図 3-4(a) 7号炉原子炉建屋最大応答加速度の比較【Case2】

- 観測記録
- - - 既工認モデル
- Case2 (既工認手法+補助壁)

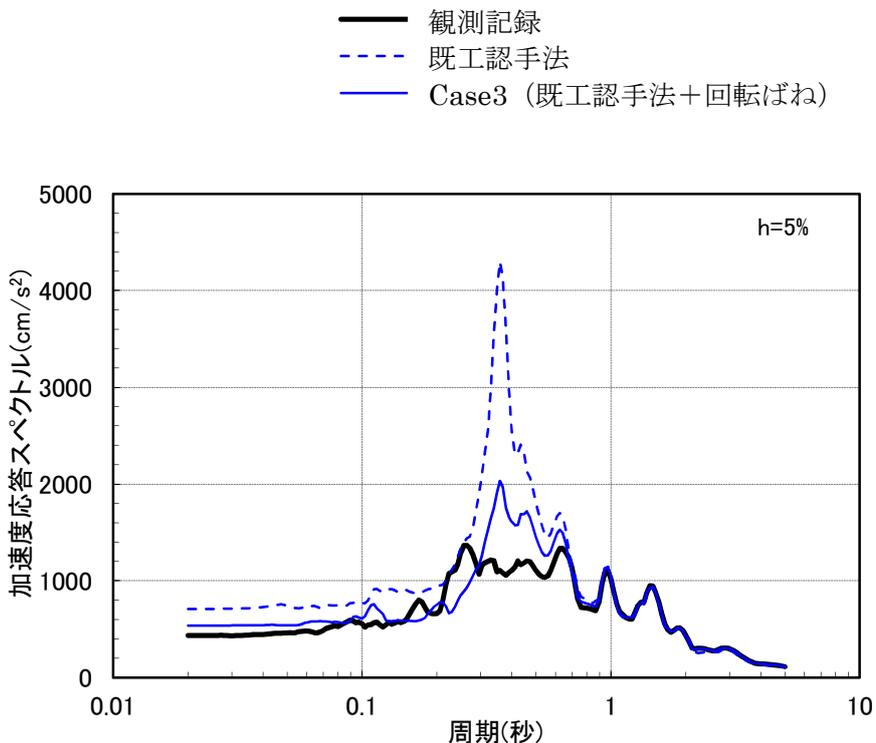


(3) 鉛直方向

図 3-4(b) 7号炉原子炉建屋最大応答加速度の比較【Case2】

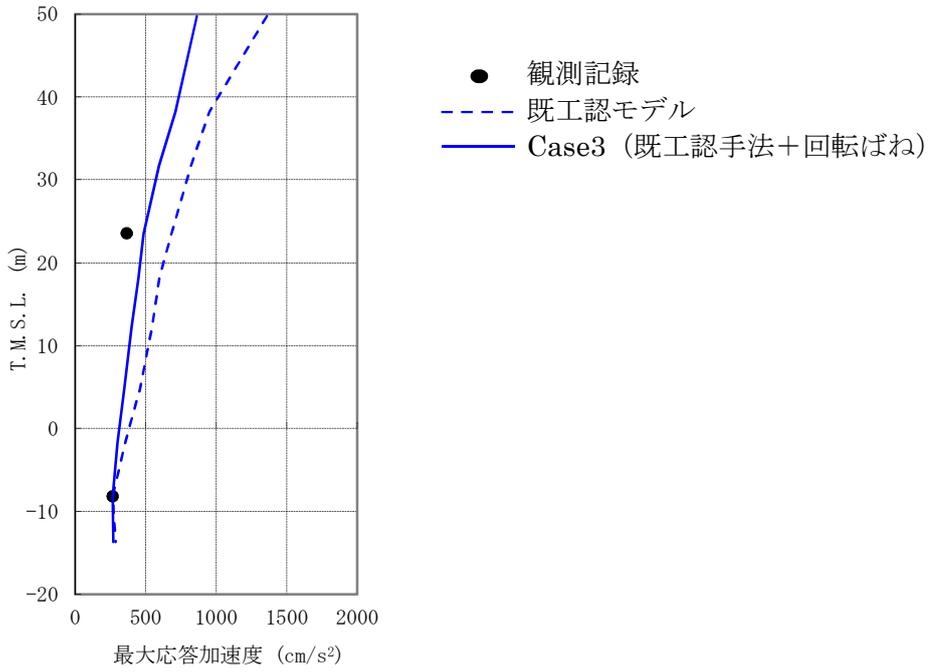


(1) NS 方向

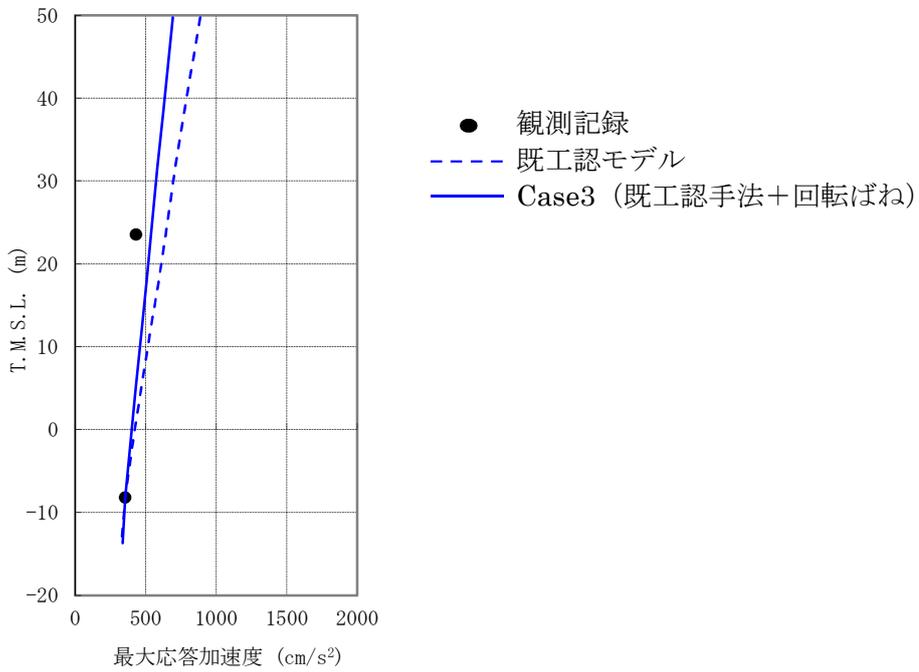


(2) EW 方向

図 3-5 7号炉原子炉建屋加速度応答スペクトルの比較 (T.M.S.L.+23.5m) 【Case3】

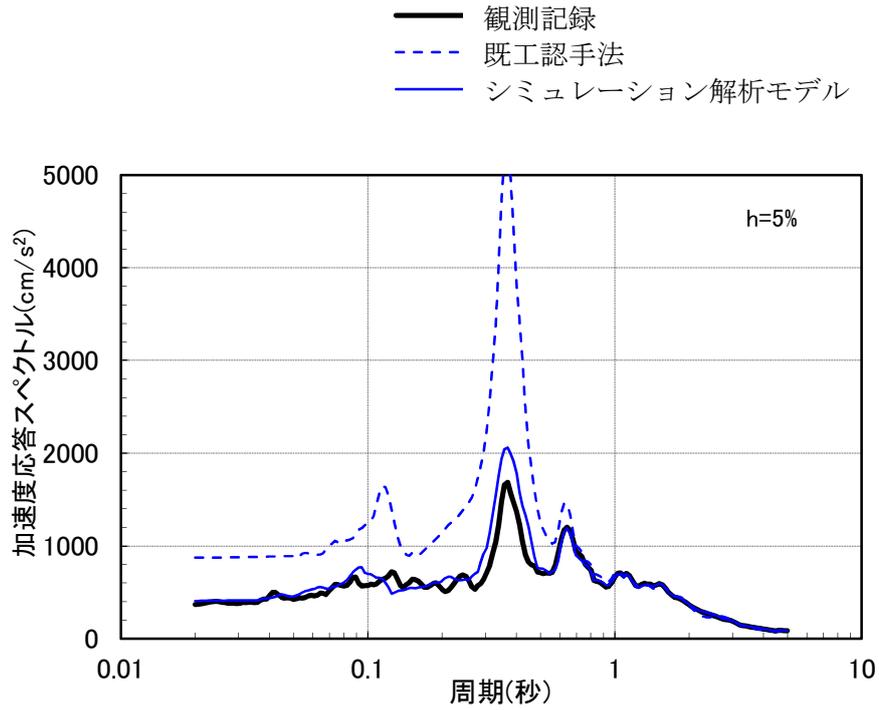


(1) NS 方向

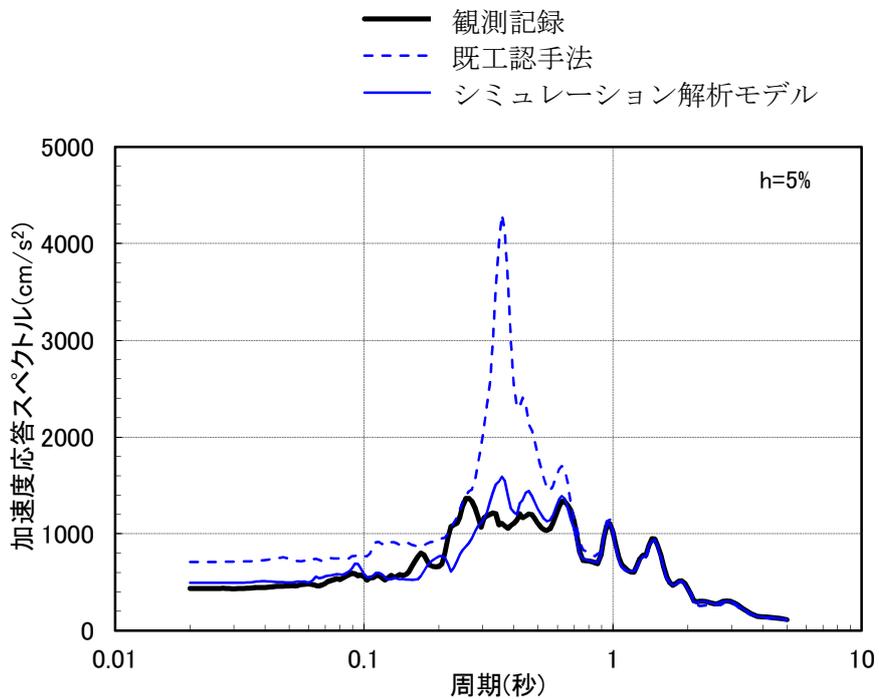


(2) EW 方向

図 3-6 7号炉原子炉建屋最大応答加速度の比較【Case3】

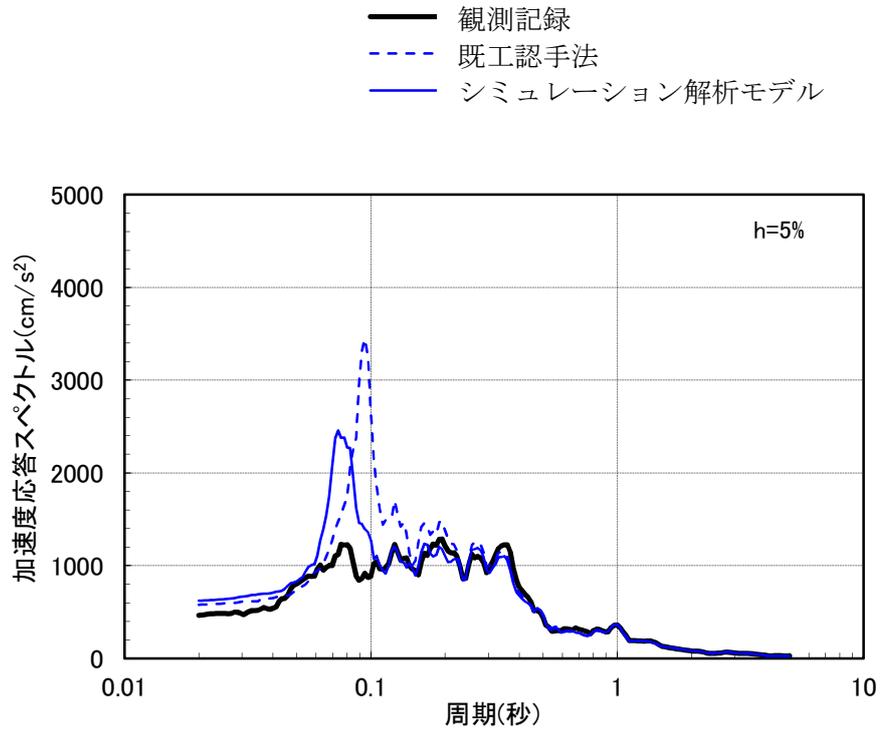


(1) NS 方向



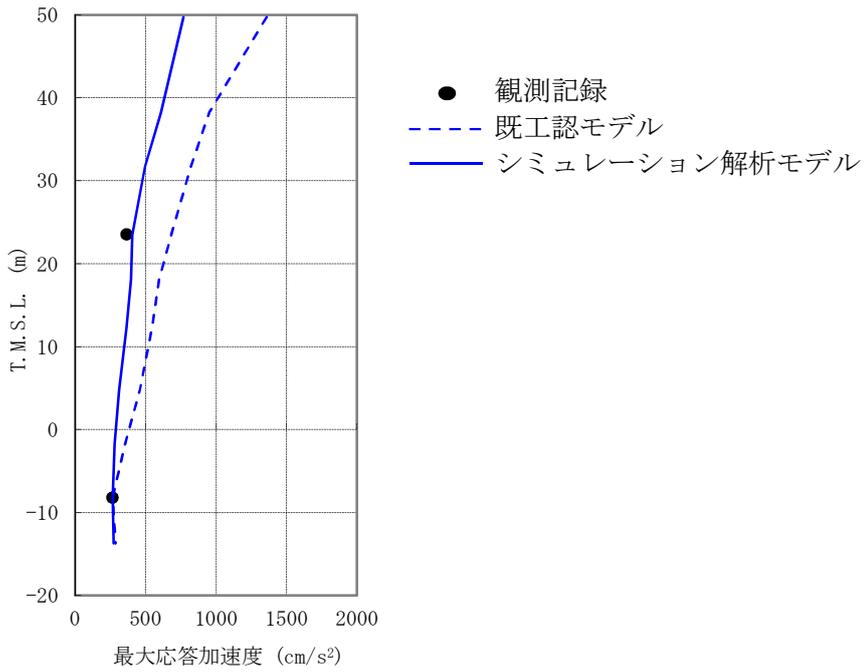
(2) EW 方向

図 3-7(a) 7号炉原子炉建屋加速度応答スペクトルの比較 (T.M.S.L.+23.5m)

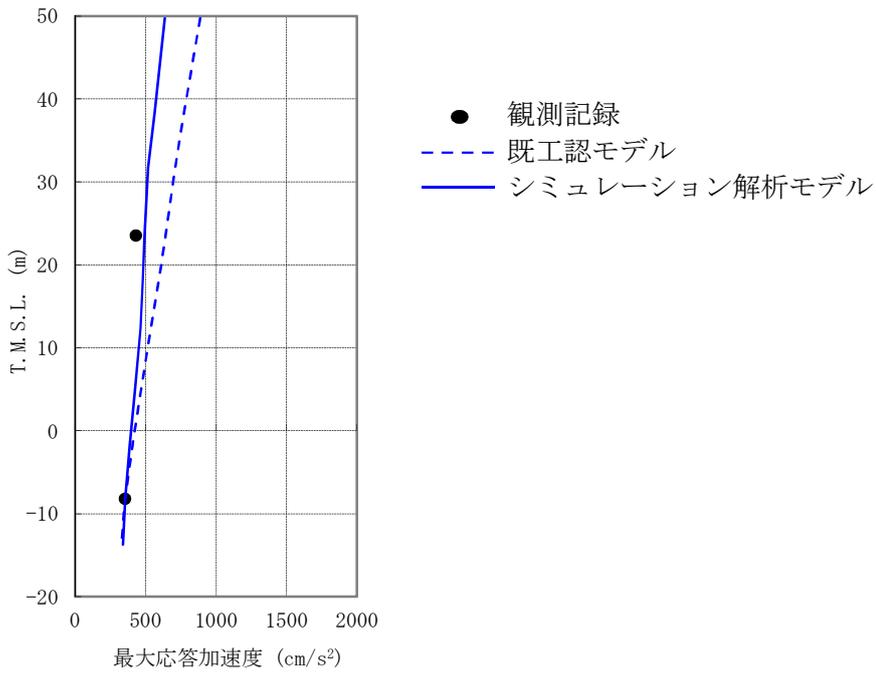


(3) 鉛直方向

図 3-7(b) 7号炉原子炉建屋加速度応答スペクトルの比較 (T.M.S.L.+23.5m)

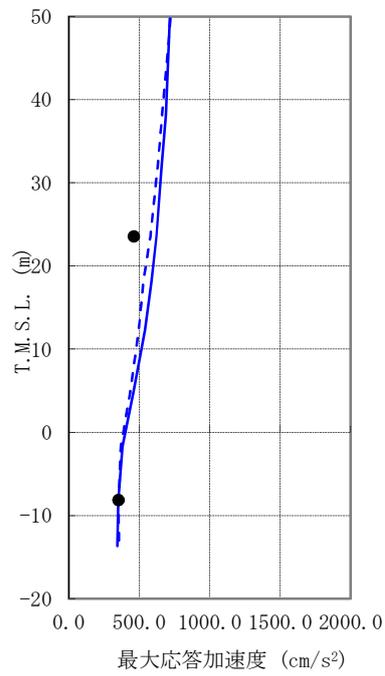


(1) NS 方向



(2) EW 方向

図 3-8(a) 7号炉原子炉建屋最大応答加速度の比較



(3) 鉛直 EW 方向

図 3-8(b) 7号炉原子炉建屋最大応答加速度の比較

1. はじめに

参考資料-1でも示したとおり、新潟県中越沖地震本震（以下、「本震」という）のシミュレーション解析では、地震応答解析のモデル化を既工認手法に基づく解析モデルから詳細化することにより、解析結果と観測記録との整合性が向上する。ここで、構築したシミュレーション解析モデルが、本震以外の地震観測記録によるシミュレーション解析でも同様に再現性のある結果が得られるかを検討する。検討は7号炉原子炉建屋を代表として実施する。

2. 検討に用いる観測記録及び地震応答解析モデル

検討に用いる地震動としては、2007年7月16日15時37分頃に発生した新潟県中越沖地震の最大余震（以下、「最大余震」という）とする。諸元を表-1に示す。地震計の設置位置を図-1に示す。7号炉原子炉建屋基礎版上（7-R2：T.M.S.L.-8.2m）で得られた観測記録を図-2に示す。

最大余震によるシミュレーション解析は基礎版上で取得された観測記録を入力として、動的解析を実施し、地震計が設置された中間階（7R-1：T.M.S.L.）の応答が再現できるかを確認する。なお、シミュレーション解析手法は参考資料-1と同様の手法とし、解析モデルとしては、表-1に示す通り既工認手法に基づく解析モデルとシミュレーション解析モデル（参考資料-1で示した本震のシミュレーション解析と同一のモデル）を用いるものとする。

表-1 新潟県中越沖地震の最大余震の諸元

発生日時	2007年7月16日 午後3時37分頃
マグニチュード	5.8
震源深さ(km)	11

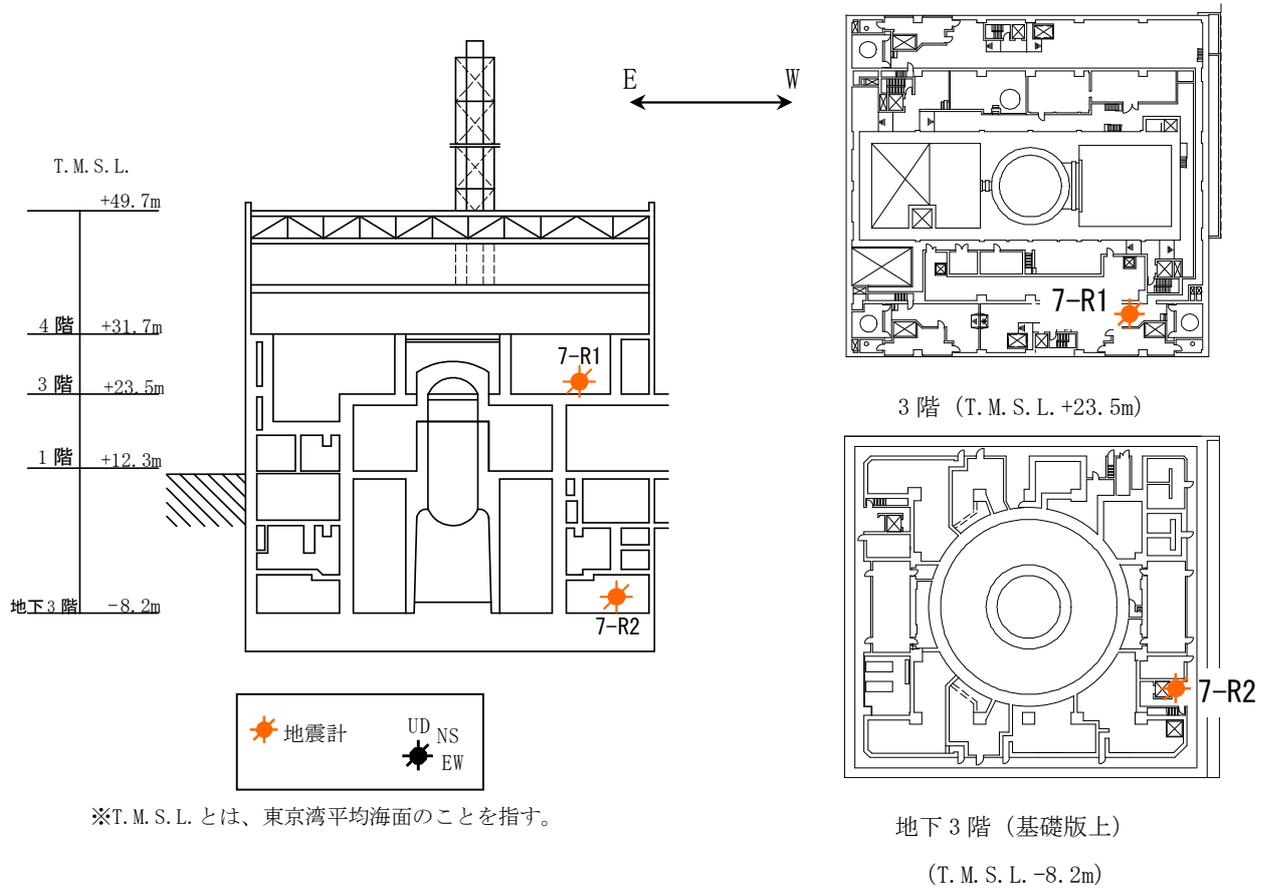
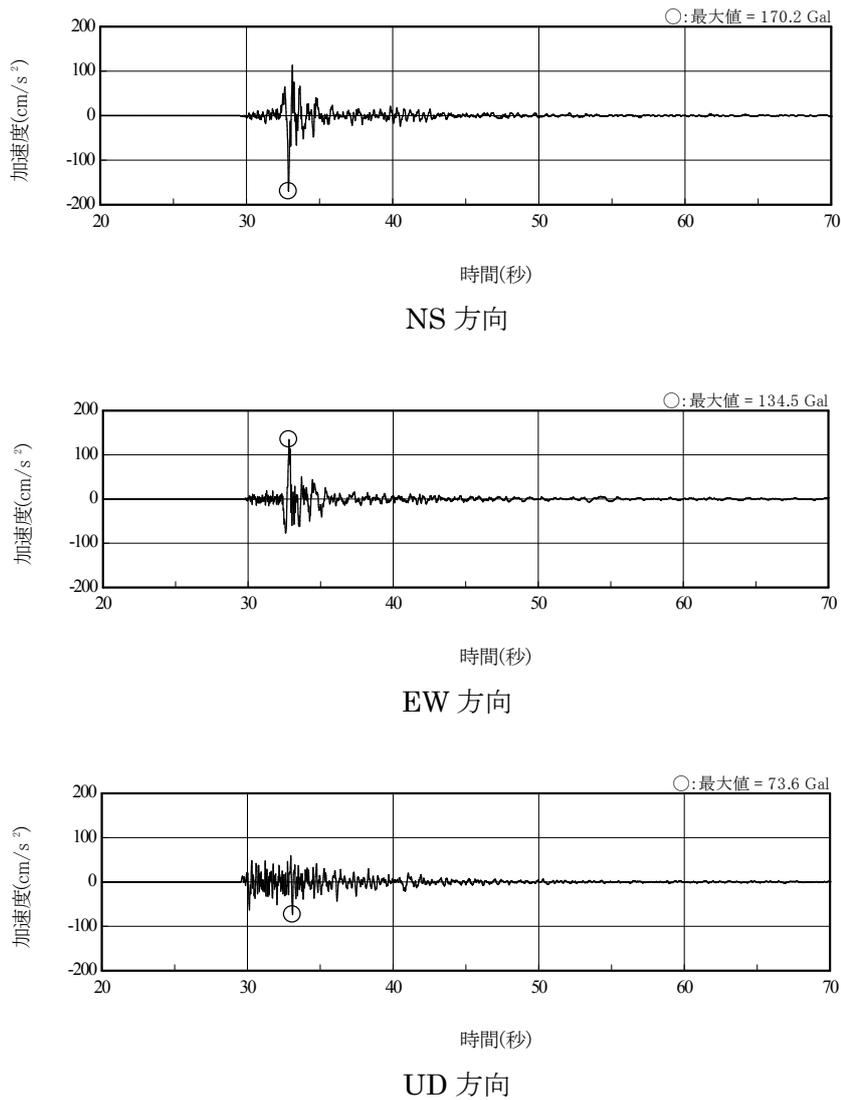


図-1 7号炉原子炉建屋 地震計設置位置



(主要動を含む 50 秒間を記載)

図-2 地震観測記録 (7R-1)

表-2 パラメータスタディケース

ケース	建屋諸元		地盤諸元
	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
既工認手法	設計基準強度に基づく	耐震壁	水平
シミュレーション解析モデル	実剛性*	耐震壁+補助壁	水平・回転

※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元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 ($F_c=500\text{kg/cm}^2$ 、詳細は別紙-1 参照) に基づく剛性を使用している。なお、工認計算では、別紙-1 で検討した通り、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 ($F_c=440\text{kg/cm}^2$) をコンクリート実強度として剛性を算定する予定である。

3. 解析結果

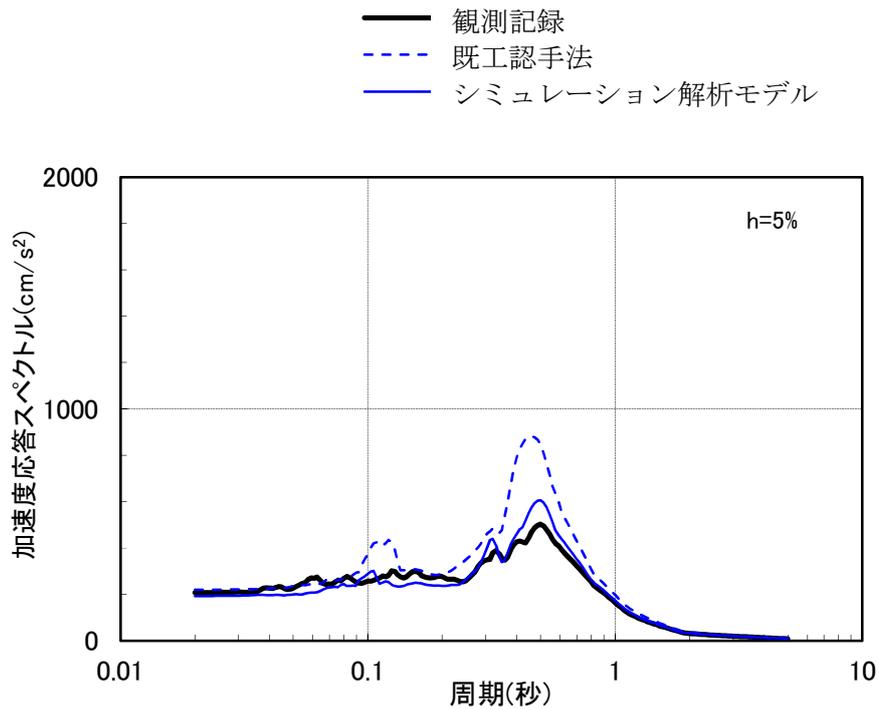
解析結果を図-3, 4に示す。加速度応答スペクトルについては、シミュレーション解析モデルの方が設計時モデルよりも観測記録との整合性が向上していることが確認出来る。また、最大応答加速度分布についても同様にシミュレーション解析モデルの方が既工認手法よりも観測記録との整合性が向上していることが確認出来る。これらは、参考資料-1で示した本震のシミュレーション解析結果でも概ね同様の傾向である。

4. まとめ

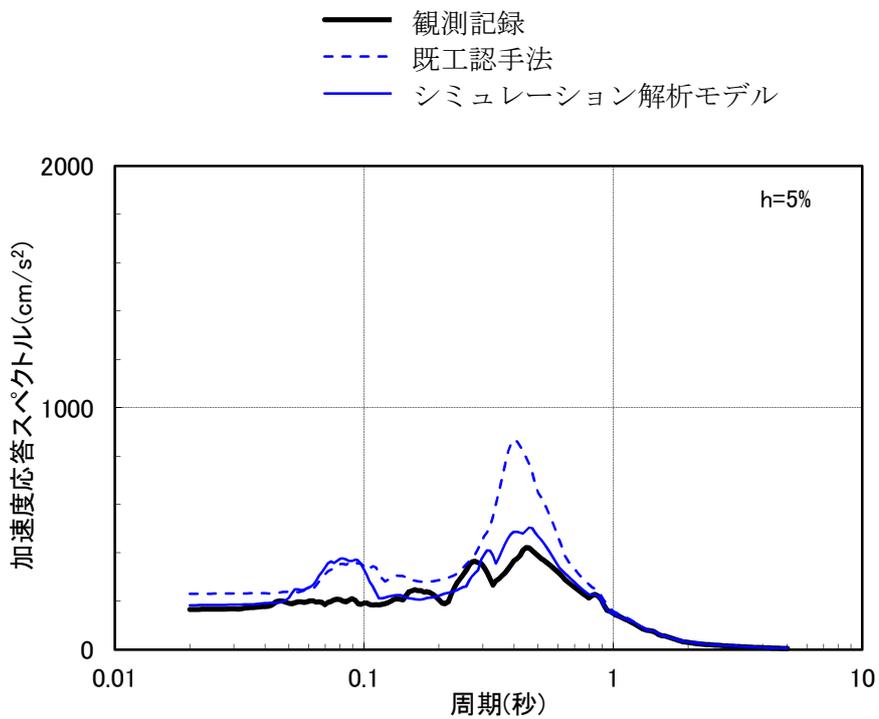
本検討では、既工認手法による解析モデルと本震のシミュレーション解析モデルを用いて、最大余震によるシミュレーション解析を実施した。

その結果、シミュレーション解析モデルの方が既工認手法による解析モデルよりも観測記録との整合度が向上することを確認した。

以上より、本震の観測記録によるシミュレーション解析でチューニングした項目を反映することにより、本震以外の地震でも記録の再現性が向上することを確認した。

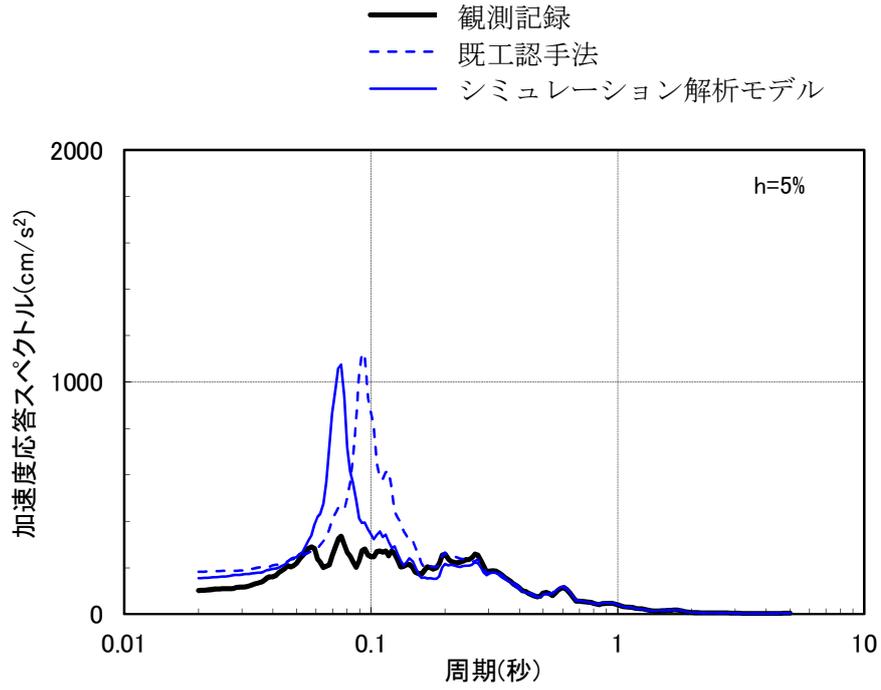


(1) NS 方向



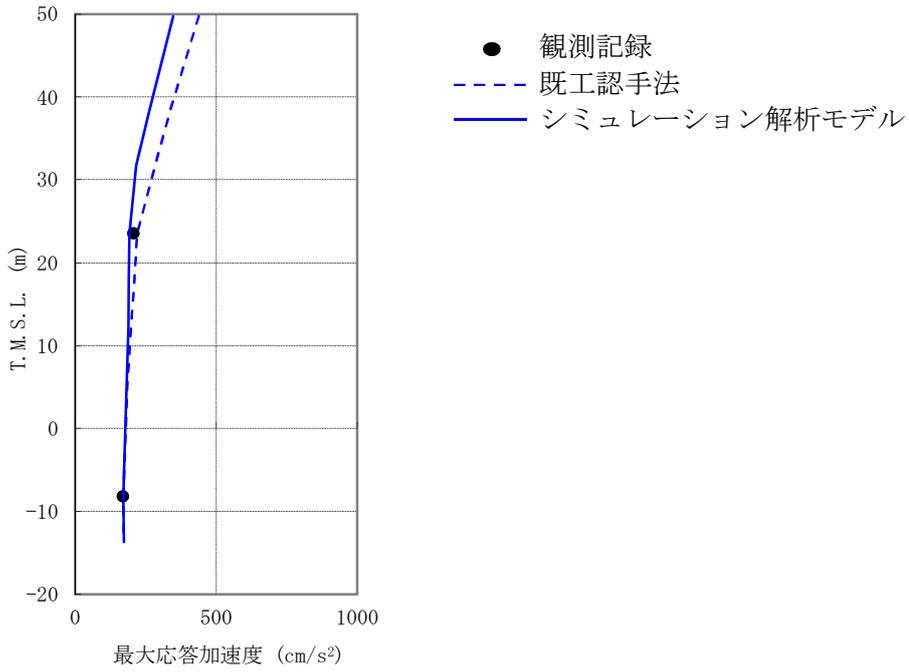
(2) EW 方向

図-3(a) 加速度応答スペクトルの比較 (T.M.S.L.+23.5m)

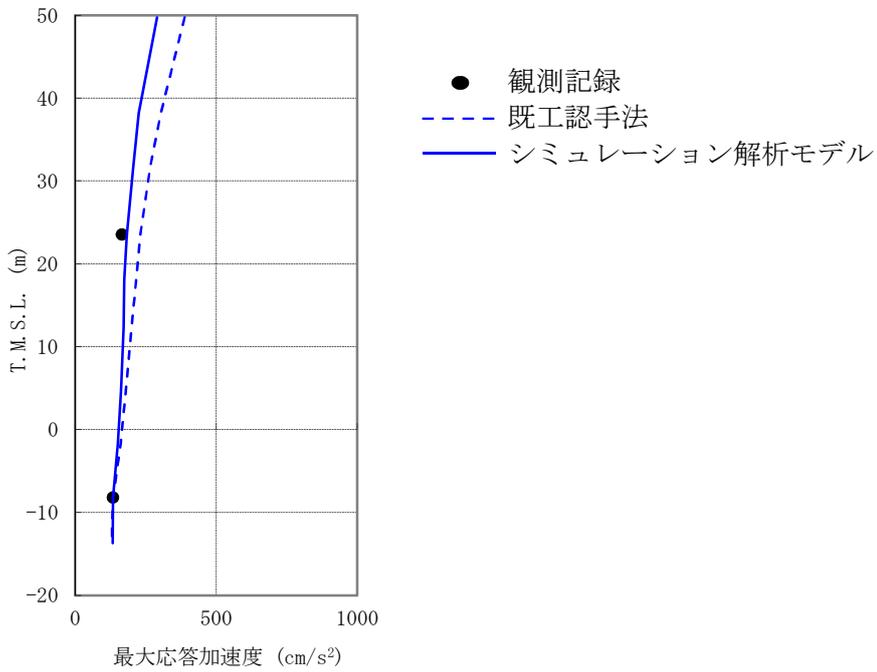


(3) 鉛直方向

図-3(b) 加速度応答スペクトルの比較 (T.M.S.L.+23.5m)

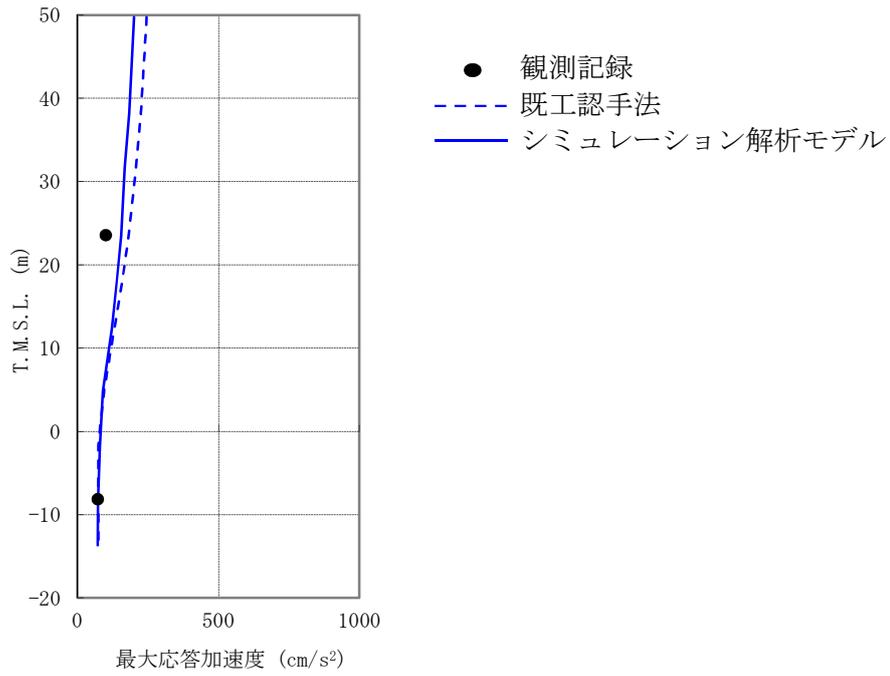


(1) NS 方向



(2) EW 方向

図-4(a) 最大応答加速度の比較



(3) 鉛直方向

図-4(b) 最大応答加速度の比較

参考資料-6 表層地盤ばねの取扱いについて

1. はじめに

既工認時には地盤表層部（新期砂層）についても地盤ばねとして考慮していたが、今回工認で採用予定の解析モデルでは、基準地震動による地盤応答レベルを踏まえ、表層部では地盤－建屋相互作用が見込めないと判断し、この部分の地盤ばねを考慮しないこととしている。本資料はその妥当性を説明するものである。

2. 検討概要

柏崎刈羽原子力発電所 6, 7 号炉では、検討に用いる地震動を用いた次元波動論による等価線形解析によって、地盤内各層の加速度、有効歪みを求めている。

本検討では、6/7 号炉原子炉建屋の地盤モデルを対象として、基準地震動 Ss-1 による等価線形解析を実施し、表層部（新期砂層）の応答（剛性低下率、有効歪み）を確認することにより、この部分の地盤－建屋相互作用が有効かどうかを確認する。

3. 地盤の等価線形解析結果

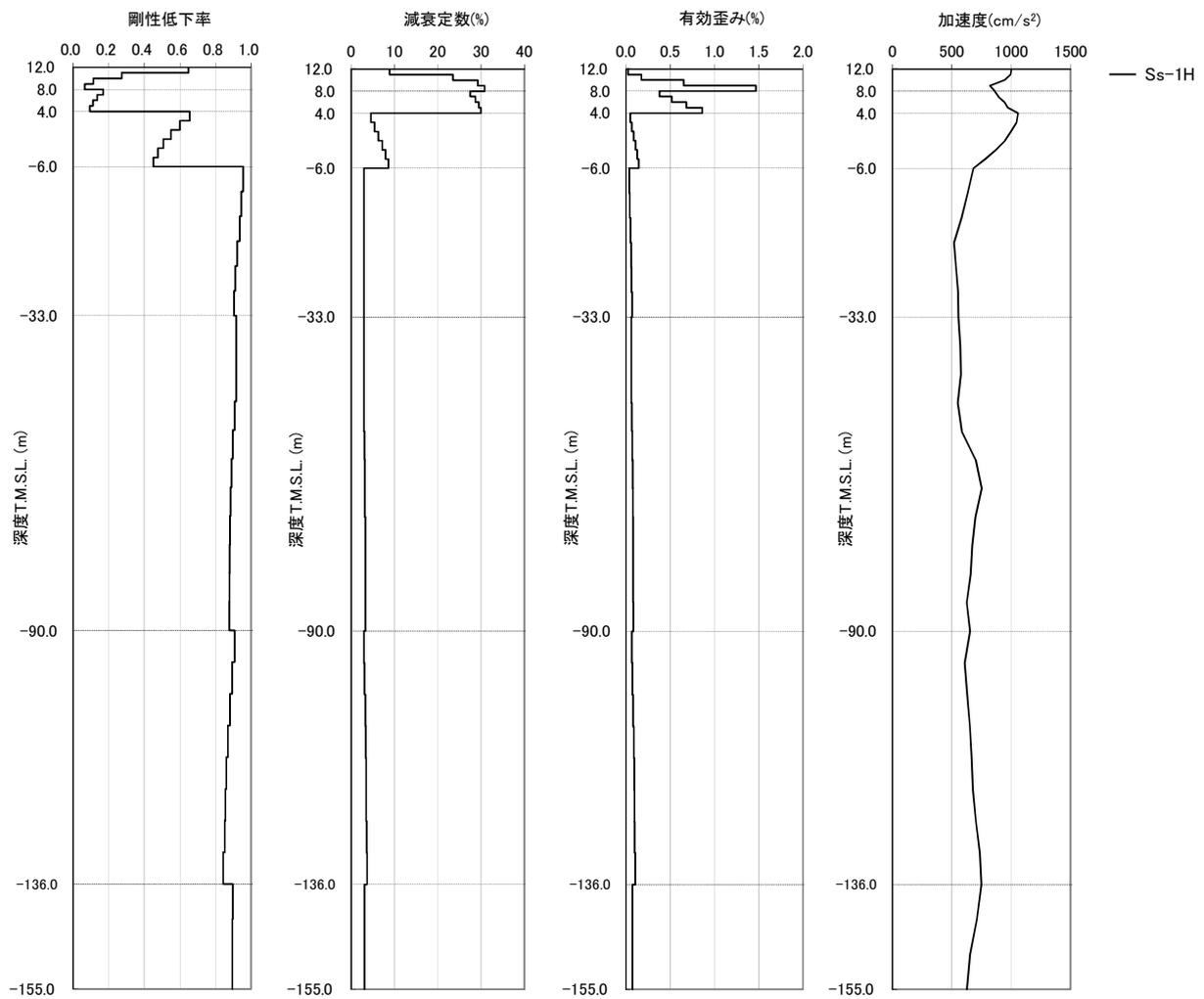
基準地震動 Ss-1 に対する地盤の等価線形解析結果を図 1-1 に示す。

表層部（新期砂層，T.M.S.L.4.0m～12.0m）において、急激に剛性が低下しており、有効歪みについても大きくなっている（剛性低下率（ G/G_0 ）は最小で 0.1 程度、有効歪みは最大で 1%程度）。

従って、当該層における建屋－地盤連成効果は見込めず、建屋応答評価上、この部分の地盤ばねは評価しないことが適切であると考えられる。

4. まとめ

以上より、原子炉建屋の耐震設計に用いる地震応答解析モデルにおいて、表層部の地盤ばねを無視することは妥当であると考えられる。



※T.M.S.L. 4.0m~12.0m が表層部に該当。

図 1-1 地盤の等価線形解析結果 (Ss-1)

地震応答解析モデルにおける
補助壁の評価方法について

目次

1. 概要	1
2. 補助壁の選定	2
2.1 補助壁の選定方針	2
2.2 補助壁の選定結果	4
3. 地震応答解析で用いるスケルトンカーブへの補助壁の反映方針	6
3.1 せん断スケルトンカーブ	6
3.2 曲げスケルトンカーブ	7
4. 設計手法としての妥当性	8
5. まとめ	8

添付資料-1 補助壁の選定結果（6号炉原子炉建屋）

添付資料-2 補助壁の選定結果（7号炉原子炉建屋）

添付資料-3 せん断スケルトンカーブにおける耐震壁と補助壁の合算方法

参考資料-1 補助壁の維持管理について

1. 概要

柏崎刈羽原子力発電所 6/7 号炉の補正工認（以下、「今回工認」という）においては、地震応答解析モデルで考慮する建屋剛性に、設計時には耐震要素として考慮できなかったが、実際には耐震壁として考慮可能であると考えられる壁を補助壁として、その分の剛性を考慮する予定である。

本資料は、柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉の既工認（以下、「既工認」という）で考慮した耐震壁と今回工認で新たに考慮する補助壁の扱いの差異及び耐震性評価における考え方について整理し、その上で耐震要素として補助壁を考慮することの設計手法としての妥当性を判断する。

2. 補助壁の選定

2.1 補助壁の選定方針

既設建屋の地震応答解析の実施にあたっては、より実現象に近い応答を模擬するという観点から、設計時には考慮されていなかったが実際は耐震要素として考慮可能な壁を補助壁として位置づけ、地震応答解析モデルに取り込むこととした。

補助壁の選定基準の設定にあたっては、先行審査を含む既工認で適用実績のある規準である、日本建築学会：「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（2005）」（以下、RC-N 規準という）を参考にした。RC-N 規準 19 条「耐震壁の断面算定」には、耐震壁の壁厚、せん断補強筋比等に関する規定として「算定外の規定」が示されており、今回工認の補助壁の選定条件を設定するにあたり、「算定外の規定」の記載を踏まえ、表 2-1 に示す選定条件を設定することとした。表 2-1 を踏まえた具体的な選定プロセスを、図 2-1 にフロー図として示す。

表 2-1 補助壁の選定条件

項目	RC-N 規準 (算定外の規定)	補助壁の選定条件	【参考】耐震壁の選定条件 (既工認)
壁厚・内法高さ	・壁の厚さは 200mm 以上, かつ壁の内法高さの 1/30 以上	・壁の厚さは 300mm 以上, かつ壁の内法高さの 1/30 以上	同左
せん断補強筋比	・壁のせん断補強筋比は, 直交する各方向に関し, それぞれ 0.25%以上	同左	・壁のせん断補強筋比は, 直交する各方向に関し, それぞれ 0.6% 以上
壁筋	・複筋配置 ・D13 以上の異形鉄筋を用い, 壁の見付面に関する間隔は 300mm 以下	同左	同左
その他条件		・下階まで壁が連続している, もしくは床スラブを介して壁に生じるせん断力を下階の耐震壁に伝達できる壁	・基礎スラブから連続して立ち上がっている壁
		・フレーム構面外でも上記を満たす壁	・フレーム構面内 (柱, 梁間) の壁

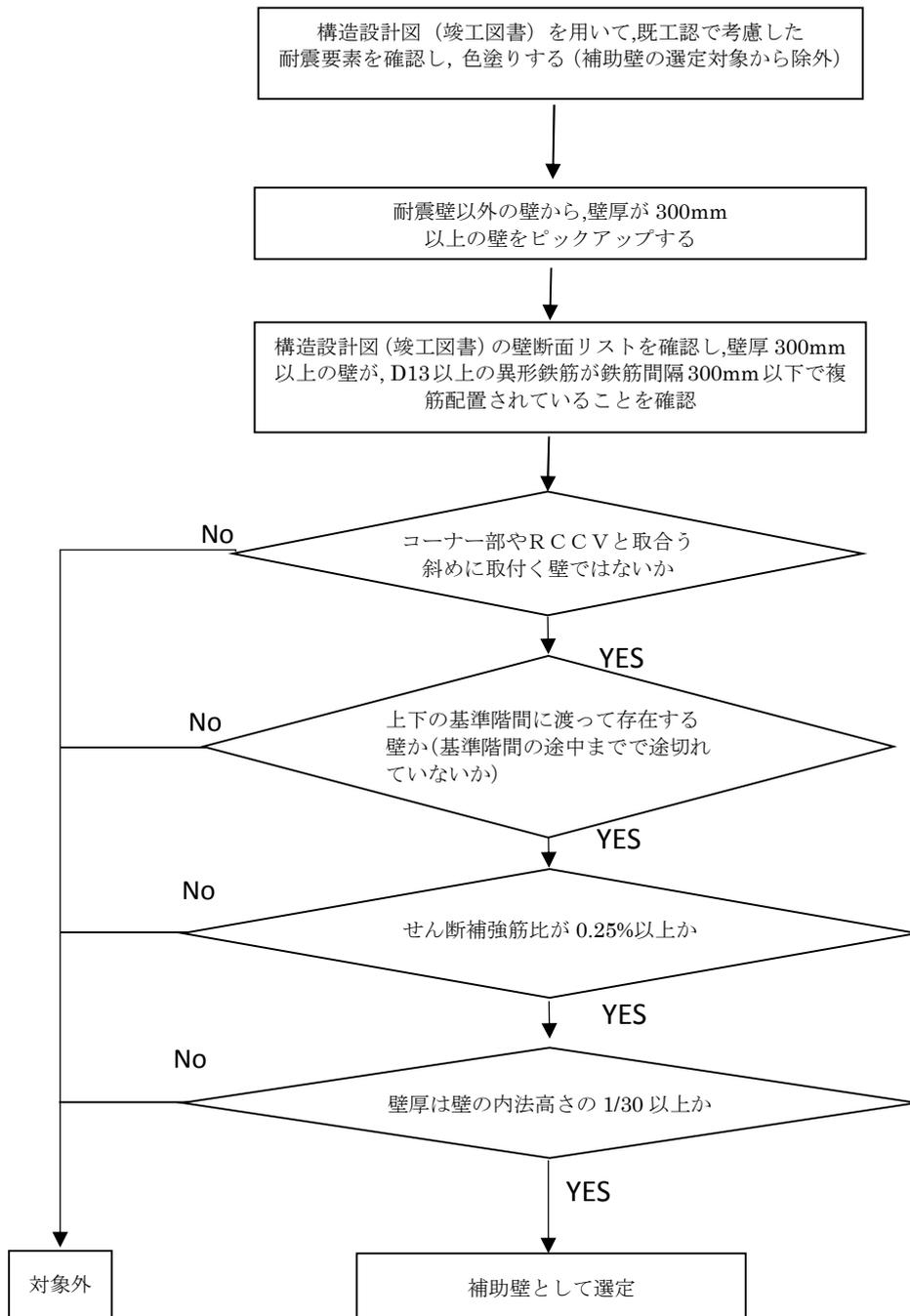


図 2-1 補助壁の選定プロセス

2.2 補助壁の選定結果

表 2-1 で示した考え方に基づき、耐震要素として考慮する補助壁の選定を実施した。

新たに補助壁として剛性を考慮した壁の断面積と耐震壁として従来より考慮していた分の断面積について整理した結果を、6号炉原子炉建屋を表 2-2 に、7号炉原子炉建屋を表 2-3 示す。(耐震壁+補助壁)/耐震壁の比率は約 1.1~1.7 程度であり、数字が大きくなっている部分は燃料プールや蒸気乾燥器・気水分離器ピットの壁を補助壁として算定したことに起因している。考慮した補助壁の範囲(概要図)については添付資料-1 及び添付資料-2 に示す。

表 2-2 補助壁の評価結果 (6号炉原子炉建屋) ※1

T.M.S.L. (m)	階	耐震壁		補助壁		耐震壁+補助壁		比率 (今回工認/既工認)	
		NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向
		m ²							
49.7	屋上階	41.0	54.7	0.0	0.0	41.0	54.7	1.00	1.00
38.2	クレーン階	82.4	122.6	0.0	0.0	82.4	122.6	1.00	1.00
31.7	4階	231.3	273.2	70.7	137.3	302.0	410.5	1.31	1.50
23.5	3階	213.6	209.4	22.1	146.4	235.7	355.8	1.10	1.70
18.1	2階	220.3	231.7	86.2	85.0	306.5	316.7	1.39	1.37
12.3	1階	260.8	274.7	52.4	40.9	313.2	315.6	1.20	1.15
4.8	地下1階	280.8	288.2	40.5	106.6	321.3	394.8	1.14	1.37
-1.7	地下2階	336.3	340.1	64.9	78.7	401.2	418.8	1.19	1.23
-8.2	地下3階								

※1：表に示した数値は暫定値であり、今後の審査における議論を踏まえ適宜見直す。

表 2-3 補助壁の評価結果（7号炉原子炉建屋）※2

T.M.S.L. (m)	階	耐震壁		補助壁		耐震壁+補助壁		比率 (今回工認/既工認)	
		NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向
		m ²							
49.7	屋上階	41.0	54.7	0.0	0.0	41.0	54.7	1.00	1.00
38.2	クレーン階	83.0	122.9	0.0	0.0	83.0	122.9	1.00	1.00
31.7	4 階	231.8	267.7	75.7	124.0	307.5	391.7	1.33	1.46
23.5	3 階	214.5	207.3	31.0	147.3	245.5	354.6	1.14	1.71
18.1	2 階	215.8	228.9	71.2	145.2	287.0	374.1	1.33	1.63
12.3	1 階	261.9	275.8	57.7	55.7	319.6	331.5	1.22	1.20
4.8	地下 1 階	281.9	288.2	34.1	103.3	315.7	391.5	1.12	1.36
-1.7	地下 2 階	337.2	343.6	72.7	80.3	409.9	423.9	1.22	1.23
-8.2	地下 3 階								

※2: 表に示した数値は暫定値であり、今後の審査における議論を踏まえ適宜見直す。

3. 地震応答解析で用いるスケルトンカーブへの補助壁の反映方針

地震応答解析で用いるスケルトンカーブへの補助壁の反映方針を以下で説明する。

3.1 せん断スケルトンカーブ

鉄筋コンクリート造耐震壁のせん断スケルトンカーブは、JEAG4601-1991 追補版の評価法を基本とするが、補助壁については、JEAG4601-1991 追補版で評価される第1折れ点で降伏する、完全弾塑性型のスケルトンカーブとして評価する方針とする。終局点を与えるせん断ひずみについては JEAG4601-1991 追補版の記載による値を採用する方針としている。耐震壁及び補助壁のせん断に関するスケルトンカーブの概念図を図 3-1 に示す。

補助壁のせん断スケルトンカーブを完全弾塑性型とした理由は、以下の点を踏まえた上で、保守的な評価とするためである。

- JEAG4601-1991 追補版におけるせん断スケルトンカーブの終局点の評価法は BOX 壁、円筒壁、I型壁の実験結果に基づいており、直交壁が存在しない壁の場合は、直交する壁の効果を見込まないような終局点の評価方法を適用する必要があると考えられるが、補助壁については、直交壁が存在しない場合も多いことから、JEAG4601-1991 追補版の終局点の評価法を採用すると過剰にせん断応力の負担を期待するようなスケルトンカーブとなる場合があること。
- 補助壁の鉄筋比は耐震壁と比べて小さい場合が多く、鉄筋によるせん断力の負担が生じる第一折れ点以降のせん断応力の負担については補助壁分の寄与が小さいと考えられることから、第一折れ点まで補助壁の効果を考慮することにより、補助壁による効果を踏まえた応答性状になると考えられること。

また、実際の地震応答解析は、複数の耐震壁と補助壁のスケルトンカーブを軸毎に集約した合算後のスケルトンカーブを用いて解析を実施している。スケルトンカーブの集約方法の詳細を添付資料-3 に示す

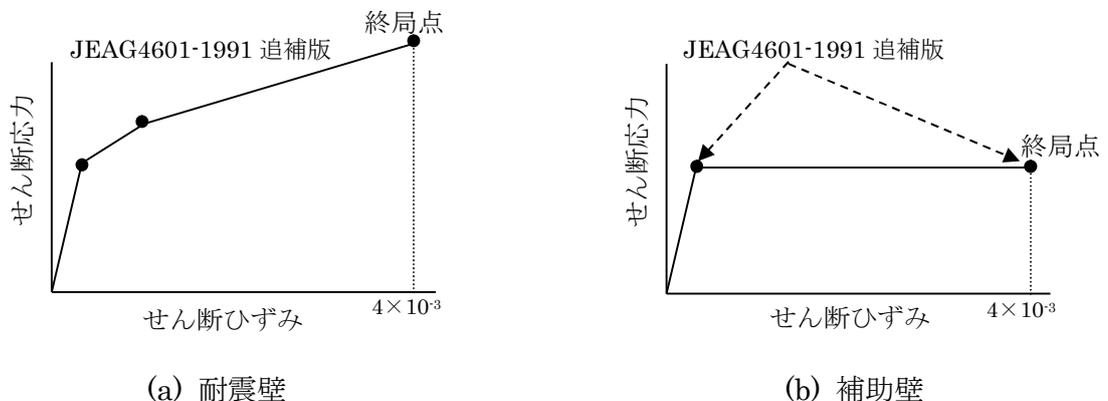


図 3-1 せん断に関するスケルトンカーブの概念図

3.2 曲げスケルトンカーブ

鉄筋コンクリート造耐震壁の曲げスケルトンカーブは、せん断スケルトンカーブと同様に JEAG4601-1991 追補版の評価法を基本とするが、補助壁については、その影響を無視する方針である。

曲げスケルトンカーブの算定時に補助壁の影響を無視することとしたのは、以下の点を踏まえた上で、保守的な評価とするためである。

- ・補助壁として新たに考慮した壁のうち、燃料プール、蒸気乾燥器・気水分離器ピットの壁については、EW 方向の解析モデルの曲げ剛性への影響は大きいと考えられるため、建屋質点系モデルにおける建屋質点間を繋ぐ回転ばねとして既工認時より考慮済みであること(図 3-2 参照)。
- ・その他の補助壁については、既工認で耐震壁として考慮した外壁部やフレーム部を構成するような大スパンの連続的な壁ではなく、短スパンの壁であり、建屋全体の曲げ剛性に与える影響は小さいと判断されることから、その影響を無視しても応答性状に与える影響は小さいと考えられること。

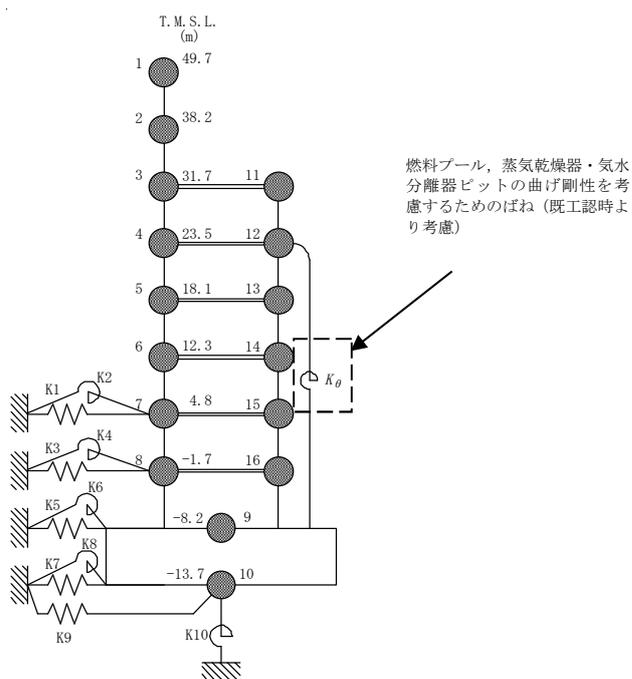


図 3-2 今回工認で採用予定の原子炉建屋の地震応答解析モデル (EW 方向)

4. 設計手法としての妥当性

今回工認で新たに耐震要素として考慮する補助壁は、RC-N 規準における耐震壁の規定を踏まえて設定した選定基準に基づき選定されていることから、耐震要素として十分に考慮可能であると考えられる。

また、地震応答解析で用いる解析モデルへの反映方針としては、JEAG4601-1991 追補版におけるスケルトン評価法のベースとなった実験の内容や耐震壁と補助壁の違い（鉄筋比、直交壁の有無）を踏まえ、補助壁のせん断スケルトンカーブとしては第1折れ点で降伏する完全弾塑性型とし、曲げスケルトンとしては補助壁の剛性を無視する保守的な設定としている。

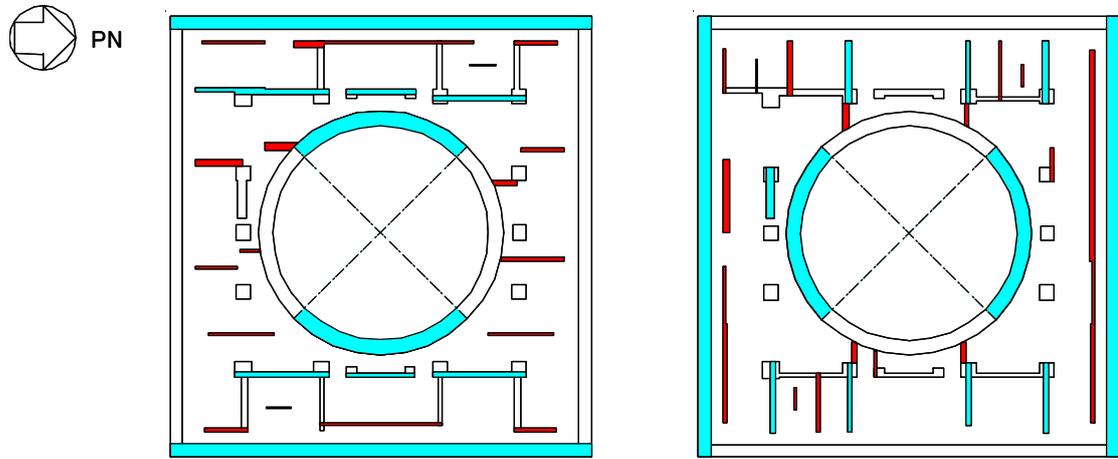
以上のことから、補助壁を耐震要素として新たに考慮することは、設計手法として妥当であると判断した。

5. まとめ

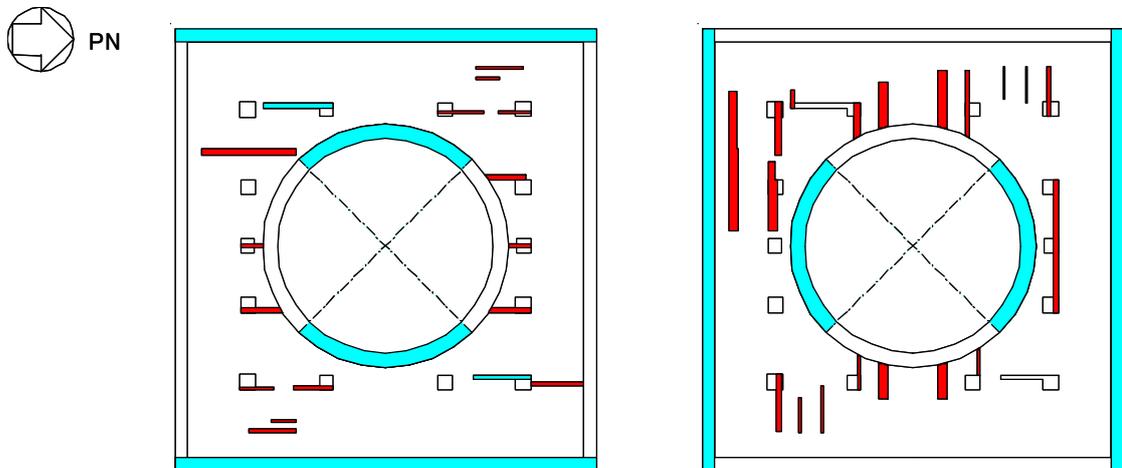
今回工認では、より実現に近い応答を模擬するという観点から新たに耐震要素として取り入れる補助壁について、選定の考え方と選定結果について整理した。また、耐震評価の考え方についても整理した。その上で今回工認において耐震要素として、補助壁を考慮することが設計手法として妥当であると判断した。

添付資料-1 補助壁の選定結果（6号炉原子炉建屋）

6号炉原子炉建屋の地震応答解析時に耐震壁及び補助壁として剛性を評価する範囲（概要図）を以下に示す。



B3F(T.M.S.L.-8.2m~T.M.S.L.-1.7m)



NS方向

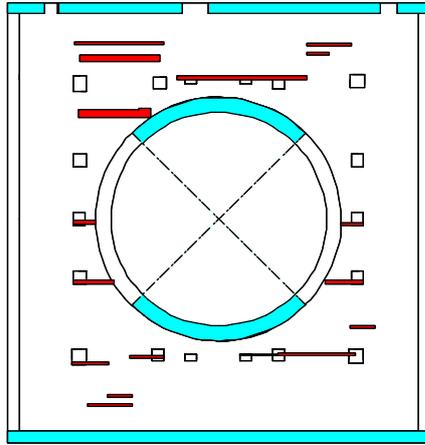
EW方向

B2F(T.M.S.L.-1.7m~T.M.S.L.+4.8m)

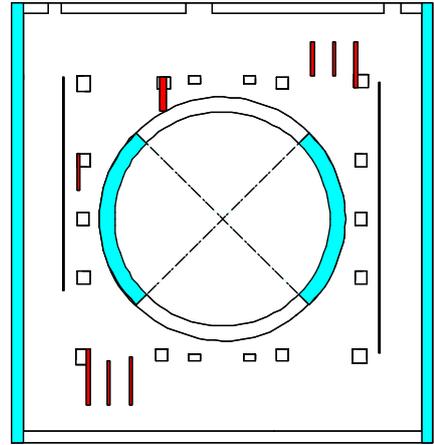
 : 耐震壁として剛性を評価する範囲
(既工認と同じ)

 : 補助壁として剛性を評価する範囲

添図 1-1 耐震壁と補助壁の考慮範囲

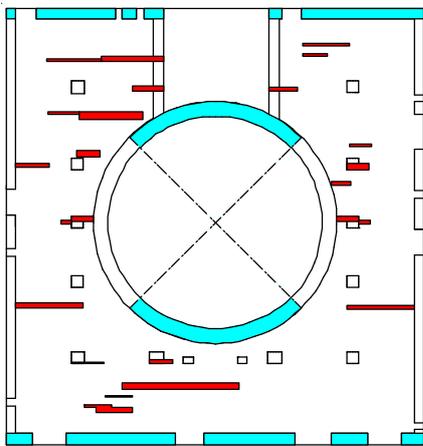


NS方向

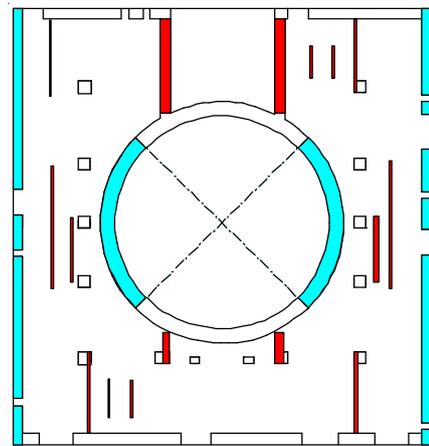


EW方向

B1F(T.M.S.L.+4.8m~T.M.S.L.+12.3m)



NS方向

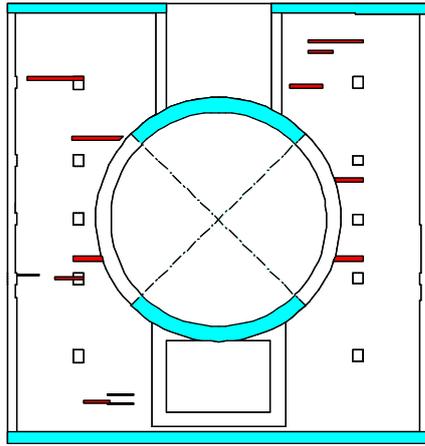


EW方向

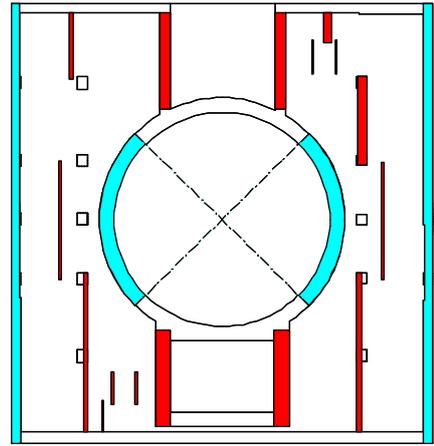
1F(T.M.S.L. +12.3m~T.M.S.L.+ 18.1m)

-  :耐震壁として剛性を評価する範囲
(既工認と同じ)
-  :補助壁として剛性を評価する範囲

添図 1-2 耐震壁と補助壁の考慮範囲

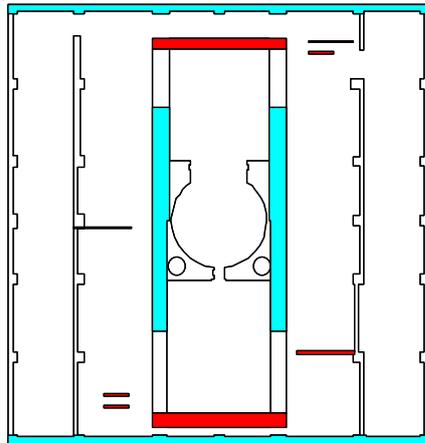


NS方向

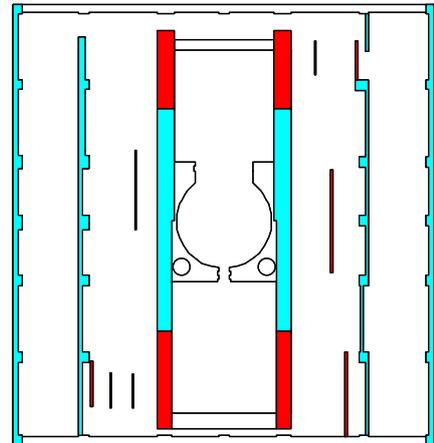


EW方向

2F(T.M.S.L.+18.1m~T.M.S.L.+23.5m)



NS方向

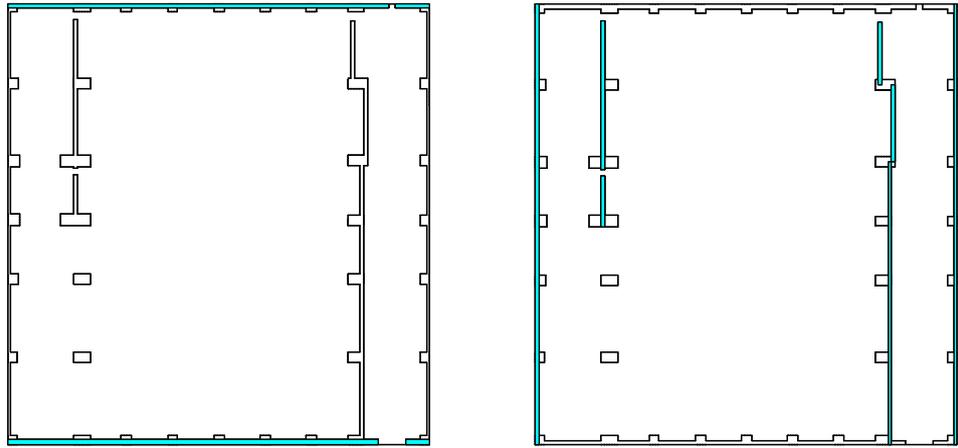


EW方向

3F(T.M.S.L. +23.5m~T.M.S.L.+31.7m)

-  : 耐震壁として剛性を評価する範囲
(既工認と同じ)
-  : 補助壁として剛性を評価する範囲

添図 1-3 耐震壁と補助壁の考慮範囲

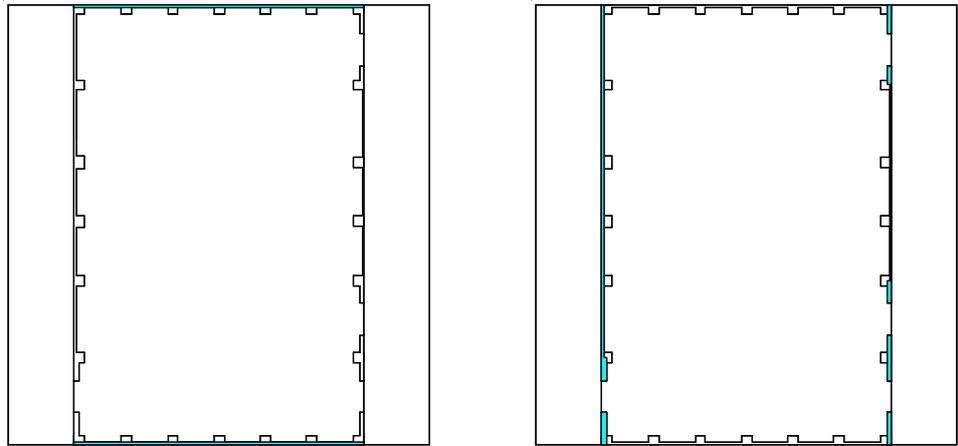


補助壁該当なし

NS方向

EW方向

4F(T.M.S.L.+31.7m~T.M.S.L.+38.2m)



補助壁該当なし

NS方向

EW方向

CRF(T.M.S.L.+38.2m~T.M.S.L.+49.7m)

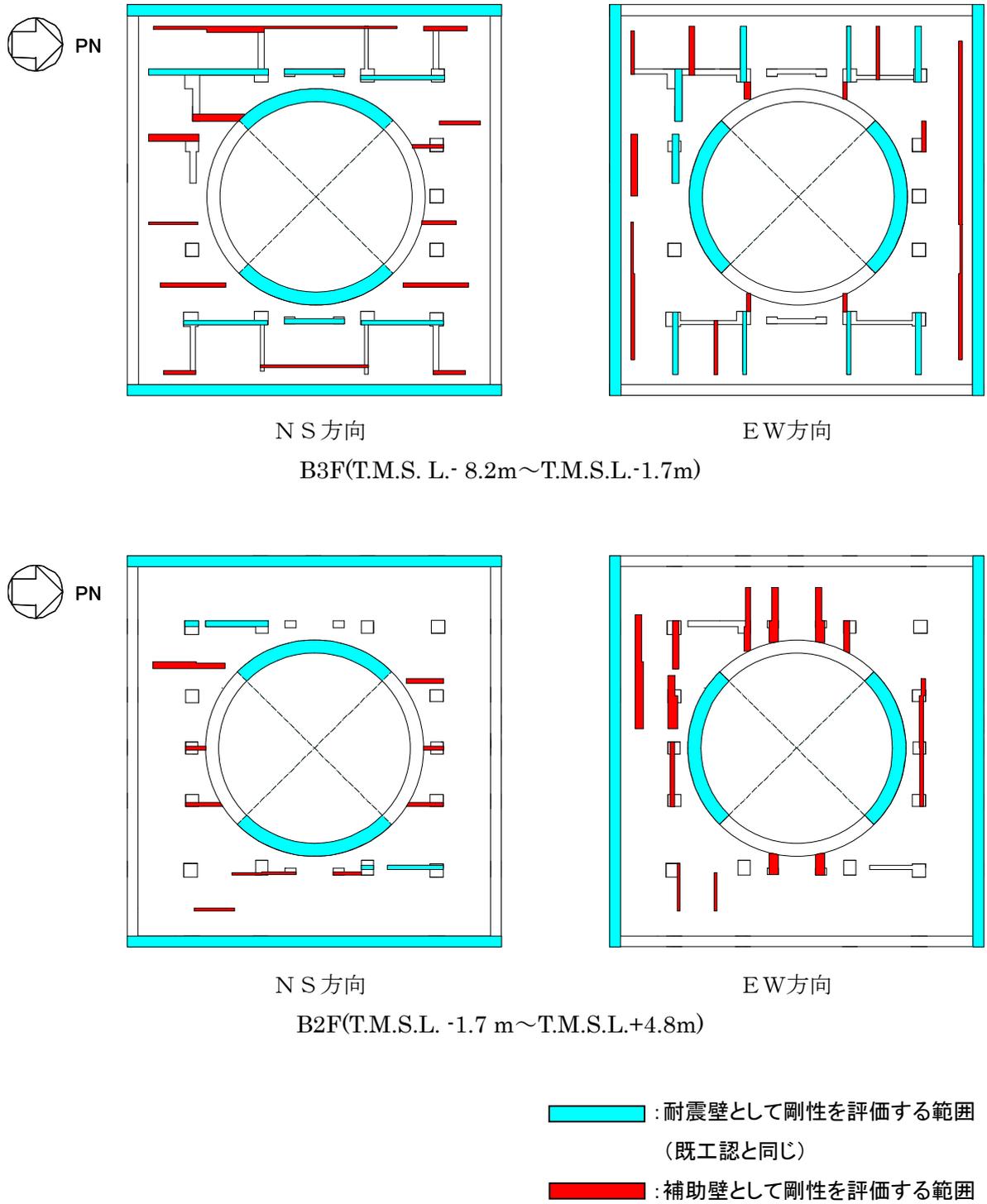
: 耐震壁として剛性を評価する範囲

(既工認と同じ)

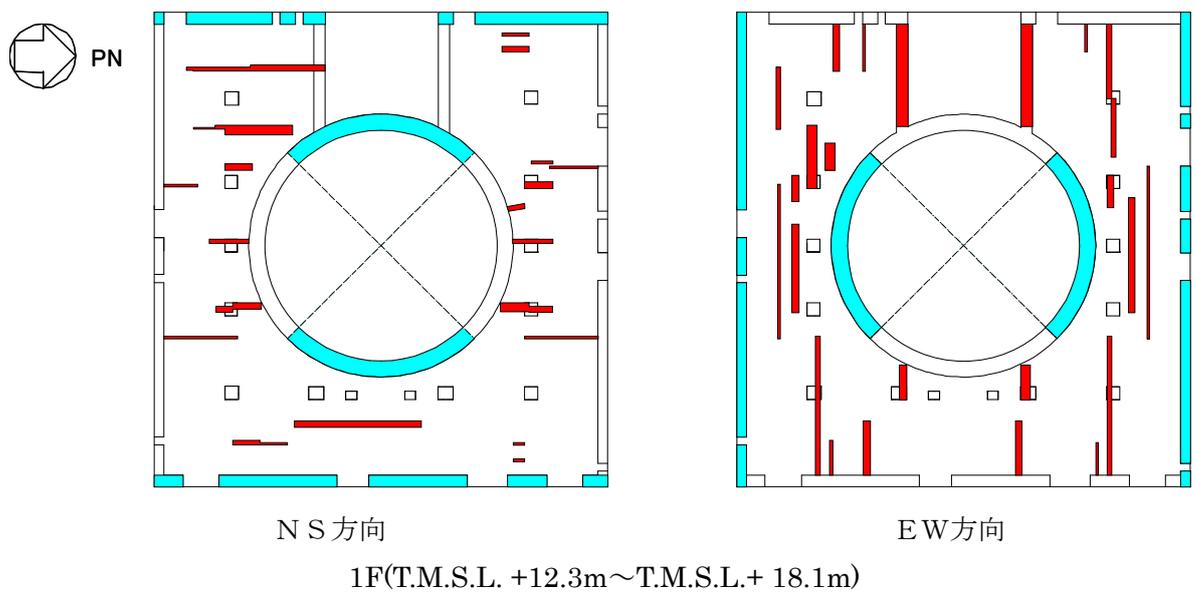
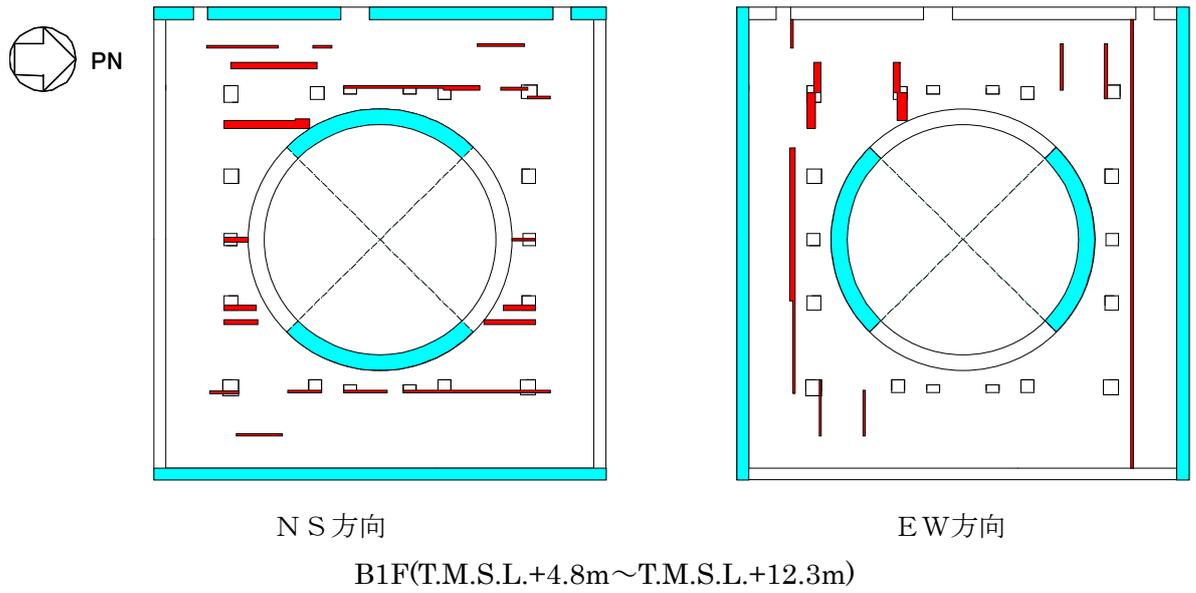
添図 1-4 耐震壁と補助壁の考慮範囲

添付資料-2 補助壁の選定結果（7号炉原子炉建屋）

7号炉原子炉建屋の地震応答解析時に耐震壁及び補助壁として剛性を評価する範囲（概要図）を以下に示す。

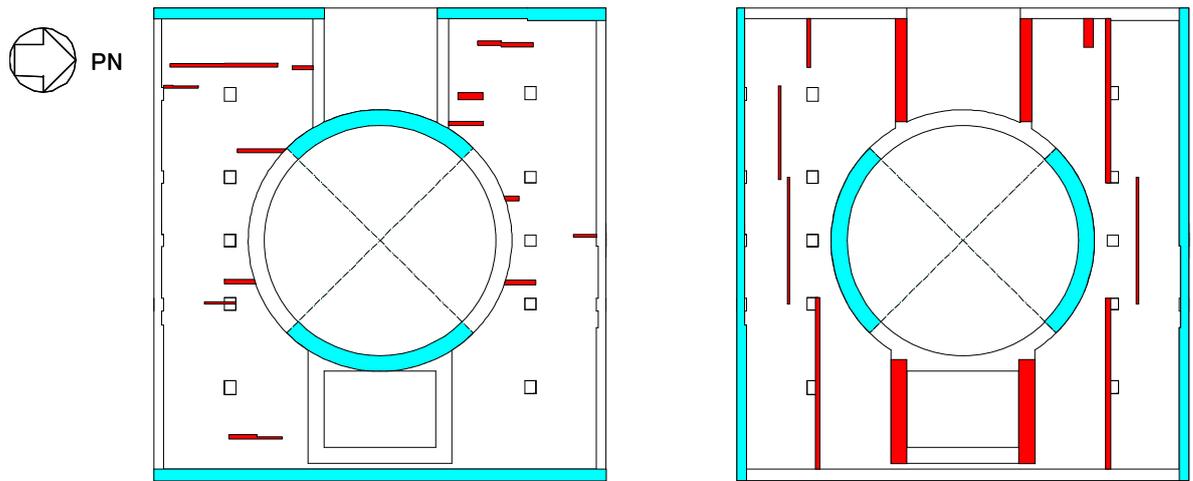


添図 2-1 耐震壁と補助壁の考慮範囲



- : 耐震壁として剛性を評価する範囲
(既工認と同じ)
- : 補助壁として剛性を評価する範囲

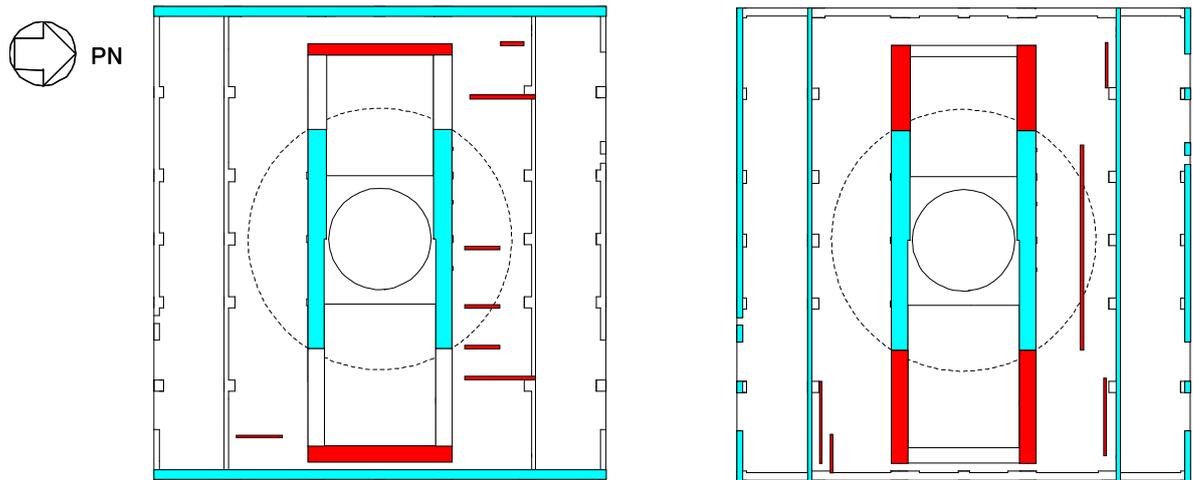
添図 2-2 耐震壁と補助壁の考慮範囲



NS方向

EW方向

2F(T.M.S.L.+18.1m~T.M.S.L.+23.5m)



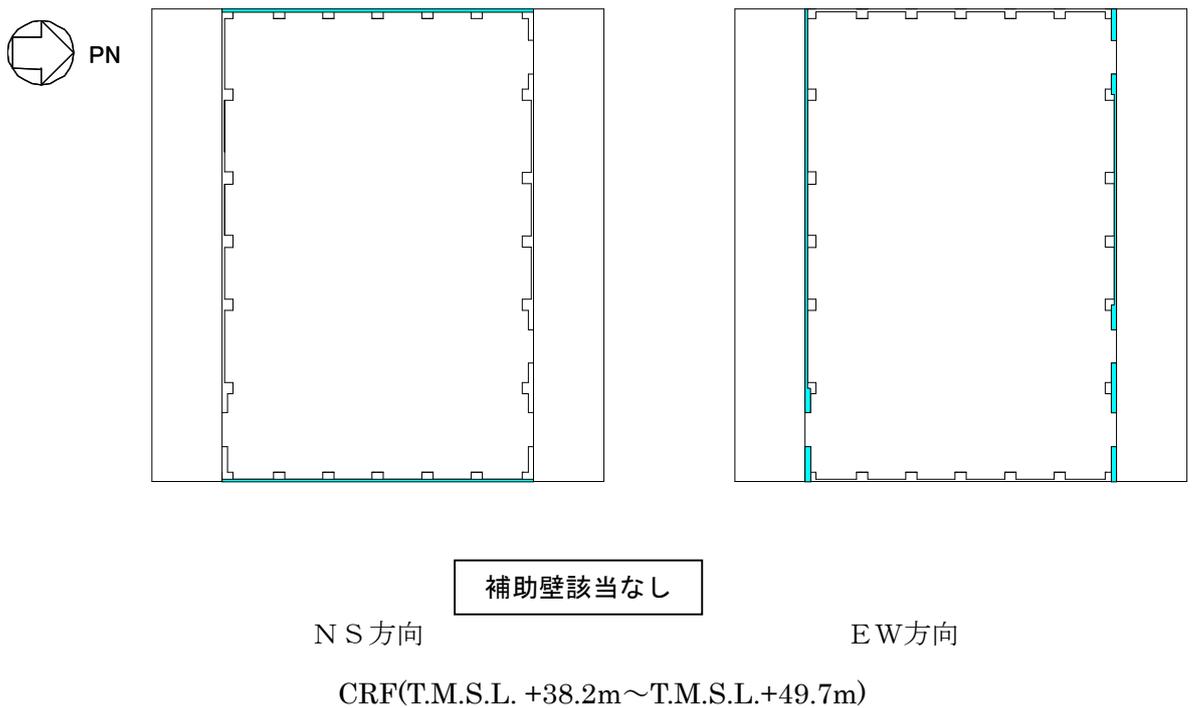
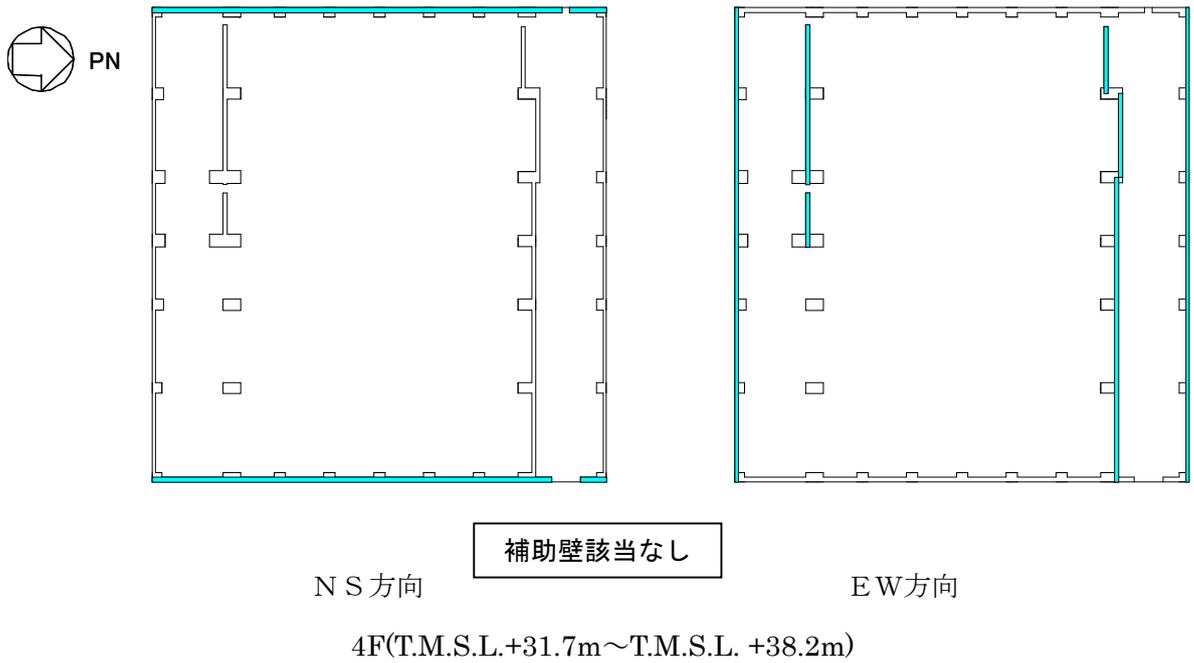
NS方向

EW方向

3F(T.M.S.L. +23.5m~T.M.S.L.+31.7m)

- : 耐震壁として剛性を評価する範囲
(既工認と同じ)
- : 補助壁として剛性を評価する範囲

添図 2-3 耐震壁と補助壁の考慮範囲



 : 耐震壁として剛性を評価する範囲
(既工認と同じ)

添図 2-4 耐震壁と補助壁の考慮範囲

添付資料-3 せん断スケルトンカーブにおける耐震壁と補助壁の合算方法

原子炉建屋の地震応答解析モデルにおけるせん断スケルトンカーブは、耐震壁と補助壁を合算評価して設定している。耐震壁と補助壁を評価する場合のスケルトンカーブの算定フローを添図 3-1 に示す。

算定フローに基づき算定した結果として、7号炉原子炉建屋のNS方向B3F（最下階）の外壁軸における計算例を添表 3-1 に示す。

また、算定フローに基づき設定した地震応答解析モデルに用いるせん断スケルトンカーブについて、7号炉原子炉建屋のNS方向を例として、添図 3-2～9 に示す。

① 耐震壁のスケルトンの算定

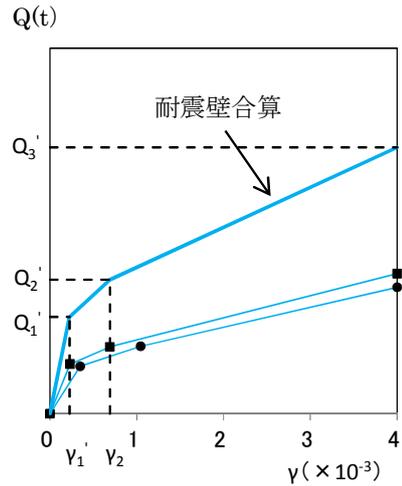
耐震壁については、せん断スケルトンカーブを JEAG4601-1991 追補版の評価法に従い算定する。

ここで、コンクリート強度は、実強度 (440kg/cm²) とする。

複数壁の合算方法は以下とする。

- Q_1' : 各壁 q_1' の和
- γ_1' : $Q_1' / G \cdot$ (耐震壁 A_s の和)
- Q_2' : 各壁 q_2' の和
- γ_2 : 各壁 γ_2 の最小値
- Q_3' : 各壁 q_3' の和
- γ_3 : 4.0×10^{-3}

ここで、 q_i : 個々の耐震壁のせん断力
 G : せん断弾性係数

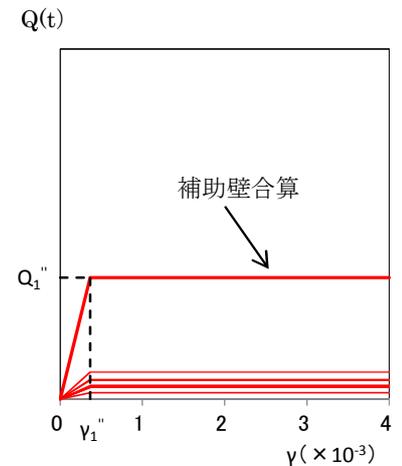


② 補助壁のスケルトンの算定

補助壁については、JEAG4601-1991 追補版で評価される第1折点まで耐力を有すると仮定して、完全弾塑性型のスケルトンカーブとする。

複数壁の合算方法は以下とする。

- Q_1'' : 各壁 q_1'' の和 (Q_2'', Q_3'' も同じ)
 - γ_1'' : $Q_1'' / G \cdot$ (補助壁 A_s の和)
- ここで、 q_i : 個々の補助壁のせん断力

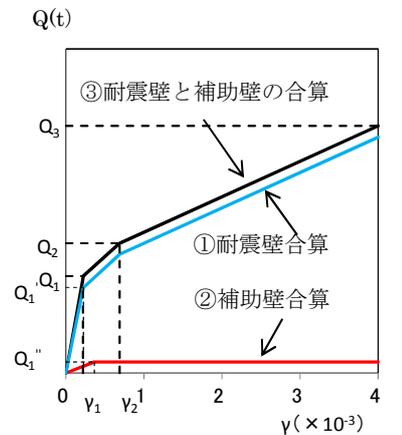


③ 地震応答解析モデルのためのスケルトンの設定 (1軸への集約方法)

①耐震壁と②補助壁を合算して、1軸に集約したスケルトンカーブを設定する。

合算方法は以下とする。

- Q_1 : 耐震壁 Q_1' と補助壁 Q_1'' の和
- γ_1 : $Q_1 / G \cdot$ (耐震壁 A_s + 補助壁 A_s の和)
- Q_2 : 耐震壁 Q_2' と補助壁 Q_2'' の和
- γ_2 : 耐震壁 γ_2 の最小値
- Q_3 : 耐震壁 Q_3' と補助壁 Q_3'' の和
- γ_3 : 4.0×10^{-3}

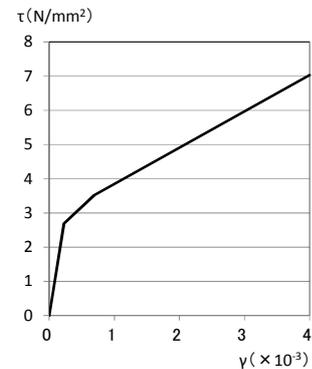


④ 地震応答解析モデルのためのスケルトンの設定 (Q-γ 曲線から τ-γ 曲線へ変換、SI 単位系に換算)

③で得られた Q-γ 曲線を τ-γ 曲線に変換する。

変換方法は以下とする。

- τ_1 : $Q_1 /$ (耐震壁 A_s + 補助壁 A_s の和)
- τ_2 : $Q_2 /$ (耐震壁 A_s + 補助壁 A_s の和)
- τ_3 : $Q_3 /$ (耐震壁 A_s + 補助壁 A_s の和)



添図 3-1 スケルトンカーブの算定フロー

添表 3-1 せん断スケルトンカーブ算定例（原子炉建屋 NS方向，地下3階 外壁軸）

① 耐震壁のスケルトンの算定結果

T. M. S. L. (m)	通り	耐震壁As (m ²)	JEAG 第1折点			JEAG 第2折点			JEAG 終局点		
			τ_1 (kg/cm ²)	Q ₁ (t)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (kg/cm ²)	Q ₂ (t)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (kg/cm ²)	Q ₃ (t)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
-8.2~-1.7	kA	96.2	28.09	27023	0.230	37.92	36480	0.691	79.55	76523	4.000
	kG	96.2	28.34	27262	0.232	38.26	36804	0.697	79.76	76730	4.000

耐震壁の合算

T. M. S. L. (m)	部位	耐震壁As (m ²)	Q ₁ (t)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	Q ₂ (t)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	Q ₃ (t)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
-8.2~-1.7	耐震壁	192.4	54285	0.231	73284	0.691	153253	4.000

注 : G = 1.22 $\times 10^5$ kg/cm²

② 補助壁のスケルトンの算定結果

T. M. S. L. (m)	壁NO	補助壁As A(m ²)	JEAG 第1折点		
			τ_1 (kg/cm ²)	Q ₁ (t)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)
-8.2~-1.7	1	3.50	22.27	779	0.183
	2	6.93	22.27	1543	0.183
	3	4.83	22.27	1076	0.183
	4	1.65	22.27	367	0.183
	5	3.06	22.27	681	0.183
	6	3.06	22.27	681	0.183
	7	5.04	22.27	1122	0.183
	8	3.06	22.27	681	0.183

補助壁の合算

T. M. S. L. (m)	部位	補助壁As (m ²)	Q ₁ (t)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)
-8.2~-1.7	補助壁	31.13	6933	0.183

注 : G = 1.22 $\times 10^5$ kg/cm²

③ 地震応答解析モデルのためのスケルトンの設定結果（1軸への集約）

T. M. S. L. (m)	部位	ΣAs (m ²)	第1折点		第2折点		第3折点	
			Q ₁ ^{*1} (t)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	Q ₂ ^{*1} (t)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	Q ₃ ^{*1} (t)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
-8.2~-1.7	外壁軸	223.53	61218	0.224	80217	0.691	160186	4.000

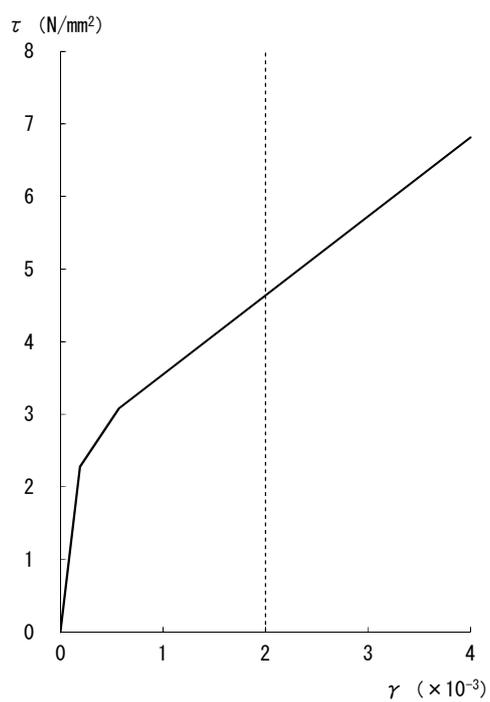
*1 : ①耐震壁と②補助壁の和

④ 地震応答解析モデルのためのスケルトンの設定結果（Q- γ 曲線から τ - γ 曲線へ変換）

T. M. S. L. (m)	部位	ΣAs (m ²)	第1折点		第2折点		第3折点	
			τ_1 ^{*1} (kg/cm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 ^{*1} (kg/cm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 ^{*1} (kg/cm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
-8.2~-1.7	外壁軸	223.53	27.39 (2.686)	0.224	35.89 (3.519)	0.691	71.66 (7.028)	4.000

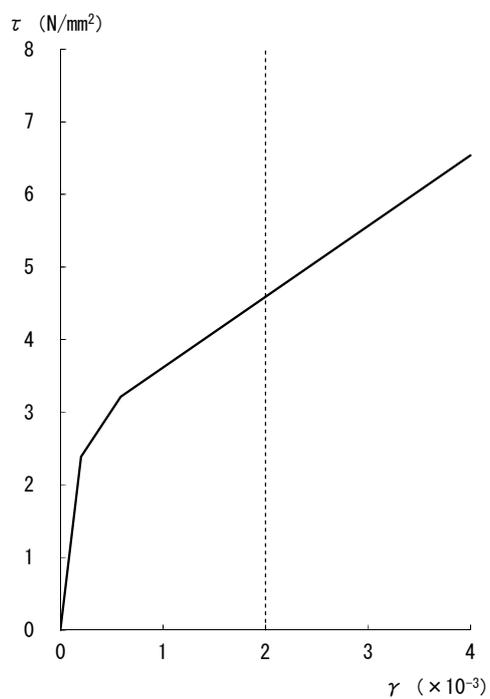
*1 : $\tau_i = Q_i / \Sigma As$ 、()内は、N/mm² (SI単位換算値を示す)

(NS 方向)



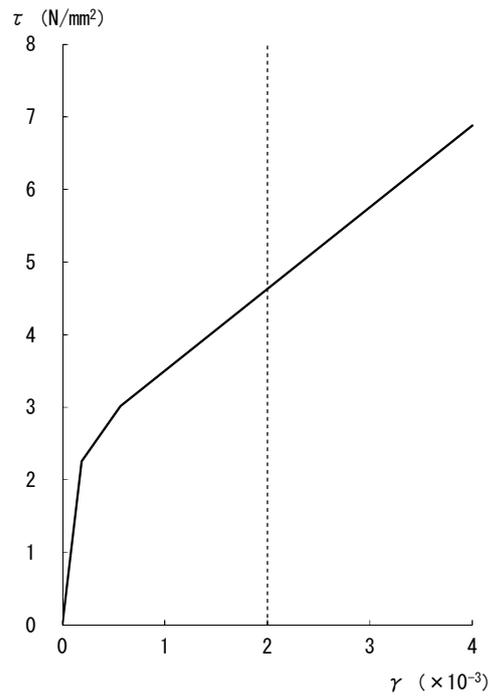
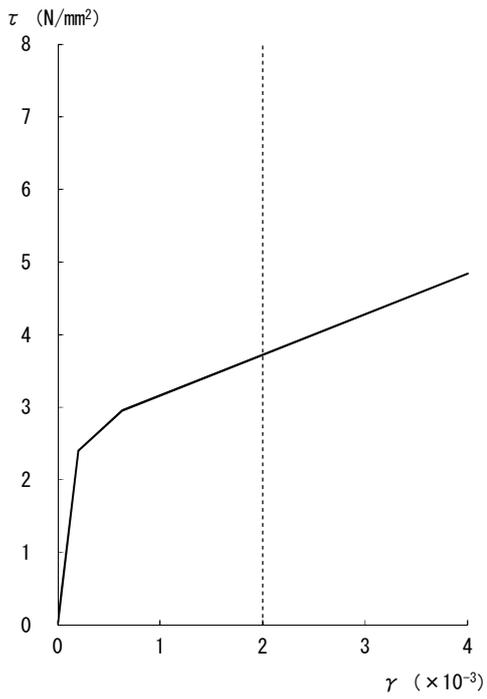
[外壁]

添図 3-2 せん断スケルトンカーブ (NS 方向, CRF)



[外壁]

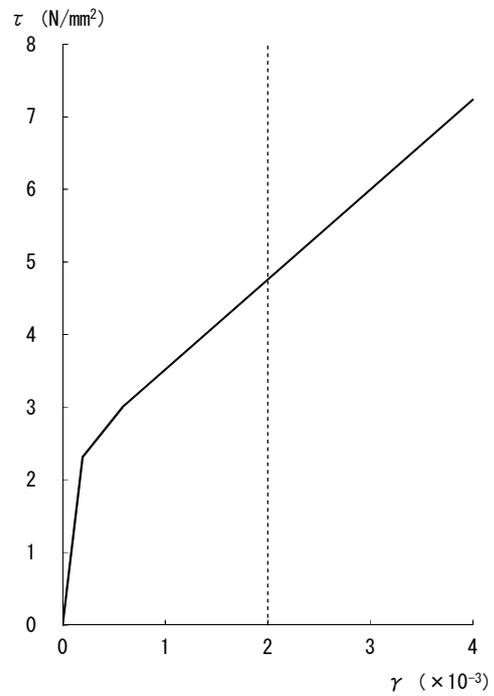
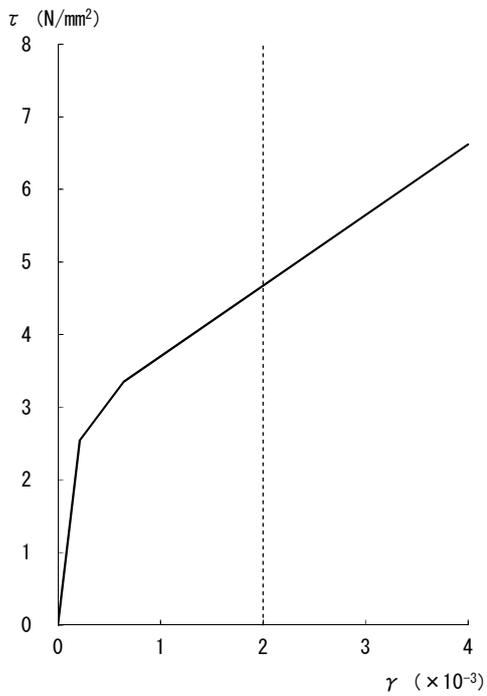
添図 3-3 せん断スケルトンカーブ (NS 方向, 4F)



[外壁]

[RCCV]

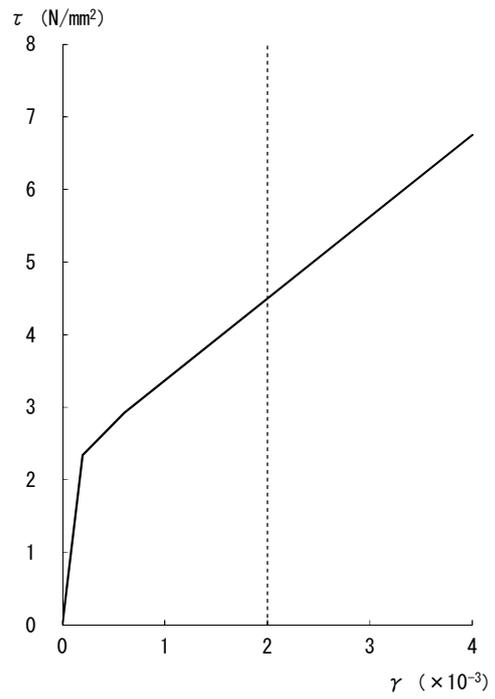
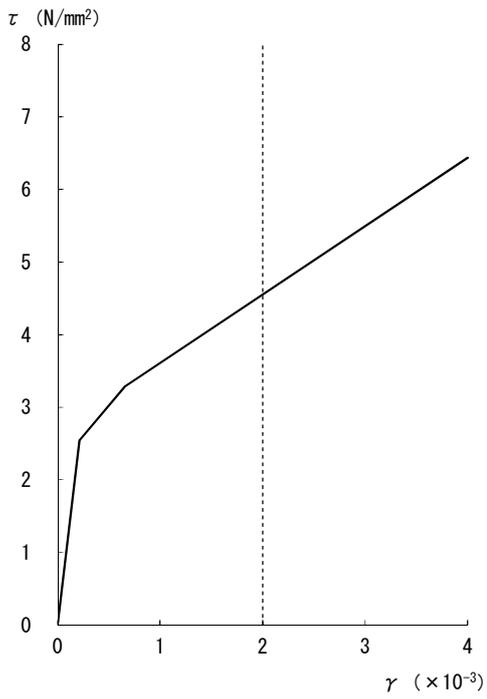
添図 3-4 セン断スケルトンカーブ (NS 方向, 3F)



[外壁]

[RCCV]

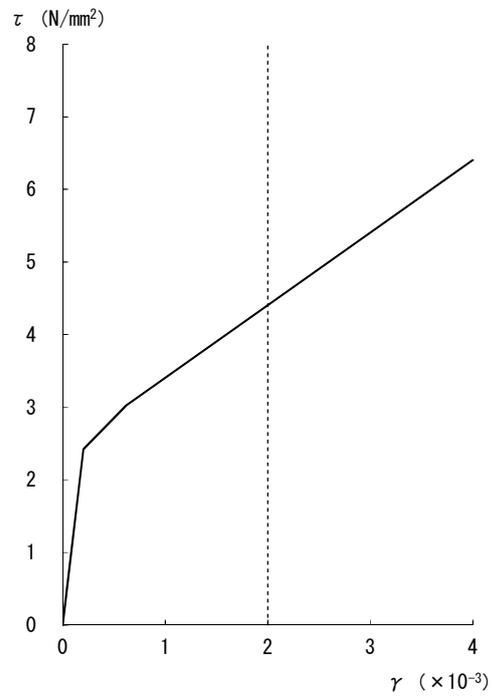
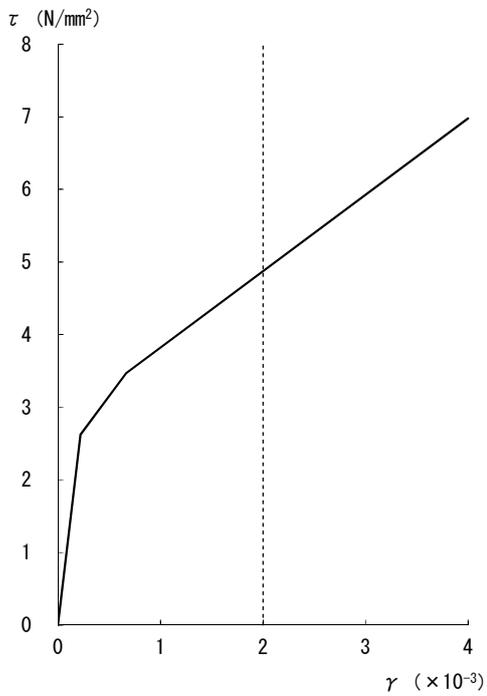
添図 3-5 セン断スケルトンカーブ (NS 方向, 2F)



[外壁]

[RCCV]

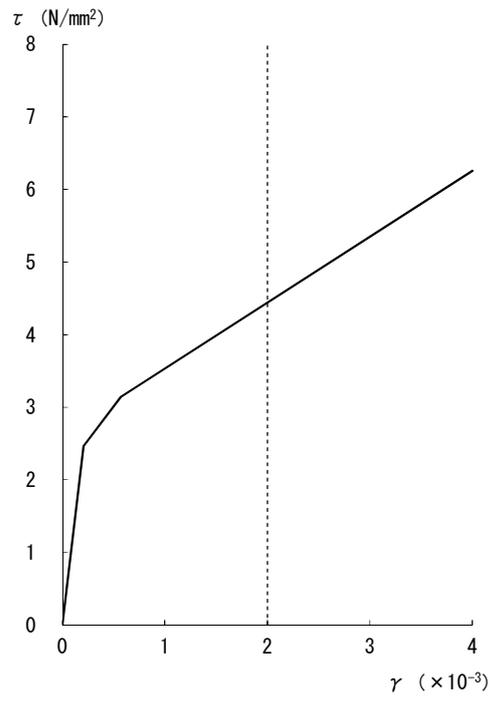
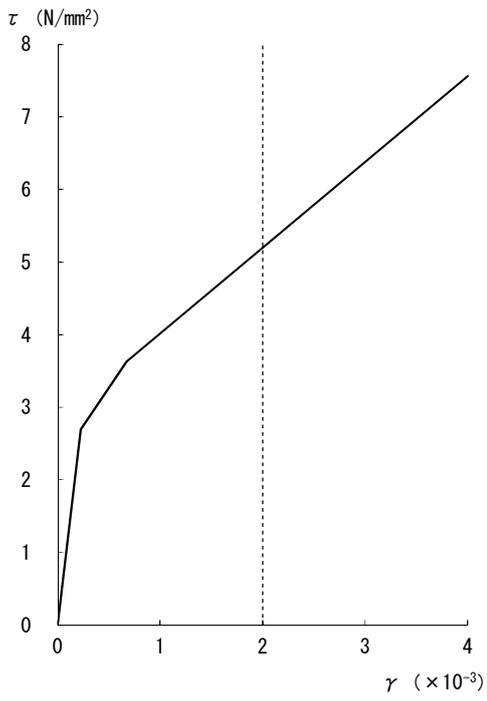
添図 3-6 せん断スケルトンカーブ (NS 方向, 1F)



[外壁]

[RCCV]

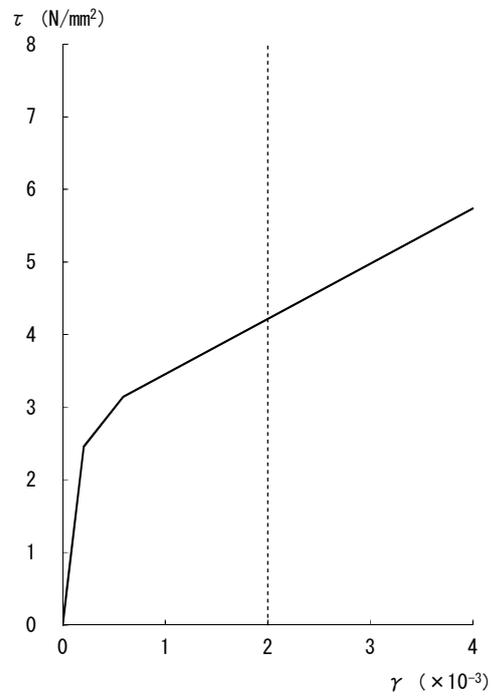
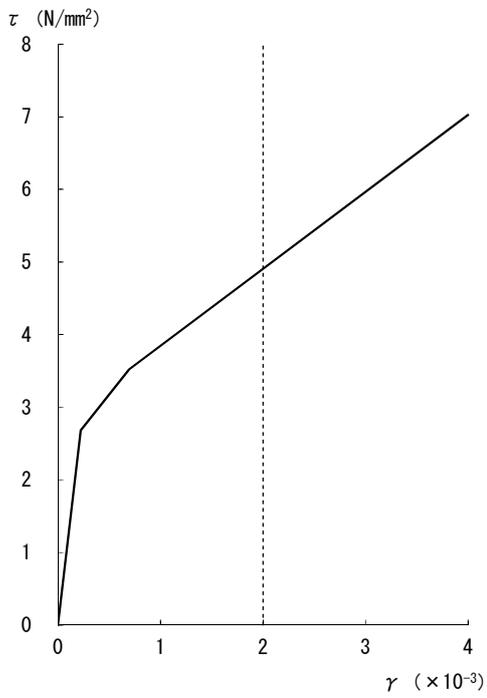
添図 3-7 せん断スケルトンカーブ (NS 方向, B1F)



[外壁]

[RCCV]

添図 3-8 せん断スケルトンカーブ (NS 方向, B2F)



[外壁]

[RCCV]

添図 3-9 せん断スケルトンカーブ (NS 方向, B3F)

参考資料-1 補助壁の維持管理について

柏崎刈羽原子力発電所では、原子炉建屋、タービン建屋、コントロール建屋、廃棄物処理建屋等の鉄筋コンクリート造建物の躯体について、躯体の健全性維持の観点から、社内マニュアル※に基づく定期点検を実施している。点検は建屋躯体全てを対象として実施しているため、今回工認より地震応答解析モデルで新たに考慮する予定の補助壁についても、耐震壁を含む他の壁と同様に、以前より全てが点検の対象となっており、耐震壁と同様の維持管理がなされている。点検項目については、ひび割れ、表面劣化等が設定されており、それぞれの項目について点検周期が設定されている。

以上のように全ての補助壁について、鉄筋コンクリート構造としての要求機能が満たせるように適切な維持管理がなされていることから、耐震要素として補助壁を新たに考慮した場合についてもこれまで同様の維持管理を実施することで特段の支障は生じないものと考えられる。

なお、鉄筋コンクリート構造の壁のうち、生体遮へい装置としての機能が要求される部分については、使用前検査の確認対象となっており、建設時に使用前検査を受検しているが、地震応答解析モデルで考慮している耐震壁のうち、生体遮へい装置の対象となっていない壁は、使用前検査の対象とはなっていない。今回工認で新たに耐震要素として考慮する補助壁についても、耐震壁と同様に使用前検査の対象となっている壁となっていない壁が混在している。

※NE-55-7「原子力発電所建築設備点検マニュアル」