

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	補足-400-1 改3
提出年月日	平成30年6月26日

建物・構築物の地震応答解析についての補足説明資料

補足-400-1【地震応答解析における既工認と今回工認の解析モデル及び手法の比較】

平成30年6月

日本原子力発電株式会社

目次

1. 概要.....	1
2. 地震応答解析モデル及び手法の比較.....	2

別紙 1-1 原子炉建屋の地盤接地状況と埋込みSRモデルの適用性について

別紙 1-2 原子炉建屋の地震応答解析モデルの変更について

別紙 1-3 原子炉建屋の地震応答解析モデルについて

別紙 2-1 使用済燃料乾式貯蔵建屋で用いる有効入力動の適用性について

別紙 2-2 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析モデルの変更について

別紙 2-3 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析モデルについて

別紙 1-3 原子炉建屋の地震応答解析モデルについて

目次

1. 概要.....	1
2. 原子炉建屋の概要.....	2
2.1 建屋概要.....	2
2.2 設置地盤の状況.....	6
3. 地震応答解析モデルに係る影響検討.....	8
3.1 概要.....	8
3.2 原子炉建屋内の地震計設置位置.....	9
3.3 建屋－地盤動的相互作用の評価法について.....	10
3.4 人工岩盤のモデル化について.....	23
3.5 側面回転ばねの扱いについて.....	35
4. シミュレーション解析結果を踏まえた施設影響.....	47
5. まとめ.....	57

1. 概要

原子炉建屋の地震応答解析モデル（以下「R/B 今回工認モデル」という。）は、2011年3月11日東北地方太平洋沖地震（以下「東北地方太平洋沖地震」という。）のシミュレーション解析結果を踏まえて設定している。

本資料は、東北地方太平洋沖地震のシミュレーション解析として実施した基礎底面の人工岩盤のモデル化方法及び側面地盤ばねの扱いについての影響検討結果を説明するものである。

2. 原子炉建屋の概要

2.1 建屋概要

原子炉建屋は、地下2階、地上6階の鉄筋コンクリート造の建物である。

建物の中央部には原子炉格納容器を収納する原子炉棟があり、その周囲に付属棟を配置している。原子炉建屋の概要を図2-1及び図2-2に、使用材料を表2-1に示す。

原子炉棟と付属棟とは同一基礎スラブ上に設置した一体構造であり、原子炉建屋の平面は、地下部分は約67 m×約67 m、地上部分は一部を除き約41 m×約44 mの矩形をしている。基礎底面からの高さは約73 mであり、地上高さは約56 mである。

原子炉建屋の基礎は、平面が約67 m×約67 m、厚さ5 mのべた基礎で、人工岩盤を介して、砂質泥岩である久米層に岩着している。

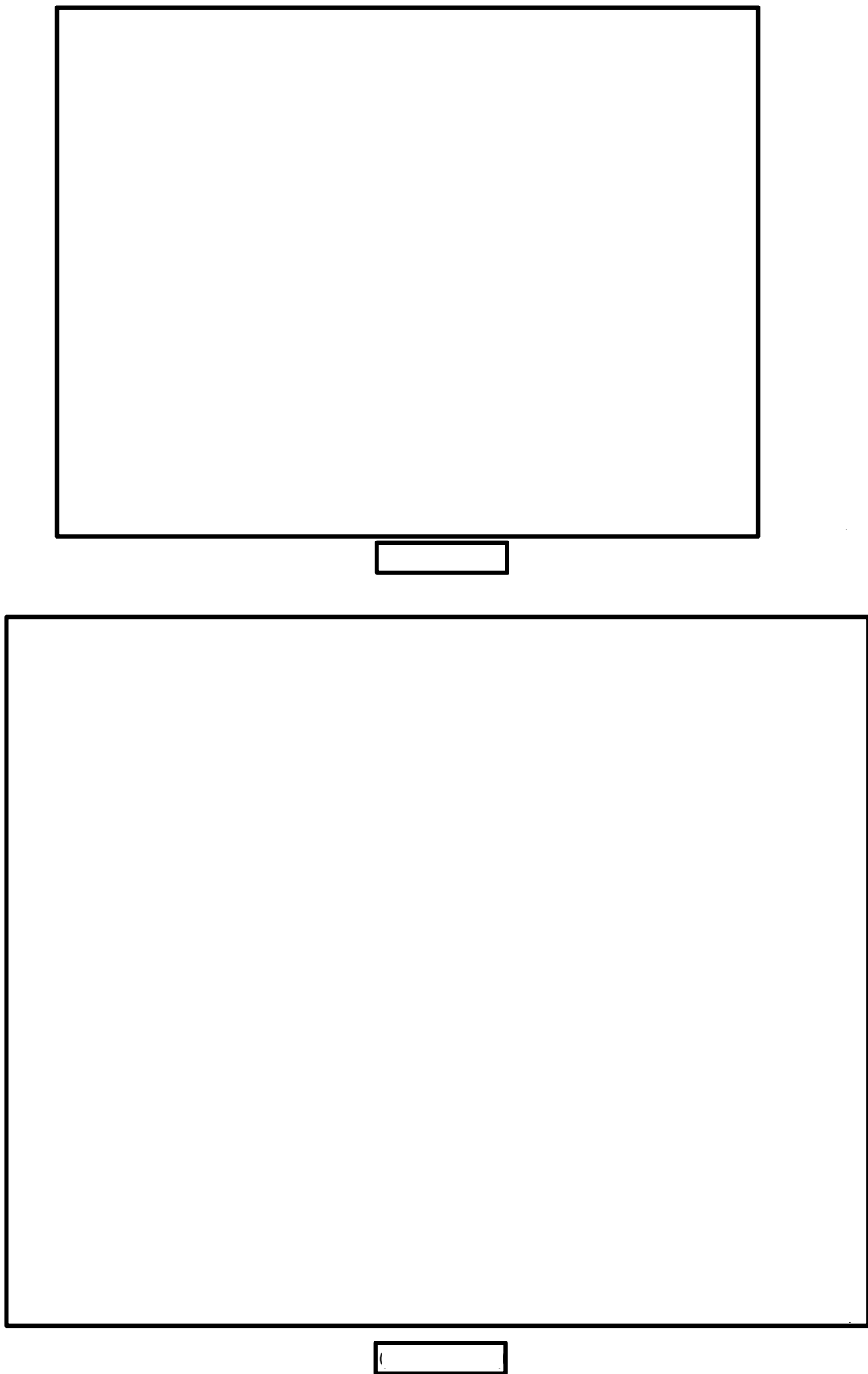
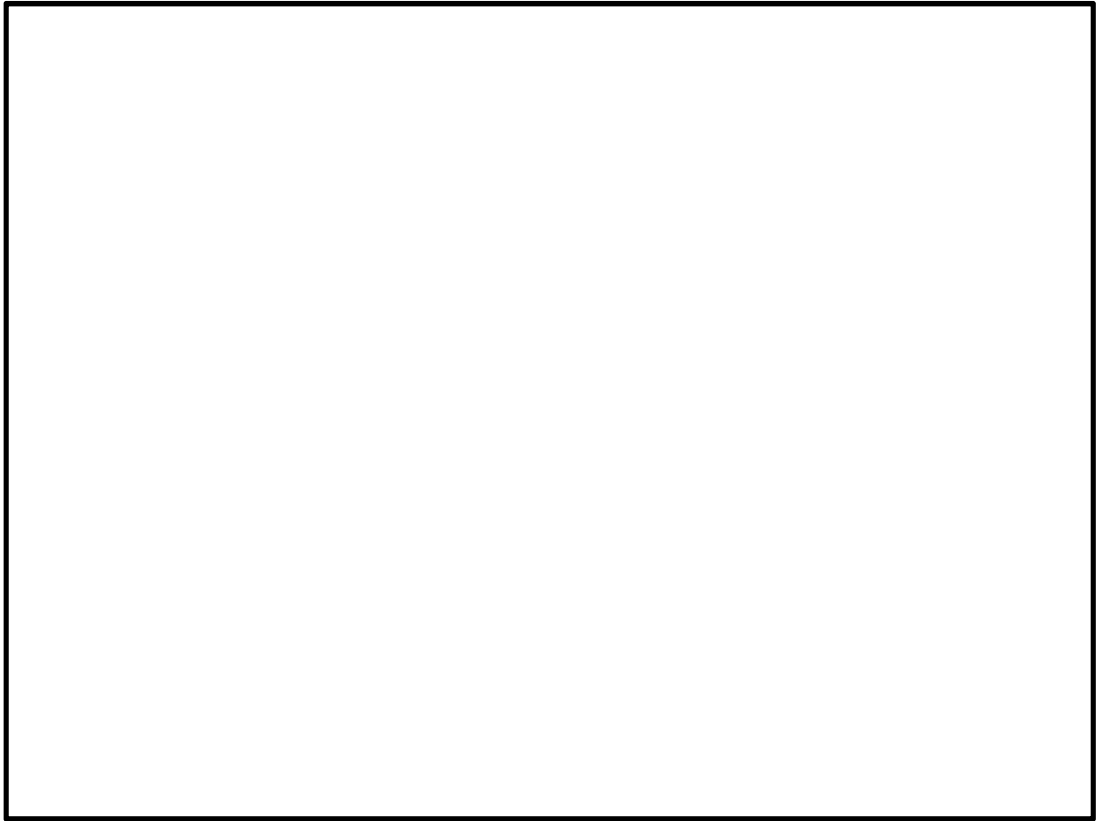
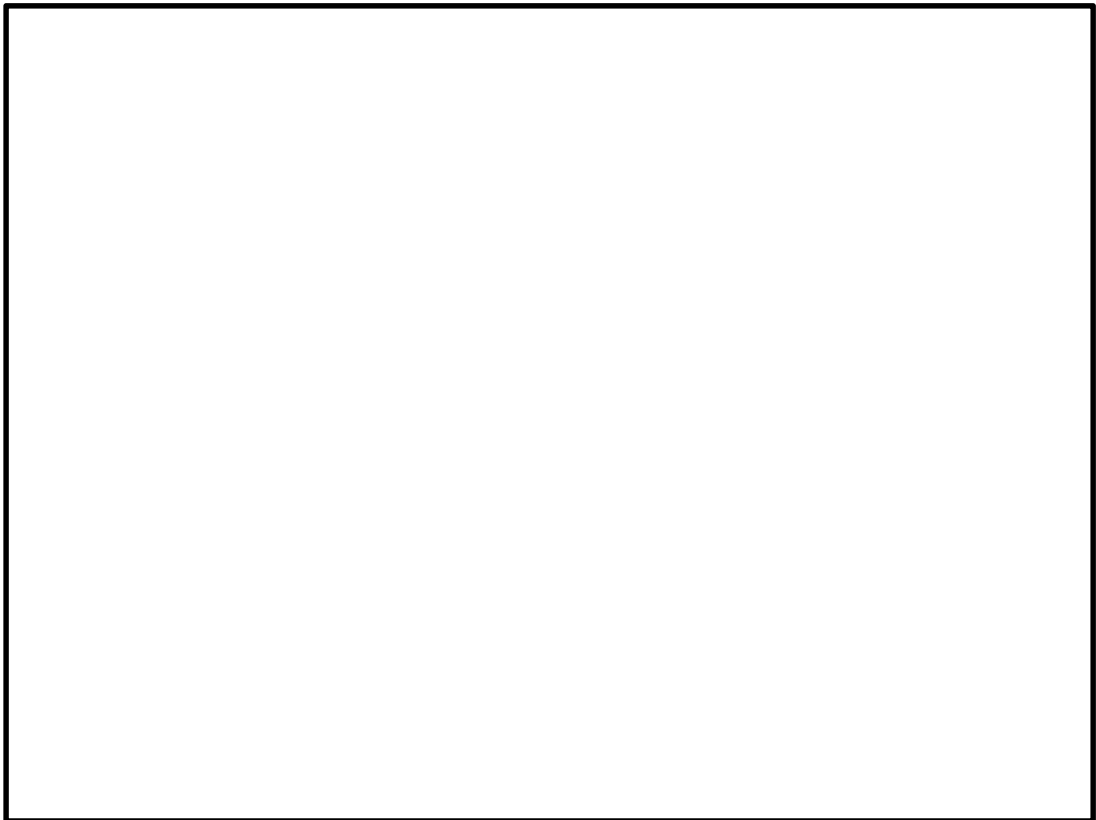


図 2-1 原子炉建屋の概要（平面図）



(A-A 断面)



(B-B 断面)

図 2-2 原子炉建屋の概要 (断面図)

表 2-1 原子炉建屋の使用材料※1

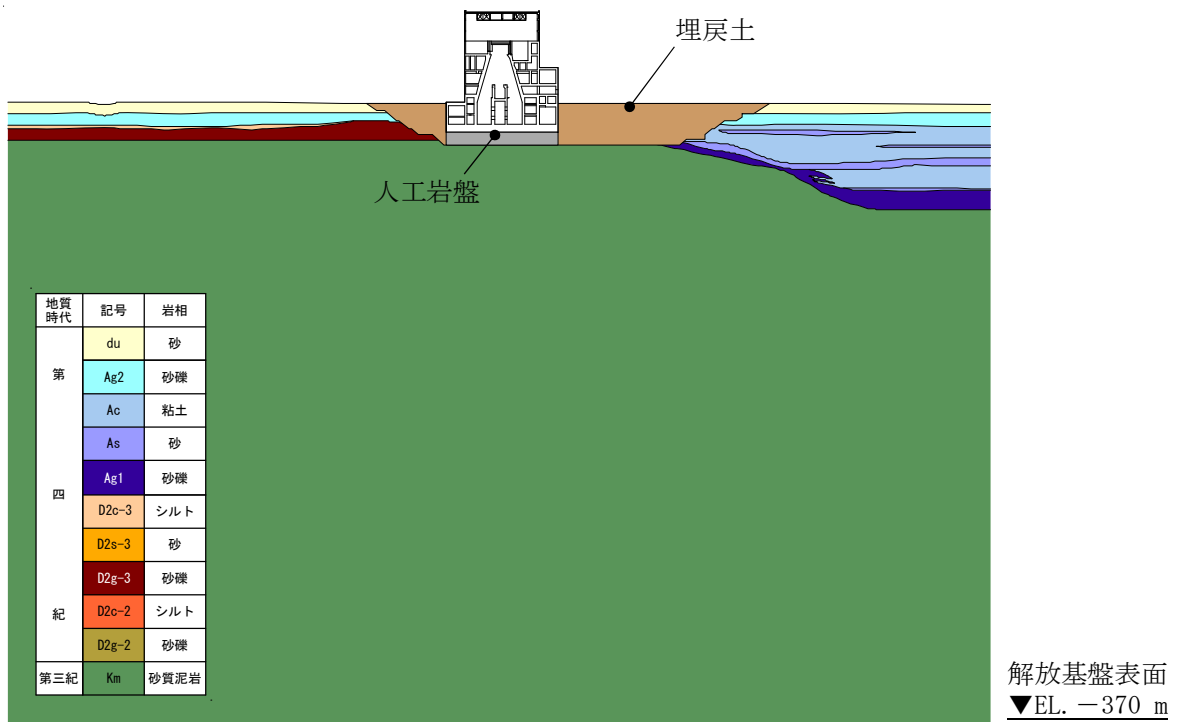
部位	設計基準強度		単位体積重量	ポアソン比	ヤング係数	せん断弾性係数
	Fc (kgf/cm ²)	Fc※2 (N/mm ²)	γ (kN/m ³)	ν	E (N/mm ²)	G (N/mm ²)
建屋	225	22.1	24.0	0.2	2.21×10 ⁴	9.21×10 ³
人工岩盤	140	13.7	23.0	0.2	1.88×10 ⁴	7.83×10 ³
鋼材	—	—	77.1	0.3	2.05×10 ⁵	7.9 ×10 ⁴

※1 使用材料については、「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説—許容応力度設計法— (1999)」,「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 (2005)」及び「鋼構造設計規準—許容応力度設計法— (2005)」に準拠した。

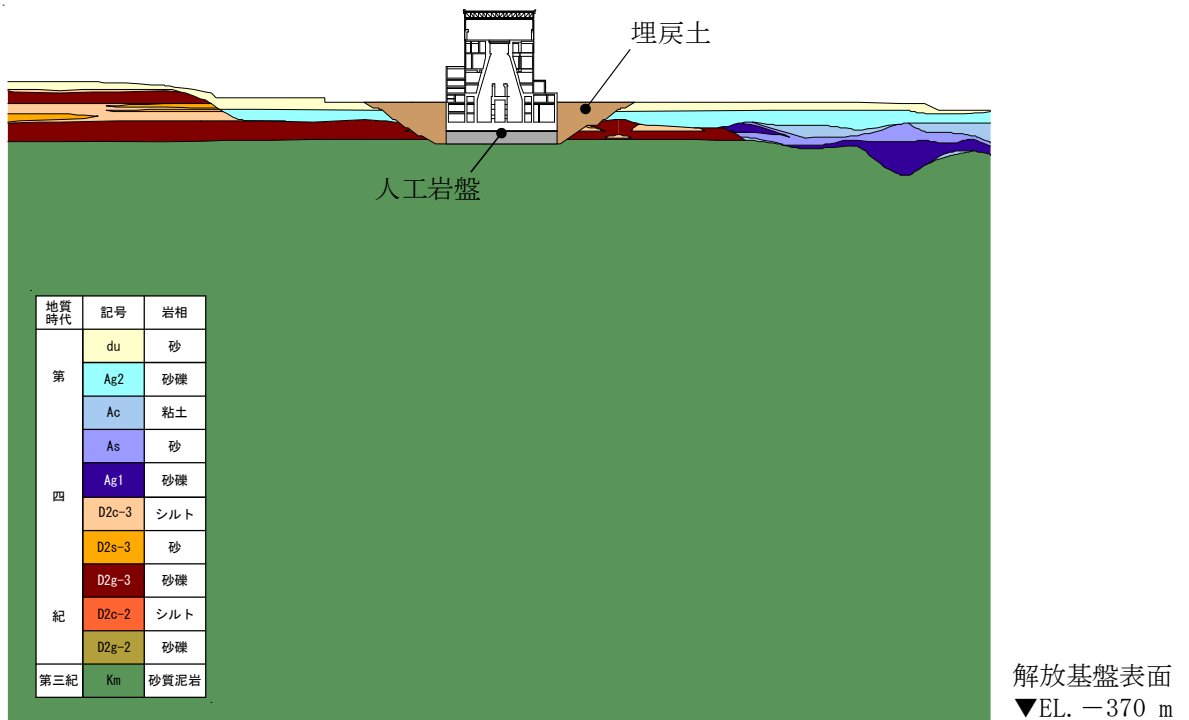
※2 Fc は 9.80665 m/s²を用いて換算した。

2.2 設置地盤の状況

原子炉建屋はコンクリート造の人工岩盤を介して、砂質泥岩である久米層に岩着している。原子炉建屋の設置状況及び埋込み状況を図 2-3 の原子炉建屋設置地盤断面図に示す。



(NS 方向)



(EW 方向)

図 2-3 原子炉建屋設置地盤断面図

3. 地震応答解析モデルに係る影響検討

3.1 概要

東海第二発電所原子炉建屋の基礎はコンクリート造の人工岩盤を介して支持地盤である久米層に設置している。また、原子炉建屋の基礎下端は EL. -9 m であり、地表面 (EL. 8 m) から 17 m 地中に埋め込まれている。

建設当時の工認（以下「建設工認」という。）では、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（(社)日本電気協会）（以下「J E A G 4 6 0 1 -1987」という。）制定前であったため、解放基盤表面という概念が無く、地盤応答解析を介さずに人工岩盤下端に設計波を直接入力していた。そのため人工岩盤を建屋モデル側にモデル化し、建屋と側面地盤の相互作用は考慮していなかった。

R/B 今回工認モデルを検討するにあたり、「J E A G 4 6 0 1 -1987」及び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）（以下「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」という。）には、基礎底面の人工岩盤のモデル化方法及び側面回転地盤ばねの扱いについて明確に表記されていないため、東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いたシミュレーション解析を行い、人工岩盤のモデル化の影響と建屋と側面地盤との相互作用の影響評価を行った。

3.2 原子炉建屋内の地震計設置位置

原子炉建屋には、地震時の基本的な振動性状を把握する目的で偶数階に各階1台の地震計を設置している。また、基礎上(地下2階)には更に4台の地震計を設置している。

原子炉建屋の地震計設置位置を図3-1に示す。

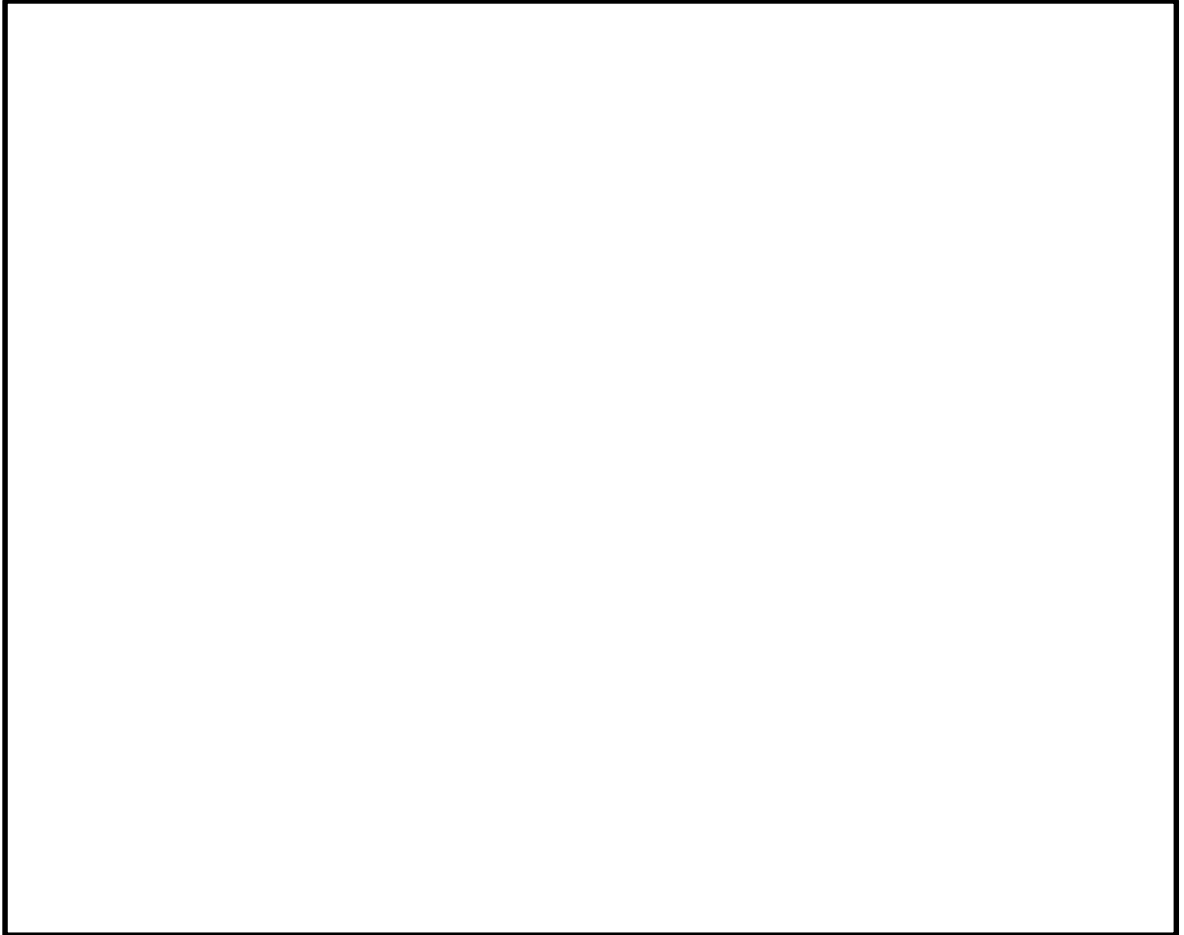


図3-1 原子炉建屋の地震計設置位置

3.3 建屋－地盤動的相互作用の評価法について

建設工認では、埋込み効果を見放した、スウェイ・ロッキングモデル（以下「SRモデル」という。）として、建屋と地盤の相互作用を考慮している。

本資料では、はじめに、SRモデルと側面地盤による回転拘束を含む埋込み効果を考慮した埋込みSRモデルを用いて東北地方太平洋沖地震のシミュレーション解析を行い、建屋の振動性状を比較した。解析に用いたSRモデルによる地震応答解析の概要を図3-2に、埋込みSRモデルによる地震応答解析の概要を図3-3に示す。

東北地方太平洋沖地震のシミュレーション解析結果として、両者の最大応答加速度分布の比較を図3-4及び図3-5に、床応答スペクトルの比較を図3-6及び図3-7に示す。これらの解析結果より埋込みSRモデルを用いた方が、SRモデルを用いた場合に比べ、観測記録との整合が改善しており、より実状に近い建屋の振動性状を評価できているものと考えられる。

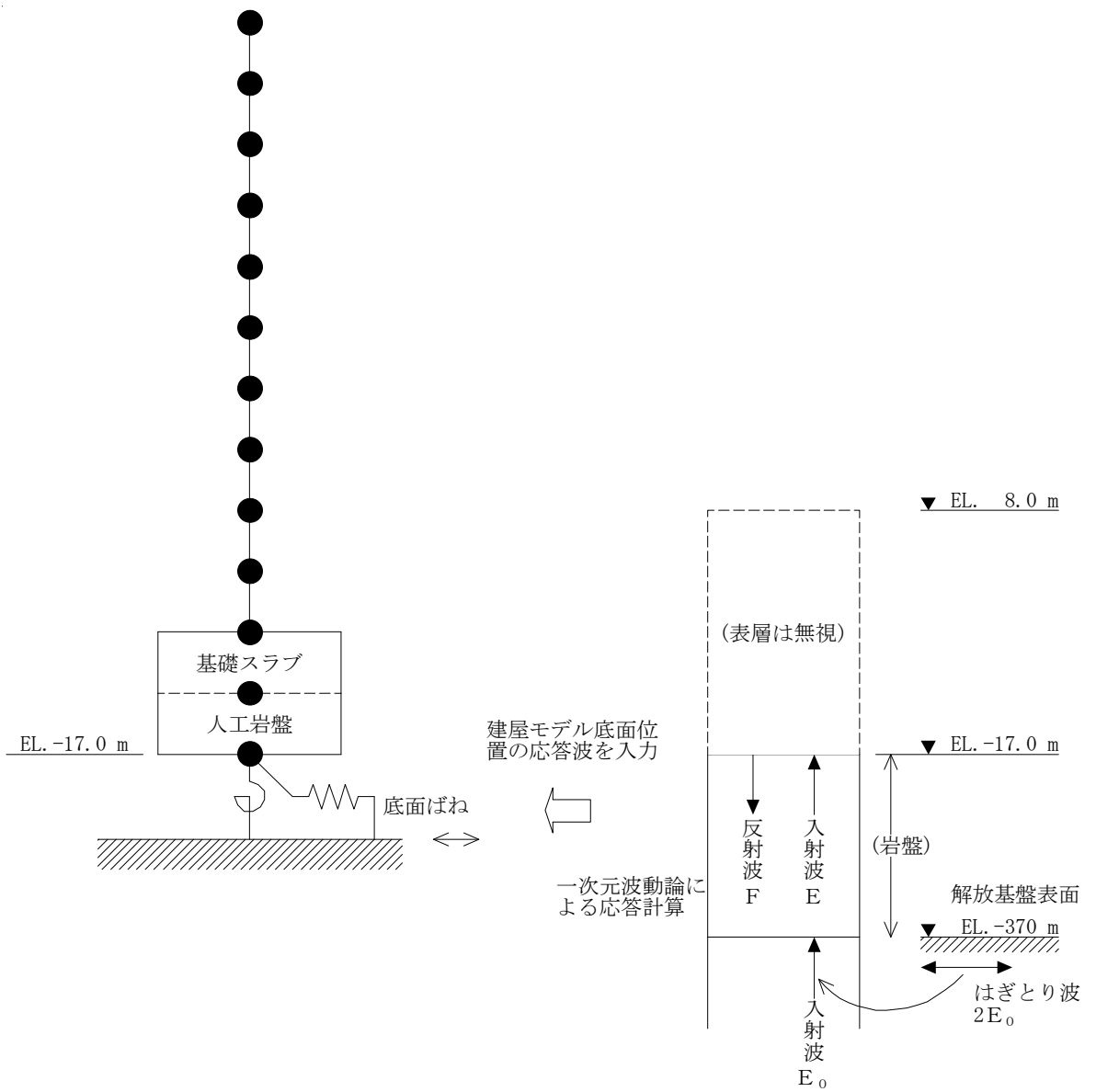


図 3-2 SRモデルによる地震応答解析の概要

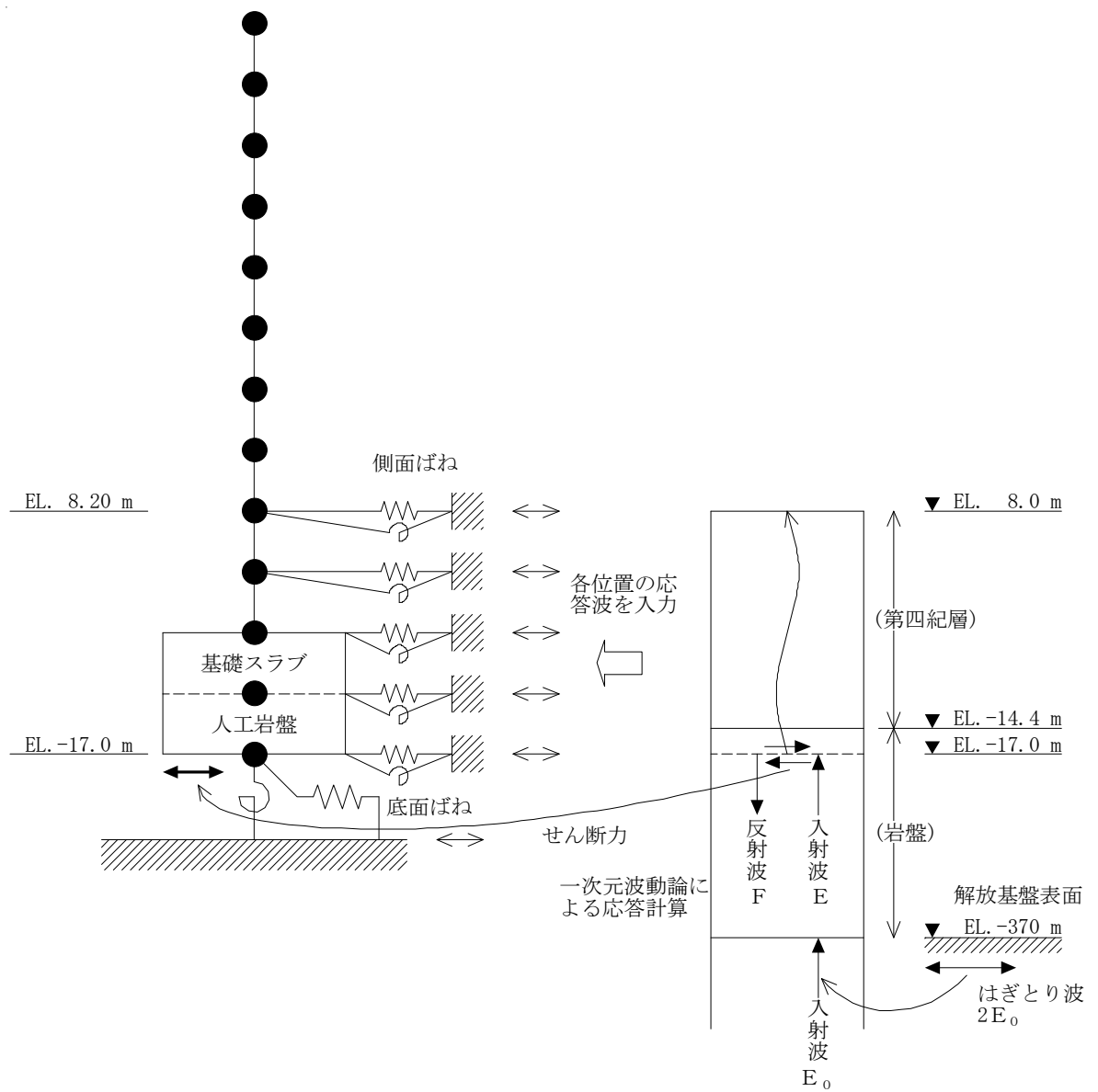


図 3-3 埋込みSRモデルによる地震応答解析の概要

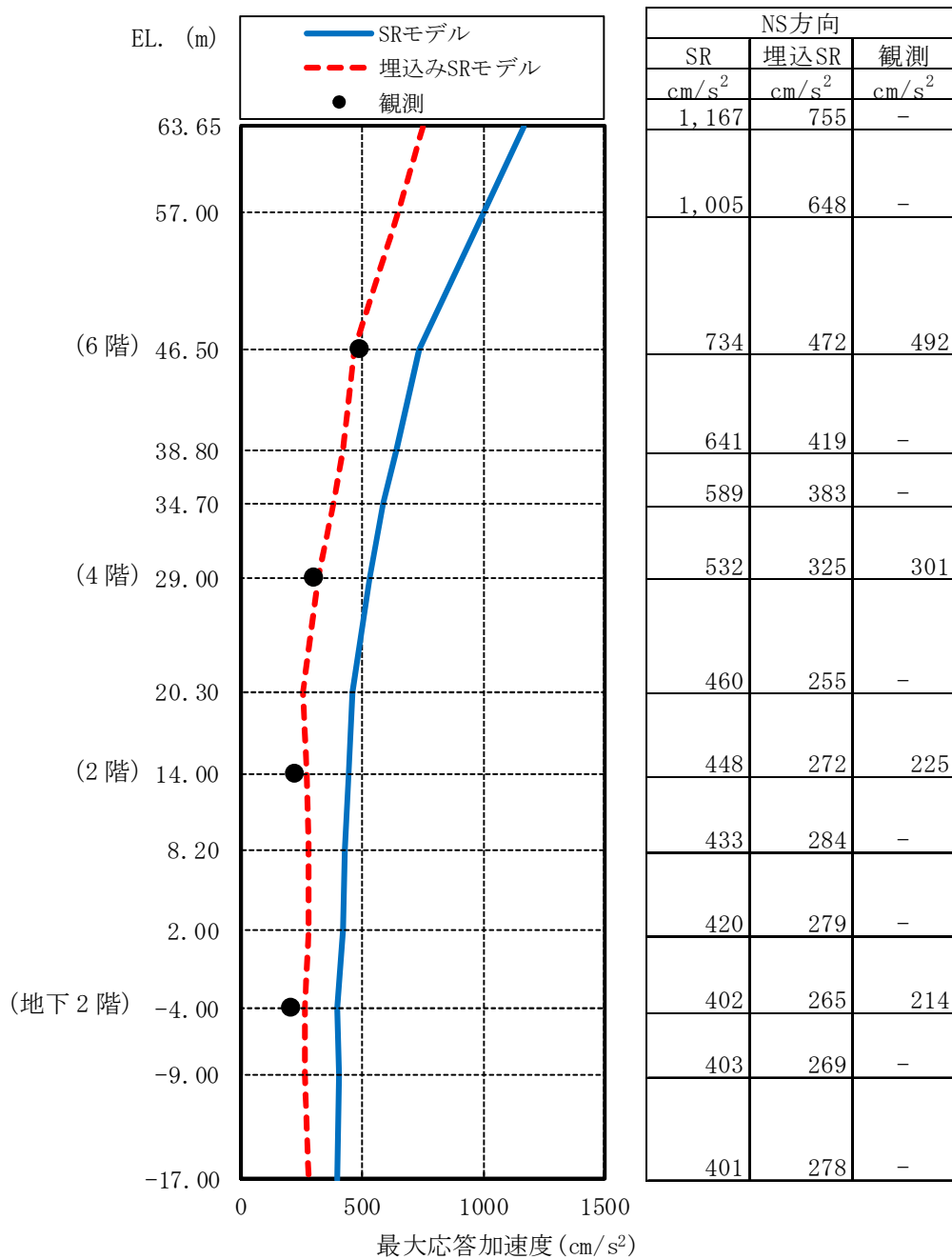


図 3-4 最大応答加速度分布の比較 (NS 方向)

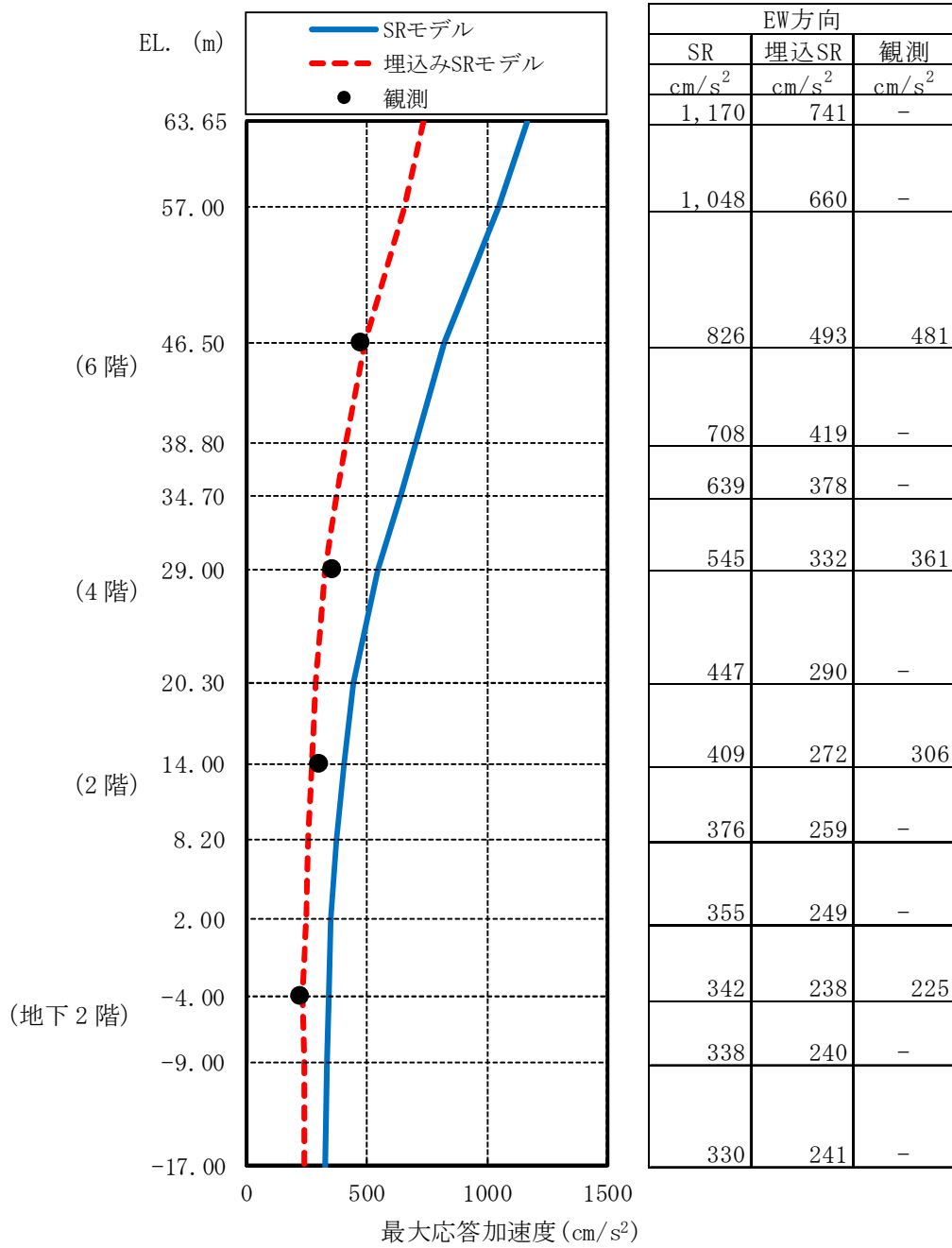
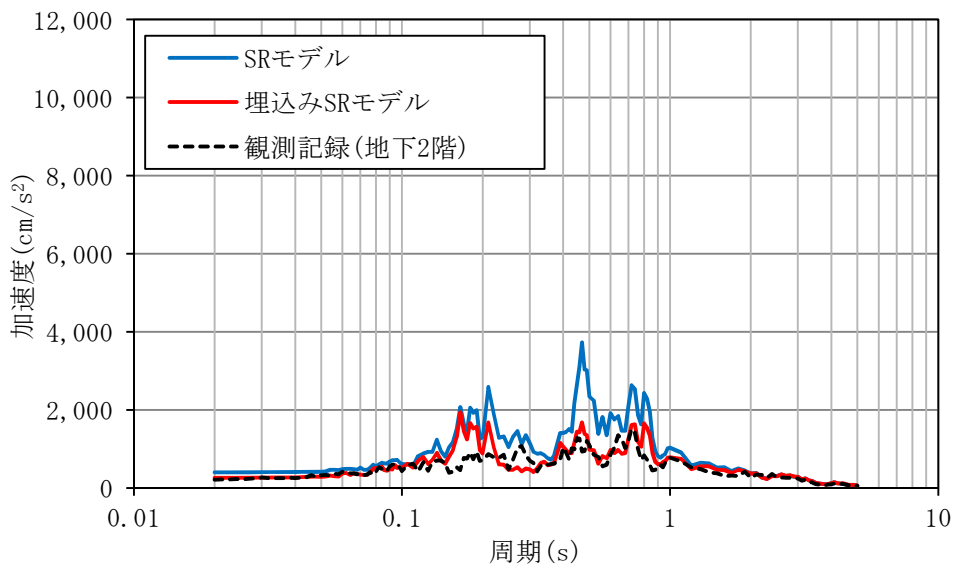
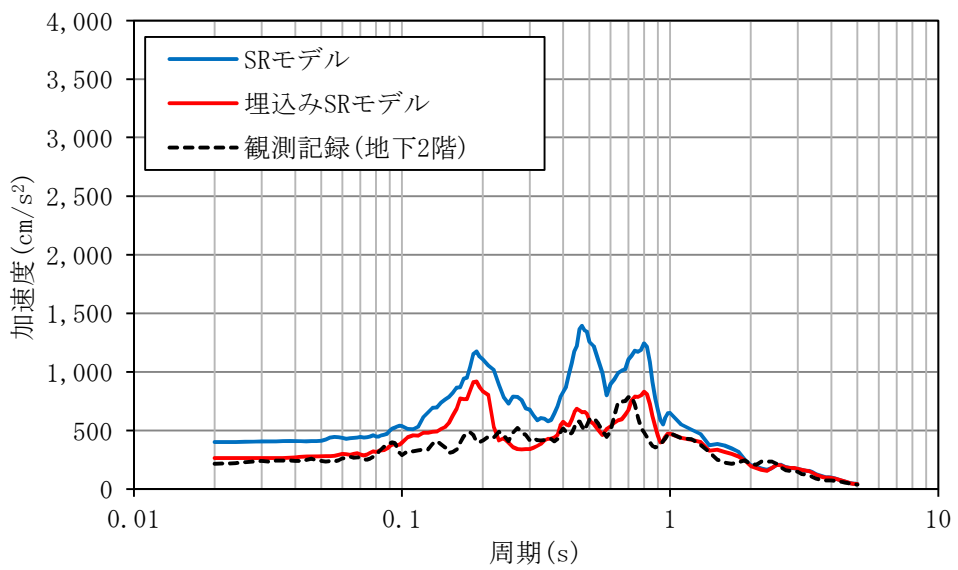


図 3-5 最大応答加速度分布の比較 (EW 方向)



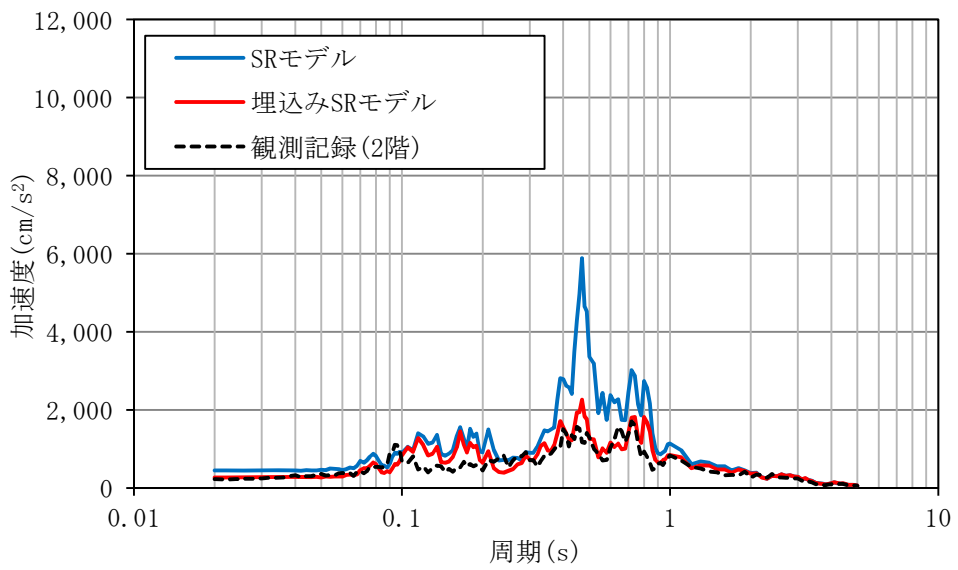
$h=1\%$



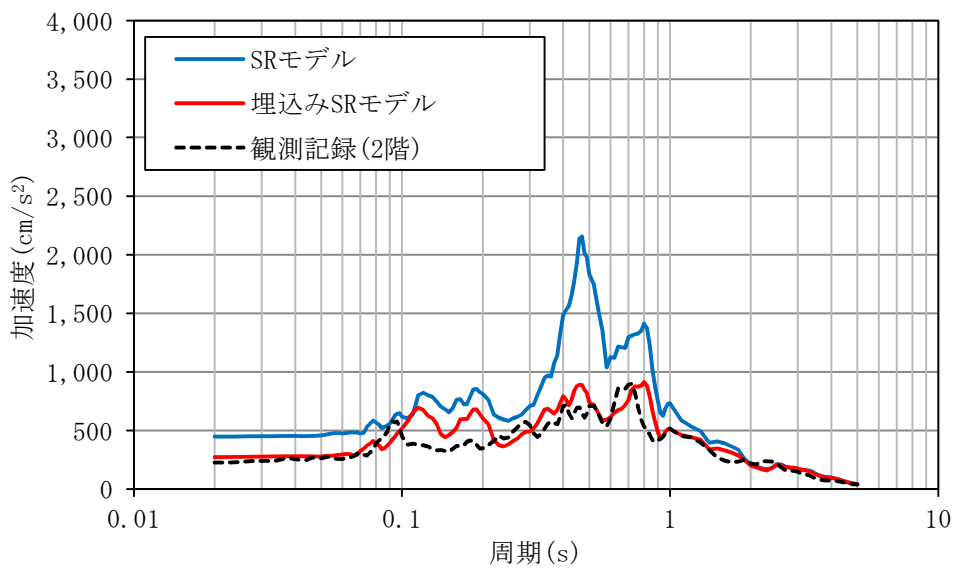
$h=5\%$

地下2階

図3-6 (1/4) 床応答スペクトルの比較 (NS方向)



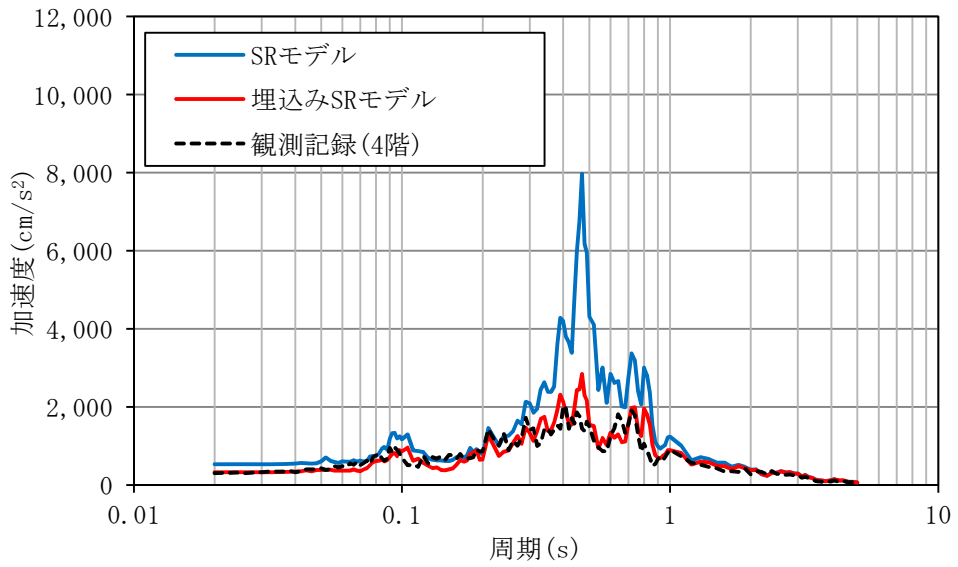
$h=1\%$



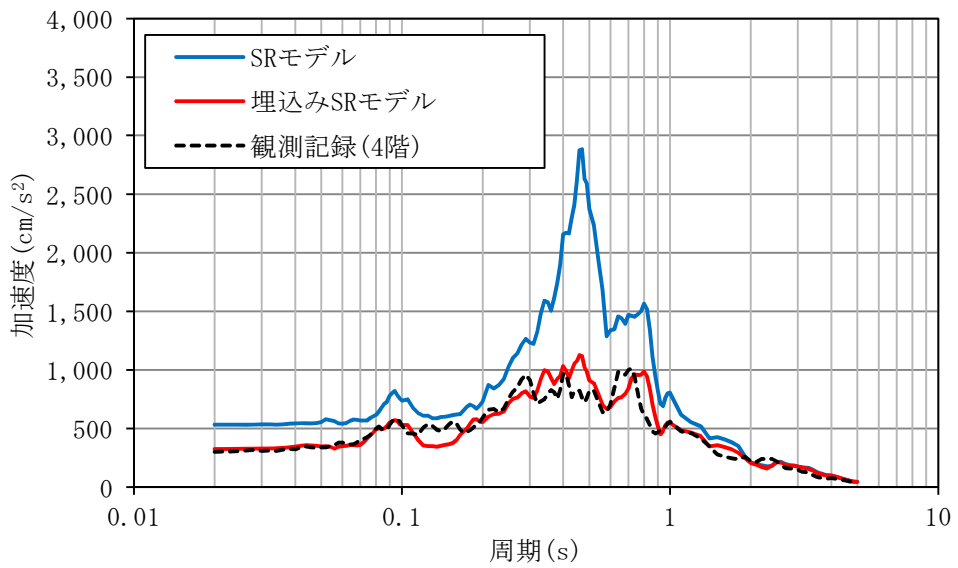
$h=5\%$

2階

図 3-6 (2/4) 床応答スペクトルの比較 (NS 方向)



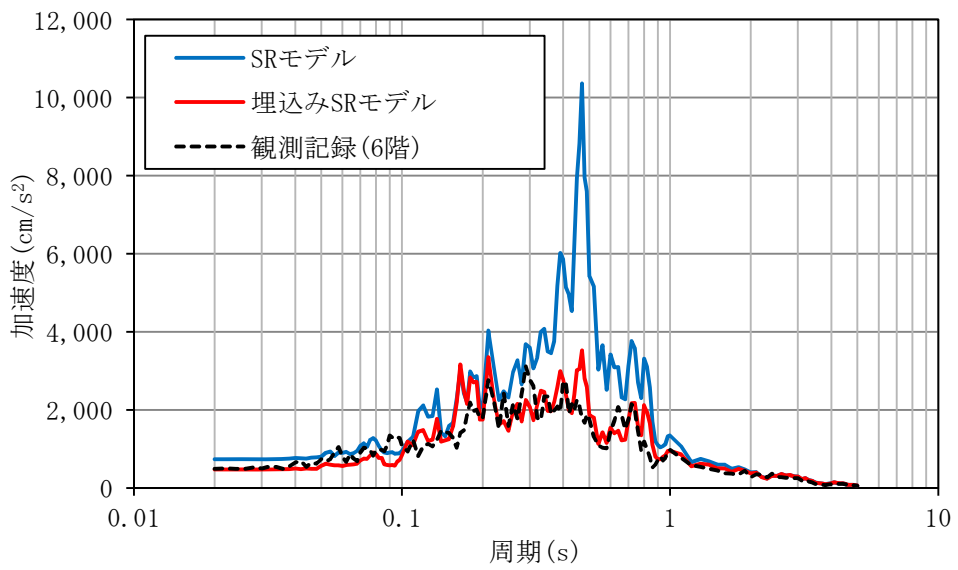
$h=1\%$



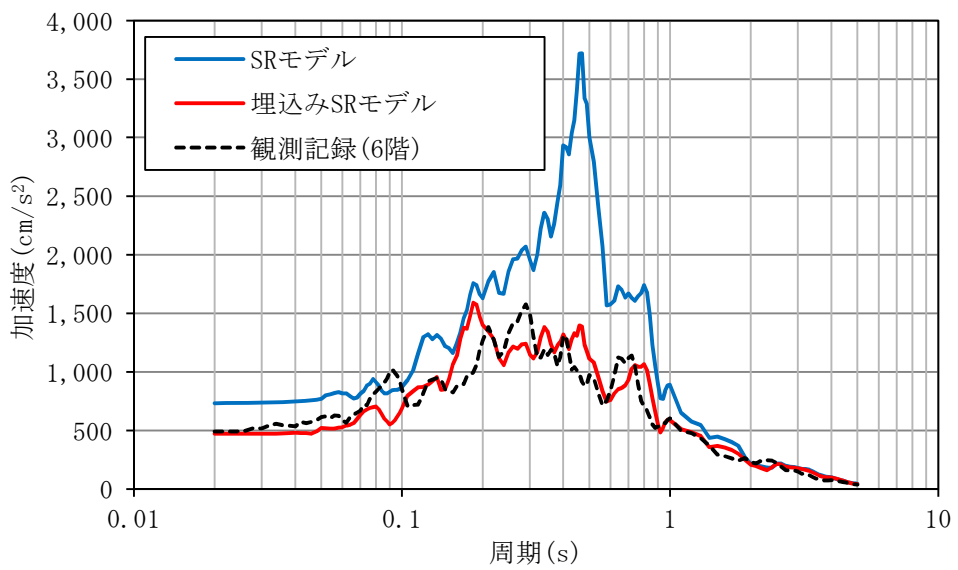
$h=5\%$

4階

図 3-6 (3/4) 床応答スペクトルの比較 (NS 方向)



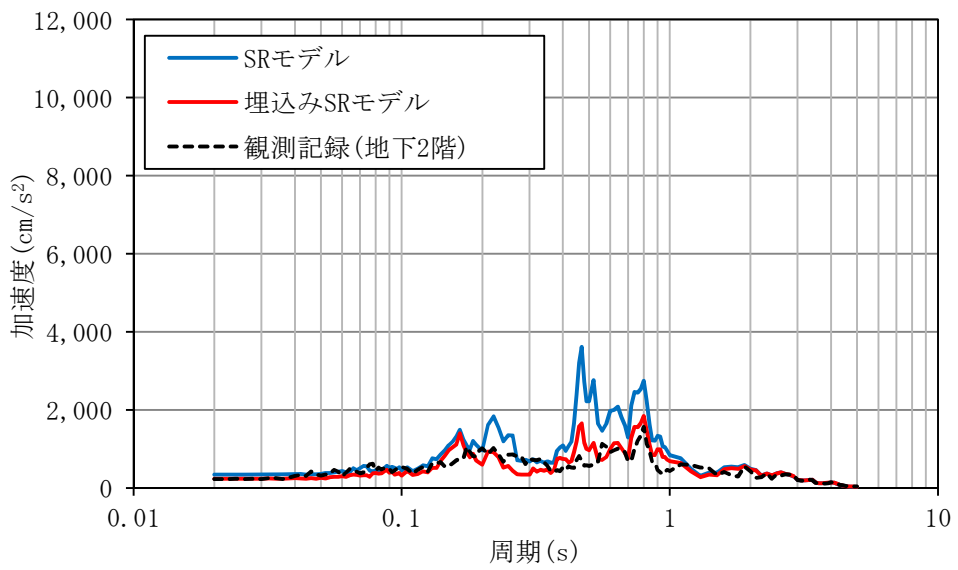
h=1%



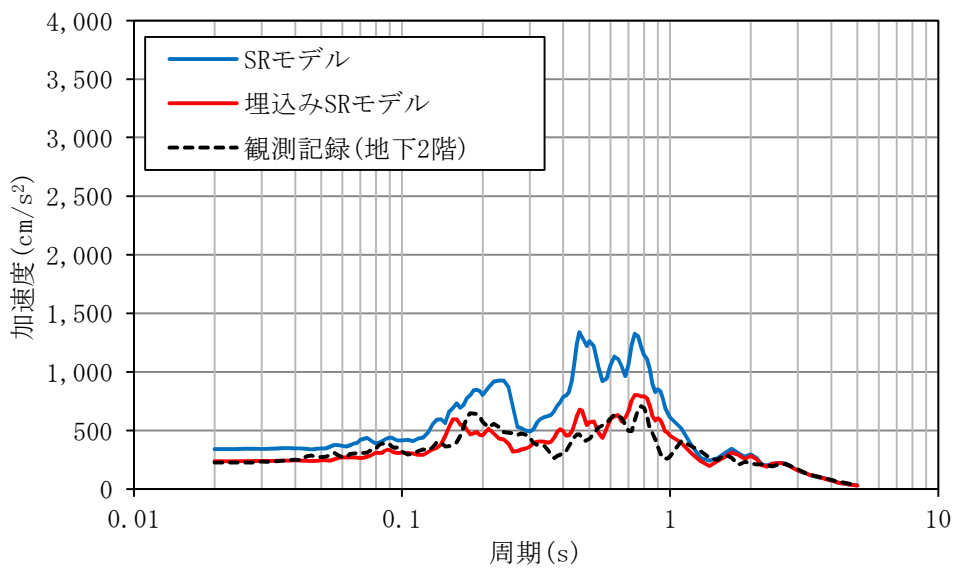
h=5%

6階

図 3-6 (4/4) 床応答スペクトルの比較 (NS 方向)



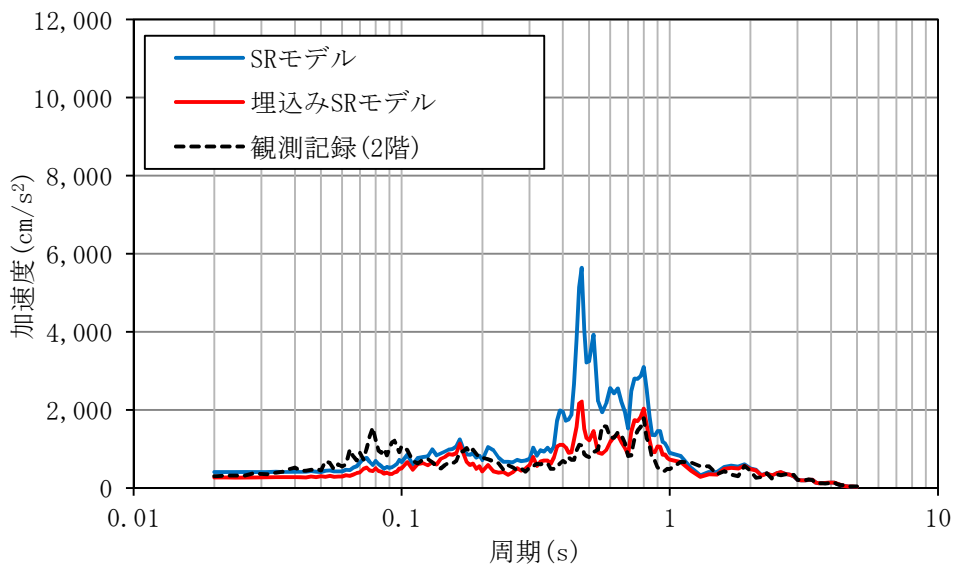
h=1%



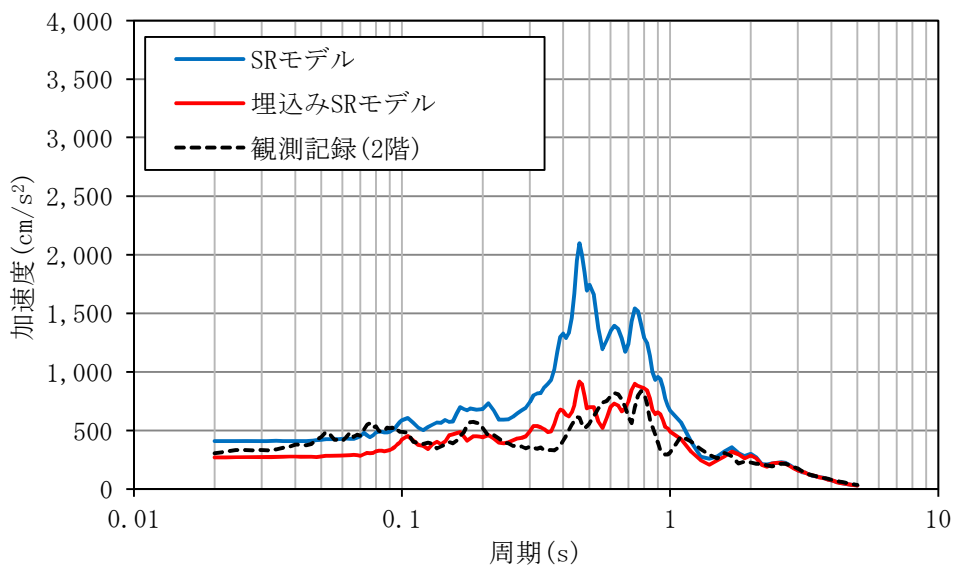
h=5%

地下2階

図3-7 (1/4) 床応答スペクトルの比較 (EW方向)



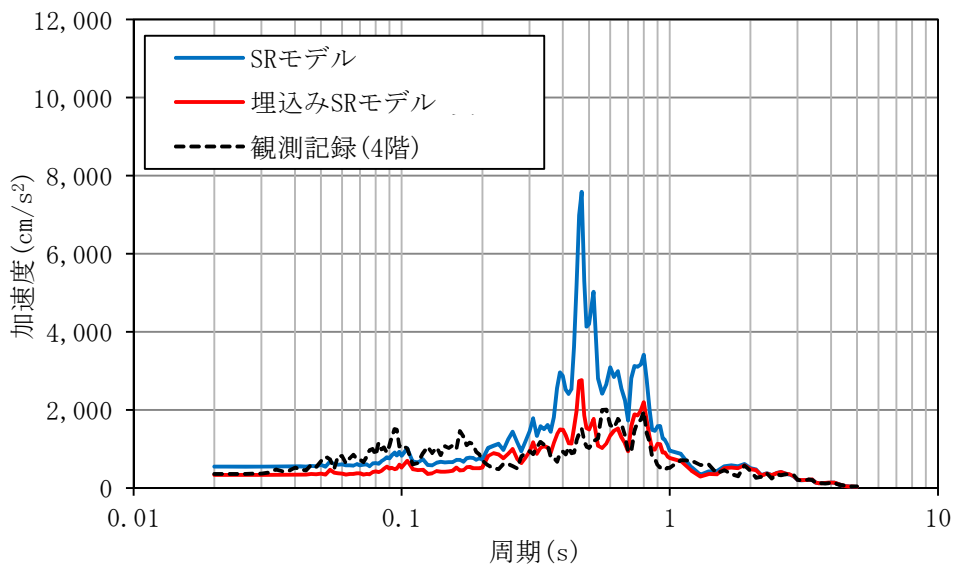
$h=1\%$



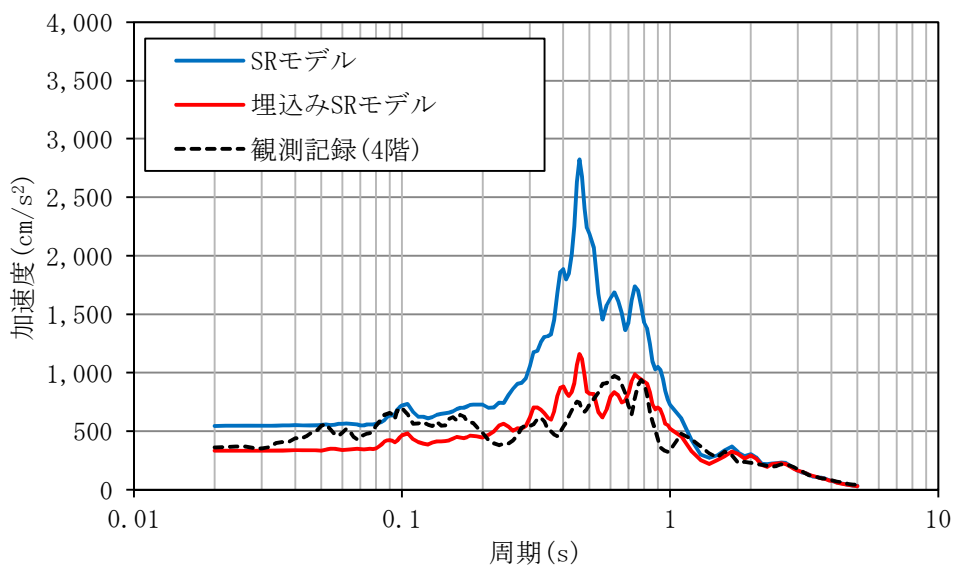
$h=5\%$

2階

図 3-7 (2/4) 床応答スペクトルの比較 (EW 方向)



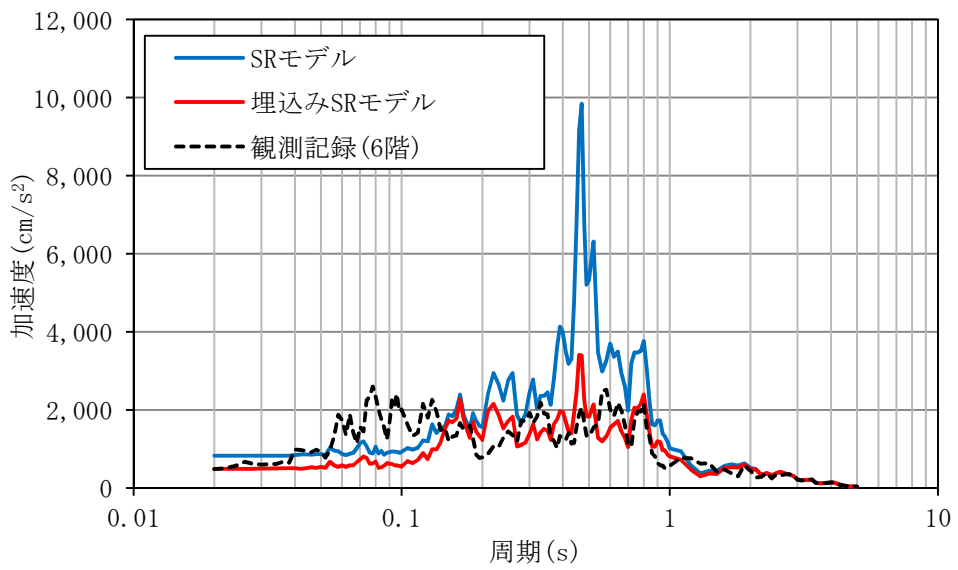
$h=1\%$



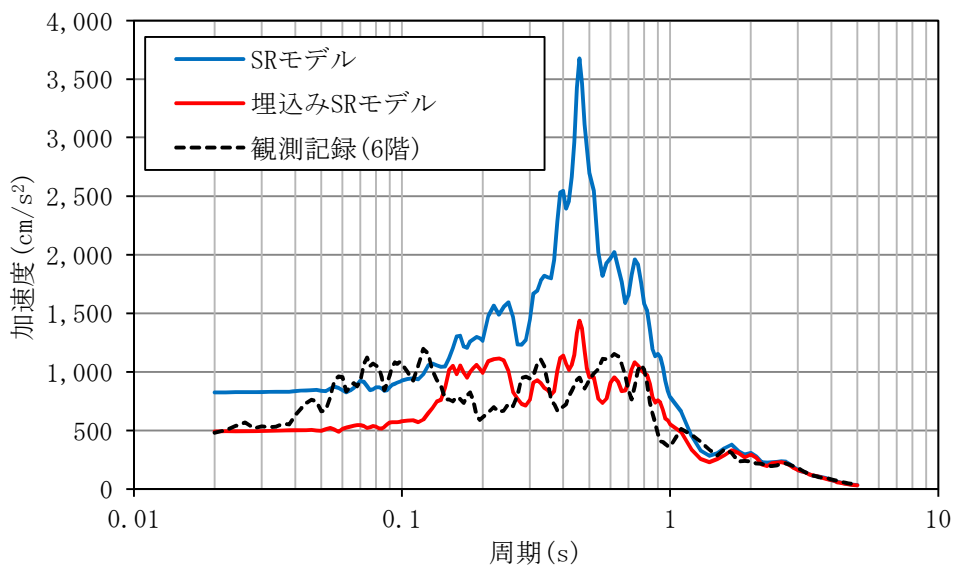
$h=5\%$

4階

図 3-7 (3/4) 床応答スペクトルの比較 (EW 方向)



h=1%



h=5%

6階

図 3-7 (4/4) 床応答スペクトルの比較 (EW 方向)

3.4 人工岩盤のモデル化について

建設工認では、人工岩盤を建屋モデル側にモデル化し、地震応答解析を行っていたが、ここでは、人工岩盤を地盤モデル側に岩盤としてモデル化した場合の建屋応答への影響について検討した。

人工岩盤を岩盤としてモデル化した場合の地震応答解析の概要を図3-8に示す。ここで、基礎底面の地盤ばね及び入力動の算定に用いる地盤モデルは、基礎底面レベルであるEL. -9.0mまで砂質泥岩である久米層の物性と同等として設定した。また、比較検討には、前章にも用いた実状に近い建屋の振動性状を評価できている埋込みSRモデルを用いた。

東北地方太平洋沖地震のシミュレーション解析結果として最大応答加速度分布の比較を図3-9及び図3-10に、床応答スペクトルの比較を図3-11及び図3-12に示す。人工岩盤を地盤モデル側に岩盤としてモデル化した場合は、建屋モデル側にモデル化した場合の応答に比べ、概ね同程度であるか一部の周期帯では若干大きくなることが確認できた。そのためR/B今回工認モデルでは、保守的に人工岩盤を地盤モデル側に岩盤としてモデル化する方針とした。

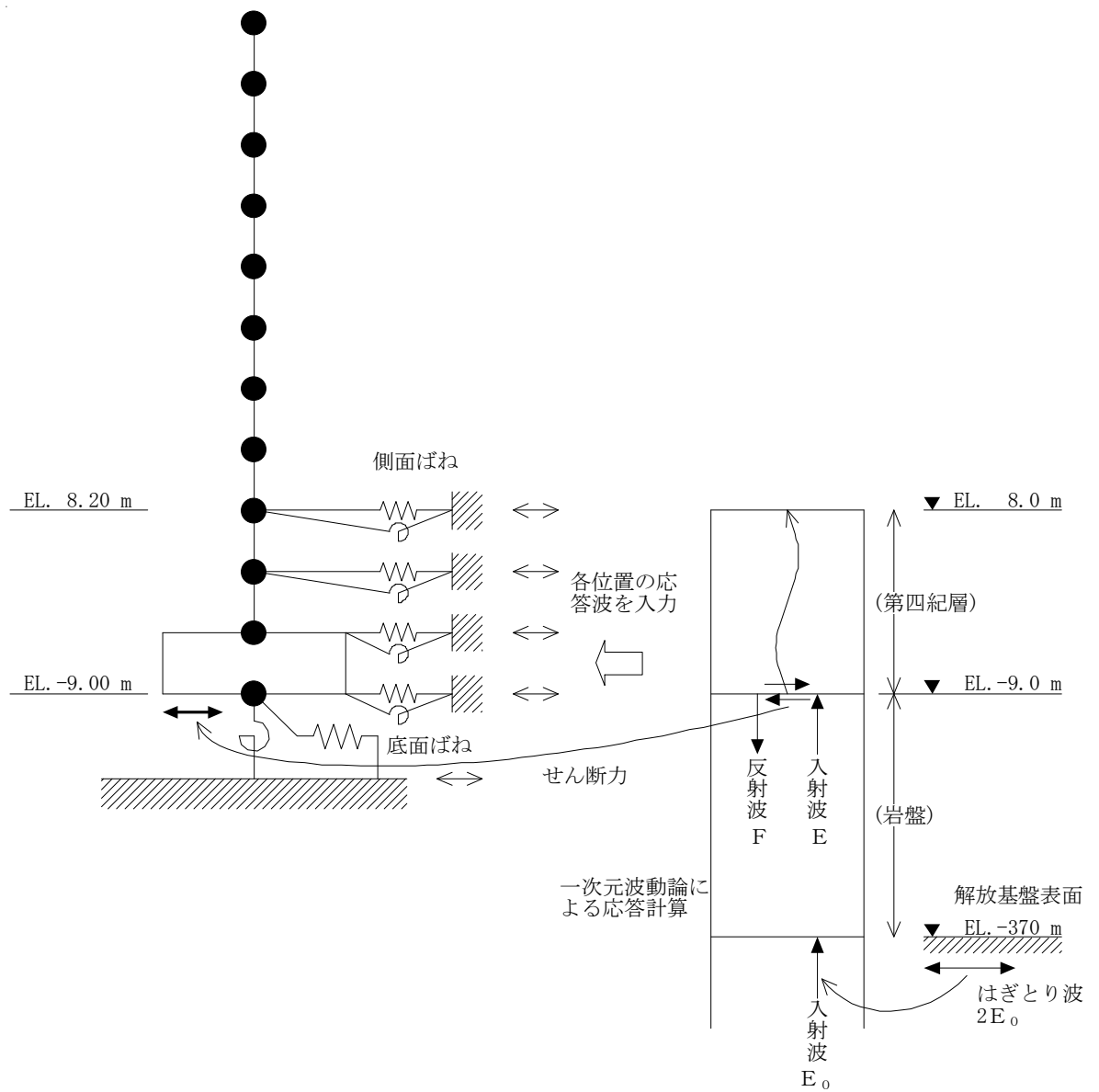


図 3-8 人工岩盤を岩盤としてモデル化した場合の地震応答解析の概要

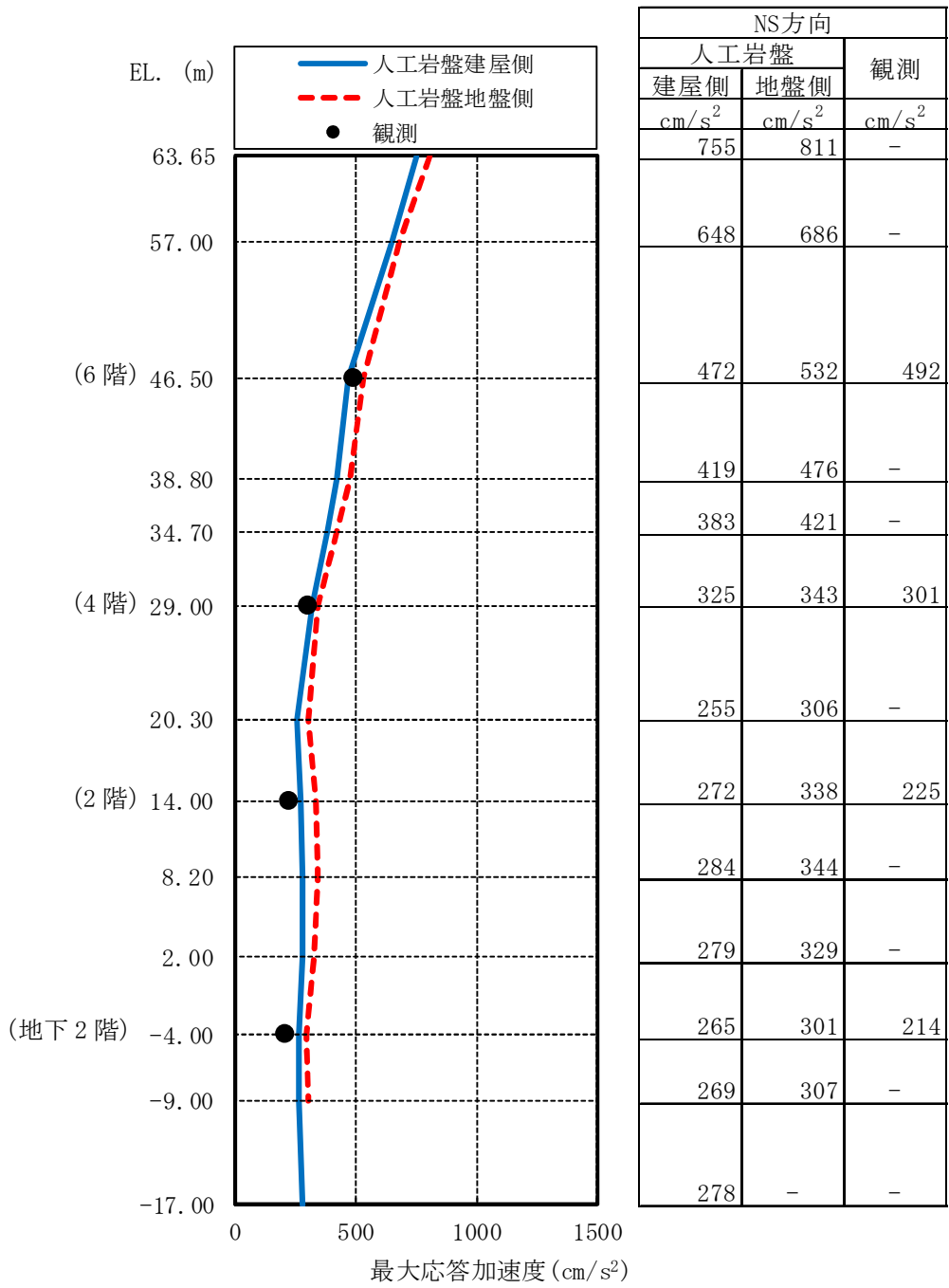


図 3-9 最大応答加速度分布の比較 (NS 方向)

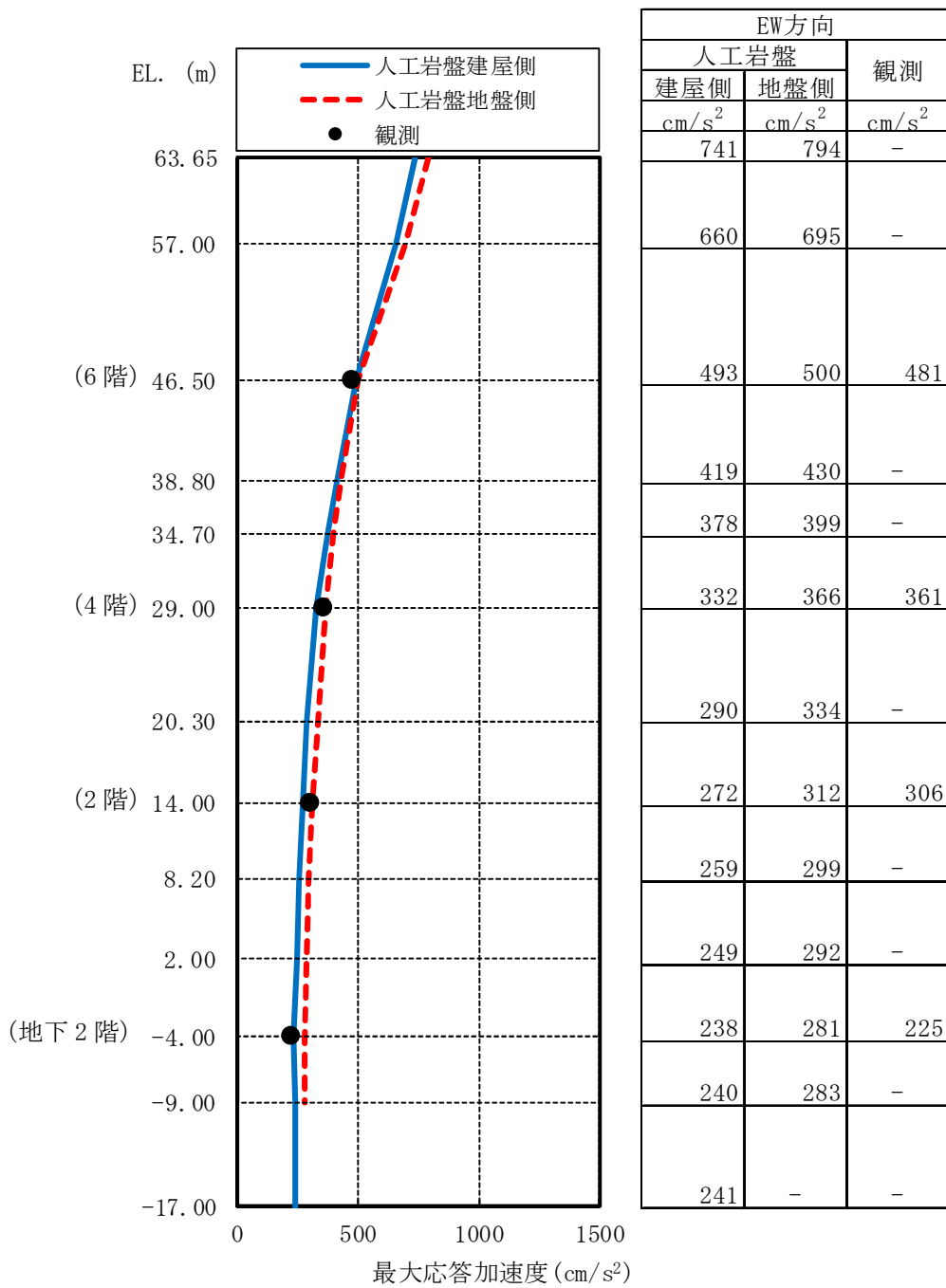
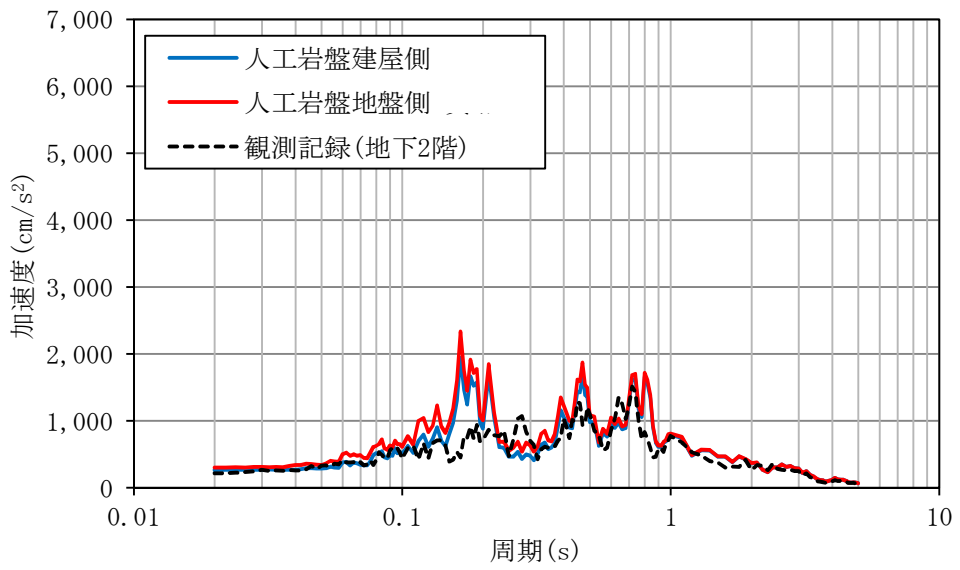
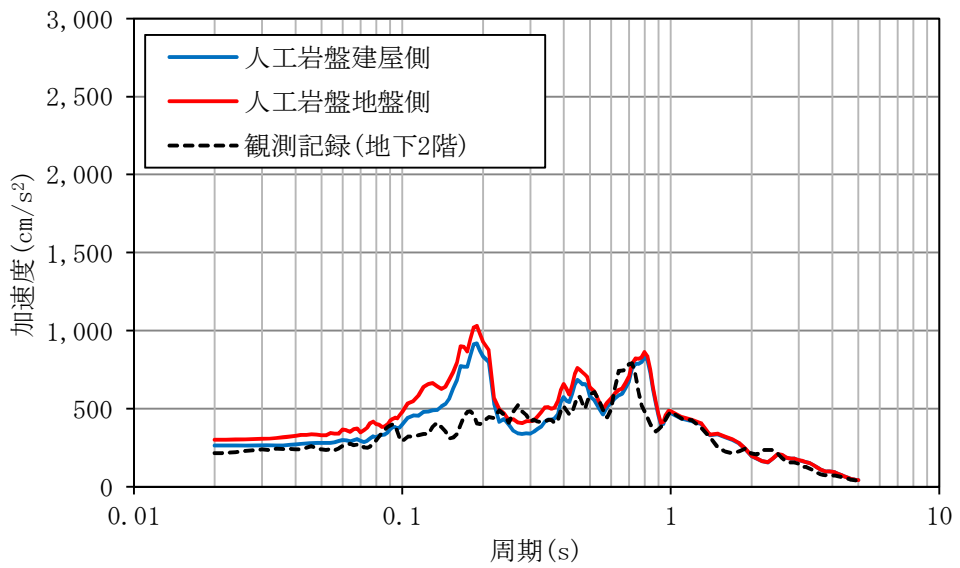


図 3-10 最大応答加速度分布の比較 (EW 方向)



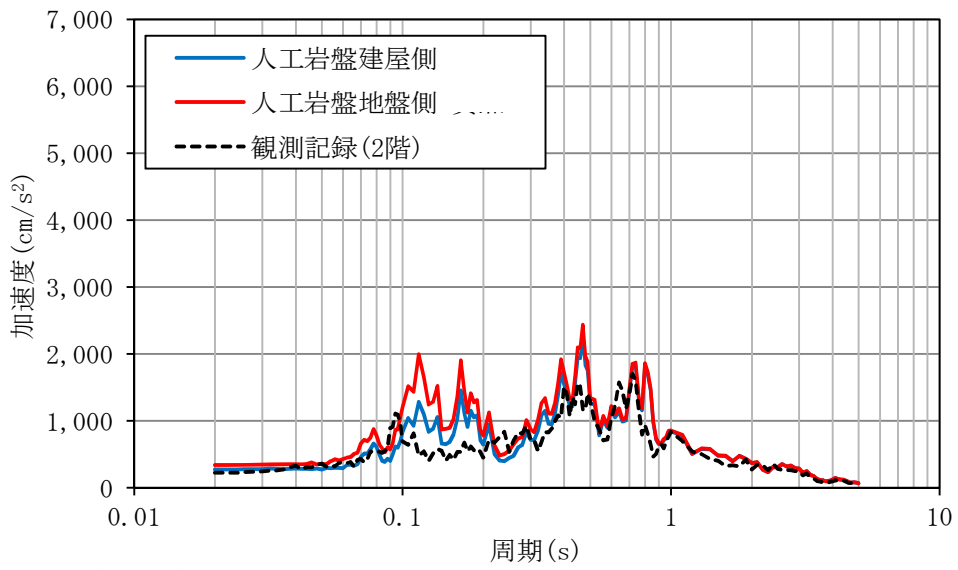
h=1%



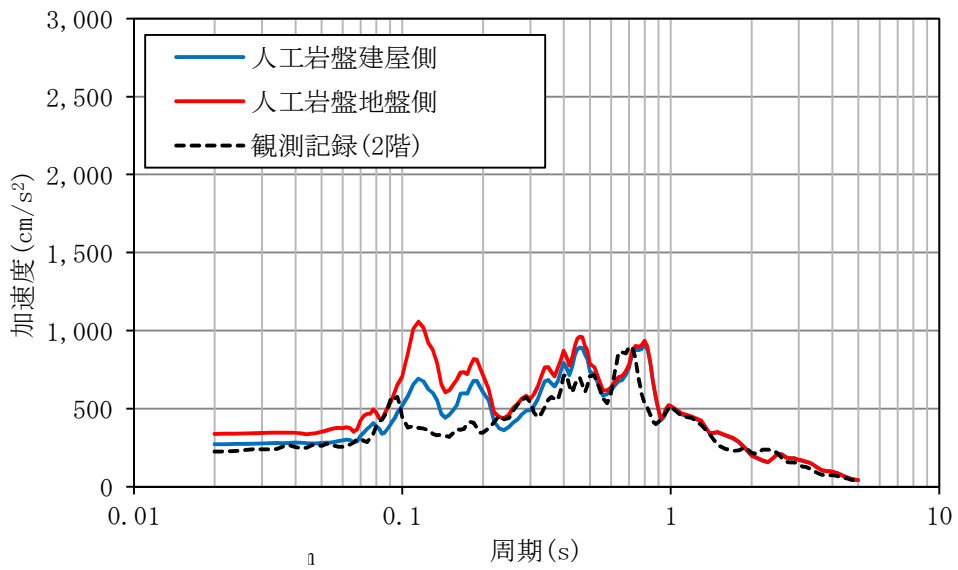
h=5%

地下2階

図3-11 (1/4) 床応答スペクトルの比較 (NS方向)



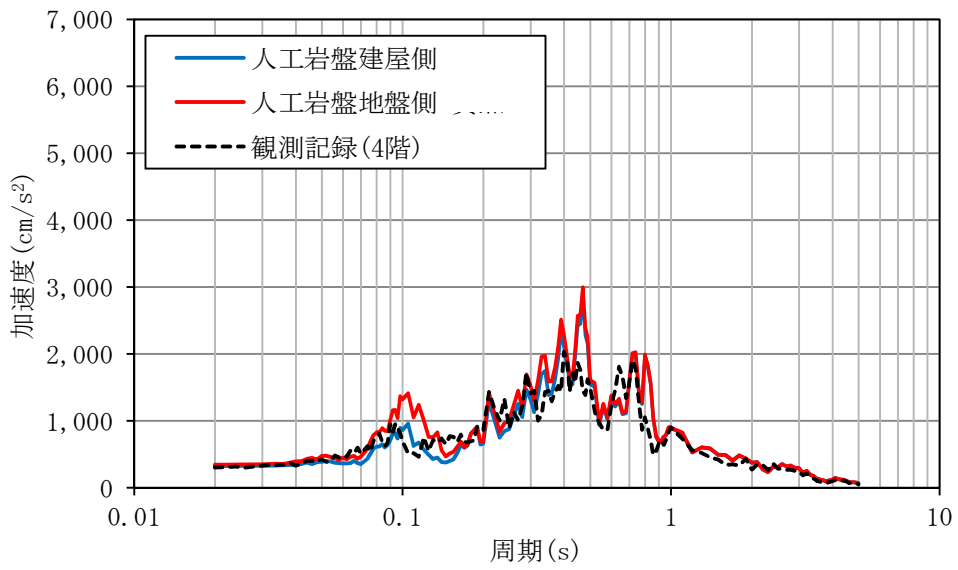
h=1%



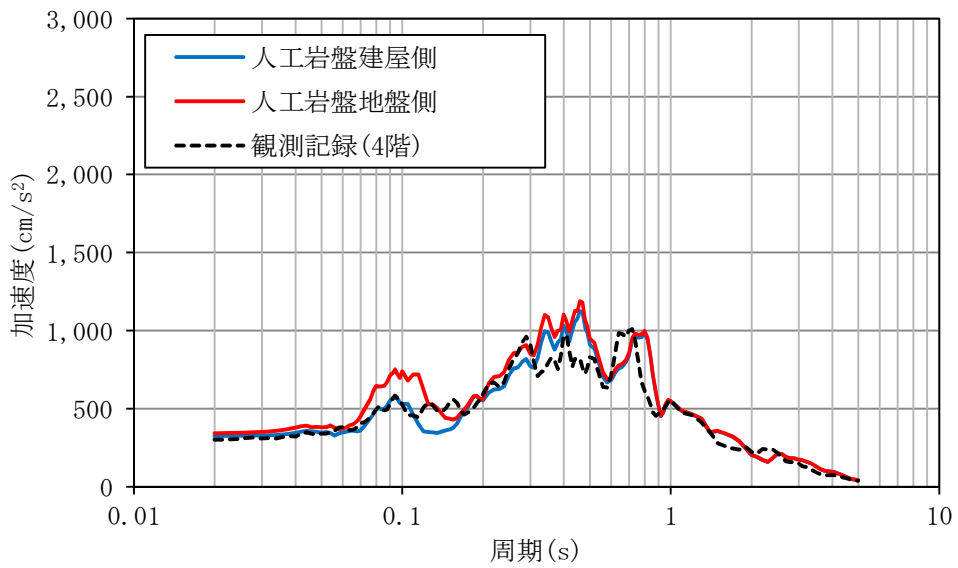
h=5%

2階

図 3-11 (2/4) 床応答スペクトルの比較 (NS 方向)



h=1%



h=5%

4階

図 3-11 (3/4) 床応答スペクトルの比較 (NS 方向)

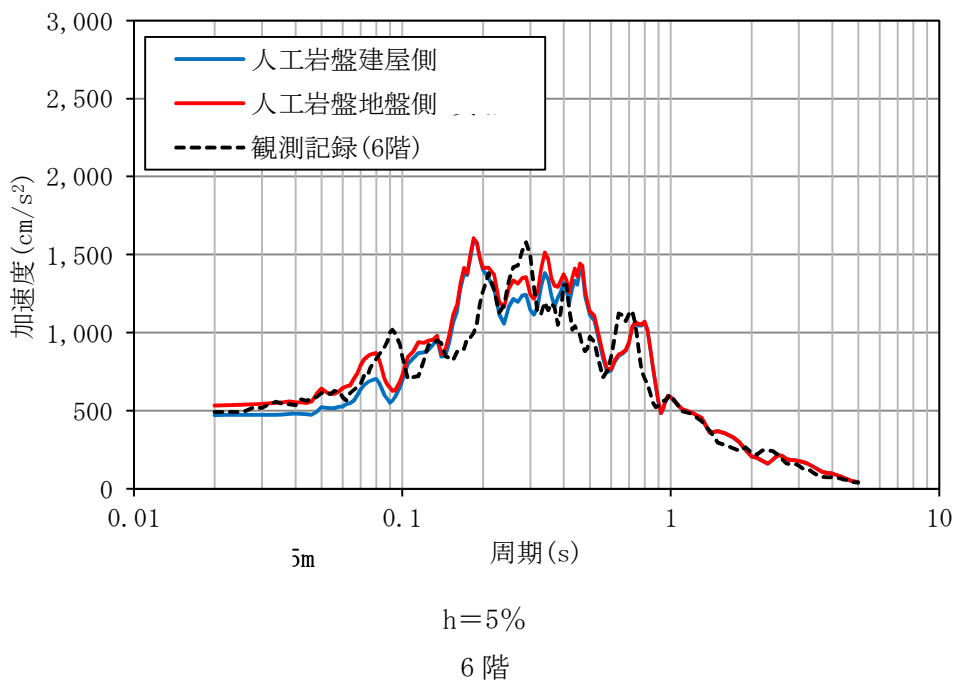
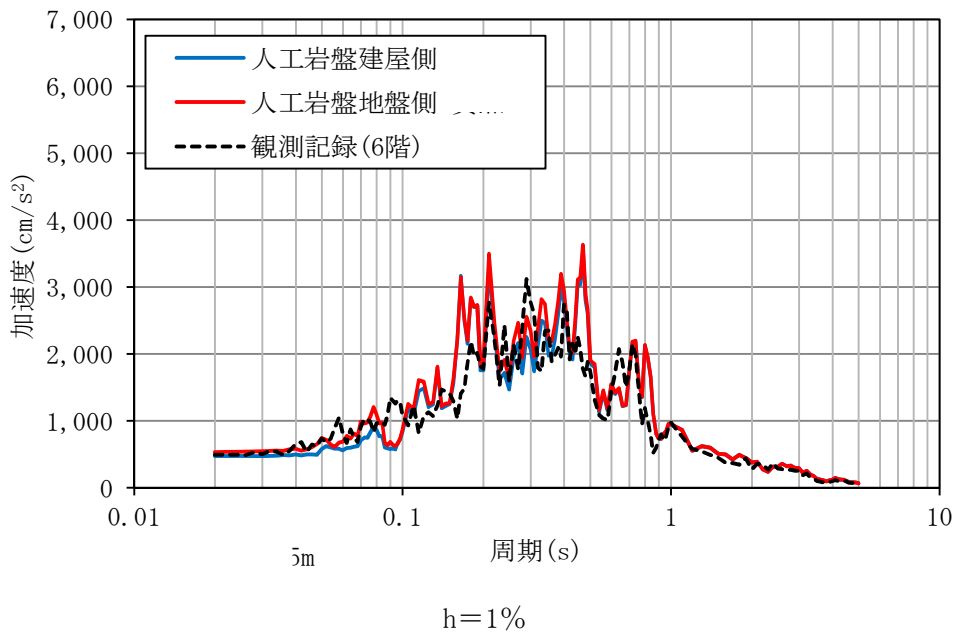
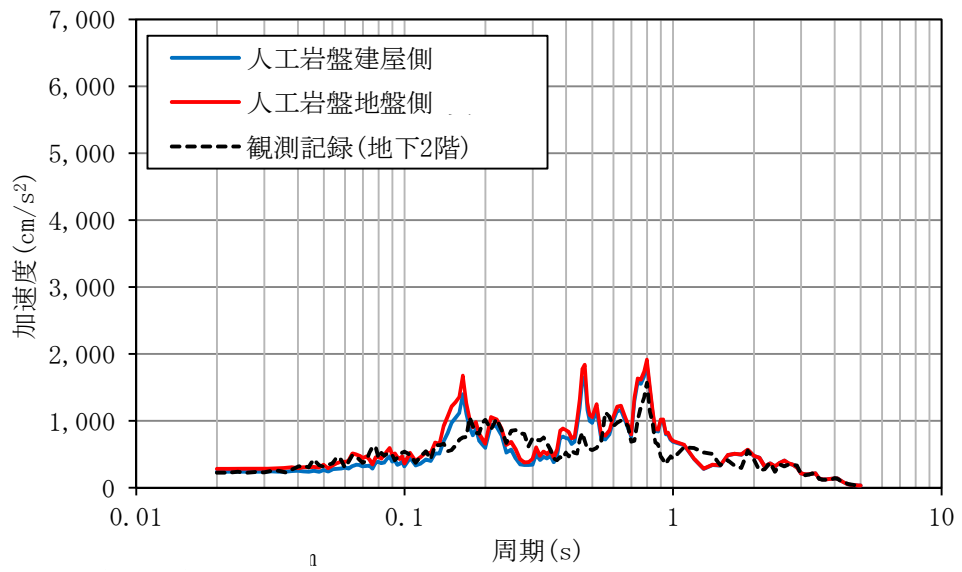
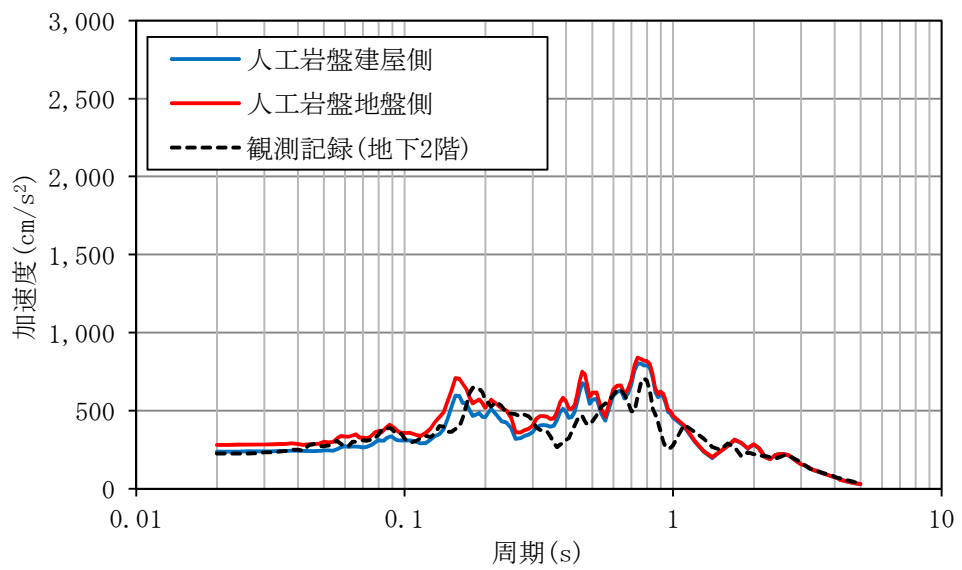


図 3-11 (4/4) 床応答スペクトルの比較 (NS 方向)



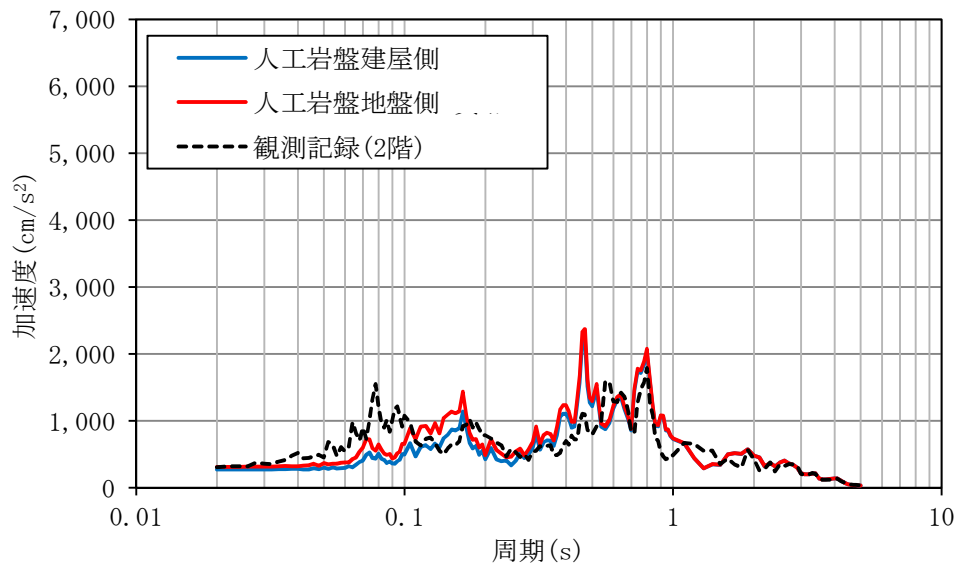
h=1%



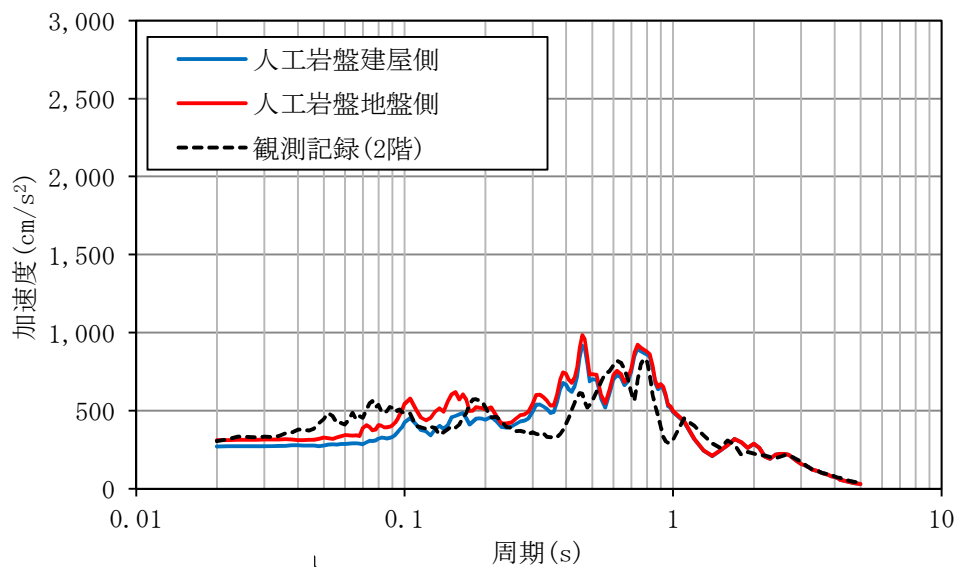
h=5%

地下2階

図3-12 (1/4) 床応答スペクトルの比較 (EW方向)



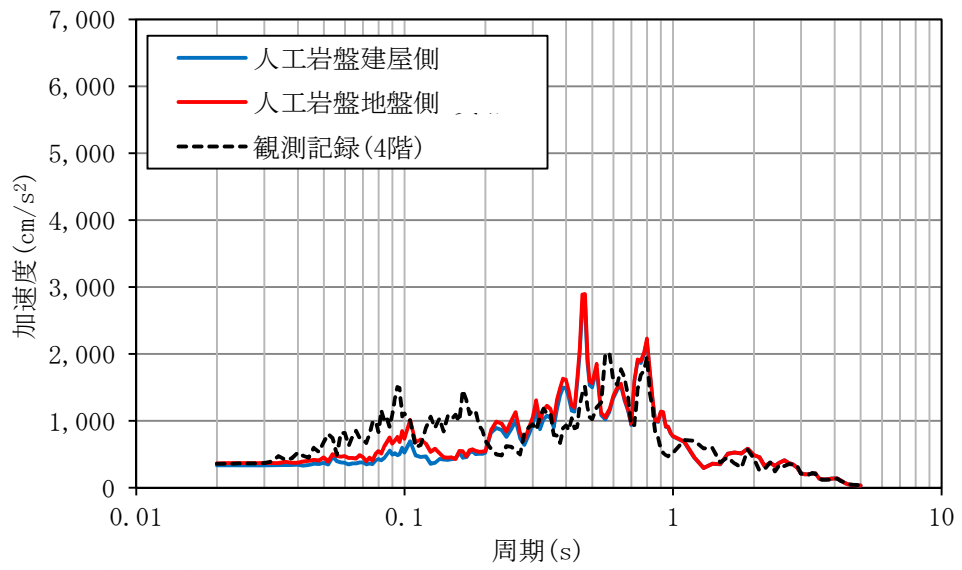
h=1%



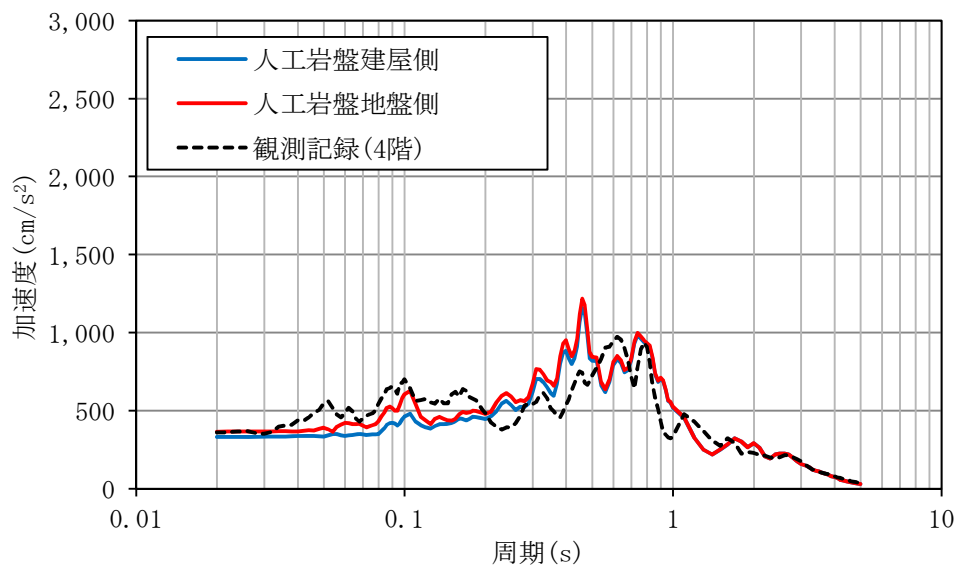
h=5%

2階

図 3-12 (2/4) 床応答スペクトルの比較 (EW 方向)



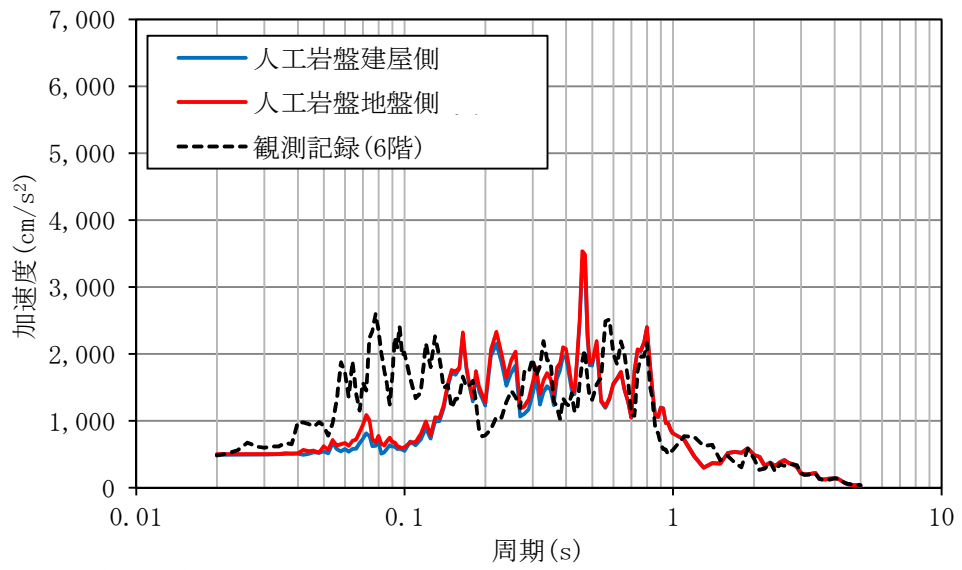
h=1%



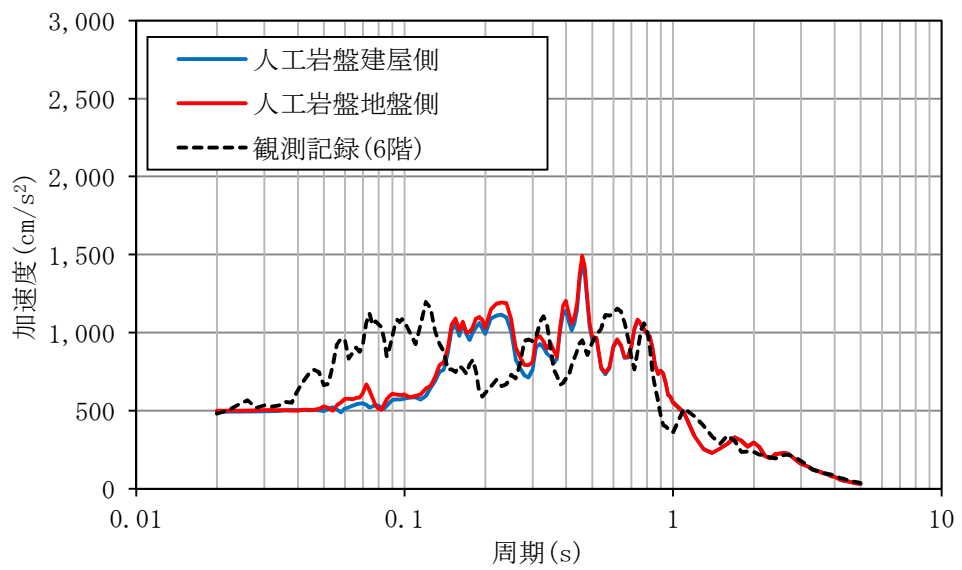
h=5%

4階

図 3-12 (3/4) 床応答スペクトルの比較 (EW 方向)



h=1%



h=5%

6階

図 3-12 (4/4) 床応答スペクトルの比較 (EW 方向)

3.5 側面回転ばねの扱いについて

建屋側面地盤の埋込み効果を考慮するにあたり，側面地盤を水平ばね及び回転ばねとして評価してきた。ここでは，側面回転ばねを考慮しない場合の建屋応答への影響について検討した。

側面回転ばねを考慮しない場合の地震応答解析の概要を図 3-13 に示す。

東北地方太平洋沖地震のシミュレーション解析結果として最大応答加速度分布の比較を図 3-14 及び図 3-15 に，床応答スペクトルの比較を図 3-16 及び図 3-17 に示す。側面回転ばねを考慮しない場合の解析結果は，側面回転ばねを考慮する場合の応答に比べ，概ね同程度であるか一部の周期帯では若干大きくなることが確認できた。

「3.3 建屋－地盤動的相互作用の評価法について」において示したように，埋込み効果として，側面地盤の水平ばね及び回転ばねを考慮した場合に，より実状に近い建屋の振動性状を評価できているものと考えられるが，R/B 今回工認モデルにおいては，保守的に側面回転ばねを採用しない方針とした。

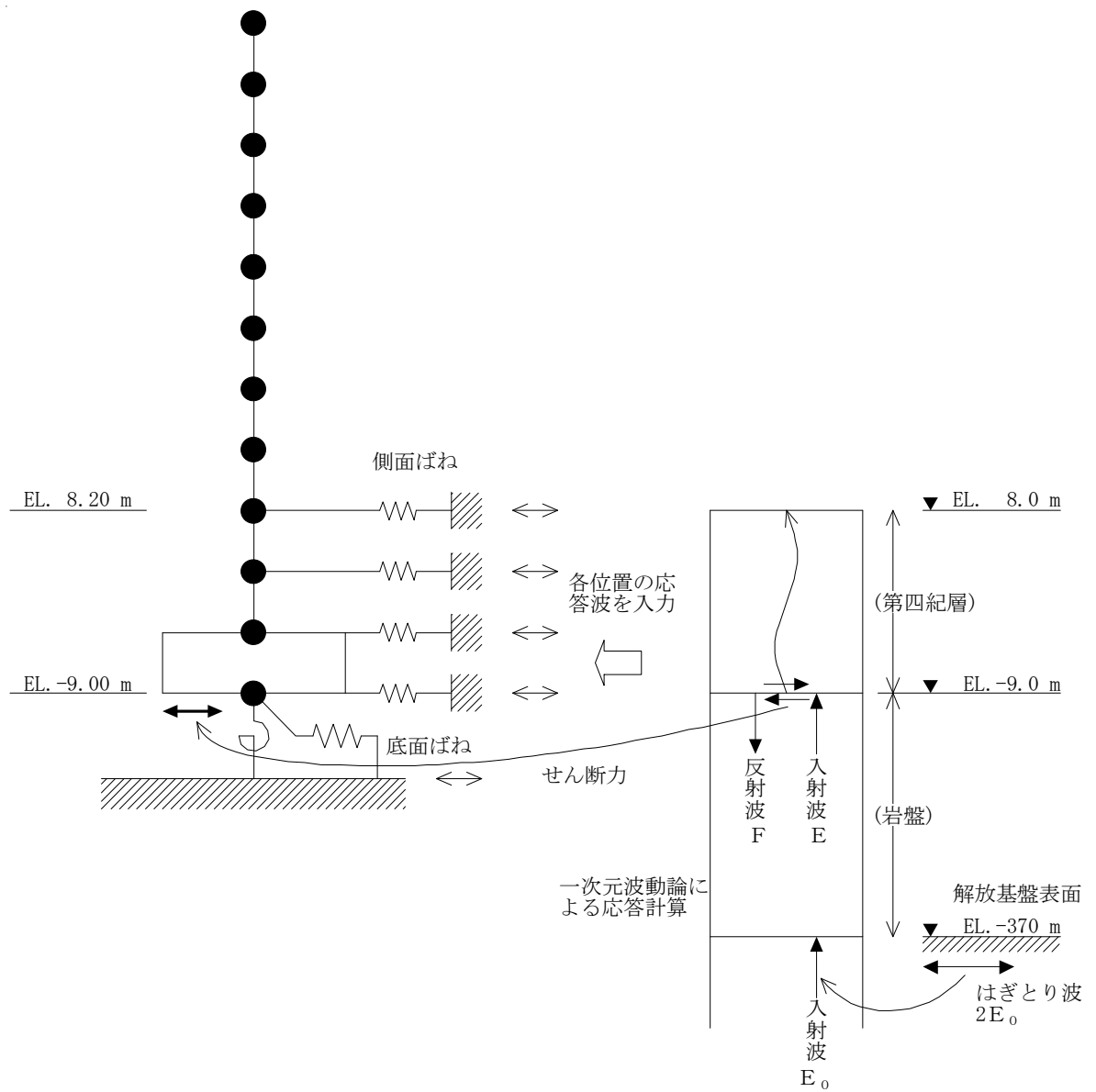


図 3-13 側面回転ばねを考慮しない場合の地震応答解析の概要

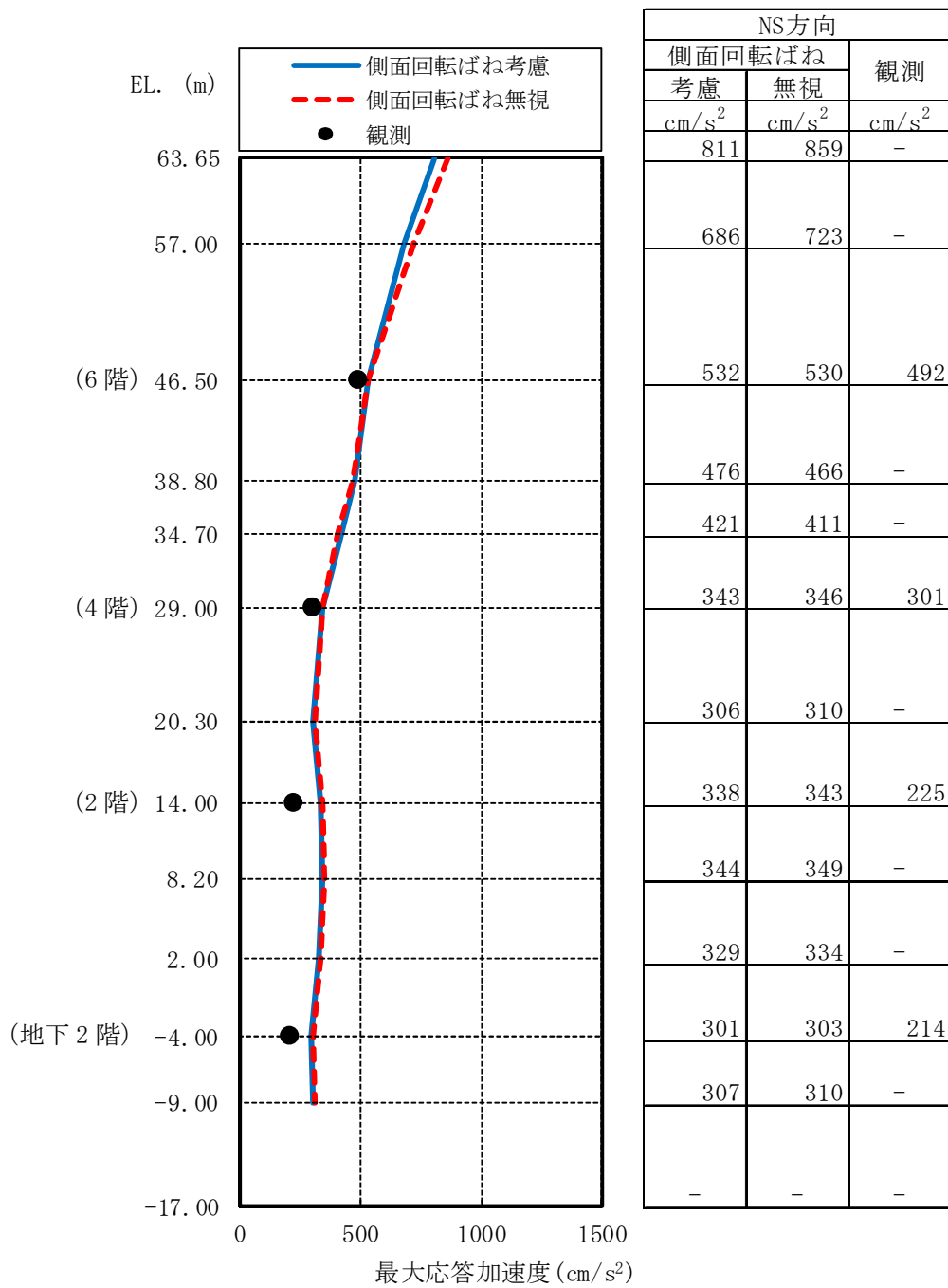


図 3-14 最大応答加速度分布の比較 (NS 方向)

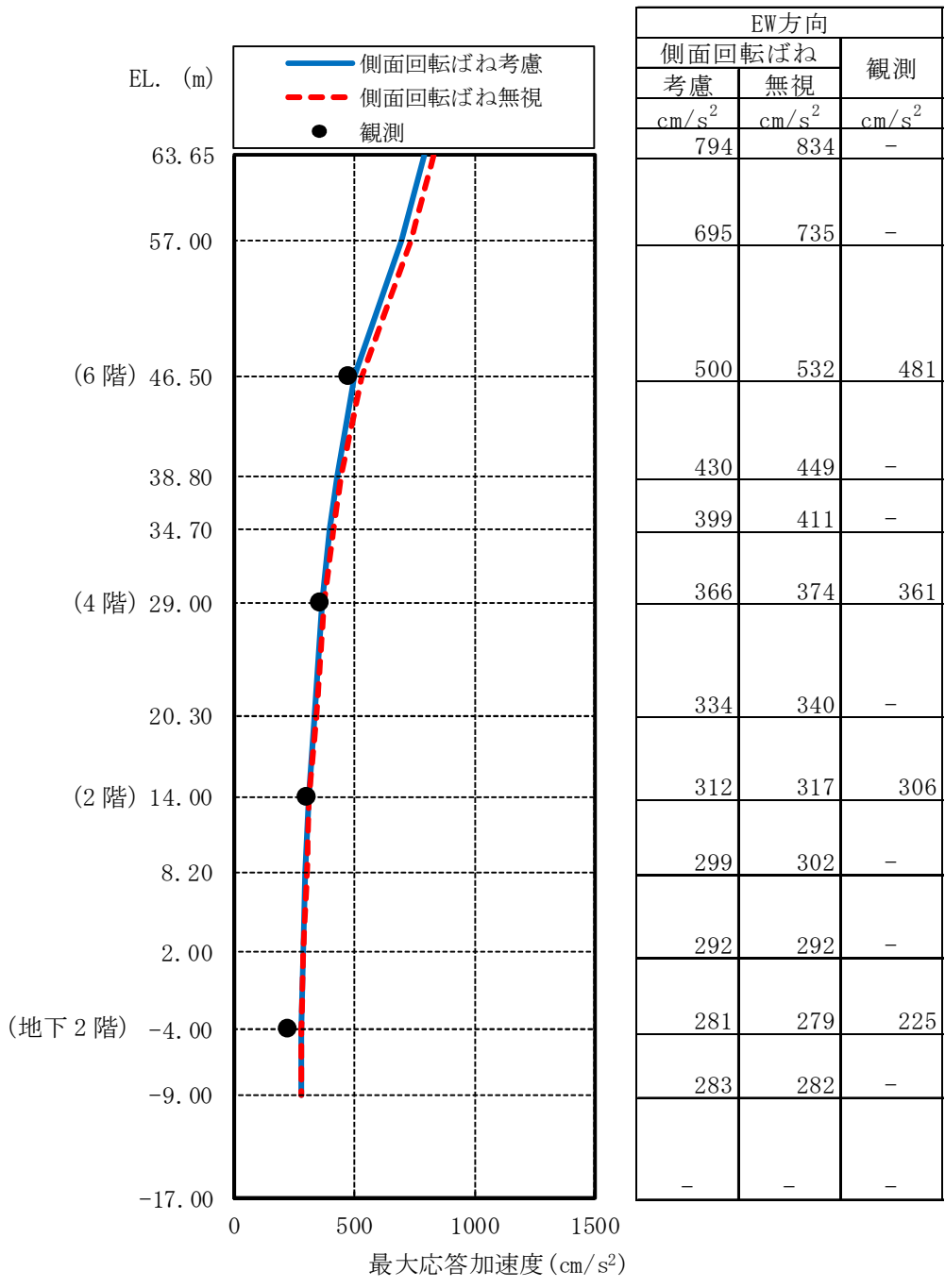
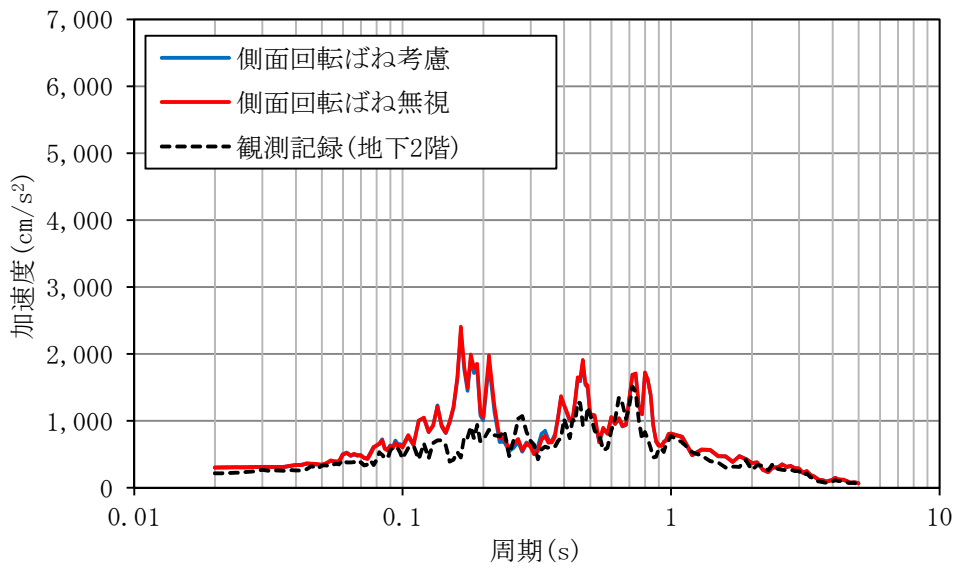
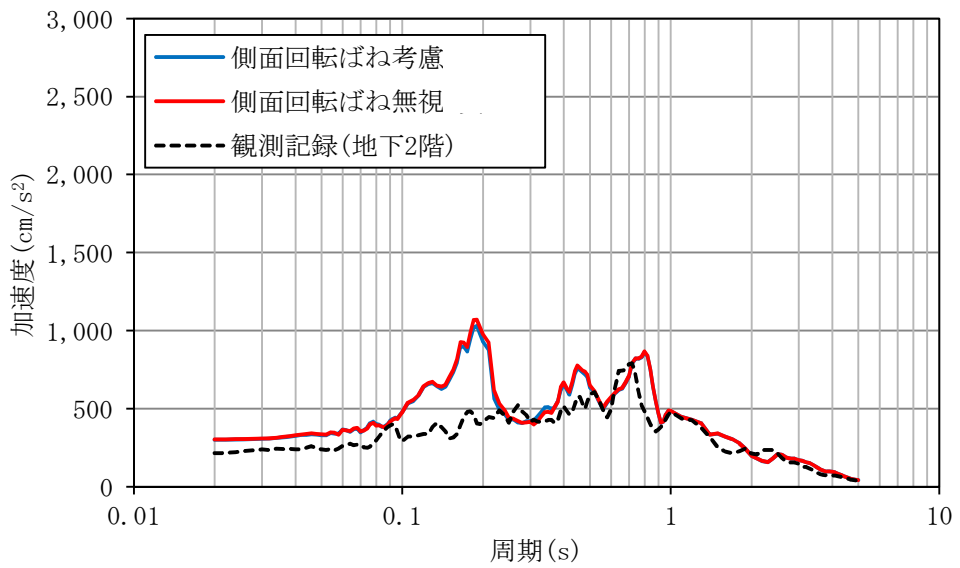


図 3-15 最大応答加速度分布の比較 (EW 方向)



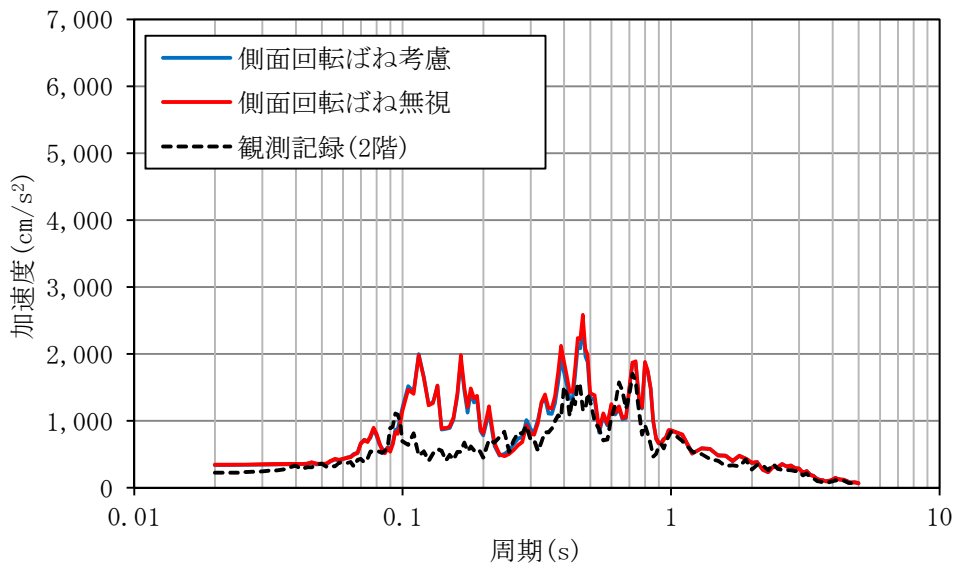
h=1%



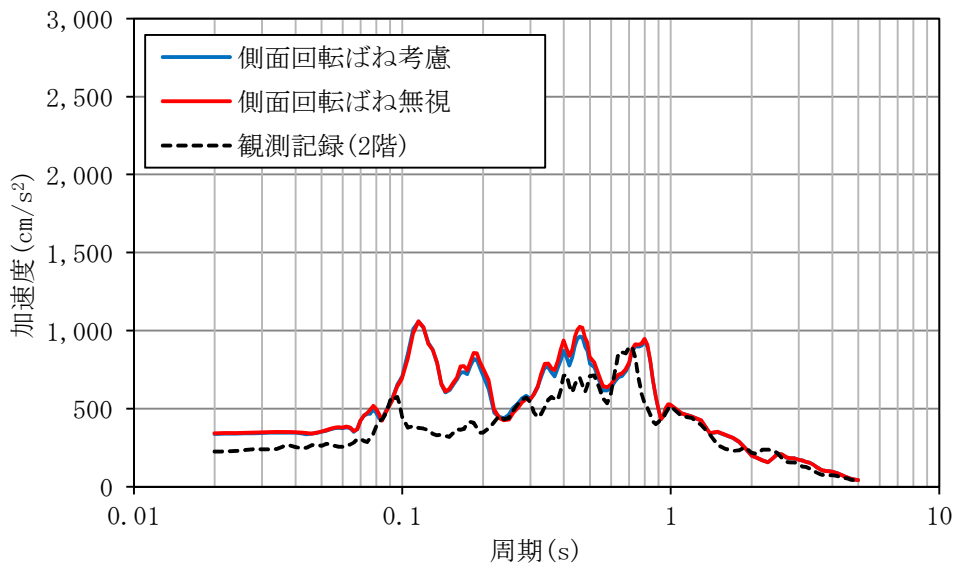
h=5%

地下2階

図3-16 (1/4) 床応答スペクトルの比較 (NS方向)



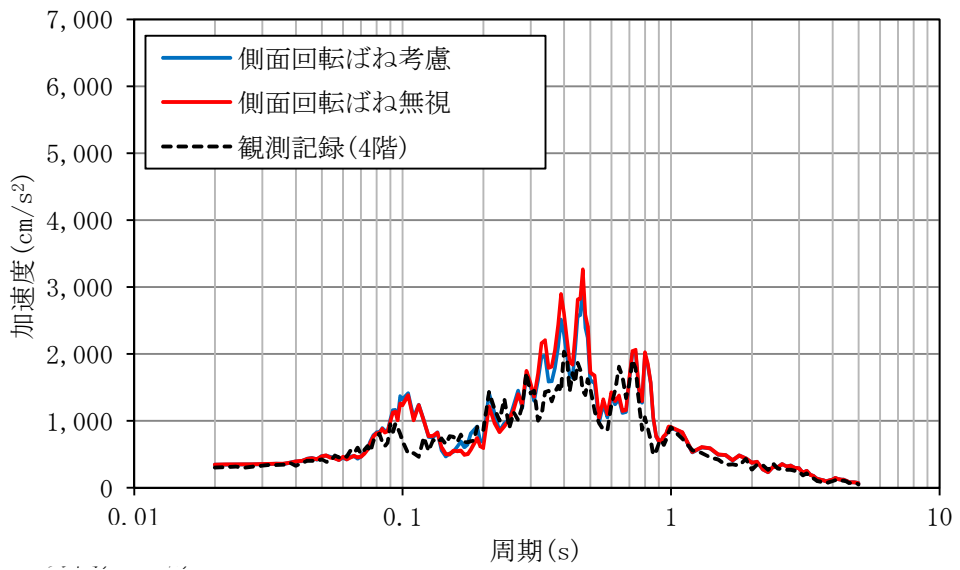
$h=1\%$



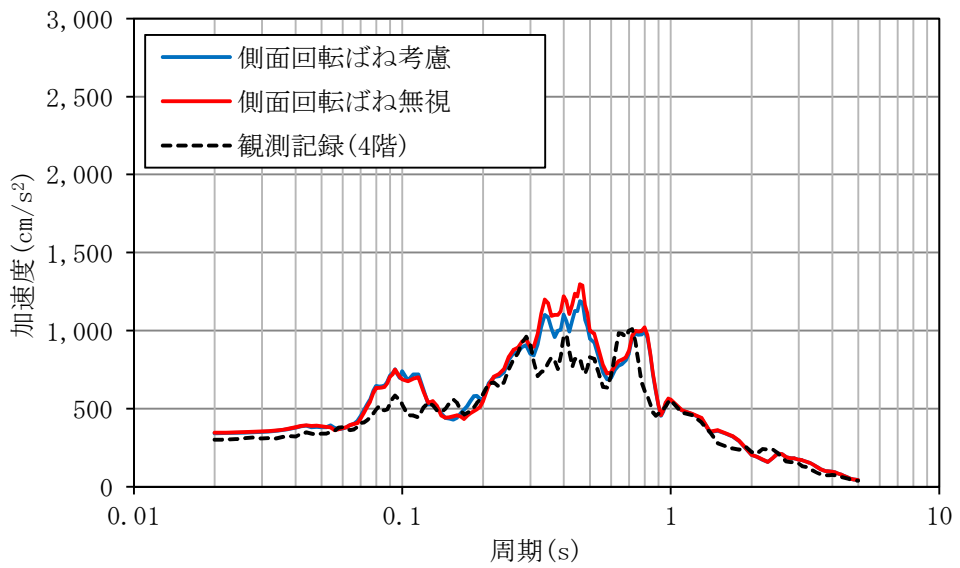
$h=5\%$

2階

図 3-16 (2/4) 床応答スペクトルの比較 (NS 方向)



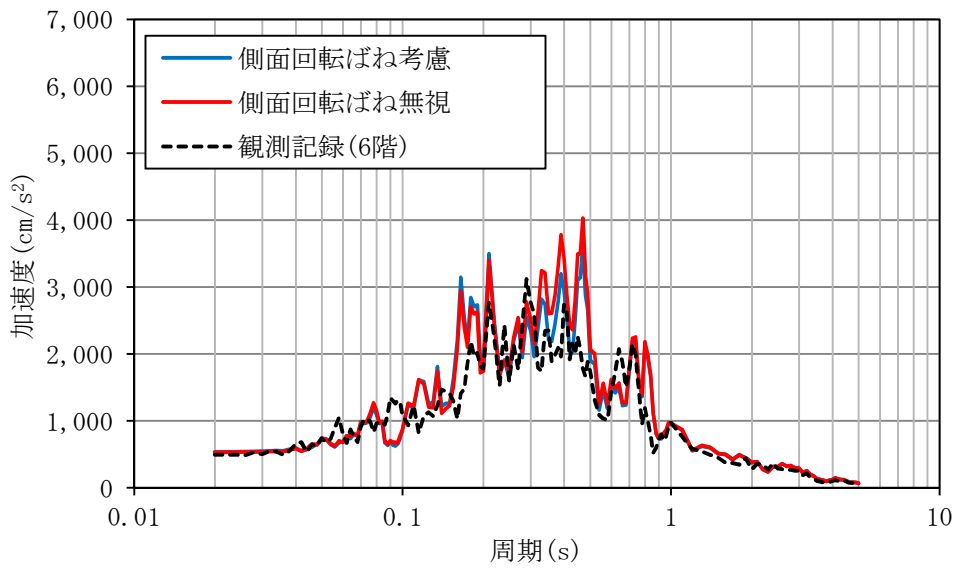
$h=1\%$



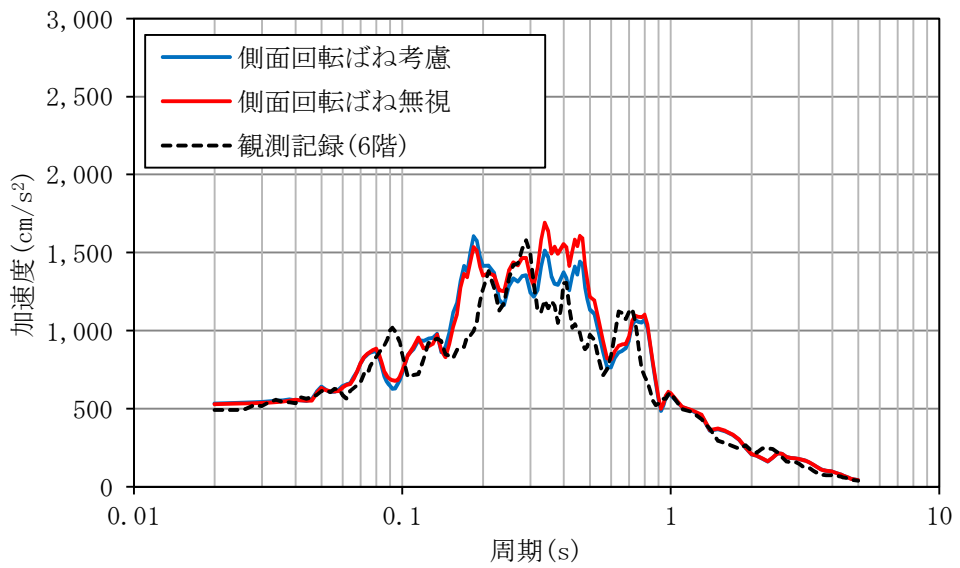
$h=5\%$

4階

図 3-16 (3/4) 床応答スペクトルの比較 (NS 方向)



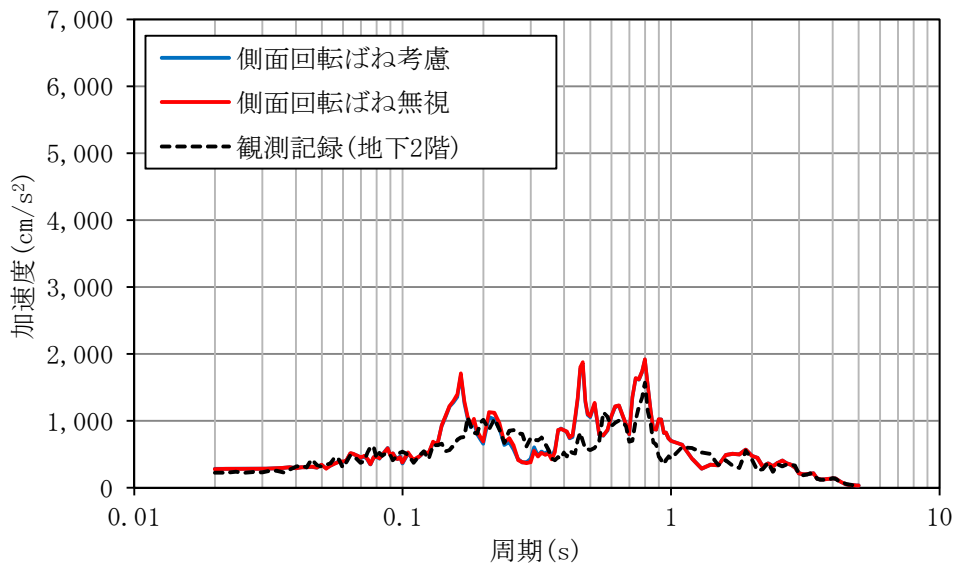
h=1%



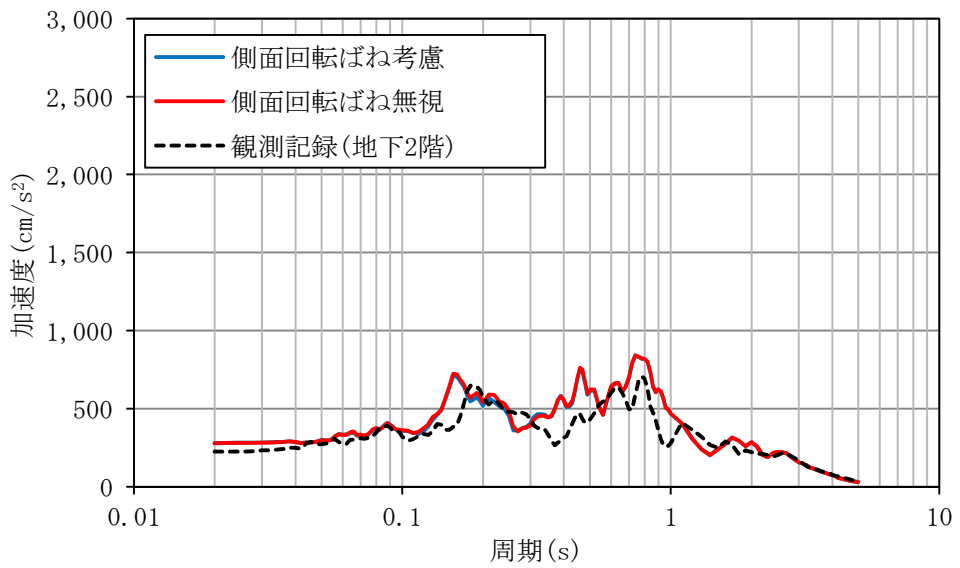
h=5%

6階

図 3-16 (4/4) 床応答スペクトルの比較 (NS 方向)



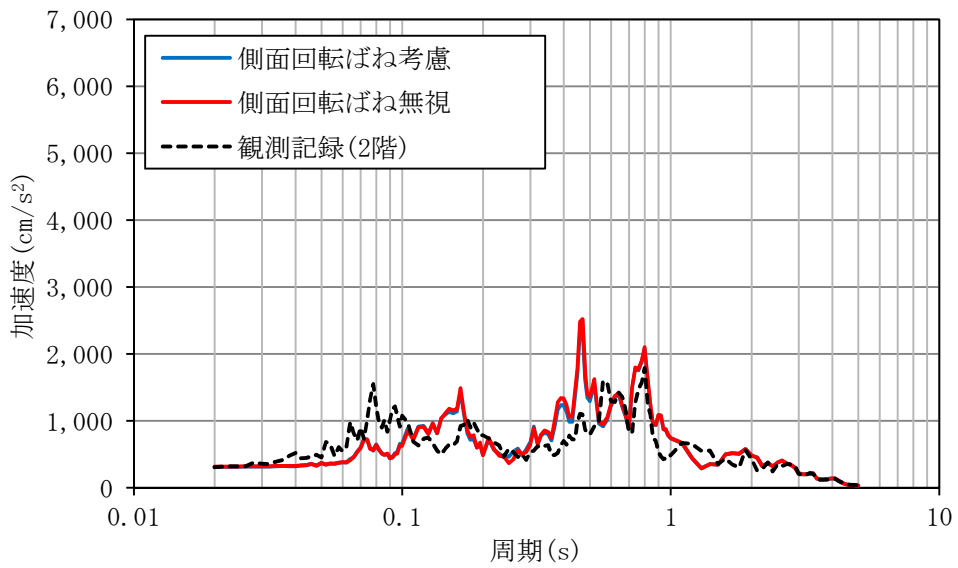
h=1%



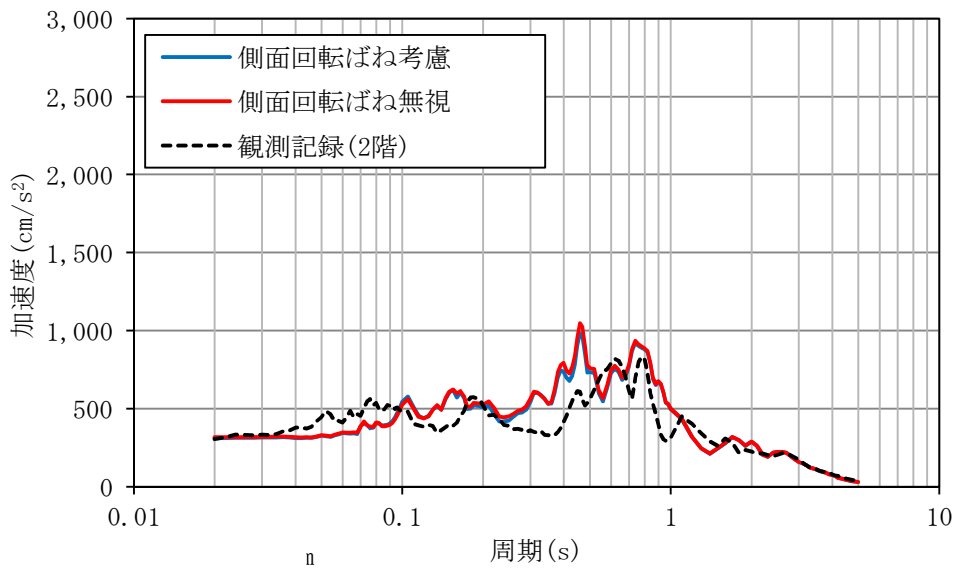
h=5%

地下2階

図3-17 (1/4) 床応答スペクトルの比較 (EW方向)



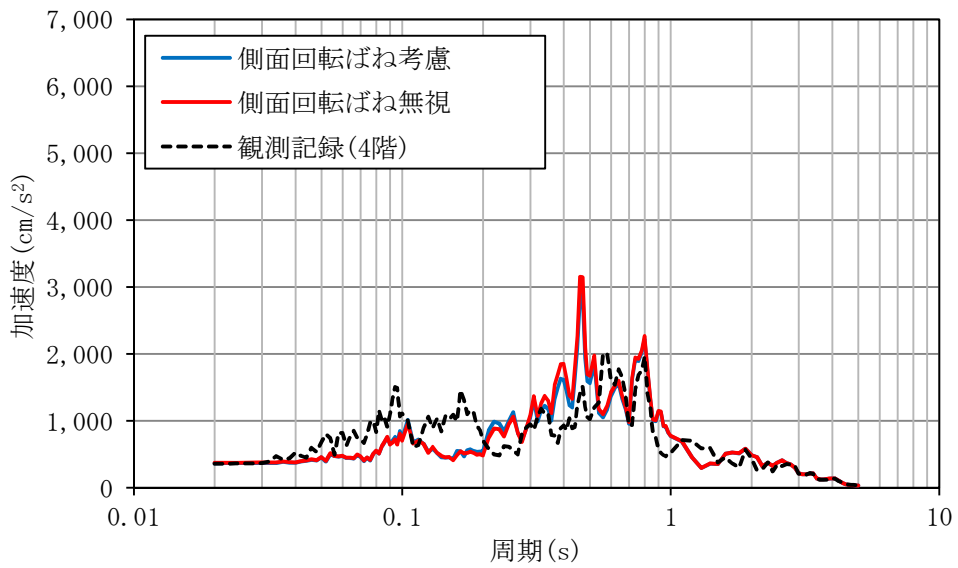
$h=1\%$



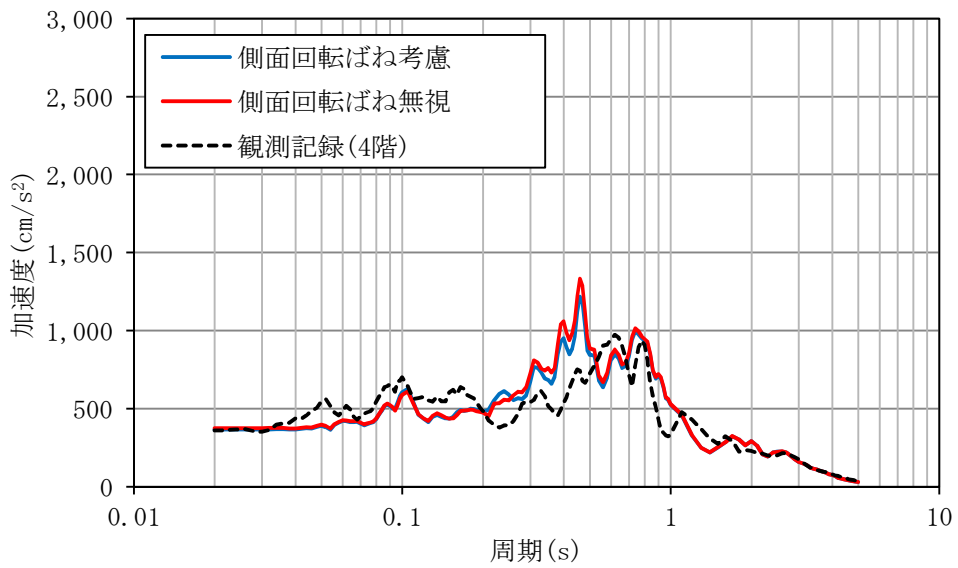
$h=5\%$

2 階

図 3-17 (2/4) 床応答スペクトルの比較 (EW 方向)



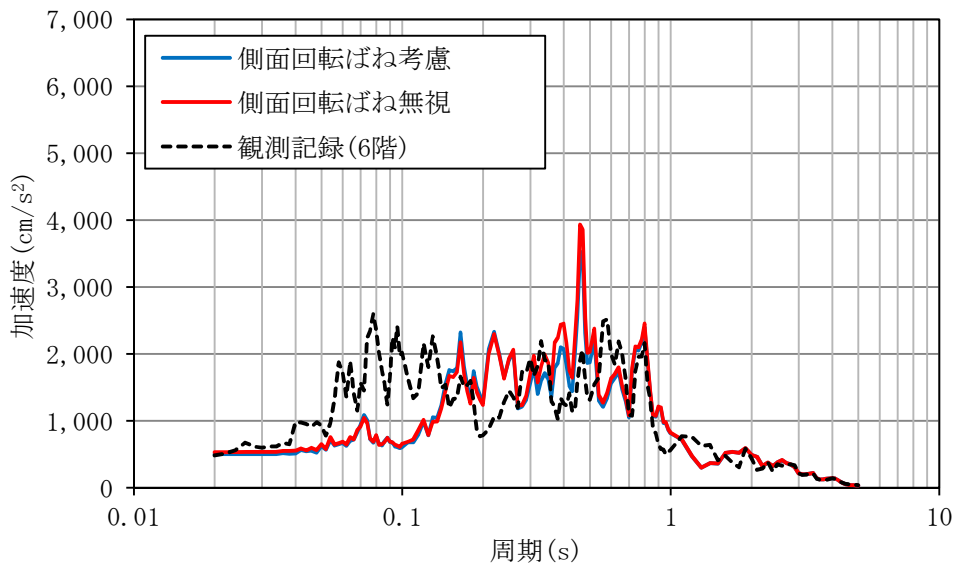
h=1%



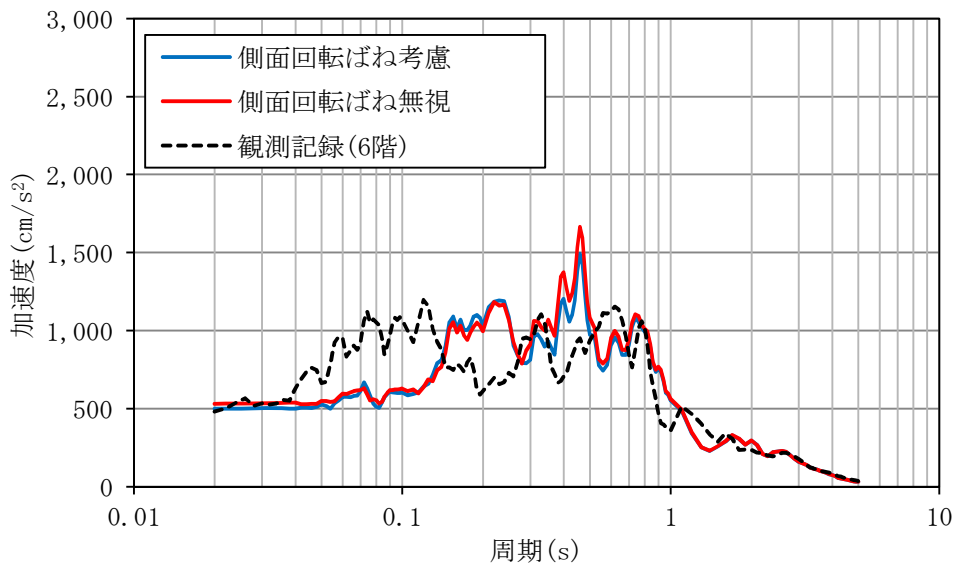
h=5%

4階

図 3-17 (3/4) 床応答スペクトルの比較 (EW 方向)



$h=1\%$



$h=5\%$

6階

図 3-17 (4/4) 床応答スペクトルの比較 (EW 方向)

4. シミュレーション解析結果を踏まえた施設影響

2011年東北地方太平洋沖地震の観測記録を踏まえた原子炉建屋のシミュレーション解析を3.地震応答解析モデルに係る影響検討にて実施した。本検討において観測記録とシミュレーション解析結果との床応答スペクトルの比較において、一部の周期帯において観測記録がシミュレーション解析の応答を上回る結果が確認されたため、施設への影響について確認する。なお、観測記録とシミュレーション解析の差異の考察については、「補足説明資料 340-7 水平2方向及び鉛直方向の適切な組合せに関する検討について 別紙3 3次元FEMモデルによる地震応答解析 2.3 観測記録を用いた検討」で示す。

4.1 原子炉建屋への影響

図4-1に観測記録の最大応答加速度とシミュレーション解析との最大応答加速度との比較を示す。原子炉建屋の地震計設置位置での観測記録と原子炉建屋質点系モデルを用いたシミュレーション解析の応答とを比較した結果、最大応答加速度分布は各方向において、観測記録がシミュレーション解析を上回らないことが確認できたため、原子炉建屋の耐震評価に影響はない。

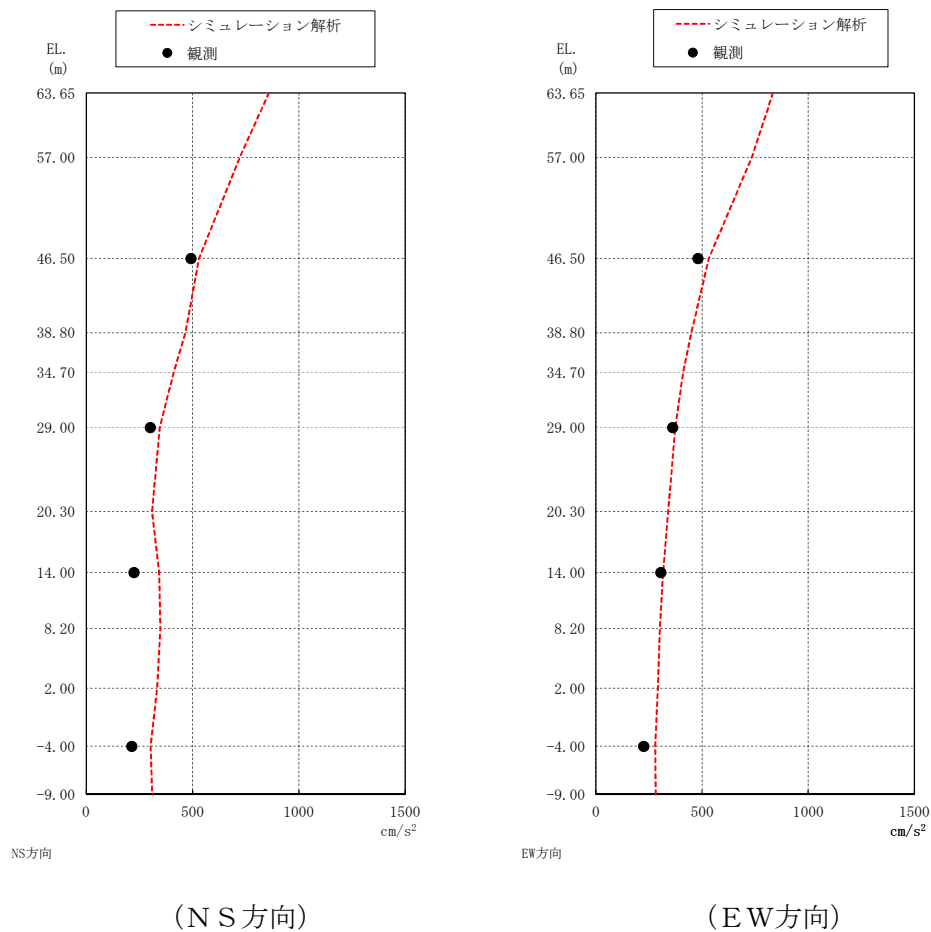


図4-1 最大応答加速度の分布の比較

4.2 原子炉建屋に設置された機器・配管系

(1) 床応答スペクトルの傾向確認

原子炉建屋の各床面のシミュレーション解析結果の床応答スペクトルと観測記録の床応答スペクトルとの比較を図 4-2～図 4-4 に示す。また、最大応答加速度と固有周期 0.05 秒位置での加速度比較を表 4-1 に示す。機器・配管系評価においては、NS 方向及びEW 方向を包絡させた設計用床応答曲線を適用し、耐震評価を実施することから、NS 方向とEW 方向を包絡させた床応答スペクトルにて比較している。

また、原子炉建屋の設計用床応答曲線及び評価用震度は、設備評価用として加速度を 1.5 倍した値を基本として耐震計算を実施していることから、シミュレーション解析結果については、加速度値（震度）を 1.5 倍したものとする。

原子炉建屋の各床面のシミュレーション解析結果の床応答スペクトルと観測記録の床応答スペクトルの比較結果を以下に記す。

① 減衰定数 5%

- ・ シミュレーション解析結果の床応答スペクトルは観測記録の床応答スペクトルを包絡している。

② 減衰定数 2%

- ・ EL. 46.5m の床応答スペクトルの比較では、0.05 秒から 0.1 秒において観測記録の床応答スペクトルがシミュレーション解析結果の床応答スペクトルを超えている周期が確認できる。
- ・ EL. 46.5m の床応答スペクトル以外の階高の床応答スペクトルにおいては、シミュレーション解析結果が観測記録を概ね包絡していることが確認できる。

③ 減衰定数 1%

- ・ EL. 46.5m の床応答スペクトルの比較では、0.05 秒から 0.1 秒において観測記録の床応答スペクトルがシミュレーション解析結果の床応答スペクトルを超えている周期が確認できる。
- ・ EL. 29.0 及び EL. 14.0m の床応答スペクトルの比較では、一部の周期帯で観測記録の床応答スペクトルがシミュレーション解析結果の床応答スペクトルを超えている周期が確認できる。
- ・ EL. -4.0m の床応答スペクトルにおいては、シミュレーション解析結果が観測記録を包絡していることが確認できる。

④ 最大応答加速度

- ・ 全標高に対してシミュレーション解析結果の最大応答加速度は、観測記録の最大応答加速度を超えていることが確認できる。

以上のとおり床応答スペクトル及び最大応答加速度の比較した傾向を示したが、機器・配管系の耐震設計の特徴を踏まえて、設備の影響評価を実施する。

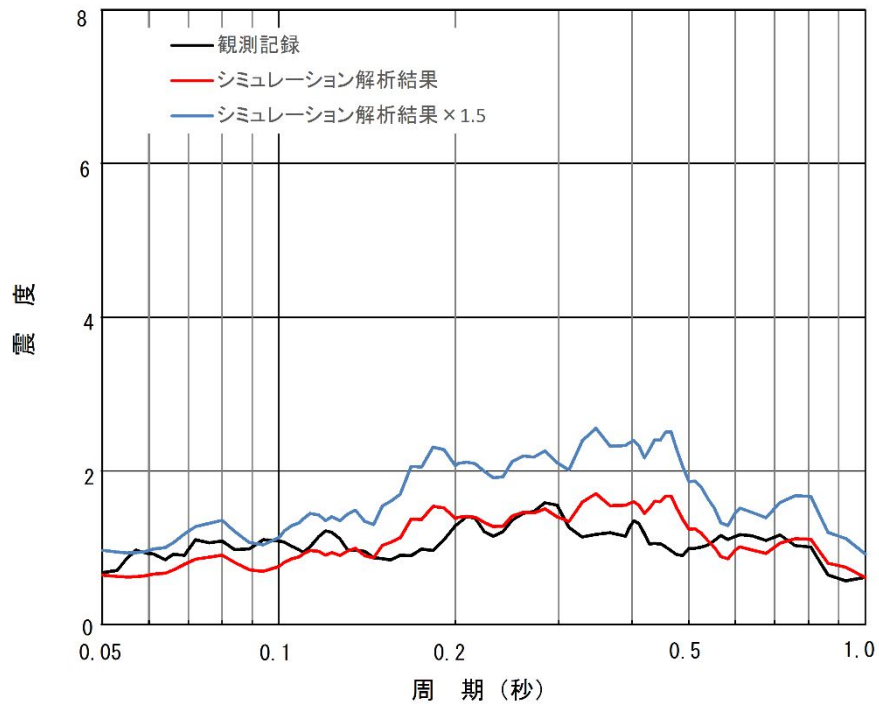


図 4-2(1) 原子炉建屋 EL. 46.5m 床応答スペクトル比較 (減衰 5%)

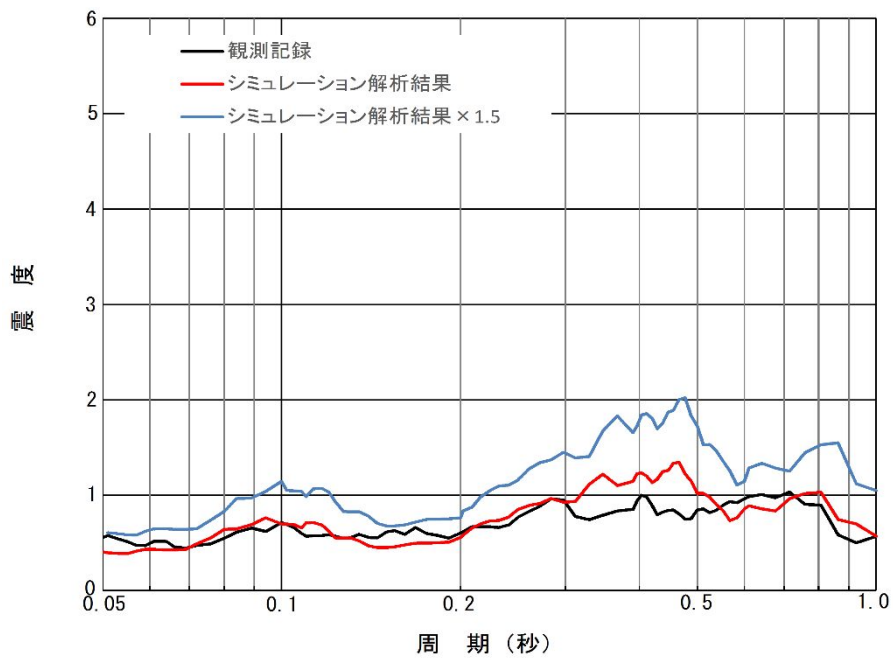


図 4-2(2) 原子炉建屋 EL. 29.0m 床応答スペクトル比較 (減衰 5%)

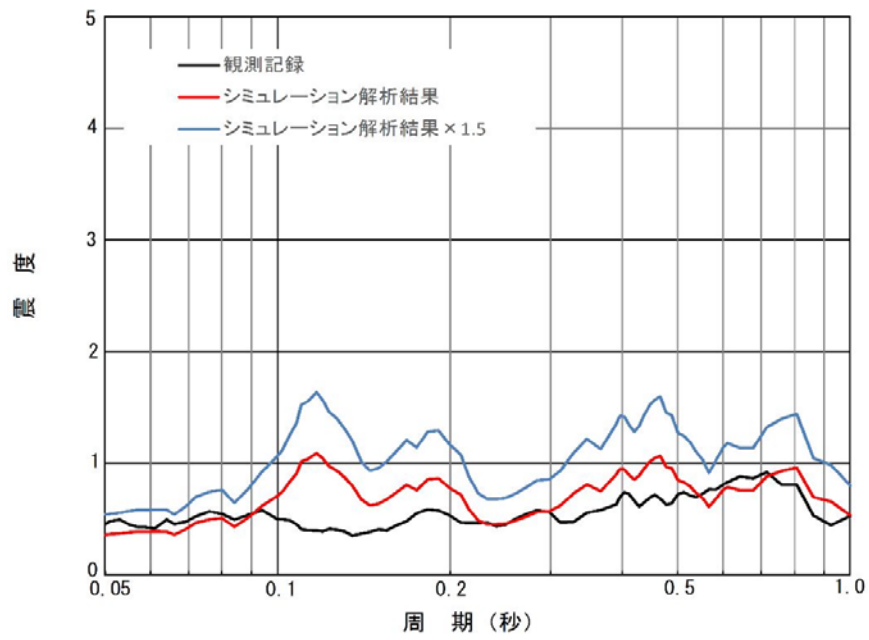


図 4-2(3) 原子炉建屋 EL. 14.0m 床応答スペクトル比較 (減衰5%)

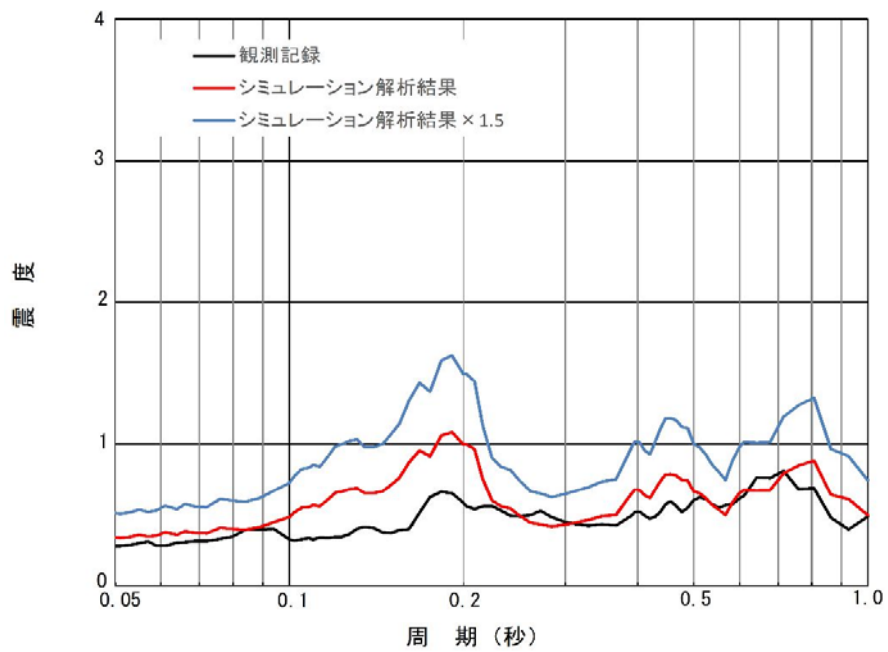


図 4-2(4) 原子炉建屋 EL. -4.0m 床応答スペクトル比較 (減衰5%)

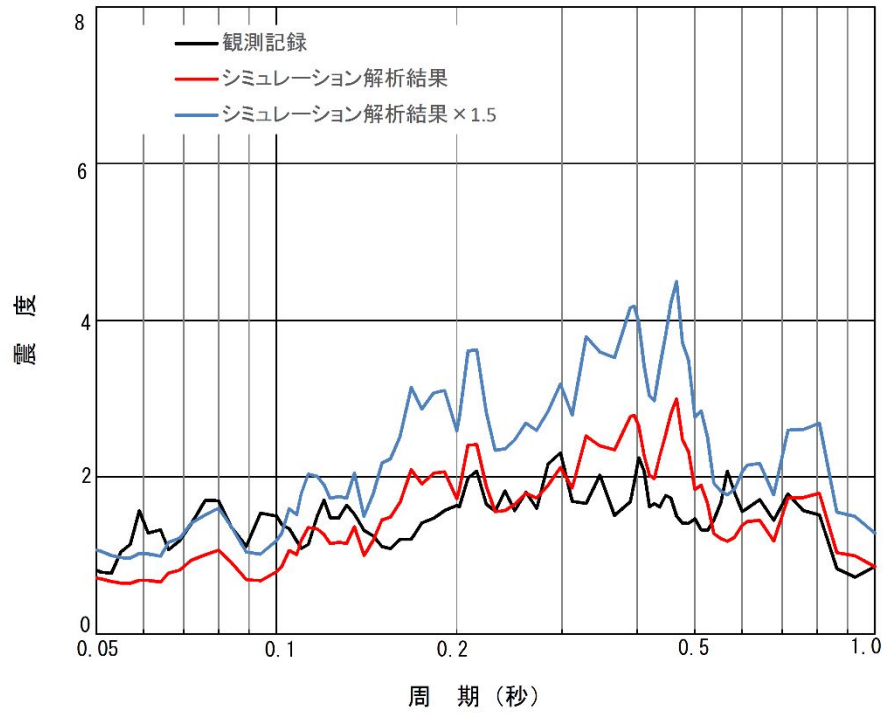


図 4-3(1) 原子炉建屋 EL. 46.5m 床応答スペクトル比較 (減衰 2%)

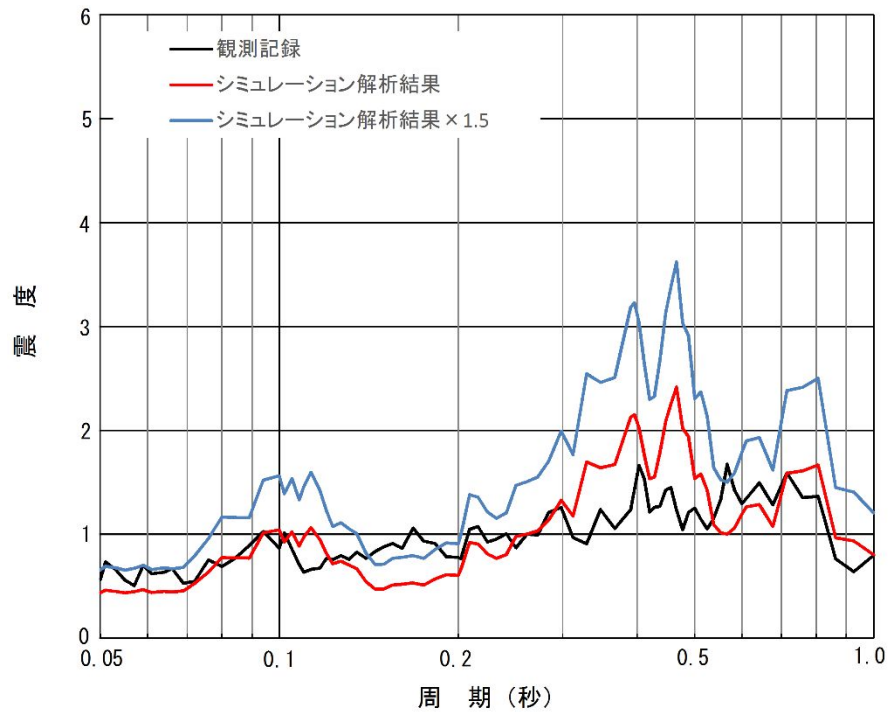


図 4-3(2) 原子炉建屋 EL. 29.0m 床応答スペクトル比較 (減衰 2%)

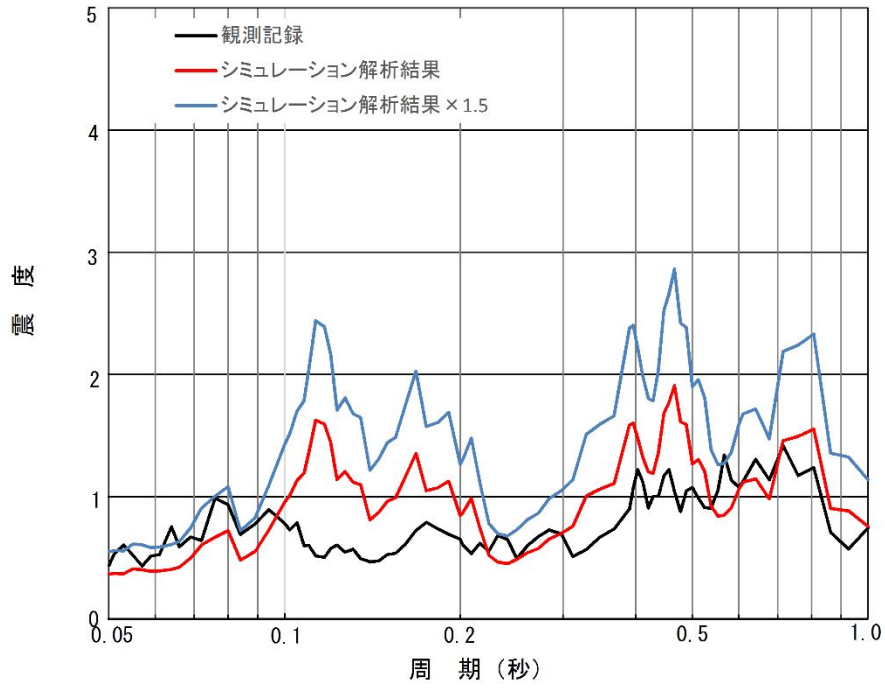


図 4-3(3) 原子炉建屋 EL. 14.0m 床応答スペクトル比較 (減衰 2%)

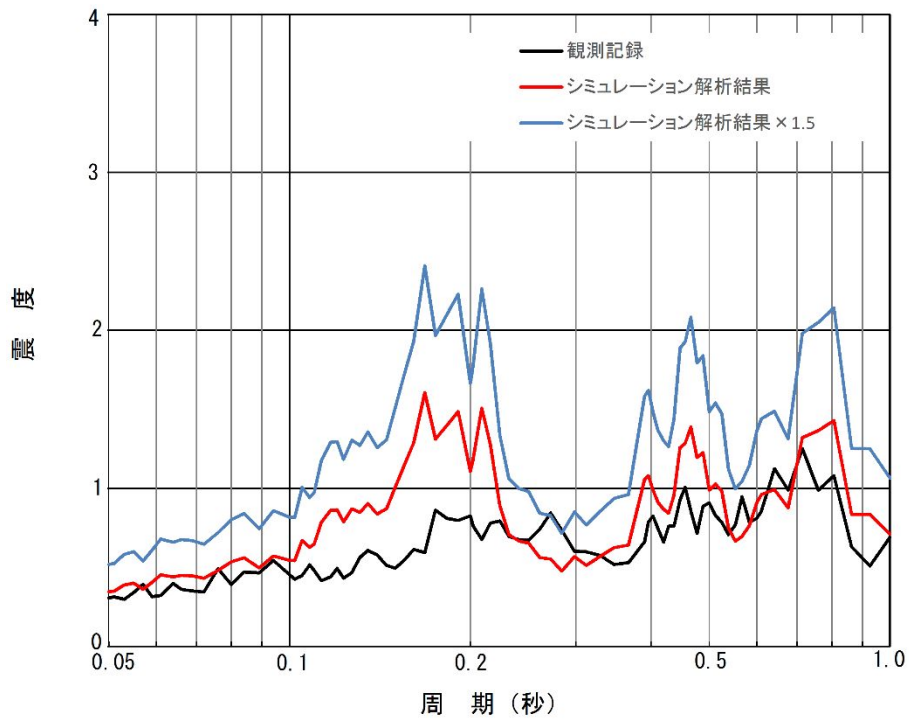


図 4-3(4) 原子炉建屋 EL. -4.0m 床応答スペクトル比較 (減衰 2%)

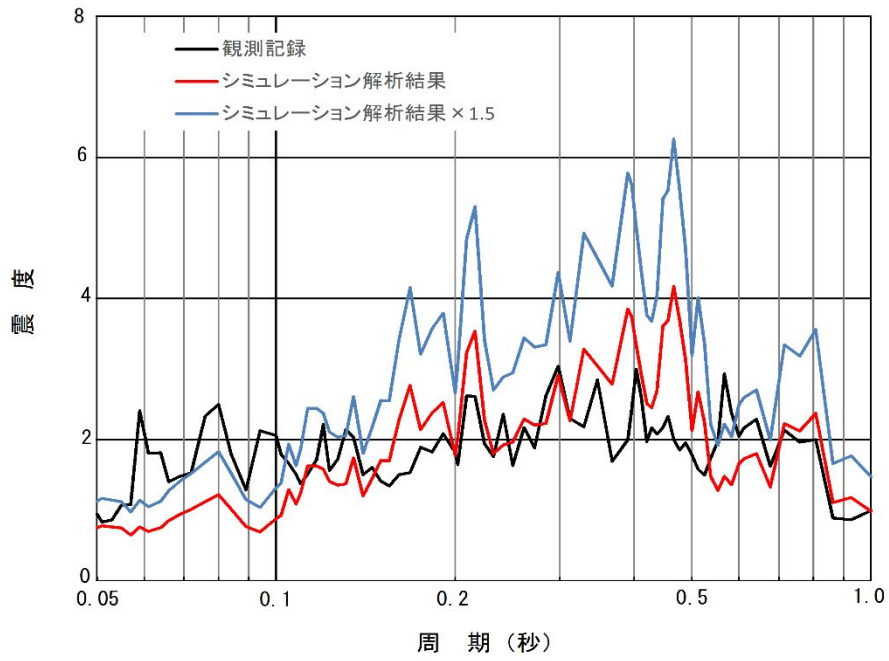


図 4-4(1) 原子炉建屋 EL. 46.5m 床応答スペクトル比較 (減衰 1%)

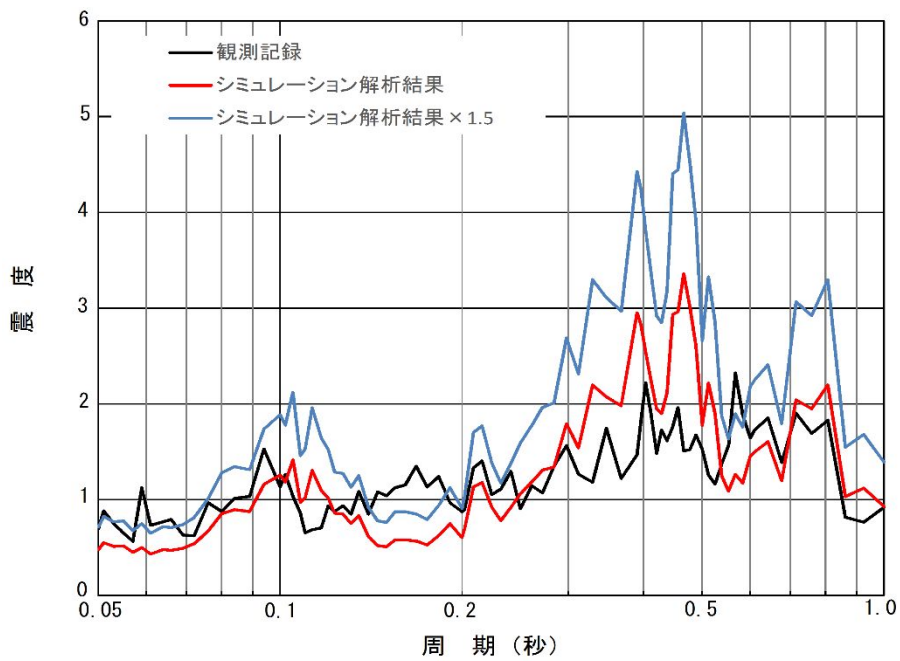


図 4-4(2) 原子炉建屋 EL. 29.0m 床応答スペクトル比較 (減衰 1%)

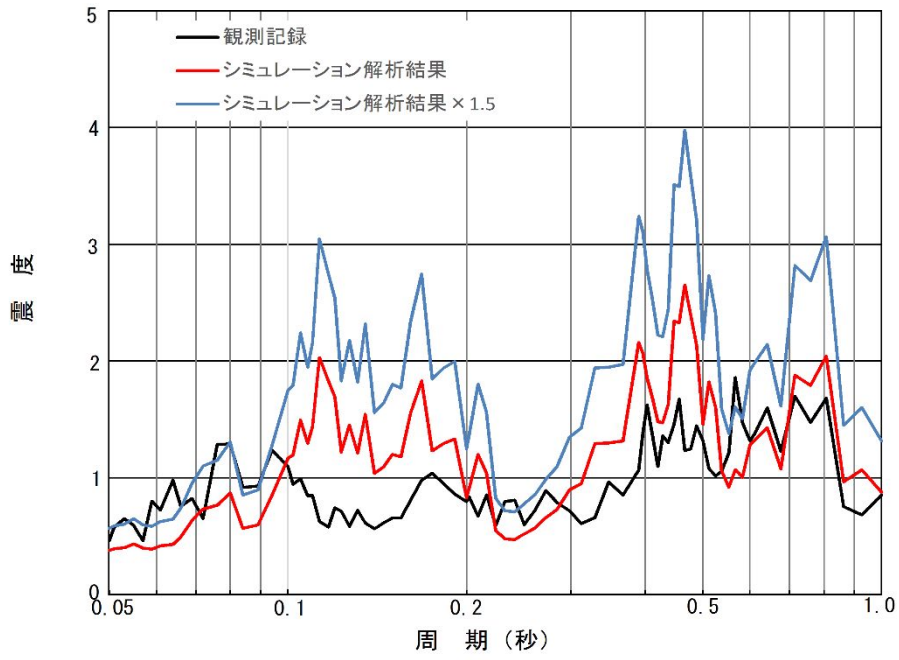


図 4-4(3) 原子炉建屋 EL. 14.0m 床応答スペクトル比較 (減衰 1%)

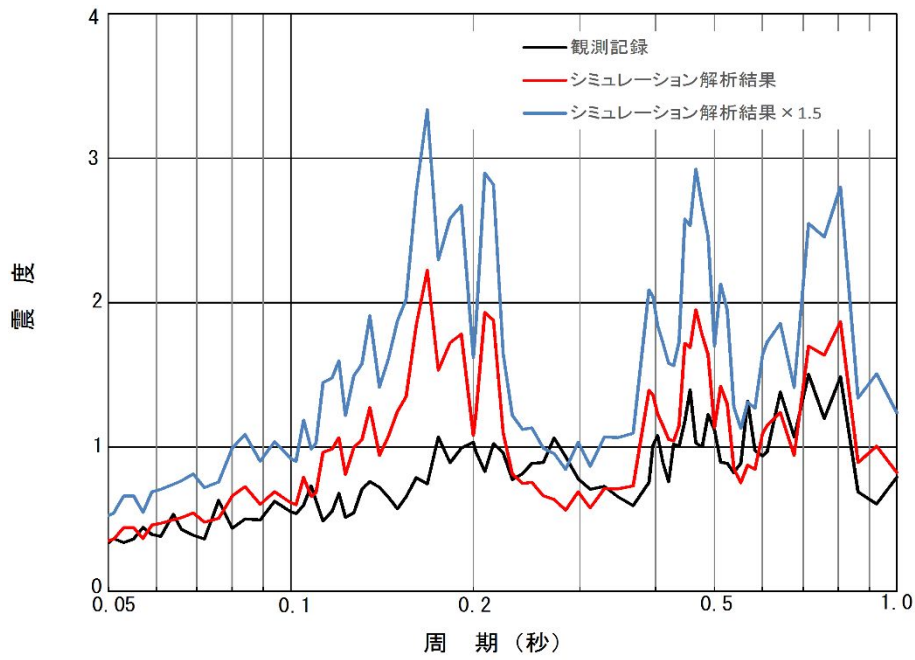


図 4-4(4) 原子炉建屋 EL. -4.0m 床応答スペクトル比較 (減衰 1%)

表 4-1 最大応答加速度と固有周期 0.05 秒位置での加速度比較

標高 (m)	最大応答加速度 (cm/s^2)					固有周期 0.05 秒位置 * の加速度 (cm/s^2)			
	シミュレーション 解析			観測記録		シミュレーション 解析		観測記録	
	NS	EW	Max (NS, EW) $\times 1.5$	NS	EW	$\times 1.0$	$\times 1.5$		
46.5	530	532	798	492	481	700	1050	797	
29.0	346	374	561	301	361	430	644	556	
14.0	343	317	515	225	306	359	538	431	
-4.0	303	279	455	214	225	339	509	301	

* 床応答スペクトルは減衰 2%を適用し、NS方向とEW方向を包絡させた値として記載。

(2) 観測記録による影響検討

(1)床応答スペクトルの傾向確認を踏まえて、観測記録とシミュレーション解析結果との差異に対して設備の影響検討を実施する。影響検討に当たっては、シミュレーション解析結果の最大応答加速度が、全標高において観測記録の加速度を超えていることから、床応答スペクトルを用いて評価を行う設備を対象とする。

具体的には、設備の固有周期を確認し、観測記録とシミュレーション解析の応答比率^(注1)を踏まえた割り増しを考慮しても、設備の有する耐震裕度に収まることを確認する。この際、地震観測記録計の設置されている標高がEL. -4.0m, EL. 14.0m, EL. 29.0m及びEL. 46.5mに限定され、観測系統としてすべての標高を網羅できていないことに鑑み、観測記録とシミュレーション解析結果に差異が認められたEL. 14.0m以上の標高に設置される耐震重要設備並びに常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備、上位クラスの設備に波及的影響を及ぼす設備を対象とする。

なお、地震観測計が設置されていない標高に設置された設備の影響検討においては、地震観測計が設置された上下階の応答比率を用いて検討を行う。但し、EL. 46.5mの観測記録とシミュレーション解析結果との差異については、東西のオペフロ面が外側にはらみ出すようなモードによる影響が要因となっており、その影響はEL. 46.5mのオペフロ面に限定さえることから、他の標高に設置された設備への影響検討には用いないこととする。

各設備の影響検討結果について次頁以降に示す。

注1：耐震計算において、設計用床応答曲線を1.5倍した設備評価用床応答曲線を適用している設備については、シミュレーション解析結果を1.5倍した床応答スペクトルにより応答比率を求める。また、設計用床応答曲線及びばらつきケースを包絡した設備評価用床応答曲線を適用している設備については、シミュレーション解析結果(×1.0)により応答比率を求める。

① 設置床レベル 46.5m の機器・配管系（減衰 1.0%）への影響検討結果

設置床レベルが EL. 46.5m であり，減衰定数 1.0% を適用して耐震評価を実施する機器・配管系として，使用済燃料プール温度計（SA）が有る。当該設備に対して影響評価結果を実施した結果，基準地震動 S_s の耐震裕度は FRS 比率以上であるため，観測記録とシミュレーション解析結果の差異に対する影響がないことを確認した。

表 4-2 設置床レベル 46.5m の機器・配管系（減衰 1.0%）への影響評価結果

設備名称	一次固有 周期（秒）	応力 分類	発生応力 （MPa）	許容応力 （MPa）	耐震 裕度	FRS* ¹ 比率	影響 評価
使用済燃料プール 温度計（SA）	0.23	せん断	13	94	7.23	—	○

* 1 観測記録がシミュレーション解析結果を上回っている場合は，その比率を記載する。またシミュレーション解析が観測記録を上回っていれば「—」と記載する。

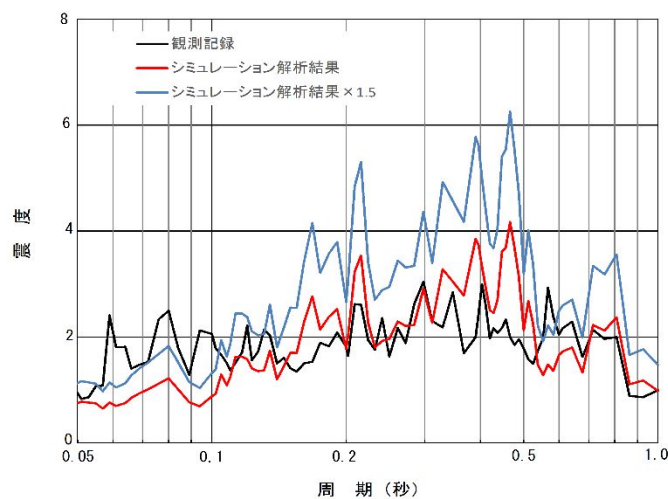


図 4-5 原子炉建屋 EL46.5m 床応答スペクトル比較（減衰 1.0%）

② 設置床レベル 46.5m の機器・配管系（減衰 2.0%）への影響検討結果

設置床レベルが EL. 46.5m であり，減衰定数 2.0% を適用して耐震評価を実施する機器・配管系として，燃料取替機（SA），燃料取替機（DB）及び非常ガス再循環系配管が有る。当該設備に対して影響評価結果を実施した結果，非常ガス再循環系配管については，基準地震動 S_s の耐震裕度は FRS 比率以上であるため，観測記録とシミュレーション解析結果の差異に対する影響がないことを確認した。燃料取替機については，FRS 比率が耐震裕度を上回る結果となったため，詳細検討を行い耐震裕度が確保可能であることを確認した。

表 4-3 設置床レベル 46.5m の機器・配管系（減衰 2.0%）への影響評価結果

設備名称	一次固有周期 (秒)	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	耐震裕度	FRS ^{*1} 比率	影響評価
燃料取替機	0.078	せん断	135	146	1.08	1.69	○ ^{*2}
非常ガス再循環系配管 (FRVS-6)	0.074	1次	25	343	13.72	1.13	○

* 1 観測記録がシミュレーション解析結果上回っている場合は，その比率を記載する。またシミュレーション解析が観測記録を上回っていれば「-」と記載する。

* 2 FRS 比率が耐震裕度を上回る結果となったため，詳細検討を行い耐震裕度が確保可能であることを確認した。

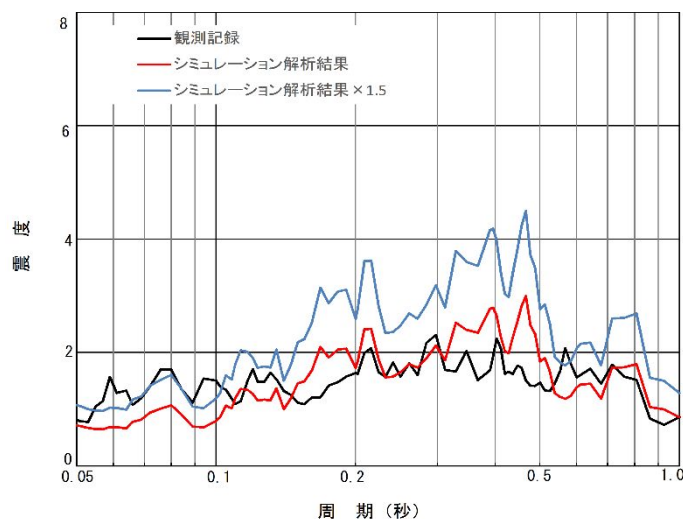


図 4-6 原子炉建屋 EL46.5m 床応答スペクトル比較（減衰 2.0%）

【燃料取替機の詳細検討】

詳細検討は、耐震評価にて上述のFRS比率1.69未満の耐震裕度の部材について行う。表5に示すとおりFRS比率1.69未満の部材として、燃料取替機構造物フレーム、トロリ脱線防止ラグ、横行レールについて詳細検討を行う。

表 4-4 燃料取替機の耐震評価結果（設計基準対処設備）

部 材			応 力 分 類	基準地震動 S _s による評価結果		
				応力値	許容応力	耐震裕度
燃料取替機構造物フレーム			曲 げ	216	275	1.27
			せ ん 断	3	158	52.66
			組 合 せ	217	275	1.26
ブリッジ	脱線防止 ラグ	ラグ本体	曲 げ	101	253	2.50
			せ ん 断	31	146	4.70
			組 合 せ	114	253	2.21
		取付 ボルト	せ ん 断	64	146	2.28
トロリ	脱線防止 ラグ	ラグ本体	曲 げ	154	253	1.64
			せ ん 断	59	146	2.47
			組 合 せ	184	253	1.37
		取付 ボルト	せ ん 断	135	146	1.08
走行レール			曲 げ	240	756	3.15
			せ ん 断	26	436	16.76
			組 合 せ	244	756	3.09
横行レール			曲 げ	428	483	1.12
			せ ん 断	17	278	16.35
			組 合 せ	428	483	1.12

a. 燃料取替機構造物フレームの詳細検討

燃料取替機構造物フレームの耐震評価に用いる地震応答解析結果から得られる荷重にFRS比率1.69倍し、当該荷重を用いた応力値を算出することにより行う。評価結果を表6に示す。燃料取替機構造物フレームの地震応答は、鉛直方向の荷重が支配的であり、応力値に占める水平方向の地震応答は僅かであるため、応力値の増加も僅かであり、許容応力に収まる結果となった。

表 4-5 燃料取替機構造物フレームの詳細検討結果

部 材	応 力 分 類	基準地震動 S _s による評価結果			観測記録による影響検討		
		応力値	許容 応力	耐震 裕度	応力値	許容 応力	耐震 裕度
燃料取替機 構造物フレ ーム	曲 げ	216	275	1.27	219	275	1.25
	せ ん 断	3	158	52.66	3	158	52.66
	組 合 せ	217	275	1.26	219	275	1.25

b. トロリ脱線防止ラグ及び横行レールの詳細検討

燃料取替機の応力値算出に用いる荷重は、床応答スペクトルを適用した動的解析に加えて、最大応答加速度（1.2ZPA）を適用した静的解析により算出している。ブリッジ脱線防止ラグ及び横行レールの応力値算出は、動的解析による算出荷重と静的解析による算出荷重との何れか大きい方を用いている。

動的解析による算出荷重と静的解析による算出荷重との比較を、観測記録による影響を考慮した結果を含めて表7に示す。シミュレーション解析と観測記録との比較から最大応答加速度（1.2ZPA）は、シミュレーション解析結果が保守的な結果となっていることから静的解析の荷重に変更はない。動的解析による観測記録影響を考慮した荷重は、基準地震動 S_s の評価に用いた荷重から増加することになる。

上述のとおり動的解析については、観測記録による影響により荷重が増加することになるが、静的解析による荷重に包絡されることから、基準地震動 S_s の評価結果に変更がないことを確認した。

表 4-6 動的解析と静的解析との荷重比較

荷重の 方向	荷 重 (N)		
	静的解析 (1.2ZPA を適用)	動的解析 (床応答スペクトルを適用)	
	S_s による応答	S_s による 応答	観測記録影響 を考慮
水平方向	4.091×10^4	3.565×10^4	3.567×10^4

③ 設置床レベル 38.8m の機器・配管系（減衰 0.5%）への影響検討結果

設置床レベルが EL. 38.8m であり，減衰定数 0.5% を適用して耐震評価を実施する機器・配管系として，格納容器圧力逃がし装置配管が有る。当該設備に対して影響評価結果を実施した結果，基準地震動 S_s の耐震裕度は FRS 比率以上であるため，観測記録とシミュレーション解析結果の差異に対する影響がないことを確認した。

表 4-7 設置床レベル 38.8m の機器・配管系（減衰 2.0%）への影響評価結果

設備名称	一次固有 周期 (秒)	応力 分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	耐震 裕度	FRS* ¹ 比率	影響 評価
格納容器圧力逃がし 装置配管 (PV-008YD)	0.90	1次	92	366	3.94	追而	

* 1 観測記録がシミュレーション解析結果上回っている場合は，その比率を記載する。またシミュレーション解析が観測記録を上回っていれば「-」と記載する。

追而

図 4-1 原子炉建屋 EL29.0m 床応答スペクトル比較（減衰 0.5%）

④ 設置床レベル 38.8m の機器・配管系（減衰 2.0%）への影響検討結果

設置床レベルが EL. 38.8m であり，減衰定数 2.0% を適用して耐震評価を実施する機器・配管系として，非常用ガス処理系配管，低压代替注水系配管及び格納容器下部注水系配管が有る。当該設備に対して影響評価結果を実施した結果，基準地震動 S_s の耐震裕度は FRS 比率以上であるため，観測記録とシミュレーション解析結果の差異に対する影響がないことを確認した。

表 4-8 設置床レベル 38.8m の機器・配管系（減衰 2.0%）への影響評価結果

設備名称	一次固有 周期 (秒)	応力 分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	耐震 裕度	FRS* ¹ 比率	影響 評価
非常用ガス処理系配管(AC-SGTS)	0.153	1次	101	335	3.31	1.19	○
低压代替注水系配管 (ALPI-003R3F)	0.082	1次	97	366	3.77	—	○
低压代替注水系配管 (ALPI-001DG)	0.114	1次	116	366	3.15	—	○
格納容器下部注水系 配管 (FP-R-1)	0.101	1次	183	366	2.00	—	○

* 1 観測記録がシミュレーション解析結果を上回っている場合は，その比率を記載する。またシミュレーション解析が観測記録を上回っていれば「—」と記載する。

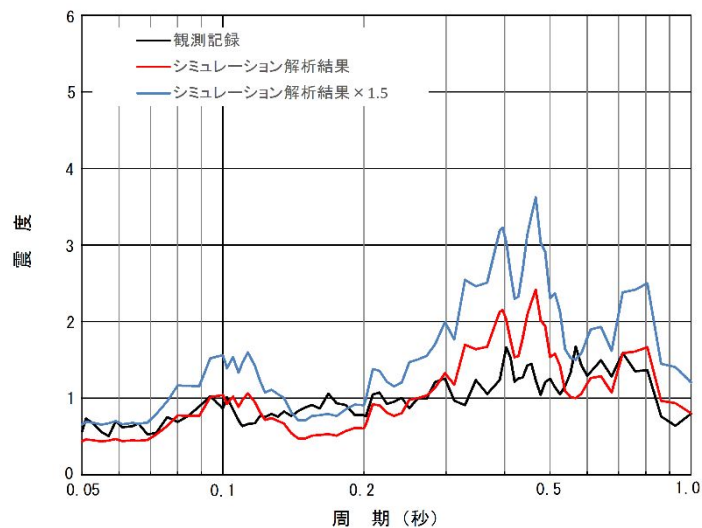


図 4-7 原子炉建屋 EL29.0m 床応答スペクトル比較（減衰 2.0%）

⑤ 設置床レベル 38.8m の機器・配管系（減衰 3.0%）への影響検討結果

設置床レベルが EL. 38.8m であり，減衰定数 2.0% を適用して耐震評価を実施する機器・配管系として，格納容器圧力逃がし装置配管が有る。当該設備に対して影響評価結果を実施した結果，基準地震動 S_s の耐震裕度は FRS 比率以上であるため，観測記録とシミュレーション解析結果の差異に対する影響がないことを確認した。

表 4-9 設置床レベル 38.8m の機器・配管系（減衰 2.0%）への影響評価結果

設備名称	一次固有 周期（秒）	応力 分類	発生応力 （MPa）	許容応力 （MPa）	耐震 裕度	FRS* ¹ 比率	影響 評価
格納容器圧力逃がし 装置配管 （PV-002R5F）	0.167	1次	78	363	4.65	追而	
格納容器圧力逃がし 装置配管 （PV-008YD）	0.187	1次	96	363	96	追而	

* 1 観測記録がシミュレーション解析結果上回っている場合は，その比率を記載する。またシミュレーション解析が観測記録を上回っていれば「-」と記載する。

追而

図 4-1 原子炉建屋 EL38.8m 床応答スペクトル比較（減衰 3.0%）

⑥ 設置床レベル 34.7m の機器・配管系（減衰 1.0%）への影響検討結果

設置床レベルが EL. 34.7m であり，減衰定数 1.0% を適用して耐震評価を実施する機器・配管系として，使用済燃料貯蔵ラック（70 本）及び制御棒貯蔵ラック（S クラスへの波及的影響）が有る。当該設備に対して影響評価結果を実施した結果，基準地震動 S_s の耐震裕度は FRS 比率以上であるため，観測記録とシミュレーション解析結果の差異に対する影響がないことを確認した。

表 4-10 設置床レベル 34.7m の機器・配管系（減衰 1.0%）への影響評価結果

設備名称	一次固有周期 (秒)	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	耐震裕度	FRS* ¹ 比率	影響評価
使用済燃料貯蔵ラック (70 本)	0.079	1 次	146	153	1.04	1.03	○
制御棒貯蔵ラック	0.052	1 次	158	171	1.08	1.08	○

* 1 観測記録がシミュレーション解析結果を上回っている場合は，その比率を記載する。またシミュレーション解析が観測記録を上回っていれば「-」と記載する。

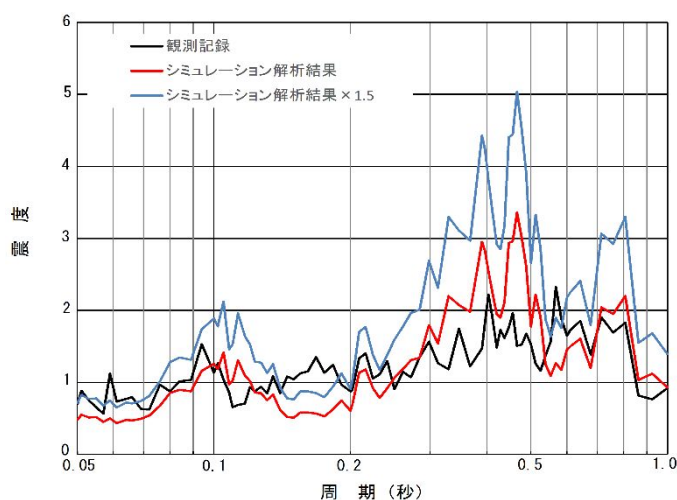


図 4-8 原子炉建屋 EL29.0m 床応答スペクトル比較（減衰 1.0%）

⑦ 設置床レベル 29.0m の機器・配管系（減衰 2.0%）への影響検討結果

設置床レベルが EL. 29.0m であり，減衰定数 2.0% を適用して耐震評価を実施する機器・配管系として，原子炉隔離時冷却系配管が有る。当該設備に対して影響評価結果を実施した結果，基準地震動 S_s の耐震裕度は FRS 比率以上であるため，観測記録とシミュレーション解析結果の差異に対する影響がないことを確認した。

表 4-11 設置床レベル 29.0m の機器・配管系（減衰 2.0%）への影響評価結果

設備名称	一次固有 周期 (秒)	応力 分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	耐震 裕度	FRS* ¹ 比率	影響 評価
原子炉隔離時冷却系 配管(RCIC-19, 20, 29)	0.132	1次	146	363	2.48	—	○

*1 観測記録がシミュレーション解析結果を上回っている場合は，その比率を記載する。またシミュレーション解析が観測記録を上回っていれば「—」と記載する。

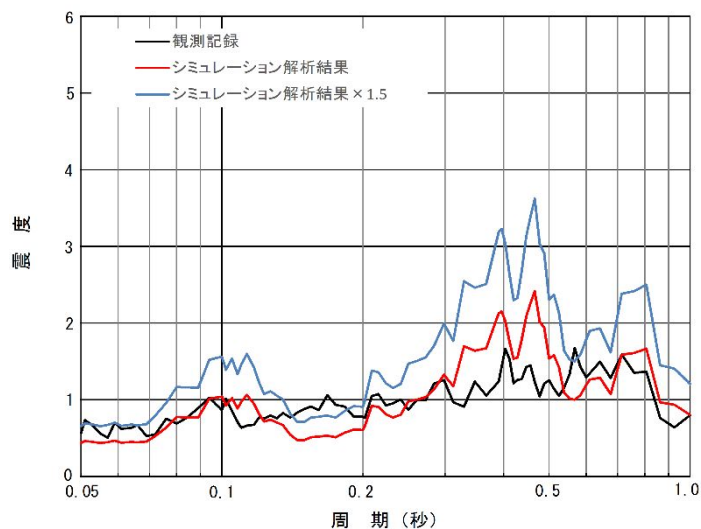


図 4-9 原子炉建屋 EL29.0m 床応答スペクトル比較（減衰 2.0%）

⑧ 設置床レベル 29.0m の機器・配管系（減衰 3.0%）への影響検討結果

設置床レベルが EL. 29.0m であり，減衰定数 3.0% を適用して耐震評価を実施する機器・配管系として，原子炉隔離時冷却系配管が有る。当該設備に対して影響評価結果を実施した結果，基準地震動 S_s の耐震裕度は FRS 比率以上であるため，観測記録とシミュレーション解析結果の差異に対する影響がないことを確認した。

表 4-12 設置床レベル 29.0m の機器・配管系（減衰 3.0%）への影響評価結果

設備名称	一次固有 周期 (秒)	応力 分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	耐震 裕度	FRS* ¹ 比率	影響 評価
原子炉隔離時冷却系 配管(RCIC-7)	0.084	1次	62	380	6.12	—	○

* 1 観測記録がシミュレーション解析結果を上回っている場合は，その比率を記載する。またシミュレーション解析が観測記録を上回っていれば「—」と記載する。

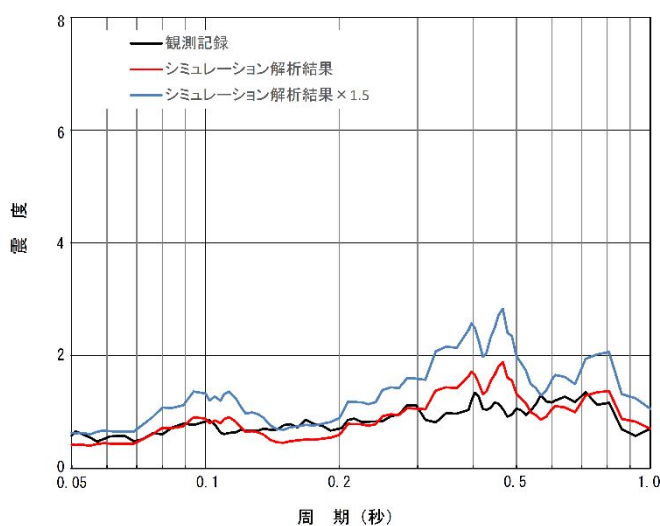


図 4-10 原子炉建屋 EL29.0m 床応答スペクトル比較（減衰 3.0%）

⑨ 設置床レベル 20.3m の機器・配管系（減衰 2.0%）への影響検討結果

設置床レベルが EL. 20.3m であり，減衰定数 2.0% を適用して耐震評価を実施する機器・配管系として，不活性ガス系配管，可燃性ガス濃度制御系配管，残留熱除去系配管，給水系配管が有る。当該設備に対して，シミュレーション解析結果を踏まえた影響評価を実施した結果，基準地震動 S_s の耐震裕度は FRS 比率以上であるため，観測記録とシミュレーション解析結果の差異に対する影響がないことを確認した。

表 4-13 20.3m に設置された機器・配管系（減衰 2.0%）への影響評価結果

設備名称	一次固有 周期 (秒)	応力 分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕 度	FRS* ¹ 比率	影響 評価
不活性ガス系配管 (AC-1, 2, 3, 8)	0.130	1 次	171	335	1.95	— —	○
可燃性ガス濃度制御系 配管 (FC-1)	0.097	1 次	65	363	5.58	— —	○
可燃性ガス濃度制御系 配管 (FC-2)	0.051	1 次	133	363	2.72	1.07 —	○
可燃性ガス濃度制御系 配管 (FC-3, 4)	0.073	1 次	55	363	6.60	— —	○
可燃性ガス濃度制御系 配管 (FC-7, 8)	0.094	1 次	61	363	5.95	— —	○
残留熱除去系配管 (RHR-34, 37, 38, 39, 50)	0.122	1 次	166	380	2.28	— —	○
給水系配管 (FDW-13, 14)	0.124	1 次	81	229	2.82	— —	○

* 1 観測記録がシミュレーション解析結果上回っている場合は，その比率を記載する。またシミュレーション解析が観測記録を上回っていれば「—」と記載する。また，上段に 29.0m の比率，下段に 14.0m の比率を記載する。

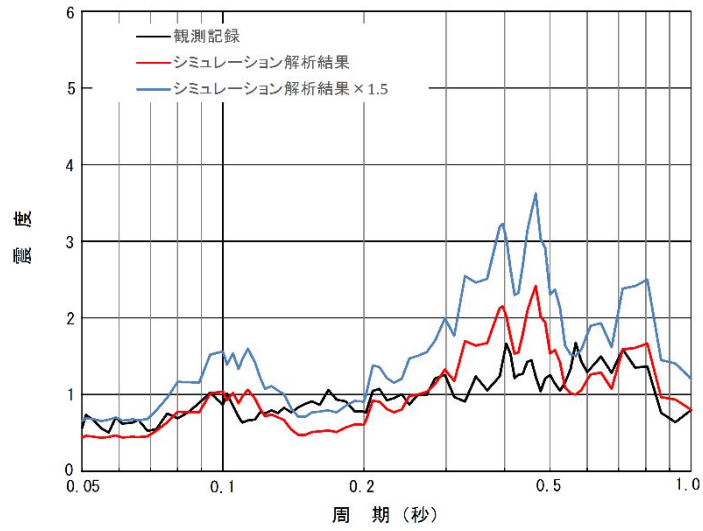


図 4-11 原子炉建屋 EL29.0m 床応答スペクトル比較 (減衰 2.0%)

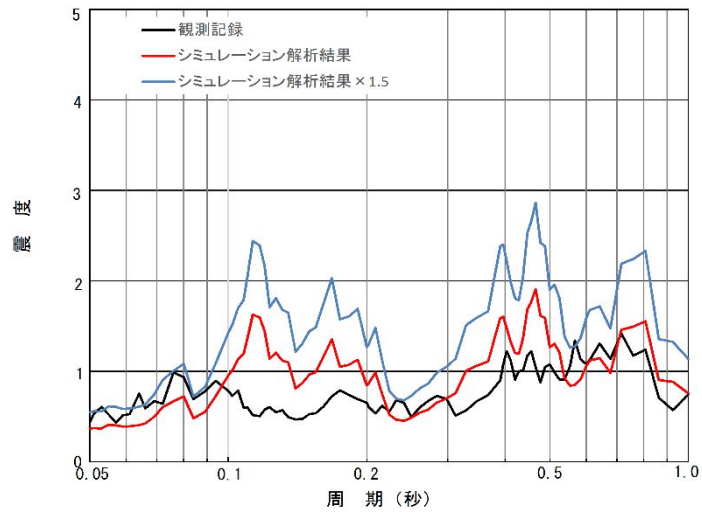


図 4-12 原子炉建屋 EL14.0m 床応答スペクトル比較 (減衰 2.0%)

⑩ 設置床レベル 20.3m の機器・配管系（減衰 3.0%）への影響検討結果

設置床レベルが EL. 20.3m であり，減衰定数 3.0% を適用して耐震評価を実施する機器・配管系として，原子炉冷却材浄化系配管，主蒸気隔離弁漏えい抑制系配管が有る。当該設備に対して，シミュレーション解析結果を踏まえた影響評価を実施した結果，基準地震動 S_s の耐震裕度は FRS 比率以上であるため，観測記録とシミュレーション解析結果の差異に対する影響がないことを確認した。

表 4-14 20.3m に設置された機器・配管系（減衰 3.0%）への影響評価結果

設備名称	一次固有 周期 (秒)	応力 分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕 度	FRS* ¹ 比率	影響 評価
原子炉冷却材浄化系配 管(CU-R-7)	0.127	1 次	108	260	2.40	— —	○
主蒸気隔離弁漏えい抑 制系配管 (MSIV-23, 25, 27, 29)	0.100	1 次	114	363	3.18	— —	○

* 1 観測記録がシミュレーション解析結果を上回っている場合は，その比率を記載する。またシミュレーション解析が観測記録を上回っていれば「—」と記載する。また，上段に 29.0m の比率，下段に 14.0m の比率を記載する。

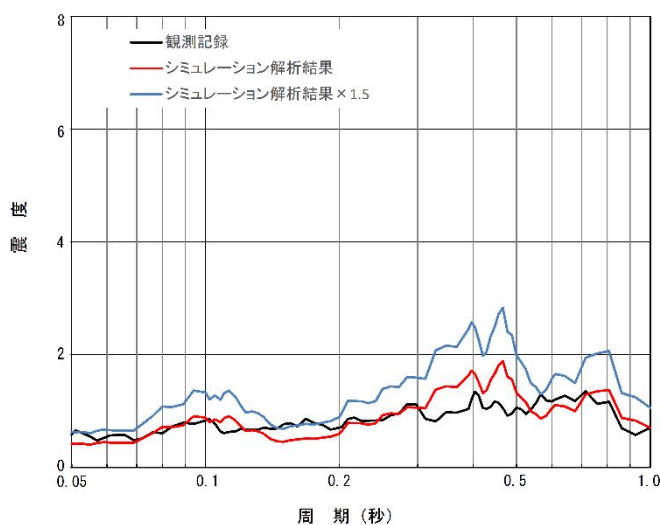


図 4-13 原子炉建屋 EL29.0m 床応答スペクトル比較（減衰 3.0%）

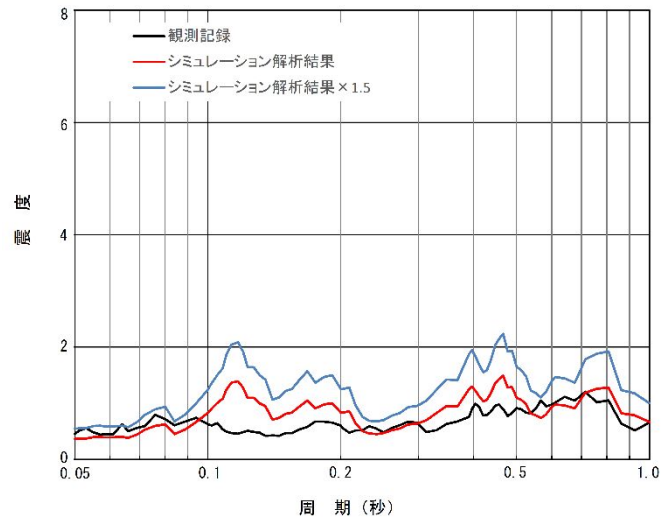


図 4-14 原子炉建屋 EL14.0m 床応答スペクトル比較 (減衰 3.0%)

⑪ 設置床レベル 14.0m の機器・配管系（減衰 0.5%）への影響検討結果

設置床レベルが EL. 14.0m であり，減衰定数 0.5% を適用して耐震評価を実施する機器・配管系として不活性ガス系配管が有る。当該設備に対して，シミュレーション解析結果を踏まえた影響評価を実施した結果，基準地震動 S_s の耐震裕度は FRS 比率以上であるため，観測記録とシミュレーション解析結果の差異に対する影響がないことを確認した。

表 4-15 14.0m に設置された機器・配管系（減衰 0.5%）への影響評価結果

設備名称	一次固有 周期 (秒)	応力 分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕 度	FRS* ¹ 比率	影響 評価
不活性ガス系配管 (AC-6, 7)	0.076	1 次	59	335	5.67	1.12	○

* 1 観測記録がシミュレーション解析結果を上回っている場合は，その比率を記載する。またシミュレーション解析が観測記録を上回っていれば「-」と記載する。

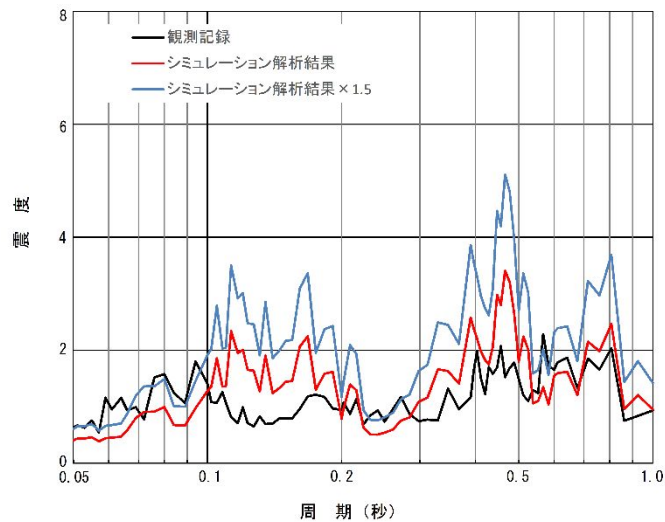


図 4-15 原子炉建屋 EL14.0m 床応答スペクトル比較（減衰 0.5%）

⑫ 設置床レベル 14.0m の機器・配管系（減衰 1.0%）への影響検討結果

設置床レベルが EL. 14.0m であり，減衰定数 1.0% を適用して耐震評価を実施する機器・配管系として，残留熱除去系配管が有る。当該設備に対して，シミュレーション解析結果を踏まえた影響評価を実施した結果，基準地震動 S_s の耐震裕度は FRS 比率以上であるため，観測記録とシミュレーション解析結果の差異に対する影響がないことを確認した。

表 4-16 14.0m に設置された機器・配管系（減衰 1.0%）への影響評価結果

設備名称	一次固有 周期 (秒)	応力 分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕 度	FRS* ¹ 比率	影響 評価
残留熱除去系配管 (RHR-66)	0.091	1 次	109	363	3.33	1.04	○

* 1 観測記録がシミュレーション解析結果を上回っている場合は，その比率を記載する。またシミュレーション解析が観測記録を上回っていれば「-」と記載する。

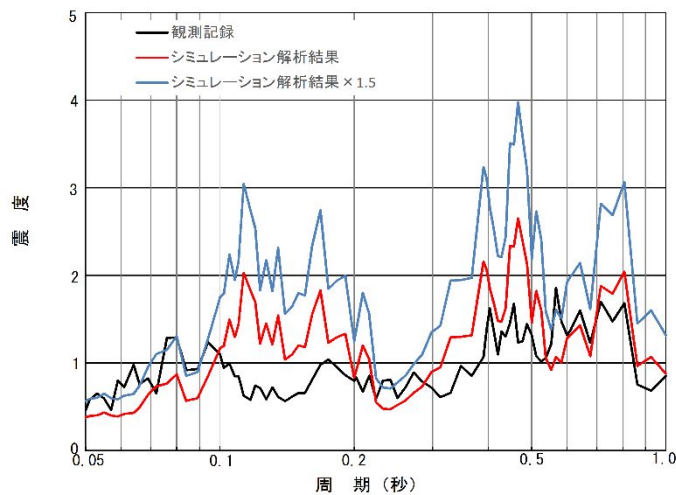


図 4-16 原子炉建屋 EL14.0m 床応答スペクトル比較（減衰 1.0%）

⑬ 設置床レベル 14.0m の機器・配管系（減衰 2.0%）への影響検討結果

設置床レベルが EL. 14.0m であり，減衰定数 2.0% を適用して耐震評価を実施する機器・配管系として，高圧炉心スプレイ系配管，低圧炉心スプレイ系配管，残留熱除去系配管が有る。当該設備に対して，シミュレーション解析結果を踏まえた影響評価を実施した結果，基準地震動 S_s の耐震裕度は FRS 比率以上であるため，観測記録とシミュレーション解析結果の差異に対する影響がないことを確認した。

表 4-17 14.0m に設置された機器・配管系（減衰 2.0%）への影響評価結果

設備名称	一次固有周期 (秒)	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	FRS* ¹ 比率	影響評価
高圧炉心スプレイ系配管 (HPCS-4, 5)	0.112	1次	194	364	1.87	—	○
低圧炉心スプレイ系配管 (LPCS-2, 3)	0.095	1次	150	396	2.64	—	○
残留熱除去系配管 (RHR-48)	0.117	1次	143	396	2.76	—	○
残留熱除去系配管 (RHR-70)	0.130	1次	217	260	1.19	—	○

* 1 観測記録がシミュレーション解析結果を上回っている場合は，その比率を記載する。またシミュレーション解析が観測記録を上回っていれば「—」と記載する。

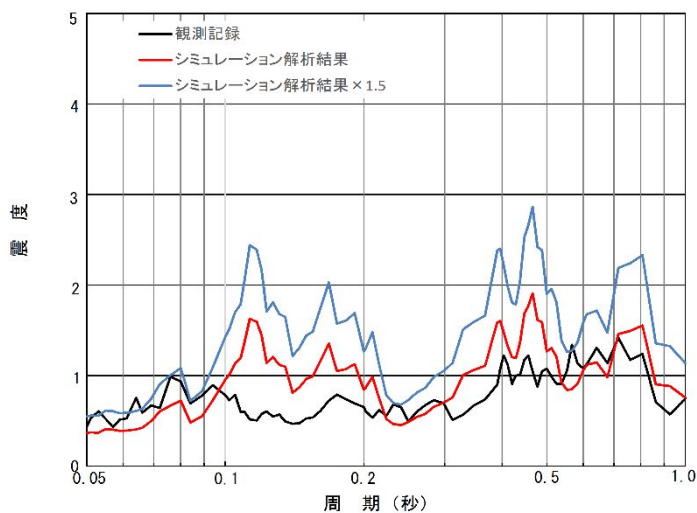


図 4-17 原子炉建屋 EL14.0m 床応答スペクトル比較（減衰 2.0%）

⑭ 設置床レベル 14.0m の機器・配管系（減衰 3.0%）への影響検討結果

設置床レベルが EL. 14.0m であり，減衰定数 3.0% を適用して耐震評価を実施する機器・配管系として，残留熱除去系配管が有る。当該設備に対して，シミュレーション解析結果を踏まえた影響評価を実施した結果，基準地震動 S_s の耐震裕度は FRS 比率以上であるため，観測記録とシミュレーション解析結果の差異に対する影響がないことを確認した。

表 4-18 14.0m に設置された機器・配管系（減衰 3.0%）への影響評価結果

設備名称	一次固有周期 (秒)	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	FRS* ¹ 比率	影響評価
残留熱除去系配管 (RHR-5, 21)	0.111	1次	156	335	2.14	—	○
残留熱除去系配管 (RHR-8, 30, 99, 100)	0.139	1次	181	380	2.09	—	○

* 1 観測記録がシミュレーション解析結果を上回っている場合は，その比率を記載する。またシミュレーション解析が観測記録を上回っていれば「—」と記載する。

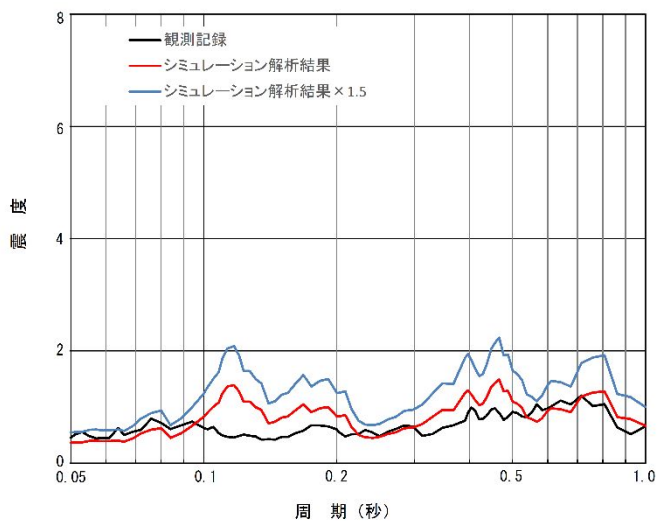


図 4-18 原子炉建屋 EL14.0m 床応答スペクトル比較（減衰 3.0%）