

地震観測記録を踏まえた耐震評価

平成30年5月14日
日本原子力発電(株)

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。

【論点－4】地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響(1 / 10)

1. 概要

2011年東北地方太平洋沖地震に対する使用済燃料乾式貯蔵建屋(以下「DC建屋」という。)及び原子炉建屋のシミュレーション解析について、観測記録との差異を考察し、耐震評価への影響について確認する。

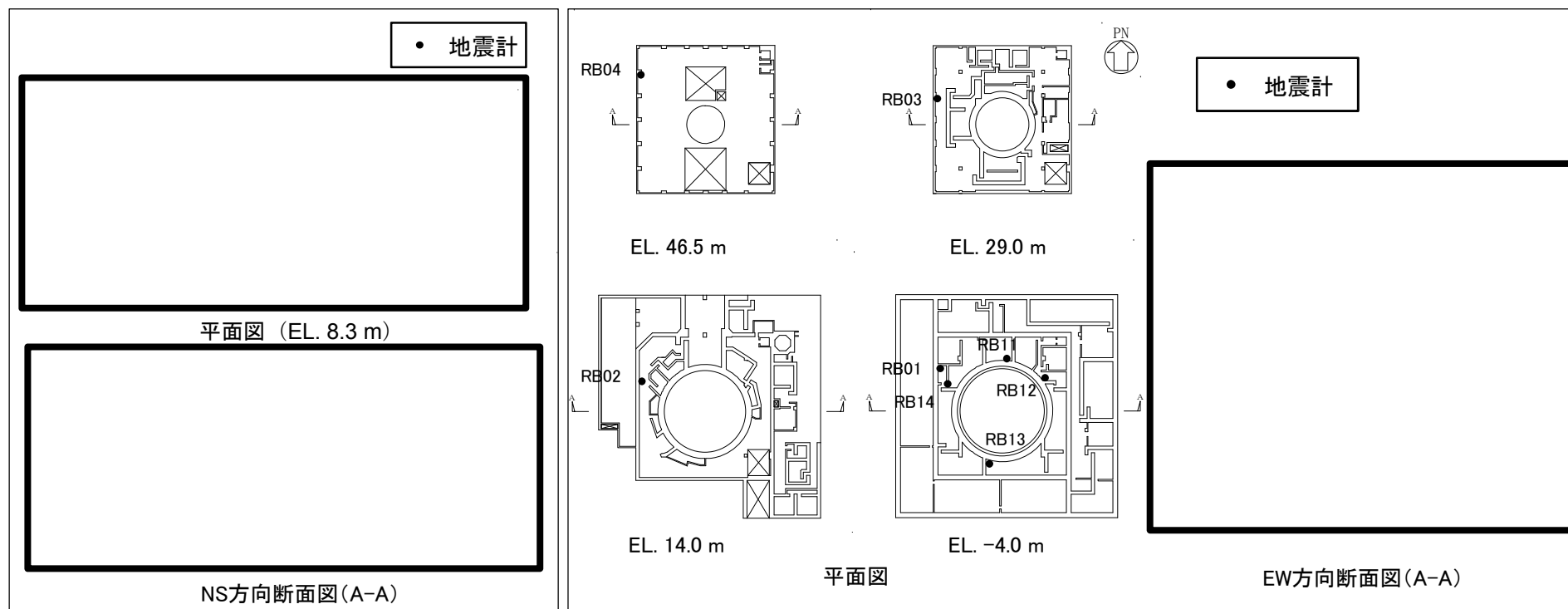


図1 DC建屋地震計設置位置

図2 原子炉建屋地震計設置位置

2. 確認事項

観測記録とシミュレーション解析の差異を踏まえ、建屋及び設備の耐震評価への影響を確認する。

【論点ー4】地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響(2/10)

3. 評価方針

3.1 DC建屋

基礎スラブ上端(EL.8.3 m)における観測記録とシミュレーション解析の床応答スペクトルの比較を図3に示す。なお、シミュレーション解析に用いた解析モデルは解放基盤表面における地震動の入力方法も含め、今回工認モデルと同じの手法を用いている。

各方向において、解析結果は観測記録と概ね良い対応を示している。ほぼすべての周期帯において解析結果と観測記録は概ね同等もしくは解析結果が観測記録を上回る結果となっており、耐震評価用の解析モデルとして適用することは妥当である。

0.1秒付近は観測記録の方が上回るがその差は比較的小さい。また、0.2秒から0.3秒付近ではシミュレーション解析の方が大きめの評価を与えている。

(1) 観測記録とシミュレーション解析の比較と差異の考察

- ・ 基礎スラブ上端位置での応答であり、上部構造物の影響は小さい。また、上部構造物の質点重量は全体の1/3程度である。
- ・ 上記の確認のためシミュレーション解析の建屋入力地震動を比較したところ、基礎スラブ上端応答と同様の傾向にあった。そのため、差異の要因として、ばらつきをもつ不均質な地盤を平均的な成層モデルに仮定していることが考えられる。

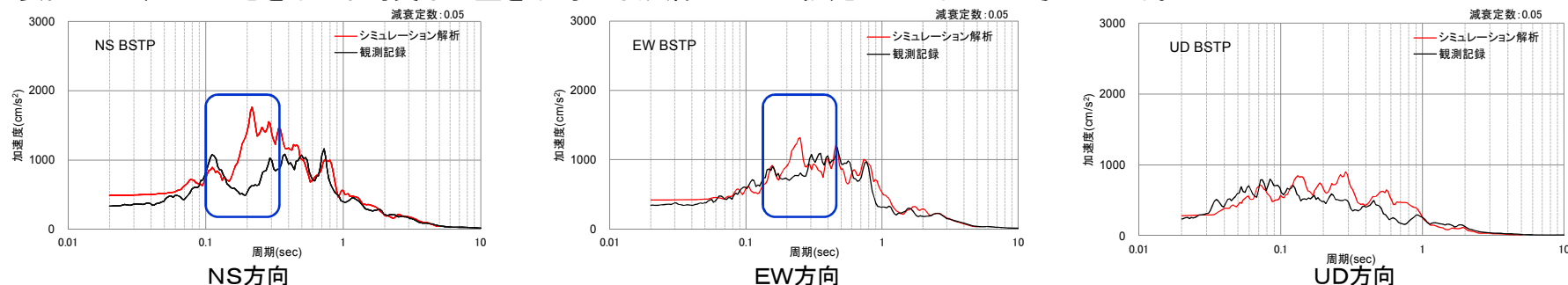


図3 床応答スペクトルの比較

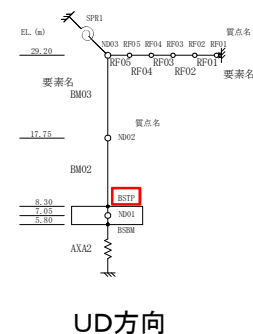
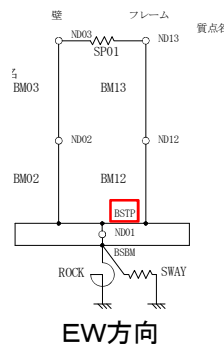
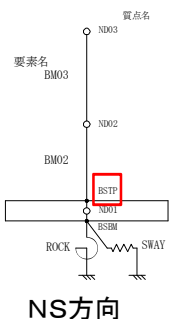


図4 解析モデル図

【論点ー4】地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響(3 / 10)

(2) 評価対象設備への影響

① 建屋

DC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、DC建屋の耐震評価に影響はない(図5)。

② 設備

DC容器の耐震評価に用いる基礎スラブ上端(EL.8.3m)における加速度について、シミュレーション解析の結果と観測記録を比較した結果、観測記録の応答加速度はシミュレーション解析の加速度を上回らないことが確認できたため、DC容器の耐震評価に影響はない(図5)。

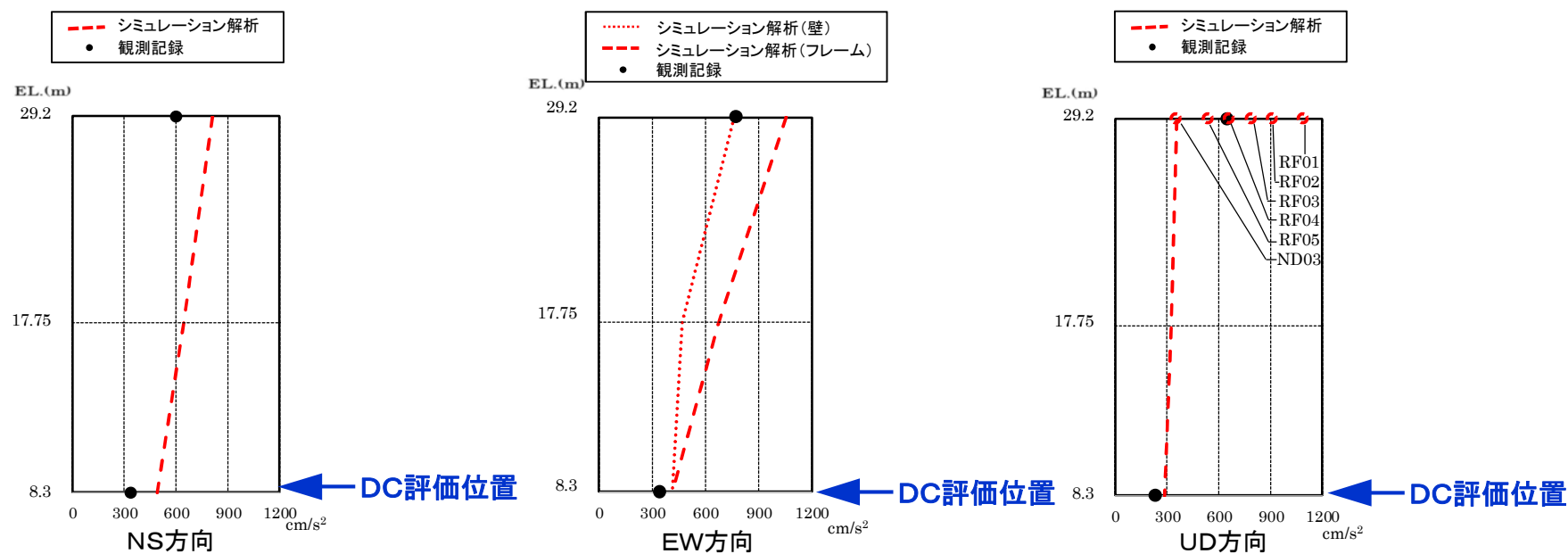


図5 最大応答加速度の分布

【論点ー4】地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響(4/10)

3.2原子炉建屋

地震計設置レベルにおける地震観測記録とシミュレーション解析床応答スペクトルの比較を図7に示す。なお、シミュレーション解析に用いた解析モデルは解放基盤表面における地震動の入力方法も含め、今回工認モデルと同じの手法を用いている。

NS方向及びEW方向の各レベルにおいて、解析結果は観測記録と概ね良い対応を示している。ほぼすべての周期帯において解析結果と観測記録は概ね同等もしくは解析結果が観測記録を上回る結果となっている。また、鉛直方向についても、同様の傾向であることを確認しており、耐震評価用の解析モデルとして適用することは妥当である。

一部の周期帯において差異が生じる要因については、①人工岩盤を解析モデルに反映していないことにより、短周期成分を中心にやや大きくなっていること、②側面の地盤回転ばねを無視していることの影響は軽微であることを確認しており、③その他の要因としては、ばらつきをもつ不均質な地盤を平均的な成層モデルに仮定していることが考えられる。

一方、EL.46.5 mのEW方向では、0.1秒～0.2秒付近より短周期側の周期帯において、観測記録が解析結果を大きく上回る結果となっている。EL.46.5mのEW方向において生じた差異について考察する。

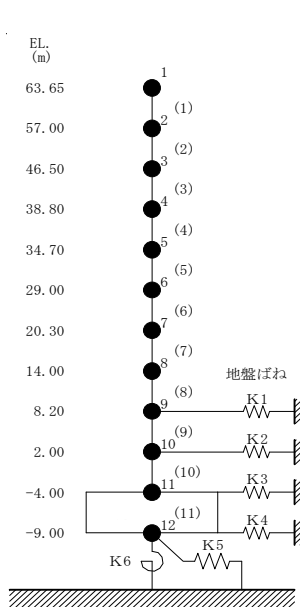


図6 原子炉建屋質点系モデル

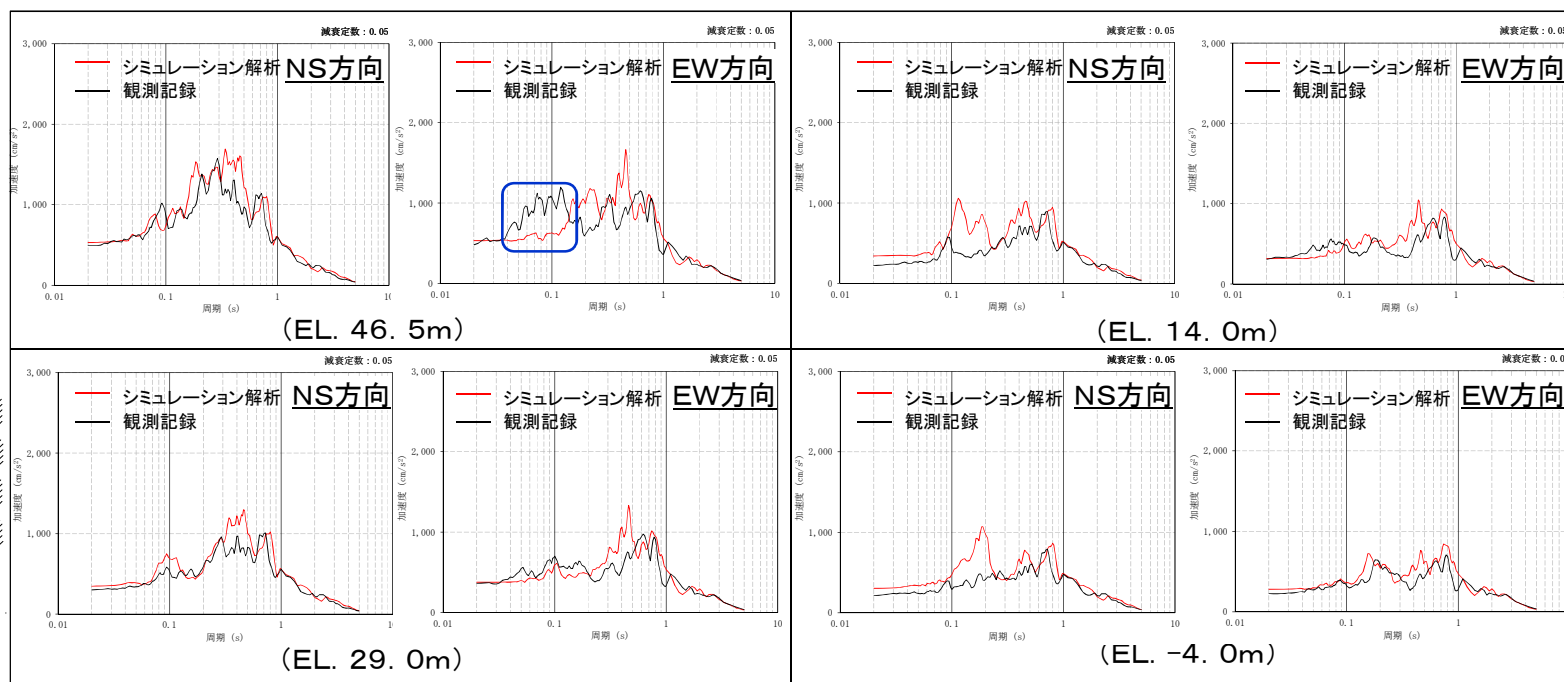


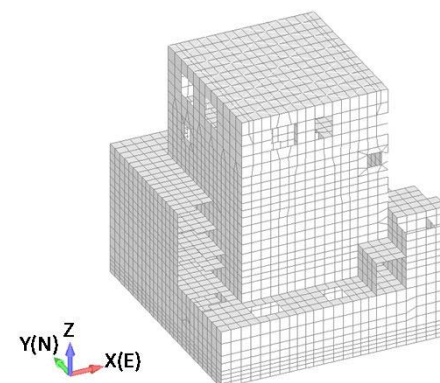
図7 床応答スペクトルの比較(質点系モデル)

【論点一4】地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響(5/10)

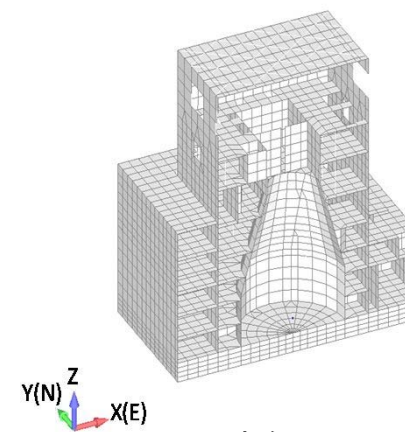
(1) 観測記録とシミュレーション解析の比較と差異の考察

3次元FEMモデル(図8)を用いた地震応答解析を実施し、東北地方太平洋沖地震のEL46.5 mのEW方向の短周期における観測記録と質点系モデルによるシミュレーション解析の差異について考察を行った。地震動入力方向の違いによるEL46.5mのEW方向床応答スペクトルの比較を次頁図9に示す。

- ①北面中央及び西面北端では、3次元FEMモデルの3方向同時入力時と質点系モデルの応答は、同程度である。(記号:A)
- ②一方、地震計位置及び西面中央では、周期0.1秒付近において、3次元FEMの3方向同時入力時と質点系モデルとの乖離が生じ、特に西面中央で顕著となる。この周期帯は、観測記録がシミュレーション解析を上回る範囲と整合する。(記号:B)
- ③各入力方向に対する3次元FEMモデルを確認したところ、地震計位置及び西面中央において、鉛直方向入力によりEW方向の応答の励起が生じている。(記号:C)
- ④以上のことから観測記録と質点系モデルによる地震応答解析結果でのEW方向の短周期における差は、質点系モデルでは考慮されていない鉛直方向入力により生じる局所的な応答の影響によるものと考えられる。



(原子炉建屋全体図)



(EW方向断面図)

図8 原子炉建屋 3次元FEMモデル

【論点-4】地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響(6/10)



図9 地震動入力方向の違いによるEL46.5mのEW方向床応答スペクトルの比較

注記*1: 質点系モデルの結果はEW方向入力時のEW方向床応答スペクトル

【論点一4】地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響(7 / 10)

地震計位置及び西面中央付近において、鉛直方向入力によるEW方向応答の励起が生じる0.1秒付近に、東西のオペフロ面が外側にはらみ出すようなモード(10.06Hz)があり、EW方向の応答が大きくなる要因の一つと考えられる。

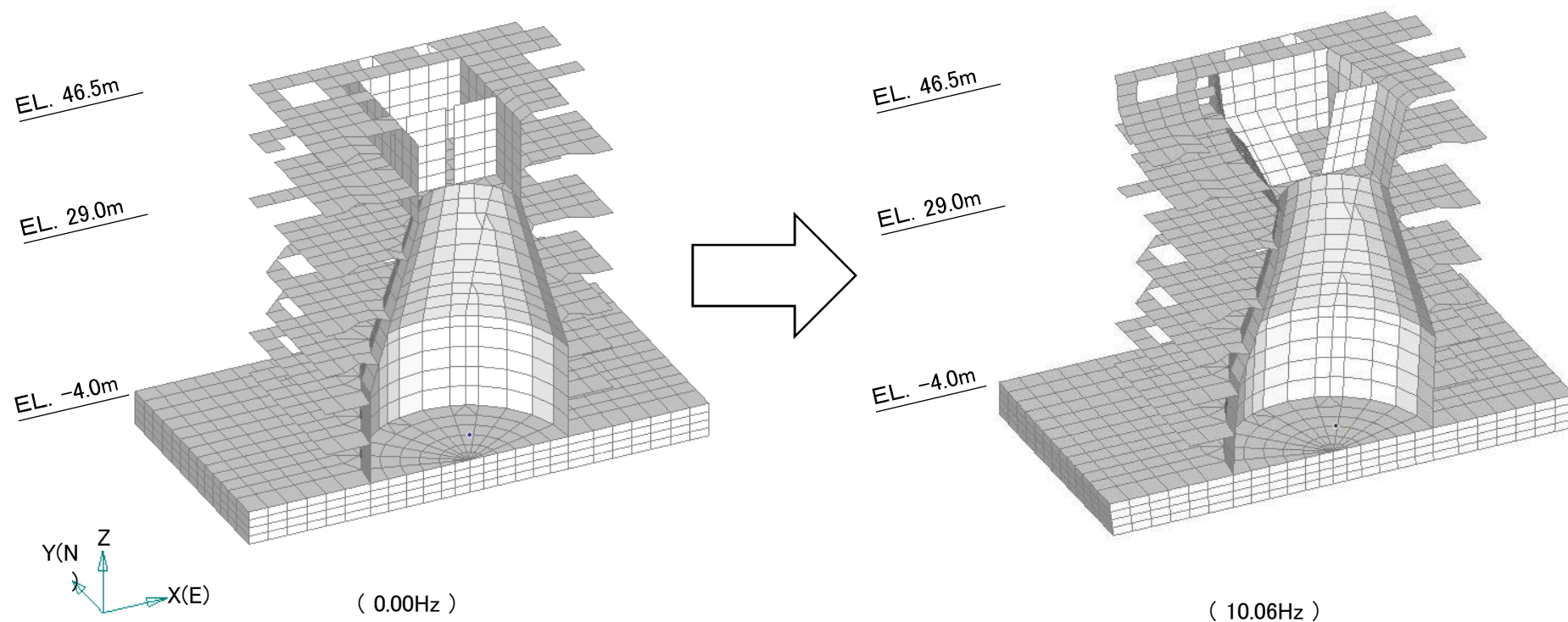


図10 原子炉建屋3次元FEMモデルのモード図(EW方向断面図)

【論点一4】地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響(8/10)

(2) 評価対象設備への影響

① 建屋

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11)。

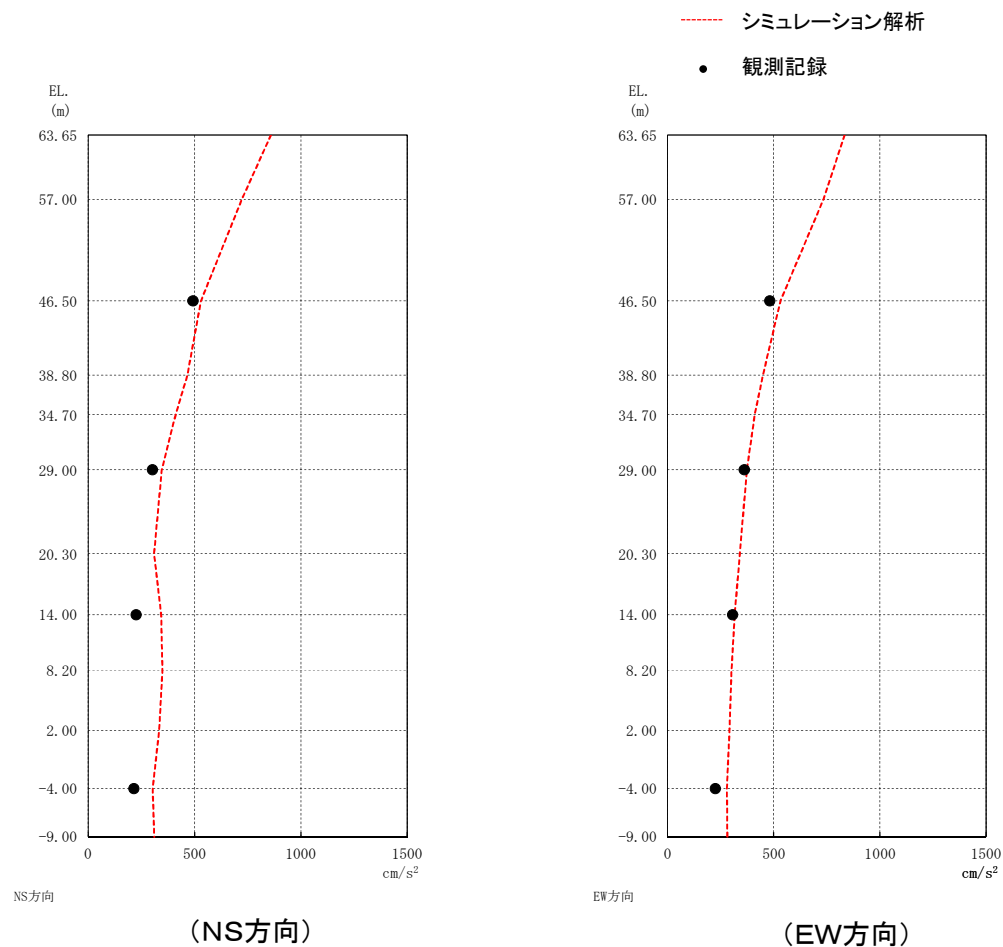


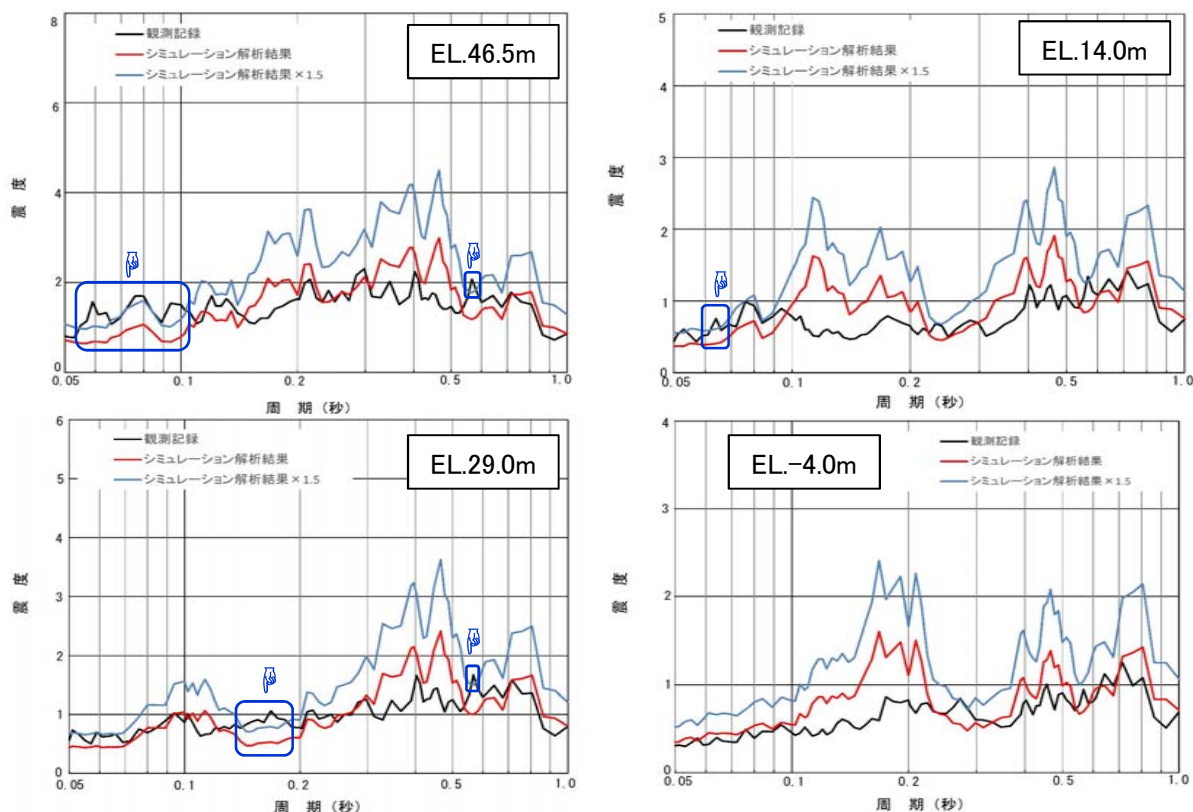
図11 最大応答加速度の分布

【論点ー4】地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響(9/10)

② 設備

原子炉建屋内に設置される設備の耐震評価に用いる床応答スペクトルについて、観測記録とシミュレーション解析結果を比較した。

- ✓ 各標高ともシミュレーション解析結果は観測記録を概ね包絡するが、図12に示すとおり、一部の周期帯で観測記録がシミュレーション解析結果を上回る結果となっており、特にEL.46.5mの0.05秒～0.1秒の範囲において、その程度が比較的大きい。
- ✓ このため、地震観測記録がシミュレーション解析結果を上回ることに對する設備の耐震性への影響を評価する。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(差異の大きいEL.46.5mに設置される設備を優先実施)。EL.46.5mに設置される機器の配置図及び床応答スペクトルの適用の有無を図13及び表1に示す。
- ✓ なお、床応答スペクトルを適用しない剛な機器については、最大応答加速度での確認※を実施する。
※:耐震設計においては、耐震裕度を確保するため、床応答スペクトルの震度又は最大応答加速度に対して1.5倍した値で評価を実施している。



【比較に用いた床応答スペクトル】

- ・NS方向とEW方向とを包絡させた床応答スペクトルを適用して耐震計算を実施することから、NS方向とEW方向とを包絡させた床応答スペクトルとした。
- ・加速度(震度)を1.5倍した値を用い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の床応答スペクトルの加速度(震度)を1.5倍した。
- ・減衰定数は、床応答スペクトルを適用する柔設備の影響を確認する観点から、配管系の評価で一般的に用いる2%を適用した。

図12 床応答スペクトルの比較(質点系モデル)減衰定数 2.0%

【論点－4】地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響(10/10)

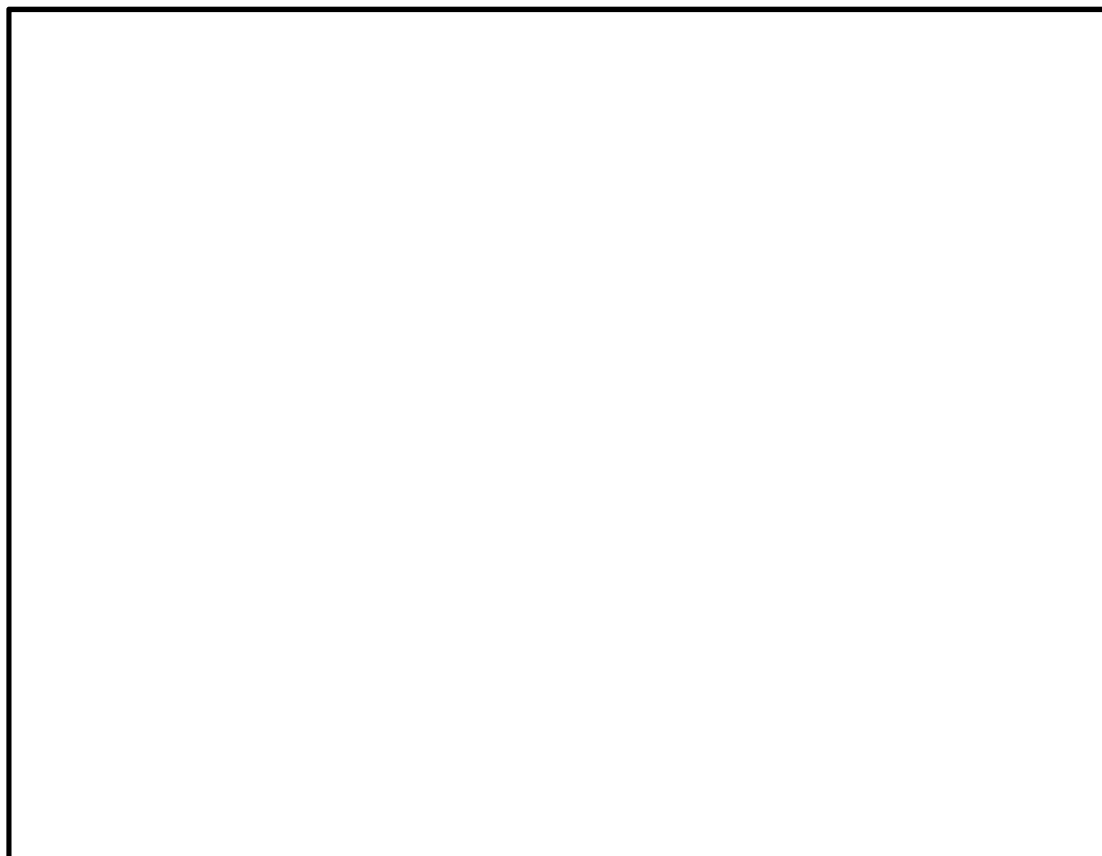


図13 原子炉建屋 EL.46.5mに設置される設備

表1 設備の固有周期と床応答スペクトルの適用の有無

設 備	固有周期 (秒)	床応答 スペクトル の適用
①燃料取替機	水平: 0.078 鉛直: 0.089	○
②使用済燃料プールエリア放射 線モニタ(高レンジ, 低レンジ)	0.05以下	－*
③使用済燃料プール水位・温度 (SA広域)	0.05以下	－
④使用済燃料プール監視カメラ	0.05以下	－*
⑤使用済燃料プール温度計(SA)	0.23	○
⑥原子炉建屋水素濃度	0.05以下	－*
⑦静的触媒式水素再結合器	0.05以下	－*
⑧静的触媒式水素再結合器動作 装置	0.05以下	－*
⑨代替燃料プール注水系配管 (スプレイヘッド)	1次: 0.077	○

* : EL.57.0mの最大応答加速度を使用

4. 今後の予定

観測記録がシミュレーション解析結果を上回ることに對する設備影響評価結果について6月初旬から順次報告する(6月末完了)。