

地震観測シミュレーションによる原子炉建物及び原子炉附属建物の
地震応答解析モデルの妥当性確認

1. 概要

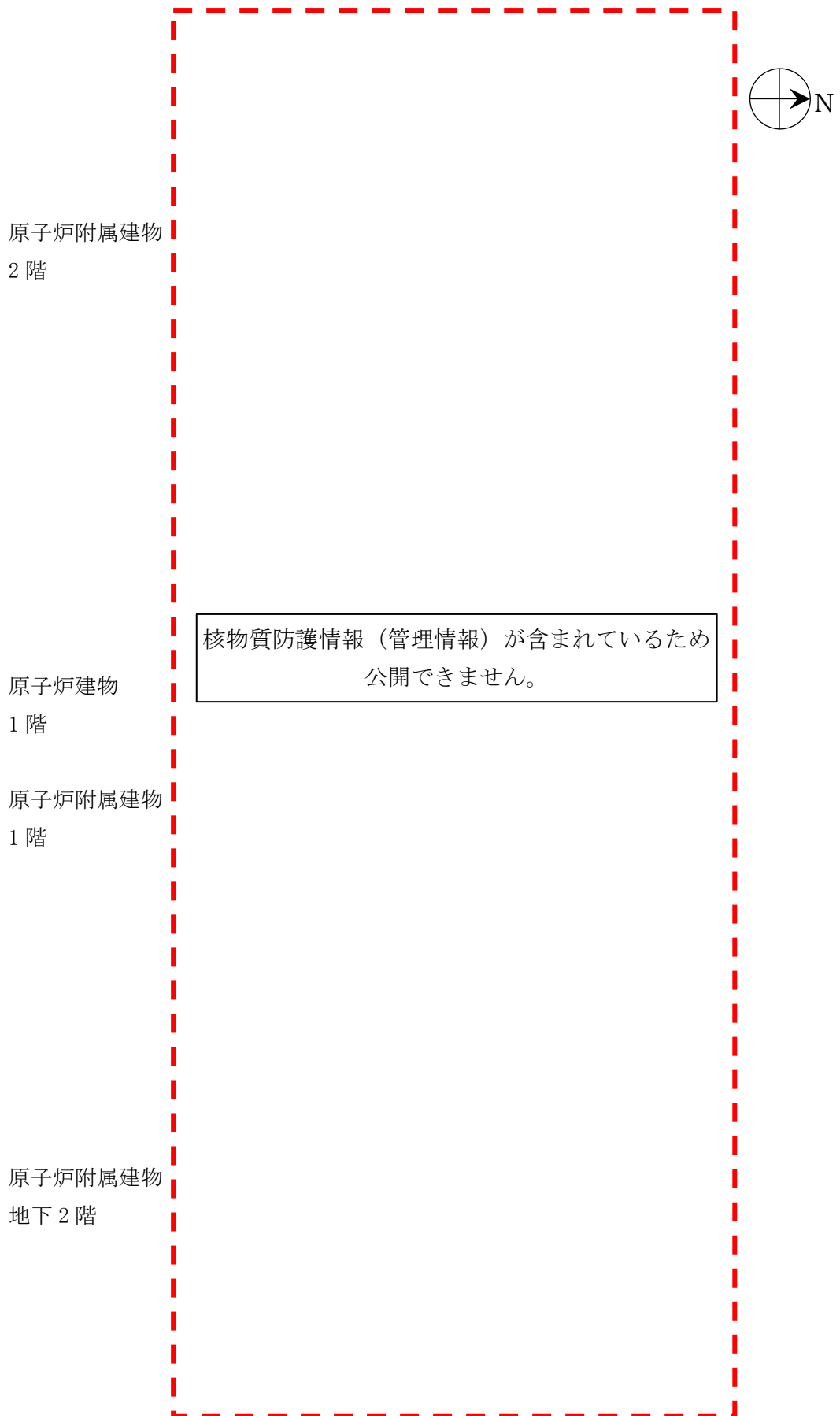
本資料は、原子炉建物及び原子炉附属建物について平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震の本震（以下「3.11 地震」という。）と、令和 3 年に観測された地震の観測記録を用いたシミュレーション解析結果を示し、建物と地盤の相互作用を考慮した質点系モデルの妥当性を説明するものである。

2. 原子炉建物及び原子炉附属建物の地震計設置位置及び観測記録

高速実験炉原子炉施設には、地震時の応答特性を把握することを目的として、原子炉附属建物の 2 階、1 階、地下 2 階、原子炉建物 1 階に合計 4 台の地震計を設置している。

なお、3.11 地震時に設置されていた地震計は、原子炉附属建物の 3 台でアナログ式 SMAC 強震計であった。3.11 地震後にいずれもデジタル式地震計に更新するとともに、新たに原子炉建物に 1 台を追加設置している。

原子炉建物及び原子炉附属建物の地震計の設置位置を第 2.1 図に示す。

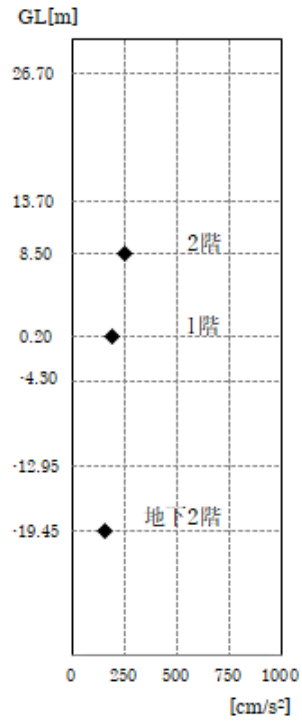


第 2.1 図 地震計の設置位置

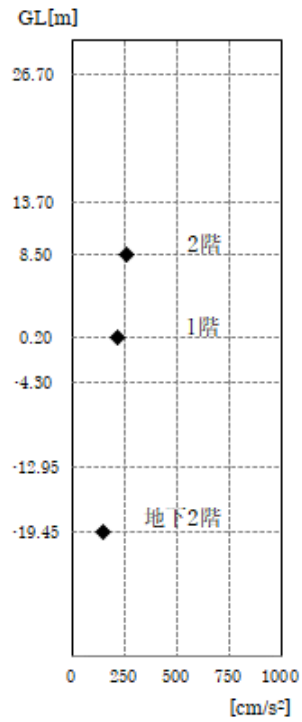
2.1 3.11 地震 (2011 年 3 月 11 日)

3.11 地震 (2011 年 3 月 11 日) の観測記録の最大応答加速度を第 2.2 図に示す。3.11 地震時 (2011 年 3 月 11 日) の観測記録の加速度応答スペクトルを第 2.3 図及び第 2.4 図に示す。

3.11 地震観測記録は、スクラッチレコードフィルムにケガキ針でひっかけ最大応答加速度を記録するアナログ式 SMAC 強震計で採取されたデータであることから、読み取り可能なデータは原則最大応答加速度のみであり、加速度応答スペクトルの解析は不可能であるが、スクラッチレコードフィルムをフィルムスキャナにより読み込み、グラフ画像数値化ソフトを用いてサンプリング周期 0.01s 毎にアナログデータをデジタル化して時刻歴波形化し、最大応答加速度と併せて、応答スペクトルの形状傾向を把握する目的で加速度応答スペクトルを求めたものである。

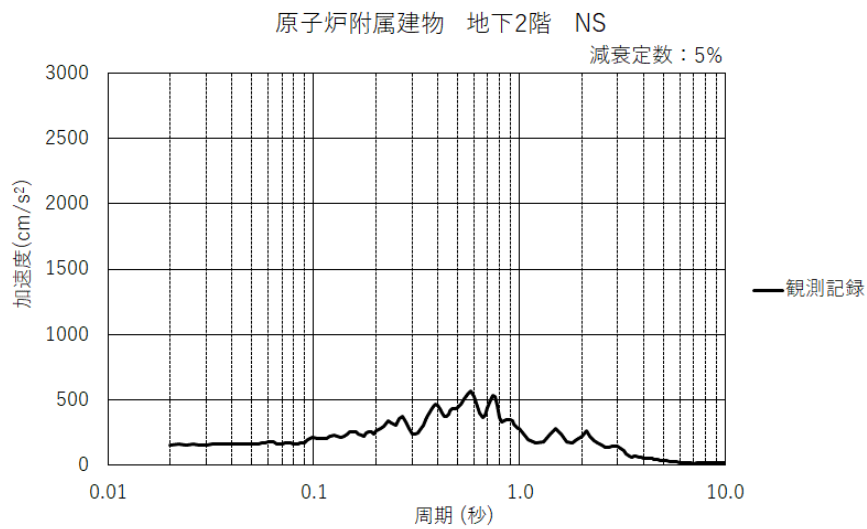
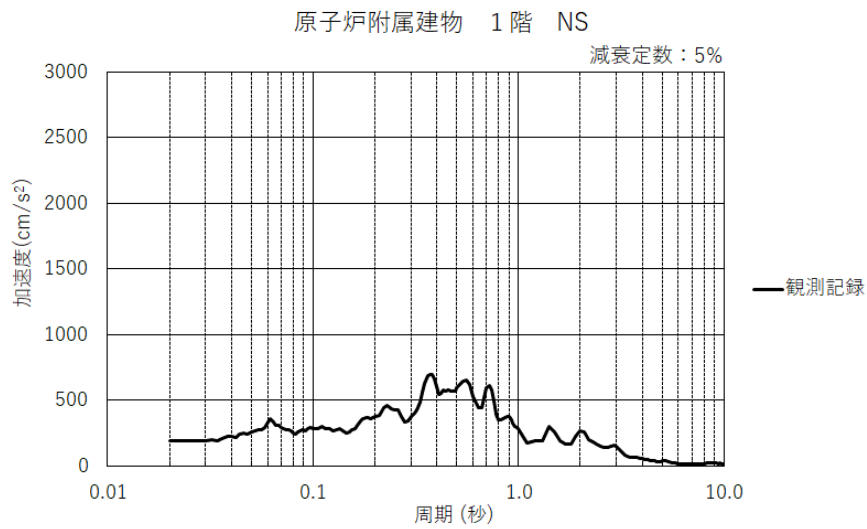
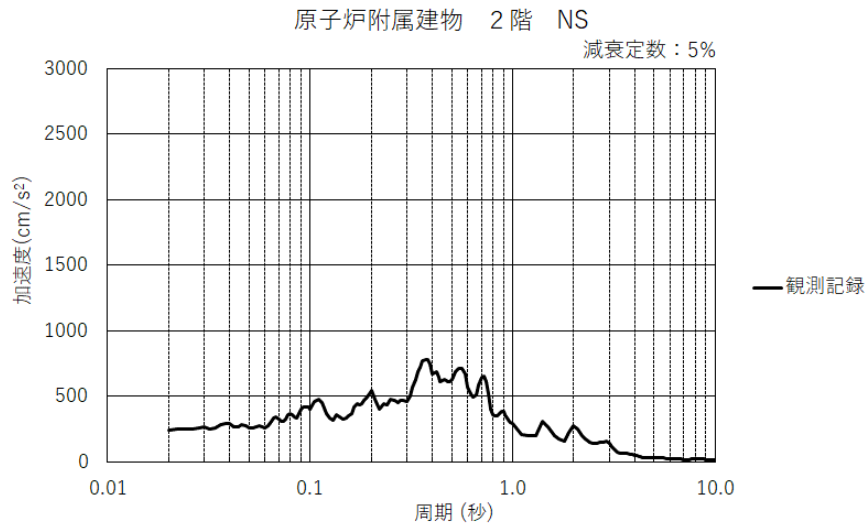


原子炉附属建物 NS

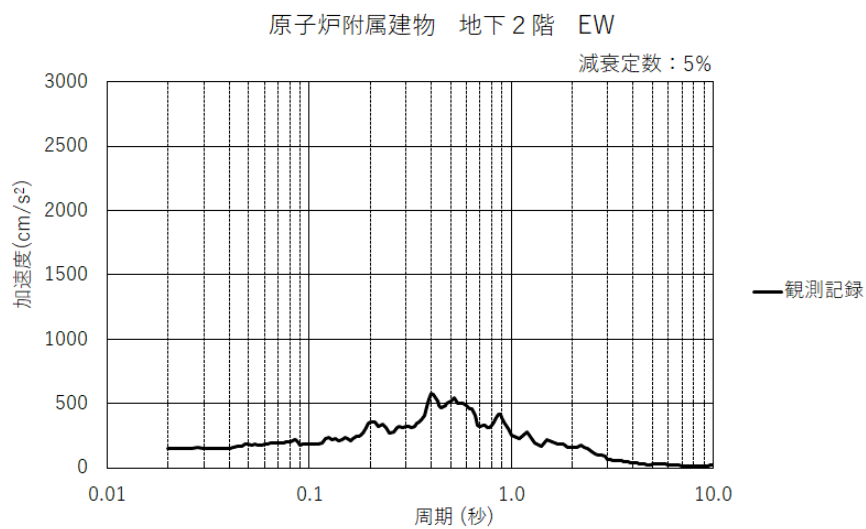
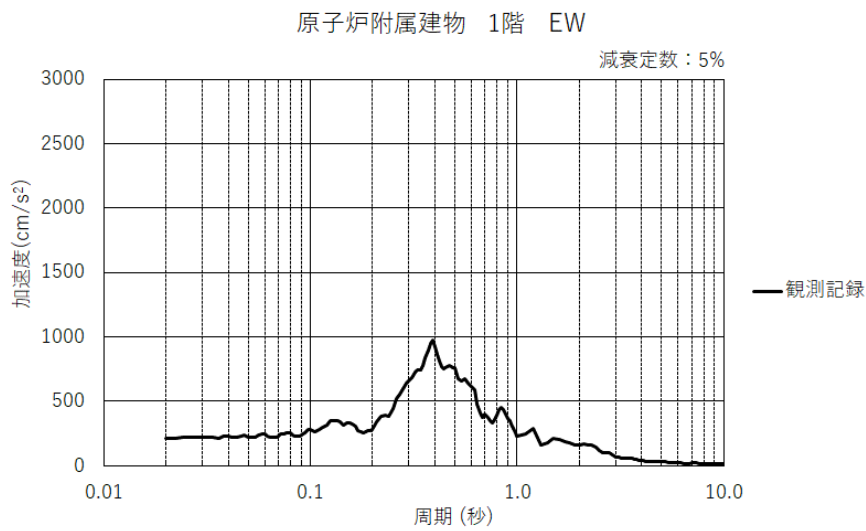
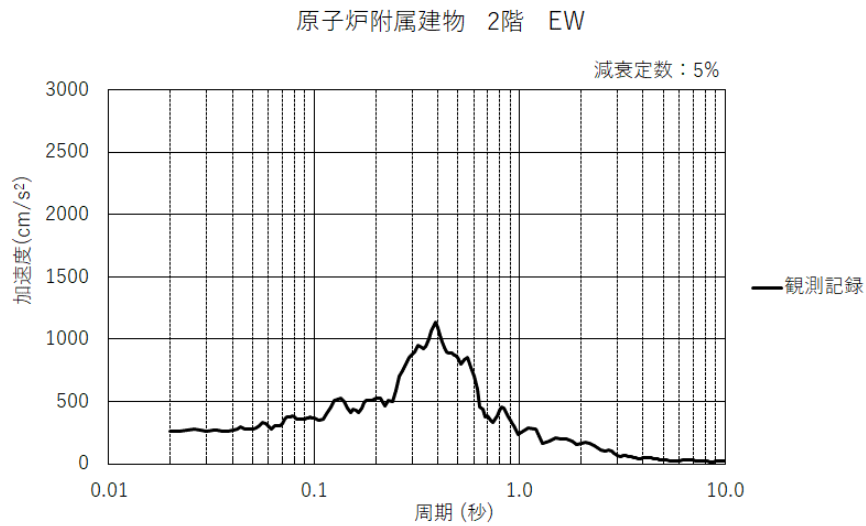


原子炉附属建物 EW

第 2.2 図 3.11 地震 (2011 年 3 月 11 日) の観測記録の最大応答加速度



第 2.3 図 3.11 地震時 (2011 年 3 月 11 日) の観測記録の加速度応答スペクトル
(原子炉附属建物 NS 方向) (1/2)

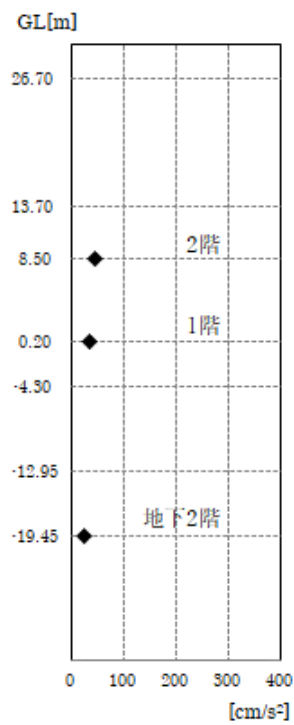


第 2.4 図 3.11 地震時 (2011 年 3 月 11 日) の観測記録の加速度応答スペクトル (原子炉附属建物 EW 方向) (2/2)

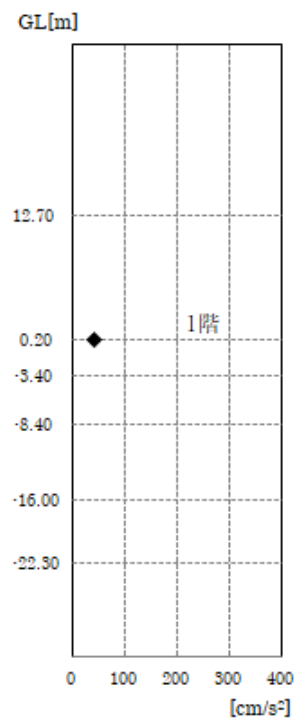
2.2 福島県沖地震（2021年2月13日）

福島県沖地震（2021年2月13日）の最大応答加速度を第2.5図に示す。福島県沖地震（2021年2月13日）の加速度応答スペクトル（原子炉附属建物）を第2.6図及び第2.7図に示す。福島県沖地震（2021年2月13日）の加速度応答スペクトル（原子炉建物）を第2.8図に示す。

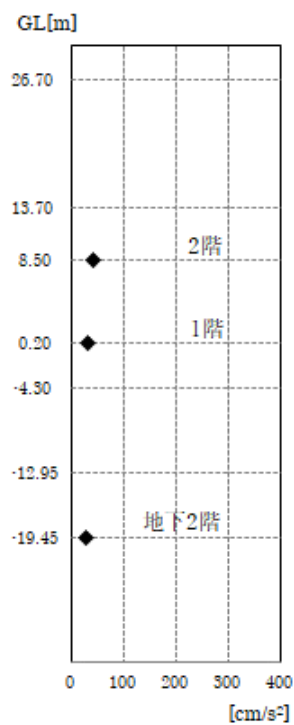
福島県沖地震は、3.11地震後に更新したデジタル式地震計で収録されたデータのうち、最も応答加速度が大きかった地震である。



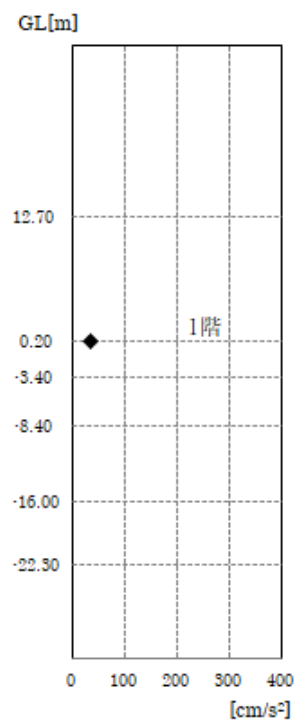
原子炉附属建物 NS



原子炉建物 NS

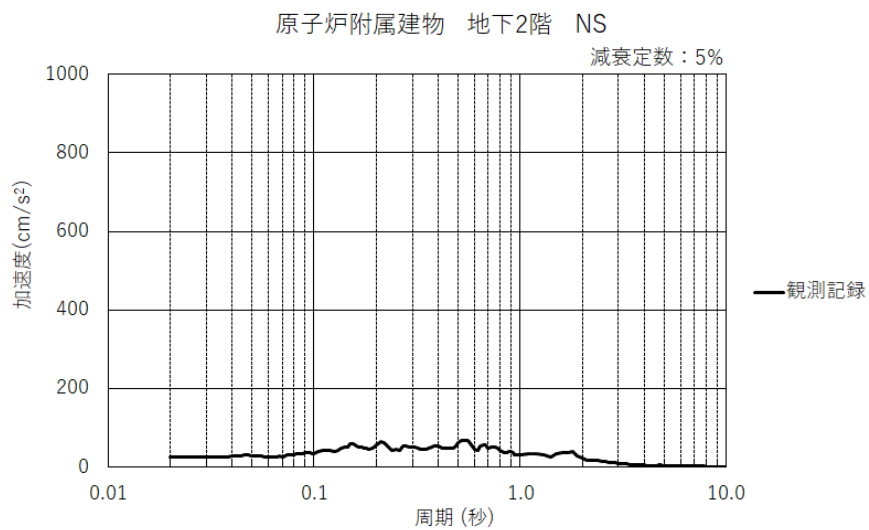
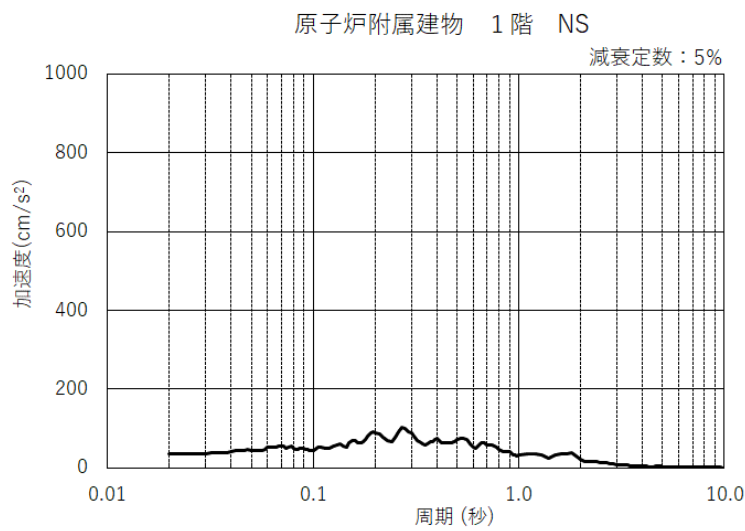
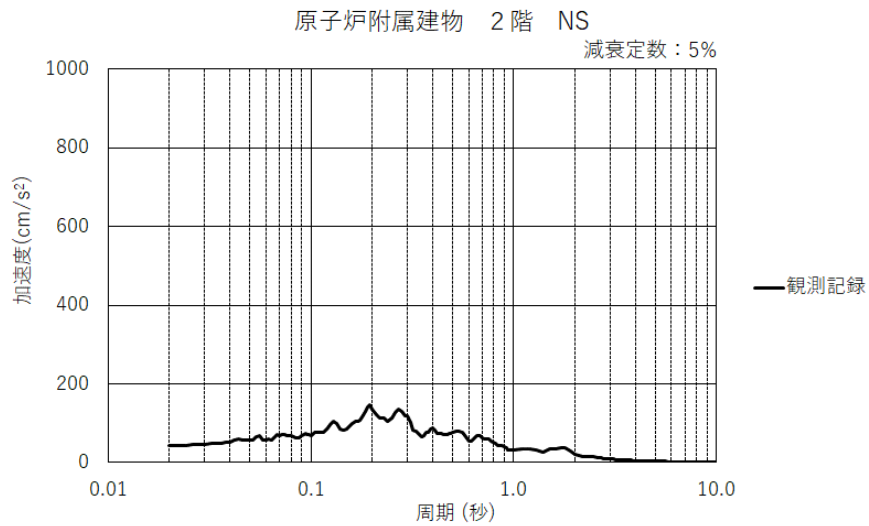


原子炉附属建物 EW

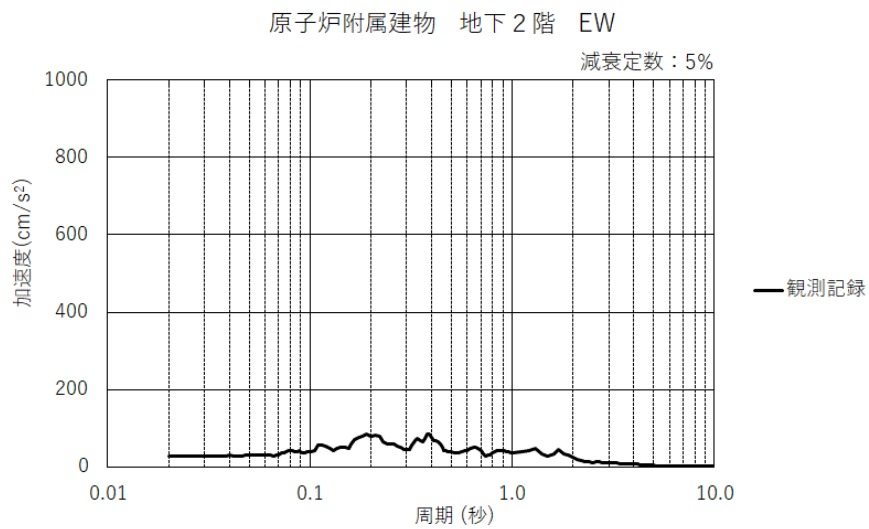
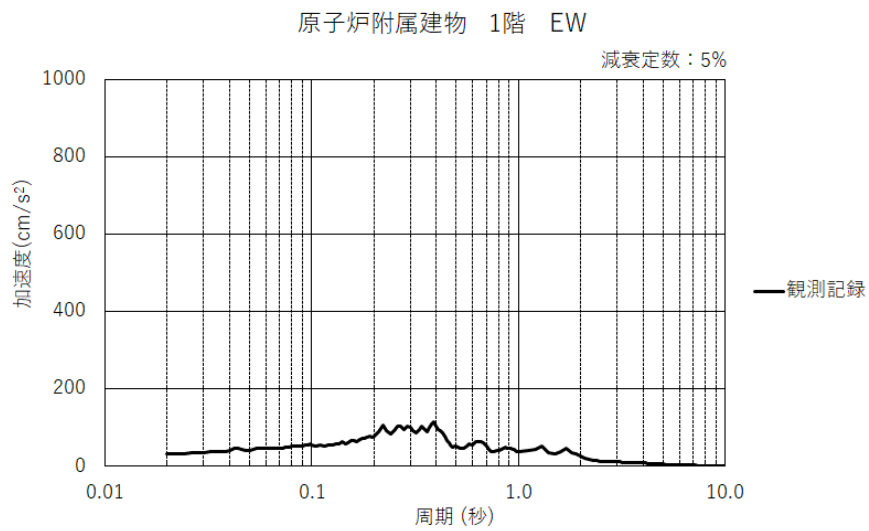
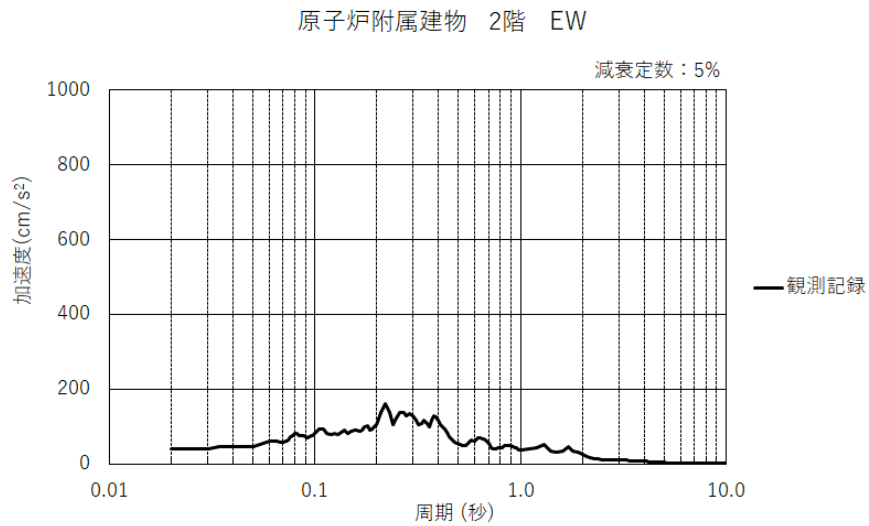


原子炉建物 EW

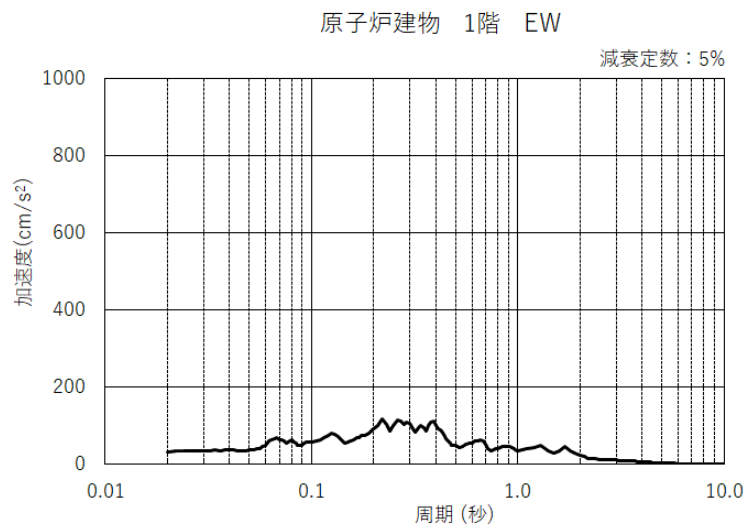
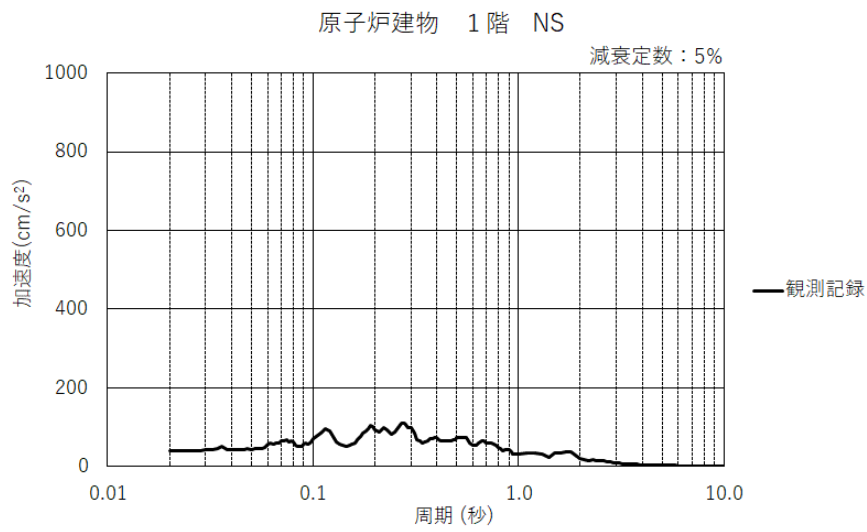
第 2.5 図 福島県沖地震（2021 年 2 月 13 日）の最大応答加速度
（原子炉附属建物、原子炉建物）



第 2.6 図 福島県沖地震（2021 年 2 月 13 日）の加速度応答スペクトル
（原子炉附属建物 NS 方向）（1/2）



第 2.7 図 福島県沖地震（2021 年 2 月 13 日）の加速度応答スペクトル
（原子炉附属建物 EW 方向）（2/2）



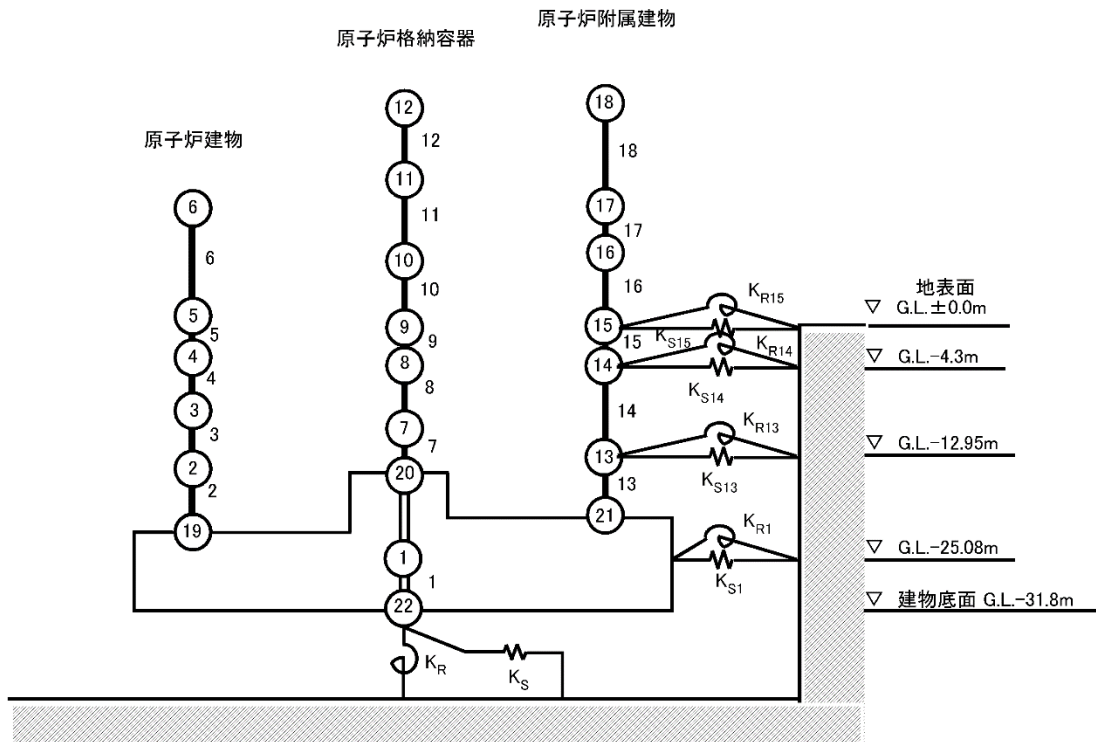
第 2.8 図 福島県沖地震（2021 年 2 月 13 日）の加速度応答スペクトル
（原子炉建物）

3. 入力地震動及び解析モデル

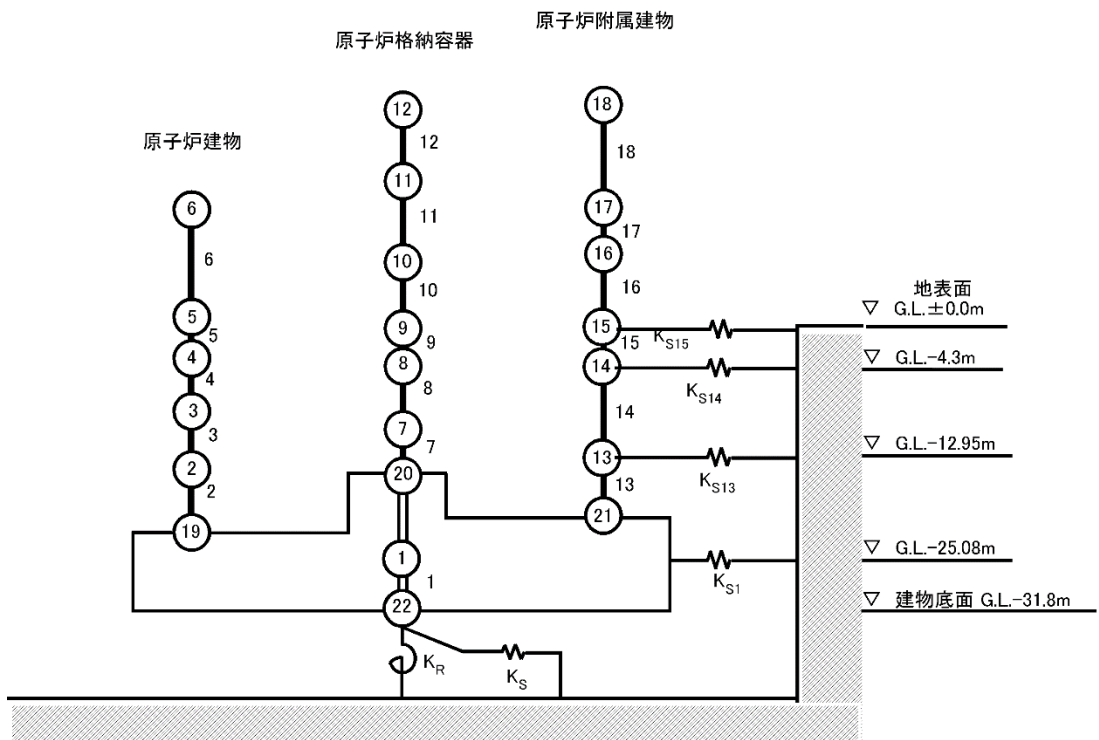
シミュレーション解析の入力地震動は、3.11 地震、福島県沖地震の基礎上の地震観測記録から算定し、建物の基礎底面及び側面地盤ばね位置に入力する。

解析モデルは、原子炉建物及び原子炉附属建物の地震応答解析で用いた地盤の側面ばねに水平ばねと回転ばねを考慮したケース 1 と、地盤の側面ばねに水平ばねのみを考慮したケース 2 を設定して比較する。

原子炉建物及び原子炉附属建物の解析モデルを第 3.1 図に示す。なお、建物の NS 方向と EW 方向で形状寸法、せん断断面積、断面 2 次モーメント、回転慣性、地盤ばねの剛性、減衰係数が異なることから、解析モデルは NS 方向と EW 方向でモデルを分けている。



ケース 1 (地盤の側面ばねに水平ばね+回転ばねを考慮)



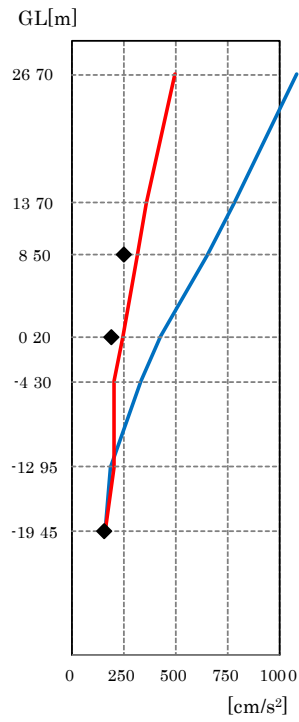
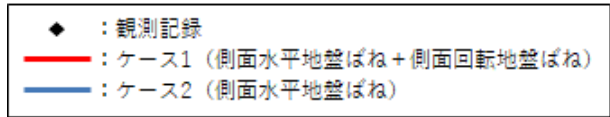
ケース 2 (地盤の側面ばねに水平ばねのみ考慮)

第 3.1 図 原子炉建物及び原子炉附属建物の解析モデル

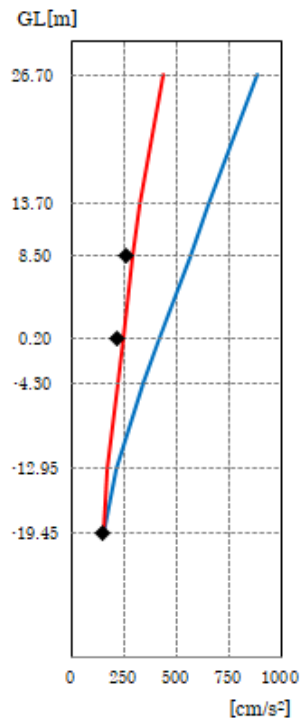
4. 地震観測シミュレーション解析結果

4.1 3.11 地震のシミュレーション解析結果

3.11 地震のシミュレーション解析結果と観測記録の最大応答加速度の比較を第 4.1 図に示す。3.11 地震のシミュレーション解析結果と観測記録の加速度応答スペクトルの比較を第 4.2 図及び第 4.3 図に示す。

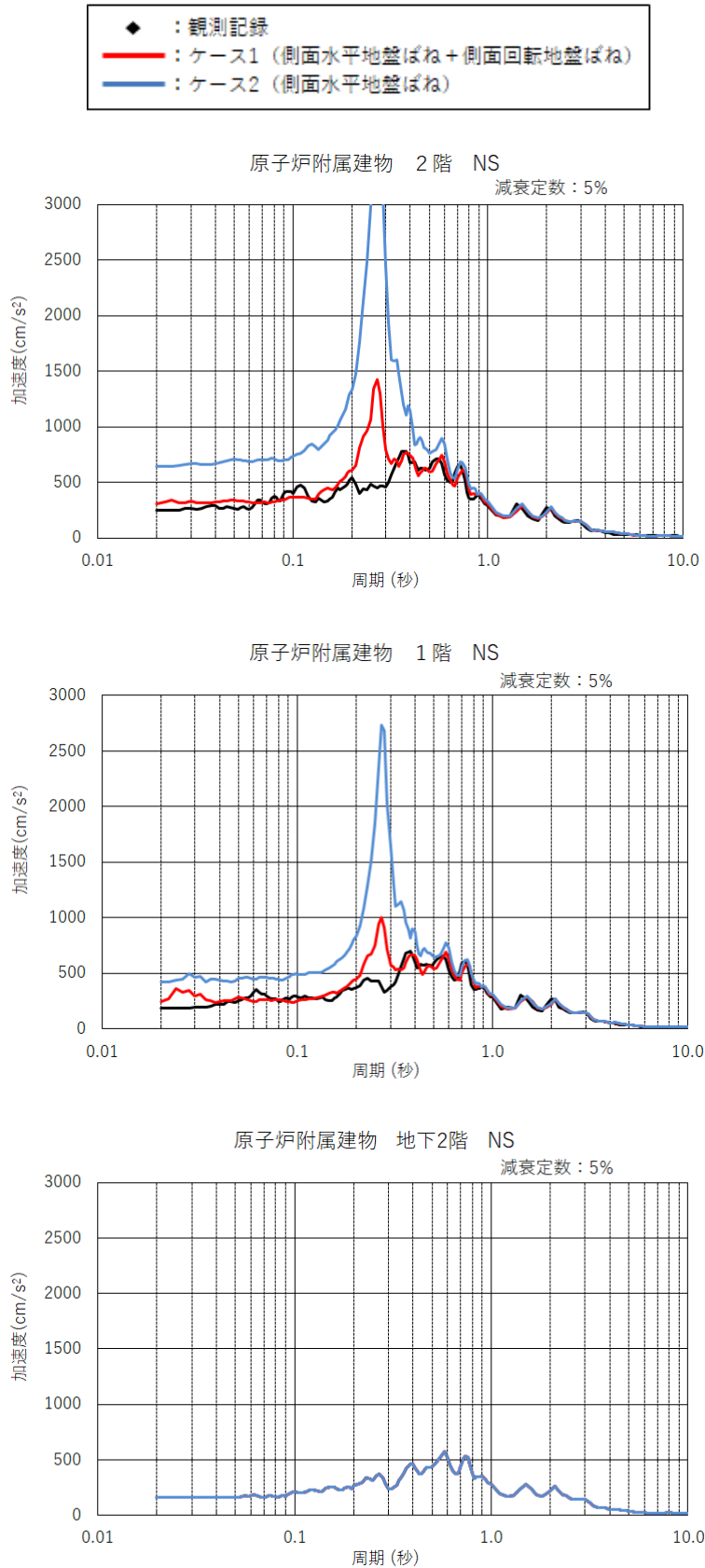


原子炉附属建物 NS

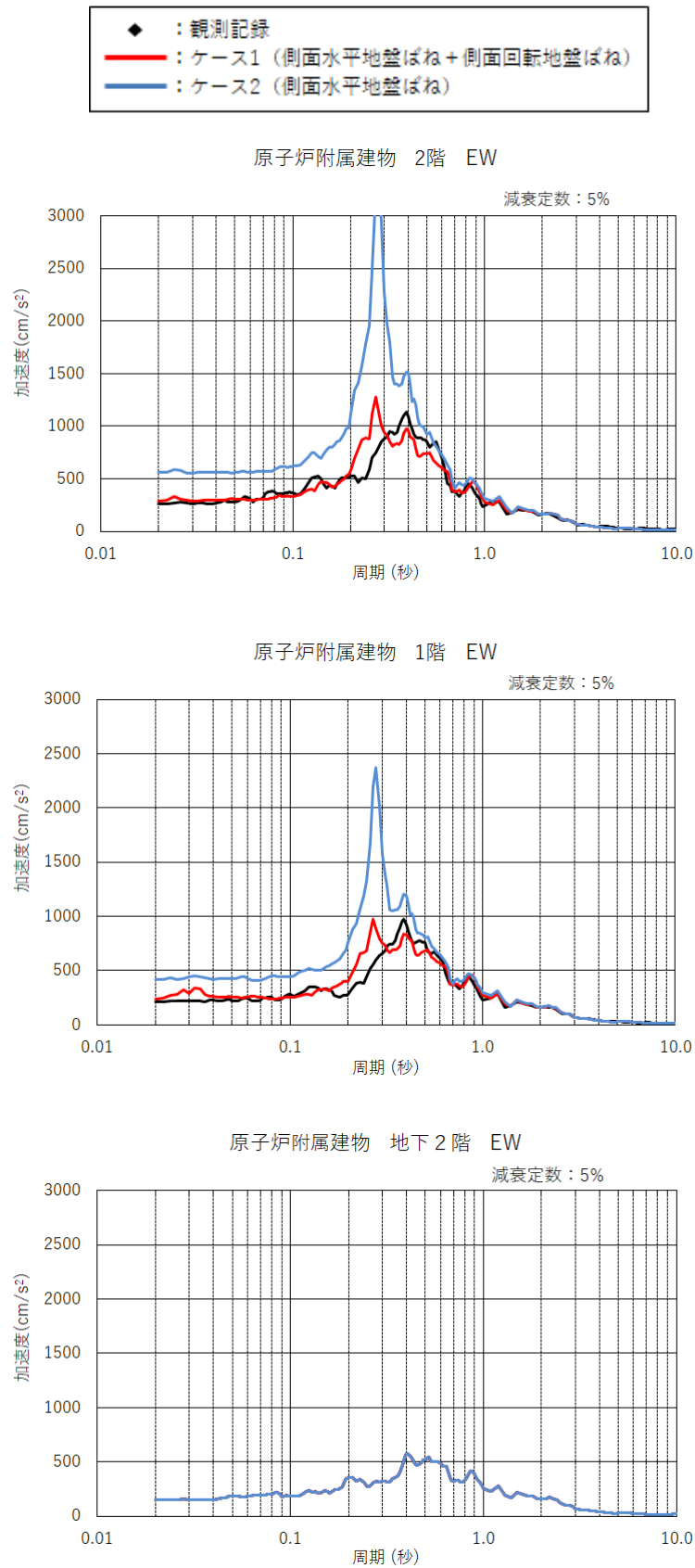


原子炉附属建物 EW

第 4.1 図 3.11 地震のシミュレーション解析結果と観測記録の最大応答加速度の比較



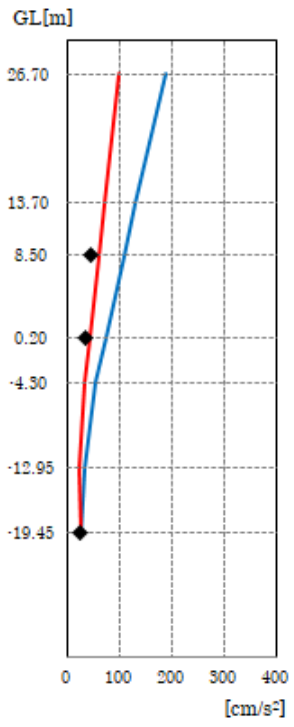
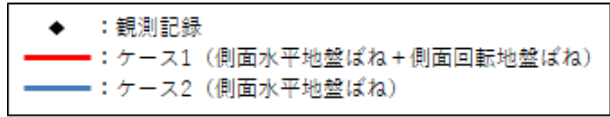
第 4.2 図 3.11 地震のシミュレーション解析結果と観測記録の加速度応答スペクトルの比較
 (原子炉附属建物 NS 方向) (1/2)



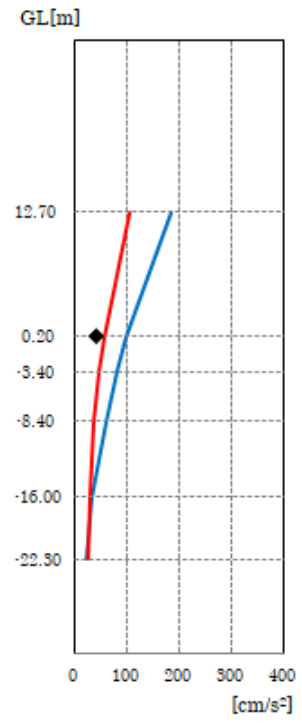
第 4.3 図 3.11 地震のシミュレーション解析結果と観測記録の加速度応答スペクトルの比較
 (原子炉附属建物 EW 方向) (2/2)

4.2 福島県沖地震のシミュレーション解析結果

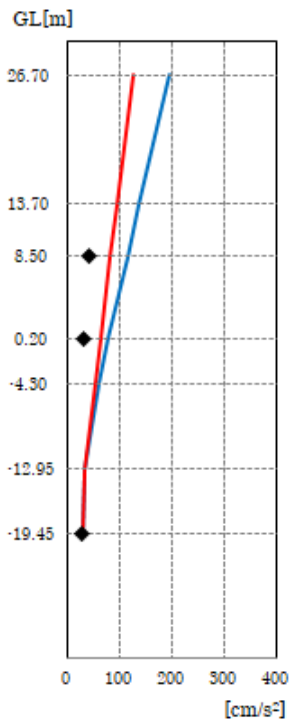
福島県沖地震のシミュレーション解析結果と観測記録の最大応答加速度の比較を第 4.4 図に示す。福島県沖地震のシミュレーション解析結果と観測記録の加速度応答スペクトル（原子炉附属建物）の比較を第 4.5 図及び第 4.6 図に示す。福島県沖地震のシミュレーション解析結果と観測記録の加速度応答スペクトル（原子炉建物）の比較を第 4.7 図に示す。



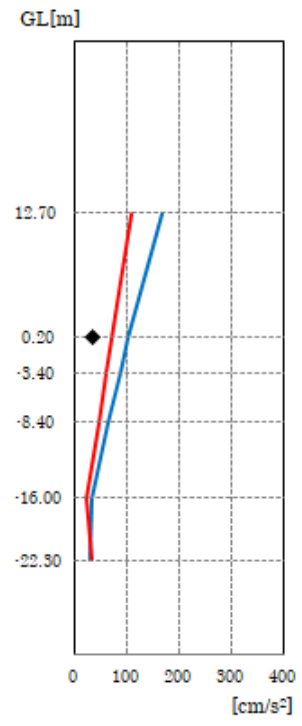
原子炉附属建物 NS



原子炉建物 NS

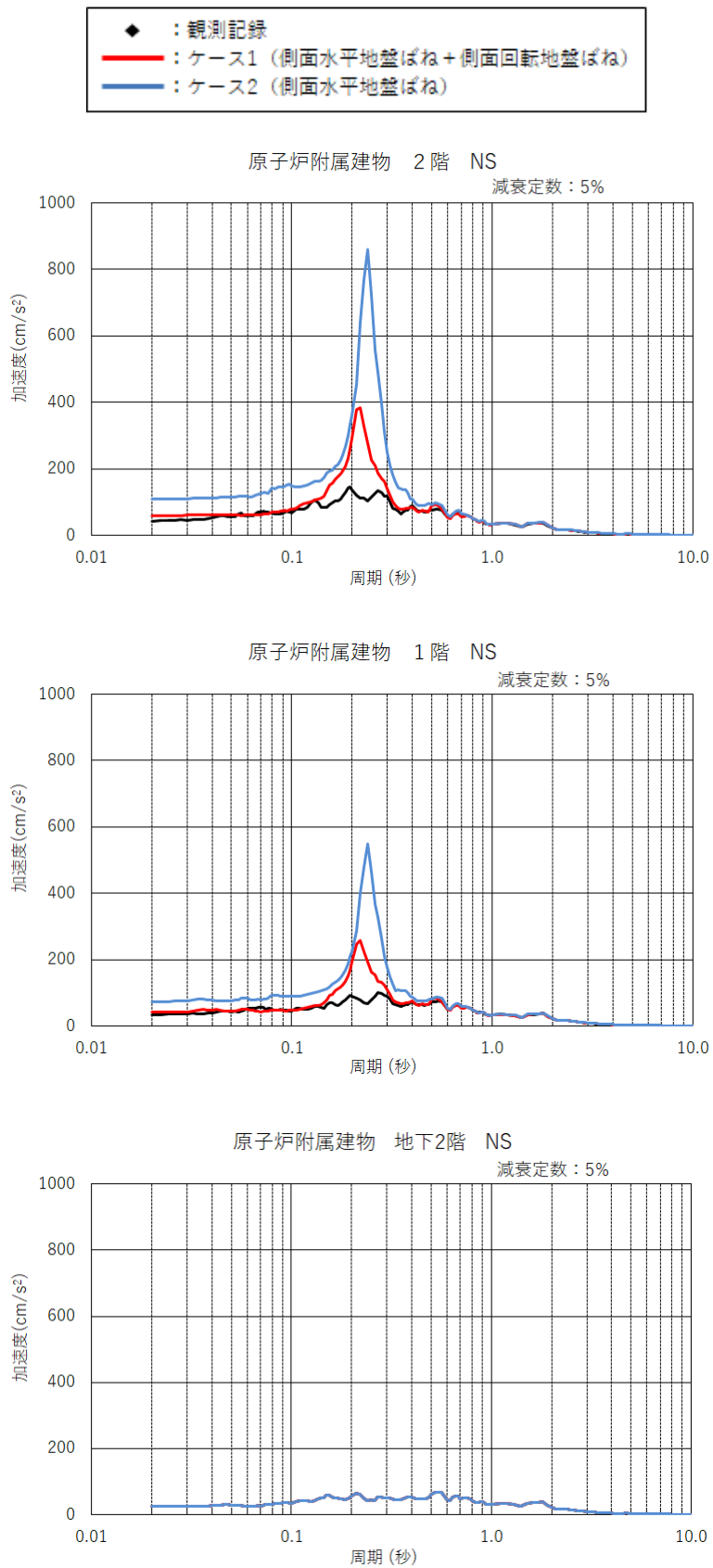


原子炉附属建物 EW

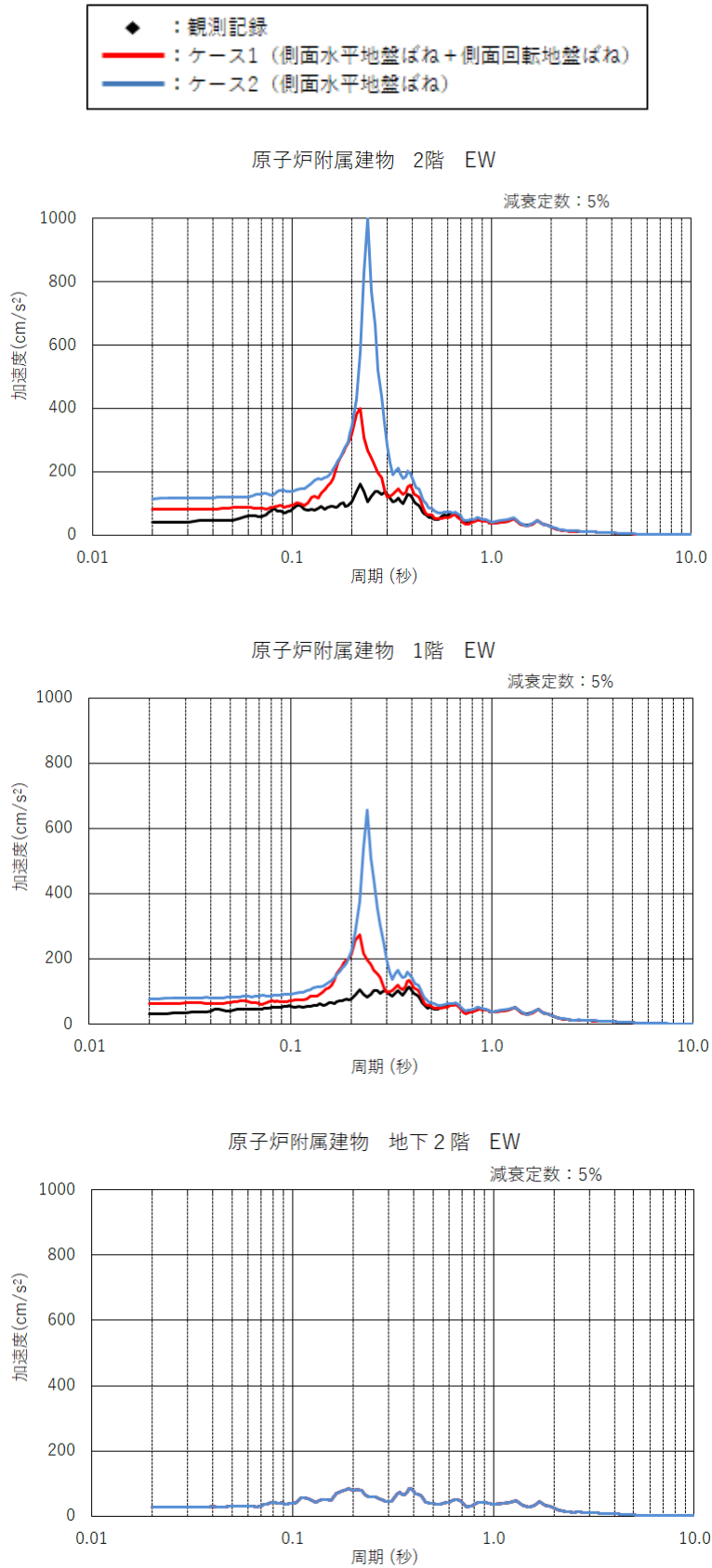


原子炉建物 EW

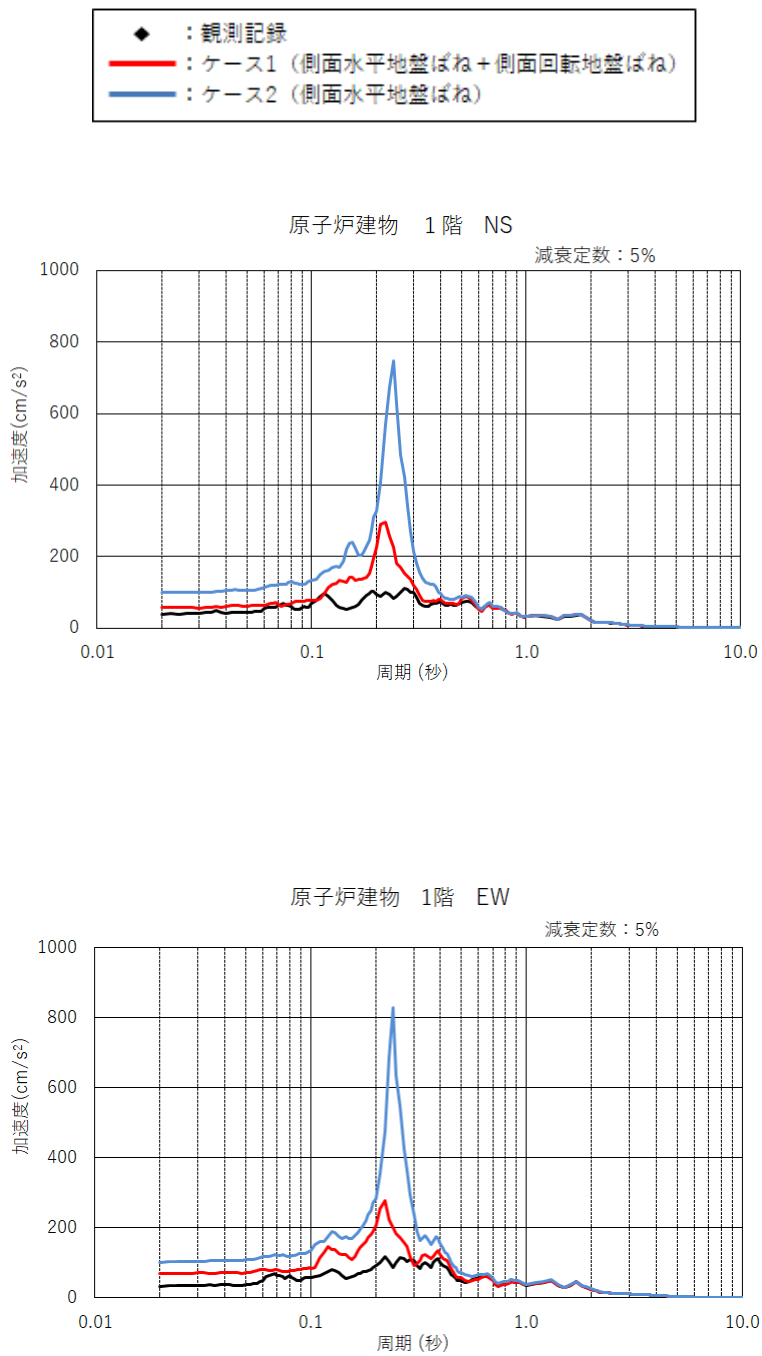
第 4.4 図 福島県沖地震のシミュレーション解析結果と観測記録の最大応答加速度の比較



第 4.5 図 福島県沖地震のシミュレーション解析結果と観測記録の加速度応答スペクトルの比較
(原子炉附属建物 NS 方向) (1/2)



第 4.6 図 福島県沖地震のシミュレーション解析結果と観測記録の加速度応答スペクトルの比較
(原子炉附属建物 EW 方向) (2/2)



第 4.7 図 福島県沖地震のシミュレーション解析結果と観測記録の加速度応答スペクトルの比較
(原子炉建物)

5. 評価結果

3.11地震（2011年3月11日）及び福島県沖地震（2021年2月13日）の観測記録と解析結果の比較から、ケース2（側面水平地盤ばね）は、最大応答加速度、加速度応答スペクトルとも観測記録に対してかなり大きくなっており、ケース1（側面水平地盤ばね+側面回転地盤ばね）の方が最大応答加速度、応答スペクトルとも整合性が良い結果となっている。

ケース1（側面水平地盤ばね+側面回転地盤ばね）の3.11地震観測記録の加速度応答スペクトルで一部加速度の低い部分があるものの、加速度応答スペクトルの形状傾向はほぼ一致していると判断している。また、3.11地震の記録は、2.1項に記載したように、スクラッチレコードフィルムにケガキ針でひっかき最大応答加速度を記録するアナログ式SMAC強震計で採取されたデータであることから、強震計自体の応答加速度精度、フィルム巻取り時のCLOCK精度に加えて、グラフ画像数値化ソフトで処理するためのフィルムスキャナによる読み取り精度などを考慮すると、3.11地震の加速度応答スペクトルの傾向はほぼ一致しており、また、デジタル式地震計で記録された福島県沖地震もほぼ一致していることから、原子炉建物及び原子炉附属建物の地震応答解析で用いているケース1（側面水平地盤ばね+側面回転地盤ばね）は、妥当な解析モデルであると判断している。

なお、機器・配管系の耐震評価にあたっては、建物の地震応答解析により得られる床応答スペクトルを周期軸方向に±10%拡幅したもの（下図に例を示す）を用いることにより、保守性をもたせる。

