

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に関する説明書

## 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。

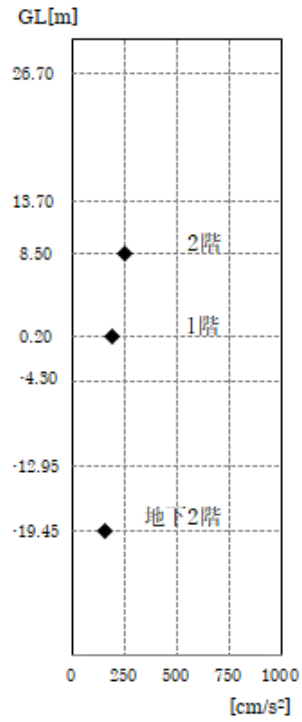
核物質防護情報（管理情報）が含まれているため公開できません。

第 2.1 図 地震計の設置位置

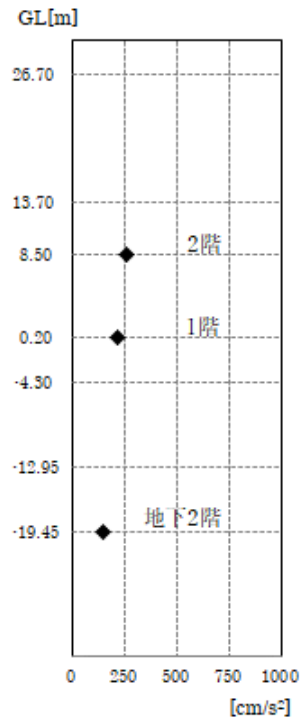
## 2.1 3.11 地震 (2011 年 3 月 11 日)

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き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、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 毎にデジタル化して時刻歴波形化し、最大応答加速度、加速度応答スペクトルを求めたものである。

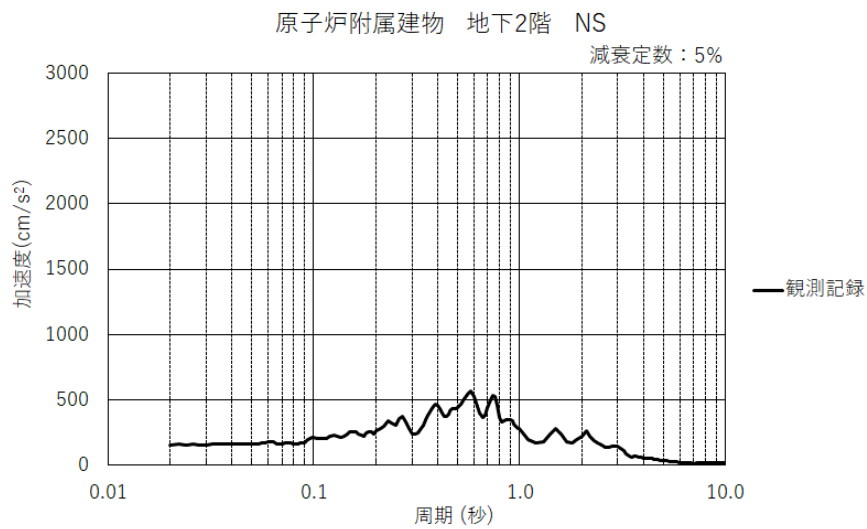
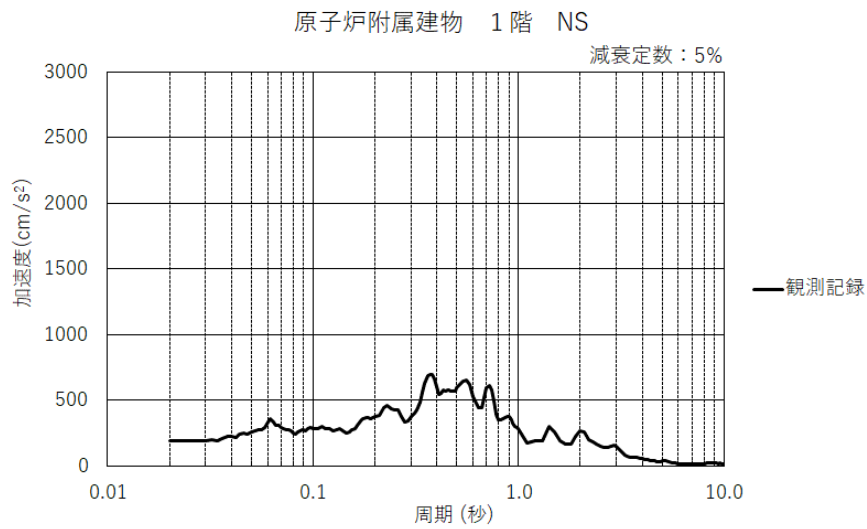
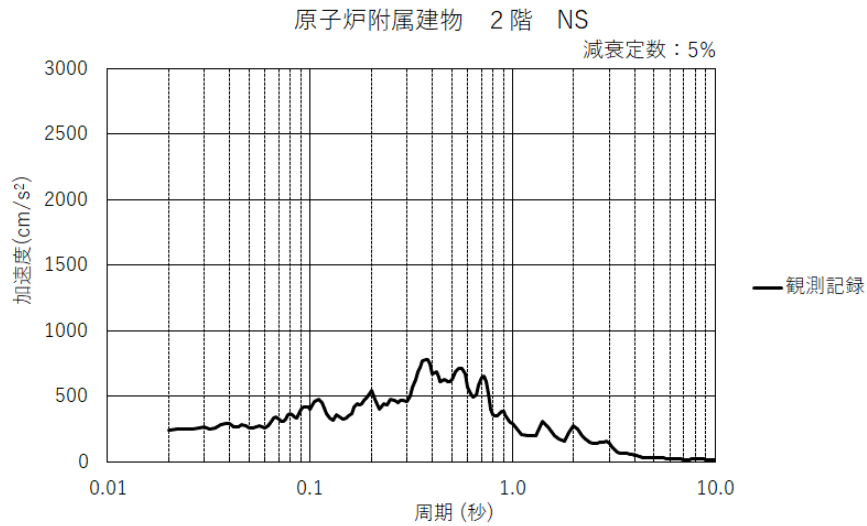


原子炉附属建物 NS

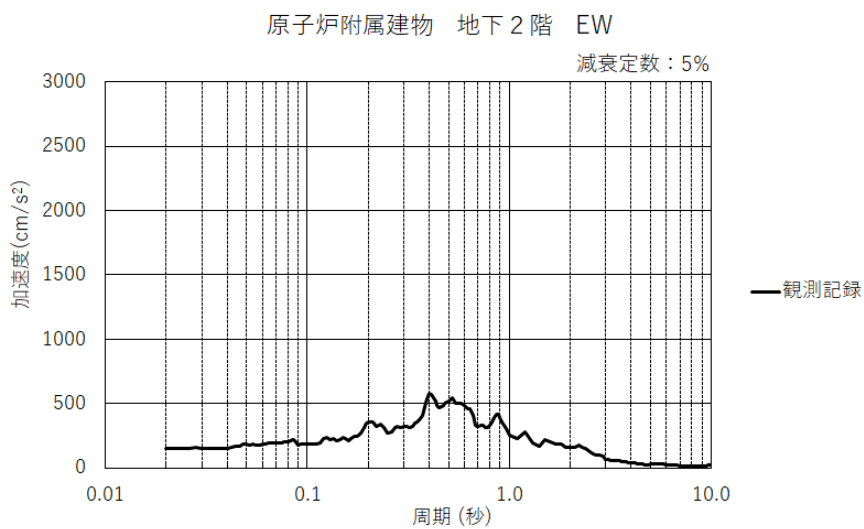
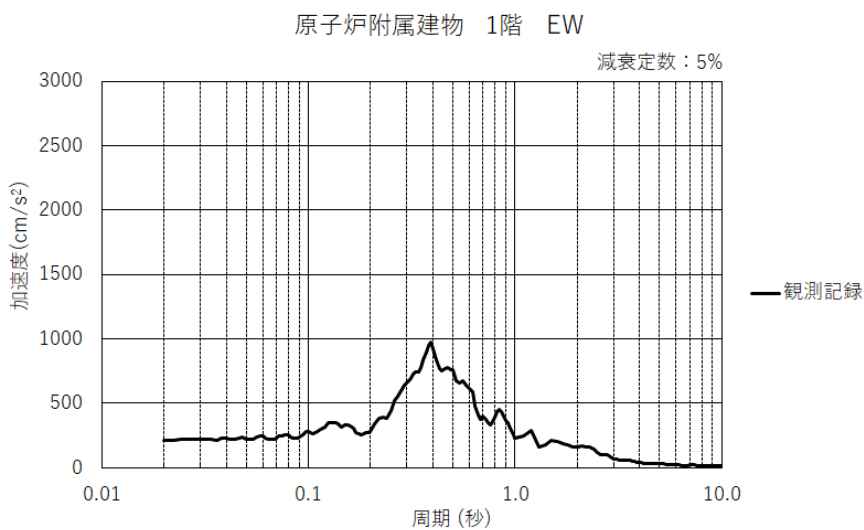
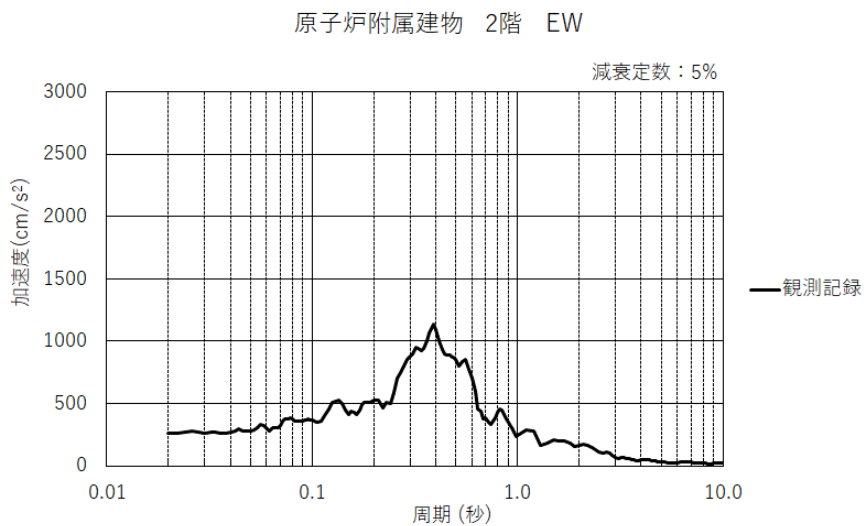


原子炉附属建物 EW

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



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



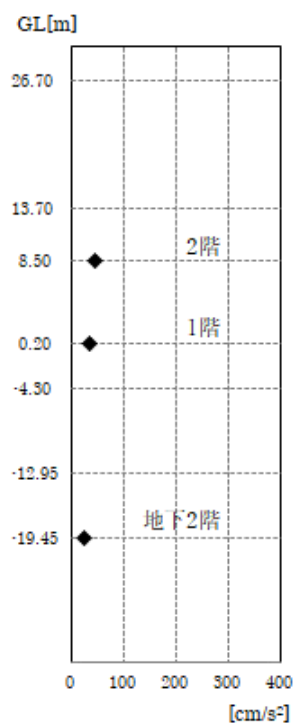
第 2.4 図 3.11 地震 (2011 年 3 月 11 日) の加速度応答スペクトル  
(原子炉附属建物 EW) (2/2)



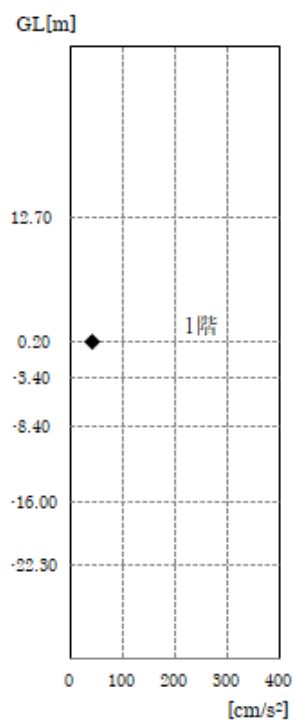
## 2.2 福島県沖地震（2021年2月13日）

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。

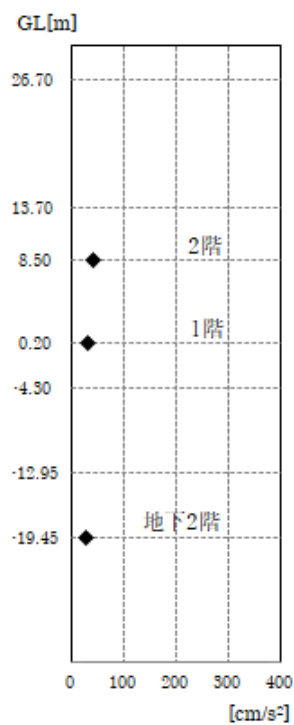
福島県沖地震は、3.11地震後に更新したデジタル式地震計で収録されたデータのうち、最も応答加速度が大きかった地震である。



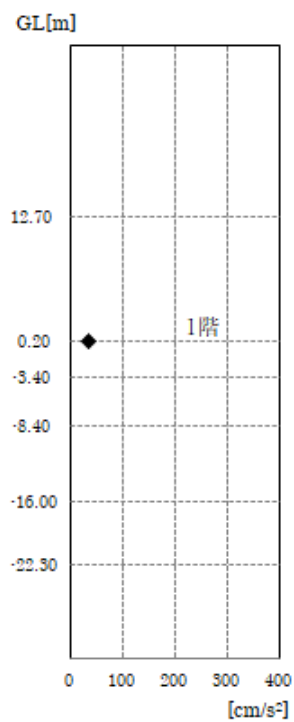
原子炉附属建物 NS



原子炉建物 NS

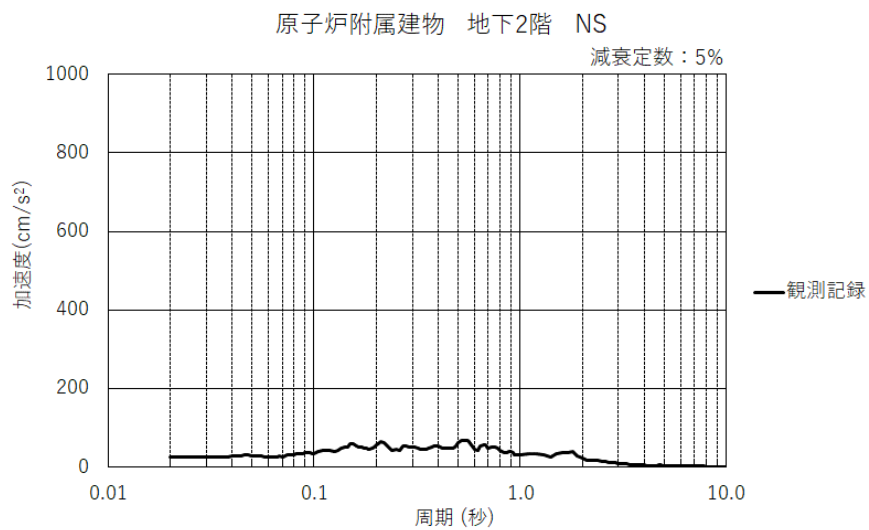
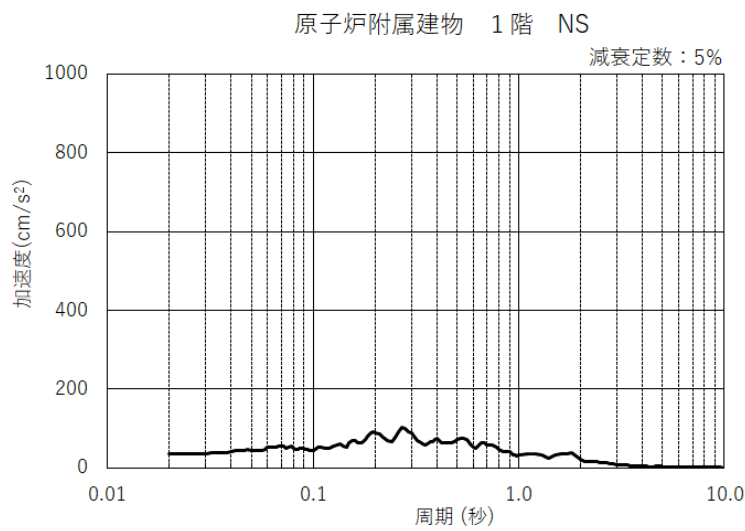
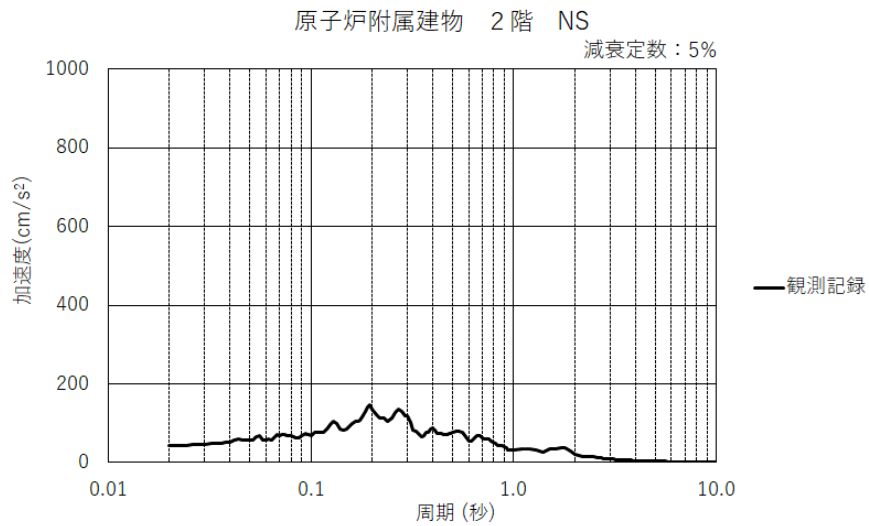


原子炉附属建物 EW

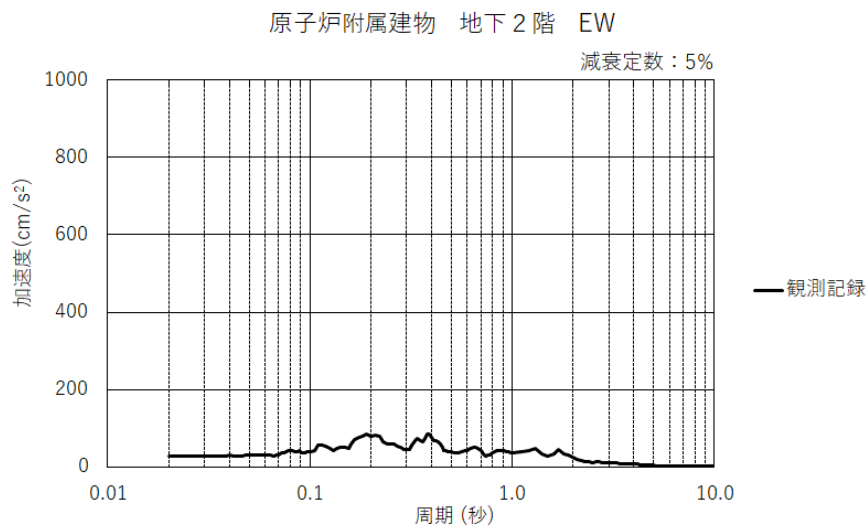
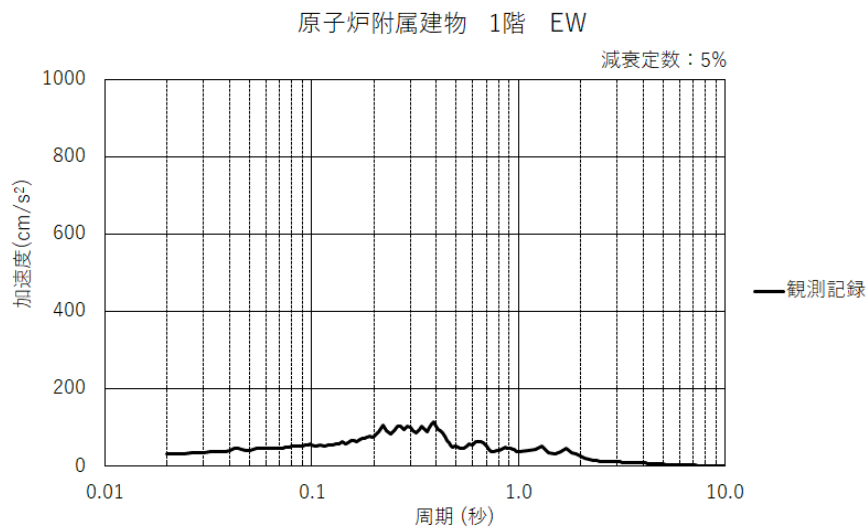
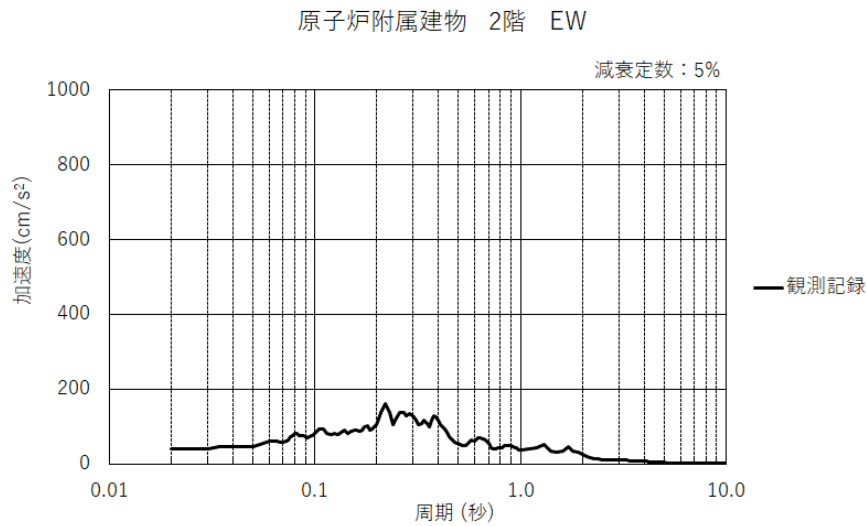


原子炉建物 EW

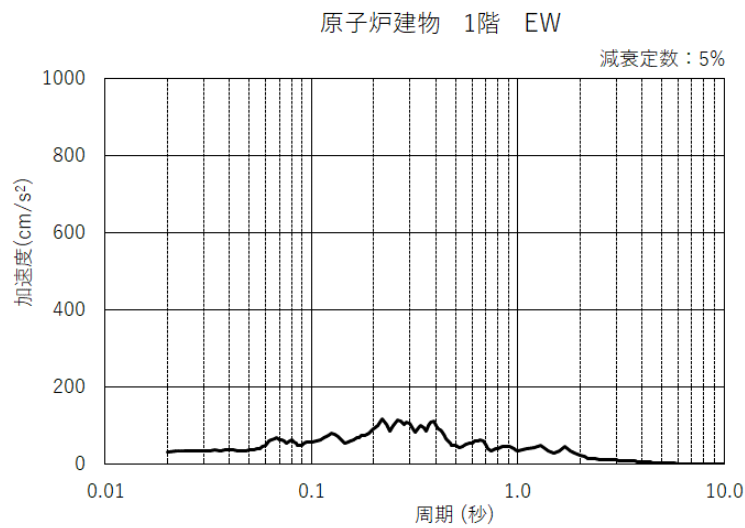
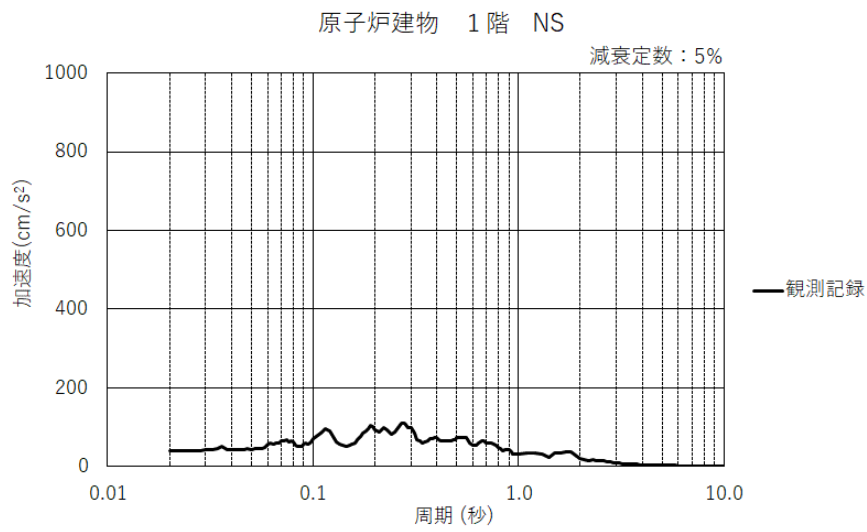
第 2.5 図 福島県沖地震 (2021 年 2 月 13 日) の最大応答加速度



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）（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) (2/2)



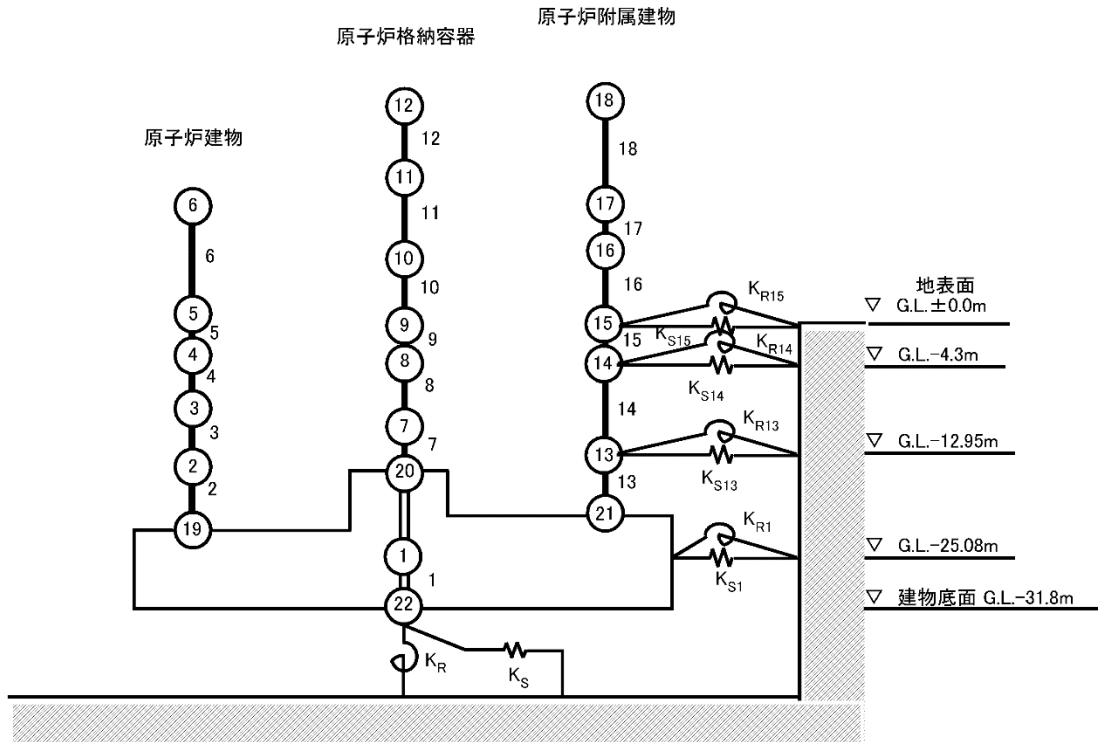
第 2.8 図 福島県沖地震 (2021 年 2 月 13 日) の加速度応答スペクトル  
(原子炉建物)

### 3. 入力地震動及び解析モデル

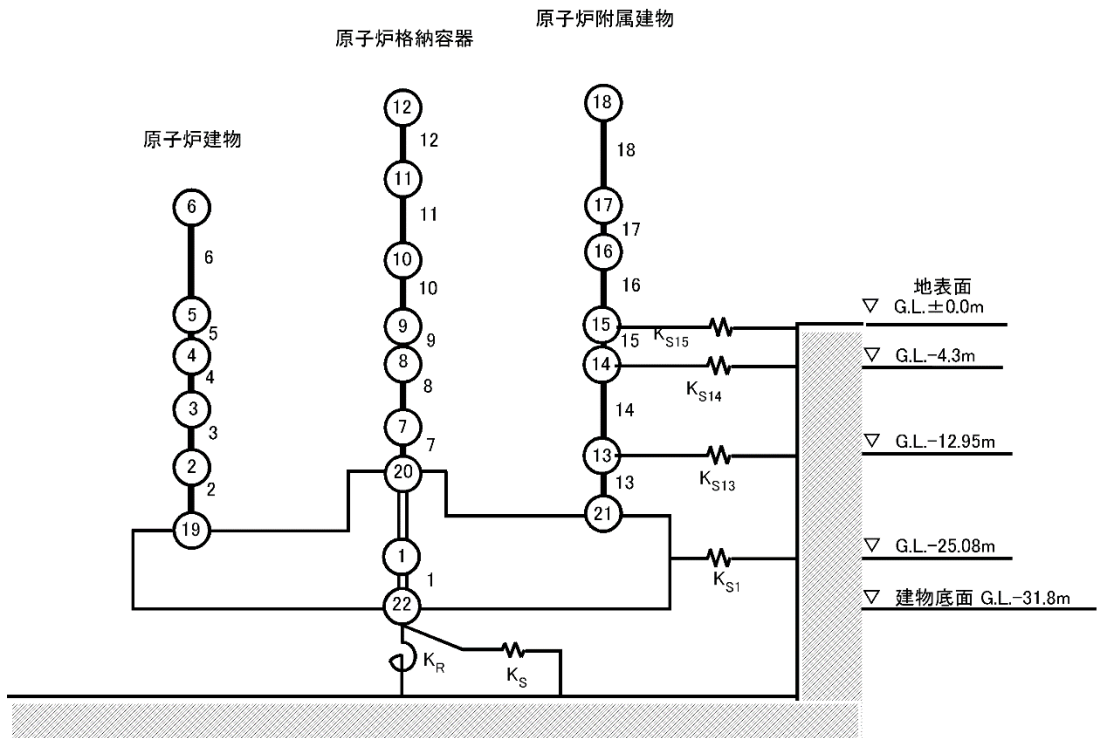
シミュレーション解析の入力地震動は、3.11 地震、福島県沖地震の基礎上の地震観測記録から算定し、建物の基礎底面及び側面地盤ばね位置に入力する。

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。



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

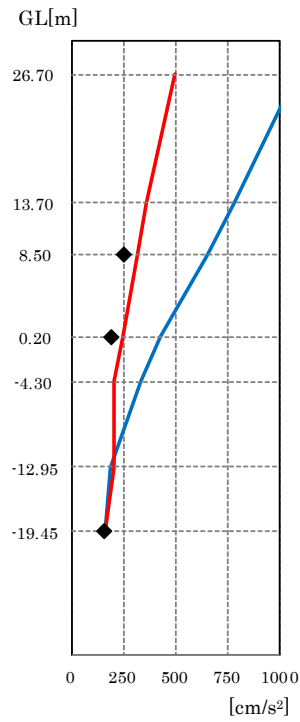
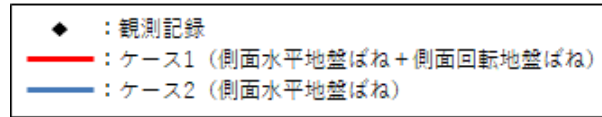
#### 4. 地震観測シミュレーション解析結果

##### 4.1 3.11 地震のシミュレーション解析結果

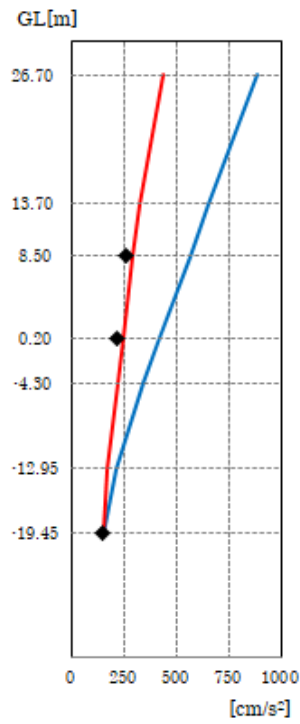
3.11 地震のシミュレーション解析結果と観測記録の最大応答加速度の比較を第 4.1 図に示す。

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。



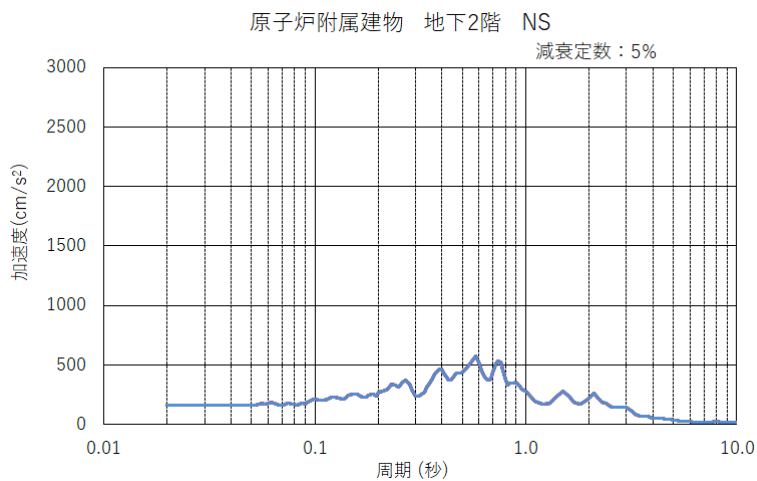
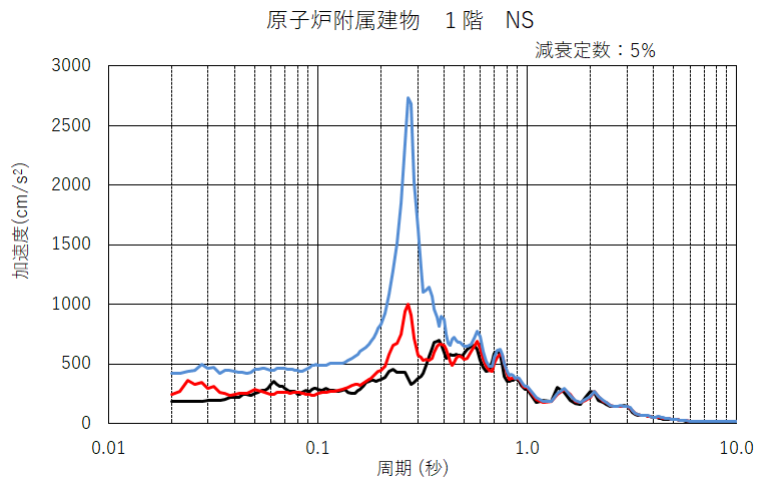
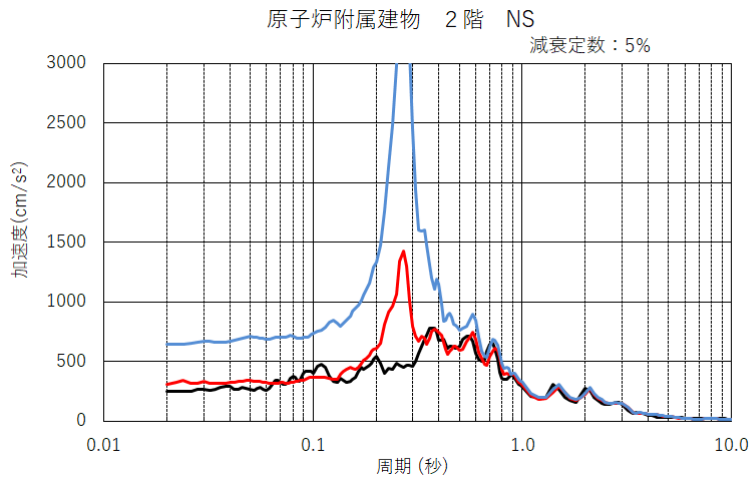
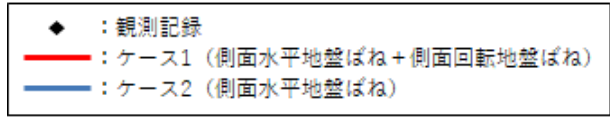


原子炉附属建物 NS

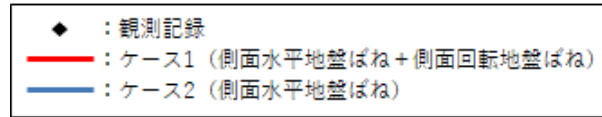


原子炉附属建物 EW

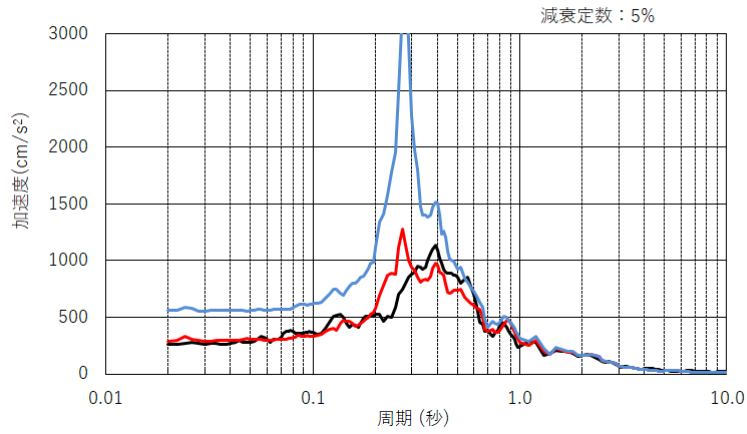
第 4.1 図 3.11 地震のシミュレーション解析結果と観測記録の最大応答加速度の比較



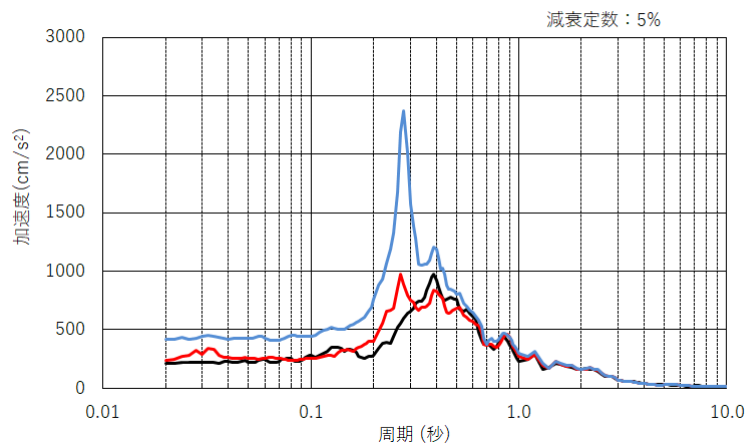
第 4.2 図 3.11 地震のシミュレーション解析結果と観測記録の加速度応答スペクトルの比較 (原子炉附属建物 NS) (1/2)



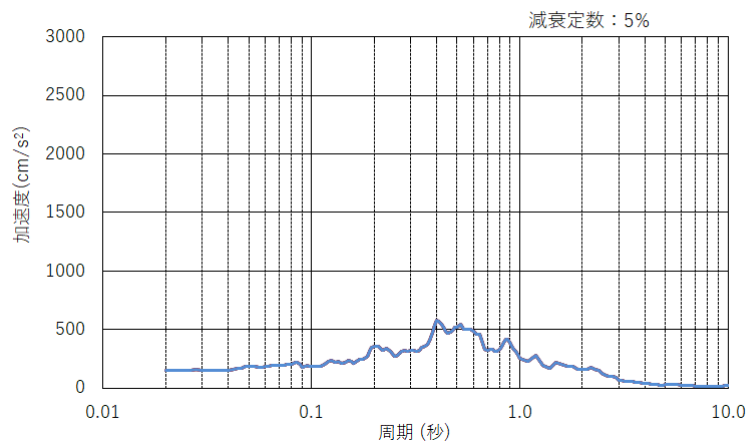
原子炉附属建物 2階 EW



原子炉附属建物 1階 EW



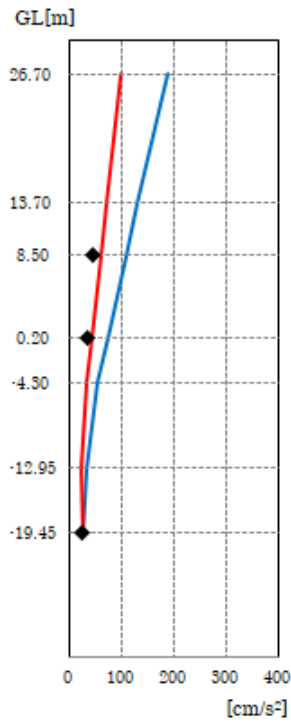
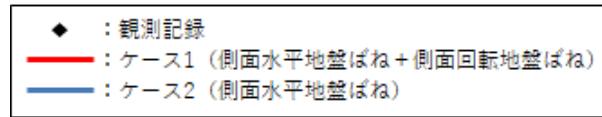
原子炉附属建物 地下2階 EW



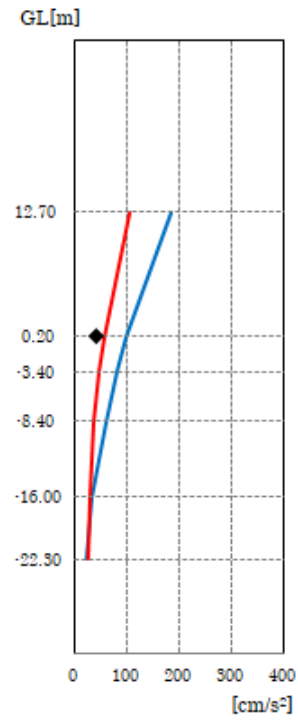
第 4.3 図 3.11 地震のシミュレーション解析結果と観測記録の加速度応答スペクトルの比較 (原子炉附属建物 EW) (2/2)

#### 4.2 福島県沖地震のシミュレーション解析結果

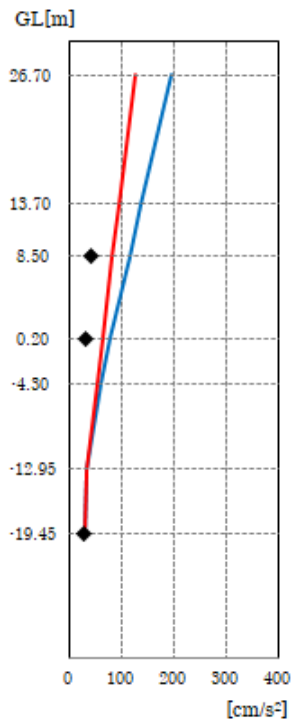
福島県沖地震のシミュレーション解析結果と観測記録の最大応答加速度の比較を第 4.3 図に示す。福島県沖地震のシミュレーション解析結果と観測記録の加速度応答スペクトル（原子炉附属建物）の比較を第 4.4 図及び第 4.5 図に示す。福島県沖地震のシミュレーション解析結果と観測記録の加速度応答スペクトル（原子炉建物）の比較を第 4.6 図に示す。



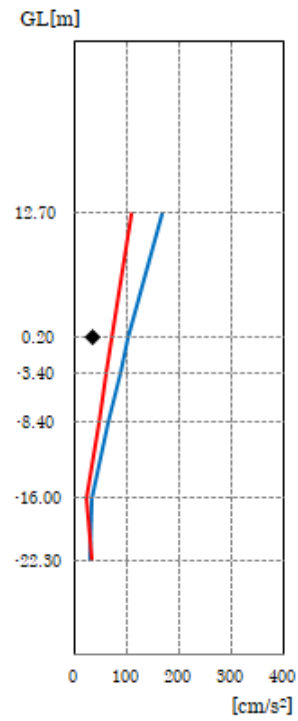
原子炉附属建物 NS



原子炉建物 NS

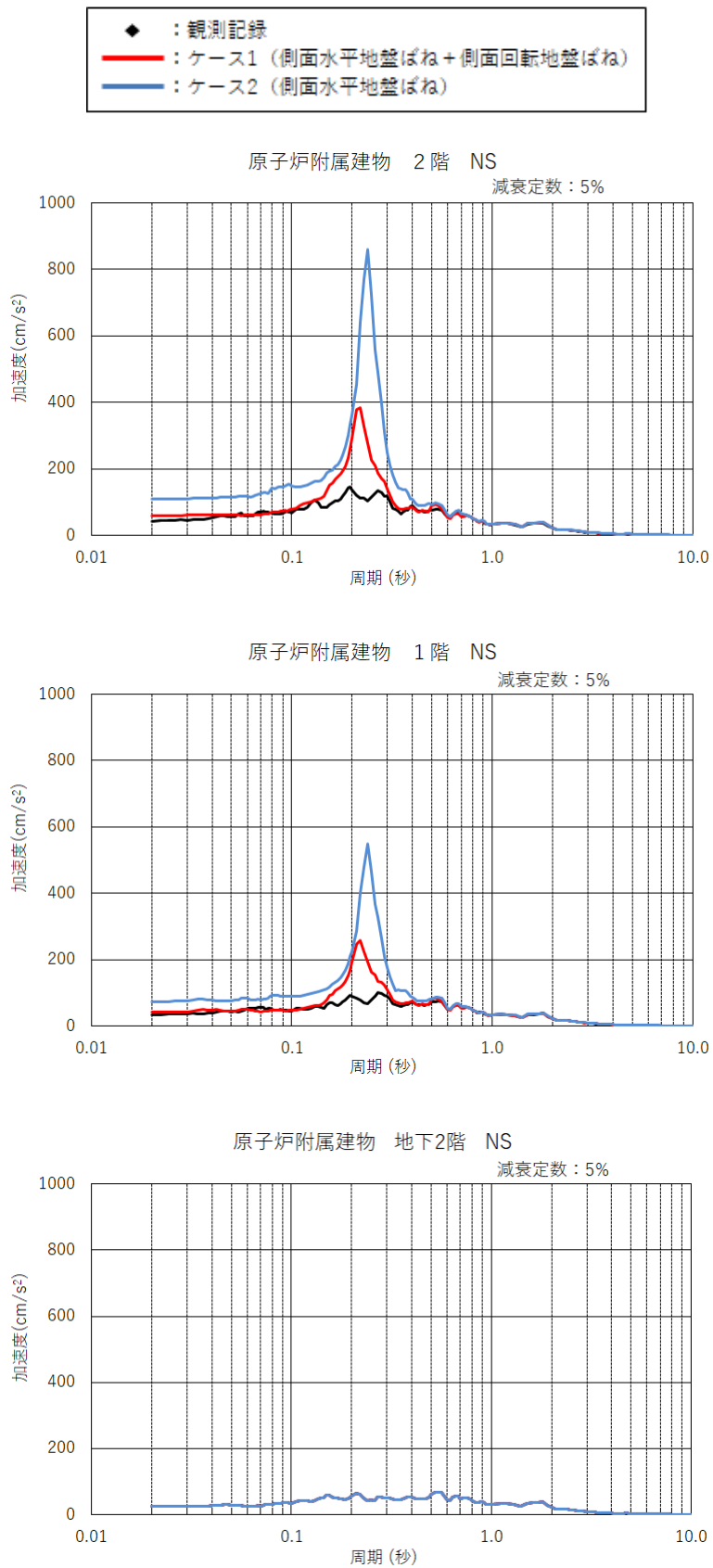


原子炉附属建物 EW

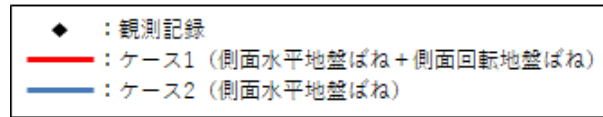


原子炉建物 EW

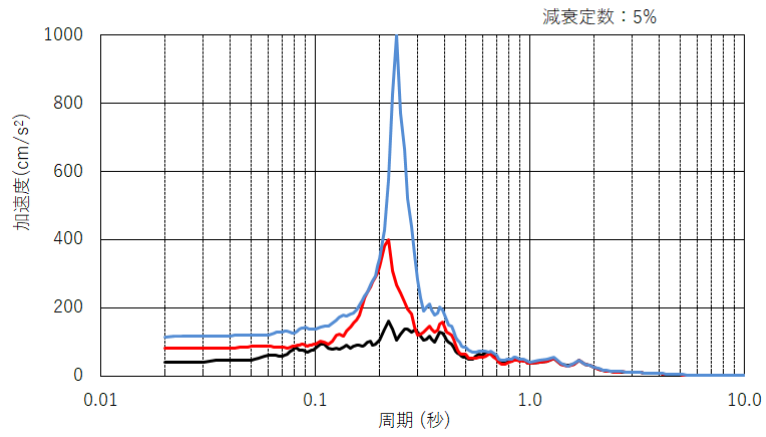
第 4.4 図 福島県沖地震のシミュレーション解析結果と観測記録の最大応答加速度の比較



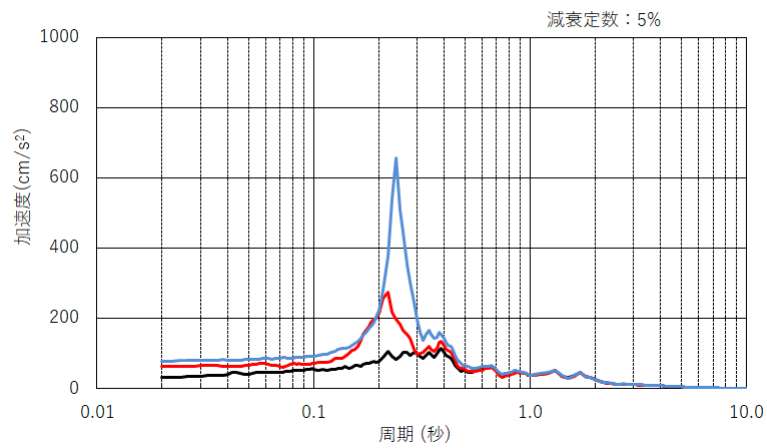
第 4.5 図 福島県沖地震のシミュレーション解析結果と観測記録の加速度応答スペクトルの比較 (原子炉附属建物 NS) (1/2)



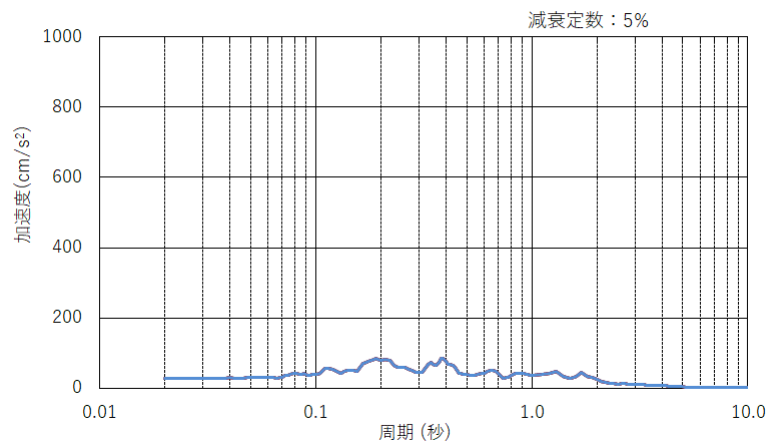
原子炉附属建物 2階 EW



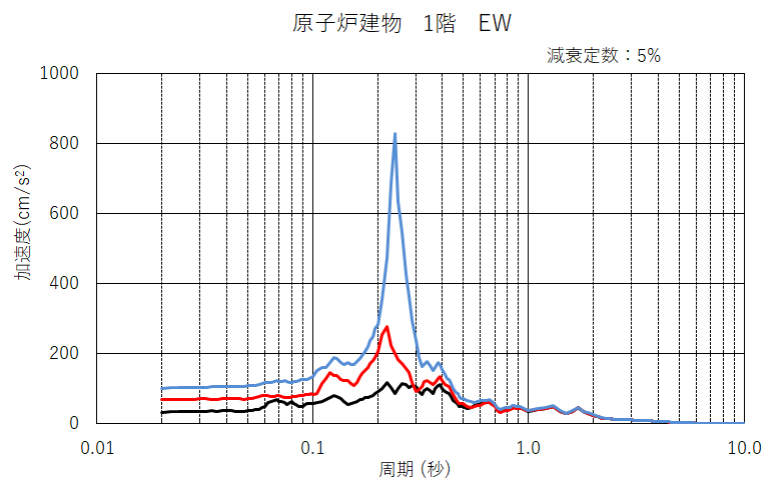
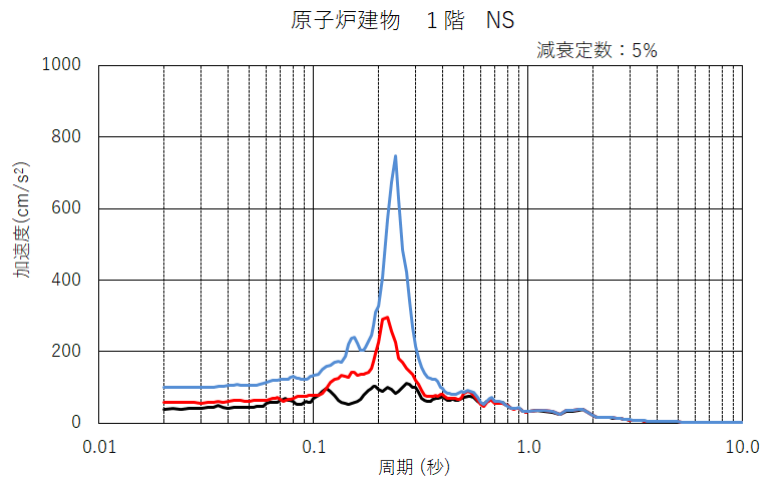
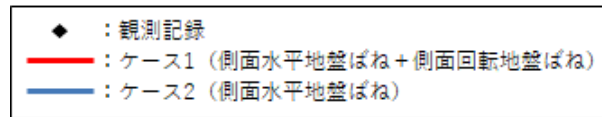
原子炉附属建物 1階 EW



原子炉附属建物 地下2階 EW



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) (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）よりケース 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ため、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ことを確認している。

なお、根入れによる側面地盤効果については、電力中央研究所報告 U86005「第四紀地盤上の高速実験炉「常陽」の地震応答特性（その 2）深く根入れされた建屋の加振時応答特性と地盤の動的抵抗係数の評価」（昭和 61 年 10 月）において、以下のような結果が得られている。

深く根入れされた大型構造物の水平加振時応答特定として、1 次モードは建屋がほぼ同位相で挙動する全体としてのスウェイ・回転連成モードであり、1 次モード減衰が 56%と非常に大きい値で、スウェイ、回転、建屋変形の比率はそれぞれ 28%、65%、7%と、建屋変形の比率が非常に小さく、1 次モード減衰が大きいことと合わせて根入れの深い建屋の顕著な特徴であると考えられる。

また、根入れによる側面地盤効果については、電力中央研究所報告 U86037「第四紀地盤上の高速実験炉「常陽」の地震応答特性（その 3）地震観測に基づく地盤～建屋の応答特性と根入れ効果の簡易予測手法」（昭和 62 年 6 月）において、地震観測に基づく応答特性からも評価されており、以下のような結果が得られている。

これによれば、1 次モードにおけるスウェイ、ロッキングおよび建屋変形が各々占める比率を換算すると、おおよそ 40%、40%、20%である。観測精度や算出手順の粗さ等から厳密な対比はできないが、起振実験の結果（26%、65%、7%）と比べると、地震時にはロッキングモードは起振実験時ほどには卓越しないことが分る。観測値全体と各成分の応答量を比較すると、スウェイ成分の占める割合が比較的大きいと言えよう。

これらの結果からも、側面地盤効果については、スウェイ成分と同等あるいはそれ以上に回転成分が応答に影響しており、側面地盤ばねに水平に加えて回転を考慮することは妥当であると考えている。