

別紙 14 表層地盤物性値の違いによる建屋応答への影響について

目 次

1. 検討目的..... 別紙 14-1
 2. 検討方法..... 別紙 14-2
 3. 検討結果..... 別紙 14-6
- 参考検討 表層地盤物性値の違いによる基準地震動 S_s 時の建屋応答への影響について

1. 検討目的

原子炉建屋の基準地震動の入力地震動の算定においては、地震動の加速度振幅が大きいことから、表層地盤の非線形性を考慮した解析を行っている。

表層地盤の非線形特性は、PS 検層結果から初期せん断剛性 G_0 、原位置せん断試験結果から双曲線モデルとして $G/G_0-\gamma$ 曲線、繰返し三軸試験結果から $h-\gamma$ 曲線を設定し、地震観測記録のシミュレーション解析により検証したものである。

一方、初期せん断剛性 G_0 及び $G/G_0-\gamma$ 曲線については、繰返し三軸試験による結果も存在することから、入力地震動算定における非線形特性が建屋応答へ与える影響について確認する。

2. 検討方法

入力地震動の算定に用いる地盤モデルの非線形特性として、PS 検層結果から初期せん断剛性 G_0 、原位置せん断試験結果から双曲線モデルとして $G/G_0 - \gamma$ 曲線を設定した場合（基本ケース）と、繰返し三軸試験結果から初期せん断剛性 G_0 及び $G/G_0 - \gamma$ 曲線を設定した場合（ケース 1）の観測記録の再現性を確認する。

検討は、3.11 地震のはぎとり波を用いて建屋シミュレーション解析を実施し、観測記録と解析結果の加速度応答スペクトルの比較により行う。

基本ケースでは、O.P. 14.8m～O.P. 0m の表層地盤非線形特性として初期せん断剛性 G_0 は、PS 検層結果により (2-1) 式で設定する。

$$G_0 = 1787\sigma_c^{0.84} \quad (2-1)$$

$$\text{ここで、 } \sigma_c [\text{MN/m}^2] = Z \times \rho_t \times \frac{2}{3} \quad Z: \text{深度}$$

$$\rho_t = 18.6 [\text{kN/m}^3]$$

$G/G_0 - \gamma$ 曲線は、原位置せん断試験結果による強度定数と拘束圧から求めたせん断強度 τ_m と初期せん断剛性 G_0 から、基準ひずみ γ_m を算定し (2-2) 式により求める。

$$\frac{G}{G_0} = \frac{1}{1 + \frac{\gamma}{\gamma_m}} \quad (2-2)$$

$$\text{ここで、 } \gamma_m = \frac{\tau_m}{G_0}$$

$$\tau_m = \tau_0 + \sigma_{md} \tan \phi$$

$$\tau_0 [\text{N/mm}^2] = 0.1$$

$$\phi [^\circ] = 33.9$$

$$\sigma_{md} = 3/4 \times Z \times \rho_t \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$h - \gamma$ 曲線は逐次非線形解析に用いる解析コードでは H-D モデルの関数形として $h - \gamma$ 曲線を定義する。H-D モデルの関係式を以下に示す。

$$h = h_{\max} (1 - G/G_0) \quad (2-3)$$

h_{\max} はせん断ひずみが 0.001～0.003 程度で繰返し三軸試験結果に基づいた (2-4) 式と同程度の減衰となるように $h_{\max} = 0.24$ と設定した。

$$h = 0.183\gamma / (\gamma + 0.000261)$$

(2-4)

基本ケースの解析において用いた $G/G_0 - \gamma$ 曲線を図 2-1 に、 $h - \gamma$ 曲線を図 2-2 に示す。

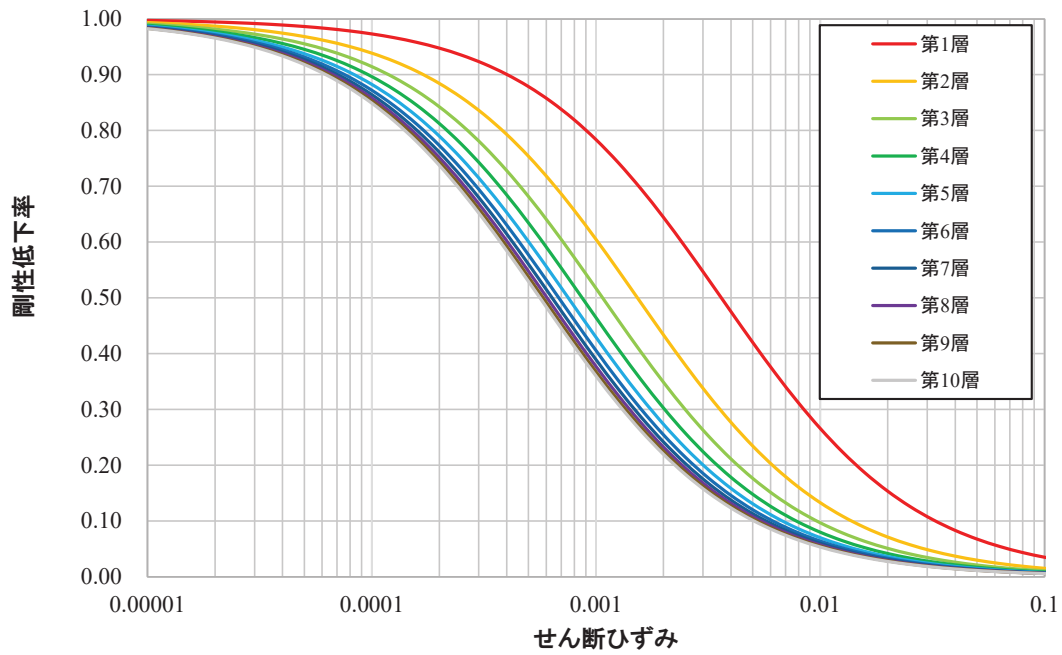


図 2-1 $G/G_0 - \gamma$ 曲線

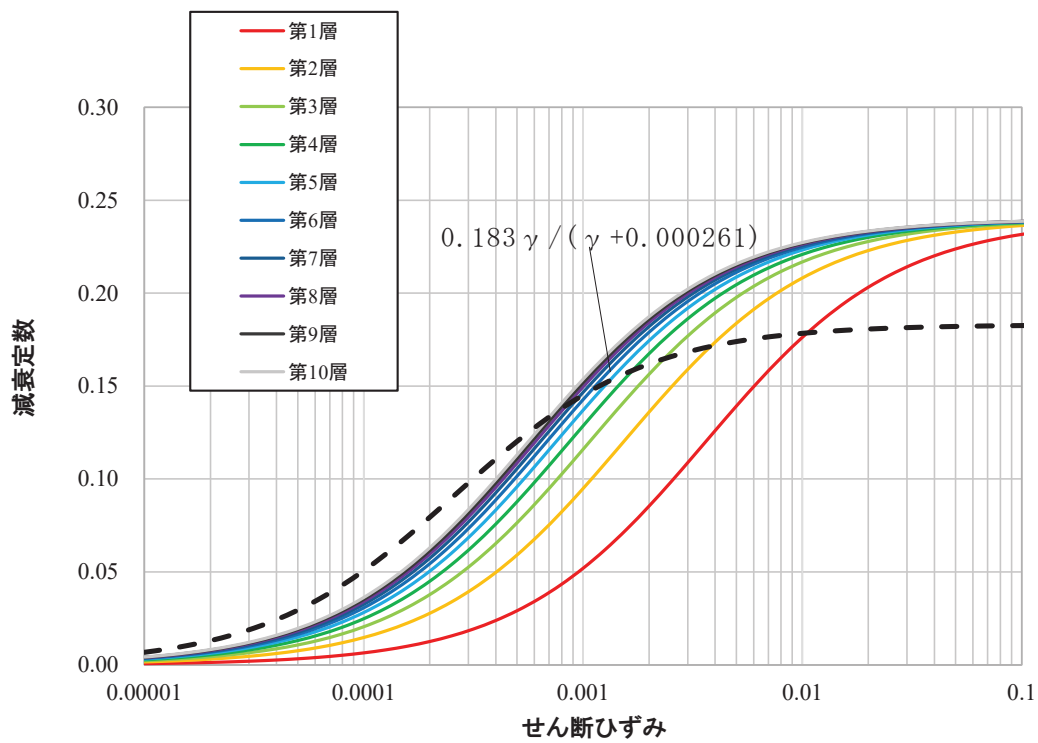


図 12-2 $h - \gamma$ 曲線

ケース 1 の表層地盤非線形特性として初期せん断剛性 G_0 及び $G/G_0 - \gamma$ 曲線は、繰返し三軸試験結果から (2-4) 式及び (2-5) 式で設定する。

$$G_0 = 382\sigma_c^{0.71} \quad (2-5)$$

$$\frac{G}{G_0} = \frac{1}{1 + \frac{\gamma}{\gamma_m}} \quad (2-6)$$

$$\gamma_m = \frac{\tau_m}{G_0} = 0.00036 \quad (2-7)$$

$h - \gamma$ 曲線は、基本ケースと同様とする。

ケース 1 の評価に採用されている $G/G_0 - \gamma$ 曲線を基本ケースの $G/G_0 - \gamma$ 曲線と比較して図 2-3 に示す。 $h - \gamma$ 曲線は図 2-2 と同じである。

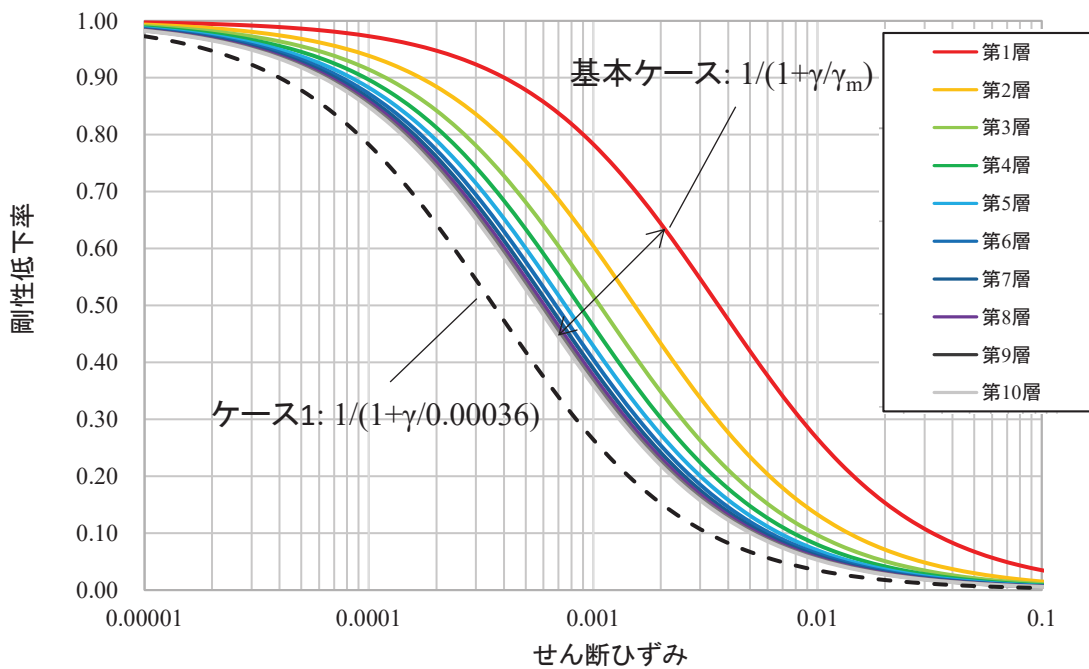


図 2-3 $G/G_0 - \gamma$ 曲線の比較

検討は、以下の3種類について比較を行う。

- ① 初期せん断弾性係数 G_0 のみを変更する（この場合 $G/G_0 - \gamma$ 曲線は従来のモデルと同じとし、(2-6) 式の基準ひずみは適用しない）
- ② $G/G_0 - \gamma$ 曲線のみ変更する（この場合 (2-6) 式の基準ひずみと G_0 の関係式は適用しない）
- ③ 初期せん断弾性係数 G_0 と $G/G_0 - \gamma$ 曲線の両方を変更する

3. 検討結果

図 3-1～図 3-6 に、検討結果の建屋モデルの床応答スペクトルを観測記録の床応答スペクトルと比較して示す。

初期せん断弾性係数 G_0 のみを変更した場合、 $G/G_0 - \gamma$ 曲線のみ変更した場合及び初期せん断弾性係数 G_0 と $G/G_0 - \gamma$ 曲線の両方を変更した場合のどの場合においても、床応答スペクトルは、周期 0.2 秒～0.3 秒の 1 次ピーク付近で基本ケースよりケース 1 が大きくなる傾向が見られ、基本ケースの方が観測記録に近い結果となっている。

このことから、基本ケースの物性値を採用することは妥当である。

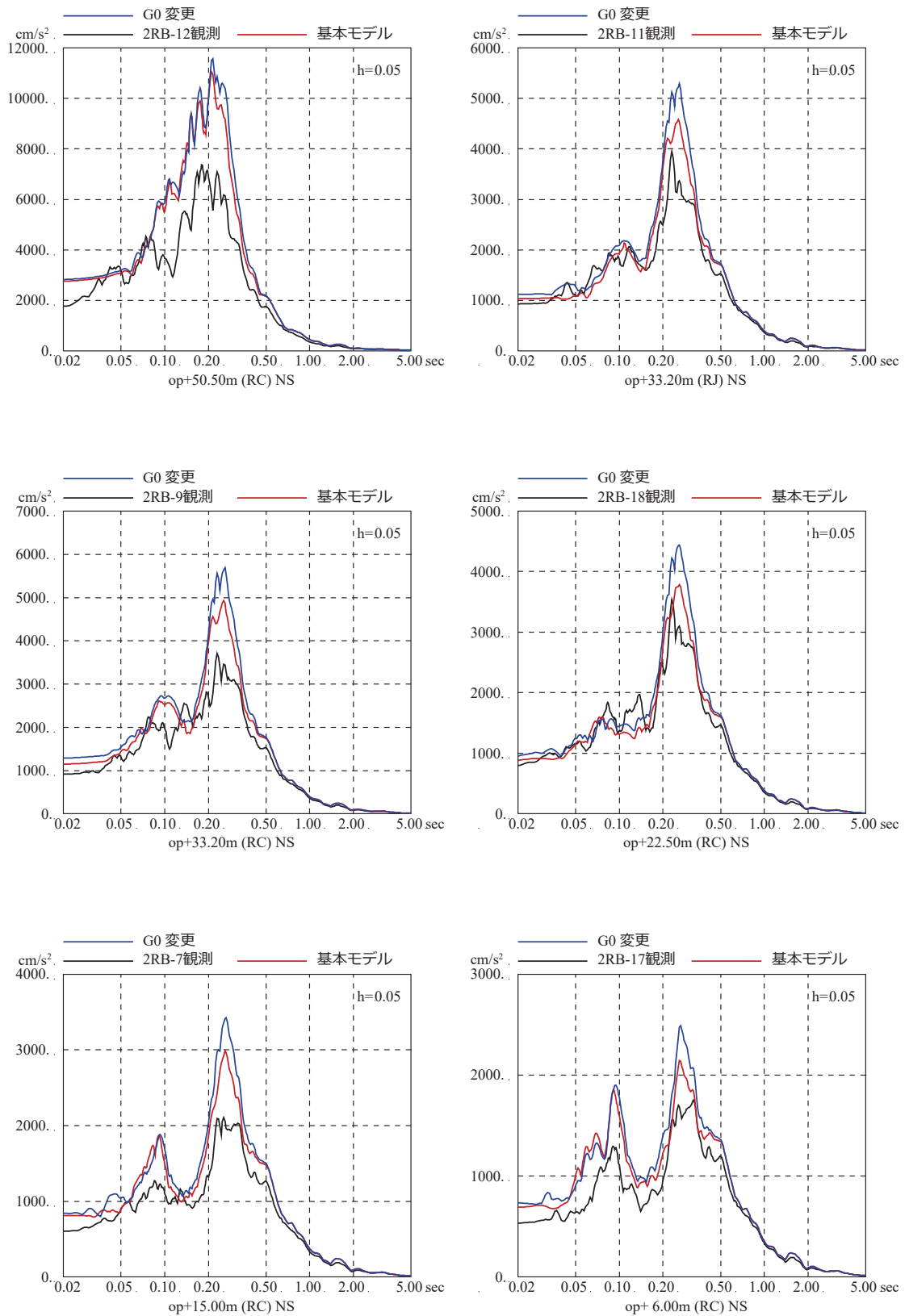


図 3-1 表層地盤の非線形特性を変えた場合の
床応答スペクトルの比較 (3.11 地震, NS 方向)
(初期せん断弾性係数 G_0 を変更した場合)

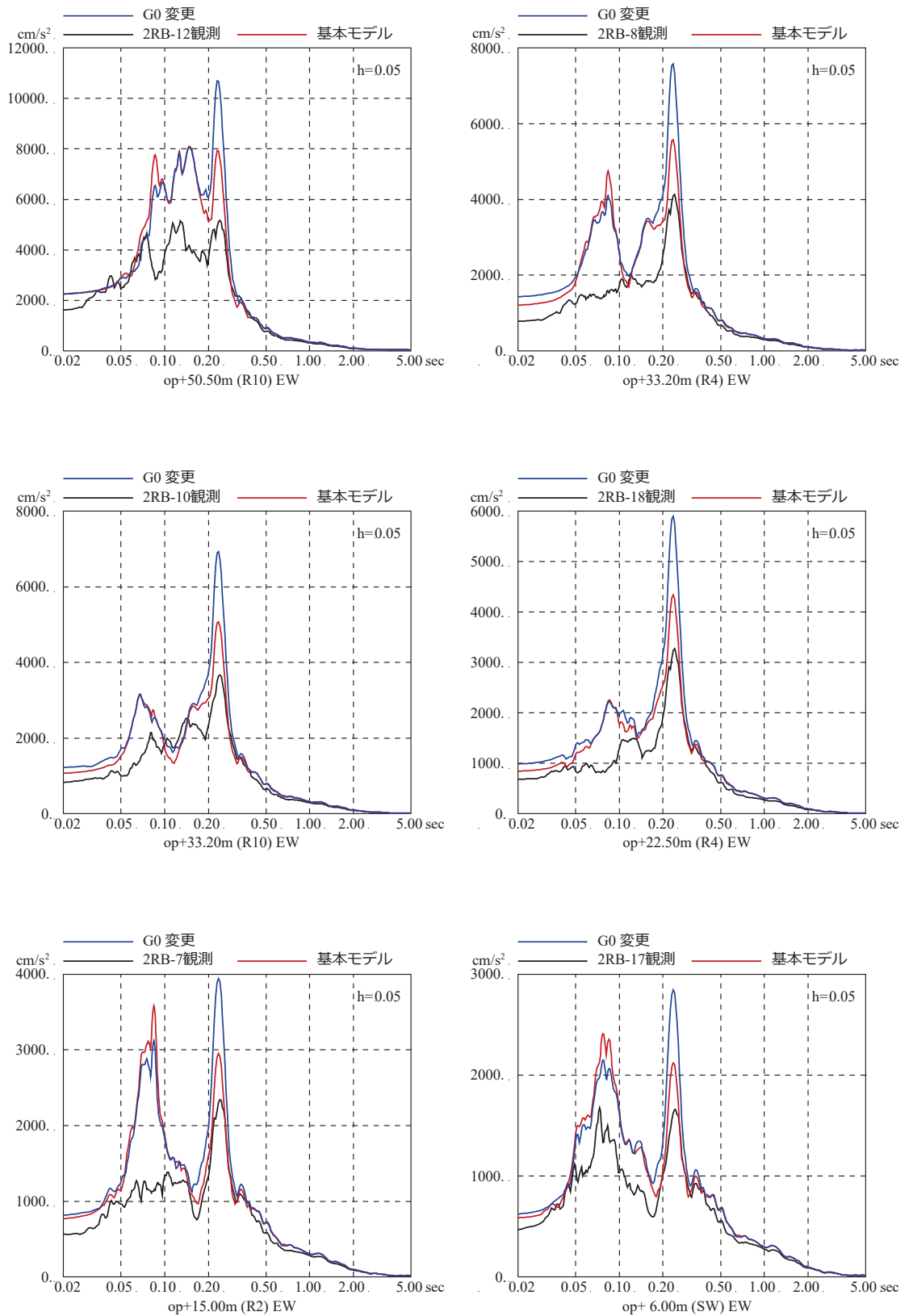


図 3-2 表層地盤の非線形特性を変えた場合の
床応答スペクトルの比較 (3.11 地震, EW 方向)
(初期せん断弾性係数 G_0 を変更した場合)

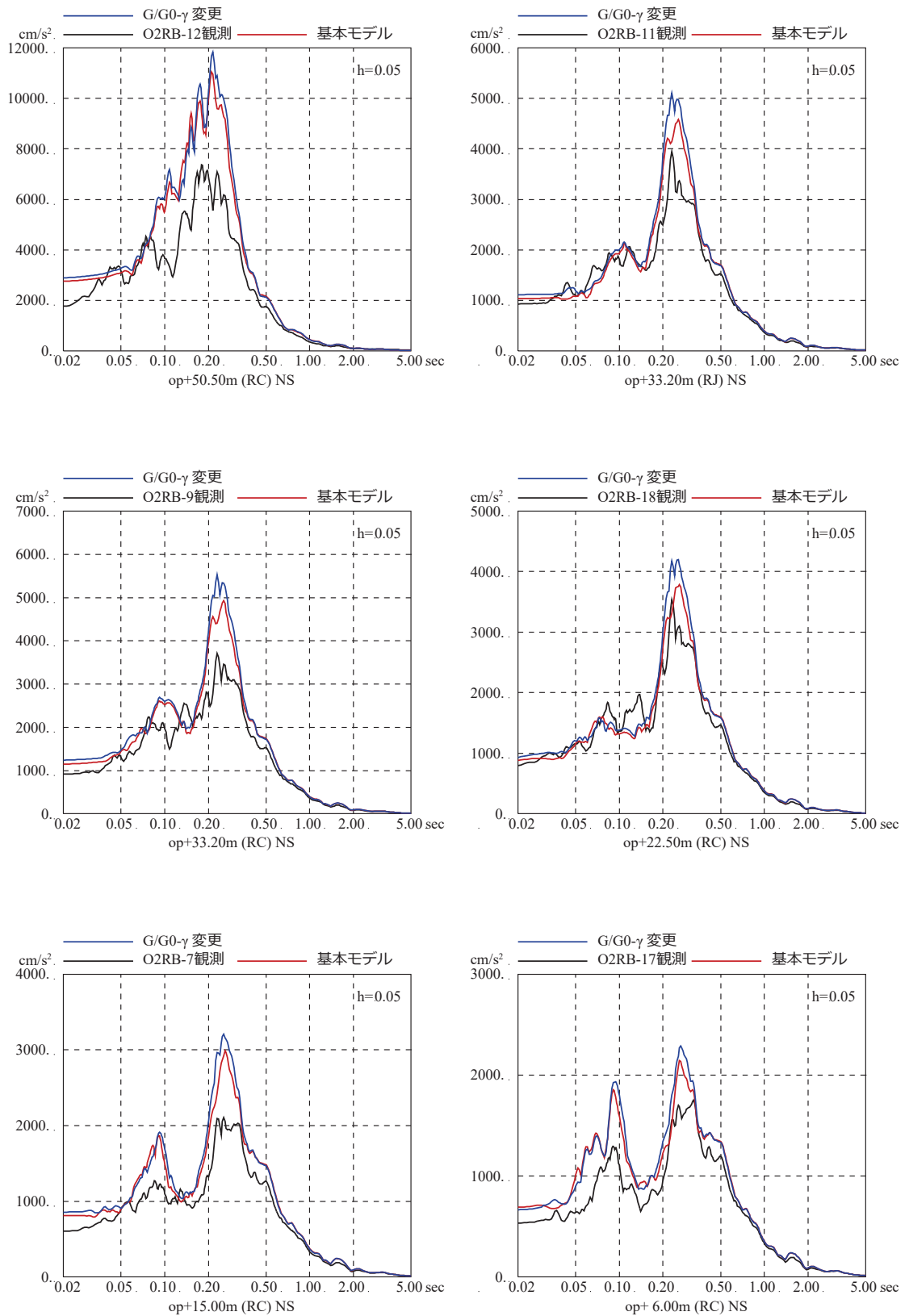


図 3-3 表層地盤の非線形特性を変えた場合の
床応答スペクトルの比較 (3.11 地震, NS 方向)
($G/G_0 - \gamma$ 曲線のみ変更した場合)

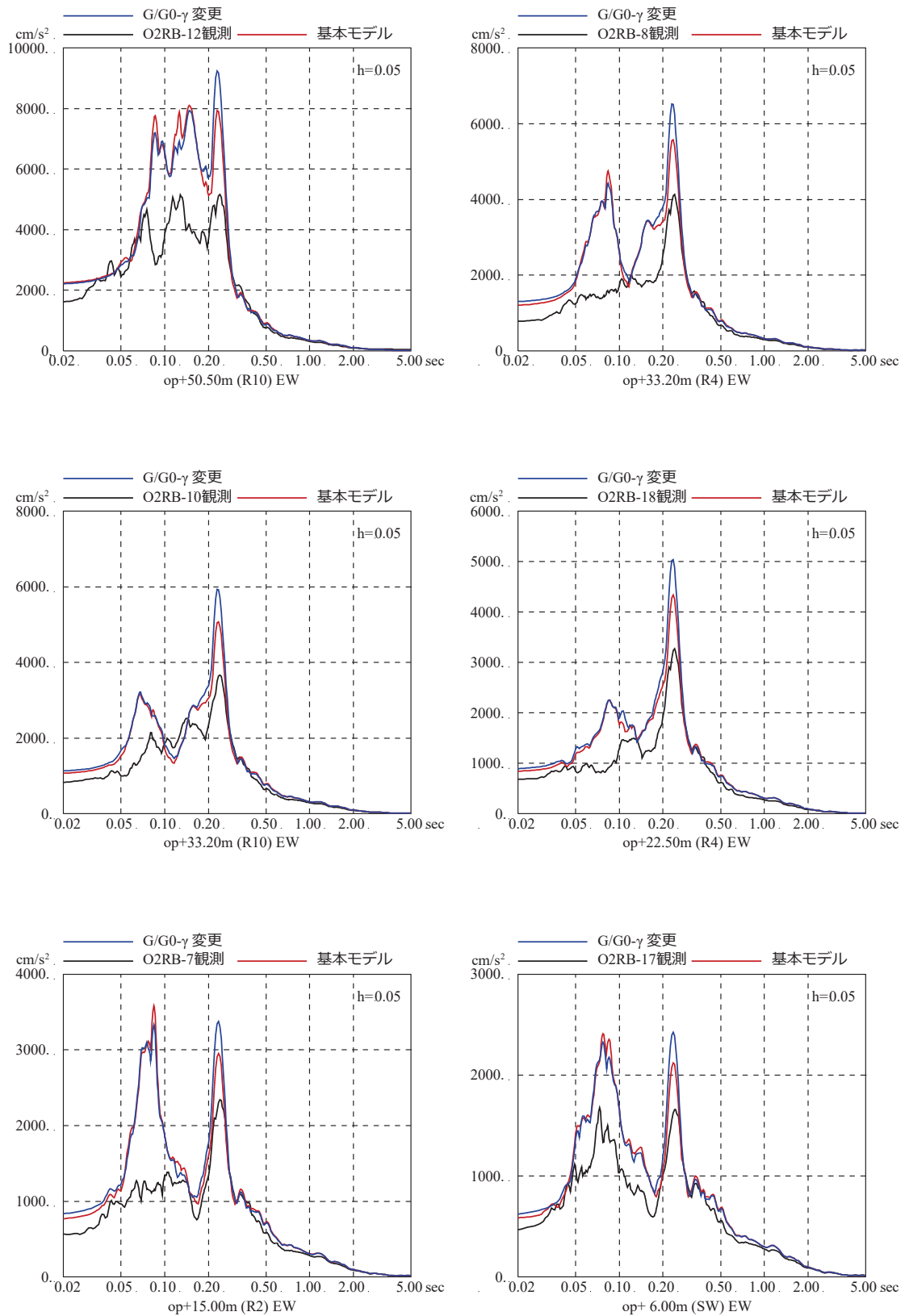


図 3-4 表層地盤の非線形特性を変えた場合の
 床応答スペクトルの比較 (3.11 地震, EW 方向)
 ($G/G_0 - \gamma$ 曲線のみ変更した場合)

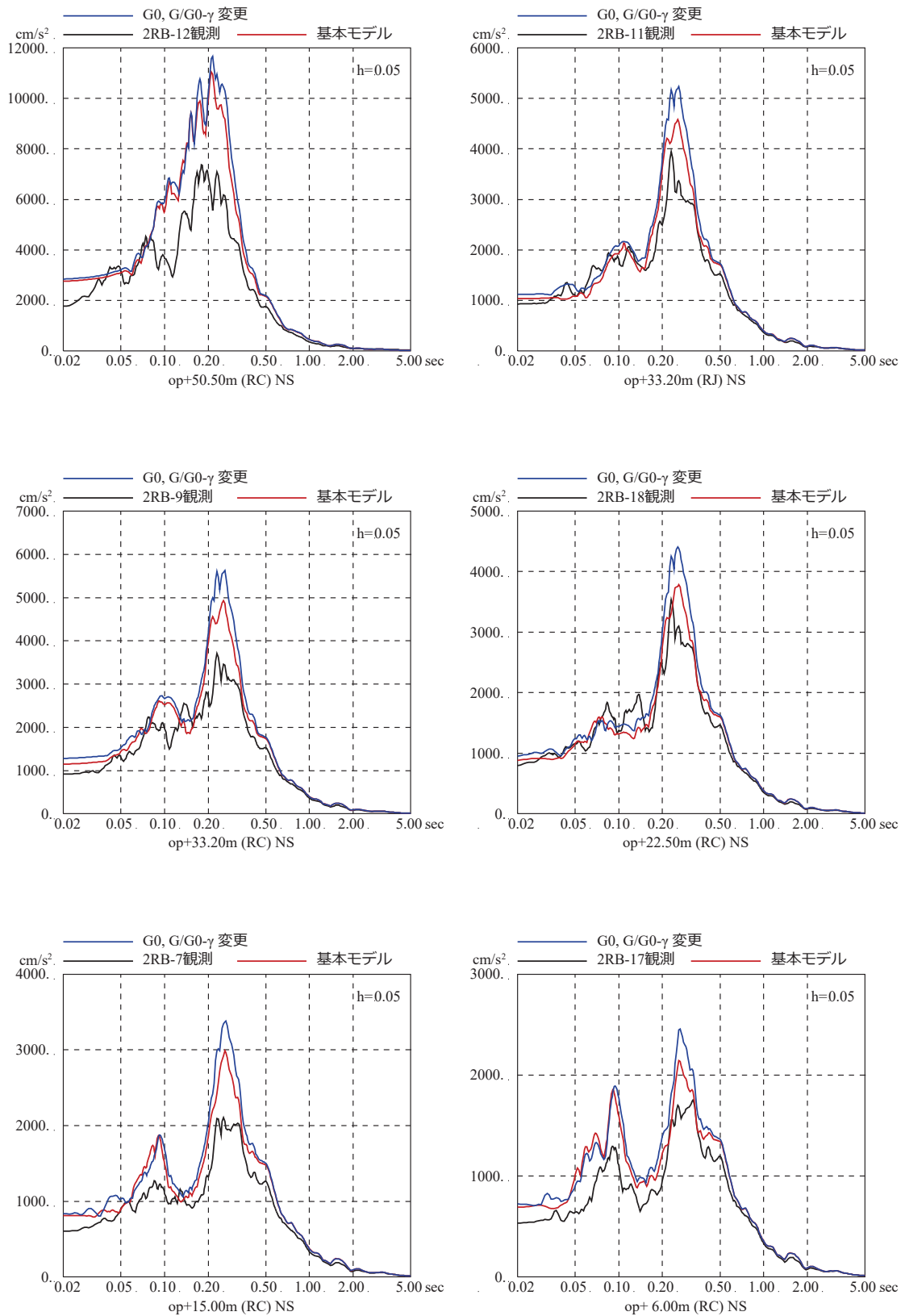


図 3-5 表層地盤の非線形特性を変えた場合の
床応答スペクトルの比較 (3.11 地震, NS 方向)
(初期せん断弾性係数 G_0 と $G/G_0-\gamma$ 曲線を変更した場合)

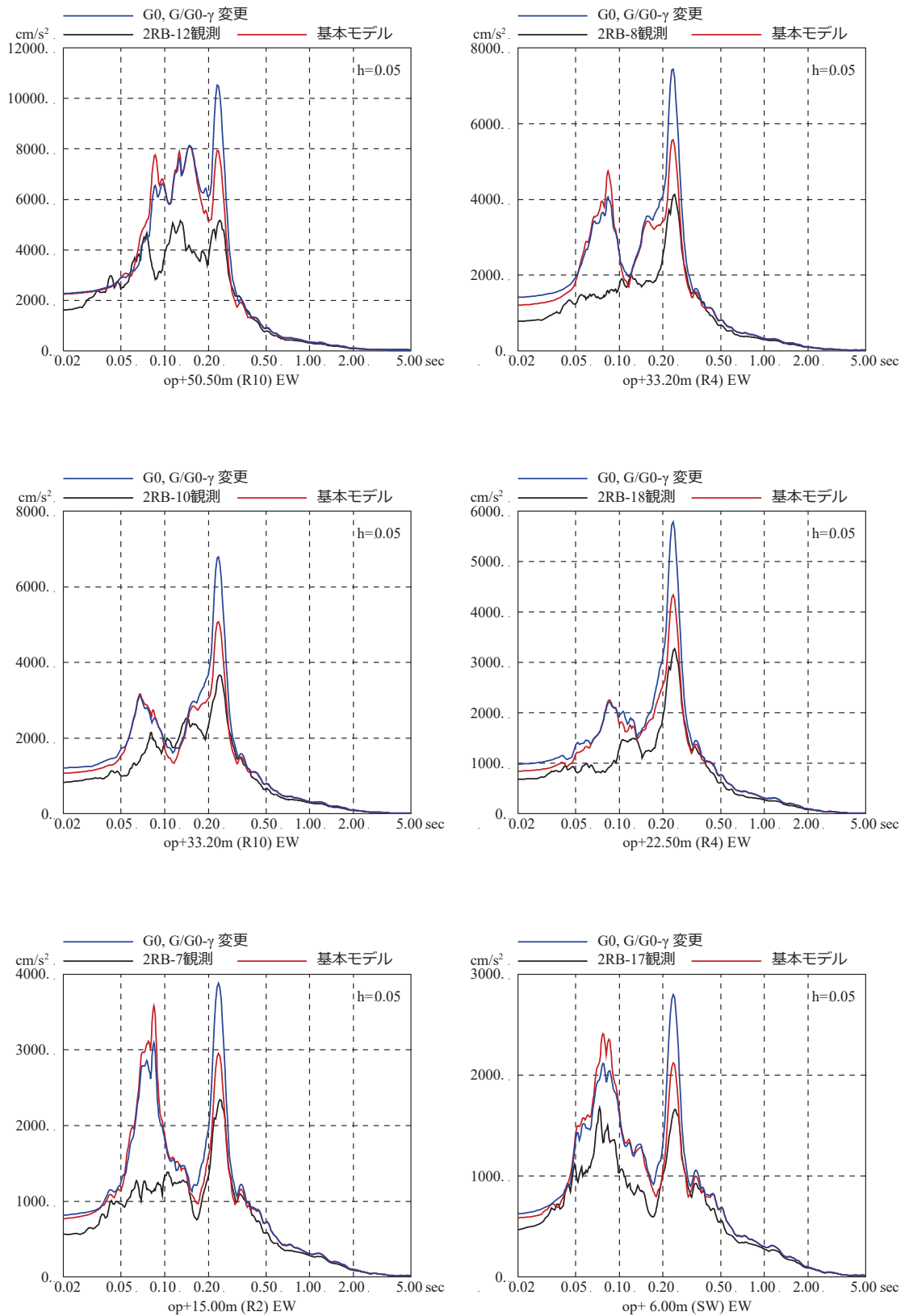


図 3-6 表層地盤の非線形特性を変えた場合の
床応答スペクトルの比較 (3.11 地震, EW 方向)
(初期せん断弾性係数 G_0 と $G/G_0 - \gamma$ 曲線を変更した場合)

表層地盤物性値の違いによる基準地震動 S_s 時の建屋応答への影響について

入力地震動の算定に用いる地盤モデルの非線形特性として、PS 検層結果から初期せん断剛性 G_0 、原位置せん断試験結果から双曲線モデルとして $G/G_0 - \gamma$ 曲線を設定した地盤モデル（基本ケース）と、繰返し三軸試験結果から初期せん断剛性 G_0 及び $G/G_0 - \gamma$ 曲線を設定した地盤モデル（ケース 1）に、基準地震動 $S_s - D2$ を入力した場合の建屋の床応答スペクトルの比較を参考に図-1～図-6 に示す。

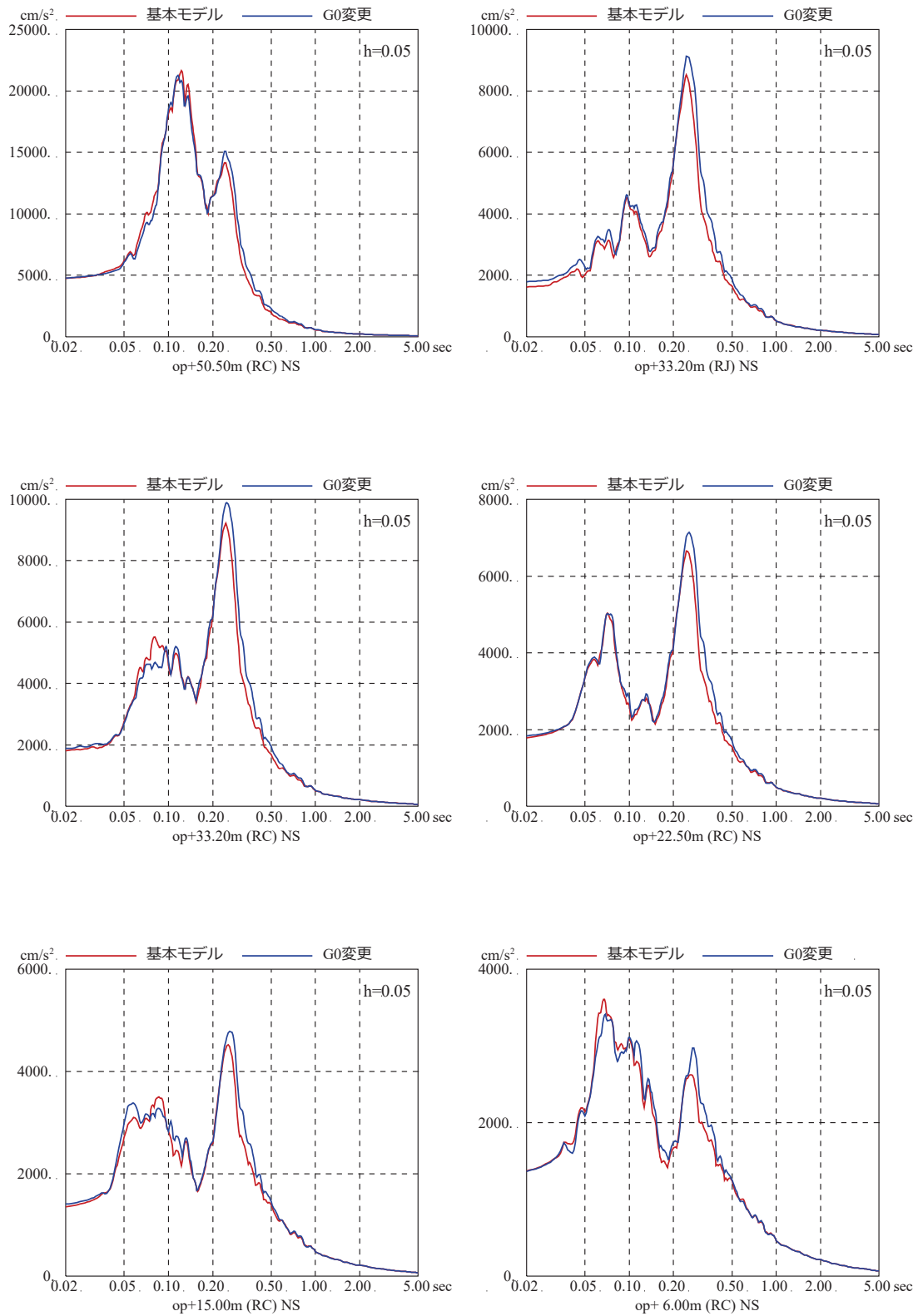


図-1 表層地盤の非線形特性を変えた場合の
 床応答スペクトルの比較 (基準地震動 $S_s - D2$, NS 方向)
 (初期せん断弾性係数 G_0 のみ変更した場合)

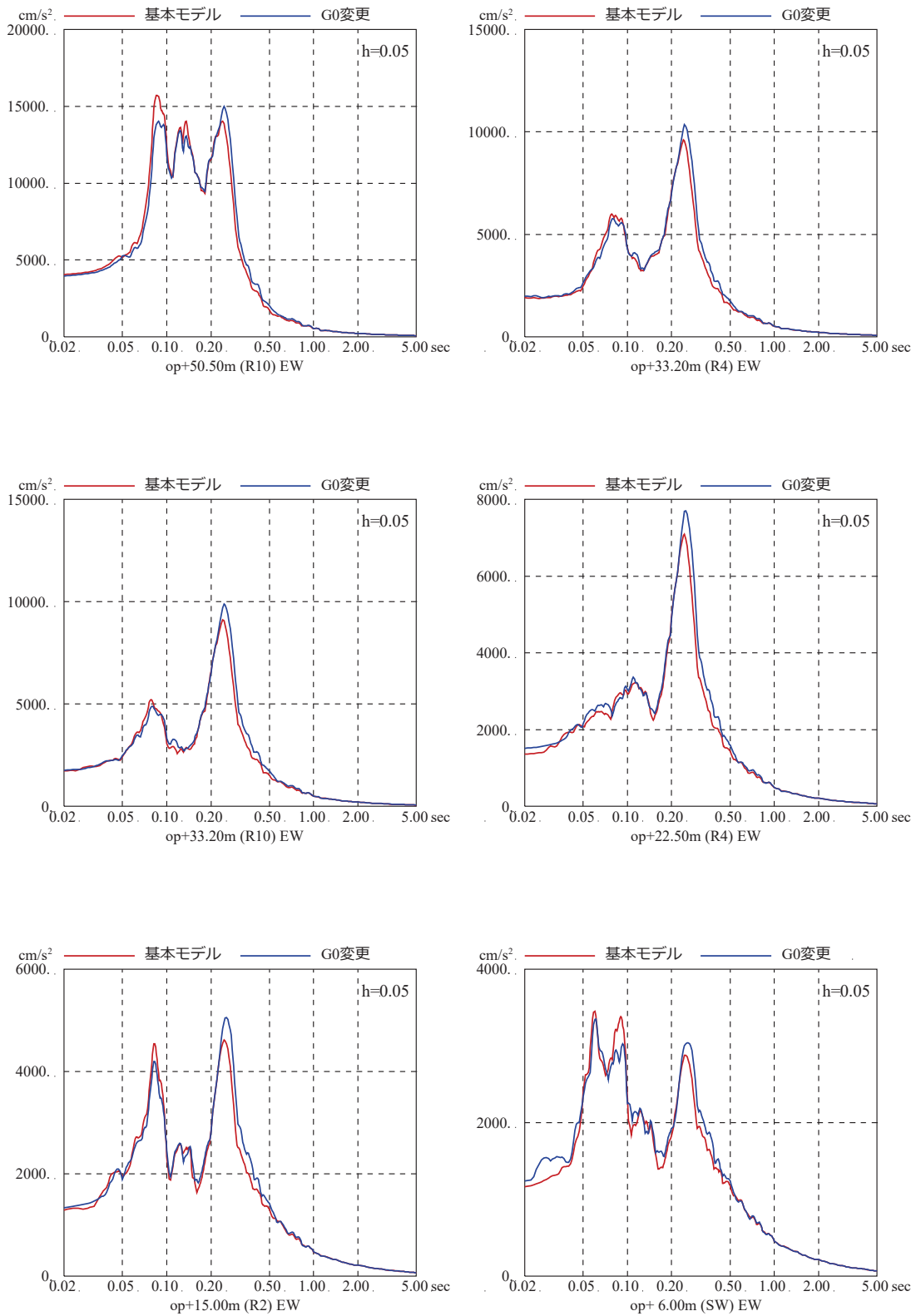


図-2 表層地盤の非線形特性を変えた場合の
 床応答スペクトルの比較 (基準地震動 S s - D 2, EW 方向)
 (初期せん断弾性係数 G_0 のみ変更した場合)

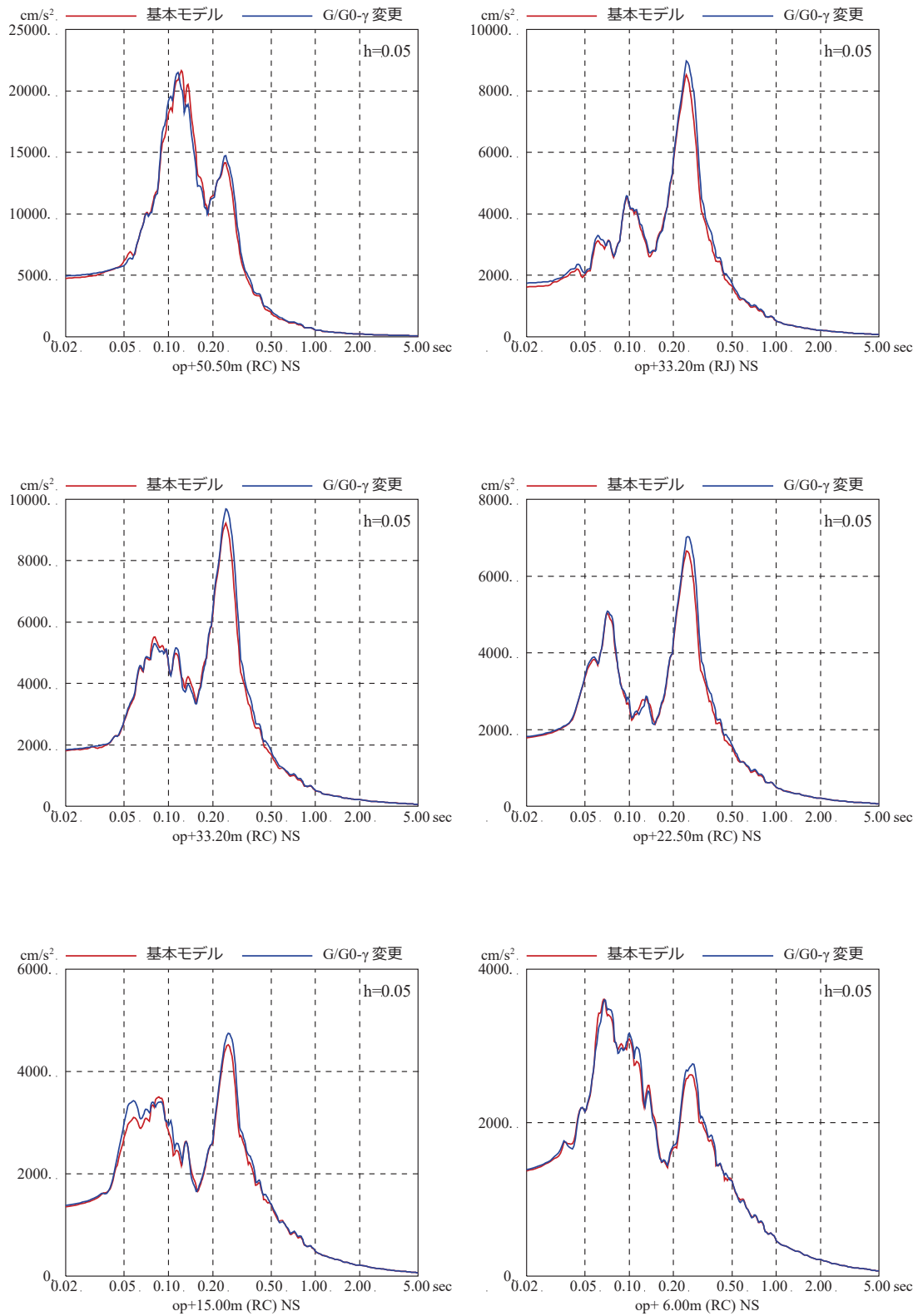


図-3 表層地盤の非線形特性を変えた場合の
 床応答スペクトルの比較 (基準地震動 $S_s - D2$, NS 方向)
 ($G/G_0 - \gamma$ 曲線のみ変更した場合)

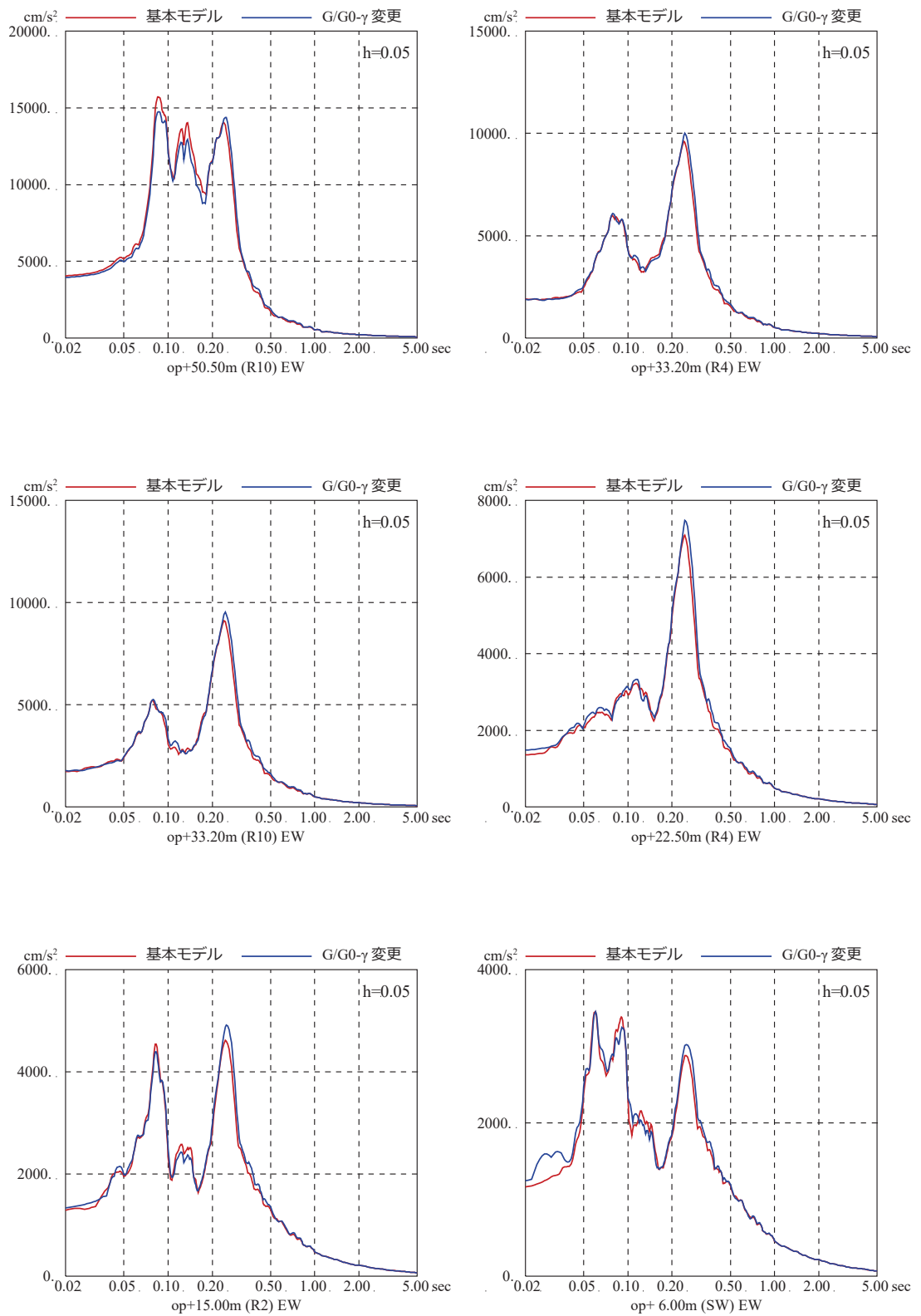


図-4 表層地盤の非線形特性を変えた場合の
 床応答スペクトルの比較 (基準地震動 S s - D 2, EW 方向)
 ($G/G_0 - \gamma$ 曲線のみ変更した場合)

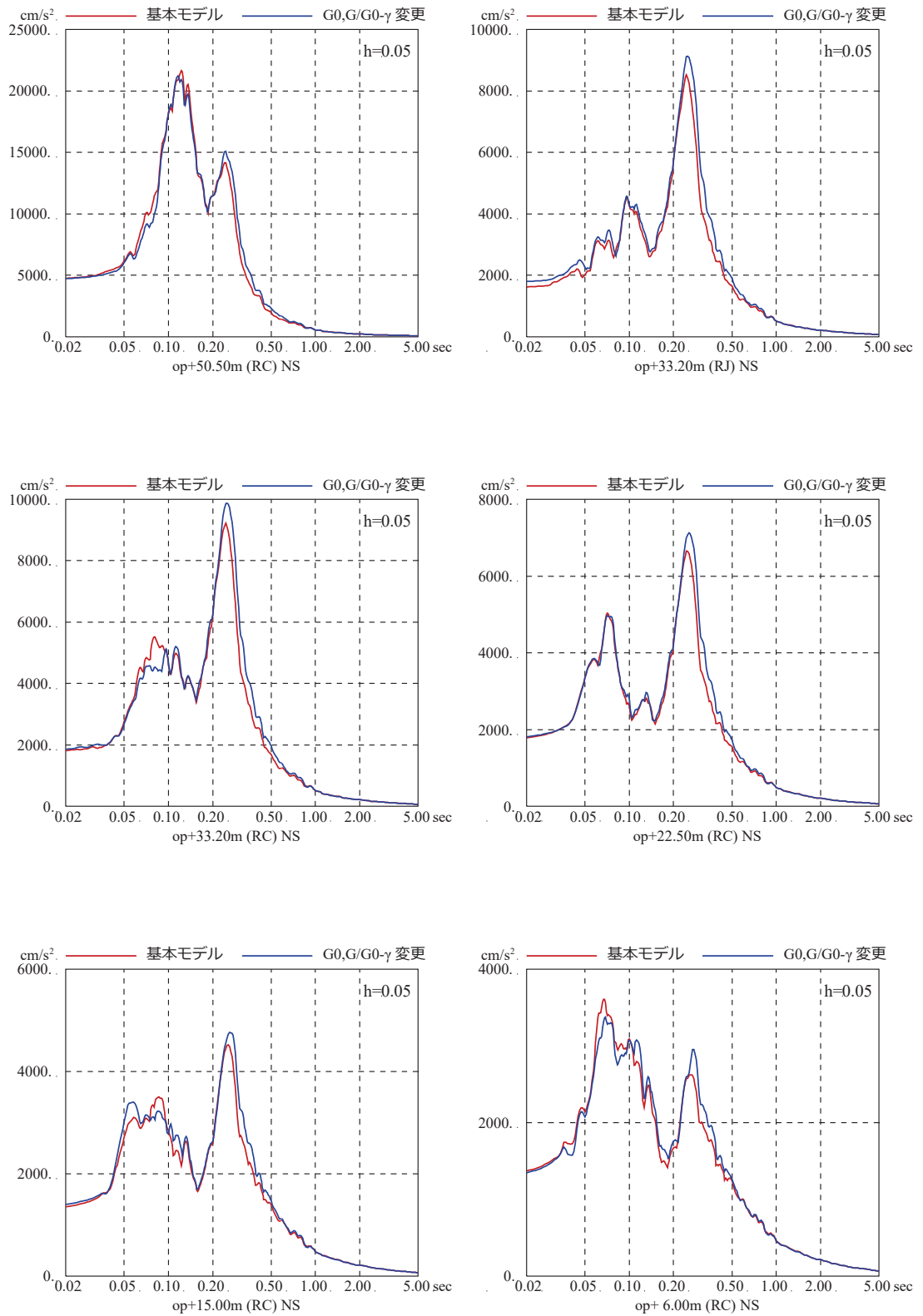


図-5 表層地盤の非線形特性を変えた場合の
 床応答スペクトルの比較 (基準地震動 $S_s - D2$, NS 方向)
 (初期せん断弾性係数 G_0 と $G/G_0 - \gamma$ 曲線を変更した場合)

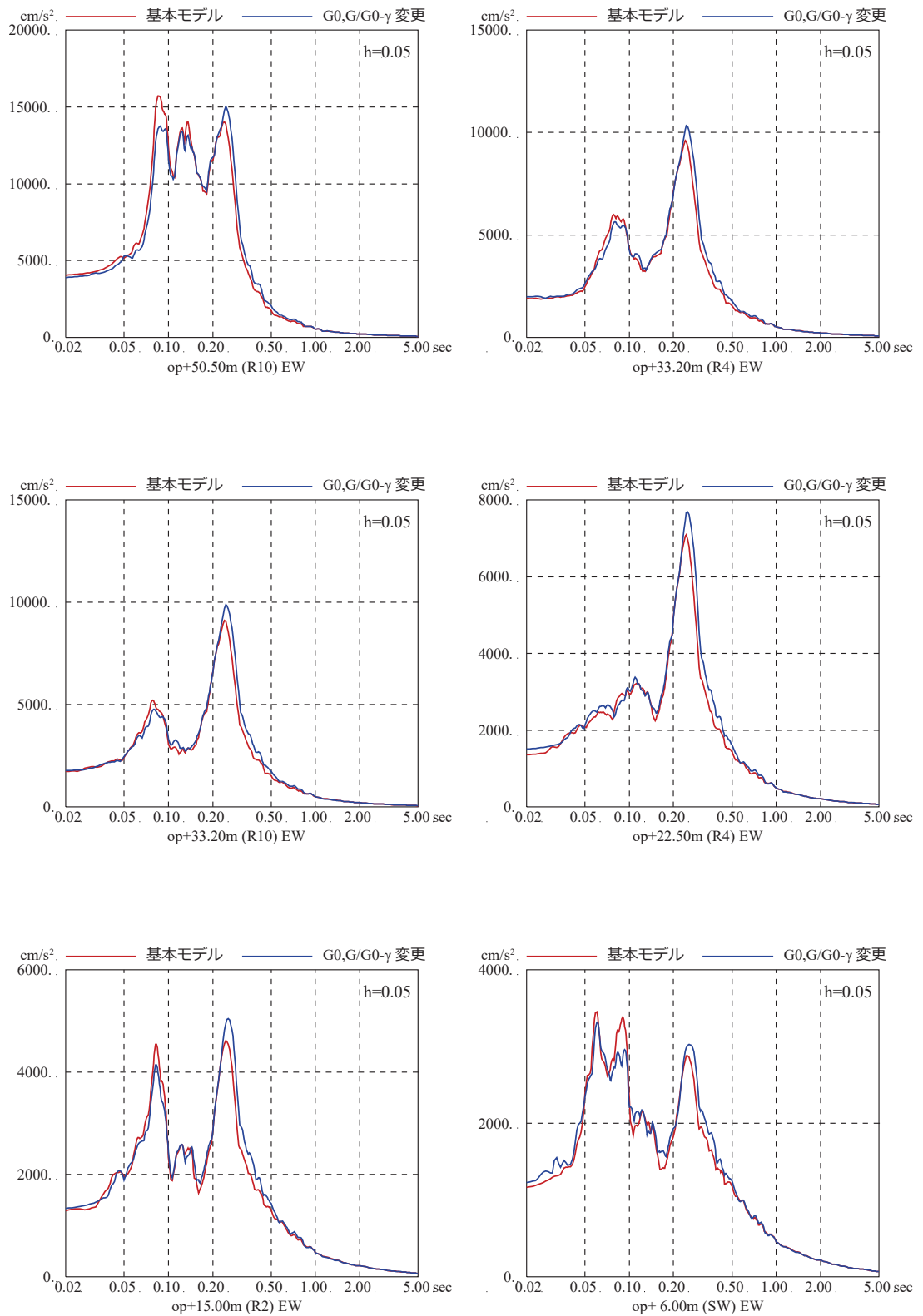


図-6 表層地盤の非線形特性を変えた場合の
 床応答スペクトルの比較（基準地震動 $S_s - D2$ ，EW 方向）
 （初期せん断弾性係数 G_0 と $G/G_0 - \gamma$ 曲線を変更した場合）

別紙 15 表層地盤による埋込み効果の影響

目 次

1. 検討概要..... 別紙 15- 1
2. 側面地盤ばねの有無が建屋応答に及ぼす影響検討（原子炉建屋）..... 別紙 15- 2
3. 側面地盤ばねの有無が建屋応答に及ぼす影響検討
（第3号機海水熱交換器建屋）..... 別紙 15- 9
4. 第3号機海水熱交換器建屋の3次元地盤 FEM モデルによる検討..... 別紙 15-15
5. まとめ..... 別紙 15-20

参考検討 側面地盤ばねの有無が建屋応答に及ぼす影響検討（タービン建屋）

1. 検討概要

原子炉建屋の当初設計では、側面地盤による埋込み効果を期待していないため、実際の施工では側面地盤には掘削土を埋め戻すなどして、拘束効果の少ない施工を実施している。従って、原子炉建屋のように重量の大きい建屋については、特に埋戻し土が建屋の振動特性に及ぼす影響は小さいと考えられる。

一方、J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版では支持岩盤と側面地盤のせん断波速度の違いが大きい場合は、側面地盤ばね (Novak ばね) の適用性について留意することとされており、硬質岩盤における Novak ばねの課題を指摘した論文もある。^{※1}

原子炉建屋のように重量の大きい建屋については、特に埋戻し土による振動特性に及ぼす影響は小さいと考えられるが、それを解析により確認することを目的として検討を実施した。

以上を踏まえ、地盤の非線形性が大きい 3.11 地震の観測記録を用いて以下の 2 つの検討を実施する。

- ① 建屋重量の重い原子炉建屋を対象とした建屋シミュレーション解析において、側面地盤ばね (Novak ばね) の有無が建屋応答に与える影響や観測記録との整合性について確認する。
- ② 比較的小規模で建屋全体が埋め込まれている第 3 号機海水熱交換器建屋を対象とした建屋シミュレーション解析において、側面地盤ばね (Novak ばね) の有無が建屋応答に与える影響や観測記録との整合性、さらに 3 次元地盤 FEM モデルにより地盤の応答について確認する。

※1：硬質岩盤における埋込み SR モデルの適用性に関する研究 その 1～その 3，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 1057-1062，1995 年 8 月

2. 側面地盤ばねの有無が建屋応答に及ぼす影響検討（原子炉建屋）

(1) 検討方法

側面地盤が原子炉建屋の地震応答解析結果に及ぼす影響を確認するため、側面地盤ばねを考慮したモデルと考慮しないモデルを用いて、3.11地震のはぎとり波によるシミュレーション解析を実施した。

側面地盤モデルは、建屋側面の埋戻し土の断面形状が深さ方向に三角形分布をしていると仮定し、地盤を地中の質点位置ごとに、単位厚さで平面的に切り出したモデルを設定し、建屋を面積が等価な円形平面に置換して、側面地盤ばねを Novak の方法（J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版による方法）により算定する。

解析条件の比較を表 2-1 に、シミュレーション解析モデルを図 2-1 に示す。側面地盤ばねの理論解 $T(\omega)$ の算定に用いる地盤定数は、埋戻し部分の形状を考慮し、表 2-2 に示す等価地盤の値を用いる。

解析モデルへの入力地震動は、3.11地震のはぎとり波を表 2-3 に示す地盤モデルを用いて算定した基礎版底面レベルの地震動とし、建屋各部の応答を評価する。

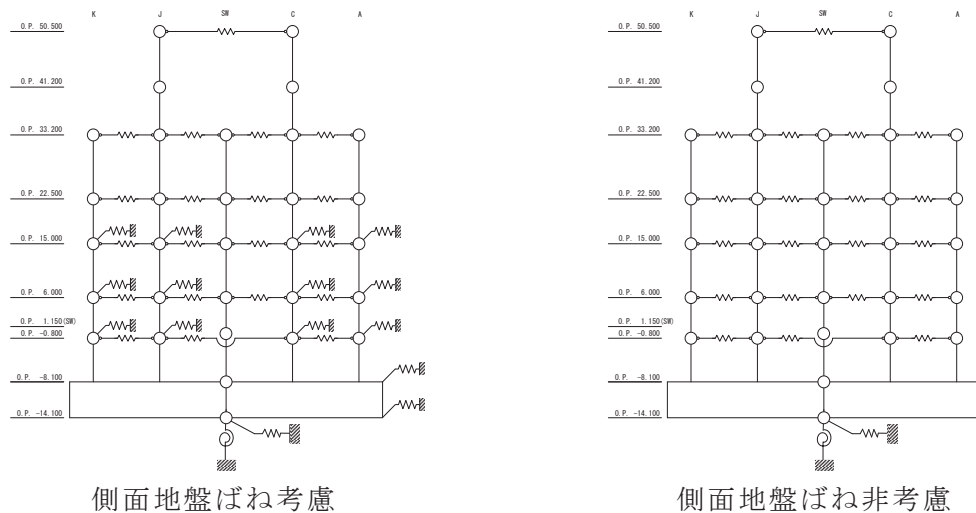


図 2-1 側面地盤ばねの有無の検討に用いる地震応答解析モデル

表 2-1 解析条件の比較

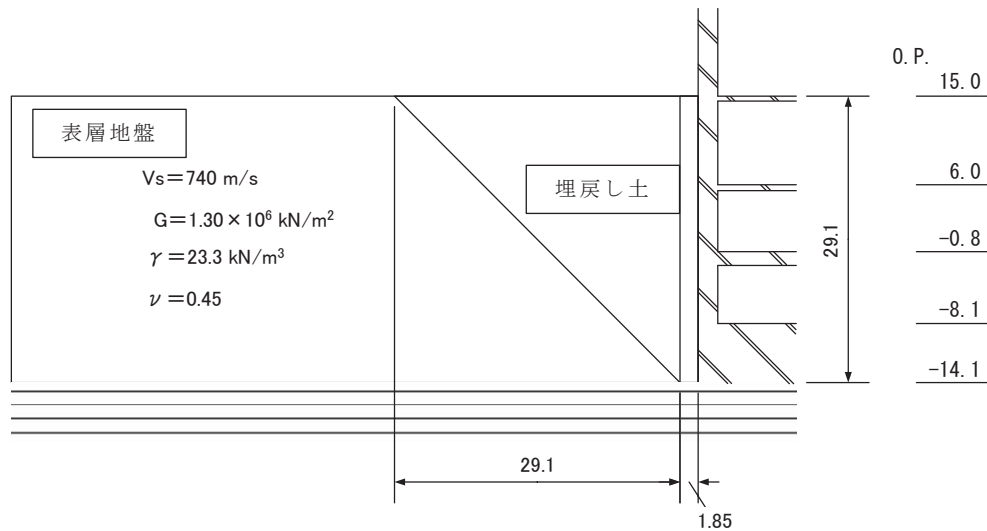
(3.11 地震はざとり波を用いた側面地盤ばね有無の影響評価 [原子炉建屋])

| | 側面地盤ばね (Novak ばね) を考慮するケース | 側面地盤ばね (Novak ばね) を考慮しないケース |
|-----------------------|---|--|
| 建屋 | 原子炉建屋 | |
| 地震動 | 3.11 地震のはざとり波 | |
| 入力地震動 | 基礎版底面レベル及び側面 地盤ばね位置の地震動を算 定し入力 (E+F 入力) | 基礎版底面レベルの地震動 を算定し入力 (E+F 入力, 補 正水平力考慮) |
| 建屋モデル (建屋剛性, 建屋減衰) | 3.11 地震シミュレーションモデル (初期剛性低下考慮, 建屋減衰 7%) | |
| 建屋モデル (側面地盤ばね) | 有り (側面地盤ばねの地盤定数は 等価地盤の値から算定) | 無し |
| 地盤モデル | 地盤調査結果に基づき設定した初期地盤モデル (表層地盤: Vs=740m/s 一層) | |

表 3-2 側面地盤ばね (Novak ばね) の設定に用いる埋戻し土及び等価地盤の物性値

| 建屋質点 レベル O.P. (m) | 深さ (m) | 埋戻し土 | | | | 等価地盤 | | | | |
|-------------------------|-----------|---------------------------|---|---|----------------|---------------------------|---|---|----------------|----------------------|
| | | せん断波速 度 V_s (m/s) | せん断 弾性係数 G ($\times 10^4$ kN/m ²) | 単位体積重 量 γ (kN/m ³) | ポアソン比 ν | せん断波速 度 V_s (m/s) | せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$ kN/m ²) | 単位体積重 量 γ (kN/m ³) | ポアソン比 ν | 減衰定数 h_e (%) |
| 15.0 | 0 | 88 | 1.48 | 18.6 | 0.45 | 242 | 1.25 | 21.0 | 0.45 | 4 |
| 6.0 | 9.0 | 113 | 2.42 | 18.6 | 0.45 | 336 | 2.42 | 21.0 | 0.45 | 4 |
| -0.8 | 15.8 | 138 | 3.61 | 18.6 | 0.45 | 443 | 4.20 | 21.0 | 0.45 | 4 |
| -8.1 | 23.1 | 158 | 4.73 | 18.6 | 0.45 | 536 | 6.15 | 21.0 | 0.45 | 4 |
| -14.1 | 29.1 | 171 | 5.57 | 18.6 | 0.45 | 653 | 9.13 | 21.0 | 0.45 | 4 |

別紙 15-4



※表層地盤と埋戻し土の物性値より等価地盤の物性値を算定

埋戻し土の形状 (単位 : m)

表 2-3 地盤調査結果に基づき設定した初期地盤モデルの地盤物性値

| | 地層レベル O. P. (m) | 単位体積重量 γ (kN/m ³) | せん断波速度 Vs (m/sec) | 減衰定数 h (%) |
|------|--------------------|---|----------------------|---------------|
| 表層地盤 | 14.80 | 23.3 | 740 | 3 |
| 底面地盤 | -14.10 | 23.8 | 1300 | 3 |
| | -25.00 | 24.6 | 2150 | 3 |
| | -80.00 | 25.0 | 2440 | 3 |
| | -200.0 | 25.0 | 2440 | 3 |

(2) 検討結果

側面地盤ばねの有無をパラメータとした地震応答解析結果の加速度応答スペクトルの比較を図 2-2 及び図 2-3 に示す。

どちらの結果も観測記録に比べて大きな解析結果となっているが、側面地盤ばねがない場合の方が観測記録との適合性が良い。

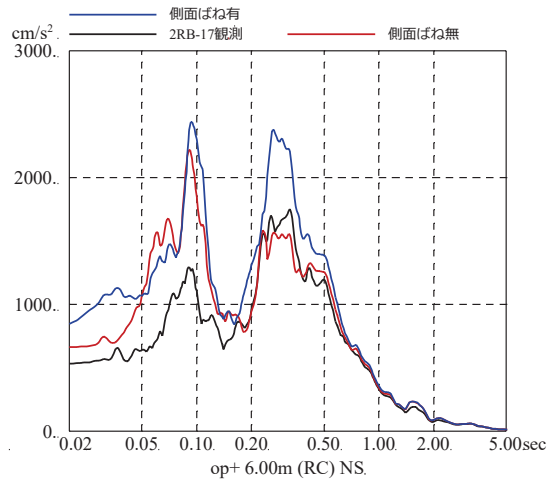
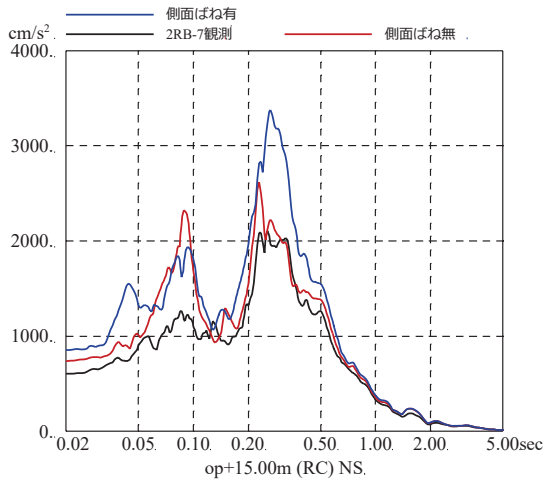
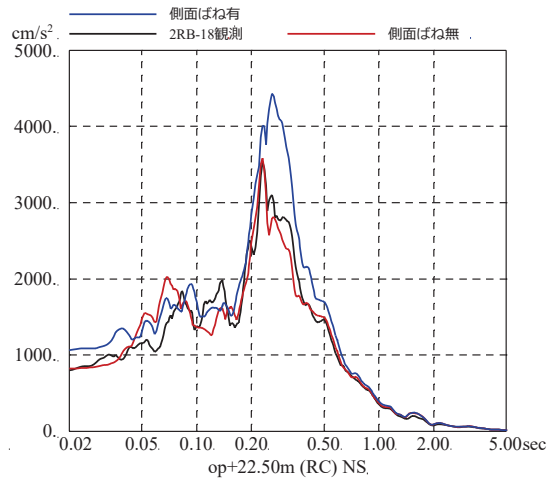
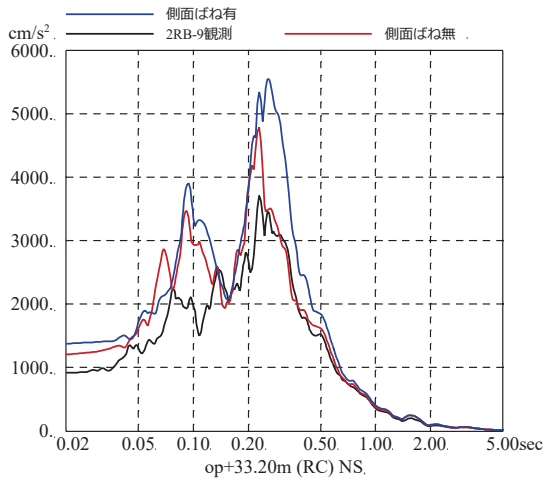
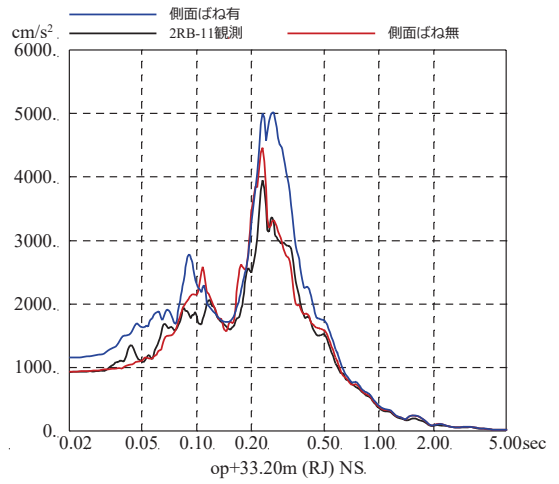
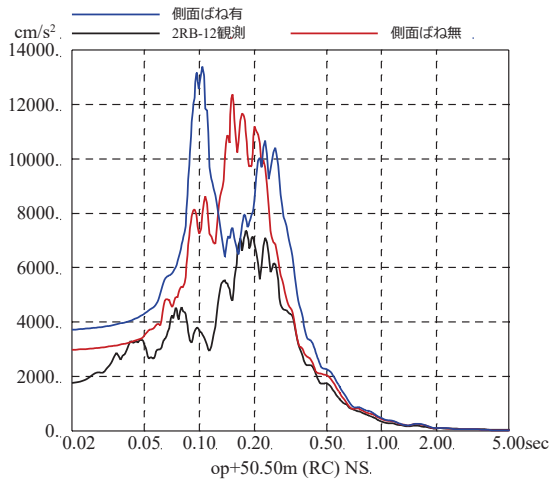


図 2-2 3.11 地震のはぎとり波を用いた側面地盤ばねの有無によるシミュレーション解析結果の比較 (原子炉建屋, NS 方向)

※地震計位置は、付録 1 参照

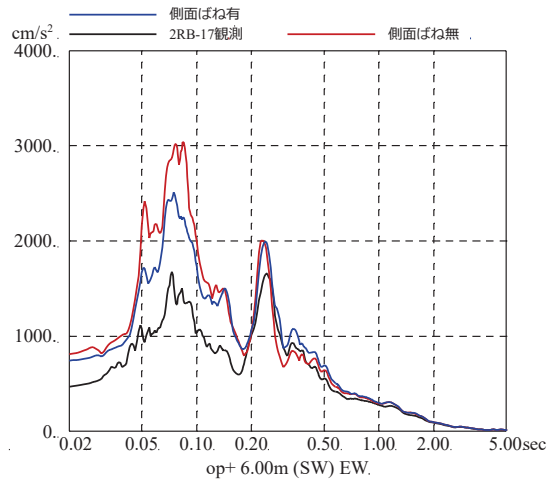
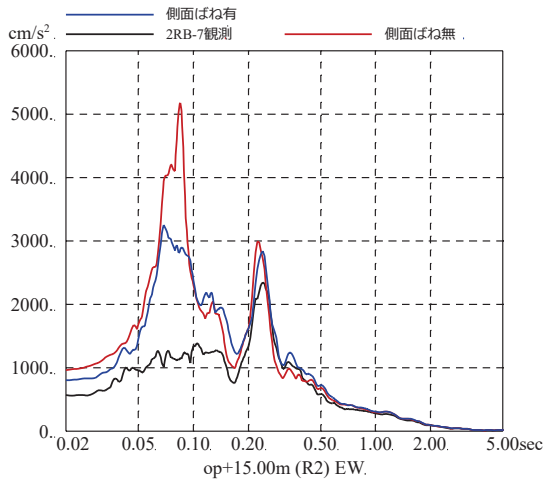
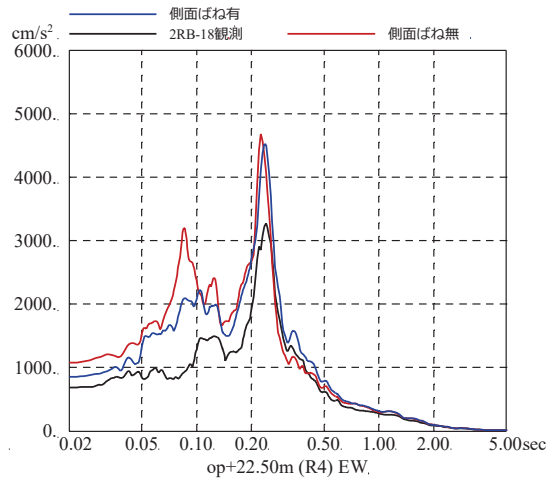
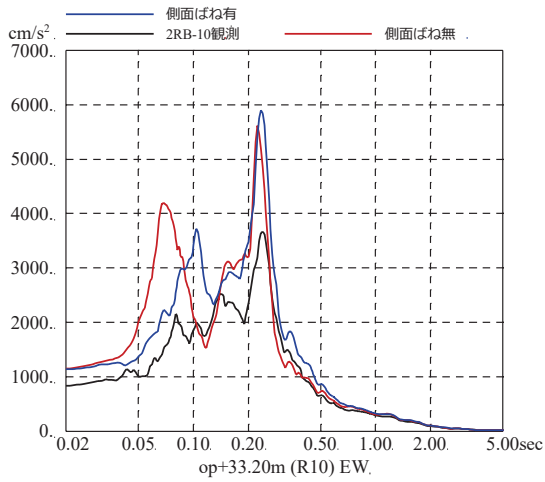
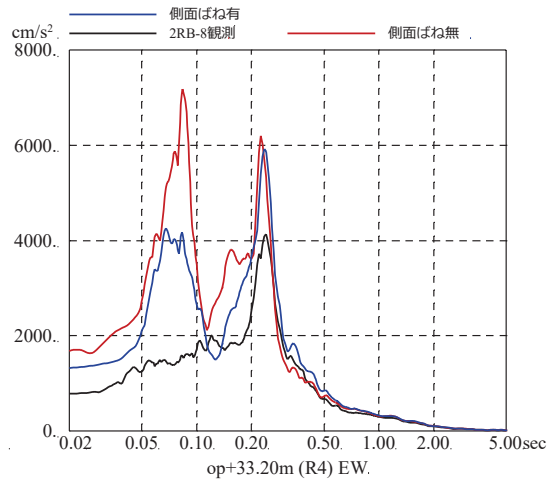
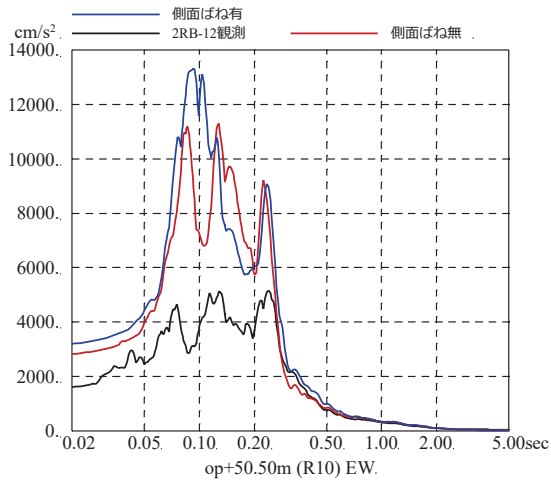


図 2-3 3.11 地震のはぎとり波を用いた側面地盤ばねの有無によるシミュレーション解析結果の比較 (原子炉建屋, EW 方向)

※地震計位置は、付録 1 参照

3. 側面地盤ばねの有無が建屋応答に及ぼす影響検討（第3号機海水熱交換器建屋）

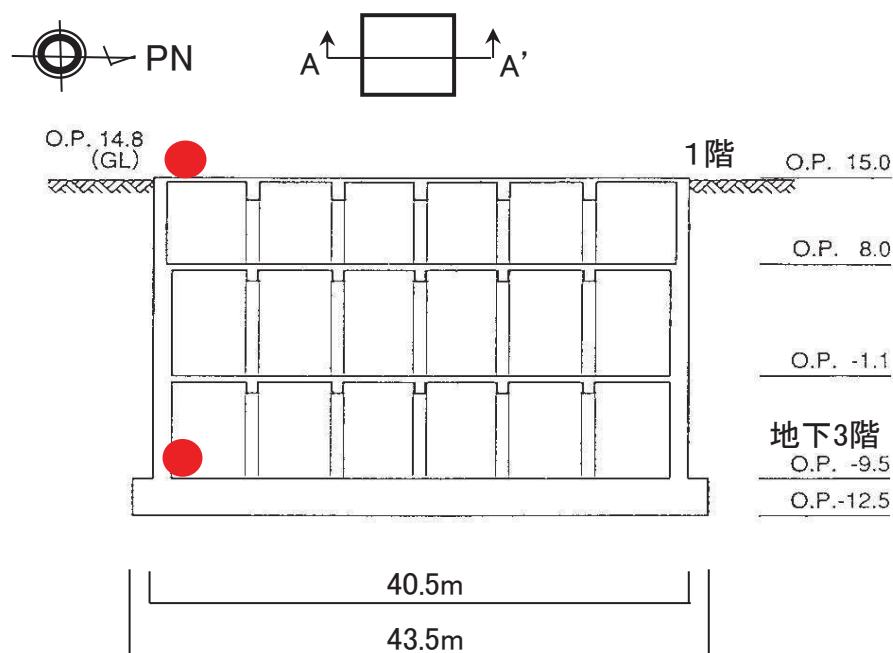
(1) 検討方法

表層地盤が建屋応答に及ぼす影響を確認するために、比較的小規模で建屋全体が埋め込まれている第3号機海水熱交換器建屋を対象に、地盤の非線形性が大きい3.11地震の観測記録による建屋地震応答解析を実施した。地震応答解析モデルは以下の3種類を用いた。

- ① 側面地盤ばね（Novakばね）を考慮したモデル（はぎとり波入力）
- ② ①のモデルに対して、側面地盤ばね（Novakばね）を考慮しないモデル（はぎとり波入力）
- ③ 建屋減衰を変動させたモデル（基礎版上記録入力）

建屋の地震応答解析モデルは、側面地盤ばね（Novakばね）を考慮するモデル及び建屋減衰を変動させたモデルともに既工認モデル（側面地盤ばねを考慮していないSRモデル）をベースとしたモデルを用いた。

図3-1に第3号機海水熱交換器建屋の概要を示す。解析条件を表3-1に、側面地盤ばね（Novakばね）を考慮したケースの地震応答解析モデルを図3-2に、地盤調査結果に基づき設定した初期地盤モデルの地盤物性値を表3-2に示す。



●：地震計位置

図3-1 第3号機海水熱交換器建屋の概要（A-A'）

表 3-1 解析条件

(側面地盤ばね有無の影響検討 [第3号機海水熱交換器建屋])

| | |
|-----------------------|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> ① 側面地盤ばね (Novak ばね) を考慮したケース ② 側面地盤ばね (Novak ばね) を考慮しないケース |
| 建屋 | 第3号機海水熱交換器建屋 |
| 地震動 | 3.11 地震のはざとり波 |
| 入力地震動 | <ul style="list-style-type: none"> ① 基礎版底面レベル及び側面地盤ばね位置の地震動を算定し入力 (E+F 入力, 補正水平力を考慮) ② 基礎版底面レベル位置の地震動を算定し入力 (E+F 入力, 補正水平力考慮) |
| 建屋モデル (建屋剛性, 建屋減衰) | 既工認モデル (設計剛性, 建屋減衰 5%) |
| 建屋モデル (側面地盤ばね) | <ul style="list-style-type: none"> ① 有り ② 無し |
| 地盤モデル | 地盤調査結果に基づき設定した初期地盤モデル (表層地盤: 盛土物性値) |

| | |
|-----------------------|--|
| | ③ 建屋減衰を変動させたケース |
| 建屋 | 第3号機海水熱交換器建屋 |
| 地震動 | 3.11 地震の基礎版上観測記録 |
| 入力地震動 | 基礎版底面レベルの地震動を逆算し入力 (2E 入力) |
| 建屋モデル (建屋剛性, 建屋減衰) | 既工認モデルをベースとして建屋減衰を変動 (設計剛性, 建屋減衰 20%) |
| 建屋モデル (側面地盤ばね) | 無し |
| 地盤モデル | — |

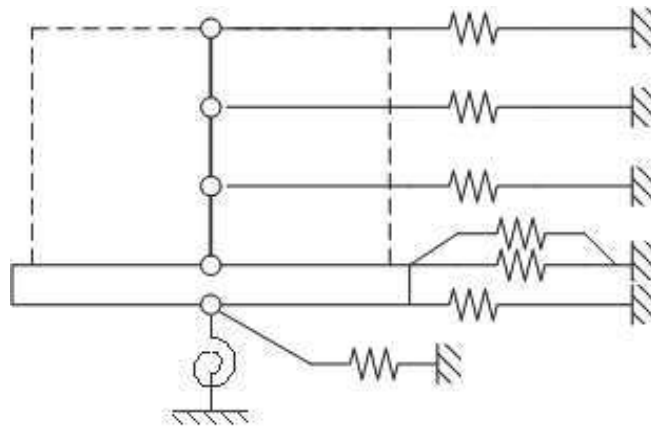


図 3-2 側面地盤ばね（Novak ばね）を考慮したケースの地震応答解析モデル

表 3-2 地盤調査結果に基づき設定した初期地盤モデルの地盤物性値

| | 地層レベル O. P. (m) | 単位体積重量 γ (kN/m ³) | せん断波速度 V_s (m/s) | 減衰定数 ^{※2} h (%) |
|------|--------------------|---|-----------------------|-----------------------------|
| 表層地盤 | 14.80 | 18.6 | ※1 | 3 ^{※3} |
| 底面地盤 | -12.5 | 26.1 | 1360 | 3 |
| | -27.00 | 26.4 | 2040 | 3 |
| | -50.00 | 26.5 | 2520 | 3 |
| | -200.00 | 26.5 | 2520 | 3 |

※1 0. P. 14.8m~0. P. -12.5m は、上載圧依存を考慮してせん断波速度と相関のある初期せん断剛性 G_0 を設定する。また、ひずみ依存による非線形特性を考慮する。

※2 レーリー減衰

※3 ひずみ依存による非線形特性を考慮する。

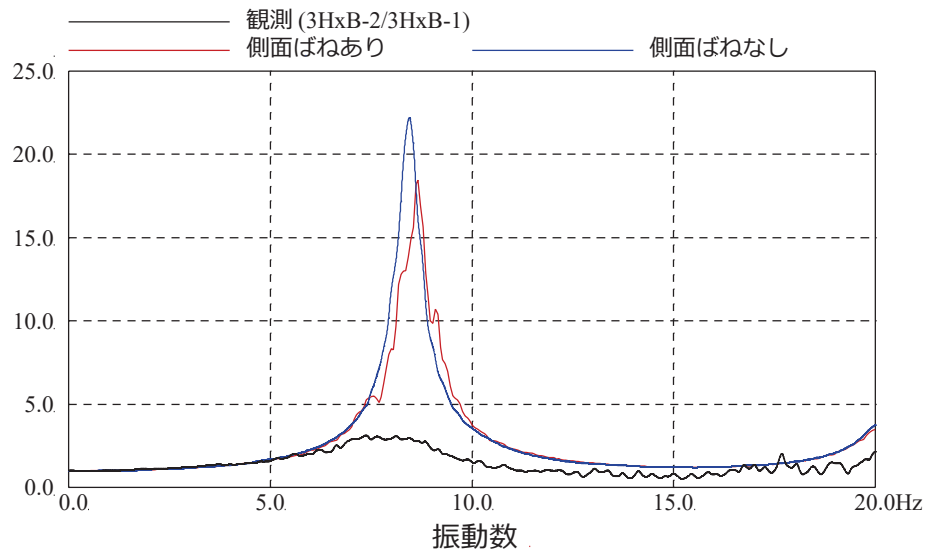
(2) 検討結果

3種類モデルによる検討結果は以下のとおり。

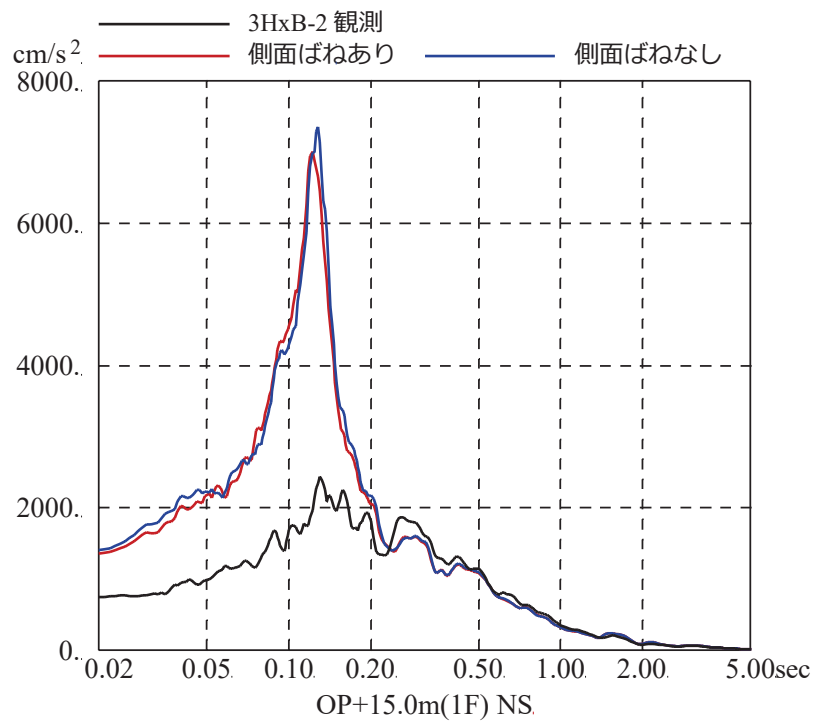
- ① 側面地盤ばね (Novak ばね) を考慮する場合と考慮しない場合のモデルによる検討結果として、建屋基礎版 (地下3階) に対する建屋上部 (地上1階) の伝達関数、及び建屋上部 (地上1階) の観測記録と解析による応答スペクトルとの比較を図3-3に示す。ばねを考慮しない場合 (減衰5%) の解析結果は観測記録に対しかなり過大であり、埋込みの効果が確認される。また、ばねを考慮する場合 (減衰5%) も観測に比べ過大になっている。これは、建屋固有振動数 (約8Hz) と表層地盤の卓越振動数 (約2Hz) の乖離が大きく、Novak ばねから入力される地震動による影響が小さいためと考えられる。

- ② 建屋減衰を変動させたモデルによる検討結果として、建屋基礎版 (地下3階) に対する建屋上部 (地上1階) の伝達関数、及び建屋上部 (地上1階) の観測記録と解析による応答スペクトルとの比較を図3-4に示す。この検討では埋込み効果による応答低減効果を定量的に表すために、観測記録と整合する RC 減衰を同定した。その結果、減衰を20%にすることにより解析と観測記録は整合するため、概ねこの減衰の差分 (一般的な減衰5%に対して20%相当の応答分) が埋込みによる低減効果相当量と考えられる。一方で、建屋の固有周期自体はあまりその影響を受けていない。

以上の検討から、比較的小規模で建屋全体が埋め込まれている第3号機海水熱交換器建屋においては、側面地盤ばね (Novak ばね) を考慮したモデル、考慮しないモデルともに過大な応答を与えること、一方、観測記録からは埋め込まれていることによる建屋応答低減効果が認められることを確認した。

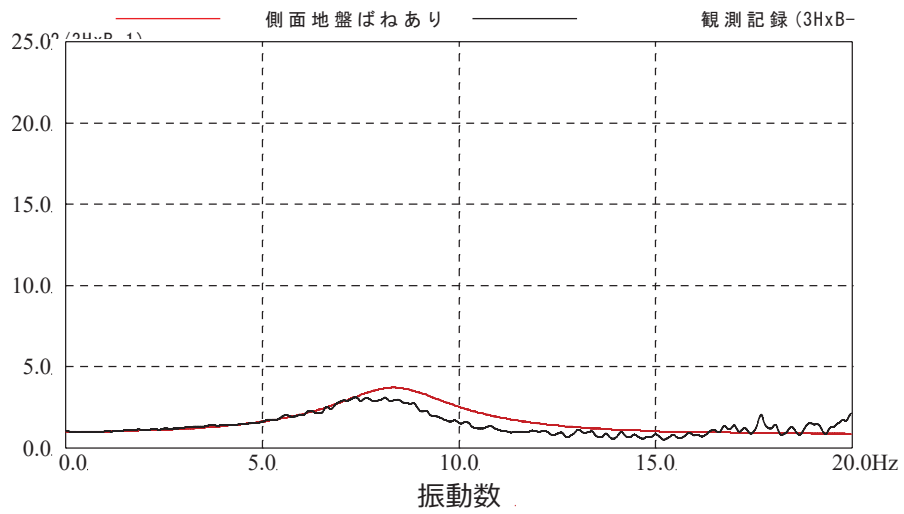


伝達関数の比較（地上1階／地下3階，NS方向）

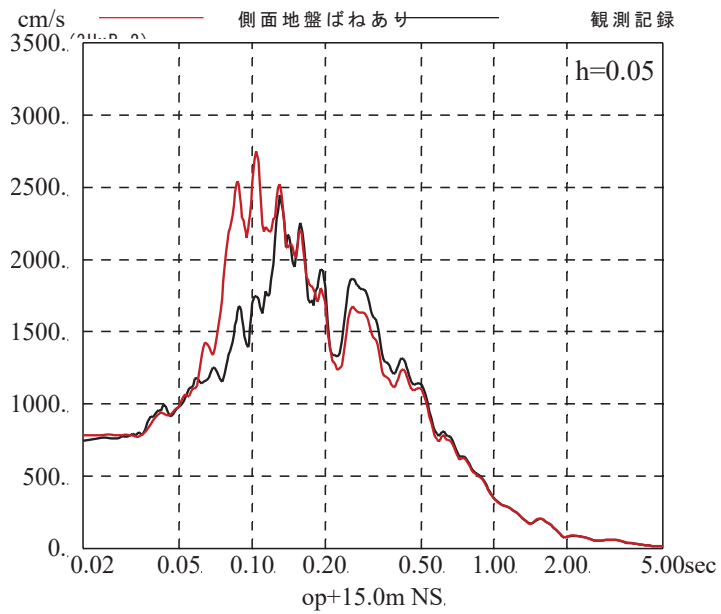


応答スペクトルの比較（地上1階，NS方向）

図 3-3 3.11 地震のはざとり波を用いた側面地盤ばねの有無による
シミュレーション解析結果の比較
(第3号機海水熱交換器建屋)



伝達関数の比較（地上 1 階／地下 3 階，NS 方向）



応答スペクトルの比較（地上 1 階，NS 方向）

図 3-4 3.11 地震の基礎版上観測記録を用いた建屋減衰 20%とした場合の
シミュレーション解析結果の比較
（第 3 号機海水熱交換器建屋）

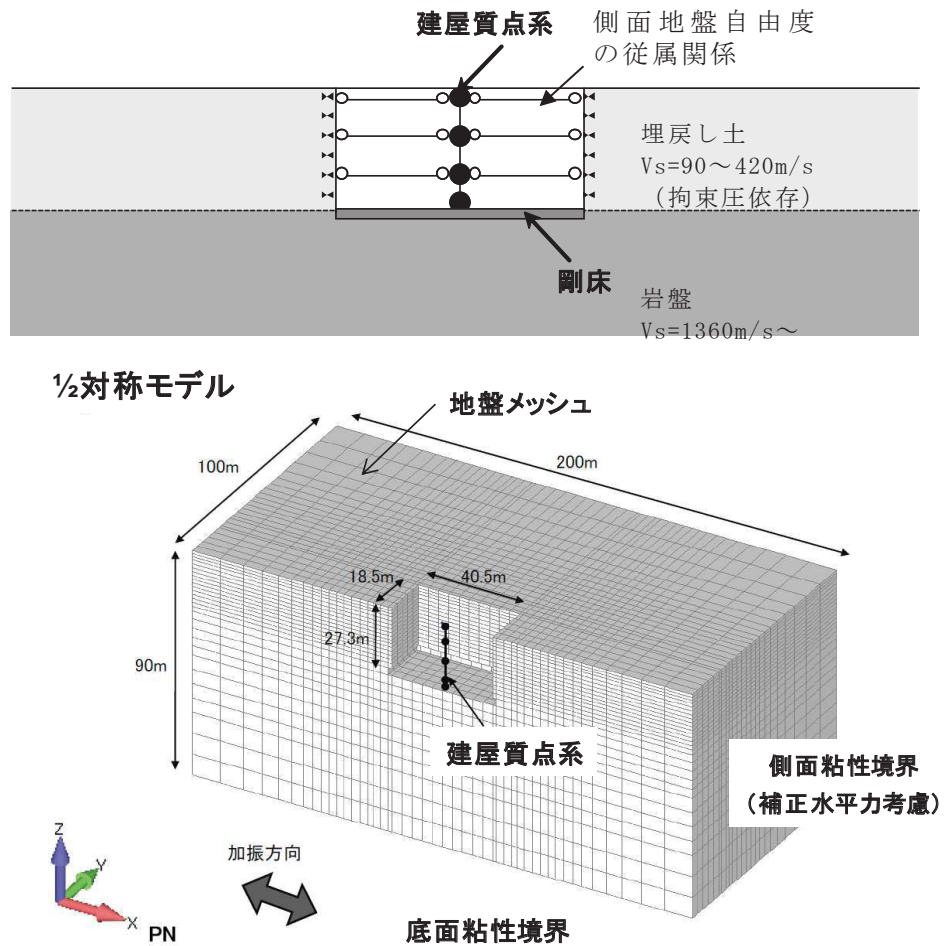
4. 第3号機海水熱交換器建屋の3次元地盤 FEM モデルによる検討

第3号機海水熱交換器建屋においては、前章の検討により側面地盤ばね (Novak ばね) を考慮したモデルは過大な応答を与える一方で、観測記録からは埋め込まれていることによる建屋応答低減効果が顕著に認められたことから、建屋周辺地盤を3次元モデル化し周辺地盤の影響を詳細に検討した。

(1) 3次元 FEM モデルの概要と検討方法

検討に用いた3次元 FEM モデルの概要を図4-1に示す。

入力地震動は、2011.3.9 三陸沖の地震 (以下「3.9 地震」という。), 3.11 地震の NS 方向とし、建屋周辺地盤応答の空間分布等を検討した。



| | |
|-----|---|
| 地盤 | 線形又は非線形 (H-D モデル) |
| 建屋 | 線形 |
| 減衰 | 地盤建屋ともに共通：初期剛性比例型 振動数 4Hz, 8Hz に対して 3% のレーリー減衰 |
| 入力波 | 3.9 地震 NS 方向 時刻 15~55 秒の 40 秒間 3.11 地震 NS 方向 時刻 35~75 秒の 40 秒間 |

図 4-1 3次元 FEM モデルの概要

(2) 検討結果

はじめに 3.9 地震の検討結果を示す。地盤-建屋の基本的な振動モードを検討するため、建屋 1 次振動数に相当する 8Hz の定常 sin 波を入力した場合の変形図のスナップショットを図 4-2 に示す。

地盤の 2 次モードと建屋の 1 次モードが概ね逆位相で連成していることから、地盤振動が建屋の応答の増幅を抑制していると考えられる。

また、建屋側面の地盤の相互作用が建屋応答に及ぼす影響を評価するため、地盤と建屋側面の従属関係を解除した場合としない場合の建屋基礎版に対する建屋上部の伝達関数を比較した結果を図 4-3 に示す。

相互作用がない場合には、建屋の応答は 20 倍程度に増幅しており、相互作用の有無が応答に大きく影響している。また、振動数に関しては相互作用がない場合にはピーク振動数は約 9Hz となり、建屋単体の振動数が現れる。一方相互作用がある場合は、ピーク振動数が約 8Hz となっており、地盤の影響で見かけ上固有振動数（建屋剛性）が変化しているように見える。したがって、建屋側面からの影響が顕著と考えられる。

次に 3.11 地震の結果を示す。地上 1 階の観測記録と解析結果の加速度応答スペクトルの比較を図 4-4 に示す。

基礎版底面と同レベルの岩盤面の加速度応答スペクトル、地表面の加速度応答スペクトルを図 4-5、図 4-6 に、最大加速度分布、最大速度分布、最大ひずみ分布を図 4-7~図 4-9 に示す。

3 次元地盤 FEM モデルによるシミュレーション解析では地上 1 階の観測記録と解析結果は概ね整合する結果となっている。

基礎版底面と同レベルの岩盤面の加速度応答スペクトルは、図 4-5 から建屋近傍位置~建屋遠方位置まで自由地盤の応答スペクトルとほぼ同様となっており、位置の違いによる差は小さいことがわかる。

地表面の加速度応答スペクトルは、図 4-6 から位置による違いが顕著であり建屋応答による影響が見られる。周期 0.5 秒付近のピークは自由地盤の 1 次卓越周期であり、建屋近傍位置では地盤が建屋側面に拘束されて増幅率が小さく、遠方位置自由地盤の応答に近づいている。周期 0.2 秒付近のピークは建屋側面に対して中間位置で増大し、遠方位置では減少し自由地盤の応答に近づいている。

図 4-7 の最大加速度分布は、比較的複雑な分布となるが、建屋近傍は遠方よりも小さい傾向が見られる。図 4-8 の最大速度分布は、建屋から離れるにつれて自由地盤に近づく傾向であり、建屋近傍は小さめである。図 4-9 の最大ひずみ分布は、建屋近傍の地盤は建屋に拘束されるため、遠方地盤に比べて最大ひずみは小さくなっている。

以上から、建屋周辺地盤の応答分布には偏りが生じており、建屋近傍では建屋影響があり、離れるに従い自由地盤の応答に近づく傾向が確認された。

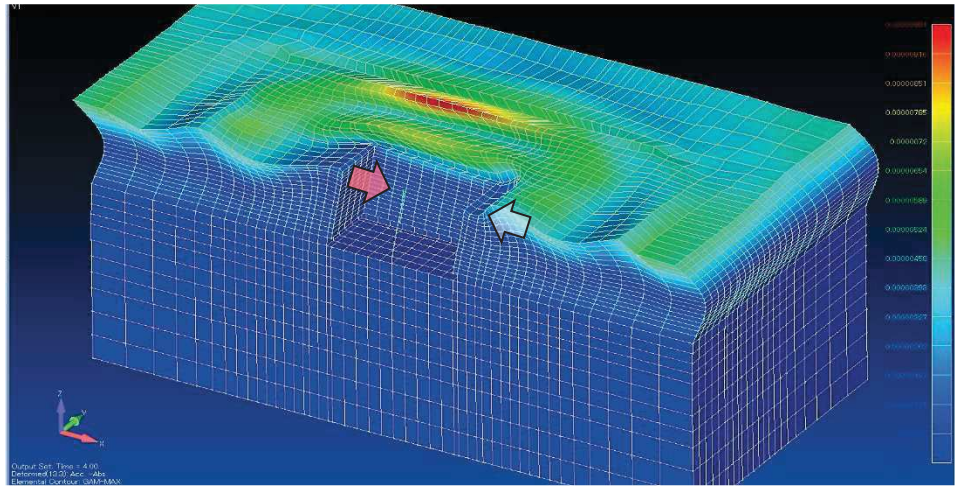


図 4-2 sin 波 (8Hz) を入力した場合の変形図

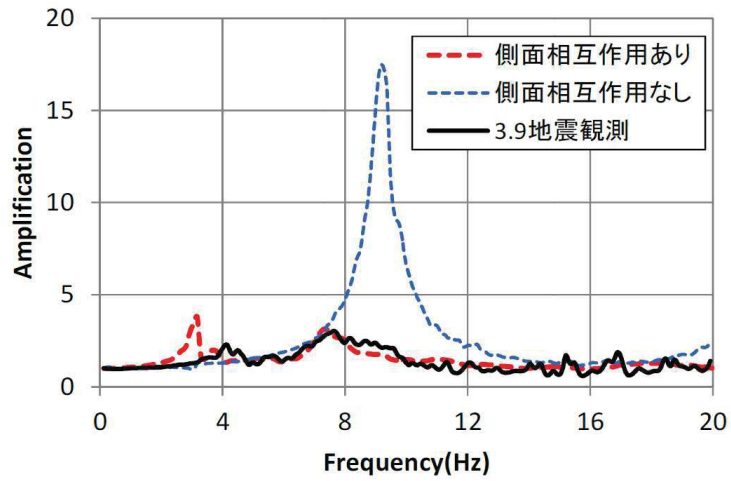


図 4-3 建屋の伝達関数 (地上 1 階/基礎版) 3.9 地震 (NS 方向)

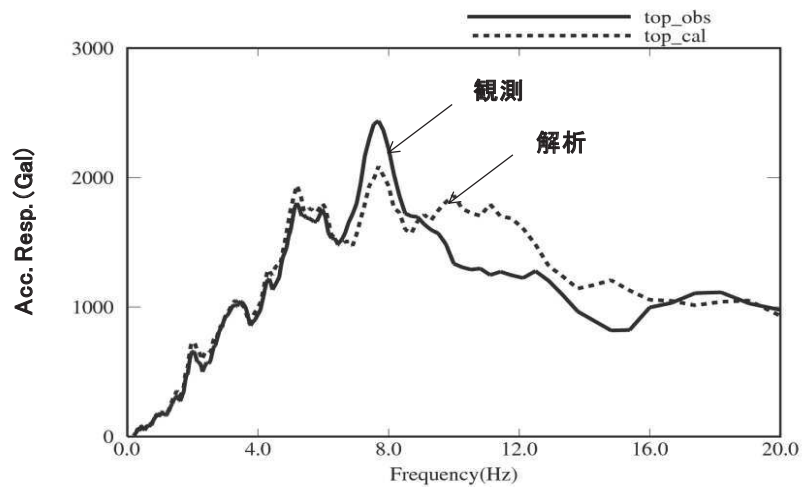


図 4-4 加速度応答スペクトル (h=5%)
(地上 1 階, NS 方向)

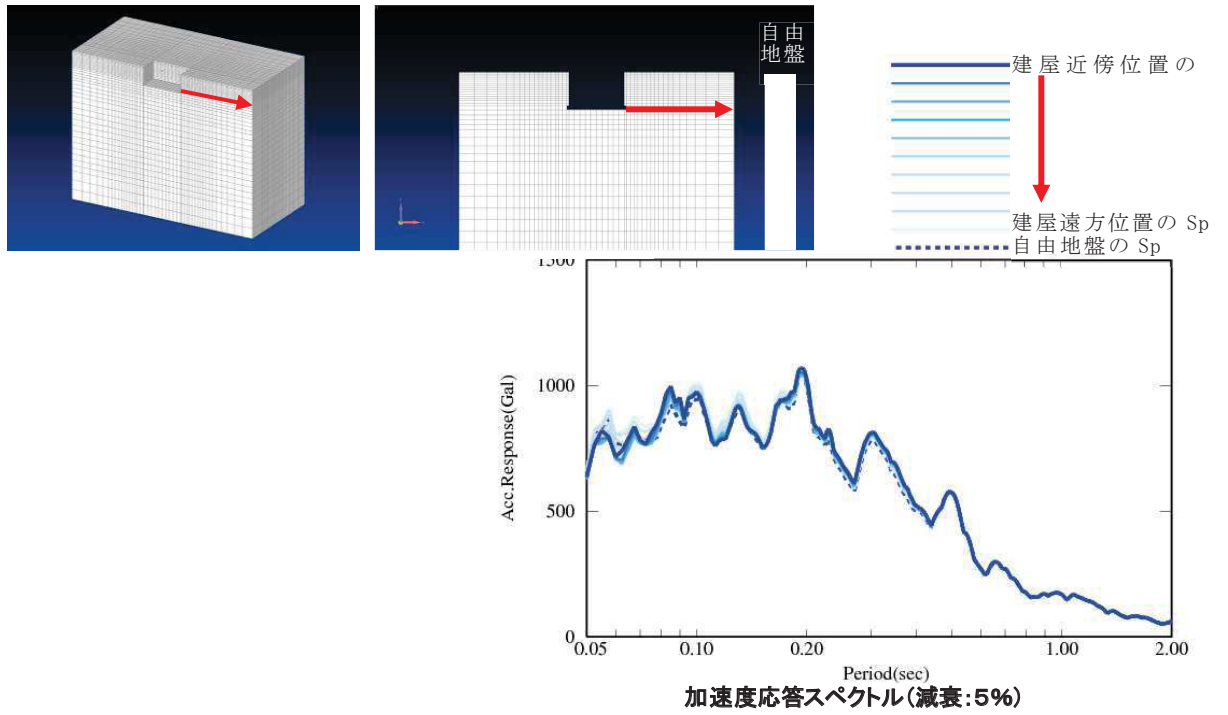


図 4-5 加速度応答スペクトル
(基礎版底面と同レベルの岩盤面)

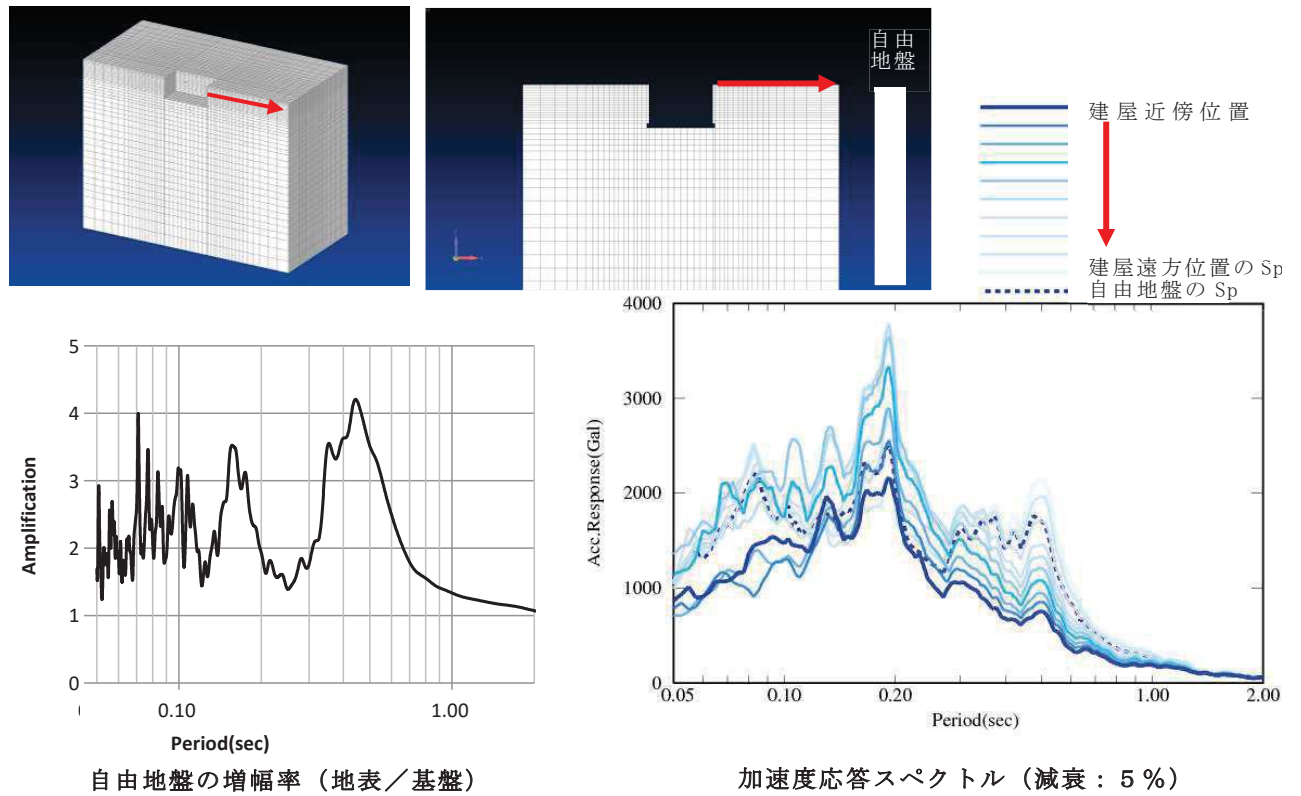


図 4-6 加速度応答スペクトル (地表面)

自由地盤

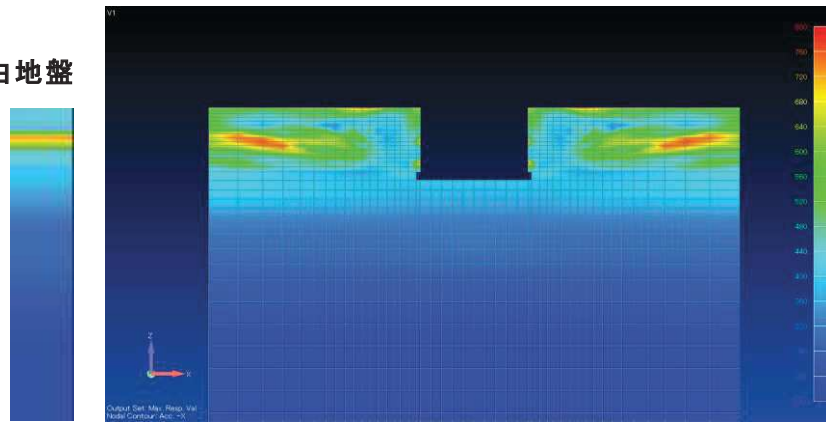


図 15-14 最大加速度分布

自由地盤

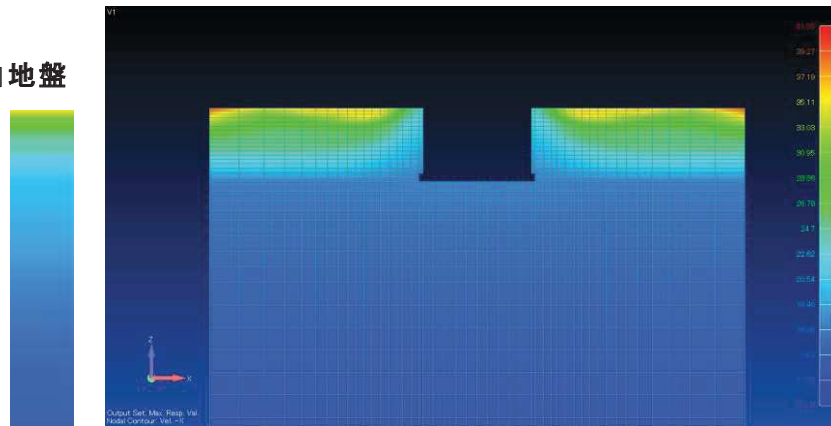


図 15-15 最大速度分布

自由地盤

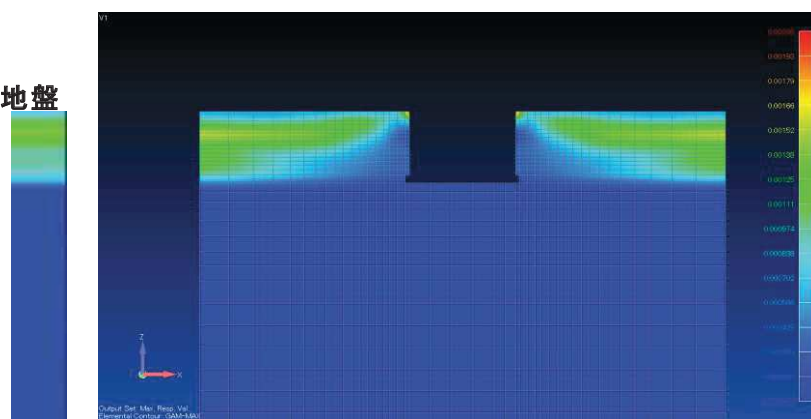


図 4-7 最大ひずみ分布

5. まとめ

原子炉建屋及び第3号機海水熱交換器建屋について、側面地盤ばね（Novak ばね）の有無が建屋応答に与える影響等を、地震観測記録を用いた建屋応答解析で確認した。その結果、

- ① 建屋重量の重い原子炉建屋を対象とした建屋シミュレーション解析、また、比較的小規模で建屋全体が埋め込まれている第3号機海水熱交換器建屋を対象とした建屋シミュレーション解析の両方で、側面地盤ばね（Novak ばね）を考慮した応答結果は観測記録より過大な応答結果を与えた。
- ② 第3号機海水熱交換器建屋を対象とした建屋シミュレーション解析において、埋め込まれていることによる建屋応答低減効果が認められることを確認した。

J E A G 4 6 0 1 では、側面地盤ばね（Novak ばね）は、支持地盤と表層地盤のインピーダンス比が大きい場合、その適合性に留意する必要があることが記載されているが、特に女川のように支持地盤が硬質岩盤で、埋戻し土に掘削土等を用いて施工した場合には、側面地盤ばね（Novak ばね）は過大な応答結果を与えるおそれがあるため、今回工認の原子炉建屋の地震応答解析モデルには側面地盤ばね（Novak ばね）は適用しないこととする。

また、第3号機海水熱交換器建屋については、側面地盤ばね（Novak ばね）による埋込み効果は実際の応答を現しにくい（過大な応答となる）一方で、観測記録によるシミュレーション解析から埋め込まれていることによる建屋応答低減効果が認められることから、そのメカニズムについて周辺地盤を3次元 FEM モデル化し検討を行った。その結果、3次元地盤 FEM モデルでは、3.11 地震のシミュレーション解析で建屋上部の応答が概ね観測記録と整合しており、建屋近傍の周辺地盤の応答は建屋応答の影響を受けて、遠方の自由地盤の応答とは違った傾向となること、最大加速度、最大速度、最大ひずみは建屋近傍よりも遠方の自由地盤のほうが大きめとなることが確認された。したがって、側面地盤ばね（Novak ばね）による埋込み効果が実際の応答を現しにくいのは、側面地盤ばね（Novak ばね）では遠方（自由地盤相当）の地盤性状をモデル化しているのに対し、建屋近傍の実際の地盤応答は建屋により抑えられていることをうまく再現できないことから、建屋に入力する地震動を大きく見積もる場合があること等が要因の一つと考えられる。

側面地盤ばねの有無が建屋応答に及ぼす影響検討（タービン建屋）

1. 検討目的

タービン建屋も原子炉建屋と同様に、はざとり波を用いた 3.11 地震のシミュレーション解析では、側面地盤ばねの無いモデルが観測記録と調和的であることを確認している。このことから、タービン建屋でも今回工認では E+F 入力を採用する予定である。

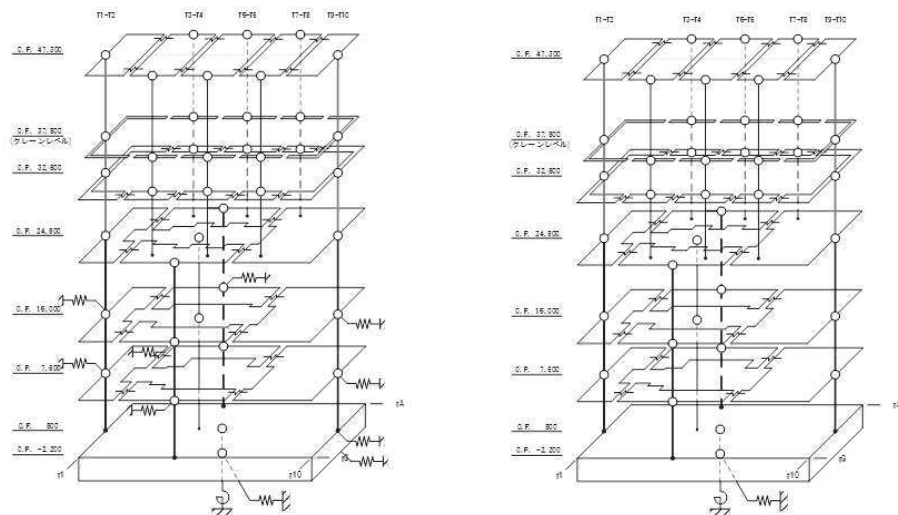
E+F 入力を採用するため、側面地盤ばね（Novak ばね）の有無が建屋の振動特性に与える影響を確認する。

2. 検討方法

側面地盤ばね（Novak ばね）の有り・無しモデルについて、応答結果の違いを確認する。

側面地盤は設定した地盤を用いて等価線形解析を実施した際の収束物性値を用いて、地盤を地中の質点位置ごとに、単位厚さで平面的に切り出したモデルを設定し、側面地盤ばね（Novak ばね）は、建屋を面積が等価な円形平面に置換して、J E A G 4 6 0 1 -1991 [追補版] による方法により算定する。

シミュレーション解析モデルを図 2-1 に、解析条件の比較を表 2-1 に示す。側面地盤ばね（Novak ばね）の設定に用いる等価地盤の物性値を表 2-2 に示す。



側面地盤ばね（Novak ばね）考慮 側面地盤ばね（Novak ばね）非考慮

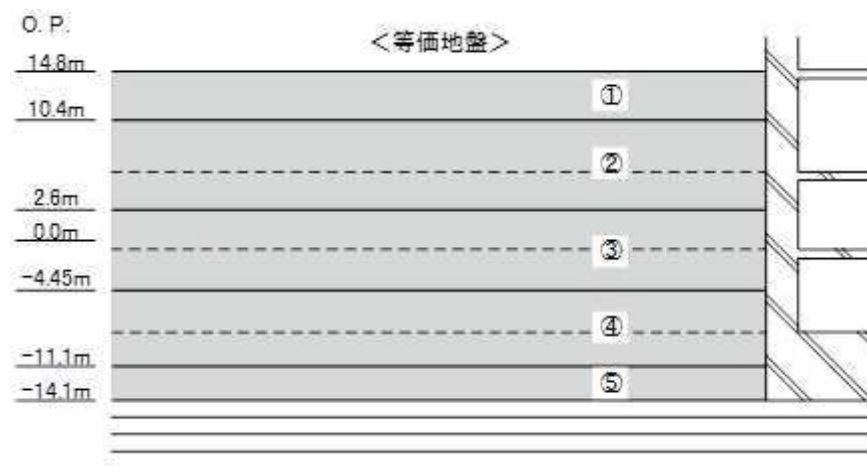
図 2-1 図側面地盤ばね（Novak ばね）の有無の検討に用いる
地震応答解析モデル

表 2-1 解析条件の比較

| | 側面地盤ばね (Novak ばね) を考慮するケース | 側面地盤ばね (Novak ばね) を考慮しないケース |
|-----------------------|---|--|
| 建屋 | タービン建屋 | |
| 地震動 | 3.11 地震のはぎとり波 | |
| 入力地震動 | 基礎版底面レベル及び側面 地盤ばね位置の地震動を算 定し入力 (E+F 入力) | 基礎版底面レベルの地震動 を算定し入力 (E+F 入力, 補 正水平力考慮) |
| 建屋モデル (建屋剛性, 建屋減衰) | 今回工認モデル (初期剛性低下考慮, 建屋減衰 5%) | |
| 建屋モデル (側面地盤ばね) | 有り | 無し |
| 地盤モデル | 入力地震動評価用地盤モデル (表層地盤 : 2 層モデル) | |

表 2-2 側面地盤ばね (Novak ばね) の設定に用いる等価地盤の物性値

| 建屋質点レベル O. P. (m) | 層 No. | 等価地盤 | | | | |
|----------------------|-------|--------------------------|---|--|----------------|----------------------|
| | | せん断波速度 V_s (m/s) | せん断弾性係数 G ($\times 10^4$ kN/m ²) | 単位体積重量 γ (kN/m ³) | ポアソン比 ν | 減衰定数 h_e (%) |
| 15.0 | ① | 166 | 5.23 | 18.6 | 0.45 | 3 |
| 7.6 | ② | 262 | 13.1 | 18.6 | 0.45 | 3 |
| 0.8 | ③ | 470 | 43.5 | 19.3 | 0.45 | 3 |
| -2.2 | ④ | 900 | 193 | 23.3 | 0.45 | 3 |



埋戻し土の形状 (単位 : m)

3. 検討結果

側面地盤ばね（Novak ばね）の有無をパラメータとした地震応答解析結果の加速度応答スペクトルの比較を図 3-1 に示す。

側面地盤ばね（Novak ばね）有りモデルの方が大きい応答結果を与える階が生じた。原子炉建屋の検討と同様に側面地盤からの入力の影響が大きいと考えられる。

この結果を踏まえて、今回工認で、側面地盤ばね（Novak ばね）を設けないモデルを採用することとする。

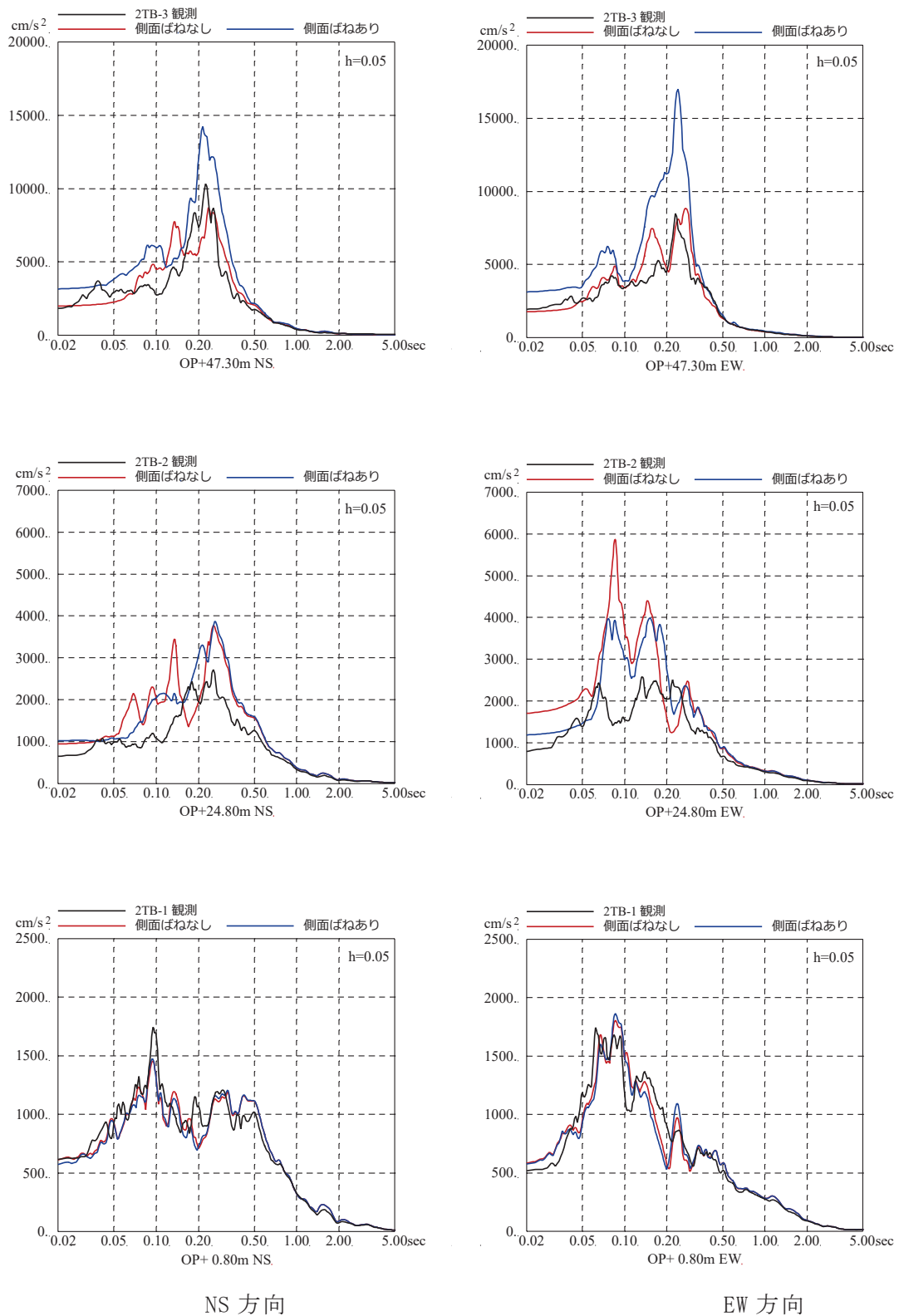


図 3-1 3.11 地震のはざとり波を用いた側面地盤ばね (Novak ばね) の有無によるシミュレーション解析結果の比較 (タービン建屋)

※地震計位置は、付録 1 参照

別紙 16 側面地盤ばねの有無が建屋応答に与える影響

目 次

1. 検討概要..... 別紙 16-1
2. 検討方法..... 別紙 16-1
3. 検討結果..... 別紙 16-7

1. 検討概要

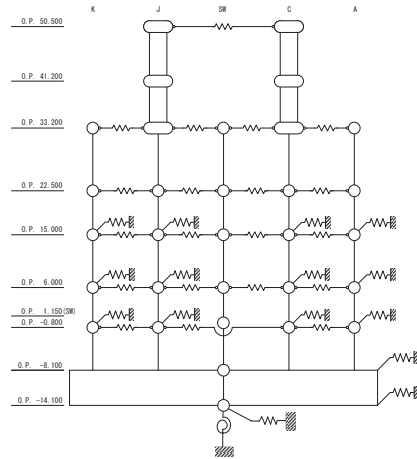
原子炉建屋の今回工認では、表層地盤の影響を考慮して建屋への入力地震動を算定することとしているが、基準地震動のような大加速度の地震動が入力した場合は、側面地盤の剛性が低下することにより側面地盤と建屋の相互作用の影響が小さくなると想定されること、女川原子力発電所の支持地盤が硬質岩盤であり、支持地盤と側面地盤のせん断波速度の違いが大きい場合には J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版に記載の通り側面地盤ばねの算定にあたっては留意する必要があることから側面地盤ばねはモデル化していない。

そこで、基準地震動 S_s を入力した場合の側面地盤が建屋の振動特性に与える影響を確認する。

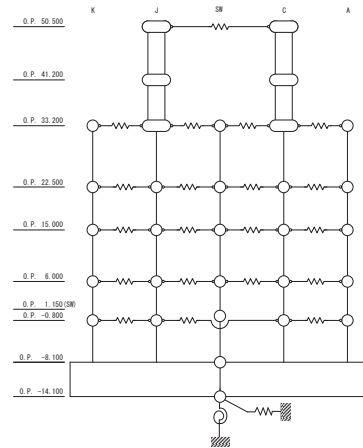
2. 検討方法

検討は、側面地盤ばねを考慮したモデルと考慮しないモデルを用いて地震応答解析を行い、建屋の床応答スペクトルを比較する。対象とした地震動は、入力する地震動のスペクトル特性の違いにより、側面地盤ばねの影響が異なる可能性があることから、基準地震動 $S_s - D 1$ と $S_s - D 2$ の 2 波とする。

側面地盤は、5.1 項にて設定した地盤を用いて入力地震動を算定した際の収束物性値（地盤各層のせん断剛性低下率の最小値）を用いて、地盤を地中の質点位置ごとに、支配高さで平面的に切り出したモデルを設定し、建屋を面積が等価な円形平面に置換して、側面地盤ばねを Novak の方法（J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版による方法）により算定する。また、同レベルの質点は床ばねで接続されているため、各質点が支配する外周長を全周長で除した比率をばね値に乘じ、各質点に振り分ける。側面地盤ばねの有無の検討に用いる地震応答解析モデルを図 2-1 に、側面地盤ばねの設定に用いる物性値を表 2-1 および表 2-2 に、算定した側面地盤ばね値を表 2-3～表 2-6 に示す。



側面地盤ばね考慮



側面地盤ばね非考慮

| | 側面地盤ばね (Novak ばね) を考慮するケース | 側面地盤ばね (Novak ばね) を考慮しないケース |
|--------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| 建屋 | 原子炉建屋 | |
| 地震動 | 基準地震動 $S_s - D 1$ 及び $S_s - D 2$ | |
| 入力地震動 | 基礎版底面レベル及び側面地盤ばね位置の地震動を算定し入力 (E+F 入力) | 基礎版底面レベルの地震動を算定し入力 (E+F 入力, 補正水平力考慮) |
| 建屋モデル (建屋剛性, 建屋減衰) | 今回工認モデル (初期剛性低下考慮, 耐震補強考慮, 建屋減衰 5%) | |
| 建屋モデル (側面地盤ばね) | 有り (側面地盤ばねの地盤定数は等価地盤の値から算定) | 無し |
| 地盤モデル | 入力地震動評価用地盤モデル (表層地盤: 2層モデル) | |

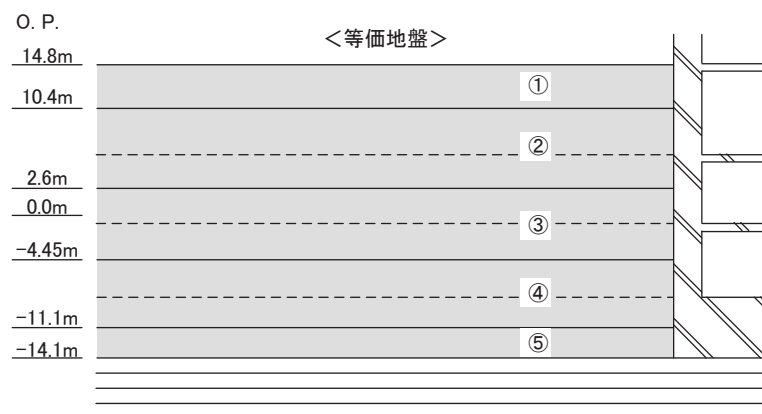
図 2-1 側面地盤ばねの有無の検討に用いる地震応答解析モデル

表 2-1 側面地盤ばねの設定に用いる等価地盤の物性値 (S s - D 1)

| 建屋質 点レベ ル O. P. (m) | 層 No. | 等価地盤 | | | | |
|------------------------------|-------|--------------------------------|---|--|----------------------|------------------------|
| | | せん断波速 度 V_s^* (m/s) | せん断弾性係数 G^* ($\times 10^4$ kN/m ²) | 単位体積重 量 γ^* (kN/m ³) | ポアソン 比 ν^* | 減衰定数 h_e^* (%) |
| 15.0 | ① | 161 | 4.91 | 18.6 | 0.45 | 3 |
| 6.0 | ② | 191 | 6.96 | 18.6 | 0.45 | 3 |
| -0.8 | ③ | 754 | 12.5 | 21.6 | 0.45 | 3 |
| -8.1 | ④ | 900 | 193 | 23.3 | 0.45 | 3 |
| -14.1 | ⑤ | 900 | 193 | 23.3 | 0.45 | 3 |

※ J E A G 4 6 0 1 -1991 [追補版] により, 層厚で重み付け平均した G , h_e , ν , γ を用いる。

V_s は平均 G , 平均 γ より求める。



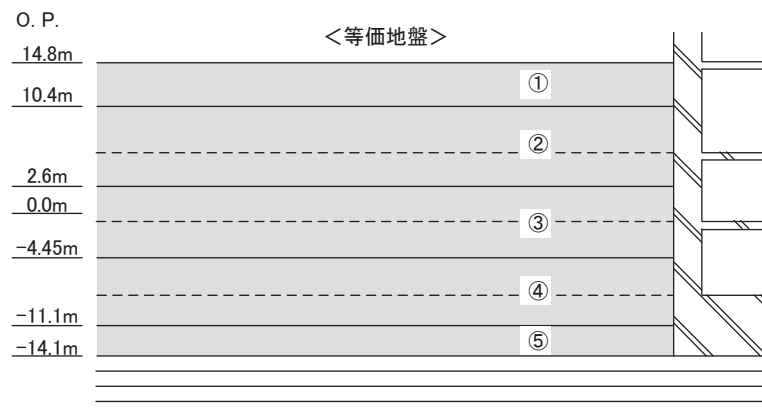
埋戻し土の形状 (単位 : m)

表 2-2 側面地盤ばねの設定に用いる等価地盤の物性値 (S_s-D2)

| 建屋質 点レベ ル O.P. (m) | 層 No. | 等価地盤 | | | | |
|-----------------------------|-------|---|--|--|-----------------|---------------------------------|
| | | せん断波速 度 V _s * (m/s) | せん断弾性係数 G* (×10 ⁴ kN/m ²) | 単位体積重 量 γ* (kN/m ³) | ポアソン 比 ν* | 減衰定数 h _e * (%) |
| 15.0 | ① | 157 | 4.69 | 18.6 | 0.45 | 3 |
| 6.0 | ② | 204 | 7.92 | 18.6 | 0.45 | 3 |
| -0.8 | ③ | 755 | 12.6 | 21.6 | 0.45 | 3 |
| -8.1 | ④ | 900 | 193 | 23.3 | 0.45 | 3 |
| -14.1 | ⑤ | 900 | 193 | 23.3 | 0.45 | 3 |

※ J E A G 4 6 0 1 -1991〔追補版〕により，層厚で重み付け平均した G, h_e, ν, γ を用いる。

V_s は平均 G, 平均 γ より求める。



埋戻し土の形状 (単位 : m)

表 2-3 NS 方向側面地盤ばね，減衰 (S_s - D 1)

| 通り | 質点 | ばね (t/cm) | 減衰 (t・s/cm) |
|------|----|-----------|-------------|
| OW-K | 3 | 2.581E+02 | 2.307E+02 |
| | 4 | 6.672E+02 | 5.020E+02 |
| | 5 | 1.075E+04 | 1.778E+03 |
| IW-J | 10 | 1.808E+02 | 1.616E+02 |
| | 11 | 4.672E+02 | 3.515E+02 |
| | 12 | 7.529E+03 | 1.245E+03 |
| IW-C | 22 | 2.059E+02 | 1.840E+02 |
| | 23 | 5.321E+02 | 4.004E+02 |
| | 24 | 8.575E+03 | 1.418E+03 |
| OW-A | 27 | 2.850E+02 | 2.547E+02 |
| | 28 | 7.366E+02 | 5.543E+02 |
| | 29 | 1.187E+04 | 1.963E+03 |
| 基礎版 | 30 | 5.630E+04 | 2.622E+04 |
| | 31 | 2.540E+04 | 3.486E+03 |

表 2-4 EW 方向側面地盤ばね，減衰 (S_s - D 1)

| 通り | 質点 | ばね (t/cm) | 減衰 (t・s/cm) |
|-------|----|-----------|-------------|
| OW-1 | 3 | 2.850E+02 | 2.548E+02 |
| | 4 | 7.366E+02 | 5.547E+02 |
| | 5 | 1.187E+04 | 1.971E+03 |
| IW-2 | 7 | 1.857E+02 | 1.660E+02 |
| | 8 | 4.798E+02 | 3.613E+02 |
| | 9 | 7.734E+03 | 1.284E+03 |
| IW-10 | 24 | 1.799E+02 | 1.608E+02 |
| | 25 | 4.649E+02 | 3.501E+02 |
| | 26 | 7.493E+03 | 1.244E+03 |
| OW-11 | 29 | 2.792E+02 | 2.496E+02 |
| | 30 | 7.216E+02 | 5.434E+02 |
| | 31 | 1.163E+04 | 1.931E+03 |
| 基礎版 | 32 | 5.630E+04 | 2.622E+04 |
| | 33 | 2.540E+04 | 3.492E+03 |

表 2-5 NS 方向側面地盤ばね，減衰 (S_s - D 2)

| 通り | 質点 | ばね (t/cm) | 減衰 (t・s/cm) |
|------|----|-----------|-------------|
| OW-K | 3 | 2.456E+02 | 2.250E+02 |
| | 4 | 7.617E+02 | 5.355E+02 |
| | 5 | 1.078E+04 | 1.781E+03 |
| IW-J | 10 | 1.719E+02 | 1.576E+02 |
| | 11 | 5.334E+02 | 3.749E+02 |
| | 12 | 7.549E+03 | 1.247E+03 |
| IW-C | 22 | 1.958E+02 | 1.795E+02 |
| | 23 | 6.075E+02 | 4.271E+02 |
| | 24 | 8.598E+03 | 1.420E+03 |
| OW-A | 27 | 2.711E+02 | 2.484E+02 |
| | 28 | 8.410E+02 | 5.912E+02 |
| | 29 | 1.190E+04 | 1.966E+03 |
| 基礎版 | 30 | 5.630E+04 | 2.622E+04 |
| | 31 | 2.540E+04 | 3.486E+03 |

表 2-6 EW 方向側面地盤ばね，減衰 (S_s - D 2)

| 通り | 質点 | ばね (t/cm) | 減衰 (t・s/cm) |
|-------|----|-----------|-------------|
| OW-1 | 3 | 2.711E+02 | 2.485E+02 |
| | 4 | 8.410E+02 | 5.918E+02 |
| | 5 | 1.190E+04 | 1.973E+03 |
| IW-2 | 7 | 1.766E+02 | 1.619E+02 |
| | 8 | 5.479E+02 | 3.855E+02 |
| | 9 | 7.754E+03 | 1.286E+03 |
| IW-10 | 24 | 1.711E+02 | 1.568E+02 |
| | 25 | 5.308E+02 | 3.735E+02 |
| | 26 | 7.513E+03 | 1.246E+03 |
| OW-11 | 29 | 2.656E+02 | 2.434E+02 |
| | 30 | 8.240E+02 | 5.798E+02 |
| | 31 | 1.166E+04 | 1.933E+03 |
| 基礎版 | 32 | 5.630E+04 | 2.622E+04 |
| | 33 | 2.540E+04 | 3.492E+03 |

3. 検討結果

各モデルの固有値解析結果を表 3-1 および表 3-2 に、固有モードの比較を図 3-1～図 3-10 に示す。

各モデルの固有値および固有モードは、モデル毎に大きな差異は確認されないことから、振動特性として側面地盤ばねの影響が小さいことを確認した。

側面地盤ばねを考慮した解析モデルへの入力となる側面地盤ばね位置の加速度波形(E+F)の算定結果を基準地震動 S_s-D1 については図 3-11 に、基準地震動 S_s-D2 については図 3-12 に示す。

地表面 (O.P. +14.8m) の加速度振幅は、最上部では 2000Gal を超える大きな振幅となっている。また、表層地盤の卓越周期 (周期 0.2 秒過ぎ, 周期約 0.1 秒手前) で特に大きな振幅となっており、これは建屋の卓越周期に近い成分である。建屋の地上 1 階の応答加速度が 1000 ガル程度であることから、地盤の揺れは 2 倍近いものとなっており、側面地盤ばねの精度によっては、大きな誤差を生じる可能性がある。

側面地盤ばねの有無をパラメータとした地震応答解析結果の加速度応答スペクトルの比較を図 3-13～図 3-20 に示す。また、設定した地盤モデルの初期物性値を用いて側面地盤ばねを求めて基準地震動 S_s-D2 の地震応答解析を実施した場合の結果も参考に図 3-21 および図 3-22 に示す。

側面地盤ばねの有無により床応答スペクトルの形状に大きな差異は確認されないが、側面地盤ばねが有る場合の方が、無い場合に比べ、地震応答解析結果 (加速度応答スペクトル) が大きくなる階が生じている。ただし、側面地盤ばねから入力される地震動の特徴から、部分的には側面地盤ばねが有るモデルが小さい結果を与えている階もある。

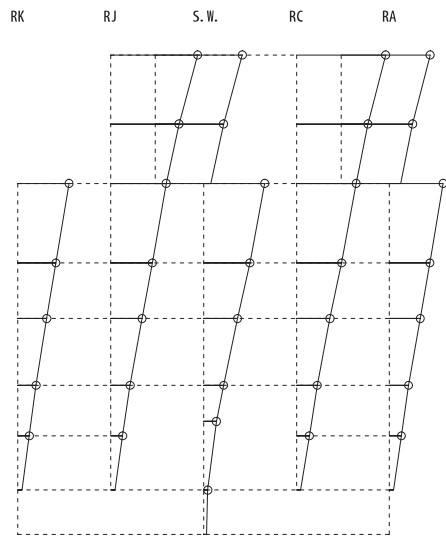
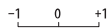
表 3-1 固有値解析結果 (NS 方向)

| 次数 | 側面地盤ばねなし | | | S s - D 1 側面地盤ばねモデル | | | S s - D 2 側面地盤ばねモデル | | |
|----|-------------|---------------|-------|---------------------|---------------|-------|---------------------|---------------|-------|
| | 固有周期 (s) | 固有振動数 (Hz) | 刺激係数 | 固有周期 (s) | 固有振動数 (Hz) | 刺激係数 | 固有周期 (s) | 固有振動数 (Hz) | 刺激係数 |
| 1 | 0.237 | 4.21 | 2.206 | 0.233 | 4.29 | 2.224 | 0.233 | 4.29 | 2.224 |
| 2 | 0.123 | 8.13 | 2.743 | 0.122 | 8.17 | 2.678 | 0.122 | 8.17 | 2.678 |
| 3 | 0.116 | 8.60 | 1.100 | 0.116 | 8.63 | 1.173 | 0.116 | 8.63 | 1.174 |
| 4 | 0.097 | 10.33 | 2.094 | 0.096 | 10.41 | 2.014 | 0.096 | 10.41 | 2.013 |
| 5 | 0.093 | 10.76 | 1.098 | 0.093 | 10.81 | 1.263 | 0.093 | 10.81 | 1.264 |

表 3-2 固有値解析結果 (EW 方向)

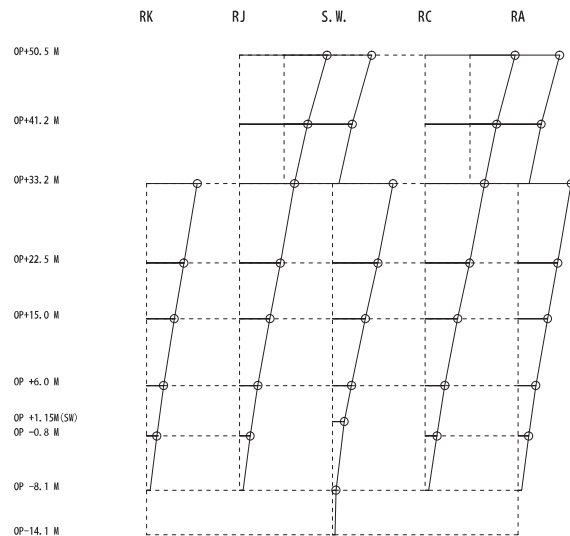
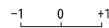
| 次数 | 側面地盤ばねなし | | | S s - D 1 側面地盤ばねモデル | | | S s - D 2 側面地盤ばねモデル | | |
|----|-------------|---------------|-------|---------------------|---------------|-------|---------------------|---------------|-------|
| | 固有周期 (s) | 固有振動数 (Hz) | 刺激係数 | 固有周期 (s) | 固有振動数 (Hz) | 刺激係数 | 固有周期 (s) | 固有振動数 (Hz) | 刺激係数 |
| 1 | 0.230 | 4.36 | 2.179 | 0.226 | 4.42 | 2.190 | 0.226 | 4.43 | 2.190 |
| 2 | 0.125 | 8.01 | 1.924 | 0.124 | 8.06 | 1.898 | 0.124 | 8.06 | 1.898 |
| 3 | 0.116 | 8.64 | 0.073 | 0.115 | 8.67 | 0.068 | 0.115 | 8.67 | 0.068 |
| 4 | 0.098 | 10.15 | 0.654 | 0.098 | 10.19 | 0.624 | 0.098 | 10.19 | 0.624 |
| 5 | 0.091 | 10.93 | 0.835 | 0.091 | 10.96 | 0.735 | 0.091 | 10.96 | 0.734 |

固有周期 0.237 s
 固有振動数 4.21 Hz
 刺激係数 2.206



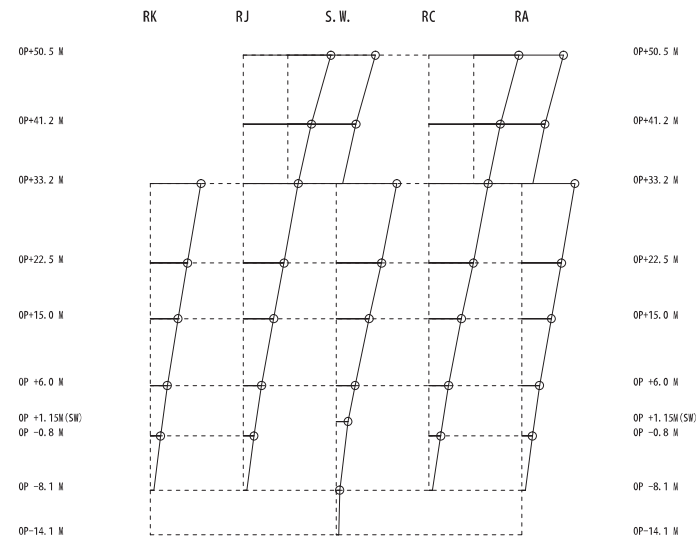
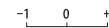
側面地盤ばねなし

固有周期 0.233 s
 固有振動数 4.29 Hz
 刺激係数 2.224



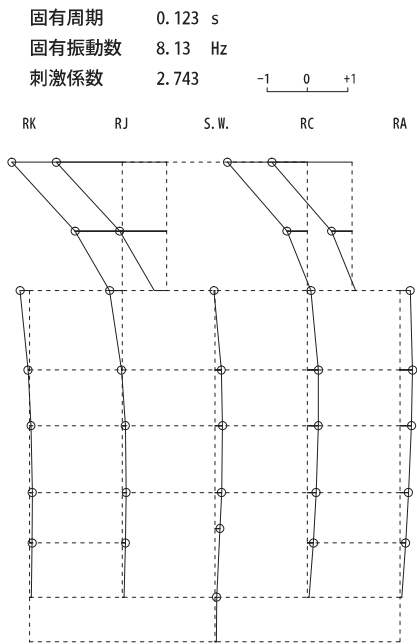
側面地盤ばねあり (S s - D 1 地盤)

固有周期 0.233 s
 固有振動数 4.29 Hz
 刺激係数 2.224

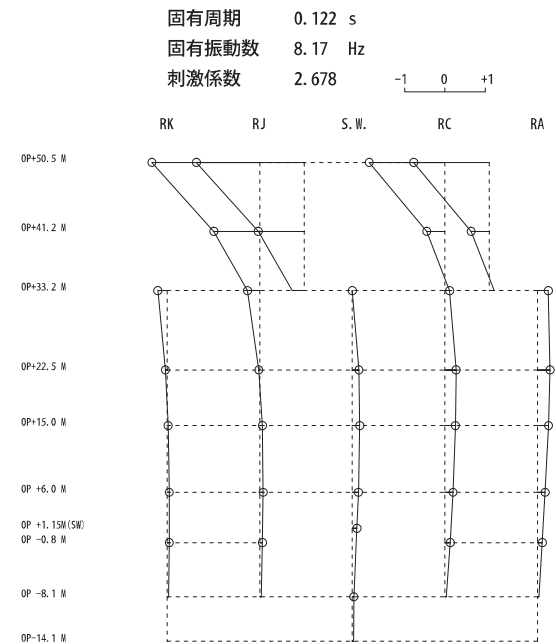


側面地盤ばねあり (S s - D 2 地盤)

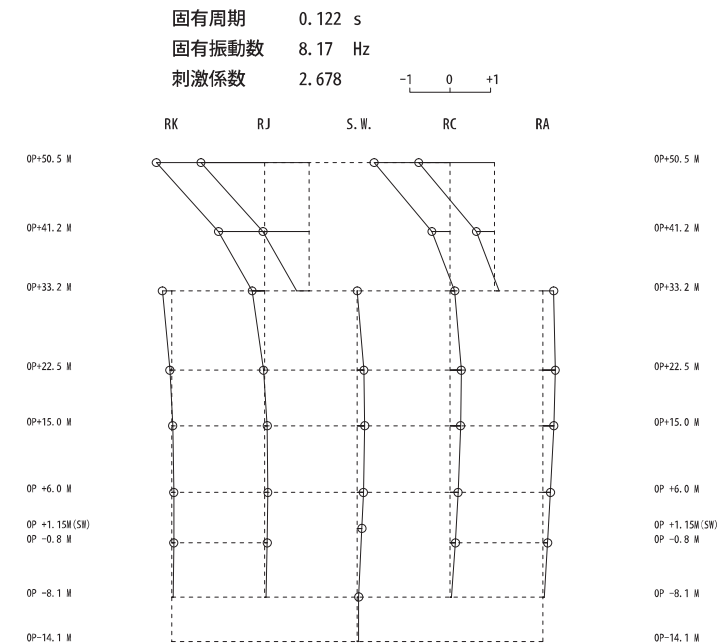
図 3-1 固有モードの比較 (NS 方向 1 次)



側面地盤ばねなし

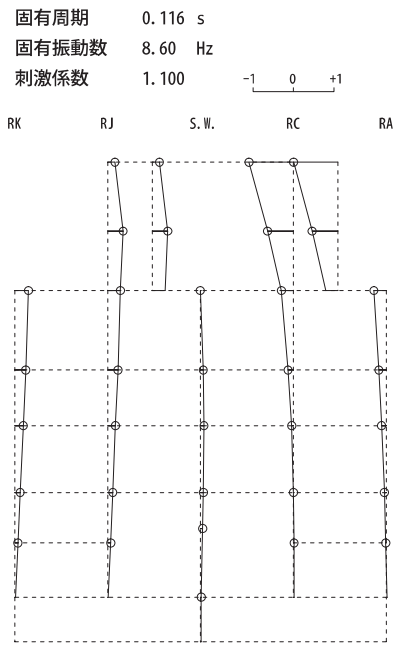


側面地盤ばねあり (S s - D 1 地盤)

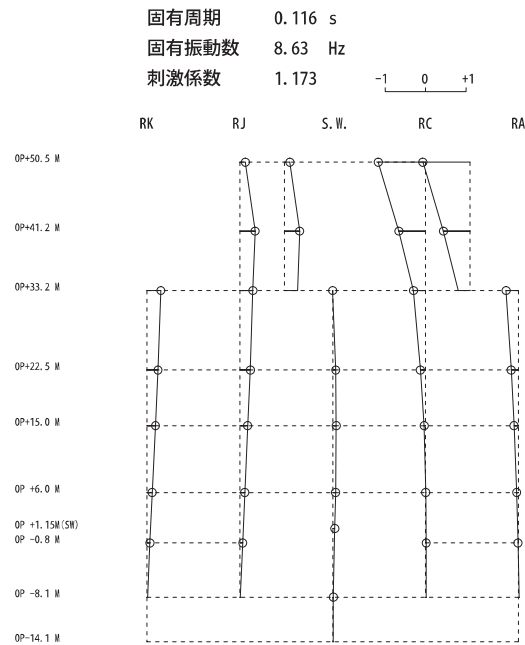


側面地盤ばねあり (S s - D 2 地盤)

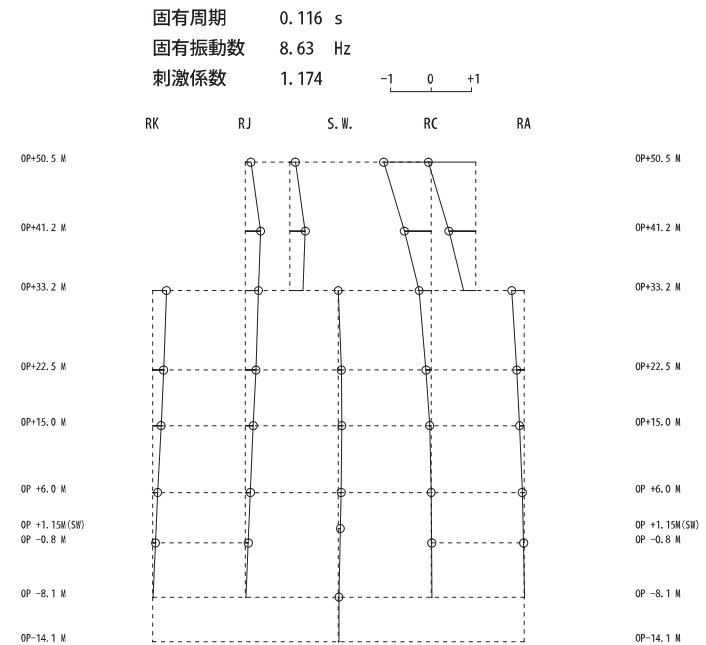
図 3-2 固有モードの比較 (NS 方向 2 次)



側面地盤ばねなし

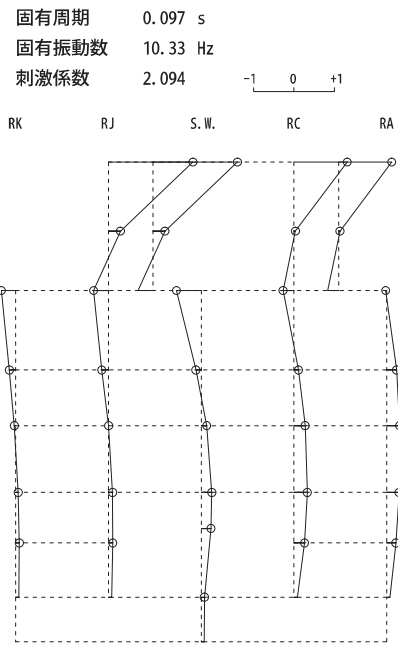


側面地盤ばねあり (S_s-D1 地盤)

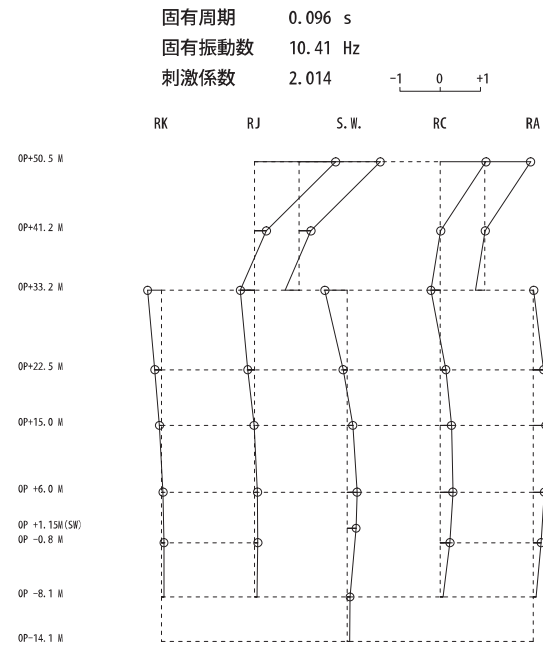


側面地盤ばねあり (S_s-D2 地盤)

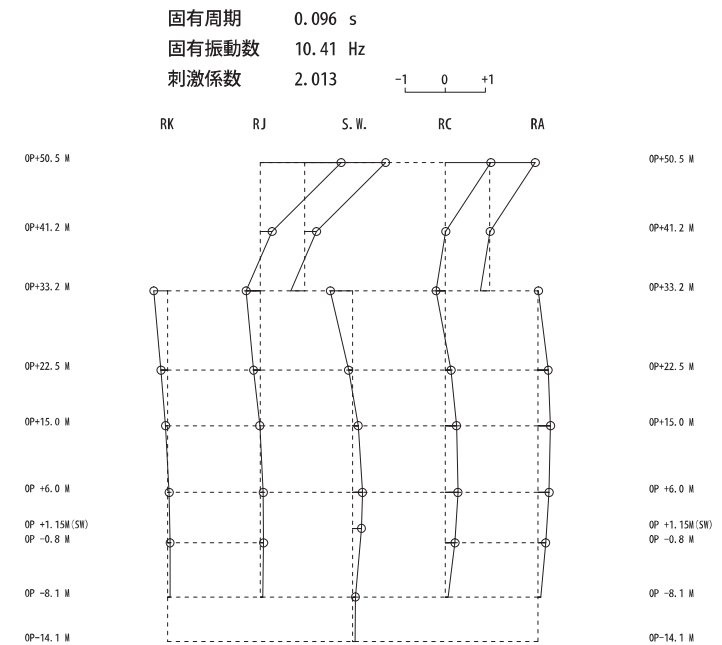
図 3-3 固有モードの比較 (NS 方向 3 次)



側面地盤ばねなし

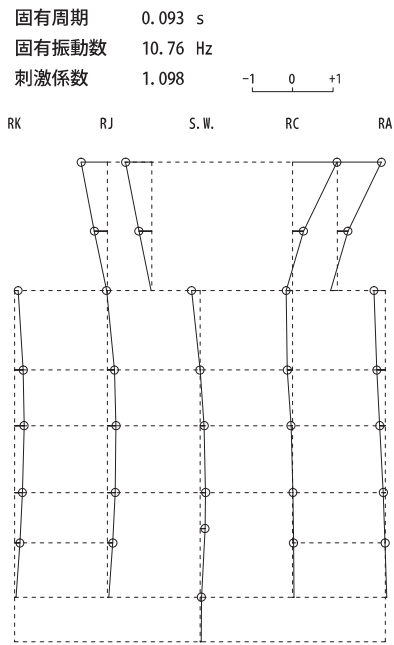


側面地盤ばねあり (S s - D 1 地盤)

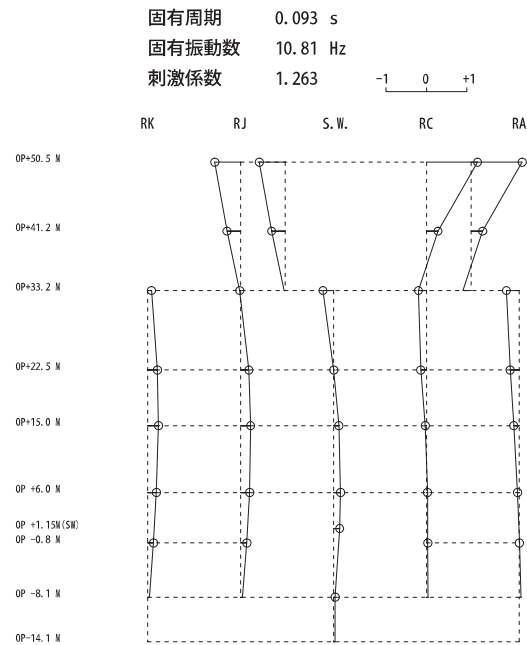


側面地盤ばねあり (S s - D 2 地盤)

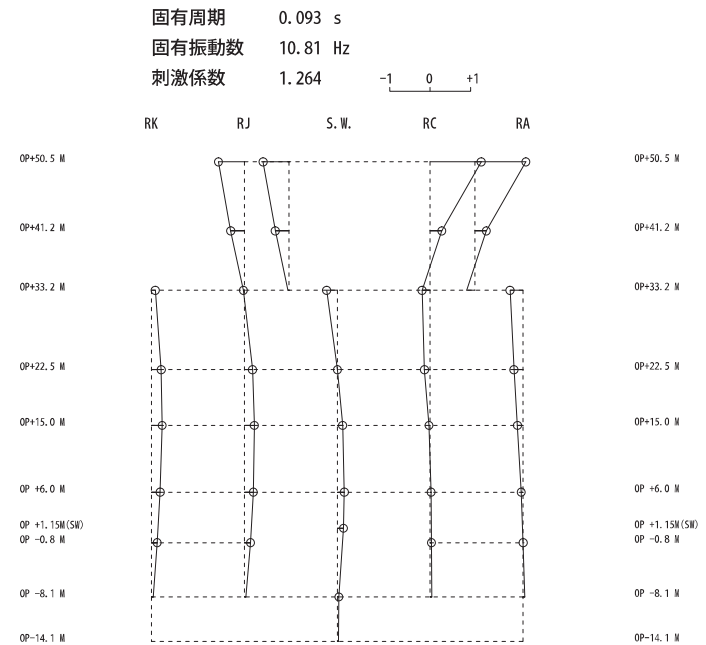
図 3-4 固有モードの比較 (NS 方向 4 次)



側面地盤ばねなし

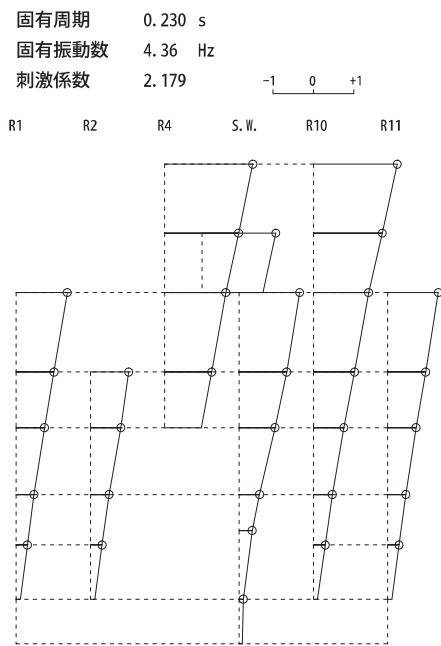


側面地盤ばねあり (S_s-D1 地盤)

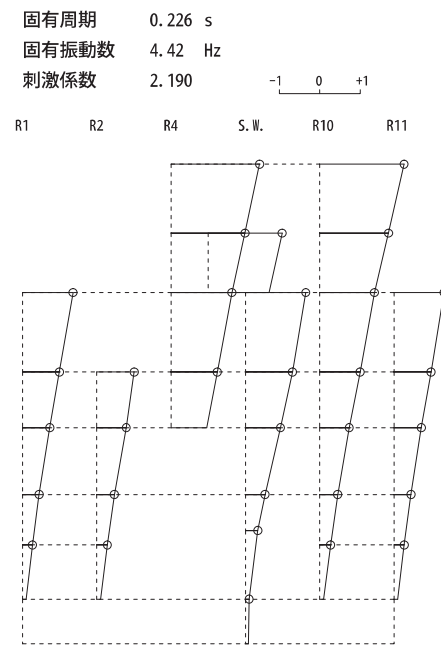


側面地盤ばねあり (S_s-D2 地盤)

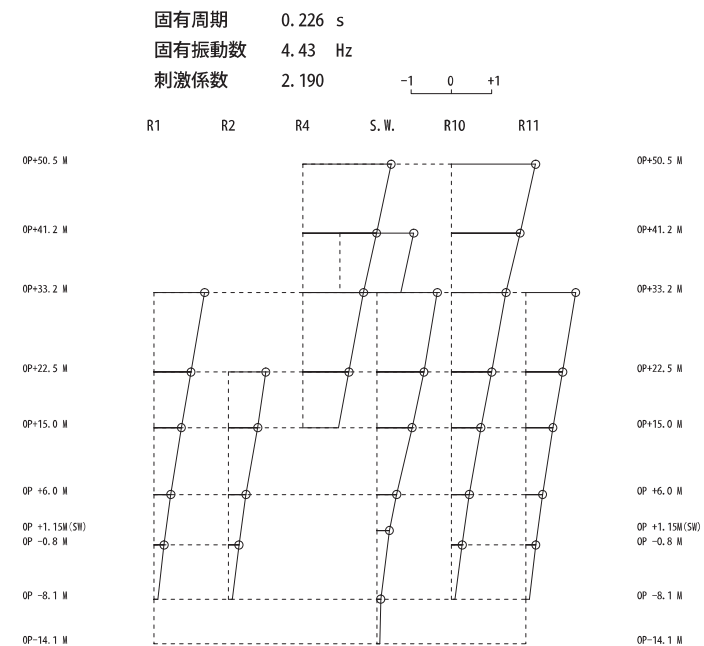
図 3-5 固有モードの比較 (NS 方向 5 次)



側面地盤ばねなし

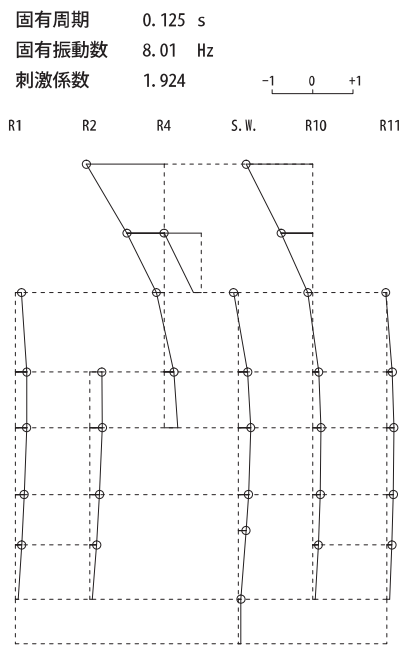


側面地盤ばねあり (S_s-D₁ 地盤)

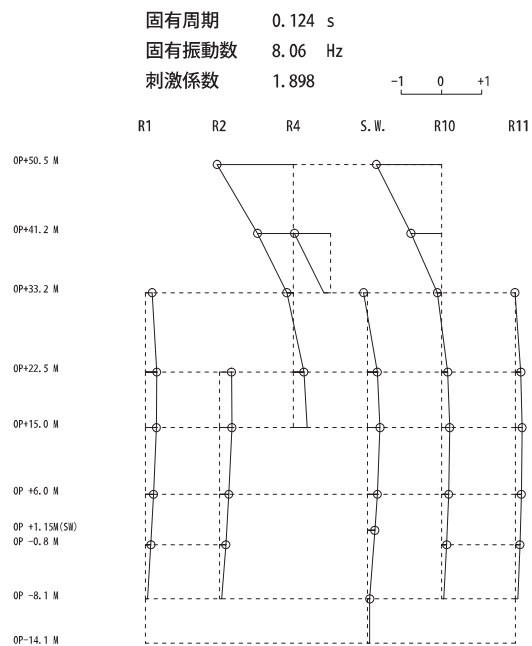


側面地盤ばねあり (S_s-D₂ 地盤)

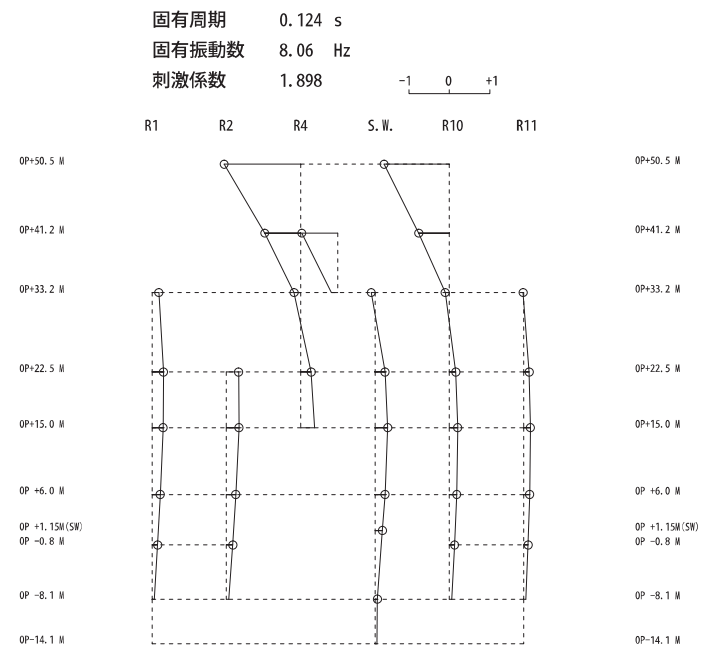
図 3-6 固有モードの比較 (EW 方向 1 次)



側面地盤ばねなし



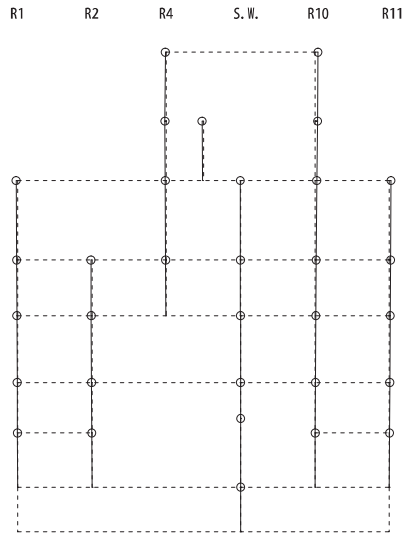
側面地盤ばねあり (S s - D 1 地盤)



側面地盤ばねあり (S s - D 2 地盤)

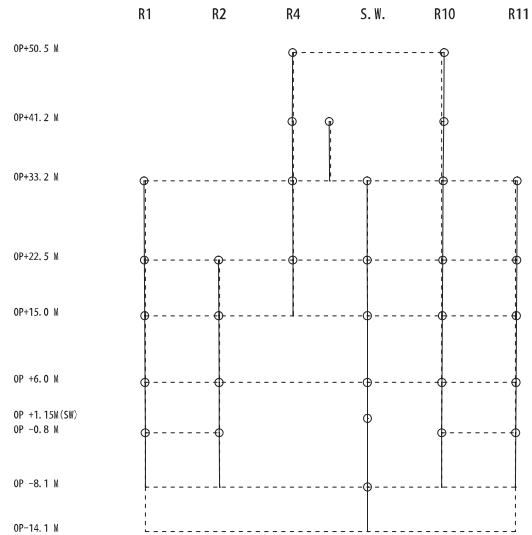
図 3-7 固有モードの比較 (EW 方向 2 次)

固有周期 0.116 s
 固有振動数 8.64 Hz
 刺激係数 0.073



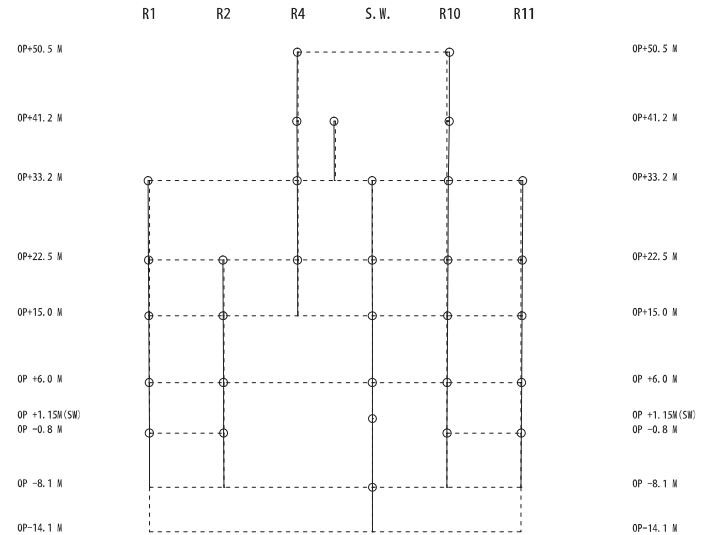
側面地盤ばねなし

固有周期 0.115 s
 固有振動数 8.67 Hz
 刺激係数 0.068



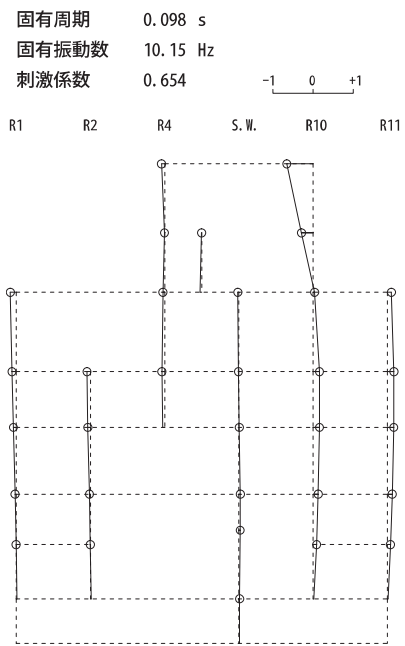
側面地盤ばねあり (S_s-D1 地盤)

固有周期 0.115 s
 固有振動数 8.67 Hz
 刺激係数 0.068

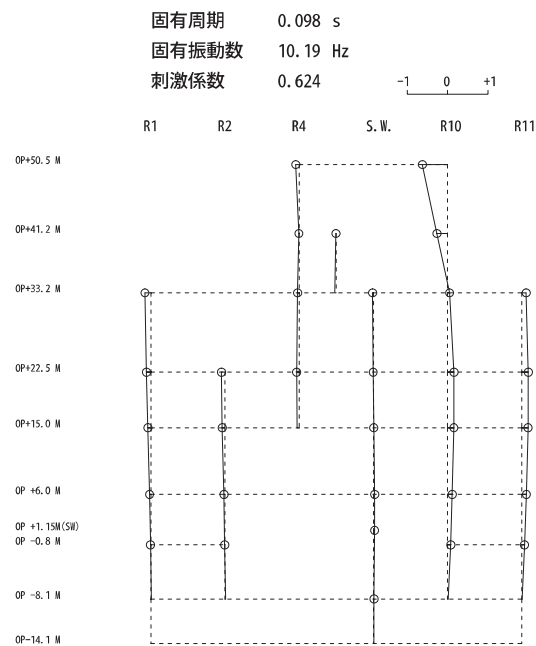


側面地盤ばねあり (S_s-D2 地盤)

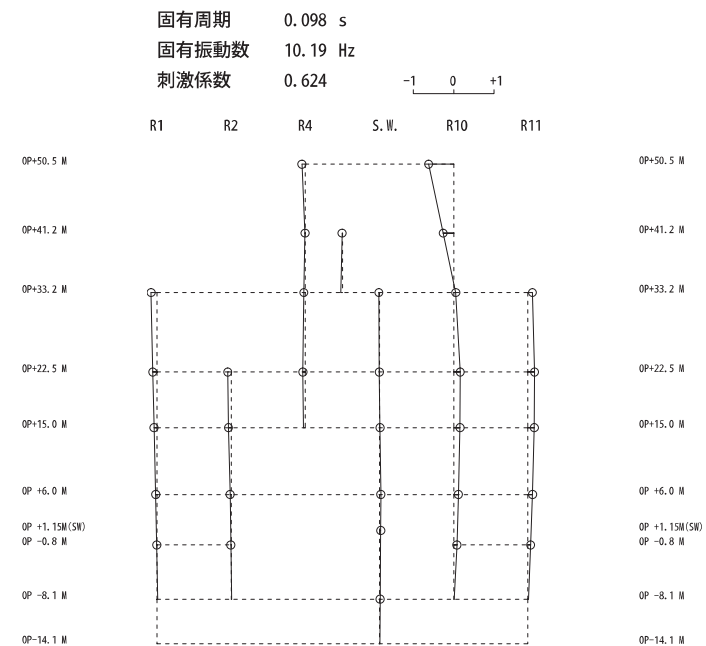
図 3-8 固有モードの比較 (EW 方向 3 次)



側面地盤ばねなし

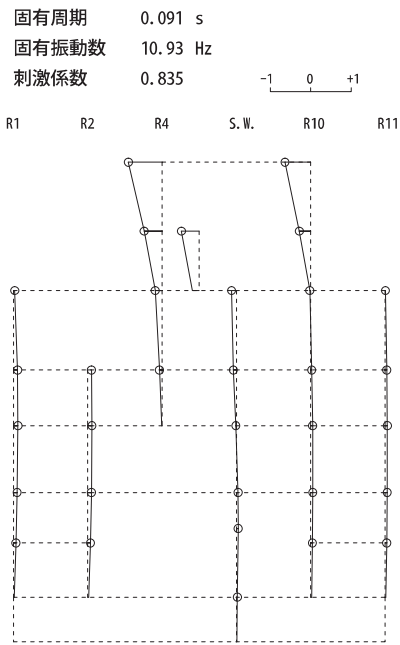


側面地盤ばねあり (S s - D 1 地盤)

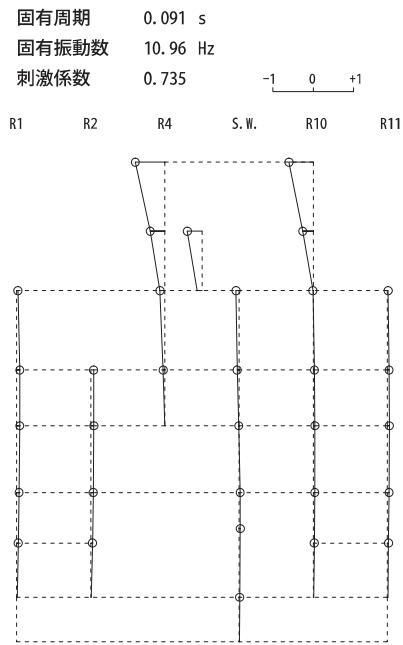


側面地盤ばねあり (S s - D 2 地盤)

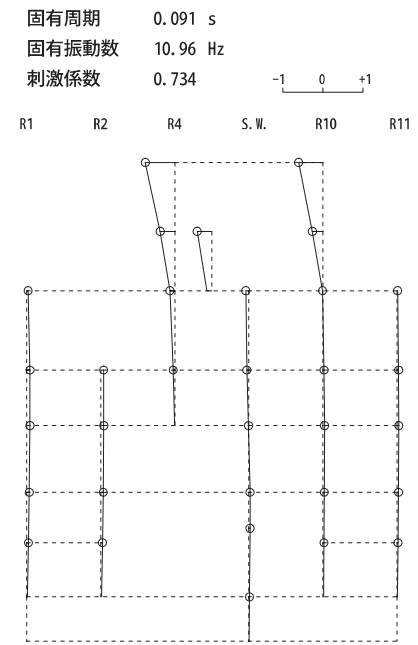
図 3-9 固有モードの比較 (EW 方向 4 次)



側面地盤ばねなし



側面地盤ばねあり (S_s-D1 地盤)



側面地盤ばねあり (S_s-D2 地盤)

図 3-10 固有モードの比較 (EW 方向 5 次)

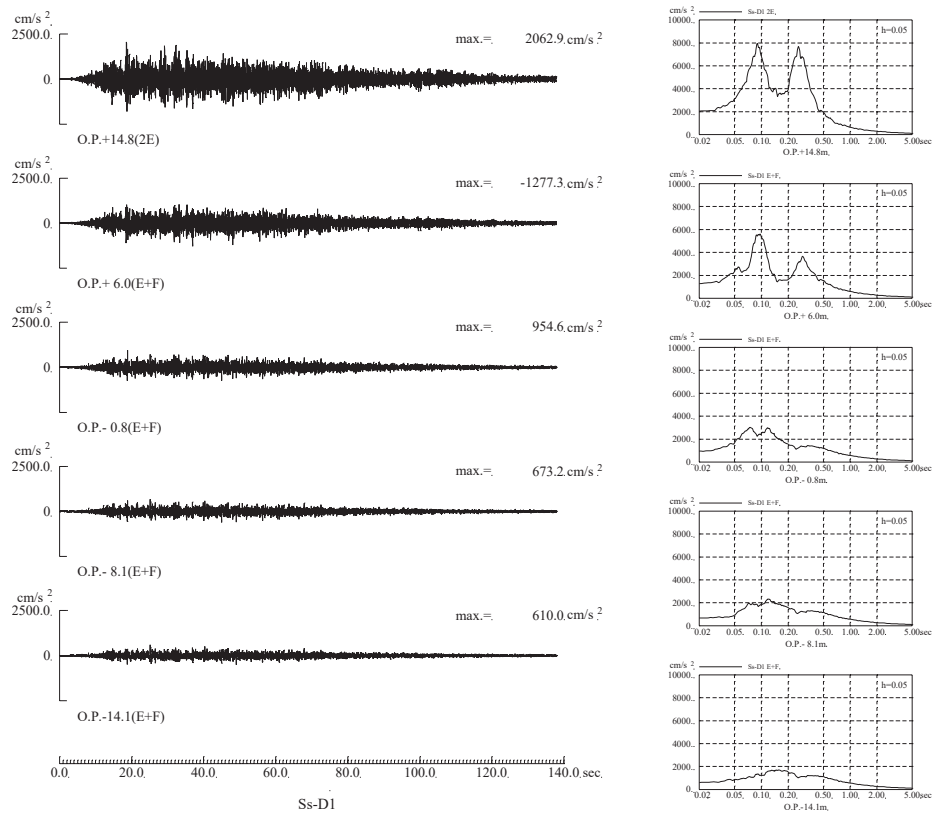


図 3-11 側面地盤ばね位置の地盤の加速度波形 (基準地震動 S s - D 1)

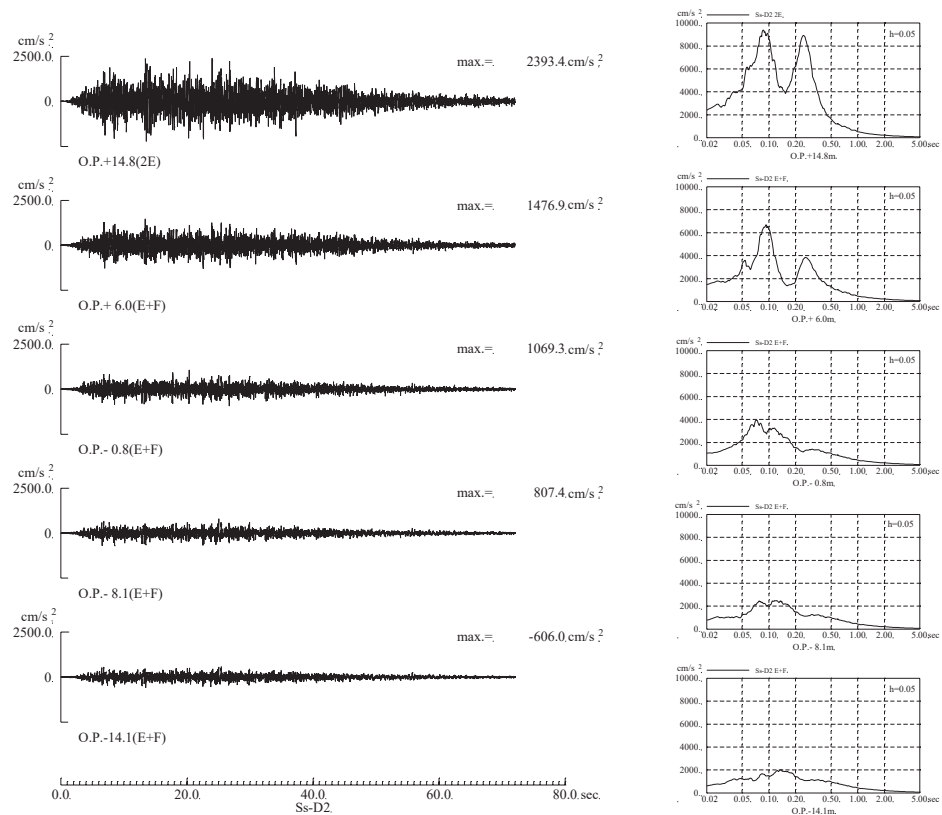


図 3-12 側面地盤ばね位置の地盤の加速度波形 (基準地震動 S s - D 2)

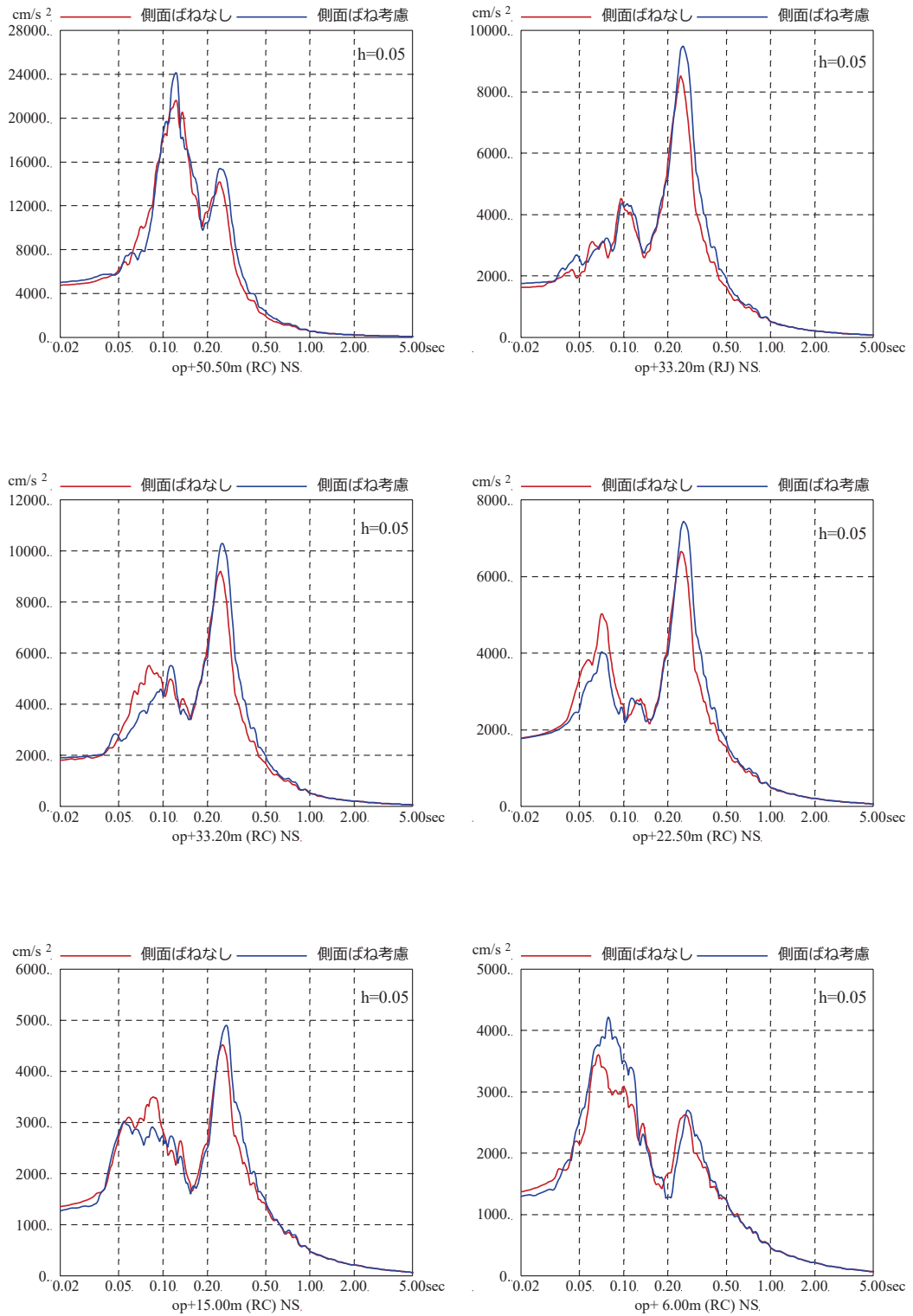


図 3-13 基準地震動 S_s-D2 を用いた側面地盤ばねの有無による地震応答解析結果の比較 (原子炉建屋, NS 方向, 減衰 5%)

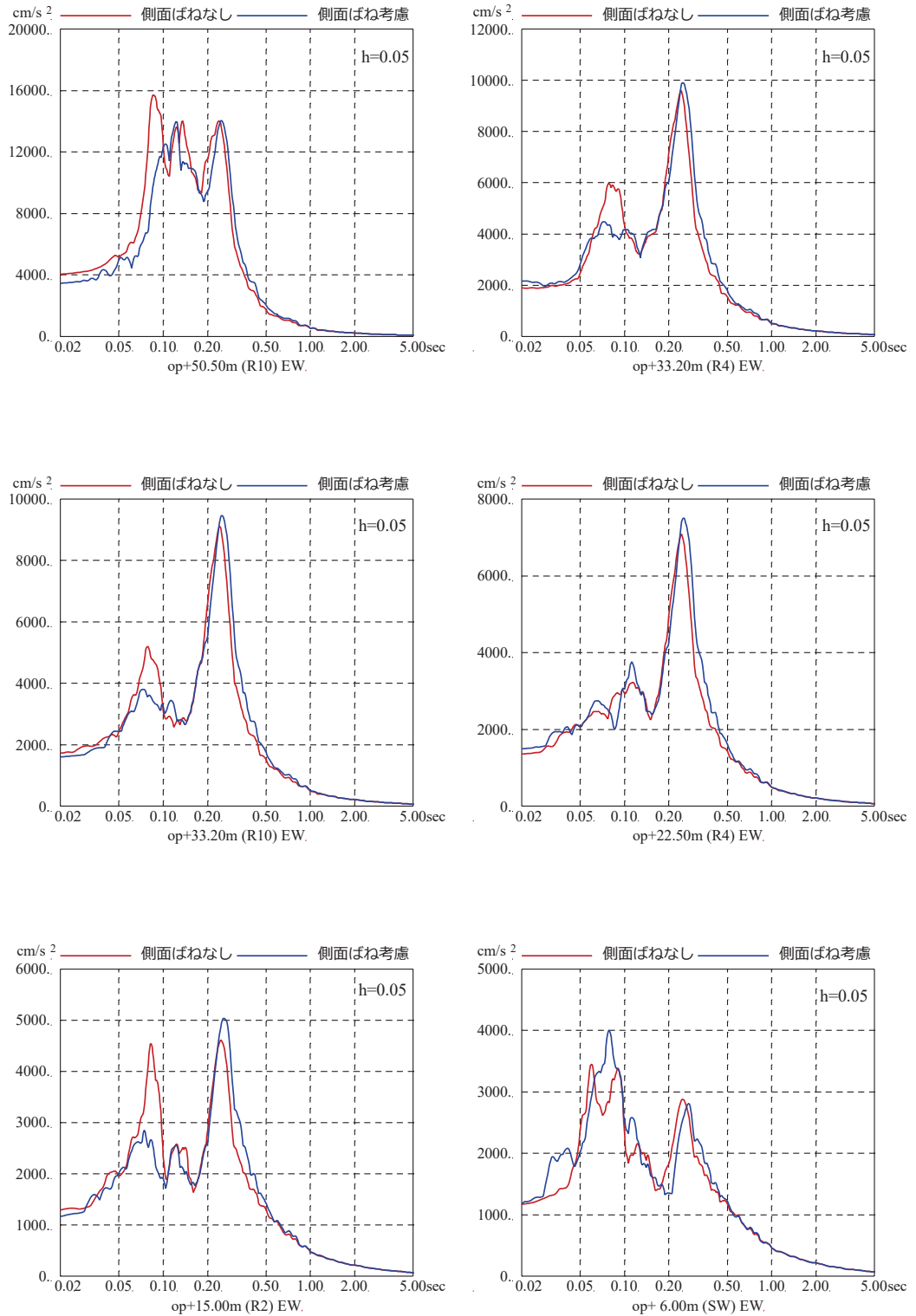


図 3-14 基準地震動 $S_s - D_2$ を用いた側面地盤ばねの有無による地震応答解析結果の比較 (原子炉建屋, EW 方向, 減衰 5%)

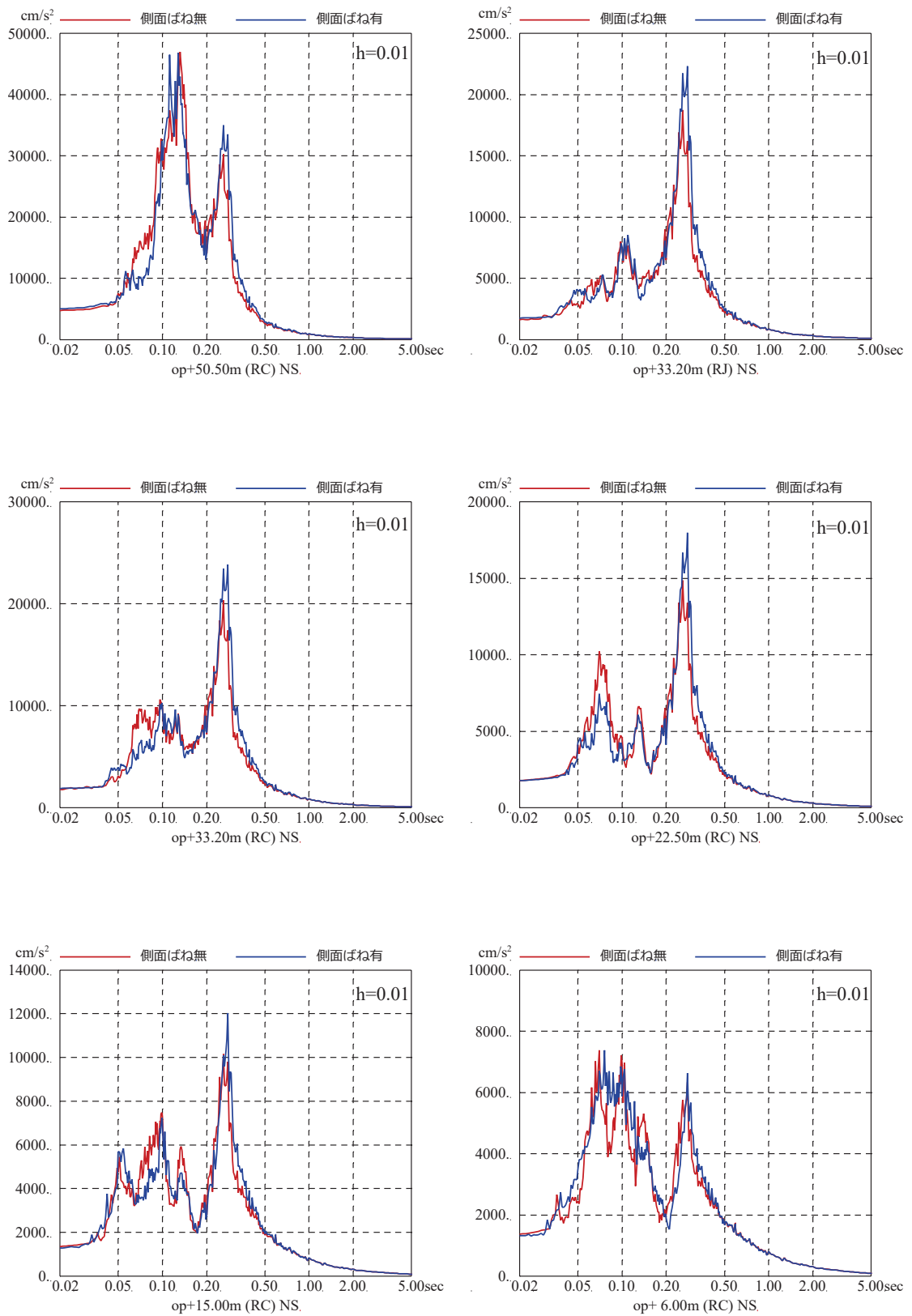


図 3-15 基準地震動 $S_s - D_2$ を用いた側面地盤ばねの有無による地震応答解析結果の比較 (原子炉建屋, NS 方向, 減衰 1%)

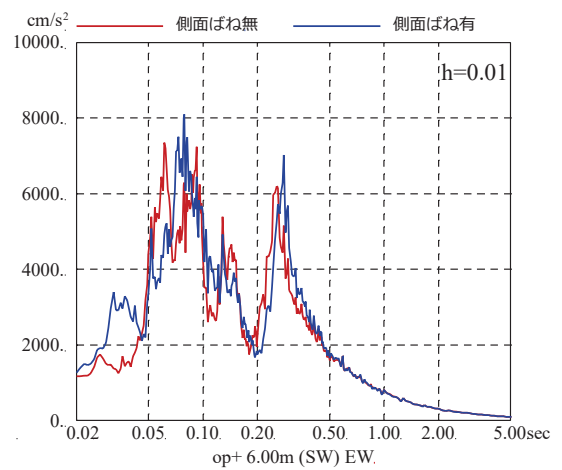
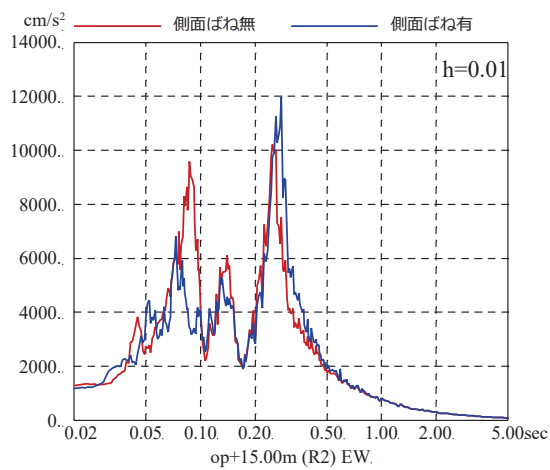
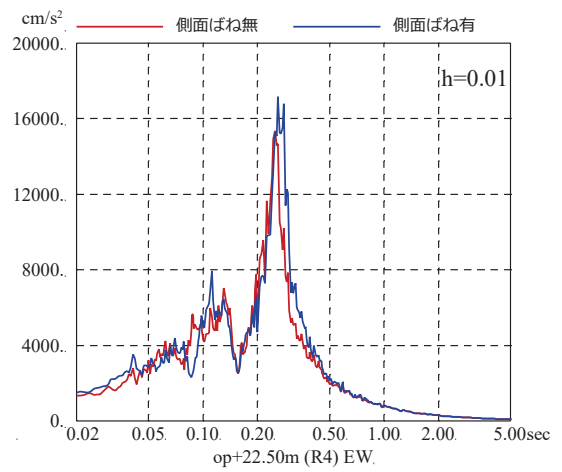
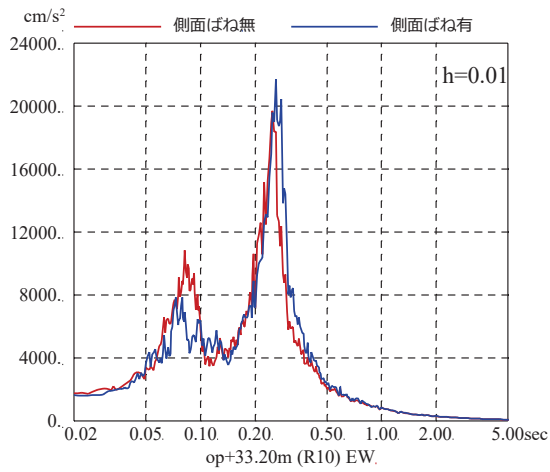
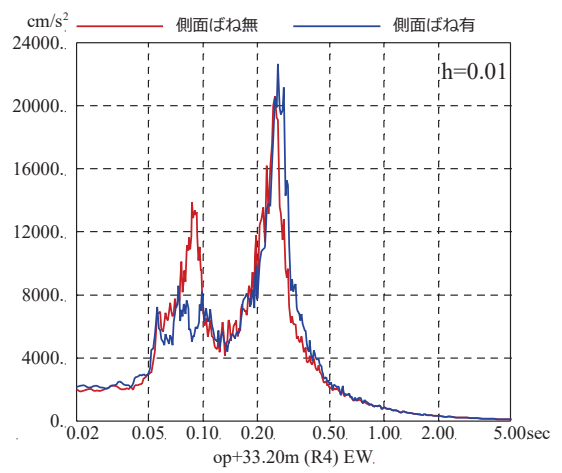
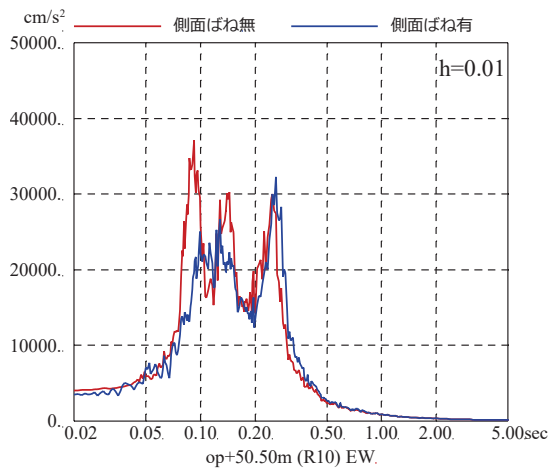


図 3-16 基準地震動 S_s-D₂ を用いた側面地盤ばねの有無による地震応答解析結果の比較 (原子炉建屋, EW 方向, 減衰 1%)

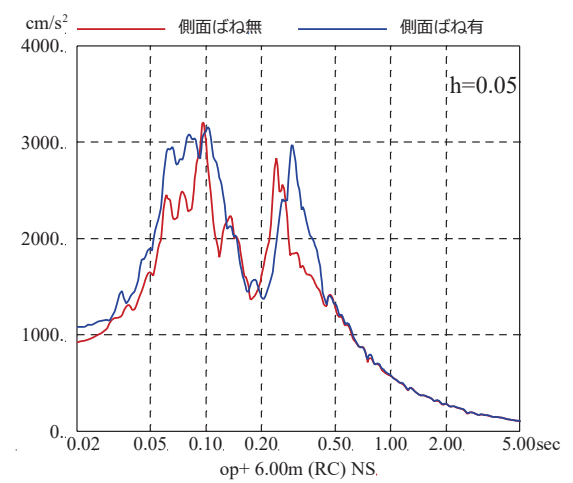
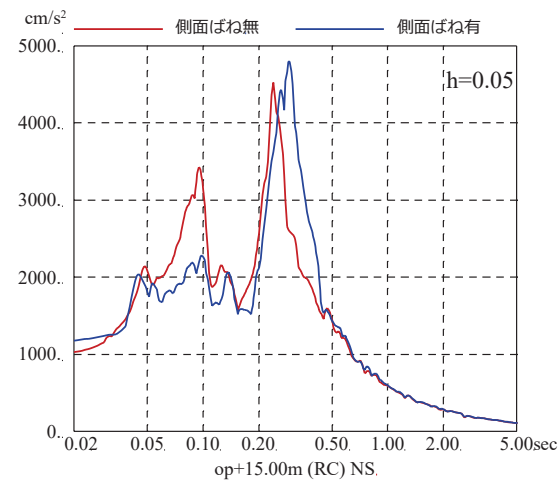
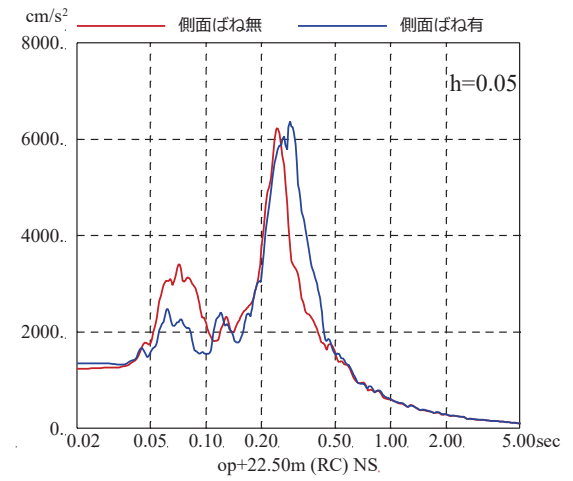
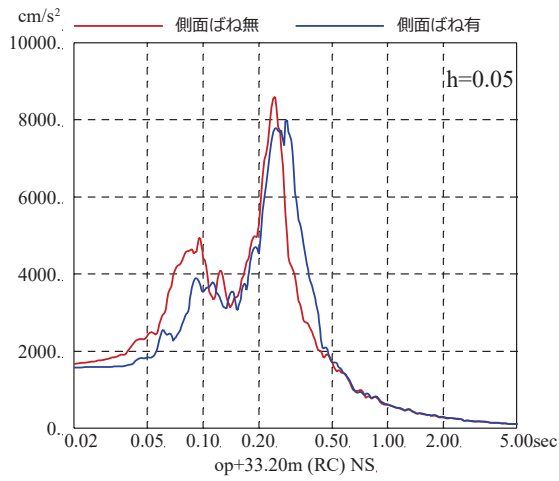
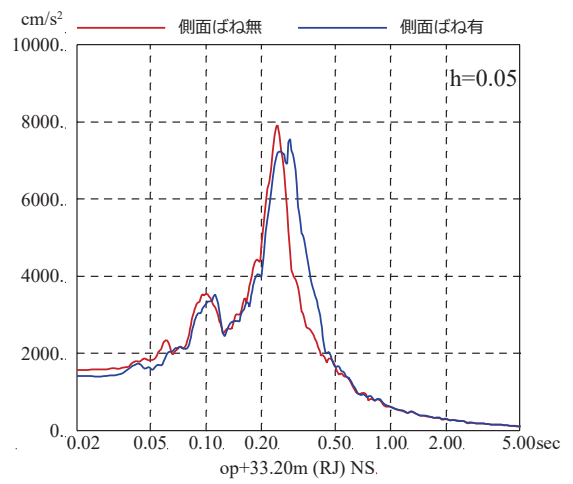
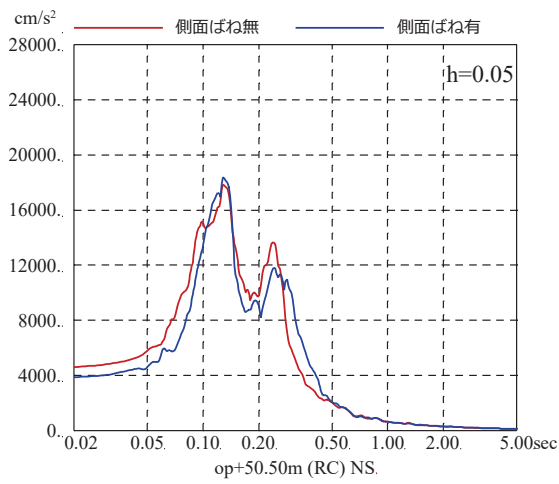


図 3-17 基準地震動 S s - D 1 を用いた側面地盤ばねの有無による地震応答解析結果の比較 (原子炉建屋, NS 方向, 減衰 5%)

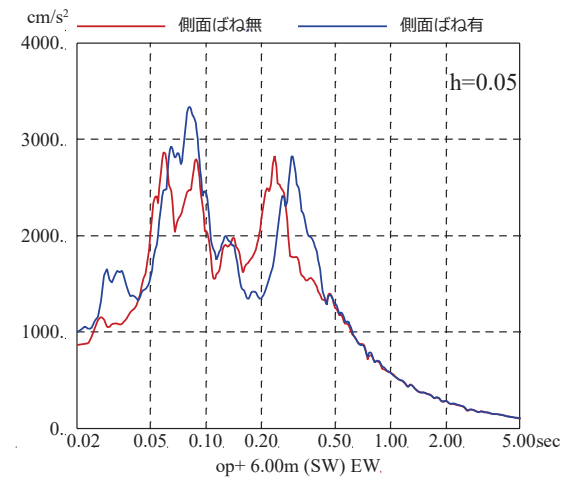
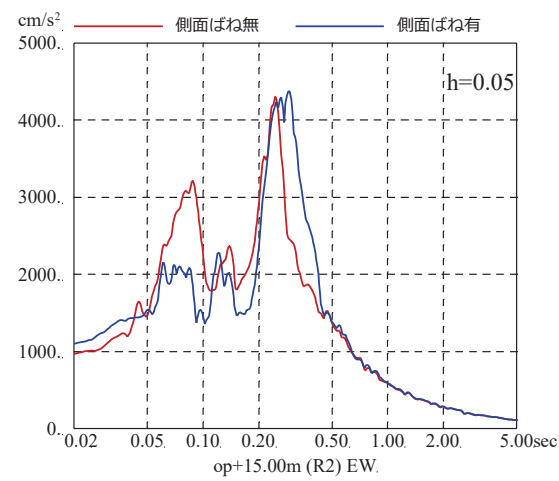
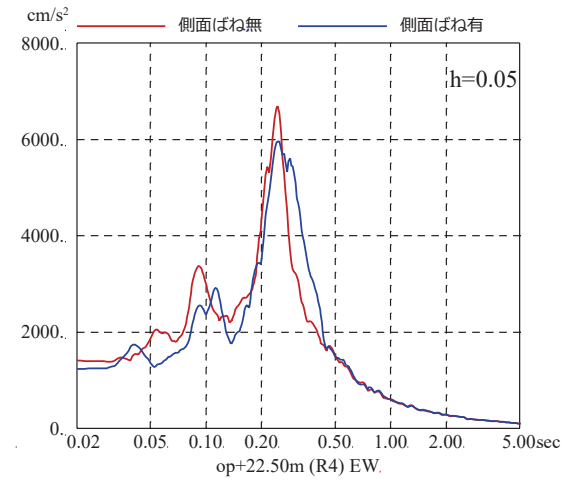
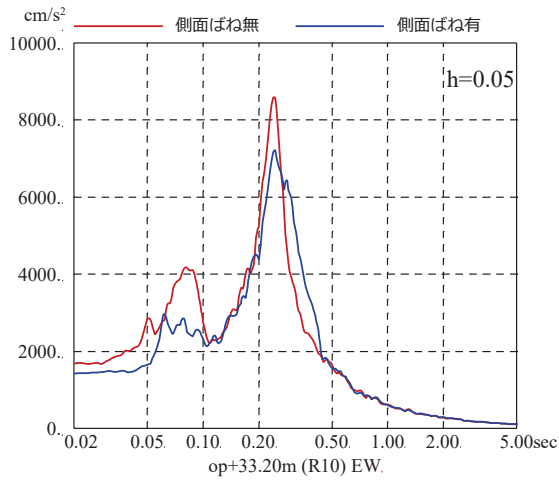
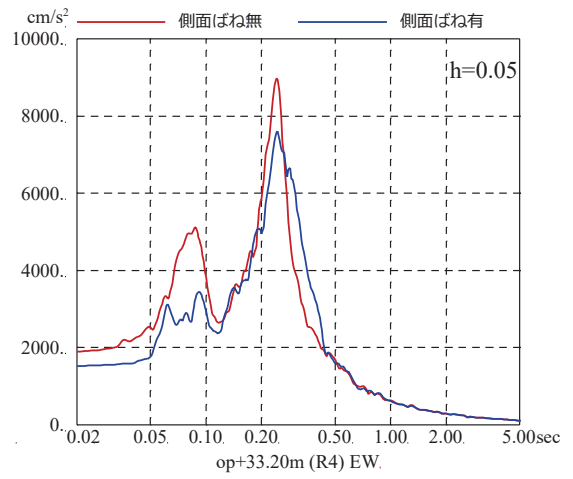
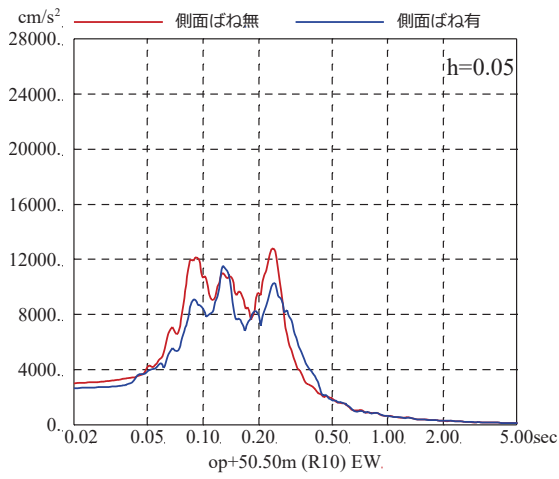


図 3-18 基準地震動 S s - D 1 を用いた側面地盤ばねの有無による地震応答解析結果の比較 (原子炉建屋, EW 方向, 減衰 5%)

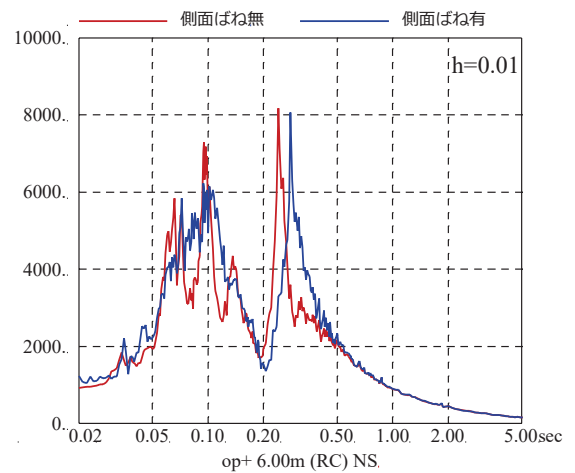
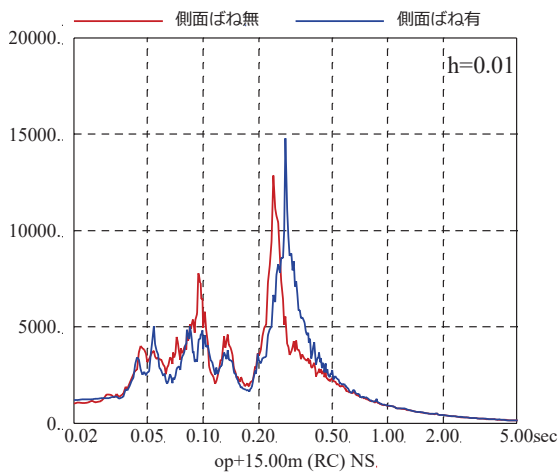
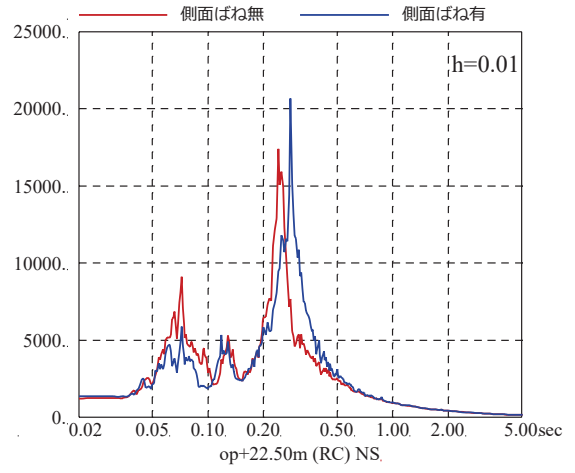
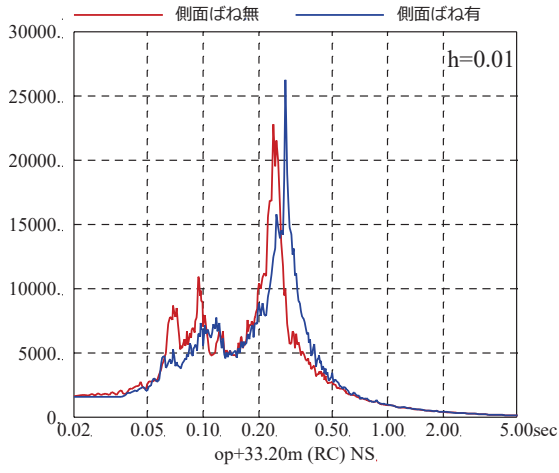
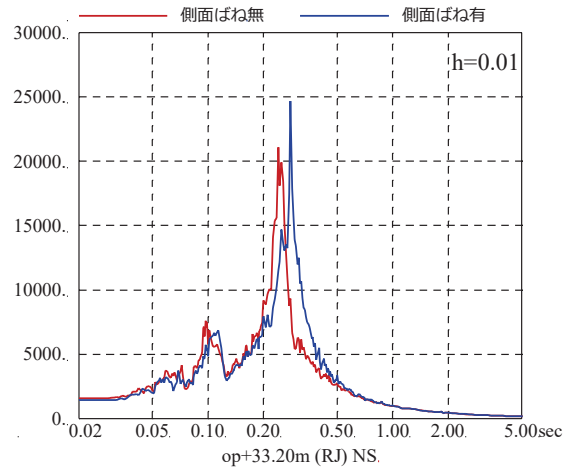
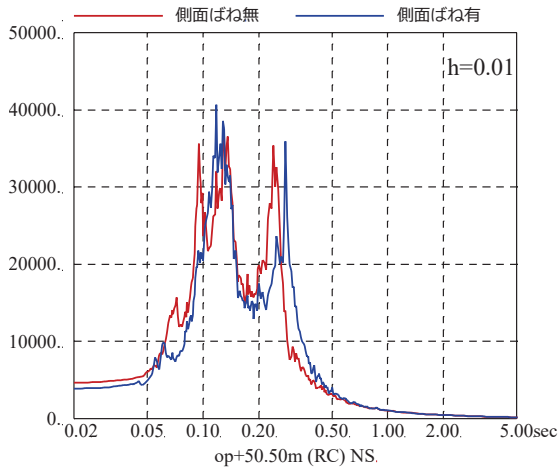


図 3-19 基準地震動 S_s-D 1 を用いた側面地盤ばねの有無による地震応答解析結果の比較 (原子炉建屋, NS 方向, 減衰 1%)

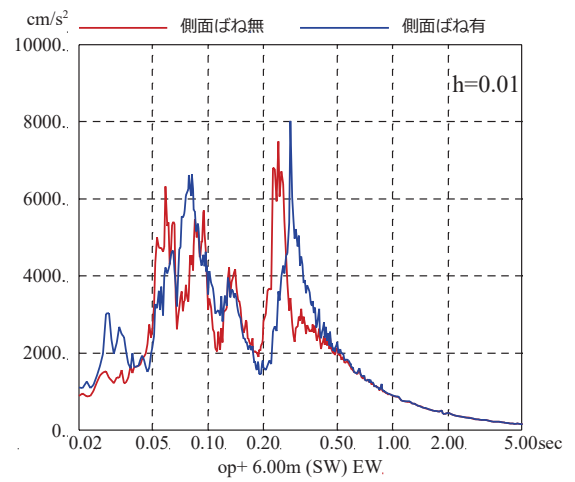
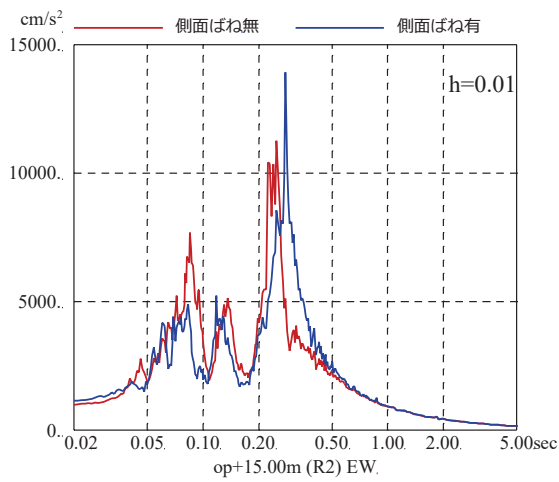
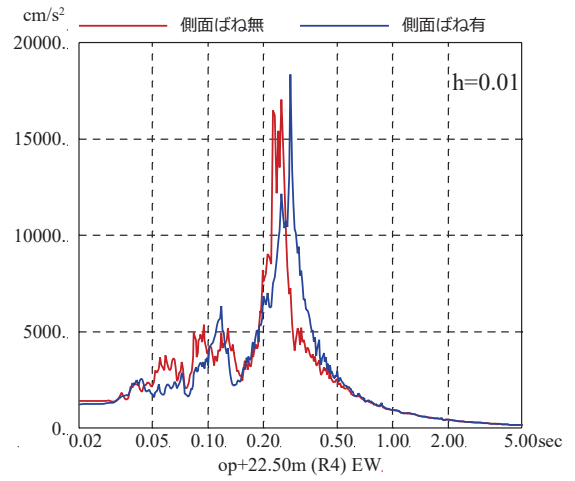
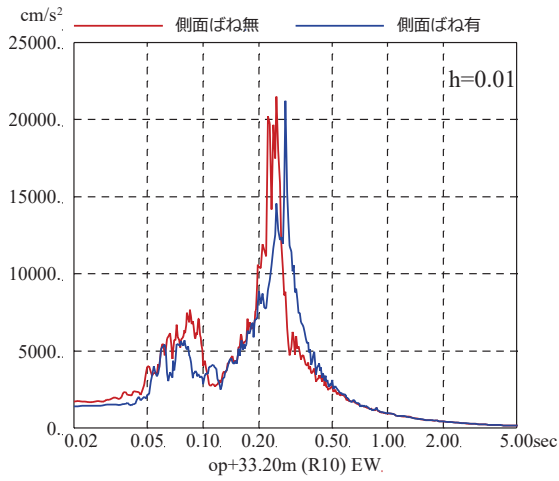
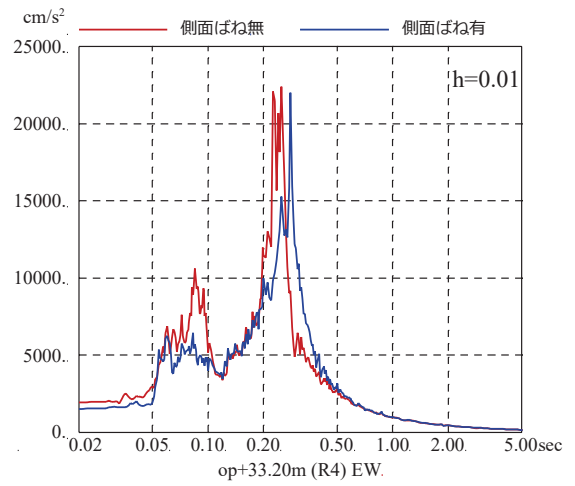
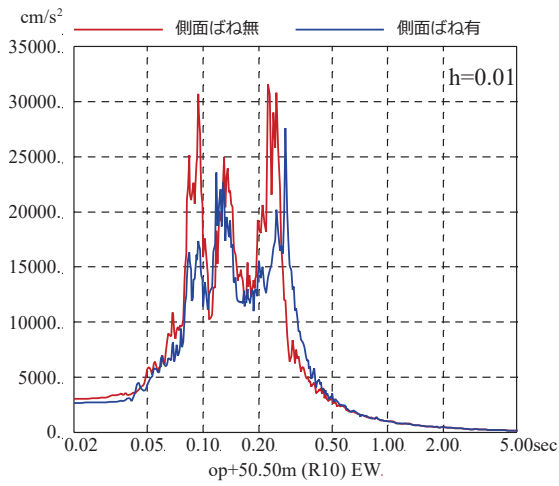


図 3-20 基準地震動 S s - D 1 を用いた側面地盤ばねの有無による地震応答解析結果の比較 (原子炉建屋, EW 方向, 減衰 1%)

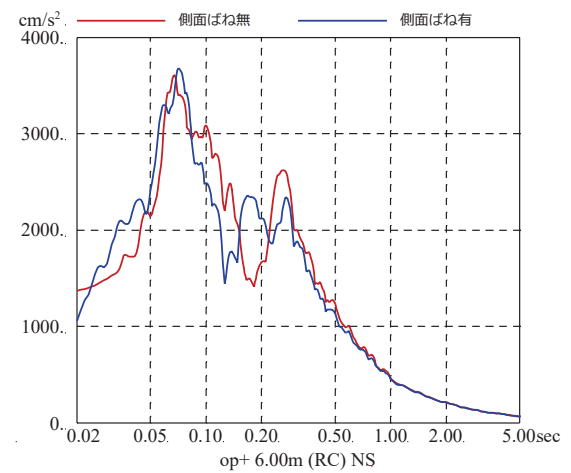
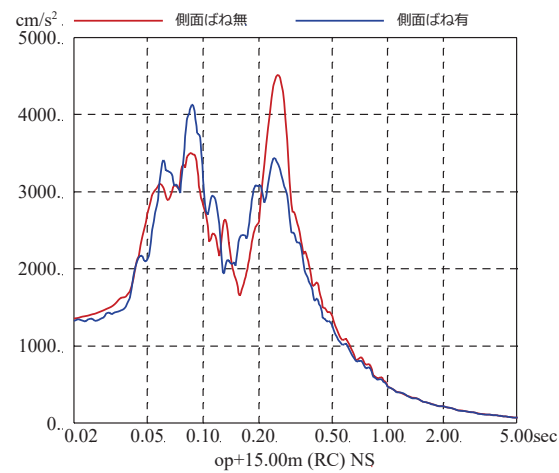
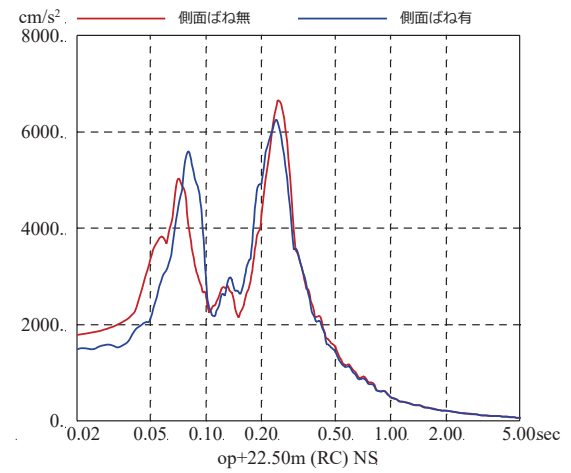
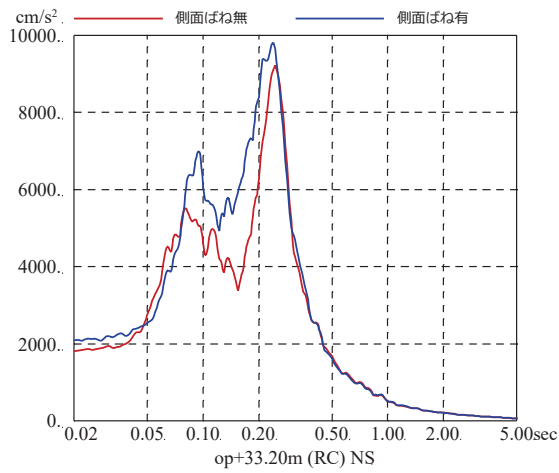
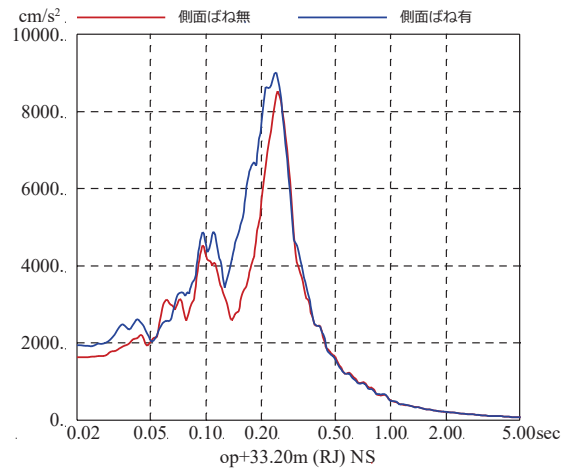
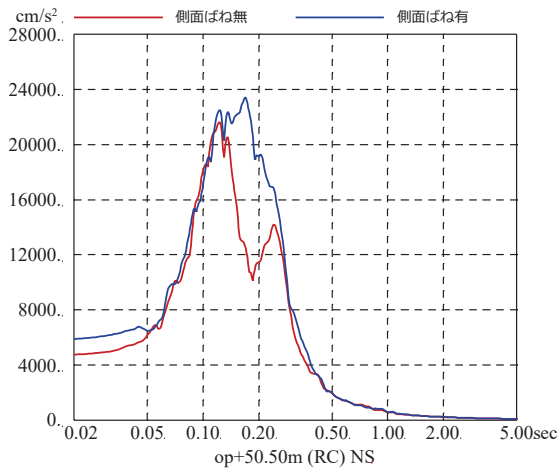


図 3-21 基準地震動 S_s-D2 を用いた側面地盤ばねの有無による地震応答解析結果の比較
 (原子炉建屋, NS 方向, 減衰 5%, 側面地盤ばねは初期物性値から算定)

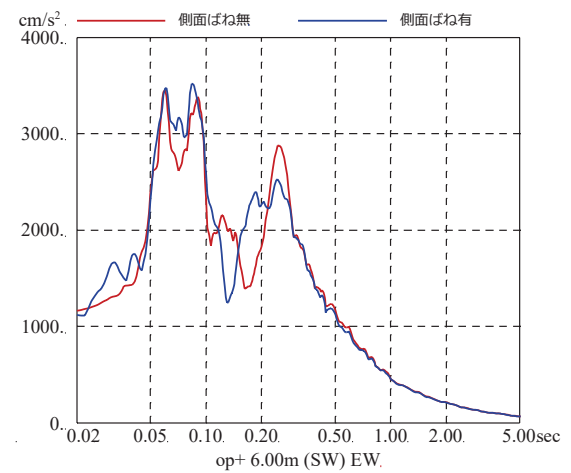
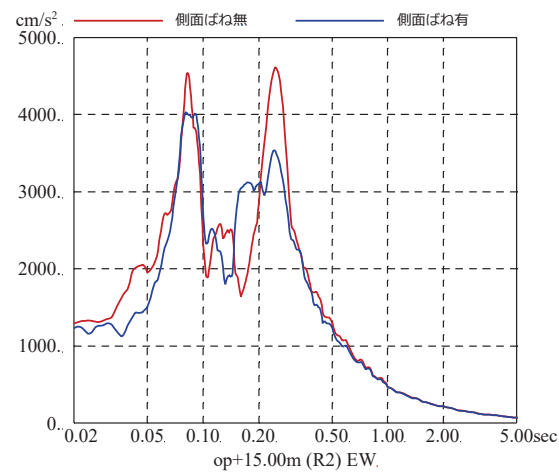
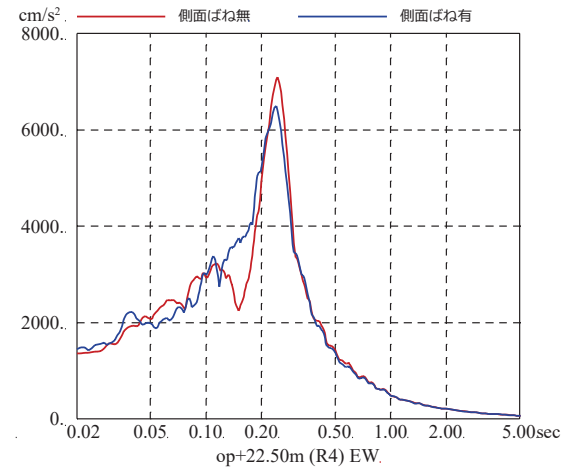
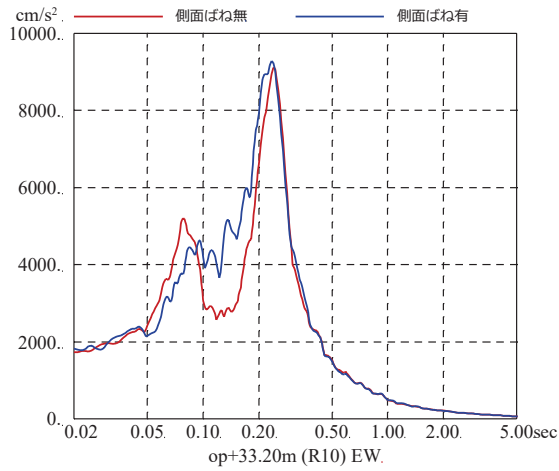
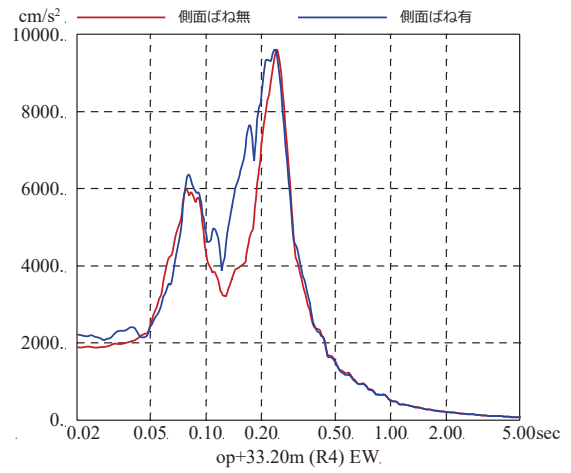
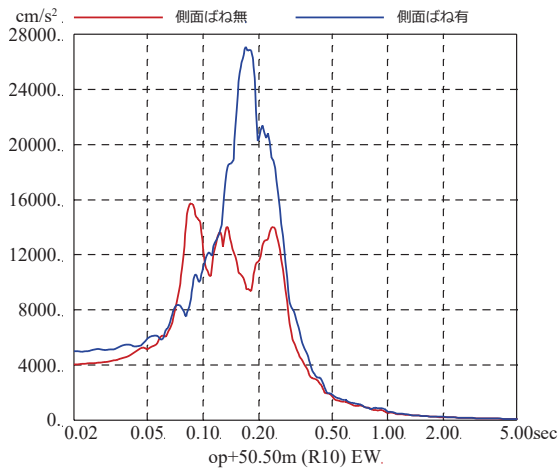


図 3-22 基準地震動 S_s-D2 を用いた側面地盤ばねの有無による地震応答解析結果の比較
 (原子炉建屋, EW 方向, 減衰 5%, 側面地盤ばねは初期物性値から算定)

別紙 17 表層地盤の影響を考慮した入力地震動が建屋応答へ与える
影響

目 次

1. 検討目的..... 別紙 17-1
2. 検討方法..... 別紙 17-1
3. 検討結果..... 別紙 17-5

参考検討 地盤物性の違いによる 3.11 地震のシミュレーション結果への影響

1. 検討目的

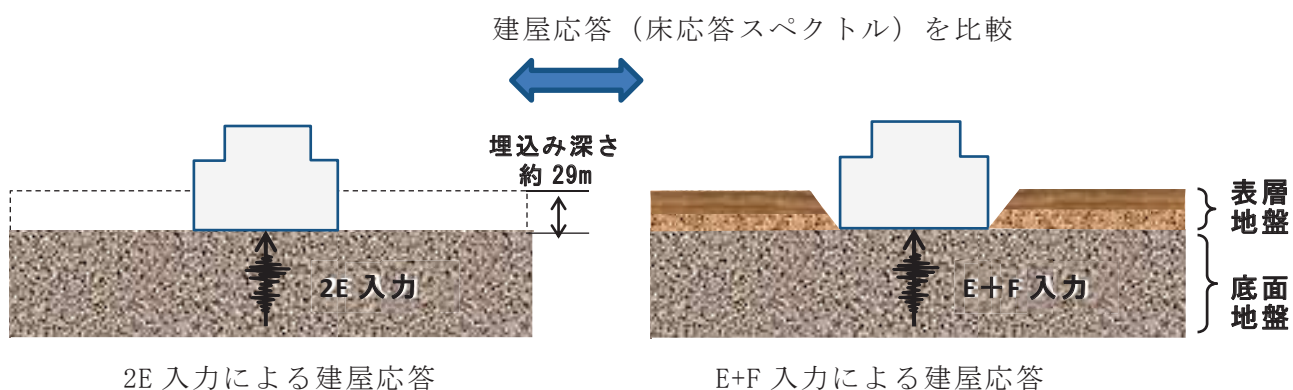
原子炉建屋の今回工認では、建屋への入力地震動を表層地盤の影響を考慮して算定する E+F 入力としている。

ここでは、基準地震動 S_s を建屋へ直接入力した場合 (2E 入力) との建屋応答の差異を確認する。

2. 検討方法

検討は、基準地震動 $S_s - D1$ 及び基準地震動 $S_s - D2$ を原子炉建屋の解析モデルに直接入力した場合 (2E 入力) と表層地盤の影響を考慮して算定した基礎版底面位置の地震動を入力した場合 (E+F 入力) の建屋の解析結果を比較することにより行う。検討概要を図 2-1 に示す。

検討に用いた地盤モデルは、5.1 項において示した入力地震動評価用地盤モデルとし、表 2-1、図 2-2、図 2-3、図 2-4 に示す。



| | 2E 入力したケース | E+F 入力したケース |
|-----------------------|--|--------------------------------------|
| 建屋 | 原子炉建屋 | |
| 地震動 | 基準地震動 $S_s - D1$ 及び $S_s - D2$ | |
| 入力地震動 | 直接入力 (2E 入力) | 基礎版底面レベルの地震動を算定し入力 (E+F 入力, 補正水平力考慮) |
| 建屋モデル (建屋剛性, 建屋減衰) | 今回工認モデル (初期剛性低下考慮, 耐震補強考慮, 建屋減衰 5%, 側面地盤ばね無し) | |
| 地盤モデル | 入力地震動評価用地盤モデル (表層地盤: 2層モデル) | |

図 2-1 入力地震動評価に関する表層地盤の影響検討の概念図

表 2-1 原子炉建屋地盤物性

| | 地層レベル O. P. (m) | 単位体積重量 γ (kN/m ³) | せん断波速度 V_s (m/s) | 減衰定数 ^{※2} h (%) |
|------|--------------------|---|-----------------------|-----------------------------|
| 表層地盤 | 14.80 | 18.6 | ※1 | 3 ^{※3} |
| | 0.00 | 23.3 | 900 ^{※4} | 3 |
| 底面地盤 | -14.10 | 23.8 | 1300 | 3 |
| | -25.00 | 24.6 | 2150 | 3 |
| | -80.00 | 25.0 | 2440 | 3 |
| | -200.0 | 25.0 | 2440 | 3 |

- ※1 O. P. 14.8m~O. P. 0m は、上載圧依存を考慮してせん断波速度と相関のある初期せん断剛性 G_0 を設定する。また、ひずみ依存による非線形特性を考慮する。
- ※2 レーリー減衰 (4Hz, 12Hz)
- ※3 ひずみ依存による非線形特性を考慮する。
- ※4 PS 検層結果と観測記録の分析より設定

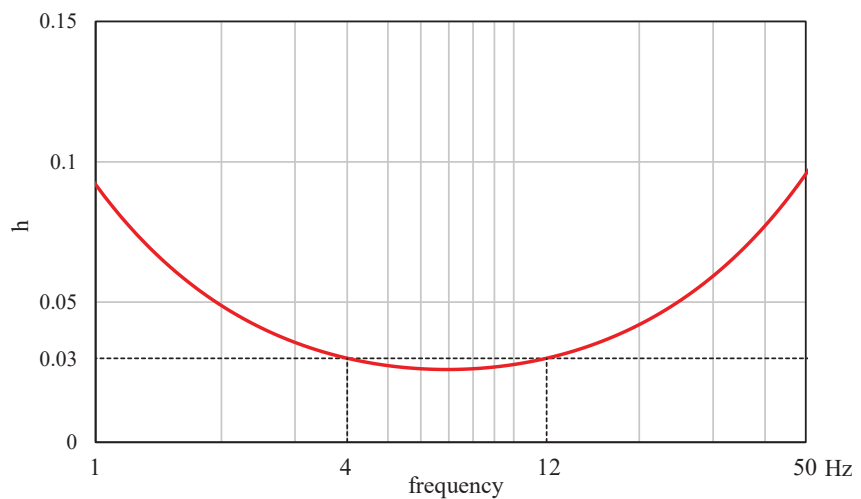


図 2-2 レーリー減衰 (4Hz, 12Hz)

O. P. 14. 8m~O. P. 0m の表層地盤には地盤調査結果に基づき、初期せん断剛性 G_0 、 $G/G_0 - \gamma$ 曲線及び $h - \gamma$ 曲線の非線形特性を設定した。

初期せん断剛性 G_0 は、PS 検層結果により (2-1) 式で設定する。

$$G_0 = 1787\sigma_c^{0.84} \quad (2-1)$$

$$\text{ここで、} \sigma_c [\text{MN/m}^2] = Z \times \rho_t \times \frac{2}{3} \quad Z: \text{深度}$$

$$\rho_t = 18.6 [\text{kN/m}^3]$$

$G/G_0 - \gamma$ 曲線は、原位置せん断試験結果による強度定数と拘束圧から求めたせん断強度 τ_m と初期せん断剛性 G_0 から、基準ひずみ γ_m を算定し (2-2) 式により求める。

$$\frac{G}{G_0} = \frac{1}{1 + \frac{\gamma}{\gamma_m}} \quad (2-2)$$

$$\text{ここで、} \gamma_m = \frac{\tau_m}{G_0}$$

$$\tau_m = \tau_0 + \sigma_{md} \tan \phi$$

$$\tau_0 [\text{N/mm}^2] = 0.1$$

$$\phi [^\circ] = 33.9$$

$$\sigma_{md} = 3/4 \times Z \times \rho_t [\text{N/mm}^2]$$

$h - \gamma$ 曲線は逐次非線形解析に用いる解析コードでは H-D モデルの関数形として $h - \gamma$ 曲線を定義する。H-D モデルの関係式を (2-3) 式に示す。

$$h = h_{\max}(1 - G/G_0) \quad (2-3)$$

h_{\max} はせん断ひずみが 0.001~0.003 程度で繰返し三軸試験結果に基づいた (2-4) 式と同程度の減衰となるように $h_{\max} = 0.24$ と設定した。

$$h = 0.183\gamma / (\gamma + 0.00026) \quad (2-4)$$

逐次非線形解析において用いた $G/G_0 - \gamma$ 曲線を図 2-3 に、 $h - \gamma$ 曲線を (2-4) 式と比較して図 2-4 に示す。

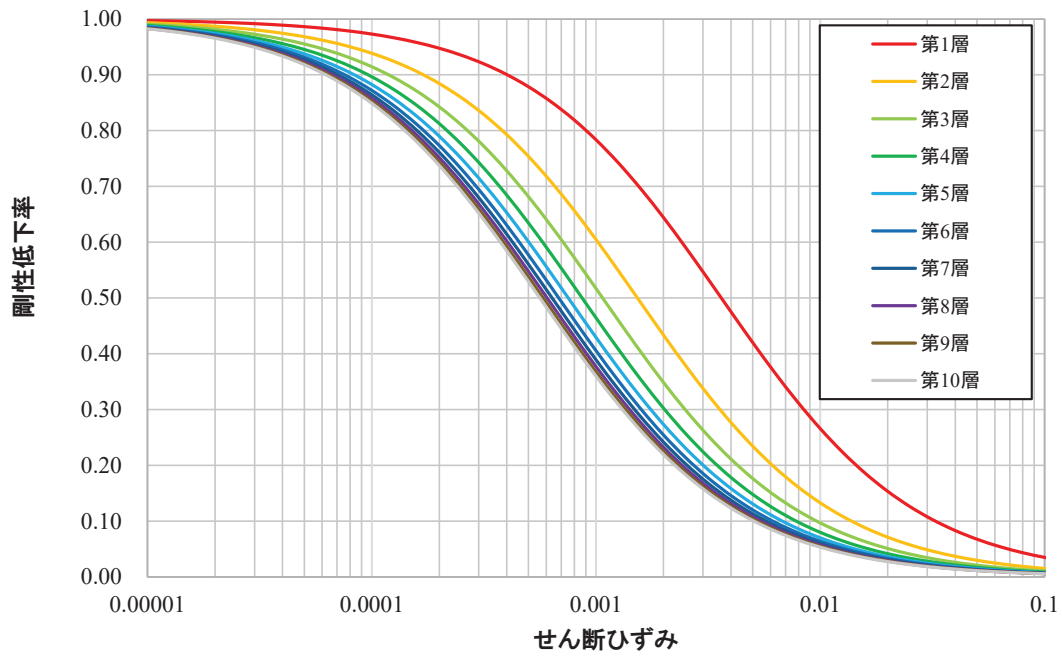


図 2-3 $G/G_0 - \gamma$ 曲線 (逐次非線形解析)

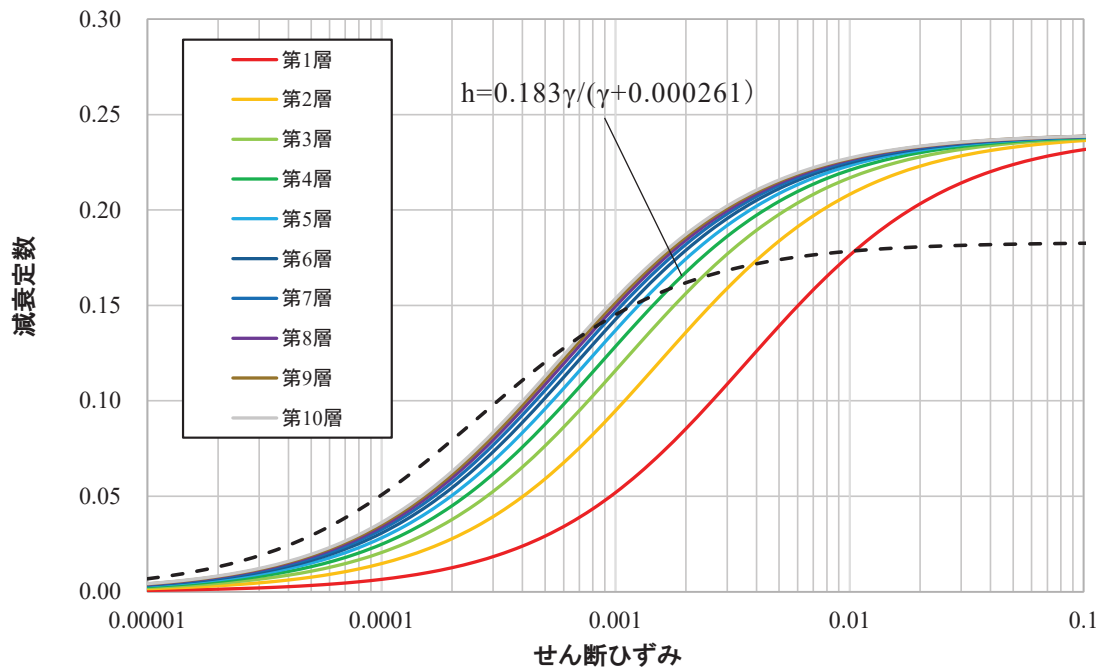


図 2-4 $h - \gamma$ 曲線 (逐次非線形解析)

3. 検討結果

基準地震動 S_s による原子炉建屋の解析結果の床応答スペクトルの比較を図 3-1～図 3-8 に示す。

検討の結果、各階の床応答スペクトルは、基準地震動 S_s を直接入力した場合（2E 入力）より表層地盤の影響を考慮して算定した地震動を入力した場合（E+F 入力）の応答値は、小さくなる傾向があり、短周期においてその傾向が顕著に見られる結果となっている。

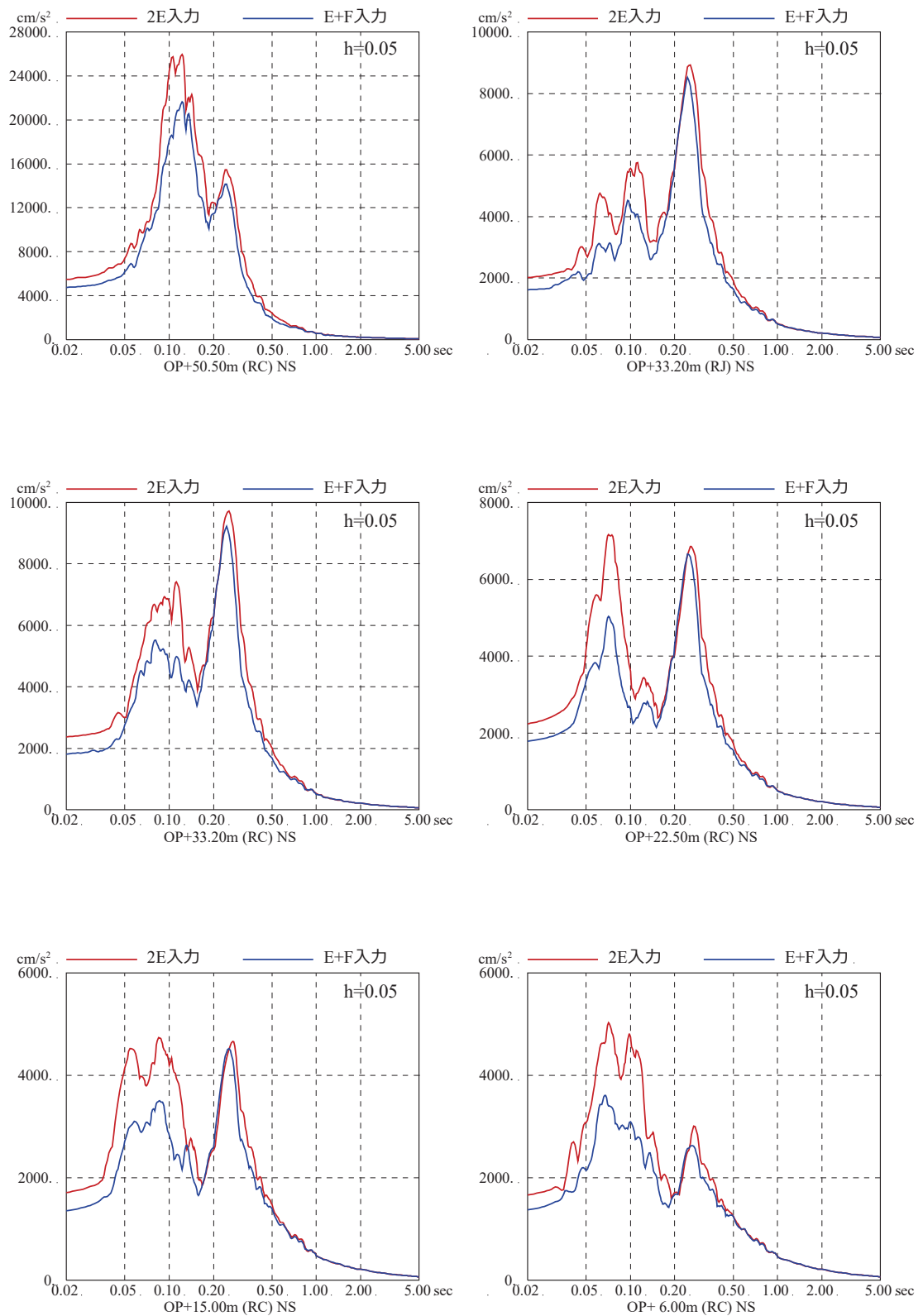


図 3-1 基準地震動 S_s-D₂ を用いた直接入力と
 表層地盤の影響を考慮した場合の建屋応答への影響
 (原子炉建屋, NS 方向, 減衰 5%)

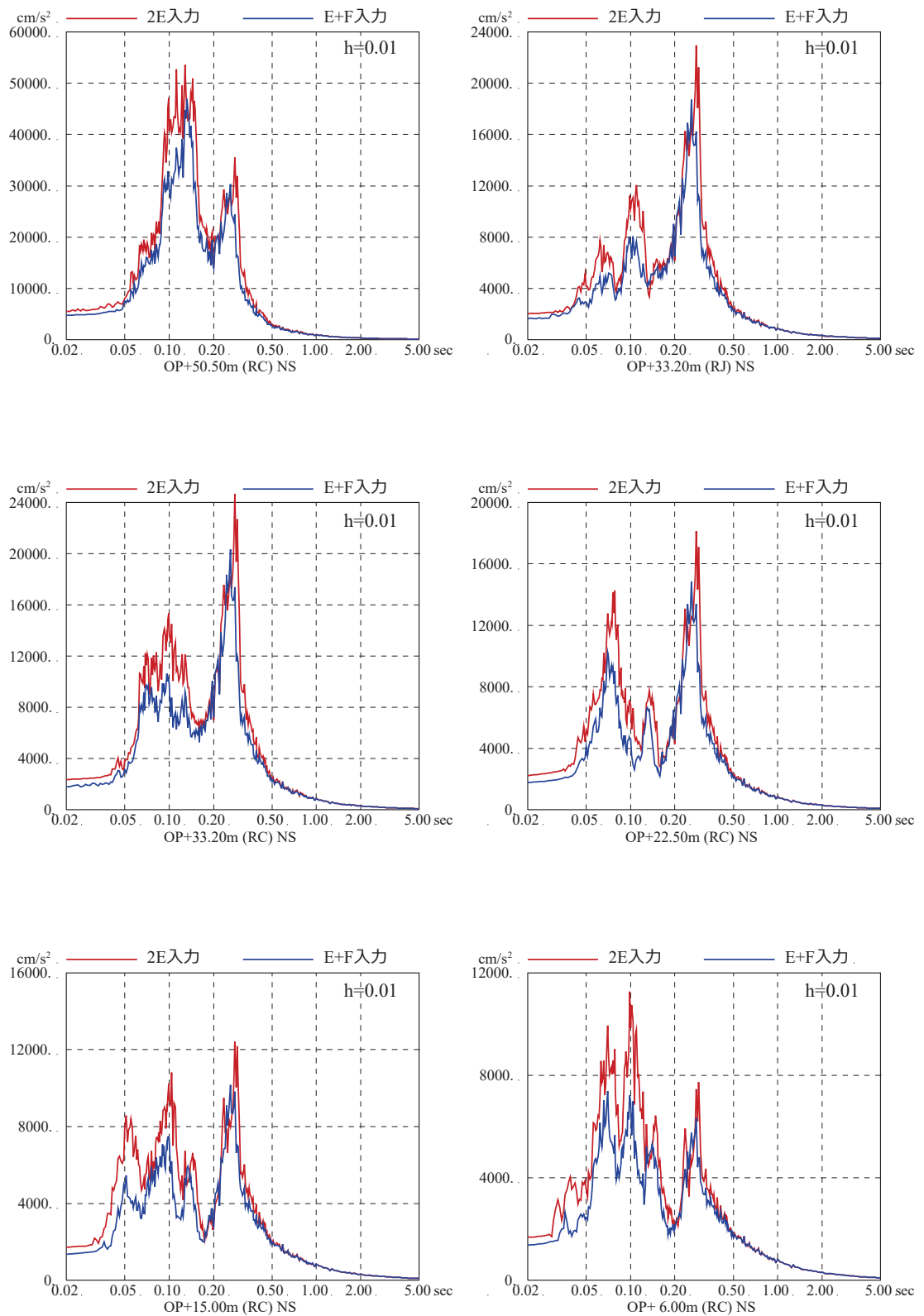


図 3-2 基準地震動 S s - D 2 を用いた直接入力と
 表層地盤の影響を考慮した場合の建屋応答への影響
 (原子炉建屋, NS 方向, 減衰 1%)

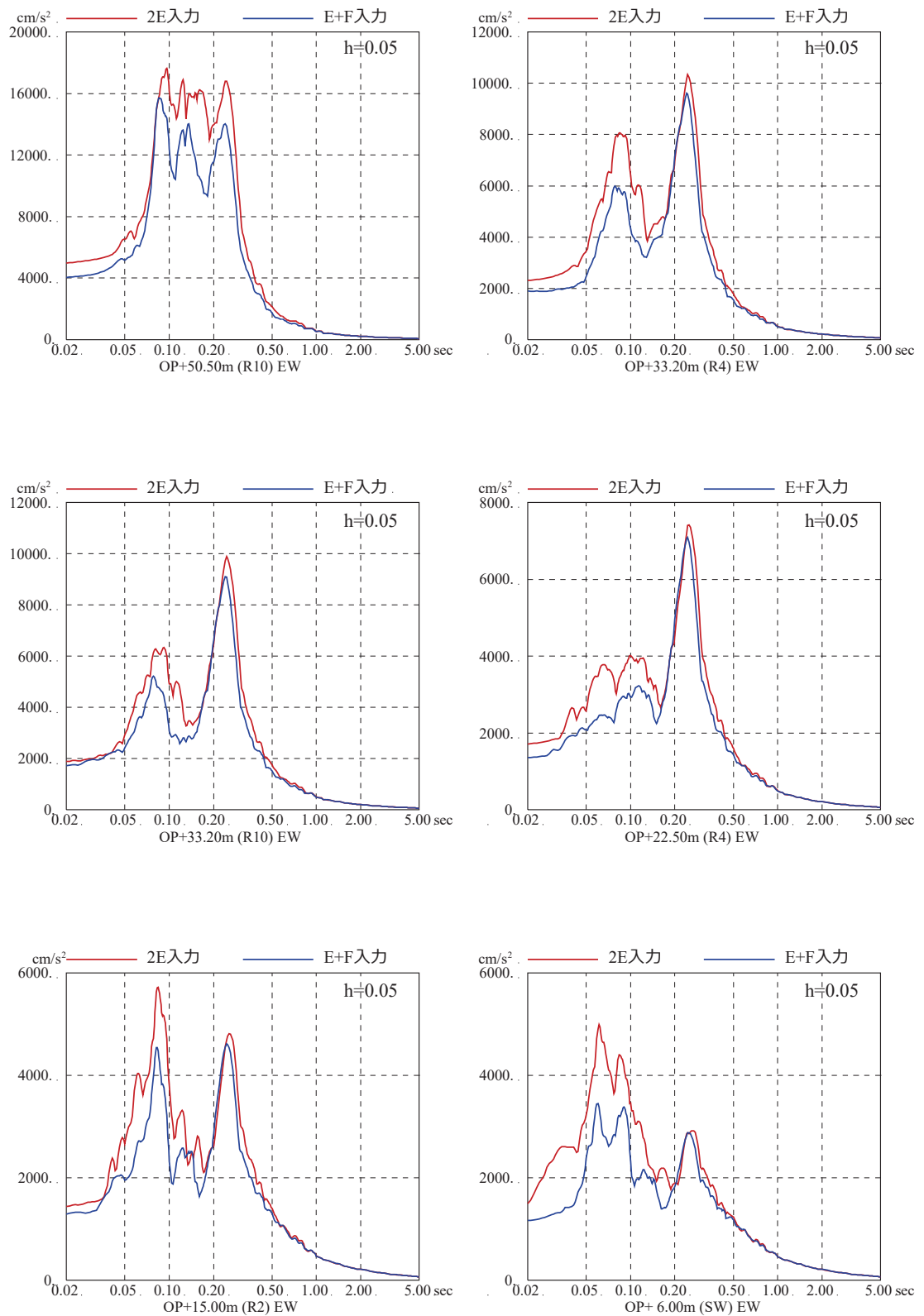


図 3-3 基準地震動 S_s-D₂ を用いた直接入力と
 表層地盤の影響を考慮した場合の建屋応答への影響
 (原子炉建屋, EW 方向, 減衰 5%)

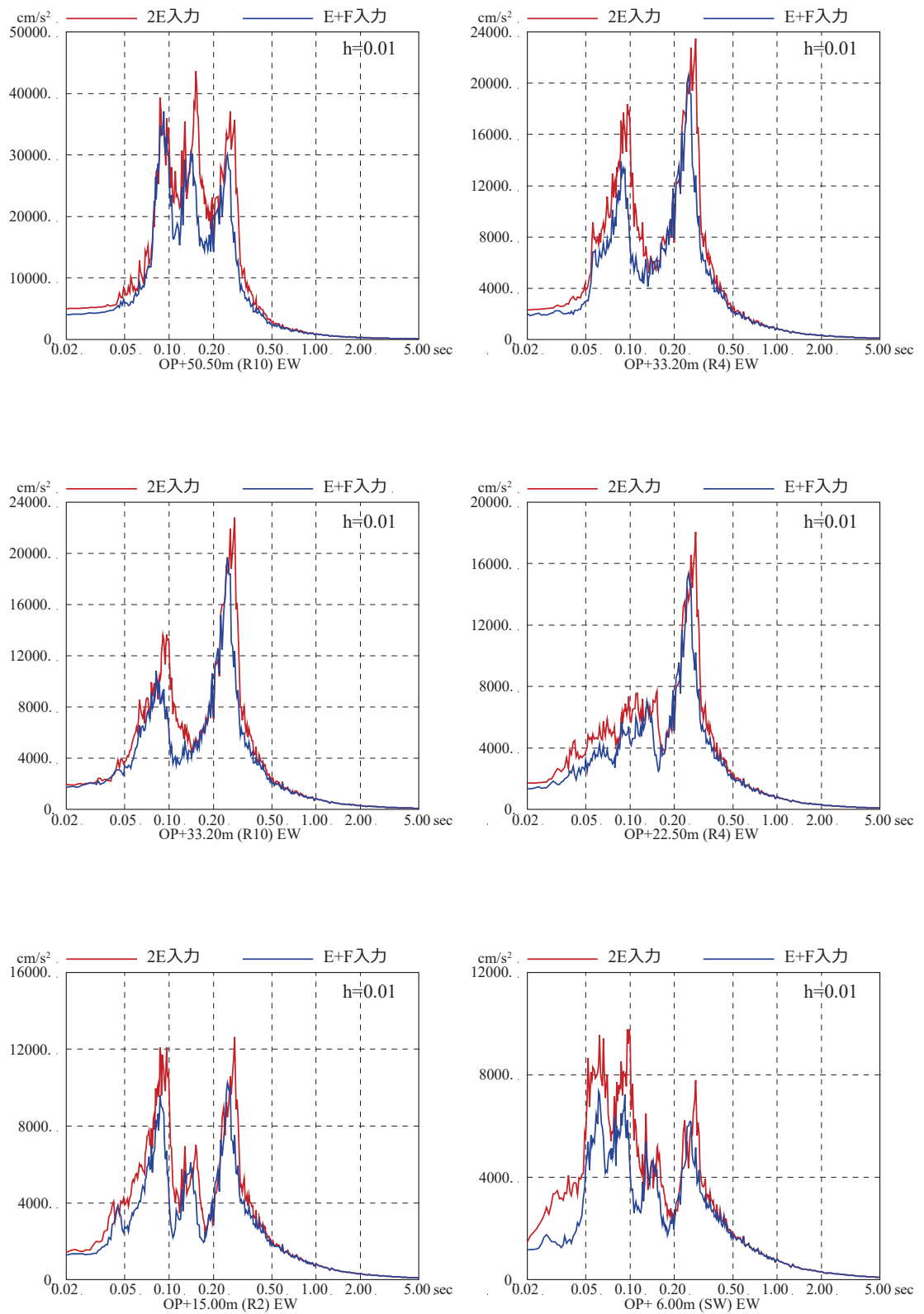


図 3-4 基準地震動 S_s-D₂ を用いた直接入力と
 表層地盤の影響を考慮した場合の建屋応答への影響
 (原子炉建屋, EW 方向, 減衰 1%)

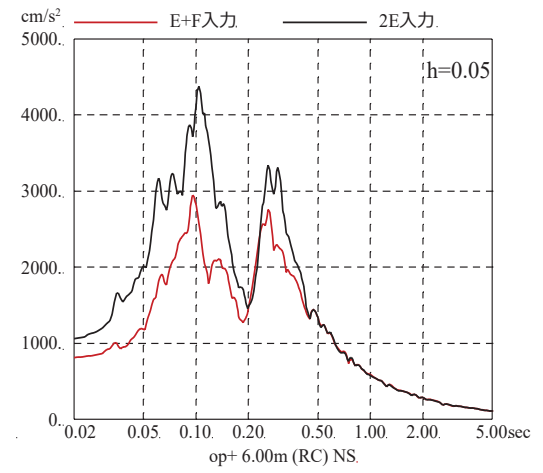
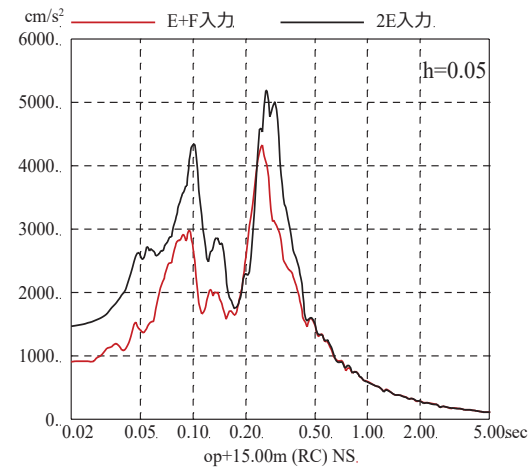
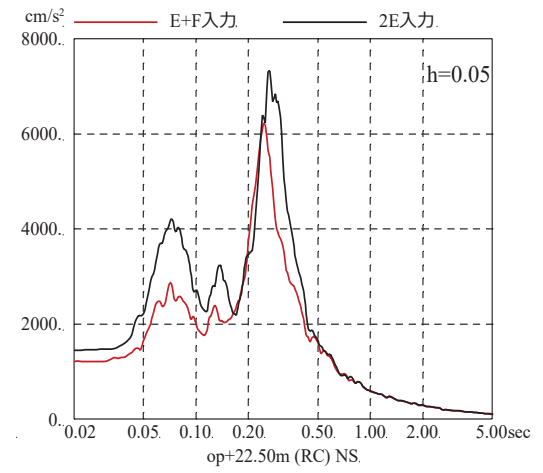
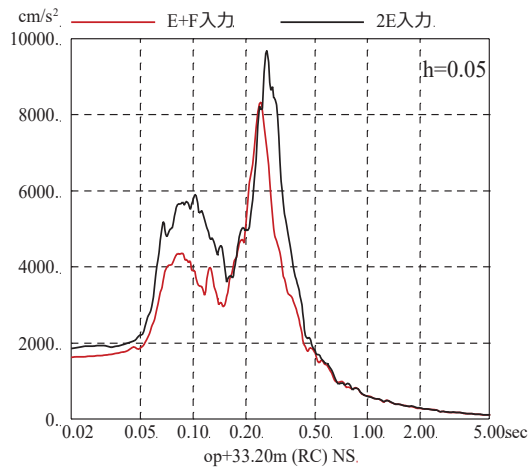
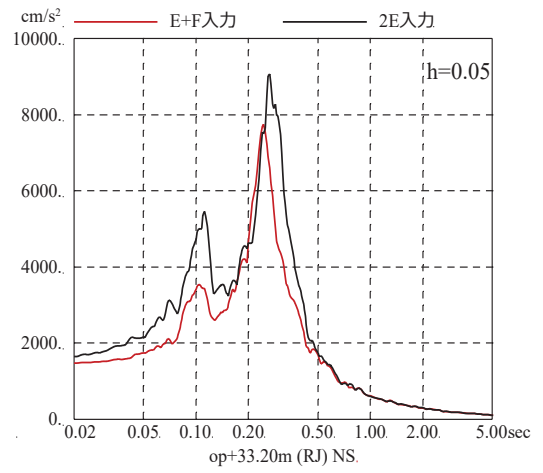
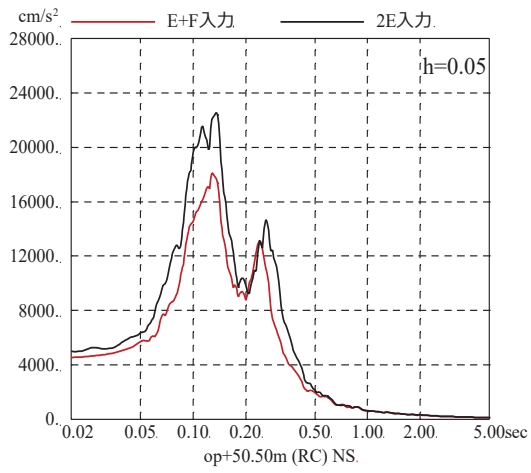


図 3-5 基準地震動 $S_s - D1$ を用いた直接入力と
 表層地盤の影響を考慮した場合の建屋応答への影響
 (原子炉建屋, NS 方向, 減衰 5%)

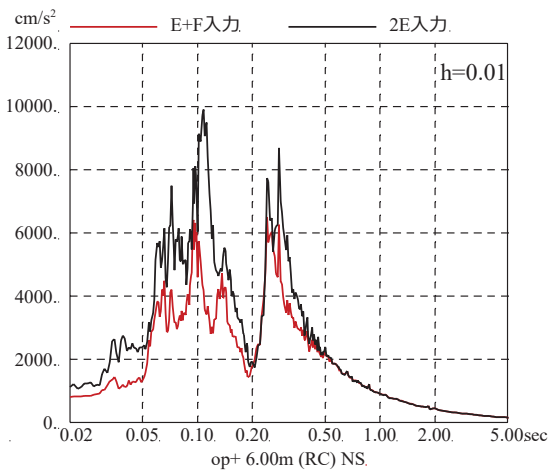
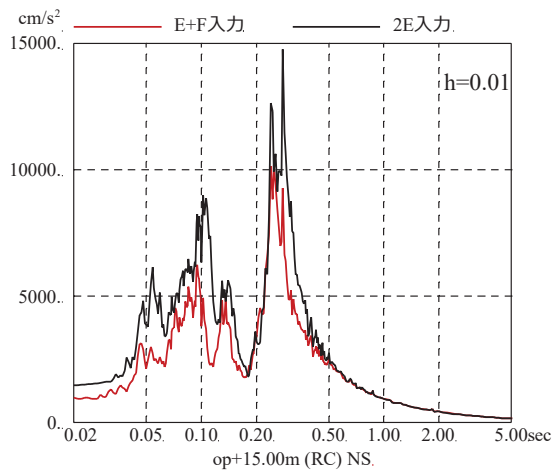
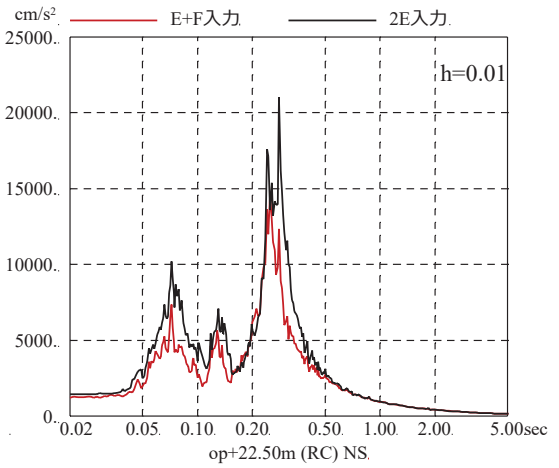
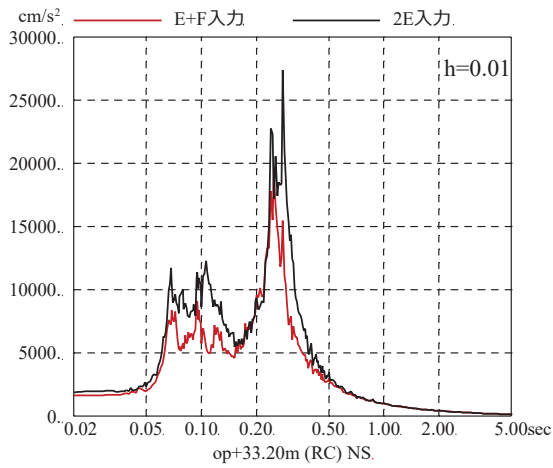
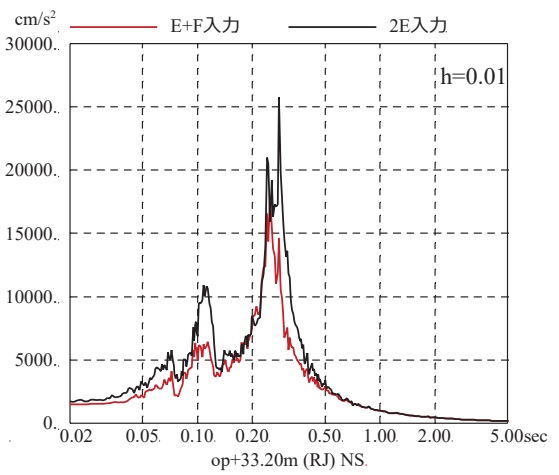
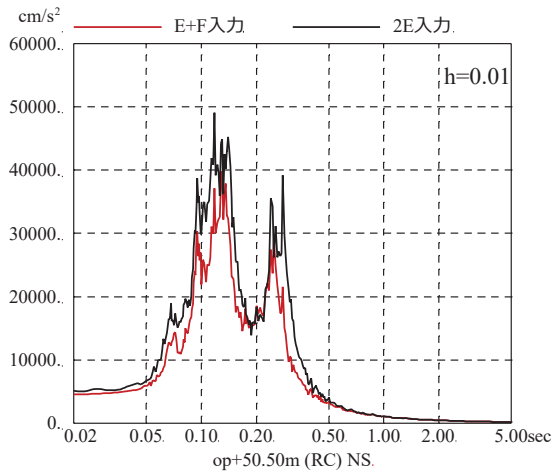


図 3-6 基準地震動 S_s-D1 を用いた直接入力と
 表層地盤の影響を考慮した場合の建屋応答への影響
 (原子炉建屋, NS 方向, 減衰 1%)

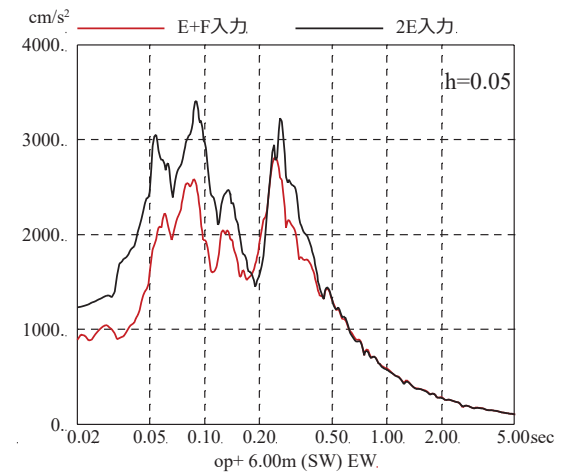
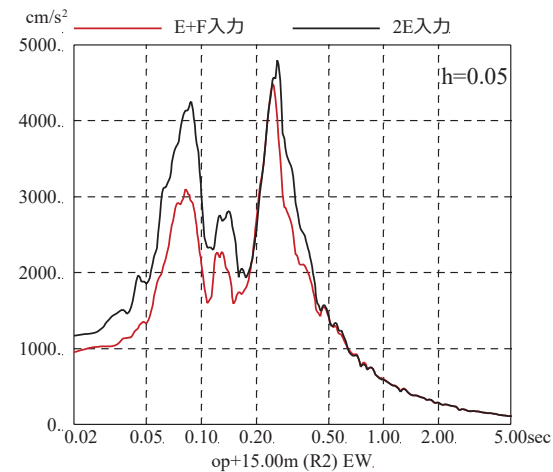
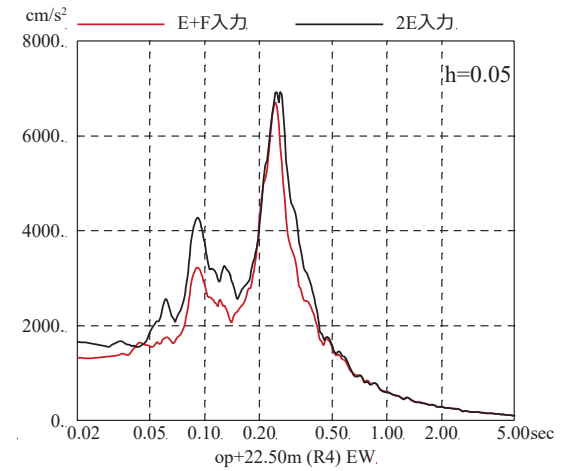
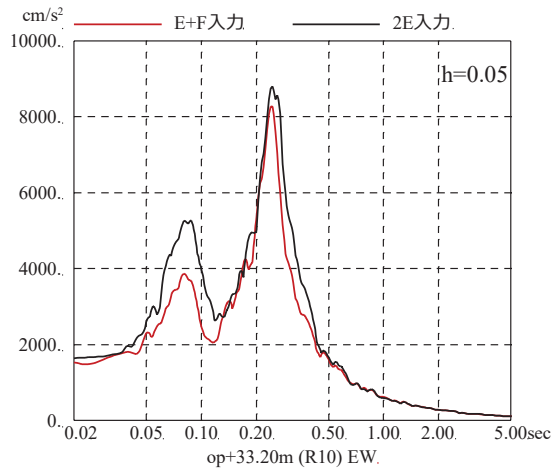
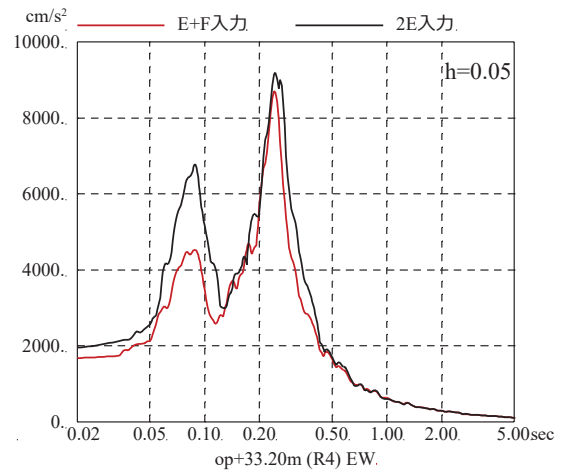
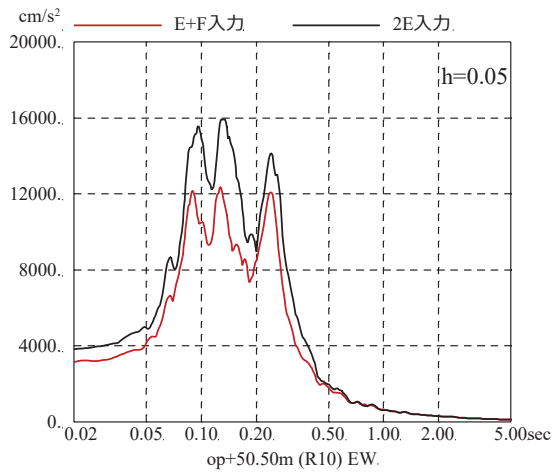


図 3-7 基準地震動 S s - D 1 を用いた直接入力と
 表層地盤の影響を考慮した場合の建屋応答への影響
 (原子炉建屋, EW 方向, 減衰 5%)

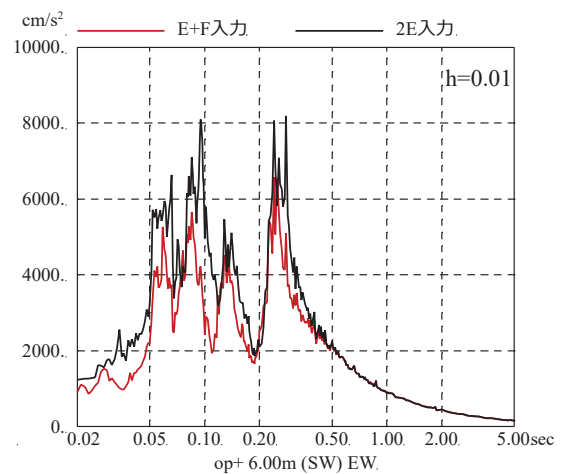
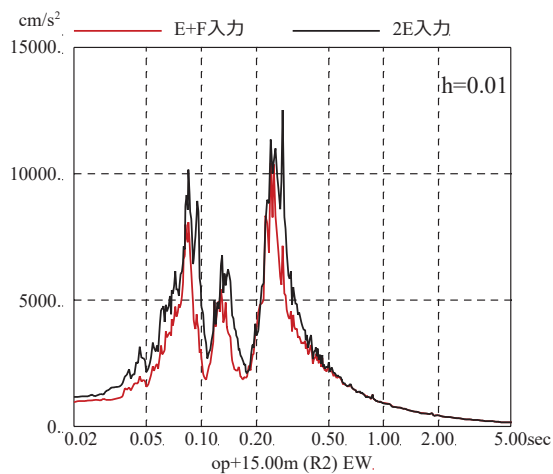
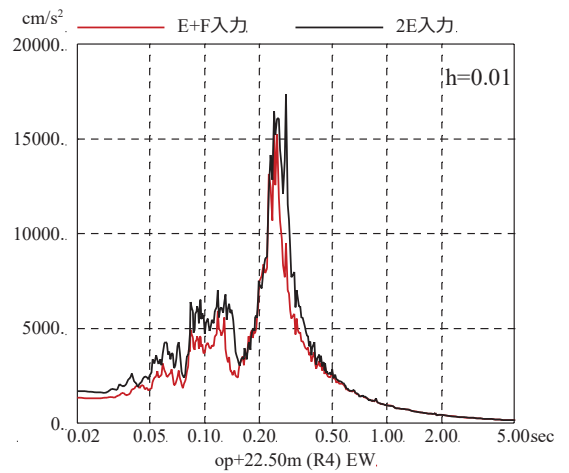
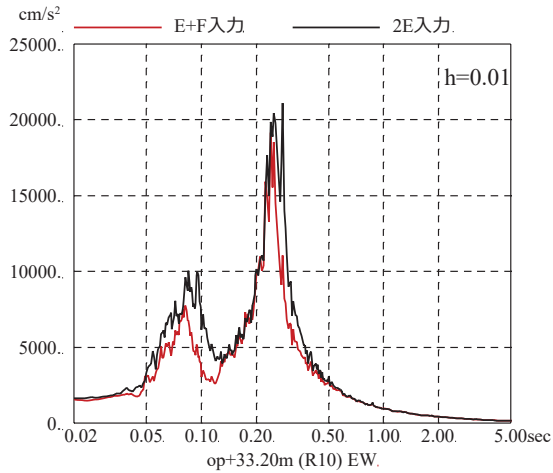
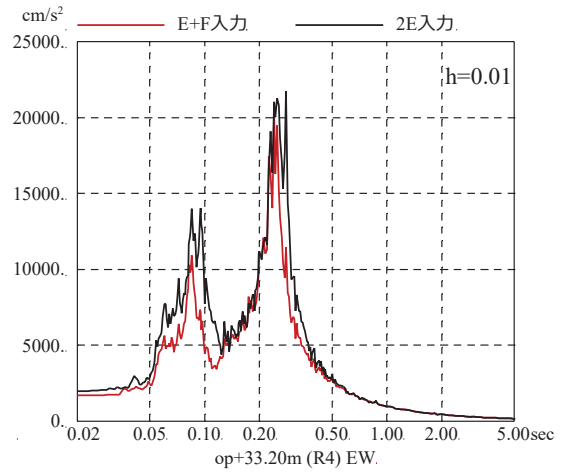
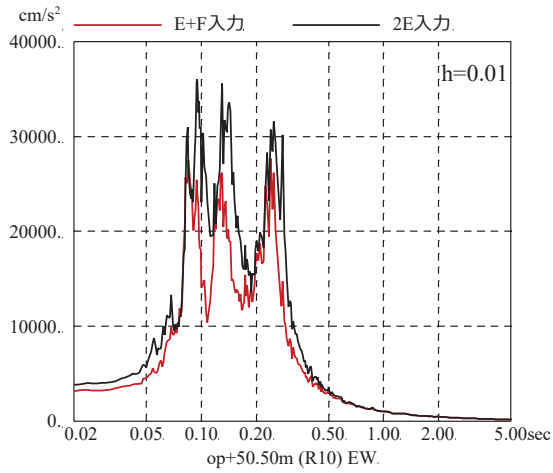


図 3-8 基準地震動 S_s-D1 を用いた直接入力と
 表層地盤の影響を考慮した場合の建屋応答への影響
 (原子炉建屋, EW 方向, 減衰 1%)

地盤物性の違いによる 3.11 地震のシミュレーション結果への影響

使用する地盤モデルの差異が建屋応答へ与える影響を確認することを目的として、3.11 地震のシミュレーション解析に用いる地盤モデルの差異による建屋応答と観測記録との関係を検討する。検討に用いた地盤モデルは、表-1 に示す表層地盤に非線形を考慮した地盤と、表-1 に示す地盤の表層地盤のせん断波速度を一律 740m/s に変更した線形地盤を用いた。建屋モデルは 3.11 地震のシミュレーション解析モデルとした。

建屋における床応答スペクトルの比較を図-1 及び図-2 に示す。

検討の結果、地盤モデルによる若干の差異はあるもののどちらのモデルでも解析結果は観測記録より大きめに評価する結果となった。また、表層地盤に非線形性を考慮した地盤モデルによる解析結果は、より観測記録と整合する結果となった。

表-1 原子炉建屋地盤物性

| | 地層レベル O. P. (m) | 単位体積重量 γ (kN/m ³) | せん断波速度 V_s (m/s) | 減衰定数 ^{※2} h (%) |
|------|--------------------|---|-----------------------|-----------------------------|
| 表層地盤 | 14.80 | 18.6 | ※1 | 3 ^{※3} |
| | 0.00 | 23.3 | 900 ^{※4} | 3 |
| 底面地盤 | -14.10 | 23.8 | 1300 | 3 |
| | -25.00 | 24.6 | 2150 | 3 |
| | -80.00 | 25.0 | 2440 | 3 |
| | -200.0 | 25.0 | 2440 | 3 |

※1 O. P. 14.8m~O. P. 0m は、上載圧依存を考慮してせん断波速度と相関のある初期せん断剛性 G_0 を設定する。また、ひずみ依存による非線形特性を考慮する。

※2 レーリー減衰 (4Hz, 12Hz)

※3 ひずみ依存による非線形特性を考慮する。

※4 PS 検層結果と観測記録の分析より設定

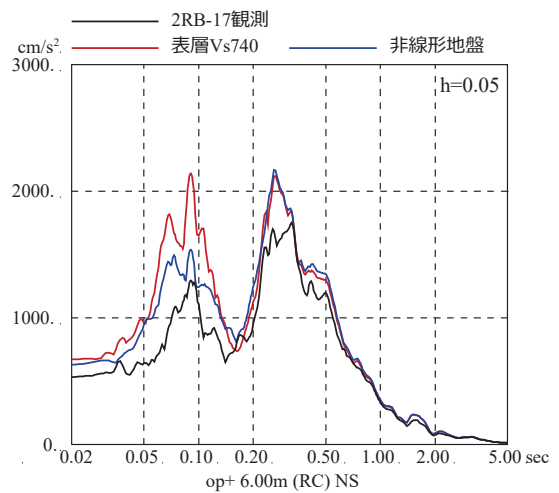
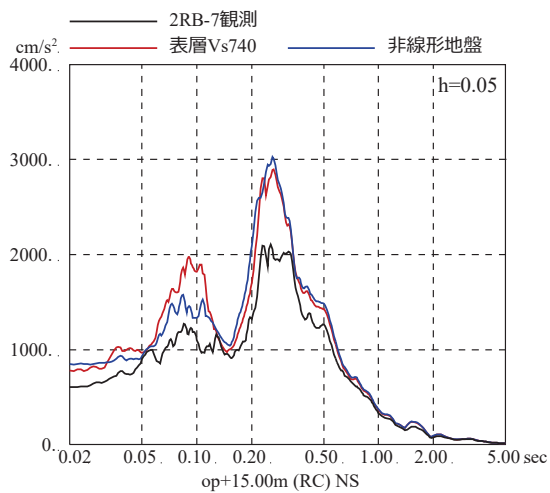
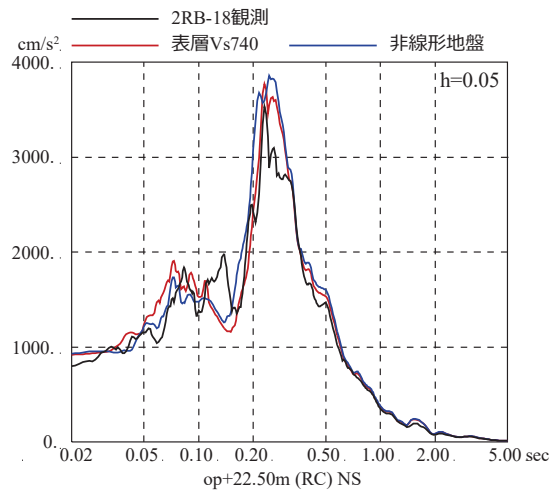
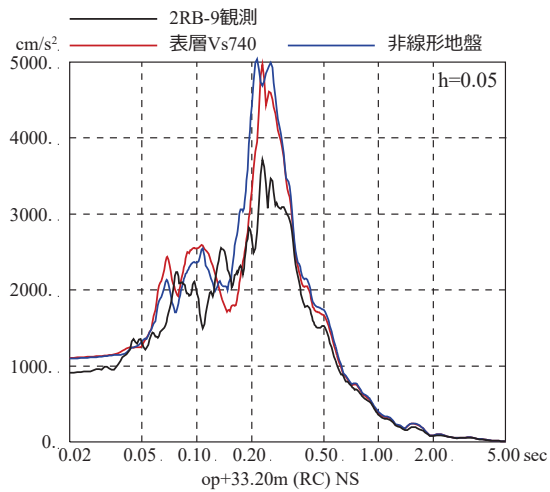
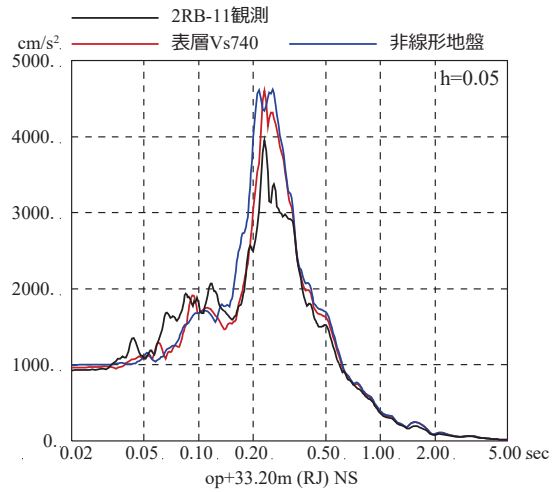
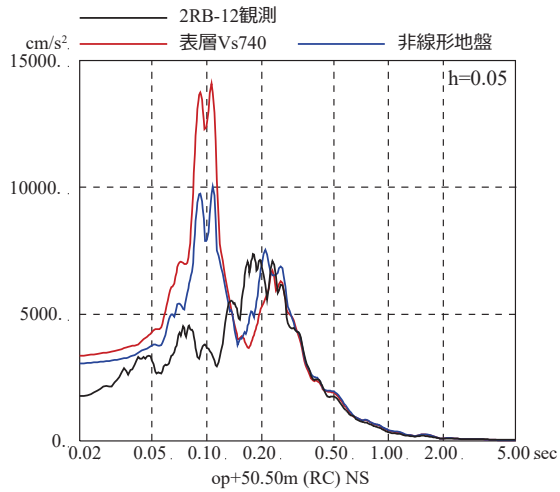


図-1 加速度応答スペクトルの比較 (3.11 地震, NS 方向)

※地震計位置は、付録1参照

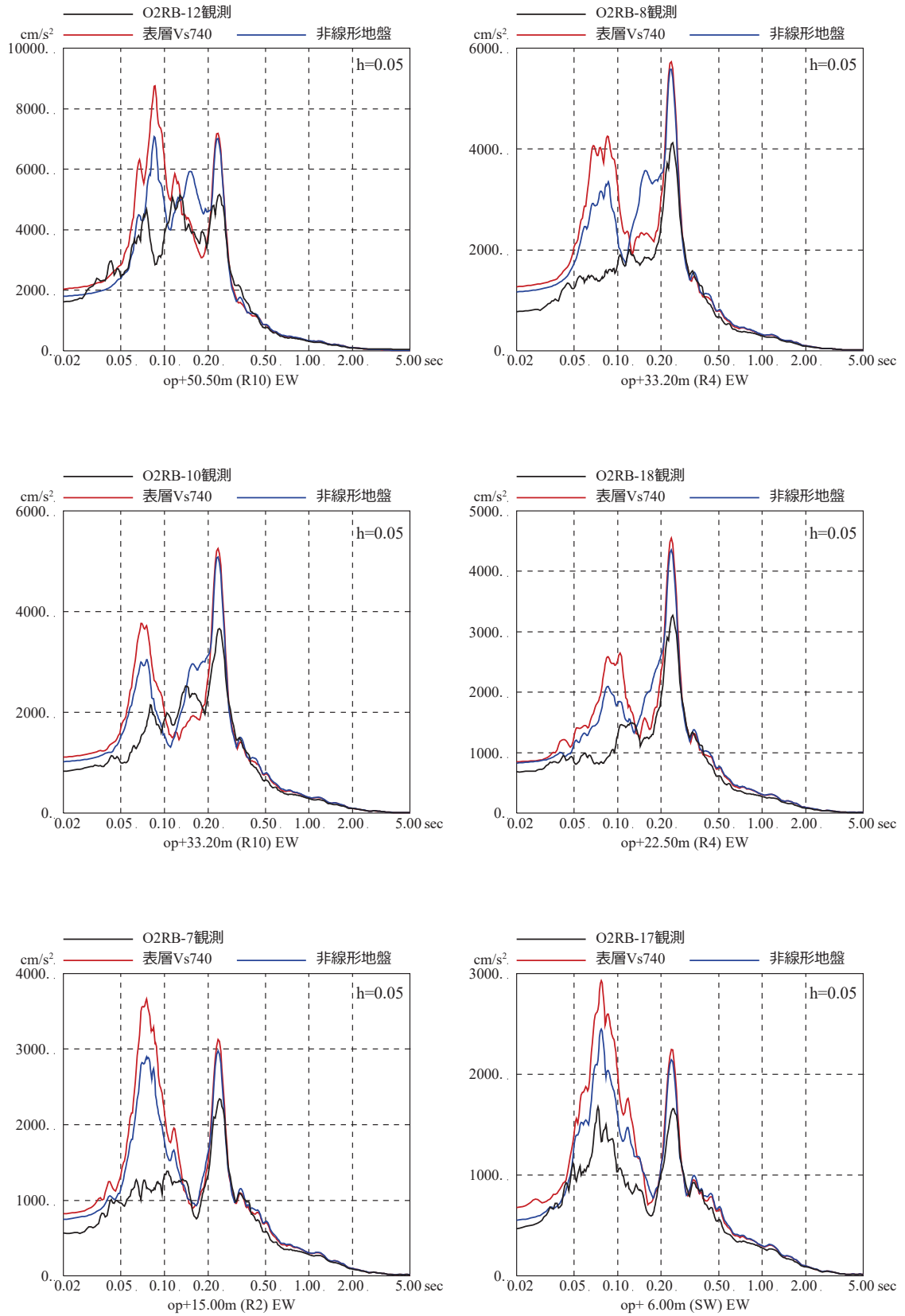


図-2 加速度応答スペクトルの比較 (3.11地震, EW方向)

※地震計位置は、付録1参照

別紙 18 シミュレーション解析による表層地盤の影響確認
(タービン建屋, 第3号機海水熱交換器建屋)

目 次

1. 検討目的..... 別紙 18-1
2. 検討方法..... 別紙 18-1
3. 検討結果..... 別紙 18-6

1. 検討目的

既工認の入力地震動は、表層地盤の影響は考慮せず、保守的に基準地震動 S_s を直接入力する手法を採用していたが、3.11地震の観測記録を用いて表層地盤の影響が現れているか検討する。

2. 検討方法

検討は、はぎとり波を用いたシミュレーション解析を実施し、3.11地震のはぎとり波を建屋モデルに直接入力（2E入力）した場合と地盤調査結果に基づき設定した地盤モデルを用いて表層地盤の影響を考慮して算定した基礎版底面レベルの地震動を入力（E+F入力）した場合の観測記録の再現性を確認した。検討対象とした建屋は、タービン建屋及び第3号機海水熱交換器建屋である。検討の概念を図2-1に示す。

検討に用いたタービン建屋の地盤モデルを表2-1に、建屋モデルを図2-2に、解析条件の比較を表2-2に示す。また、第3号機海水熱交換器建屋の地盤モデルを表2-3に、建屋モデルを図2-3に、解析条件の比較を表2-4に示す。建屋モデルは、3.11地震等による建屋の初期剛性低下を考慮している。

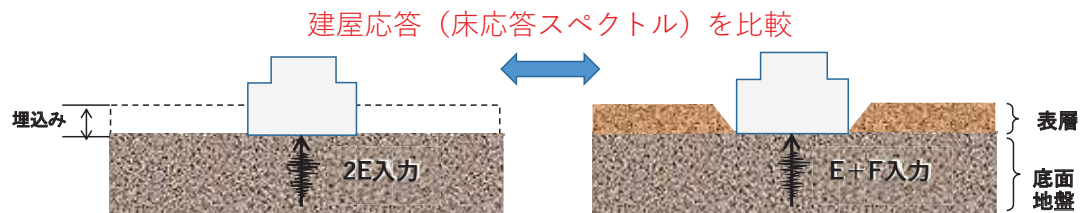


図2-1 検討の概念図

表 2-1 タービン建屋の地盤物性値

| | 地層レベル O. P. (m) | 単位体積重量 γ (kN/m ³) | せん断波速度 V_s (m/s) | 減衰定数 h (%) ^{※2} |
|------|--------------------|---|-----------------------|-------------------------------|
| 表層地盤 | 14.80 | 18.6 | ※1 | 3 ^{※3} |
| | 0.00 | 23.3 | 900 | 3 |
| 底面地盤 | -2.20 | 23.8 | 1300 | 3 |
| | -25.00 | 24.6 | 2150 | 3 |
| | -80.00 | 25.0 | 2440 | 3 |
| | -200.0 | 25.0 | 2440 | 3 |

※1 0. P. 14.8m~0. P. 0m は、上載圧依存を考慮してせん断波速度と相関のある初期せん断剛性 G_0 を設定する。また、ひずみ依存による非線形特性を考慮する。地盤の応答解析においては 10 層に分割する。

※2 レーリー減衰 (4Hz, 12Hz)

※3 ひずみ依存による非線形特性を考慮する。

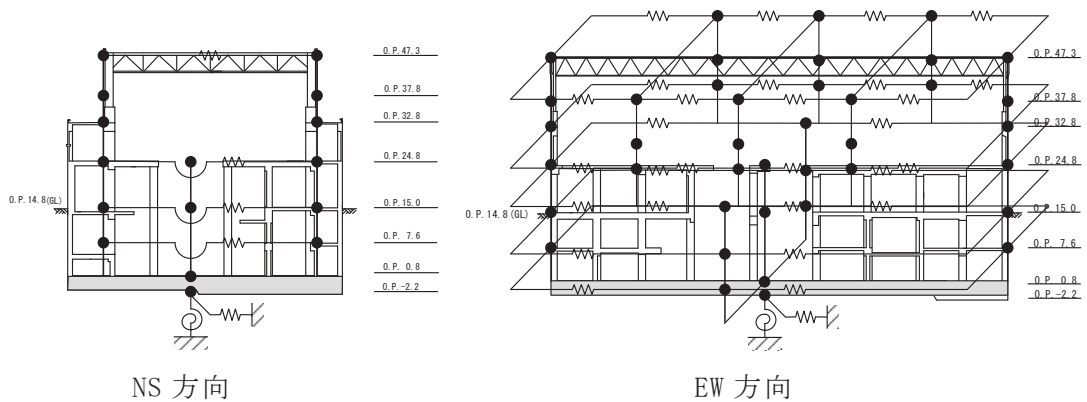


図 2-2 タービン建屋地震応答解析モデル

表 2-2 解析条件の比較

(3.11 地震はぎとり波を用いた 2E 入力と E+F 入力の比較 [タービン建屋])

| ケース | 直接入力 (2E 入力) したケース | E+F 入力としたケース |
|-------|--|--------------------------------------|
| 建屋 | タービン建屋 | |
| 地震動 | 3.11 地震のはぎとり波 | |
| 入力地震動 | 直接入力 (2E 入力) | 基礎版底面レベルの地震動を算定し入力 (E+F 入力, 補正水平力考慮) |
| 建屋モデル | 3.11 地震シミュレーションモデル (初期剛性低下考慮, 建屋減衰 5%, 側面地盤ばね無し) | |
| 地盤モデル | — | 地盤調査結果に基づき設定した地盤モデル (表層地盤非線形考慮) |

表 2-3 第 3 号機海水熱交換器建屋の地盤物性値

| | 地層レベル O. P. (m) | 単位体積重量 γ (kN/m ³) | せん断波速度 Vs (m/sec) | 減衰定数 ^{※2} h (%) |
|------|--------------------|---|----------------------|-----------------------------|
| 表層地盤 | 14.80 | 18.6 | ※1 | 3 ^{※3} |
| 底面地盤 | -12.50 | 26.1 | 1360 | 3 |
| | -25.00 | 26.4 | 2040 | 3 |
| | -80.00 | 26.5 | 2520 | 3 |
| | -200.0 | 26.5 | 2520 | 3 |

※1 O. P. 14.8m~O. P. -12.5m は、上載圧依存を考慮してせん断波速度と相関のある初期せん断剛性 G_0 を設定する。また、ひずみ依存による非線形特性を考慮する。

※2 レーリー減衰 (4Hz, 12Hz)

※3 ひずみ依存による非線形特性を考慮する。

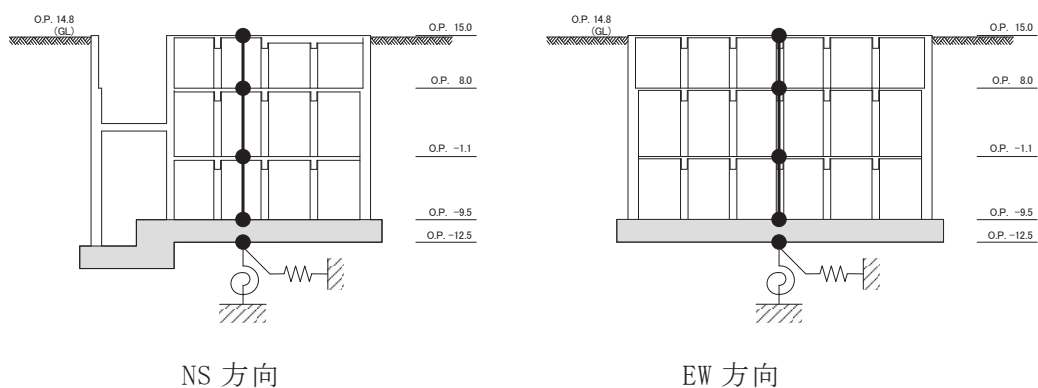


図 2-3 第 3 号機海水熱交換器建屋地震応答解析モデル

表 2-4 解析条件の比較

(3.11 地震はざとり波を用いた 2E 入力と E+F 入力の比較[第 3 号機海水熱交換器建屋])

| ケース | 直接入力 (2E 入力) したケース | E+F 入力としたケース |
|-------|---|--------------------------------------|
| 建屋 | 第 3 号機海水熱交換器建屋 | |
| 地震動 | 3.11 地震のはざとり波 | |
| 入力地震動 | 直接入力 (2E 入力) | 基礎版底面レベルの地震動を算定し入力 (E+F 入力, 補正水平力考慮) |
| 建屋モデル | 3.11 地震シミュレーションモデル (初期剛性低下考慮, 建屋減衰 5%, 側面地盤ばね無し) | |
| 地盤モデル | — | 地盤調査結果に基づき設定した地盤モデル (表層地盤非線形考慮) |

3. 検討結果

3.11 地震のはざとり波を用いたシミュレーション解析結果と観測記録の床応答スペクトルの比較をタービン建屋については図 3-1 に、第 3 号機海水熱交換器建屋については図 3-2 に示す。

各階の床応答スペクトルは、はざとり波を直接入力（2E 入力）した場合より表層地盤の影響を考慮して算定した地震動を入力（E+F 入力）した方が、より観測記録の振幅に近く、床応答スペクトルの形状も傾向を捉えていることを確認した。

上記の結果から、建屋に入力する地震動については表層地盤の影響が現れていると考えられる。

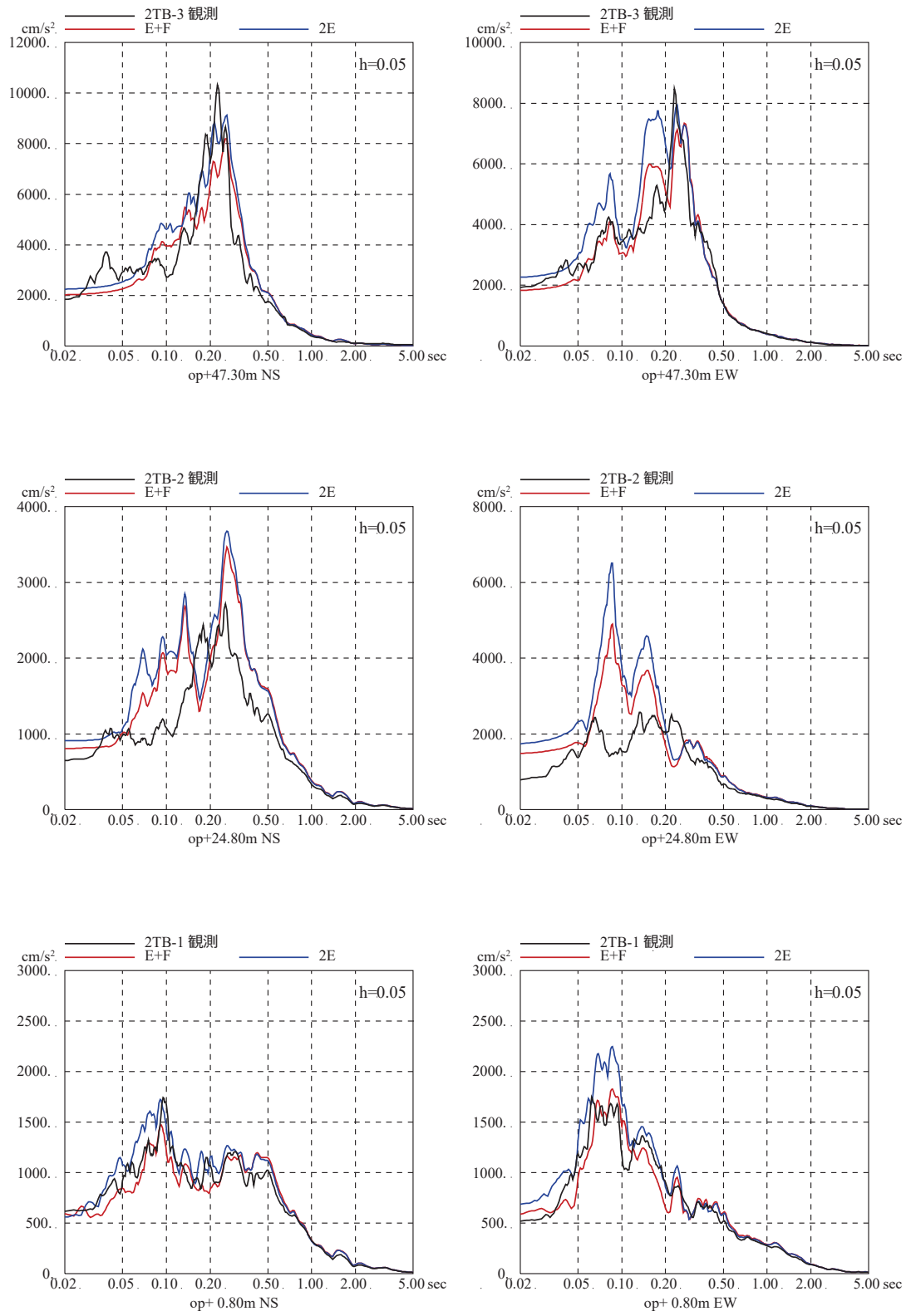


図 3-1 3.11 地震のはざとり波を用いたシミュレーション解析結果の比較
(タービン建屋)

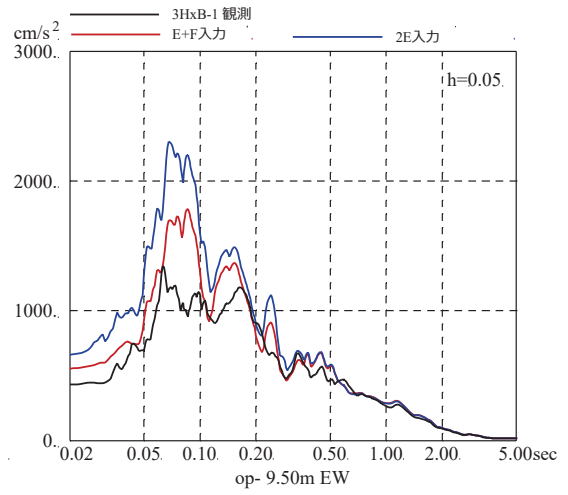
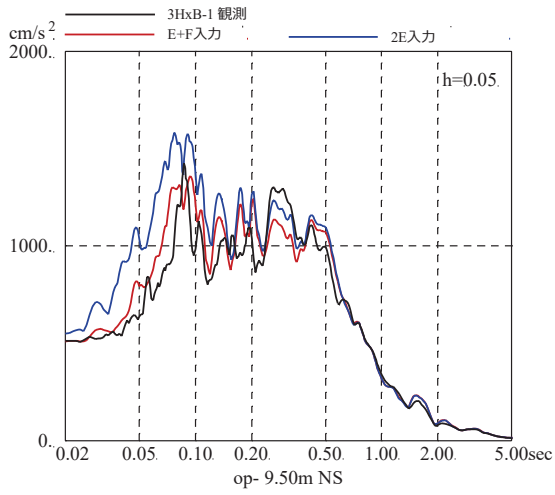
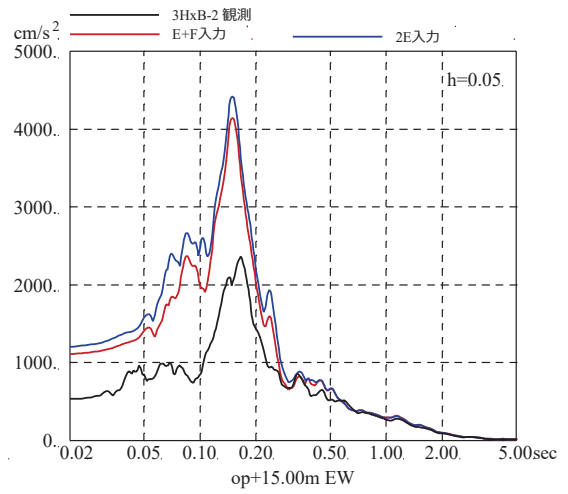
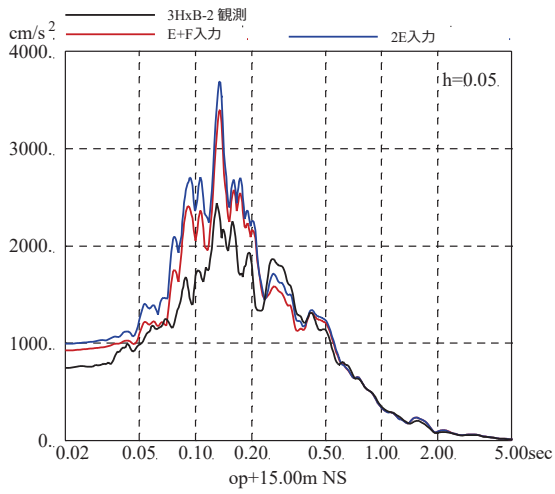
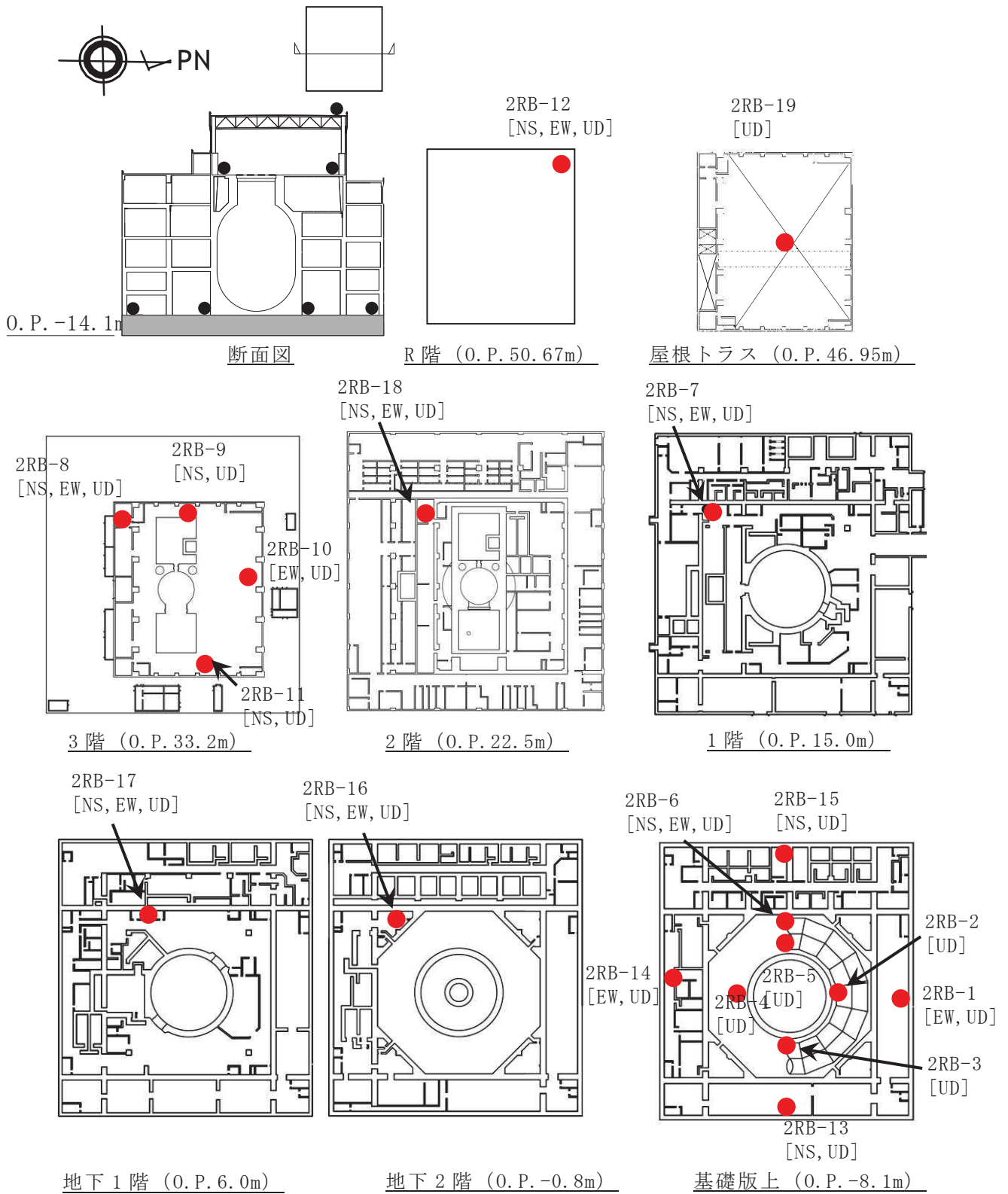


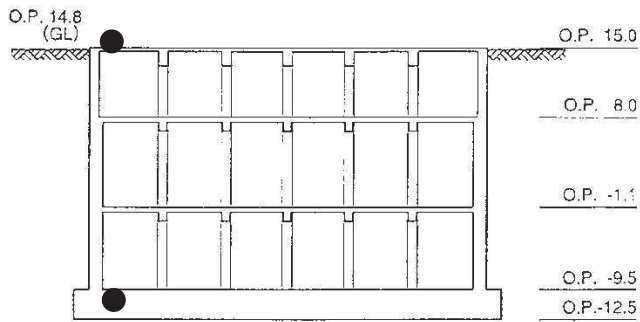
図 3-2 3.11 地震のはざとり波を用いたシミュレーション解析結果の比較
(第3号機海水熱交換器建屋)

付録 1 地震計配置図

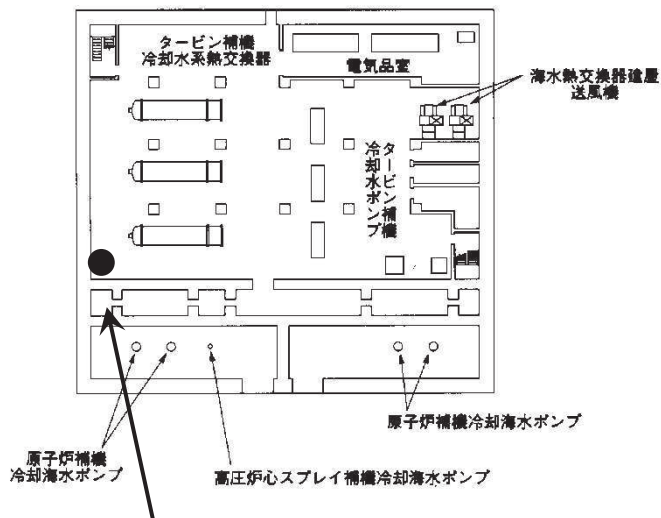
1. 原子炉建屋



2. 第3号機海水熱交換器建屋

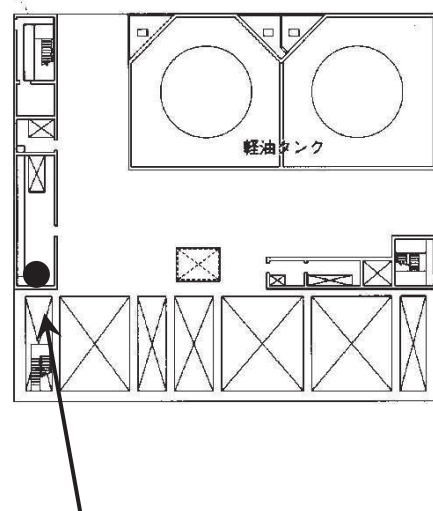


断面図



3HxB-1
[NS, EW, UD]

地下3階 (O.P. -9.5m)



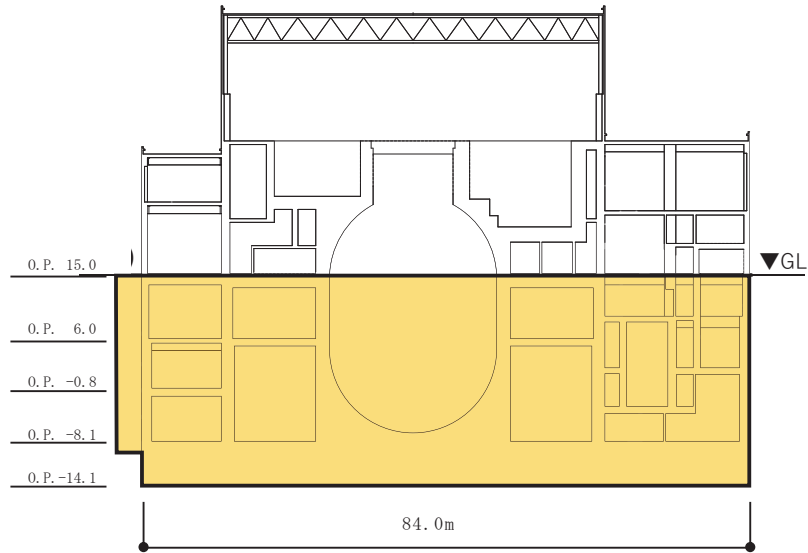
3HxB-2
[NS, EW, UD]

地上1階 (O.P. 15.0m)

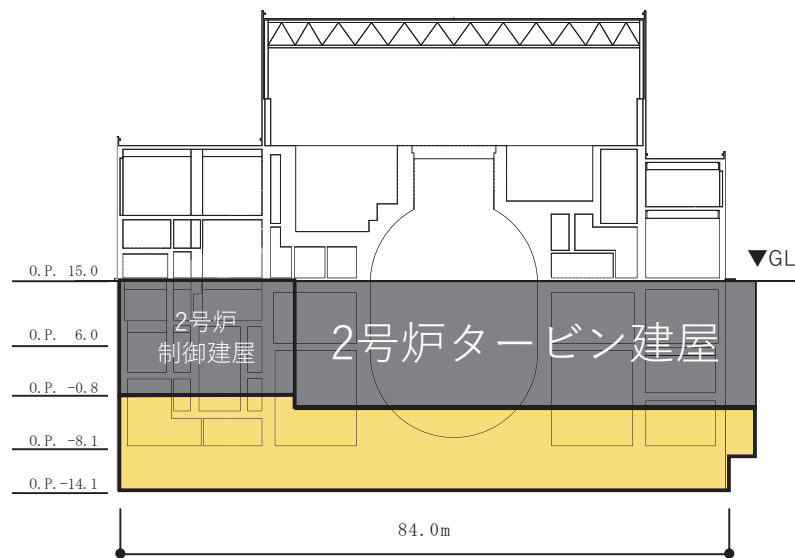
付録 2 今回工認に係る建屋と地盤との接地状況

1. 原子炉建屋

凡例  : 地盤接地部

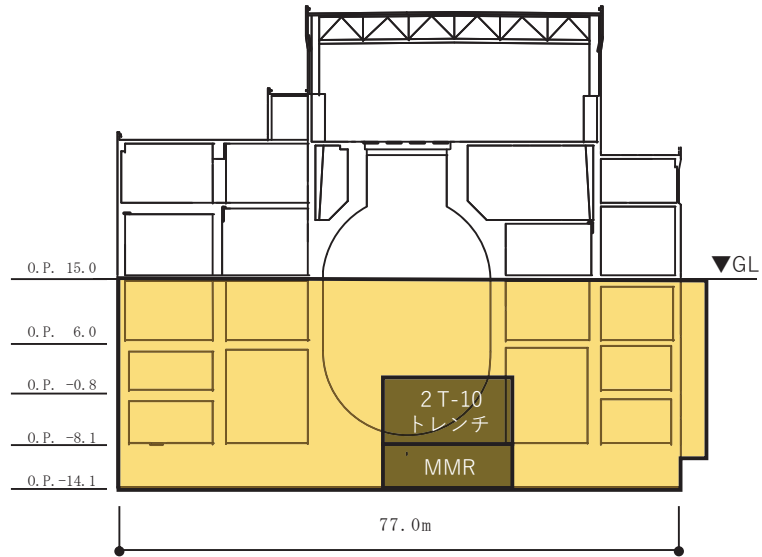


付録 2-1 図 原子炉建屋（北面）の地盤の接地状況

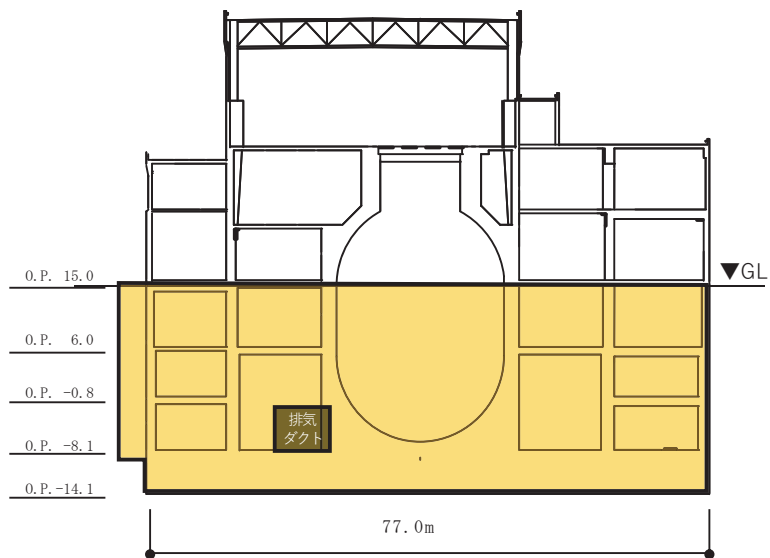


付録 2-2 図 原子炉建屋（南面）の地盤の接地状況

凡例  :地盤接地部



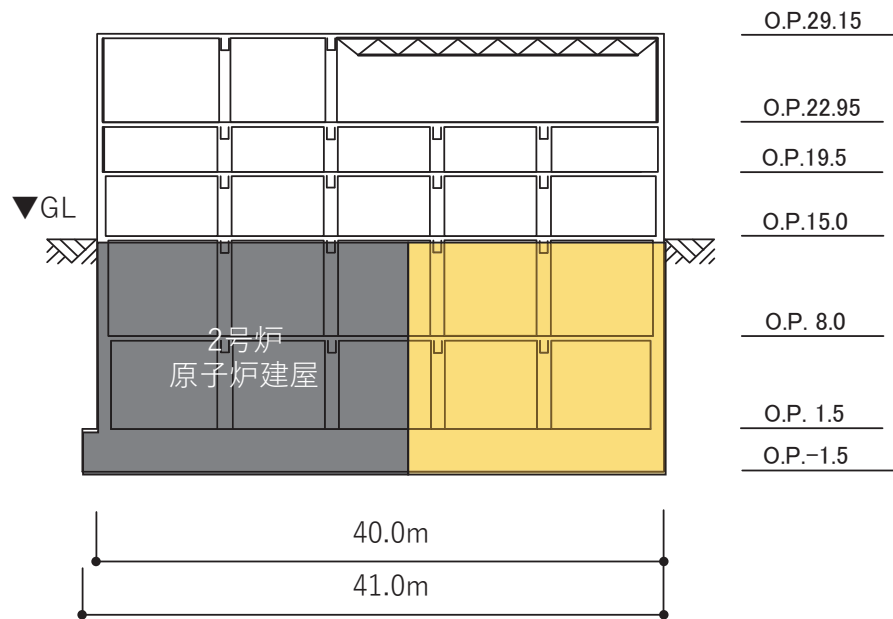
付録 2-3 図 原子炉建屋（東面）の地盤の接地状況



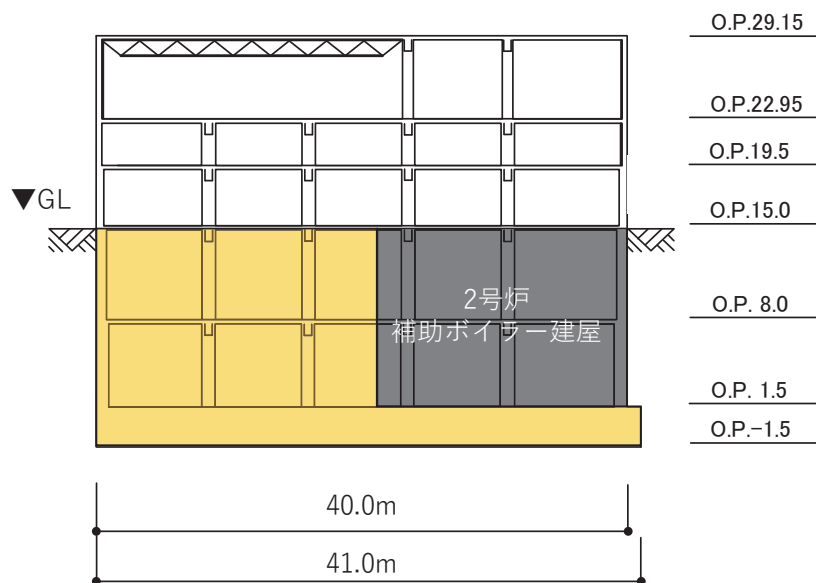
付録 2-4 図 原子炉建屋（西面）の地盤の接地状況

2. 制御建屋

凡例 : 地盤接地部

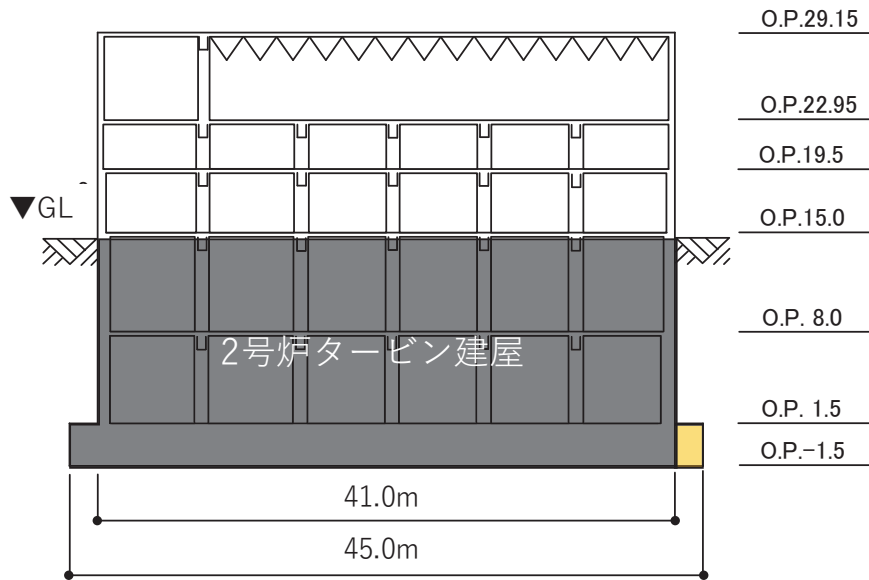


付録 2-5 図 制御建屋（北面）の地盤の接地状況

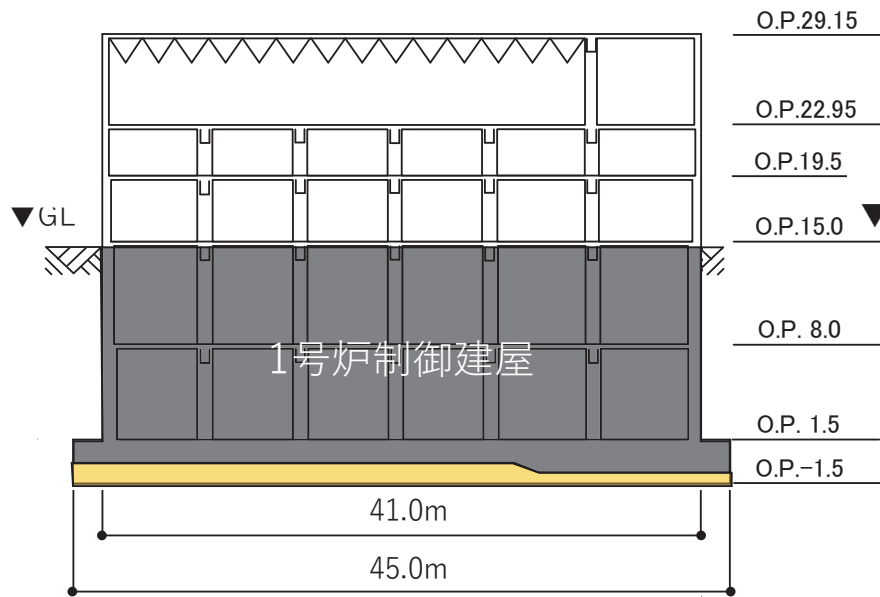


付録 2-6 図 制御建屋（南面）の地盤の接地状況

凡例  : 地盤接地部



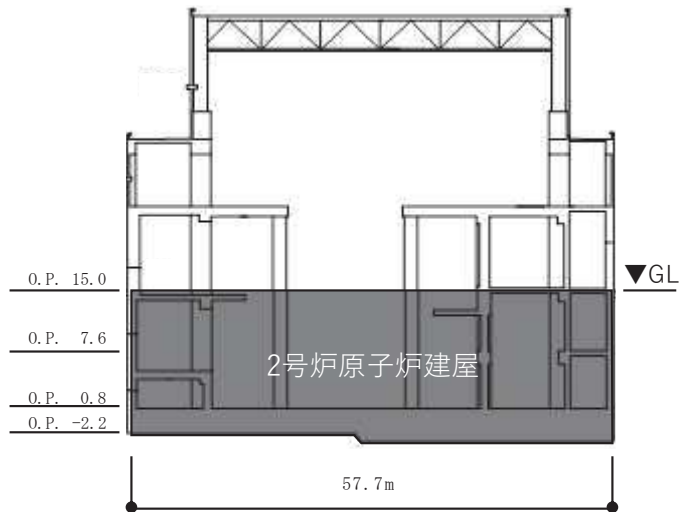
付録 2-7 図 制御建屋（東面）の地盤の接地状況



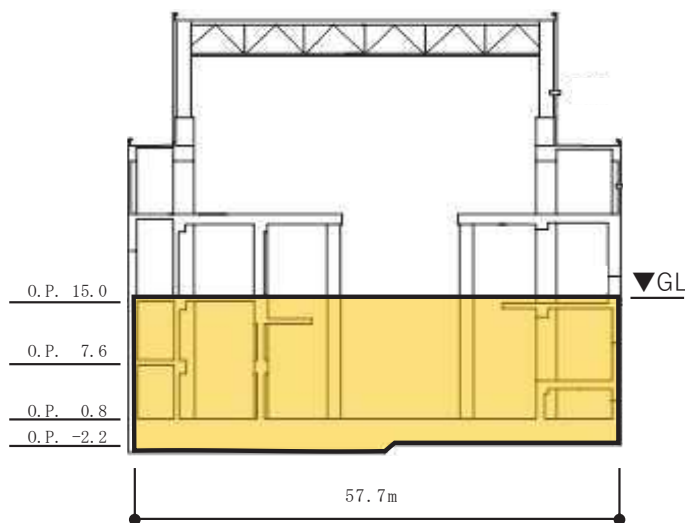
付録 2-8 図 制御建屋（西面）の地盤の接地状況

3. タービン建屋

凡例  : 地盤接地部

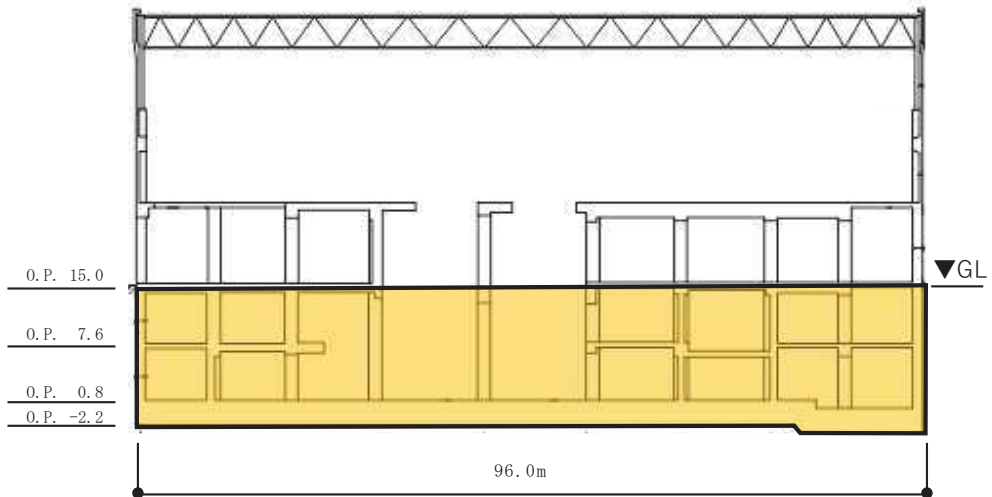


付録 2-9 図 タービン建屋（北面）の地盤の接地状況

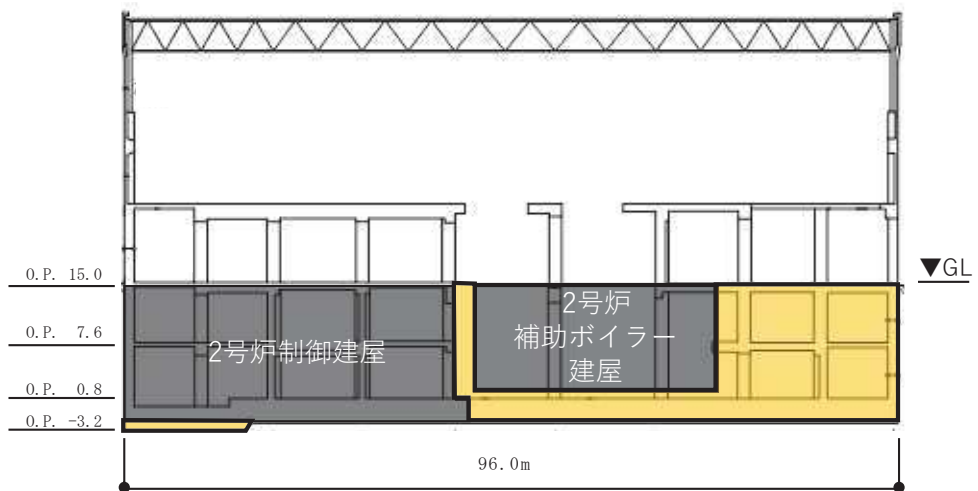


付録 2-10 図 タービン建屋（南面）の地盤の接地状況

凡例  :地盤接地部



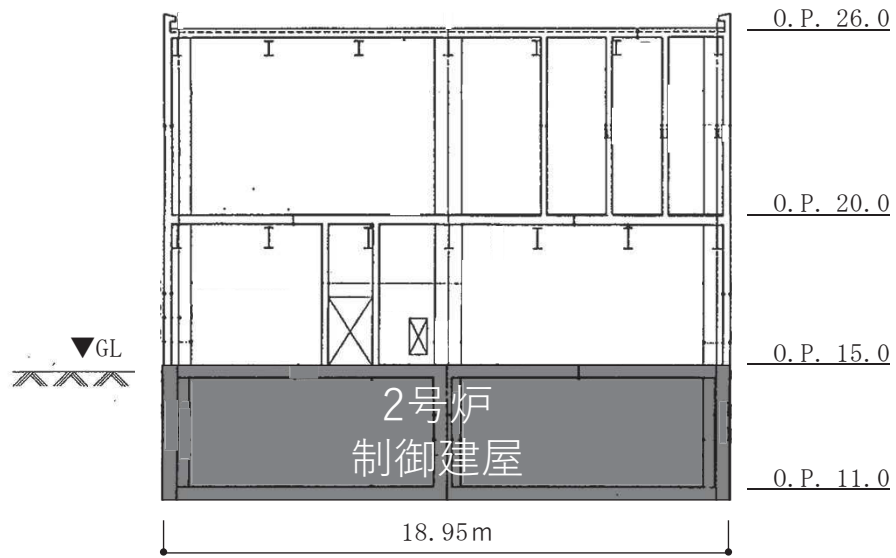
付録 2-11 図 タービン建屋（東面）の地盤の接地状況



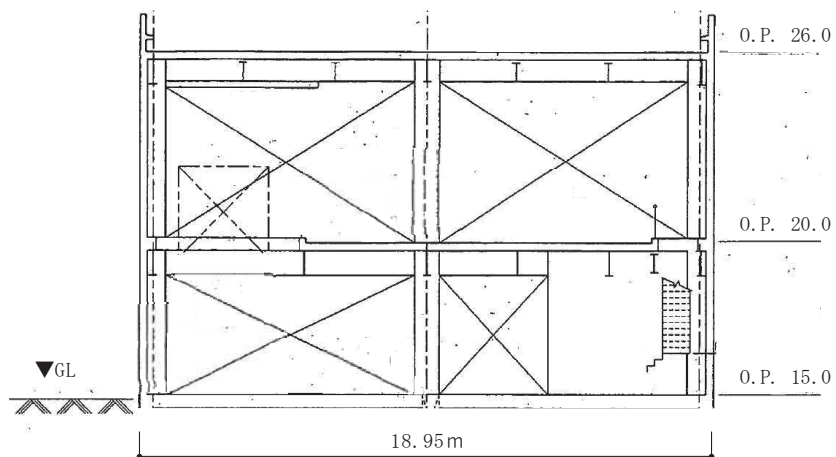
付録 2-12 図 タービン建屋（西面）の地盤の接地状況

4. 補助ボイラー建屋


凡例  : 地盤接地部

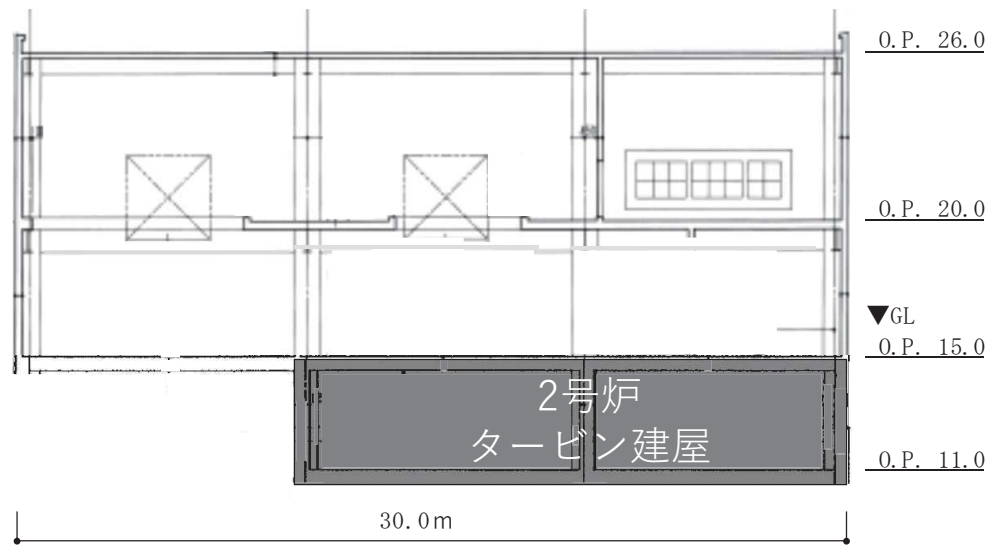


付録 2-13 図 補助ボイラー建屋（北面）の地盤の接地状況

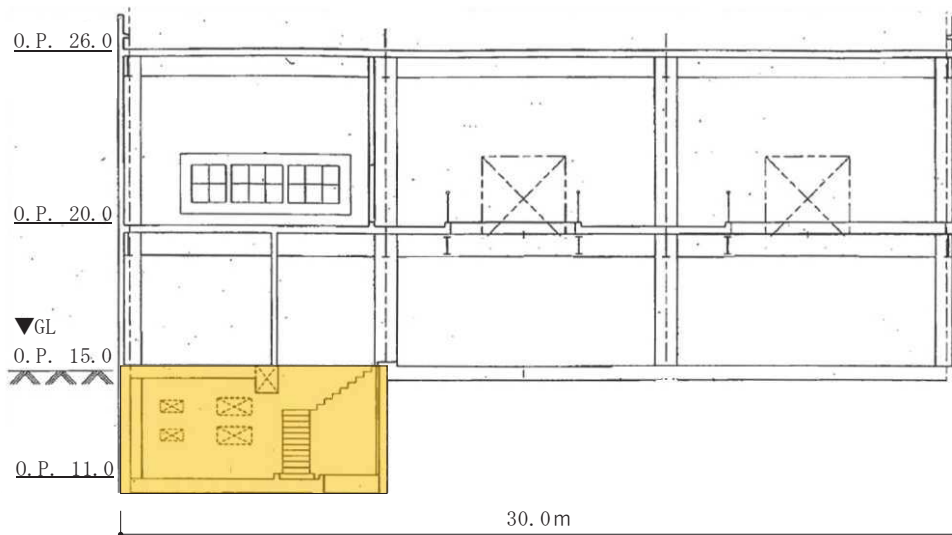


付録 2-14 図 補助ボイラー建屋建屋（南面）の地盤の接地状況

凡例  : 地盤接地部



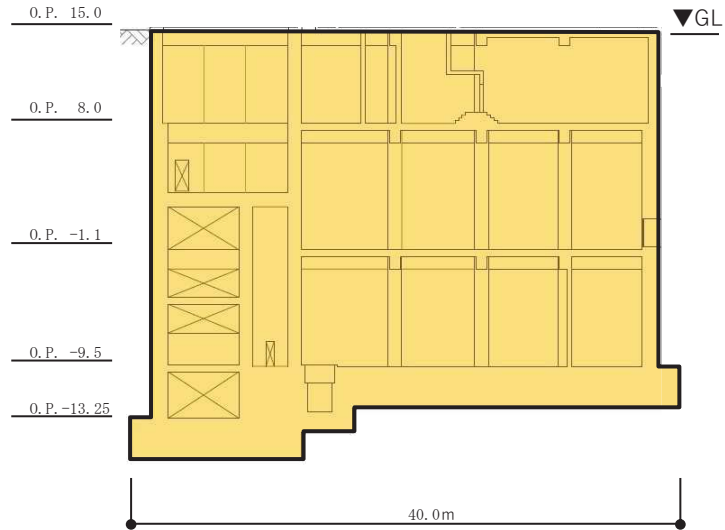
付録 2-15 図 補助ボイラー建屋建屋（東面）の地盤の接地状況



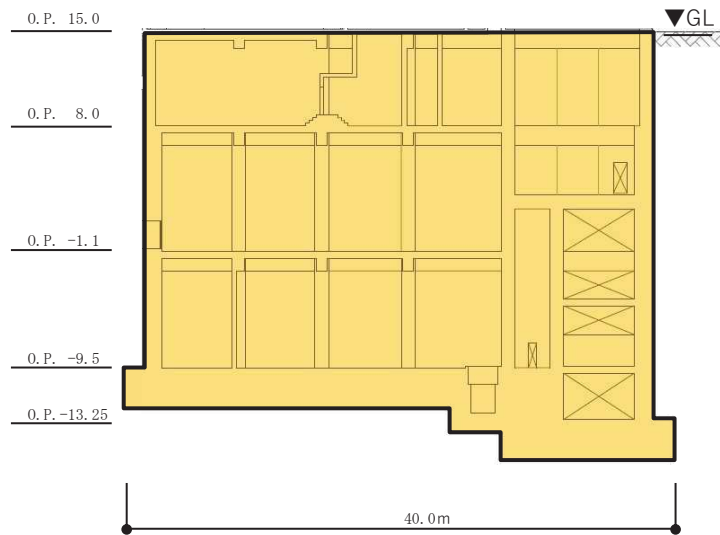
付録 2-16 図 補助ボイラー建屋建屋（西面）の地盤の接地状況

5. 第3号機海水熱交換器建屋

凡例  : 地盤接地部

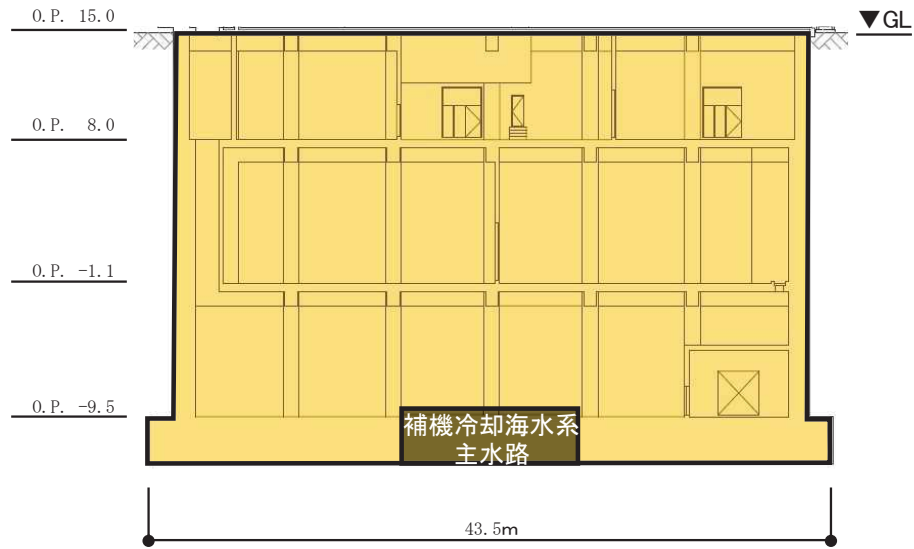


付録2-17 図 第3号機海水熱交換器建屋（北面）の地盤の接地状況

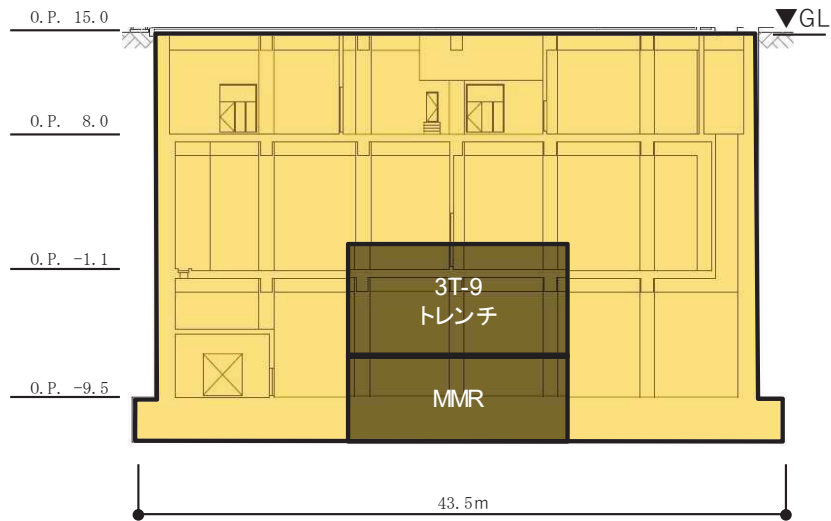


付録2-18 図 第3号機海水熱交換器建屋（南面）の地盤の接地状況

凡例  : 地盤接地部



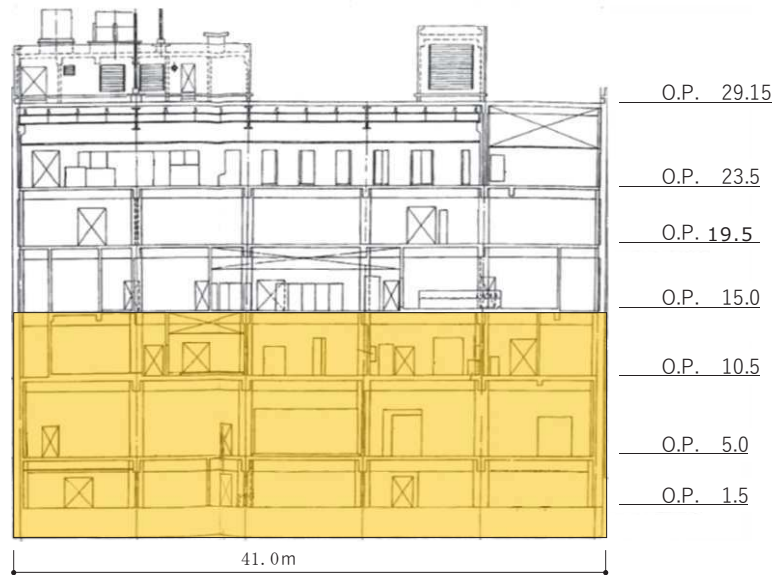
付録 2-19 図 第 3 号機海水熱交換器建屋（東面）の地盤の接地状況



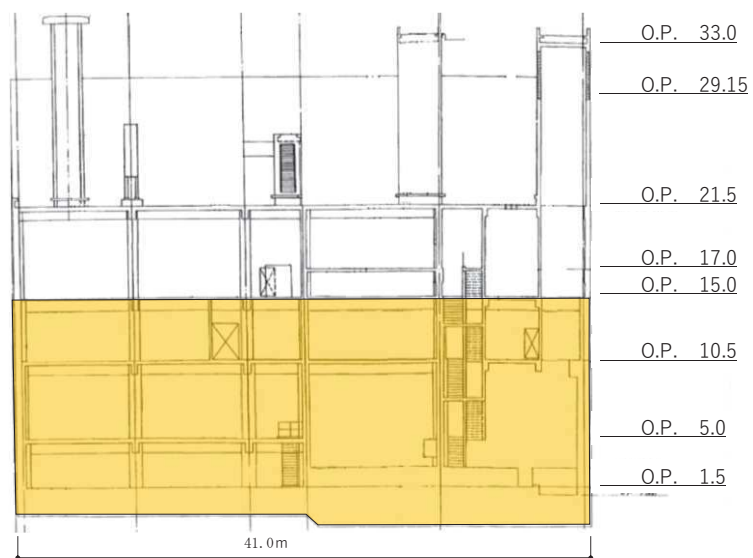
付録 2-20 図 第 3 号機海水熱交換器建屋（西面）の地盤の接地状況

6. 第1号機制御建屋

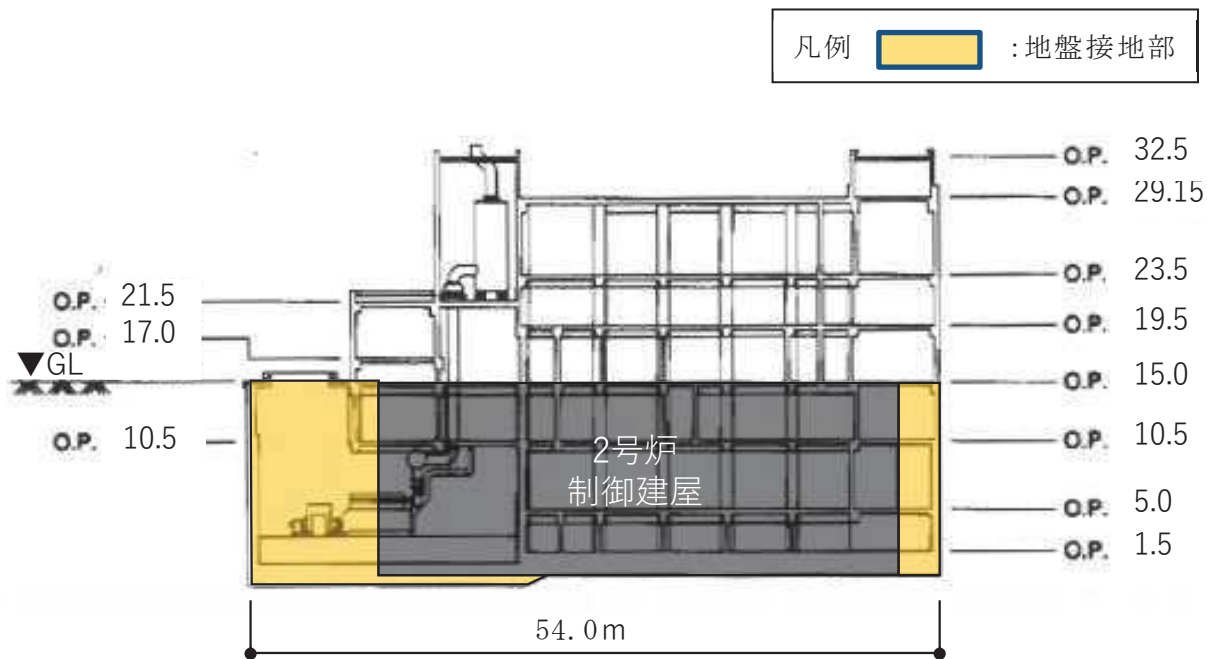
凡例  : 地盤接地部



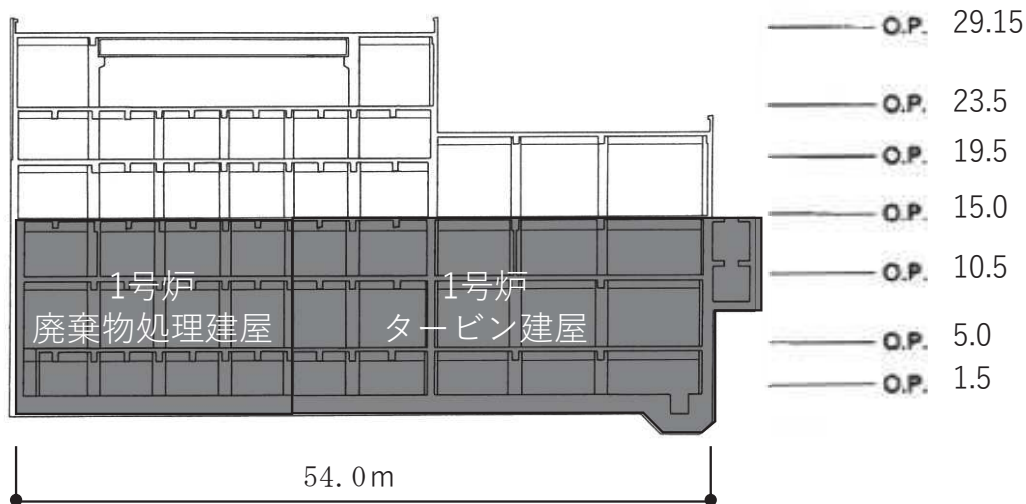
付録 2-21 図 第1号機制御建屋（北面）の地盤の接地状況



付録 2-22 図 第1号機制御建屋（南面）の地盤の接地状況



付録 2-23 図 第 1 号機制御建屋（東面）の地盤の接地状況



付録 2-24 図 第 1 号機制御建屋（西面）の地盤の接地状況

付録 3 逐次非線形解析の概要

1. 一般事項

本書は、一次元地盤の逐次非線形解析を行う計算機コード「mflow ver.1.0」の概要である。

2. 本計算機コードの特徴

本計算機コードは、直接積分法による逐次非線形解析が行えるプログラムである。

ここでは、今回の解析に用いる全応力非線形解析についての特徴を示す。

- (1) 地震動は、モデル最下の粘性境界から 2E 入力とする。
- (2) 地盤の非線形特性は、H-D(Hardin-Drnevich)モデルによる。
- (3) 減衰は、初期剛性比例型のレーリー減衰による。
- (4) 応答解析は、直接積分法による。
- (5) 計算結果としては、地盤の最大応答値及び応答加速度、せん断力の時刻歴等が求められる。

3. 理論式

3.1 運動方程式

一般に多層地盤の運動方程式は，地震動規定点に対する相対座標系において次式により表される。

$$[M]\{\ddot{u}\}+[C]\{\dot{u}\}+[K]\{u\}=-[M]\{\ddot{u}_g\} \quad (3.1)$$

ここで，

$[M]$: 質量マトリックス

$[C]$: 減衰マトリックス

$[K]$: 剛性マトリックス

$\{u\}$: 相対変位ベクトル

$\{\ddot{u}_g\}$: 地震加速度

3.2 非線形特性

本解析プログラムでは、H-Dモデルに基づく地盤非線形特性を導入している。

H-Dモデルでは、地盤の剛性低下率及び減衰定数は次式により表される。

$$G/G_0 = \frac{1}{1 + \gamma/\gamma_{0.5}} \quad (3.2)$$

$$h = h_{\max}(1 - G/G_0) \quad (3.3)$$

G : 地盤の非線形時せん断剛性

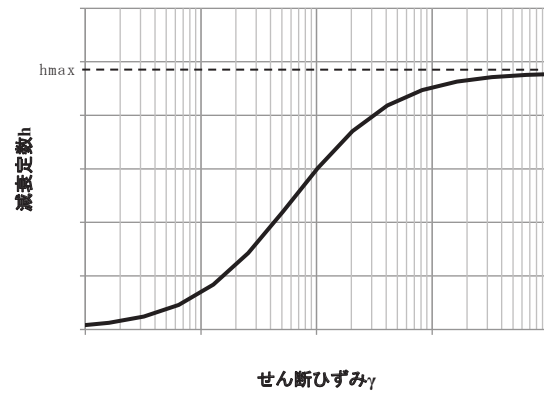
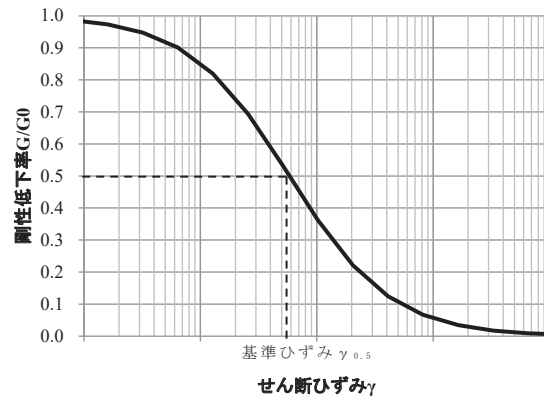
G_0 : 地盤の初期せん断剛性

γ : せん断ひずみ

$\gamma_{0.5}$: 基準ひずみ ($G/G_0 = 0.5$ のときのせん断ひずみ)

h : 非線形時の減衰定数

h_{\max} : 最大減衰定数



付録 3-1 図 H-D モデルの剛性低下率・減衰-ひずみ関係

3.3 レーリー減衰

減衰は、レーリー減衰を採用する。減衰マトリクス C を次のように設定する。

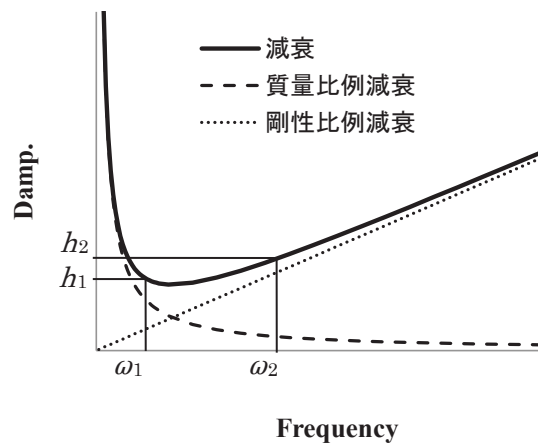
$$[C] = \alpha[M] + \beta[K] \quad (3.4)$$

$[C]$: 減衰マトリクス
 α : 減衰の質量比例係数
 $[M]$: 質量マトリクス
 β : 減衰の剛性比例係数
 $[K]$: 剛性マトリクス

係数 α , β は、付録 3-2 図に示すように、評価上着目する 2 つの円振動数 ω_1 , ω_2 と、それぞれの円振動数における減衰定数 h_1 , h_2 を与えると、次式から求まる。

$$\alpha = 2\omega_1\omega_2 \cdot \frac{h_1\omega_2 - h_2\omega_1}{\omega_2^2 - \omega_1^2} \quad (3.5)$$

$$\beta = 2 \cdot \frac{h_2\omega_2 - h_1\omega_1}{\omega_2^2 - \omega_1^2} \quad (3.6)$$



付録 3-2 図 レーリー減衰

3.4 履歴法則

履歴法則は、メーキング則を適用する。履歴法則を付録 3-3 図に示す。

メーキング則による履歴法則では、せん断ひずみとせん断応力の関係を表す骨格曲線 $\tau = f(\gamma)$ (付録 3-3 図の 0-A-C) のみを定義する。

0→A と載荷したあと、A 点で除荷した場合の除荷後の履歴曲線は、(3.1)式で表される。(3.1)式は、A 点を原点として、骨格曲線を相似形に 2 倍の大きさにした履歴曲線を表している。(3.1)式は A 点の点対称な点 D 点に向かう曲線となる。

$$\frac{\tau - \tau_{R1}}{2} = f\left(\frac{\gamma - \gamma_{R1}}{2}\right) \quad (3.1)$$

ここに、 γ_{R1} : A 点のせん断ひずみ

τ_{R1} : A 点のせん断応力

である。

A→B まで除荷した後、再度載荷方向を逆転すると、B 点を原点として骨格曲線を相似形に 2 倍の大きさにした履歴曲線に移動する。

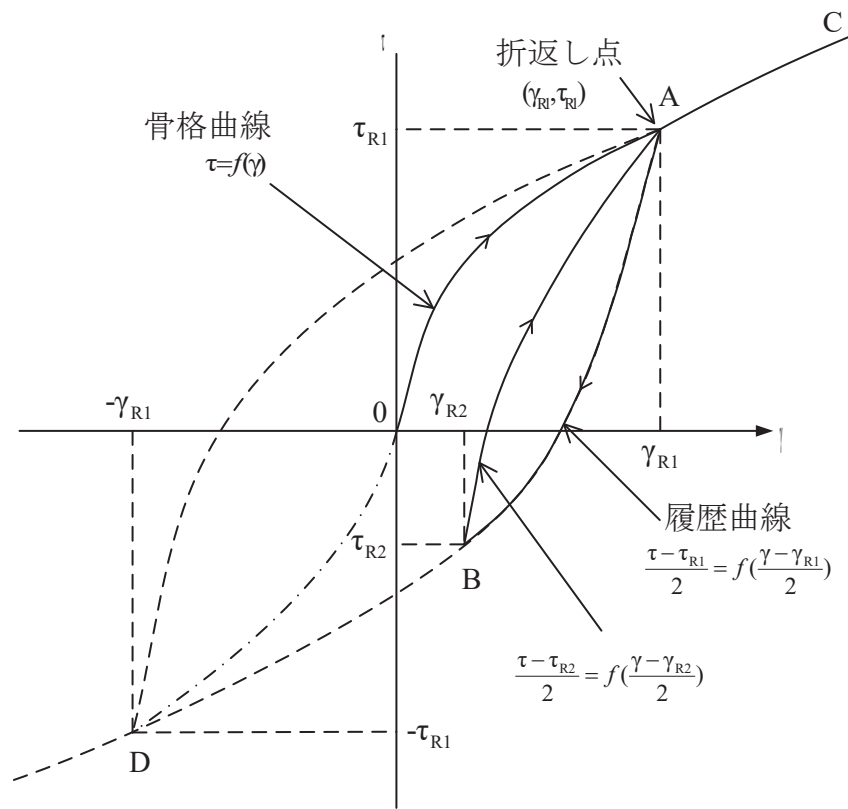
$$\frac{\tau - \tau_{R2}}{2} = f\left(\frac{\gamma - \gamma_{R2}}{2}\right) \quad (3.2)$$

ここに、 γ_{R2} : B 点のせん断ひずみ

τ_{R2} : B 点のせん断応力

である。

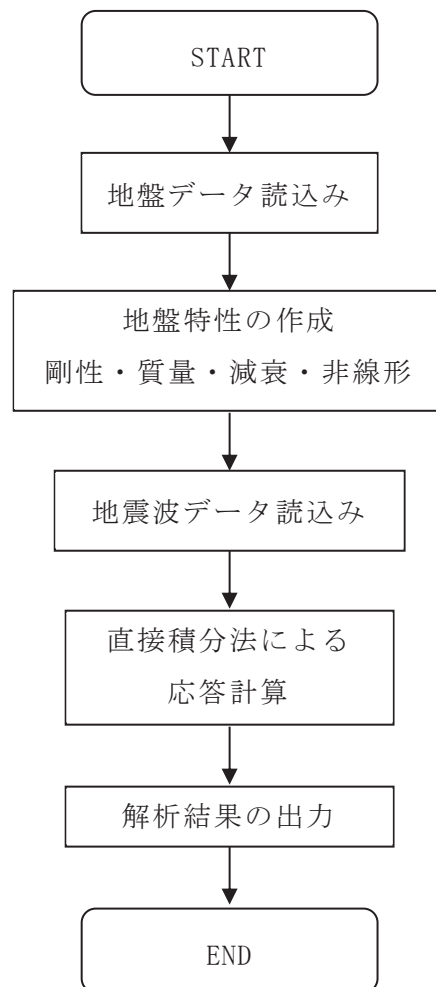
(3.2)式は最初の除荷点 B に向かう曲線となる。



付録 3-3 図 応力-ひずみ関係モデルの考え方

4. 解析フローチャート

本計算機コードの解析フローチャートを付録 3-4 図に示す。



付録 3-4 図 解析フローチャート

5. 適用事例

本計算機コードを用いて解析した論文発表事例を以下に示す。

上田 遼，山田和彦，鈴木芳隆：東北地方太平洋沖地震の観測記録に基づく SRC 造 9 階建築物の地震応答解析，日本建築学会大会学術講演梗概集，2012 年 9 月

酒向 裕司，小豆畑 達哉，新井 洋，井上 波彦，岡野 創，上田 遼：地震観測記録に基づく超高層建築物の入力評価（その 3 連壁基礎と杭基礎建築物のシミュレーションと入力評価），日本建築学会大会学術講演梗概集，2012 年 9 月

小豆畑 達哉，飯場 正紀，井上 波彦，岡野 創，酒向 裕司，上田 遼：地震観測記録に基づく超高層建築物の入力評価（その 4 基礎構造形式が入力損失と建築物応答に与える影響），日本建築学会大会学術講演梗概集，2012 年 9 月

Ueda, R., Yamada A., Koyamada K. and Okano, H.: "A Case Study on Polyhedron Model of a Strain Space Multiple Mechanism Model", Joint Conference Proceedings, 9th International Conference on Urban Earthquake Engineering/ 4th Asia Conference on Earthquake Engineering, pp.469-472, 2012.3

付録 4 入力地震動評価における補正水平力について

1. J E A G 4 6 0 1 による補正水平力（切欠き力）の取り扱い

J E A G 4 6 0 1 - 1987 では、表層地盤の影響を正確に評価しようとする場合には 1 次元波動解析の結果 $|\tilde{u}|$ に穴あき地盤の効果を補正するための外力 $(-\tilde{P})$ を基礎マット底面に加える方法があるとしている。また、外力 $(-\tilde{P})$ は基礎マット底面位置における自由地盤中の応力 τ と基礎底面積 A との積 τA から求められる、としている。

【 J E A G 4 6 0 1 - 1987 の記載抜粋 】

第5章 建物・構築物の耐震設計

5.2 地震応答解析 / 5.2.4 線形地震応答解析

(2) 設計用入力地震動

a. SRモデルの入力地震動

(略)・・・表層地盤の影響を正確に評価しようとする場合には、1次元波動解析の結果 $|\tilde{u}|$ に穴あき地盤の効果を補正するための外力 $(-\tilde{P})$ を基礎マット底面に加える方法と、更に2次元の離散系モデルにより穴あき地盤の解析を行う方法等がある。(図5.2.4-5参照)

前記の外力 $(-\tilde{P})$ は切欠き部分の表面力と釣合う力であり、基礎マット底面位置における自由地盤中の応力 τ と基礎マットの底面積 A との積 τA から求められる力である。・・・(略)

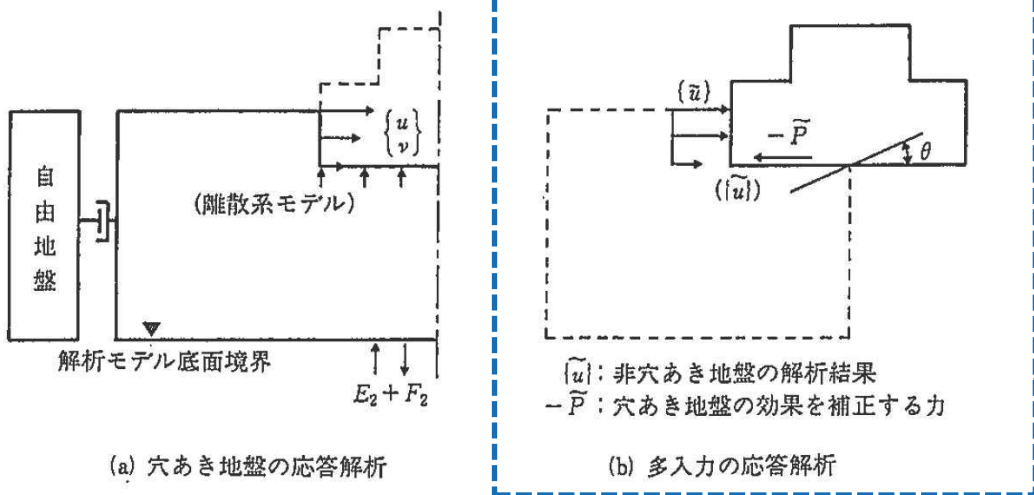
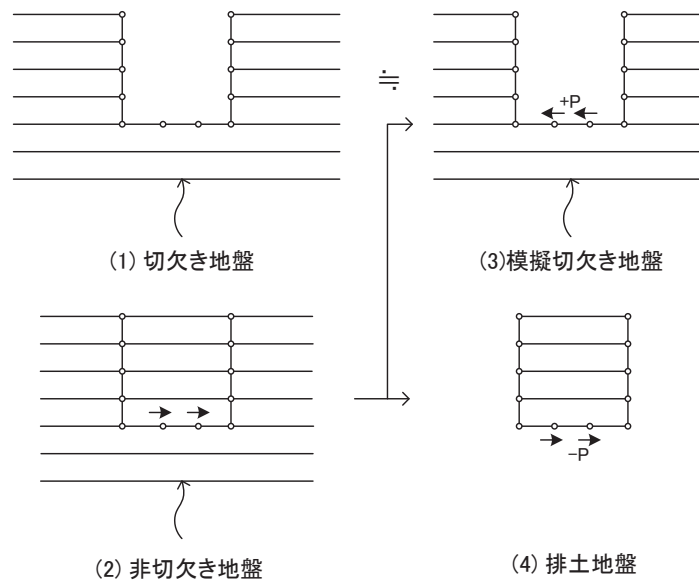


図 5. 2. 4 - 5 離散系モデル（サブストラクチャ法）の入力地震動

2. 解析における補正水平力（切欠き力）の取り扱いについて

補正水平力（切欠き力）の概念図について付録 4-1 図に示す。構造物が埋め込まれている場合、地盤は(1)切欠き地盤のような状態となるが、1次元地盤モデルによる解析では、直接この(1)のような地盤状態を解く代わりに(2)非切欠き地盤のような地盤状態について解いている。(1)の切欠き部分の表面では応力が0であるのに対し、(2)の同位置では応力が生じる。両者の差を補う補正力として、これに釣り合う応力 $+P$ を作用させることにより、(1)を(3)模擬切欠き地盤で近似表現する。この時、構造物と置き変わる(4)排土地盤には $-P$ を作用させることになる。

解析においては、時刻歴における基礎底面位置のせん断応力度 τ を算出し、建屋基礎底面積 A を乗じることにより、補正水平力（切欠き力） P として建屋に入力している。



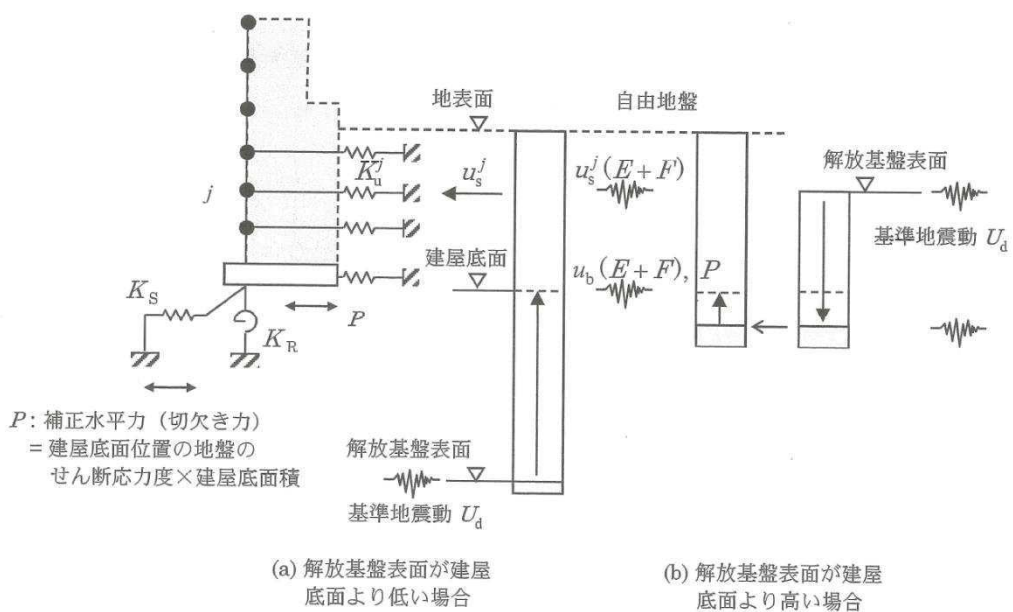
付録 4-1 図 補正水平力（切欠き力）の概念図

付録 5 Novak ばねの概要について

1. 建物・構築物の側面地盤ばねを考慮する場合の取り扱い

埋込みSRモデルにおける入力地震動は付録5-1図に示すとおり、地下部外壁側面の地盤ばねについては地盤応答 $u_s^j(E+F)$ 、基礎版底面の地盤ばねについては、基礎版底面の地盤応答 $u_b(E+F)$ 及び、基礎版底面に作用する補正水平力 P を採用する。これらの入力地震動については、解放基盤表面で定義された基準地震動に対する地盤の応答を一次元波動論により算定する。

補正水平力 P は基礎版底面レベルにおける地盤のせん断応力度と基礎版底面積との積として求める。



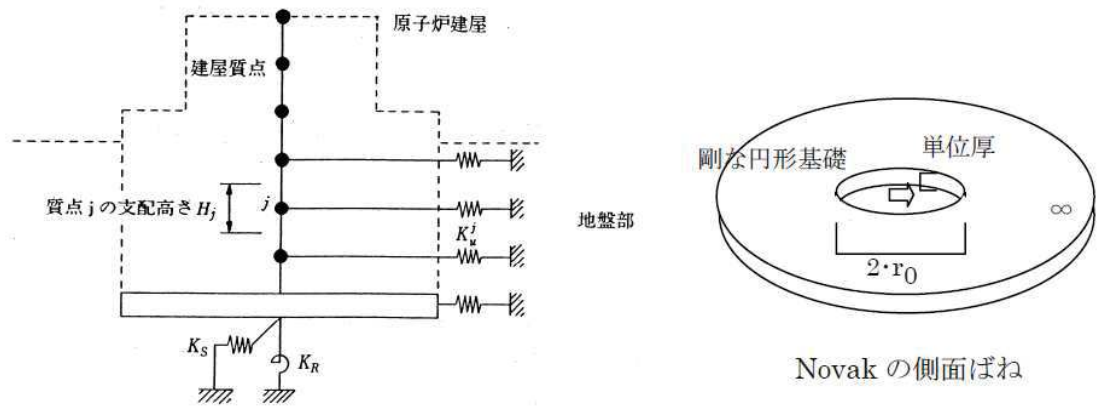
付録5-1図 埋込みSRモデルの入力地震動

2. Novak ばねの算定方法

Novak のばねは、付録 5-2 図に示すように、地盤を平面的に切り出した 2 次元弾性地盤の地盤ばねを採用しており、次の仮定のもとに導かれるものである。

- ① 地盤は単位厚で平面的に切り出した等方均質な弾性体とする。
- ② 建物・構築物は半径 r_0 の円形平面を持ち、振動時にもその平面形は変化しないものとする。
- ③ 建物・構築物と地盤とは密着しており、変位の連続条件が成り立つ。

また、建屋地下外壁と地盤間に摩擦等によるせん断抵抗が期待できる場合には、側面地盤ばね（水平）に加えて側面に回転ばねを考慮してもよい。



付録 5-2 図 Novak の側面地盤ばねを用いた埋込み SR モデル

Novak のばねは次式により算定する。

$$K_u^j = -\pi H_j G_j a_0^2 \frac{4K_1(b_0^*)K_1(a_0^*) + a_0^*K_1(b_0^*)K_0(a_0^*) + b_0^*K_0(b_0^*)K_1(a_0^*)}{b_0^*K_0(b_0^*)K_1(a_0^*) + a_0^*K_1(b_0^*)K_0(a_0^*) + b_0^*a_0^*K_0(b_0^*)K_0(a_0^*)} \quad \dots \text{式①}$$

ここに、

- π : 円周率
- H_j : 建物質点 j の支配高さ
- G_j : 建物質点 j の支配高さにおける地下部外壁に接する地盤のせん断弾性係数
- $a_0 = \omega r_0 / V_s$: 等価円置換の無次元振動数
- $r_0 = \sqrt{(B_x \cdot B_y / \pi)}$: 等価円半径
- ω : 円振動数

- V_s : 地下部外壁に接する地盤の S 波速度
 B_x, B_y : 建物の辺長
 $K_0(\cdot), K_1(\cdot)$: それぞれ 0 次と 1 次の変形ベッセル関数
 $a_0^* = (a_0 / \sqrt{(1+i \cdot 2h_j)}) \cdot i$, $b_0^* = a_0^* / \eta_j$
 $\eta_j = \sqrt{(2(1-\nu_j)/(1-2\nu_j))}$
 h_j : 地下部外壁に接する地盤の減衰定数
 ν_j : 地下部外壁に接する地盤のポアソン比
 i : 虚数単位

建物・構築物の埋込み部質点 j の支配高さ H_j 内で、外壁に接する地盤が層をなす場合には、せん断弾性係数 G 、減衰定数 h 、ポアソン比 ν 、単位体積重量 γ に関して、層厚で重み付け平均した値を等価な地盤定数とする。

式①で表される地下部外壁の側面地盤ばねを直接用いて周波数領域で地震応答解析を行うことができるが、円振動数 ω に関わらず、一定の剛性 \bar{K}_u^j と減衰係数 C_u^j に近似して適用することができる。

地下部外壁の側面地盤ばね \bar{K}_u^j と減衰係数 C_u^j は次式により算出する。

$$\bar{K}_u^j = 3.8 H_j G_j \quad \dots \text{式②}$$

$$C_u^j = {}_1 K_u / \omega_1 \quad \dots \text{式③}$$

ここに、

- ω_1 : 地盤—建物・構築物連成系の非減衰 1 次固有円振動数
 ${}_1 K_u$: 式①で算出される \bar{K}_u^j の ω_1 における虚数部の値

3. 硬質岩盤における Novak ばねの課題

埋込み SR モデルは軟質岩盤では数多くの検討例があるが、硬質岩盤の場合は検討例が少ない。既往研究¹⁾²⁾³⁾では、埋込み SR モデルの硬質岩盤における適用性について解析的に検討している。その結果、建屋サイズ、建屋重量が大きいタイプの建屋では硬質岩盤に建つ建屋に対しても埋込み SR モデルにより建屋応答が評価できるが、建屋サイズ、建屋重量が小さく表層地盤が厚い場合は、硬質岩盤に建つ建屋に対して埋込み SR モデルによる建屋応答が過大な値となることが示されている。

このような場合の埋込み SR モデルの差異は、表層 1 次振動数付近で表れている。埋込み SR モデルでは、Novak のばねが各層間で関連のない平面ひずみ状態のばねを重ねたモデルであるため、表層の共振特性を表せず、この振動数付近で側面地盤ばねの虚部が低下しないことが、差異が大きくなる原因であると考察している。

参考文献

- 1) 硬質岩盤における埋込み SR モデルの適用性に関する研究 その 1. 埋込み SR モデルと軸対称 FEM モデルによる建屋応答の比較, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1057-1058, 1995 年 8 月
- 2) 硬質岩盤における埋込み SR モデルの適用性に関する研究 その 2. 硬質岩盤での埋込み SR モデルの特性検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1059-1060, 1995 年 8 月
- 3) 硬質岩盤における埋込み SR モデルの適用性に関する研究 その 3. 硬質岩盤における埋込み SR モデルの改良, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1061-1062, 1995 年 8 月

| | |
|-----------------------|---------------------|
| 女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料 | |
| 資料番号 | O2-補-E-19-0620-3_改0 |
| 提出年月日 | 2020年6月18日 |

補足 620-3 【原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料】

1. 工事計画添付書類に係る補足説明資料

VI-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」の記載内容を補足するための資料を以下に示す。なお、他建物・構築物の地震応答計算書の記載内容を共通的に補足する内容についても、本資料で代表し説明する。

別紙 1 原子炉建屋の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

別紙 2 原子炉建屋の地震応答解析における耐震壁のスケルトンカーブの設定

別紙 3 原子炉建屋の地震応答解析における材料物性の不確かさに関する検討

別紙 4 地震応答解析モデルに用いる鉄筋コンクリート部の減衰定数に関する検討

別紙 1 原子炉建屋の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

目次

1. 概要…………… 別紙 1-1
2. 地震応答解析モデルの変更点について…………… 別紙 1-2

1. 概要

本資料は、原子炉建屋の既工認時及び今回工認時の地震応答解析モデル及び手法の比較を示すものである。

2. 地震応答解析モデルの変更点について

原子炉建屋の地震応答解析モデル及び手法の比較を表 2-1 に示す。鉛直方向の地震応答解析モデル（以下「鉛直モデル」という。）の諸元の設定方法を表 2-2 に示す。また、今回工認時の地震応答解析モデルを図 2-1 に示す。

比較に用いる既工認時の地震応答解析モデル及び手法は、建設工認のものである。

表 2-1 原子炉建屋の地震応答解析モデル及び手法の比較

| 項目 | 内容 | 既工認時 ^{*1*2} | 今回工認 | 備考 |
|-----------|------|--|--|-----|
| 入力地震動の算定法 | 水平 | 基準地震動を基礎底面に直接入力 | 周辺地盤による低減効果を考慮 (E + F 入力) | (1) |
| | 鉛直 | — | 基準地震動を基礎底面に直接入力 | — |
| 解析コード | | N U P P II | N U P P 4 | — |
| 建屋のモデル化 | モデル | 水平：多軸床剛多質点系モデル 鉛直：応答解析を実施せず | 水平：多軸床柔多質点系モデル 鉛直：1軸多質点系モデル | (2) |
| | 材料物性 | 検討時の規準に基づき設定 ・コンクリートのヤング係数，ポアソン比 $E = 2.65 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ (SI 換算) $\nu = 0.167$ | 既設部材 ・同左 追設部材 ・コンクリートのヤング係数，ポアソン比 $E = 2.52 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ $\nu = 0.2$ ・鋼材のヤング係数，ポアソン比 $E = 2.05 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ $\nu = 0.3$ 鉛直モデル用に設定 ・コンクリートのヤング係数，ポアソン比 同左 ・鋼材のヤング係数，ポアソン比 $E = 2.05 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ $\nu = 0.3$ | (3) |
| | 剛性評価 | 耐震壁を考慮 | 耐震壁を考慮 初期剛性はシミュレーションにて補正 | (4) |
| | 減衰定数 | RC：5% | ・水平方向：RC：5% ・鉛直方向：RC：5%， 鋼材：2% | — |
| 地盤のモデル化 | 底面ばね | 水平及び回転ばねを考慮 | ・水平方向：水平及び回転ばねを考慮 ・鉛直方向：鉛直ばねを考慮 | (5) |
| | 側面ばね | 考慮せず | ・水平方向：考慮せず ・鉛直方向：考慮せず | |
| 非線形特性 | 耐震壁 | 考慮 | ・水平方向：考慮 ・鉛直方向：考慮せず | (5) |
| | 底面ばね | 考慮 | ・水平方向：接地率 75%を下回る場合，基礎浮上りによる幾何学的非線形性考慮 ・鉛直方向：考慮せず | |
| 誘発上下動 | | 考慮せず | 接地率 65%を下回る場合，考慮する | — |

注記*1：女川原子力発電所第二号機『工事計画認可申請書第1回 添付資料V-2-6-1「原子炉建屋の耐震性についての計算書」(元資庁第2015号平成元年6月8日認可)』

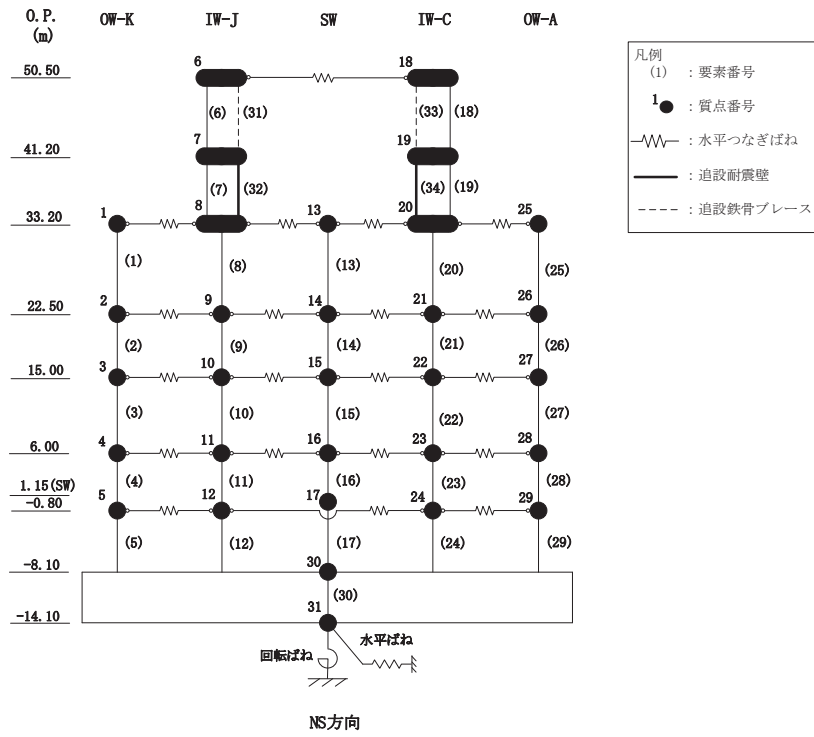
注記*2：建設工認時は，水平方向のみ地震応答解析を実施し，鉛直方向は静的地震力を考慮

具体的な反映事項（表の備考欄に対応）

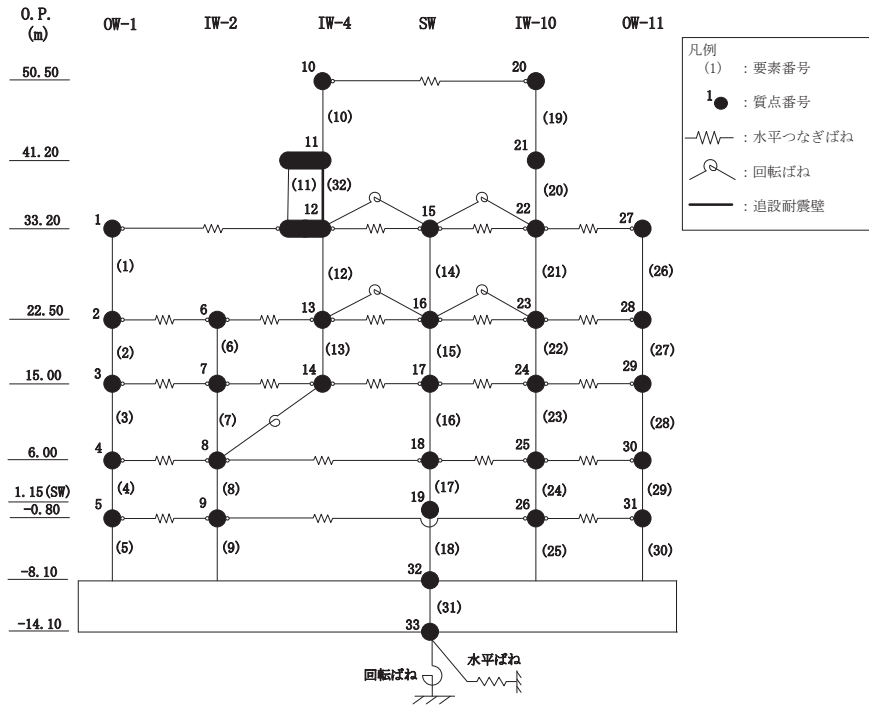
- (1) 解放基盤表面で定義される基準地震動を用いて、一次元逐次非線形解析により算定した位置での応答波を入力した。変更の内容を 2.1 に示し、詳細を補足 620-2 に示す。
- (2) 燃料取替床上部に追設した追設耐震壁及び追設ブレースを考慮。変更の内容について 2.3 に示す。
- (3) 「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」（（社）日本建築学会，1999）及び「鋼構造設計規準」（（社）日本建築学会，2005）に基づく。
- (4) 平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震の地震観測記録を用いたシミュレーションを実施し、初期剛性の補正係数を設定。設定の内容について 2.2 に示し、詳細を補足 620-1 に示す。
- (5) 「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」（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 平成 3 年 12 月）に基づく。詳細は別紙 2 に示す。

表 2-2 鉛直モデルの諸元の設定方法

| 部位 | 質量 | 剛性 | 備考 |
|-------|-----------------------|---|----|
| 耐震壁・柱 | 鉛直モデルに対応する水平モデルの質点の質量 | 水平方向モデルにおいて剛性を考慮している耐震壁の全軸断面積及び鉛直剛性として考慮できる柱の軸断面積の和より軸剛性を算出 | — |
| 屋根トラス | 質点の支配面積より算出 | 曲げ変形とせん断変形を生じる質点系の曲げせん断ばりモデルとして剛性を算出 | — |



(a) NS 方向



(b) EW 方向

図 2-1(1) 地震応答解析モデル (水平方向)

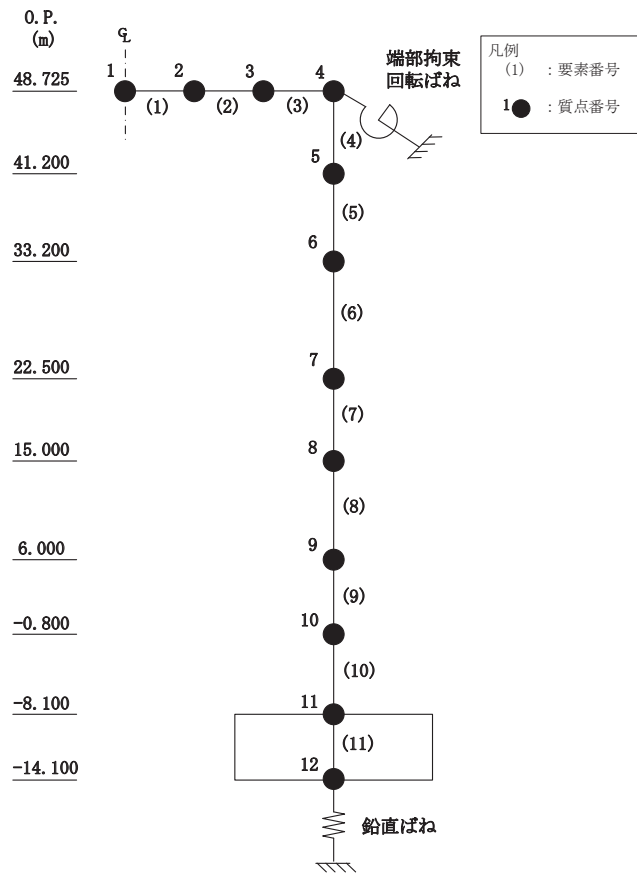


図 2-1(2) 地震応答解析モデル (鉛直方向)

2.1 入力地震動の掘り込み効果の考慮

既工認モデルでは基準地震動を基礎底面に直接入力としていたが、今回工認モデルでは建屋が地盤に掘り込まれた形状を反映し、周辺地盤による低減効果を考慮する。したがって、今回工認モデルにおける入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d を基に、1次元波動論により底面地盤下端の入射波を算定し、表層の地盤の非線形特性を適切に考慮した上で、1次元地盤応答解析により地震応答解析モデルの入力位置で評価する。また、入力波には1次元地盤応答解析で求まる土中の加速度 (E+F) に加えて、建屋により地盤が切り欠かれていることから、補正水平力 (P) も考慮する。なお、地盤条件を考慮する場合には、地震動評価で考慮した敷地全体の地下構造との関係や対象建物・構築物位置と炉心位置での地質・速度構造の違いにも留意し、地盤の非線形応答に関する動的変形特性を考慮する。図 2-2 に入力地震動の算定概念図を示す。

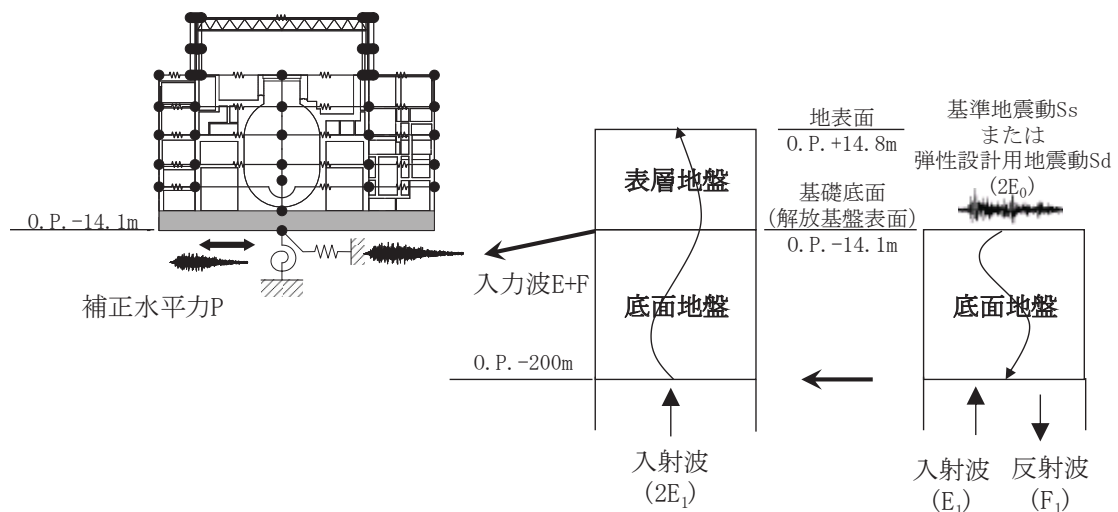
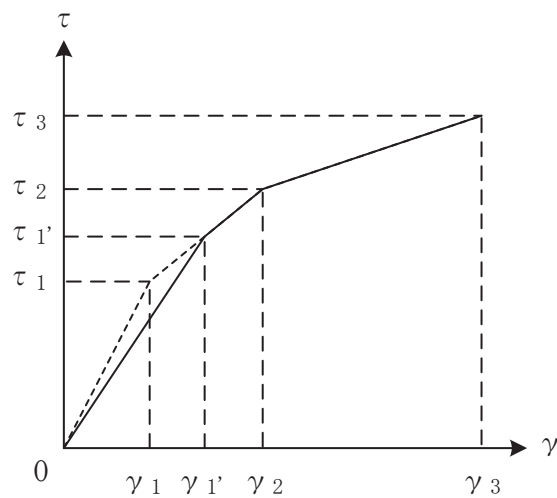


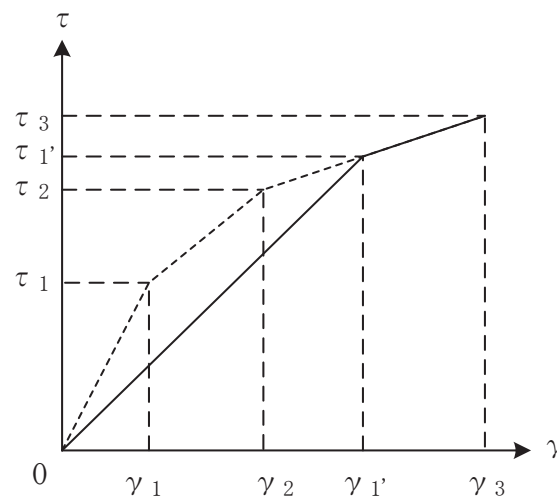
図 2-2 入力地震動の算定概念図

2.2 初期剛性低下の考慮

3.11地震や4.7地震に対する原子炉建屋のシミュレーション解析(水平方向)では、建屋の振動特性に支配的な燃料取替床下部において、発生応力については耐震壁は弾性範囲であったものの、剛性については設計で考慮している初期剛性に比べ2割程度低下している結果が得られた。また、燃料取替床上部の耐震壁の3.11地震等の応答は、設計で考慮している初期剛性に対して5~7割程度の低下している結果が得られた。したがって、せん断力及び曲げモーメントのスケルトンカーブの初期剛性を補正する。図2-3にせん断力のスケルトンカーブを例に補正方法を示す。また、表2-3に既工認及び今回工認における初期剛性の補正係数を示す。



(a) 補正後の初期剛性が第2勾配と交わる場合



(b) 補正後の初期剛性が第3勾配と交わる場合

図2-3 初期剛性を補正したせん断力のスケルトンカーブ

表 2-3 耐震壁の初期剛性の設計値に対する補正係数

(a) 既工認モデル

| | |
|----|------|
| 方向 | 建屋全体 |
| NS | 1.00 |
| EW | 1.00 |

(b) 今回工認モデル

| | | |
|----|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 方向 | 地上 3 階及びクレーン階 (O. P. 33. 2m より上部) | 地下 3 階～地上 2 階 (O. P. 33. 2m より下部) |
| NS | 0.30 | 0.75 |
| EW | 0.50 | 0.80 |

注：追設耐震壁及び追設ブレースについては補正を行わない。

2.3 耐震補強による建屋剛性の考慮

燃料取替床上部では、東北地方太平洋沖地震後のせん断耐力の向上を目的として、燃料取替床～クレーン階部分（O.P. 33.2m～O.P. 41.2m）に追設耐震壁を、クレーン階より上部（O.P. 41.2m～O.P. 50.5m）に追設ブレース及びはりを設置した。補強の概要を以下に示し、耐震補強工事の概要図を図2-4に示す。

- ・補強は、基準地震動 S_s に対する応答が大きい NS 方向の両耐震壁（C 通り、J 通り）と、EW 方向のうち下屋部分の重量の影響で応答が大きい耐震壁（4 通り）について実施した。
- ・地上 3 階～クレーン階部分については、既設躯体は、RC 造耐震壁と SRC 造柱で構成されているため、補強方法としては、SRC 造柱間に新たに RC 造壁（追設耐震壁）を付加した。
- ・クレーン階～屋上階部分については、既設躯体は、RC 造耐震壁と S 造間柱と S 造ばりで構成されており、RC 造壁を付加することは難しいことから、既設 S 造部を活用して新たに S 造のブレース（追設ブレース）を付加することとした。
- ・クレーン階から屋上階の追設ブレースが負担する応力が、追設耐震壁にスムーズに伝達するように、追設耐震壁間には S 造ばり（追設 S ばり）、追設耐震壁上部には SRC ばり（追設 SRC ばり）を付加することとした。

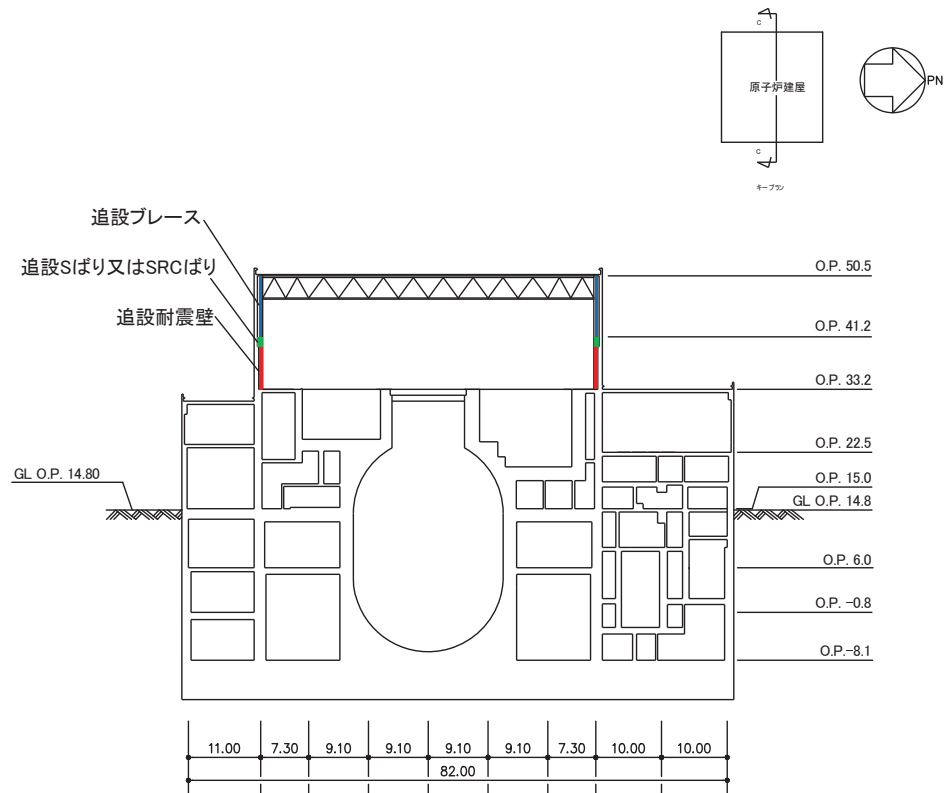


図 2-4 耐震補強工事の概要

2.4 建屋重量の変更

2.4.1 SI 単位系への単位変換による変更

既工認モデルでは重力単位系による重量を用いていたが、今回工認モデルでは SI 単位系へ単位換算する。

2.4.2 改造工事等による重量の変更

燃料取替床上部では 2.2 に示す補強工事により、耐震壁、はり及びブレースを設置したため、今回工認モデルではこれらの補強等による重量の変更を考慮している。

2.5 既工認モデルと今回工認モデルの諸元の比較

表 2-4 及び表 2-5 に既工認モデルと今回工認モデルの諸元の比較を示す。

表 2-4(1) 既工認モデルと今回工認モデルの諸元の比較 (NS 方向, 重量)

(a) 既工認モデル

| 標高 O.P (m) | 建屋 | | | | |
|------------------|-------|-------|-------|-------|------|
| | OW-K | IW-I | SW | IW-C | OW-A |
| 50.50 | | 6 | | 18 | |
| | | 1130 | | 1130 | |
| | | 1.51 | | 1.51 | |
| 41.20 | | 7 | | 19 | |
| | | 1498 | | 1250 | |
| | | 2.58 | | 2.16 | |
| 33.20 | 1 | 8 | 13 | 20 | 25 |
| | 1765 | 8266 | 6010 | 10330 | 2849 |
| | 8.72 | 50.3 | 4.15 | 61.0 | 14.1 |
| 22.50 | 2 | 9 | 14 | 21 | 26 |
| | 2725 | 11237 | 13387 | 16050 | 5082 |
| | 13.5 | 68.4 | 9.48 | 94.8 | 25.1 |
| 15.00 | 3 | 10 | 15 | 22 | 27 |
| | 4546 | 10817 | 9533 | 13661 | 5179 |
| | 22.5 | 71.0 | 11.5 | 85.8 | 25.6 |
| 6.00 | 4 | 11 | 16 | 23 | 28 |
| | 5440 | 11993 | 6311 | 15818 | 6896 |
| | 27.0 | 78.7 | 7.61 | 99.4 | 34.1 |
| 1.15(SW) | 5 | 12 | 17 | 24 | 29 |
| -0.80 | 6166 | 11380 | 9561 | 17490 | 7115 |
| | 30.4 | 71.4 | 9.21 | 106.1 | 35.2 |
| -8.10 | 30 | | | | |
| | 76921 | | | | |
| | 381.6 | | | | |
| -14.10 | 31 | | | | |
| | 46599 | | | | |
| | 230.6 | | | | |

| |
|-------------------------------------|
| 質点番号 |
| 質点重量(t) |
| 回転慣性重量($\times 10^5 t \cdot m^2$) |

(b) 今回工認モデル

| 標高 O.P (m) | 建屋 | | | | |
|------------------|--------|--------|--------|--------|-------|
| | OW-K | IW-I | SW | IW-C | OW-A |
| 50.50 | | 6 | | 18 | |
| | | 10350 | | 10350 | |
| | | 13.8 | | 13.8 | |
| 41.20 | | 7 | | 19 | |
| | | 17530 | | 14310 | |
| | | 30.3 | | 24.7 | |
| 33.20 | 1 | 8 | 13 | 20 | 25 |
| | 17310 | 82060 | 58490 | 101640 | 27940 |
| | 85.5 | 499.2 | 40.4 | 600.2 | 138.3 |
| 22.50 | 2 | 9 | 14 | 21 | 26 |
| | 26720 | 110200 | 129220 | 156560 | 49840 |
| | 132.4 | 670.8 | 91.4 | 924.8 | 246.1 |
| 15.00 | 3 | 10 | 15 | 22 | 27 |
| | 44580 | 106070 | 93490 | 133970 | 50790 |
| | 220.6 | 696.3 | 112.8 | 841.4 | 251.1 |
| 6.00 | 4 | 11 | 16 | 23 | 28 |
| | 53350 | 117610 | 61890 | 155120 | 67630 |
| | 264.8 | 771.8 | 74.6 | 974.8 | 334.4 |
| 1.15(SW) | 5 | 12 | 17 | 24 | 29 |
| -0.80 | 59980 | 111600 | 93760 | 171520 | 69770 |
| | 298.1 | 700.2 | 90.3 | 1040.5 | 345.2 |
| -8.10 | 30 | | | | |
| | 754340 | | | | |
| | 3742.2 | | | | |
| -14.10 | 31 | | | | |
| | 456980 | | | | |
| | 2261.4 | | | | |

| |
|--------------------------------------|
| 質点番号 |
| 質点重量(kN) |
| 回転慣性重量($\times 10^5 kN \cdot m^2$) |

表 2-4(2) 既工認モデルと今回工認モデルの重量の比較 (EW 方向)

(a) 既工認モデル

| 標高 O.P (m) | 建屋 | | | | | |
|-------------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| | OW-1 | IW-2 | IW-4 | SW | IW-10 | OW-11 |
| 50.50 | | | 10 | | 20 | |
| | | | 1130 | | 1130 | |
| | | | 2.65 | | 2.65 | |
| 41.20 | | | 11 | | 21 | |
| | | | 1673 | | 1075 | |
| | | | 3.92 | | 2.52 | |
| 33.20 | 1 | | 12 | 15 | 22 | 27 |
| | 4404 | | 8154 | 6010 | 8727 | 1925 |
| | 25.9 | | 55.5 | 7.26 | 66.1 | 11.3 |
| 22.50 | 2 | 6 | 13 | 16 | 23 | 28 |
| | 4855 | 6833 | 8132 | 13387 | 12246 | 3228 |
| | 28.6 | 39.0 | 58.6 | 16.4 | 92.7 | 19.0 |
| 15.00 | 3 | 7 | 14 | 17 | 24 | 29 |
| | 4389 | 13186 | 819 | 8714 | 11897 | 4731 |
| | 25.8 | 98.9 | 0.99 | 10.5 | 90.1 | 27.9 |
| 6.00 | 4 | 8 | | 18 | 25 | 30 |
| | 5225 | 15231 | | 6311 | 13359 | 6332 |
| | 30.8 | 114.3 | | 7.61 | 101.2 | 37.4 |
| 1.15(SW) -0.80 | 5 | 9 | | 19 | 26 | 31 |
| | 5304 | 15438 | | 9561 | 14985 | 6374 |
| | 31.2 | 111.5 | | 9.21 | 109.1 | 37.6 |
| -8.10 | 32 | | | | | |
| | 76921 | | | | | |
| | 453.9 | | | | | |
| -14.10 | 33 | | | | | |
| | 46599 | | | | | |
| | 274.4 | | | | | |

| |
|-------------------------------------|
| 質点番号 |
| 質点重量(t) |
| 回転慣性重量($\times 10^5 t \cdot m^2$) |

(b) 今回工認モデル

| 標高 O.P (m) | 建屋 | | | | | |
|-------------------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|
| | OW-1 | IW-2 | IW-4 | SW | IW-10 | OW-11 |
| 50.50 | | | 10 | | 20 | |
| | | | 10350 | | 10350 | |
| | | | 24.2 | | 24.2 | |
| 41.20 | | | 11 | | 21 | |
| | | | 19910 | | 11930 | |
| | | | 46.6 | | 27.9 | |
| 33.20 | 1 | | 12 | 15 | 22 | 27 |
| | 43190 | | 80900 | 58490 | 85980 | 18880 |
| | 254.0 | | 550.2 | 70.6 | 651.2 | 110.8 |
| 22.50 | 2 | 6 | 13 | 16 | 23 | 28 |
| | 47610 | 65050 | 79330 | 129220 | 119670 | 31660 |
| | 280.5 | 382.5 | 571.7 | 157.9 | 906.1 | 186.3 |
| 15.00 | 3 | 7 | 14 | 17 | 24 | 29 |
| | 43040 | 129310 | 8030 | 85460 | 116670 | 46390 |
| | 253.0 | 969.9 | 9.7 | 103.0 | 883.6 | 273.6 |
| 6.00 | 4 | 8 | | 18 | 25 | 30 |
| | 51240 | 149360 | | 61890 | 131010 | 62100 |
| | 302.0 | 1120.9 | | 74.6 | 992.4 | 366.8 |
| 1.15(SW) -0.80 | 5 | 9 | | 19 | 26 | 31 |
| | 52010 | 151400 | | 93760 | 146950 | 62510 |
| | 306.0 | 1093.4 | | 90.3 | 1069.9 | 368.7 |
| -8.10 | 32 | | | | | |
| | 754340 | | | | | |
| | 4451.2 | | | | | |
| -14.10 | 33 | | | | | |
| | 456980 | | | | | |
| | 2690.9 | | | | | |

| |
|--------------------------------------|
| 質点番号 |
| 質点重量(kN) |
| 回転慣性重量($\times 10^5 kN \cdot m^2$) |

表 2-5(1) 既工認モデルと今回工認モデルの諸元の比較 (NS 方向, 剛性)

(a) 既工認モデル

| 標高 O.P (m) | 建屋 | | | | |
|-------------------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | OW-K | IW-I | SW | IW-C | OW-A |
| 50.5 | | 6 | | 18 | |
| | | 10.0 | | 10.0 | |
| | | 3.90 | | 3.84 | |
| 41.2 | | 7 | | 19 | |
| | | 18.2 | | 18.2 | |
| | | 6.82 | | 6.35 | |
| 33.2 | 1 | 8 | 13 | 20 | 25 |
| | 28.4 | 59.8 | 50.6 | 59.4 | 30.8 |
| | 22.4 | 50.7 | 3.83 | 54.3 | 29.2 |
| 22.5 | 2 | 9 | 14 | 21 | 26 |
| | 52.0 | 90.0 | 72.7 | 85.8 | 59.2 |
| | 46.5 | 105.3 | 9.63 | 101.2 | 59.4 |
| 15.00 | 3 | 10 | 15 | 22 | 27 |
| | 77.0 | 118.7 | 71.0 | 123.2 | 75.0 |
| | 62.8 | 132.1 | 11.2 | 159.5 | 73.4 |
| 6.00 | 4 | 11 | 16 | 23 | 28 |
| | 107.8 | 155.3 | 66.8 | 165.2 | 107.8 |
| | 84.0 | 184.1 | 10.5 | 211.1 | 108.9 |
| 1.15(SW) -0.80 | 5 | 12 | 17 | 24 | 29 |
| | 107.8 | 159.8 | 108.0 | 165.2 | 107.8 |
| | 81.6 | 188.3 | 15.7 | 216.1 | 114.4 |
| -8.10 | 30 | | | | |
| | 6468.0 | | | | |
| | 3195.7 | | | | |

既設耐震壁 建屋全体
 ヤング係数 E 270 (t/cm²)
 せん断弾性係数 G 116 (t/cm²)
 ポアソン比 ν 0.167

| 要素番号 |
|---|
| せん断断面積(m ²) |
| 断面2次モーメント(×10 ³ m ⁴) |

(b) 今回工認モデル

| 標高 O.P (m) | 建屋 | | | | |
|-------------------|---------|--------|-------|--------|--------|
| | OW-K | IW-J | SW | IW-C | OW-A |
| 50.5 | | 6 | 31 | 33 | 18 |
| | | 10.0 | 0.184 | 0.184 | 10.0 |
| | | 39.0 | 0.794 | 0.794 | 3.84 |
| 41.2 | | 7 | 32 | 34 | 19 |
| | | 18.2 | 7.56 | 7.56 | 18.2 |
| | | 68.2 | 4.00 | 7.00 | 63.5 |
| 33.2 | 1 | 8 | 13 | 20 | 25 |
| | 28.4 | 59.8 | 50.6 | 59.4 | 30.8 |
| | 224.0 | 507.0 | 38.3 | 543.0 | 292.0 |
| 22.5 | 2 | 9 | 14 | 21 | 26 |
| | 52.0 | 90.0 | 72.7 | 85.8 | 59.2 |
| | 465.0 | 1053.0 | 96.3 | 1012.0 | 594.0 |
| 15.00 | 3 | 10 | 15 | 22 | 27 |
| | 77.0 | 118.7 | 71.0 | 123.2 | 75.0 |
| | 628.0 | 1321.0 | 112.0 | 1595.0 | 734.0 |
| 6.00 | 4 | 11 | 16 | 23 | 28 |
| | 107.8 | 155.3 | 66.8 | 165.2 | 107.8 |
| | 840.0 | 1841.0 | 105.0 | 2111.0 | 1089.0 |
| 1.15(SW) -0.80 | 5 | 12 | 17 | 24 | 29 |
| | 107.8 | 159.8 | 108.0 | 165.2 | 107.8 |
| | 816.0 | 1883.0 | 157.0 | 2161.0 | 1144.0 |
| -8.10 | 30 | | | | |
| | 6468.0 | | | | |
| | 31957.0 | | | | |

①既設耐震壁 (O.P. 33.2mより上部) (要素6, 7, 18, 19)
 ヤング係数 E 7.94×10³ (N/mm²)
 せん断弾性係数 G 3.41×10³ (N/mm²)
 ポアソン比 ν 0.167
 減衰定数 h 5%

②既設耐震壁 (O.P. 33.2mより下部) (要素1~5, 8~17, 20~30)
 ヤング係数 E 1.99×10⁴ (N/mm²)
 せん断弾性係数 G 8.53×10³ (N/mm²)
 ポアソン比 ν 0.167
 減衰定数 h 5%

③追設耐震壁(要素32, 34)
 ヤング係数 E 2.52×10⁴ (N/mm²)
 せん断弾性係数 G 1.05×10⁴ (N/mm²)
 ポアソン比 ν 0.2
 減衰定数 h 5%

④追設ブレース (要素31, 33)
 ヤング係数 E 2.05×10⁵ (N/mm²)
 せん断弾性係数 G 7.90×10⁴ (N/mm²)
 ポアソン比 ν 0.3
 減衰定数 h 2%

| 要素番号 |
|---|
| せん断断面積(m ²) |
| 断面2次モーメント(×10 ² m ⁴) |

表 2-5(2) 既工認モデルと今回工認モデルの諸元の比較 (EW 方向, 剛性)

(a) 既工認モデル

| 標高 O.P (m) | 建屋 | | | | | |
|-------------------|--------|-------|------|-------|-------|-------|
| | OW-1 | IW-2 | IW-4 | SW | IW-10 | OW-11 |
| 50.50 | | | 10 | | 19 | |
| | | | 13.3 | | 13.3 | |
| | | | 6.49 | | 6.49 | |
| 41.20 | | | 11 | | 20 | |
| | | | 17.4 | | 21.2 | |
| | | | 12.5 | | 10.3 | |
| 33.20 | 1 | | 12 | 14 | 21 | 26 |
| | 41.0 | | 51.8 | 63.3 | 53.0 | 32.4 |
| | 37.6 | | 29.5 | 3.07 | 27.3 | 29.9 |
| 22.50 | 2 | 6 | 13 | 15 | 22 | 27 |
| | 57.4 | 76.6 | 36.5 | 72.7 | 79.8 | 54.7 |
| | 65.3 | 66.1 | 34.0 | 9.63 | 107.3 | 60.5 |
| 15.00 | 3 | 7 | | 16 | 23 | 28 |
| | 84.0 | 107.1 | | 71.0 | 121.4 | 84.0 |
| | 85.9 | 92.7 | | 11.2 | 152.3 | 80.3 |
| 6.00 | 4 | 8 | | 17 | 24 | 29 |
| | 114.8 | 163.7 | | 66.8 | 170.0 | 109.2 |
| | 110.9 | 219.9 | | 10.5 | 216.9 | 105.8 |
| 1.15(SW) -0.80 | 5 | 9 | | 18 | 25 | 30 |
| | 117.6 | 169.0 | | 108.0 | 167.2 | 117.6 |
| | 113.1 | 227.8 | | 15.7 | 213.8 | 105.9 |
| -8.10 | 31 | | | | | |
| | 6468.0 | | | | | |
| | 3803.2 | | | | | |

既設耐震壁 建屋全体
 ヤング係数 E 270 (t/cm²)
 せん断弾性係数 G 116 (t/cm²)
 ポアソン比 ν 0.167

| 要素番号 |
|---|
| せん断断面積(m ²) |
| 断面2次モーメント(×10 ³ m ⁴) |

(b) 今回工認モデル

| 標高 O.P (m) | 建屋 | | | | | |
|-------------------|---------|--------|-------|-------|--------|--------|
| | OW-1 | IW-2 | IW-4 | SW | IW-10 | OW-11 |
| 50.50 | | | 10 | | 20 | |
| | | | 13.3 | | 13.3 | |
| | | | 64.9 | | 64.9 | |
| 41.20 | | | 11 | 32 | 21 | |
| | | | 17.4 | 8.58 | 21.2 | |
| | | | 125.0 | 18.88 | 103.0 | |
| 33.20 | 1 | | 12 | 15 | 22 | 27 |
| | 41.0 | | 51.8 | 63.3 | 53.0 | 32.4 |
| | 376.0 | | 295.0 | 30.7 | 273.0 | 299.0 |
| 22.50 | 2 | 6 | 13 | 16 | 23 | 28 |
| | 57.4 | 76.6 | 36.5 | 72.7 | 79.8 | 54.7 |
| | 653.0 | 661.0 | 340.0 | 96.3 | 1073.0 | 605.0 |
| 15.00 | 3 | 7 | | 17 | 24 | 29 |
| | 84.0 | 107.1 | | 71.0 | 121.4 | 84.0 |
| | 859.0 | 927.0 | | 112.0 | 1523.0 | 803.0 |
| 6.00 | 4 | 8 | | 8 | 25 | 30 |
| | 114.8 | 163.7 | | 66.8 | 170.0 | 109.2 |
| | 1109.0 | 2199.0 | | 105.0 | 2169.0 | 1058.0 |
| 1.15(SW) -0.80 | 5 | 9 | | 19 | 26 | 31 |
| | 117.6 | 169.0 | | 108.0 | 167.2 | 117.6 |
| | 1131.0 | 2278.0 | | 157.0 | 2138.0 | 1059.0 |
| -8.10 | 32 | | | | | |
| | 6468.0 | | | | | |
| | 38032.0 | | | | | |

①既設耐震壁 (O.P. 33.2mより上部) (要素10, 11, 20, 21)
 ヤング係数 E 1.32×10⁴ (N/mm²)
 せん断弾性係数 G 5.69×10³ (N/mm²)
 ポアソン比 ν 0.167
 減衰定数 h 5%

②既設耐震壁 (O.P. 33.2mより下部) (要素1~9, 12~19, 22~31)
 ヤング係数 E 2.12×10⁴ (N/mm²)
 せん断弾性係数 G 9.10×10³ (N/mm²)
 ポアソン比 ν 0.167
 減衰定数 h 5%

③追設耐震壁 (要素32)
 ヤング係数 E 2.52×10⁴ (N/mm²)
 せん断弾性係数 G 1.05×10⁴ (N/mm²)
 ポアソン比 ν 0.2
 減衰定数 h 5%

| 要素番号 |
|---|
| せん断断面積(m ²) |
| 断面2次モーメント(×10 ³ m ⁴) |

別紙 2 原子炉建屋の地震応答解析における耐震壁の
スケルトンカーブの設定

目次

| | |
|---|---------|
| 1. 概要 | 別紙 2- 1 |
| 2. 耐震壁の非線形特性の設定について | 別紙 2- 2 |
| 2.1 第 1 折点の設定 | 別紙 2- 3 |
| 2.2 第 2 折点の設定 | 別紙 2- 3 |
| 2.3 終局点の設定 | 別紙 2- 4 |
| 2.4 初期剛性の補正 | 別紙 2- 5 |
| 3. せん断力のスケルトンカーブの設定について | 別紙 2- 6 |
| 3.1 水平方向モデル | 別紙 2- 6 |
| 3.2 使用材料の物性値と剛性補正係数 | 別紙 2-10 |
| 3.3 剛性低下による補正前の RC 造耐震壁のせん断力のスケルトンカーブ の諸数値 | 別紙 2-11 |
| 3.4 剛性低下による補正後の RC 造耐震壁のせん断力のスケルトンカーブ の諸数値 | 別紙 2-19 |
| 4. まとめ | 別紙 2-26 |

1. 概要

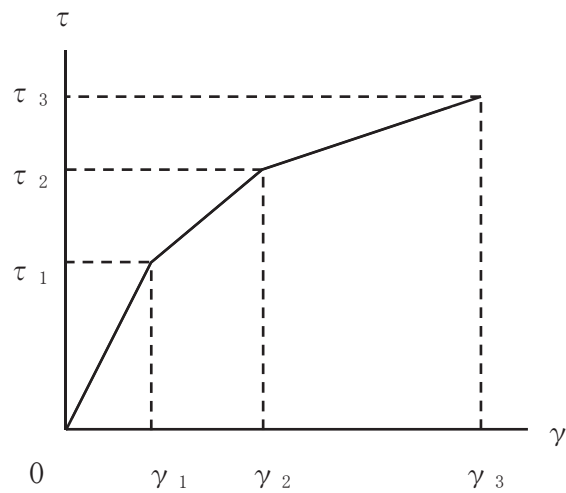
原子炉建屋は、鉄筋コンクリート造の耐震壁を主体とした構造物である。このため、地震応答解析においては、鉄筋コンクリート造耐震壁（以下「RC造耐震壁」という。）の非線形特性を考慮している。本資料は、耐震壁のせん断力のスケルトンカーブの設定について説明するものである。

また、本資料は、以下の添付書類の補足説明をするものである。

- ・添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」

2. 耐震壁の非線形特性の設定について

RC造耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係（ τ － γ 関係）は、「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（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 平成3年12月）」（以下「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」という。）に基づき、トリリニア型スケルトンカーブとする。せん断応力度－せん断ひずみ関係を図 2-1 に示す。



τ_1 : 第1折点のせん断応力度

τ_2 : 第2折点のせん断応力度

τ_3 : 終局点のせん断応力度

γ_1 : 第1折点のせん断ひずみ

γ_2 : 第2折点のせん断ひずみ

γ_3 : 終局点のせん断ひずみ (4.0×10^{-3})

図 2-1 せん断応力度－せん断ひずみ関係

2.1 第1折点の設定

RC造耐震壁におけるせん断力のスケルトンカーブの第1折点は，J E A G 4 6 0 1-1991 追補版に基づき，以下の式より算出している。

$$\tau_1 = \sqrt{\sqrt{F_c} \left(\sqrt{F_c + \sigma_v} \right)}$$
$$\gamma_1 = \tau_1 / G$$

ここで，

F_c : コンクリートの圧縮強度 (kgf/cm²)

G : コンクリートのせん断弾性係数 (kgf/cm²)

σ_v : 縦軸応力度 (kgf/cm²) (圧縮を正とする。)

2.2 第2折点の設定

RC造耐震壁におけるせん断力のスケルトンカーブの第2折点は，J E A G 4 6 0 1-1991 追補版に基づき，以下の式より算出している。

$$\tau_2 = 1.35 \cdot \tau_1$$

$$\gamma_2 = 3 \cdot \gamma_1$$

2.3 終局点の設定

RC 造耐震壁におけるせん断力のスケルトンカーブの終局点は，J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版に基づき，以下の式より算出している。

$\tau_s \leq 4.5 \sqrt{F_c}$ の場合

$$\tau_3 = \left(1 - \frac{\tau_s}{4.5 \sqrt{F_c}} \right) \tau_0 + \tau_s$$

$\tau_s > 4.5 \sqrt{F_c}$ の場合

$$\tau_3 = 4.5 \sqrt{F_c}$$

$$\gamma_3 = 4.0 \times 10^{-3}$$

ここで，

$$\tau_0 = \left(3 - \frac{1.8 \cdot M}{Q \cdot D} \right) \sqrt{F_c}$$

ただし， $M/QD > 1$ のとき $M/QD = 1$

$$\tau_s = \frac{(P_v + P_H) \cdot s \sigma_y}{2} + \frac{(\sigma_v + \sigma_H)}{2}$$

F_c : コンクリートの圧縮強度 (kgf/cm²)

P_v, P_H : 縦，横筋比 (実数)

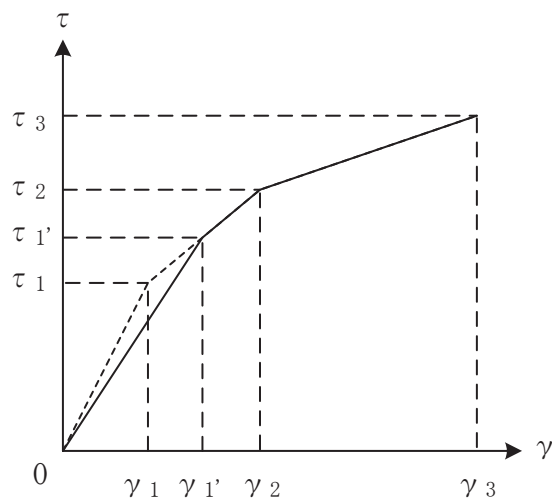
σ_v, σ_H : 縦，横軸応力度 (kgf/cm²) (圧縮を正とする。)

$s \sigma_y$: 鉄筋降伏応力度 (kgf/cm²)

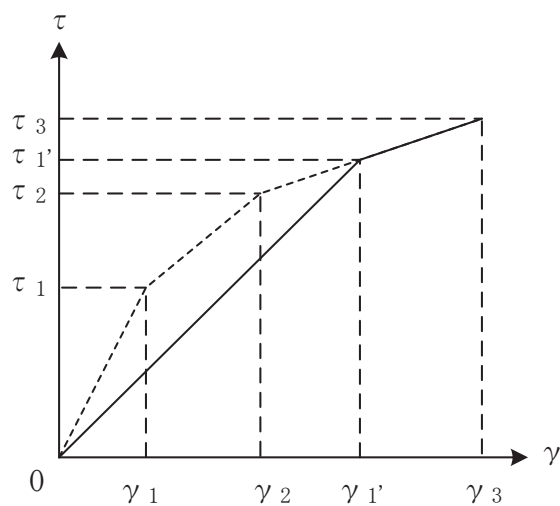
M/QD : シアスパン比

2.4 初期剛性の補正

原子炉建屋の初期剛性は、地震観測記録のシミュレーション解析に基づいて設定した補正係数を乗じて補正を行っている。せん断力のスケルトンカーブの初期剛性の補正方法を図 2-2 に示す。



(a) 補正後の初期剛性が第 2 勾配と交わる場合



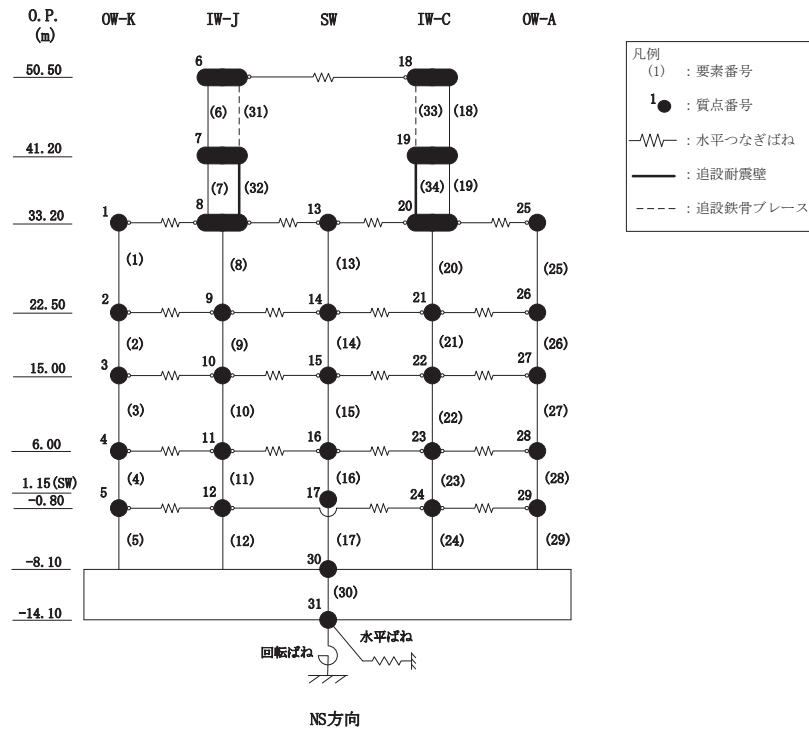
(b) 補正後の初期剛性が第 3 勾配と交わる場合

図 2-2 初期剛性を補正したせん断力のスケルトンカーブ

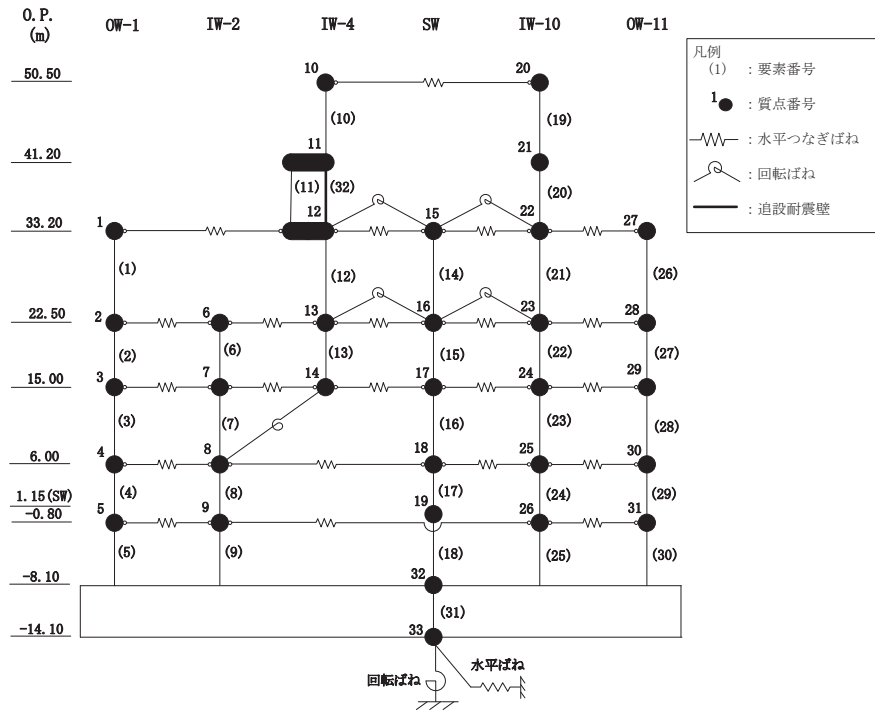
3. せん断力のスケルトンカーブの設定について

3.1 水平方向モデル

水平方向は，地盤との相互作用を考慮し，耐震壁等の曲げ及びせん断剛性を評価した多質点系モデルとしている。地震応答解析モデルを図 3-1 に，解析モデルの諸元を表 3-1 に示す。



(a) NS 方向



(b) EW 方向

図 3-1 地震応答解析モデル (水平方向)

表 3-1(1) 地震応答解析モデル諸元 (NS 方向)

(a) 重量・回転慣性重量

| 標高 O.P. (m) | 建屋 | | | | |
|-------------------|-------|--------|--------|--------|-------|
| | OW-K | IW-J | SW | IW-C | OW-A |
| 50.50 | | 6 | | 18 | |
| | | 10350 | | 10350 | |
| | | 13.8 | | 13.8 | |
| 41.20 | | 7 | | 19 | |
| | | 17530 | | 14310 | |
| | | 30.3 | | 24.7 | |
| 33.20 | 1 | 8 | 13 | 20 | 25 |
| | 17310 | 82060 | 58490 | 101640 | 27940 |
| | 85.5 | 499.2 | 40.4 | 600.2 | 138.3 |
| 22.50 | 2 | 9 | 14 | 21 | 26 |
| | 26720 | 110200 | 129220 | 156560 | 49840 |
| | 132.4 | 670.8 | 91.4 | 924.8 | 246.1 |
| 15.00 | 3 | 10 | 15 | 22 | 27 |
| | 44580 | 106070 | 93490 | 133970 | 50790 |
| | 220.6 | 696.3 | 112.8 | 841.4 | 251.1 |
| 6.00 | 4 | 11 | 16 | 23 | 28 |
| | 53350 | 117610 | 61890 | 155120 | 67630 |
| | 264.8 | 771.8 | 74.6 | 974.8 | 334.4 |
| 1.15(SW) | 5 | 12 | 17 | 24 | 29 |
| | 59980 | 111600 | 93760 | 171520 | 69770 |
| | 298.1 | 700.2 | 90.3 | 1040.5 | 345.2 |
| -0.80 | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| -8.10 | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| -14.10 | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

| |
|---|
| 要素番号 |
| 質点重量(kN) |
| 回転慣性重量($\times 10^5$ kN \cdot m 2) |

(b) セン断断面積・断面二次モーメント

原子炉建屋(NS方向)

| 標高 O.P. (m) | 建屋 | | | | |
|-------------------|-------|--------|-------|--------|--------|
| | OW-K | IW-J | SW | IW-C | OW-A |
| 50.5 | | 6 | 31 | 33 | 18 |
| | | 10.0 | 0.184 | 0.184 | 10.0 |
| | | 39.0 | 0.794 | 0.794 | 3.84 |
| 41.2 | | 7 | 32 | 34 | 19 |
| | | 18.2 | 7.56 | 7.56 | 18.2 |
| | | 68.2 | 4.00 | 7.00 | 63.5 |
| 33.2 | 1 | 8 | 13 | 20 | 25 |
| | 28.4 | 59.8 | 50.6 | 59.4 | 30.8 |
| | 224.0 | 507.0 | 38.3 | 543.0 | 292.0 |
| 22.5 | 2 | 9 | 14 | 21 | 26 |
| | 52.0 | 90.0 | 72.7 | 85.8 | 59.2 |
| | 465.0 | 1053.0 | 96.3 | 1012.0 | 594.0 |
| 15.00 | 3 | 10 | 15 | 22 | 27 |
| | 77.0 | 118.7 | 71.0 | 123.2 | 75.0 |
| | 628.0 | 1321.0 | 112.0 | 1595.0 | 734.0 |
| 6.00 | 4 | 11 | 16 | 23 | 28 |
| | 107.8 | 155.3 | 66.8 | 165.2 | 107.8 |
| | 840.0 | 1841.0 | 105.0 | 2111.0 | 1089.0 |
| 1.15(SW) | 5 | 12 | 17 | 24 | 29 |
| | 107.8 | 159.8 | 108.0 | 165.2 | 107.8 |
| | 816.0 | 1883.0 | 157.0 | 2161.0 | 1144.0 |
| -8.10 | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

| |
|-----------------------------------|
| 要素番号 |
| せん断断面積(m 2) |
| 断面二次モーメント($\times 10^4$ m 4) |

①既設耐震壁 (O.P. 33.2mより上部) (要素6, 7, 18, 19)
 ヤング係数 E 7.94×10^3 (N/mm 2)
 セン断弾性係数 G 3.41×10^3 (N/mm 2)
 ポアソン比 ν 0.167
 減衰定数 h 5%

②既設耐震壁 (O.P. 33.2mより下部) (要素1~5, 8~17, 20~30)
 ヤング係数 E 1.99×10^4 (N/mm 2)
 セン断弾性係数 G 8.53×10^3 (N/mm 2)
 ポアソン比 ν 0.167
 減衰定数 h 5%

③追設耐震壁 (要素32, 34)
 ヤング係数 E 2.52×10^4 (N/mm 2)
 セン断弾性係数 G 1.05×10^4 (N/mm 2)
 ポアソン比 ν 0.2
 減衰定数 h 5%

④追設ブレース (要素31, 33)
 ヤング係数 E 2.05×10^5 (N/mm 2)
 セン断弾性係数 G 7.90×10^4 (N/mm 2)
 ポアソン比 ν 0.3
 減衰定数 h 2%

表 3-1(2) 地震応答解析モデル諸元 (EW 方向)

(a) 重量・回転慣性重量

| 標高 O.P (m) | 建屋 | | | | | |
|-------------------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|
| | OW-1 | IW-2 | IW-4 | SW | IW-10 | OW-11 |
| 50.50 | | | 10 | | 20 | |
| | | | 10350 | | 10350 | |
| | | | 24.2 | | 24.2 | |
| 41.20 | | | 11 | | 21 | |
| | | | 19910 | | 11930 | |
| | | | 46.6 | | 27.9 | |
| 33.20 | 1 | | 12 | 15 | 22 | 27 |
| | 43190 | | 80900 | 58490 | 85980 | 18880 |
| | 254.0 | | 550.2 | 70.6 | 651.2 | 110.8 |
| 22.50 | 2 | 6 | 13 | 16 | 23 | 28 |
| | 47610 | 65050 | 79330 | 129220 | 119670 | 31660 |
| | 280.5 | 382.5 | 571.7 | 157.9 | 906.1 | 186.3 |
| 15.00 | 3 | 7 | 14 | 17 | 24 | 29 |
| | 43040 | 129310 | 8030 | 85460 | 116670 | 46390 |
| | 253.0 | 969.9 | 9.7 | 103.0 | 883.6 | 273.6 |
| 6.00 | 4 | 8 | | 18 | 25 | 30 |
| | 51240 | 149360 | | 61890 | 131010 | 62100 |
| | 302.0 | 1120.9 | | 74.6 | 992.4 | 366.8 |
| 1.15(SW) -0.80 | 5 | 9 | | 19 | 26 | 31 |
| | 52010 | 151400 | | 93760 | 146950 | 62510 |
| | 306.0 | 1093.4 | | 90.3 | 1069.9 | 368.7 |
| -8.10 | 32 | | | | | |
| | 754340 | | | | | |
| | 4451.2 | | | | | |
| -14.10 | 33 | | | | | |
| | 456980 | | | | | |
| | 2690.9 | | | | | |

| |
|--|
| 質点番号 |
| 質点重量(kN) |
| 回転慣性重量($\times 10^3 \text{kN}\cdot\text{m}^2$) |

(b) セン断断面積・断面二次モーメント

| 標高 O.P (m) | 建屋 | | | | | | |
|-------------------|---------|--------|-------|-------|--------|--------|---|
| | OW-1 | IW-2 | IW-4 | SW | IW-10 | OW-11 | |
| 50.50 | | | 10 | | 19 | | ①既設耐震壁 (O.P. 33.2mより上部) (要素10, 11, 19, 20) ヤング係数 E 1.32×10^4 (N/mm ²) せん断弾性係数 G 5.69×10^3 (N/mm ²) ポアソン比 ν 0.167 減衰定数 h 5% |
| | | | 13.3 | | 13.3 | | |
| | | | 64.9 | | 64.9 | | |
| 41.20 | | | 11 | 32 | 20 | | ②既設耐震壁 (O.P. 33.2mより下部) (要素1~9, 12~18, 21~31) ヤング係数 E 2.12×10^4 (N/mm ²) せん断弾性係数 G 9.10×10^3 (N/mm ²) ポアソン比 ν 0.167 減衰定数 h 5% |
| | | | 17.4 | 8.58 | 21.2 | | |
| | | | 125.0 | 18.88 | 103.0 | | |
| 33.20 | 1 | | 12 | 14 | 21 | 26 | ③追設耐震壁 (要素32) ヤング係数 E 2.52×10^4 (N/mm ²) せん断弾性係数 G 1.05×10^4 (N/mm ²) ポアソン比 ν 0.2 減衰定数 h 5% |
| | 41.0 | | 51.8 | 63.3 | 53.0 | 32.4 | |
| | 376.0 | | 295.0 | 30.7 | 273.0 | 299.0 | |
| 22.50 | 2 | 6 | 13 | 15 | 22 | 27 | |
| | 57.4 | 76.6 | 36.5 | 72.7 | 79.8 | 54.7 | |
| | 653.0 | 661.0 | 340.0 | 96.3 | 1073.0 | 605.0 | |
| 15.00 | 3 | 7 | | 16 | 23 | 28 | |
| | 84.0 | 107.1 | | 71.0 | 121.4 | 84.0 | |
| | 859.0 | 927.0 | | 112.0 | 1523.0 | 803.0 | |
| 6.00 | 4 | 8 | | 17 | 24 | 29 | |
| | 114.8 | 163.7 | | 66.8 | 170.0 | 109.2 | |
| | 1109.0 | 2199.0 | | 105.0 | 2169.0 | 1058.0 | |
| 1.15(SW) -0.80 | 5 | 9 | | 18 | 25 | 30 | |
| | 117.6 | 169.0 | | 108.0 | 167.2 | 117.6 | |
| | 1131.0 | 2278.0 | | 157.0 | 2138.0 | 1059.0 | |
| -8.10 | 31 | | | | | | |
| | 6468.0 | | | | | | |
| | 38032.0 | | | | | | |

| |
|---------------------------------------|
| 要素番号 |
| せん断断面積(m ²) |
| 断面2次モーメント($\times 10^2 \text{m}^4$) |

3.2 使用材料の物性値と剛性補正率

地震応答解析に用いる原子炉建屋の使用材料の物性値を表 3-2 及び表 3-3 に示す。
また、表 3-4 にシミュレーション解析に基づく剛性補正係数を示す。

表 3-2 使用材料の物性値（コンクリート）

| 使用材料 | ヤング係数 E (N/mm ²) | せん断弾性係数 G (N/mm ²) | 減衰定数 h (%) |
|---|---------------------------------|-----------------------------------|---------------|
| 既設部コンクリート： F _c = 330kgf/cm ² | 2.65 × 10 ⁴ | 1.14 × 10 ⁴ | 5 |
| 追設部コンクリート： F _c = 33N/mm ² | 2.52 × 10 ⁴ | 1.05 × 10 ⁴ | 5 |

表 3-3 使用材料の物性値（鉄筋）

| 使用材料 | 降伏応力度 s σ _y (N/mm ²) |
|-----------------|--|
| 既設部鉄筋：SD345 相当* | 345 |
| 追設部鉄筋：SD345 | 345 |

注記*：建設当時の鉄筋の種類は SD35 であるが、現在の規格（SD345）に読み替えた降伏応力度を示す。

表 3-4 耐震壁の初期剛性の設計値に対する補正係数

| 方向 | 地上 3 階及びクレーン階 (O. P. 33.2m より上部) | 地下 3 階～地上 2 階 (O. P. 33.2m より下部) |
|----|-------------------------------------|-------------------------------------|
| NS | 0.30 | 0.75 |
| EW | 0.50 | 0.80 |

注：追設耐震壁及び追設ブレースについては補正を行わない。

3.3 剛性低下による補正前の RC 造耐震壁のせん断力のスケルトンカーブの諸数値

(1) 第 1 折点

RC 造耐震壁の各要素におけるせん断力のスケルトンカーブの第 1 折点の設定根拠を表 3-5 に示す。

表 3-5(1) せん断力のスケルトンカーブ ($\tau - \gamma$ 関係, 第 1 折点) (補正前)

(a) NS 方向

| 要素 番号 | 通り | 設計基準 強度 F_c (N/mm ²) | せん断弾性 係数 G ($\times 10^4$ N/mm ²) | 断面積 A_s (m ²) | 縦軸応力度 σ_v^* (N/mm ²) | τ_1 (N/mm ²) | γ_1 ($\times 10^{-3}$) |
|----------|------|--|--|-----------------------------------|---|----------------------------------|------------------------------------|
| (1) | OW-K | 32.4 | 1.14 | 28.4 | 0.43 | 1.98 | 0.174 |
| (2) | | 32.4 | 1.14 | 52.0 | 0.61 | 2.06 | 0.181 |
| (3) | | 32.4 | 1.14 | 77.0 | 0.87 | 2.17 | 0.191 |
| (4) | | 32.4 | 1.14 | 107.8 | 1.03 | 2.24 | 0.197 |
| (5) | | 32.4 | 1.14 | 107.8 | 1.51 | 2.42 | 0.213 |
| (6) | IW-J | 32.4 | 1.14 | 10.0 | 0.38 | 1.96 | 0.173 |
| (7) | | 32.4 | 1.14 | 18.2 | 0.38 | 1.96 | 0.172 |
| (8) | | 32.4 | 1.14 | 59.8 | 0.69 | 2.10 | 0.185 |
| (9) | | 32.4 | 1.14 | 90.0 | 0.94 | 2.20 | 0.194 |
| (10) | | 32.4 | 1.14 | 118.7 | 1.15 | 2.29 | 0.201 |
| (11) | | 32.4 | 1.14 | 155.3 | 1.16 | 2.29 | 0.201 |
| (12) | | 32.4 | 1.14 | 159.8 | 1.45 | 2.40 | 0.211 |
| (13) | SW | 32.4 | 1.14 | 50.6 | 0.35 | 1.95 | 0.171 |
| (14) | | 32.4 | 1.14 | 72.7 | 1.14 | 2.28 | 0.201 |
| (15) | | 32.4 | 1.14 | 71.0 | 1.83 | 2.54 | 0.223 |
| (16) | | 32.4 | 1.14 | 66.8 | 2.41 | 2.73 | 0.240 |
| (17) | | 32.4 | 1.14 | 108.0 | 2.36 | 2.72 | 0.239 |
| (18) | IW-C | 32.4 | 1.14 | 10.0 | 0.38 | 1.96 | 0.173 |
| (19) | | 32.4 | 1.14 | 18.2 | 0.39 | 1.97 | 0.173 |
| (20) | | 32.4 | 1.14 | 59.4 | 0.78 | 2.14 | 0.188 |
| (21) | | 32.4 | 1.14 | 85.8 | 1.20 | 2.30 | 0.202 |
| (22) | | 32.4 | 1.14 | 123.2 | 1.36 | 2.37 | 0.208 |
| (23) | | 32.4 | 1.14 | 165.2 | 1.26 | 2.33 | 0.204 |
| (24) | | 32.4 | 1.14 | 165.2 | 1.63 | 2.47 | 0.217 |
| (25) | OW-A | 32.4 | 1.14 | 30.8 | 0.54 | 2.04 | 0.179 |
| (26) | | 32.4 | 1.14 | 59.2 | 0.81 | 2.15 | 0.189 |
| (27) | | 32.4 | 1.14 | 75.0 | 1.12 | 2.28 | 0.200 |
| (28) | | 32.4 | 1.14 | 107.8 | 1.13 | 2.28 | 0.200 |
| (29) | | 32.4 | 1.14 | 107.8 | 1.39 | 2.38 | 0.209 |

注記* : 縦軸応力度 $\sigma_v =$ 当該部分が支える重量/断面積

表 3-5(2) せん断力のスケルトンカーブ ($\tau - \gamma$ 関係, 第 1 折点) (補正前)

(b)EW 方向

| 要素 番号 | 通り | 設計基準 強度 F_c (N/mm^2) | せん断弾性 係数 G ($\times 10^4 N/mm^2$) | 断面積 A_s (m^2) | 縦軸応力度 σ_v^* (N/mm^2) | τ_1 (N/mm^2) | γ_1 ($\times 10^{-3}$) |
|----------|-------|----------------------------------|---|---------------------------|---------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|
| (1) | OW-1 | 32.4 | 1.14 | 41.0 | 0.55 | 2.04 | 0.179 |
| (2) | | 32.4 | 1.14 | 57.4 | 0.94 | 2.20 | 0.194 |
| (3) | | 32.4 | 1.14 | 84.0 | 1.04 | 2.24 | 0.197 |
| (4) | | 32.4 | 1.14 | 114.8 | 1.13 | 2.28 | 0.200 |
| (5) | | 32.4 | 1.14 | 117.6 | 1.44 | 2.40 | 0.211 |
| (6) | IW-2 | 32.4 | 1.14 | 76.6 | 0.66 | 2.08 | 0.183 |
| (7) | | 32.4 | 1.14 | 107.1 | 1.35 | 2.36 | 0.208 |
| (8) | | 32.4 | 1.14 | 163.7 | 1.27 | 2.33 | 0.205 |
| (9) | | 32.4 | 1.14 | 169.0 | 1.60 | 2.45 | 0.216 |
| (10) | IW-4 | 32.4 | 1.14 | 13.3 | 0.38 | 1.96 | 0.173 |
| (11) | | 32.4 | 1.14 | 17.4 | 0.41 | 1.98 | 0.174 |
| (12) | | 32.4 | 1.14 | 51.8 | 0.81 | 2.15 | 0.189 |
| (13) | | 32.4 | 1.14 | 36.5 | 1.52 | 2.42 | 0.213 |
| (14) | SW | 32.4 | 1.14 | 63.3 | 0.35 | 1.95 | 0.171 |
| (15) | | 32.4 | 1.14 | 72.7 | 1.14 | 2.28 | 0.201 |
| (16) | | 32.4 | 1.14 | 71.0 | 1.83 | 2.54 | 0.223 |
| (17) | | 32.4 | 1.14 | 66.8 | 2.41 | 2.73 | 0.240 |
| (18) | | 32.4 | 1.14 | 108.0 | 2.36 | 2.72 | 0.239 |
| (19) | IW-10 | 32.4 | 1.14 | 13.3 | 0.38 | 1.96 | 0.173 |
| (20) | | 32.4 | 1.14 | 21.2 | 0.36 | 1.95 | 0.172 |
| (21) | | 32.4 | 1.14 | 53.0 | 0.73 | 2.11 | 0.186 |
| (22) | | 32.4 | 1.14 | 79.8 | 1.06 | 2.25 | 0.198 |
| (23) | | 32.4 | 1.14 | 121.4 | 1.21 | 2.31 | 0.203 |
| (24) | | 32.4 | 1.14 | 170.0 | 1.14 | 2.28 | 0.201 |
| (25) | | 32.4 | 1.14 | 167.2 | 1.46 | 2.40 | 0.211 |
| (26) | OW-11 | 32.4 | 1.14 | 32.4 | 0.41 | 1.97 | 0.174 |
| (27) | | 32.4 | 1.14 | 54.7 | 0.66 | 2.08 | 0.183 |
| (28) | | 32.4 | 1.14 | 84.0 | 0.86 | 2.17 | 0.191 |
| (29) | | 32.4 | 1.14 | 109.2 | 1.12 | 2.27 | 0.200 |
| (30) | | 32.4 | 1.14 | 117.6 | 1.47 | 2.41 | 0.212 |

注記* : 縦軸応力度 $\sigma_v =$ 当該部分が支える重量/断面積

(2) 第2折点

RC造耐震壁の各要素におけるせん断力のスケルトンカーブの第2折点の設定根拠を表3-6に示す。

表3-6(1) せん断力のスケルトンカーブ ($\tau - \gamma$ 関係, 第2折点) (補正前)

(a) NS方向

| 要素 番号 | 通り | τ_2^{*1} (N/mm ²) | γ_2^{*2} ($\times 10^{-3}$) |
|----------|------|---------------------------------------|---|
| (1) | OW-K | 2.68 | 0.523 |
| (2) | | 2.79 | 0.544 |
| (3) | | 2.94 | 0.573 |
| (4) | | 3.02 | 0.590 |
| (5) | | 3.27 | 0.638 |
| (6) | IW-J | 2.65 | 0.518 |
| (7) | | 2.65 | 0.517 |
| (8) | | 2.83 | 0.553 |
| (9) | | 2.97 | 0.581 |
| (10) | | 3.09 | 0.603 |
| (11) | | 3.09 | 0.604 |
| (12) | SW | 3.24 | 0.633 |
| (13) | | 2.63 | 0.513 |
| (14) | | 3.08 | 0.602 |
| (15) | | 3.42 | 0.669 |
| (16) | | 3.69 | 0.720 |
| (17) | 3.67 | 0.716 | |
| (18) | IW-C | 2.65 | 0.518 |
| (19) | | 2.66 | 0.518 |
| (20) | | 2.88 | 0.563 |
| (21) | | 3.11 | 0.607 |
| (22) | | 3.19 | 0.624 |
| (23) | | 3.14 | 0.613 |
| (24) | | 3.33 | 0.650 |
| (25) | OW-A | 2.75 | 0.537 |
| (26) | | 2.90 | 0.567 |
| (27) | | 3.07 | 0.600 |
| (28) | | 3.07 | 0.600 |
| (29) | | 3.21 | 0.627 |

注記*1: $\tau_2 = 1.35 \cdot \tau_1$

注記*2: $\gamma_2 = 3 \cdot \gamma_1$

表 3-6(2) せん断力のスケルトンカーブ ($\tau - \gamma$ 関係, 第 2 折点) (補正前)

(b)EW 方向

| 要素 番号 | 通り | τ_2^{*1} (N/mm ²) | γ_2^{*2} ($\times 10^{-3}$) |
|----------|-------|---------------------------------------|---|
| (1) | OW-1 | 2.75 | 0.538 |
| (2) | | 2.97 | 0.581 |
| (3) | | 3.03 | 0.591 |
| (4) | | 3.07 | 0.600 |
| (5) | | 3.23 | 0.632 |
| (6) | IW-2 | 2.81 | 0.550 |
| (7) | | 3.19 | 0.623 |
| (8) | | 3.15 | 0.615 |
| (9) | | 3.31 | 0.647 |
| (10) | IW-4 | 2.65 | 0.517 |
| (11) | | 2.67 | 0.521 |
| (12) | | 2.90 | 0.566 |
| (13) | | 3.27 | 0.639 |
| (14) | SW | 2.63 | 0.513 |
| (15) | | 3.08 | 0.602 |
| (16) | | 3.42 | 0.669 |
| (17) | | 3.69 | 0.720 |
| (18) | IW-10 | 3.67 | 0.716 |
| (19) | | 2.65 | 0.517 |
| (20) | | 2.64 | 0.515 |
| (21) | | 2.85 | 0.557 |
| (22) | | 3.04 | 0.593 |
| (23) | | 3.11 | 0.608 |
| (24) | | 3.08 | 0.602 |
| (25) | 3.25 | 0.634 | |
| (26) | OW-11 | 2.67 | 0.521 |
| (27) | | 2.81 | 0.550 |
| (28) | | 2.93 | 0.572 |
| (29) | | 3.07 | 0.600 |
| (30) | | 3.25 | 0.635 |

注記*1: $\tau_2 = 1.35 \cdot \tau_1$

注記*2: $\gamma_2 = 3 \cdot \gamma_1$

(3) 終局点

RC 造耐震壁の終局点は、「2.3 終局点の設定」に基づき、各層の終局せん断応力度を算出する。

RC 造耐震壁の各要素におけるせん断力のスケルトンカーブの終局点の設定根拠を表 3-7 に示す。また、原子炉建屋の 0.P. -8.1m~0.P. -0.8m について、各耐震壁の配筋を示したものを図 3-2 に示す。

表 3-7(1) せん断力のスケルトンカーブ ($\tau - \gamma$ 関係, 終局点) (補正前)

(a)NS 方向

| 要素番号 | 通り | P_V (%) | P_H (%) | 縦軸応力度 σ_v^* (N/mm ²) | M/QD | τ_3 (N/mm ²) | γ_3 ($\times 10^{-3}$) |
|------|------|--------------|--------------|---|-------|----------------------------------|------------------------------------|
| (1) | OW-K | 1.243 | 0.967 | 0.43 | 0.153 | 6.44 | 4.00 |
| (2) | | 1.216 | 0.992 | 0.61 | 0.171 | 6.44 | 4.00 |
| (3) | | 1.693 | 1.191 | 0.87 | 0.238 | 6.89 | 4.00 |
| (4) | | 1.554 | 1.134 | 1.03 | 0.289 | 6.72 | 4.00 |
| (5) | | 1.689 | 1.134 | 1.51 | 0.350 | 6.87 | 4.00 |
| (6) | IW-J | 1.387 | 1.148 | 0.38 | 0.233 | 6.54 | 4.00 |
| (7) | | 1.470 | 0.967 | 0.38 | 0.296 | 6.37 | 4.00 |
| (8) | | 1.276 | 1.050 | 0.69 | 0.227 | 6.46 | 4.00 |
| (9) | | 1.300 | 1.070 | 0.94 | 0.239 | 6.53 | 4.00 |
| (10) | | 1.369 | 1.094 | 1.15 | 0.306 | 6.55 | 4.00 |
| (11) | | 1.262 | 1.084 | 1.16 | 0.365 | 6.38 | 4.00 |
| (12) | | 1.339 | 1.084 | 1.45 | 0.415 | 6.45 | 4.00 |
| (13) | SW | 1.170 | 0.957 | 0.35 | 0.653 | 5.52 | 4.00 |
| (14) | | 0.767 | 1.200 | 1.14 | 0.501 | 5.84 | 4.00 |
| (15) | | 1.320 | 1.200 | 1.83 | 0.763 | 6.24 | 4.00 |
| (16) | | 1.815 | 1.950 | 2.41 | 0.806 | 7.79 | 4.00 |
| (17) | | 1.570 | 1.280 | 2.36 | 0.996 | 6.59 | 4.00 |
| (18) | IW-C | 1.387 | 1.148 | 0.38 | 0.232 | 6.54 | 4.00 |
| (19) | | 1.487 | 0.967 | 0.39 | 0.307 | 6.38 | 4.00 |
| (20) | | 1.272 | 1.052 | 0.78 | 0.226 | 6.48 | 4.00 |
| (21) | | 1.299 | 1.070 | 1.20 | 0.237 | 6.58 | 4.00 |
| (22) | | 1.365 | 1.094 | 1.36 | 0.306 | 6.60 | 4.00 |
| (23) | | 1.287 | 1.083 | 1.26 | 0.357 | 6.44 | 4.00 |
| (24) | | 1.329 | 1.083 | 1.63 | 0.413 | 6.49 | 4.00 |
| (25) | OW-A | 1.233 | 0.967 | 0.54 | 0.157 | 6.44 | 4.00 |
| (26) | | 1.208 | 0.992 | 0.81 | 0.174 | 6.47 | 4.00 |
| (27) | | 1.556 | 1.191 | 1.12 | 0.260 | 6.82 | 4.00 |
| (28) | | 1.362 | 1.134 | 1.13 | 0.302 | 6.58 | 4.00 |
| (29) | | 1.599 | 1.134 | 1.39 | 0.367 | 6.75 | 4.00 |

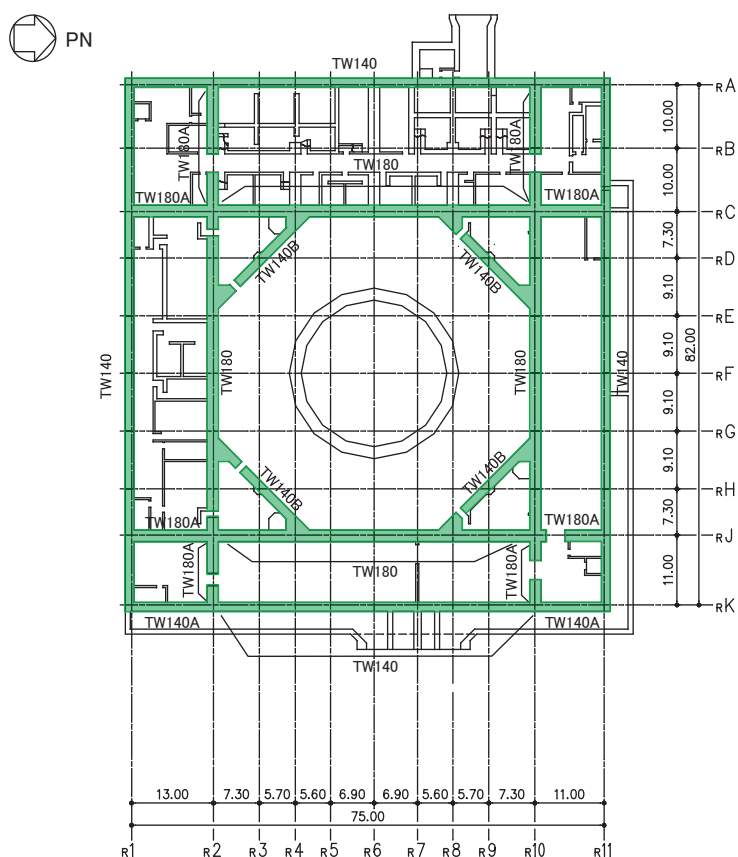
注記* : 縦軸応力度 $\sigma_v =$ 当該部分が支える重量 / 断面積

表 3-7(2) せん断力のスケルトンカーブ ($\tau - \gamma$ 関係, 終局点) (補正前)

(b)EW 方向

| 要素 番号 | 通り | P_V (%) | P_H (%) | 縦軸応力度 σ_v^* (N/mm ²) | M/QD | τ_3 (N/mm ²) | γ_3 ($\times 10^{-3}$) |
|----------|-------|--------------|--------------|---|-------|----------------------------------|------------------------------------|
| (1) | OW-1 | 1.069 | 0.774 | 0.55 | 0.151 | 6.21 | 4.00 |
| (2) | | 1.220 | 0.992 | 0.94 | 0.198 | 6.47 | 4.00 |
| (3) | | 1.565 | 1.191 | 1.04 | 0.243 | 6.83 | 4.00 |
| (4) | | 1.381 | 1.134 | 1.13 | 0.298 | 6.60 | 4.00 |
| (5) | | 1.627 | 1.134 | 1.44 | 0.350 | 6.81 | 4.00 |
| (6) | IW-2 | 1.307 | 1.070 | 0.66 | 0.117 | 6.65 | 4.00 |
| (7) | | 1.361 | 1.094 | 1.35 | 0.227 | 6.69 | 4.00 |
| (8) | | 1.297 | 1.109 | 1.27 | 0.362 | 6.46 | 4.00 |
| (9) | | 1.325 | 1.083 | 1.60 | 0.410 | 6.48 | 4.00 |
| (10) | IW-4 | 1.258 | 0.796 | 0.38 | 0.175 | 6.28 | 4.00 |
| (11) | | 1.328 | 0.860 | 0.41 | 0.234 | 6.29 | 4.00 |
| (12) | | 1.295 | 0.963 | 0.81 | 0.469 | 6.07 | 4.00 |
| (13) | | 1.323 | 1.070 | 1.52 | 0.794 | 5.96 | 4.00 |
| (14) | SW | 1.170 | 0.957 | 0.35 | 0.408 | 5.94 | 4.00 |
| (15) | | 0.767 | 1.200 | 1.14 | 0.208 | 6.33 | 4.00 |
| (16) | | 1.320 | 1.200 | 1.83 | 0.476 | 6.56 | 4.00 |
| (17) | | 1.815 | 1.950 | 2.41 | 0.680 | 7.80 | 4.00 |
| (18) | | 1.570 | 1.280 | 2.36 | 0.900 | 6.67 | 4.00 |
| (19) | IW-10 | 1.258 | 0.796 | 0.38 | 0.175 | 6.28 | 4.00 |
| (20) | | 1.361 | 0.967 | 0.36 | 0.268 | 6.32 | 4.00 |
| (21) | | 1.297 | 0.963 | 0.73 | 0.429 | 6.11 | 4.00 |
| (22) | | 1.302 | 1.070 | 1.06 | 0.278 | 6.50 | 4.00 |
| (23) | | 1.374 | 1.094 | 1.21 | 0.316 | 6.56 | 4.00 |
| (24) | | 1.295 | 1.107 | 1.14 | 0.350 | 6.44 | 4.00 |
| (25) | | 1.316 | 1.083 | 1.46 | 0.406 | 6.44 | 4.00 |
| (26) | OW-11 | 1.268 | 0.967 | 0.41 | 0.140 | 6.47 | 4.00 |
| (27) | | 1.218 | 0.992 | 0.66 | 0.172 | 6.45 | 4.00 |
| (28) | | 1.571 | 1.191 | 0.86 | 0.222 | 6.81 | 4.00 |
| (29) | | 1.382 | 1.134 | 1.12 | 0.292 | 6.61 | 4.00 |
| (30) | | 1.628 | 1.134 | 1.47 | 0.333 | 6.83 | 4.00 |

注記* : 縦軸応力度 $\sigma_v =$ 当該部分が支える重量 / 断面積



地下3階伏図 (O.P. -8.1m)

| 記号* | 縦筋 | 横筋 |
|--------|------------------------------------|------------------------------------|
| TW140 | 内： D38@200 (2段) 外： D38@200 (2段) | 内： D32@200 (2段) 外： D32@200 (2段) |
| TW140A | 内： D38@200 (2段) + D32@400 (1段) | 内： D32@200 (1段) + D32@400 (2段) |
| | 外： D38@200 (2段) + D32@400 (1段) | 外： D32@200 (1段) + D32@400 (2段) |
| TW140B | 内： D32@200 (2段) | 内： D32@200 (2段) |
| | 外： D32@200 (2段) | 外： D32@200 (2段) |
| TW180 | 内： D38@200 (2段) | 内： D35@200 (2段) |
| | 外： D38@200 (2段) | 外： D35@200 (2段) |
| TW180A | 内： D38@200 (2段) + D32@400 (1段) | 内： D35@200 (1段) + D35@400 (2段) |
| | 外： D38@200 (2段) + D32@400 (1段) | 外： D35@200 (1段) + D35@400 (2段) |

注記*：記号に含まれる数値は壁厚 (cm) を表す。(例：TW140 なら 140cm)

図 3-2 耐震壁の配筋図 (O.P. -8.1m~O.P. -0.8m)

3.4 剛性低下による補正後の RC 造耐震壁のせん断力のスケルトンカーブの諸数値

(1) 第 1 折点

RC 造耐震壁の各要素におけるせん断力のスケルトンカーブの第 1 折点の設定根拠を表 3-8 に示す。

表 3-8(1) せん断力のスケルトンカーブ ($\tau - \gamma$ 関係, 第 1 折点) (補正後)

(a)NS 方向

| 要素 番号 | 通り | 設計基準 強度 F_c (N/mm^2) | せん断弾性 係数 G ($\times 10^4 N/mm^2$) | 断面積 A_s (m^2) | 縦軸応力度 σ_v^* (N/mm^2) | τ_1' (N/mm^2) | γ_1' ($\times 10^{-3}$) |
|----------|------|----------------------------------|---|---------------------------|---------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| (1) | OW-K | 32.4 | 1.14 | 28.4 | 0.43 | 2.14 | 0.250 |
| (2) | | 32.4 | 1.14 | 52.0 | 0.61 | 2.22 | 0.260 |
| (3) | | 32.4 | 1.14 | 77.0 | 0.87 | 2.34 | 0.274 |
| (4) | | 32.4 | 1.14 | 107.8 | 1.03 | 2.41 | 0.282 |
| (5) | | 32.4 | 1.14 | 107.8 | 1.51 | 2.60 | 0.305 |
| (6) | IW-J | 32.4 | 1.14 | 10.0 | 0.38 | 3.08 | 0.902 |
| (7) | | 32.4 | 1.14 | 18.2 | 0.38 | 3.05 | 0.894 |
| (8) | | 32.4 | 1.14 | 59.8 | 0.69 | 2.26 | 0.265 |
| (9) | | 32.4 | 1.14 | 90.0 | 0.94 | 2.37 | 0.278 |
| (10) | | 32.4 | 1.14 | 118.7 | 1.15 | 2.46 | 0.288 |
| (11) | | 32.4 | 1.14 | 155.3 | 1.16 | 2.46 | 0.289 |
| (12) | | 32.4 | 1.14 | 159.8 | 1.45 | 2.58 | 0.303 |
| (13) | SW | 32.4 | 1.14 | 50.6 | 0.35 | 2.10 | 0.246 |
| (14) | | 32.4 | 1.14 | 72.7 | 1.14 | 2.46 | 0.288 |
| (15) | | 32.4 | 1.14 | 71.0 | 1.83 | 2.73 | 0.320 |
| (16) | | 32.4 | 1.14 | 66.8 | 2.41 | 2.94 | 0.345 |
| (17) | | 32.4 | 1.14 | 108.0 | 2.36 | 2.92 | 0.343 |
| (18) | IW-C | 32.4 | 1.14 | 10.0 | 0.38 | 3.08 | 0.902 |
| (19) | | 32.4 | 1.14 | 18.2 | 0.39 | 3.06 | 0.897 |
| (20) | | 32.4 | 1.14 | 59.4 | 0.78 | 2.30 | 0.269 |
| (21) | | 32.4 | 1.14 | 85.8 | 1.20 | 2.48 | 0.291 |
| (22) | | 32.4 | 1.14 | 123.2 | 1.36 | 2.55 | 0.298 |
| (23) | | 32.4 | 1.14 | 165.2 | 1.26 | 2.50 | 0.293 |
| (24) | | 32.4 | 1.14 | 165.2 | 1.63 | 2.65 | 0.311 |
| (25) | OW-A | 32.4 | 1.14 | 30.8 | 0.54 | 2.19 | 0.257 |
| (26) | | 32.4 | 1.14 | 59.2 | 0.81 | 2.31 | 0.271 |
| (27) | | 32.4 | 1.14 | 75.0 | 1.12 | 2.45 | 0.287 |
| (28) | | 32.4 | 1.14 | 107.8 | 1.13 | 2.45 | 0.287 |
| (29) | | 32.4 | 1.14 | 107.8 | 1.39 | 2.56 | 0.300 |

注記* : 縦軸応力度 $\sigma_v =$ 当該部分が支える重量/断面積

表 3-8(2) せん断力のスケルトンカーブ ($\tau - \gamma$ 関係, 第 1 折点) (補正後)

(a)EW 方向

| 要素 番号 | 通り | 設計基準 強度 F_c (N/mm^2) | せん断弾性 係数 G ($\times 10^4 N/mm^2$) | 断面積 A_s (m^2) | 縦軸応力度 σ_v^* (N/mm^2) | τ_1' (N/mm^2) | γ_1' ($\times 10^{-3}$) |
|----------|-------|----------------------------------|---|---------------------------|---------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| (1) | OW-1 | 32.4 | 1.14 | 41.0 | 0.55 | 2.15 | 0.237 |
| (2) | | 32.4 | 1.14 | 57.4 | 0.94 | 2.33 | 0.256 |
| (3) | | 32.4 | 1.14 | 84.0 | 1.04 | 2.37 | 0.260 |
| (4) | | 32.4 | 1.14 | 114.8 | 1.13 | 2.40 | 0.264 |
| (5) | | 32.4 | 1.14 | 117.6 | 1.44 | 2.53 | 0.278 |
| (6) | IW-2 | 32.4 | 1.14 | 76.6 | 0.66 | 2.20 | 0.242 |
| (7) | | 32.4 | 1.14 | 107.1 | 1.35 | 2.50 | 0.274 |
| (8) | | 32.4 | 1.14 | 163.7 | 1.27 | 2.46 | 0.271 |
| (9) | | 32.4 | 1.14 | 169.0 | 1.60 | 2.59 | 0.285 |
| (10) | IW-4 | 32.4 | 1.14 | 13.3 | 0.38 | 2.49 | 0.438 |
| (11) | | 32.4 | 1.14 | 17.4 | 0.41 | 2.51 | 0.442 |
| (12) | | 32.4 | 1.14 | 51.8 | 0.81 | 2.27 | 0.249 |
| (13) | | 32.4 | 1.14 | 36.5 | 1.52 | 2.56 | 0.281 |
| (14) | SW | 32.4 | 1.14 | 63.3 | 0.35 | 2.06 | 0.226 |
| (15) | | 32.4 | 1.14 | 72.7 | 1.14 | 2.41 | 0.265 |
| (16) | | 32.4 | 1.14 | 71.0 | 1.83 | 2.68 | 0.294 |
| (17) | | 32.4 | 1.14 | 66.8 | 2.41 | 2.88 | 0.317 |
| (18) | | 32.4 | 1.14 | 108.0 | 2.36 | 2.87 | 0.315 |
| (19) | IW-10 | 32.4 | 1.14 | 13.3 | 0.38 | 2.49 | 0.438 |
| (20) | | 32.4 | 1.14 | 21.2 | 0.36 | 2.48 | 0.436 |
| (21) | | 32.4 | 1.14 | 53.0 | 0.73 | 2.23 | 0.245 |
| (22) | | 32.4 | 1.14 | 79.8 | 1.06 | 2.37 | 0.261 |
| (23) | | 32.4 | 1.14 | 121.4 | 1.21 | 2.44 | 0.268 |
| (24) | | 32.4 | 1.14 | 170.0 | 1.14 | 2.41 | 0.265 |
| (25) | | 32.4 | 1.14 | 167.2 | 1.46 | 2.54 | 0.279 |
| (26) | OW-11 | 32.4 | 1.14 | 32.4 | 0.41 | 2.09 | 0.229 |
| (27) | | 32.4 | 1.14 | 54.7 | 0.66 | 2.20 | 0.242 |
| (28) | | 32.4 | 1.14 | 84.0 | 0.86 | 2.29 | 0.252 |
| (29) | | 32.4 | 1.14 | 109.2 | 1.12 | 2.40 | 0.264 |
| (30) | | 32.4 | 1.14 | 117.6 | 1.47 | 2.54 | 0.279 |

注記* : 縦軸応力度 $\sigma_v =$ 当該部分が支える重量/断面積

(2) 第2折点

RC造耐震壁の各要素におけるせん断力のスケルトンカーブの第2折点の設定根拠を表3-9に示す。

表3-9(1) せん断力のスケルトンカーブ ($\tau - \gamma$ 関係, 第2折点) (補正後)

(a)NS方向

| 要素番号 | 通り | τ_2^{*1} (N/mm ²) | γ_2^{*2} ($\times 10^{-3}$) |
|------|------|---------------------------------------|---|
| (1) | OW-K | 2.68 | 0.523 |
| (2) | | 2.79 | 0.544 |
| (3) | | 2.94 | 0.573 |
| (4) | | 3.02 | 0.590 |
| (5) | | 3.27 | 0.638 |
| (6) | IW-J | — | — |
| (7) | | — | — |
| (8) | | 2.83 | 0.553 |
| (9) | | 2.97 | 0.581 |
| (10) | | 3.09 | 0.603 |
| (11) | | 3.09 | 0.604 |
| (12) | | 3.24 | 0.633 |
| (13) | SW | 2.63 | 0.513 |
| (14) | | 3.08 | 0.602 |
| (15) | | 3.42 | 0.669 |
| (16) | | 3.69 | 0.720 |
| (17) | | 3.67 | 0.716 |
| (18) | IW-C | — | — |
| (19) | | — | — |
| (20) | | 2.88 | 0.563 |
| (21) | | 3.11 | 0.607 |
| (22) | | 3.19 | 0.624 |
| (23) | | 3.14 | 0.613 |
| (24) | | 3.33 | 0.650 |
| (25) | OW-A | 2.75 | 0.537 |
| (26) | | 2.90 | 0.567 |
| (27) | | 3.07 | 0.600 |
| (28) | | 3.07 | 0.600 |
| (29) | | 3.21 | 0.627 |

注記*1: $\tau_2 = 1.35 \cdot \tau_1$

注記*2: $\gamma_2 = 3 \cdot \gamma_1$

表 3-9(2) せん断力のスケルトンカーブ ($\tau - \gamma$ 関係, 第 2 折点) (補正後)

(b)EW 方向

| 要素 番号 | 通り | τ_2^{*1} (N/mm ²) | γ_2^{*2} ($\times 10^{-3}$) |
|----------|-------|---------------------------------------|---|
| (1) | OW-1 | 2.75 | 0.537 |
| (2) | | 2.97 | 0.581 |
| (3) | | 3.03 | 0.591 |
| (4) | | 3.07 | 0.601 |
| (5) | | 3.23 | 0.632 |
| (6) | IW-2 | 2.81 | 0.550 |
| (7) | | 3.19 | 0.623 |
| (8) | | 3.15 | 0.615 |
| (9) | | 3.31 | 0.647 |
| (10) | IW-4 | 2.65 | 0.517 |
| (11) | | 2.67 | 0.521 |
| (12) | | 2.90 | 0.566 |
| (13) | | 3.27 | 0.639 |
| (14) | SW | 2.63 | 0.513 |
| (15) | | 3.08 | 0.602 |
| (16) | | 3.42 | 0.668 |
| (17) | | 3.69 | 0.720 |
| (18) | | 3.67 | 0.716 |
| (19) | IW-10 | 2.65 | 0.517 |
| (20) | | 2.64 | 0.515 |
| (21) | | 2.85 | 0.557 |
| (22) | | 3.04 | 0.593 |
| (23) | | 3.11 | 0.608 |
| (24) | | 3.08 | 0.602 |
| (25) | 3.25 | 0.634 | |
| (26) | OW-11 | 2.67 | 0.521 |
| (27) | | 2.81 | 0.550 |
| (28) | | 2.93 | 0.572 |
| (29) | | 3.07 | 0.600 |
| (30) | | 3.25 | 0.635 |

注記*1: $\tau_2 = 1.35 \cdot \tau_1$

注記*2: $\gamma_2 = 3 \cdot \gamma_1$

(3) 終局点

RC造耐震壁の終局点は、「2.3 終局点の設定」に基づき、各層の終局せん断応力度を算出する。

RC造耐震壁の各要素におけるせん断力のスケルトンカーブの終局点の設定根拠を表3-10に示す。

表3-10(1) せん断力のスケルトンカーブ ($\tau - \gamma$ 関係, 終局点) (補正後)

(a) NS 方向

| 要素番号 | 通り | P_v (%) | P_H (%) | 縦軸応力度 σ_v^* (N/mm ²) | M/QD | τ_3 (N/mm ²) | γ_3 ($\times 10^{-3}$) |
|------|-------|--------------|--------------|---|-------|----------------------------------|------------------------------------|
| (1) | OW-K | 1.243 | 0.967 | 0.43 | 0.153 | 6.44 | 4.00 |
| (2) | | 1.216 | 0.992 | 0.61 | 0.171 | 6.44 | 4.00 |
| (3) | | 1.693 | 1.191 | 0.87 | 0.238 | 6.89 | 4.00 |
| (4) | | 1.554 | 1.134 | 1.03 | 0.289 | 6.72 | 4.00 |
| (5) | | 1.689 | 1.134 | 1.51 | 0.350 | 6.87 | 4.00 |
| (6) | IW-J | 1.387 | 1.148 | 0.38 | 0.233 | 6.54 | 4.00 |
| (7) | | 1.470 | 0.967 | 0.38 | 0.296 | 6.37 | 4.00 |
| (8) | | 1.276 | 1.050 | 0.69 | 0.227 | 6.46 | 4.00 |
| (9) | | 1.300 | 1.070 | 0.94 | 0.239 | 6.53 | 4.00 |
| (10) | | 1.369 | 1.094 | 1.15 | 0.306 | 6.55 | 4.00 |
| (11) | | 1.262 | 1.084 | 1.16 | 0.365 | 6.38 | 4.00 |
| (12) | 1.339 | 1.084 | 1.45 | 0.415 | 6.45 | 4.00 | |
| (13) | SW | 1.170 | 0.957 | 0.35 | 0.653 | 5.52 | 4.00 |
| (14) | | 0.767 | 1.200 | 1.14 | 0.501 | 5.84 | 4.00 |
| (15) | | 1.320 | 1.200 | 1.83 | 0.763 | 6.24 | 4.00 |
| (16) | | 1.815 | 1.950 | 2.41 | 0.806 | 7.79 | 4.00 |
| (17) | | 1.570 | 1.280 | 2.36 | 0.996 | 6.59 | 4.00 |
| (18) | IW-C | 1.387 | 1.148 | 0.38 | 0.232 | 6.54 | 4.00 |
| (19) | | 1.487 | 0.967 | 0.39 | 0.307 | 6.38 | 4.00 |
| (20) | | 1.272 | 1.052 | 0.78 | 0.226 | 6.48 | 4.00 |
| (21) | | 1.299 | 1.070 | 1.20 | 0.237 | 6.58 | 4.00 |
| (22) | | 1.365 | 1.094 | 1.36 | 0.306 | 6.60 | 4.00 |
| (23) | | 1.287 | 1.083 | 1.26 | 0.357 | 6.44 | 4.00 |
| (24) | | 1.329 | 1.083 | 1.63 | 0.413 | 6.49 | 4.00 |
| (25) | OW-A | 1.233 | 0.967 | 0.54 | 0.157 | 6.44 | 4.00 |
| (26) | | 1.208 | 0.992 | 0.81 | 0.174 | 6.47 | 4.00 |
| (27) | | 1.556 | 1.191 | 1.12 | 0.260 | 6.82 | 4.00 |
| (28) | | 1.362 | 1.134 | 1.13 | 0.302 | 6.58 | 4.00 |
| (29) | | 1.599 | 1.134 | 1.39 | 0.367 | 6.75 | 4.00 |

注記* : 縦軸応力度 $\sigma_v =$ 当該部分が支える重量/断面積

表 3-10(2) せん断力のスケルトンカーブ ($\tau - \gamma$ 関係, 終局点) (補正後)

(b)EW 方向

| 要素 番号 | 通り | P_V (%) | P_H (%) | 縦軸応力度 σ_v^* (N/mm ²) | M/QD | τ_3 (N/mm ²) | γ_3 ($\times 10^{-3}$) |
|----------|-------|--------------|--------------|---|-------|----------------------------------|------------------------------------|
| (1) | OW-1 | 1.069 | 0.774 | 0.55 | 0.151 | 6.21 | 4.00 |
| (2) | | 1.220 | 0.992 | 0.94 | 0.198 | 6.47 | 4.00 |
| (3) | | 1.565 | 1.191 | 1.04 | 0.243 | 6.83 | 4.00 |
| (4) | | 1.381 | 1.134 | 1.13 | 0.298 | 6.60 | 4.00 |
| (5) | | 1.627 | 1.134 | 1.44 | 0.350 | 6.81 | 4.00 |
| (6) | IW-2 | 1.307 | 1.070 | 0.66 | 0.117 | 6.65 | 4.00 |
| (7) | | 1.361 | 1.094 | 1.35 | 0.227 | 6.69 | 4.00 |
| (8) | | 1.297 | 1.109 | 1.27 | 0.362 | 6.46 | 4.00 |
| (9) | | 1.325 | 1.083 | 1.60 | 0.410 | 6.48 | 4.00 |
| (10) | IW-4 | 1.258 | 0.796 | 0.38 | 0.175 | 6.28 | 4.00 |
| (11) | | 1.328 | 0.860 | 0.41 | 0.234 | 6.29 | 4.00 |
| (12) | | 1.295 | 0.963 | 0.81 | 0.469 | 6.07 | 4.00 |
| (13) | | 1.323 | 1.070 | 1.52 | 0.794 | 5.96 | 4.00 |
| (14) | SW | 1.170 | 0.957 | 0.35 | 0.408 | 5.94 | 4.00 |
| (15) | | 0.767 | 1.200 | 1.14 | 0.208 | 6.33 | 4.00 |
| (16) | | 1.320 | 1.200 | 1.83 | 0.476 | 6.56 | 4.00 |
| (17) | | 1.815 | 1.950 | 2.41 | 0.680 | 7.80 | 4.00 |
| (18) | | 1.570 | 1.280 | 2.36 | 0.900 | 6.67 | 4.00 |
| (19) | IW-10 | 1.258 | 0.796 | 0.38 | 0.175 | 6.28 | 4.00 |
| (20) | | 1.361 | 0.967 | 0.36 | 0.268 | 6.32 | 4.00 |
| (21) | | 1.297 | 0.963 | 0.73 | 0.429 | 6.11 | 4.00 |
| (22) | | 1.302 | 1.070 | 1.06 | 0.278 | 6.50 | 4.00 |
| (23) | | 1.374 | 1.094 | 1.21 | 0.316 | 6.56 | 4.00 |
| (24) | | 1.295 | 1.107 | 1.14 | 0.350 | 6.44 | 4.00 |
| (25) | | 1.316 | 1.083 | 1.46 | 0.406 | 6.44 | 4.00 |
| (26) | OW-11 | 1.268 | 0.967 | 0.41 | 0.140 | 6.47 | 4.00 |
| (27) | | 1.218 | 0.992 | 0.66 | 0.172 | 6.45 | 4.00 |
| (28) | | 1.571 | 1.191 | 0.86 | 0.222 | 6.81 | 4.00 |
| (29) | | 1.382 | 1.134 | 1.12 | 0.292 | 6.61 | 4.00 |
| (30) | | 1.628 | 1.134 | 1.47 | 0.333 | 6.83 | 4.00 |

注記* : 縦軸応力度 $\sigma_v =$ 当該部分が支える重量/断面積

4. まとめ

原子炉建屋におけるせん断力のスケルトンカーブの設定について整理した。算出したせん断力のスケルトンカーブの諸数値を表 4-1 に示す。

表 4-1(1) 原子炉建屋のせん断力のスケルトンカーブ ($\tau - \gamma$ 関係)

(a)NS 方向

| 要素 番号 | 通り | 第 1 折点 | | 第 2 折点 | | 終局点 | |
|----------|------|-----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| | | τ_1' (N/mm ²) | γ_1' ($\times 10^{-3}$) | τ_2 (N/mm ²) | γ_2 ($\times 10^{-3}$) | τ_3 (N/mm ²) | γ_3 ($\times 10^{-3}$) |
| (1) | OW-K | 2.14 | 0.250 | 2.68 | 0.523 | 6.44 | 4.00 |
| (2) | | 2.22 | 0.260 | 2.79 | 0.544 | 6.44 | 4.00 |
| (3) | | 2.34 | 0.274 | 2.94 | 0.573 | 6.89 | 4.00 |
| (4) | | 2.41 | 0.282 | 3.02 | 0.590 | 6.72 | 4.00 |
| (5) | | 2.60 | 0.305 | 3.27 | 0.638 | 6.87 | 4.00 |
| (6) | IW-J | 3.08 | 0.902 | — | — | 6.54 | 4.00 |
| (7) | | 3.05 | 0.894 | — | — | 6.37 | 4.00 |
| (8) | | 2.26 | 0.265 | 2.83 | 0.553 | 6.46 | 4.00 |
| (9) | | 2.37 | 0.278 | 2.97 | 0.581 | 6.53 | 4.00 |
| (10) | | 2.46 | 0.288 | 3.09 | 0.603 | 6.55 | 4.00 |
| (11) | | 2.46 | 0.289 | 3.09 | 0.604 | 6.38 | 4.00 |
| (12) | 2.58 | 0.303 | 3.24 | 0.633 | 6.45 | 4.00 | |
| (13) | SW | 2.10 | 0.246 | 2.63 | 0.513 | 5.52 | 4.00 |
| (14) | | 2.46 | 0.288 | 3.08 | 0.602 | 5.84 | 4.00 |
| (15) | | 2.73 | 0.320 | 3.42 | 0.669 | 6.24 | 4.00 |
| (16) | | 2.94 | 0.345 | 3.69 | 0.720 | 7.79 | 4.00 |
| (17) | | 2.92 | 0.343 | 3.67 | 0.716 | 6.59 | 4.00 |
| (18) | IW-C | 3.08 | 0.902 | — | — | 6.54 | 4.00 |
| (19) | | 3.06 | 0.897 | — | — | 6.38 | 4.00 |
| (20) | | 2.30 | 0.269 | 2.88 | 0.563 | 6.48 | 4.00 |
| (21) | | 2.48 | 0.291 | 3.11 | 0.607 | 6.58 | 4.00 |
| (22) | | 2.55 | 0.298 | 3.19 | 0.624 | 6.60 | 4.00 |
| (23) | | 2.50 | 0.293 | 3.14 | 0.613 | 6.44 | 4.00 |
| (24) | | 2.65 | 0.311 | 3.33 | 0.650 | 6.49 | 4.00 |
| (25) | OW-A | 2.19 | 0.257 | 2.75 | 0.537 | 6.44 | 4.00 |
| (26) | | 2.31 | 0.271 | 2.90 | 0.567 | 6.47 | 4.00 |
| (27) | | 2.45 | 0.287 | 3.07 | 0.600 | 6.82 | 4.00 |
| (28) | | 2.45 | 0.287 | 3.07 | 0.600 | 6.58 | 4.00 |
| (29) | | 2.56 | 0.300 | 3.21 | 0.627 | 6.75 | 4.00 |

表 4-1(2) 原子炉建屋のせん断力のスケルトンカーブ ($\tau - \gamma$ 関係)

(b)EW 方向

| 要素 番号 | 通り | 第 1 折点 | | 第 2 折点 | | 終局点 | |
|----------|-------|-----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| | | τ_1' (N/mm ²) | γ_1' ($\times 10^{-3}$) | τ_2 (N/mm ²) | γ_2 ($\times 10^{-3}$) | τ_3 (N/mm ²) | γ_3 ($\times 10^{-3}$) |
| (1) | OW-1 | 2.15 | 0.237 | 2.75 | 0.537 | 6.21 | 4.00 |
| (2) | | 2.33 | 0.256 | 2.97 | 0.581 | 6.47 | 4.00 |
| (3) | | 2.37 | 0.260 | 3.03 | 0.591 | 6.83 | 4.00 |
| (4) | | 2.40 | 0.264 | 3.07 | 0.601 | 6.60 | 4.00 |
| (5) | | 2.53 | 0.278 | 3.23 | 0.632 | 6.81 | 4.00 |
| (6) | IW-2 | 2.20 | 0.242 | 2.81 | 0.550 | 6.65 | 4.00 |
| (7) | | 2.50 | 0.274 | 3.19 | 0.623 | 6.69 | 4.00 |
| (8) | | 2.46 | 0.271 | 3.15 | 0.615 | 6.46 | 4.00 |
| (9) | | 2.59 | 0.285 | 3.31 | 0.647 | 6.48 | 4.00 |
| (10) | IW-4 | 2.49 | 0.438 | 2.65 | 0.517 | 6.28 | 4.00 |
| (11) | | 2.51 | 0.442 | 2.67 | 0.521 | 6.29 | 4.00 |
| (12) | | 2.27 | 0.249 | 2.90 | 0.566 | 6.07 | 4.00 |
| (13) | | 2.56 | 0.281 | 3.27 | 0.639 | 5.96 | 4.00 |
| (14) | SW | 2.06 | 0.226 | 2.63 | 0.513 | 5.94 | 4.00 |
| (15) | | 2.41 | 0.265 | 3.08 | 0.602 | 6.33 | 4.00 |
| (16) | | 2.68 | 0.294 | 3.42 | 0.668 | 6.56 | 4.00 |
| (17) | | 2.88 | 0.317 | 3.69 | 0.720 | 7.80 | 4.00 |
| (18) | | 2.87 | 0.315 | 3.67 | 0.716 | 6.67 | 4.00 |
| (19) | IW-10 | 2.49 | 0.438 | 2.65 | 0.517 | 6.28 | 4.00 |
| (20) | | 2.48 | 0.436 | 2.64 | 0.515 | 6.32 | 4.00 |
| (21) | | 2.23 | 0.245 | 2.85 | 0.557 | 6.11 | 4.00 |
| (22) | | 2.37 | 0.261 | 3.04 | 0.593 | 6.50 | 4.00 |
| (23) | | 2.44 | 0.268 | 3.11 | 0.608 | 6.56 | 4.00 |
| (24) | | 2.41 | 0.265 | 3.08 | 0.602 | 6.44 | 4.00 |
| (25) | | 2.54 | 0.279 | 3.25 | 0.634 | 6.44 | 4.00 |
| (26) | OW-11 | 2.09 | 0.229 | 2.67 | 0.521 | 6.47 | 4.00 |
| (27) | | 2.20 | 0.242 | 2.81 | 0.550 | 6.45 | 4.00 |
| (28) | | 2.29 | 0.252 | 2.93 | 0.572 | 6.81 | 4.00 |
| (29) | | 2.40 | 0.264 | 3.07 | 0.600 | 6.61 | 4.00 |
| (30) | | 2.54 | 0.279 | 3.25 | 0.635 | 6.83 | 4.00 |

別紙 3 原子炉建屋の地震応答解析における材料物性の不確かさ
に関する検討

目次

| | |
|---------------------------------|---------|
| 1. 概要..... | 別紙 3- 1 |
| 1.1 検討概要..... | 別紙 3- 1 |
| 1.2 検討方針..... | 別紙 3- 2 |
| 2. 材料物性の不確かさの分析..... | 別紙 3- 3 |
| 2.1 建屋剛性の不確かさ..... | 別紙 3- 3 |
| 2.2 地盤物性の不確かさ..... | 別紙 3- 3 |
| 3. 材料物性の不確かさを考慮した設計用地震力の設定..... | 別紙 3- 4 |
| 3.1 設計用地震力の設定方法..... | 別紙 3- 4 |
| 3.2 材料物性の不確かさの設定..... | 別紙 3- 6 |
| 4. 地震応答解析による材料物性の不確かさの影響検討..... | 別紙 3- 8 |
| 4.1 検討概要..... | 別紙 3- 8 |
| 4.2 不確かさの影響検討..... | 別紙 3-11 |
| 4.3 まとめ..... | 別紙 3-55 |
| 5. 機器・配管系評価への影響..... | 別紙 3-56 |

別紙 3-1 材料物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動の選定について

別紙 3-2 材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果

1. 概要

1.1 検討概要

本資料は、原子炉建屋の地震応答解析における材料物性の不確かさに関する検討について説明するものである。

地震応答解析に用いる材料定数は材料物性の不確かさの変動幅を適切に考慮することとしているが、本資料では、地震応答解析結果に影響を及ぼす建屋剛性（コンクリート剛性）及び地盤物性（地盤のせん断波速度）の不確かさについて検討を行うとともに、その変動幅を設定し、地震応答解析結果における影響を検討する。また、検討結果を踏まえ建物・構築物の耐震性評価において、材料物性の不確かさを考慮して設定する設計用地震力を検討する。さらに、材料物性の不確かさの影響評価として、機器・配管系の評価への影響についても検討する。

なお、補足 620-1「東北地方太平洋沖地震等による影響を踏まえた建屋耐震設計方法への反映について」に、考え方の詳細を示す。

1.2 検討方針

建物・構築物の耐震性評価に用いる動的地震力は、各建物・構築物の地震応答解析（時刻歴応答解析法）により求められており、地盤物性、建物・構築物の剛性、地盤のばね定数及び減衰定数、地震動の位相特性などの影響を受ける。特に床応答スペクトルの変動に影響を及ぼす要因は、建屋剛性及び地盤物性であることが確認されている。*

地震応答解析モデルの建屋剛性は、シミュレーション解析に基づき設定しているが、今後の地震の発生により更に初期剛性が変動することが考えられる。

また、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、地盤物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建屋応答へ影響を及ぼすことが考えられる。

以上より、建屋剛性の不確かさ要因としてはコンクリート剛性を、地盤物性の不確かさ要因としては地盤のせん断波速度を考慮することとし、それぞれの不確かさが建屋応答及び耐震安全性に及ぼす影響について考察を行い、耐震性評価における材料物性の不確かさを考慮した設計用地震力の設定について検討する。また、建屋剛性及び地盤物性の不確かさを考慮したモデルにより地震応答解析を実施し、建屋応答並びに建物・構築物及び機器・配管系の耐震安全性に及ぼす影響について確認する。

注記＊：日本電気協会「参考資料 4.7 鉛直方向の設計用床応答スペクトルの拡幅率」，第 29 回耐震設計分科会資料 No. 29-4-5-7，平成 20 年 1 月 18 日

2. 材料物性の不確かさの分析

2.1 建屋剛性の不確かさ

初期剛性の多少の違いが応答結果に与える影響は小さいが、一方で、過去の中小地震も含めた記録では時間経過に伴い剛性が低下する傾向の他に、更新地震によっても剛性が低下する傾向が認められていることから、初期剛性低下の影響を保守的に反映するモデルを不確かさケースとして採用する。

具体的には、更なる剛性低下として、基本モデルを用いた基準地震動 S_s の応答結果として得られる剛性低下を考慮する。また、不確かさモデルへの適用にあたっては、この非線形化による剛性低下を初期剛性低下とみなし、全ての耐震壁におけるスケルトン曲線の初期剛性の低下として一律に考慮することにより保守性を確保する。

建屋剛性の不確かさを考慮することにより、部材の発生応力については、不確かさを考慮しないケース（以下「基本ケース」という。）に対して変動すると考えられるが、耐力については変動しない。また、変位及びせん断ひずみについては、剛性が低下することから、基本ケースよりも大きくなると考えられる。

よって、建屋の耐震性評価において、建屋剛性の不確かさを考慮する。ただし、鉛直方向では水平方向に比べ建設時からの剛性低下は小さく、これまでの地震の経験において設計剛性を下回っていないこと、建屋シミュレーション解析では既工認モデルで記録を再現できたことから、基本ケースで既工認モデルの剛性を採用し、不確かさは考慮しない。

2.2 地盤物性の不確かさ

地盤物性の不確かさについては、地盤のせん断波速度が変動することにより、地盤物性が変動する。これに対応して、建屋への入力地震動の特性が変動し、建屋に考慮すべき設計用地震力も変動すると考えられる。

よって、原子炉建屋の耐震性評価において、地盤物性の不確かさを考慮する。

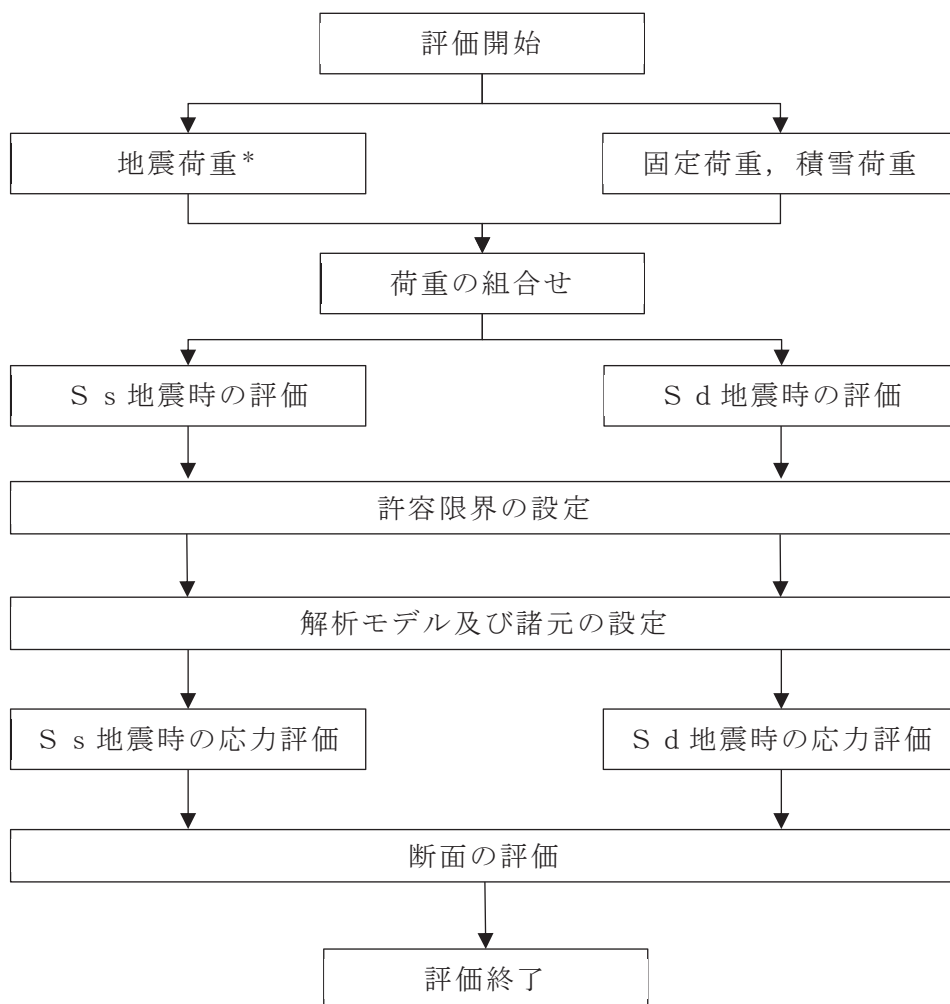
3. 材料物性の不確かさを考慮した設計用地震力の設定

3.1 設計用地震力の設定方法

基本ケース及び材料物性の不確かさを考慮したケースの地震荷重を用いた解析を実施することで、材料物性の不確かさを設計用地震力として考慮する。不確かさを考慮したケースの質点系モデルによる地震応答解析は、基本ケースにおける建屋応答を確認したうえで、建屋応答への影響の大きい入力動に対して実施する（別紙 3-1「材料物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動の選定について」参照）。材料物性の不確かさを地震荷重として考慮した建屋の耐震性評価フローの例を図 3-1 に示す。

耐震性評価において、地震荷重は、質点系モデルによる地震応答解析により得られた最大応答値から算出し、解析モデルの各節点に配分することにより考慮している。質点系モデルによる地震応答解析により得られた最大応答値は、基本ケース及び材料物性の不確かさを考慮したケース（以下「検討ケース」という。）ごとに異なるため、保守的な評価として、各質点において、検討ケースごとに得られた応答値のうち最大の応答値から算出される地震荷重を採用することとする。

材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果を別紙 3-2「材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果」に示す。



注記* : 建屋剛性及び地盤物性の不確かさを考慮する

図 3-1 建屋耐震性評価フロー (応力解析による評価)

3.2 材料物性の不確かさの設定

材料物性の不確かさを考慮した質点系モデルの応答値の算出にあたり、建屋剛性および地盤のせん断波速度の不確かさを設定する。

建屋剛性の不確かさは、シミュレーション解析に基づいて設定した基本ケースの初期剛性に基準地震動 S_s に対する各部材の最大応答ひずみから算出した初期剛性補正係数（0.78 倍）を乗じて設定設定する。シミュレーションに基づき設定した基本ケースの初期剛性を表 3-1 に示し、不確かさを考慮した初期剛性を表 3-2 に示す。なお、鉛直方向には建屋剛性の不確かさを考慮しない。

表 3-1 基本モデルの初期剛性

| 部位 | 方向 | 初期剛性 補正係数 | ヤング係数 E ($\times 10^4 \text{N/mm}^2$) | せん断弾性係数 G ($\times 10^4 \text{N/mm}^2$) |
|------------------------------------|----|--------------|---|---|
| 地下 3 階～地上 2 階 (O.P. 33.2m より下部) | NS | 0.75 | 1.986 | 0.853 |
| | EW | 0.80 | 2.118 | 0.910 |
| 地上 3 階及びクレーン階 (O.P. 33.2m より上部) | NS | 0.30 | 0.794 | 0.341 |
| | EW | 0.50 | 1.324 | 0.569 |
| 追設耐震壁 | NS | 1.00 | 2.52 | 1.05 |
| | EW | | | |

表 3-2 基準地震動 S_s による更なる剛性低下を考慮した初期剛性

| 部位 | 方向 | 初期剛性 補正係数 | ヤング係数 E ($\times 10^4 \text{N/mm}^2$) | せん断弾性係数 G ($\times 10^4 \text{N/mm}^2$) |
|------------------------------------|----|--------------|---|---|
| 地下 3 階～地上 2 階 (O.P. 33.2m より下部) | NS | 0.59 | 1.562 | 0.671 |
| | EW | 0.62 | 1.642 | 0.705 |
| 地上 3 階及びクレーン階 (O.P. 33.2m より上部) | NS | 0.23 | 0.609 | 0.262 |
| | EW | 0.39 | 1.033 | 0.444 |
| 追設耐震壁 | NS | 0.78 | 1.97 | 0.819 |
| | EW | | | |

地盤物性の不確かさの影響検討においては、弾性波速度試験結果に基づく地盤のせん断波速度の不確かさを考慮する。

基本ケースでは、地盤調査結果の平均値を基に設定した地盤のせん断波速度により地盤物性を設定している。地盤物性の不確かさ検討に当たっては、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。表層地盤のせん断波速度の不確かさを表 3-3 に示し、底面地盤のせん断波速度の不確かさを表 3-4 に示す。

表 3-3 表層地盤のせん断波速度の不確かさ

| 高さ O.P. (m) | 区分 | 地盤のせん断波速度 (m/s) | | |
|----------------|----------|-----------------|---------------|---------------|
| | | 基本ケース | + σ 相当 | - σ 相当 |
| 0.0 ~ -14.1 | 表層 地盤 | 900 | 1000 | 800 |

表 3-4 底面地盤のせん断波速度の不確かさ

| 高さ O.P. (m) | 区分 | 地盤のせん断波速度 (m/s) | | |
|----------------|----------|-----------------|---------------|---------------|
| | | 基本ケース | + σ 相当 | - σ 相当 |
| -14.1 ~ -25.0 | 底面 地盤 | 1300 | 1390 | 1210 |
| -25.0 ~ -80.0 | | 2150 | 2300 | 2000 |
| -80.0 ~ -200.0 | | 2440 | 2610 | 2270 |

4. 地震応答解析による材料物性の不確かさの影響検討

本章では，建屋剛性及び地盤物性の不確かさを考慮したモデルにより固有値解析を実施し，建屋の応答並びに耐震安全性に及ぼす影響について確認する。

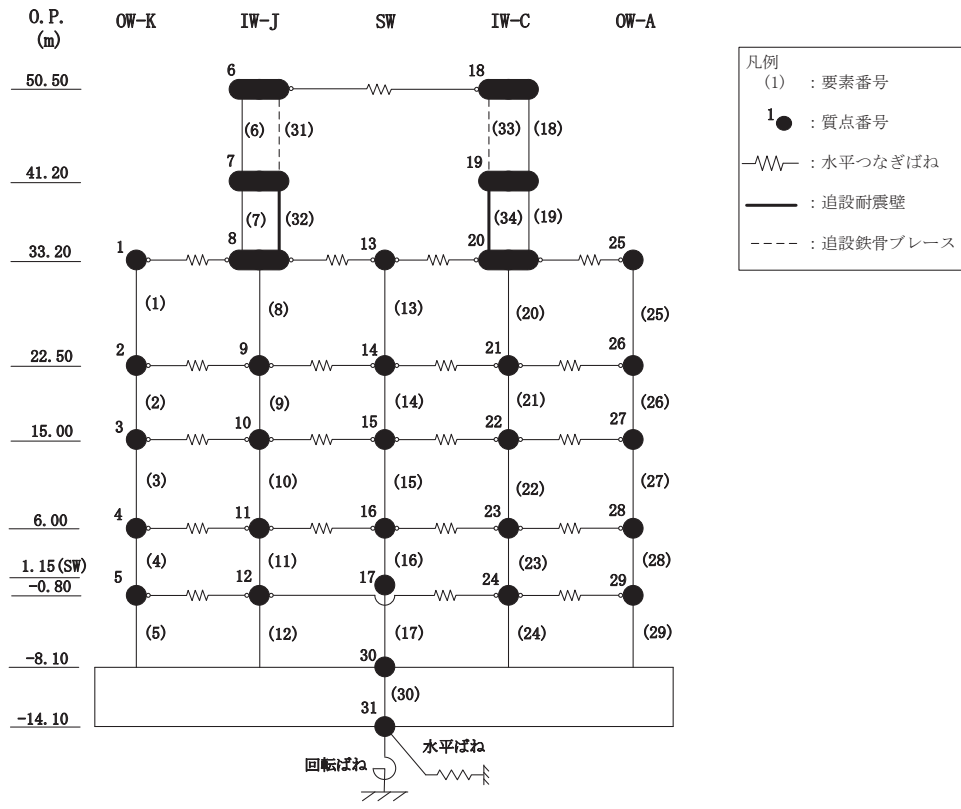
4.1 検討概要

建屋剛性及び地盤物性（地盤のせん断波速度）の不確かさを考慮して検討ケースを定め，建屋応答への影響を確認する。

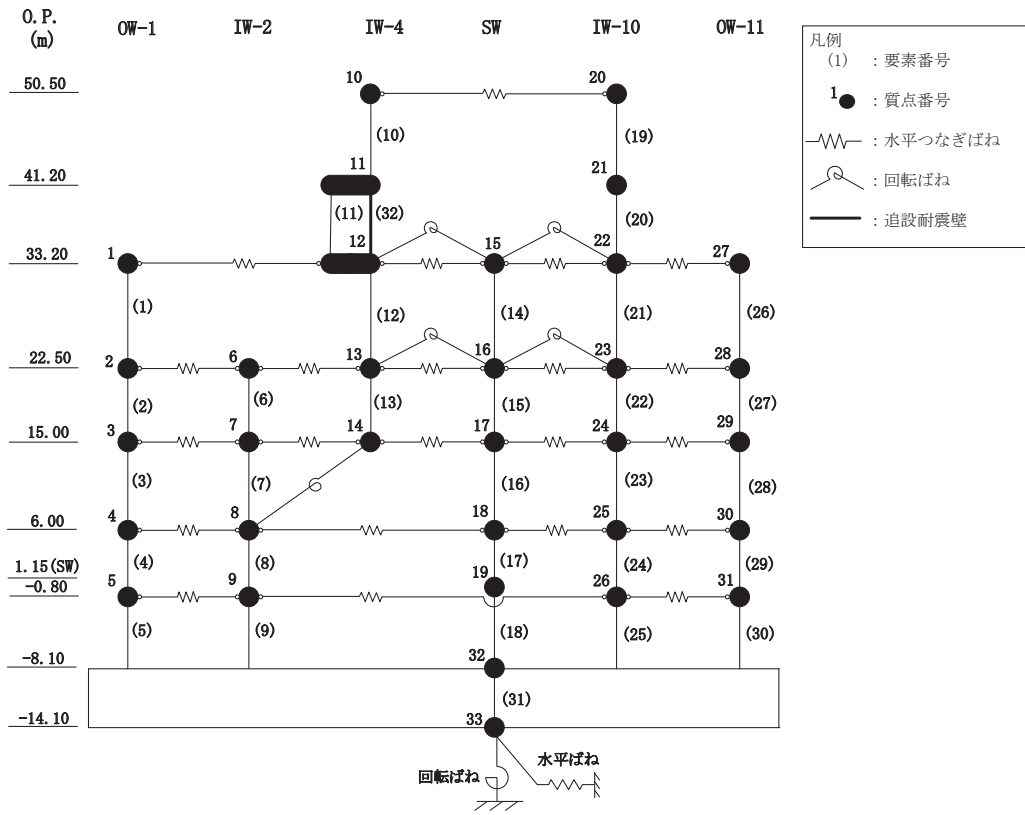
検討ケースを表 4-1 に，原子炉建屋の地震応答解析モデルを図 4-1 に示す。ここで，建屋剛性をシミュレーションに基づく補正を適用した剛性，地盤のせん断波速度を標準地盤とした検討ケースを基本ケースとする。表中の塗りつぶし部分は，基本ケースと異なる設定をしているパラメータである。

表 4-1 検討ケース一覧

| ケース名 | 建屋剛性 (初期剛性) | 地盤物性 | |
|---------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------|
| | | 入力地震動 | 底面地盤ばね |
| ケース 1 (基本ケース) | 3.11 地震 シミュレーション | 表層上部非線形 表層下部 Vs900m/s | 標準地盤 (=既工認) |
| ケース 2 (地盤物性+ σ) | 同上 | 表層上部非線形 表層下部 Vs900+100m/s | 標準地盤 + σ |
| ケース 3 (地盤物性- σ) | | 表層上部非線形 表層下部 Vs900-100m/s | 標準地盤 - σ |
| ケース 4 (建屋剛性考慮) | 基本ケースの 0.78 倍 (原子炉建屋の場合) | 表層上部非線形 表層下部 Vs900m/s | 標準地盤 (=既工認) |
| ケース 5 (建屋剛性考慮, 地盤物性+ σ) | | 表層上部非線形 表層下部 Vs900+100m/s | 標準地盤 + σ |
| ケース 6 (建屋剛性考慮, 地盤物性- σ) | | 表層上部非線形 表層下部 Vs900-100m/s | 標準地盤 - σ |

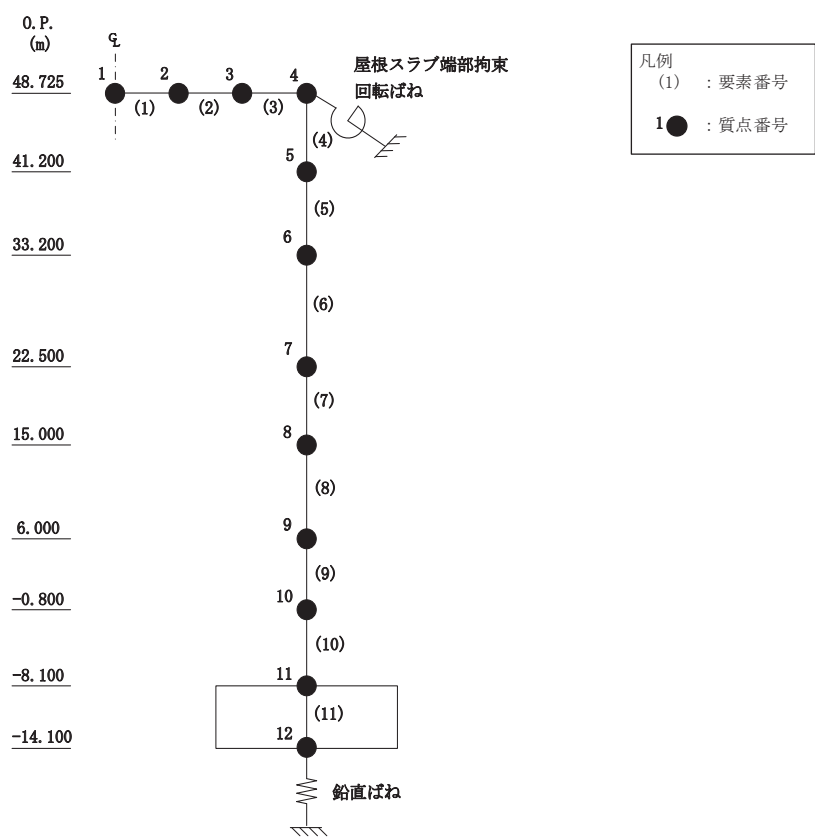


(a) NS 方向



(b) EW 方向

図 4-1(1) 地震応答解析モデル



(c)UD 方向

図 4-1(2) 地震応答解析モデル

4.2 不確かさの影響検討

4.2.1 建屋剛性変動による影響

(1) 影響評価方針

建屋剛性を変動させたケース（ケース 4）の固有値解析を実施し、基本ケースの結果と比較する。

(2) 固有値解析結果

建屋剛性を変動させた解析モデルにより固有値解析を実施した。固有値解析結果を表 4-2，刺激関数図を図 4-2 及び図 4-3 に示す。

基本ケースに対する建屋剛性を変動させた解析モデルの固有振動数の変動について、最大で低振動数側に 10%シフトした。

表 4-2 固有値解析結果の比較（単位：Hz）

(a) NS 方向

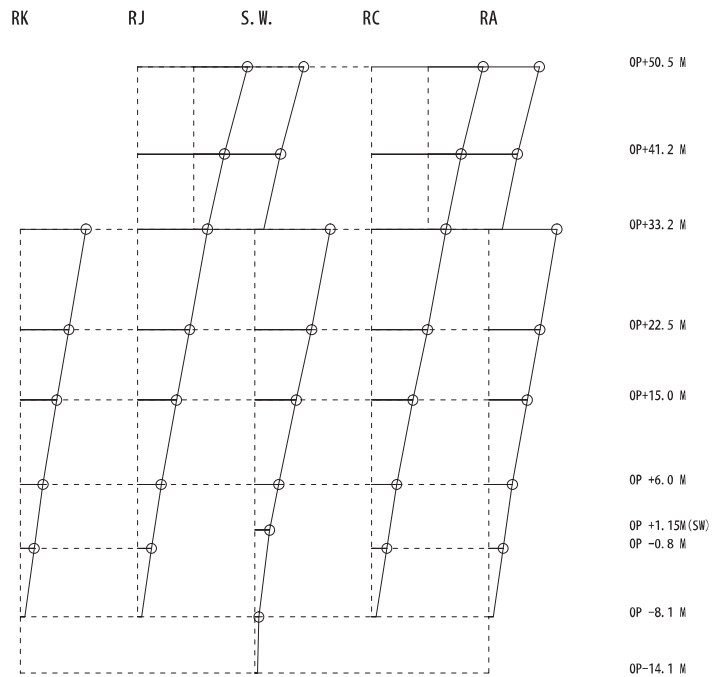
| 次数 | NS方向 | |
|----|-------|-----------------|
| | ケース1 | ケース4 |
| 1 | 4.21 | 3.80 (0.90) |
| 2 | 8.12 | 7.34 (0.90) |
| 3 | 8.61 | 8.15 (0.95) |
| 4 | 10.33 | 9.40 (0.91) |
| 5 | 10.76 | 9.80 (0.91) |
| 6 | 11.21 | 10.17 (0.91) |

(b) EW 方向

| 次数 | EW方向 | |
|----|-------|-----------------|
| | ケース1 | ケース4 |
| 1 | 4.36 | 3.93 (0.90) |
| 2 | 8.01 | 7.25 (0.91) |
| 3 | 8.64 | 8.19 (0.95) |
| 4 | 10.15 | 9.28 (0.91) |
| 5 | 10.93 | 9.81 (0.90) |
| 6 | 11.46 | 10.54 (0.92) |
| 7 | 12.80 | 11.84 (0.93) |
| 8 | 13.45 | 12.22 (0.91) |

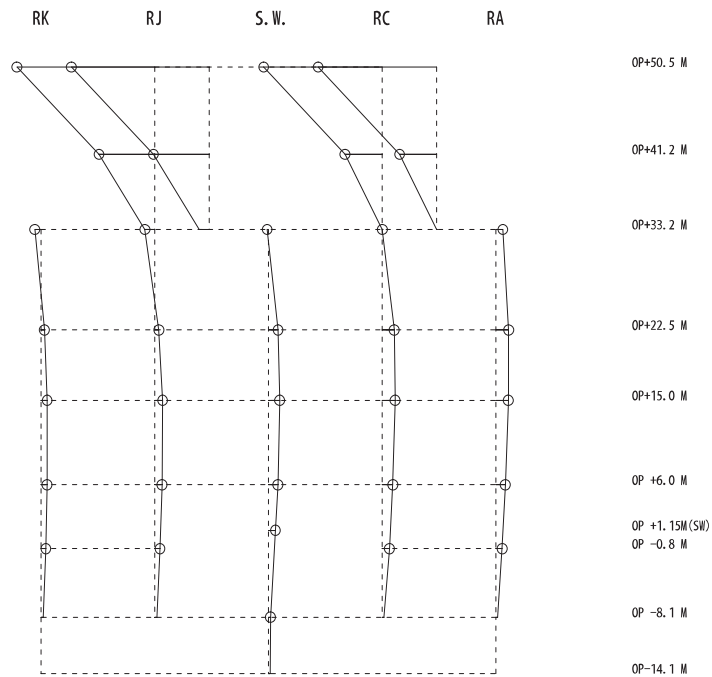
注：（ ）内は基本モデルに対する比率

固有周期 0.263 s
 固有振動数 3.80 Hz
 刺激係数 2.188 -1 0 +1



1 次

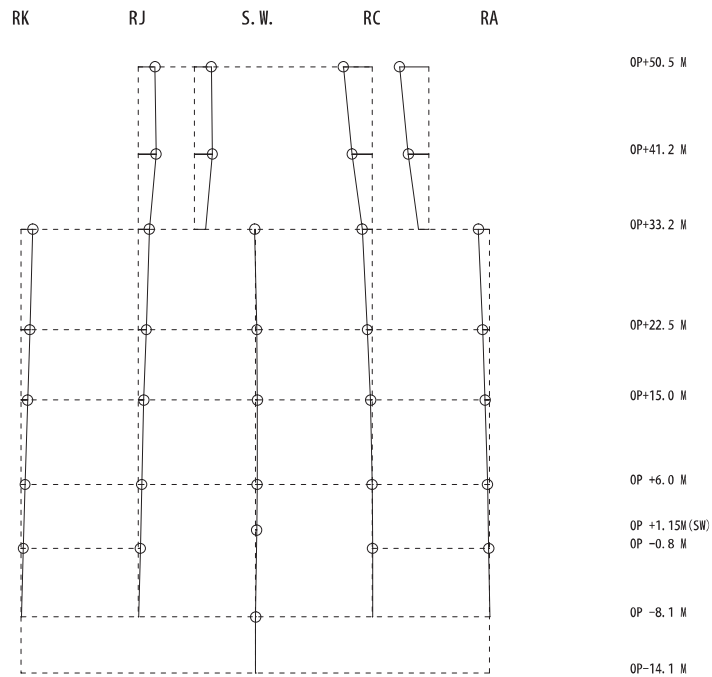
固有周期 0.136 s
 固有振動数 7.34 Hz
 刺激係数 2.793 -1 0 +1



2 次

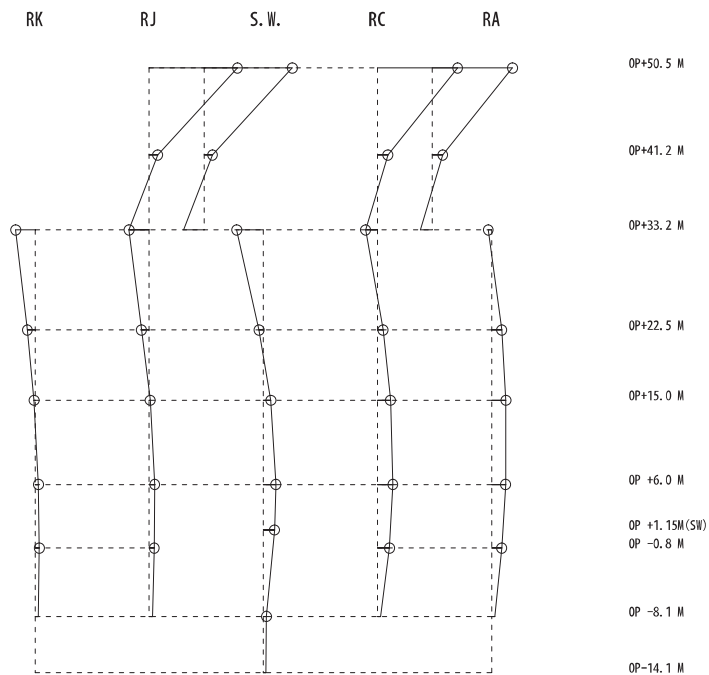
図 4-2(1) 刺激関数図 (ケース 4) (NS 方向 1 次及び 2 次)

固有周期 0.123 s
 固有振動数 8.15 Hz
 刺激係数 0.572 -1 0 +1



3 次

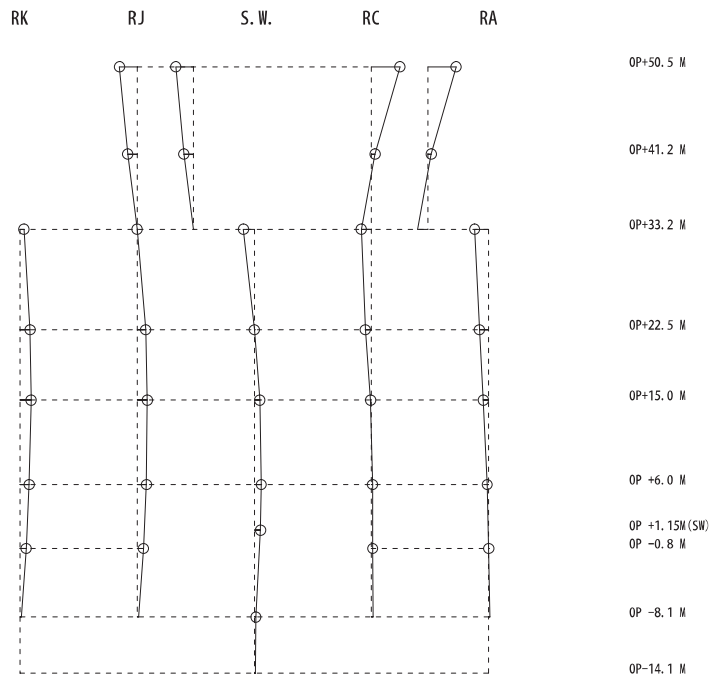
固有周期 0.106 s
 固有振動数 9.40 Hz
 刺激係数 1.779 -1 0 +1



4 次

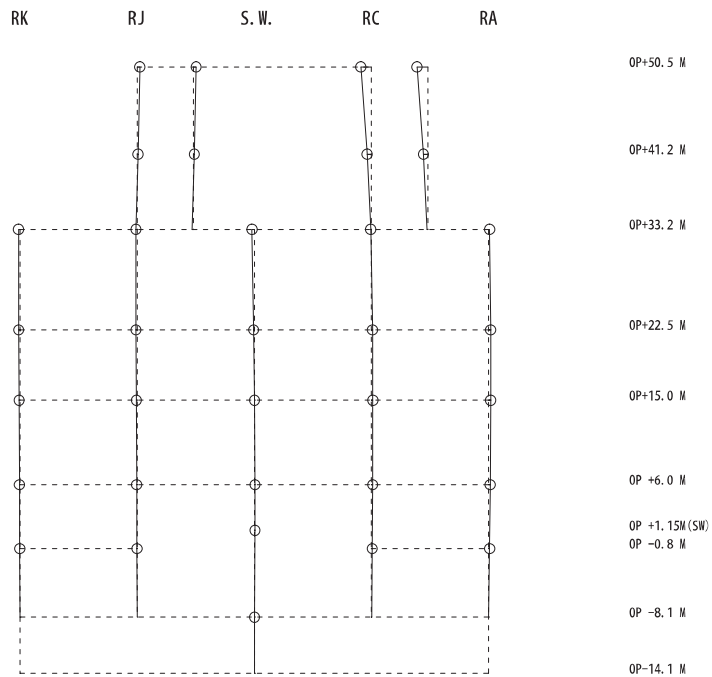
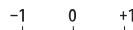
図 4-2(2) 刺激関数図 (ケース 4) (NS 方向 3 次及び 4 次)

固有周期 0.102 s
 固有振動数 9.80 Hz
 刺激係数 0.558



5 次

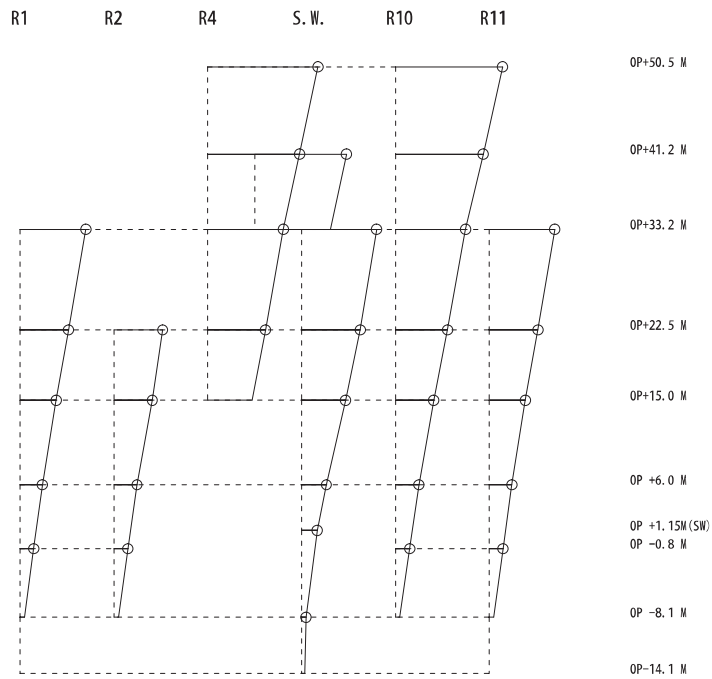
固有周期 0.098 s
 固有振動数 10.17 Hz
 刺激係数 0.211



6 次

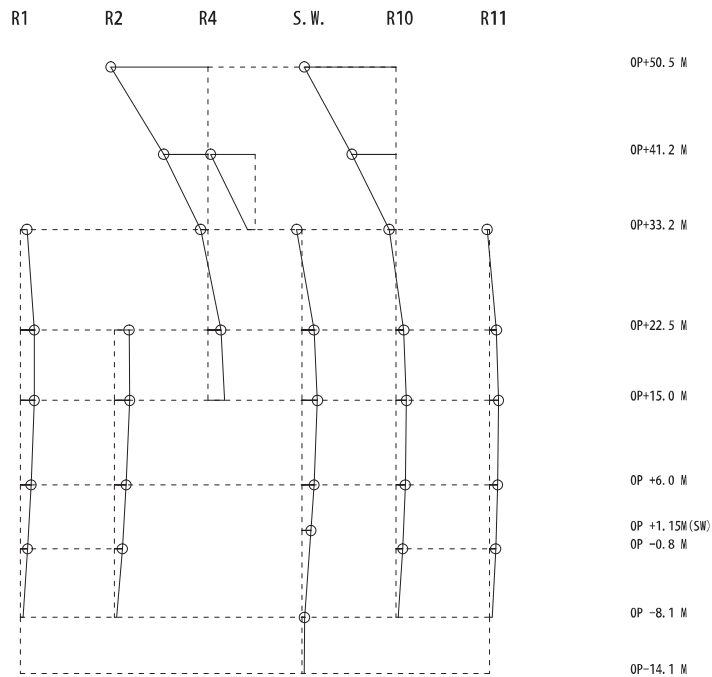
図 4-2(3) 刺激関数図 (ケース 4) (NS 方向 5 次及び 6 次)

固有周期 0.254 s
 固有振動数 3.93 Hz
 刺激係数 2.160 -1 0 +1



1 次

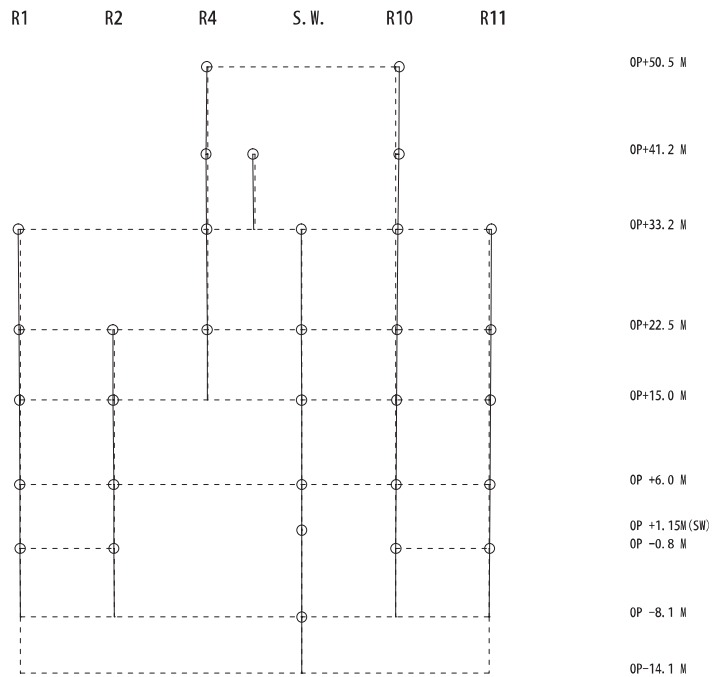
固有周期 0.138 s
 固有振動数 7.25 Hz
 刺激係数 1.907 -1 0 +1



2 次

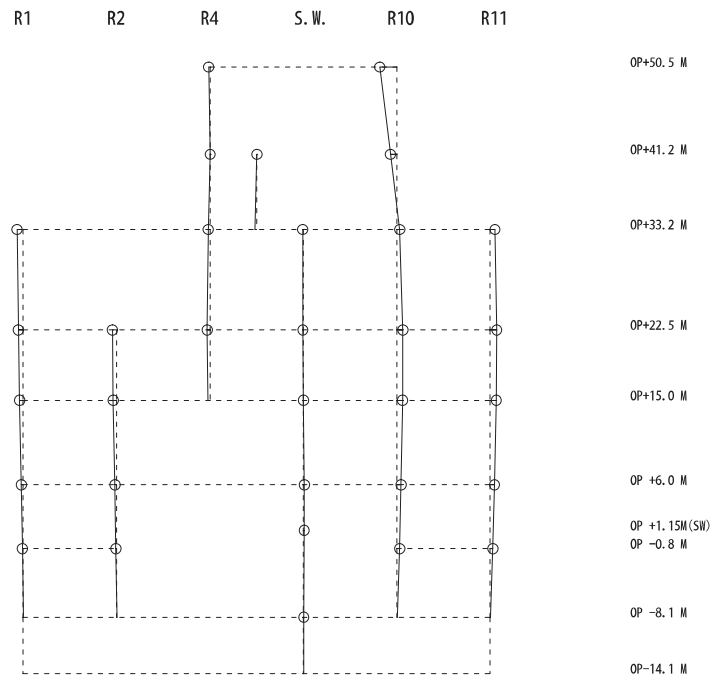
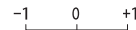
図 4-3(1) 刺激関数図 (ケース 4) (EW 方向 1 次及び 2 次)

固有周期 0.122 s
 固有振動数 8.19 Hz
 刺激係数 0.073



3 次

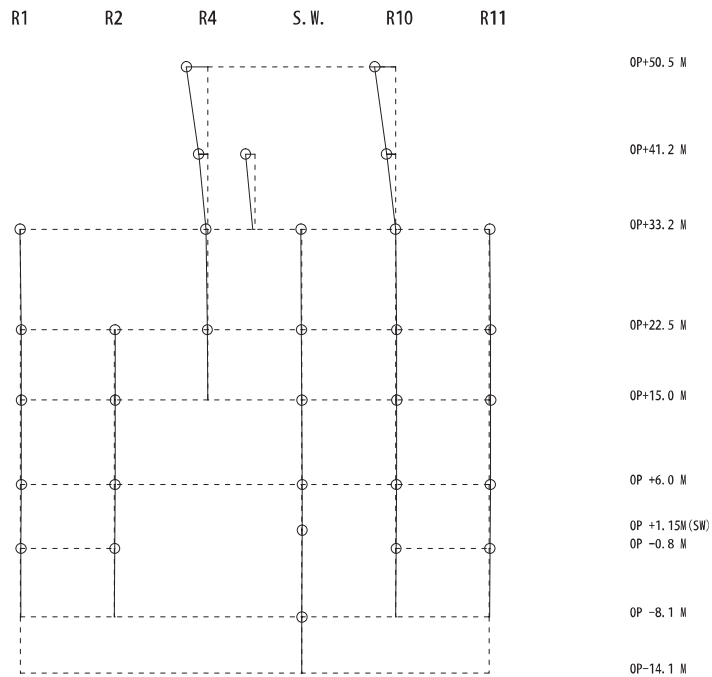
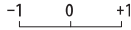
固有周期 0.108 s
 固有振動数 9.28 Hz
 刺激係数 0.335



4 次

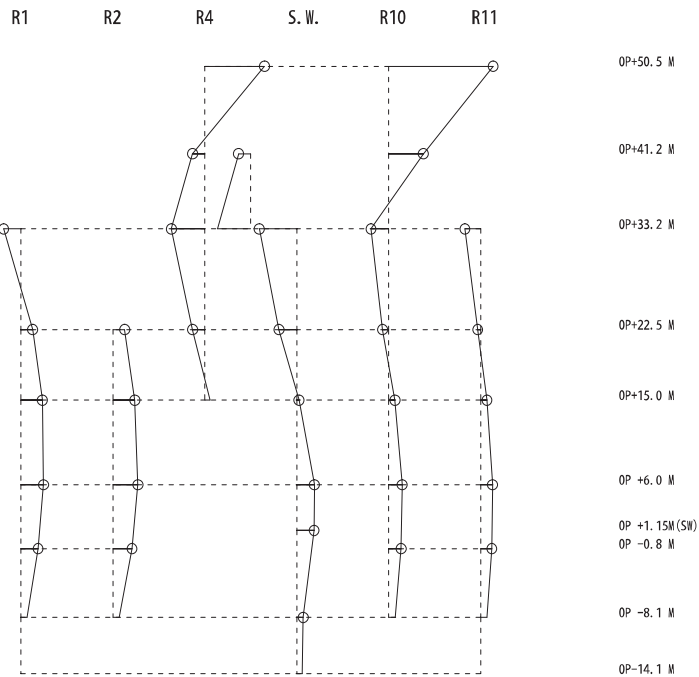
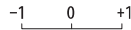
図 4-3(2) 刺激関数図 (ケース 4) (EW 方向 3 次及び 4 次)

固有周期 0.102 s
 固有振動数 9.81 Hz
 刺激係数 0.422



5 次

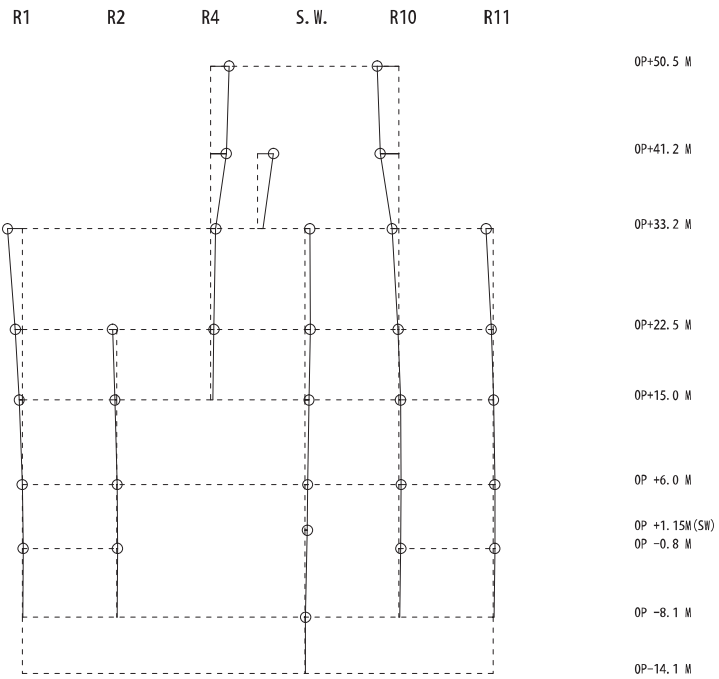
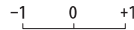
固有周期 0.095 s
 固有振動数 10.54 Hz
 刺激係数 2.087



6 次

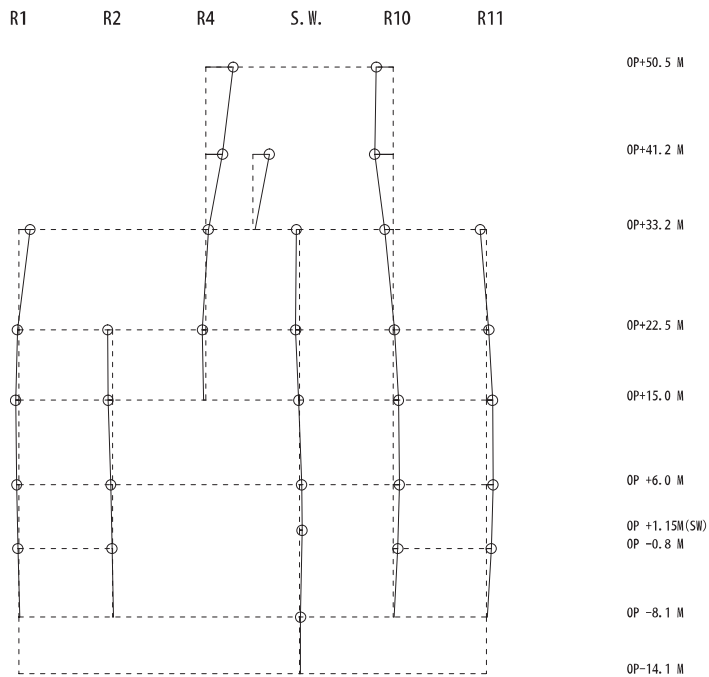
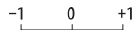
図 4-3(3) 刺激関数図 (ケース 4) (EW 方向 5 次及び 6 次)

固有周期 0.084 s
 固有振動数 11.84 Hz
 刺激係数 0.426



7 次

固有周期 0.082 s
 固有振動数 12.22 Hz
 刺激係数 0.533



8 次

図 4-3(4) 刺激関数図 (ケース 4) (EW 方向 7 次及び 8 次)

4.2.2 地盤物性の変動による影響

(1) 影響評価方針

地盤物性を変動させたケース(ケース2及びケース3)の固有値解析を実施し、地盤物性を変動させたケースと基本ケースを比較する。

(2) 固有値解析結果

地盤物性を変動させた解析モデルにより固有値解析を実施した。固有値解析結果を表4-3、刺激関数図を図4-4～図4-9に示す。

基本ケースに対する地盤物性を変動させた解析モデルの固有振動数の変動について、地盤の主要モードにあたる固有周期で変動が大きく最大で水平方向では1%程度、鉛直方向では4%程度であった。

表 4-3(1) 固有値解析結果の比較 (単位: Hz)

(a) NS 方向

| 次数 | NS方向 | | |
|----|-------|-----------------|-----------------|
| | ケース1 | ケース2 | ケース3 |
| 1 | 4.21 | 4.25 (1.01) | 4.17 (0.99) |
| 2 | 8.12 | 8.14 (1.00) | 8.10 (1.00) |
| 3 | 8.61 | 8.62 (1.00) | 8.60 (1.00) |
| 4 | 10.33 | 10.38 (1.00) | 10.27 (0.99) |
| 5 | 10.76 | 10.78 (1.00) | 10.73 (1.00) |
| 6 | 11.21 | 11.26 (1.00) | 11.16 (1.00) |

(b) EW 方向

| 次数 | EW方向 | | |
|----|-------|-----------------|-----------------|
| | ケース1 | ケース2 | ケース3 |
| 1 | 4.36 | 4.40 (1.01) | 4.31 (0.99) |
| 2 | 8.01 | 8.04 (1.00) | 7.98 (1.00) |
| 3 | 8.64 | 8.64 (1.00) | 8.64 (1.00) |
| 4 | 10.15 | 10.16 (1.00) | 10.14 (1.00) |
| 5 | 10.93 | 10.98 (1.00) | 10.88 (1.00) |
| 6 | 11.46 | 11.53 (1.01) | 11.37 (0.99) |
| 7 | 12.80 | 12.85 (1.00) | 12.75 (1.00) |
| 8 | 13.45 | 13.46 (1.00) | 13.43 (1.00) |

注: () 内は基本モデルに対する比率

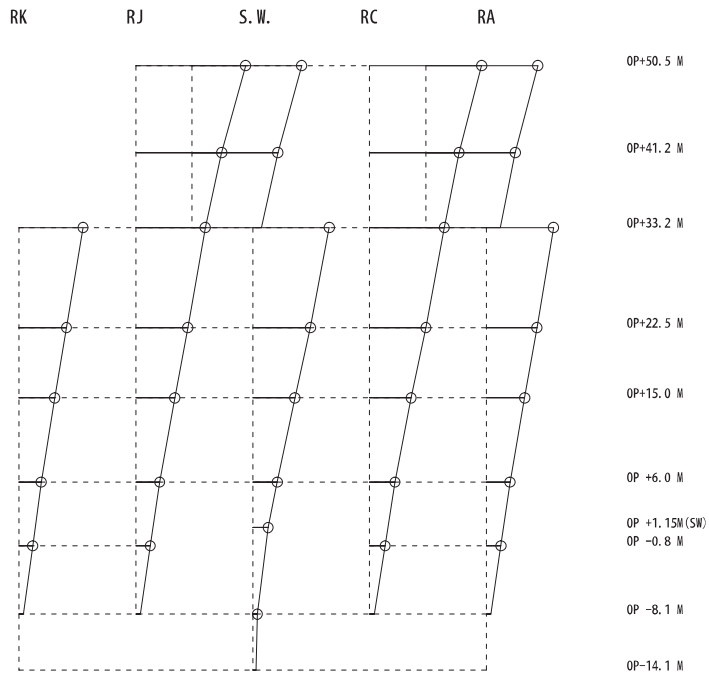
表 4-3(2) 固有値解析結果の比較 (単位: Hz)

(c)UD 方向

| 次数 | UD方向 | | |
|----|-------|-----------------|-----------------|
| | ケース1 | ケース2 | ケース3 |
| 1 | 2.95 | 2.95 (1.00) | 2.95 (1.00) |
| 2 | 9.96 | 10.29 (1.03) | 9.58 (0.96) |
| 3 | 12.59 | 12.59 (1.00) | 12.59 (1.00) |
| 4 | 19.61 | 19.61 (1.00) | 19.61 (1.00) |

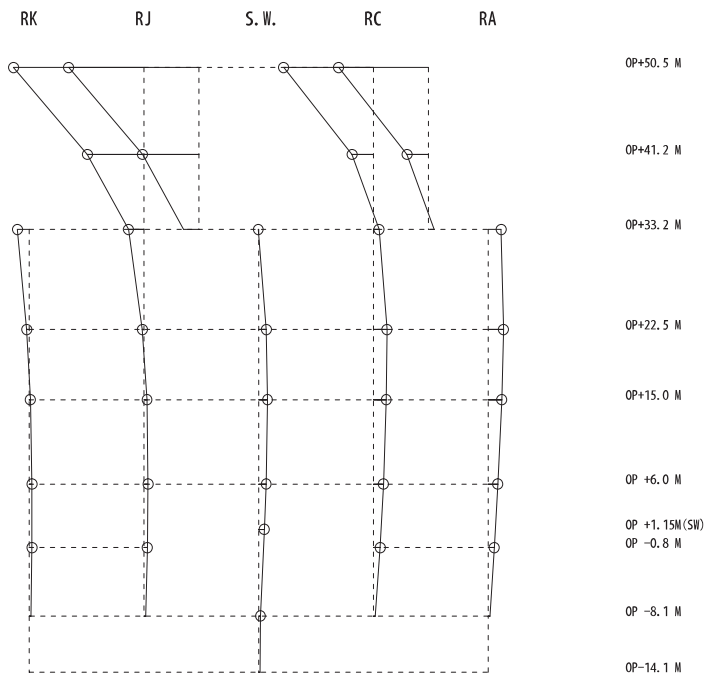
注: () 内は基本モデルに対する比率

固有周期 0.235 s
 固有振動数 4.25 Hz
 刺激係数 2.205 -1 0 +1



1 次

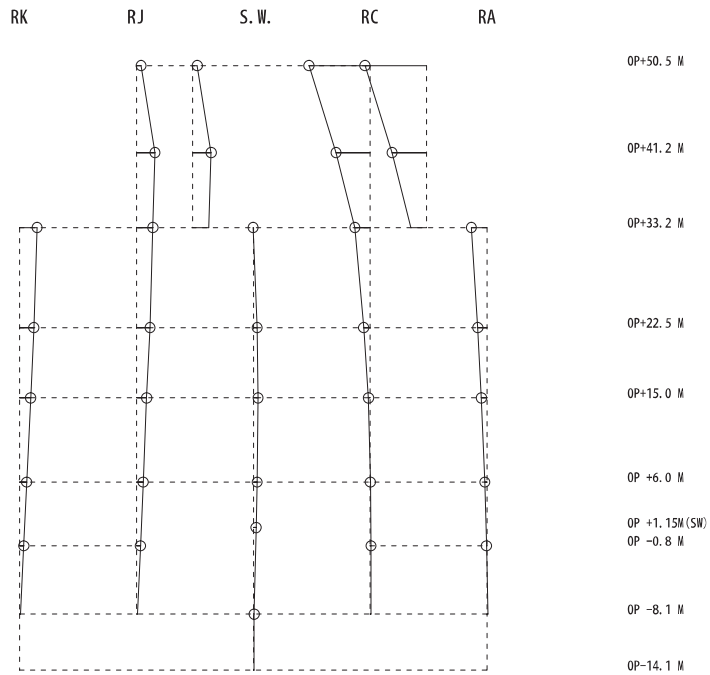
固有周期 0.123 s
 固有振動数 8.14 Hz
 刺激係数 2.618 -1 0 +1



2 次

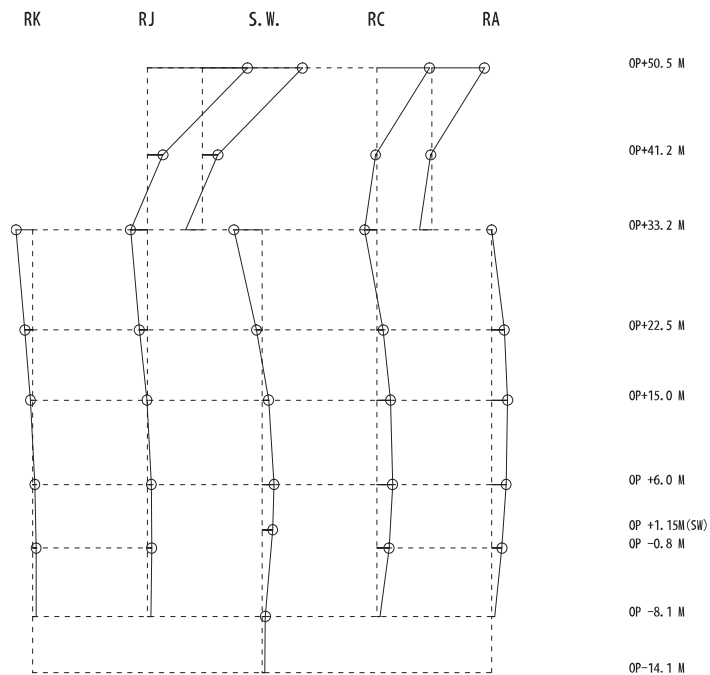
図 4-4(1) 刺激関数図 (ケース 2) (NS 方向 1 次及び 2 次)

固有周期 0.116 s
 固有振動数 8.62 Hz
 刺激係数 1.207



3 次

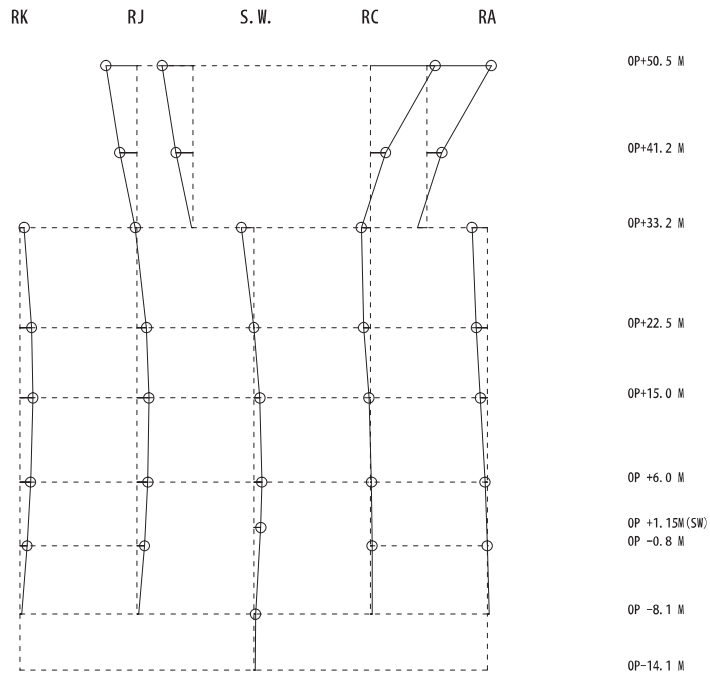
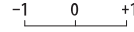
固有周期 0.096 s
 固有振動数 10.38 Hz
 刺激係数 2.004



4 次

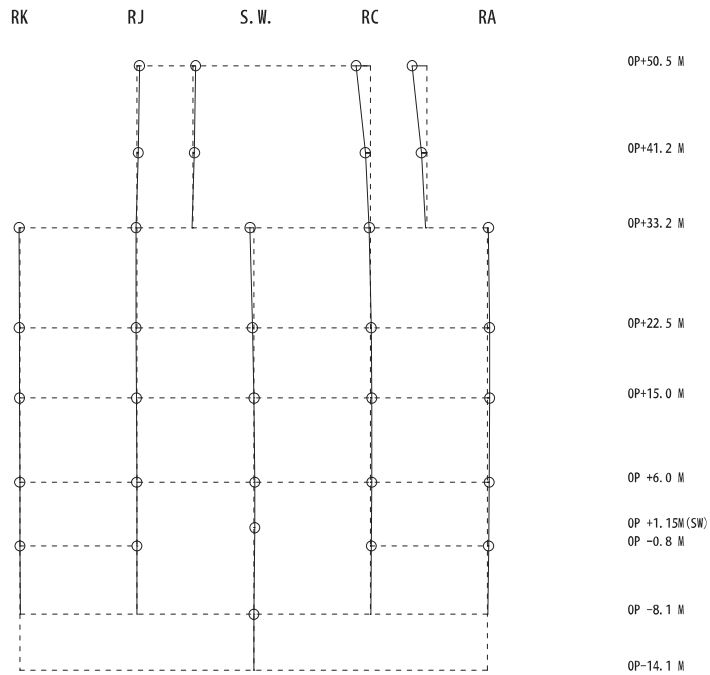
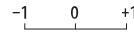
図 4-4(2) 刺激関数図 (ケース 2) (NS 方向 3 次~4 次)

固有周期 0.093 s
 固有振動数 10.78 Hz
 刺激係数 1.270



5 次

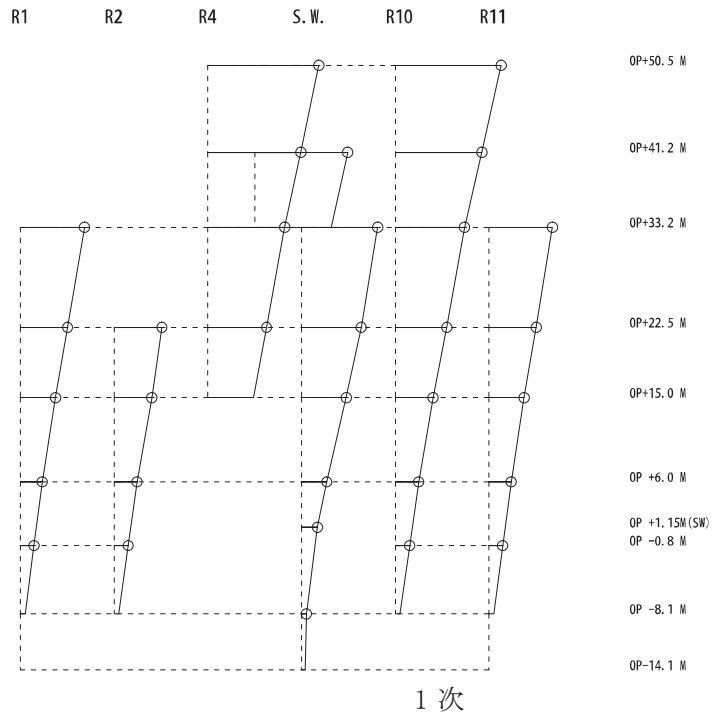
固有周期 0.089 s
 固有振動数 11.26 Hz
 刺激係数 0.288



6 次

図 4-4(3) 刺激関数図 (ケース 2) (NS 方向 5 次~6 次)

固有周期 0.228 s
 固有振動数 4.40 Hz
 刺激係数 2.180



固有周期 0.124 s
 固有振動数 8.04 Hz
 刺激係数 1.884

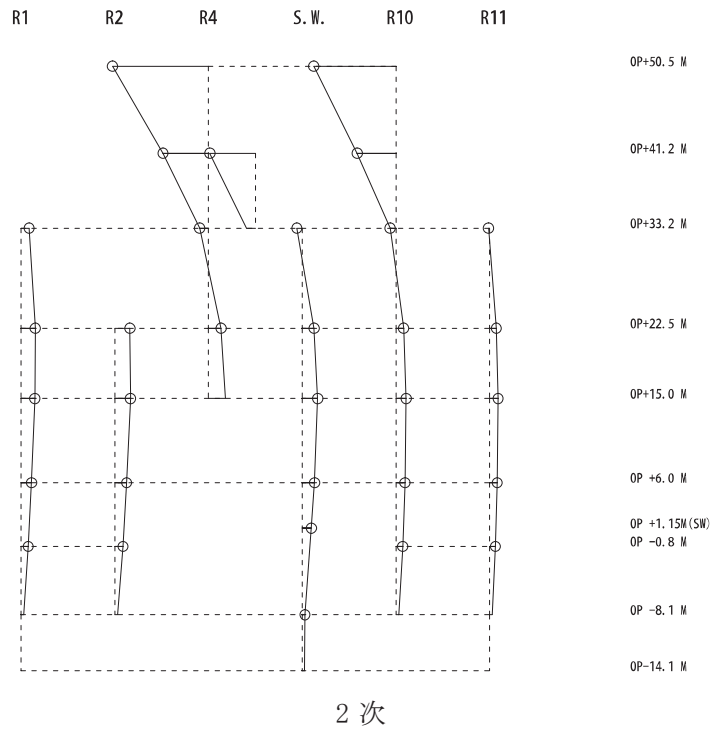
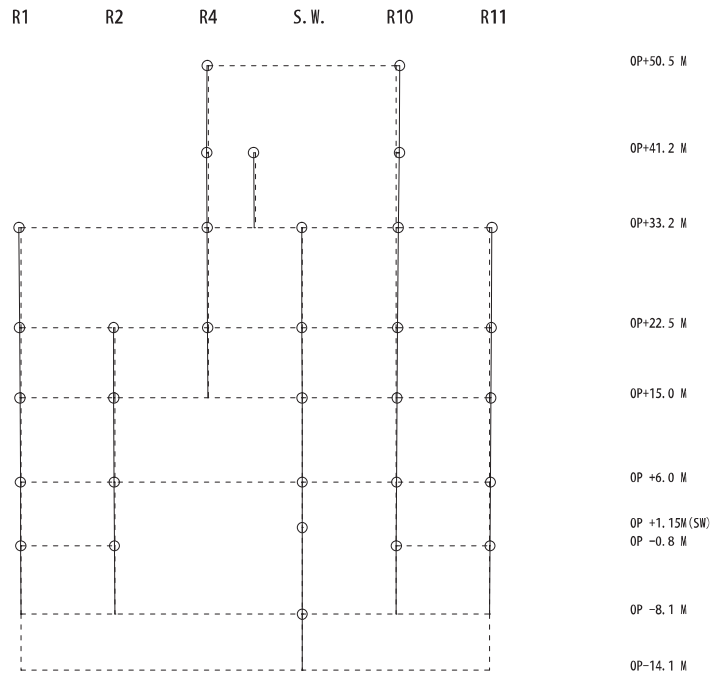


図 4-5(1) 刺激関数図 (ケース 2) (EW 方向 1 次及び 2 次)

固有周期 0.116 s
 固有振動数 8.64 Hz
 刺激係数 0.075

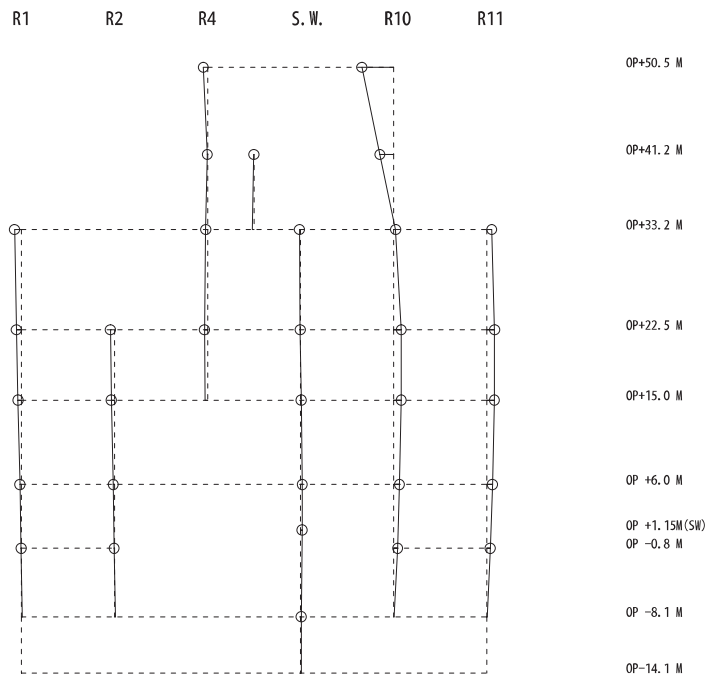
-1 0 +1



3 次

固有周期 0.098 s
 固有振動数 10.16 Hz
 刺激係数 0.627

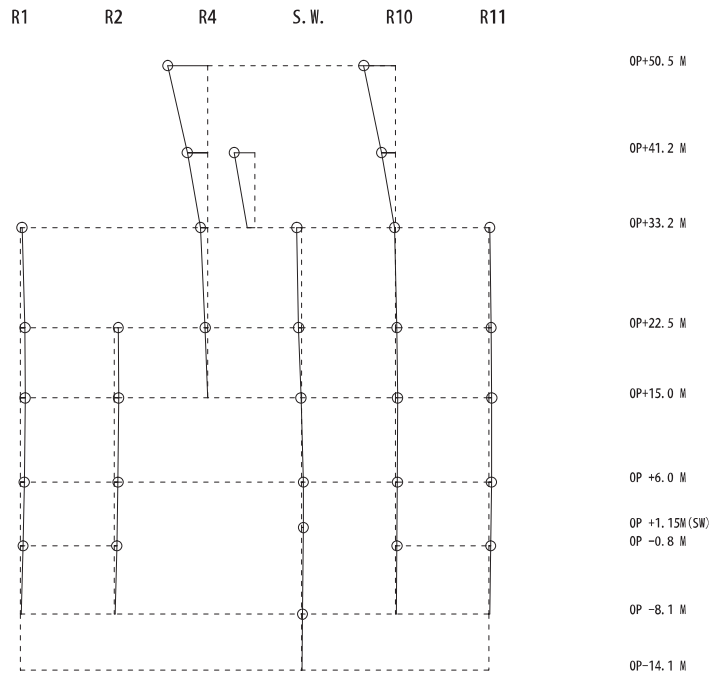
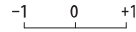
-1 0 +1



4 次

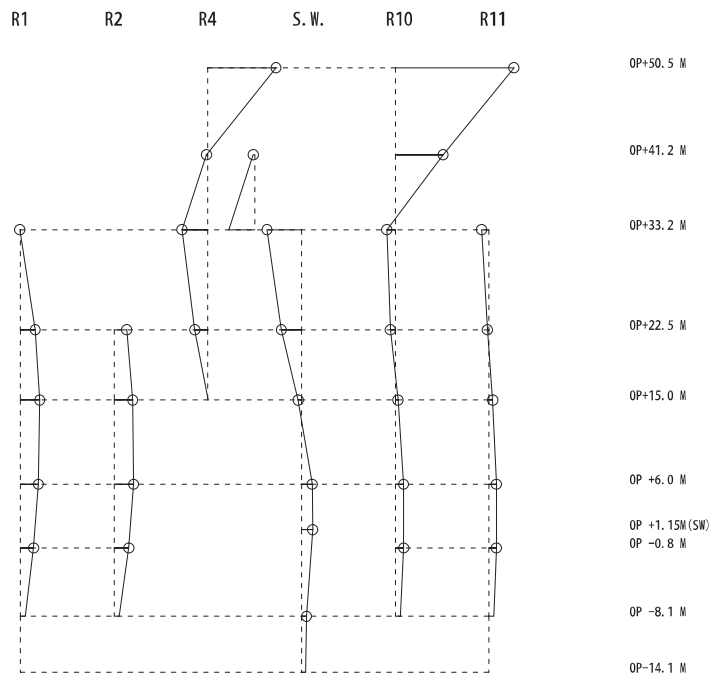
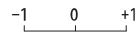
図 4-5(2) 刺激関数図 (ケース 2) (EW 方向 3 次及び 4 次)

固有周期 0.091 s
 固有振動数 10.98 Hz
 刺激係数 0.786



5 次

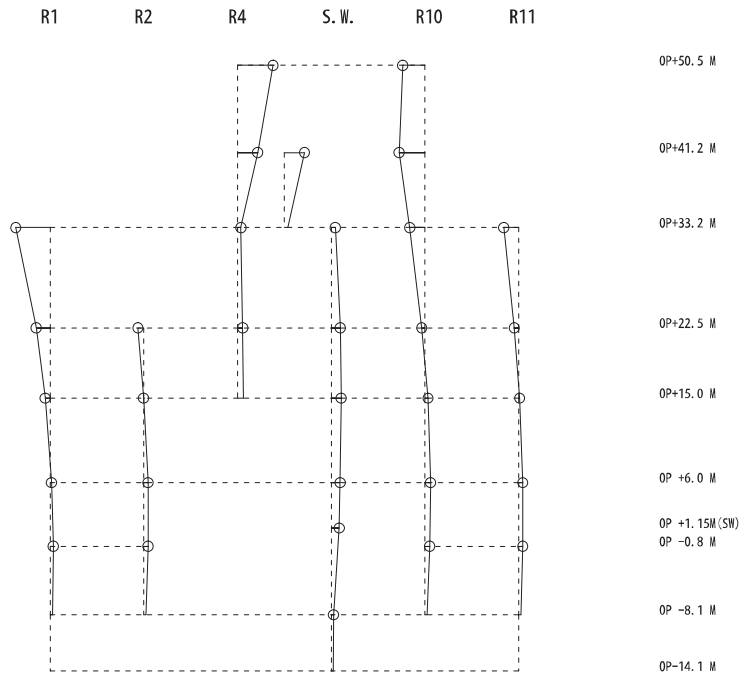
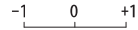
固有周期 0.087 s
 固有振動数 11.53 Hz
 刺激係数 2.328



6 次

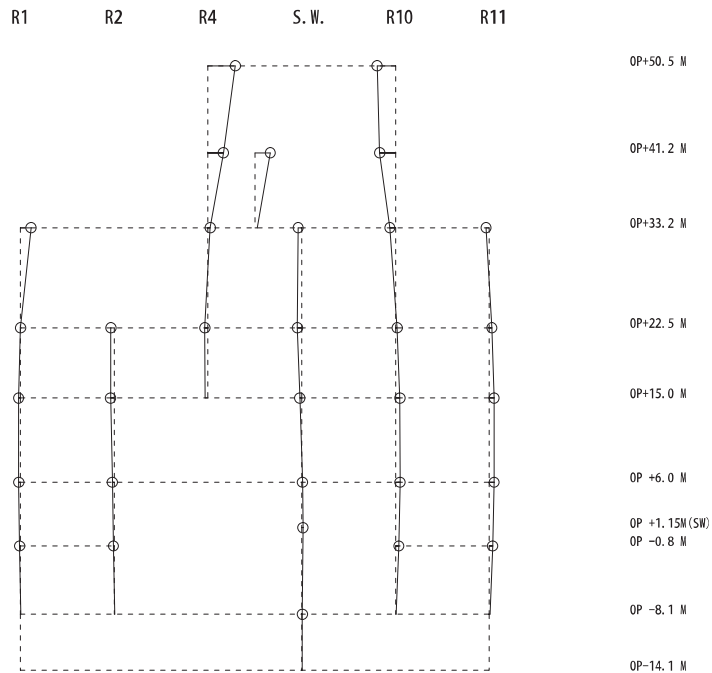
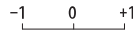
図 4-5(3) 刺激関数図 (ケース 2) (EW 方向 5 次及び 6 次)

固有周期 0.078 s
 固有振動数 12.85 Hz
 刺激係数 0.696



7 次

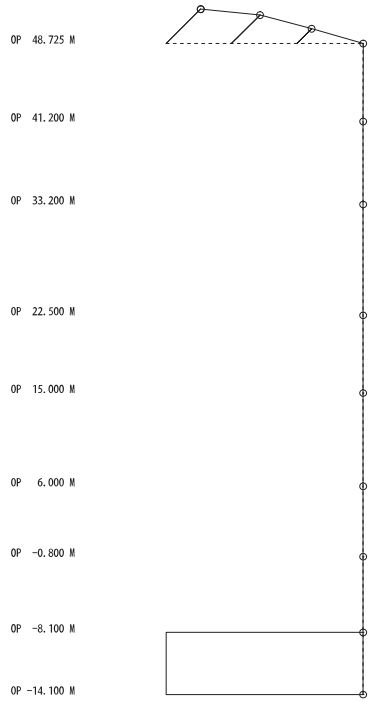
固有周期 0.074 s
 固有振動数 13.46 Hz
 刺激係数 0.538



8 次

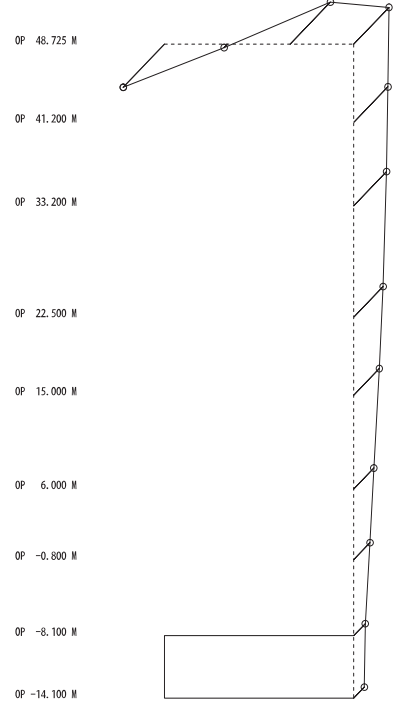
図 4-5(4) 刺激関数図 (ケース 2) (EW 方向 7 次及び 8 次)

固有周期 0.339 s
固有振動数 2.95 Hz
刺激係数 1.448



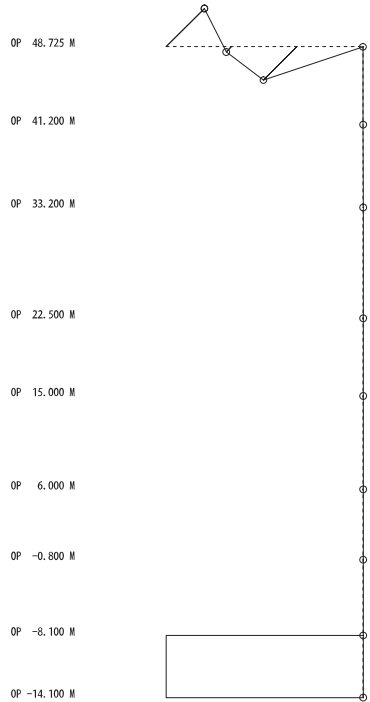
1 次

固有周期 0.097 s
固有振動数 10.29 Hz
刺激係数 1.808



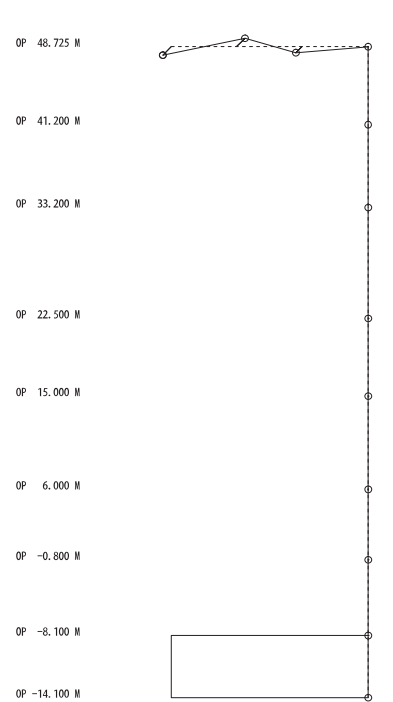
2 次

固有周期 0.079 s
固有振動数 12.59 Hz
刺激係数 1.604



3 次

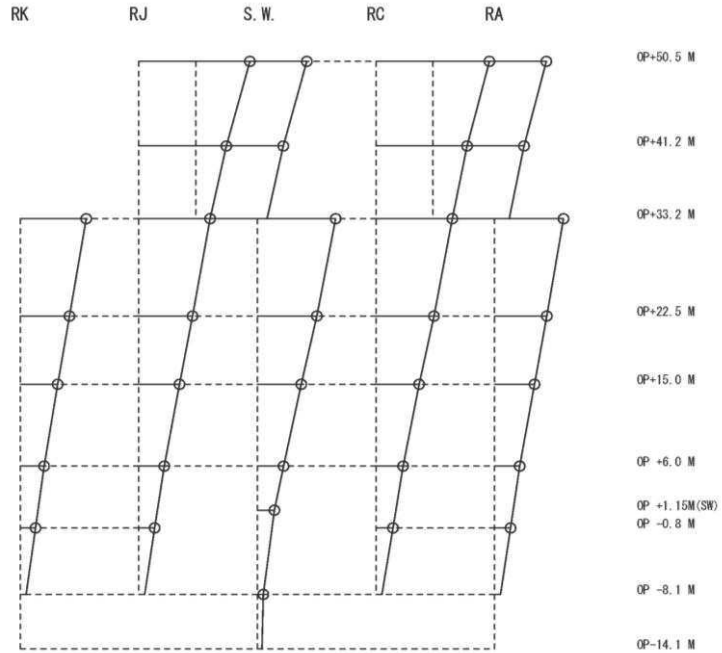
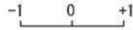
固有周期 0.051 s
固有振動数 19.61 Hz
刺激係数 0.358



4 次

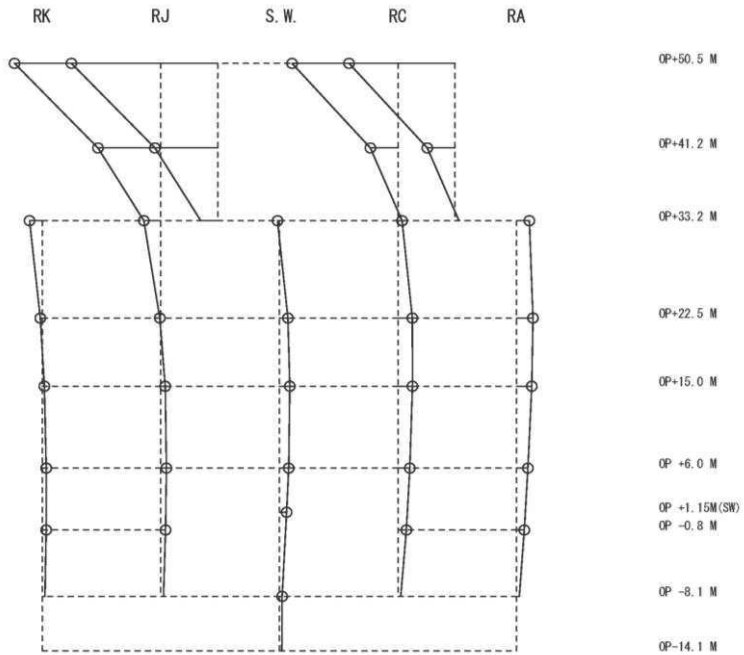
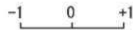
図 4-6 刺激関数図 (ケース 2) (UD 方向 1 次~4 次)

固有周期 0.240 s
 固有振動数 4.17 Hz
 刺激係数 2.199



1 次

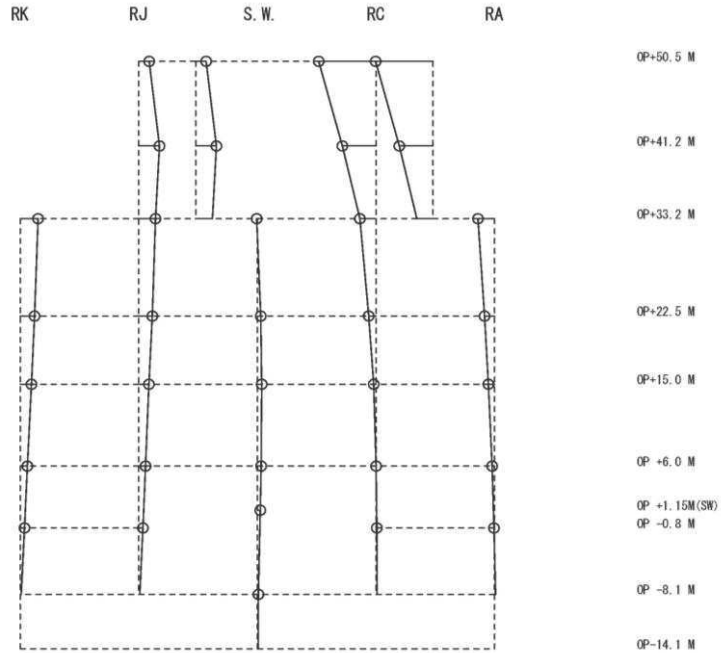
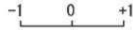
固有周期 0.124 s
 固有振動数 8.10 Hz
 刺激係数 2.837



2 次

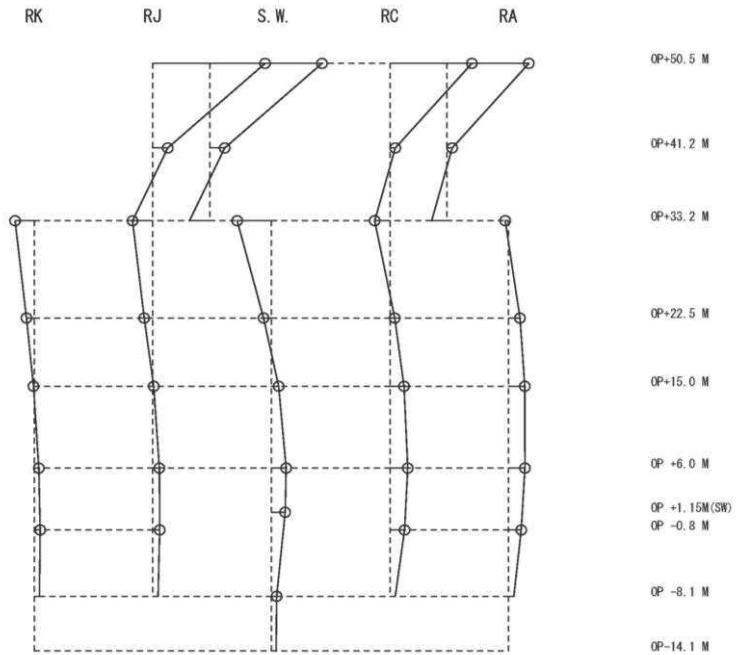
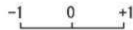
図 4-7(1) 刺激関数図 (ケース 3) (NS 方向 1 次及び 2 次)

固有周期 0.116 s
 固有振動数 8.60 Hz
 刺激係数 1.112



3 次

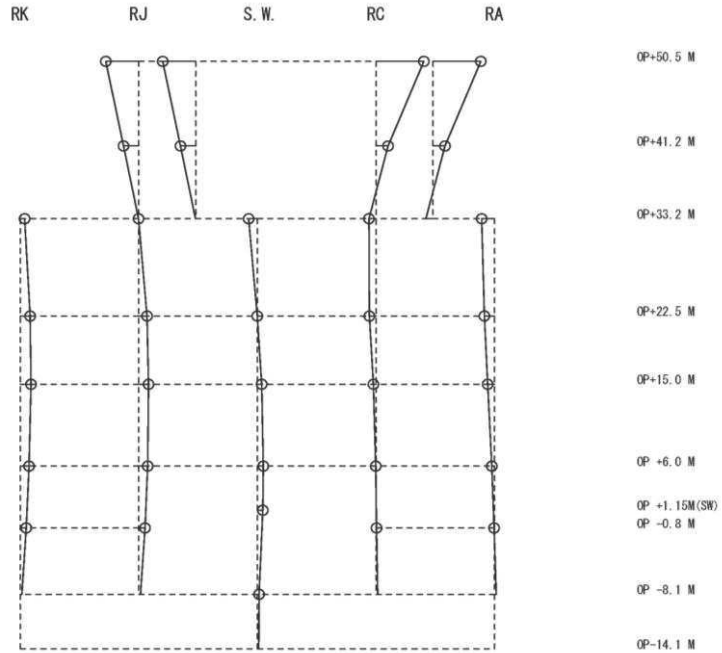
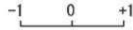
固有周期 0.097 s
 固有振動数 10.27 Hz
 刺激係数 2.176



4 次

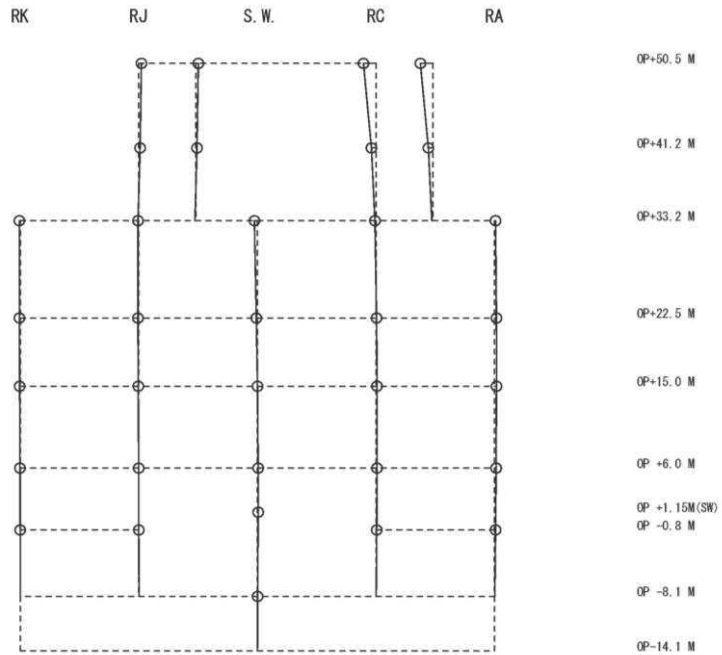
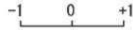
図 4-7(2) 刺激関数図 (ケース 3) (NS 方向 3 次及び 4 次)

固有周期 0.093 s
 固有振動数 10.73 Hz
 刺激係数 0.928



5 次

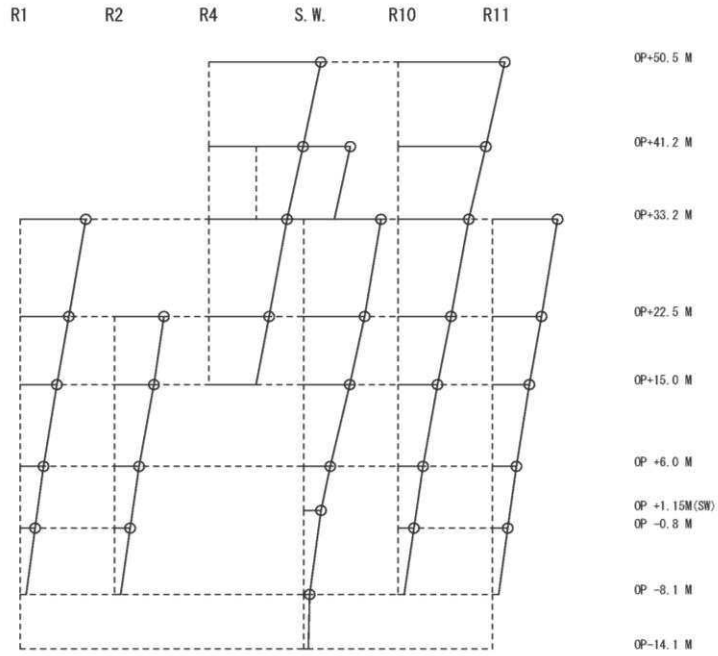
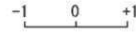
固有周期 0.090 s
 固有振動数 11.16 Hz
 刺激係数 0.243



6 次

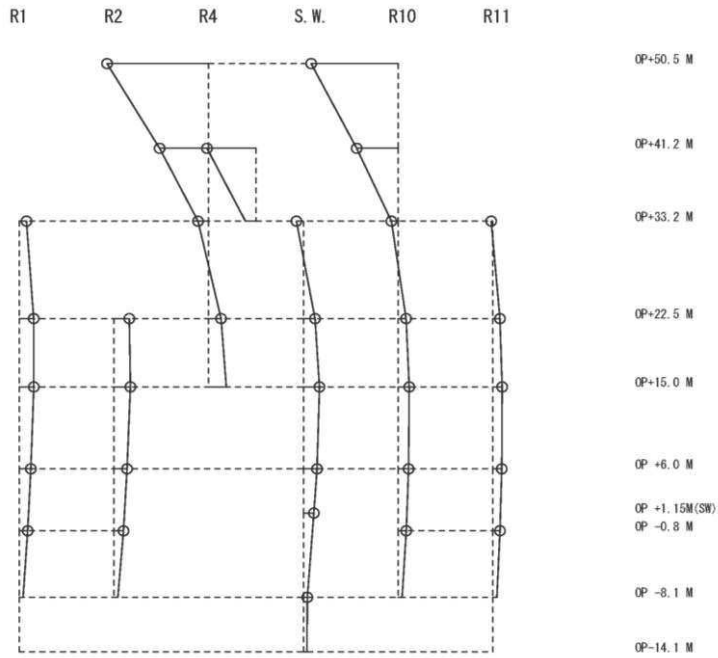
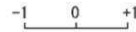
図 4-7(3) 刺激関数図 (ケース 3) (NS 方向 5 次及び 6 次)

固有周期 0.232 s
 固有振動数 4.31 Hz
 刺激係数 2.176



1次

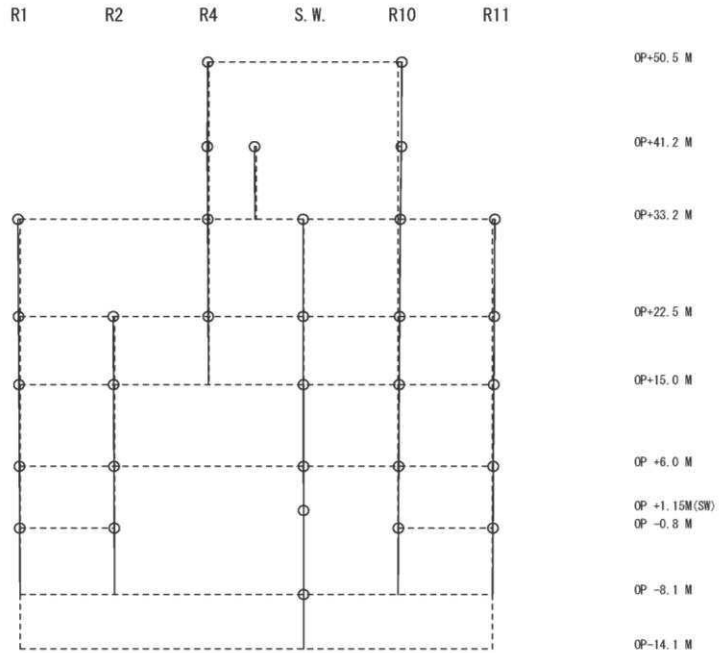
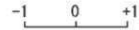
固有周期 0.125 s
 固有振動数 7.98 Hz
 刺激係数 1.973



2次

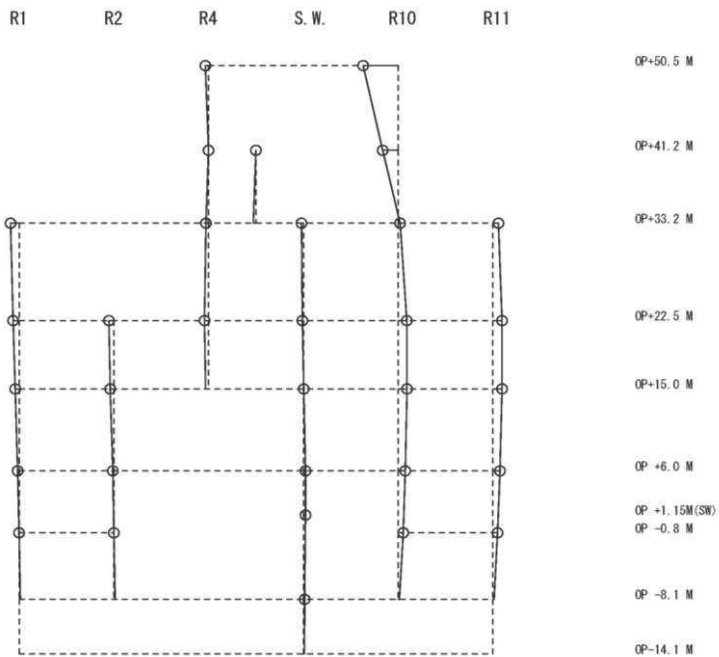
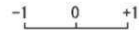
図 4-8(1) 刺激関数図 (ケース 3) (EW 方向 1 次及び 2 次)

固有周期 0.116 s
 固有振動数 8.64 Hz
 刺激係数 0.073



3 次

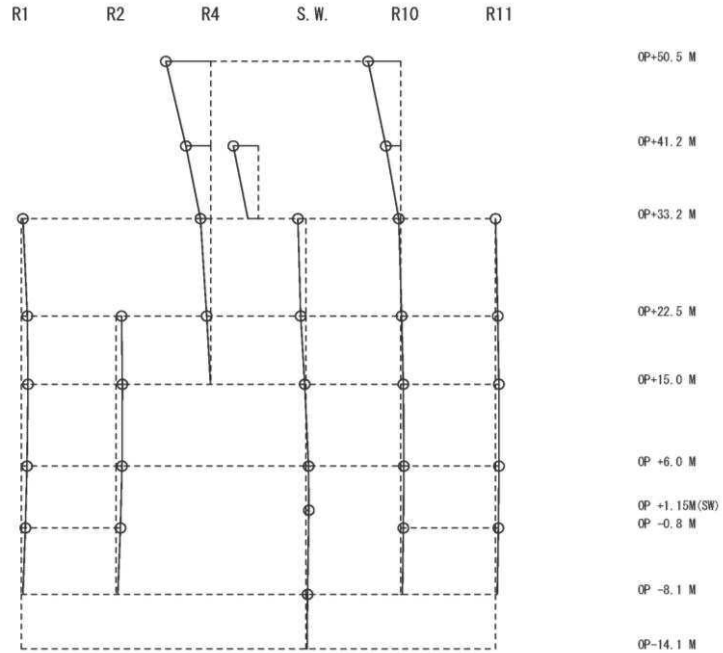
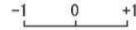
固有周期 0.099 s
 固有振動数 10.14 Hz
 刺激係数 0.680



4 次

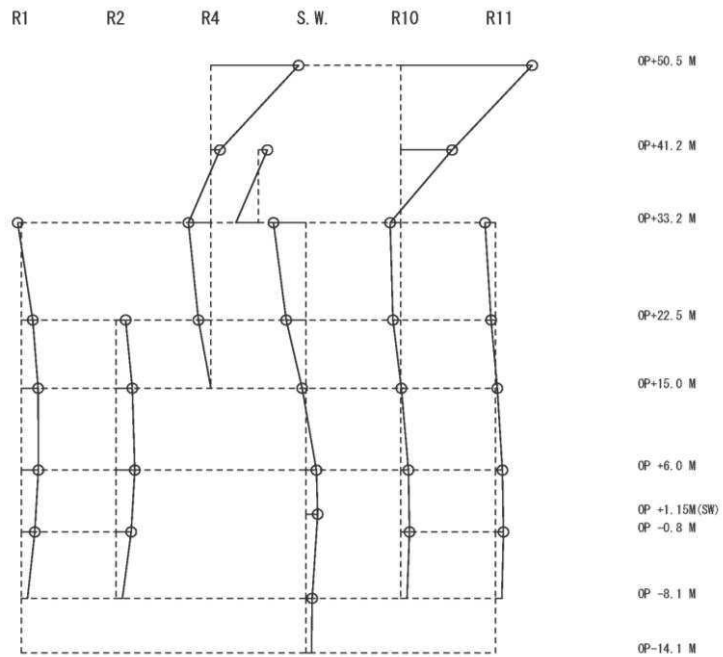
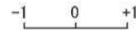
図 4-8(2) 刺激関数図 (ケース 3) (EW 方向 3 次及び 4 次)

固有周期 0.092 s
 固有振動数 10.88 Hz
 刺激係数 0.876



5 次

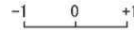
固有周期 0.088 s
 固有振動数 11.37 Hz
 刺激係数 2.549



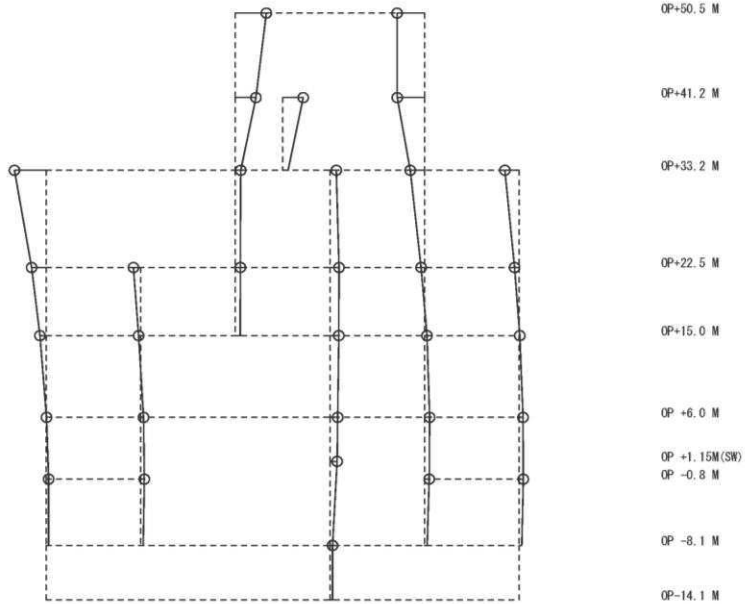
6 次

図 4-8(3) 刺激関数図 (ケース 3) (EW 方向 5 次及び 6 次)

固有周期 0.078 s
 固有振動数 12.75 Hz
 刺激係数 0.615

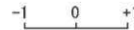


R1 R2 R4 S.W. R10 R11

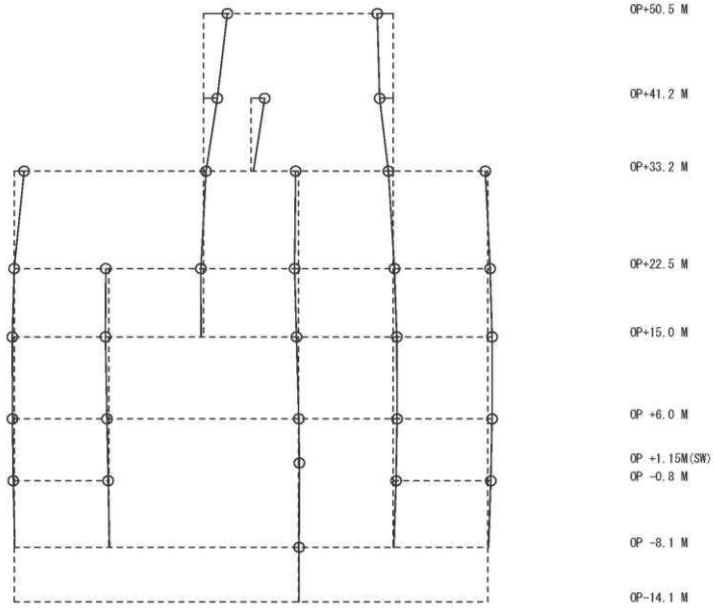


7 次

固有周期 0.074 s
 固有振動数 13.43 Hz
 刺激係数 0.459



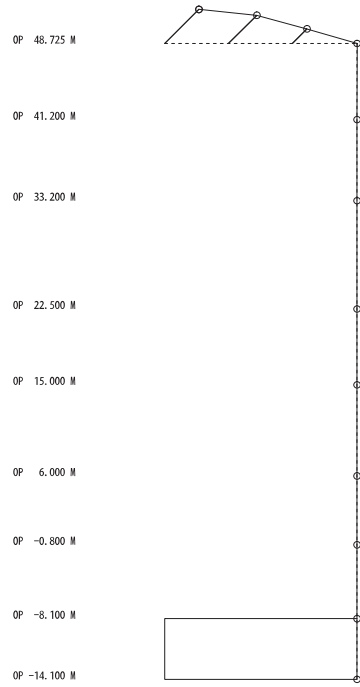
R1 R2 R4 S.W. R10 R11



8 次

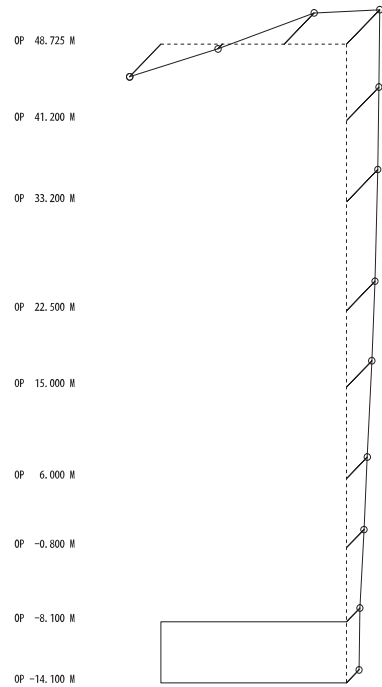
図 4-8(4) 刺激関数図 (ケース 3) (EW 方向 7 次及び 8 次)

固有周期 0.339 s
固有振動数 2.95 Hz
刺激係数 1.471



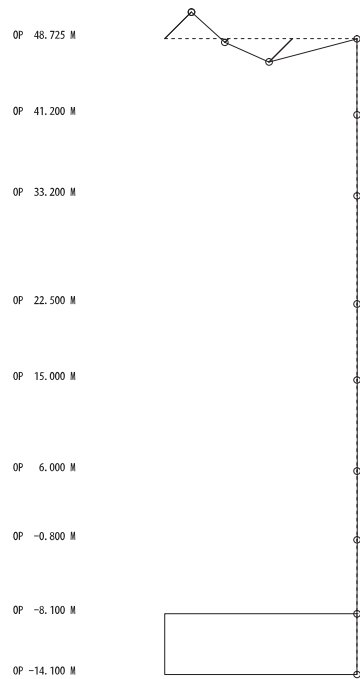
1次

固有周期 0.104 s
固有振動数 9.58 Hz
刺激係数 1.480



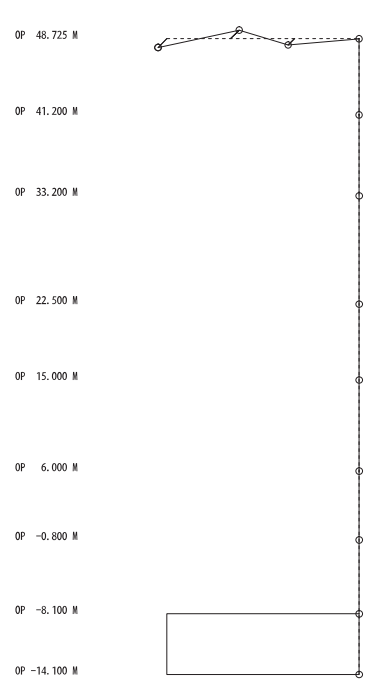
2次

固有周期 0.079 s
固有振動数 12.59 Hz
刺激係数 1.146



3次

固有周期 0.051 s
固有振動数 19.61 Hz
刺激係数 0.379



4次

図 4-9 刺激関数図 (ケース 3) (UD 方向 1 次~4 次)

4.2.3 建屋剛性及び地盤物性の変動による影響

(1) 影響評価方針

建屋剛性及び地盤物性を変動させたケース（ケース 5 及びケース 6）の固有値解析を実施し、建屋剛性及び地盤物性を変動させたケースと基本ケースを比較する。

(2) 固有値解析結果

建屋剛性及び地盤物性を変動させた解析モデルにより固有値解析を実施した。固有値解析結果を表 4-4、刺激関数図を図 4-10～図 4-13 に示す。

基本ケースに対する建屋剛性及び地盤物性を変動させた解析モデルの固有振動数の変動について、硬質岩盤に立地しているため、地盤の影響が小さく、建屋剛性考慮・地盤物性 $+\sigma$ のケースで最大 10%程度、建屋剛性考慮・地盤物性 $-\sigma$ のケースで最大 11%程度低振動数側にシフトした。

表 4-4 固有値解析結果の比較 (単位: Hz)

(a) NS 方向

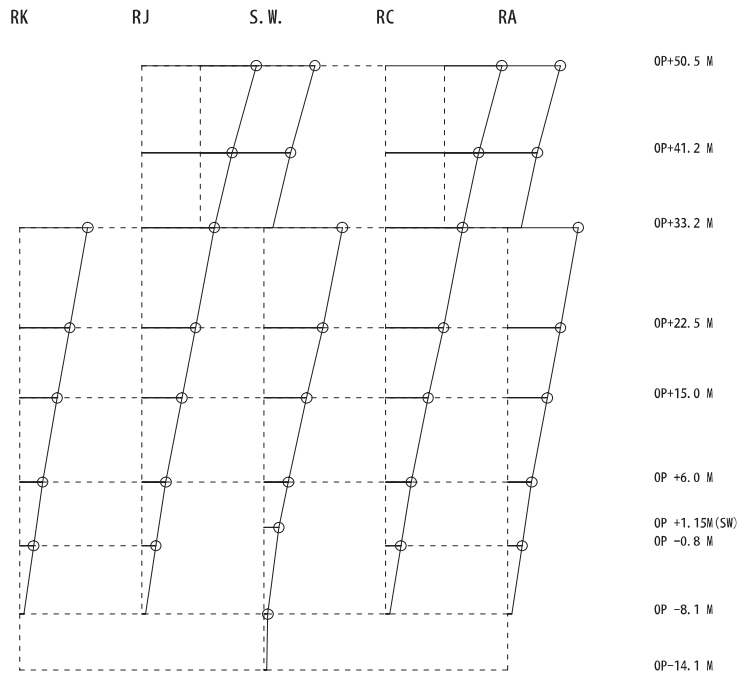
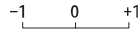
| 次数 | NS方向 | | |
|----|-------|-----------------|-----------------|
| | ケース1 | ケース5 | ケース6 |
| 1 | 4.21 | 3.83 (0.91) | 3.77 (0.90) |
| 2 | 8.12 | 7.36 (0.91) | 7.32 (0.90) |
| 3 | 8.61 | 8.15 (0.95) | 8.15 (0.95) |
| 4 | 10.33 | 9.43 (0.91) | 9.35 (0.91) |
| 5 | 10.76 | 9.82 (0.91) | 9.78 (0.91) |
| 6 | 11.21 | 10.19 (0.91) | 10.13 (0.90) |

(b) EW 方向

| 次数 | EW方向 | | |
|----|-------|-----------------|-----------------|
| | ケース1 | ケース5 | ケース6 |
| 1 | 4.36 | 3.96 (0.91) | 3.89 (0.89) |
| 2 | 8.01 | 7.27 (0.91) | 7.23 (0.90) |
| 3 | 8.64 | 8.19 (0.95) | 8.19 (0.95) |
| 4 | 10.15 | 9.29 (0.92) | 9.28 (0.91) |
| 5 | 10.93 | 9.83 (0.90) | 9.78 (0.89) |
| 6 | 11.46 | 10.61 (0.93) | 10.45 (0.91) |
| 7 | 12.80 | 11.86 (0.93) | 11.81 (0.92) |
| 8 | 13.45 | 12.23 (0.91) | 12.20 (0.91) |

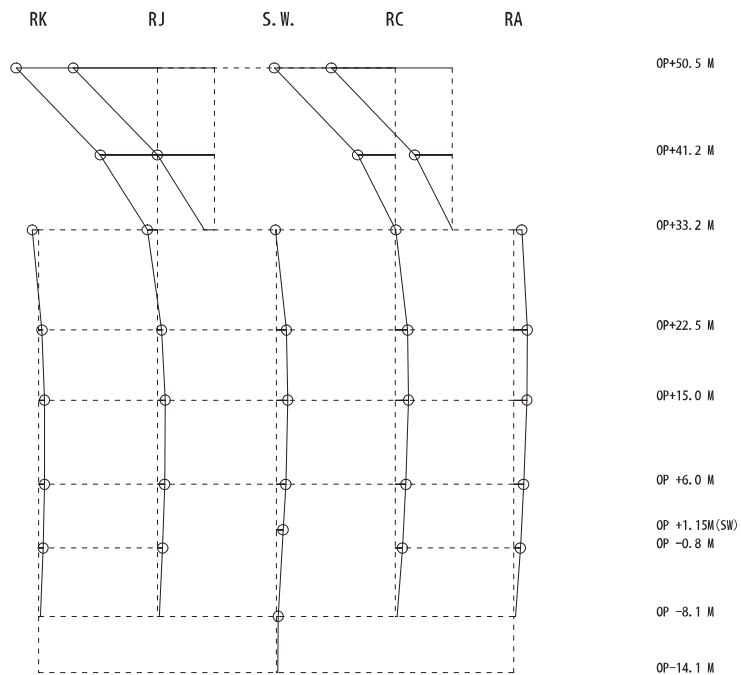
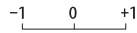
注: () 内は基本モデルに対する比率

固有周期 0.261 s
 固有振動数 3.83 Hz
 刺激係数 2.189



1 次

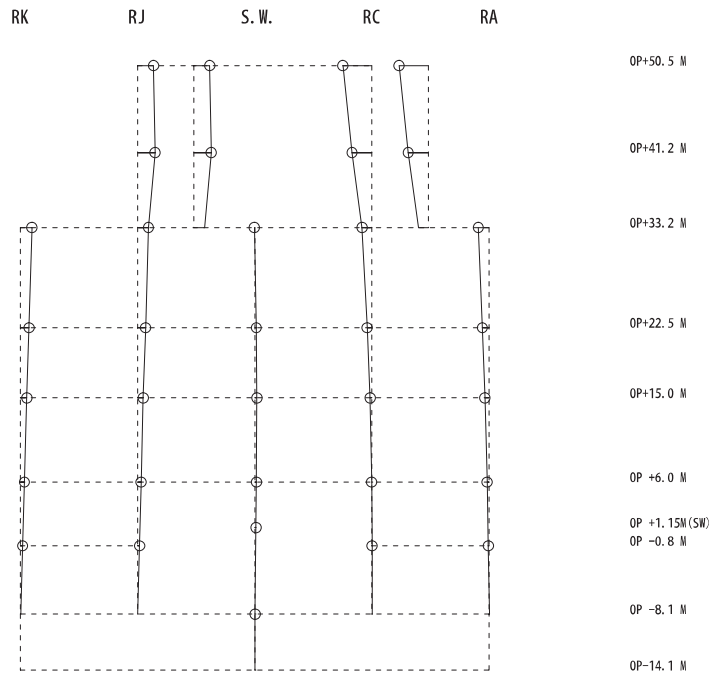
固有周期 0.136 s
 固有振動数 7.36 Hz
 刺激係数 2.738



2 次

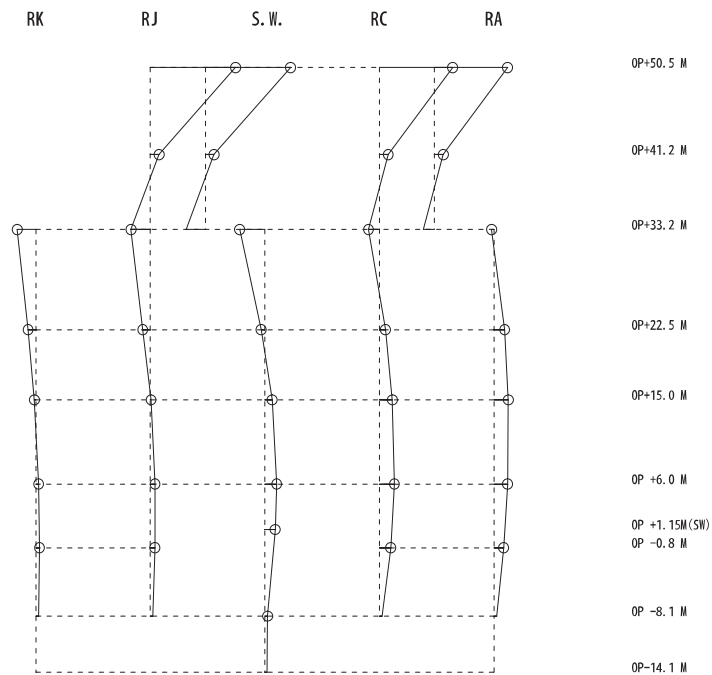
図 4-10(1) 刺激関数図 (ケース 5) (NS 方向 1 次及び 2 次)

固有周期 0.123 s
 固有振動数 8.15 Hz
 刺激係数 0.572 -1 0 +1



3 次

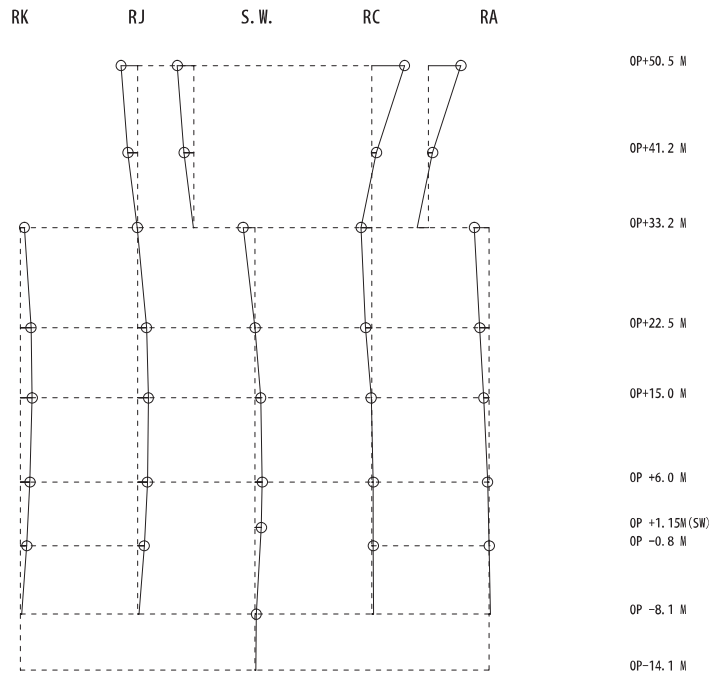
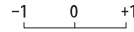
固有周期 0.106 s
 固有振動数 9.43 Hz
 刺激係数 1.710 -1 0 +1



4 次

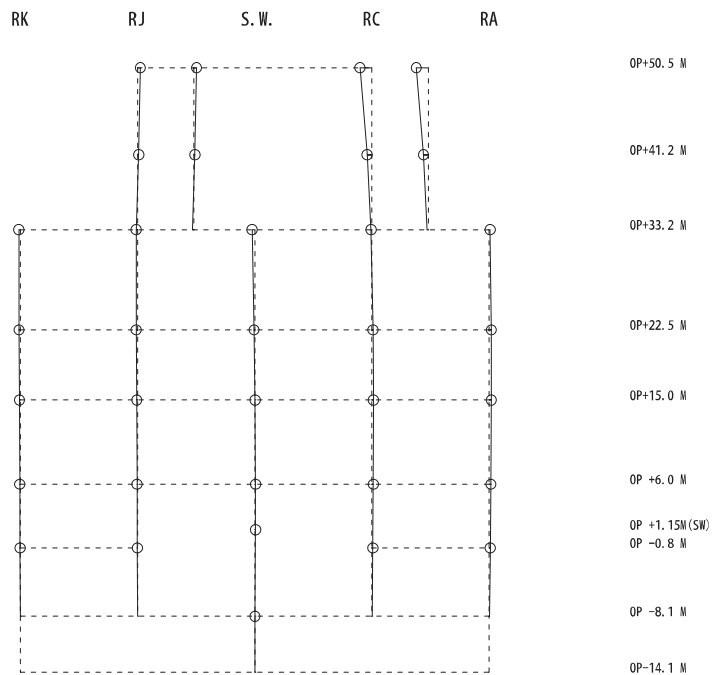
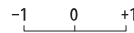
図 4-10(2) 刺激関数図 (ケース 5) (NS 方向 3 次及び 4 次)

固有周期 0.102 s
 固有振動数 9.82 Hz
 刺激係数 0.643



5次

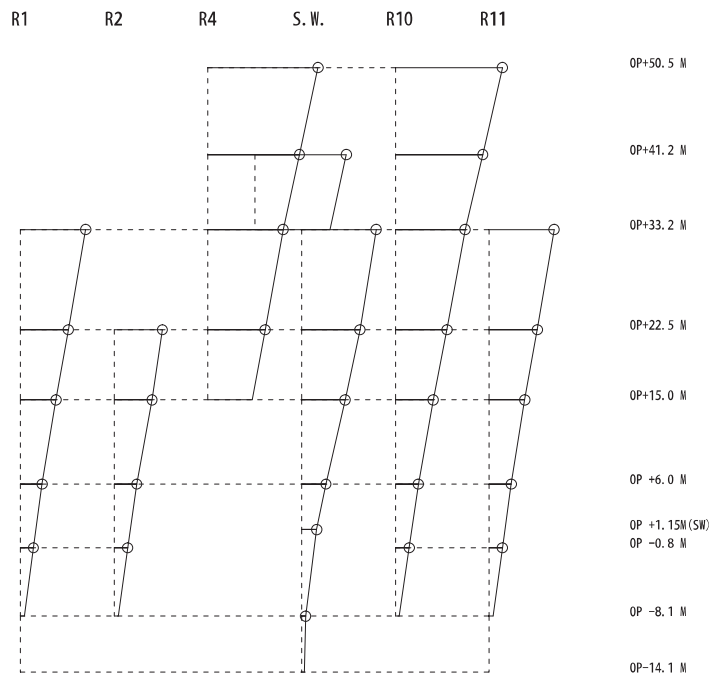
固有周期 0.098 s
 固有振動数 10.19 Hz
 刺激係数 0.234



6次

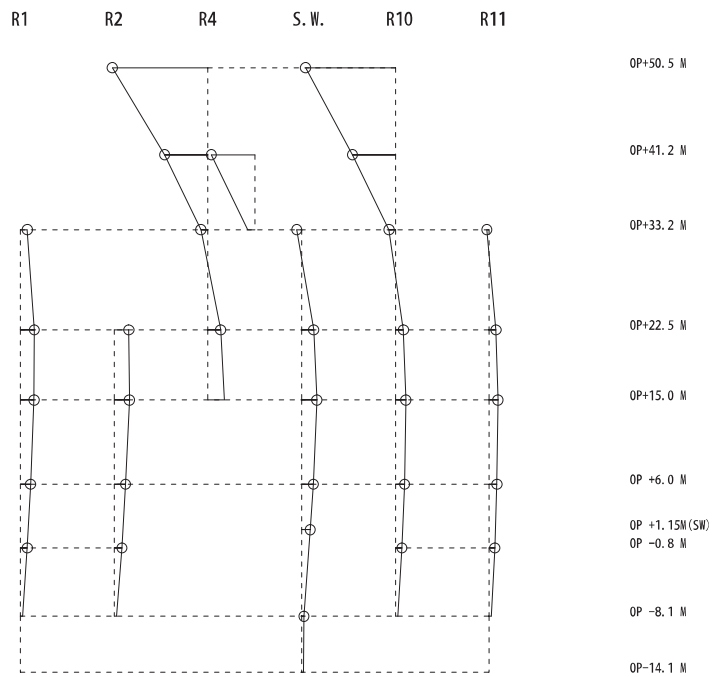
図 4-10(3) 刺激関数図 (ケース 5) (NS 方向 5 次及び 6 次)

固有周期 0.253 s
 固有振動数 3.96 Hz
 刺激係数 2.160



1次

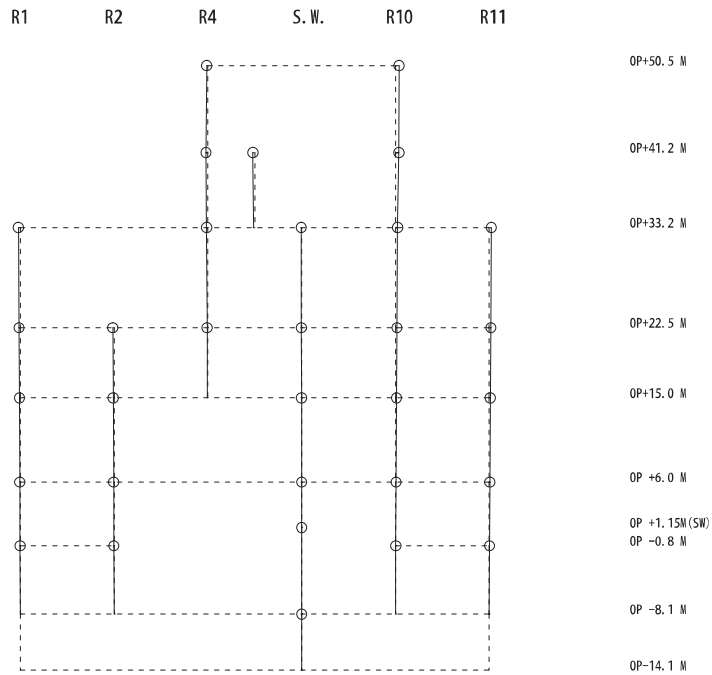
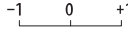
固有周期 0.137 s
 固有振動数 7.27 Hz
 刺激係数 1.875



2次

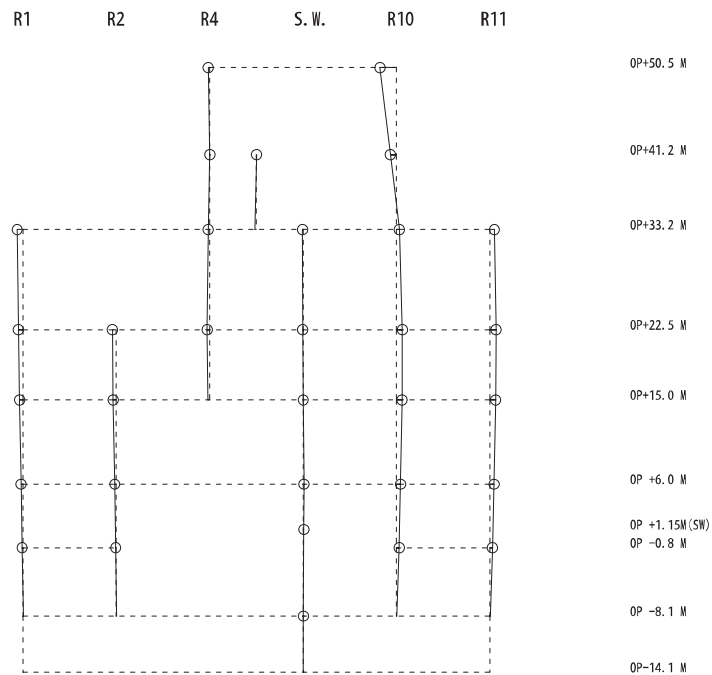
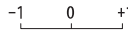
図 4-11(1) 刺激関数図 (ケース 5) (EW 方向 1 次及び 2 次)

固有周期 0.122 s
 固有振動数 8.19 Hz
 刺激係数 0.072



3 次

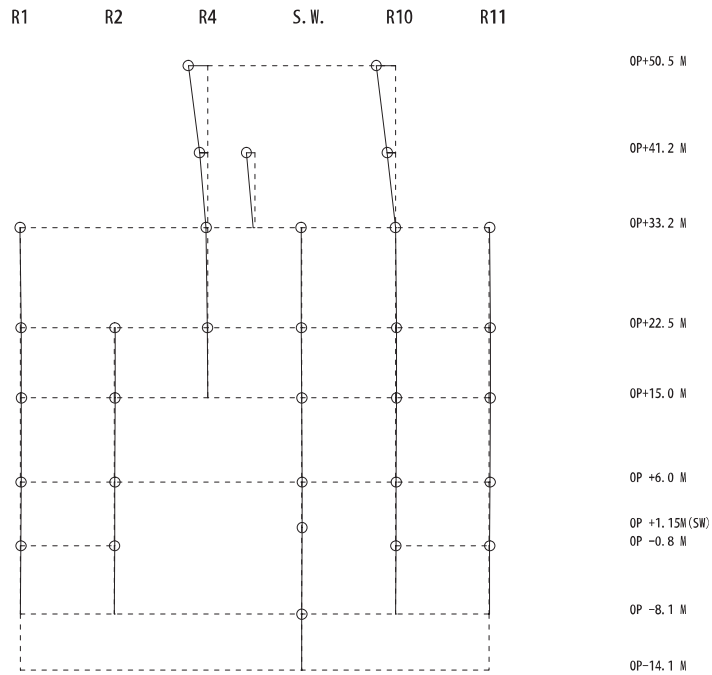
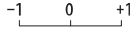
固有周期 0.108 s
 固有振動数 9.29 Hz
 刺激係数 0.325



4 次

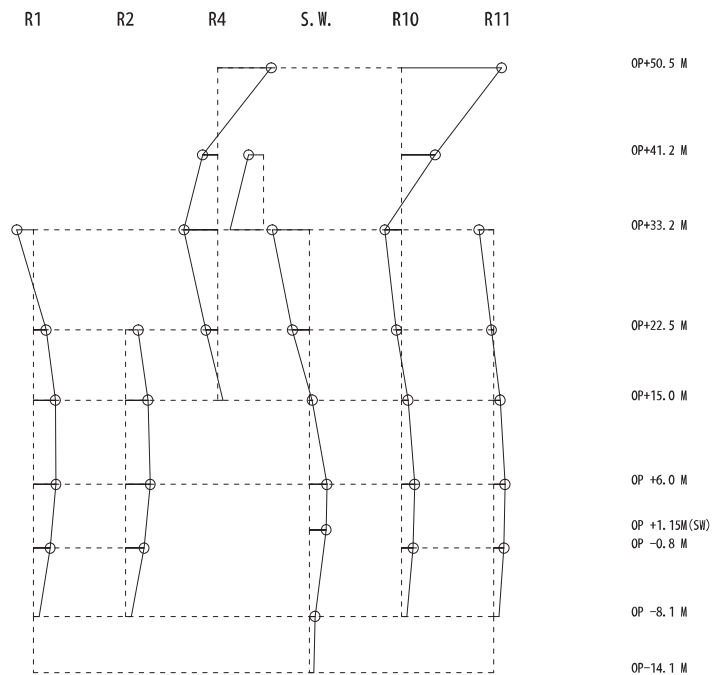
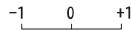
図 4-11(2) 刺激関数図 (ケース 5) (EW 方向 3 次及び 4 次)

固有周期 0.102 s
 固有振動数 9.83 Hz
 刺激係数 0.385



5 次

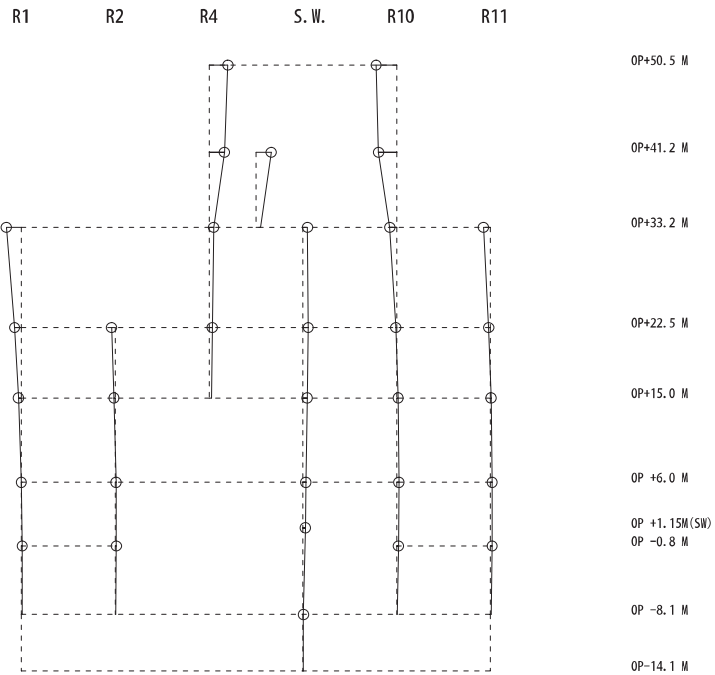
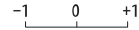
固有周期 0.094 s
 固有振動数 10.61 Hz
 刺激係数 2.000



6 次

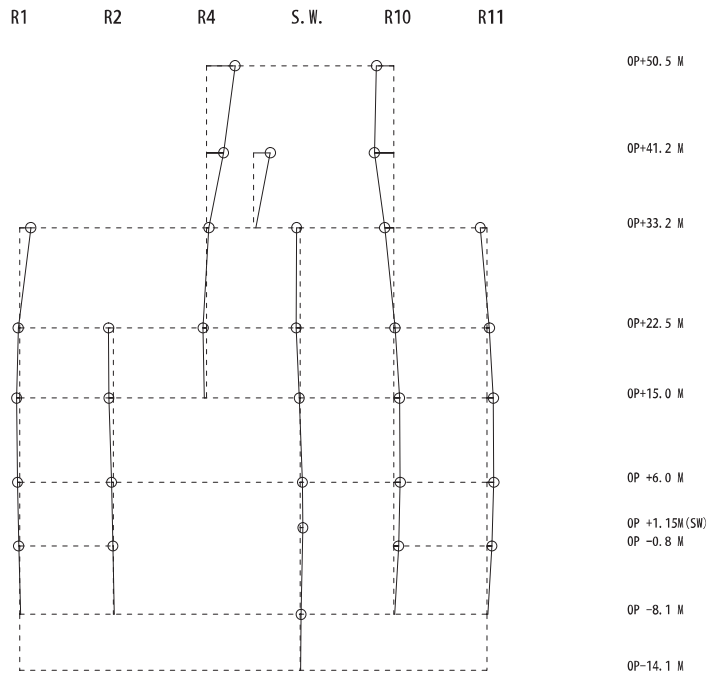
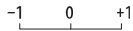
図 4-11(3) 刺激関数図 (ケース 5) (EW 方向 5 次及び 6 次)

固有周期 0.084 s
 固有振動数 11.86 Hz
 刺激係数 0.403



7 次

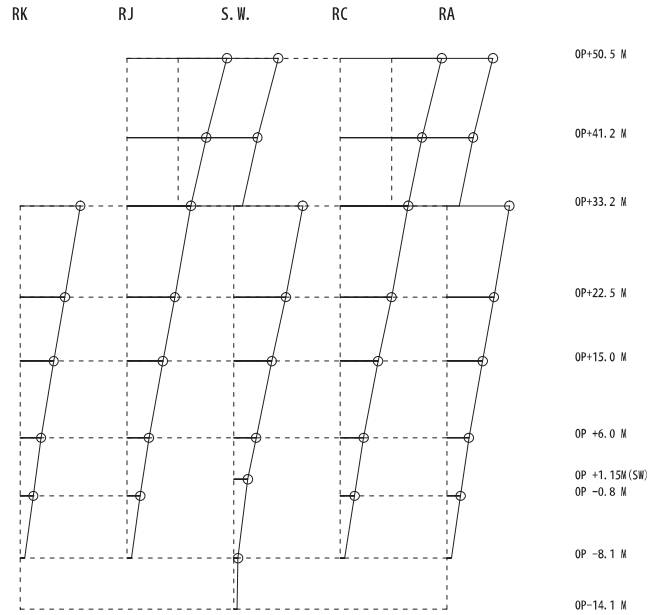
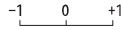
固有周期 0.082 s
 固有振動数 12.23 Hz
 刺激係数 0.557



8 次

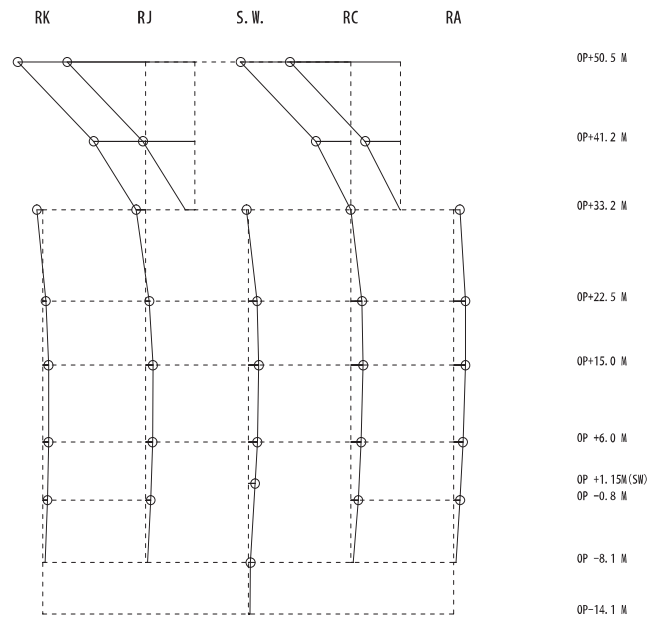
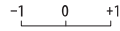
図 4-11(4) 刺激関数図 (ケース 5) (EW 方向 7 次及び 8 次)

固有周期 0.265 s
 固有振動数 3.77 Hz
 刺激係数 2.186



1 次

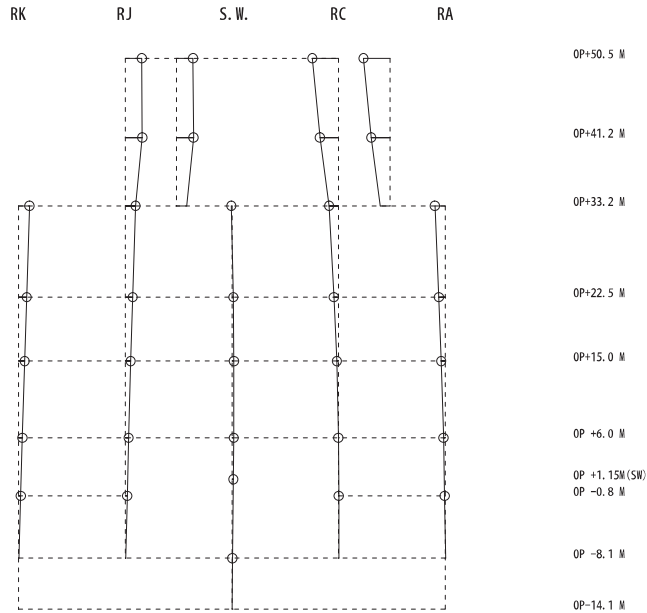
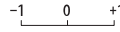
固有周期 0.137 s
 固有振動数 7.32 Hz
 刺激係数 2.859



2 次

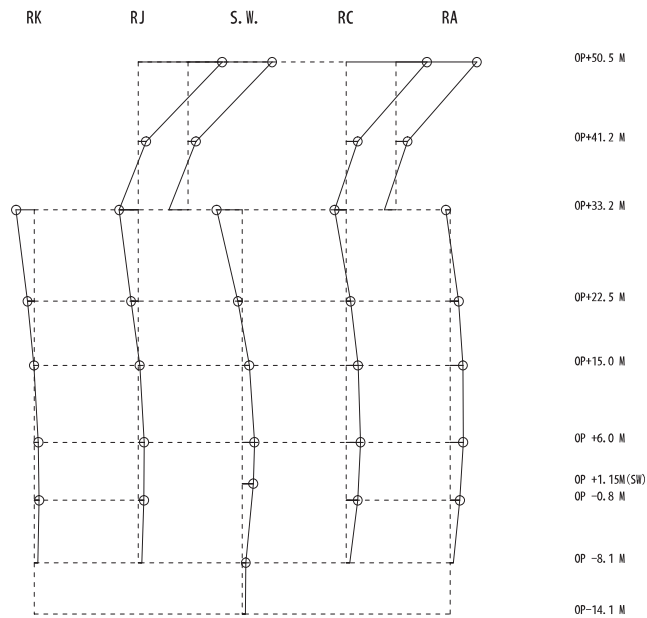
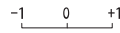
図 4-12(1) 刺激関数図 (ケース 6) (NS 方向 1 次及び 2 次)

固有周期 0.123 s
 固有振動数 8.15 Hz
 刺激係数 0.570



3 次

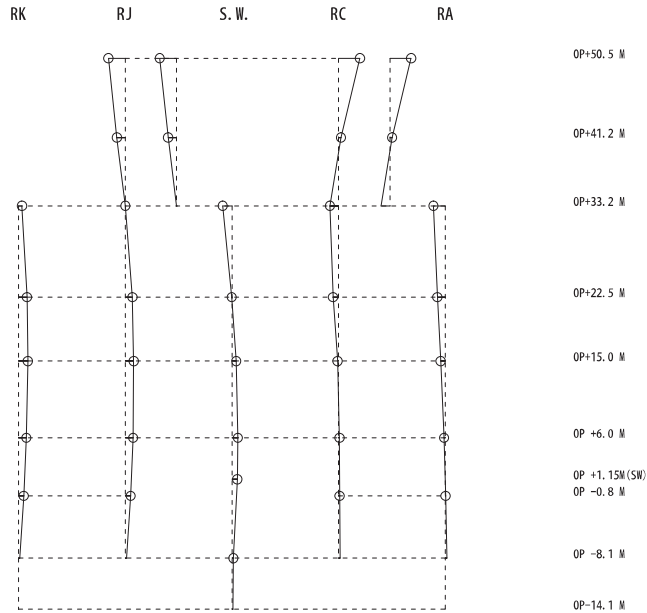
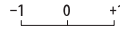
固有周期 0.107 s
 固有振動数 9.35 Hz
 刺激係数 1.854



4 次

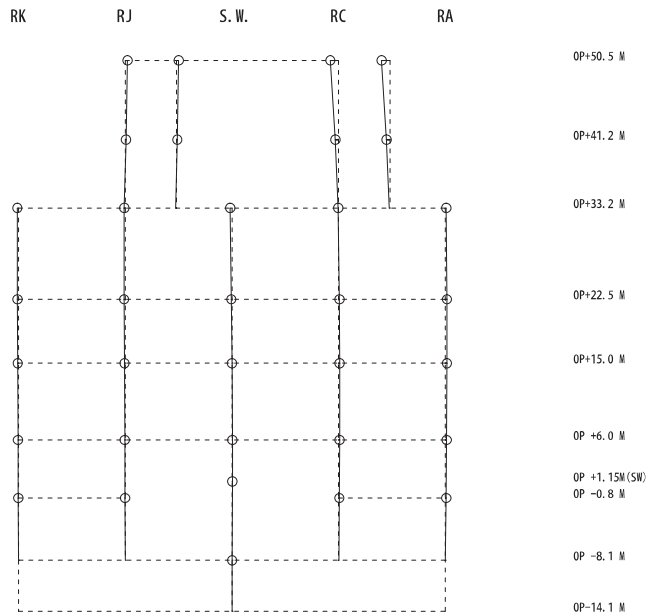
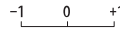
図 4-12(2) 刺激関数図 (ケース 6) (NS 方向 3 次及び 4 次)

固有周期 0.102 s
 固有振動数 9.78 Hz
 刺激係数 0.458



5 次

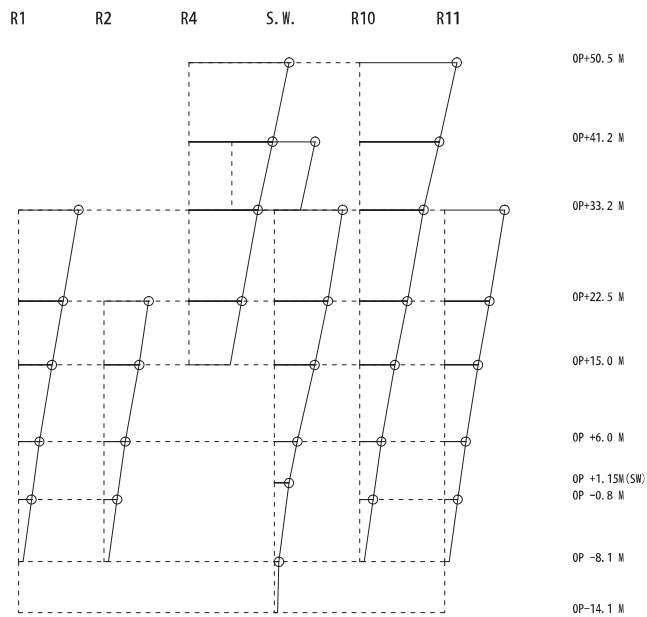
固有周期 0.099 s
 固有振動数 10.13 Hz
 刺激係数 0.179



6 次

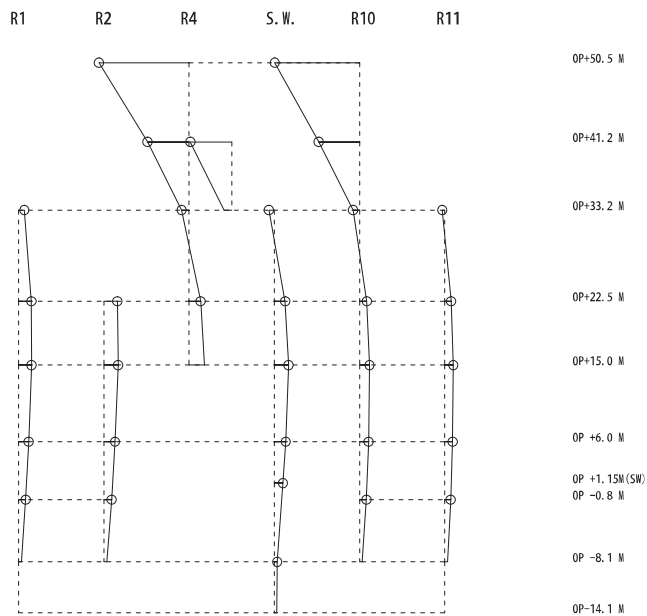
図 4-12(3) 刺激関数図 (ケース 6) (NS 方向 5 次及び 6 次)

固有周期 0.257 s
 固有振動数 3.89 Hz
 刺激係数 2.159



1 次

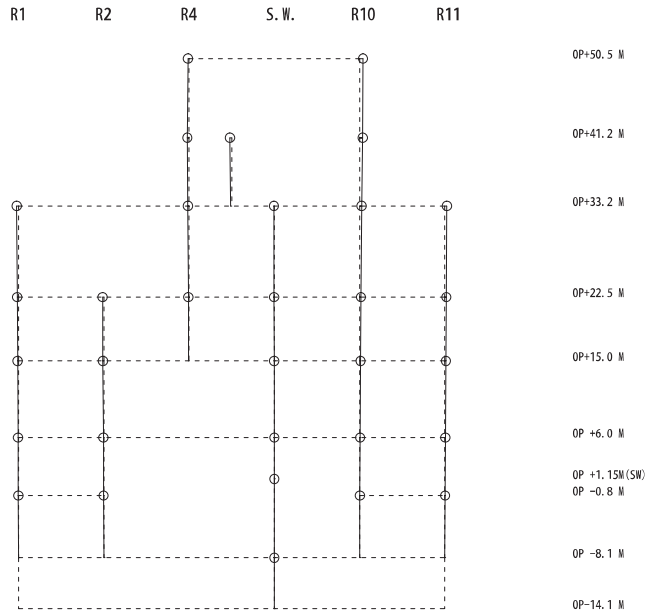
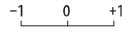
固有周期 0.138 s
 固有振動数 7.23 Hz
 刺激係数 1.946



2 次

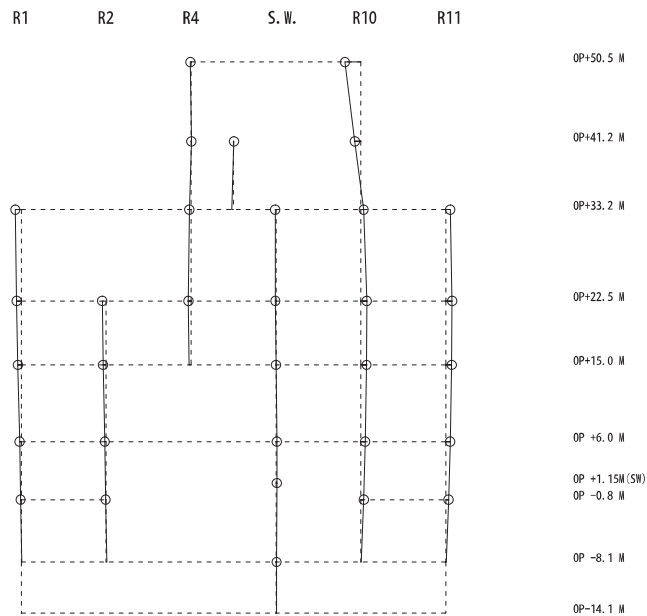
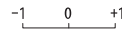
図 4-13(1) 刺激関数図 (ケース 6) (EW 方向 1 次及び 2 次)

固有周期 0.122 s
 固有振動数 8.19 Hz
 刺激係数 0.074



3 次

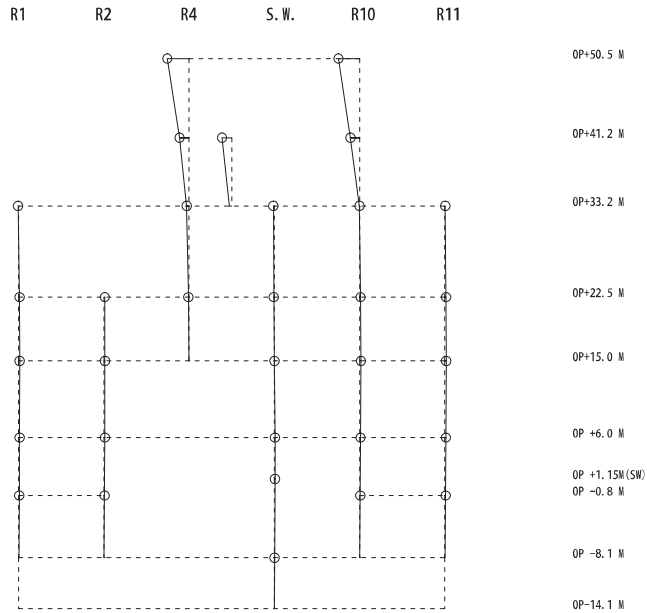
固有周期 0.108 s
 固有振動数 9.28 Hz
 刺激係数 0.347



4 次

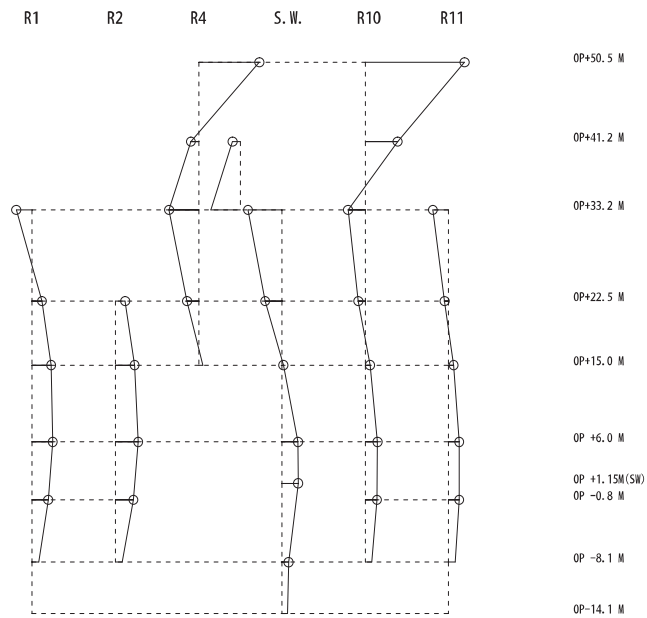
図 4-13(2) 刺激関数図 (ケース 6) (EW 方向 3 次及び 4 次)

固有周期 0.102 s
 固有振動数 9.78 Hz
 刺激係数 0.471



5 次

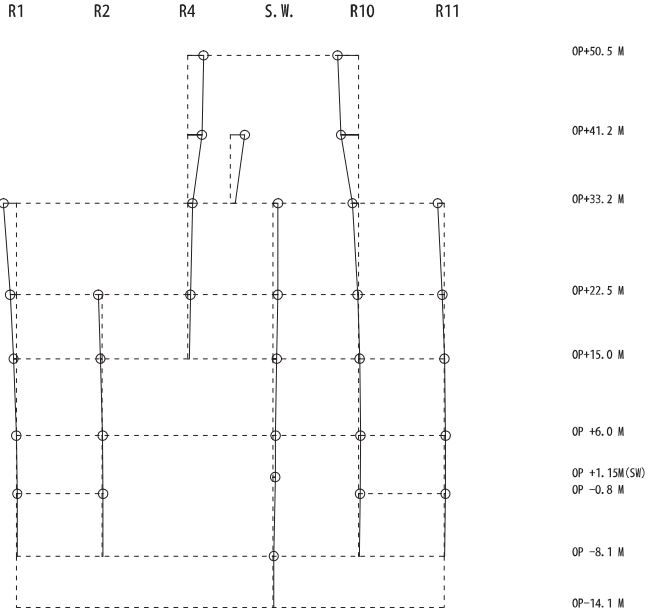
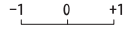
固有周期 0.096 s
 固有振動数 10.45 Hz
 刺激係数 2.191



6 次

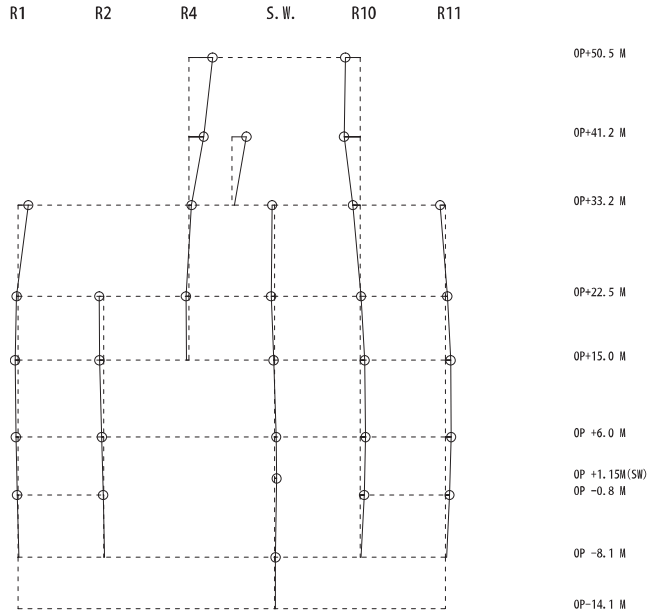
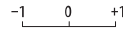
図 4-13(3) 刺激関数図 (ケース 6) (EW 方向 5 次及び 6 次)

固有周期 0.085 s
 固有振動数 11.81 Hz
 刺激係数 0.452



7 次

固有周期 0.082 s
 固有振動数 12.20 Hz
 刺激係数 0.504



8 次

図 4-13(4) 刺激関数図 (ケース 6) (EW 方向 7 次及び 8 次)

4.3 まとめ

建屋剛性及び地盤物性の不確かさを考慮した固有値解析結果より，以下の傾向を確認した。

- ・ 建屋剛性の不確かさ

基本ケースに対する建屋剛性を変動させた解析モデルの固有振動数の変動について，最大で低振動数側に 10%程度シフトした。

- ・ 地盤物性の不確かさ

基本ケースに対する地盤物性を変動させた解析モデルの固有振動数の変動について，地盤の主要モードにあたる固有周期で変動が大きく最大で水平方向では 1%程度，鉛直方向では 4%程度である。

- ・ 建屋剛性及び地盤物性の不確かさ

基本ケースに対する建屋剛性及び地盤物性を変動させた解析モデルの固有振動数の変動について，硬質岩盤に立地しているため，地盤の影響が小さく，建屋剛性考慮・地盤物性 $+\sigma$ のケースで最大 10%程度，建屋剛性考慮・地盤物性 $-\sigma$ のケースで最大 11%程度低振動数側にシフトした。

5. 機器・配管系評価への影響

材料物性の不確かさは，設計用床応答曲線等において，表 4-1 に示す全ての検討ケースの地震応答解析の結果を包絡させることにより考慮している。

別紙 3-1 材料物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動の
選定について

目次

1. 概要..... 別紙 3-1- 1
2. 選定方法..... 別紙 3-1- 1
3. 地震動の選定..... 別紙 3-1- 3
4. 材料物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動..... 別紙 3-1-26

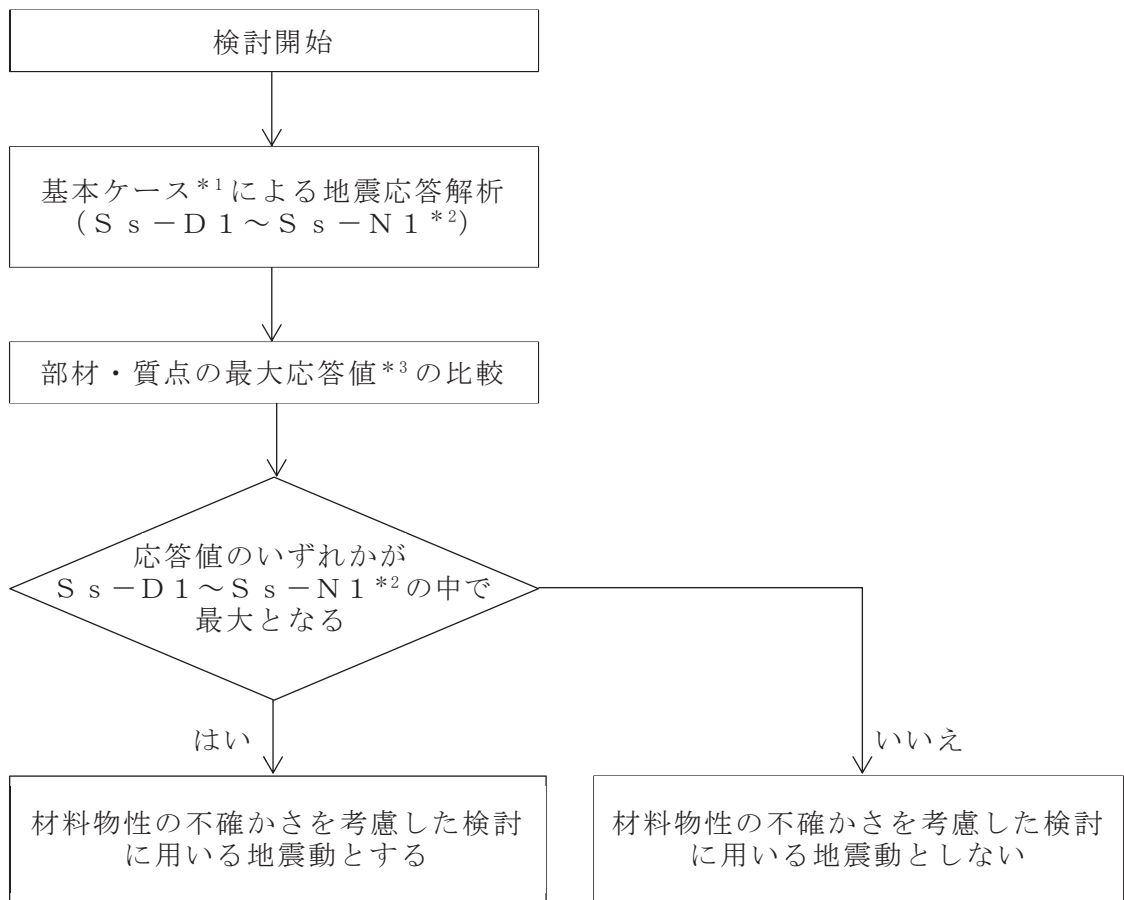
1. 概要

材料物性の不確かさの考慮にあたっては、地震動（基準地震動 S_s または弾性設計用地震動 S_d ）ごとの基本ケースにおける建屋応答を確認した上で、建屋応答への影響の大きい波に対して検討を実施する。本資料では、材料物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動の選定方法及び地震動の選定結果について説明する。

2. 選定方法

材料物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動の選定方法を以下に示す。また、選定方法のフローを図 2-1 に示す。

- ① 基本ケースによる地震応答解析を行う。
- ② 地震応答解析結果より、部材及び質点の最大応答値の比較を行う。ここで用いる応答値は、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d のそれぞれについて、加速度、変位、せん断力、曲げモーメント及び軸力とする。
- ③ 応答値のいずれかが基準地震動 S_s の中で最大となる波を、材料物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動とする。また、弾性設計用地震動 S_d についても同様である。



注記*1：コンクリート剛性：シミュレーションにより補正，地盤のせん断波速度：標準地盤

注記*2：弾性設計用地震動 S d による不確かさ検討に用いる地震動の選定の際は，「S s - D 1 ~ S s - N 1」を「S d - D 1 ~ S d - N 1」に読み替える。

注記*3：応答値は，加速度，変位，せん断力，曲げモーメント及び軸力とする。

図 2-1 材料物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動の選定法のフロー

3. 地震動の選定

原子炉建屋における基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d に対する地震動の選定を以下に示す。原子炉建屋の基準地震動 S_s に対する最大応答値を表 3-1～表 3-11 に、弾性設計用地震動 S_d に対する最大応答値を表 3-12～表 3-22 に示す。

「2. 選定方法」に基づき確認した結果、基準地震動 $S_s - D 1$ 、 $S_s - D 2$ 、 $S_s - D 3$ 、 $S_s - F 2$ 、 $S_s - F 3$ 及び $S_s - N 1$ については、応答値のいずれかが $S_s - D 1 \sim S_s - N 1$ の中で最大となること、及び弾性設計用地震動 $S_d - D 1$ 、 $S_d - D 2$ 、 $S_d - D 3$ 及び $S_d - N 1$ については、応答値のいずれかが $S_d - D 1 \sim S_d - N 1$ の中で最大となることから、不確かさ検討に用いる地震動とする。

表 3-1 最大応答加速度一覧（基準地震動 S_s，NS 方向）

| 部位 | 質点番号 | 最大応答加速度 (cm/s ²) | | | | | | | 最大値 |
|------|------|------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------|
| | | S _s -D 1 | S _s -D 2 | S _s -D 3 | S _s -F 1 | S _s -F 2 | S _s -F 3 | S _s -N 1 | |
| OW-K | 1 | 1457 | 1536 | 1272 | 975 | 1355 | 1415 | 1234 | 1536 |
| | 2 | 1038 | 1121 | 917 | 782 | 1086 | 983 | 1207 | 1207 |
| | 3 | 805 | 1103 | 793 | 709 | 805 | 929 | 1026 | 1103 |
| | 4 | 766 | 1025 | 718 | 678 | 774 | 973 | 898 | 1025 |
| | 5 | 646 | 835 | 627 | 655 | 690 | 881 | 904 | 904 |
| IW-J | 6 | 3888 | 4173 | 3333 | 2880 | 4240 | 4091 | 2102 | 4240 |
| | 7 | 2126 | 2310 | 1806 | 1672 | 2270 | 2570 | 1560 | 2570 |
| | 8 | 1405 | 1582 | 1378 | 1027 | 1305 | 1344 | 1316 | 1582 |
| | 9 | 1087 | 1325 | 1054 | 866 | 1066 | 1027 | 1119 | 1325 |
| | 10 | 827 | 1094 | 867 | 731 | 869 | 915 | 1042 | 1094 |
| | 11 | 761 | 1089 | 750 | 705 | 824 | 1038 | 848 | 1089 |
| | 12 | 646 | 861 | 636 | 674 | 712 | 922 | 812 | 922 |
| SW | 13 | 1924 | 1988 | 2059 | 1249 | 1774 | 1647 | 1532 | 2059 |
| | 14 | 1250 | 1525 | 1179 | 923 | 1169 | 1060 | 1188 | 1525 |
| | 15 | 896 | 1091 | 949 | 790 | 924 | 873 | 1125 | 1125 |
| | 16 | 756 | 987 | 859 | 647 | 948 | 938 | 947 | 987 |
| | 17 | 671 | 820 | 778 | 673 | 837 | 1021 | 905 | 1021 |
| IW-C | 18 | 4386 | 4619 | 4219 | 2885 | 4076 | 5068 | 2165 | 5068 |
| | 19 | 1988 | 2508 | 2017 | 1610 | 2319 | 2491 | 1747 | 2508 |
| | 20 | 1601 | 1783 | 1424 | 1196 | 1460 | 1635 | 1330 | 1783 |
| | 21 | 1138 | 1704 | 1051 | 952 | 1205 | 1032 | 1174 | 1704 |
| | 22 | 882 | 1283 | 891 | 774 | 918 | 1024 | 1051 | 1283 |
| | 23 | 773 | 1265 | 824 | 748 | 862 | 1033 | 886 | 1265 |
| | 24 | 691 | 947 | 765 | 705 | 715 | 1042 | 882 | 1042 |
| OW-A | 25 | 1588 | 1771 | 1401 | 1075 | 1512 | 1380 | 1523 | 1771 |
| | 26 | 1163 | 1236 | 1071 | 813 | 1046 | 1039 | 1325 | 1325 |
| | 27 | 968 | 1185 | 841 | 703 | 859 | 981 | 1262 | 1262 |
| | 28 | 815 | 1092 | 702 | 737 | 840 | 932 | 980 | 1092 |
| | 29 | 705 | 848 | 679 | 683 | 720 | 840 | 894 | 894 |
| 基礎版 | 30 | 557 | 612 | 578 | 566 | 602 | 738 | 669 | 738 |

注：網掛け部分は最大値

表 3-2 最大応答変位一覧（基準地震動 S_s ，NS 方向）

| 部位 | 質点 番号 | 最大応答変位 (cm) | | | | | | | 最大値 |
|------|----------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------|
| | | S_s-D1 | S_s-D2 | S_s-D3 | S_s-F1 | S_s-F2 | S_s-F3 | S_s-N1 | |
| OW-K | 1 | 2.42 | 2.26 | 1.65 | 1.19 | 1.89 | 1.97 | 2.39 | 2.42 |
| | 2 | 1.74 | 1.67 | 1.19 | 0.91 | 1.36 | 1.41 | 1.89 | 1.89 |
| | 3 | 1.22 | 1.21 | 0.84 | 0.69 | 0.96 | 1.00 | 1.45 | 1.45 |
| | 4 | 0.66 | 0.69 | 0.51 | 0.43 | 0.54 | 0.59 | 0.89 | 0.89 |
| | 5 | 0.40 | 0.43 | 0.31 | 0.25 | 0.31 | 0.36 | 0.54 | 0.54 |
| IW-J | 6 | 4.15 | 3.92 | 2.97 | 2.48 | 3.68 | 4.16 | 3.70 | 4.16 |
| | 7 | 3.34 | 3.05 | 2.34 | 1.75 | 2.72 | 3.09 | 3.06 | 3.34 |
| | 8 | 2.56 | 2.39 | 1.78 | 1.27 | 2.02 | 2.10 | 2.53 | 2.56 |
| | 9 | 1.87 | 1.80 | 1.30 | 0.99 | 1.48 | 1.52 | 2.02 | 2.02 |
| | 10 | 1.33 | 1.31 | 0.93 | 0.76 | 1.06 | 1.10 | 1.55 | 1.55 |
| | 11 | 0.72 | 0.74 | 0.54 | 0.46 | 0.58 | 0.63 | 0.95 | 0.95 |
| | 12 | 0.41 | 0.44 | 0.31 | 0.26 | 0.33 | 0.38 | 0.56 | 0.56 |
| SW | 13 | 2.71 | 2.62 | 2.05 | 1.38 | 2.22 | 2.12 | 2.69 | 2.71 |
| | 14 | 2.01 | 1.93 | 1.46 | 1.09 | 1.61 | 1.61 | 2.14 | 2.14 |
| | 15 | 1.43 | 1.39 | 1.01 | 0.82 | 1.13 | 1.18 | 1.63 | 1.63 |
| | 16 | 0.79 | 0.78 | 0.57 | 0.48 | 0.61 | 0.68 | 1.00 | 1.00 |
| | 17 | 0.46 | 0.47 | 0.35 | 0.29 | 0.36 | 0.42 | 0.51 | 0.51 |
| IW-C | 18 | 4.14 | 4.16 | 3.05 | 2.51 | 3.82 | 4.20 | 3.77 | 4.20 |
| | 19 | 3.36 | 3.16 | 2.36 | 1.78 | 2.89 | 3.02 | 3.18 | 3.36 |
| | 20 | 2.70 | 2.62 | 1.96 | 1.34 | 2.23 | 2.12 | 2.69 | 2.70 |
| | 21 | 2.05 | 1.97 | 1.48 | 1.07 | 1.65 | 1.60 | 2.20 | 2.20 |
| | 22 | 1.41 | 1.39 | 0.99 | 0.81 | 1.13 | 1.16 | 1.65 | 1.65 |
| | 23 | 0.80 | 0.80 | 0.57 | 0.50 | 0.64 | 0.68 | 1.06 | 1.06 |
| | 24 | 0.50 | 0.50 | 0.34 | 0.29 | 0.40 | 0.44 | 0.69 | 0.69 |
| OW-A | 25 | 2.49 | 2.46 | 1.77 | 1.22 | 2.04 | 1.94 | 2.56 | 2.56 |
| | 26 | 1.87 | 1.83 | 1.33 | 0.96 | 1.50 | 1.46 | 2.09 | 2.09 |
| | 27 | 1.33 | 1.33 | 0.93 | 0.74 | 1.07 | 1.07 | 1.62 | 1.62 |
| | 28 | 0.74 | 0.74 | 0.52 | 0.45 | 0.58 | 0.62 | 1.01 | 1.01 |
| | 29 | 0.46 | 0.46 | 0.31 | 0.26 | 0.36 | 0.40 | 0.64 | 0.64 |
| 基礎版 | 30 | 0.09 | 0.10 | 0.07 | 0.06 | 0.08 | 0.08 | 0.07 | 0.10 |

注：網掛け部分は最大値

表 3-3 最大応答せん断力一覧（基準地震動 S_s ，NS 方向）

| 部位 | 要素 番号 | 最大応答せん断力 ($\times 10^3 \text{kN}$) | | | | | | | 最大値 |
|------|----------|--------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------|
| | | $S_s - D 1$ | $S_s - D 2$ | $S_s - D 3$ | $S_s - F 1$ | $S_s - F 2$ | $S_s - F 3$ | $S_s - N 1$ | |
| OW-K | (1) | 74.8 | 74.5 | 65.0 | 53.9 | 69.4 | 68.8 | 66.1 | 74.8 |
| | (2) | 147 | 145 | 128 | 95.9 | 138 | 133 | 139 | 147 |
| | (3) | 218 | 212 | 183 | 149 | 200 | 200 | 218 | 218 |
| | (4) | 264 | 265 | 223 | 194 | 243 | 244 | 292 | 292 |
| | (5) | 296 | 305 | 259 | 230 | 275 | 289 | 344 | 344 |
| IW-J | (6) | 27.8 | 30.9 | 25.6 | 20.5 | 30.8 | 30.1 | 16.2 | 30.9 |
| | (7) | 50.5 | 58.3 | 45.1 | 39.4 | 58.1 | 58.8 | 31.9 | 58.8 |
| | (8) | 164 | 164 | 143 | 118 | 153 | 152 | 146 | 164 |
| | (9) | 269 | 270 | 238 | 185 | 254 | 243 | 257 | 270 |
| | (10) | 360 | 356 | 310 | 270 | 334 | 334 | 363 | 363 |
| | (11) | 409 | 406 | 366 | 329 | 386 | 390 | 451 | 451 |
| | (12) | 444 | 456 | 402 | 368 | 419 | 437 | 515 | 515 |
| SW | (13) | 45.1 | 64.5 | 43.4 | 31.3 | 59.6 | 49.9 | 27.0 | 64.5 |
| | (14) | 170 | 180 | 118 | 88.9 | 156 | 149 | 148 | 180 |
| | (15) | 181 | 193 | 128 | 113 | 154 | 180 | 196 | 196 |
| | (16) | 200 | 198 | 150 | 142 | 174 | 198 | 249 | 249 |
| | (17) | 252 | 262 | 203 | 179 | 237 | 253 | 311 | 311 |
| IW-C | (18) | 30.8 | 31.8 | 28.5 | 21.0 | 30.3 | 32.4 | 15.3 | 32.4 |
| | (19) | 45.2 | 56.2 | 44.0 | 34.1 | 55.0 | 56.2 | 28.7 | 56.2 |
| | (20) | 160 | 174 | 145 | 129 | 152 | 150 | 145 | 174 |
| | (21) | 279 | 278 | 261 | 215 | 269 | 248 | 270 | 279 |
| | (22) | 384 | 382 | 340 | 299 | 353 | 353 | 382 | 384 |
| | (23) | 438 | 440 | 401 | 368 | 418 | 419 | 480 | 480 |
| | (24) | 511 | 509 | 447 | 436 | 469 | 492 | 574 | 574 |
| OW-A | (25) | 79.8 | 85.0 | 71.7 | 59.0 | 77.0 | 74.5 | 72.0 | 85.0 |
| | (26) | 175 | 172 | 159 | 120 | 168 | 156 | 169 | 175 |
| | (27) | 227 | 225 | 198 | 165 | 211 | 208 | 229 | 229 |
| | (28) | 275 | 277 | 235 | 215 | 262 | 260 | 305 | 305 |
| | (29) | 313 | 312 | 267 | 249 | 287 | 298 | 359 | 359 |

注：網掛け部分は最大値

表 3-4(1) 最大応答曲げモーメント一覧 (基準地震動 S_s , NS 方向)

| 部位 | 要素 番号 | 最大応答曲げモーメント ($10^6\text{kN}\cdot\text{m}$) | | | | | | | 最大値 |
|------|----------|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| | | S_s-D1 | S_s-D2 | S_s-D3 | S_s-F1 | S_s-F2 | S_s-F3 | S_s-N1 | |
| OW-K | (1) | 0.142 | 0.203 | 0.157 | 0.118 | 0.134 | 0.205 | 0.141 | 0.205 |
| | | 0.928 | 0.910 | 0.830 | 0.643 | 0.809 | 0.862 | 0.812 | 0.928 |
| | (2) | 1.08 | 1.09 | 0.994 | 0.747 | 0.955 | 1.04 | 0.964 | 1.09 |
| | | 2.16 | 2.17 | 1.92 | 1.45 | 1.95 | 2.02 | 1.91 | 2.17 |
| | (3) | 2.38 | 2.43 | 2.13 | 1.62 | 2.16 | 2.26 | 2.12 | 2.43 |
| | | 4.32 | 4.34 | 3.77 | 2.79 | 3.96 | 4.00 | 3.93 | 4.34 |
| | (4) | 4.53 | 4.55 | 3.94 | 2.96 | 4.14 | 4.22 | 4.08 | 4.55 |
| | | 6.31 | 6.23 | 5.39 | 4.03 | 5.65 | 5.81 | 5.95 | 6.31 |
| | (5) | 6.48 | 6.37 | 5.55 | 4.15 | 5.84 | 6.05 | 6.04 | 6.48 |
| | | 8.66 | 8.35 | 7.32 | 5.79 | 7.75 | 8.16 | 8.48 | 8.66 |
| IW-J | (6) | 0.0357 | 0.0437 | 0.0342 | 0.0300 | 0.0377 | 0.0386 | 0.0210 | 0.0437 |
| | | 0.289 | 0.330 | 0.261 | 0.215 | 0.321 | 0.316 | 0.166 | 0.330 |
| | (7) | 0.566 | 0.650 | 0.493 | 0.449 | 0.637 | 0.630 | 0.336 | 0.650 |
| | | 0.956 | 1.09 | 0.828 | 0.759 | 1.10 | 1.08 | 0.586 | 1.10 |
| | (8) | 1.66 | 1.99 | 1.50 | 1.61 | 1.77 | 2.07 | 1.30 | 2.07 |
| | | 3.29 | 3.62 | 2.88 | 2.71 | 3.27 | 3.63 | 2.80 | 3.63 |
| | (9) | 4.02 | 4.68 | 3.50 | 3.46 | 4.04 | 4.53 | 3.26 | 4.68 |
| | | 5.88 | 6.52 | 5.21 | 4.75 | 5.92 | 6.26 | 5.11 | 6.52 |
| | (10) | 6.45 | 7.32 | 5.82 | 5.37 | 6.59 | 7.01 | 5.54 | 7.32 |
| | | 9.66 | 10.0 | 8.60 | 7.41 | 9.59 | 9.72 | 8.70 | 10.0 |
| | (11) | 10.1 | 10.6 | 9.09 | 7.86 | 10.2 | 10.1 | 9.09 | 10.6 |
| | | 12.9 | 12.9 | 11.4 | 9.42 | 12.6 | 12.7 | 11.9 | 12.9 |
| (12) | 13.3 | 13.3 | 11.7 | 9.68 | 13.1 | 13.1 | 12.2 | 13.3 | |
| | 16.5 | 16.0 | 14.4 | 11.5 | 15.9 | 16.3 | 15.9 | 16.5 | |
| SW | (13) | 0.573 | 0.621 | 0.626 | 0.388 | 0.414 | 0.539 | 0.208 | 0.626 |
| | | 0.863 | 1.16 | 0.845 | 0.498 | 0.742 | 0.800 | 0.350 | 1.16 |
| | (14) | 1.62 | 1.86 | 1.73 | 1.07 | 1.42 | 1.42 | 0.651 | 1.86 |
| | | 2.04 | 2.60 | 2.09 | 1.31 | 2.02 | 1.89 | 1.56 | 2.60 |
| | (15) | 2.62 | 3.24 | 2.82 | 1.75 | 2.70 | 2.47 | 1.80 | 3.24 |
| | | 3.85 | 4.06 | 3.73 | 2.35 | 3.71 | 3.25 | 3.35 | 4.06 |
| | (16) | 4.02 | 4.34 | 4.02 | 2.53 | 3.95 | 3.45 | 3.48 | 4.34 |
| | | 4.97 | 4.92 | 4.58 | 2.92 | 4.66 | 4.10 | 4.64 | 4.97 |
| | (17) | 5.18 | 5.09 | 4.78 | 3.05 | 4.86 | 4.21 | 4.77 | 5.18 |
| | | 7.28 | 7.28 | 6.01 | 4.25 | 6.41 | 6.02 | 7.39 | 7.39 |

注 1 : 上段は要素の上端, 下段は要素の下端のモーメントを示す。

注 2 : 網掛け部分は最大値

表 3-4(2) 最大応答曲げモーメント一覧 (基準地震動 S_s, NS 方向)

| 部位 | 要素 番号 | 最大応答曲げモーメント (10 ⁶ kN・m) | | | | | | | 最大値 | |
|------|----------|------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------|-------|
| | | S _s -D 1 | S _s -D 2 | S _s -D 3 | S _s -F 1 | S _s -F 2 | S _s -F 3 | S _s -N 1 | | |
| IW-C | (18) | 0.0496 | 0.0539 | 0.0554 | 0.0314 | 0.0429 | 0.0679 | 0.0287 | 0.0679 | |
| | | 0.332 | 0.346 | 0.313 | 0.216 | 0.309 | 0.367 | 0.149 | 0.367 | |
| | (19) | 0.595 | 0.646 | 0.578 | 0.378 | 0.547 | 0.703 | 0.243 | 0.703 | |
| | | 0.956 | 1.08 | 0.894 | 0.651 | 0.987 | 1.13 | 0.469 | 1.13 | |
| | (20) | 1.87 | 2.36 | 2.23 | 1.54 | 1.92 | 2.28 | 1.37 | 2.36 | |
| | | 3.34 | 3.91 | 3.04 | 2.76 | 3.56 | 3.81 | 2.89 | 3.91 | |
| | (21) | 4.56 | 5.34 | 4.46 | 3.69 | 4.70 | 5.01 | 3.48 | 5.34 | |
| | | 6.37 | 7.26 | 5.95 | 5.20 | 6.66 | 6.83 | 5.44 | 7.26 | |
| | (22) | 7.43 | 8.10 | 6.80 | 5.87 | 7.56 | 7.61 | 5.88 | 8.10 | |
| | | 10.1 | 11.1 | 9.64 | 8.18 | 10.8 | 10.5 | 9.17 | 11.1 | |
| | (23) | 11.0 | 11.6 | 10.4 | 8.72 | 11.7 | 11.0 | 9.66 | 11.7 | |
| | | 13.6 | 13.9 | 12.9 | 10.5 | 14.3 | 13.8 | 12.7 | 14.3 | |
| | (24) | 14.3 | 14.4 | 13.5 | 10.9 | 15.0 | 14.3 | 13.1 | 15.0 | |
| | | 17.7 | 17.2 | 16.4 | 13.2 | 18.1 | 17.7 | 17.2 | 18.1 | |
| | OW-A | (25) | 0.224 | 0.356 | 0.273 | 0.161 | 0.242 | 0.271 | 0.232 | 0.356 |
| | | | 0.995 | 1.18 | 1.02 | 0.722 | 1.02 | 0.932 | 0.978 | 1.18 |
| (26) | | 1.31 | 1.69 | 1.34 | 0.939 | 1.31 | 1.18 | 1.21 | 1.69 | |
| | | 2.51 | 2.83 | 2.46 | 1.79 | 2.45 | 2.19 | 2.33 | 2.83 | |
| (27) | | 2.71 | 3.23 | 2.72 | 2.00 | 2.71 | 2.38 | 2.53 | 3.23 | |
| | | 4.78 | 4.86 | 4.49 | 3.40 | 4.58 | 4.05 | 4.42 | 4.86 | |
| (28) | | 5.02 | 5.18 | 4.70 | 3.59 | 4.81 | 4.18 | 4.56 | 5.18 | |
| | | 6.85 | 6.61 | 6.26 | 4.85 | 6.49 | 5.95 | 6.35 | 6.85 | |
| (29) | | 7.06 | 6.80 | 6.41 | 4.98 | 6.68 | 6.04 | 6.45 | 7.06 | |
| | | 9.19 | 9.01 | 8.35 | 6.44 | 8.79 | 8.13 | 9.00 | 9.19 | |

注 1 : 上段は要素の上端, 下段は要素の下端のモーメントを示す。

注 2 : 網掛け部分は最大値

表 3-5 最大応答加速度一覧（基準地震動 S_s ，EW 方向）

| 部位 | 質点 番号 | 最大応答加速度 (cm/s^2) | | | | | | | 最大値 |
|-------|----------|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------|
| | | $S_s - D 1$ | $S_s - D 2$ | $S_s - D 3$ | $S_s - F 1$ | $S_s - F 2$ | $S_s - F 3$ | $S_s - N 1$ | |
| OW-1 | 1 | 1516 | 1577 | 1461 | 1111 | 1464 | 1193 | 1259 | 1577 |
| | 2 | 1249 | 1347 | 1091 | 951 | 1169 | 1161 | 1278 | 1347 |
| | 3 | 856 | 1064 | 879 | 823 | 928 | 1065 | 1112 | 1112 |
| | 4 | 879 | 999 | 749 | 620 | 782 | 714 | 921 | 999 |
| | 5 | 604 | 836 | 669 | 542 | 737 | 695 | 885 | 885 |
| IW-2 | 6 | 1149 | 1440 | 1091 | 957 | 1109 | 996 | 1089 | 1440 |
| | 7 | 880 | 1260 | 935 | 847 | 971 | 923 | 1009 | 1260 |
| | 8 | 774 | 1176 | 856 | 663 | 800 | 832 | 862 | 1176 |
| | 9 | 635 | 962 | 722 | 586 | 730 | 772 | 828 | 962 |
| IW-4 | 10 | 3578 | 3838 | 3582 | 3077 | 3448 | 3932 | 2034 | 3932 |
| | 11 | 2116 | 2368 | 1975 | 1936 | 2088 | 2404 | 1741 | 2404 |
| | 12 | 1616 | 1765 | 1586 | 1278 | 1655 | 1626 | 1521 | 1765 |
| | 13 | 1269 | 1306 | 1343 | 913 | 1267 | 1081 | 1177 | 1343 |
| | 14 | 1303 | 1173 | 1606 | 833 | 1334 | 935 | 1258 | 1606 |
| SW | 15 | 1751 | 1937 | 1787 | 1320 | 1838 | 1678 | 1551 | 1937 |
| | 16 | 1313 | 1304 | 1515 | 930 | 1261 | 1123 | 1234 | 1515 |
| | 17 | 1005 | 1049 | 1015 | 823 | 1029 | 1021 | 1007 | 1049 |
| | 18 | 808 | 1097 | 799 | 708 | 893 | 865 | 881 | 1097 |
| | 19 | 700 | 976 | 729 | 666 | 711 | 873 | 957 | 976 |
| IW-10 | 20 | 3030 | 3902 | 3260 | 2993 | 2913 | 3264 | 1681 | 3902 |
| | 21 | 1792 | 2355 | 1825 | 2058 | 1984 | 2139 | 1588 | 2355 |
| | 22 | 1451 | 1702 | 1278 | 1175 | 1460 | 1263 | 1264 | 1702 |
| | 23 | 1140 | 1675 | 1059 | 899 | 1110 | 1047 | 1172 | 1675 |
| | 24 | 878 | 1360 | 874 | 763 | 879 | 973 | 1168 | 1360 |
| | 25 | 761 | 1104 | 772 | 636 | 795 | 798 | 832 | 1104 |
| | 26 | 636 | 922 | 659 | 554 | 723 | 749 | 866 | 922 |
| OW-11 | 27 | 1472 | 1646 | 1219 | 989 | 1371 | 1118 | 1270 | 1646 |
| | 28 | 1190 | 1328 | 1127 | 790 | 1036 | 1050 | 1103 | 1328 |
| | 29 | 815 | 1143 | 926 | 703 | 903 | 850 | 1106 | 1143 |
| | 30 | 775 | 978 | 709 | 588 | 792 | 755 | 937 | 978 |
| | 31 | 583 | 817 | 628 | 529 | 722 | 712 | 864 | 864 |
| 基礎版 | 32 | 537 | 644 | 561 | 547 | 611 | 756 | 651 | 756 |

注：網掛け部分は最大値

表 3-6 最大応答変位一覧（基準地震動 S_s ，EW 方向）

| 部位 | 質点 番号 | 最大応答変位 (cm) | | | | | | | 最大値 |
|-------|----------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------|
| | | S_s-D1 | S_s-D2 | S_s-D3 | S_s-F1 | S_s-F2 | S_s-F3 | S_s-N1 | |
| OW-1 | 1 | 2.34 | 2.16 | 1.62 | 1.19 | 1.76 | 1.60 | 2.06 | 2.34 |
| | 2 | 1.72 | 1.50 | 1.17 | 0.92 | 1.26 | 1.13 | 1.64 | 1.72 |
| | 3 | 1.25 | 1.10 | 0.84 | 0.70 | 0.93 | 0.85 | 1.29 | 1.29 |
| | 4 | 0.66 | 0.61 | 0.46 | 0.43 | 0.52 | 0.51 | 0.78 | 0.78 |
| | 5 | 0.39 | 0.38 | 0.27 | 0.25 | 0.31 | 0.31 | 0.47 | 0.47 |
| IW-2 | 6 | 1.73 | 1.51 | 1.20 | 0.93 | 1.29 | 1.14 | 1.63 | 1.73 |
| | 7 | 1.34 | 1.20 | 0.95 | 0.75 | 1.03 | 0.93 | 1.38 | 1.38 |
| | 8 | 0.69 | 0.64 | 0.48 | 0.46 | 0.56 | 0.55 | 0.81 | 0.81 |
| | 9 | 0.40 | 0.40 | 0.29 | 0.27 | 0.34 | 0.33 | 0.50 | 0.50 |
| IW-4 | 10 | 3.84 | 3.85 | 2.71 | 2.19 | 3.23 | 3.38 | 3.14 | 3.85 |
| | 11 | 3.25 | 3.22 | 2.23 | 1.67 | 2.63 | 2.64 | 2.72 | 3.25 |
| | 12 | 2.64 | 2.39 | 1.88 | 1.35 | 2.09 | 1.87 | 2.29 | 2.64 |
| | 13 | 2.04 | 1.81 | 1.51 | 1.09 | 1.59 | 1.37 | 1.86 | 2.04 |
| | 14 | 1.56 | 1.40 | 1.15 | 0.88 | 1.22 | 1.06 | 1.52 | 1.56 |
| SW | 15 | 2.61 | 2.37 | 1.89 | 1.34 | 2.06 | 1.83 | 2.27 | 2.61 |
| | 16 | 2.07 | 1.84 | 1.53 | 1.10 | 1.61 | 1.39 | 1.88 | 2.07 |
| | 17 | 1.54 | 1.38 | 1.13 | 0.85 | 1.19 | 1.05 | 1.49 | 1.54 |
| | 18 | 0.76 | 0.69 | 0.55 | 0.49 | 0.64 | 0.60 | 0.85 | 0.85 |
| | 19 | 0.43 | 0.43 | 0.33 | 0.31 | 0.40 | 0.38 | 0.44 | 0.44 |
| IW-10 | 20 | 3.62 | 3.67 | 2.52 | 2.12 | 2.93 | 3.10 | 2.98 | 3.67 |
| | 21 | 3.02 | 2.97 | 1.99 | 1.59 | 2.33 | 2.32 | 2.55 | 3.02 |
| | 22 | 2.51 | 2.30 | 1.68 | 1.23 | 1.88 | 1.72 | 2.18 | 2.51 |
| | 23 | 1.92 | 1.65 | 1.33 | 0.96 | 1.44 | 1.28 | 1.79 | 1.92 |
| | 24 | 1.30 | 1.13 | 0.89 | 0.73 | 0.98 | 0.89 | 1.34 | 1.34 |
| | 25 | 0.71 | 0.61 | 0.49 | 0.45 | 0.57 | 0.55 | 0.82 | 0.82 |
| | 26 | 0.42 | 0.38 | 0.29 | 0.27 | 0.36 | 0.34 | 0.52 | 0.52 |
| OW-11 | 27 | 2.38 | 2.16 | 1.56 | 1.14 | 1.76 | 1.60 | 2.06 | 2.38 |
| | 28 | 1.81 | 1.55 | 1.23 | 0.88 | 1.34 | 1.20 | 1.69 | 1.81 |
| | 29 | 1.21 | 1.04 | 0.81 | 0.67 | 0.89 | 0.82 | 1.26 | 1.26 |
| | 30 | 0.69 | 0.58 | 0.46 | 0.42 | 0.54 | 0.52 | 0.80 | 0.80 |
| | 31 | 0.40 | 0.35 | 0.27 | 0.25 | 0.32 | 0.31 | 0.49 | 0.49 |
| 基礎版 | 32 | 0.11 | 0.10 | 0.08 | 0.06 | 0.08 | 0.09 | 0.08 | 0.11 |

注：網掛け部分は最大値

表 3-7 最大応答せん断力一覧（基準地震動 S_s, EW 方向）

| 部位 | 要素 番号 | 最大応答せん断力 (×10 ³ kN) | | | | | | | 最大値 |
|-------|----------|--------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------|
| | | S _s -D 1 | S _s -D 2 | S _s -D 3 | S _s -F 1 | S _s -F 2 | S _s -F 3 | S _s -N 1 | |
| OW-1 | (1) | 108 | 114 | 95.0 | 89.0 | 101 | 98.6 | 95.3 | 114 |
| | (2) | 163 | 155 | 144 | 118 | 148 | 139 | 149 | 163 |
| | (3) | 250 | 237 | 218 | 182 | 226 | 209 | 238 | 250 |
| | (4) | 292 | 277 | 250 | 230 | 263 | 259 | 306 | 306 |
| | (5) | 318 | 315 | 274 | 266 | 300 | 300 | 355 | 355 |
| IW-2 | (6) | 194 | 183 | 175 | 127 | 174 | 164 | 172 | 194 |
| | (7) | 343 | 333 | 312 | 268 | 315 | 281 | 327 | 343 |
| | (8) | 430 | 411 | 391 | 360 | 404 | 388 | 449 | 449 |
| | (9) | 470 | 471 | 428 | 421 | 453 | 452 | 529 | 529 |
| IW-4 | (10) | 32.4 | 33.3 | 33.3 | 28.6 | 29.4 | 33.6 | 18.3 | 33.6 |
| | (11) | 45.9 | 50.9 | 45.8 | 42.7 | 46.6 | 49.6 | 32.9 | 50.9 |
| | (12) | 125 | 131 | 118 | 93.2 | 122 | 118 | 115 | 131 |
| | (13) | 107 | 104 | 102 | 79.2 | 99.7 | 94.5 | 97.3 | 107 |
| SW | (14) | 88.1 | 108 | 60.5 | 60.3 | 81.8 | 65.8 | 57.0 | 108 |
| | (15) | 190 | 180 | 167 | 104 | 163 | 132 | 157 | 190 |
| | (16) | 225 | 217 | 205 | 152 | 202 | 165 | 214 | 225 |
| | (17) | 212 | 197 | 184 | 158 | 189 | 175 | 241 | 241 |
| | (18) | 261 | 259 | 212 | 203 | 247 | 244 | 300 | 300 |
| IW-10 | (19) | 33.9 | 37.6 | 34.6 | 33.3 | 32.5 | 36.0 | 21.6 | 37.6 |
| | (20) | 52.6 | 60.1 | 55.1 | 53.7 | 54.0 | 56.4 | 39.8 | 60.1 |
| | (21) | 134 | 145 | 119 | 120 | 131 | 119 | 117 | 145 |
| | (22) | 252 | 244 | 227 | 187 | 233 | 214 | 233 | 252 |
| | (23) | 365 | 352 | 324 | 274 | 326 | 306 | 352 | 365 |
| | (24) | 441 | 416 | 407 | 354 | 411 | 389 | 458 | 458 |
| | (25) | 469 | 460 | 431 | 408 | 449 | 443 | 528 | 528 |
| OW-11 | (26) | 79.7 | 87.2 | 69.5 | 68.1 | 75.4 | 71.3 | 69.6 | 87.2 |
| | (27) | 162 | 157 | 147 | 113 | 151 | 140 | 149 | 162 |
| | (28) | 233 | 226 | 204 | 166 | 210 | 197 | 225 | 233 |
| | (29) | 282 | 263 | 248 | 215 | 262 | 250 | 294 | 294 |
| | (30) | 322 | 312 | 283 | 258 | 306 | 301 | 361 | 361 |

注：網掛け部分は最大値

表 3-8(1) 最大応答曲げモーメント一覧 (基準地震動 S_s, EW 方向)

| 部位 | 要素 番号 | 最大応答曲げモーメント (10 ⁶ kN・m) | | | | | | | 最大値 |
|------|----------|------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|
| | | S _s -D1 | S _s -D2 | S _s -D3 | S _s -F1 | S _s -F2 | S _s -F3 | S _s -N1 | |
| OW-1 | (1) | 0.655 | 0.796 | 0.611 | 0.582 | 0.538 | 0.584 | 0.382 | 0.796 |
| | | 1.62 | 1.92 | 1.60 | 1.54 | 1.56 | 1.53 | 1.37 | 1.92 |
| | (2) | 2.12 | 2.59 | 2.05 | 2.04 | 2.01 | 2.02 | 1.63 | 2.59 |
| | | 3.14 | 3.67 | 3.13 | 2.82 | 3.07 | 2.72 | 2.70 | 3.67 |
| | (3) | 3.40 | 4.12 | 3.47 | 3.17 | 3.39 | 3.04 | 2.90 | 4.12 |
| | | 5.45 | 5.91 | 5.40 | 4.26 | 5.28 | 4.42 | 4.88 | 5.91 |
| | (4) | 5.66 | 6.24 | 5.66 | 4.54 | 5.58 | 4.53 | 4.99 | 6.24 |
| | | 7.45 | 7.76 | 7.28 | 5.42 | 7.34 | 5.93 | 6.81 | 7.76 |
| | (5) | 7.62 | 7.97 | 7.46 | 5.55 | 7.54 | 5.98 | 6.89 | 7.97 |
| | | 9.79 | 10.1 | 9.42 | 7.36 | 9.73 | 7.84 | 9.37 | 10.1 |
| IW-2 | (6) | 0.780 | 0.916 | 0.799 | 0.635 | 0.606 | 0.864 | 0.323 | 0.916 |
| | | 1.83 | 2.04 | 1.59 | 1.45 | 1.80 | 1.64 | 1.52 | 2.04 |
| | (7) | 3.05 | 3.69 | 3.21 | 2.86 | 3.02 | 3.50 | 2.09 | 3.69 |
| | | 5.74 | 6.22 | 4.83 | 4.55 | 5.66 | 5.13 | 4.85 | 6.22 |
| | (8) | 12.2 | 12.6 | 10.2 | 10.8 | 11.8 | 11.8 | 9.25 | 12.6 |
| | | 15.2 | 15.0 | 11.9 | 12.2 | 14.2 | 14.3 | 12.3 | 15.2 |
| | (9) | 15.8 | 15.7 | 12.4 | 12.8 | 14.9 | 14.9 | 12.4 | 15.8 |
| | | 19.2 | 18.3 | 14.8 | 14.2 | 17.7 | 18.2 | 16.3 | 19.2 |
| IW-4 | (10) | 0.181 | 0.209 | 0.197 | 0.146 | 0.139 | 0.187 | 0.0630 | 0.209 |
| | | 0.454 | 0.519 | 0.485 | 0.411 | 0.406 | 0.480 | 0.232 | 0.519 |
| | (11) | 0.666 | 0.784 | 0.682 | 0.580 | 0.568 | 0.694 | 0.293 | 0.784 |
| | | 0.985 | 1.13 | 1.05 | 0.893 | 0.941 | 1.08 | 0.543 | 1.13 |
| | (12) | 3.64 | 4.15 | 3.71 | 3.18 | 3.29 | 3.68 | 1.89 | 4.15 |
| | | 4.06 | 4.43 | 4.07 | 3.65 | 4.06 | 4.28 | 2.93 | 4.43 |
| | (13) | 5.71 | 6.59 | 5.76 | 5.20 | 5.71 | 5.90 | 4.04 | 6.59 |
| | | 6.13 | 6.69 | 5.81 | 5.66 | 6.05 | 6.35 | 4.73 | 6.69 |
| SW | (14) | 0.626 | 0.716 | 0.723 | 0.395 | 0.606 | 0.456 | 0.546 | 0.723 |
| | | 0.661 | 0.766 | 0.522 | 0.441 | 0.520 | 0.614 | 0.195 | 0.766 |
| | (15) | 0.939 | 1.20 | 1.10 | 0.787 | 0.978 | 0.944 | 0.951 | 1.20 |
| | | 1.15 | 1.23 | 0.974 | 0.949 | 1.02 | 1.06 | 0.446 | 1.23 |
| | (16) | 1.62 | 1.56 | 1.27 | 1.33 | 1.29 | 1.41 | 0.652 | 1.62 |
| | | 3.17 | 3.35 | 2.60 | 2.11 | 2.88 | 2.62 | 2.54 | 3.35 |
| | (17) | 3.36 | 3.52 | 2.76 | 2.29 | 3.01 | 2.77 | 2.64 | 3.52 |
| | | 4.26 | 4.31 | 3.53 | 2.62 | 3.85 | 3.49 | 3.74 | 4.31 |
| | (18) | 4.43 | 4.43 | 3.71 | 2.75 | 3.98 | 3.58 | 3.81 | 4.43 |
| | | 6.69 | 6.36 | 5.55 | 4.18 | 6.10 | 5.41 | 6.44 | 6.69 |

注 1 : 上段は要素の上端, 下段は要素の下端のモーメントを示す。

注 2 : 網掛け部分は最大値

表 3-8(2) 最大応答曲げモーメント一覧 (基準地震動 S_s , EW 方向)

| 部位 | 要素 番号 | 最大応答曲げモーメント ($10^6\text{kN}\cdot\text{m}$) | | | | | | | 最大値 |
|-------|----------|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|
| | | S_s-D1 | S_s-D2 | S_s-D3 | S_s-F1 | S_s-F2 | S_s-F3 | S_s-N1 | |
| IW-10 | (19) | 0.132 | 0.150 | 0.136 | 0.0873 | 0.109 | 0.121 | 0.0577 | 0.150 |
| | | 0.436 | 0.470 | 0.442 | 0.393 | 0.393 | 0.457 | 0.254 | 0.470 |
| | (20) | 0.550 | 0.594 | 0.553 | 0.468 | 0.479 | 0.566 | 0.301 | 0.594 |
| | | 0.971 | 1.03 | 0.963 | 0.871 | 0.884 | 1.02 | 0.585 | 1.03 |
| | (21) | 3.20 | 3.13 | 2.97 | 2.74 | 2.63 | 3.08 | 1.84 | 3.20 |
| | | 3.76 | 4.53 | 3.63 | 3.45 | 3.85 | 4.24 | 3.03 | 4.53 |
| | (22) | 5.42 | 6.25 | 5.30 | 5.15 | 5.62 | 6.35 | 4.13 | 6.35 |
| | | 7.25 | 7.99 | 6.67 | 5.95 | 7.39 | 7.89 | 5.87 | 7.99 |
| | (23) | 7.99 | 8.88 | 7.53 | 6.76 | 8.38 | 9.12 | 6.20 | 9.12 |
| | | 11.3 | 11.6 | 9.72 | 8.29 | 11.3 | 11.8 | 9.28 | 11.8 |
| | (24) | 12.0 | 12.3 | 10.3 | 8.81 | 12.1 | 12.5 | 9.60 | 12.5 |
| | | 15.0 | 14.6 | 12.2 | 10.4 | 14.6 | 15.1 | 12.5 | 15.1 |
| | (25) | 15.6 | 15.1 | 12.7 | 10.8 | 15.2 | 15.7 | 12.8 | 15.7 |
| | | 19.0 | 17.9 | 15.4 | 12.5 | 17.8 | 18.8 | 16.7 | 19.0 |
| OW-11 | (26) | 0.234 | 0.252 | 0.208 | 0.144 | 0.192 | 0.205 | 0.157 | 0.252 |
| | | 1.02 | 1.02 | 0.874 | 0.867 | 0.938 | 0.904 | 0.885 | 1.02 |
| | (27) | 1.30 | 1.30 | 1.09 | 1.07 | 1.15 | 1.18 | 1.08 | 1.30 |
| | | 2.42 | 2.37 | 2.12 | 1.89 | 2.24 | 2.03 | 2.13 | 2.42 |
| | (28) | 2.77 | 2.73 | 2.37 | 2.14 | 2.53 | 2.30 | 2.35 | 2.77 |
| | | 4.69 | 4.57 | 4.18 | 3.32 | 4.31 | 4.01 | 4.22 | 4.69 |
| | (29) | 5.04 | 4.93 | 4.45 | 3.55 | 4.62 | 4.24 | 4.41 | 5.04 |
| | | 6.83 | 6.61 | 6.10 | 4.62 | 6.15 | 5.84 | 6.16 | 6.83 |
| | (30) | 7.03 | 6.87 | 6.31 | 4.79 | 6.37 | 5.96 | 6.32 | 7.03 |
| | | 9.37 | 9.05 | 8.38 | 6.39 | 8.61 | 8.03 | 8.74 | 9.37 |

注 1: 上段は要素の上端, 下段は要素の下端のモーメントを示す。

注 2: 網掛け部分は最大値

表 3-9 最大応答加速度一覧（基準地震動 S_s，UD 方向）

| 部位 | 質点 番号 | 最大応答加速度 (cm/s ²) | | | | | | | 最大値 |
|-----------|----------|------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------|
| | | S _s -D 1 | S _s -D 2 | S _s -D 3 | S _s -F 1 | S _s -F 2 | S _s -F 3 | S _s -N 1 | |
| 屋根 トラス | 1 | 3433 | 3767 | 3226 | 2313 | 2654 | 3131 | 1364 | 3767 |
| | 2 | 1343 | 1362 | 1072 | 871 | 1357 | 1146 | 767 | 1362 |
| | 3 | 2897 | 3165 | 2637 | 2048 | 1925 | 2366 | 1016 | 3165 |
| 外壁 | 4 | 1499 | 1546 | 1655 | 810 | 919 | 1235 | 934 | 1655 |
| | 5 | 1452 | 1429 | 1498 | 753 | 859 | 1124 | 901 | 1498 |
| | 6 | 1381 | 1353 | 1329 | 676 | 782 | 992 | 854 | 1381 |
| | 7 | 1220 | 1188 | 1054 | 542 | 643 | 769 | 746 | 1220 |
| | 8 | 1078 | 969 | 773 | 454 | 547 | 639 | 641 | 1078 |
| | 9 | 859 | 734 | 580 | 391 | 471 | 499 | 486 | 859 |
| | 10 | 696 | 601 | 483 | 347 | 430 | 408 | 414 | 696 |
| | 11 | 502 | 538 | 425 | 359 | 385 | 411 | 375 | 538 |

注：網掛け部分は最大値

表 3-10 最大応答変位一覧（基準地震動 S_s，UD 方向）

| 部位 | 質点 番号 | 最大応答変位 (cm) | | | | | | | 最大値 |
|-----------|----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------|
| | | S _s -D 1 | S _s -D 2 | S _s -D 3 | S _s -F 1 | S _s -F 2 | S _s -F 3 | S _s -N 1 | |
| 屋根 トラス | 1 | 4.49 | 3.74 | 2.87 | 2.74 | 4.64 | 3.28 | 2.57 | 4.64 |
| | 2 | 3.50 | 3.06 | 2.31 | 2.27 | 3.88 | 2.57 | 2.13 | 3.88 |
| | 3 | 1.86 | 1.67 | 1.31 | 1.23 | 2.08 | 1.38 | 1.11 | 2.08 |
| 外壁 | 4 | 0.30 | 0.28 | 0.24 | 0.14 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.30 |
| | 5 | 0.29 | 0.27 | 0.23 | 0.14 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.29 |
| | 6 | 0.28 | 0.26 | 0.22 | 0.13 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.28 |
| | 7 | 0.25 | 0.22 | 0.18 | 0.12 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.25 |
| | 8 | 0.21 | 0.18 | 0.15 | 0.10 | 0.13 | 0.12 | 0.13 | 0.21 |
| | 9 | 0.16 | 0.13 | 0.11 | 0.08 | 0.10 | 0.09 | 0.10 | 0.16 |
| | 10 | 0.13 | 0.10 | 0.08 | 0.06 | 0.08 | 0.07 | 0.07 | 0.13 |
| | 11 | 0.09 | 0.07 | 0.06 | 0.04 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.09 |

注：網掛け部分は最大値

表 3-11 最大応答軸力一覧（基準地震動 S_s，UD 方向）

| 部位 | 要素 番号 | 最大応答軸力 (×10 ⁴ kN) | | | | | | | 最大値 |
|----|----------|------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------|
| | | S _s -D 1 | S _s -D 2 | S _s -D 3 | S _s -F 1 | S _s -F 2 | S _s -F 3 | S _s -N 1 | |
| 外壁 | (4) | 1.98 | 2.12 | 2.52 | 1.30 | 1.92 | 1.93 | 1.49 | 2.52 |
| | (5) | 6.52 | 6.63 | 7.36 | 3.39 | 4.44 | 5.57 | 4.40 | 7.36 |
| | (6) | 46.7 | 46.3 | 45.3 | 22.9 | 26.9 | 34.6 | 29.3 | 46.7 |
| | (7) | 105 | 103 | 95.7 | 48.5 | 57.7 | 71.5 | 65.1 | 105 |
| | (8) | 152 | 144 | 129 | 66.6 | 81.1 | 95.5 | 93.0 | 152 |
| | (9) | 191 | 171 | 149 | 80.4 | 101 | 116 | 115 | 191 |
| | (10) | 226 | 193 | 167 | 92.8 | 122 | 134 | 136 | 226 |
| | (11) | 263 | 212 | 183 | 109 | 149 | 151 | 156 | 263 |

注：網掛け部分は最大値

表 3-12 最大応答加速度一覧（弾性設計用地震動 S d , NS 方向）

| 部位 | 質点 番号 | 最大応答加速度 (cm/s ²) | | | | | | | 最大値 |
|------|----------|------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|
| | | S d - D 1 | S d - D 2 | S d - D 3 | S d - F 1 | S d - F 2 | S d - F 3 | S d - N 1 | |
| OW-K | 1 | 764 | 948 | 745 | 489 | 668 | 701 | 731 | 948 |
| | 2 | 618 | 706 | 527 | 380 | 462 | 551 | 608 | 706 |
| | 3 | 520 | 616 | 452 | 333 | 401 | 466 | 523 | 616 |
| | 4 | 413 | 580 | 430 | 351 | 398 | 450 | 431 | 580 |
| | 5 | 371 | 506 | 375 | 339 | 365 | 429 | 376 | 506 |
| IW-J | 6 | 2305 | 2759 | 2231 | 1537 | 1802 | 2047 | 1301 | 2759 |
| | 7 | 1086 | 1437 | 947 | 828 | 1131 | 1097 | 957 | 1437 |
| | 8 | 839 | 1070 | 824 | 507 | 740 | 762 | 779 | 1070 |
| | 9 | 705 | 754 | 591 | 408 | 545 | 595 | 649 | 754 |
| | 10 | 546 | 605 | 495 | 364 | 438 | 512 | 550 | 605 |
| | 11 | 408 | 541 | 447 | 367 | 411 | 456 | 446 | 541 |
| | 12 | 363 | 490 | 385 | 353 | 370 | 445 | 381 | 490 |
| SW | 13 | 1108 | 1228 | 1202 | 587 | 849 | 875 | 876 | 1228 |
| | 14 | 818 | 877 | 668 | 447 | 587 | 641 | 695 | 877 |
| | 15 | 576 | 663 | 541 | 386 | 515 | 646 | 564 | 663 |
| | 16 | 414 | 521 | 502 | 344 | 485 | 460 | 464 | 521 |
| | 17 | 404 | 497 | 440 | 353 | 435 | 488 | 405 | 497 |
| IW-C | 18 | 2639 | 2981 | 2726 | 1584 | 2216 | 2623 | 1431 | 2981 |
| | 19 | 1254 | 1448 | 1260 | 793 | 1047 | 978 | 1025 | 1448 |
| | 20 | 1007 | 1123 | 921 | 552 | 783 | 758 | 877 | 1123 |
| | 21 | 783 | 833 | 634 | 477 | 615 | 645 | 706 | 833 |
| | 22 | 579 | 623 | 500 | 403 | 496 | 600 | 576 | 623 |
| | 23 | 440 | 580 | 510 | 403 | 430 | 425 | 476 | 580 |
| | 24 | 392 | 513 | 440 | 374 | 367 | 467 | 399 | 513 |
| OW-A | 25 | 852 | 887 | 760 | 512 | 739 | 660 | 817 | 887 |
| | 26 | 632 | 716 | 528 | 430 | 513 | 607 | 660 | 716 |
| | 27 | 542 | 611 | 519 | 405 | 425 | 560 | 553 | 611 |
| | 28 | 470 | 574 | 474 | 413 | 397 | 430 | 446 | 574 |
| | 29 | 412 | 483 | 390 | 370 | 367 | 404 | 383 | 483 |
| 基礎版 | 30 | 341 | 392 | 339 | 294 | 307 | 381 | 313 | 392 |

注：網掛け部分は最大値

表 3-13 最大応答変位一覧（弾性設計用地震動 S d, NS 方向）

| 部位 | 質点 番号 | 最大応答変位 (cm) | | | | | | | 最大値 |
|------|----------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|
| | | S d - D 1 | S d - D 2 | S d - D 3 | S d - F 1 | S d - F 2 | S d - F 3 | S d - N 1 | |
| OW-K | 1 | 1.03 | 1.10 | 0.89 | 0.59 | 0.86 | 0.93 | 1.07 | 1.10 |
| | 2 | 0.76 | 0.79 | 0.64 | 0.44 | 0.61 | 0.69 | 0.80 | 0.80 |
| | 3 | 0.57 | 0.58 | 0.48 | 0.33 | 0.44 | 0.52 | 0.60 | 0.60 |
| | 4 | 0.34 | 0.36 | 0.29 | 0.20 | 0.26 | 0.31 | 0.37 | 0.37 |
| | 5 | 0.20 | 0.21 | 0.17 | 0.12 | 0.15 | 0.18 | 0.22 | 0.22 |
| IW-J | 6 | 1.83 | 2.12 | 1.71 | 1.23 | 1.74 | 1.82 | 1.82 | 2.12 |
| | 7 | 1.40 | 1.55 | 1.21 | 0.83 | 1.24 | 1.32 | 1.42 | 1.55 |
| | 8 | 1.11 | 1.20 | 0.98 | 0.63 | 0.95 | 1.01 | 1.16 | 1.20 |
| | 9 | 0.84 | 0.86 | 0.70 | 0.48 | 0.68 | 0.76 | 0.88 | 0.88 |
| | 10 | 0.63 | 0.64 | 0.52 | 0.36 | 0.48 | 0.57 | 0.66 | 0.66 |
| | 11 | 0.37 | 0.39 | 0.32 | 0.22 | 0.27 | 0.34 | 0.40 | 0.40 |
| SW | 12 | 0.21 | 0.22 | 0.18 | 0.12 | 0.15 | 0.19 | 0.23 | 0.23 |
| | 13 | 1.22 | 1.31 | 1.14 | 0.71 | 1.05 | 1.07 | 1.28 | 1.31 |
| | 14 | 0.95 | 0.96 | 0.79 | 0.54 | 0.76 | 0.83 | 0.98 | 0.98 |
| | 15 | 0.69 | 0.71 | 0.57 | 0.40 | 0.52 | 0.63 | 0.72 | 0.72 |
| | 16 | 0.39 | 0.41 | 0.33 | 0.24 | 0.28 | 0.37 | 0.42 | 0.42 |
| IW-C | 17 | 0.23 | 0.25 | 0.20 | 0.14 | 0.17 | 0.22 | 0.25 | 0.25 |
| | 18 | 1.88 | 2.14 | 1.86 | 1.23 | 1.80 | 1.86 | 1.88 | 2.14 |
| | 19 | 1.45 | 1.57 | 1.32 | 0.84 | 1.30 | 1.32 | 1.50 | 1.57 |
| | 20 | 1.19 | 1.25 | 1.07 | 0.70 | 1.02 | 1.04 | 1.26 | 1.26 |
| | 21 | 0.92 | 0.94 | 0.77 | 0.54 | 0.74 | 0.81 | 0.96 | 0.96 |
| | 22 | 0.67 | 0.70 | 0.56 | 0.40 | 0.52 | 0.61 | 0.71 | 0.71 |
| | 23 | 0.40 | 0.42 | 0.34 | 0.25 | 0.30 | 0.37 | 0.44 | 0.44 |
| OW-A | 24 | 0.23 | 0.25 | 0.20 | 0.14 | 0.16 | 0.21 | 0.25 | 0.25 |
| | 25 | 1.08 | 1.11 | 0.95 | 0.64 | 0.90 | 0.95 | 1.14 | 1.14 |
| | 26 | 0.82 | 0.84 | 0.69 | 0.48 | 0.66 | 0.73 | 0.86 | 0.86 |
| | 27 | 0.61 | 0.64 | 0.51 | 0.37 | 0.48 | 0.56 | 0.66 | 0.66 |
| | 28 | 0.36 | 0.39 | 0.31 | 0.23 | 0.27 | 0.34 | 0.40 | 0.40 |
| 基礎版 | 29 | 0.21 | 0.22 | 0.18 | 0.13 | 0.15 | 0.19 | 0.23 | 0.23 |
| | 30 | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.05 |

注：網掛け部分は最大値

表 3-14 最大応答せん断力一覧（弾性設計用地震動 S d , NS 方向）

| 部位 | 要素 番号 | 最大応答せん断力 (×10 ³ kN) | | | | | | | 最大値 |
|------|----------|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|
| | | S d - D 1 | S d - D 2 | S d - D 3 | S d - F 1 | S d - F 2 | S d - F 3 | S d - N 1 | |
| OW-K | (1) | 45.2 | 51.7 | 41.9 | 26.8 | 41.2 | 39.4 | 43.4 | 51.7 |
| | (2) | 85.4 | 93.6 | 74.6 | 49.5 | 75.4 | 75.3 | 86.5 | 93.6 |
| | (3) | 127 | 134 | 104 | 74.3 | 104 | 115 | 131 | 134 |
| | (4) | 157 | 165 | 130 | 94.2 | 119 | 144 | 167 | 167 |
| | (5) | 180 | 191 | 153 | 114 | 130 | 164 | 198 | 198 |
| IW-J | (6) | 17.2 | 20.8 | 17.2 | 11.4 | 14.2 | 15.8 | 10.2 | 20.8 |
| | (7) | 18.2 | 22.5 | 17.6 | 13.6 | 17.9 | 17.3 | 14.3 | 22.5 |
| | (8) | 99.7 | 116 | 94.6 | 59.6 | 91.5 | 88.0 | 94.4 | 116 |
| | (9) | 167 | 179 | 148 | 98.9 | 148 | 144 | 168 | 179 |
| | (10) | 234 | 239 | 189 | 138 | 187 | 210 | 236 | 239 |
| | (11) | 267 | 273 | 218 | 163 | 201 | 246 | 279 | 279 |
| | (12) | 287 | 300 | 242 | 183 | 211 | 263 | 314 | 314 |
| SW | (13) | 20.6 | 27.5 | 20.5 | 15.6 | 20.1 | 23.2 | 14.2 | 27.5 |
| | (14) | 80.0 | 86.4 | 64.5 | 45.5 | 65.0 | 72.2 | 71.5 | 86.4 |
| | (15) | 90.9 | 97.6 | 69.7 | 55.8 | 76.2 | 90.5 | 86.6 | 97.6 |
| | (16) | 111 | 118 | 87.0 | 70.7 | 90.5 | 110 | 114 | 118 |
| | (17) | 134 | 148 | 114 | 91.6 | 120 | 142 | 149 | 149 |
| IW-C | (18) | 19.1 | 21.8 | 18.9 | 11.7 | 15.5 | 18.2 | 10.1 | 21.8 |
| | (19) | 16.8 | 21.6 | 18.7 | 12.1 | 15.6 | 16.8 | 12.8 | 21.6 |
| | (20) | 114 | 130 | 107 | 64.0 | 92.9 | 89.7 | 99.8 | 130 |
| | (21) | 195 | 197 | 175 | 117 | 171 | 152 | 193 | 197 |
| | (22) | 264 | 267 | 215 | 157 | 211 | 228 | 263 | 267 |
| | (23) | 301 | 311 | 244 | 186 | 232 | 281 | 315 | 315 |
| | (24) | 337 | 355 | 284 | 225 | 257 | 319 | 375 | 375 |
| OW-A | (25) | 53.0 | 58.1 | 47.7 | 29.4 | 45.5 | 41.0 | 49.0 | 58.1 |
| | (26) | 107 | 108 | 91.2 | 63.9 | 93.1 | 89.3 | 108 | 108 |
| | (27) | 144 | 145 | 116 | 86.9 | 118 | 128 | 148 | 148 |
| | (28) | 174 | 182 | 141 | 110 | 134 | 163 | 187 | 187 |
| | (29) | 194 | 205 | 161 | 128 | 143 | 184 | 217 | 217 |

注：網掛け部分は最大値

表 3-15(1) 最大応答曲げモーメント一覧 (弾性設計用地震動 S d , NS 方向)

| 部位 | 要素 番号 | 最大応答曲げモーメント (10 ⁶ kN・m) | | | | | | | 最大値 |
|------|----------|------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|
| | | S d - D 1 | S d - D 2 | S d - D 3 | S d - F 1 | S d - F 2 | S d - F 3 | S d - N 1 | |
| OW-K | (1) | 0.0846 | 0.128 | 0.0894 | 0.0558 | 0.0724 | 0.116 | 0.0379 | 0.128 |
| | | 0.533 | 0.620 | 0.501 | 0.331 | 0.509 | 0.470 | 0.497 | 0.620 |
| | (2) | 0.603 | 0.744 | 0.573 | 0.398 | 0.599 | 0.576 | 0.545 | 0.744 |
| | | 1.22 | 1.39 | 1.13 | 0.762 | 1.15 | 1.10 | 1.19 | 1.39 |
| | (3) | 1.33 | 1.55 | 1.23 | 0.859 | 1.27 | 1.21 | 1.26 | 1.55 |
| | | 2.47 | 2.66 | 2.15 | 1.49 | 2.18 | 2.24 | 2.43 | 2.66 |
| | (4) | 2.57 | 2.78 | 2.23 | 1.57 | 2.28 | 2.34 | 2.49 | 2.78 |
| | | 3.64 | 3.80 | 3.06 | 2.14 | 3.06 | 3.31 | 3.61 | 3.80 |
| | (5) | 3.71 | 3.90 | 3.12 | 2.20 | 3.13 | 3.40 | 3.66 | 3.90 |
| | | 5.02 | 5.18 | 4.13 | 2.90 | 4.04 | 4.60 | 5.10 | 5.18 |
| IW-J | (6) | 0.0227 | 0.0293 | 0.0226 | 0.0149 | 0.0170 | 0.0211 | 0.00772 | 0.0293 |
| | | 0.179 | 0.222 | 0.175 | 0.120 | 0.145 | 0.161 | 0.101 | 0.222 |
| | (7) | 0.336 | 0.430 | 0.332 | 0.227 | 0.280 | 0.300 | 0.198 | 0.430 |
| | | 0.481 | 0.610 | 0.468 | 0.332 | 0.423 | 0.436 | 0.312 | 0.610 |
| | (8) | 1.08 | 1.39 | 1.06 | 0.776 | 1.01 | 0.983 | 0.677 | 1.39 |
| | | 2.04 | 2.34 | 1.83 | 1.41 | 1.97 | 1.92 | 1.68 | 2.34 |
| | (9) | 2.55 | 3.07 | 2.31 | 1.76 | 2.41 | 2.40 | 1.95 | 3.07 |
| | | 3.75 | 4.28 | 3.39 | 2.44 | 3.47 | 3.42 | 3.20 | 4.28 |
| | (10) | 4.17 | 4.81 | 3.79 | 2.73 | 3.85 | 3.81 | 3.43 | 4.81 |
| | | 6.02 | 6.88 | 5.43 | 3.72 | 5.49 | 5.38 | 5.55 | 6.88 |
| | (11) | 6.34 | 7.29 | 5.71 | 3.93 | 5.76 | 5.64 | 5.73 | 7.29 |
| | | 7.83 | 8.99 | 7.06 | 4.72 | 7.06 | 7.09 | 7.62 | 8.99 |
| | (12) | 8.02 | 9.25 | 7.24 | 4.85 | 7.23 | 7.26 | 7.74 | 9.25 |
| | | 9.86 | 11.1 | 8.81 | 5.73 | 8.65 | 9.09 | 10.0 | 11.1 |
| SW | (13) | 0.364 | 0.451 | 0.359 | 0.194 | 0.196 | 0.308 | 0.114 | 0.451 |
| | | 0.529 | 0.513 | 0.501 | 0.245 | 0.296 | 0.397 | 0.218 | 0.529 |
| | (14) | 1.03 | 1.12 | 0.956 | 0.547 | 0.589 | 0.705 | 0.376 | 1.12 |
| | | 1.11 | 1.20 | 1.18 | 0.655 | 0.929 | 0.979 | 0.876 | 1.20 |
| | (15) | 1.49 | 1.66 | 1.61 | 0.872 | 1.21 | 1.30 | 1.03 | 1.66 |
| | | 2.01 | 2.11 | 2.05 | 1.18 | 1.76 | 1.70 | 1.80 | 2.11 |
| | (16) | 2.13 | 2.24 | 2.22 | 1.27 | 1.88 | 1.81 | 1.86 | 2.24 |
| | | 2.54 | 2.67 | 2.55 | 1.47 | 2.24 | 2.15 | 2.42 | 2.67 |
| | (17) | 2.62 | 2.77 | 2.66 | 1.54 | 2.33 | 2.22 | 2.47 | 2.77 |
| 3.64 | | 3.82 | 3.37 | 2.10 | 3.05 | 3.18 | 3.83 | 3.83 | |

注 1 : 上段は要素の上端, 下段は要素の下端のモーメントを示す。

注 2 : 網掛け部分は最大値

表 3-15(2) 最大応答曲げモーメント一覧 (弾性設計用地震動 S d , NS 方向)

| 部位 | 要素 番号 | 最大応答曲げモーメント (10 ⁶ kN・m) | | | | | | | 最大値 |
|------|----------|------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|
| | | S d - D 1 | S d - D 2 | S d - D 3 | S d - F 1 | S d - F 2 | S d - F 3 | S d - N 1 | |
| IW-C | (18) | 0.0302 | 0.0360 | 0.0317 | 0.0184 | 0.0232 | 0.0337 | 0.00815 | 0.0360 |
| | | 0.205 | 0.234 | 0.207 | 0.122 | 0.167 | 0.200 | 0.102 | 0.234 |
| | (19) | 0.320 | 0.371 | 0.328 | 0.192 | 0.264 | 0.319 | 0.164 | 0.371 |
| | | 0.455 | 0.541 | 0.464 | 0.285 | 0.383 | 0.452 | 0.267 | 0.541 |
| | (20) | 1.35 | 1.62 | 1.43 | 0.842 | 1.13 | 1.31 | 0.741 | 1.62 |
| | | 2.30 | 2.61 | 2.31 | 1.49 | 2.05 | 1.90 | 1.77 | 2.61 |
| | (21) | 3.08 | 3.64 | 3.17 | 1.99 | 2.75 | 2.56 | 2.19 | 3.64 |
| | | 4.44 | 4.91 | 4.27 | 2.73 | 4.02 | 3.62 | 3.62 | 4.91 |
| | (22) | 4.98 | 5.56 | 4.84 | 3.09 | 4.51 | 4.02 | 3.93 | 5.56 |
| | | 7.03 | 7.73 | 6.54 | 4.20 | 6.39 | 5.81 | 6.27 | 7.73 |
| | (23) | 7.44 | 8.25 | 6.97 | 4.48 | 6.77 | 6.14 | 6.52 | 8.25 |
| | | 9.11 | 10.0 | 8.48 | 5.31 | 8.23 | 7.86 | 8.64 | 10.0 |
| (24) | 9.40 | 10.4 | 8.78 | 5.50 | 8.50 | 8.12 | 8.83 | 10.4 | |
| | 11.3 | 12.4 | 10.7 | 6.54 | 10.1 | 10.3 | 11.5 | 12.4 | |
| OW-A | (25) | 0.148 | 0.163 | 0.126 | 0.0853 | 0.0824 | 0.147 | 0.0596 | 0.163 |
| | | 0.644 | 0.754 | 0.602 | 0.382 | 0.553 | 0.477 | 0.572 | 0.754 |
| | (26) | 0.778 | 0.978 | 0.745 | 0.497 | 0.671 | 0.652 | 0.658 | 0.978 |
| | | 1.56 | 1.76 | 1.43 | 0.957 | 1.35 | 1.19 | 1.46 | 1.76 |
| | (27) | 1.68 | 1.95 | 1.55 | 1.06 | 1.45 | 1.26 | 1.53 | 1.95 |
| | | 2.90 | 3.11 | 2.60 | 1.80 | 2.49 | 2.39 | 2.86 | 3.11 |
| | (28) | 3.01 | 3.28 | 2.71 | 1.89 | 2.58 | 2.47 | 2.93 | 3.28 |
| | | 4.16 | 4.29 | 3.65 | 2.55 | 3.47 | 3.57 | 4.19 | 4.29 |
| | (29) | 4.24 | 4.39 | 3.72 | 2.61 | 3.53 | 3.64 | 4.25 | 4.39 |
| | | 5.61 | 5.88 | 4.85 | 3.39 | 4.55 | 4.97 | 5.82 | 5.88 |

注 1 : 上段は要素の上端, 下段は要素の下端のモーメントを示す。

注 2 : 網掛け部分は最大値

表 3-16 最大応答加速度一覧（弾性設計用地震動 S d , EW 方向）

| 部位 | 質点 番号 | 最大応答加速度 (cm/s ²) | | | | | | | 最大値 |
|-------|----------|------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|
| | | S d - D 1 | S d - D 2 | S d - D 3 | S d - F 1 | S d - F 2 | S d - F 3 | S d - N 1 | |
| OW-1 | 1 | 945 | 1179 | 871 | 525 | 677 | 605 | 682 | 1179 |
| | 2 | 619 | 868 | 617 | 461 | 545 | 490 | 577 | 868 |
| | 3 | 486 | 738 | 479 | 408 | 476 | 440 | 497 | 738 |
| | 4 | 396 | 526 | 449 | 314 | 355 | 364 | 411 | 526 |
| | 5 | 345 | 423 | 374 | 269 | 347 | 350 | 364 | 423 |
| IW-2 | 6 | 645 | 855 | 602 | 465 | 553 | 531 | 595 | 855 |
| | 7 | 538 | 779 | 553 | 417 | 495 | 517 | 527 | 779 |
| | 8 | 432 | 565 | 523 | 341 | 381 | 424 | 434 | 565 |
| | 9 | 366 | 471 | 425 | 280 | 354 | 383 | 372 | 471 |
| IW-4 | 10 | 2149 | 2482 | 2194 | 1479 | 1939 | 2228 | 1248 | 2482 |
| | 11 | 1289 | 1517 | 1264 | 938 | 1145 | 1270 | 971 | 1517 |
| | 12 | 1017 | 1208 | 998 | 593 | 889 | 837 | 848 | 1208 |
| | 13 | 752 | 784 | 808 | 454 | 621 | 557 | 694 | 808 |
| | 14 | 597 | 698 | 593 | 427 | 480 | 498 | 596 | 698 |
| SW | 15 | 1038 | 1251 | 1055 | 619 | 883 | 865 | 849 | 1251 |
| | 16 | 793 | 830 | 892 | 465 | 638 | 565 | 700 | 892 |
| | 17 | 589 | 719 | 594 | 425 | 471 | 547 | 594 | 719 |
| | 18 | 448 | 499 | 488 | 349 | 393 | 427 | 473 | 499 |
| | 19 | 423 | 546 | 468 | 327 | 396 | 421 | 414 | 546 |
| IW-10 | 20 | 1898 | 2350 | 1919 | 1440 | 1494 | 1694 | 1152 | 2350 |
| | 21 | 1111 | 1949 | 1019 | 1054 | 1038 | 1172 | 888 | 1949 |
| | 22 | 912 | 1207 | 773 | 590 | 683 | 640 | 716 | 1207 |
| | 23 | 692 | 738 | 681 | 432 | 565 | 526 | 630 | 738 |
| | 24 | 561 | 646 | 478 | 392 | 428 | 504 | 550 | 646 |
| | 25 | 418 | 526 | 441 | 359 | 373 | 425 | 450 | 526 |
| | 26 | 366 | 452 | 386 | 305 | 354 | 371 | 383 | 452 |
| OW-11 | 27 | 834 | 1028 | 730 | 490 | 645 | 608 | 677 | 1028 |
| | 28 | 600 | 628 | 584 | 388 | 493 | 506 | 595 | 628 |
| | 29 | 503 | 563 | 454 | 359 | 387 | 458 | 523 | 563 |
| | 30 | 395 | 497 | 399 | 334 | 364 | 405 | 434 | 497 |
| | 31 | 349 | 431 | 353 | 289 | 348 | 355 | 372 | 431 |
| 基礎版 | 32 | 320 | 382 | 332 | 283 | 311 | 381 | 315 | 382 |

注：網掛け部分は最大値

表 3-17 最大応答変位一覧（弾性設計用地震動 S d，EW 方向）

| 部位 | 質点 番号 | 最大応答変位 (cm) | | | | | | | 最大値 |
|-------|----------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------|
| | | S d-D 1 | S d-D 2 | S d-D 3 | S d-F 1 | S d-F 2 | S d-F 3 | S d-N 1 | |
| OW-1 | 1 | 1.00 | 1.07 | 0.87 | 0.57 | 0.79 | 0.78 | 0.95 | 1.07 |
| | 2 | 0.71 | 0.76 | 0.62 | 0.44 | 0.57 | 0.58 | 0.71 | 0.76 |
| | 3 | 0.51 | 0.56 | 0.45 | 0.34 | 0.41 | 0.43 | 0.53 | 0.56 |
| | 4 | 0.30 | 0.34 | 0.28 | 0.21 | 0.24 | 0.27 | 0.33 | 0.34 |
| | 5 | 0.17 | 0.20 | 0.17 | 0.12 | 0.13 | 0.15 | 0.19 | 0.20 |
| IW-2 | 6 | 0.72 | 0.76 | 0.63 | 0.45 | 0.58 | 0.58 | 0.72 | 0.76 |
| | 7 | 0.55 | 0.60 | 0.49 | 0.36 | 0.45 | 0.47 | 0.58 | 0.60 |
| | 8 | 0.32 | 0.36 | 0.29 | 0.22 | 0.25 | 0.29 | 0.35 | 0.36 |
| | 9 | 0.18 | 0.21 | 0.18 | 0.13 | 0.14 | 0.16 | 0.20 | 0.21 |
| IW-4 | 10 | 1.76 | 1.92 | 1.56 | 1.08 | 1.58 | 1.68 | 1.58 | 1.92 |
| | 11 | 1.47 | 1.58 | 1.25 | 0.81 | 1.24 | 1.27 | 1.34 | 1.58 |
| | 12 | 1.20 | 1.28 | 1.04 | 0.63 | 0.98 | 0.95 | 1.13 | 1.28 |
| | 13 | 0.90 | 0.93 | 0.81 | 0.53 | 0.73 | 0.70 | 0.88 | 0.93 |
| SW | 14 | 0.68 | 0.72 | 0.62 | 0.43 | 0.56 | 0.54 | 0.69 | 0.72 |
| | 15 | 1.20 | 1.26 | 1.04 | 0.63 | 0.97 | 0.93 | 1.12 | 1.26 |
| | 16 | 0.92 | 0.94 | 0.83 | 0.53 | 0.75 | 0.71 | 0.90 | 0.94 |
| | 17 | 0.67 | 0.70 | 0.61 | 0.41 | 0.55 | 0.54 | 0.68 | 0.70 |
| | 18 | 0.35 | 0.39 | 0.33 | 0.24 | 0.29 | 0.31 | 0.38 | 0.39 |
| IW-10 | 19 | 0.21 | 0.23 | 0.20 | 0.15 | 0.17 | 0.19 | 0.23 | 0.23 |
| | 20 | 1.67 | 1.98 | 1.47 | 1.05 | 1.45 | 1.55 | 1.50 | 1.98 |
| | 21 | 1.35 | 1.56 | 1.12 | 0.77 | 1.11 | 1.17 | 1.24 | 1.56 |
| | 22 | 1.07 | 1.15 | 0.91 | 0.58 | 0.86 | 0.86 | 1.02 | 1.15 |
| | 23 | 0.78 | 0.82 | 0.67 | 0.46 | 0.63 | 0.63 | 0.78 | 0.82 |
| | 24 | 0.56 | 0.60 | 0.49 | 0.35 | 0.45 | 0.47 | 0.58 | 0.60 |
| | 25 | 0.32 | 0.36 | 0.29 | 0.22 | 0.26 | 0.29 | 0.36 | 0.36 |
| | 26 | 0.18 | 0.21 | 0.18 | 0.13 | 0.15 | 0.16 | 0.21 | 0.21 |
| OW-11 | 27 | 0.98 | 1.04 | 0.83 | 0.54 | 0.78 | 0.79 | 0.94 | 1.04 |
| | 28 | 0.71 | 0.76 | 0.61 | 0.42 | 0.57 | 0.59 | 0.71 | 0.76 |
| | 29 | 0.51 | 0.56 | 0.45 | 0.32 | 0.42 | 0.44 | 0.53 | 0.56 |
| | 30 | 0.30 | 0.35 | 0.28 | 0.20 | 0.25 | 0.27 | 0.33 | 0.35 |
| | 31 | 0.17 | 0.20 | 0.16 | 0.12 | 0.14 | 0.15 | 0.19 | 0.20 |
| 基礎版 | 32 | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.05 |

注：網掛け部分は最大値

表 3-18 最大応答せん断力一覧（弾性設計用地震動 S d，EW 方向）

| 部位 | 要素 番号 | 最大応答せん断力 (×10 ³ kN) | | | | | | | 最大値 |
|-------|----------|--------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------|
| | | S d-D 1 | S d-D 2 | S d-D 3 | S d-F 1 | S d-F 2 | S d-F 3 | S d-N 1 | |
| OW-1 | (1) | 76.0 | 85.9 | 64.5 | 43.7 | 57.0 | 56.8 | 60.3 | 85.9 |
| | (2) | 107 | 108 | 91.8 | 56.8 | 85.5 | 78.4 | 96.0 | 108 |
| | (3) | 144 | 147 | 124 | 88.6 | 117 | 114 | 140 | 147 |
| | (4) | 165 | 176 | 140 | 113 | 133 | 144 | 174 | 176 |
| | (5) | 183 | 198 | 158 | 132 | 143 | 164 | 201 | 201 |
| IW-2 | (6) | 116 | 117 | 108 | 61.7 | 94.4 | 85.0 | 103 | 117 |
| | (7) | 213 | 218 | 197 | 132 | 178 | 157 | 206 | 218 |
| | (8) | 255 | 272 | 225 | 179 | 212 | 219 | 271 | 272 |
| | (9) | 284 | 310 | 251 | 210 | 227 | 257 | 318 | 318 |
| IW-4 | (10) | 19.1 | 23.3 | 20.1 | 13.1 | 17.5 | 19.5 | 11.5 | 23.3 |
| | (11) | 21.4 | 26.8 | 22.4 | 15.7 | 20.5 | 22.9 | 15.9 | 26.8 |
| | (12) | 78.9 | 95.6 | 76.4 | 45.4 | 64.9 | 61.8 | 63.4 | 95.6 |
| | (13) | 67.9 | 70.2 | 70.5 | 36.1 | 54.6 | 49.4 | 59.4 | 70.5 |
| SW | (14) | 41.8 | 57.0 | 35.2 | 29.4 | 31.7 | 32.2 | 31.1 | 57.0 |
| | (15) | 94.7 | 97.7 | 91.5 | 51.4 | 76.5 | 67.1 | 83.4 | 97.7 |
| | (16) | 123 | 125 | 120 | 75.2 | 99.5 | 86.1 | 117 | 125 |
| | (17) | 114 | 121 | 103 | 78.9 | 91.2 | 95.2 | 119 | 121 |
| IW-10 | (18) | 140 | 148 | 123 | 103 | 115 | 127 | 157 | 157 |
| | (19) | 20.4 | 25.6 | 22.1 | 15.5 | 18.6 | 20.7 | 13.9 | 25.6 |
| | (20) | 32.7 | 46.0 | 34.2 | 26.7 | 30.9 | 33.0 | 24.8 | 46.0 |
| | (21) | 91.6 | 121 | 72.9 | 61.1 | 68.0 | 66.6 | 72.1 | 121 |
| | (22) | 169 | 175 | 148 | 90.0 | 133 | 120 | 149 | 175 |
| | (23) | 233 | 233 | 208 | 134 | 188 | 176 | 221 | 233 |
| | (24) | 270 | 284 | 235 | 176 | 220 | 226 | 281 | 284 |
| OW-11 | (25) | 293 | 317 | 249 | 204 | 232 | 256 | 325 | 325 |
| | (26) | 54.6 | 66.7 | 44.8 | 33.8 | 42.6 | 42.1 | 45.0 | 66.7 |
| | (27) | 103 | 108 | 87.0 | 53.8 | 82.9 | 77.1 | 92.1 | 108 |
| | (28) | 141 | 142 | 120 | 80.5 | 114 | 111 | 135 | 142 |
| | (29) | 165 | 175 | 140 | 106 | 133 | 141 | 172 | 175 |
| | (30) | 188 | 204 | 160 | 129 | 148 | 165 | 207 | 207 |

注：網掛け部分は最大値

表 3-19(1) 最大応答曲げモーメント一覧 (弾性設計用地震動 S d, EW 方向)

| 部位 | 要素 番号 | 最大応答曲げモーメント (10 ⁶ kN・m) | | | | | | | 最大値 | |
|------|----------|------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|-------|
| | | S d-D 1 | S d-D 2 | S d-D 3 | S d-F 1 | S d-F 2 | S d-F 3 | S d-N 1 | | |
| OW-1 | (1) | 0.374 | 0.542 | 0.398 | 0.287 | 0.247 | 0.342 | 0.125 | 0.542 | |
| | | 1.03 | 1.38 | 0.905 | 0.754 | 0.752 | 0.771 | 0.701 | 1.38 | |
| | (2) | 1.23 | 1.78 | 1.10 | 1.01 | 0.963 | 1.05 | 0.766 | 1.78 | |
| | | 2.03 | 2.59 | 1.79 | 1.37 | 1.50 | 1.39 | 1.48 | 2.59 | |
| | (3) | 2.18 | 2.87 | 1.93 | 1.55 | 1.61 | 1.58 | 1.53 | 2.87 | |
| | | 3.47 | 4.12 | 3.05 | 2.06 | 2.63 | 2.28 | 2.78 | 4.12 | |
| | (4) | 3.59 | 4.36 | 3.16 | 2.20 | 2.72 | 2.32 | 2.83 | 4.36 | |
| | | 4.70 | 5.41 | 4.10 | 2.62 | 3.62 | 3.14 | 4.01 | 5.41 | |
| | (5) | 4.79 | 5.57 | 4.16 | 2.67 | 3.69 | 3.19 | 4.05 | 5.57 | |
| | | 6.05 | 6.75 | 5.25 | 3.58 | 4.73 | 4.34 | 5.52 | 6.75 | |
| IW-2 | (6) | 0.497 | 0.635 | 0.478 | 0.333 | 0.302 | 0.466 | 0.148 | 0.635 | |
| | | 1.08 | 1.34 | 0.910 | 0.717 | 0.873 | 0.857 | 0.826 | 1.34 | |
| | (7) | 1.78 | 2.46 | 1.93 | 1.45 | 1.49 | 1.86 | 1.02 | 2.46 | |
| | | 3.50 | 4.22 | 2.78 | 2.23 | 2.84 | 2.90 | 2.82 | 4.22 | |
| | (8) | 6.91 | 8.72 | 5.99 | 5.40 | 6.44 | 6.40 | 5.61 | 8.72 | |
| | | 8.60 | 10.4 | 6.96 | 6.01 | 7.54 | 7.88 | 7.38 | 10.4 | |
| | (9) | 8.87 | 10.9 | 7.21 | 6.34 | 7.79 | 8.19 | 7.51 | 10.9 | |
| | | 10.8 | 12.7 | 8.67 | 6.97 | 9.08 | 10.0 | 9.76 | 12.7 | |
| | IW-4 | (10) | 0.118 | 0.137 | 0.119 | 0.0738 | 0.0836 | 0.107 | 0.0348 | 0.137 |
| | | | 0.293 | 0.337 | 0.306 | 0.195 | 0.238 | 0.269 | 0.141 | 0.337 |
| (11) | | 0.410 | 0.463 | 0.429 | 0.267 | 0.314 | 0.388 | 0.183 | 0.463 | |
| | | 0.560 | 0.659 | 0.602 | 0.372 | 0.475 | 0.570 | 0.308 | 0.659 | |
| (12) | | 2.49 | 2.90 | 2.59 | 1.57 | 1.78 | 2.39 | 1.06 | 2.90 | |
| | | 2.71 | 3.23 | 2.87 | 1.85 | 2.30 | 2.70 | 1.65 | 3.23 | |
| (13) | | 3.96 | 4.62 | 4.06 | 2.67 | 3.24 | 3.78 | 2.26 | 4.62 | |
| | | 4.05 | 4.72 | 4.13 | 2.89 | 3.54 | 3.90 | 2.66 | 4.72 | |
| SW | | (14) | 0.336 | 0.386 | 0.412 | 0.186 | 0.268 | 0.239 | 0.282 | 0.412 |
| | | | 0.389 | 0.420 | 0.343 | 0.223 | 0.256 | 0.312 | 0.139 | 0.420 |
| | (15) | 0.574 | 0.720 | 0.638 | 0.399 | 0.454 | 0.497 | 0.440 | 0.720 | |
| | | 0.654 | 0.711 | 0.561 | 0.478 | 0.440 | 0.532 | 0.304 | 0.711 | |
| | (16) | 0.906 | 0.909 | 0.756 | 0.665 | 0.592 | 0.757 | 0.427 | 0.909 | |
| | | 1.71 | 1.88 | 1.42 | 1.03 | 1.40 | 1.36 | 1.37 | 1.88 | |
| | (17) | 1.82 | 2.00 | 1.51 | 1.11 | 1.47 | 1.44 | 1.42 | 2.00 | |
| | | 2.36 | 2.48 | 2.01 | 1.26 | 1.90 | 1.80 | 2.00 | 2.48 | |
| | (18) | 2.45 | 2.58 | 2.08 | 1.32 | 1.96 | 1.85 | 2.04 | 2.58 | |
| | | 3.59 | 3.58 | 3.15 | 2.03 | 2.90 | 2.81 | 3.48 | 3.59 | |

注 1 : 上段は要素の上端, 下段は要素の下端のモーメントを示す。

注 2 : 網掛け部分は最大値

表 3-19(2) 最大応答曲げモーメント一覧 (弾性設計用地震動 S d, EW 方向)

| 部位 | 要素 番号 | 最大応答曲げモーメント (10 ⁶ kN・m) | | | | | | | 最大値 |
|-------|----------|------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| | | S d-D 1 | S d-D 2 | S d-D 3 | S d-F 1 | S d-F 2 | S d-F 3 | S d-N 1 | |
| IW-10 | (19) | 0.0904 | 0.0995 | 0.0873 | 0.0460 | 0.0469 | 0.0627 | 0.0284 | 0.0995 |
| | | 0.260 | 0.312 | 0.277 | 0.182 | 0.213 | 0.250 | 0.149 | 0.312 |
| | (20) | 0.337 | 0.388 | 0.348 | 0.219 | 0.254 | 0.306 | 0.169 | 0.388 |
| | | 0.590 | 0.704 | 0.604 | 0.423 | 0.492 | 0.567 | 0.367 | 0.704 |
| | (21) | 2.02 | 2.19 | 1.96 | 1.35 | 1.39 | 1.89 | 0.906 | 2.19 |
| | | 2.44 | 3.14 | 2.40 | 1.67 | 2.09 | 2.41 | 1.68 | 3.14 |
| | (22) | 3.53 | 4.42 | 3.31 | 2.46 | 3.13 | 3.48 | 2.33 | 4.42 |
| | | 4.42 | 5.62 | 3.90 | 2.96 | 4.09 | 4.34 | 3.44 | 5.62 |
| | (23) | 4.85 | 6.23 | 4.39 | 3.32 | 4.65 | 4.89 | 3.70 | 6.23 |
| | | 6.79 | 8.13 | 5.74 | 4.16 | 6.22 | 6.35 | 5.66 | 8.13 |
| | (24) | 7.13 | 8.56 | 6.08 | 4.42 | 6.61 | 6.72 | 5.86 | 8.56 |
| | | 8.87 | 10.1 | 7.44 | 5.17 | 7.96 | 8.11 | 7.74 | 10.1 |
| | (25) | 9.13 | 10.4 | 7.61 | 5.36 | 8.22 | 8.37 | 7.89 | 10.4 |
| | | 11.1 | 12.2 | 9.41 | 6.16 | 9.72 | 10.1 | 10.2 | 12.2 |
| OW-11 | (26) | 0.130 | 0.138 | 0.125 | 0.0724 | 0.0784 | 0.118 | 0.0448 | 0.138 |
| | | 0.638 | 0.824 | 0.516 | 0.428 | 0.501 | 0.481 | 0.506 | 0.824 |
| | (27) | 0.727 | 0.989 | 0.639 | 0.527 | 0.571 | 0.638 | 0.546 | 0.989 |
| | | 1.50 | 1.79 | 1.23 | 0.924 | 1.18 | 1.10 | 1.23 | 1.79 |
| | (28) | 1.62 | 2.00 | 1.33 | 1.05 | 1.26 | 1.22 | 1.29 | 2.00 |
| | | 2.88 | 3.21 | 2.40 | 1.60 | 2.27 | 2.17 | 2.49 | 3.21 |
| | (29) | 3.01 | 3.41 | 2.49 | 1.72 | 2.36 | 2.29 | 2.55 | 3.41 |
| | | 4.13 | 4.42 | 3.44 | 2.15 | 3.24 | 3.20 | 3.71 | 4.42 |
| | (30) | 4.23 | 4.57 | 3.50 | 2.22 | 3.31 | 3.28 | 3.76 | 4.57 |
| | | 5.56 | 5.71 | 4.64 | 3.09 | 4.36 | 4.44 | 5.26 | 5.71 |

注 1 : 上段は要素の上端, 下段は要素の下端のモーメントを示す。

注 2 : 網掛け部分は最大値

表 3-20 最大応答加速度一覧（弾性設計用地震動 S d , UD 方向）

| 部位 | 質点 番号 | 最大応答加速度 (cm/s ²) | | | | | | | 最大値 |
|-----------|----------|------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------|
| | | S d-D 1 | S d-D 2 | S d-D 3 | S d-F 1 | S d-F 2 | S d-F 3 | S d-N 1 | |
| 屋根 トラス | 1 | 1991 | 2185 | 1871 | 1157 | 1327 | 1566 | 682 | 2185 |
| | 2 | 779 | 790 | 622 | 435 | 679 | 573 | 384 | 790 |
| | 3 | 1680 | 1835 | 1529 | 1024 | 963 | 1183 | 508 | 1835 |
| 外壁 | 4 | 870 | 897 | 960 | 405 | 459 | 617 | 467 | 960 |
| | 5 | 842 | 829 | 869 | 377 | 429 | 562 | 450 | 869 |
| | 6 | 801 | 785 | 771 | 338 | 391 | 496 | 427 | 801 |
| | 7 | 708 | 689 | 611 | 271 | 321 | 385 | 373 | 708 |
| | 8 | 625 | 562 | 448 | 227 | 274 | 319 | 320 | 625 |
| | 9 | 498 | 425 | 336 | 196 | 236 | 250 | 243 | 498 |
| | 10 | 404 | 349 | 280 | 173 | 215 | 204 | 207 | 404 |
| | 11 | 291 | 312 | 247 | 180 | 193 | 205 | 187 | 312 |

注：網掛け部分は最大値

表 3-21 最大応答変位一覧（弾性設計用地震動 S d , UD 方向）

| 部位 | 質点 番号 | 最大応答変位 (cm) | | | | | | | 最大値 |
|-----------|----------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------|
| | | S d-D 1 | S d-D 2 | S d-D 3 | S d-F 1 | S d-F 2 | S d-F 3 | S d-N 1 | |
| 屋根 トラス | 1 | 2.61 | 2.17 | 1.66 | 1.37 | 2.32 | 1.64 | 1.28 | 2.61 |
| | 2 | 2.03 | 1.77 | 1.34 | 1.13 | 1.94 | 1.29 | 1.06 | 2.03 |
| | 3 | 1.08 | 0.97 | 0.76 | 0.61 | 1.04 | 0.69 | 0.55 | 1.08 |
| 外壁 | 4 | 0.18 | 0.16 | 0.14 | 0.07 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.18 |
| | 5 | 0.17 | 0.16 | 0.13 | 0.07 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.17 |
| | 6 | 0.16 | 0.15 | 0.12 | 0.07 | 0.08 | 0.08 | 0.09 | 0.16 |
| | 7 | 0.14 | 0.13 | 0.11 | 0.06 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.14 |
| | 8 | 0.12 | 0.11 | 0.09 | 0.05 | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 0.12 |
| | 9 | 0.09 | 0.08 | 0.06 | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 0.05 | 0.09 |
| | 10 | 0.07 | 0.06 | 0.05 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.07 |
| | 11 | 0.05 | 0.04 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.05 |

注：網掛け部分は最大値

表 3-22 最大応答軸力一覧（弾性設計用地震動 S d , UD 方向）

| 部位 | 要素 番号 | 最大応答軸力 (×10 ⁴ kN) | | | | | | | 最大値 |
|----|----------|------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------|
| | | S d-D 1 | S d-D 2 | S d-D 3 | S d-F 1 | S d-F 2 | S d-F 3 | S d-N 1 | |
| 外壁 | (4) | 1.15 | 1.23 | 1.46 | 0.755 | 1.11 | 1.12 | 0.866 | 1.46 |
| | (5) | 3.78 | 3.85 | 4.27 | 1.96 | 2.57 | 3.23 | 2.55 | 4.27 |
| | (6) | 27.1 | 26.9 | 26.3 | 13.3 | 15.6 | 20.1 | 17.0 | 27.1 |
| | (7) | 60.9 | 59.7 | 55.5 | 28.1 | 33.5 | 41.4 | 37.8 | 60.9 |
| | (8) | 88.1 | 83.4 | 74.7 | 38.6 | 47.1 | 55.4 | 53.9 | 88.1 |
| | (9) | 111 | 99.2 | 86.6 | 46.6 | 58.5 | 67.1 | 66.9 | 111 |
| | (10) | 131 | 112 | 96.9 | 53.8 | 70.6 | 77.6 | 78.6 | 131 |

注：網掛け部分は最大値

4. 材料物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動

建屋及び地震動ごとの材料物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動の選定結果を表 4-1 に示す。地震動の選定にあたり、基本ケースにおける建屋応答の確認は、以下の資料に基づき実施した。

・ VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書

表 4-1 材料物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動

| 建屋名 | 材料物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動 | |
|-------|--|---|
| | 基準地震動 S_s | 弾性設計用地震動 S_d |
| 原子炉建屋 | $S_s - D 1, S_s - D 2,$ $S_s - D 3, S_s - F 2,$ $S_s - F 3, S_s - N 1$ | $S_d - D 1, S_d - D 2,$ $S_d - D 3, S_d - N 1$ |