

女川原子力発電所2号炉 埋め込まれた建屋の周辺地盤による影響について

東北電力株式会社

目次

1. 検討にあたっての基本的考え方
2. 既工認における周辺地盤による影響の反映状況
 - 2.1 JEAG4601による周辺地盤の扱い
 - 2.2 既工認における周辺地盤の扱い
3. 地震観測記録を用いた表層地盤の影響検討
 - 3.1 入力地震動評価に関する表層地盤の影響の検討
 - 3.2 自由地盤における表層地盤の非線形化の傾向について
 - 3.3 埋込み効果(側面地盤ばね)に関する検討
4. 今回工認における周辺地盤による影響の解析モデルへの反映(原子炉建屋)
 - 4.1 基準地震動Ssの地震応答解析に用いる地盤モデルの設定概要
 - 4.2 観測記録を用いた地盤モデルの検証
 - 4.3 設定した地盤モデルの概要
5. 各要因が基準地震動Ssによる地震応答解析結果へ与える影響(原子炉建屋)
6. まとめ

1. 検討にあたっての基本的考え方

2. 既工認における周辺地盤による影響の反映状況

2.1 JEAG4601による周辺地盤の扱い

2.2 既工認における周辺地盤の扱い

3. 地震観測記録を用いた表層地盤の影響検討

3.1 入力地震動評価に関する表層地盤の影響の検討

3.2 自由地盤における表層地盤の非線形化の傾向について

3.3 埋込み効果(側面地盤ばね)に関する検討

4. 今回工認における周辺地盤による影響の解析モデルへの反映(原子炉建屋)

4.1 基準地震動 S_s の地震応答解析に用いる地盤モデルの設定概要

4.2 観測記録を用いた地盤モデルの検証

4.3 設定した地盤モデルの概要

5. 各要因が基準地震動 S_s による地震応答解析結果へ与える影響(原子炉建屋)

6. まとめ

1. 検討にあたっての基本的考え方(1)

(1) 既工認での周辺地盤の影響評価

- 女川2号炉の各建屋の既工認においては、深く埋め込まれている建屋であっても表層地盤の影響、すなわち入力地震動に与える影響と埋込み効果(側面地盤ばね)は考慮しない地震応答解析モデルを採用していた。
- 硬質岩盤では側面地盤ばねの評価に課題があること、また、2号炉原子炉建屋について、基準地震動を直接入力する手法による解析結果はJEAG4601に基づき表層地盤の影響を考慮した解析結果に比べ概ね保守的であったためである。

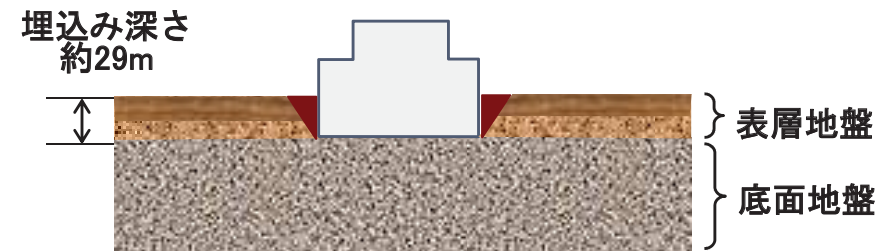
JEAG4601での記載	
入力地震動 埋込まれている場合は、表層地盤の影響*が期待出来る旨の記載あり * E+F入力, 直接入力(2E)より小さい	埋込み効果の評価 支持地盤と側面地盤のせん断波速度(V_s)の違いが大きい場合は側面地盤ばねの評価に留意する必要がある旨の記載あり

○(女川は約29mの埋込み)

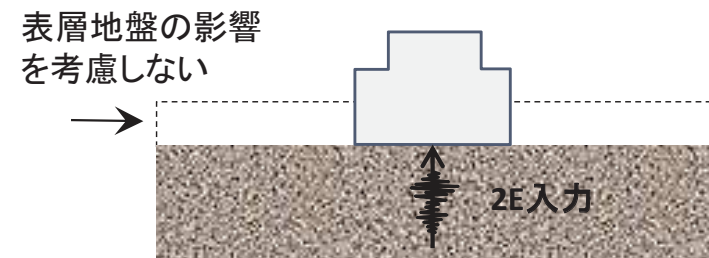
△(女川の支持地盤は硬質であり V_s の違いが大きい)



既工認での周辺地盤の影響評価	
既工認では側面地盤ばね評価の課題も踏まえて、以下のとおり設定	
入力地震動 基準地震動を直接入力 (表層地盤の影響を無視)	埋込み効果 側面地盤ばねを設けず (埋込み効果を無視)
※既工認では、参考検討として、採用手法と、【E+F入力+埋込み効果考慮(JEAG手法で評価(Novakばね))】の比較から採用手法の保守性を確認	



実際の状況



地震応答解析モデルでの扱い

既工認における周辺地盤の扱い

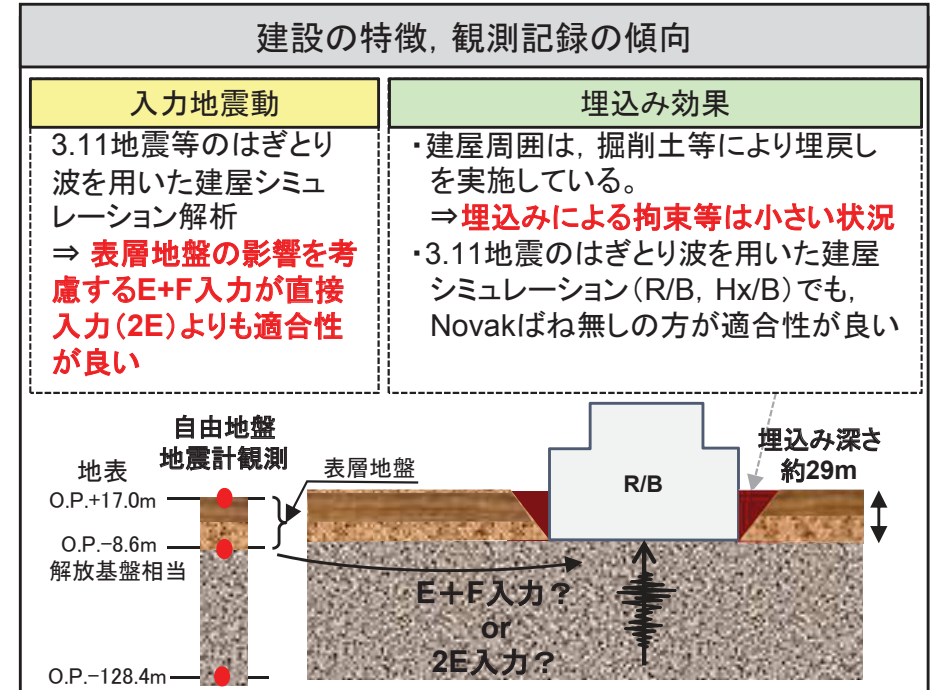
1. 検討にあたっての基本的考え方(2)

(2)建設の特徴, 観測記録の傾向

- 建設にあたっては、埋込み効果を考慮しないことから、建屋周囲の埋め戻しは掘削土等を使用しており、特に拘束効果は期待出来ない状況となっている。
- 女川では2011年東北地方太平洋沖地震(以下、「3.11地震」という)や2011年4月7日宮城県沖地震(以下、「4.7地震」という)等の観測記録が複数の建屋で得られており、記録を用いた検討から、以下の傾向を確認している。

①2号炉原子炉建屋等のシミュレーション解析では、表層地盤の影響を考慮した入力地震動を用いた方が、解放基盤相当の観測記録(自由地盤のはざとり波)を直接入力するケースに比べより観測記録との整合性が良く、**表層地盤が入力地震動に与える影響が確認された。**

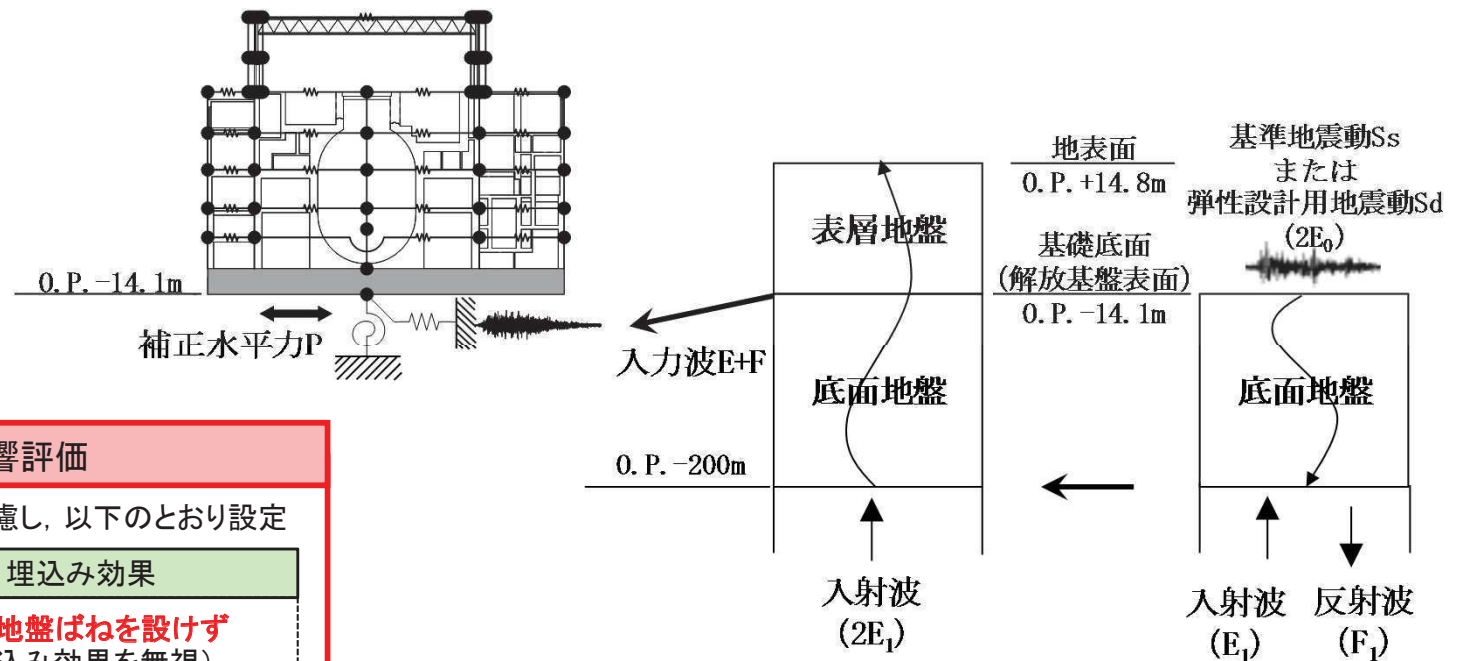
②一方、埋込み効果については、2号原子炉建屋のような重量構造物のシミュレーション解析では埋込み効果を考慮しないモデルが観測記録との整合性が良いことが確認された。また、比較的小規模で建屋全体が埋め込まれている3号炉海水熱交換器建屋について、3.11地震の観測記録を用い、表層地盤が建屋応答に及ぼす影響や観測記録との整合性について確認した結果、**側面地盤ばね(Novakバネ)を考慮した解析結果は観測記録よりも過大な結果を与えること、一方で埋込み効果による建屋の応答低減傾向が確認された。**



1. 検討にあたっての基本的考え方(3)

(3)今回工認での周辺地盤の影響評価

- 以上の検討を踏まえ、原子炉建屋の地震応答解析モデルについて、**今回工認**では、JEAG4601による手法に基づき、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s および弾性設計用地震動 S_d を基に地盤条件を適切に考慮したうえで、**地震応答解析モデルの入力位置で評価した入力地震動を設定**することに見直した。一方、**埋込み効果については既工認と同じく、その効果は無視**することとした。
- 地盤モデルの物性値は、地盤調査結果、建設時の掘削状況および地震観測記録の分析により設定し、建屋シミュレーション解析で妥当性を確認している。



今回工認での周辺地盤の影響評価

今回工認では建設の特徴や観測記録の傾向を考慮し、以下のとおり設定

入力地震動

表層地盤の影響を考慮する
E+F入力に変更

埋込み効果

側面地盤ばねを設けず
(埋込み効果は無視)

【参考検討】基準地震動 S_s を用いた感度解析(R/B)

- ・入力の違い(直接入力⇔E+F入力)が建屋応答に与える影響
- ・側面地盤ばね(Novakばね)の有無が建屋応答に与える影響

今回工認における地震応答解析モデルへの入力概要

1. 検討にあたっての基本的考え方(4)

(4)既工認からの変更点

埋め込まれた建屋の周辺地盤の扱いに関する既工認からの変更点

	既工認	今回工認	変更の適用性	他サイト 既工認実績	変更による効果
側面地盤ばね の扱い	非考慮	非考慮	変更無し	両者組み合わせ ケース有 (ただし、入力地震動の 算定目的はサイト固有事 象を踏まえたもの)	大 (応答低減効果)
入力地震動算定時 の表層地盤 の影響考慮	非考慮 (2E入力)	考慮 (E+F入力)	地震観測記録の 傾向を反映		

	既工認	今回工認	変更の適用性	他サイト 既工認実績	変更による効果
入力地震動の 算定方法	—	上部表層地盤の 非線 形性を考慮した一次元 地盤応答解析モデル (逐次非線形)	地震観測記録で 妥当性を検証	無 (他サイトは二次元FEM モデル(等価線形解析))	小



- 既工認から変更した表層地盤の影響を考慮した入力地震動の算定および表層地盤モデルの設定の妥当性、また、埋込み効果の影響について検討する。

1. 検討にあたっての基本的考え方

2. 既工認における周辺地盤による影響の反映状況

2.1 JEAG4601による周辺地盤の扱い

2.2 既工認における周辺地盤の扱い

3. 地震観測記録を用いた表層地盤の影響検討

3.1 入力地震動評価に関する表層地盤の影響の検討

3.2 自由地盤における表層地盤の非線形化の傾向について

3.3 埋込み効果(側面地盤ばね)に関する検討

4. 今回工認における周辺地盤による影響の解析モデルへの反映(原子炉建屋)

4.1 基準地震動 S_s の地震応答解析に用いる地盤モデルの設定概要

4.2 観測記録を用いた地盤モデルの検証

4.3 設定した地盤モデルの概要

5. 各要因が基準地震動 S_s による地震応答解析結果へ与える影響(原子炉建屋)

6. まとめ

2.1 JEAG4601による周辺地盤の扱い(1)

(1)表層地盤の影響を考慮する場合の入力地震動の評価

➤ JEAG4601-1987では、表層地盤の影響が無視できる場合には基準地震動がそのまま入力地震動として用いられるが、**表層地盤の影響を考慮する場合には、基礎マット底面における地震動を算定して用いる**、としている。

【JEAG4601-1987の記載抜粋(下線加筆)】

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

(略)…。対象とする建屋が解放基盤表面に設置され、表層地盤の影響が無視できる場合には基準地震動がそのまま入力地震動として用いられるが、表層地盤の影響を考慮する場合や解放基盤表面が建屋の基礎マット底面より深い場合には、上記の基準地震動より基礎マット底面及び解析モデル底面における地震動を算定して用いる。…(略)

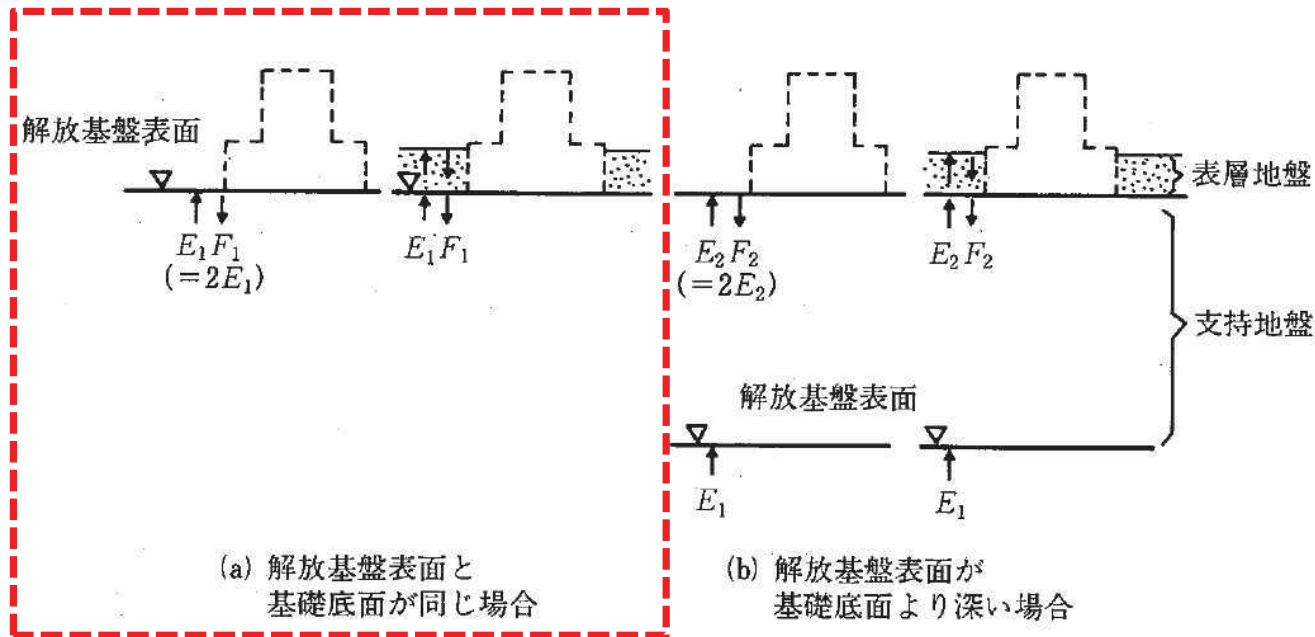


図 5.2.4-2 SR モデルの入力地震動の算定

2.1 JEAG4601による周辺地盤の扱い(2)

(2)支持地盤が硬質岩盤の場合の建屋埋込み効果の評価に当たっての課題

- JEAG4601-1991(追補版)では、建屋埋込み効果の評価に当たっては、埋戻し土等が材料非線形になると想定される場合には、その歪に対応するせん断弾性係数等の採用を求めている。
- 特に、支持地盤と埋戻し土のインピーダンスが大きく、表層地盤の卓越振動数が顕著に励起される場合は、側面地盤ばねの評価に留意する必要があるとされている。

【JEAG4601-1991(追補版)の記載抜粋(下線加筆)】

3.建屋埋込み効果の評価法 / 3.2.5 留意事項

(1)地震応答解析に用いる土質定数は、土質試験の結果に基づいた値を採用する。埋戻し土等が材料非線形になると想定される場合には、その歪みに対応するせん断弾性係数 G と減衰定数 h を土質定数として採用することができる。

3.3 解説 / 3.3.1 スウェイ・ロッキングモデル

(5)本モデルの適用上の留意点

ここで述べたスウェイ・ロッキングモデルは、実用性を考慮して各々独立な建屋底面地盤ばねと地下部外壁地盤ばねによってモデル化した簡便な解析モデルである。地下部外壁地盤ばねの評価には、平面的に切り出した二次元弾性地盤の地盤ばねを近似的に採用しているため、地下部外壁地盤ばねには地盤の深さ方向の振動特性が考慮されていない。地下部外壁に接する地盤(表層地盤)のS波速度に比べ支持岩盤のそれが著しく大きな地盤系の場合には、表層地盤の卓越振動数が顕著に励起されるが、この卓越振動数の影響は地盤ばねに反映されない。このようなことから、この種の地盤系に埋め込まれた原子炉建屋の地震応答解析をここで述べたスウェイ・ロッキングモデルで行うと他の解析法との差異が生ずることもあり、留意する必要がある。

1. 検討にあたっての基本的考え方

2. 既工認における周辺地盤による影響の反映状況

2.1 JEAG4601による周辺地盤の扱い

2.2 既工認における周辺地盤の扱い

3. 地震観測記録を用いた表層地盤の影響検討

3.1 入力地震動評価に関する表層地盤の影響の検討

3.2 自由地盤における表層地盤の非線形化の傾向について

3.3 埋込み効果(側面地盤ばね)に関する検討

4. 今回工認における周辺地盤による影響の解析モデルへの反映(原子炉建屋)

4.1 基準地震動Ssの地震応答解析に用いる地盤モデルの設定概要

4.2 観測記録を用いた地盤モデルの検証

4.3 設定した地盤モデルの概要

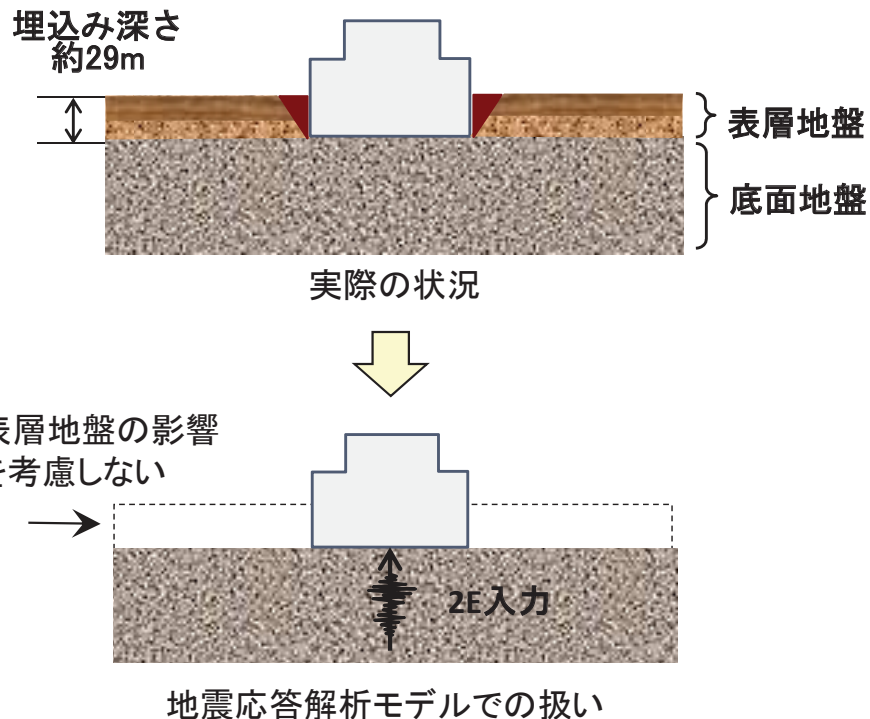
5. 各要因が基準地震動Ssによる地震応答解析結果へ与える影響(原子炉建屋)

6. まとめ

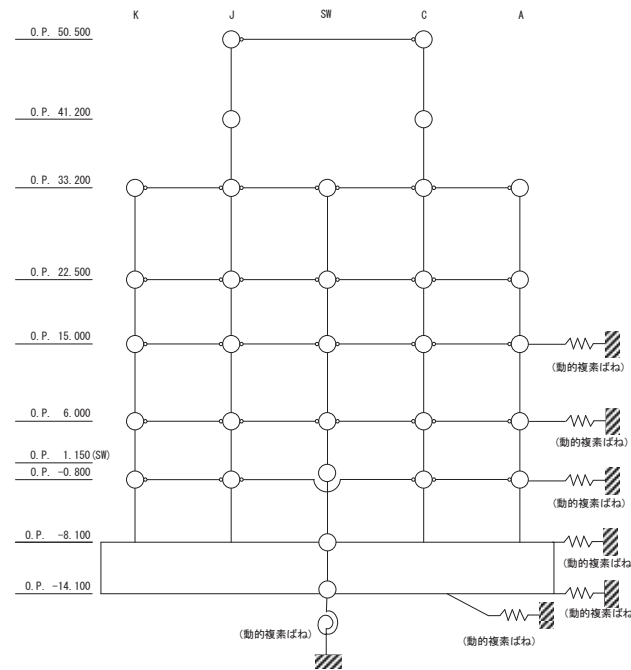
2. 既工認における周辺地盤の影響評価

2.2 既工認における周辺地盤の扱い

- 女川2号炉の各建屋の既工認においては、深く埋め込まれている建屋であっても表層地盤の影響、すなわち入力地震動に与える影響と埋込み効果(側面地盤ばね)は考慮しない地震応答解析モデルを採用していた。
- これは、硬質岩盤では側面地盤ばねの評価に課題があること、また、2号炉原子炉建屋について、**基準地震動を直接入力する手法による解析結果はJEAG4601に基づき表層地盤の影響を考慮した解析結果に比べ概ね保守的であった**ためである。
- なお、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た。

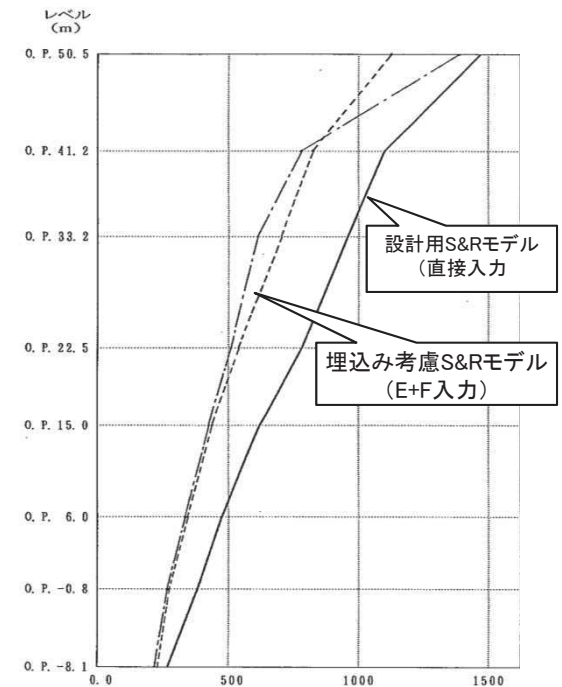


既工認における周辺地盤の扱い



表層地盤の影響を考慮した
地震応答解析モデル

設計用 S & R モデル
埋込み考慮 S & R モデル
格子型モデル



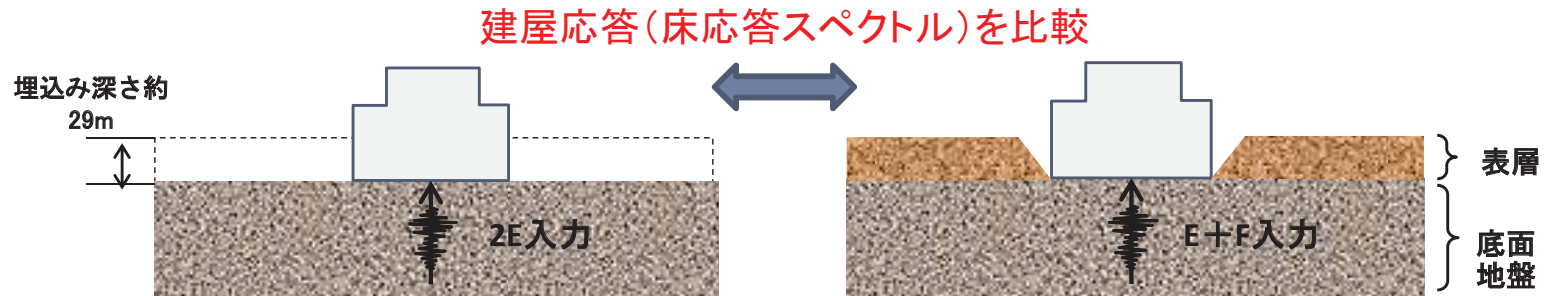
解析結果の比較(最大応答加速度)

1. 検討にあたっての基本的考え方
2. 既工認における周辺地盤による影響の反映状況
 - 2.1 JEAG4601による周辺地盤の扱い
 - 2.2 既工認における周辺地盤の扱い
3. 地震観測記録を用いた表層地盤の影響検討
 - 3.1 入力地震動評価に関する表層地盤の影響の検討
 - 3.2 自由地盤における表層地盤の非線形化の傾向について
 - 3.3 埋込み効果(側面地盤ばね)に関する検討
4. 今回工認における周辺地盤による影響の解析モデルへの反映(原子炉建屋)
 - 4.1 基準地震動 S_s の地震応答解析に用いる地盤モデルの設定概要
 - 4.2 観測記録を用いた地盤モデルの検証
 - 4.3 設定した地盤モデルの概要
5. 各要因が基準地震動 S_s による地震応答解析結果へ与える影響(原子炉建屋)
6. まとめ

3.1 入力地震動評価に関する表層地盤の影響の検討

■検討目的および検討方法

- 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。
- 検討は、3.11地震のはぎとり波を用いたシミュレーション解析を実施し、はぎとり波を建屋モデルに直接入力(2E入力)したケースと、地盤調査結果に基づき設定した初期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建屋底面位置の地震動(E+F入力)を入力したケースの観測記録の再現性を確認した。
- 建屋シミュレーションモデルは、3.11地震等による建屋の初期剛性低下を考慮しており、建屋減衰は7%としている。



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	2号炉原子炉建屋	
地震動	3.11地震はぎとり波	
入力地震動	直接入力(2E入力)	建屋底面位置の地震動(E+F)を算定し入力 (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7%, 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初期地盤モデル (表層地盤:Vs=740m/s一層)

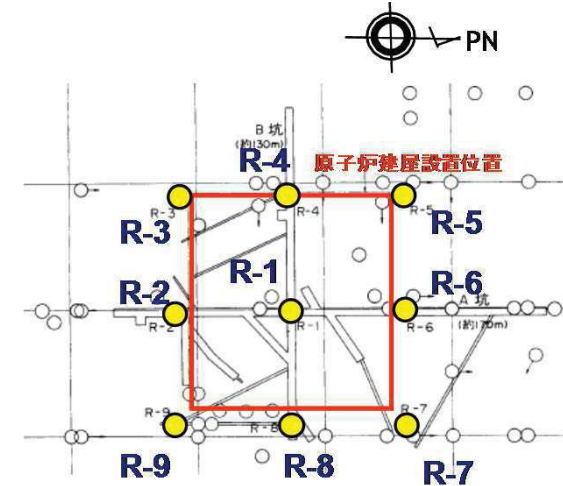
3. 地震観測記録を用いた表層地盤の影響検討

3.1 入力地震動評価に関する表層地盤の影響の検討

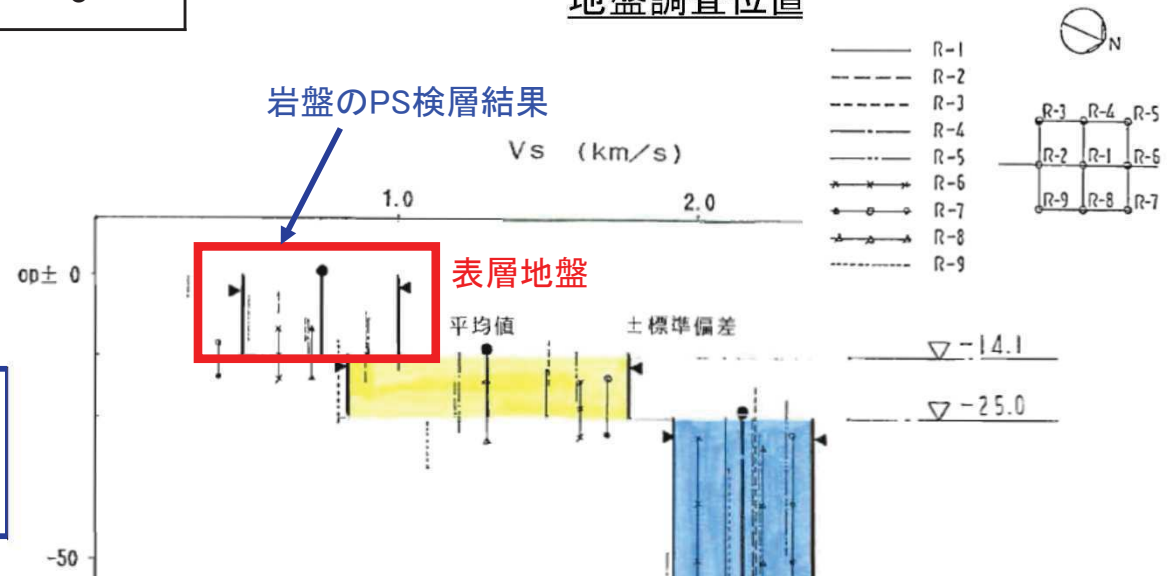
■地盤調査結果に基づき設定した初期地盤モデルの地盤物性値

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



地盤調査位置



岩盤のPS検層結果

Vs (km/s)

1.0

2.0

00±0

1.0

2.0

1.0

±標準偏差

1.0

±標準偏差

1.0

±標準偏差

1.0

±標準偏差

1.0

±標準偏差

1.0

±標準偏差

1.0

±標準偏差

1.0

±標準偏差

1.0

±標準偏差

▽ -14.1

▽ -25.0

▽ -14.1

▽ -25.0

▽ -14.1

▽ -25.0

▽ -14.1

▽ -25.0

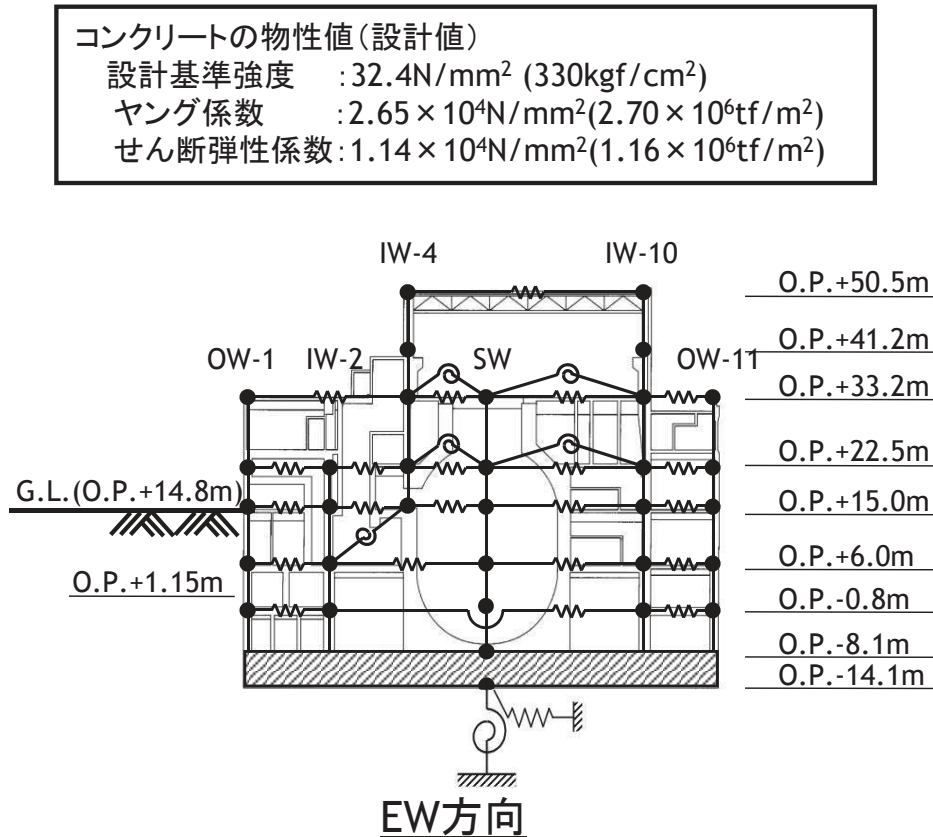
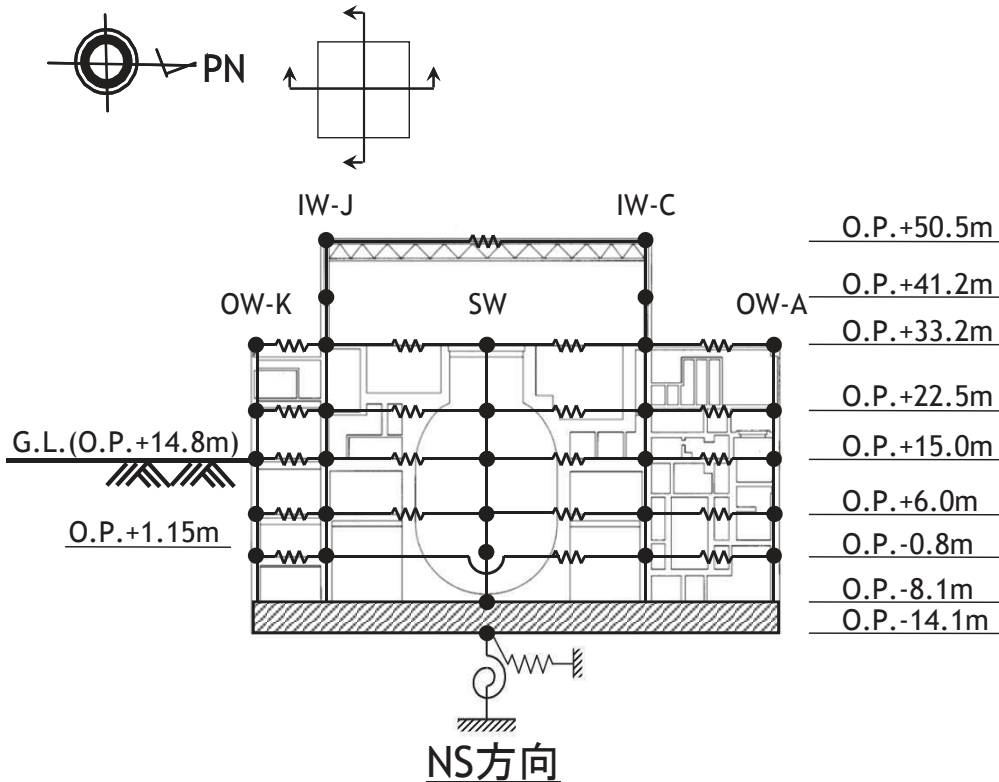
女川2号炉原子炉建屋位置のPS検層結果

➤ PS検層結果では、O.P.-14.1m～O.P.0m付近までの表層地盤のせん断波速度Vsはおよそ500～1000m/sに分布しており、平均は740m/sであった。

3. 地震観測記録を用いた表層地盤の影響検討

3.1 入力地震動評価に関する表層地盤の影響の検討

■建屋シミュレーション解析モデルの概要



コンクリートの物性値(設計値)
 設計基準強度 : 32.4N/mm² (330kgf/cm²)
 ヤング係数 : 2.65 × 10⁴N/mm² (2.70 × 10⁶tf/m²)
 せん断弾性係数 : 1.14 × 10⁴N/mm² (1.16 × 10⁶tf/m²)

号機 建屋	地震	方向	コンクリート壁剛性の設計値に対する補正係数 (観測記録と整合する等価な剛性)		減衰
			オペフロ階(3階)・クレーン階	地下3階～2階	
2号機 原子炉 建屋	3.11	NS	0.3	0.75	0.07
		EW	0.5	0.80	0.07
	4.7	NS	0.3	0.75	0.07
		EW	0.5	0.80	0.07

3. 地震観測記録を用いた表層地盤の影響検討

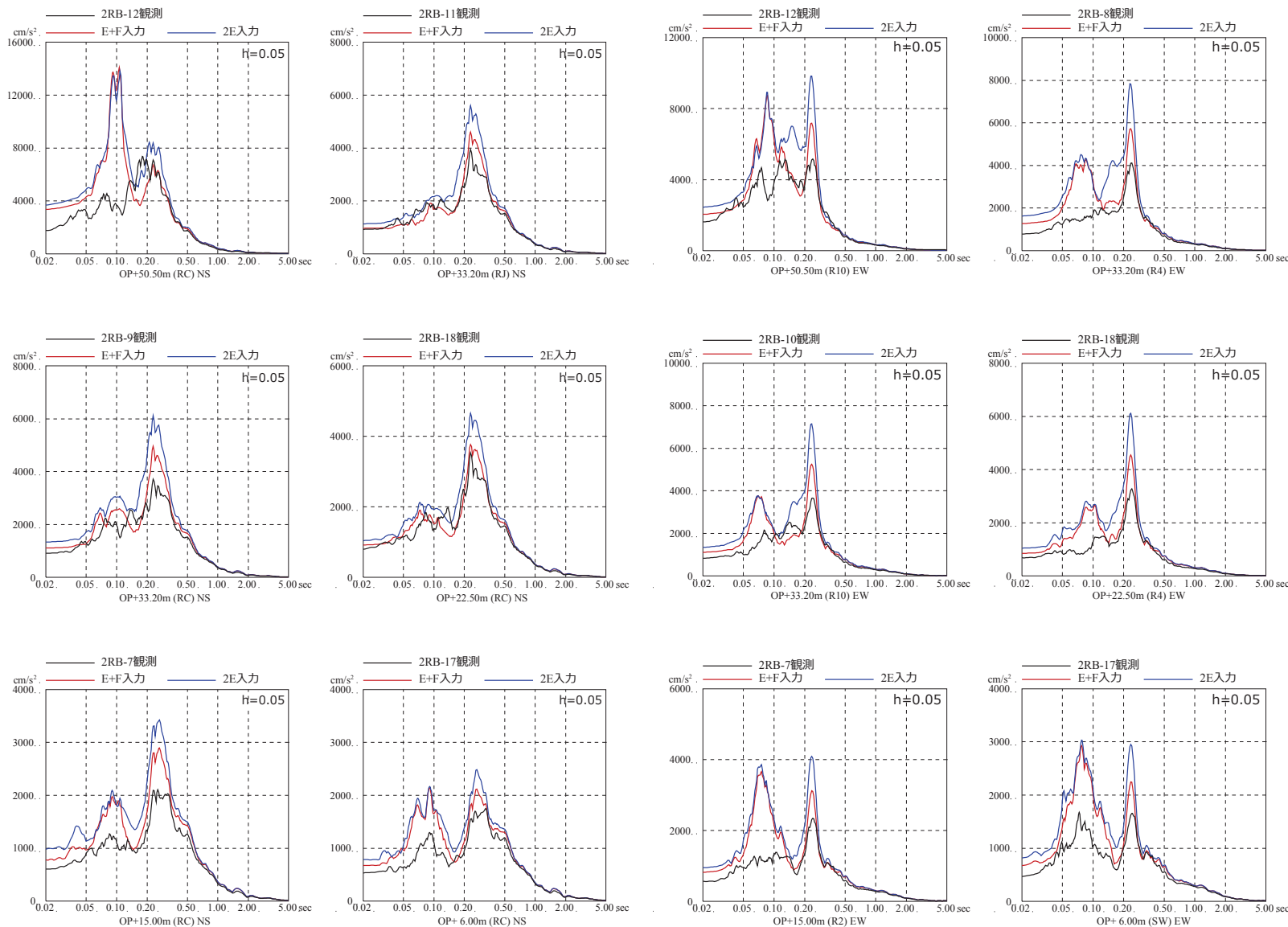
3.1 入力地震動評価に関する表層地盤の影響の検討

■解析結果の比較

➤ 各階の床応答スペクトルは、はぎとり波を直接入力(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。



➤ この結果から、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。



NS方向

EW方向

※地震計位置は別紙1参照。

3.11地震のはぎとり波を用いた2E入力とE+F入力による
シミュレーション解析結果の比較

1. 検討にあたっての基本的考え方

2. 既工認における周辺地盤による影響の反映状況

2.1 JEAG4601による周辺地盤の扱い

2.2 既工認における周辺地盤の扱い

3. 地震観測記録を用いた表層地盤の影響検討

3.1 入力地震動評価に関する表層地盤の影響の検討

3.2 自由地盤における表層地盤の非線形化の傾向について

3.3 埋込み効果(側面地盤ばね)に関する検討

4. 今回工認における周辺地盤による影響の解析モデルへの反映(原子炉建屋)

4.1 基準地震動Ssの地震応答解析に用いる地盤モデルの設定概要

4.2 観測記録を用いた地盤モデルの検証

4.3 設定した地盤モデルの概要

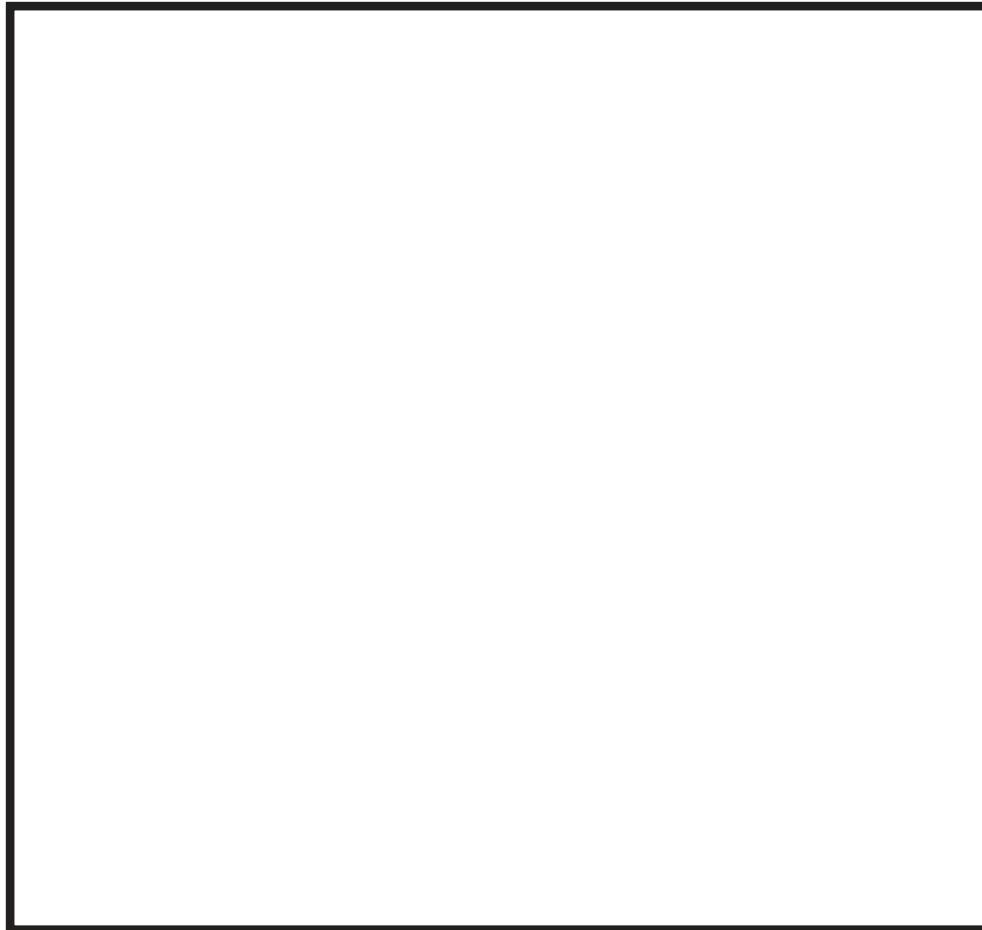
5. 各要因が基準地震動Ssによる地震応答解析結果へ与える影響(原子炉建屋)

6. まとめ

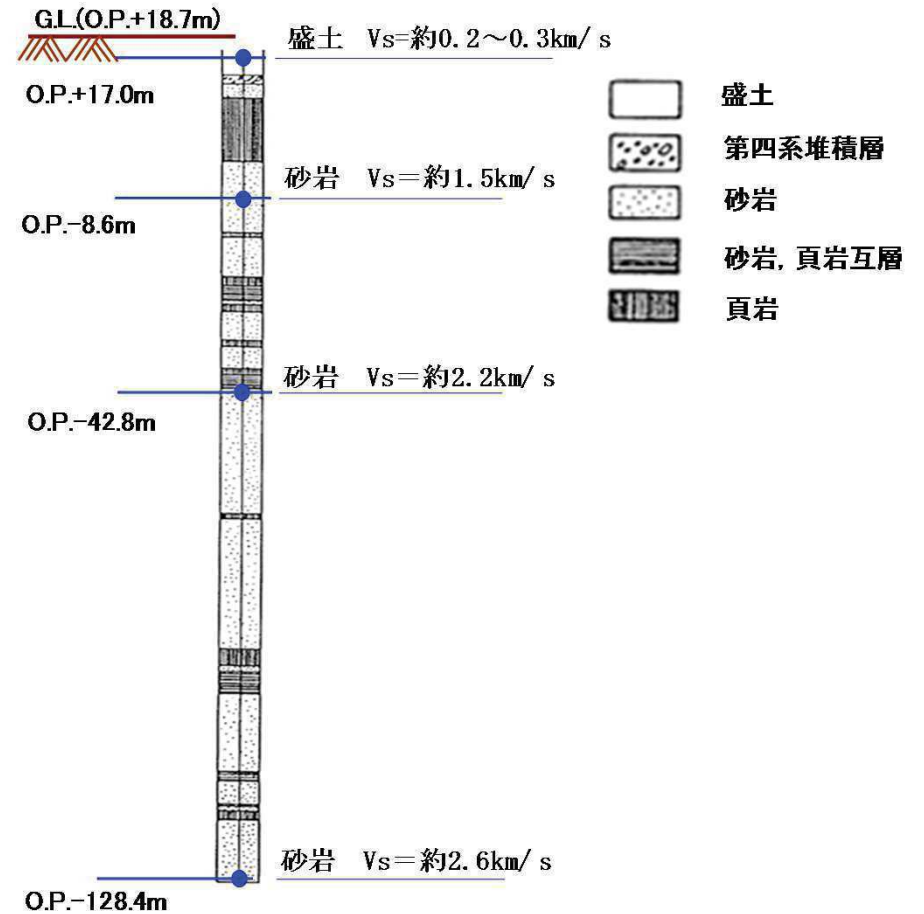
3.2 自由地盤における表層地盤の非線形化の傾向について

自由地盤観測点

➤ 女川原子力発電所の自由地盤観測点では岩盤中3か所，表層地盤1か所の計4か所に地震計を設置しており，はぎとり解析用地下構造モデルは，過去の中小地震の観測記録を用いてこれら4か所の記録の伝達関数から同定している。



自由地盤地震観測点配置平面図



自由地盤地震観測点配置断面図

本資料のうち，枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

3.2 自由地盤における表層地盤の非線形化の傾向について

■はぎとり地盤の最適化地盤モデルと3.11地震の伝達関数の比較

➤ 3.11地震では、岩盤上部と表層地盤の記録の伝達関数が長周期化しており、改めてはぎとり地盤モデルの再設定を行ったが、モデルは中小地震の記録を用いて設定した解析用地下構造モデルをベースに、**最表層の地盤物性値のみを最適化**することで表層も含めた観測記録の再現性が図られた。

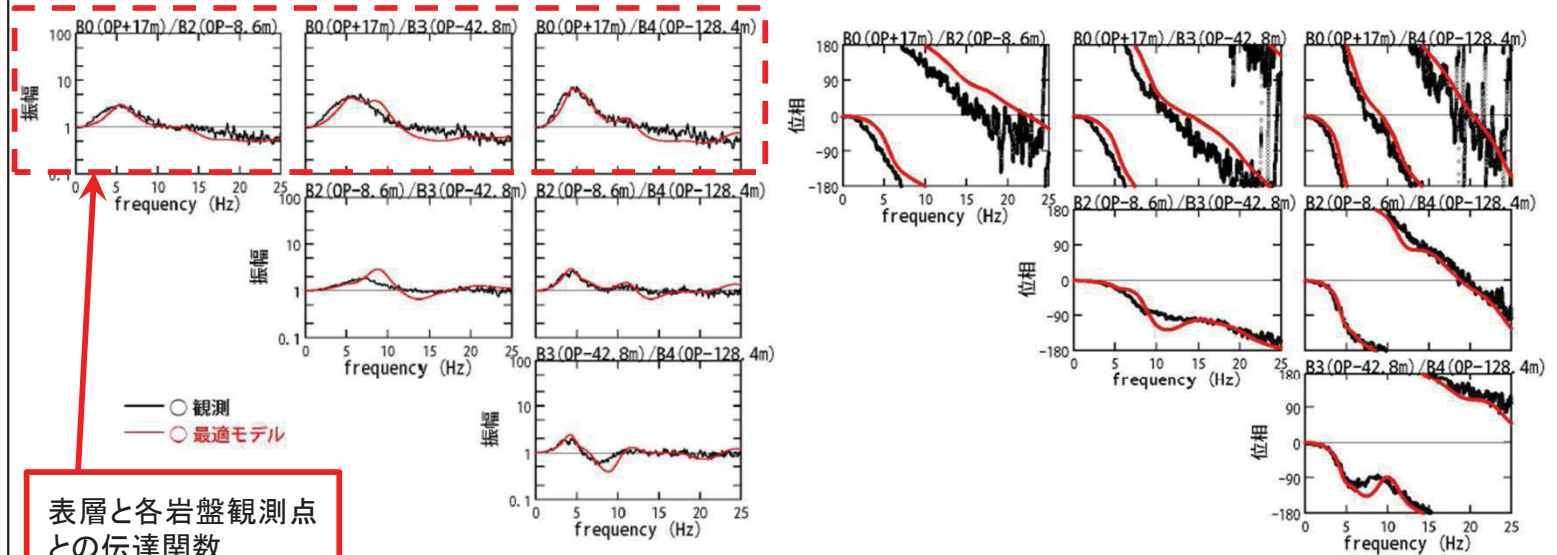


➤ このことから、**基盤と表層地盤の波動伝播特性**については表層地盤の非線形化を適切に評価することで評価可能と考えられる。

3.2 水平動のはぎとり解析用地下構造モデル(最適化地盤モデル) (5)

最適化地盤モデルの理論伝達関数と2011年3月11日東北地方太平洋沖地震の観測記録の伝達関数
地盤モデルの最適化の検討

最適化地盤モデルの地盤伝達関数と3.11地震の伝達関数との比較



水平方向

最適化地盤モデルの地盤伝達関数と3.11地震の地盤伝達関数との比較

※原子力安全・保安院 地震・津波6-4-2より抜粋



3.2 自由地盤における表層地盤の非線形化の傾向について

■はぎとり地盤モデルの地盤物性値

既往検討による大振幅時のはぎとり地盤モデル

深さ		層厚 (m)	密度 (t/m ³)	Vs (m/s)	減衰定数h(f)	
G.L. (m)	O.P. (m)				水平	
					h ₀	α
0	18.7	1.7	2.10	204	0.10	0.00
-1.7	17.0	3.3	2.10	204	0.10	0.00
-5.0	13.7	16.6	2.10	1001	0.51	0.19
-21.6	-2.9	5.7	2.55	1500	0.20	1.00
-27.3	-8.6	7.2	2.55	1500	0.20	1.00
-34.5	-15.8	27.0	2.66	2000	1.00	0.87
-61.5	-42.8	20.3	2.68	2200	0.77	1.00
-81.8	-63.1	65.3	2.68	2600	0.77	1.00
-147.1	-128.4					

解放基盤
表面相当

$$h(f) = h_0 f^{-\alpha}, 0 \leq h(f) \leq 0.3$$

3.11地震時のはぎとり地盤モデル

深さ		層厚 (m)	密度 (t/m ³)	Vs (m/s)	減衰定数h(f)	
G.L. (m)	O.P. (m)				水平	
					h ₀	α
0	18.7	1.7	2.10	112	0.44	0.38
-1.7	17.0	3.3	2.10	112	0.44	0.38
-5.0	13.7	16.6	2.10	1001	0.51	0.19
-21.6	-2.9	5.7	2.55	1500	0.20	1.00
-27.3	-8.6	7.2	2.55	1500	0.20	1.00
-34.5	-15.8	27.0	2.66	2000	1.00	0.87
-61.5	-42.8	20.3	2.68	2200	0.77	1.00
-81.8	-63.1	65.3	2.68	2600	0.77	1.00
-147.1	-128.4					

解放基盤
表面相当

$$h(f) = h_0 f^{-\alpha}, 0 \leq h(f) \leq 0.3$$

1. 検討にあたっての基本的考え方
2. 既工認における周辺地盤による影響の反映状況
 - 2.1 JEAG4601による周辺地盤の扱い
 - 2.2 既工認における周辺地盤の扱い
3. **地震観測記録を用いた表層地盤の影響検討**
 - 3.1 入力地震動評価に関する表層地盤の影響の検討
 - 3.2 自由地盤における表層地盤の非線形化の傾向について
 - 3.3 **埋込み効果(側面地盤ばね)に関する検討**
4. 今回工認における周辺地盤による影響の解析モデルへの反映(原子炉建屋)
 - 4.1 基準地震動Ssの地震応答解析に用いる地盤モデルの設定概要
 - 4.2 観測記録を用いた地盤モデルの検証
 - 4.3 設定した地盤モデルの概要
5. 各要因が基準地震動Ssによる地震応答解析結果へ与える影響(原子炉建屋)
6. まとめ

3. 地震観測記録を用いた表層地盤が建屋応答に与える影響の検討

3.3 埋込み効果(側面地盤ばね)に関する検討

■検討概要

- 2号炉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、2号炉原子炉建屋のように重量の大きい建屋については、特に埋め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。また、3.11地震時には、建屋のごく周辺の地盤において揺すり込みによる沈下等が確認されており、強震動時にはさらに側面地盤による埋込み効果は小さいと考えられる。
- 一方、支持岩盤と側方地盤のインピーダンス比が大きい場合は、側方地盤ばね(Novakばね)を用いた解析方法には課題があることが指摘されている。
- 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2号炉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、側方地盤ばね(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3号炉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、側方地盤ばね(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。

3. 地震観測記録を用いた表層地盤が建屋応答に与える影響の検討

3.3 埋込み効果(側面地盤ばね)に関する検討

■2号炉原子炉建屋を対象とした建屋シミュレーション解析

- 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(JEAG4601-1991〔追補版〕による方法)により算定する。
- 側面地盤ばねの理論解 $T(\omega)$ の算定に用いる地盤定数は、埋め戻し部分の形状を考慮し、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算定して建屋基礎下位置の地震動とし、建屋各部の応答を評価する。

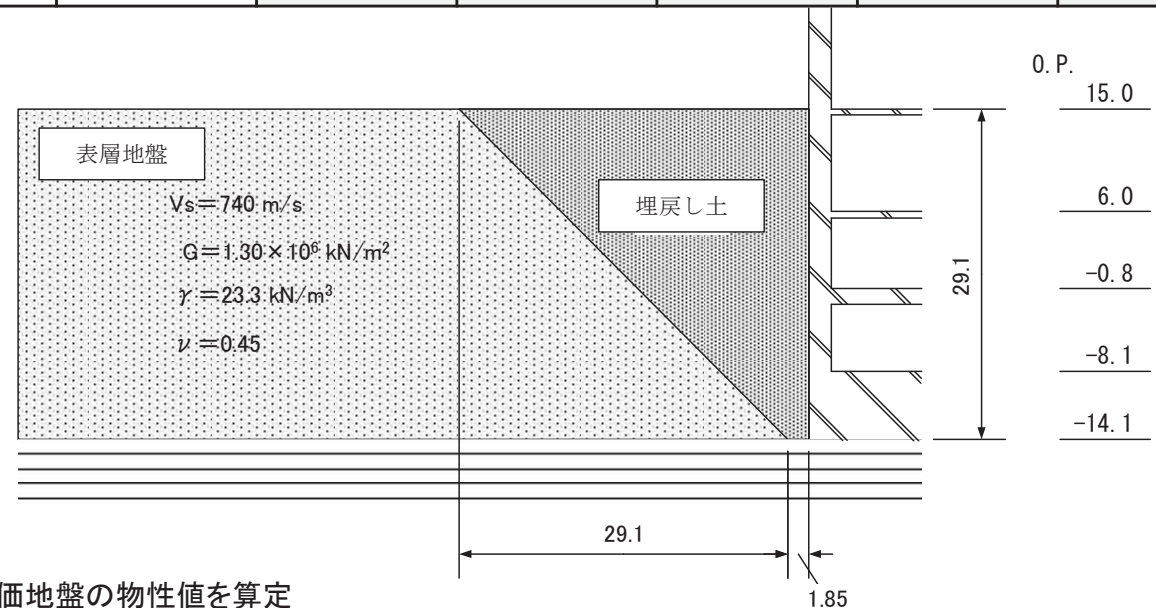
	側面地盤ばねを考慮するケース	側面地盤ばねを考慮しないケース
建屋	2号炉原子炉建屋	
地震動	3.11地震はぎとり波	
入力地震動	建屋底面位置および側面地盤ばね位置の地震動(E+F)を算定し入力	建屋底面位置の地震動(E+F)を算定し入力 (補正水平力考慮)
建屋モデル (建屋剛性, 建屋減衰)	3.11地震シミュレーションモデル (初期剛性低下考慮, 建屋減衰7%)	
建屋モデル (側面地盤ばね)	有り (側面地盤ばねの地盤定数は 等価地盤の値から算定)	無し
地盤モデル	地盤調査結果に基づき設定した初期地盤モデル (表層地盤:Vs740m/s一層)	

3. 地震観測記録を用いた表層地盤が建屋応答に与える影響の検討

3.3 埋込み効果(側面地盤ばね)に関する検討

■側面地盤ばねの設定に用いる埋戻し土およ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



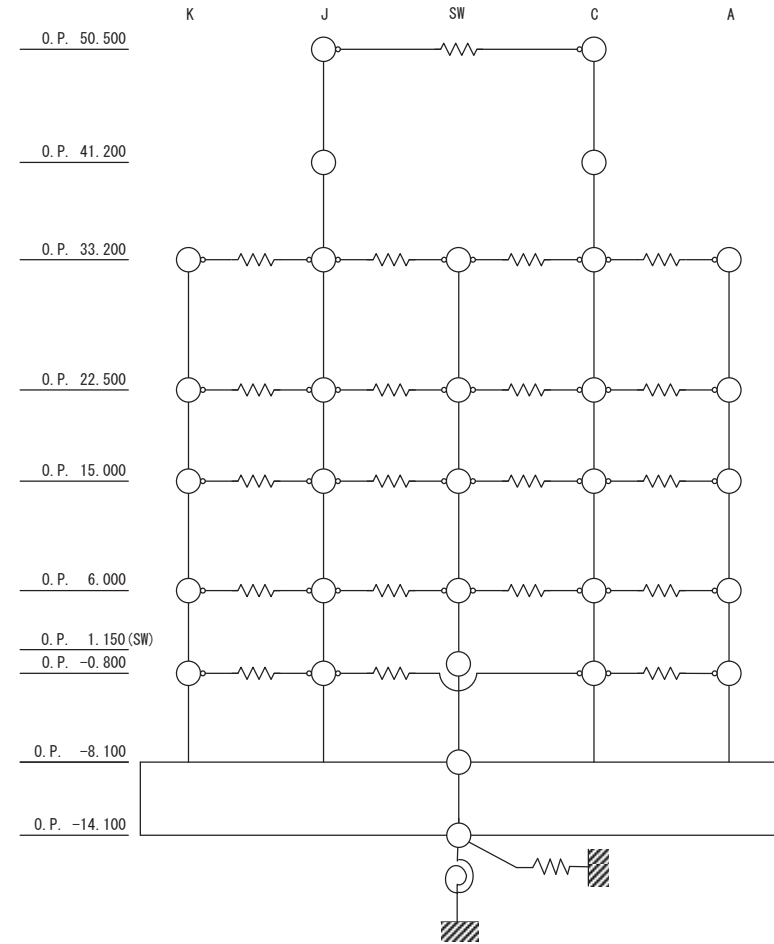
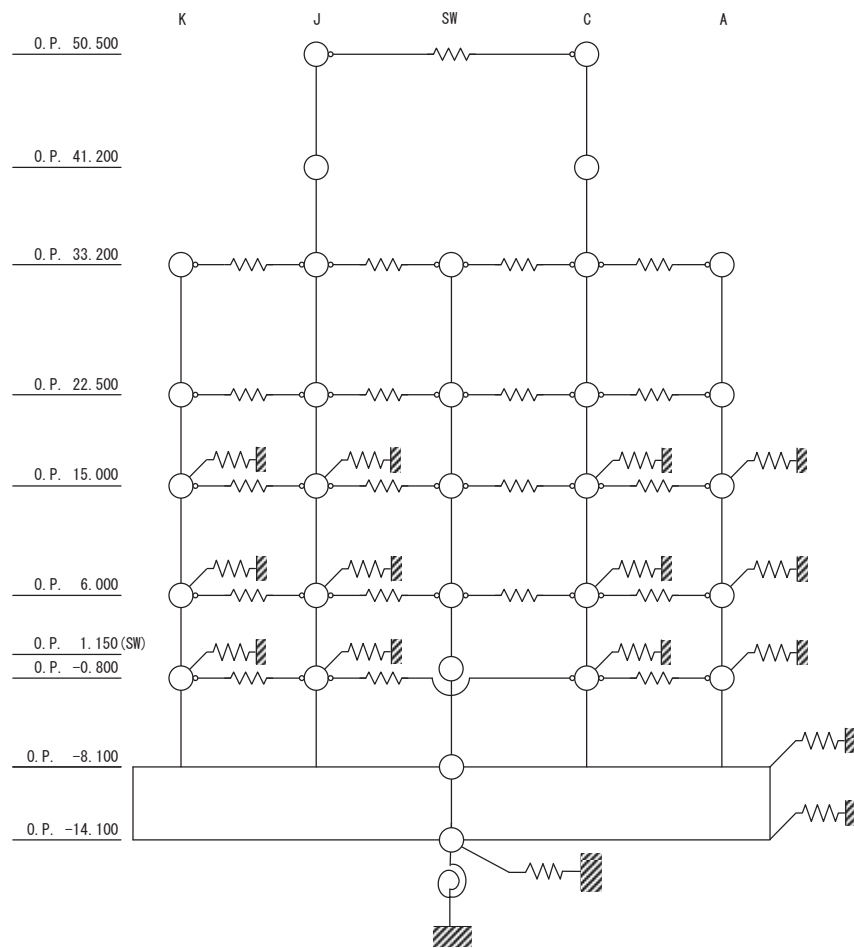
※表層地盤と埋戻し土の物性値より等価地盤の物性値を算定

埋戻し土の形状(単位:m)

3. 地震観測記録を用いた表層地盤が建屋応答に与える影響の検討

3.3 埋込み効果(側面地盤ばね)に関する検討

■地震応答解析モデルの概要

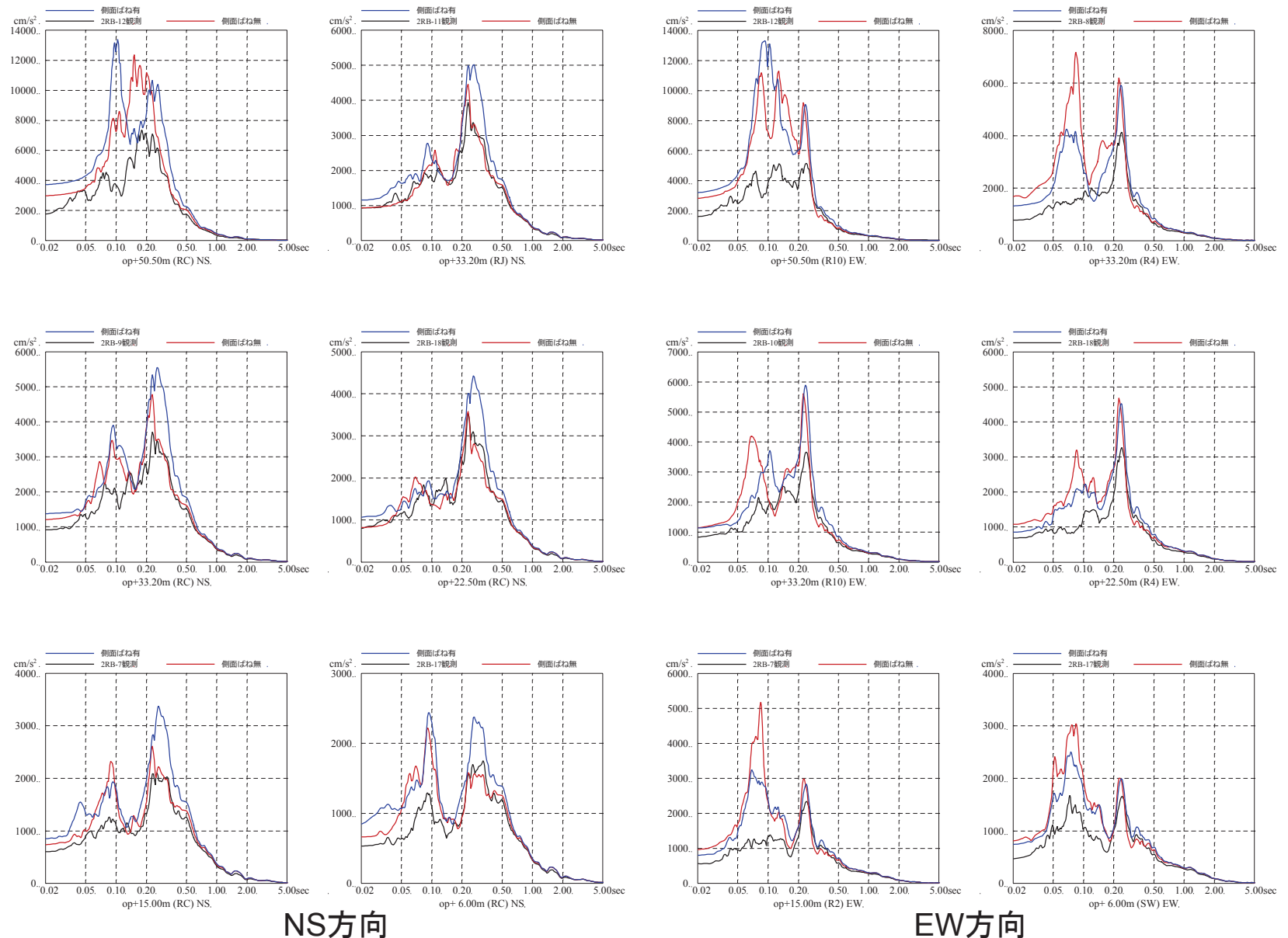


3. 地震観測記録を用いた表層地盤が建屋応答に与える影響の検討

3.3 埋込み効果(側面地盤ばね)に関する検討

■解析結果

➤ 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。



※地震計位置は別紙1参照。

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

3. 地震観測記録を用いた表層地盤が建屋応答に与える影響の検討

3.3 埋込み効果(側面地盤ばね)に関する検討

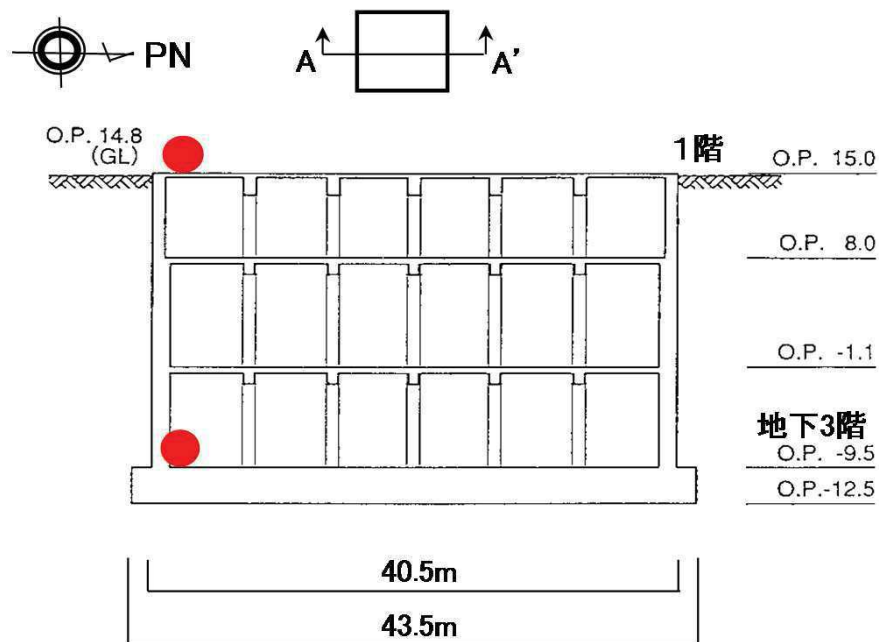
■3号炉海水熱交換器建屋を対象とした建屋シミュレーション解析

➤ 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3号炉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2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)

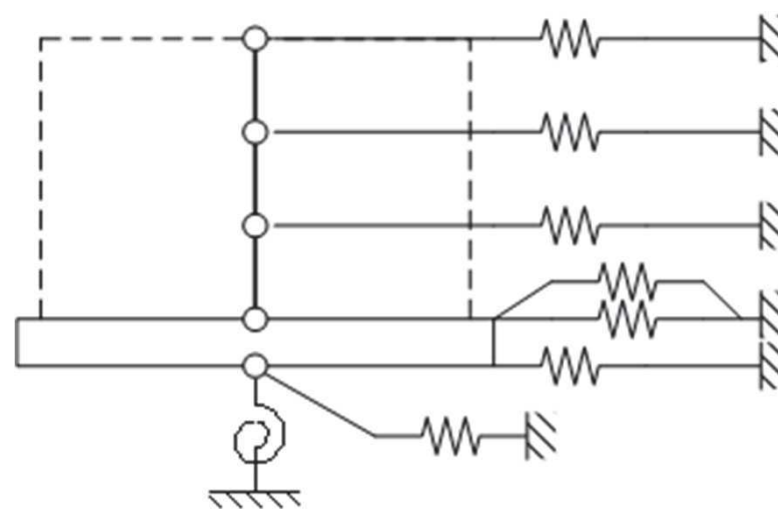
②建屋減衰を変動させたモデル(基礎版上観測記録入力)

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



● : 地震計位置

3号炉海水熱交換器建屋の概要



解析モデル(側面地盤ばね考慮)

3. 地震観測記録を用いた表層地盤が建屋応答に与える影響の検討

3.3 埋込み効果(側面地盤ばね)に関する検討

■解析条件

	側面地盤ばね(Novakばね)を考慮したケース	建屋減衰を変動させたケース
建屋	海水熱交換器建屋	
地震動	3.11地震はぎとり波	3.11地震の基礎版上観測記録
入力地震動	建屋底面位置および側面地盤ばね位置の地震動(E+F)を算定し入力(補正水平力考慮)	3.11地震の基礎版上観測記録から建屋底面位置の地震動を逆算
建屋モデル (建屋剛性, 建屋減衰)	既工認モデル	既工認モデルをベースとして建屋減衰を変動(建屋減衰20%)
建屋モデル (側面地盤ばね)	有り	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)	—

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 $\gamma(\text{kN/m}^3)$	せん断波速度 $V_s(\text{m/s})$	減衰定数 $h(\%)$
表層地盤	14.80	18.6	※1	3※2
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

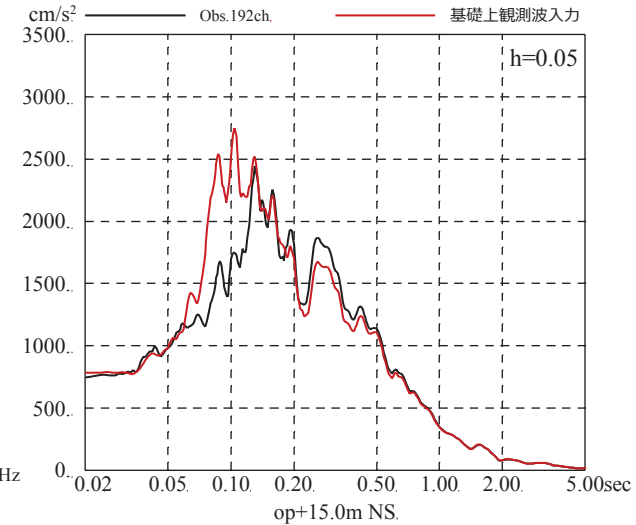
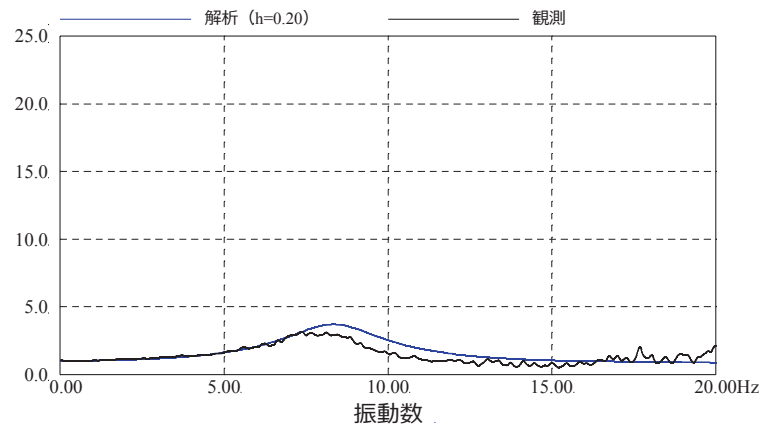
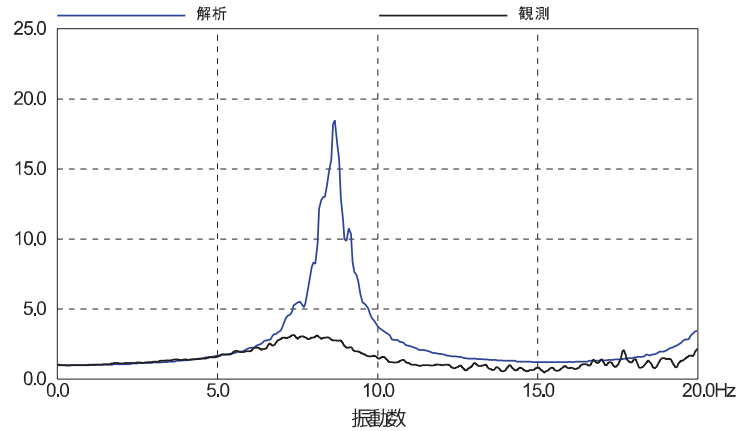
※1 O.P.14.8m~O.P.-12.5mは、上載圧依存を考慮してせん断波速度と相関のある初期剛性 G_0 を設定する。また、ひずみ依存による非線形特性を考慮する。

※2 Rayleigh減衰。また、ひずみ依存による非線形特性を考慮する。

3. 地震観測記録を用いた表層地盤が建屋応答に与える影響の検討

3.3 埋込み効果(側面地盤ばね)に関する検討

■解析結果



伝達関数

加速度応答スペクトル

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

伝達関数(1階/地下3階)

(3号炉海水熱交換器建屋, NS方向)

3.11地震の基礎版上観測記録を用いた建屋減衰を変

動(20%)させたシミュレーション解析結果の比較

(3号炉海水熱交換器建屋, NS方向)

- ①側面地盤ばね(Novakばね)考慮モデルによる解析結果は観測記録よりも過大な結果となった。
- ②建屋減衰を変動させたモデルによる検討では建屋減衰を20%に設定したモデルによる検討結果が観測記録と概ね整合する結果を与えた。このRC減衰20%は建屋全体の減衰効果をRC減衰で代替させた結果であるが、一般的なRC減衰は5%であることを考慮すると、埋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示している。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3号炉海水熱交換器建屋においては、側面地盤ばね(Novakばね)を考慮したモデルは過大な応答を与えること、一方、埋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。

3. 地震観測記録を用いた表層地盤が建屋応答に与える影響の検討

3.3 埋込み効果(側面地盤ばね)に関する検討

■検討結果のまとめ

- 2号炉原子炉建屋および3号炉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2号炉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3号炉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、側方地盤ばね(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。
 - ②3号炉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。
- JEAG4601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、埋め戻し土に掘削土等用いて施工した場合には、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は適用しないこととする。
- なお、海水熱交換器建屋については、Novakばねによる埋込み効果は実際の応答を現しにくい一方で、観測記録によるシミュレーション解析から埋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引き続き検討を行う。

1. 検討にあたっての基本的考え方

2. 既工認における周辺地盤による影響の反映状況

2.1 JEAG4601による周辺地盤の扱い

2.2 既工認における周辺地盤の扱い

3. 地震観測記録を用いた表層地盤の影響検討

3.1 入力地震動評価に関する表層地盤の影響の検討

3.2 自由地盤における表層地盤の非線形化の傾向について

3.3 埋込み効果(側面地盤ばね)に関する検討

4. 今回工認における周辺地盤による影響の解析モデルへの反映(原子炉建屋)

4.1 基準地震動Ssの地震応答解析に用いる地盤モデルの設定概要

4.2 観測記録を用いた地盤モデルの検証

4.3 設定した地盤モデルの概要

5. 各要因が基準地震動Ssによる地震応答解析結果へ与える影響(原子炉建屋)

6. まとめ

4.1 基準地震動Ssの地震応答解析に用いる地盤モデルの設定概要

(1)地盤モデル設定の流れ

➤ 3章での3.11地震における表層地盤が入力地震動に与える影響の検討結果から、表層地盤の非線形性を適切に考慮することで基盤と表層地盤の伝達特性を考慮した入力地震動の算定が可能と考えられる。

➤ ここでは、次頁に示す地盤モデル設定フローに従い地震動の振幅に応じた非線形特性を考慮した地盤モデルを設定する。

＜設定の基本的考え方＞

①地盤モデルの仮設定

- ・建設時の掘削状況や岩盤レベルの傾向も踏まえ2層地盤(表層地盤下部及び表層地盤上部)を設定
- ・パラメータスタディの初期値としての層境界位置や各地盤の物性値については、過去の調査結果等から設定

②仮設定した地盤モデルに対する観測記録を用いた検討(線形モデルでの検討)

- ・以下のパラメータスタディにより、表層地盤の層境界、表層地盤のVsについて検討する。
 - a.層境界のパラメータスタディ(O.P.-2m~+2m)
 - b.表層地盤下部のパラメータスタディ($V_s=800\sim 1000\text{m/s}$)
 - c.表層地盤上部のパラメータスタディ($V_s=300\sim 600\text{m/s}$)

③ベースモデルの決定

- ・O.P.+0mに層区分を持つ2層地盤を設定
- ・表層地盤下部の地盤物性を900m/sに設定
- ・上部地盤に非線形性を考慮

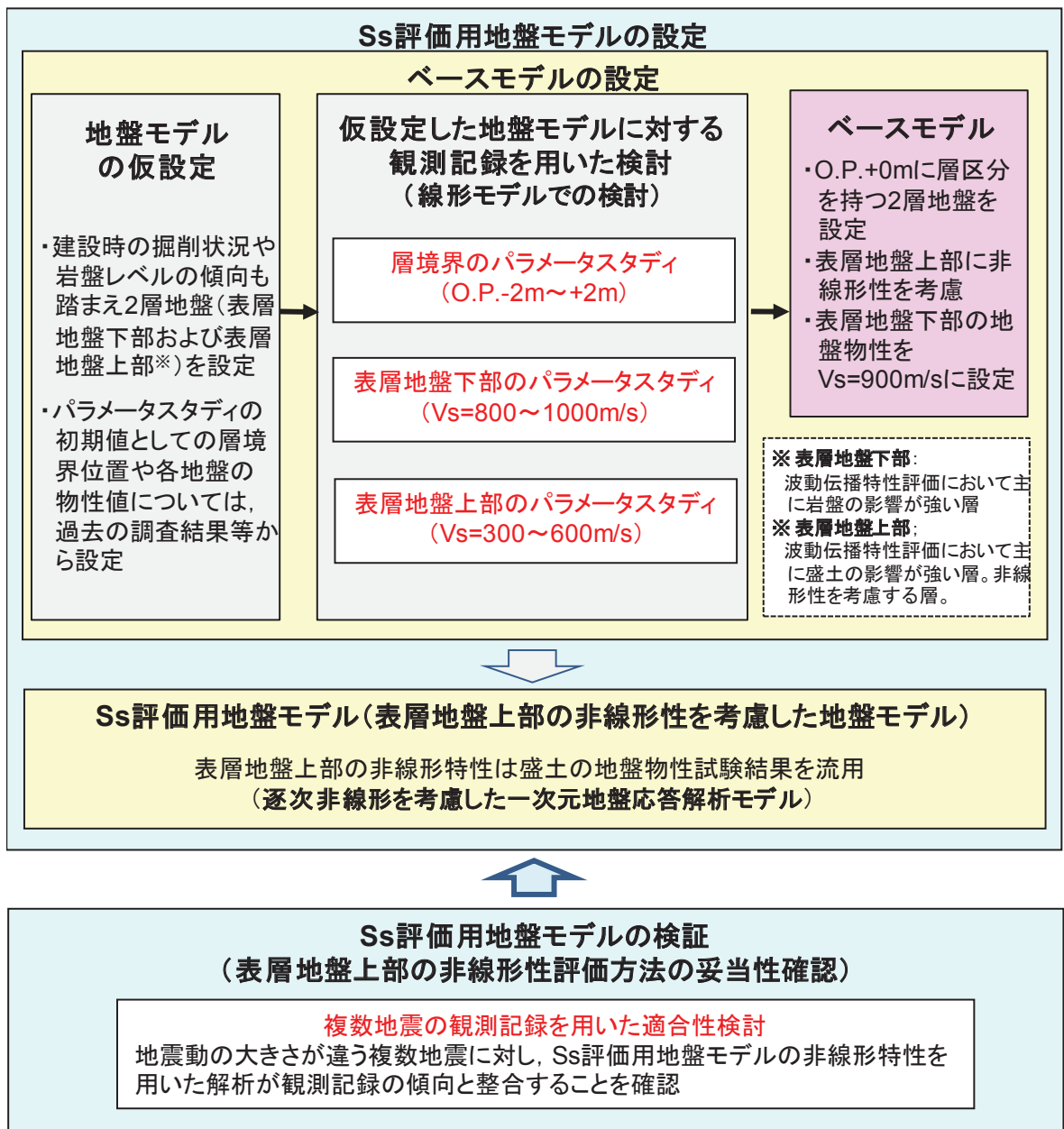
④Ss評価用地盤モデルの設定(表層地盤上部の非線形性を考慮した地盤モデル)

- ・2層の表層地盤の内、表層地盤上部については、非線形化の影響が大きいと考えられること、また、自由地盤のはざり解析においては表層部のみの非線形性を考慮することにより表層地盤で得られた観測記録の傾向が再現できたこと、パラメータスタディにより上層部のVsを変えることで適切な伝達特性を概ね評価できることから、非線形特性は地盤調査結果に基づき設定する。

➤ 以上の検討によって策定した非線形地盤モデルに対し、様々な地震動レベルの複数の地震観測記録を用いて適合性を検証する。

4.1 基準地震動Ssの地震応答解析に用いる地盤モデルの設定概要

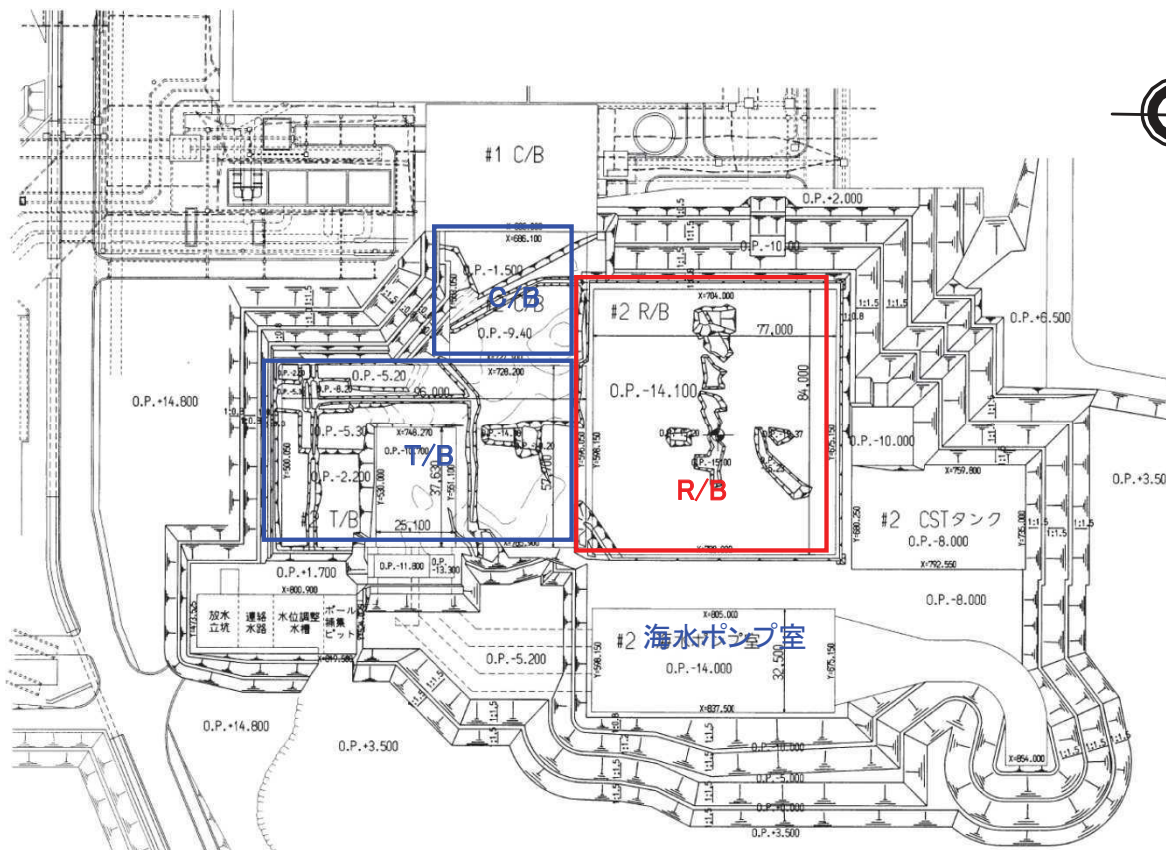
■ 基準地震動Ssの地震応答解析に用いる地盤モデル設定フロー



4.1 基準地震動Ssの地震応答解析に用いる地盤モデルの設定概要

(2)地盤モデルの仮設定 a. 表層地盤の層境界の仮設定

- 女川2号炉建設時の地盤の掘削状況に基づき、1次元地盤モデルの表層地盤上部と下部の境界面の深さを仮設定する。
- 女川2号炉原子炉建屋周辺の地盤の大部分はO.P.+0mまで表層地盤の掘削が行われており、竣工後は現在のG.L.面であるO.P.+14.8mまで埋め戻されている。
- 建設時の掘削状況としてO.P.+0m付近が岩盤と盛土の境界付近であること、建屋周辺ではO.P.+0mより浅部地盤では埋戻し土となることから女川2号炉原子炉建屋近傍の表層地盤上部と下部の境界面をO.P.+0mとして仮設定する。



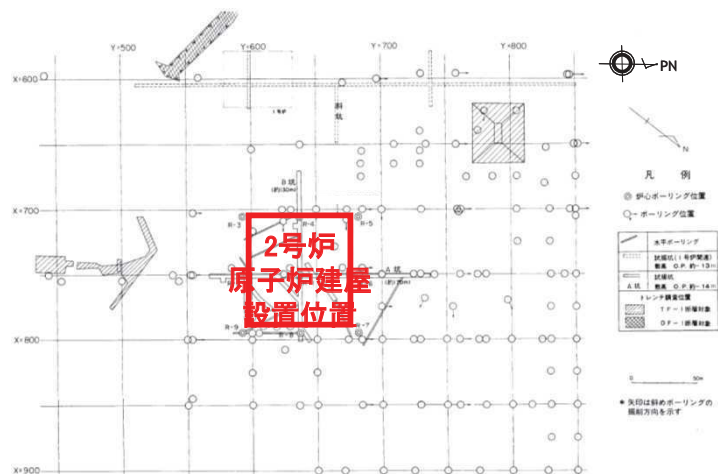
※表層地盤下部:
波動伝播特性評価において主に
岩盤の影響が強い層

※表層地盤上部:
波動伝播特性評価において主に
盛土の影響が強い層。非線形性を
考慮する層。

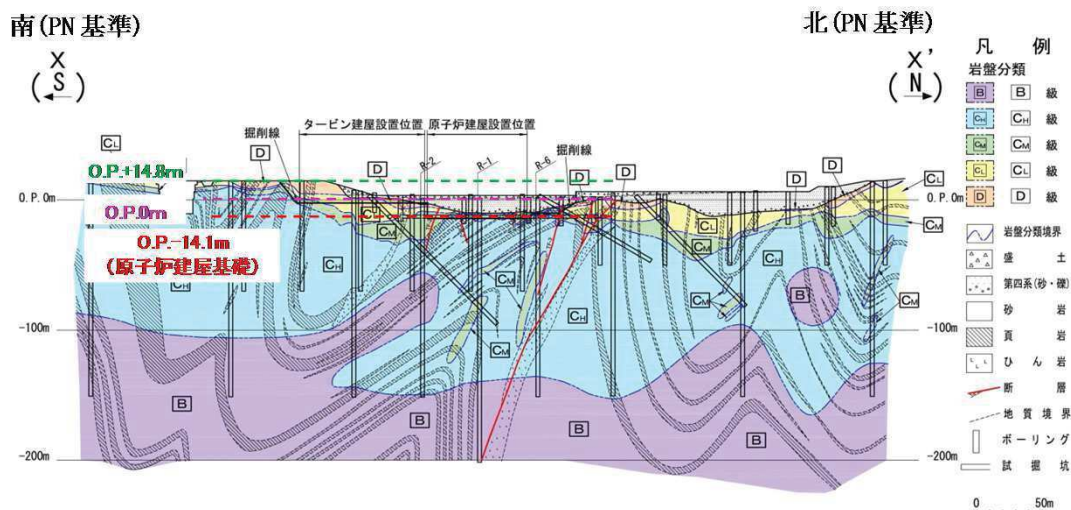
2号炉建設時の地盤の掘削状況(平面図)

4.1 基準地震動Ssの地震応答解析に用いる地盤モデルの設定概要

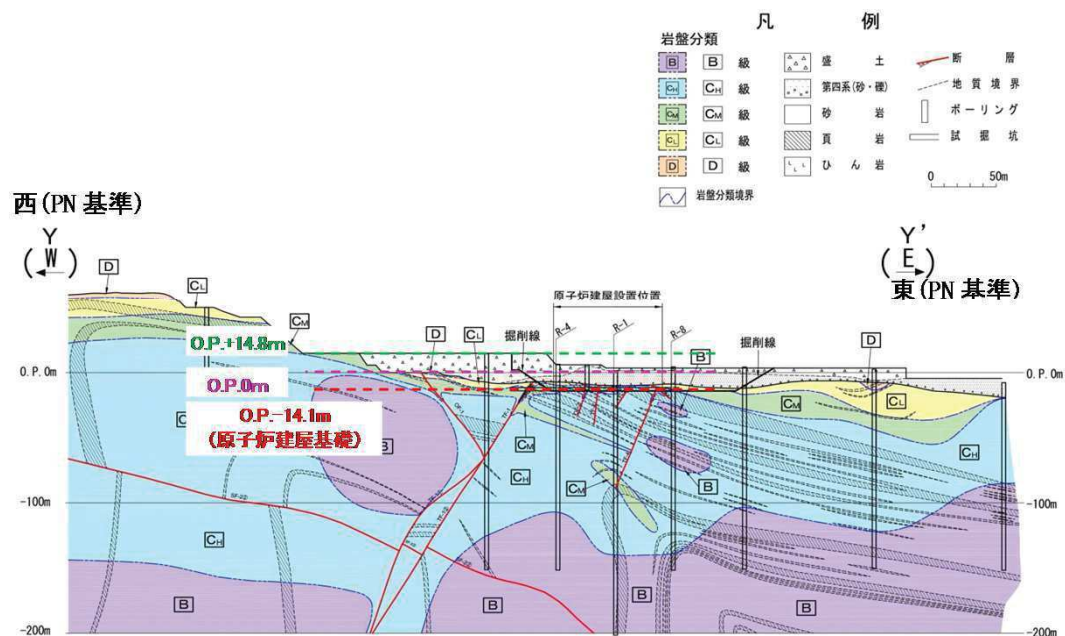
(2)地盤モデルの仮設定 a. 表層地盤の層境界の仮設定



2号炉建設時の地盤の掘削状況断面図の断面位置



2号炉建設時の地盤の掘削状況(南北断面)X-X'

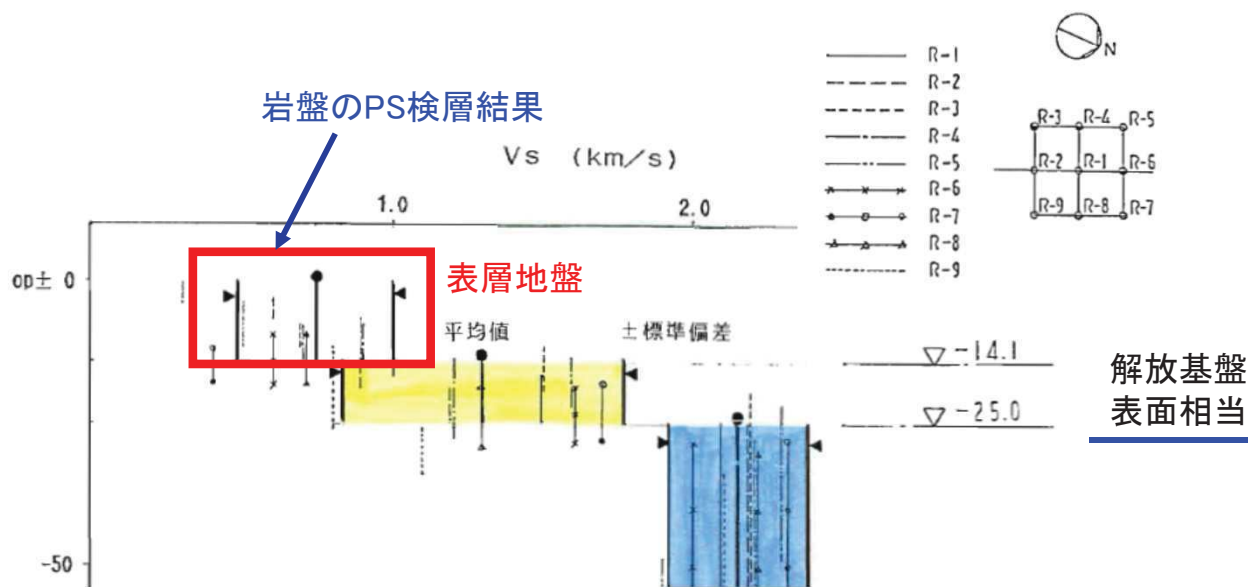


2号炉建設時の地盤の掘削状況(東西断面)Y-Y'

4.1 基準地震動Ssの地震応答解析に用いる地盤モデルの設定概要

(2)地盤モデルの仮設定 b. 表層地盤下部(O.P.0m~O.P.-14.1m)の地盤物性の仮設定

➤ PS検層結果では、O.P.0m~O.P.-14.1m付近までの表層地盤のせん断波速度Vsはおよそ500~1000m/sに分布していること、観測記録の分析、自由地盤のはぎとり地盤モデルでは1000m/s程度であったことから、せん断波速度Vsを900m/s程度に仮設定する。



女川2号炉原子炉建屋位置のPS検層結果

3.11地震時の最適化はぎとり地盤モデル

深さ		層厚 (m)	密度 (t/m ³)	Vs (m/s)	減衰定数h(f)	
G.L. (m)	O.P. (m)				水平	
					h ₀	α
0	18.7	1.7	2.10	112	0.44	0.38
-1.7	17.0	3.3	2.10	112	0.44	0.38
-5.0	13.7	16.6	2.10	1001	0.51	0.19
-21.6	-2.9	5.7	2.55	1500	0.20	1.00
-27.3	-8.6	7.2	2.55	1500	0.20	1.00
-34.5	-15.8	27.0	2.66	2000	1.00	0.87
-61.5	-42.8	20.3	2.68	2200	0.77	1.00
-81.8	-63.1	65.3	2.68	2600	0.77	1.00
-147.1	-128.4					

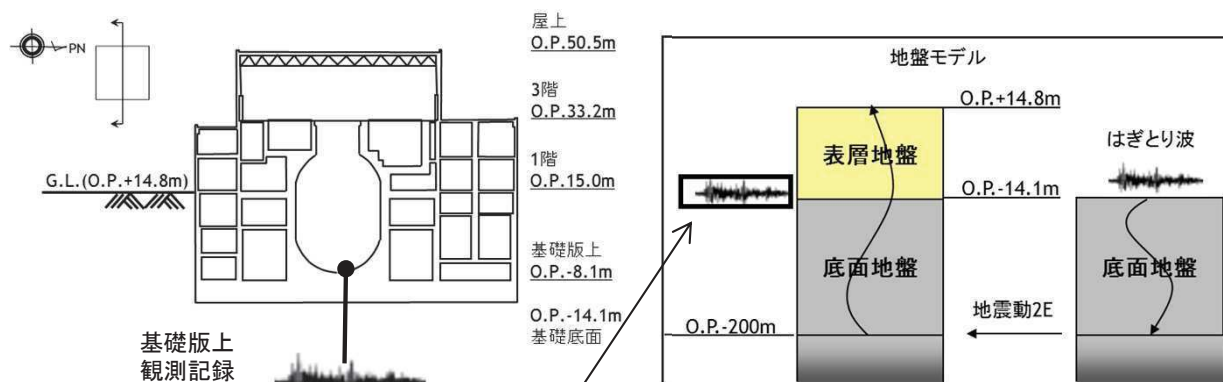
解放基盤
表面相当

$$h(f) = h_0 f^\alpha, 0 \leq h(f) \leq 0.3$$

4.1 基準地震動Ssの地震応答解析に用いる地盤モデルの設定概要

(3)仮設定した地盤モデルに関する観測記録を用いた検討 a. 表層地盤の層境界に関する検討

- 建設時の掘削状況から表層地盤の層境界をO.P.+0mに仮設定しているが、観測記録を用いたパラメータスタディを実施し、ベースとなる地盤モデルの層境界の最適値について検討する。
- 検討は、表層地盤下部のせん断波速度Vsを900m/s、表層地盤上部のせん断波速度Vsを350m/sとし、表層地盤の層境界をO.P.-2m ~ O.P.+2mの間で変動させる。
- 検討は、3.11地震等に対して、以下の伝達関数の比較として実施した。
 - ①自由地盤の観測記録から算定したはぎとり波と建屋基礎版上観測記録の伝達関数
 - ②はぎとり波と、地盤モデルにより算定した基礎版底面レベル(O.P.-14.1m)の地震動(E+F+P波、Pは切欠き力の時刻歴波形)の伝達関数
 比較に当たっては、表層地盤の1次周期に対応する4~6Hz付近の谷の適合性について確認した。また、参考に、算定した地震力による建屋応答解析を実施し、建屋内観測記録との比較を実施した。



はぎとり波に対する伝達関数の谷となる振動数を比較

表層地盤物性の検討方法の概念

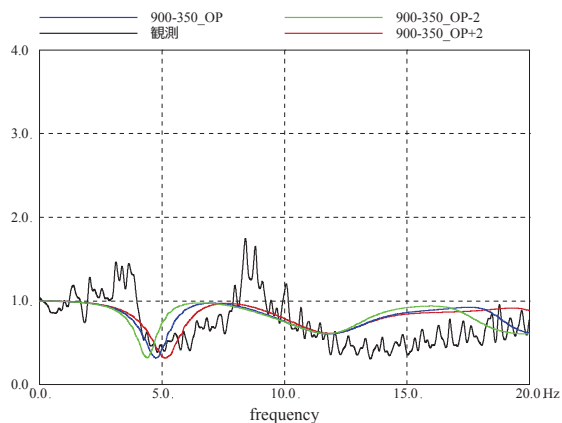
表層地盤の層境界に関する検討用に仮定した地盤モデル (赤字部分が仮定した値)

	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/s)	減衰定数 h(%)
表層地盤	14.8	23.3(2.38tf/m ³)	350	3
	2.0~-2.0	23.3(2.38tf/m ³)	900	3
底面地盤	-14.1	23.8(2.43tf/m ³)	1300	3
	-25.0	24.6(2.51tf/m ³)	2150	3
	-80.0	25.0(2.55tf/m ³)	2440	3
	-200 ~ ∞	25.0(2.55tf/m ³)	2440	3

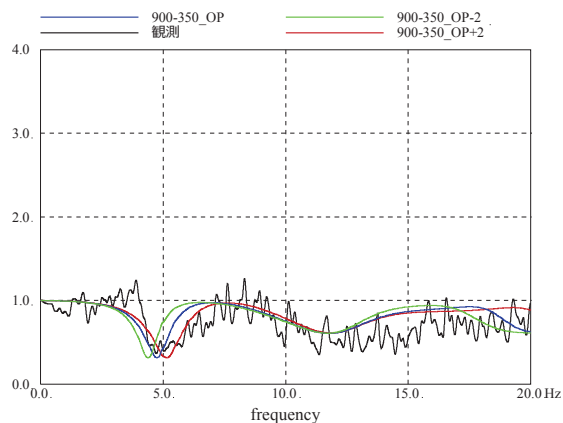
4.1 基準地震動Ssの地震応答解析に用いる地盤モデルの設定概要

(3)仮設定した地盤モデルに関する観測記録を用いた検討 a. 表層地盤の層境界に関する検討

- O.P.+2m～O.P.-2mの間で変動させた結果、表層地盤の層境界をO.P.+0mと設定した場合に観測記録との適合が良い。このことから、表層地盤の層境界をO.P.+0mに設定する。
- なお、床応答スペクトルの比較においては、著しい違いは認められない。

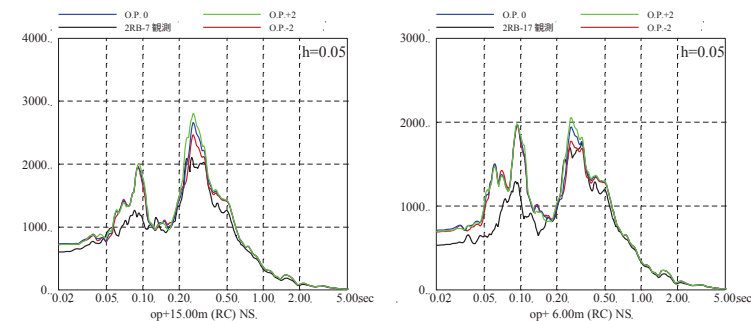
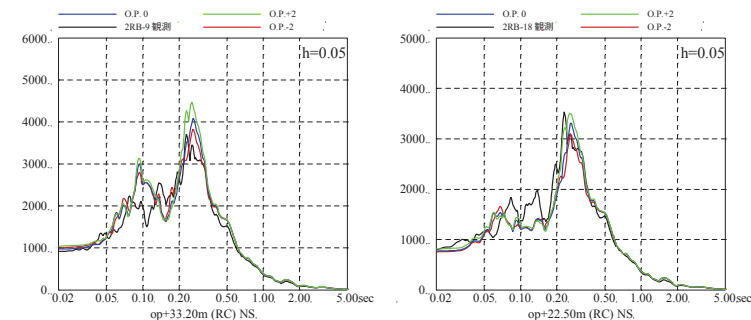
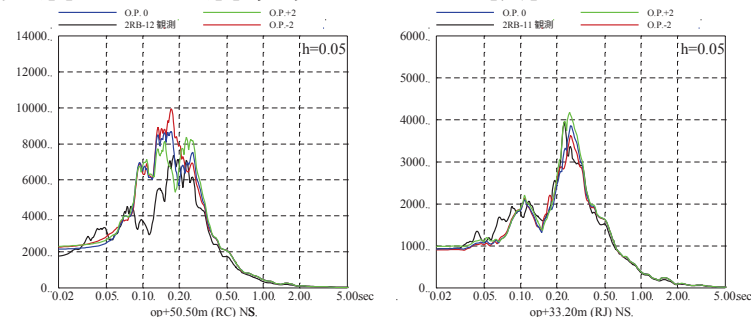


NS方向



EW方向

表層地盤の層境界に関する検討結果(伝達関数の比較)
(2011/3/11 東北地方太平洋沖地震)



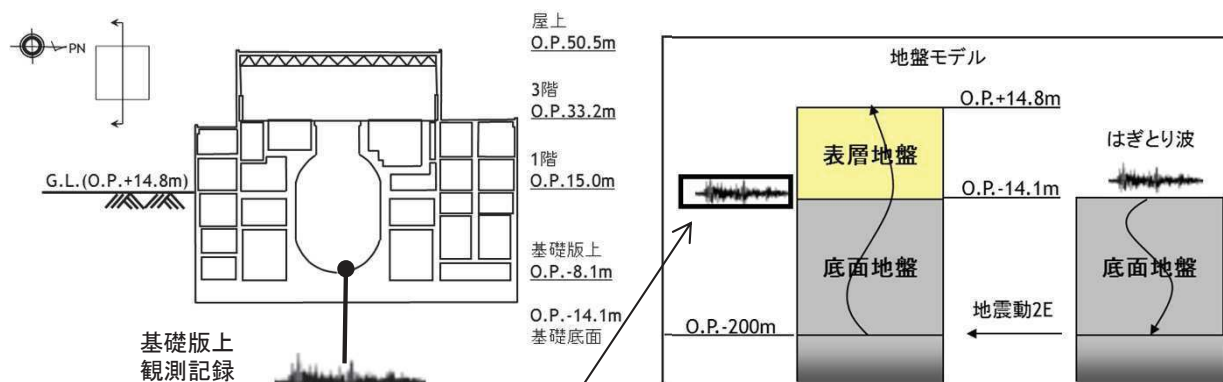
表層地盤の層境界に関する検討結果(床応答スペクトルの比較)
(2011/3/11 東北地方太平洋沖地震)

4.1 基準地震動Ssの地震応答解析に用いる地盤モデルの設定概要

(3)仮設定した地盤モデルに関する観測記録を用いた検討 b. 表層地盤下部の地盤物性の検討

- 自由地盤のはぎとり地盤モデルの傾向とPS検層結果から表層地盤下部(O.P.+0m ~ O.P.-14.1m)のせん断波速度Vs は 900 m/sに仮設定しているが、観測記録を用いたパラメータスタディを実施し、ベースとなる地盤モデルの表層地盤下部のせん断波速度の最適値について検討する。
- 検討は、表層地盤の層境界をO.P.+0m, 表層地盤上部のせん断波速度Vsを350m/sとし、表層地盤下部のせん断波速度Vsを800~1000m/sの間で変動させる。
- 検討は「a. 表層地盤の層境界に関する検討」と同じである(3.11地震等に対し“自由地盤の観測記録から算定したはぎとり波と建屋基礎版上観測記録の伝達関数”と“はぎとり波と、地盤モデルにより算定した基礎版底面レベル(O.P.-14.1m)の地震動(E+F+P波, Pは切欠き力の時刻歴波形)の伝達関数”の比較を実施)

表層地盤下部の地盤物性の検討用に仮定した地盤モデル (赤文字部分が仮定した値)



はぎとり波に対する伝達関数の谷となる振動数を比較

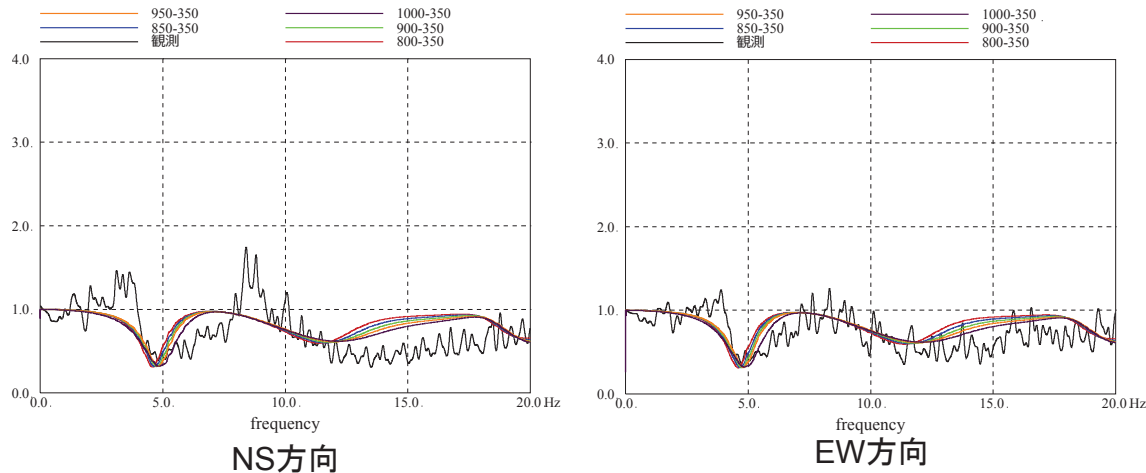
表層地盤物性の検討方法の概念

	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/s)	減衰定数 h(%)
表層地盤	14.8	23.3(2.38tf/m ³)	350	3
	0.0	23.3(2.38tf/m ³)	800~1000	3
底面地盤	-14.1	23.8(2.43tf/m ³)	1300	3
	-25.0	24.6(2.51tf/m ³)	2150	3
	-80.0	25.0(2.55tf/m ³)	2440	3
	-200 ~ ∞	25.0(2.55tf/m ³)	2440	3

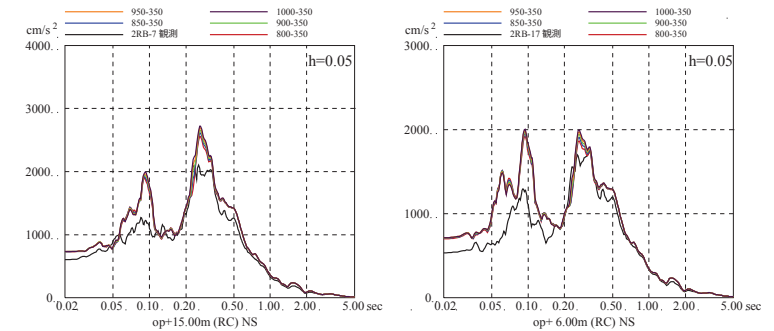
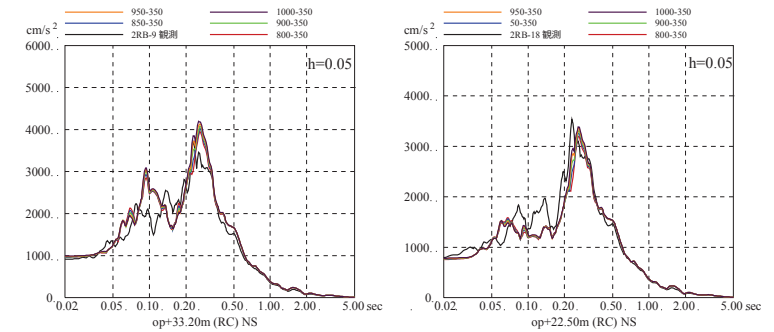
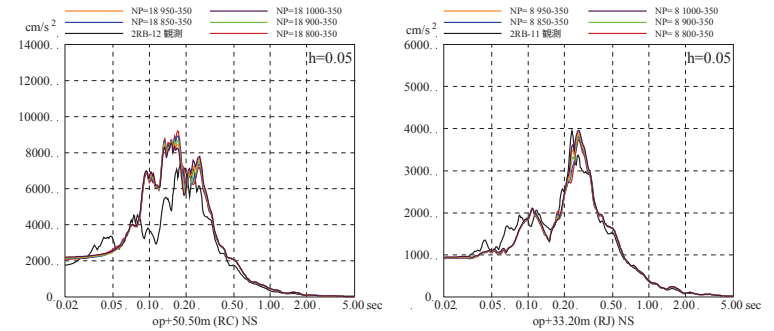
4.1 基準地震動Ssの地震応答解析に用いる地盤モデルの設定概要

(3)仮設定した地盤モデルに関する観測記録を用いた検討 b. 表層地盤下部の地盤物性の検討

- 検討結果から、表層地盤下部のせん断波速度Vsを900m/s程度に設定した場合に観測記録との適合が良い。このことから、表層地盤下部のせん断波速度Vsを900m/sに設定する。
- なお、床応答スペクトルの比較においては、著しい違いは認められない。



表層地盤下部の地盤物性の検討結果(伝達関数の比較)
(2011/3/11 東北地方太平洋沖地震)

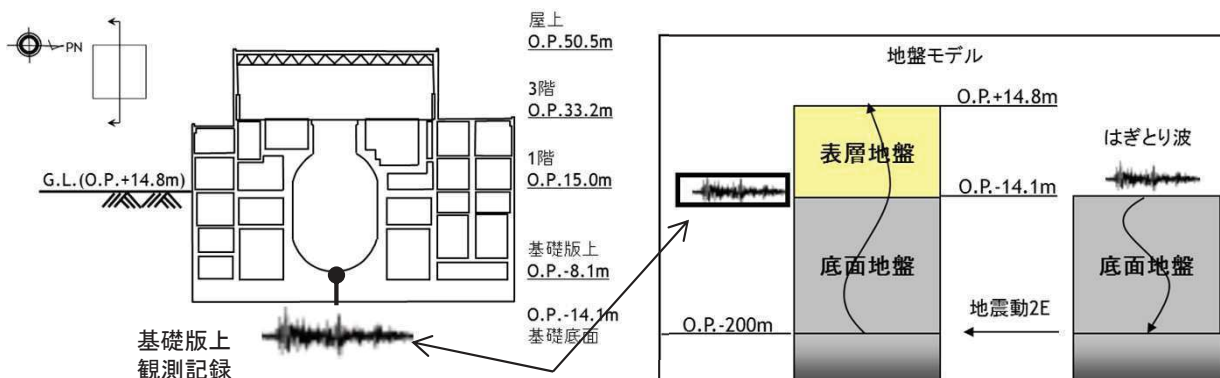


表層地盤下部の地盤物性の検討結果(床応答スペクトルの比較)
(2011/3/11 東北地方太平洋沖地震)

4.1 基準地震動Ssの地震応答解析に用いる地盤モデルの設定概要

(3)仮設定した地盤モデルに関する観測記録を用いた検討 c. 表層地盤上部の地盤物性の検討 (非線形化による影響検討)

- 自由地盤のはぎとり地盤モデルの検討では、最上層の物性値を同定することで、小振幅から大振幅までの観測記録を再現できており、大地震ではせん断波速度は低下している。同様の表層地盤上部の非線形性が認められるかどうかについて、2号炉原子炉建屋の観測記録の分析からも確認する。
- 検討は、表層地盤の層境界をO.P.+0m、表層地盤下部のせん断波速度Vsを900m/sとし、**表層地盤上部のせん断波速度Vsを300~600m/sの間で変動させる。**
- 検討は「a. 表層地盤の層境界に関する検討」と同じである(3.11地震等に対し“自由地盤の観測記録から算定したはぎとり波と建屋基礎版上観測記録の伝達関数”と“はぎとり波と、地盤モデルにより算定した基礎版底面レベル(O.P.-14.1m)の地震動(E+F+P波, Pは切欠き力の時刻歴波形)の伝達関数”の比較を実施)



はぎとり波に対する伝達関数の谷となる振動数を比較

表層地盤物性の検討方法の概念

表層地盤上部の地盤物性の検討に検討に用いた地震諸元

地震	M	震源地	自由地盤(地中記録)最大加速度 (cm/s ²)		
			NS方向(PN基準)	EW方向(PN基準)	
1	2005/8/16 11:46	7.2	宮城県東方沖	233	221
2	2011/3/9 11:45	7.3	宮城県東方はるか沖	30	12
3	2011/3/11 14:46	9.0	宮城県東方はるか沖	467	421
4	2011/4/7 23:32	7.2	宮城県東方沖	321	396

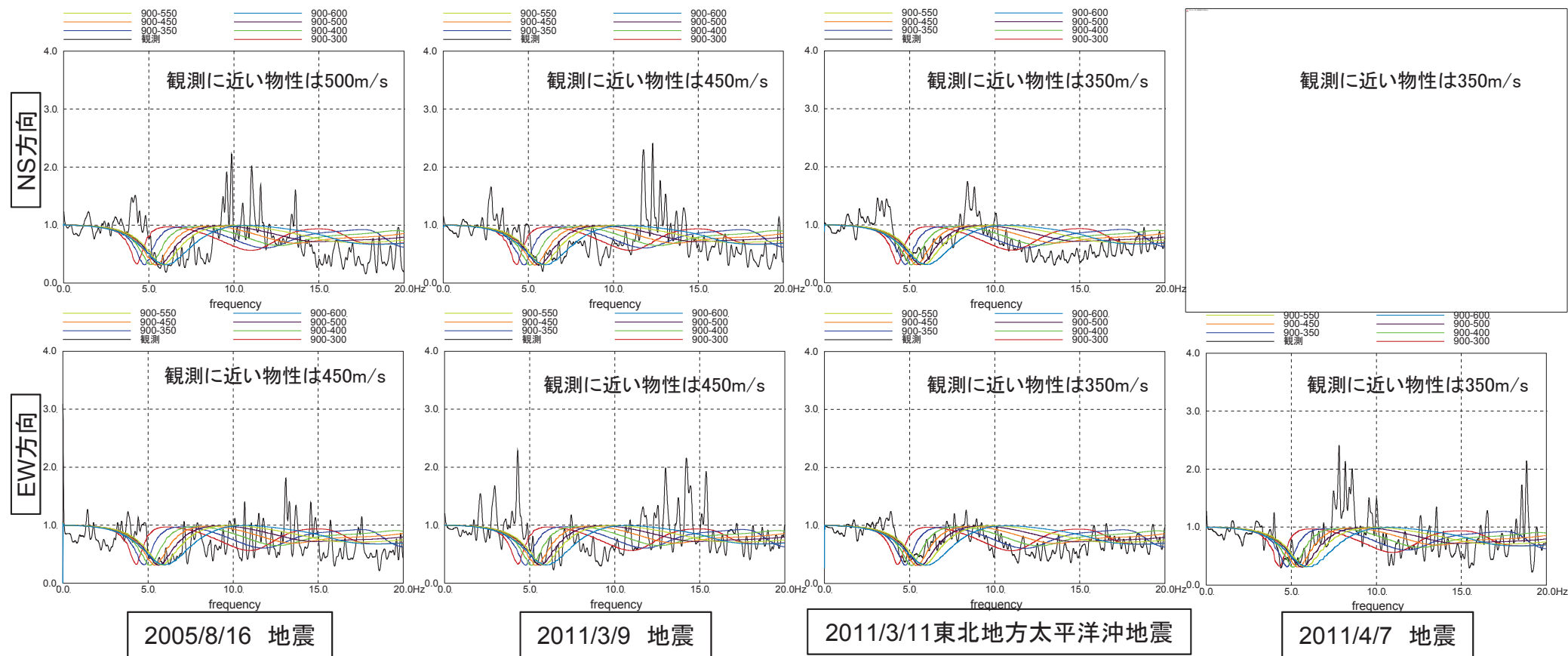
表層地盤上部の地盤物性の検討用に仮定した地盤モデル (赤文字部分が仮定した値)

	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/s)	減衰定数 h(%)
表層地盤	14.80	23.3(2.38tf/m ³)	300~600	3
	0.00	23.3(2.38tf/m ³)	900	3
底面地盤	-14.10	23.8(2.43tf/m ³)	1300	3
	-25.00	24.6(2.51tf/m ³)	2150	3
	-80.00	25.0(2.55tf/m ³)	2440	3
	-200.0	25.0(2.55tf/m ³)	2440	3

4.1 基準地震動Ssの地震応答解析に用いる地盤モデルの設定概要

(3)仮設定した地盤モデルに関する観測記録を用いた検討 c. 表層地盤上部の地盤物性の検討(非線形化による影響検討)

- 伝達関数の比較の結果, 2005/8/16の宮城県沖の地震と2011/3/9の地震では, 表層地盤上部のせん断波速度Vsが450m/s~500m/sの場合に観測記録に対応するが, 3.11地震と4.7地震では, 350m/sの場合が観測記録と良い対応を示している。
- 地震動の振幅レベルにより表層地盤上部の最適となるせん断波速度がことなることから, 表層地盤上部では非線形化の影響が認められる。このことから, 表層地盤上部には入力的大小に応じた非線形性を考慮する必要があることが確認された。

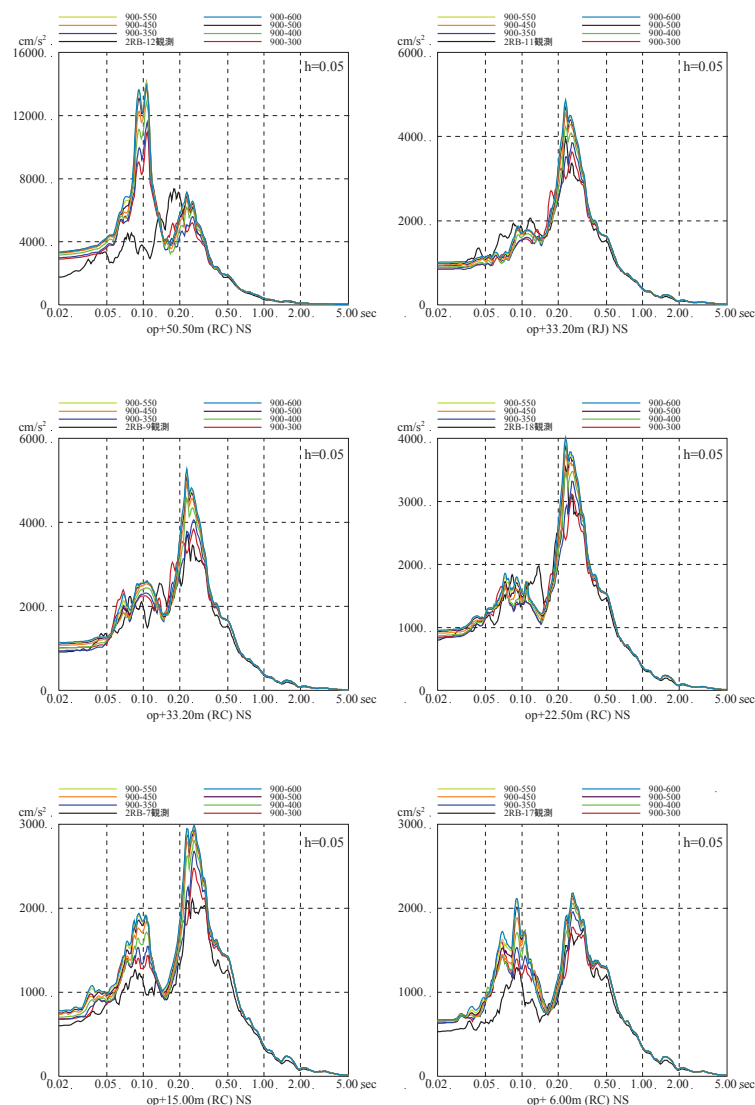


表層地盤上部の地盤物性の検討結果(はぎとり波に対する基礎版上観測記録の伝達関数とはぎとり波に対する入力変換波(E+F+P)の伝達関数の比較)

4.1 基準地震動Ssの地震応答解析に用いる地盤モデルの設定概要

(3)仮設定した地盤モデルに関する観測記録を用いた検討 C. 表層地盤上部の地盤物性の検討(非線形化による影響検討)

➤ 床応答スペクトルの比較においては、先の検討(層境界位置に関するパラメータスタディ, 表層地盤下部のせん断波速度に関するパラメータスタディ)に比べ、その違いが大きい傾向にある。従って、表層地盤上部の非線形性評価は重要である。



表層地盤上部の地盤物性の検討結果(はざとり波入力シミュレーション解析の床応答スペクトルの比較)
(2011/3/11 東北地方太平洋沖地震, NS方向, 減衰5%)

4.1 基準地震動Ssの地震応答解析に用いる地盤モデルの設定概要

(3)仮設定した地盤モデルに関する観測記録を用いた検討 d. ベースとなる地盤モデルの設定

➤ これまでの仮地盤モデルの検討結果から以下のことが確認されたことから、基準地震動Ssの評価にあたりベースとする女川2号炉原子炉建屋の地盤モデルは下表に示す地盤モデルとする。

- ①表層地盤は2層地盤とし、層境界をO.P.+0mに設定すると観測記録との適合が良いこと。
- ②表層地盤の内、下部については、せん断は速度Vsを900m/sに設定すると観測記録との適合が良いこと。
- ③表層地盤の内、上部については、地震動レベルにより最適となるせん断波速度が異なることから非線形性を考慮する必要があること。

女川2号炉原子炉建屋 ベースとなる地盤モデル

	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/s)	減衰定数 h(%)
表層地盤	14.80	地震動レベルに応じた非線形性を考慮した地盤物性とする		
	0.00	23.3	900	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

4.1 基準地震動Ssの地震応答解析に用いる地盤モデルの設定概要

(4)表層地盤の非線形化を考慮した基準地震動Ss評価用地盤モデルの設定

- 前項までの検討において、表層地盤上部(O.P.14.8m～O.P.0m)については、地震動レベルに応じた非線形特性を考慮する必要があることが確認された。
- 表層地盤上部の地盤物性値は、波動伝播特性評価において主に盛土の影響が強い層であることから盛土の物性値を流用することとして、非線形特性を設定する。
- 盛土の物性値は、地盤調査結果を基に初期剛性G0, G/G0-γ曲線およびh-γ曲線の非線形特性を設定する。各試験の調査位置、試料採取位置を右図に示す。また、各試験結果から設定した盛土物性値を下表に示す。



盛土物性値の調査位置図

各試験結果から設定した盛土物性値

地盤	強度定数		初期せん断剛性G0 (MN/m ²)	減衰
	粘着力 C(MN/m ²)	内部摩擦角 φ(°)		
盛土 地下水位以浅	0.1	33.9	1787 σ _c ^{0.84}	h=0.183 γ / (γ+0.000261)

本資料のうち、枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

4.1 基準地震動Ssの地震応答解析に用いる地盤モデルの設定概要

(4) 表層地盤の非線形化を考慮した基準地震動Ss評価用地盤モデルの設定

▶ 表層地盤上部に非線形特性を考慮した地盤モデルを示す。

女川2号炉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 Vs(m/s)	減衰定数 h(%)
表層地盤	14.80	18.6	※1	3※2
	0.00	23.3	900※3	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 Rayleigh減衰。また、ひずみ依存による非線形特性を考慮する。

※3 PS検層結果と観測記録の分析より設定

初期剛性 G_0 は、PS検層結果により(4.1-1)式で設定する。

$$G_0 = 1787\sigma_c^{0.84} \quad (4.1-1)$$

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

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

$G/G_0 - \gamma$ 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 と初期剛性 G_0 から、基準ひずみ γ_m を算定し(4.1-2)式により求める。

$$\frac{G}{G_0} = \frac{1}{1 + \frac{\gamma}{\gamma_m}} \quad (4.1-2)$$

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

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

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

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

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

$h - \gamma$ 曲線は、繰返し三軸試験結果に基づき(4.1-3)式により求める。

$$h = 0.183\gamma / (\gamma + 0.000261) \quad (4.1-3)$$

1. 検討にあたっての基本的考え方
2. 既工認における周辺地盤による影響の反映状況
 - 2.1 JEAG4601による周辺地盤の扱い
 - 2.2 既工認における周辺地盤の扱い
3. 地震観測記録を用いた表層地盤の影響検討
 - 3.1 入力地震動評価に関する表層地盤の影響の検討
 - 3.2 自由地盤における表層地盤の非線形化の傾向について
 - 3.3 埋込み効果(側面地盤ばね)に関する検討
4. **今回工認における周辺地盤による影響の解析モデルへの反映(原子炉建屋)**
 - 4.1 基準地震動Ssの地震応答解析に用いる地盤モデルの設定概要
 - 4.2 **観測記録を用いた地盤モデルの検証**
 - 4.3 設定した地盤モデルの概要
5. 各要因が基準地震動Ssによる地震応答解析結果へ与える影響(原子炉建屋)
6. まとめ

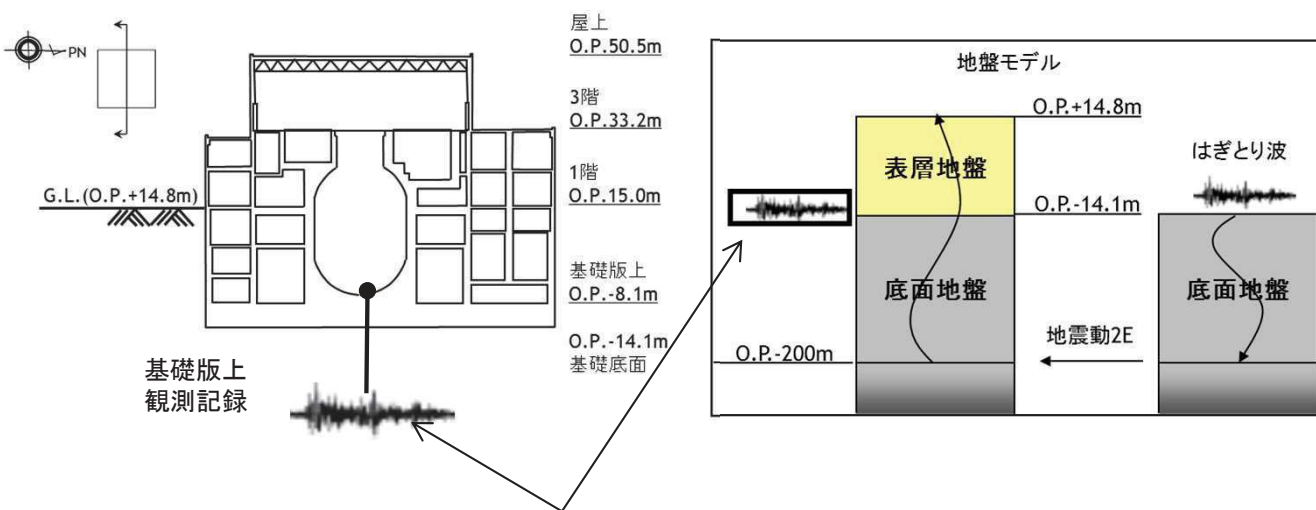
4.2 観測記録を用いた地盤モデルの検証

■検討概要と検討方法①

- 設定した地盤モデルの妥当性を確認することを目的として、過去の様々な振動レベルの地震記録との整合性について確認した。特に3.11地震, 4.7地震については、算定した地震動を用いた建屋シミュレーション解析を実施した。
- 自由地盤の観測記録から算定したはぎとり波に対する基礎版上観測記録と検討用に仮定した地盤モデルにより算定した基礎版底面レベル(O.P.-14.1m)の入力地震動(E+F+P波, Pは切欠き力の時刻歴波形)の伝達関数に表れる表層地盤の1次周期に対応する4~6Hz付近の谷の再現性を確認することにより検討する。

検討に用いた地震諸元

地震	M	震源地	自由地盤B2地点 (地中記録) 最大加速度 (PN基準に方位補正)(cm/s ²)		
			NS方向	EW方向	
1	2005/8/16 11:46	7.2	宮城県東方沖	233	221
2	2011/3/9 11:45	7.3	宮城県東方 はるか沖	30	12
3	2011/3/11 14:46	9.0	宮城県東方 はるか沖	467	421
4	2011/4/7 23:32	7.2	宮城県東方沖	321	396



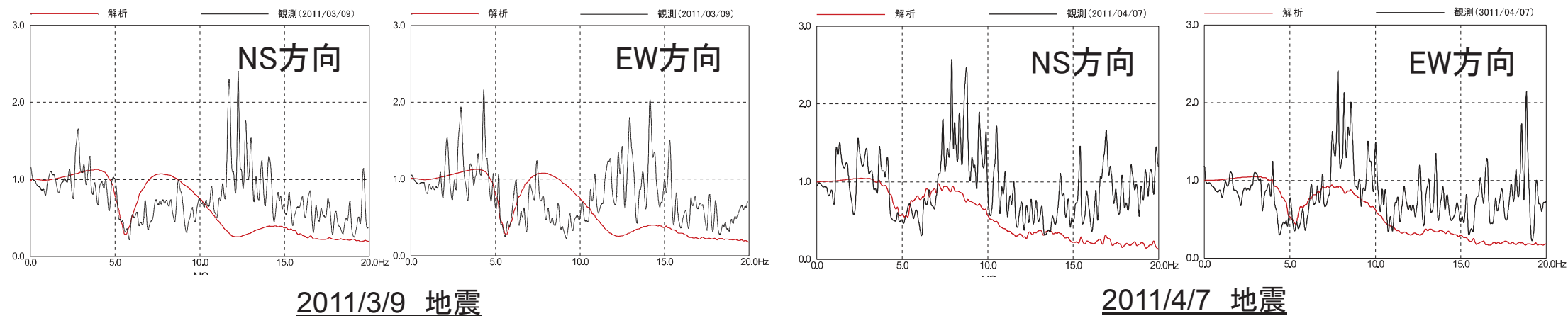
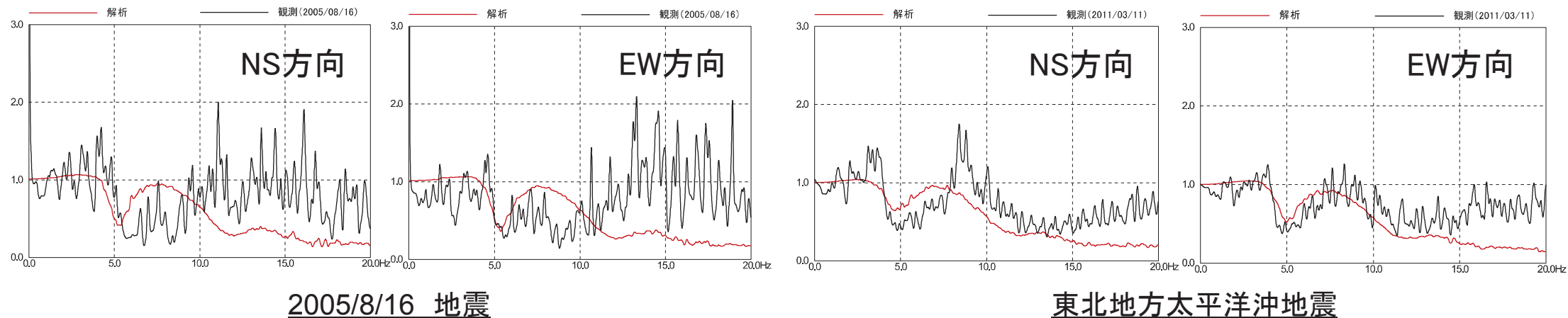
はぎとり波に対する伝達関数の谷となる振動数を比較

表層地盤物性の検討方法の概念

4.2 観測記録を用いた地盤モデルの検証

■検討結果①

➤ 検討に用いた代表地震に対する伝達関数の比較の結果、いずれの地震についても伝達関数を概ね再現している。

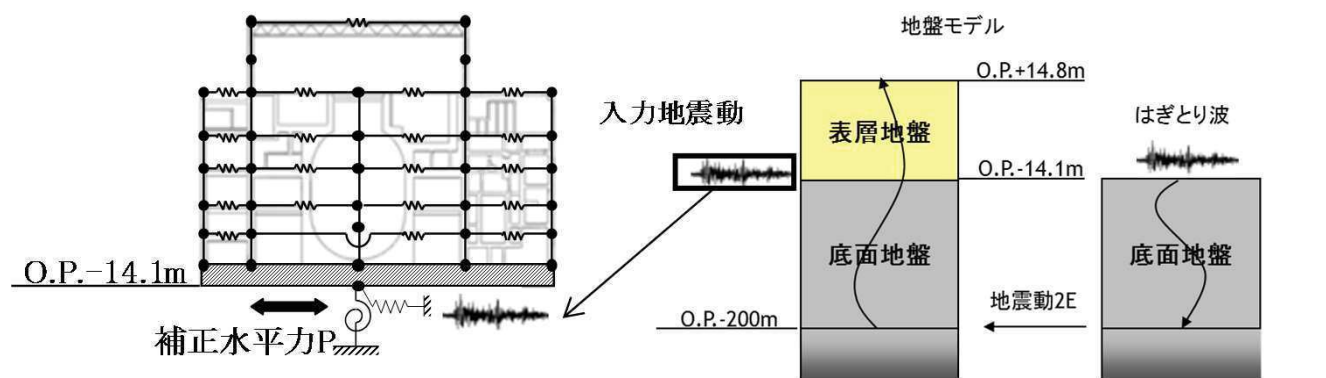


伝達関数の比較
 (基礎版上観測記録／はぎとり波)
 (仮定した地盤モデルにより算定した入力変換波(E+F+P)／はぎとり波)

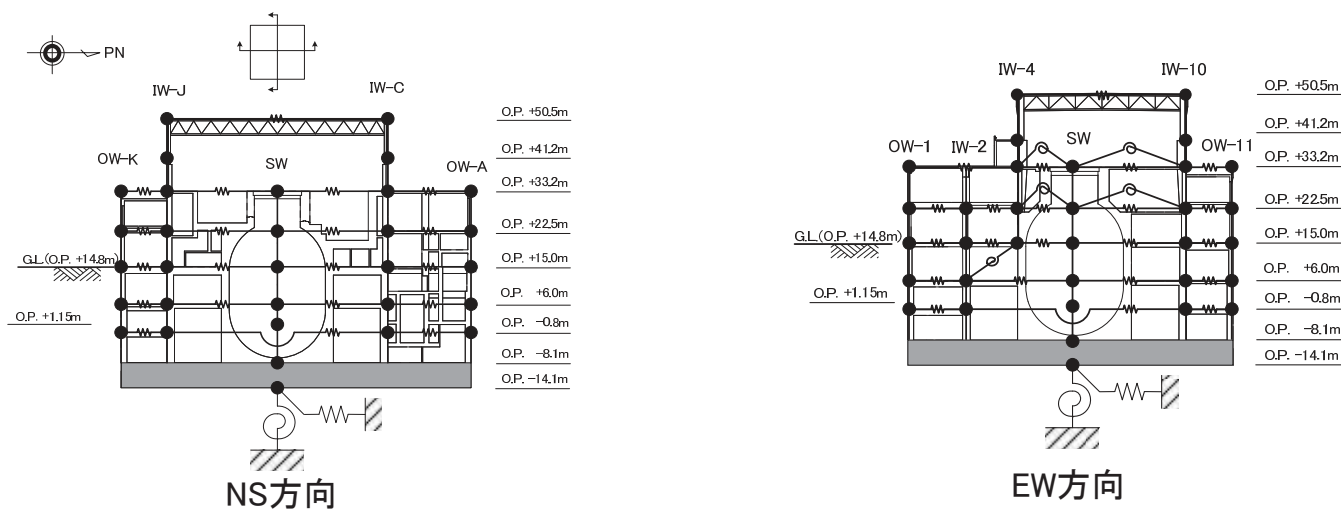
4.2 観測記録を用いた地盤モデルの検証

■検討概要と検討方法②

▶ 3.11地震については、はぎとり波を用いて4.1項で設定した地盤モデルにより入力地震動を算定し、建屋のシミュレーション解析を実施する。解析結果と地震観測記録を比較することにより地盤モデルの検討を行う。また、参考に基礎版上の観測記録を用いたシミュレーション解析の結果も合わせて示す。



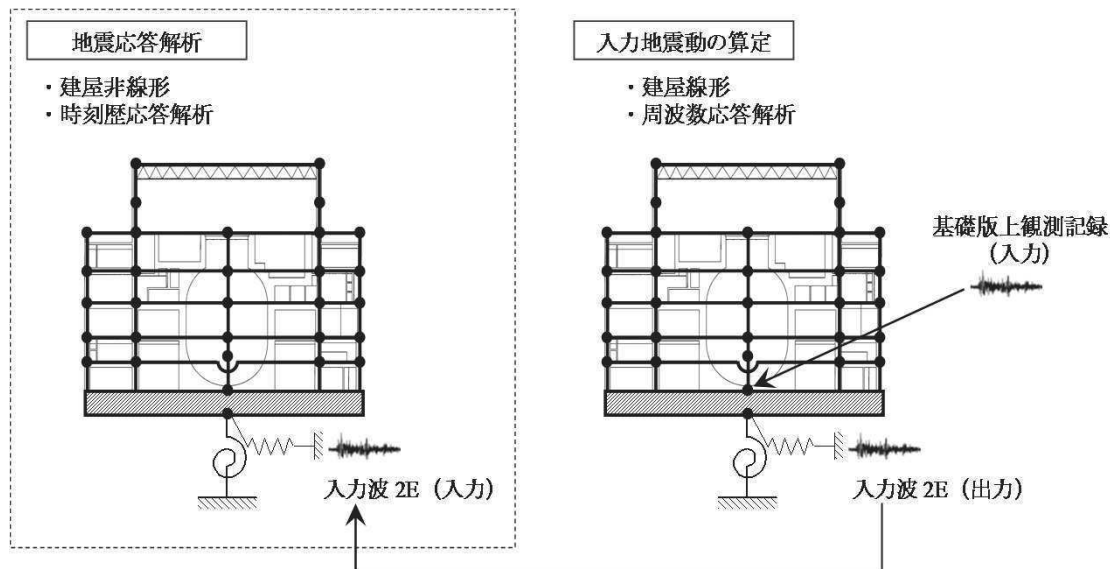
シミュレーション解析手法の概念図



建屋シミュレーション解析モデル

4.2 観測記録を用いた地盤モデルの検証

■検討概要と検討方法②



基礎版上観測記録を用いた建屋シミュレーション解析の概要

解析条件

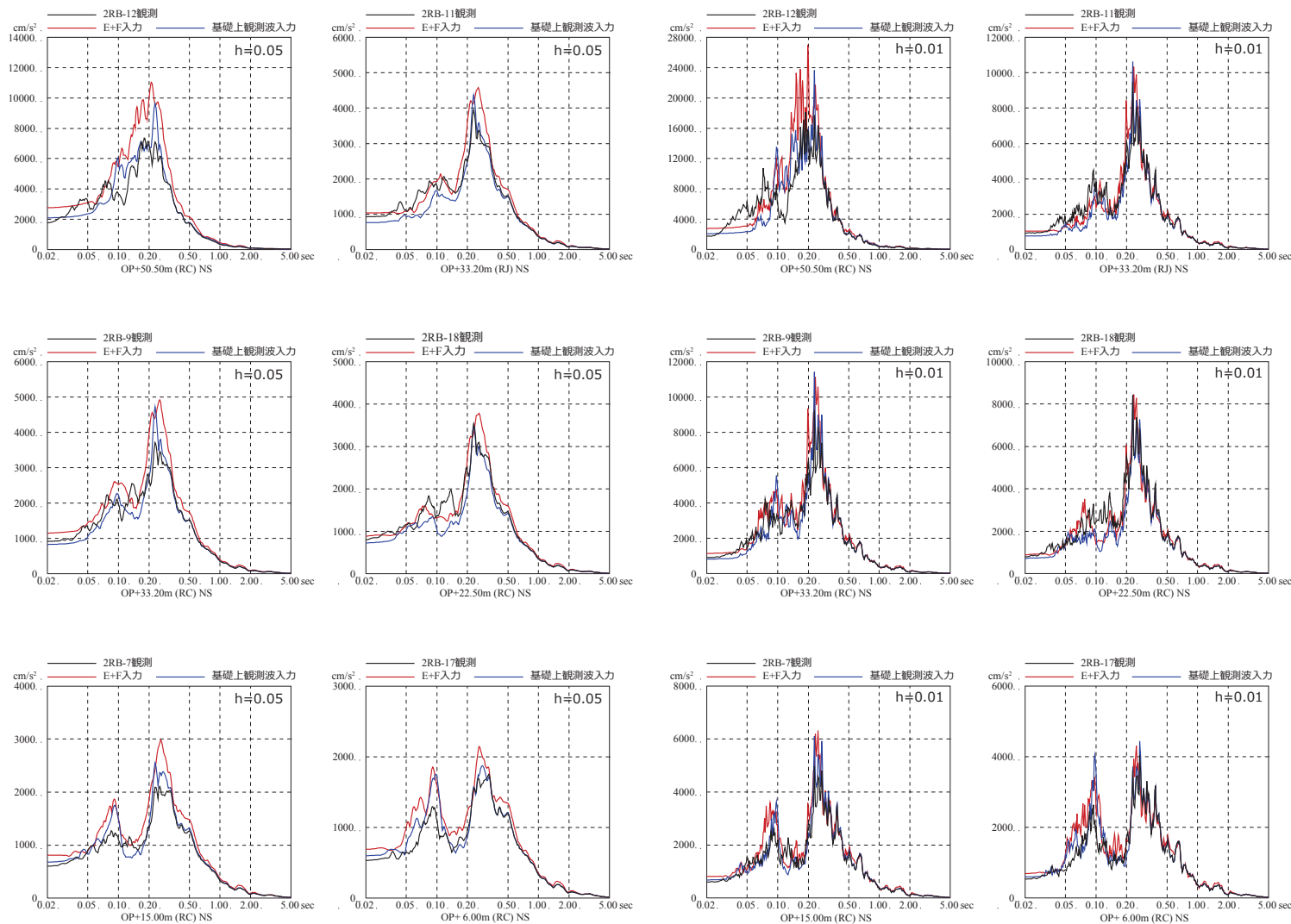
ケース	はぎとり波を用いたシミュレーション解析	(参考) 基礎版上観測記録入力
建屋	2号炉原子炉建屋	
地震動	3.11はぎとり波	基礎版上観測記録
入力地震動	建屋底面位置の地震動(E+F)を算定し入力	基礎版上観測記録から算定し入力
建屋モデル	3.11地震シミュレーションモデル (初期剛性低下考慮, 建屋減衰7%, 側面地盤ばね無し)	
地盤モデル	Ss評価用地盤モデル (表層地盤:2層モデル)	—

4.2 観測記録を用いた地盤モデルの検証

■検討結果②

- 3.11地震のシミュレーション解析結果の床応答スペクトルを観測記録と比較して示す。
- EW方向の周期0.1秒より短周期側で観測記録より過大評価になる傾向があるが、それ以外のシミュレーション解析結果は、観測記録に対して基礎版上観測記録入力によるシミュレーション解析と同等の適合度となっている。

以上の2つの検討結果から、設定した表層地盤上部のひずみ依存の非線形特性は、基準地震動Ss時評価に適用可能と判断した。



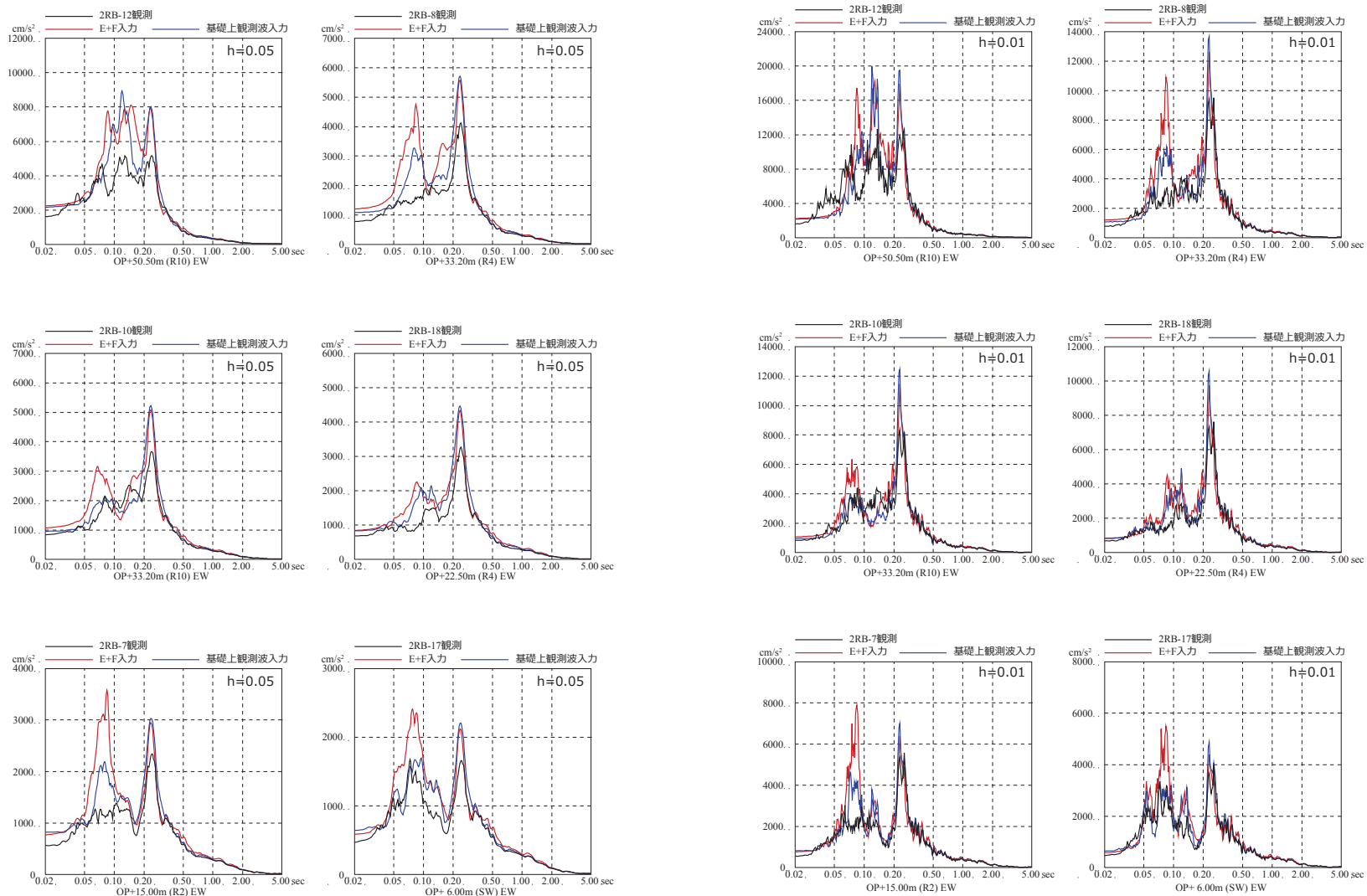
3.11地震NS方向(減衰5%)

3.11地震NS方向(減衰1%)

3.11地震のはぎとり波を入力に用いた場合と
基礎版上観測記録を用いたシミュレーション解析結果の比較

4.2 観測記録を用いた地盤モデルの検証

■検討結果②



3.11地震EW方向(減衰5%)

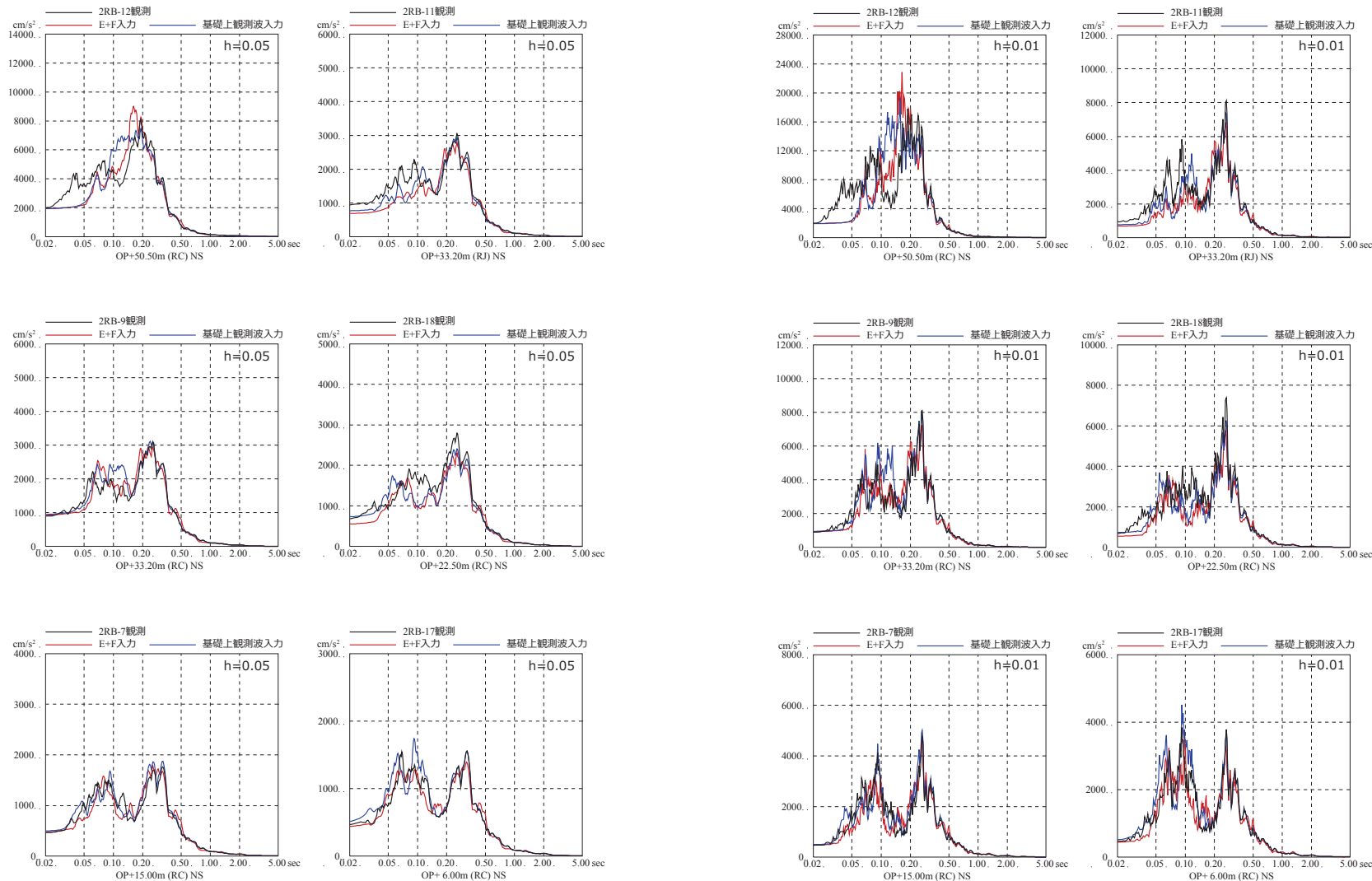
3.11地震EW方向(減衰1%)

3.11地震のはざとり波を入力に用いた場合と基礎版上観測記録を用いたシミュレーション解析結果の比較

※地震計位置は別紙1参照。

4.2 観測記録を用いた地盤モデルの検証

■検討結果②



4.7地震NS方向(減衰5%)

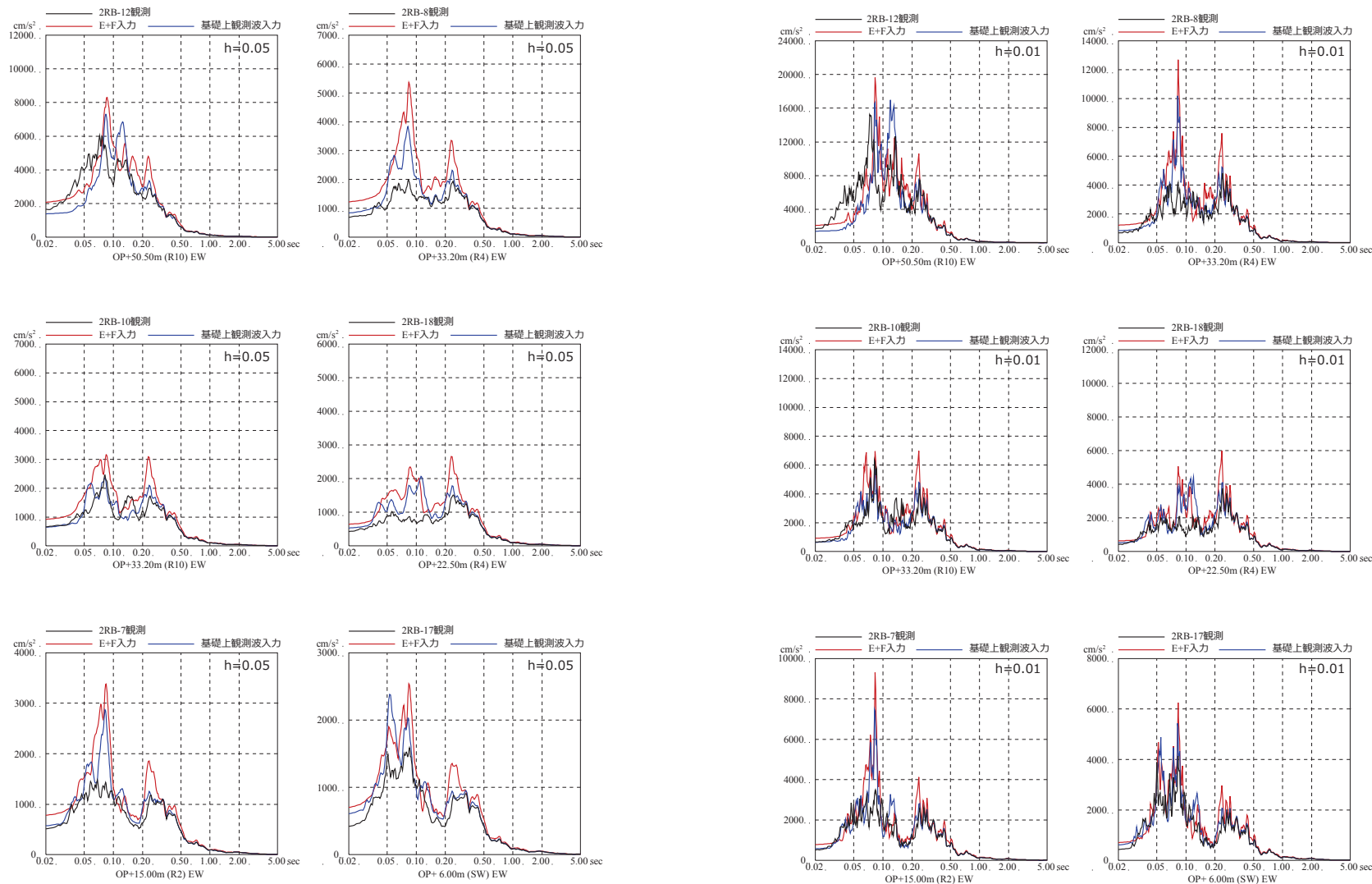
4.7地震NS方向(減衰1%)

4.7地震のはざとり波を入力に用いた場合と基礎版上観測記録を用いたシミュレーション解析結果の比較

※地震計位置は別紙1参照。

4.2 観測記録を用いた地盤モデルの検証

■検討結果②



4.7地震EW方向(減衰5%)

4.7地震EW方向(減衰1%)

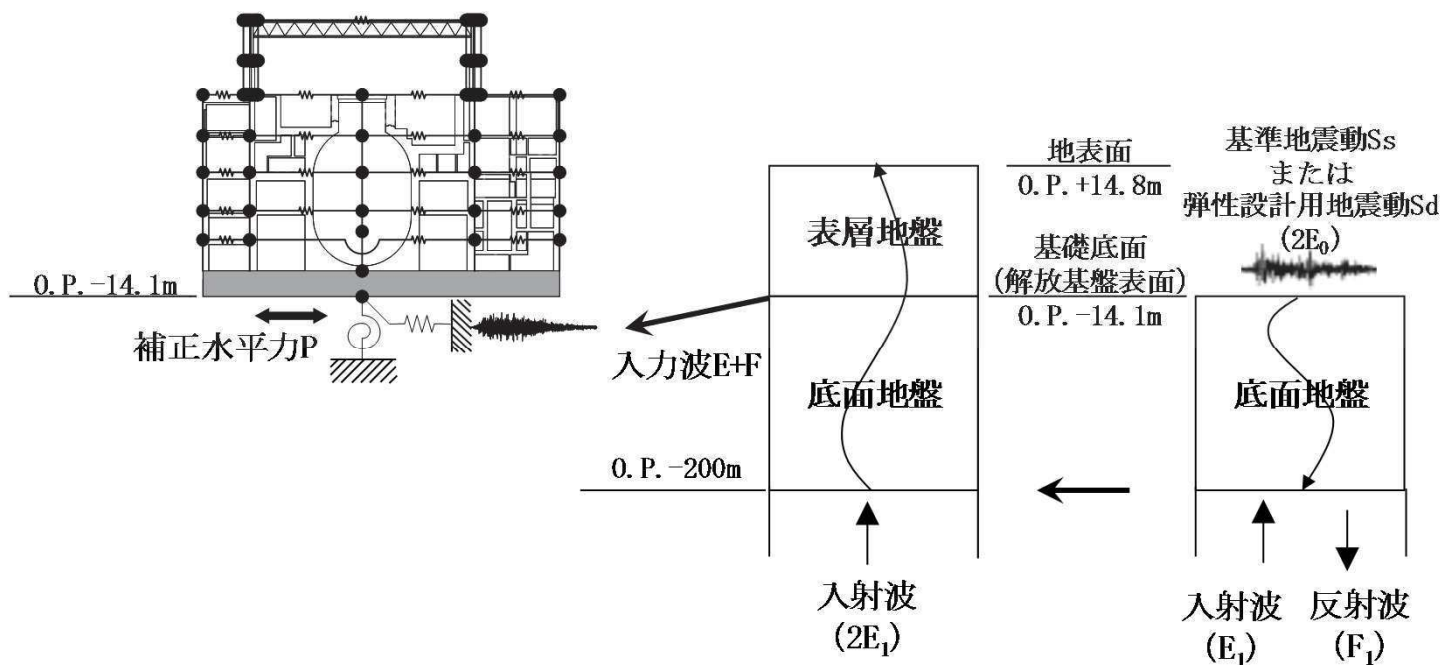
4.7地震のはざとり波を入力に用いた場合と基礎版上観測記録を用いたシミュレーション解析結果の比較

1. 検討にあたっての基本的考え方
2. 既工認における周辺地盤による影響の反映状況
 - 2.1 JEAG4601による周辺地盤の扱い
 - 2.2 既工認における周辺地盤の扱い
3. 地震観測記録を用いた表層地盤の影響検討
 - 3.1 入力地震動評価に関する表層地盤の影響の検討
 - 3.2 自由地盤における表層地盤の非線形化の傾向について
 - 3.3 埋込み効果(側面地盤ばね)に関する検討
- 4. 今回工認における周辺地盤による影響の解析モデルへの反映(原子炉建屋)**
 - 4.1 基準地震動Ssの地震応答解析に用いる地盤モデルの設定概要
 - 4.2 観測記録を用いた地盤モデルの検証
 - 4.3 設定した地盤モデルの概要
5. 各要因が基準地震動Ssによる地震応答解析結果へ与える影響(原子炉建屋)
6. まとめ

4.3 設定した地盤モデルの概要

■地震応答解析モデルへの入力概要

- 3.1項の検討から3.11地震の入力地震動レベルの強震動において、原子炉建屋のような埋め込まれた建屋では表層地盤の影響を入力地震動に考慮することができることが確認された。
- これを踏まえて基準地震動 S_s の入力に際しては、表層地盤の影響を考慮した地震動(E+F)を入力することに加えて、表層地盤について、地震動の振幅に応じた非線形特性を考慮する地盤モデルを採用する。なお、埋込み効果は無視する。
- 地震応答解析モデルへの入力は、水平方向は解放基盤表面で定義された基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d から、建屋底面位置(O.P.-14.1m)より上部の地盤の振動特性を考慮して算定した地震動を入力する。



地震応答解析モデルへの入力概要(水平方向)

4.3 設定した地盤モデルの概要

■地盤モデル(1)

▶ 今回工認における女川2号炉原子炉建屋への入力地震動算定に用いる地盤モデルは下表に示す地盤物性値とした。

女川2号炉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 Vs(m/s)	減衰定数 h(%)
表層地盤	14.80	18.6	※1	3※2
	0.00	23.3	900※3	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 Rayleigh減衰。また、ひずみ依存による非線形特性を考慮する。

※3 PS検層結果を観測記録の分析より補間して設定

4.3 設定した地盤モデルの概要

■地盤モデル(2)

O.P.14.8m~O.P.0mの表層地盤には地盤調査結果に基づき、初期剛性 G_0 、 $G/G_0-\gamma$ 曲線および $h-\gamma$ 曲線の非線形特性を設定した。

初期剛性 G_0 は、PS検層結果により(4.1-1)式で設定する。

$$G_0 = 1787\sigma_c^{0.84} \quad (4.1-1)$$

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

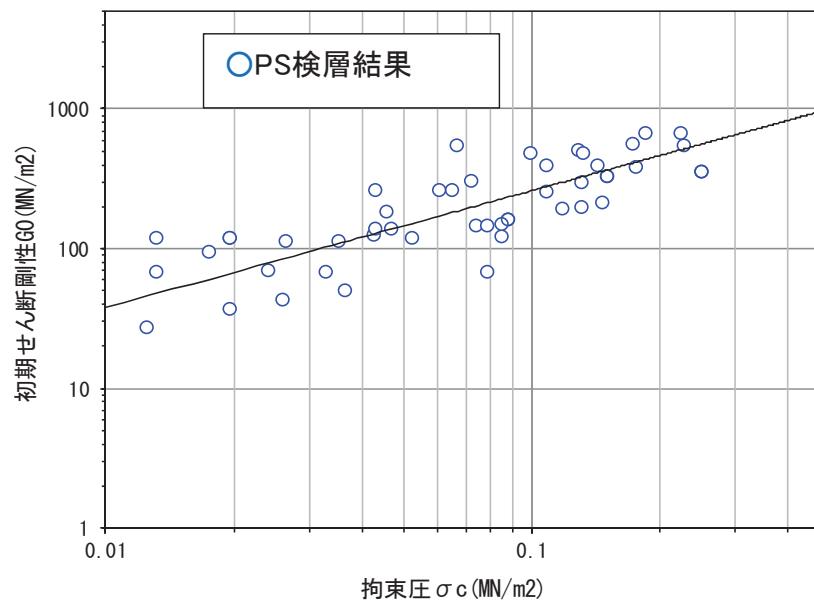
$$\rho_t = 18.6 [\text{kN/m}^3]$$

$G/G_0-\gamma$ 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 と初期剛性 G_0 から、基準ひずみ γ_m を算定し(4.1-2)式により求める。

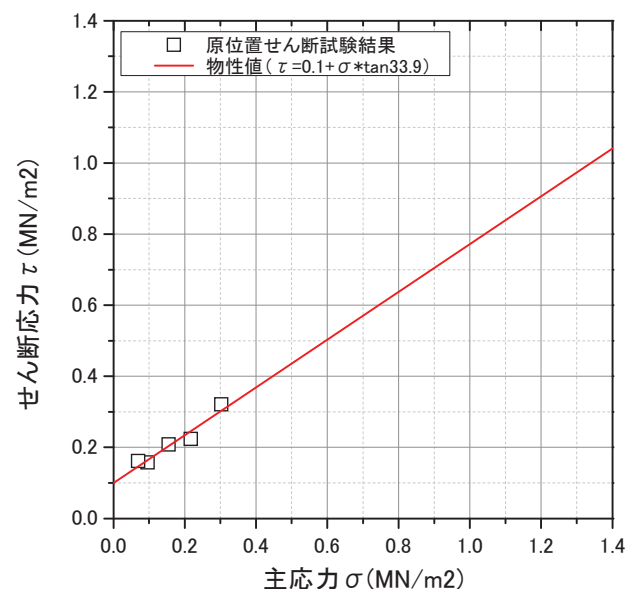
$$\frac{G}{G_0} = \frac{1}{1 + \frac{\gamma}{\gamma_m}} \quad (4.1-2)$$

ここで、 $\gamma_m = \frac{\tau_m}{G_0}$ $\tau_m = \tau_0 + \sigma_{md} \tan \phi$ $\tau_0 [\text{N/mm}^2] = 0.1$

$\phi [^\circ] = 33.9$ $\sigma_{md} = 3/4 \times Z \times \rho_t (\text{N/mm}^2)$



初期せん断剛性 G_0 と拘束圧 σ_c の関係

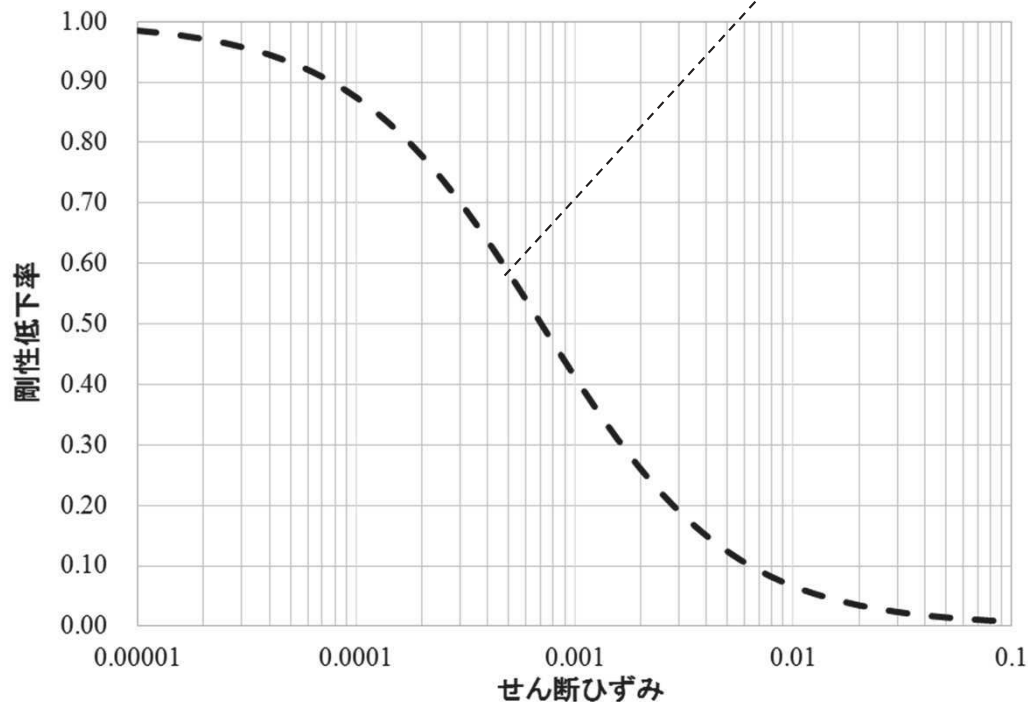


せん断応力 τ と拘束圧 σ の関係(地下水位以浅)

4.3 設定した地盤モデルの概要

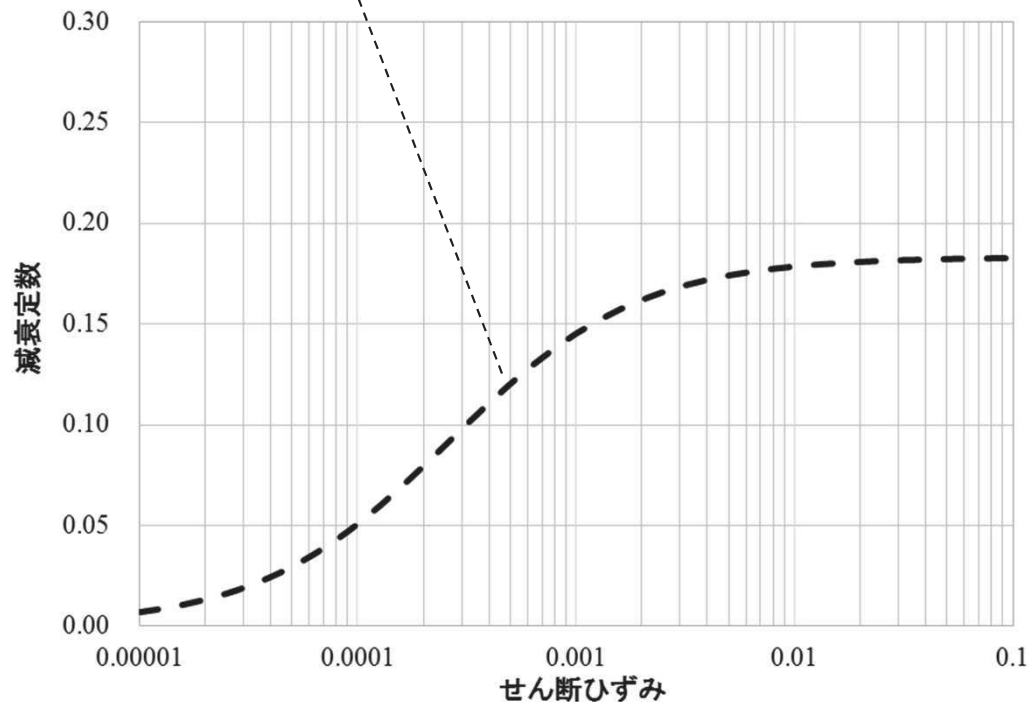
■地盤モデル(3)

原位置せん断試験結果に基づく関数



$G/G_0 - \gamma$ 曲線

繰返し三軸試験結果に基づく関数



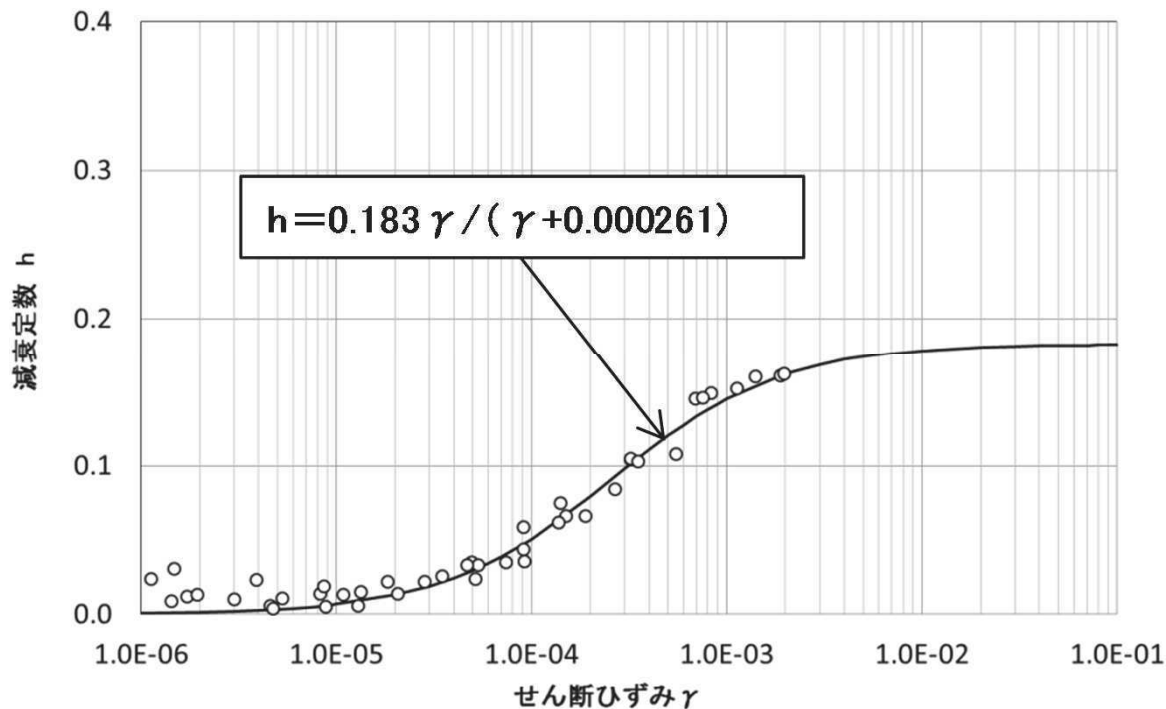
$h - \gamma$ 曲線

4.3 設定した地盤モデルの概要

■地盤モデル(4)

h-γ曲線は、繰返し三軸試験結果に基づき(4.1-3)式により求める。

$$h = 0.183\gamma / (\gamma + 0.000261) \quad (4.1-3)$$



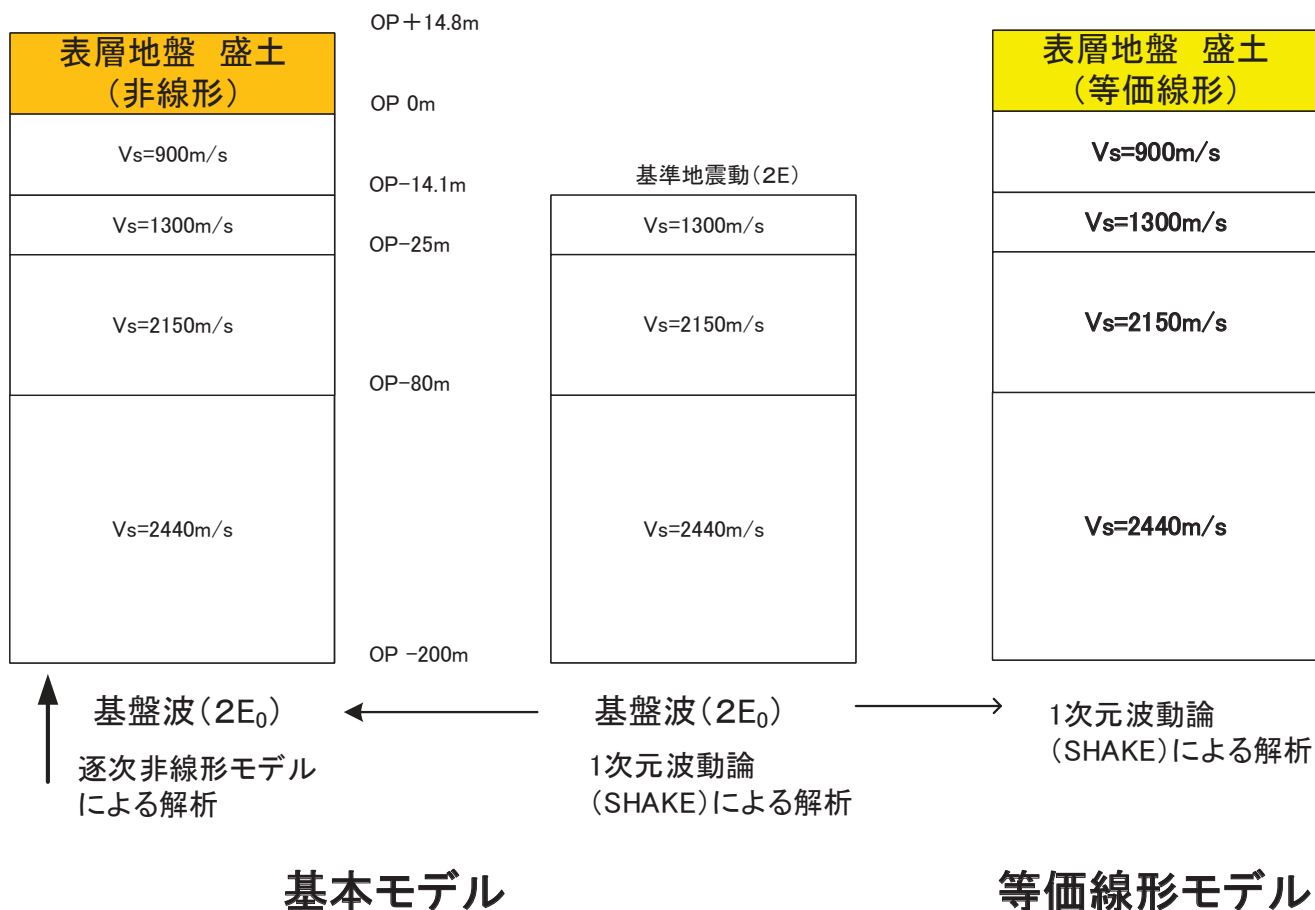
h-γ曲線

盛土物性値

地盤	強度定数		初期せん断剛性G0 (MN/m ²)	減衰
	粘着力 C(MN/m ²)	内部摩擦角 φ(°)		
盛土 地下水位以浅	0.1	33.9	1787 σ _c ^{0.84}	h=0.183 γ / (γ + 0.000261)

(補足検討) 逐次非線形モデルと等価線形モデルによる比較

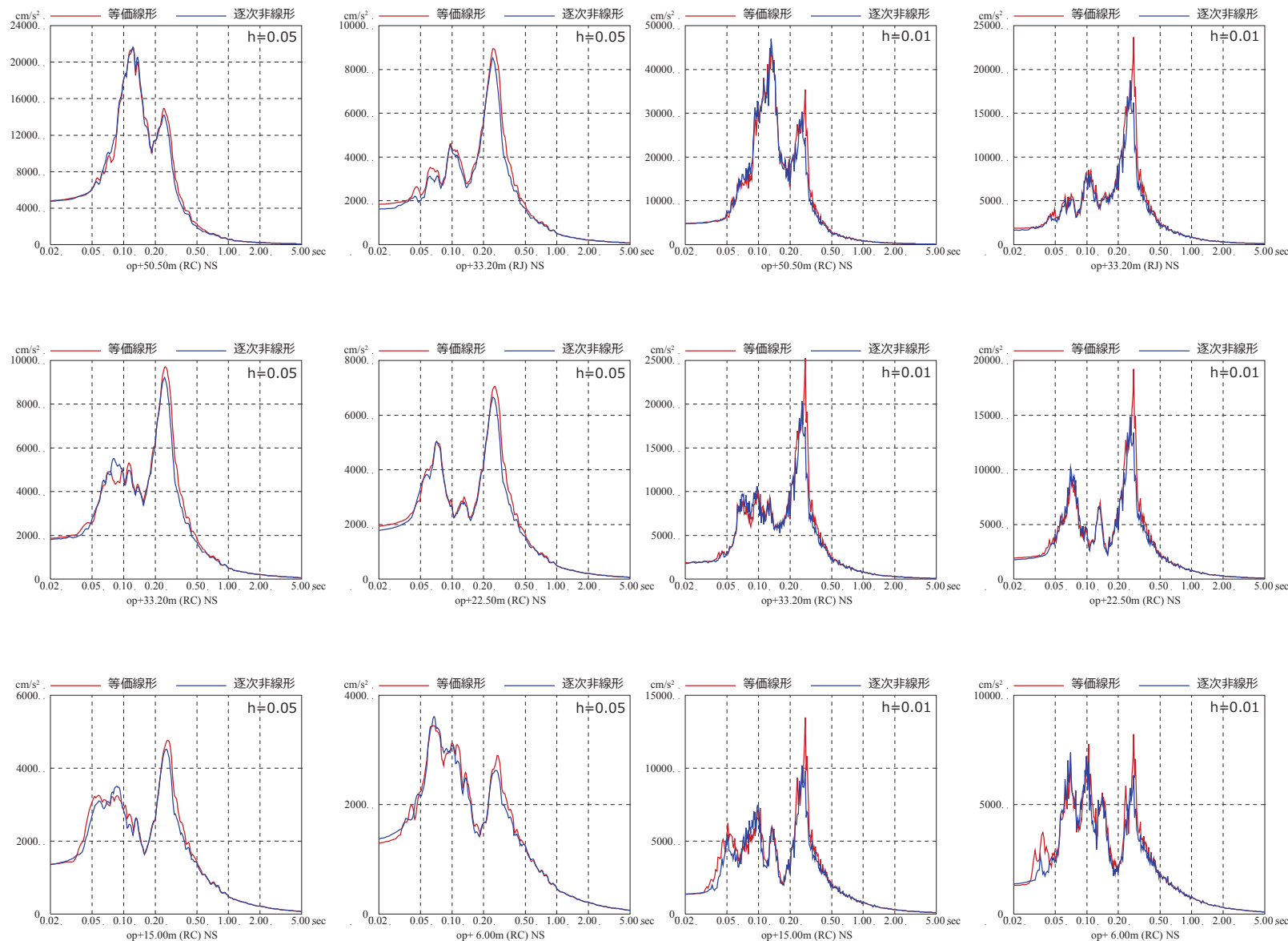
- ▶ 今回工認では、建屋への入力地震動を算定する際に等価線形解析の適用範囲を超えるため逐次非線形解析を用いているが、手法の違いによる応答への影響について参考に確認する。
- ▶ 検討は、一次元波動論を用いて、モデル基盤までの引き下げは、線形解析とし、モデル基盤から解放基盤相当位置までの引き上げを、等価線形解析とした場合と逐次非線形解析とした場合の建屋応答結果を比較することにより行う。検討対象とした地震動は基準地震動Ss-D2, 建屋は原子炉建屋とする。



検討概念図

(補足検討)逐次非線形モデルと等価線形モデルによる比較

- 等価線形解析とした場合と逐次非線形解析とした場合の応答スペクトルの比較結果より、解析手法による建屋応答への影響は小さいことが確認された。
- しかし、基準地震動Ssの評価時には、等価線形解析の適用範囲を超える地盤のひずみが生じる可能性があることから逐次非線形解析を採用することとする。

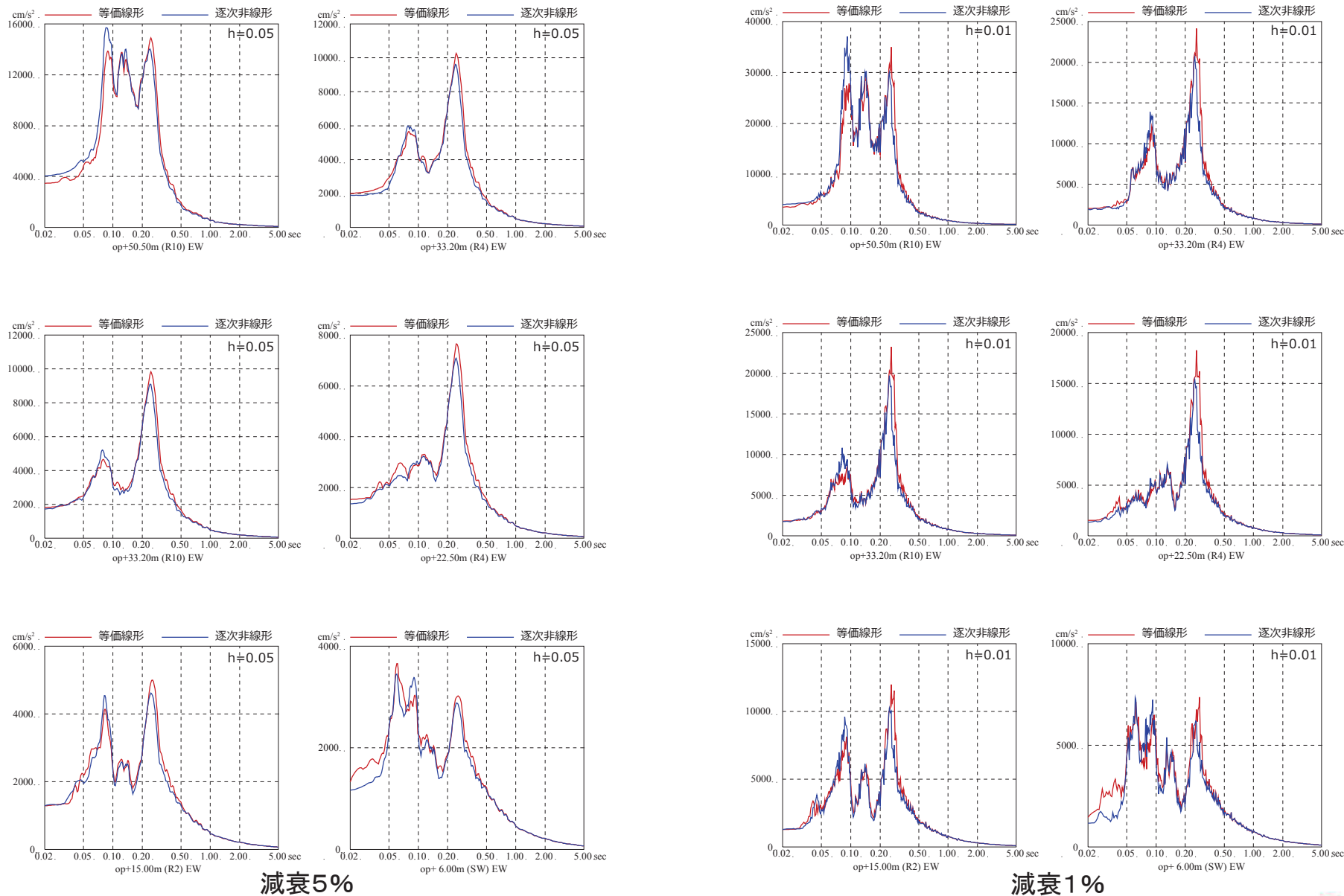


減衰5%

減衰1%

等価線形解析と逐次非線形解析による結果の比較(基準地震動Ss-D2, NS方向)

(補足検討)逐次非線形モデルと等価線形モデルによる比較



等価線形解析と逐次非線形解析による結果の比較(基準地震動Ss-D2, EW方向)

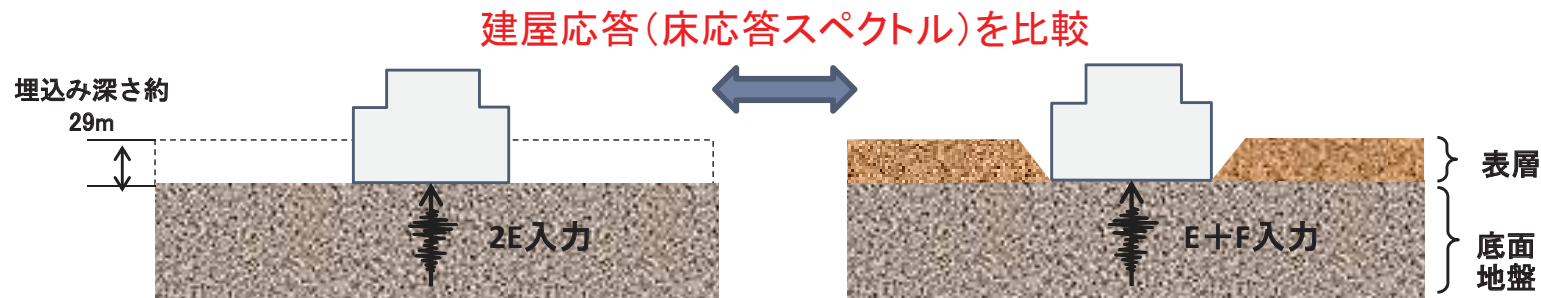
1. 検討にあたっての基本的考え方
2. 既工認における周辺地盤による影響の反映状況
 - 2.1 JEAG4601による周辺地盤の扱い
 - 2.2 既工認における周辺地盤の扱い
3. 地震観測記録を用いた表層地盤の影響検討
 - 3.1 入力地震動評価に関する表層地盤の影響の検討
 - 3.2 自由地盤における表層地盤の非線形化の傾向について
 - 3.3 埋込み効果(側面地盤ばね)に関する検討
4. 今回工認における周辺地盤による影響の解析モデルへの反映(原子炉建屋)
 - 4.1 基準地震動 S_s の地震応答解析に用いる地盤モデルの設定概要
 - 4.2 観測記録を用いた地盤モデルの検証
 - 4.3 設定した地盤モデルの概要
5. 各要因が基準地震動 S_s による地震応答解析結果へ与える影響(原子炉建屋)
6. まとめ

5. 各要因が応答解析結果へ与える影響の検討

(1) 表層地盤の影響を考慮した入力地震動の算定が建屋応答へ与える影響

■検討目的および検討方法

- 女川2号炉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Ss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。
- 検討は、基準地震動Ss-D2を女川2号炉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建屋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。
- 検討に用いた地盤モデルは、「4.3 設定した地盤モデルの概要」において示したモデルとする。

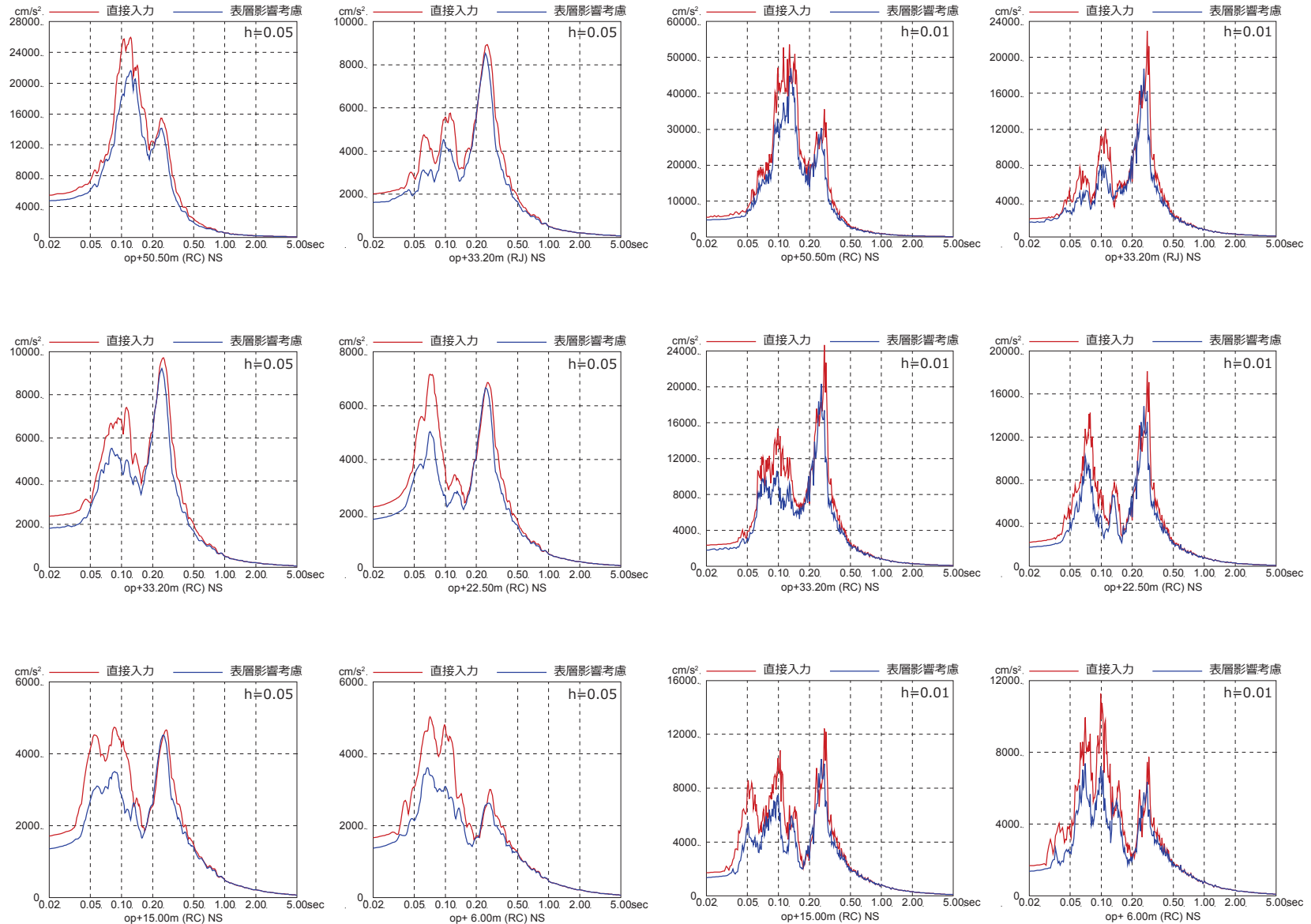


	直接入力(2E入力)したケース	E+F入力としたケース
建屋	2号炉原子炉建屋	
地震動	基準地震動Ss-D2	
入力地震動	直接入力(2E入力)	建屋底面位置の地震動(E+F)を算定し入力
建屋モデル	今回工認モデル (初期剛性低下考慮, 建屋減衰5%, 側面地盤ばね無し, 耐震補強考慮)	
地盤モデル	—	Ss評価用地盤モデル (表層地盤:2層モデル)

5. 各要因が応答解析結果へ与える影響の検討

■ 検討結果

➤ 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)の応答値は小さい。



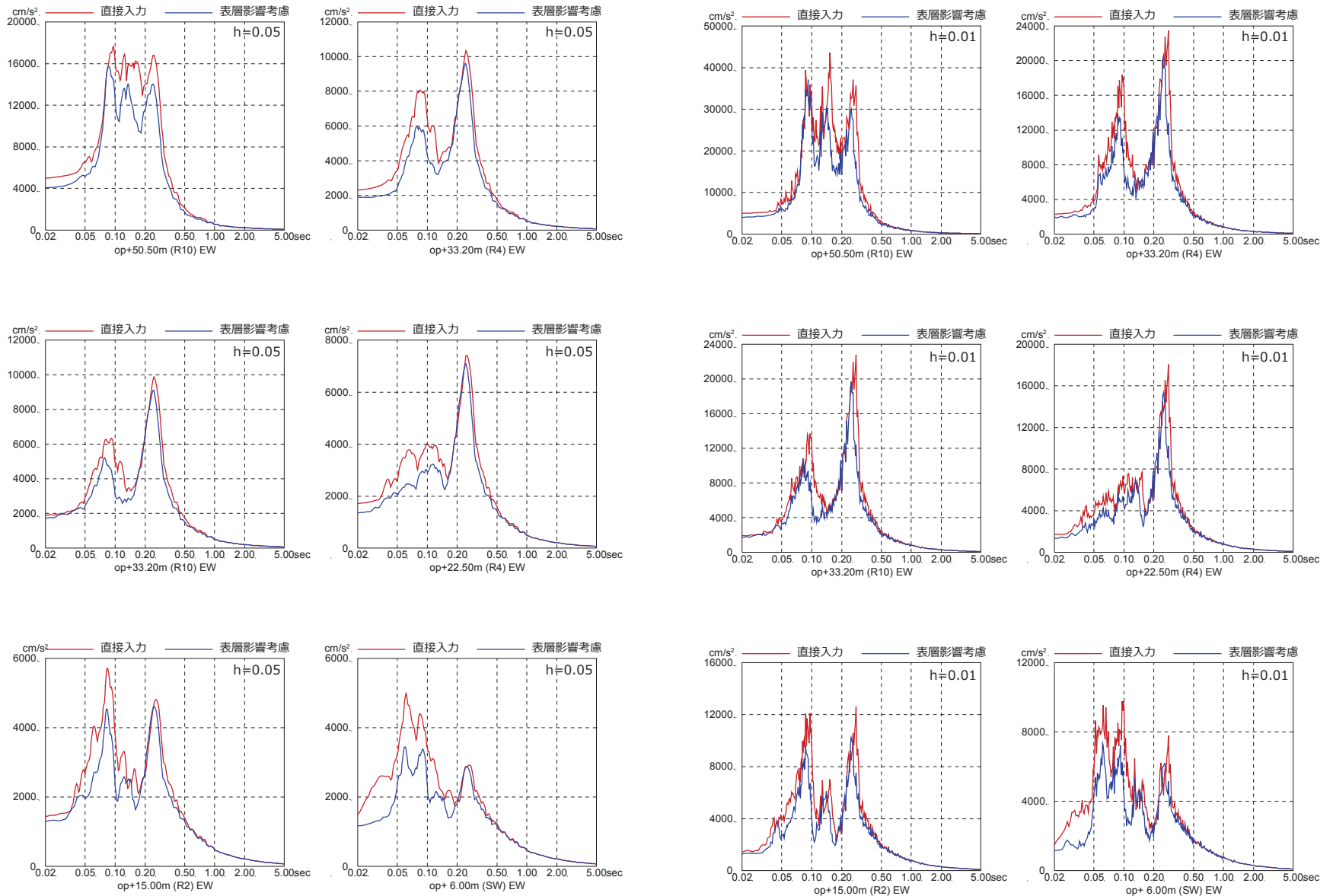
基準地震動 S_s -D2, NS方向, 減衰5%

基準地震動 S_s -D2, NS方向, 減衰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

5. 各要因が応答解析結果へ与える影響の検討

■ 検討結果



基準地震動 S_s -D2, EW方向, 減衰5%

基準地震動 S_s -D2, EW方向, 減衰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

5. 各要因が応答解析結果へ与える影響の検討

(2) 埋込み効果が建屋応答に与える影響

■検討目的および検討方法

- 女川2号炉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、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。
- 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基準地震動 S_s -D2による地震応答解析を行う。
- 側面地盤は、「4.3 設定した地盤モデルの概要」にて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、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(JEAG4601-1991[追補版]による方法)により算定する。

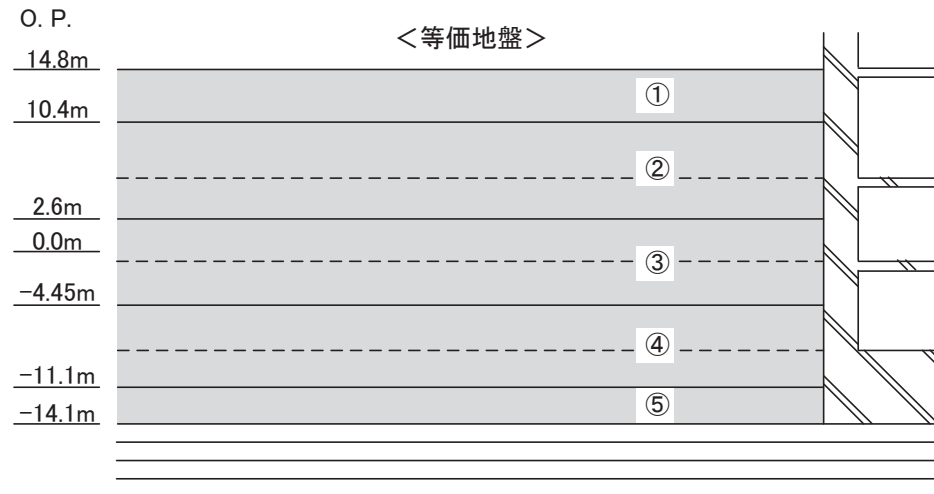
	側面地盤ばねを考慮するケース	側面地盤ばねを考慮しないケース
建屋	2号炉原子炉建屋	
地震動	基準地震動 S_s -D2および基準地震動 S_s -D1	
入力地震動	建屋底面位置および側面地盤ばね位置の地震動(E+F)を算定し入力 (補正水平力考慮)	建屋底面位置の地震動(E+F)を算定し入力
建屋モデル (建屋剛性, 建屋減衰)	今回工認モデル (初期剛性低下考慮, 建屋減衰5%, 耐震補強考慮)	
建屋モデル (側面地盤ばね)	有り	無し
地盤モデル	S_s 評価用地盤モデル (表層地盤:2層モデル)	

5. 各要因が応答解析結果へ与える影響の検討

■検討目的および検討方法

側面地盤ばねの設定に用いる等価地盤の物性値

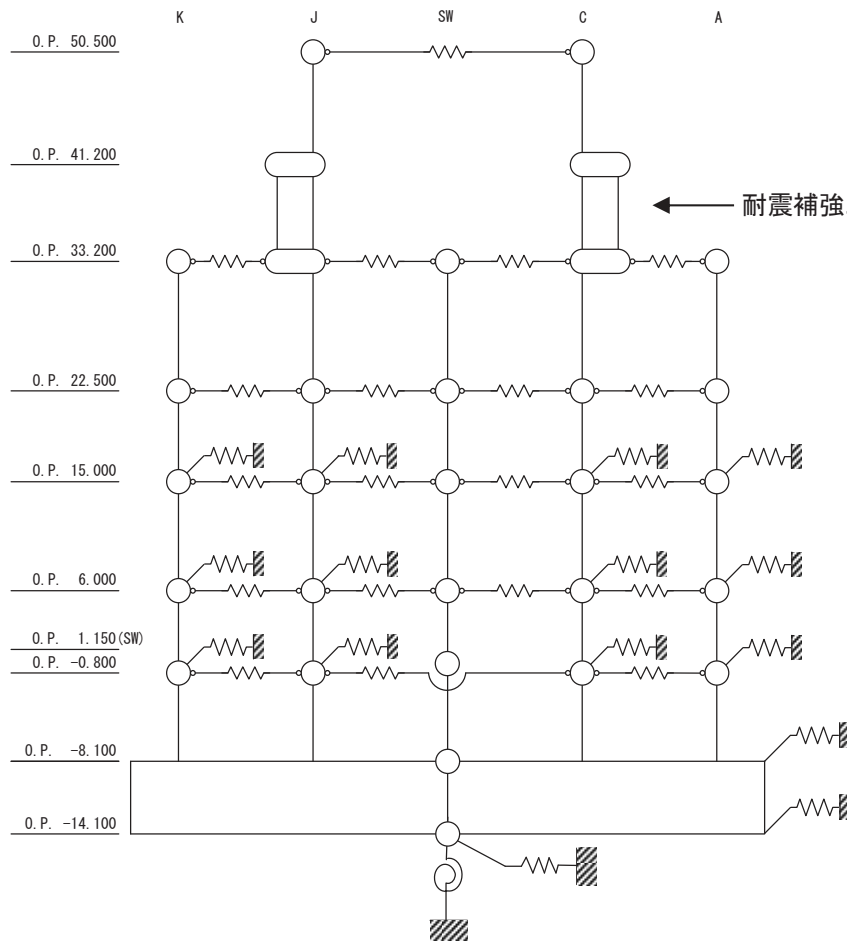
建屋質点レベル O.P.(m)	層No.	等価地盤				
		せん断波速度 Vs (m/s)	せん断弾性係数 G ($\times 10^4$ kN/m ²)	単位体積重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	減衰定数 he (%)
15.0	①	157	4.69	18.6	0.45	3
6.0	②	204	7.94	18.6	0.45	3
-0.8	③	755	12.6	21.6	0.45	3
-8.1	④	900	193	23.3	0.45	3
-14.1	⑤	900	193	23.3	0.45	3



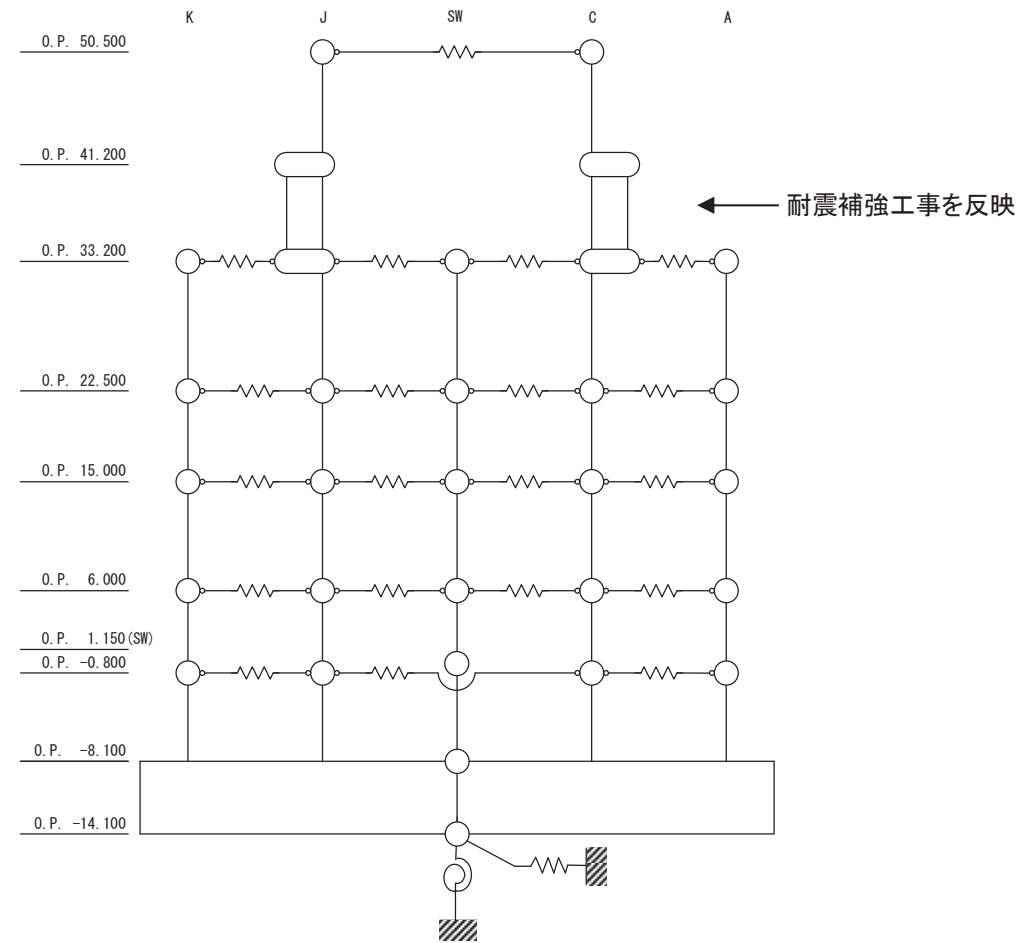
埋戻土の形状(単位:m)

5. 各要因が応答解析結果へ与える影響の検討

■地震応答解析モデルの概要



側面地盤有



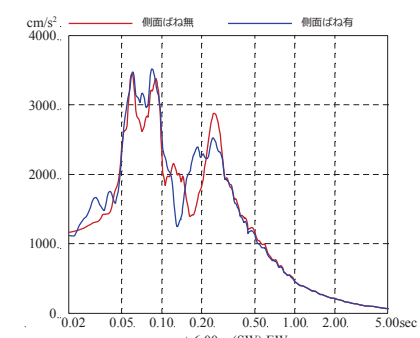
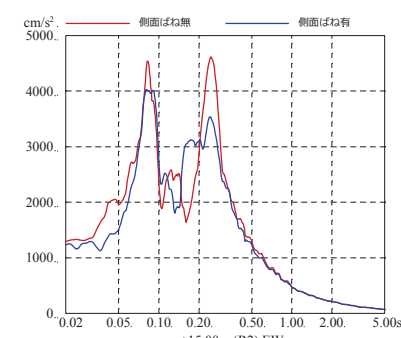
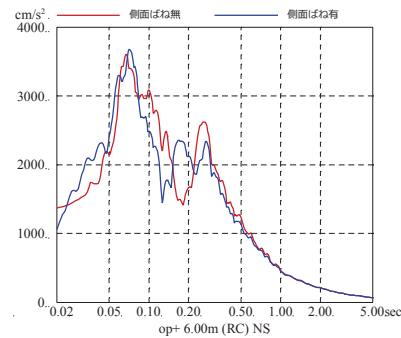
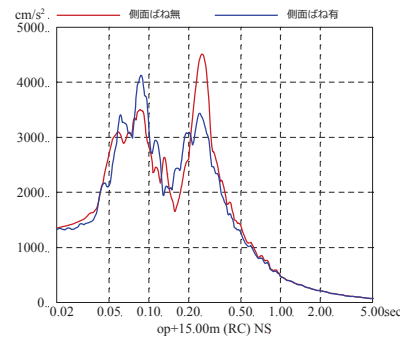
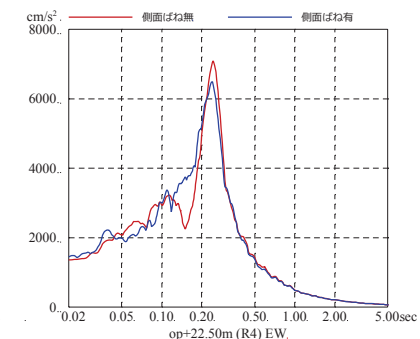
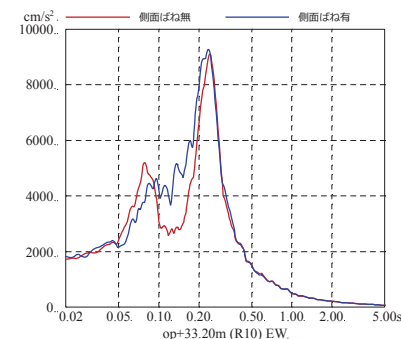
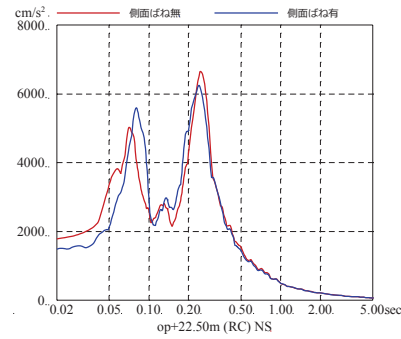
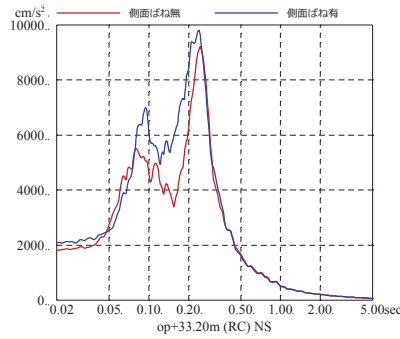
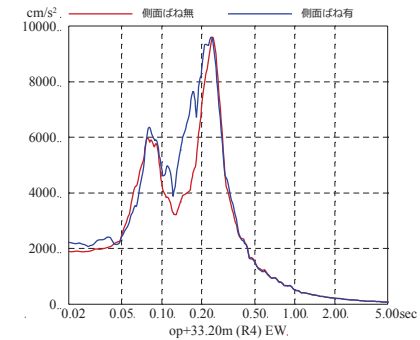
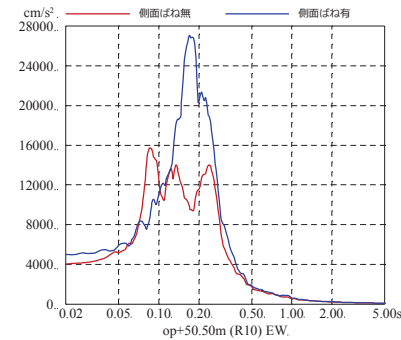
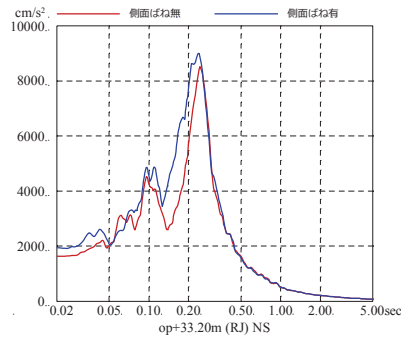
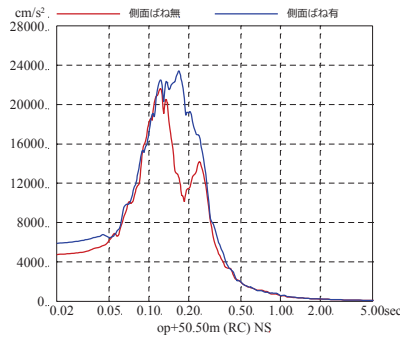
側面地盤無

地震応答解析モデルの概要

5. 各要因が応答解析結果へ与える影響の検討

■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示す。
- 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。



基準地震動S_s-D2, NS方向, 減衰5%

基準地震動S_s-D2, EW方向, 減衰5%

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

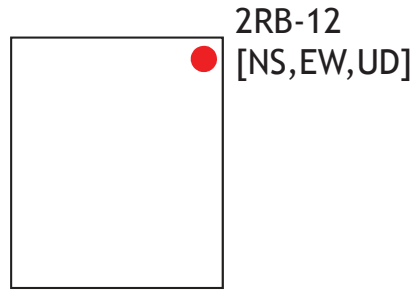
1. 検討にあたっての基本的考え方
2. 既工認における周辺地盤による影響の反映状況
 - 2.1 JEAG4601による周辺地盤の扱い
 - 2.2 既工認における周辺地盤の扱い
3. 地震観測記録を用いた表層地盤の影響検討
 - 3.1 入力地震動評価に関する表層地盤の影響の検討
 - 3.2 自由地盤における表層地盤の非線形化の傾向について
 - 3.3 埋込み効果(側面地盤ばね)に関する検討
4. 今回工認における周辺地盤による影響の解析モデルへの反映(原子炉建屋)
 - 4.1 基準地震動 S_s の地震応答解析に用いる地盤モデルの設定概要
 - 4.2 観測記録を用いた地盤モデルの検証
 - 4.3 設定した地盤モデルの概要
5. 各要因が基準地震動 S_s による地震応答解析結果へ与える影響(原子炉建屋)
6. まとめ

6. まとめ

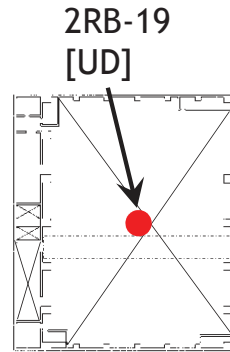
- 女川2号炉原子炉建屋の入力地震動算定に用いる地盤モデルを、地盤調査結果および既往の地震観測記録の分析に基づいて設定した。設定した地盤モデルは、入力地震動の加速度振幅に応じて、表層地盤の非線形特性を考慮できるモデルとした。
- 設定した地盤モデルは過去の様々な振動レベルの地震観測記録と整合すること、特に本手法で算定した地震動を用いた3.11地震及び4.7地震の建屋シミュレーション解析結果は地震観測記録と整合することを確認した。
- 以上のことから、設定した地盤モデルは基準地震動 S_s による地震応答解析に適用できると判断した。
- 引き続き、他の建屋の地震応答解析に適用する入力地震動の設定の基本的考え方を整理するとともに、表層地盤の物性の違いが応答結果に与える影響の確認等を行い、不確かさへの反映について検討を行う。
- また、埋込み効果について、その効果の大きい3号炉海水熱交換器建屋について、そのメカニズムについて引き続き検討を行う。

女川2号炉原子炉建屋の地震観測位置

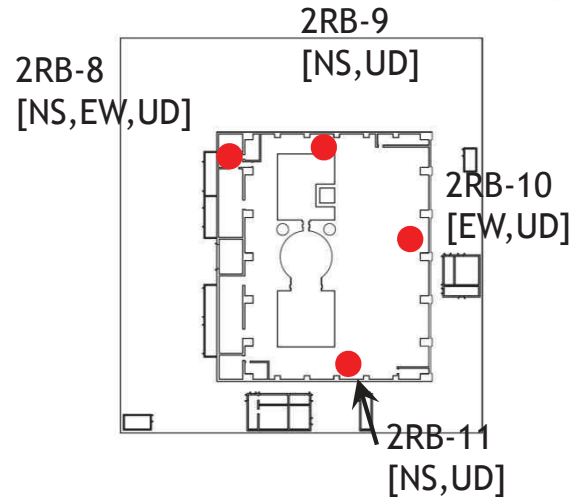
■女川2号炉原子炉建屋地震計位置図



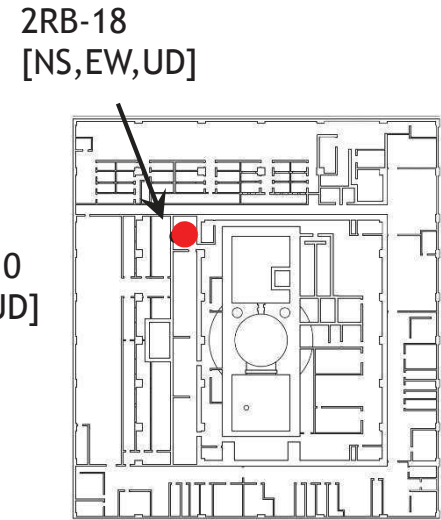
RF (O.P.50.5m)



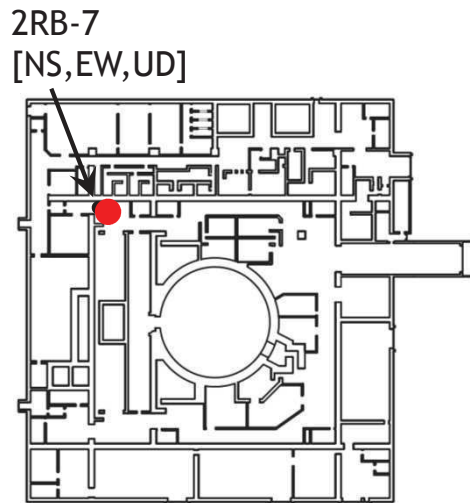
屋根トラス (O.P.46.95m)



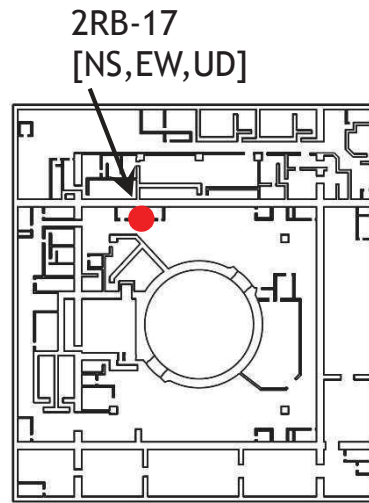
3F (O.P.33.2m)



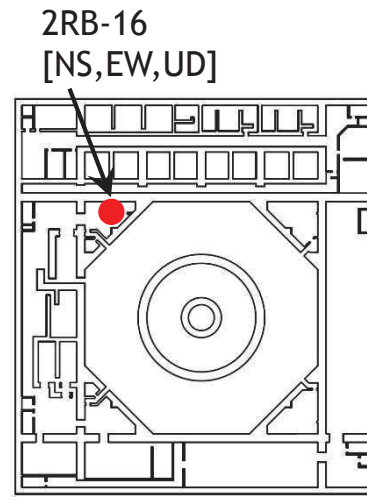
2F (O.P.22.5m)



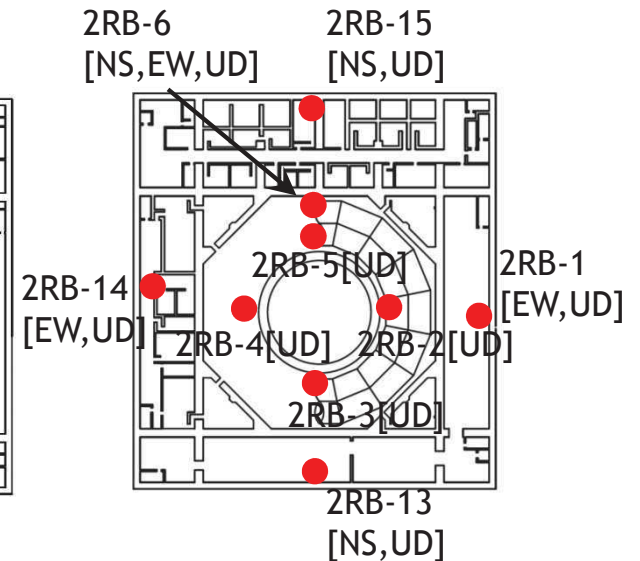
1F (O.P.15.0m)



B1F (O.P.6.0m)



B2F (O.P.-0.8m)



基礎版上 (O.P.-8.1m)