

川内原子力発電所1号炉、2号炉審査資料	
資料番号	TTS-019
提出年月日	2023年2月1日

# 川内原子力発電所 1号炉及び2号炉

## 標準応答スペクトルを考慮した地震動評価における 地下構造モデルの設定について (コメント回答)

2023年2月1日  
九州電力株式会社

# 目次

- |                               |      |
|-------------------------------|------|
| 1. コメントリスト及び今後の審査スケジュール ..... | P. 2 |
| 2. 地下構造モデルの再検討（方針） .....      | P. 6 |



## 1. コメントリスト及び今後の審査スケジュール

# 1. コメントリスト及び今後の審査スケジュール

No.	コメント	指摘場所	対応状況
1	地下構造モデルの地盤減衰の設定について、既許可からの変更点の妥当性を説明すること。その際、EL. -28.5m~EL. -480mの層を分割していること、また、地盤減衰の設定根拠としている地震観測記録が得られていない範囲 (EL. -118.5m~EL. -200m) の地盤減衰の設定の妥当性についても併せて説明すること。	第983回 原子力発電所の 新規制基準適合性に 係る審査会合 (令和3年6月11日)	第1026回会合、 第1103回会合にて説明
2	地下構造モデルの変更に伴う既許可の基準地震動への影響について説明すること。		第1026回会合、 第1103回会合にて説明
3	地震基盤相当面について、設置許可基準規則解釈別記2の $V_s=2,200\text{m/s}$ 以上に対し、 $V_s=2,150\text{m/s}$ の層上面 (EL. -480m) に設定したことの妥当性を説明すること。		第1026回会合にて説明
4	模擬地震波の作成について、複数の方法から一様乱数の位相をもつ正弦波の重ね合わせを採用した妥当性を説明すること。		説明方針： 第1097回会合にて説明 コメント回答： 次回以降説明予定
5	既許可以降の観測・調査・分析などについて説明すること。		第1103回会合にて説明
6	変はんれい岩類について、地質層序と地質図の凡例の記載の考え方を説明すること。		第1049回会合にて説明
7	既許可の地下構造モデルと新たに設定した地下構造モデルの位置づけの記載を充実すること。		第1080回会合にて説明
8	新たに設定した地下構造モデルについて、以下を踏まえ、地盤減衰の設定の考え方、根拠を明確にし、説明すること。 ①15Hz程度までの範囲で評価した地盤減衰の高周波数帯への適用性 ②地震観測記録が得られていない深さにおける地盤減衰の設定 ③地盤減衰の不確かさの考え方	第1026回 原子力発電所の 新規制基準適合性に 係る審査会合 (令和4年1月21日)	第1049回会合、 第1103回会合にて説明
9	地震基盤相当面は、設置許可基準規則解釈別記2の定義に従い $V_s=2,200\text{m/s}$ 以上の層に設定すること。		第1057回会合にて説明
10	乱數位相を用いた模擬地震波の作成について、継続時間の設定を含め検討し、説明すること。		説明方針： 第1097回会合にて説明 コメント回答： 次回以降説明予定

# 1. コメントリスト及び今後の審査スケジュール

No.	コメント	指摘場所	対応状況
11	地震動評価にあたって、どのような地下構造モデルを使うのか方針を示すこと。	第1049回 原子力発電所の 新規制基準適合性に 係る審査会合 (令和4年5月20日)	第1057回会合にて説明
12	全体スケジュールを考慮した上で、地下構造モデル設定、地震動評価及び全体方針を示すこと。		第1057回会合にて説明
13	審査全体を見通した上で、スケジュールを示すこと。	第1057回 原子力発電所の 新規制基準適合性に 係る審査会合 (令和4年7月1日)	第1080回会合にて説明
14	今回地下構造モデルの方針を変更していることから、説明済みとなっているコメントに関しても、改めて説明すること。		コメントNo. 1, 2, 8について 第1103回会合にて説明
15	新たなボーリング調査から得られる結果を踏まえ、設定した地下構造モデルの妥当性を示すこと。		第1103回会合にて説明
16	今後説明予定の新たに設定した地下構造モデルの妥当性について、適切な論理で十分な根拠に基づき説明すること。	第1080回、第1088回 原子力発電所の 新規制基準適合性に 係る審査会合 (令和4年10月7日、 令和4年10月28日)	説明方針： 第1088回会合にて説明 コメント回答： 第1103回会合にて説明
17	審査事項に係る方針・考え方を準備ができたものから前倒して説明する等、効果的かつ効率的な審査スケジュールを示すこと。		適宜説明
18	地下構造モデルについて、地震観測記録等に見られる一部の周期帯におけるピークが適切に評価できていないことを踏まえ、検討すること。	第1103回 原子力発電所の 新規制基準適合性に 係る審査会合 (令和4年12月16日)	説明方針： 今回説明 コメント回答： 次回以降説明予定

# 1. コメントリスト及び今後の審査スケジュール

項目	内容	関連コメント	対応方針	2022年度										2023年度									
				7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...			
地下構造モデル 位置付け	・既許可モデルと新たに設定したモデルの位置付け	No.7	・既許可モデルと新たに設定したモデルは検討の目的に応じて設定することを明記					▼★	第1080回														
	・既許可の地震動評価への影響	No.2	・新たな地下構造モデルによる既許可の基準地震動への影響確認を実施							▼★	第1103回						▽★						
地盤減衰	・地盤減衰の設定および妥当性確認	No.1 No.8 No.18	・地震観測記録に基づく伝達関数の分析、地震波干渉法、友澤ほか(2021)等、複数の手法により設定 ・地震計設置以浅について、観測記録による応答スペクトルの比較等により妥当性を確認 ・地震計設置以深は、追加調査等を基に地震計設置以浅で設定した地盤減衰と同等であることを多面的な検討により確認					(方針) ▼★	第1088回														
	・設定した地下構造モデルの妥当性	No.15 No.16 No.18	・追加調査を踏まえたPS検層モデルとの比較、地震観測記録に基づき設定した友澤ほか(2021)の手法等により妥当性を確認							(方針) ▼★	第1103回												
地震基盤 相当面	・設置許可基準規則解釈別記2の定義に基づく設定	No.3 No.9	・ $V_s=3,010\text{m/s}$ の層上面に設定						★	第1057回													
模擬地震波	・乱数位相を用いた地震動評価	No.10	・先行他社と同様に、M7.0、 $X_{eq}10\text{km}$ で継続時間を設定					(方針) ▼★	第1097回														
	・複数の手法による検討	No.4	・先行他社と同様に、複数の手法による検討により、乱数位相を用いた地震波を選定した妥当性を説明					(方針) ▼★	第1097回														
基準地震動 策定	・ $S_s-3$ の策定	-	・地震基盤相当面、地盤減衰、模擬地震波の設定を踏まえ、 $S_s-3$ を策定																				
基礎地盤及び 周辺斜面の安 定性評価	・ $S_s-3$ による評価	-	・基準地震動見直し後の基礎地盤及び周辺斜面の安定性の評価を実施 ・評価条件は、既許可申請と同じもので評価					(方針) ▼★	第1097回														
補正申請	-	-	-																				

▼: 資料提出(実績)  
 ▽: 資料提出(予定)  
 ★: 審査会合(実績)  
 ☆: 審査会合希望時期

【友澤ほか・岩石コア・ボーリング孔内】

(特重)  
 (特重以外)

(安定性解析)

## 2. 地下構造モデルの再検討（方針）

## 2. 地下構造モデルの再検討（方針）

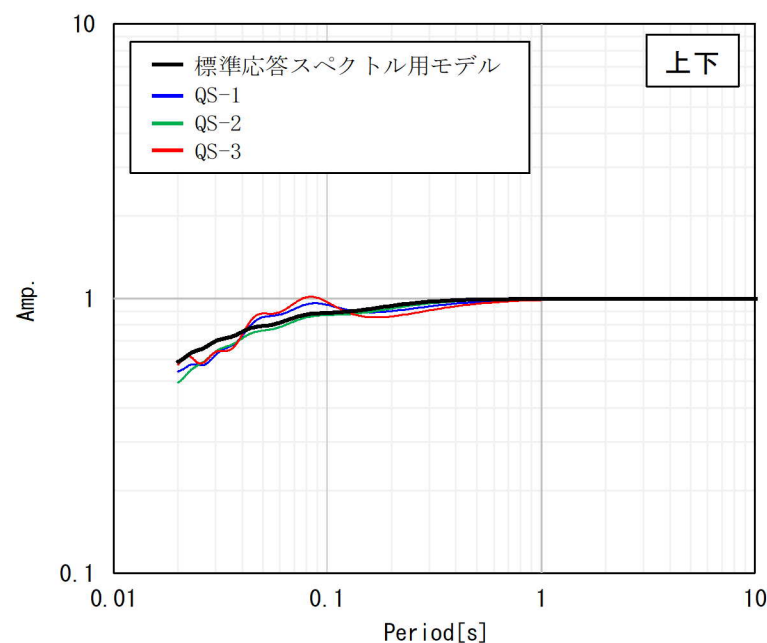
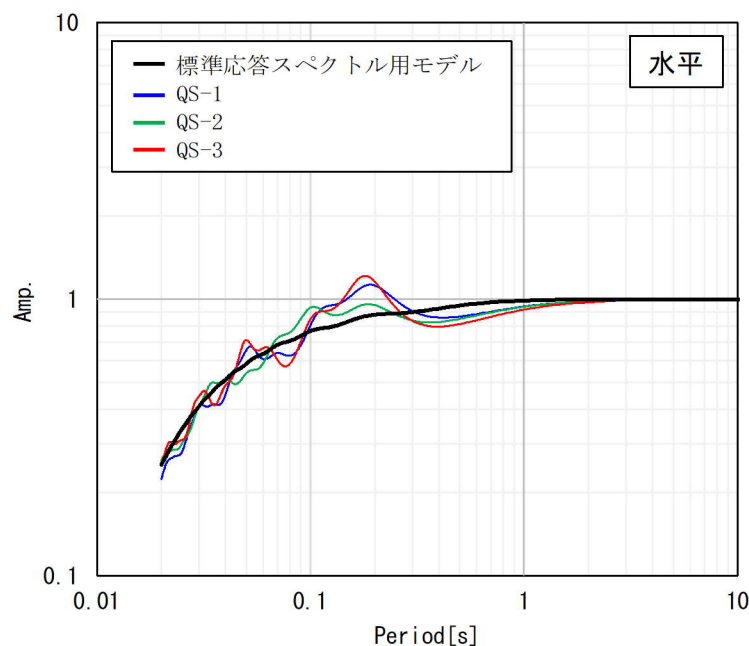
### ■ 第1103回審査会合におけるご指摘

- 地下構造モデルについて、地震観測記録等に見られる一部の周期帯におけるピークが適切に評価できていないことを踏まえ、検討すること。

#### ■ 伝達関数の比較

第1103回審査会合資料より抜粋

- 標準応答スペクトル用モデルによる理論伝達関数（解放基盤表面／EL. -200m）が、PS検層モデルによる理論伝達関数（解放基盤表面／EL. -200m）に対して、同等もしくは上回ることを確認。
- なお、一部の周期帯（水平：0.1~0.2秒付近、上下：0.05~0.1秒付近）において下回るが、PS検層モデルの伝達関数が有する特徴的なピークの影響によるものと考えられる。
  - 追加調査ボーリングのPS検層結果は、標準応答スペクトル用モデルに比べ、速度構造のコントラストが大きく、その結果として、PS検層モデルの伝達関数に特徴的なピークが現れていると考えられる。（補足③参照）
  - 追加調査ボーリングは炉心から離れた地点で実施しており、浅部の速度構造は④速度層、深部は⑤速度層に対応するため、速度層境界でコントラストが大きくなる。（46頁~48頁参照）

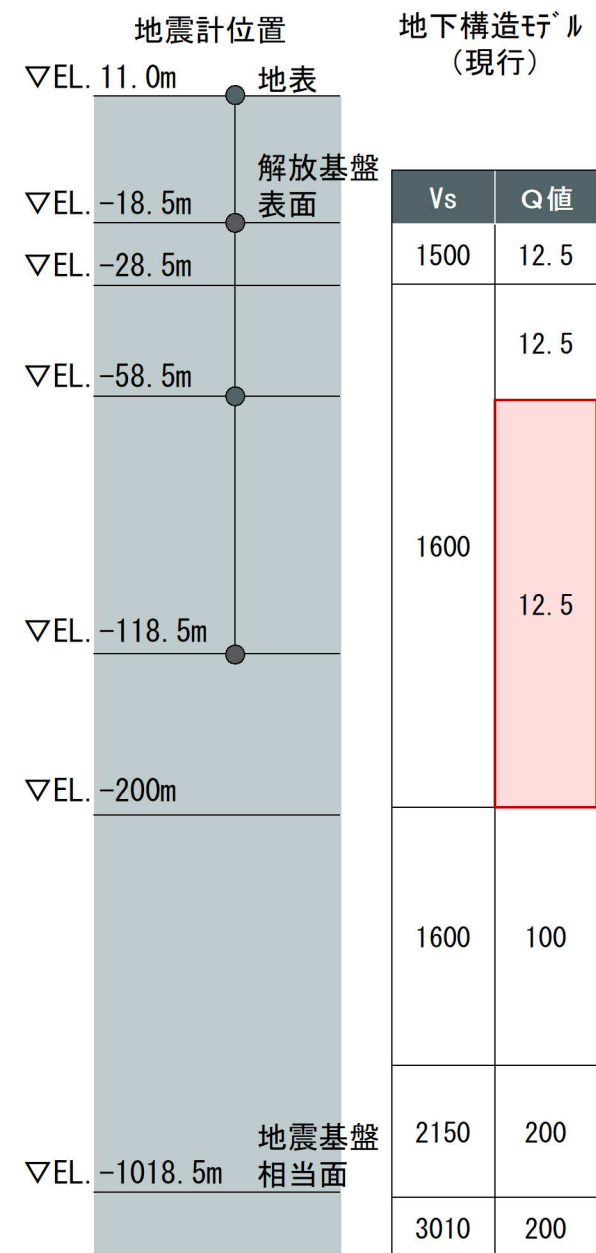




## 2. 地下構造モデルの再検討（方針）

### ■ 検討方針

- 地下構造モデルの再検討にあたり、速度構造は見直さず、地盤減衰（Q値）のみを見直す方針。（第1103回審査会合）
- 最深部地震計（EL. -118.5m）以浅の範囲における地下構造モデルを確認。  
【10～20頁参照】
  - 解放基盤表面（EL. -18.5m）における地震観測記録の応答スペクトルには、一部の周期帯における特徴的なピークが見られる。
  - 地震観測記録の伝達関数と理論伝達関数の比較によると、地震観測記録の0.1秒から0.2秒（5Hzから10Hz）の特徴的なピークの要因は、EL. -58.5mからEL. -118.5mの範囲にあると考えられる。【21頁参照】
  - 地盤減衰の見直しでは、EL. -58.5mからEL. -118.5mの範囲の特徴的なピークをカバーできない。
- 以上を踏まえ、地下構造モデル全体で観測記録をカバーする方針とする。
- 友澤ほか（2021）<sup>1)</sup>によるブロックインバージョン結果を用いた解放基盤表面（EL. -18.5m）及び地表面（EL. 11m）における応答スペクトルの比較により、地震基盤相当面から解放基盤表面までの地下構造モデル全体の妥当性を確認。  
【22頁参照】
- EL. -58.5mからEL. -118.5mの範囲では、特徴的なピークをカバーできていないこと及びEL. -118.5mからEL. -200mの範囲の地盤減衰（Q値）は地震観測記録による直接的な設定でないことを踏まえ、EL. -58.5mからEL. -200mの範囲において、更に余裕を持たせた地盤減衰（Q値）を設定。【24頁～25頁参照】



□ : 見直し  
検討範囲

## 2. 地下構造モデルの再検討（方針）

### ■ 地下構造モデル

- 地下構造モデルの見直しにあたって、まずは、以下の地下構造モデルを基に、地震観測記録をカバーできているか、見てみる。

見直し前の標準応答スペクトルを考慮した地震動評価に用いる地下構造モデル

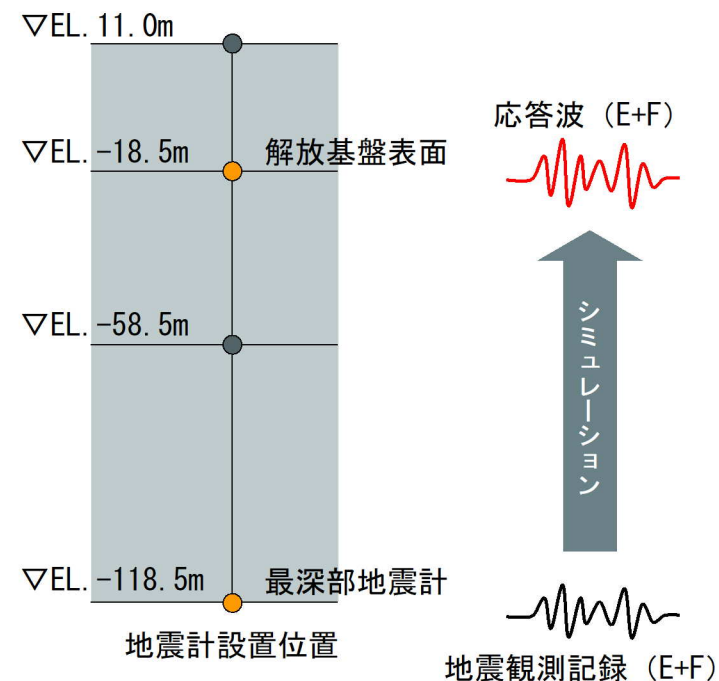
EL.	層上面 (km)	密度 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値
解放基盤表面					
-18.5m	0.0	2.70	1500	3200	12.5
-28.5m	-0.01	2.70	1600	3700	12.5
-58.5m	-0.04	2.70	1600	3700	12.5
-200m	-0.182	2.70	1600	3700	100
-480m	-0.462	2.70	2150	4400	200
-1018.5m	-1.0	2.70	3010	5200	200

## 2. 地下構造モデルの再検討（方針）

### ■ 解放基盤表面（EL. -18.5m）における地震観測記録の応答スペクトルの確認

- 最深部地震計（EL. -118.5m）で得られた地震観測記録を入力とし、1次元波動論に基づき、推定した応答波（EL. -18.5m）の応答スペクトル※と同位置の地震計で得られた地震観測記録の応答スペクトルとの比較を実施。
- 解放基盤表面（EL. -18.5m）における地震観測記録の応答スペクトルには、一部の周期帯における特徴的なピークが見られることを確認。

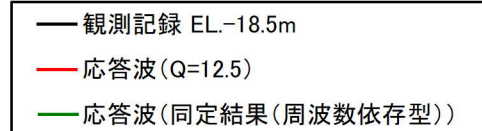
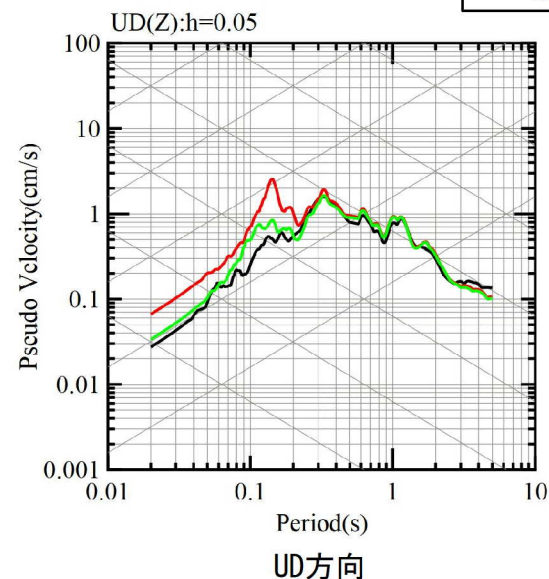
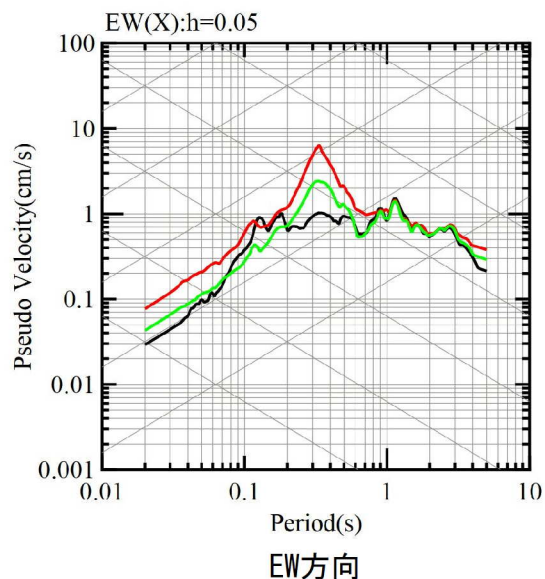
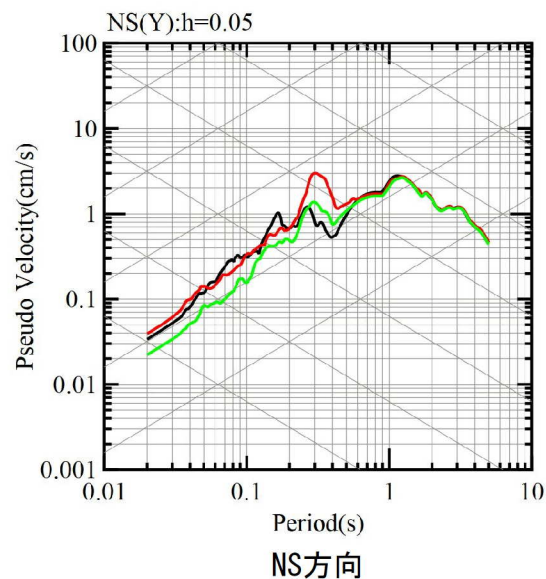
※入力の最深部地震計（EL. -118.5m）で得られた地震観測記録及び出力の解放基盤相当（EL. -18.5m）での応答波は地中記録のため、E+Fで評価



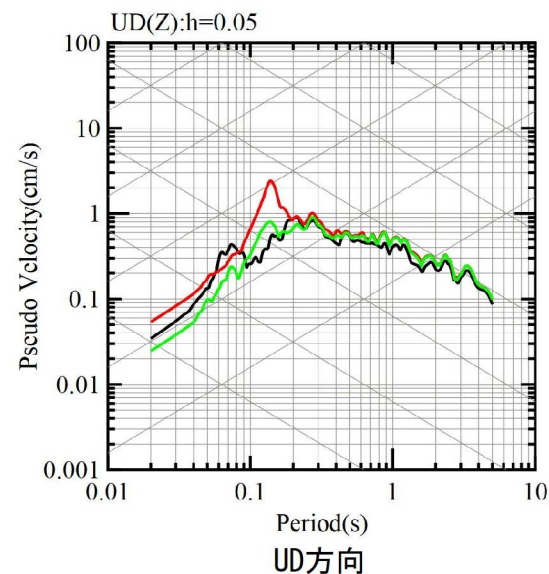
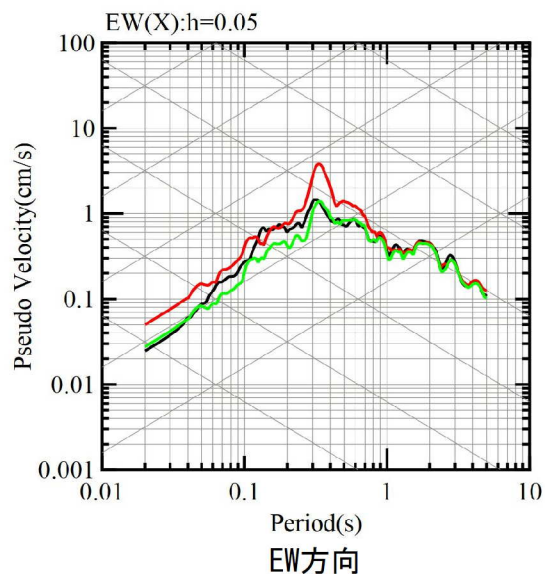
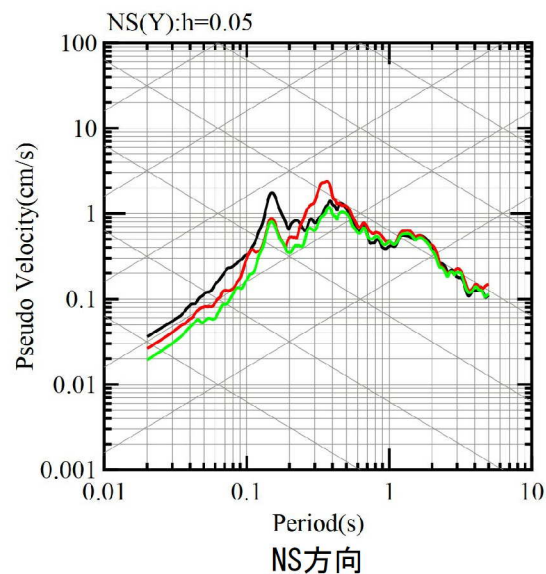
## 2. 地下構造モデルの再検討（方針）

### ■ 応答スペクトルの比較結果（1/10）

#### ①九州西側海域



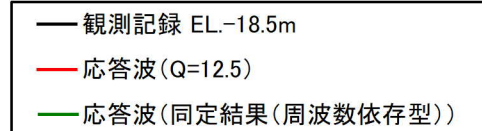
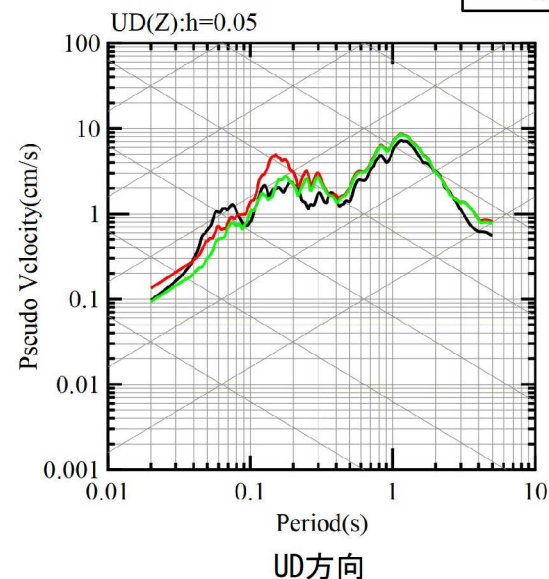
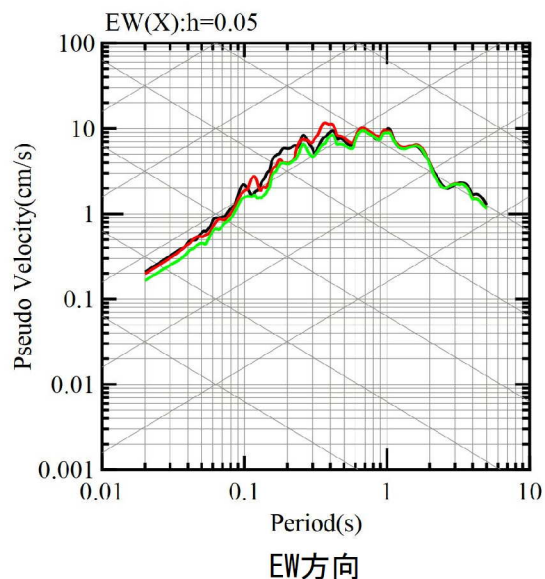
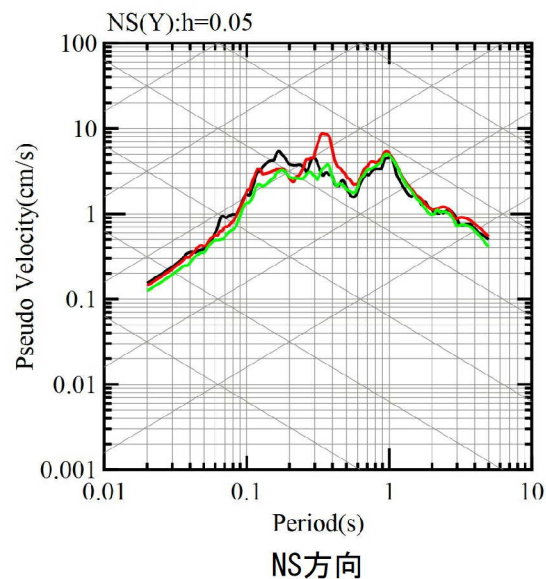
#### ②鹿児島県北西部



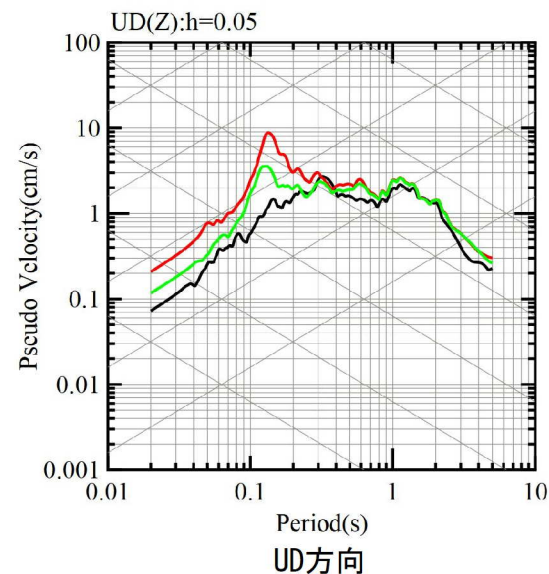
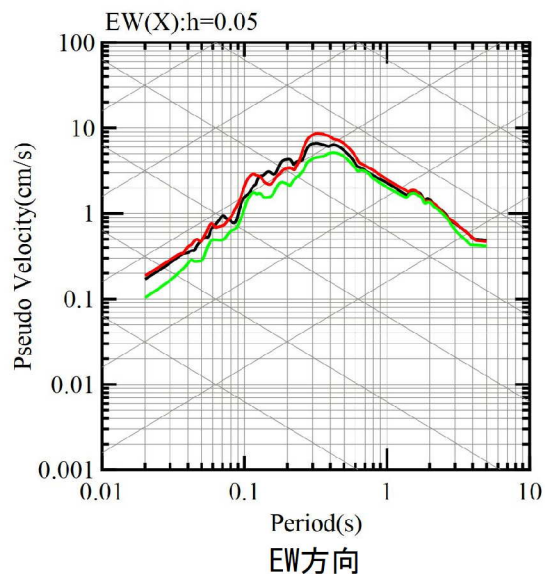
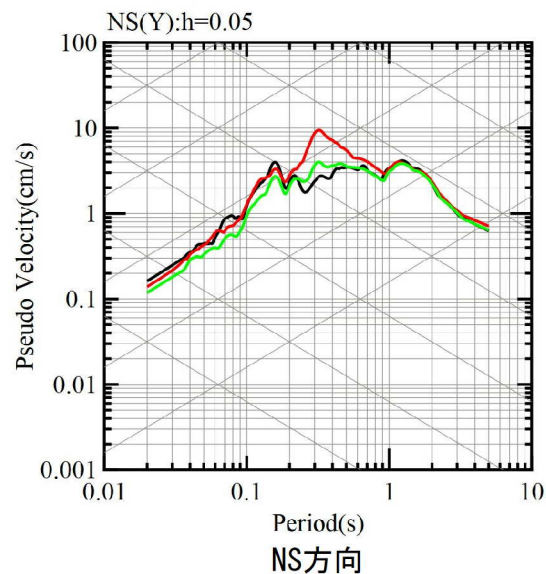
## 2. 地下構造モデルの再検討（方針）

### ■ 応答スペクトルの比較結果（2/10）

#### ③ 鹿児島県北西部（1997年3月本震）



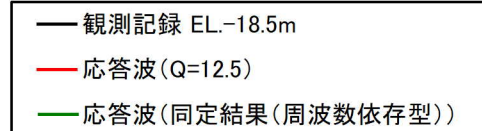
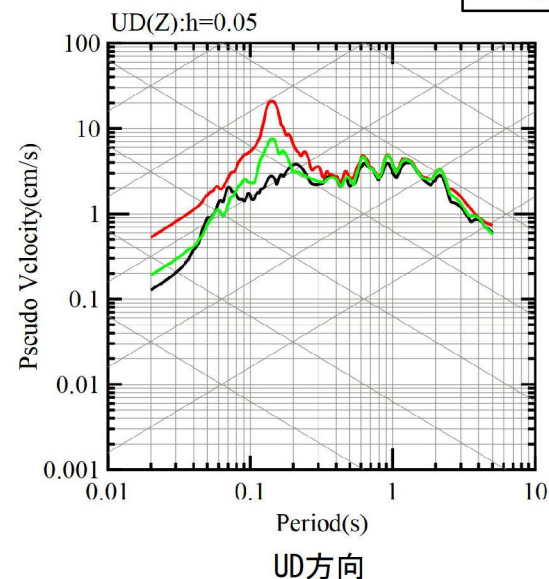
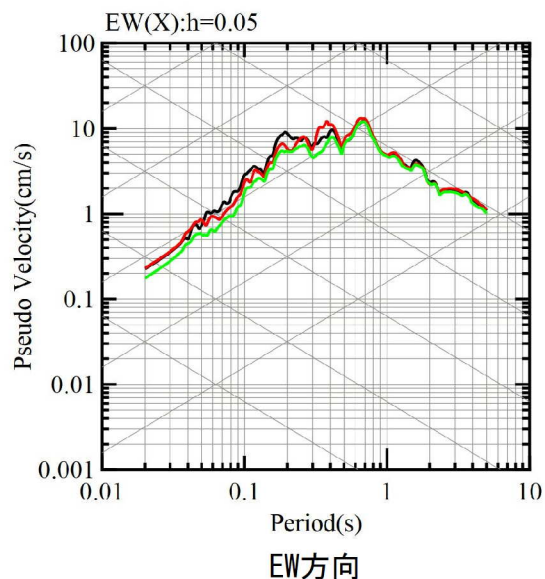
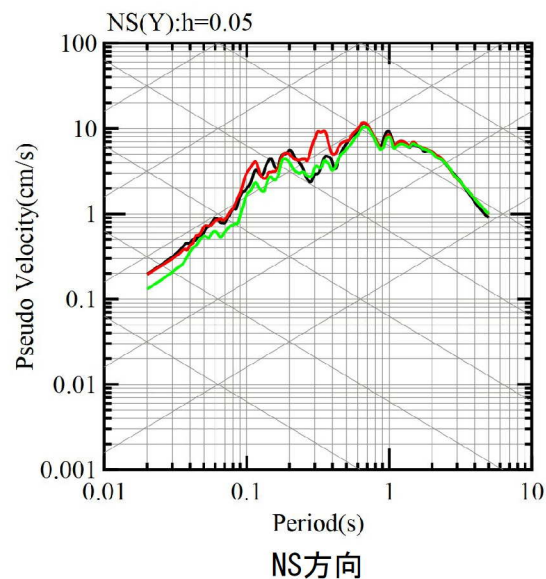
#### ④ 鹿児島県北西部



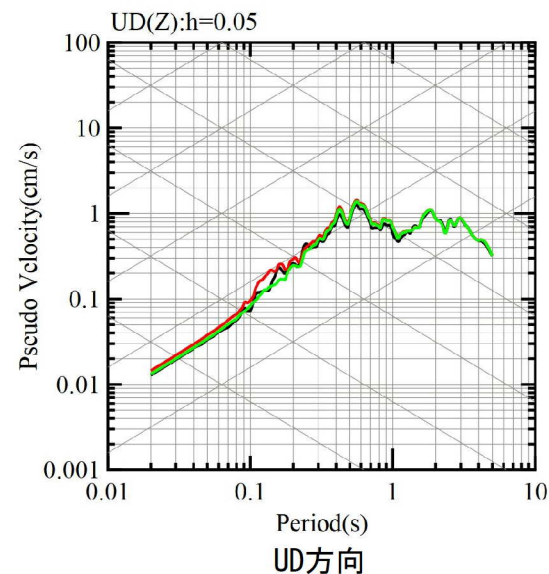
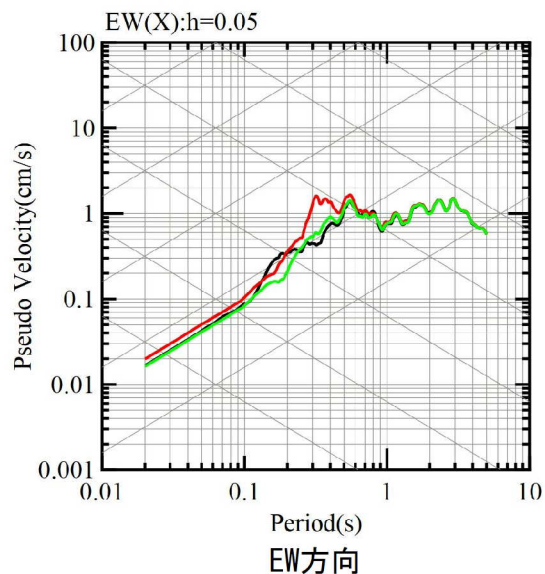
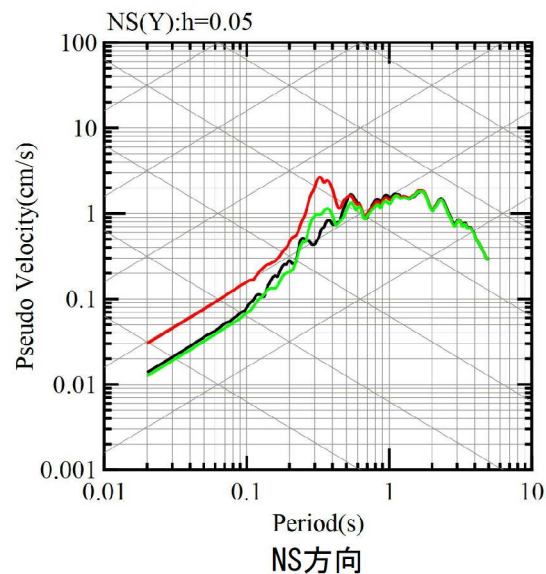
## 2. 地下構造モデルの再検討（方針）

### ■ 応答スペクトルの比較結果（3/10）

#### ⑤ 鹿児島県北西部（1997年5月本震）



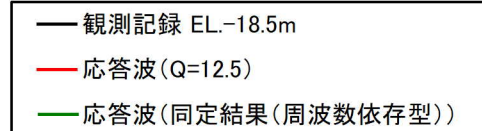
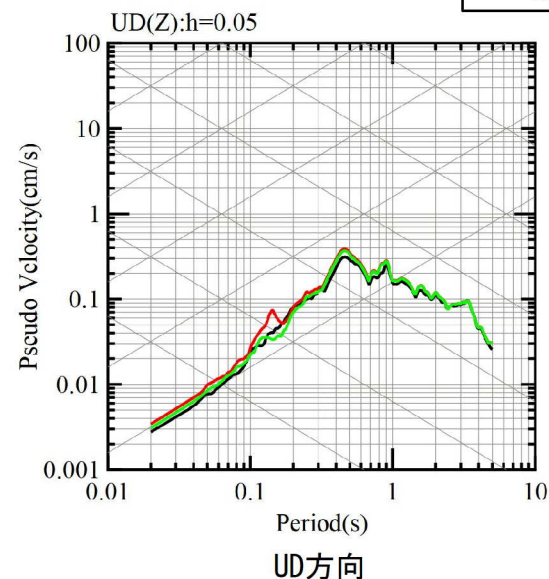
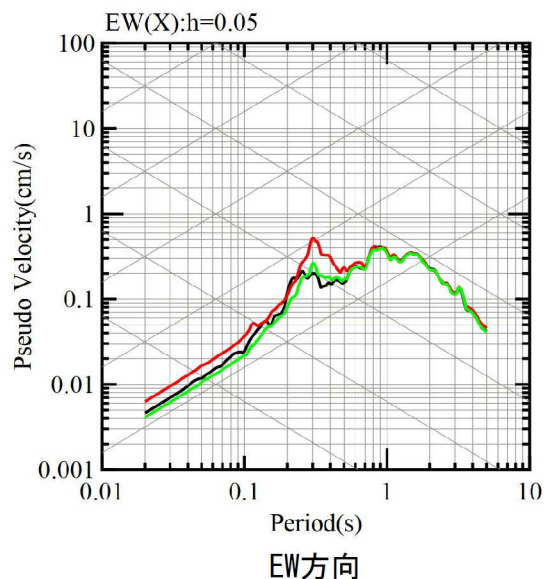
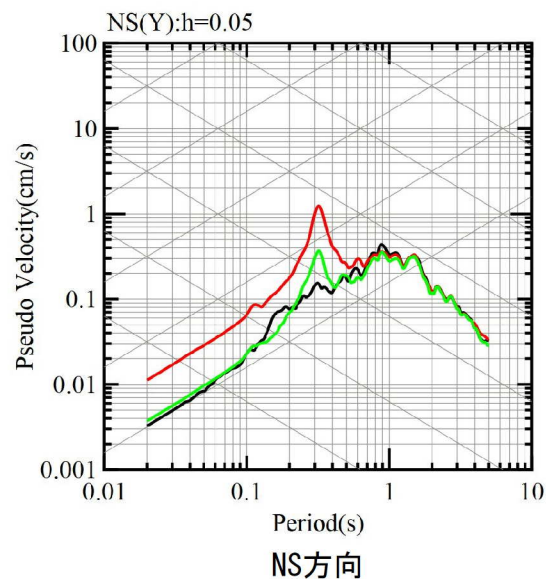
#### ⑥ 薩摩半島西方沖



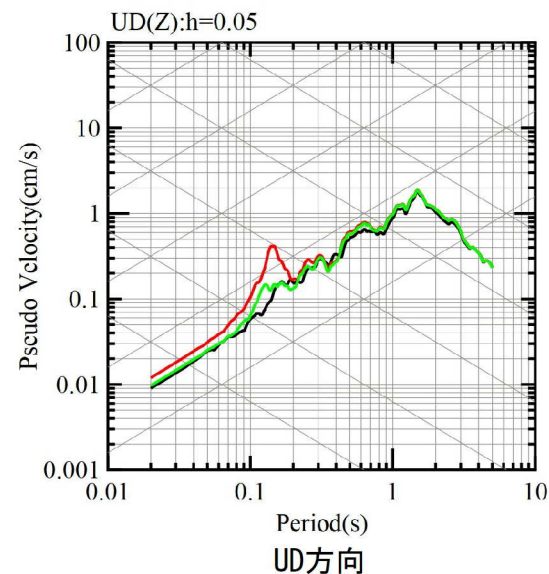
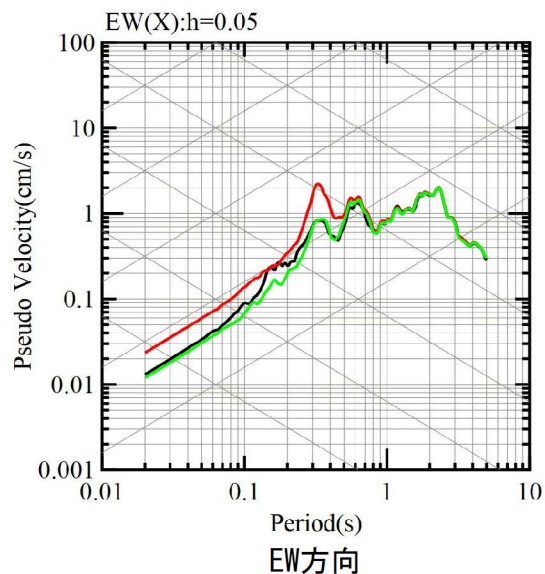
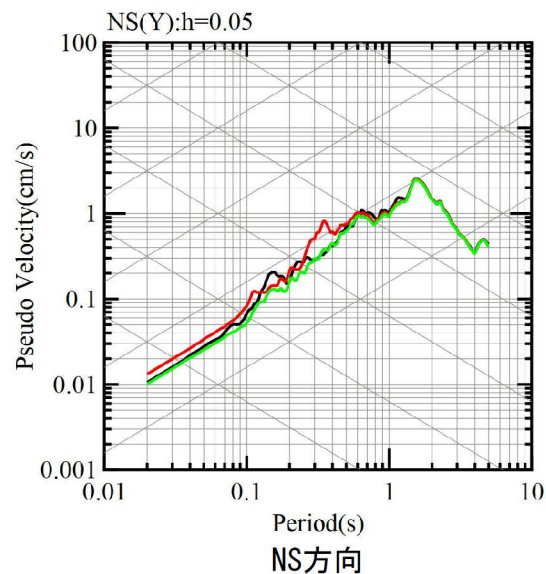
## 2. 地下構造モデルの再検討（方針）

### ■ 応答スペクトルの比較結果（4/10）

#### ⑦薩摩半島西方沖



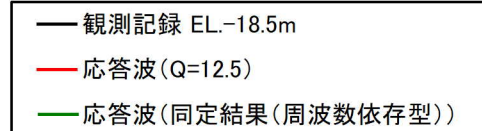
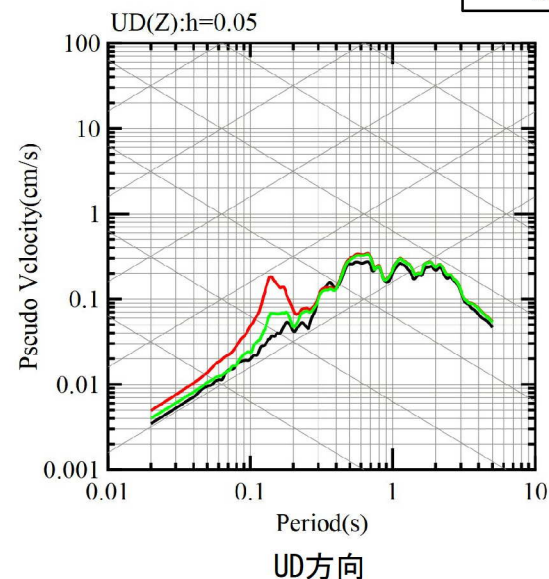
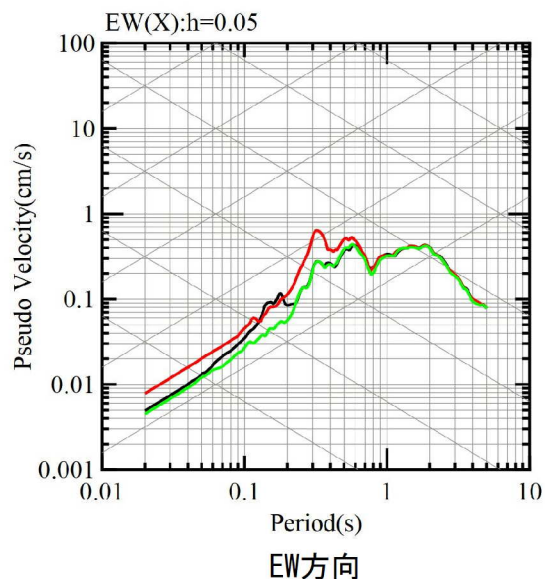
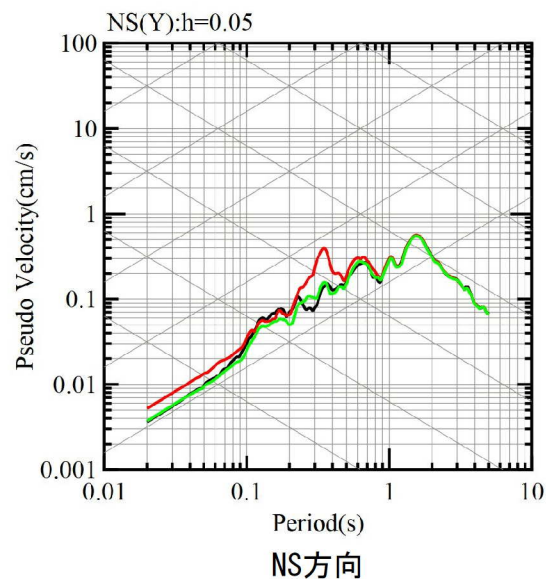
#### ⑧熊本県熊本地方（2016年熊本地震前震）



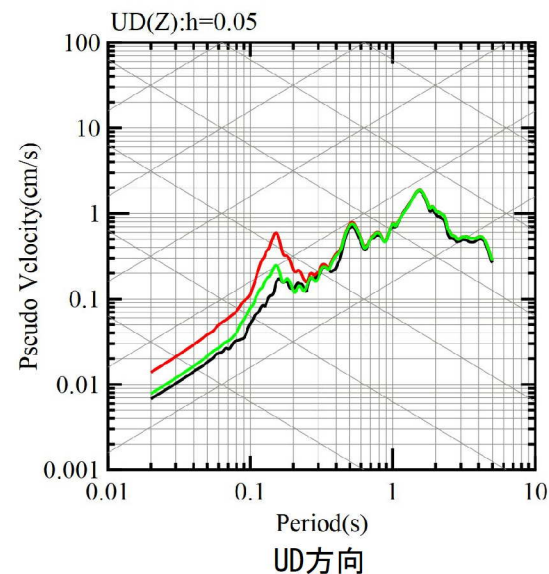
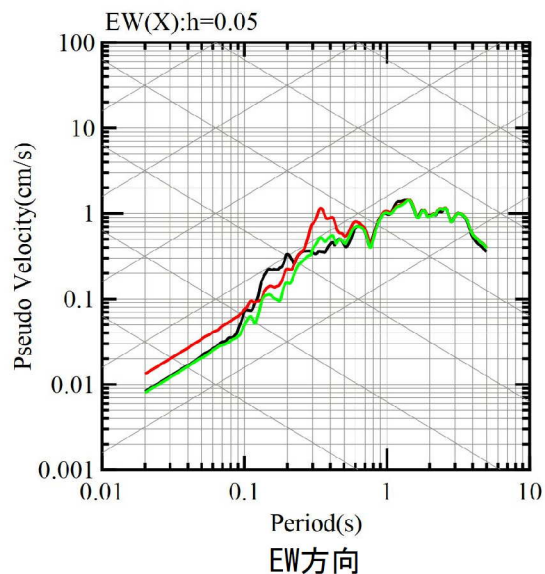
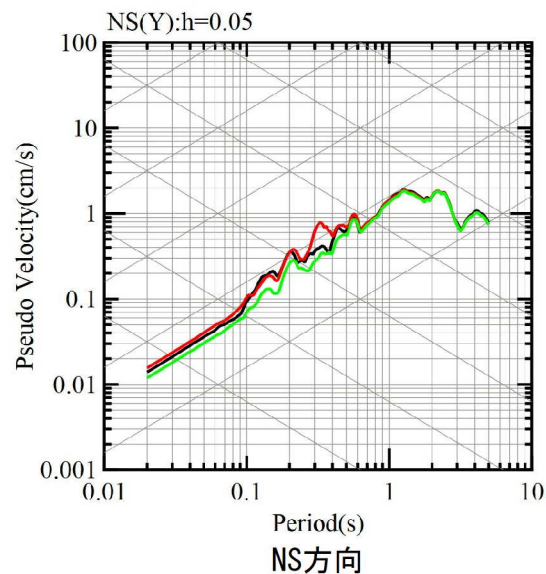
## 2. 地下構造モデルの再検討（方針）

### ■ 応答スペクトルの比較結果（5/10）

#### ⑨ 熊本県熊本地方



#### ⑩ 熊本県熊本地方

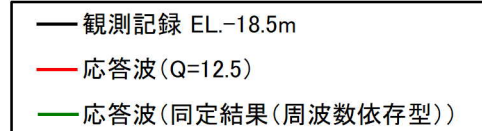
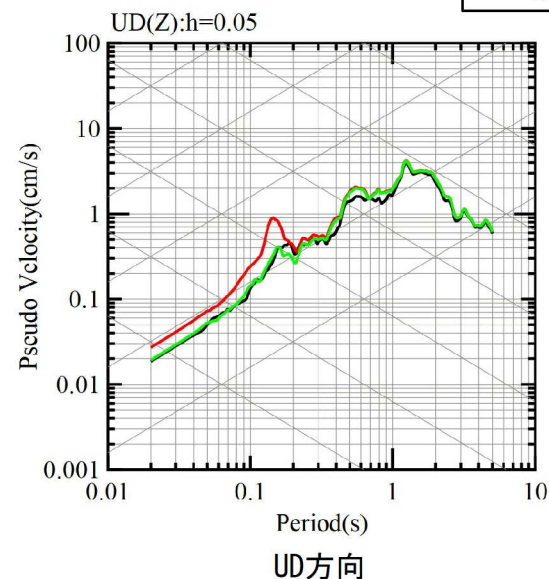
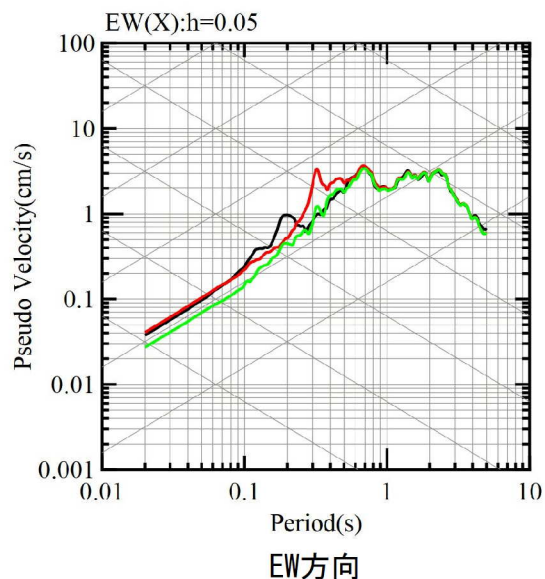
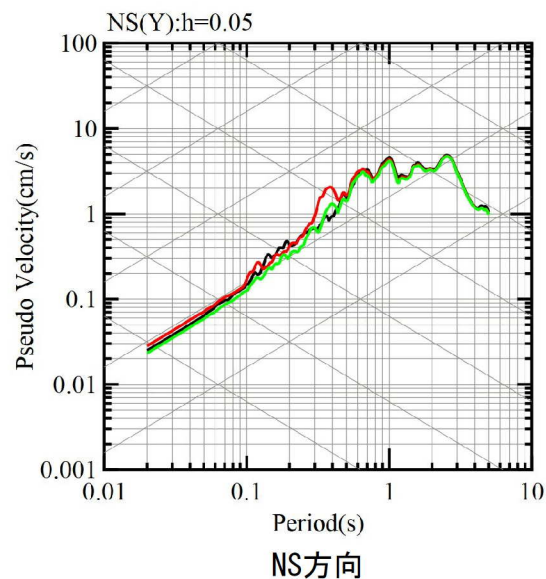




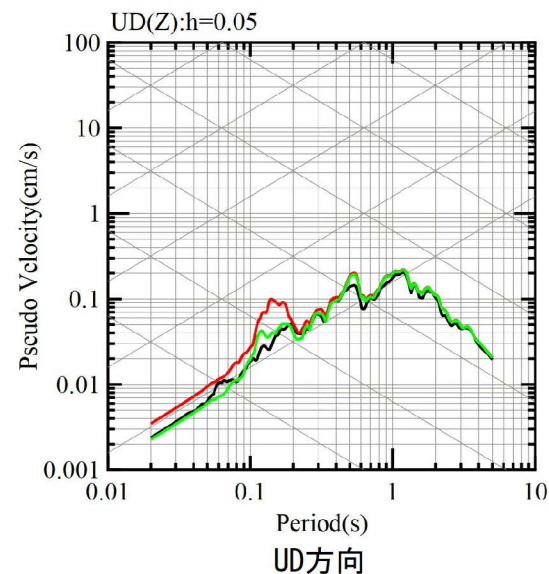
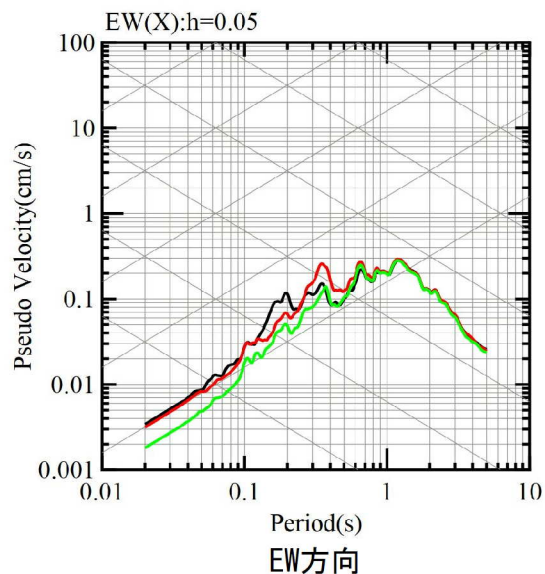
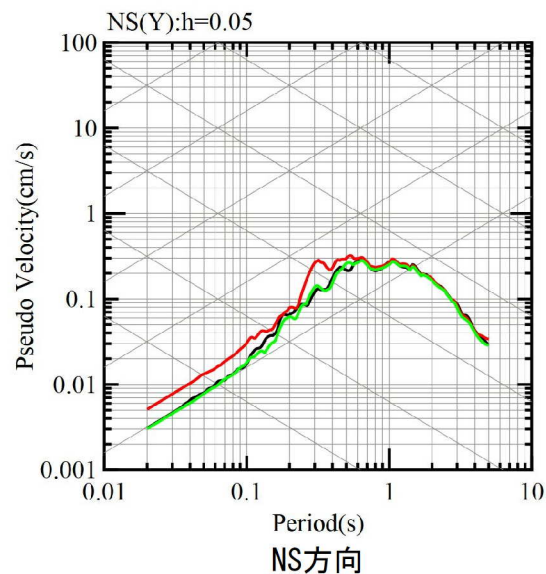
## 2. 地下構造モデルの再検討（方針）

### ■ 応答スペクトルの比較結果（6/10）

#### ⑪ 熊本県熊本地方（2016年熊本地震本震）



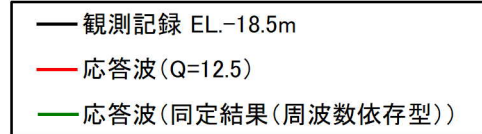
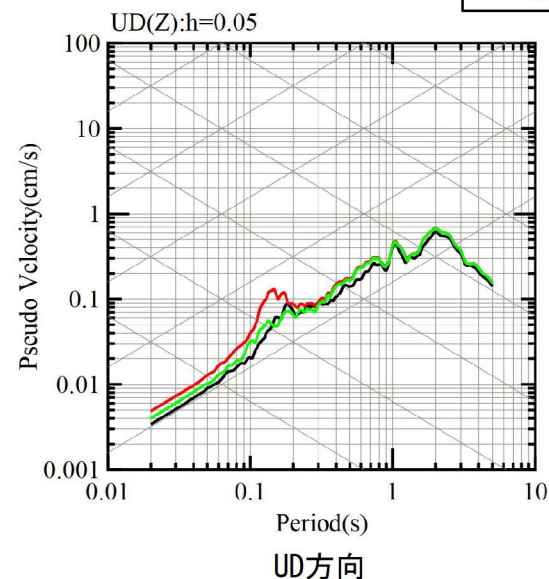
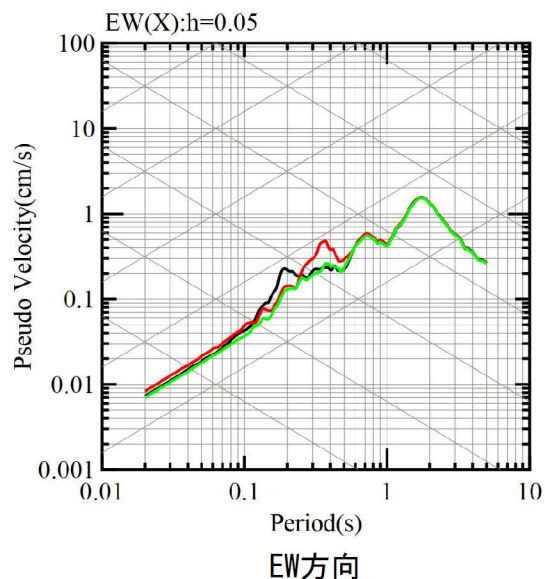
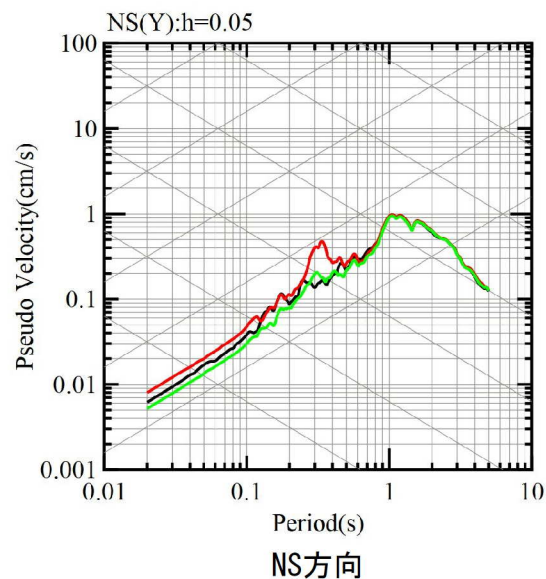
#### ⑫ 熊本県熊本地方



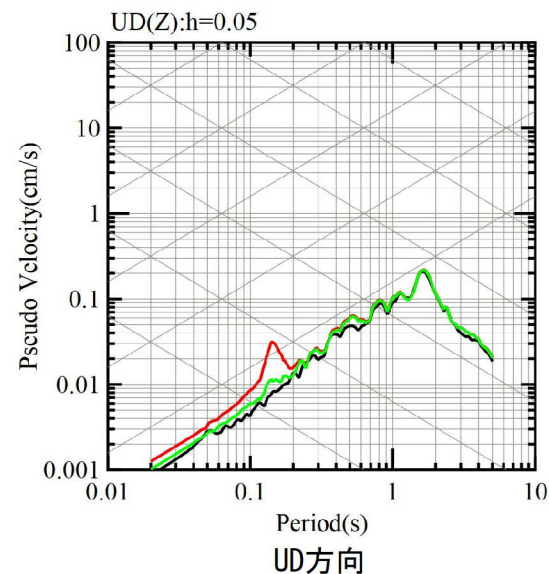
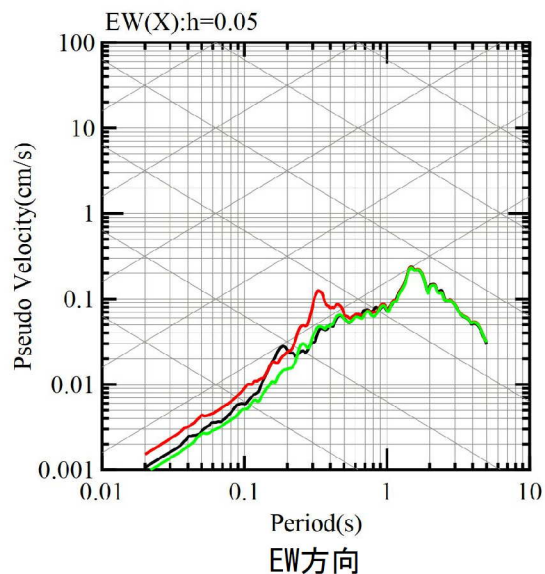
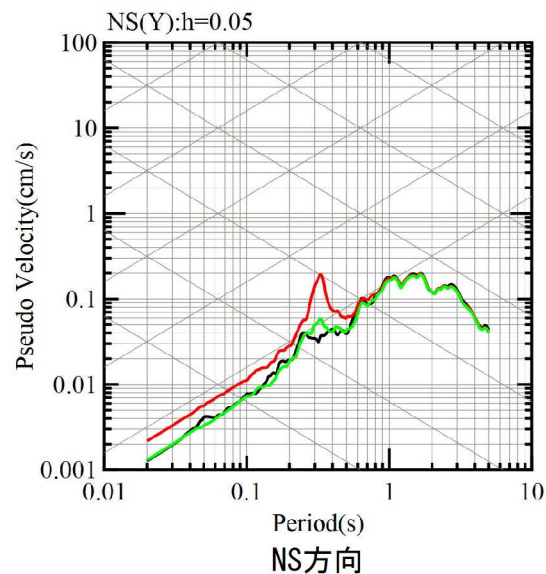
## 2. 地下構造モデルの再検討（方針）

### ■ 応答スペクトルの比較結果（7/10）

#### ⑬熊本県熊本地方



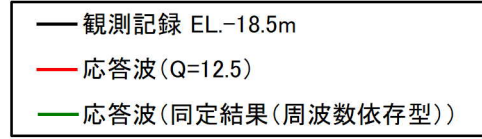
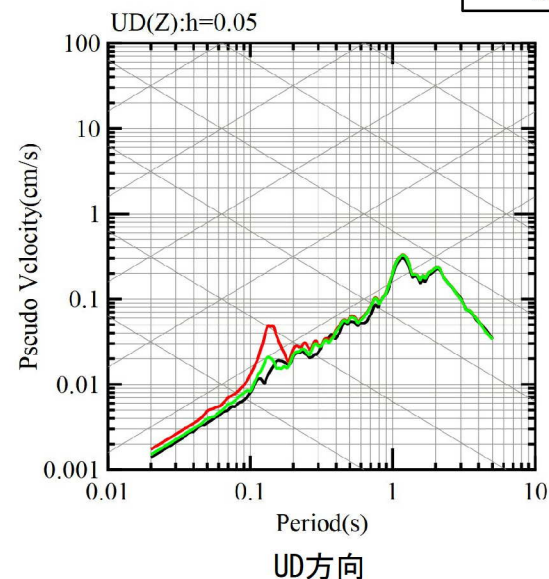
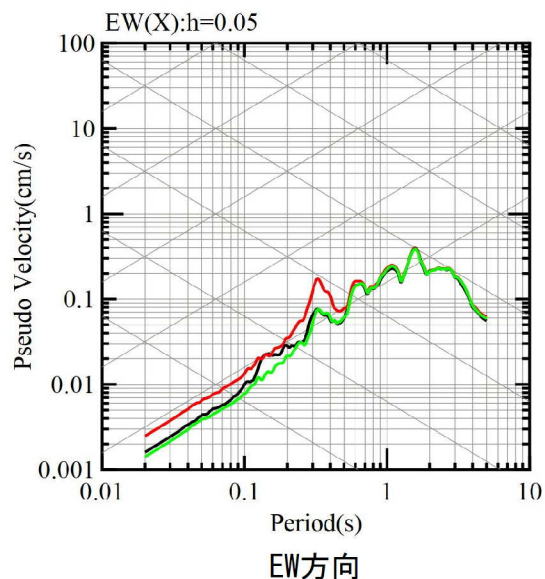
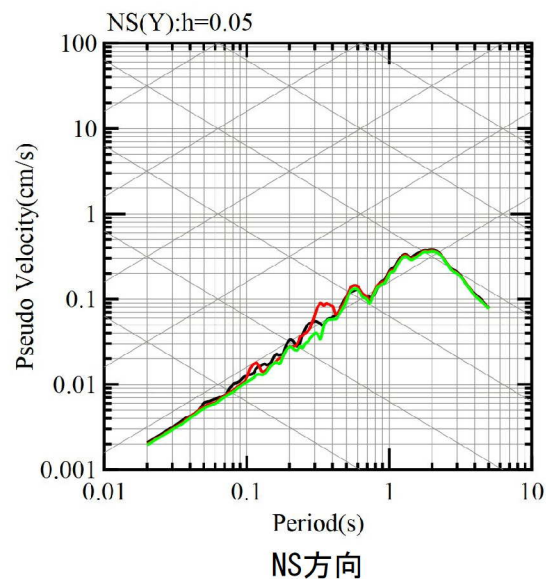
#### ⑭熊本県阿蘇地方



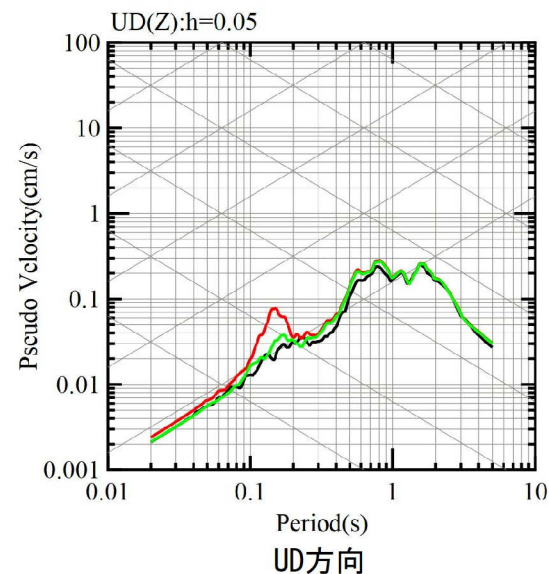
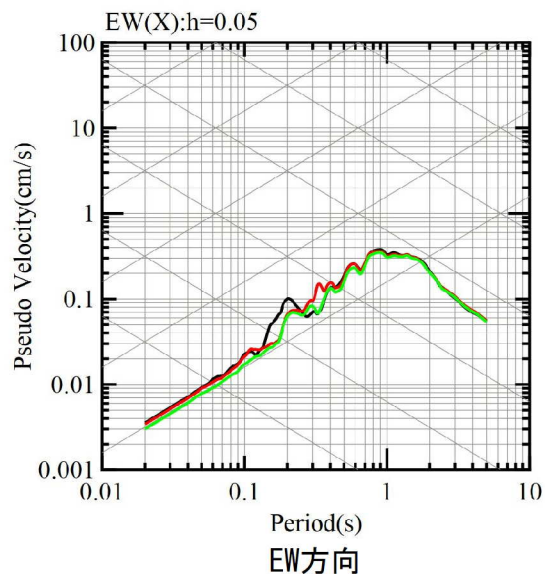
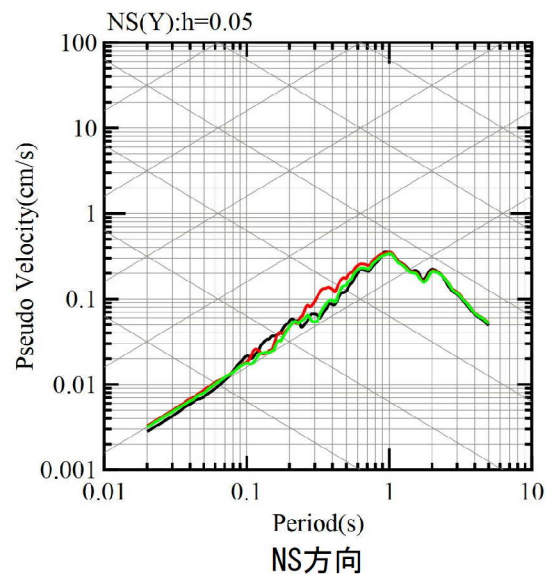
## 2. 地下構造モデルの再検討（方針）

### ■ 応答スペクトルの比較結果（8/10）

#### ⑮ 熊本県阿蘇地方



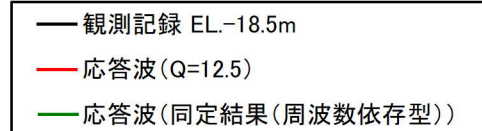
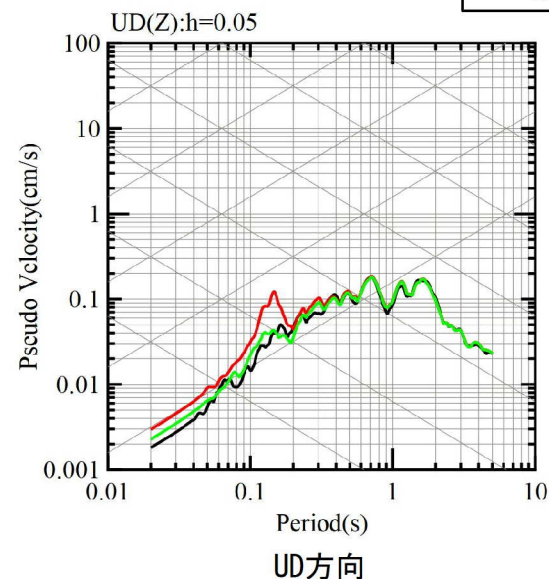
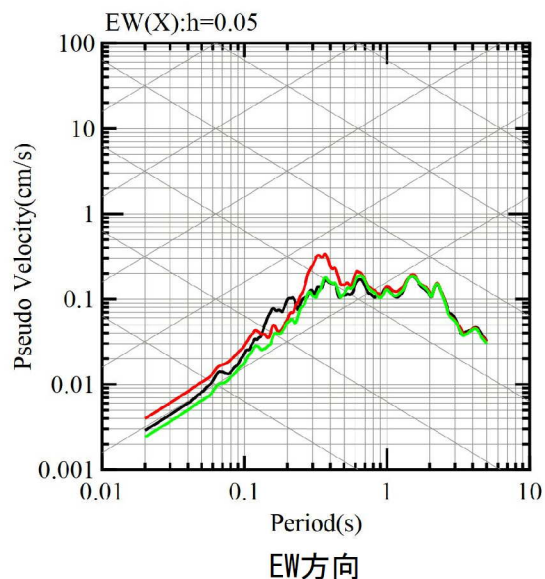
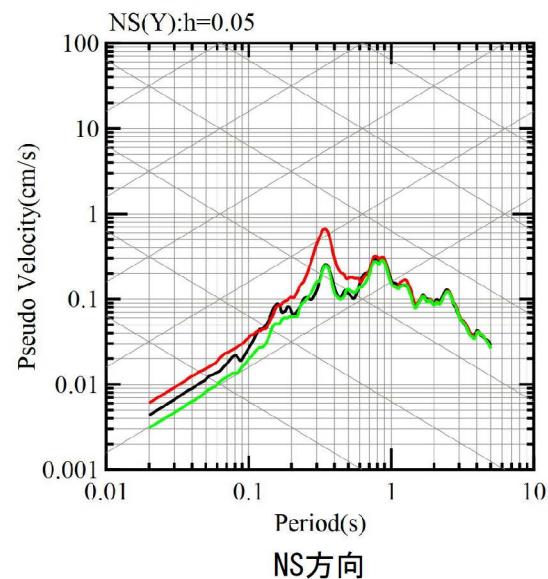
#### ⑯ 熊本県熊本地方



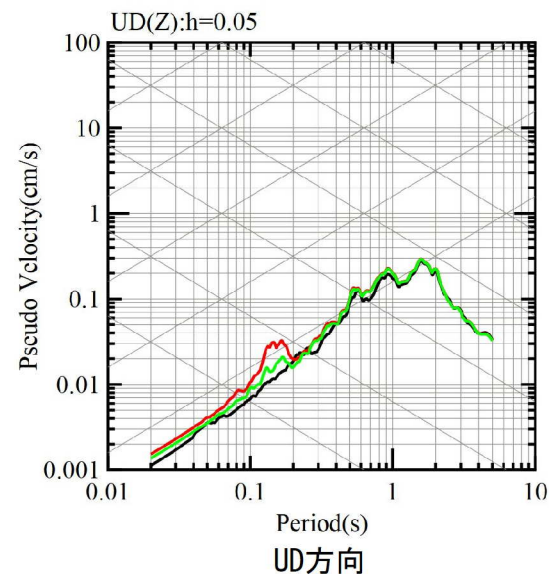
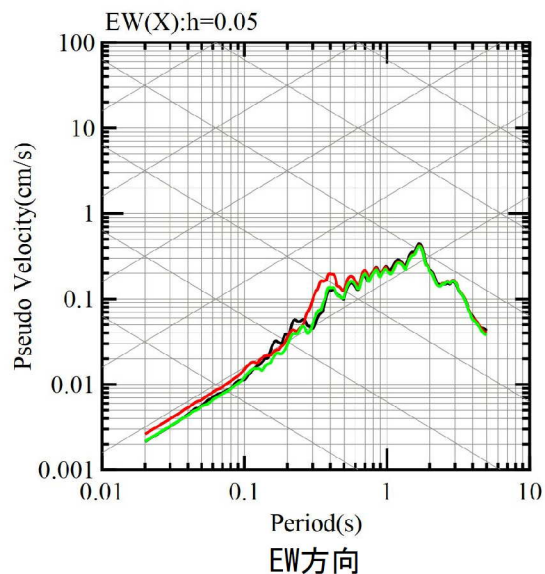
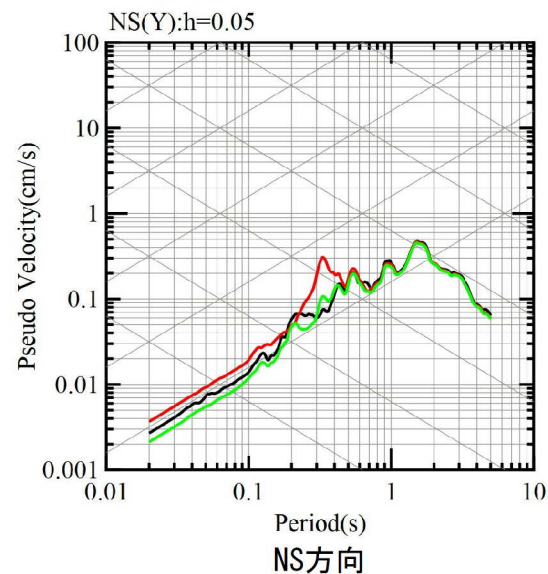
## 2. 地下構造モデルの再検討（方針）

### ■ 応答スペクトルの比較結果（9/10）

#### ⑰ 熊本県熊本地方



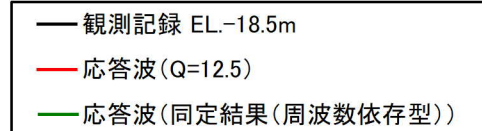
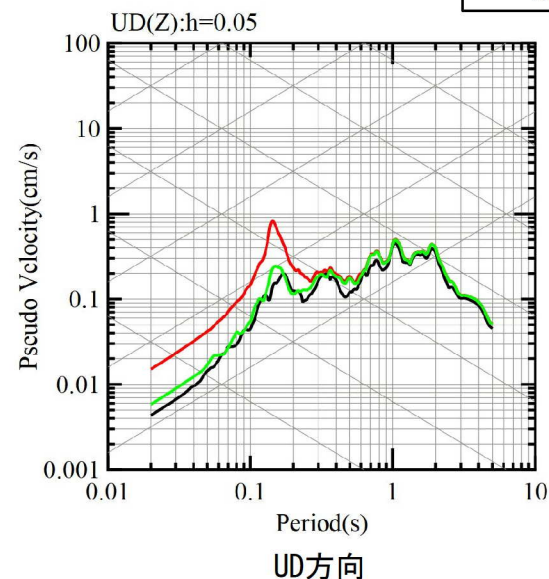
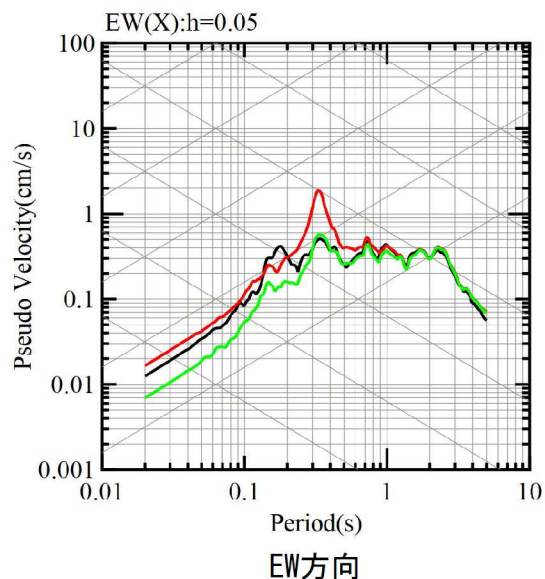
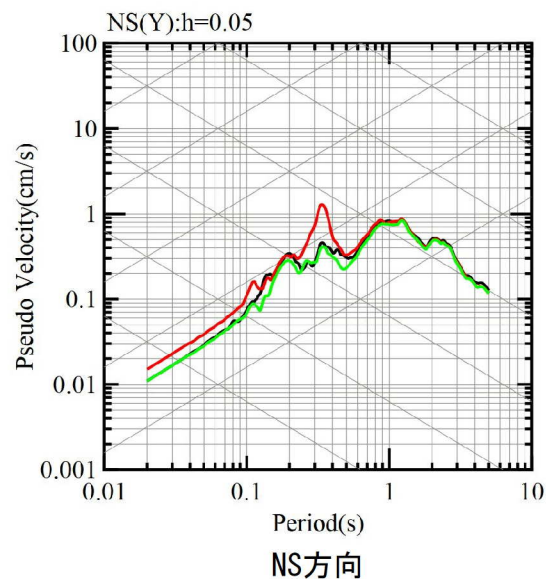
#### ⑱ 熊本県阿蘇地方



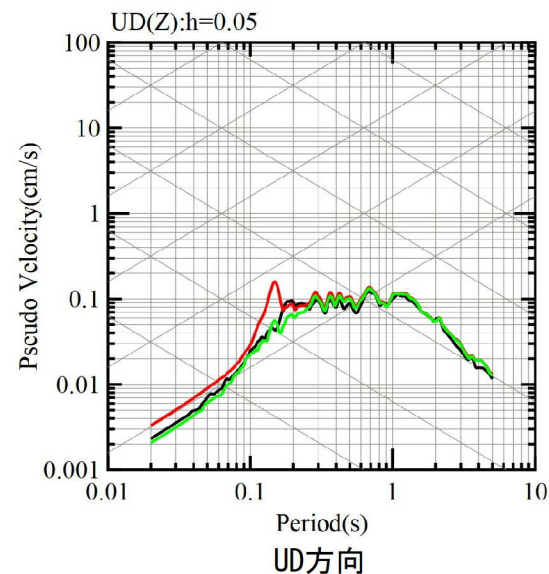
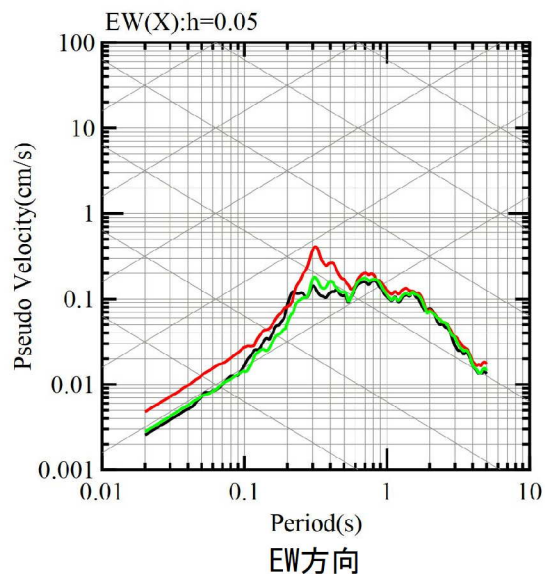
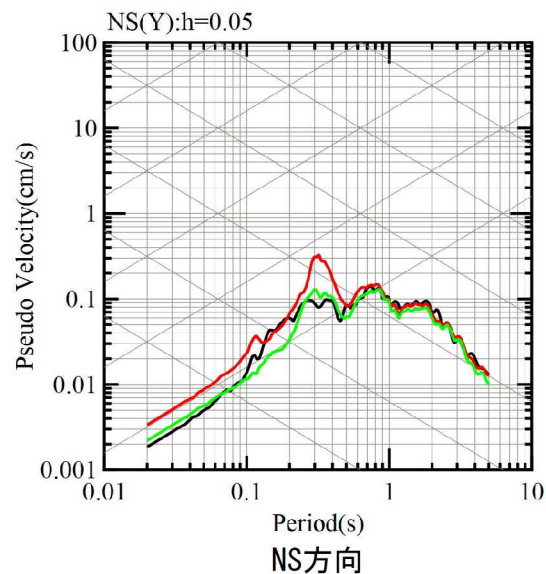
## 2. 地下構造モデルの再検討（方針）

### ■ 応答スペクトルの比較結果（10/10）

#### ①9 熊本県熊本地方



#### ②0 薩摩半島西方沖



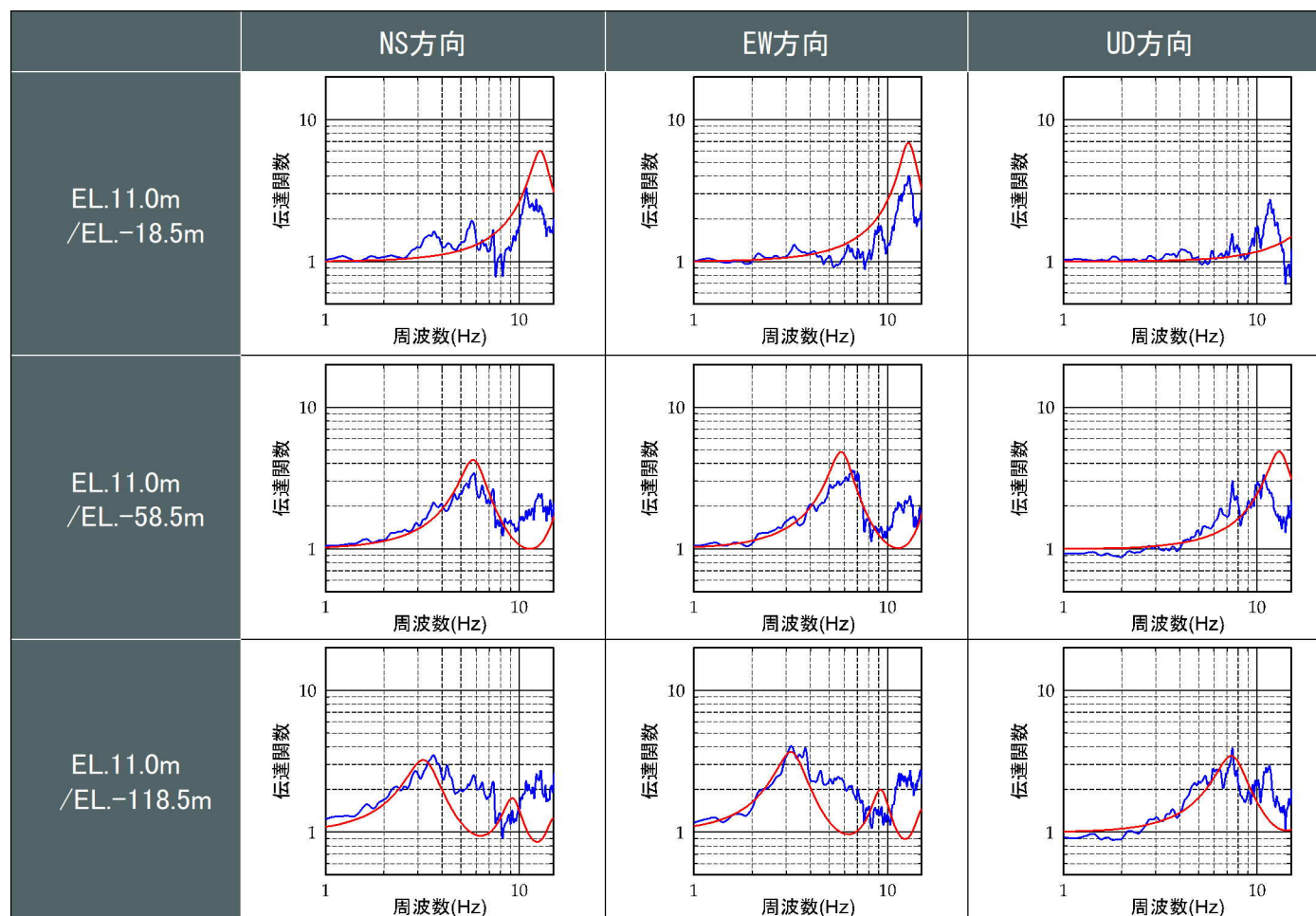
## 2. 地下構造モデルの再検討（方針）

### ■ 一部の周期帯における特徴的なピークの生成要因

- 地震観測記録の0.1秒から0.2秒（5Hzから10Hz）の特徴的なピークは、EL. 11.0m/EL. -18.5mやEL. 11.0m/EL. -58.5mの伝達関数では見られないが、EL. 11.0m/EL. -118.5mの伝達関数では見られることから、この特徴的なピークの要因は、EL. -58.5mからEL. -118.5mの範囲にあると考えられる。

第1103回審査会合資料より抜粋

### ■ 地盤減衰（Q値）の同定結果



— 地震観測記録(20地震)  
— 同定結果 ( $Q=Q_0 \cdot f^\alpha$ )

※観測記録の伝達関数はParzen Window 0.2Hzでスムージング

## 2. 地下構造モデルの再検討（方針）

### ■ 地下構造モデルの再検討方針

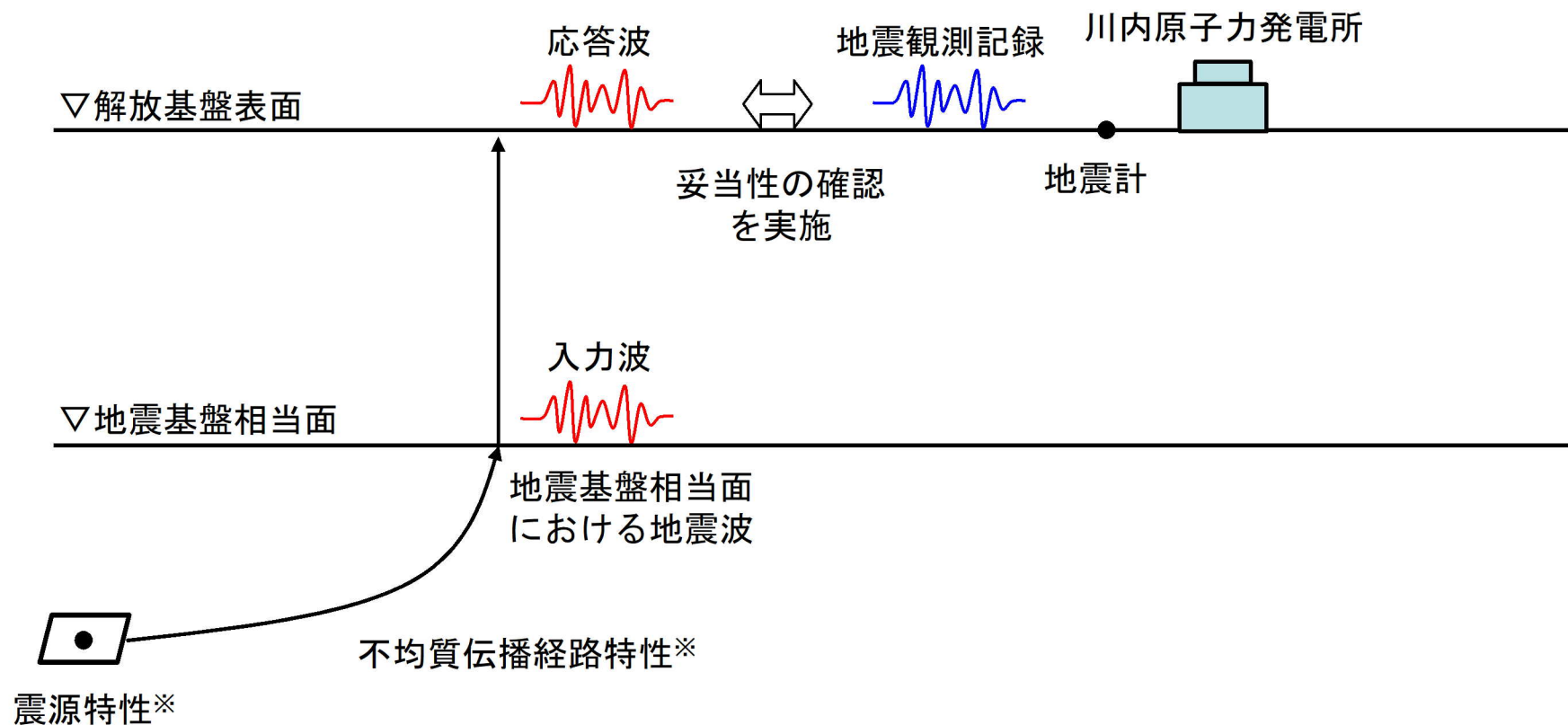
- 地下構造モデルの再検討にあたり、速度構造は見直さず、地盤減衰（Q値）のみを見直す方針（第1103回審査会合）。
- 最深部地震計（EL. -118.5m）以浅の範囲における地下構造モデルを確認。
  - 解放基盤（EL. -18.5m）における地震観測記録の応答スペクトルには、一部の周期帯における特徴的なピークが見られる。
  - 地震観測記録の伝達関数と理論伝達関数の比較によると、地震観測記録の0.1秒から0.2秒（5Hzから10Hz）の特徴的なピークの要因は、EL. -58.5mからEL. -118.5mの範囲にあると考えられる。
  - 地盤減衰の見直しでは、EL. -58.5mからEL. -118.5mの範囲の特徴的なピークをカバーできない。



- 以上を踏まえ、地下構造モデル全体で観測記録をカバーする方針とする。
- 地震基盤相当面から解放基盤表面までの地下構造モデル全体の妥当性は、次頁の方針により確認。

## 2. 地下構造モデルの再検討（方針）

- 友澤ほか（2021）によるブロックインバージョン結果を用いた地下構造モデル全体の妥当性確認
  - 友澤ほか（2021）<sup>1)</sup>によるブロックインバージョン結果における震源特性に伝播経路特性を乗じて、地震基盤相当面における地震波を作成。
  - 作成した地震波を地震基盤相当面に入力し、地下構造モデルを用いて次元波動論により応答波を算出。
  - 算出した応答波と地震観測記録を比較して、地下構造モデル全体の妥当性の確認を実施。



※友澤ほか（2021）によるブロックインバージョン結果

地下構造モデルの妥当性確認のイメージ



## 2. 地下構造モデルの再検討（方針）

### ■ 標準応答スペクトル用モデルの見直し方針

- EL. -58.5mからEL. -118.5mの範囲では、特徴的なピークをカバーできていない。
- 解放基盤表面からEL. -118.5mまでの範囲の地盤減衰（Q値）は、地震観測記録の検討に基づき、保守的に設定。一方、EL. -118.5mからEL. -200mまでの範囲の地盤減衰（Q値）は、既存の速度層断面及びボーリング孔内における減衰測定等によりEL. -118.5m以浅と同等の地盤減衰（Q値）を設定。
- EL. -58.5mからEL. -118.5mの範囲では特徴的なピークをカバーできていないこと、及びEL. -118.5mからEL. -200mの範囲の地盤減衰（Q値）は地震観測記録による直接的な設定でないことを踏まえ、EL. -58.5mからEL. -200mの範囲において、更に余裕を持たせた地盤減衰（Q値）の見直しを検討。

地盤減衰（Q値）	
地表 ▼ EL. 11.0m 解放基盤表面 ▼ EL. -18.5m ▼ EL. -28.5m 最深部地震計 ▼ EL. -118.5m ▼ EL. -200m ▼ EL. -480m ▼ EL. -1018.5m	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">観測記録</div> <div style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">速度層断面・ボーリング孔内減衰測定等</div> </div>
地震観測記録を用いた以下の検討結果に基づき、保守的に設定 <ul style="list-style-type: none"> <li>・伝達関数（周波数依存型）による検討</li> <li>・伝達関数（バイリニア型）による検討</li> <li>・地震波干渉法による検討</li> </ul>	
以下の確認に基づき、EL. -90m以浅と同等に設定 <ul style="list-style-type: none"> <li>・速度層断面による確認</li> <li>・ボーリング孔内減衰測定による確認</li> <li>・岩石コア減衰測定による確認</li> </ul>	
慣用値（ $V_s/15\sim 10$ ）を基に設定 （既許可モデルと同様）	


## 2. 地下構造モデルの再検討（方針）

### ■ 標準応答スペクトル用モデルの見直し

- 前頁を踏まえ、標準応答スペクトル用モデルの以下の範囲の地盤減衰（Q値）を見直す方針とする。

見直し前の標準応答スペクトルを考慮した地震動評価に用いる地下構造モデル

EL. 解放基盤表面	層上面 (km)	密度 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q 値
-18.5m	0.0	2.70	1500	3200	12.5
-28.5m	-0.01	2.70	1600	3700	12.5
-58.5m	-0.04	2.70	1600	3700	12.5
-200m	-0.182	2.70	1600	3700	100
-480m	-0.462	2.70	2150	4400	200
-1018.5m	-1.0	2.70	3010	5200	200

 : 見直し範囲

## 参考文献

- 1) 友澤裕介、加藤研一、中尾隆、本村一成、赤司二郎(2021)：九州地域の震源特性・不均質伝播経路特性・サイト増幅特性の推定 強震観測記録のブロックインバージョン解析に基づく検討、日本建築学会構造系論文集、第86巻、第790号、1597-1606、2021年12月.