

## 2.3 地下構造モデルの設定

### ■ 地下構造モデルの設定

- EL. -200m以深の範囲は、既許可の地下構造モデルを流用して設定し、短周期から長周期までの全ての周期帯への適用性を確認。
  - 設定根拠としている地震調査委員会（2007）<sup>2)</sup>における地盤構造の物性値は、詳細法（ハイブリッド合成法）による強震動計算を目的として設定されており、短周期から長周期までの全ての周期帯へ適用されている。
  - なお、既許可以降の知見である防災科学技術研究所 地震ハザードステーション J-SHIS (V3.2)<sup>3)</sup>の深部地盤と、地震調査委員会（2007）の地盤構造の物性値が整合する。（補足①）
- 解放基盤表面からEL. -200mまでの速度構造・密度は、既許可の地下構造モデルを流用する。
- 解放基盤表面からEL. -200mまでの範囲において、既許可以降継続的に取得している鉛直アレイの地震観測記録やボーリング孔内減衰測定結果等の観測事実等に基づき、最新の技術的知見を取り入れた多面的な検討から地盤減衰（Q値）を設定する。
- 上記を踏まえ、以下の通り地下構造モデルを設定する。

設定した地下構造モデル

EL. 解放基盤表面 -15m	層上面 (km)	密度 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q 値
-15m	0.0	2.35	1350	3000	12.5
-50m	-0.035	2.35	1570	3440	12.5
-100m	-0.085	2.35	1730	3470	12.5
-150m	-0.135	2.35	1770	3650	12.5
-200m	-0.185	2.40	2100	4000	200
-1804m	-1.789	2.60	3100	5500	300

## 2.4 地下構造モデルの妥当性確認

### ■ 地下構造モデルの妥当性確認方針

- 前節までの通り、地盤減衰（Q値）は、既許可以降継続的に取得している鉛直アレイの地震観測記録やボーリング孔内減衰測定結果等の観測事実等に基づいて設定。
- 本節では、解放基盤表面からEL. -200mまでの範囲について、下表の方法により、全ての周期帯における設定した地下構造モデルの妥当性を確認。

確認方法	対象深度EL. (m)		比較方法	比較対象		確認する観点
	-15.0	-90.0		-200		
応答スペクトルによる確認	EL. -15.0m~EL. -90m		応答スペクトル	設定した地下構造モデル	地震観測記録（解放基盤相当）	設定した地下構造モデルによる応答波の応答スペクトルが、地震観測記録の応答スペクトルと同等もしくは上回る。
PS検層モデルとの比較による確認	EL. -15.0m~EL. -200m		理論伝達関数	設定した地下構造モデル	PS検層モデル	設定した地下構造モデルによる理論伝達関数が、PS検層モデルによる理論伝達関数と同等もしくは上回る。

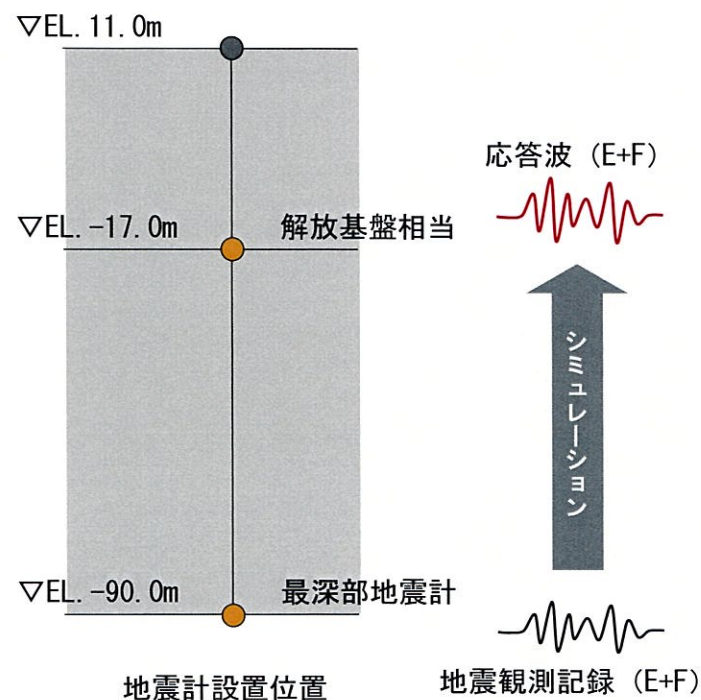


## 2.4 地下構造モデルの妥当性確認

### (1) 地震観測記録の応答スペクトルによる確認

- 地震観測記録の得られている浅部の地下構造モデルについて、鉛直アレイの地震観測記録に基づいた観測事実との整合性を確認するため、最深部地震計 (EL. -90m) 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. -17m) 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。(72~81頁参照)
- 解放基盤表面 (EL. -15m) からEL. -90mまでの範囲における地下構造モデルについて、以下の観点で全ての周期帯における妥当性を確認した。
  - 設定した地下構造モデルの応答波の応答スペクトルが、地震観測記録の応答スペクトルと同等もしくは上回る。
- なお、設定した地下構造モデルの応答波の応答スペクトルが、地震観測記録の応答スペクトルを下回る地震 (⑩熊本県熊本地方の地震 (EW方向)) について、特異な地震観測記録であることを確認し、設定した地下構造モデルの妥当性に影響はないと判断した。(補足③)

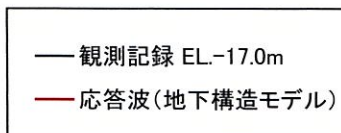
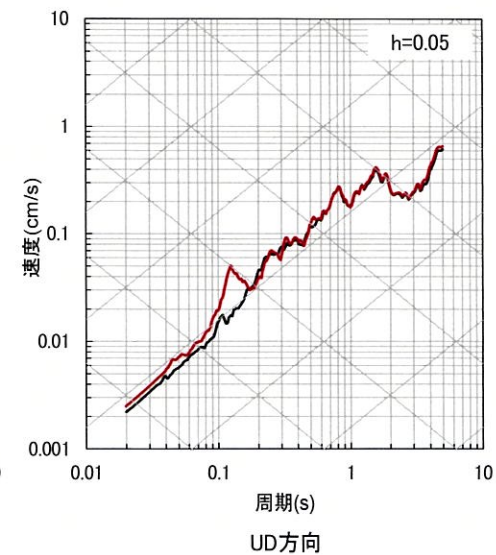
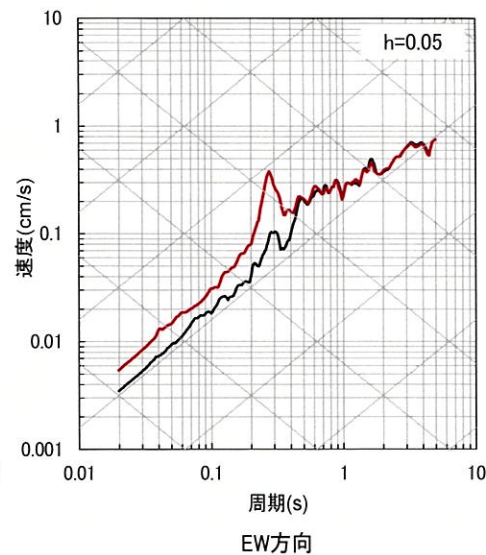
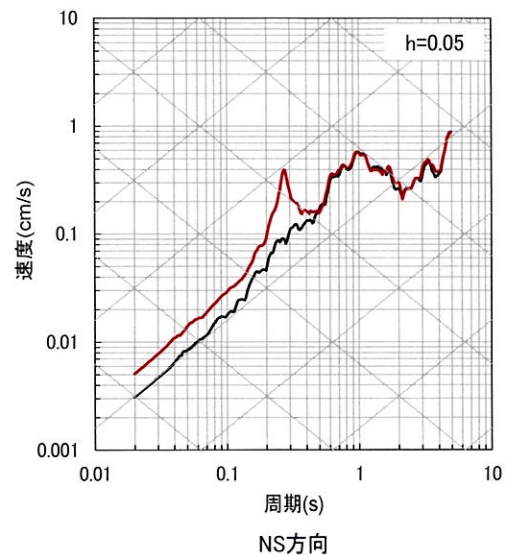
※入力 of 最深部地震計 (EL. -90m) で得られた地震観測記録及び出力 of 解放基盤相当 (EL. -17m) での応答波は地中記録のため、E+Fで評価。



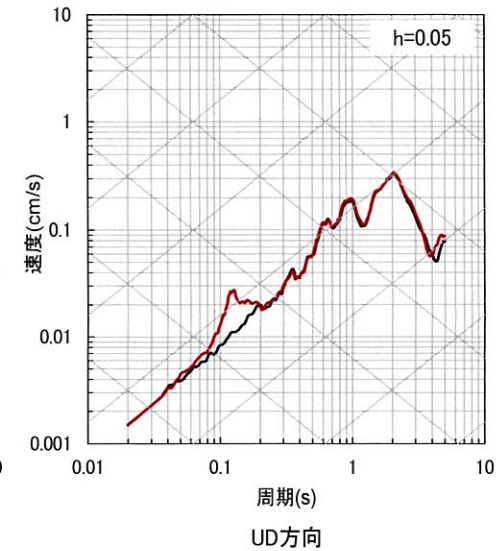
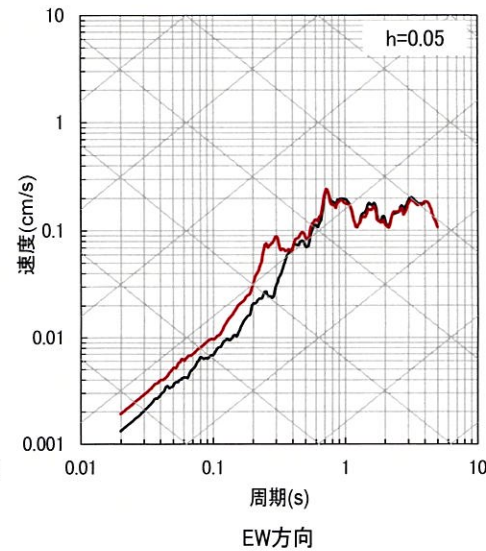
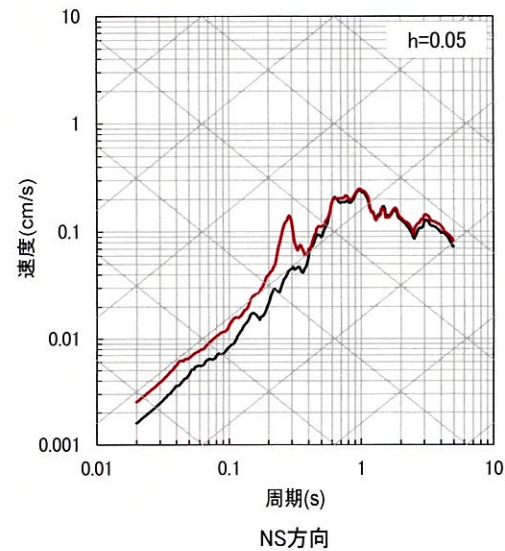
## 2.4 地下構造モデルの妥当性確認

### ■ 応答スペクトルの比較結果 (1/10)

#### ① 鹿児島県北西部



#### ② 鹿児島県北西部

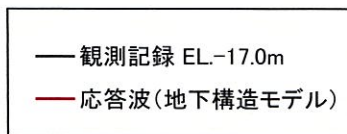
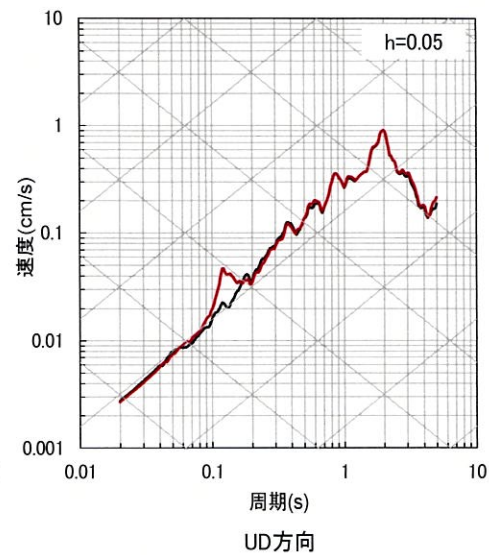
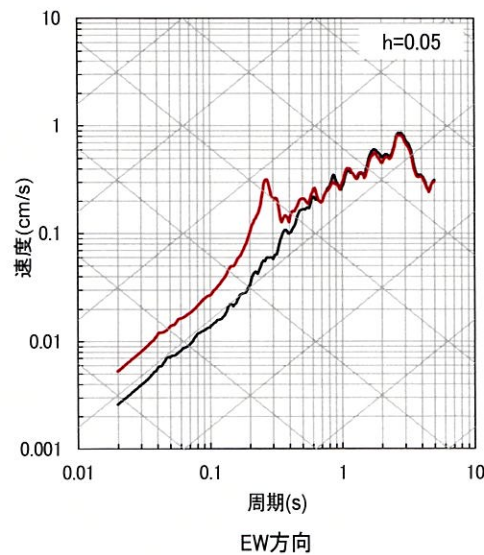
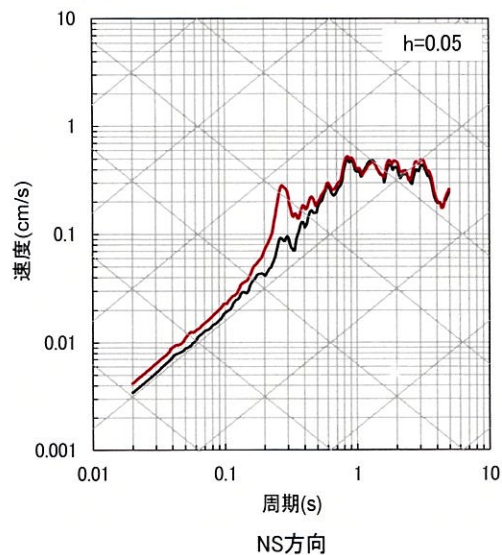




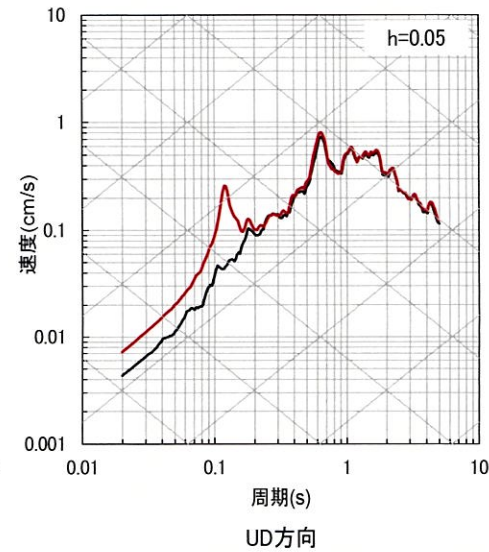
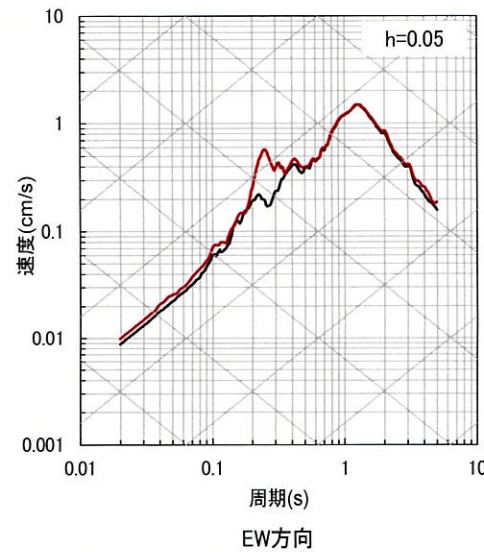
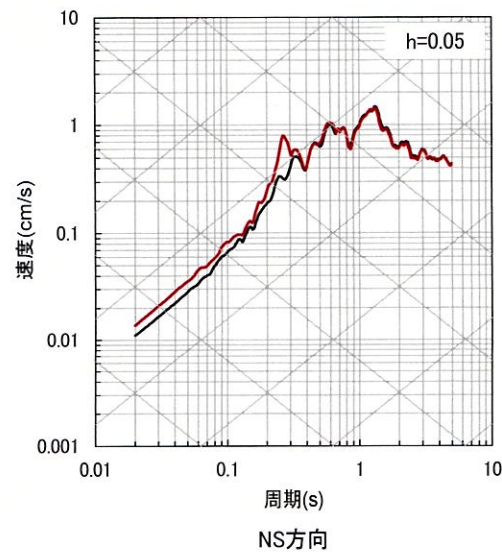
## 2.4 地下構造モデルの妥当性確認

### ■ 応答スペクトルの比較結果 (2/10)

#### ③ 鹿児島県北西部



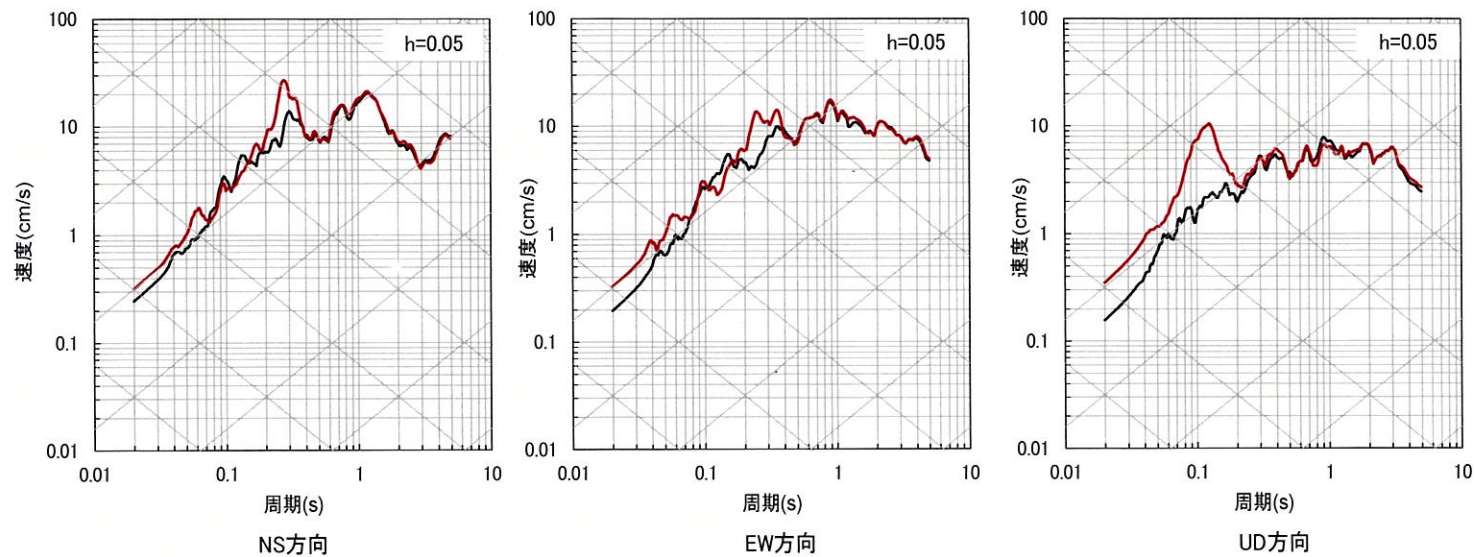
#### ④ 山口県



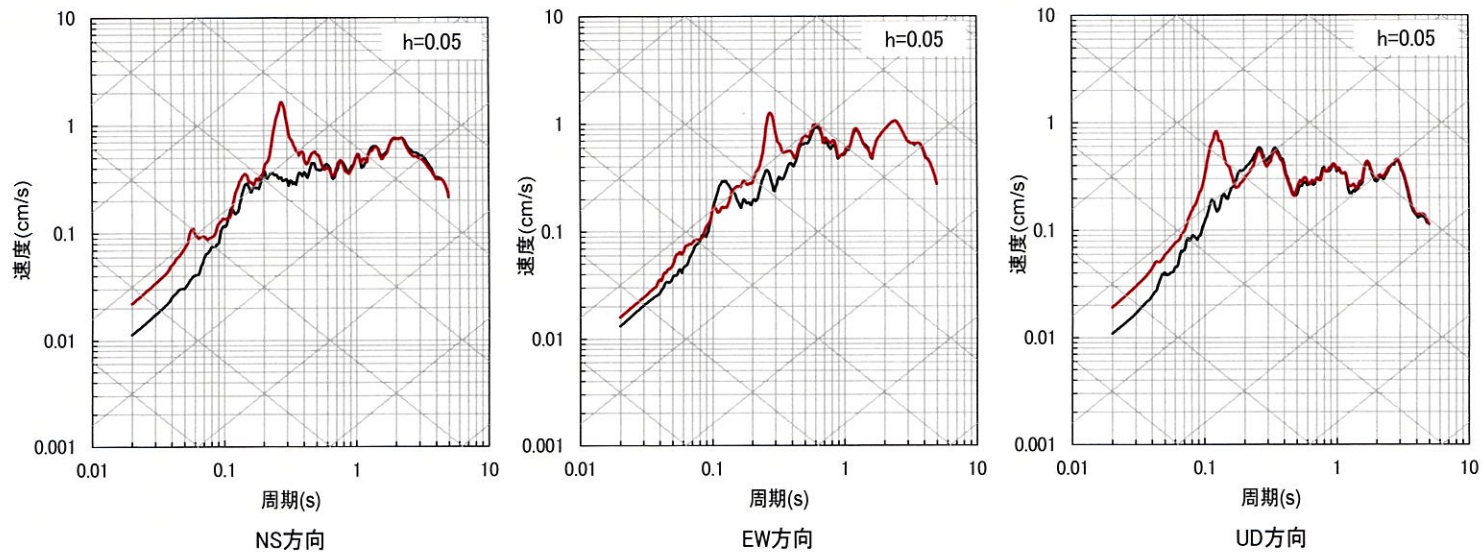
## 2.4 地下構造モデルの妥当性確認

### ■ 応答スペクトルの比較結果 (3/10)

#### ⑤九州北西沖 (2005年福岡県西方沖地震本震)



#### ⑥九州北西沖

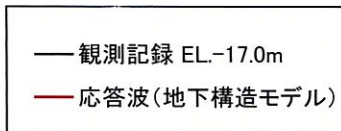
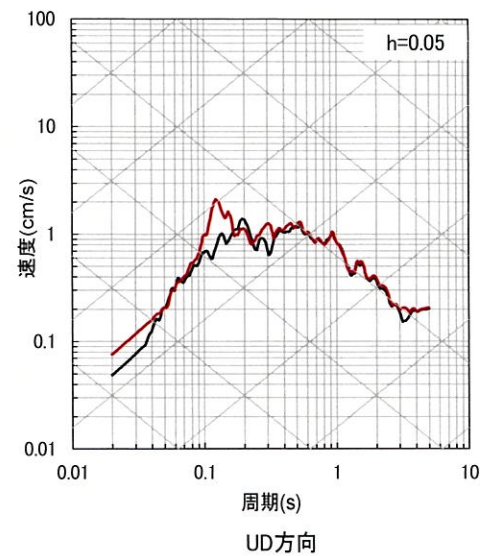
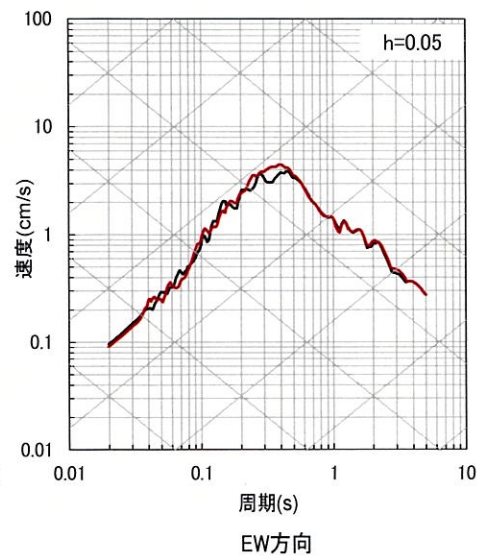
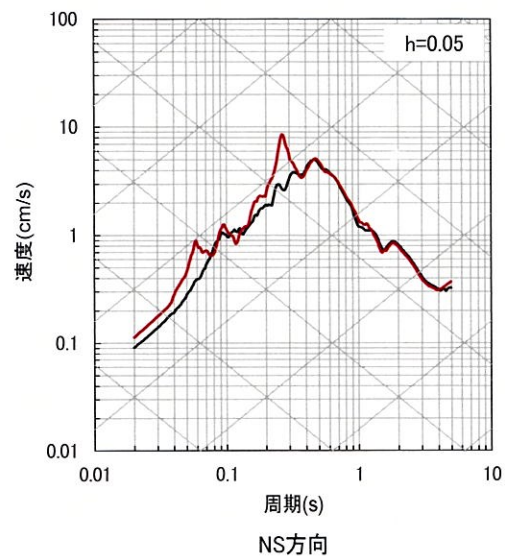




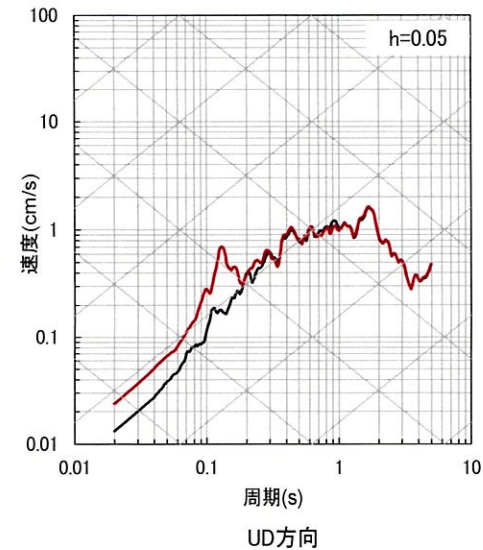
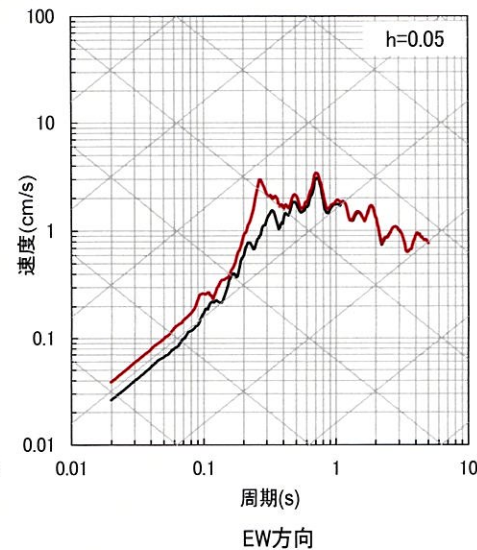
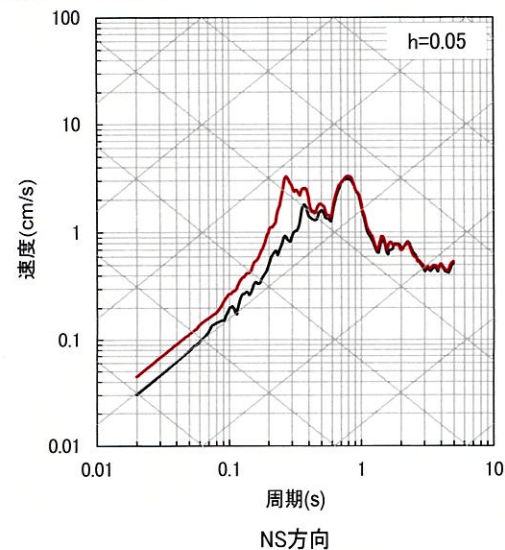
## 2.4 地下構造モデルの妥当性確認

### ■ 応答スペクトルの比較結果 (4/10)

#### ⑦福岡県中部 (2005年福岡県西方沖地震最大余震)



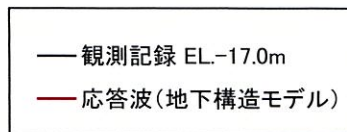
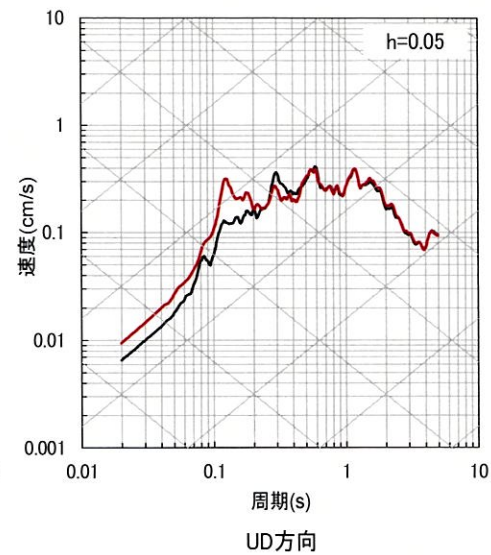
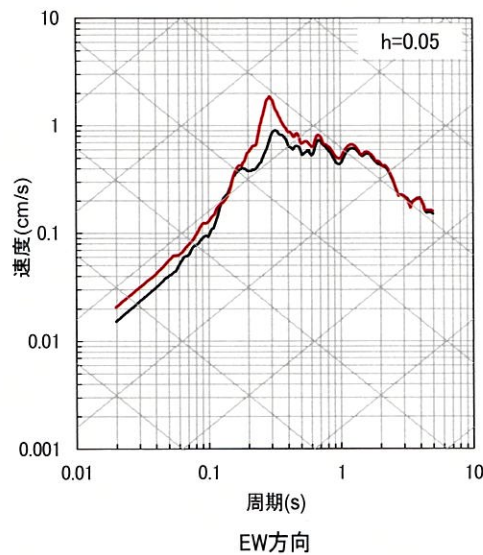
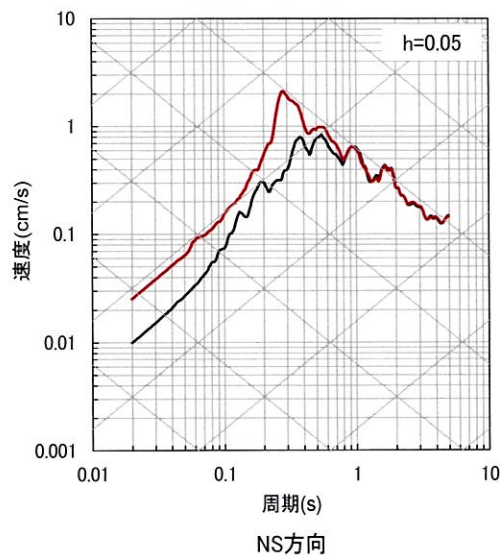
#### ⑧熊本県熊本地方 (2016年熊本地震前震)



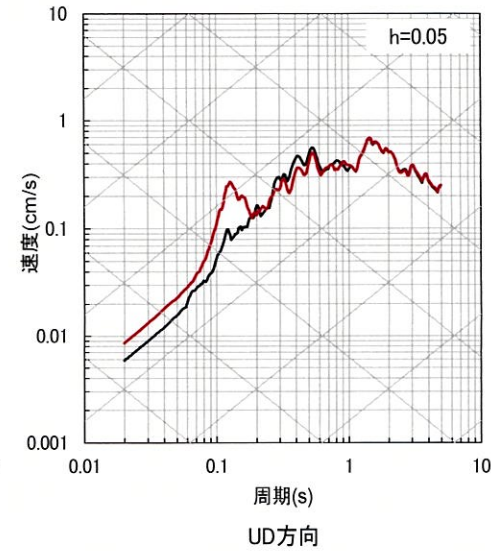
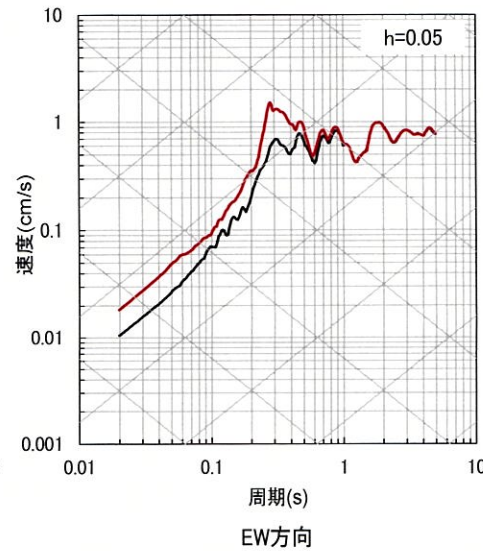
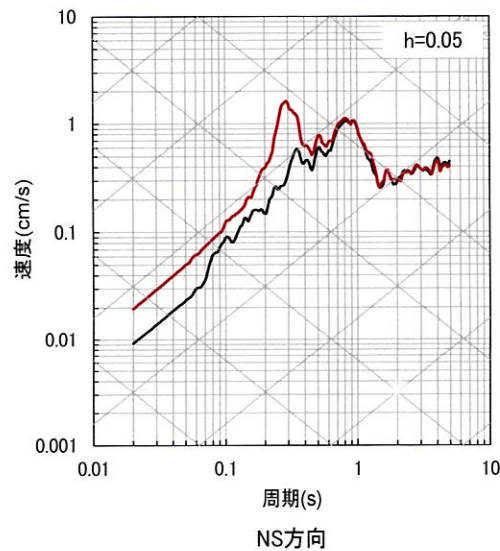
## 2.4 地下構造モデルの妥当性確認

### ■ 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

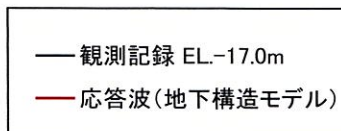
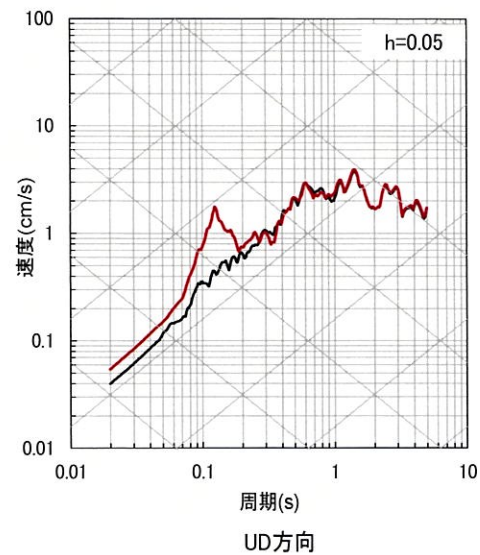
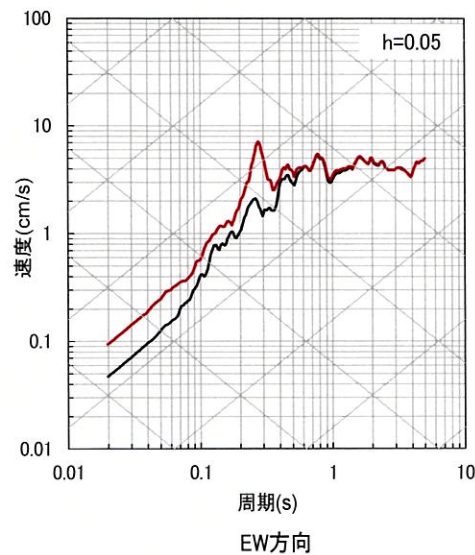
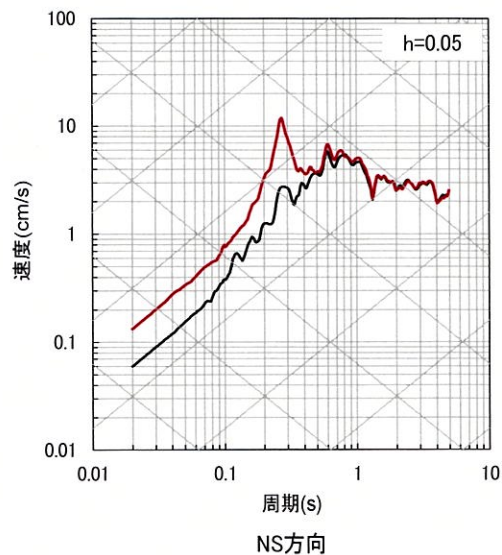




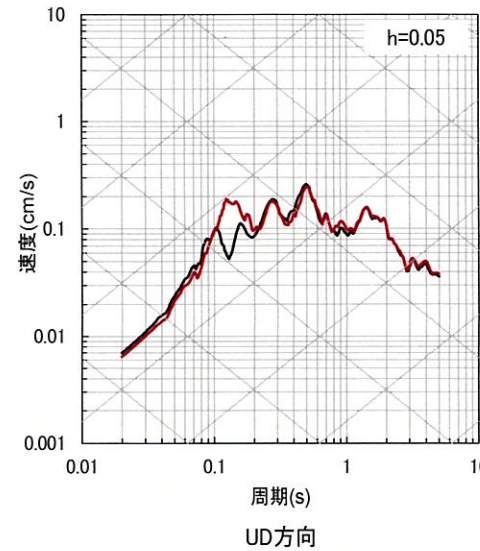
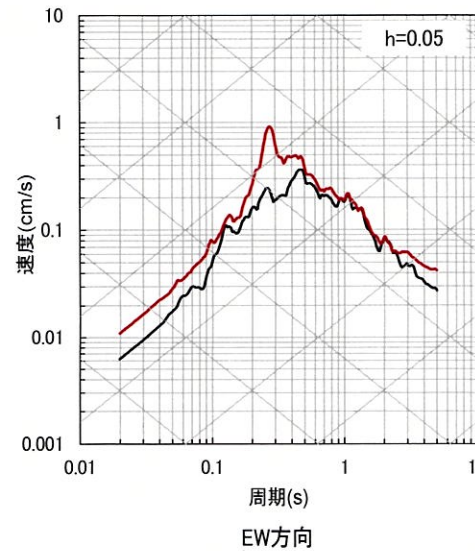
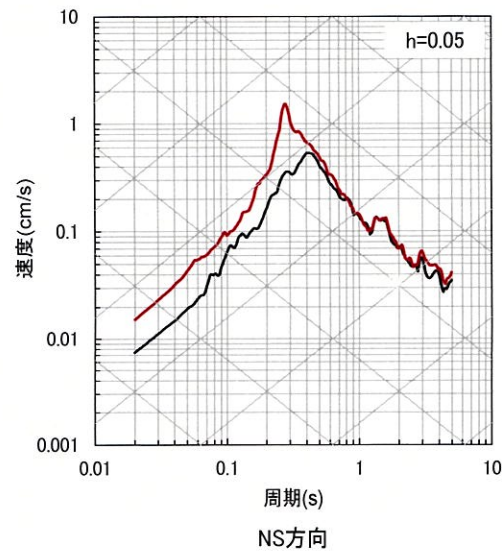
## 2.4 地下構造モデルの妥当性確認

### ■ 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)



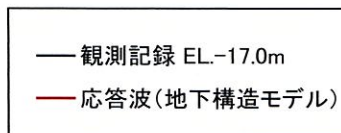
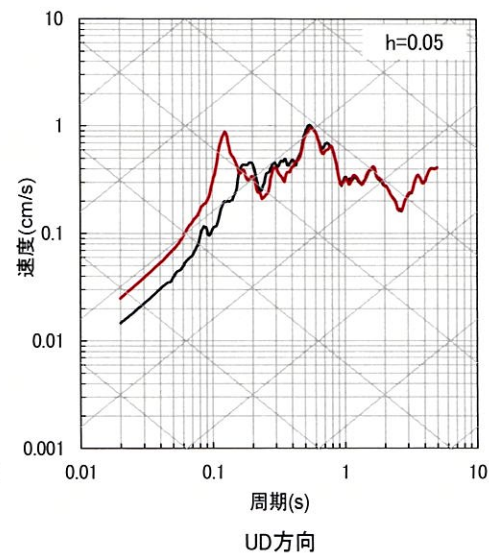
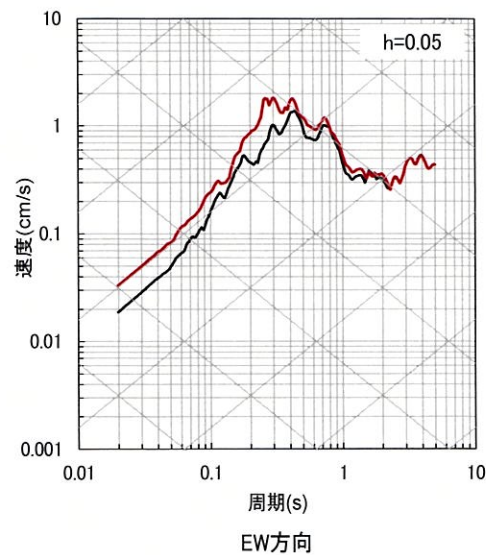
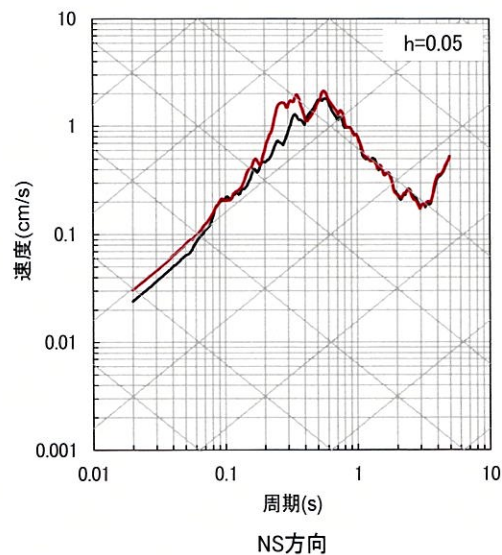
#### ⑫ 熊本県熊本地方



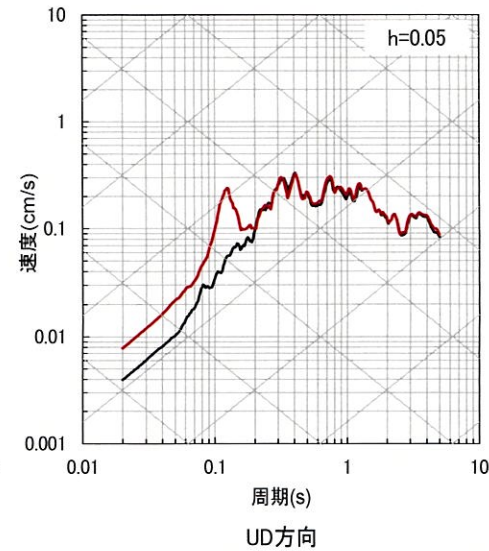
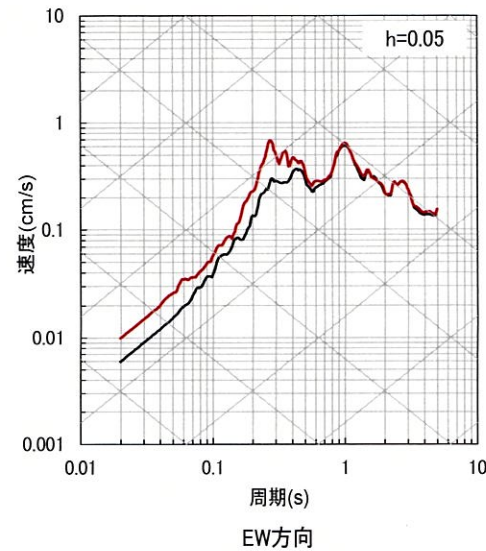
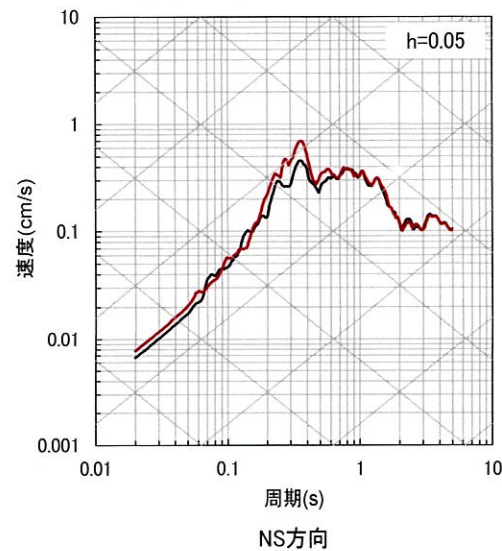
## 2.4 地下構造モデルの妥当性確認

### ■ 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

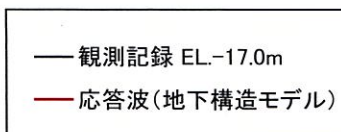
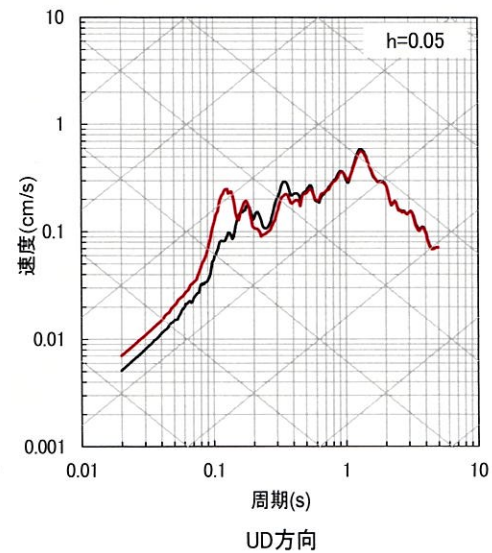
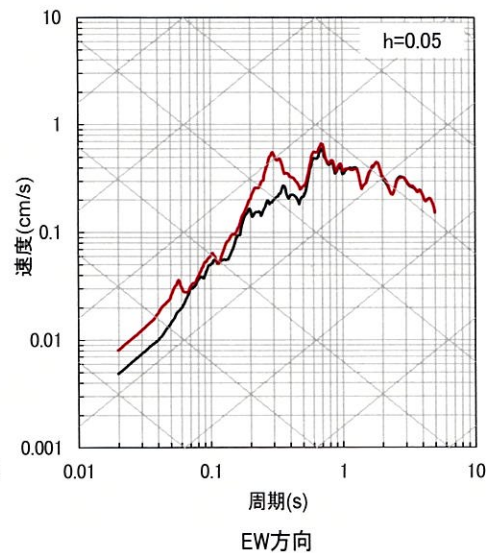
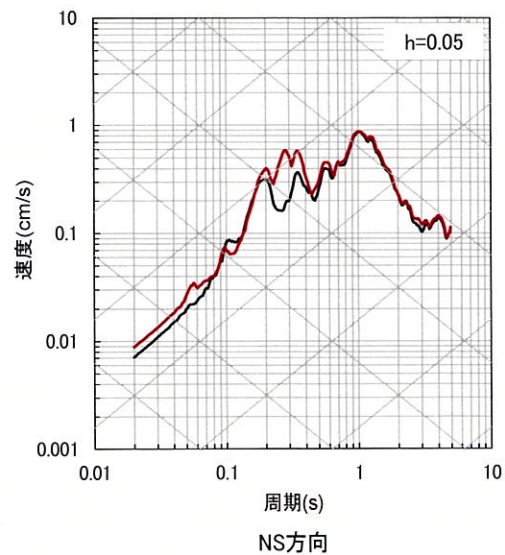




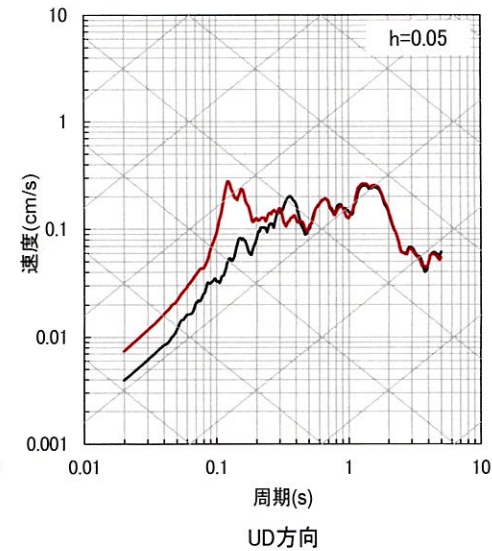
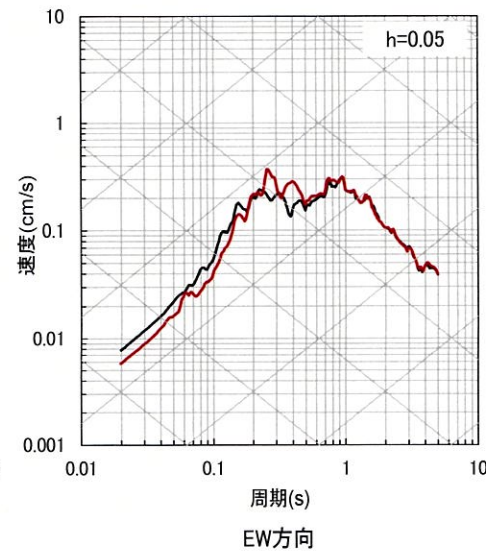
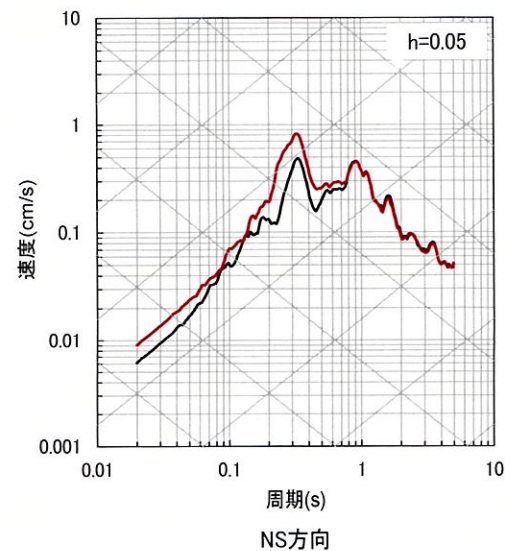
## 2.4 地下構造モデルの妥当性確認

### ■ 応答スペクトルの比較結果 (8/10)

#### ⑮ 熊本県阿蘇地方



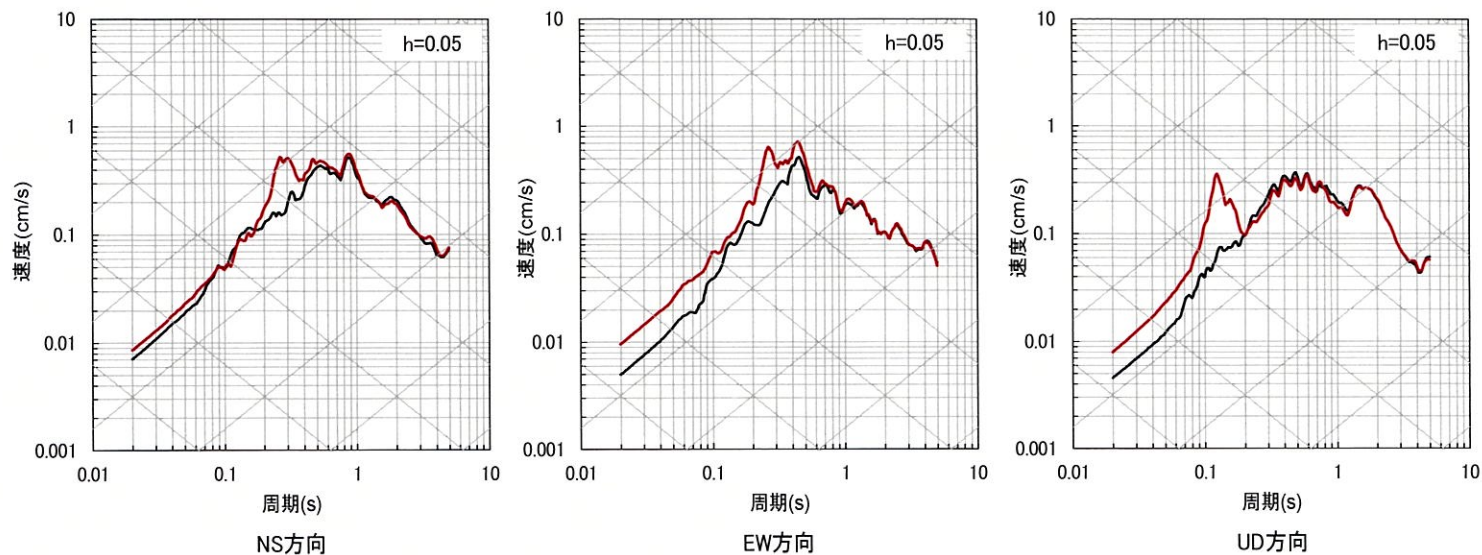
#### ⑯ 熊本県熊本地方



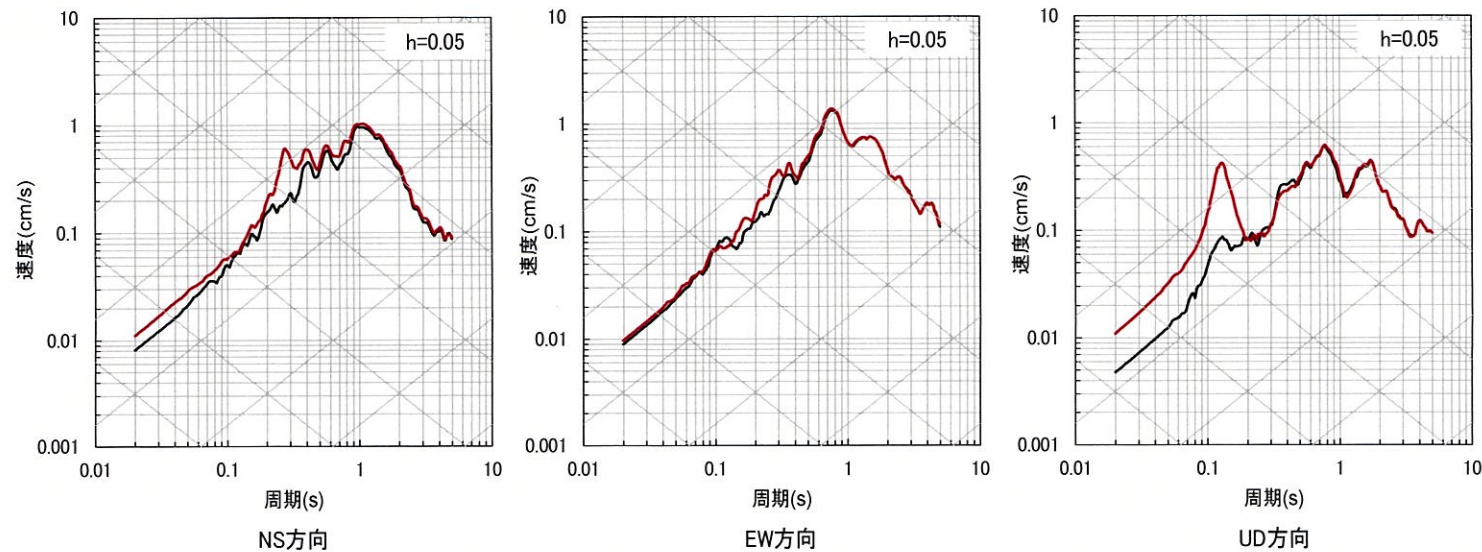
## 2.4 地下構造モデルの妥当性確認

### ■ 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

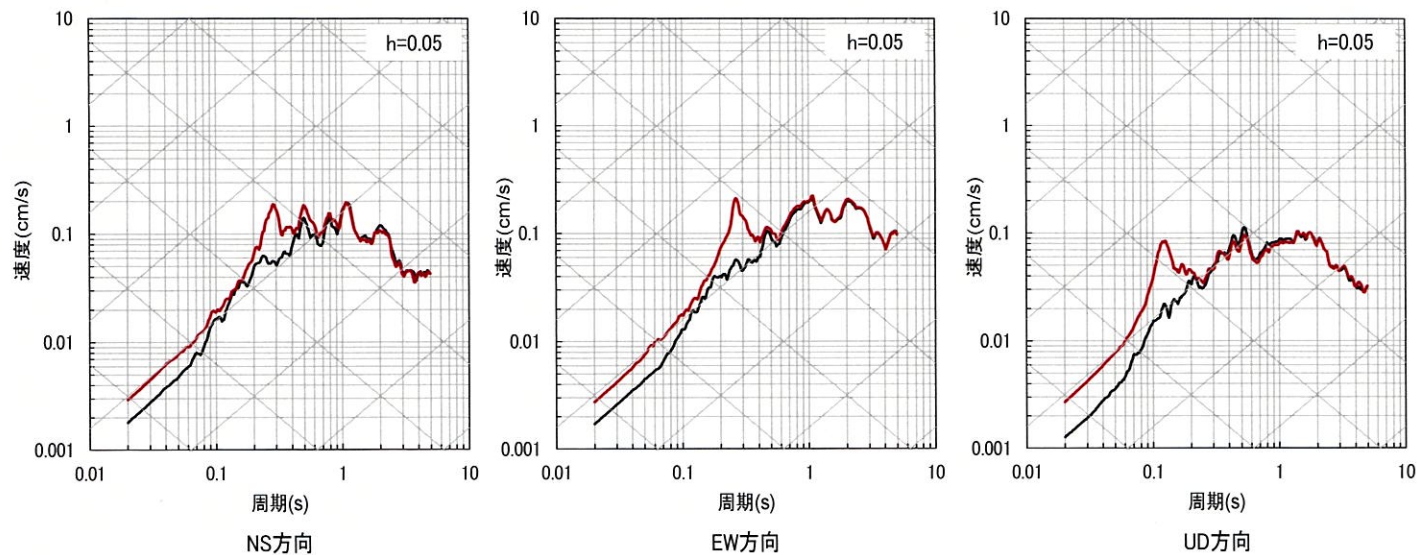




## 2.4 地下構造モデルの妥当性確認

### ■ 応答スペクトルの比較結果 (10/10)

#### ⑱ 熊本県熊本地方



— 観測記録 EL.-17.0m  
— 応答波(地下構造モデル)

## 2.4 地下構造モデルの妥当性確認

### (2) PS検層モデルとの比較による確認

- 追加調査により解放基盤表面からEL. -200mまでの範囲において得られた、Vs、Vp、Q値を基に、PS検層モデルを設定。
- 設定した地下構造モデルとPS検層モデルによる理論伝達関数の比較により、設定した地下構造モデルの妥当性を確認する。

地表 ▼ (EL. 11.0m)	設定した地下構造モデル				PS検層モデル			
解放基盤表面 ▼ (EL. -15.0m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値	伝達特性	伝達特性	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値
▼ (EL. -50.0m)	1350	3000	12.5	↑ 比較 ↓	↑ 比較 ↓	PS検層結果		
▼ (EL. -90.0m)	1570	3440	12.5			PS検層結果		
▼ (EL. -100m)						PS検層結果		
▼ (EL. -150m)	1730	3470	12.5			PS検層結果		
▼ (EL. -200m)	1770	3650	12.5			PS検層結果		
▼ (EL. -1804m)	2100	4000	200			PS検層結果		
	3100	5500	300					

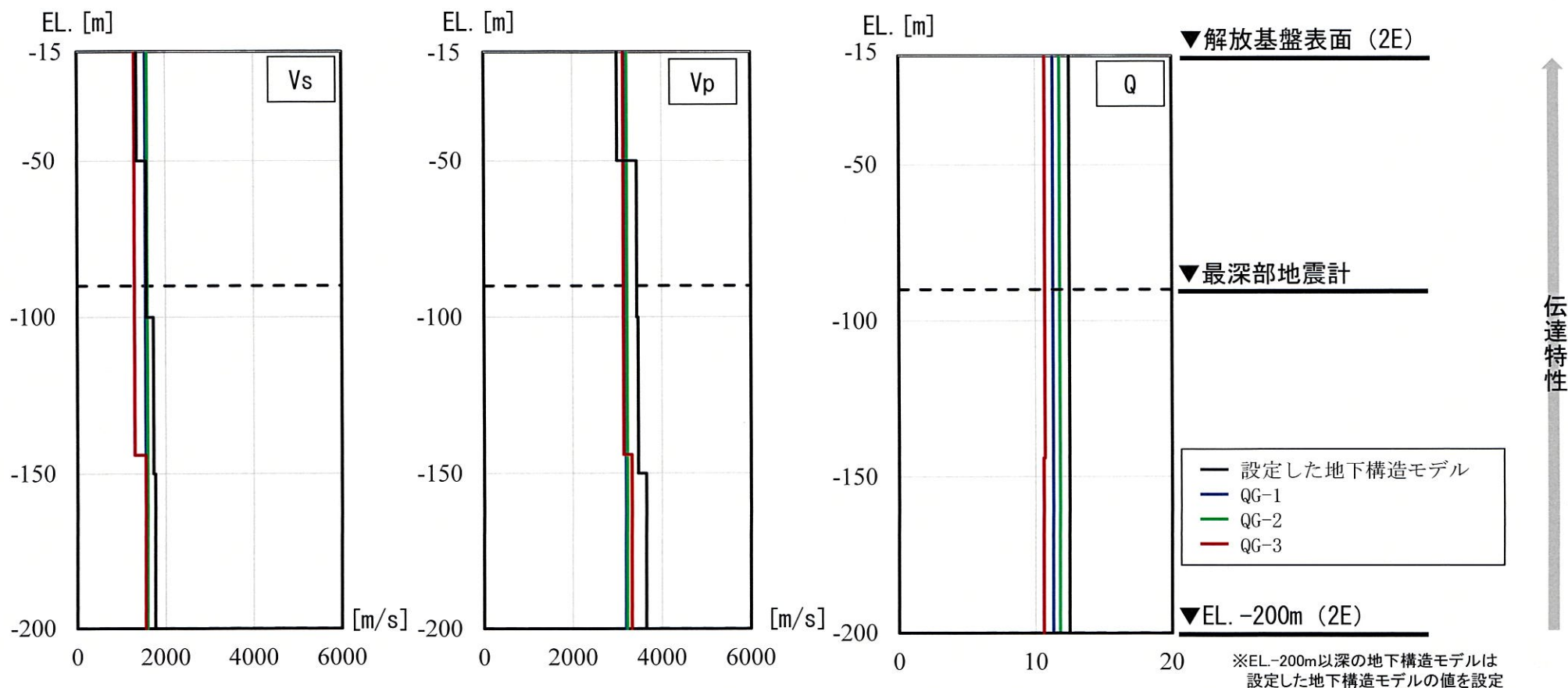
検討イメージ



## 2.4 地下構造モデルの妥当性確認

### ■ PS検層モデルの設定

- 追加ボーリング孔における解放基盤表面からEL. -200mまでのPS検層結果等を踏まえ、PS検層モデルを設定。
- 追加ボーリング孔におけるPS検層による速度 ( $V_s$ 、 $V_p$ ) は、設定した地下構造モデルと概ね整合している。
- 追加ボーリング孔内減衰測定によるQ値は、いずれも設定した地下構造モデルの $Q=12.5$ を下回る。なお、得られたQ値は、高周波数側におけるQ値の上限値に対応すると考えられるが、周波数によらず一定のQ値を設定。



## 2.4 地下構造モデルの妥当性確認

### ■ PS検層モデルにおけるEL. -200m以深の設定

- 実地盤の状況として、EL. -200mで大きく速度構造が変わらないと考えられるため（補足④）、EL. -200mに速度コントラストのないモデルを以下の通り、設定する。

地表 ▼ (EL. 11.0m)	設定した地下構造モデル※			QG-1モデル			QG-2モデル			QG-3モデル		
解放基盤表面 ▼ (EL. -15.0m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値
▼ (EL. -50.0m)	1350	3000	12.5									
▼ (EL. -100m)	1570	3440	12.5							1300	3140	10.7
▼ (EL. -144m)	1730	3470	12.5	1550	3190	11.3	1590	3220	11.8			
▼ (EL. -150m)												
▼ (EL. -200m)	1770	3650	12.5							1550	3320	10.6
	2100 (1770)	4000 (3650)	200	1550	3190	200	1590	3220	200	1550	3320	200

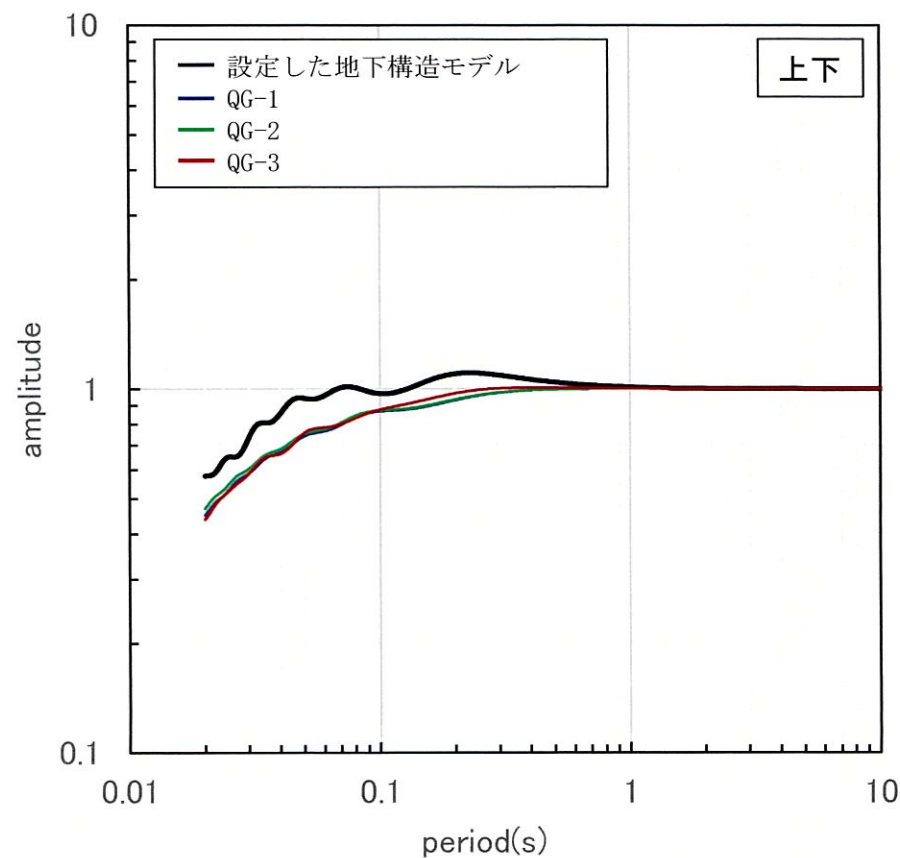
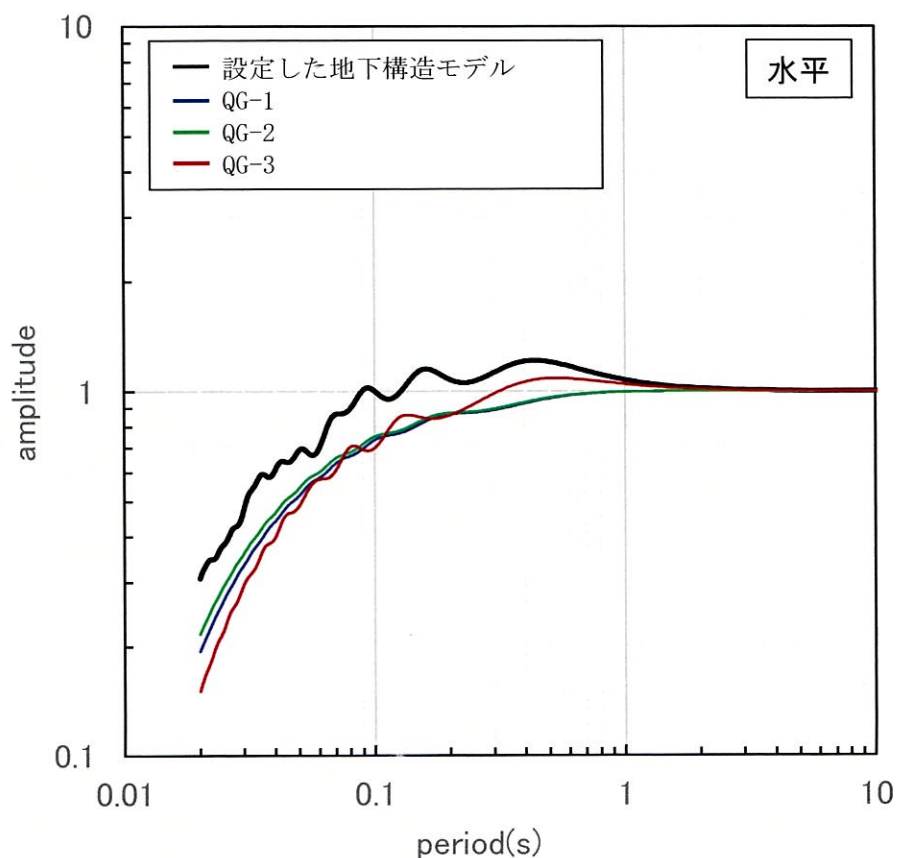
※速度コントラストをなくした場合(EL. -200m以深を上層と同じ速度に設定)の設定値について括弧で示す。



## 2.4 地下構造モデルの妥当性確認

### ■ 伝達関数の比較

- 設定した地下構造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し、解放基盤表面（EL. -15m）からEL. -200mまでの範囲における地下構造モデルは全ての周期帯において妥当と判断した。



伝達関数の比較 (EL. -15m/EL. -200m)

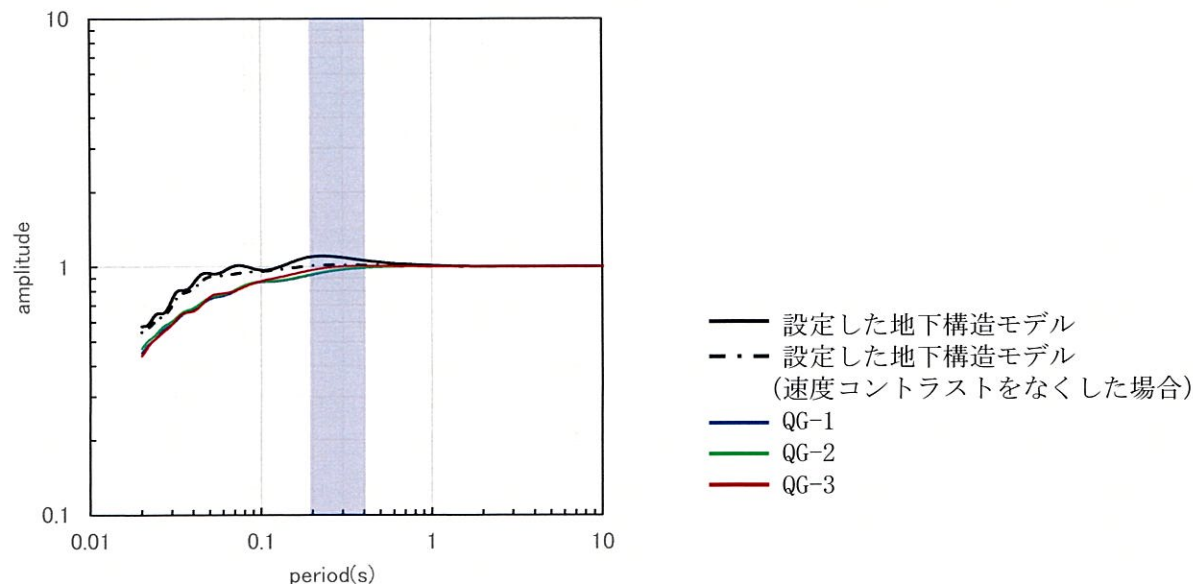
## 2.4 地下構造モデルの妥当性確認

### ■ 上下方向に関する観測事実との整合性を踏まえた地下構造モデルの妥当性

- 地震観測記録が得られている解放基盤表面 (EL. -15m) からEL. -90mまでの範囲で見ると、設定した地下構造モデルによる応答波の応答スペクトルが、上下方向の一部の地震観測記録の周期0.2~0.4秒付近において、スペクトル形状 (凹凸) の僅かな差異により、局所的に観測記録を下回る。(72~81頁参照、例: ⑬熊本県熊本地方の地震)
- 一方、追加調査を行った解放基盤表面からEL. -200mまでの範囲で見ると、EL. -200mの速度コントラストがないよう条件を揃えた場合の、設定した地下構造モデルとPS検層モデルの伝達関数の比較では、設定した地下構造モデル (黒一点鎖線) はPS検層モデル (青・緑・赤線) を上回る。
- 設定した地下構造モデル (黒実線) は、実際にはEL. -200mに速度コントラストを設けており、その効果によって、下図のとおり、当該周期帯 (0.2~0.4秒付近) において、さらに保守性を有するものとなっている。



- 設定した地下構造モデルは、解放基盤表面からEL. -200mまでの範囲において十分な保守性を有していることから、上下方向に関する観測事実との不整合を踏まえても、その妥当性に影響はないと判断した。(補足⑤)



伝達関数の比較 (EL. -15m/EL. -200m、上下方向)



## 2.4 地下構造モデルの妥当性確認

### 「2.4 地下構造モデルの妥当性確認」のまとめ

- 解放基盤表面（EL. -15m）からEL. -90mの範囲の地下構造モデルについて、「地震観測記録の応答スペクトルによる確認」の結果、全ての周期帯において、設定した地下構造モデルによる応答波の応答スペクトルが、地震観測記録の応答スペクトルと同等もしくは上回ることから、妥当性を確認した。
- 解放基盤表面（EL. -15m）からEL. -200mの範囲の地下構造モデルについて、「PS検層モデルとの比較による確認」の結果、全ての周期帯において、設定した地下構造モデルによる理論伝達関数が、PS検層モデルによる理論伝達関数に対して、同等もしくは上回ることから、妥当性を確認した。
- なお、参考として、より一層の説明性の向上を目的に、「ブロックインバージョン結果を用いた地震波による確認」により、深部を含む全体を見ても、浅部で確認した地下構造モデルの妥当性に矛盾がないことを確認した。（参考⑦）

## 2.5 標準応答スペクトル用モデルの設定

### ■ 標準応答スペクトル用モデルの設定

- 設定した地下構造モデルのうち、EL. -90mからEL. -200mまでの範囲の地盤減衰（Q値）について、以下の点を踏まえ、地盤減衰（Q値）をQ=12.5からQ=16.7に見直し、標準応答スペクトル用モデルを設定した。
  - EL. -90mからEL. -200mまでの範囲は、地震観測記録が得られておらず、相対的に信頼性が劣る。
  - 標準応答スペクトルを考慮した地震動に更に余裕を持たせることで安全裕度の向上を図る。
- 標準応答スペクトルは地震基盤相当面（ $V_s=2200\text{m/s}$ 以上の層）で定義されることから、 $V_s=3100\text{m/s}$ の層上面（EL. -1804m）に地震基盤相当面を設定する。
- 見直し後の地下構造モデルを用いて、標準応答スペクトルを考慮した地震動評価を実施する。

※ 地盤減衰（Q値）の見直しにより地震動レベルは、基準地震動の最大加速度で水平： $15\text{cm/s}^2$ 、鉛直： $12\text{cm/s}^2$ 増大。（補足⑥）

地震観測記録の最大加速度で数 $\text{cm/s}^2$ 程度増大する。（補足⑦）

設定した地下構造モデル

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  
（標準応答スペクトル用モデル）

EL.	層上面 (km)	密度 $\rho$ ( $\text{g/cm}^3$ )	$V_s$ (m/s)	$V_p$ (m/s)	Q値	層上面 (km)	密度 $\rho$ ( $\text{g/cm}^3$ )	$V_s$ (m/s)	$V_p$ (m/s)	Q値
解放基盤表面										
-15m	0.0	2.35	1350	3000	12.5	0.0	2.35	1350	3000	12.5
-50m						-0.035	2.35	1570	3440	12.5
-90m	-0.035	2.35	1570	3440	12.5	-0.075	2.35	1570	3440	16.7
-100m	-0.085	2.35	1730	3470	12.5	-0.085	2.35	1730	3470	16.7
-150m	-0.135	2.35	1770	3650	12.5	-0.135	2.35	1770	3650	16.7
-200m										
地震基盤相当面	-0.185	2.40	2100	4000	200	-0.185	2.40	2100	4000	200
-1804m	-1.789	2.60	3100	5500	300	-1.789	2.60	3100	5500	300

  : 見直し範囲



## 2.6 標準応答スペクトル用モデルの妥当性確認

### ■ 標準応答スペクトル用モデルの妥当性確認方針

- 標準応答スペクトル用モデルの設定にあたり、EL. -90mからEL. -200mまでの範囲の地盤減衰（Q値）を、 $Q=12.5$ から $Q=16.7$ に見直し。
- 本節では、「2.4 地下構造モデルの妥当性確認」で実施した項目のうち、EL. -90mからEL. -200mまでの範囲の地盤減衰（Q値）の見直しの影響を受ける「PS検層モデルとの比較による確認」により、全ての周期帯における、標準応答スペクトル用モデルの妥当性を確認。

確認方法	対象深度EL. (m)		比較方法	比較対象		確認する観点
	-15.0	-90.0		-200	標準応答 スペクトル用 モデル	
PS検層モデルとの 比較による確認			理論 伝達関数	標準応答 スペクトル用 モデル	PS検層モデル	標準応答スペクトル用モデルによる理論伝達関数が、PS 検層モデルによる理論伝達関数と同等もしくは上回る。

## 2.6 標準応答スペクトル用モデルの妥当性確認

### ■ PS検層モデルとの比較

- 標準応答スペクトル用モデルとPS検層モデルの理論伝達関数（解放基盤表面／EL. -200m）の比較を実施する。

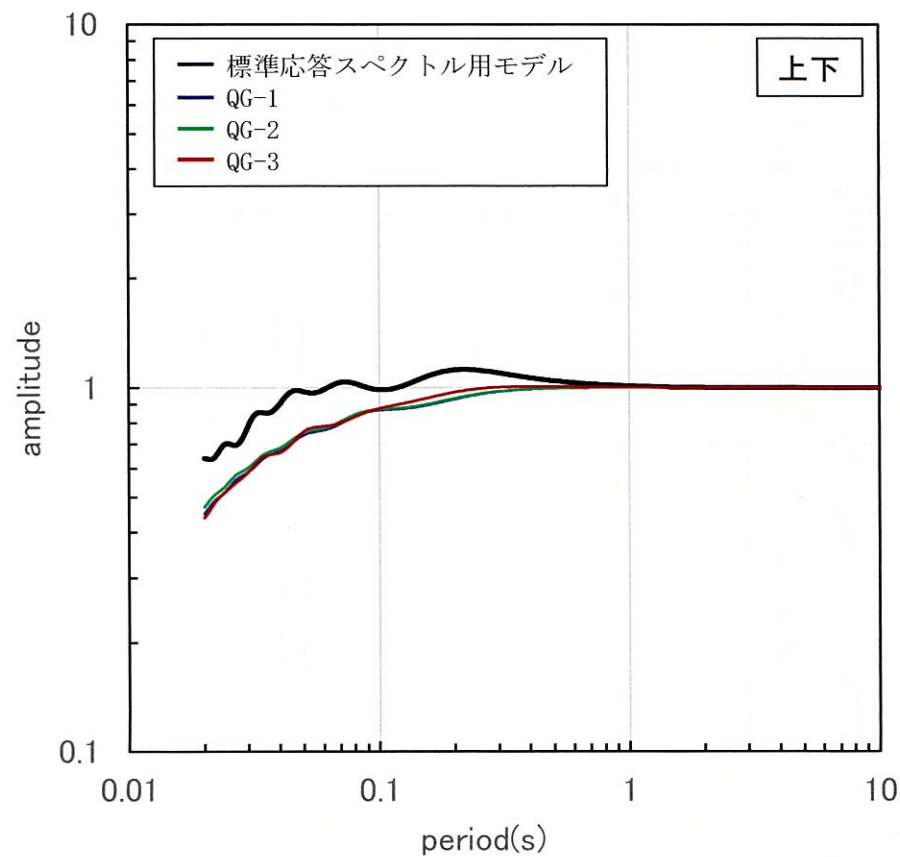
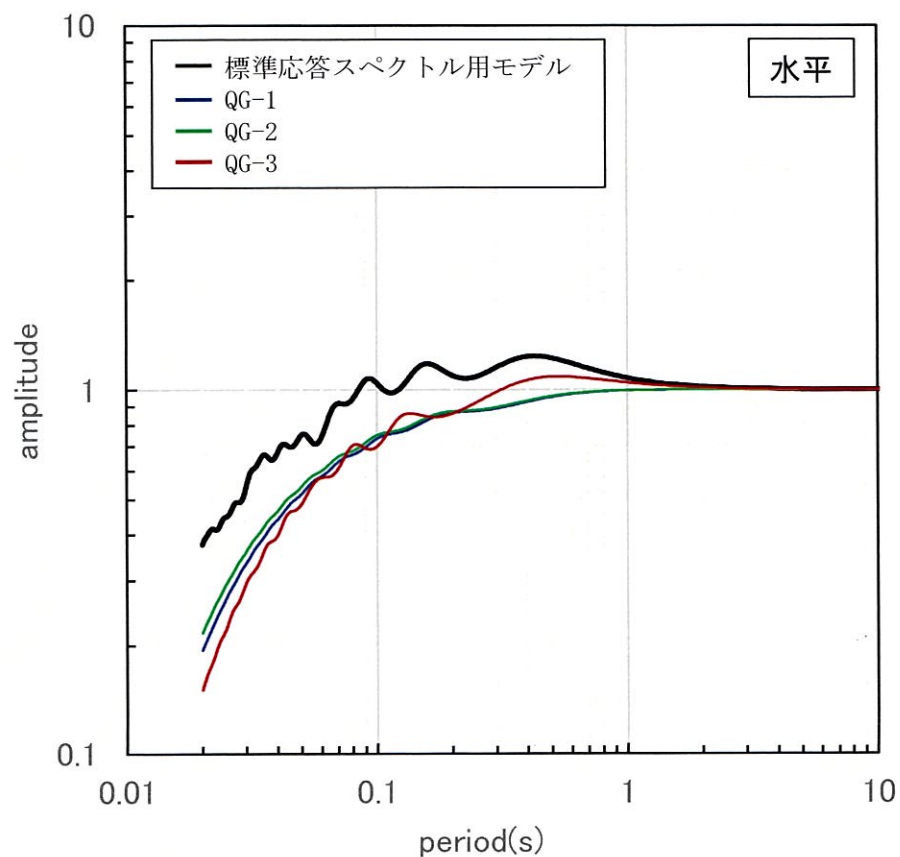
地表 ▼ (EL. 11.0m)	標準応答スペクトル用 モデル			QG-1モデル			QG-2モデル			QG-3モデル		
	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値
解放基盤表面 ▼ (EL. -15.0m)												
▼ (EL. -50.0m)	1350	3000	12.5									
▼ (EL. -90.0m)	1570	3440	12.5							1300	3140	10.7
▼ (EL. -100m)	1570	3440	16.7									
▼ (EL. -144m)	1730	3470	16.7									
▼ (EL. -150m)												
▼ (EL. -200m)	1770	3650	16.7	1550	3190	11.3	1590	3220	11.8	1550	3320	10.6
	2100	4000	200	1550	3190	200	1590	3220	200	1550	3320	200



## 2.6 標準応答スペクトル用モデルの妥当性確認

### ■ 伝達関数の比較

- 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し、解放基盤表面（EL. -15m）からEL. -200mまでの範囲における標準応答スペクトル用モデルは全ての周期帯において妥当と判断した。



伝達関数の比較 (EL. -15m/EL. -200m)

## 2.7 標準応答スペクトル用モデルの地震動評価への適用

- 標準応答スペクトルを考慮した地震動評価にあたり、標準応答スペクトルは0.02秒～5秒で定義され全周期に適用可能な地下構造モデルの設定が必要であることから、既許可以降取得した地震観測記録やボーリング孔内減衰測定結果等の観測事実等に基づき、最新の技術的知見を取り入れた多面的な検討・確認を実施し、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を新たに設定（標準応答スペクトル用モデル）し、その妥当性について確認した。
- また、標準応答スペクトル用モデルに対し、既許可の敷地ごとに震源を特定して策定する基準地震動に影響がないことを確認した。影響確認には、標準応答スペクトル用モデルの地震基盤相当面以深に、既許可の地下構造モデルの層を追加したモデル（標準応答スペクトル用モデルを反映したモデル）を用いた。

### (1) 既許可の敷地ごとに震源を特定して策定する基準地震動評価

- ・ 応答スペクトルに基づく地震動評価は、Noda et al. (2002)<sup>1)</sup>の手法の評価結果に基づきSs-1を策定（地下構造モデルを使用しない）
- ・ 断層モデルを用いた手法による地震動評価は、経験的グリーン関数法によりSs-2及びSs-3を策定。経験的グリーン関数法と長周期の理論的手法による地震動とのハイブリッド合成法による評価結果は経験的グリーン関数法より小さいことを確認し、経験的グリーン関数法による結果で代表させた。
- ・ 経験的グリーン関数法について、基準地震動Ss-2（城山南断層の断層傾斜角の不確かさケース(No. 9)）と基準地震動Ss-3（竹木場断層の断層傾斜角の不確かさケース(No. 8)）に対応する統計的グリーン関数法の結果との比較し、妥当性を確認。

### (2) 既許可地震動評価への影響確認結果（補足⑨）

- ・ 標準応答スペクトル用モデルを反映したモデルを用いた理論計算と経験的グリーン関数法のハイブリッド合成法による評価結果は、既許可評価を下回ることから、経験的グリーン関数法で代表させる既許可評価に影響がないことを確認。
- ・ 標準応答スペクトル用モデルを反映したモデルを用いた統計的グリーン関数法による評価結果は、既許可と同様に長周期では経験的グリーン関数法が大きく、短周期では同等の傾向であり、経験的グリーン関数法を採用する既許可評価に影響はないことを確認。



## 2.7 標準応答スペクトル用モデルの地震動評価への適用

- したがって、標準応答スペクトル用モデルは全周期に適用可能でその妥当性を確認できていること、また、標準応答スペクトル用モデルを反映したモデルにより既許可の地震動評価に影響を与えないことを確認したことから、今後の地震動評価に際しては、標準応答スペクトル用モデルを反映した地震動評価用のモデル（下右図）に統一するものとする。

EL. 解放基盤表面	長周期帯の理論的手法による 地震動評価に用いる地下構造モデル (既許可の地下構造モデル)					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 (標準応答スペクトル用モデル)					今後の地震動評価用の地下構造モデル				
	層上面 (km)	密度 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q 値	層上面 (km)	密度 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q 値	層上面 (km)	密度 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q 値
-15m	0.0	2.35	1350	3000	100	0.0	2.35	1350	3000	12.5	0.0	2.35	1350	3000	12.5
-50m	0.0	2.35	1350	3000	100	-0.035	2.35	1570	3440	12.5	-0.035	2.35	1570	3440	12.5
-90m	-0.035	2.35	1570	3440	100	-0.075	2.35	1570	3440	16.7	-0.075	2.35	1570	3440	16.7
-100m	-0.085	2.35	1730	3470	100	-0.085	2.35	1730	3470	16.7	-0.085	2.35	1730	3470	16.7
-150m	-0.135	2.35	1770	3650	100	-0.135	2.35	1770	3650	16.7	-0.135	2.35	1770	3650	16.7
-200m	-0.185	2.40	2100	4000	200	-0.185	2.40	2100	4000	200	-0.185	2.40	2100	4000	200
-1804m	-1.789	2.60	3100	5500	300	-1.789	2.60	3100	5500	300	-1.789	2.60	3100	5500	300
-3015m	-3.0	2.70	3500	5900	300						-3.0	2.70	3500	5900	300
-20015m	-20.0	3.00	3800	6600	500						-20.0	3.00	3800	6600	500
-33015m	-33.0	3.30	4300	7600	500						-33.0	3.30	4300	7600	500

### 3. 模擬地震波の作成



## 3.1 模擬地震波の作成方針

### ■ 標準応答スペクトルを考慮した地震動評価に用いる模擬地震波の作成方針

- 「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」（以下、「審査ガイド」とする。）では、下記のように示されている。

震源を特定せず策定する地震動による基準地震動は、設定された応答スペクトル（地震動レベル）に対して、地震動の継続時間及び振幅包絡線の経時的変化等の特性が適切に考慮されていることを確認する。また、設定された応答スペクトルに基づいて模擬地震動を作成する場合には複数の方法（例えば、正弦波の重ね合わせによる位相を用いる方法、実観測記録の位相を用いる方法等）により検討が行われていることを確認する。

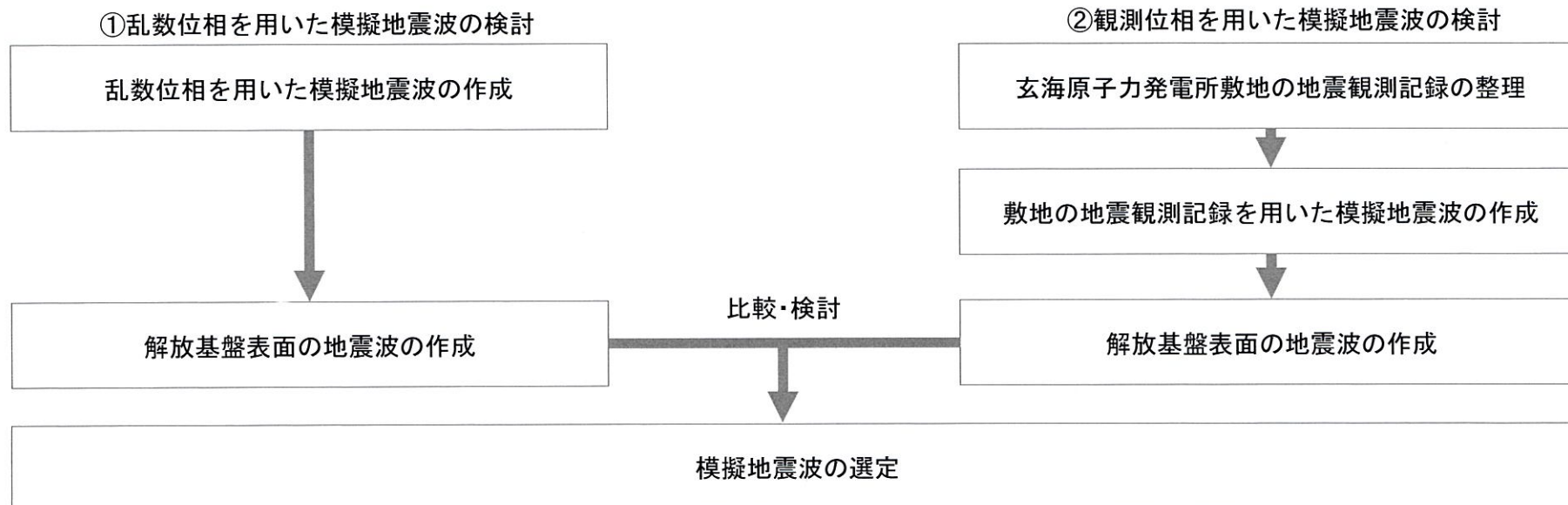
- 審査ガイドを踏まえて、以下の方針で模擬地震波を作成し、解放基盤表面における地震波を比較・検討した上で、「標準応答スペクトルを考慮した地震動」に用いる模擬地震波を設定する。

①正弦波の重ね合わせによる位相（乱數位相）を用いた模擬地震波（以下、乱數位相を用いた模擬地震波という。）

→Noda et al. (2002)<sup>1)</sup>の手法に基づき乱數位相を用いた模擬地震波を作成。

②実観測記録の位相を用いた模擬地震波（以下、観測位相を用いた模擬地震波という。）

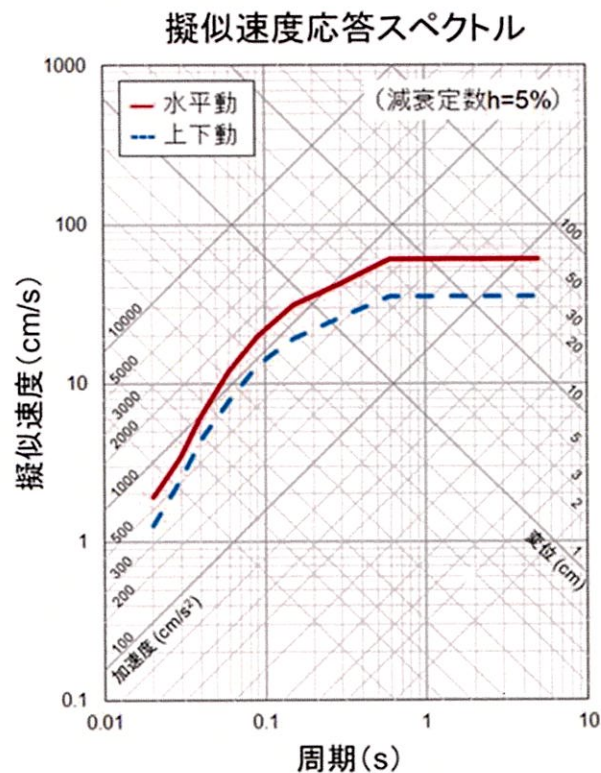
→玄海原子力発電所敷地で得られた地震観測記録を整理し、実観測記録の位相を用いて模擬地震波を作成。



# 3.1 模擬地震波の作成方針

## ■ 地震基盤相当面における模擬地震波の作成

- 複数の方法による検討では、「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈」に記載された標準応答スペクトルに適合するように地震基盤相当面における模擬地震波を作成する。
- また、模擬地震波の標準応答スペクトルへの適合度は、日本電気協会(2015)<sup>17)</sup>に記載された判定基準を満足させることで確認する。



コントロールポイント

周期 (s)	水平動	上下動
	擬似速度 (cm/s)	擬似速度 (cm/s)
0.02	1.910	1.273
0.03	3.500	2.500
0.04	6.300	4.400
0.06	12.000	7.800
0.09	20.000	13.000
0.15	31.000	19.000
0.30	43.000	26.000
0.60	60.000	35.000
5.00	60.000	35.000

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	-15m	0.0	1350	3000	12.5
	-50m	-0.035	1570	3440	12.5
	-90m	-0.075	1570	3440	16.7
	-100m	-0.085	1730	3470	16.7
	-150m	-0.135	1770	3650	16.7
	-200m	-0.185	2100	4000	200
地震基盤相当面	-1804m	-1.789	3100	5500	300

地震基盤相当面における標準応答スペクトル  
 (「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈」より抜粋)



## 3.2 乱数位相を用いた模擬地震波の作成

### ■ 乱数位相を用いた模擬地震波の作成

- 地震基盤相当面での乱数位相を用いた模擬地震波の作成にあたっては、Noda et al. (2002)<sup>1)</sup>による振幅包絡線の経時的変化を採用し、下記の条件でマグニチュードM及び等価震源距離 $X_{eq}$ を設定した上で、一様乱数の位相をもつ正弦波の重ね合わせにより作成。

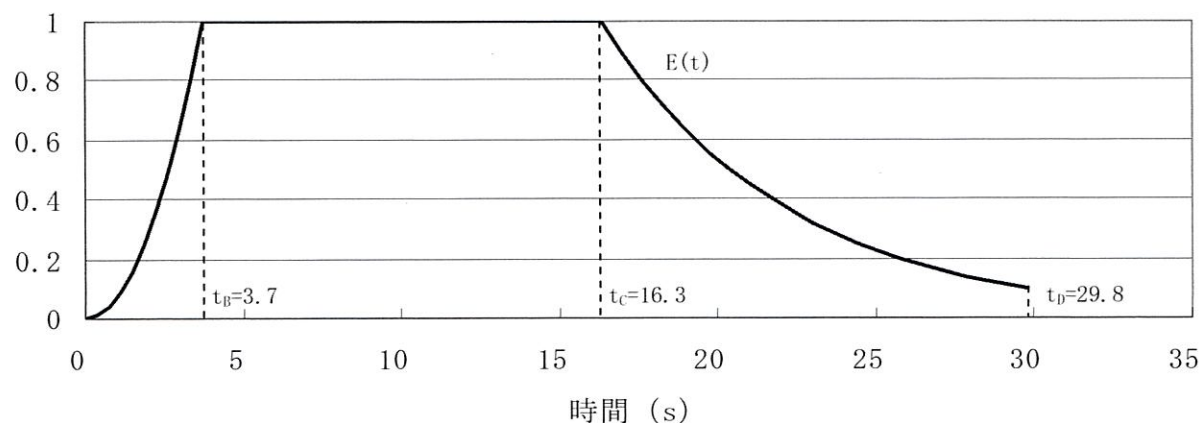
マグニチュード  $M$  :

審査ガイドにおける「全国共通に考慮すべき地震動」の地震規模は、Mw6.5程度未満と記載されている。武村(1990)<sup>18)</sup>の $M_0$ -M関係及びKanamori(1977)<sup>19)</sup>の $M_0$ -Mw関係によりMw6.5をMに換算するとM6.9となる。審査ガイドでは「Mw6.5程度未満」と幅をもって示されていることから、換算式から求められるMについても幅を持たせ、模擬地震波の主要動の継続時間が長めとなるよう保守的にM7.0として設定。

等価震源距離  $X_{eq}$  :

等価震源距離は震源近傍を想定し、 $X_{eq}=10\text{km}$ として設定。

模擬地震波	継続時間 (s)	振幅包絡線の経時的変化 (s)		
		$t_B$	$t_C$	$t_D$
水平	29.8	3.7	16.3	29.8
鉛直	29.8	3.7	16.3	29.8



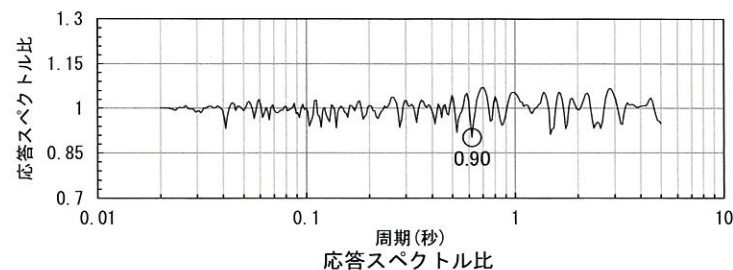
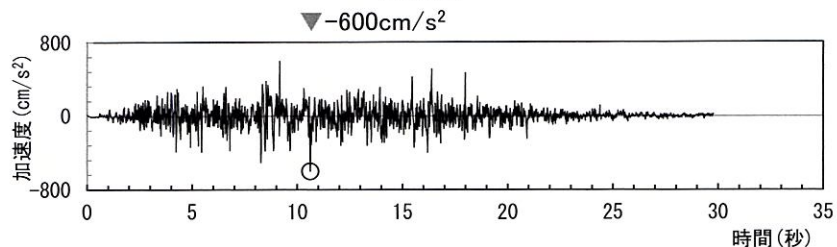
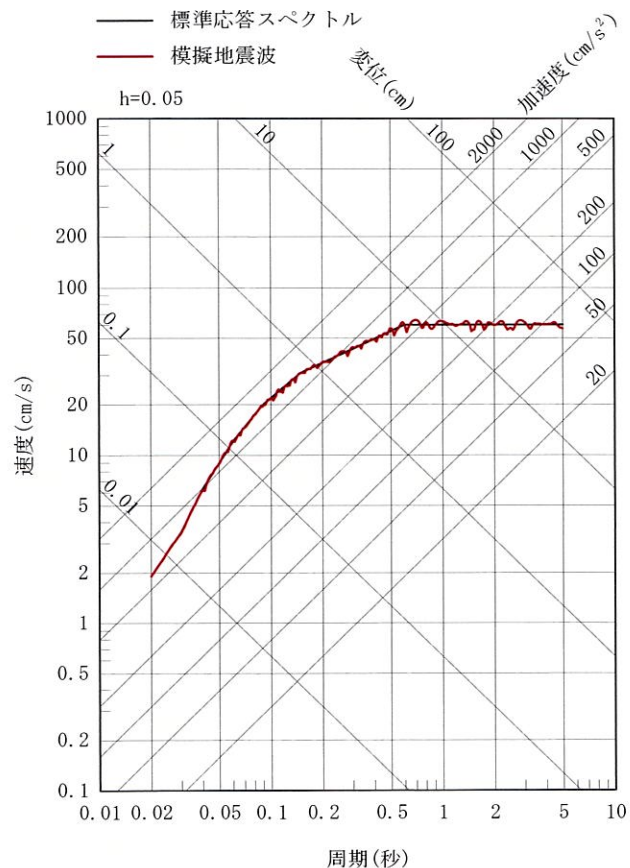
$$E(t) = \begin{cases} (t/t_B)^2 & (0 < t \leq t_B) \\ 1.0 & (t_B < t \leq t_C) \\ e^{\frac{\ln(0.1)}{t_D - t_C}(t - t_C)} & (t_C < t \leq t_D) \end{cases}$$

$$\begin{aligned} t_B &= 10^{0.5M - 2.93} \\ t_C - t_B &= 10^{0.3M - 1.0} \\ t_D - t_C &= 10^{0.17M + 0.54 \log X_{eq} - 0.6} \end{aligned}$$

## 3.2 乱数位相を用いた模擬地震波の作成

### ■ 乱数位相を用いた模擬地震波の作成結果（水平方向）

- 乱数位相を用いた模擬地震波の作成結果（水平方向）を以下に示す。
- 模擬地震波の標準応答スペクトルへの適合度が日本電気協会(2015)<sup>17)</sup>に記載された判定基準を満足することを確認した。



	作成結果
① 応答スペクトル比R(T)	0.90 ≥ 0.85
② SI比	1.00 ≥ 1.00

$$\textcircled{1} \quad R(T) = \frac{S_{v1}(T)}{S_{v2}(T)} \geq 0.85 \quad (0.02 \leq T)$$

T : 周期 (s)

$S_{v1}(T)$  : 模擬地震波の応答スペクトル値

$S_{v2}(T)$  : 目標とする応答スペクトル値

$$\textcircled{2} \quad \text{SI比} = \frac{\int_{0.1}^{2.5} S_v(T) dt}{\int_{0.1}^{2.5} \bar{S}_v(T) dt} \geq 1.0$$

SI : 応答スペクトル強さ

$S_v(T)$  : 模擬地震波の応答スペクトル (cm/s)

$\bar{S}_v(T)$  : 目標とする応答スペクトル (cm/s)

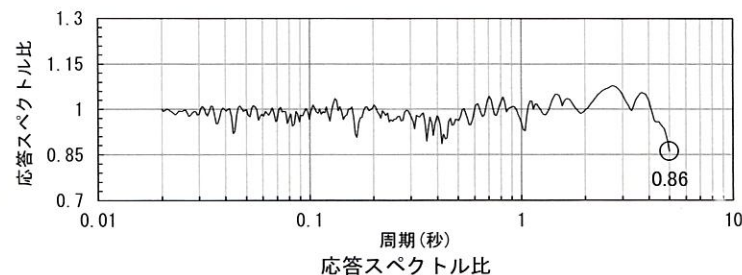
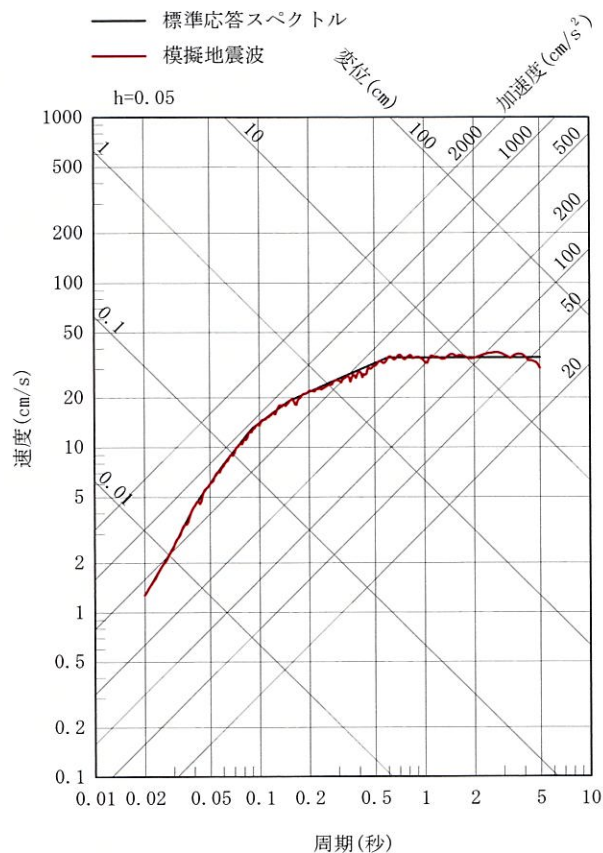
T : 固有周期 (s)



## 3.2 乱数位相を用いた模擬地震波の作成

### ■ 乱数位相を用いた模擬地震波の作成結果（鉛直方向）

- 乱数位相を用いた模擬地震波の作成結果（鉛直方向）を以下に示す。
- 模擬地震波の標準応答スペクトルへの適合度が日本電気協会(2015)<sup>17)</sup>に記載された判定基準を満足することを確認した。



	作成結果
① 応答スペクトル比R(T)	0.86 ≥ 0.85
② SI比	1.01 ≥ 1.00

$$\textcircled{1} \quad R(T) = \frac{S_{v1}(T)}{S_{v2}(T)} \geq 0.85 \quad (0.02 \leq T)$$

T : 周期 (s)

$S_{v1}(T)$  : 模擬地震波の応答スペクトル値

$S_{v2}(T)$  : 目標とする応答スペクトル値

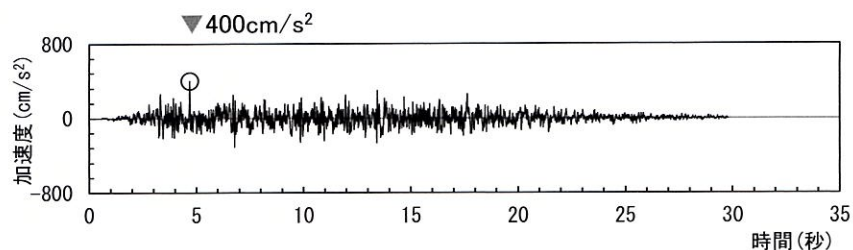
$$\textcircled{2} \quad \text{SI比} = \frac{\int_{0.1}^{2.5} S_v(T) dt}{\int_{0.1}^{2.5} \bar{S}_v(T) dt} \geq 1.0$$

SI : 応答スペクトル強さ

$S_v(T)$  : 模擬地震波の応答スペクトル(cm/s)

$\bar{S}_v(T)$  : 目標とする応答スペクトル(cm/s)

T : 固有周期(s)



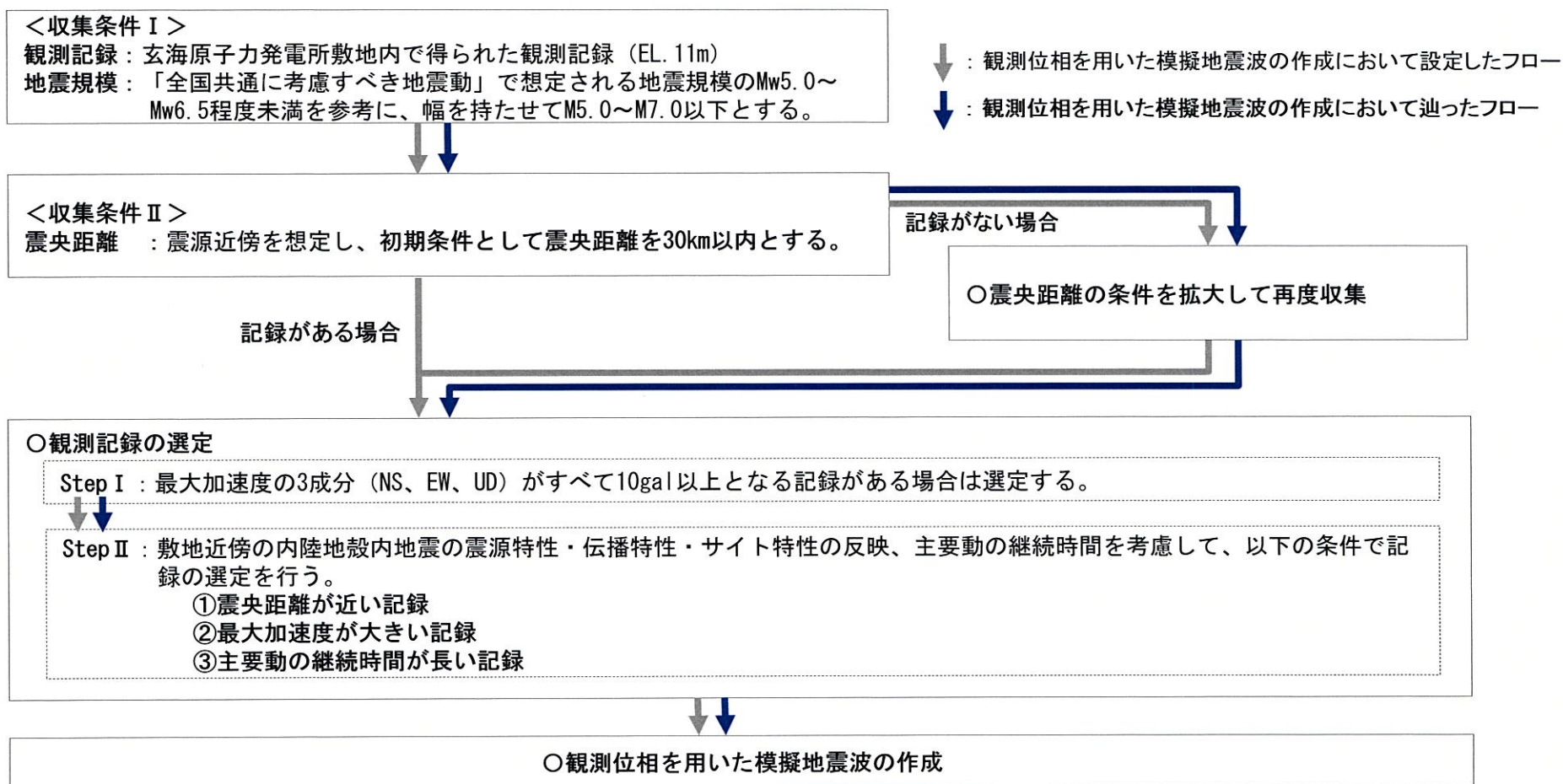




### 3.3 観測位相を用いた模擬地震波の作成

#### ■ 観測位相を用いた模擬地震波作成のための観測記録の収集条件（2 / 2）

- 観測位相を用いた模擬地震波は、下記のフローに従い玄海原子力発電所の敷地地盤で得られた観測記録の位相を与えて作成する。
  - 観測位相を用いた模擬地震波には敷地地盤の振動特性を適切に反映することが必要と考えられることから、下記の条件により敷地近傍で発生した内陸地殻内地震の観測記録を収集する。記録が得られていない場合は、対象範囲を拡大した上で観測記録を収集する。
  - 収集した記録が複数ある場合には適切に選定し、観測位相を用いた模擬地震波を作成する。

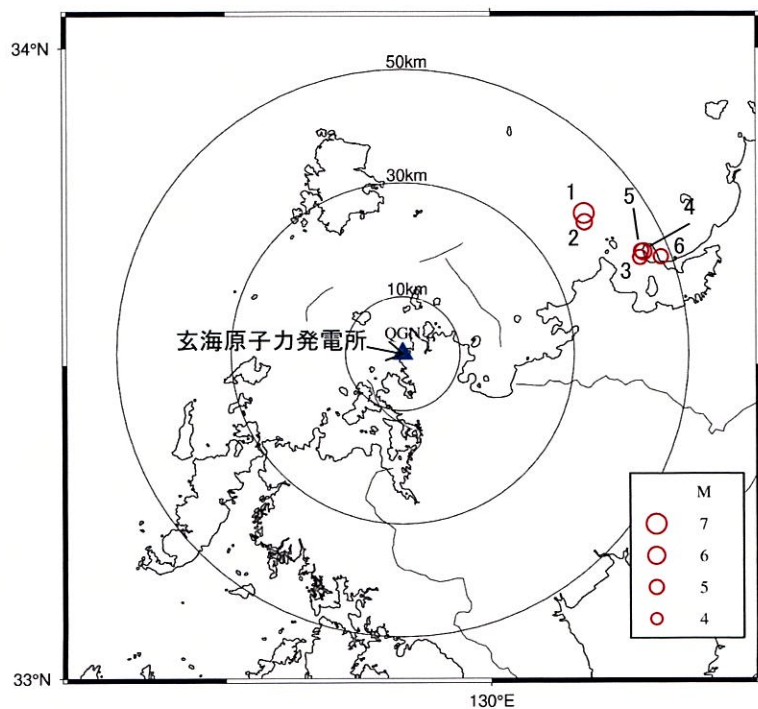


観測位相を用いた模擬地震波作成のための観測記録の収集・選定フロー

### 3.3 観測位相を用いた模擬地震波の作成

#### ■ 敷地における地震観測記録の収集及び選定（収集条件 I, II 及び観測記録の選定 Step I）

- 玄海原子力発電所の敷地において、マグニチュード5.0以上で震央距離30km以内の内陸地殻内地震の観測記録は該当なし。
- 敷地からの震央距離を50km以内に対象を拡大すると、6地震が得られる。6地震の震央分布図及び諸元を示す。
- そのうちNS、EW、UD方向すべてが10gal以上の地震は2地震となる。
- なお、6地震の観測記録については、特異な位相特性をもつ記録がないことを確認。



収集した6地震の震央分布図

収集した6地震の諸元

地震 No.	発生年月日・時刻					地名	北緯		東経		震源 深さ (km)	M	震央 距離 (km)	最大加速度 (Gal)			最大加速度 (3成分) 10gal以上 判定
	年	月	日	時	分		度	分	度	分				NS	EW	UD	
1	2005	3	20	10	53	九州北西沖	33	44.35	130	10.58	9.2	7.0	40.2	84.2	69.5	50.9	○
2	2005	3	22	15	55	九州北西沖	33	43.52	130	10.61	10.5	5.4	39.3	4.1	4.1	3.5	除外
3	2005	4	10	20	34	福岡県中部	33	40.11	130	16.93	4.7	5.0	44.9	2.5	3.3	2.1	除外
4	2005	4	20	6	11	福岡県中部	33	40.69	130	17.29	13.5	5.8	45.8	31.8	29.6	16.0	○
5	2005	4	20	9	9	福岡県中部	33	40.72	130	17.03	13.3	5.1	45.5	13.8	17.4	5.8	除外
6	2005	5	2	1	23	福岡県中部	33	40.22	130	19.23	11.4	5.0	48.3	22.1	11.5	4.5	除外



### 3.3 観測位相を用いた模擬地震波の作成

#### ■ 敷地における地震観測記録の収集・選定（観測記録の選定 Step II）

- Step I で選定された2地震について、①震央距離、②最大加速度、③主要動の継続時間について比較・検討する。
- ①震央距離が最も近く、②最大加速度が最も大きく、③主要動の継続時間が最も長いのは、「No.1 2005年3月20日 九州北西沖の地震（福岡県西方沖地震 本震）（M7.0）」
- 以上より、「No.1 2005年3月20日 九州北西沖の地震（福岡県西方沖地震 本震）（M7.0）」を、観測位相を用いた模擬地震波に用いる記録として選定する。

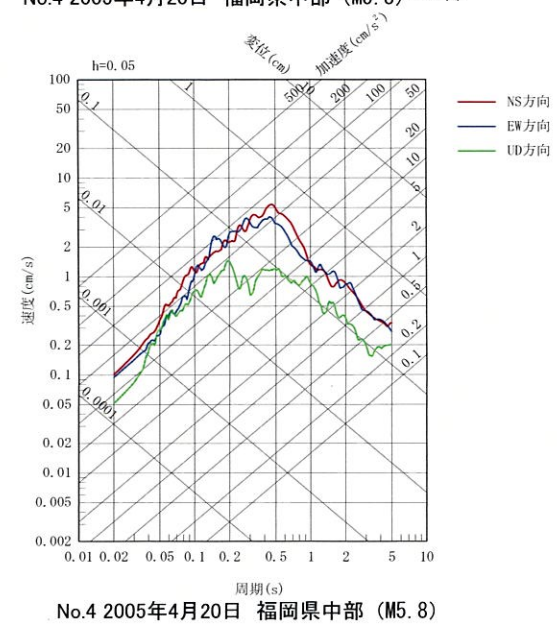
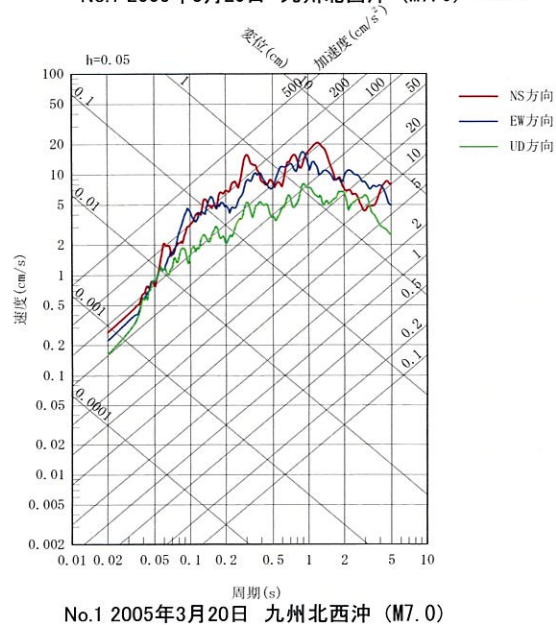
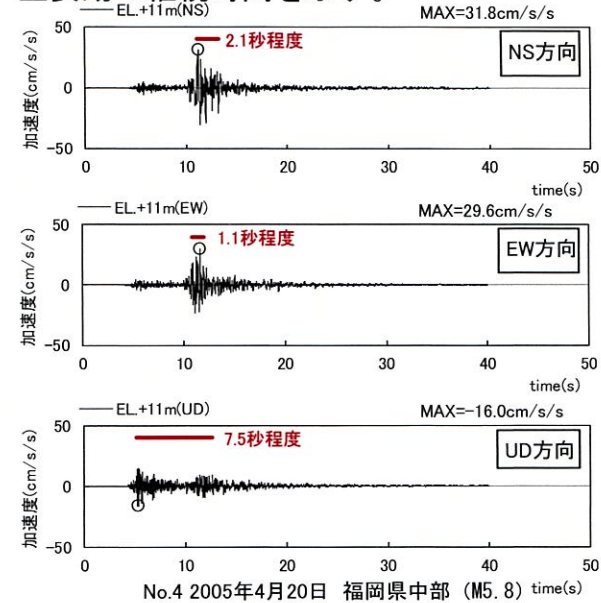
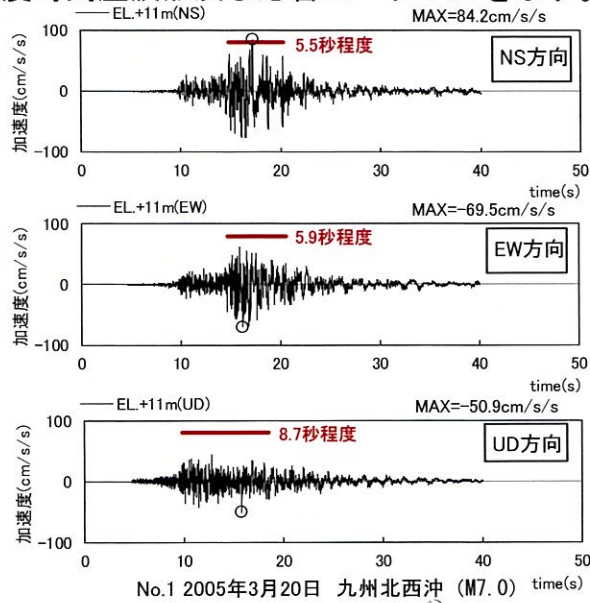
No.	地震名	地震規模 M	①震央距離 (km)	②最大加速度 (gal)	③主要動の継続時間※ (秒)			実観測位相の選定
					NS	EW	UD	
1	2005年3月20日 九州北西沖の地震 (福岡県西方沖地震 本震)	7.0	40.2	84.2	5.5	5.9	8.7	①震央距離が最も近い ②最大加速度が最も大きい ③主要動の継続時間が最も長い
4	2005年4月20日 福岡県中部の地震 (福岡県西方沖地震 余震)	5.8	45.8	31.8	2.1	1.1	7.5	①震央距離が遠い ②最大加速度が小さい ③主要動の継続時間が短い

※最大加速度の0.5倍以上の振幅の継続時間を主要動の継続時間として評価。

### 3.3 観測位相を用いた模擬地震波の作成

#### ■ 収集・選定された地震観測記録（加速度時刻歴波形・応答スペクトルの比較）

- 2地震の加速度時刻歴波形及び応答スペクトルを示す。なお、赤線は、主要動の継続時間を示す。

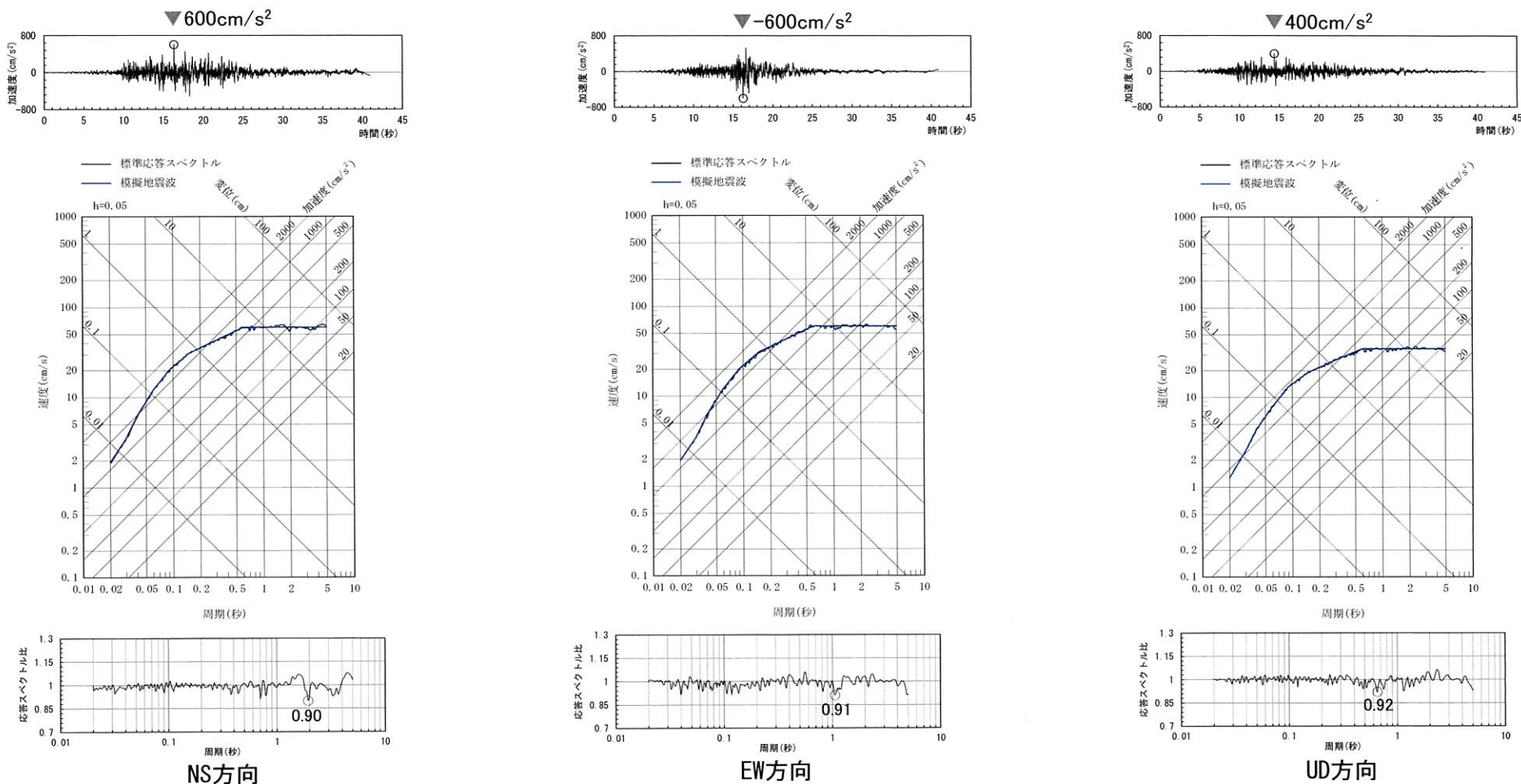




### 3.3 観測位相を用いた模擬地震波の作成

#### ■ 模擬地震波の作成結果 (No1. 2005年3月20日の地震)

- 観測位相を用いた模擬地震波の応答スペクトル及び時刻歴波形を以下に示す。
- 模擬地震波の標準応答スペクトルへの適合度が日本電気協会(2015)<sup>17)</sup>に記載された判定基準を満足することを確認した。

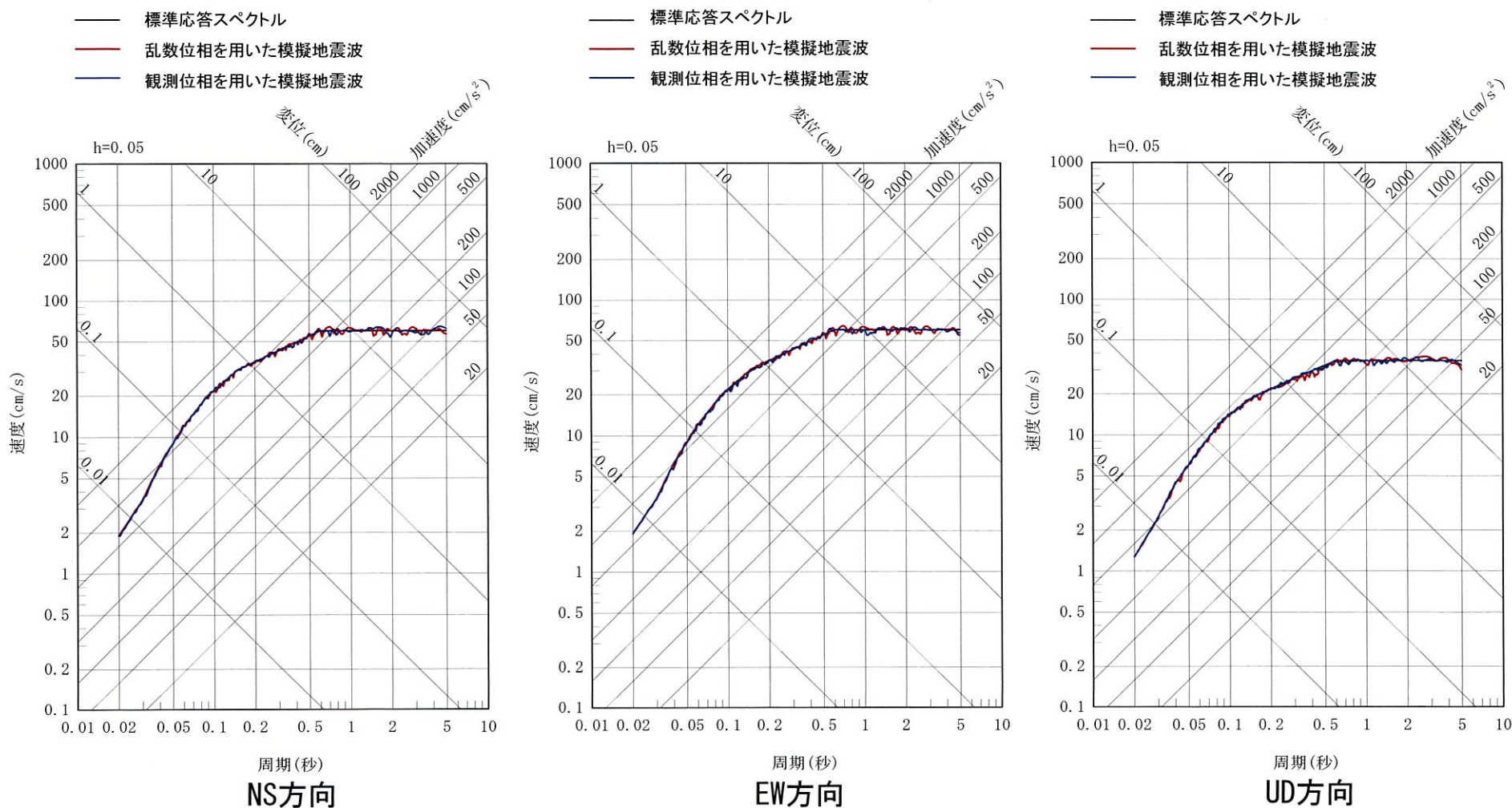


作成結果	NS方向	EW方向	UD方向
①応答スペクトル比R(T)	0.90 ≥ 0.85	0.91 ≥ 0.85	0.92 ≥ 0.85
②SI比	1.00 ≥ 1.00	1.00 ≥ 1.00	1.00 ≥ 1.00

### 3.3 観測位相を用いた模擬地震波の作成

#### ■ 地震基盤相当面における模擬地震波の応答スペクトル（乱數位相を用いた模擬地震波との比較）

- 乱數位相を用いた模擬地震波及び観測位相を用いた模擬地震波の応答スペクトルの比較を以下に示す。
- 両者の応答スペクトルは、標準応答スペクトルに適合するよう作成していることから、有意な差は見られない。



地震基盤相当面における模擬地震波の応答スペクトルの比較



## 3.4 解放基盤表面の地震波の比較

### ■ 解放基盤表面の地震波の作成

- 地震基盤相当面における模擬地震波に対して、一次元波動論により、解放基盤表面までの地震波の伝播特性を反映し、標準応答スペクトルを考慮した解放基盤表面での地震動を作成する。解放基盤表面における地震動の検討は、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を使用する。

### ■ 解放基盤表面の地震波の比較

- 乱數位相を用いた模擬地震波及び観測位相を用いた模擬地震波による解放基盤表面の地震波について、下記のような着目点で比較を行い複数の方法による特徴の違いを確認した上で、標準応答スペクトルに基づく地震動評価に用いる模擬地震波を選定する。

比較・検討項目	着目点	概要
①時刻歴波形	<ul style="list-style-type: none"><li>最大加速度の大きさ</li><li>強震部の継続時間<sup>※</sup>の長さ</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>解放基盤表面における時刻歴波形の最大加速度について比較</li><li>解放基盤表面における時刻歴波形の強震部の継続時間について比較</li></ul>
②応答スペクトル	<ul style="list-style-type: none"><li>周期ごとの応答値の大きさ</li><li>周期ごとの応答値の比の大きさ</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>解放基盤表面における応答スペクトルの比較</li><li>地震基盤相当面における応答スペクトルに対する解放基盤表面における応答スペクトルの比による増幅率の比較</li></ul>

※解放基盤表面の地震波の最大加速度(水平;568~617gal、鉛直;385~441gal)の0.5倍を目安として水平300gal以上、鉛直200gal以上の振幅の継続時間を強震部の継続時間として評価。

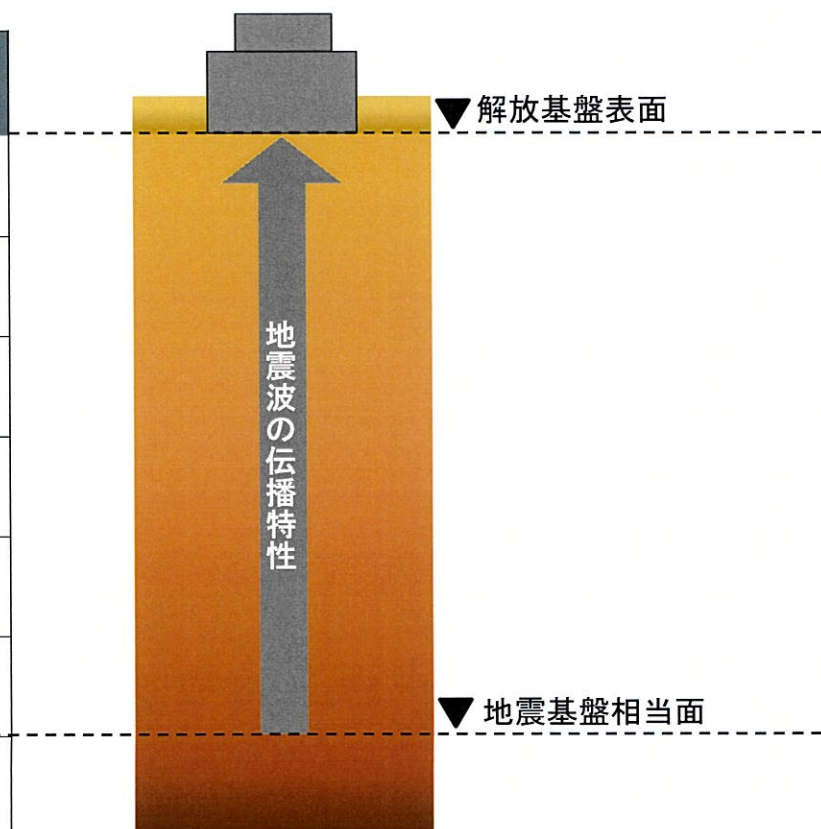
### 3.4 解放基盤表面の地震波の比較

#### ■ 解放基盤表面の地震波の作成

- 地震基盤相当面の模擬地震波に対して、敷地の地盤増幅特性を考慮するため、一次元波動論により、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を使用して解放基盤表面までの地震波の伝播特性を反映し、解放基盤表面における標準応答スペクトルを考慮した地震動を設定する。

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 -15m	0.0	2.35	1350	3000	12.5
-50m	-0.035	2.35	1570	3440	12.5
-90m	-0.075	2.35	1570	3440	16.7
-100m	-0.085	2.35	1730	3470	16.7
-150m	-0.135	2.35	1770	3650	16.7
-200m	-0.185	2.40	2100	4000	200
-1804m	-1.789	2.60	3100	5500	300



標準応答スペクトルを考慮した地震動の評価のイメージ

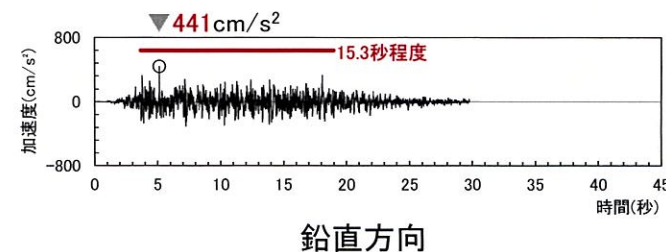
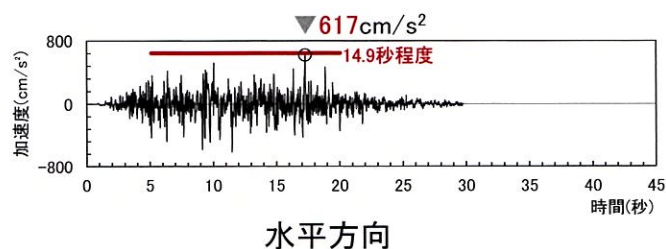


### 3.4 解放基盤表面の地震波の比較

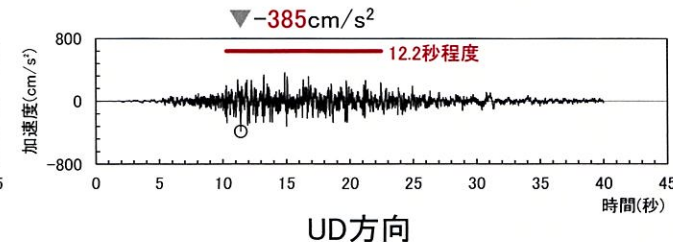
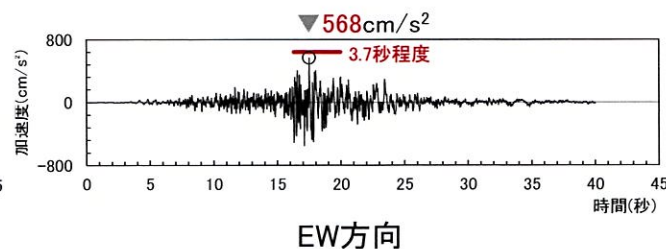
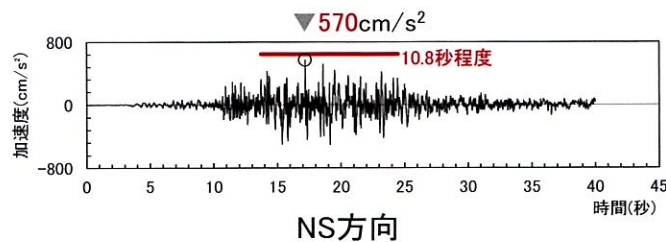
#### ■ 解放基盤表面の地震波の比較：①時刻歴波形

- 乱数位相を用いた模擬地震波及び観測位相を用いた模擬地震波による解放基盤表面の地震波を以下に示す。なお、赤線は、強震部の継続時間を示す。
- 最大加速度の大きさは、水平方向、鉛直方向ともに乱数位相を用いた模擬地震波による解放基盤表面の地震波の方が大きいことを確認。
- 強震部の継続時間についても同様に、水平方向、鉛直方向ともに乱数位相を用いた模擬地震波による解放基盤表面の地震波の方が長いことを確認。

#### ● 乱数位相を用いた模擬地震波による解放基盤表面の地震波



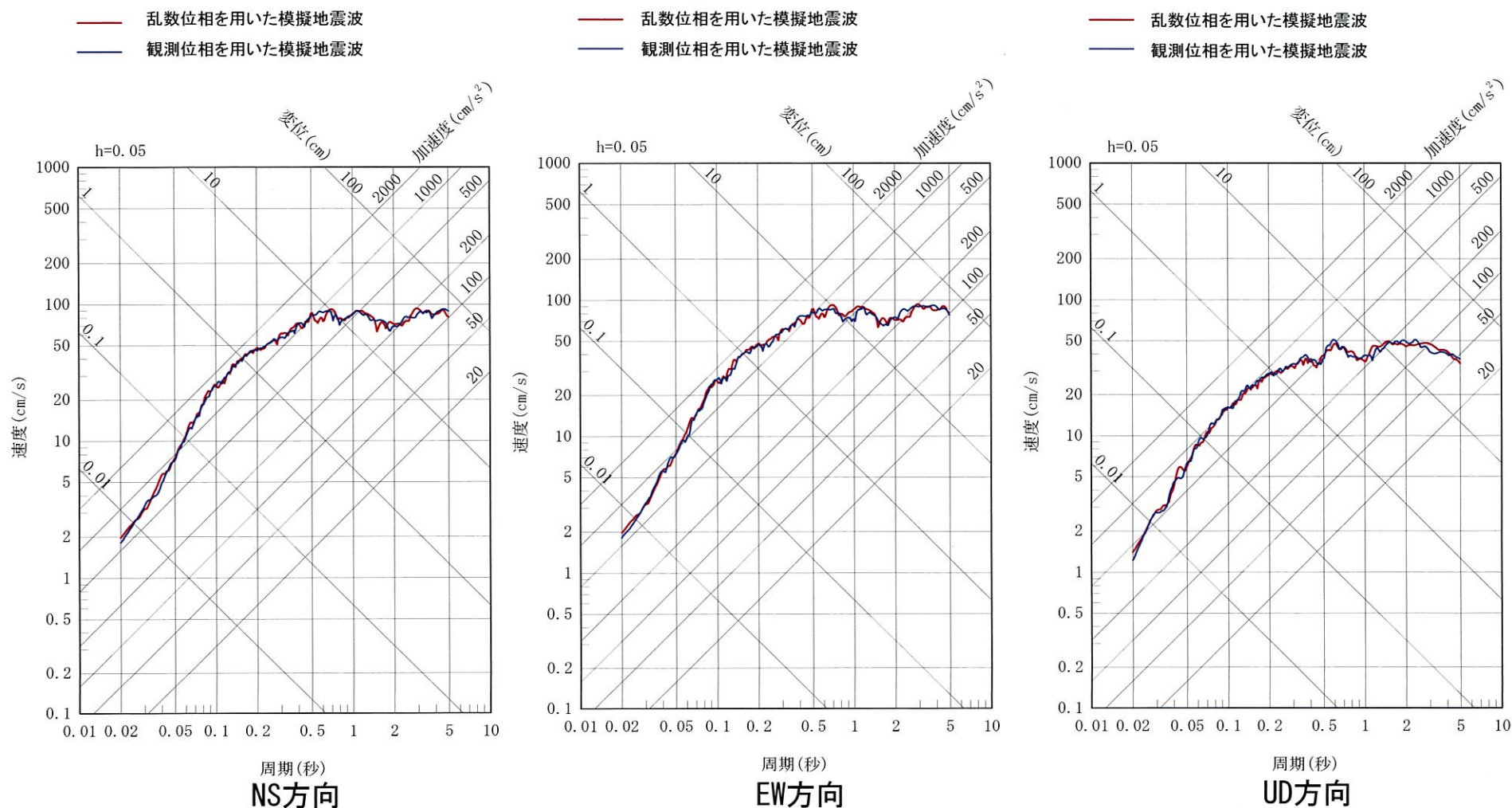
#### ● 観測位相を用いた模擬地震波による解放基盤表面の地震波



### 3.4 解放基盤表面の地震波の比較

#### ■ 解放基盤表面の地震波の比較：②応答スペクトル

- 乱数位相を用いた模擬地震波及び観測位相を用いた模擬地震波による解放基盤表面の地震波の応答スペクトルを以下に示す。
- 解放基盤表面での両者の応答スペクトルは同程度であり、位相の違いによる影響がないことを確認。



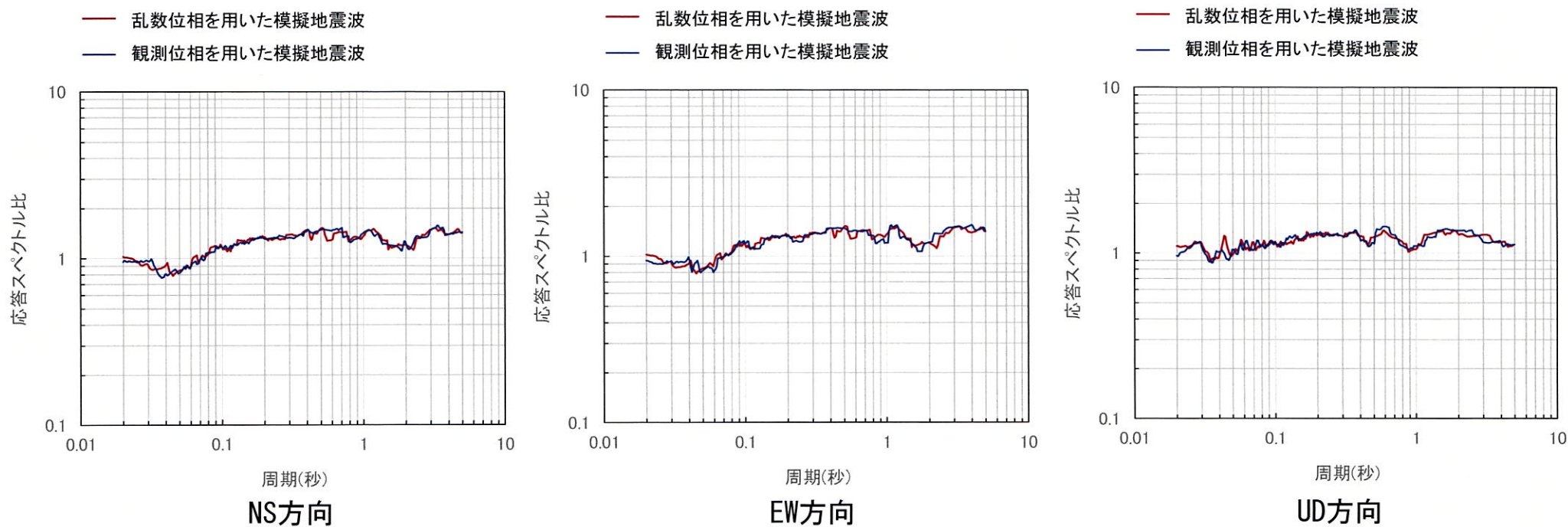
解放基盤表面の地震波の応答スペクトル



### 3.4 解放基盤表面の地震波の比較

#### ■ 解放基盤表面の地震波の比較：②応答スペクトル

- 乱数位相を用いた模擬地震波及び観測位相を用いた模擬地震波について、地震基盤相当面における応答スペクトルに対する解放基盤表面における応答スペクトルの比を示す。
- 両者の応答スペクトル比は同程度であり、位相の違いによる影響がないことを確認。



応答スペクトルの比(解放基盤表面/地震基盤相当面)

## 3.4 解放基盤表面の地震波の比較

### ■ 解放基盤表面の地震波の比較結果

- 乱数位相を用いた模擬地震波及び観測位相を用いた模擬地震波による解放基盤表面の地震波の比較結果を以下に示す。
- 比較の結果、時刻歴波形については、観測位相を用いた模擬地震波による解放基盤表面の地震波よりも乱数位相を用いた模擬地震波による解放基盤表面の地震波の方が最大加速度が大きく強震部の継続時間が長いこと、応答スペクトルについては、応答値の大きさ及び応答値の比の大きさともに、両者が同程度であることを確認した。
- 以上より、標準応答スペクトルを考慮した地震動評価においては、乱数位相を用いた模擬地震波を採用する。

解放基盤表面の地震波の比較結果

比較・検討項目	着目点	比較結果
①時刻歴波形	最大加速度の大きさ	観測位相を用いた模擬地震波よりも乱数位相を用いた模擬地震波の方が大きい
	強震部の継続時間の長さ	観測位相を用いた模擬地震波よりも乱数位相を用いた模擬地震波の方が長い
②応答スペクトル	周期ごとの応答値の大きさ	乱数位相を用いた模擬地震波と観測位相を用いた模擬地震波が同程度
	周期ごとの応答値の比の大きさ	乱数位相を用いた模擬地震波と観測位相を用いた模擬地震波が同程度

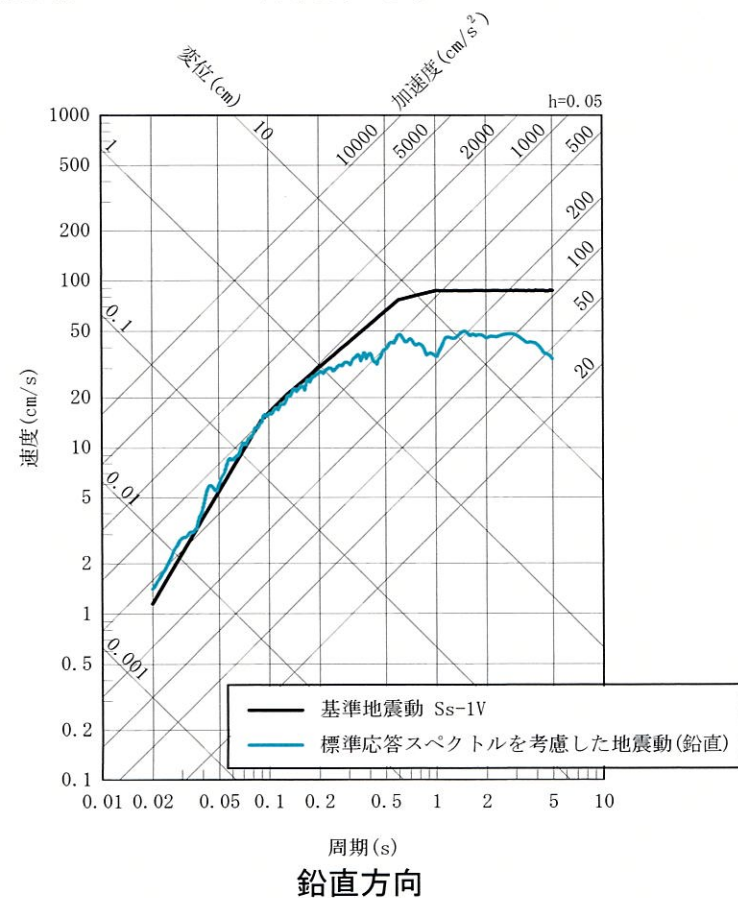
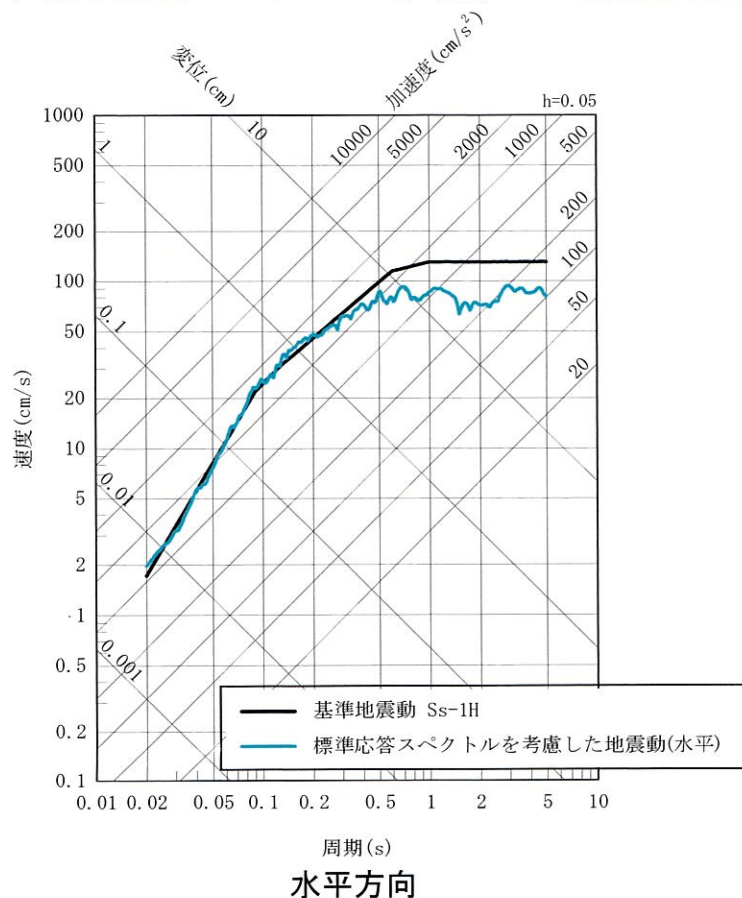


#### 4. 基準地震動の策定

## 4. 基準地震動の策定

### ■ 標準応答スペクトルを考慮した地震動による基準地震動の策定

- 標準応答スペクトルを考慮した地震動による基準地震動の策定にあたっては、標準応答スペクトルを考慮した地震動の応答スペクトルがいずれかの周期帯で基準地震動Ss-1の応答スペクトルを上回る場合、新たに基準地震動として策定する。
- 標準応答スペクトルを考慮した地震動は、一部の周期帯で基準地震動Ss-1を上回る。
- このため、標準応答スペクトルを考慮した地震動を基準地震動Ss-6として策定する。



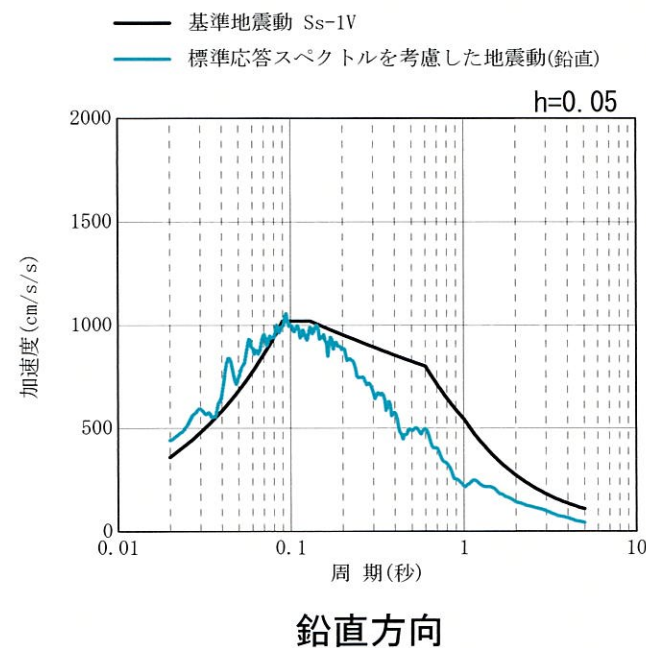
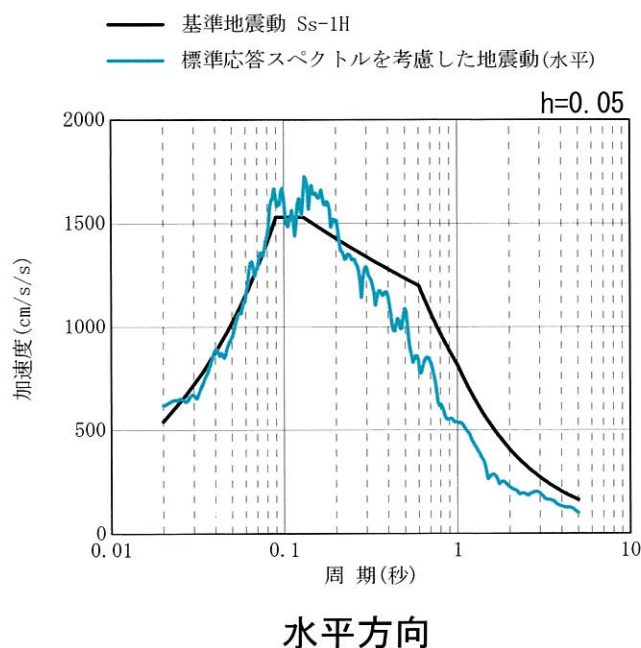
標準応答スペクトルを考慮した地震動と基準地震動Ss-1との応答スペクトルの比較



## 4. 基準地震動の策定

### ■ 標準応答スペクトルを考慮した地震動による基準地震動の策定

- 標準応答スペクトルを考慮した地震動の水平成分は、周期0.2秒付近より長周期側では基準地震動Ss-1を下回るが、周期0.2秒付近より短周期側の一部の周期帯（0.02~0.03秒付近、0.04秒付近、0.06~0.2秒付近）では、基準地震動Ss-1を上回る。
- 標準応答スペクトルを考慮した地震動の鉛直成分は、周期0.09秒付近より長周期側では基準地震動Ss-1を下回るが、周期0.09秒付近より短周期側では、基準地震動Ss-1を上回る。

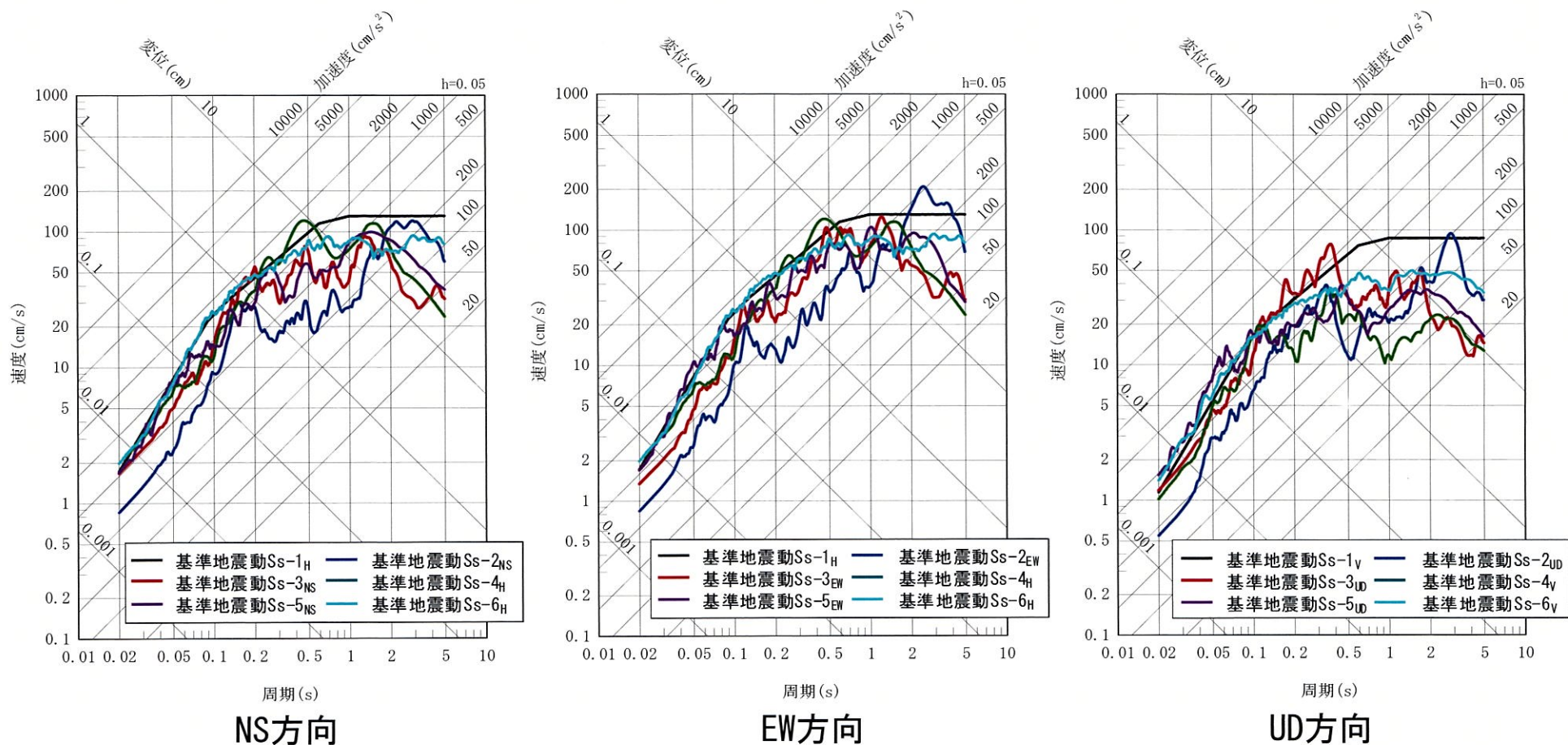


標準応答スペクトルを考慮した地震動と基準地震動Ss-1との応答スペクトルの比較

## 4. 基準地震動の策定

### ■ 基準地震動の応答スペクトル

- 基準地震動Ss-1～Ss-6の応答スペクトルを以下に示す。

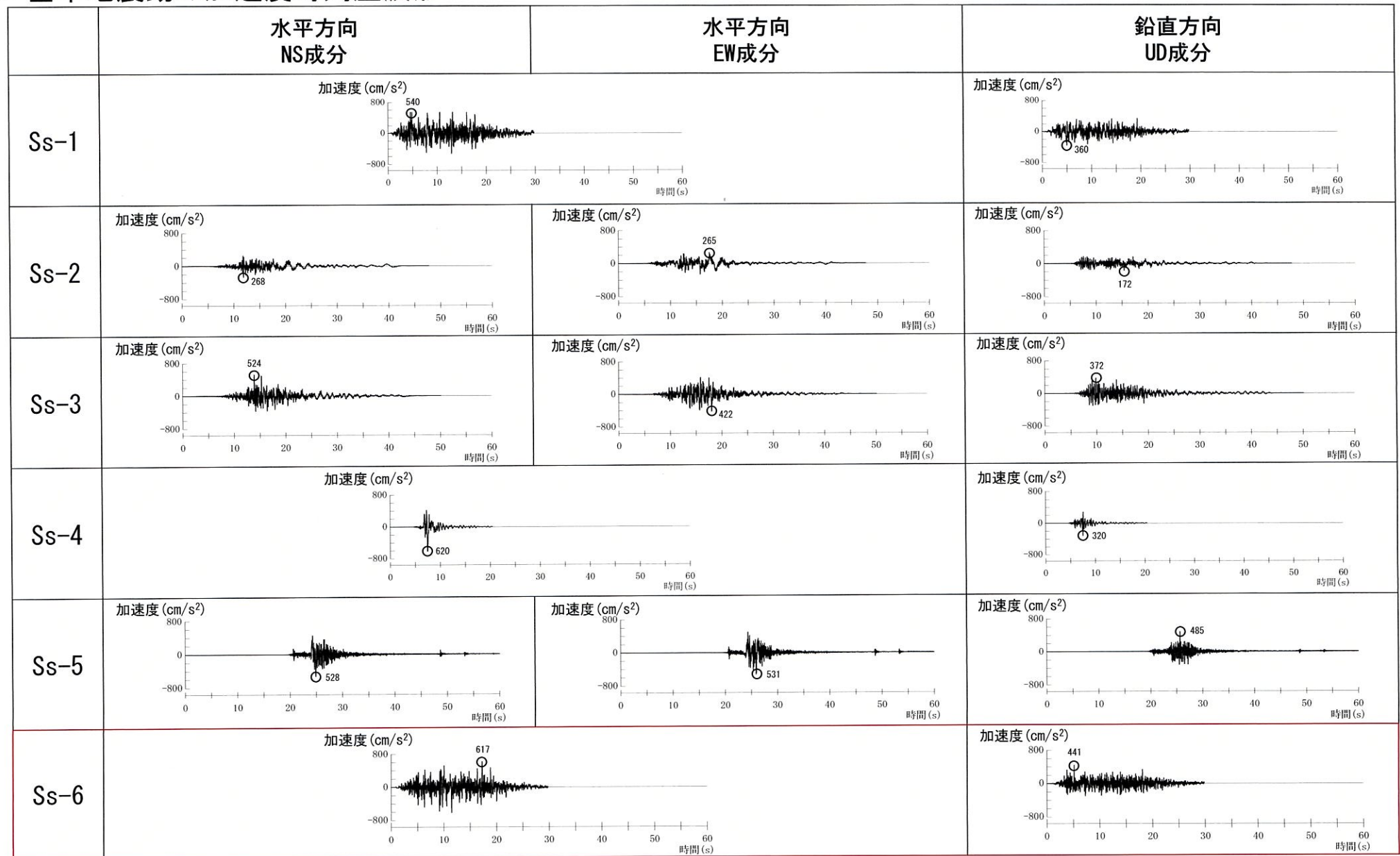


基準地震動の応答スペクトル



# 4. 基準地震動の策定

## ■ 基準地震動の加速度時刻歴波形



## 4. 基準地震動の策定

### ■ 基準地震動の最大加速度一覧

基準地震動の最大加速度(単位:cm/s<sup>2</sup>)

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動		Ss	水平方向 NS成分	水平方向 EW成分	鉛直方向 UD成分
応答スペクトルに基づく手法		Ss-1	540		360
断層モデルを用いた手法	城山南断層	Ss-2	268	265	172
	竹木場断層	Ss-3	524	422	372
震源を特定せず策定する地震動		Ss	水平方向 NS成分	水平方向 EW成分	鉛直方向 UD成分
全国共通に考慮すべき 地震動(Mw6.5程度未満)	留萌地震	Ss-4	620		320
地域性を考慮する地震動 (Mw6.5程度以上)	鳥取県西部地震	Ss-5	528	531	485
全国共通に考慮すべき 地震動(Mw6.5程度未満)	標準応答スペクトル	Ss-6	617		441

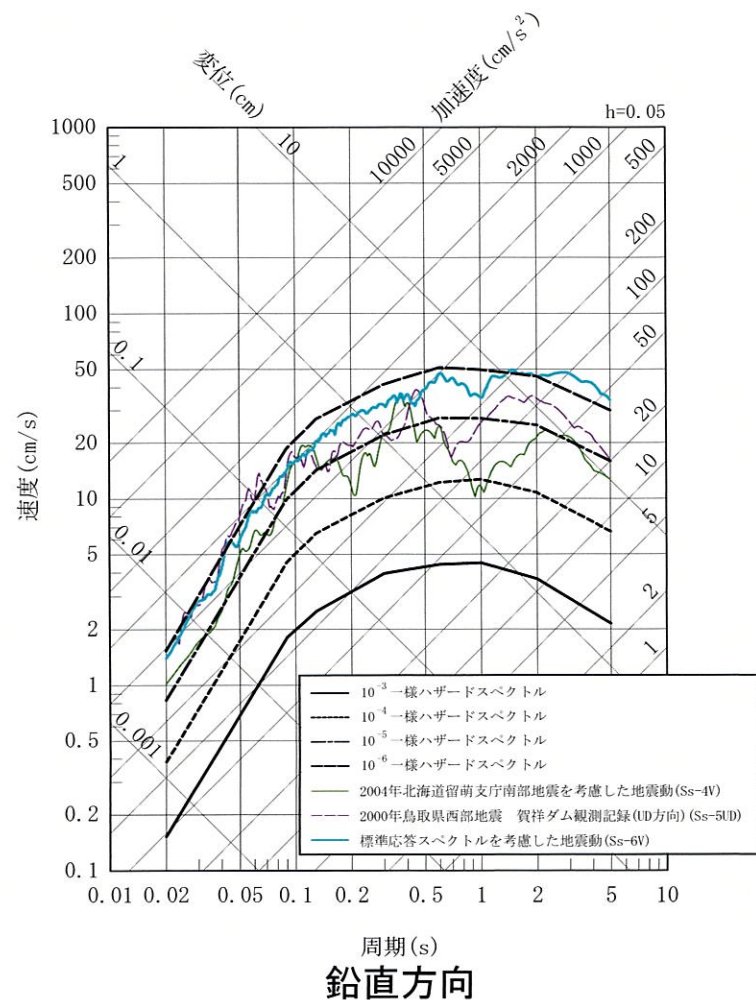
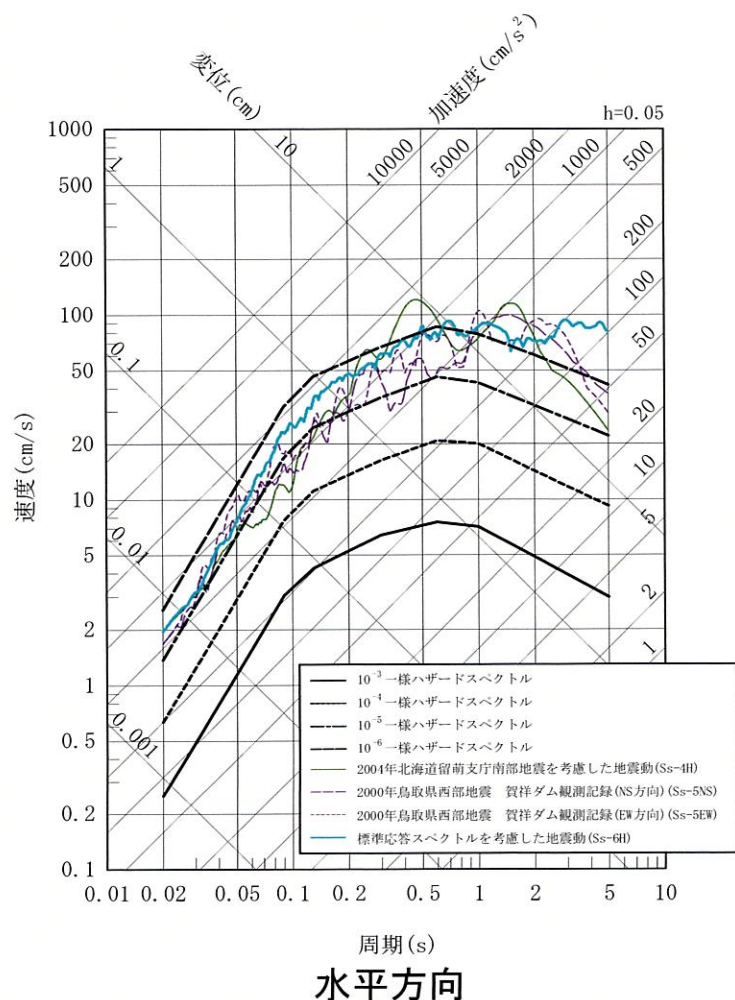


## 5. 超過確率の参照

## 5. 超過確率の参照

### ■ 「震源を特定せず策定する地震動」の超過確率

- 「震源を特定せず策定する地震動」の応答スペクトルを、既許可で評価した内陸地殻内地震の「領域震源モデル」による一様ハザードスペクトルと比較する。
- 「震源を特定せず策定する地震動」の年超過確率は、 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 程度であり、既許可での評価結果と同等であることを確認。
- なお、既許可の一様ハザードスペクトルを使用することの妥当性確認として、既許可以降に発生した2016年熊本地震(M7.3)等の地震活動による既許可の確率論的地震ハザード評価への影響を確認。(補足⑧)

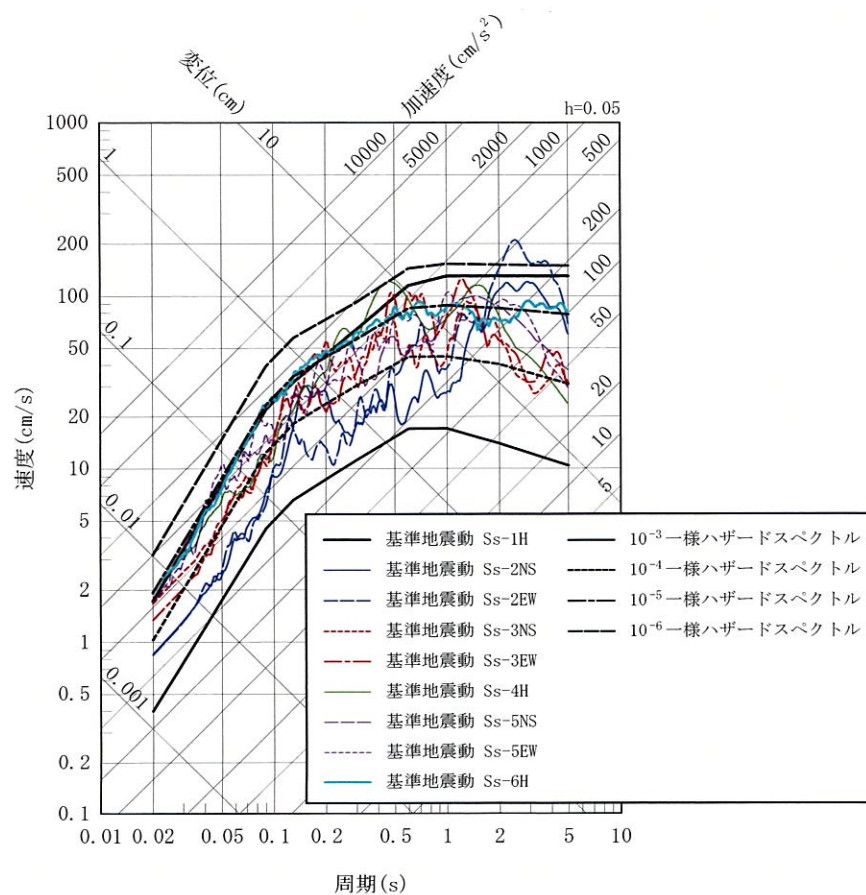




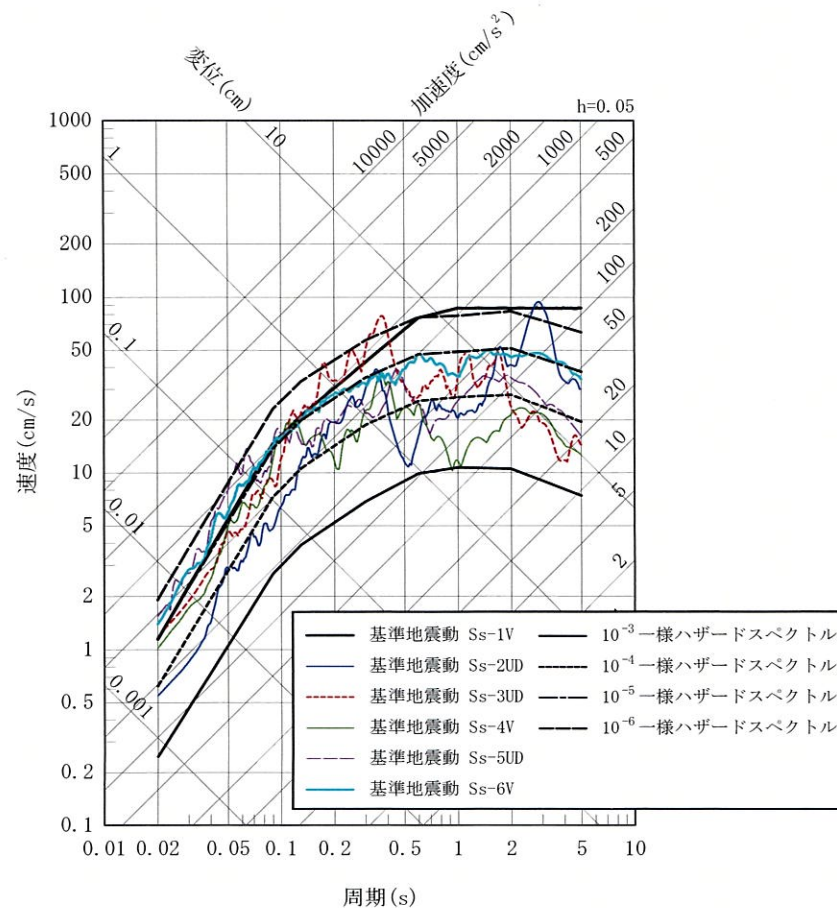
## 5. 超過確率の参照

### ■ 基準地震動の超過確率

- 基準地震動の応答スペクトルを、既許可で評価した内陸地殻内地震の「特定震源モデル」及び「領域震源モデル」による一様ハザードスペクトルと比較する。
- 基準地震動の年超過確率は、 $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 程度であり、既許可での評価結果と同等であることを確認。
- なお、既許可の一様ハザードスペクトルを使用することの妥当性確認として、既許可以降に発生した2016年熊本地震(M7.3)等の地震活動による既許可の確率論的地震ハザード評価への影響を確認。(補足⑧)



水平方向



鉛直方向



## 6. まとめ



## 6. まとめ

### <地下構造モデルの設定>

- 標準応答スペクトルを考慮した地震動評価にあたり、既許可以降取得した地震観測記録やボーリング孔内減衰測定結果等の観測事実等に基づき、最新の技術的知見を取り入れた多面的な検討・確認を実施し、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を新たに設定するとともに、その妥当性について確認した。

### ■ 地下構造モデルの設定

- ・ 既許可以降の地震観測記録の分析の結果、地盤減衰（Q値）は精度・信頼性の向上が見込まれると判断し、速度構造は既許可の地下構造モデルの速度構造と同等であることを確認した。
- ・ 既許可の地下構造モデルは、長周期帯の地震動評価に用いていたが、その設定根拠は長周期帯に限定したものではないため、短周期帯の地震動評価に用いる。

#### 【EL. -200m以深】

- ・ 既許可の地下構造モデルを流用して設定し、短周期から長周期までの全ての周期帯への適用性を確認した。

#### 【EL. -200m以浅】

- ・ 速度構造・密度は、既許可の地下構造モデルを流用して設定した。
- ・ 地盤減衰（Q値）は、以下の検討・確認を実施し、設定した。

#### 〔最深部地震計以浅（EL. -90m以浅）の地盤減衰（Q値）〕

- － 地震観測記録に基づき、最新の技術的知見を取り入れた多面的な検討・確認を実施し、不確かさを考慮し、周波数に依存せず、保守的に $Q=12.5$ とした。
- － 地盤減衰（ $Q=12.5$ ）について、地震観測記録を用いて、応答スペクトル及び伝達関数により確認した。

#### 〔最深部地震計以深（EL. -90m以深）の地盤減衰（Q値）〕

- － 速度層断面による検討の結果、解放基盤表面からEL. -200mまでの範囲は、最深部地震計以浅と最深部地震計以深の速度に大きな差異が見られないこと、及びボーリング孔内減衰測定結果が、最深部地震計以浅と最深部地震計以深で同等であることを確認し、最深部地震計からEL. -200mの範囲の地盤減衰（Q値）は、最深部地震計以浅と同じ $Q=12.5$ とした。
- － 地盤減衰（ $Q=12.5$ ）について、岩石コアを用いた減衰測定により確認した。



## 6. まとめ

### ■ 地下構造モデルの妥当性確認

- 解放基盤表面 (EL. -15m) からEL. -90mの範囲の地下構造モデルについて、「地震観測記録の応答スペクトルによる確認」の結果、全ての周期帯において、設定した地下構造モデルによる応答波の応答スペクトルが、地震観測記録の応答スペクトルと同等もしくは上回ることから、妥当性を確認した。
- 解放基盤表面 (EL. -15m) からEL. -200mの範囲の地下構造モデルについて、「PS検層モデルとの比較による確認」の結果、全ての周期帯において、設定した地下構造モデルによる理論伝達関数が、PS検層モデルによる理論伝達関数に対して、同等もしくは上回ることから、妥当性を確認した。



### ■ 標準応答スペクトル用モデルの設定

- 設定した地下構造モデルのうち、EL. -90mからEL. -200mまでの範囲の地盤減衰 (Q値) について、以下の点を踏まえ、地盤減衰 (Q値) を $Q=12.5$ から $Q=16.7$ に見直し、標準応答スペクトル用モデルを設定した。
  - EL. -90mからEL. -200mまでの範囲は、地震観測記録が得られておらず、相対的に信頼性が劣る。
  - 標準応答スペクトルを考慮した地震動に更に余裕を持たせることで安全裕度の向上を図る。

### ■ 標準応答スペクトル用モデルの妥当性確認

- EL. -200m以深の範囲は、設定した地下構造モデルと同じ設定であり、短周期から長周期までの全ての周期帯への適用性は変わらない。
- EL. -200m以浅の範囲の標準応答スペクトル用モデルについて、「PS検層モデルとの比較による確認」の結果、全ての周期帯において、標準応答スペクトル用モデルによる理論伝達関数が、PS検層モデルによる理論伝達関数に対して、同等もしくは上回ることから、妥当性を確認した。

### ■ 今後の地震動評価用の地下構造モデルの適用

- 標準応答スペクトル用モデルは全周期に適用可能でその妥当性を確認できていること、また、標準応答スペクトル用モデルを反映したモデルにより既許可の地震動評価に影響を与えないことを確認したことから、今後の地震動評価に際しては、標準応答スペクトル用モデルを反映した地震動評価用のモデルに統一するものとする。



## 6. まとめ

### <模擬地震波の作成>

- 標準応答スペクトルを考慮した地震動評価に用いる模擬地震波は、乱数位相を用いる方法と観測位相を用いる方法の2つの方法を比較する方針とし、以下の通り確認したことから、標準応答スペクトルを考慮した地震動評価においては乱数位相を用いた模擬地震波を採用した。
  - 解放基盤表面における時刻歴波形の最大加速度について、水平方向、鉛直方向ともに乱数位相を用いた模擬地震波の方が大きい
  - 解放基盤表面における時刻歴波形の強震部の継続時間について、水平方向、鉛直方向ともに乱数位相を用いた模擬地震波の方が長い
  - 解放基盤表面における応答スペクトルについて、乱数位相を用いた模擬地震波と観測位相を用いた模擬地震波が同程度
  - 地震基盤相当面における応答スペクトルに対する解放基盤表面における応答スペクトルの比について、乱数位相を用いた模擬地震波と観測位相を用いた模擬地震波が同程度

### <基準地震動の策定>

- 標準応答スペクトルを考慮した地震動は、一部の周期帯で基準地震動 $S_s-1$ を上回ることから基準地震動 $S_s-6$ として策定した。

### <超過確率の参照>

- 「震源を特定せず策定する地震動」の応答スペクトルを、既許可で評価した内陸地殻内地震の「領域震源モデル」による一様ハザードスペクトルと比較した結果、「震源を特定せず策定する地震動」の年超過確率は、 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 程度であり、既許可での評価結果と同等であることを確認した。
- 基準地震動の応答スペクトルを、既許可で評価した内陸地殻内地震の「特定震源モデル」及び「領域震源モデル」による一様ハザードスペクトルと比較した結果、基準地震動の年超過確率は、 $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 程度であり、既許可での評価結果と同等であることを確認した。

## 6. まとめ

### <今後の取り組み>

- 以上のとおり、既許可時審査以降継続的に取得している鉛直アレイ観測記録やボーリング孔内減衰測定結果等の観測事実等に基づき、最新の技術的知見を取り入れた多面的な検討・確認を実施し、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を設定した。
  
- 今後も、更なる信頼性の向上を図ることを目的に、最新の技術的知見の収集・分析・評価を実施する。
  - 広域地震観測〔継続〕
  - 敷地内地下構造の把握
    - ・ 敷地内鉛直アレイ地震観測〔継続〕
    - ・ 減衰測定に用いたボーリング孔における地震計増設（EL. -200m）
    - ・ 大深度ボーリング及び地下深部の地震観測の実施についても検討





**【補足①】 深部地下構造モデルの確認**

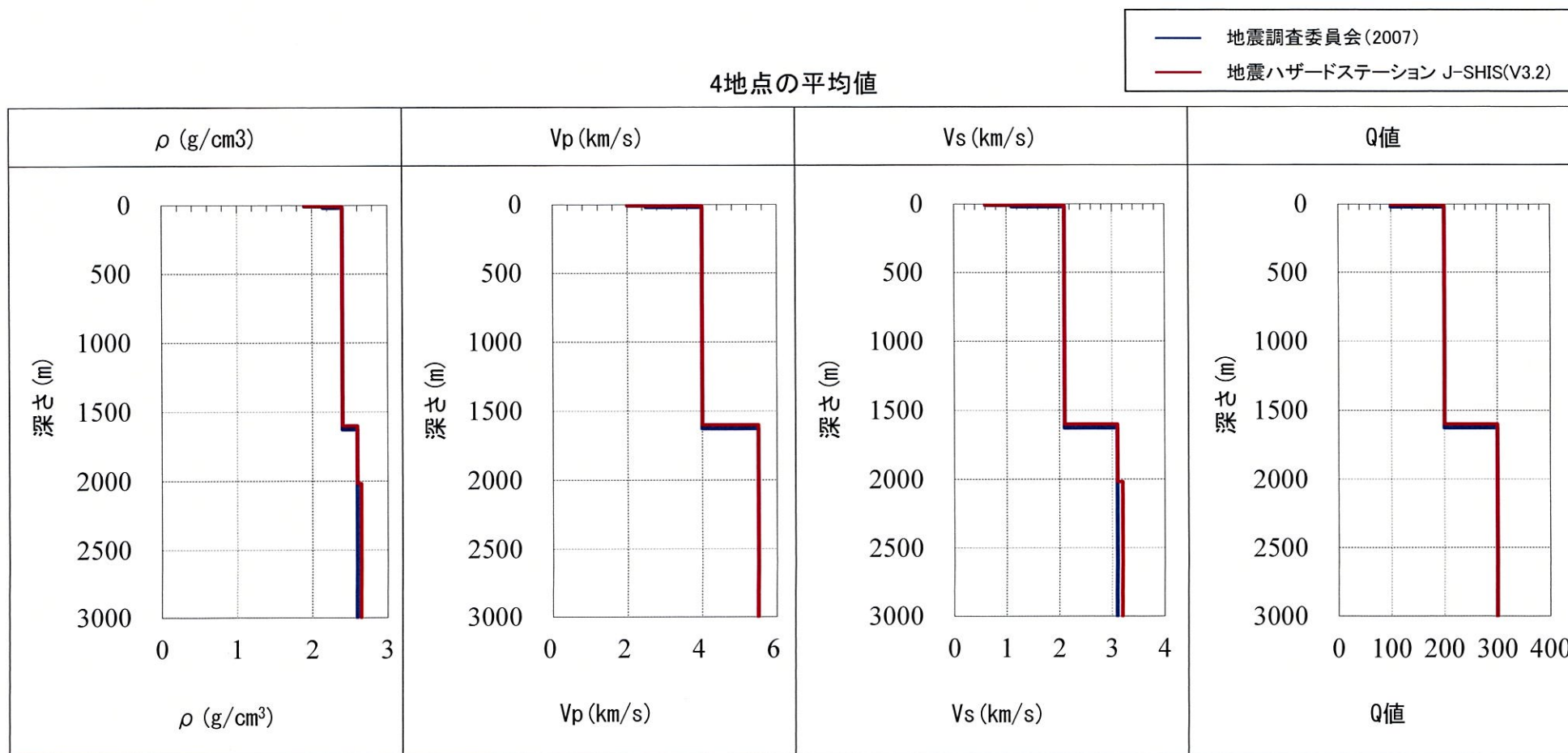
## 【補足①】 深部地下構造モデルの確認

### ■ 既許可以降の知見との比較による深部地下構造モデルの確認

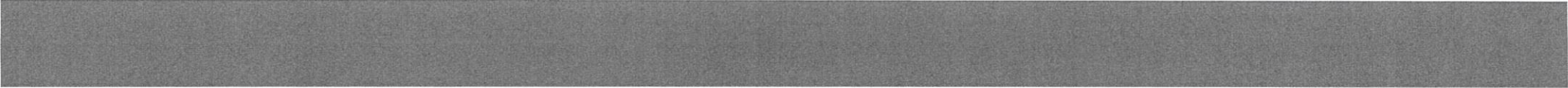
- 地下構造モデルの設定根拠に用いている地震調査委員会（2007）<sup>2)</sup>の地盤構造と、既許可以降の知見である防災科学技術研究所 地震ハザードステーション J-SHIS (V3.2)<sup>3)</sup>の深部地盤と比較した結果、玄海原子力発電所を囲む4地点の物性値及び $V_s=2.1\text{km/s}$ に対応する地盤厚さの平均値が整合している。（下図）



- 既許可以降の知見と照らして、EL. -200m以深の範囲における地下構造モデルの妥当性に影響はないことを確認。





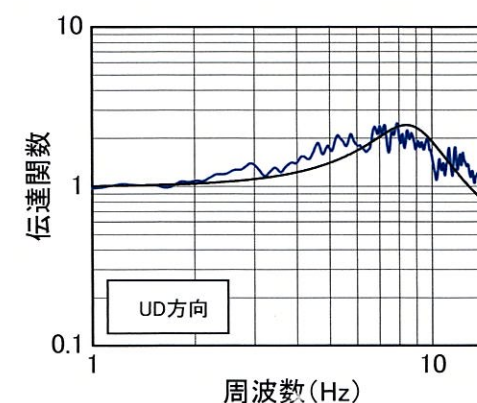
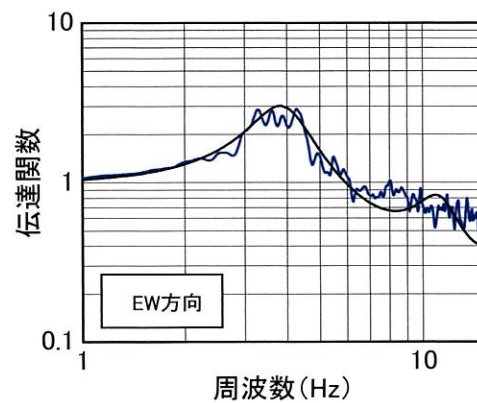
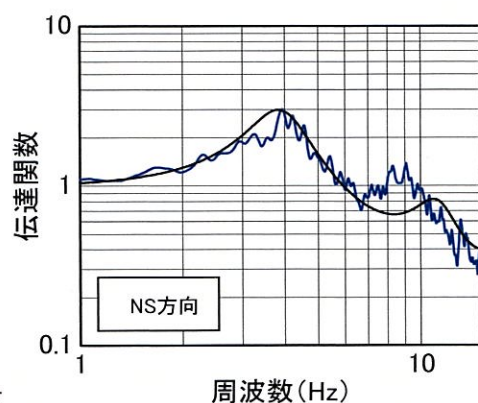
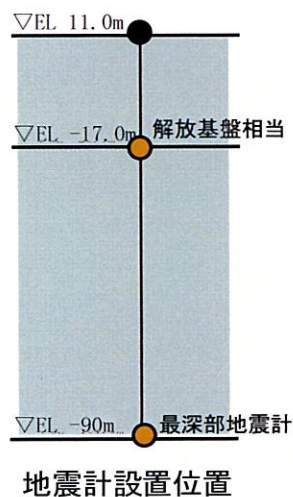


**【補足②】 地震観測記録の伝達関数との整合性に関する検討**

## 【補足②】地震観測記録の伝達関数との整合性に関する検討

### ■ 地震観測記録との整合性

- 「2.2.1(1)a. 伝達関数（周波数依存型）による検討」において、地盤減衰の同定結果による理論伝達関数と地震観測記録による平均伝達関数を比較した結果、1次卓越周波数におけるピークは整合。
- 水平方向の7Hz以上については、地震観測記録の平均伝達関数と部分的に整合していない。
- 部分的に整合していない要因として考えられる以下の影響について、次頁以降で検討を実施し、影響のない事を確認。
  - 地震観測記録のスージングの影響
  - S波速度Vs、P波速度Vpの同定解析の影響



今回の伝達関数の比較  
(EL.-17.0m/EL.-90.0m)

— 地震観測記録 (19地震)  
— 今回同定結果 ( $Q=Q_0 \cdot f^{\alpha}$ )

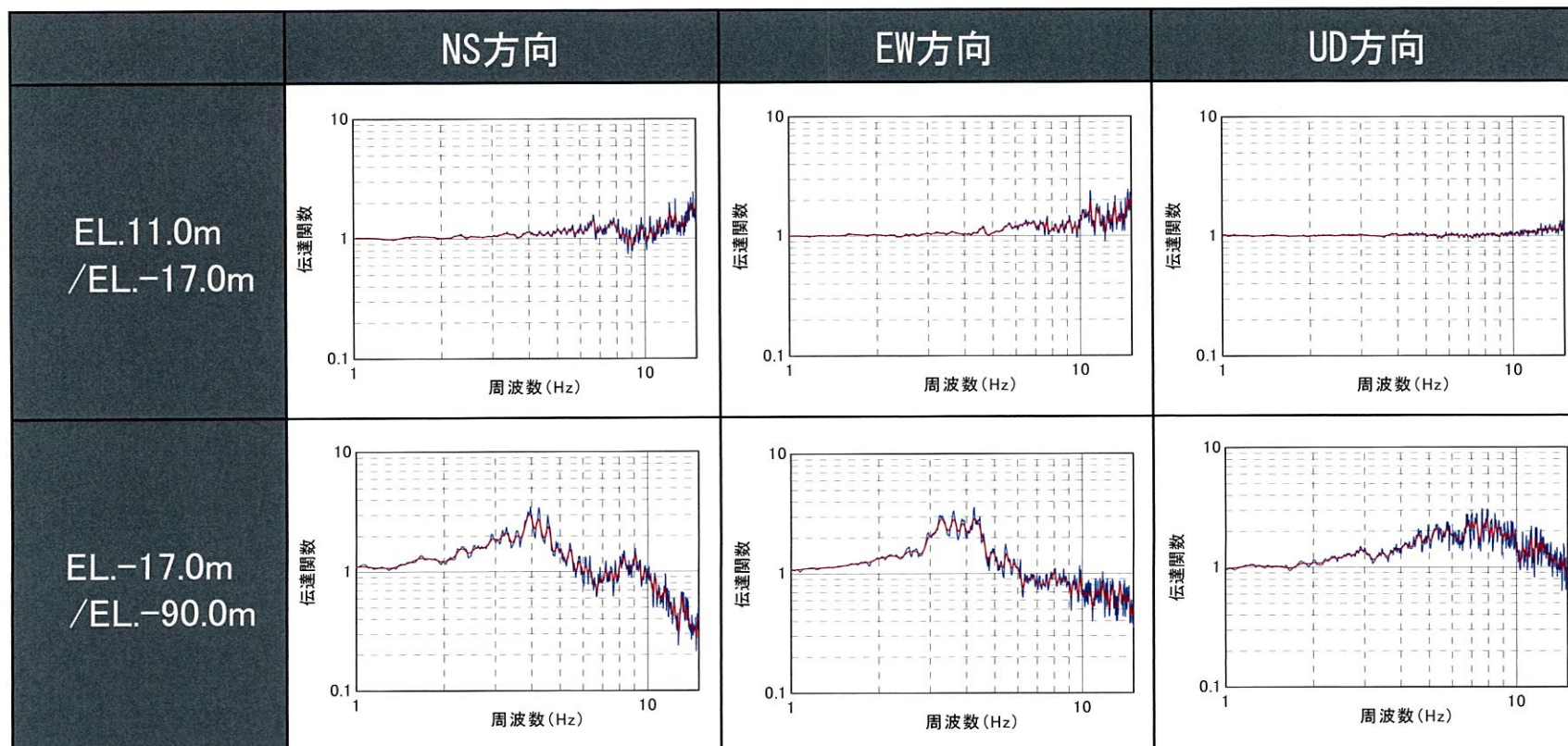
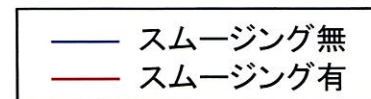
※観測記録及び理論の伝達関数はParzen Window 0.2Hzでスージング



## 【補足②】地震観測記録の伝達関数との整合性に関する検討

### ■ 地震観測記録のスージングによる影響確認

- 伝達関数（周波数依存型）による地盤減衰の同定では、ターゲットとする観測伝達関数について、地震観測記録（19地震）の平均伝達関数のピークを明瞭にするため、観測記録にBand幅0.2HzのParzenウィンドウ処理によりスージングを実施。
- スージングの有無により、地震観測記録（19地震）の平均伝達関数に大局的な差異は生じない。
- スージング無の場合の平均伝達関数を用いて地盤減衰の同定を実施し、今回の同定結果との比較を実施。

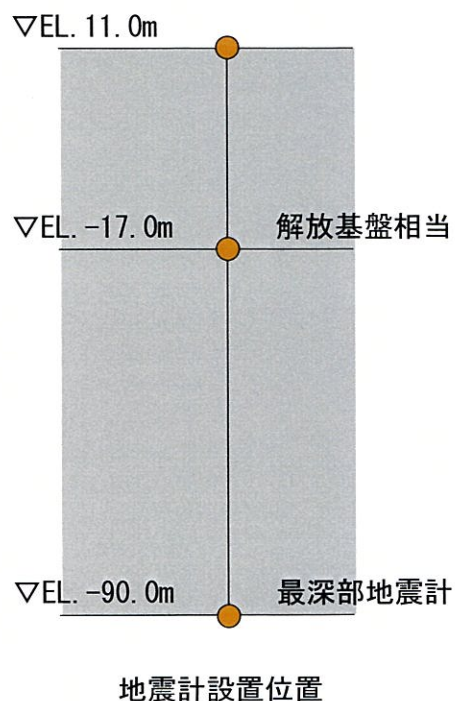


## 【補足②】地震観測記録の伝達関数との整合性に関する検討

### ■ 同定における解析条件

- ・ スムージングの有無のみを変更した解析条件で地盤同定を実施し、スムージングの影響を確認。

伝達関数（周波数依存型）による地盤減衰の同定における解析条件  
（スムージングの影響確認用）



項目	条件
対象地震の選定条件	M5.4以上、震央距離200km程度以内の内陸地殻内地震
対象地震数	19地震
ターゲットとする観測伝達関数	19地震の平均伝達関数（NS, EW, UD成分） ・ EL. 11.0m/EL. -17.0m ・ EL. -17.0m/EL. -90.0m P波・S波を含む40秒間を抽出 <u>ウィンドウ処理なし</u>
同定方法	層厚、密度、S波速度Vs及びP波速度Vpは、既許可の地下構造モデルの値を参照し、地盤減衰（Q値）を同定
Q値	$Q(f) = Q_0 \cdot f^\alpha$

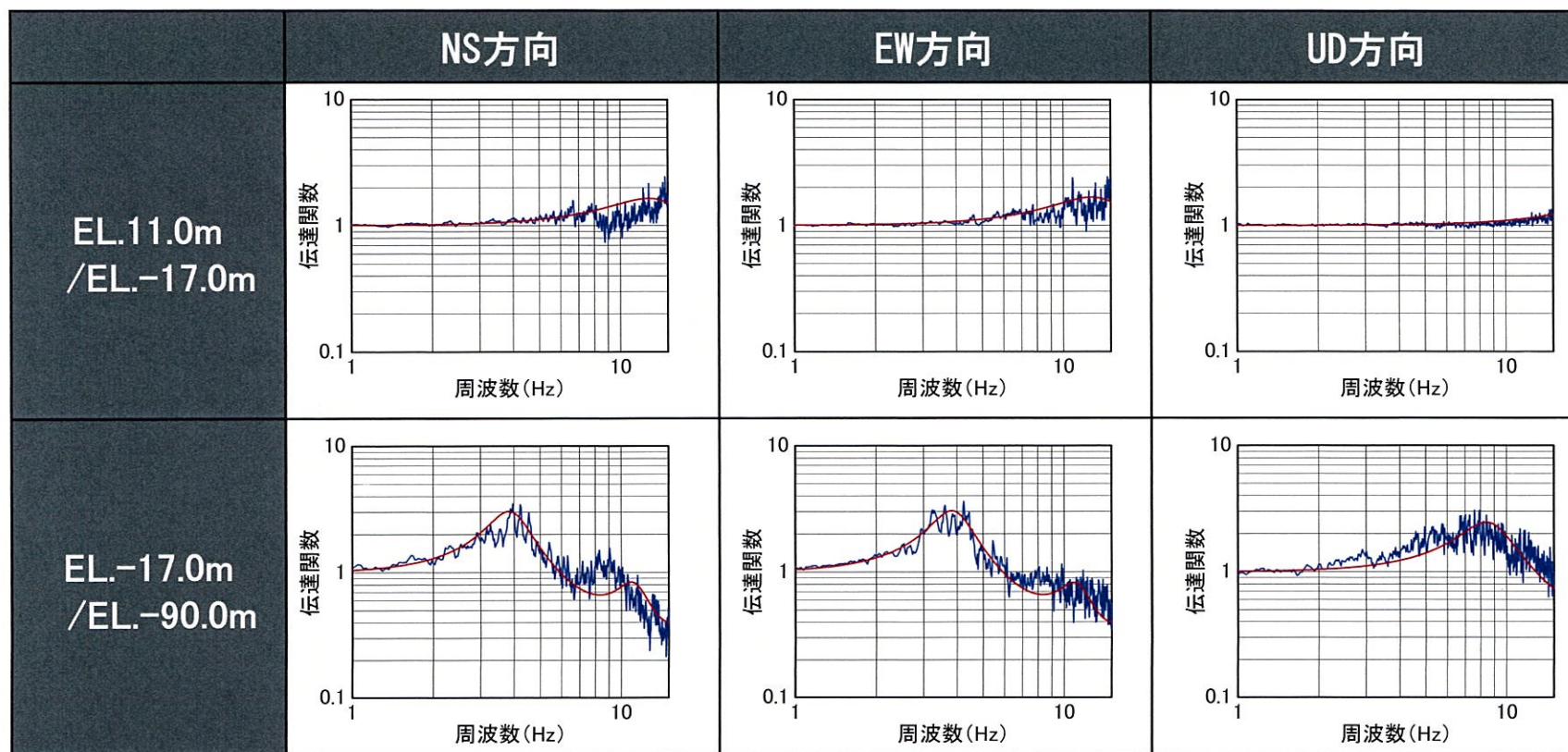
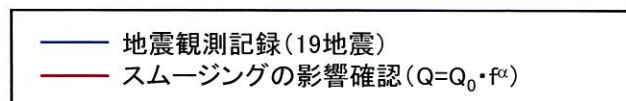
※下線部は伝達関数（周波数依存型）による同定における解析条件からの変更点



## 【補足②】地震観測記録の伝達関数との整合性に関する検討

### ■ 地盤減衰（Q値）の同定結果（スムージング無）

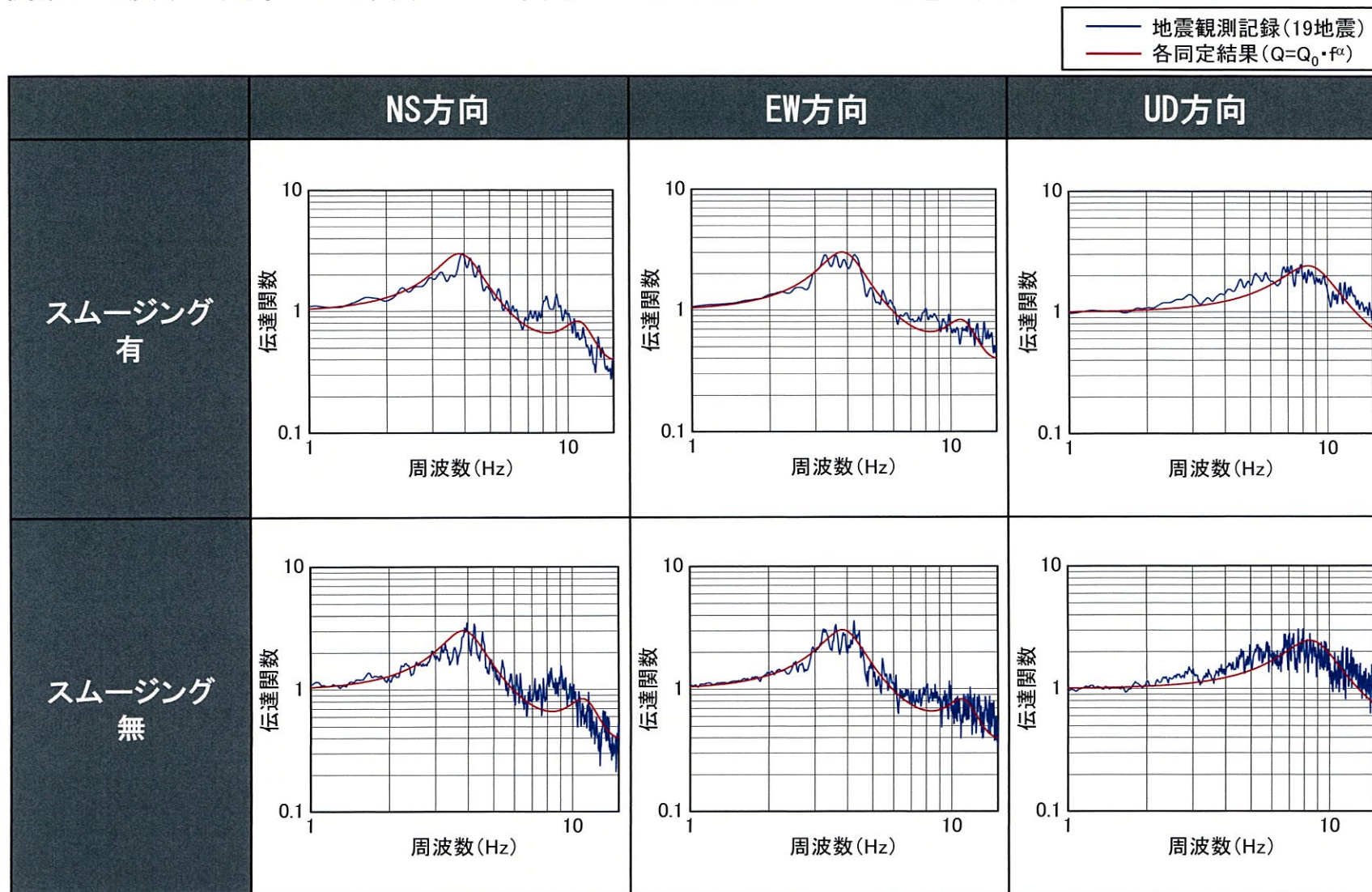
- ・ スムージング無で地盤同定を実施した場合の、同定結果の伝達関数と19地震の平均伝達関数を以下に示す。



## 【補足②】地震観測記録の伝達関数との整合性に関する検討

### ■ 地盤減衰 (Q値) の同定結果の比較 (EL. -17.0m/EL. -90.0m)

- ・ スムージング無の場合の平均伝達関数を用いて地盤減衰の同定を実施した結果、今回同定結果と比べて、理論伝達関数と地震観測記録の伝達関数の整合関係に大きな差異がないことを確認。



※観測記録 (スムージング有のみ) 及び理論 (スムージング有のみ) の伝達関数はParzen Window 0.2Hzでスムージング

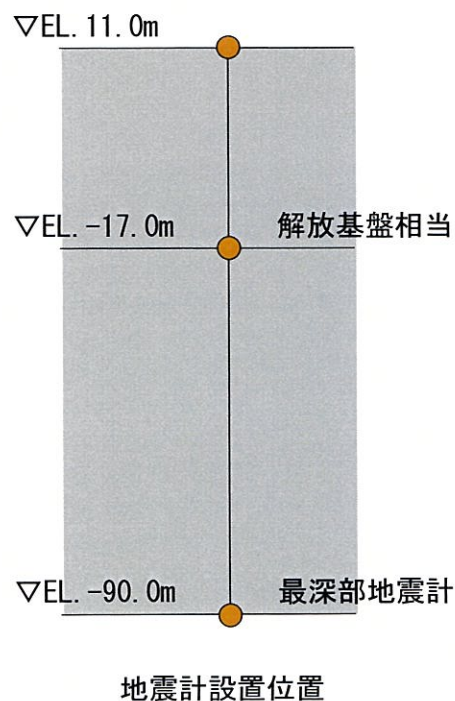


## 【補足②】地震観測記録の伝達関数との整合性に関する検討

### ■ S波速度Vs、P波速度Vpの同定解析の影響

- 地盤減衰（Q値）に加えて、S波速度Vs、P波速度Vpを対象とした地盤同定を実施し、Vs、Vpの同定解析の影響を確認。

伝達関数（周波数依存型）による地盤同定における解析条件  
（Vs、Vpの同定解析の影響確認用）



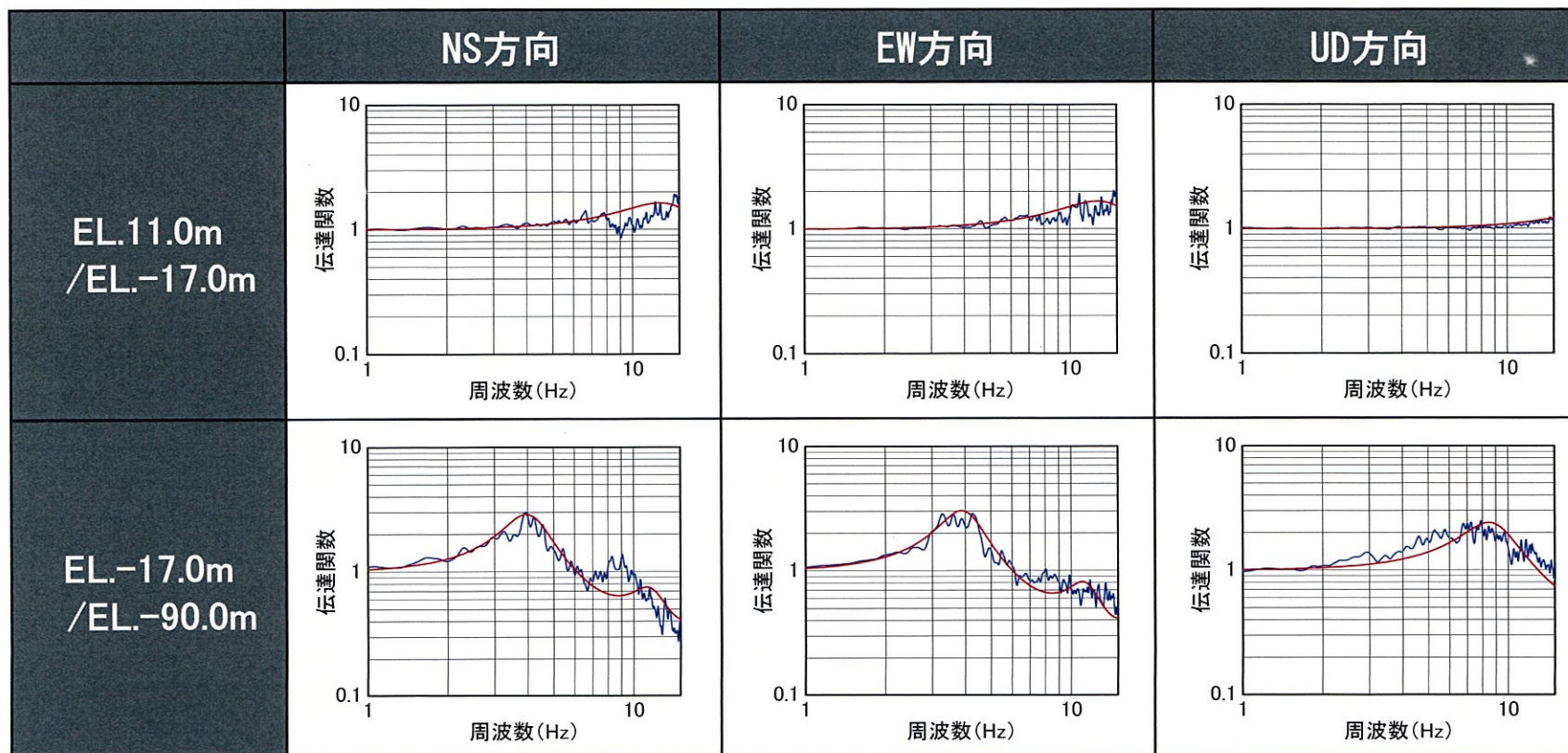
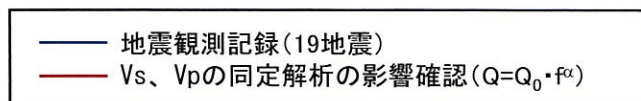
項目	条件
対象地震の選定条件	M5.4以上、震央距離200km程度以内の内陸地殻内地震
対象地震数	19地震
ターゲットとする観測伝達関数	19地震の平均伝達関数（NS、EW、UD成分） ・ EL. 11.0m/EL. -17.0m ・ EL. -17.0m/EL. -90.0m P波・S波を含む40秒間を抽出 Band幅0.2HzのParzenウィンドウ
同定方法	層厚、密度は既許可の地下構造モデルの値を参照し、 S波速度Vs、P波速度Vp、地盤減衰（Q値）を同定
Q値	$Q(f) = Q_0 \cdot f^\alpha$

※下線部は伝達関数（周波数依存型）による同定における解析条件からの変更点

## 【補足②】地震観測記録の伝達関数との整合性に関する検討

### ■ 地盤減衰 (Q値) の同定結果 (Vs、Vp同定解析)

- 地盤減衰 (Q値) に加えて、S波速度Vs、P波速度Vpを対象とした地盤同定を実施した場合の、同定結果の伝達関数と19地震の平均伝達関数を以下に示す。



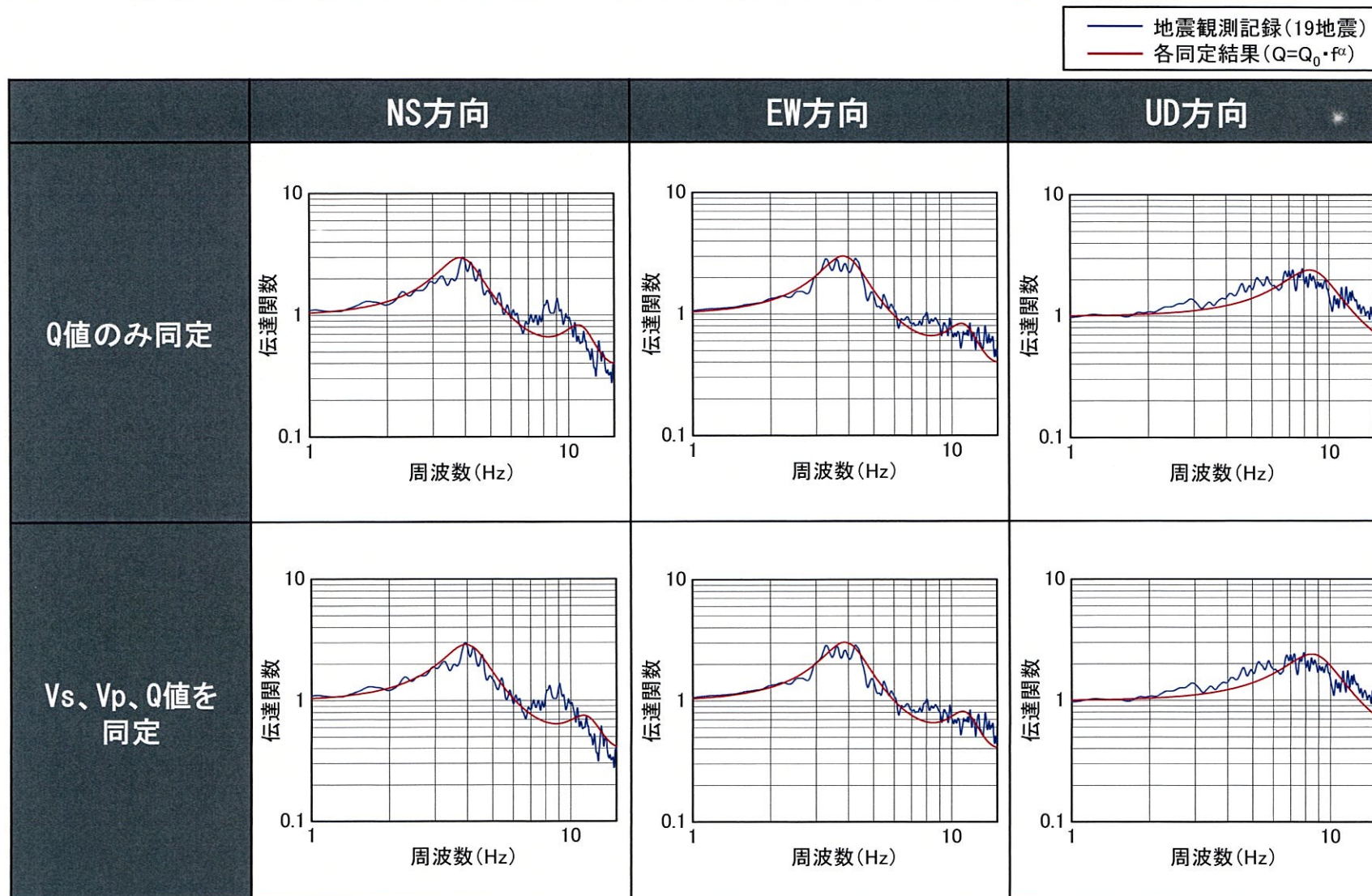
※観測記録及び理論の伝達関数はParzen Window 0.2Hzでスムージング



## 【補足②】地震観測記録の伝達関数との整合性に関する検討

### ■ 地盤減衰（Q値）の同定結果の比較（EL. -17.0m/EL. -90.0m）

- 地盤減衰（Q値）に加えて、S波速度 $V_s$ 、P波速度 $V_p$ を対象とした地盤同定を実施した結果、今回同定結果と比べて、理論伝達関数と地震観測記録の伝達関数の整合関係に大きな差異がないことを確認。



※観測記録及び理論の伝達関数はParzen Window 0.2Hzでスムージング