

3.4 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、新たに設定した解放基盤表面からEL. -200mまでの範囲について、下表の方法により、設定した地下構造モデルの妥当性を確認。

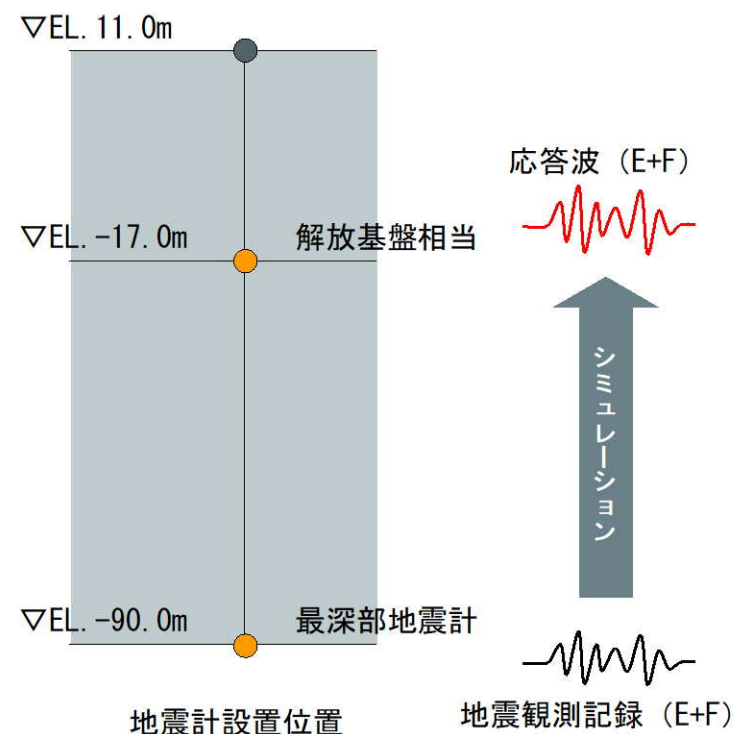
確認方法	対象深度EL. (m)		比較方法	比較対象		確認する観点
	-15.0	-90.0		-200		
応答スペクトルによる確認	EL. -15.0m~EL. -90m		応答スペクトル	設定した地下構造モデル	地震観測記録（解放基盤相当）	設定した地下構造モデルによる応答波の応答スペクトルが、地震観測記録の応答スペクトルと同等もしくは上回る。
PS検層モデルとの比較による確認	EL. -15.0m~EL. -200m		理論伝達関数	設定した地下構造モデル	PS検層モデル	設定した地下構造モデルによる理論伝達関数が、PS検層モデルによる理論伝達関数と同等もしくは上回る。

3.4 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。（74～83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②参照）

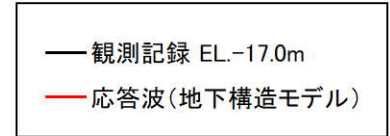
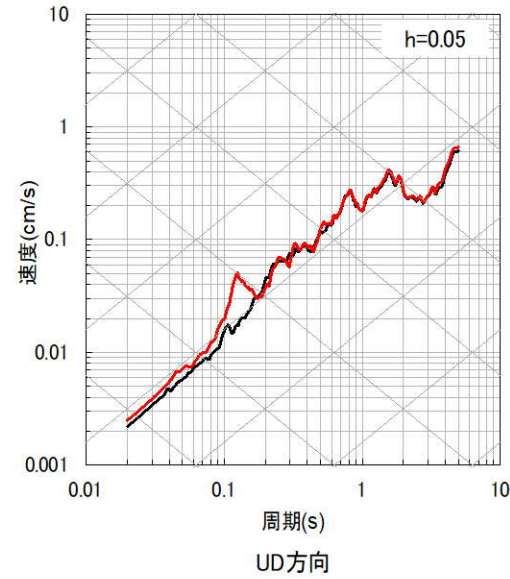
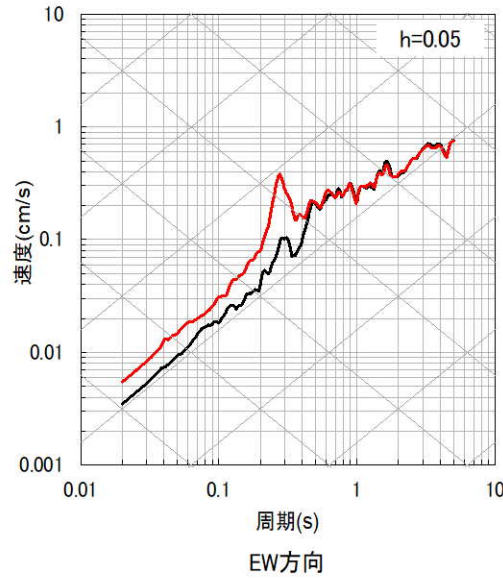
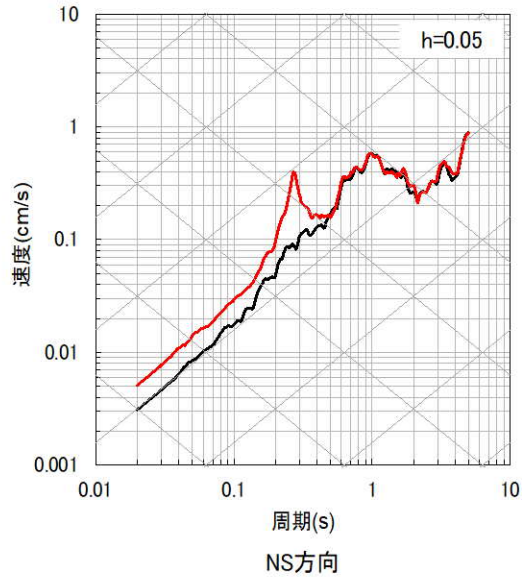
※入力 of 最深部地震計（EL. -90m）で得られた地震観測記録及び出力の解放基盤相当（EL. -17m）での応答波は地中記録のため、E+Fで評価。



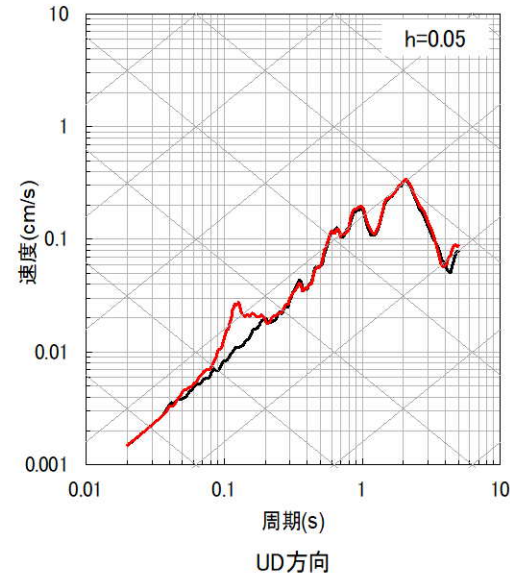
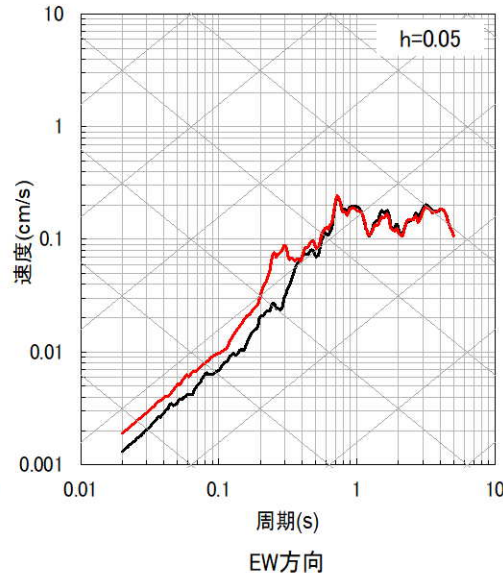
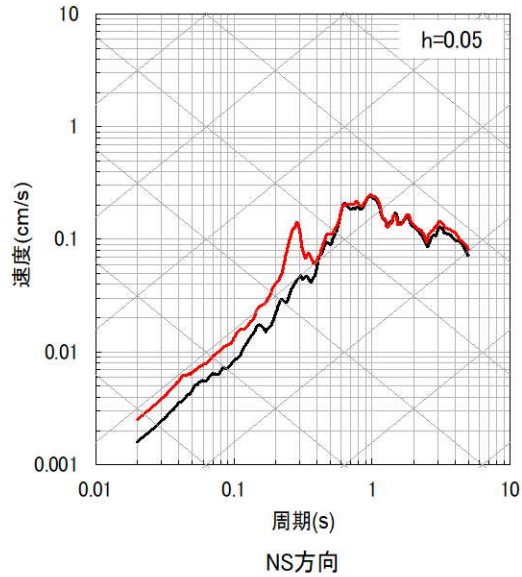
3.4 地下構造モデルの妥当性確認

■ 応答スペクトルの比較結果 (1/10)

① 鹿児島県北西部



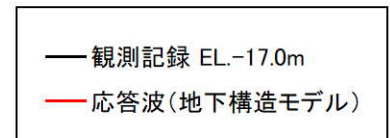
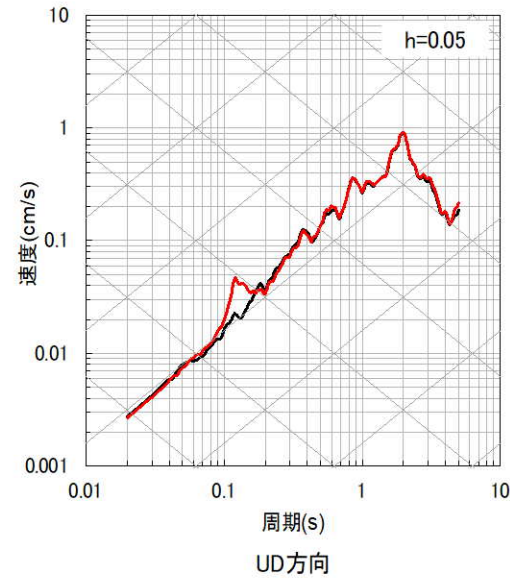
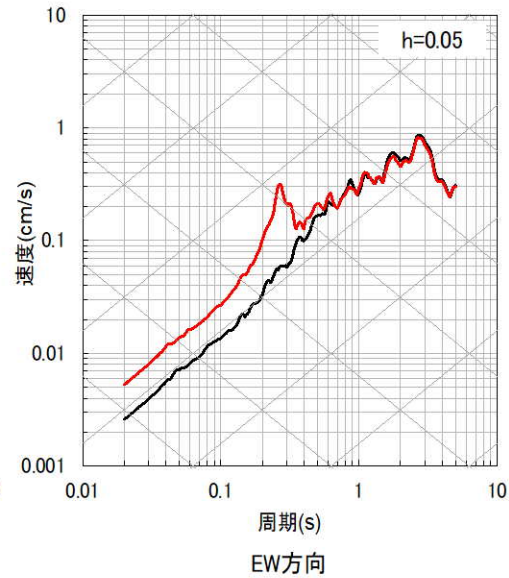
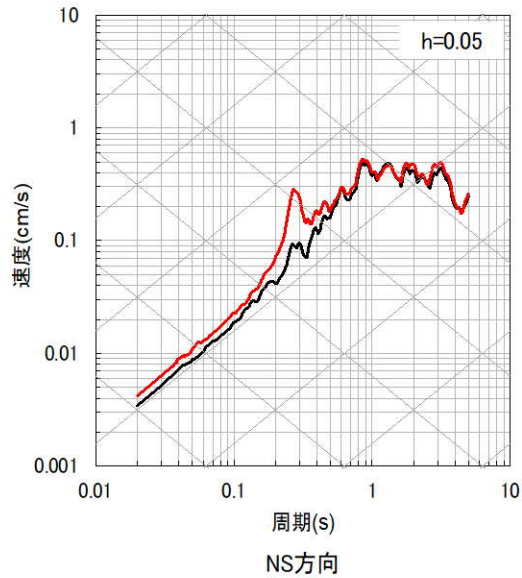
② 鹿児島県北西部



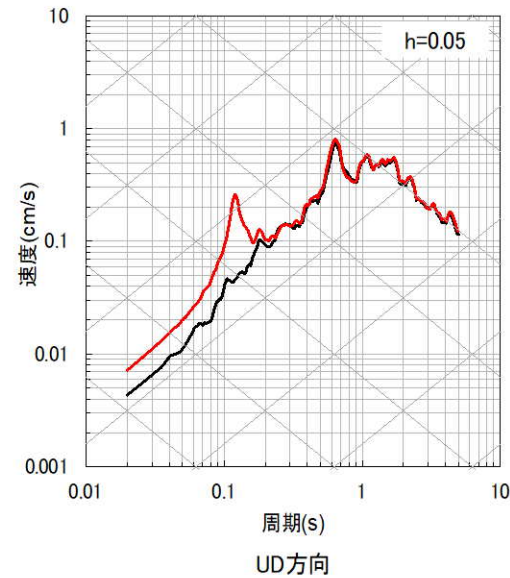
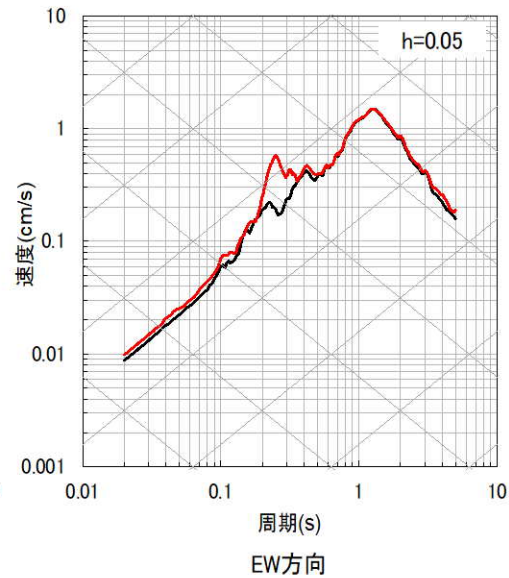
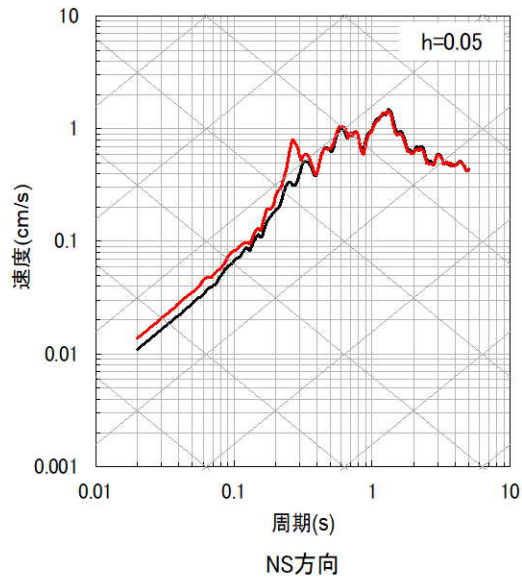
3.4 地下構造モデルの妥当性確認

■ 応答スペクトルの比較結果 (2/10)

③ 鹿児島県北西部



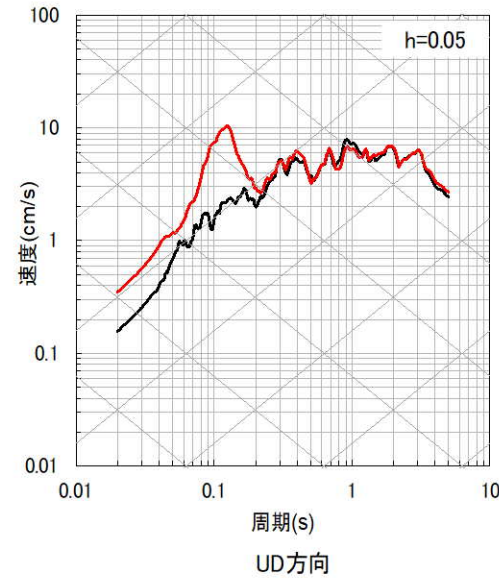
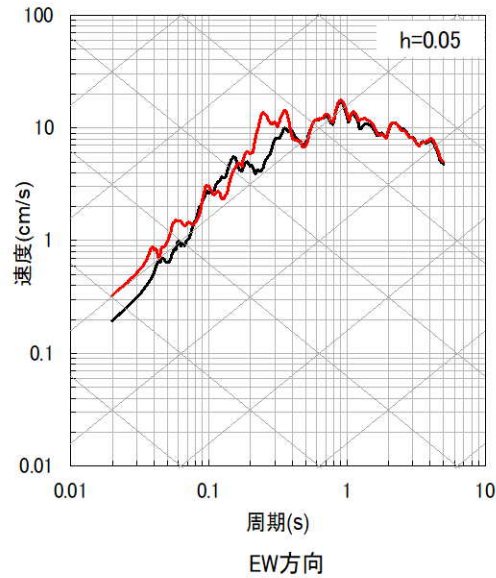
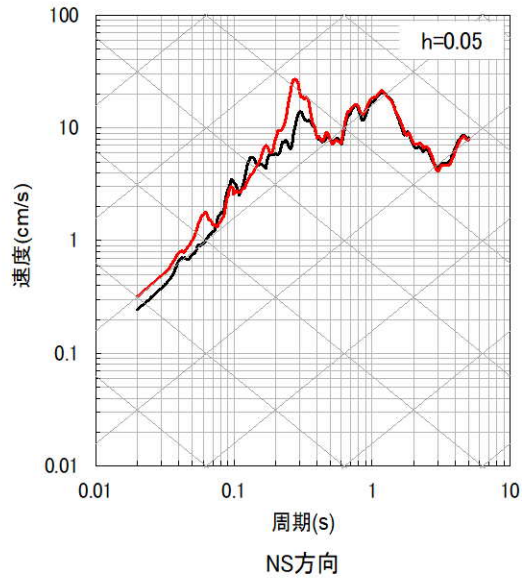
④ 山口県



3.4 地下構造モデルの妥当性確認

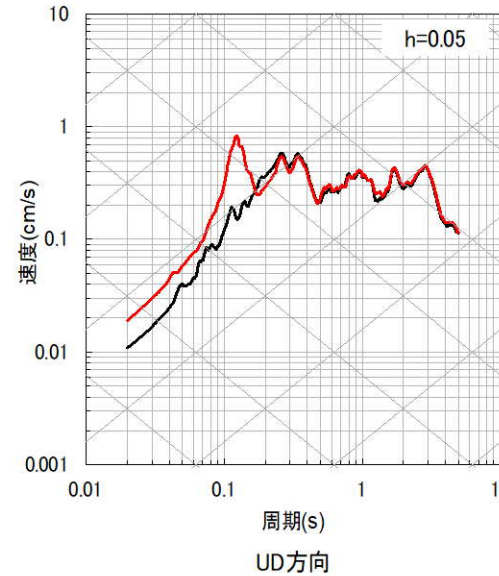
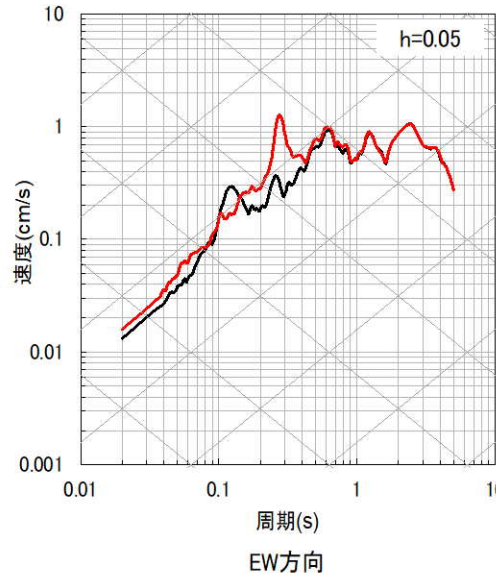
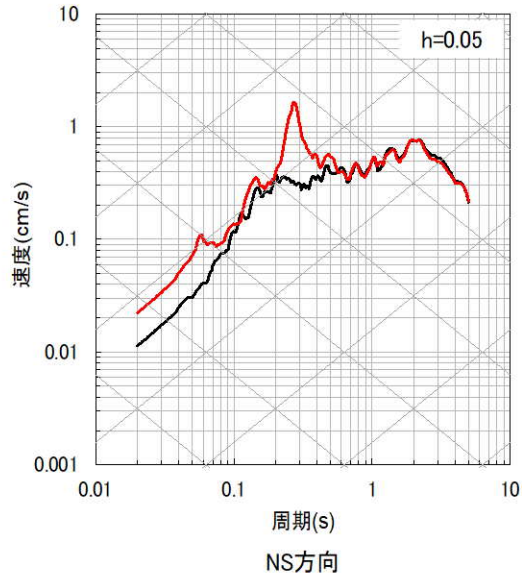
■ 応答スペクトルの比較結果 (3/10)

⑤九州北西沖 (2005年福岡県西方沖地震本震)



— 観測記録 EL.-17.0m
— 応答波(地下構造モデル)

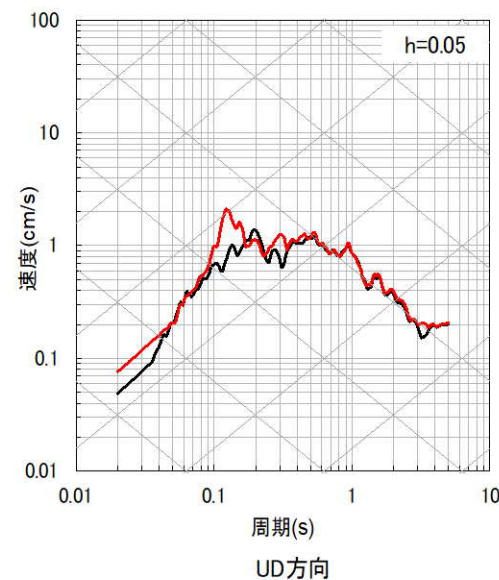
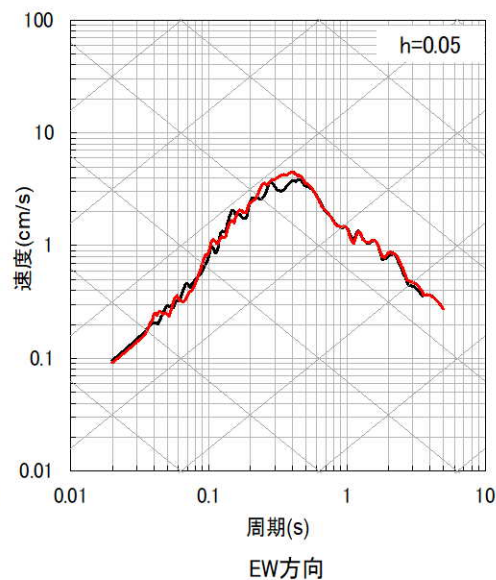
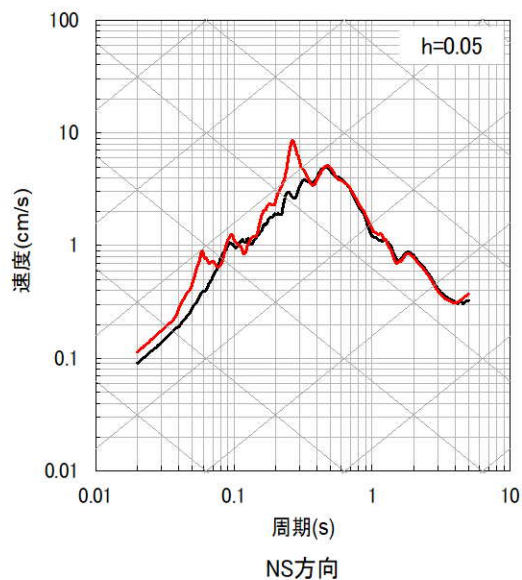
⑥九州北西沖



3.4 地下構造モデルの妥当性確認

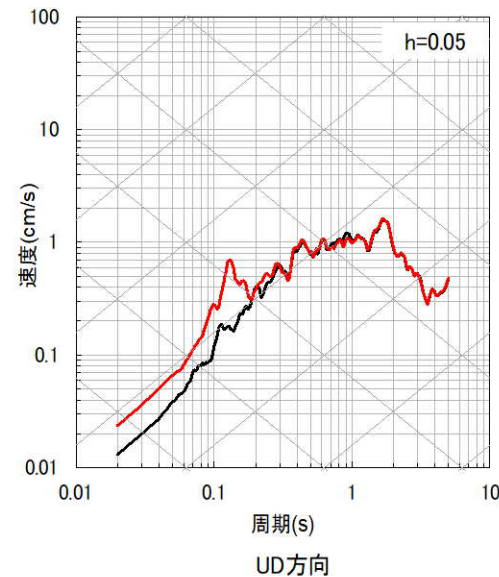
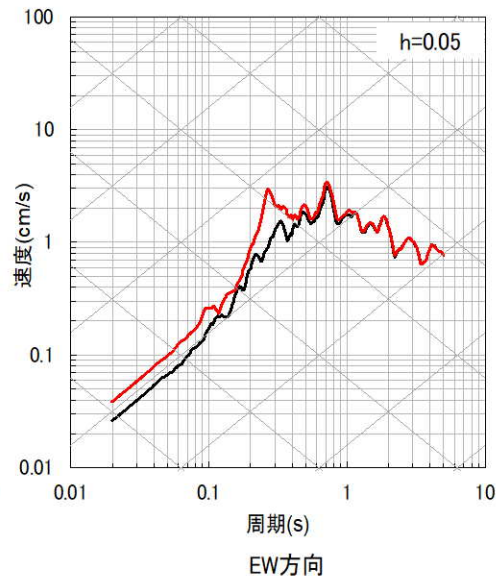
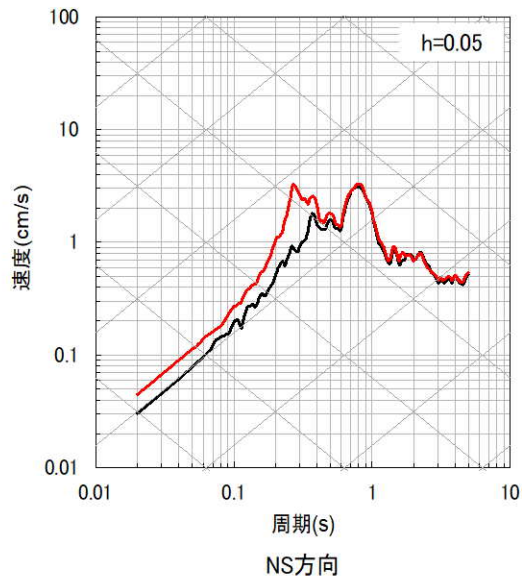
■ 応答スペクトルの比較結果 (4/10)

⑦福岡県中部 (2005年福岡県西方沖地震最大余震)



— 観測記録 EL.-17.0m
— 応答波(地下構造モデル)

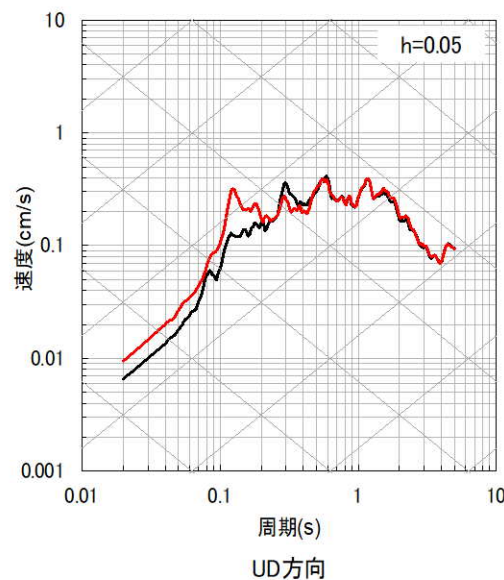
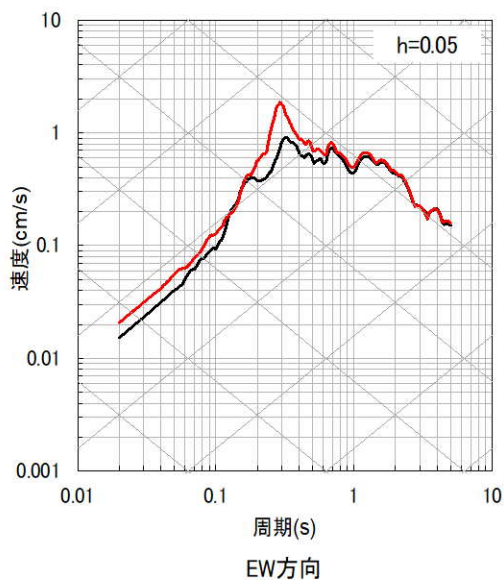
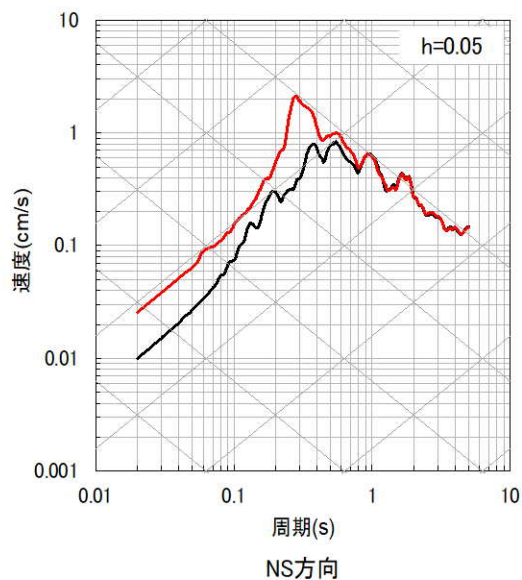
⑧熊本県熊本地方 (2016年熊本地震前震)



3.4 地下構造モデルの妥当性確認

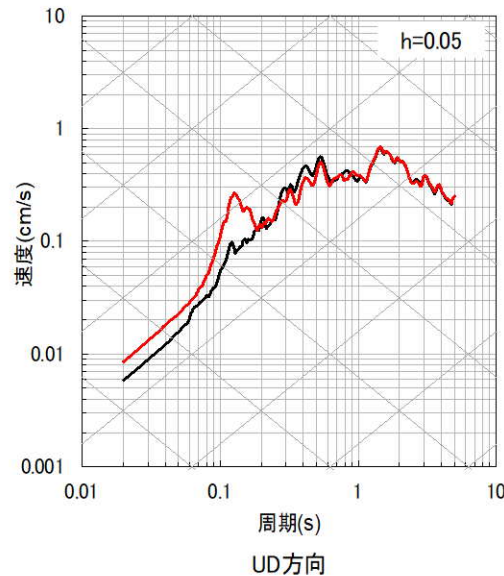
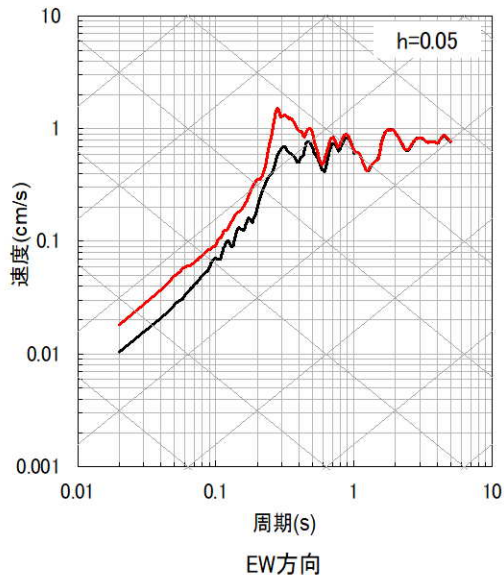
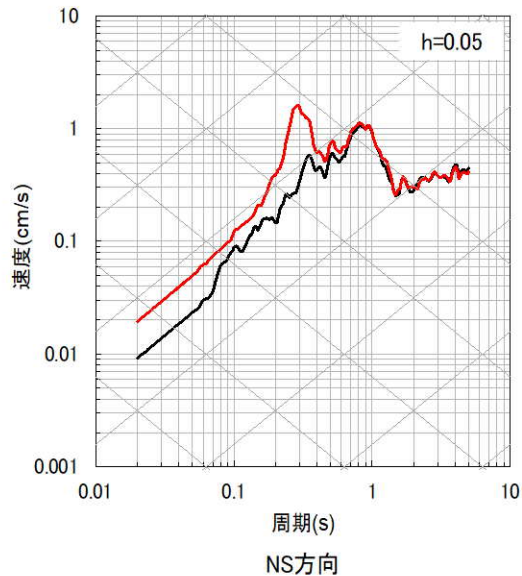
■ 応答スペクトルの比較結果 (5/10)

⑨ 熊本県熊本地方



— 観測記録 EL.-17.0m
— 応答波(地下構造モデル)

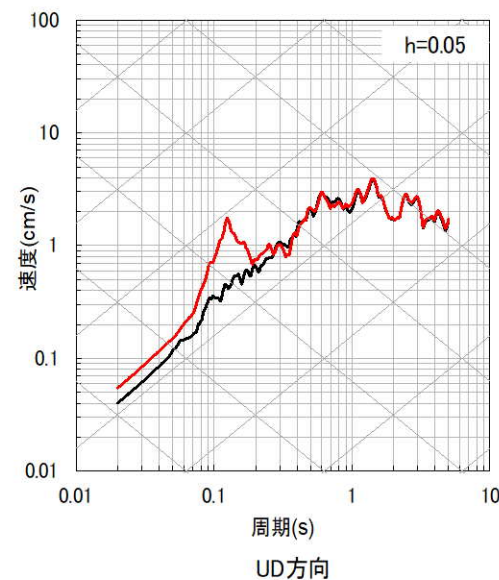
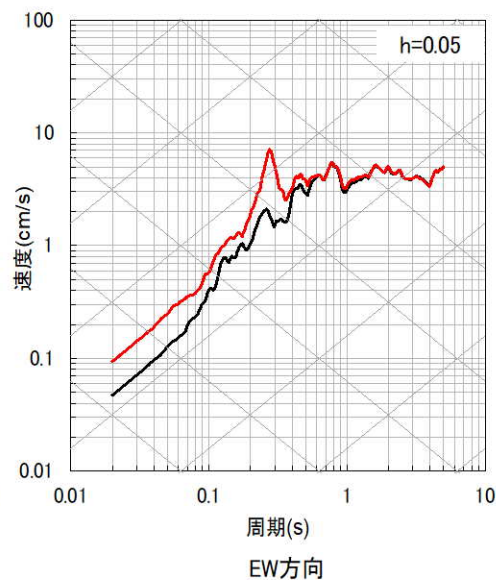
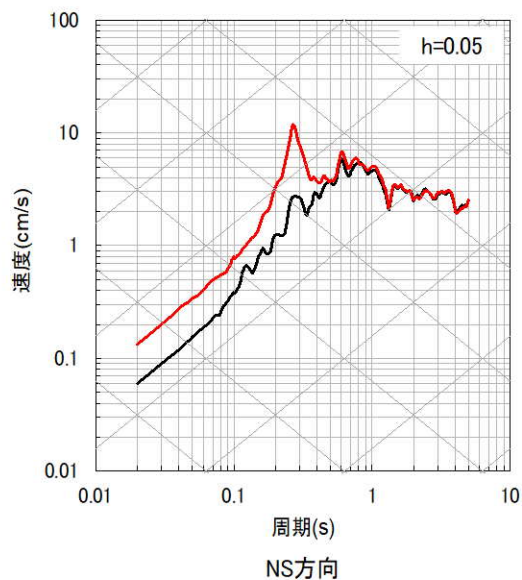
⑩ 熊本県熊本地方



3.4 地下構造モデルの妥当性確認

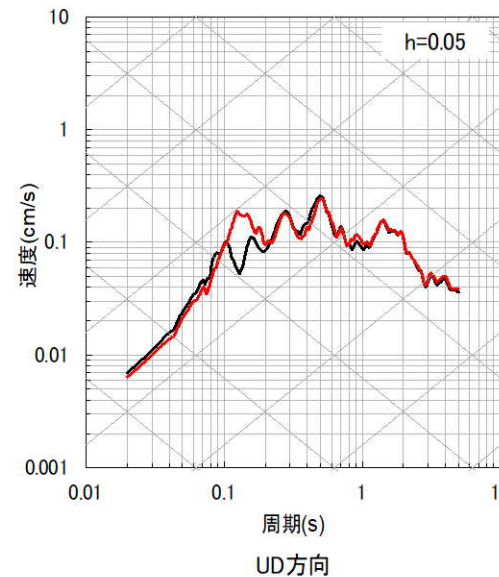
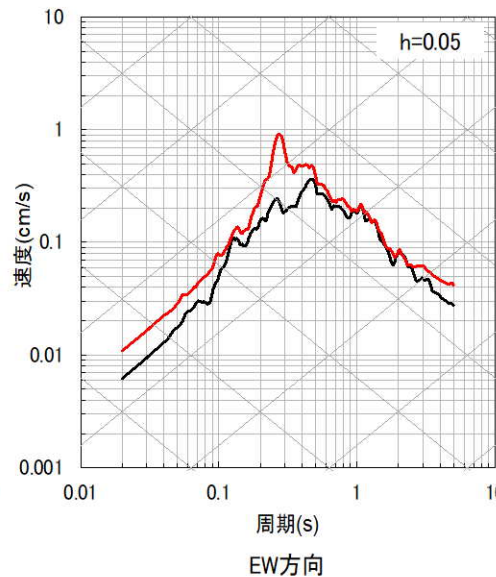
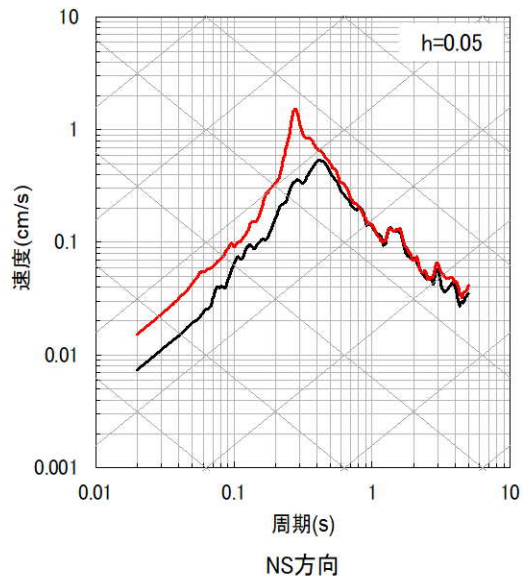
■ 応答スペクトルの比較結果 (6/10)

⑪ 熊本県熊本地方 (2016年熊本地震本震)



— 観測記録 EL.-17.0m
— 応答波(地下構造モデル)

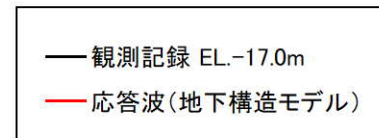
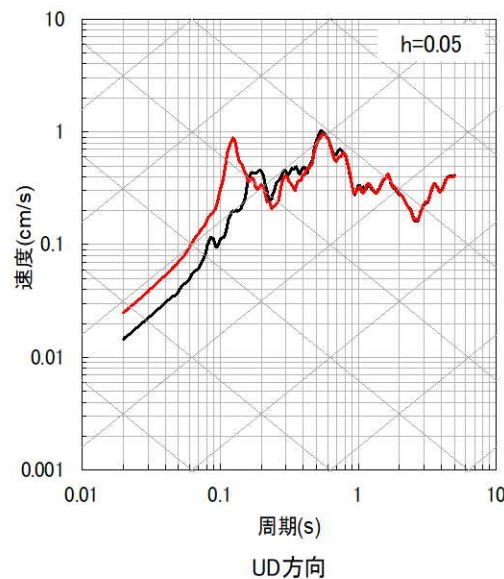
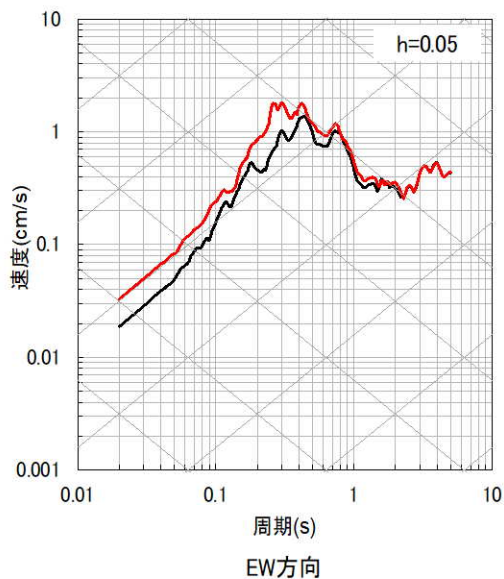
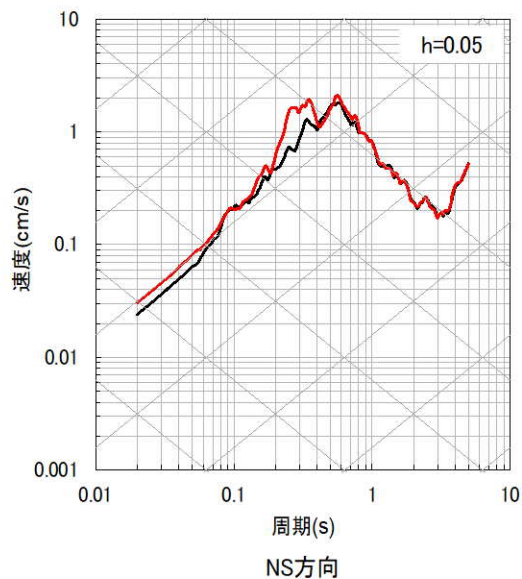
⑫ 熊本県熊本地方



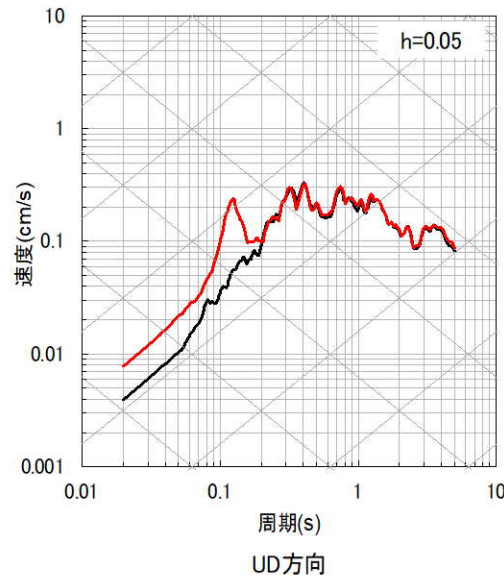
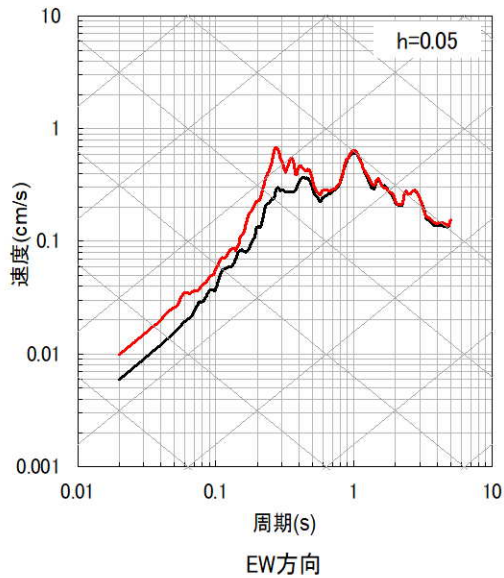
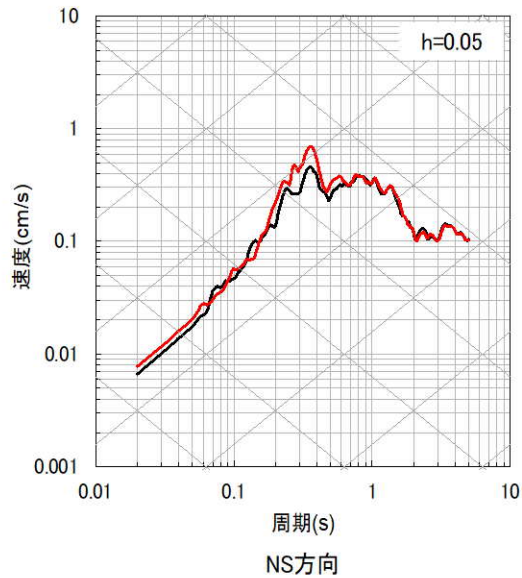
3.4 地下構造モデルの妥当性確認

■ 応答スペクトルの比較結果 (7/10)

⑬熊本県熊本地方



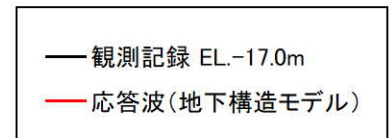
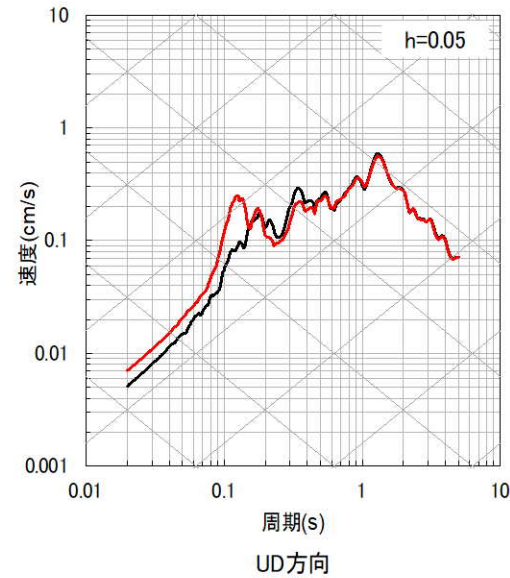
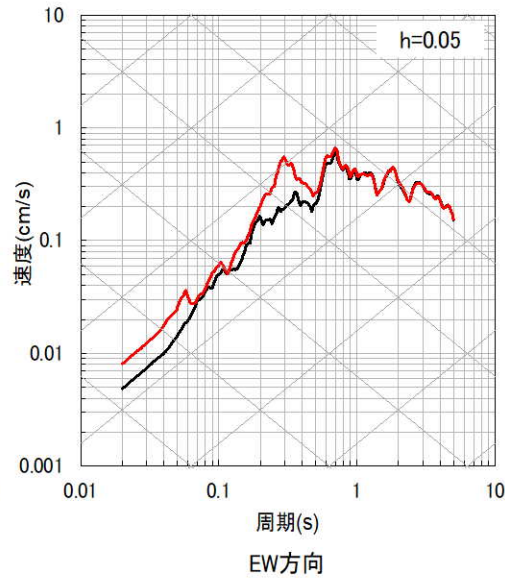
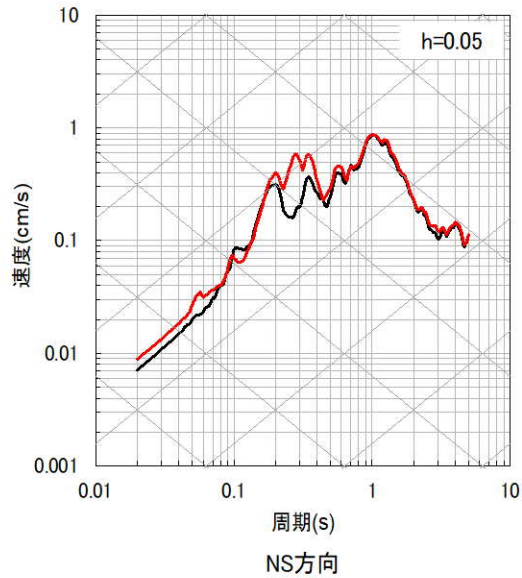
⑭熊本県阿蘇地方



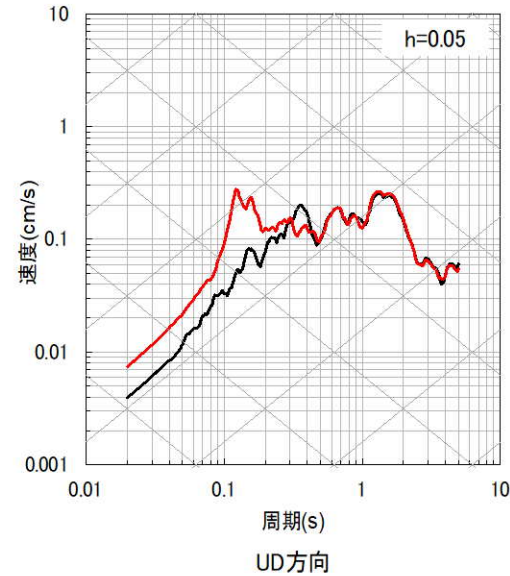
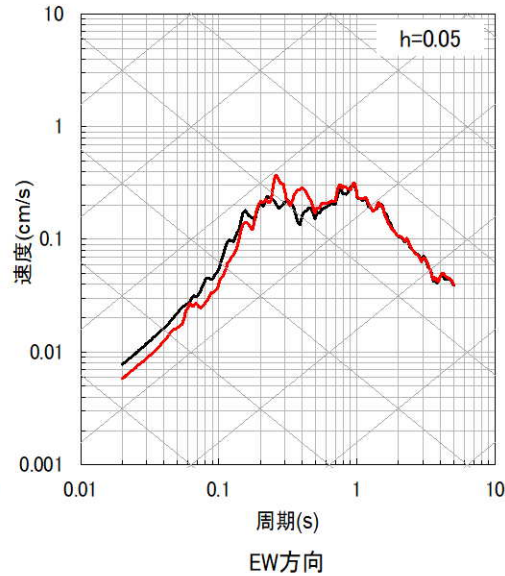
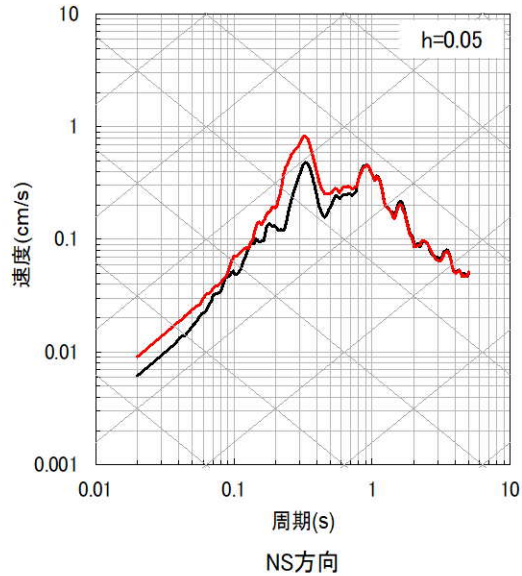
3.4 地下構造モデルの妥当性確認

■ 応答スペクトルの比較結果 (8/10)

⑮ 熊本県阿蘇地方



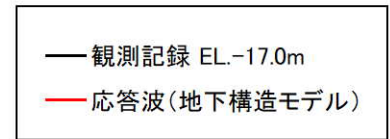
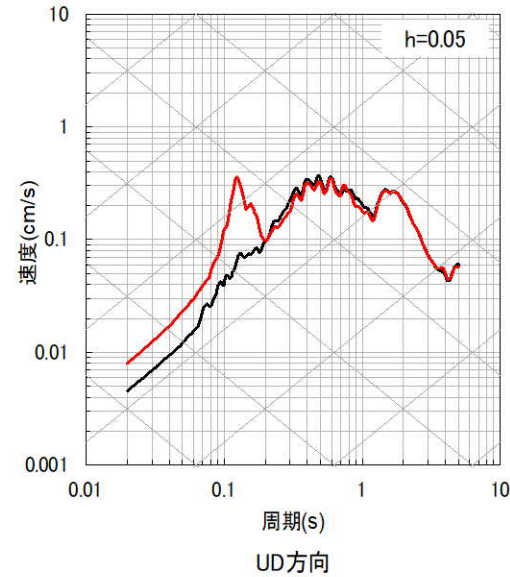
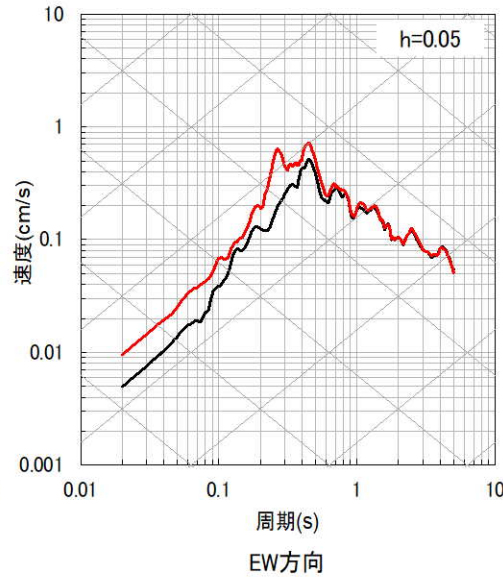
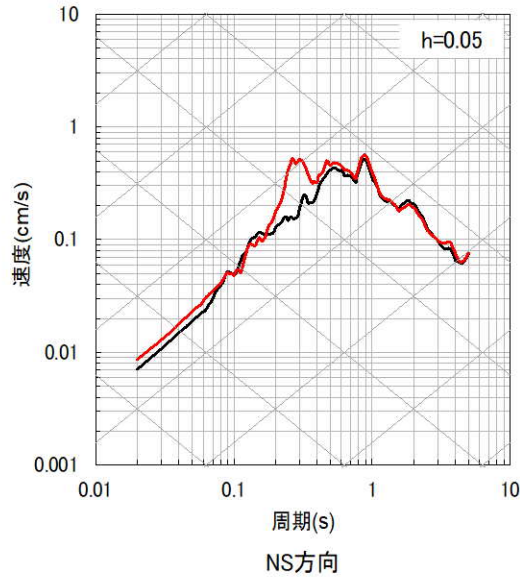
⑯ 熊本県熊本地方



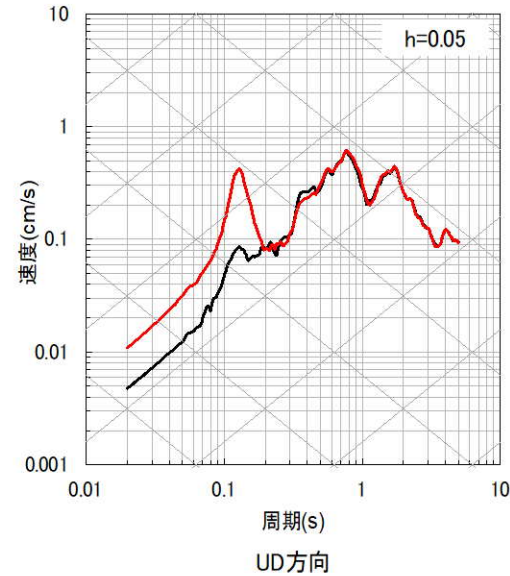
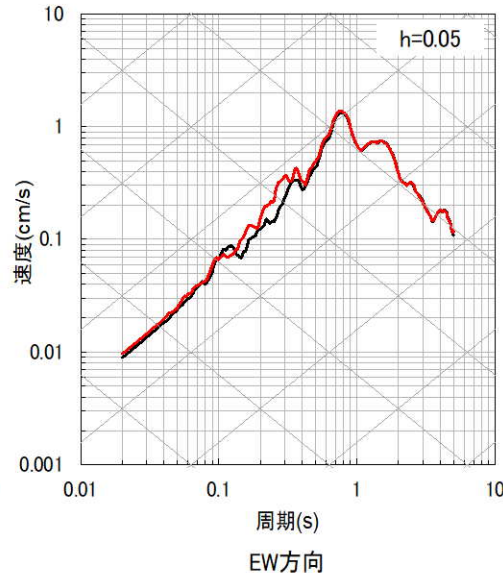
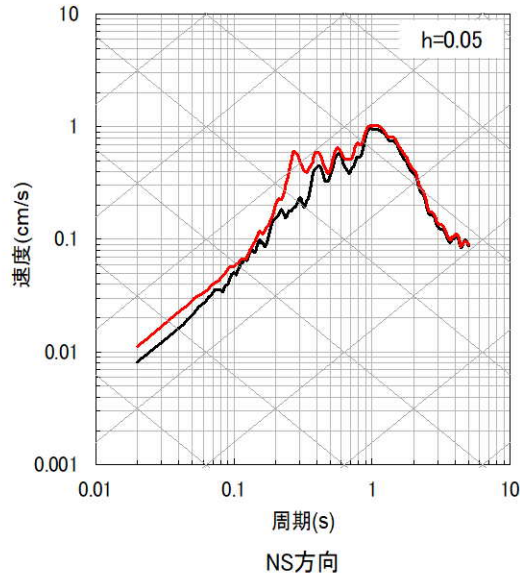
3.4 地下構造モデルの妥当性確認

■ 応答スペクトルの比較結果 (9/10)

⑰ 熊本県熊本地方



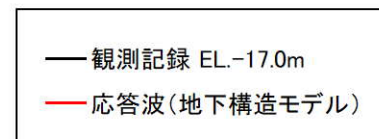
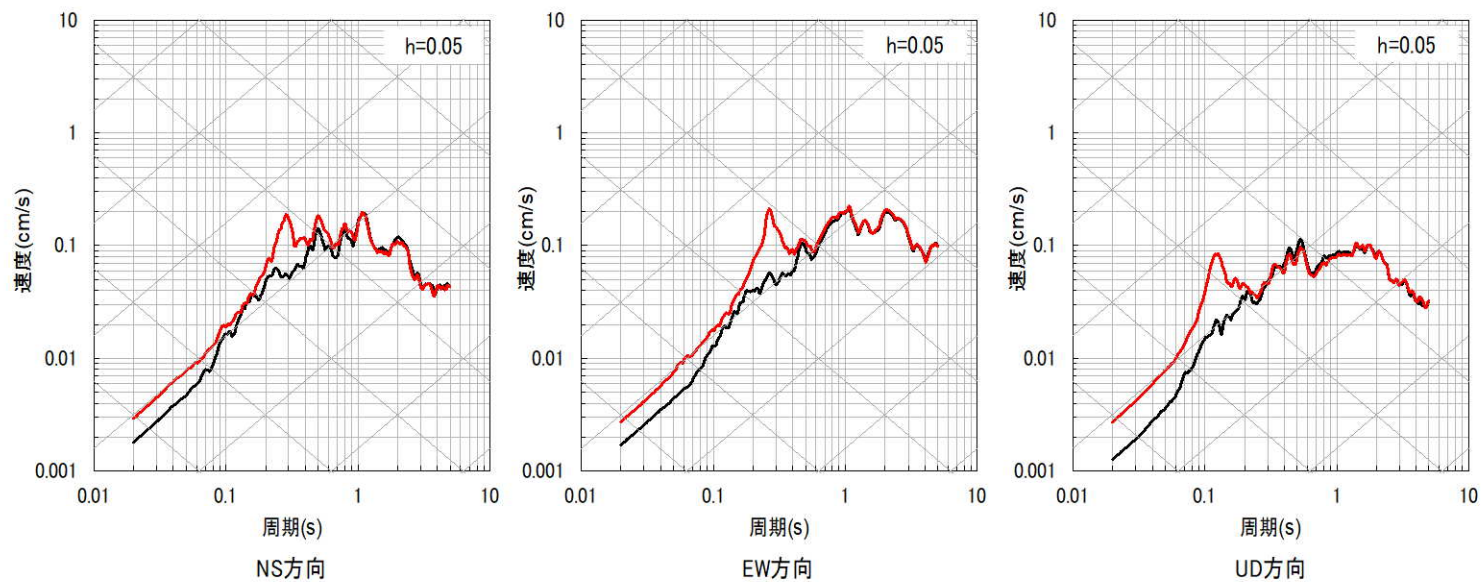
⑱ 熊本県阿蘇地方



3.4 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)

⑬ 熊本県熊本地方



3.4 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。

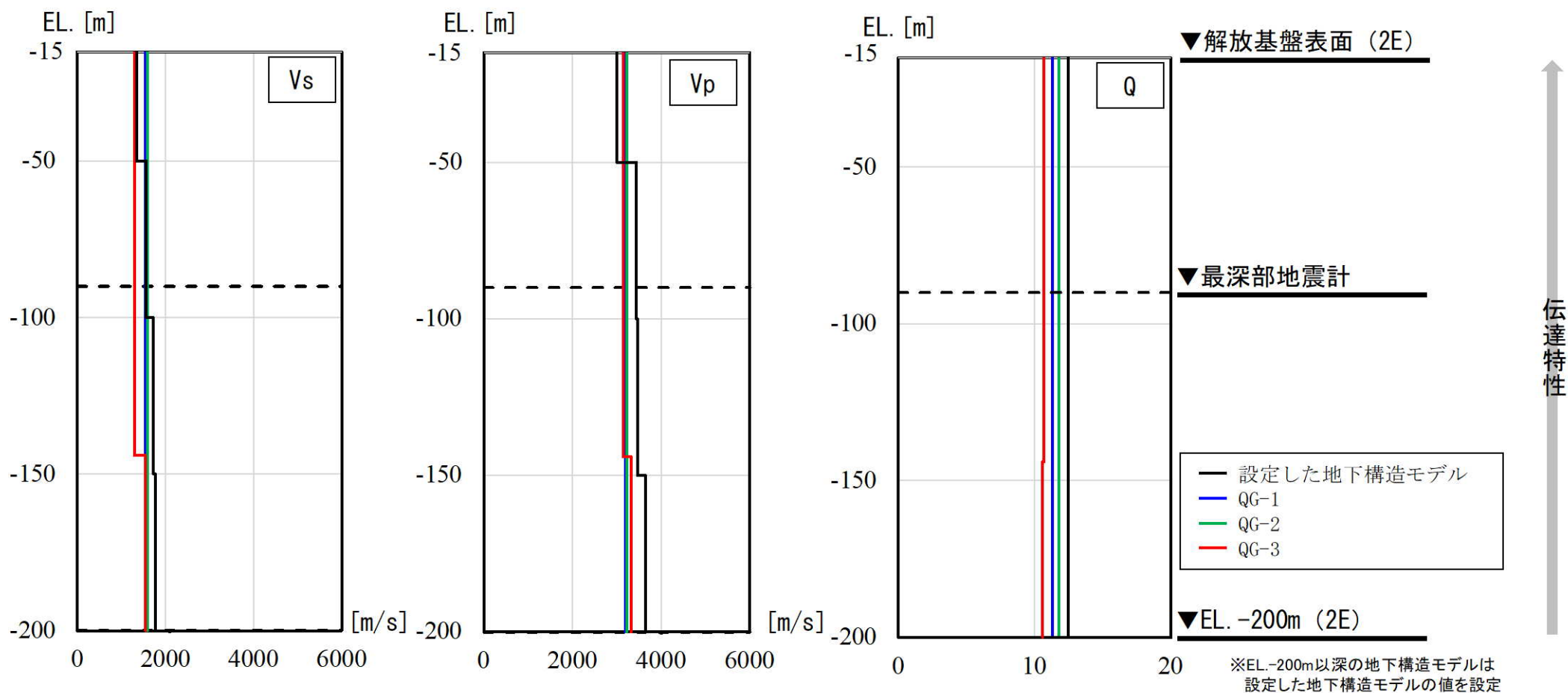
地表 ▼ (EL. 11.0m)	設定した地下構造モデル			PS検層モデル				
解放基盤表面 ▼ (EL. -15.0m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値	伝達特性	伝達特性	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値
▼ (EL. -50.0m)	1350	3000	12.5			PS検層結果		
▼ (EL. -90.0m)	1570	3440	12.5			PS検層結果		
▼ (EL. -100m)						PS検層結果		
▼ (EL. -150m)	1730	3470	12.5			PS検層結果		
▼ (EL. -200m)	1770	3650	12.5			PS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

検討イメージ

3.4 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。



3.4 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③参照）、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。

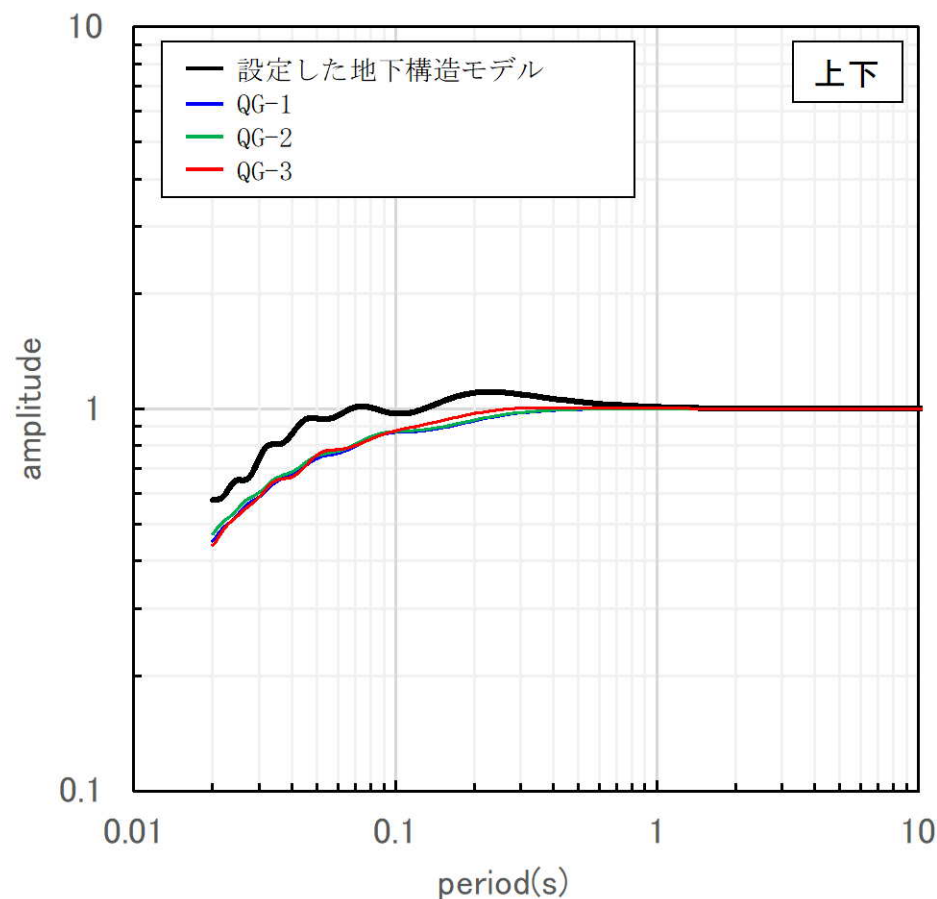
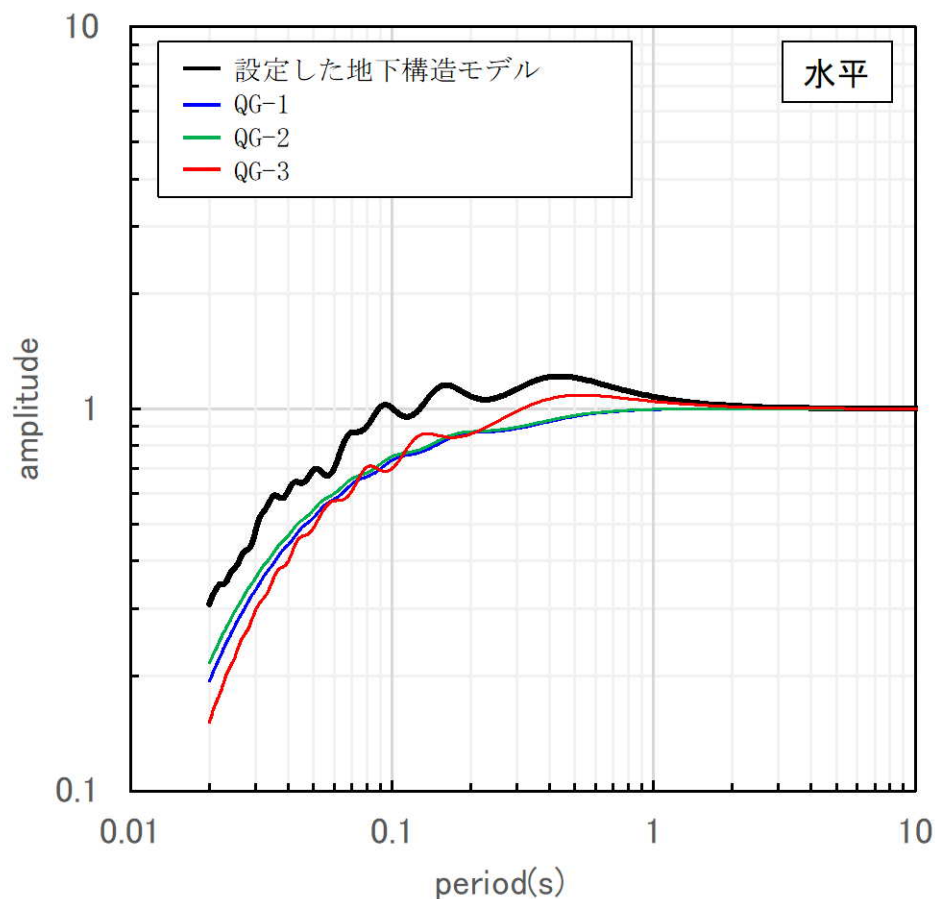
地表 ▼ (EL. 11.0m)	設定した地下構造モデル※			QG-1モデル			QG-2モデル			QG-3モデル		
解放基盤表面 ▼ (EL. -15.0m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値
▼ (EL. -50.0m)	1350	3000	12.5									
▼ (EL. -100m)	1570	3440	12.5							1300	3140	10.7
▼ (EL. -144m)	1730	3470	12.5	1550	3190	11.3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

3.4 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妥当と判断した。



伝達関数の比較 (EL. -15m/EL. -200m)

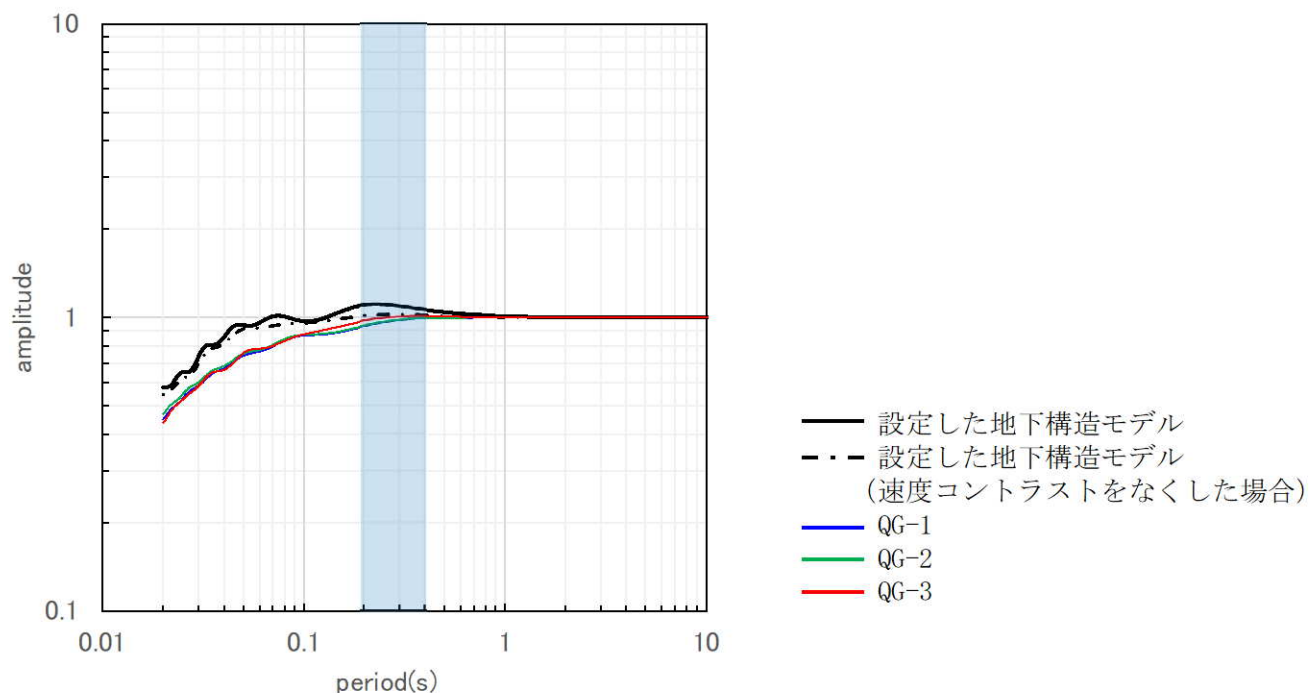
3.4 地下構造モデルの妥当性確認

■ 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

- 19地震の応答スペクトルの比較における、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、応答波が局所的に観測記録を下回る。（74~83頁参照、例：⑬熊本県熊本地方の地震）
- 応答スペクトルの比較において、スペクトル形状（凹凸）の僅かな差異により応答波が局所的に観測記録を下回るが、PS検層モデルと設定した地下構造モデルの伝達関数（解放基盤表面/EL. -200m）を比較した結果、当該周期帯（0.2~0.4秒付近）において、設定した地下構造モデルが上回ることを確認した。
- 設定した地下構造モデルは、EL. -200mの速度コントラストによって、当該周期帯（0.2~0.4秒付近）において、保守性を有している。



- 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の妥当性に影響はないと判断した。



伝達関数の比較（EL. -15m/EL. -200m、上下方向）

3.4 地下構造モデルの妥当性確認

「3.4 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、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、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⑥）

3.5 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

- 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。
 - 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。
- 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10～20cm/s²程度増大すると想定。
地震観測記録の最大加速度で数cm/s²程度増大する。（補足⑤）

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 ρ (g/cm ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値	層上面 (km)	密度 ρ (g/cm ³)	Vs (m/s)	Vp (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	-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

3.6 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、「3.4 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、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				
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	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。

3.6 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

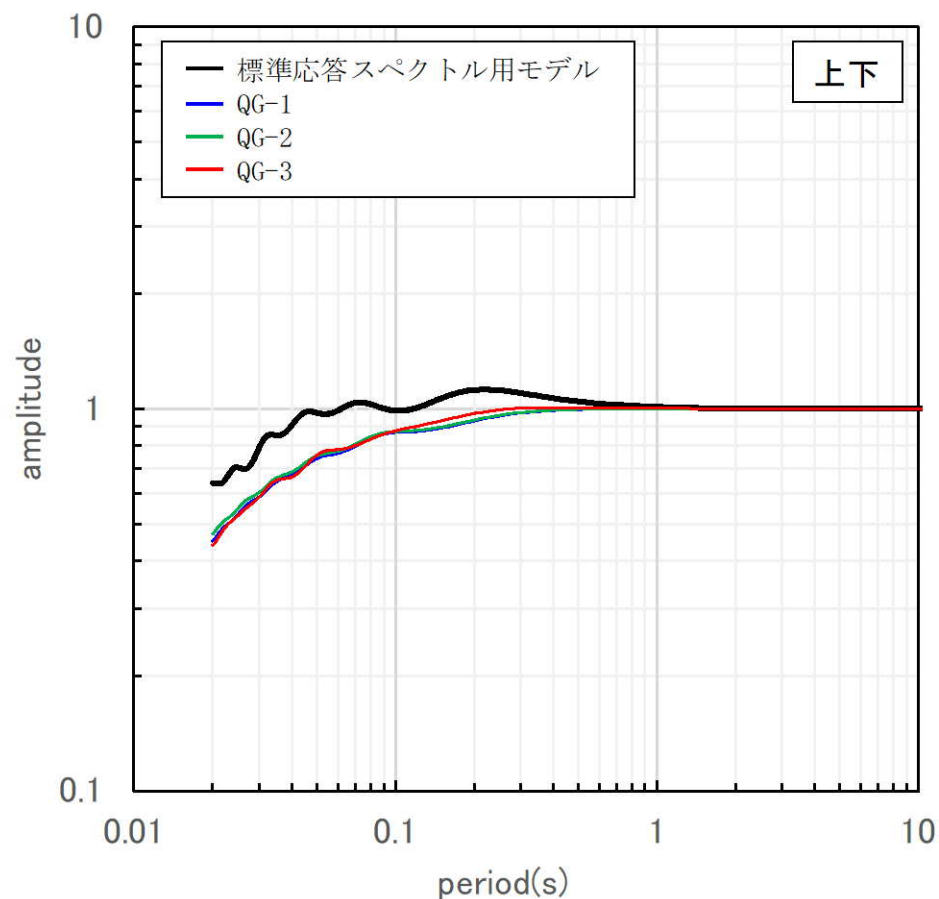
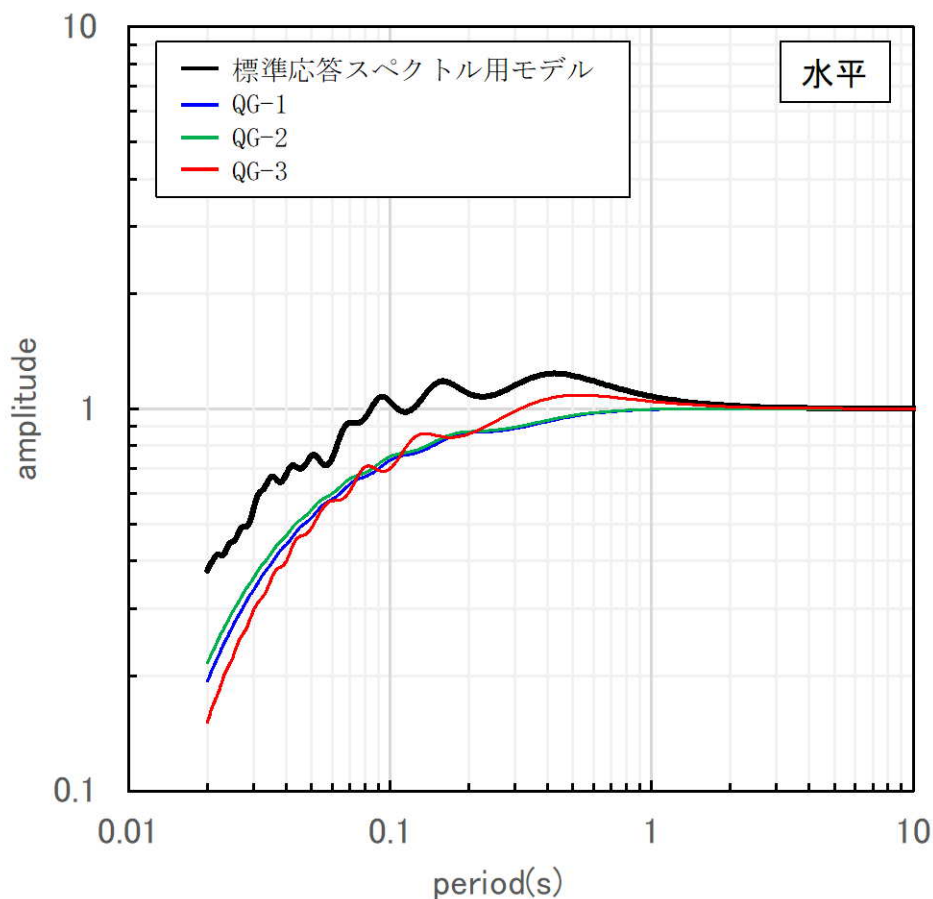
- 標準応答スペクトル用モデルとPS検層モデルの理論伝達関数（解放基盤表面／EL. -200m）の比較を実施する。

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)				1550	3190	11.3						
▼ (EL. -150m)	1730	3470	16.7				1590	3220	11.8			
▼ (EL. -200m)	1770	3650	16.7							1550	3320	10.6
	2100	4000	200	1550	3190	200	1590	3220	200	1550	3320	200

3.6 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妥当と判断した。



伝達関数の比較 (EL. -15m/EL. -200m)

3.7 まとめ (1/2)

■ 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、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、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た。
- 地盤減衰（Q値）について、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が得られているEL. -200m以浅の地盤減衰（Q値）について、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。

【最深部地震計以浅（EL. -90m以浅）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。
- 速度構造、密度及びEL. -200m以深の地盤減衰（Q値）は、既許可の地下構造モデルを流用した。
- なお、既許可の地下構造モデルを流用するEL. -200m以深の範囲における、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。

3.7 まとめ (2/2)

■ 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、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、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

- 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ため、地盤減衰 (Q値) を見直した。
- 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点や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点を踏まえ、EL. -90mからEL. -200mまでの範囲の地盤減衰 (Q値) を $Q=12.5$ から $Q=16.7$ に設定した。

■ 標準応答スペクトル用モデルの妥当性確認

- 解放基盤表面 (EL. -15m) からEL. -200m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、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。

3.8 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。

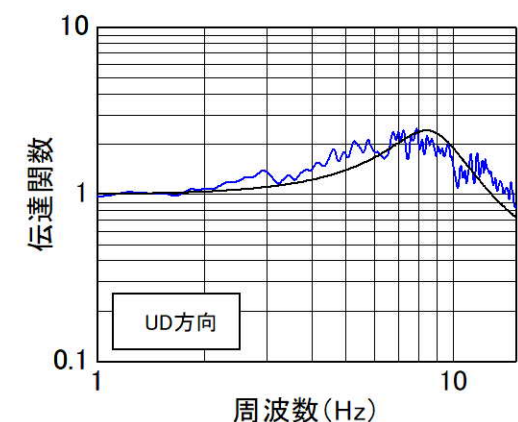
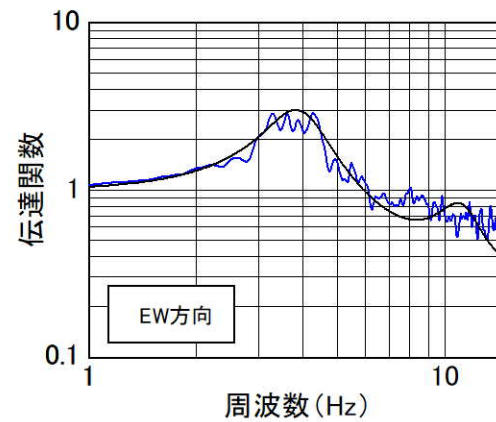
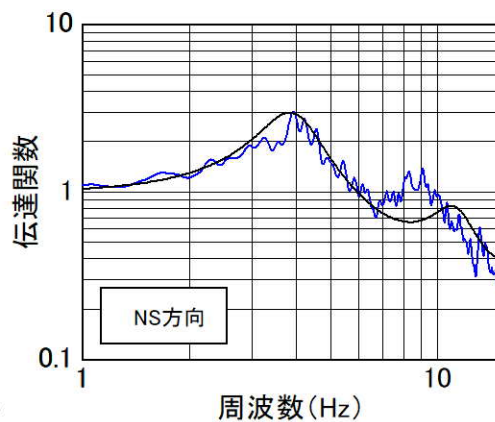
- 今後も、更なる信頼性の向上を図ることを目的に、最新の技術的知見の収集・分析・評価を実施する。
 - 広域地震観測〔継続〕
 - 敷地内地下構造の把握
 - ・ 敷地内鉛直アレイ地震観測〔継続〕
 - ・ 減衰測定に用いたボーリング孔における地震計増設（EL. -200m）
 - ・ 大深度ボーリング及び地下深部の地震観測の実施についても検討

【補足①】地震観測記録の伝達関数との整合性に関する検討

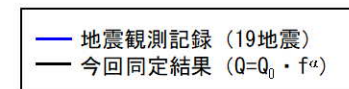
【補足①】地震観測記録の伝達関数との整合性に関する検討

■ 地震観測記録との整合性

- 「3.2.1(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)

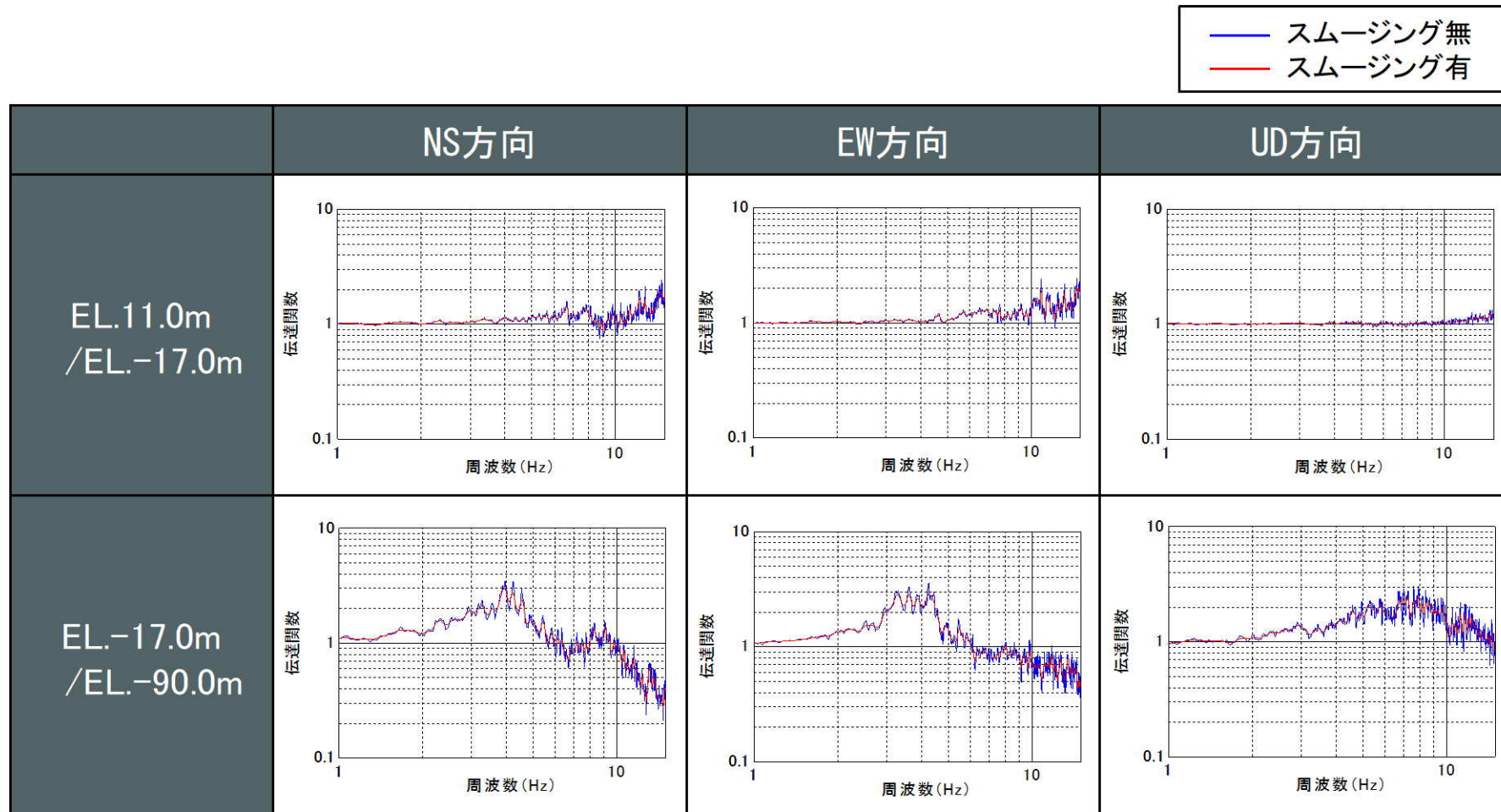


※観測記録及び理論の伝達関数はParzen Window 0.2Hzでスージング

【補足①】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。

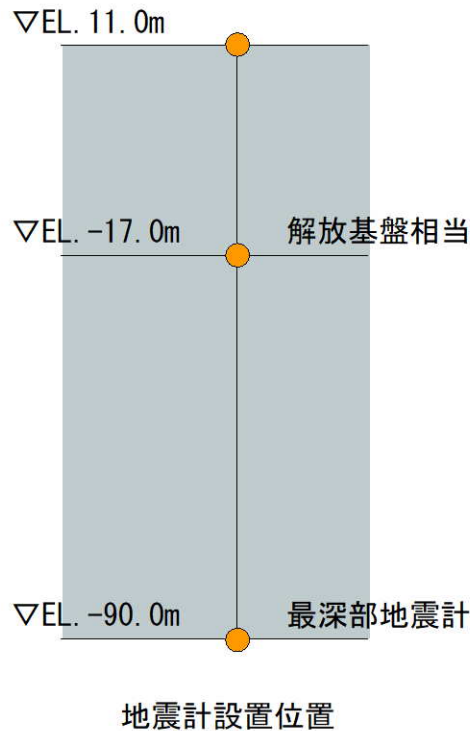


【補足①】地震観測記録の伝達関数との整合性に関する検討

■ 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） <ul style="list-style-type: none"> ・ 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	$Q(f) = Q_0 \cdot f^\alpha$

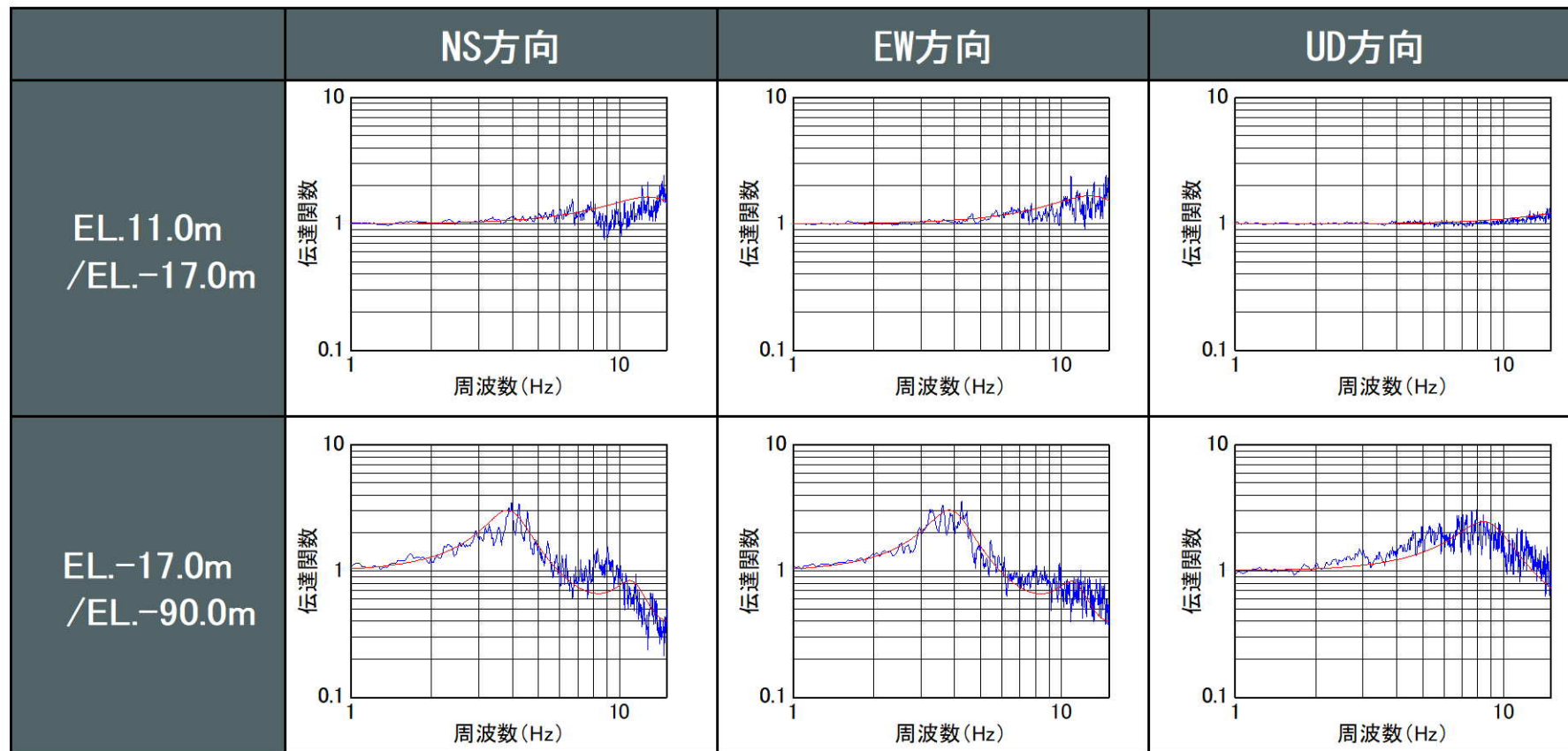
※下線部は伝達関数（周波数依存型）による同定における解析条件からの変更点

【補足①】 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。

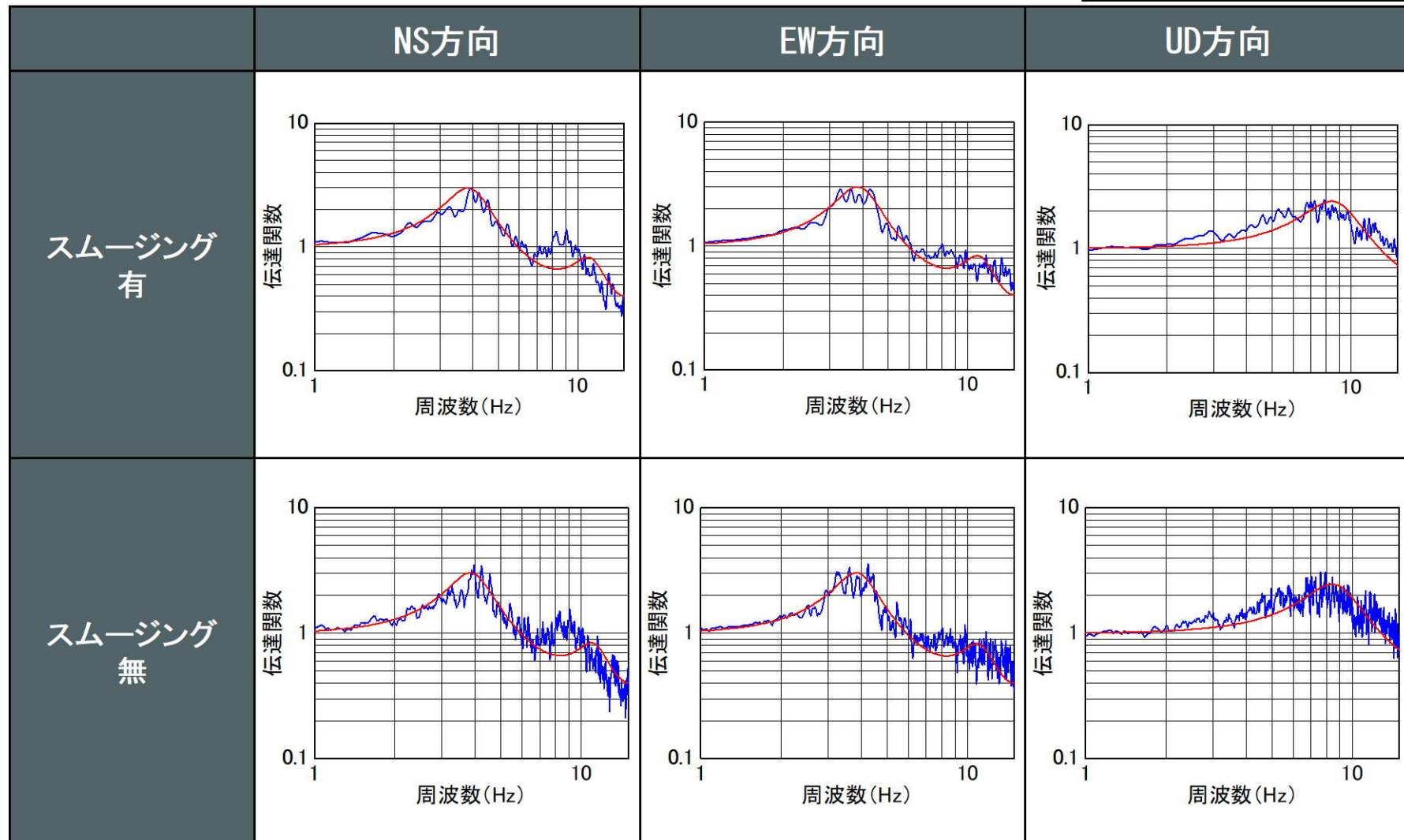
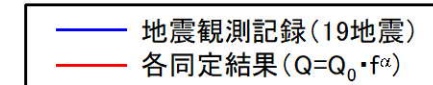
— 地震観測記録(19地震)
— スムージングの影響確認($Q=Q_0 \cdot f^\alpha$)



【補足①】 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。



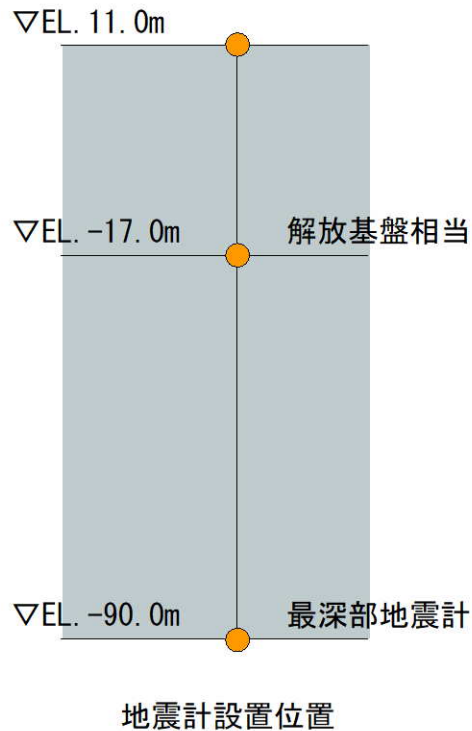
※観測記録（スムージング有のみ）及び理論（スムージング有のみ）の伝達関数はParzen Window 0.2Hzでスムージング

【補足①】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）



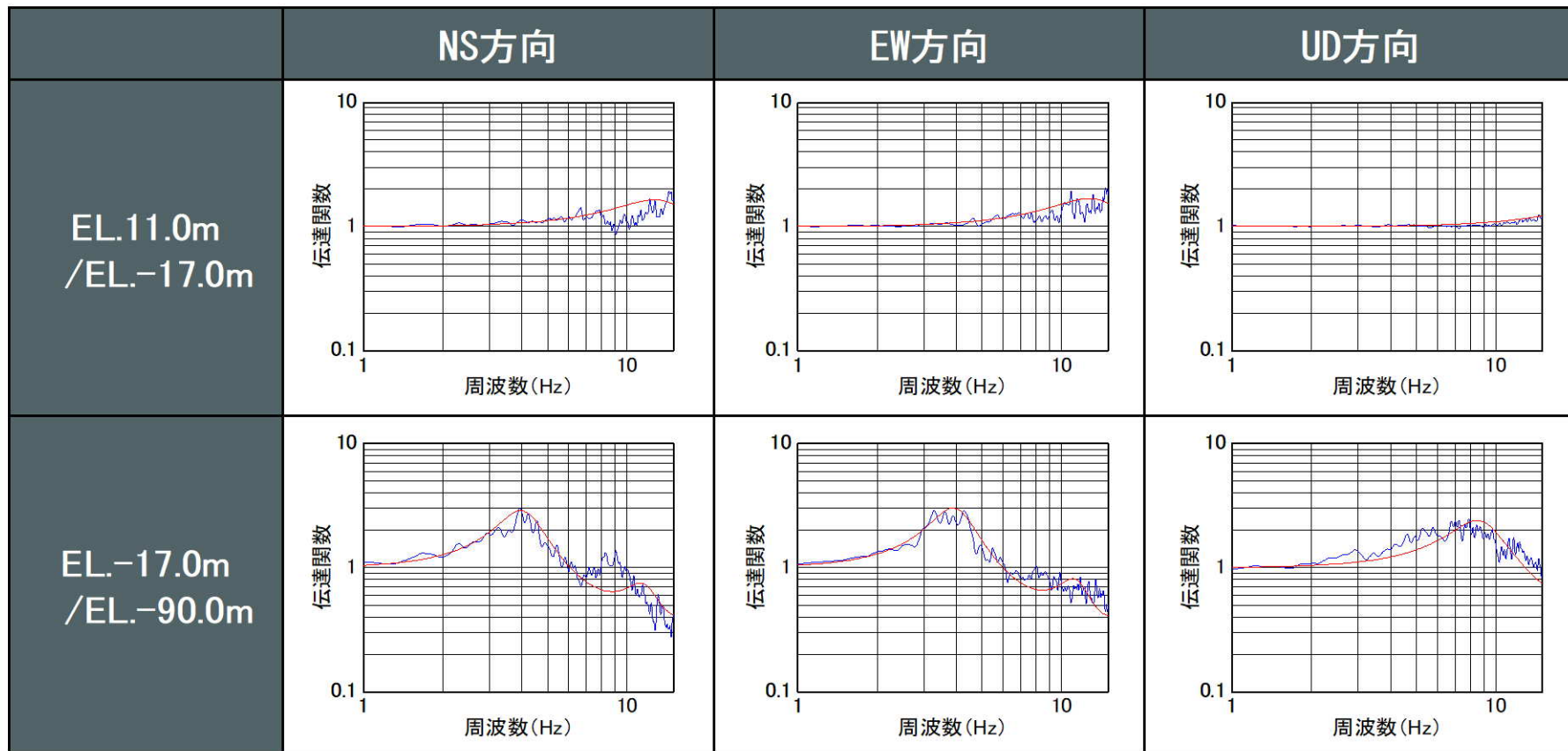
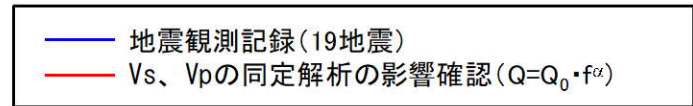
項目	条件
対象地震の選定条件	M5.4以上、震央距離200km程度以内の内陸地殻内地震
対象地震数	19地震
ターゲットとする観測伝達関数	19地震の平均伝達関数（NS、EW、UD成分） <ul style="list-style-type: none"> EL. 11.0m/EL. -17.0m EL. -17.0m/EL. -90.0m P波・S波を含む40秒間を抽出 Band幅0.2HzのParzenウィンドウ
同定方法	<u>層厚、密度は既許可の地下構造モデルの値を参照し、S波速度Vs、P波速度Vp、地盤減衰（Q値）を同定</u>
Q値	$Q(f) = Q_0 \cdot f^\alpha$

※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①】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。

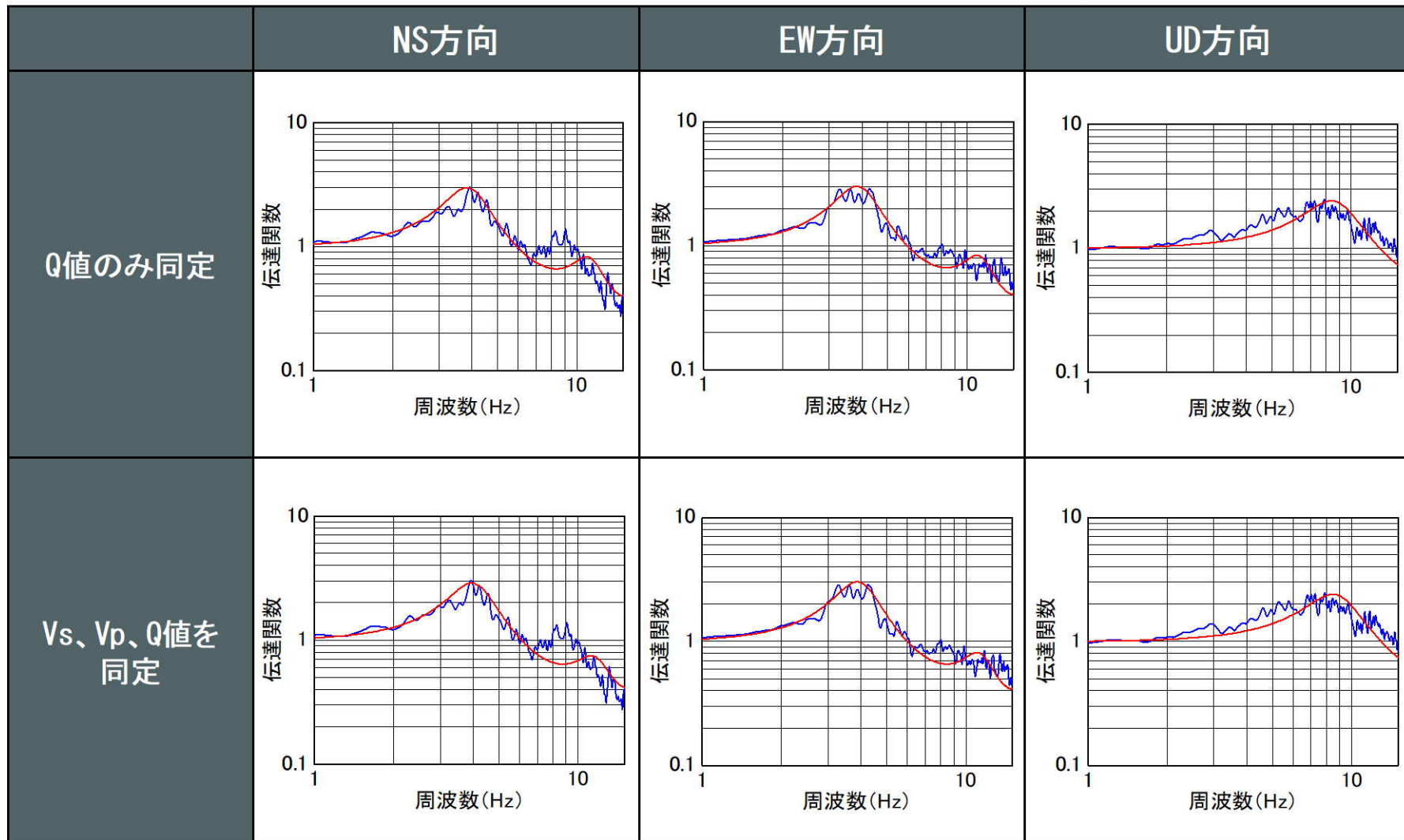
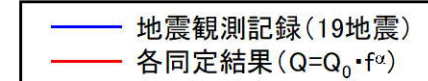


※観測記録及び理論の伝達関数はParzen Window 0.2Hzでスムージング

【補足①】 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

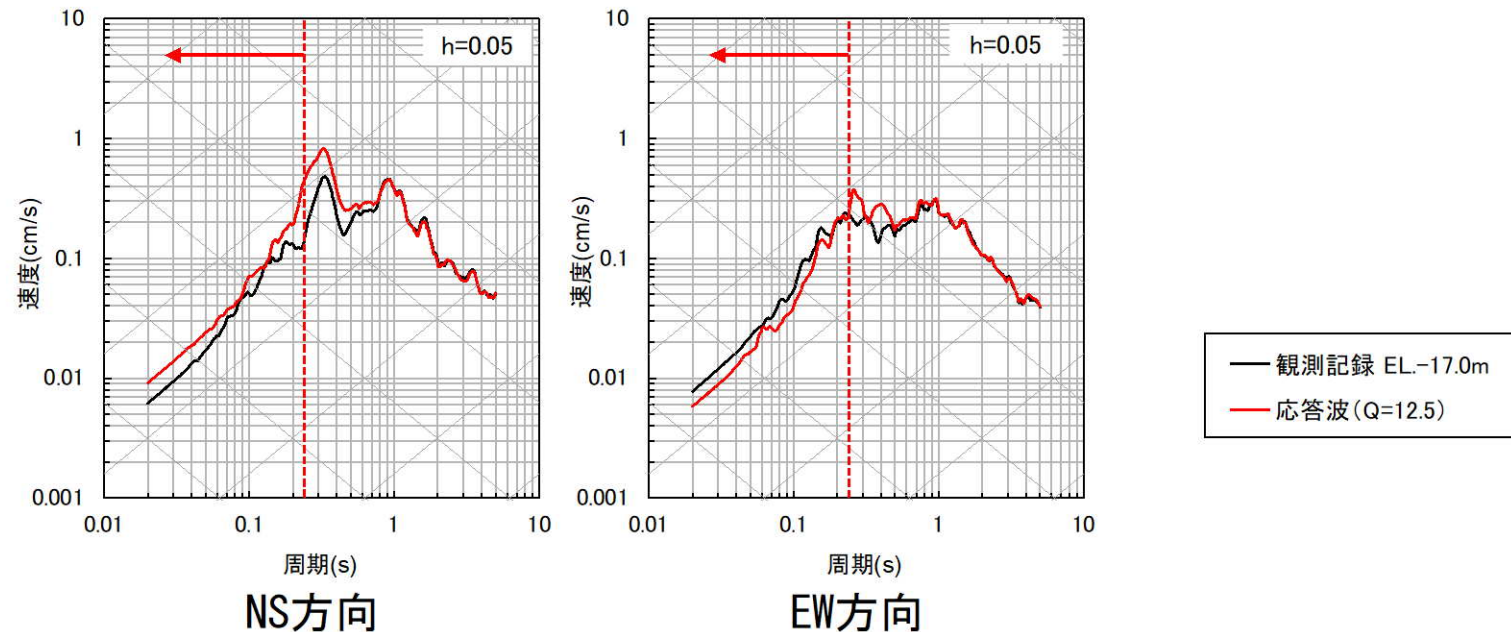
【補足②】 応答スペクトルによる確認における特異な地震観測記録の分析

【補足②】 応答スペクトルによる確認における特異な地震観測記録の分析

■⑩熊本県熊本地方の地震（EW方向）の記録の特異性確認

- ・ 地盤減衰 ($Q=12.5$) による応答波の応答スペクトルは、大半の地震において、地震観測記録の応答スペクトルと比べて、同等もしくは上回ることを確認。（例：⑩熊本県熊本地方の地震（NS方向））
- ・ ⑩熊本県熊本地方の地震（EW方向）では、0.25秒程度以下の短周期帯において、地盤減衰 ($Q=12.5$) 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を下回ることを確認。
- ・ 上記傾向の要因として考えられる以下の影響について、確認を実施。
 - ・ 理論伝達関数の卓越周波数付近における入力波の振幅特性による影響
- ・ 次頁以降において、確認した結果、上記傾向の要因は、EL. -90mの地震観測記録において、設定した地下構造モデルの理論伝達関数の卓越周波数のピーク付近の周波数帯で数Hzにわたる振幅が小さい特性（凹）によるものと考えられ、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。なお、標準応答スペクトルは数Hzにわたって振幅が小さい特性（凹）を有していないため、上記と同じ傾向は見られないと考えられる。

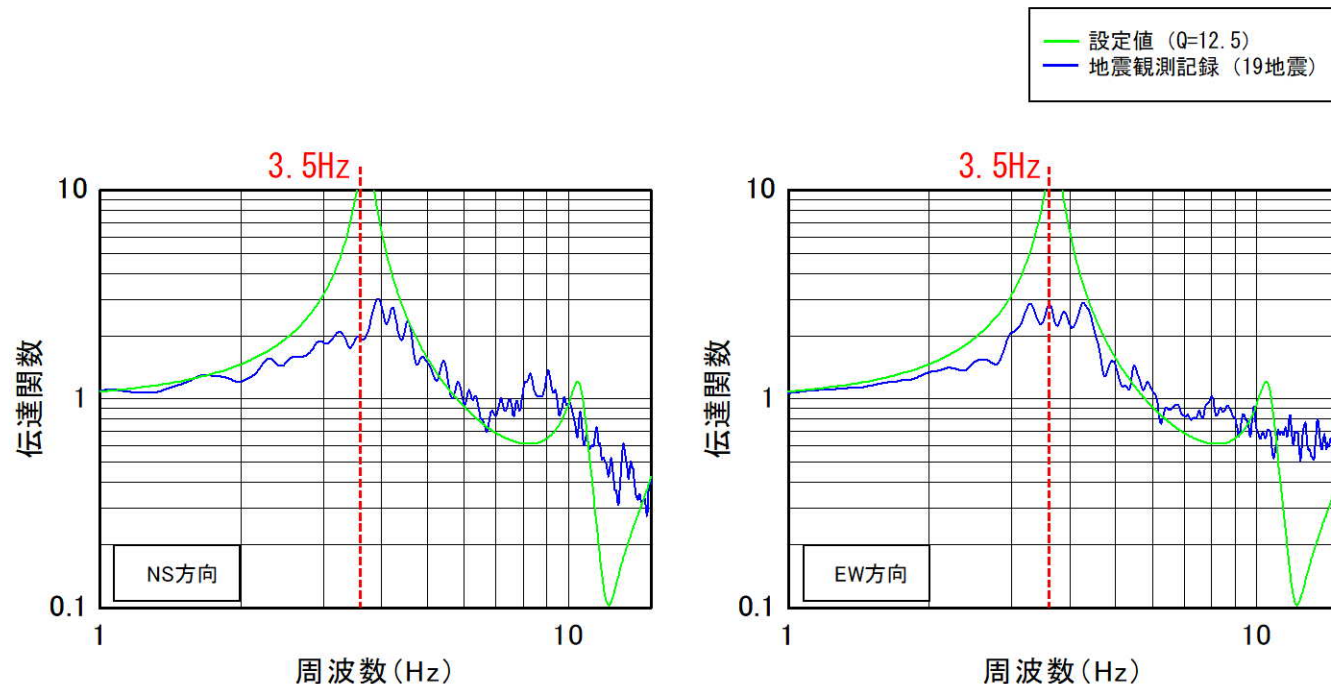
⑩熊本県熊本地方



【補足②】 応答スペクトルによる確認における特異な地震観測記録の分析

■ 伝達関数による傾向分析

- 地震観測記録（19地震）による平均伝達関数と理論伝達関数（ $Q=12.5$ ）を比較すると、3.5Hz程度の卓越周波数付近では、理論伝達関数（ $Q=12.5$ ）は、地震観測記録（19地震）による平均伝達関数を大きく上回る傾向。
- 一方、3.5Hz程度の卓越周波数付近を除く周波数帯において、理論伝達関数（ $Q=12.5$ ）は地震観測記録（19地震）による平均伝達関数を下回る傾向。



伝達関数の比較

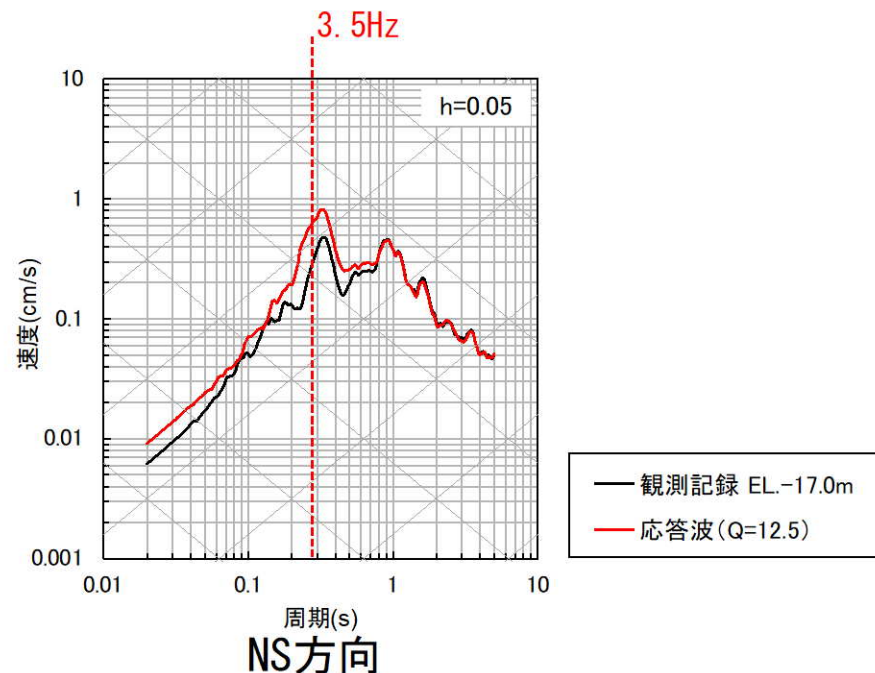
※観測記録及び理論の伝達関数はParzen Window 0.2Hzでスムージング

【補足②】 応答スペクトルによる確認における特異な地震観測記録の分析

■ 伝達関数による傾向と応答スペクトルによる傾向の差異

- ・ 応答波 ($Q=12.5$) の応答スペクトルを見ると、前頁の理論伝達関数 ($Q=12.5$) で大きなピークが見られた3.5Hz (0.29秒) 程度の卓越周波数付近でピークが見られ、理論伝達関数 ($Q=12.5$) のピークが反映されている。
- ・ 一方、前頁の理論伝達関数 ($Q=12.5$) が地震観測記録の伝達関数を下回る周期帯では、応答波 ($Q=12.5$) の応答スペクトルが地震観測記録の応答スペクトルを上回り、フーリエ振幅スペクトルによる伝達関数とは異なる傾向。(例：⑩熊本県熊本地方の地震 (NS方向))

例：⑩熊本県熊本地方 (NS方向)

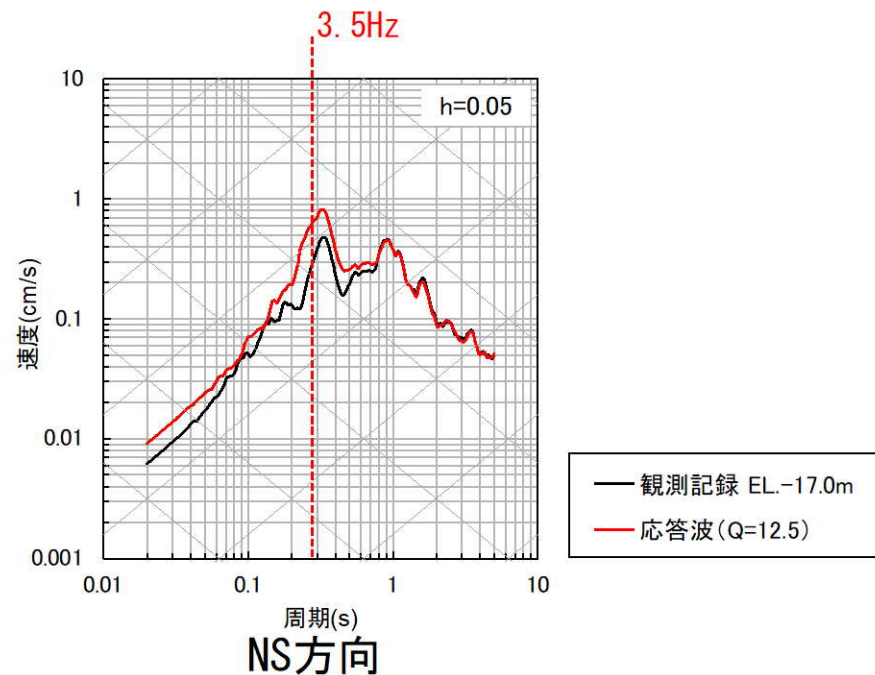


【補足②】 応答スペクトルによる確認における特異な地震観測記録の分析

■ 応答スペクトルの特性

- 前頁までを踏まえると、理論伝達関数 ($Q=12.5$) の卓越周波数付近 (3.5Hz程度) の大きなピークが当該周波数の周辺の周波数帯にも影響を与え、応答波 ($Q=12.5$) の応答スペクトルの短周期帯が嵩上げされる。
(例：⑩熊本県熊本地方の地震 (NS方向))
- ただし、入力波 (地震観測記録 (EL. -90.0m)) において、理論伝達関数 ($Q=12.5$) の卓越周波数付近の振幅が小さいと、理論伝達関数 ($Q=12.5$) のピークの影響が反映されず、応答波 ($Q=12.5$) の応答スペクトルの短周期帯が嵩上げされないと考えられる。

例：⑩熊本県熊本地方 (NS方向)

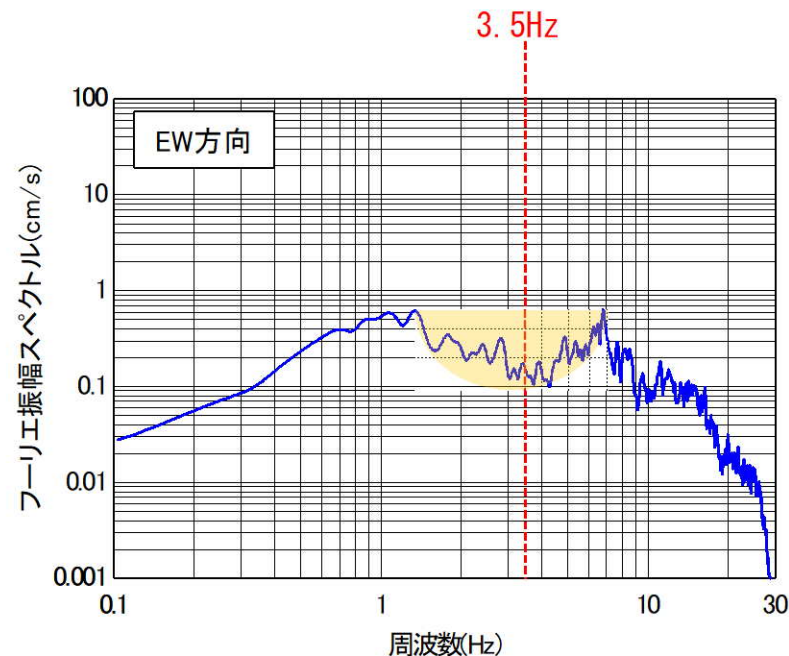
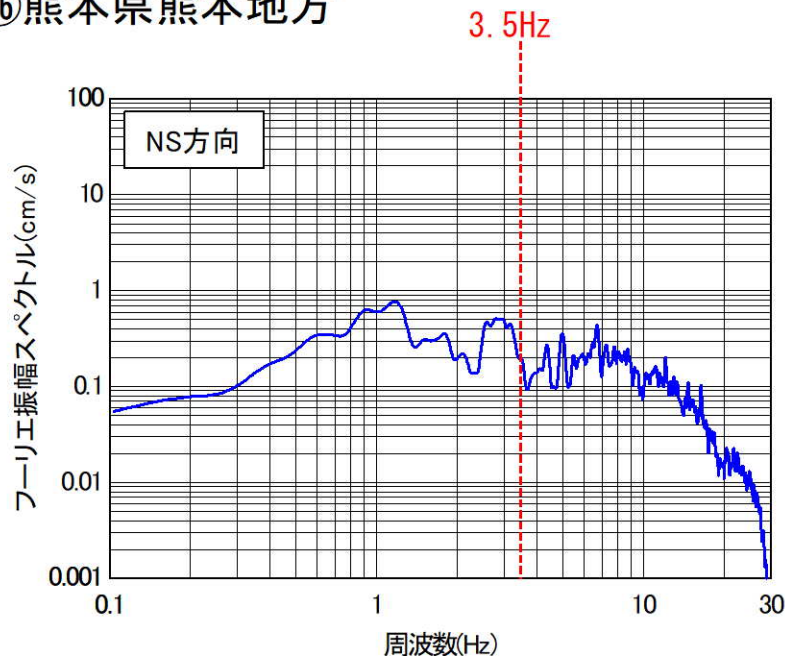


【補足②】 応答スペクトルによる確認における特異な地震観測記録の分析

■ ⑩熊本県熊本地方の地震（EW方向）のフーリエ振幅スペクトル（EL. -90.0m）の分析

- ⑩熊本県熊本地方の地震（EW方向）のフーリエ振幅スペクトルは、理論伝達関数（ $Q=12.5$ ）の3.5Hz程度の卓越周波数のピーク付近の周波数帯で数Hzにわたり振幅が小さい特性を確認。
- 上記の影響で、応答波（ $Q=12.5$ ）の応答スペクトルの短周期帯では、理論伝達関数（ $Q=12.5$ ）のピークの影響が反映されず、嵩上げされなかったことが、応答波（ $Q=12.5$ ）の応答スペクトルが観測記録の応答スペクトルを下回った1つの要因と考えられる。

⑩熊本県熊本地方

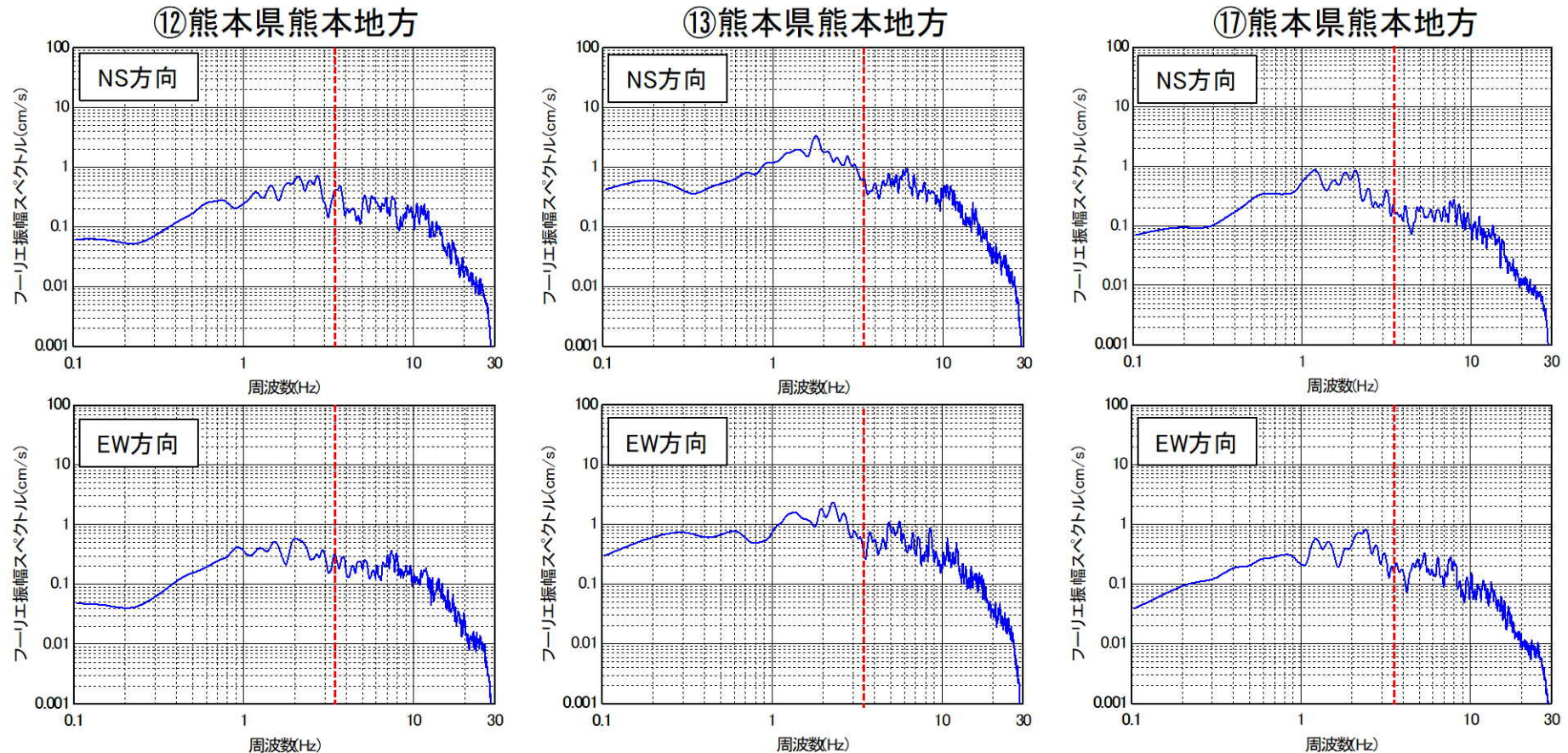


観測記録（EL. -90.0m）のフーリエ振幅スペクトル

【補足②】 応答スペクトルによる確認における特異な地震観測記録の分析

■ 要因の分析

- 前頁までの傾向が、⑬熊本県熊本地方の地震の震源近傍で発生した地震（⑫、⑬及び⑰の地震）において、同様の傾向が見られるか確認を実施。
- ⑫、⑬及び⑰の地震では、⑬熊本県熊本地方（EW方向）の短周期帯の応答スペクトルに見られたような応答波（ $Q=12.5$ ）の応答スペクトルが観測記録の応答スペクトルを下回る傾向は見られない。
- また、⑫、⑬及び⑰の地震の観測記録（EL. -90.0m）のフーリエ振幅スペクトルにおいて、理論伝達関数（ $Q=12.5$ ）の3.5Hz程度の卓越周波数のピーク付近の周波数帯で数Hzにわたり振幅が小さい特性は見られない。



観測記録（EL. -90.0m）のフーリエ振幅スペクトル

【補足③】 PS検層モデルとの比較による確認における境界条件の影響検討

【補足③】 PS検層モデルとの比較による確認における境界条件の影響検討

■ 計算の境界条件（EL. -200mでの速度コントラスト）の影響検討

- 追加ボーリング孔（QG-1～3）におけるPS検層はEL. -200mまで実施しているが、PS検層モデルの理論伝達関数（解放基盤表面／EL. -200m）の算出にあたり、EL. -200m以深の設定が必要である。
- EL. -200m以深の設定により、計算の境界条件としてEL. -200mでの速度コントラストが生じるため、PS検層モデルの設定にあたり、以下の3ケースを検討し、影響を確認する。
 - a. 設定した地下構造モデルの速度を流用した場合（EL. -200m以深を設定した地下構造モデルと同じ速度に設定）
 - b. 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）
 - c. 速度コントラストを大きくした場合（EL. -200m以深の速度を大きく設定）

【補足③】 PS検層モデルとの比較による確認における境界条件の影響検討

a. 設定した地下構造モデルの速度を流用した場合

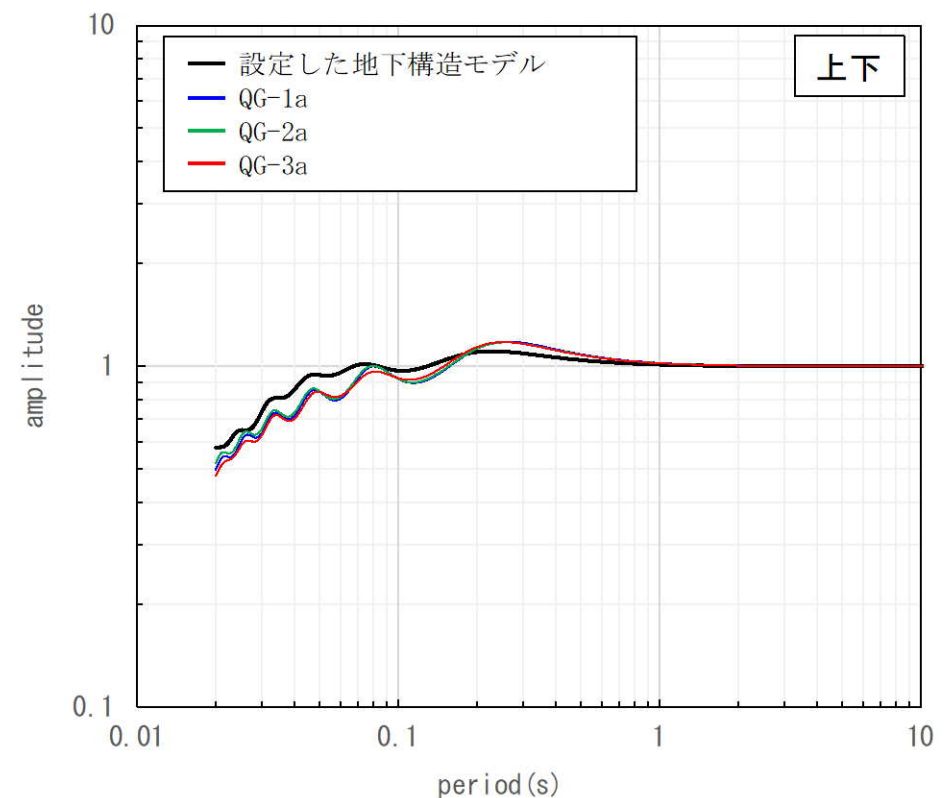
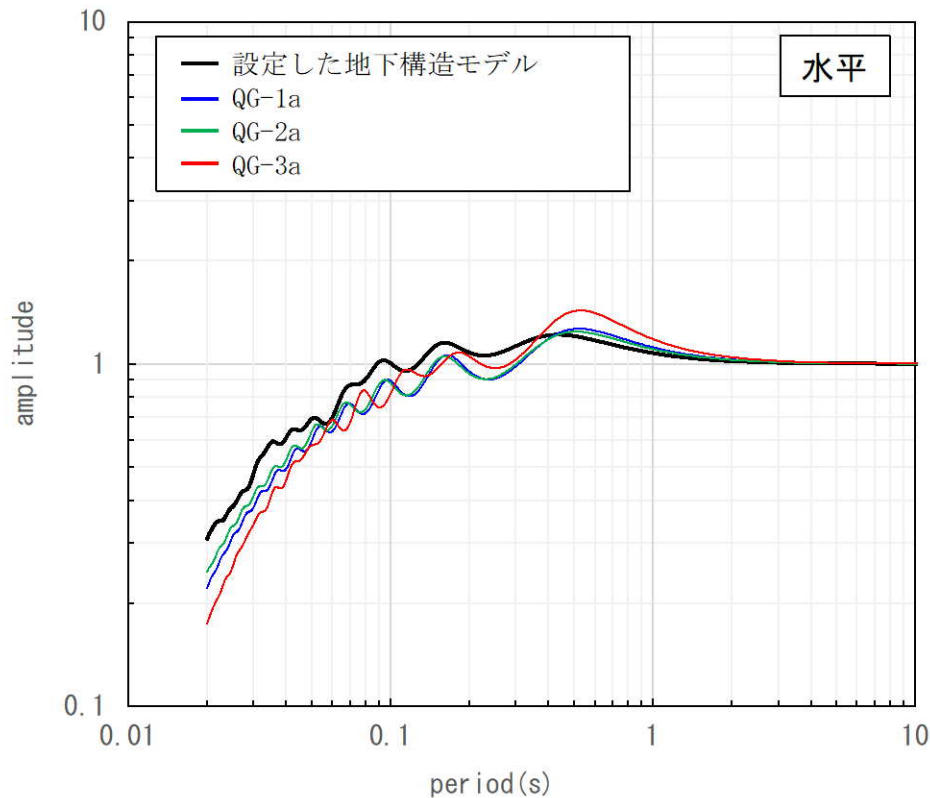
- 設定した地下構造モデルの速度を流用した場合として、EL. -200m以深を設定した地下構造モデルと同じ速度に設定する。(QG-1a~3aモデル)
- 伝達関数の比較に用いる地下構造モデルを以下に示す。

地表 ▼ (EL. 11.0m)	設定した地下構造モデル			QG-1aモデル			QG-2aモデル			QG-3a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	4000	200	2100	4000	200	2100	4000	200	2100	4000	200

【補足③】 PS検層モデルとの比較による確認における境界条件の影響検討

■ 伝達関数の比較

- 設定した地下構造モデルの速度を流用した結果、理論伝達関数（解放基盤表面／EL. -200m）の一部の周期帯（水平：0.5秒付近、上下：0.2~0.4秒付近）において、特徴的なピークが現れている。



伝達関数の比較 (EL. -15m/EL. -200m)

【補足③】 PS検層モデルとの比較による確認における境界条件の影響検討

b. 速度コントラストをなくした場合

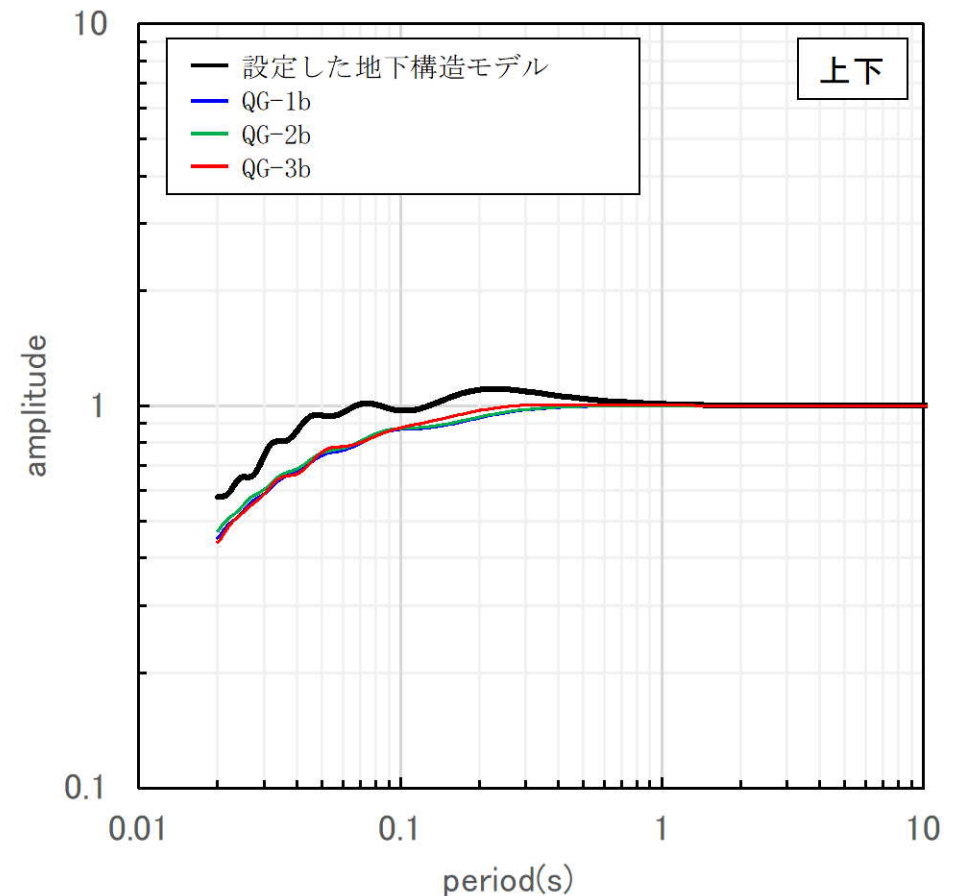
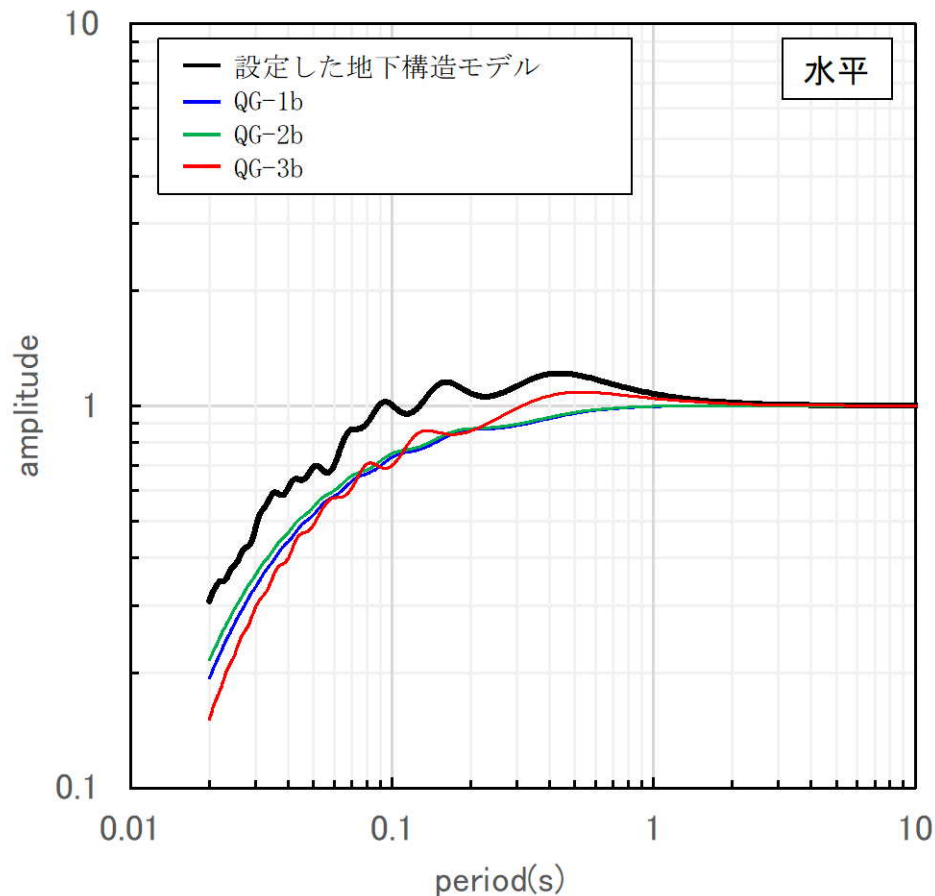
- 速度コントラストをなくした場合として、PS検層モデルのEL. -200m以深を上層と同じ速度に設定する。(QG-1b~3bモデル)
- 伝達関数の比較に用いる地下構造モデルを以下に示す。

地表 ▼ (EL. 11.0m)	設定した地下構造モデル			QG-1bモデル			QG-2bモデル			QG-3b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	4000	200	1550	3190	200	1590	3220	200	1550	3320	200

【補足③】 PS検層モデルとの比較による確認における境界条件の影響検討

■ 伝達関数の比較

- 速度コントラストをなくした結果、一部の周期帯（水平：0.5秒付近、上下：0.2～0.4秒付近）における特徴的なピークの解消を確認。



伝達関数の比較 (EL. -15m/EL. -200m)

【補足③】 PS検層モデルとの比較による確認における境界条件の影響検討

c. 速度コントラストを大きくした場合

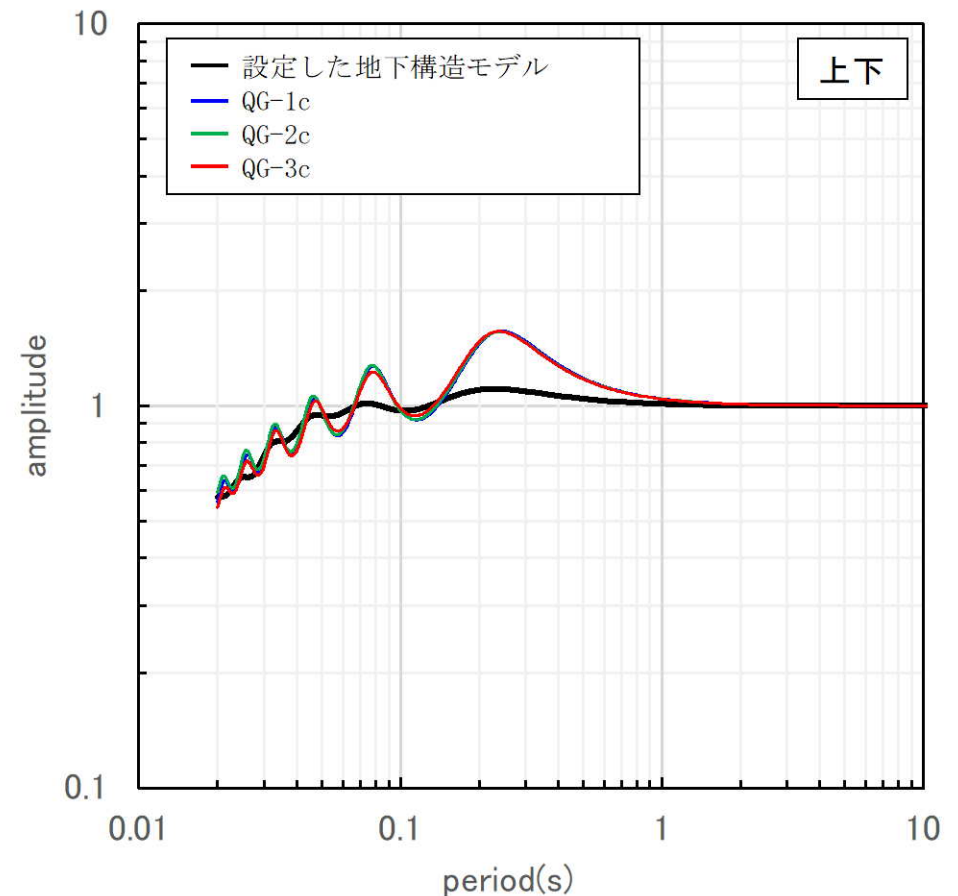
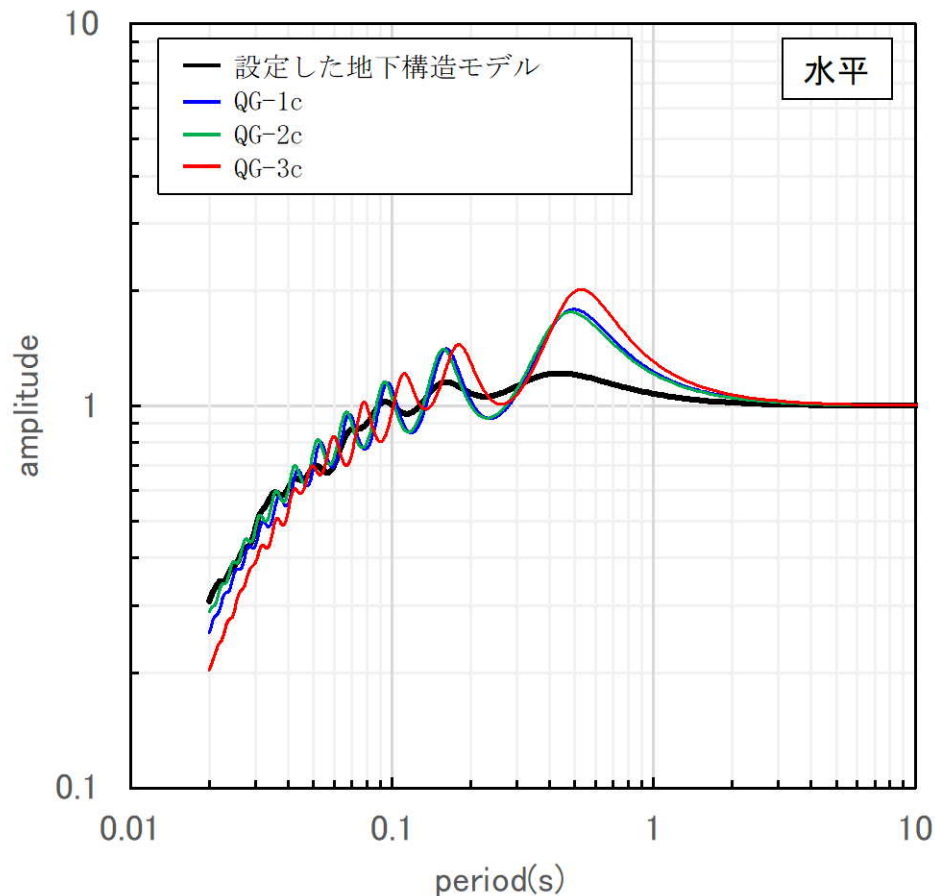
- 速度コントラストを大きくした場合として、PS検層モデルのEL. -200m以深の速度を大きく設定する。(QG-1c~3cモデル)
- 伝達関数の比較に用いる地下構造モデルを以下に示す。

地表 ▼ (EL. 11.0m)	設定した地下構造モデル			QG-1cモデル			QG-2cモデル			QG-3c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	4000	200	3100	5500	200	3100	5500	200	3100	5500	200

【補足③】 PS検層モデルとの比較による確認における境界条件の影響検討

■ 伝達関数の比較

- 速度コントラストを大きくした結果、一部の周期帯（水平：0.5秒付近、上下：0.2~0.4秒付近）における特徴的なピークの増大を確認。




伝達関数の比較 (EL. -15m/EL. -200m)

【補足③】 PS検層モデルとの比較による確認における境界条件の影響検討

■ 境界条件の影響検討結果

- 計算の境界条件（EL. -200mでの速度コントラスト）の影響により、一部の周期帯（水平：0.5秒付近、上下：0.2～0.4秒付近）において特徴的なピークが生成されることを確認した。

■ PS検層モデルの設定

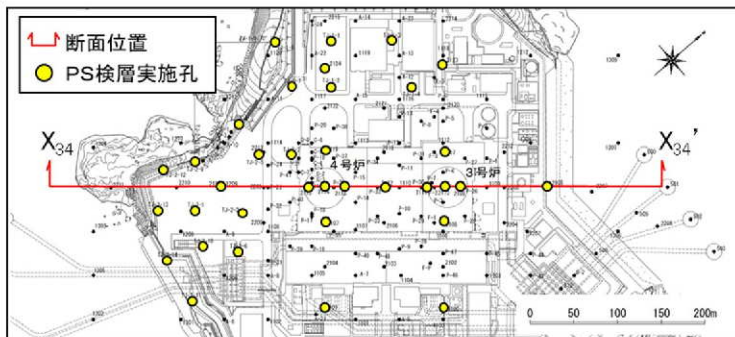
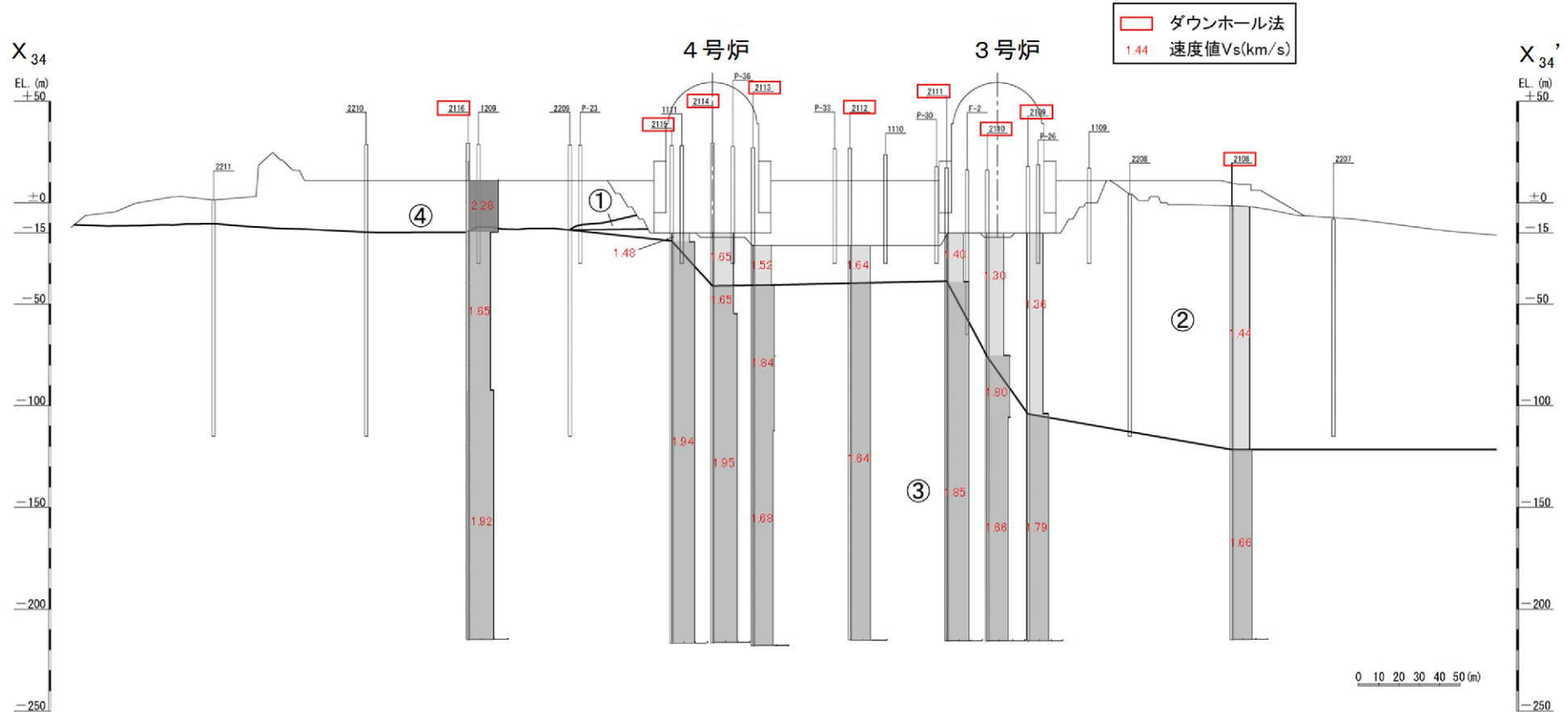
- 敷地地下深部の地下構造は、均質かつ水平な速度構造を示す佐世保層群が十分な深さまで分布しており、EL. -200mでの速度コントラストがないことを確認した。
 - 原子炉設置位置付近の既存の速度層断面では、EL. -200m以深まで③速度層が分布しており、EL. -200m付近で速度構造が大きく変わらない。（122～124頁参照）
 - 文献調査の結果、敷地付近の佐世保層群は、EL. -200m以深まで続いており、EL. -200m付近で地質・地質構造が大きく変わらない。（125～126頁参照）
- 
- PS検層モデルとして、実地盤の状況に近いと考えられる「b. 速度コントラストをなくした場合」の地下構造モデルを設定する。

【補足③】 PS検層モデルとの比較による確認における境界条件の影響検討

■ 原子炉設置位置付近の既存の速度層断面

第402回審査会合資料（一部修正※）

速度構造について（ X_{34} - X_{34}' 断面）（S波速度）



速度層区分	V_s (km/s)
①	0.79
②	1.44
③	1.80
④	2.03

- ・ 原子炉基礎地盤は浅部でも速い速度 (V_s =約1.4~1.8km/s) を示す。
- ・ 速度構造に極端なコントラストを示す領域は存在しない。

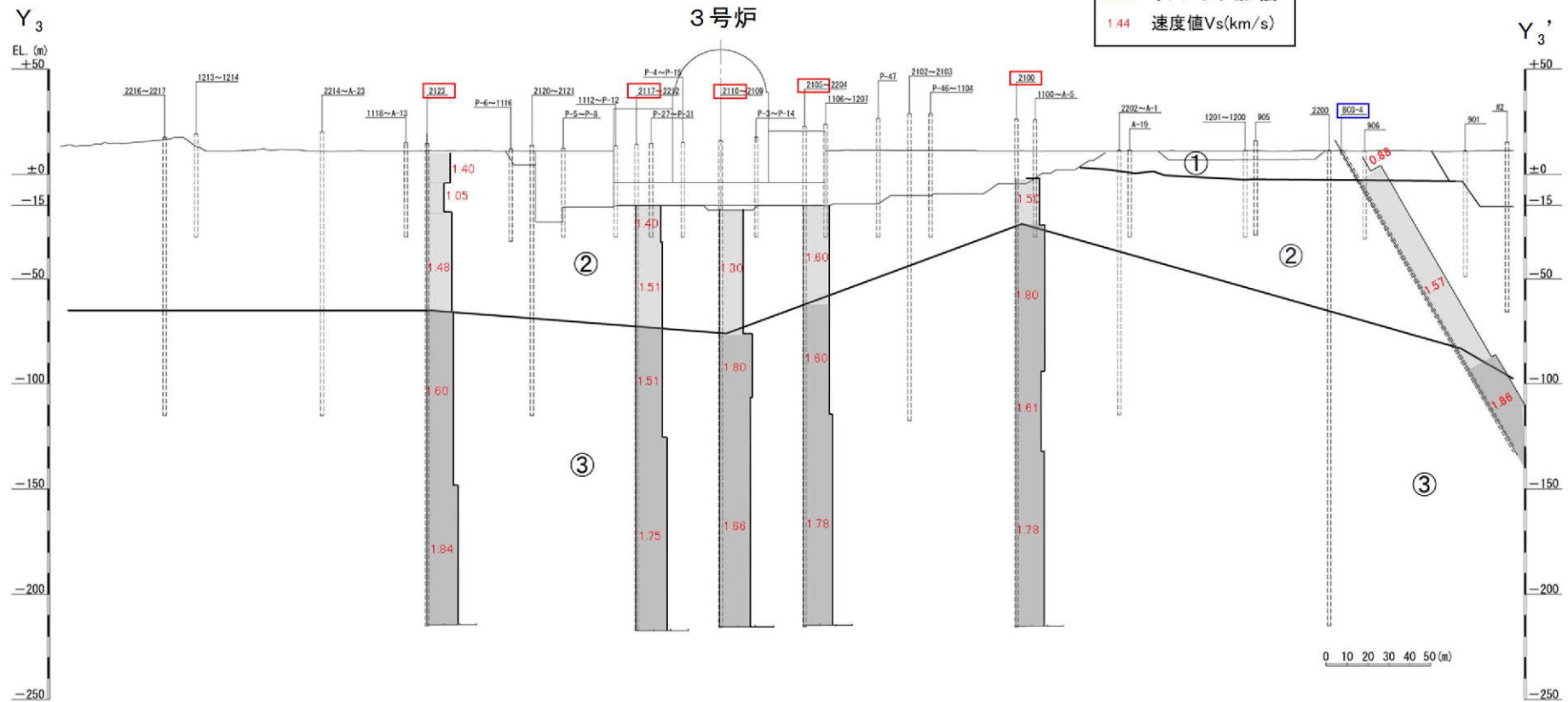
※ H31.4許可の設置変更許可申請書の情報への更新（①速度層境界の表示、②地形の変更）

【補足③】 PS検層モデルとの比較による確認における境界条件の影響検討

■ 原子炉設置位置付近の既存の速度層断面

第402回審査会合資料（一部修正※）

速度構造について（ Y_3 - Y_3' 断面）（S波速度）



速度層区分	V_s (km/s)
①	0.79
②	1.44
③	1.80
④	2.03

- ・ 原子炉基礎地盤は浅部でも速い速度 (V_s =約1.4~1.8km/s) を示す。
- ・ 速度構造に極端なコントラストを示す領域は存在せず、おおむね水平な速度構造と評価される。

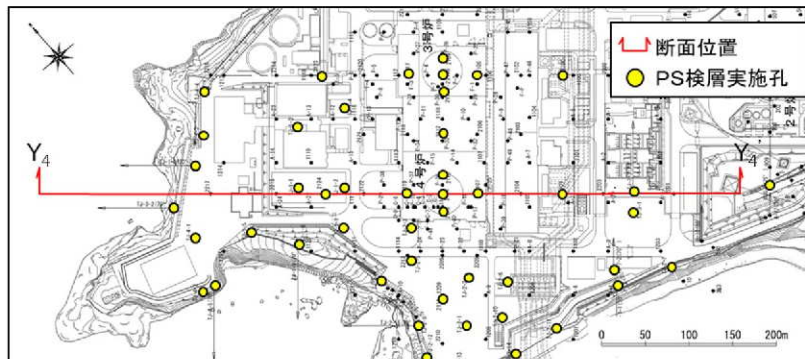
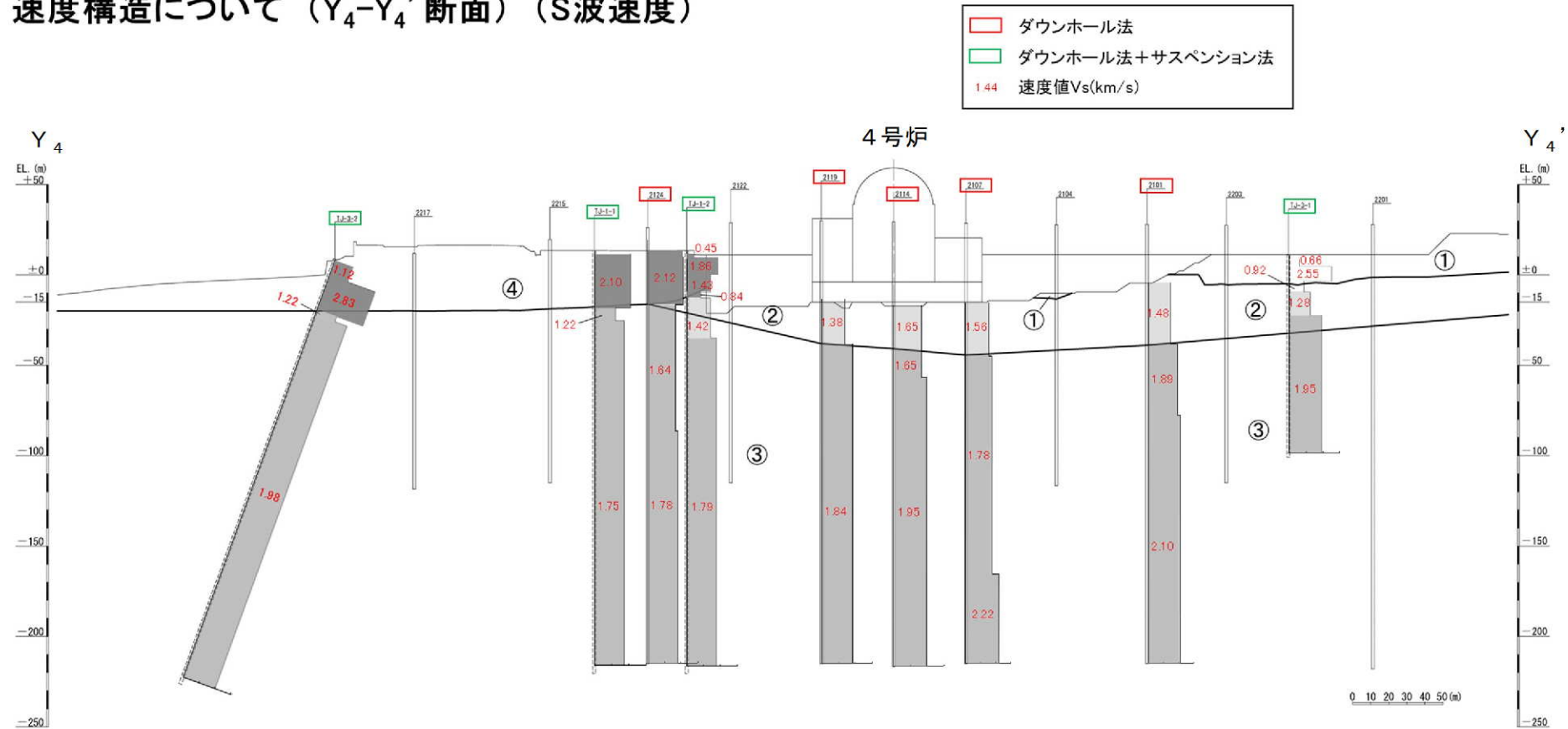
※ H31.4許可の設置変更許可申請書の情報への更新（①速度層境界の表示、②地形の変更）

【補足③】 PS検層モデルとの比較による確認における境界条件の影響検討

■ 原子炉設置位置付近の既存の速度層断面

第402回審査会合資料（一部修正※）

速度構造について（Y₄-Y₄'断面）（S波速度）



速度層区分	V _S (km/s)
①	0.79
②	1.44
③	1.80
④	2.03

- ・ 原子炉基礎地盤は浅部でも早い速度（Vs=約1.4～1.8km/s）を示す。
- ・ 速度構造に極端なコントラストを示す領域は存在せず、おおむね水平な速度構造と評価される。

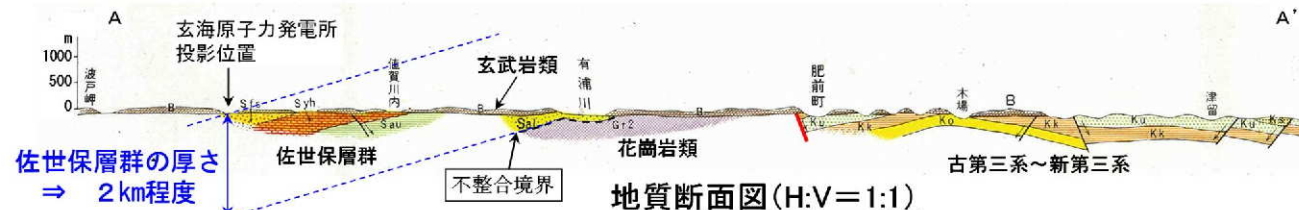
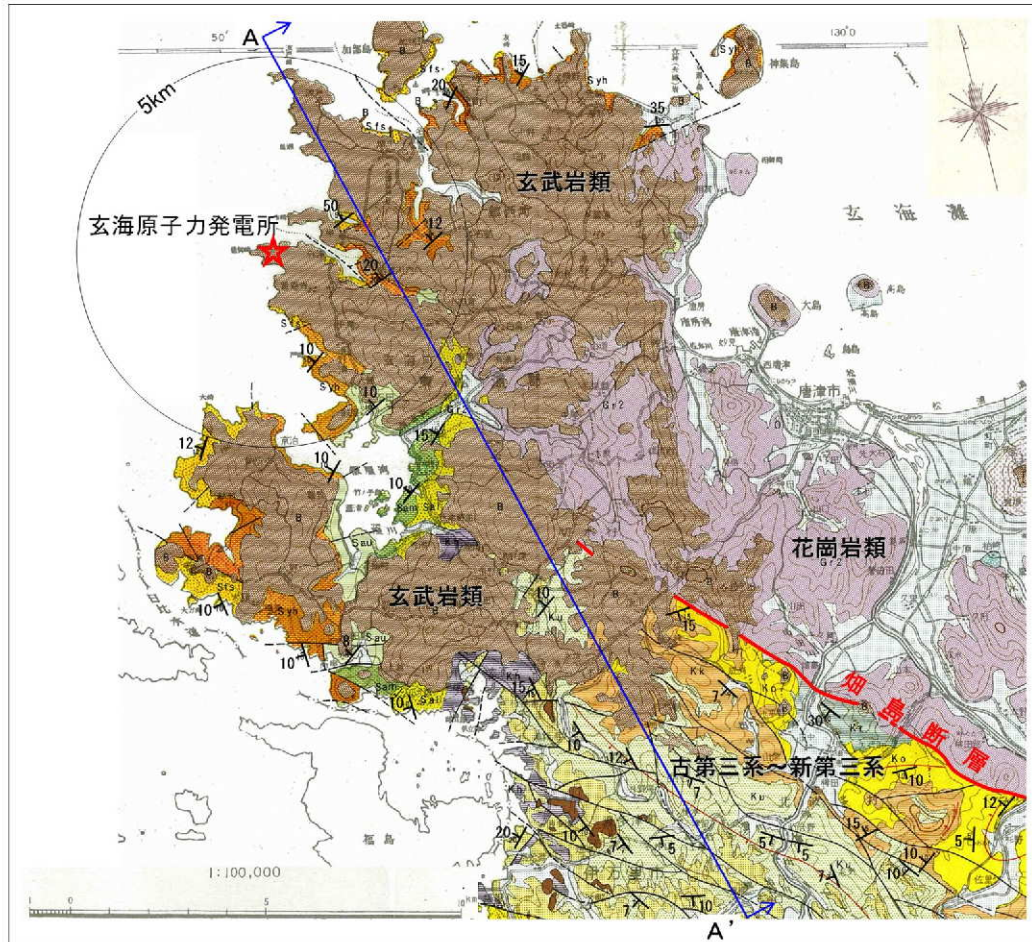
※ H31.4許可の設置変更許可申請書の情報への更新（①TJ-3-2, TJ-1-1, TJ-1-2, TJ-3-1孔の追加、②速度層境界の変更、③地形の変更）

【補足③】 PS検層モデルとの比較による確認における境界条件の影響検討

■ 敷地及び敷地周辺の地下構造に関する文献調査

第402回審査会合資料

○ 10万分の1佐賀県地質図によると、敷地付近の佐世保層群の厚さは、2km程度と推定される。



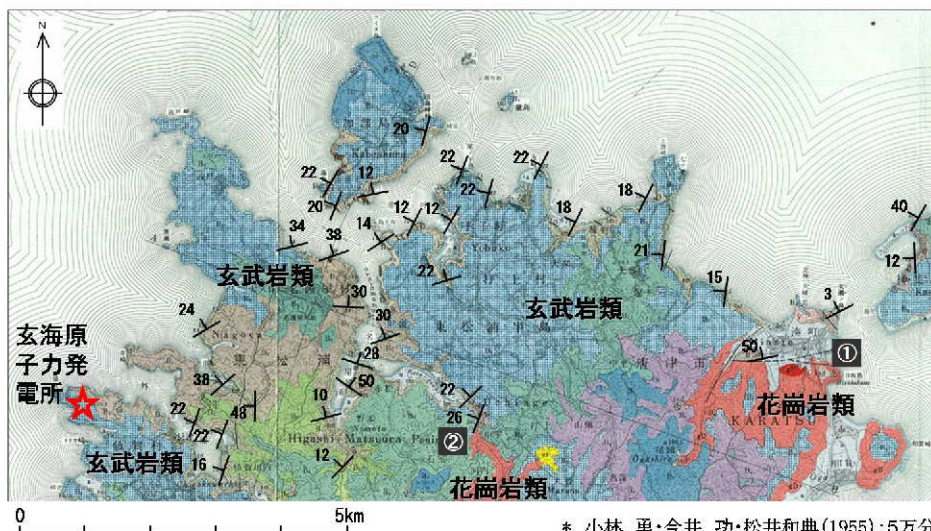
* 木下亀城・田中 信也・松隈寿紀・宮久 三千年・牟田邦彦・山崎達雄・唐木田芳文・高橋 清・種子田定勝・山口 勝・山本博達・野田光雄・橋本 勇・青山信雄(1954):佐賀県地質図(1/100,000)、佐賀県に加筆

【補足③】 PS検層モデルとの比較による確認における境界条件の影響検討

■ 敷地及び敷地周辺の地下構造に関する文献調査

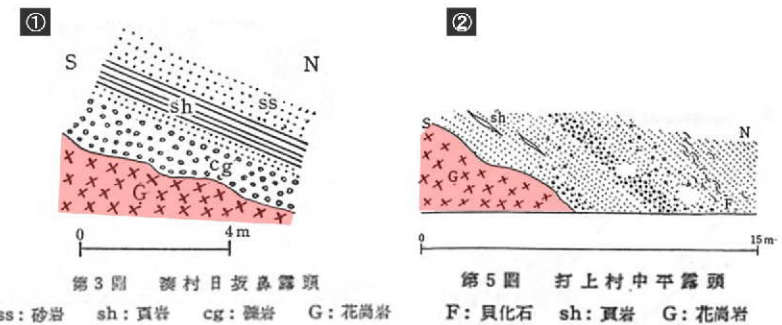
第402回審査会合資料

○ 5万分の1地質図幅「呼子」によると、花崗岩類と敷地との離隔距離は5km以上とされており、佐世保層群の走向・傾斜から、敷地付近の佐世保層群の厚さを推定すると、少なくとも1km程度以上となる。



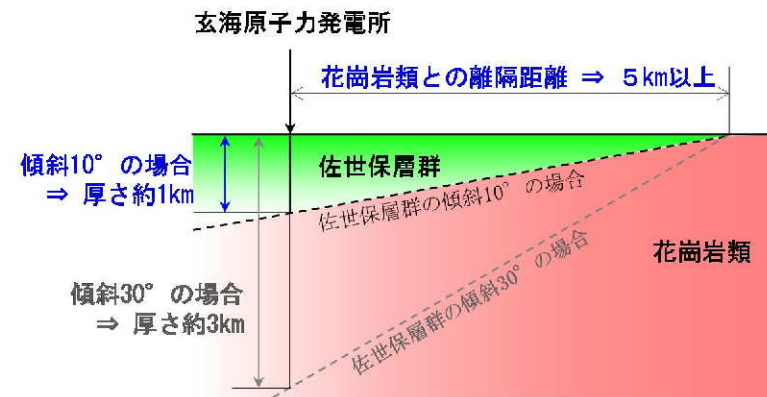
* 小林 勇・今井 功・松井和典(1955):5万分の1地質図幅「呼子」、地質調査所に加筆

【花崗岩類と第三紀層の不整合露頭】

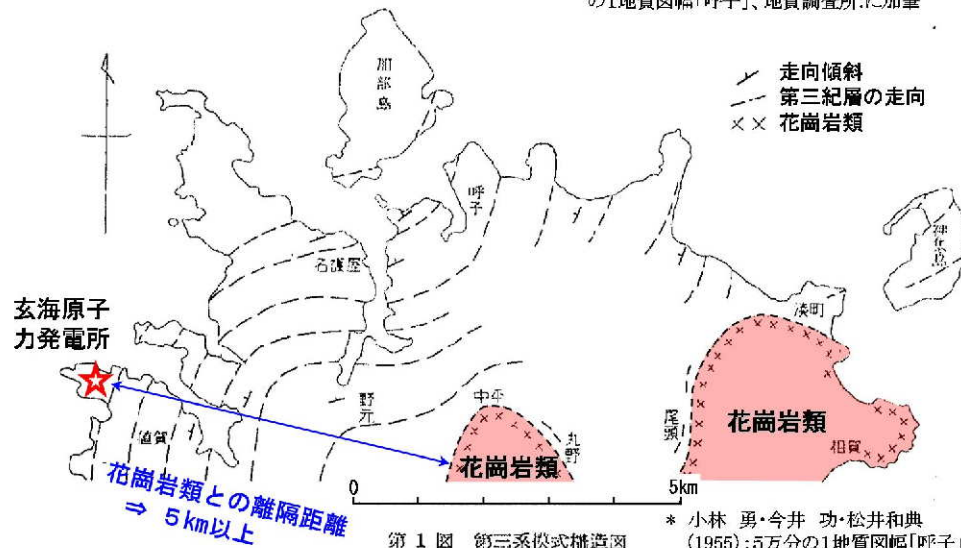


第3図 妻村日笠露頭
第5図 打上村中平露頭
ss: 砂岩 sh: 頁岩 cg: 礫岩 G: 花崗岩 F: 貝化石 sh: 頁岩 G: 花崗岩
* 小林 勇・今井 功・松井和典(1953)唐津・呼子両図幅内におけるいくつかの問題点について、地質調査所月報、第4巻、第3号、p.215-218に加筆

【模式断面図】



◆ 佐世保層群の傾斜は10~50°程度であり、最も低角度である傾斜10°の場合でも、敷地付近の佐世保層群の厚さは、約1kmと推定される。




第1図 第三系模式構造図
* 小林 勇・今井 功・松井和典(1955):5万分の1地質図幅「呼子」、地質調査所に加筆

【補足④】 上下方向に関する観測事実との整合性に係る検討

【補足④】 上下方向に関する観測事実との整合性に係る検討

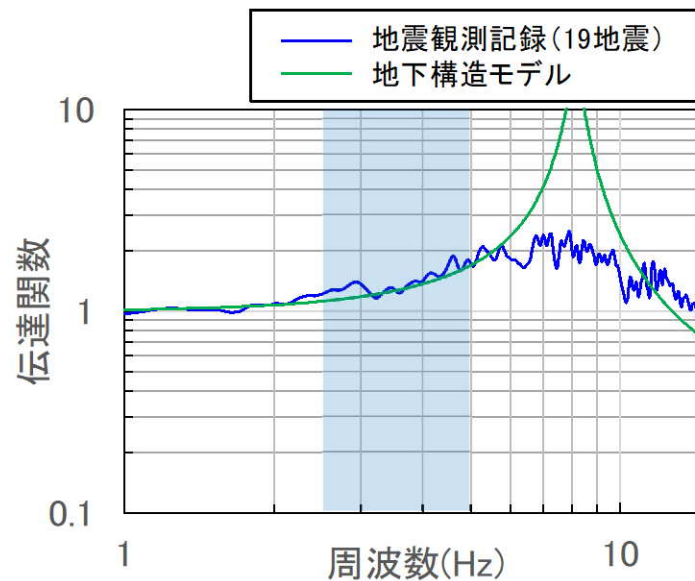
■ 上下方向に関する観測事実との整合性に係る検討

- 19地震の応答スペクトルの比較における、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、応答波が局所的に観測記録を下回るが、解放基盤表面（EL. -15m）からEL. -200mまでの範囲の当該周期において、保守性を有する地下構造モデルであることから、地下構造モデルの妥当性に影響はないと判断した。（88頁参照）
- 上下方向に関する観測事実との整合性に係る検討結果は以下の通り。
- スペクトル形状（凹凸）の僅かな差異により、応答波が局所的に観測記録を下回る要因は、地下構造モデルが観測事実に整合的であるためと考えられる。
 - 地震観測記録と設定した地下構造モデルの伝達関数（EL. -17.0m/EL. -90.0m）を比較した結果、当該周期帯（2.5~5Hz付近）において、両者は整合していることを確認した。（次頁参照）
- なお、スペクトル形状（凹凸）の生成要因は、EL. -90m以深の範囲にあると考えられる。
 - 深度毎の地震観測記録の応答スペクトルを比較した結果、解放基盤相当（EL. -17m）で見られたスペクトル形状（凹凸）は、最深部地震計（EL. -90m）でも同様の傾向が見られることを確認した。（130~131頁参照）
 - 上記の確認結果から、スペクトル形状（凹凸）の生成要因は、浅部の地下構造によるものではなく、例えば震源特性などによるものであると考えられる。
- 解放基盤表面（EL. -15m）からEL. -200mまでの範囲の、周期0.2~0.4秒付近において、保守性を有する地下構造モデルであることを確認。
 - PS検層モデルと設定した地下構造モデルの伝達関数（EL. -15.0m/EL. -200m）を比較した結果、当該周期帯（0.2~0.4秒付近）において、設定した地下構造モデルが上回ることを確認した。（132頁参照）
 - 設定した地下構造モデルは、EL. -200mに速度コントラストを設定していることから、当該周期帯（0.2~0.4秒付近）において、保守性を有している。

【補足④】 上下方向に関する観測事実との整合性に係る検討

■ 伝達関数 (EL. -17m/EL. -90m) の比較結果

- 地震観測記録と設定した地下構造モデルの伝達関数 (EL. -17.0m/EL. -90.0m) を比較した結果、当該周期帯 (2.5~5Hz付近) において、両者は整合していることを確認した。



伝達関数の比較 (EL. -17.0m/EL. -90.0m)

※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



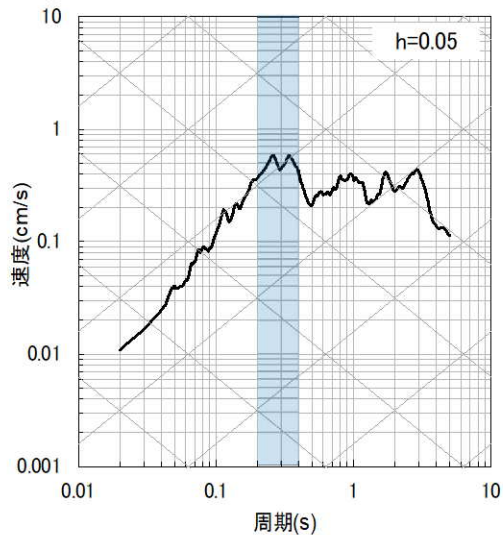
地震計設置位置

【補足④】上下方向に関する観測事実との整合性に係る検討

■ 地震観測記録の深度毎の応答スペクトルの比較結果 (1/2)

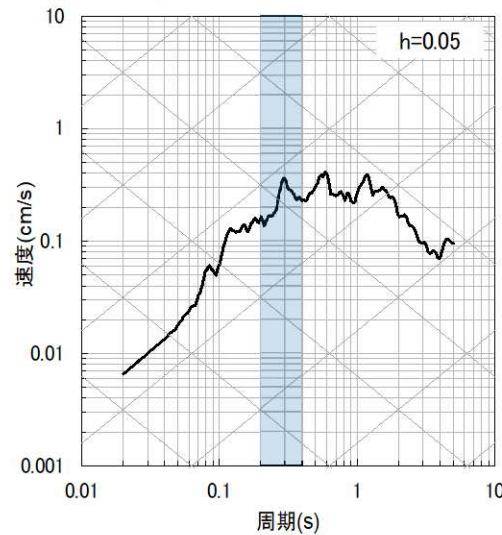
- 深度毎の地震観測記録の応答スペクトルを比較した結果、解放基盤相当 (EL. -17m) で見られたスペクトル形状 (凹凸) は、最深部地震計 (EL. -90m) でも同様の傾向が見られることを確認した。

⑥九州北西沖



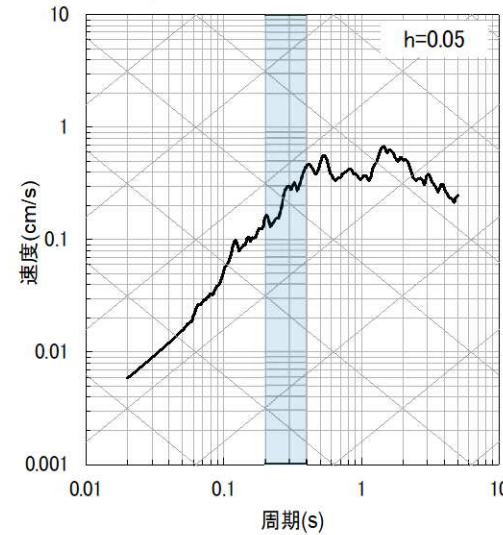
周期(s)
EL. -17m

⑨熊本県熊本地方



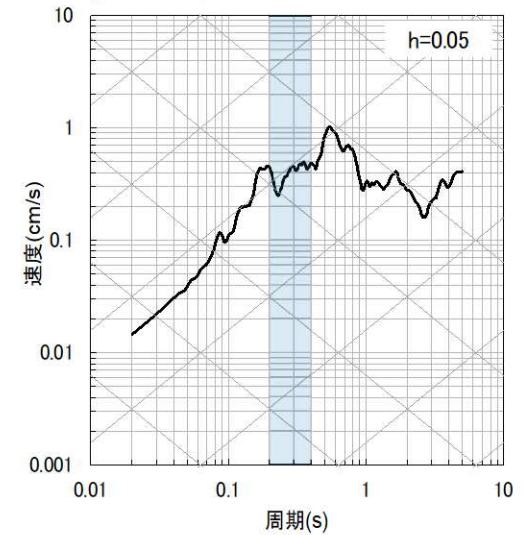
周期(s)
EL. -17m

⑩熊本県熊本地方

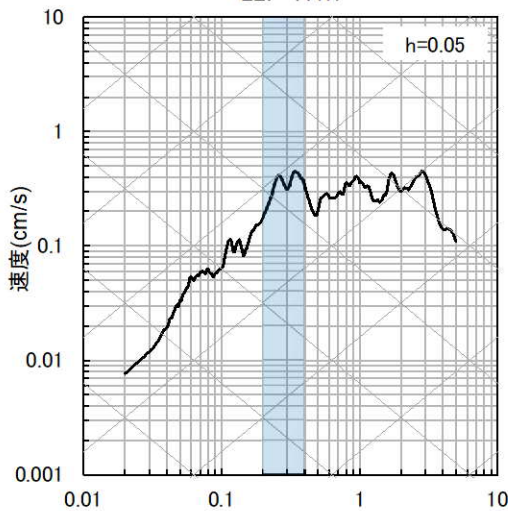


周期(s)
EL. -17m

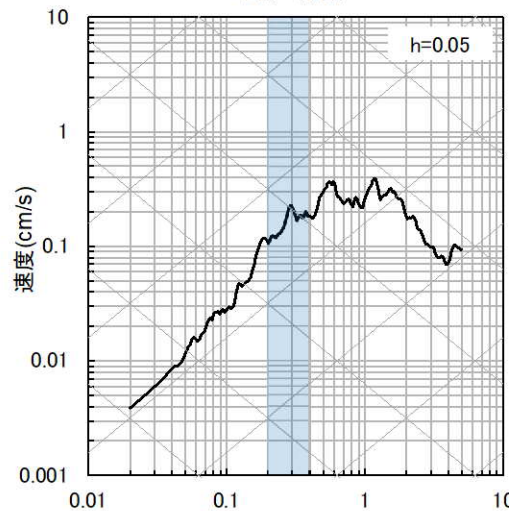
⑬熊本県熊本地方



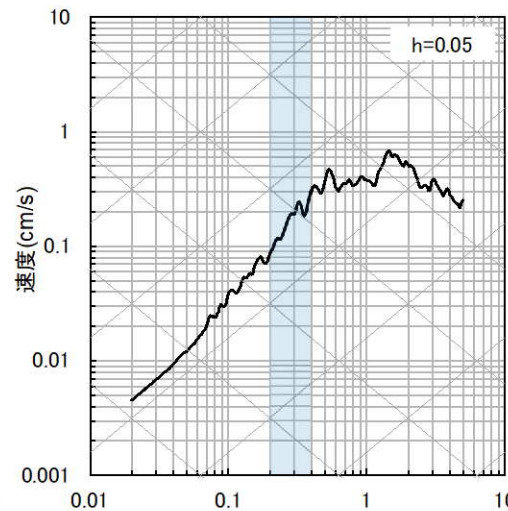
周期(s)
EL. -17m



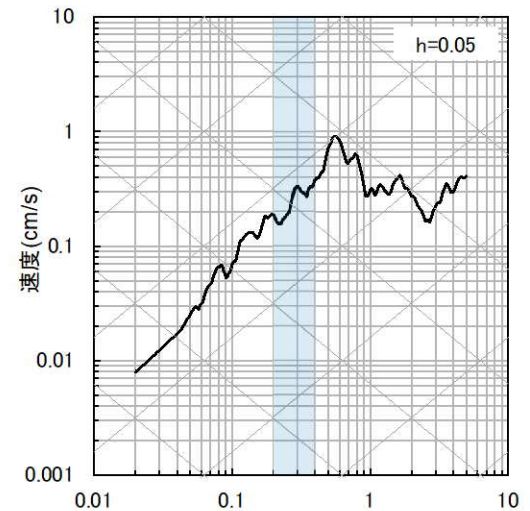
周期(s)
EL. -90m



周期(s)
EL. -90m



周期(s)
EL. -90m

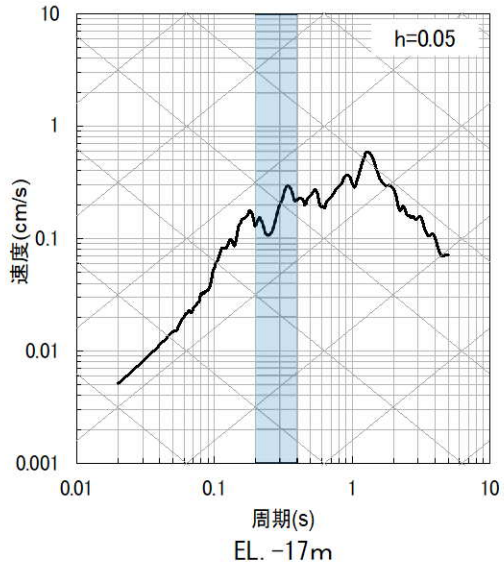


周期(s)
EL. -90m

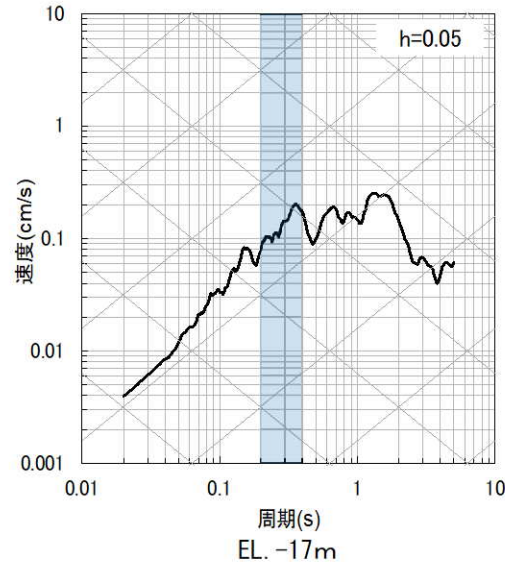
【補足④】 上下方向に関する観測事実との整合性に係る検討

■ 地震観測記録の深度毎の応答スペクトルの比較結果 (2/2)

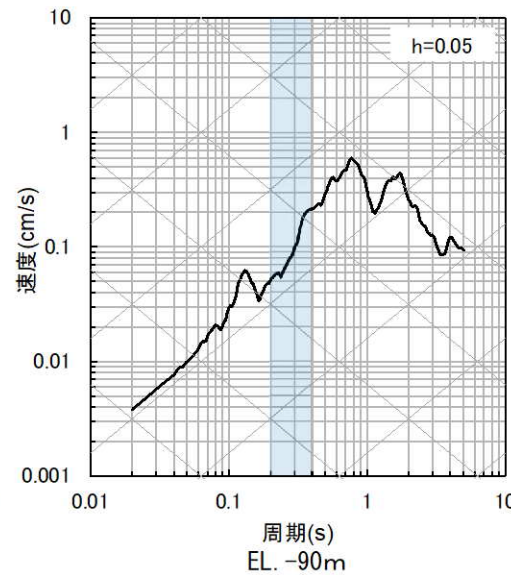
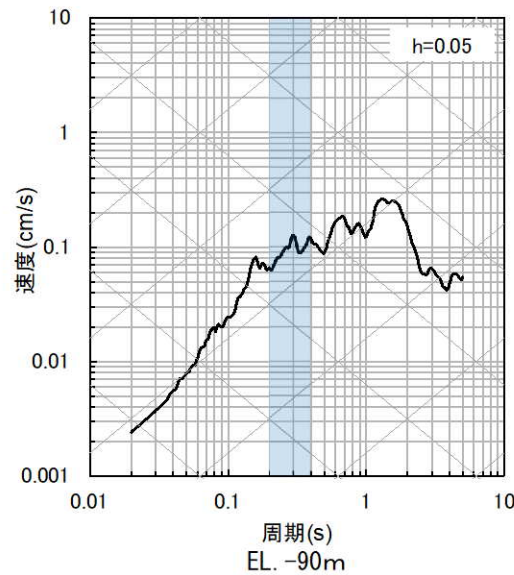
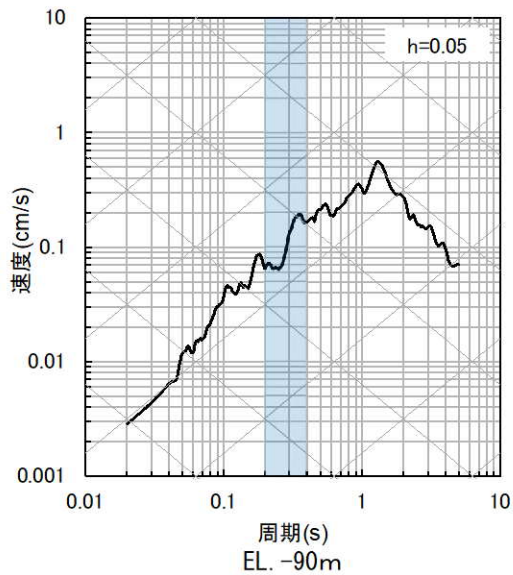
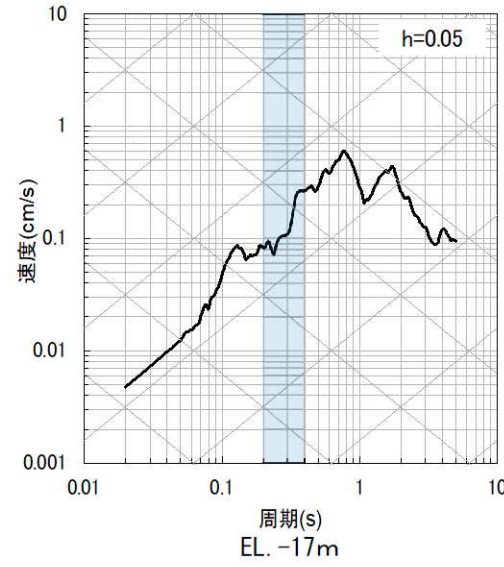
⑮ 熊本県阿蘇地方



⑯ 熊本県熊本地方



⑰ 熊本県阿蘇地方



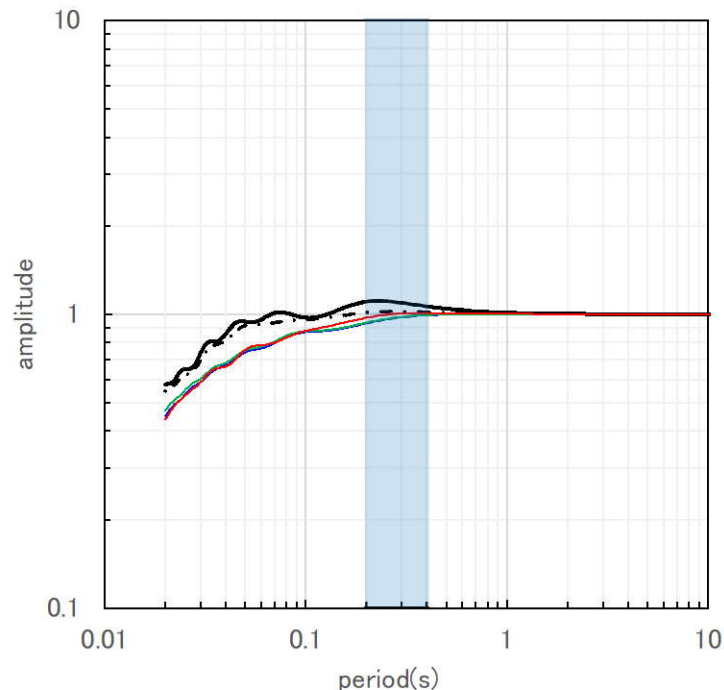
【補足④】 上下方向に関する観測事実との整合性に係る検討

■ 伝達関数 (EL. -15m/EL. -200m) の比較結果

- PS検層モデルと設定した地下構造モデルの伝達関数 (EL. -15.0m/EL. -200m) を比較した結果、当該周期帯 (0.2~0.4秒付近) において、設定した地下構造モデルが上回ることを確認した。
 - EL. -200mの速度コントラストの影響により上下方向の周期0.2~0.4秒付近において特徴的なピークが生成されることを確認している。(補足③)
 - 設定した地下構造モデルは、EL. -200mの速度コントラストによって、当該周期帯 (0.2~0.4秒付近) において、保守性を有している。

解放基盤表面 ▼ (EL. -15.0m)	設定した地下構造モデル		
	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値
▼ (EL. -50.0m)	1350	3000	12.5
▼ (EL. -100m)	1570	3440	12.5
▼ (EL. -150m)	1730	3470	12.5
▼ (EL. -200m)	1770	3650	12.5
	2100 (1770)	4000 (3650)	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。



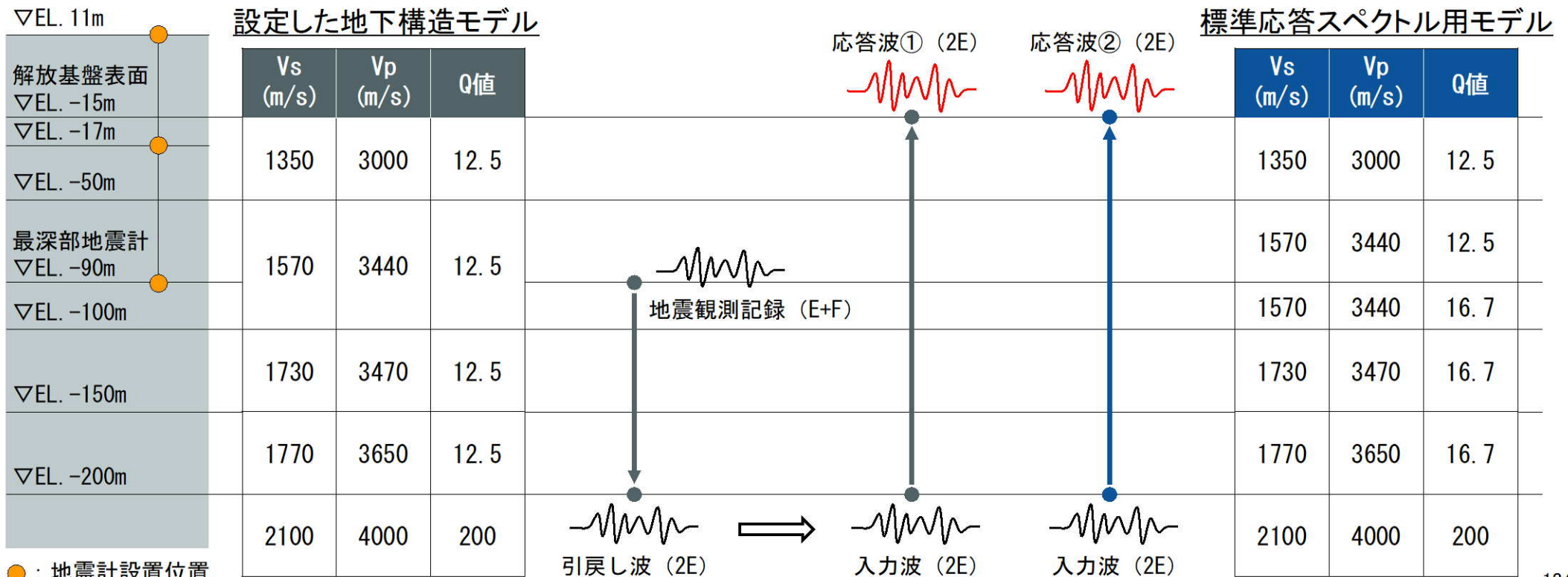
伝達関数の比較 (EL. -15m/EL. -200m、上下方向)

【補足⑤】 地震観測記録を用いた地盤減衰（Q値）の見直しの影響検討

【補足⑤】地震観測記録を用いた地盤減衰（Q値）の見直しの影響検討

■ 地震観測記録を用いた地盤減衰（Q値）の見直しの影響検討

- 標準応答スペクトル用モデルの地盤減衰（Q値）の設定にあたり、Q=12.5からQ=16.7に見直しており、見直しによる影響を、地震観測記録を用いて確認する。
 - EL. -90mの観測記録を、設定した地下構造モデルのEL. -200mまで引き戻す。（引戻し波）
 - 引戻し波を、設定した地下構造モデルのEL. -200mに入力し、解放基盤表面（EL. -15m）で出力する。（応答波①）
 - 引戻し波を、標準応答スペクトル用モデルのEL. -200mに入力し、解放基盤表面（EL. -15m）で出力する。（応答波②）
 - 応答波①と応答波②の最大加速度、理論伝達関数、及び応答スペクトルの比較を実施する。



【補足⑤】地震観測記録を用いた地盤減衰（Q値）の見直しの影響検討

■ 最大加速度による地盤減衰（Q値）の見直しの影響確認結果

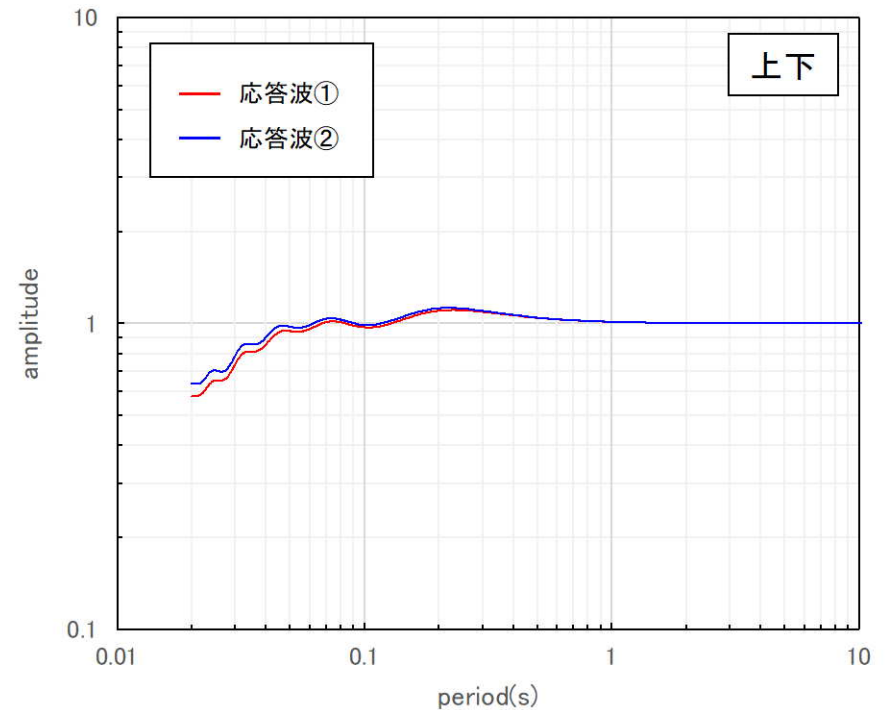
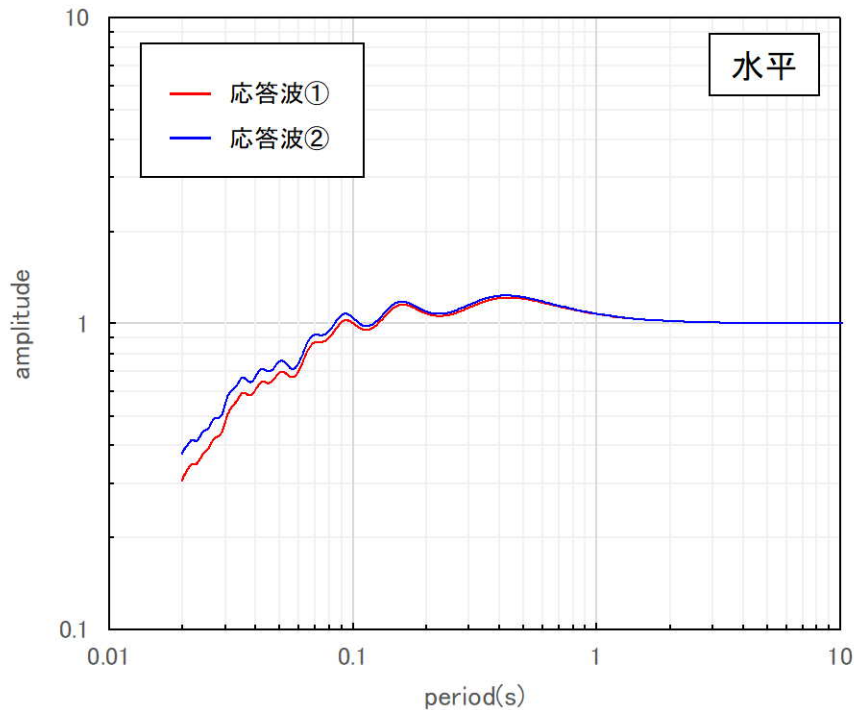
- 応答波①と応答波②の比較の結果、地盤減衰（Q値）の見直しにより、下表の通り最大加速度が増大することを確認した。

番号	地震名	最大加速度差分 (cm/s ²) (応答波②－応答波①)		
		NS方向	EW方向	UD方向
①	鹿児島県北西部	0.0	0.0	0.0
②	鹿児島県北西部	0.0	0.0	0.0
③	鹿児島県北西部	0.0	0.1	0.0
④	山口県	0.1	0.0	0.0
⑤	九州北西沖	9.9	6.5	3.4
⑥	九州北西沖	0.3	0.3	0.1
⑦	福岡県中部	2.9	1.3	0.5
⑧	熊本県熊本地方	0.3	0.3	0.1
⑨	熊本県熊本地方	0.2	0.2	0.0
⑩	熊本県熊本地方	0.2	0.1	0.0
⑪	熊本県熊本地方	0.7	0.6	0.2
⑫	熊本県熊本地方	0.1	0.0	0.0
⑬	熊本県熊本地方	0.4	0.3	0.2
⑭	熊本県阿蘇地方	0.0	0.1	0.1
⑮	熊本県阿蘇地方	0.1	0.1	0.0
⑯	熊本県熊本地方	0.1	0.1	0.0
⑰	熊本県熊本地方	0.1	0.1	0.0
⑱	熊本県阿蘇地方	0.1	0.1	0.1
⑲	熊本県熊本地方	0.0	0.1	0.0

【補足⑤】地震観測記録を用いた地盤減衰（Q値）の見直しの影響検討

■ 伝達関数による地盤減衰（Q値）の見直しの影響確認結果

- 応答波①と応答波②の比較の結果、地盤減衰（Q値）の見直しにより、伝達関数（解放基盤表面／EL. -200m）が増大することを確認した。



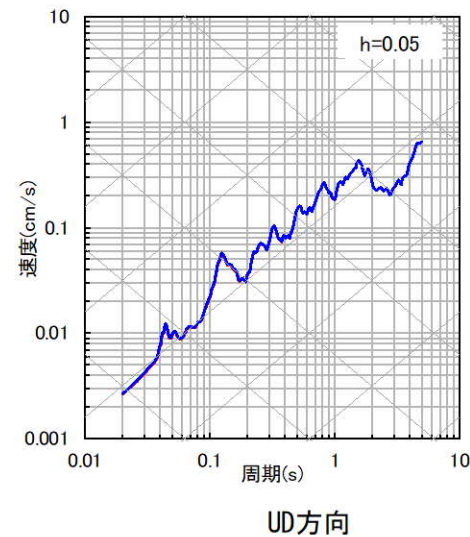
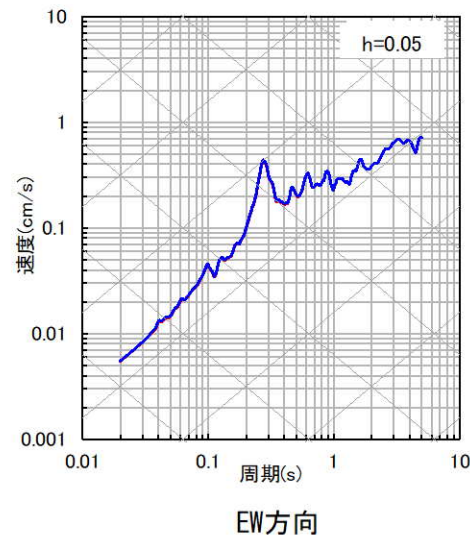
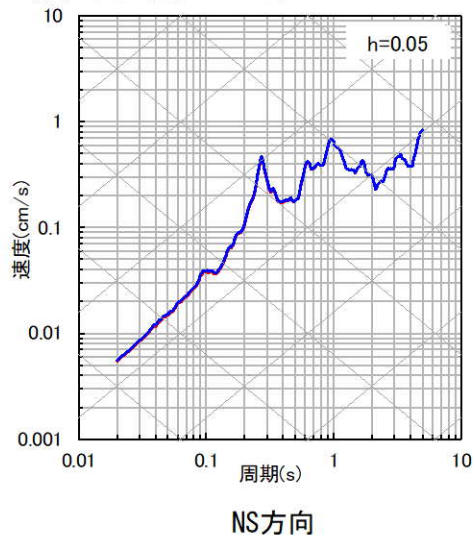
伝達関数の比較（EL. -15m/EL. -200m）

【補足⑤】地震観測記録を用いた地盤減衰（Q値）の見直しの影響検討

■ 応答スペクトルによる地盤減衰（Q値）の見直しの影響確認結果（1/10）

- 応答波①と応答波②の比較の結果、地盤減衰（Q値）の見直しにより、応答スペクトルが僅かに増大することを確認した。

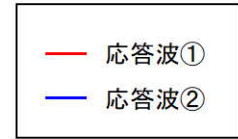
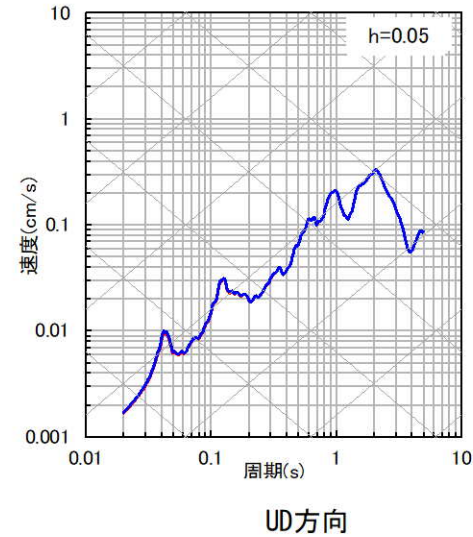
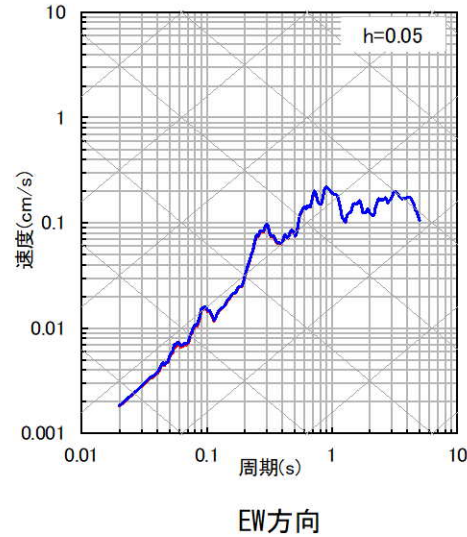
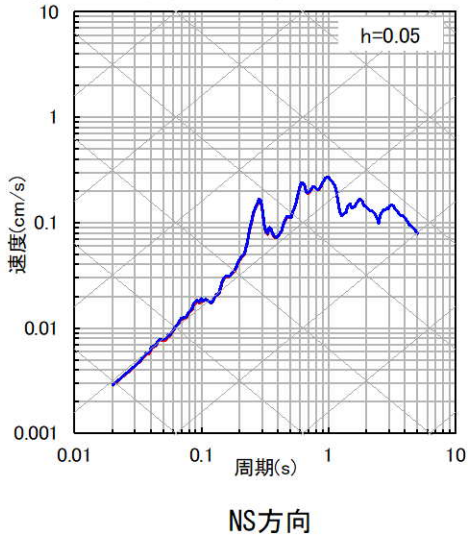
① 鹿児島県北西部



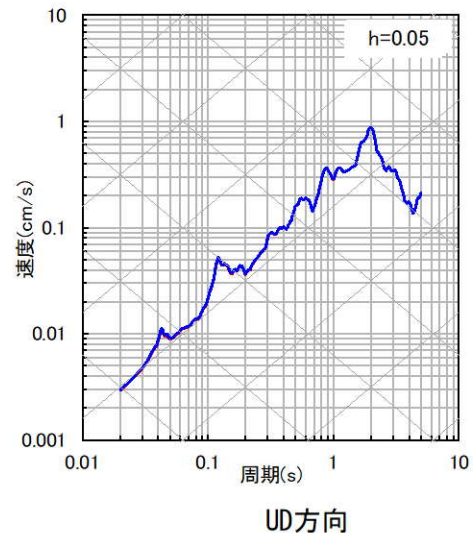
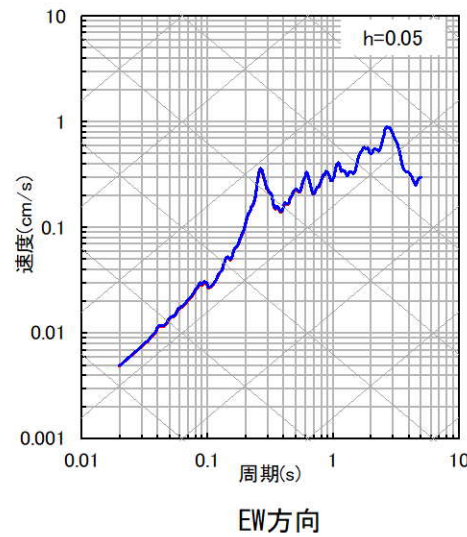
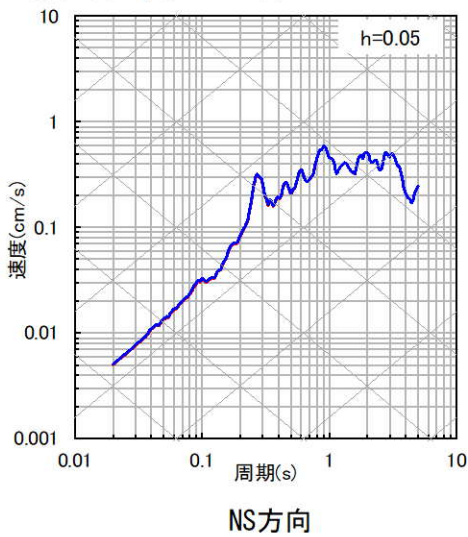
【補足⑤】地震観測記録を用いた地盤減衰（Q値）の見直しの影響検討

■ 応答スペクトルによる地盤減衰（Q値）の見直しの影響確認結果（2/10）

② 鹿児島県北西部



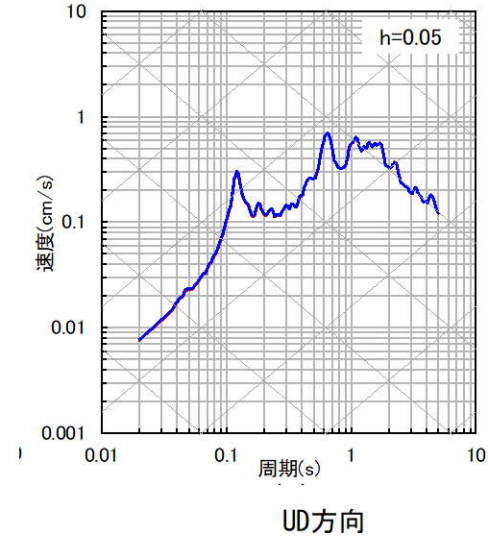
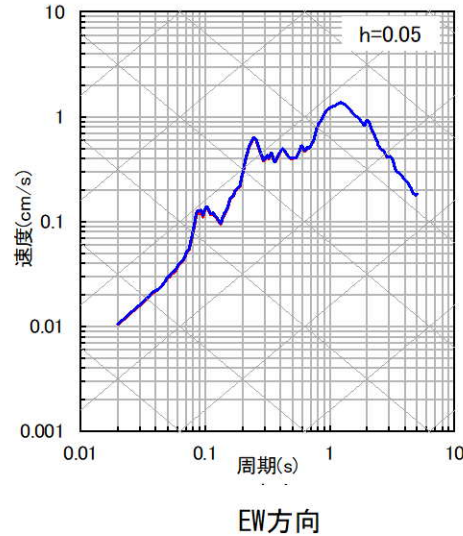
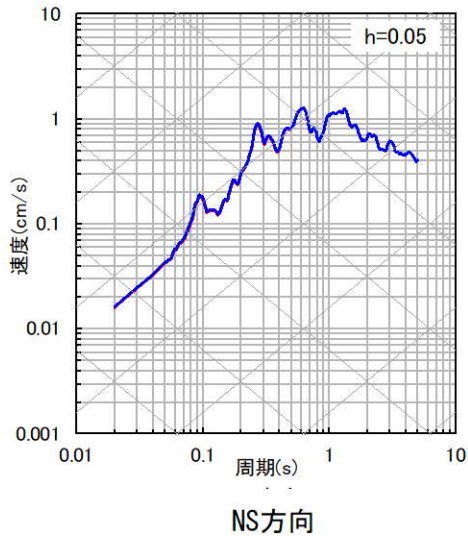
③ 鹿児島県北西部



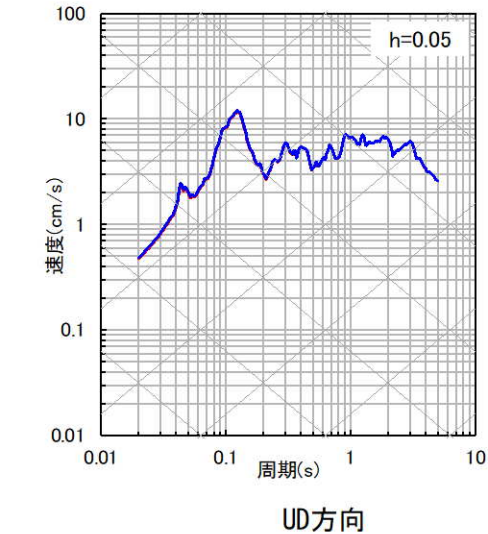
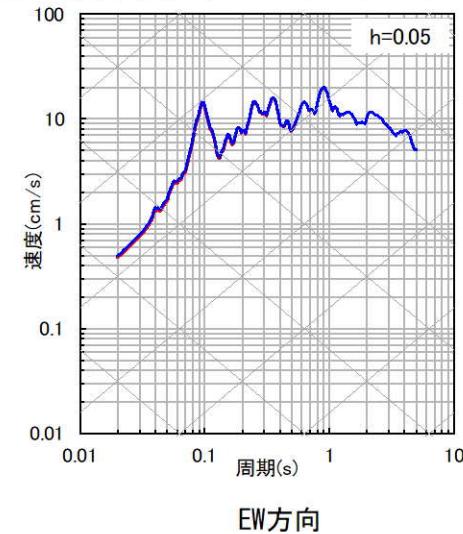
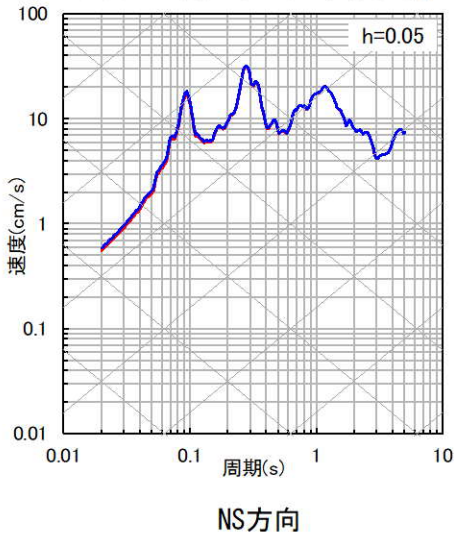
【補足⑤】地震観測記録を用いた地盤減衰（Q値）の見直しの影響検討

■ 応答スペクトルによる地盤減衰（Q値）の見直しの影響確認結果（3/10）

④山口県



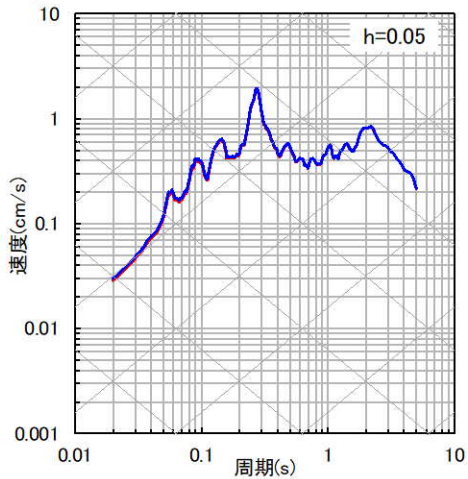
⑤九州北西沖（2005年福岡県西方沖地震本震）



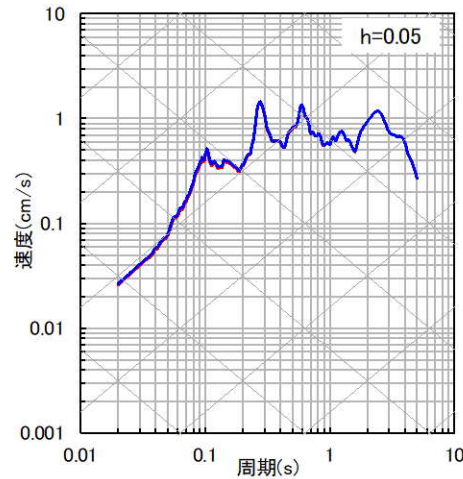
【補足⑤】地震観測記録を用いた地盤減衰（Q値）の見直しの影響検討

■ 応答スペクトルによる地盤減衰（Q値）の見直しの影響確認結果（4/10）

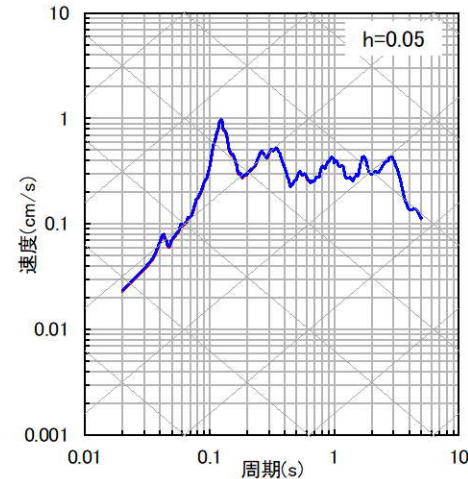
⑥九州北西沖



NS方向



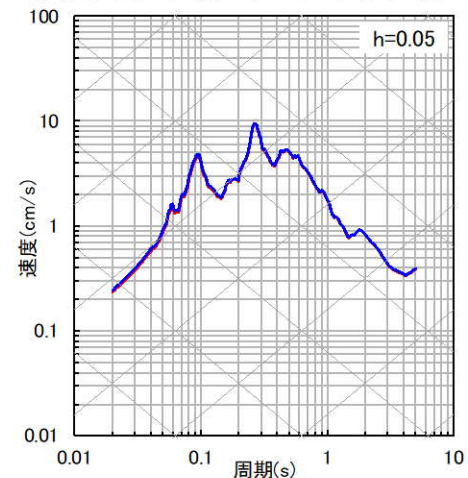
EW方向



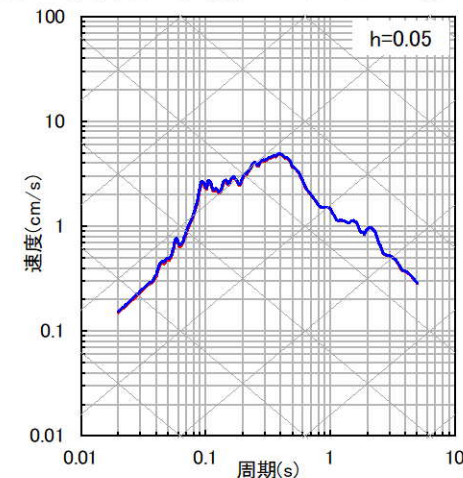
UD方向



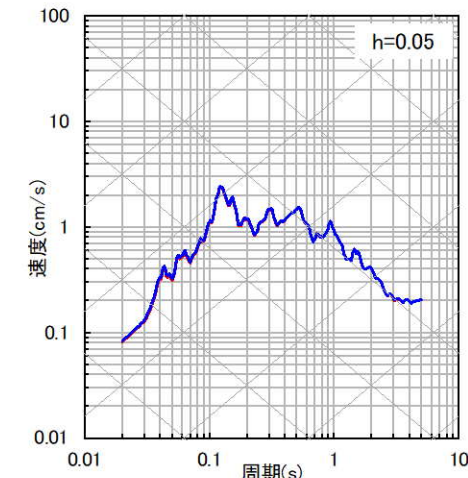
⑦福岡県中部（2005年福岡県西方沖地震最大余震）



NS方向



EW方向

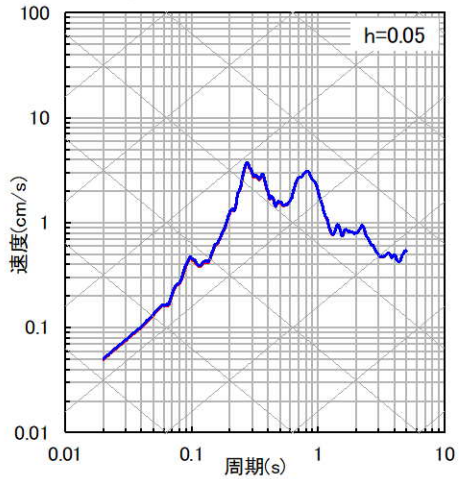


UD方向

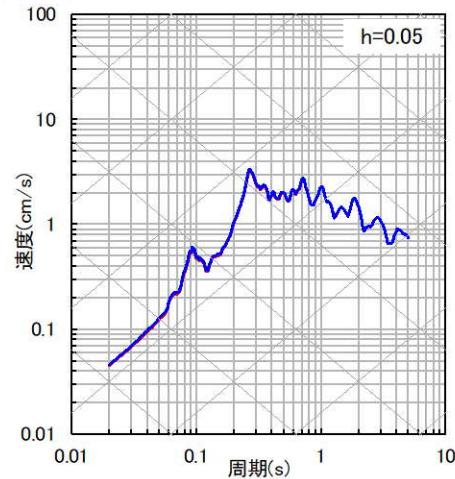
【補足⑤】地震観測記録を用いた地盤減衰（Q値）の見直しの影響検討

■ 応答スペクトルによる地盤減衰（Q値）の見直しの影響確認結果（5/10）

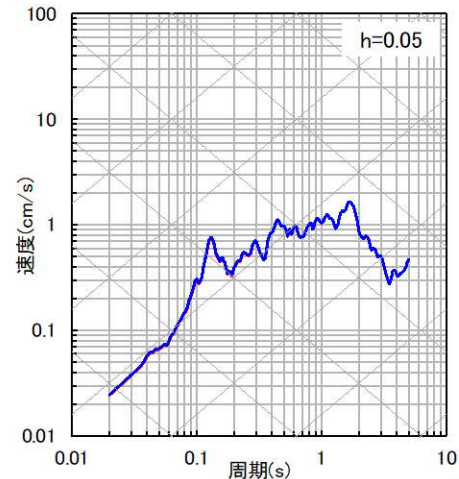
⑧熊本県熊本地方（2016年熊本地震前震）



NS方向



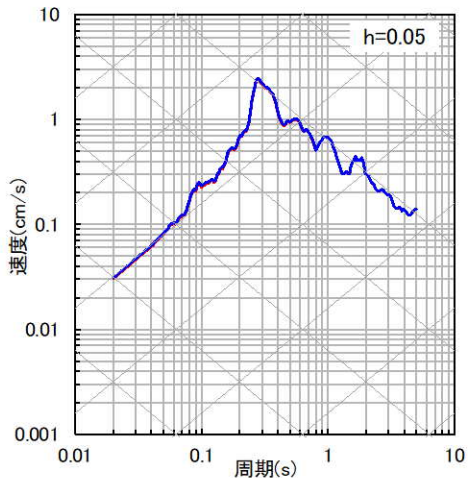
EW方向



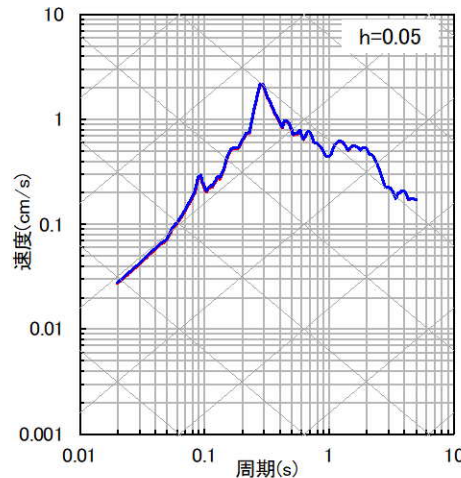
UD方向



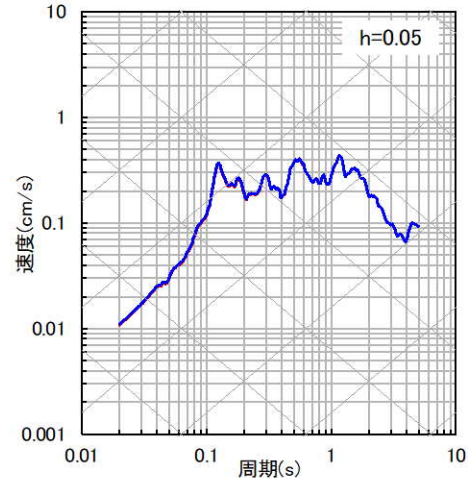
⑨熊本県熊本地方



NS方向



EW方向

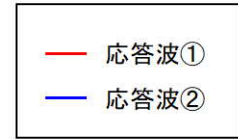
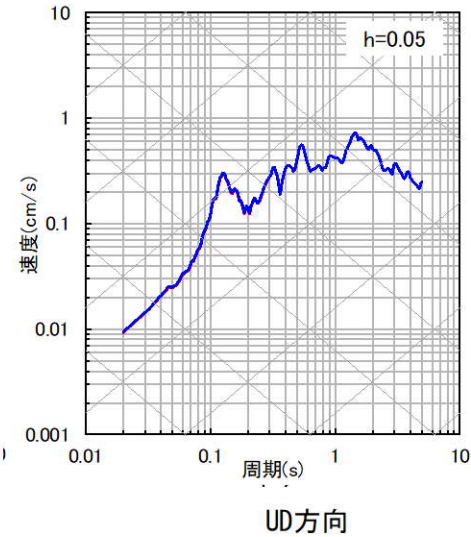
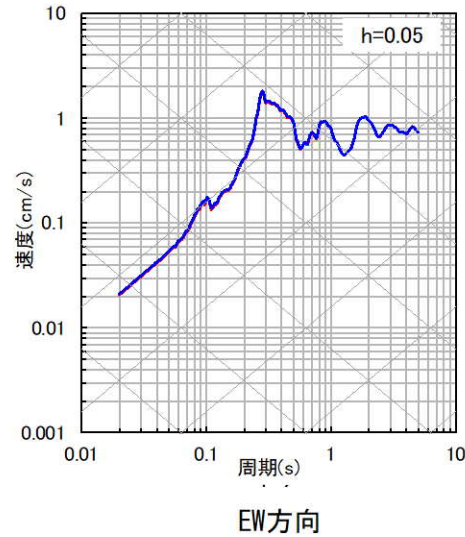
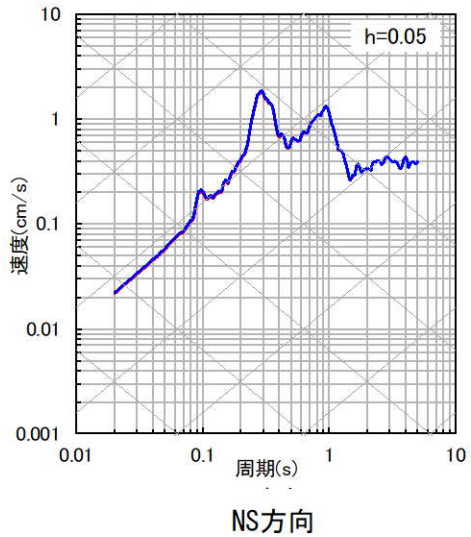


UD方向

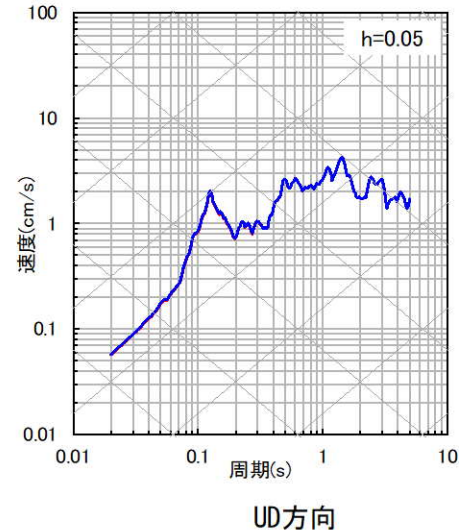
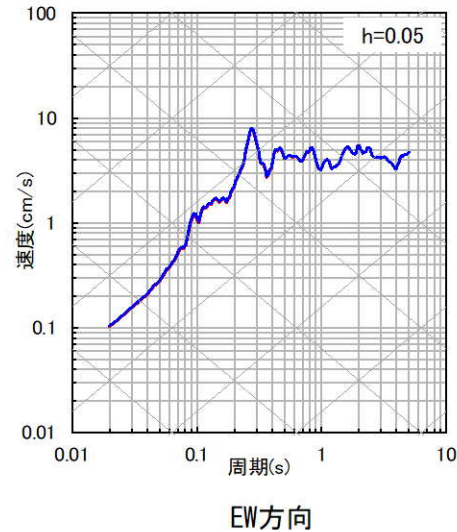
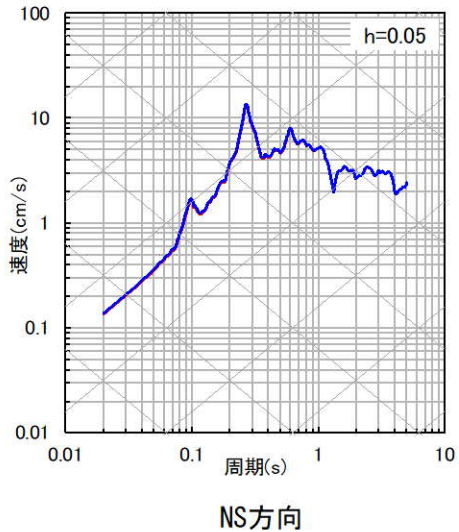
【補足⑤】地震観測記録を用いた地盤減衰（Q値）の見直しの影響検討

■ 応答スペクトルによる地盤減衰（Q値）の見直しの影響確認結果（6/10）

⑩熊本県熊本地方



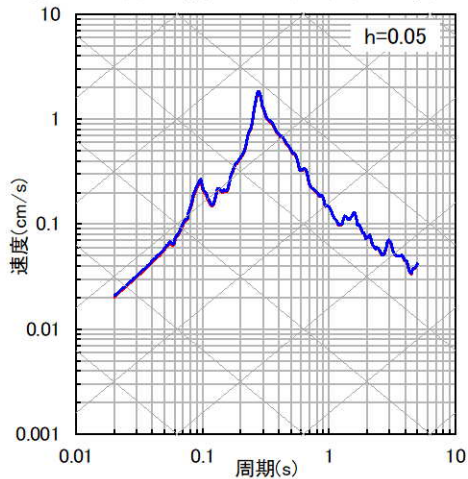
⑪熊本県熊本地方（2016年熊本地震本震）



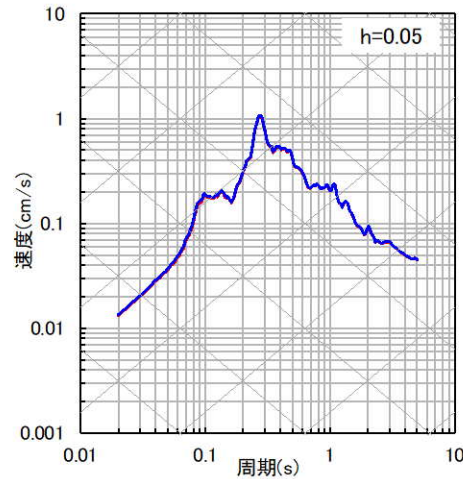
【補足⑤】地震観測記録を用いた地盤減衰（Q値）の見直しの影響検討

■ 応答スペクトルによる地盤減衰（Q値）の見直しの影響確認結果（7/10）

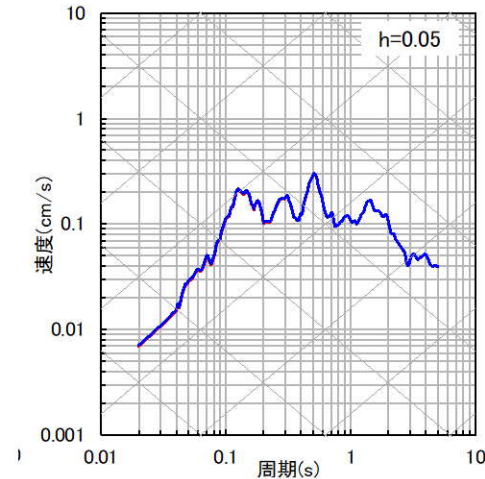
⑫熊本県熊本地方



NS方向



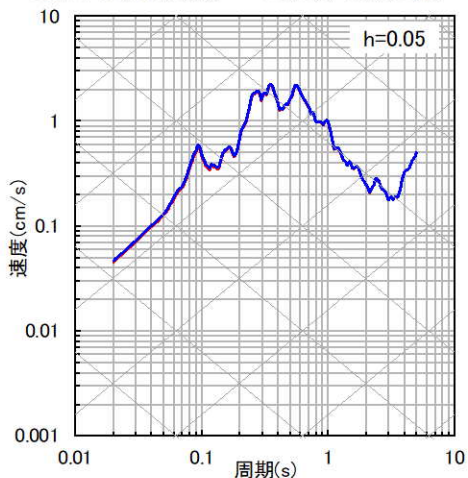
EW方向



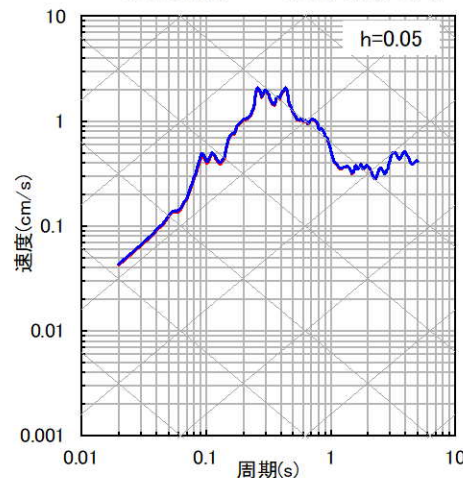
UD方向



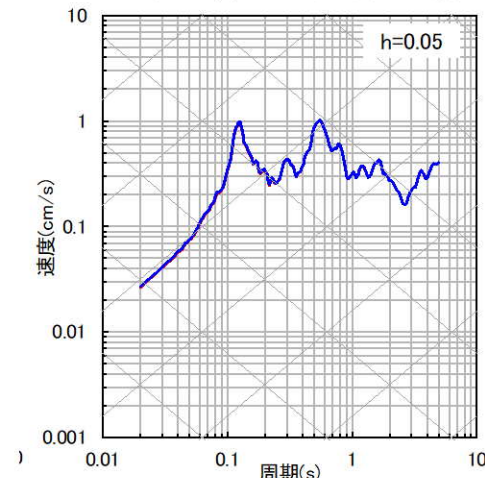
⑬熊本県熊本地方



NS方向



EW方向

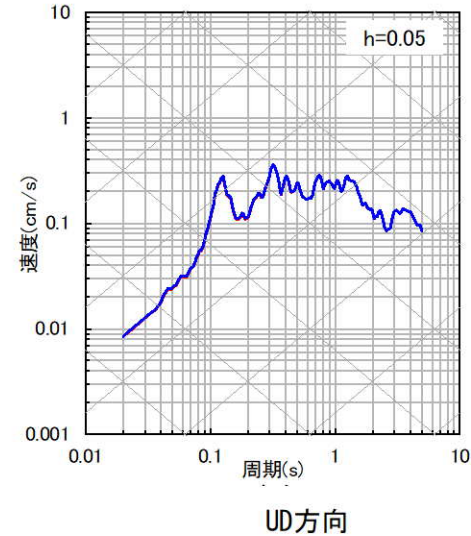
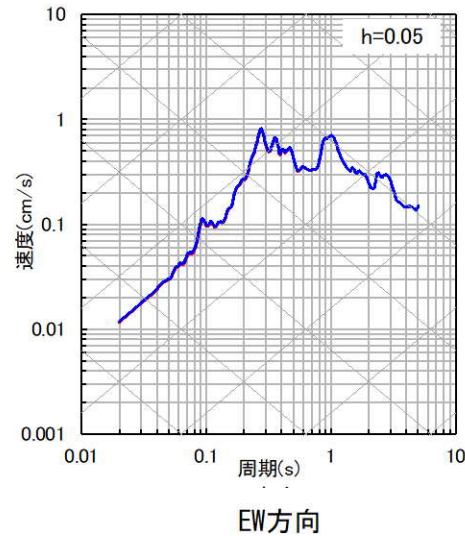
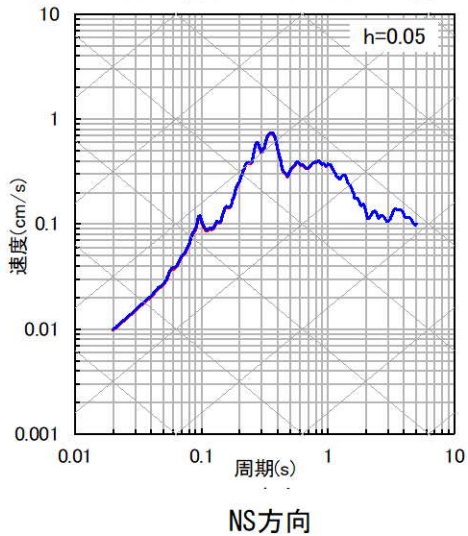


UD方向

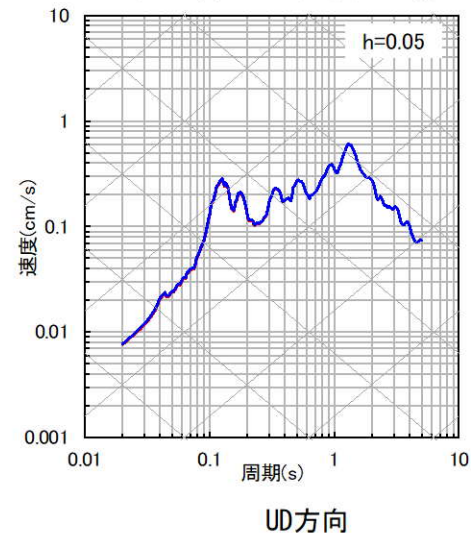
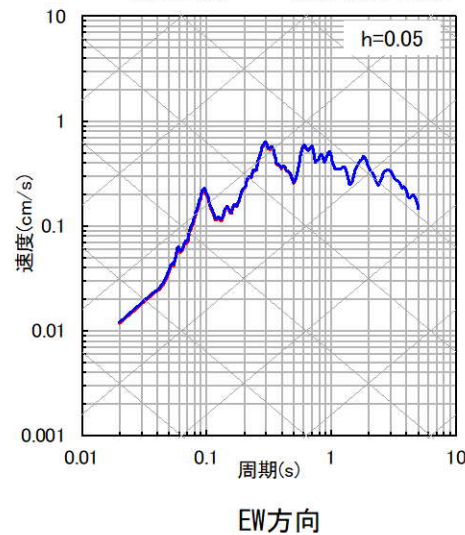
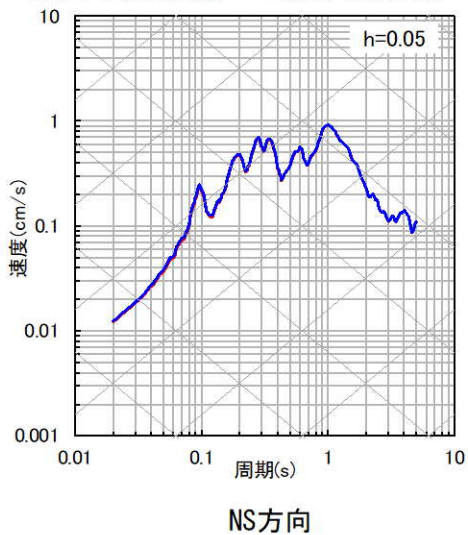
【補足⑤】地震観測記録を用いた地盤減衰（Q値）の見直しの影響検討

■ 応答スペクトルによる地盤減衰（Q値）の見直しの影響確認結果（8/10）

⑭ 熊本県阿蘇地方



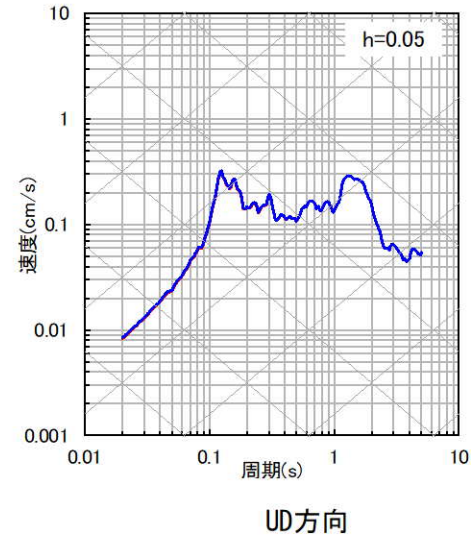
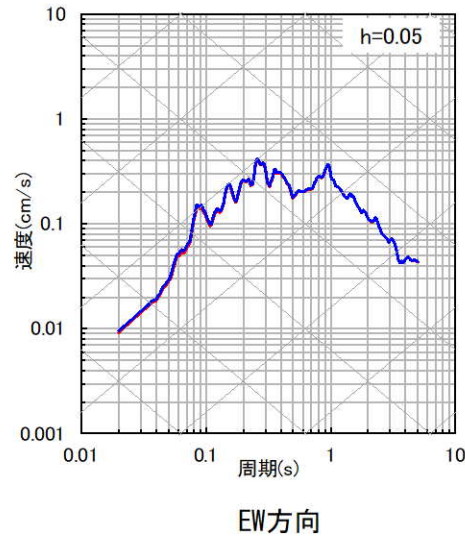
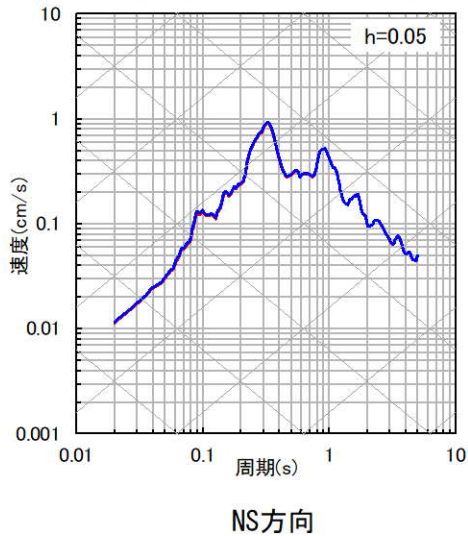
⑮ 熊本県阿蘇地方



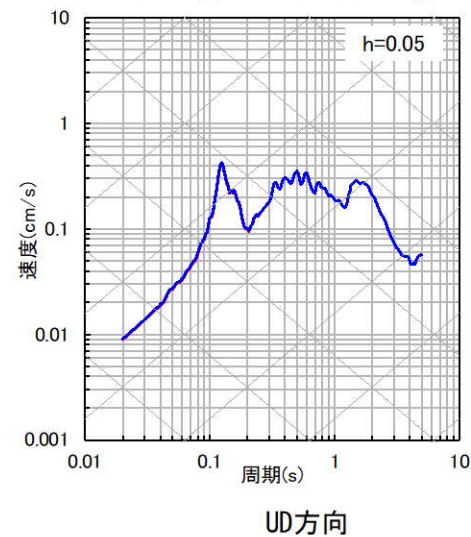
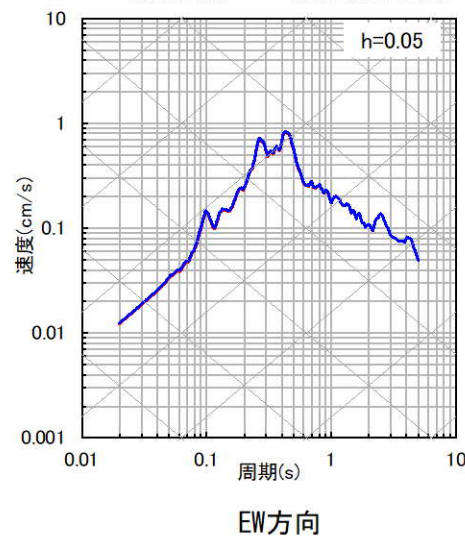
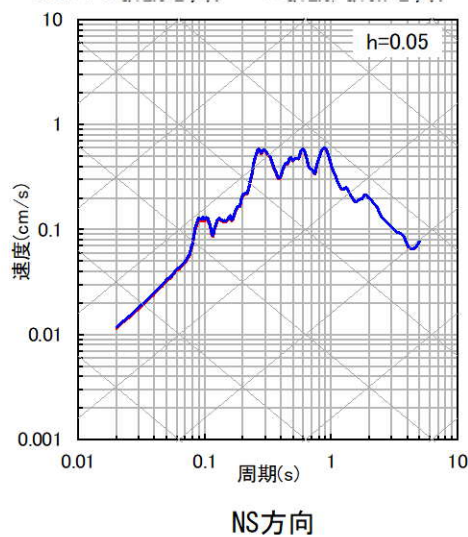
【補足⑤】地震観測記録を用いた地盤減衰（Q値）の見直しの影響検討

■ 応答スペクトルによる地盤減衰（Q値）の見直しの影響確認結果（9/10）

⑩熊本県熊本地方



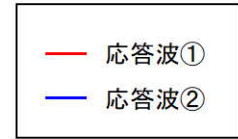
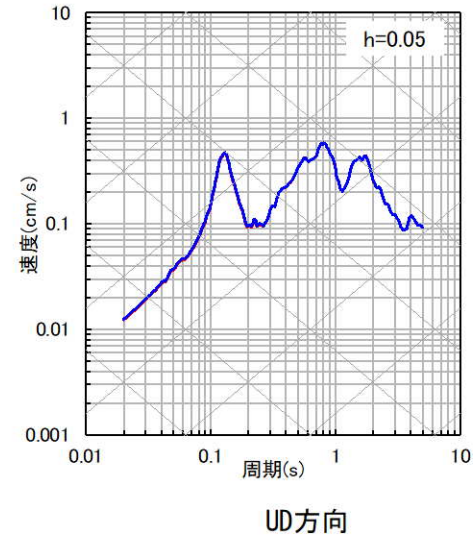
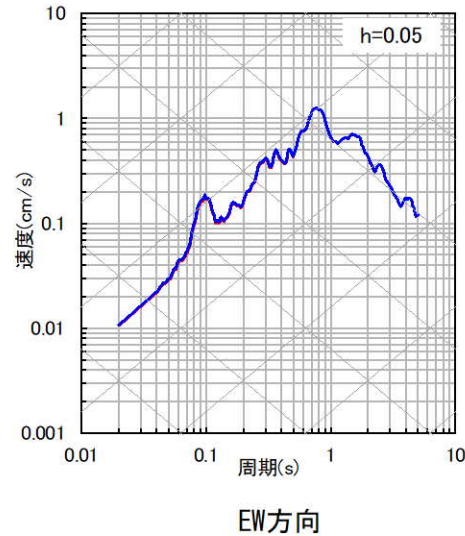
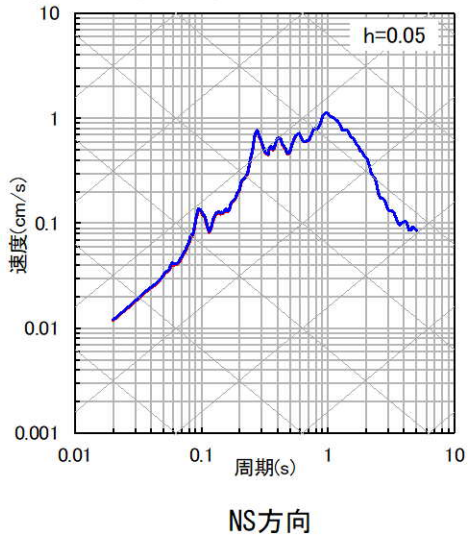
⑪熊本県熊本地方



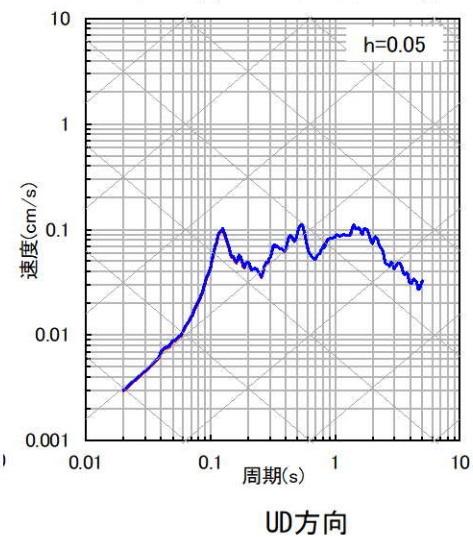
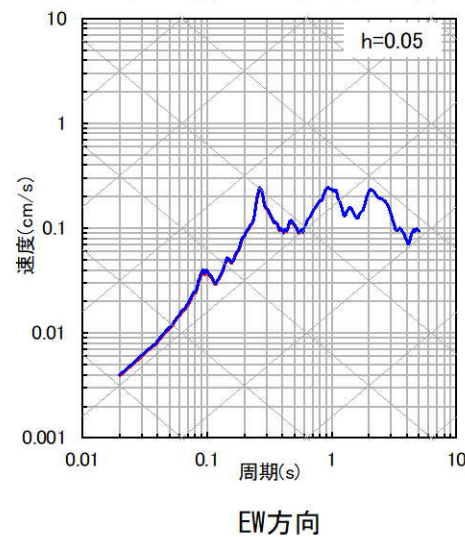
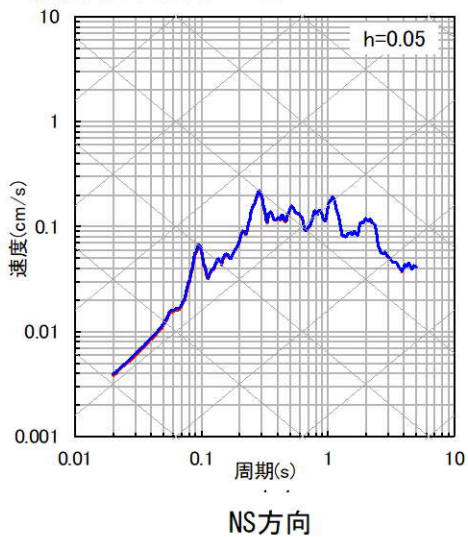
【補足⑤】地震観測記録を用いた地盤減衰（Q値）の見直しの影響検討

■ 応答スペクトルによる地盤減衰（Q値）の見直しの影響確認結果（10/10）

⑱ 熊本県阿蘇地方



⑲ 熊本県熊本地方



【補足⑥】 既許可の地震動評価への影響確認

【補足⑥】 既許可の地震動評価への影響確認

■ 2つの地下構造モデルの位置づけ

- 既許可の地下構造モデルと標準応答スペクトル用モデルは、以下の通り、検討の目的に応じてそれぞれ設定。
 - 既許可の地下構造モデルは、長周期帯のみの地震動評価への適用を目的に、解放基盤表面から地震基盤以深まで設定し、断層モデルを用いた手法のうち理論的手法による長周期帯の評価に用いている。（240頁～250頁）
 - 標準応答スペクトル用モデルは、短周期帯も含む地震動評価への適用を目的に、解放基盤表面から地震基盤相当面を含む層まで設定し、標準応答スペクトルを考慮した地震動評価に用いる。

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)

EL.	層上面 (km)	密度 ρ (g/cm ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値	層上面 (km)	密度 ρ (g/cm ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値
解放基盤表面										
-15m	0.0	2.35	1350	3000	100	0.0	2.35	1350	3000	12.5
-50m						-0.035	2.35	1570	3440	12.5
-90m	-0.035	2.35	1570	3440	100	-0.075	2.35	1570	3440	16.7
-100m	-0.085	2.35	1730	3470	100	-0.085	2.35	1730	3470	16.7
-150m	-0.135	2.35	1770	3650	100	-0.135	2.35	1770	3650	16.7
-200m	-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
-3015m	-3.0	2.70	3500	5900	300					
-20015m	-20.0	3.00	3800	6600	500					
-33015m	-33.0	3.30	4300	7600	500					

【補足⑥】 既許可の地震動評価への影響確認

■ 既許可における「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」

① 応答スペクトルに基づく地震動評価

- Noda et al. (2002)¹⁾の手法により、解放基盤表面 ($V_s=1350\text{m/s}$) における地震動を評価。
- 「応答スペクトルに基づく地震動評価」においては、地下構造モデルを使用していない。

② 断層モデルを用いた手法による地震動評価

- 敷地地盤で得られた観測記録を要素地震として用いた経験的グリーン関数法により解放基盤表面における地震動を評価。
- 長周期帯は理論的手法により解放基盤表面の地震動評価を実施し、短周期帯の経験的グリーン関数法による地震動評価結果を周期1.33秒で接続したハイブリッド合成法による評価を実施。
- 長周期帯における理論的手法への適用を目的に設定した解放基盤表面以深の地下構造モデルを使用。

- 検討用地震の「応答スペクトルに基づく手法」による地震動評価結果を包絡して、基準地震動Ss-1を策定。(150頁)
- 「断層モデルを用いた手法」による地震動評価による基準地震動は、経験的グリーン関数法による応答スペクトルが、ハイブリッド合成法による応答スペクトルを上回るため、経験的グリーン関数法による評価で代表。
- 「城山南断層による地震」及び「竹木場断層による地震」の「断層モデルを用いた手法」における経験的グリーン関数法による地震動評価結果を基準地震動Ss-2、基準地震動Ss-3として策定。(151頁)
- 基準地震動Ss-1~Ss-3は、地下構造モデルを使用していない。



※経験的グリーン関数法の妥当性確認として統計的グリーン関数法の評価を実施

※**朱書き部**は既許可の地下構造モデルを使用

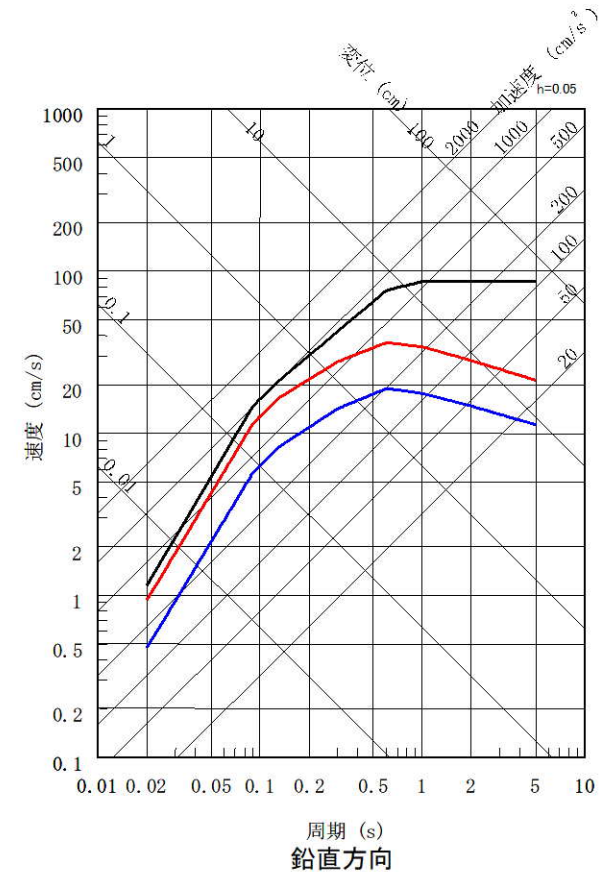
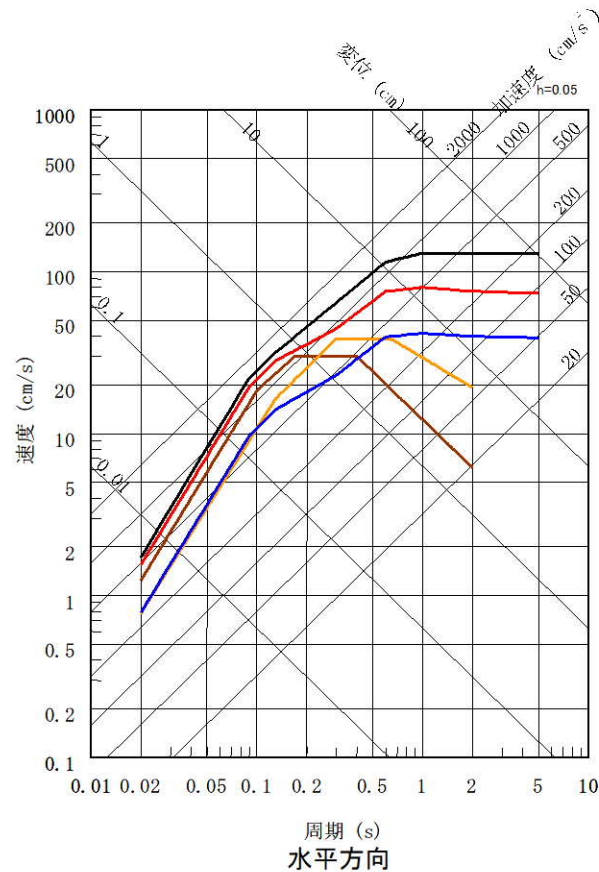
応答スペクトルに基づく基準地震動S_sの策定

■ 水平方向の基準地震動S_{s-1_H} は、検討用地震の応答スペクトルによる評価結果、及び旧耐震指針に基づく基準地震動S₂を包絡して設定。

■ 鉛直方向S_{s-1_V} は、水平方向の2/3として設定。

- 基準地震動S_{s-1_H}
- 基準地震動S₂(S₁₁)
- 基準地震動S₂(S₁₂)
- 不確かさを考慮したケース（傾斜角）竹木場断層による地震
- 不確かさを考慮したケース（傾斜角）城山南断層による地震

- 基準地震動S_{s-1_V}
- 不確かさを考慮したケース（傾斜角）竹木場断層による地震
- 不確かさを考慮したケース（傾斜角）城山南断層による地震

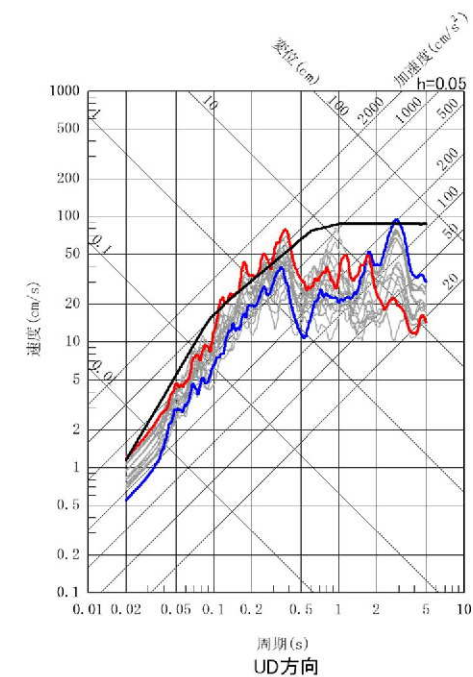
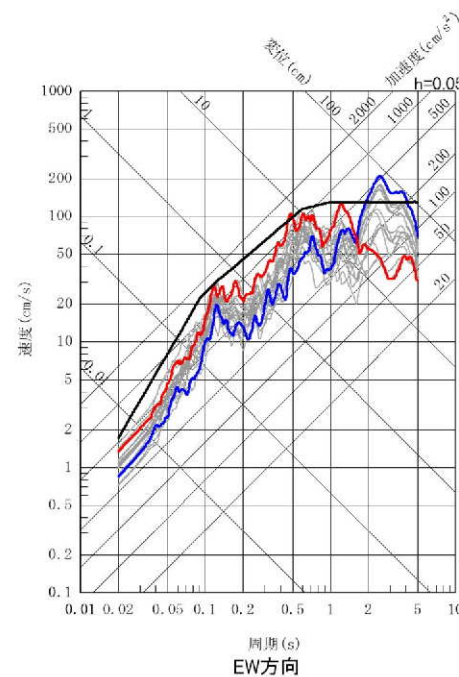
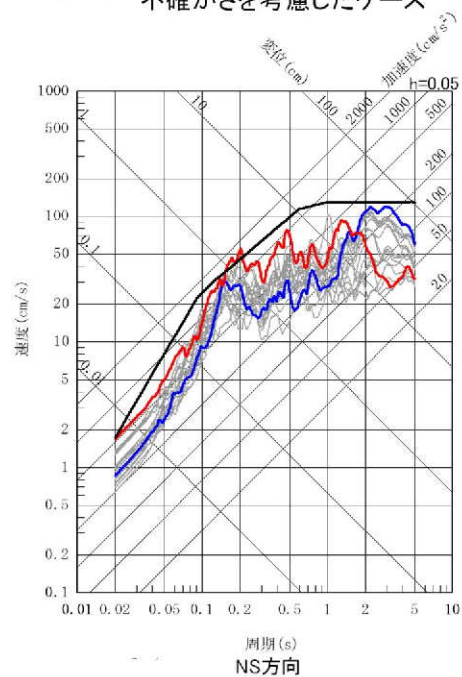
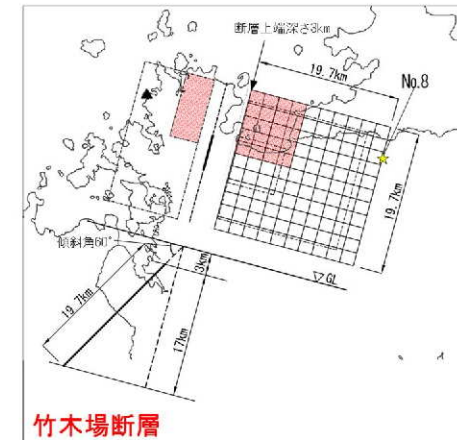
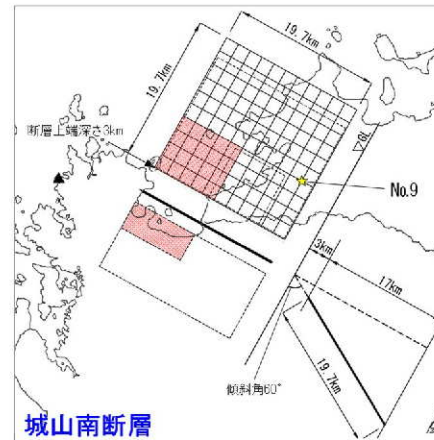


断層モデルを用いた手法に基づいた基準地震動Ssの策定

■「城山南断層による地震」の評価結果のうち、基準地震動Ss-1を一部の周期で上回るものとして、不確かさを考慮したケース(No.9)を、基準地震動Ss-2と設定。 ⇒下図中青線

■「竹木場断層による地震」の評価結果のうち、基準地震動Ss-1を一部の周期で上回るものとして、不確かさを考慮したケース(No.8)を、基準地震動Ss-3と設定。 ⇒下図中赤線

- Ss-1
- Ss-2
- Ss-3
- 不確かさを考慮したケース



【補足⑥】 既許可の地震動評価への影響確認

■ 既許可における「震源を特定せず策定する地震動」

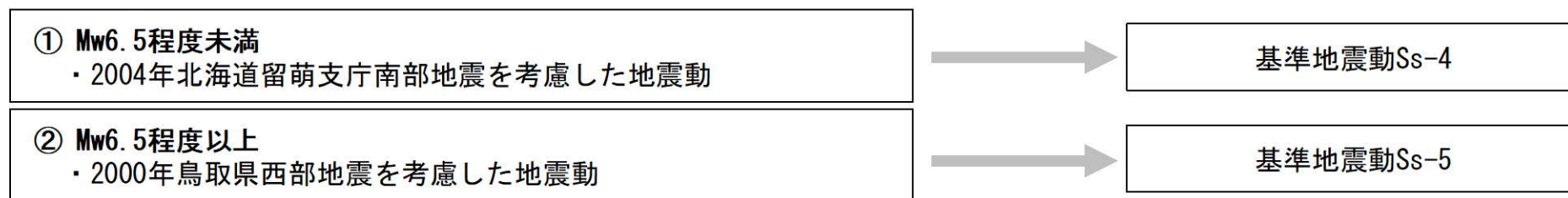
① Mw6.5程度未満

- 2004年北海道留萌支庁南部地震の震源近傍のK-NET港町観測点の解放基盤波に当社独自の検討から余裕を持たせた地震動を設定。設定した地震動を基準地震動Ss-4として策定。（153頁）
- K-NET港町観測点の解放基盤波（ $V_s=938\text{m/s}$ におけるはぎとり波）を、玄海原子力発電所の解放基盤表面（ $V_s=1350\text{m/s}$ ）の地震動として採用。

② Mw6.5程度以上

- 2000年鳥取県西部地震の賀祥ダム（監査廊）の観測記録を基準地震動Ss-5として策定。（153頁）
- 賀祥ダム（監査廊）の観測記録（ $V_s=1200\text{m/s}\sim 1300\text{m/s}$ 程度）を、玄海原子力発電所の解放基盤表面（ $V_s=1350\text{m/s}$ ）の地震動として採用。
- 「震源を特定せず策定する地震動」においては、地下構造モデルを使用していない。

- ▼
- 基準地震動Ss-4、Ss-5は、地下構造モデルを使用していない。

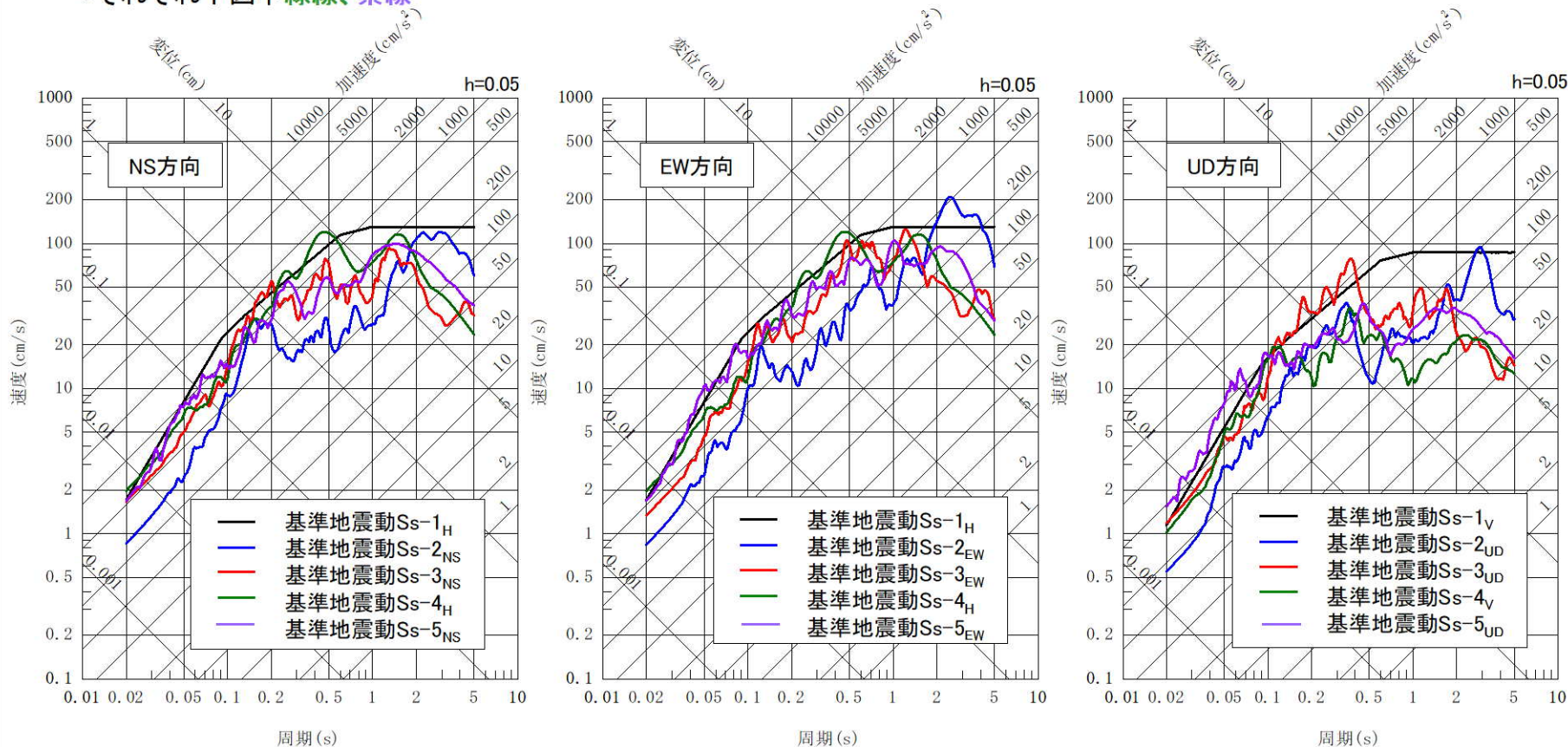


※既許可の地下構造モデルを使用していない

【補足⑥】 既許可の地震動評価への影響確認

第402回審査会合資料より抜粋

- 新規制基準を踏まえ、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」として、以下のとおり、基準地震動 S_s-1 ～ S_s-3 を策定。
 - ・ 基準地震動 S_s-1 は、検討用地震の応答スペクトルによる評価結果、及び旧耐震指針に基づく基準地震動 S_2 を包絡して設定。
 なお、鉛直方向の基準地震動 S_s-1_v は、水平方向の基準地震動 S_s-1_H の $2/3$ として設定。 ⇒下図中黒線
 - ・ 「城山南断層による地震」及び「竹木場断層による地震」の評価結果のうち、基準地震動 S_s-1 を一部の周期で上回るものとして、断層傾斜角の不確かさを考慮したケースを、それぞれ基準地震動 S_s-2 、基準地震動 S_s-3 と設定。 ⇒下図中青線、赤線
- 上記の基準地震動 S_s-1 ～ S_s-3 に加え、「震源を特定せず策定する地震動」として、2004年北海道留萌支庁南部地震を考慮した地震動を S_s-4 、2000年鳥取県西部地震の賀祥ダム基礎上の観測記録を基準地震動 S_s-5 として考慮。
 ⇒それぞれ下図中緑線、紫線



基準地震動の応答スペクトル

【補足⑥】 既許可の地震動評価への影響確認

■ 既許可の地震動評価への影響確認

- ・ 既許可の基準地震動において、既許可の地下構造モデルを直接使用していない。
- ・ 「断層モデルを用いた手法」による地震動評価のうち、ハイブリッド合成法（「経験的グリーン関数法＋理論的手法」）における理論的手法、及び経験的グリーン関数法の妥当性確認における統計的グリーン関数法では、地下構造モデルを使用していることから、標準応答スペクトル用モデルが既許可の地震動評価に与える影響について、以下の通り確認した。

① 「経験的グリーン関数法＋理論的手法」の地震動評価への影響

- － 既許可において、長周期帯では短周期帯に比べ、地盤減衰（Q値）が地震動評価結果に与える影響が少ないことから、既許可の地下構造モデルの地盤減衰（Q値）は、慣用値（ $V_s/15\sim 10$ ）を基に設定。
- － 基準地震動 S_s-2 及び S_s-3 は、長周期帯において、理論的手法による地震動評価結果を上回る経験的グリーン関数法により策定しているが、今回、2つのモデルを用いた理論的手法の評価結果を比較し、両者が概ね同等であることの確認により、長周期帯では、地盤減衰（Q値）が地震動評価結果に与える影響が小さいことを確認した。（155～156頁）

② 経験的グリーン関数法の地震動評価への影響

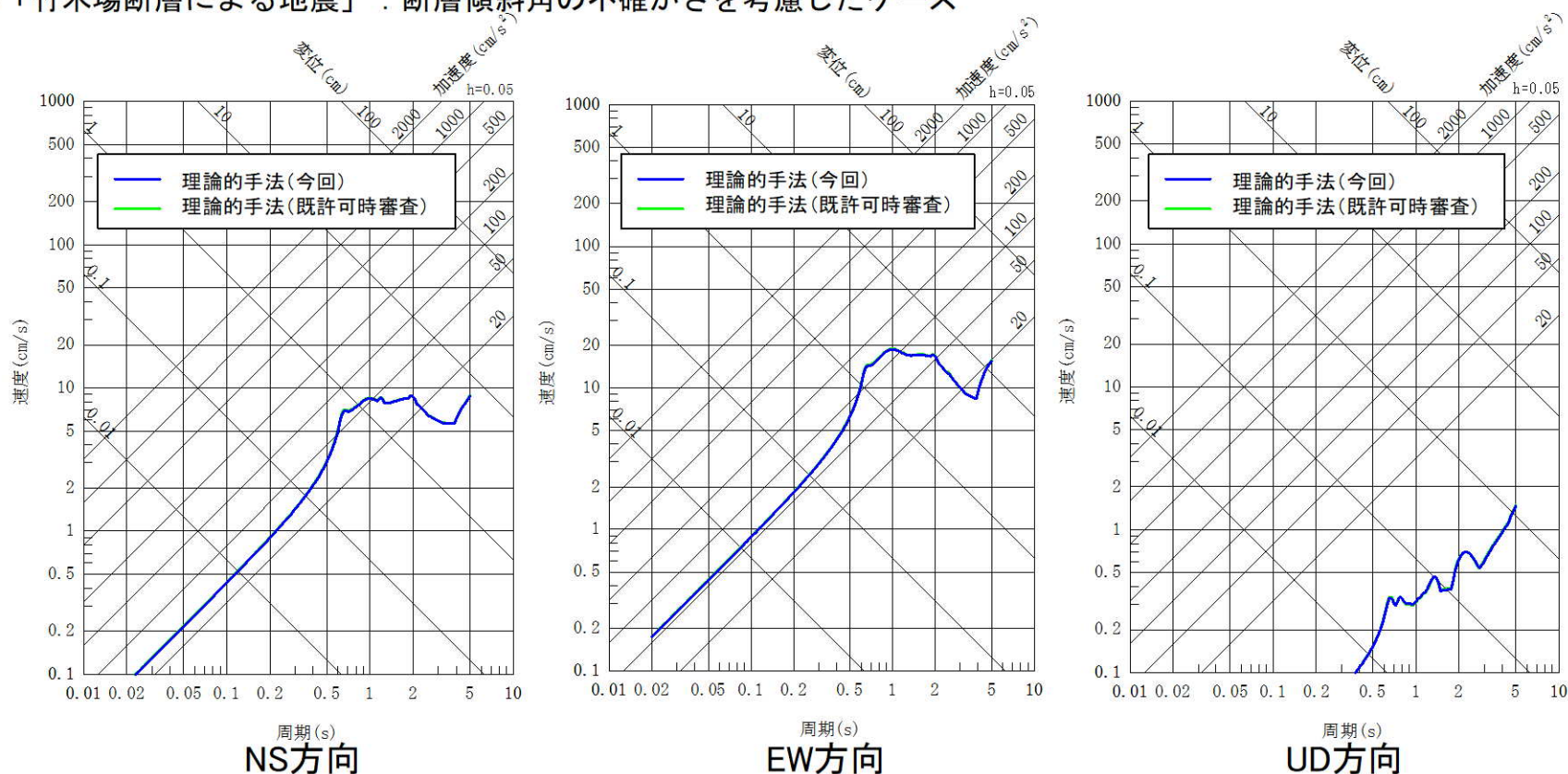
- － 既許可時審査において、経験的グリーン関数法の評価結果と統計的グリーン関数法の評価結果との比較により、経験的グリーン関数法の評価結果の妥当性を確認。
- － 今回、2つのモデルを用いた統計的グリーン関数法の評価結果を比較し、両者が概ね同等であることの確認により、経験的グリーン関数法の評価結果の妥当性は変わらないことを確認した。（157～158頁）

【補足⑥】 既許可の地震動評価への影響確認

■ ① 「経験的グリーン関数法＋理論的手法」の地震動評価への影響確認結果

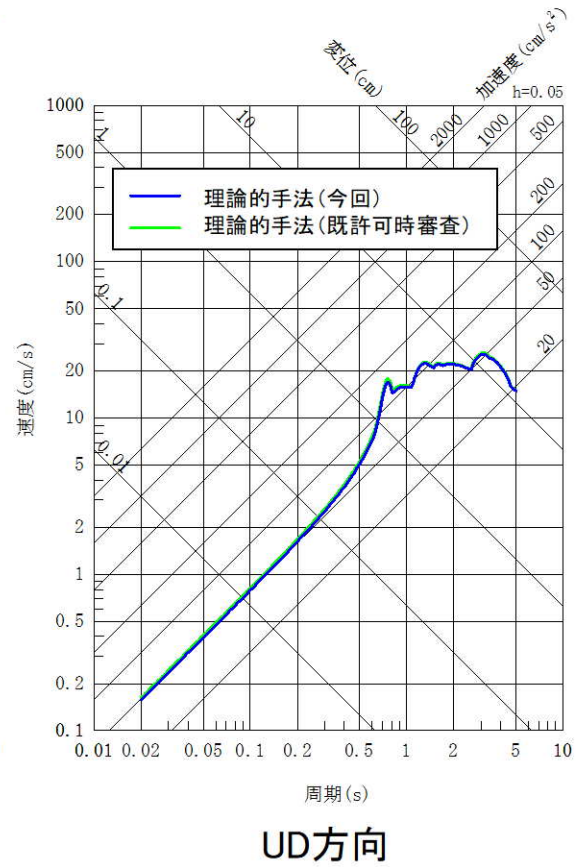
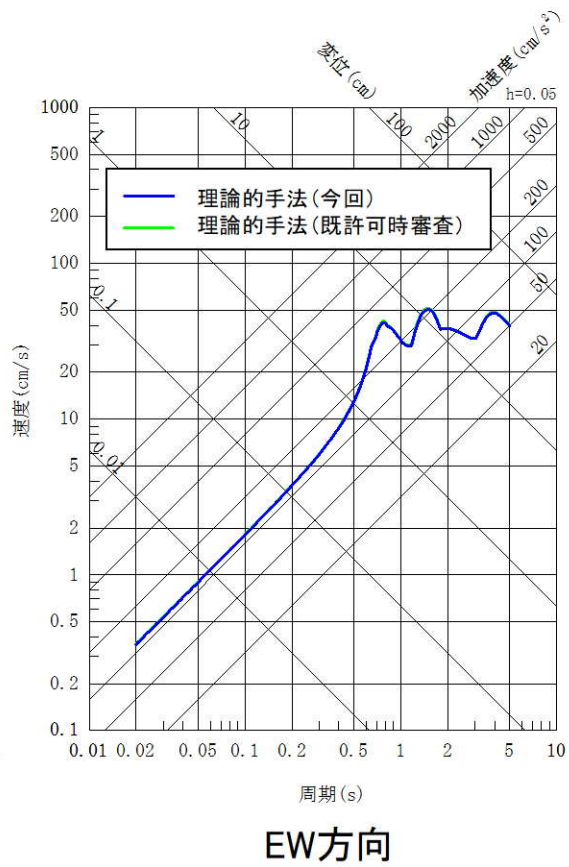
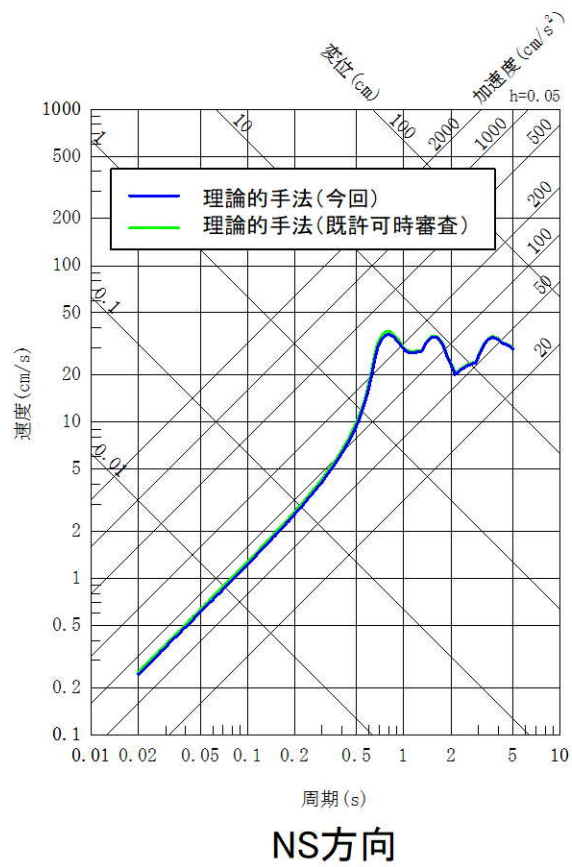
- 「経験的グリーン関数法＋理論的手法」の地震動評価への影響がないことを下記の通り確認。
 - 既許可において、長周期帯では短周期帯に比べ、地盤減衰（Q値）が地震動評価結果に与える影響が少ないことから、既許可の地下構造モデルの地盤減衰（Q値）は、慣用値（ $V_s/15\sim 10$ ）を基に設定。
 - 基準地震動Ss-2及びSs-3は、長周期帯において、理論的手法による地震動評価結果を上回る経験的グリーン関数法により策定しているが、今回、標準応答スペクトル用モデルを用いた理論的手法の評価結果（青線）と、既許可時の理論的手法の評価結果（緑線）の両者が概ね同等であることの確認により、長周期帯では、地盤減衰（Q値）が地震動評価結果に与える影響が小さいことを確認した。

◆ 「竹木場断層による地震」：断層傾斜角の不確かさを考慮したケース



【補足⑥】 既許可の地震動評価への影響確認

◆ 「城山南断層による地震」：断層傾斜角の不確かさを考慮したケース

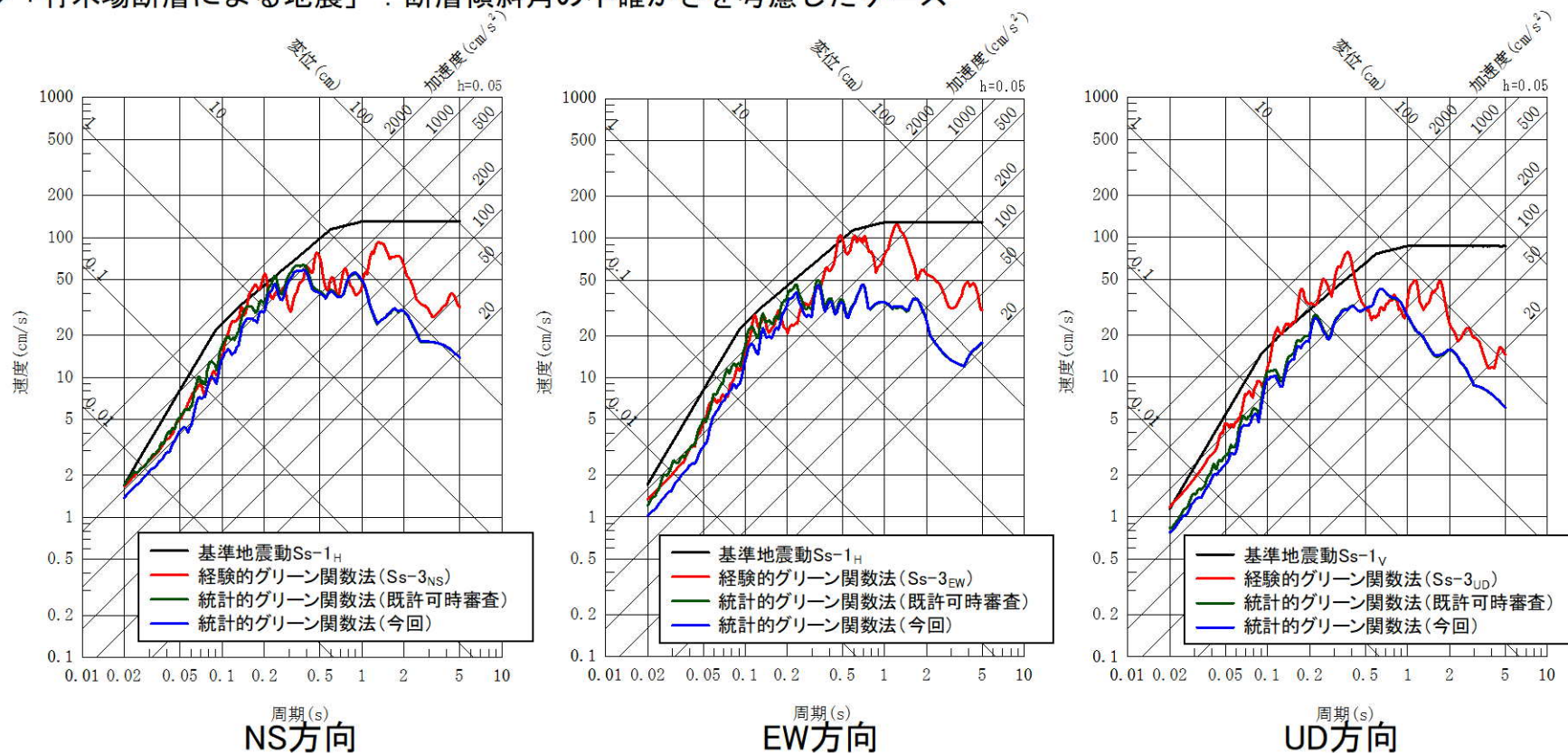


【補足⑥】 既許可の地震動評価への影響確認

■ ②経験的グリーン関数法の地震動評価への影響確認結果

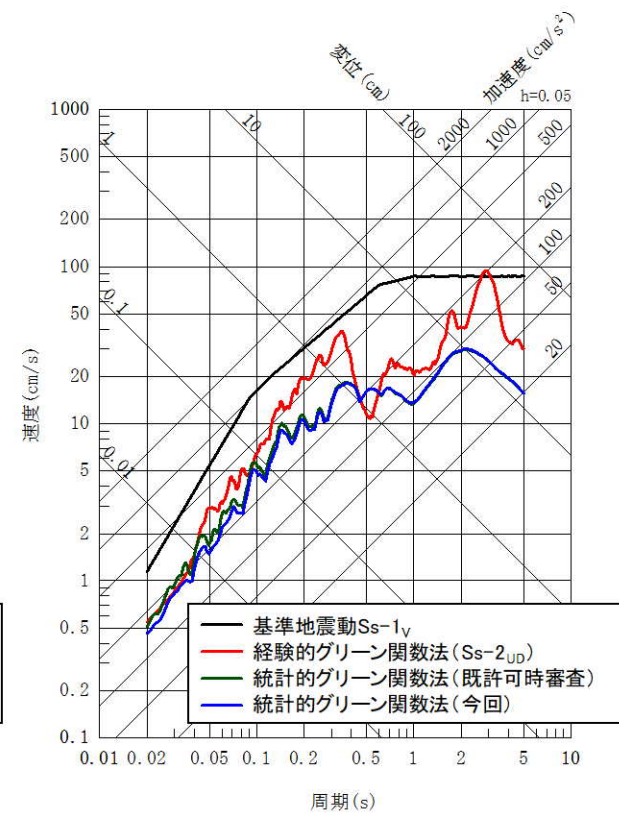
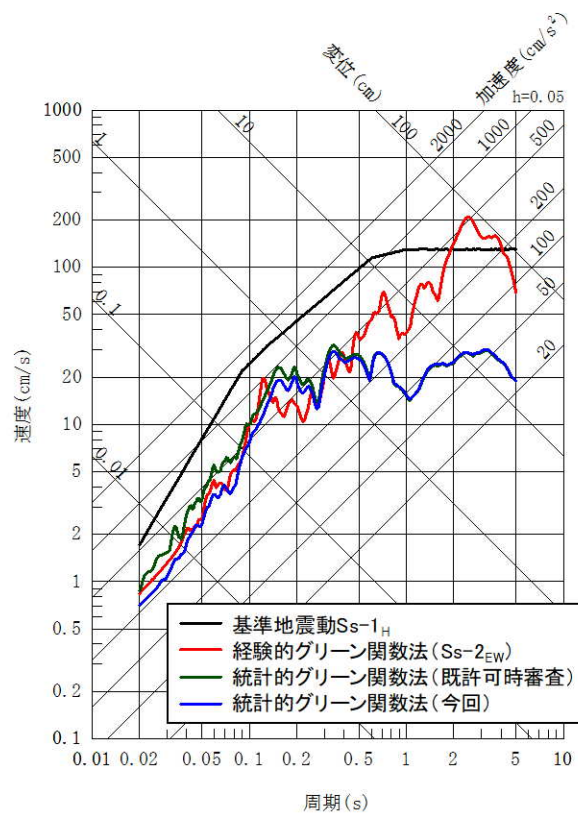
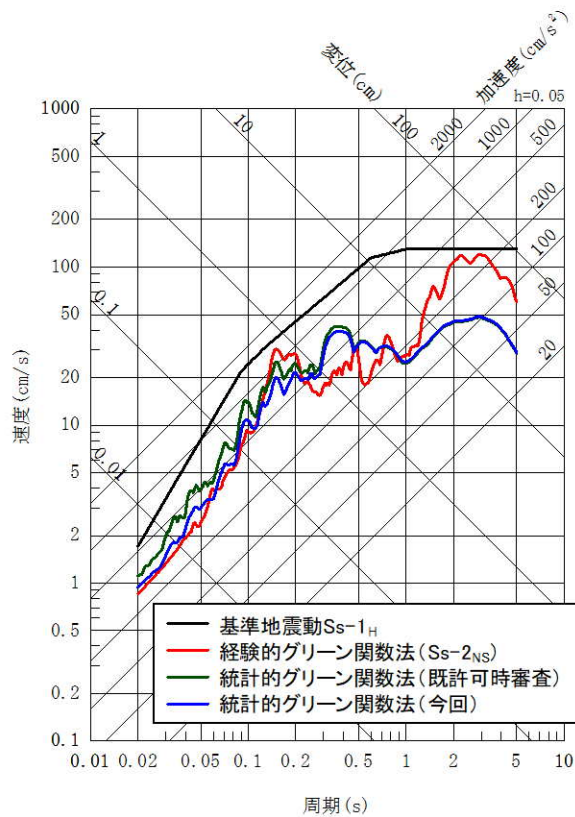
- 経験的グリーン関数法の地震動評価への影響がないことを下記の通り確認。
 - 既許可時審査において、経験的グリーン関数法の評価結果と統計的グリーン関数法の評価結果との比較により、経験的グリーン関数法の評価結果の妥当性を確認。
 - 今回、標準応答スペクトル用モデルを用いた統計的グリーン関数法の評価結果（青線）と、既許可時の統計的グリーン関数法の評価結果（緑線）の両者が概ね同等であることの確認により、経験的グリーン関数法（赤線）と統計的グリーン関数法の関係性に総合的に大きな変化はなく、経験的グリーン関数法の評価結果の妥当性は変わらないことを確認した。

◆ 「竹木場断層による地震」：断層傾斜角の不確かさを考慮したケース



【補足⑥】 既許可の地震動評価への影響確認

◆ 「城山南断層による地震」：断層傾斜角の不確かさを考慮したケース



【補足⑥】 既許可の地震動評価への影響確認

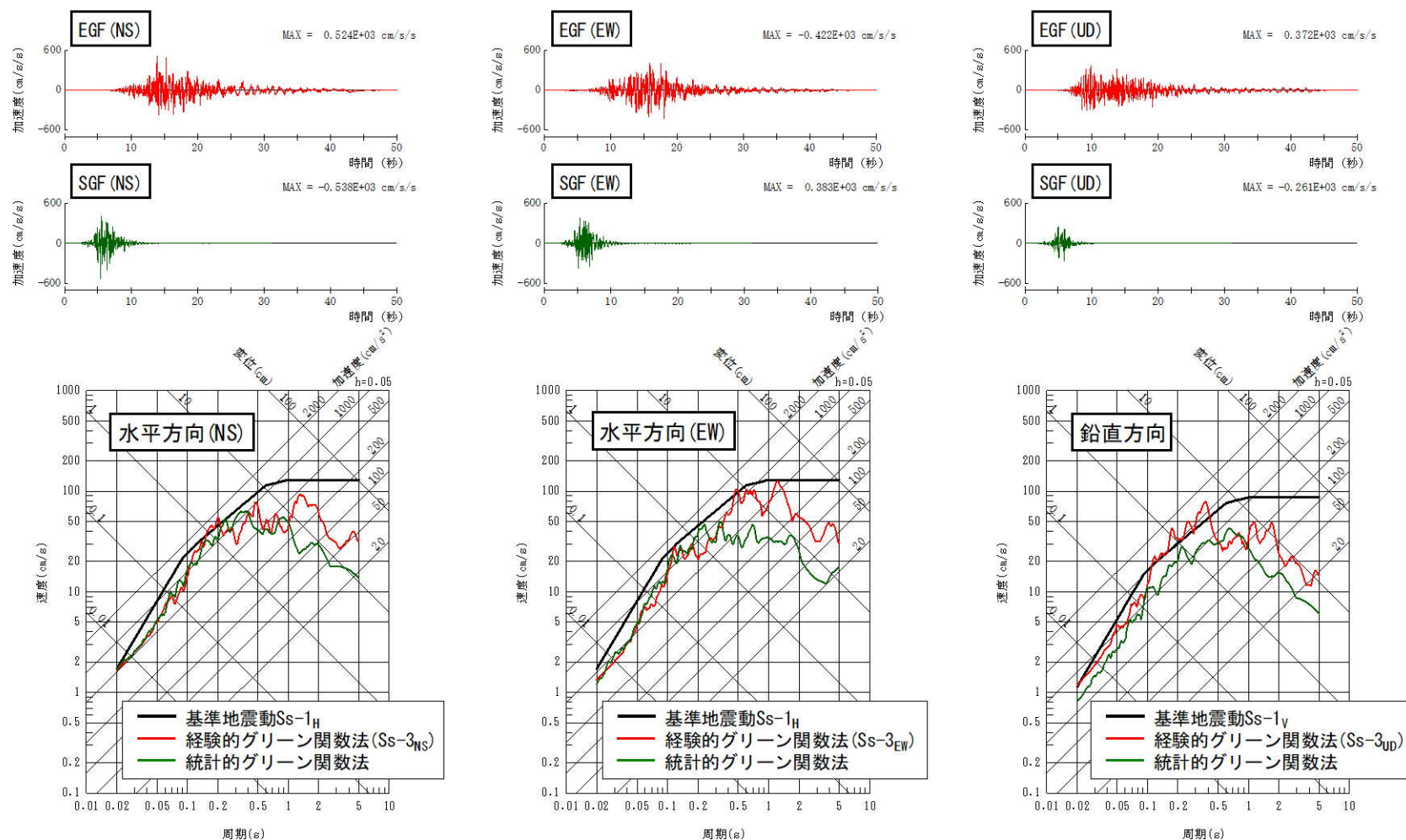
■ 既許可時審査における経験的グリーン関数法の妥当性確認

第402回審査会合資料より抜粋

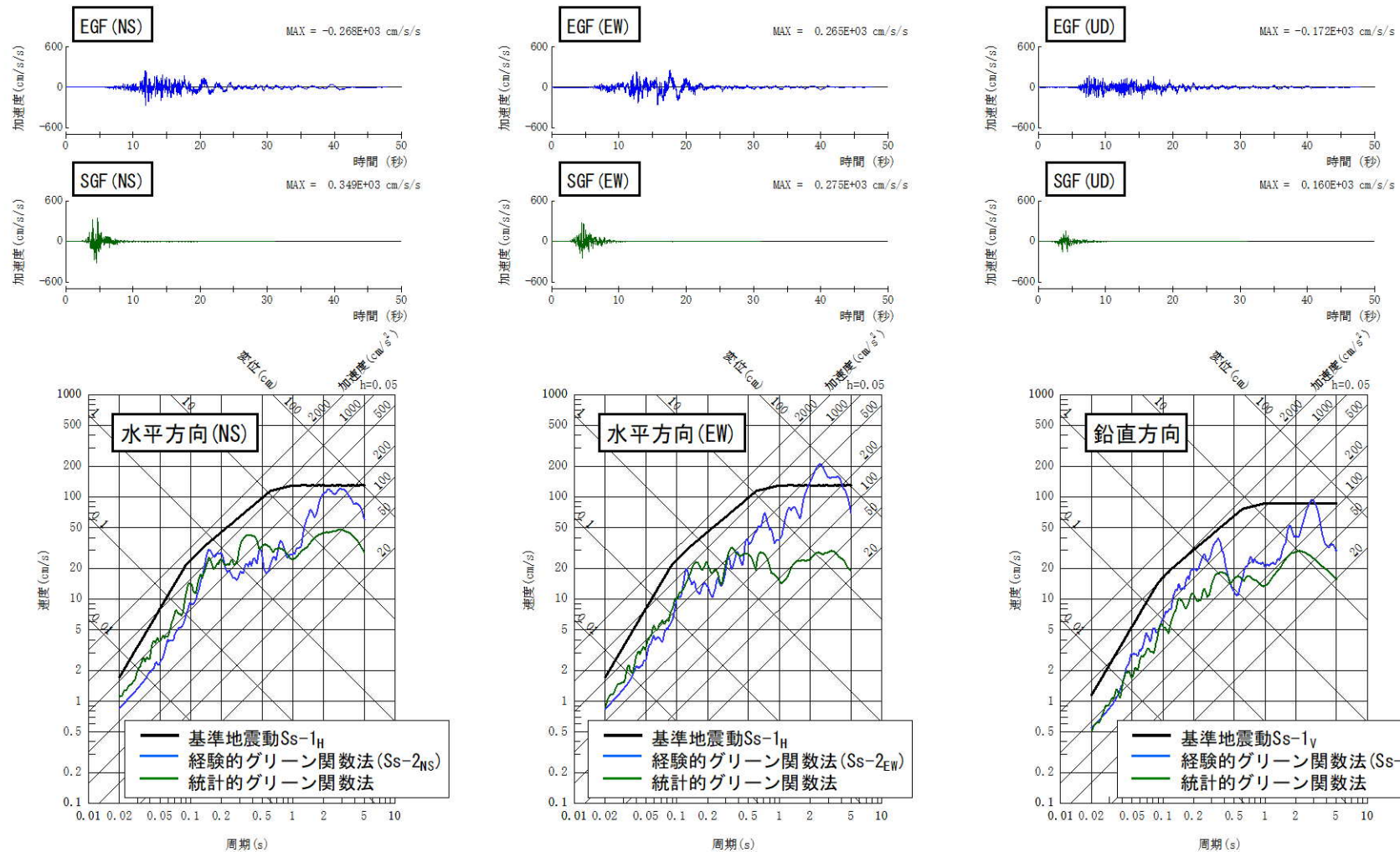
統計的グリーン関数法による地震動評価

- 統計的グリーン関数法による地震動評価で用いる要素地震については、Boore(1983)⁴⁶⁾による理論スペクトルと佐藤(2004)⁴⁷⁾による経時特性を用いて、地震基盤における地震波を作成。
- 地震基盤における地震波を一次元波動論により、解放基盤波を作成。
- 上記の要素地震を用い、Dan et al.(1989)³⁰⁾により波形合成を行った。

「竹木場断層による地震」：断層傾斜角の不確かさを考慮したケース



「城山南断層による地震」：断層傾斜角の不確かさを考慮したケース



- P137に示した観測記録のフーリエ振幅スペクトルと理論スペクトルの傾向と同様、経験的グリーン関数法による評価結果は、低振動数側（長周期側）において、統計的グリーン関数法による評価結果を上回る。
- なお、統計的グリーン関数法による評価結果は、基準地震動Ss-1に包絡される結果となった。