

玄海原子力発電所3号炉、4号炉審査資料	
資料番号	TTG-016
提出年月日	2023年1月24日

玄海原子力発電所3号炉及び4号炉

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

2023年1月24日
九州電力株式会社

目次

1. コメントリスト及び今後の審査スケジュール	P. 2
2. 地下構造モデルの再検討	P. 6
3. 地下構造モデルの設定	P. 25
4. 地下構造モデル全体の妥当性確認	P. 27



1. コメントリスト及び今後の審査スケジュール

1. コメントリスト及び今後の審査スケジュール

No.	コメント	指摘場所	対応状況
1	既許可の地下構造モデルと新たに設定した地下構造モデルの位置づけの記載を充実すること。	第1026回 原子力発電所の 新規制基準適合性に 係る審査会合 (令和4年1月21日)	第1080回会合にて説明
2	新たに設定した地下構造モデルについて、以下を踏まえ、地盤減衰の設定の考え方、根拠を明確にし、説明すること。 ①15Hz程度までの範囲で評価した地盤減衰の高周波数帯への適用性 ②地震観測記録が得られていない深さにおける地盤減衰の設定 ③地盤減衰の不確かさの考え方		第1049回会合、 第1103回会合にて説明
3	地震基盤相当面は、設置許可基準規則解釈別記2の定義に従い $V_s=2, 200\text{m/s}$ 以上の層に設定すること。		第1057回会合にて説明
4	乱数位相を用いた模擬地震波の作成について、継続時間の設定を含め検討し、説明すること。		説明方針： 第1097回会合にて説明 コメント回答： 次回以降説明予定
5	地震動評価にあたって、どのような地下構造モデルを使うのか方針を示すこと。	第1049回 原子力発電所の 新規制基準適合性に 係る審査会合 (令和4年5月20日)	第1057回会合にて説明
6	全体スケジュールを考慮した上で、地下構造モデル設定、地震動評価及び全体方針を示すこと。		第1057回会合にて説明
7	審査全体を見通した上で、スケジュールを示すこと。	第1057回 原子力発電所の 新規制基準適合性に 係る審査会合 (令和4年7月1日)	第1080回会合にて説明
8	今回地下構造モデルの方針を変更していることから、説明済みとなっているコメントに関しても、改めて説明すること。		コメントNo. 2について 第1103回会合にて説明
9	新たなボーリング調査から得られる結果を踏まえ、設定した地下構造モデルの妥当性を示すこと。		第1103回会合にて説明
10	今後説明予定の新たに設定した地下構造モデルの妥当性について、適切な論理で十分な根拠に基づき説明すること。	第1080回、第1088回 原子力発電所の 新規制基準適合性に 係る審査会合 (令和4年10月7日、 令和4年10月28日)	説明方針： 第1088回会合にて説明 コメント回答： 第1103回会合にて説明
11	審査事項に係る方針・考え方を準備ができたものから前倒しで説明する等、効果的かつ効率的な審査スケジュールを示すこと。		適宜説明

1. コメントリスト及び今後の審査スケジュール

No.	コメント	指摘場所	対応状況
12	地下構造モデルについて、追加調査結果に見られる一部の周期帯におけるピークが適切に評価できていないことを踏まえ、検討すること。	第1103回 原子力発電所の 新規制基準適合性に 係る審査会合 (令和4年12月16日)	今回説明

■ 川内原子力発電所に関するコメントの反映

- ・ 第983回審査会合において、川内原子力発電所に関するコメントを受領。
- ・ 玄海原子力発電所についても共通する以下のコメントへの対応を実施。

No.	コメント	指摘場所	対応状況
S-1	地下構造モデルの地盤減衰の設定について、既許可からの変更点の妥当性を説明すること。その際、地盤減衰の設定根拠としている地震観測記録が得られていない範囲（EL. -90m～EL. -200m）の地盤減衰の設定の妥当性についても併せて説明すること。	第983回 原子力発電所の 新規制基準適合性に 係る審査会合 (令和3年6月11日)	第1026回会合にて説明 今回改めて説明
S-2	地下構造モデルの変更に伴う既許可の基準地震動への影響について説明すること。		第1026回会合にて説明 今回改めて説明
S-3	地震基盤相当面について、設置許可基準規則解釈別記2の $V_s=2, 200\text{m/s}$ 以上に対し、 $V_s=2, 100\text{m/s}$ の層上面（EL. -200m）に設定したことの妥当性を説明すること。		第1026回会合にて説明
S-4	模擬地震波の作成について、複数の方法から一様乱数の位相をもつ正弦波の重ね合わせを採用した妥当性を説明すること。		説明方針： 第1097回会合にて説明 コメント回答： 次回以降説明予定
S-5	既許可以降の観測・調査・分析などについて説明すること。		第1103回会合にて説明

2. 地下構造モデルの再検討

2. 地下構造モデルの再検討

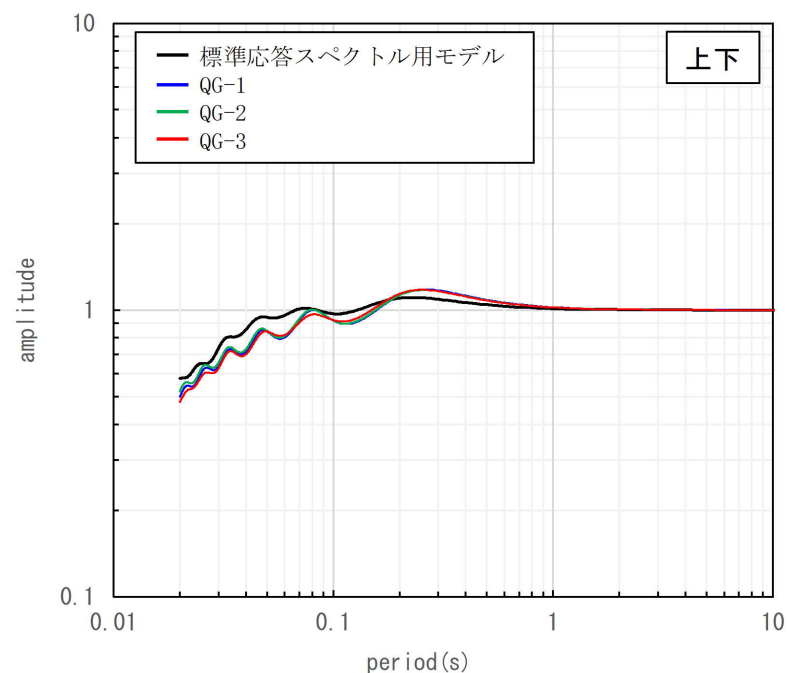
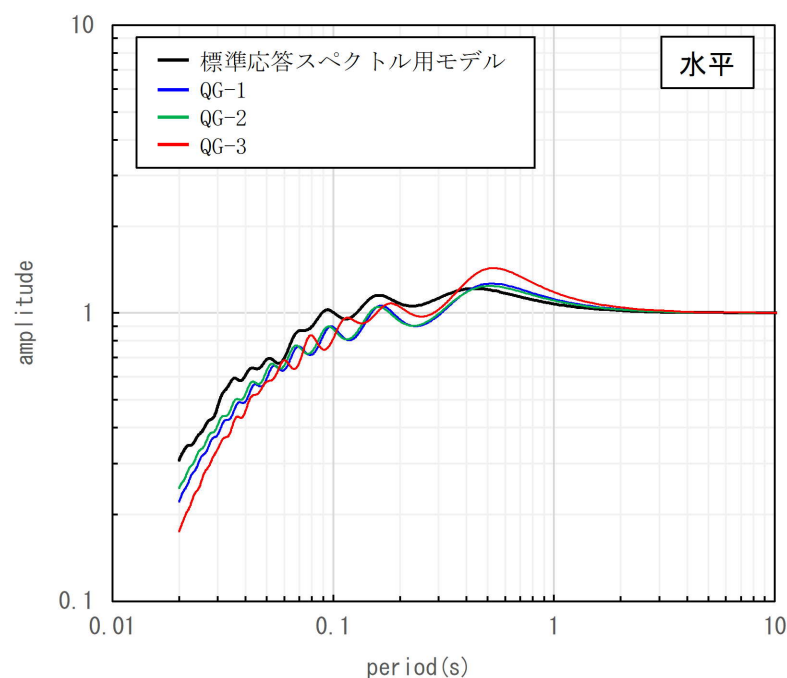
■ 第1103回審査会合におけるご指摘

- 地下構造モデルについて、PS検層モデルの伝達関数に見られる一部の周期帯（水平：周期0.5秒付近）におけるピークが適切に評価できていないことを踏まえ、検討すること。

■ 伝達関数の比較

第1103回審査会合資料より抜粋

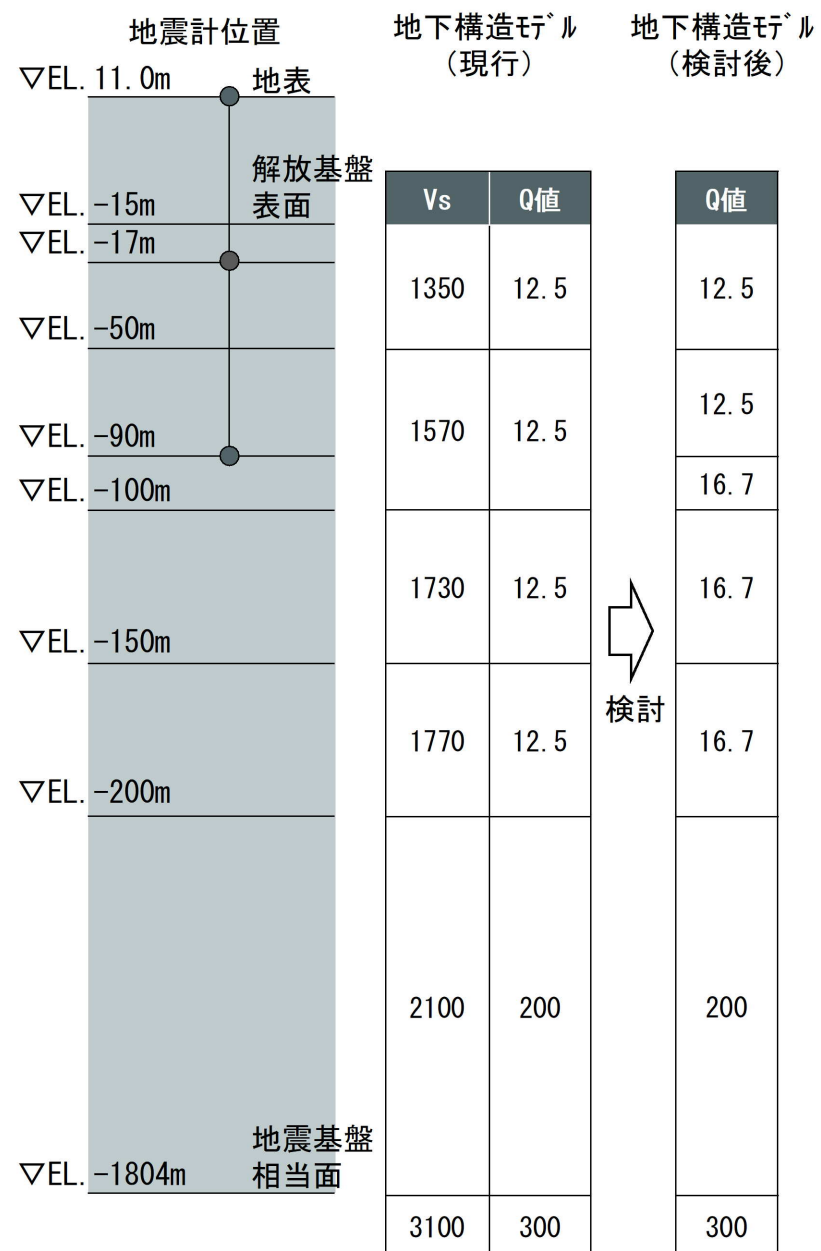
- 標準応答スペクトル用モデルによる理論伝達関数（解放基盤表面／EL. -200m）が、PS検層モデルによる理論伝達関数（解放基盤表面／EL. -200m）に対して、同等もしくは上回ることを確認。
- なお、QG-3については、一部の周期帯（水平：0.5秒付近）において下回るが、PS検層モデルの伝達関数が有する特徴的なピークの影響によるものと考えられる。
 - 追加調査ボーリングのPS検層結果は、標準応答スペクトル用モデルに比べ、速度構造のコントラストが大きく、その結果として、PS検層モデルの伝達関数に特徴的なピークが現れていると考えられる。



2. 地下構造モデルの再検討

■ 検討概要

- 解放基盤相当（EL. -17m）における地震観測記録の応答スペクトルには、一部の周期帯（水平：周期0.5秒付近）における特徴的なピークが見られないことを確認。【9～19頁参照】
- PS検層モデルの伝達関数に見られる一部の周期帯（水平：周期0.5秒付近）における特徴的なピークは、計算の境界条件（EL-200mでの速度コントラスト）によることを確認。【20～24頁参照】
- 上記の結果から、解放基盤表面（EL. -15m）からEL. -200mまでの地下構造モデルの妥当性を確認。
- ただし、PS検層モデルにある特徴的なピークの確認事実を踏まえ、保守的に最深部地震計以深（EL. -90m）からEL. -200mまでの地盤減衰を見直し。
- 友澤ほか（2021）¹⁾によるブロックインバージョン結果を用いた解放基盤相当（EL. -17m）における応答スペクトルの比較により、地下構造モデル全体の妥当性確認。

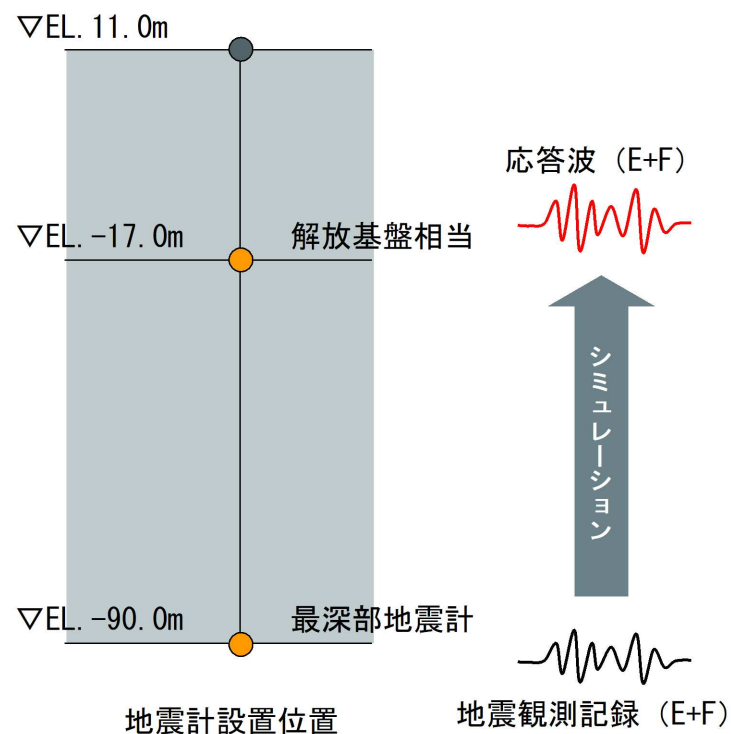


2. 地下構造モデルの再検討

■ 解放基盤相当 (EL. -17m) における地震観測記録の応答スペクトルの確認

- 最深部地震計 (EL. -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結果は次頁以降の通り。
- 解放基盤相当 (EL. -17m) における地震観測記録の応答スペクトルには、一部の周期帯 (水平 : 周期0.5秒付近) における特徴的なピークが見られないことを確認。

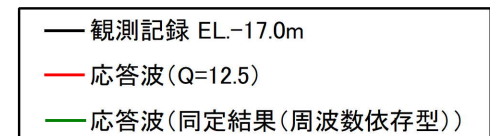
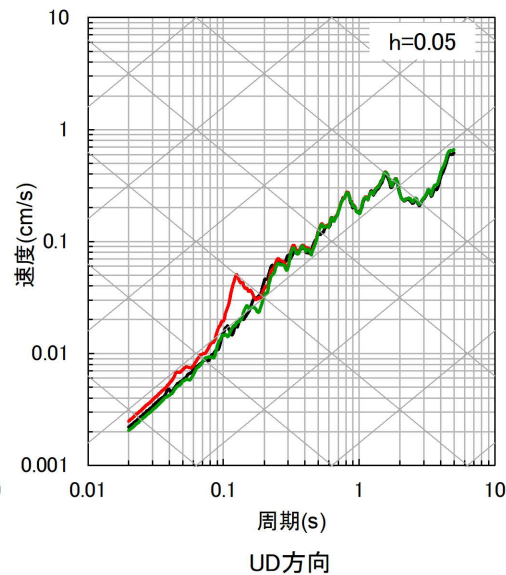
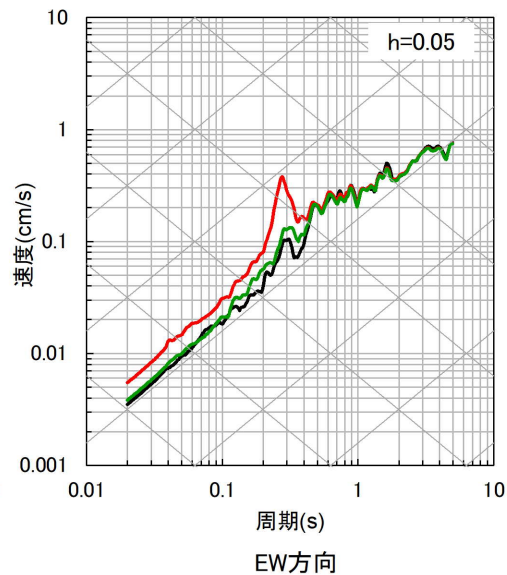
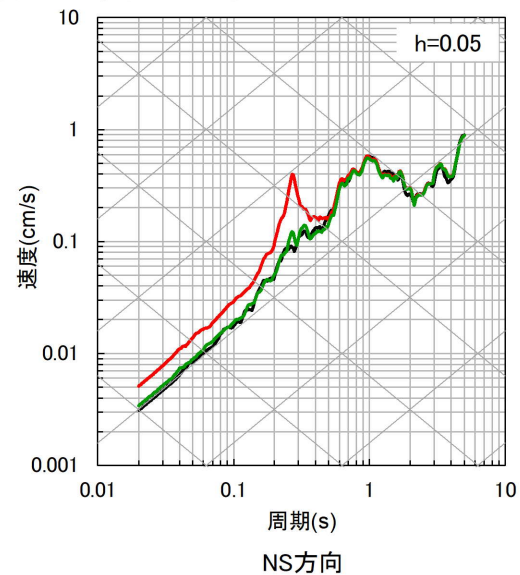
※入力の最深部地震計 (EL. -90m) で得られた地震観測記録及び出力の解放基盤相当 (EL. -17m) での応答波は地中記録のため、E+Fで評価



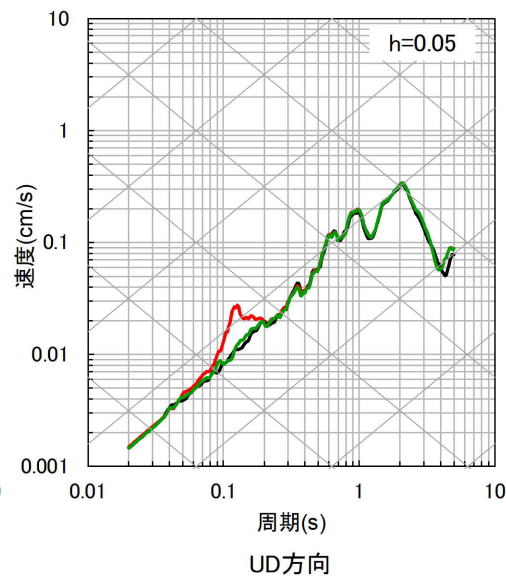
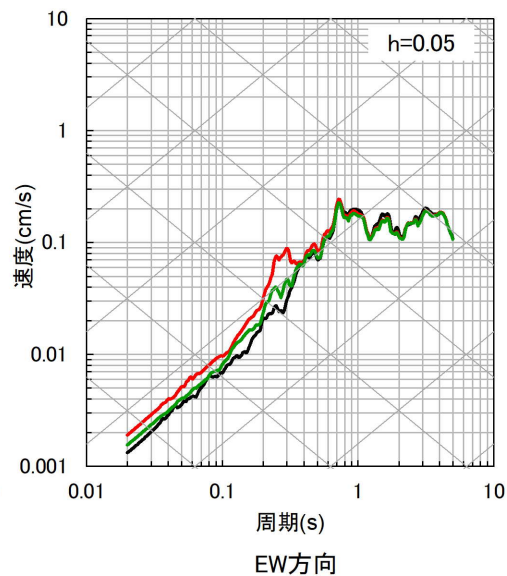
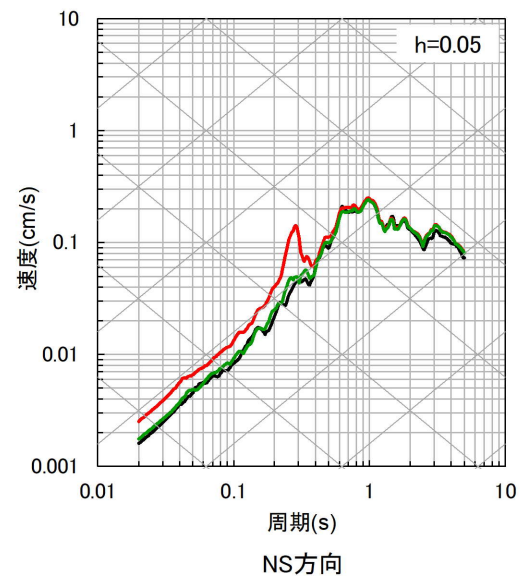
2. 地下構造モデルの再検討

■ 応答スペクトルの比較結果 (1/10)

① 鹿児島県北西部



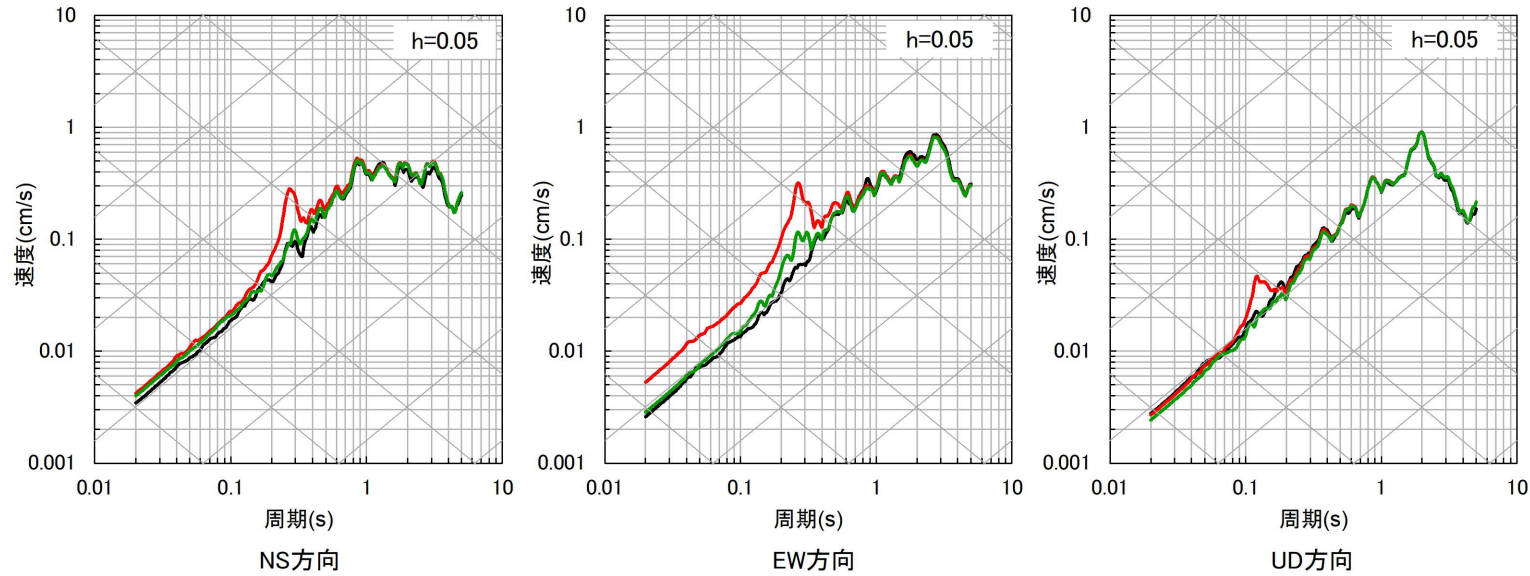
② 鹿児島県北西部



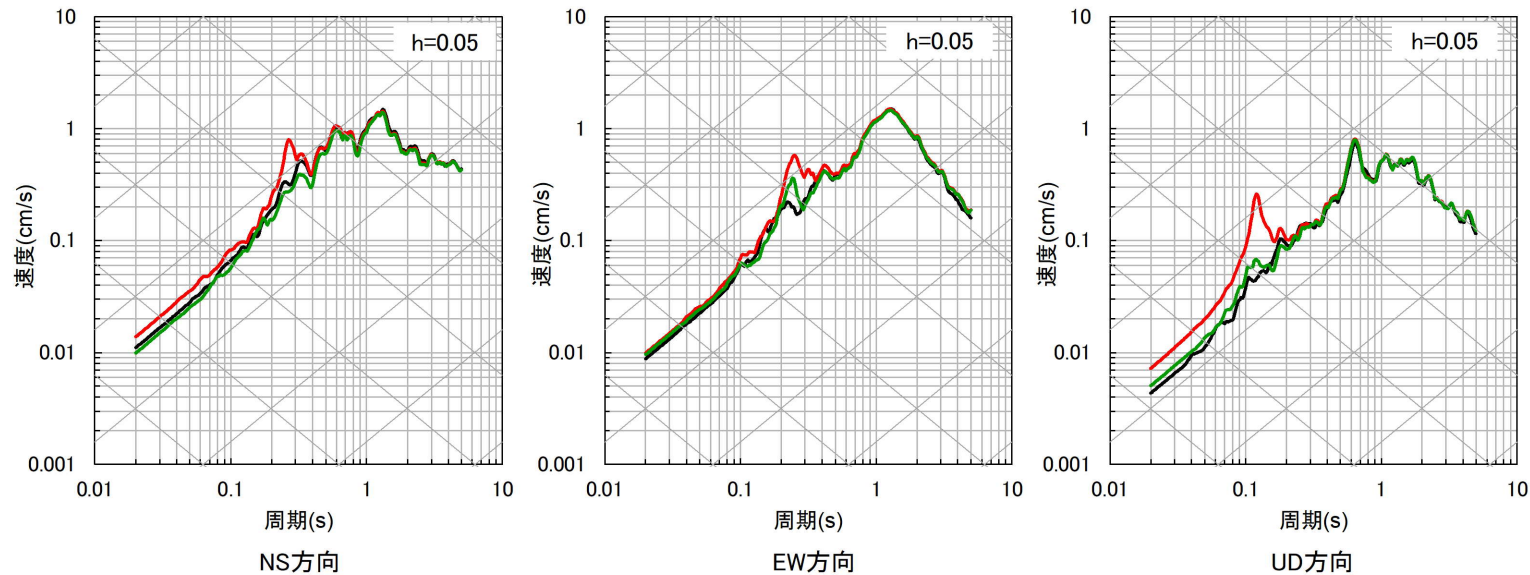
2. 地下構造モデルの再検討

■ 応答スペクトルの比較結果 (2/10)

③ 鹿児島県北西部



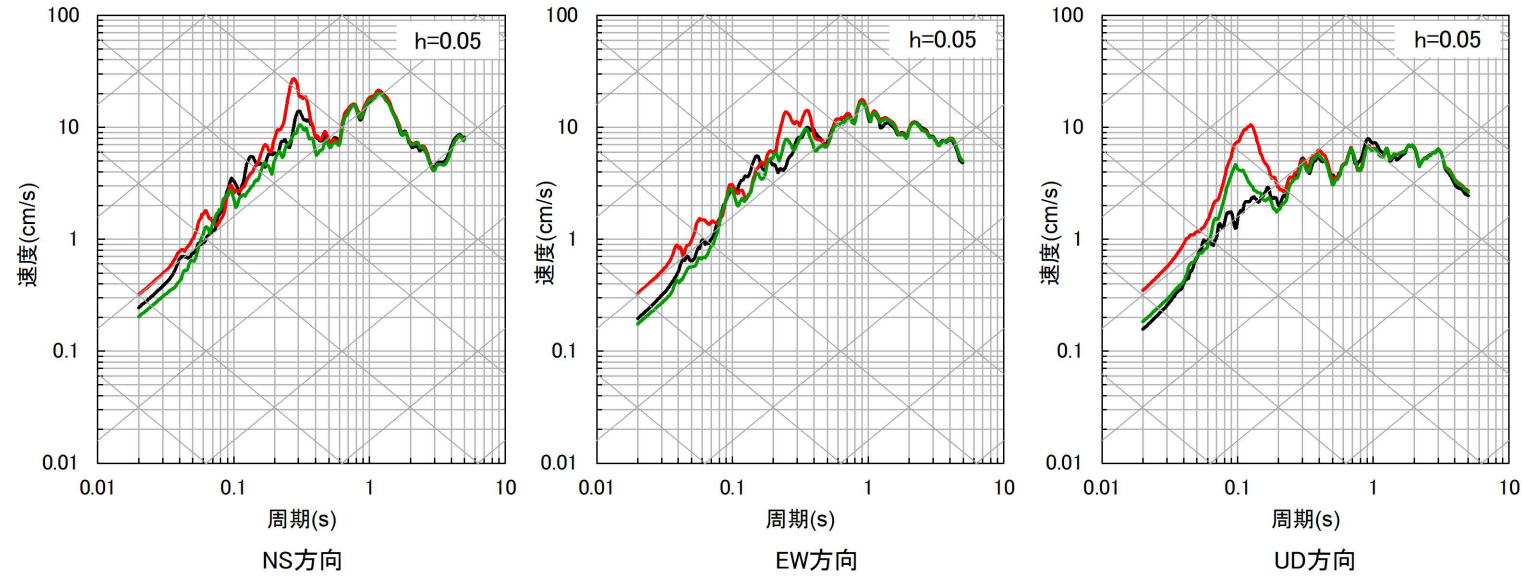
④ 山口県



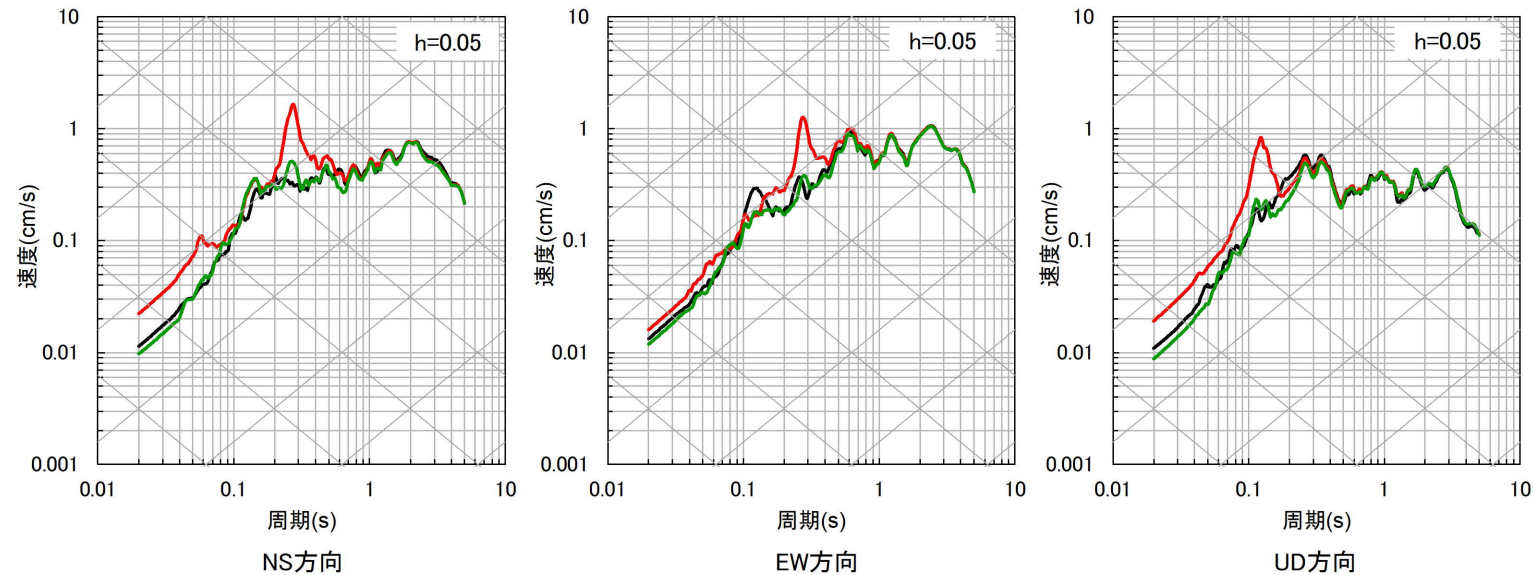
2. 地下構造モデルの再検討

■ 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)



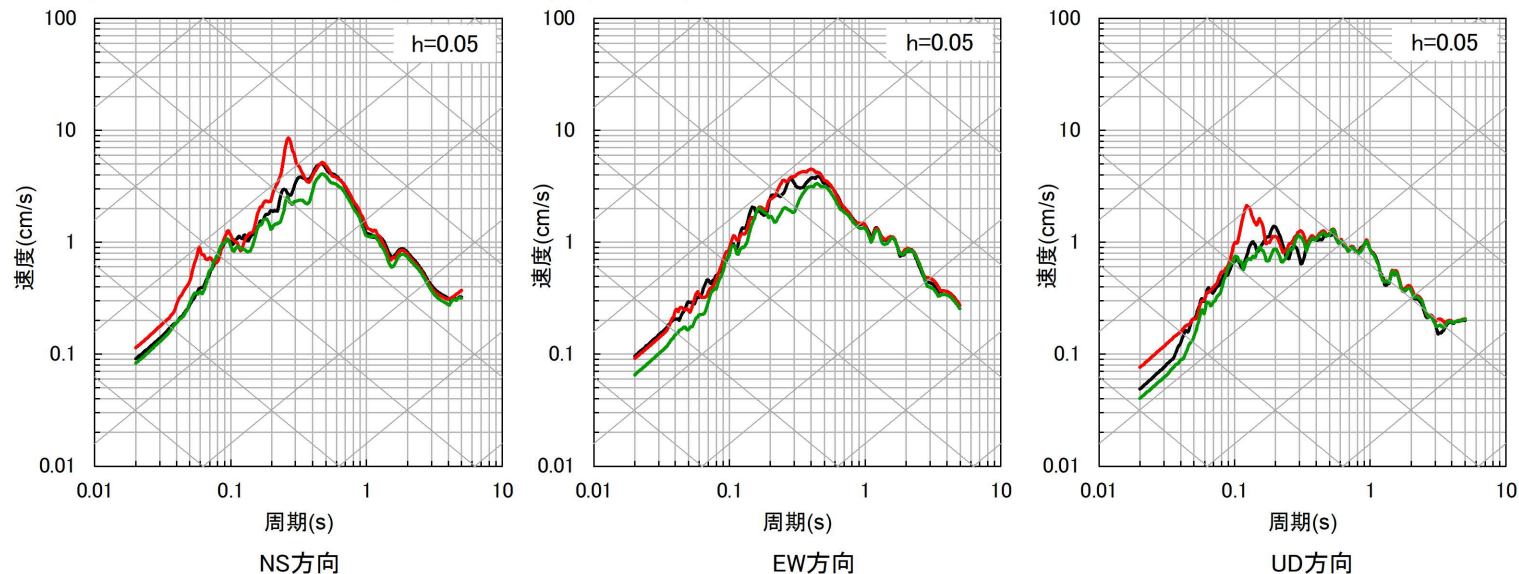
⑥九州北西沖



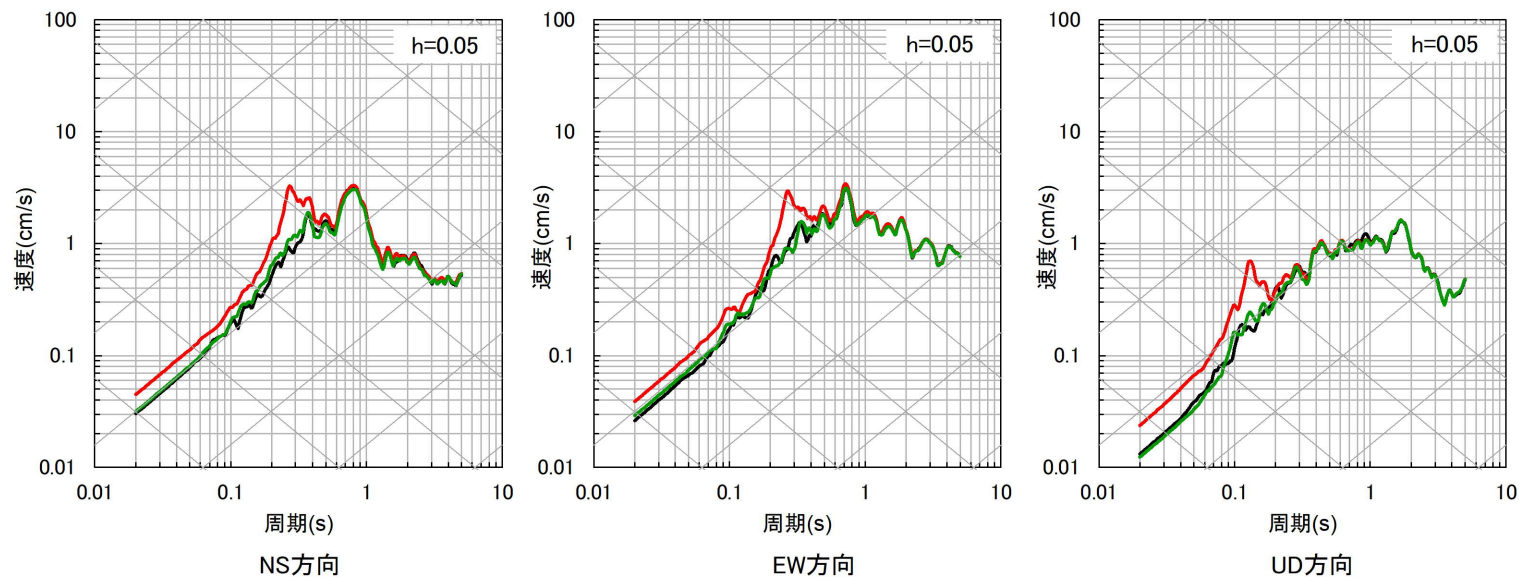
2. 地下構造モデルの再検討

■ 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)



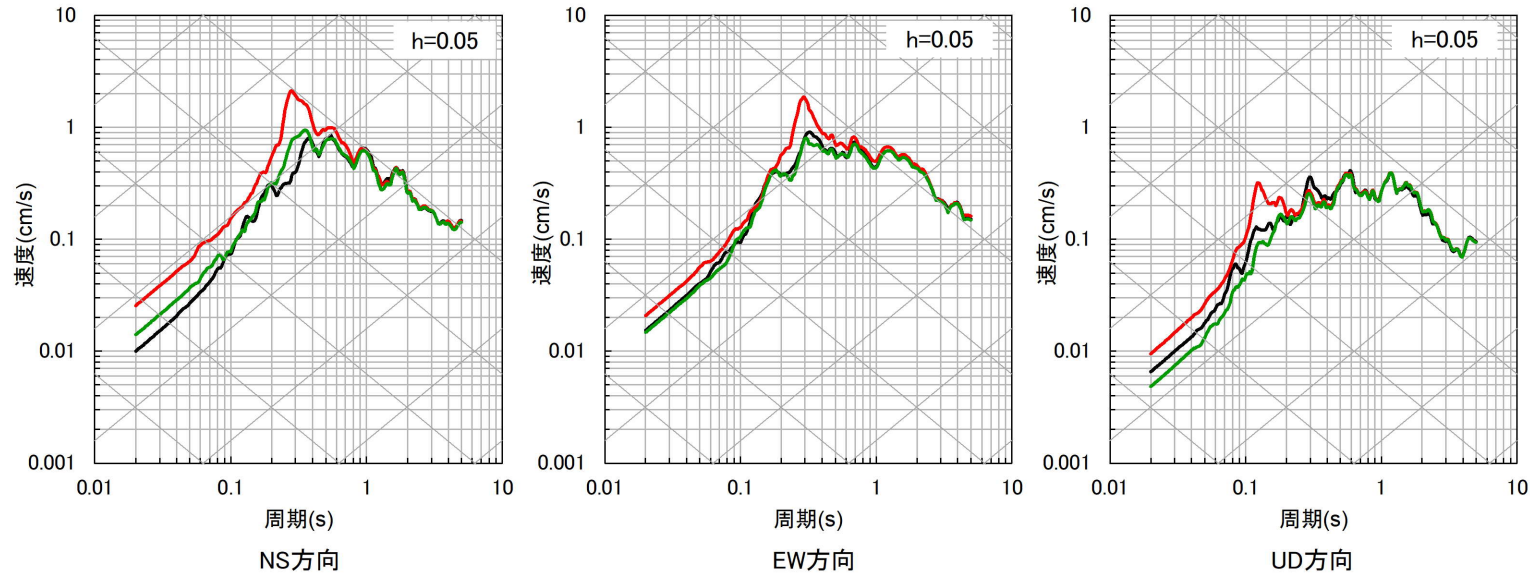
⑧熊本県熊本地方 (2016年熊本地震前震)



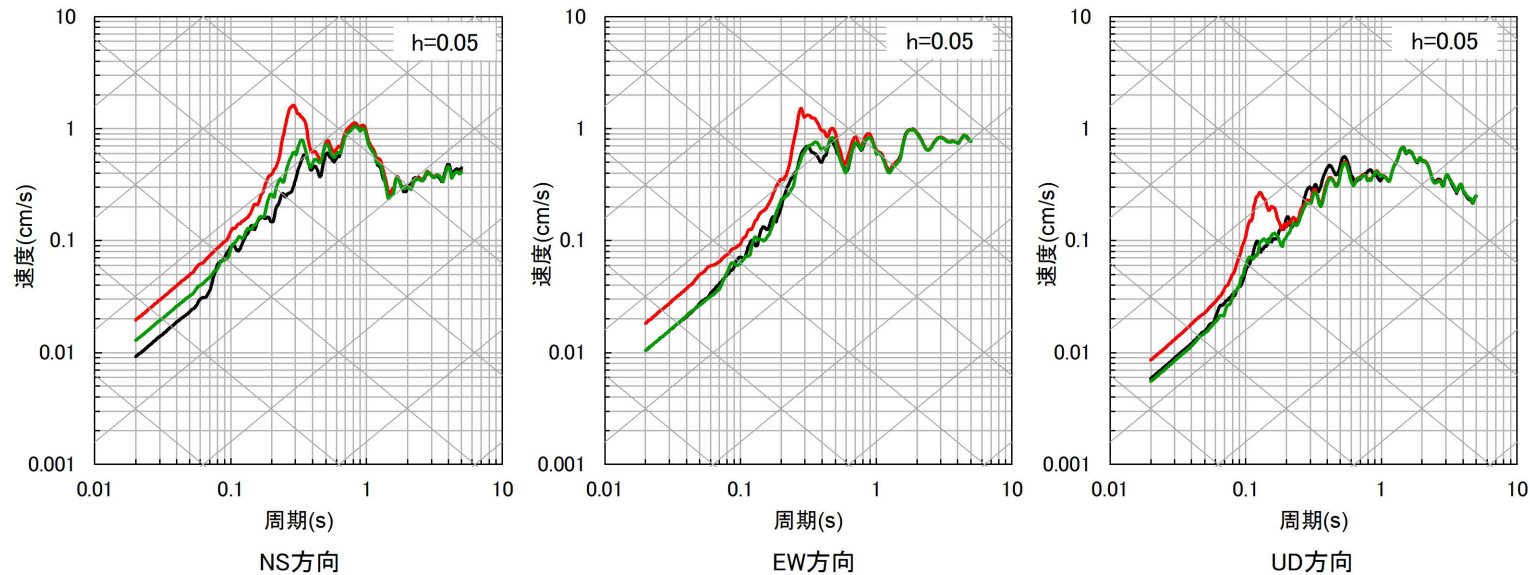
2. 地下構造モデルの再検討

■ 応答スペクトルの比較結果 (5/10)

⑨ 熊本県熊本地方



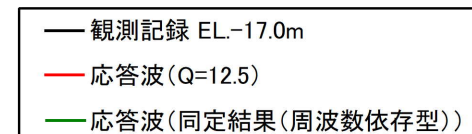
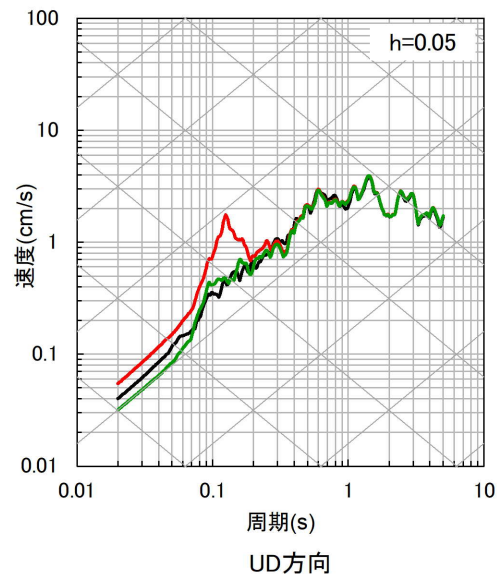
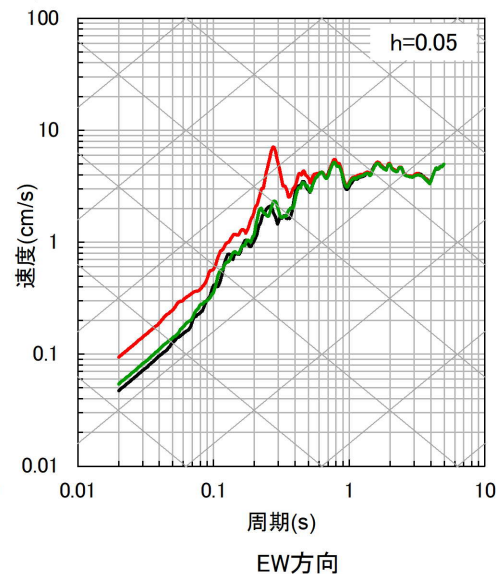
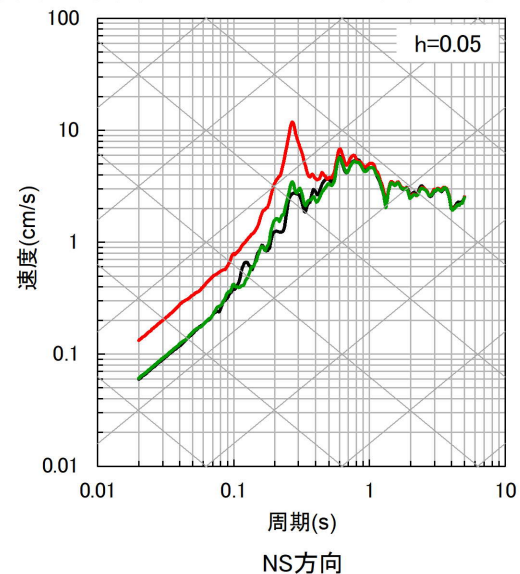
⑩ 熊本県熊本地方



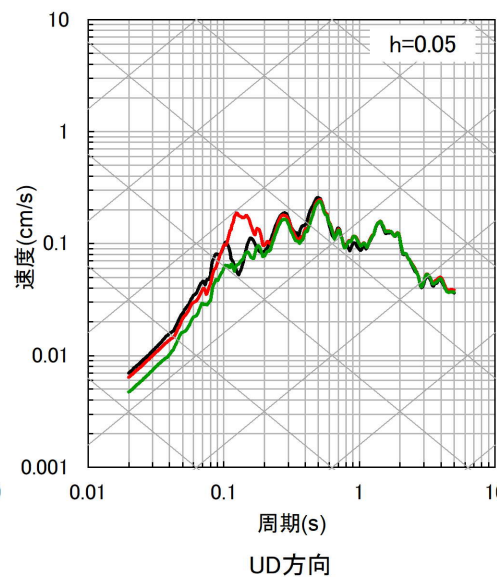
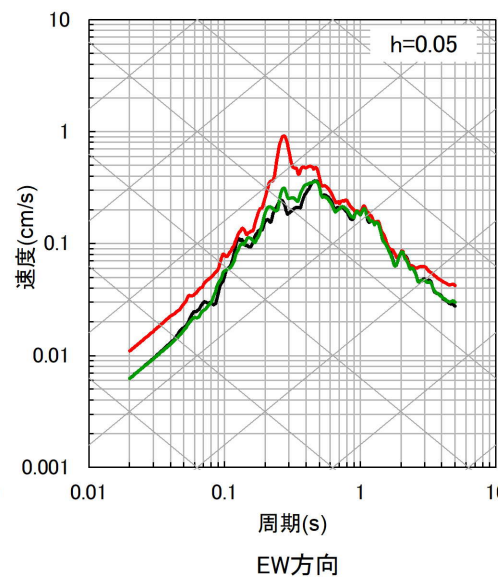
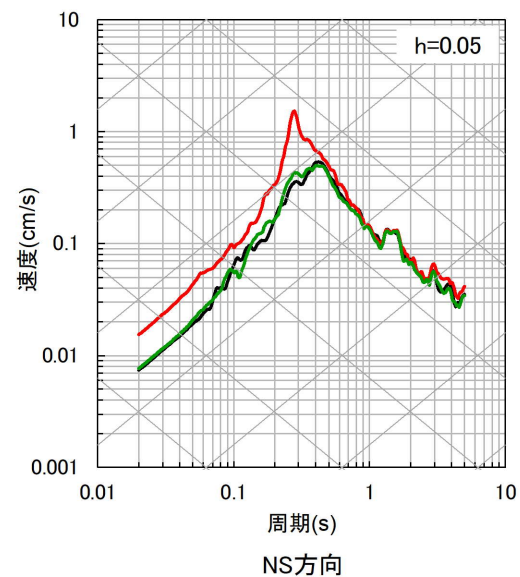
2. 地下構造モデルの再検討

■ 応答スペクトルの比較結果 (6/10)

⑪ 熊本県熊本地方 (2016年熊本地震本震)



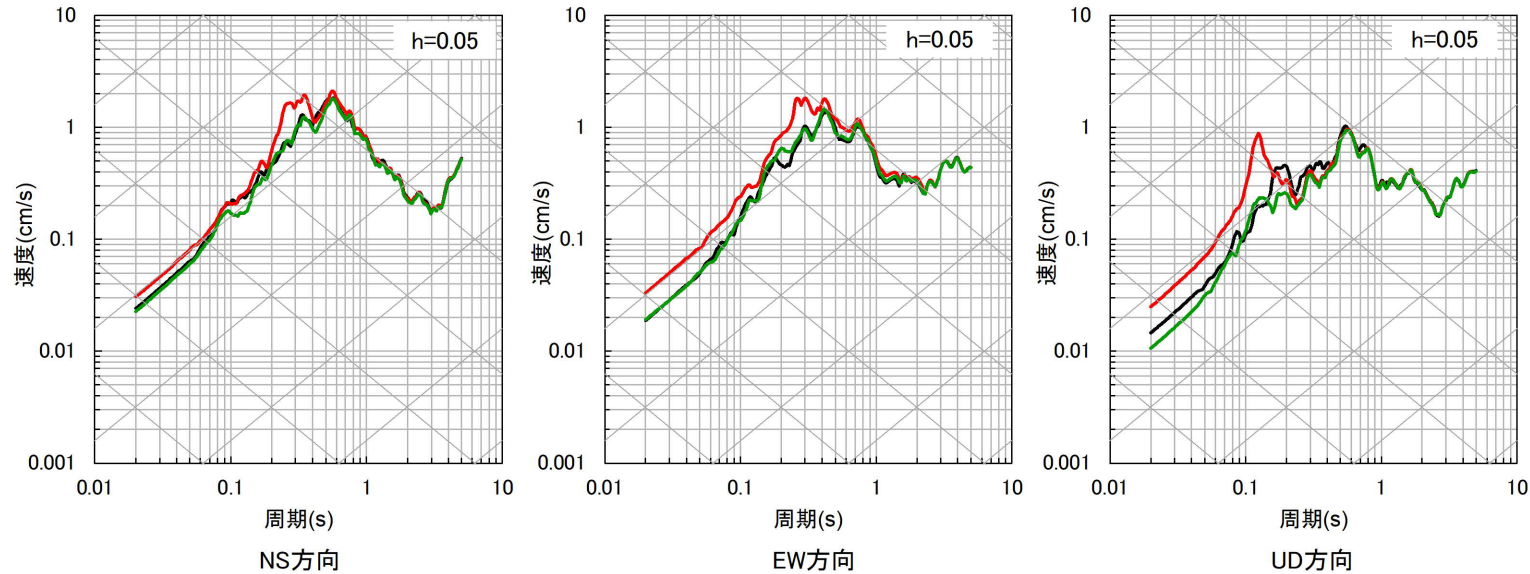
⑫ 熊本県熊本地方



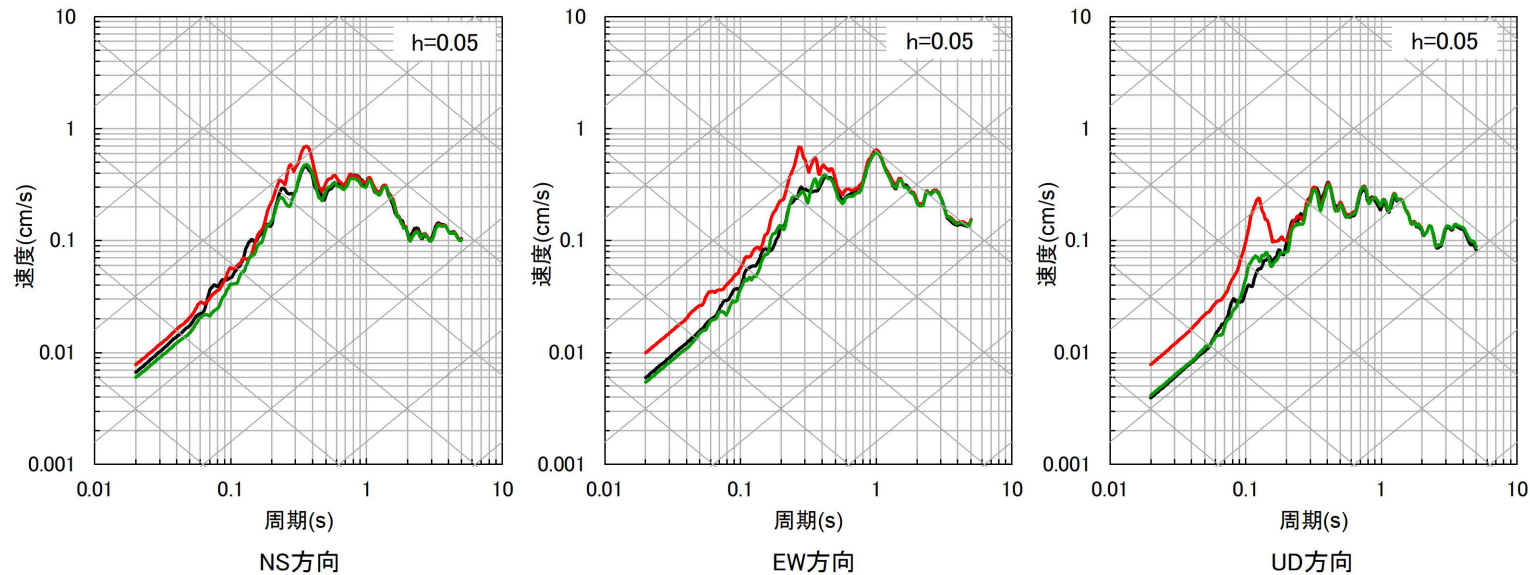
2. 地下構造モデルの再検討

■ 応答スペクトルの比較結果 (7/10)

⑬ 熊本県熊本地方



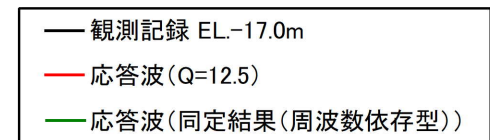
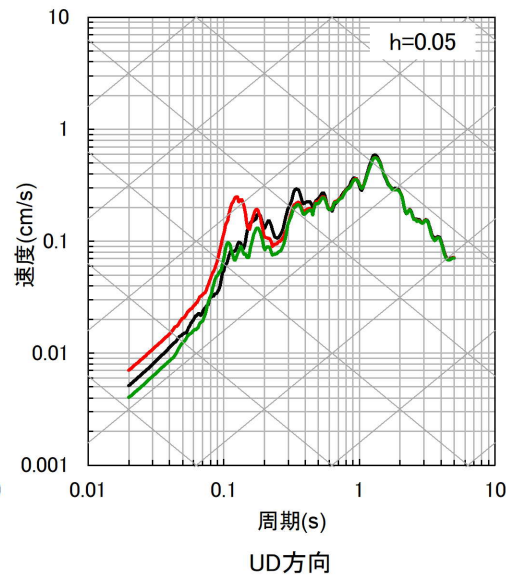
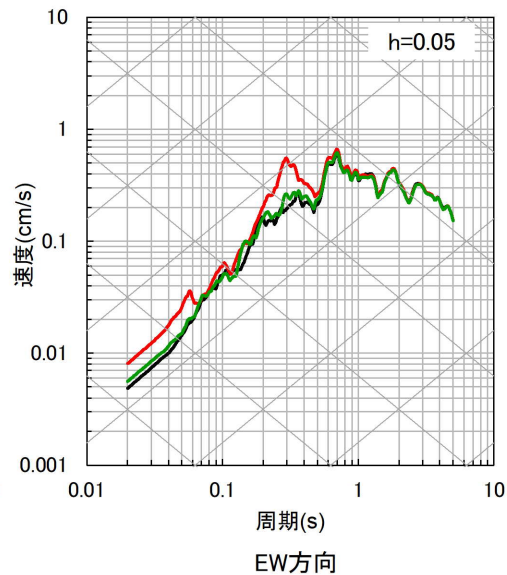
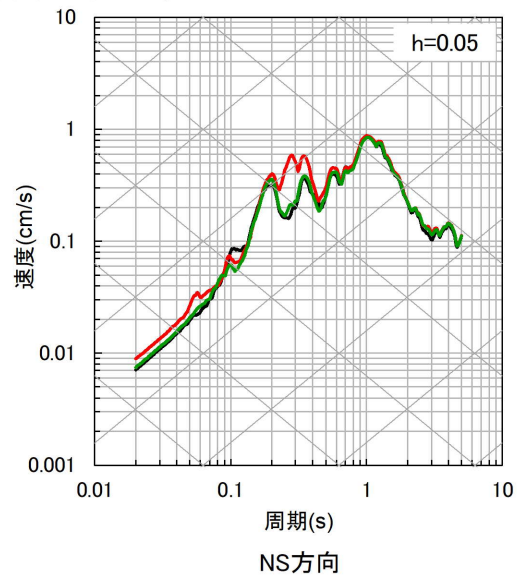
⑭ 熊本県阿蘇地方



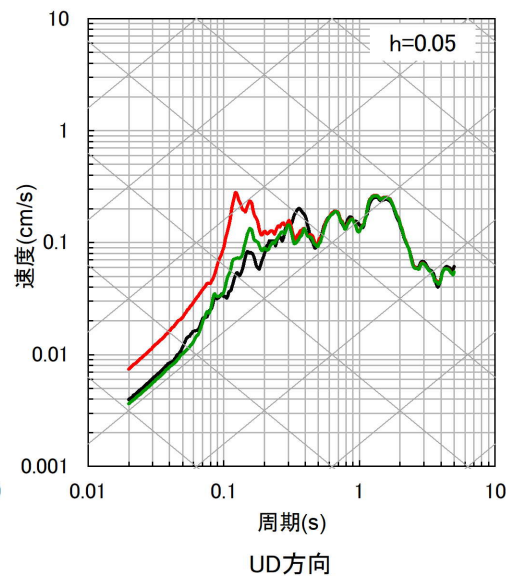
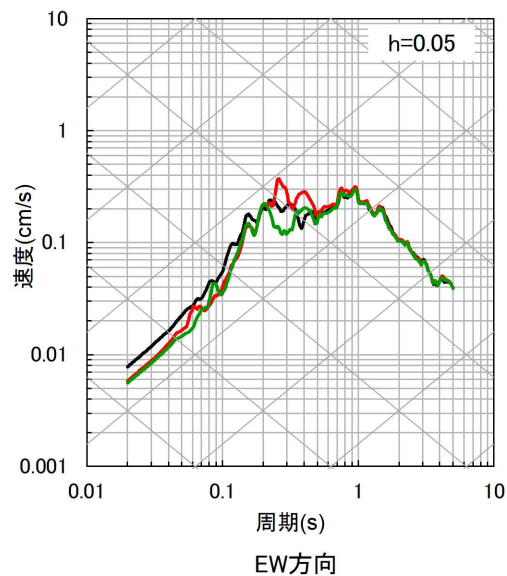
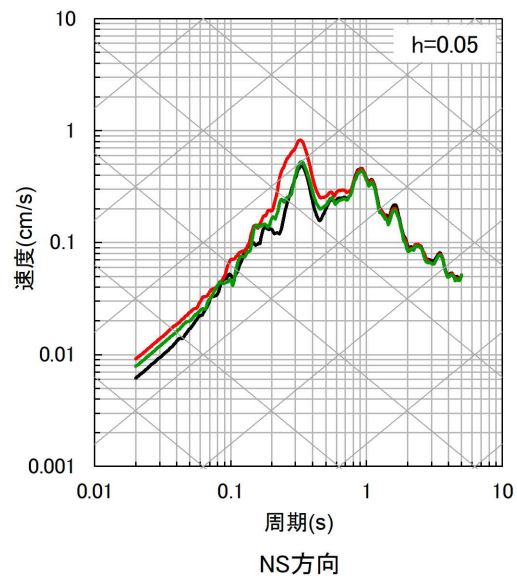
2. 地下構造モデルの再検討

■ 応答スペクトルの比較結果 (8/10)

⑮ 熊本県阿蘇地方



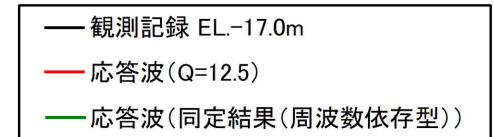
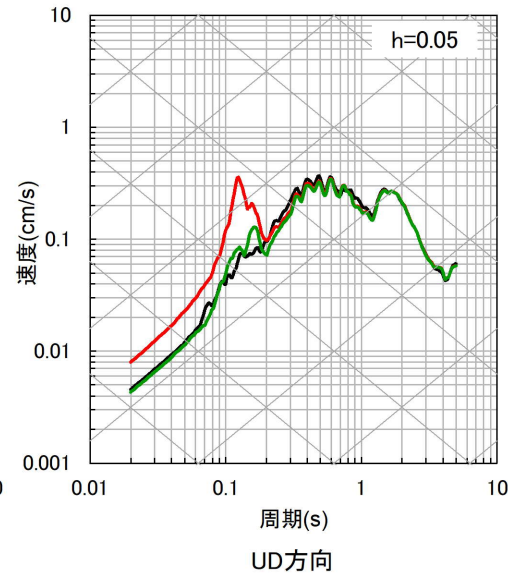
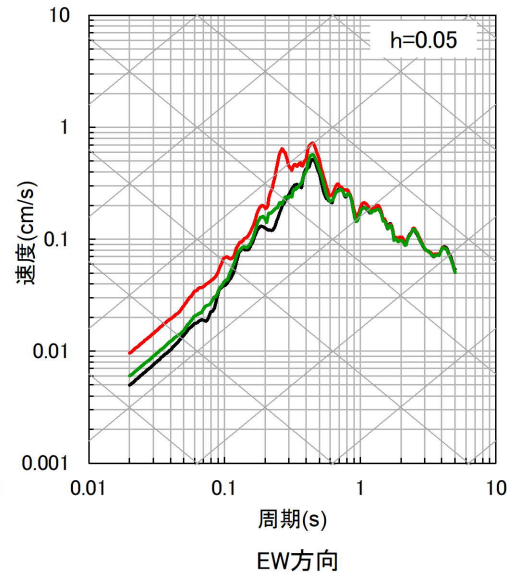
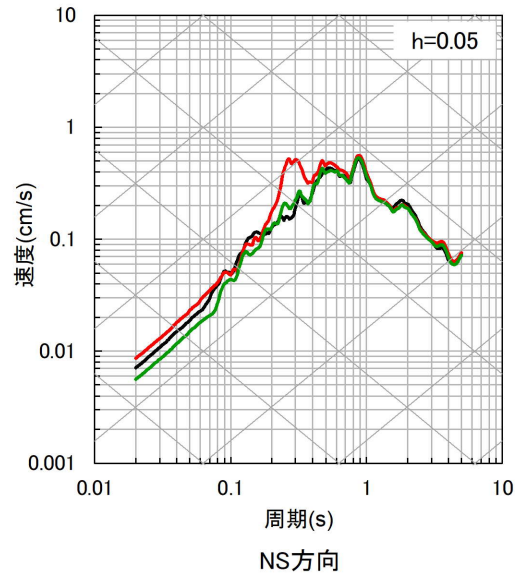
⑯ 熊本県熊本地方



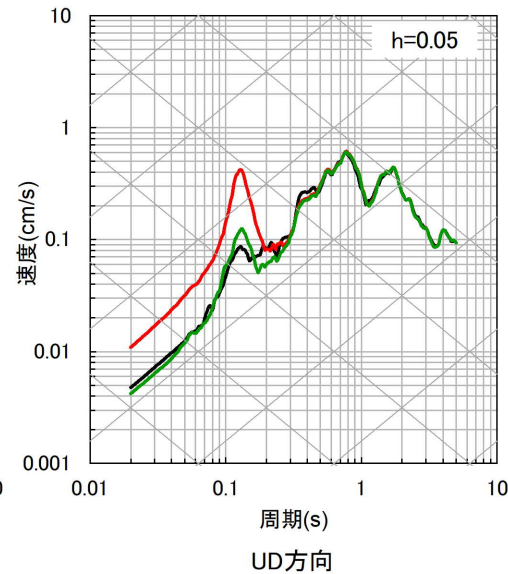
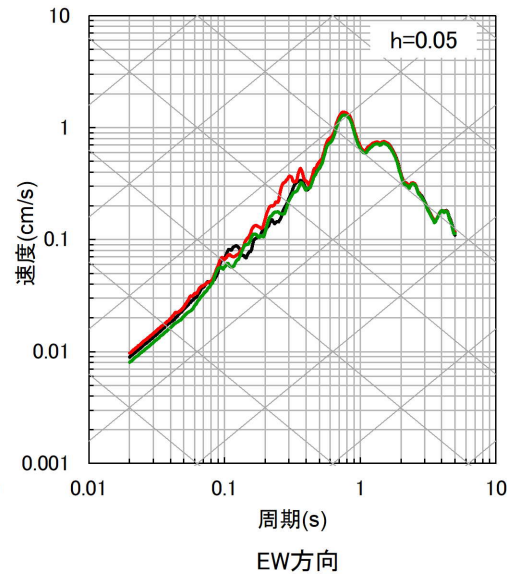
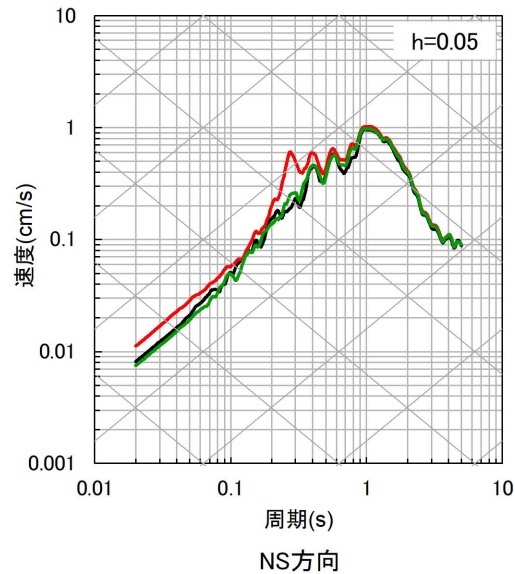
2. 地下構造モデルの再検討

■ 応答スペクトルの比較結果 (9/10)

⑰ 熊本県熊本地方



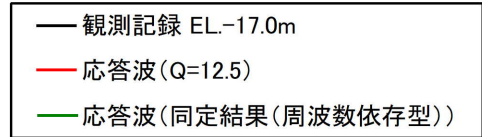
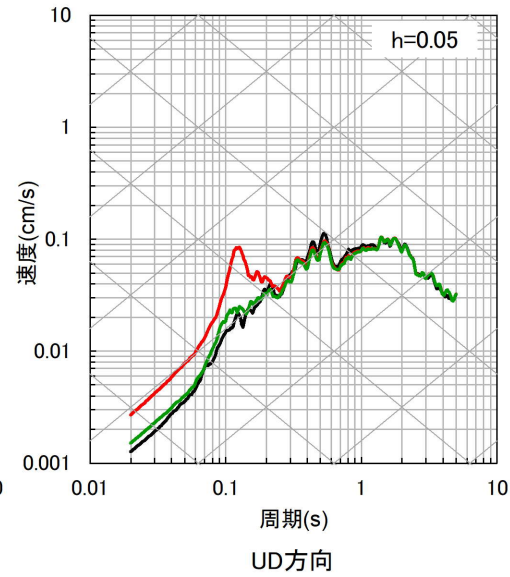
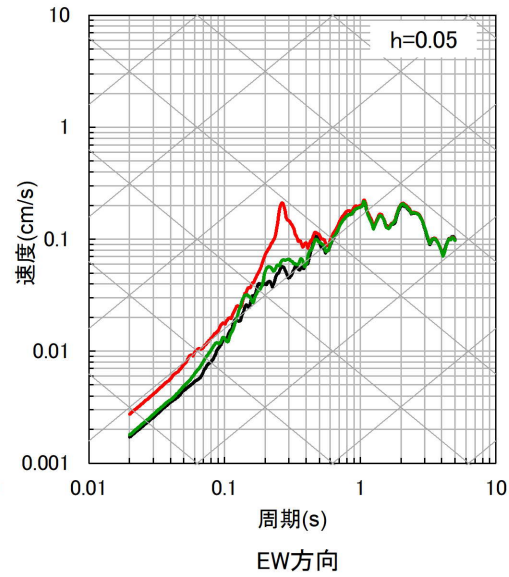
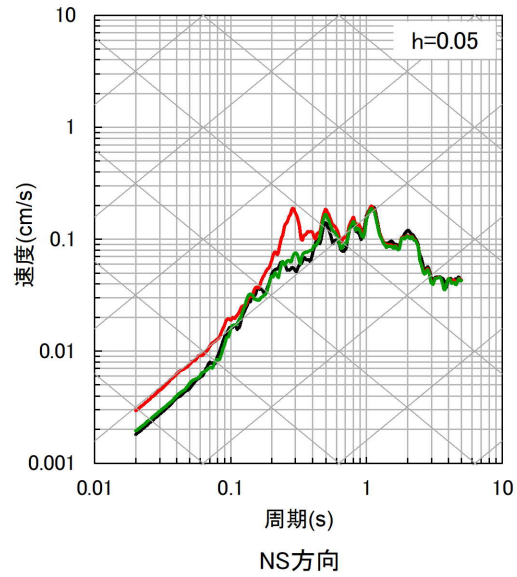
⑱ 熊本県阿蘇地方



2. 地下構造モデルの再検討

■ 応答スペクトルの比較結果 (10/10)

①9 熊本県熊本地方



2. 地下構造モデルの再検討


■ 一部の周期帯（水平：周期0.5秒付近）における特徴的なピークの生成要因


- 計算の境界条件（EL-200mでの速度コントラスト）の影響を確認するため、以下の2ケースで検討を実施。
 - 速度コントラストをなくした場合（PS検層モデルのEL. -200m以深を上層と同様に設定）
 - 速度コントラストを大きくした場合（PS検層モデルのEL. -200m以深のVsを大きく設定）
- 検討の結果、PS検層モデルの伝達関数に見られる一部の周期帯（水平：周期0.5秒付近）における特徴的なピークは、計算の境界条件（EL. -200mでの速度コントラスト）によることを確認。

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. -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

2. 地下構造モデルの再検討

a. 速度コントラストをなくした場合（PS検層モデルのEL. -200m以深を上層と同様に設定）

地表 ▼ (EL. 11.0m)	標準応答スペクトル用 モデル			QG-1aモデル			QG-2aモデル			QG-3aモデル			(出力)
	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)	1350	3000	12.5										
▼ (EL. -50.0m)													
▼ (EL. -90.0m)	1570	3440	12.5	1550	3190	11.3	1590	3220	11.8	1300	3140	10.7	
▼ (EL. -100m)													
▼ (EL. -144m)	1730	3470	12.5										
▼ (EL. -150m)													
▼ (EL. -200m)	1770	3650	12.5							1550	3320	10.6	
	2100	4000	200	1550	3190	200	1590	3220	200	1550	3320	200	(入力)

 : PS検層モデルとの相違点

2. 地下構造モデルの再検討

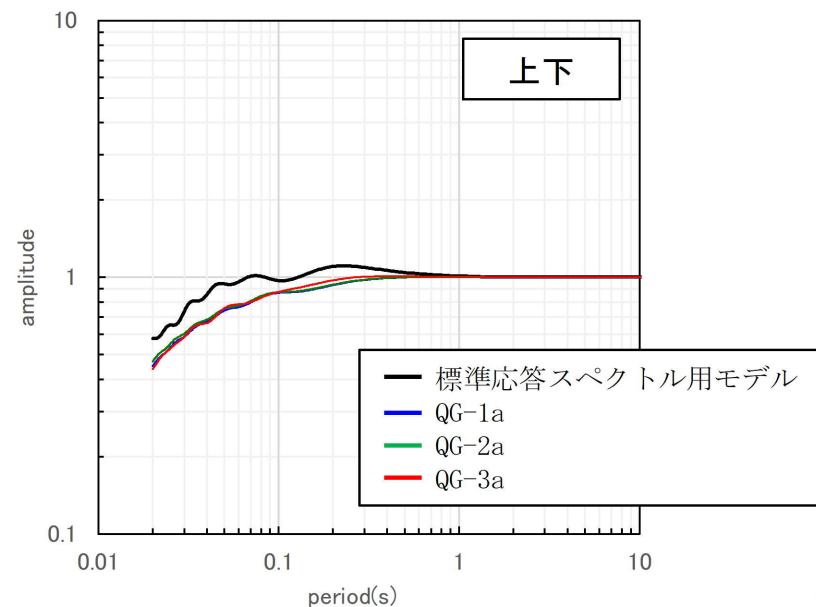
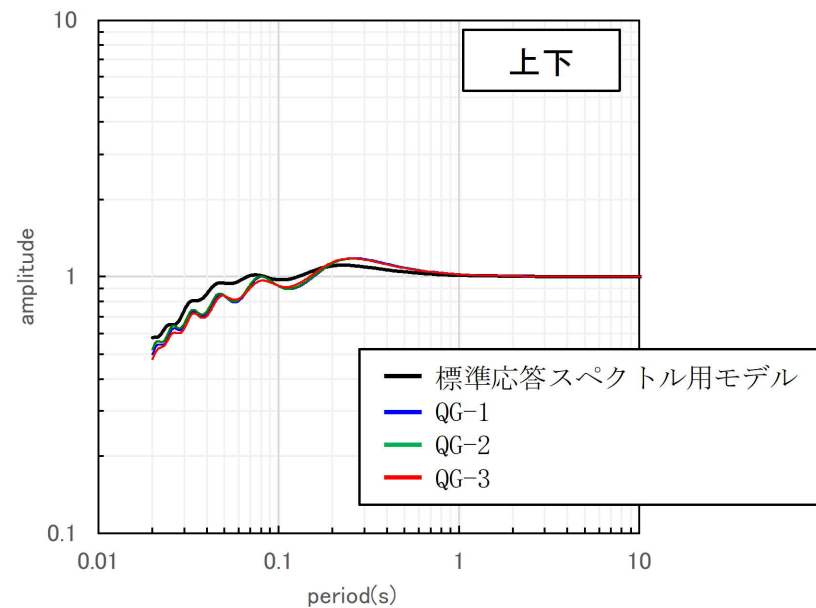
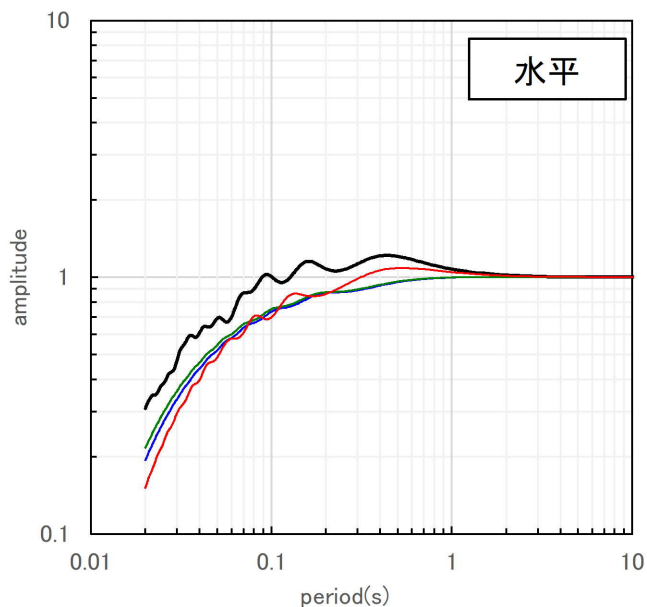
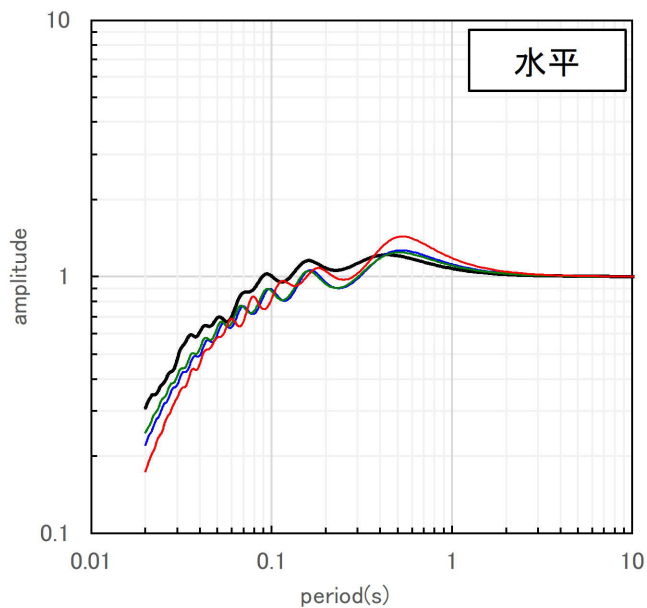
■ 伝達関数の比較

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

変更前
(コントラスト有)

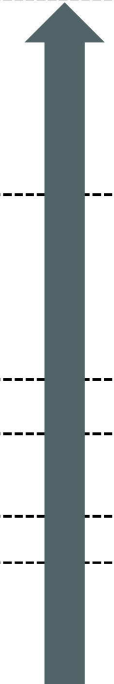



変更後
(コントラスト無)



2. 地下構造モデルの再検討

b. 速度コントラストを大きくした場合（PS検層モデルのEL. -200m以深のVsを大きく設定）

地表 ▼ (EL. 11.0m)	標準応答スペクトル用 モデル			QG-1bモデル			QG-2bモデル			QG-3bモデル			(出力)
	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)	1350	3000	12.5										
▼ (EL. -50.0m)										1300	3140	10.7	
▼ (EL. -90.0m)	1570	3440	12.5	1550	3190	11.3	1590	3220	11.8				
▼ (EL. -100m)													
▼ (EL. -144m)	1730	3470	12.5										
▼ (EL. -150m)													
▼ (EL. -200m)	1770	3650	12.5							1550	3320	10.6	
	2100	4000	200	3100	5500	200	3100	5500	200	3100	5500	200	(入力)

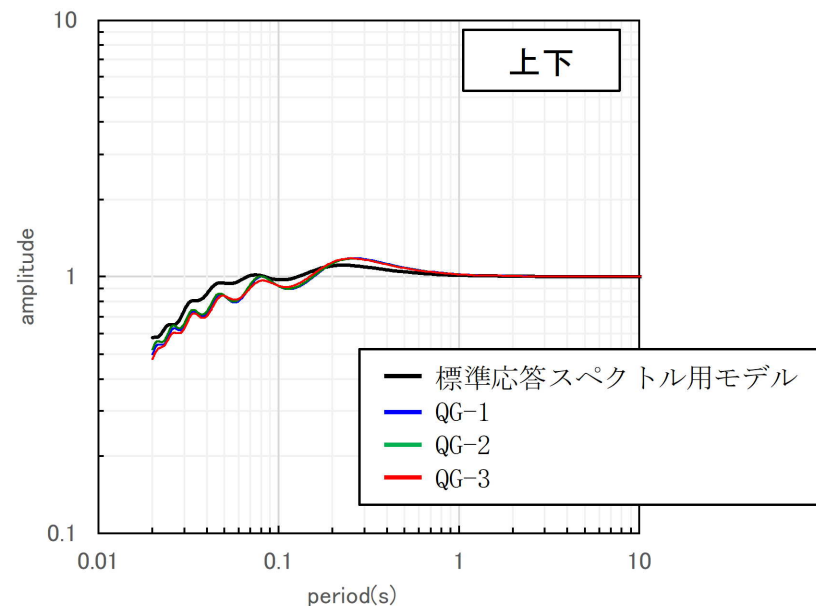
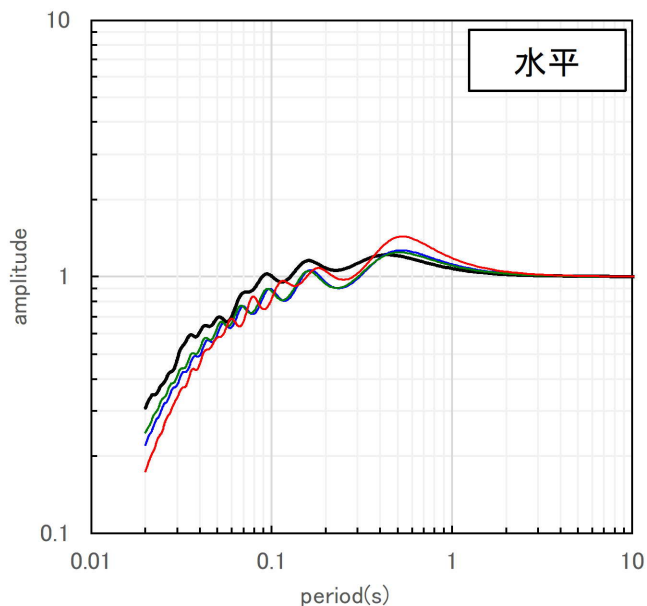
 : PS検層モデルとの相違点

2. 地下構造モデルの再検討

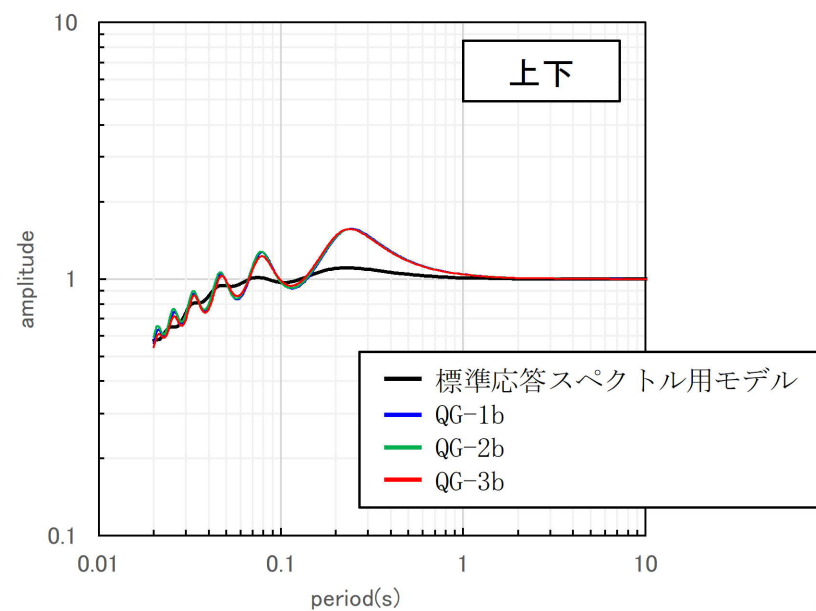
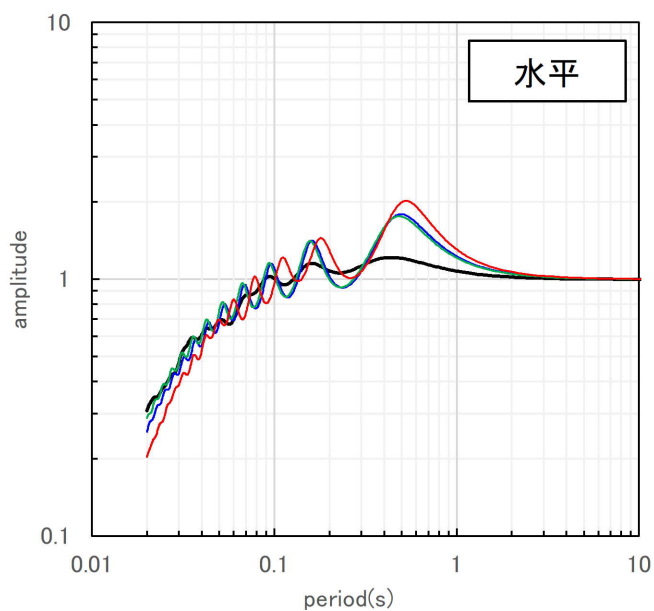
■ 伝達関数の比較

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

変更前
(コントラスト有)



変更後
(コントラスト大)



3. 地下構造モデルの設定


3. 地下構造モデルの設定

■ 標準応答スペクトル用モデルの見直し

- 前頁までの検討結果により、解放基盤表面（EL. -15m）からEL. -200mまでの地下構造モデルの妥当性を再確認。
- ただし、PS検層モデルにある特徴的なピークの確認事実を踏まえ、保守的に最深部地震計（EL. -90m）以深からEL. -200mまでの地盤減衰（Q値）を以下のとおり見直し。

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
（標準応答スペクトル用モデル）

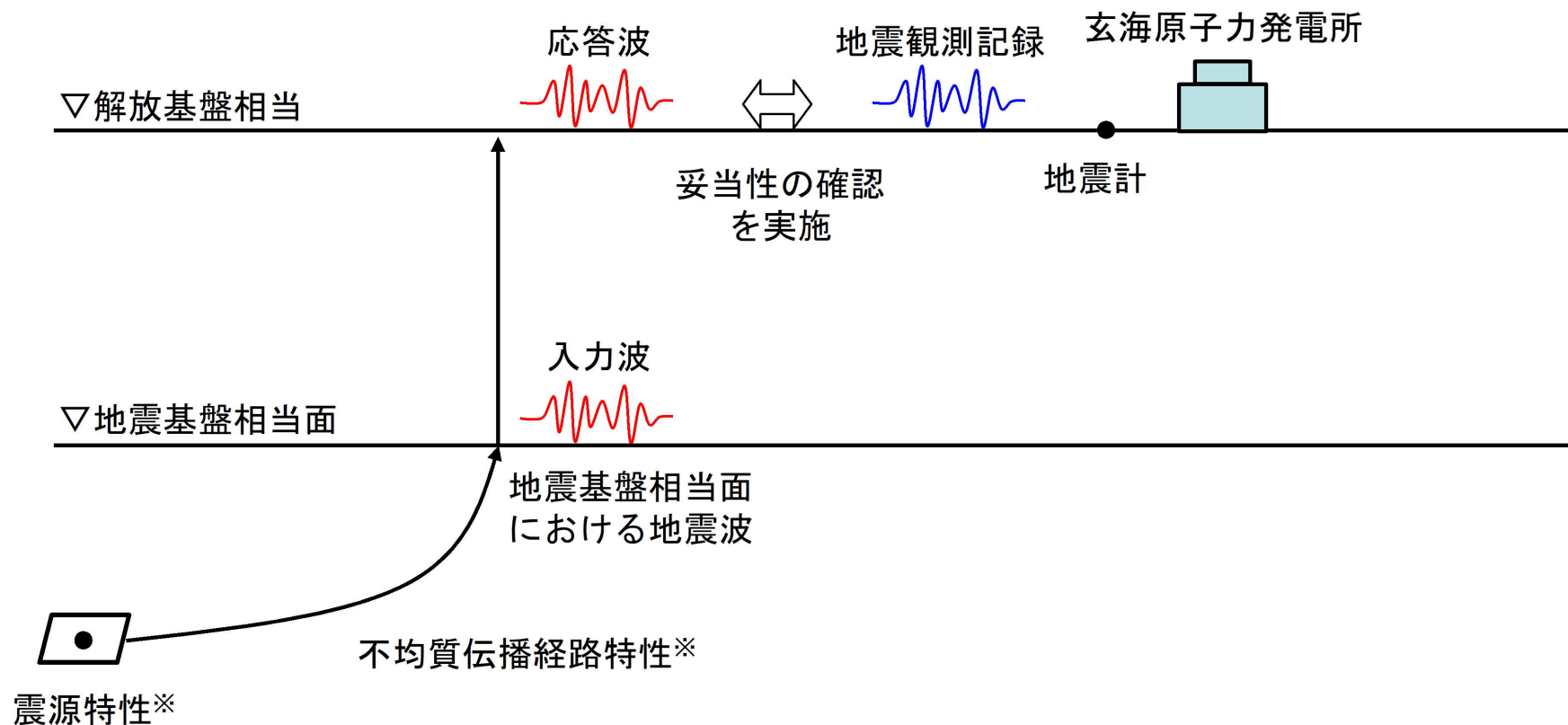
EL.	層上面 (km)	密度 ρ (g/cm ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q 値
解放基盤表面 -15m	0.0	2.35	1350	3000	12.5
-50m	-0.035	2.35	1570	3440	12.5
-90m	-0.075	2.35	1570	3440	16.7
-100m	-0.085	2.35	1730	3470	16.7
-150m	-0.135	2.35	1770	3650	16.7
-200m	-0.185	2.40	2100	4000	200
-1804m	-1.789	2.60	3100	5500	300

 : 見直し範囲

4. 地下構造モデル全体の妥当性確認

4. 地下構造モデル全体の妥当性確認

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



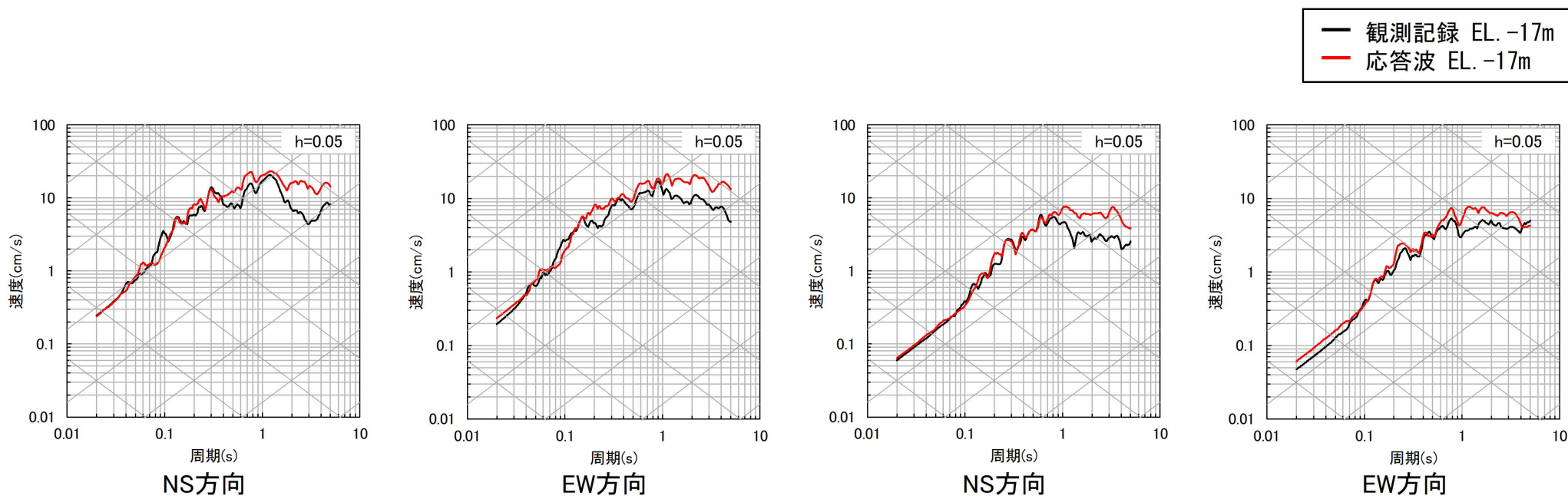
※友澤ほか(2021)によるブロックインバージョン結果

地下構造モデルの妥当性確認のイメージ

4. 地下構造モデル全体の妥当性確認

■ 応答スペクトルによる確認

- 敷地で観測された規模の大きな地震である、2005年3月20日福岡県西方沖地震本震および2016年4月16日熊本県熊本地震本震を用いて、解放基盤相当位置 (EL. -17m) での応答波と観測記録の応答スペクトルによる比較を実施。
- 比較の結果、地下構造モデルを用いた応答波は、観測記録を同等もしくは上回ることを確認。



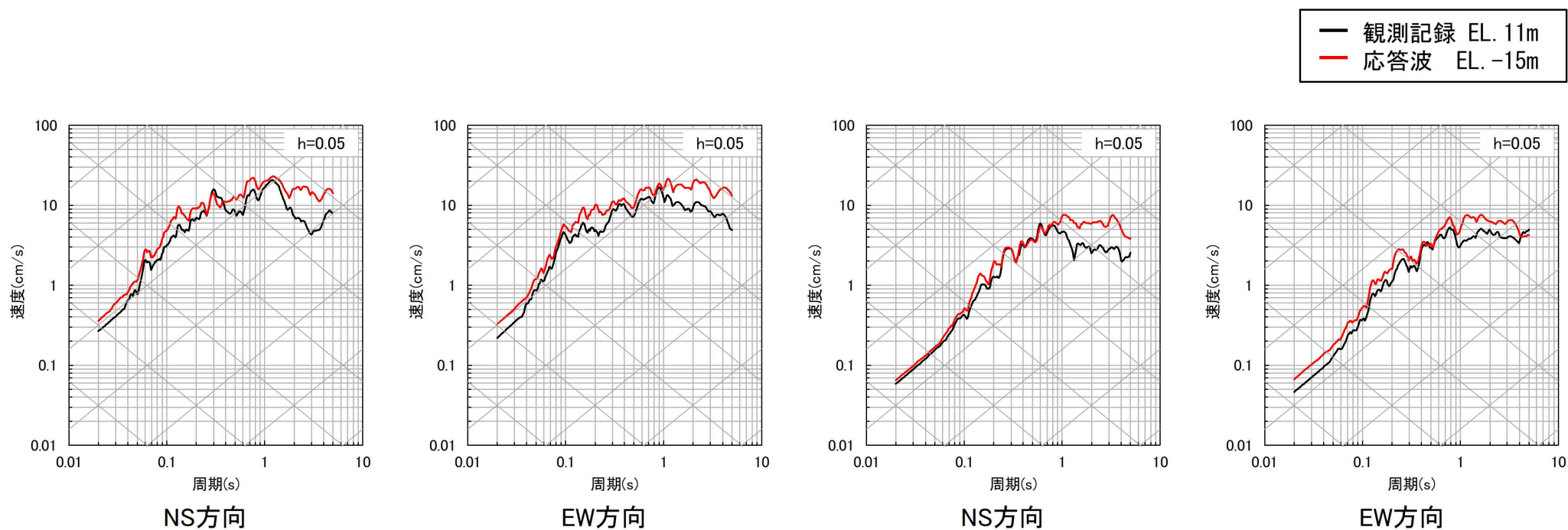
2005年3月20日福岡県西方沖地震本震

2016年4月16日熊本県熊本地震本震

4. 地下構造モデル全体の妥当性確認

【参考】応答スペクトル（2E波）の比較

- 前頁はE+F波で比較した結果であったのに対し、ここでは、2005年3月20日福岡県西方沖地震本震および2016年4月16日熊本県熊本地震本震を用いて、2E波による比較を実施。
- 地表面（EL. 11m）における観測記録の応答スペクトル（2E波）と、解放基盤表面（EL. -15m）における応答波の応答スペクトル（2E波）を比較した結果、応答波は観測記録の振動性状を適切に表現できていることを確認。



2005年3月20日福岡県西方沖地震本震

2016年4月16日熊本県熊本地震本震

参考文献

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