

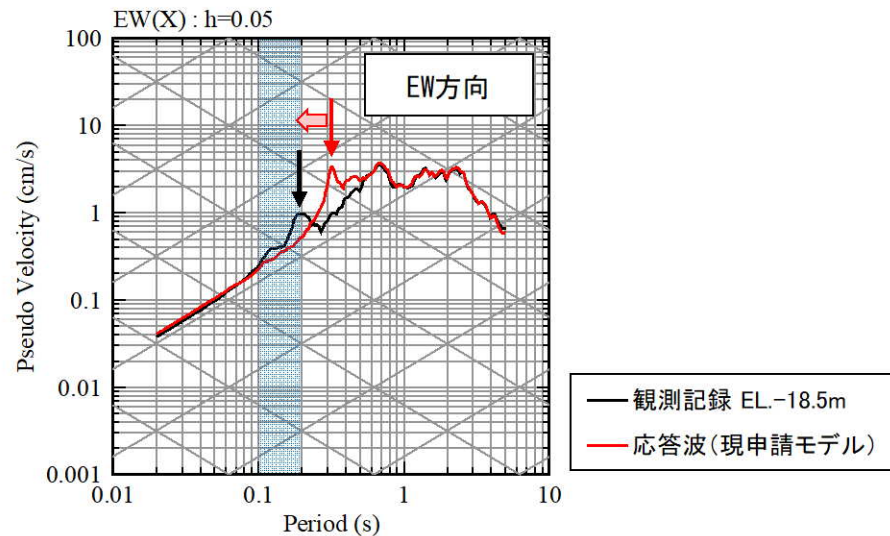
【参考①】 速度構造を見直したモデルの設定及び観測記録との整合性確認

【参考①】速度構造を見直したモデルの設定及び観測記録との整合性確認

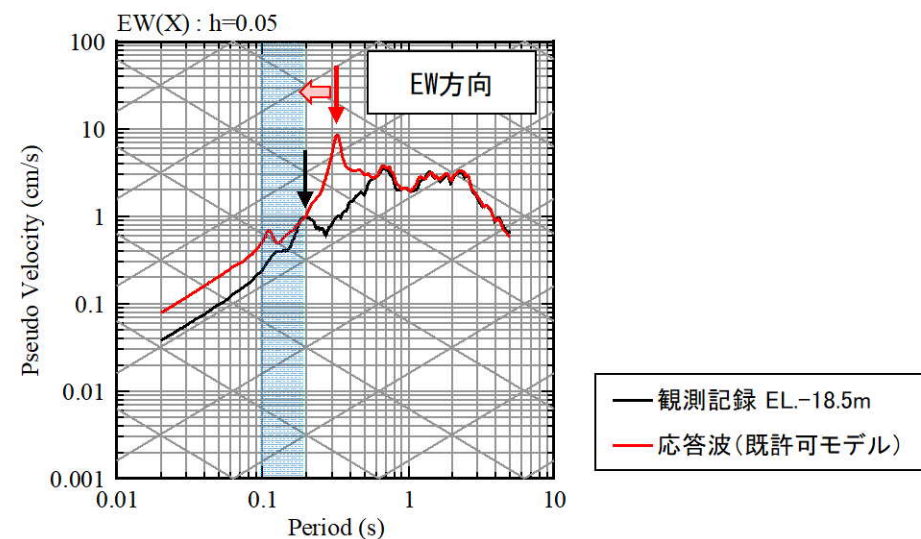
速度構造を見直したモデルの設定 (1/2)

- 観測記録の応答スペクトルでは周期0.1秒から0.2秒にピークが見られるのに対し、速度構造が同じである現申請モデル及び既許可モデルの応答波の応答スペクトルのピークでは周期0.3秒から0.4秒に見られ、両者のピークの周期がずれている。
- このピークの周期のずれは、速度構造に起因すると考えられ、ピークを合わせるためには、地下構造モデルの速度を速くする必要がある。既許可時から得られている以下を参照し、速度構造の見直しを検討。
 - 2号炉心位置周辺におけるPS検層結果（建設時の地質調査結果）では、解放基盤表面付近のせん断波速度は $V_s=2150\text{m/s}$ である。（53頁）
 - PS検層結果に基づく速度層断面では、炉心位置周辺のせん断波速度は $V_s=2050\text{m/s}$ である。（54頁～56頁）
- 以上を踏まえ、次頁のとおり、速度構造を見直したモデルを設定。

〔①〕熊本県熊本地方（2016年熊本地震本震）の例



現申請モデル



既許可モデル

【参考①】速度構造を見直したモデルの設定及び観測記録との整合性確認

速度構造を見直したモデルの設定 (2/2)

- EL. -28.5m~EL. -200mのVsについては、炉心位置周辺におけるPS検層結果（建設時の地質調査結果）を踏まえ、Vs=2150m/sと設定。EL. -200m~EL. -480mのVsについては、上下層の速度を参照してVs=2150m/sと設定。
- EL. -28.5m~EL. -480mのVpについては、炉心位置周辺におけるPS検層結果（建設時の地質調査結果）のVp=4250m/s、PS検層結果に基づく速度層断面のVp=4330m/s、及びEL. -480m以深の微動アレイの速度構造のVp=4400m/sを基に、Vs=2150m/sの範囲は同じVpの値となるようVp=4400m/sと設定。

なお、地下深部（EL.-200mからEL.-480mまで）の速度構造について、地震観測記録やPS検層による直接的な地盤物性のデータがないため、追加調査や分析等により、妥当性の説明に時間を要する。

(現申請モデル)

(速度構造を見直したモデル)

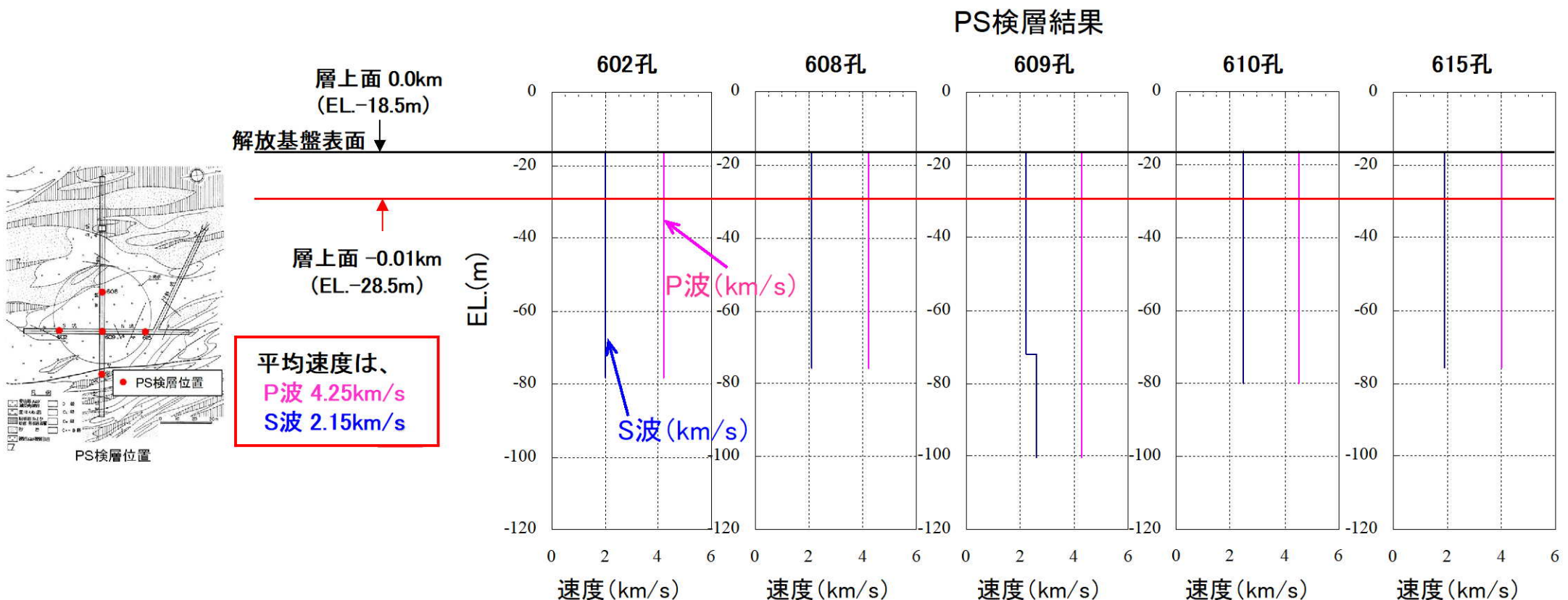
EL.	層上面 (km)	密度 ρ (g/cm ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値	設定根拠 (Vs、Vp)	密度 ρ (g/cm ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値	設定根拠 (Vs、Vp)	
解放基盤表面	-18.5m	0.0	2.70	1500	3200	12.5	試掘坑内弾性波試験	2.70	1500	3200	12.5	試掘坑内弾性波試験
-28.5m	-0.01	2.70	1600	3700	12.5	鉛直アレイ及び微動アレイの速度構造を基に設定	2.70	2150	4400	12.5	PS検層結果を基に設定	
-200m	-0.182	2.70	1600	3700	100	微動アレイの速度構造を基に設定	2.70	2150	4400	100	上下層の速度を基に設定	
-480m	-0.462	2.70	2150	4400	200	微動アレイの速度構造を基に設定	2.70	2150	4400	200	微動アレイの速度構造を基に設定	
-1018.5m	-1.0	2.70	3010	5200	200	宮腰ほか（2004）	2.70	3010	5200	200	宮腰ほか（2004）	

【参考①】速度構造を見直したモデルの設定及び観測記録との整合性確認

建設時のPS検層結果

- 2号炉心位置周辺におけるPS検層結果（建設時の地質調査結果）では、解放基盤表面付近で $V_s=2150\text{m/s}$ 、 $V_p=4250\text{m/s}$ である。

第18回審査会合資料より抜粋



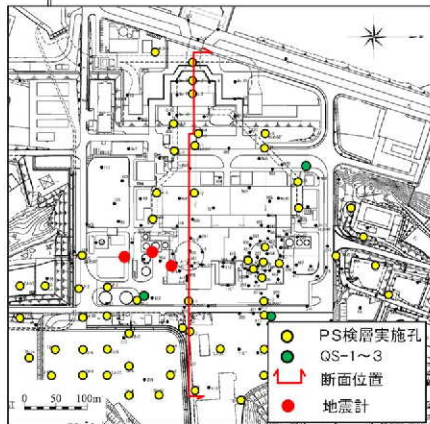
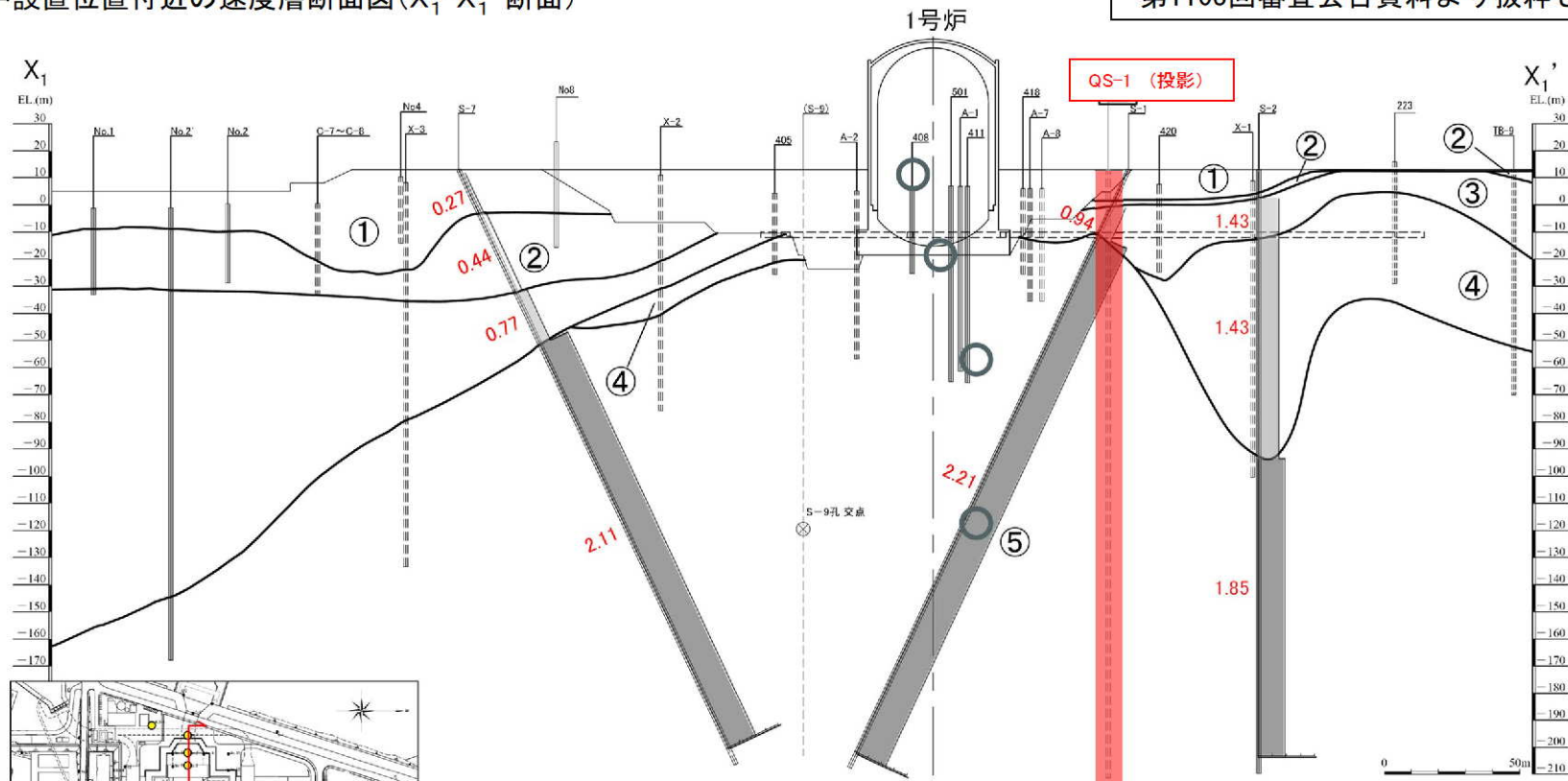
【参考①】速度構造を見直したモデルの設定及び観測記録との整合性確認

PS検層結果に基づく速度層断面 (1/3)

- PS検層結果に基づく速度層断面では、解放基盤表面 (EL. -18.5m) 以深の原子炉建屋直下及び地震計位置で $V_s=2050\text{m/s}$ 、 $V_p=4330\text{m/s}$ である。

原子炉設置位置付近の速度層断面図 (X_1-X_1' 断面)

第1103回審査会合資料より抜粋し一部追記※



速度層区分	S波速度 V_s (km/s)	P波速度 V_p (km/s)
①	0.28	1.17
②	0.52	1.86
③	0.90	2.51
④	1.37	3.40
⑤	2.05	4.33

○ 地震計設置位置 (投影)

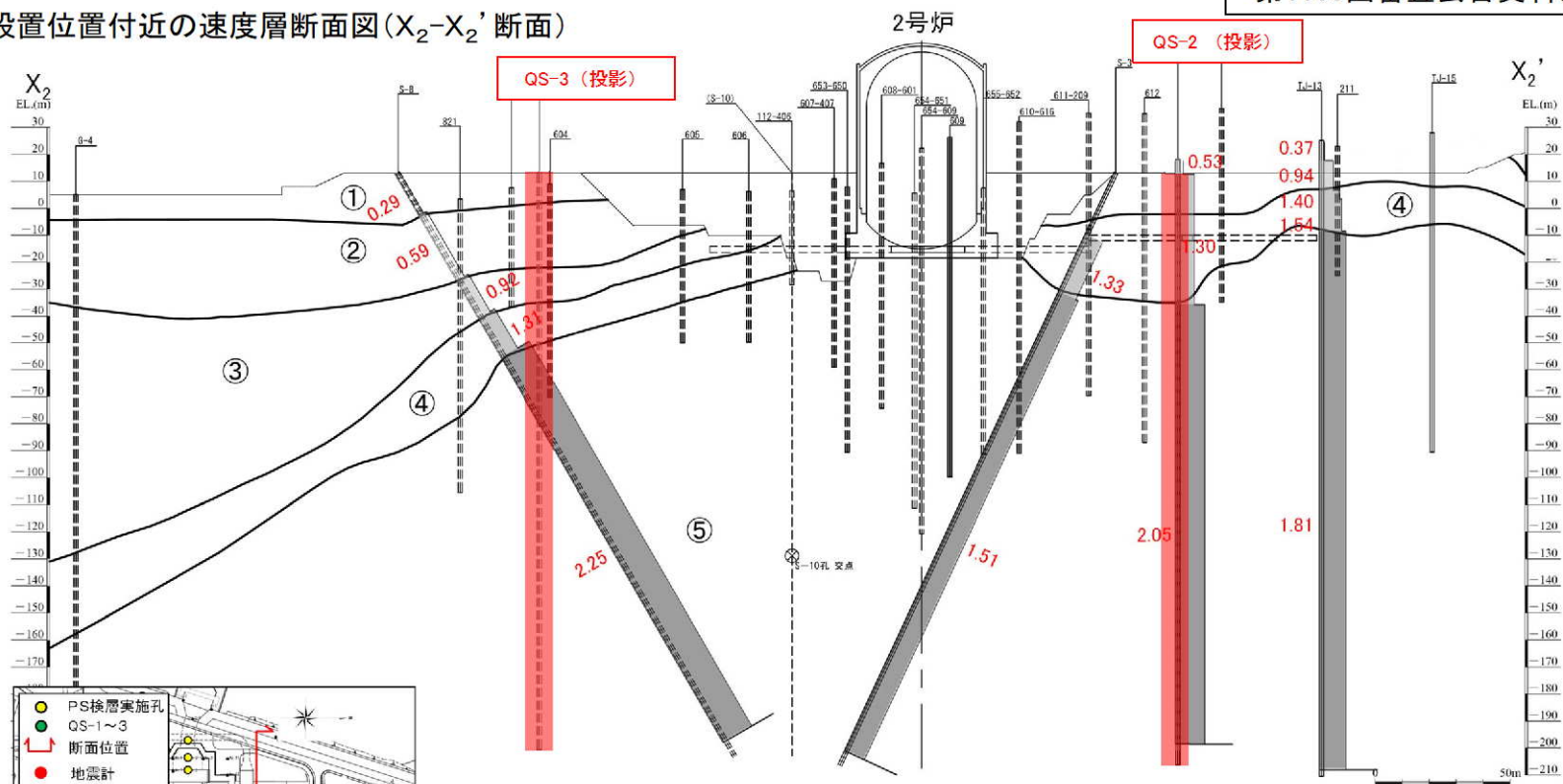
※第1103回会合資料の抜粋に、試掘坑位置、各速度層区分のP波速度、追加ボーリング位置 (QS-1~3) 及び地震計設置位置を追記

【参考①】速度構造を見直したモデルの設定及び観測記録との整合性確認

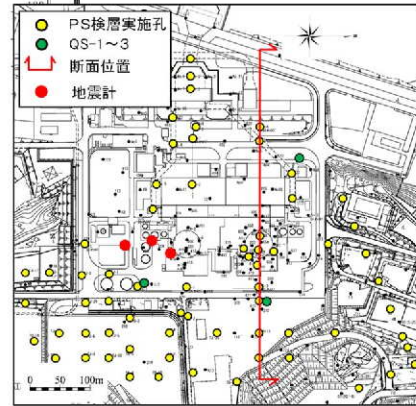
PS検層結果に基づく速度層断面 (2/3)

- PS検層結果に基づく速度層断面では、解放基盤表面 (EL. -18.5m) 以深の原子炉建屋直下及び地震計位置で $V_s=2050\text{m/s}$ 、 $V_p=4330\text{m/s}$ である。

原子炉設置位置付近の速度層断面図 (X_2-X_2' 断面)



第1103回審査会合資料より抜粋し一部追記※



速度層区分	S波速度Vs (km/s)	P波速度Vp (km/s)
①	0.28	1.17
②	0.52	1.86
③	0.90	2.51
④	1.37	3.40
⑤	2.05	4.33

※第1103回会合資料の抜粋に、試掘坑位置、各速度層区分のP波速度、追加ボーリング位置 (QS-1~3) 及び地震計設置位置を追記

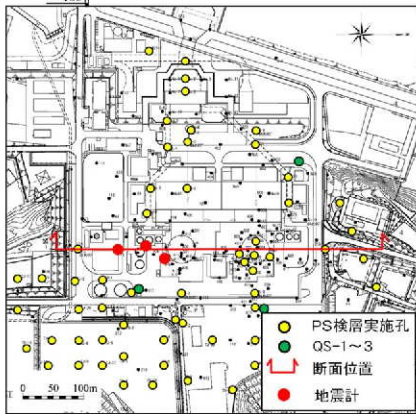
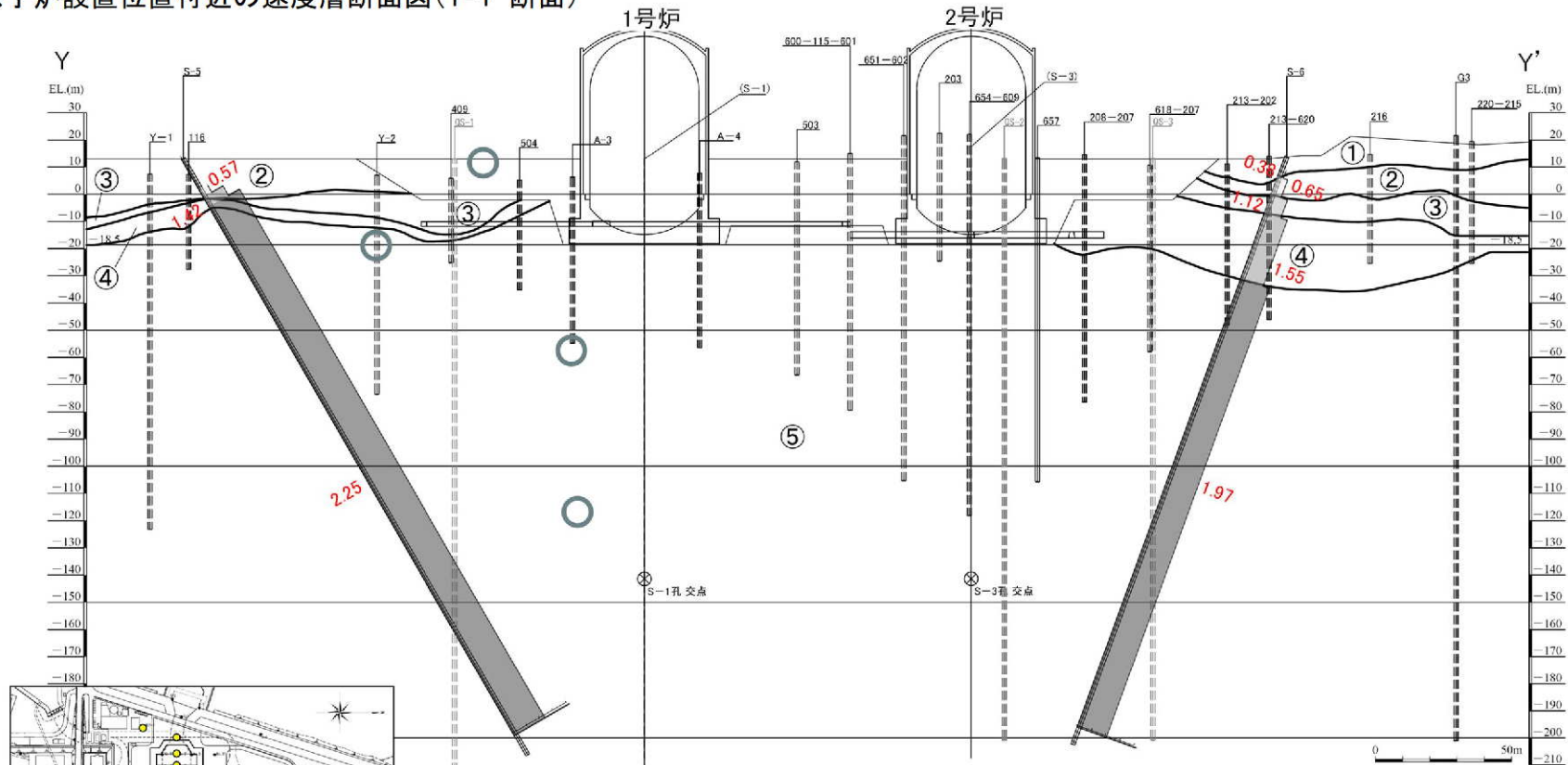
【参考①】速度構造を見直したモデルの設定及び観測記録との整合性確認

PS検層結果に基づく速度層断面 (3/3)

- PS検層結果に基づく速度層断面では、解放基盤表面 (EL. -18.5m) 以深の原子炉建屋直下及び地震計位置で $V_s=2050\text{m/s}$ 、 $V_p=4330\text{m/s}$ である。

第1103回審査会合資料より抜粋し一部追記※

原子炉設置位置付近の速度層断面図(Y-Y'断面)



速度層区分	S波速度Vs (km/s)	P波速度Vp (km/s)
①	0.28	1.17
②	0.52	1.86
③	0.90	2.51
④	1.37	3.40
⑤	2.05	4.33

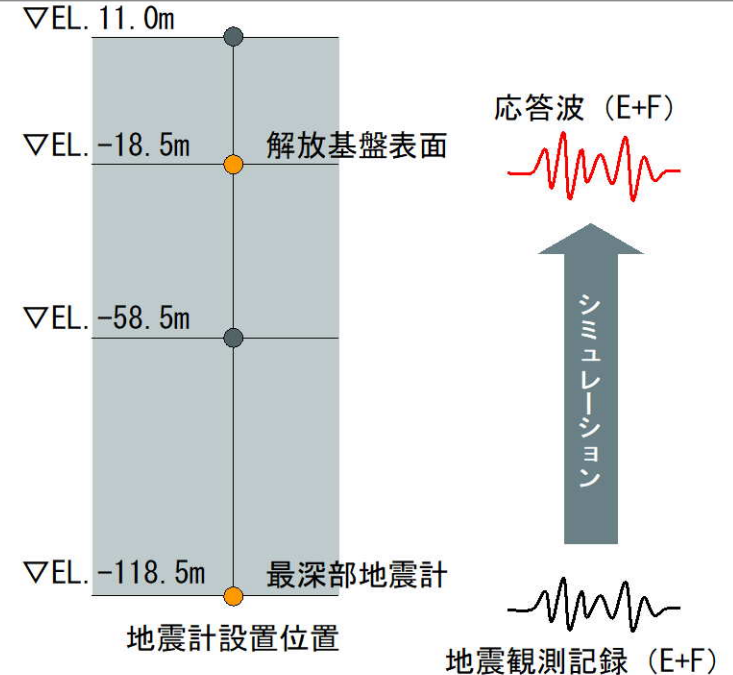
○ 地震計設置位置(投影)

※第1103回会合資料の抜粋に、各速度層のP波速度、追加ボーリング位置 (QS-1~3) 及び地震計設置位置を追記

【参考①】速度構造を見直したモデルの設定及び観測記録との整合性確認

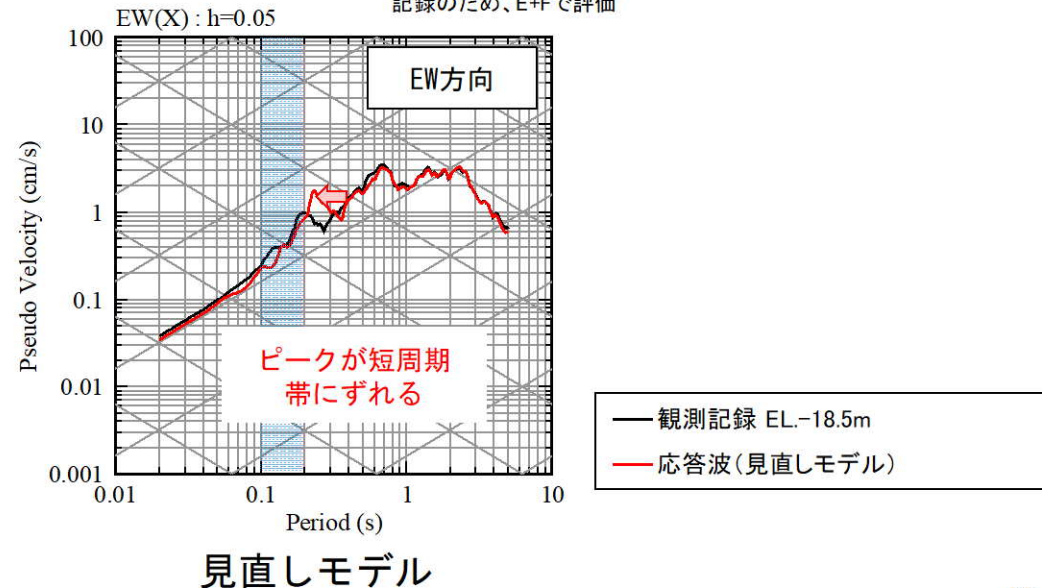
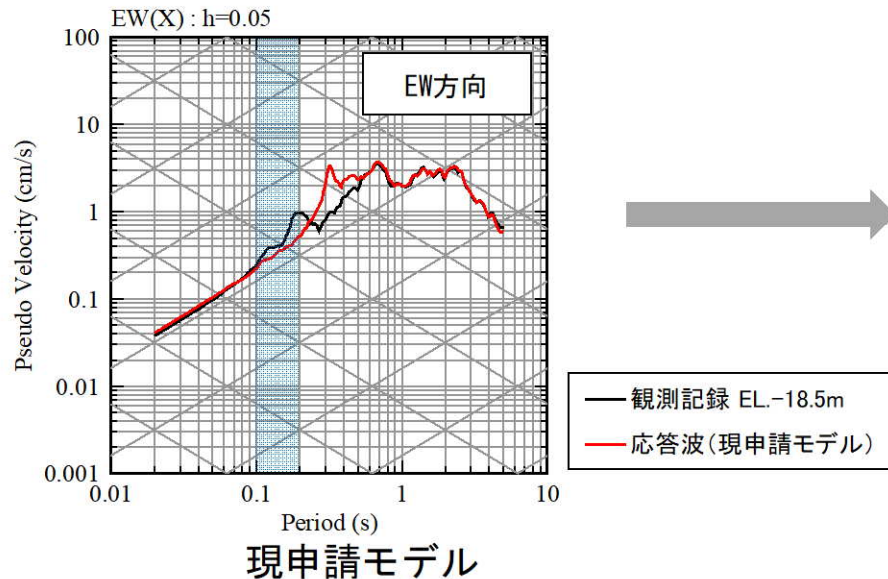
速度構造を見直したモデルによる観測記録との整合性確認

- 速度構造を見直したモデル（以下、見直しモデル）（52頁）を用いて、最深部地震計（EL. -118.5m）で得られた地震観測記録を入力※とし、1次元波動論に基づき、推定した応答波（EL. -18.5m）※の応答スペクトルと同位置の地震計で得られた地震観測記録の応答スペクトルとの比較を実施。
- 見直しモデルは、現申請モデルに比べて速度を速くすることにより、現申請モデルの応答波に見られる0.3秒から0.4秒のピークが短周期帯にずれることから、周期0.1秒から0.2秒において、観測記録との整合性が改善されるものの、既許可モデルと同程度。（参考②）



〔①〕熊本県熊本地方（2016年熊本地震本震）の例

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



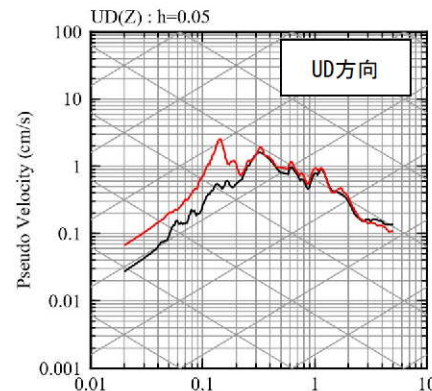
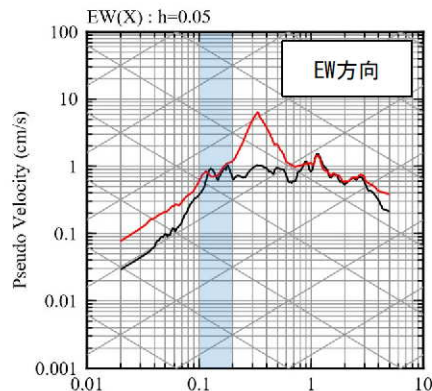
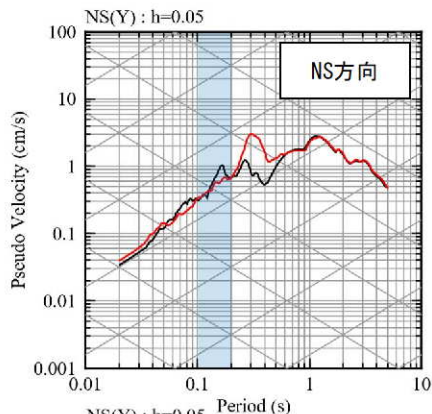
【参考②】 応答スペクトルの比較結果

【参考②】 応答スペクトルの比較結果

■ 応答スペクトルの比較結果 (1/20)

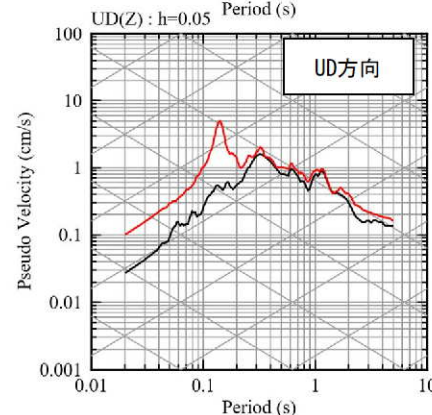
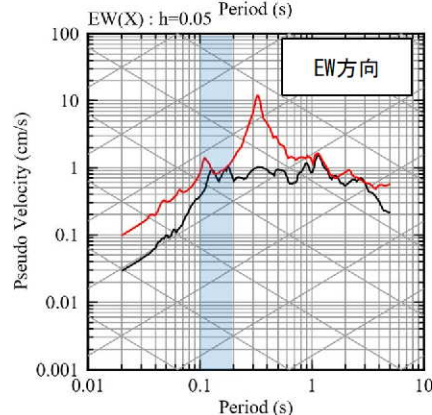
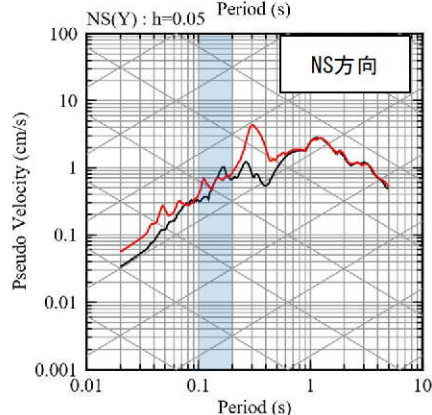
①九州西側海域

現申請モデル



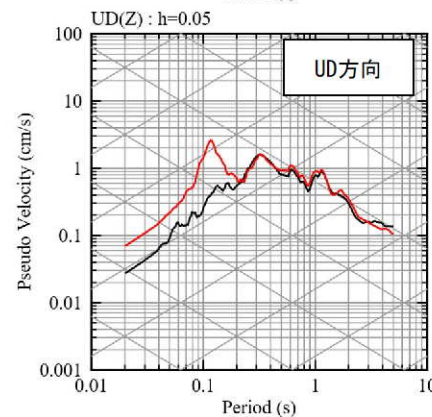
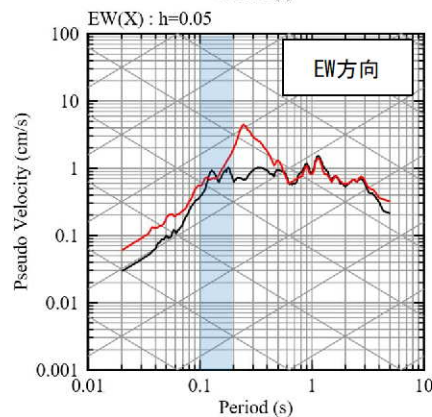
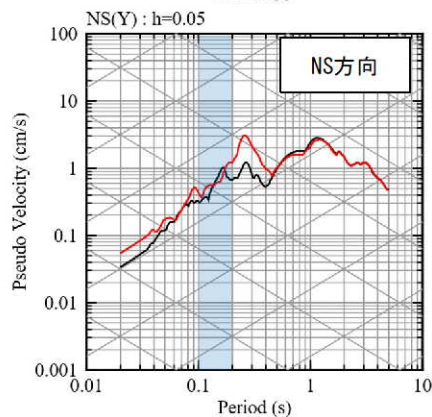
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

既許可モデル



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (既許可モデル)

見直しモデル



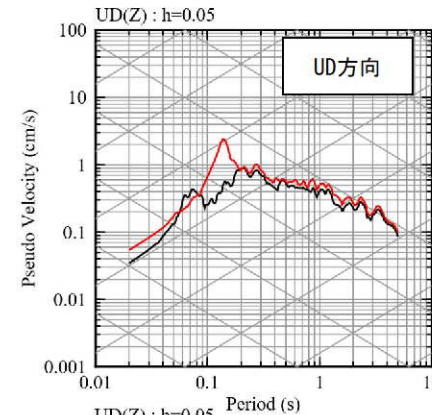
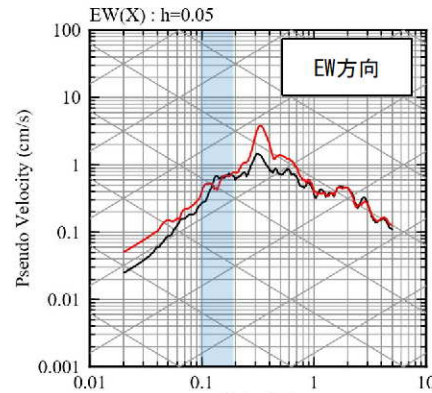
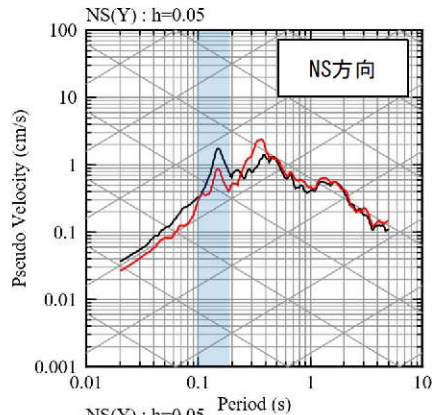
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考②】 応答スペクトルの比較結果

■ 応答スペクトルの比較結果 (2/20)

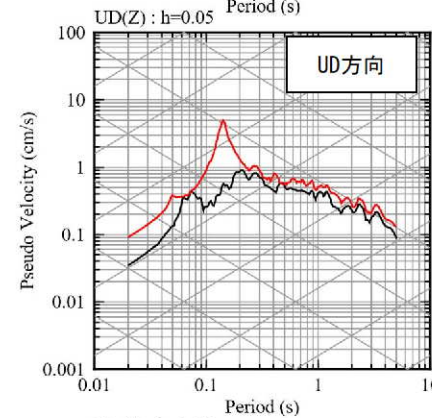
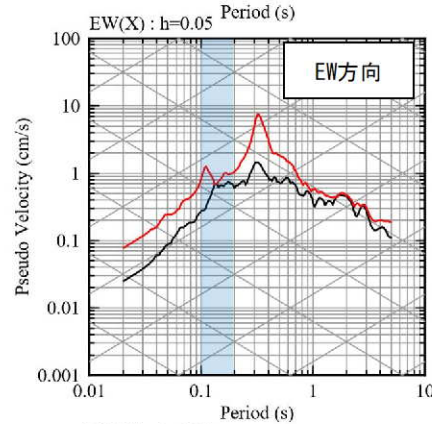
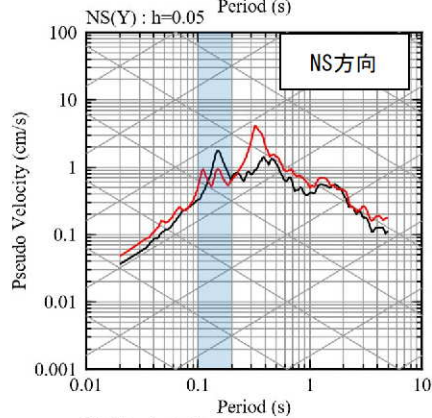
② 鹿児島県北西部

現申請モデル



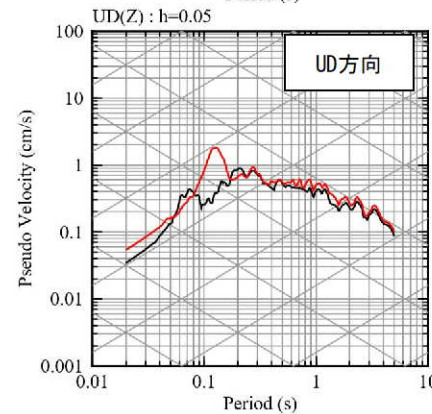
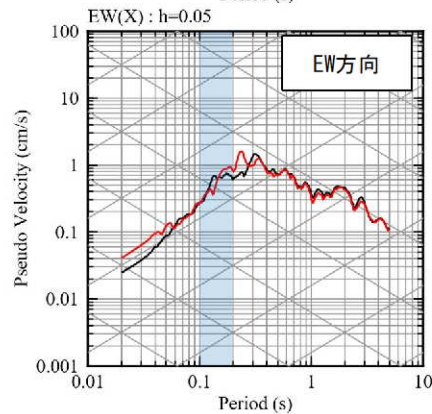
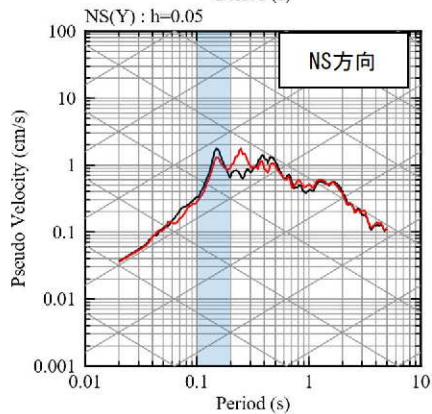
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波(現申請モデル)

既許可モデル



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波(既許可モデル)

見直しモデル



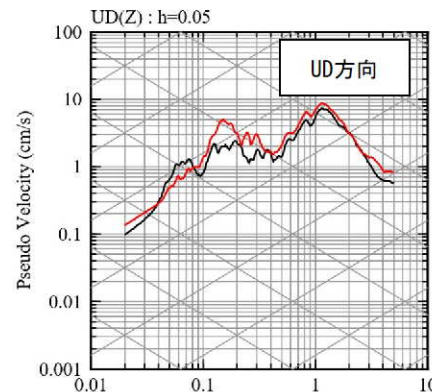
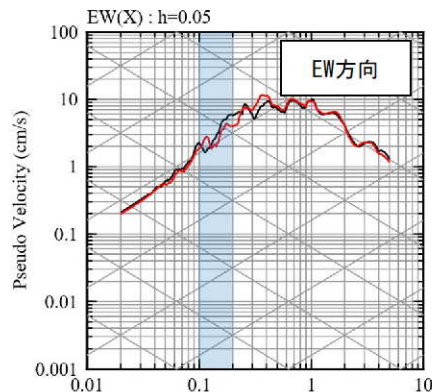
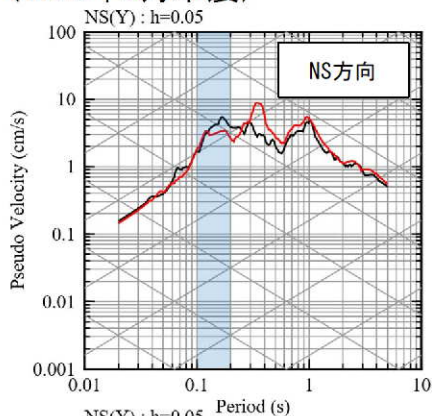
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波(見直しモデル)

【参考②】 応答スペクトルの比較結果

■ 応答スペクトルの比較結果 (3/20)

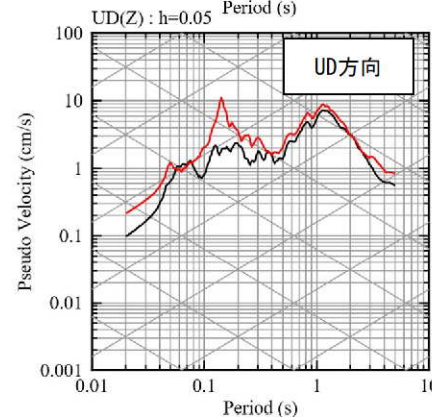
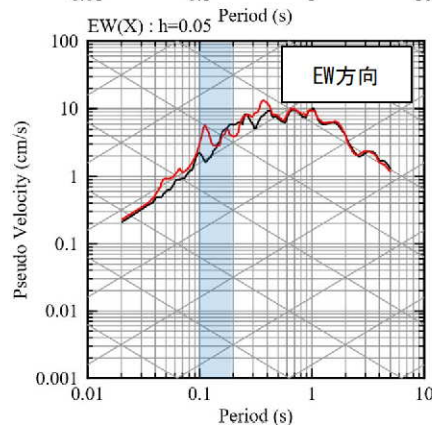
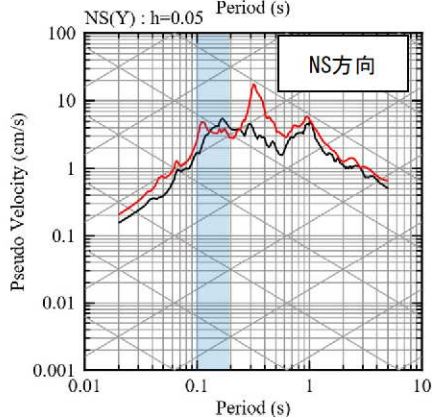
③ 鹿児島県北西部 (1997年3月本震)

現申請モデル



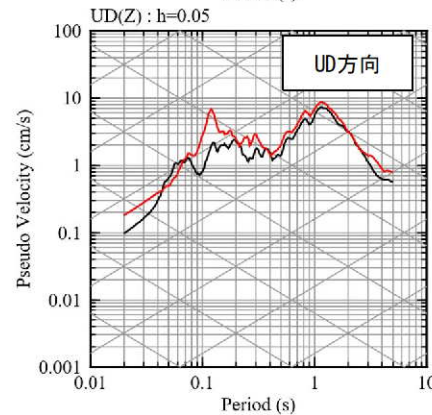
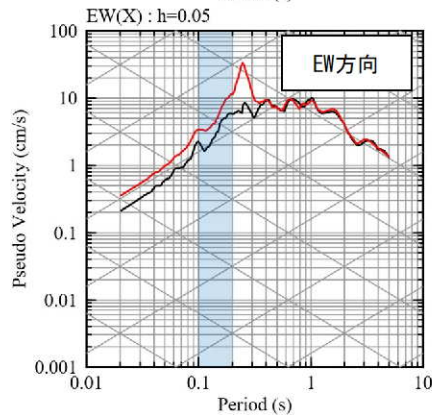
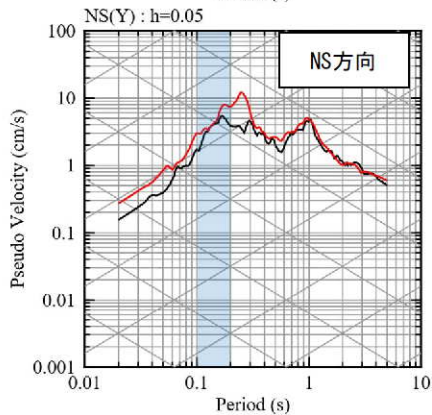
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

既許可モデル



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (既許可モデル)

見直しモデル



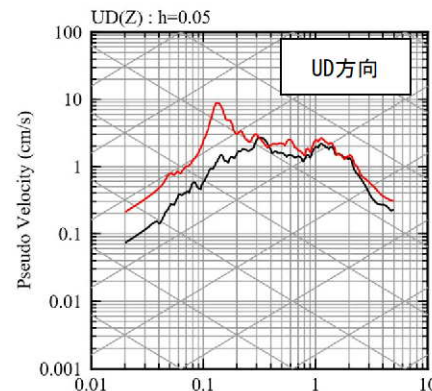
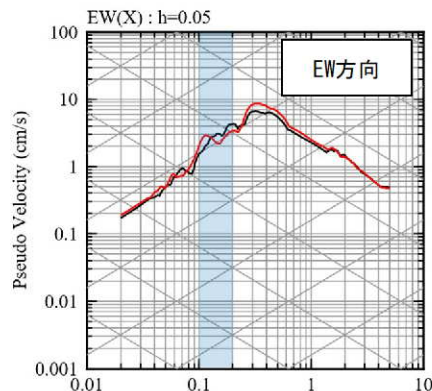
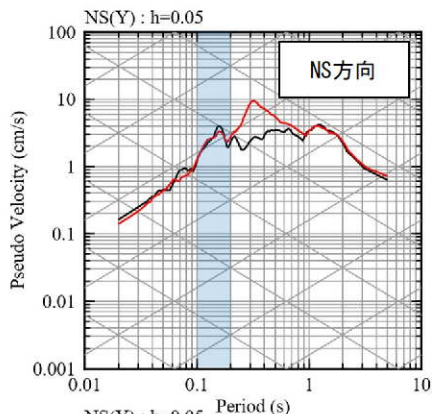
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考②】 応答スペクトルの比較結果

■ 応答スペクトルの比較結果 (4/20)

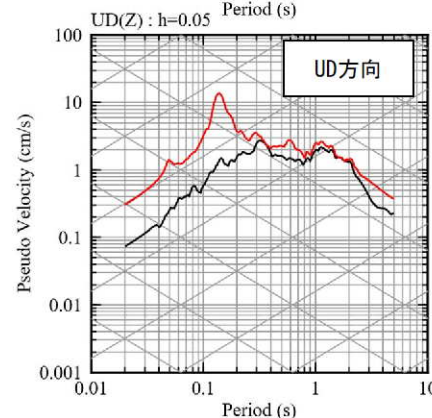
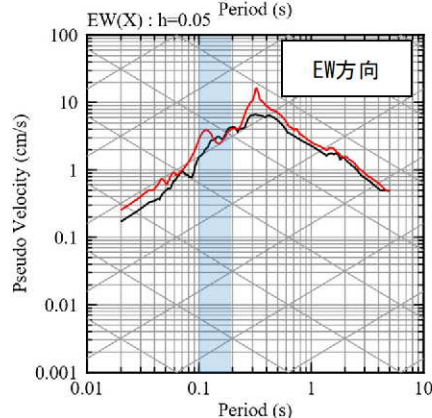
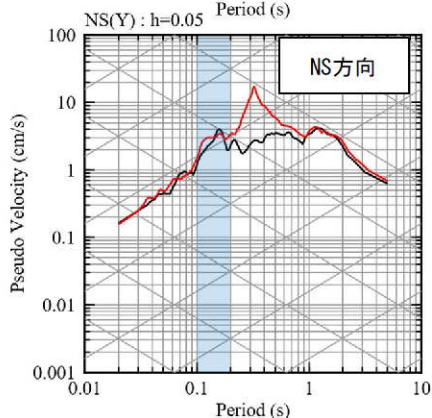
④ 鹿児島県北西部

現申請モデル



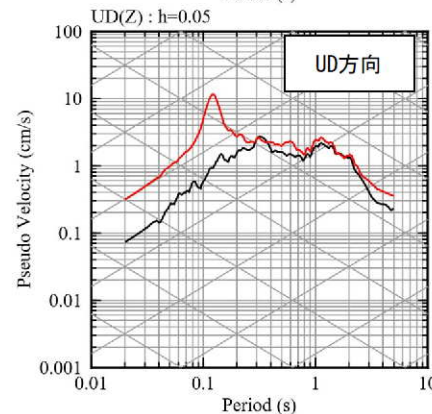
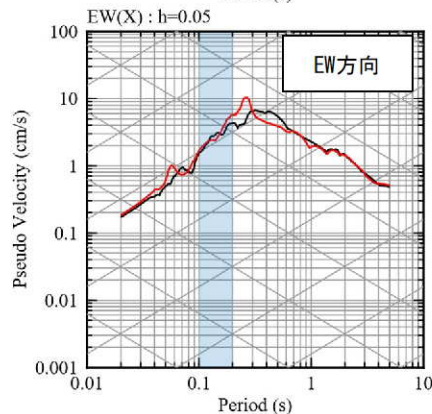
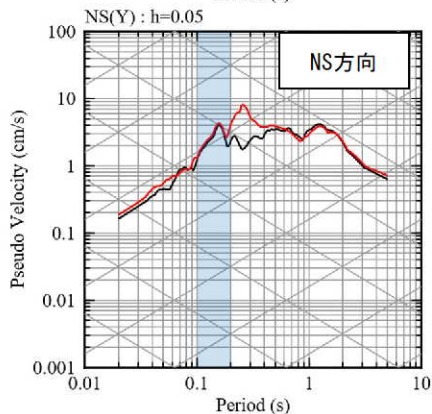
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

既許可モデル



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (既許可モデル)

見直しモデル



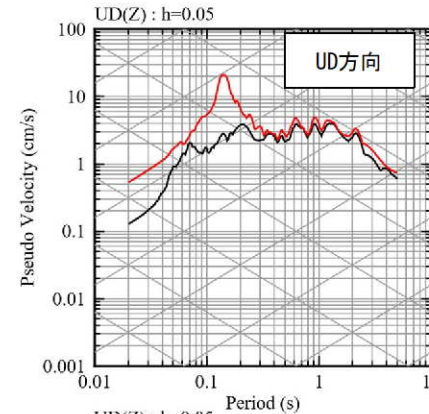
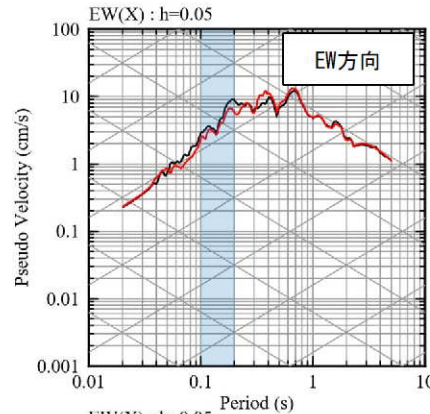
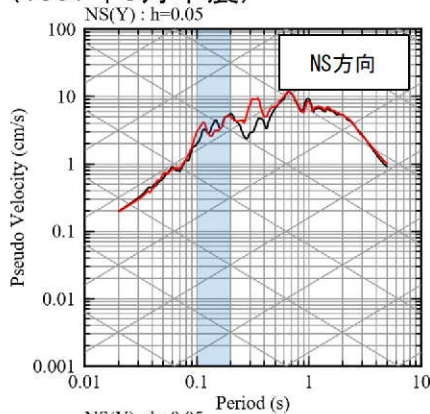
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考②】 応答スペクトルの比較結果

■ 応答スペクトルの比較結果 (5/20)

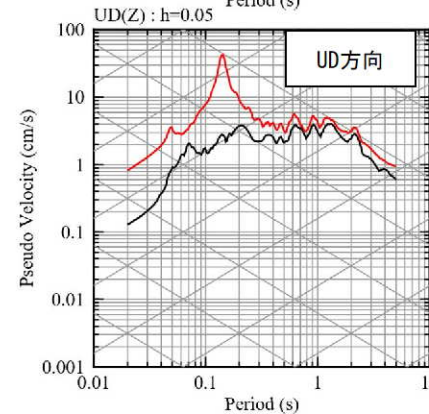
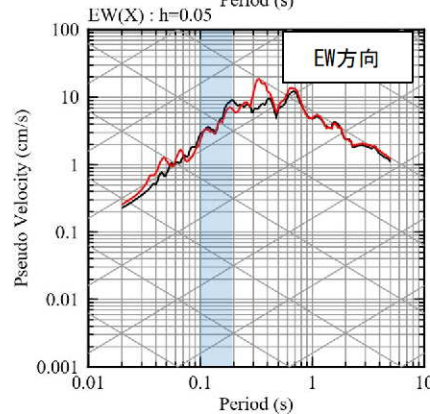
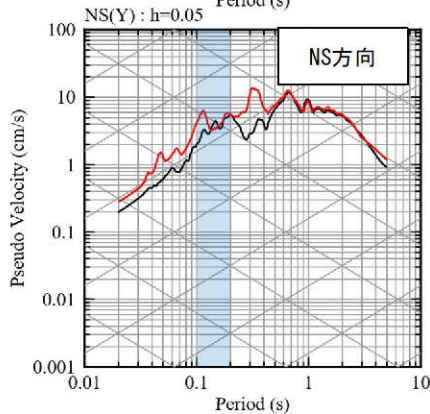
⑤ 鹿児島県北西部 (1997年5月本震)

現申請モデル



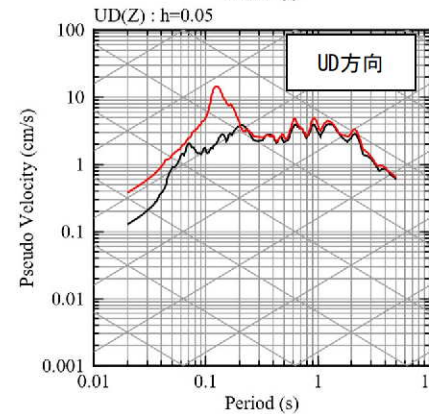
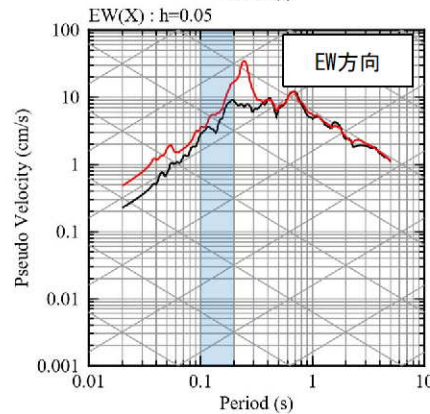
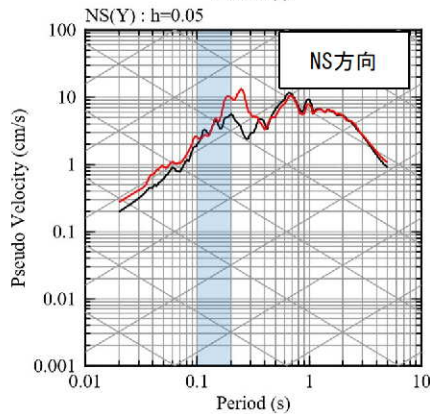
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

既許可モデル



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (既許可モデル)

見直しモデル



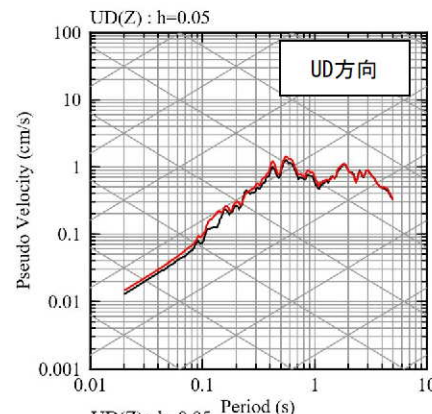
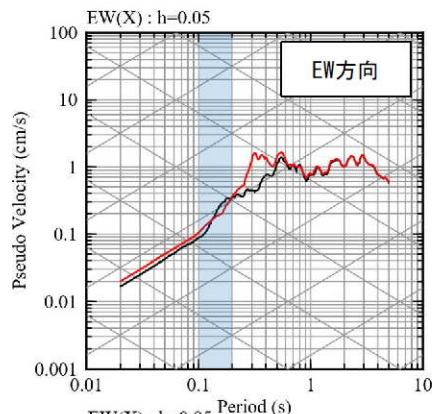
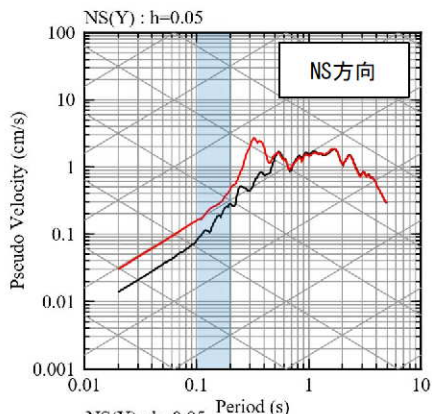
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考②】 応答スペクトルの比較結果

■ 応答スペクトルの比較結果 (6/20)

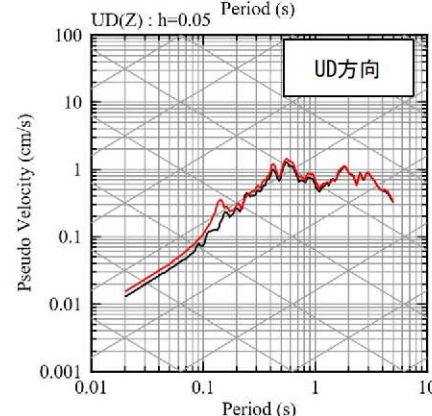
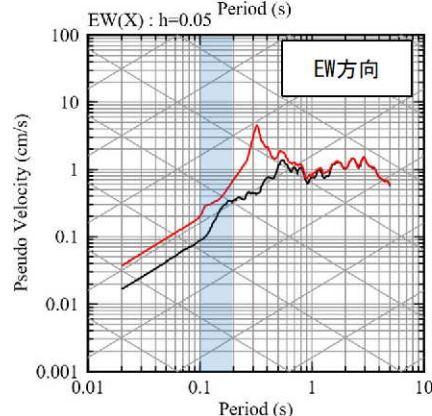
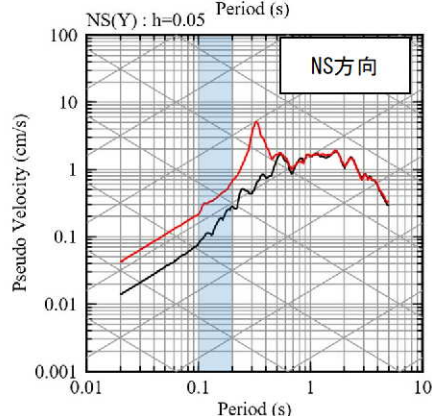
⑥ 薩摩半島西方沖

現申請モデル



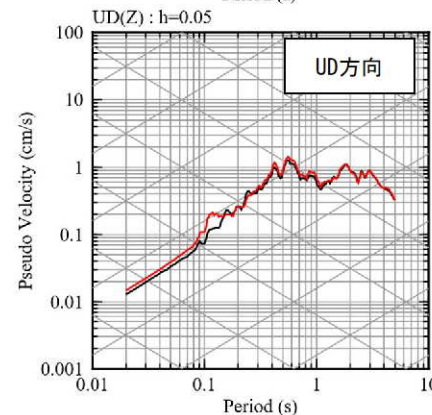
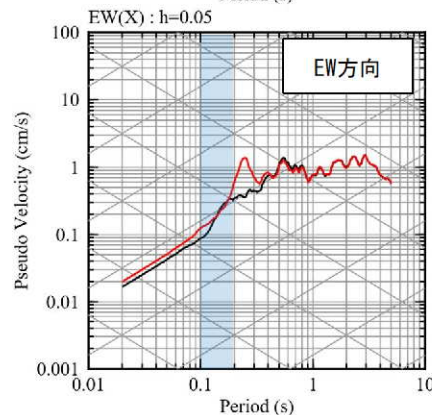
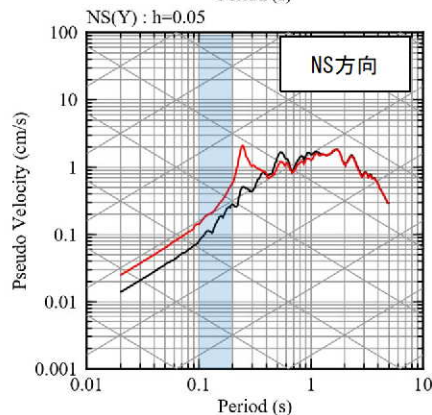
— 観測記録 EL-18.5m
— 応答波(現申請モデル)

既許可モデル



— 観測記録 EL-18.5m
— 応答波(既許可モデル)

見直しモデル



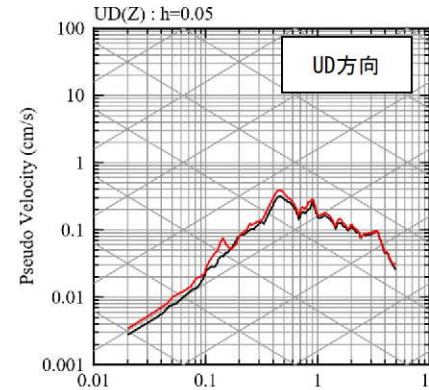
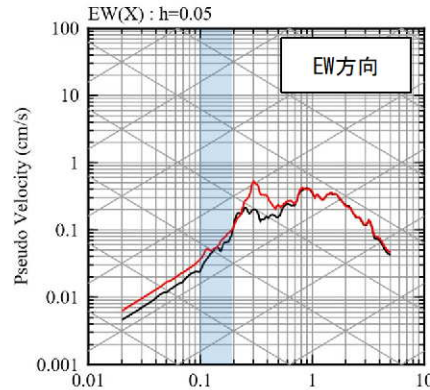
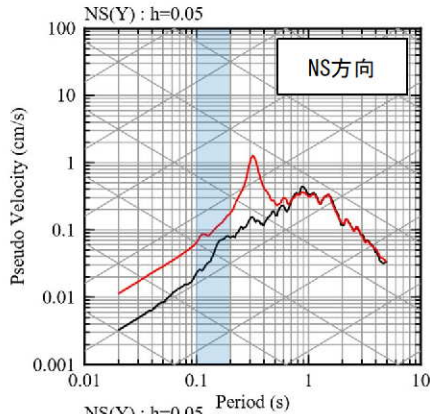
— 観測記録 EL-18.5m
— 応答波(見直しモデル)

【参考②】 応答スペクトルの比較結果

■ 応答スペクトルの比較結果 (7/20)

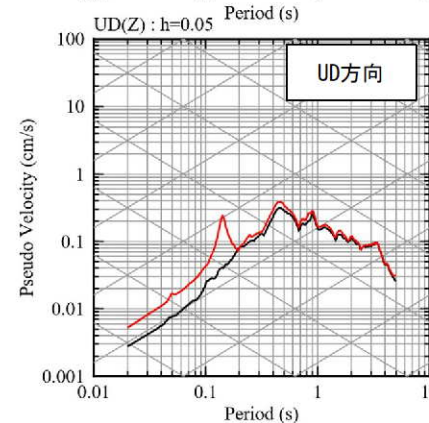
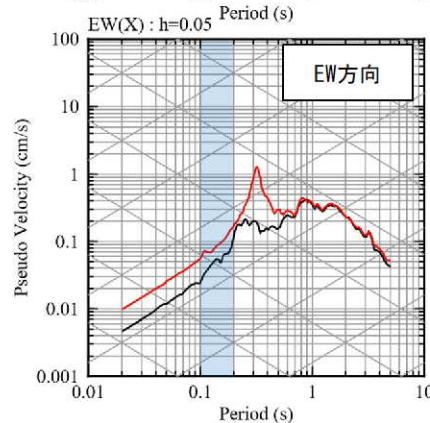
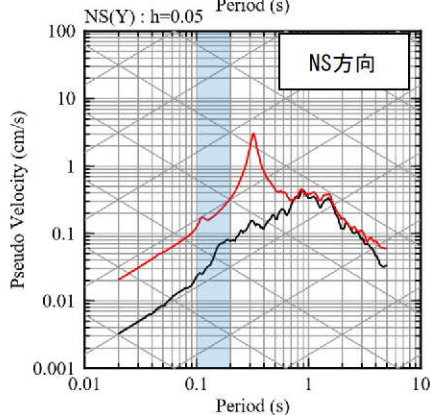
⑦ 薩摩半島西方沖

現申請モデル



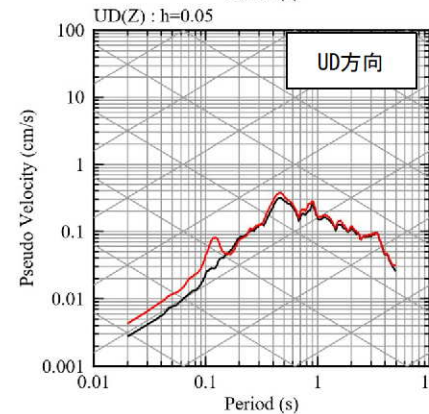
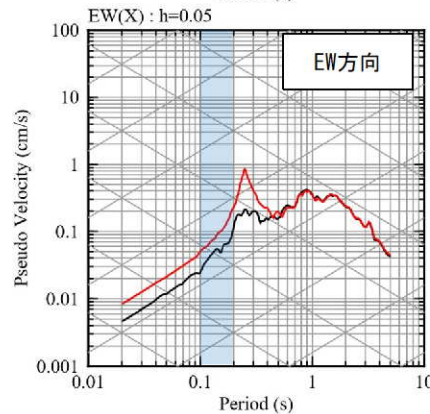
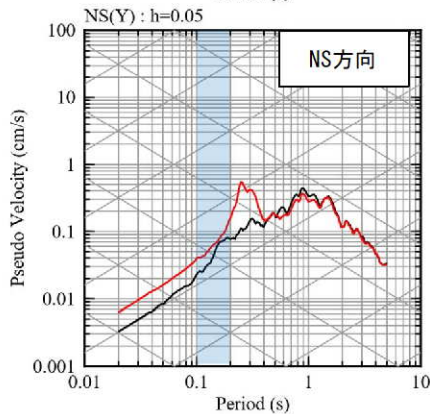
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

既許可モデル



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (既許可モデル)

見直しモデル



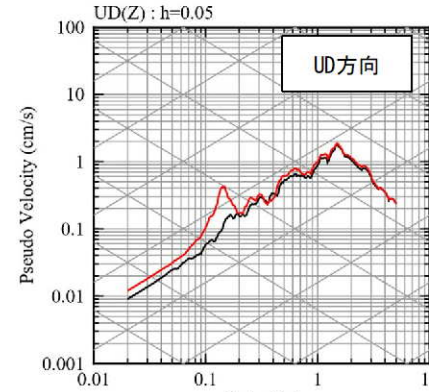
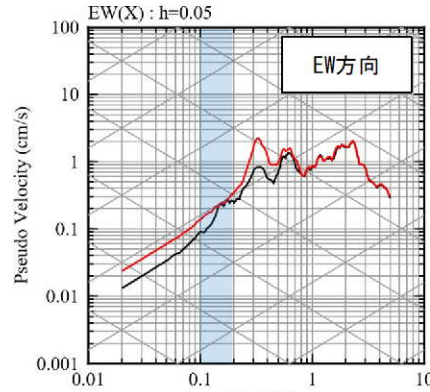
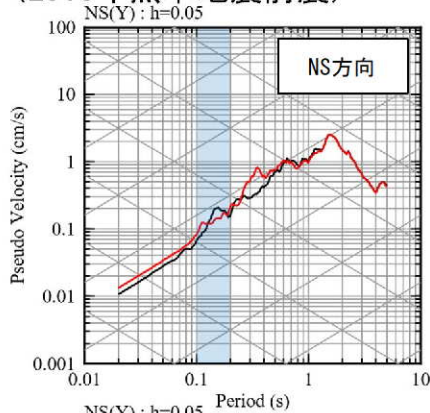
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考②】 応答スペクトルの比較結果

■ 応答スペクトルの比較結果 (8/20)

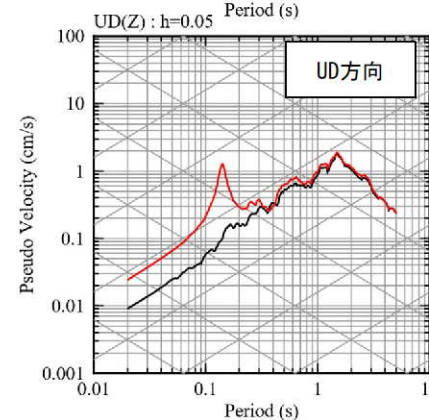
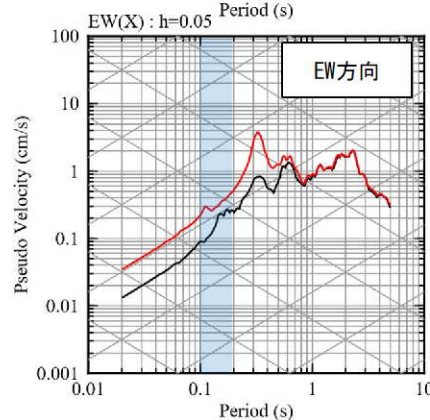
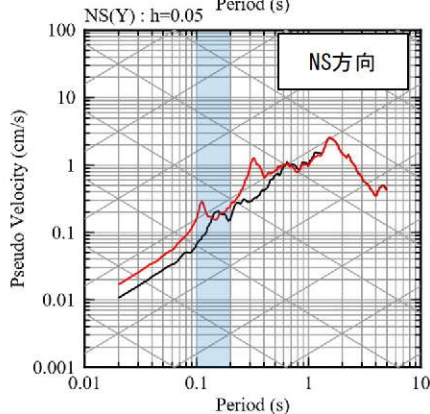
⑧ 熊本県熊本地方 (2016年熊本地震前震)

現申請モデル



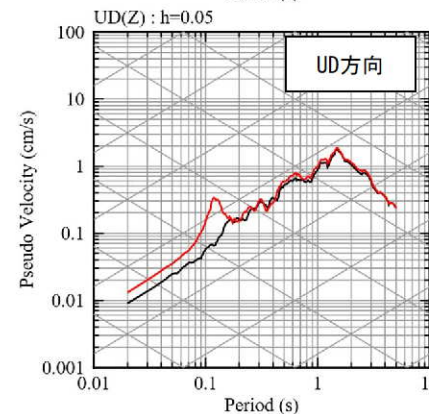
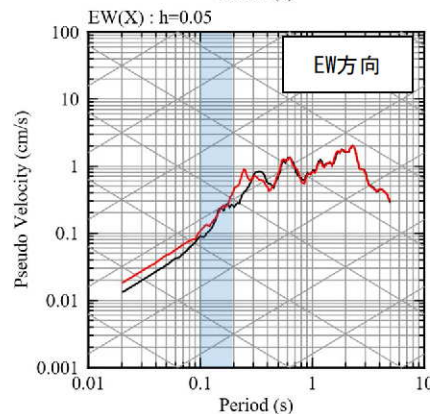
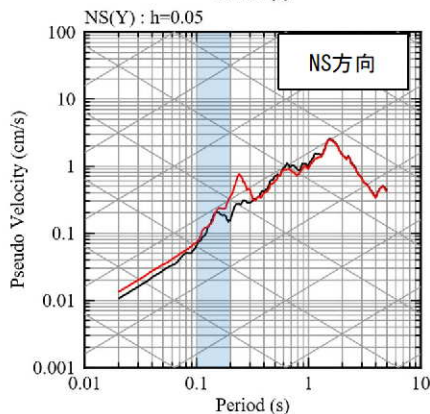
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

既許可モデル



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (既許可モデル)

見直しモデル



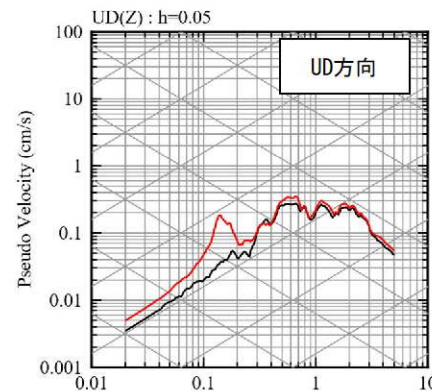
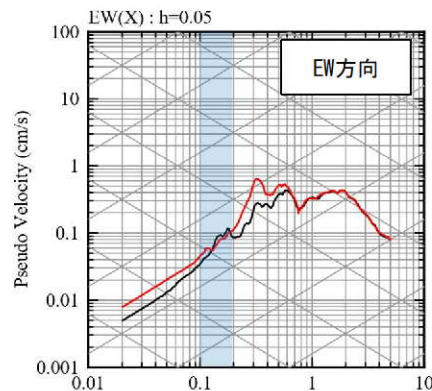
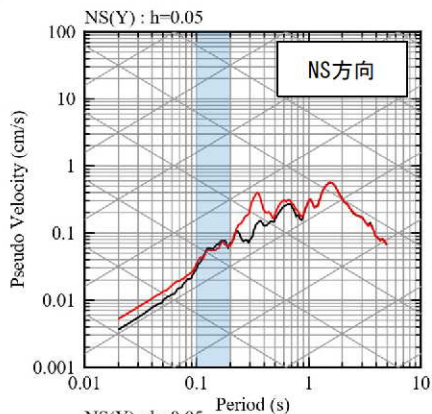
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考②】 応答スペクトルの比較結果

■ 応答スペクトルの比較結果 (9/20)

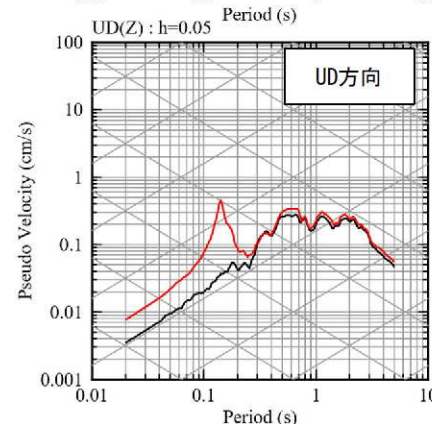
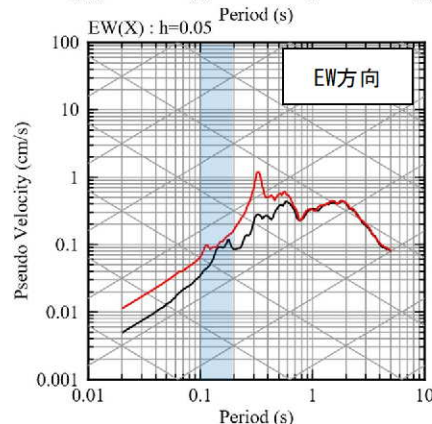
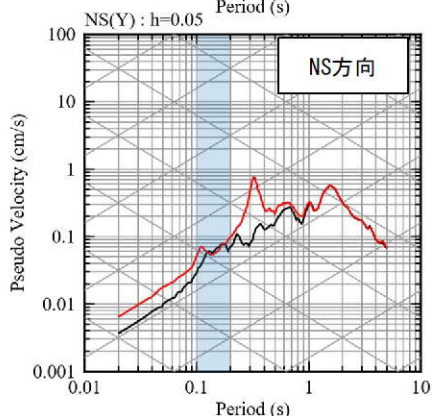
⑨ 熊本県熊本地方

現申請モデル



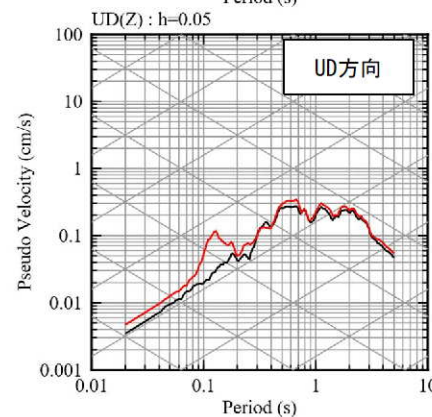
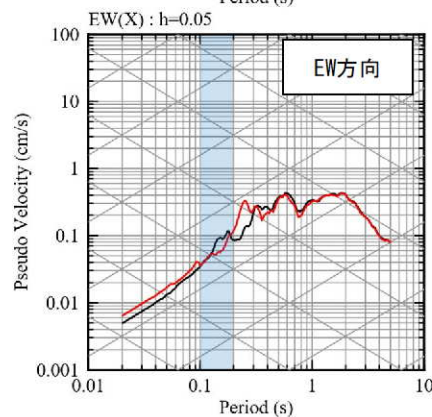
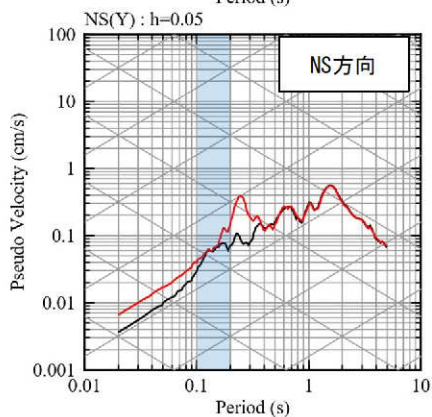
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

既許可モデル



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (既許可モデル)

見直しモデル



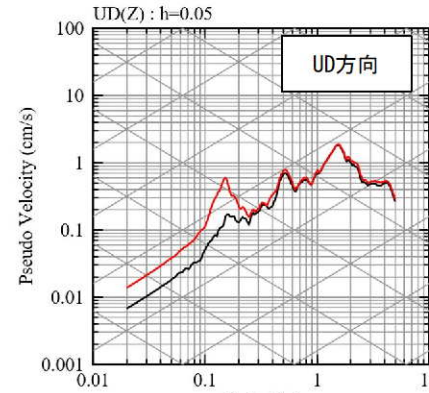
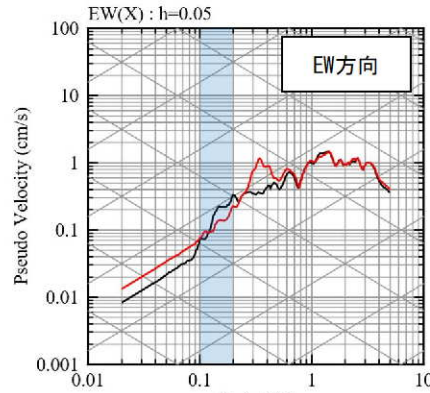
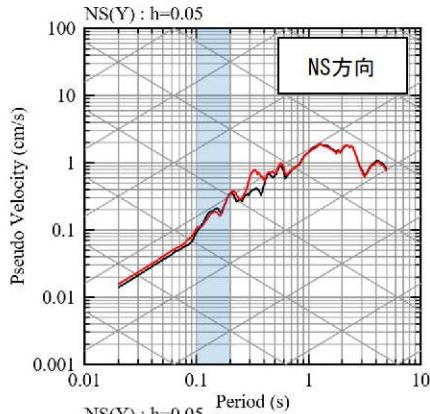
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考②】 応答スペクトルの比較結果

■ 応答スペクトルの比較結果 (10/20)

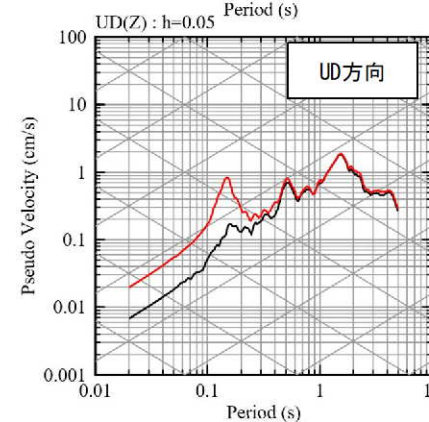
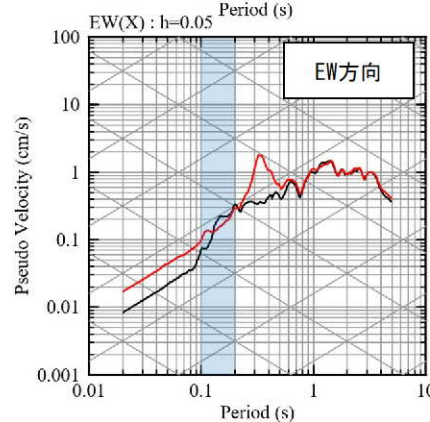
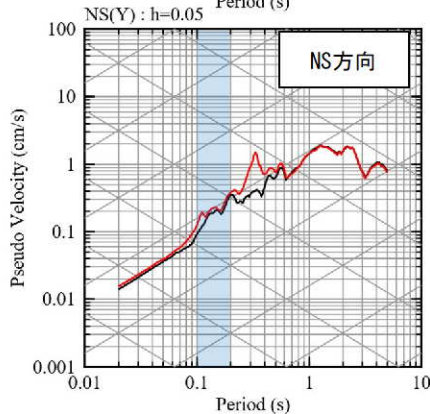
⑩ 熊本県熊本地方

現申請モデル



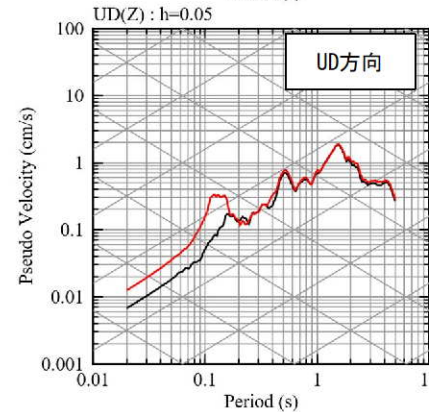
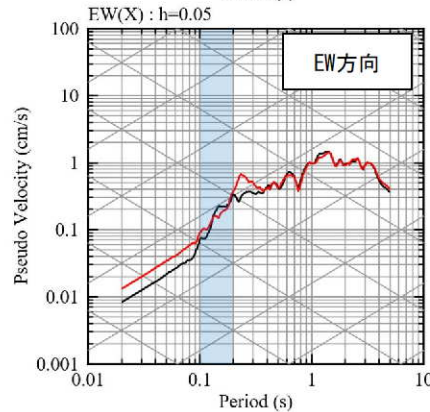
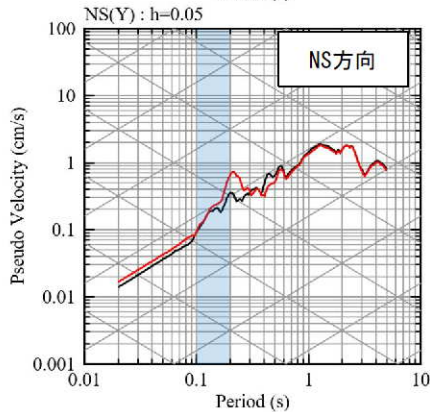
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

既許可モデル



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (既許可モデル)

見直しモデル



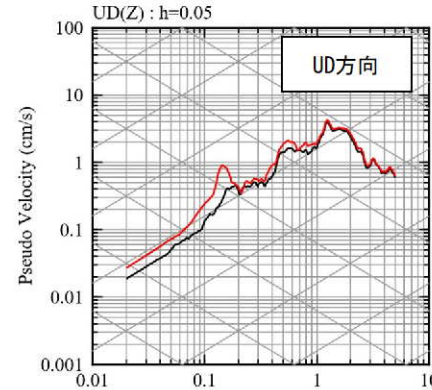
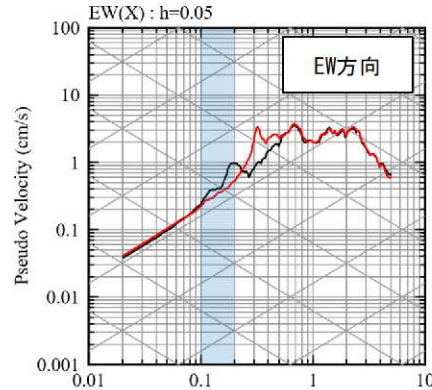
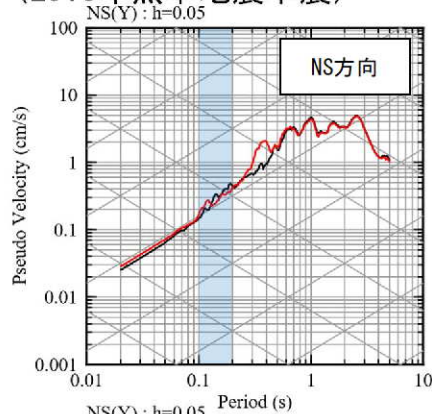
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考②】 応答スペクトルの比較結果

■ 応答スペクトルの比較結果 (11/20)

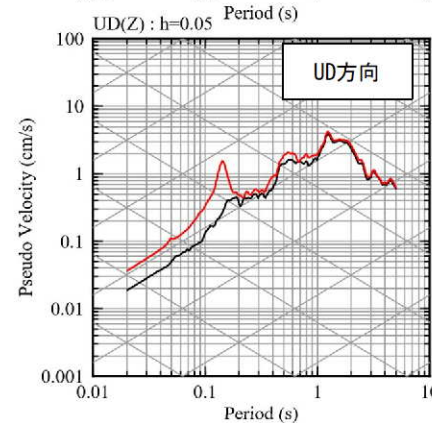
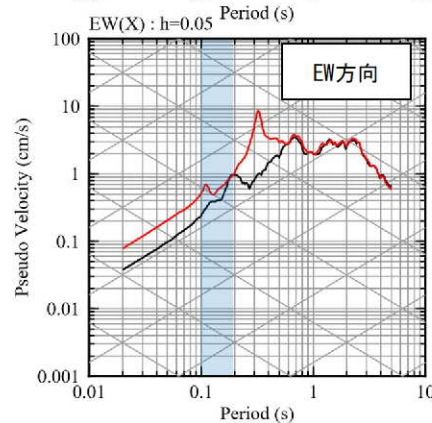
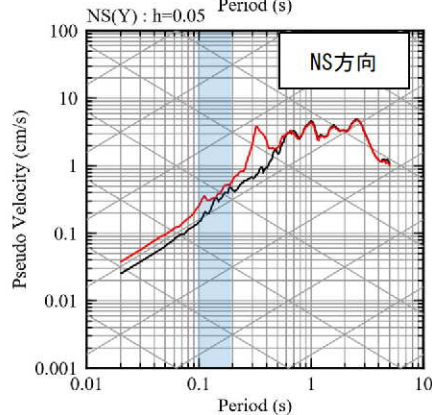
① 熊本県熊本地方 (2016年熊本地震本震)

現申請モデル



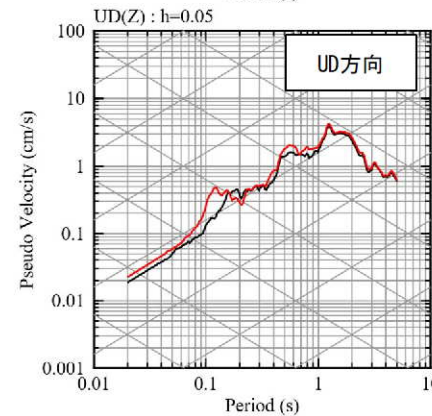
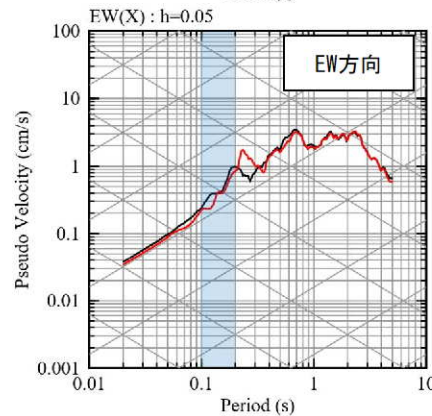
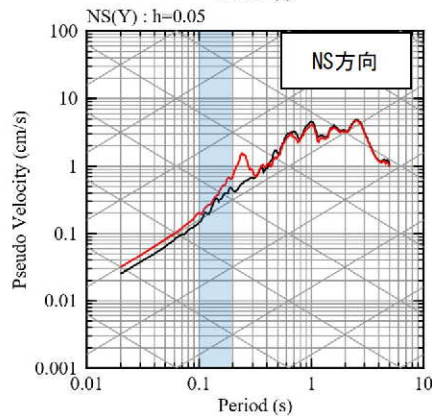
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

既許可モデル



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (既許可モデル)

見直しモデル



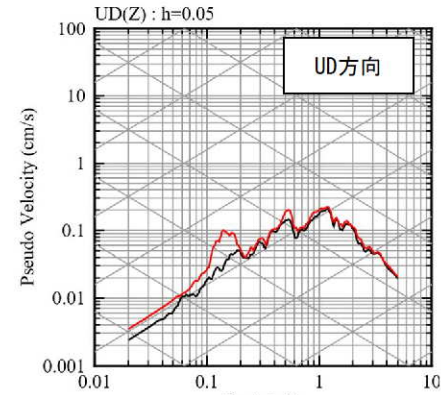
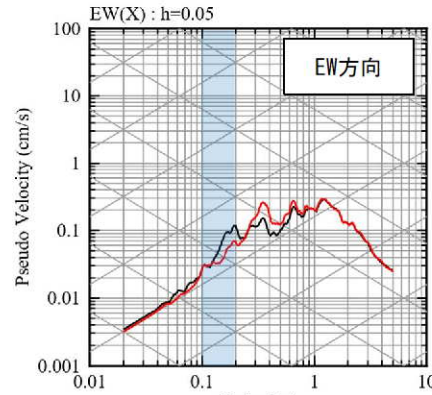
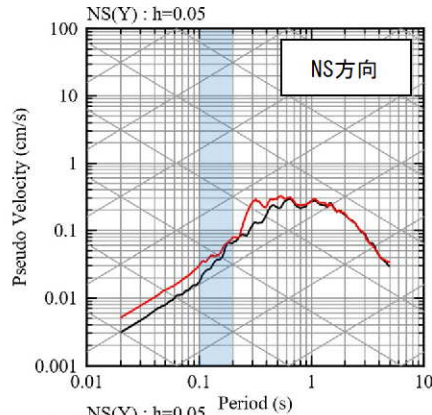
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考②】 応答スペクトルの比較結果

■ 応答スペクトルの比較結果 (12/20)

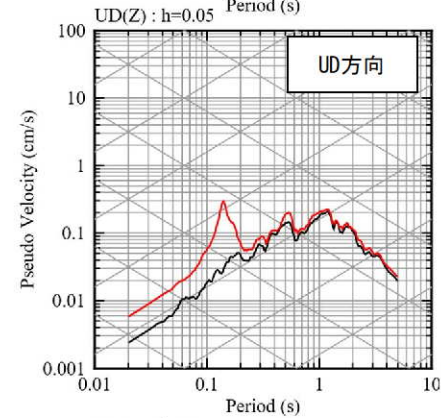
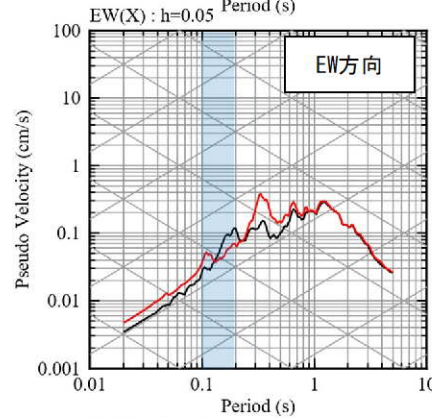
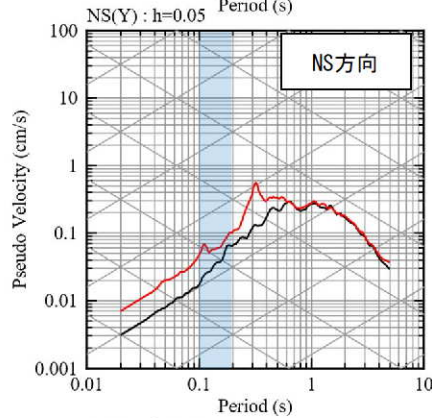
⑫ 熊本県熊本地方

現申請モデル



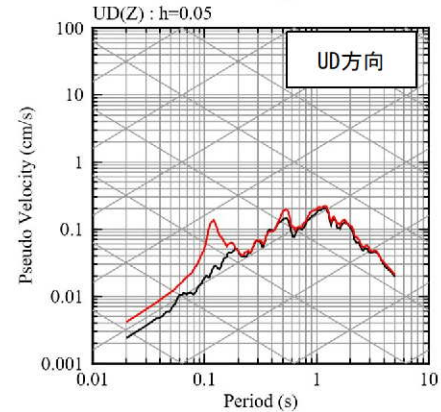
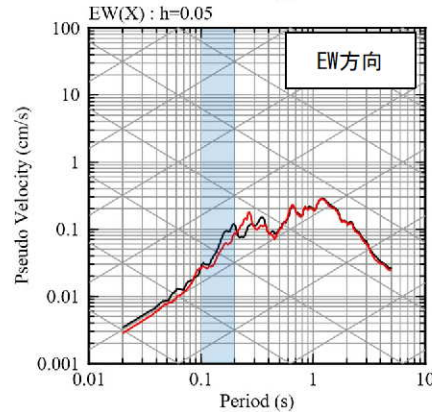
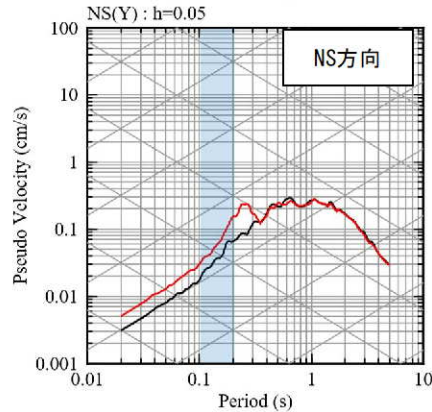
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

既許可モデル



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (既許可モデル)

見直しモデル



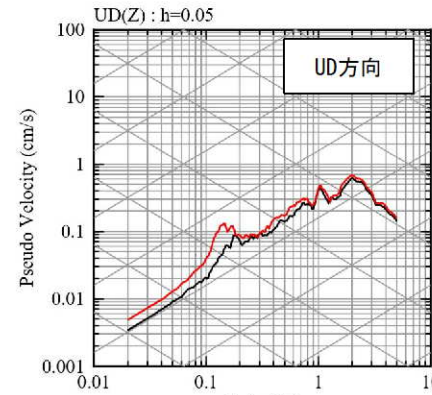
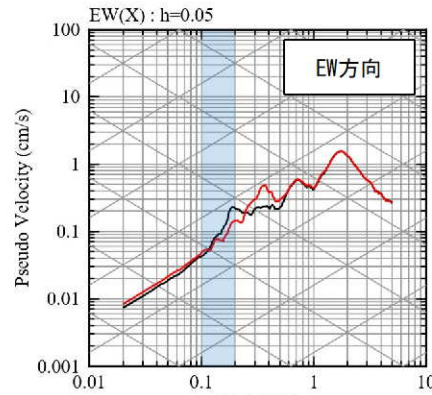
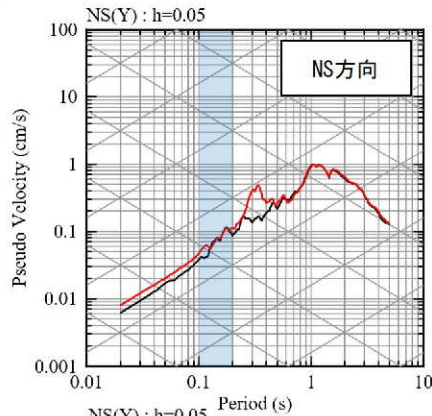
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考②】 応答スペクトルの比較結果

■ 応答スペクトルの比較結果 (13/20)

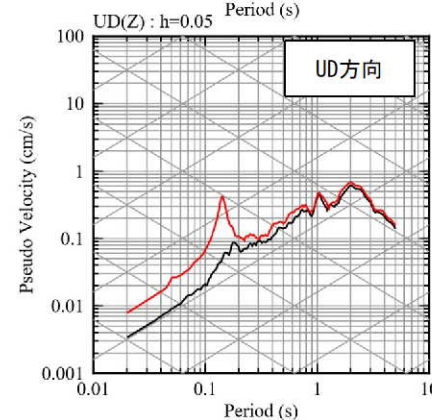
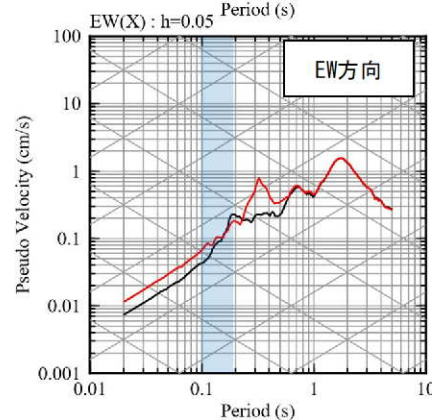
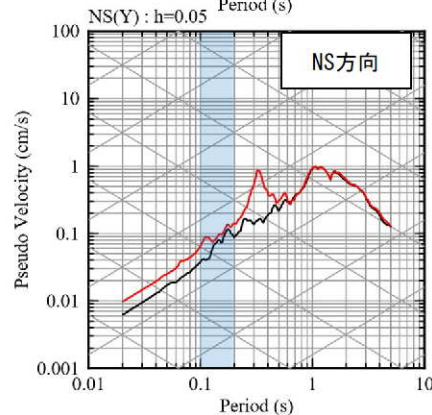
⑬ 熊本県熊本地方

現申請モデル



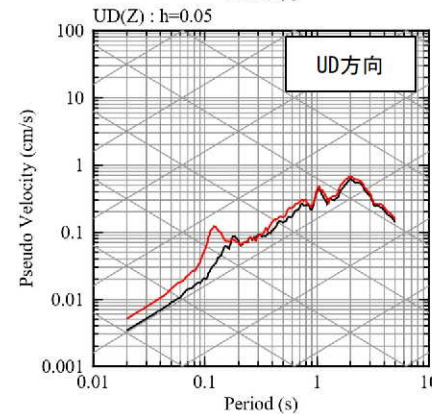
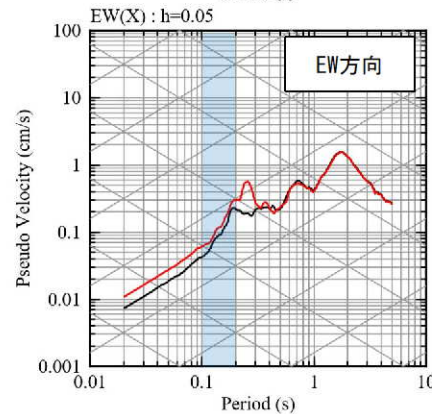
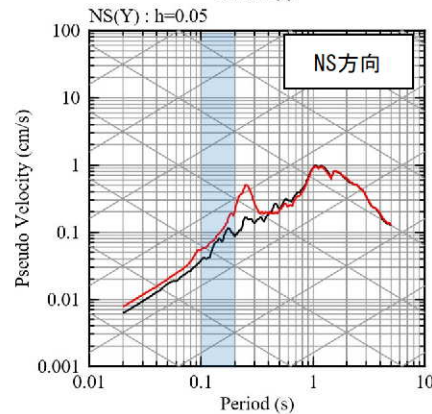
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

既許可モデル



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (既許可モデル)

見直しモデル



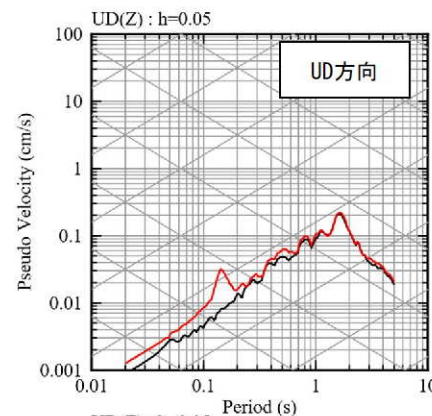
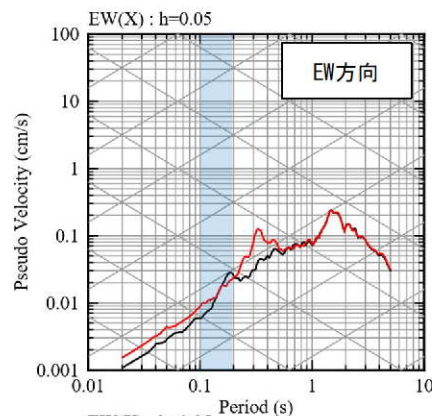
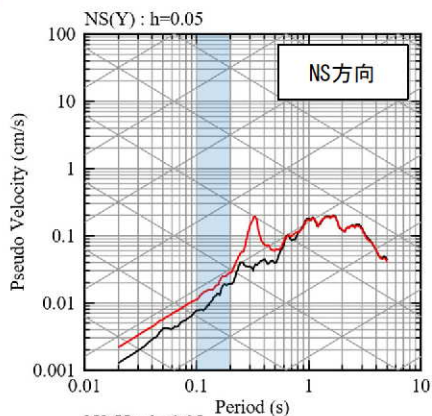
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考②】 応答スペクトルの比較結果

■ 応答スペクトルの比較結果 (14/20)

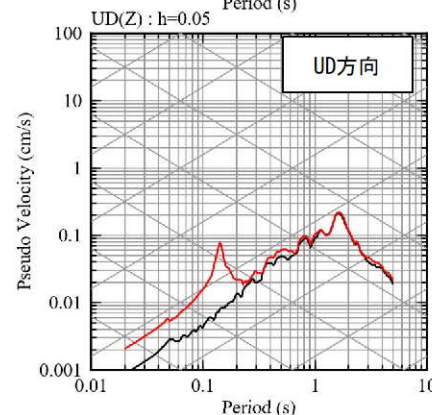
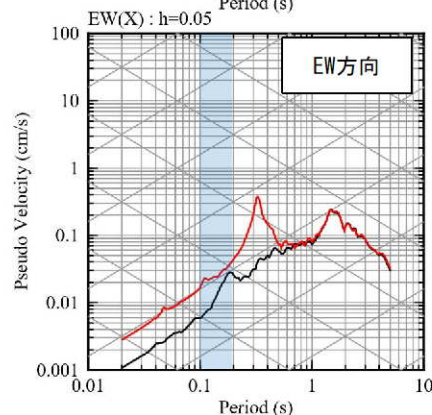
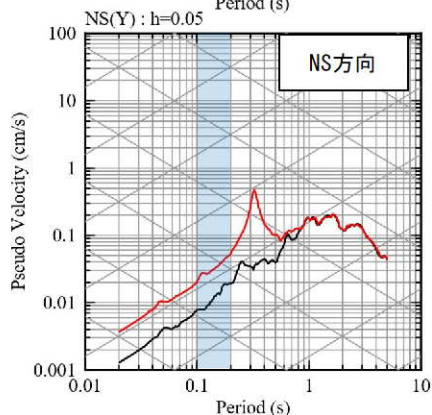
⑭ 熊本県阿蘇地方

現申請モデル



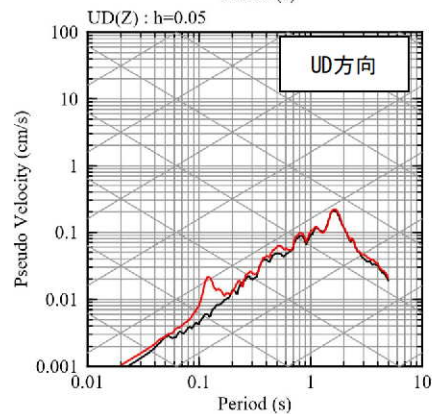
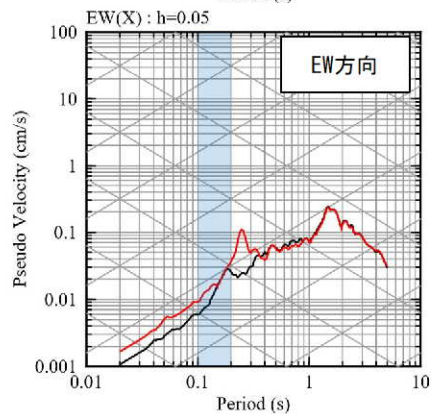
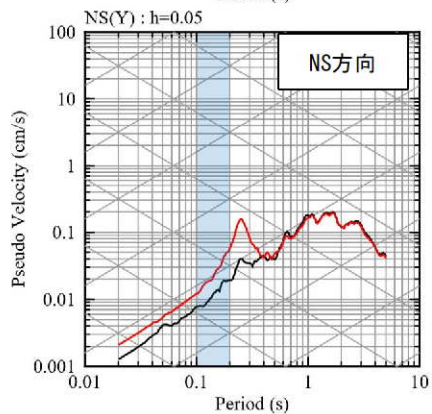
— 観測記録 EL-18.5m
— 応答波(現申請モデル)

既許可モデル



— 観測記録 EL-18.5m
— 応答波(既許可モデル)

見直しモデル



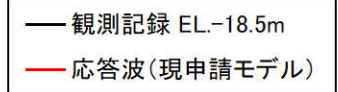
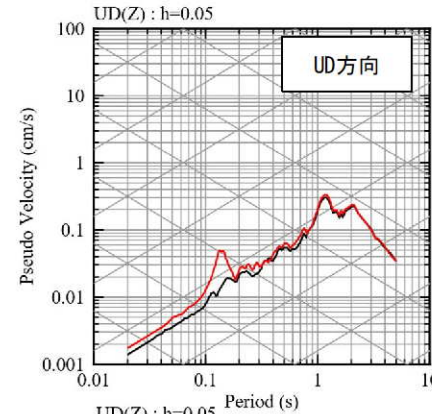
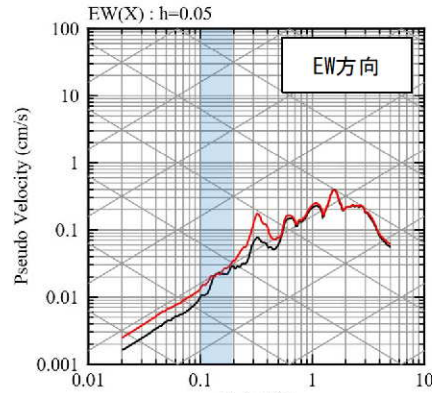
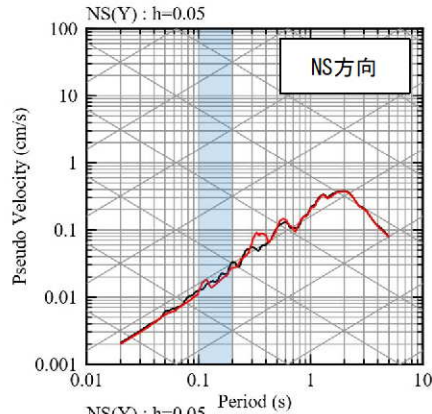
— 観測記録 EL-18.5m
— 応答波(見直しモデル)

【参考②】 応答スペクトルの比較結果

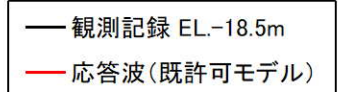
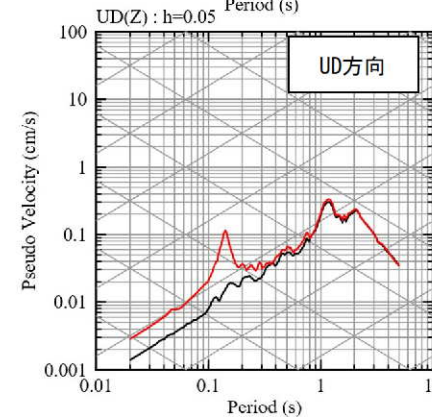
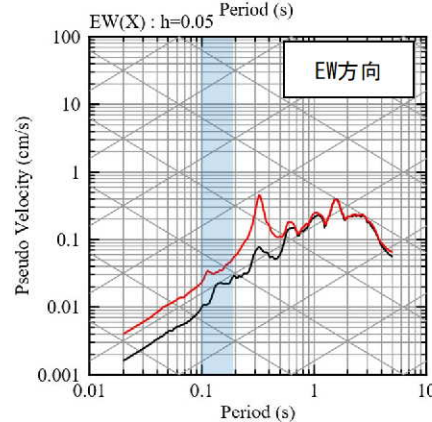
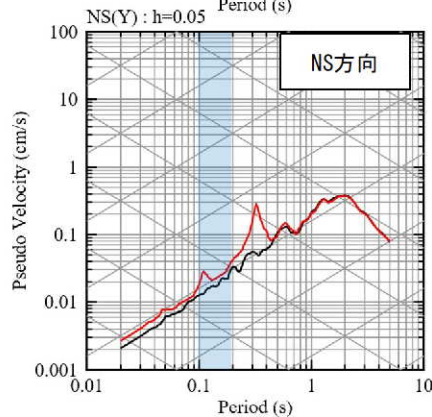
■ 応答スペクトルの比較結果 (15/20)

⑮ 熊本県阿蘇地方

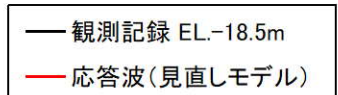
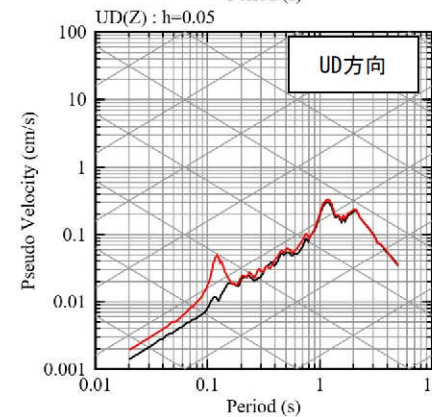
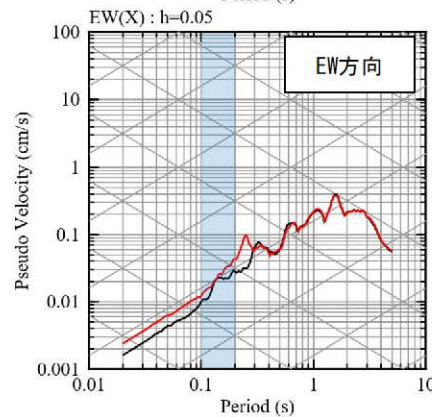
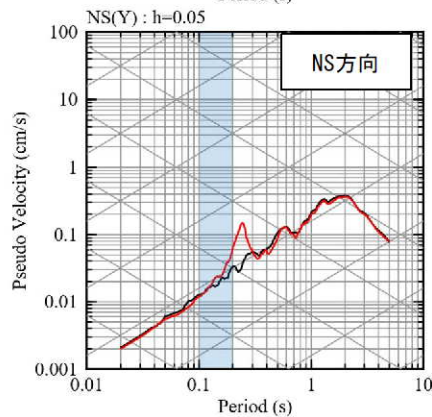
現申請モデル



既許可モデル



見直しモデル

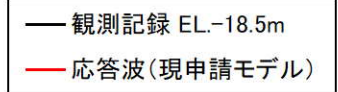
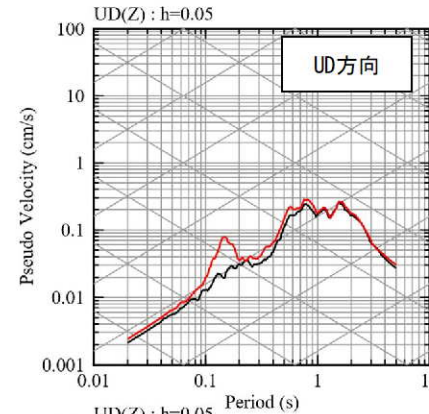
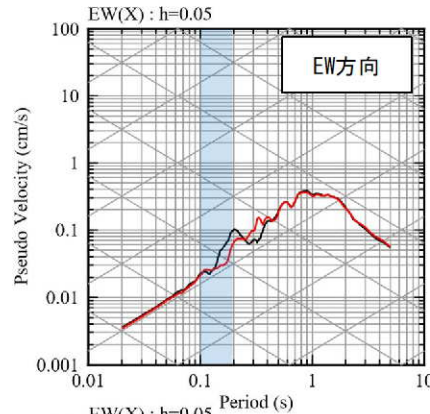
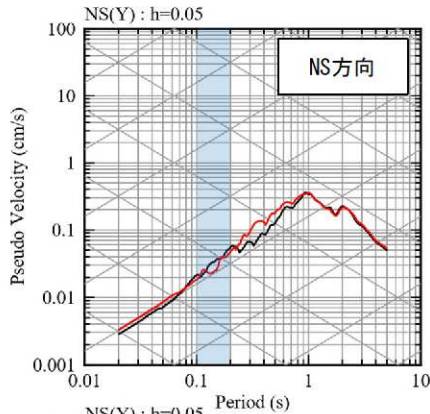


【参考②】 応答スペクトルの比較結果

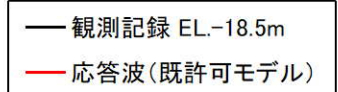
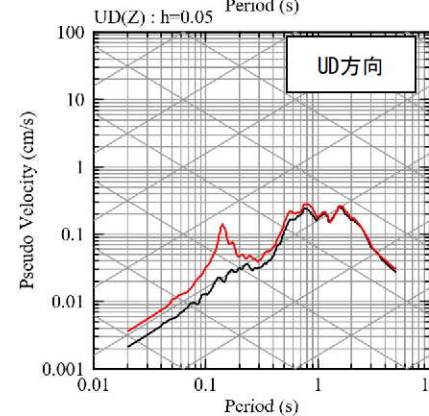
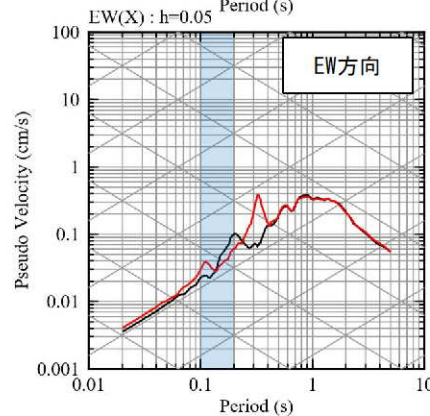
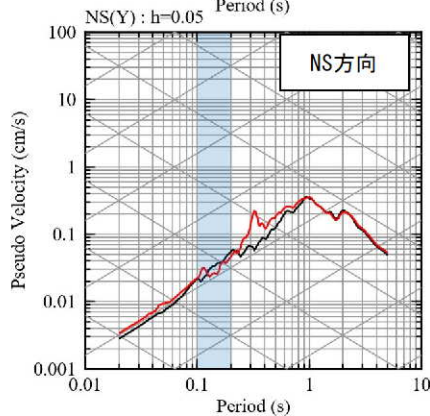
■ 応答スペクトルの比較結果 (16/20)

⑩ 熊本県熊本地方

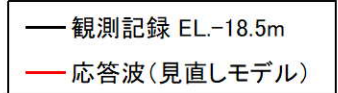
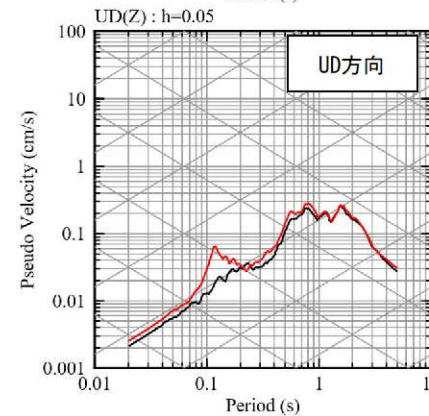
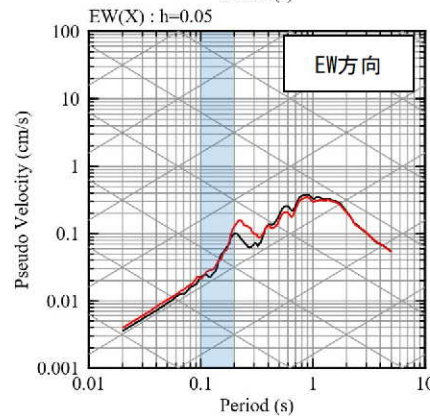
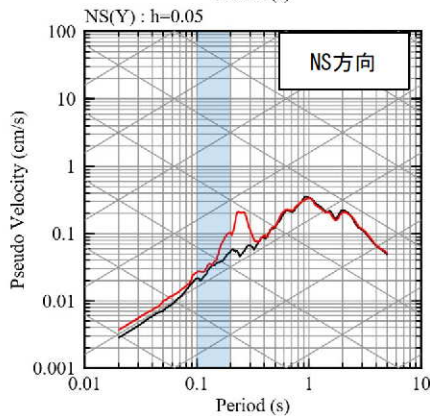
現申請モデル



既許可モデル



見直しモデル

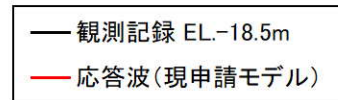
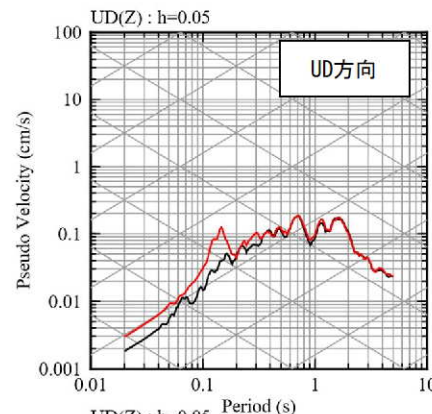
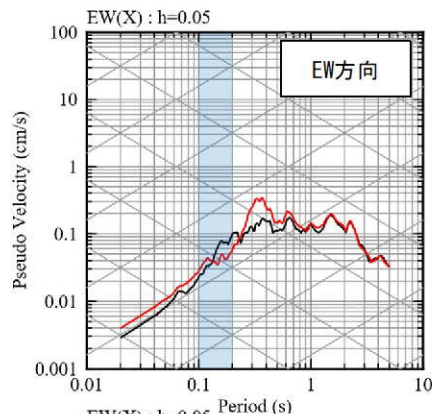
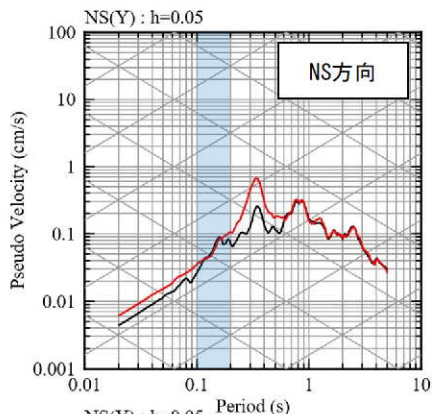


【参考②】 応答スペクトルの比較結果

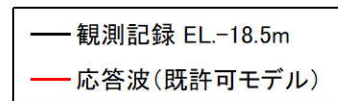
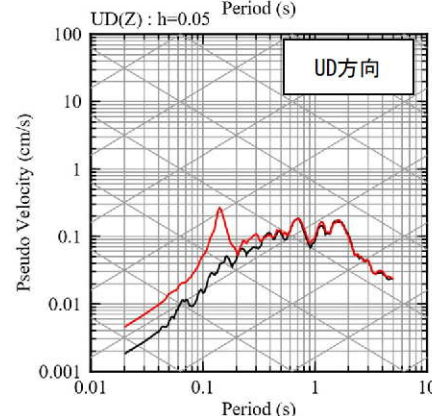
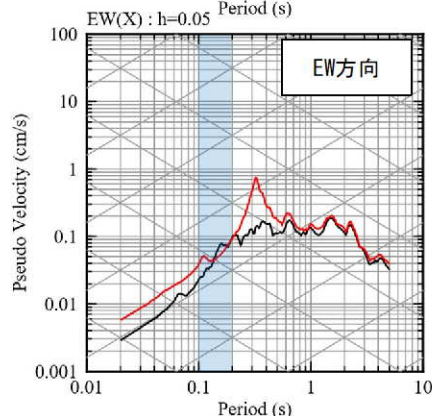
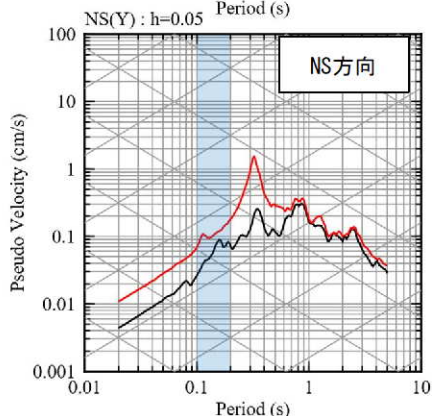
■ 応答スペクトルの比較結果 (17/20)

⑰ 熊本県熊本地方

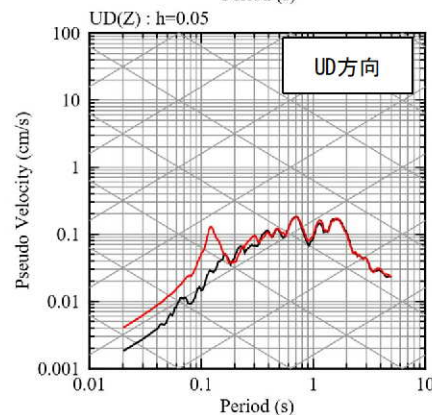
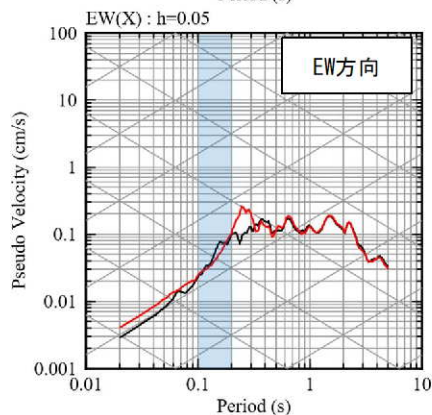
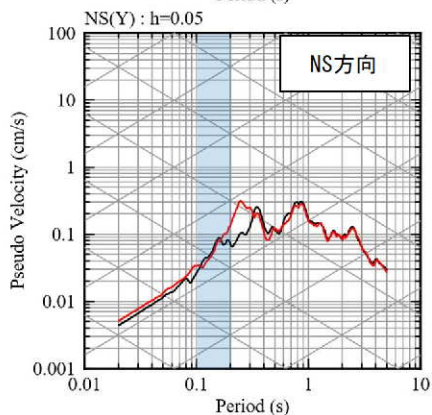
現申請モデル



既許可モデル



見直しモデル

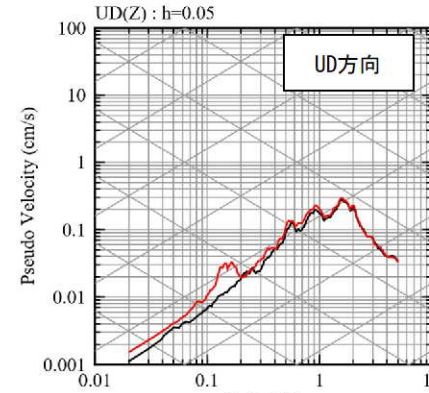
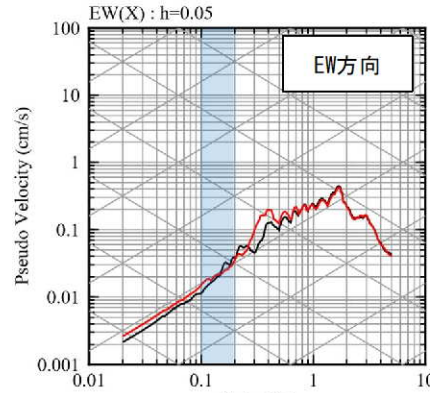
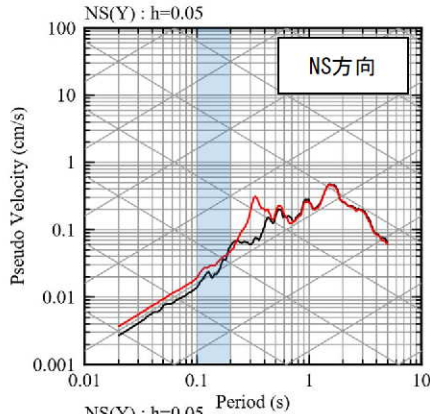


【参考②】 応答スペクトルの比較結果

■ 応答スペクトルの比較結果 (18/20)

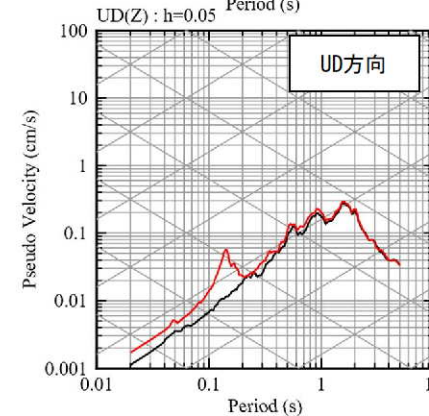
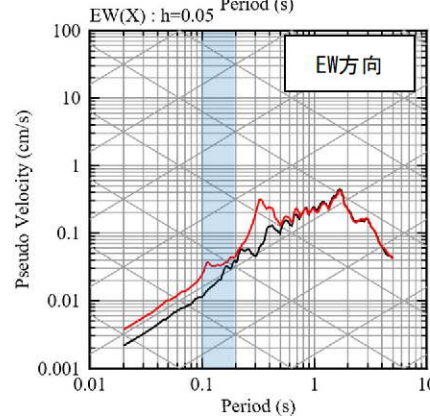
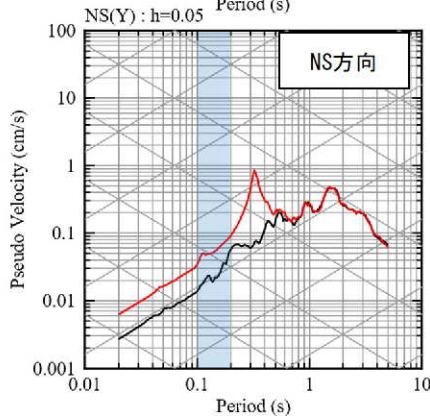
⑱ 熊本県阿蘇地方

現申請モデル



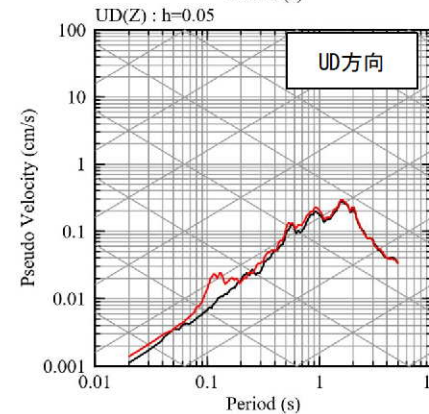
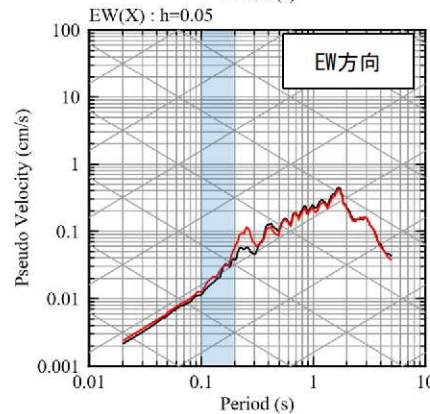
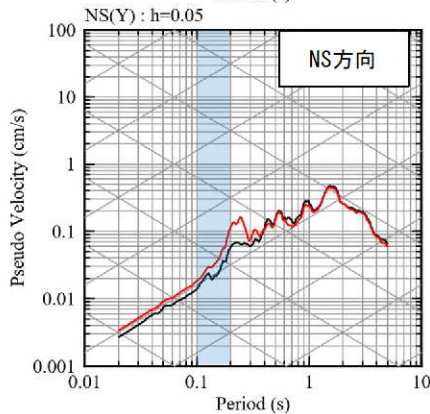
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

既許可モデル



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (既許可モデル)

見直しモデル



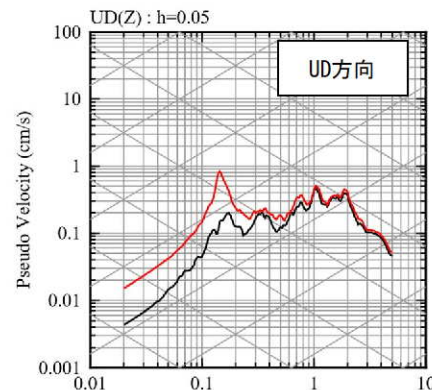
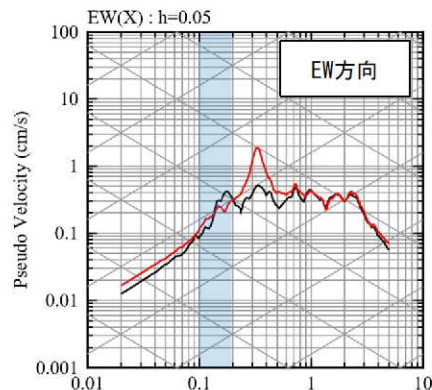
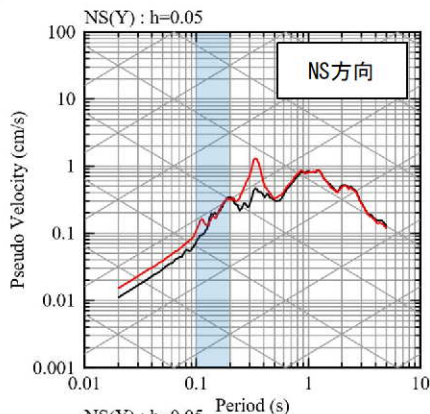
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考②】 応答スペクトルの比較結果

■ 応答スペクトルの比較結果 (19/20)

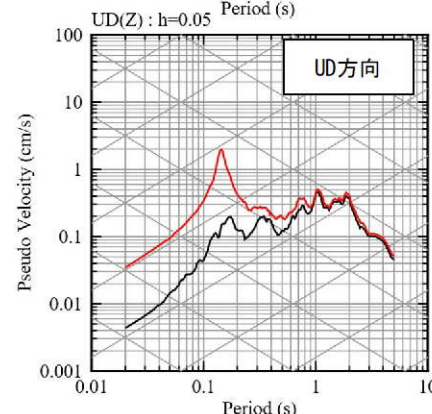
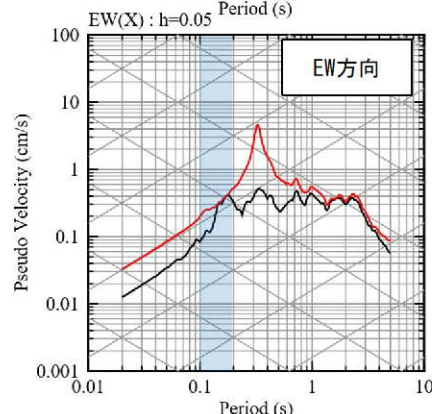
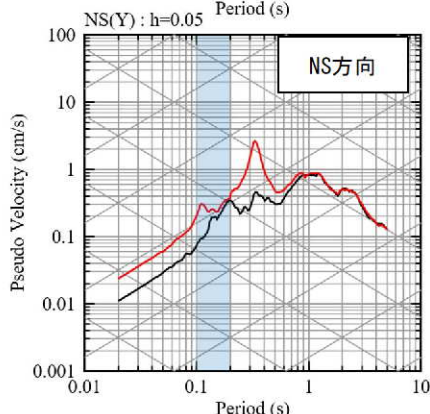
①9 熊本県熊本地方

現申請モデル



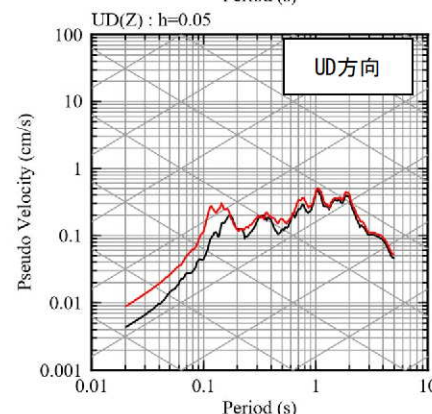
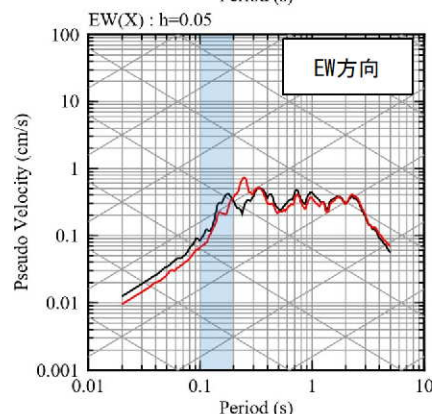
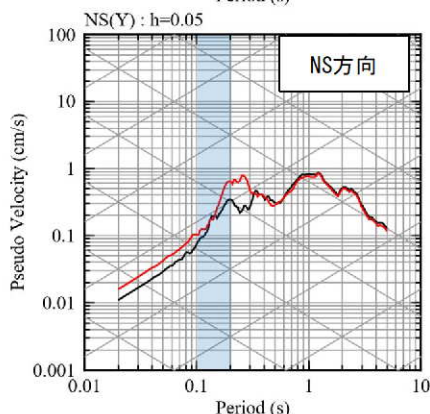
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

既許可モデル



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (既許可モデル)

見直しモデル



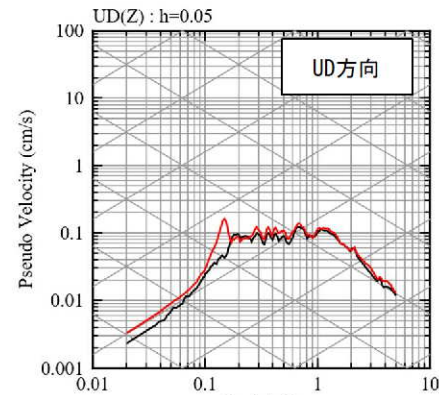
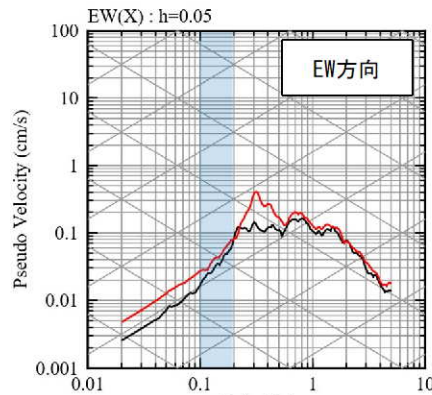
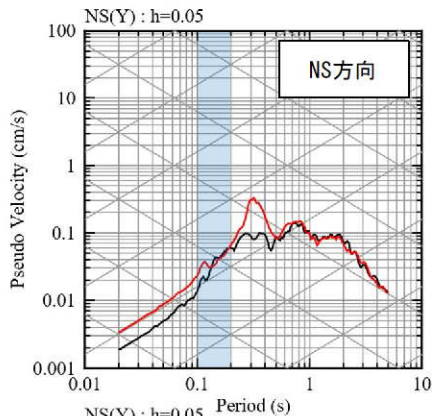
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考②】 応答スペクトルの比較結果

■ 応答スペクトルの比較結果 (20/20)

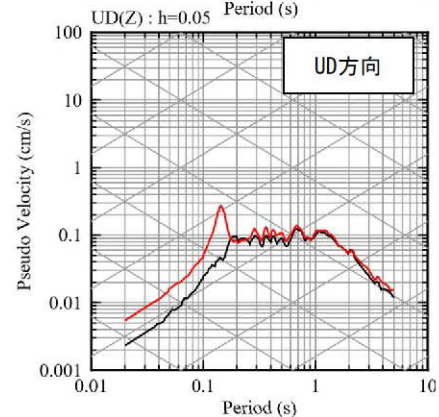
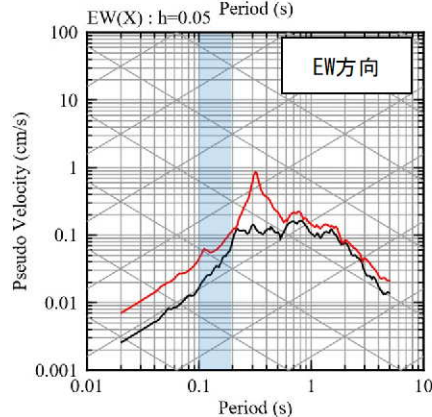
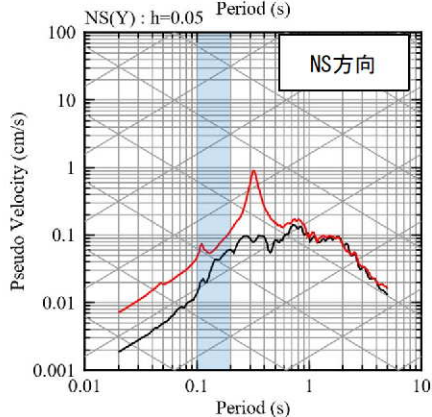
⑳ 薩摩半島西方沖

現申請モデル



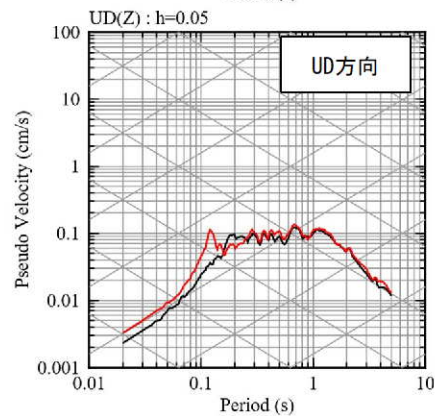
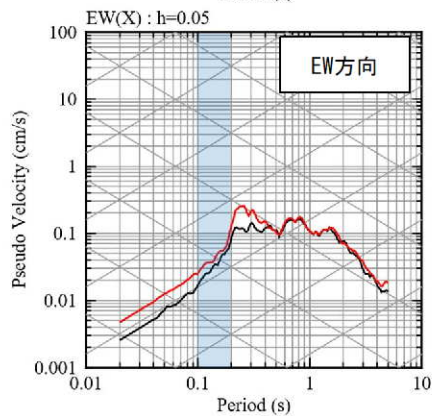
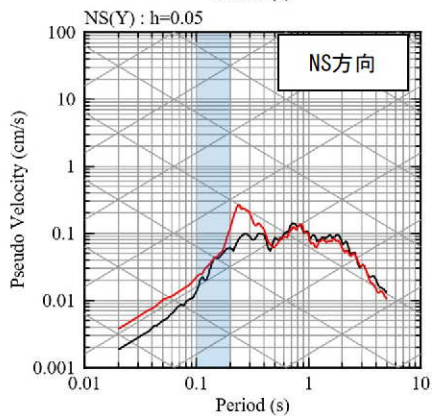
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波(現申請モデル)

既許可モデル



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波(既許可モデル)

見直しモデル



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波(見直しモデル)

【参考③】 既許可の地下構造モデル

【参考③】既許可の地下構造モデル

■ 既許可の地下構造モデル

- 既許可の地下構造モデルは、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の「断層モデルを用いた手法による地震動評価」において、理論的手法による長周期帯の地震動評価に用いている。

既許可における長周期帯の理論的手法に用いる一次元地下構造モデル

EL.	層上面 (km)	密度 ρ (g/cm ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値	設定根拠	
						Vs、Vp	Q値
解放基盤表面	-18.5m	0.0	2.70	1500	3200	100	慣用値 (Vs/15~10)
	-28.5m	-0.01	2.70	1600	3700	100	
	-480m	-0.462	2.70	2150	4400	200	
	-1018.5m	-1.0	2.70	3010	5200	200	
	-2018.5m	-2.0	2.70	3240	5600	300	
	-3018.5m	-3.0	2.70	3500	5900	300	
	-17018.5m	-17.0	3.00	3800	6600	500	
	-33018.5m	-33.0	3.30	4300	7600	500	

【参考③】既許可の地下構造モデル

■ 既許可の地下構造モデルの設定（解放基盤表面～EL. -28.5mまで）

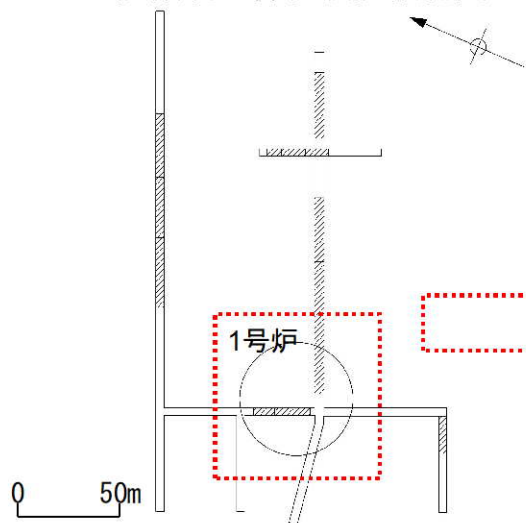
第18回審査会合資料より抜粋（一部修正）

EL.	層上面 (km)	密度 ρ (g/cm ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値	設定根拠 (Vs、Vp)
解放基盤表面						
-18.5m	0.0	2.70	1500	3200	100	試掘坑内弾性波試験
-28.5m	-0.01	2.70	1600	3700	100	鉛直アレイ及び微動アレイの速度構造を基に設定
-480m	-0.462	2.70	2150	4400	200	微動アレイの速度構造を基に設定
-1018.5m	-1.0	2.70	3010	5200	200	宮腰ほか(2004)
-2018.5m	-2.0	2.70	3240	5600	300	
-3018.5m	-3.0	2.70	3500	5900	300	地震調査委員会(2003)
-17018.5m	-17.0	3.00	3800	6600	500	
-33018.5m	-33.0	3.30	4300	7600	500	

- 解放基盤表面～層上面-0.01kmまでのP波速度及びS波速度については、炉心位置周辺における試掘坑弾性波試験結果の加重平均により算出。密度 ρ については、岩石試験結果より設定。

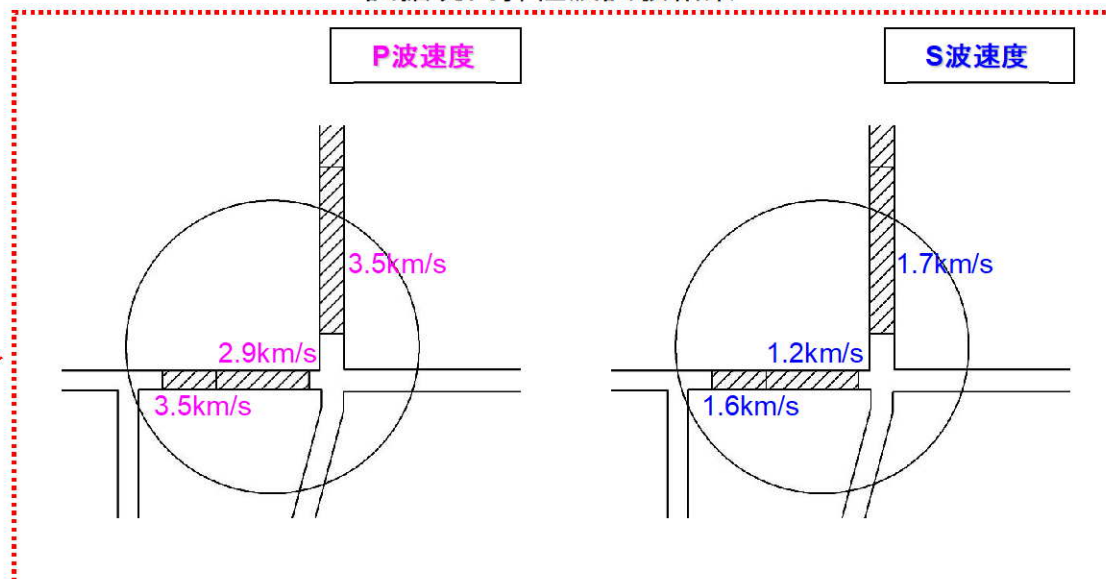
平均速度は、
P波 3.20km/s
S波 1.50km/s

試掘坑内弾性波試験範囲



試掘坑レベルEL.-12m

試掘坑内弾性波試験結果



【参考③】既許可の地下構造モデル

■ 既許可の地下構造モデルの設定 (EL. -28.5~EL. -1018.5mまで)

EL.	層上面 (km)	密度 ρ (g/cm ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値	設定根拠 (Vs、Vp)
解放基盤表面						
-18.5m	0.0	2.70	1500	3200	100	試掘坑内弾性波試験
-28.5m	-0.01	2.70	1600	3700	100	鉛直アレイ及び微動アレイの速度構造を基に設定
-480m	-0.462	2.70	2150	4400	200	微動アレイの速度構造を基に設定
-1018.5m	-1.0	2.70	3010	5200	200	宮腰ほか(2004)
-2018.5m	-2.0	2.70	3240	5600	300	
-3018.5m	-3.0	2.70	3500	5900	300	
-17018.5m	-17.0	3.00	3800	6600	500	地震調査委員会(2003)
-33018.5m	-33.0	3.30	4300	7600	500	

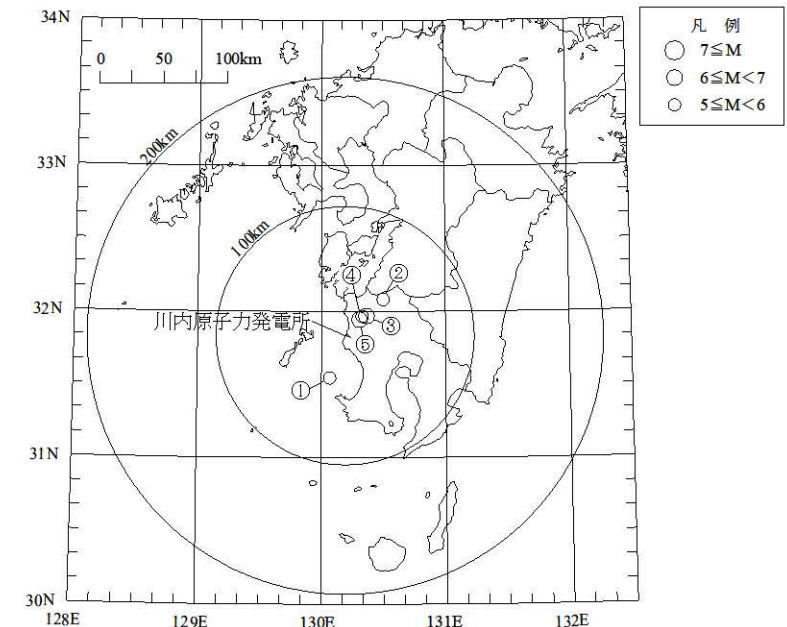
第18回審査会合資料より抜粋(一部修正)

- 層上面-0.01km~-0.462kmまでのP波速度及びS波速度については、敷地における鉛直アレイ地震観測記録及び微動アレイ観測記録に基づく地盤同定による速度構造を基に設定。
- 層上面-0.462km~-1.0kmまでのP波速度及びS波速度については、微動アレイ観測記録に基づく地盤同定による速度構造を基に設定。

◆敷地における鉛直アレイ地震観測記録に基づく地盤同定

検討対象地震の地震諸元

番号	地震名	発生日	M	深さ (km)	震央距離 (km)	備考
①	九州西側海域の地震	1984年8月15日	5.5	13.00	34	
②	鹿児島県北西部の地震	1994年2月13日	5.7	5.20	40	
③	鹿児島県北西部地震	1997年3月26日	6.6	11.85	22	本震
④	鹿児島県北西部地震	1997年4月3日	5.7	14.79	20	
⑤	鹿児島県北西部地震	1997年5月13日	6.4	9.24	17	本震



検討対象地震の震央位置

【参考③】既許可の地下構造モデル

- 敷地で観測された鉛直アレイ地震観測記録を用いた逆解析により、EL. 11.0m~EL. -118.5mまでの地盤同定を実施。
- 地盤同定にあたっては、遺伝的アルゴリズムを用い、各地震計観測点間の伝達関数を目的関数に設定。
- 検討対象地震は、敷地で観測された主な5地震を対象。
- 地盤減衰 (Q値) は慣用値 ($V_s/15\sim 10$) を基に設定。

第18回審査会合資料より抜粋(一部修正)

鉛直アレイ観測記録に基づく地盤同定結果

NS方向

層	層上面 EL (m)	密度 ρ (g/cm ³)	V_s (km/s)	減衰	
				Q_0	α
1	11.0	2.70	1.29	1.29	0.45
2	-18.5	2.70	1.78	1.47	0.45
3	-58.5	2.70	1.80	1.47	0.45

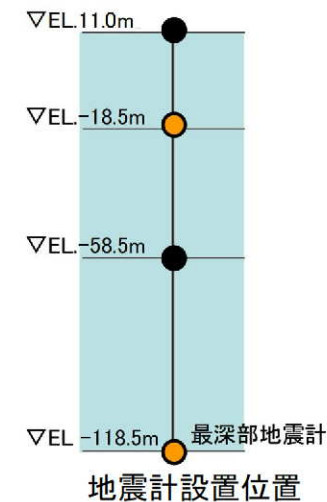
EW方向

層	層上面 EL (m)	密度 ρ (g/cm ³)	V_s (km/s)	減衰	
				Q_0	α
1	11.0	2.70	1.34	1.73	0.32
2	-18.5	2.70	1.60	1.85	0.32
3	-58.5	2.70	1.78	1.93	0.32

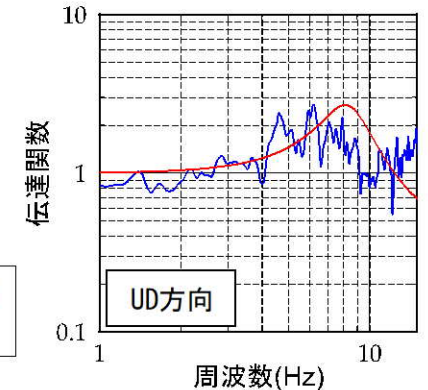
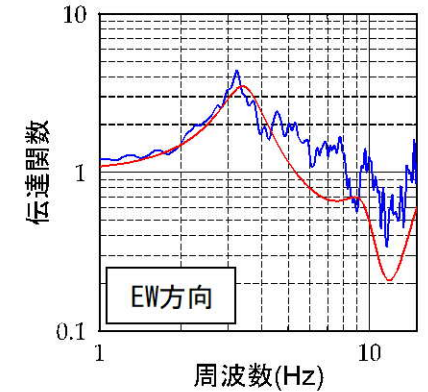
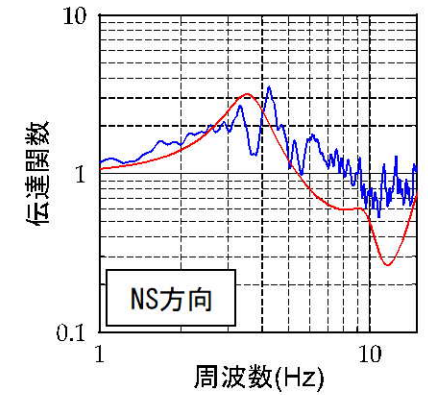
UD方向

層	層上面 EL (m)	密度 ρ (g/cm ³)	V_p (km/s)	減衰	
				Q_0	α
1	11.0	2.70	3.05	0.70	0.48
2	-18.5	2.70	4.07	0.78	0.48
3	-58.5	2.70	4.11	0.78	0.48

※ $Q(f) = Q_0 \cdot f^\alpha$



— 理論伝達関数(同定地下構造モデル)
— 地震観測記録による伝達関数



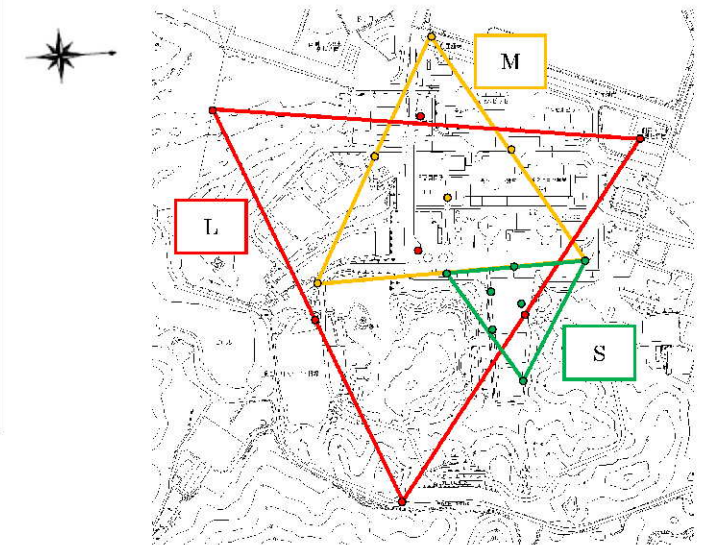
伝達関数の比較 (EL. -18.5m/EL. -118.5m)

【参考③】既許可の地下構造モデル

◆微動アレイ観測記録に基づく地盤同定

- 一辺が約930mのLアレイ、約570mのMアレイ、約280mのSアレイについて、それぞれの頂点3点、中点3点、重心位置の計7点で微動観測を実施。
- 微動観測から得られたそれぞれの分散曲線に対して、アレイサイズに応じた推定可能範囲により、Lアレイは0.45-1Hz、Mアレイは1-2.5Hz、Sアレイは2.5-5.8Hzの帯域を切り出して重ね合わせ、観測分散曲線を作成し、S波速度の同定を実施。
- EL. -28.5mからEL. -118.5mまでは、鉛直アレイ地震観測記録及び微動アレイ観測結果による平均的な速度構造を採用。
- EL. -118.5mからEL. -1018.5mまでは、微動アレイ観測結果を採用。

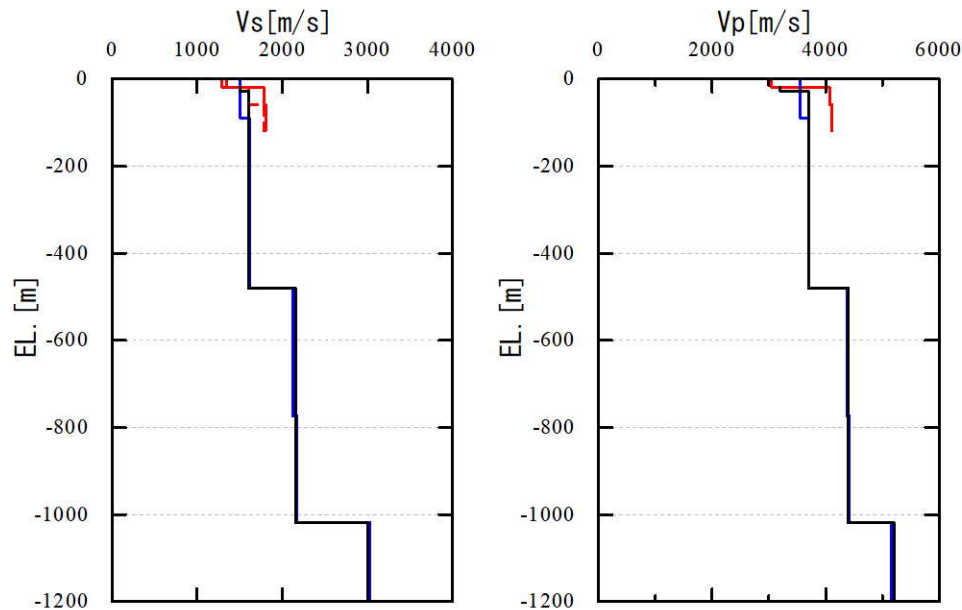
第18回審査会合資料より抜粋(一部修正)



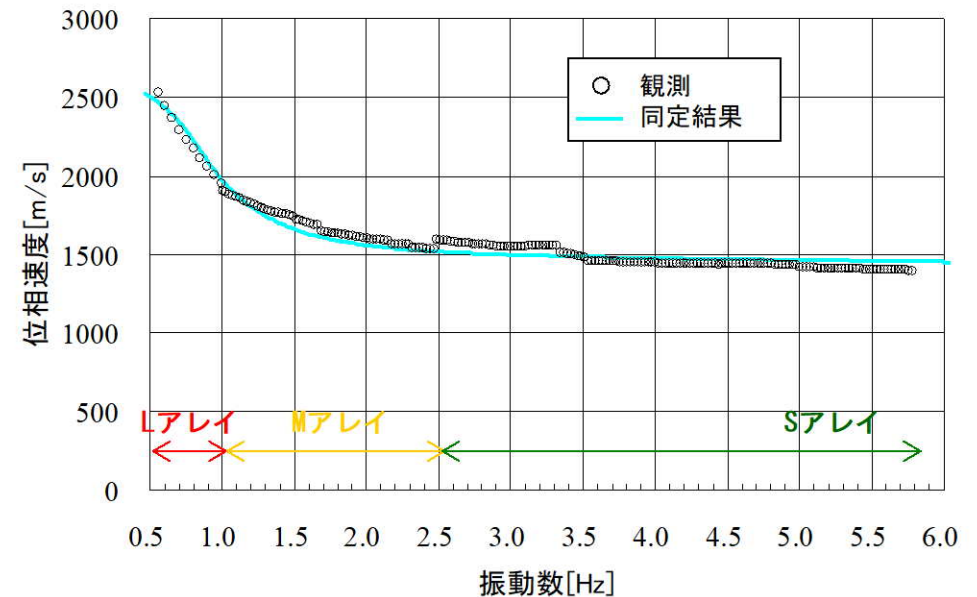
微動アレイ観測位置

— 同定結果 (伝達関数 NS方向)
 ... 同定結果 (伝達関数 EW方向)
 — 同定結果 (微動アレイ)
 — 既許可の地下構造モデル

— 同定結果 (伝達関数 UD方向)
 — 同定結果 (微動アレイ)
 — 既許可の地下構造モデル



伝達関数及び微動アレイによる同定結果



観測分散曲線と理論分散曲線

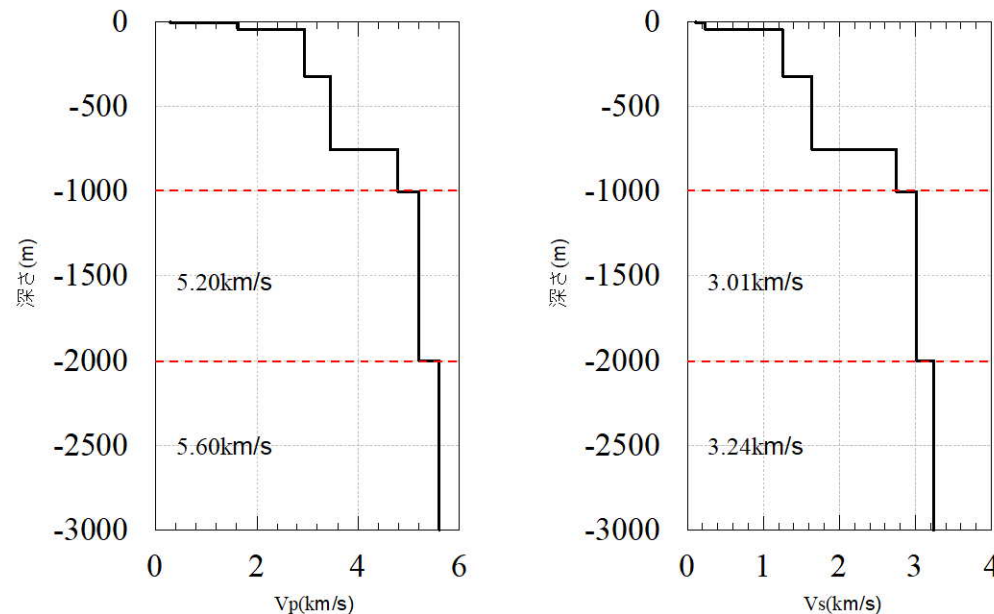
【参考③】既許可の地下構造モデル

■ 既許可の地下構造モデルの設定 (EL. -1018.5~EL. -3018.5mまで)

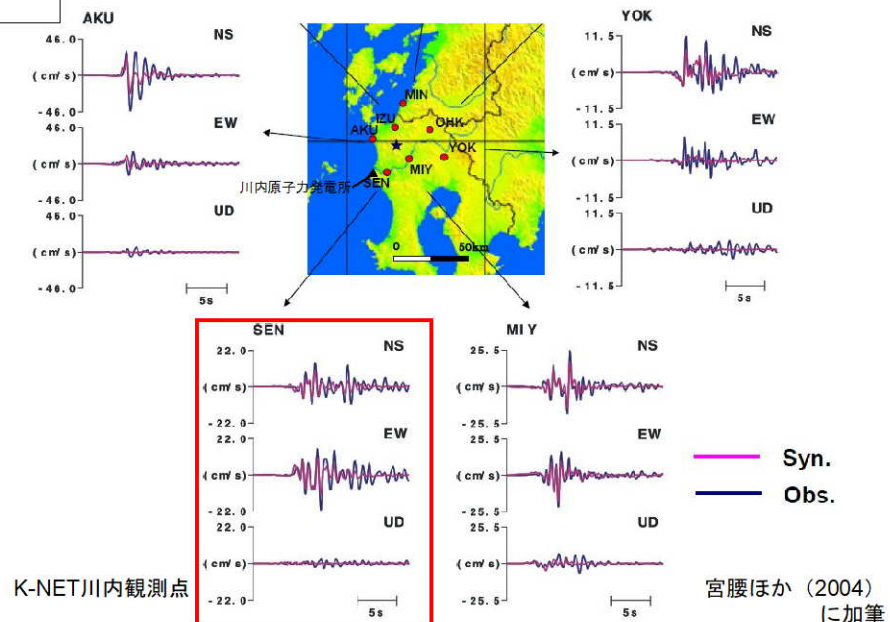
第18回審査会合資料より抜粋(一部修正)

EL.	層上面 (km)	密度 ρ (g/cm ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値	設定根拠 (Vs, Vp)
解放基盤表面						
-18.5m	0.0	2.70	1500	3200	100	試掘坑内弾性波試験
-28.5m	-0.01	2.70	1600	3700	100	鉛直アレイ及び微動アレイの速度構造を基に設定
-480m	-0.462	2.70	2150	4400	200	
-1018.5m	-1.0	2.70	3010	5200	200	宮腰ほか(2004)
-2018.5m	-2.0	2.70	3240	5600	300	
-3018.5m	-3.0	2.70	3500	5900	300	
-17018.5m	-17.0	3.00	3800	6600	500	地震調査委員会(2003)
-33018.5m	-33.0	3.30	4300	7600	500	

- 層上面EL. -1.0km~EL. -3.0kmまでの地盤物性値については、宮腰(2004)を参考に設定。
- 宮腰(2004)では、中規模地震(1997年3月26日鹿児島県北西部地震余震)のK-NET観測記録をもとに、R/Vレシーバ関数を用い、K-NET観測地点の地下構造モデルを推定している。
- 敷地から最も近いK-NET川内観測点で推定された地下構造を地震動評価に用いる



宮腰ほか(2004)により推定された地下構造モデル(K-NET川内観測点)



1997年3月26日鹿児島県北西部地震におけるK-NET観測記録と震源インバージョンの震源モデルによる計算結果

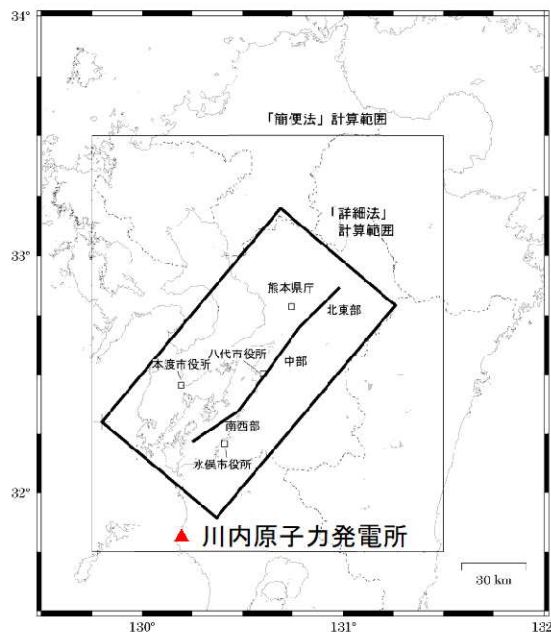
【参考③】既許可の地下構造モデル

■ 既許可の地下構造モデルの設定 (EL. -3018.5m以深)

EL.	層上面 (km)	密度 ρ (g/cm ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値	設定根拠 (Vs、Vp)
解放基盤表面						
-18.5m	0.0	2.70	1500	3200	100	試掘坑内弾性波試験
-28.5m	-0.01	2.70	1600	3700	100	鉛直アレイ及び微動アレイの速度構造を基に設定
-480m	-0.462	2.70	2150	4400	200	
-1018.5m	-1.0	2.70	3010	5200	200	宮腰ほか(2004)
-2018.5m	-2.0	2.70	3240	5600	300	
-3018.5m	-3.0	2.70	3500	5900	300	地震調査委員会(2003)
-17018.5m	-17.0	3.00	3800	6600	500	
-33018.5m	-33.0	3.30	4300	7600	500	

第18回審査会合資料より抜粋(一部修正)

- 層上面-3.0km以深については、地震調査委員会(2003)をもとに設定した。
- 地震調査委員会(2003)では、布田川・日奈久断層帯の地震を想定した地震動評価を実施しており、地震基盤以深の地下構造モデルが示されている。



地震基盤以深の各層のモデルパラメータ

名称	上面深度 (km)	層厚 (km)	S波速度 (km/s)	P波速度 (km/s)	密度 (g/cm ³)	Q
上部地殻	3	14	3.5	5.9	2.70	300
下部地殻	17	16	3.8	6.6	3.00	500
上部マントル	33	∞	4.3	7.6	3.30	500

※地震調査委員会(2003)に加筆

【参考③】 既許可の地下構造モデル

■ 鉛直アレイによる既許可の地下構造モデルの確認

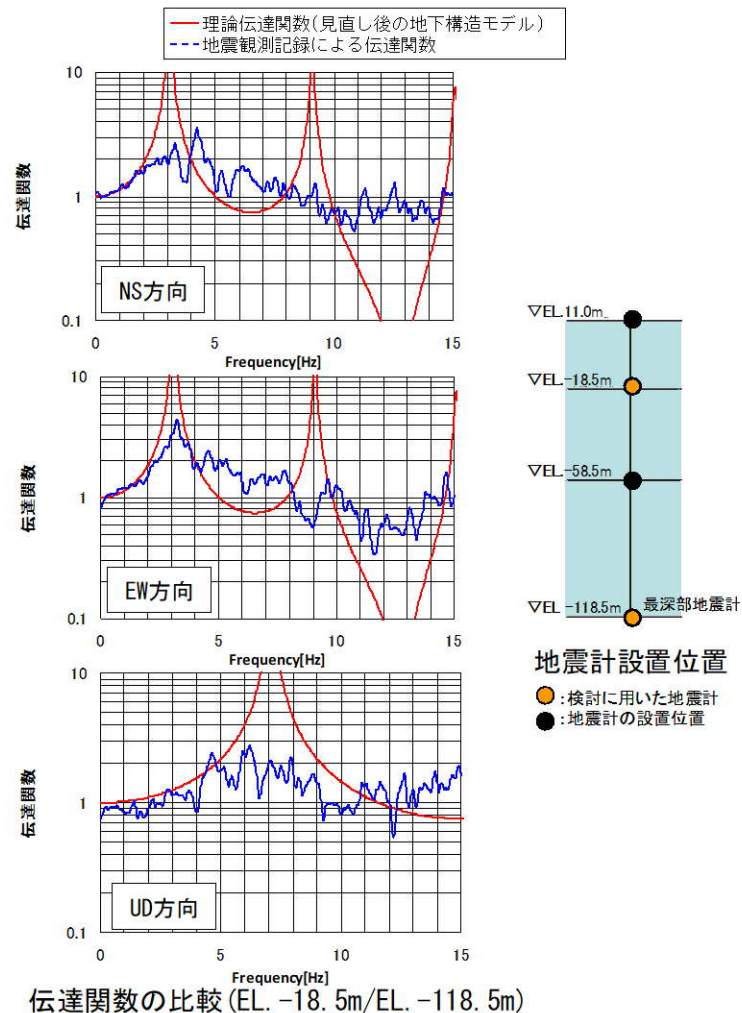
■ 見直し後の地下構造モデルから算出した伝達関数は、鉛直アレイ地震観測記録の伝達関数及び地震観測記録から同定された地下構造による理論伝達関数とほぼ整合していることを確認した。

地下構造モデル（見直し後）

EL. (m)	層	密度 ρ (g/cm^3)	V_s (km/s)	V_p (km/s)	Q値
11.0m					
-18.5m	0	2.7	1.50	3.20	100
-28.5m	1	2.7	1.50	3.20	100
-118.5m	2	2.7	1.60	3.70	100

解放基盤表面 (EL. -18.5m) 上に0層を追加

第114回審査会合資料より抜粋



【参考③】 既許可の地下構造モデル

■ 微動アレイによる既許可の地下構造モデルの確認

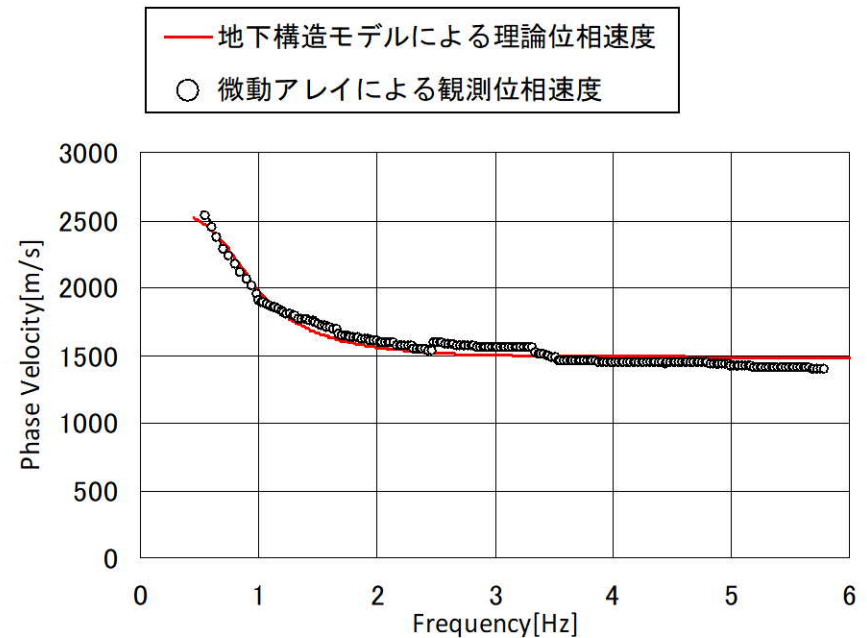
第114回審査会合資料より抜粋

■ 見直し後の地下構造モデルを基に、レイリー波の理論位相速度を算出し、微動アレイ探査結果から得られた観測位相速度と比較すると、両者はおおむね一致することを確認した。

地下構造モデル（見直し後）

EL. (m)	層	密度 ρ (g/cm ³)	Vs (km/s)	Vp (km/s)	Q値
11.0m	0	2.7	1.50	3.20	100
-18.5m	1	2.7	1.50	3.20	100
-28.5m	2	2.7	1.60	3.70	100
-480m	3	2.7	2.15	4.40	200
-1018.5m	4	2.7	3.01	5.20	200

解放基盤表面 (EL. -18.5m) 上に0層を追加

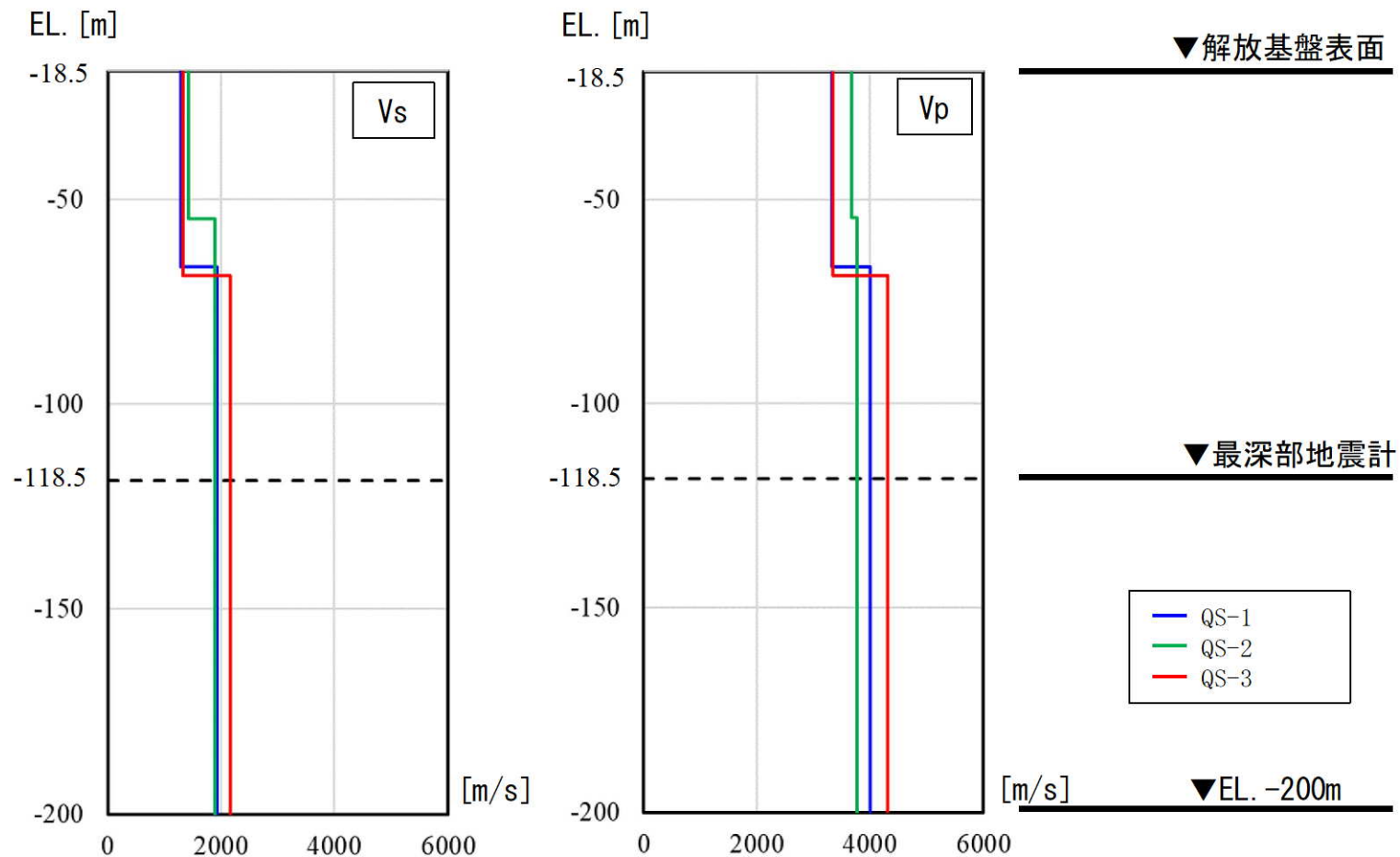


理論位相速度と観測位相速度の比較

【参考④】 PS検層モデルとの比較による適用性確認の範囲について

【参考④】PS検層モデルとの比較による適用性確認の範囲について

- PS検層結果（QS-1～QS-3）では、EL. -60m付近で速度構造のコントラストが見られる。
- PS検層結果（QS-1～QS-3）における速度構造のコントラストは、速度層断面における⑤速度層と③・④速度層との境界によるものと考えられる。（91～92頁）
- 一方、解放基盤表面（EL. -18.5m）以深の原子炉建屋直下及び地震計位置は、概ね⑤速度層に分類される。（91、93頁）
- 以上を踏まえ、PS検層との比較による既許可モデルの適用性確認は、原子炉建屋及び地震計が位置する⑤速度層における確認となるように、EL. -118.5m～EL. -200mの範囲で実施する。

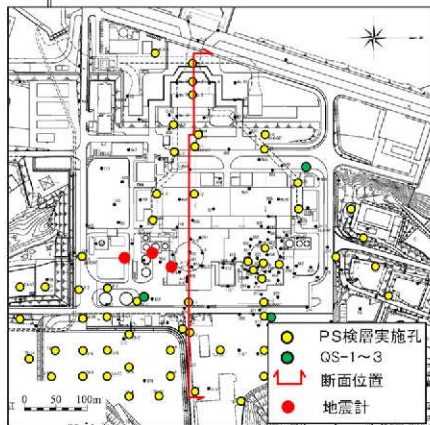
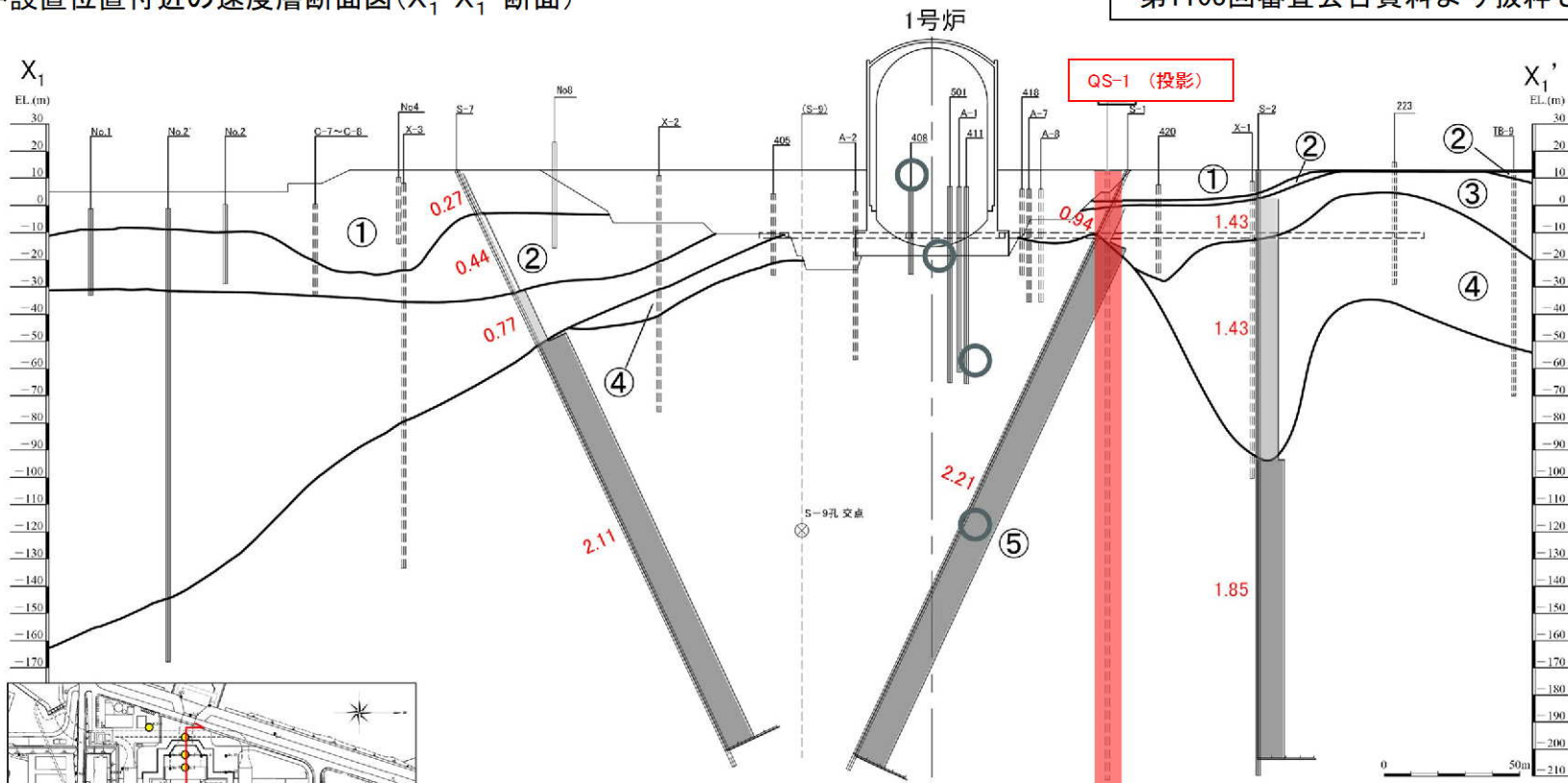


【参考④】PS検層モデルとの比較による適用性確認の範囲について

PS検層結果に基づく速度層断面 (1/3)

原子炉設置位置付近の速度層断面図(X₁-X₁'断面)

第1103回審査会合資料より抜粋し一部追記※



速度層区分	S波速度Vs (km/s)	P波速度Vp (km/s)
①	0.28	1.17
②	0.52	1.86
③	0.90	2.51
④	1.37	3.40
⑤	2.05	4.33

○ 地震計設置位置(投影)

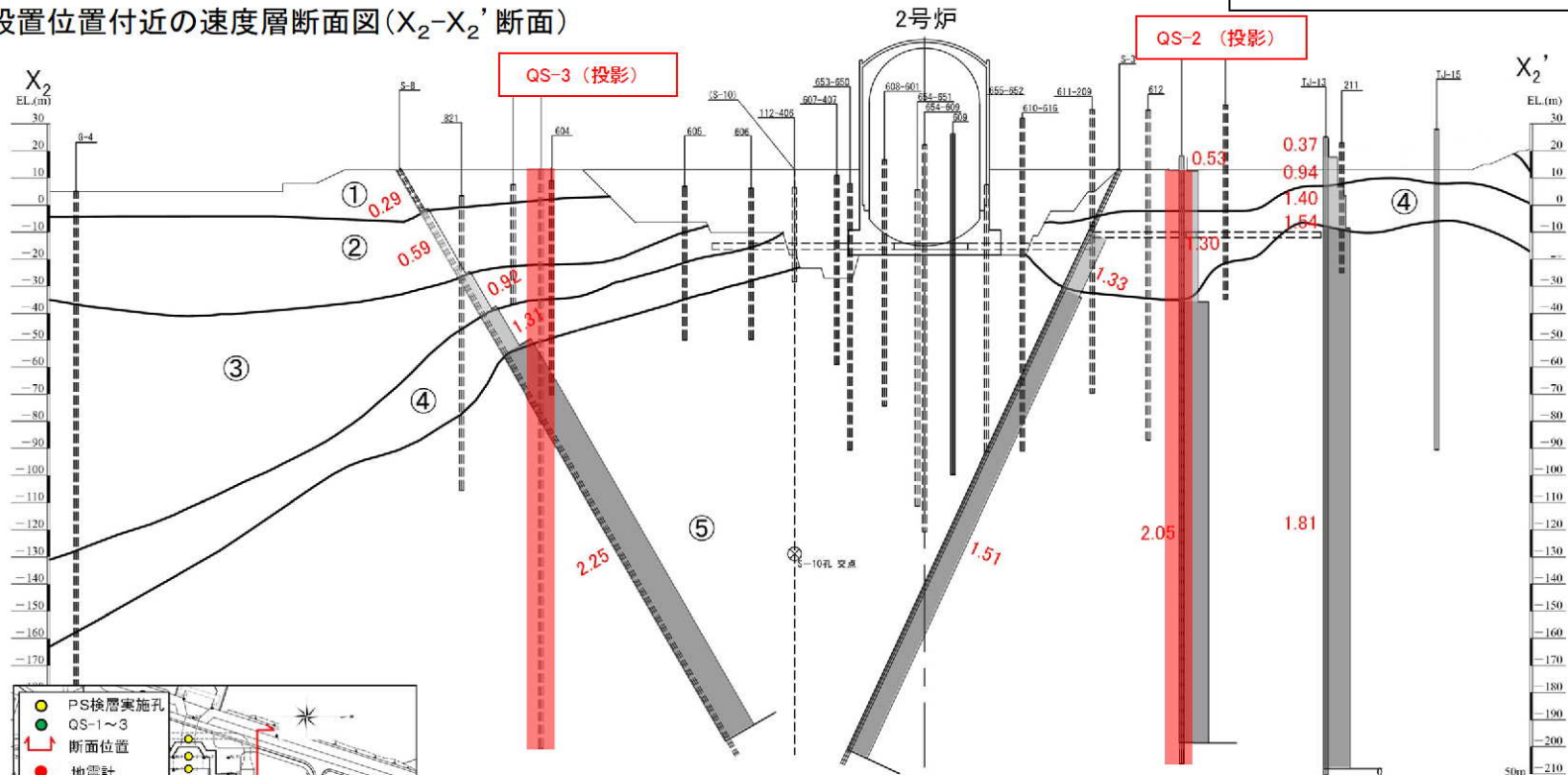
※第1103回会合資料の抜粋に、試掘坑位置、各速度層区分のP波速度、追加ボーリング位置 (QS-1~3) 及び地震計設置位置を追記

【参考④】 PS検層モデルとの比較による適用性確認の範囲について

PS検層結果に基づく速度層断面 (2/3)

原子炉設置位置付近の速度層断面図(X₂-X₂'断面)

第1103回審査会合資料より抜粋し一部追記※



速度層区分	S波速度Vs (km/s)	P波速度Vp (km/s)
①	0.28	1.17
②	0.52	1.86
③	0.90	2.51
④	1.37	3.40
⑤	2.05	4.33

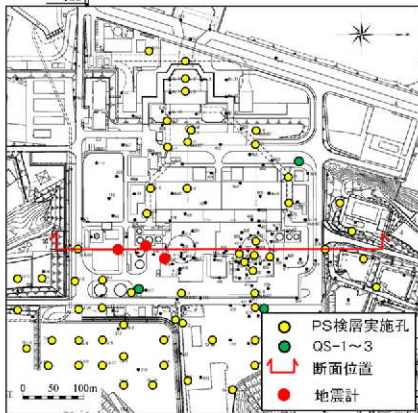
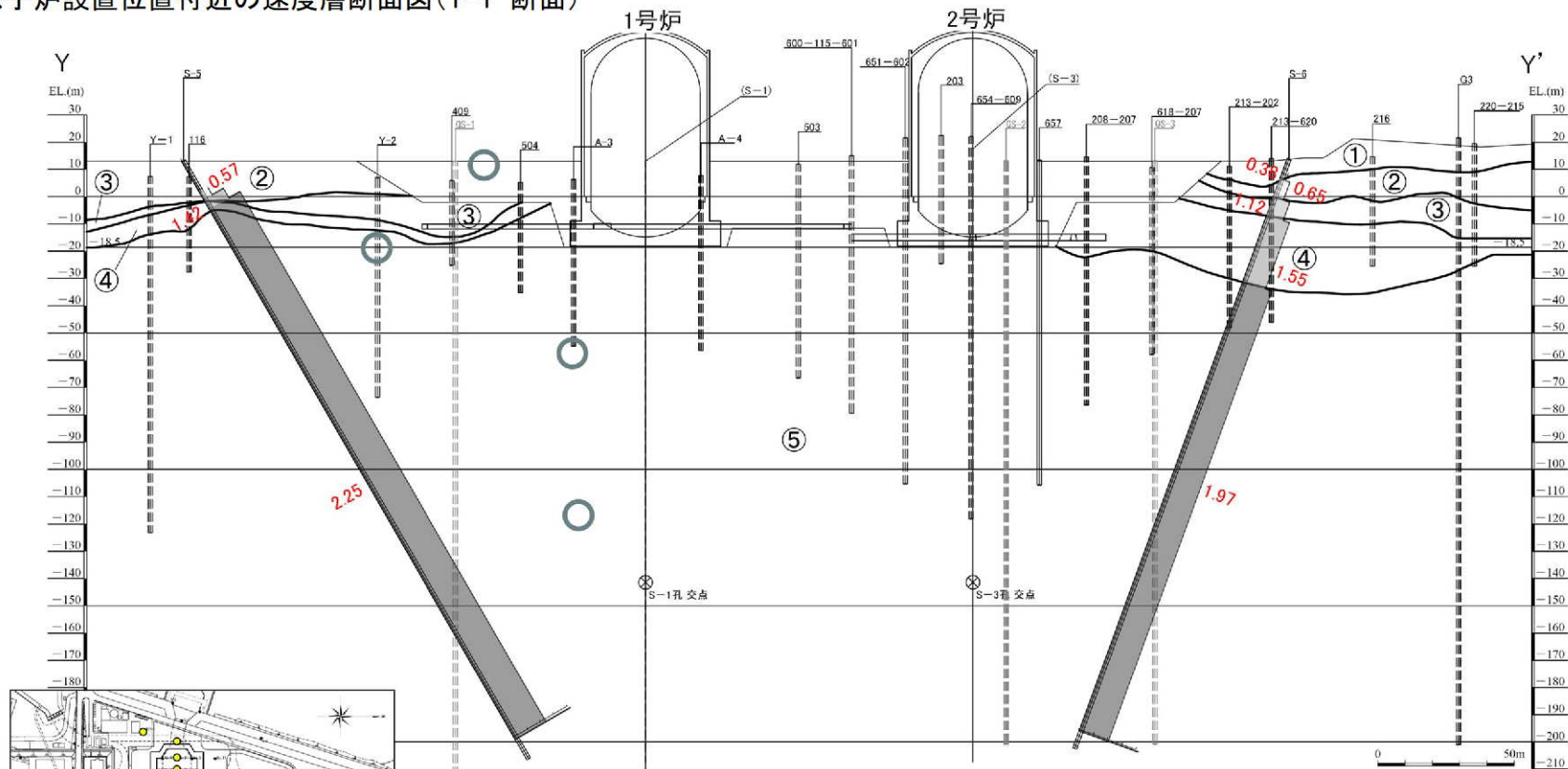
※第1103回会合資料の抜粋に、試掘坑位置、各速度層区分のP波速度、追加ボーリング位置 (QS-1~3) 及び地震計設置位置を追記

【参考④】PS検層モデルとの比較による適用性確認の範囲について

PS検層結果に基づく速度層断面 (3/3)

第1103回審査会合資料より抜粋し一部追記※

原子炉設置位置付近の速度層断面図(Y-Y'断面)



速度層区分	S波速度Vs (km/s)	P波速度Vp (km/s)
①	0.28	1.17
②	0.52	1.86
③	0.90	2.51
④	1.37	3.40
⑤	2.05	4.33

○ 地震計設置位置(投影)

※第1103回会合資料の抜粋に、各速度層のP波速度、追加ボーリング位置(QS-1~3)及び地震計設置位置を追記

【参考⑤】ボーリング孔内Q値に関する知見

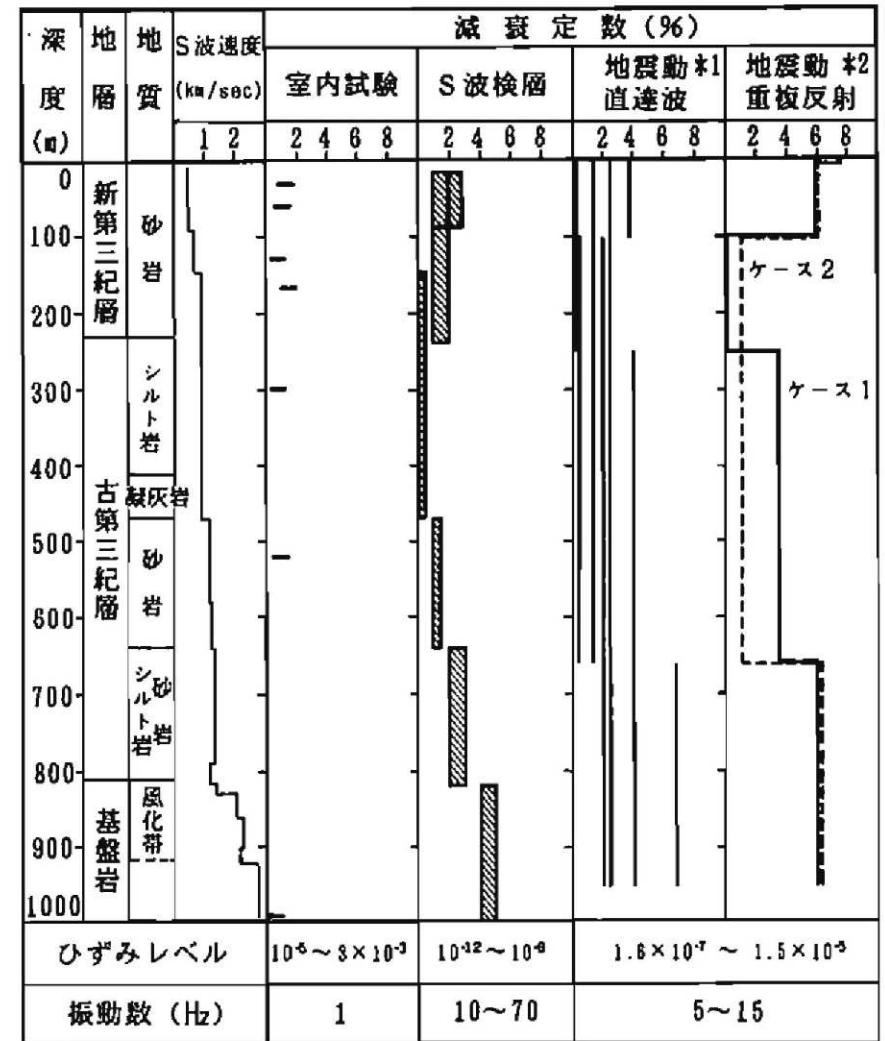
【参考⑤】ボーリング孔内Q値に関する知見

文献	概要
石田ほか(1987) ⁴⁾	<ul style="list-style-type: none"> ・ S波検層による方法は、比較的純粋なSH波を発生させることができるが、一般に地震時に比べて、ひずみレベルが小さく、卓越振動数が高くなるという問題がある。 ・ 観測地震動を用いる方法は、地盤の地震応答解析を行なうときと同様の条件下で減衰性を評価できるという有利さはあるものの、地盤内での地震波動の伝播が非常に複雑であるため、観測地震動が解析の際に仮定した条件に適合するかどうかの問題である。 ・ S波検層と観測地震動の解析との関係は、ひずみレベルや振動数成分が異なるにも拘わらず、両者の全体の傾向は良く整合している。
小林ほか(2010) ⁵⁾	<ul style="list-style-type: none"> ・ Q値測定は対象の周波数が数10Hz以上と実地震動のそれに比べて高く、且つひずみレベルが小さいという理解もあって、得られた減衰定数が地震動評価（耐震設計）に使われることはそう多くないのが現状。 ・ PS検層と鉛直アレー観測記録から評価される減衰定数において、信頼性のある同一周波数帯のS波に着目した場合、評価手法の違いによる差、あるいはひずみレベルの違いによる差はほとんどない結果が示された。
小林ほか(2013) ⁶⁾	<ul style="list-style-type: none"> ・ PS検層は地表人工震源による弾性波動を扱っていることから対象の周波数が数10Hz以上と実地震動のそれに比べて高く、周波数帯域の違いによる適用上の問題から、PS検層により得られたS波の減衰特性が地震動評価に使われることはそう多くはない。 ・ 鉛直アレー観測及びPS検層から評価されるS波の減衰定数は、PS検層が適用対象とするおよそ10Hzより高周波数側でほぼ一致し、評価手法の違いによる差はほとんどないことが示された。
佐藤(2010) ⁷⁾	<ul style="list-style-type: none"> ・ PS検層による減衰定数は、スペクトル比の逆解析により得られた同定結果の下限值の周波数軸上の延長上に位置しており、両者が減衰定数の下限値において良く対応していることが分かる。 ・ バイリニア型の周波数依存モデルの妥当性と高周波数側への拡張性、ならびにPS検層によって減衰定数の下限値を推定できる可能性を示している。

【参考⑤】ボーリング孔内Q値に関する知見

■ 石田ほか(1987)⁴⁾の概要

- 同一地点に対する室内試験、S波検層および観測地震動に基づく地盤の減衰性の評価手法を示し、それらの結果の比較考察を実施。
- 観測地震動を用いる方法は、地盤の地震応答解析を行なうときと同様の条件下で減衰性を評価できるという有利さはあるものの、地盤内での地震波動の伝播が非常に複雑であるため、観測地震動が解析の際に仮定した条件に適合するかどうかの問題である。
- S波検層と観測地震動の解析との関係は、ひずみレベルや振動数成分が異なるにも拘わらず、両者の全体の傾向は良く整合している。S波検層で発生する波と地震動とは、地盤内での波の伝播の状況が対照的であり、両者のデータを用いて地盤の減衰を評価する方法は互いに弱点を補い合う関係にあるべきものと考えられる。



*1) 各観測点間ごとの値を示す

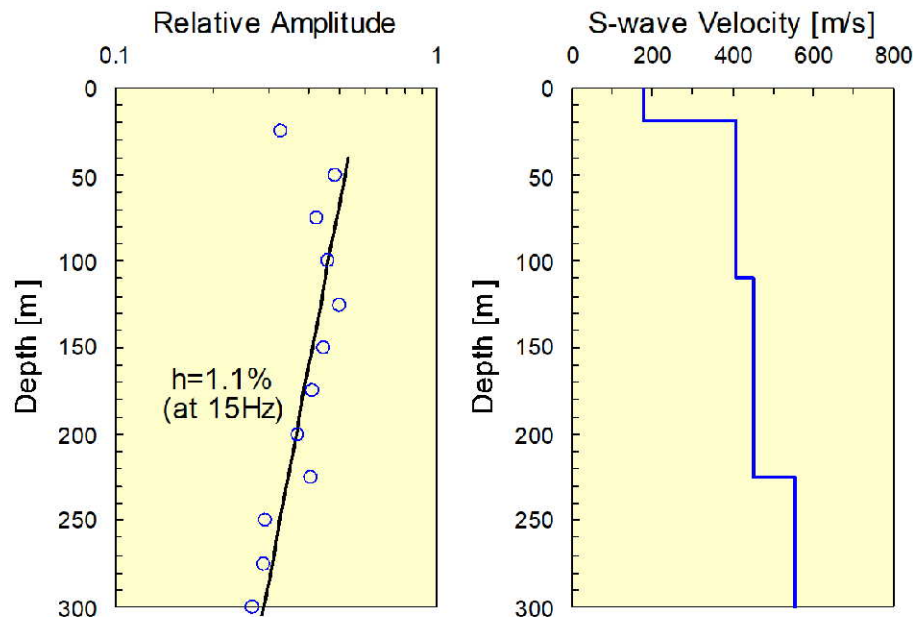
*2) 層分割の異なる2つの最適モデルを示す。

各種の手法による減衰定数の比較

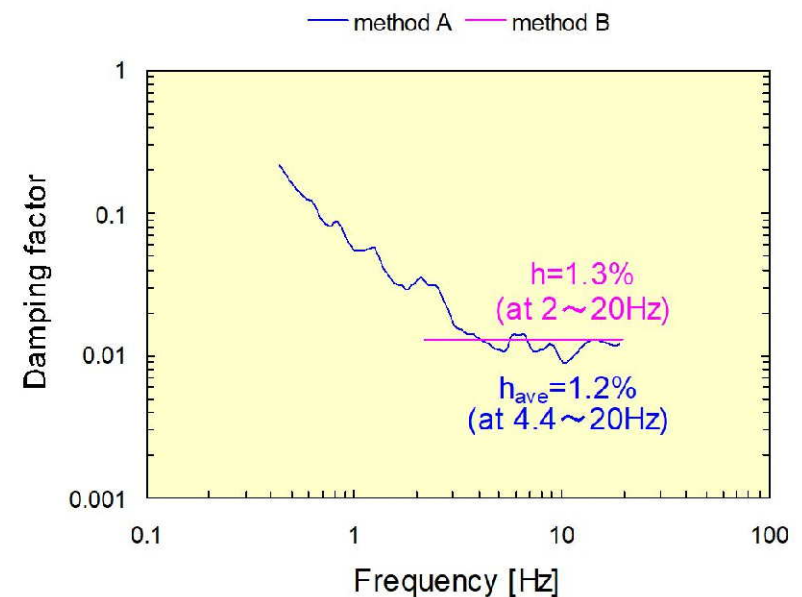
【参考⑤】ボーリング孔内Q値に関する知見

■ 小林ほか(2010)⁵⁾の概要

- Q値測定は対象の周波数が数10Hz以上と実地震動のそれに比べて高く、且つひずみレベルが小さいという理解もあって、得られた減衰定数が地震動評価（耐震設計）に使われることはそう多くないのが現状。
- 防災科学技術研究所の基盤強震観測網（KiK-net）成田観測点を事例対象として、（PS検層による）Q値測定と鉛直アレー観測から評価されるS波の減衰定数の関係性を数値実験及び実データから検討。
- 成田観測点において、PS検層記録と鉛直アレー観測記録に基づき評価される15Hzにおける減衰定数は共に同程度の値（等価減衰定数1.1～1.3%）を有する。
- PS検層と鉛直アレー観測記録から評価される減衰定数において、信頼性のある同一周波数帯のS波に着目した場合、評価手法の違いによる差、あるいはひずみレベルの違いによる差はほとんどない結果が示された。このことは、Q値測定により得られる地盤の減衰定数が地震動評価に適用できることを示唆している。



成田観測点のQ値解析結果及びS波速度構造



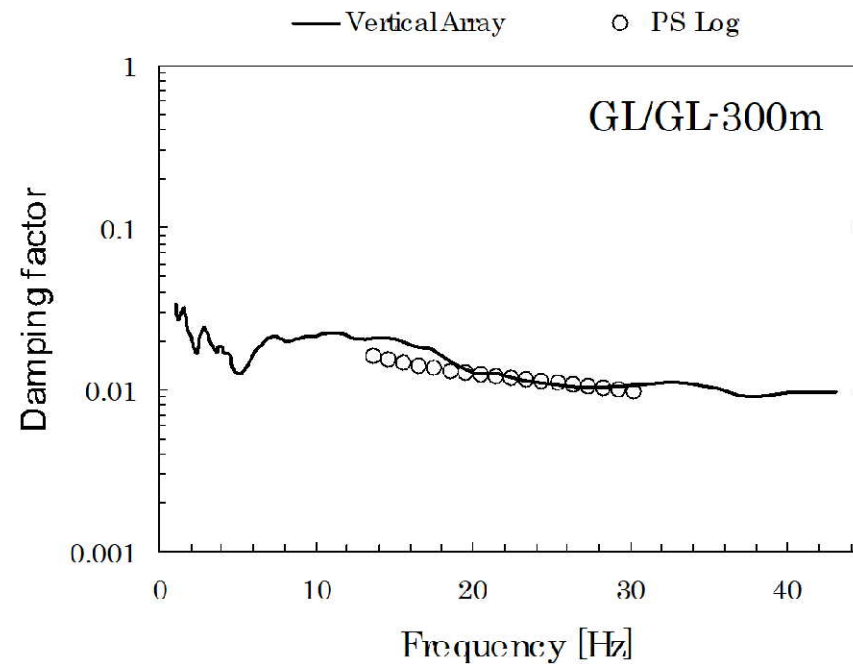
成田観測点の地盤同定解析結果

小林ほか(2010)より抜粋

【参考⑤】ボーリング孔内Q値に関する知見

■ 小林ほか(2013)⁶⁾の概要

- ほぼ水平な地質構造を持つ第四紀地盤テストフィールドにおいて、PS検層（ダウンホールPS検層）に基づく減衰定数の評価に関する実証試験を実施。
- 実証試験では、主として鉛直アレー観測による減衰定数の評価結果に対比させる形でPS検層の適用性を検討。
- 両手法から評価されるS波の減衰定数は、PS検層が適用対象とするおよそ10Hzより高周波数側でほぼ一致し、評価手法の違いによる差はほとんどないことが示された。

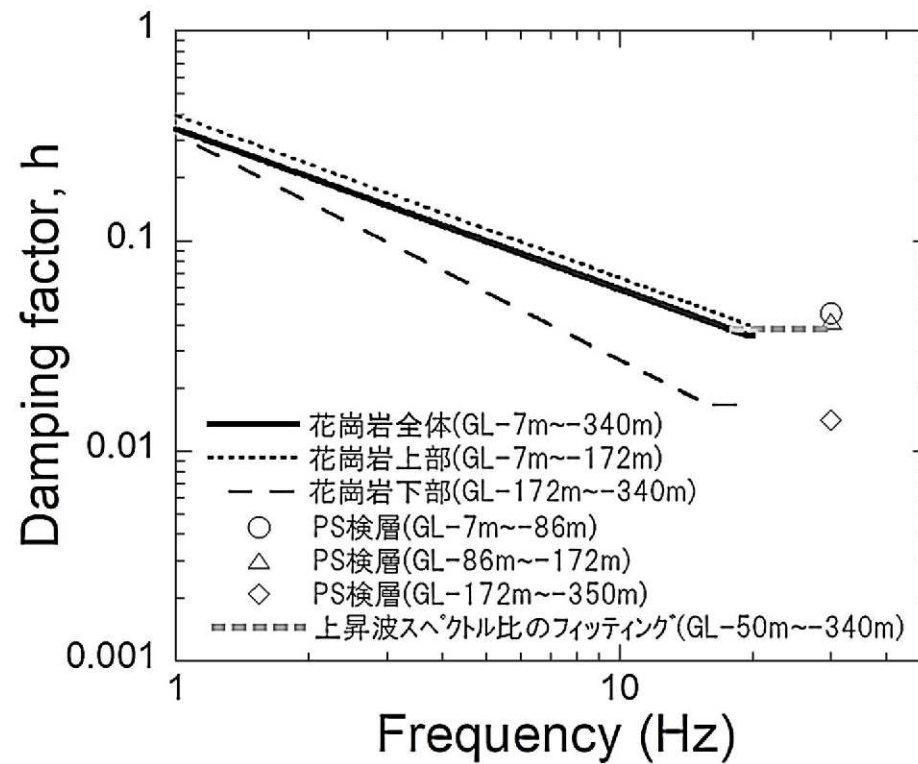


PS検層及び鉛直アレー記録に基づき推定された
S波の減衰定数の比較

【参考⑤】ボーリング孔内Q値に関する知見

■ 佐藤 (2010)⁷⁾ の概要

- 花崗岩からなる硬質岩盤において鉛直アレイ観測とPS検層により得られるS波の減衰定数を比較検討。
- PS検層による減衰定数は、スペクトル比の逆解析により得られた同定結果の下限值の周波数軸上の延長上に位置しており、両者が減衰定数の下限値において良く対応していることが分かる。このことは、バイリニア型の周波数依存モデルの妥当性と高周波数側への拡張性、ならびにPS検層によって減衰定数の下限値を推定できる可能性を示している。



異なる手法による減衰定数の評価結果の比較

参考文献

- 1) S. Noda, K. Yashiro, K. Takahashi, M. Takemura, S. Ohno, M. Tohdo and T. Watanabe (2002) : RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES, OECD-NEA Workshop on the Relations between Seismological Data and Seismic Engineering, Oct. 16-18, pp. 399-408.
- 2) 地盤工学会(2013) : 地盤の弾性波速度検層方法, JGS1122-2013, 2013年3月
- 3) 信岡大, 東宏幸, 大場政章(2012) : PS検層の手法を用いた地盤減衰特性(Q値)の評価, 物理探査, 第6巻, 第1&2号, 79-90, 2012年
- 4) 石田寛, 太田外気晴, 原昭夫, 高橋克也(1987) : 室内試験、S波検層および観測地震動に基づく地盤の減衰評価, 第15回地盤震動シンポジウム, 1987年8月
- 5) 小林源裕, 儘田豊, 堤英明(2010) : PS検層と鉛直アレー観測記録から評価される地盤の減衰定数の関係性, 物理探査学会第122回学術講演会論文集(2010), 37-40, 2010年
- 6) 小林源裕, 儘田豊, 堤英明, 安藤誠, 鈴木晴彦, 松山尚典(2013) : PS検層による地盤のS波の減衰定数の評価に関する検討ー鉛直アレー観測による減衰定数との比較ー, 物理探査, 第66巻, 第3号, 153-165, 2013年
- 7) 佐藤浩章(2010) : 地震観測記録に基づく地震動の減衰特性(その4)ー地表に近い岩盤における減衰定数の評価と速度の揺らぎとの関係ー, 電力中央研究所報告, N10004, 2010年8月