

川内原子力発電所1号炉、2号炉審査資料	
資料番号	TTS-028
提出年月日	2023年6月2日

川内原子力発電所 1号炉及び2号炉

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

2023年6月2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. コメント回答方針	P. 8
3. 地下構造モデルの設定の概要	P. 13
4. 地下構造モデルの設定	P. 16
4.1 地下構造モデルの設定方針	P. 17
4.2 地下構造モデルの適用性確認	P. 20
4.3 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の設定	P. 37
【補足①】 ボーリング孔内減衰測定結果	P. 38
【補足②】 観測事実との整合性に係る検討	P. 42
【参考①】 応答スペクトルの比較結果	P. 48
【参考②】 速度構造を見直したモデルの設定	P. 69
【参考③】 既許可の地下構造モデル	P. 76
【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	P. 84
【参考⑤】 ボーリング孔内Q値に関する知見	P. 86



1. コメントリスト及び今後の審査スケジュール

1. コメントリスト及び今後の審査スケジュール

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

1. コメントリスト及び今後の審査スケジュール

No.	コメント	指摘場所	対応状況
11	地震動評価にあたって、どのような地下構造モデルを使うのか方針を示すこと。	第1049回 原子力発電所の 新規制基準適合性に 係る審査会合 (令和4年5月20日)	第1057回会合にて説明
12	全体スケジュールを考慮した上で、地下構造モデル設定、地震動評価及び全体方針を示すこと。		第1057回会合にて説明
13	審査全体を見通した上で、スケジュールを示すこと。	第1057回 原子力発電所の 新規制基準適合性に 係る審査会合 (令和4年7月1日)	第1080回会合にて説明
14	今回地下構造モデルの方針を変更していることから、説明済みとなっているコメントに関しても、改めて説明すること。		コメントNo. 1, 2, 8につい て 第1103回会合にて説明
15	新たなボーリング調査から得られる結果を踏まえ、設定した地下構造モデルの妥当性を示すこと。		第1103回会合にて説明
16	今後説明予定の新たに設定した地下構造モデルの妥当性について、適切な論理で十分な根拠に基づき説明すること。	第1080回、第1088回 原子力発電所の 新規制基準適合性に 係る審査会合 (令和4年10月7日、 令和4年10月28日)	説明方針： 第1088回会合にて説明 コメント回答： 第1103回会合にて説明
17	審査事項に係る方針・考え方を準備ができたものから前倒しで説明する等、効果的かつ効率的な審査スケジュールを示すこと。 補正申請については、地下構造モデルと基準地震動の審議が取り纏まった段階で、部分的に補正するなど、限られた時間を活用する工夫を検討すること。	第1080回、第1088回 第1142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、 令和5年4月28日)	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
18	地下構造モデルについて、地震観測記録等に見られる一部の周期帯におけるピークが適切に評価できていないことを踏まえ、検討すること。	第1103回 原子力発電所の 新規制基準適合性に 係る審査会合 (令和4年12月16日)	第1113回会合にて説明
19	川内の地下構造モデルの設定について、抜本的な改善を含めて現実的な方法で見直しを検討し、地下構造モデルの設定の方針を速やかに説明すること。	第1113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5年2月10日)	今回説明 (P8~P12)
20	地下構造モデルの見直し方針の説明では、単なる方針、速度構造を見直して観測事実と合わせ込むというだけでなく、既許可及びそれ以降の観測事実を踏まえた地下構造モデルの構築に係る論理構成、観測事実を再現できるという成立性とそれらの根拠を具体的に示すこと。	第1142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5年4月28日)	今回説明 (P13~P37)

2. コメント回答方針

2. コメント回答方針

○ 第1113回審査会合（令和5年2月10日）でのご指摘

- ・ 地下構造モデルの設定方針について、既許可モデルをそのまま用いた場合に観測記録と整合するか確認したうえで、浅部の地盤減衰や速度構造を見直す等、どのように見直し対応するか、速やかに説明すること。

○ 第1142回審査会合（令和5年4月28日）でのご指摘

- ・ 地下構造モデルの見直し方針の説明では、単なる方針、速度構造を見直して観測事実と合わせ込むというだけでなく、既許可及びそれ以降の観測事実を踏まえた地下構造モデルの構築に係る論理構成、観測事実を再現できるという成立性とそれらの根拠を具体的に示すこと。
- ・ 現在予定しているスケジュール通りに進まなかった場合、地下構造モデルを既許可モデルにする対応は考えているか。

2. コメント回答方針

■ コメント回答方針

- 現申請モデルに対するコメントを踏まえ、既許可モデル※による観測記録との整合性及び速度構造を見直したモデルによる観測記録との整合性の確認を実施。

※長周期帯における理論的手法による評価に用いる解放基盤表面以深の地下構造モデル

- 既許可モデルによる観測記録との整合性
 - 既許可モデル (Q=100) は、現申請モデル (Q=12.5) より地盤減衰が小さく、応答波の応答スペクトルが短周期帯で増大することにより、周期0.1秒から0.2秒において、現申請モデルに比べて、観測記録との整合性が改善される (11頁)。
 - 短周期帯において観測記録を大きく上回り、大きな保守性を有する (11頁)。
- 速度構造を見直したモデルによる観測記録との整合性
 - 速度構造を見直したモデルは、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周期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、現申請モデルと比べて、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 (12頁)。
 - 地下深部 (EL. -200mからEL. -480mまで) の速度構造については、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 (参考②: 71頁)。

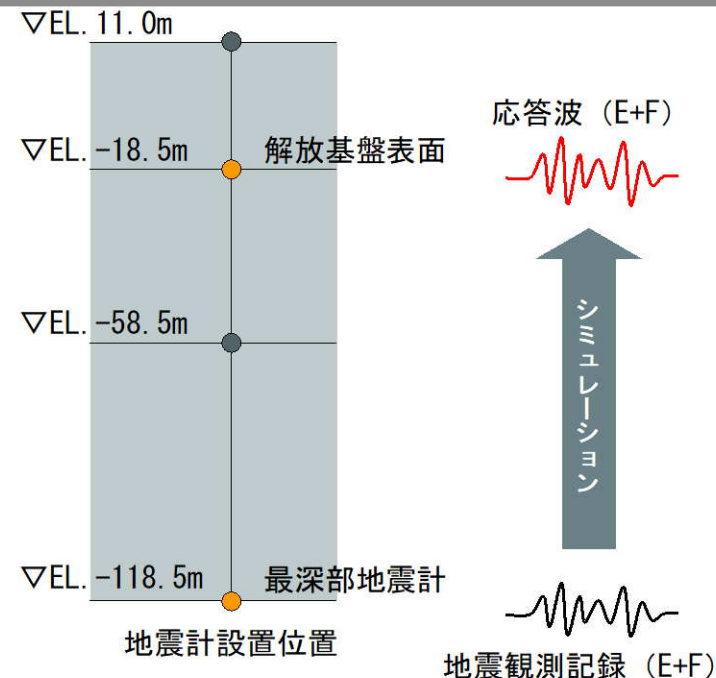


- 以上を踏まえ、経過措置期限を考慮し、迅速に標準応答スペクトルを考慮した評価を行い安全裕度の向上を図るべきとの観点に立ち、既許可モデルを用いる方針とする。
- 既許可モデルは、長周期帯の地震動評価を目的に設定したモデルであり、周期0.02秒から5秒までで定義される標準応答スペクトルを考慮した地震動評価を実施するにあたり、既許可以降継続的に取得している鉛直アレイの地震観測記録やボーリング孔内減衰測定結果等の観測事実等に基づき、短周期から長周期までの全ての周期帯への適用性の確認を実施する。

2. コメント回答方針

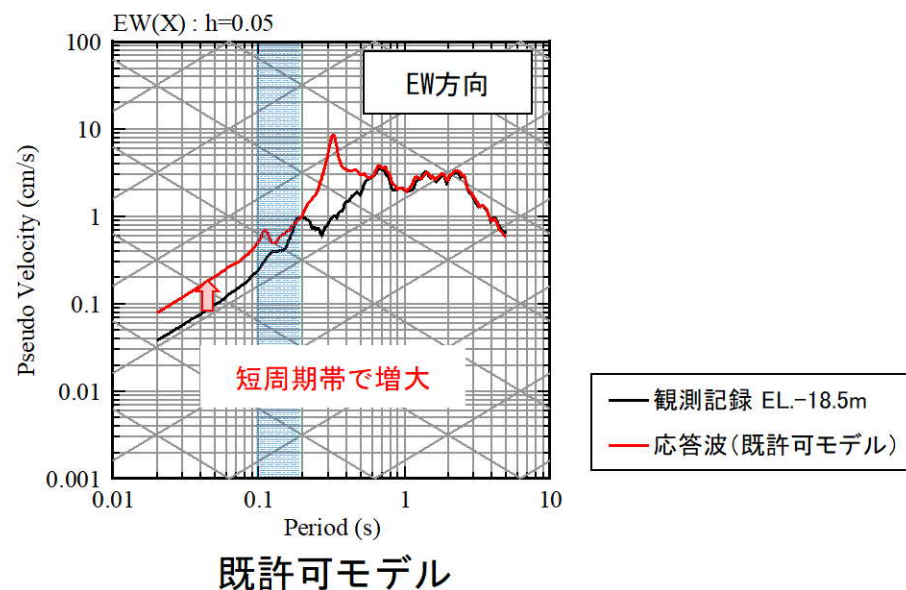
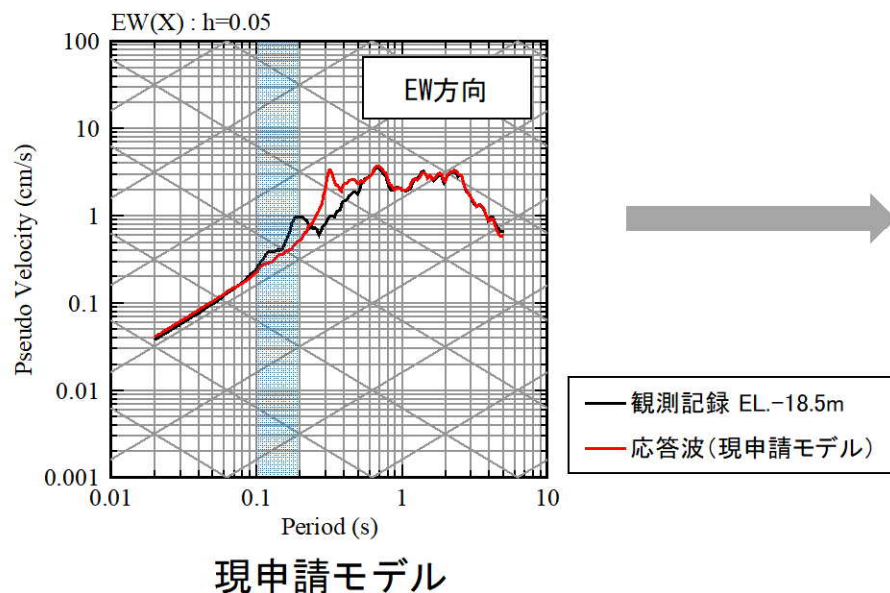
既許可モデルによる観測記録との整合性確認

- 既許可モデルを用いて、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。
- 既許可モデル（ $Q=100$ ）は、現申請モデル（ $Q=12.5$ ）より、地盤減衰が小さく、応答波の応答スペクトルが短周期帯で増大することにより、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。（参考①：48頁～68頁参照）
- 短周期帯において観測記録を大きく上回り、大きな保守性を有する。



〔①〕熊本県熊本地方（2016年熊本地震本震）の例〕

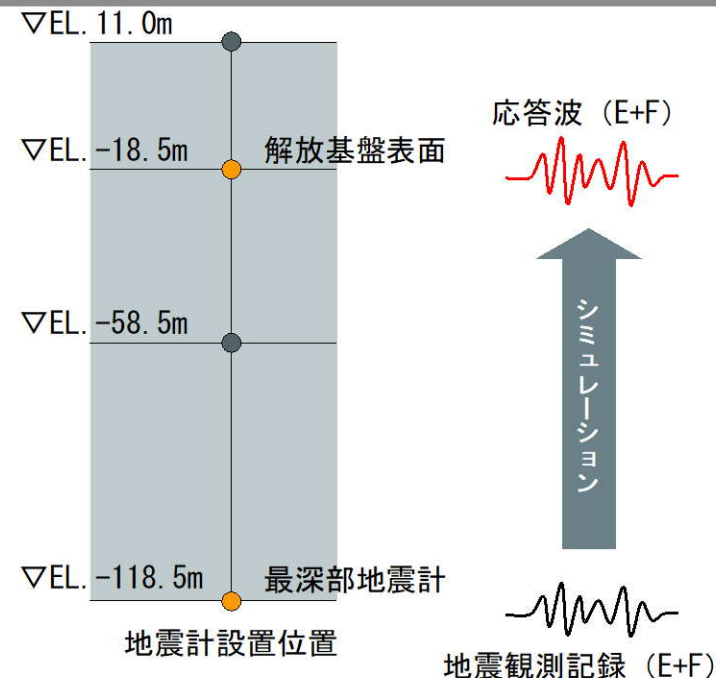
※入力の最深部地震計（EL.-118.5m）で得られた地震観測記録及び出力の解放基盤表面（EL.-18.5m）での応答波は地中記録のため、E+Fで評価



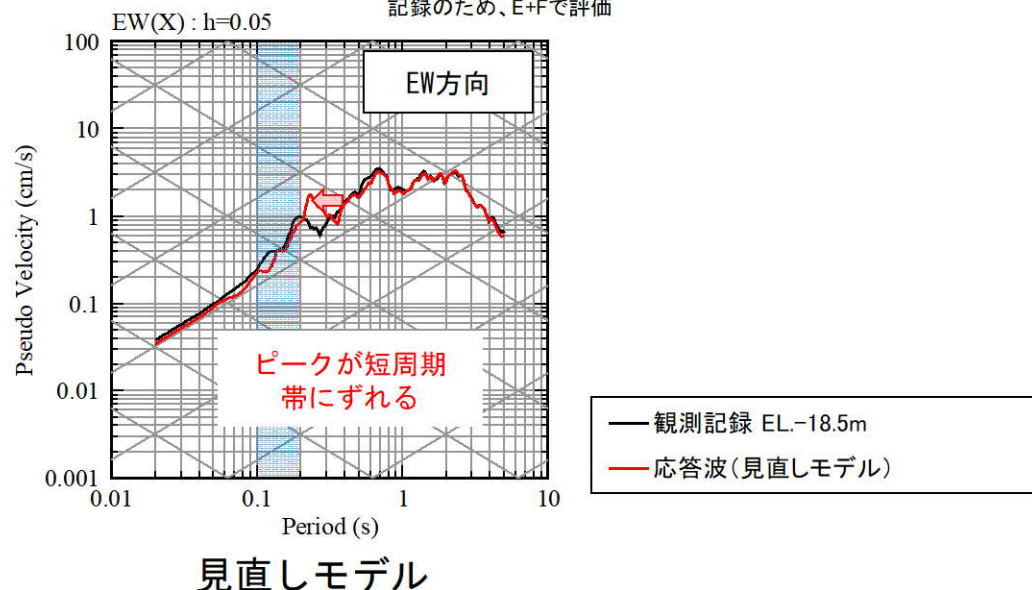
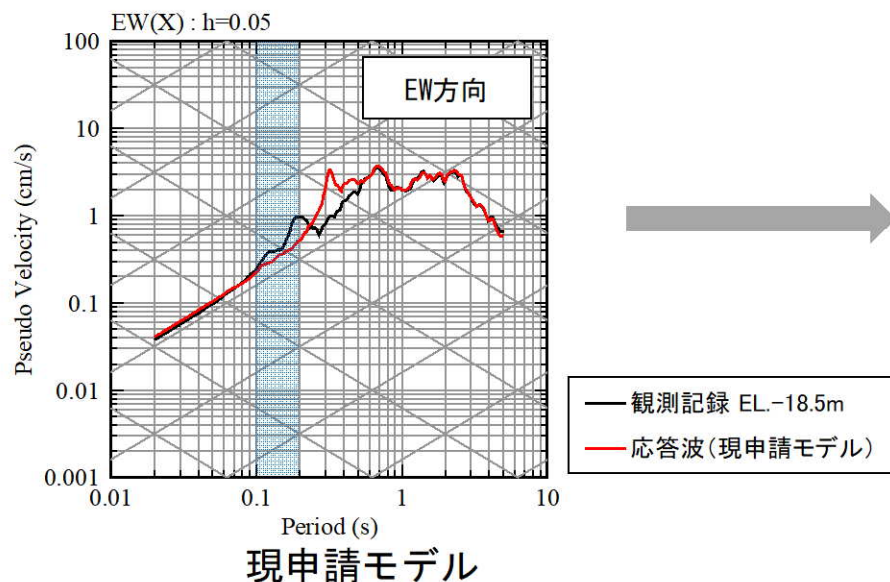
2. コメント回答方針

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）（参考②：69頁～75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①：48頁～68頁参照）



〔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

3. 地下構造モデルの設定の概要

3. 地下構造モデルの設定の概要

■ 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を考慮した地震動評価に用いる地下構造モデルは、既許可モデルを用いる。
- 標準応答スペクトルは地震基盤相当面 ($V_s=2200\text{m/s}$ 以上の層) で定義されることから、既許可モデルの $V_s=3010\text{m/s}$ の層上面 (EL. -1018.5m) に地震基盤相当面を設定する。
- 既許可モデルは、長周期帯の地震動評価を目的に設定したモデルであり、周期0.02秒から5秒までで定義される標準応答スペクトルを考慮した地震動評価を実施するにあたり、既許可以降継続的に取得している鉛直アレイの地震観測記録やボーリング孔内減衰測定結果等の観測事実等に基づき、短周期から長周期までの全ての周期帯への適用性の確認を実施する。
 - 既許可時審査以降、鉛直アレイにおける地震観測 (EL. -118.5mまで) により、59地震の観測記録を取得。(計149地震の観測記録)
 - EL. -200mまでのボーリング孔内減衰測定を3箇所を実施。

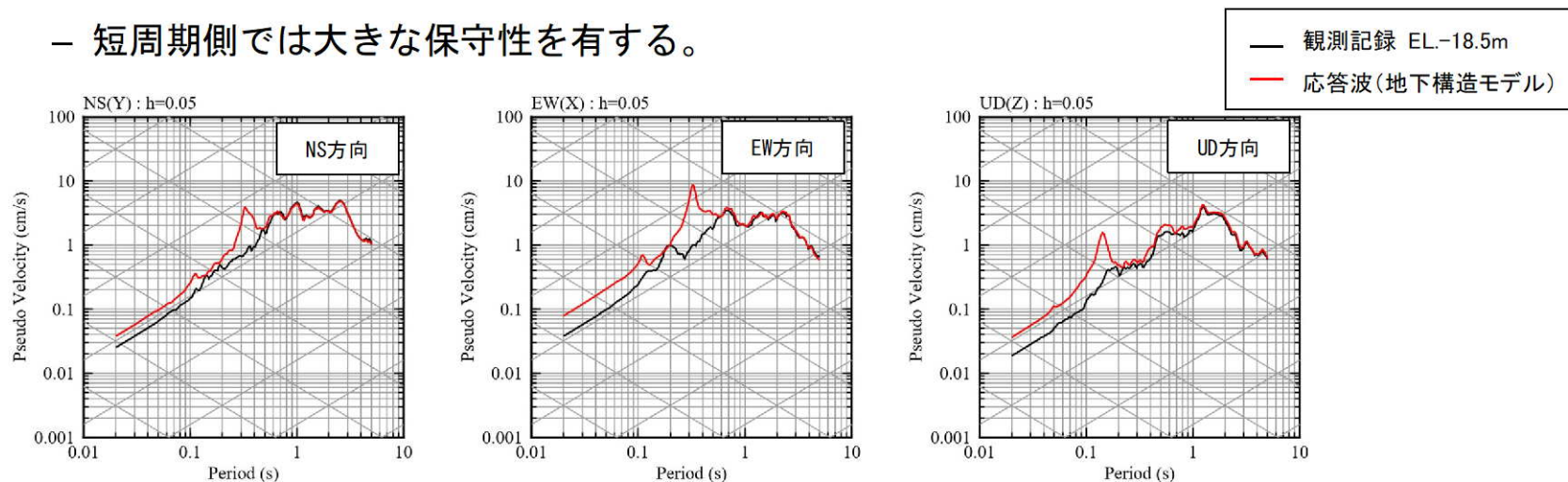
長周期帯における理論的手法による地震動評価及び
標準応答スペクトルを考慮した地震動評価に用いる地下構造モデル

EL.	層上面 (km)	密度 ρ (g/cm^3)	V_s (m/s)	V_p (m/s)	Q値	
-18.5m	0.0	2.70	1500	3200	100	▼解放基盤表面
-28.5m	-0.01	2.70	1600	3700	100	
-480m	-0.462	2.70	2150	4400	200	▼地震基盤相当面
-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	

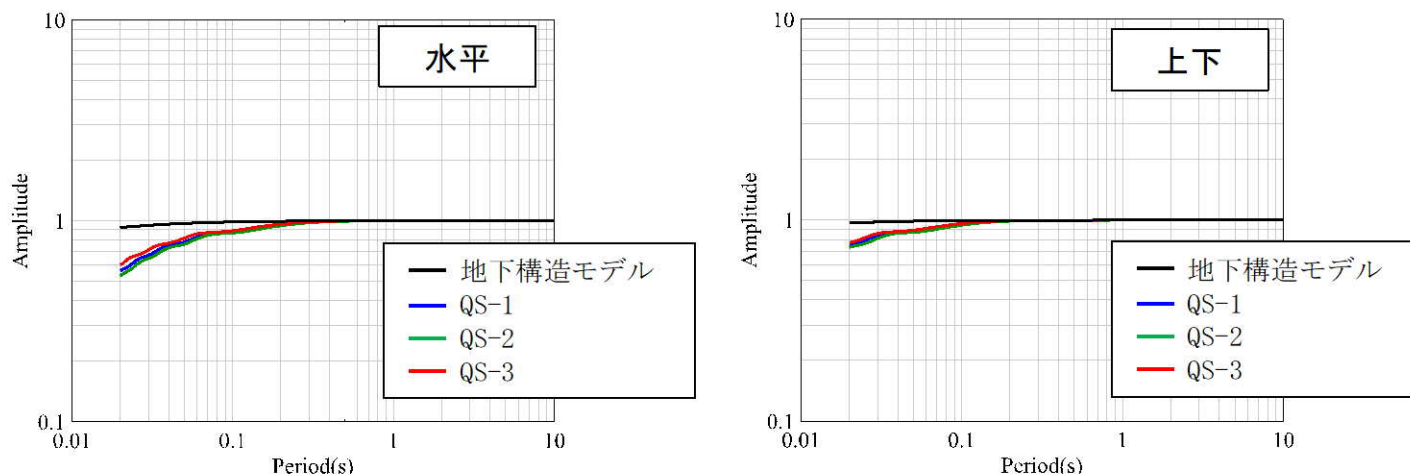
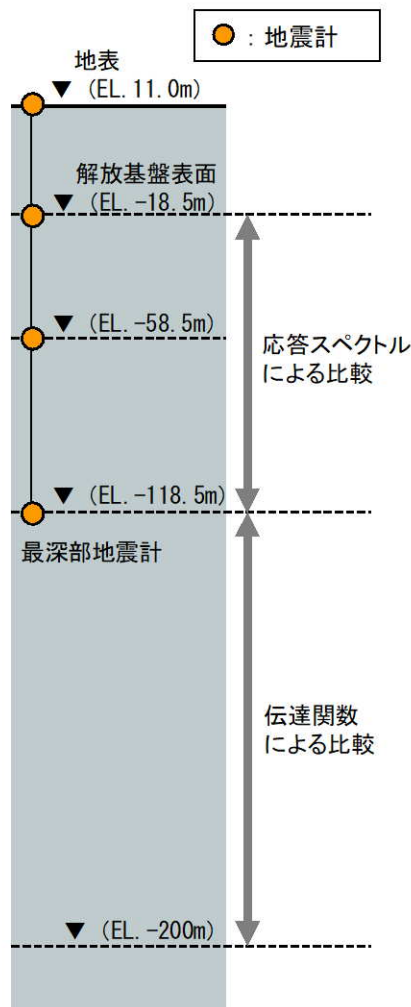
3. 地下構造モデルの設定の概要

■ 短周期から長周期までの全ての周期帯への適用性確認

- 鉛直アレイの地震観測記録（応答スペクトル）及びボーリング孔内減衰測定結果等（伝達関数）の新たに得られた観測事実を用いて、既許可モデルの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。
 - 既許可モデルと観測事実を比較した結果、既許可モデルが観測事実と同等もしくは上回ることを確認。
 - 短周期側では大きな保守性を有する。



地震観測記録と応答波(地下構造モデル)の応答スペクトルによる比較結果 (2016年熊本地震本震の例)



ボーリング孔内減衰測定結果と地下構造モデルの伝達関数による比較結果

4. 地下構造モデルの設定

4.1 地下構造モデルの設定方針

■ 標準応答スペクトルを考慮した地震動評価に用いる地下構造モデル

- 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は、既許可モデルを用いる。
- 標準応答スペクトルは地震基盤相当面 ($V_s=2200\text{m/s}$ 以上の層) で定義されることから、既許可モデルの $V_s=3010\text{m/s}$ の層上面 (EL. -1018.5m) に地震基盤相当面を設定する。
- 既許可モデルは、長周期帯の地震動評価を目的に設定したモデルであり、周期0.02秒から5秒までで定義される標準応答スペクトルを考慮した地震動評価を実施するにあたり、既許可以降継続的に取得している鉛直アレイの地震観測記録やボーリング孔内減衰測定結果等の観測事実等に基づき、短周期から長周期までの全ての周期帯への適用性の確認を実施する。
 - 既許可時審査以降、鉛直アレイにおける地震観測 (EL. -118.5mまで) により、59地震の観測記録を取得。(計149地震の観測記録) (18頁)
 - EL. -200mまでのボーリング孔内減衰測定を3箇所を実施。(19頁)

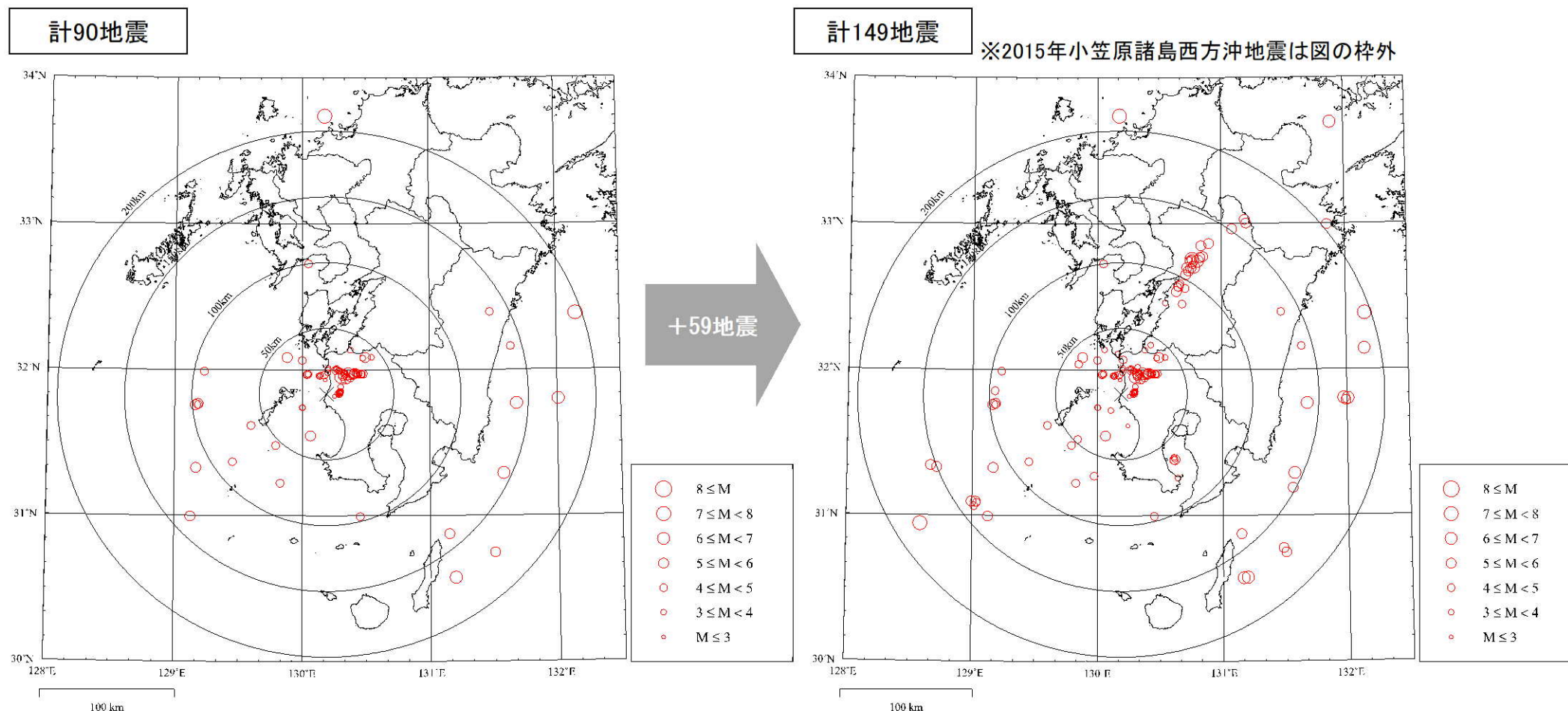
長周期帯における理論的手法による地震動評価及び
標準応答スペクトルを考慮した地震動評価に用いる地下構造モデル

EL.	層上面 (km)	密度 ρ (g/cm^3)	V_s (m/s)	V_p (m/s)	Q値	
-18.5m	0.0	2.70	1500	3200	100	▼解放基盤表面
-28.5m	-0.01	2.70	1600	3700	100	
-480m	-0.462	2.70	2150	4400	200	▼地震基盤相当面
-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	

4.1 地下構造モデルの設定方針

■ 敷地内の鉛直アレイ地震観測記録

- 既許可時審査以降、川内原子力発電所の敷地地盤における鉛直アレイによる地震観測を継続して実施しており、新たに、2016年熊本地震を含む59地震の観測記録を取得。（計149地震の観測記録）



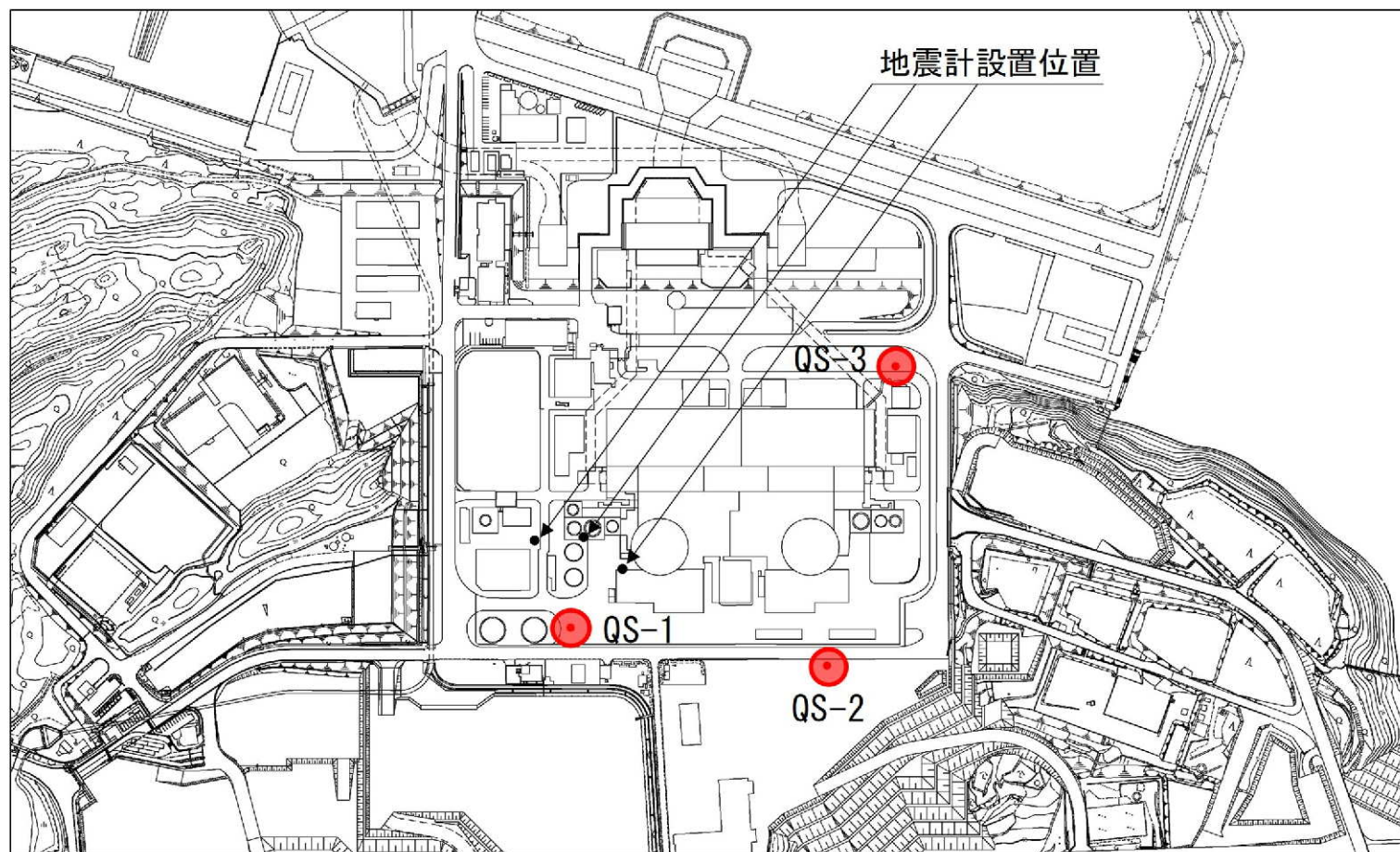
敷地地盤における観測地震の震央分布
(観測開始～既許可時審査)

敷地地盤における観測地震の震央分布
(観測開始～2019年度)

4.1 地下構造モデルの設定方針

■ ボーリング孔内減衰測定

- 発電所構内において、EL. -200mまでの追加ボーリング調査を3箇所を実施。
- 追加ボーリング孔内減衰測定により、地盤減衰（Q値）を測定。
- 追加ボーリング孔におけるPS検層により、速度（Vs、Vp）を測定。



4.2 地下構造モデルの適用性確認

■ 既許可モデルの適用性確認方針

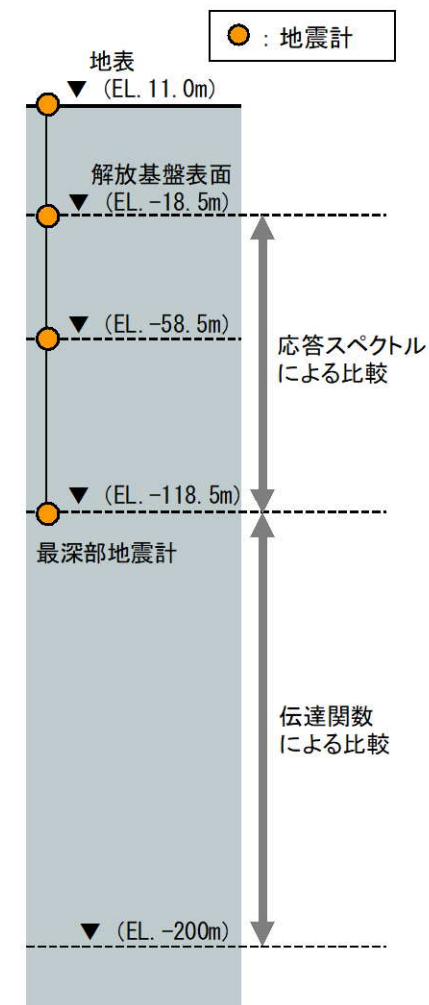
- 既許可モデルの短周期から長周期までの全ての周期帯への適用性について、以下の方法により確認する。

(1) 地震観測記録の応答スペクトルによる適用性の確認 (21~32頁)

- 既許可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を確認する。

(2) PS検層モデルとの比較による適用性の確認 (33~35頁)

- 既許可モデルによる理論伝達関数 (EL. -118.5m / EL. -200m) が、PS検層モデルによる理論伝達関数 (EL. -118.5m / EL. -200m) に対して、同等もしくは上回ることを確認する。



4.2 地下構造モデルの適用性確認

(1) 地震観測記録の応答スペクトルによる適用性の確認

- 既許可時審査以降に取得した地震観測記録を加えた計20地震※を用いて応答スペクトルによる適用性の確認を実施する。

※ Noda et al. (2002)¹⁾の適用範囲を参考にM5.4以上、震央距離200km程度以内の内陸地殻内地震を選定

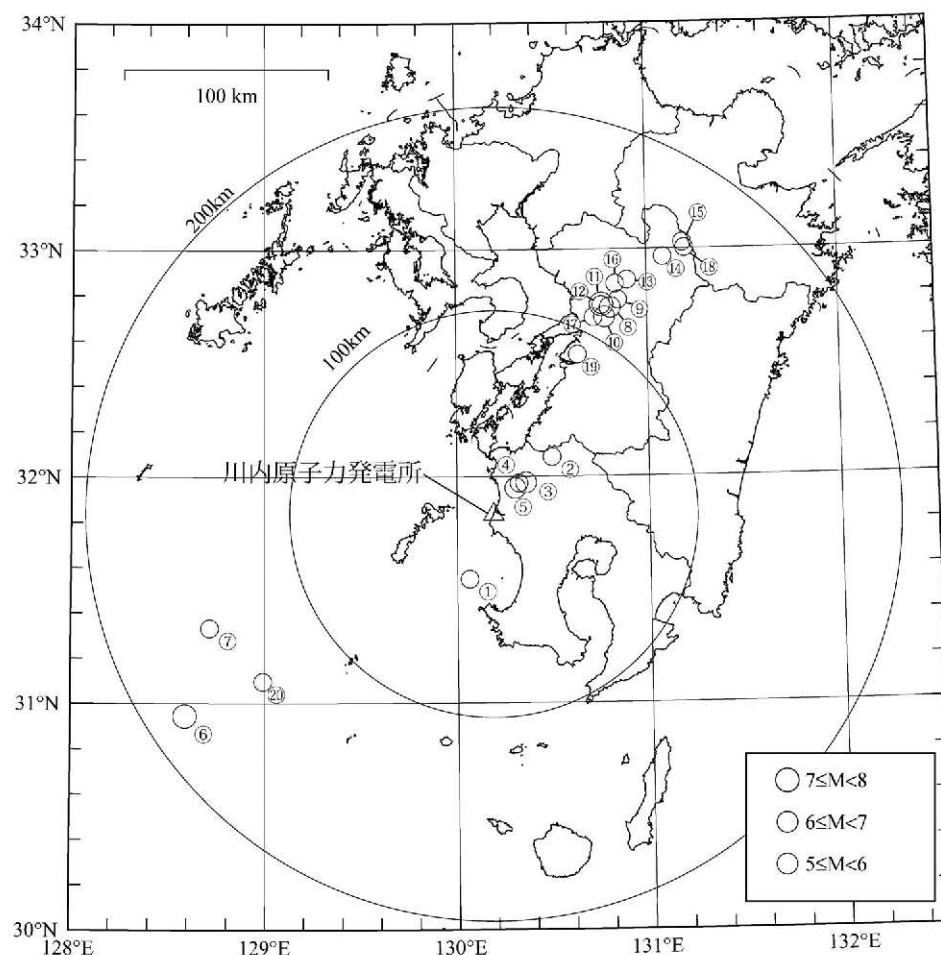
適用性確認に用いる地震諸元 (計20地震)

番号	地震名	発生日	M	震央距離 (km)	入射角 (°)
①	九州西側海域	1984年8月15日	5.5	34	24
②	鹿児島県北西部	1994年2月13日	5.7	40	25
③	鹿児島県北西部	1997年3月26日	6.6	22	23
④	鹿児島県北西部	1997年4月3日	5.7	20	21
⑤	鹿児島県北西部	1997年5月13日	6.4	17	23
⑥	薩摩半島西方沖	2015年11月14日	7.1	181	25
⑦	薩摩半島西方沖	2015年11月15日	5.9	151	25
⑧	熊本県熊本地方	2016年4月14日	6.5	116	25
⑨	熊本県熊本地方	2016年4月14日	5.8	122	25
⑩	熊本県熊本地方	2016年4月15日	6.4	111	25
⑪	熊本県熊本地方	2016年4月16日	7.3	116	25
⑫	熊本県熊本地方	2016年4月16日	5.4	115	25
⑬	熊本県熊本地方	2016年4月16日	5.9	132	25
⑭	熊本県阿蘇地方	2016年4月16日	5.9	151	25
⑮	熊本県阿蘇地方	2016年4月16日	5.8	162	25
⑯	熊本県熊本地方	2016年4月16日	5.4	128	25
⑰	熊本県熊本地方	2016年4月16日	5.4	108	25
⑱	熊本県阿蘇地方	2016年4月18日	5.8	161	25
⑲	熊本県熊本地方	2016年4月19日	5.5	88	25
⑳	薩摩半島西方沖	2016年5月7日	5.5	140	25

既許可時審査



今回新たに追加

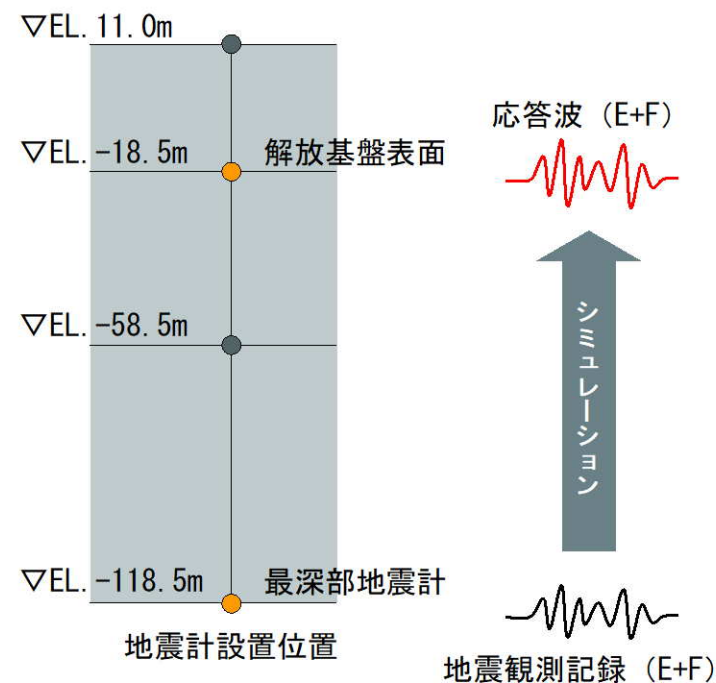


適用性確認に用いる地震の震央位置 (計20地震)

4.2 地下構造モデルの適用性確認

■ 地震観測記録の応答スペクトルによる適用性の確認結果

- 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し、以下の点を確認した。（23～32頁）
 - 応答波の応答スペクトルが、短周期から長周期までの全ての周期帯において、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を確認した。
 - また、短周期側では大きな保守性を有する。

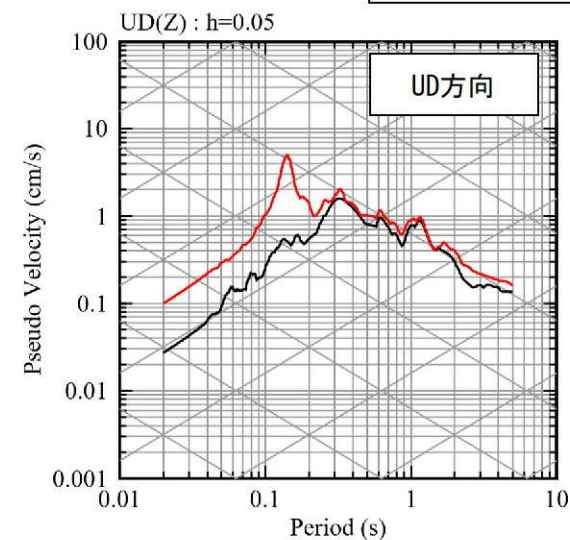
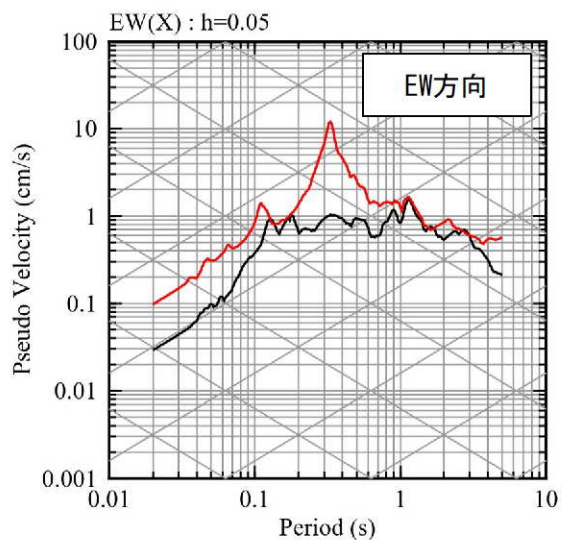
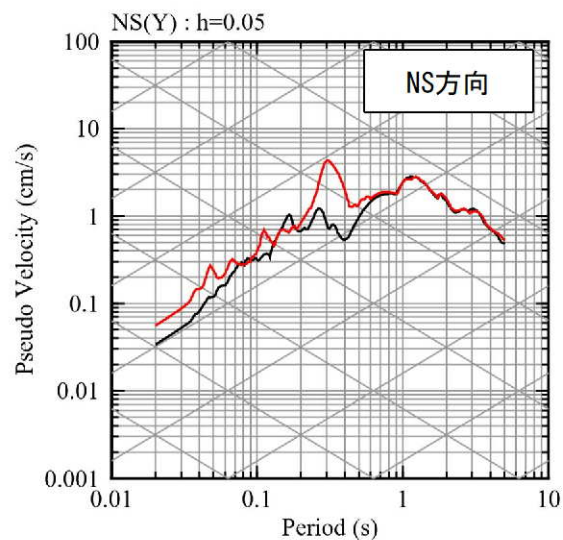


※入力 の最深部地震計(EL.-118.5m)で得られた地震観測記録及び出力の解放基盤表面(EL.-18.5m)での応答波は地中記録のため、E+Fで評価

4.2 地下構造モデルの適用性確認

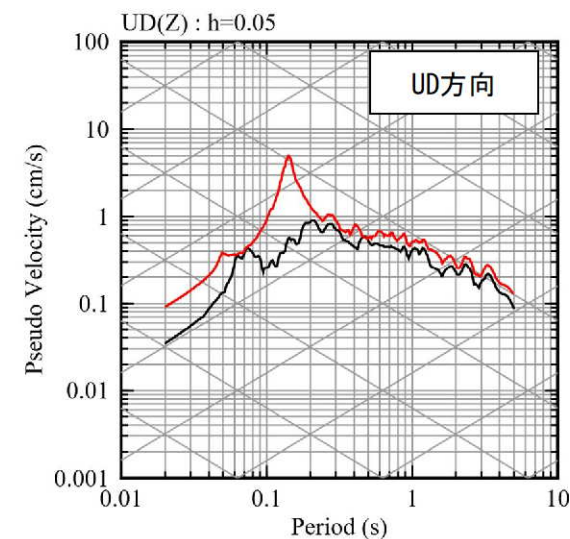
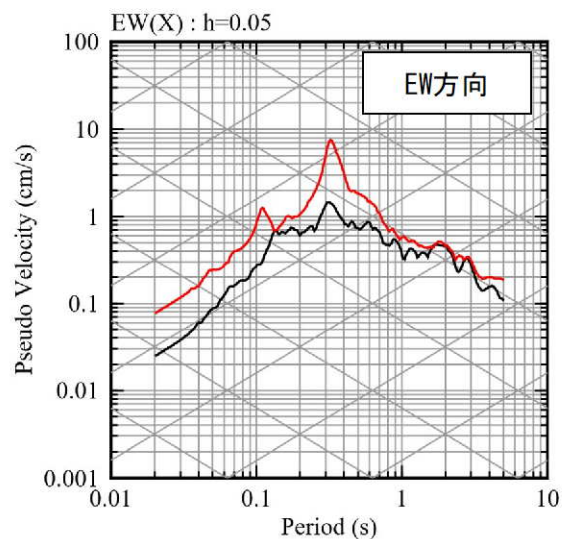
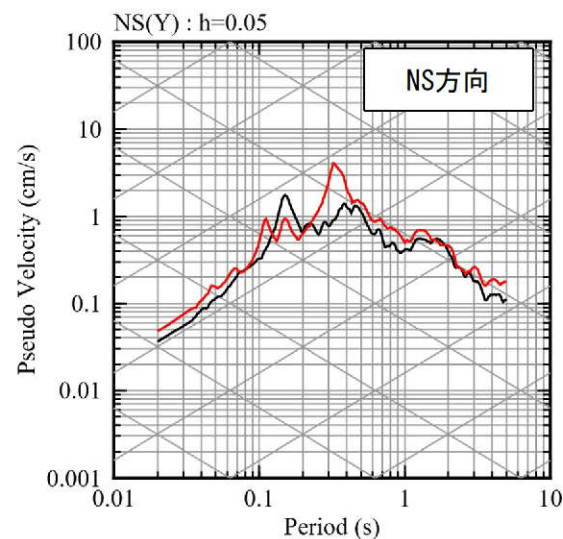
■ 応答スペクトルの比較結果 (1/10)

①九州西側海域



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (既許可モデル)

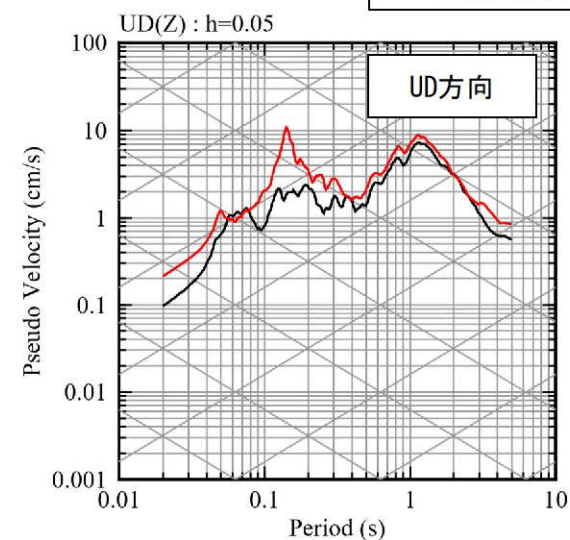
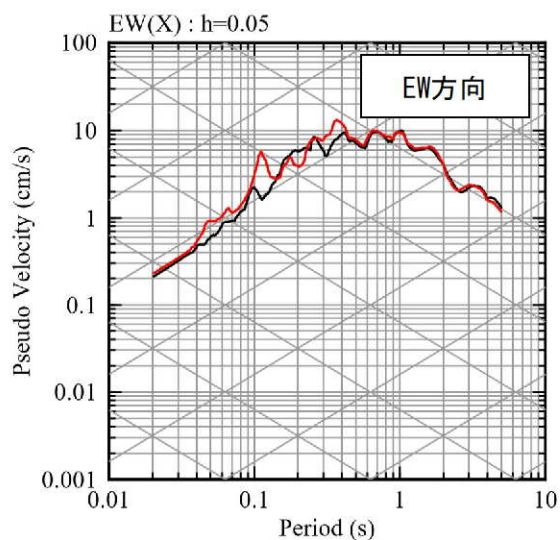
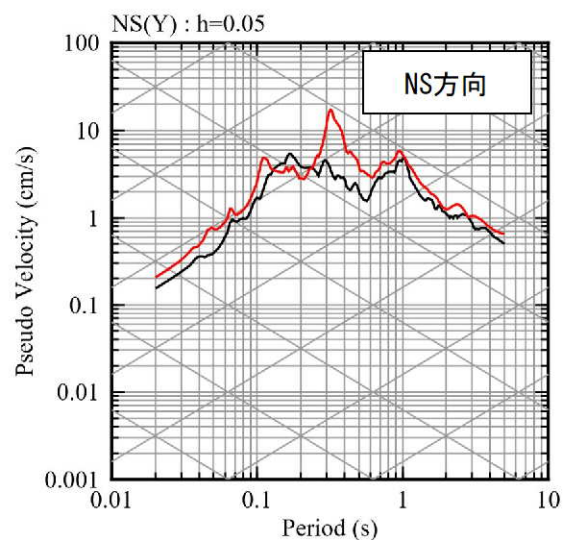
②鹿児島県北西部



4.2 地下構造モデルの適用性確認

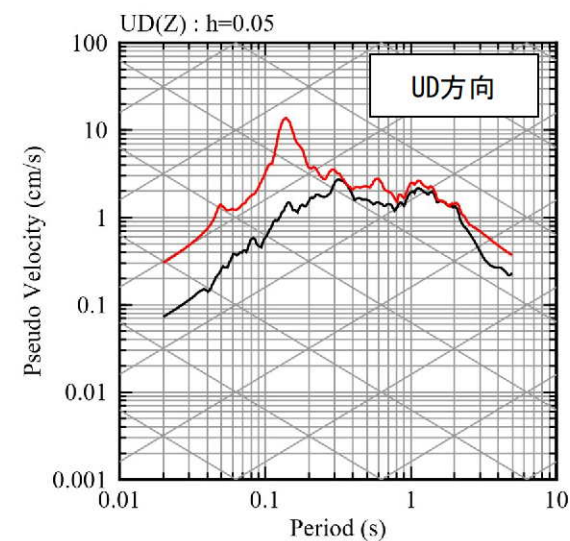
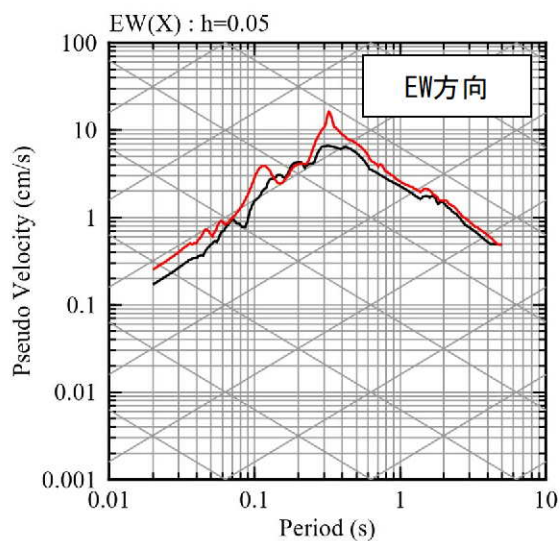
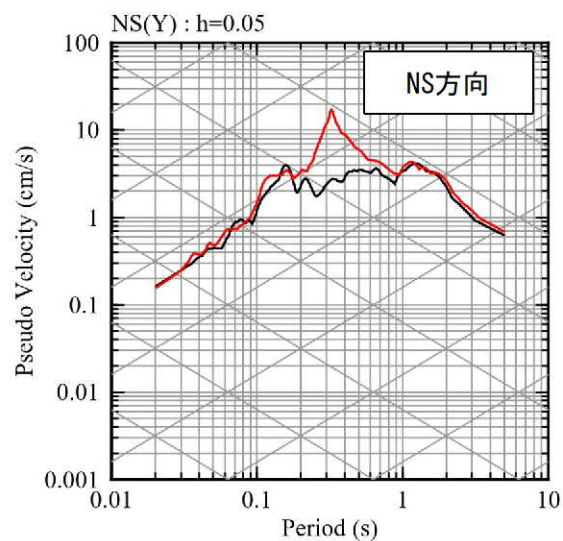
■ 応答スペクトルの比較結果 (2/10)

③ 鹿児島県北西部 (1997年3月本震)



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波(既許可モデル)

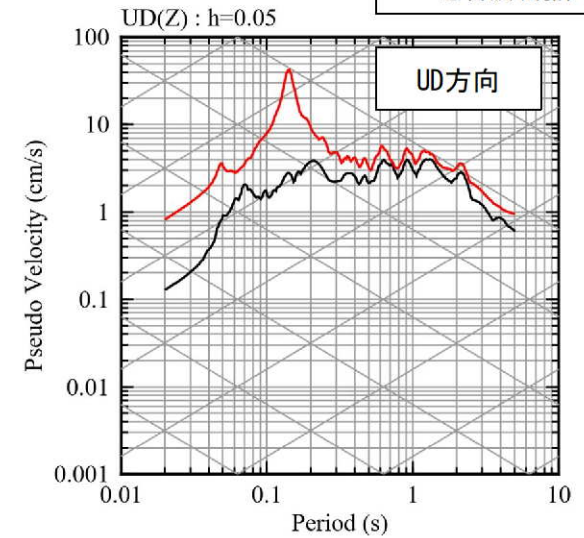
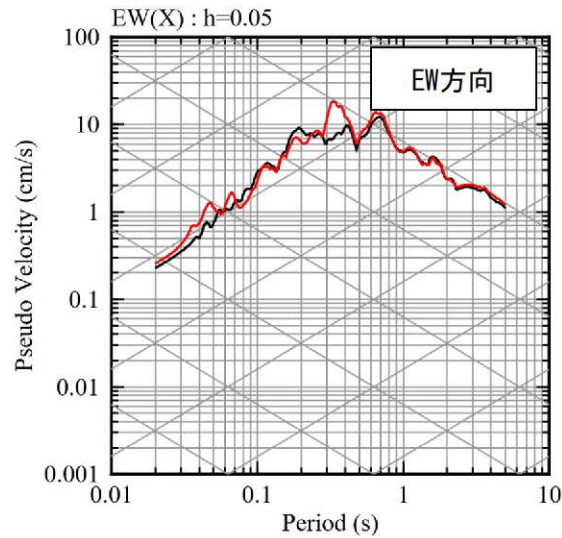
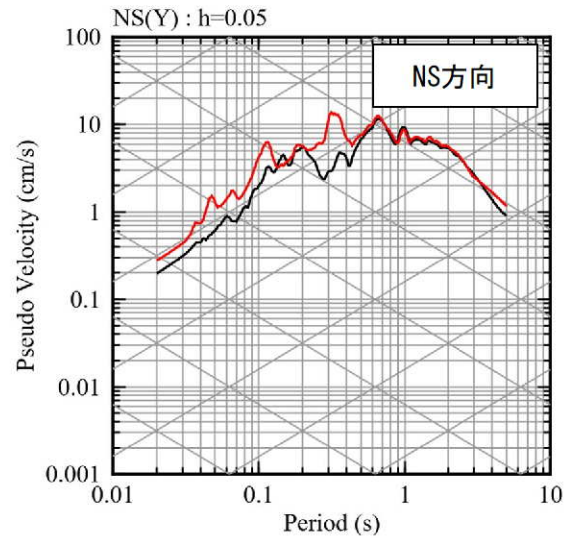
④ 鹿児島県北西部



4.2 地下構造モデルの適用性確認

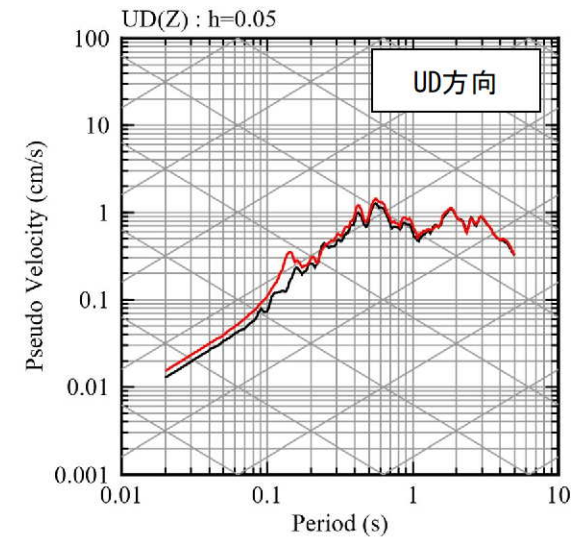
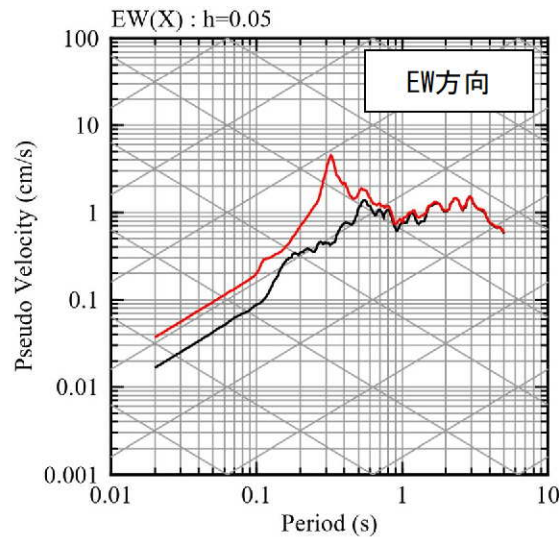
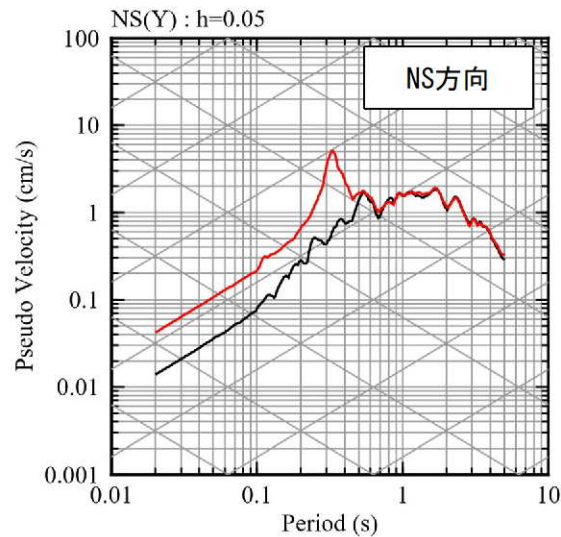
■ 応答スペクトルの比較結果 (3/10)

⑤ 鹿児島県北西部 (1997年5月本震)



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波(既許可モデル)

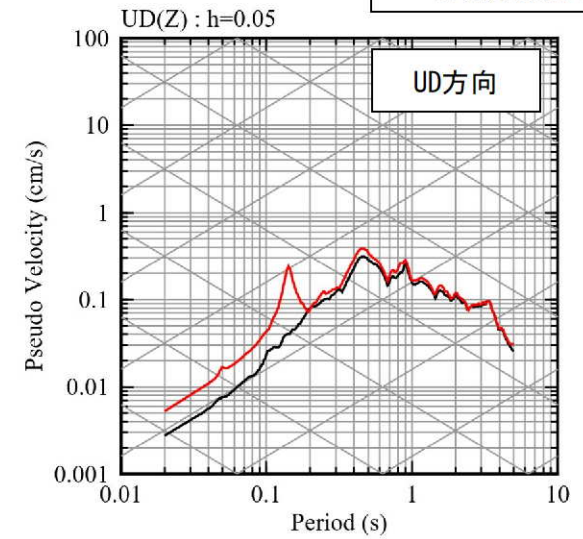
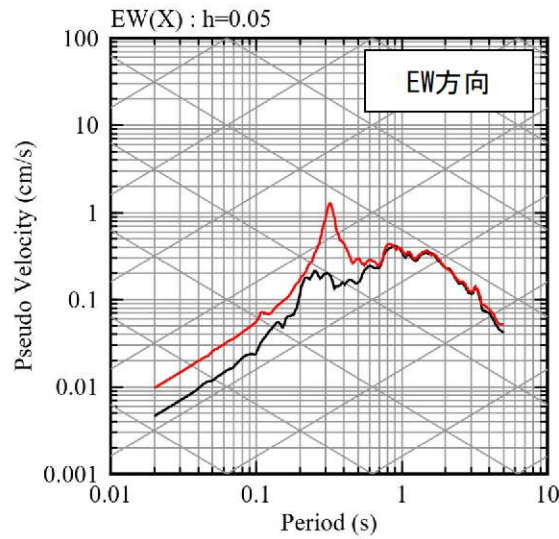
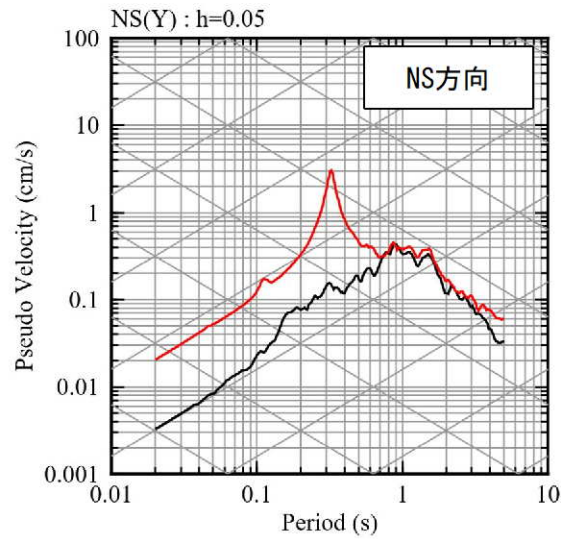
⑥ 薩摩半島西方沖



4.2 地下構造モデルの適用性確認

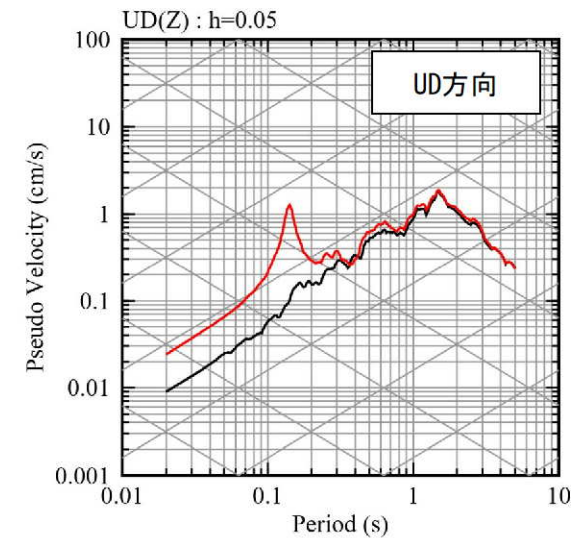
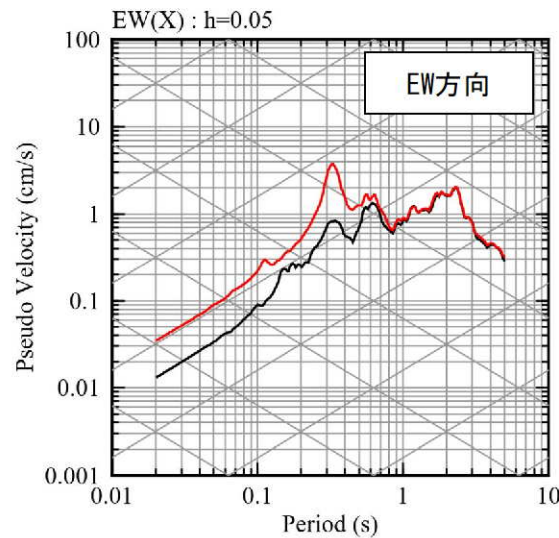
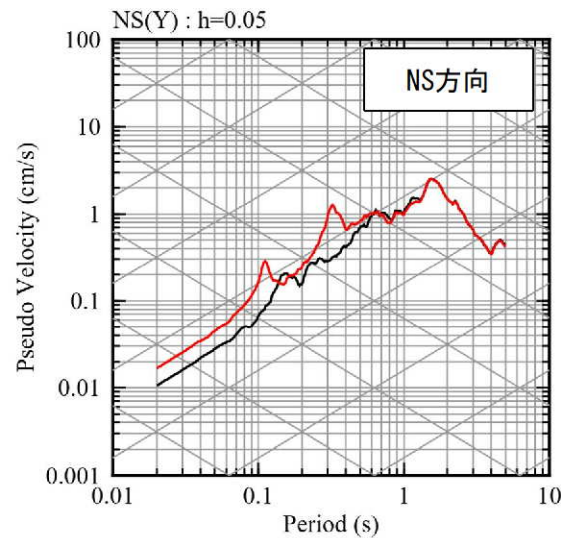
■ 応答スペクトルの比較結果 (4/10)

⑦ 薩摩半島西方沖



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波(既許可モデル)

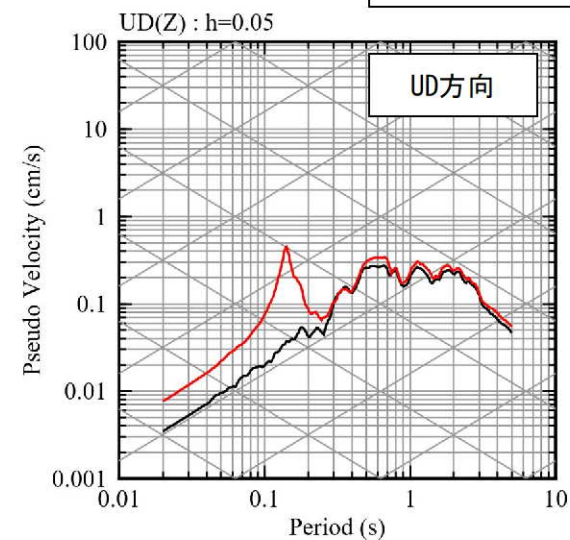
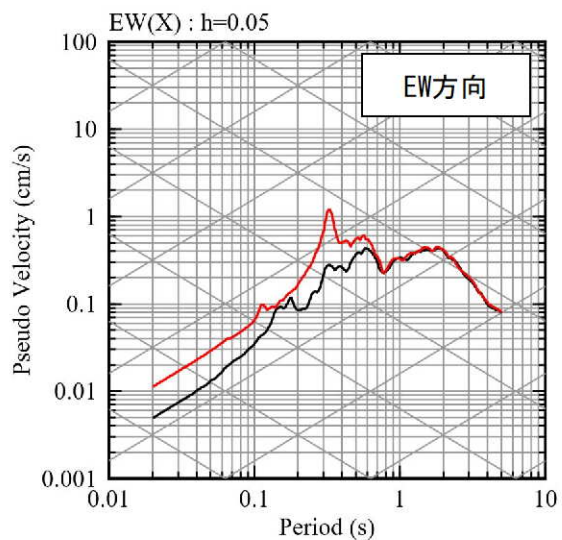
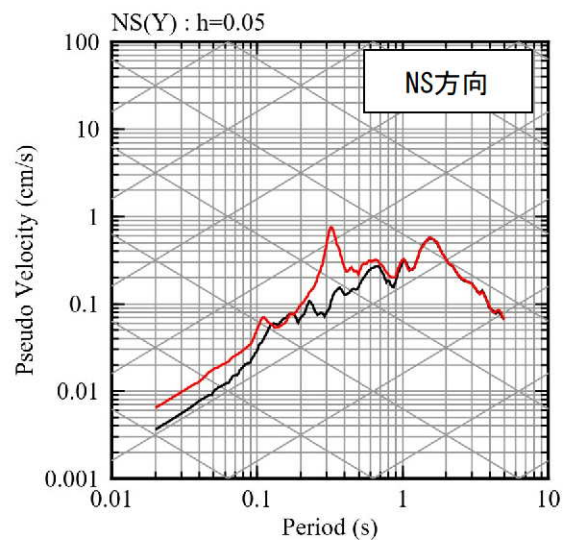
⑧ 熊本県熊本地方 (2016年熊本地震前震)



4.2 地下構造モデルの適用性確認

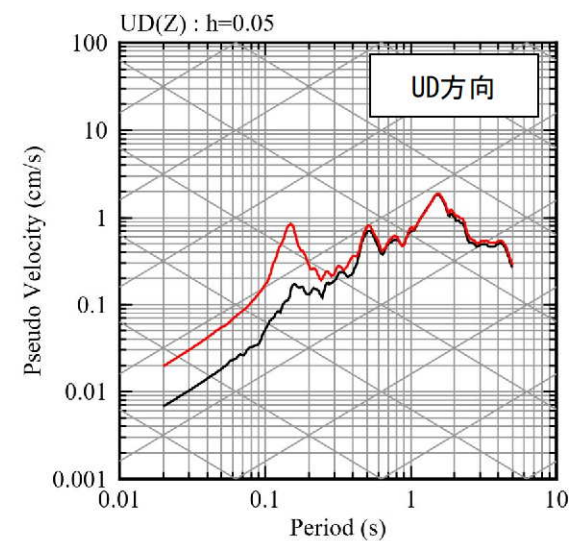
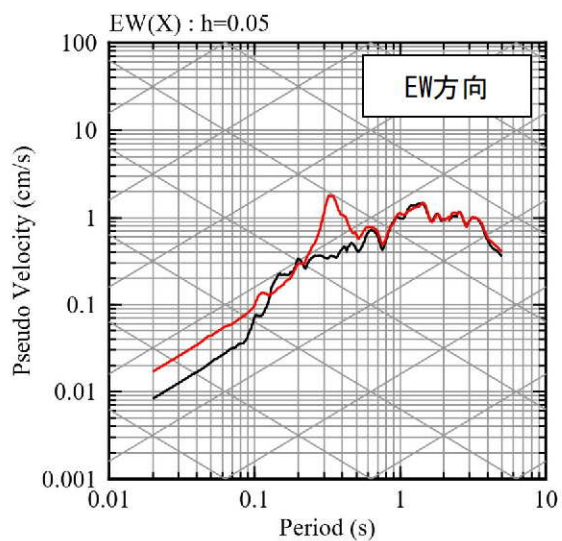
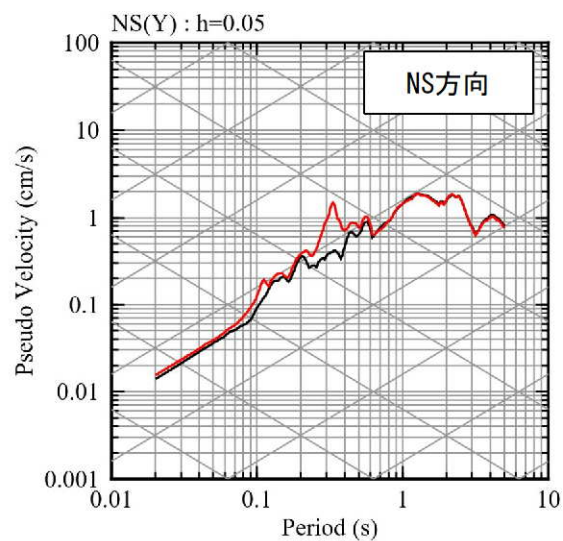
■ 応答スペクトルの比較結果 (5/10)

⑨ 熊本県熊本地方



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波(既許可モデル)

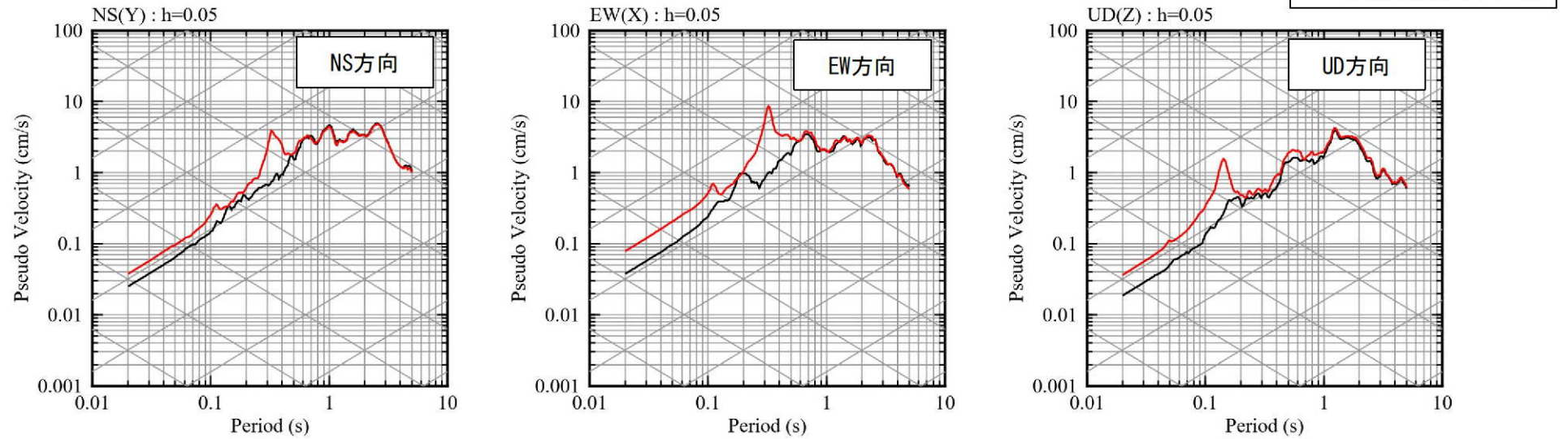
⑩ 熊本県熊本地方



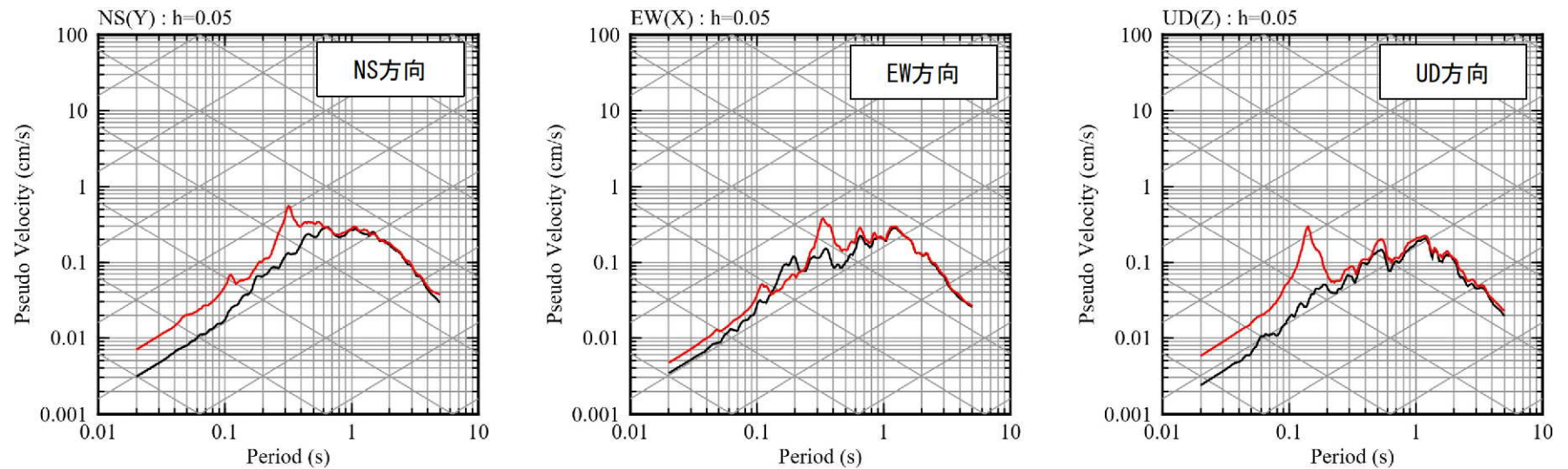
4.2 地下構造モデルの適用性確認

■ 応答スペクトルの比較結果 (6/10)

⑪ 熊本県熊本地方 (2016年熊本地震本震)



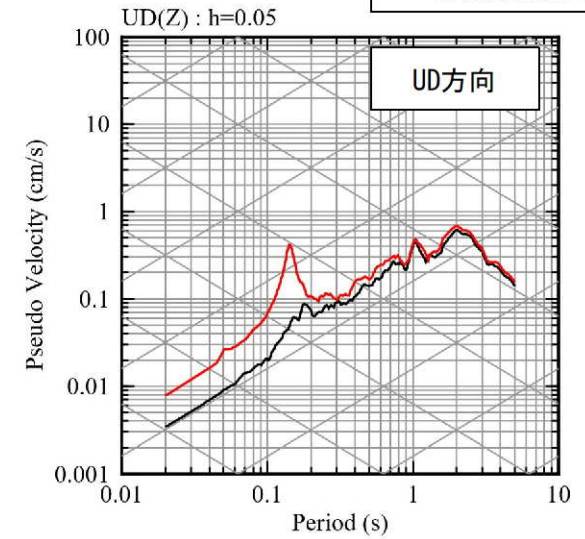
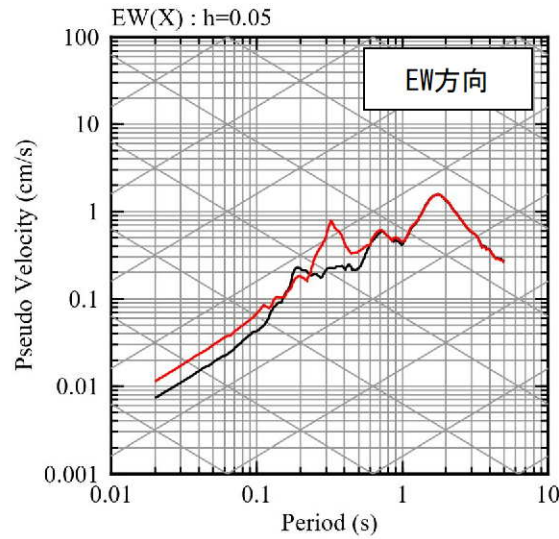
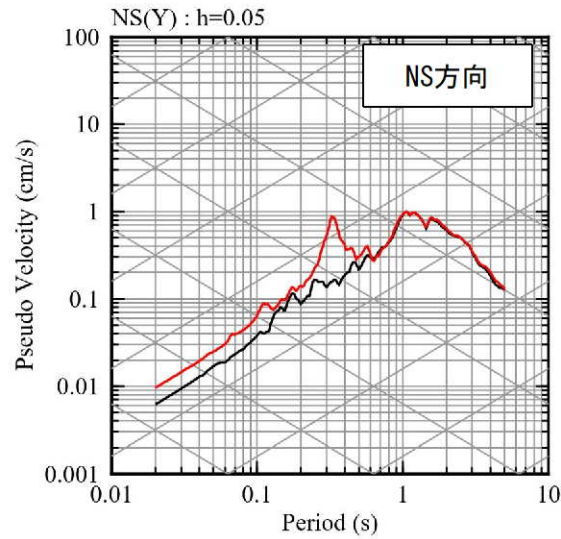
⑫ 熊本県熊本地方



4.2 地下構造モデルの適用性確認

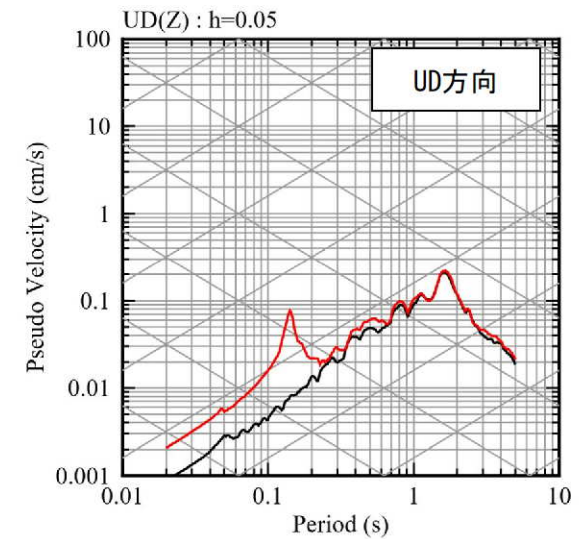
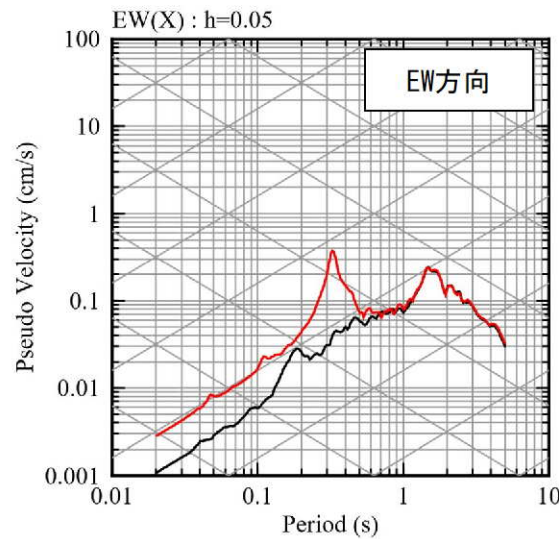
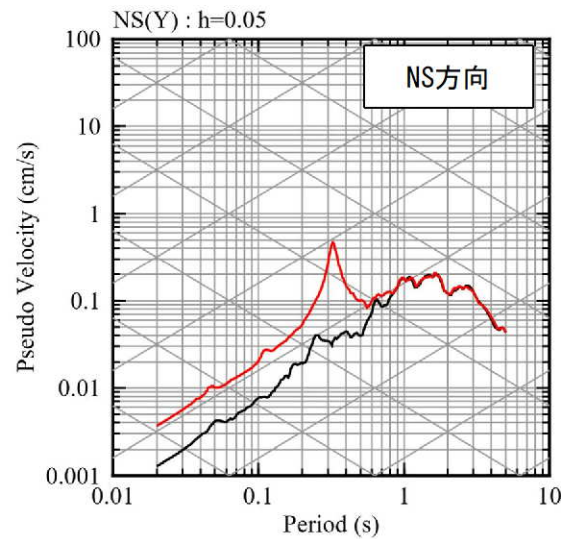
■ 応答スペクトルの比較結果 (7/10)

⑬ 熊本県熊本地方



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波(既許可モデル)

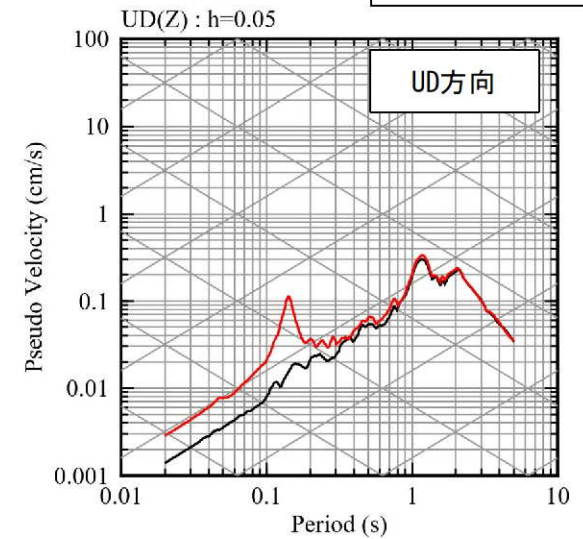
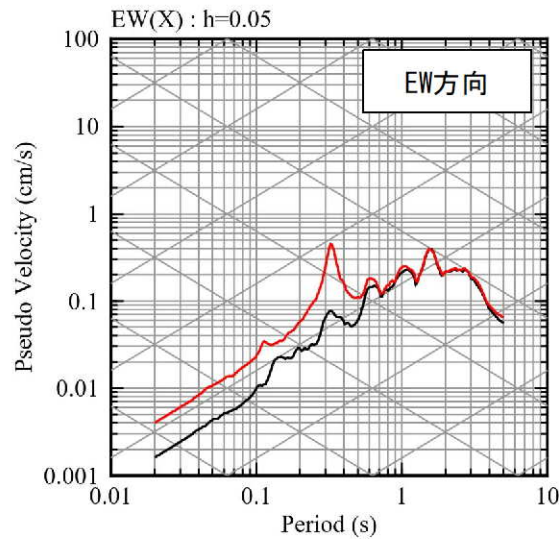
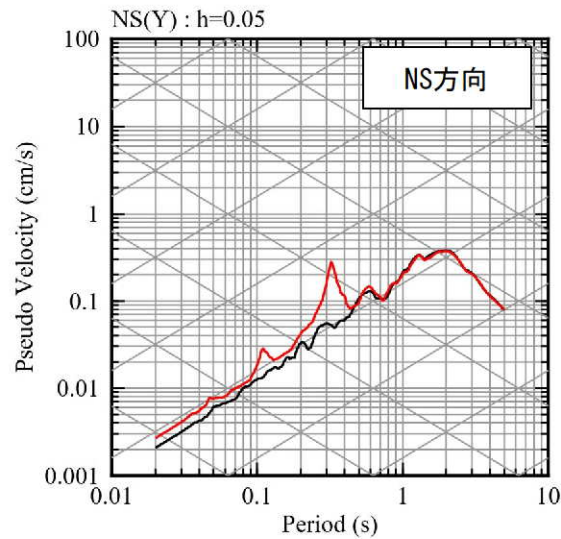
⑭ 熊本県阿蘇地方



4.2 地下構造モデルの適用性確認

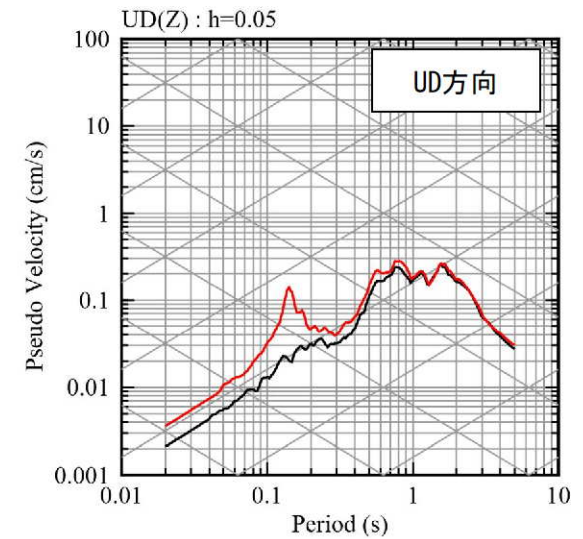
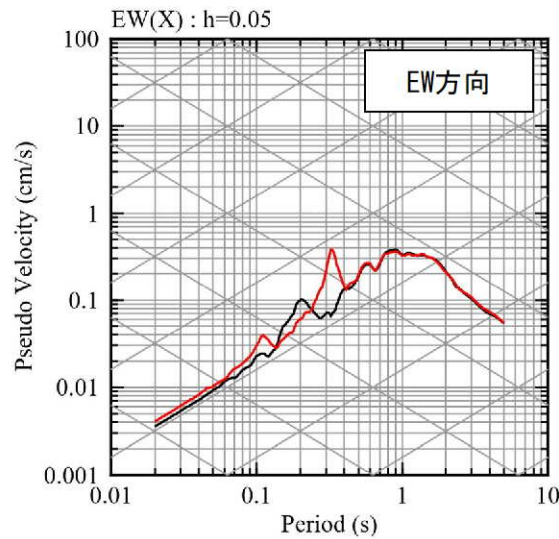
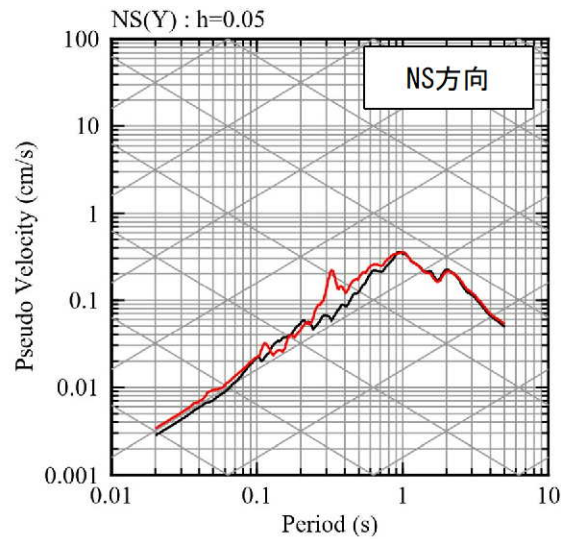
■ 応答スペクトルの比較結果 (8/10)

⑮ 熊本県阿蘇地方



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波(既許可モデル)

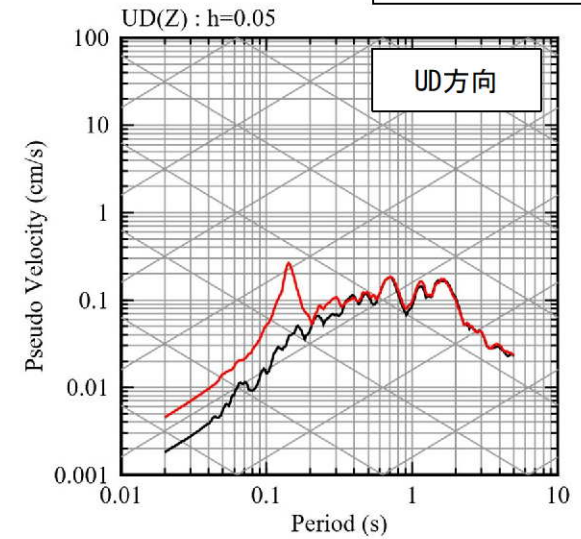
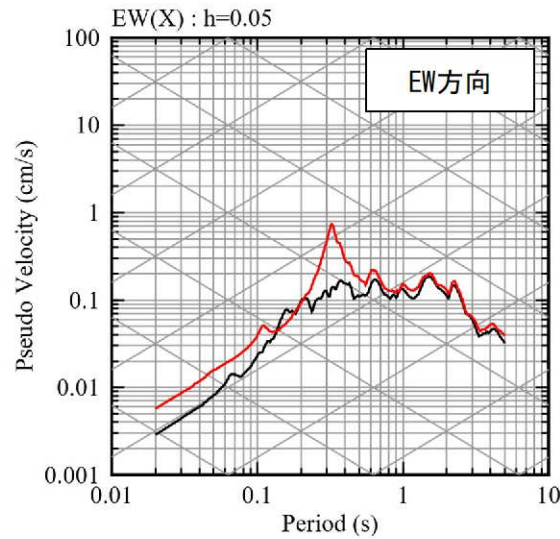
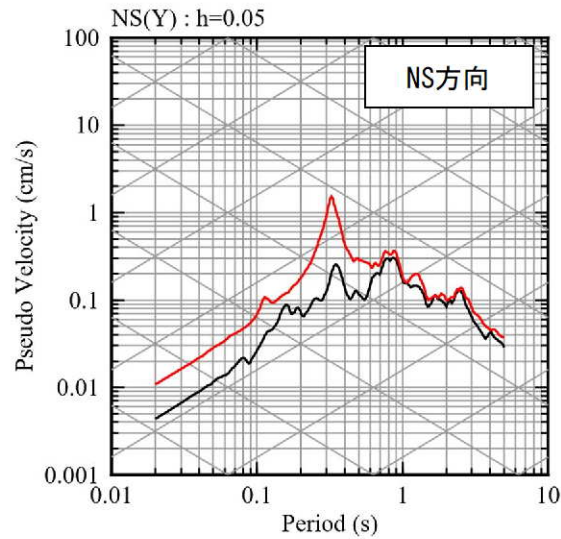
⑯ 熊本県熊本地方



4.2 地下構造モデルの適用性確認

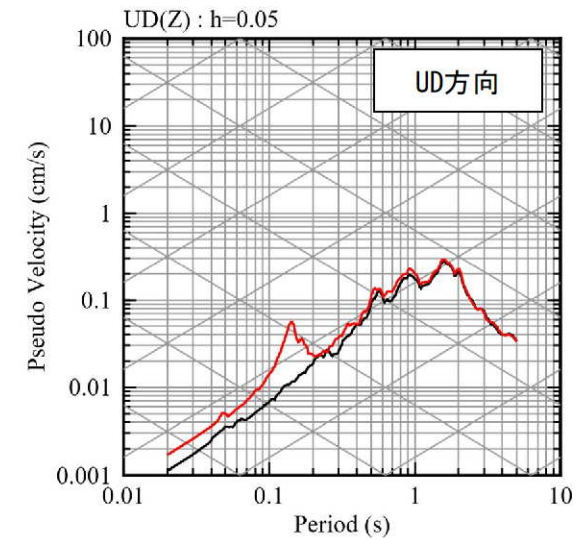
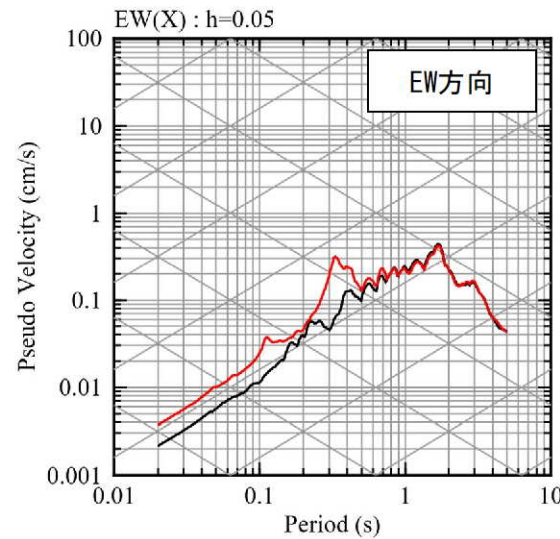
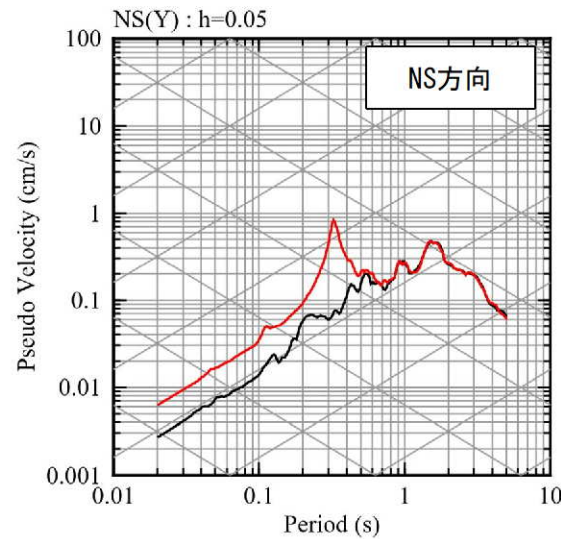
■ 応答スペクトルの比較結果 (9/10)

⑰ 熊本県熊本地方



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波(既許可モデル)

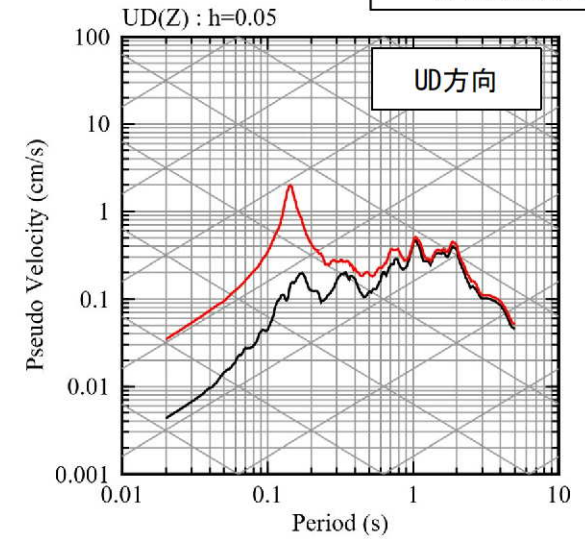
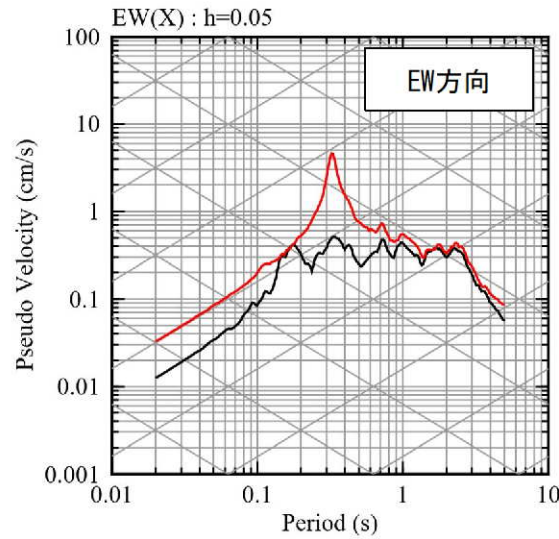
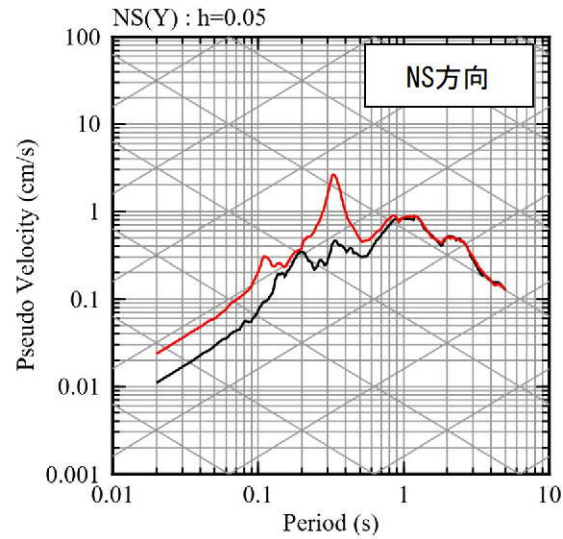
⑱ 熊本県阿蘇地方



4.2 地下構造モデルの適用性確認

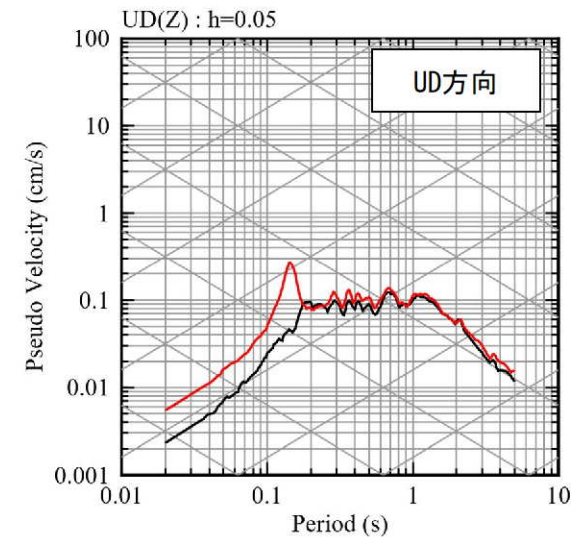
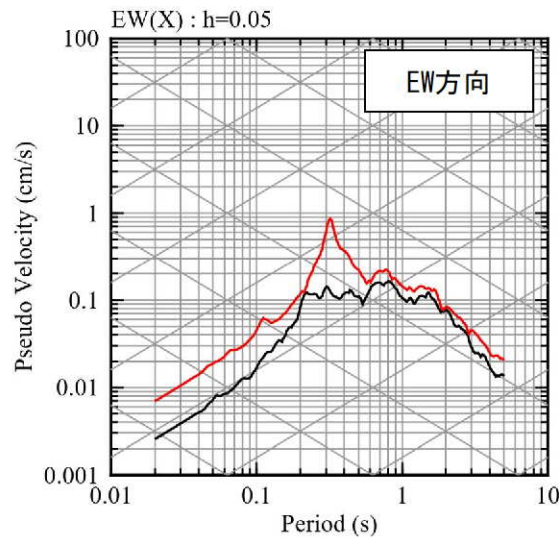
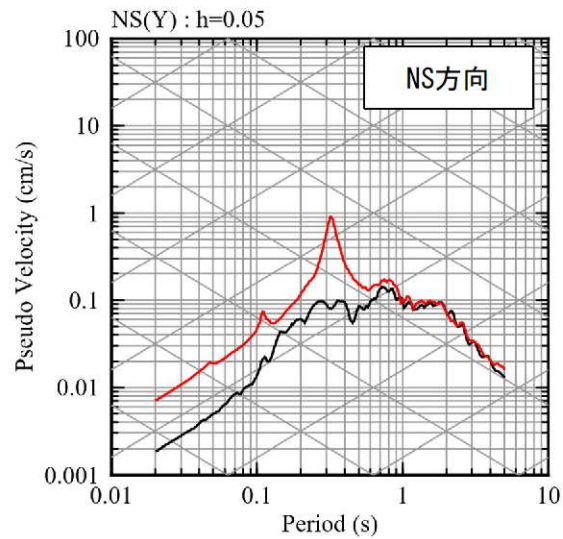
■ 応答スペクトルの比較結果 (10/10)

①9 熊本県熊本地方



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波(既許可モデル)

②0 薩摩半島西方沖



4.2 地下構造モデルの適用性確認

(2) PS検層モデルとの比較による適用性の確認

- 追加調査により得られたVs、Vp、Q値を基に、EL. -118.5m～EL. -200mまでの範囲のPS検層モデルを設定する。（参考④：84～85頁）
- 既許可モデルとPS検層モデルによる理論伝達関数の比較により、既許可モデルの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する。（34～35頁）

地表 ▼ (EL. 11.0m)	既許可モデル			PS検層モデル		
解放基盤表面 ▼ (EL. -18.5m)						
▼ (EL. -28.5m)	1500	3200	100			
最深部地震計 ▼ (EL. -118.5m)	1600	3700	100	伝達特性	伝達特性	
▼ (EL. -200m)				比較	PS検層結果	
▼ (EL. -480m)	1600	3700	100			
▼ (EL. -1018.5m)	2150	4400	200			
	3010	5200	200			

検討イメージ

4.2 地下構造モデルの適用性確認

■ PS検層モデルの設定

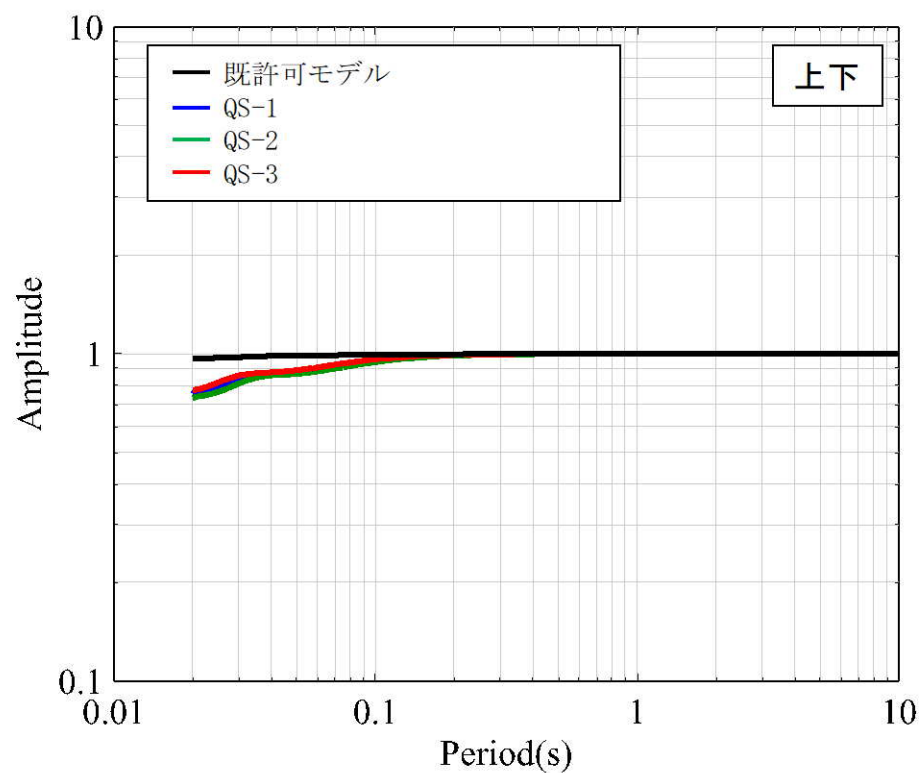
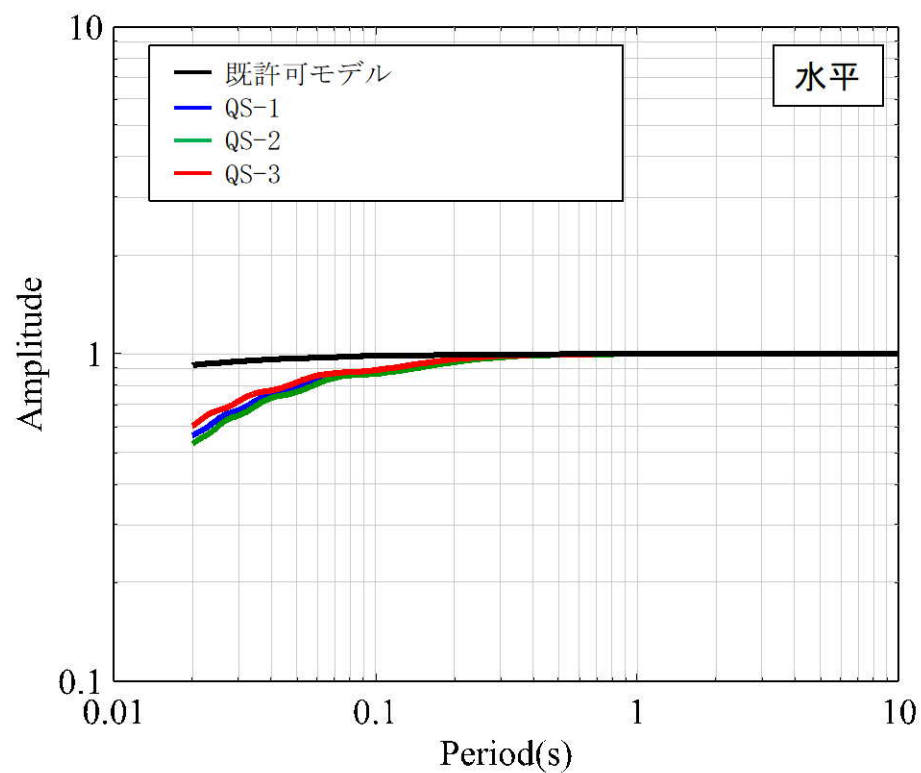
- 追加調査により得られたVs、Vp、Q値を基に、設定したPS検層モデルは以下の通り。
- なお、原子炉設置位置付近の速度層断面ではEL. -200m以深まで⑤速度層が分布していることから（参考②：73～75頁）、EL. -200mで大きく速度構造が変わらないと考えられるため、EL. -200mに速度コントラストのないモデルを以下の通り、設定する。

最深部地震計 ▼ (EL. -118.5m)	既許可モデル			QS-1モデル			QS-2モデル			QS-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
	1600	3700	100	1930	4010	11.4	1880	3760	10.6	2170	4320	11.8
▼ (EL. -200m)	1600	3700	100	1930	4010	100	1880	3760	100	2170	4320	100

4.2 地下構造モデルの適用性確認

■ 伝達関数の比較結果

- 既許可モデルによる理論伝達関数（EL. -118.5m /EL. -200m）が、PS検層モデルによる理論伝達関数（EL. -118.5m /EL. -200m）に対して、短周期から長周期までの全ての周期帯において、同等もしくは上回ることを確認した。
- また、短周期側では大きな保守性を有する。



伝達関数の比較 (EL. -118.5m /EL. -200m)

4.2 地下構造モデルの適用性確認

■ 4.2 地下構造モデルの適用性確認結果

- 既許可モデルは、長周期帯の地震動評価を目的に設定したモデルであり、周期0.02秒から5秒までで定義される標準応答スペクトルを考慮した地震動評価を実施するにあたり、既許可以降継続的に取得している鉛直アレイの地震観測記録やボーリング孔内減衰測定結果等の観測事実等に基づき、短周期から長周期までの全ての周期帯における地震動評価へ適用できることを確認した。

(1) 地震観測記録の応答スペクトルによる適用性の確認

- 解放基盤表面 (EL. -18.5m) からEL. -118.5mの範囲について、既許可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を確認した。
- 短周期側では大きな保守性を有する。

(2) PS検層モデルとの比較による確認

- EL. -118.5mからEL. -200mの範囲について、既許可モデルによる理論伝達関数 (EL. -118.5m /EL. -200m) が、PS検層モデルによる理論伝達関数 (EL. -118.5m /EL. -200m) に対して、同等もしくは上回ることを確認した。
 - 短周期側では大きな保守性を有する。
- なお、EL. -18.5mからEL. -118.5mの範囲における20地震の応答スペクトルの比較では、水平方向の一部の地震観測記録の周期0.1~0.2秒付近において、既許可モデルによる応答波が局所的に観測記録を僅かに下回る。
 - 一方、EL. -118.5mからEL. -200mの範囲のPS検層モデルとの比較において、既許可モデルは短周期側で大きな保守性を有している。
 - このEL. -118.5mからEL. -200mの範囲の保守性の寄与により、EL. -18.5mからEL. -200mの範囲では、当該周期帯においても十分な保守性が確保されることから、既許可モデルの適用性に影響ない。(補足②: 42~47頁)

4.3 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の設定

■ 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を考慮した地震動評価に用いる地下構造モデルは、既許可モデルを用いる。
- 標準応答スペクトルは地震基盤相当面 ($V_s=2200\text{m/s}$ 以上の層) で定義されることから、既許可モデルの $V_s=3010\text{m/s}$ の層上面 (EL. -1018.5m) に地震基盤相当面を設定する。

長周期帯における理論的手法による地震動評価及び
標準応答スペクトルを考慮した地震動評価に用いる地下構造モデル

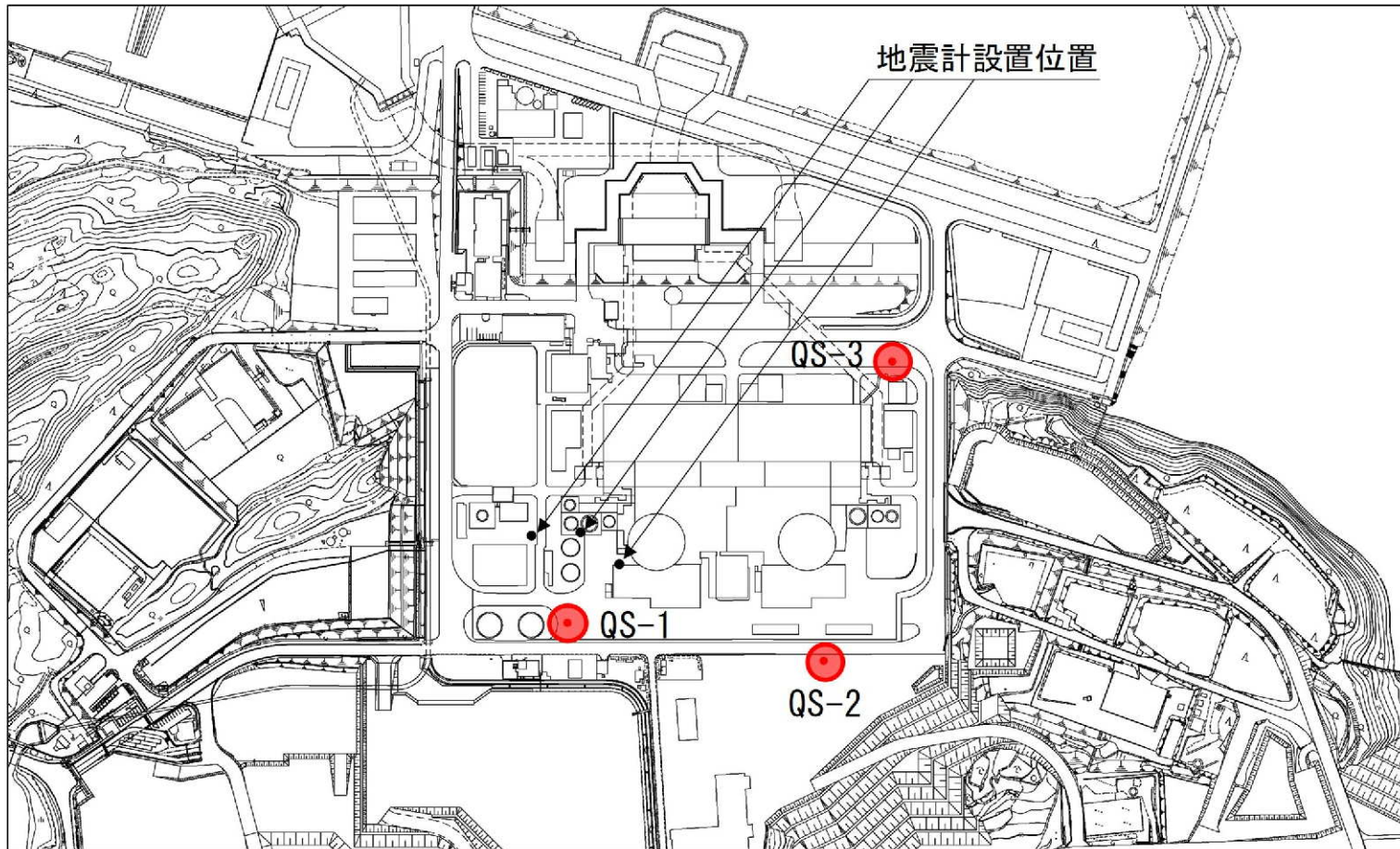
EL.	層上面 (km)	密度 ρ (g/cm^3)	V_s (m/s)	V_p (m/s)	Q値	
-18.5m	0.0	2.70	1500	3200	100	▼解放基盤表面
-28.5m	-0.01	2.70	1600	3700	100	
-480m	-0.462	2.70	2150	4400	200	▼地震基盤相当面
-1018.5m	-1.0	2.70	3010	5200	200	
-2018.5m	-2.0	2.70	3240	5600	300	
-3018.5m	-3.0	2.70	3500	5900	300	
-17018.5m	-17.0	3.00	3800	6600	500	
-33018.5m	-33.0	3.30	4300	7600	500	

【補足①】 ボーリング孔内減衰測定結果

【補足①】 ボーリング孔内減衰測定結果

■ 追加ボーリング調査位置

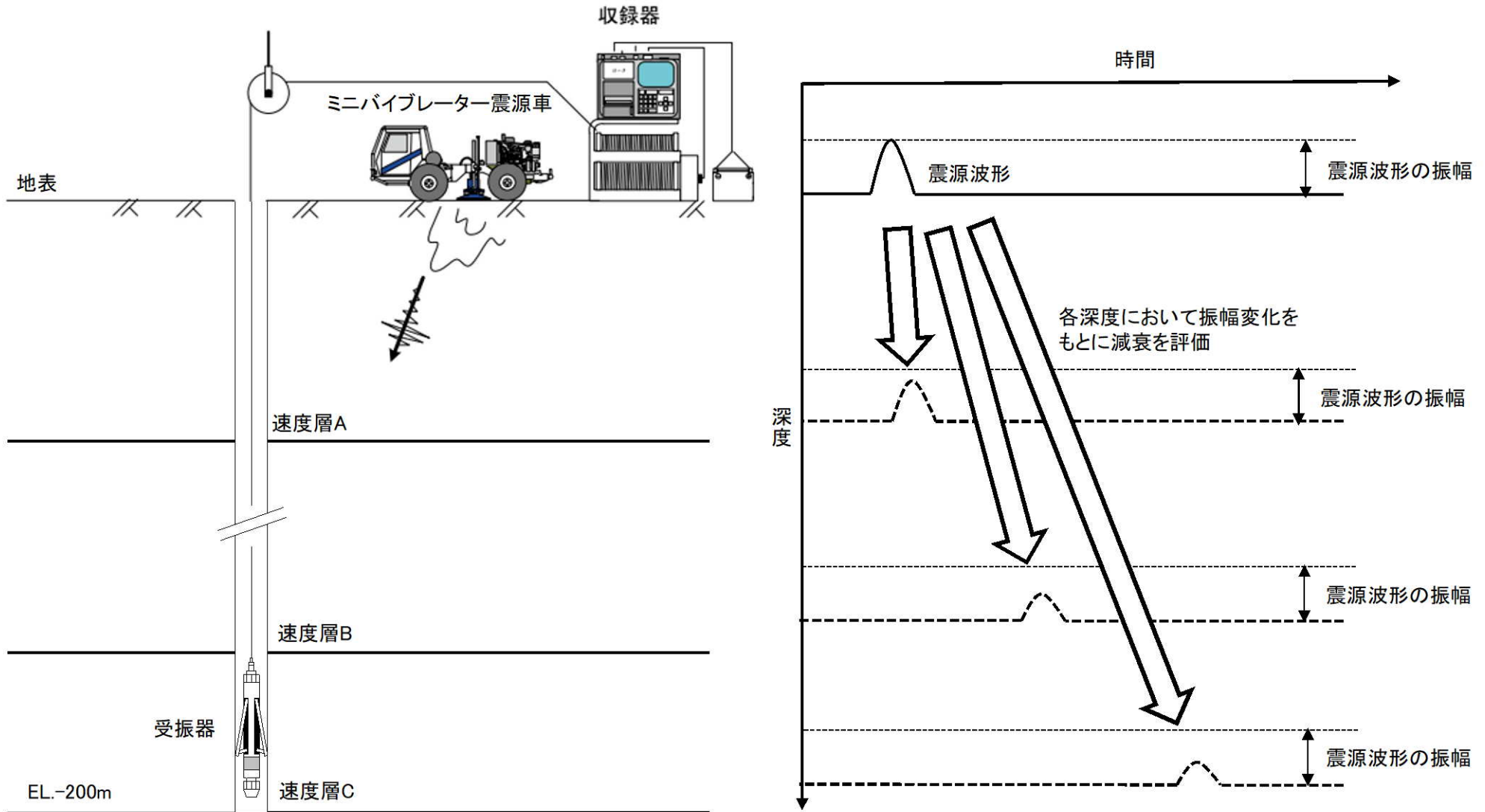
- 発電所構内において、EL. -200mまでの追加ボーリング調査を3箇所を実施し、地盤減衰（Q値）を測定。



【補足①】ボーリング孔内減衰測定結果

■ ボーリング孔内における減衰測定^{2), 3)}

- 地表にて震源車を用いて人工的に励起した振動を追加ボーリング孔内に設置した受振器で観測²⁾し、震源位置の波形の振幅と孔内受振器の波形の振幅の関係から速度層区間ごとのQ値を算出³⁾する。



減衰評価イメージ図

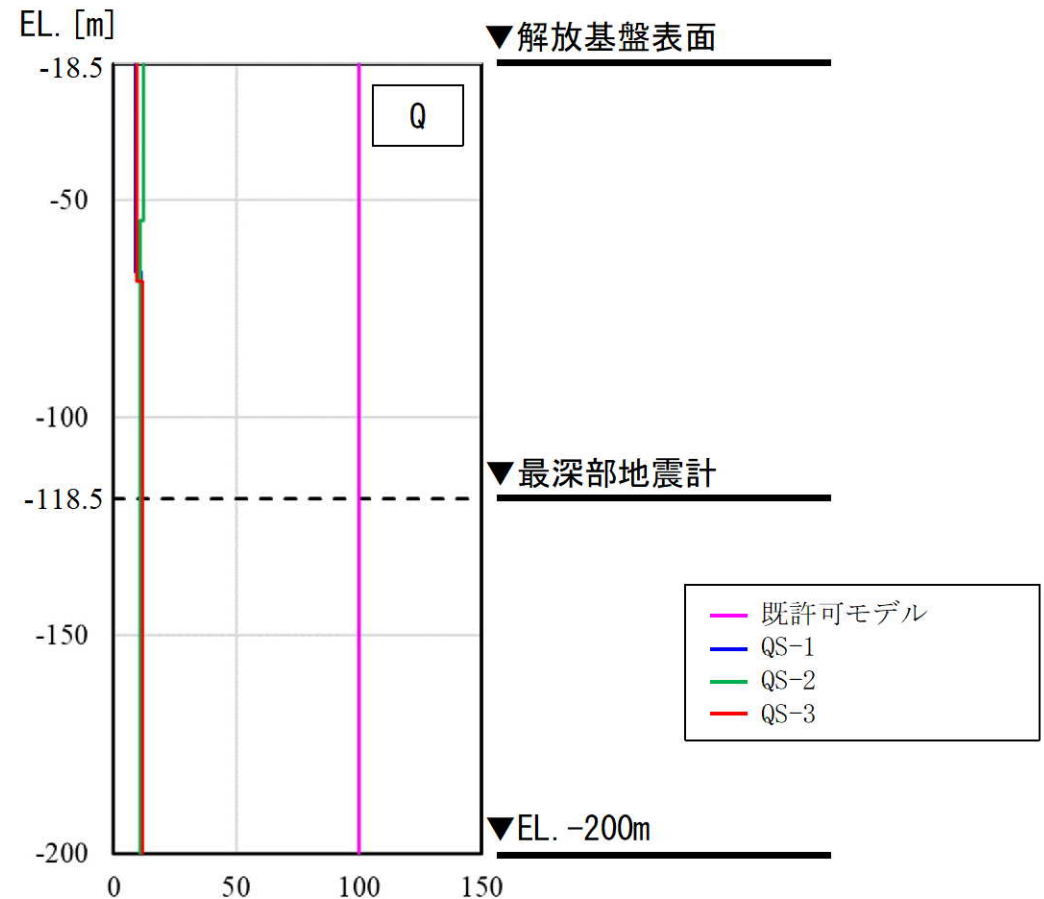
【補足①】ボーリング孔内減衰測定結果

■ ボーリング孔内における減衰測定の結果

- 地盤減衰（Q値）について、QS-1孔は $Q=9.0\sim 11.4$ 、QS-2孔は $Q=10.6\sim 12.2$ 及びQS-3孔は $Q=9.3\sim 11.8$ となり、全孔ともに既許可モデル（ $Q=100$ ）を大きく下回る。

孔名	EL. (m)	卓越周波数 (Hz)	Q値	減衰定数 h (%)
QS-1	-18.5 ~ -66.5	24	9.0	5.6
	-66.5 ~ -200.0	24	11.4	4.4
QS-2	-18.5 ~ -54.5	29	12.2	4.1
	-54.5 ~ -200.0	33	10.6	4.7
QS-3	-18.5 ~ -68.5	32	9.3	5.4
	-68.5 ~ -200.0	28	11.8	4.2

※ 調査結果は解放基盤以深からEL.-200mに範囲を統一したものを記載



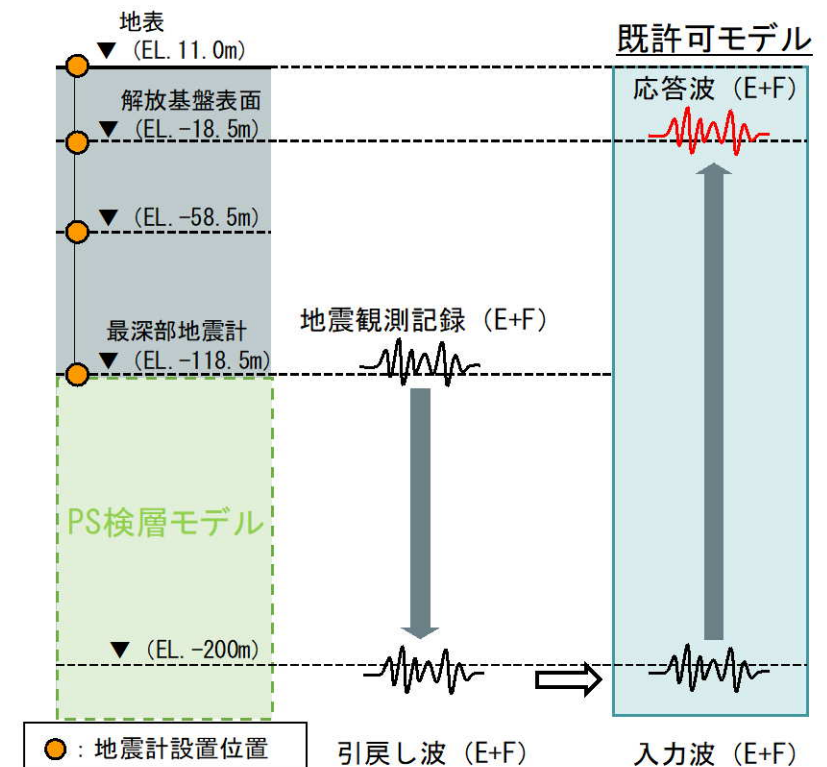
【補足②】 観測事実との整合性に係る検討

【補足②】 観測事実との整合性に係る検討

■ 観測事実との整合性に係る検討

- EL. -18.5mからEL. -118.5mの範囲における20地震の応答スペクトルの比較では、水平方向の一部の地震観測記録の周期0.1~0.2秒付近において、既許可モデルによる応答波が局所的に観測記録を僅かに下回る。
- 一方、EL. -118.5mからEL. -200mの範囲のPS検層モデルとの比較において、既許可モデルは短周期側で大きな保守性を有している。
- このEL. -118.5mからEL. -200mの範囲の保守性の寄与により、EL. -18.5mからEL. -200mの範囲では、当該周期帯においても十分な保守性が確保されることから、既許可モデルの適用性に影響ない。
- 既許可モデルの適用性に影響はないものの、EL. -18.5mからEL. -200mの範囲における観測事実との整合性に係る検討を実施する。

- EL. -18.5mからEL. -200mまでの範囲の観測事実（観測記録及びPS検層モデル）に基づきEL. -200mまで引き戻した観測記録を用いた応答スペクトルによる確認を実施する。
 - 最深部地震計（EL. -118.5m）の観測記録を、PS検層モデルでEL. -200mまで引き戻す。（引戻し波）
 - 引戻し波を、既許可モデルのEL. -200mに入力し、解放基盤表面（EL. -18.5m）で出力する。（応答波）
 - 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する。
- その結果、周期0.1秒から0.2秒付近において、既許可モデルの応答波の応答スペクトルは、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、既許可モデルの適用性に影響ないことを確認した。（44頁～47頁）

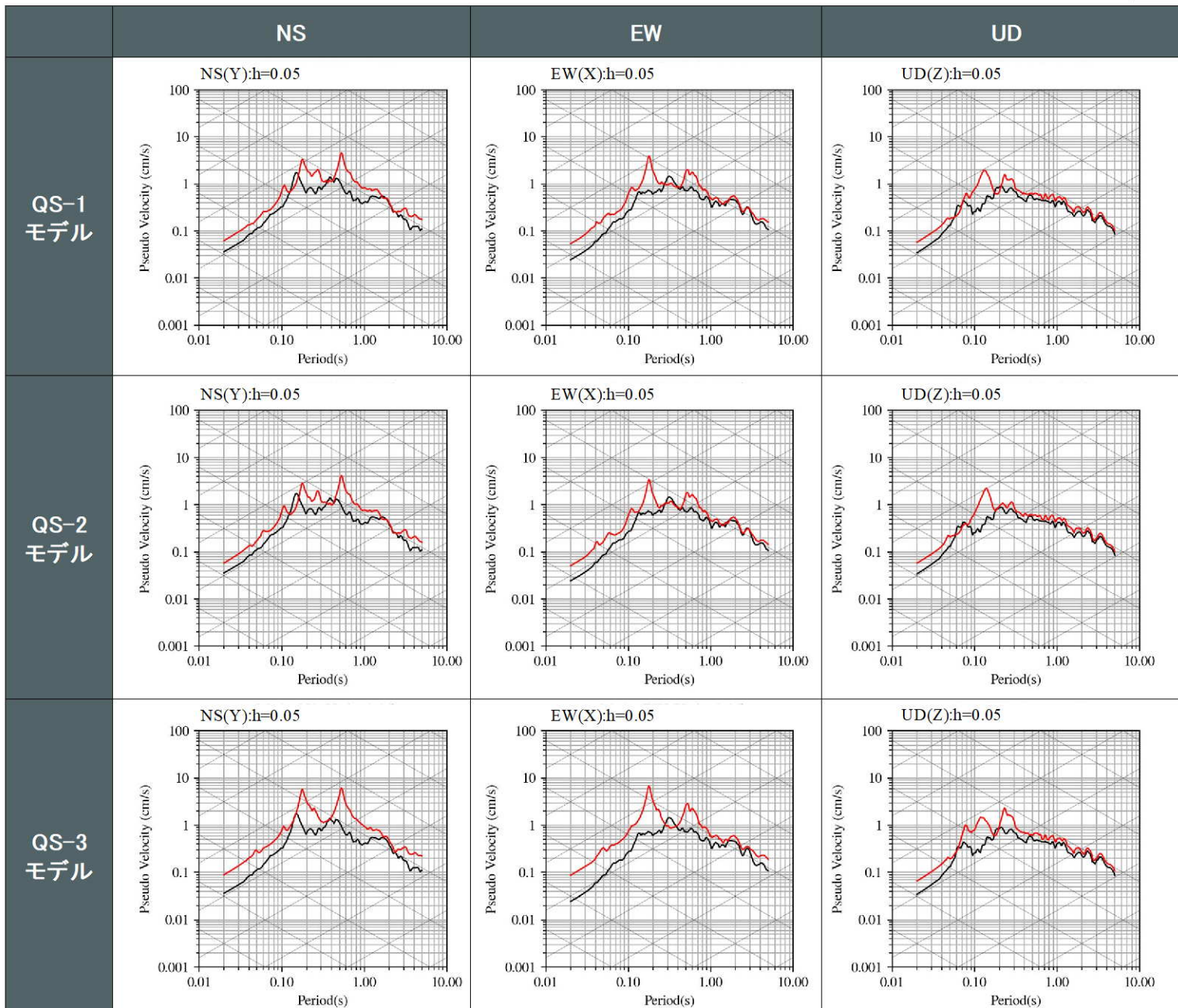


【補足②】観測事実との整合性に係る検討

■ 応答スペクトルの比較結果 (1/4)

— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 EL.-18.5m

②鹿児島県北西部

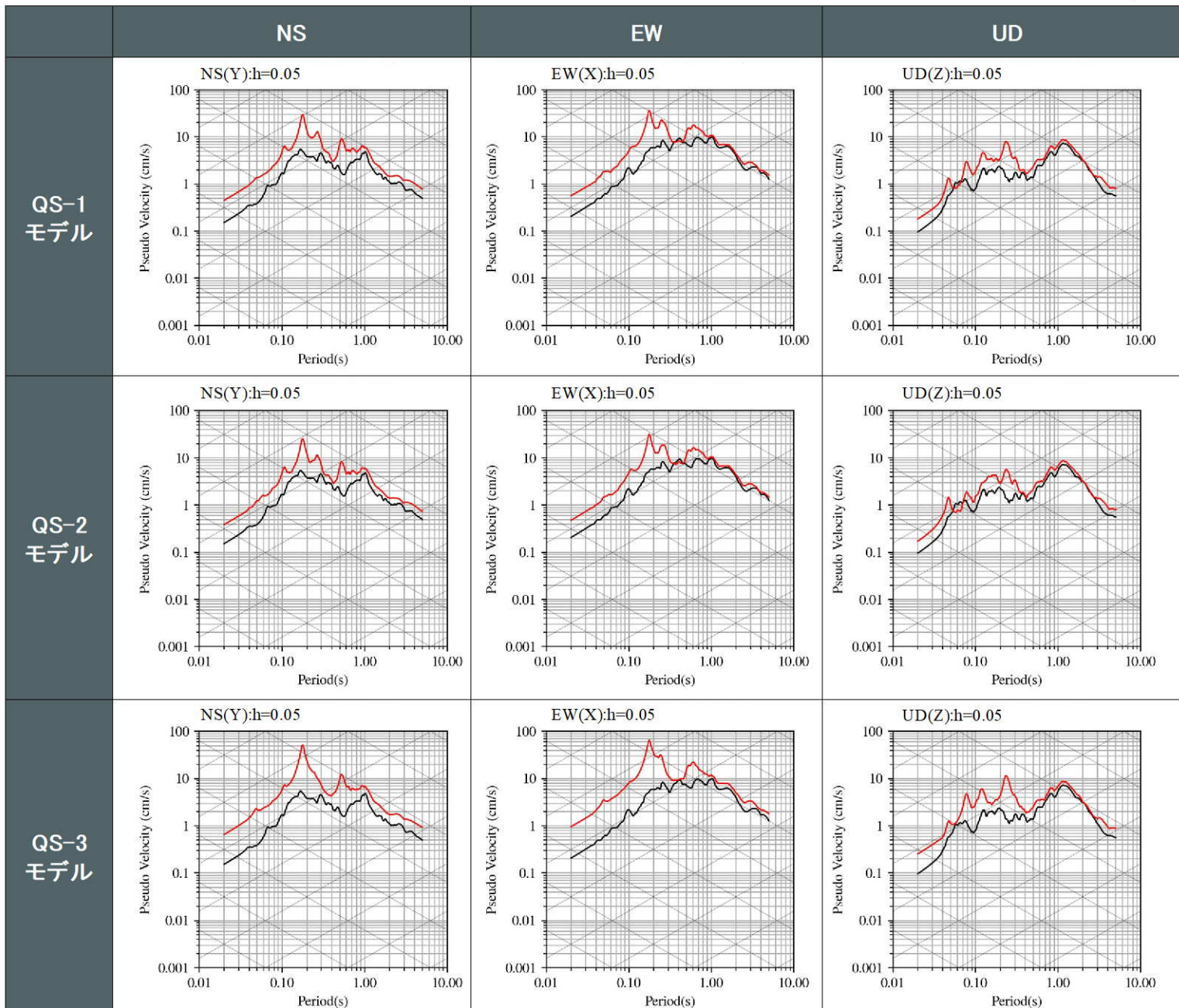


【補足②】 観測事実との整合性に係る検討

■ 応答スペクトルの比較結果 (2/4)

— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 EL.-18.5m

③鹿児島県北西部
(1997年3月本震)

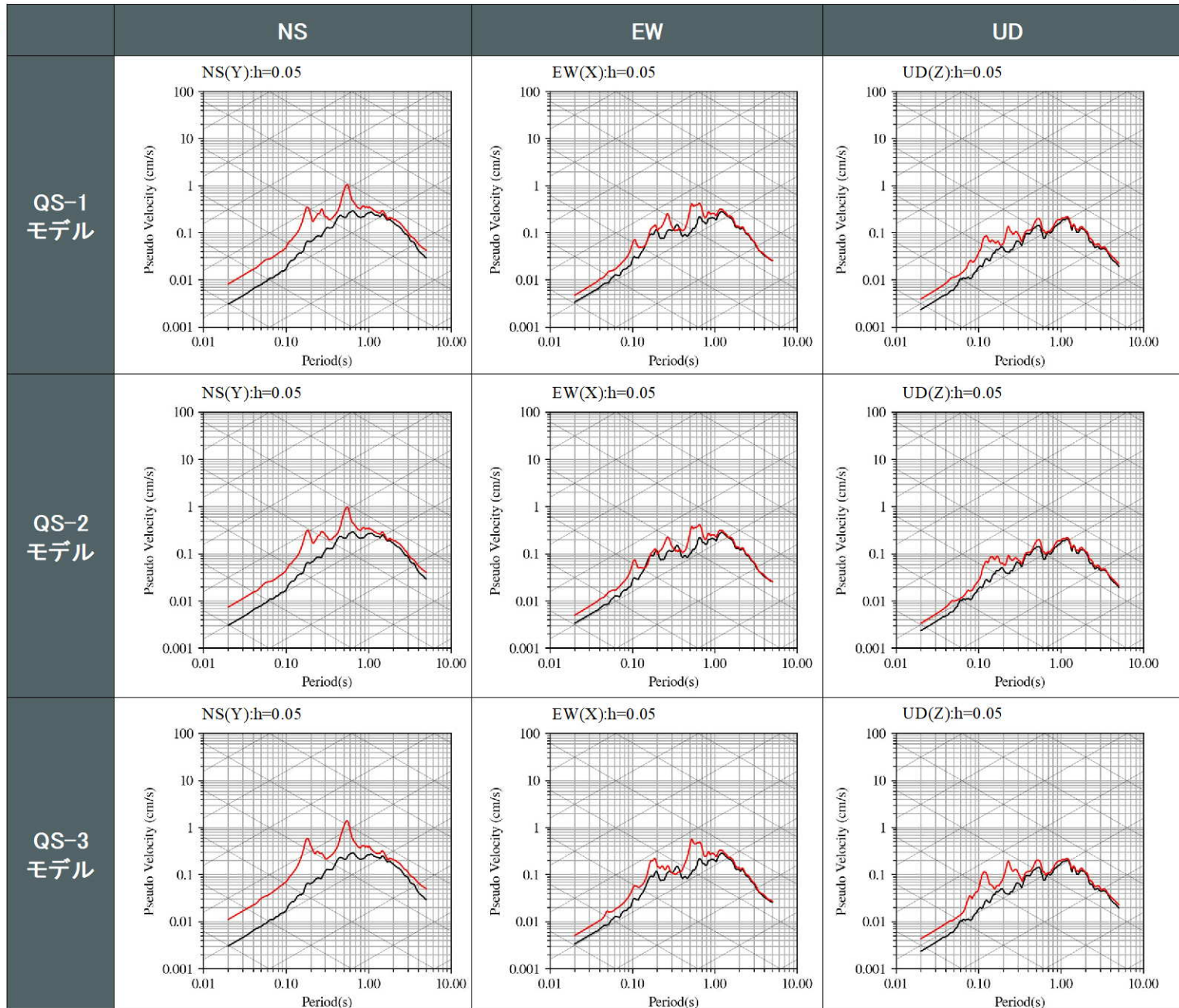


【補足②】 観測事実との整合性に係る検討

■ 応答スペクトルの比較結果 (3/4)

— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 EL.-18.5m

⑫ 熊本県熊本地方

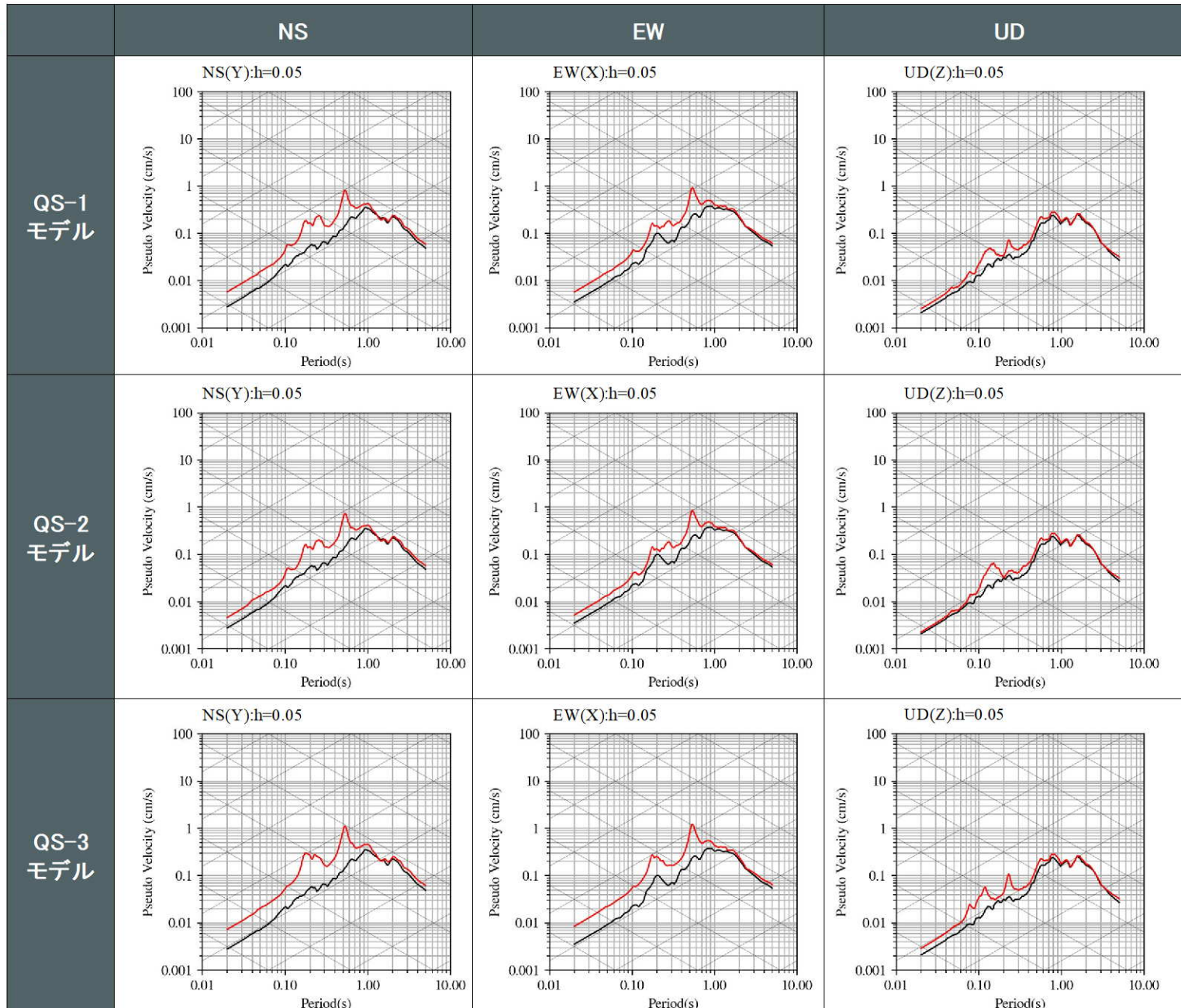


【補足②】 観測事実との整合性に係る検討

■ 応答スペクトルの比較結果 (4/4)

— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 EL.-18.5m

⑩熊本県熊本地方



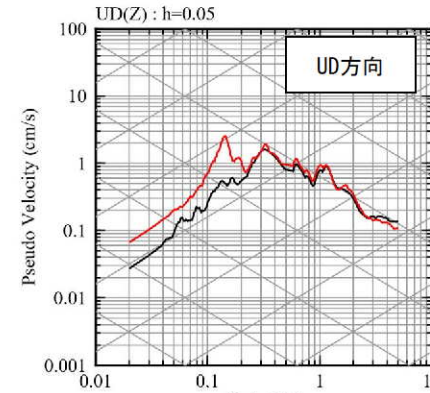
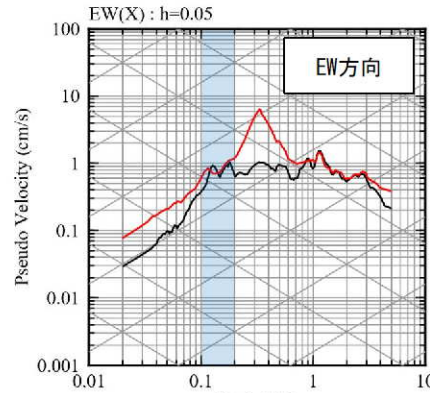
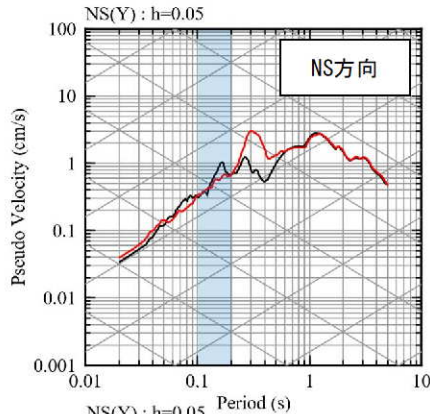
【参考①】 応答スペクトルの比較結果

【参考①】 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)

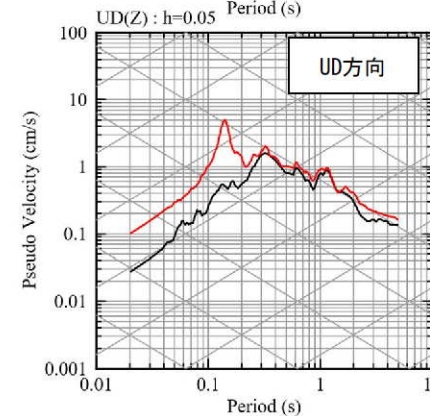
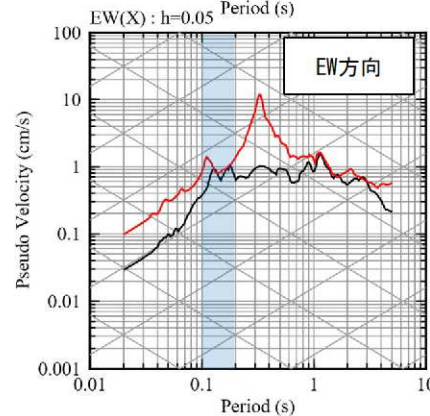
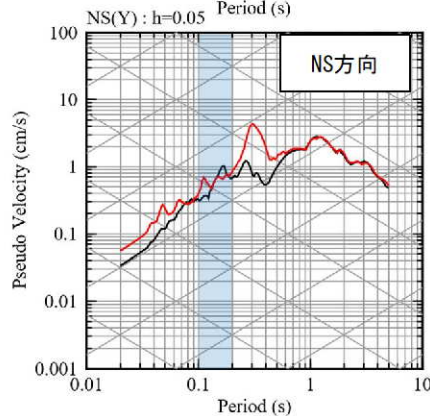
①九州西側海域

現申請モデル



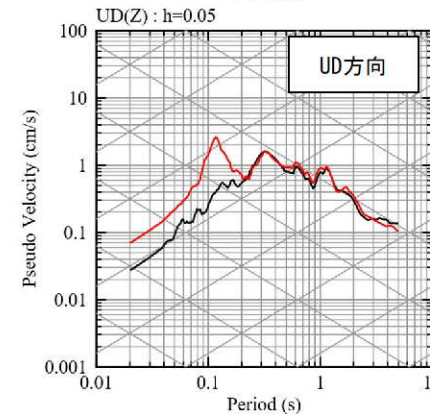
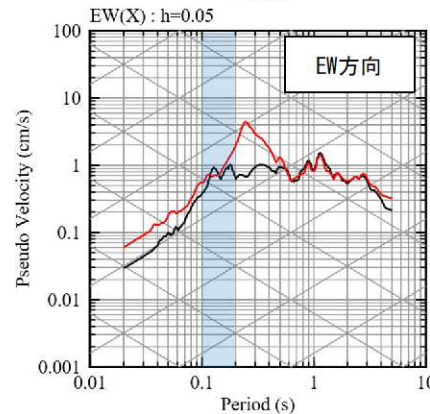
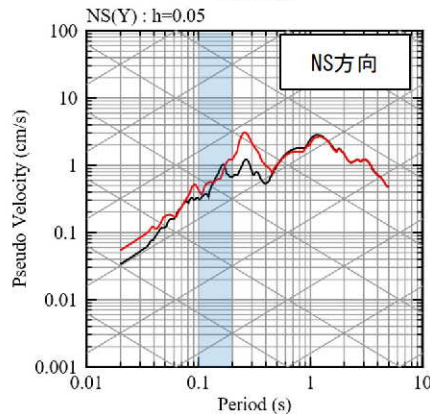
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

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



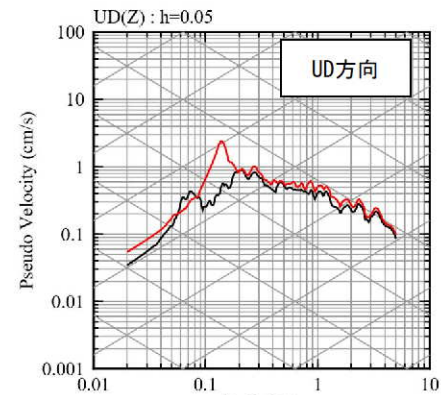
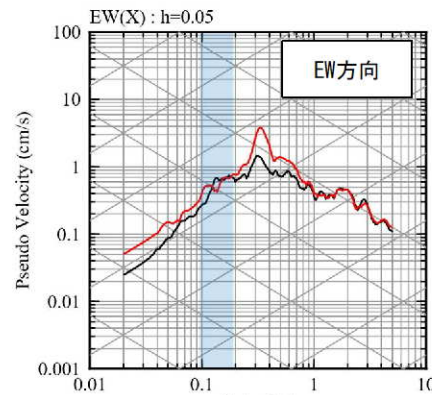
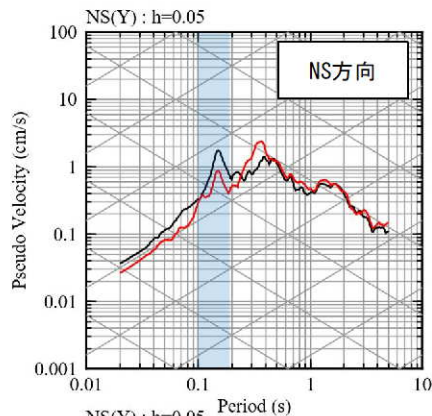
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考①】 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)

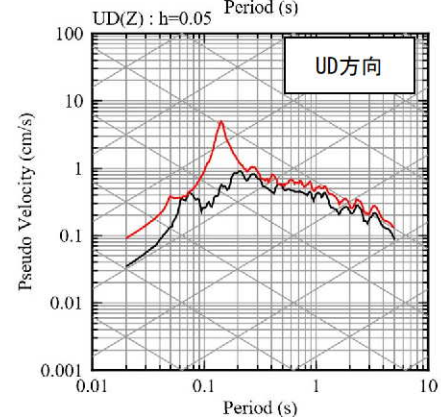
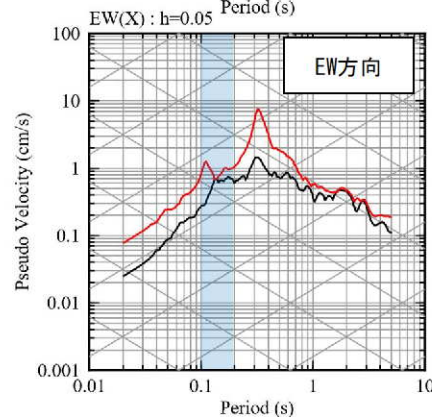
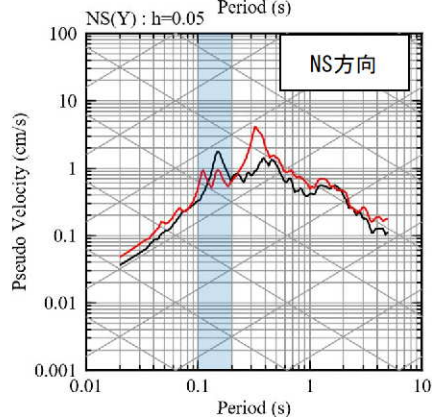
② 鹿児島県北西部

現申請モデル



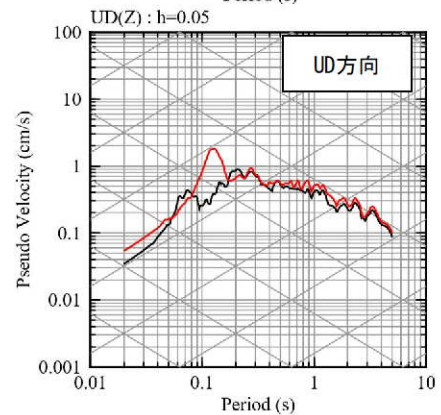
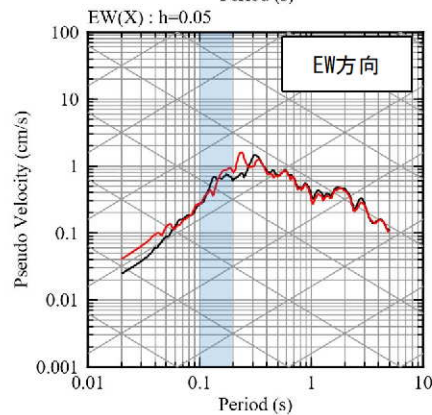
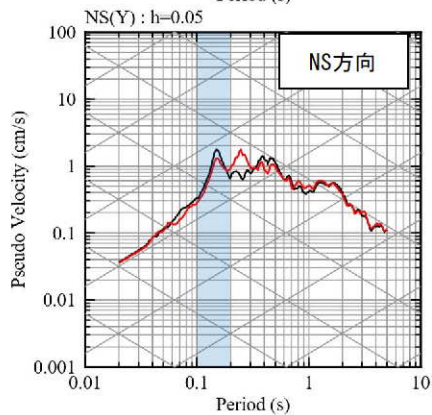
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波(現申請モデル)

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



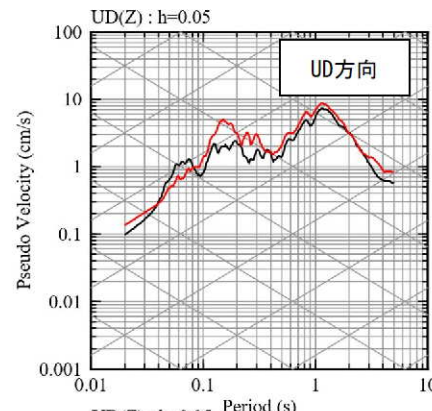
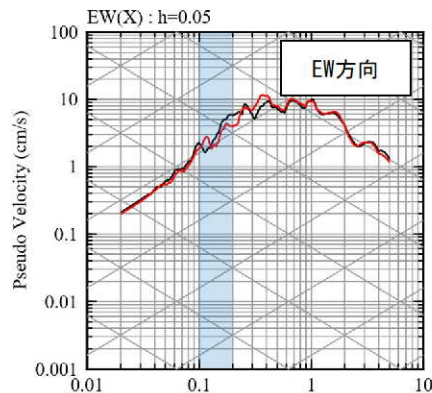
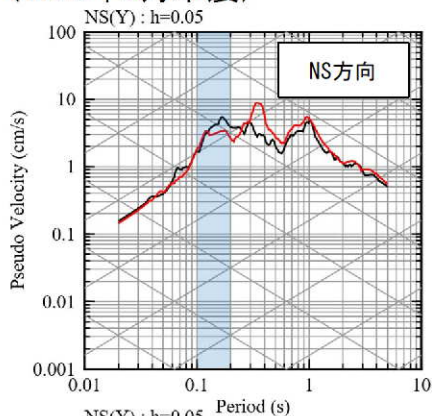
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波(見直しモデル)

【参考①】 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)

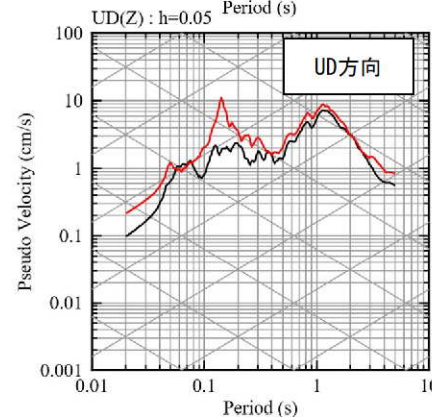
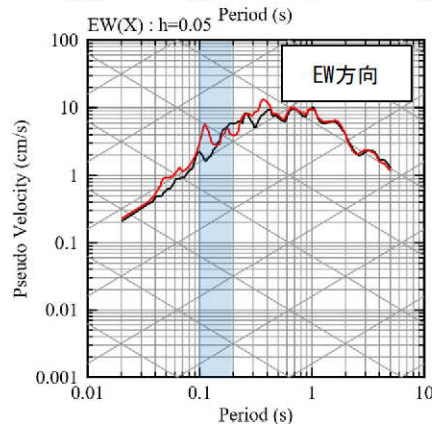
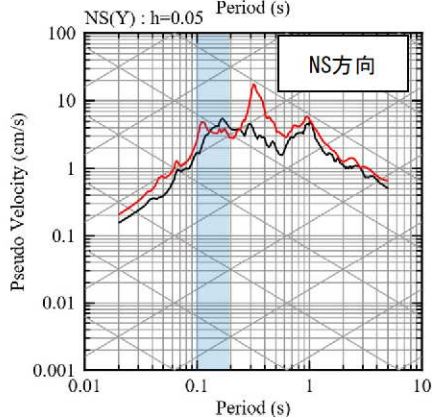
③ 鹿児島県北西部 (1997年3月本震)

現申請モデル



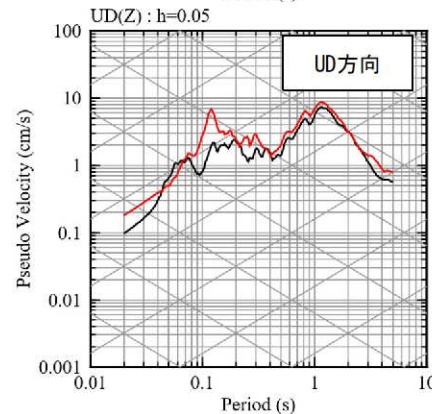
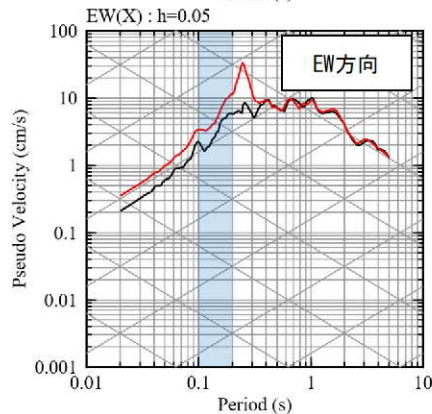
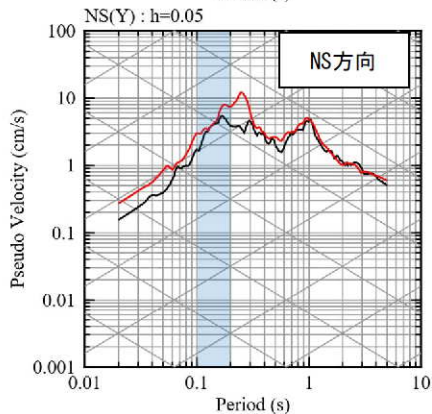
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

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



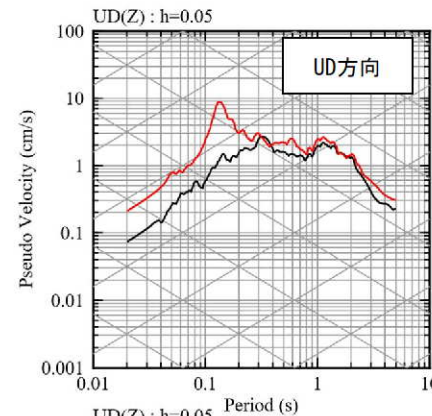
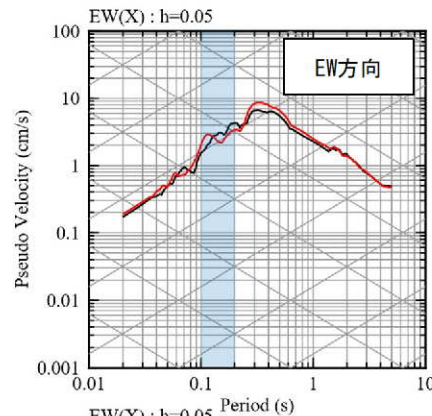
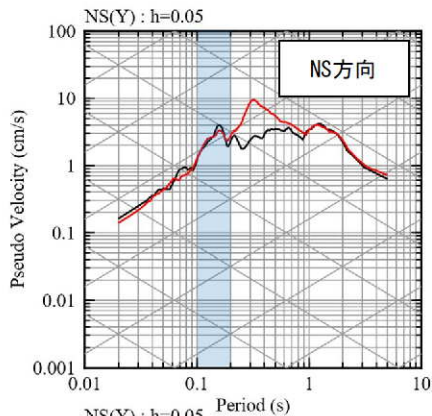
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考①】 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)

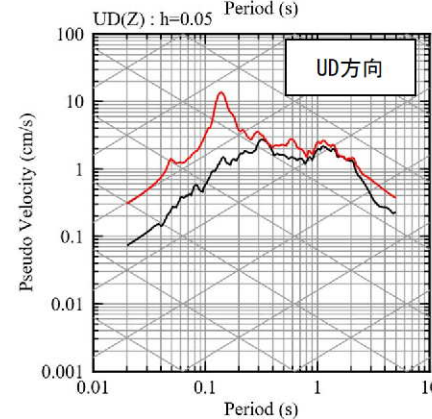
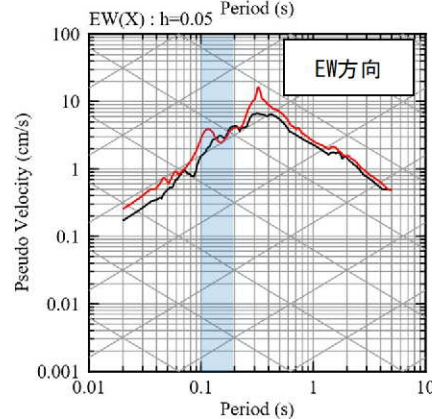
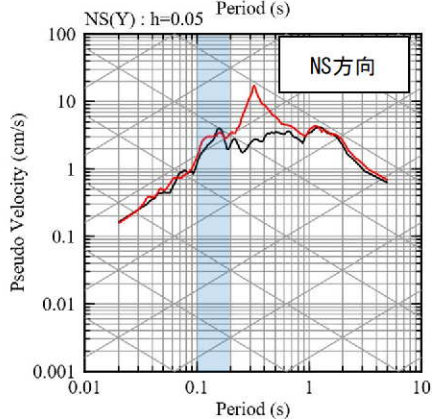
④ 鹿児島県北西部

現申請モデル



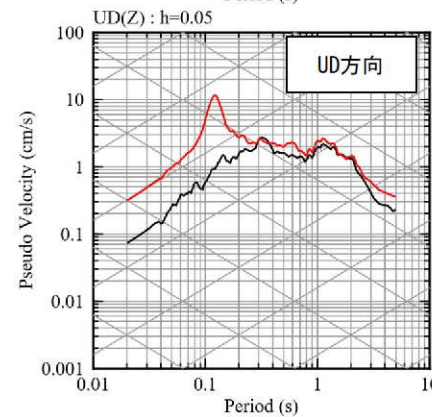
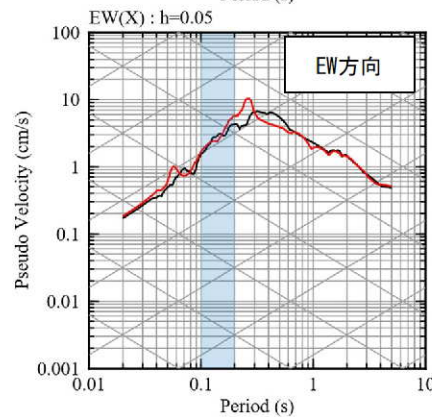
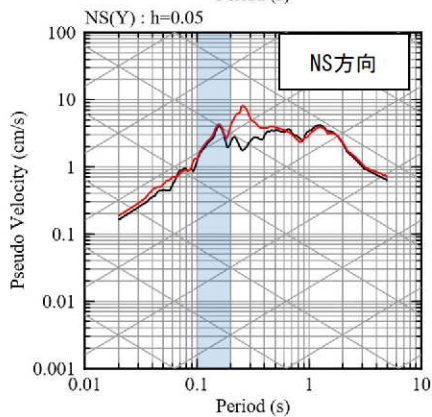
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

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



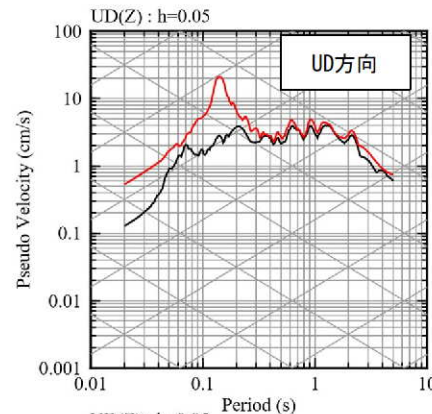
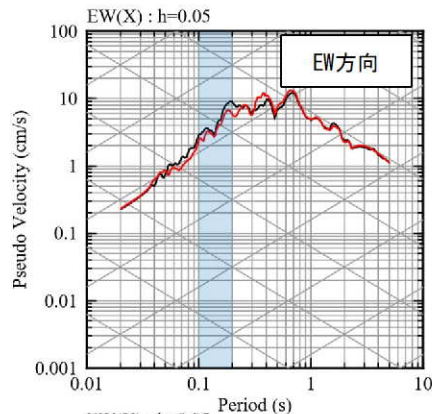
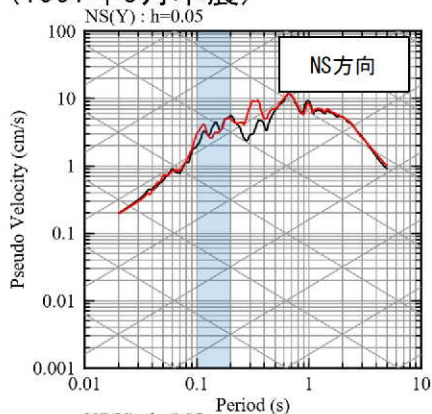
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考①】 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)

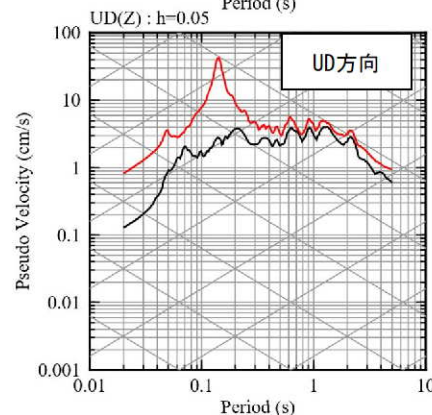
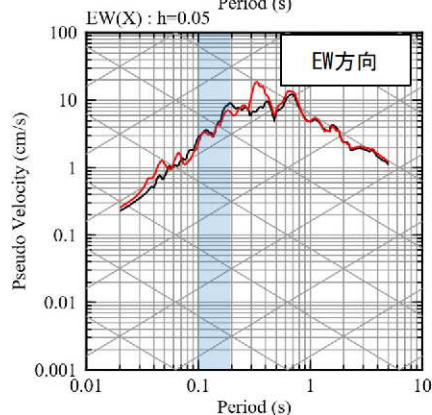
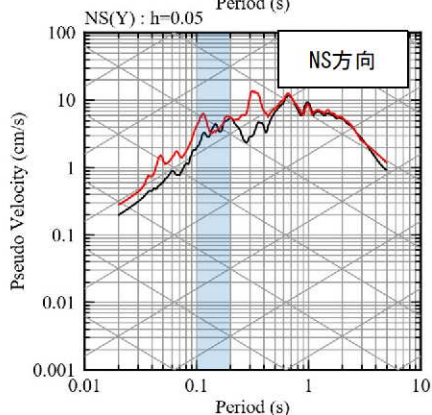
⑤ 鹿児島県北西部 (1997年5月本震)

現申請モデル



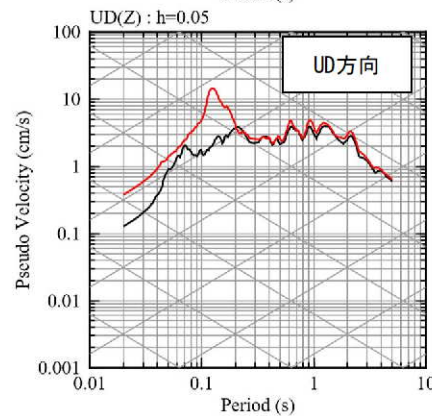
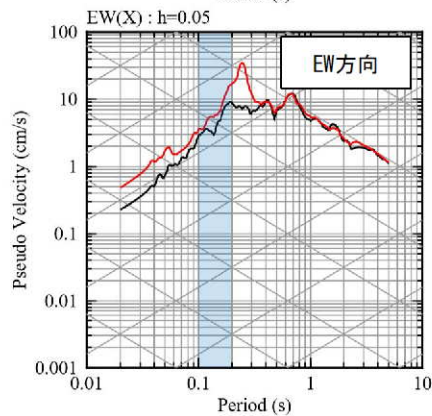
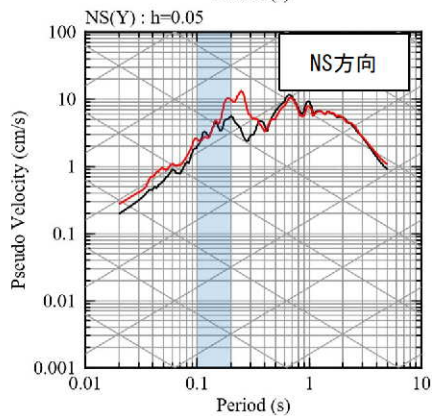
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

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



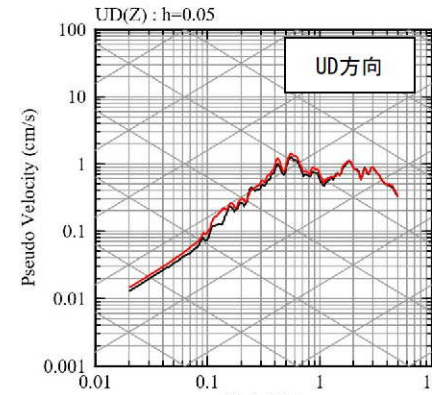
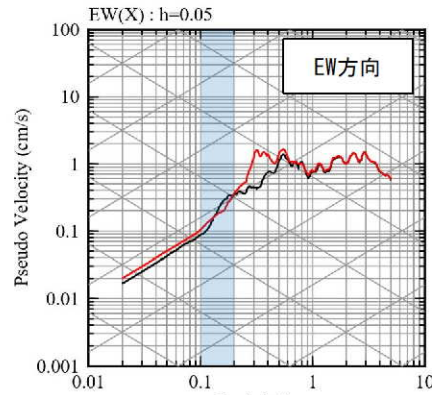
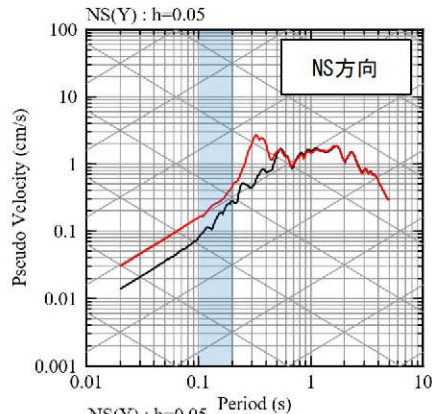
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考①】 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)

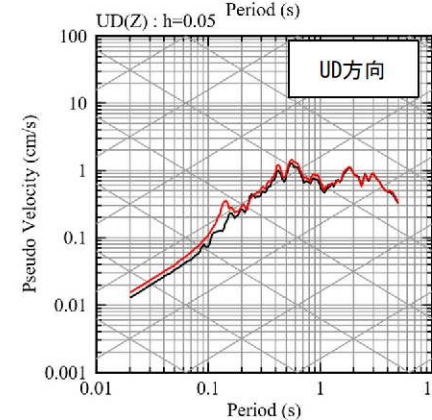
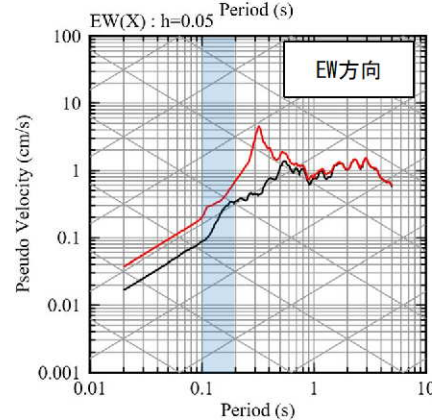
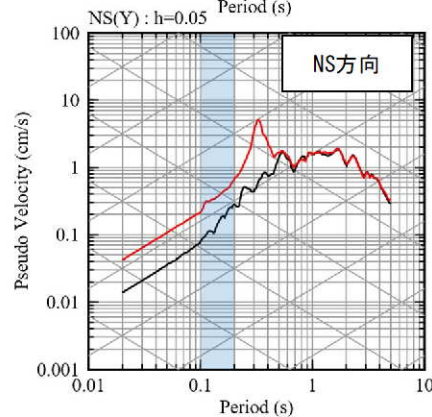
⑥ 薩摩半島西方沖

現申請モデル



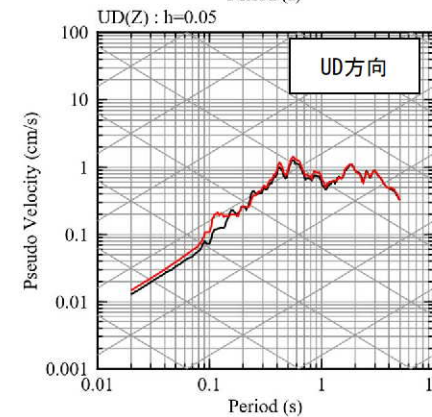
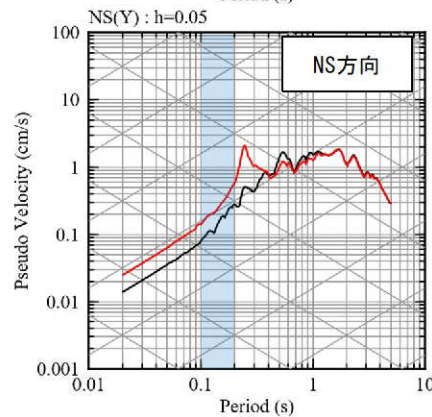
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

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



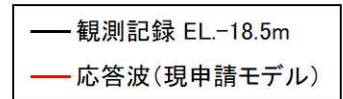
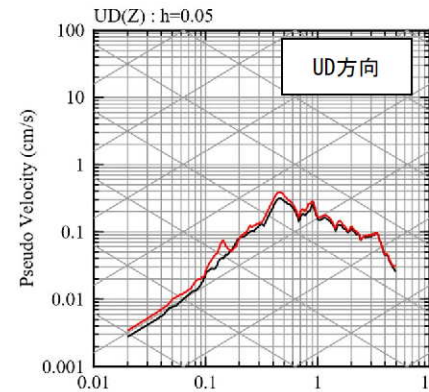
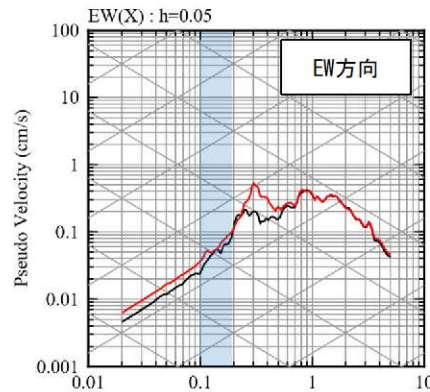
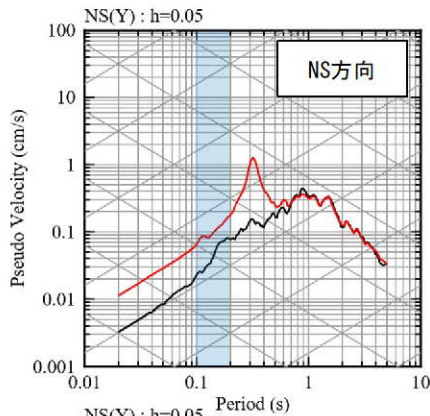
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考①】 応答スペクトルの比較結果

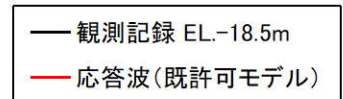
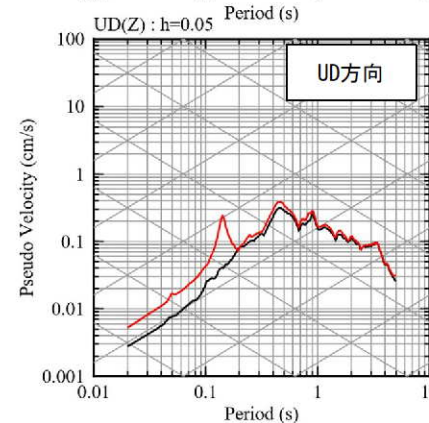
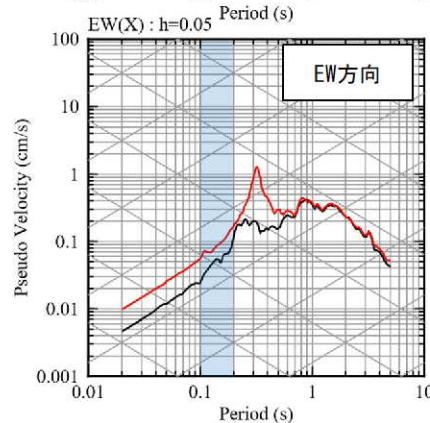
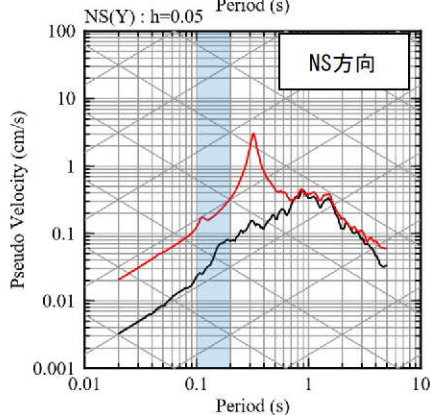
■ 応答スペクトルの比較結果 (7/20)

⑦ 薩摩半島西方沖

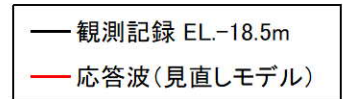
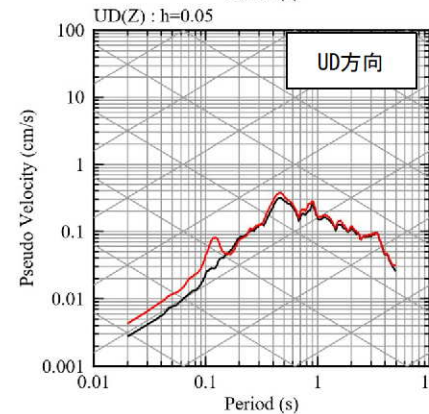
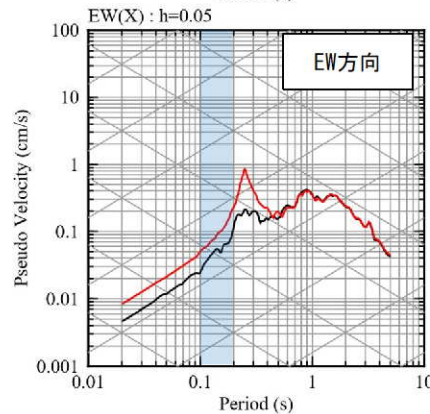
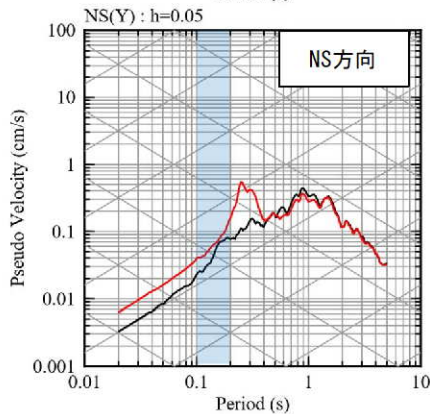
現申請モデル



既許可モデル



見直しモデル

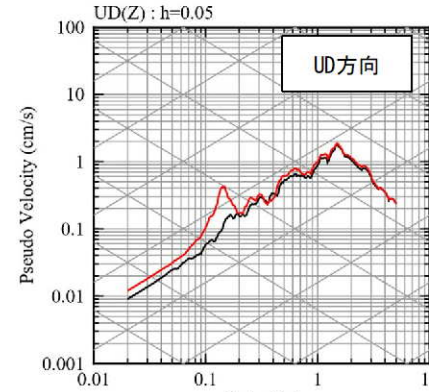
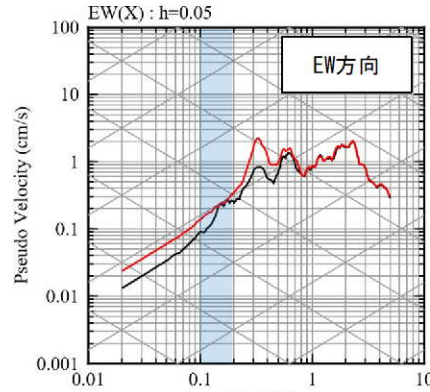
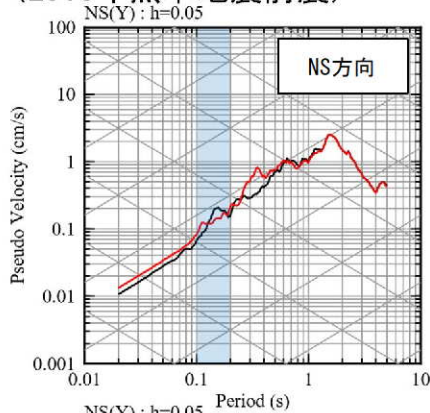


【参考①】 応答スペクトルの比較結果

■ 応答スペクトルの比較結果 (8/20)

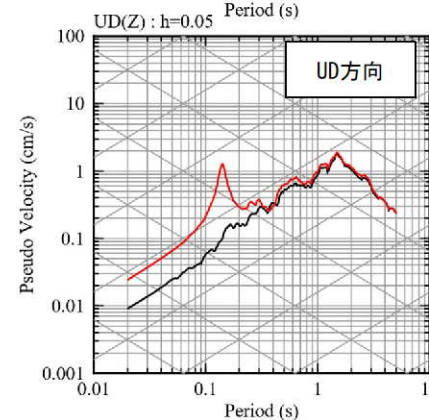
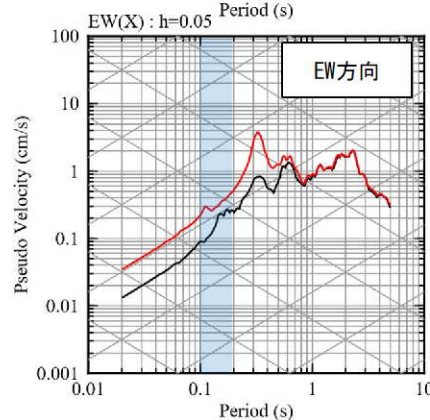
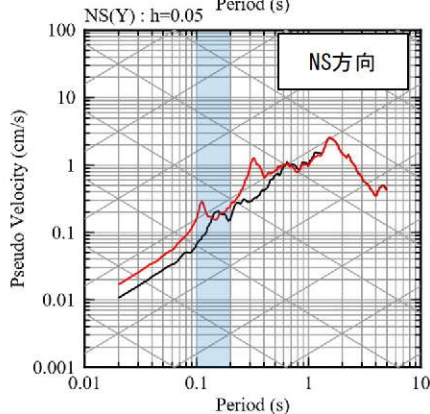
⑧熊本県熊本地方 (2016年熊本地震前震)

現申請モデル



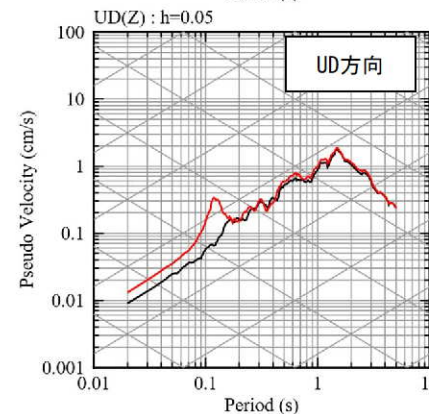
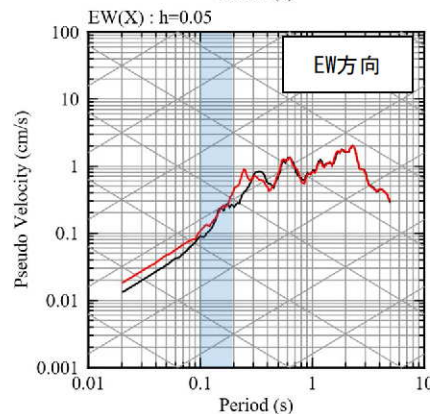
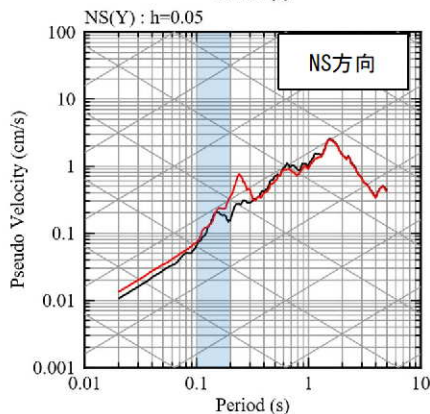
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

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



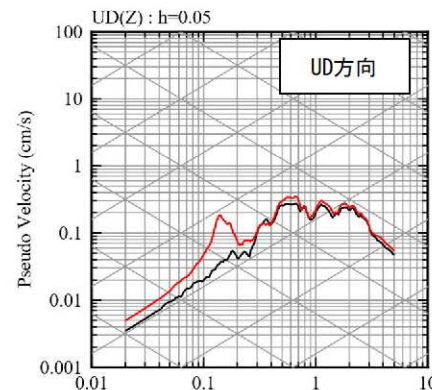
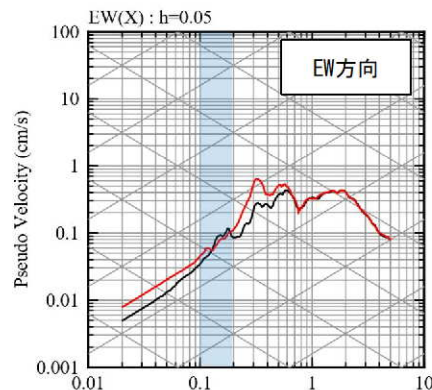
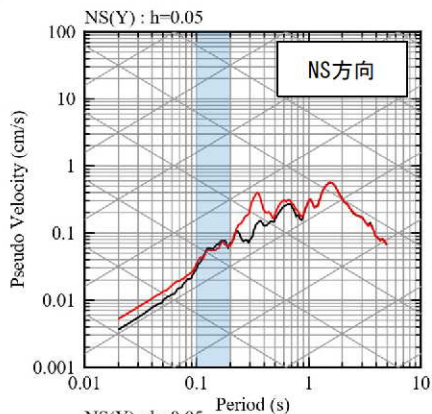
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考①】 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)

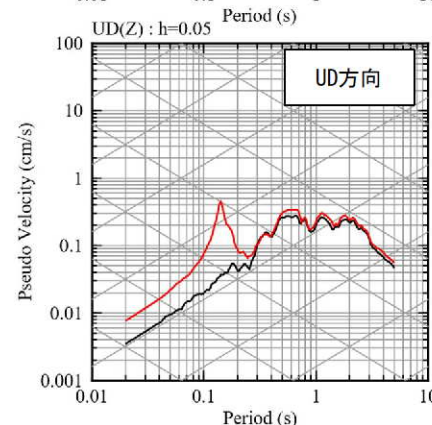
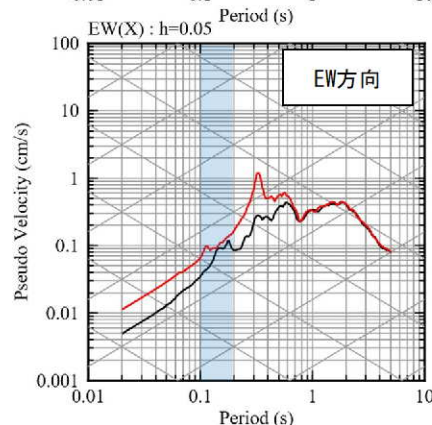
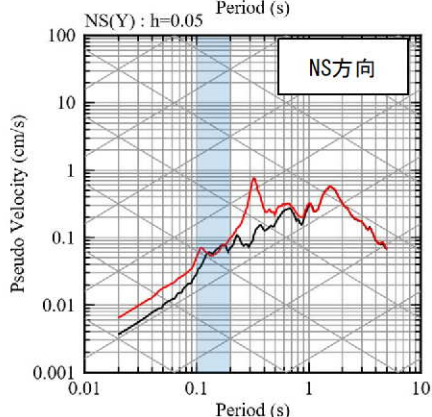
⑨ 熊本県熊本地方

現申請モデル



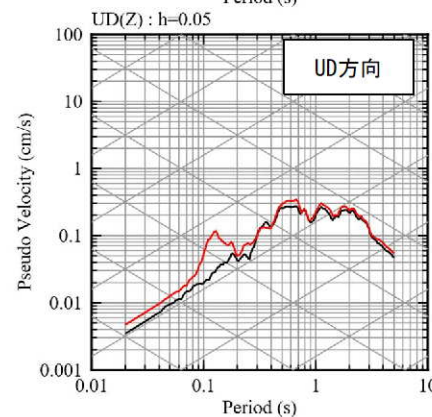
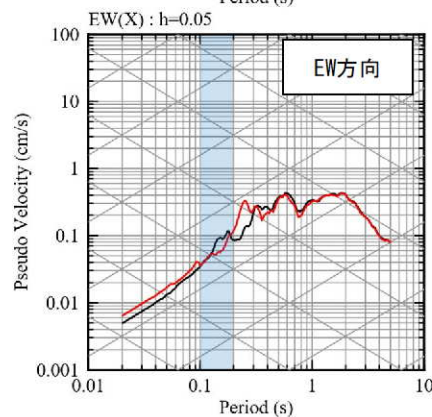
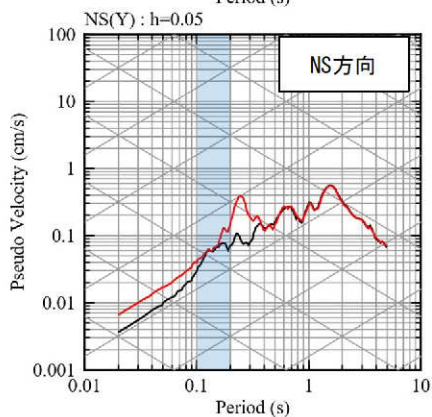
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

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



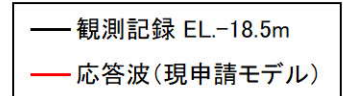
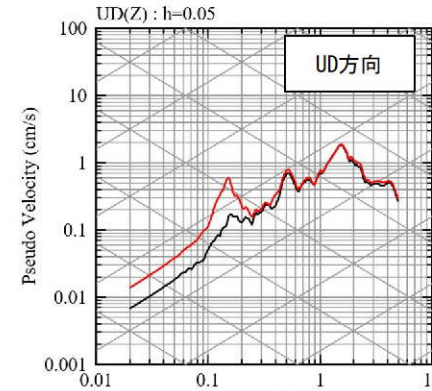
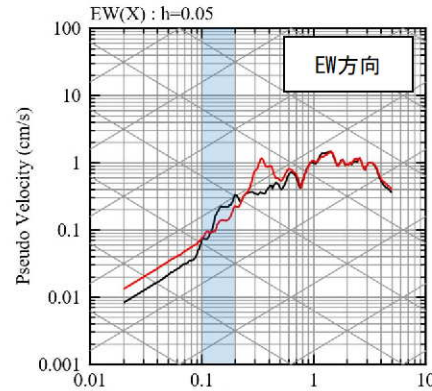
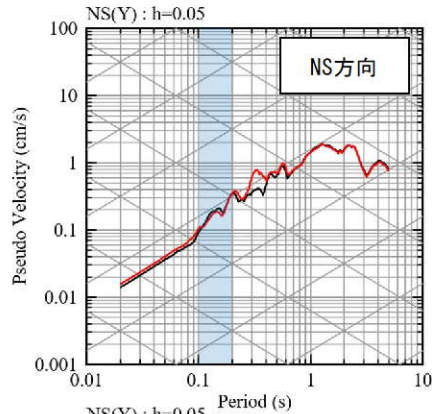
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考①】 応答スペクトルの比較結果

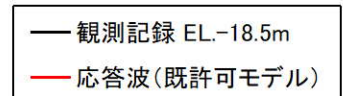
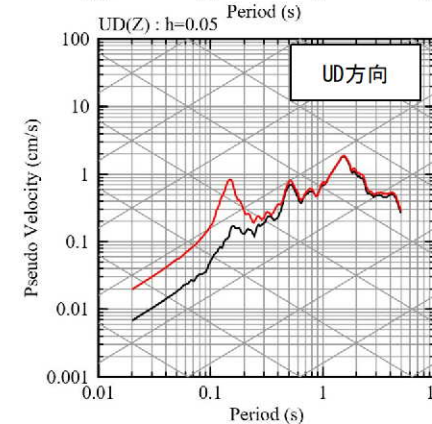
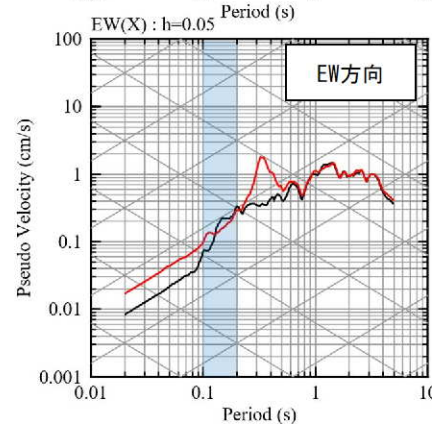
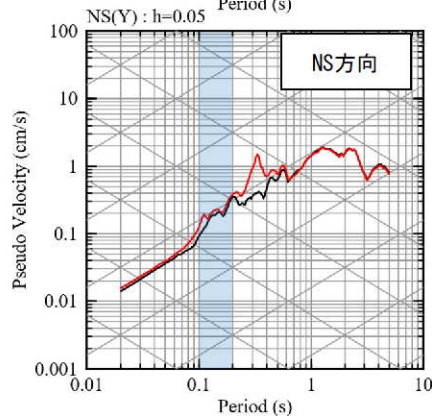
■ 応答スペクトルの比較結果 (10/20)

⑩ 熊本県熊本地方

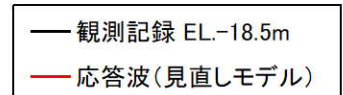
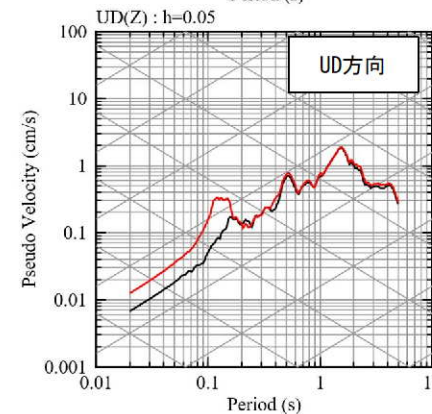
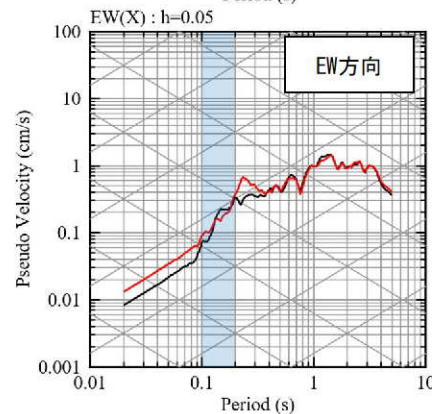
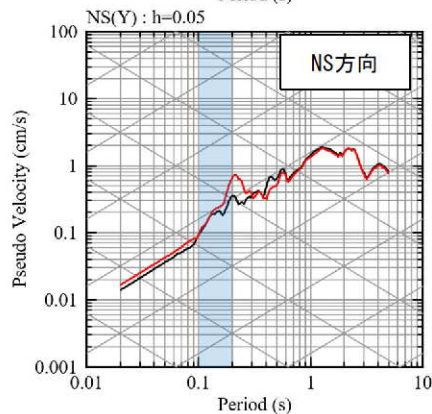
現申請モデル



既許可モデル



見直しモデル

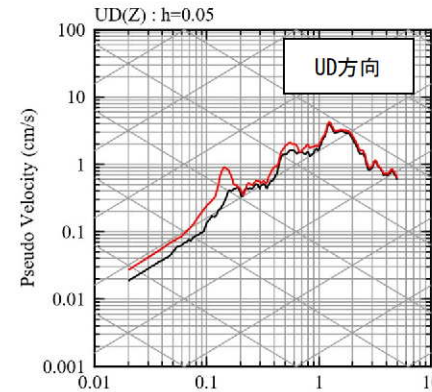
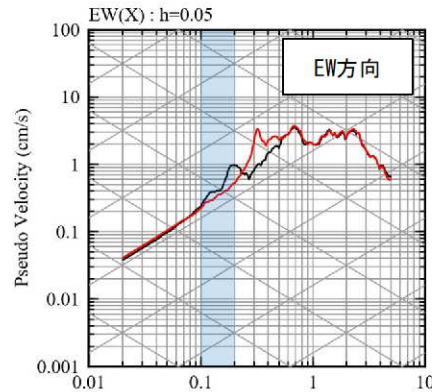
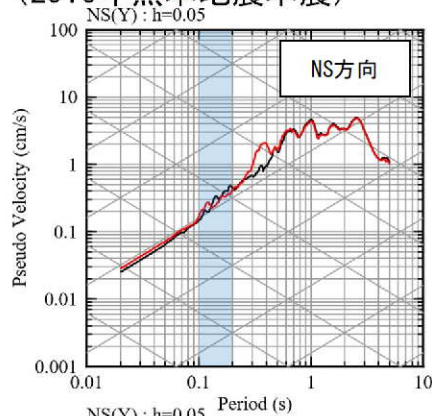


【参考①】 応答スペクトルの比較結果

■ 応答スペクトルの比較結果 (11/20)

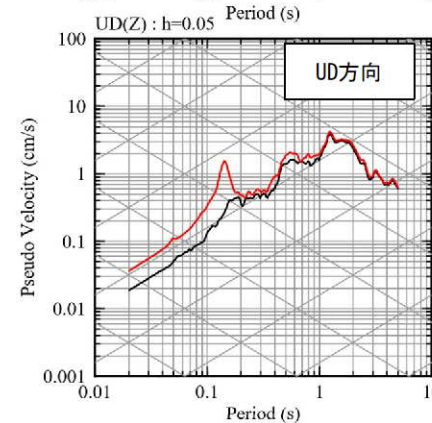
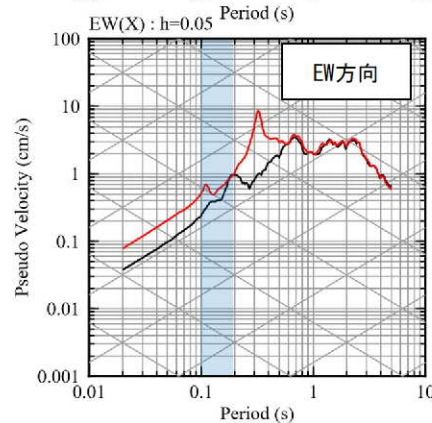
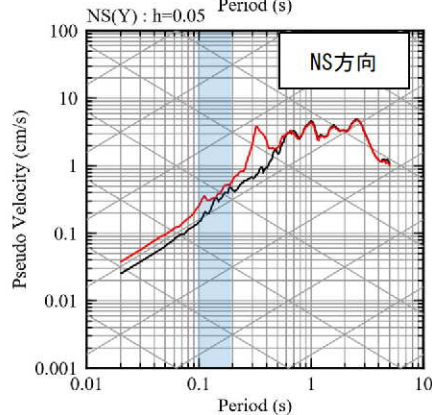
①熊本県熊本地方 (2016年熊本地震本震)

現申請モデル



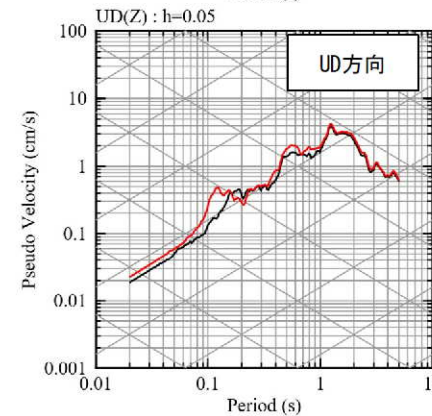
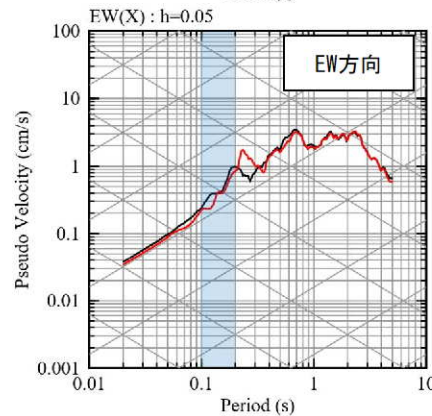
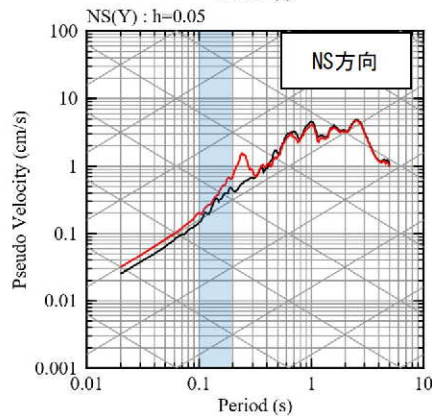
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

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



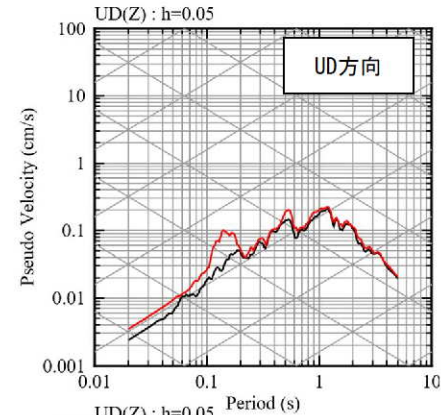
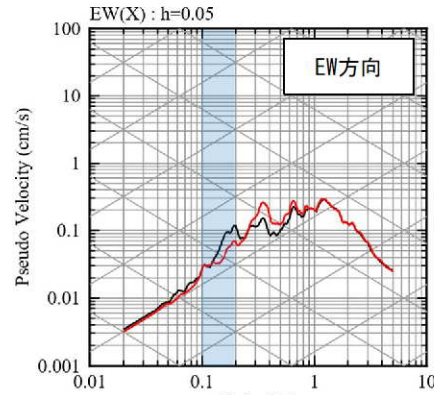
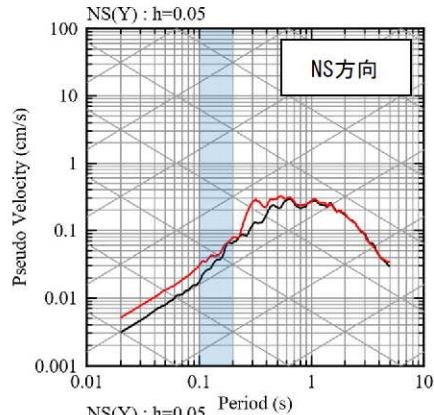
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考①】 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)

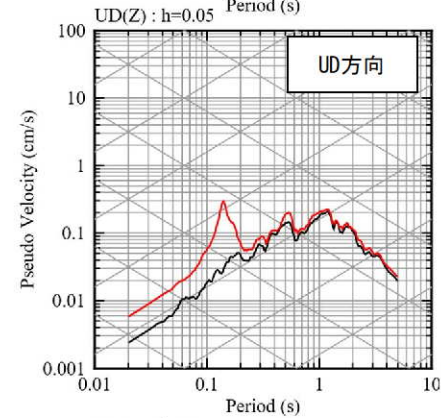
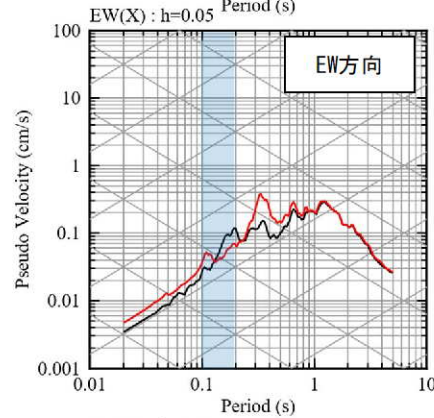
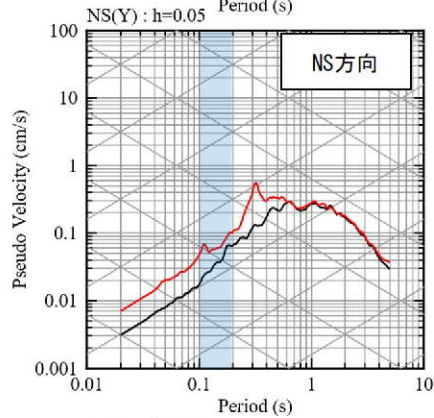
⑫ 熊本県熊本地方

現申請モデル



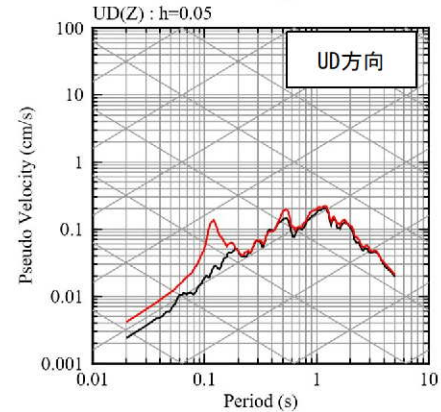
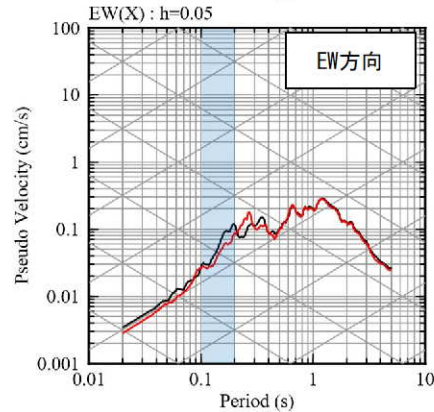
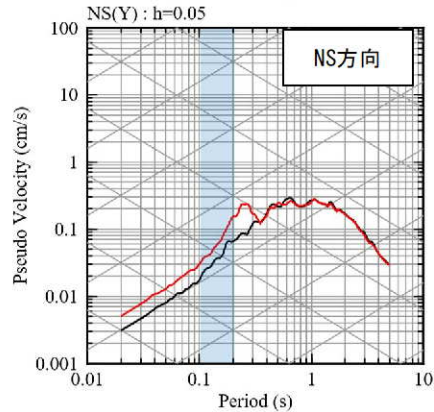
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

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



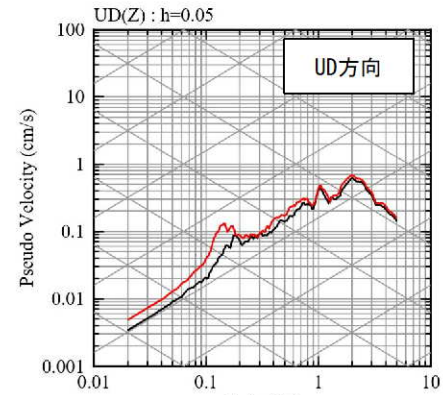
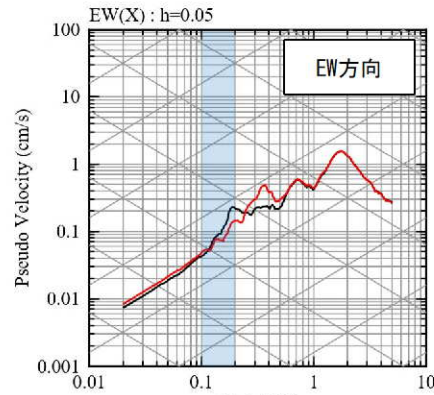
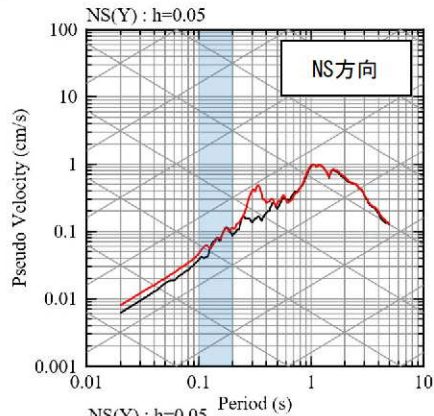
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考①】 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)

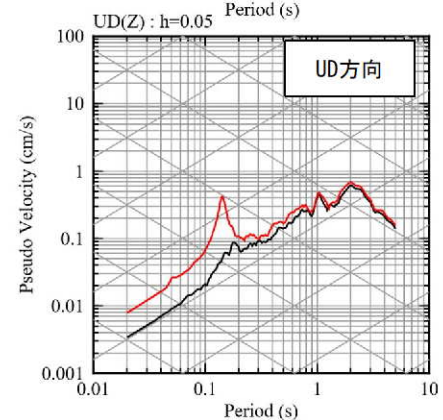
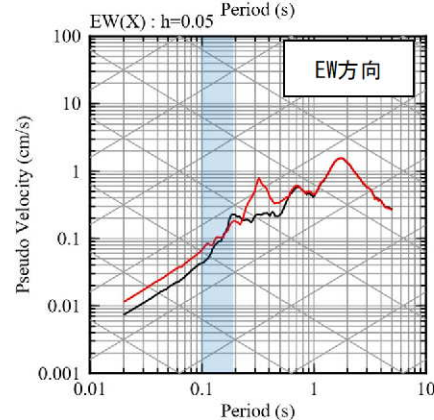
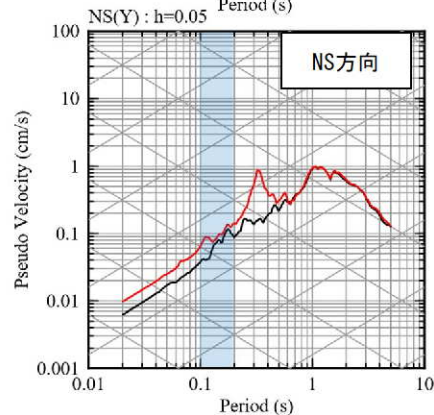
⑬ 熊本県熊本地方

現申請モデル



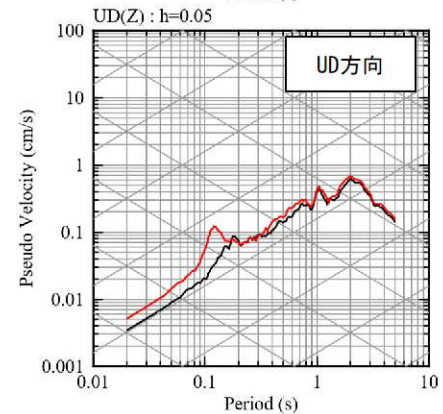
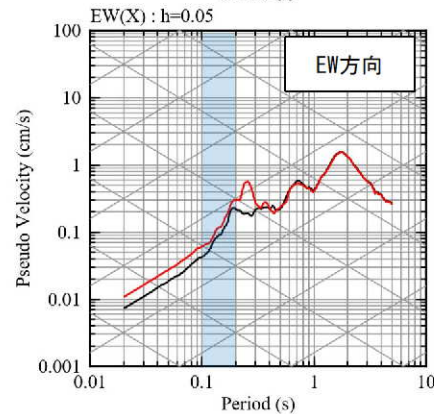
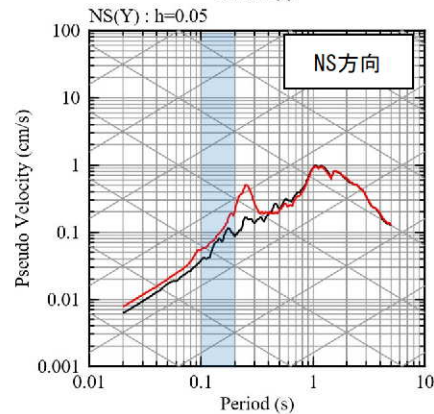
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

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



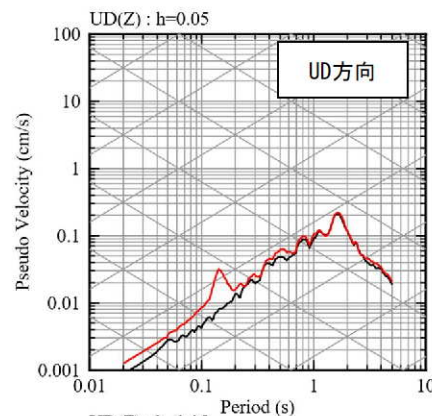
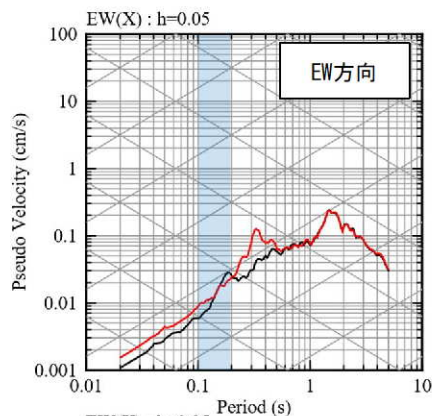
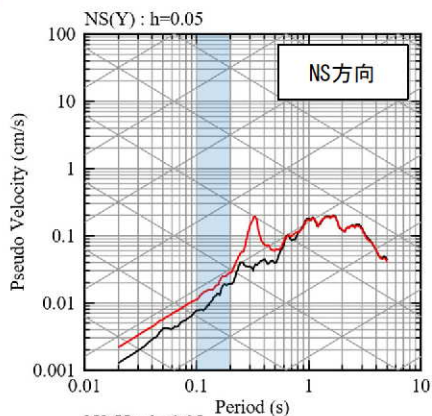
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考①】 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)

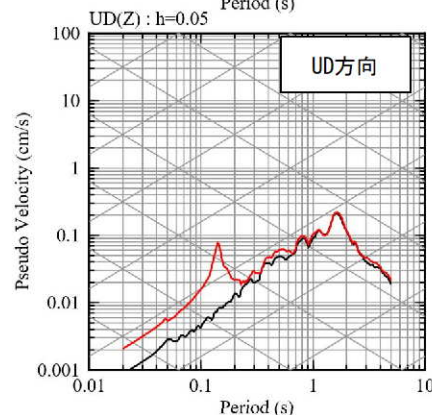
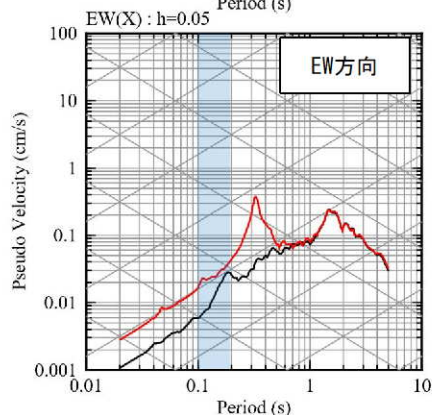
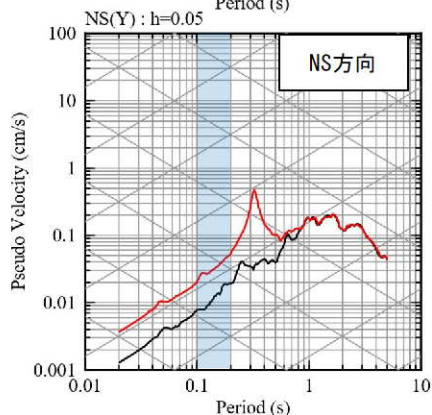
⑭ 熊本県阿蘇地方

現申請モデル



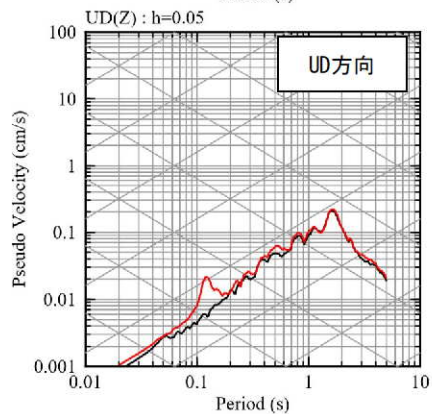
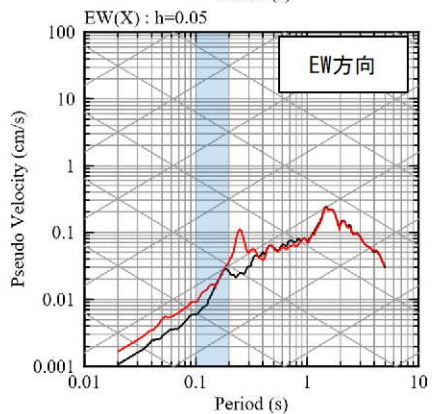
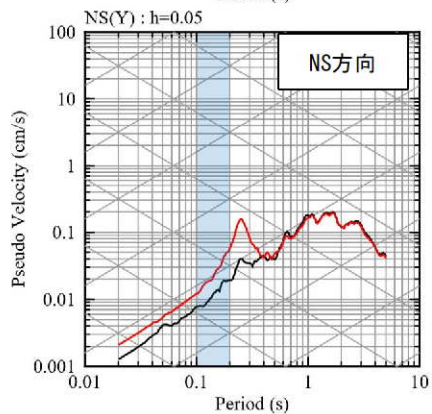
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

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



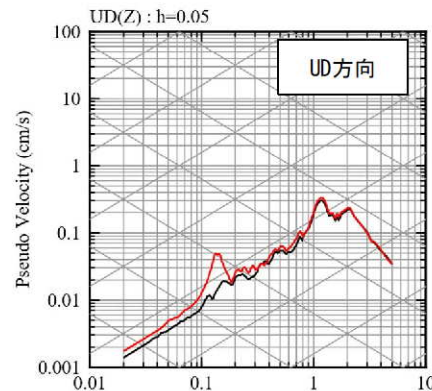
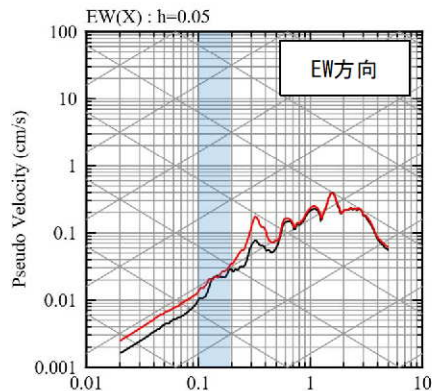
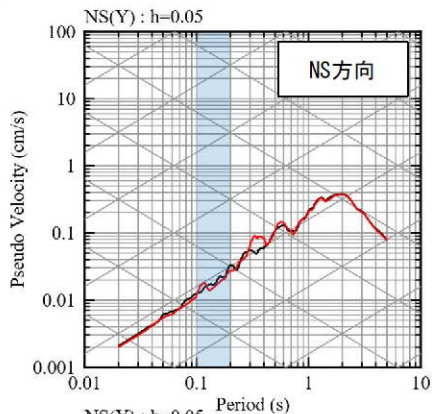
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考①】 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)

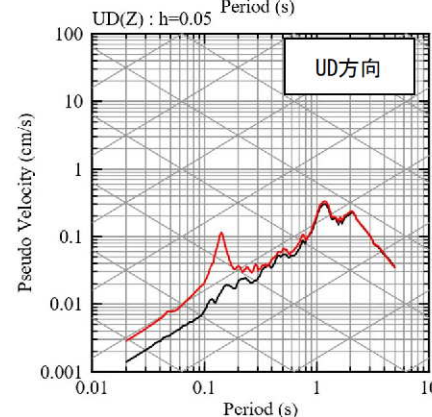
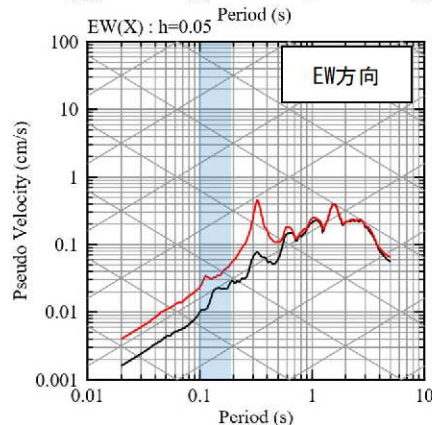
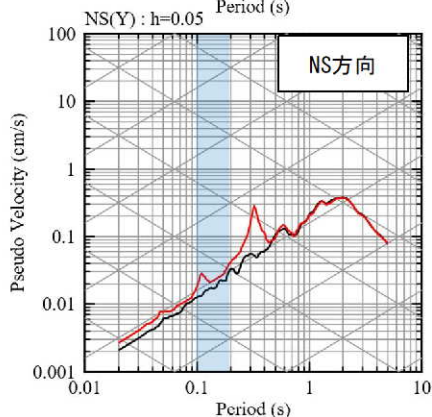
⑮ 熊本県阿蘇地方

現申請モデル



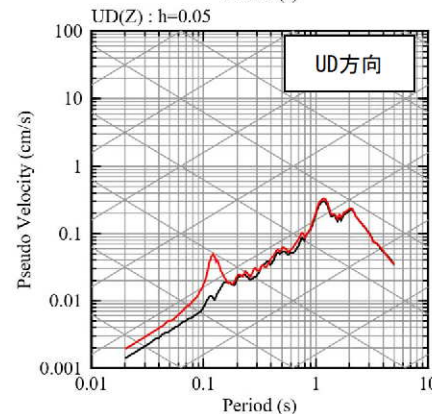
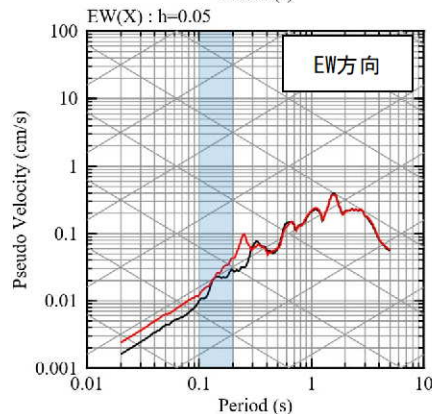
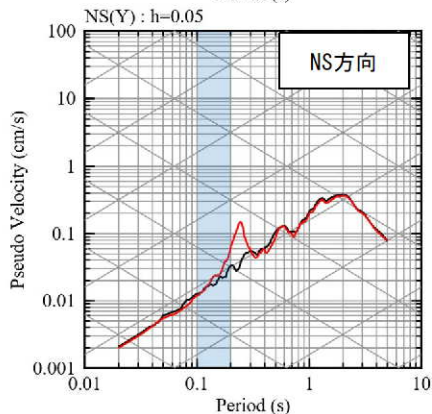
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

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



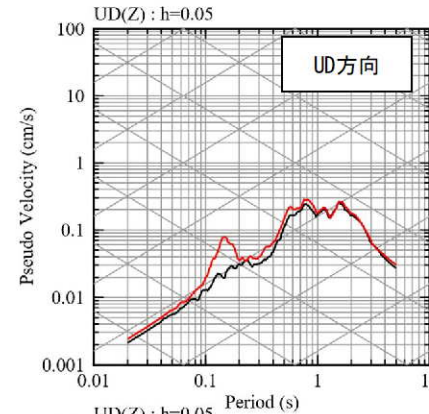
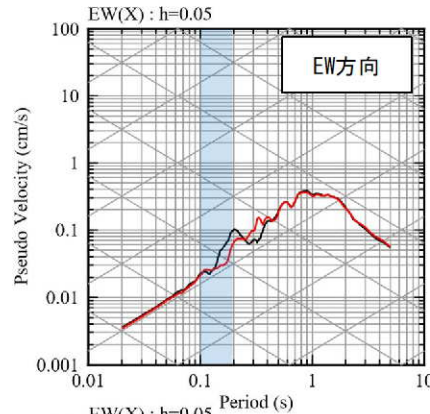
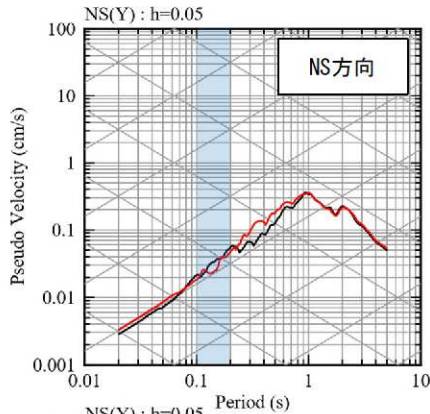
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考①】 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)

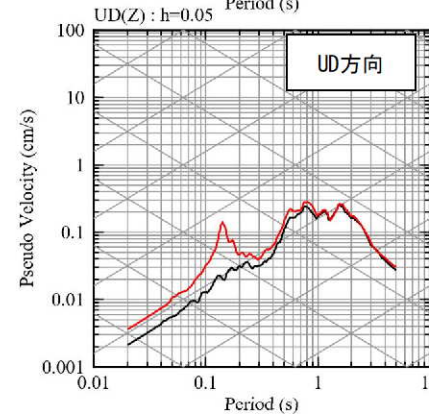
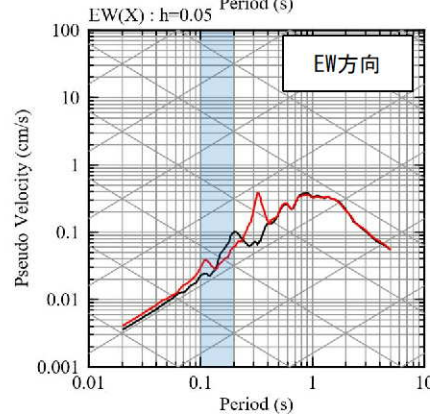
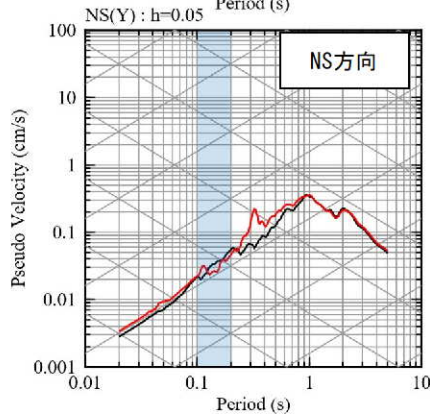
⑩ 熊本県熊本地方

現申請モデル



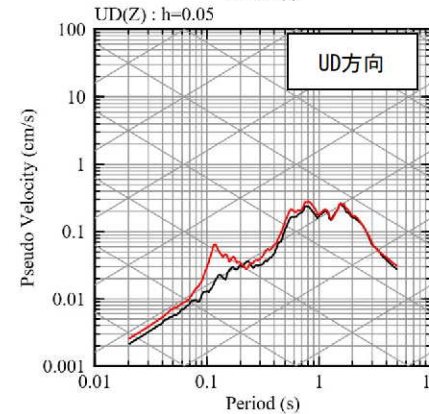
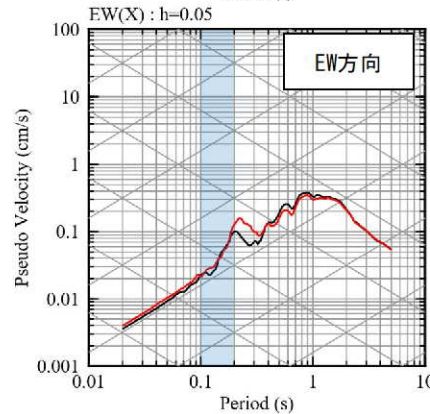
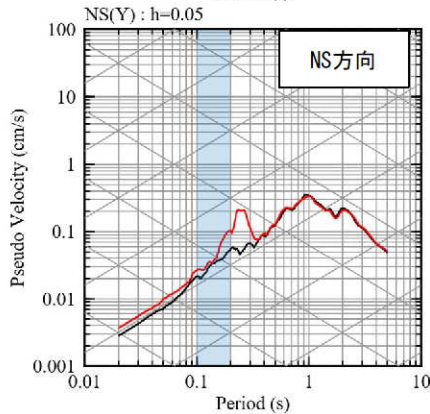
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

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



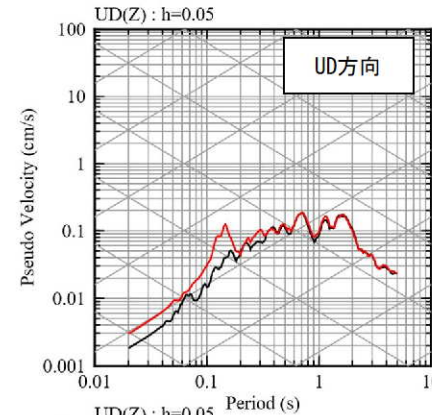
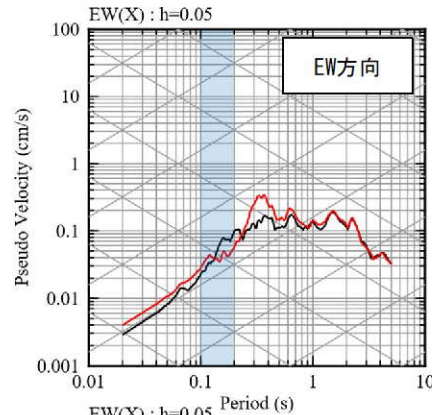
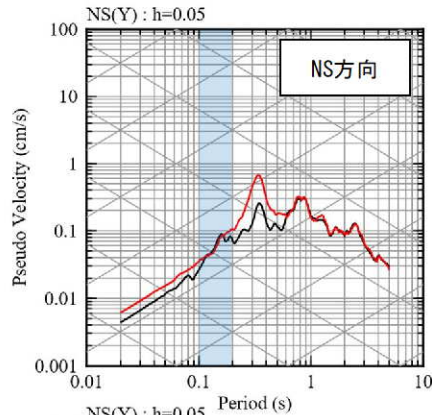
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考①】 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)

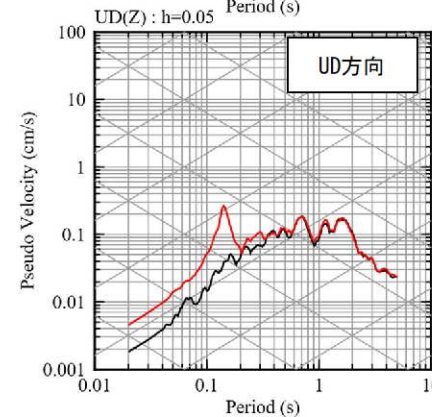
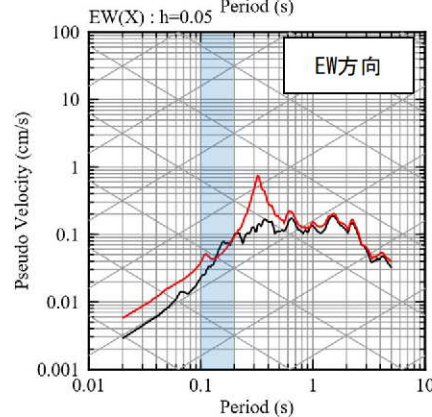
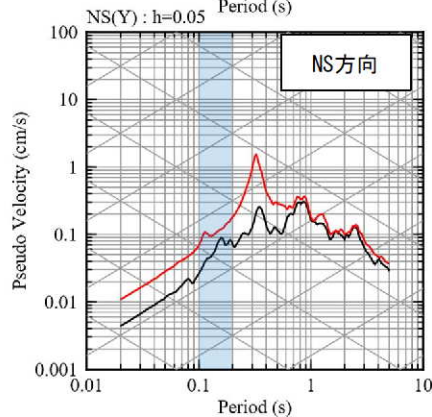
⑰ 熊本県熊本地方

現申請モデル



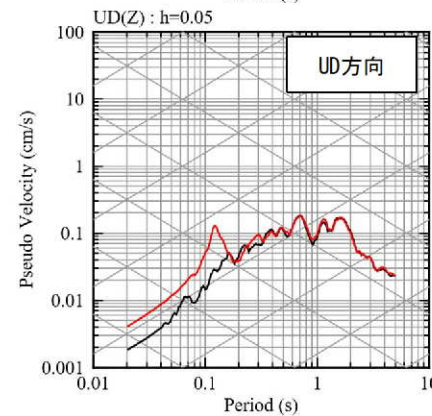
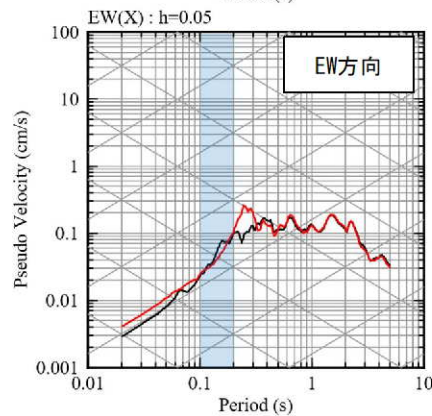
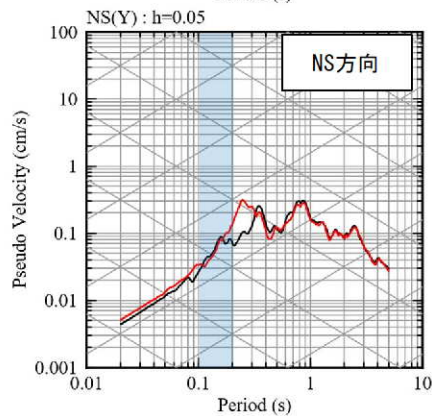
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

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



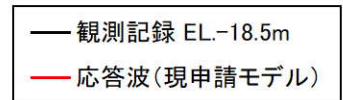
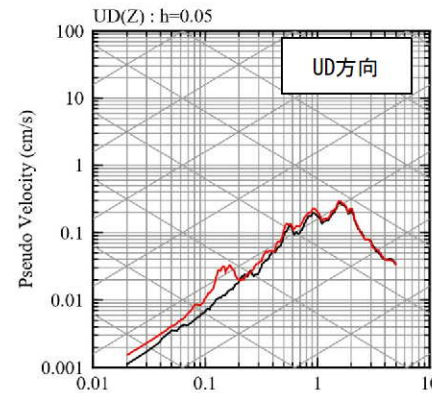
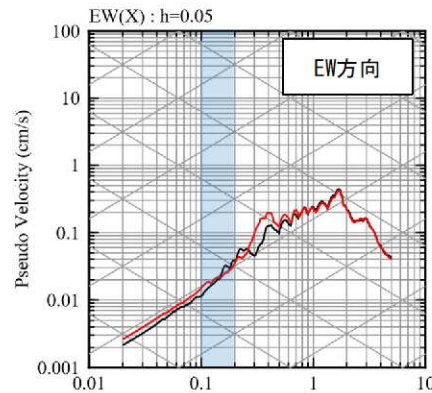
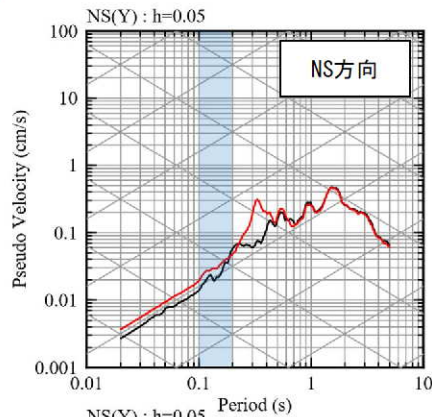
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考①】 応答スペクトルの比較結果

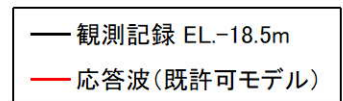
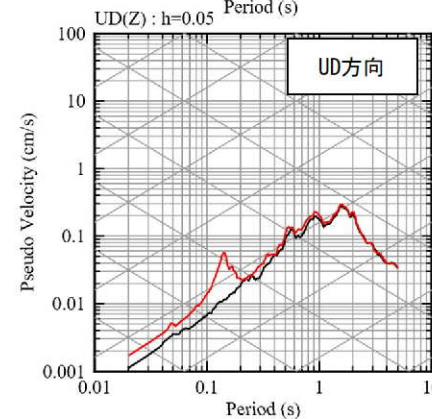
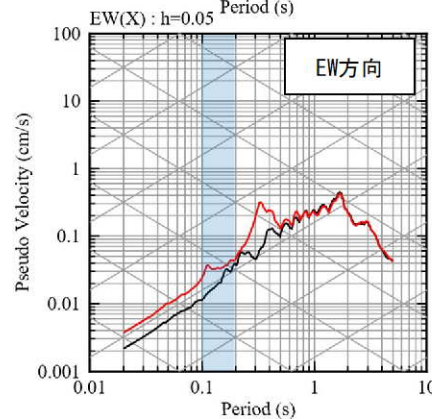
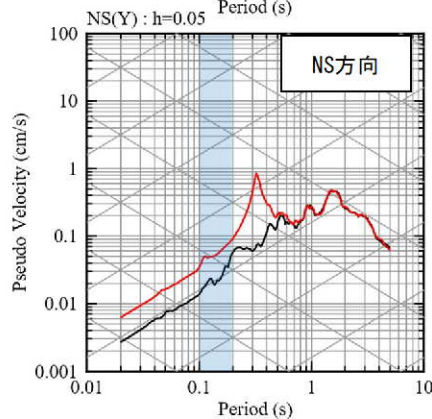
■ 応答スペクトルの比較結果 (18/20)

⑱ 熊本県阿蘇地方

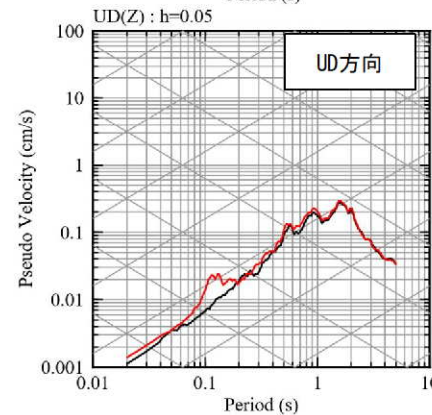
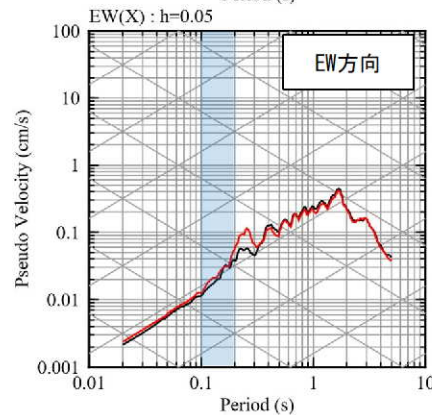
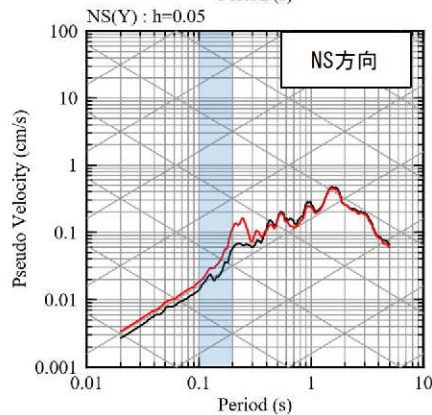
現申請モデル



既許可モデル



見直しモデル

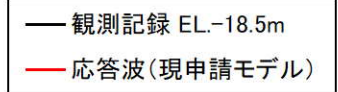
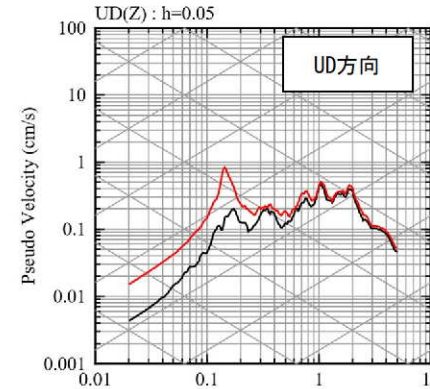
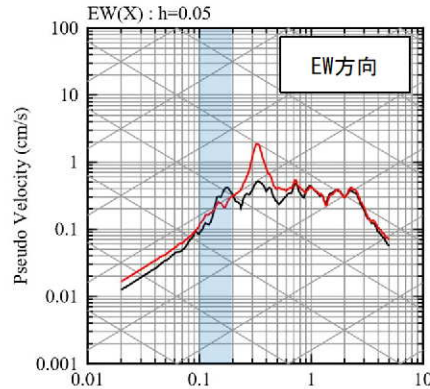
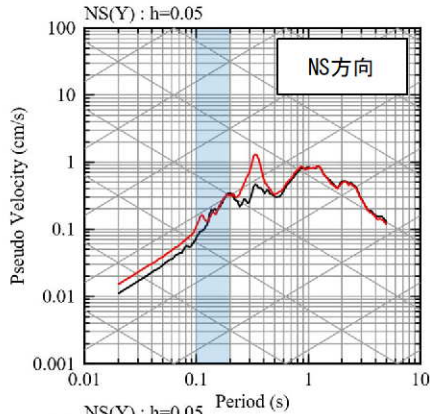


【参考①】 応答スペクトルの比較結果

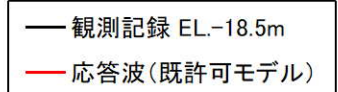
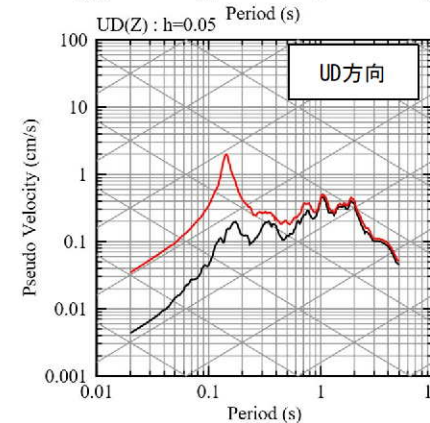
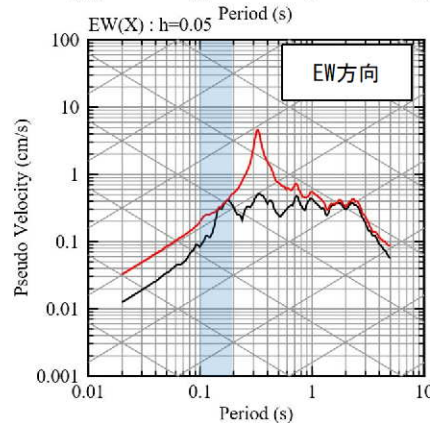
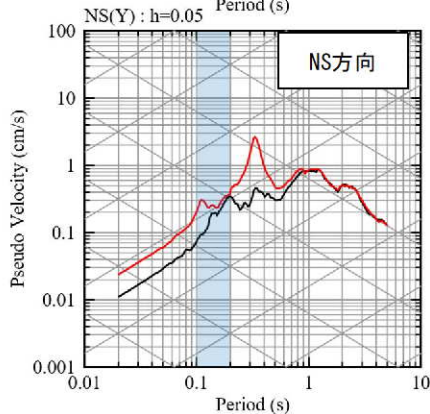
■ 応答スペクトルの比較結果 (19/20)

①9 熊本県熊本地方

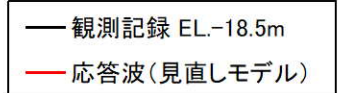
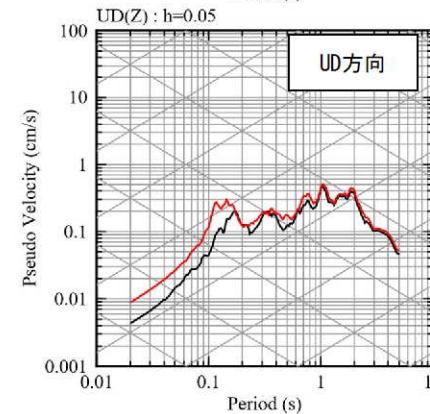
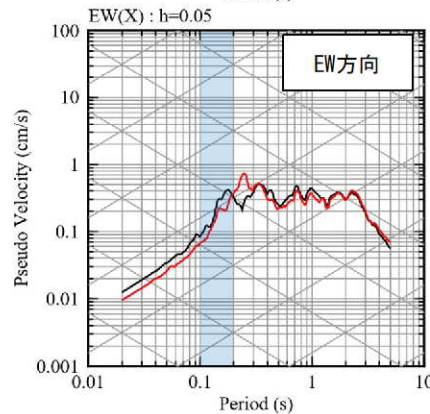
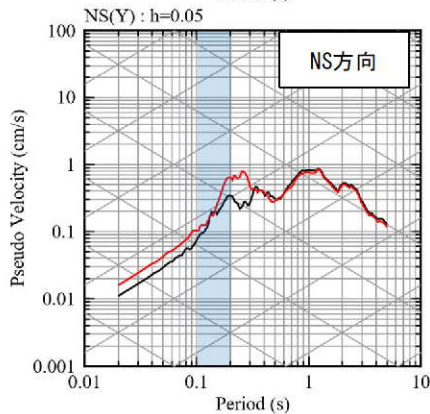
現申請モデル



既許可モデル



見直しモデル

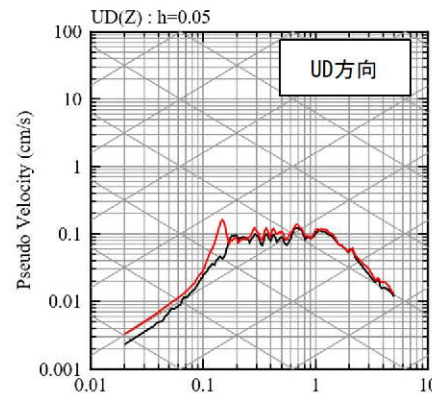
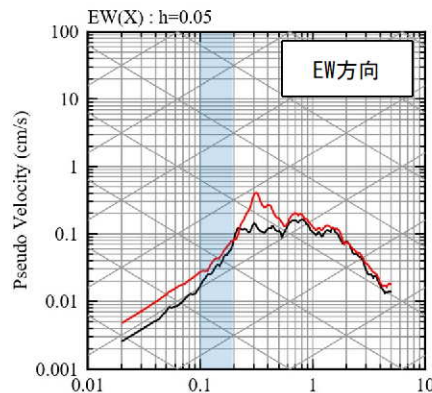
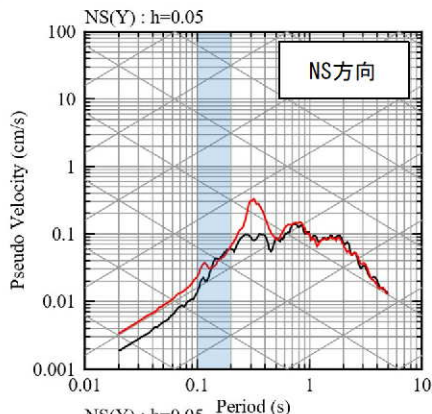


【参考①】 応答スペクトルの比較結果

■ 応答スペクトルの比較結果 (20/20)

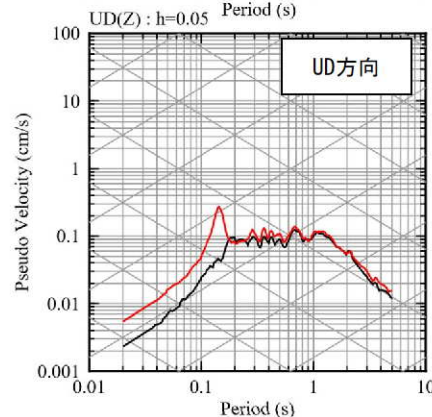
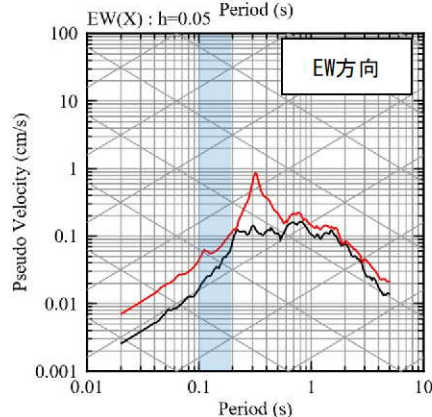
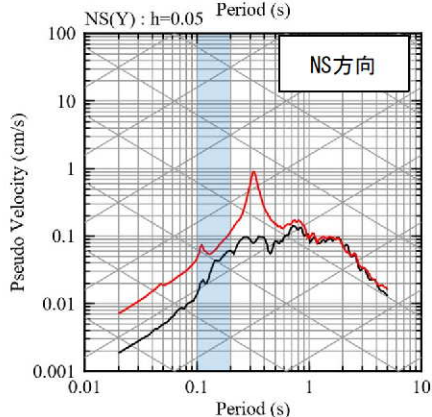
⑳ 薩摩半島西方沖

現申請モデル



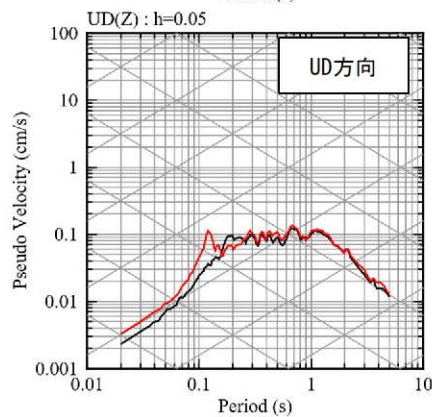
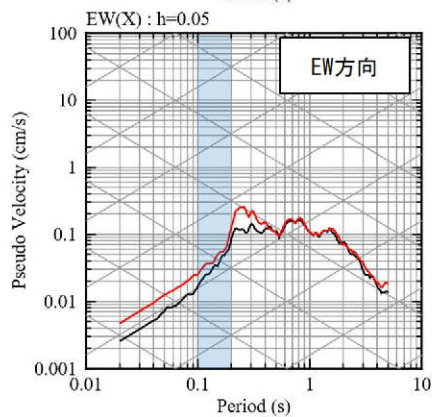
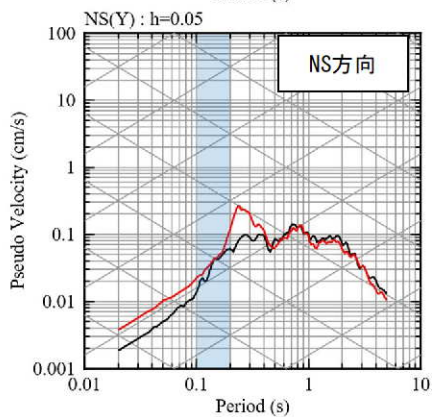
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

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)

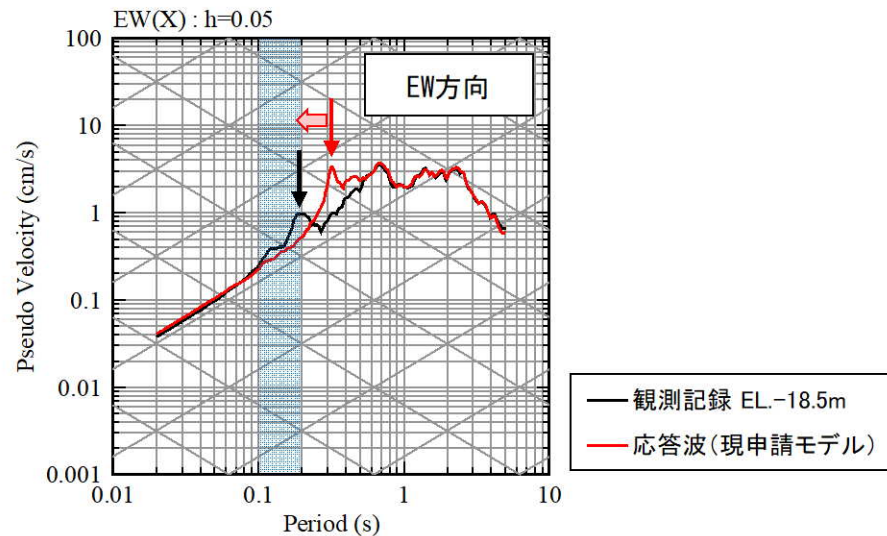
【参考②】速度構造を見直したモデルの設定

【参考②】速度構造を見直したモデルの設定

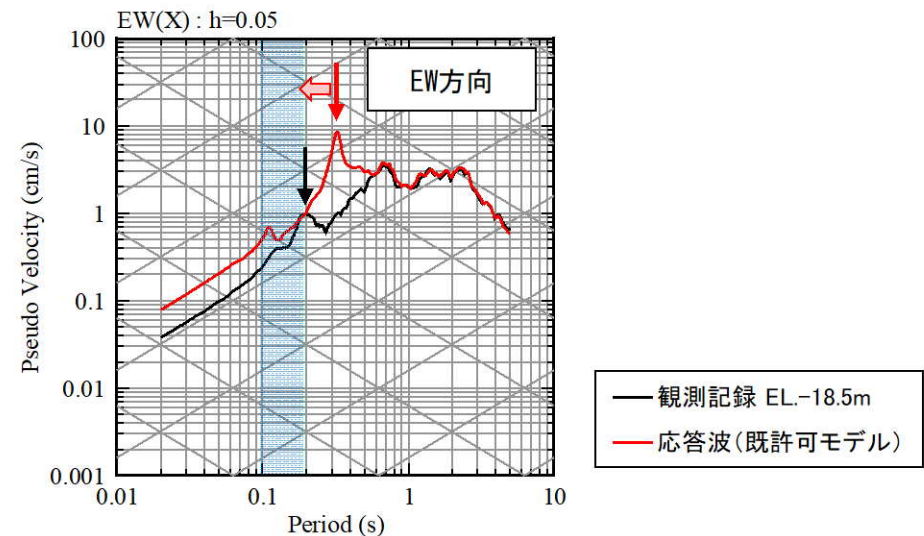
速度構造を見直したモデルの設定 (1/2)

- 観測記録の応答スペクトルのピークは周期0.1秒から0.2秒に見られるのに対し、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は周期0.3秒から0.4秒に見られ、両者のピーク周期がずれている。
- このピーク周期のずれは、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。（参考②：72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。（参考②：73～75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②】速度構造を見直したモデルの設定

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)

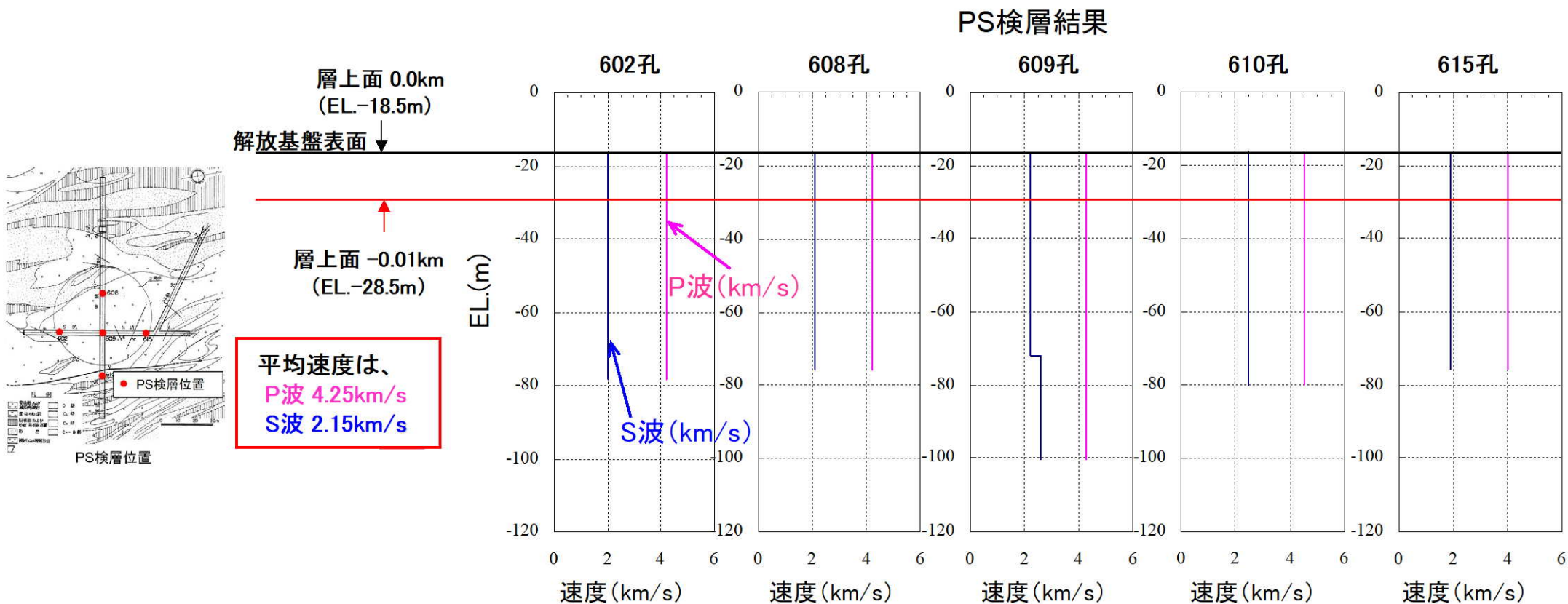
EL.	層上面 (km)	密度 ρ (g/cm ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値	設定根拠 (Vs、Vp)	密度 ρ (g/cm ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値	設定根拠 (Vs、Vp)	
解放基盤表面	-18.5m	0.0	2.70	1500	3200	12.5	試掘坑内弾性波試験	2.70	1500	3200	12.5	試掘坑内弾性波試験
-28.5m	-0.01	2.70	1600	3700	12.5	鉛直アレイ及び微動アレイの速度構造を基に設定	2.70	2150	4400	12.5	PS検層結果を基に設定	
-200m	-0.182	2.70	1600	3700	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②】 速度構造を見直したモデルの設定

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）によると、解放基盤表面付近では $V_s=2150\text{m/s}$ 、 $V_p=4250\text{m/s}$ である。

第18回審査会合資料より抜粋



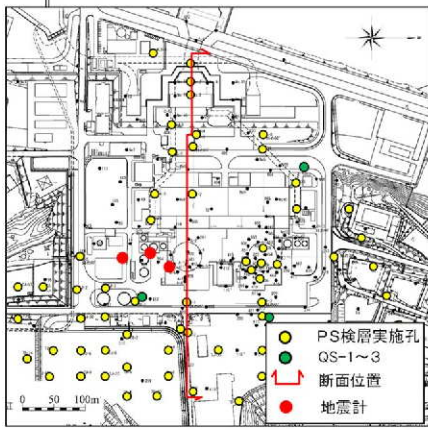
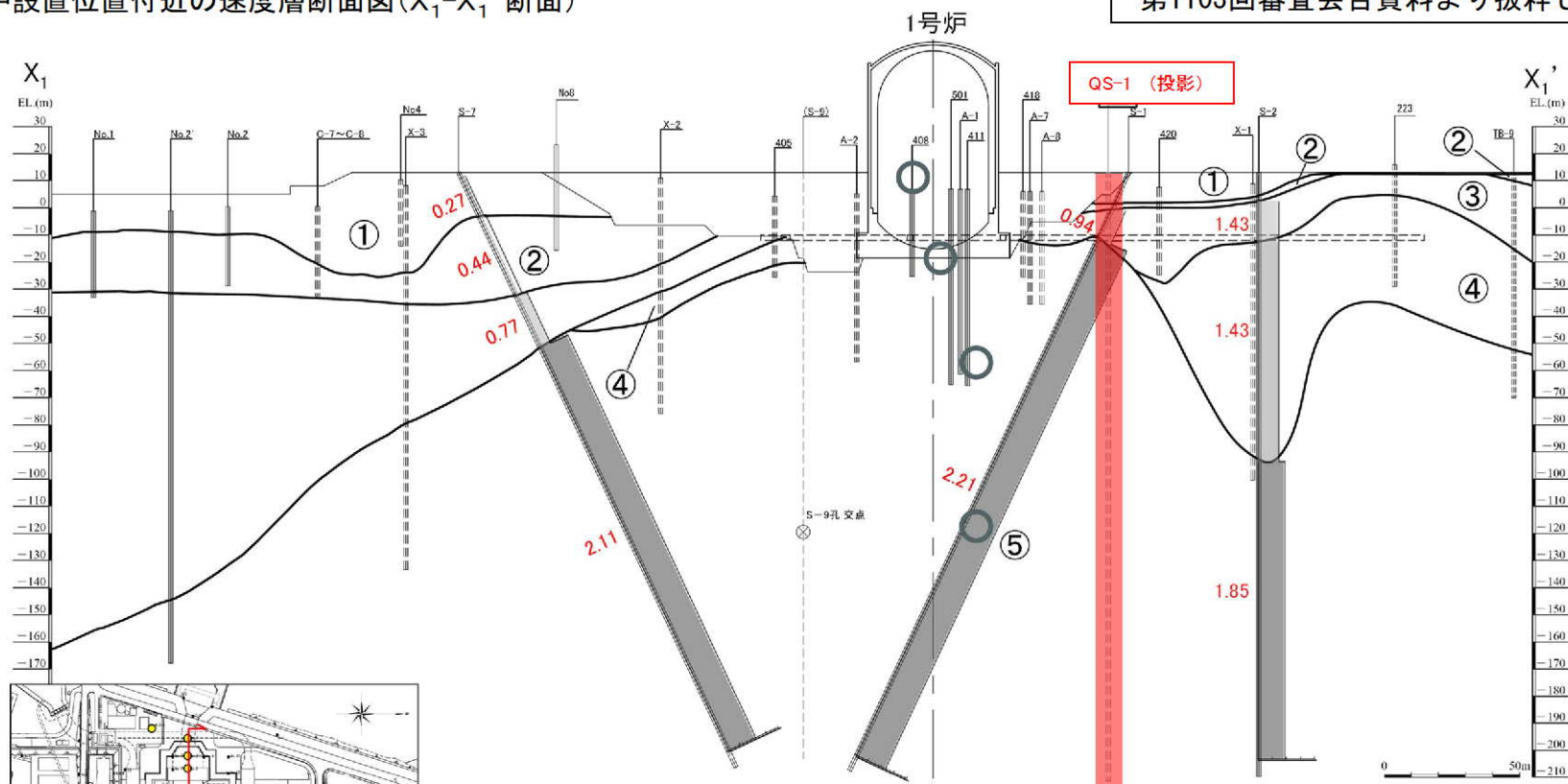
【参考②】速度構造を見直したモデルの設定

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によると、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は $V_s=2050\text{m/s}$ 、 $V_p=4330\text{m/s}$ 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)

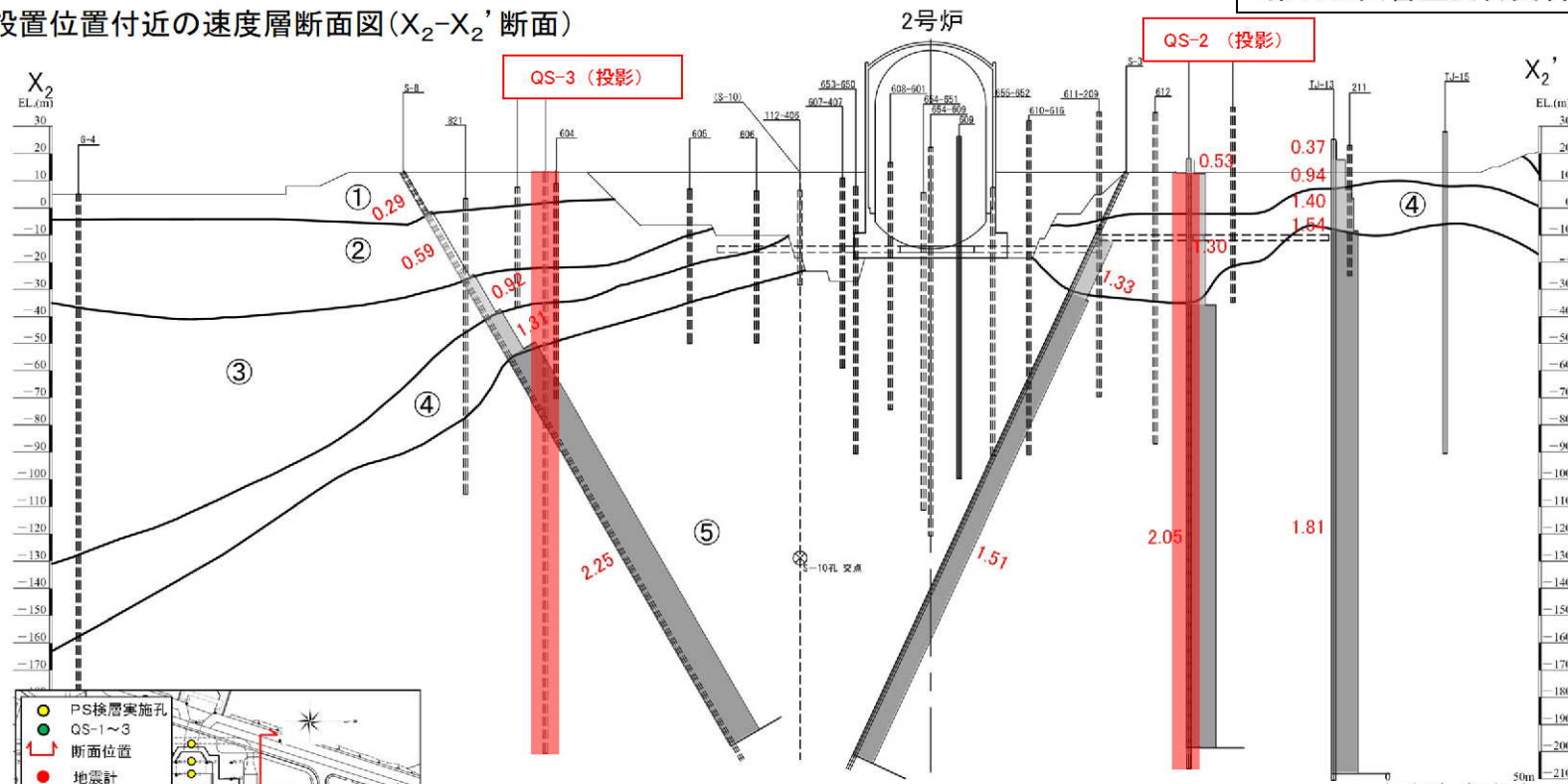
※第1103回会合資料の抜粋に、試掘坑位置、各速度層区分のP波速度、追加ボーリング位置 (QS-1~3) 及び地震計設置位置を追記

【参考②】速度構造を見直したモデルの設定

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によると、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は $V_s=2050\text{m/s}$ 、 $V_p=4330\text{m/s}$ 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 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

※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

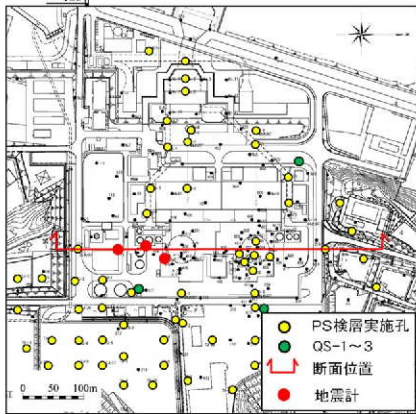
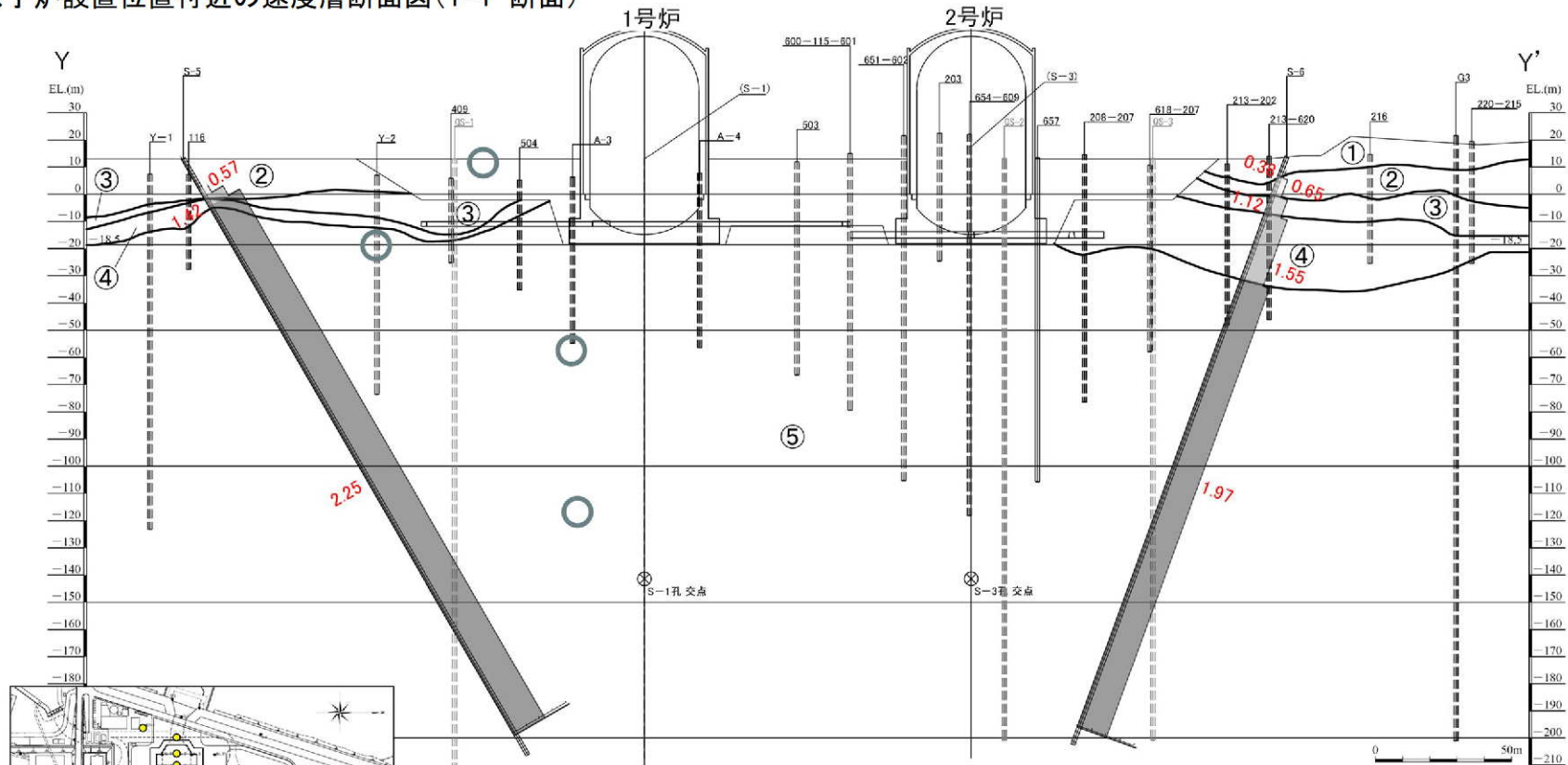
【参考②】速度構造を見直したモデルの設定

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によると、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は $V_s=2050\text{m/s}$ 、 $V_p=4330\text{m/s}$ 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

- 既許可では、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」のうち「断層モデルを用いた手法による地震動評価」において、長周期帯の理論的手法による地震動評価への適用を目的に、解放基盤以深の地下構造モデルを設定。

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	試掘坑内 弾性波試験	慣用値 (Vs/15~10)
-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		

【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）

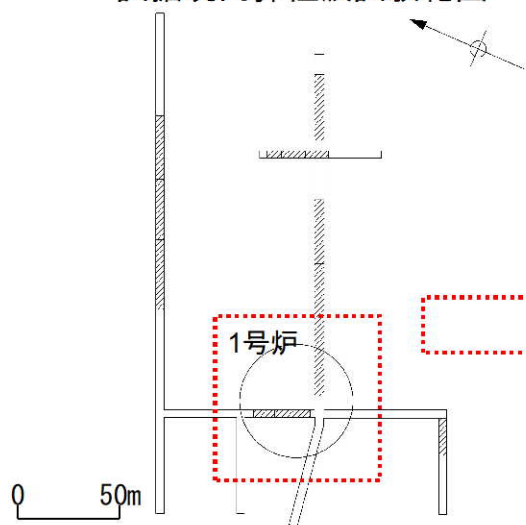
第18回審査会合資料より抜粋（一部修正）

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。

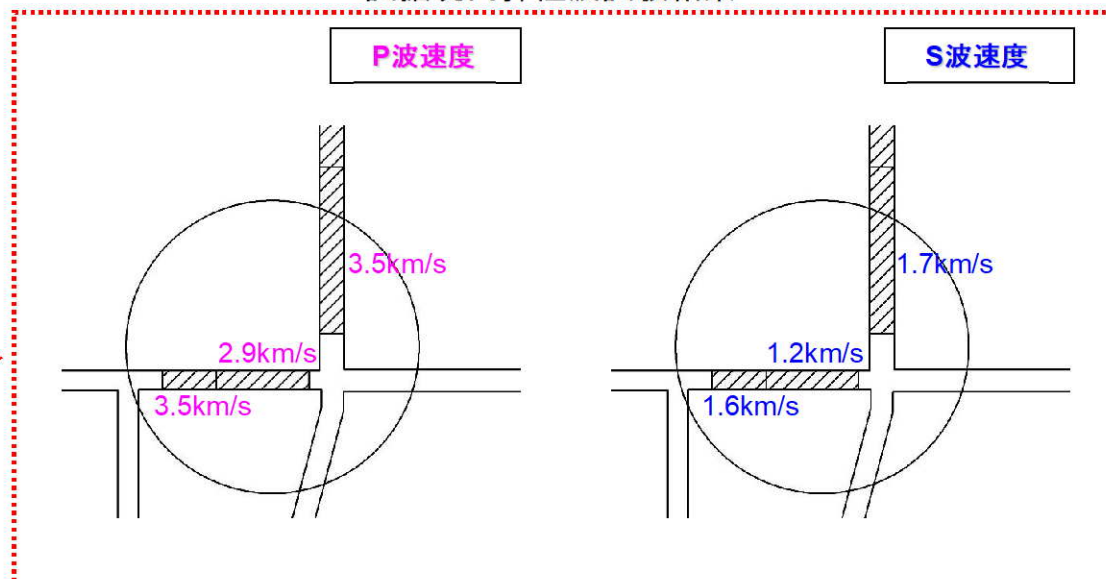
平均速度は、
P波 3.20km/s
S波 1.50km/s

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	

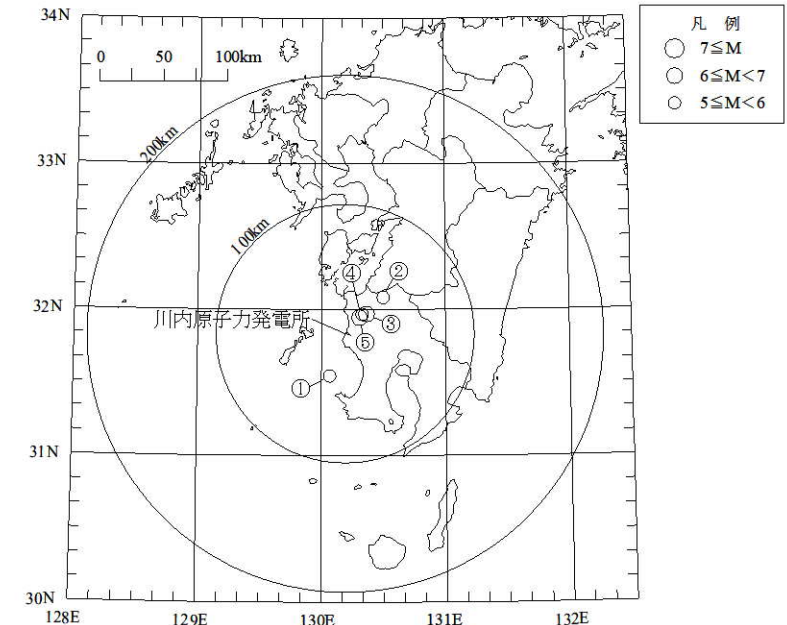
第18回審査会合資料より抜粋(一部修正)

- 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

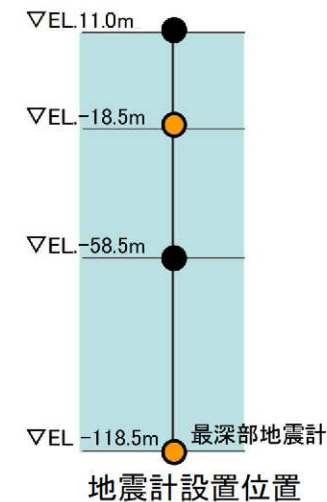
EW方向

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

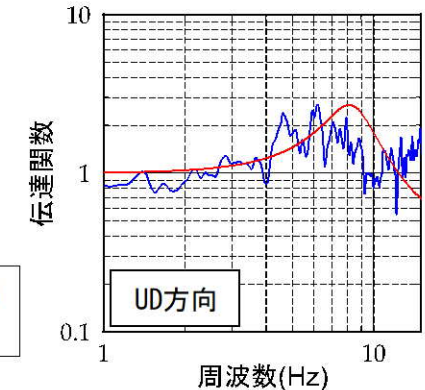
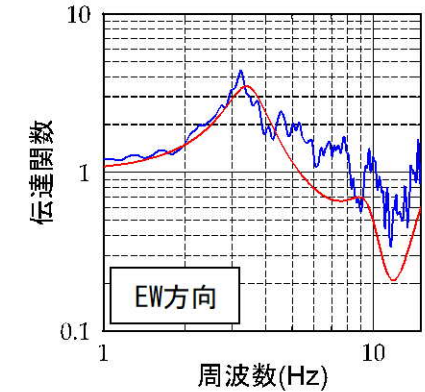
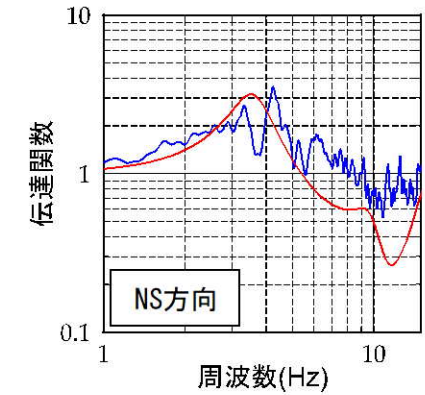
UD方向

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

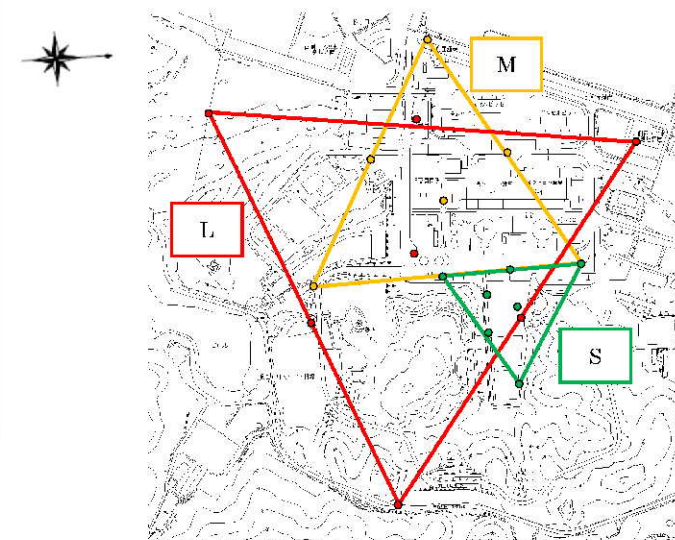


【参考③】既許可の地下構造モデル

◆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。

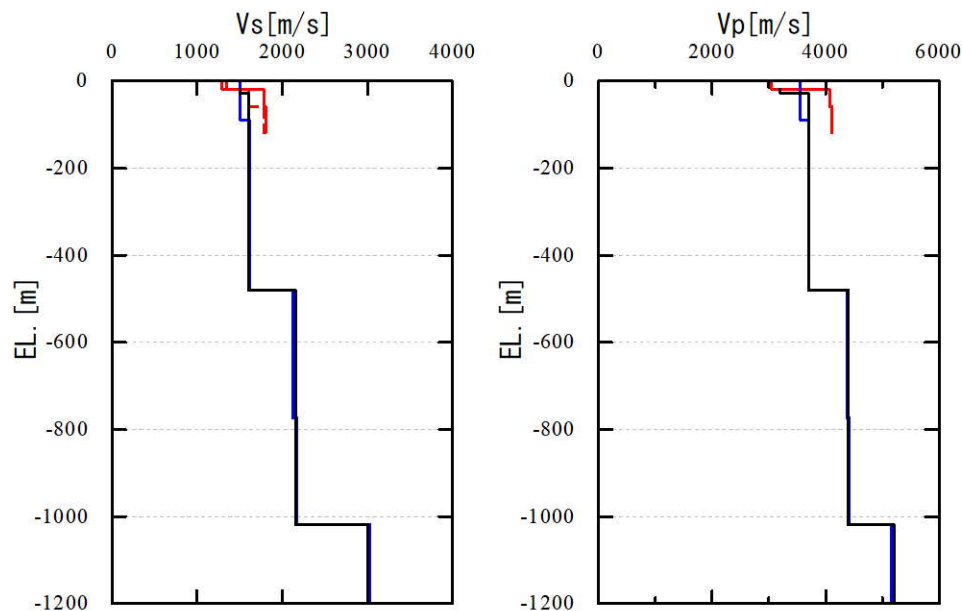
第18回審査会合資料より抜粋(一部修正)



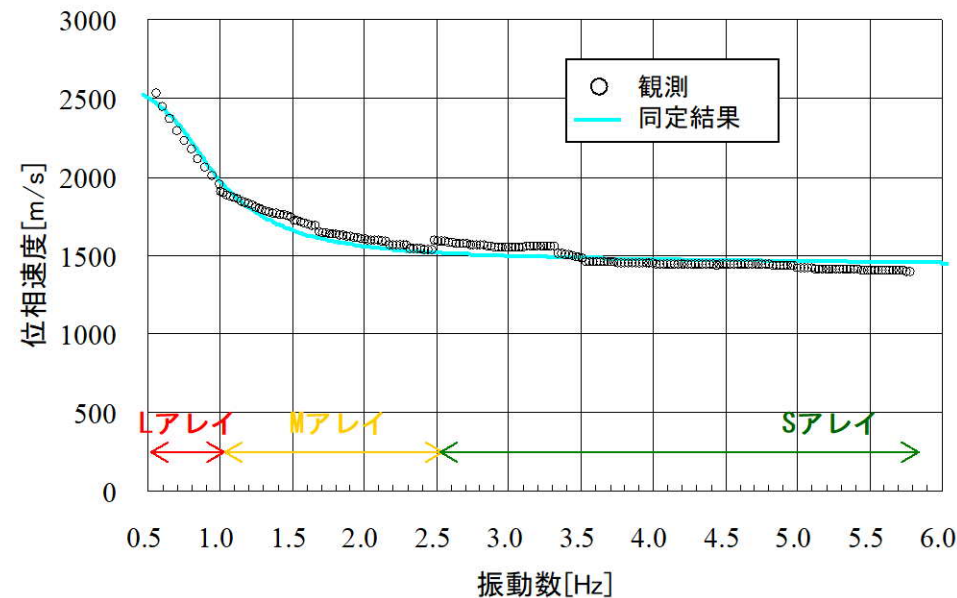
微動アレイ観測位置

— 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

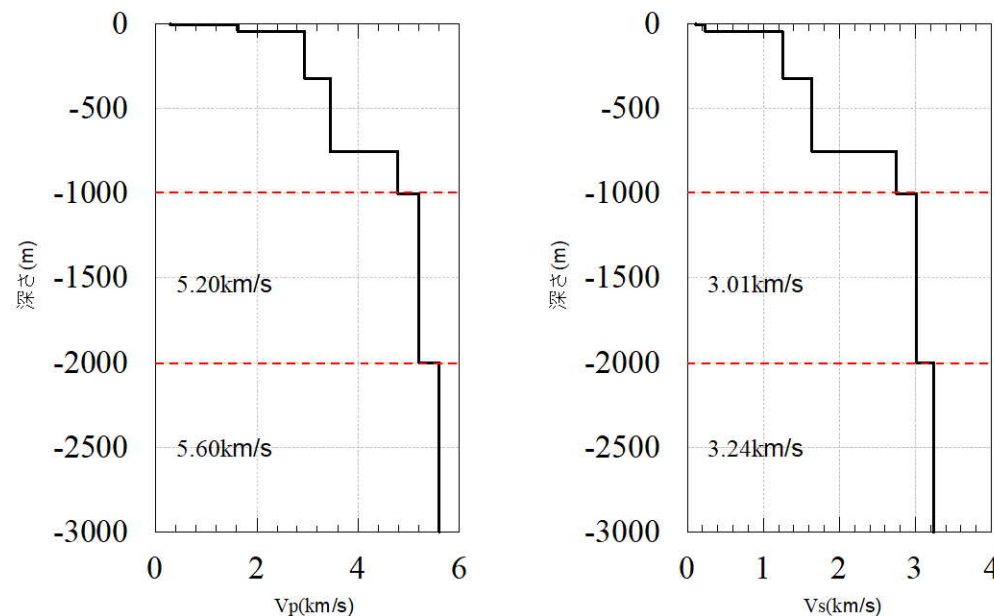
【参考③】 既許可の地下構造モデル

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

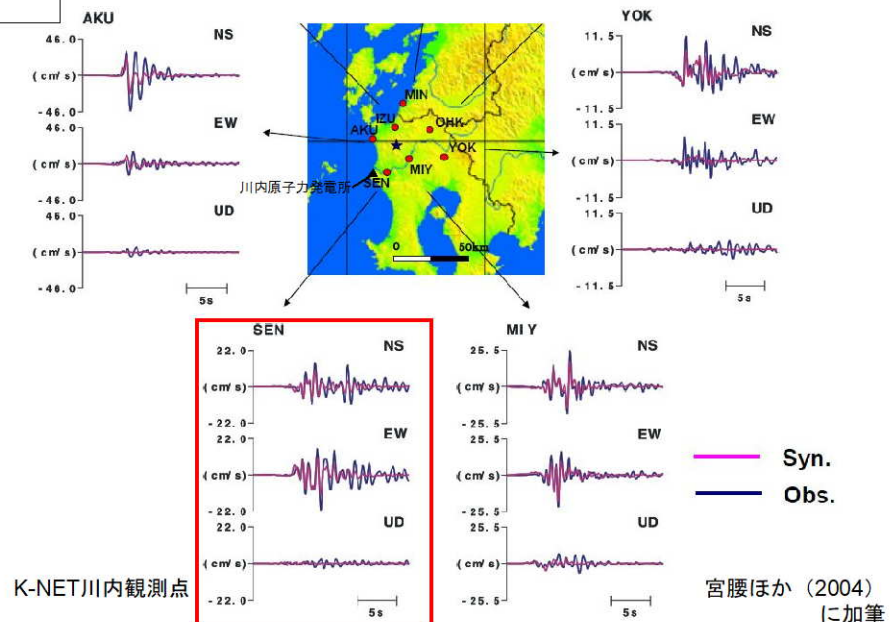
第18回審査会合資料より抜粋(一部修正)

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

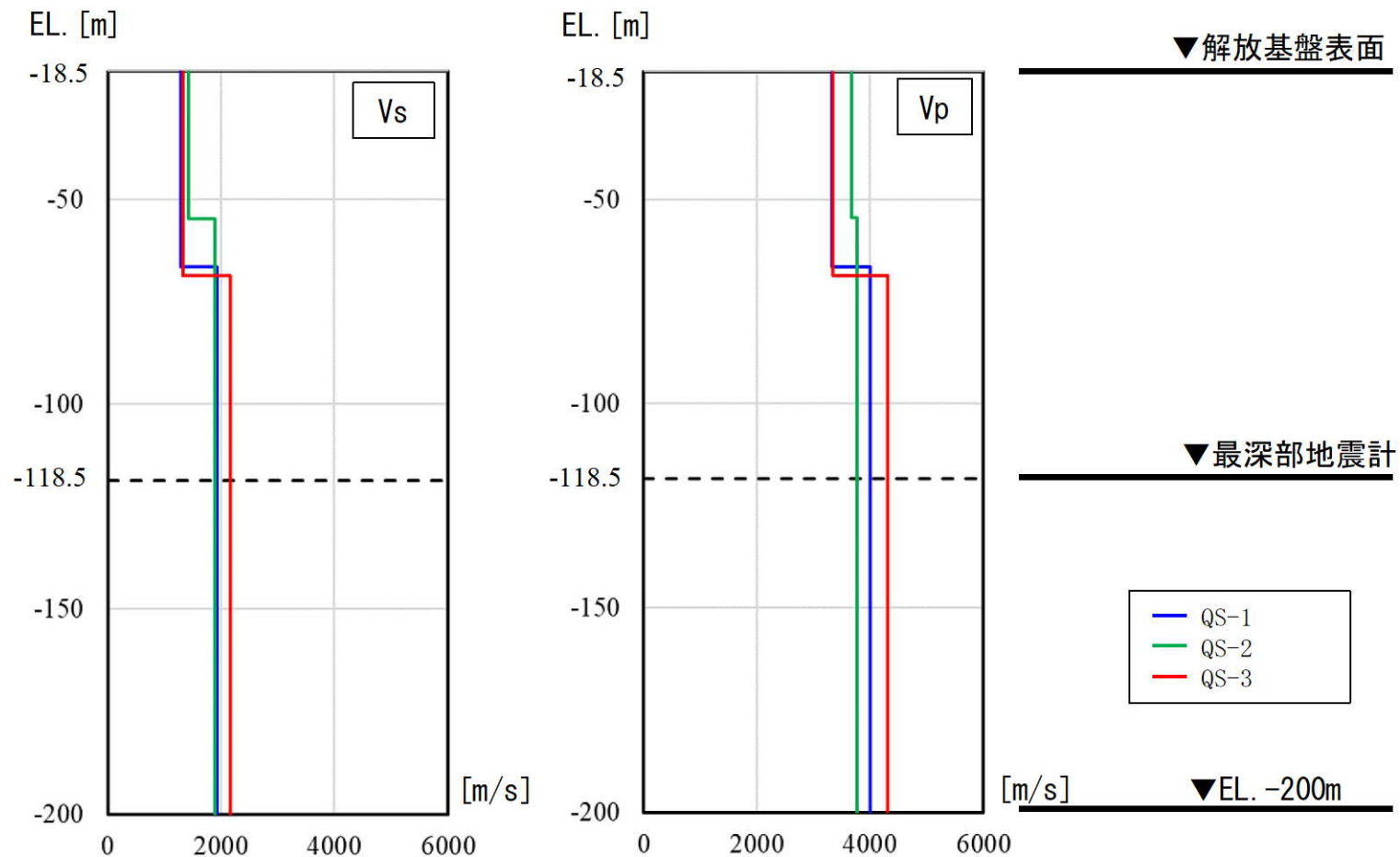
名称	上面深度 (km)	層厚 (km)	S波速度 (km/s)	P波速度 (km/s)	密度 (g/cm ³)	Q
上部地殻	3	14	3.5	5.9	2.70	300
下部地殻	17	16	3.8	6.6	3.00	500
上部マントル	33	∞	4.3	7.6	3.30	500

※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-1~3) 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。(参考②: 73~74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。(参考②: 73、75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. -118.5~EL. -200mの範囲で実施する。



【参考⑤】ボーリング孔内Q値に関する知見

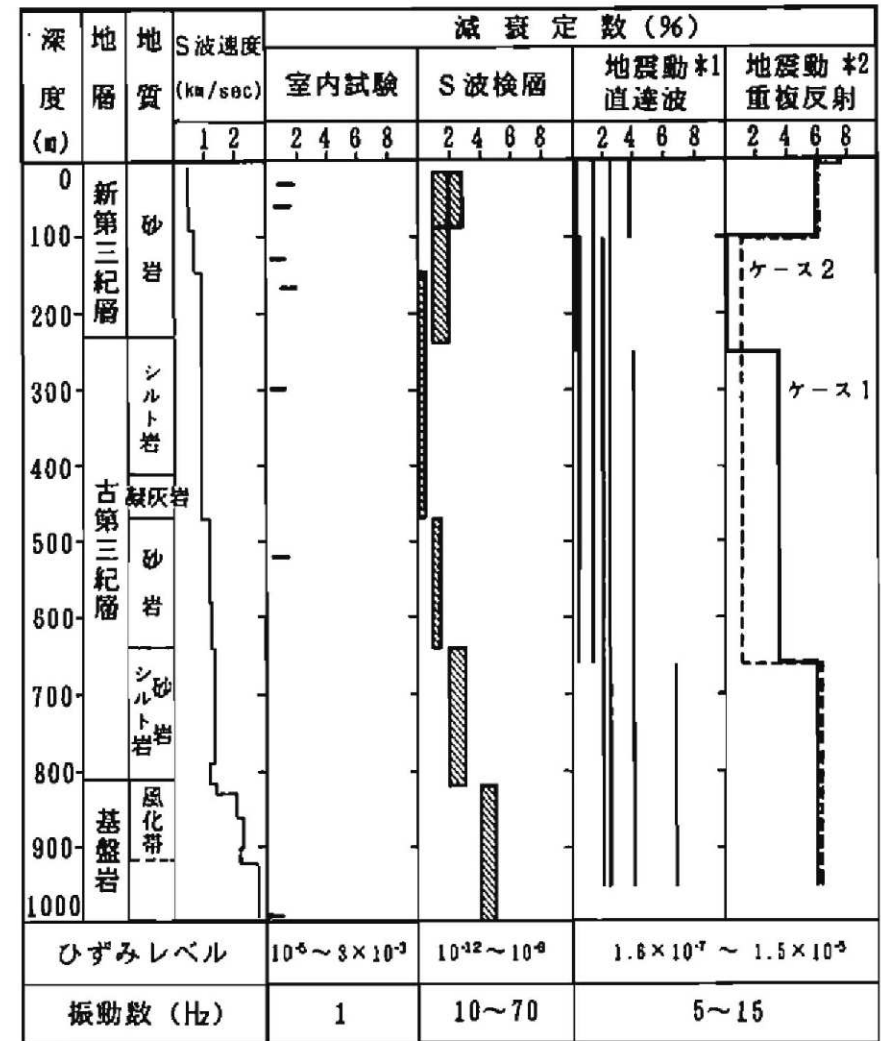
【参考⑤】ボーリング孔内Q値に関する知見

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

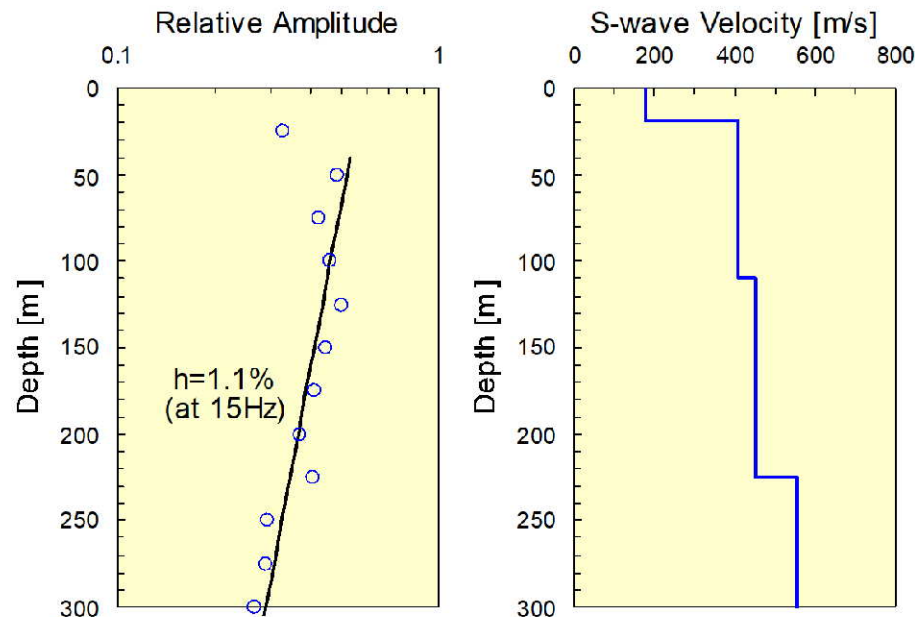
*2) 層分割の異なる2つの最適モデルを示す。

各種の手法による減衰定数の比較

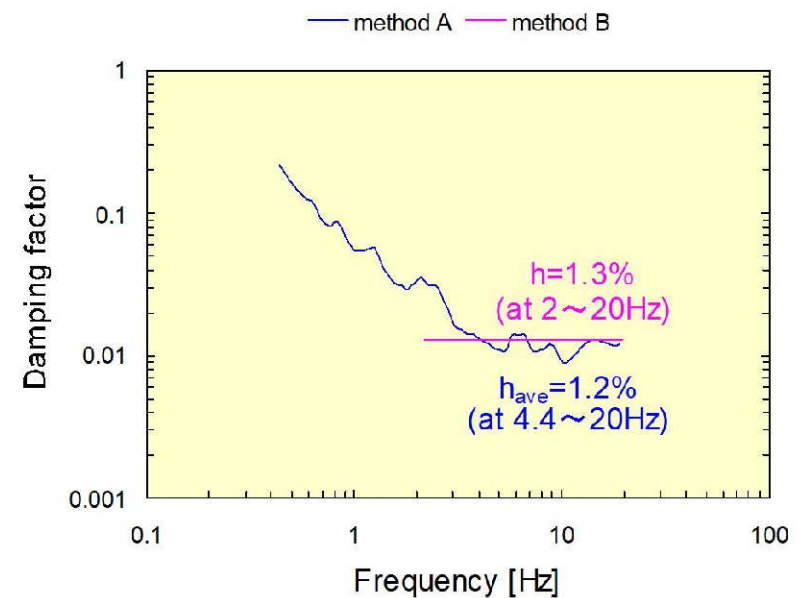
【参考⑤】ボーリング孔内Q値に関する知見

■ 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



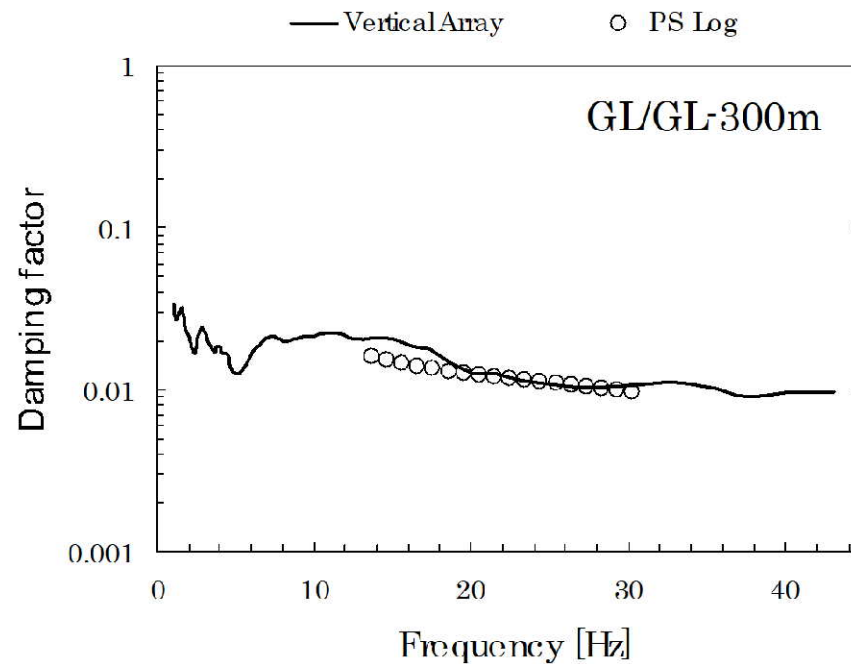
成田観測点の地盤同定解析結果

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。

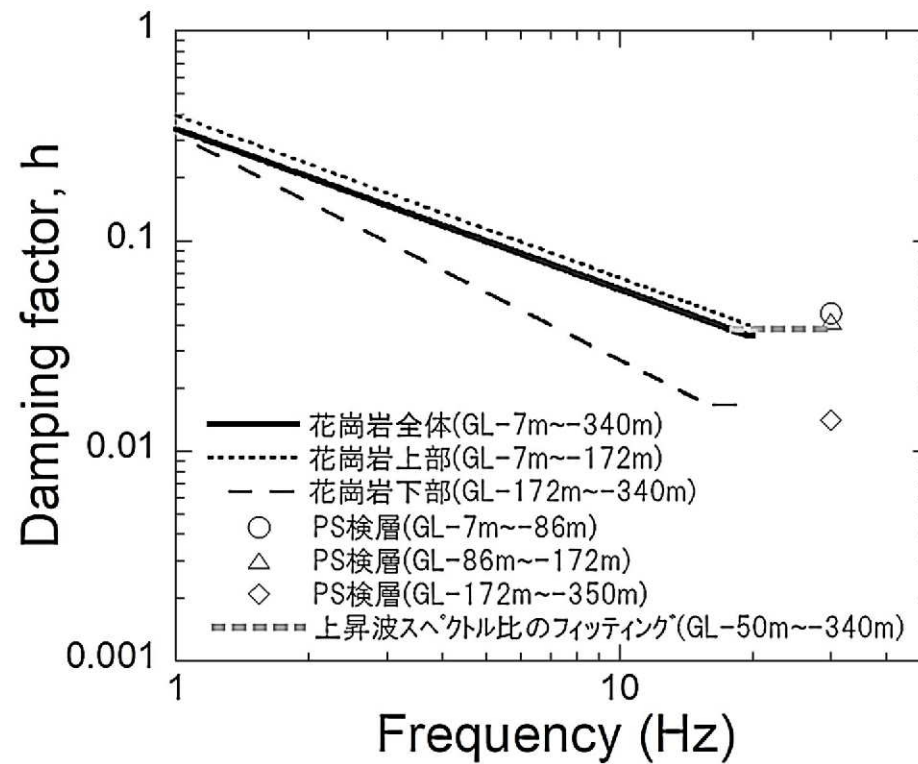


PS検層及び鉛直アレー記録に基づき推定された
S波の減衰定数の比較

【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