

川内原子力発電所1号炉、2号炉審査資料	
資料番号	TTS-029
提出年月日	2023年6月15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15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. 12
4.	地下構造モデルの設定	P. 15
4.1	地下構造モデルの設定	P. 16
4.2	地下構造モデルの適用性確認	P. 21
4.3	まとめ	P. 37
5.	今後の取り組み	P. 38
	【補足①】 ボーリング孔内減衰測定結果	P. 39
	【補足②】 EL. -200m以浅の保守性の確認	P. 43
	【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	P. 50
	【参考②】 応答スペクトルの比較結果	P. 58
	【参考③】 既許可の地下構造モデル	P. 79
	【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. 89
	【参考⑤】 ボーリング孔内Q値に関する知見	P. 94



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

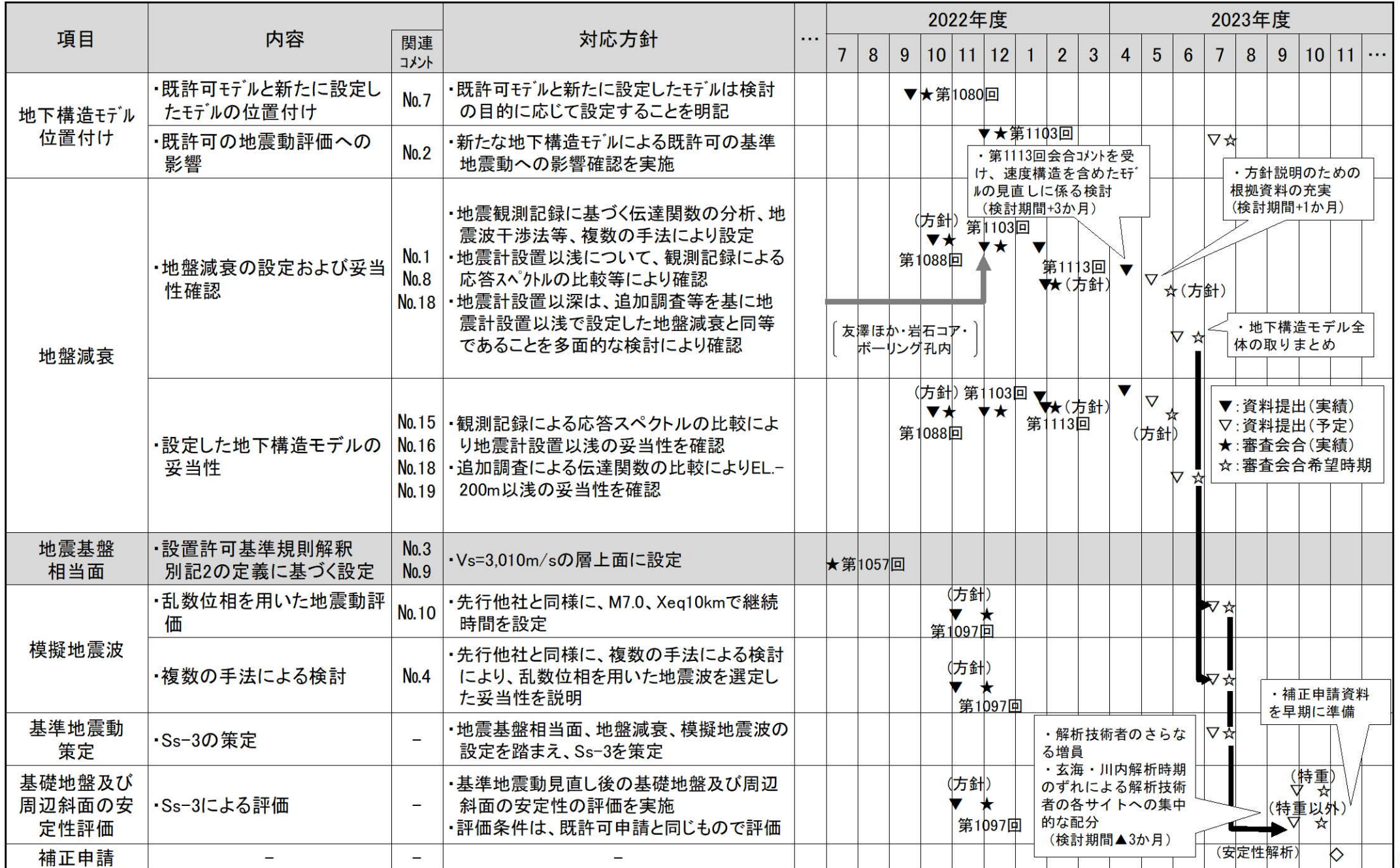
No.	コメント	指摘場所	対応状況
11	地震動評価にあたって、どのような地下構造モデルを使うのか方針を示すこと。	第1049回 原子力発電所の 新規制基準適合性に 係る審査会合 (令和4年5月20日)	第1057回会合にて説明
12	全体スケジュールを考慮した上で、地下構造モデル設定、地震動評価及び全体方針を示すこと。		第1057回会合にて説明
13	審査全体を見通した上で、スケジュールを示すこと。	第1057回 原子力発電所の 新規制基準適合性に 係る審査会合 (令和4年7月1日)	第1080回会合にて説明
14	今回地下構造モデルの方針を変更していることから、説明済みとなっているコメントに関しても、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~P11)
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 (P12~P38)

1. コメントリスト及び今後の審査スケジュール

■ 審査スケジュール（第1142回審査会合提示）



1. コメントリスト及び今後の審査スケジュール

■ 審査スケジュール（見直し後）

項目	内容	関連 コメント	対応方針	2022年度												2023年度																												
				...	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	...																						
地下構造モデル	現申請モデル	No.1 No.2 No.7 No.8 No.15 No.16 No.18	・モデルの位置づけ ・既許可の地震動評価への影響 ・地盤減衰の設定および妥当性確認 ・設定した地下構造モデルの妥当性	・現申請モデルから既許可モデルへ方針見直し					▼★第1080回 (方針)																																			
	既許可モデル	No.19 No.20	・地下構造モデルの設定方針 ・既許可モデルの適用性確認	・既許可モデルを用いる方針 ・既許可モデルについて、既許可以降継続的に取得している観測事実等に基づき、短周期帯から長周期帯までの全ての周期帯への適用性を確認																																								
地震基盤相当面	・設置許可基準規則解釈別記2の定義に基づく設定	No.3 No.9	・Vs=3,010m/sの層上面に設定		★第1057回																																							
模擬地震波	・乱数位相を用いた地震動評価	No.10	・先行他社と同様に、M7.0、Xeq10kmで継続時間を設定						(方針)																																			
	・複数の手法による検討	No.4	・先行他社と同様に、複数の手法による検討により、乱数位相を用いた地震波を選定した妥当性を説明						(方針)																																			
基準地震動策定	・Ss-3の策定	-	・地震基盤相当面、地盤減衰、模擬地震波の設定を踏まえ、Ss-3を策定																																									
基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価	・Ss-3による評価	-	・基準地震動見直し後の基礎地盤及び周辺斜面の安定性の評価を実施 ・評価条件は、既許可申請と同じもので評価						(方針)																																			
補正申請	-	-	-																																									

・既許可モデルへの見直し

▼: 資料提出(実績)
▽: 資料提出(予定)
★: 審査会合(実績)
☆: 審査会合希望時期

(特重) ☆
(特重以外) ☆
(安定性解析) ◇

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。

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

- 既許可モデルは、現申請モデル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、観測記録と同等もしくは上回ることから、現申請モデルに比べて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)

また、現申請モデルに対するコメントを踏まえ、観測記録との整合性を改善するため、速度構造の見直しの検討を実施した結果、観測記録との整合性が改善する傾向が見られた。一方で、地下深部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、妥当性の説明に時間を要する。(参考①)

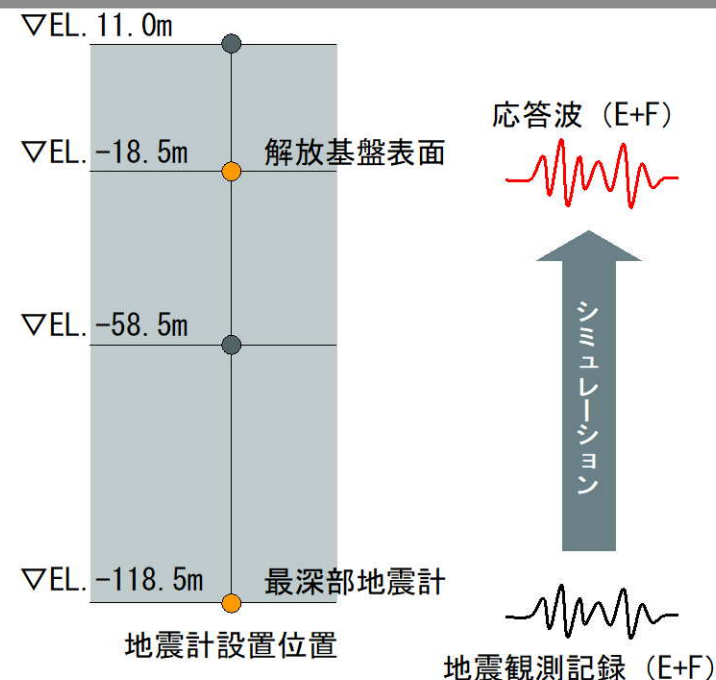


- 以上を踏まえ、経過措置期限を考慮し、迅速に標準応答スペクトルを考慮した評価を行い安全裕度の向上を図るべきとの観点に立ち、既許可モデルを用いる方針とする。

2. コメント回答方針

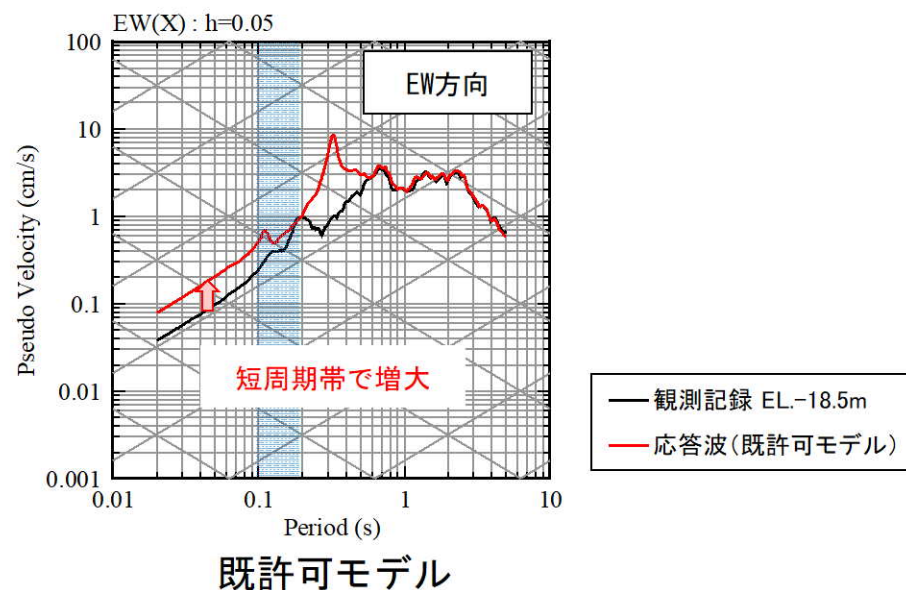
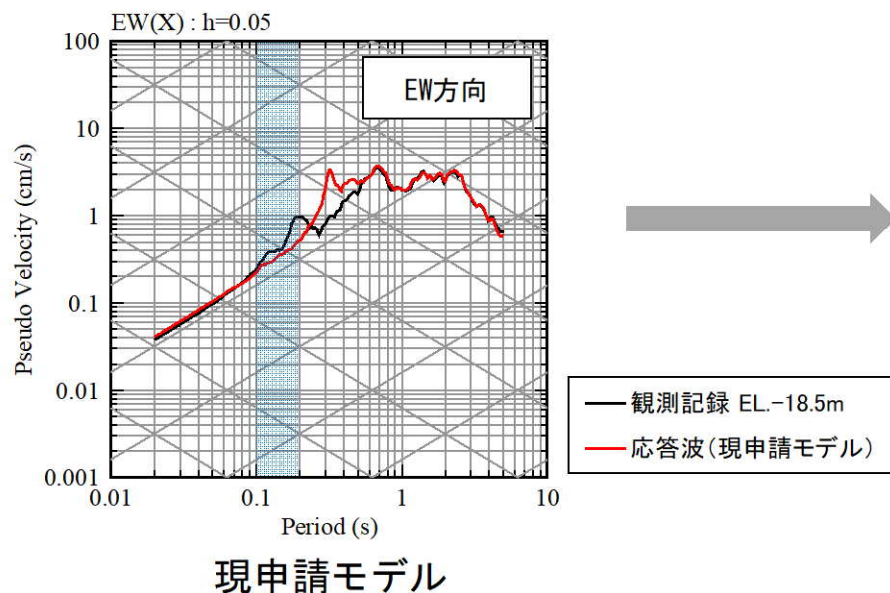
既許可モデルによる観測記録との整合性確認

- 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。
- 既許可モデルは、現申請モデルより、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、観測記録と同等もしくは上回ることから、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。（参考②）
- 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。



※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

〔①〕熊本県熊本地方（2016年熊本地震本震）の例〕



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。
 - 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たが、その設定根拠とした鉛直アレイ観測及び微動アレイ観測等は長周期帯に限定したのではなく、短周期から長周期までの全ての周期帯の地震動評価に用いることができると判断した。(4.1節)
- 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。

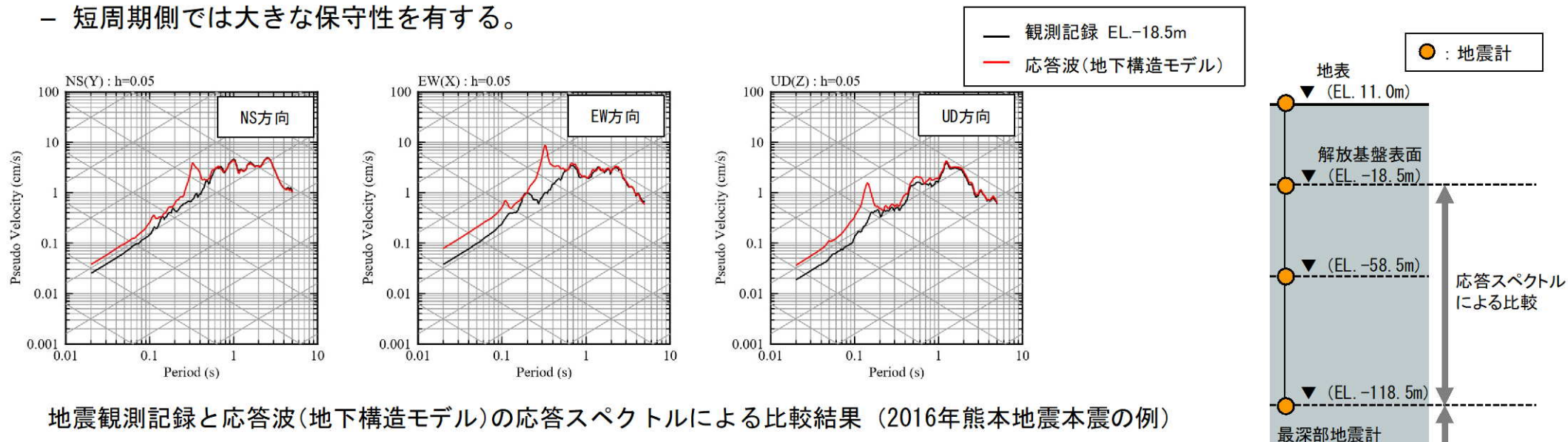
長周期帯における理論的手法による地震動評価及び
標準応答スペクトルを考慮した地震動評価に用いる地下構造モデル

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	

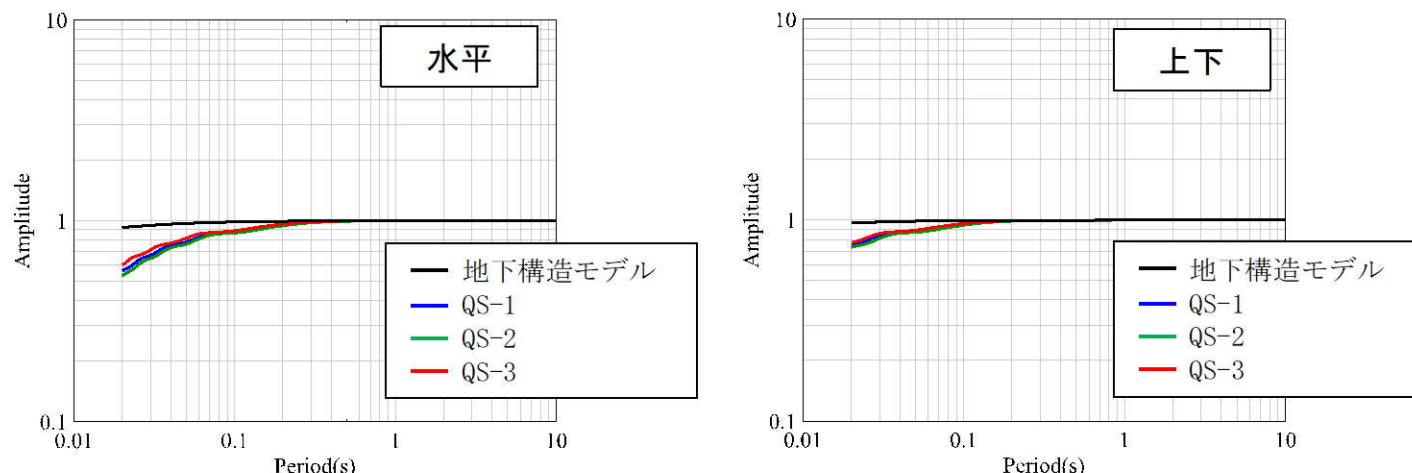
3. 地下構造モデルの設定の概要

■ 短周期から長周期までの全ての周期帯への適用性確認

- 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（応答スペクトル）やボーリング孔内減衰測定結果等（伝達関数）の観測事実等（EL. -200m以浅）に照らしても、短周期から長周期までの全ての周期帯への適用性を有することを確認。（4.2節）
 - 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)



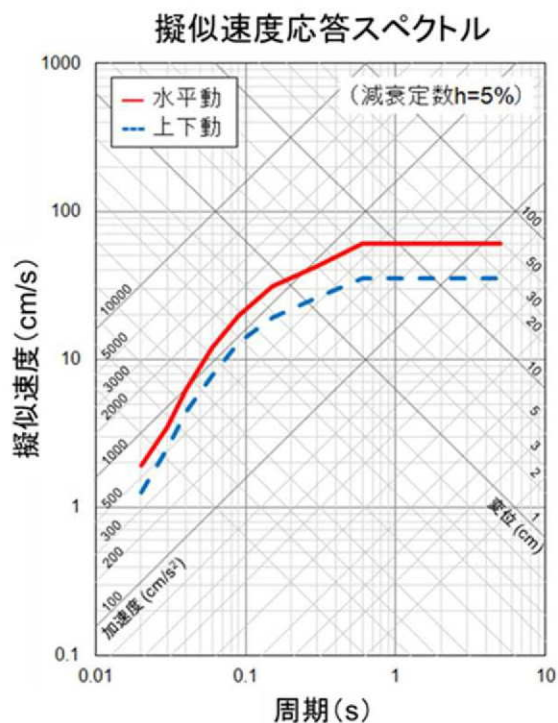
ボーリング孔内減衰測定結果と地下構造モデルの伝達関数による比較結果

4. 地下構造モデルの設定

4.1 地下構造モデルの設定

■ 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

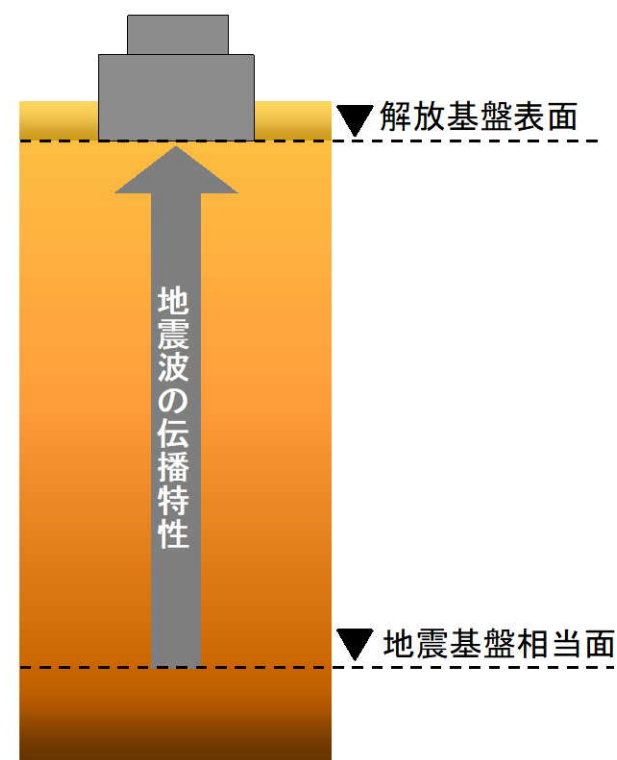
- 標準応答スペクトルは、周期0.02秒から5秒までの応答スペクトルで定義されることを踏まえ、全ての周期帯に適用できる地下構造モデルを設定することが必要となる。
- また、標準応答スペクトルは、地震基盤相当面で定義されるため、地震基盤相当面から解放基盤表面までの地下構造モデルを設定する。



地震基盤相当面における標準応答スペクトル

コントロールポイント

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



標準応答スペクトルを考慮した
地震動の評価のイメージ

4.1 地下構造モデルの設定

■ 地下構造モデルの設定 (1/2)

- 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（参考③）を用いる。
 - 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たが、その設定根拠とした鉛直アレイ観測及び微動アレイ観測等は長周期帯に限定したのではなく、短周期から長周期までの全ての周期帯の地震動評価に用いることができると判断した。
- 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（EL. -200m以浅）に照らしても、短周期から長周期までの全ての周期帯への適用性を有することを確認する。
 - 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）（19頁）
 - EL. -200mまでのボーリング孔内減衰測定を3箇所を実施。（20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

■ 地下構造モデルの設定 (2/2)

- 設定根拠は下表のとおり。(参考③)

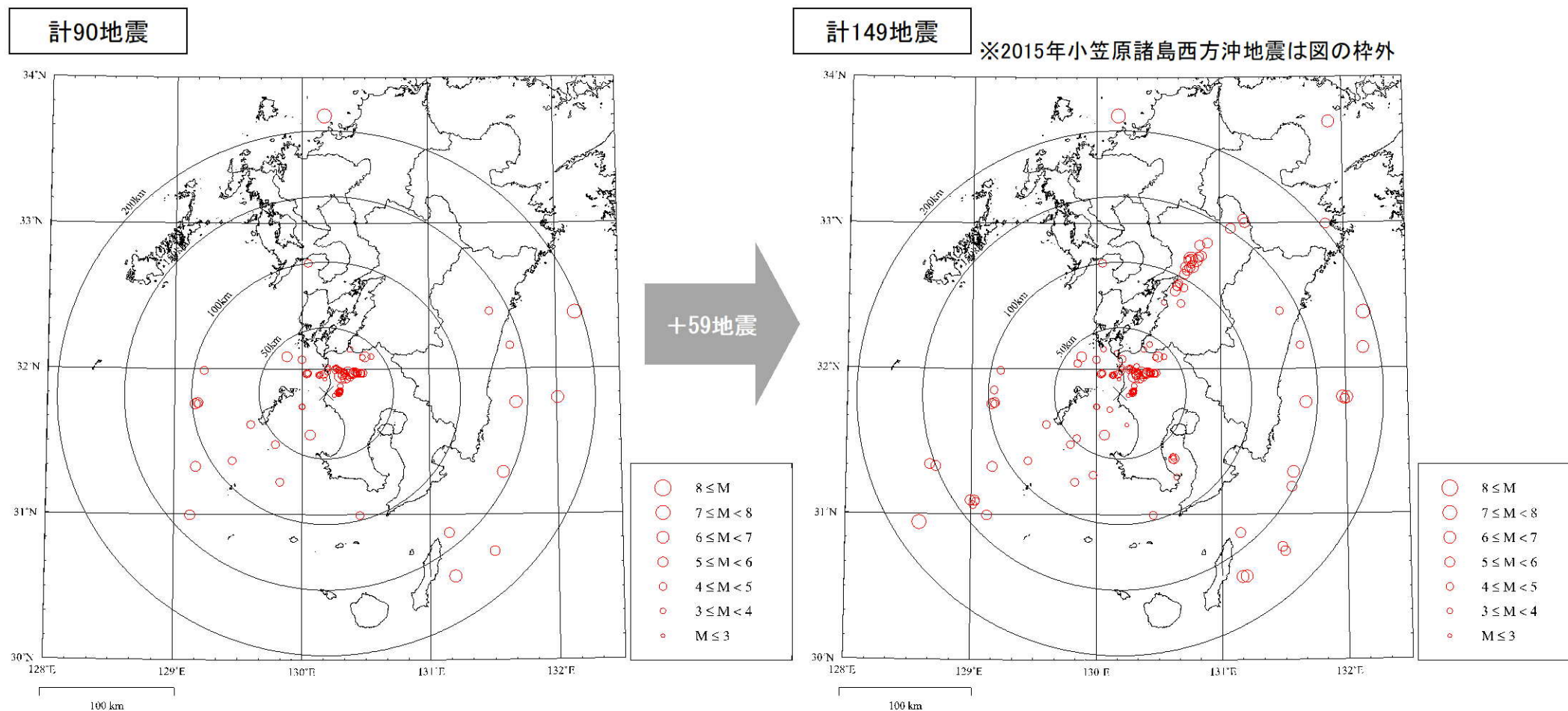
既許可モデルの設定根拠

	層上面 (km)	密度 ρ (g/cm ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q 値	設定根拠		
						密度 ρ	Vs、Vp	Q 値
解放基盤表面 EL. -18.5m	0.0	2.70	1500	3200	100	岩石試験 結果を基 に設定	試掘坑内 弾性波試験	慣用値 (Vs/15 ~10)
EL. -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	
EL. -480m	-0.462	2.70	2150	4400	200		微動アレイの 速度構造を基に設 定	
地震基盤相当面 EL. -1018.5m	-1.0	2.70	3010	5200	200		宮腰ほか(2004)を 基に設定	

4.1 地下構造モデルの設定

■ 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）



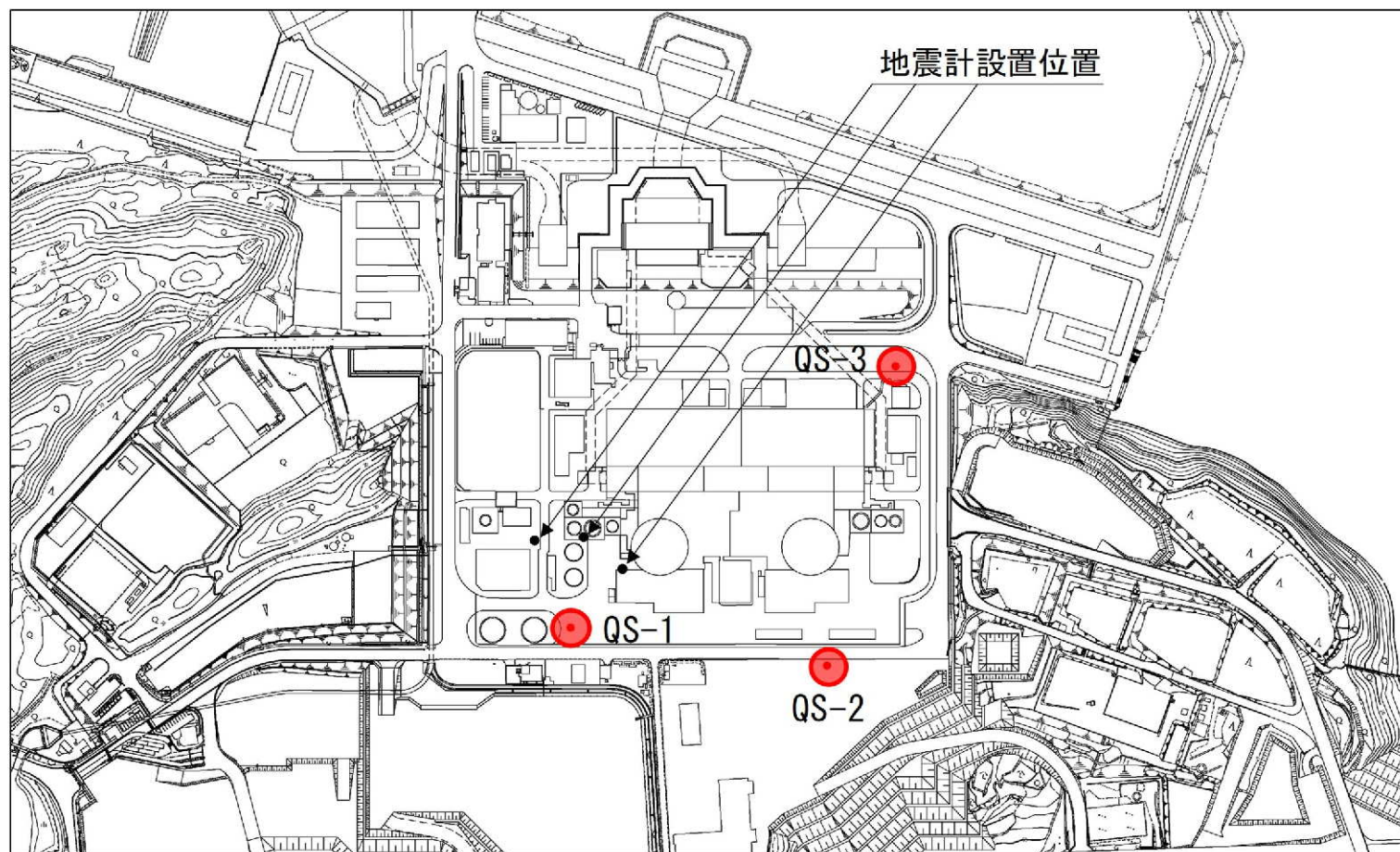
敷地地盤における観測地震の震央分布
(観測開始～既許可時審査)

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

■ 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。（補足①）
- 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

- 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（EL. -200m以浅）に照らしても、短周期から長周期までの全ての周期帯への適用性を有することを、以下の方法により確認した。

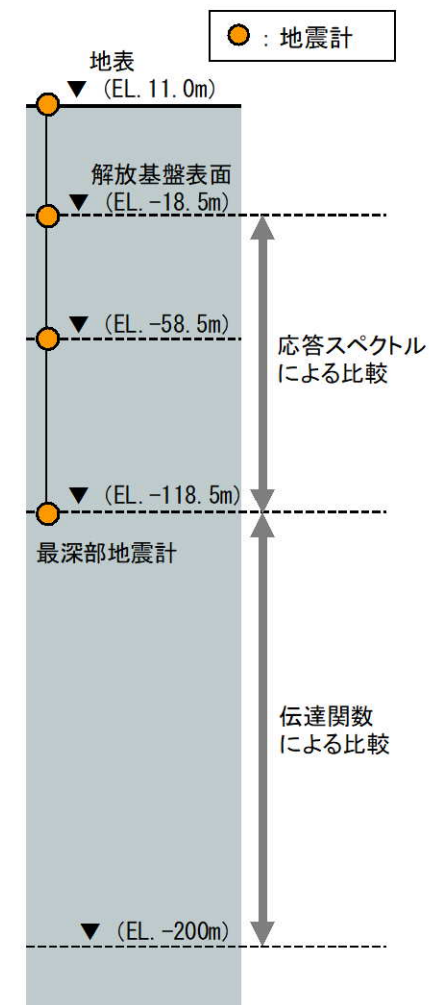
(1) 地震観測記録の応答スペクトルによる適用性の確認（22頁～33頁）

- 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。
- 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（34頁～36頁）

- 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。
- 短周期側では大きな保守性を有する。

- なお、(1) EL. -18.5mからEL. -118.5mの範囲における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において、周期0.1～0.2秒付近で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、(2) 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ため、この2つの範囲を足し合わせたEL. -18.5mからEL. -200mまでの範囲全体では、当該周期帯においても十分な保守性を有すると考えられ、既許可モデルの適用性に影響はない。
- 上記のEL. -18.5mからEL. -200mまでの範囲全体の保守性について確認を実施。（補足②）



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

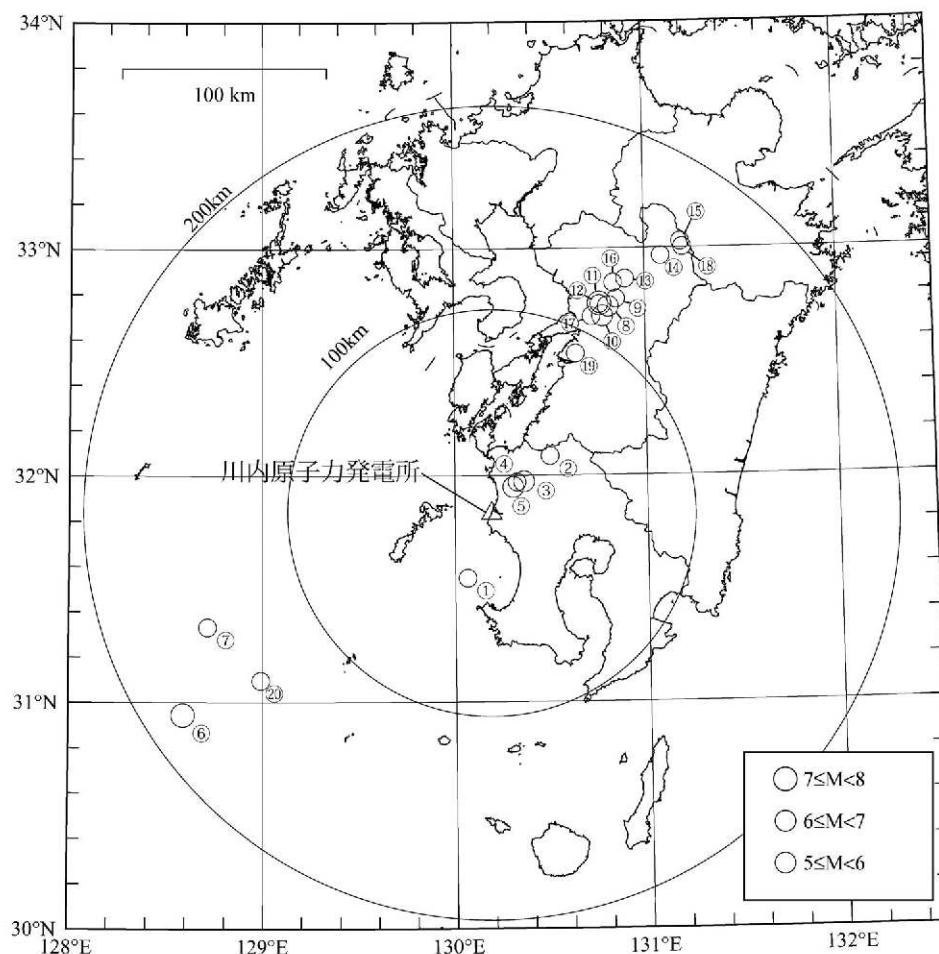
適用性確認に用いる地震諸元 (計20地震)

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

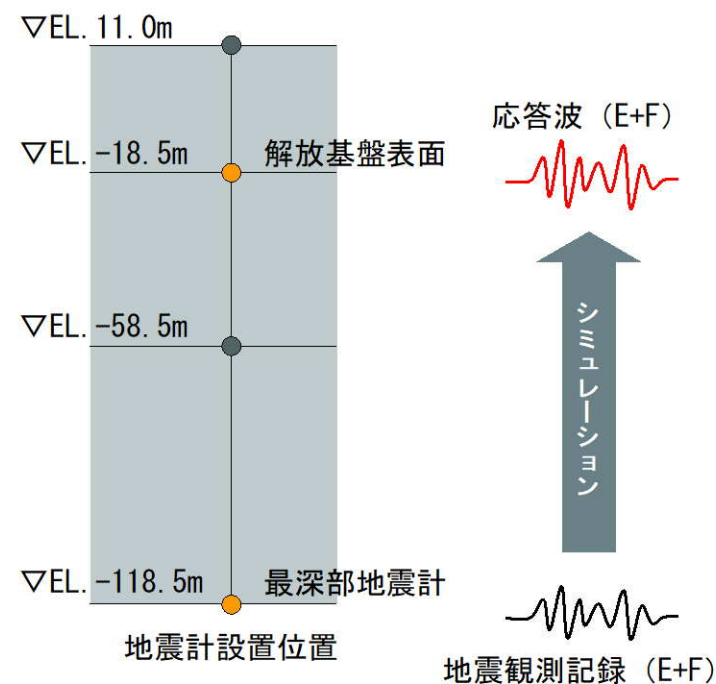


適用性確認に用いる地震の震央位置 (計20地震)

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。（24～33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。
 - また、短周期側では大きな保守性を有する。

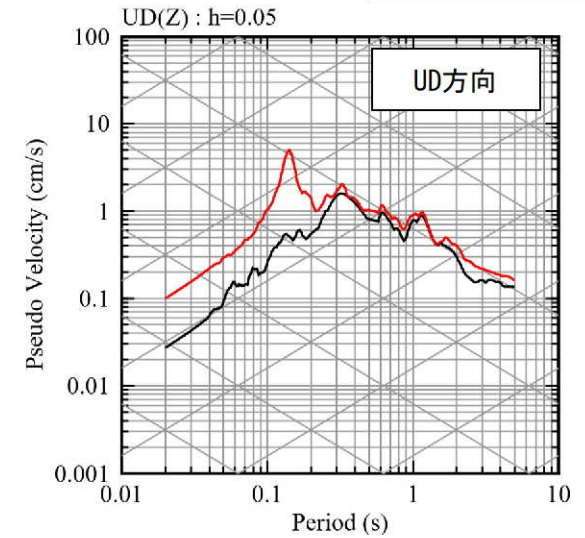
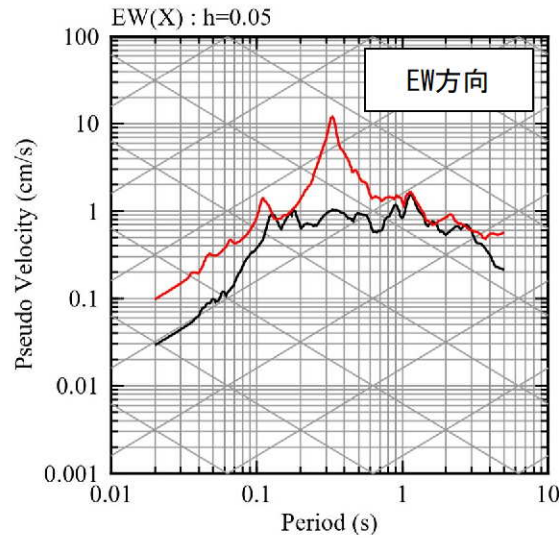
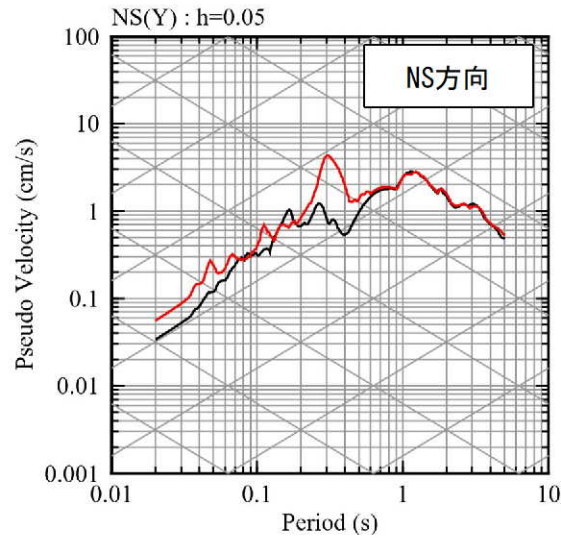


※入力 of 最深部地震計 (EL. -118.5m) で得られた地震観測記録及び出力 of 解放基盤表面 (EL. -18.5m) での応答波は地中記録のため、E+F で評価

4.2 地下構造モデルの適用性確認

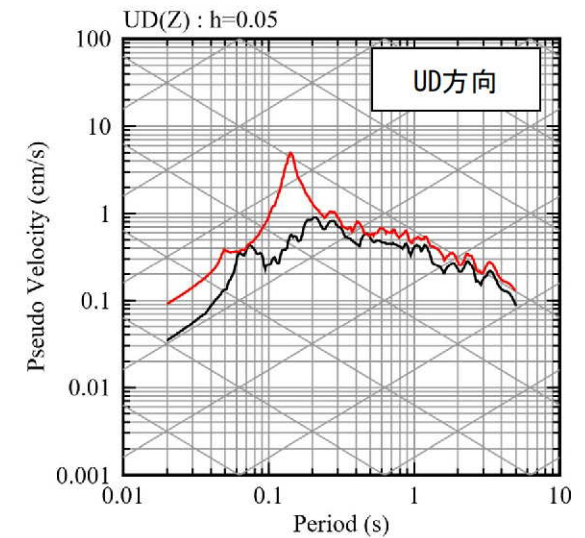
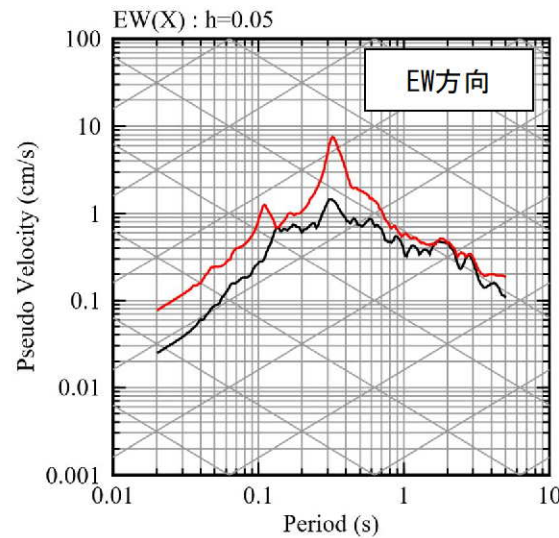
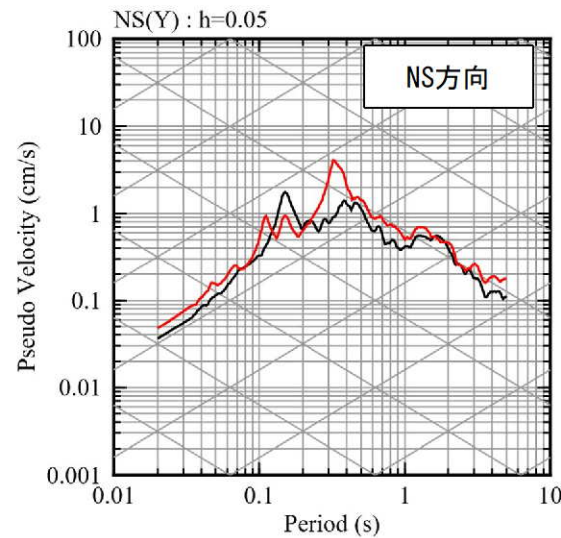
■ 応答スペクトルの比較結果 (1/10)

①九州西側海域



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (既許可モデル)

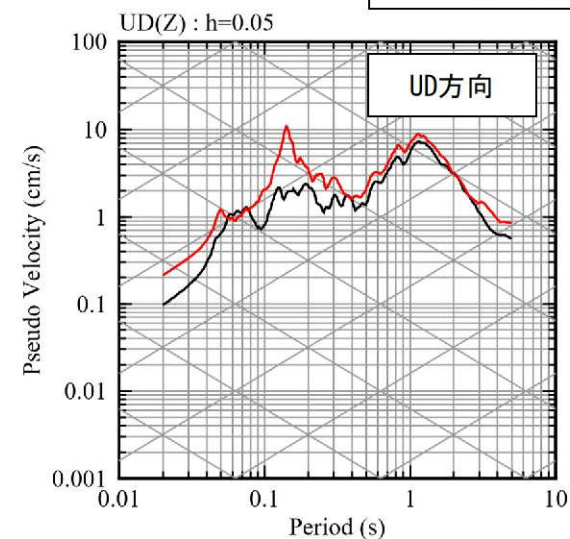
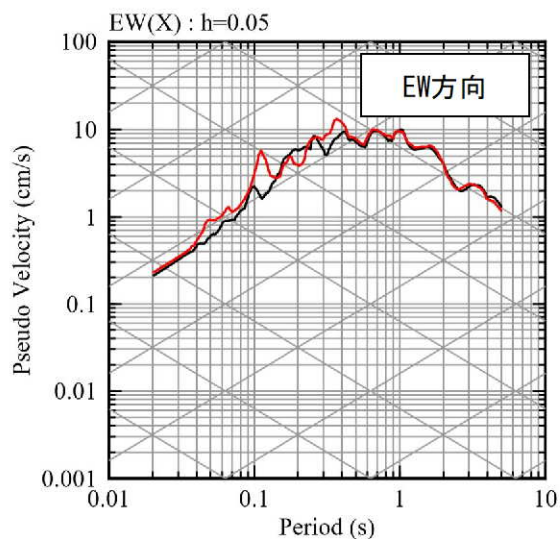
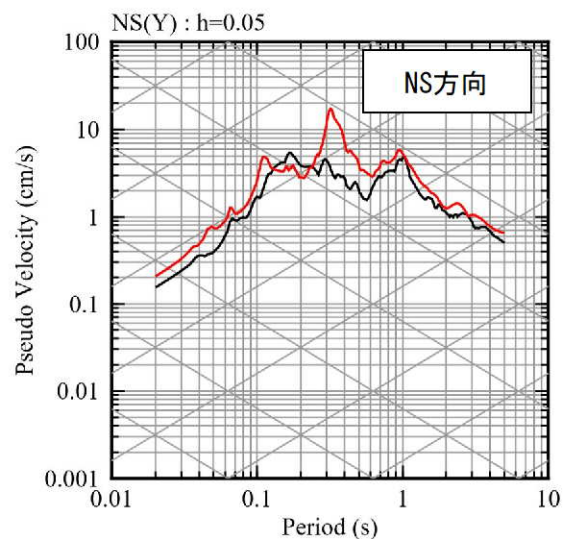
②鹿児島県北西部



4.2 地下構造モデルの適用性確認

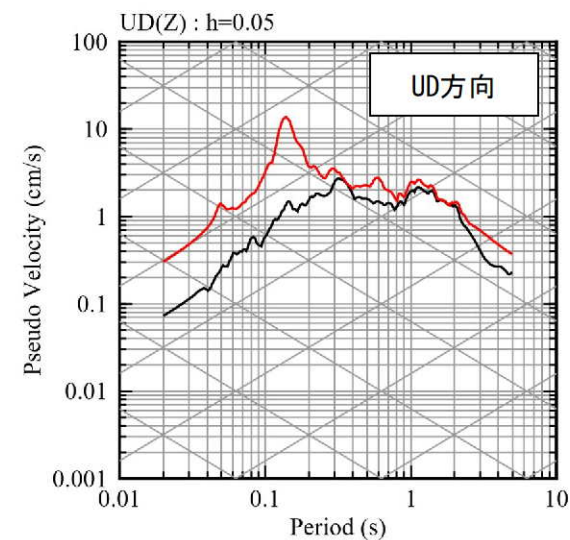
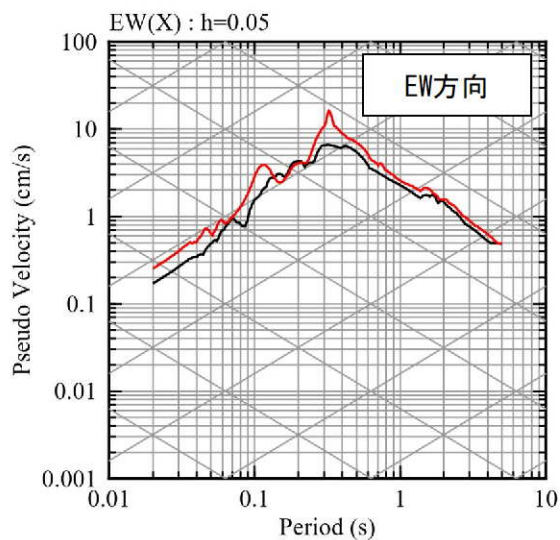
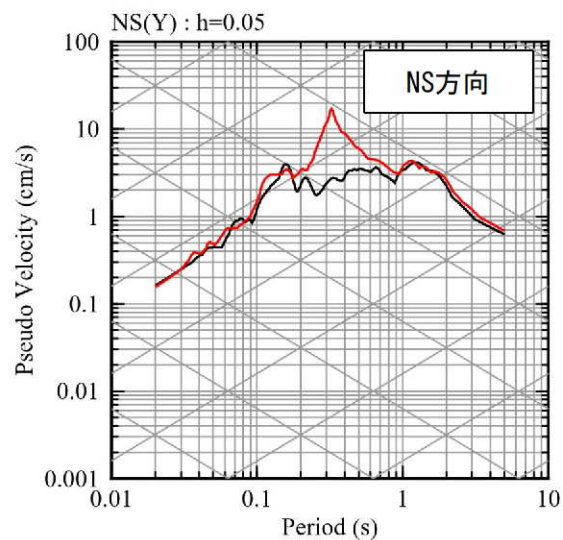
■ 応答スペクトルの比較結果 (2/10)

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)

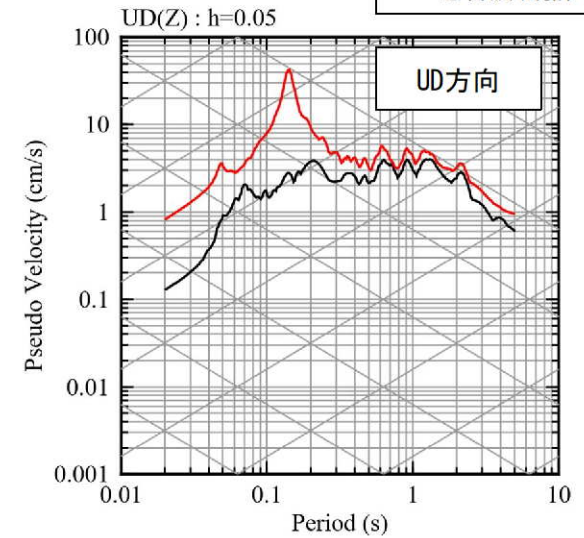
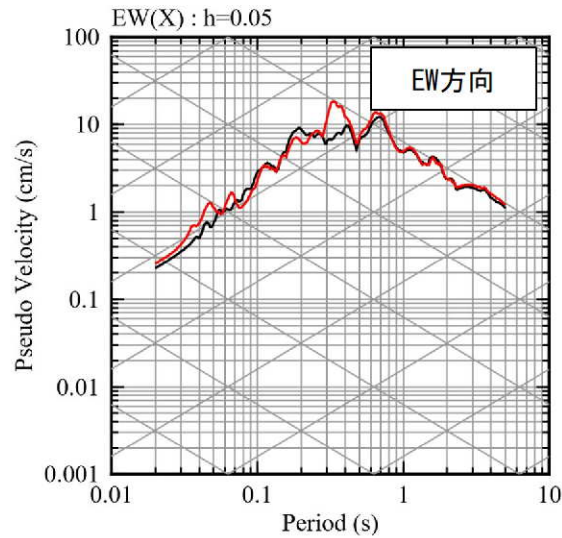
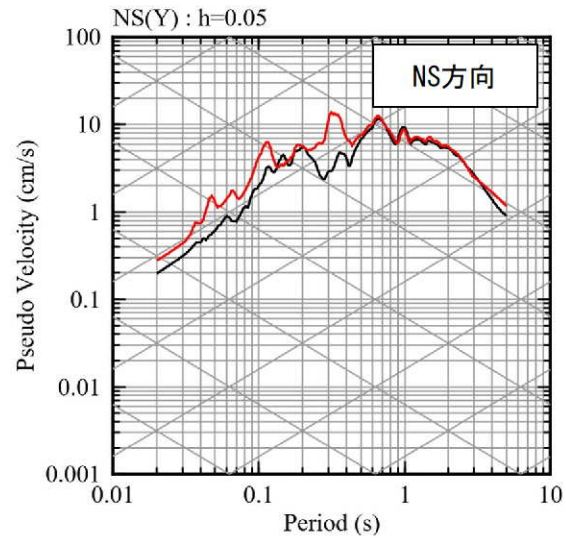
④ 鹿児島県北西部



4.2 地下構造モデルの適用性確認

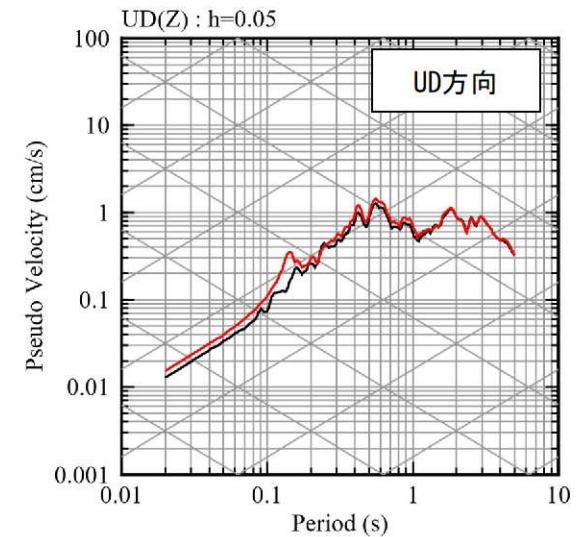
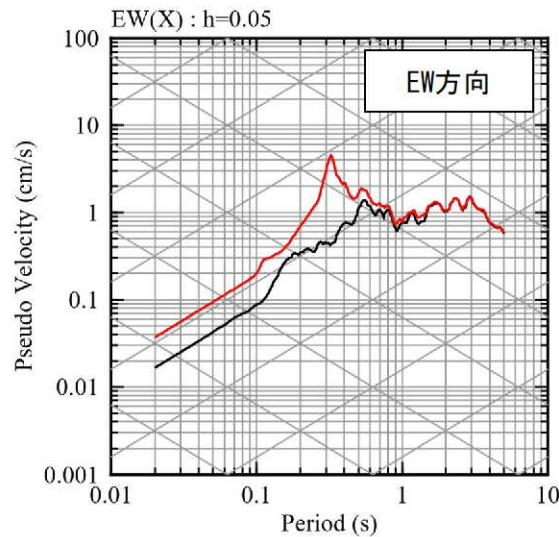
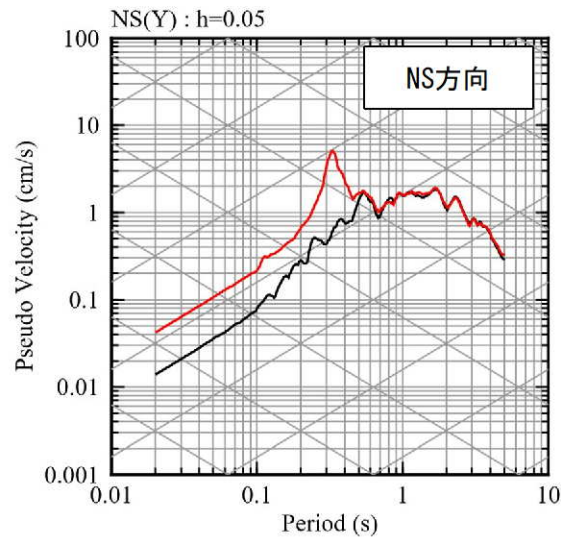
■ 応答スペクトルの比較結果 (3/10)

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)

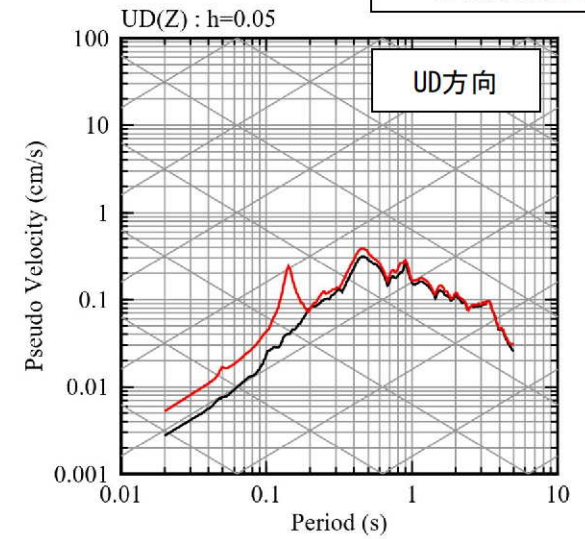
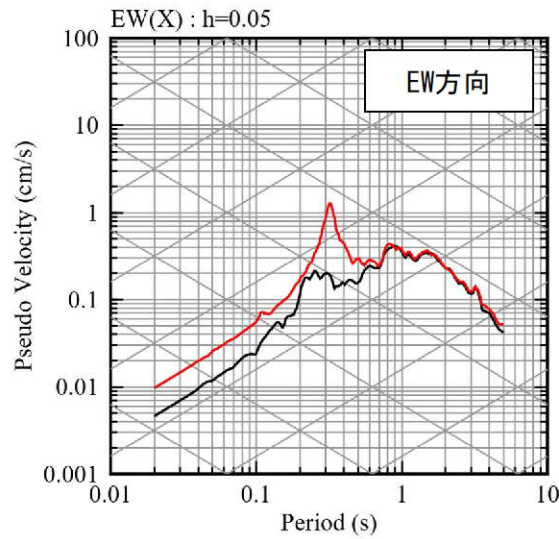
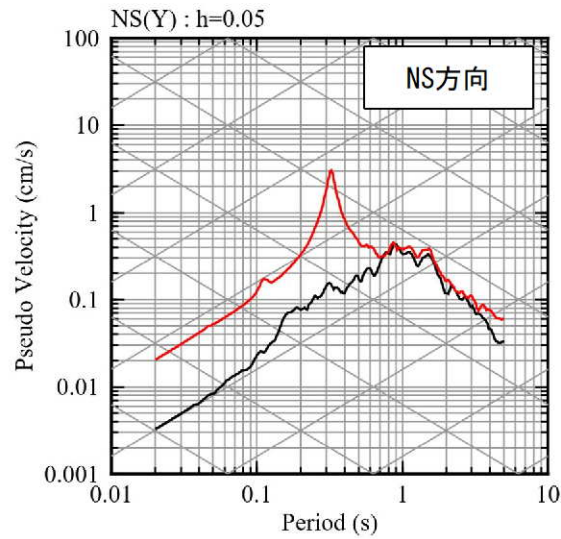
⑥ 薩摩半島西方沖



4.2 地下構造モデルの適用性確認

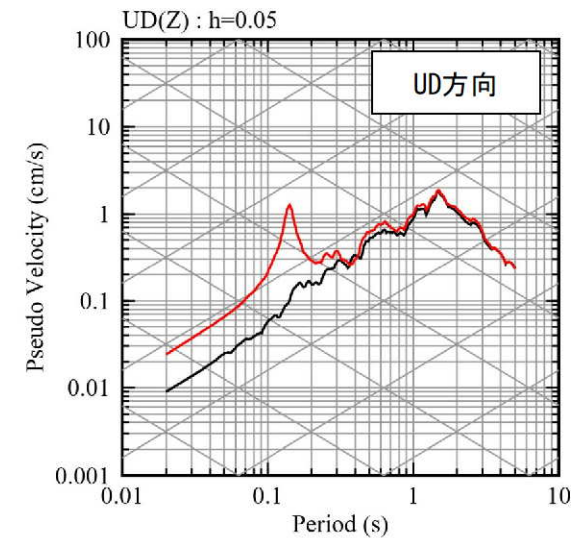
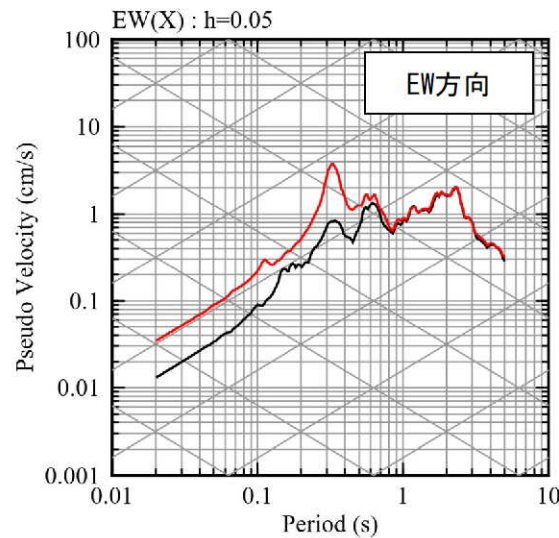
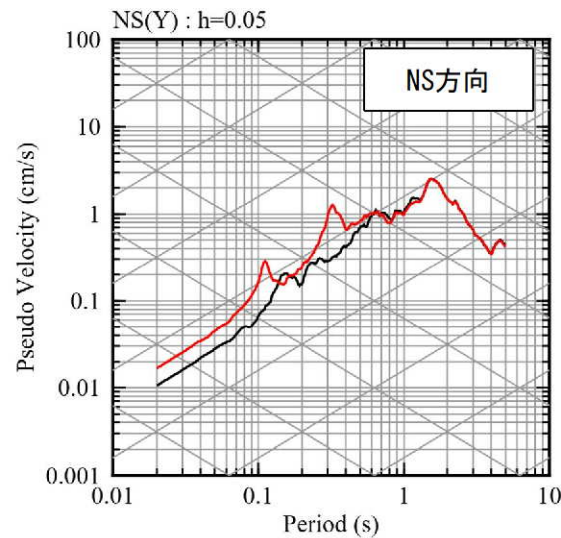
■ 応答スペクトルの比較結果 (4/10)

⑦ 薩摩半島西方沖



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波(既許可モデル)

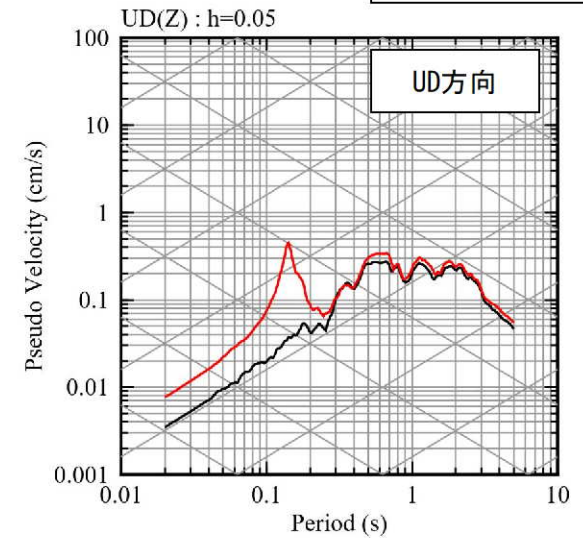
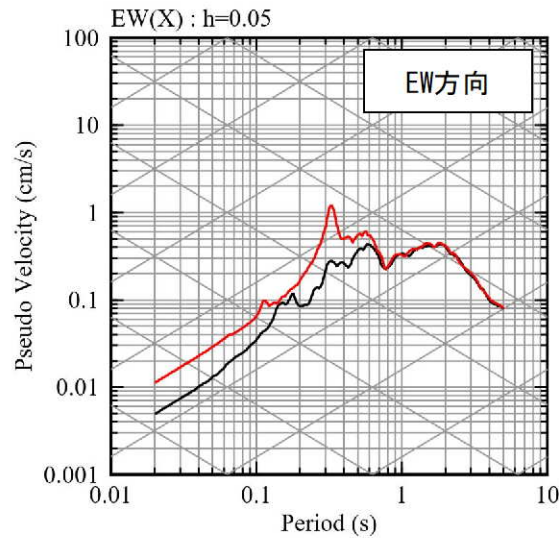
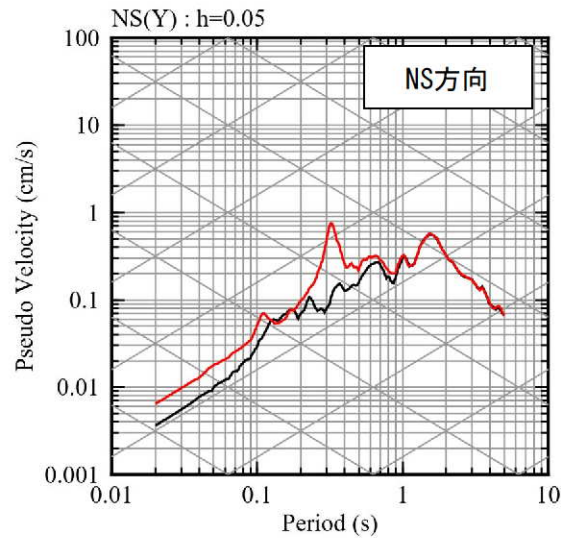
⑧ 熊本県熊本地方 (2016年熊本地震前震)



4.2 地下構造モデルの適用性確認

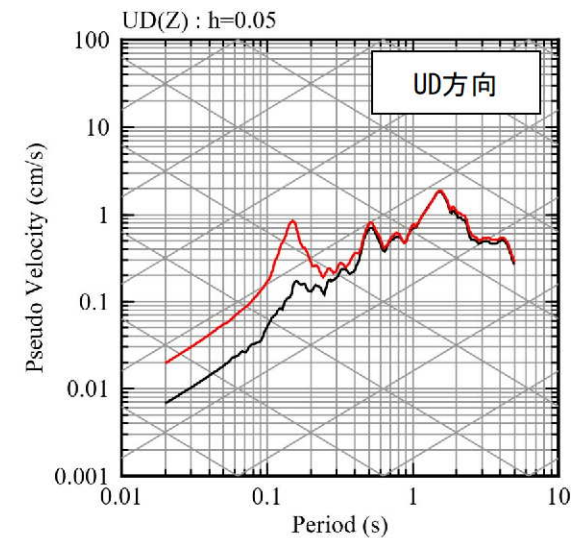
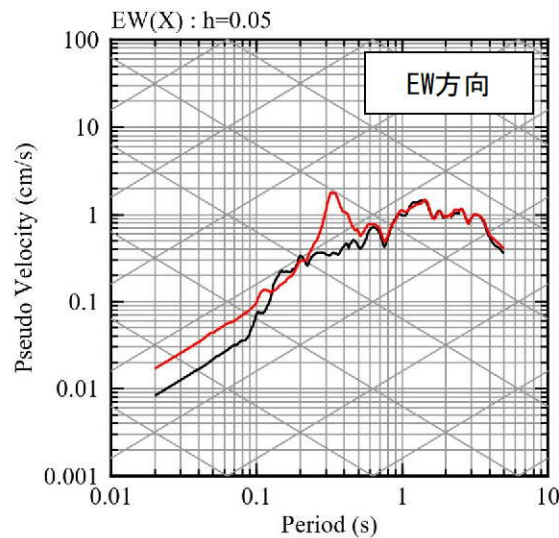
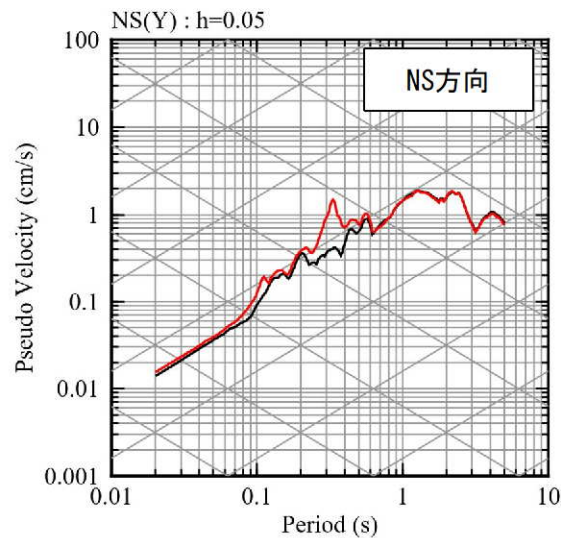
■ 応答スペクトルの比較結果 (5/10)

⑨ 熊本県熊本地方



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波(既許可モデル)

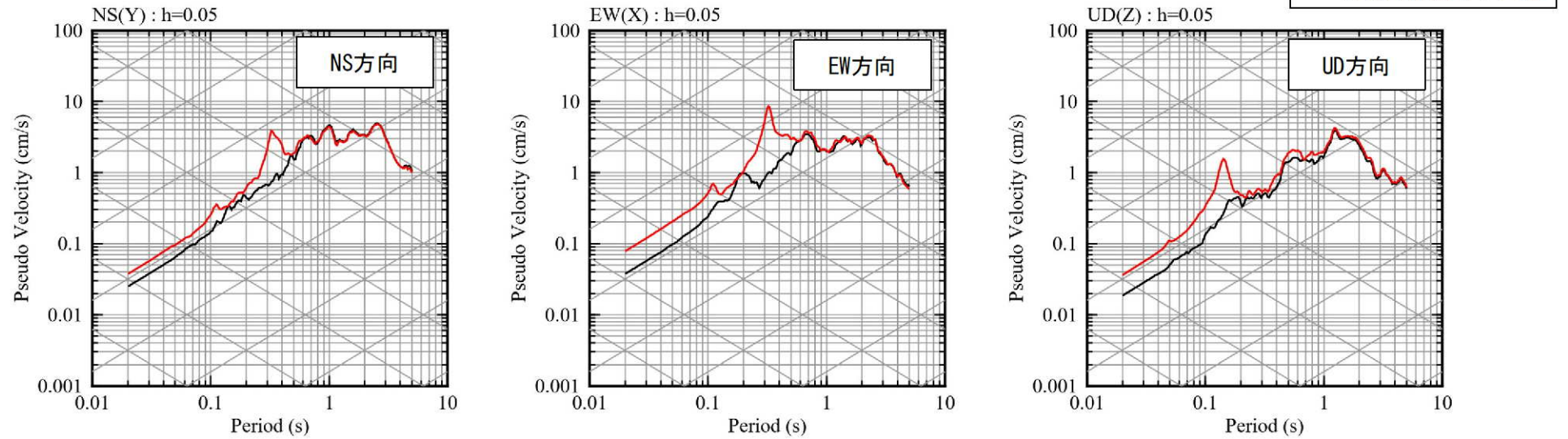
⑩ 熊本県熊本地方



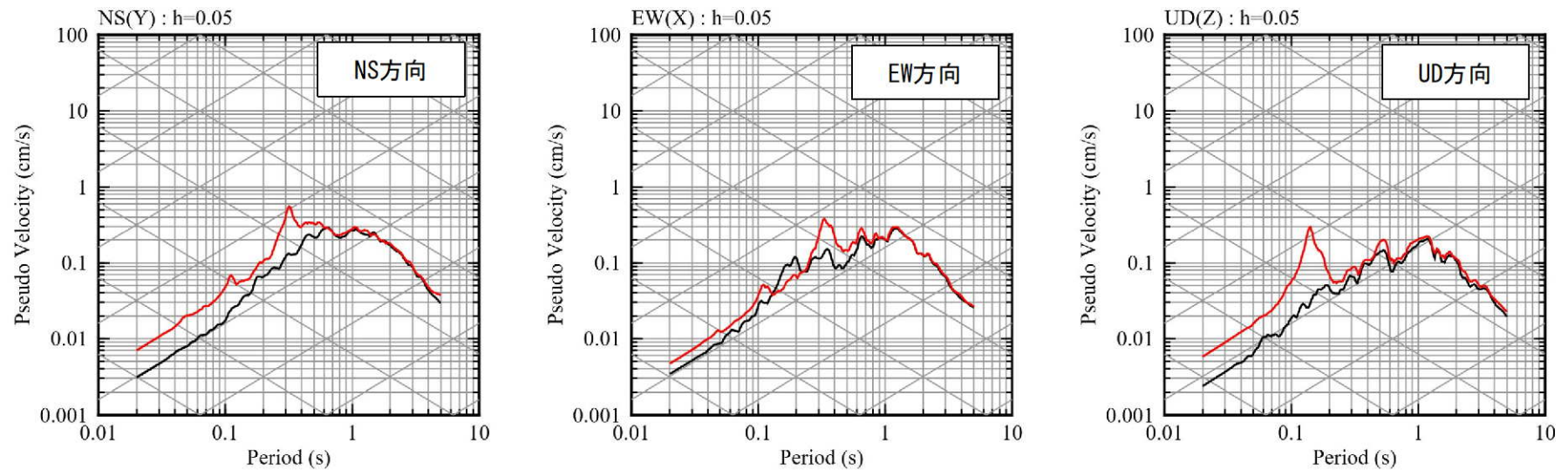
4.2 地下構造モデルの適用性確認

■ 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)



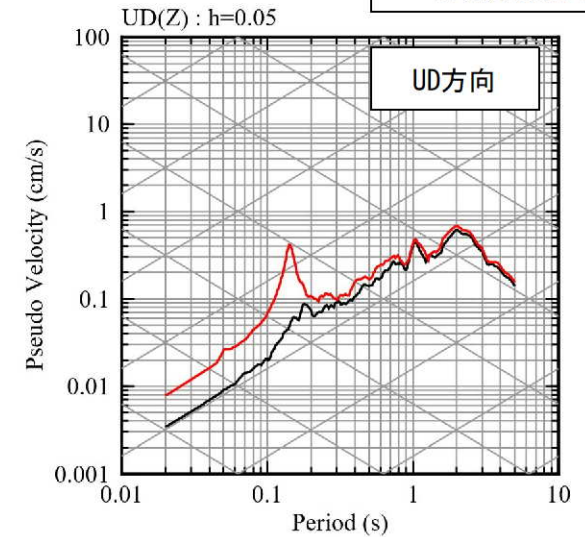
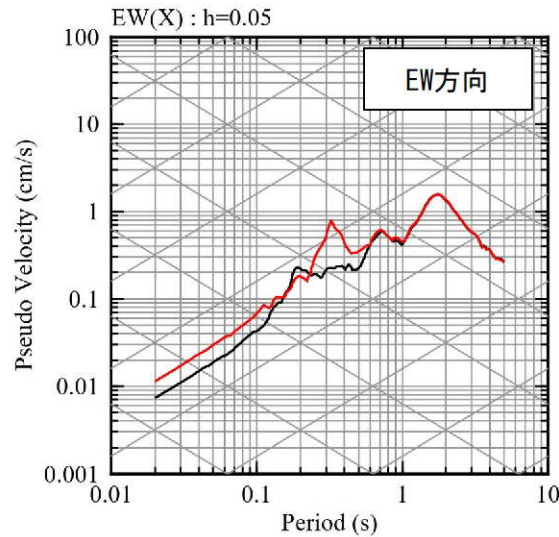
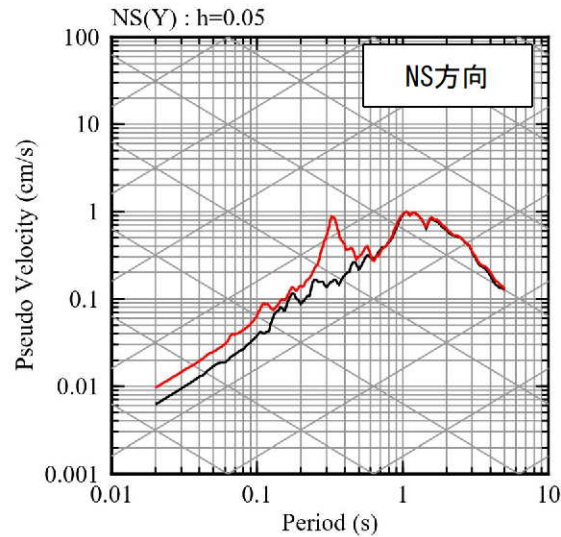
⑫ 熊本県熊本地方



4.2 地下構造モデルの適用性確認

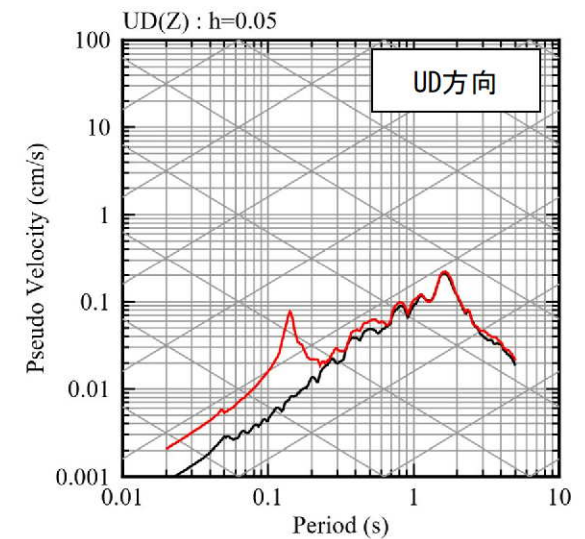
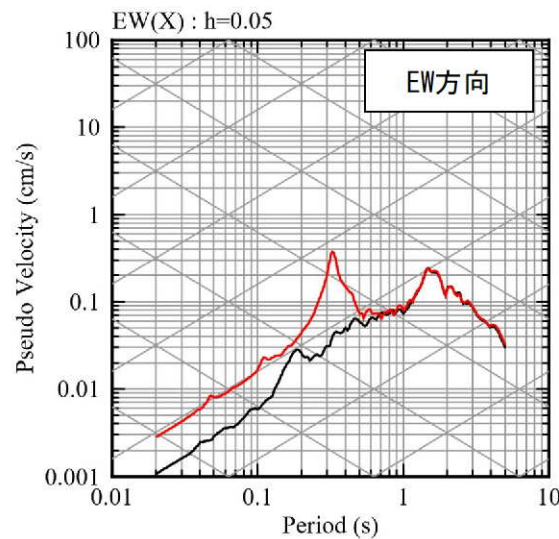
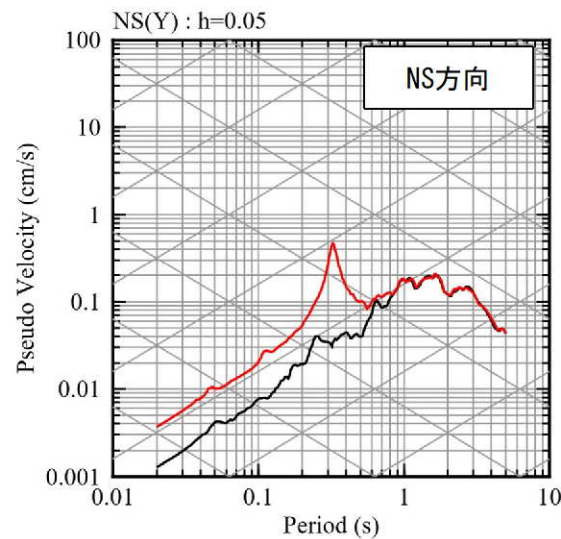
■ 応答スペクトルの比較結果 (7/10)

⑬ 熊本県熊本地方



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波(既許可モデル)

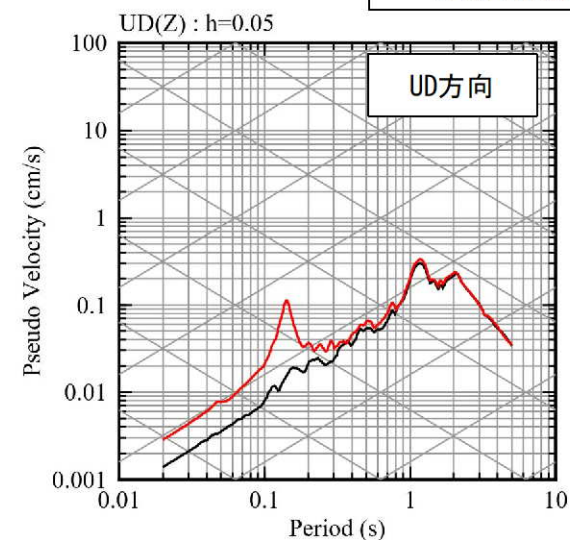
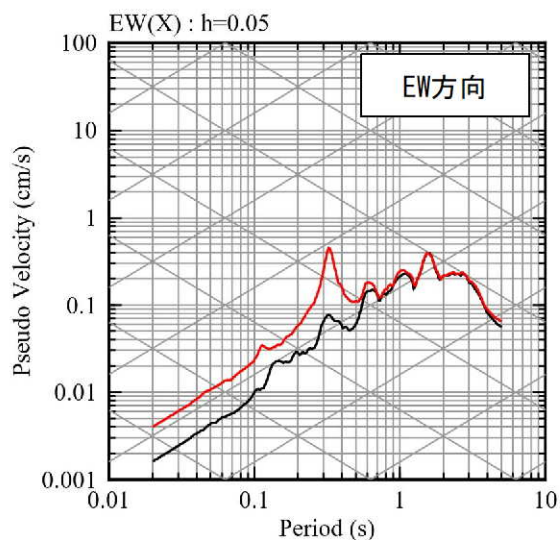
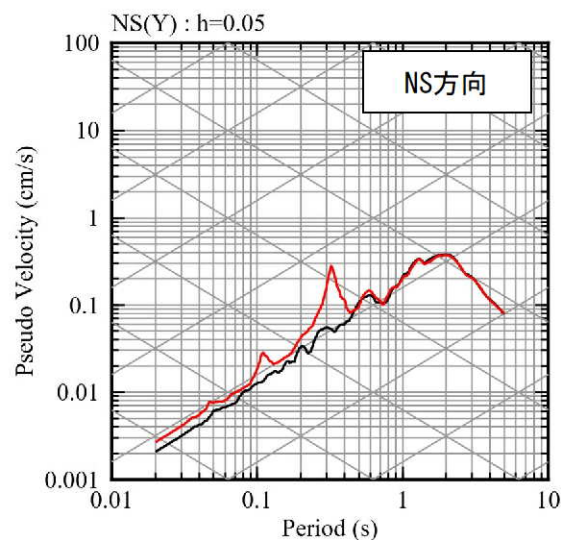
⑭ 熊本県阿蘇地方



4.2 地下構造モデルの適用性確認

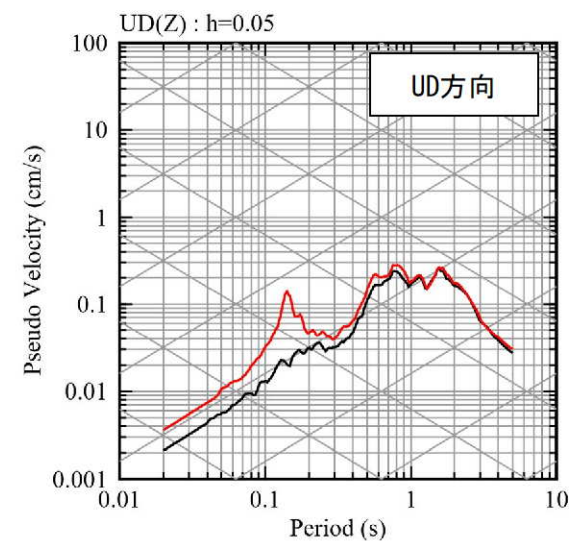
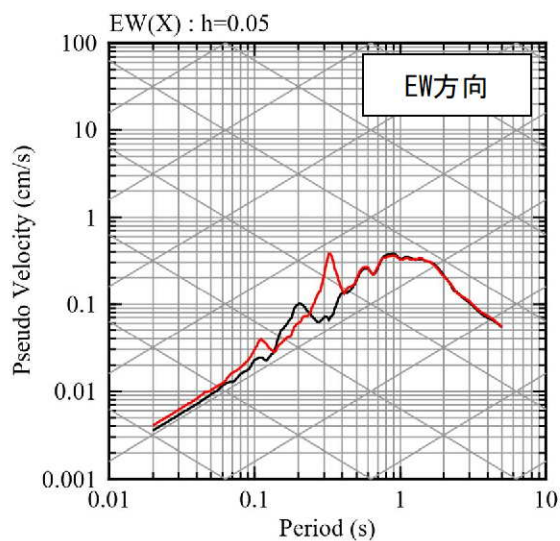
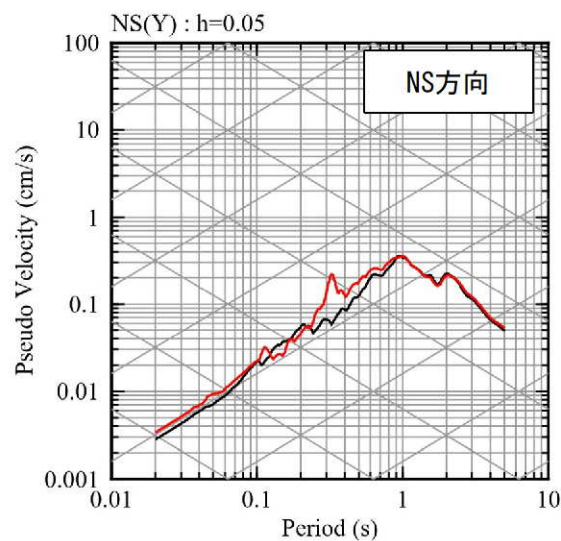
■ 応答スペクトルの比較結果 (8/10)

⑮ 熊本県阿蘇地方



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波(既許可モデル)

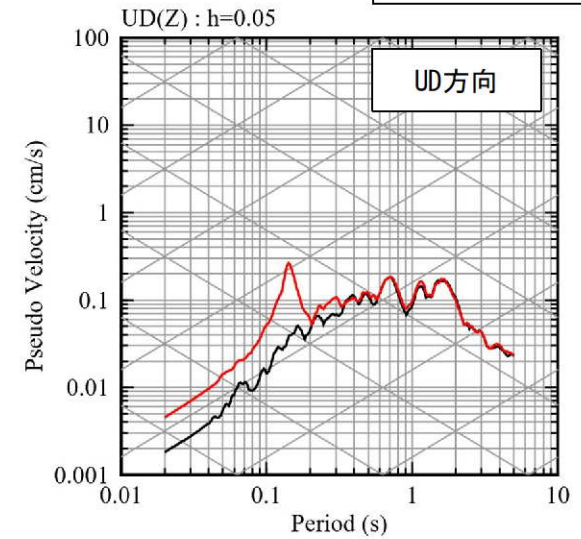
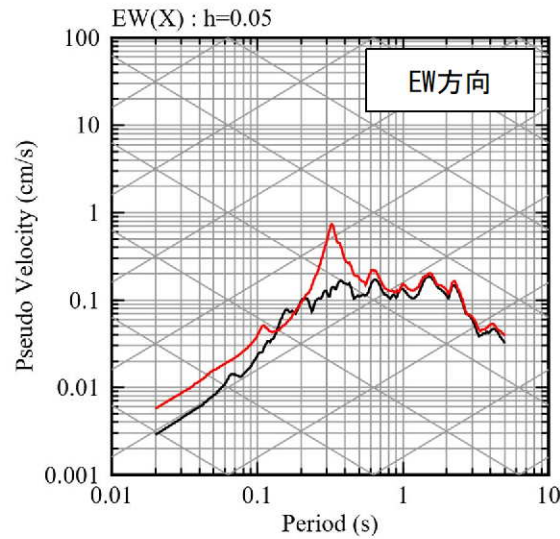
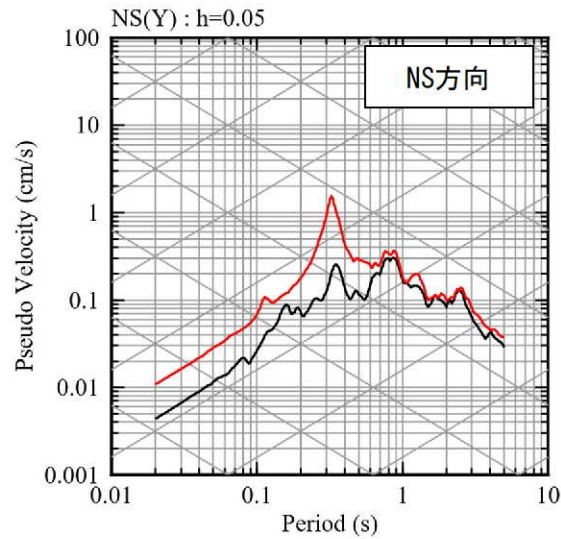
⑯ 熊本県熊本地方



4.2 地下構造モデルの適用性確認

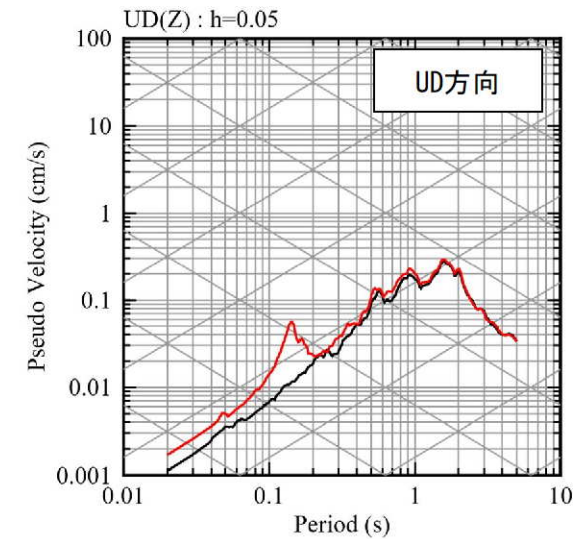
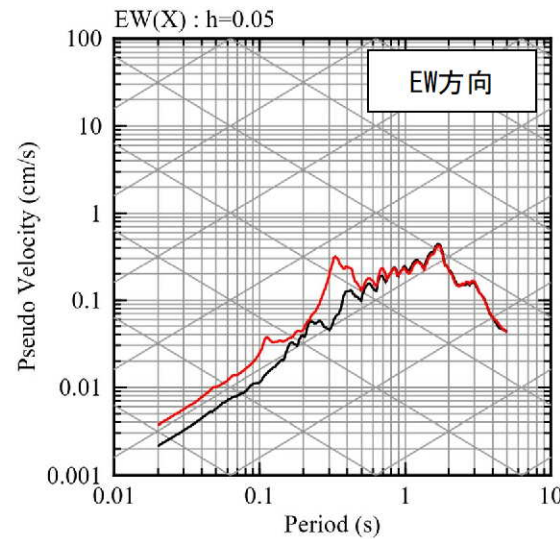
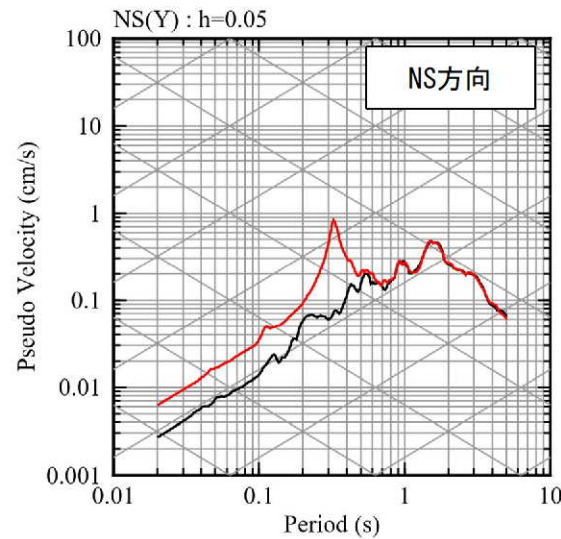
■ 応答スペクトルの比較結果 (9/10)

⑰ 熊本県熊本地方



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波(既許可モデル)

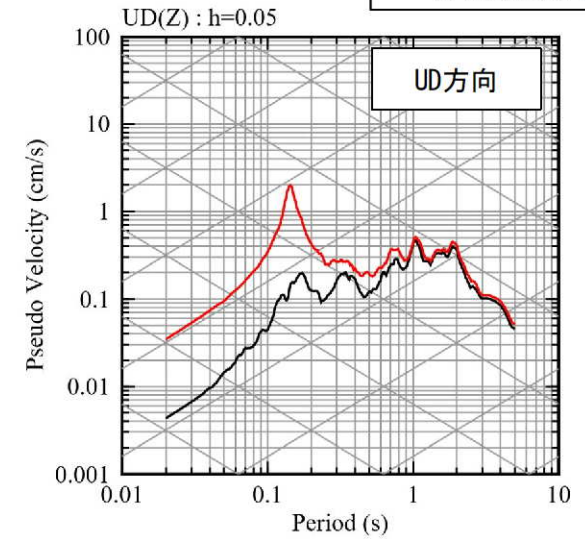
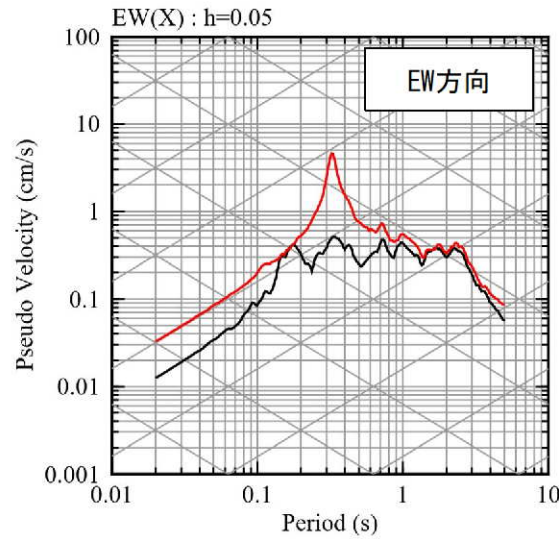
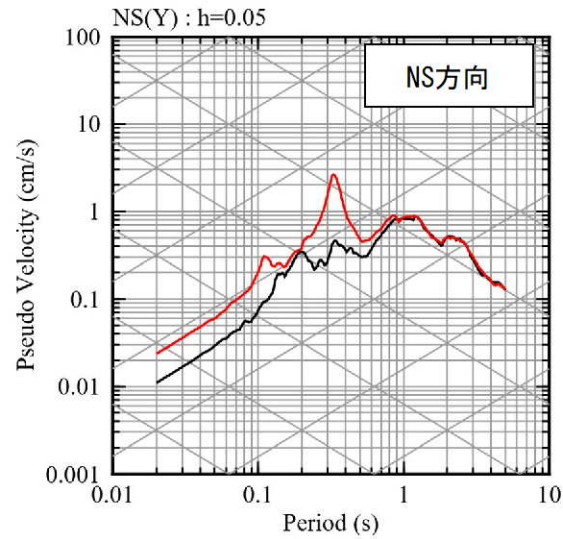
⑱ 熊本県阿蘇地方



4.2 地下構造モデルの適用性確認

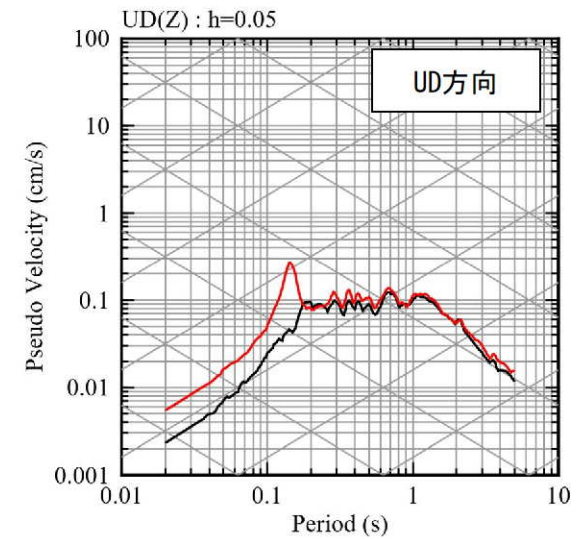
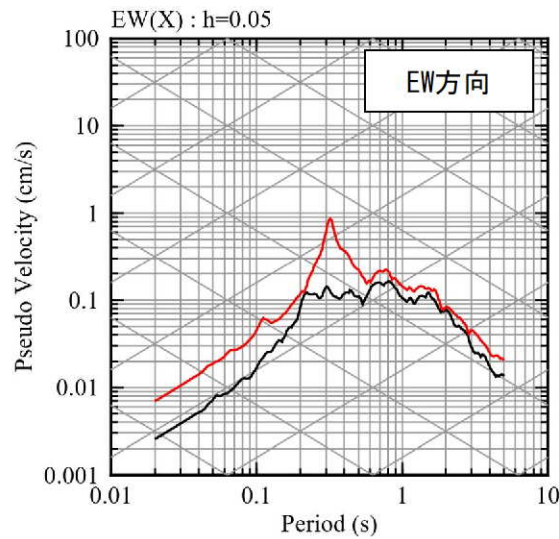
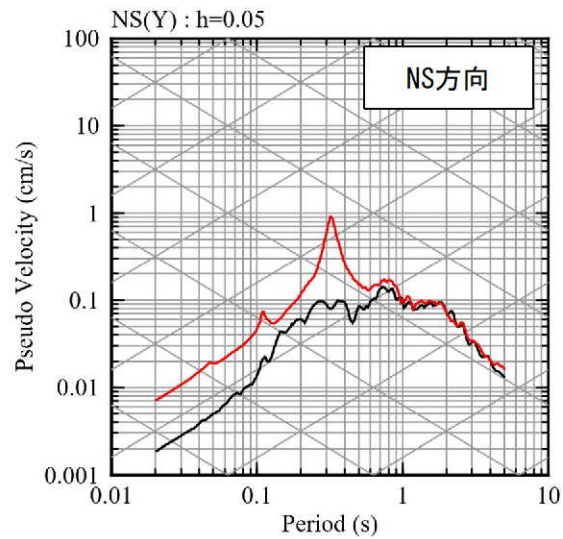
■ 応答スペクトルの比較結果 (10/10)

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。（35頁、参考④）
- 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。（36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	Vs (m/s) Vp (m/s) Q値
▼ (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

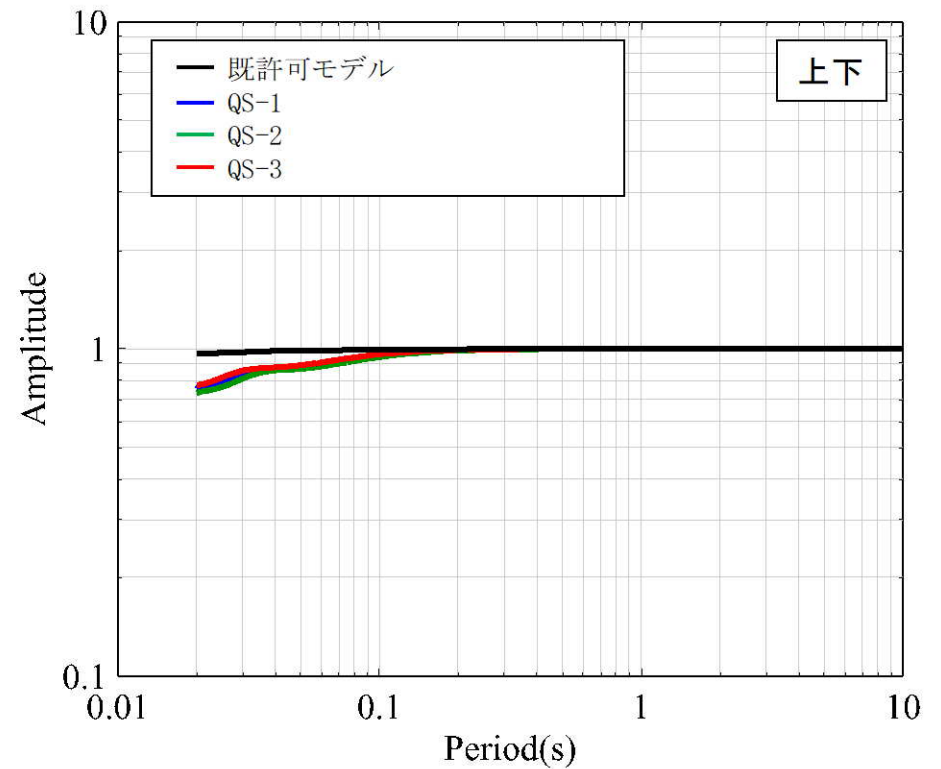
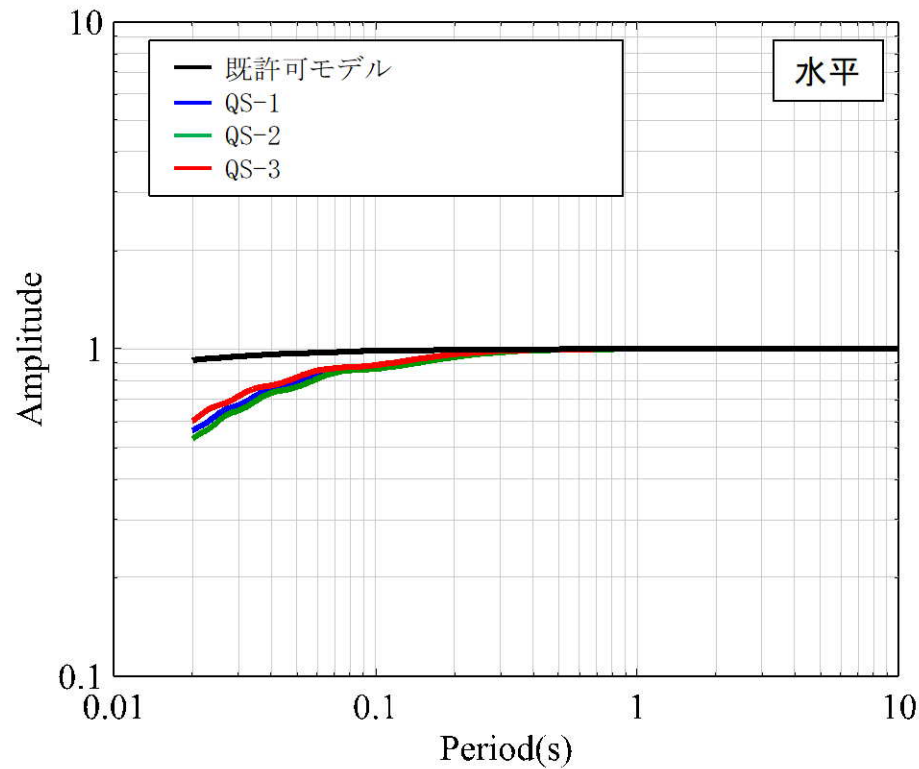
- 追加調査により得られたVs、Vp、Q値を基に、設定したPS検層モデルは以下の通り。
- なお、原子炉設置位置付近の速度層断面ではEL. -200m以深まで⑤速度層が分布していることから（参考④）、EL. -200mで大きく速度構造が変わらないと考えられるため、EL. -200mに速度コントラストのないモデルを以下の通り、設定する。

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)

4.3 まとめ

■ まとめ

- 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 (EL. -200m以浅) に照らしても、短周期から長周期までの全ての周期帯への適用性を有することを確認した。
 - (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。
 - 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。
 - 短周期側では大きな保守性を有する。

5. 今後の取り組み

- 以上の通り、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、標準応答スペクトルを考慮した地震動評価では既許可モデルを用いることとした。

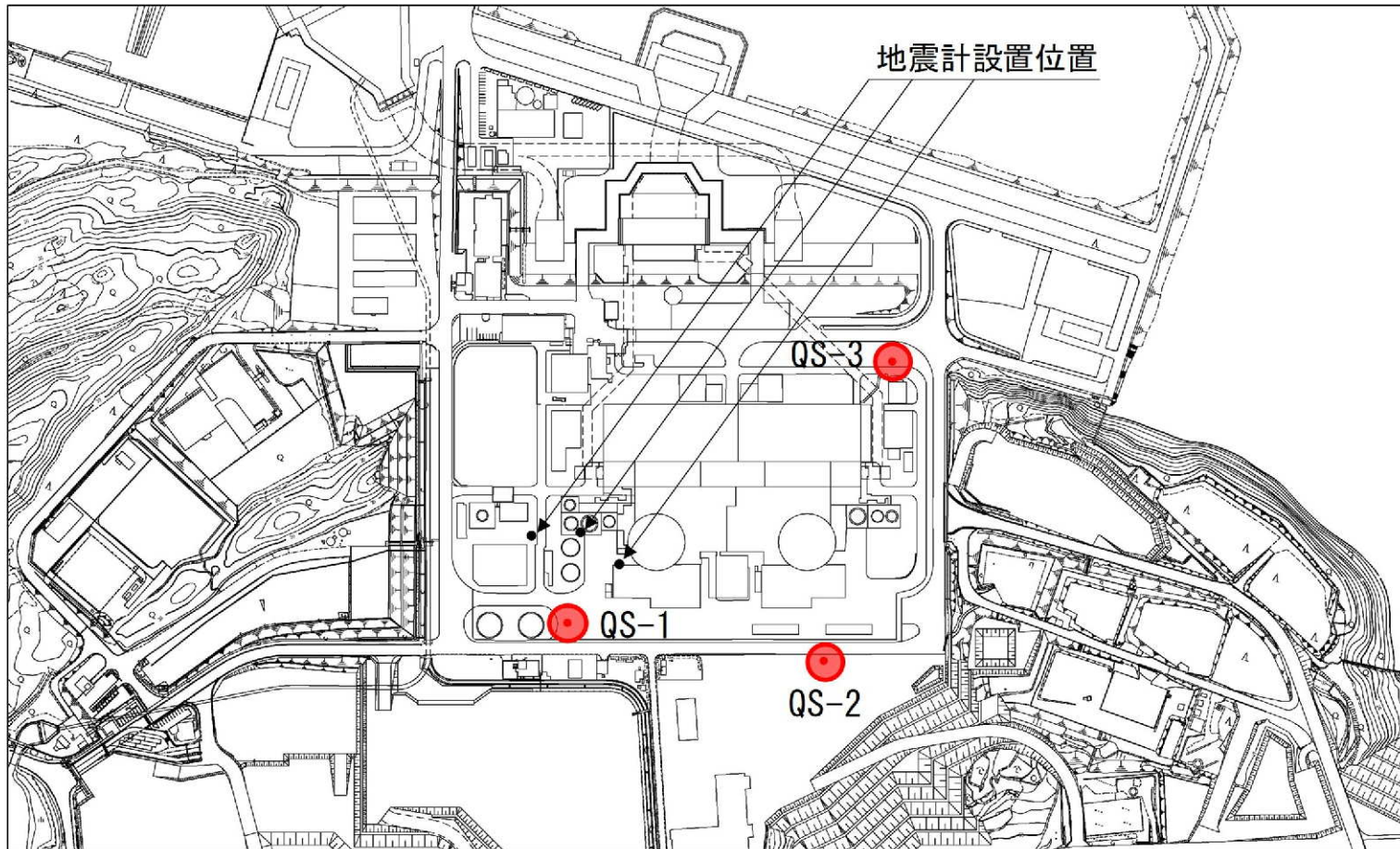
- 今後も、更なる安全性・信頼性の向上を図ることを目的に、最新の技術的知見の収集・分析・評価を実施する。
 - 広域地震観測〔継続〕
 - 敷地内地下構造の把握
 - ・ 敷地内鉛直アレイ地震観測〔継続〕
 - ・ 減衰測定に用いたボーリング孔における地震計増設（EL. -200m）
 - ・ 大深度ボーリング及び地下深部の地震観測の実施についても検討

【補足①】 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

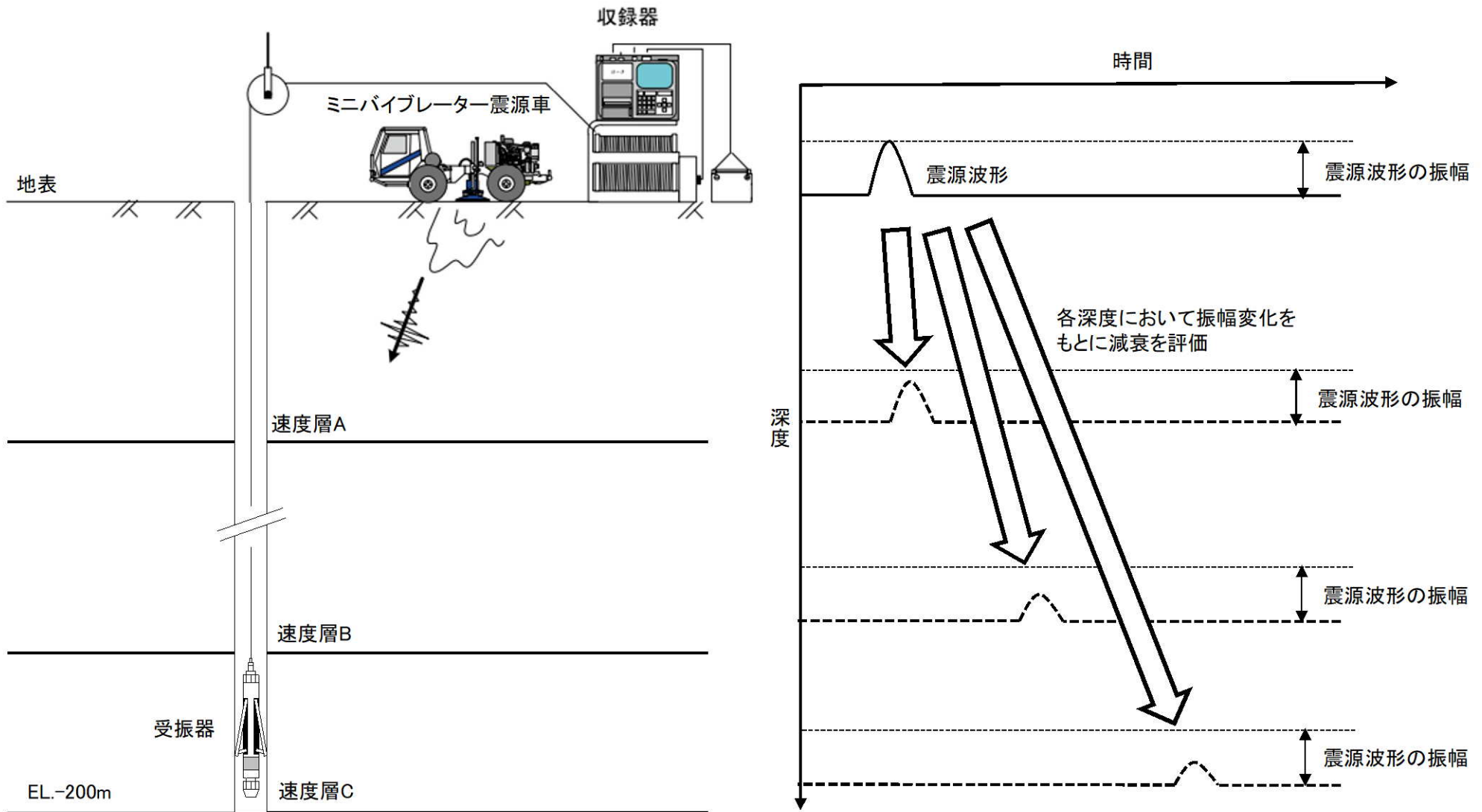
- 発電所構内において、EL. -200mまでの追加ボーリング調査を3箇所を実施し、地盤減衰（Q値）を測定。



【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。(参考⑤)



減衰評価イメージ図

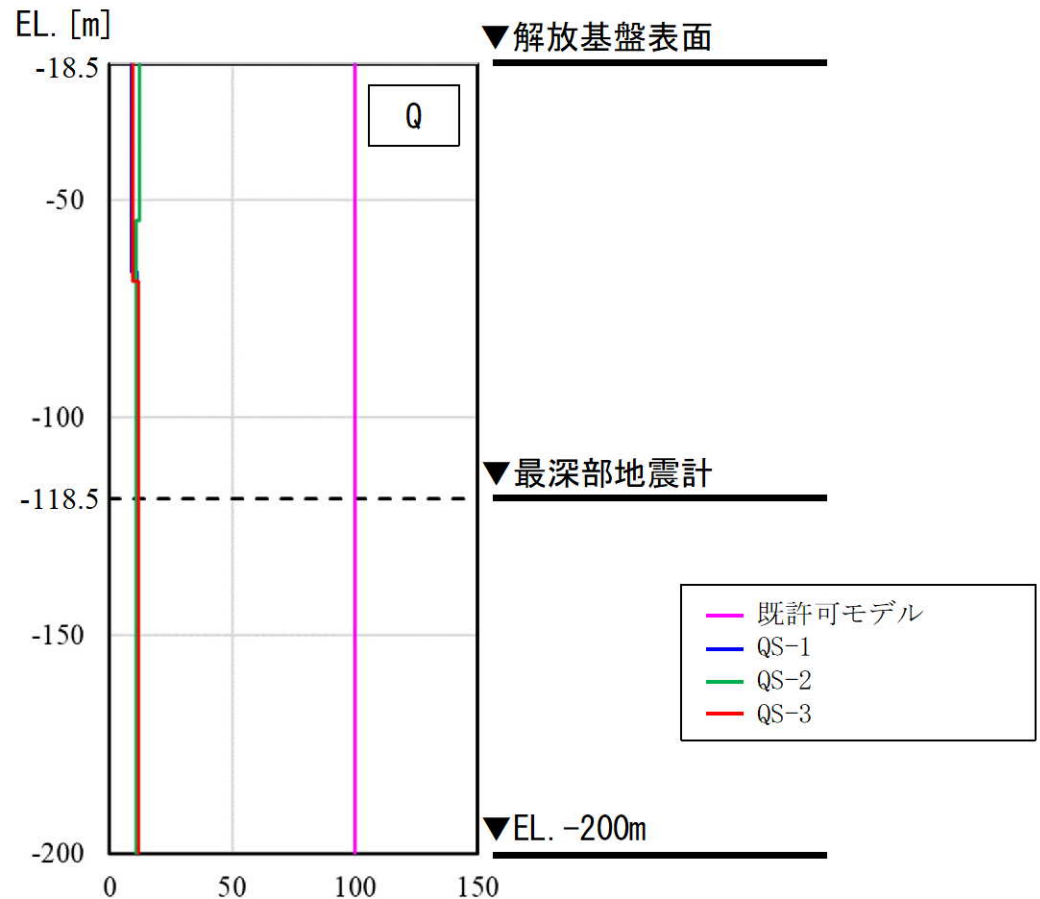
【補足①】ボーリング孔内減衰測定結果

■ 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

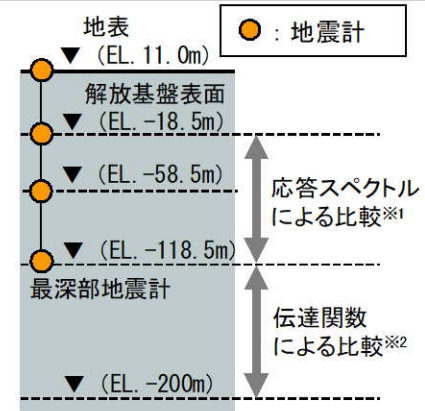


【補足②】 EL. -200m以浅の保守性の確認

【補足②】 EL. -200m以浅の保守性の確認

■ EL. -200m以浅の保守性の確認

- EL. -18.5mからEL. -118.5mの範囲における応答スペクトルの比較^{※1}では、水平方向の一部の地震観測記録において、周期0.1~0.2秒付近で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^{※2}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ため、この2つの範囲を足し合わせたEL. -18.5mからEL. -200mまでの範囲全体では、当該周期帯においても十分な保守性を有すると考えられ、既許可モデルの適用性に影響はない。
- 上記のEL. -18.5mからEL. -200mまでの範囲全体の保守性について確認を実施。



- 追加調査により得られたVs、Vp、Q値を基に、EL. -18.5m~EL. -200mまでの範囲のPS検層モデルを設定する。原子炉建屋直下及び地震計位置では解放基盤表面以深からEL. -200mまで⑤速度層が分布しているが、追加調査位置では⑤速度層と③・④速度層との境界がEL. -60m付近に存在すると考えられることを考慮して、最深部地震計 (EL. -118.5m) 以浅の物性値は、EL. -118.5mからEL. -200mまでの範囲のPS検層結果の物性値を用いる。(45~47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、EL. -18.5mからEL. -200mまでの範囲全体の保守性を確認し、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影響がないことを確認した。(48~49頁)

既許可モデル				PS検層モデル				
解放基盤表面 ▼ (EL. -18.5m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値	伝達特性	伝達特性	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値
▼ (EL. -28.5m)	1500	3200	100	↑ 比較 ↓	↑ ↓	PS検層結果 [※]		
最深部地震計 ▼ (EL. -118.5m)	1600	3700	100					
▼ (EL. -200m)	1600	3700	100	検討イメージ				
▼ (EL. -480m)	1600	3700	100					
▼ (EL. -1018.5m)	2150	4400	200					
	3010	5200	200					

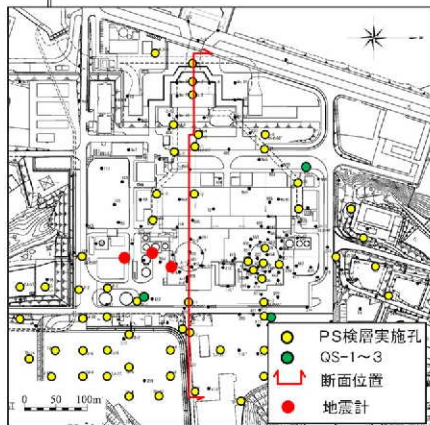
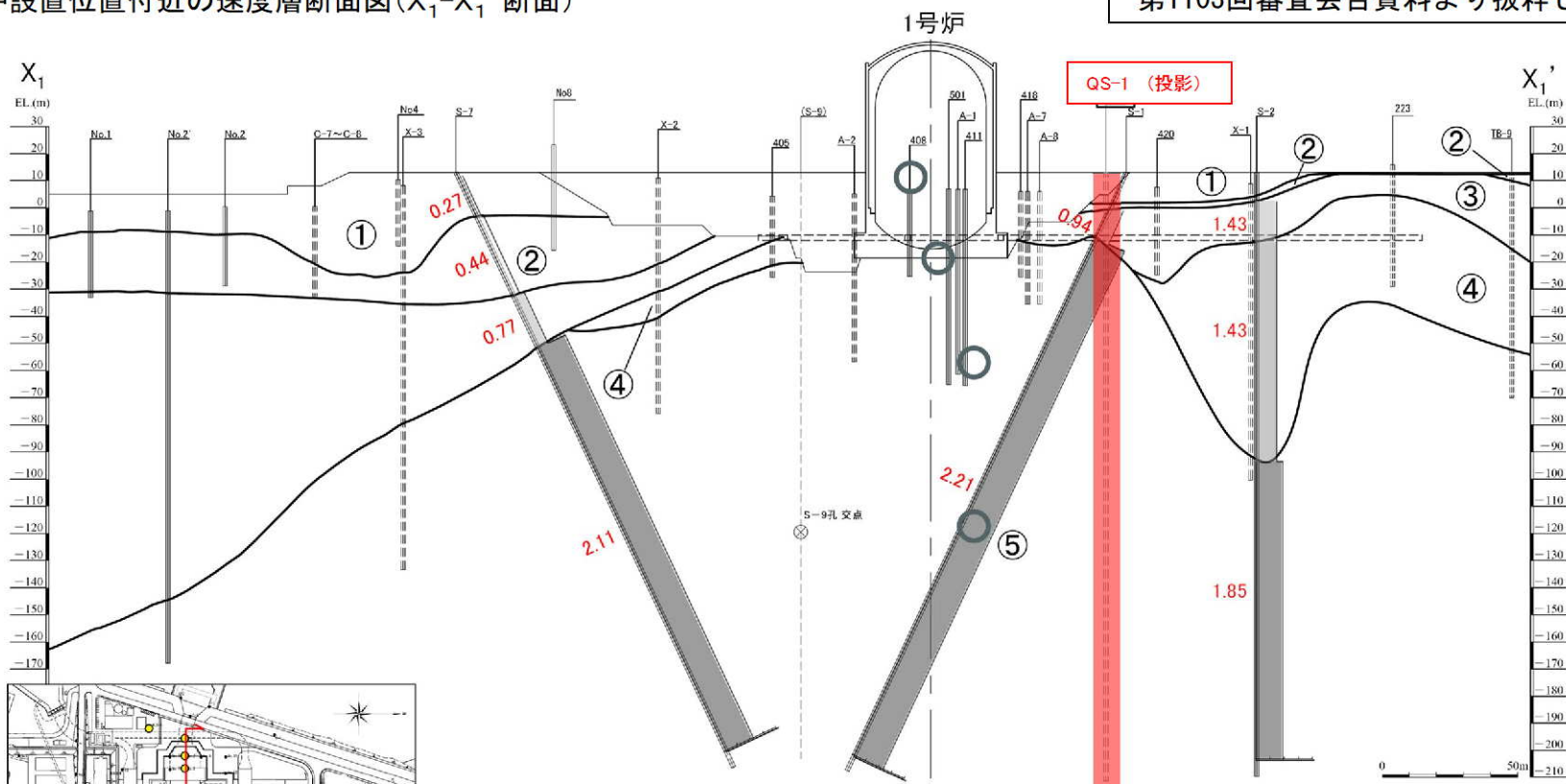
※最深部地震計以浅のVs、Vp、Q値は、最深部地震計(EL.-118.5m)からEL.-200mまでの範囲のVs、Vp、Q値を用いる。

【補足②】 EL. -200m以浅の保守性の確認

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

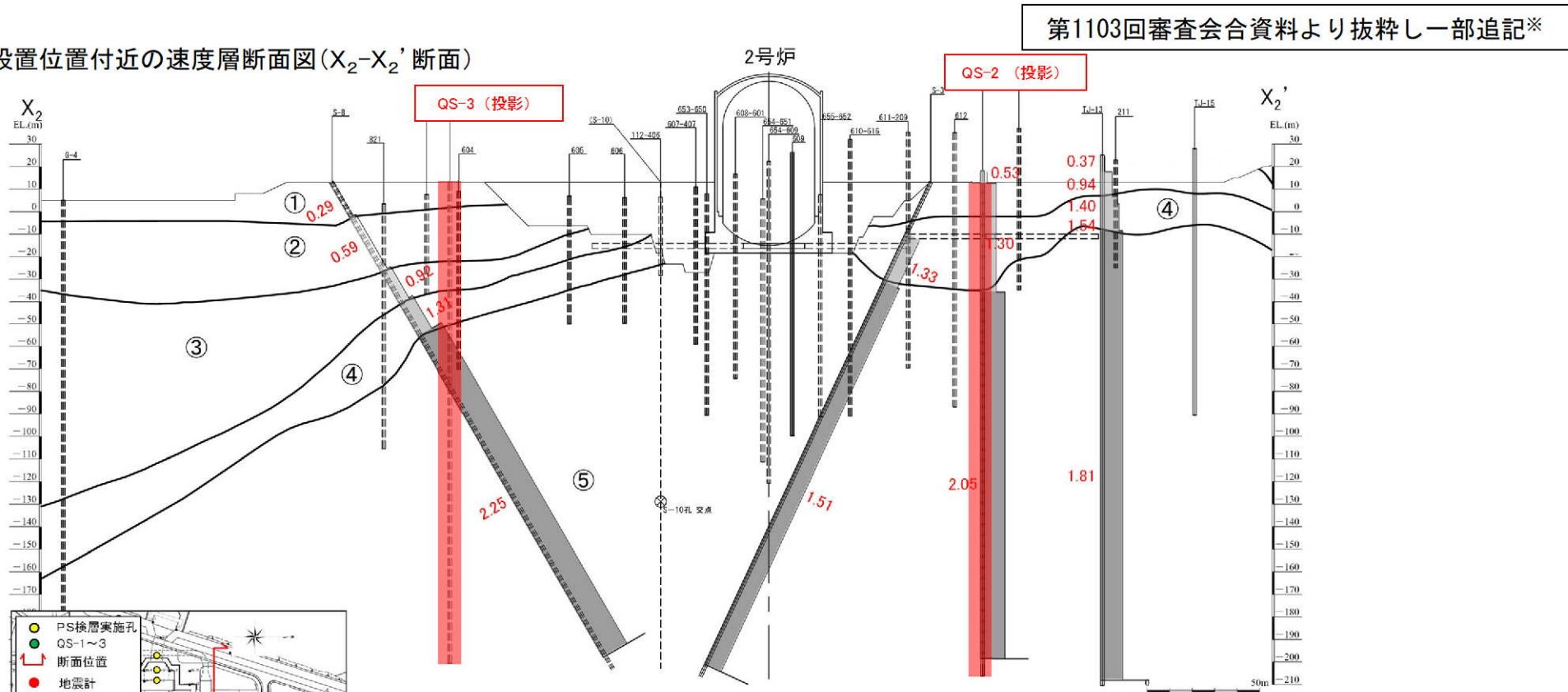
○ 地震計設置位置(投影)

※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

【補足②】 EL. -200m以浅の保守性の確認

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)



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

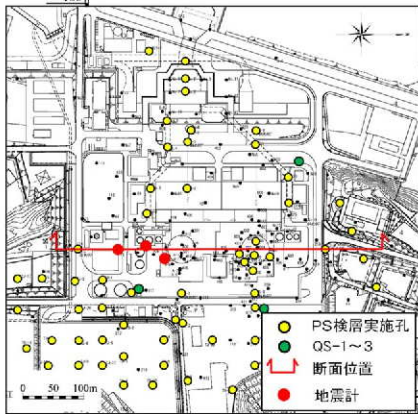
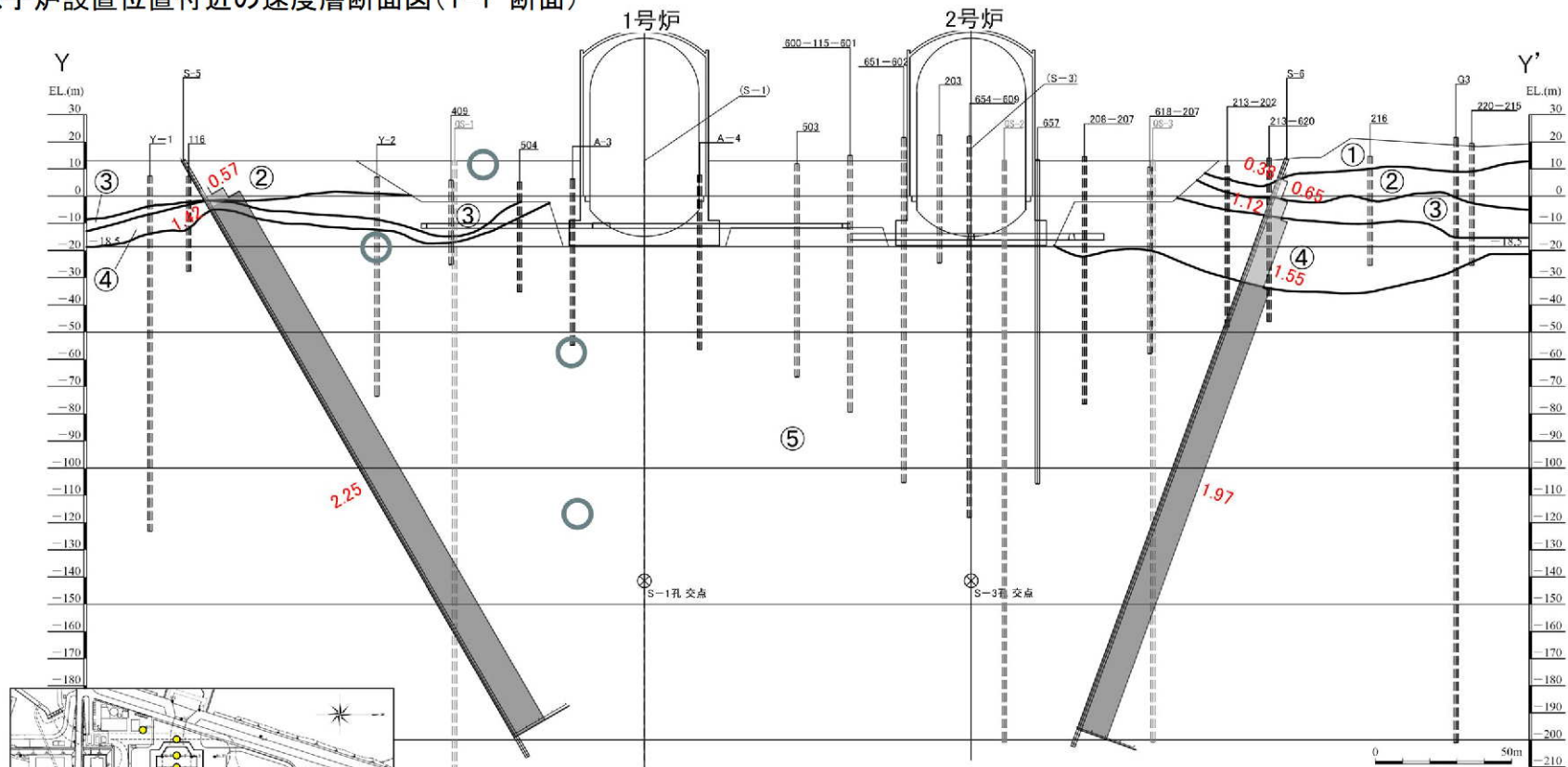
※第1103回会合資料の抜粋に、試掘坑位置、各速度層区分のP波速度、追加ボーリング位置 (QS-1~3) 及び地震計設置位置を追記

【補足②】 EL. -200m以浅の保守性の確認

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

【補足②】 EL. -200m以浅の保守性の確認

■ PS検層モデルの設定（最深部地震計（EL. -118.5m）以浅を⑤速度層とみなした場合）

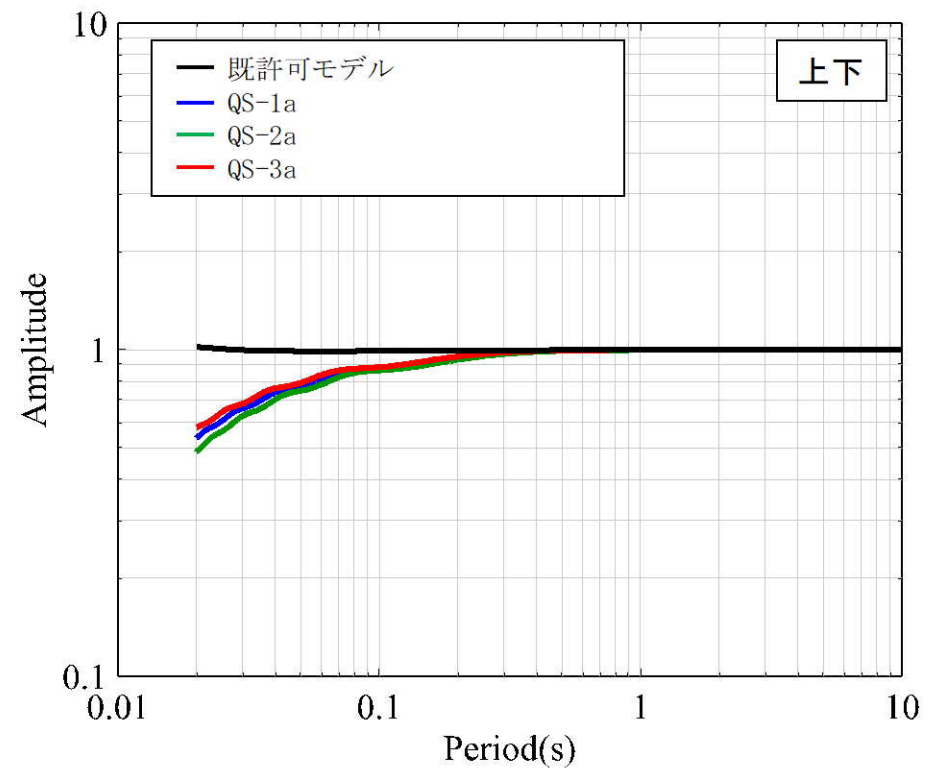
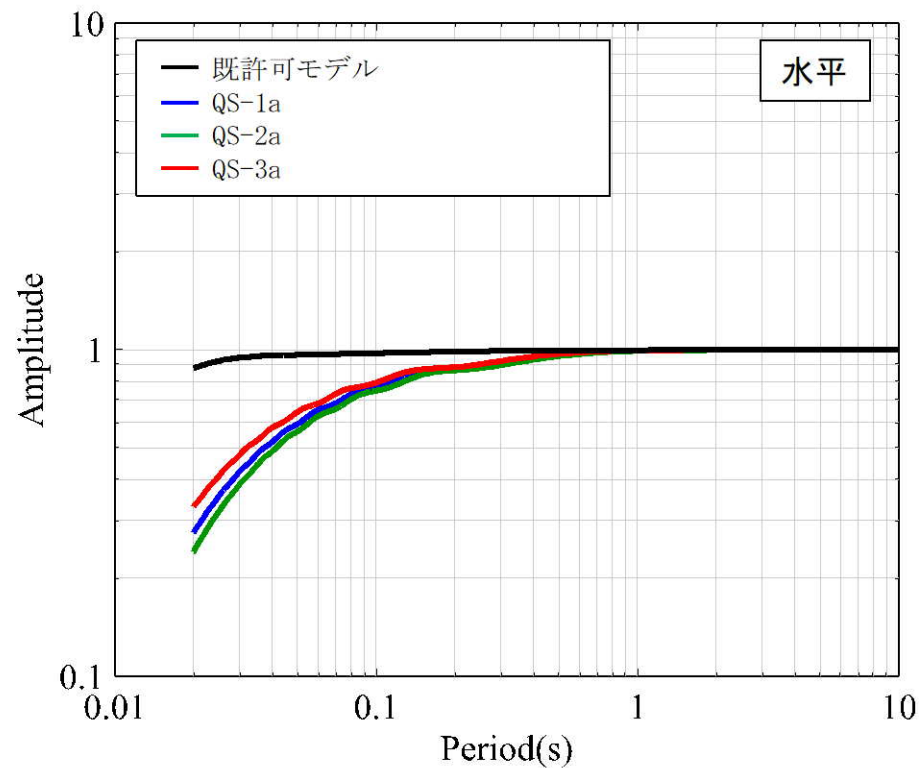
- 追加調査により得られたVs、Vp、Q値を基に、設定したPS検層モデルは以下の通り。

地表 ▼ (EL. 11.0m)	既許可モデル			QS-1aモデル			QS-2aモデル			QS-3aモデル		
解放基盤表面 ▼ (EL. -18.5m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値
▼ (EL. -28.5m)	1500	3200	100									
▼ (EL. -200m)	1600	3700	100	1930	4010	11.4	1880	3760	10.6	2170	4320	11.8
	1600	3700	100	1930	4010	100	1880	3760	100	2170	4320	100

【補足②】 EL. -200m以浅の保守性の確認

■ 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. -18.5m /EL. -200m）が、PS検層モデルによる理論伝達関数（EL. -18.5m /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. -18.5m /EL. -200m)