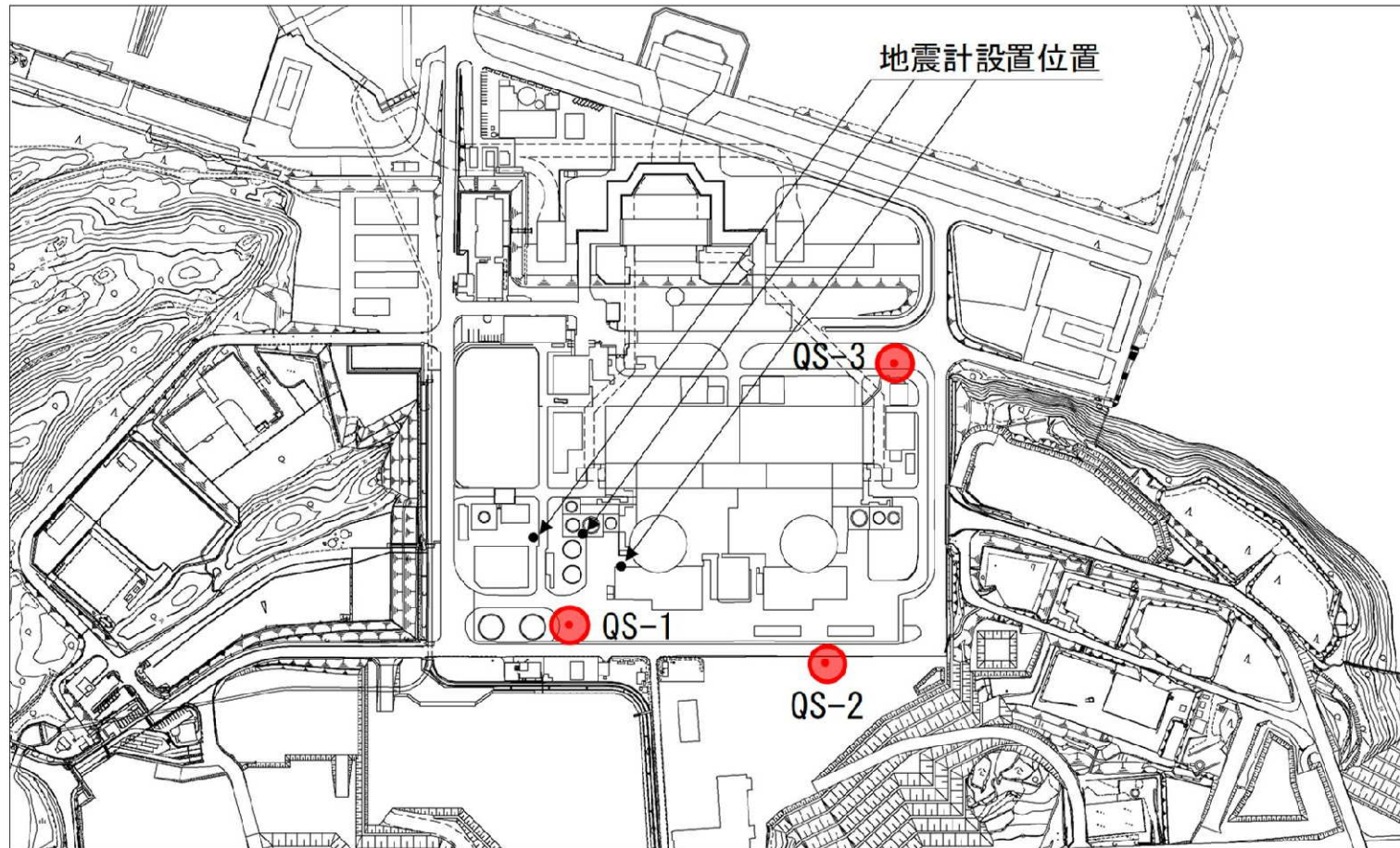


【補足①】 ボーリング孔内減衰測定結果

【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

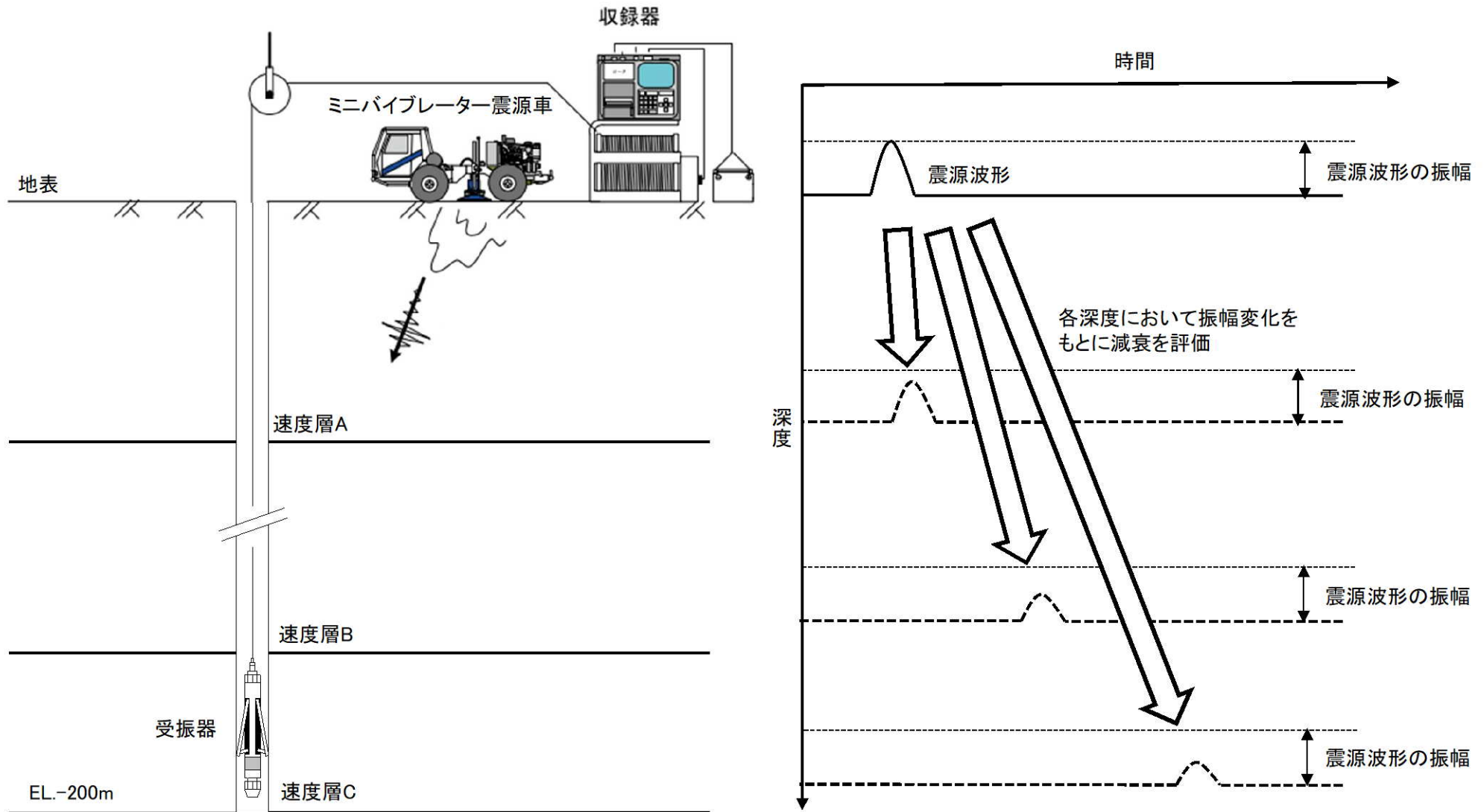
- 発電所構内において、EL. -200mまでの追加ボーリング調査を3箇所を実施し、地盤減衰（Q値）を測定。



【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^{7), 8)}

- 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⁷⁾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⁸⁾する。(参考④)



減衰評価イメージ図

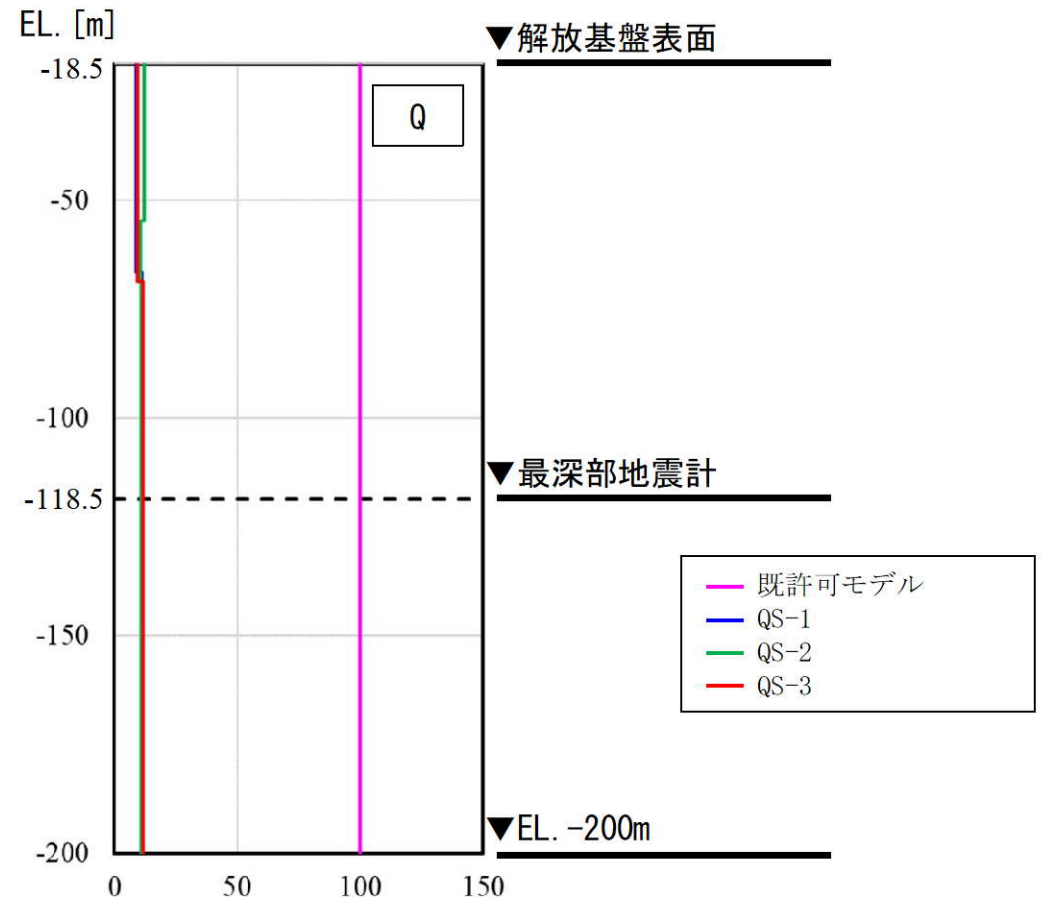
【補足①】ボーリング孔内減衰測定結果

■ ボーリング孔内における減衰測定の結果

- EL. -118.5mからEL. -200mの範囲の地盤減衰（Q値）について、既許可モデル（Q=100）は、QS-1孔からQS-3孔までのQ値（10.6～11.8）を大きく上回り、大きな保守性を有する。

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

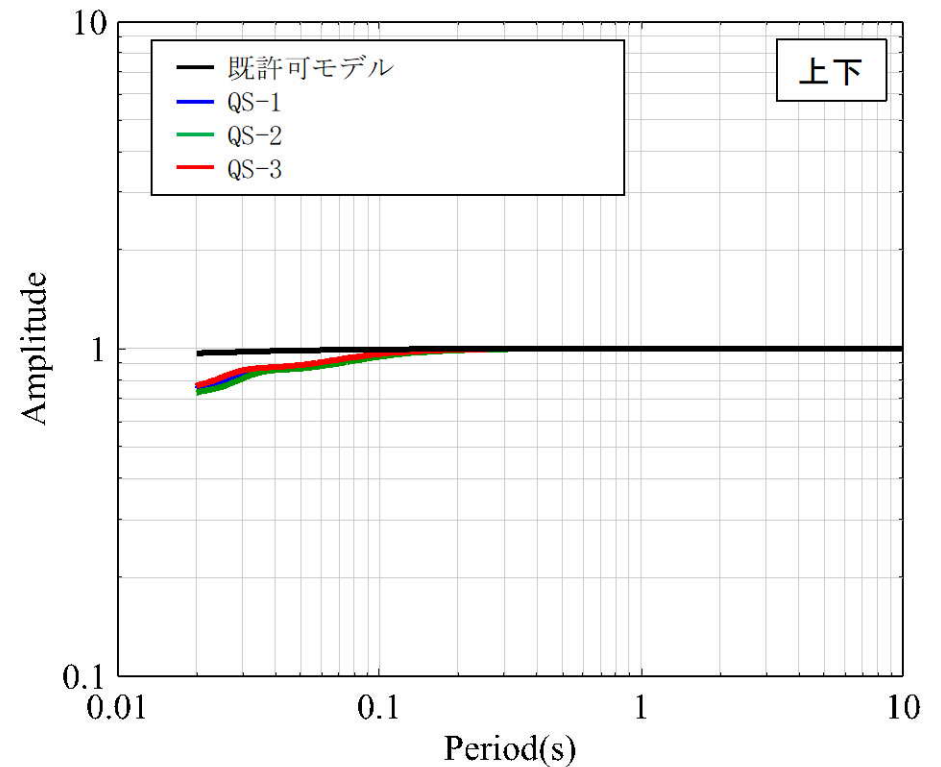
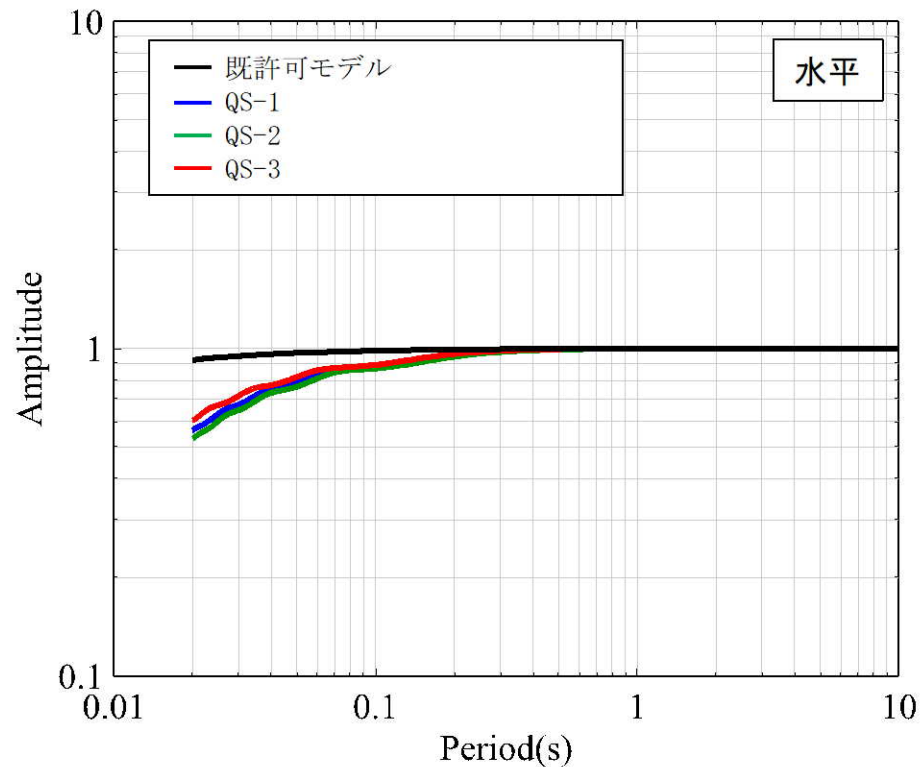
※ 調査結果は解放基盤以深からEL.-200mに範囲を統一したものを記載



【補足①】 ボーリング孔内減衰測定結果

■ ボーリング孔内減衰測定結果による伝達関数の比較結果

- EL. -118.5mからEL. -200mの範囲の伝達関数について、既許可モデルは、QS-1孔からQS-3孔までの伝達関数に対して、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り、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)

【補足①】 ボーリング孔内減衰測定結果

■ 伝達関数の比較に用いた物性値について

- 前頁の伝達関数の比較に用いた物性値は下記の通り。Vs、Vpについては各孔のPS検層結果を用いた。

最深部地震計 ▼ (EL. -118.5m)	既許可モデル			QS-1孔			QS-2孔			QS-3孔		
	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. -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】 既許可以降の地震活動による確率論的地震ハザード評価への影響確認

【補足②】 既許可以降の地震活動による確率論的地震ハザード評価への影響確認

■ 既許可における確率論的地震ハザード評価

- ・ 既許可では、川内原子力発電所に及ぼす影響の大きい内陸地殻内地震を対象に、「特定震源モデル」と「領域震源モデル」を構築して確率論的地震ハザード評価を実施。

特定震源モデル

- ・ ひとつの地震に対して、震源の位置、規模及び発生頻度を特定して扱うモデル
 - － 震源の位置、規模及び発生頻度は調査及び各種文献を基に設定
 - － 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動評価の検討用地震、及び「その他の活断層」として敷地から100km程度以内の周辺の活断層（布田川・日奈久断層帯（M8.1）等）を設定

領域震源モデル

- ・ ある広がりを持った領域の中で発生する地震群として取り扱うモデル
 - － 領域震源の地震活動区分は、萩原（1991）⁹⁾及び垣見ほか（2003）¹⁰⁾による区分を考慮
 - － 領域の地震規模と地震発生頻度は気象庁カタログに基づき設定（1926年1月～2011年12月）
 - － 最大マグニチュードは、気象庁カタログや各種文献を基に設定



- 既許可以降に発生した2016年熊本地震(M7.3)等の地震活動により、既許可の確率論的地震ハザード評価に影響がないことを確認するため、最新の気象庁カタログ（1926年1月～2022年3月）に更新し、特定震源モデル及び領域震源モデルのそれぞれについて確認を実施。
- その結果、既許可の特定震源モデル及び領域震源モデルへの影響がないことを確認（67～69頁）。
- したがって、既許可の確率論的地震ハザード評価への影響もないことから、年超過確率の参照においては既許可で評価した一様ハザードスペクトルを使用。

【補足②】 既許可以降の地震活動による確率論的地震ハザード評価への影響確認

■ 特定震源モデル及び領域震源モデルへの影響確認

特定震源モデル

- 既許可以降に川内原子力発電所周辺で発生した地震のうち、活断層との関係が明らかな地震は、布田川・日奈久断層帯の活動とされる2016年熊本地震のみ。2016年熊本地震を踏まえても、布田川・日奈久断層帯（M8.1）の震源の位置、規模、発生頻度に影響はない。
 - 2016年熊本地震（M7.3）は布田川・日奈久断層帯（M8.1）で発生しており、震源の位置や規模が変わるものではない。
 - 2016年熊本地震（M7.3）により、布田川・日奈久断層帯（M8.1）の発生頻度の基となる活動度（B級；平均変位速度 2.5×10^{-4} m/年）が変わる知見はなく、M8.1の発生頻度に影響はない。
- 以上より、特定震源モデルへの影響はない。

領域震源モデル

- 最新の気象庁カタログを踏まえ、萩原（1991）⁹⁾（図1）及び垣見ほか（2003）¹⁰⁾（図2）における領域の最大規模及び年発生頻度を更新。
 - 評価対象としている萩原（1991）⁹⁾の領域O及び垣見ほか（2003）¹⁰⁾の領域11X1で、2015年薩摩半島西方沖の地震（M7.1）が発生。既許可では、上記領域の最大MはM6.6と設定していたことから、M7.1に更新。なお、2016年熊本地震本震（M7.3）は、既許可では、特定震源モデルで布田川・日奈久断層帯（M8.1）として評価していることから、重複した評価を避けるため、領域震源モデルでは考慮しない。
 - 最新の気象庁カタログ（1926年1月～2022年3月）に基づき、各領域の年発生頻度を更新。
- 既許可と気象庁カタログ更新後のハザード曲線の比較により、領域震源モデルへの影響がないことを確認（68～69頁）。

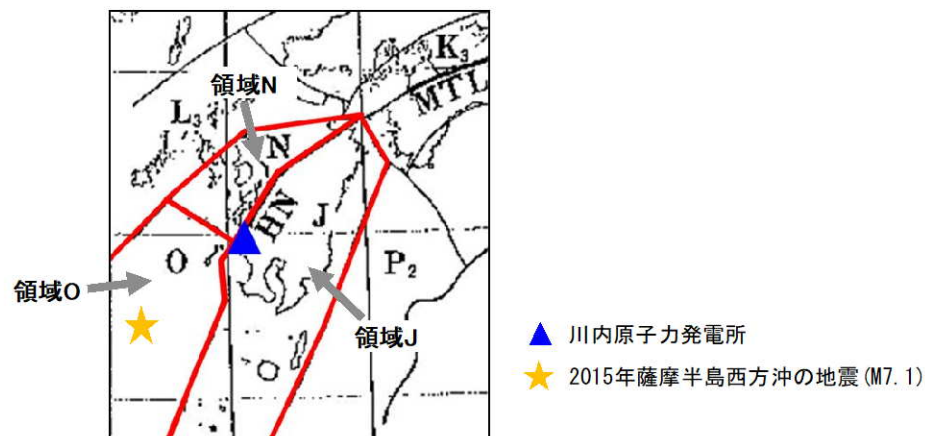


図1 萩原（1991）⁹⁾の地震地体構造区分（九州地方を拡大）

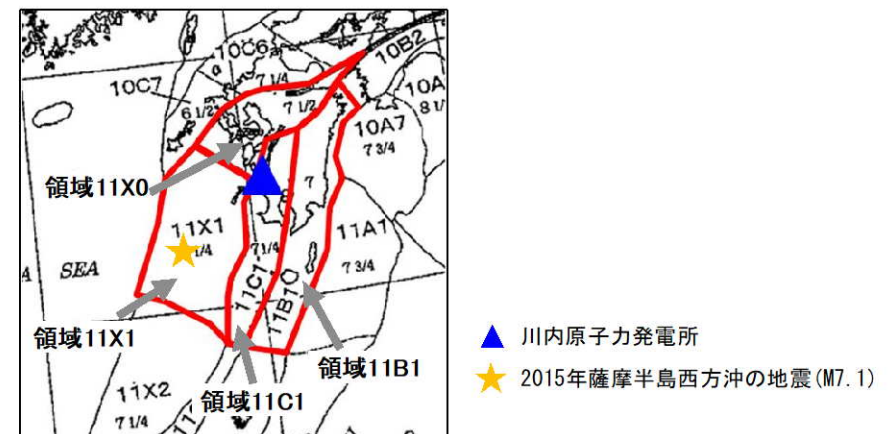


図2 垣見ほか（2003）¹⁰⁾の地震地体構造区分（九州地方を拡大）

【補足②】既許可以降の地震活動による確率論的地震ハザード評価への影響確認

- 気象庁カタログ更新後の萩原（1991）⁹⁾による領域震源の諸元及びハザード曲線を示す。
 - 気象庁カタログ更新後、領域N及び領域Oは年発生頻度がやや増加しハザード曲線が大きくなるが、領域震源全体のハザード曲線に対する寄与は小さいため、領域震源全体のハザード曲線は既許可と同等（更新前後でハザード曲線が概ね重なっている）であり、領域震源モデルへの影響はない。

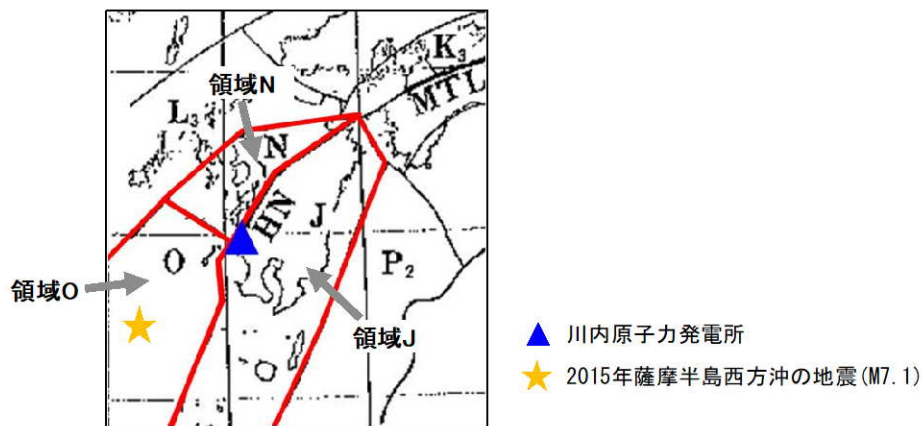


図3 萩原(1991)⁹⁾の地震地体構造区分(九州地方を拡大)

表1 萩原(1991)⁹⁾による領域震源の諸元の比較

領域	期間	最小M	最大M	b 値※1	年発生頻度※2
J	1926. 1~ 2022. 3 (1926. 1~ 2011. 12)	5. 0	7. 1/6. 8/6. 6	1. 00	0. 84
N		(5. 0)	(7. 1/6. 8/6. 6)	(1. 00)	(0. 88)
O		5. 0	7. 1	0. 85	0. 33
		(5. 0)	(6. 6)	(0. 97)	(0. 28)

()内は、既許可の評価結果を示す

※1 対象期間に領域で発生した地震群のMと地震の数との関係(G-R則)を示す。

Mが大きな地震の数が増加するとb値が小さくなる。

※2 領域における1年あたりの地震(M5)の数を示す。地震活動が活発になると年発生頻度が大きくなる。

(例) 領域N及び領域Oは、気象庁カタログ更新後、Mが大きな地震の数が増加していることから、b値は小さくなり、年発生頻度は大きくなる。このため、年超過確率は大きくなる傾向にある(領域Oは最大M見直しにより、年超過確率がより増大)。

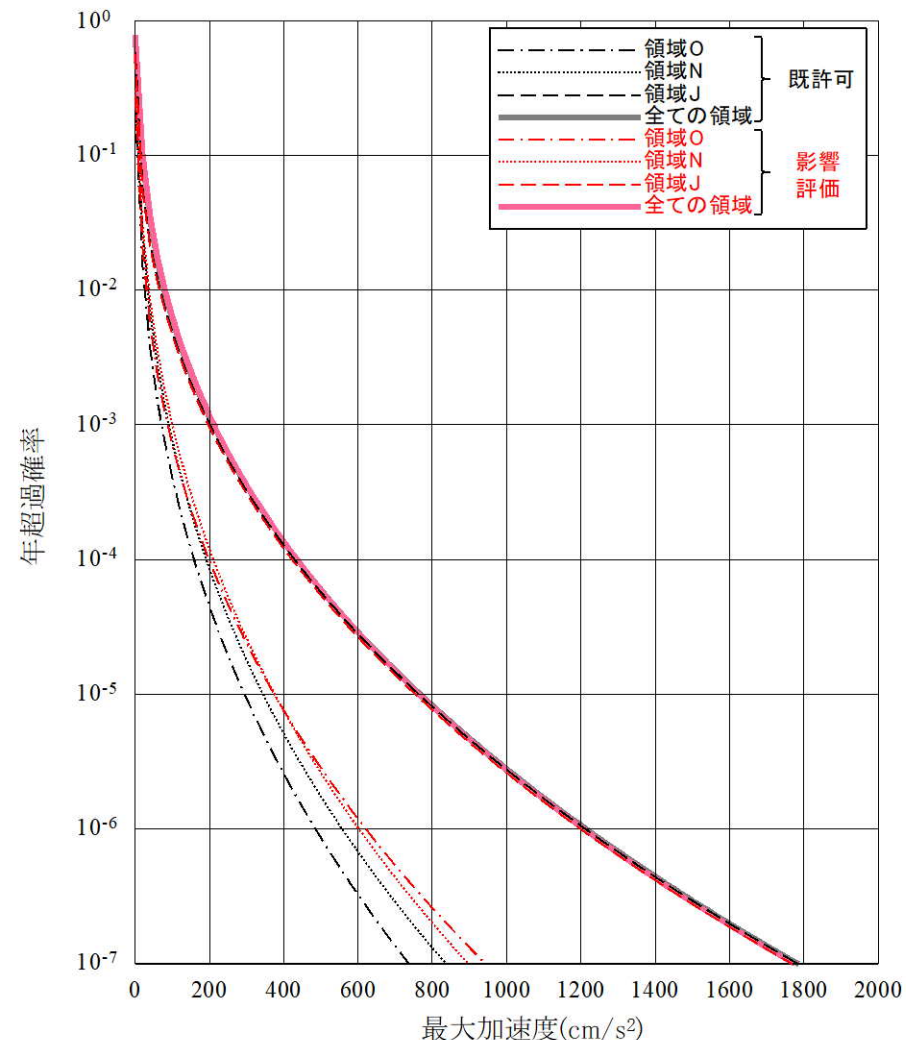


図4 領域ごとのハザード曲線の比較
(萩原(1991)⁹⁾)

【補足②】既許可以降の地震活動による確率論的地震ハザード評価への影響確認

- 気象庁カタログ更新後の垣見ほか（2003）¹⁰⁾による領域震源の諸元及びハザード曲線を示す。
 - 気象庁カタログ更新後、領域11X0及び領域11X1は年発生頻度がやや増加しハザード曲線が大きくなるが、領域震源全体のハザード曲線に対する寄与は小さいため、領域震源全体のハザード曲線は既許可と同等（更新前後でハザード曲線が概ね重なっている）であり、領域震源モデルへの影響はない。

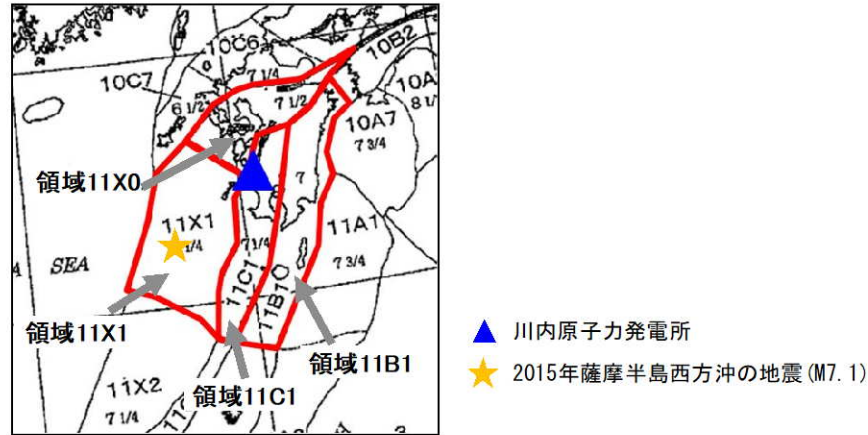


図5 垣見ほか（2003）¹⁰⁾の地震地体構造区分（九州地方を拡大）

表2 垣見ほか（2003）¹⁰⁾による領域震源の諸元の比較

領域	期間	最小M	最大M	b 値※1	年発生頻度※2
11B1	(1926.1~2011.12)	5.0 (5.0)	6.8 (6.8)	0.97 (0.97)	0.34 (0.37)
11C1		5.0 (5.0)	7.1/6.8/6.6 (7.1/6.8/6.6)	0.93 (0.90)	0.22 (0.24)
11X0		5.0 (5.0)	6.9 (6.9)	1.02 (1.14)	0.36 (0.33)
11X1		5.0 (5.0)	7.1 (6.6)	0.89 (1.01)	0.37 (0.33)

()内は、既許可の評価結果を示す

※1 対象期間に領域で発生した地震群のMと地震の数との関係(G-R則)を示す。

Mが大きな地震の数が増加するとb値が小さくなる。

※2 領域における1年あたりの地震(M5)の数を示す。地震活動が活発になると年発生頻度が大きくなる。

(例) 領域11X0及び領域11X1は、気象庁カタログ更新後、Mが大きな地震の数が増加していることから、b値は小さくなり、年発生頻度は大きくなる。このため、年超過確率は大きくなる傾向にある（領域11X1は最大M見直しにより、年超過確率がより増大）。

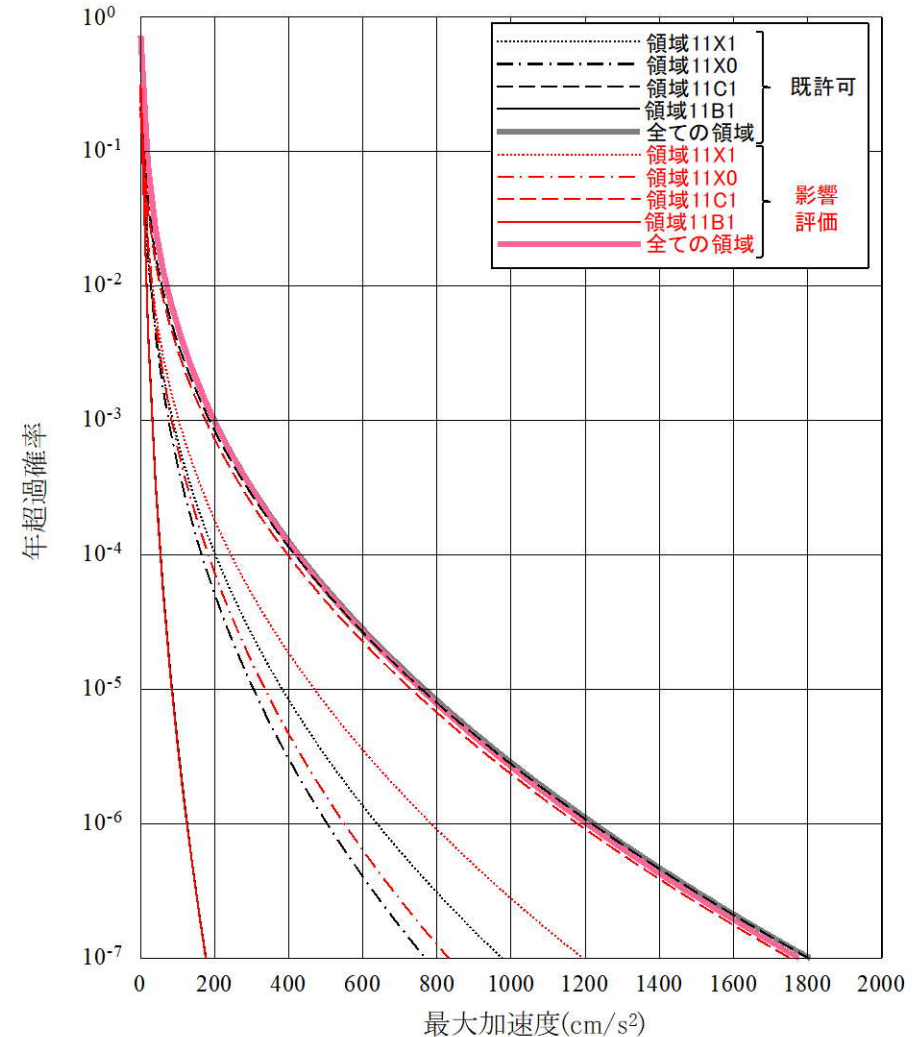


図6 領域ごとのハザード曲線の比較
(垣見ほか(2003)¹⁰⁾)

【参考①】 速度構造の見直しに係る経緯について

【参考①】速度構造の見直しに係る経緯について

- 標準応答スペクトルを考慮した地震動評価にあたり、当初申請（令和3年4月26日申請）においては、既許可時審査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、既許可モデルの地盤減衰（Q値）を見直したモデル（現申請モデル：73頁）を設定
- 審査会合において、現申請モデルを用いたシミュレーションによる応答波の応答スペクトルと地震観測記録との整合性が確認できないことから、地下構造モデルを見直す方針に変更。
- 上記を踏まえ、シミュレーションによる応答波の応答スペクトルと地震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。また、速度構造を見直したモデル（見直しモデル：73頁）と既許可モデルの観測記録との整合性の確認を実施した。
 - 見直しモデルは、速度構造を見直すことにより水平方向の周期0.1秒から0.2秒における観測記録との整合性が改善する傾向が見られた（72頁、78頁、参考②）。

しかしながら、見直しモデルの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等の見直しモデルの妥当性を検証するための十分なデータがないことから合理的な説明ができないと判断した（73頁）。
 - 一方、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観測記録との整合性が改善され、短周期で大きな保守性を有する傾向がみられる（参考②）



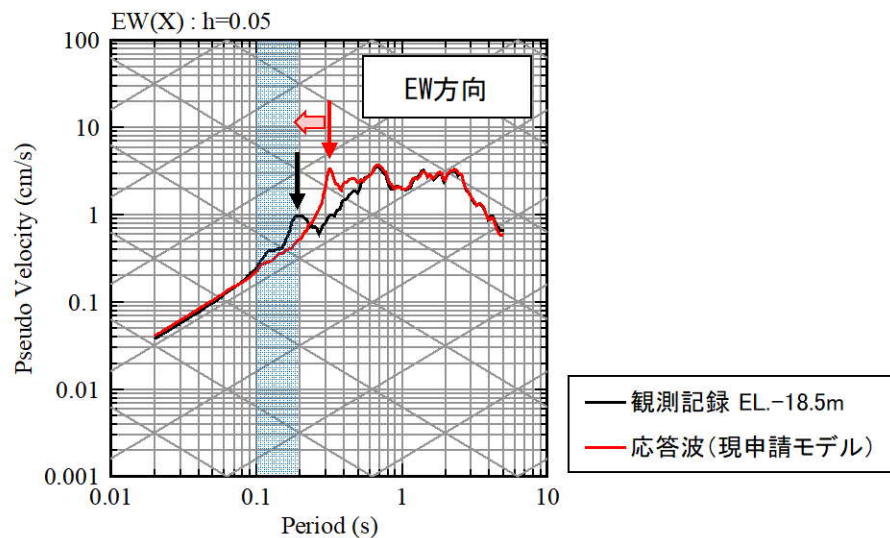
- 以上を踏まえ、標準応答スペクトルを考慮した地震動評価については既許可モデルを用いることとする。

【参考①】速度構造の見直しに係る経緯について

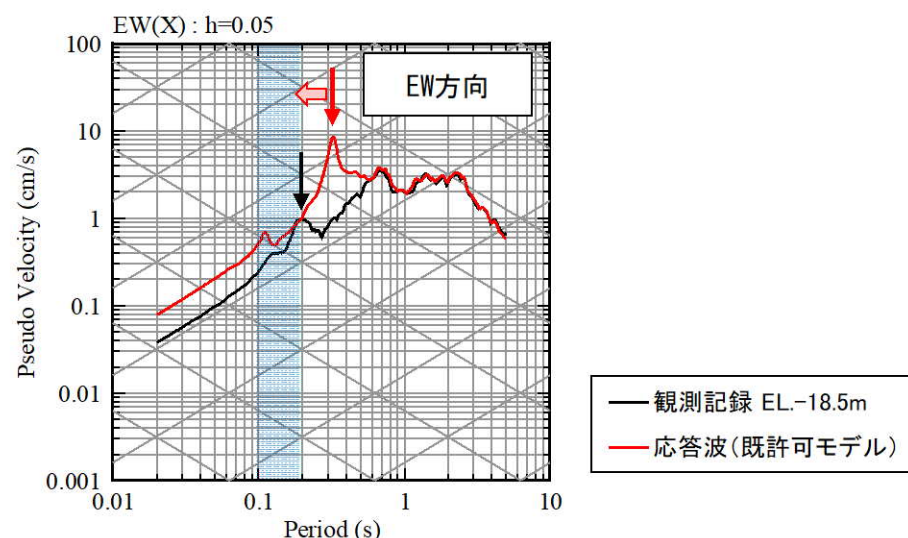
速度構造を見直したモデルの設定 (1/2)

- 観測記録の応答スペクトルでは水平方向の周期0.1秒から0.2秒にピークが見られるのに対し、速度構造が同じである現申請モデル及び既許可モデルの応答波の応答スペクトルでは周期0.3秒から0.4秒にピークが見られ、両者のピークの周期がずれている。
- このピークの周期のずれは、速度構造に起因すると考えられ、ピークを合わせるためには、地下構造モデルの速度を速くする必要がある。既許可時から得られている以下を参照し、速度構造の見直しを検討。
 - 2号炉心位置周辺におけるPS検層結果（建設時の地質調査結果）では、解放基盤表面付近のせん断波速度は $V_s=2150\text{m/s}$ である。（74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。（75頁～77頁）
- 以上を踏まえ、次頁のとおり、見直しモデルを設定。

〔①〕熊本県熊本地方（2016年熊本地震本震）の例



現申請モデル



既許可モデル

【参考①】速度構造の見直しに係る経緯について

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、見直しモデルの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等の見直しモデルの妥当性を検証するための十分なデータがないことから合理的な説明ができないと判断した。

(現申請モデル)

(見直しモデル)

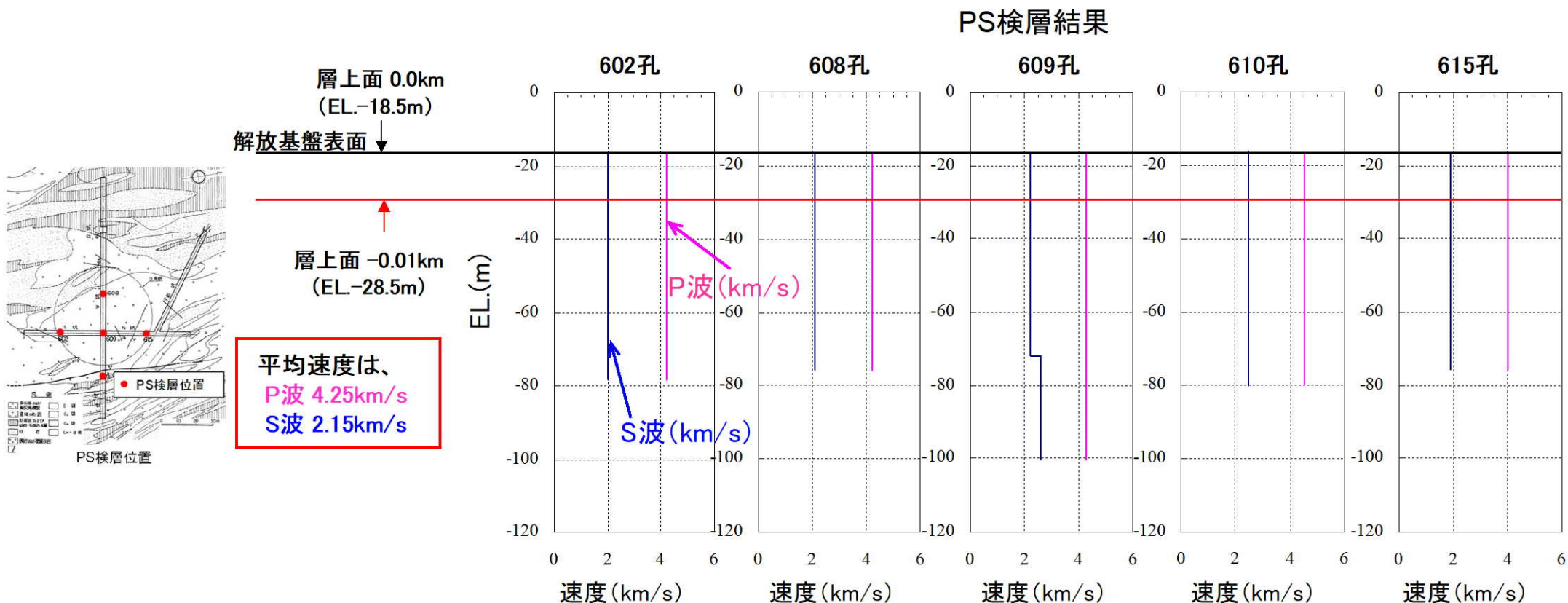
EL.	層上面 (km)	密度 ρ (g/cm ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値	設定根拠 (Vs、Vp)	密度 ρ (g/cm ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q値	設定根拠 (Vs、Vp)	
解放基盤表面	-18.5m	0.0	2.70	1500	3200	12.5	試掘坑内弾性波試験	2.70	1500	3200	12.5	試掘坑内弾性波試験
-28.5m	-0.01	2.70	1600	3700	12.5	鉛直アレイ及び微動アレイの速度構造を基に設定	2.70	2150	4400	12.5	PS検層結果を基に設定	
-200m	-0.182	2.70	1600	3700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

【参考①】速度構造の見直しに係る経緯について

建設時のPS検層結果

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

第18回審査会合資料より抜粋



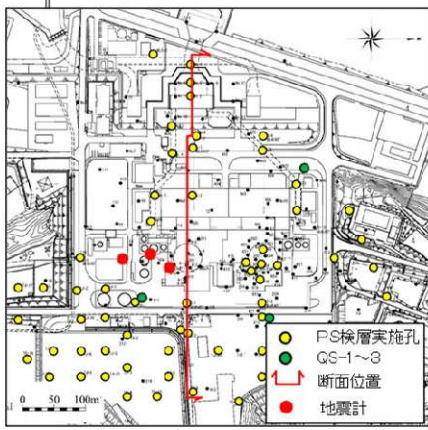
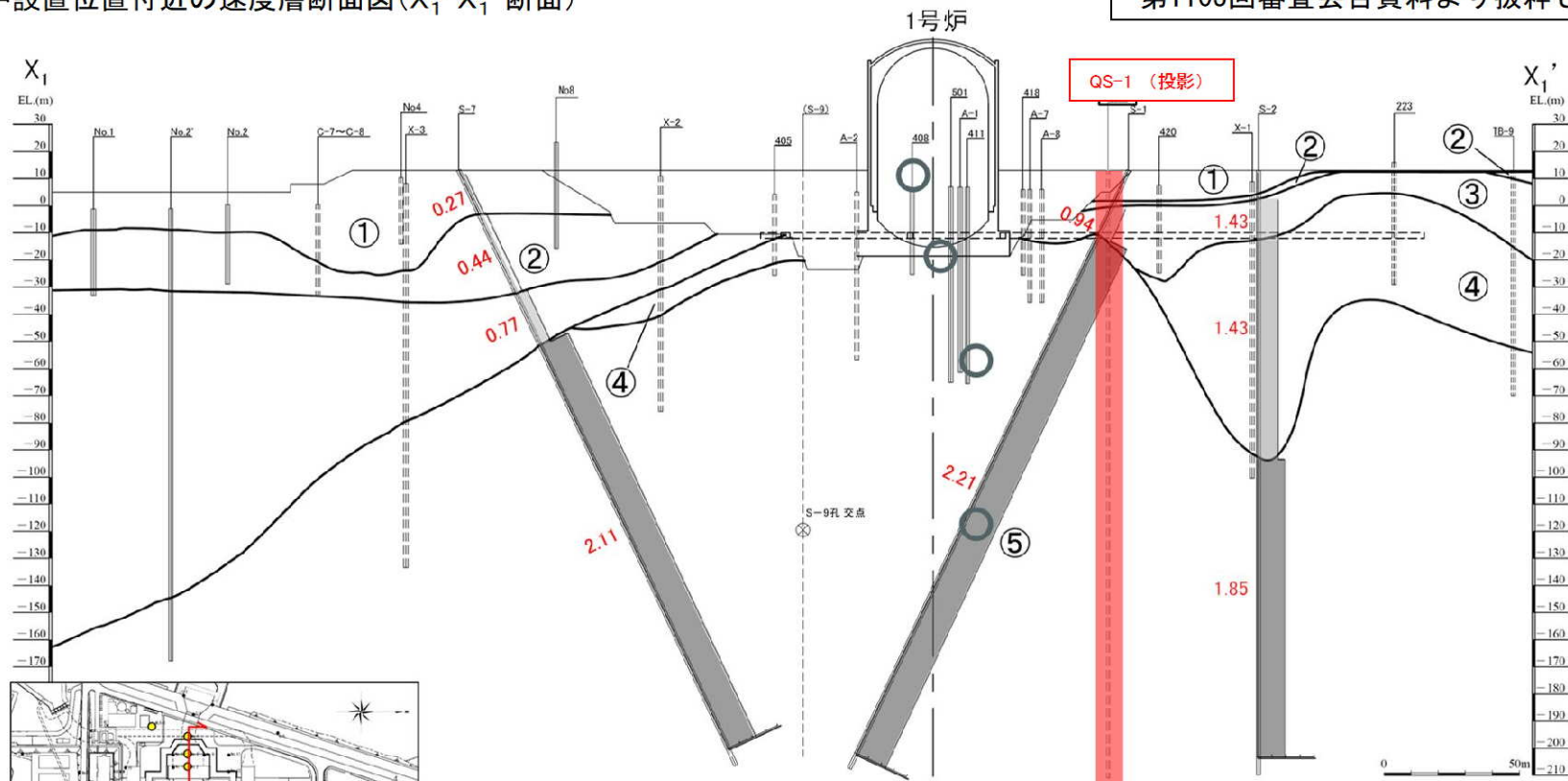
【参考①】速度構造の見直しに係る経緯について

PS検層結果に基づく速度層断面 (1/3)

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

原子炉設置位置付近の速度層断面図 (X_1-X_1' 断面)

第1103回審査会合資料より抜粋し一部追記※



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

○ 地震計設置位置 (投影)

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

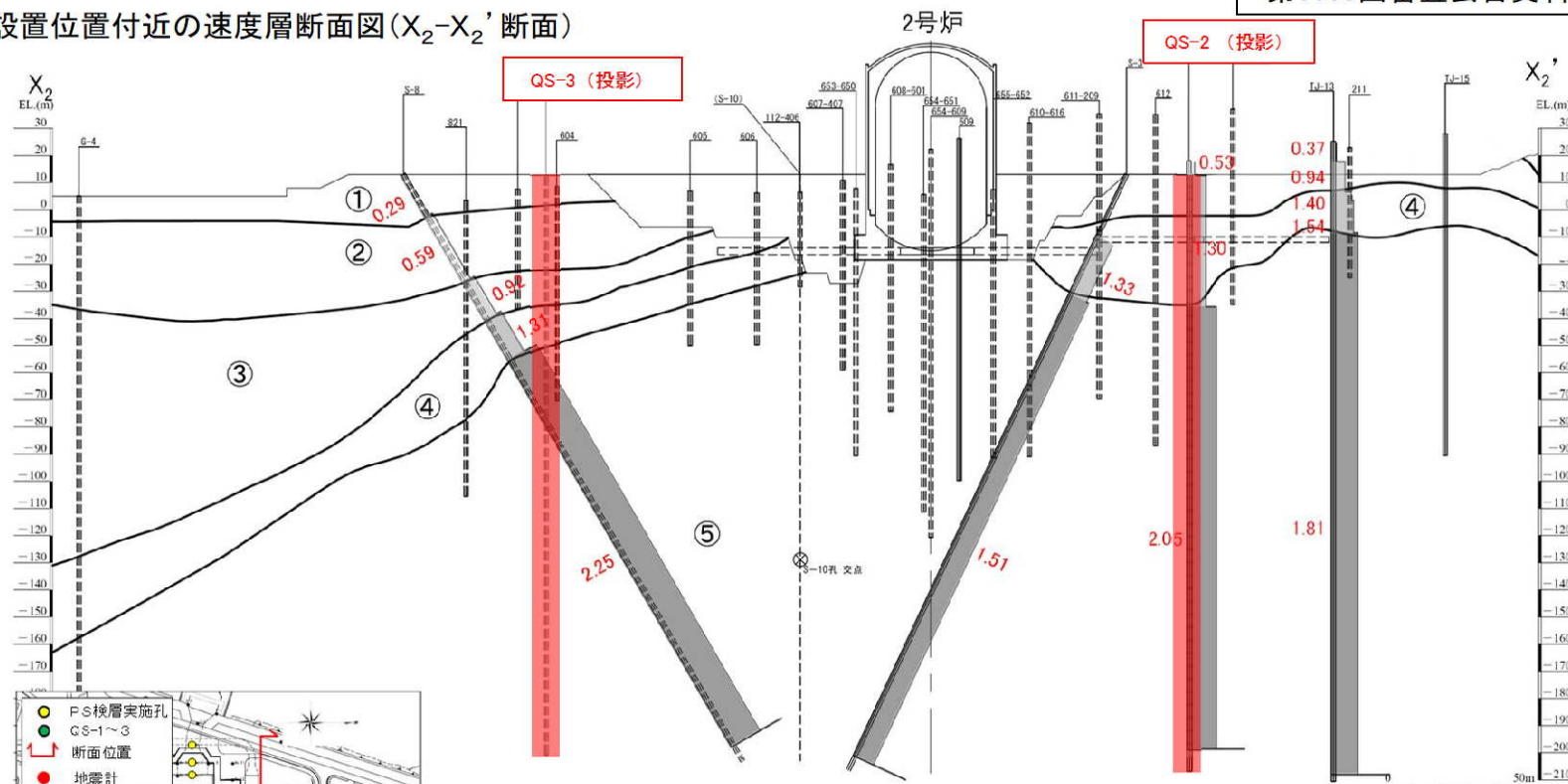
【参考①】速度構造の見直しに係る経緯について

PS検層結果に基づく速度層断面 (2/3)

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

原子炉設置位置付近の速度層断面図 (X_2-X_2' 断面)

第1103回審査会合資料より抜粋し一部追記※



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

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

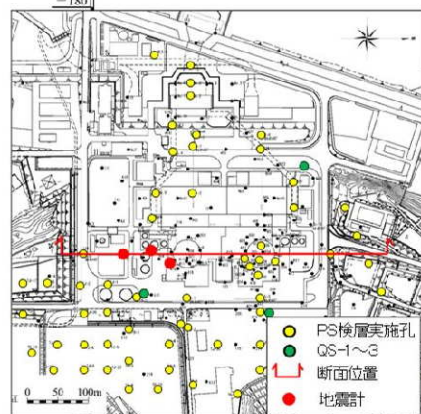
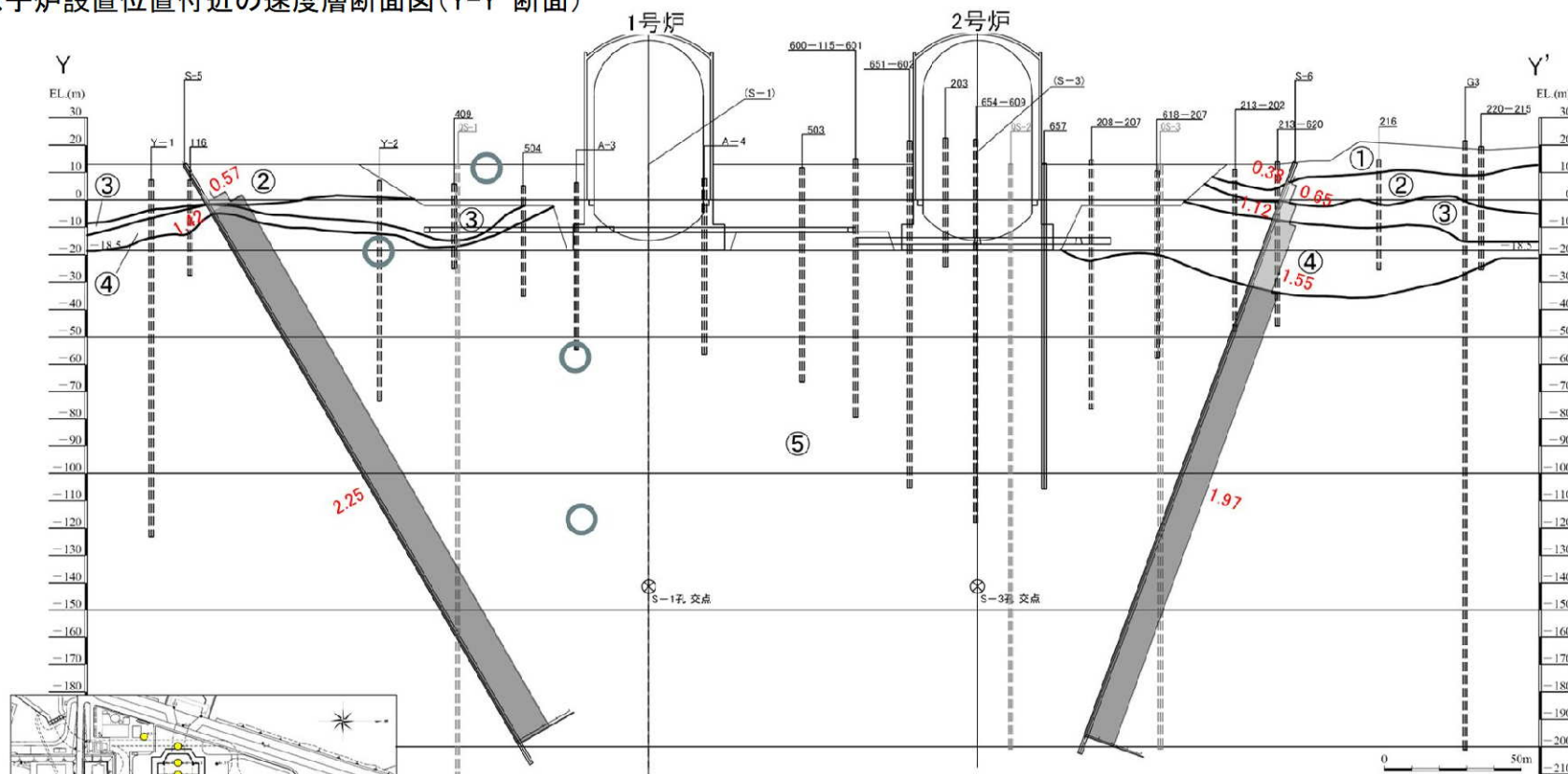
【参考①】速度構造の見直しに係る経緯について

PS検層結果に基づく速度層断面 (3/3)

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

第1103回審査会合資料より抜粋し一部追記※

原子炉設置位置付近の速度層断面図(Y-Y'断面)



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

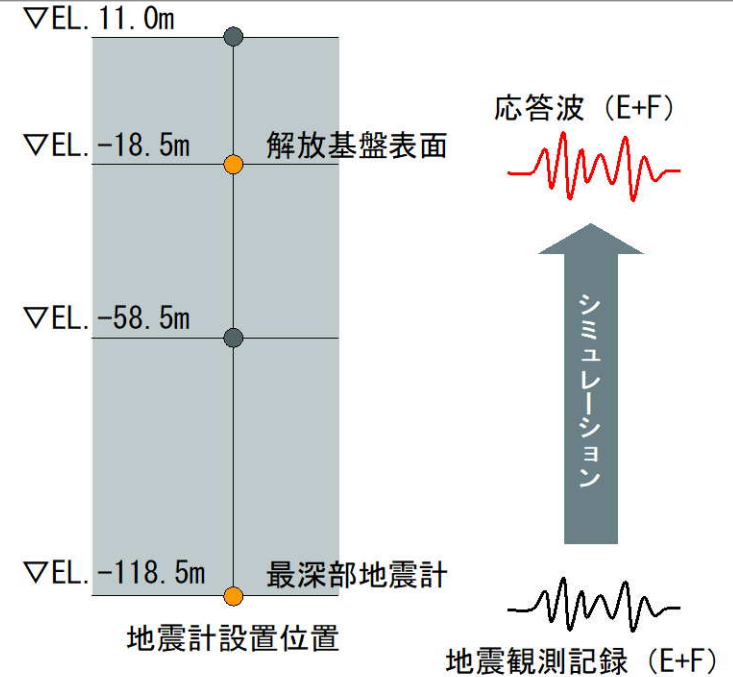
○ 地震計設置位置(投影)

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

【参考①】速度構造の見直しに係る経緯について

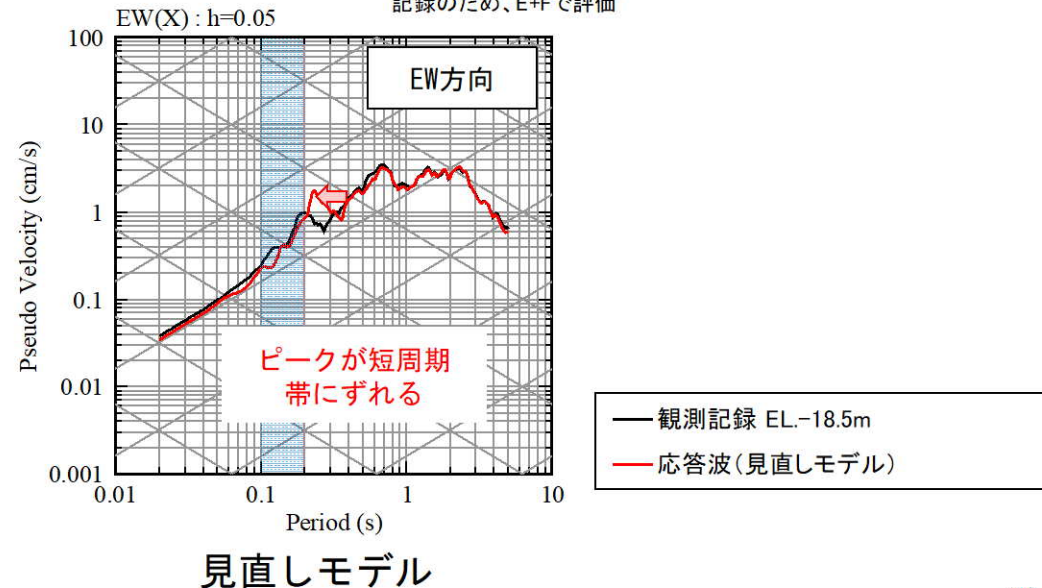
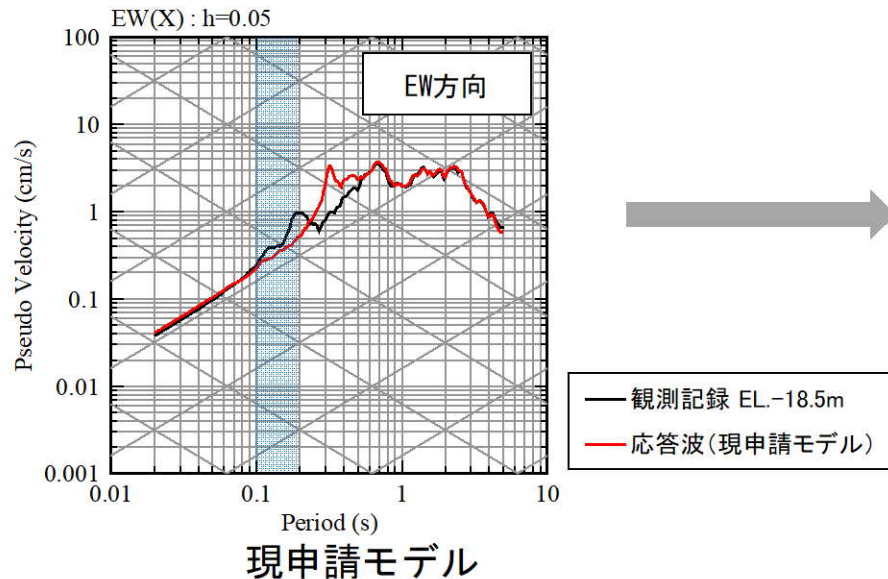
速度構造を見直したモデルによる観測記録との整合性確認

- 速度構造を見直したモデル（73頁）を用いて、最深部地震計（EL. -118.5m）で得られた地震観測記録を入力※とし、1次元波動論に基づき、推定した応答波（EL. -18.5m）※の応答スペクトルと同位置の地震計で得られた地震観測記録の応答スペクトルとの比較を実施。
- 見直しモデルは、現申請モデルに比べて速度を速くすることにより、現申請モデルの応答波に見られる0.3秒から0.4秒のピークが短周期帯にずれることから、周期0.1秒から0.2秒において、観測記録との整合性が改善されるものの、既許可モデルと同程度。（参考②）



〔①〕熊本県熊本地方（2016年熊本地震本震）の例

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



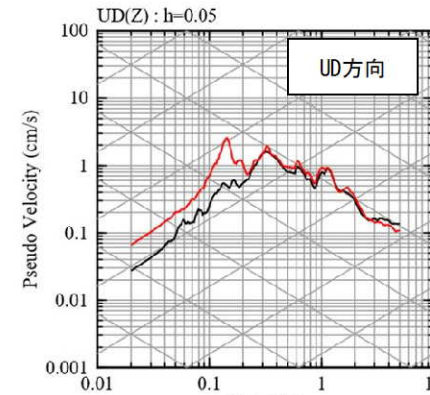
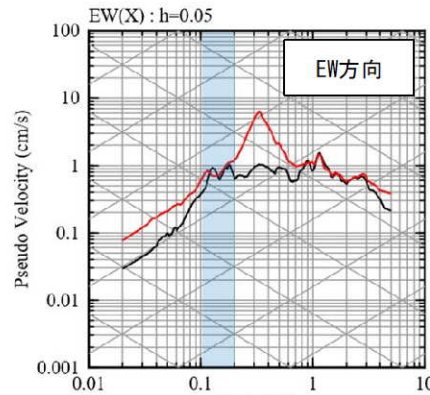
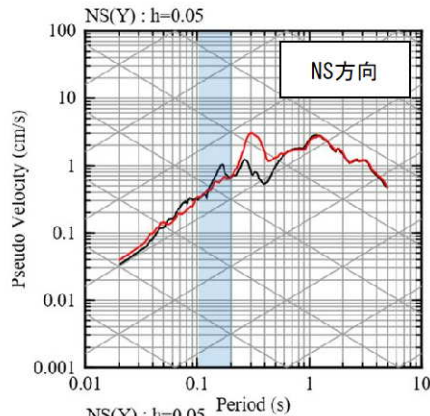
【参考②】 応答スペクトルの比較結果

【参考②】 応答スペクトルの比較結果

■ 応答スペクトルの比較結果 (1/20)

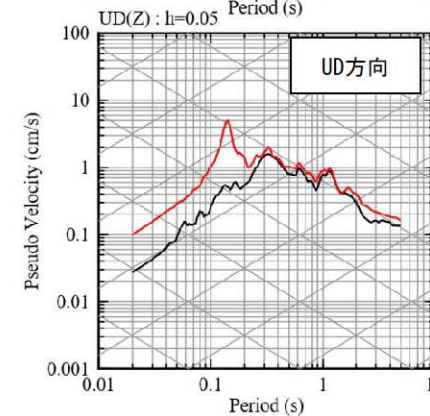
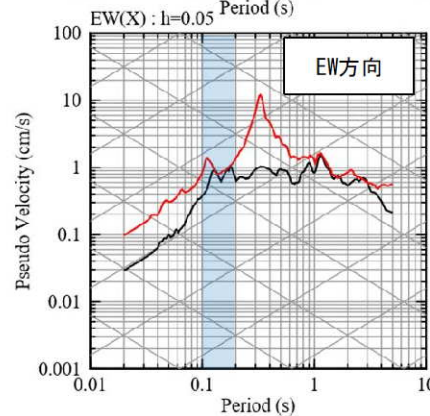
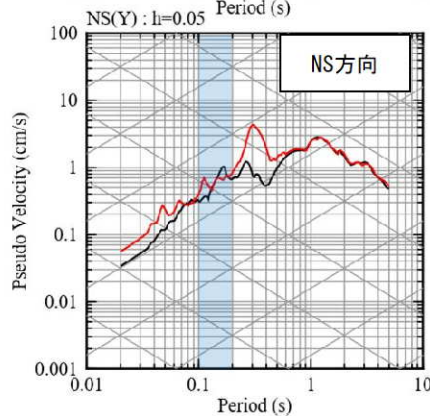
①九州西側海域

現申請モデル



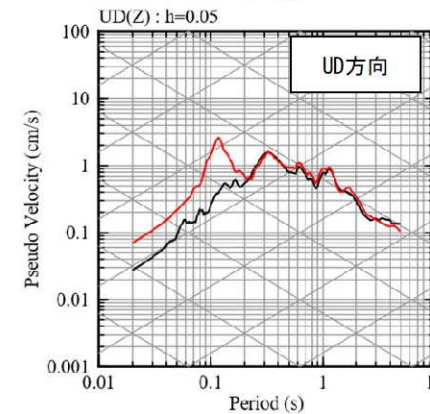
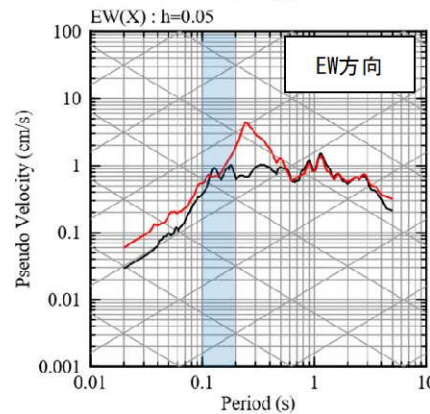
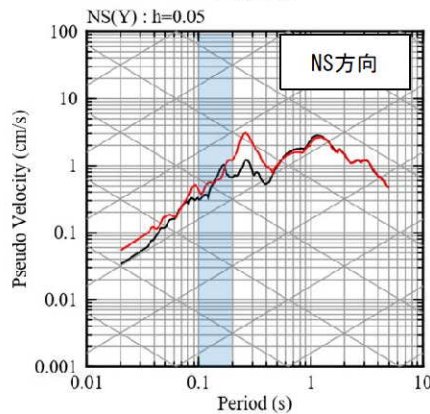
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

既許可モデル



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (既許可モデル)

見直しモデル



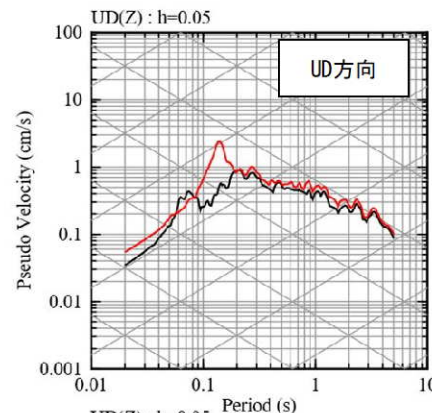
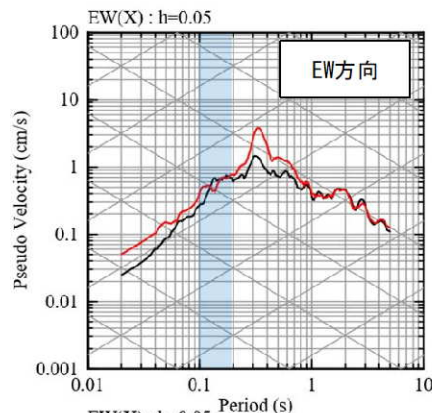
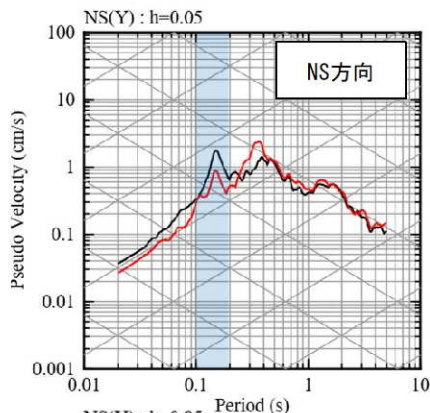
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考②】 応答スペクトルの比較結果

■ 応答スペクトルの比較結果 (2/20)

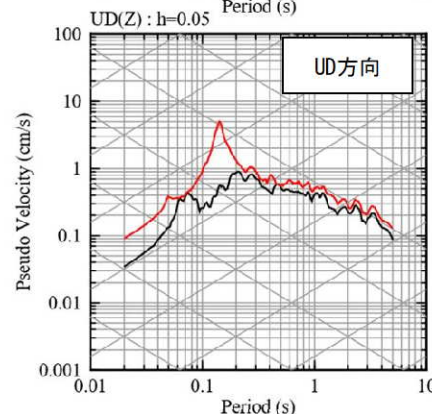
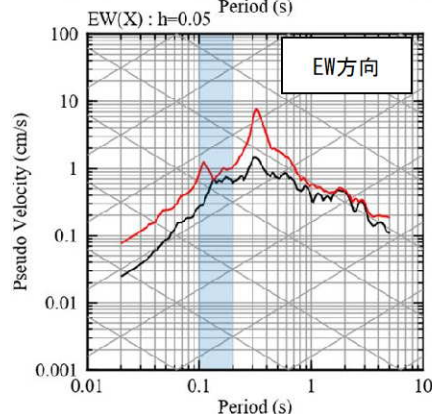
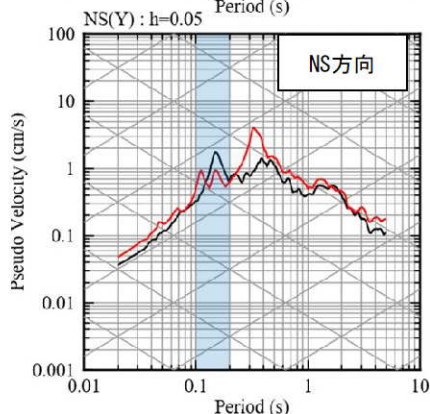
② 鹿児島県北西部

現申請モデル



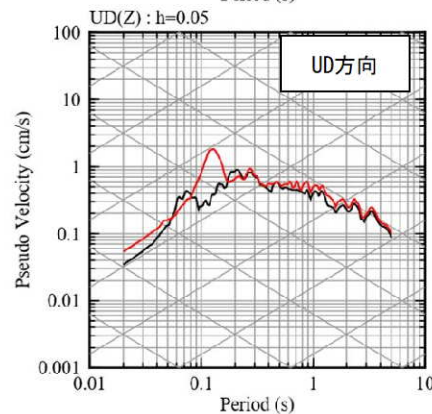
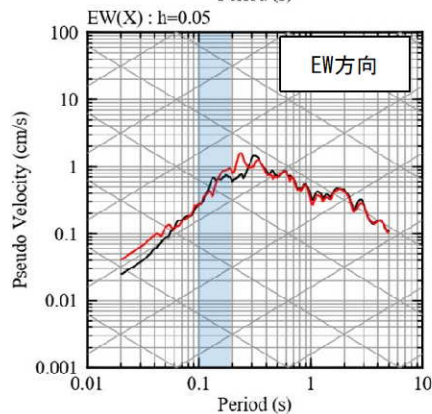
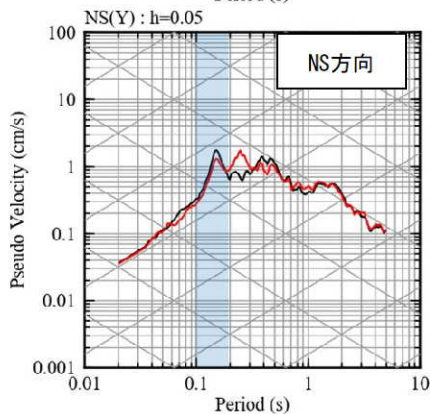
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

既許可モデル



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (既許可モデル)

見直しモデル



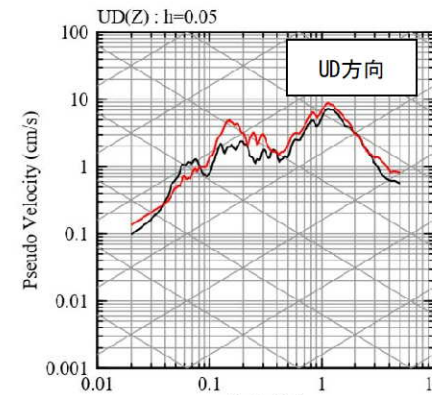
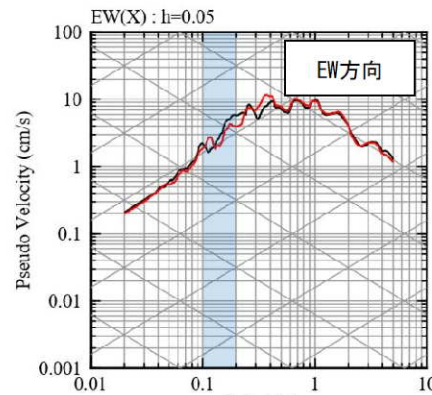
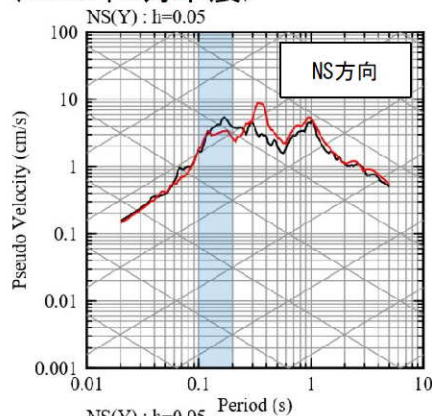
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考②】 応答スペクトルの比較結果

■ 応答スペクトルの比較結果 (3/20)

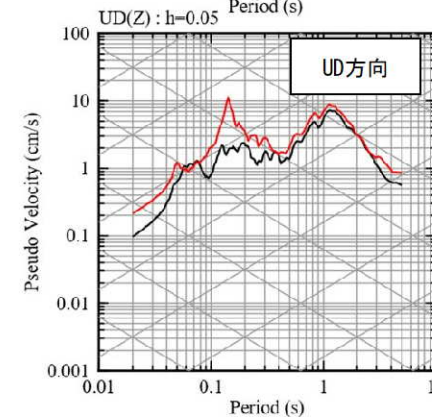
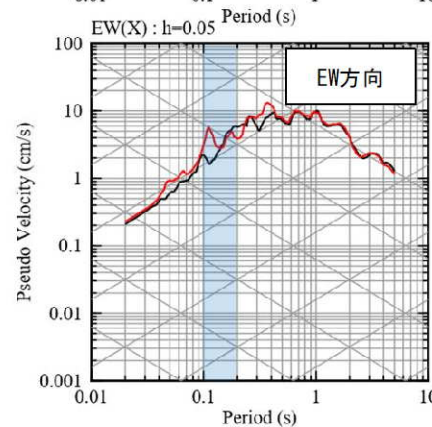
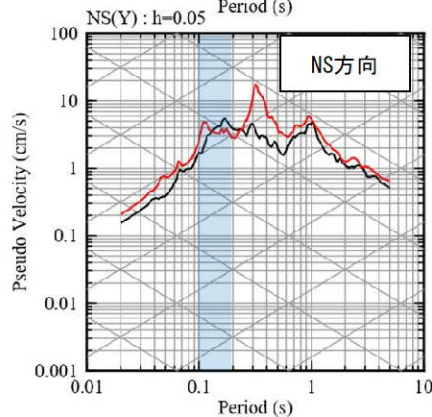
③ 鹿児島県北西部 (1997年3月本震)

現申請モデル



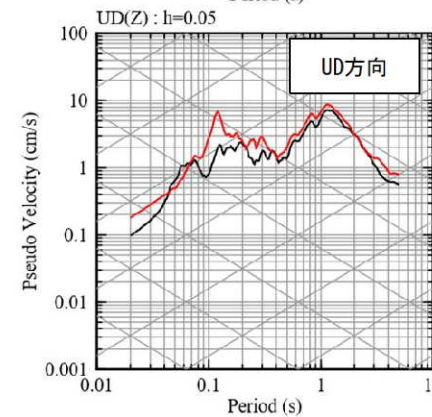
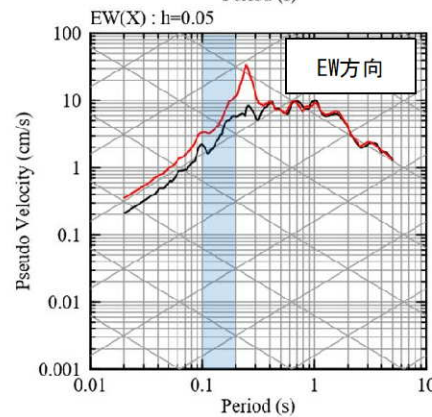
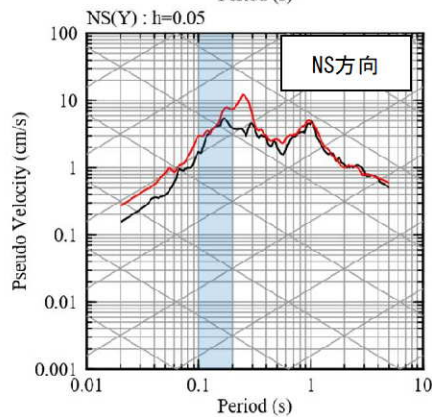
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

既許可モデル



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (既許可モデル)

見直しモデル



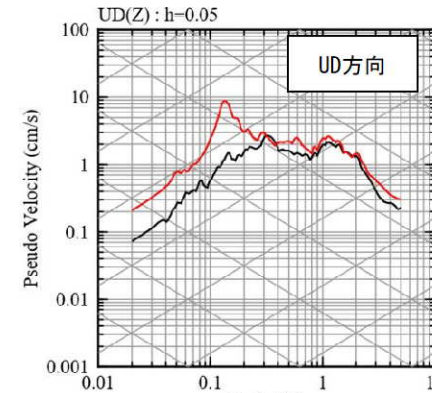
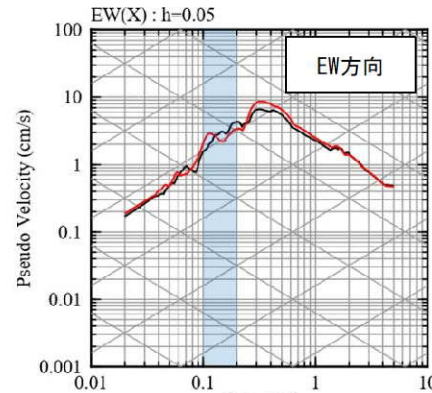
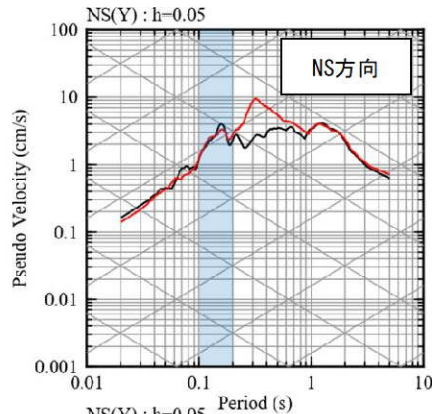
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考②】 応答スペクトルの比較結果

■ 応答スペクトルの比較結果 (4/20)

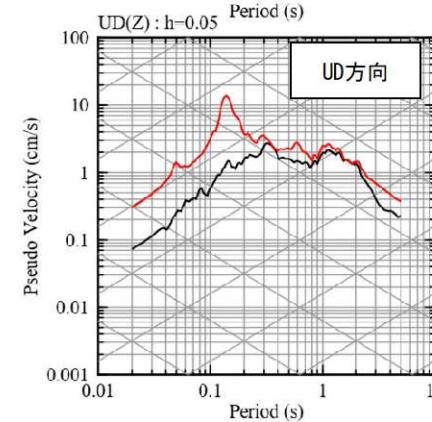
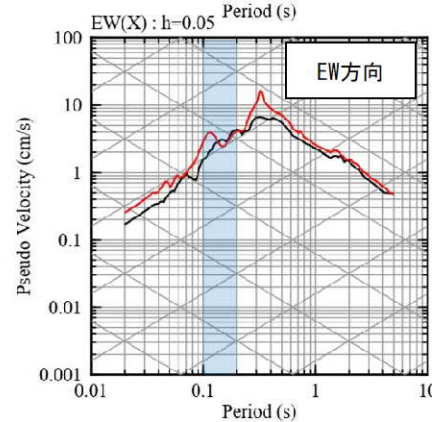
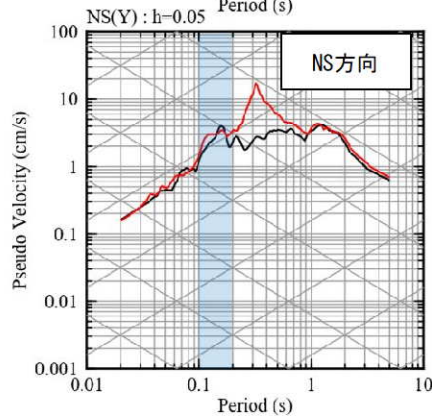
④ 鹿児島県北西部

現申請モデル



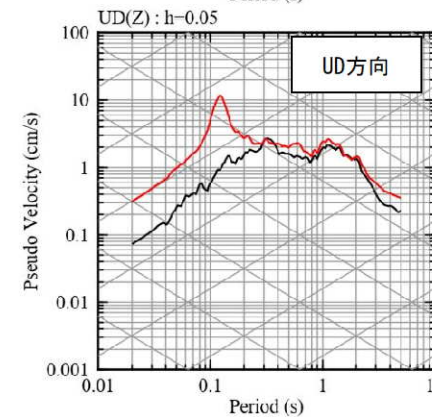
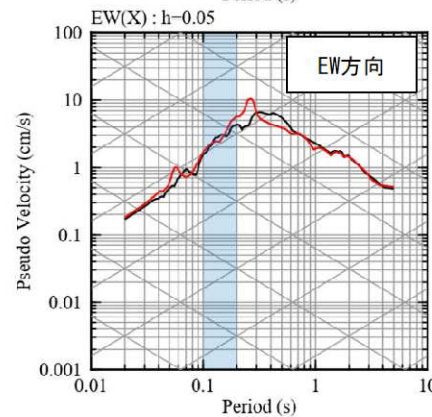
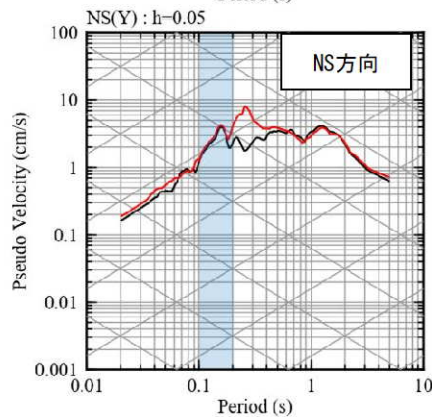
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

既許可モデル



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (既許可モデル)

見直しモデル



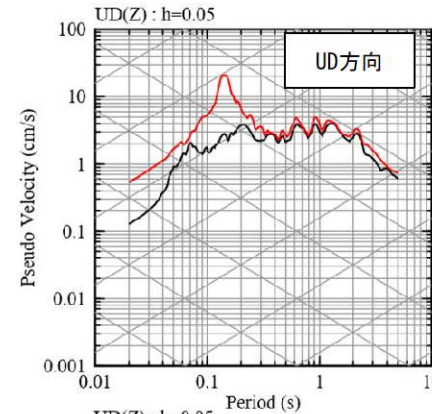
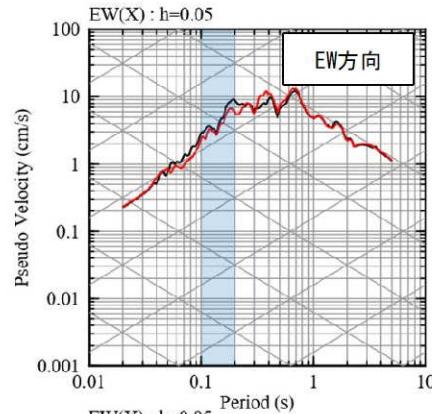
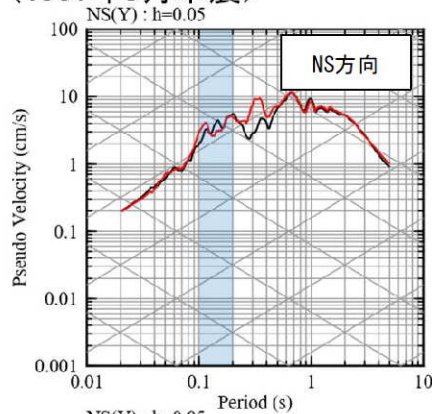
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考②】 応答スペクトルの比較結果

■ 応答スペクトルの比較結果 (5/20)

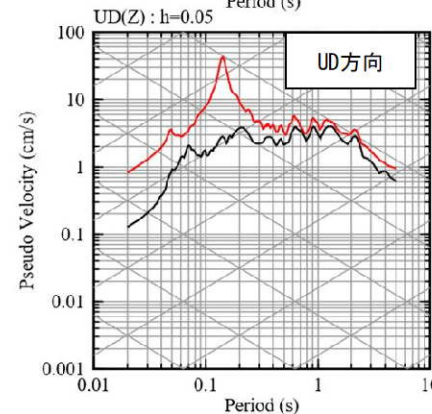
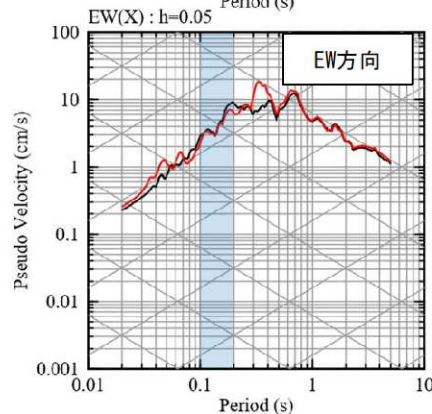
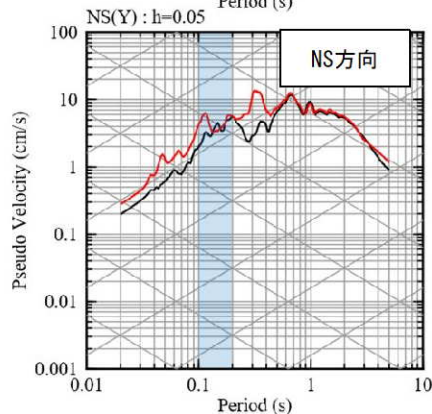
⑤ 鹿児島県北西部 (1997年5月本震)

現申請モデル



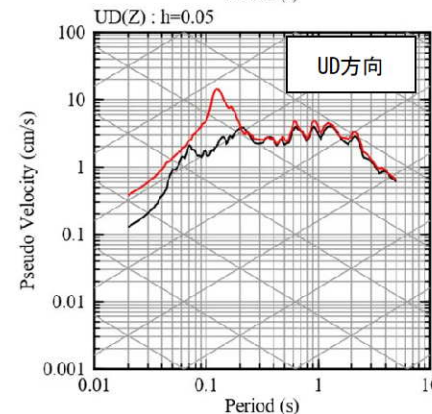
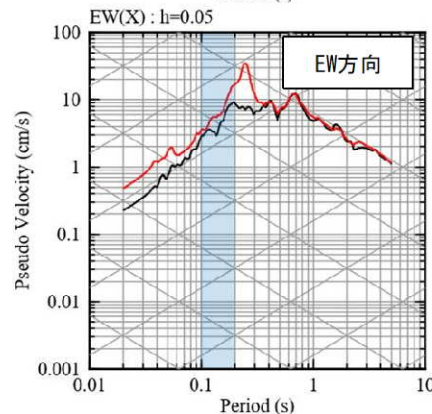
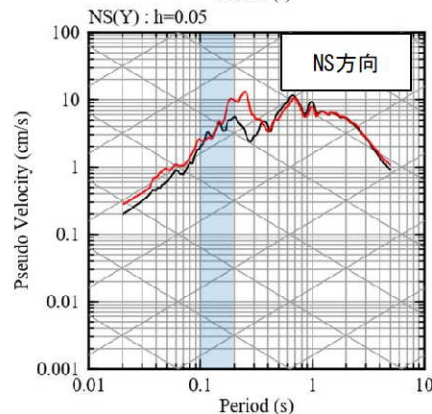
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

既許可モデル



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (既許可モデル)

見直しモデル



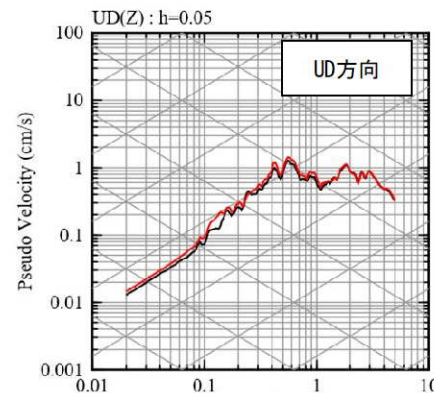
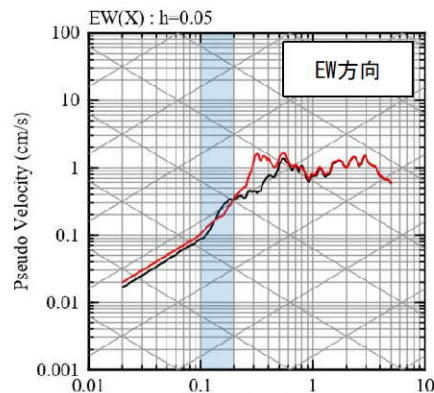
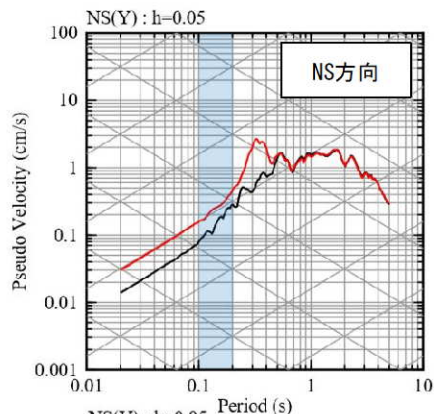
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考②】 応答スペクトルの比較結果

■ 応答スペクトルの比較結果 (6/20)

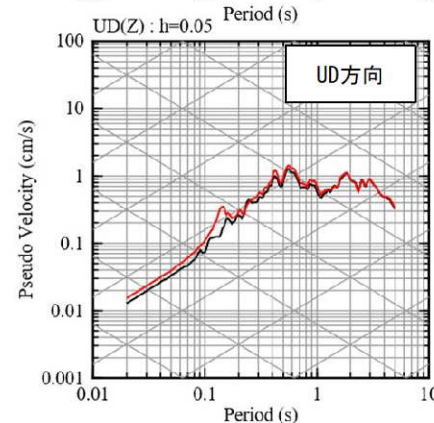
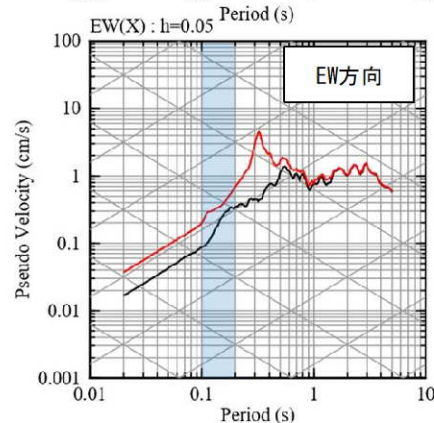
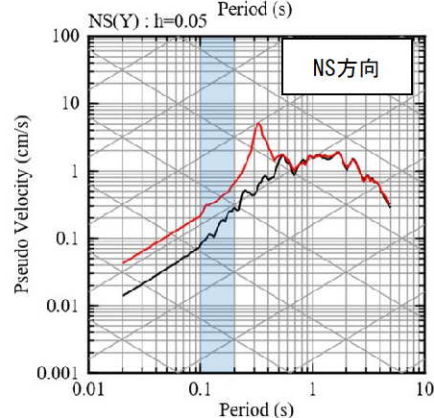
⑥ 薩摩半島西方沖

現申請モデル



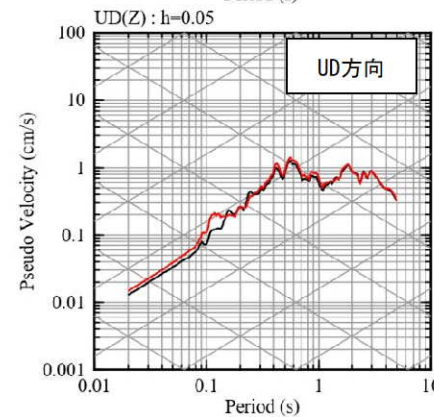
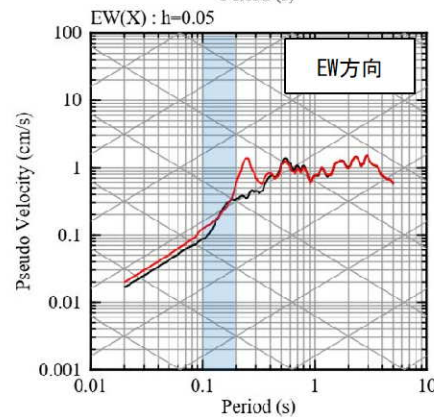
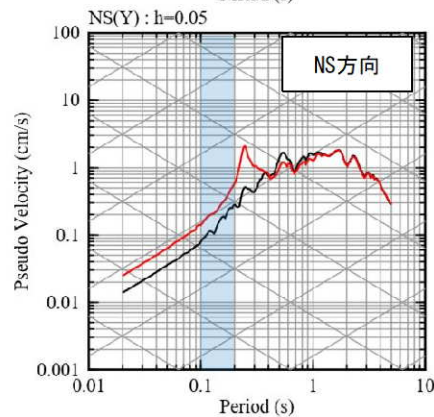
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

既許可モデル



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (既許可モデル)

見直しモデル



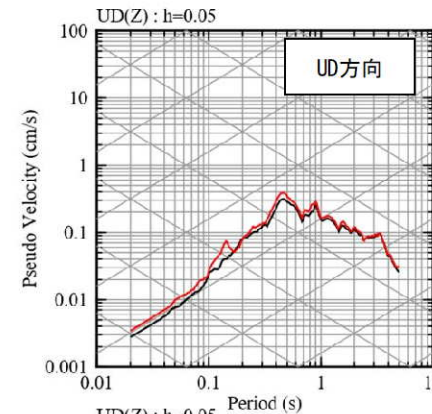
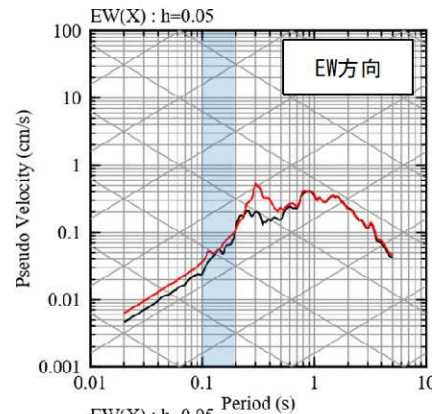
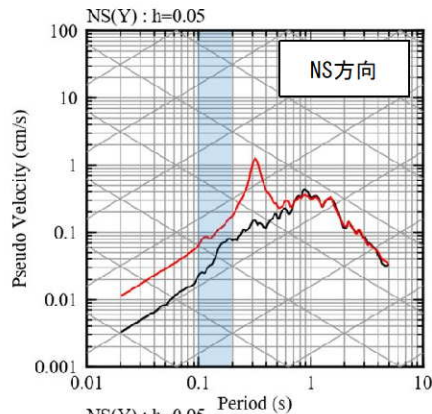
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考②】 応答スペクトルの比較結果

■ 応答スペクトルの比較結果 (7/20)

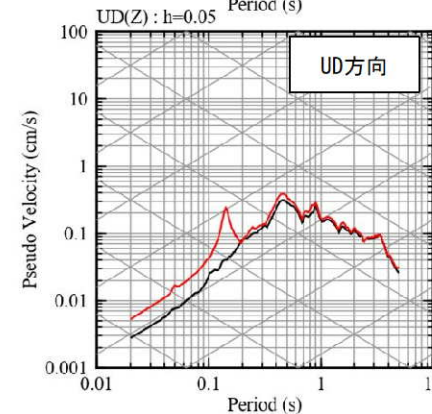
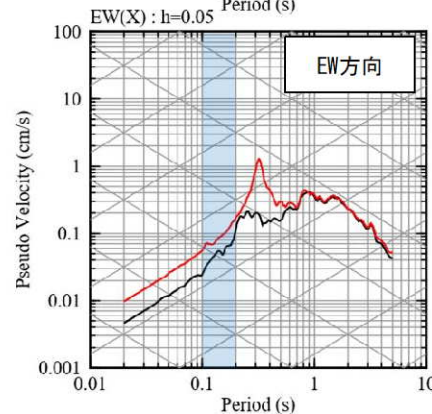
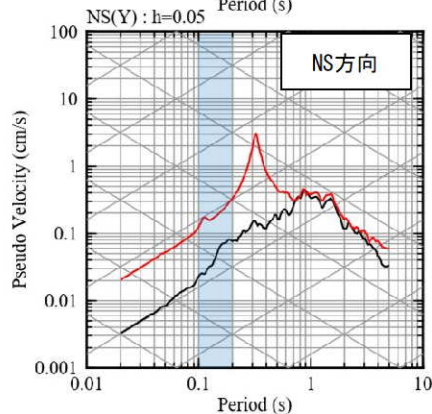
⑦ 薩摩半島西方沖

現申請モデル



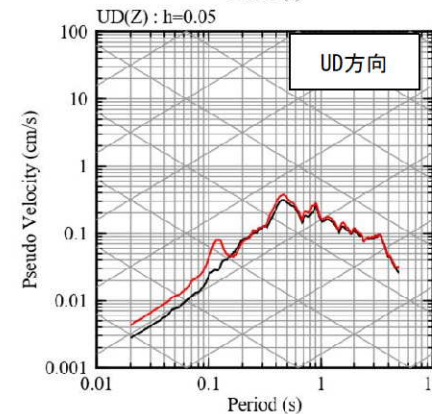
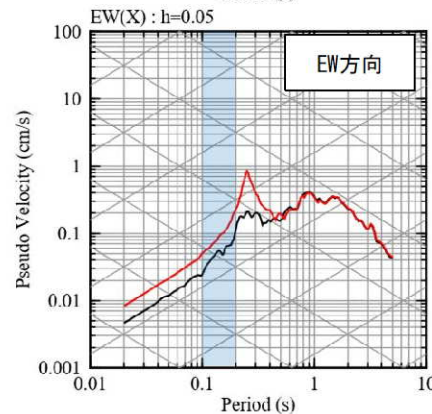
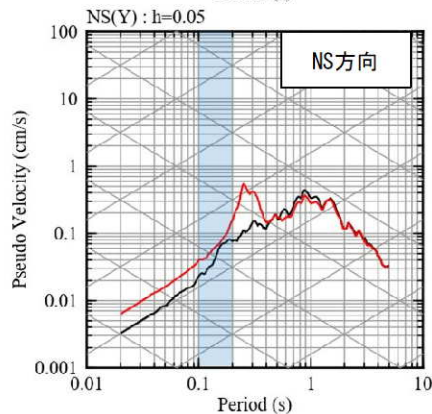
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波(現申請モデル)

既許可モデル



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波(既許可モデル)

見直しモデル



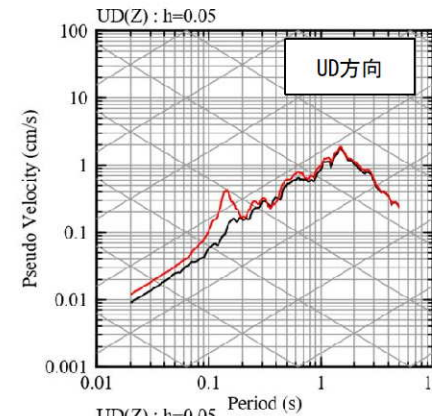
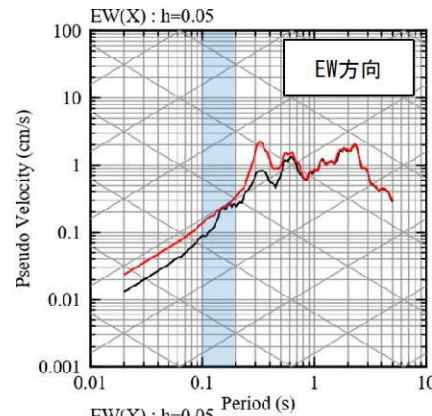
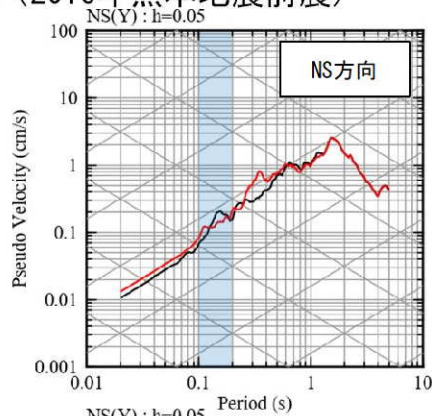
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波(見直しモデル)

【参考②】 応答スペクトルの比較結果

■ 応答スペクトルの比較結果 (8/20)

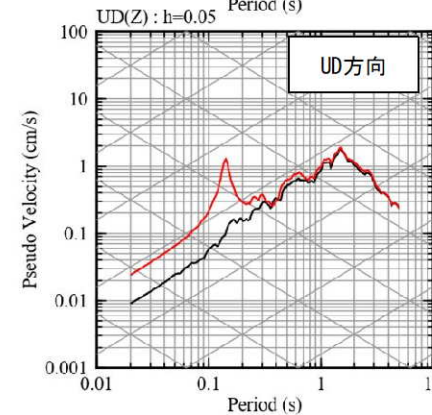
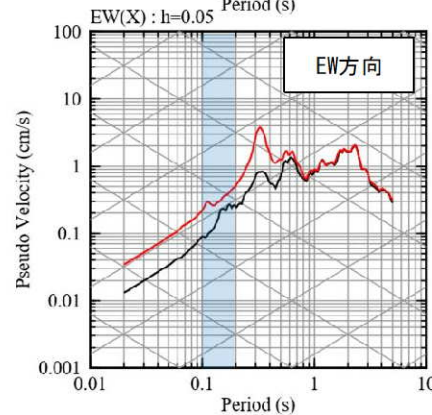
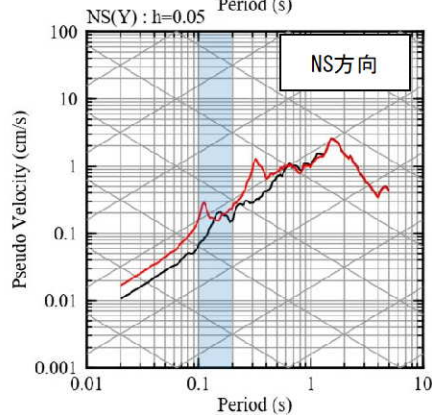
⑧ 熊本県熊本地方 (2016年熊本地震前震)

現申請モデル



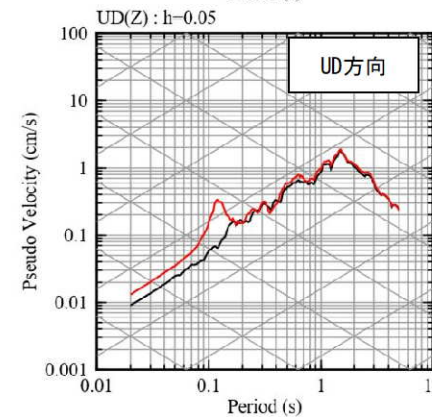
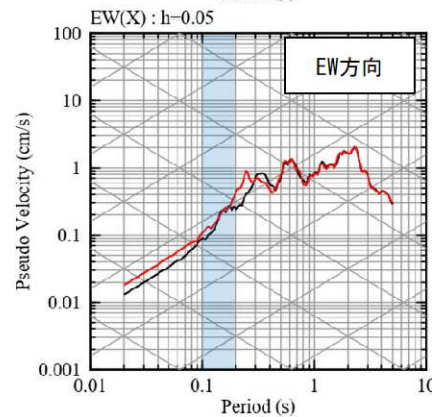
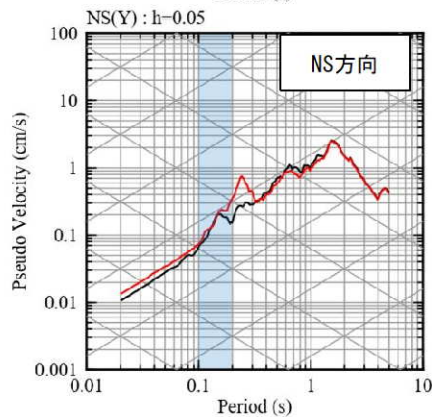
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

既許可モデル



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (既許可モデル)

見直しモデル



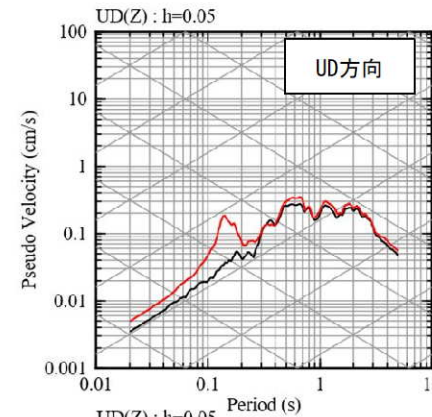
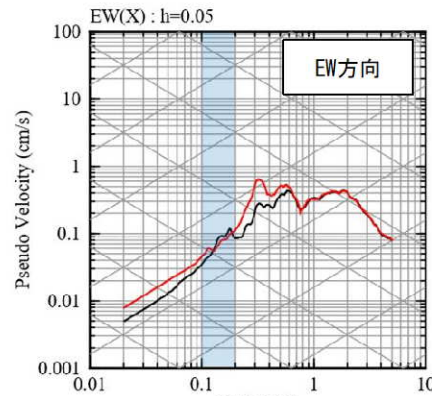
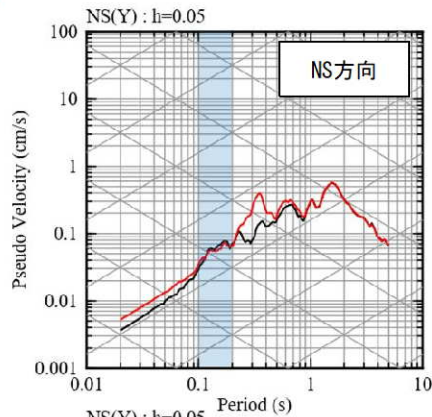
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考②】 応答スペクトルの比較結果

■ 応答スペクトルの比較結果 (9/20)

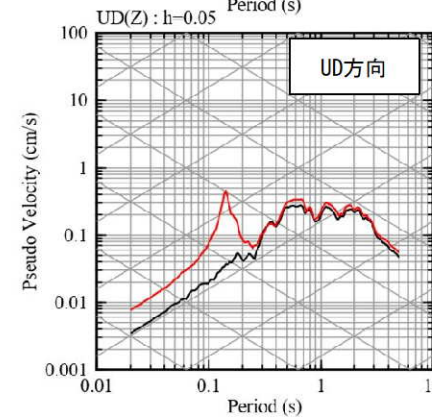
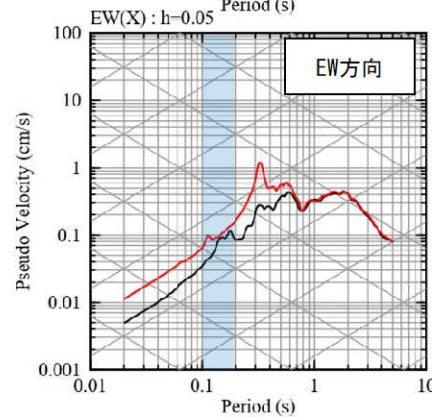
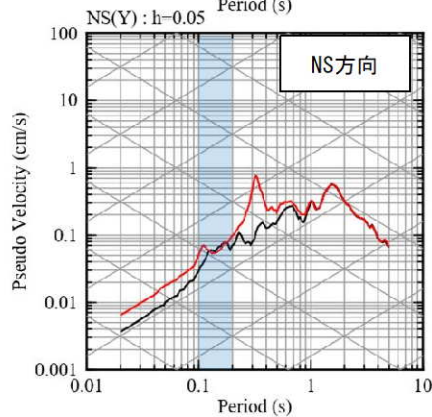
⑨ 熊本県熊本地方

現申請モデル



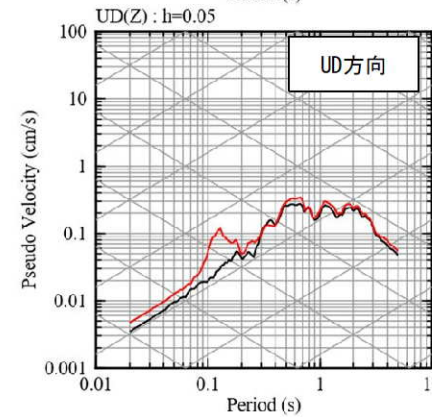
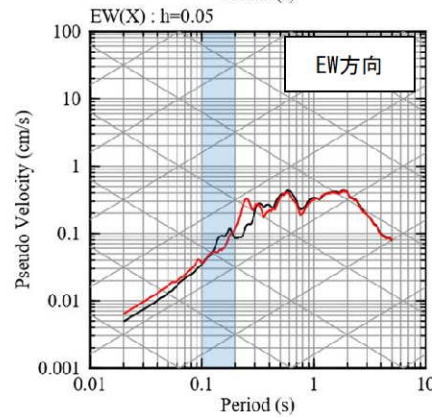
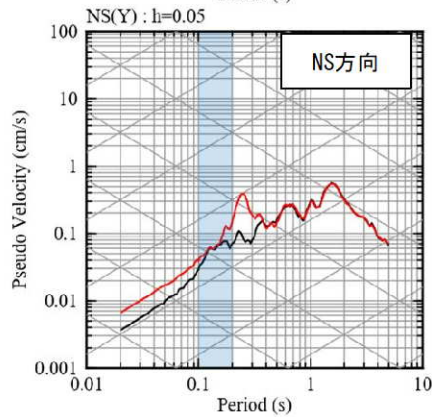
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

既許可モデル



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (既許可モデル)

見直しモデル



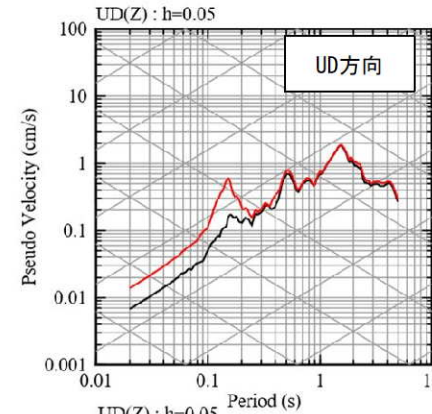
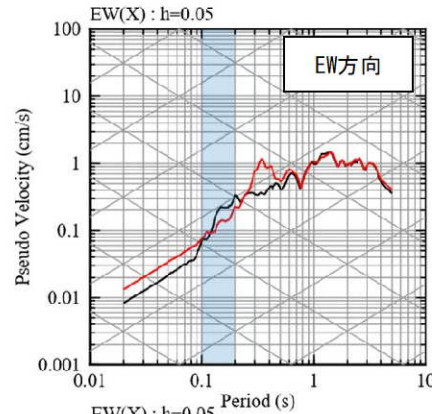
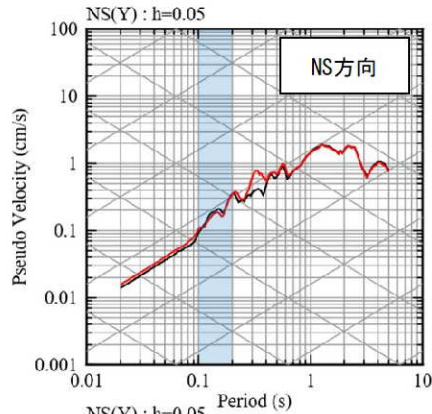
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考②】 応答スペクトルの比較結果

■ 応答スペクトルの比較結果 (10/20)

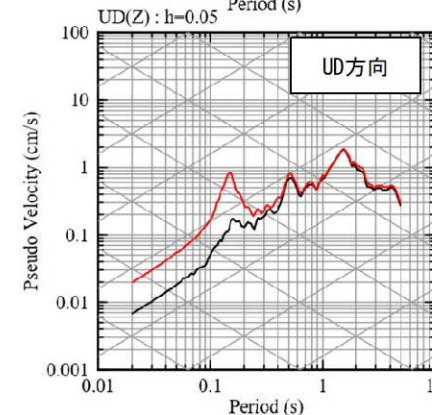
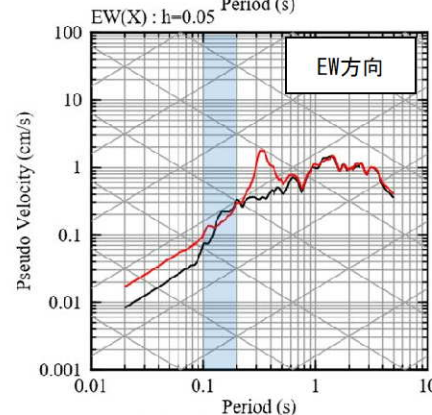
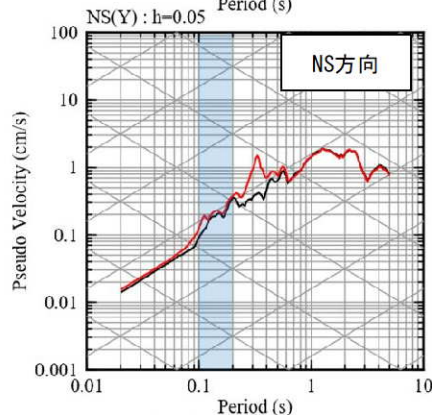
⑩ 熊本県熊本地方

現申請モデル



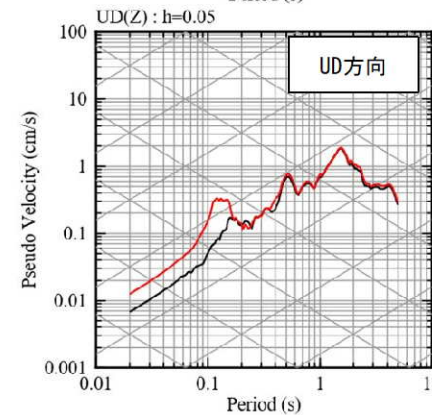
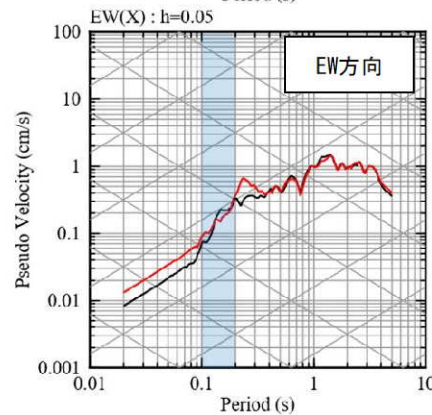
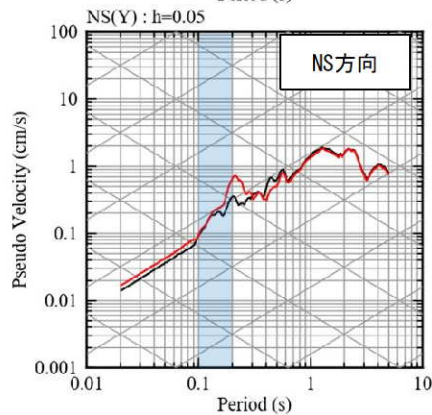
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

既許可モデル



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (既許可モデル)

見直しモデル



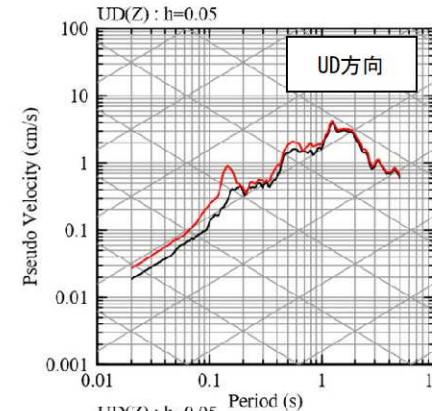
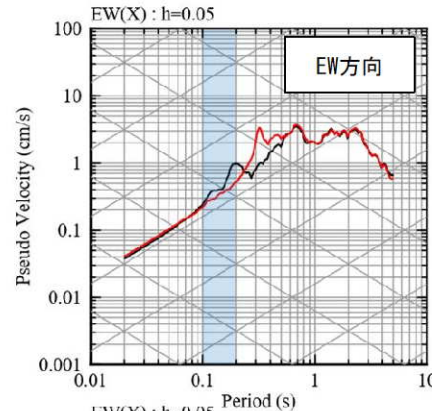
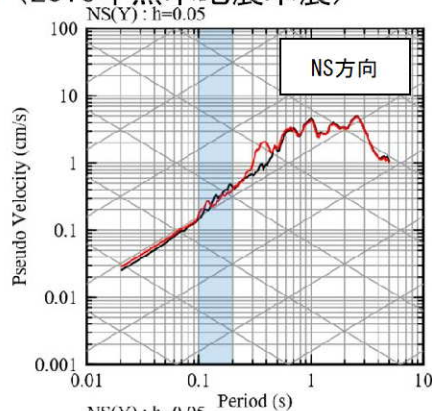
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考②】 応答スペクトルの比較結果

■ 応答スペクトルの比較結果 (11/20)

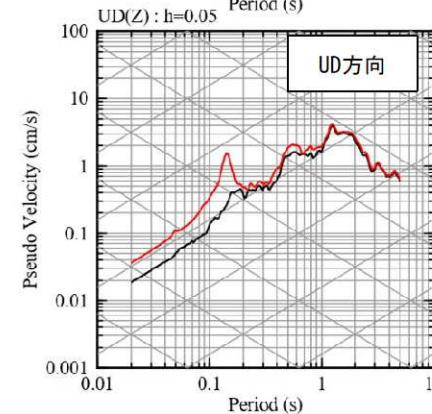
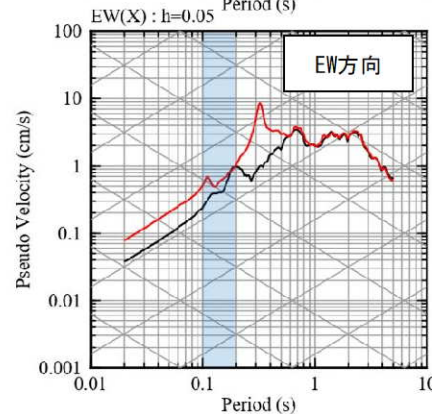
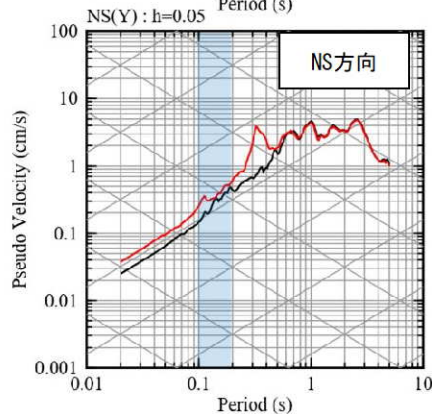
① 熊本県熊本地方 (2016年熊本地震本震)

現申請モデル



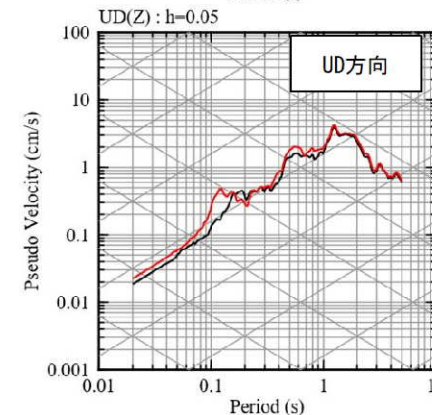
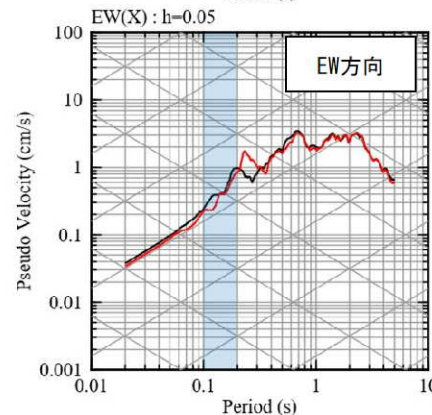
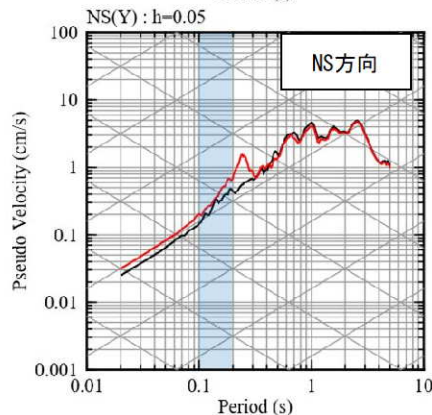
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

既許可モデル



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (既許可モデル)

見直しモデル



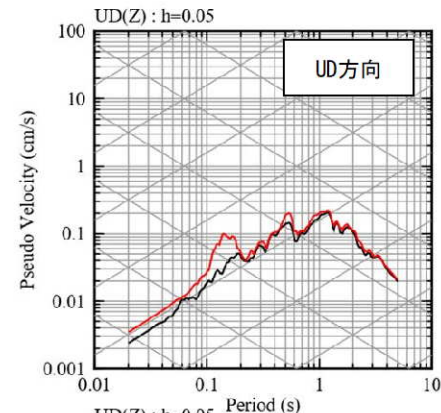
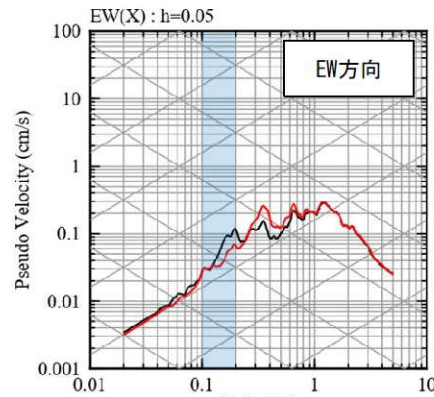
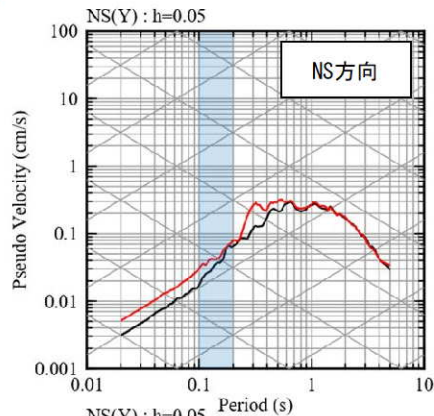
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考②】 応答スペクトルの比較結果

■ 応答スペクトルの比較結果 (12/20)

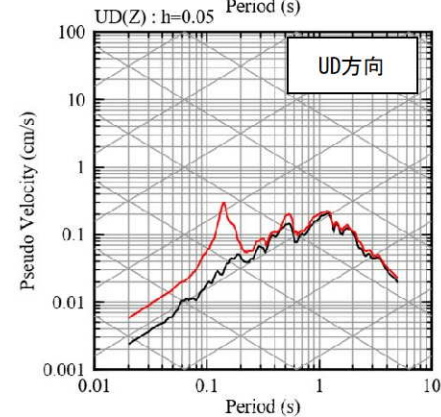
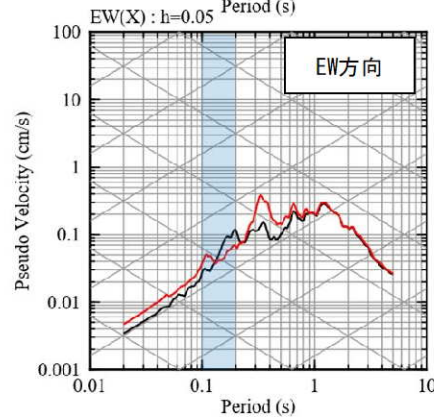
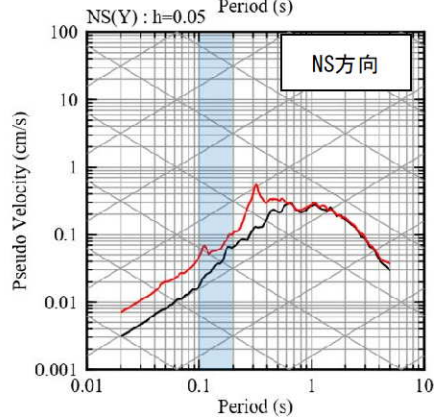
⑫熊本県熊本地方

現申請モデル



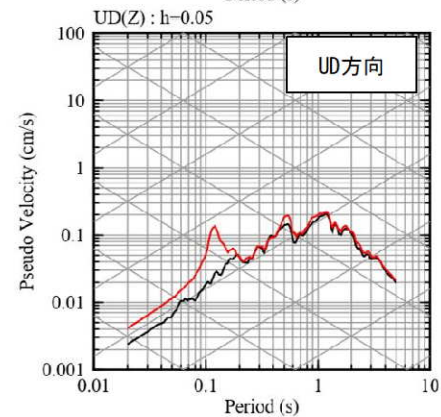
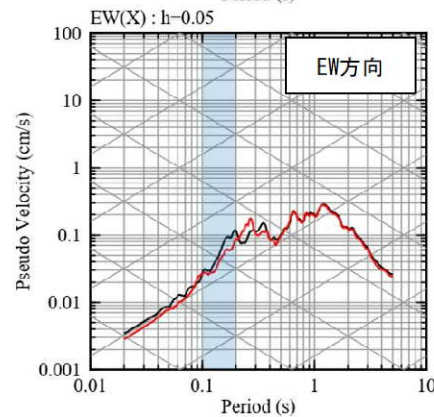
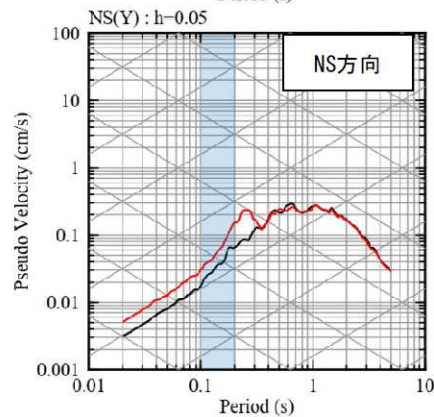
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

既許可モデル



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (既許可モデル)

見直しモデル



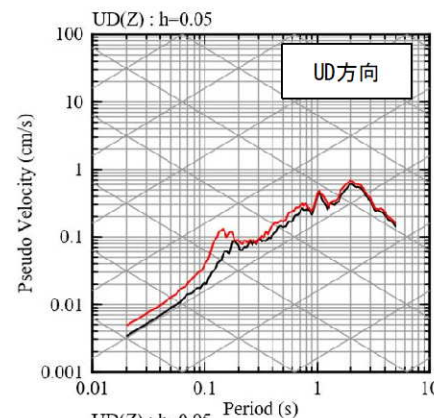
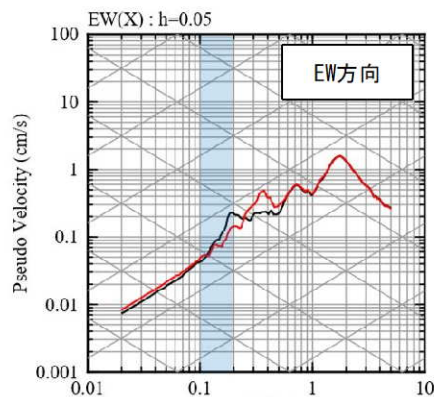
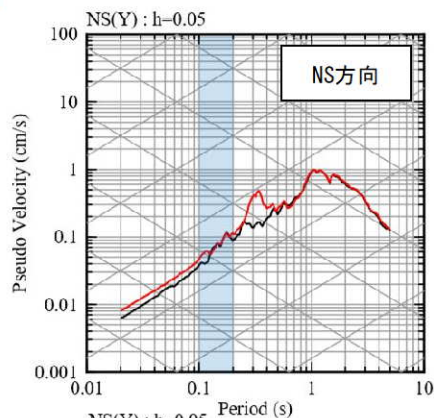
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考②】 応答スペクトルの比較結果

■ 応答スペクトルの比較結果 (13/20)

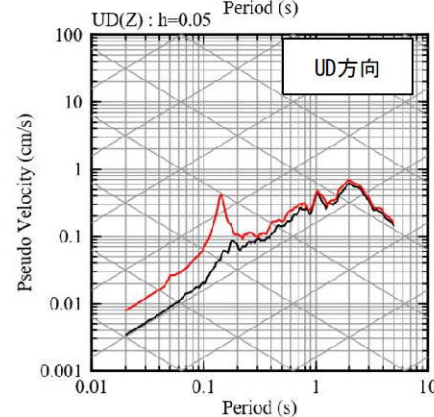
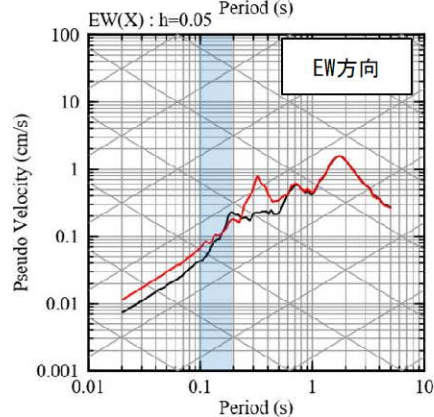
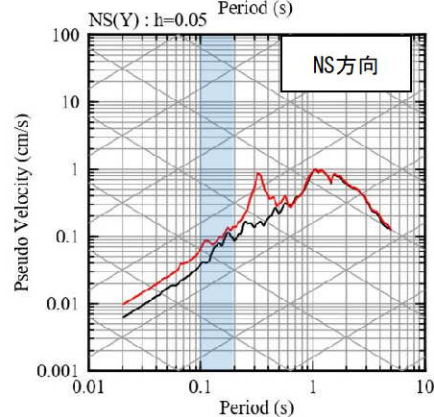
⑬ 熊本県熊本地方

現申請モデル



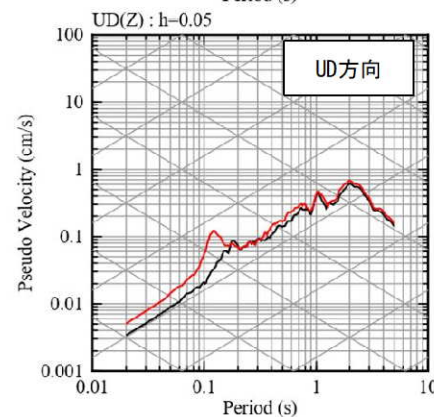
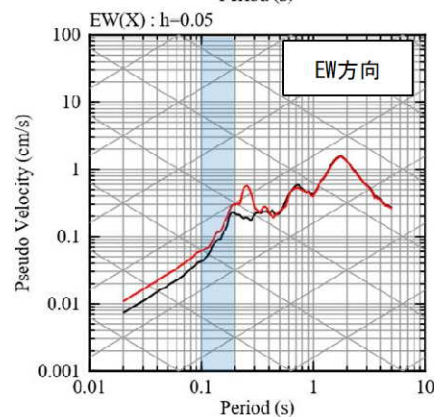
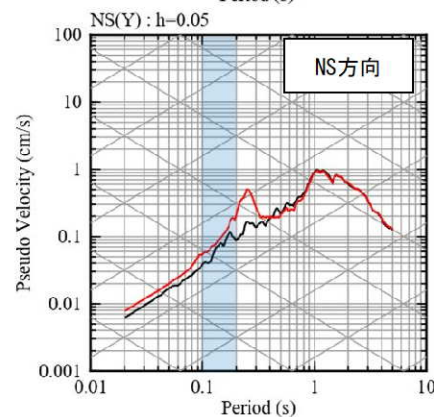
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

既許可モデル



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (既許可モデル)

見直しモデル



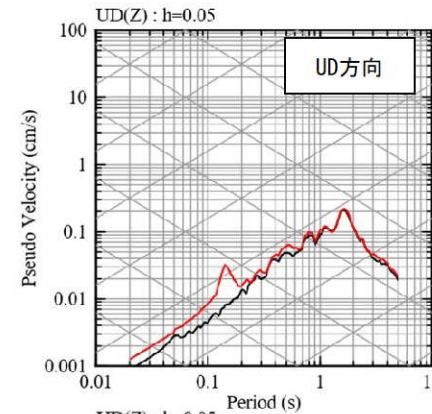
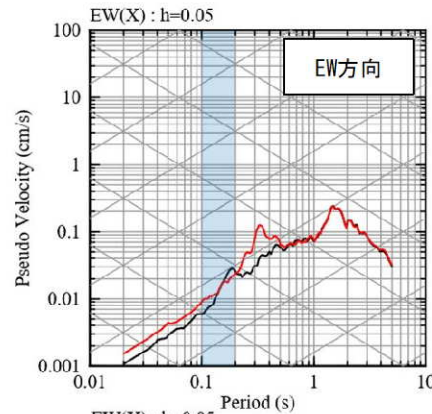
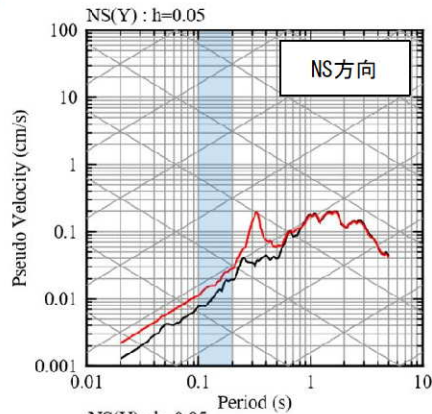
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考②】 応答スペクトルの比較結果

■ 応答スペクトルの比較結果 (14/20)

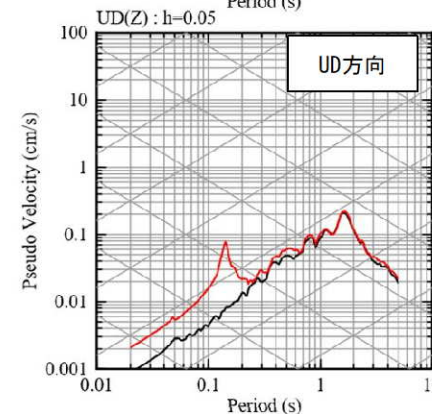
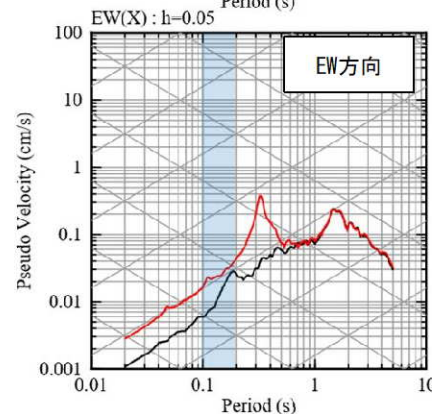
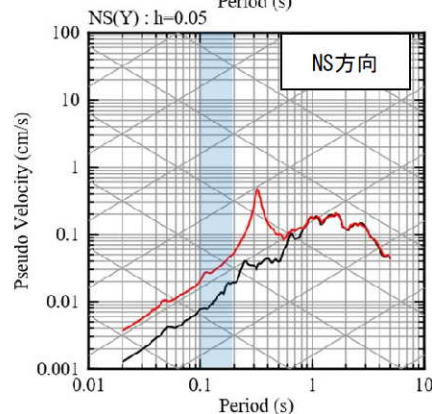
⑭ 熊本県阿蘇地方

現申請モデル



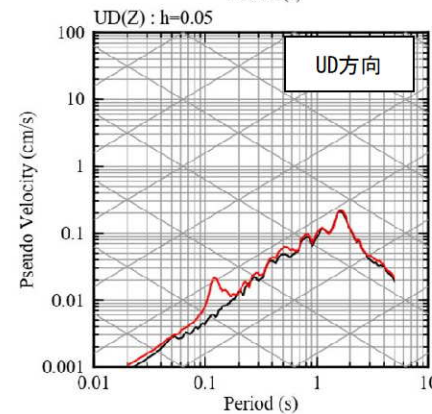
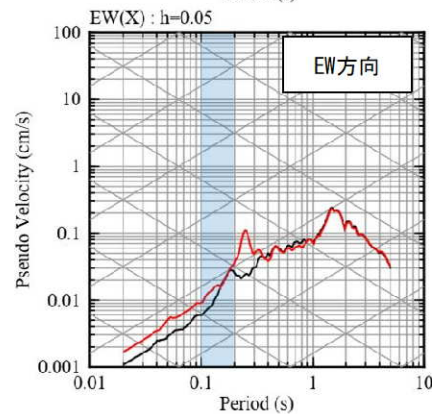
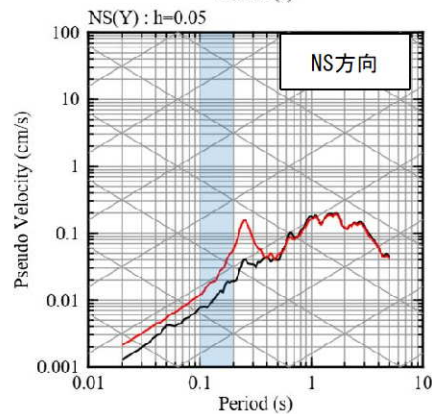
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波(現申請モデル)

既許可モデル



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波(既許可モデル)

見直しモデル



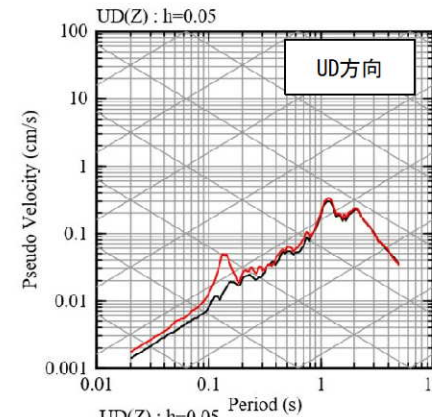
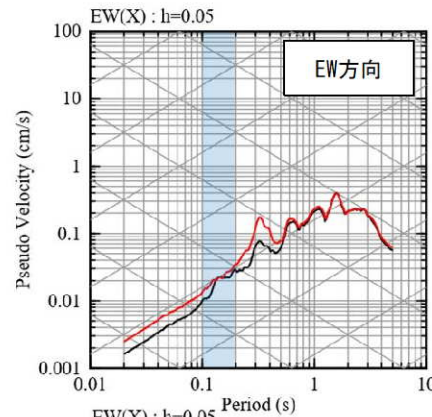
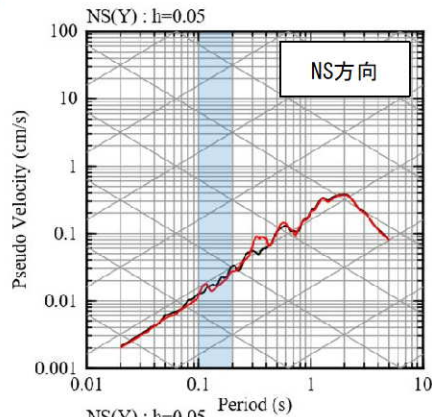
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波(見直しモデル)

【参考②】 応答スペクトルの比較結果

■ 応答スペクトルの比較結果 (15/20)

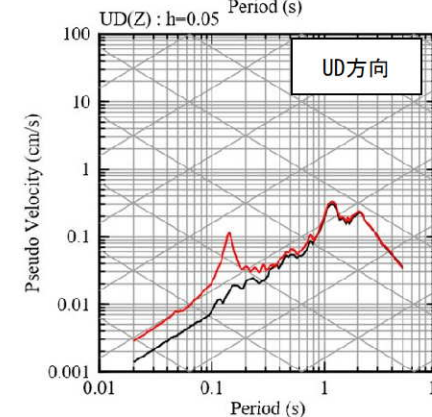
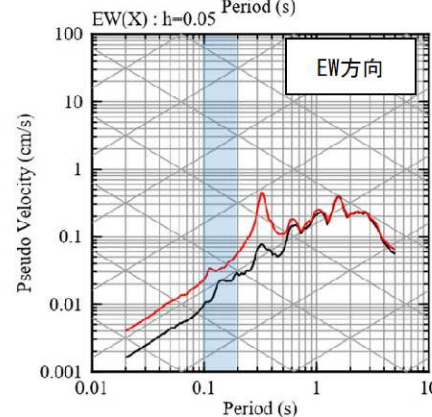
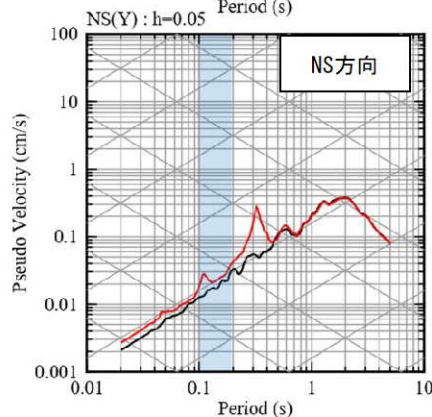
⑮ 熊本県阿蘇地方

現申請モデル



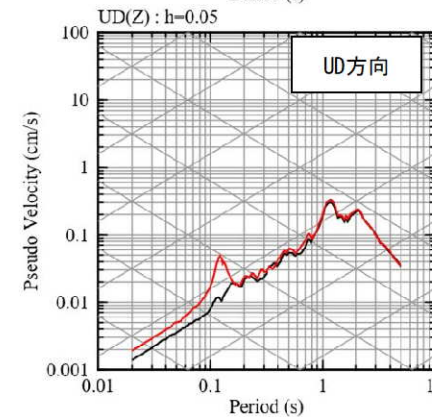
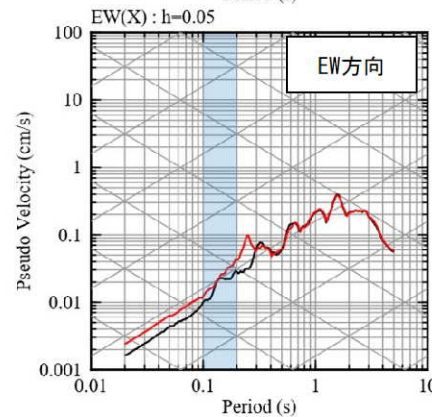
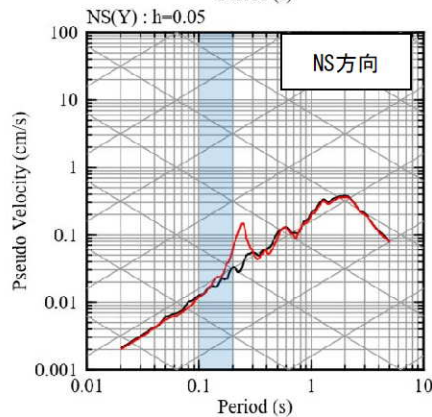
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

既許可モデル



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (既許可モデル)

見直しモデル



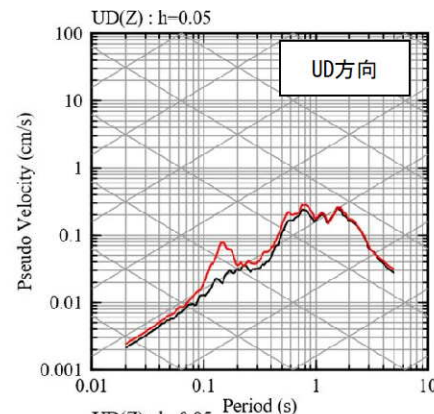
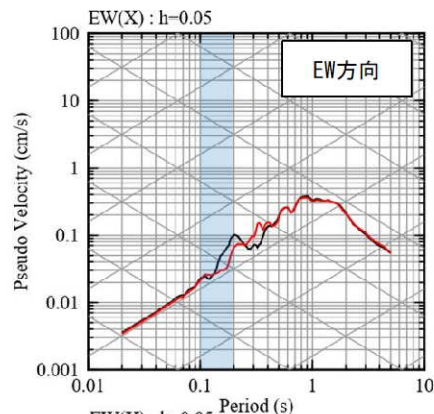
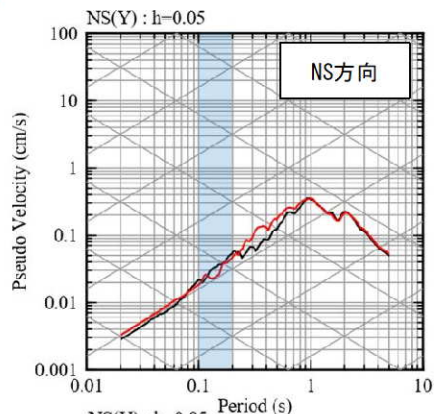
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考②】 応答スペクトルの比較結果

■ 応答スペクトルの比較結果 (16/20)

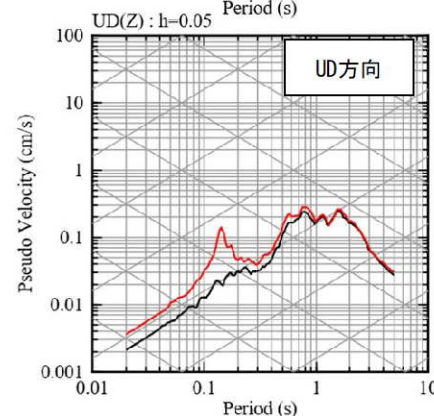
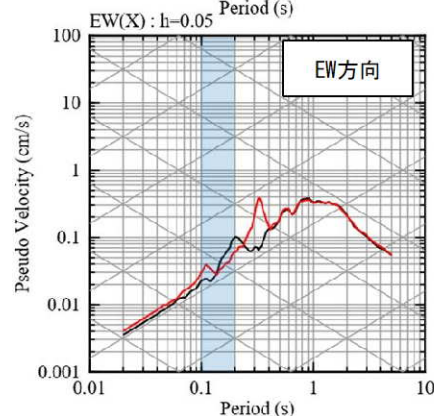
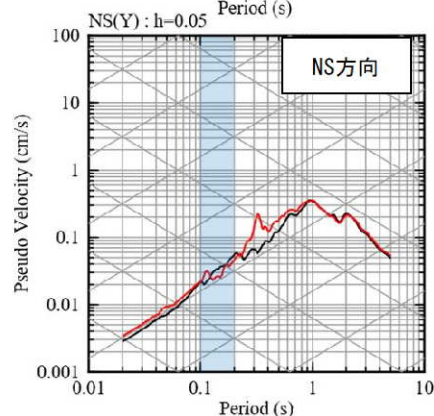
⑩ 熊本県熊本地方

現申請モデル



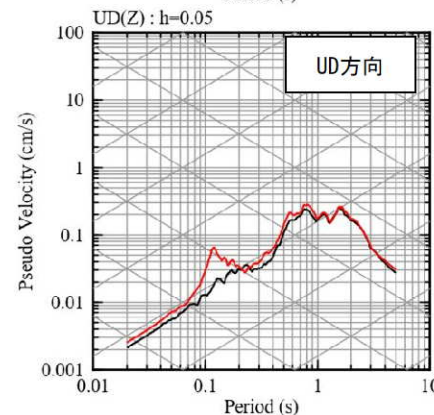
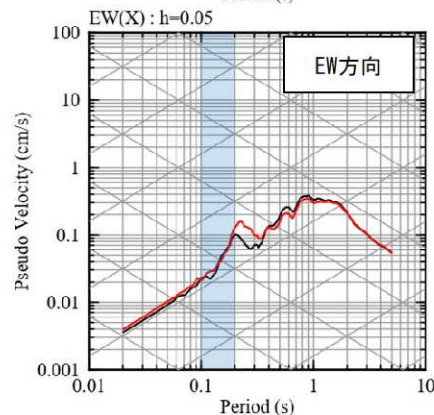
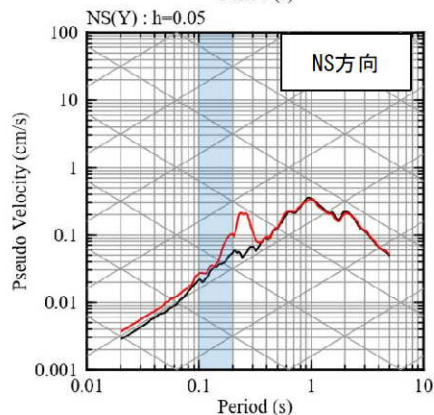
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波(現申請モデル)

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



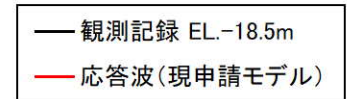
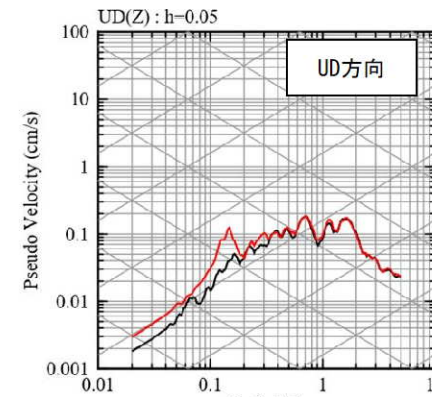
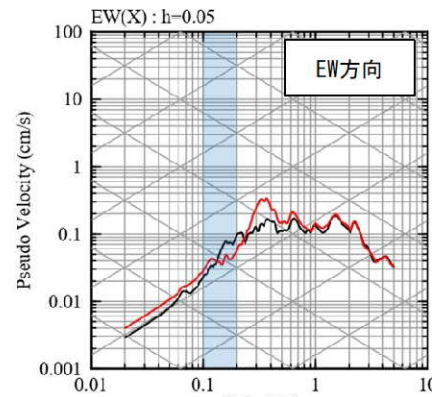
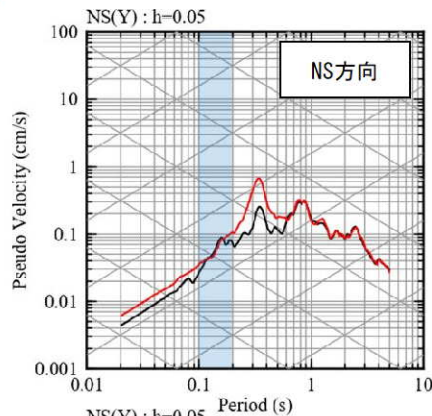
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波(見直しモデル)

【参考②】 応答スペクトルの比較結果

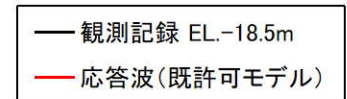
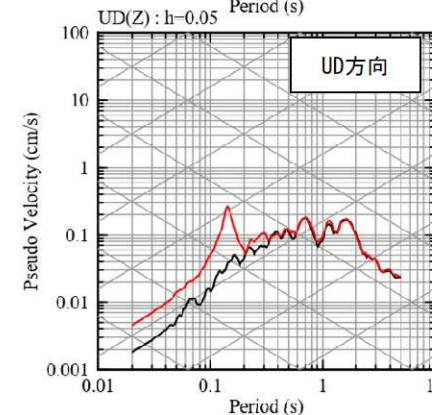
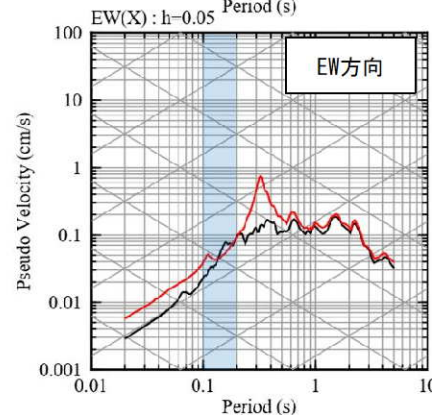
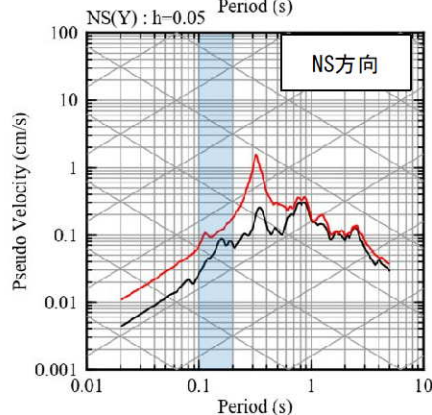
■ 応答スペクトルの比較結果 (17/20)

⑰ 熊本県熊本地方

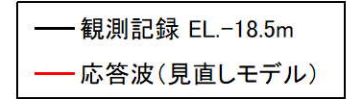
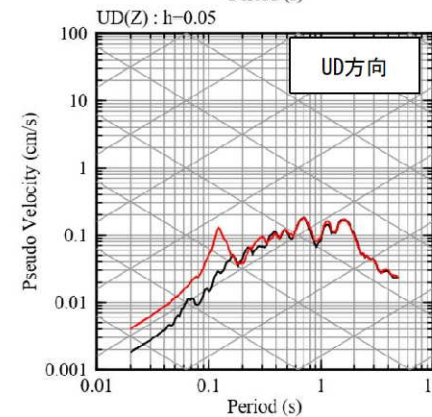
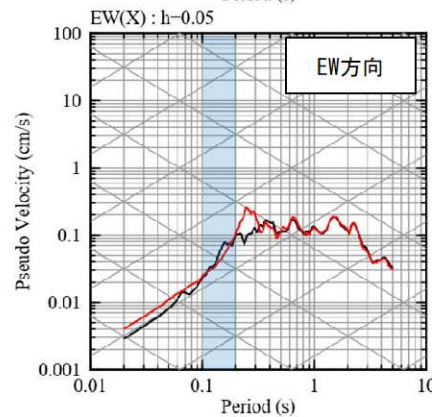
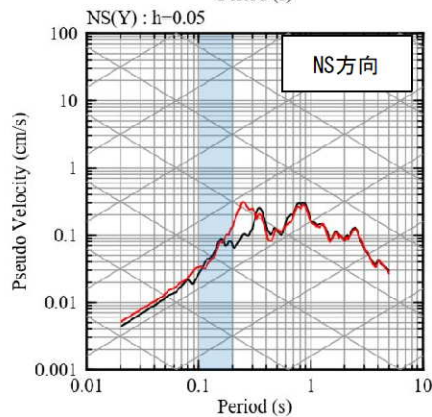
現申請モデル



既許可モデル



見直しモデル

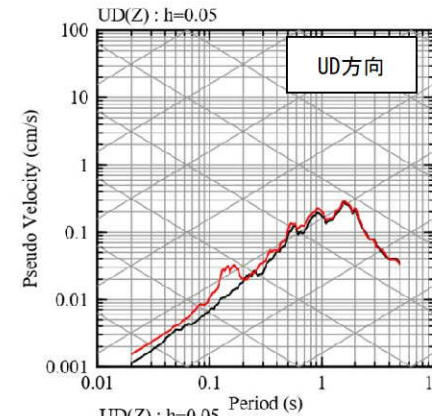
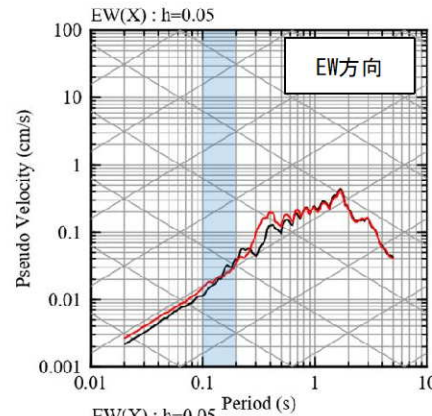
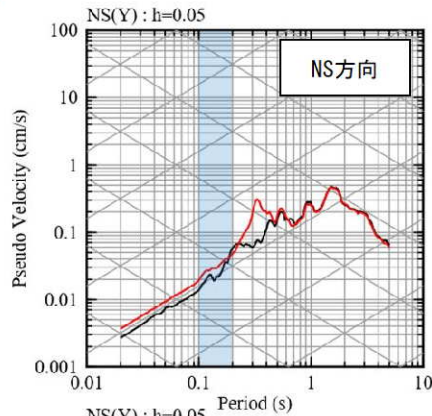


【参考②】 応答スペクトルの比較結果

■ 応答スペクトルの比較結果 (18/20)

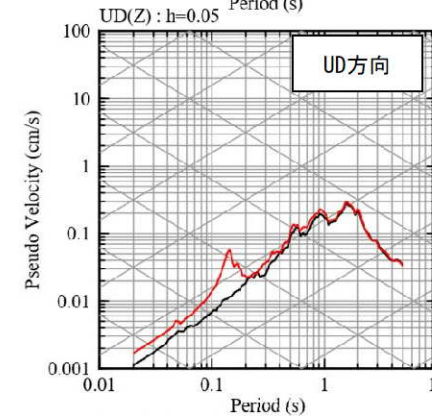
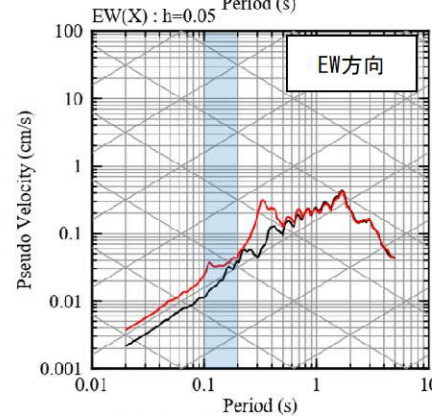
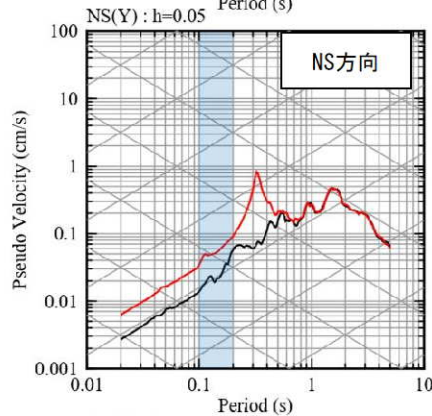
⑱ 熊本県阿蘇地方

現申請モデル



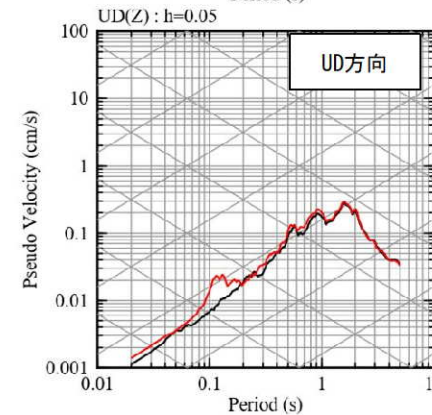
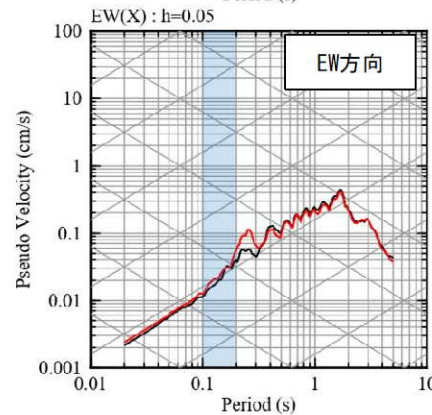
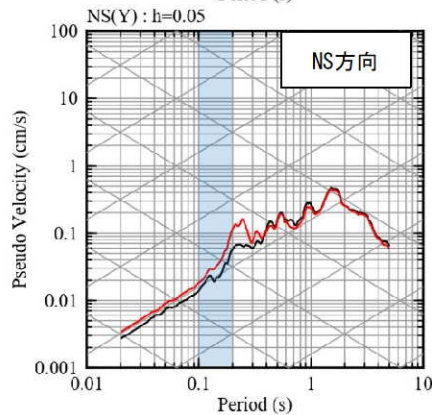
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

既許可モデル



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (既許可モデル)

見直しモデル



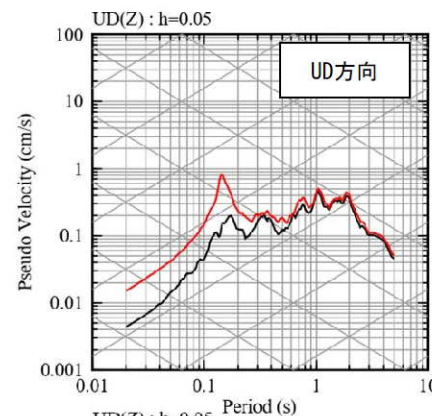
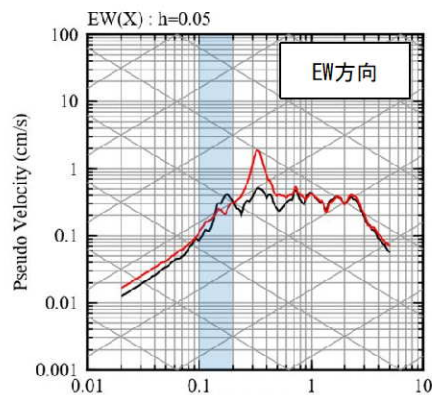
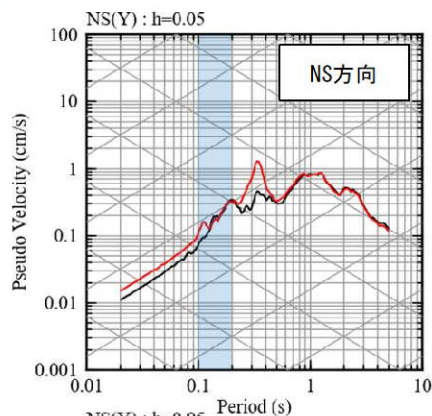
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考②】 応答スペクトルの比較結果

■ 応答スペクトルの比較結果 (19/20)

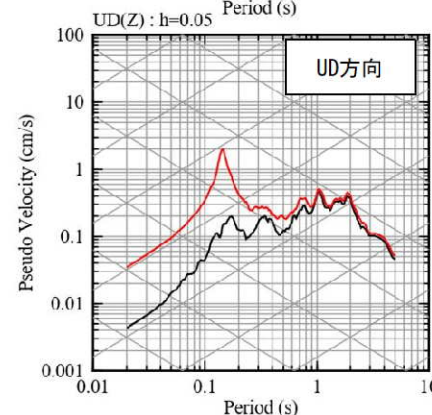
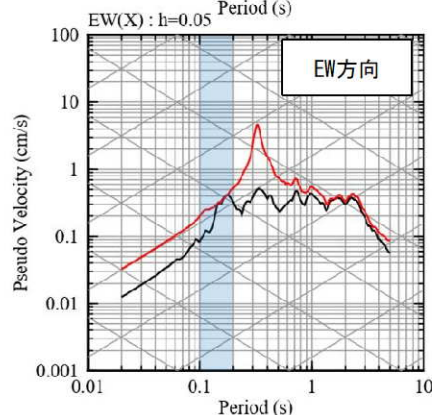
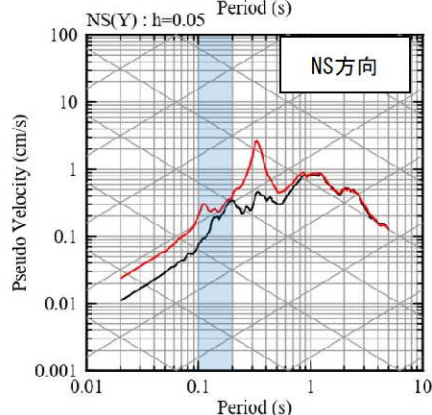
①9 熊本県熊本地方

現申請モデル



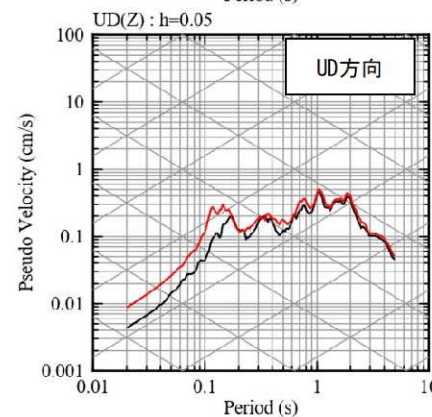
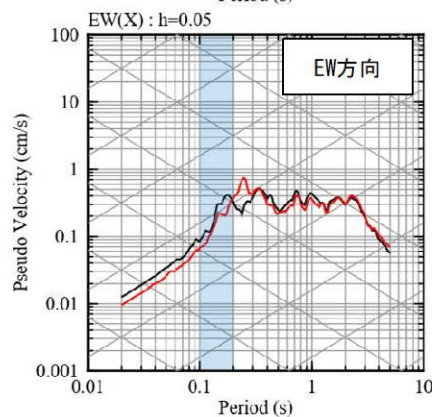
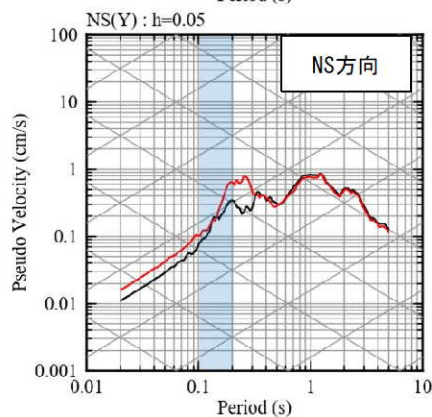
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

既許可モデル



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (既許可モデル)

見直しモデル



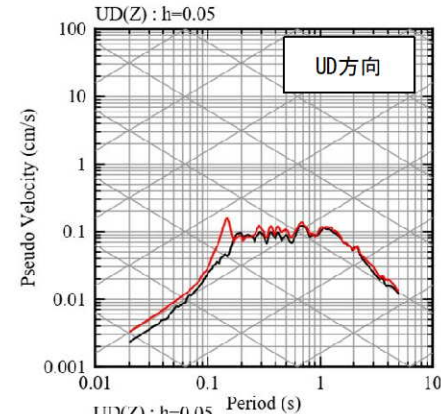
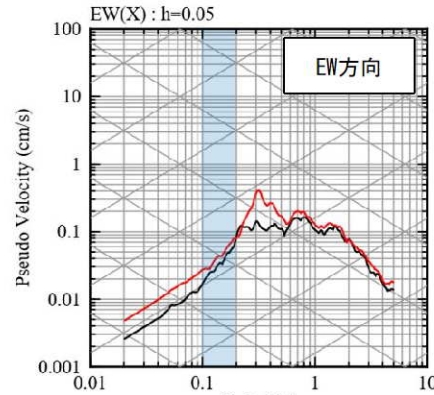
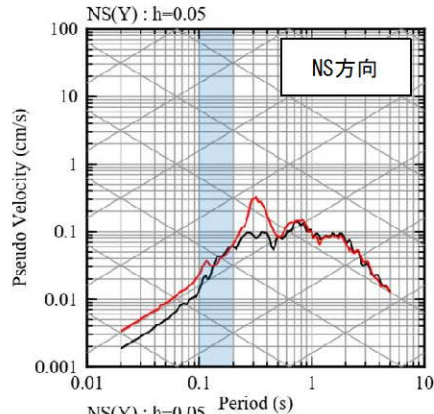
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考②】 応答スペクトルの比較結果

■ 応答スペクトルの比較結果 (20/20)

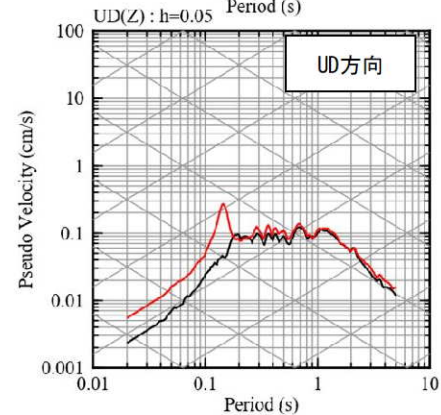
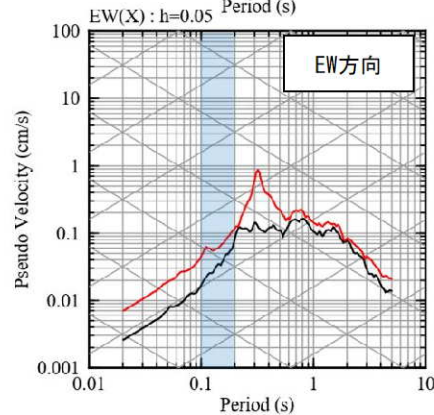
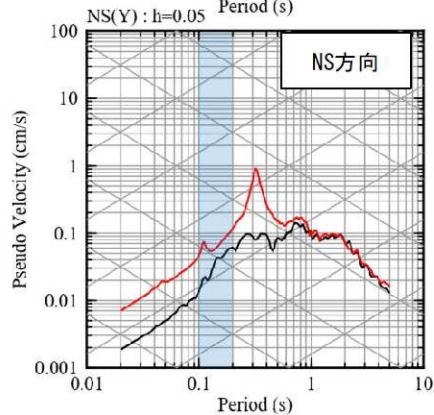
⑳ 薩摩半島西方沖

現申請モデル



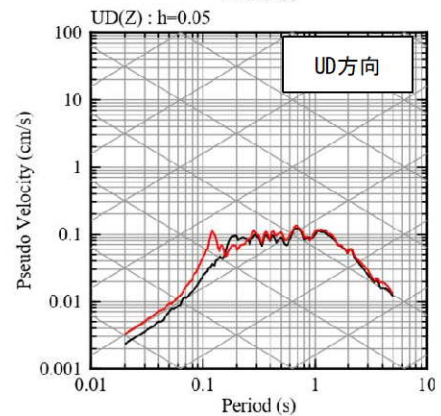
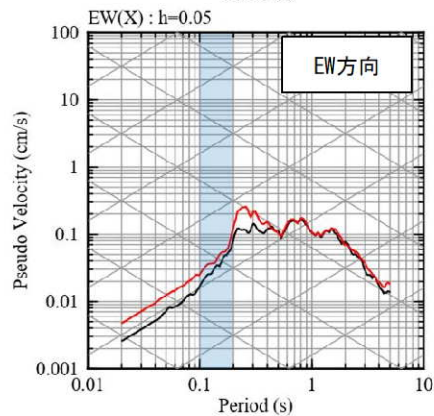
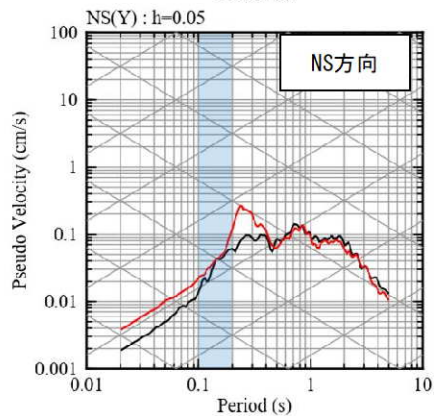
— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (現申請モデル)

既許可モデル



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (既許可モデル)

見直しモデル



— 観測記録 EL.-18.5m
— 応答波 (見直しモデル)

【参考③】 既許可の地下構造モデル

【参考③】既許可の地下構造モデル

■ 既許可の地下構造モデル

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

既許可における長周期帯の理論的手法に用いる一次元地下構造モデル

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

【参考③】既許可の地下構造モデル

■ 既許可の地下構造モデルの設定（解放基盤表面～EL. -28.5mまで）

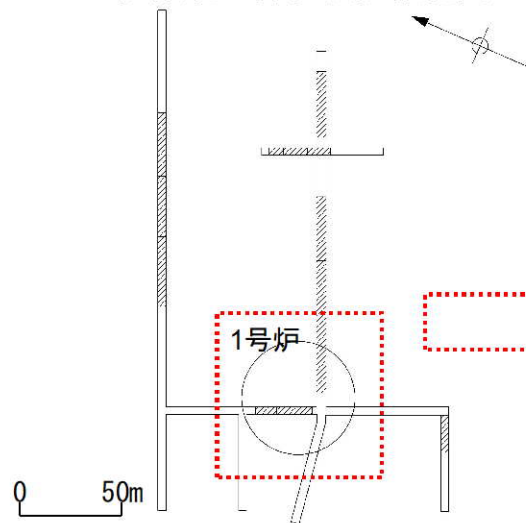
第18回審査会合資料より抜粋（一部修正）

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

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

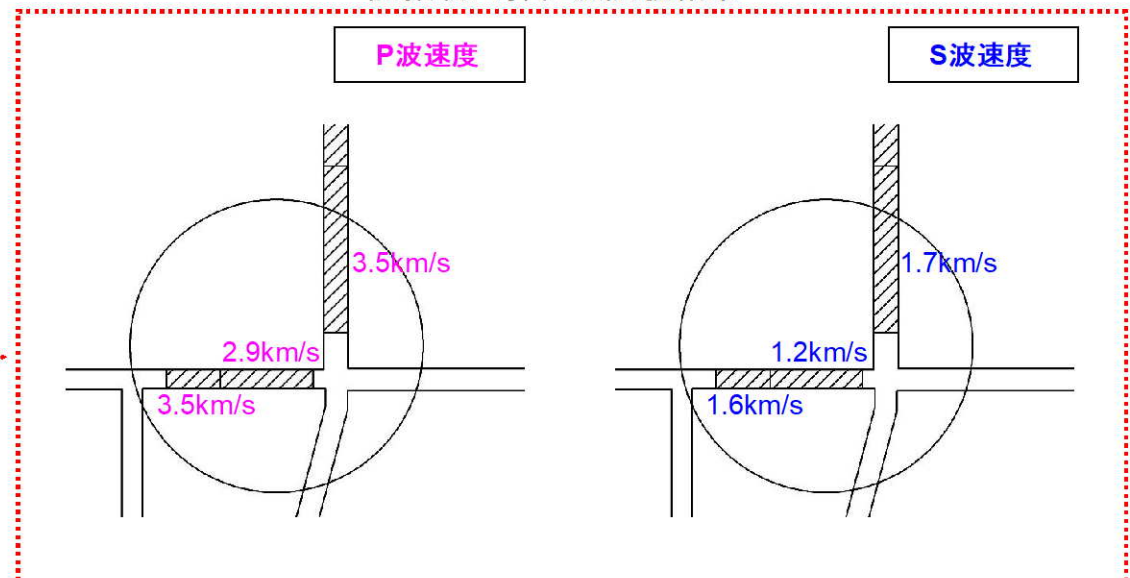
平均速度は、
P波 3.20km/s
S波 1.50km/s

試掘坑内弾性波試験範囲



試掘坑レベルEL.-12m

試掘坑内弾性波試験結果



【参考③】 既許可の地下構造モデル

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

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

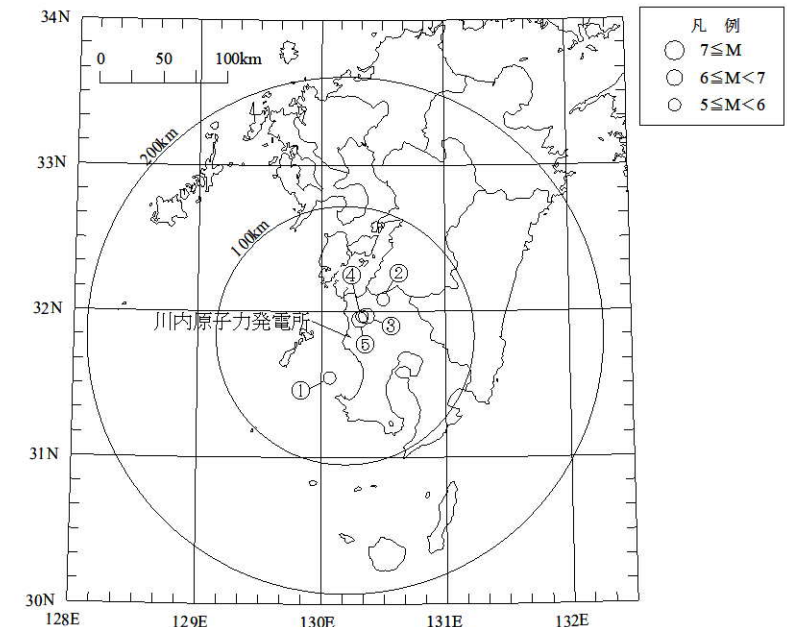
第18回審査会合資料より抜粋(一部修正)

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

◆敷地における鉛直アレイ地震観測記録に基づく地盤同定

検討対象地震の地震諸元

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



検討対象地震の震央位置

【参考③】既許可の地下構造モデル

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

第18回審査会合資料より抜粋(一部修正)

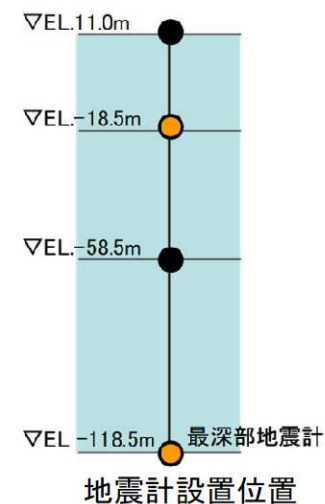
鉛直アレイ観測記録に基づく地盤同定結果

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

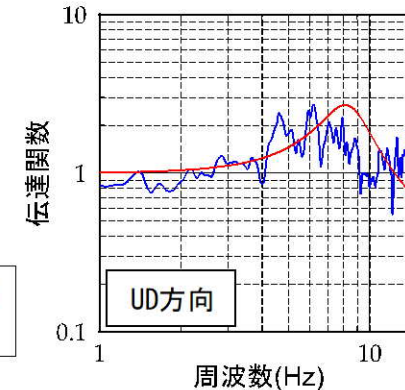
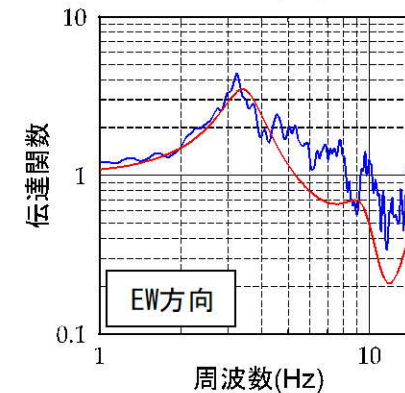
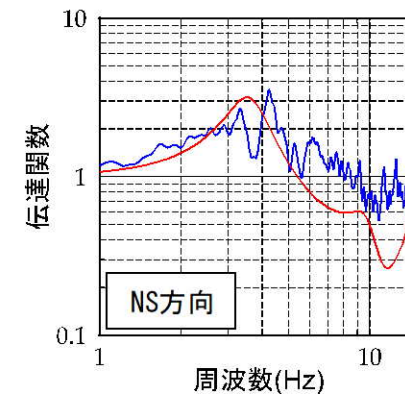
EW方向	層	層上面 EL (m)	密度 ρ (g/cm ³)	V_s (km/s)	減衰	
					Q_0	α
	1	11.0	2.70	1.34	1.73	0.32
	2	-18.5	2.70	1.60	1.85	0.32
	3	-58.5	2.70	1.78	1.93	0.32

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

※ $Q(f) = Q_0 \cdot f^\alpha$



— 理論伝達関数(同定地下構造モデル)
— 地震観測記録による伝達関数

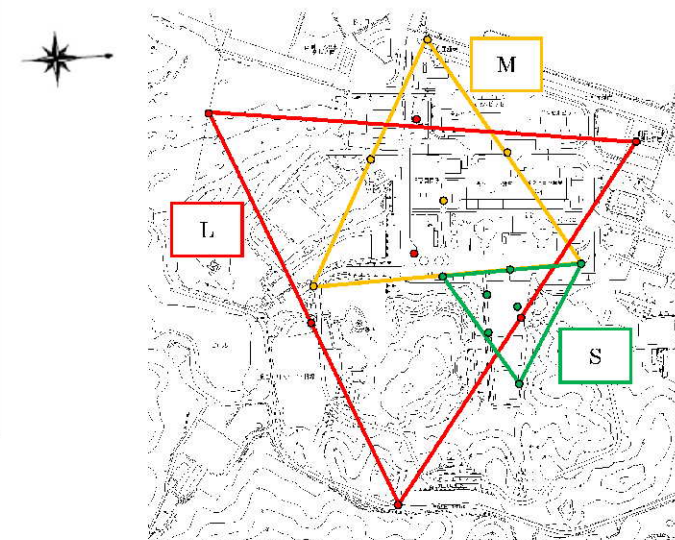


【参考③】既許可の地下構造モデル

◆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。

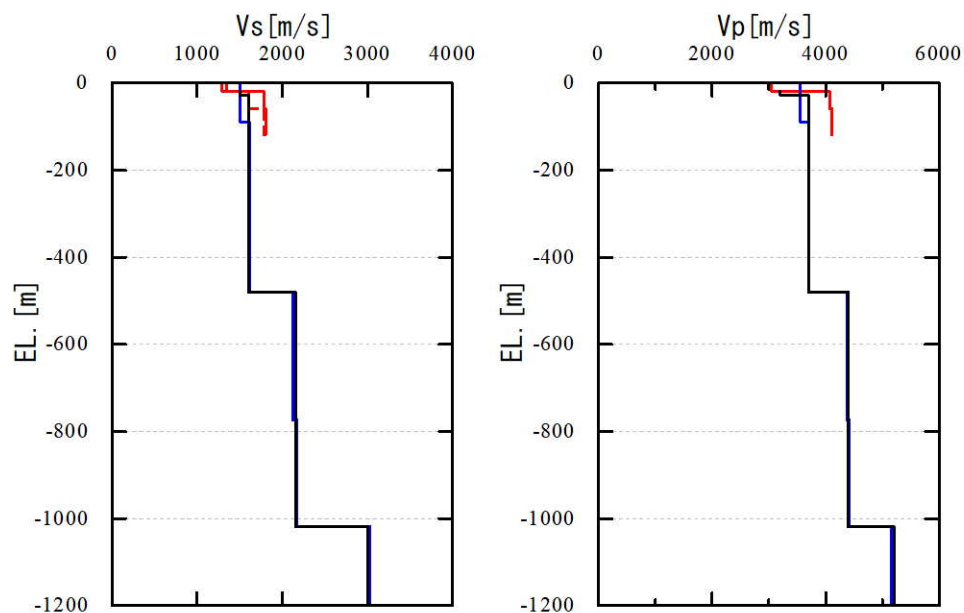
第18回審査会合資料より抜粋(一部修正)



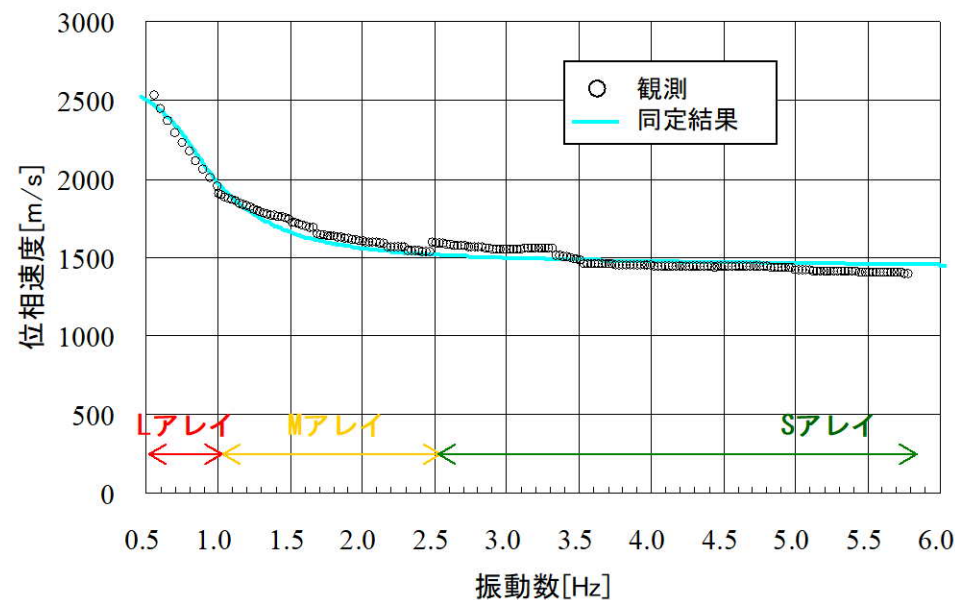
微動アレイ観測位置

— 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

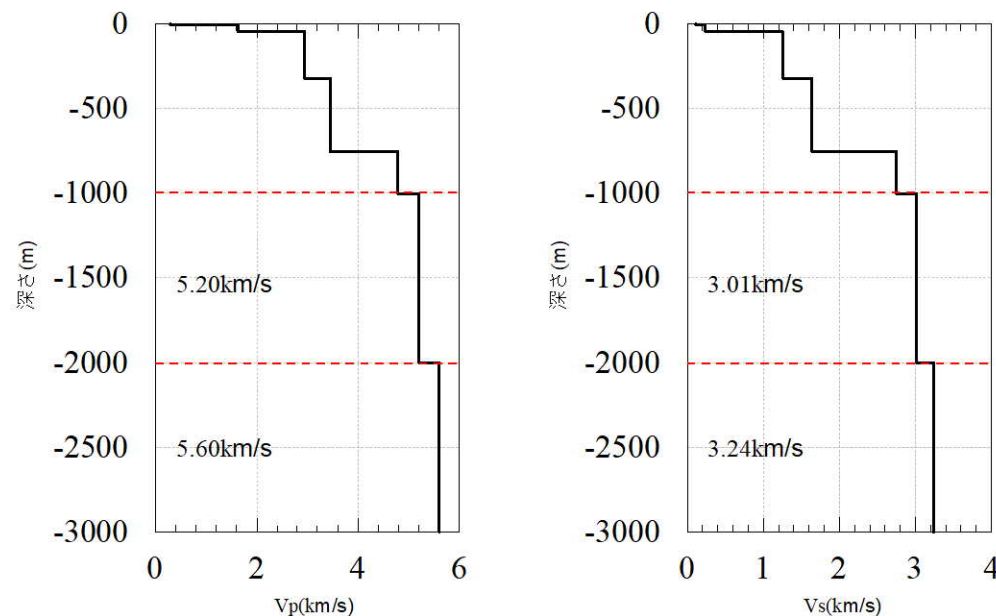
【参考③】既許可の地下構造モデル

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

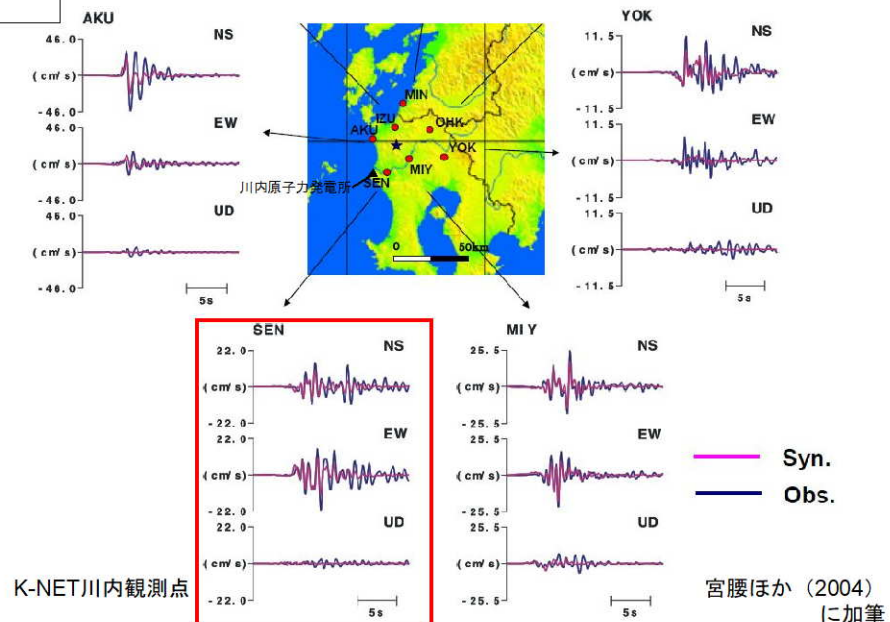
第18回審査会合資料より抜粋(一部修正)

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



宮腰ほか(2004)により推定された地下構造モデル(K-NET川内観測点)



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

【参考③】既許可の地下構造モデル

■ 既許可の地下構造モデルの設定 (EL. -3018.5m以深)

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

第18回審査会合資料より抜粋(一部修正)

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



地震基盤以深の各層のモデルパラメータ

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

※地震調査委員会(2003)に加筆

【参考③】 既許可の地下構造モデル

■ 鉛直アレイによる既許可の地下構造モデルの確認

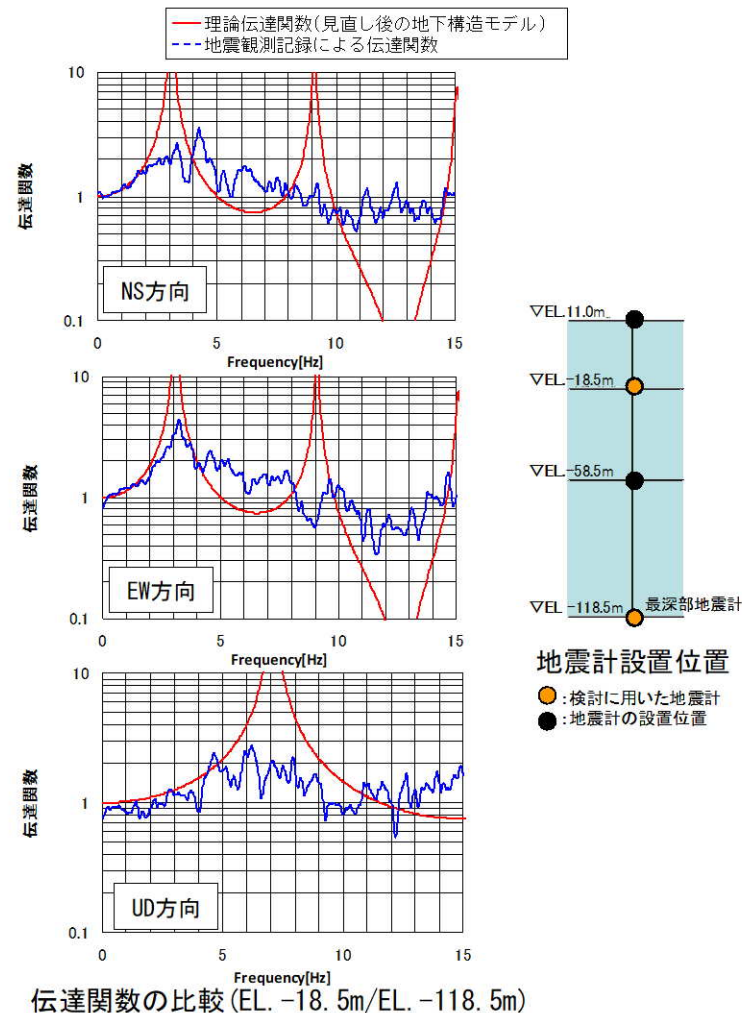
■ 見直し後の地下構造モデルから算出した伝達関数は、鉛直アレイ地震観測記録の伝達関数及び地震観測記録から同定された地下構造による理論伝達関数とほぼ整合していることを確認した。

地下構造モデル（見直し後）

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

解放基盤表面 (EL. -18.5m) 上に0層を追加

第114回審査会合資料より抜粋



【参考③】既許可の地下構造モデル

■ 微動アレイによる既許可の地下構造モデルの確認

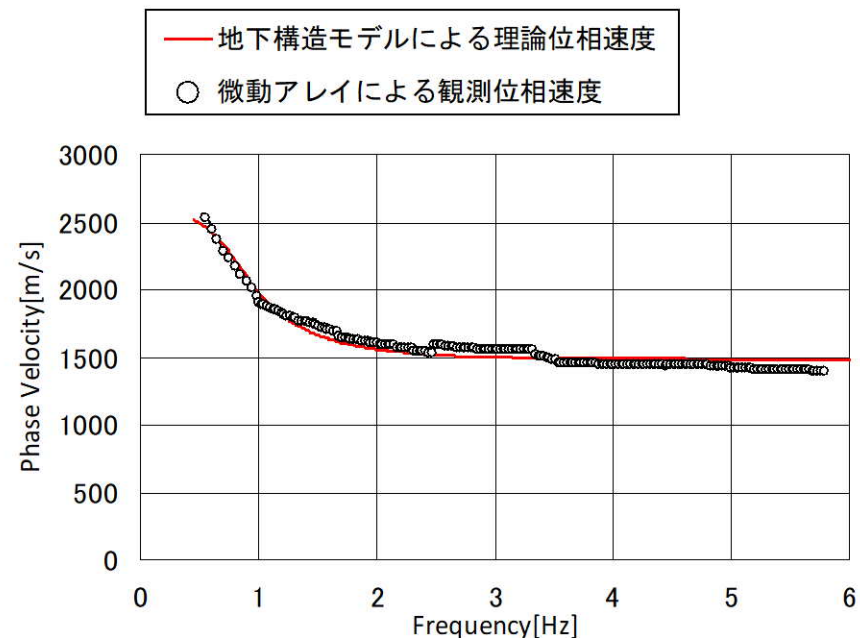
第114回審査会合資料より抜粋

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

地下構造モデル（見直し後）

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

解放基盤表面 (EL. -18.5m) 上に0層を追加



理論位相速度と観測位相速度の比較

【参考④】ボーリング孔内Q値に関する知見

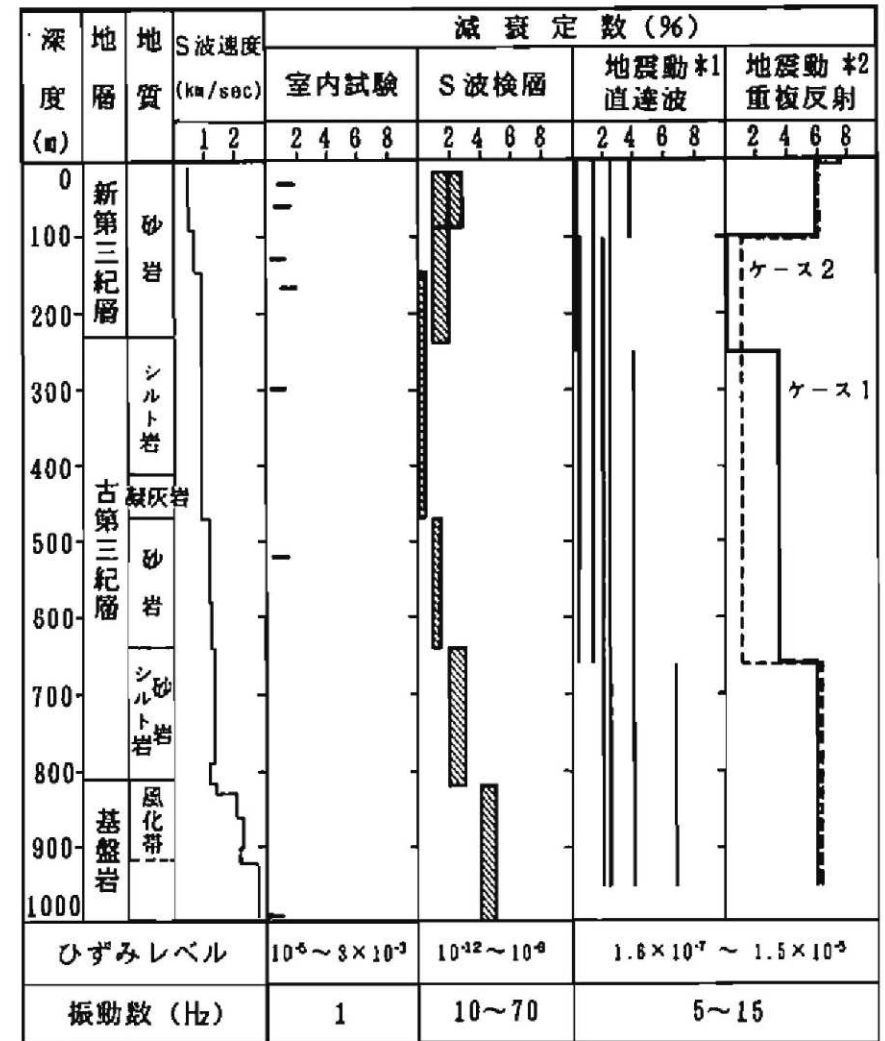
【参考④】ボーリング孔内Q値に関する知見

文献	概要
石田ほか(1987) ¹¹⁾	<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) ¹²⁾	<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) ¹³⁾	<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) ¹⁴⁾	<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④】ボーリング孔内Q値に関する知見

■ 石田ほか(1987)¹¹⁾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

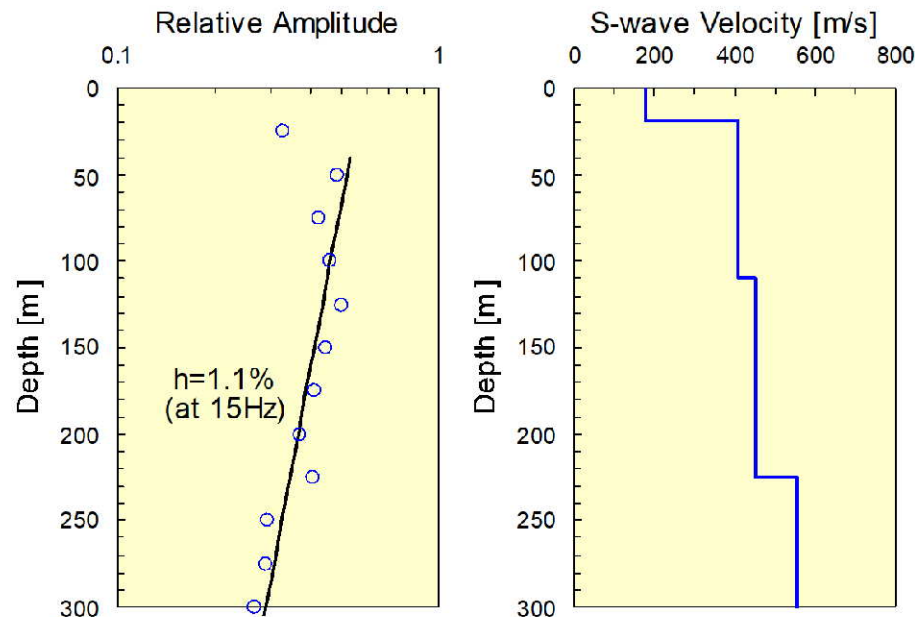
*2) 層分割の異なる2つの最適モデルを示す。

各種の手法による減衰定数の比較

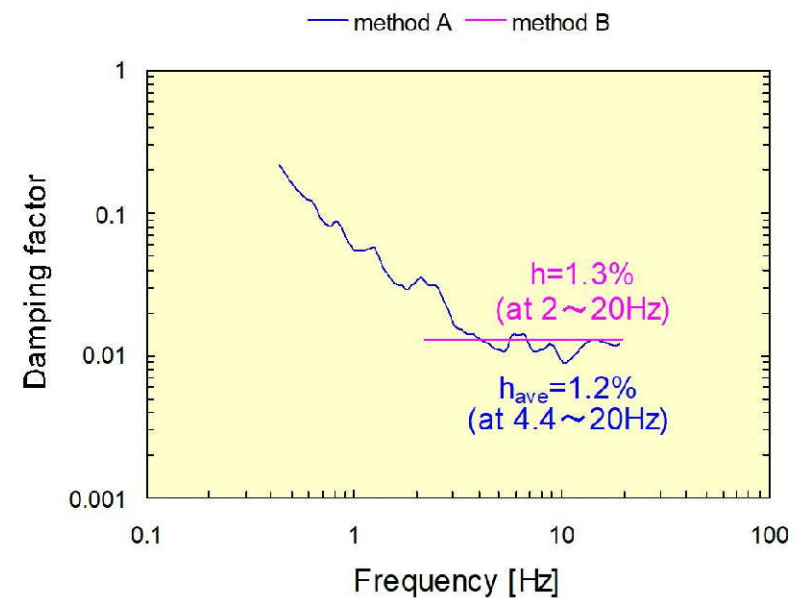
【参考④】ボーリング孔内Q値に関する知見

■ 小林ほか(2010)¹²⁾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



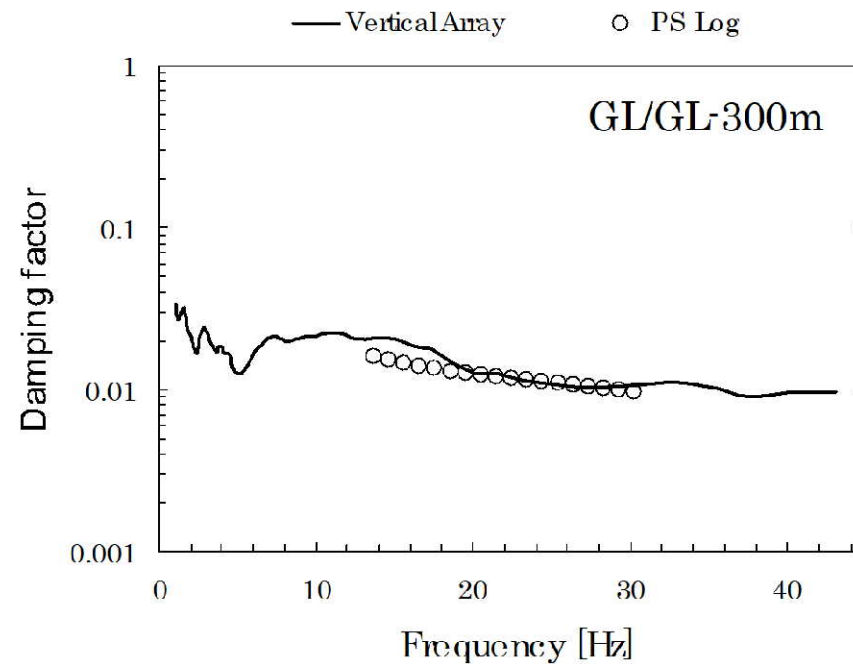
成田観測点の地盤同定解析結果

小林ほか(2010)より抜粋

【参考④】ボーリング孔内Q値に関する知見

■ 小林ほか(2013)¹³⁾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。

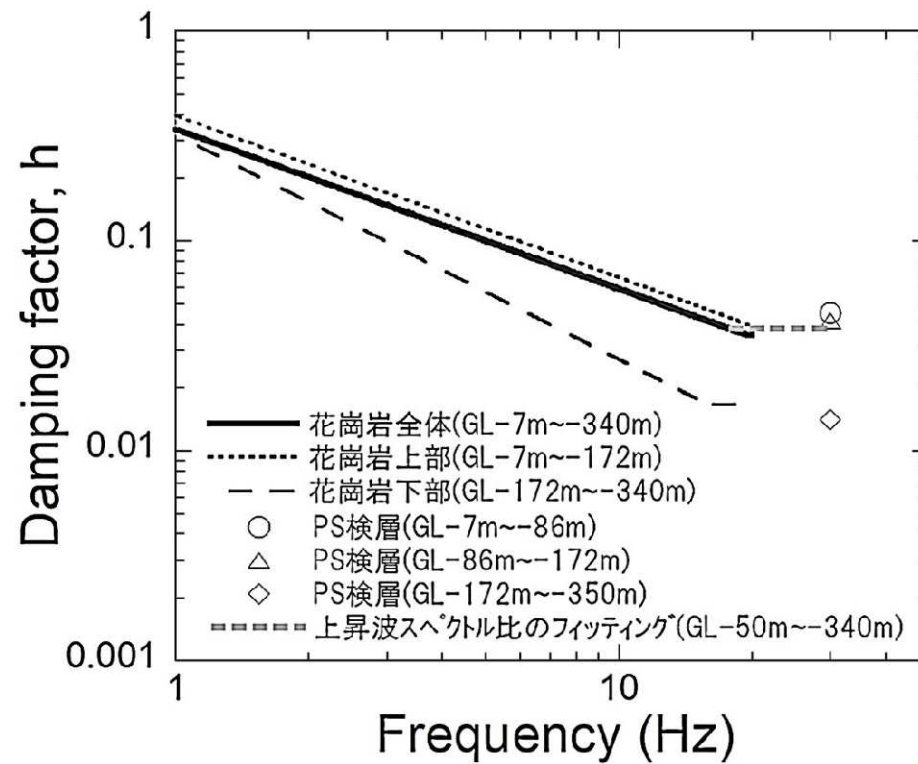


PS検層及び鉛直アレー記録に基づき推定された
S波の減衰定数の比較

【参考④】 ボーリング孔内Q値に関する知見

■ 佐藤 (2010)¹⁴⁾ 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値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) 宮腰研・PETUHKHIN A・香川敬生(2004)：地殻内地震のやや短周期まで精度のある震源モデルの推定—1997年3月鹿児島県北西部地震と1997年山口県北部地震—、日本地震学会2004年秋季大会予稿集、P065
- 2) 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2003)：布田川・日奈久断層帯の地震を想定した強震動評価について
- 3) 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.
- 4) 日本電気協会(2015):原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-2015,一般社団法人日本電気協会
- 5) 武村雅之(1990)：日本列島およびその周辺地域に起こる浅発地震のマグニチュードと地震モーメントの関係，地震 第2輯，第43巻.
- 6) H. Kanamori(1977)：The Energy Release in Great Earthquakes, Journal of Geophysical Research, Vol.82, No. 20, 2981-2987.
- 7) 地盤工学会(2013)：地盤の弾性波速度検層方法，JGS1122-2013，2013年3月
- 8) 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
- 9) 萩原尊禮編(1991)：日本列島の地震 地震工学と地震地体構造、鹿島出版会.
- 10) 垣見俊弘、松田時彦、相田勇、衣笠善博(2003)：日本列島と周辺海域の地震地体構造区分、地震、第2輯、第55巻、第4号、pp.389-406.
- 11) 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
- 12) 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
- 13) 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—鉛直アレー観測による減衰定数との比較—，物理探査，第66巻，第3号，153-165, 2013年
- 14) 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) —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—，電力中央研究所報告，N10004，2010年8月