

目次

1. 検討方針
2. 知見の整理
 - 2.1 震源極近傍における地震動の特徴
 - 2.2 震源過程
 - 2.3 震源近傍における建物被害
 - 2.4 摩擦とすべり等の関係
 - 2.5 まとめ
3. 浅部断層からの短周期地震動に関する考察
4. 基本震源モデルの地震動評価法
 - 4.1 震源モデルの設定及び計算手法
 - 4.2 2016年熊本地震の再現解析
 - 4.3 まとめ
5. 震源が敷地に極めて近い場合の地震動評価の考え方
6. 浦底断層の地震動評価
 - 6.1 地下構造評価の概要
 - 6.2 基本震源モデルによる地震動評価
 - 6.3 不確かさを考慮した地震動評価
 - 6.4 十分な余裕を考慮した地震動評価
 - 6.5 連動長さの不確かさを考慮した影響検討
 - 6.6 まとめ
7. 全体まとめ
8. 参考文献

補足説明資料1 2016年熊本地震の再現解析について

補足説明資料2 浦底断層の地震動評価(応答スペクトルに基づく手法)

補足説明資料3 C.H.ショルツ(2010)の引用について

浦底断層の地震動評価に関する追加・変更内容

○浦底断層の地震動評価に関する申請時からの変更点を下表に示す。

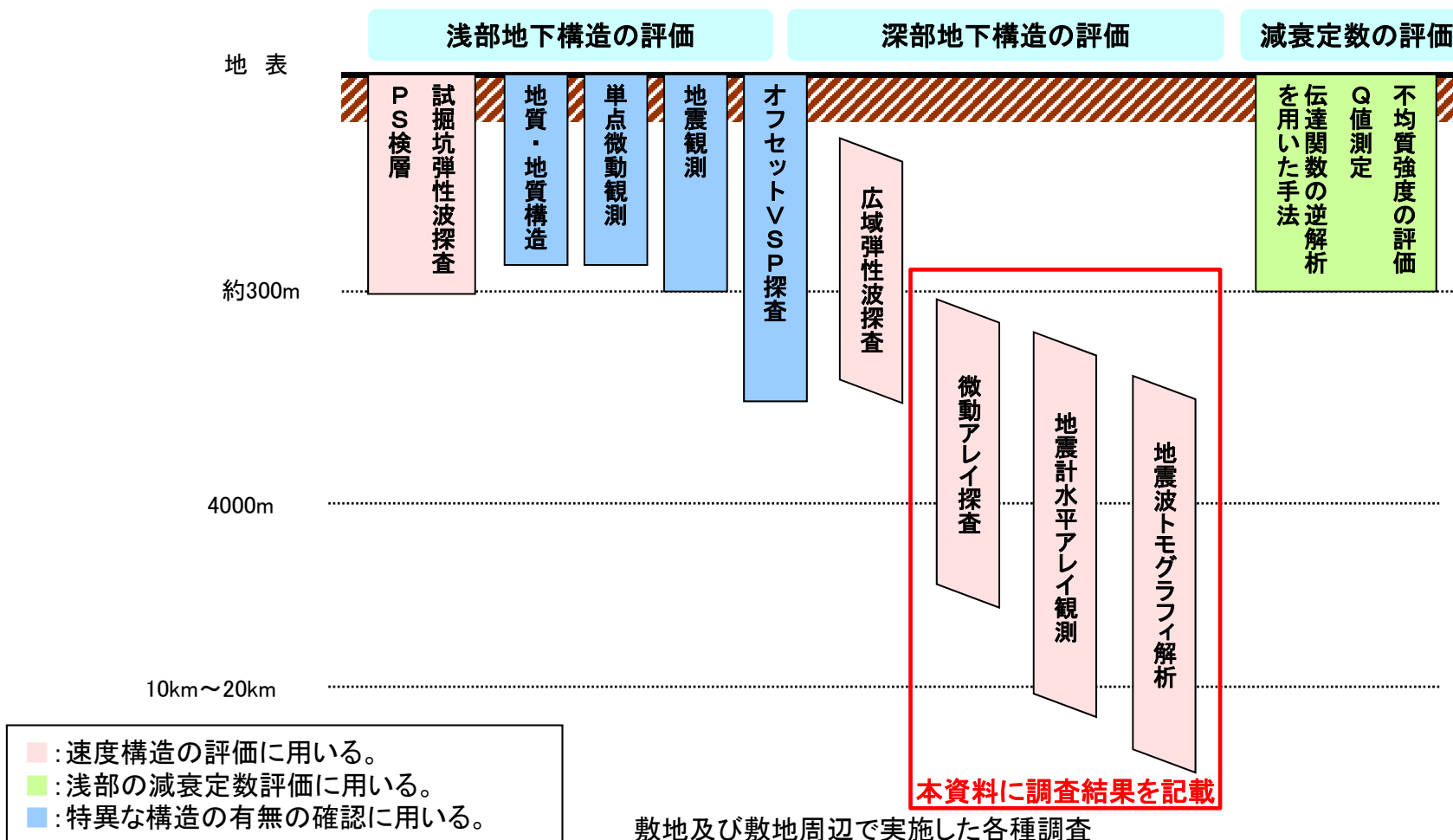
項目		申請時	変更後
基本震源モデル	長さ	21km(浦底-内池見断層)	36km(甲楽城沖断層～浦底断層～池河内断層～柳ヶ瀬山断層) ^{※1}
	上端深さ	調査結果に基づき4km	調査結果からは4kmと推定できるが保守的に3km ^{※1}
不確かさを考慮した震源モデル	上端深さ	3km	-(基本震源モデルの段階で3kmと設定)
	傾斜角	-	調査データのばらつきを踏まえて、並走する断層を超えない範囲の傾斜として70°(北東傾斜)と設定
	すべり角	37.6°	変更なし
	浅部断層すべり量	-	松島他(2010)に基づき1.7mと設定
	短周期レベル	強震動予測レシピの1.5倍	変更なし
	破壊伝播速度	-	宮腰他(2003)に基づき0.87Vsと設定 ^{※1}
組合せ	-	地震動に与える影響の大きさを考慮し、下記組合せを設定 ^{※1} ・すべり角の不確かさ+短周期レベルの不確かさ(1.25倍 ^{※2}) ・すべり角の不確かさ+破壊伝播速度の不確かさ ・短周期レベルの不確かさ(1.25倍 ^{※2})+破壊伝播速度の不確かさ	
十分な余裕を考慮した震源モデル	浅部断層のすべり分布について、アスペリティ直上の地表から深部断層上端までのすべての領域を大すべり域として設定	変更なし	
	浅部断層の破壊伝播速度について、深部断層と同じ値とし、より波が重なり合うよう設定	変更なし	
	-	上記不確かさの組合せのうち、原子炉施設にとって重要な短周期帯の振幅レベルが大きくなる組合せである短周期レベル1.25倍+破壊伝播速度のケースに対し、更に、十分な余裕の考慮として、短周期レベルについてはレシピの1.5倍を考慮	
連動長さの不確かさを考慮した震源モデル(基準地震動への影響検討)	-	137km(安島岬沖～和布-干飯崎沖～甲楽城断層～甲楽城沖断層～浦底断層～池河内断層～柳ヶ瀬山断層～柳ヶ瀬断層南部～鍛冶屋断層～関ヶ原断層) ^{※1}	

※1: 先行サイト審査実績反映

※2: 横ずれ断層であることを踏まえレシピの1.25倍

地下構造評価で実施した各種調査

- 敷地及び敷地周辺で実施した各種調査結果に基づき、地下構造モデルを設定する。
- 本資料では、地下構造評価の概要として、実施した調査の種類や地下構造モデルの設定結果を示す。ただし微動アレイ探査、地震計水平アレイ観測等の調査結果については、震源モデルの断層上端深さの設定にも関わることから、その設定根拠として示す。
- なお、地下構造評価の詳細は別途提示する。



調査結果に基づく地下構造モデルの設定

■解放基盤表面

敷地内の浅部地質構造, PS検層及び試掘孔弾性波探査結果を踏まえて, 解放基盤表面をEL.-10mとし, 解放基盤のS波速度を1.6km/s, P波速度を3.6km/sとして設定する。

■地下構造モデルの物性値

- ①速度構造については, 浅部から深部にかけて, 深さに応じた複数の調査・物理探査(試掘坑弾性波探査, PS検層, 広域弾性波探査, 微動アレイ探査, 地震計水平アレイ観測, 地震波速度トモグラフィ)を行い, 得られた評価結果を組み合わせることで総合的に判断して設定する。
- ②伝達関数の逆解析を用いた手法, Q値測定等を踏まえて $Q_s=16.7$ ($h=3\%$) に設定する。
- ③一般的な値として $Q_s=100$ ($h=0.5\%$) を採用する。

調査結果に基づく地下構造モデル

E.L. (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S波速度 V_s (m/s)	P波速度 V_p (m/s)	減衰定数 h (%)
-10	▽解放基盤表面				
	① 12	2.6	1600	3600	② 3.0
-22	66	2.6	1900	4200	3.0
-88	112	2.6	2200	4600	3.0
-200	430	2.6	2200	4600	③ 0.5
-630	770	2.6	2800	5130	0.5
-1400	2600	2.6	3100	5310	0.5
-4000	∞	2.7	3600	6270	0.5

地震発生層上端の検討(地盤速度と地震発生層上端の関係に係る知見)

シナリオ地震の強震動予測

入倉孝次郎・三宅弘恵, 2001, 地学雑誌, 110(6)

微小地震の浅さ限界 H_s はP波速度5.8~5.9km/sの層の上限と良い相関がある。

近畿地方北部の地震波速度構造と地震発生層

吉井弘治・伊藤潔, 2001, 地球惑星科学連合学会2001年合同大会

1989年に実施された岐阜県藤橋村から兵庫県上郡町における人工地震探査データをもとに、波線追跡法によって地殻の詳細な速度構造を求め、得られた速度構造モデルと、地震活動の深さ断面とを比較し、地震発生層の上限は速度構造が6km/sとなるところにおおむね一致していることが分かった。

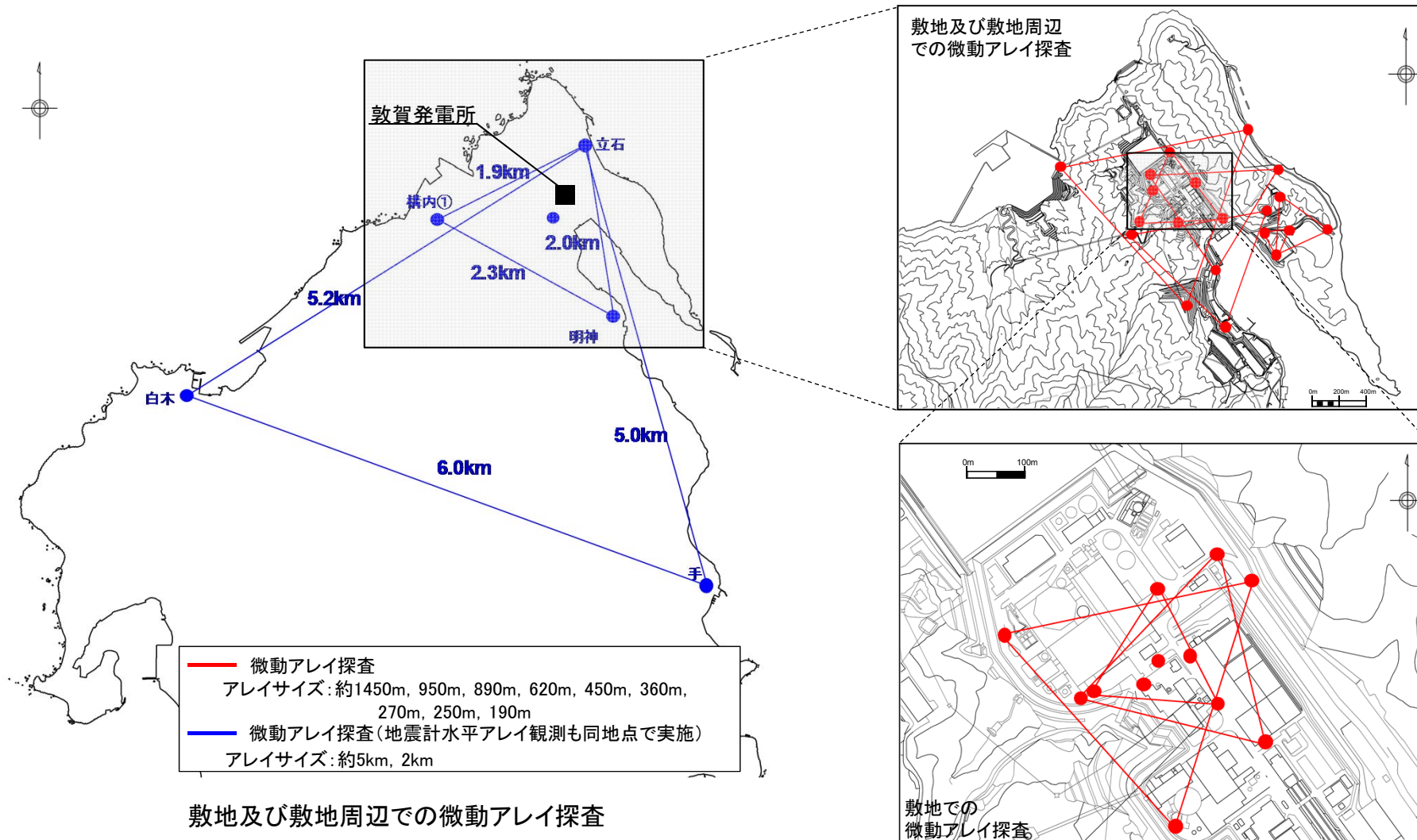
広角反射法および屈折法解析による近畿地方の地殻構造の推定

廣瀬一聖・伊藤潔, 2006, 京都大学防災研究所年報, 第49号B, pp307-321

浅い地殻内で発生する微小地震は、P波速度が5.8~6.4km/sの層に集中しており、その上下には地震波速度境界が存在する。

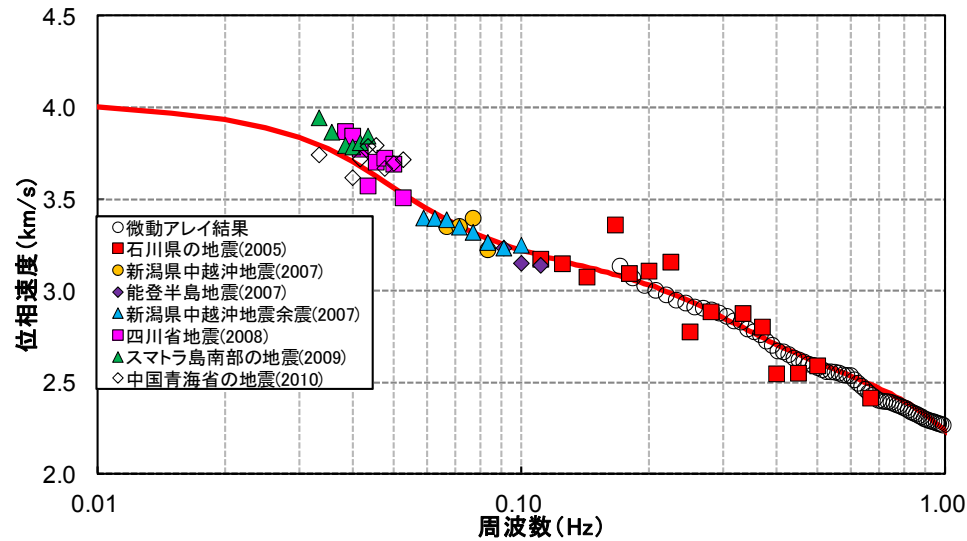
深部地下構造に関する調査(微動アレイ探査・地震計水平アレイ観測)(1/3)

- 敷地及び敷地周辺において、微動アレイ探査及び地震計水平アレイ観測を実施した。
- 微動アレイ探査・地震計水平アレイ観測で得られた記録を用いてSPAC法とセンブランス解析により位相速度を推定した。

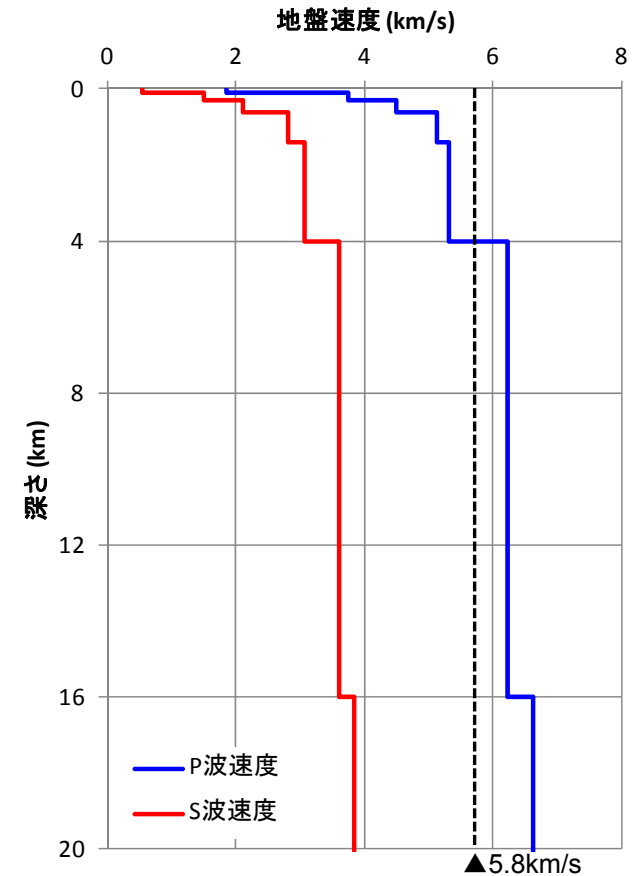


深部地下構造に関する調査(微動アレイ探査・地震計水平アレイ観測)(2/3)

- 微動アレイ探査及び地震計水平アレイ観測より得られた位相速度に適合する地盤の速度構造を推定した。
- その結果、P波速度5.8km/s以上となる層の上面深度は4km程度となる。



観測位相速度と理論位相速度の比較

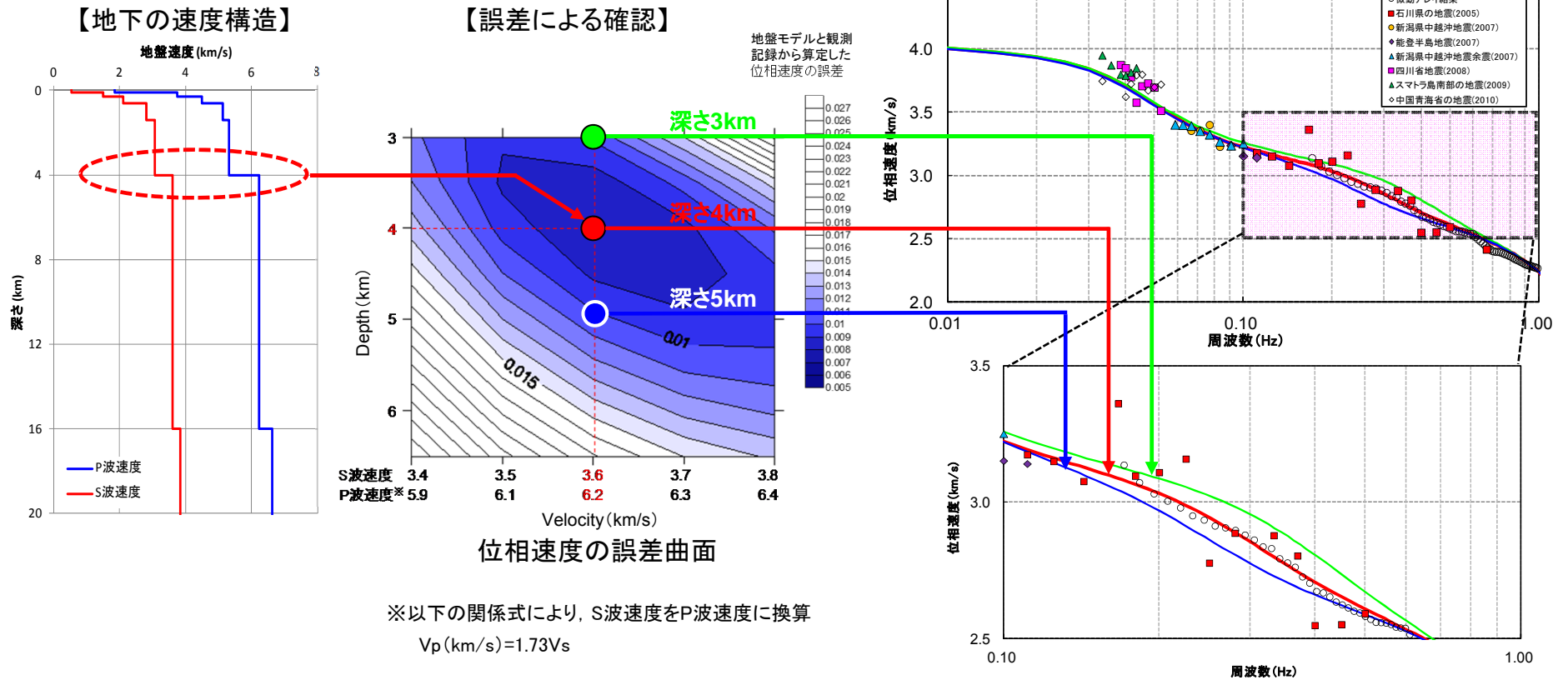


推定した速度構造

深部地下構造に関する調査(微動アレイ探査・地震計水平アレイ観測)(3/3)

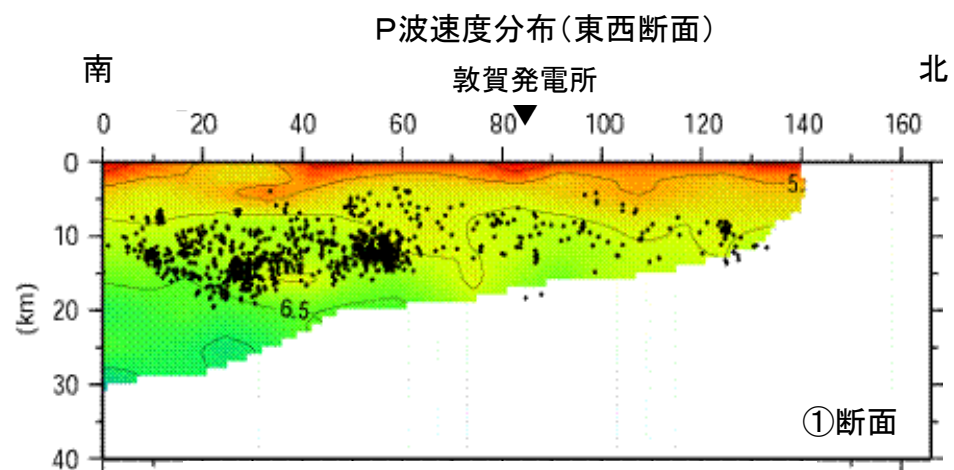
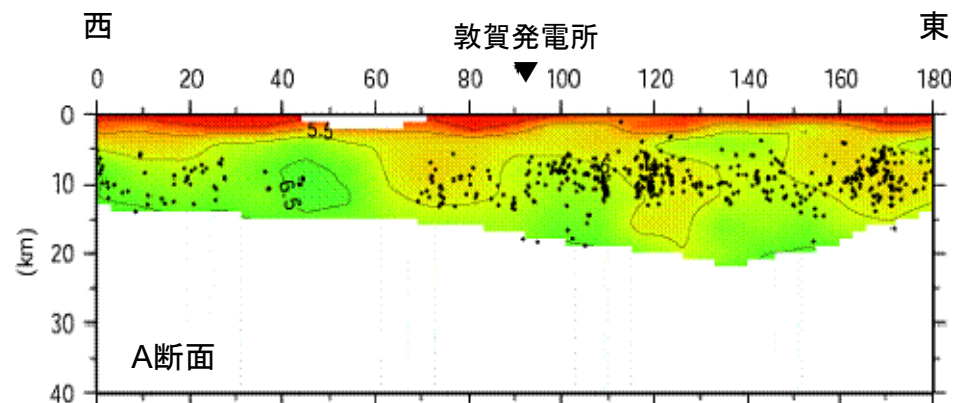
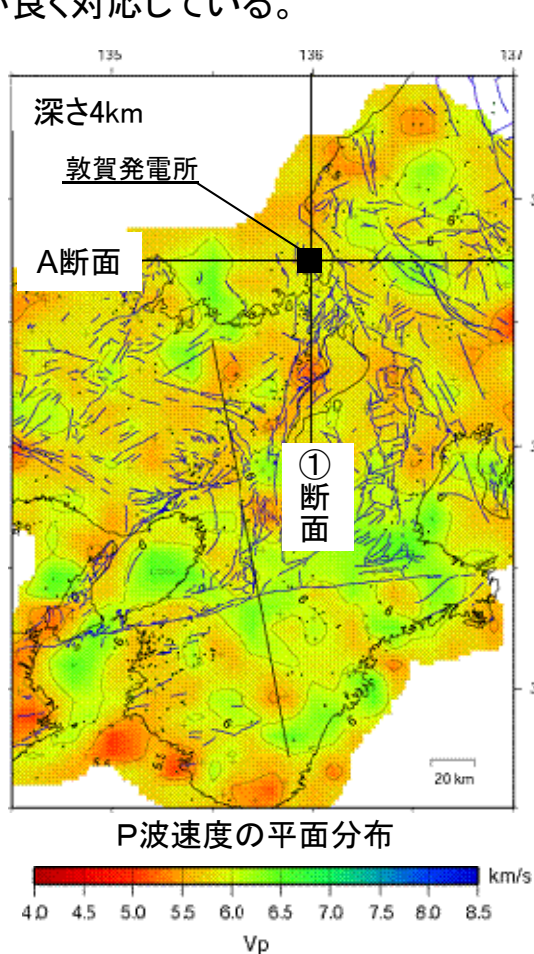
- S波速度3.6km/s(P波速度6.2km/s), 深さ4kmに推定された速度層境界の確からしさについて検討した。
- 具体的には, 上記の速度層境界について, S波速度3.4~3.8km/s(P波速度5.9~6.6km/s), 深さ3~6.5kmの範囲で変化させて理論位相速度を算定し, 微動アレイ探査及び地震計水平アレイ観測に基づく位相速度との誤差を評価した。
- その結果, P波速度5.8km/s以上となる層の上面深度は4km程度が最も確からしいことを確認した。

【観測記録との比較による確認】



地震発生層上端の検討(地震波速度トモグラフィ解析)

- 自然地震の走時を用いた地震波速度トモグラフィ解析を行い、P波速度分布と震源位置を推定した。
- 敦賀半島周辺では4~5km程度の深さでP波速度が6km/sとなっており、調査結果に基づく地下構造モデルと調和的である。また、P波速度分布に震源分布を重ねると、P波速度が6km/s程度となる深さと地震発生深さの上限が良く対応している。



※ 図中黒丸(●)は、断面を中央とする幅10kmの範囲内で発生した地震の震源位置を示す。

川里他(2007)より抜粋・加筆

地震発生層の検討(大都市大震災軽減化特別プロジェクト)

○若狭周辺地域において、大都市大震災軽減化特別プロジェクト(大大特)による大規模な地下構造探査が実施されており、近畿地方北部の浅い地震活動は地震波速度 $V_p=5.8\sim 6.3\text{km/s}$ の層に集中し、その深さは約5～16km程度である。

【新宮－舞鶴測線(2004)の探査結果】

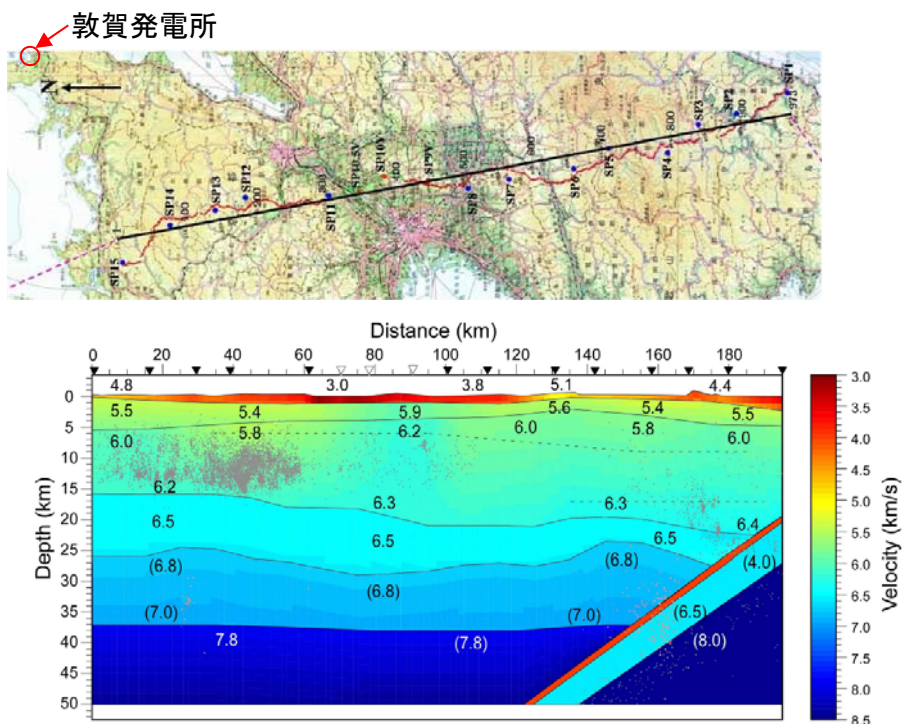


Fig. 9 P-wave velocity structure for the. Numerals show P-wave velocities in km/s. Parentheses show assumed velocity value. Small black and red dots (about 35-40km deep) show earthquakes and low-frequency earthquakes, respectively after Hirose and Ito (2007).

伊藤他(2007)に一部加筆

【藤橋－上郡測線(1989)の再解析結果】

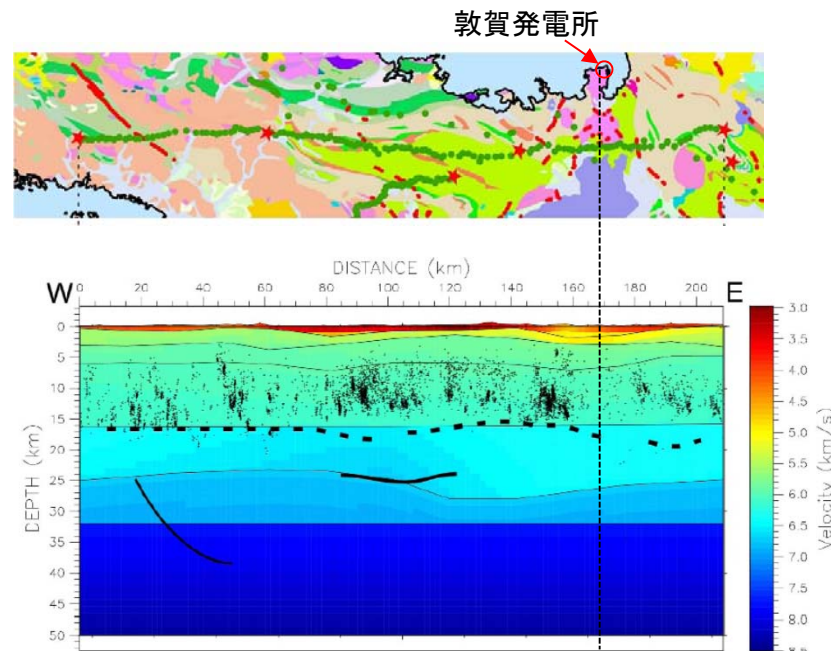
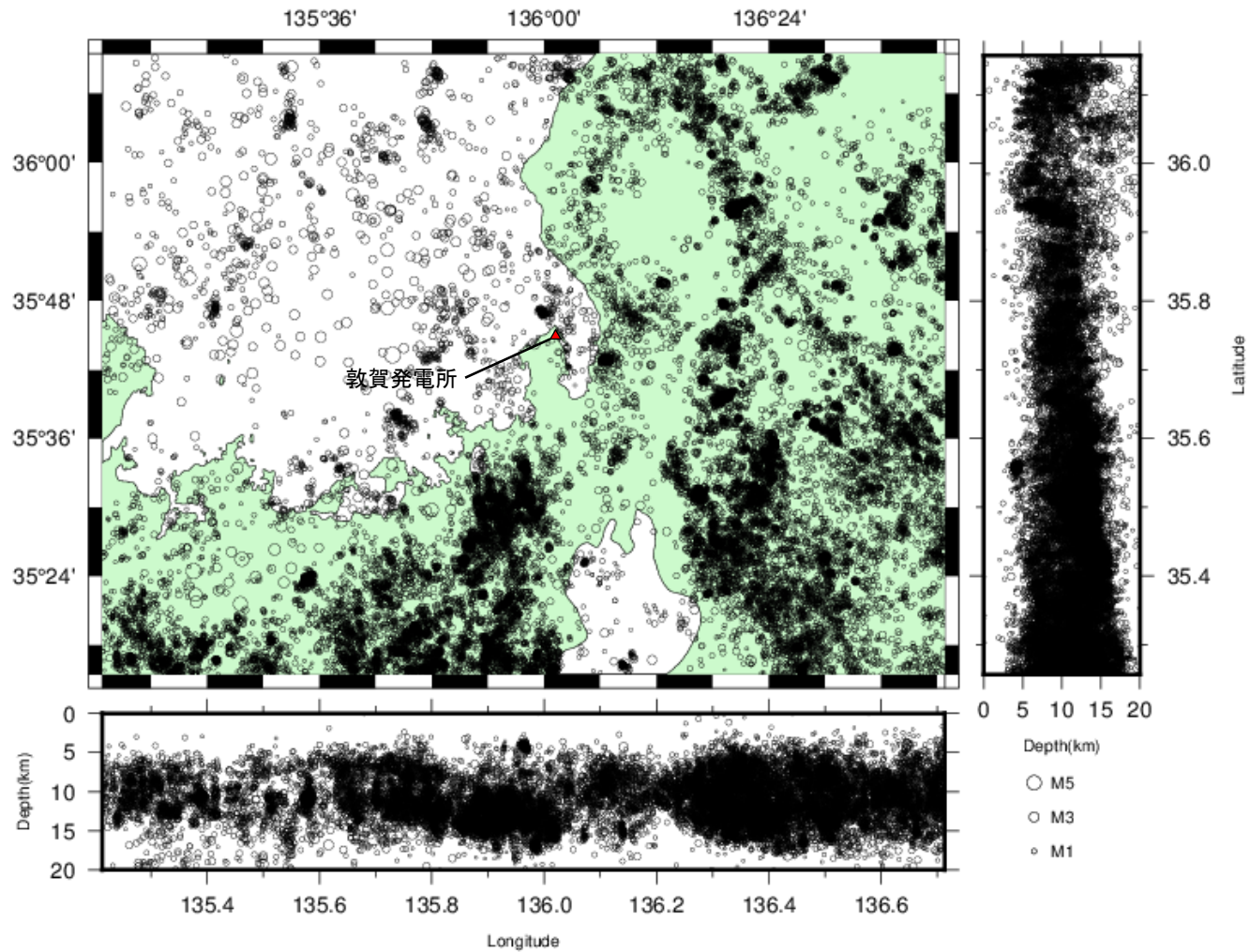


図 16 藤橋－上郡測線の地震波速度構造に、測線周辺の震源分布と反射法解析によって見出された反射面を重ねた。

伊藤他(2006)に一部加筆

地震発生層の検討(気象庁一元化震源の収集・整理)(1/2)

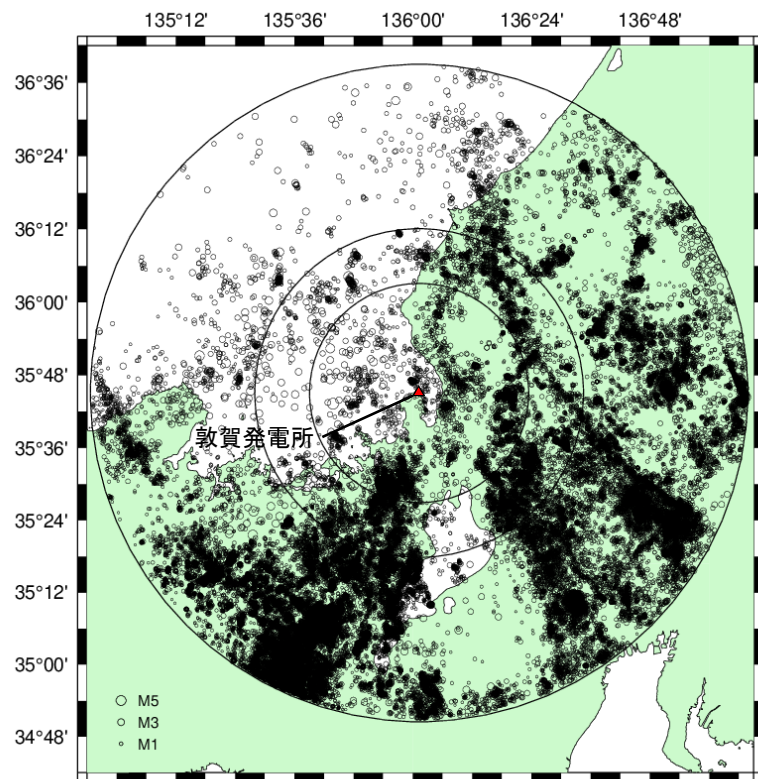
○若狭地域の微小地震の発生分布について調査すると、地震の発生は深さ5km~20km程度の間分布している。



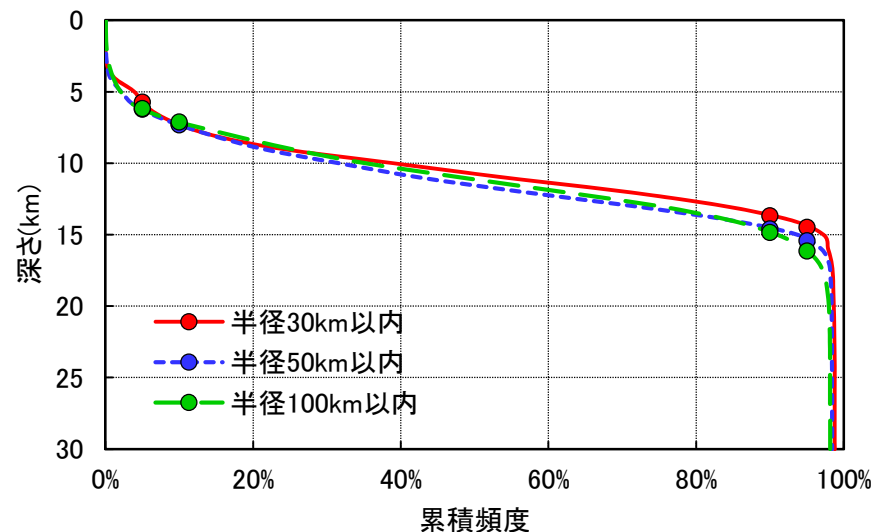
敷地周辺の震央分布図
(気象庁, 1997年10月~2018年7月, M>0)

地震発生層の検討(気象庁一元化震源の収集・整理)(2/2)

- 伊藤・中村(1998)を参考に、敦賀半島を中心とする半径100km以内の地震発生状況を統計的に評価すると、地震の10%発生頻度深さ(D10%)は約7km、地震の90%発生頻度深さ(D90%)は約15kmであった。
- 伊藤・中村(1998)によれば、D90%は地震発生層の下限より2から3km浅いとされていることから、地震発生層の下限は18km程度と推定できる。



敦地から100km以内の地震の震央分布図
(気象庁, 1997年10月~2018年7月, M>0)



領域半径	30km	50km	100km
D5	5.7km	6.2km	6.2km
D10	7.2km	7.3km	7.1km
D90	13.7km	14.6km	14.8km
D95	14.5km	15.4km	16.2km
地震個数	4837	1534	75803

調査に基づく地震発生層の検討

(1) 地盤速度構造による検討

(1) 地盤速度構造による地震発生層の検討

地震発生層に関する文献から、P波速度5.8～6.4km/s層と地震発生層には相関があることが分かった。

(2) 敦賀発電所の地下構造モデルによる検討

発電所の敷地及び敷地周辺で取得した観測データに基づき地下構造モデルを検討した結果、P波速度5.8km/s以上となる層の上面深度は4km以深に評価された。

(3) 地震波速度トモグラフィ解析による検討

解析で得られたP波速度分布等から、敷地周辺における地震発生層の上限は、概ね深さ4km以深に推定された。

(4) 大大特による大規模な地下構造探査

大大特による大規模な地下構造探査によれば、近畿地方北部の浅い地震活動はP波速度5.8～6.3km/sの層に集中し、その深さは約5～16km程度であった。

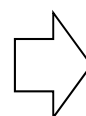
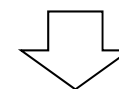
(2) 微小地震観測記録を用いた検討

(1) 周辺地域における地震発生状況の調査

若狭地域の微小地震の発生状況を調査した結果、地震の発生は5～20km程度に見られた。

(2) 地震発生状況の統計的調査

伊藤・中村(1998)を参考に、若狭地域の10%発生頻度深さ(D10%)は約7km、地震の90%発生頻度深さ(D90%)は約15kmであった。



敦賀発電所周辺における断層上端深さ及び下端深さは、以下の通り設定できることを確認した。

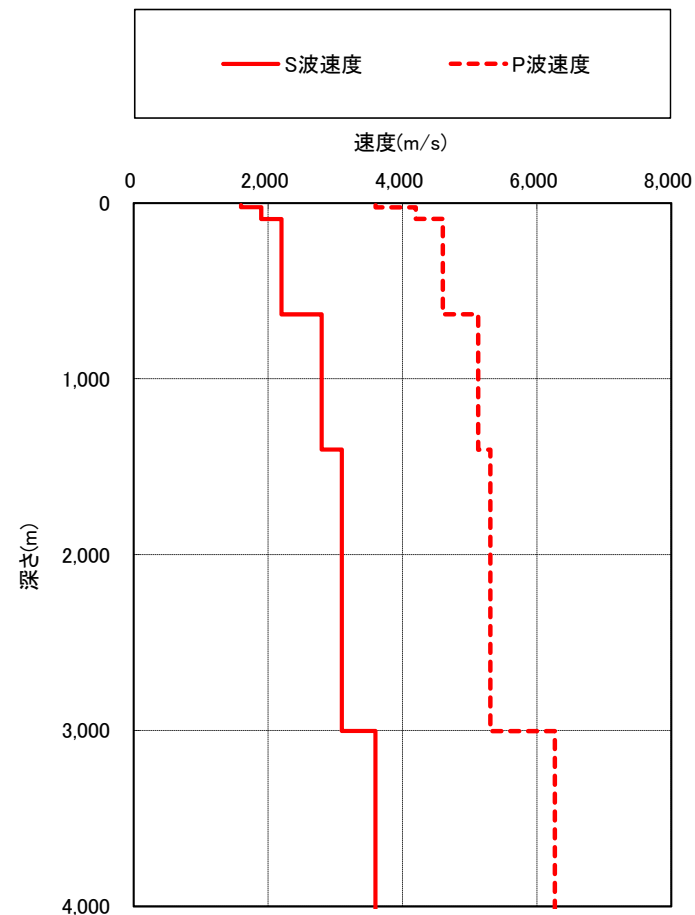
上端 4km
下端 18km

地震動評価に用いる地下構造モデルの設定

- 調査結果からは、断層上端深さを4kmに設定できることを確認した。
- ただし、地震動評価においては、断層上端深さが地震動レベルに与える影響が大きいことから、調査結果に基づく地下構造モデル(130頁)に対し、保守的に断層上端深さを3kmに設定する。

地震動評価に用いる地下構造モデル

E.L. (m)	層厚 (m)	密度 ρ (g/cm ³)	S波速度 V_S (m/s)	P波速度 V_P (m/s)	減衰定数 h (%)
-10	▽解放基盤表面				
-10	12	2.6	1600	3600	3.0
-22	66	2.6	1900	4200	3.0
-88	112	2.6	2200	4600	3.0
-200	430	2.6	2200	4600	0.5
-630	770	2.6	2800	5130	0.5
-1400	2600	2.6	3100	5310	0.5
-3000	∞	2.7	3600	6270	0.5



地震動評価に用いる地下構造モデル

目次

1. 検討方針
2. 知見の整理
 - 2.1 震源極近傍における地震動の特徴
 - 2.2 震源過程
 - 2.3 震源近傍における建物被害
 - 2.4 摩擦とすべり等の関係
 - 2.5 まとめ
3. 浅部断層からの短周期地震動に関する考察
4. 基本震源モデルの地震動評価法
 - 4.1 震源モデルの設定及び計算手法
 - 4.2 2016年熊本地震の再現解析
 - 4.3 まとめ
5. 震源が敷地に極めて近い場合の地震動評価の考え方
6. 浦底断層の地震動評価
 - 6.1 地下構造評価の概要
 - 6.2 基本震源モデルによる地震動評価
 - 6.3 不確かさを考慮した地震動評価
 - 6.4 十分な余裕を考慮した地震動評価
 - 6.5 連動長さの不確かさを考慮した影響検討
 - 6.6 まとめ
7. 全体まとめ
8. 参考文献

補足説明資料1 2016年熊本地震の再現解析について

補足説明資料2 浦底断層の地震動評価(応答スペクトルに基づく手法)

補足説明資料3 C.H.ショルツ(2010)の引用について

審査ガイド要求事項との具体的対応(1/2)

■震源が敷地に極めて近い場合の地震動評価(審査ガイドより)

1) 震源が敷地に極めて近い場合の地震動評価においては、地表に変位を伴う①断層全体(地表地震断層から震源断層までの断層全体)を考慮した上で、②震源モデルの形状及び位置の妥当性、敷地及びそこに設置する施設との位置関係、並びに③震源特性パラメータの設定の妥当性について詳細に検討されていることを確認する。

2) これらの検討結果を踏まえた評価手法の適用性に留意の上、①各種の不確かさが地震動評価に与える影響をより詳細に評価し、震源の極近傍での地震動の特徴に係る最新の科学的・技術的知見を踏まえた上で、②さらに十分な余裕を考慮して地震動が評価されていることを確認する。特に、③評価地点近傍に存在する強震動生成領域(アスペリティ)での応力降下量などの強震動の生成強度に関するパラメータ、強震動生成領域同士の破壊開始時間のずれや破壊進行パターンの設定において、不確かさを考慮し、破壊シナリオが適切に考慮されていることを確認する。

■具体的対応

① 従来の震源断層だけのモデル(深部断層)に加えて、震源断層上端から地表地震断層まで(浅部断層)を含めて断層全体をモデル化(浅部断層+深部断層)する。

② 原子炉建屋等の重要施設と地表地震断層の離隔距離を正確に再現した震源モデルを設定する。

③ 深部断層については強震動予測レシピを参考に設定し、浅部断層については長周期に影響を与えられられることから理論的手法に必要なパラメータを設定する。また、これらのパラメータ設定の妥当性を2016年熊本地震における地震観測記録の再現解析を通して検討する。(3章 震源モデルの設定法)

①, ③ 短周期レベルや破壊伝播速度、破壊開始点等の不確かさが地震動評価に与える影響を検討し、影響の大きい不確かさについてはそれらを組み合わせる(重畳する)ことで破壊シナリオを適切に考慮する。

② 断層が敷地に極めて近いことを踏まえ、不確かさの組合せとは別にさらに十分な余裕を考慮する。

審査ガイド要求事項との具体的対応(2/2)

■震源が敷地に極めて近い場合の地震動評価(審査ガイドより)

3) なお、震源の極近傍での地震動の特徴に係る①最新の科学的・技術的知見を取り込んだ手法により、②地表に変位を伴う国内外被害地震の震源極近傍の地震動記録に対して適切な再現解析を行い、震源モデルに基づく短周期地震動、長周期地震動及び永久変位を十分に説明できていることを確認する。この場合、特に永久変位・変形についても実現象を適切に再現できていることを確認する。さらに、③浅部における断層のずれの進展の不均質性が地震動評価へ及ぼす影響を検討するとともに、④浅部における断層のずれの不確かさが十分に評価されていることを確認する。

4) 震源が敷地に極めて近い場合の地震動評価においては、①破壊伝播効果が地震動へ与える影響について、十分に精査されていることを確認する。また、水平動成分に加えて上下動成分の評価が適切に行われていることを確認する。

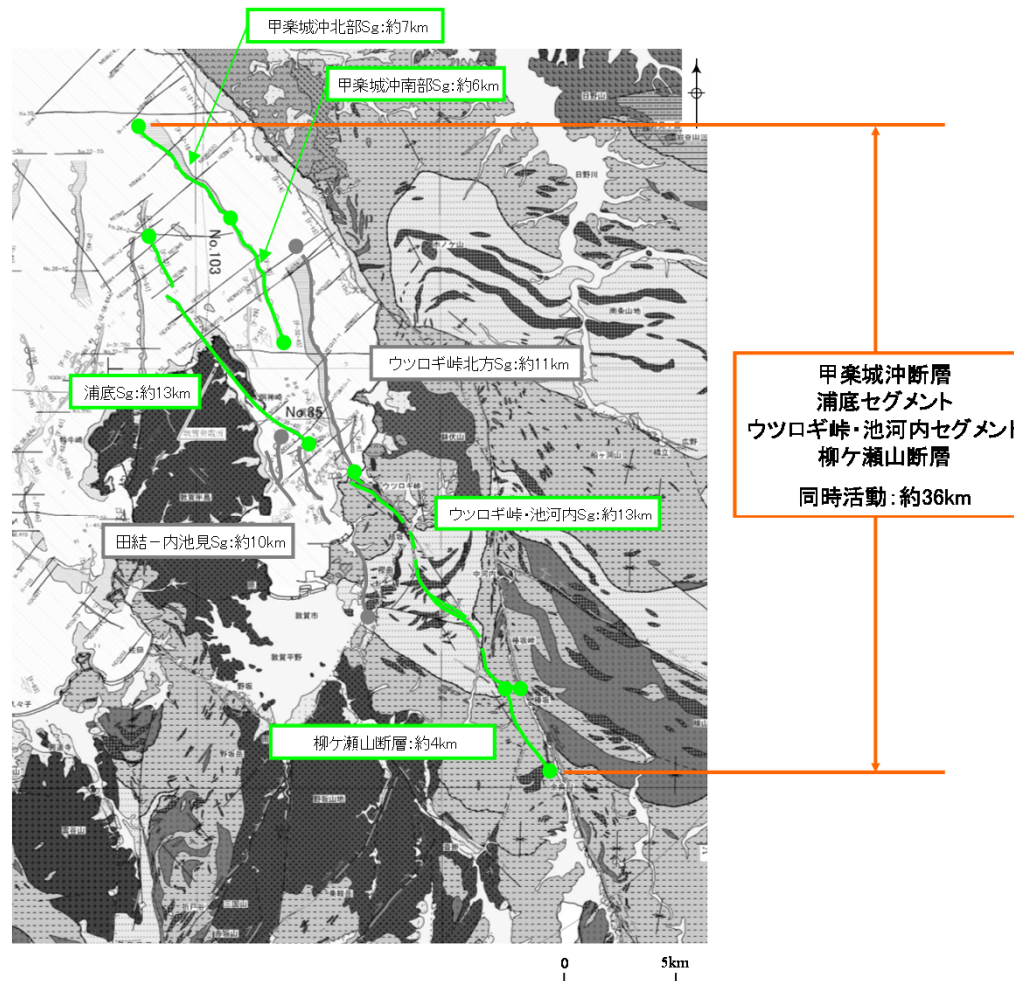
■具体的対応

- ①震源極近傍の地震動の特徴に関する知見を整理し、震源モデルの設定方法を検討する。(3章 震源モデルの設定法)
- ② 2016年熊本地震本震では、震源近傍観測点において永久変位が観測されていることから、短周期地震動、長周期地震動を含めその地震観測記録の再現解析を通して、震源モデル設定方法の妥当性を確認する。(3章 震源モデルの設定法)
- ③ 浅部断層については、大すべり域、小すべり域を設定することでずれの進展の不均質性を考慮する。
- ④ すべり角やすべり量について不確かさを考慮する。

- ① 破壊開始点を複数(5ヶ所)考慮することや破壊伝播速度の不確かさを考慮することで、破壊伝播効果が地震動に与える影響を確認する。

浦底断層の分布

- 浦底断層(甲楽城沖断層～浦底断層～池河内断層～柳ヶ瀬山断層)の分布を下記に示す。
- 甲楽城沖断層～浦底断層～池河内断層～柳ヶ瀬山断層が同時活動する可能性は低いと判断するが、4断層全ての同時活動(約36km)を考慮する。

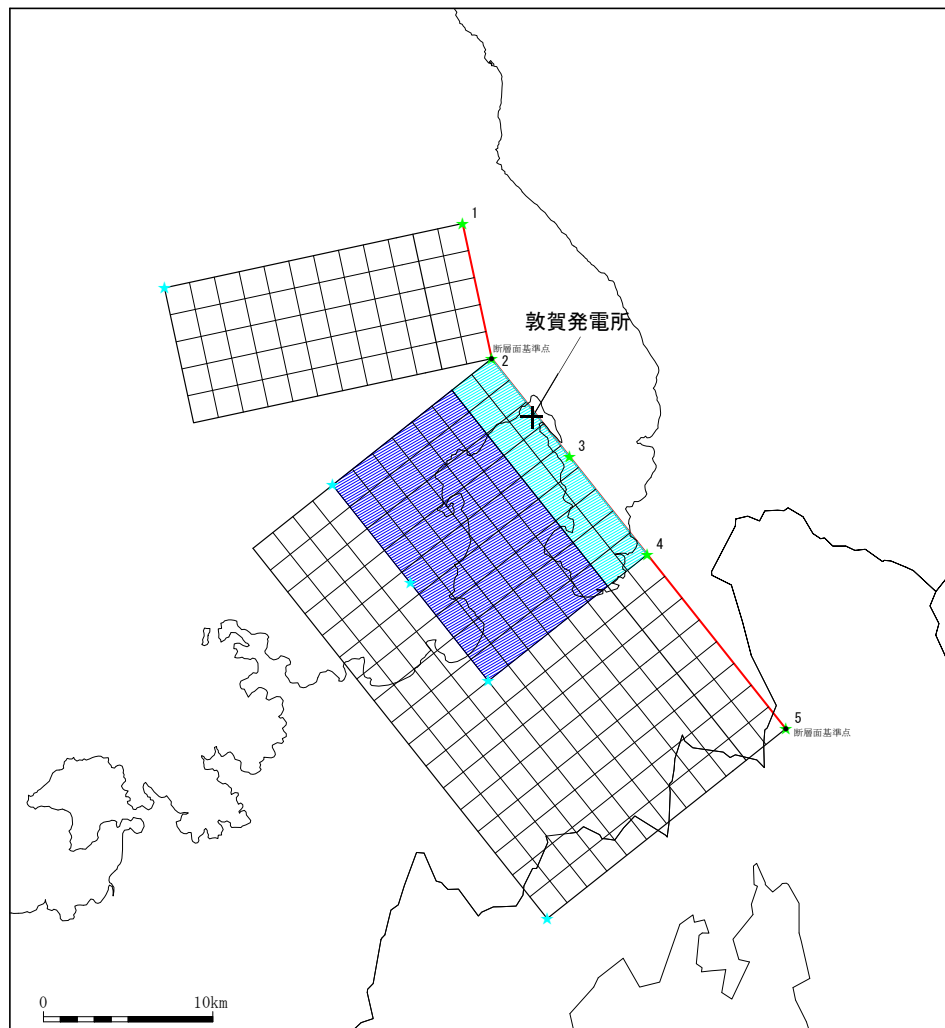


※セグメントを「Sg」と表記。

断層分布図

基本震源モデルの設定概要 (1/2)

○従来の震源断層だけのモデル(深部断層)に加えて, 断層上端から地表地震断層まで(浅部断層)を含めて断層全体をモデル化(浅部断層+深部断層)する。

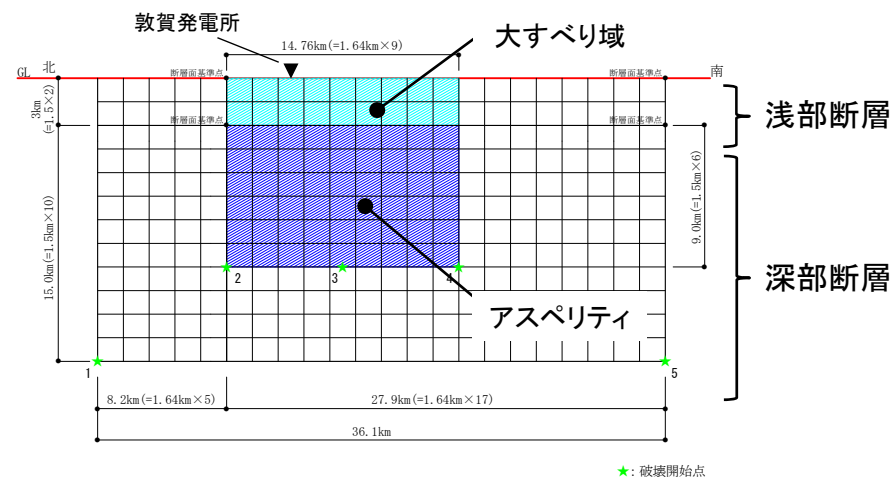


※ 傾斜角90°の断層面は、傾斜角0°として図化している。

★：破壊開始点

断層配置図

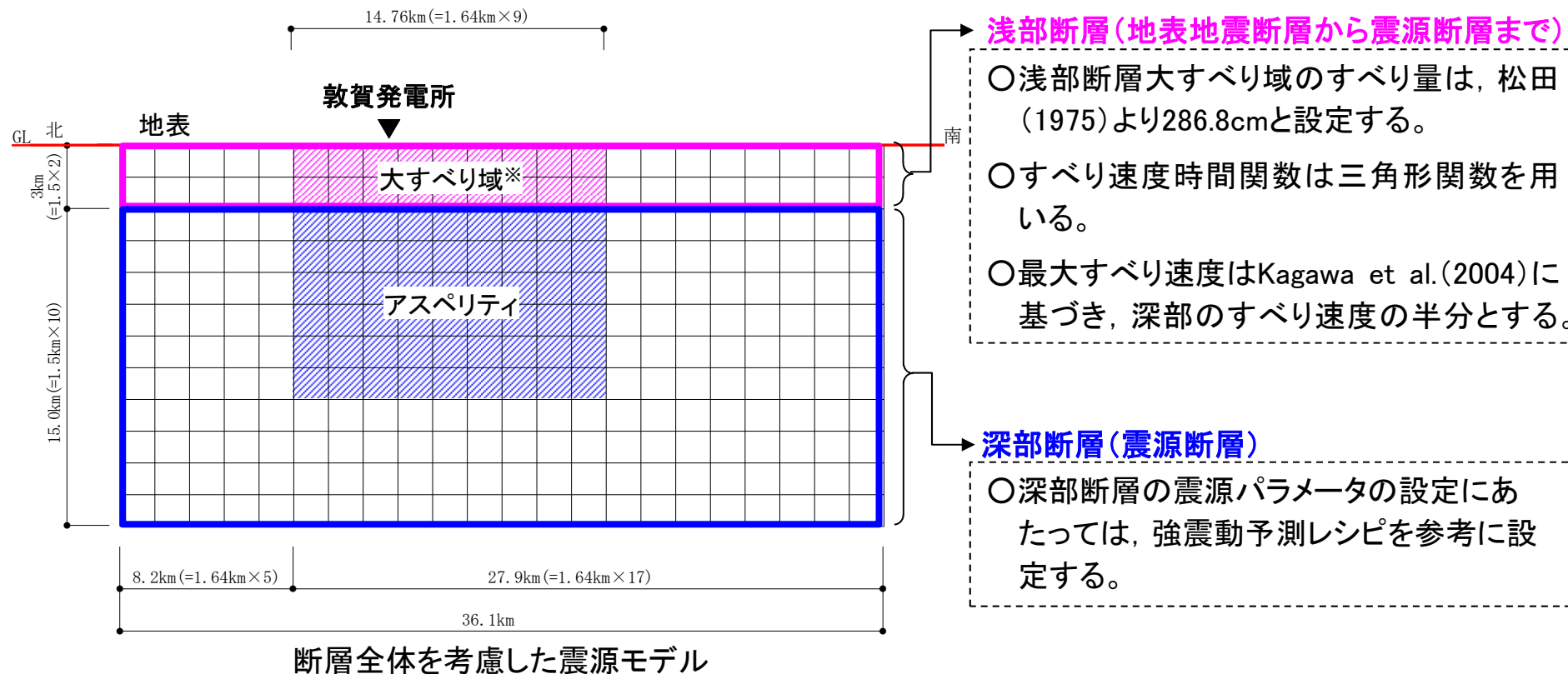
- 長さは, 甲楽城沖断層~浦底断層~池河内断層~柳ヶ瀬山断層の連動として約36kmと設定する。
- 深部断層の上端深さは3km, 下端深さは18kmとして設定する。
- 断層タイプは, ボーリング等の調査結果を参考に, 地震動評価上は傾斜角90°の左横ずれ断層として設定する。
- アスペリティ及び大すべり域は敷地への影響が大きくなるようサイト直下に配置する。
- 破壊開始点は, 様々な破壊進行パターンを考慮するため5か所設定する。



断層モデル図

基本震源モデルの設定概要 (2/2)

〇4.1 震源モデルの設定及び計算手法震源モデルの設定法に基づき断層パラメータを設定する。



浅部断層(地表地震断層から震源断層まで)

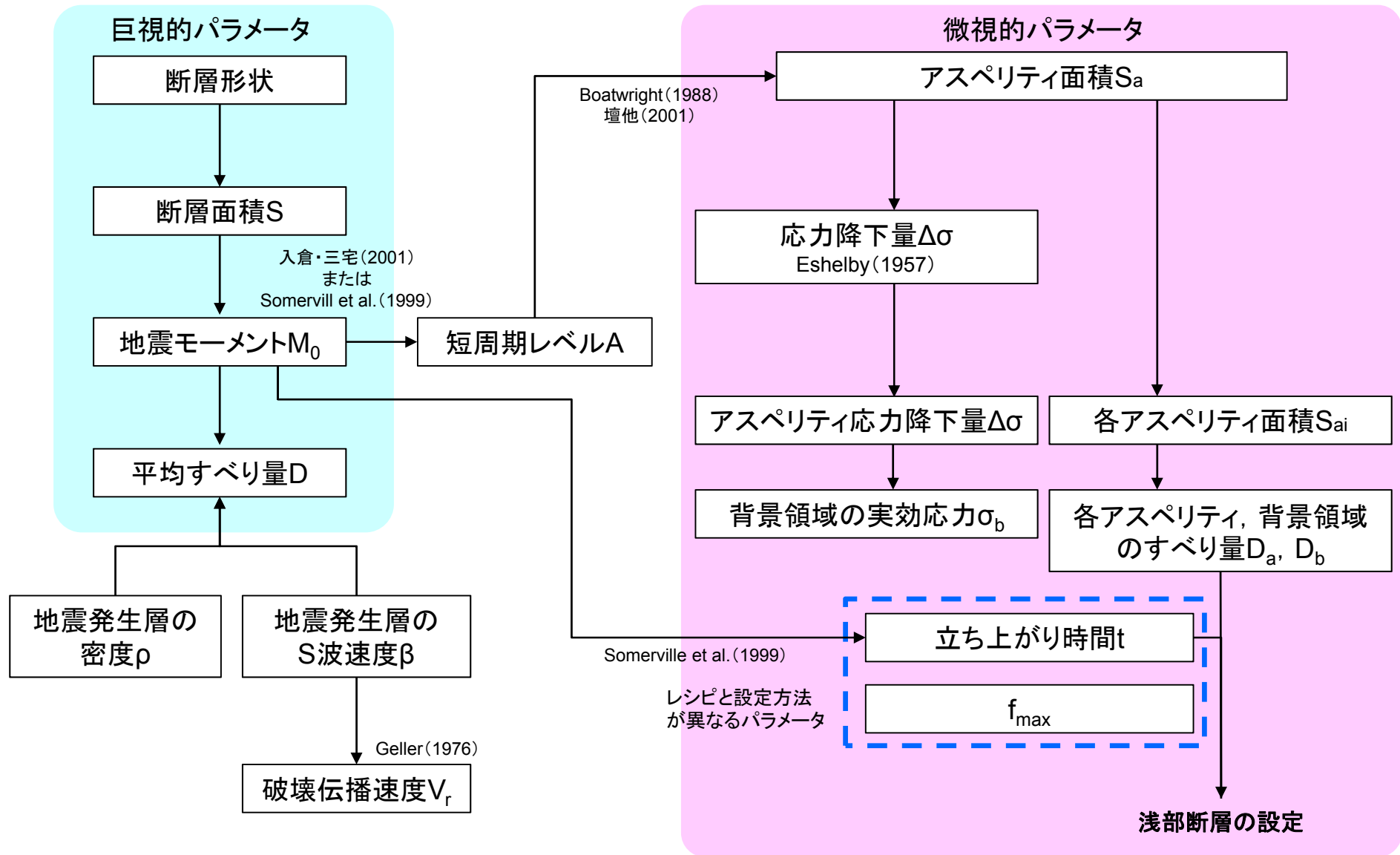
- 浅部断層大すべり域のすべり量は、松田(1975)より286.8cmと設定する。
- すべり速度時間関数は三角形関数を用いる。
- 最大すべり速度はKagawa et al.(2004)に基づき、深部のすべり速度の半分とする。

深部断層(震源断層)

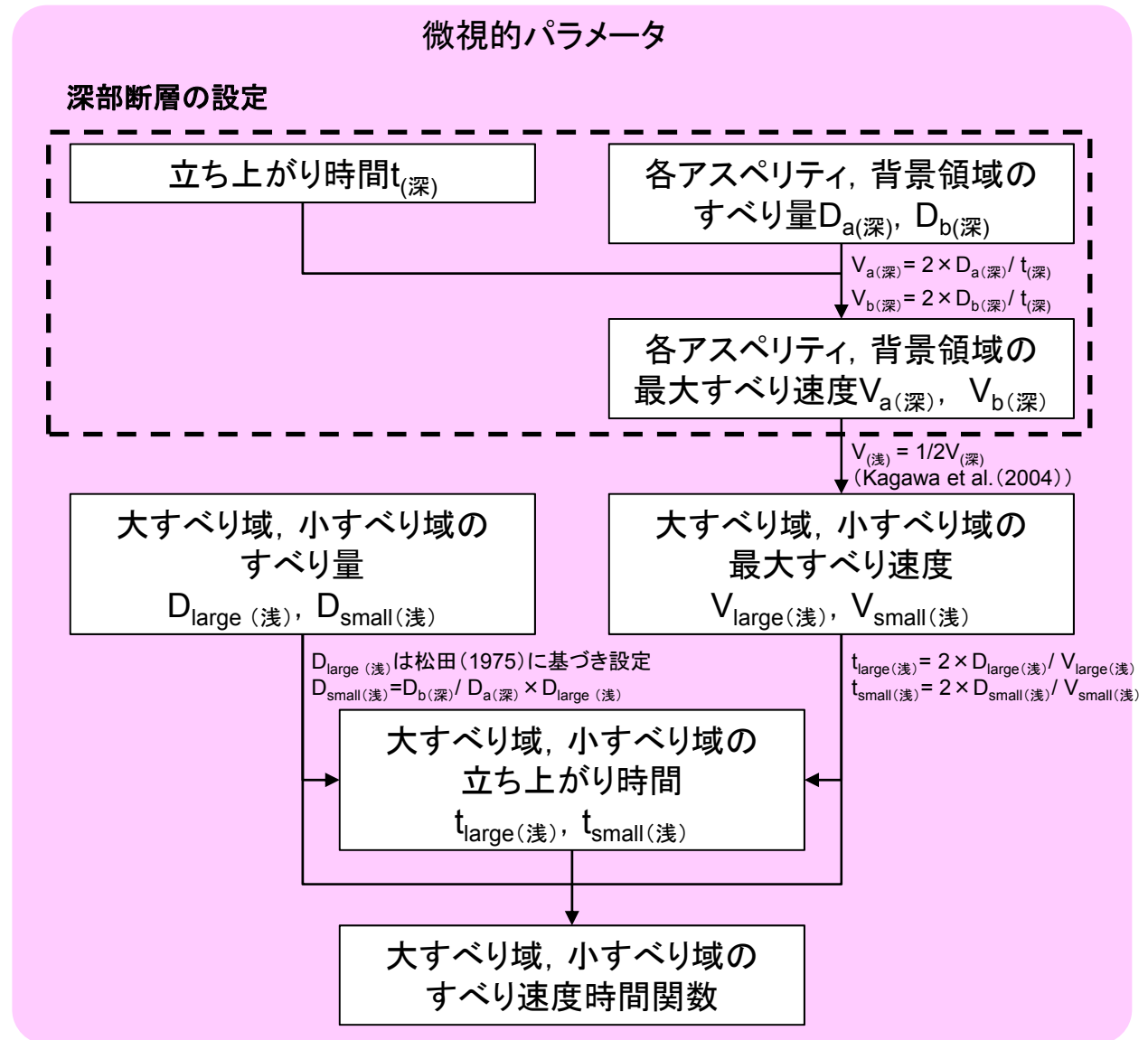
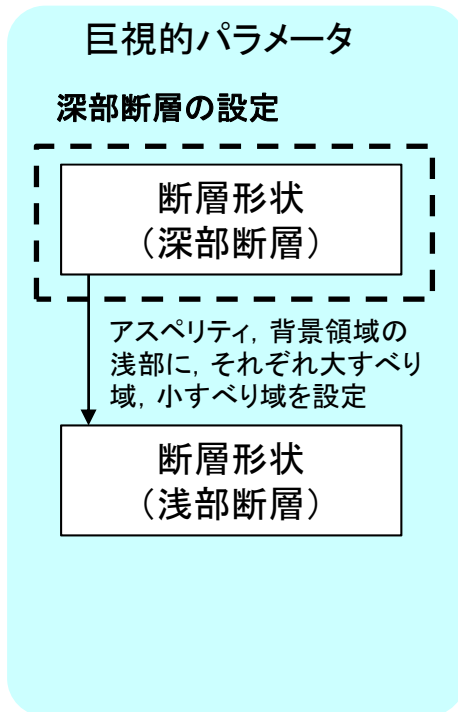
- 深部断層の震源パラメータの設定にあたっては、強震動予測レシピを参考に設定する。

※ アスペリティ直上における、地表から深部断層上端までのすべての領域を大すべり域とする。

断層パラメータの設定フロー： 深部断層

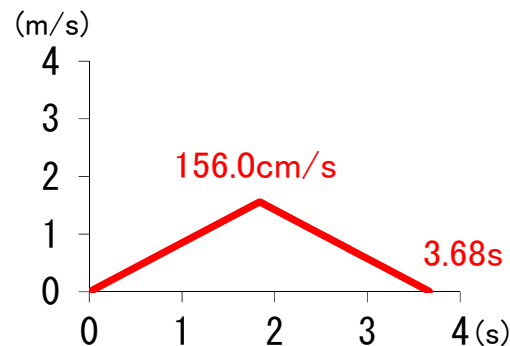
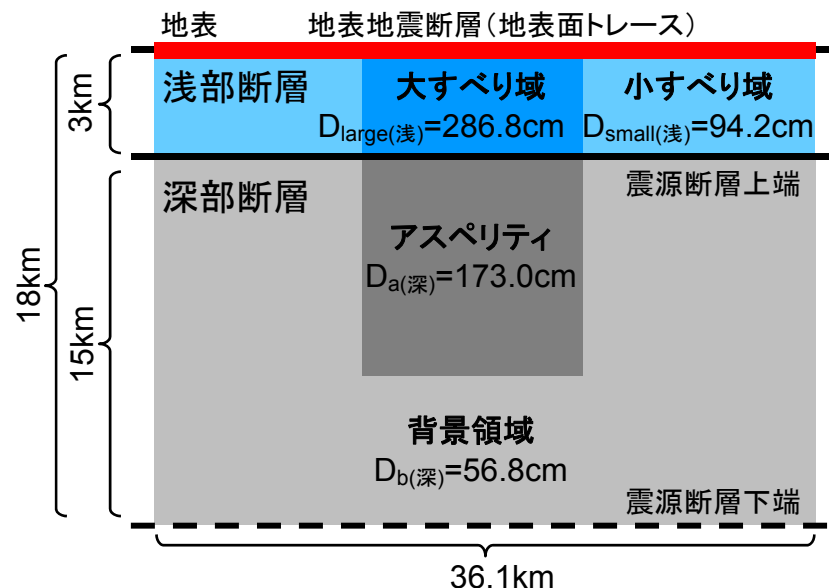


断層パラメータの設定フロー： 浅部断層

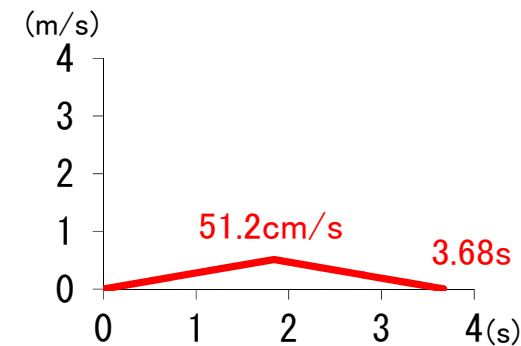


理論計算に用いるすべり速度時間関数

○断層パラメータの設定フローに基づき設定したすべり速度時間関数は下図のとおり。



大すべり域



小すべり域

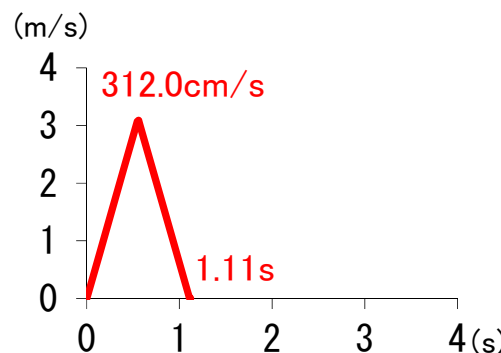
浅部断層のすべり速度時間関数

【深部断層のパラメータ】

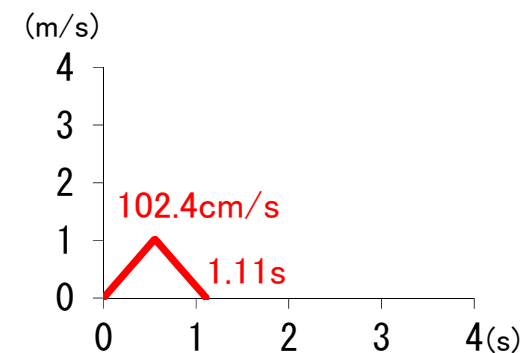
- ・ $t_{(深)}$ はSomerville et al. (1999)に基づき設定
- ・ $D_{a(深)}$, $D_{b(深)}$ はレシピに基づき設定
- ・ $V_{(深)} = 2 \times D_{(深)} / t_{(深)}$

【浅部断層のパラメータ】

- ・ $V_{(浅)} = 1/2V_{(深)}$ (Kagawa et al. (2004))
- ・ $D_{large(浅)}$ は松田(1975)に基づき設定
- ・ $D_{small(浅)} = D_{b(深)} / D_{a(深)} \times D_{large(浅)}$
- ・ $t_{(浅)} = 2 \times D_{(浅)} / V_{(浅)}$



アスペリティ



背景領域

深部断層のすべり速度時間関数

基本震源モデルの断層パラメータ

断層パラメータ	深部断層	設定方法
断層長さ(km)	36.1	断層位置を基に設定
傾斜角(°)	90	地質調査結果(高角度北東傾斜, 左横ずれ主体)を踏まえ地震動評価上は90°として設定
すべり角(°)	0	傾斜角90°の左横ずれ断層としたことを踏まえてレシピに基づき0°に設定
断層幅(km)	15	地震発生層と傾斜角から設定
断層面積(km ²)	541.5	S=L(断層長さ)×W(断層幅)
断層上端深さ(km)	3	微小地震の発生深さの上下限や地下構造を参照して設定
断層下端深さ(km)	18	
破壊伝播形式	同心円状	同心円状
地震モーメント(N・m)	1.63 × 10 ¹⁹	M ₀ = {S / (4.24 × 10 ⁻¹¹)} ^{2.0} / 10 ⁷
モーメントマグニチュード*	6.7	M _W = (log M ₀ - 16.1) / 1.5
剛性率(N/m ²)	3.50 × 10 ¹⁰	μ = ρ β ² , ρ = 2.7g/cm ³ *1, β = 3.6km/s*2
平均すべり量(cm)	86.1	D = M ₀ / (μ S)
平均応力降下量(MPa)	3.2	Δσ = (7π ^{1.5} / 16) × (M ₀ / S ^{1.5})
破壊伝播速度(km/s)	2.59	V _r = 0.72 β
立ち上がり時間(sec)	1.11	T _r = 2.03 × 10 ⁻⁹ × (M ₀ × 10 ⁷) ^{1/3}
短周期レベル(N・m/s ²)	1.34 × 10 ¹⁹	A = 2.46 × 10 ¹⁷ × (M ₀ × 10 ⁷) ^{1/3}

断層パラメータ	深部断層	設定方法
アスペリティ	面積(km ²)	136.26 S _a = π r ² , r = (7π M ₀ β ²) / (4A _a R), R = (S / π) ^{0.5}
	平均すべり量(cm)	173 D _a = γ _D D, γ _D = 2.01
	地震モーメント(N・m)	8.25 × 10 ¹⁸ M _{0a} = μ S _a D _a
	応力降下量(MPa)	12.5 Δσ _a = (S / S _a) Δσ
背景領域	面積(km ²)	405.24 S _b = S - S _a
	平均すべり量(cm)	56.8 D _b = M _{0b} / (μ S _b)
	地震モーメント(N・m)	8.06 × 10 ¹⁸ M _{0b} = M ₀ - M _{0a}
	実効応力(MPa)	2.5 σ _b = 0.2 Δσ _a
Q値		50f ^{1.1} 佐藤他(2007)
f _{max} (Hz)		8.3 香川他(2003)

断層パラメータ	浅部断層	設定方法
剛性率(N/m ²)	2.19 × 10 ¹⁰	μ = ρ β ² , ρ = 2.6g/cm ³ β = 2.9km/s(浅部断層の平均値)
立ち上がり時間(sec)	3.68	Kagawa et al.(2004)より浅部のすべり速度が深部のすべり速度の半分となるように設定
大すべり域	面積(km ²)	44.31 S = L × W
	平均すべり量(cm)	286.8 松田(1975)に基づき設定(D _{large(浅)})
	地震モーメント(N・m)	2.78 × 10 ¹⁸ M _{0large(浅)} = μ S _{large(浅)} D _{large(浅)}
小すべり域	面積(km ²)	63.99 S = L × W
	平均すべり量(cm)	94.2 D _{small(浅)} = D _{large(浅)} × (D _{b(深)} / D _{a(深)})
	地震モーメント(N・m)	1.32 × 10 ¹⁸ M _{0small(浅)} = μ S _{small(浅)} D _{small(浅)}
地震モーメント(N・m)	4.10 × 10 ¹⁸	M _{0(浅)} = M _{0small(浅)} + M _{0large(浅)}
破壊伝播速度(km/s)	2.59	深部断層と同じ値に設定*3

※1 「琵琶湖西岸断層帯の地震を想定した強震動評価(地震調査研究推進本部平成16年6月21日)」で用いられている値を採用する。

※2 微動アレイ探査及び地震計水平アレイ観測に基づき設定する。

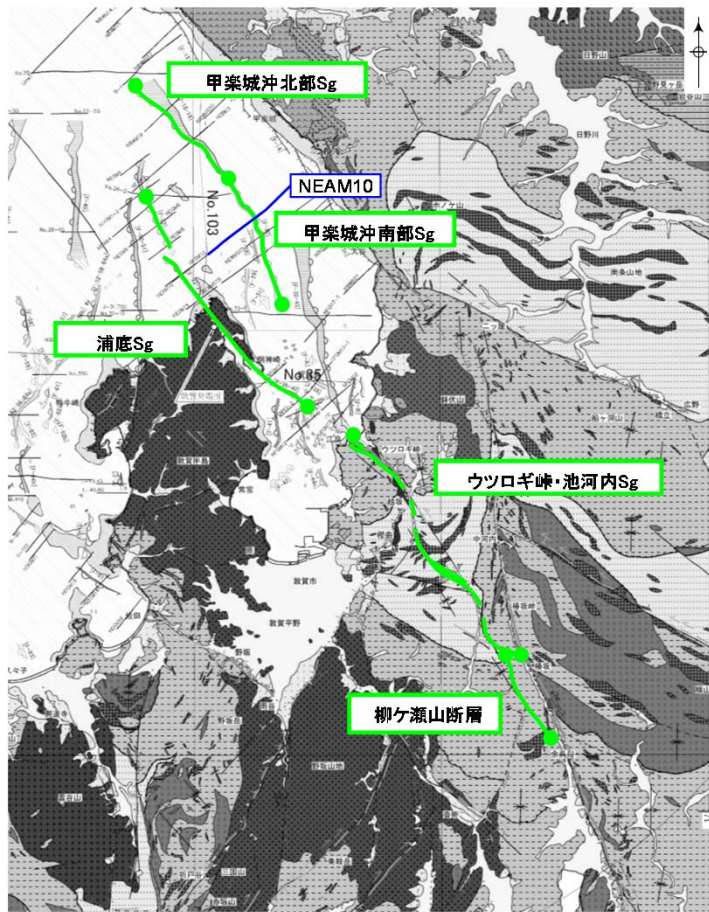
※3 浅部断層の破壊伝播速度について、深部断層と同じ値とし、より波が重なり合う設定とする。

基本震源モデルの設定に関する詳細説明

○震源モデルの設定に関し、下記事項について詳細に示す。

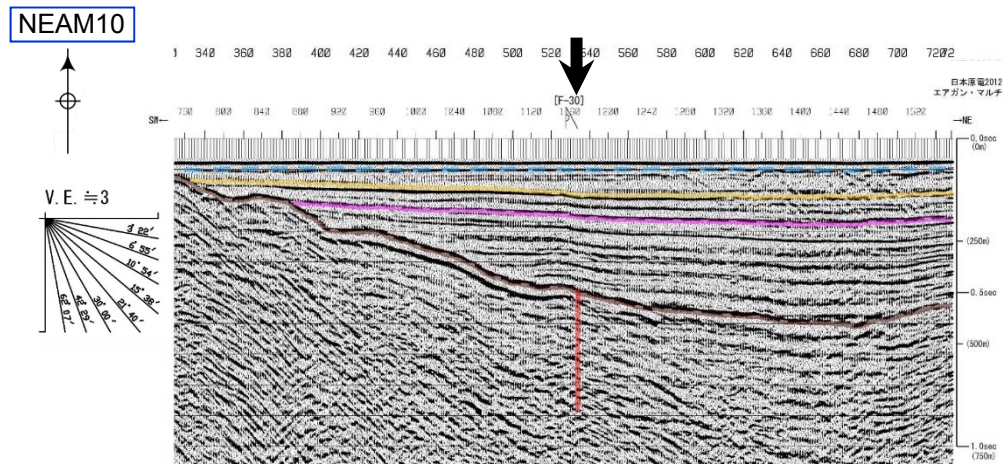
- ① 断層傾斜角, 断層タイプ
- ② 地質調査結果と震源モデルの対応
- ③ 浅部断層のすべりについて

① 断層傾斜角, 断層タイプ(1/3)



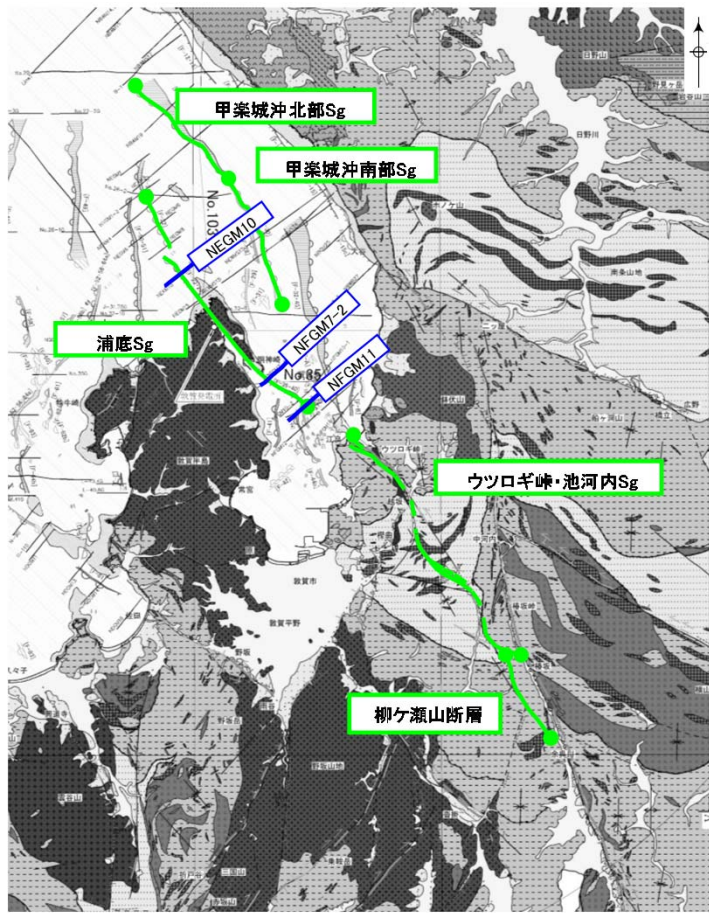
※セグメントを「Sg」と表記。

【甲楽城沖北部・南部セグメント】
走向と広域応力場の関係や海上音波探査結果より, ほぼ鉛直(90°)と推定される。



調査結果の例(海上音波探査結果)

① 断層傾斜角, 断層タイプ(2/3)

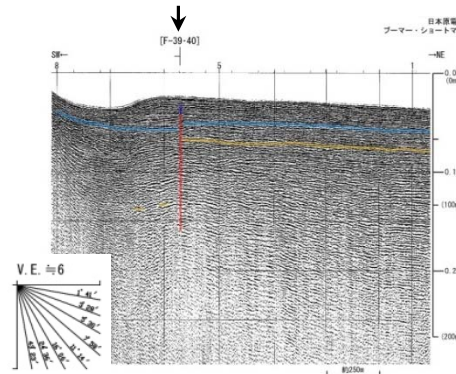


※セグメントを「Sg」と表記。

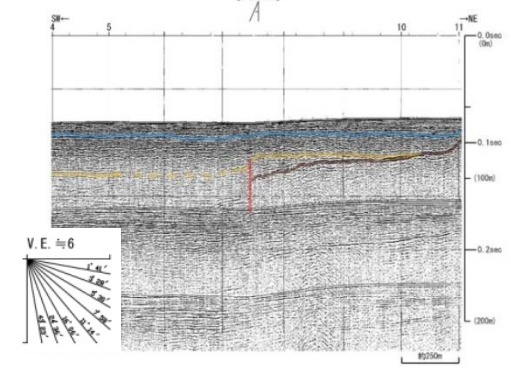
【浦底セグメント】

・走向と広域応力場の関係や変動地形調査, トレンチ調査及びボーリング調査の結果から, 左横ずれ卓越の断層であり断層傾斜角は高角度と考えられるが, 断層東側の地層を隆起させている状況を踏まえ東側傾斜(並走するウトロギ岬北方セグメントの傾斜方向との関連から70°以上)と評価する。

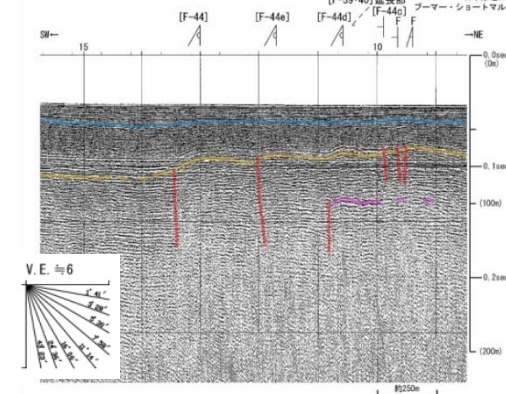
NFGM7-2



NEGM10



NFGM11

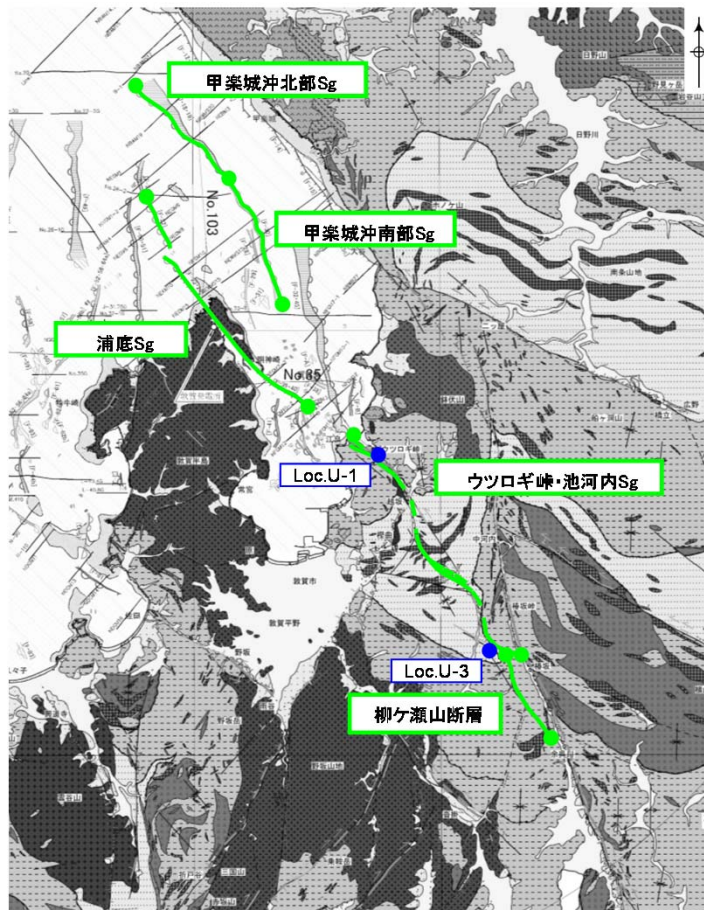


浦底断層の端部と評価

- 凡例
- B層(上部更新統)上面
 - C層(最上部鮮新統～中部更新統)上面
 - C層(最上部鮮新統～中部更新統)上面
 - R層(先鮮新統～最下部鮮新統)上面
 - 変形
 - 変位

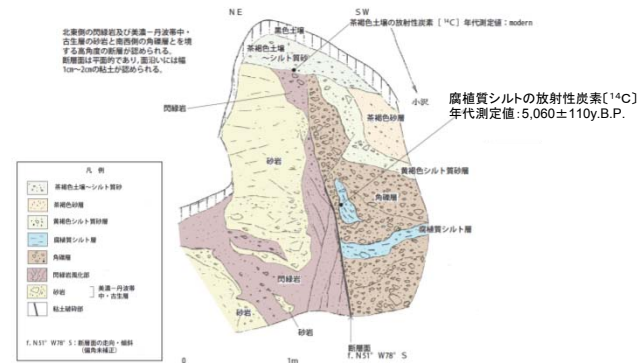
調査結果の例(海上音波探査結果)

① 断層傾斜角, 断層タイプ(3/3)

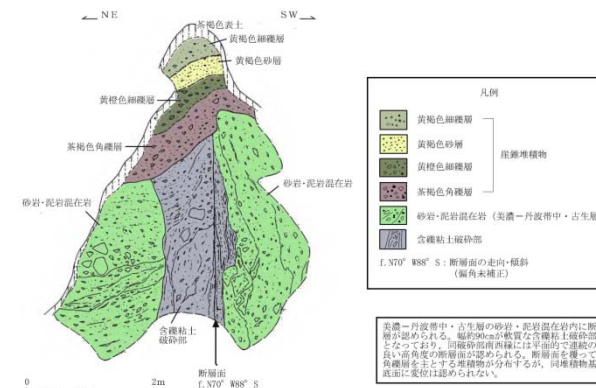


※セグメントを「Sg」と表記。

【ウツロギ峠・池河内セグメント】
 ・走向と広域応力場の関係や地表地質調査結果からほぼ鉛直(90°)と推定される。
【柳ヶ瀬山断層】
 ・ウツロギ峠・池河内Sgの南方延長に直線上の配置となることから、傾斜角90°の左横ずれ断層として評価する。



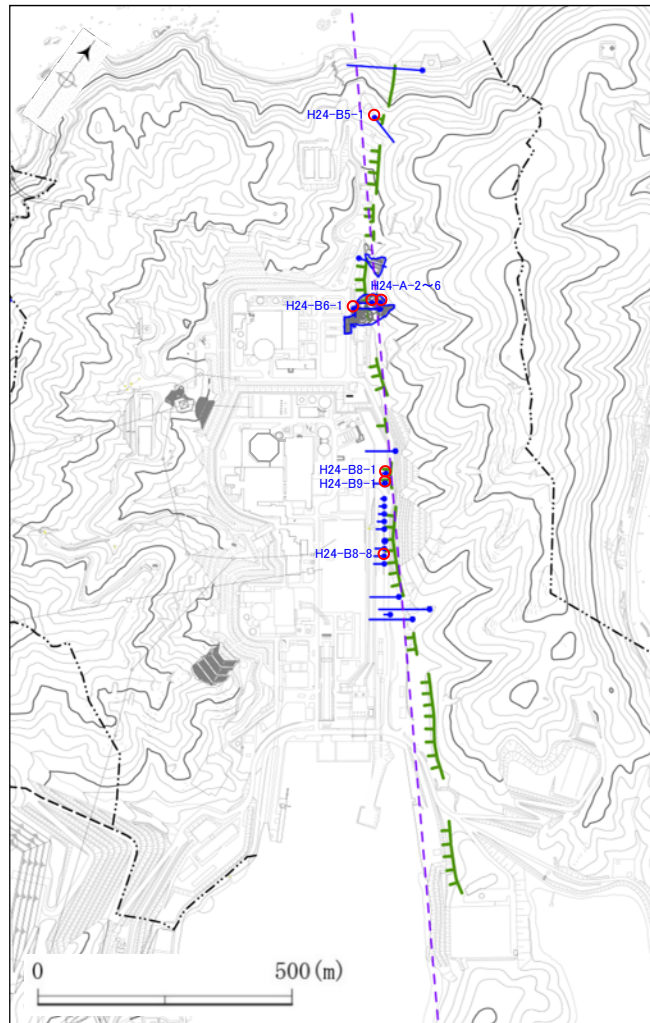
調査結果の例(リニアメントが判読されるウツロギ峠南西方の露頭(Loc.U-1)における剥ぎ取り調査結果)



調査結果の例(リニアメントが判読されるウツロギ峠南西方の露頭(Loc.U-3)における剥ぎ取り調査結果)

地震動評価においては、甲楽城沖北部・南部セグメント、浦底セグメント、ウツロギ峠・池河内セグメント、柳ヶ瀬山断層における広域応力場、断層の走向、ほぼ鉛直に近い断層傾斜及び調査で得られた断層ずれの方向から総合的に検討し、傾斜角90°の左横ずれ断層として評価する。

② 地質調査結果と震源モデルの対応









調査位置図

浦底ー内池見断層(浦底セグメント)の配置
(第536回審査会合資料2より抜粋・加筆)

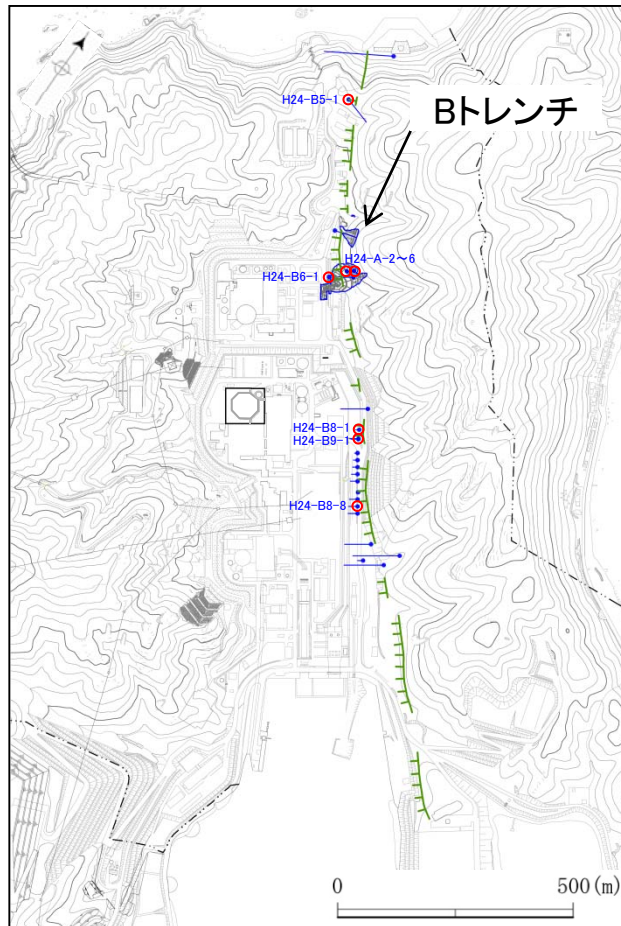
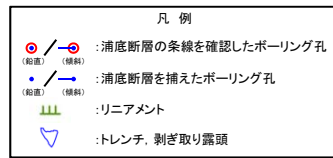
原子炉建屋等の重要施設と地表地震断層の離隔距離を正確に再現した震源モデルを設定

----- : 断層モデル地表トレース線

凡例

-   : 浦底断層の条線を確認したボーリング孔
(鉛直) (傾斜)
-   : 浦底断層を捕えたボーリング孔
(鉛直) (傾斜)
-  : リニアメント
-  : トレンチ, 剥ぎ取り露頭

③ 浅部断層のすべりについて (1/2)



調査位置図

○「2.1 断層浅部からの短周期地震動の生成に関する考察」におけるC.H. ショルツ(2010)の知見によると、成熟した断層の浅部では、断層ガウジが存在することや2~4kmの深さで地震活動のカットオフが観測されることから、すべり安定(応力降下は生じない)となる領域の存在が指摘されている。

○そこで、上記知見を踏まえ、浦底断層における断層ガウジと地震活動の関係を整理する。

○浦底断層のBトレンチから採取したブロックサンプルには、断層ガウジが明瞭に認められる。



最新活動面

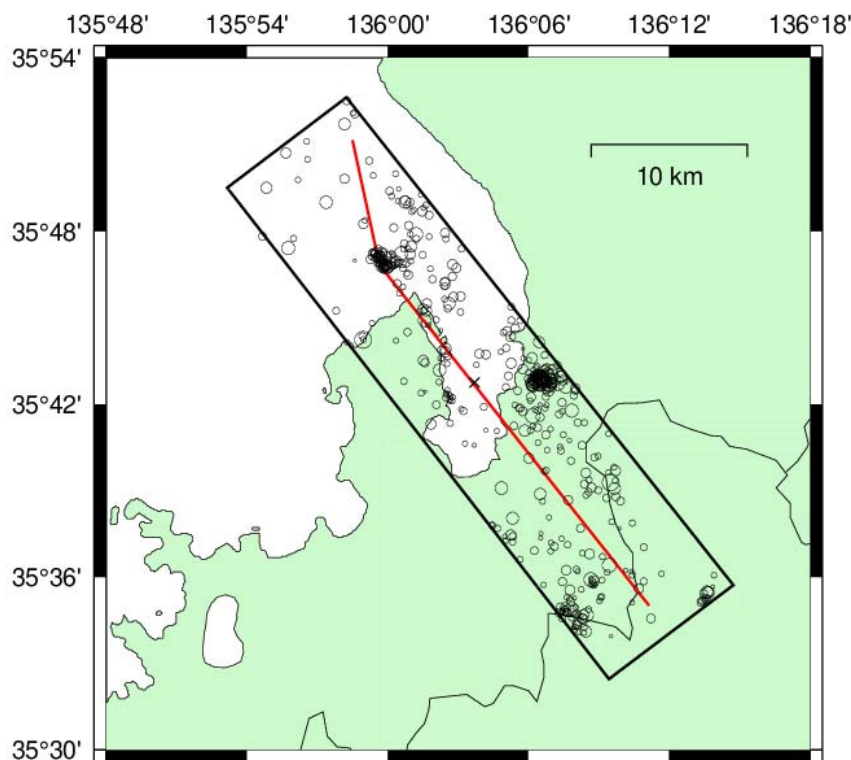


ブロックサンプル

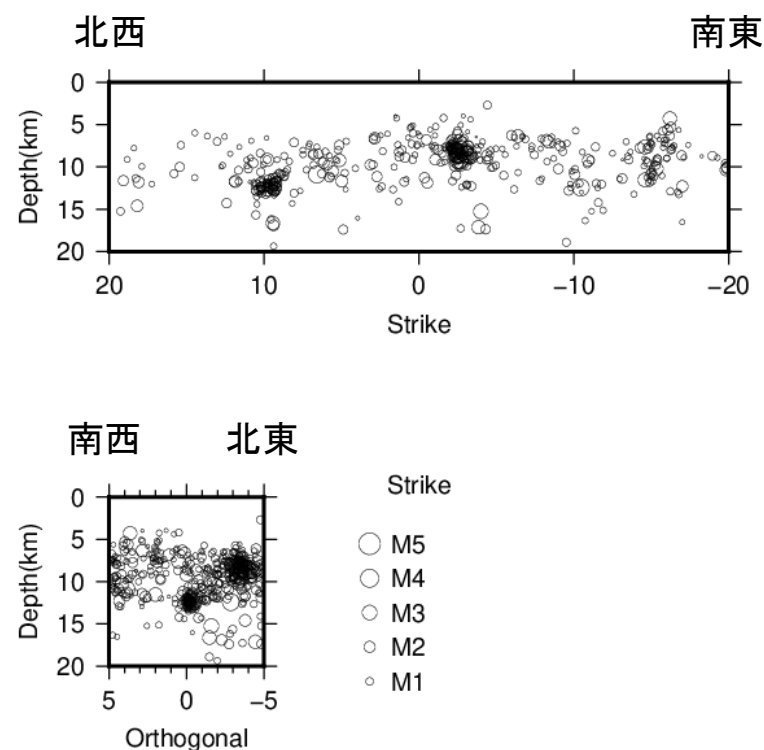
③ 浅部断層のすべりについて (2/2)

○浦底断層周辺の微小地震分布図を見ると、地表から深さ約5kmの間には地震活動がほとんど認められない。

○断層ガウジの存在と上記特徴を考慮すると、C.H.ショルツ(2010)の知見に基づけば、浦底断層の浅部では安定すべりとなり、短周期の放出は少ないと考えられる。



浦底断層周辺で発生した地震の震央分布図
(気象庁, 1997年10月~2018年7月, M>0)



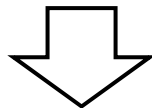
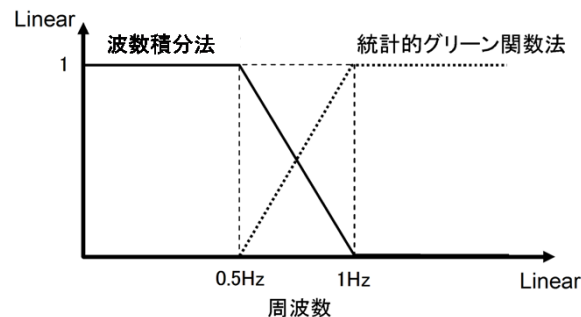
浦底断層周辺で発生した地震の鉛直震源分布図

断層モデル手法による地震動評価方針(1/2)

- 深部断層をハイブリッド合成法(統計的グリーン関数法+理論的手法), 浅部断層を理論的手法で地震動を評価する。
- 深部断層と浅部断層の地震動評価結果を, 断層面の破壊遅れ時間を考慮して時刻歴上で足し合わせることにより, 深部断層+浅部断層の地震動を作成する。

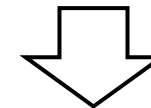
深部断層

ハイブリッド合成法
(統計的グリーン関数法+理論的手法
(波数積分法))



浅部断層

理論的手法(波数積分法)



断層全体

時刻歴上で足し合わせる

断層モデル手法による地震動評価方針(2/2)

○統計的グリーン関数法における放射係数の設定

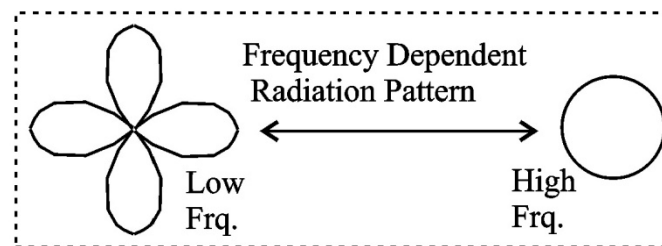
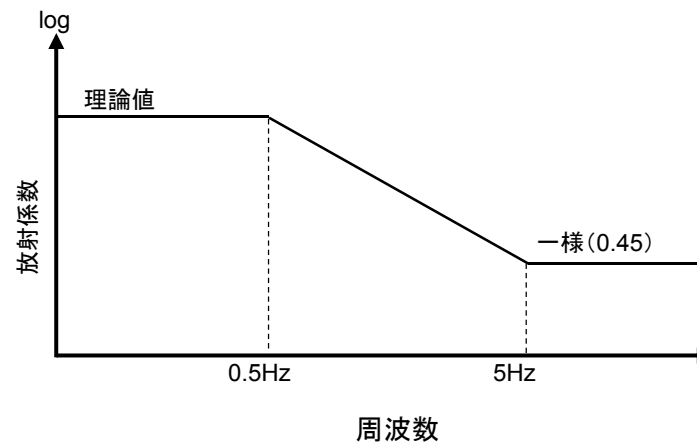
SH波及びSV波の放射特性に、釜江他(1990)による振動数に依存するモデルを用いた。ここで、パラメータ f_1 , f_2 は釜江他(1990)に従い、 $f_1=0.5\text{Hz}$, $f_2=5\text{Hz}$ と設定する。

$$R_{\theta\phi}(f) = \frac{(\log(f_2) - \log(f))R_{\theta\phi 0} + (\log(f) - \log(f_1))R_{\theta\phi m}}{\log(f_2) - \log(f_1)}$$

$R_{\theta\phi 0}$: 震源とサイトの位置関係及びすべり方向から理論的に評価される放射係数

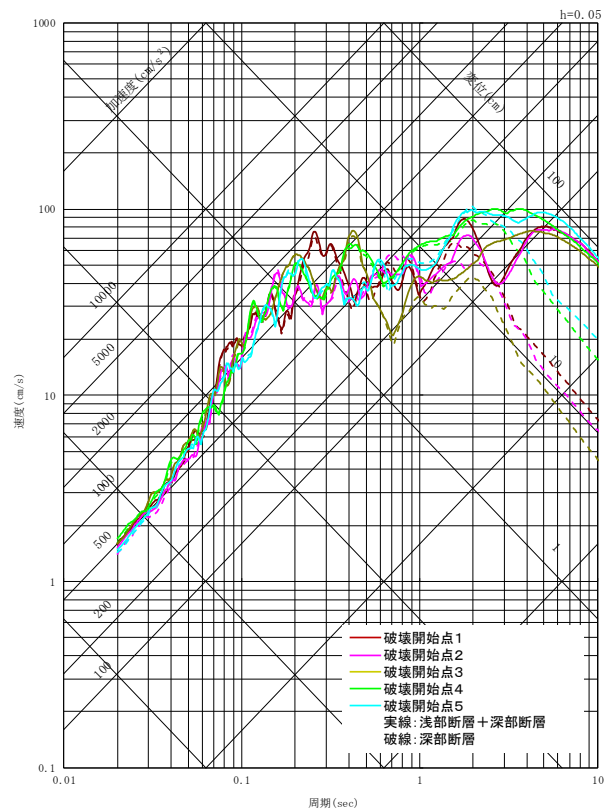
$R_{\theta\phi m}$: 高周波数で等方放射として平均化された放射係数

f_1, f_2 : 理論的な放射から等方的な放射へと遷移する周波数帯

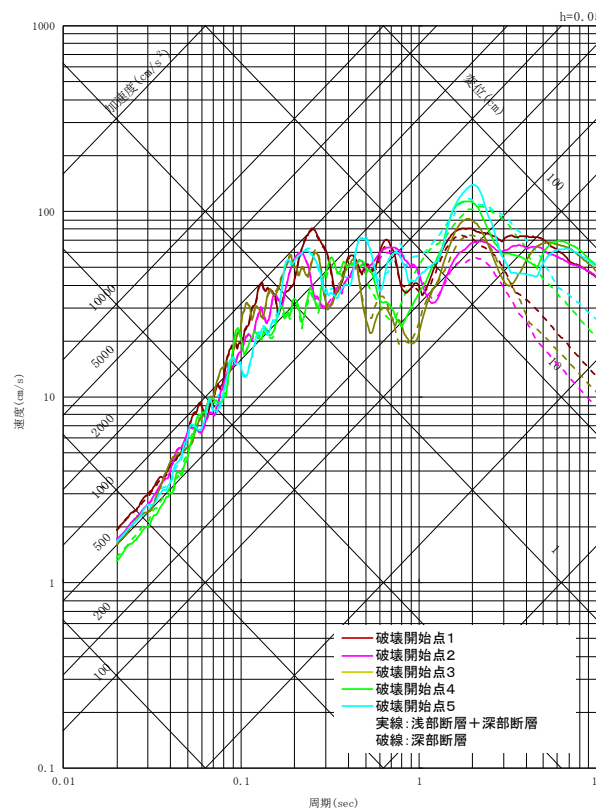


震源が敷地に近い場合の地震動評価結果(基本ケース)(1/4)

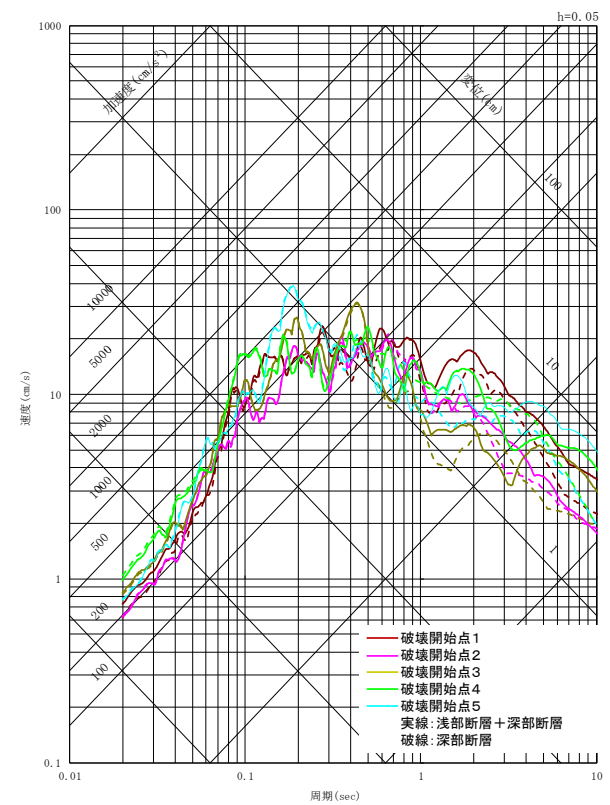
- 浦底断層の断層全体(浅部断層+深部断層)と震源断層(深部断層)のみの基本ケースの評価結果を比較して示す。
- 断層全体を考慮した効果は、長周期側(約0.5秒以上)に現れている。



NS方向



EW方向

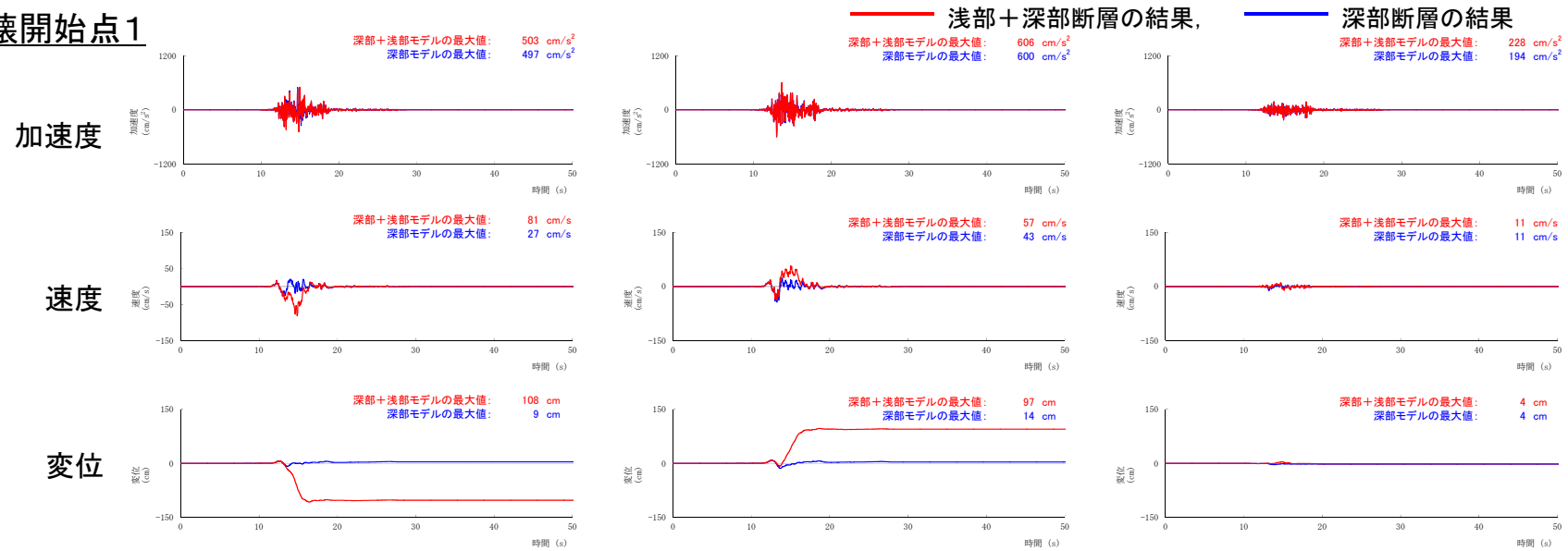


UD方向

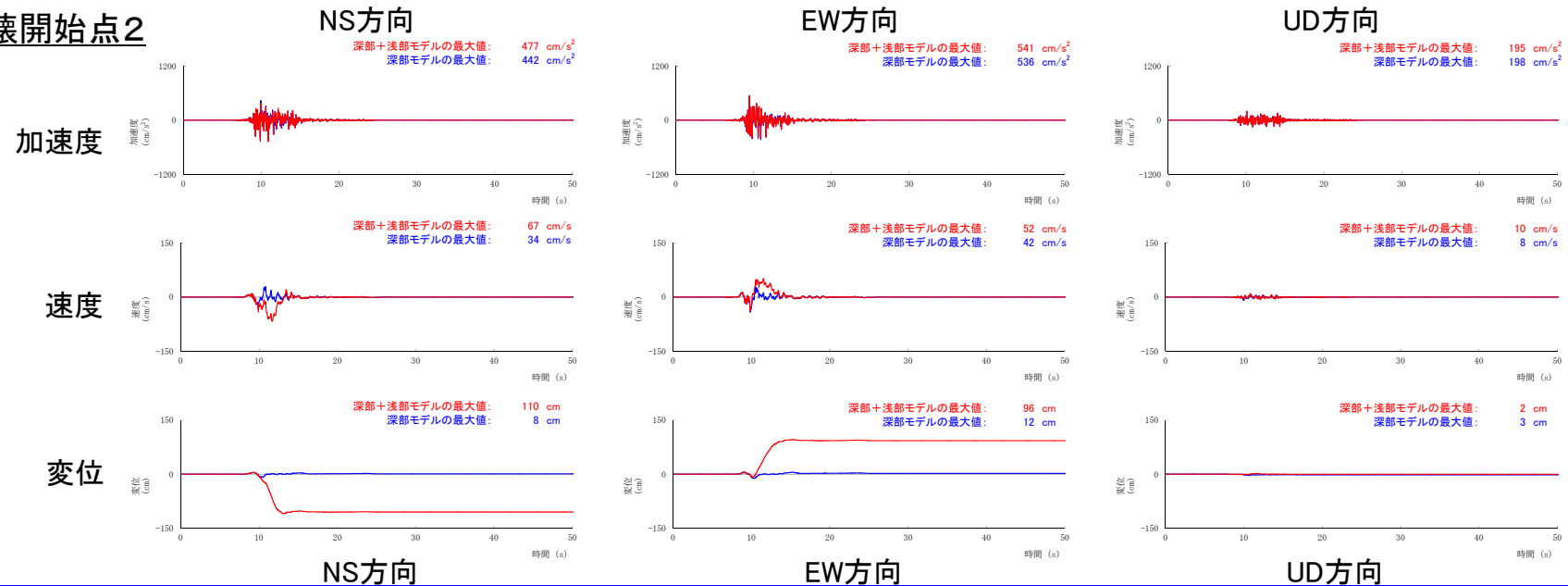
擬似速度応答スペクトル

震源が敷地に近い場合の地震動評価結果(基本ケース)(2/4)

破壊開始点1

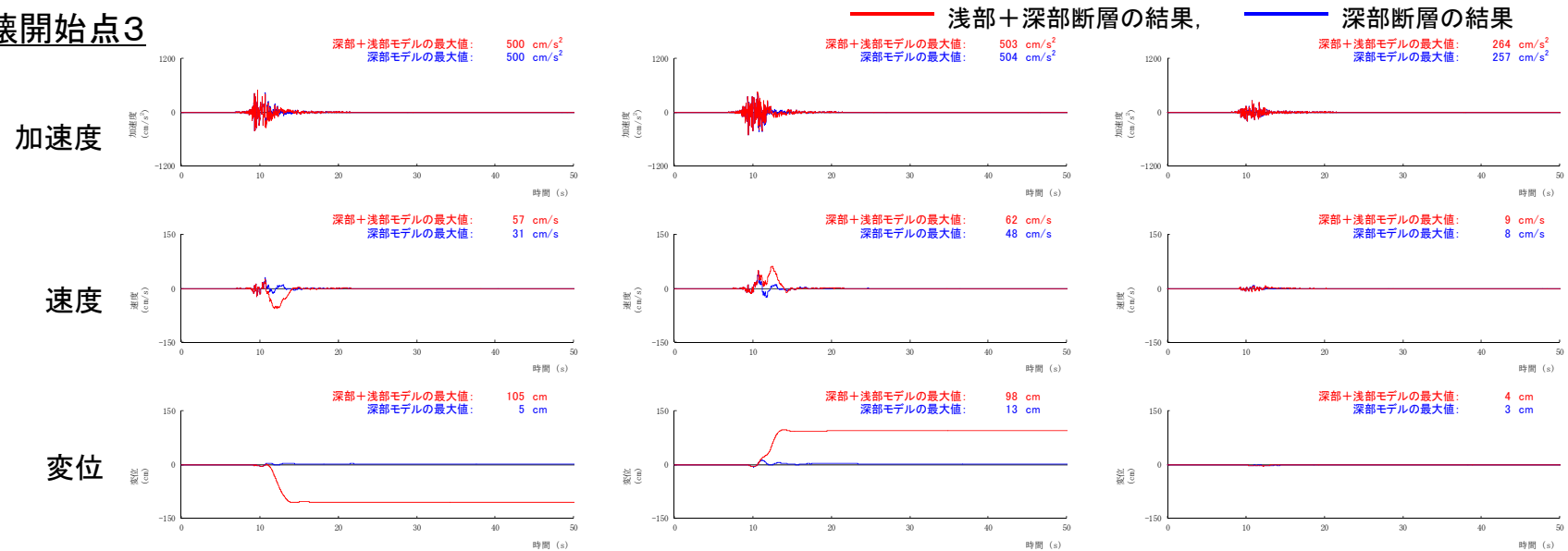


破壊開始点2

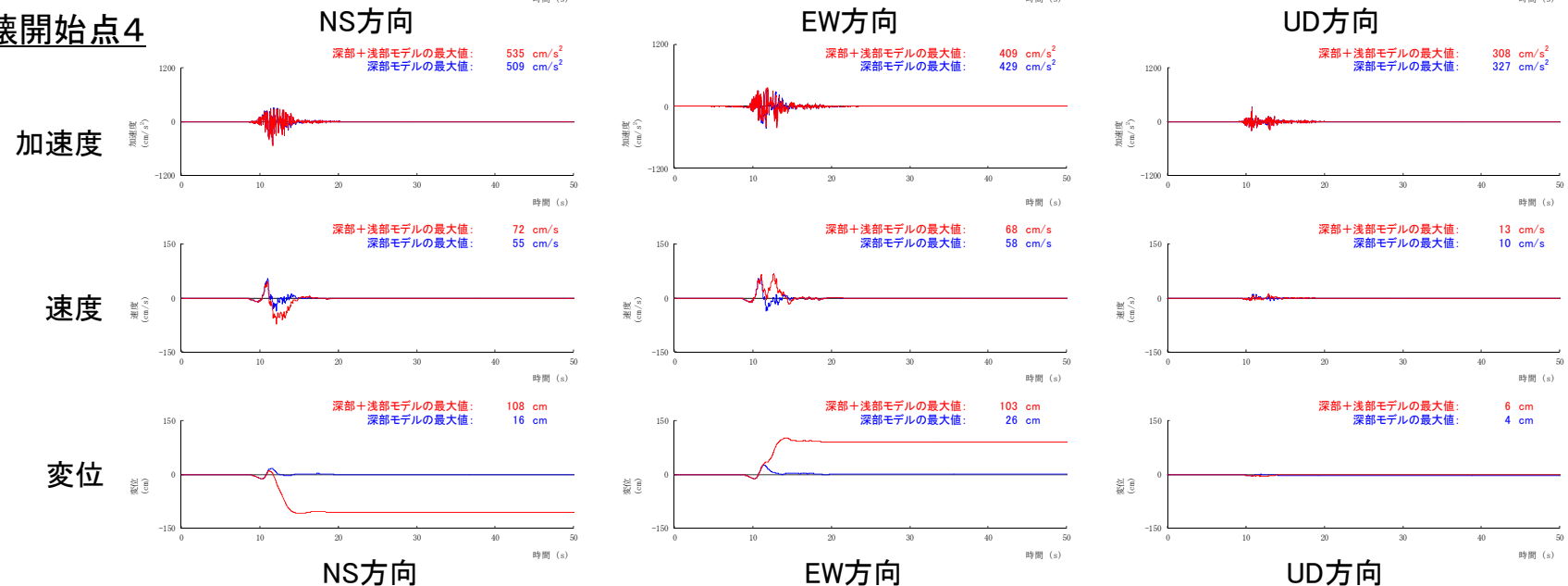


震源が敷地に近い場合の地震動評価結果(基本ケース)(3/4)

破壊開始点3

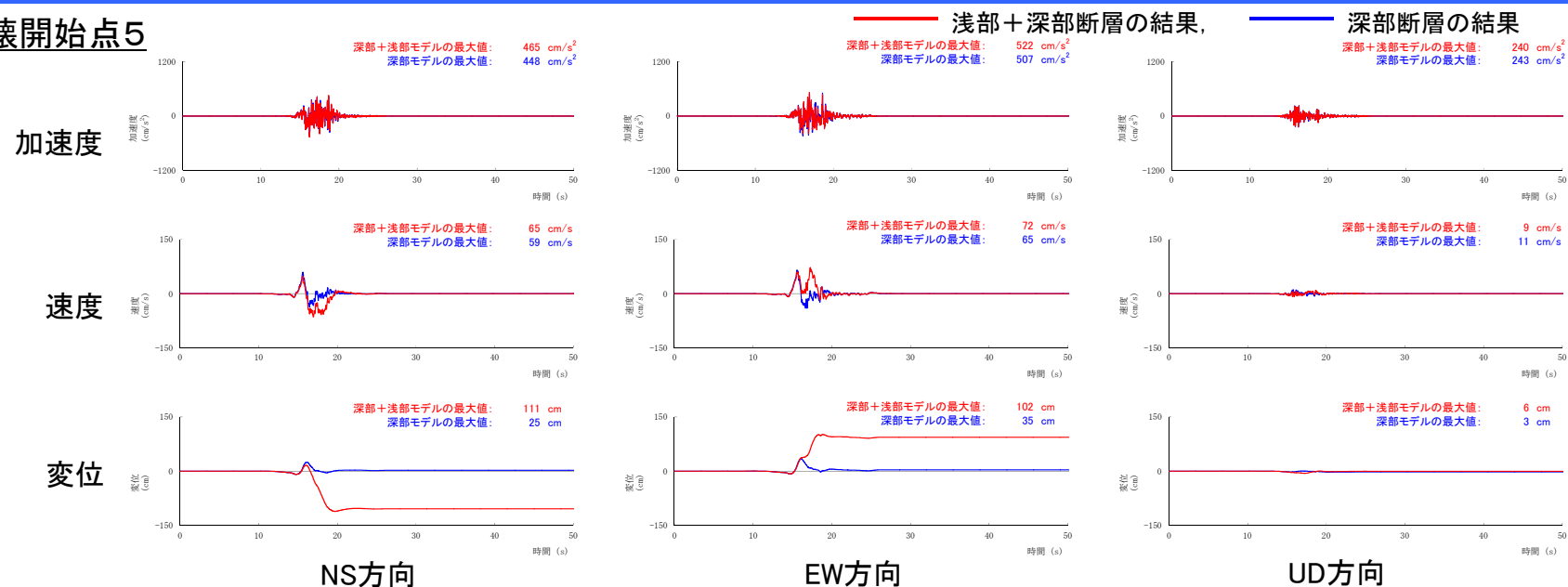


破壊開始点4



震源が敷地に近い場合の地震動評価結果(基本ケース)(4/4)

破壊開始点5



○断層浅部を考慮し、波数積分法を用いて評価したことにより、永久変位が評価できている。

目次

1. 検討方針
2. 知見の整理
 - 2.1 震源極近傍における地震動の特徴
 - 2.2 震源過程
 - 2.3 震源近傍における建物被害
 - 2.4 摩擦とすべり等の関係
 - 2.5 まとめ
3. 浅部断層からの短周期地震動に関する考察
4. 基本震源モデルの地震動評価法
 - 4.1 震源モデルの設定及び計算手法
 - 4.2 2016年熊本地震の再現解析
 - 4.3 まとめ
5. 震源が敷地に極めて近い場合の地震動評価の考え方
6. 浦底断層の地震動評価
 - 6.1 地下構造評価の概要
 - 6.2 基本震源モデルによる地震動評価
 - 6.3 不確かさを考慮した地震動評価
 - 6.4 十分な余裕を考慮した地震動評価
 - 6.5 連動長さの不確かさを考慮した影響検討
 - 6.6 まとめ
7. 全体まとめ
8. 参考文献

補足説明資料1 2016年熊本地震の再現解析について

補足説明資料2 浦底断層の地震動評価(応答スペクトルに基づく手法)

補足説明資料3 C.H.ショルツ(2010)の引用について

不確かさの考慮

■考慮する不確かさ

敷地での地震動に大きな影響を与えるパラメータを不確かさとして選定する。

■不確かさの組合せ

浦底断層が原子炉施設に極めて近いことを踏まえ、選定した不確かさの地震動評価への影響を検討し、影響の大きい不確かさについてはそれらの組合せを考慮する。

考慮する不確かさ

■ 主要な断層パラメータについて、認識論的不確かさと偶然的不確かさに分類し、敷地での地震動に大きな影響を与えるパラメータを不確かさとして考慮する。

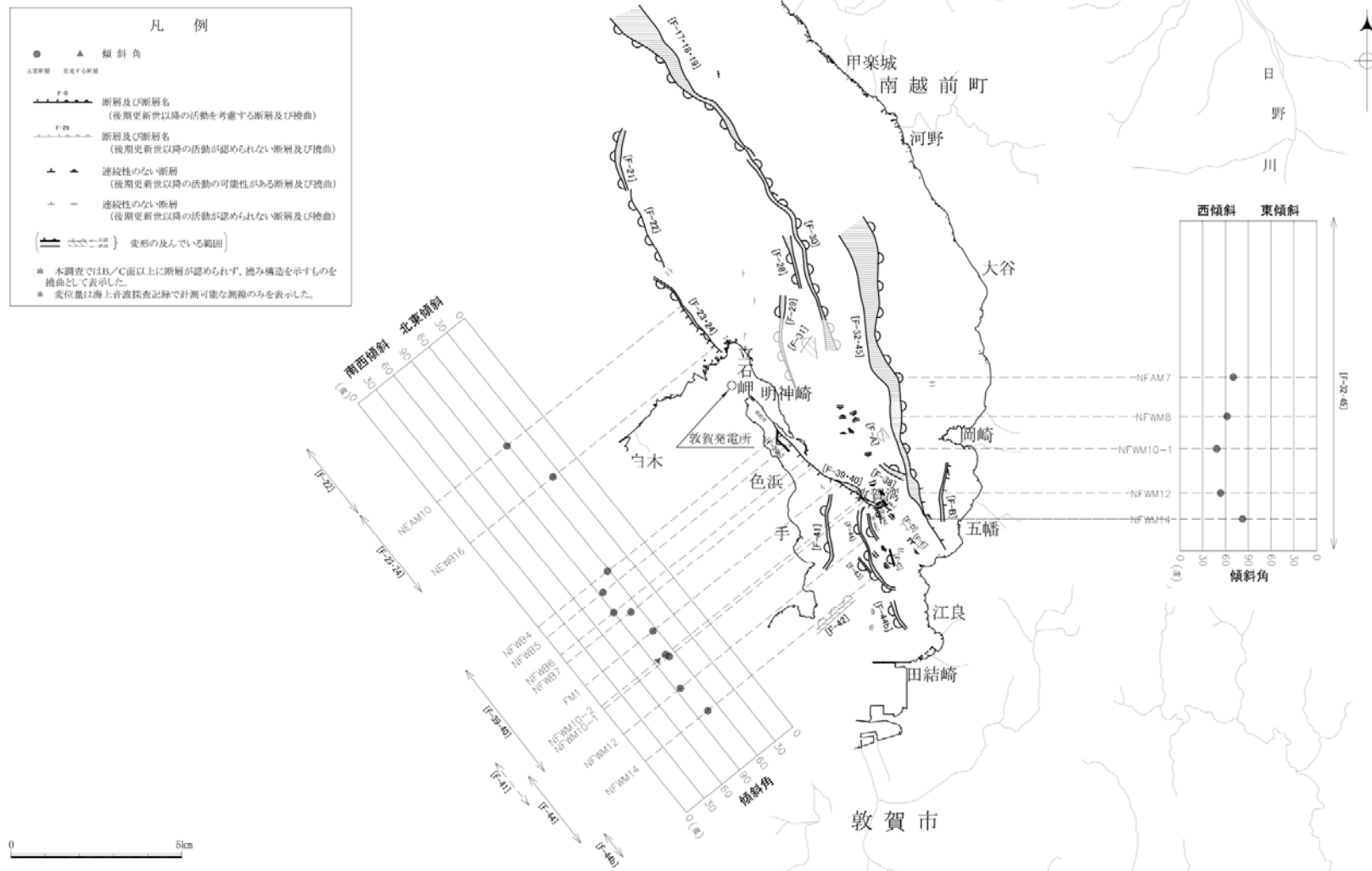
- 基本震源モデルに予め不確かさを考慮するパラメータ
- 不確かさを考慮するパラメータ

種類	パラメータ	基本震源モデルの設定	不確かさの検討	結果
認識論的 不確かさ	断層上端 深さ	上端3km	調査結果から上端4kmと設定できることを確認した上で、基本震源モデルの段階で保守的に上端3kmと設定しており、不確かさを考慮済である。	—
	断層傾斜角	90°	・調査データから90°に近い高角度の断層であることを踏まえて90°と設定している。 ・しかしながら調査データのばらつきを踏まえて、並走するウツロギ峠北方—池河内断層を超えない範囲の傾斜として70°（北東傾斜）を不確かさとして考慮する。	○
	すべり角	0°	・傾斜角90°の左横ずれ断層と設定したことを踏まえ、強震動予測レシピに基づきすべり角0°と設定している。 ・しかしながら調査データには縦ずれ成分も含まれていることを考慮し、鉛直変位量と水平変位量の比率(1:1.3)から得られるすべり角37.6度を不確かさとして考慮する。	○
	浅部断層 すべり量	2.9m	・松田(1975)に基づいて大すべり域のすべり量を2.9mと設定している。 ・しかしながら、震源断層のすべり量と地表でのすべり量の関係を示した松島他(2010)を参考に1.7mを不確かさとして考慮する。	○
	短周期 レベル	強震動予測レシピの 平均	新潟県中越沖地震の知見を踏まえ、基本震源モデルの短周期レベルの1.5倍を不確かさとして考慮する。	○
	破壊伝播 速度	Geller(1976)による S波速度の0.72倍	・強震動予測レシピに基づいて設定している。 ・しかしながら、宮腰他(2005)で示されている破壊伝播速度のばらつき1σを参考に、 <u>0.87Vs</u> を不確かさとして考慮する。	○
偶然的不 確かさ	アスペリティ 位置	深部断層の敷地直下 に配置	・基本震源モデルの段階で敷地に近くなるよう配置した上で各不確かさと重畳させる。 ・なお、波の重ね合わせによっては、アスペリティの対角線上に敷地が位置するようアスペリティを配置した場合に、より大きな地震動が発生する可能性が考えられるため、影響確認を行う。	—
	破壊開始点	5ヶ所設定	基本震源モデルの段階で破壊開始点を5ヶ所設定した上で各不確かさと重畳させる。	—

断層傾斜角の不確かさ(1/2)

○浦底セグメントは高角度の北東傾斜の断層である。

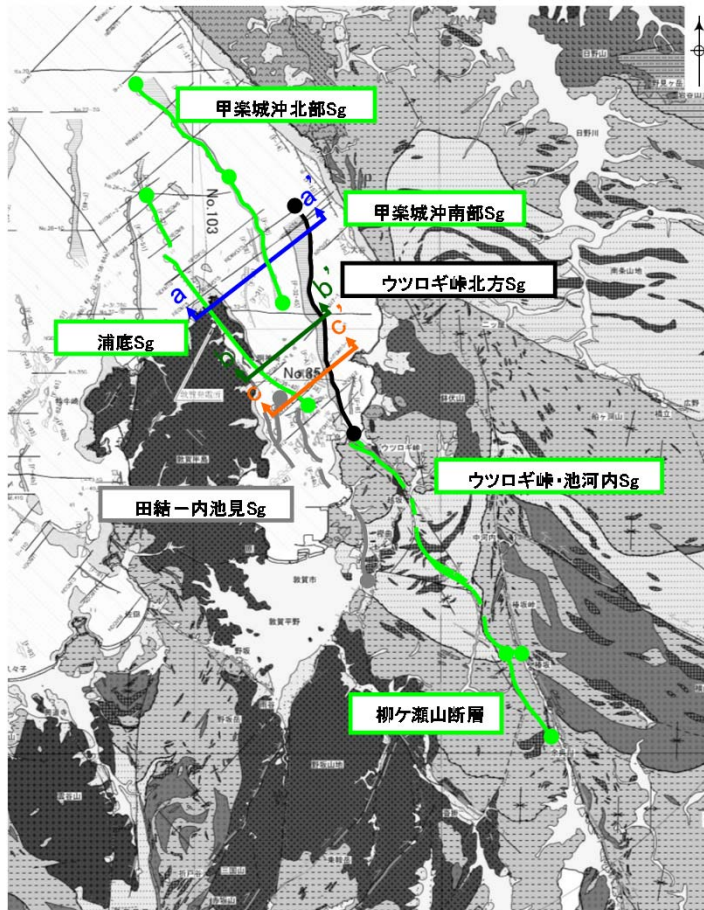
○ウツロギ峠・池河内セグメントは高角度の南西傾斜の断層である。



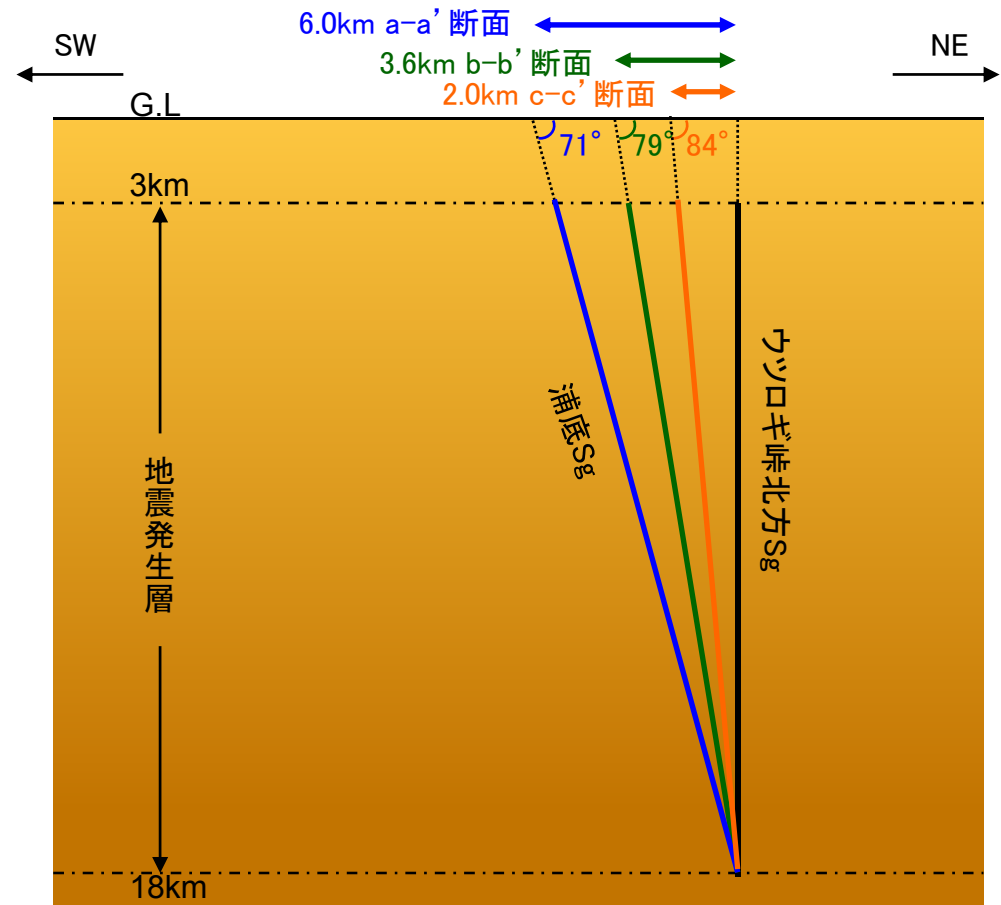
断層傾斜角の不確かさ(2/2)

○ウツロギ峠北方セグメントの傾斜角を 90° と仮定した場合に、浦底セグメントがこれを超えない範囲の傾斜角を算定すると、傾斜角は 70° 以上と考えられる。

○傾斜角の不確かさとして保守的に 70° を考慮する。



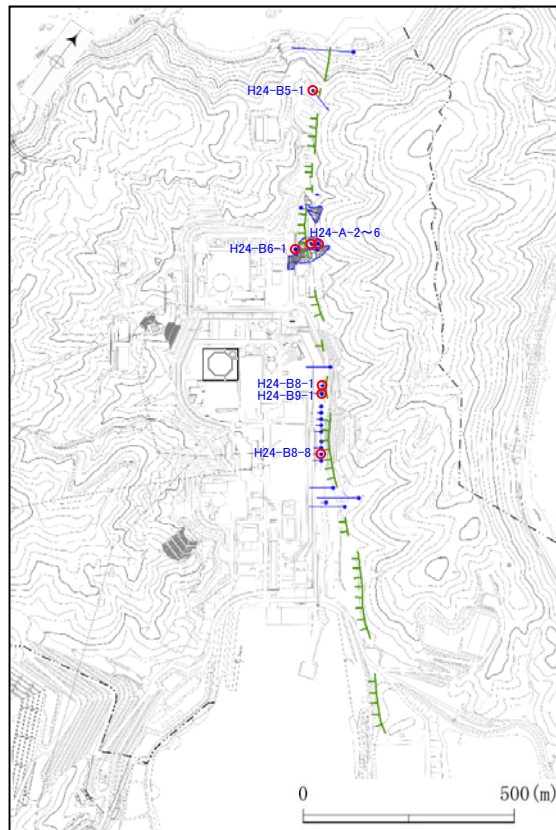
※セグメントを「Sg」と表記。



すべり角の不確かさ

○ボーリングコアを用いた条線観察から推定した鉛直変位量と水平変位量の比率が1:1.25と得られていることを参考に、地震動評価上は同比率を1:1.3として得られるすべり角(37.6°)を不確かさとして考慮する。

条線観察結果



調査位置図

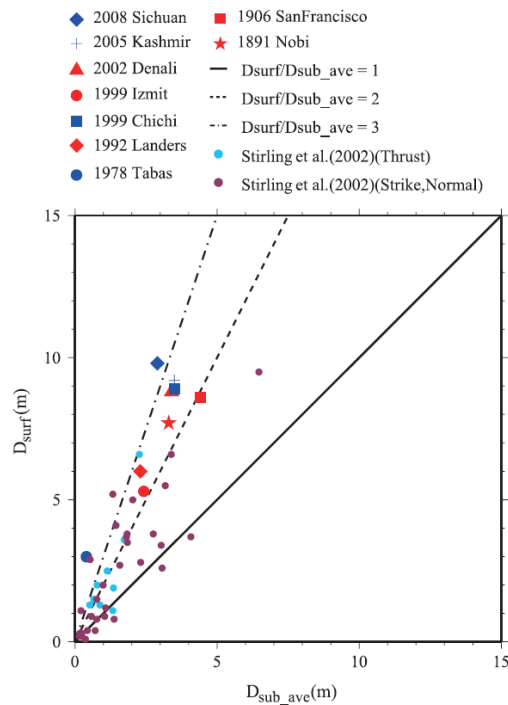
孔番	測定位置		最新活動面		レイク角
	標高 (m)	深度 (m)	走向	傾斜	
H24-B5-1	9.09	81.99	N 32° W	82° NE	14° S
H24-B6-1	-31.59	73.80	N 33° W	80° NE	42° S
H24-B8-1	0.41	7.19	N 37° W	60° NE	53° S
H24-B8-8	-23.51	32.39	N 32° W	52° NE	48° S
H24-B9-1	2.04	6.58	N 35° W	58° NE	65° S
H24-A-2	31.63	15.29	N 32° W	78° NE	68° S
H24-A-3	33.86	13.39	N 34° W	74° NE	58° S
H24-A-4	35.30	12.36	N 35° W	65° NE	45° S
H24-A-5	36.76	11.28	N 37° W	70° NE	3° S
H24-A-6	9.98	29.00	N 29° W	89° NE	21° S

※走向・傾斜・レイク角を3次的に平均化した結果に基づき、鉛直変位量と水平変位量の比率を求めている。

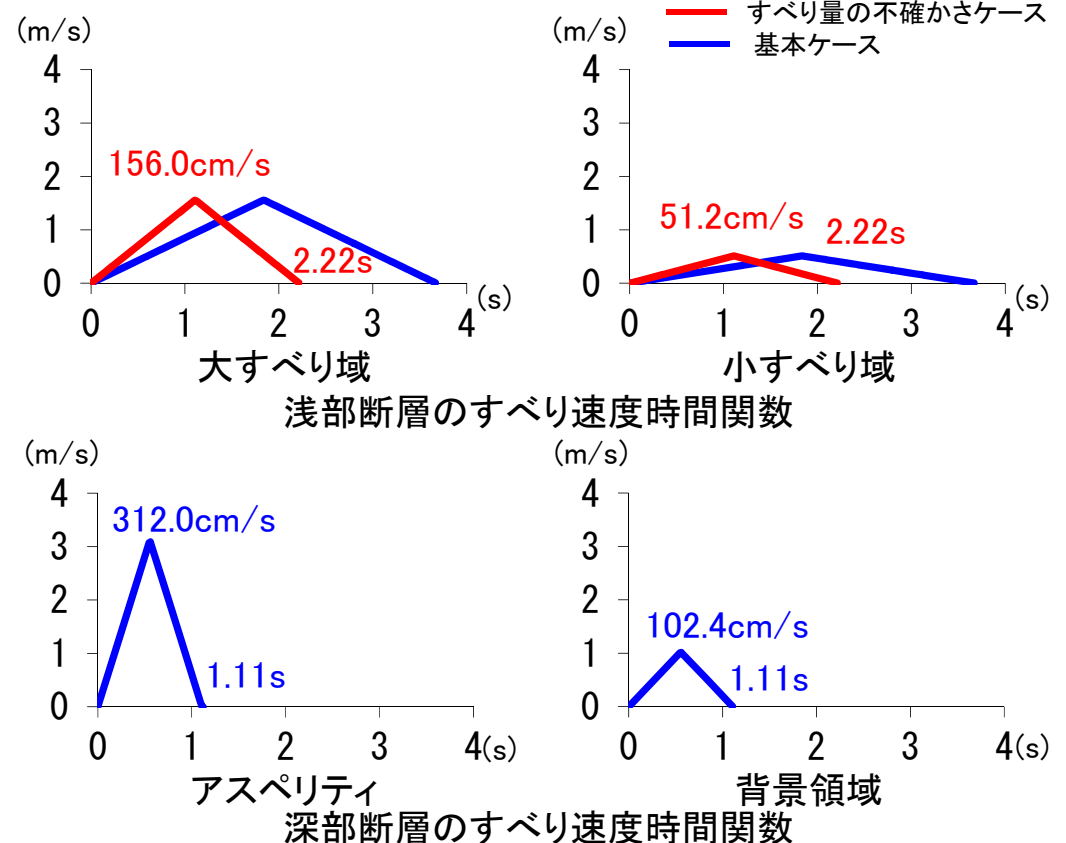
凡例	
	: 浦底断層の条線を確認したボーリング孔
	: 浦底断層を捕えたボーリング孔
	: リニアメント
	: トレンチ、剥ぎ取り露頭

浅部断層大すべり域のすべり量の不確かさ

- 松島他(2010)では、海外の長大な断層で発生し、地震波形を用いて震源断層の破壊過程解析が行われた8地震と、濃尾地震を対象に長大断層で発生する地震のパラメータについて検討されている。
- この知見によると、地表の最大変位量(D_{surf})と震源断層での平均すべり量(D_{sub_ave})の関係について、 D_{surf} は D_{sub_ave} の概ね2~3倍であることがわかったとされている。
- 一方、強震動予測レシピでは、アスペリティのすべり量は平均すべり量の2倍とされていることから、 D_{surf} はアスペリティのすべり量の1~1.5倍となる。
- D_{surf} をアスペリティの1倍としたときは173cm、1.5倍としたときは260cmとなるが、得られるすべり速度時間関数の形状を考慮すると、より短期側に影響を与えることから173cmを浅部大すべり域のすべり量の不確かさとして考慮する。



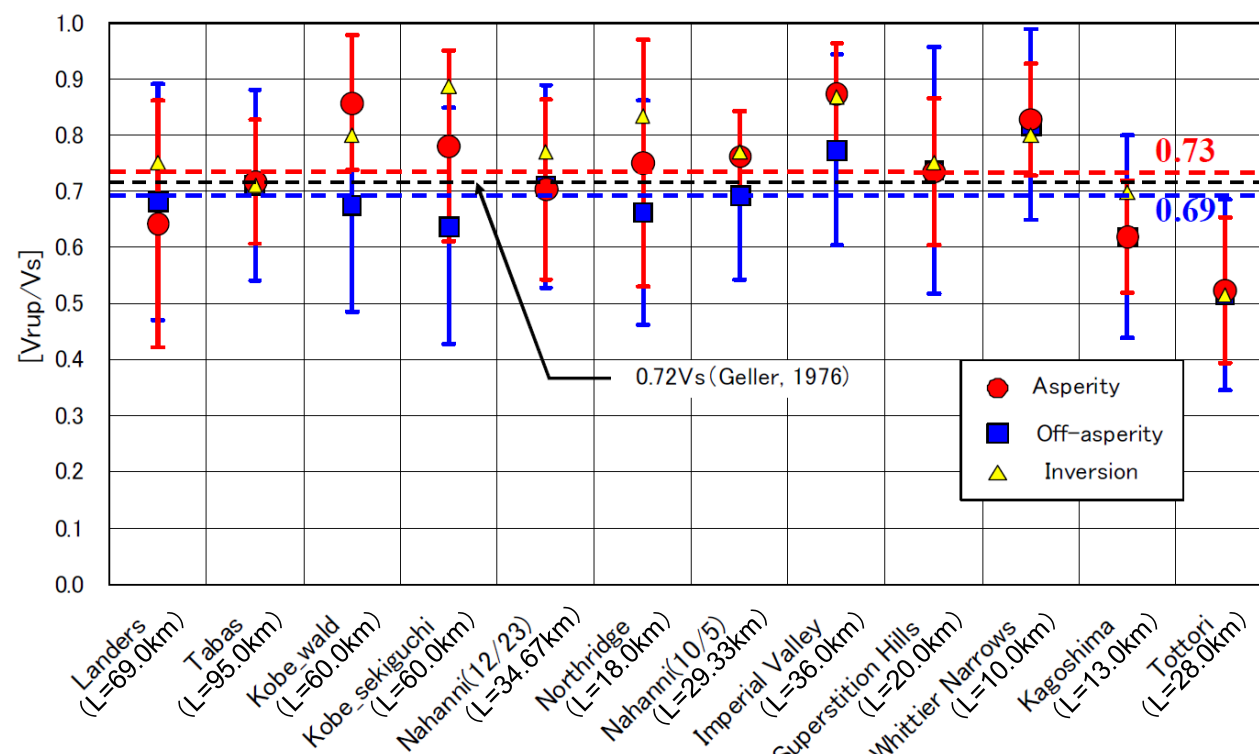
地表で観測された最大変位量(D_{surf})と震源断層の平均すべり量(D_{sub_ave})の関係
松島他(2010)より抜粋・加筆



破壊伝播速度の不確かさ

○宮腰他(2003)では主にSommerville et al.(1999)で用いられた地震について、震源インバージョン結果を用いて破壊伝播速度を求め、「アスペリティ領域での平均的な破壊伝播速度は0.73Vs(標準偏差:0.14)、背景領域では0.69Vs(標準偏差:0.19)となり、Geller(1976)の0.72Vsと大差ない結果が得られた。」とされている。

○宮腰他(2003)に基づき、アスペリティ領域の平均的な破壊伝播速度0.73Vsに標準偏差1 σ を考慮した0.87Vsを、破壊伝播速度の不確かさとして設定する。

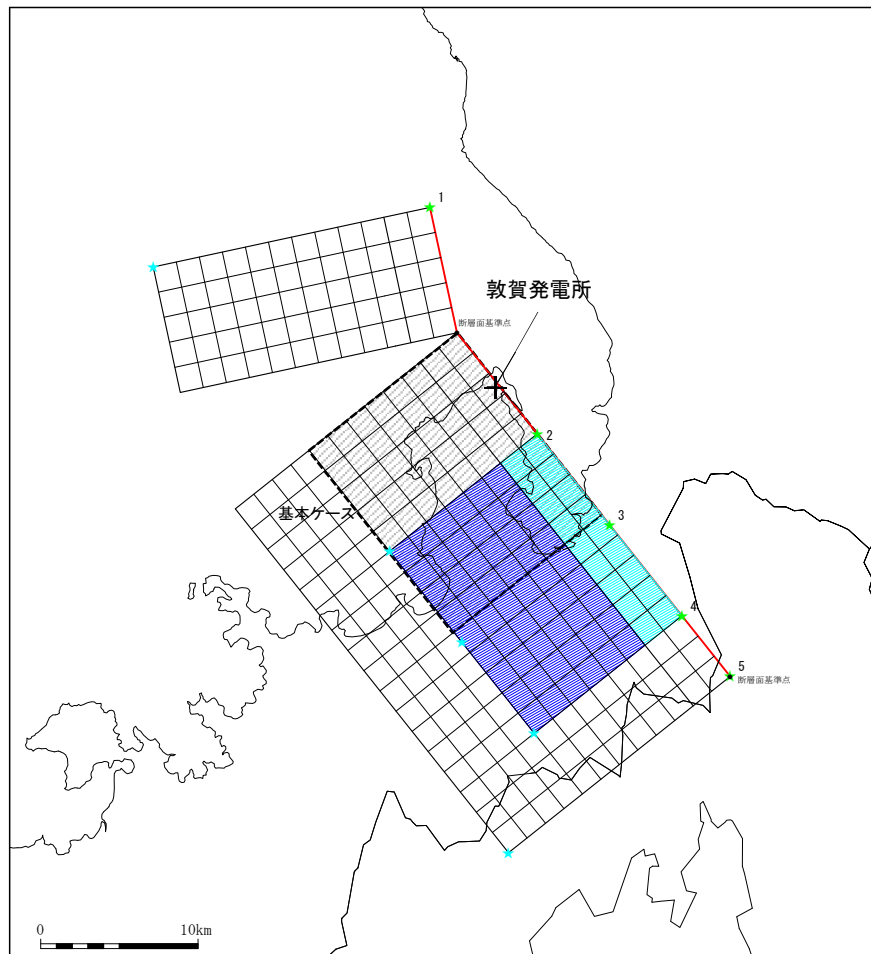


各地震の震源S波速度に対する平均的な破壊伝播速度の比

宮腰他(2003)より抜粋・加筆

アスペリティ位置の影響確認 (1/2)

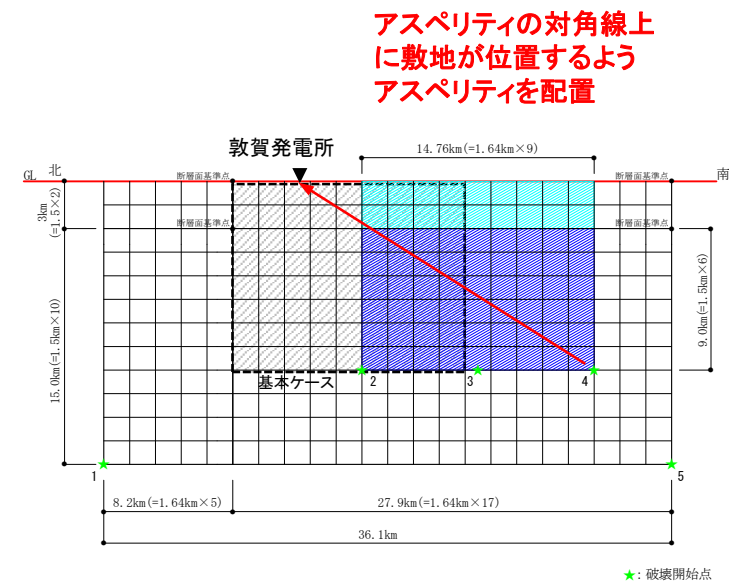
○基本ケースでは、アスペリティを敷地直下に配置することで、地震動の距離減衰効果が小さくなるよう設定しているが、波の重ね合わせによっては、より大きな地震動が発生する可能性を考慮して、アスペリティの対角線上に敷地が位置するようアスペリティを配置した場合について影響確認を行う。



※ 傾斜角90°の断層面は、傾斜角0°として図化している。

★: 破壊開始点

断層配置図

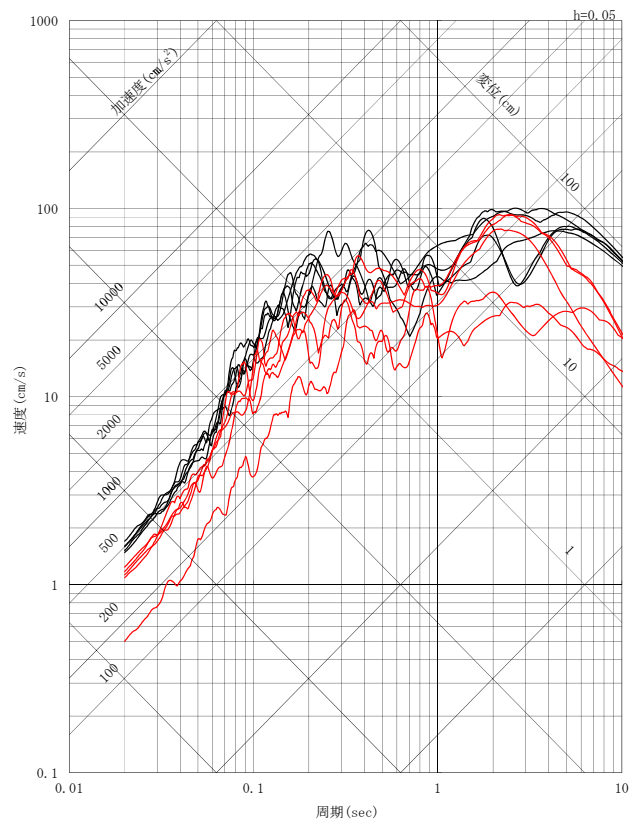


断層モデル図

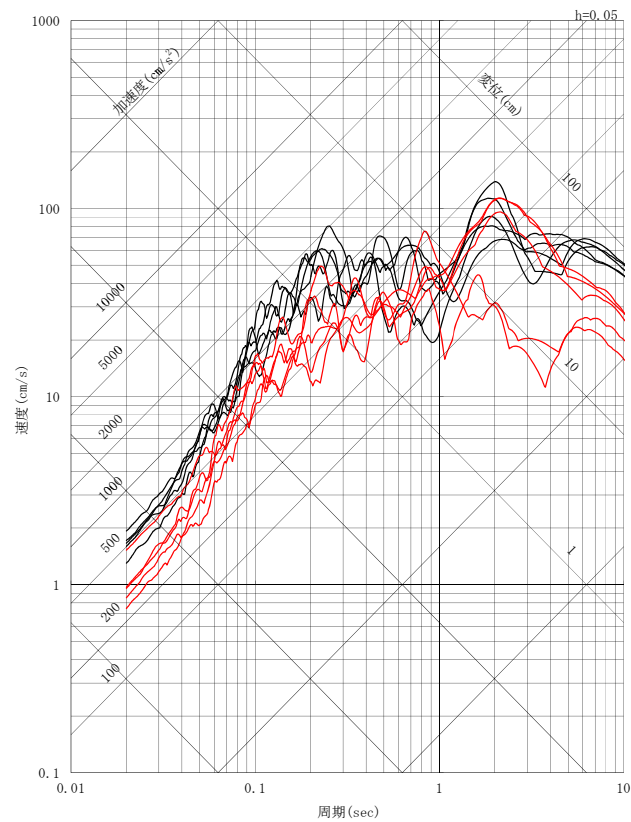
アスペリティ位置の影響確認 (2/2)

○影響確認の結果、基本ケースによる結果を下回ることを確認した。

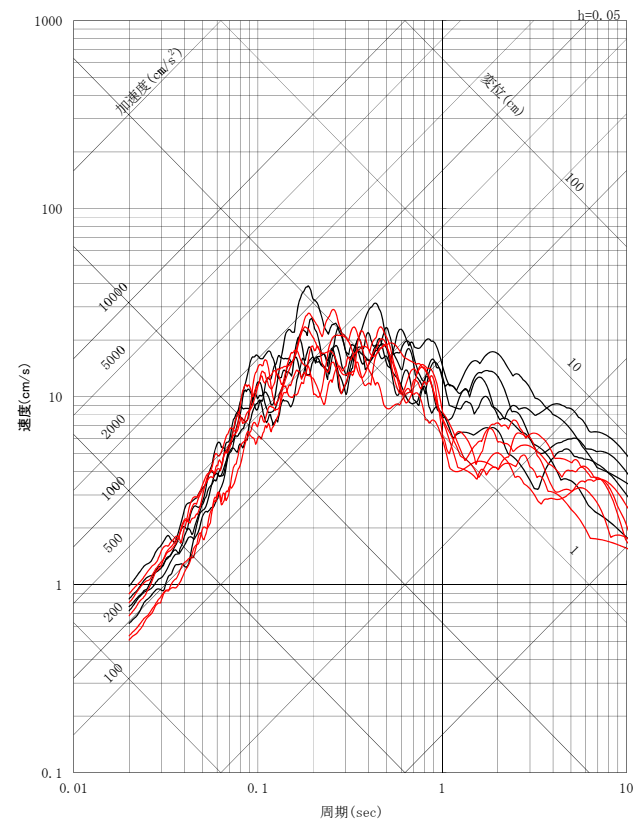
— 基本ケース — アスペリティ位置を変更したケース



NS方向



EW方向



UD方向

擬似速度応答スペクトル

不確かさの組合せ： 不確かさ影響確認のための検討ケース

○浦底断層が原子炉施設に極めて近いことを踏まえ、不確かさが地震動評価結果に与える影響を確認した上で、不確かさの組合せを考慮する。

○影響確認は、下記のケースについて行う。

基本ケース

■： 偶然的な不確かさ ■： 認識論的な不確かさ

検討ケース	傾斜角	すべり角	浅部断層すべり量	短周期レベル	破壊伝播速度	アスペリティ位置	破壊開始点
1 基本ケース	90°	0°	2.9m	レンジ平均	0.72Vs	サイト直下位置	複数設定

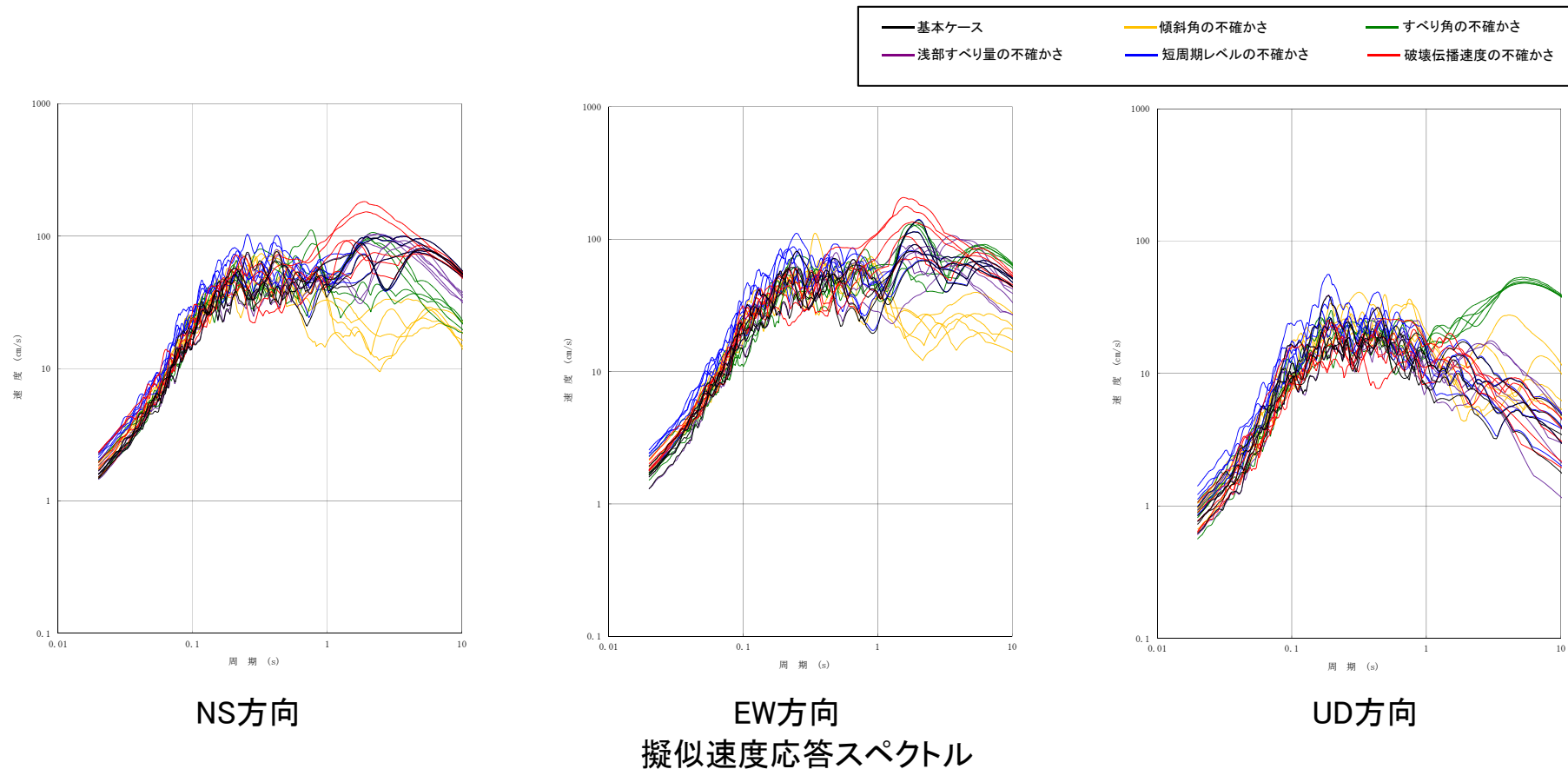
不確かさの考慮

検討ケース	傾斜角	すべり角	浅部断層すべり量	短周期レベル	破壊伝播速度	アスペリティ位置	破壊開始点
2 傾斜角の不確かさ	70°	0°	2.9m	レンジ平均	0.72Vs	サイト直下位置	複数設定
3 すべり角の不確かさ	90°	37.6°	2.9m	レンジ平均	0.72V	サイト直下位置	複数設定
4 浅部すべり量の不確かさ	90°	0°	1.7m	レンジ平均	0.72Vs	サイト直下位置	複数設定
5 短周期レベルの不確かさ	90°	0°	2.9m	1.5倍	0.72Vs	サイト直下位置	複数設定
6 破壊伝播速度の不確かさ	90°	0°	2.9m	レンジ平均	0.87Vs	サイト直下位置	複数設定

不確かさの組合せの考え方

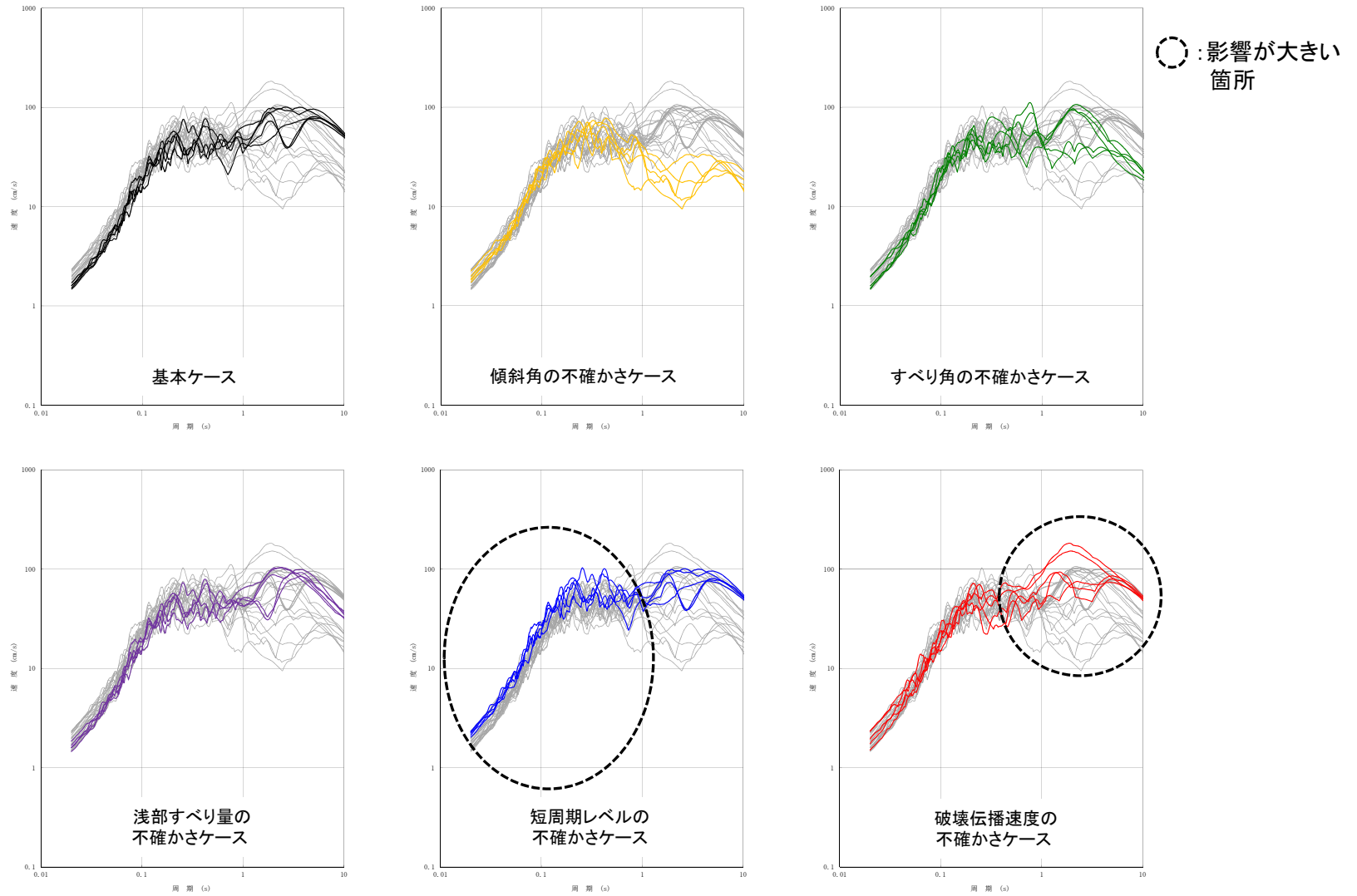
○不確かさを単体で考慮したケースの応答スペクトルの比較から、影響の大きい不確かさとして下記の3つを選定し、これらについては組合せを考慮する。

- ・原子力施設にとって重要な短周期帯(約0.2秒以下)で影響が大きい「短周期レベルの不確かさ」を選定
- ・NS方向, EW方向の長周期帯で影響が大きい「破壊伝播速度の不確かさ」を選定
- ・UD方向の長周期帯で影響が大きい「すべり角の不確かさ」を選定



不確かさの影響確認結果： NS方向

○短周期レベル(1.5倍), 破壊伝播速度(0.87Vs)の不確かさの影響が大きい。

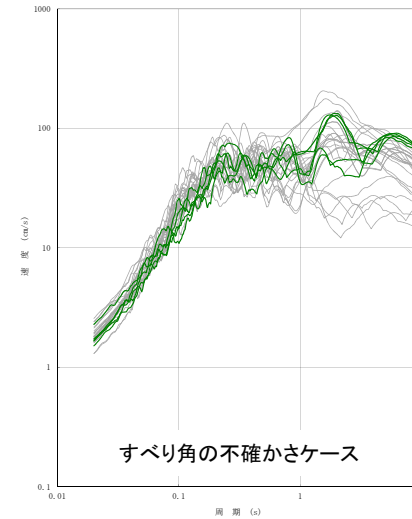
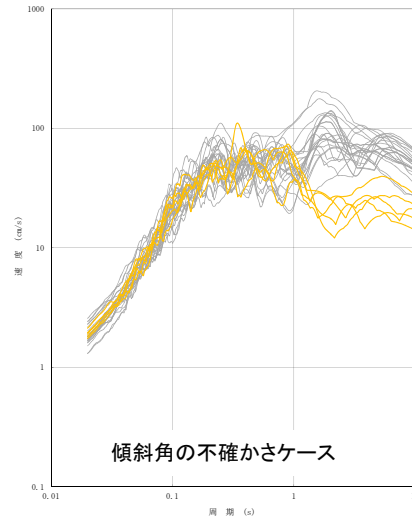
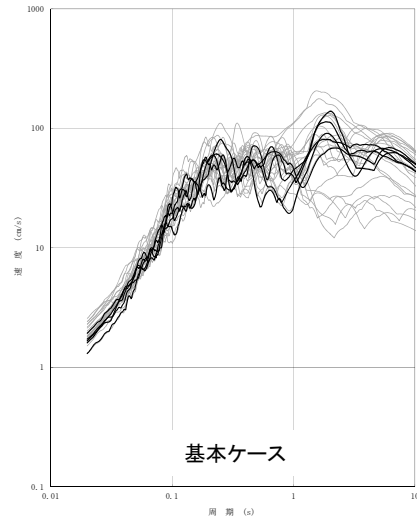


擬似速度応答スペクトル NS方向

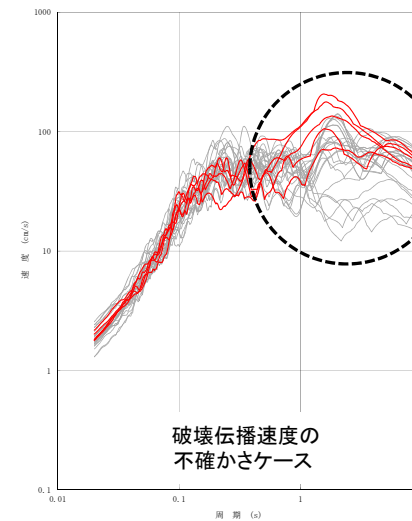
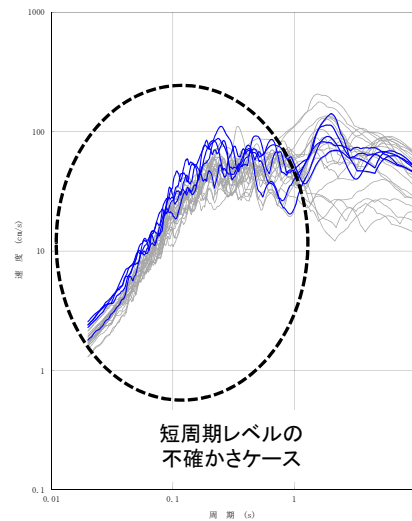
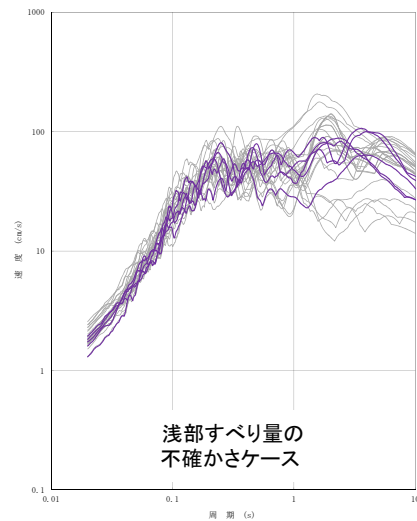
※不確かさを考慮した全ケースの地震動評価結果を灰色線で重ね書き, 対象ケースを色分けして記載

不確かさの影響確認結果： EW方向

○短周期レベル(1.5倍), 破壊伝播速度(0.87Vs)の不確かさの影響が大きい。



○ : 影響が大きい箇所



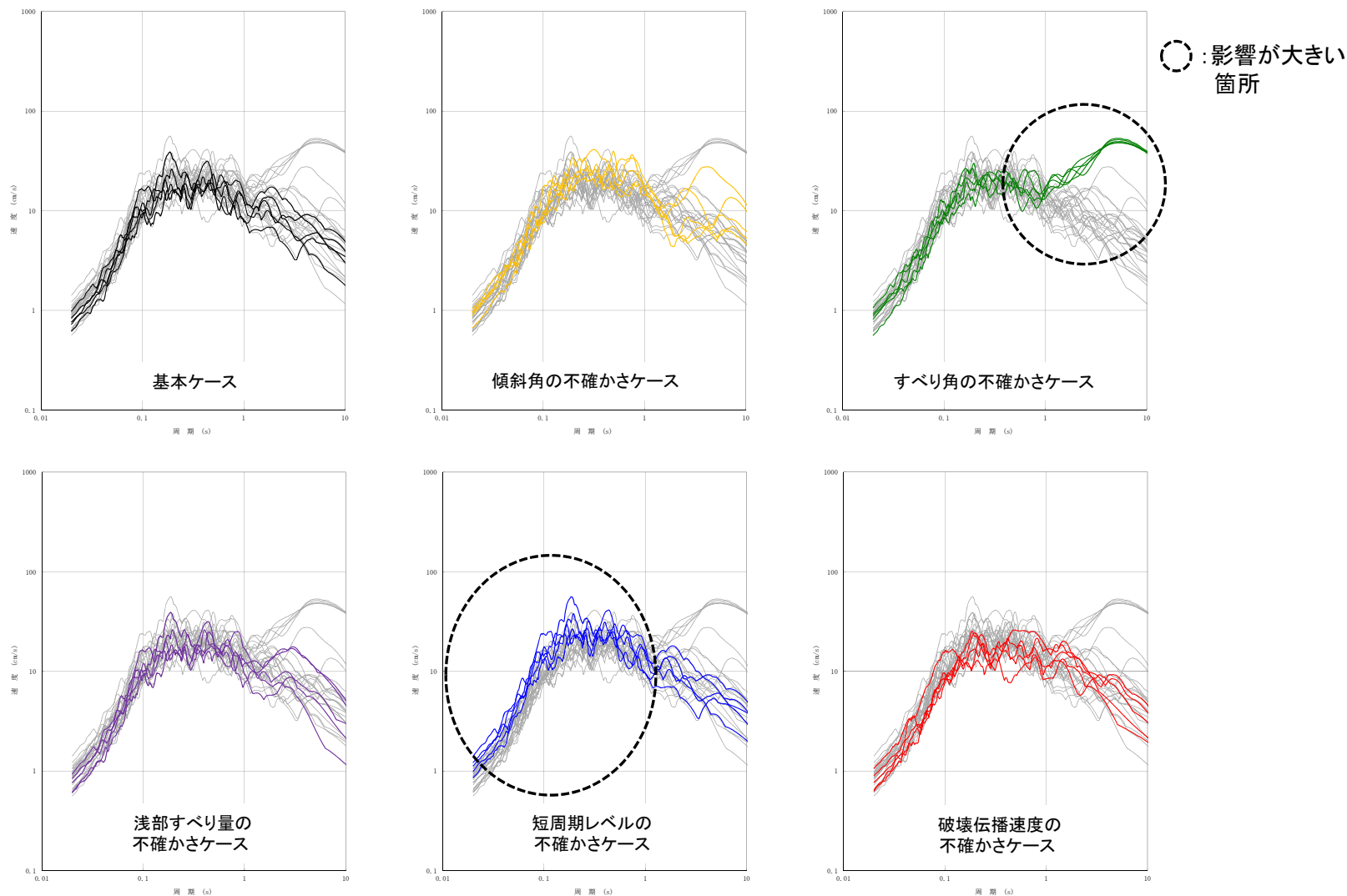
擬似速度応答スペクトル EW方向

※不確かさを考慮した全ケースの地震動評価結果を灰色線で重ね書き, 対象ケースを色分けして記載

不確かさの影響確認結果：UD方向

○すべり角(37.6°), 短周期レベル(1.5倍), 破壊伝播速度(0.87Vs)の不確かさの影響が大きい。

○UD方向ですべり角の影響が長周期で大きいのは, 浅部断層を斜め方向にすべらせた時の上下成分が顕著に現れたためと考えられる。



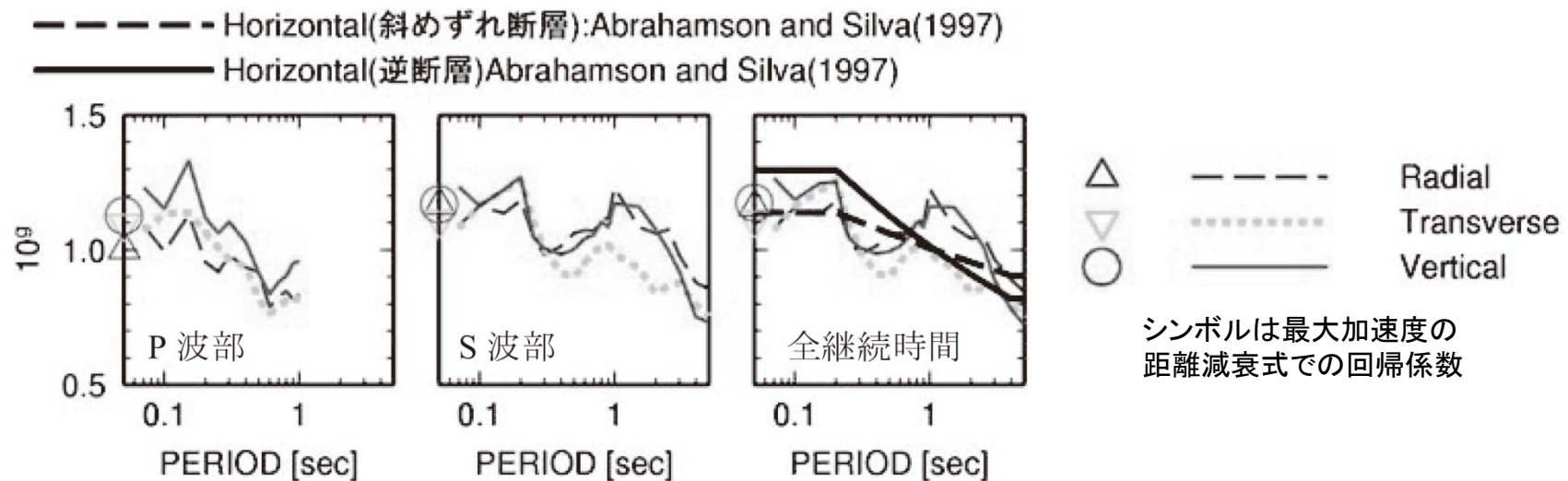
擬似速度応答スペクトル UD方向

※不確かさを考慮した全ケースの地震動評価結果を
灰色線で重ね書き, 対象ケースを色分けして記載

不確かさの組合せで考慮する短周期レベル: 佐藤(2008)

- 日本国内で観測された最近の地殻内地震の強震記録を用いて、P波部・S波部・全継続時間の3成分それぞれの最大加速度, 最大速度, 加速度応答スペクトルの距離減衰式が以下の式で提案されている。
- このうち、 g は断層タイプの違いを表現する回帰係数であり、横ずれ断層の場合0で、逆断層・斜めずれ断層に値を持つとされており、論文中で横ずれ断層に対する比として0.2秒以下の短周期領域で地震動レベルが1.2倍程度と評価されている。

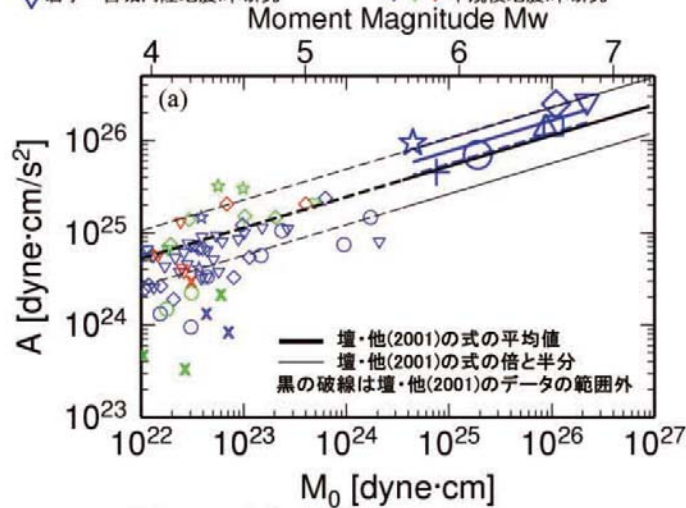
$$\log_{10} Y = aM_w + g - bX - \log_{10}(X + d10^{0.5M_w}) + c_J \pm e$$



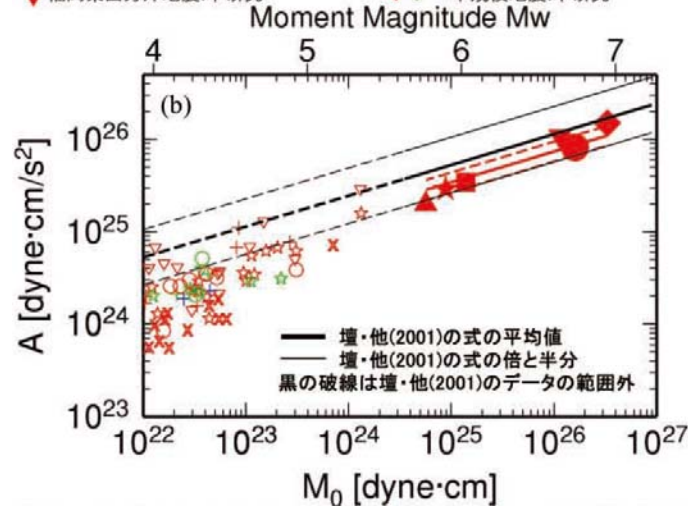
横ずれ断層に対する逆断層・斜めずれ断層の比 10^g

不確かさの組合せで考慮する短周期レベル: 佐藤(2010)(1/2)

○日本の大規模地殻内地震の震源近傍の強震記録を用いてスペクトルインバージョン解析を実施し、逆断層と横ずれ断層の違いを考慮した地震モーメントと短周期レベルのスケージング則を導出した結果、壇他(2001)の経験式と比較して逆断層では1.45倍、横ずれ断層では0.64倍と評価されている。



(a)逆断層



(b)横ずれ断層

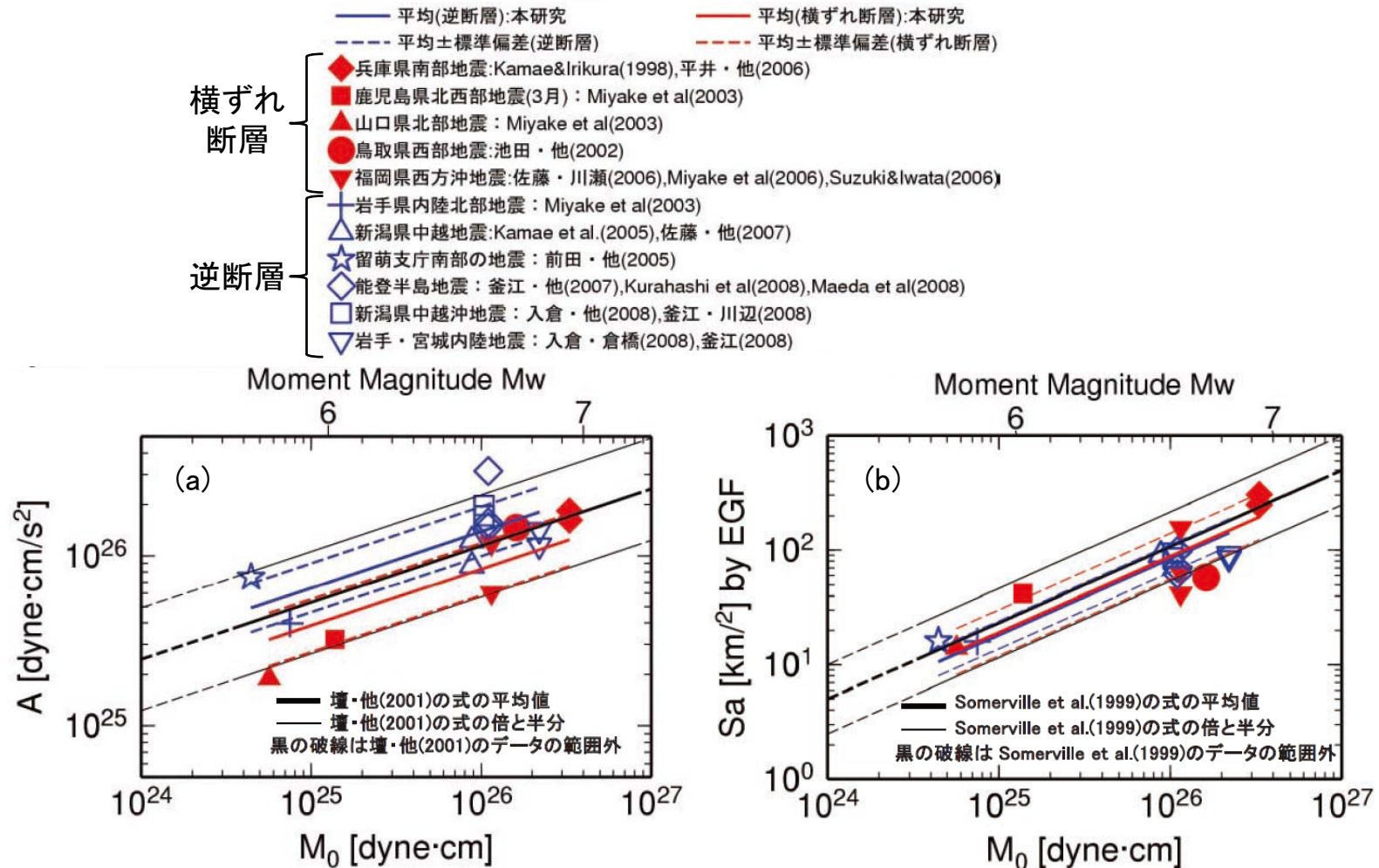
スペクトルインバージョンに基づく、中規模地震を含めた地殻内地震のAとM₀の関係

(a):大規模地震が逆断層の場合の周辺の地震, (b):大規模地震が横ずれ断層の場合の周辺の地震

佐藤(2010)より抜粋・加筆

不確かさの組合せで考慮する短周期レベル: 佐藤(2010)(2/2)

○経験的グリーン関数法により震源モデルが推定されている地殻内地震の震源パラメータに基づいて短周期レベルやアスペリティ面積等について検討した結果, 短周期レベルは逆断層の方が大きいことが確認されている。

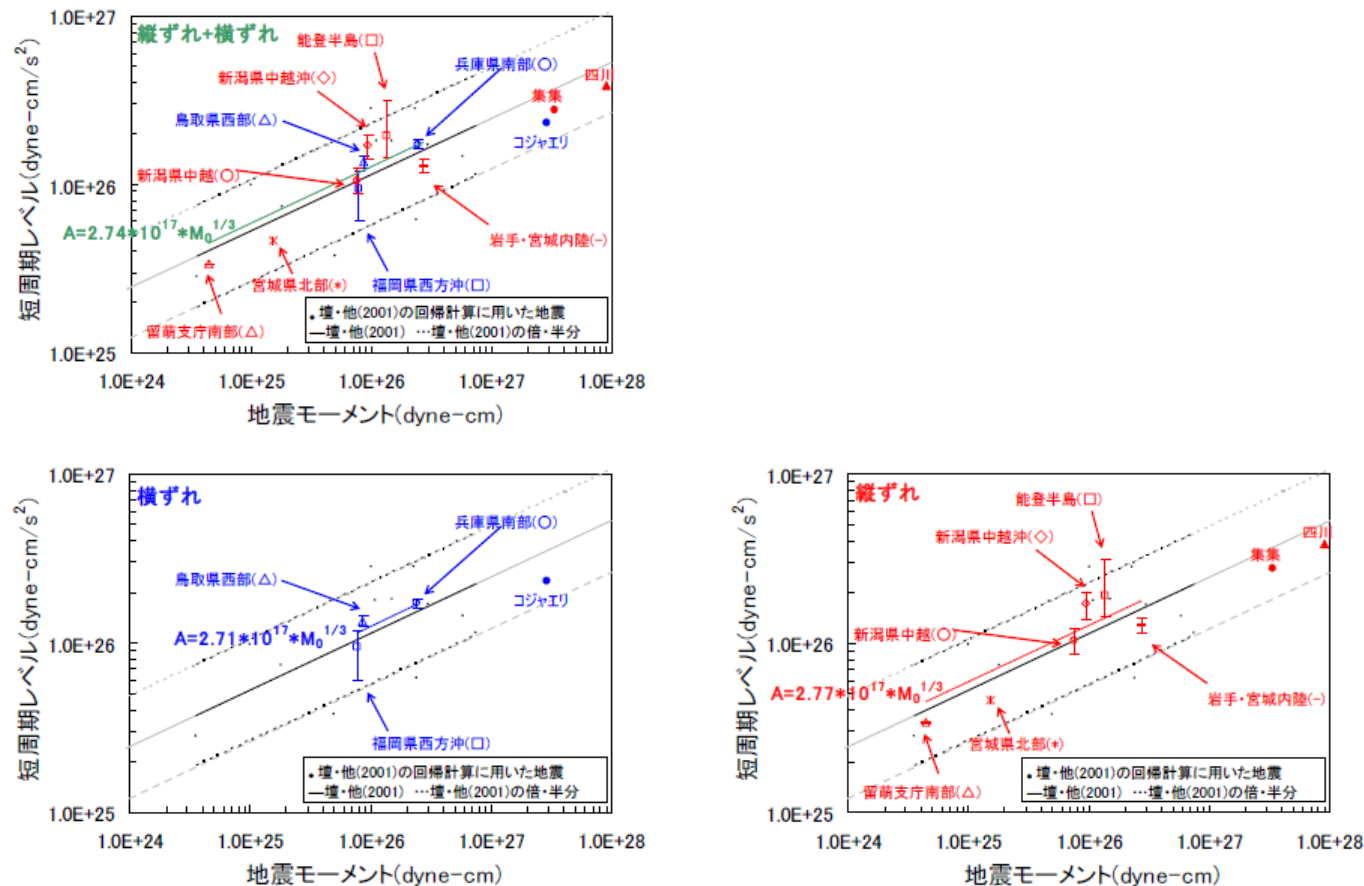


経験的グリーン関数法に基づく, 地殻内地震のAとM₀の関係(a), アスペリティ総面積とM₀の関係(b)

佐藤(2010)より抜粋・加筆

不確かさの組合せで考慮する短周期レベル: 構造計画研究所(2010)

- 過去の内陸地殻内地震の特性化震源モデルから換算した短周期レベルを断層タイプ別に整理し、以下の通り評価されている。
- 断層タイプ別の短周期レベルには明確な違いは見られなかったが、逆断層の短周期レベルが若干大きい。この傾向は佐藤(2010)による結果と調和的であるが、数値的には大きく異なるので、今後の検討課題になるとされている。



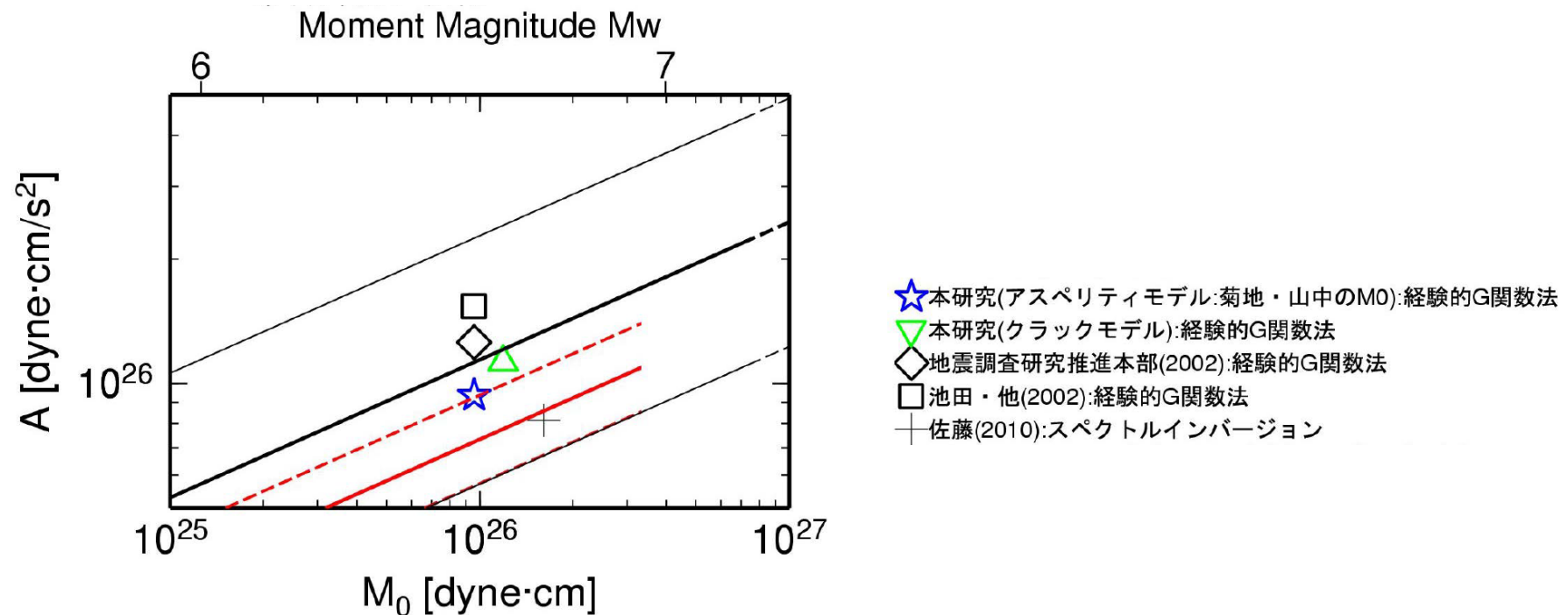
地震モーメントと短周期レベルの関係

(バーは最大・最小の短周期レベルを示す)

構造計画研究所(2010)より抜粋・加筆

不確かさの組合せで考慮する短周期レベル： 構造計画研究所(2011)

- スペクトルインバージョンに基づく短周期レベルと経験的グリーン関数法に基づく短周期レベルの差が大きかった2000年鳥取県西部の地震について、経験的グリーン関数法による震源モデルの再評価が実施されている。
- その結果、得られた震源モデルによる短周期レベルは佐藤(2010)より大きいものの、壇他(2001)と同じかやや小さいと評価されている。
- さらに、バックチェックにおいては、短周期レベルを壇他(2001)の式の1.5倍として震源パラメータの不確かさの考慮が求めているが、横ずれ断層では逆断層より短周期レベルが小さいという佐藤(2010)の結果と今回の検討結果から、横ずれ断層では1.5倍を考慮する必要がない可能性がある指摘されている。



地震モーメントと短周期レベルの関係

構造計画研究所(2011)より抜粋・加筆

不確かさの組合せで考慮する短周期レベル

- これらの知見を以下の通り整理し、短周期の地震動レベルの不確かさのパラメータを設定する。
- 甲楽城沖断層～浦底断層～池河内断層～柳ヶ瀬山断層は横ずれ断層であり、逆断層とは、同じ規模の地震でも短周期レベルに差があると考えられる。
- また、佐藤(2008)では、横ずれ断層に対する逆断層・斜めずれ断層の短周期の地震動レベルが1.2倍程度とされている。
- 佐藤(2010)等によると、短周期レベルは、逆断層>横ずれ断層の関係があると考えられる。

- ・短周期レベルの不確かさとして、新潟県中越沖地震の知見を踏まえ1.5倍を考慮する。
- ・ただし、不確かさの組合せで考慮する短周期レベルは、浦底断層を横ずれ断層として評価することから、上記知見に基づいて1.5倍を1.2で除した1.25倍で行う。

不確かさの考慮： 検討ケース一覧

○不確かさを考慮する検討ケースの一覧を下記に示す。

基本ケース

■： 偶然的な不確かさ ■： 認識論的な不確かさ

検討ケース	傾斜角	すべり角	浅部断層 すべり量	短周期 レベル	破壊伝播 速度	アスペリティ 位置	破壊 開始点
1 基本ケース	90°	0°	2.9m	レシピ平均	0.72Vs	サイト直下位置	複数設定

不確かさの考慮及び組合せ

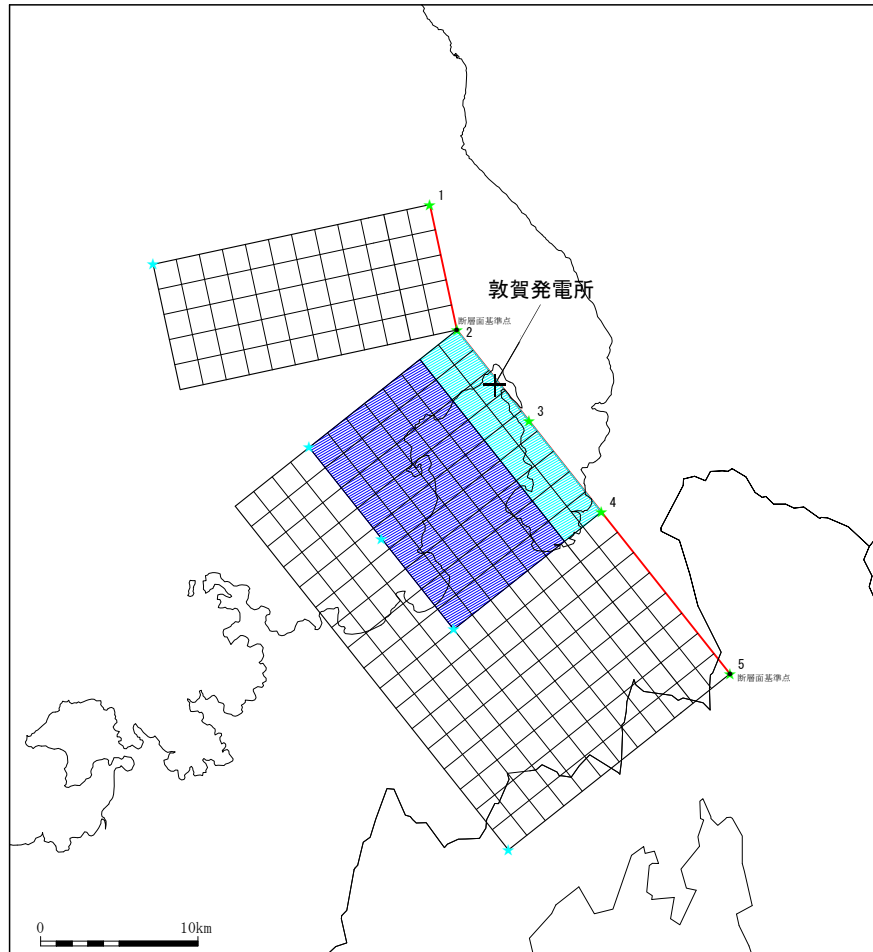
検討ケース	傾斜角	すべり角	浅部断層 すべり量	短周期 レベル	破壊伝播 速度	アスペリティ 位置	破壊 開始点
2 傾斜角の不確かさ	70°	0°	2.9m	レシピ平均	0.72Vs	サイト直下位置	複数設定
3 すべり角の不確かさ	90°	37.6°	2.9m	レシピ平均	0.72V	サイト直下位置	複数設定
4 浅部すべり量の不確かさ	90°	0°	1.7m	レシピ平均	0.72Vs	サイト直下位置	複数設定
5 短周期レベルの不確かさ	90°	0°	2.9m	1.5倍	0.72Vs	サイト直下位置	複数設定
6 破壊伝播速度の不確かさ	90°	0°	2.9m	レシピ平均	0.87Vs	サイト直下位置	複数設定
7 ・すべり角の不確かさ ・短周期レベルの不確かさ	90°	37.6°	2.9m	1.25倍	0.72Vs	サイト直下位置	複数設定
8 ・すべり角の不確かさ ・破壊伝播速度の不確かさ	90°	37.6°	2.9m	レシピ平均	0.87Vs	サイト直下位置	複数設定
9 ・短周期レベルの不確かさ ・破壊伝播速度の不確かさ	90°	0°	2.9m	1.25倍	0.87Vs	サイト直下位置	複数設定

※ 短周期レベルの不確かさ単体では1.5倍を考慮するが、不確かさの組合せの影響検討では、逆断層と横ずれ断層とでは短周期レベルの大きさに違いがあることを考慮し、1.25倍を用いる。

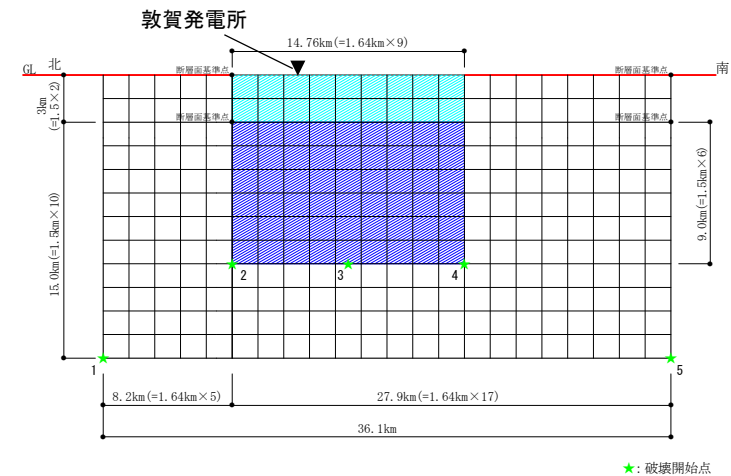
震源モデルの設定(1/8)

○下記ケースの断層モデル図を示す。

- ・ケース1: 基本ケース
- ・ケース3: すべり角の不確かさ
- ・ケース4: 浅部すべり量の不確かさ
- ・ケース5: 短周期レベルの不確かさ
- ・ケース6: 破壊伝播速度の不確かさ
- ・ケース7: すべり角と短周期レベルの不確かさの組合せ
- ・ケース8: すべり角と破壊伝播速度の不確かさの組合せ
- ・ケース9: 短周期レベルと破壊伝播速度の不確かさの組合せ



断層配置図



断層モデル図

震源モデルの設定(2/8)

○ケース1:基本ケース, ケース5:短周期レベルの不確かさを考慮した震源パラメータ

断層パラメータ	深部断層	設定方法
断層長さ(km)	36.1	断層位置を基に設定
傾斜角(°)	90	地質調査結果(高角度北東傾斜, 左横ずれ主体)を踏まえ地震動評価上は90°として設定
すべり角(°)	0	傾斜角90°の左横ずれ断層としたことを踏まえてレシピに基づき0°に設定
断層幅(km)	15	地震発生層と傾斜角から設定
断層面積(km ²)	541.5	S=L(断層長さ)×W(断層幅)
断層上端深さ(km)	3	微小地震の発生深さの上下限や地下構造を参照して設定
断層下端深さ(km)	18	
破壊伝播形式	同心円状	同心円状
地震モーメント(N・m)	1.63 × 10 ¹⁹	M ₀ = {S / (4.24 × 10 ⁻¹¹)} ^{2.0} / 10 ⁷
モーメントマグニチュード	6.7	M _w = (log M ₀ - 16.1) / 1.5
剛性率(N/m ²)	3.50 × 10 ¹⁰	μ = ρ β ² , ρ = 2.7g/cm ³ , β = 3.6km/s
平均すべり量(cm)	86.1	D = M ₀ / (μ S)
平均応力降下量(MPa)	3.2	Δσ = (7π ^{1.5} / 16) × (M ₀ / S ^{1.5})
破壊伝播速度(km/s)	2.59	V _r = 0.72 β
立ち上がり時間(sec)	1.11	T _r = 2.03 × 10 ⁻⁹ × (M ₀ × 10 ⁷) ^{1/3}
短周期レベル(N・m/s ²)※1	1.34 × 10 ¹⁹	A = 2.46 × 10 ¹⁷ × (M ₀ × 10 ⁷) ^{1/3}

断層パラメータ	深部断層	設定方法
アスペリティ	面積(km ²)	136.26 S _a = π r ² , r = (7π M ₀ β ²) / (4A _a R), R = (S / π) ^{0.5}
	平均すべり量(cm)	173 D _a = γ _D D, γ _D = 2.01
	地震モーメント(N・m)	8.25 × 10 ¹⁸ M _{0a} = μ S _a D _a
	応力降下量(MPa)	12.5 Δσ _a = (S / S _a) Δσ
背景領域	面積(km ²)	405.24 S _b = S - S _a
	平均すべり量(cm)	56.8 D _b = M _{0b} / (μ S _b)
	地震モーメント(N・m)	8.06 × 10 ¹⁸ M _{0b} = M ₀ - M _{0a}
	実効応力(MPa)	2.5 σ _b = 0.2 Δσ _a
Q値	50f ^{1.1}	佐藤他(2007)
f _{max} (Hz)	8.3	香川他(2003)

断層パラメータ	浅部断層	設定方法
剛性率(N/m ²)	2.19 × 10 ¹⁰	μ = ρ β ² , ρ = 2.6g/cm ³ β = 2.9km/s(浅部断層の平均値)
立ち上がり時間(sec)	3.68	Kagawa et al.(2004)より浅部のすべり速度が深部のすべり速度の半分となるように設定
大すべり域	面積(km ²)	44.31 S = L × W
	平均すべり量(cm)	286.8 松田(1975)に基づき設定(D _{large(浅)})
	地震モーメント(N・m)	2.78 × 10 ¹⁸ M _{0large(浅)} = μ S _{large(浅)} D _{large(浅)}
小すべり域	面積(km ²)	63.99 S = L × W
	平均すべり量(cm)	94.2 D _{small(浅)} = D _{large(浅)} × (D _{b(深)} / D _{a(深)})
	地震モーメント(N・m)	1.32 × 10 ¹⁸ M _{0small(浅)} = μ S _{small(浅)} D _{small(浅)}
地震モーメント(N・m)	4.10 × 10 ¹⁸	M _{0(浅)} = M _{0small(浅)} + M _{0large(浅)}
破壊伝播速度(km/s)	2.59	深部断層と同じ値に設定※2

※1 短周期の地震動1.5倍ケースでは、短周期領域のフーリエスペクトルの比が基本ケースの1.5倍となるように設定する。

※2 浅部断層の破壊伝播速度について、深部断層と同じ値とし、より波が重なり合う設定とする。

震源モデルの設定(3/8)

○ケース3: すべり角の不確かさ, ケース7: すべり角と短周期レベルの不確かさを考慮した震源パラメータ

断層パラメータ	深部断層	設定方法
断層長さ(km)	36.1	断層位置を基に設定
傾斜角(°)	90	地質調査結果(高角度北東傾斜, 左横ずれ主体)を踏まえ地震動評価上は90°として設定
すべり角(°)	-37.6	地質調査結果より設定
断層幅(km)	15	地震発生層と傾斜角から設定
断層面積(km ²)	541.5	S=L(断層長さ)×W(断層幅)
断層上端深さ(km)	3	微小地震の発生深さの上下限や地下構造を参照して設定
断層下端深さ(km)	18	
破壊伝播形式	同心円状	同心円状
地震モーメント(N・m)	1.63 × 10 ¹⁹	M ₀ = {S / (4.24 × 10 ⁻¹¹)} ^{2.0} / 10 ⁷
モーメントマグニチュード	6.7	M _w = (log M ₀ - 16.1) / 1.5
剛性率(N/m ²)	3.50 × 10 ¹⁰	μ = ρ β ² , ρ = 2.7g/cm ³ , β = 3.6km/s
平均すべり量(cm)	86.1	D = M ₀ / (μ S)
平均応力降下量(MPa)	3.2	Δσ = (7π ^{1.5} / 16) × (M ₀ / S ^{1.5})
破壊伝播速度(km/s)	2.59	V _r = 0.72 β
立ち上がり時間(sec)	1.11	T _r = 2.03 × 10 ⁻⁹ × (M ₀ × 10 ⁷) ^{1/3}
短周期レベル(N・m/s ²)※1	1.34 × 10 ¹⁹	A = 2.46 × 10 ¹⁷ × (M ₀ × 10 ⁷) ^{1/3}

断層パラメータ	深部断層	設定方法
アスベリティ	面積(km ²)	136.26 S _a = π r ² , r = (7π M ₀ β ²) / (4A _a R), R = (S / π) ^{0.5}
	平均すべり量(cm)	173 D _a = γ _D D, γ _D = 2.01
	地震モーメント(N・m)	8.25 × 10 ¹⁸ M _{0a} = μ S _a D _a
	応力降下量(MPa)	12.5 Δσ _a = (S / S _a) Δσ
背景領域	面積(km ²)	405.24 S _b = S - S _a
	平均すべり量(cm)	56.8 D _b = M _{0b} / (μ S _b)
	地震モーメント(N・m)	8.06 × 10 ¹⁸ M _{0b} = M ₀ - M _{0a}
	実効応力(MPa)	2.5 σ _b = 0.2 Δσ _a
Q値	50f ^{1.1}	佐藤他(2007)
f _{max} (Hz)	8.3	香川他(2003)

断層パラメータ	浅部断層	設定方法
剛性率(N/m ²)	2.19 × 10 ¹⁰	μ = ρ β ² , ρ = 2.6g/cm ³ β = 2.9km/s(浅部断層の平均値)
立ち上がり時間(sec)	3.68	Kagawa et al.(2004)より浅部のすべり速度が深部のすべり速度の半分となるように設定
大すべり域	面積(km ²)	44.31 S = L × W
	平均すべり量(cm)	286.8 松田(1975)に基づき設定(D _{large(浅)})
	地震モーメント(N・m)	2.78 × 10 ¹⁸ M _{0large(浅)} = μ S _{large(浅)} D _{large(浅)}
小すべり域	面積(km ²)	63.99 S = L × W
	平均すべり量(cm)	94.2 D _{small(浅)} = D _{large(浅)} × (D _{b(深)} / D _{a(深)})
	地震モーメント(N・m)	1.32 × 10 ¹⁸ M _{0small(浅)} = μ S _{small(浅)} D _{small(浅)}
地震モーメント(N・m)	4.10 × 10 ¹⁸	M _{0(浅)} = M _{0small(浅)} + M _{0large(浅)}
破壊伝播速度(km/s)	2.59	深部断層と同じ値に設定※2

※1 短周期の地震動1.25倍ケースでは, 短周期領域のフーリエスペクトルの比が基本ケースの1.25倍となるように設定する。

※2 浅部断層の破壊伝播速度について, 深部断層と同じ値とし, より波が重なり合う設定とする。

震源モデルの設定(4/8)

○ ケース4: 浅部すべり量の不確かさを考慮した震源パラメータ

断層パラメータ	深部断層	設定方法
断層長さ(km)	36.1	断層位置を基に設定
傾斜角(°)	90	地質調査結果(高角度北東傾斜, 左横ずれ主体)を踏まえ地震動評価上は90°として設定
すべり角(°)	0	傾斜角90°の左横ずれ断層としたことを踏まえてレシピに基づき0°に設定
断層幅(km)	15	地震発生層と傾斜角から設定
断層面積(km ²)	541.5	S=L(断層長さ)×W(断層幅)
断層上端深さ(km)	3	微小地震の発生深さの上下限や地下構造を参照して設定
断層下端深さ(km)	18	
破壊伝播形式	同心円状	同心円状
地震モーメント(N・m)	1.63 × 10 ¹⁹	M ₀ = {S / (4.24 × 10 ⁻¹¹)} ^{2.0} / 10 ⁷
モーメントマグニチュード	6.7	M _w = (log M ₀ - 16.1) / 1.5
剛性率(N/m ²)	3.50 × 10 ¹⁰	μ = ρ β ² , ρ = 2.7g/cm ³ , β = 3.6km/s
平均すべり量(cm)	86.1	D = M ₀ / (μ S)
平均応力降下量(MPa)	3.2	Δσ = (7π ^{1.5} / 16) × (M ₀ / S ^{1.5})
破壊伝播速度(km/s)	2.59	V _r = 0.72 β
立ち上がり時間(sec)	1.11	T _r = 2.03 × 10 ⁻⁹ × (M ₀ × 10 ⁷) ^{1/3}
短周期レベル(N・m/s ²)	1.34 × 10 ¹⁹	A = 2.46 × 10 ¹⁷ × (M ₀ × 10 ⁷) ^{1/3}

断層パラメータ	深部断層	設定方法
アスベリティ	面積(km ²)	136.26 S _a = π r ² , r = (7π M ₀ β ²) / (4A _a R), R = (S / π) ^{0.5}
	平均すべり量(cm)	173 D _a = γ _D D, γ _D = 2.01
	地震モーメント(N・m)	8.25 × 10 ¹⁸ M _{0a} = μ S _a D _a
	応力降下量(MPa)	12.5 Δσ _a = (S / S _a) Δσ
背景領域	面積(km ²)	405.24 S _b = S - S _a
	平均すべり量(cm)	56.8 D _b = M _{0b} / (μ S _b)
	地震モーメント(N・m)	8.06 × 10 ¹⁸ M _{0b} = M ₀ - M _{0a}
	実効応力(MPa)	2.5 σ _b = 0.2 Δσ _a
Q値	50f ^{1.1}	佐藤他(2007)
f _{max} (Hz)	8.3	香川他(2003)

断層パラメータ	浅部断層	設定方法
剛性率(N/m ²)	2.19 × 10 ¹⁰	μ = ρ β ² , ρ = 2.6g/cm ³ β = 2.9km/s(浅部断層の平均値)
立ち上がり時間(sec)	2.22	Kagawa et al.(2004)より浅部のすべり速度が深部のすべり速度の半分となるように設定
大すべり域	面積(km ²)	44.31 S = L × W
	平均すべり量(cm)	173 松島他(2010)に基づき設定(D _{large(浅)})
	地震モーメント(N・m)	1.68 × 10 ¹⁸ M _{0large(浅)} = μ S _{large(浅)} D _{large(浅)}
小すべり域	面積(km ²)	63.99 S = L × W
	平均すべり量(cm)	56.8 D _{small(浅)} = D _{large(浅)} × (D _{b(深)} / D _{a(深)})
	地震モーメント(N・m)	7.95 × 10 ¹⁷ M _{0small(浅)} = μ S _{small(浅)} D _{small(浅)}
地震モーメント(N・m)	2.47 × 10 ¹⁸	M _{0(浅)} = M _{0small(浅)} + M _{0large(浅)}
破壊伝播速度(km/s)	2.59	深部断層と同じ値に設定※

※ 浅部断層の破壊伝播速度について、深部断層と同じ値とし、より波が重なり合う設定とする。

震源モデルの設定(5/8)

○ ケース6:破壊伝播速度, ケース9:短周期レベルと破壊伝播速度の不確かさを考慮した震源パラメータ

断層パラメータ	深部断層	設定方法
断層長さ(km)	36.1	断層位置を基に設定
傾斜角(°)	90	地質調査結果(高角度北東傾斜, 左横ずれ主体)を踏まえ地震動評価上は90°として設定
すべり角(°)	0	傾斜角90°の左横ずれ断層としたことを踏まえてシピに基づき0°に設定
断層幅(km)	15	地震発生層と傾斜角から設定
断層面積(km ²)	541.5	S=L(断層長さ)×W(断層幅)
断層上端深さ(km)	3	微小地震の発生深さの上下限や地下構造を参照して設定
断層下端深さ(km)	18	
破壊伝播形式	同心円状	同心円状
地震モーメント(N・m)	1.63 × 10 ¹⁹	M ₀ = {S / (4.24 × 10 ⁻¹¹)} ^{2.0} / 10 ⁷
モーメントマグニチュード	6.7	M _w = (log M ₀ - 16.1) / 1.5
剛性率(N/m ²)	3.50 × 10 ¹⁰	μ = ρ β ² , ρ = 2.7g/cm ³ , β = 3.6km/s
平均すべり量(cm)	86.1	D = M ₀ / (μ S)
平均応力降下量(MPa)	3.2	Δσ = (7π ^{1.5} / 16) × (M ₀ / S ^{1.5})
破壊伝播速度(km/s)	3.13	V _r = 0.87 β
立ち上がり時間(sec)	1.11	T _r = 2.03 × 10 ⁻⁹ × (M ₀ × 10 ⁷) ^{1/3}
短周期レベル(N・m/s ²)※1	1.34 × 10 ¹⁹	A = 2.46 × 10 ¹⁷ × (M ₀ × 10 ⁷) ^{1/3}

断層パラメータ	深部断層	設定方法
アスペリティ	面積(km ²)	136.26 S _a = π r ² , r = (7π M ₀ β ²) / (4A _a R), R = (S / π) ^{0.5}
	平均すべり量(cm)	173 D _a = γ _D D, γ _D = 2.01
	地震モーメント(N・m)	8.25 × 10 ¹⁸ M _{0a} = μ S _a D _a
	応力降下量(MPa)	12.5 Δσ _a = (S / S _a) Δσ
背景領域	面積(km ²)	405.24 S _b = S - S _a
	平均すべり量(cm)	56.8 D _b = M _{0b} / (μ S _b)
	地震モーメント(N・m)	8.06 × 10 ¹⁸ M _{0b} = M ₀ - M _{0a}
	実効応力(MPa)	2.5 σ _b = 0.2 Δσ _a
Q値	50f ^{1.1}	佐藤他(2007)
f _{max} (Hz)	8.3	香川他(2003)

断層パラメータ	浅部断層	設定方法
剛性率(N/m ²)	2.19 × 10 ¹⁰	μ = ρ β ² , ρ = 2.6g/cm ³ β = 2.9km/s(浅部断層の平均値)
立ち上がり時間(sec)	3.68	Kagawa et al.(2004)より浅部のすべり速度が深部のすべり速度の半分となるように設定
大すべり域	面積(km ²)	44.31 S = L × W
	平均すべり量(cm)	286.8 松田(1975)に基づき設定(D _{large(浅)})
	地震モーメント(N・m)	2.78 × 10 ¹⁸ M _{0large(浅)} = μ S _{large(浅)} D _{large(浅)}
小すべり域	面積(km ²)	63.99 S = L × W
	平均すべり量(cm)	94.2 D _{small(浅)} = D _{large(浅)} × (D _{b(深)} / D _{a(深)})
	地震モーメント(N・m)	1.32 × 10 ¹⁸ M _{0small(浅)} = μ S _{small(浅)} D _{small(浅)}
地震モーメント(N・m)	4.10 × 10 ¹⁸	M _{0(浅)} = M _{0small(浅)} + M _{0large(浅)}
破壊伝播速度(km/s)	3.13	深部断層と同じ値に設定※2

※1 短周期の地震動1.25倍ケースでは, 短周期領域のフーリエスペクトルの比が基本ケースの1.25倍となるように設定する。

※2 浅部断層の破壊伝播速度について, 深部断層と同じ値とし, より波が重なり合う設定とする。

震源モデルの設定(6/8)

○ ケース8: すべり角と破壊伝播速度の不確かさを考慮した震源パラメータ

断層パラメータ	深部断層	設定方法
断層長さ(km)	36.1	断層位置を基に設定
傾斜角(°)	90	地質調査結果(高角度北東傾斜, 左横ずれ主体)を踏まえ地震動評価上は90°として設定
すべり角(°)	-37.6	地質調査結果より設定
断層幅(km)	15	地震発生層と傾斜角から設定
断層面積(km ²)	541.5	S=L(断層長さ)×W(断層幅)
断層上端深さ(km)	3	微小地震の発生深さの上下限や地下構造を参照して設定
断層下端深さ(km)	18	
破壊伝播形式	同心円状	同心円状
地震モーメント(N・m)	1.63 × 10 ¹⁹	M ₀ = {S / (4.24 × 10 ⁻¹¹)} ^{2.0} / 10 ⁷
モーメントマグニチュード	6.7	M _w = (log M ₀ - 16.1) / 1.5
剛性率(N/m ²)	3.50 × 10 ¹⁰	μ = ρ β ² , ρ = 2.7g/cm ³ , β = 3.6km/s
平均すべり量(cm)	86.1	D = M ₀ / (μ S)
平均応力降下量(MPa)	3.2	Δσ = (7π ^{1.5} / 16) × (M ₀ / S ^{1.5})
破壊伝播速度(km/s)	3.13	V _r = 0.87 β
立ち上がり時間(sec)	1.11	T _r = 2.03 × 10 ⁻⁹ × (M ₀ × 10 ⁷) ^{1/3}
短周期レベル(N・m/s ²)	1.34 × 10 ¹⁹	A = 2.46 × 10 ¹⁷ × (M ₀ × 10 ⁷) ^{1/3}

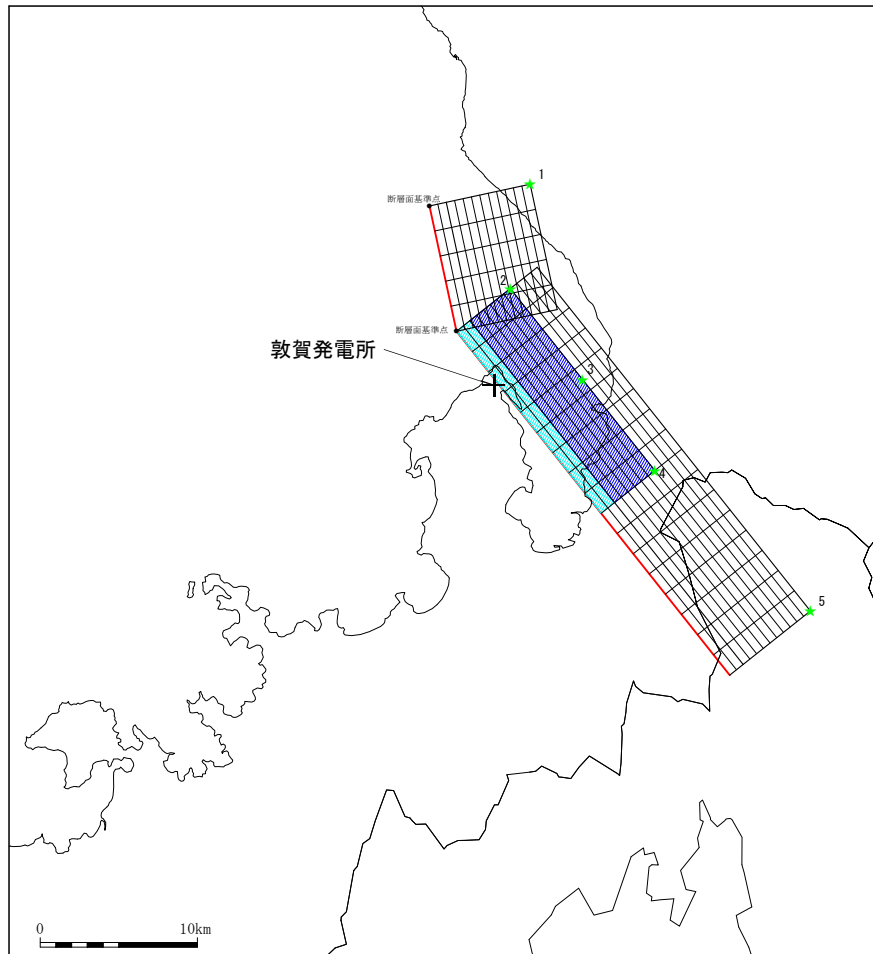
断層パラメータ	深部断層	設定方法
アスベリティ	面積(km ²)	136.26 S _a = π r ² , r = (7π M ₀ β ²) / (4A _a R), R = (S / π) ^{0.5}
	平均すべり量(cm)	173 D _a = γ _D D, γ _D = 2.01
	地震モーメント(N・m)	8.25 × 10 ¹⁸ M _{0a} = μ S _a D _a
	応力降下量(MPa)	12.5 Δσ _a = (S / S _a) Δσ
背景領域	面積(km ²)	405.24 S _b = S - S _a
	平均すべり量(cm)	56.8 D _b = M _{0b} / (μ S _b)
	地震モーメント(N・m)	8.06 × 10 ¹⁸ M _{0b} = M ₀ - M _{0a}
	実効応力(MPa)	2.5 σ _b = 0.2 Δσ _a
Q値	50f ^{1.1}	佐藤他(2007)
f _{max} (Hz)	8.3	香川他(2003)

断層パラメータ	浅部断層	設定方法
剛性率(N/m ²)	2.19 × 10 ¹⁰	μ = ρ β ² , ρ = 2.6g/cm ³ β = 2.9km/s(浅部断層の平均値)
立ち上がり時間(sec)	3.68	Kagawa et al.(2004)より浅部のすべり速度が深部のすべり速度の半分となるように設定
大すべり域	面積(km ²)	44.31 S = L × W
	平均すべり量(cm)	286.8 松田(1975)に基づき設定(D _{large(浅)})
	地震モーメント(N・m)	2.78 × 10 ¹⁸ M _{0large(浅)} = μ S _{large(浅)} D _{large(浅)}
小すべり域	面積(km ²)	63.99 S = L × W
	平均すべり量(cm)	94.2 D _{small(浅)} = D _{large(浅)} × (D _{b(深)} / D _{a(深)})
	地震モーメント(N・m)	1.32 × 10 ¹⁸ M _{0small(浅)} = μ S _{small(浅)} D _{small(浅)}
地震モーメント(N・m)	4.10 × 10 ¹⁸	M _{0(浅)} = M _{0small(浅)} + M _{0large(浅)}
破壊伝播速度(km/s)	3.13	深部断層と同じ値に設定※

※ 浅部断層の破壊伝播速度について、深部断層と同じ値とし、より波が重なり合う設定とする。

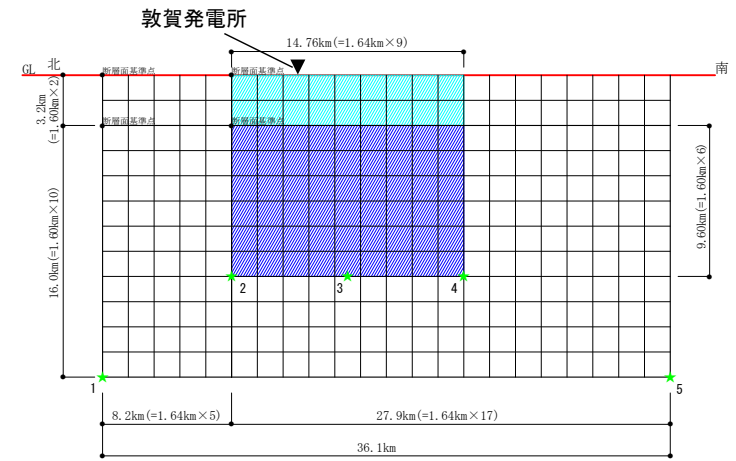
震源モデルの設定(7/8)

○ケース2: 傾斜角の不確かさを考慮した断層モデル図



★: 破壊開始点

断層配置図



★: 破壊開始点

断層モデル図

震源モデルの設定(8/8)

○ケース2: 傾斜角の不確かさを考慮した震源パラメータ

断層パラメータ	深部断層	設定方法
断層長さ(km)	36.1	断層位置を基に設定
傾斜角(°)	70	地質調査結果(高角度北東傾斜, 左横ずれ主体)を踏まえ地震動評価上は90°として設定
すべり角(°)	0	傾斜角90°の左横ずれ断層としたことを踏まえてレシピに基づき0°に設定
断層幅(km)	16	地震発生層と傾斜角から設定
断層面積(km ²)	577.6	S=L(断層長さ)×W(断層幅)
断層上端深さ(km)	3	微小地震の発生深さの上下限や地下構造を参照して設定
断層下端深さ(km)	18	
破壊伝播形式	同心円状	同心円状
地震モーメント(N・m)	1.86 × 10 ¹⁹	M ₀ = {S / (4.24 × 10 ⁻¹¹) ^{2.0} } / 10 ⁷
モーメントマグニチュード	6.8	M _w = (log M ₀ - 16.1) / 1.5
剛性率(N/m ²)	3.50 × 10 ¹⁰	μ = ρ β ² , ρ = 2.7g/cm ³ , β = 3.6km/s
平均すべり量(cm)	91.8	D = M ₀ / (μ S)
平均応力降下量(MPa)	3.3	Δσ = (7π ^{1.5} / 16) × (M ₀ / S ^{1.5})
破壊伝播速度(km/s)	2.59	V _r = 0.72 β
立ち上がり時間(sec)	1.16	T _r = 2.03 × 10 ⁻⁹ × (M ₀ × 10 ⁷) ^{1/3}
短周期レベル(N・m/s ²)	1.40 × 10 ¹⁹	A = 2.46 × 10 ¹⁷ × (M ₀ × 10 ⁷) ^{1/3}

断層パラメータ	深部断層	設定方法
アスペリティ	面積(km ²)	151.73 S _a = π r ² , r = (7π M ₀ β ²) / (4A _a R), R = (S / π) ^{0.5}
	平均すべり量(cm)	184.6 D _a = γ _D D, γ _D = 2.01
	地震モーメント(N・m)	9.80 × 10 ¹⁸ M _{0a} = μ S _a D _a
	応力降下量(MPa)	12.4 Δσ _a = (S / S _a) Δσ
背景領域	面積(km ²)	425.87 S _b = S - S _a
	平均すべり量(cm)	58.8 D _b = M _{0b} / (μ S _b)
	地震モーメント(N・m)	8.76 × 10 ¹⁸ M _{0b} = M ₀ - M _{0a}
	実効応力(MPa)	2.5 σ _b = 0.2 Δσ _a
Q値	50f ^{1.1}	佐藤他(2007)
f _{max} (Hz)	8.3	香川他(2003)

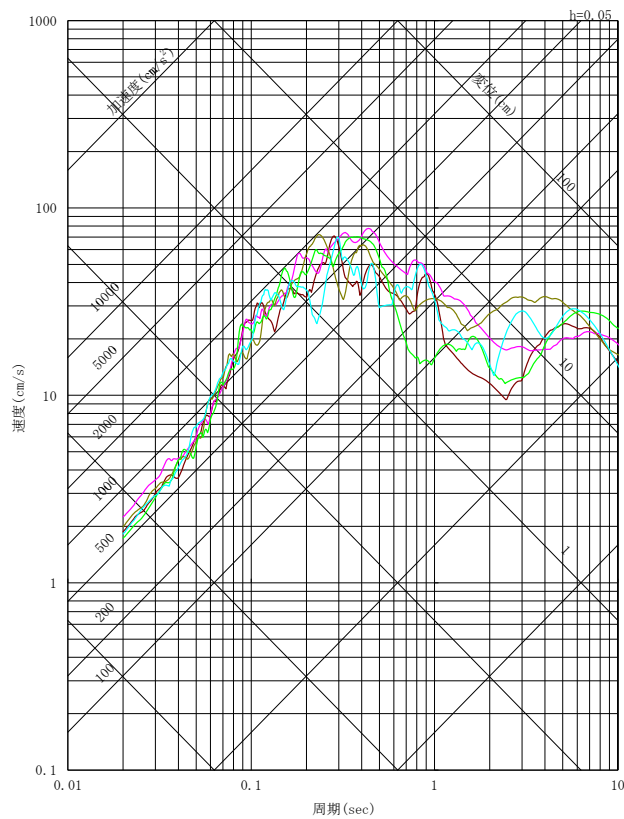
断層パラメータ	浅部断層	設定方法
剛性率(N/m ²)	2.19 × 10 ¹⁰	μ = ρ β ² , ρ = 2.6g/cm ³ β = 2.9km/s(浅部断層の平均値)
立ち上がり時間(sec)	3.6	Kagawa et al.(2004)より浅部のすべり速度が深部のすべり速度の半分となるように設定
大すべり域	面積(km ²)	47.26 S = L × W
	平均すべり量(cm)	286.8 松田(1975)に基づき設定(D _{large(浅)})
	地震モーメント(N・m)	2.96 × 10 ¹⁸ M _{0large(浅)} = μ S _{large(浅)} D _{large(浅)}
小すべり域	面積(km ²)	68.26 S = L × W
	平均すべり量(cm)	91.3 D _{small(浅)} = D _{large(浅)} × (D _{b(深)} / D _{a(深)})
	地震モーメント(N・m)	1.36 × 10 ¹⁸ M _{0small(浅)} = μ S _{small(浅)} D _{small(浅)}
地震モーメント(N・m)	4.33 × 10 ¹⁸	M _{0(浅)} = M _{0small(浅)} + M _{0large(浅)}
破壊伝播速度(km/s)	2.59	深部断層と同じ値に設定※

※ 浅部断層の破壊伝播速度について、深部断層と同じ値とし、より波が重なり合う設定とする。

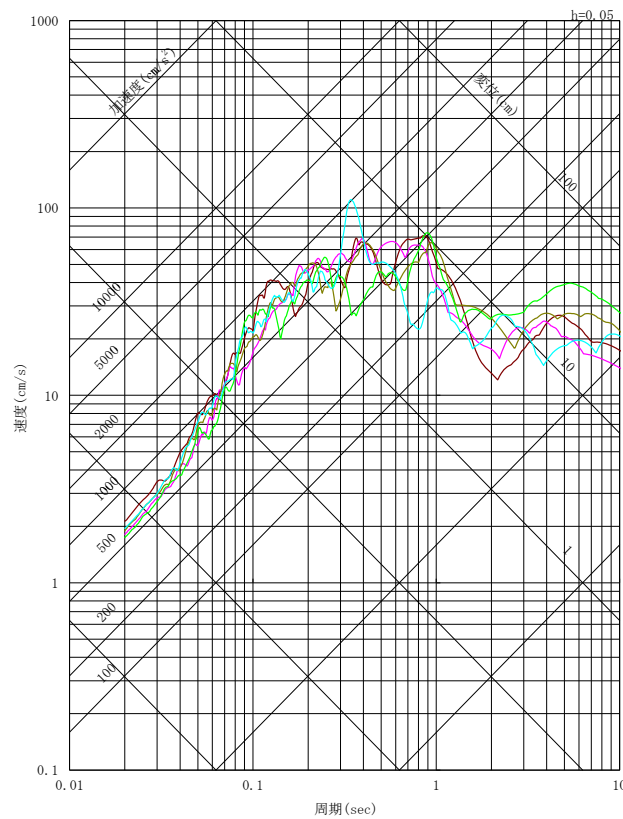
地震動評価結果(ケース2:傾斜角の不確かさを考慮)(1/4)

○断層モデルを用いた手法による地震動評価結果

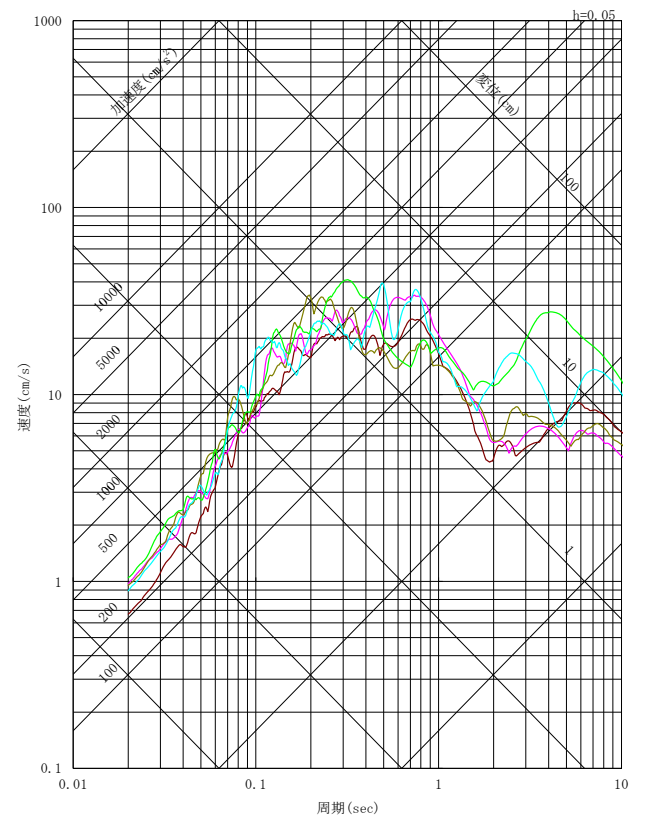
— 破壊開始点1 — 破壊開始点2 — 破壊開始点3 — 破壊開始点4 — 破壊開始点5



NS方向



EW方向

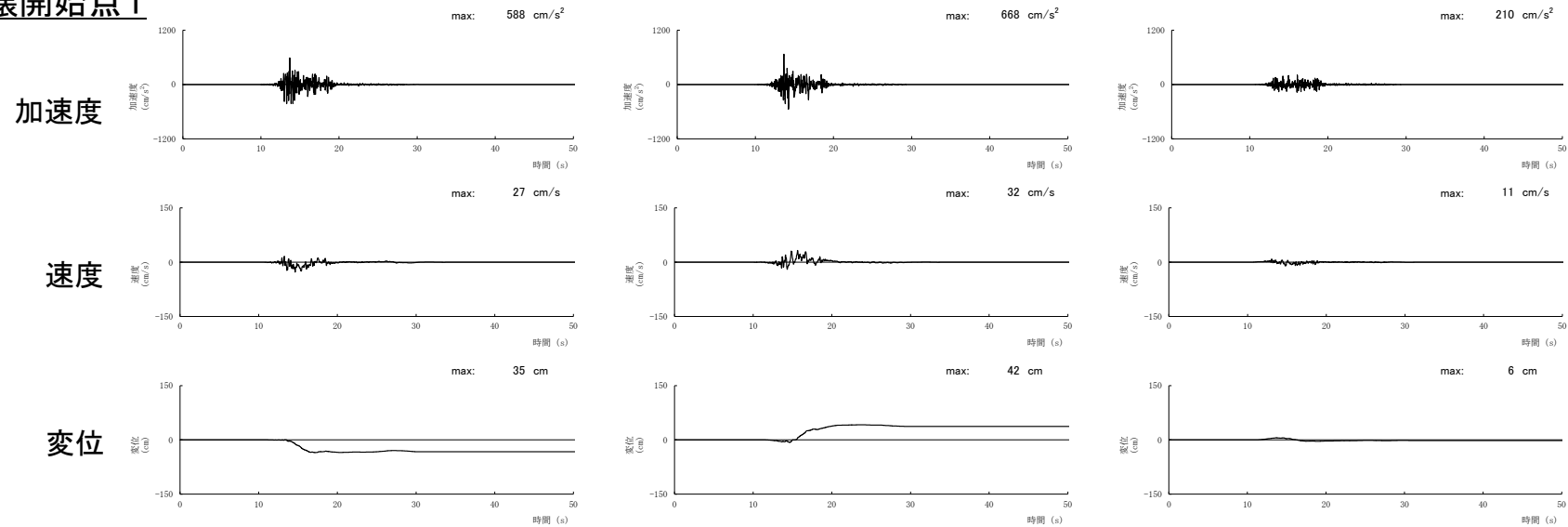


UD方向

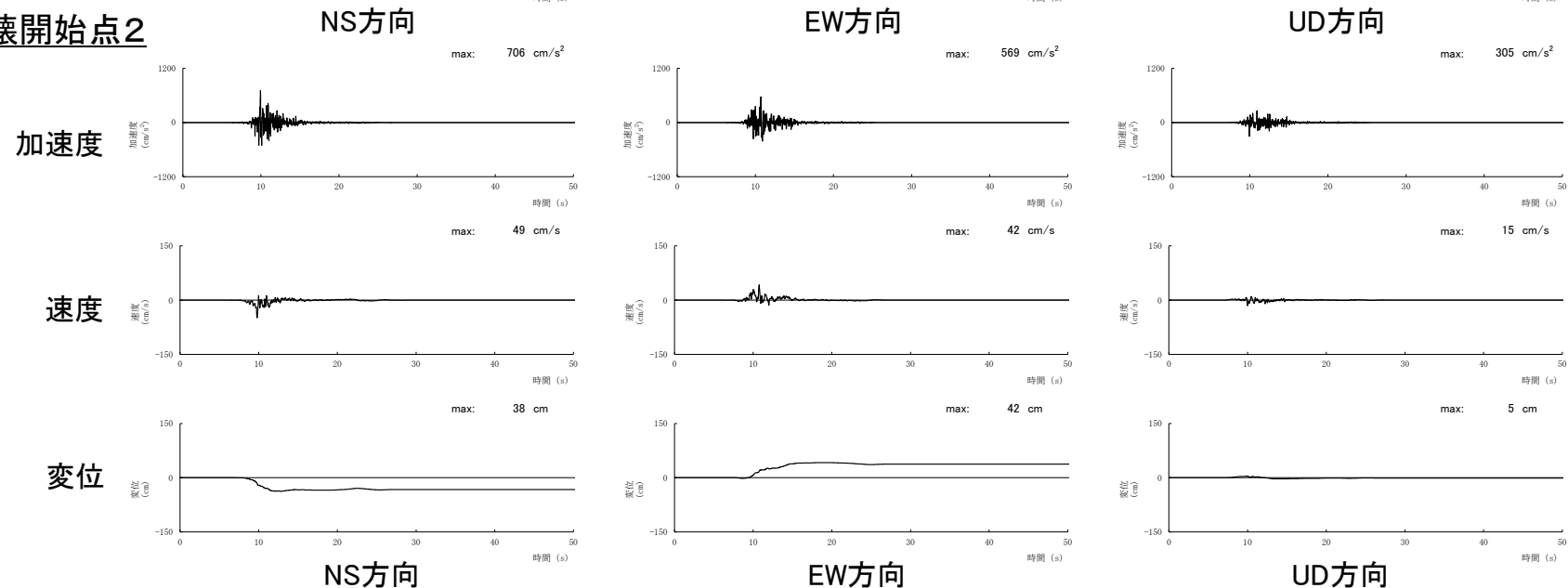
擬似速度応答スペクトル

地震動評価結果(ケース2:傾斜角の不確かさを考慮)(2/4)

破壊開始点1

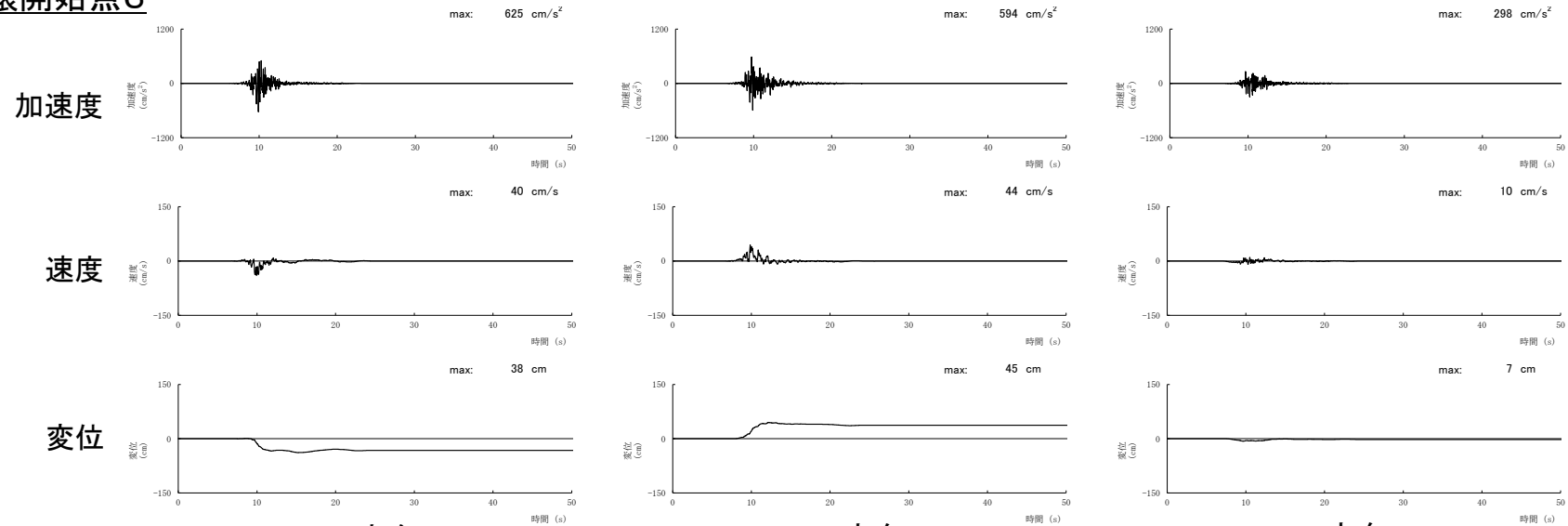


破壊開始点2

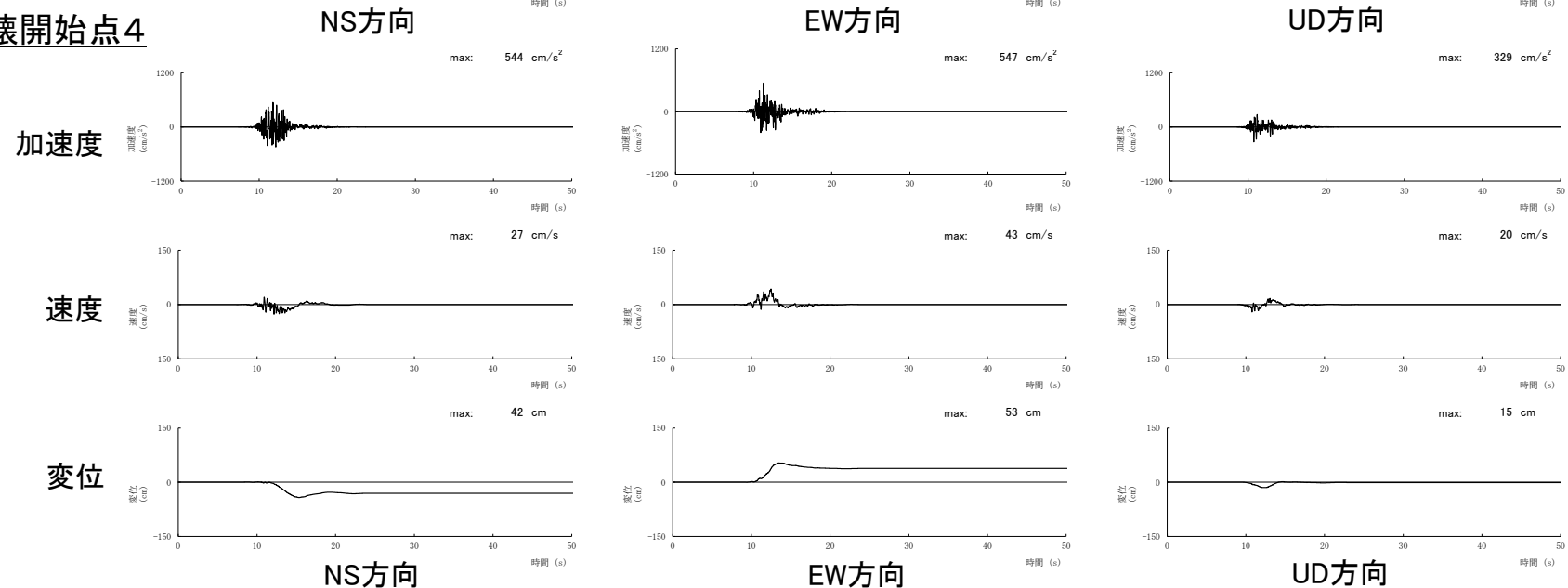


地震動評価結果(ケース2:傾斜角の不確かさを考慮)(3/4)

破壊開始点3

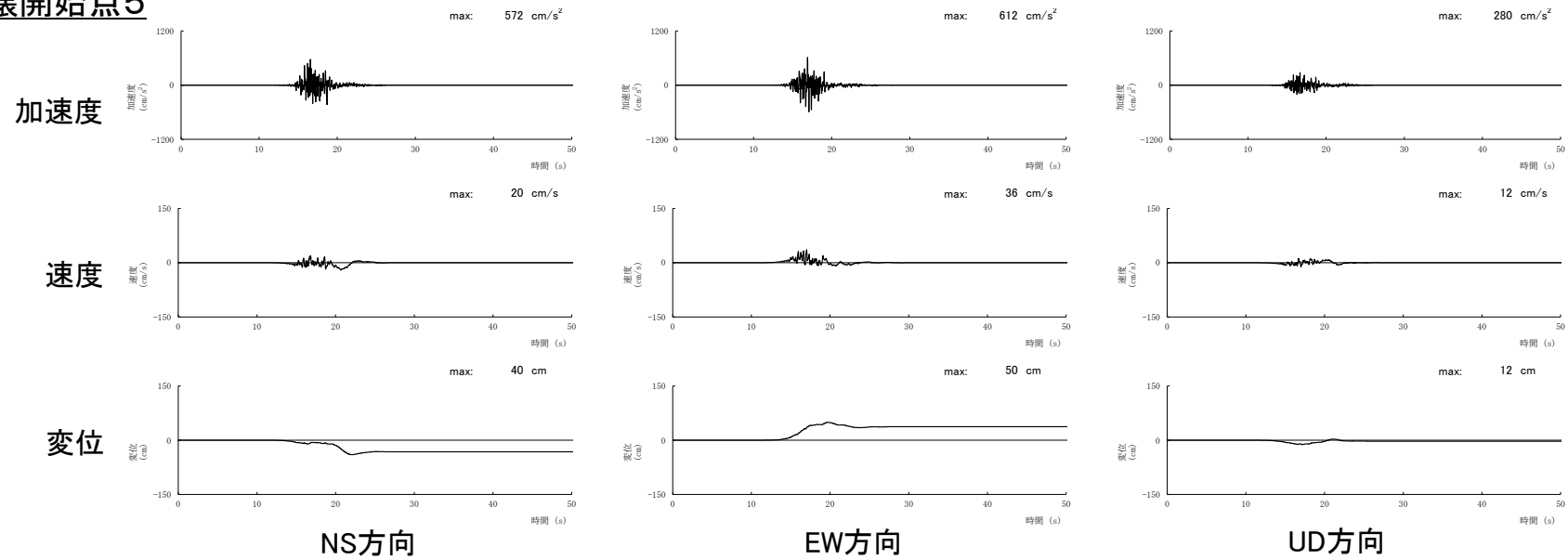


破壊開始点4



地震動評価結果(ケース2:傾斜角の不確かさを考慮)(4/4)

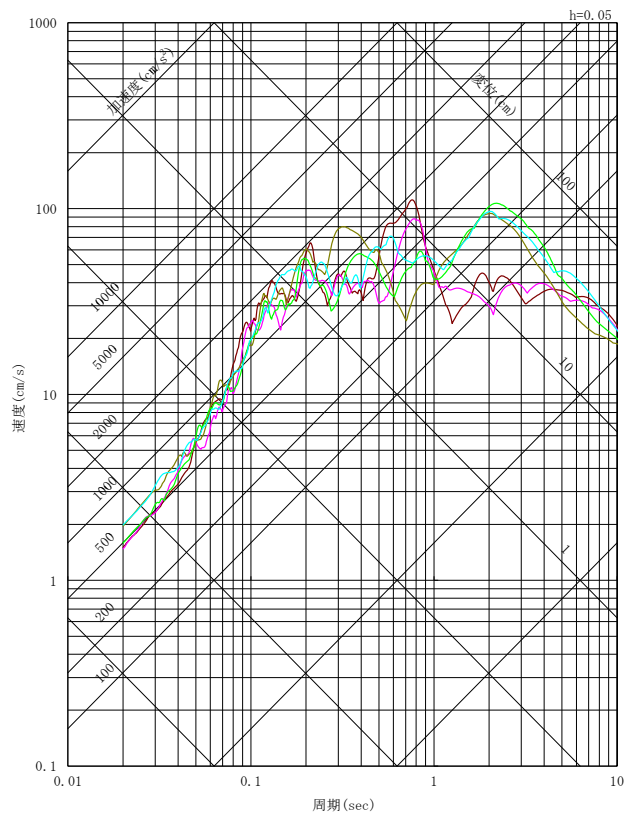
破壊開始点5



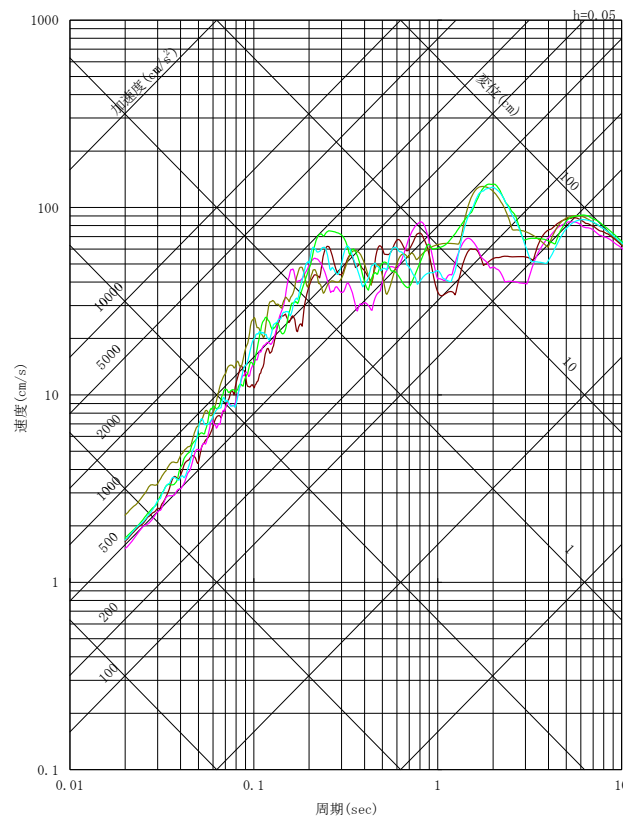
地震動評価結果(ケース3:すべり角の不確かさを考慮)(1/4)

○断層モデルを用いた手法による地震動評価結果

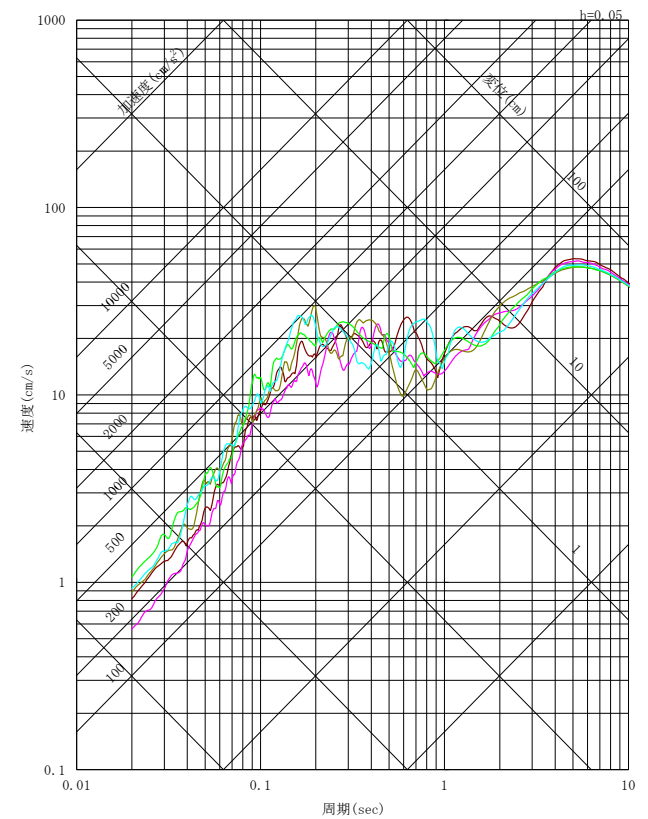
— 破壊開始点1 — 破壊開始点2 — 破壊開始点3 — 破壊開始点4 — 破壊開始点5



NS方向



EW方向

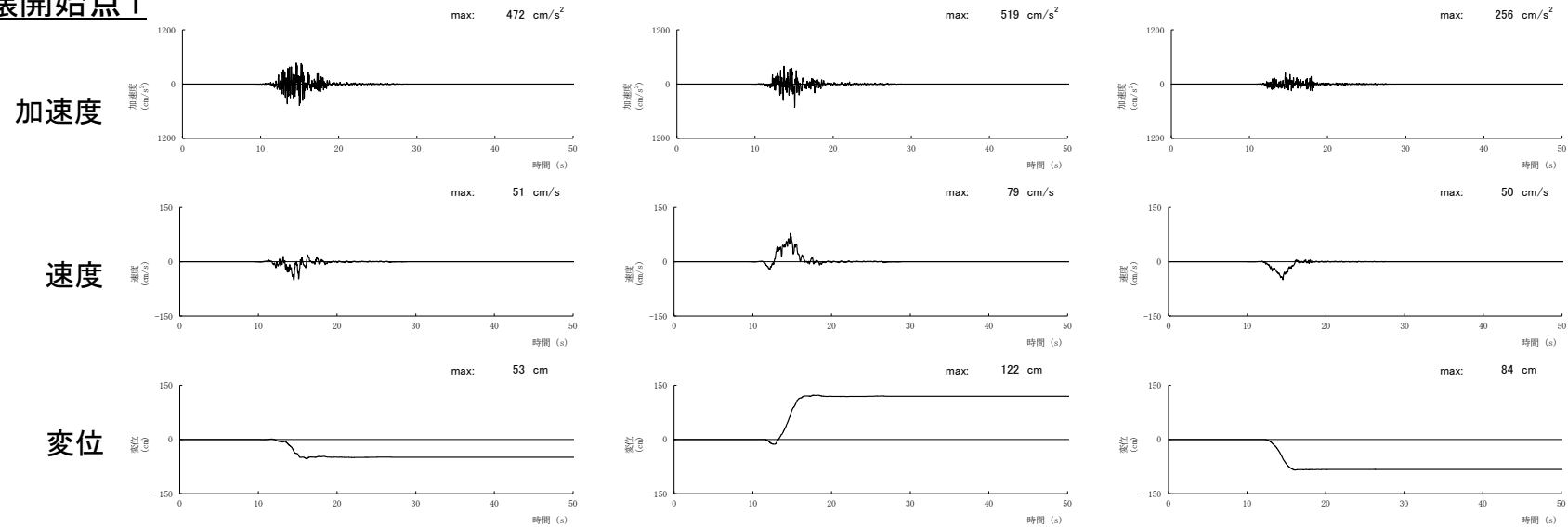


UD方向

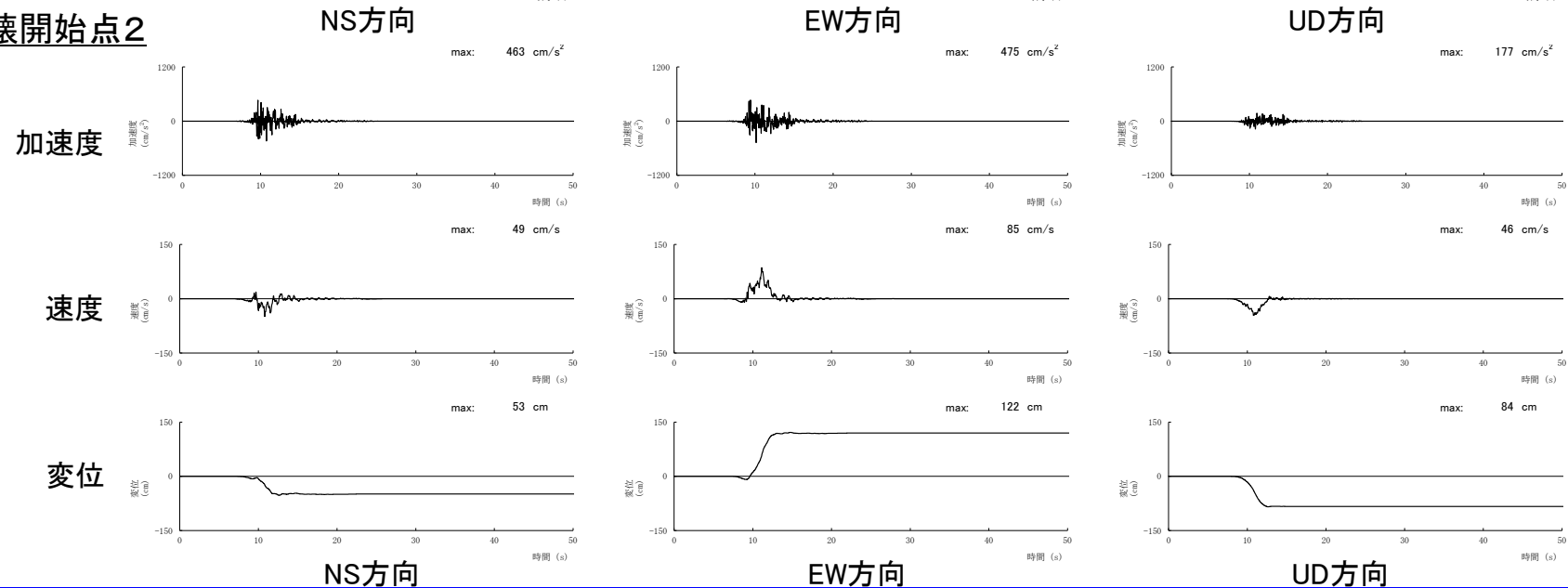
擬似速度応答スペクトル

地震動評価結果(ケース3:すべり角の不確かさを考慮)(2/4)

破壊開始点1

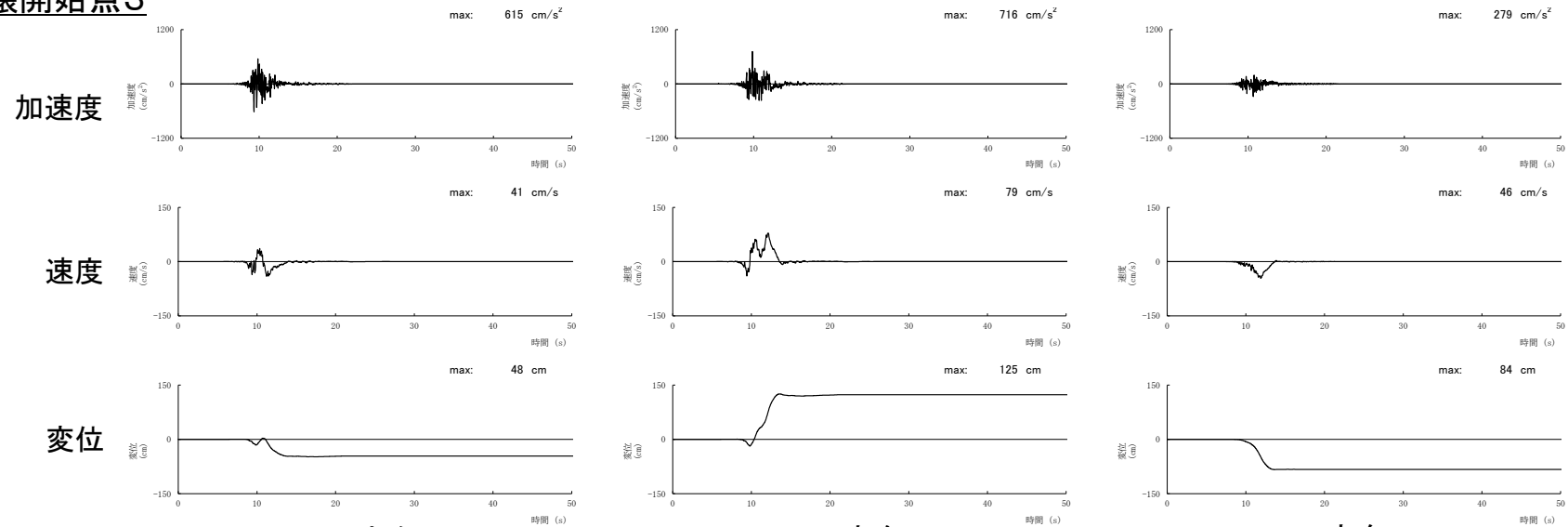


破壊開始点2

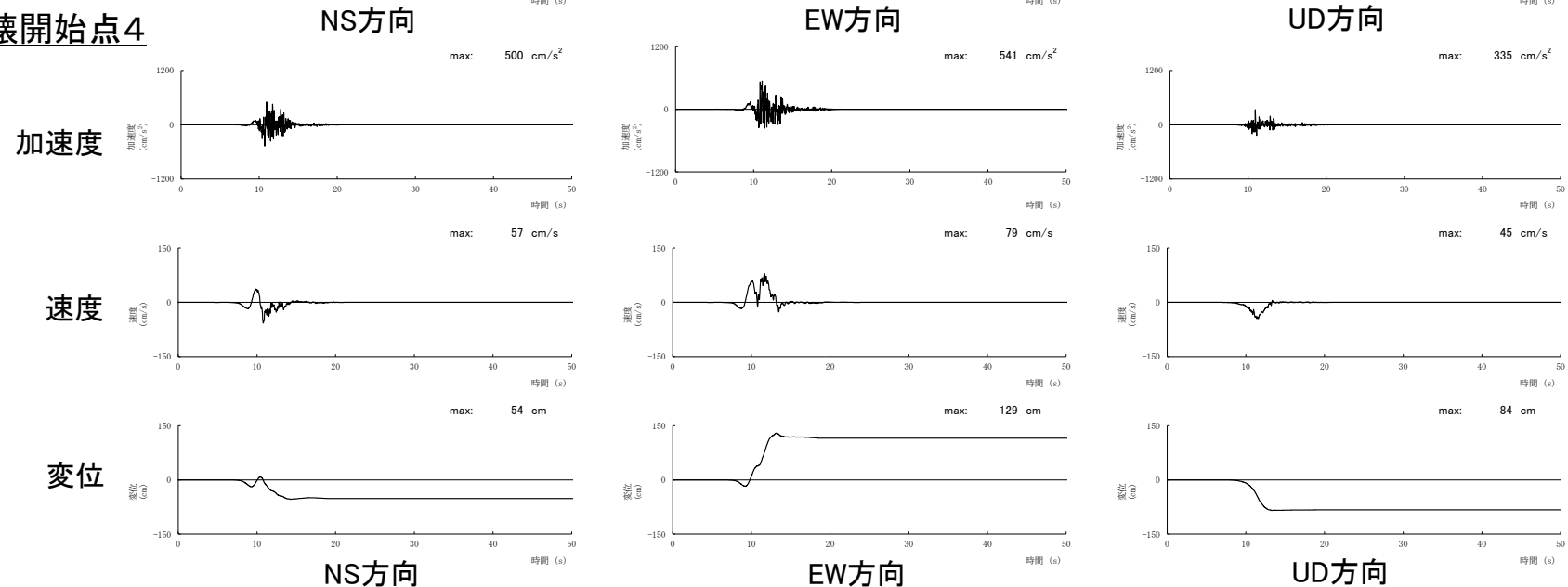


地震動評価結果(ケース3:すべり角の不確かさを考慮)(3/4)

破壊開始点3

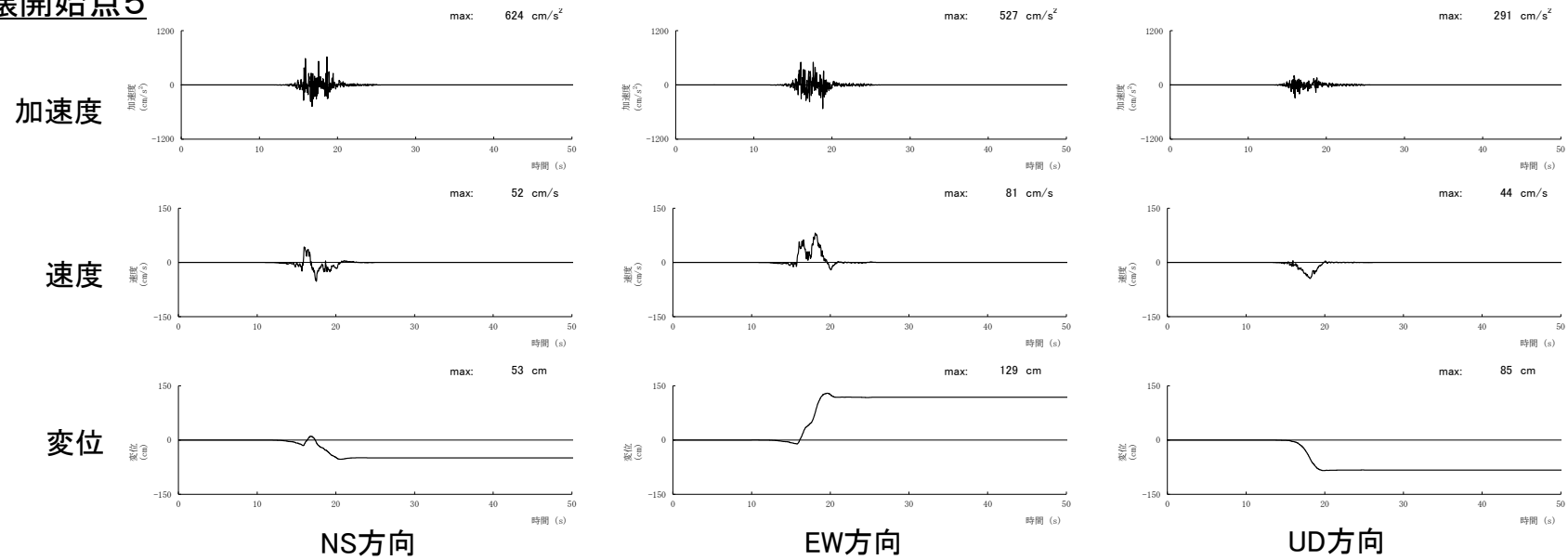


破壊開始点4



地震動評価結果(ケース3:すべり角の不確かさを考慮)(4/4)

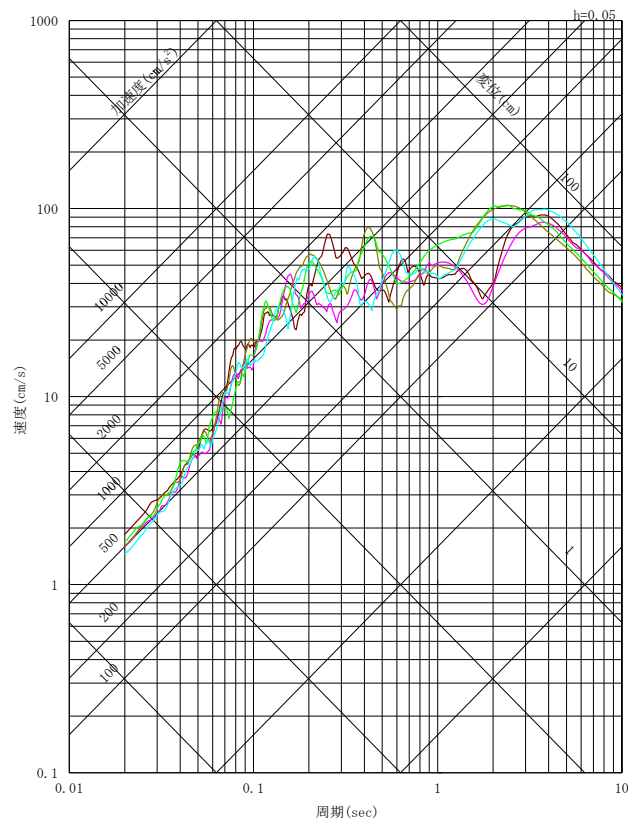
破壊開始点5



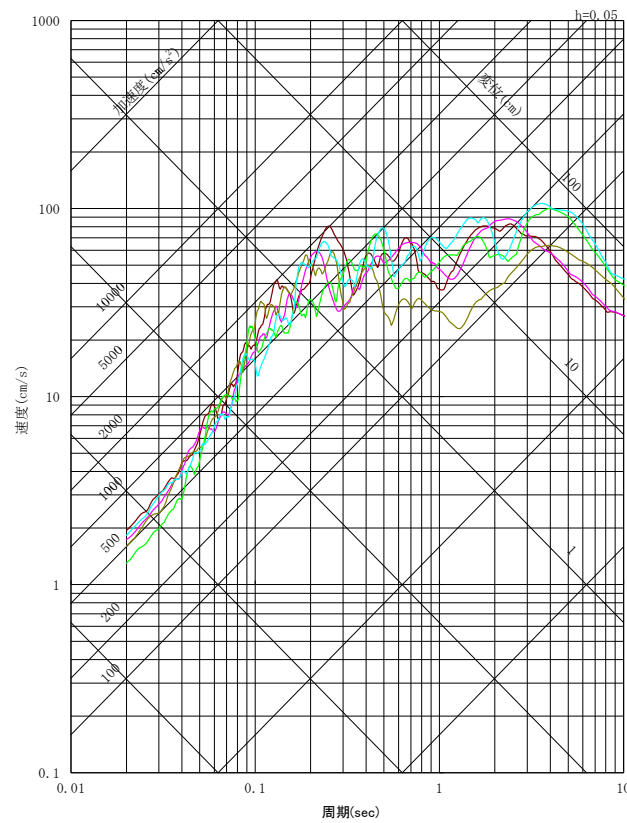
地震動評価結果(ケース4:浅部すべり量の不確かさを考慮)(1/4)

○断層モデルを用いた手法による地震動評価結果

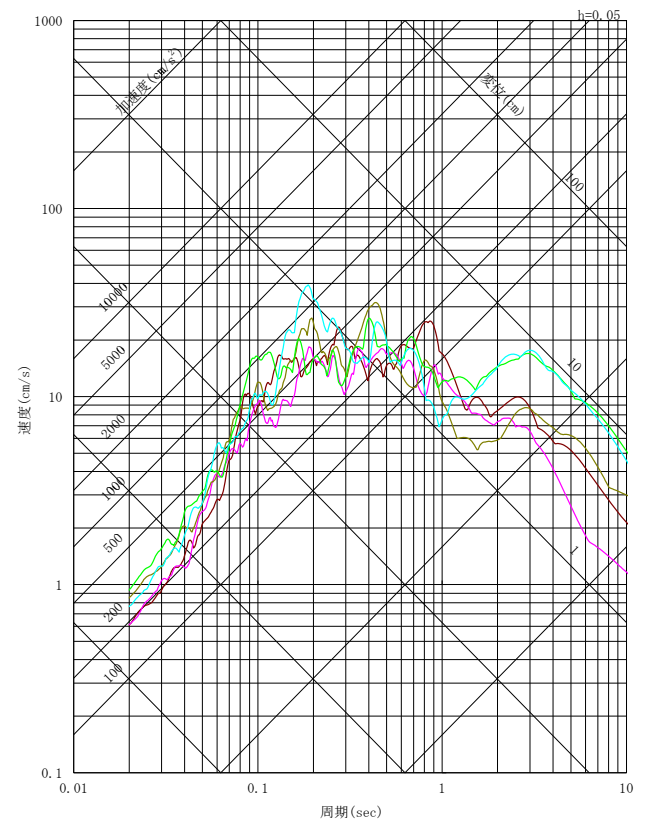
— 破壊開始点1 — 破壊開始点2 — 破壊開始点3 — 破壊開始点4 — 破壊開始点5



NS方向



EW方向

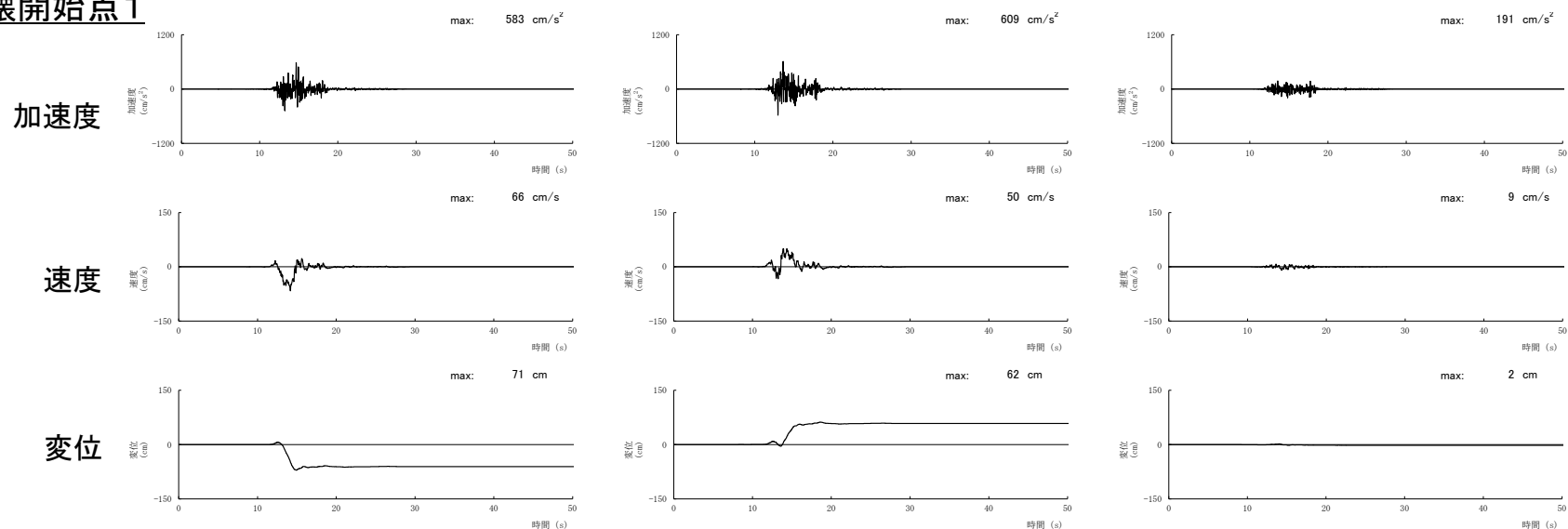


UD方向

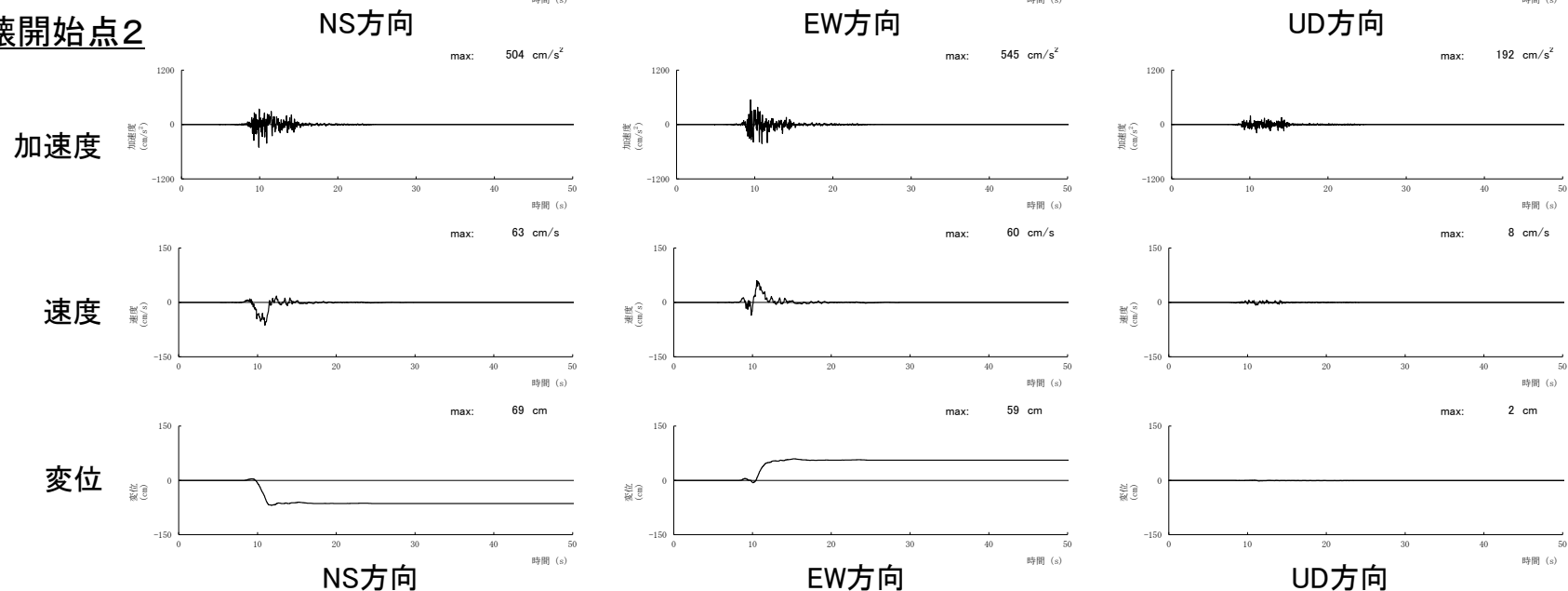
擬似速度応答スペクトル

地震動評価結果(ケース4:浅部すべり量の不確かさを考慮)(2/4)

破壊開始点1

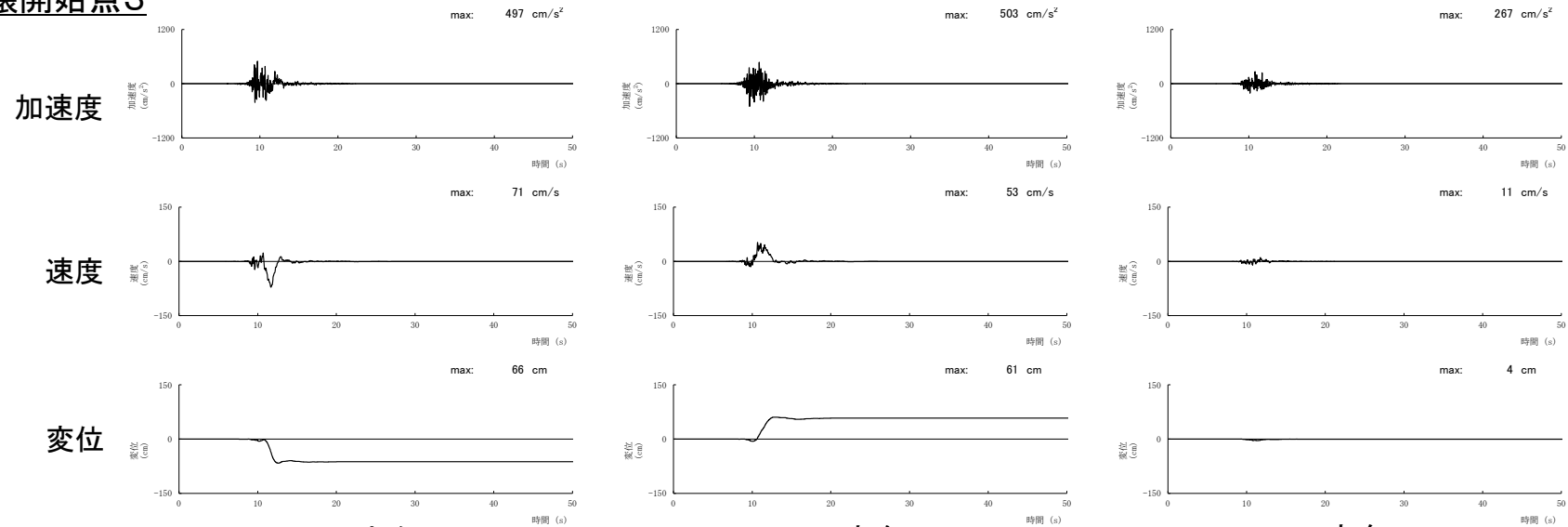


破壊開始点2

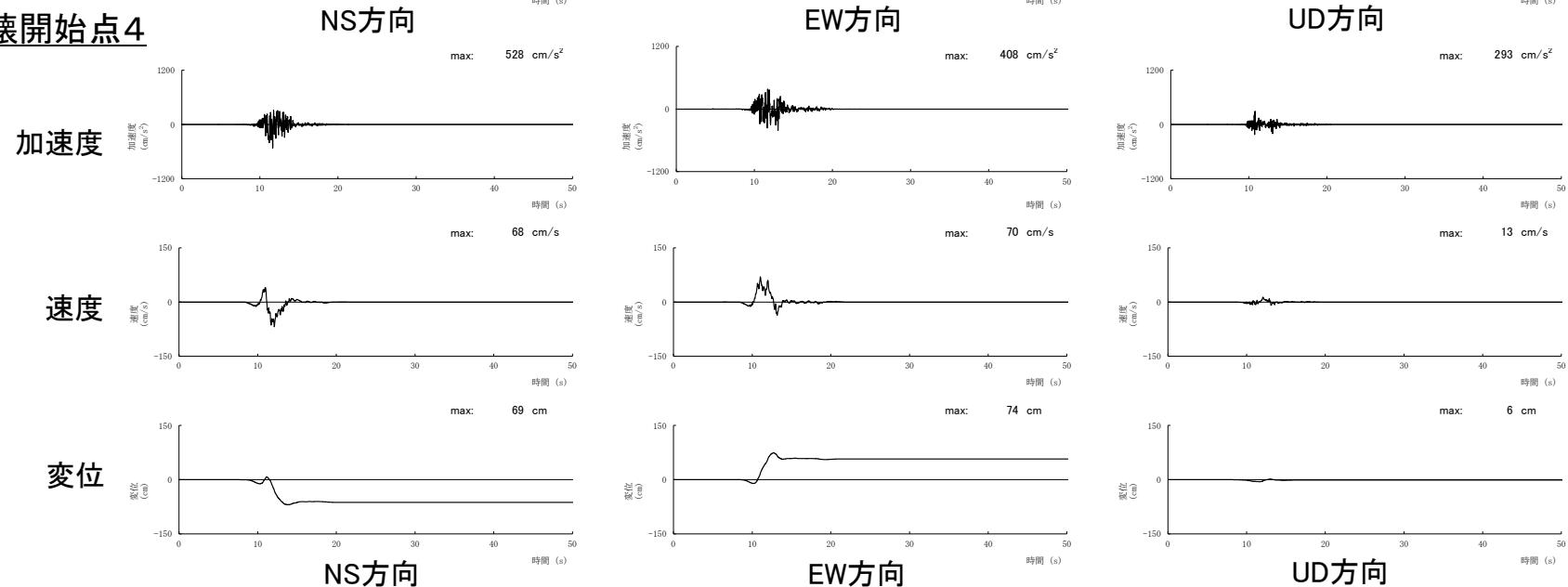


地震動評価結果(ケース4:浅部すべり量の不確かさを考慮)(3/4)

破壊開始点3

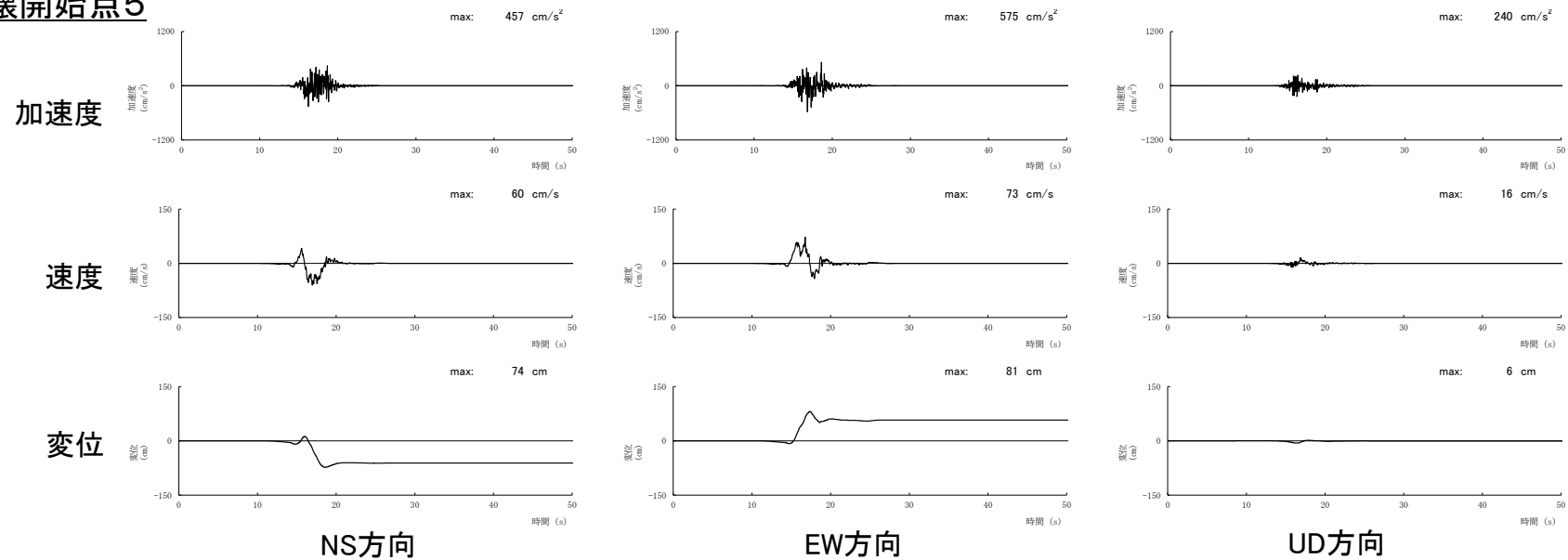


破壊開始点4



地震動評価結果(ケース4:浅部すべり量の不確かさを考慮)(4/4)

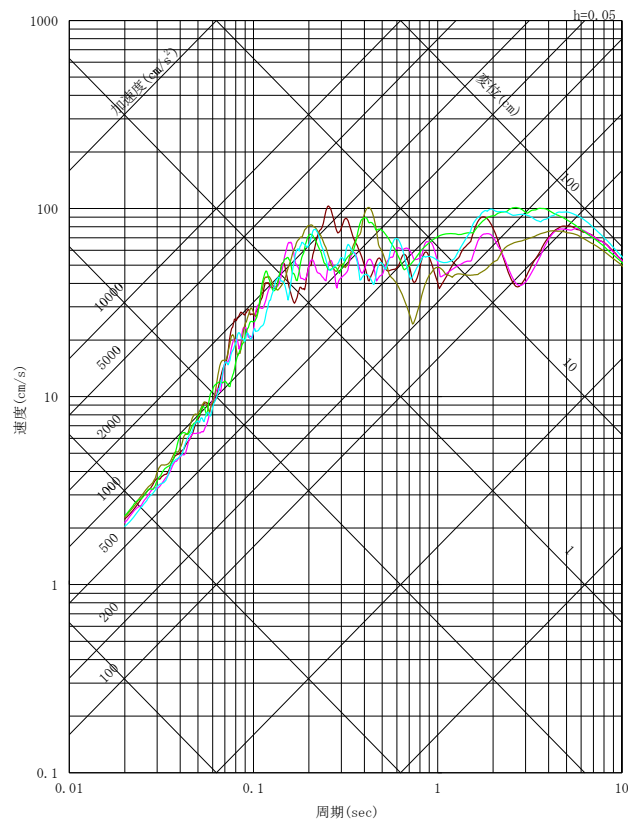
破壊開始点5



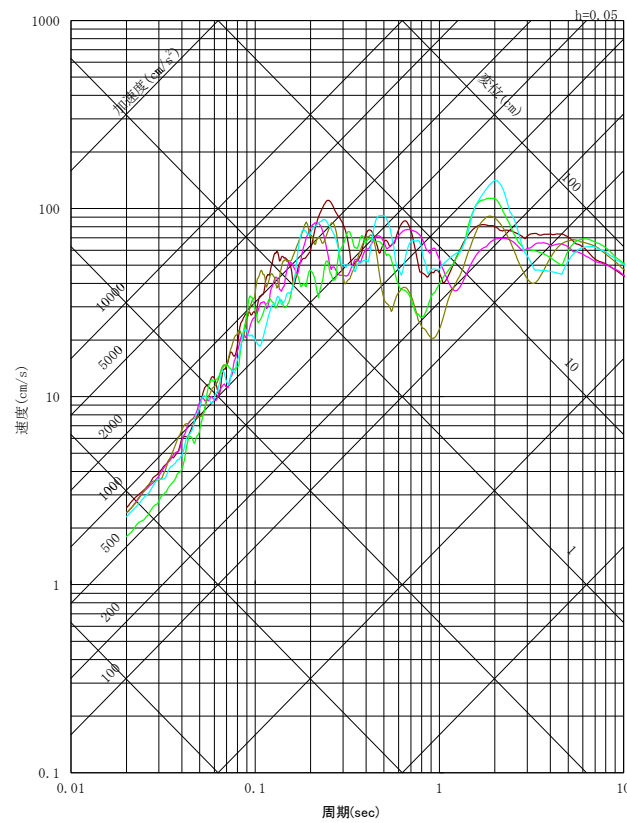
地震動評価結果(ケース5:短周期レベルの不確かさを考慮)(1/4)

○断層モデルを用いた手法による地震動評価結果

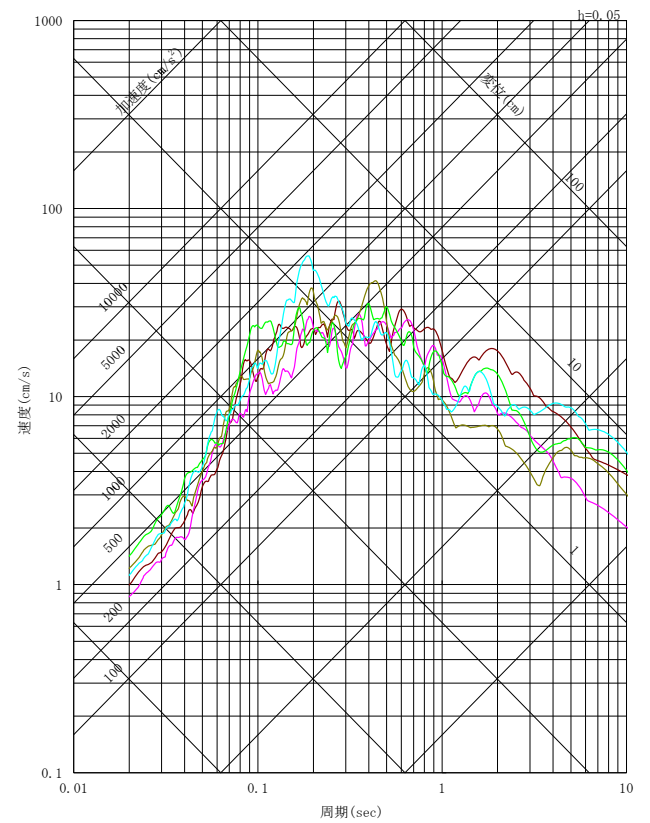
— 破壊開始点1 — 破壊開始点2 — 破壊開始点3 — 破壊開始点4 — 破壊開始点5



NS方向



EW方向

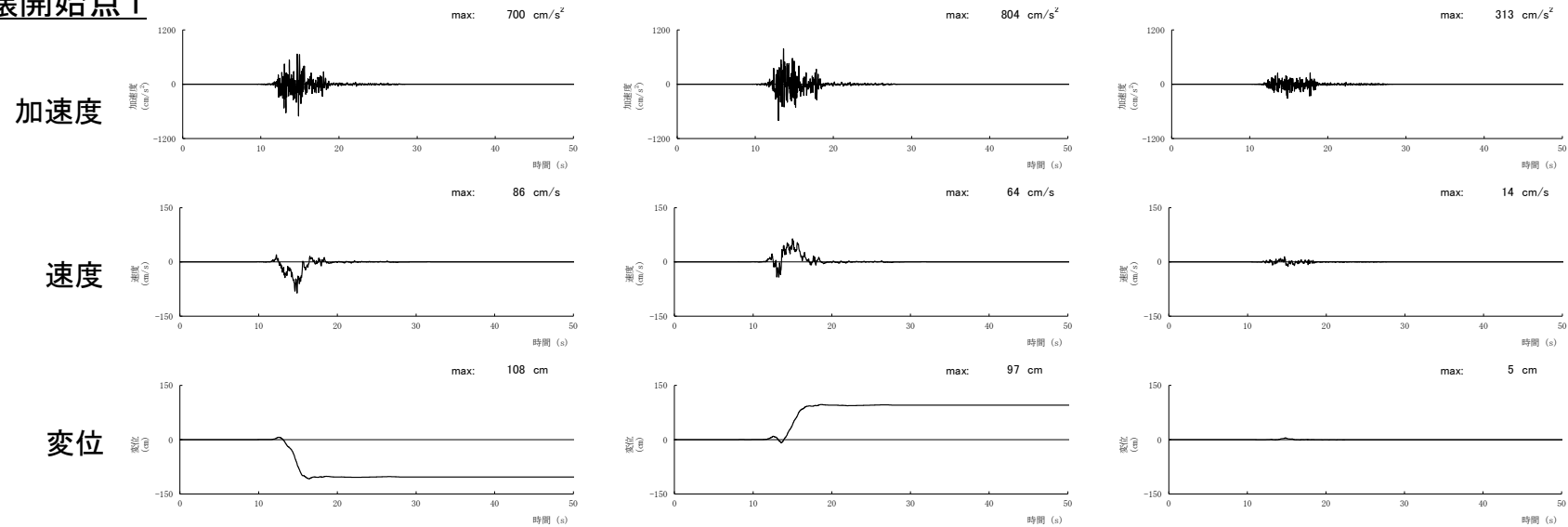


UD方向

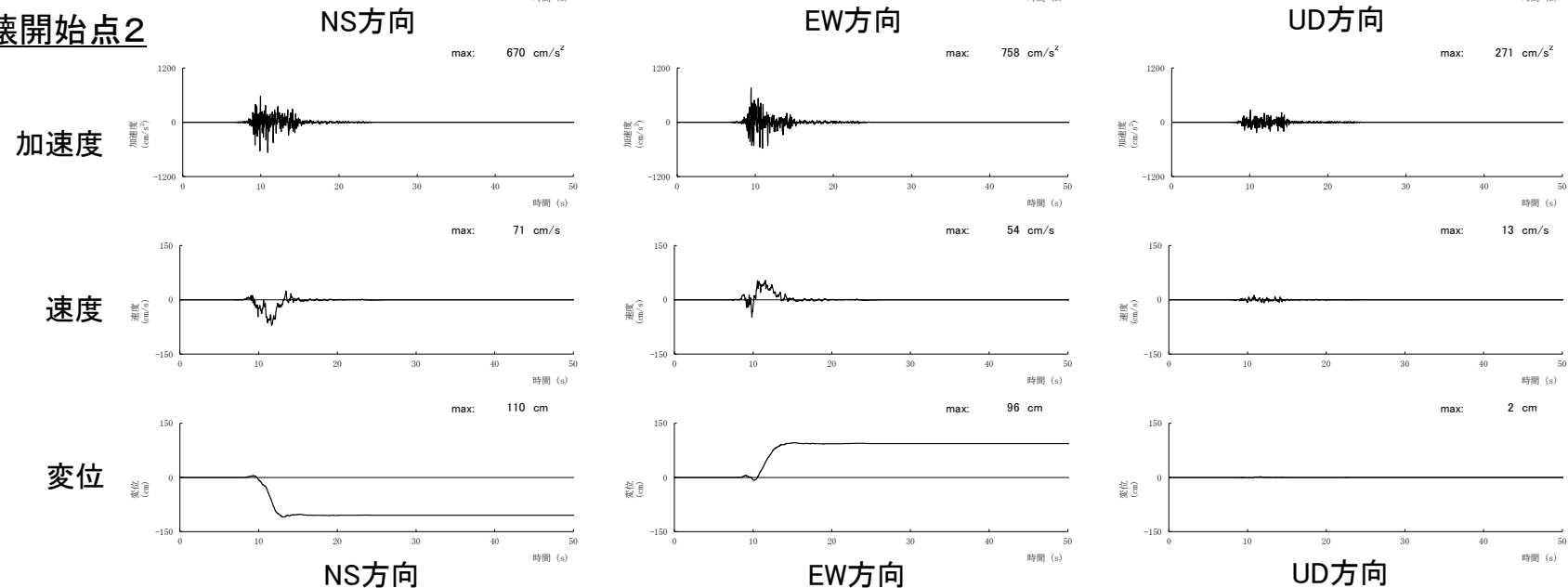
擬似速度応答スペクトル

地震動評価結果(ケース5:短周期レベルの不確かさを考慮)(2/4)

破壊開始点1

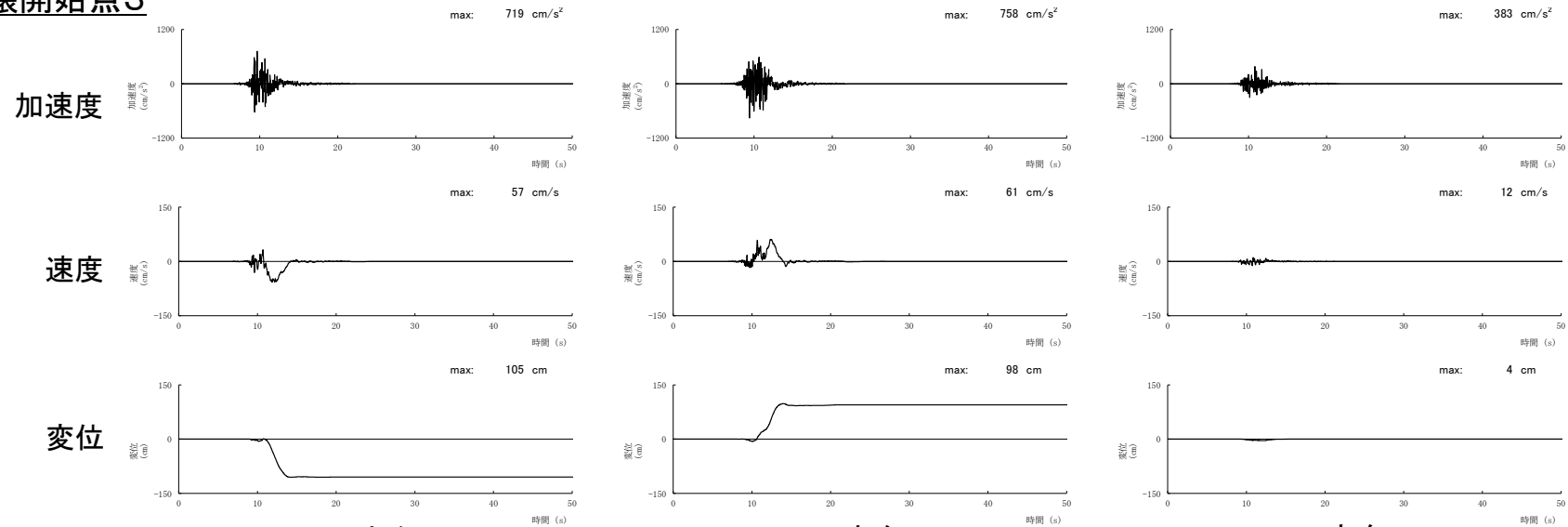


破壊開始点2

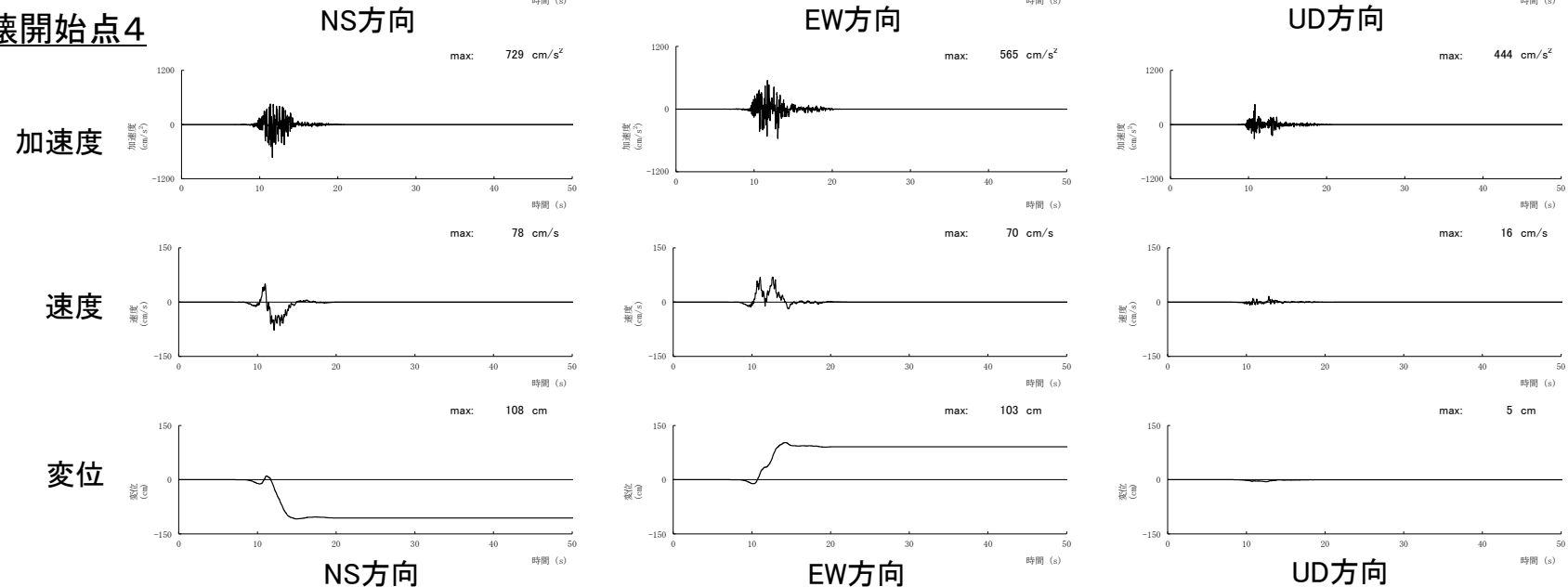


地震動評価結果(ケース5:短周期レベルの不確かさを考慮)(3/4)

破壊開始点3

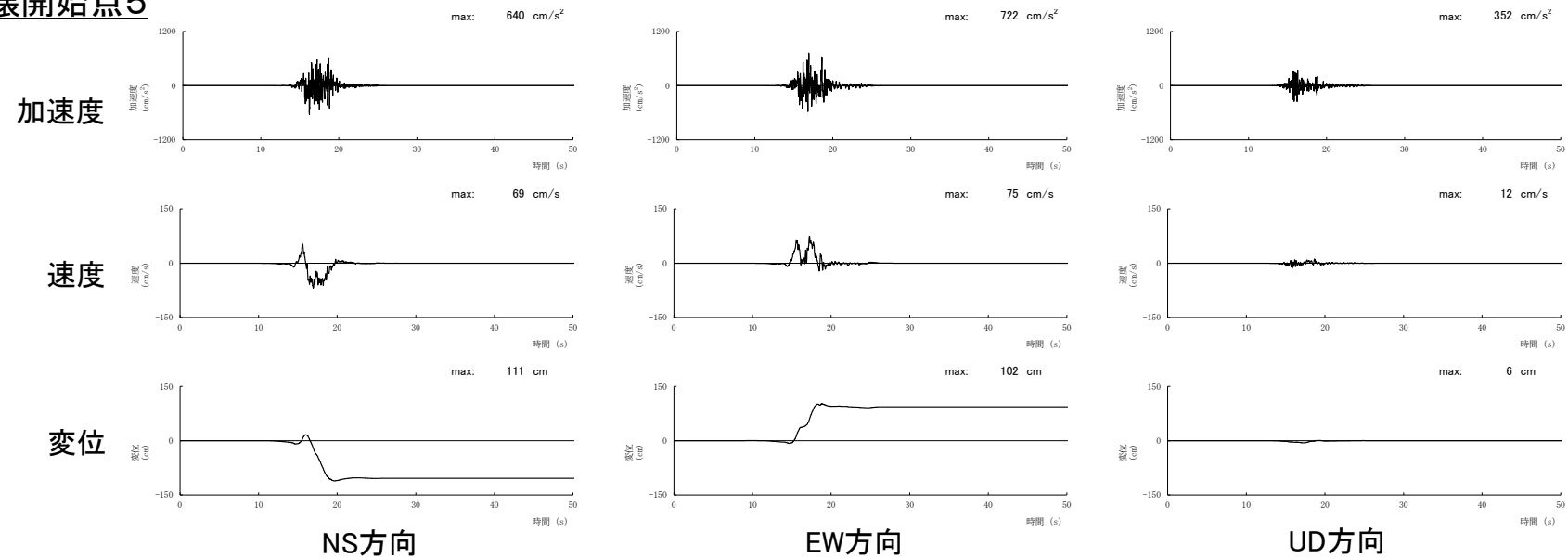


破壊開始点4



地震動評価結果(ケース5:短周期レベルの不確かさを考慮)(4/4)

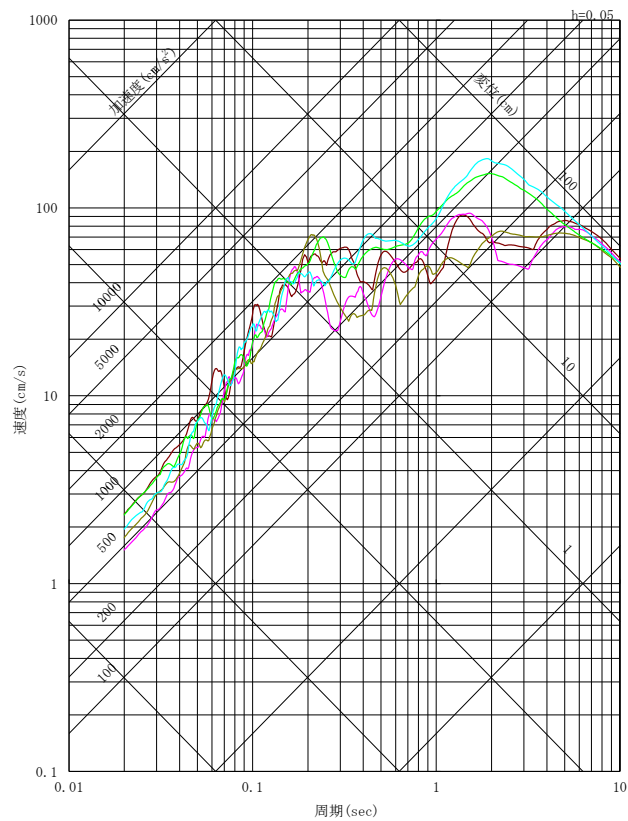
破壊開始点5



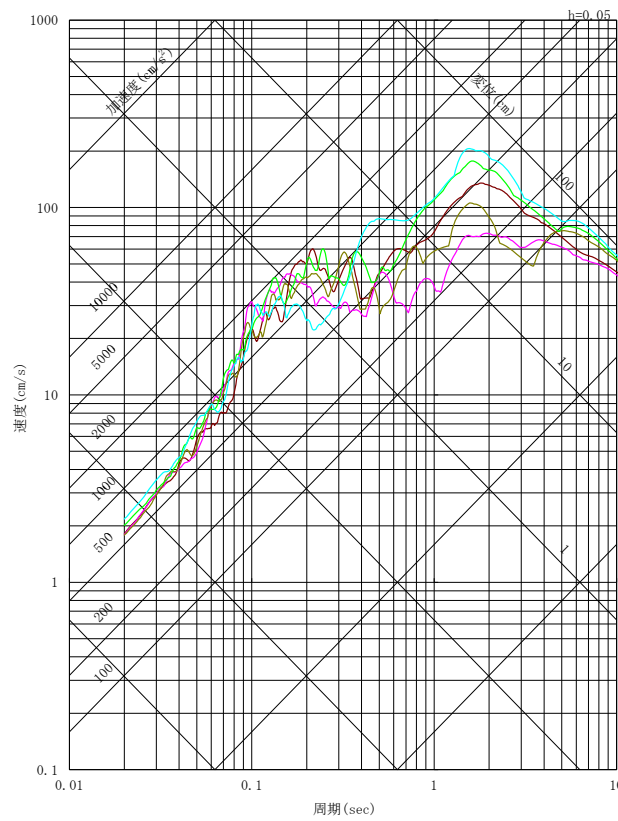
地震動評価結果(ケース6:破壊伝播速度の不確かさを考慮)(1/4)

○断層モデルを用いた手法による地震動評価結果

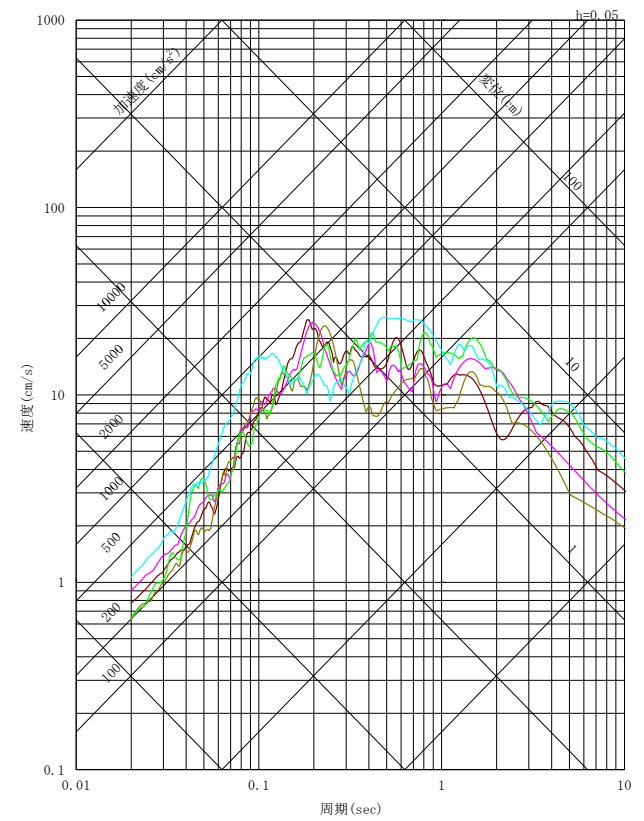
— 破壊開始点1 — 破壊開始点2 — 破壊開始点3 — 破壊開始点4 — 破壊開始点5



NS方向



EW方向

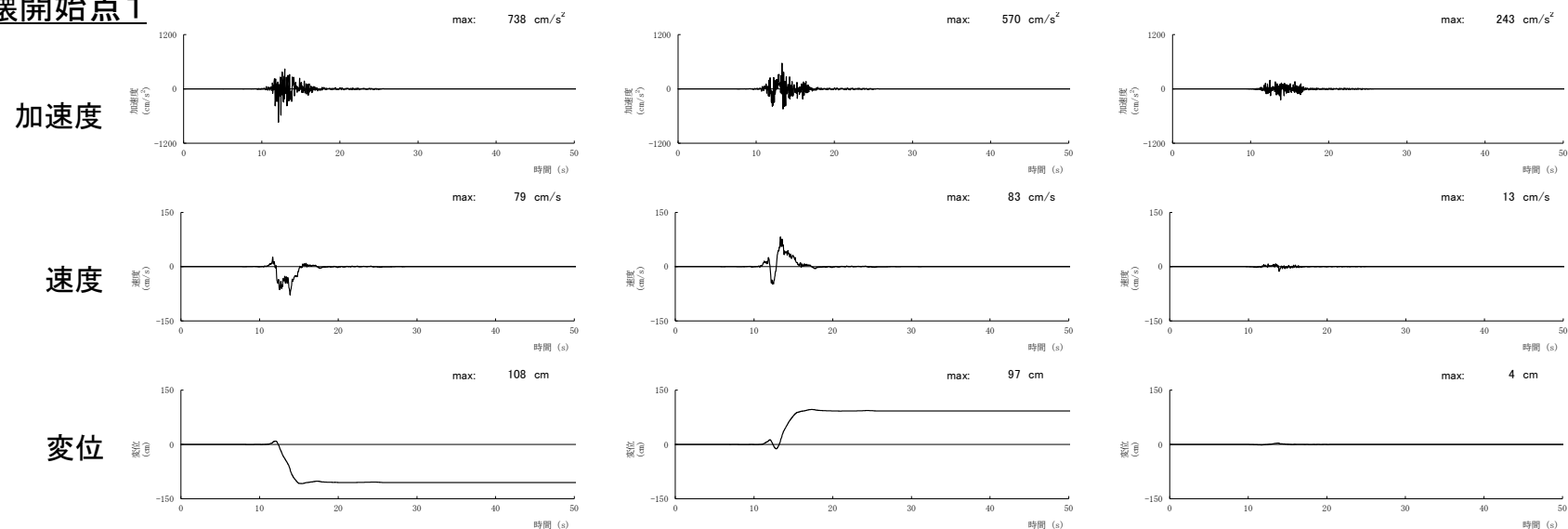


UD方向

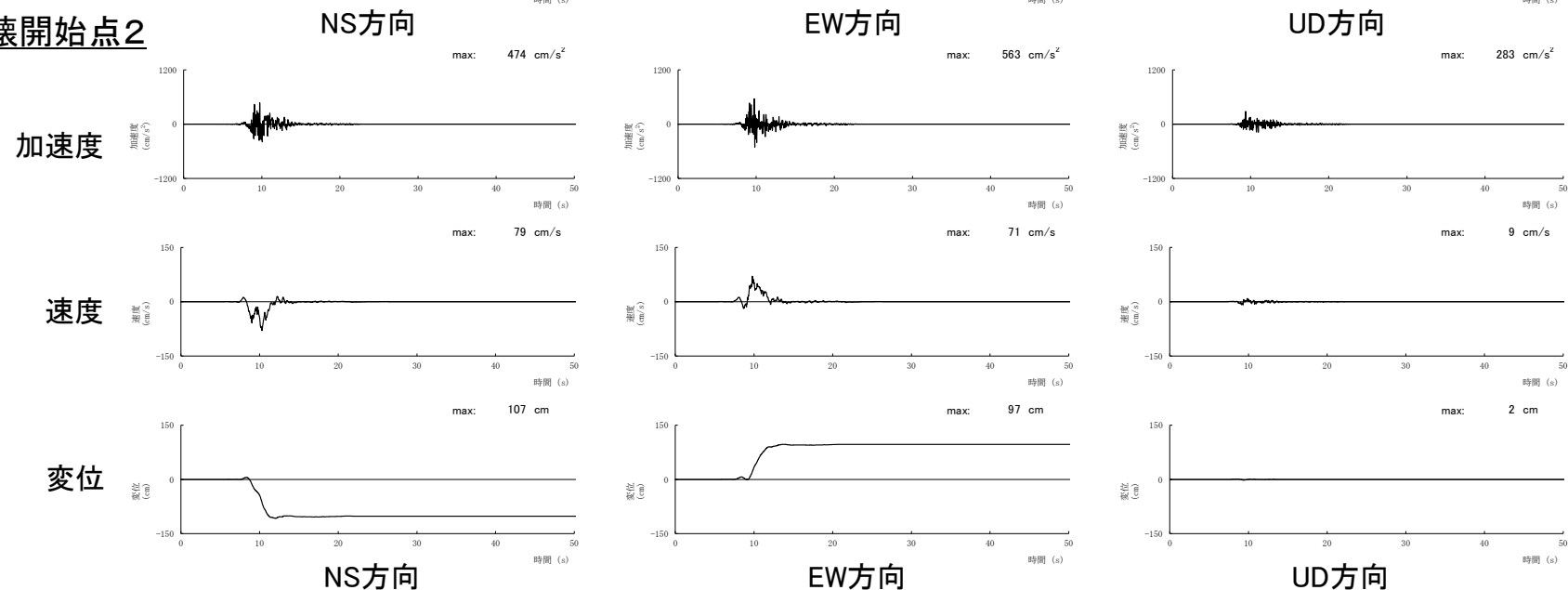
擬似速度応答スペクトル

地震動評価結果(ケース6:破壊伝播速度の不確かさを考慮)(2/4)

破壊開始点1

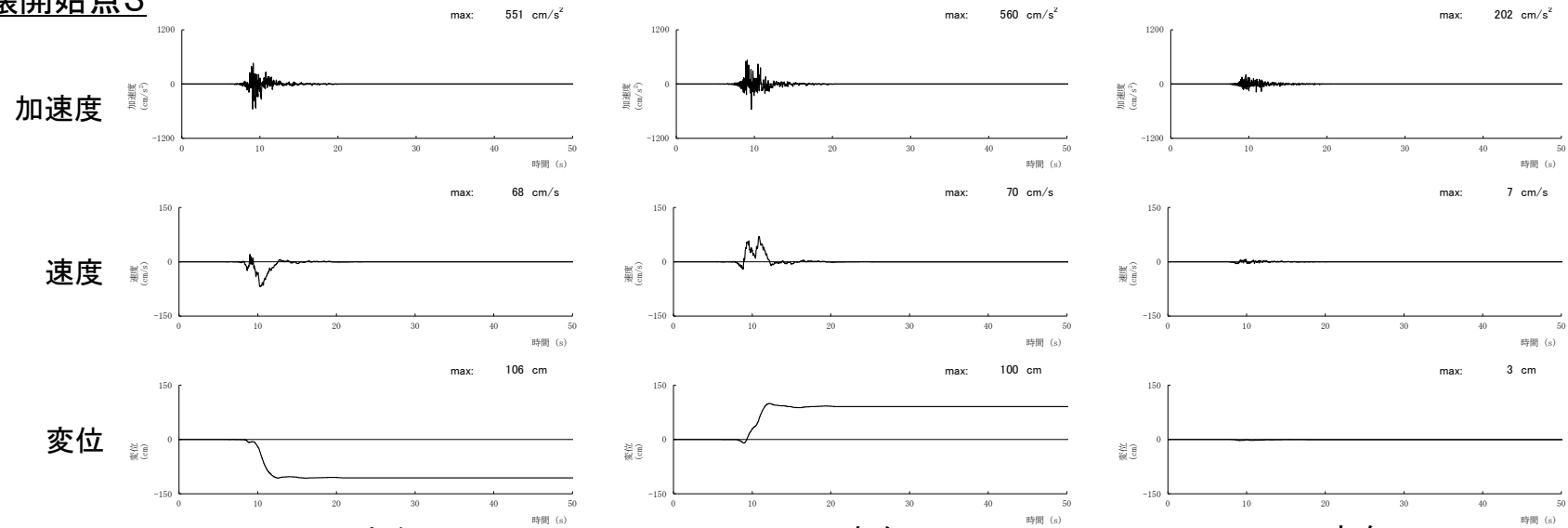


破壊開始点2

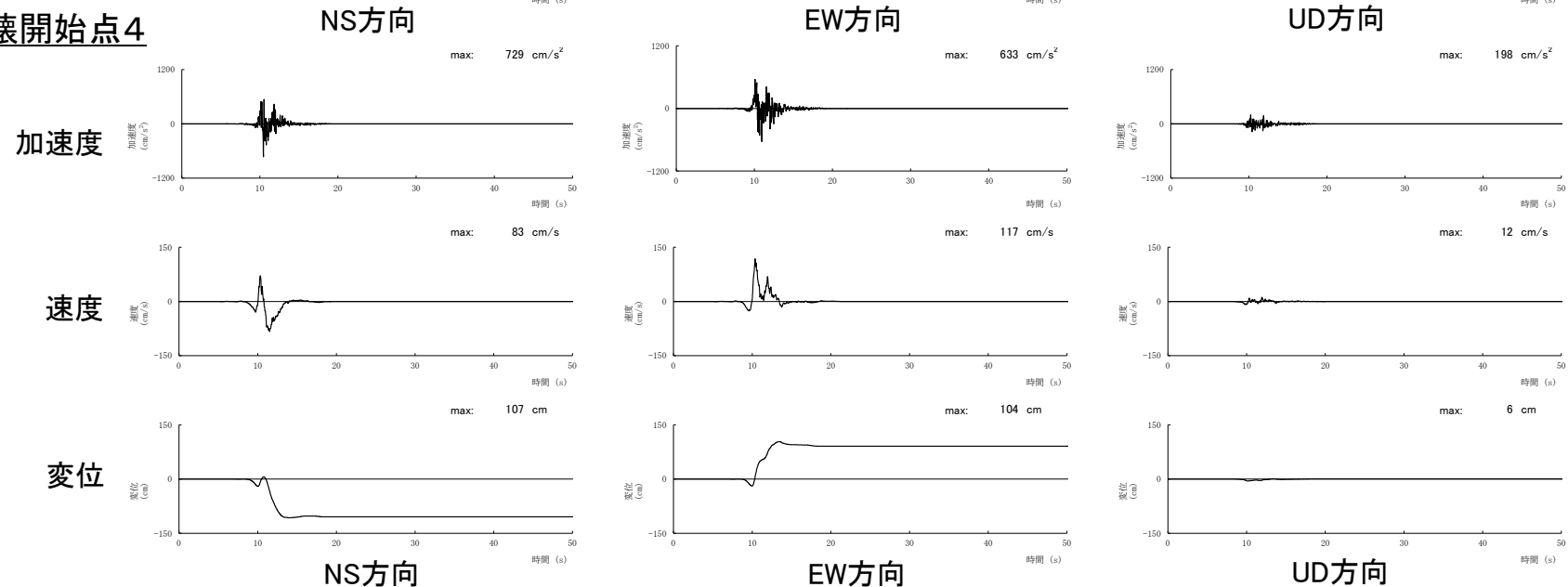


地震動評価結果(ケース6:破壊伝播速度の不確かさを考慮)(3/4)

破壊開始点3

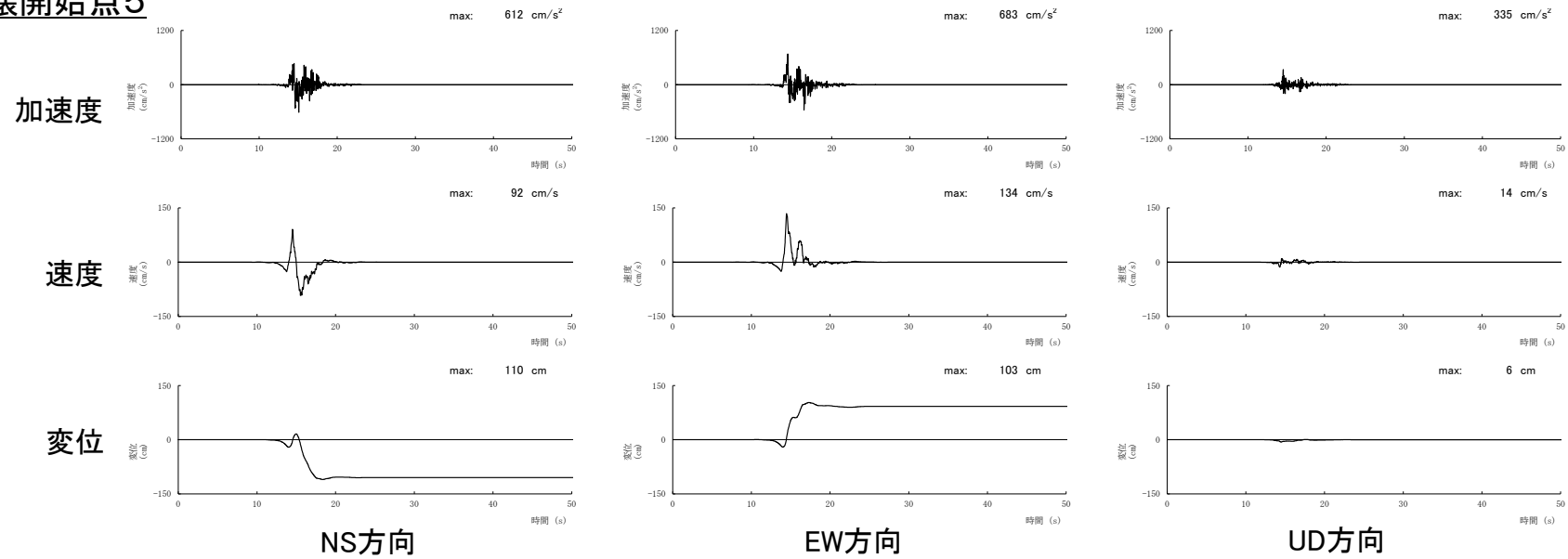


破壊開始点4



地震動評価結果(ケース6:破壊伝播速度の不確かさを考慮)(4/4)

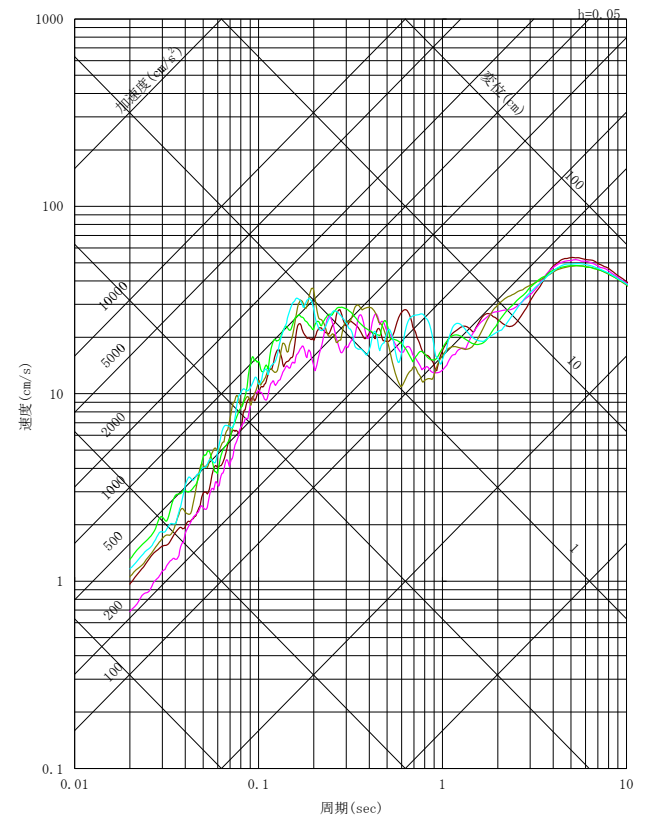
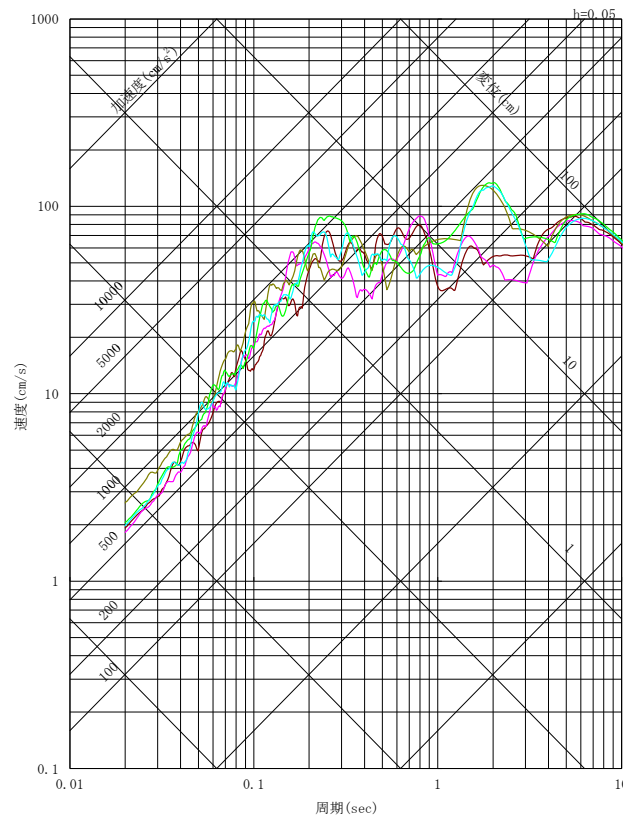
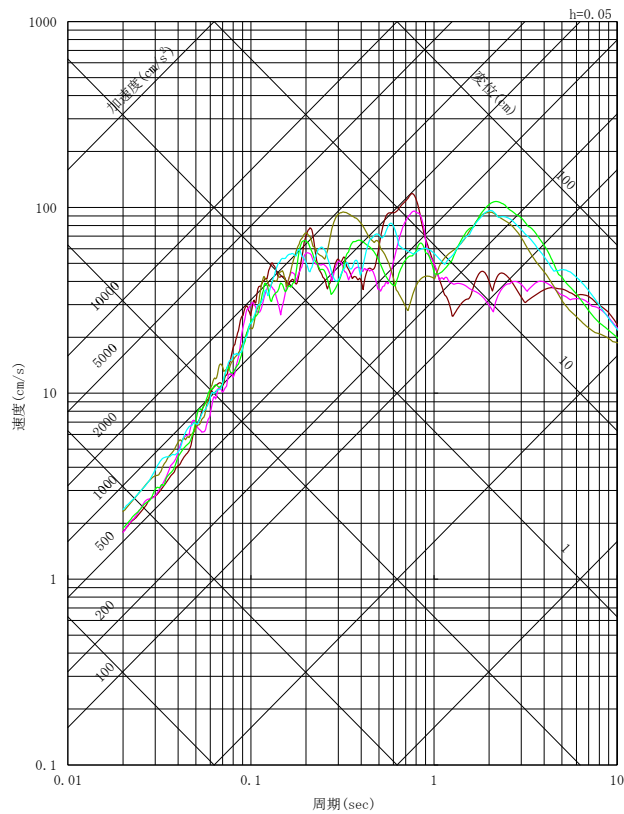
破壊開始点5



地震動評価結果(ケース7:すべり角と短周期レベルの不確かさを考慮)(1/4)

○断層モデルを用いた手法による地震動評価結果

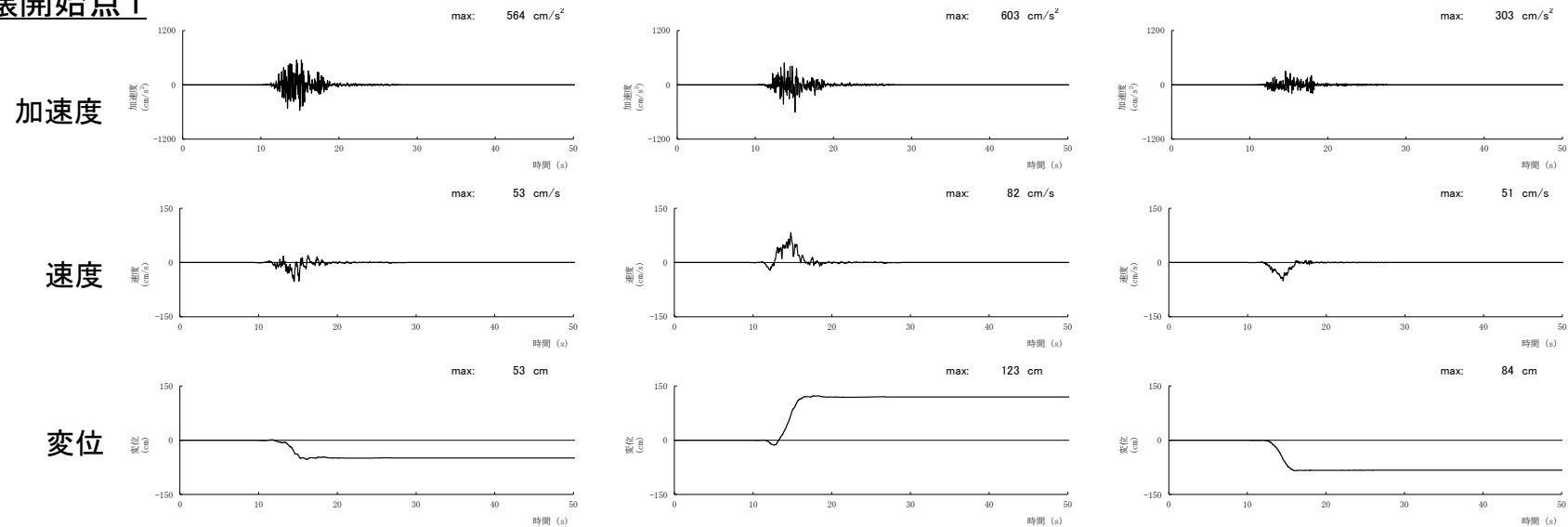
— 破壊開始点1 — 破壊開始点2 — 破壊開始点3 — 破壊開始点4 — 破壊開始点5



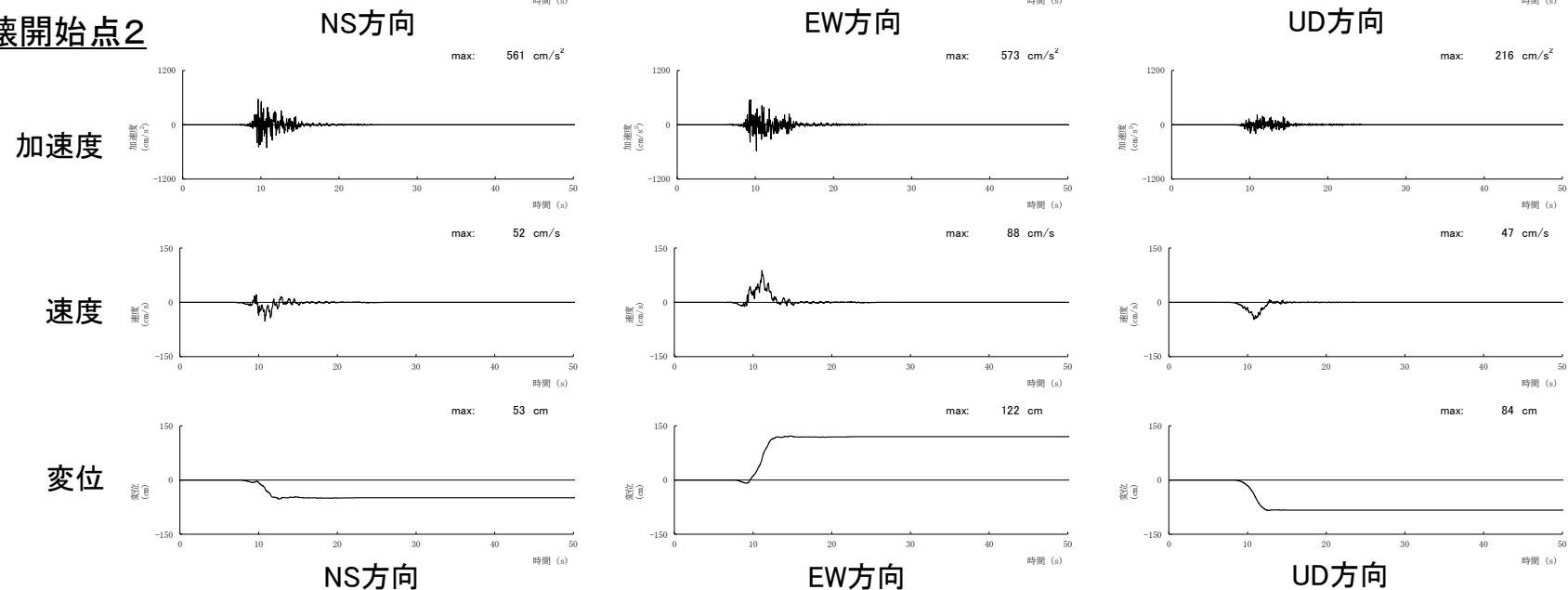
擬似速度応答スペクトル

地震動評価結果(ケース7:すべり角と短周期レベルの不確かさを考慮)(2/4)

破壊開始点1

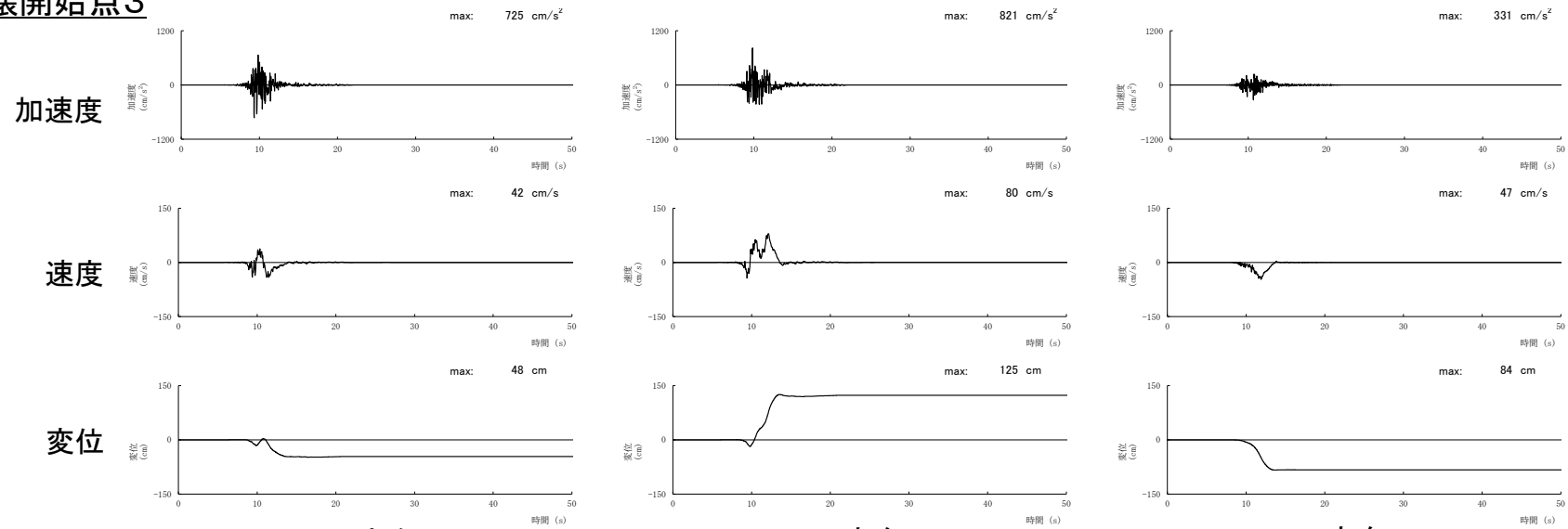


破壊開始点2

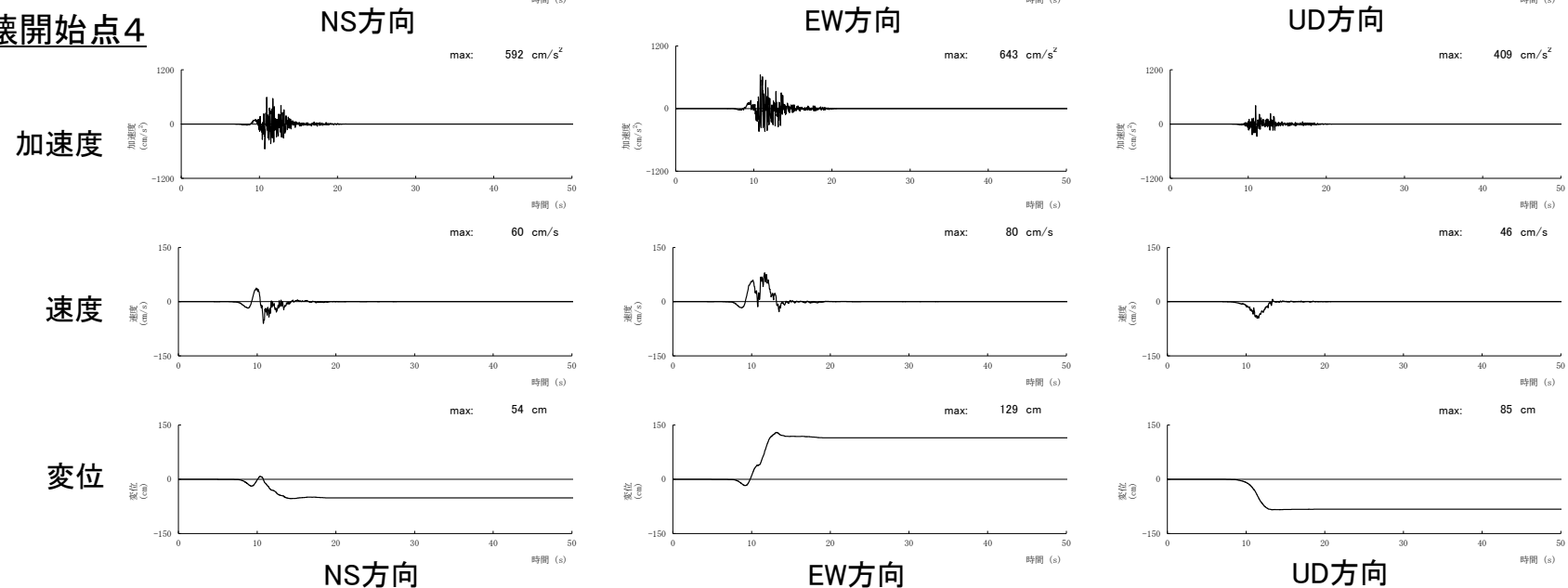


地震動評価結果(ケース7:すべり角と短周期レベルの不確かさを考慮)(3/4)

破壊開始点3

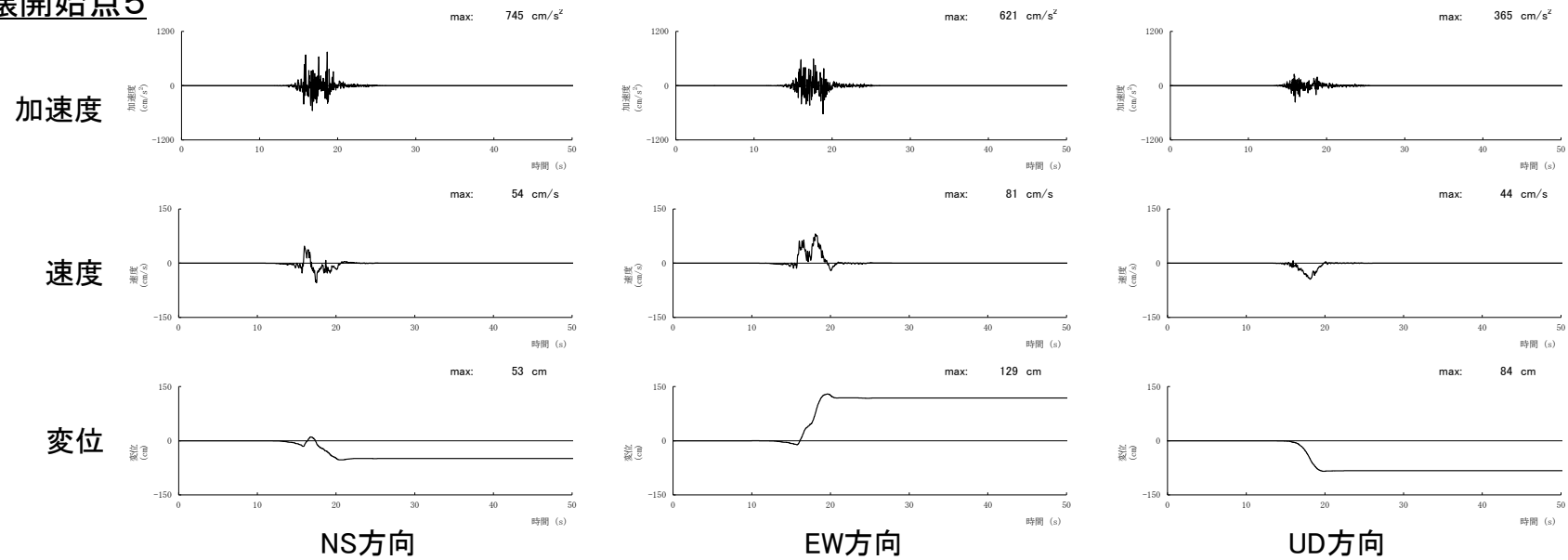


破壊開始点4



地震動評価結果(ケース7:すべり角と短周期レベルの不確かさを考慮)(4/4)

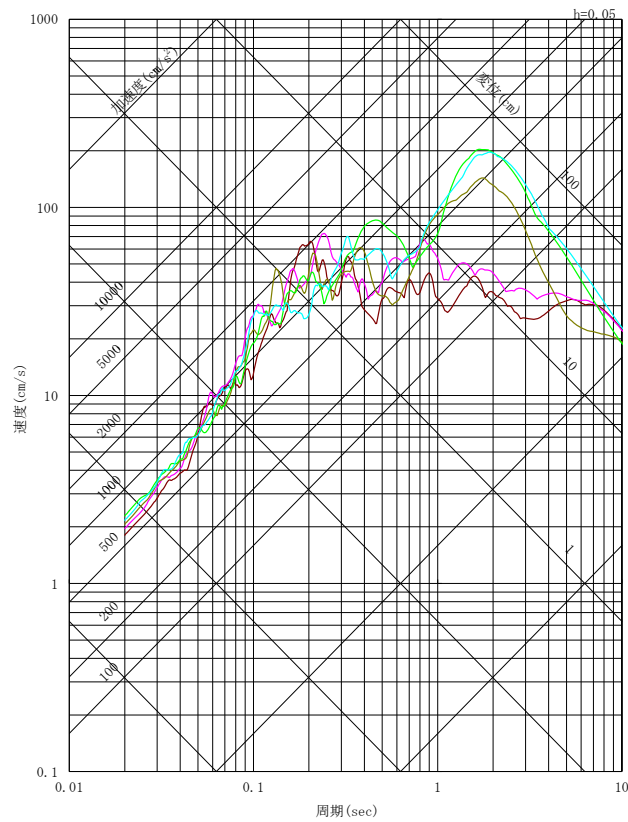
破壊開始点5



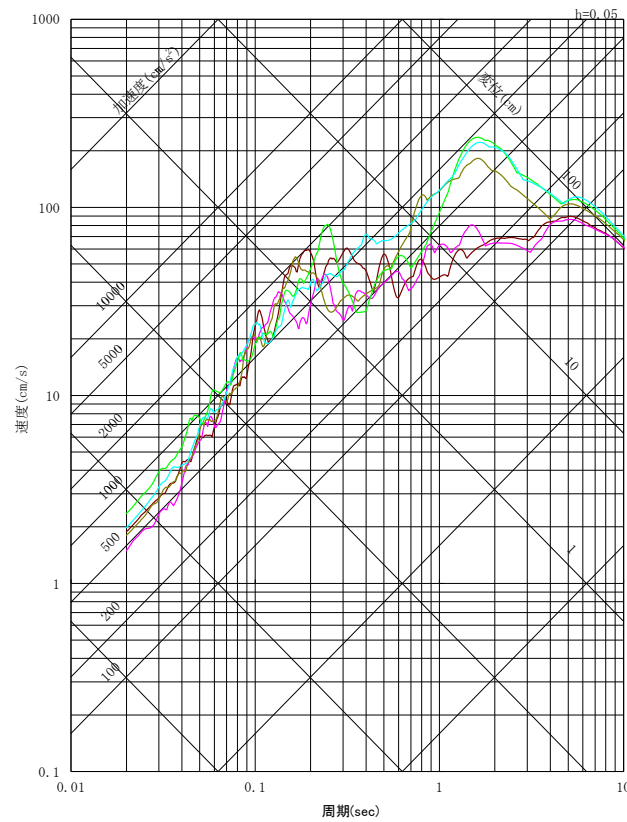
地震動評価結果(ケース8:すべり角と破壊伝播速度の不確かさを考慮)(1/4)

○断層モデルを用いた手法による地震動評価結果

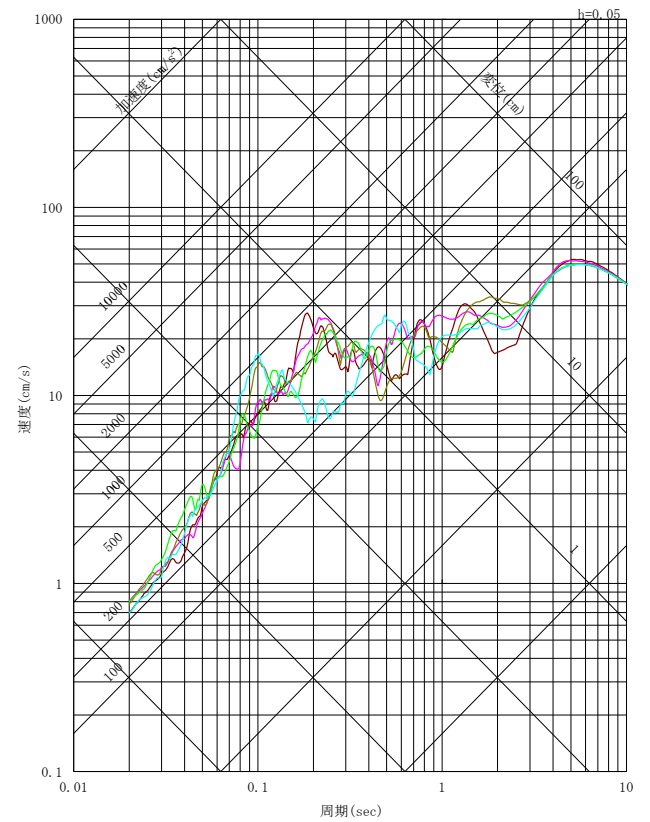
— 破壊開始点1 — 破壊開始点2 — 破壊開始点3 — 破壊開始点4 — 破壊開始点5



NS方向



EW方向

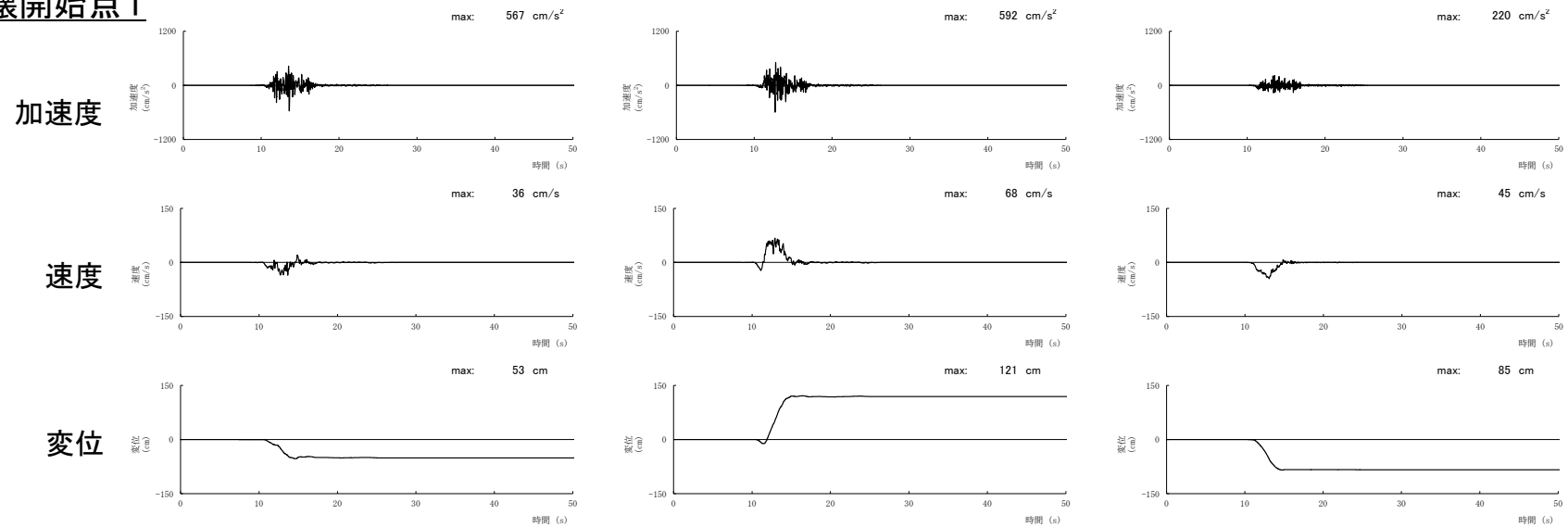


UD方向

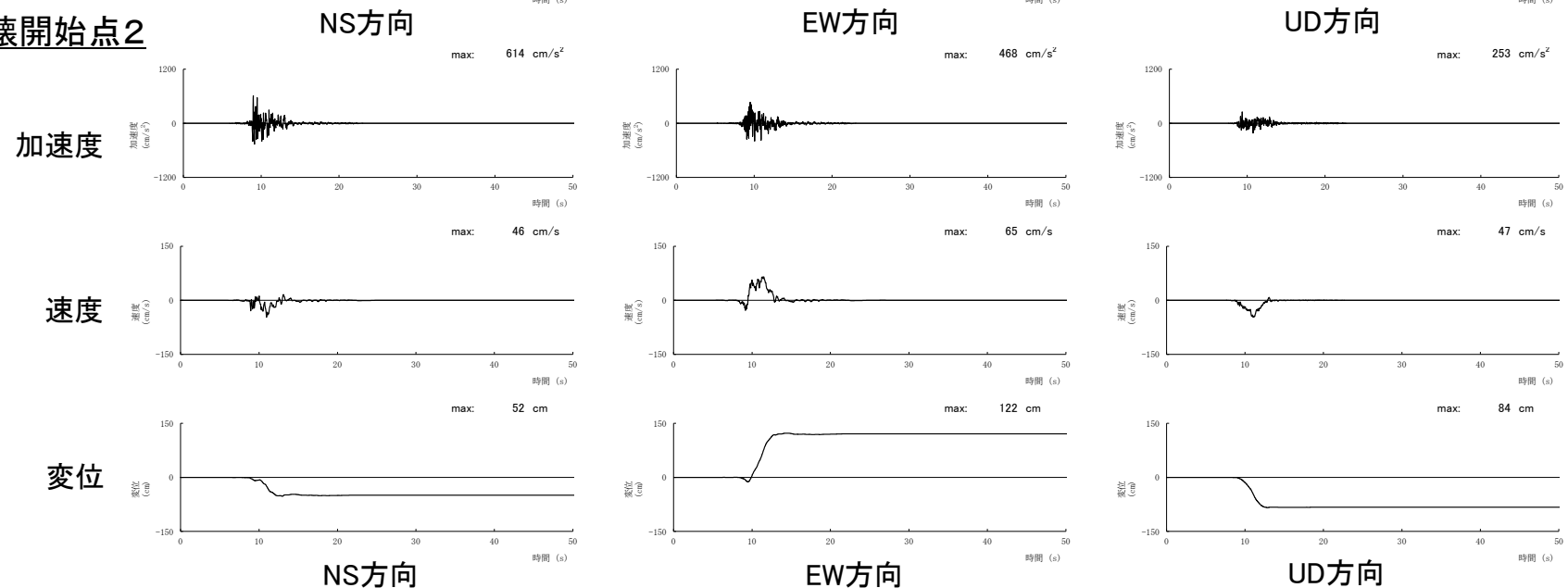
擬似速度応答スペクトル

地震動評価結果(ケース8:すべり角と破壊伝播速度の不確かさを考慮)(2/4)

破壊開始点1

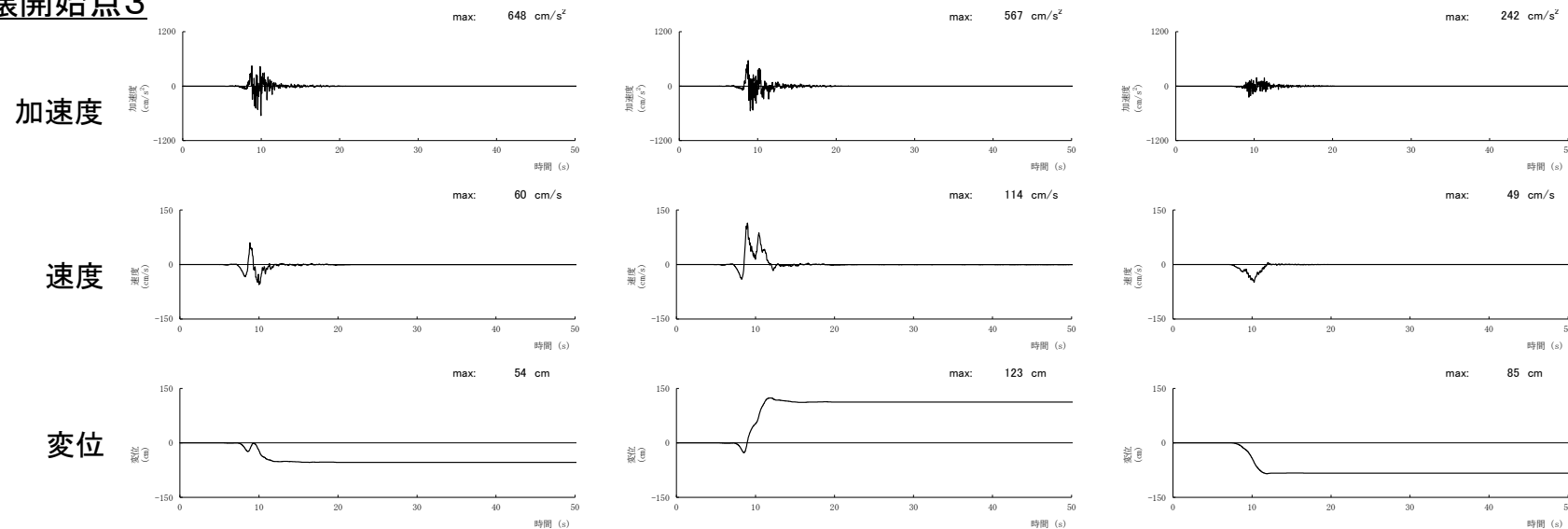


破壊開始点2

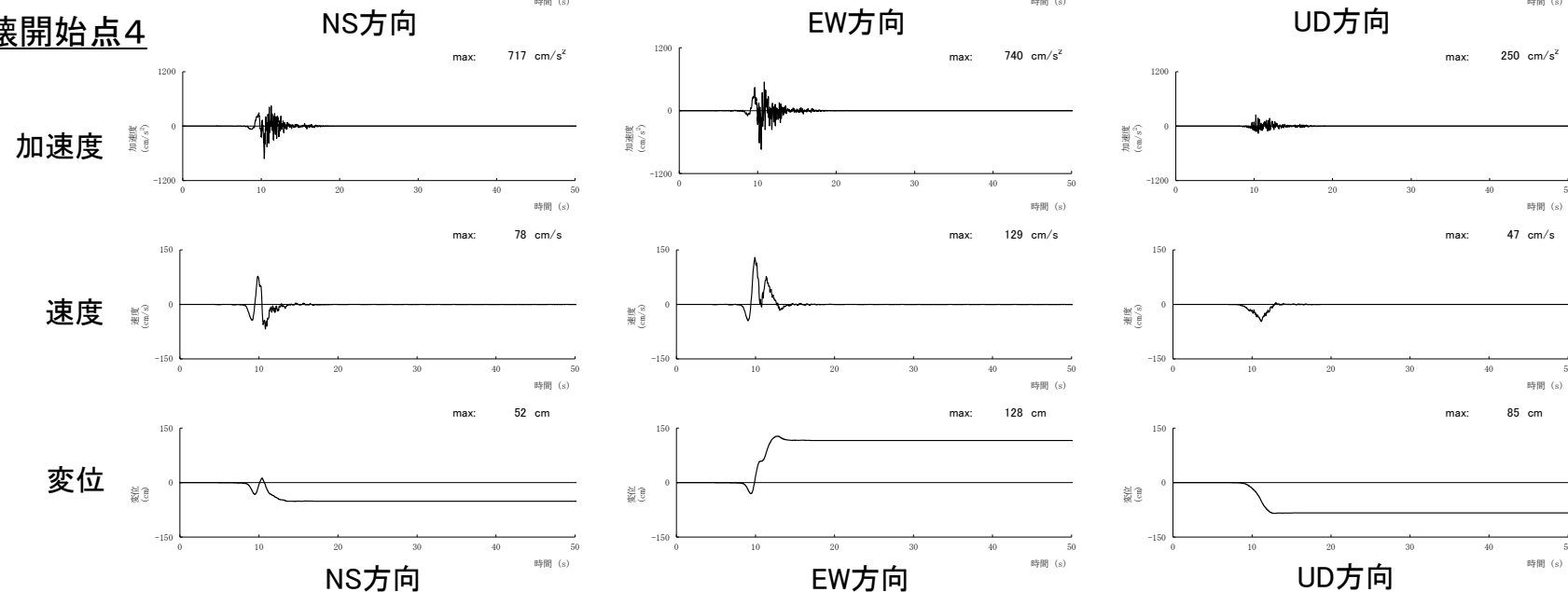


地震動評価結果(ケース8:すべり角と破壊伝播速度の不確かさを考慮)(3/4)

破壊開始点3

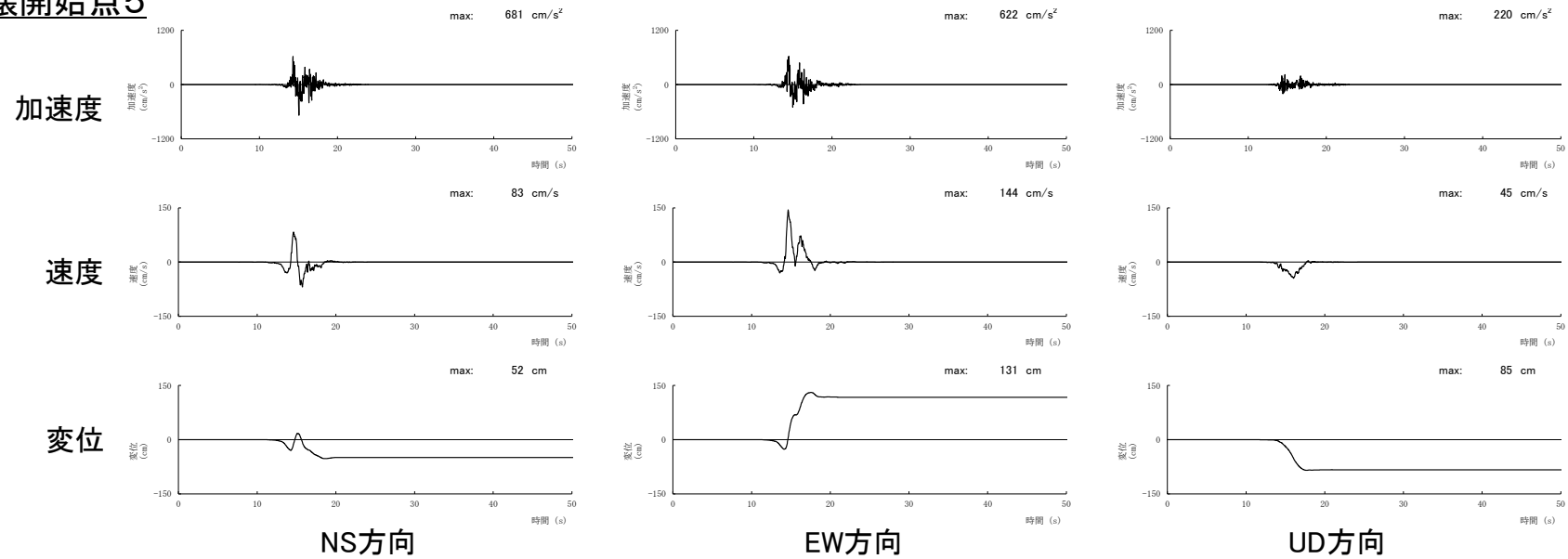


破壊開始点4



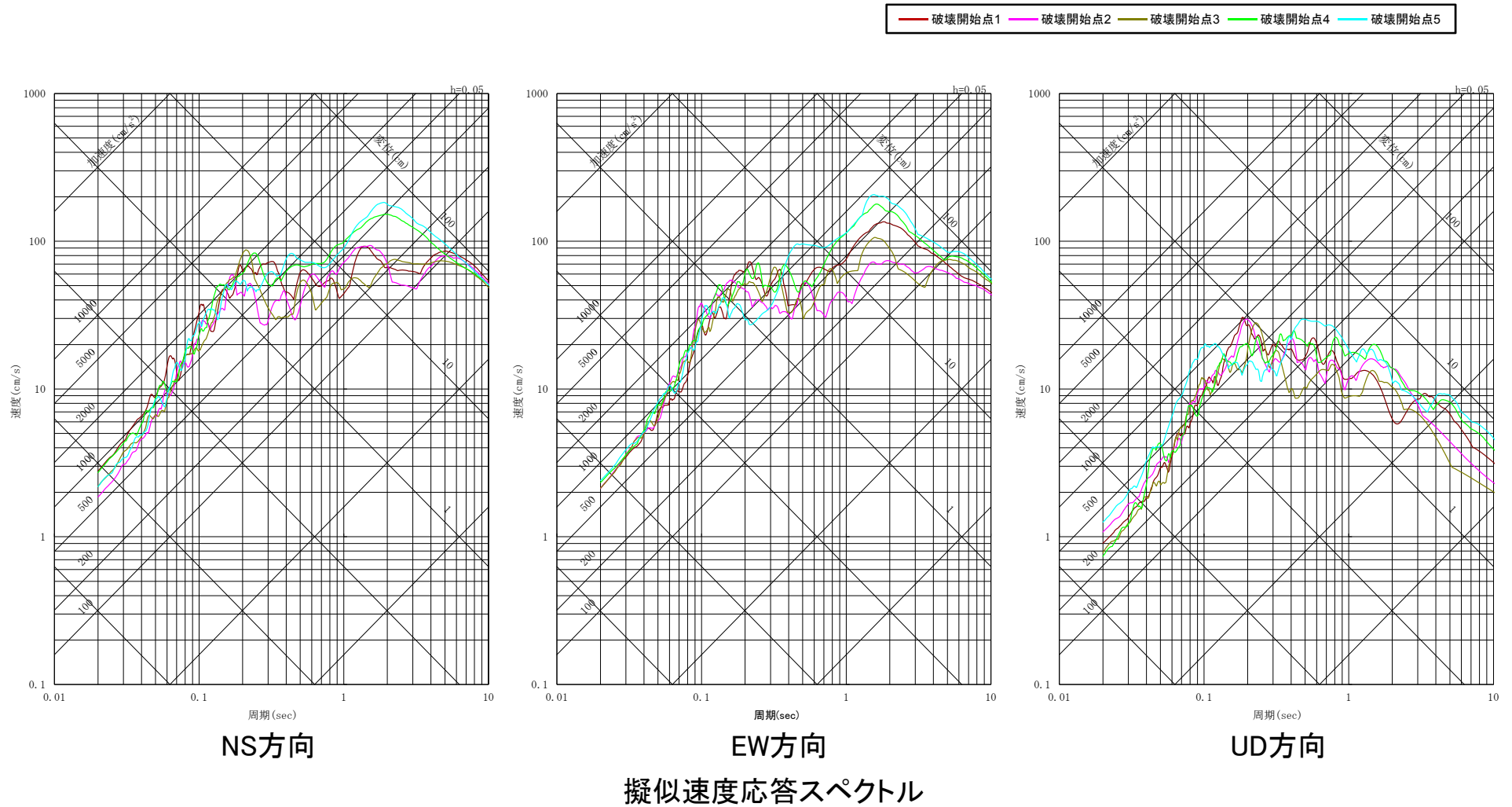
地震動評価結果(ケース8:すべり角と破壊伝播速度の不確かさを考慮)(4/4)

破壊開始点5



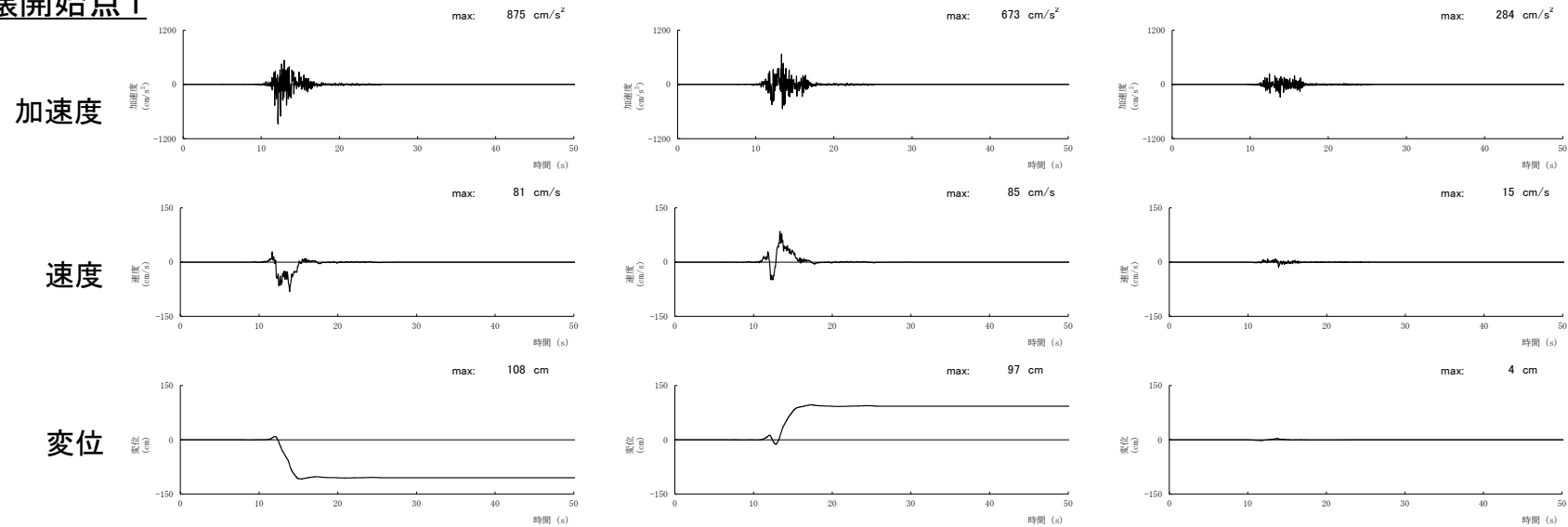
地震動評価結果(ケース9:短周期レベルと破壊伝播速度の不確かさを考慮)(1/4)

○断層モデルを用いた手法による地震動評価結果

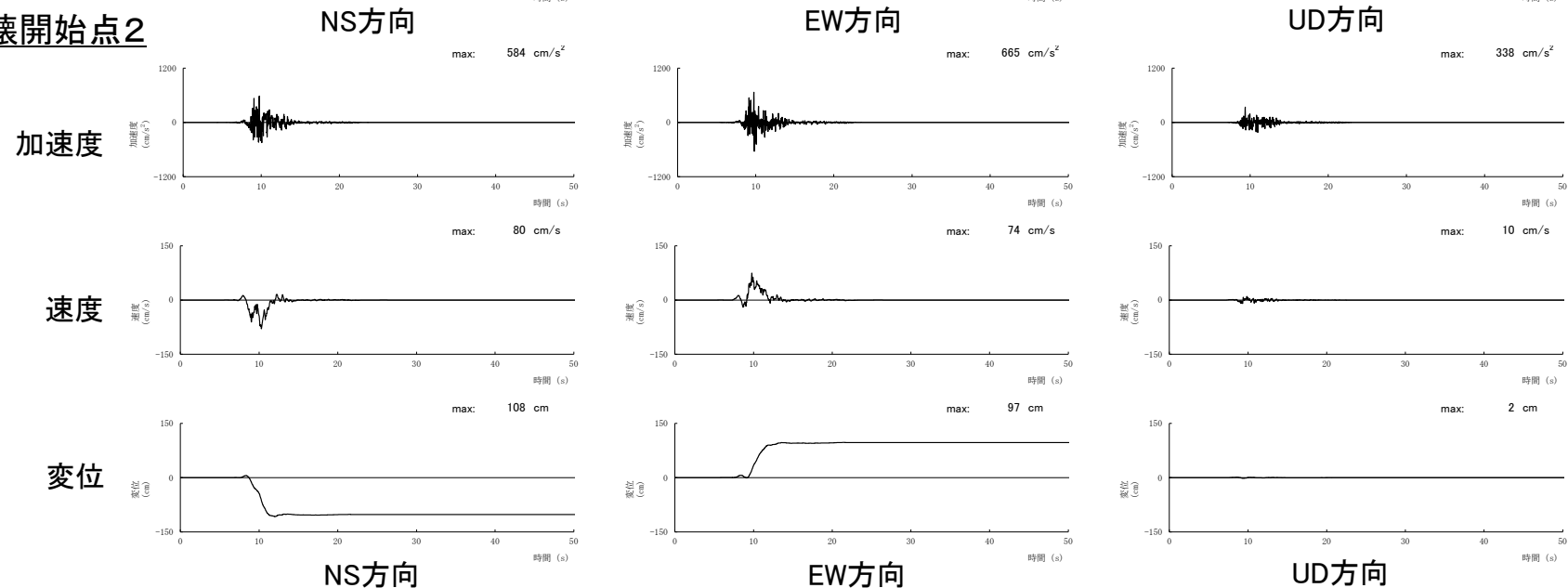


地震動評価結果(ケース9:短周期レベルと破壊伝播速度の不確かさを考慮)(2/4)

破壊開始点1

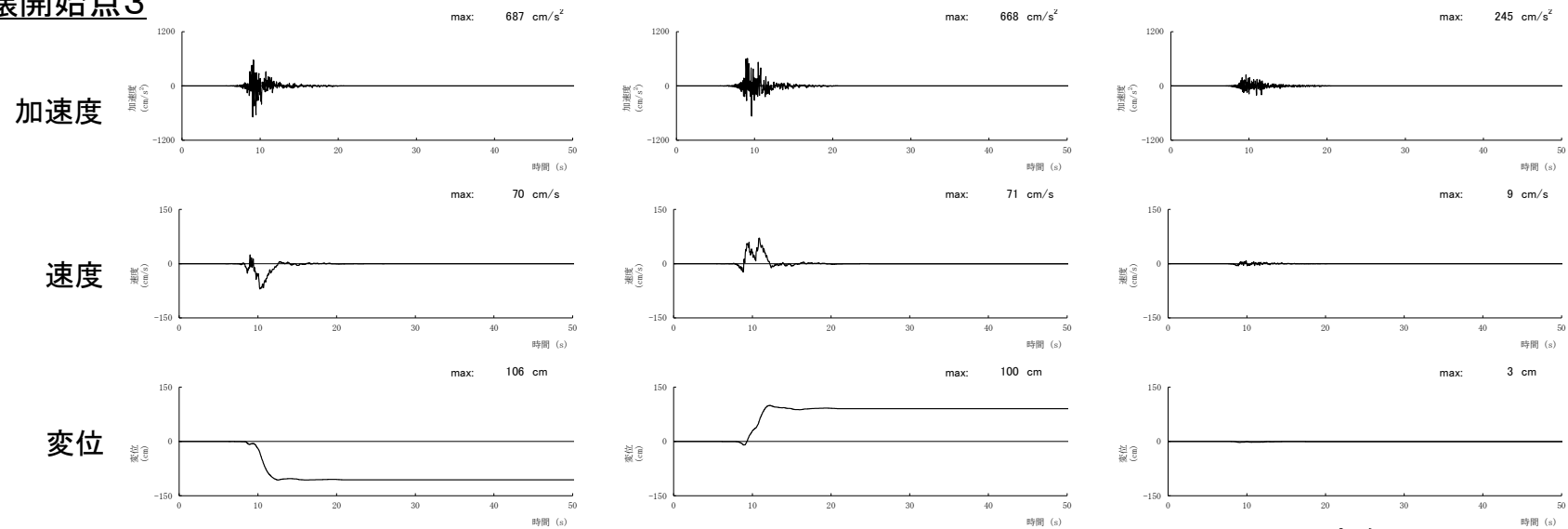


破壊開始点2

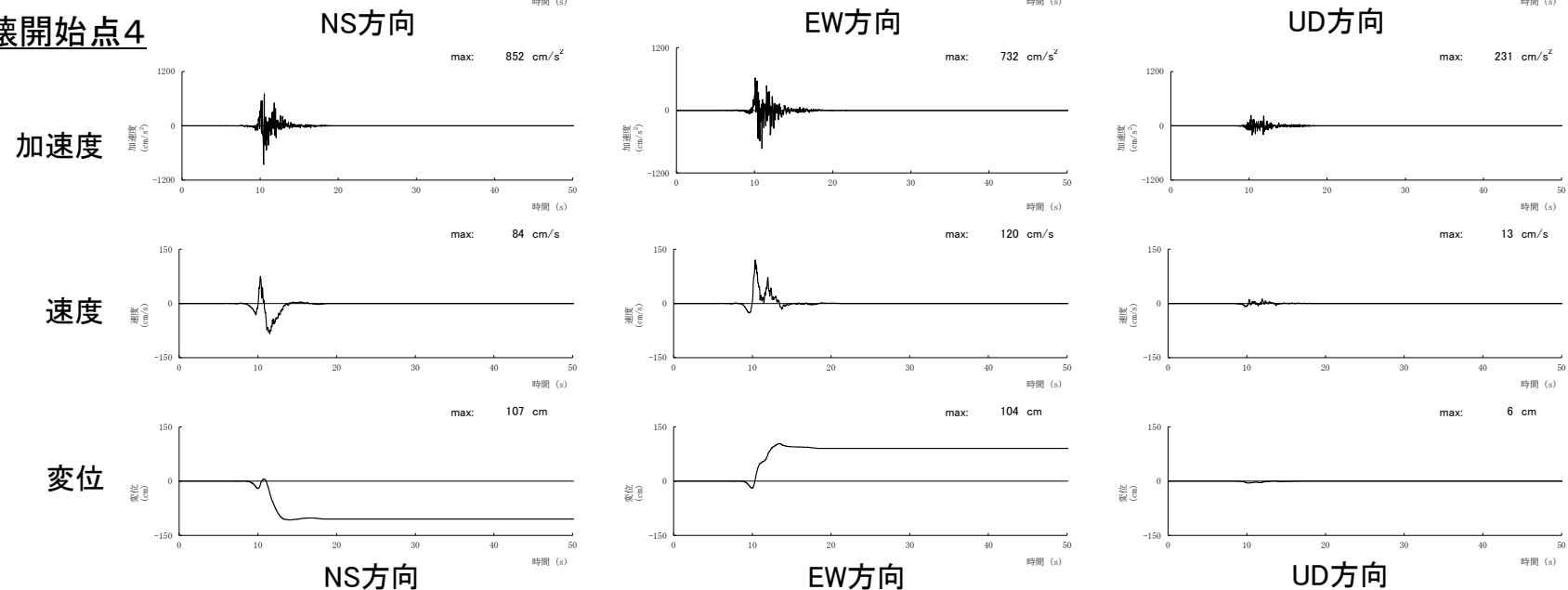


地震動評価結果(ケース9:短周期レベルと破壊伝播速度の不確かさを考慮)(3/4)

破壊開始点3

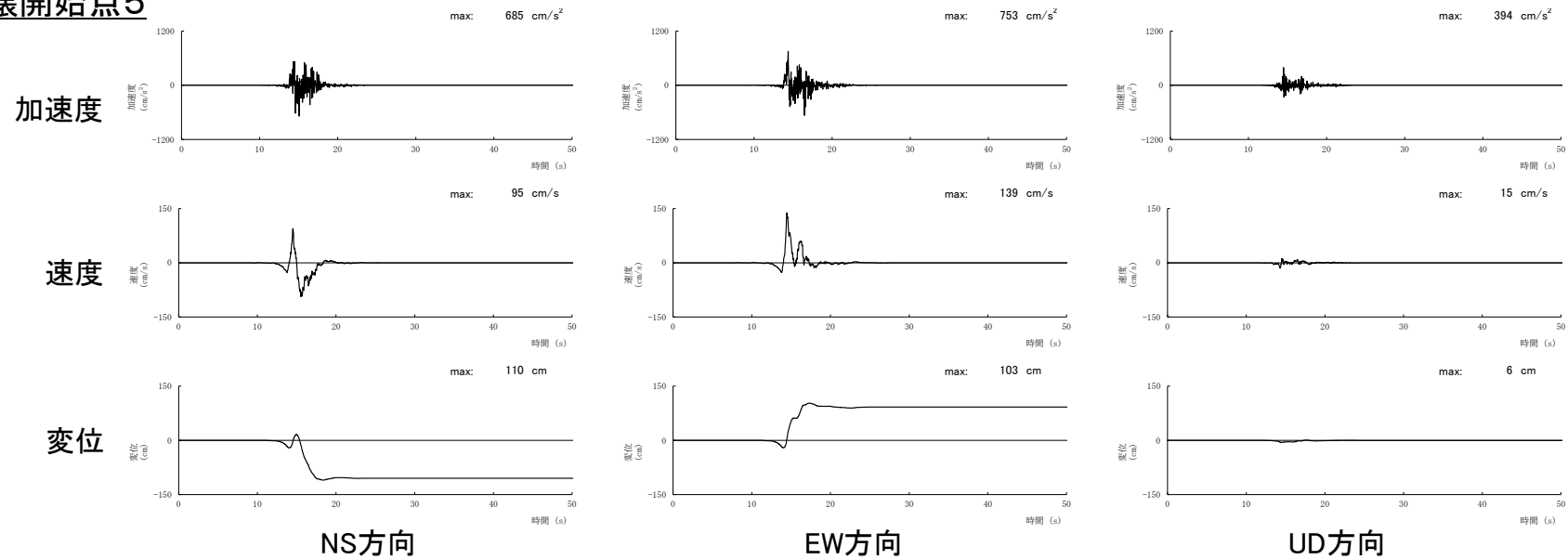


破壊開始点4

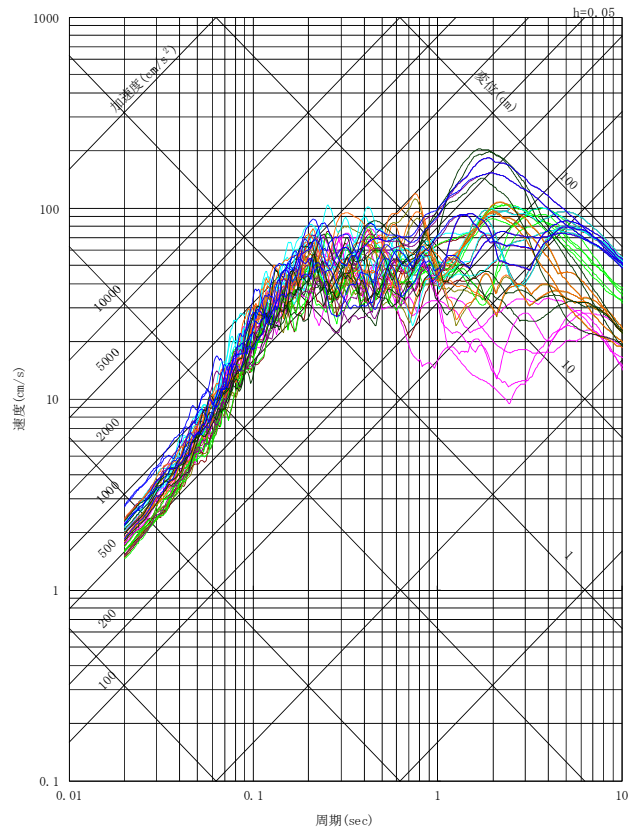
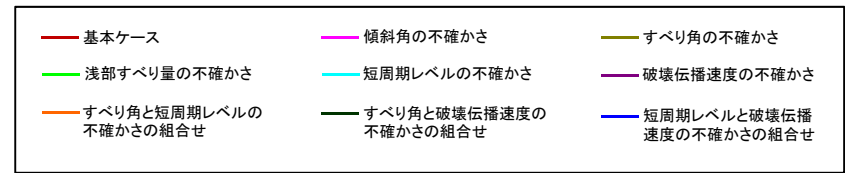


地震動評価結果(ケース9:短周期レベルと破壊伝播速度の不確かさを考慮)(4/4)

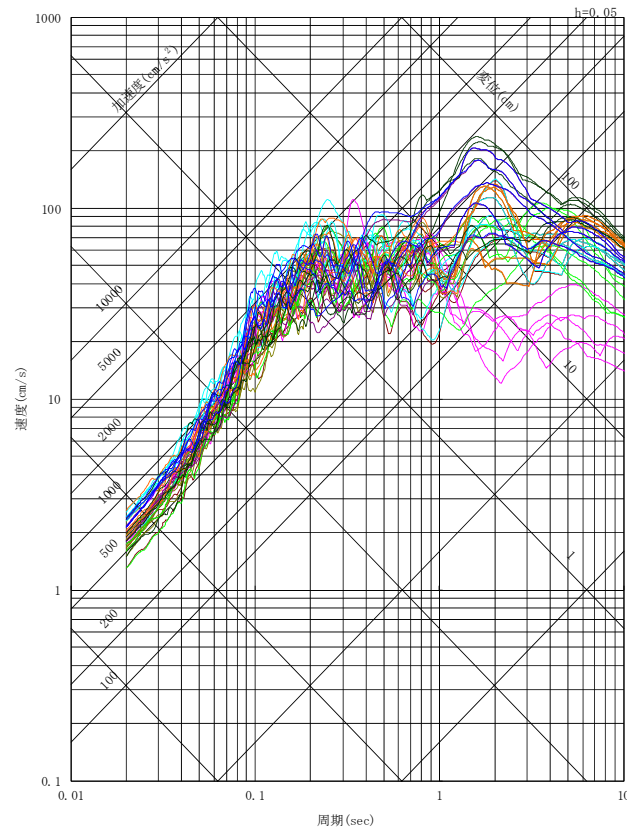
破壊開始点5



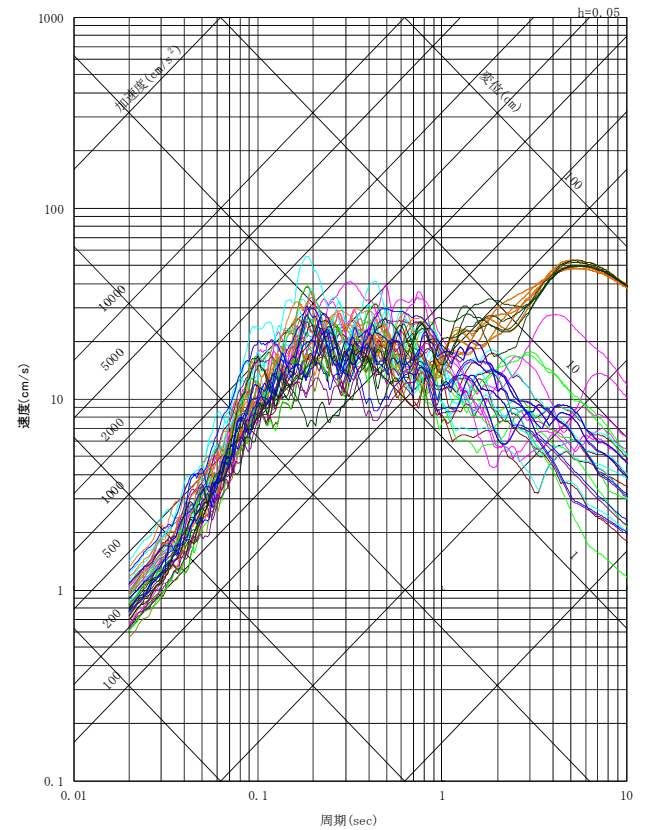
不確かさを考慮した地震動評価結果(全ケース)



NS方向



EW方向



UD方向

擬似速度応答スペクトル

目次

1. 検討方針
2. 知見の整理
 - 2.1 震源極近傍における地震動の特徴
 - 2.2 震源過程
 - 2.3 震源近傍における建物被害
 - 2.4 摩擦とすべり等の関係
 - 2.5 まとめ
3. 浅部断層からの短周期地震動に関する考察
4. 基本震源モデルの地震動評価法
 - 4.1 震源モデルの設定及び計算手法
 - 4.2 2016年熊本地震の再現解析
 - 4.3 まとめ
5. 震源が敷地に極めて近い場合の地震動評価の考え方
6. 浦底断層の地震動評価
 - 6.1 地下構造評価の概要
 - 6.2 基本震源モデルによる地震動評価
 - 6.3 不確かさを考慮した地震動評価
 - 6.4 十分な余裕を考慮した地震動評価
 - 6.5 連動長さの不確かさを考慮した影響検討
 - 6.6 まとめ
7. 全体まとめ
8. 参考文献

補足説明資料1 2016年熊本地震の再現解析について

補足説明資料2 浦底断層の地震動評価(応答スペクトルに基づく手法)

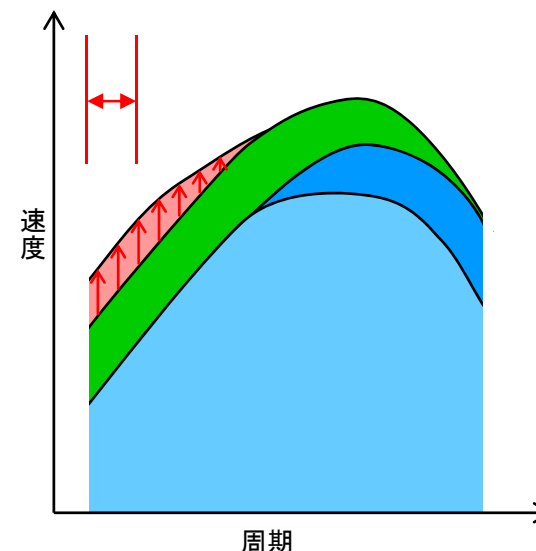
補足説明資料3 C.H.ショルツ(2010)の引用について

十分な余裕の考慮に関する検討方針

ケース	考え方
基本	深部 レシピを参考にパラメータ設定を行い地震動評価を行う。
	深部 +浅部 震源が極めて近いことを踏まえ、深部断層に浅部断層を加えて地震動評価を行う。 ⇒ 地表地震断層近傍における地震動の特徴である長周期パルスや永久変位を反映できる震源モデル(4.1節)とする。
不確かさ	<ul style="list-style-type: none"> ・影響の大きいパラメータを不確かさとして考慮する。 ・特に影響の大きい不確かさについてはそれらの組合せを考慮する。
十分な余裕	<ul style="list-style-type: none"> ・浅部断層からの短周期地震動の発生について文献調査したところ、その発生を考慮する根拠となりうる知見はないと判断した。 ・2016年熊本地震の再現解析において、浅部断層から短周期地震動が出ないことを前提とした震源モデルにより、地表地震断層近傍の観測記録の再現ができた。 ・このことから浅部断層からの短周期地震動への影響は、深部断層からの影響に比べて十分小さいと判断される。 ・しかしながら、地表地震断層近傍の観測記録自体がまだ少なく、また原子力施設にとって重要な短周期帯まで対象とした検証シミュレーションの数も少ないことから、これらの点を踏まえ、震源が極めて近い場合の地震動評価にあたっては、上記の不確かさに加え、更に十分な余裕を確保することとする。 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>原子炉施設にとって重要な短周期帯(0.2秒以下)の地震動レベルを下記の方針により大きくする。</p> <p>⇒ 断層全体から発生する地震動の短周期成分は深部断層の影響が支配的である。そこで深部断層に対する不確かさに加え、更に深部断層の短周期成分を保守的に設定し、地震動全体の短周期成分を増大させることで十分な余裕を確保する。</p> </div>

- : 基本ケースの深部断層に対する地震動評価結果
- : 基本ケースにおいて浅部断層の影響が現れる範囲
- : 不確かさを考慮した影響が現れる範囲
- : 十分な余裕を考慮した影響が現れる範囲

主要機器固有周期



擬似速度応答スペクトル
(模式図)

十分な余裕の考慮の方法 (1/2)

十分な余裕の考慮は下記の方法に基づいて行う。

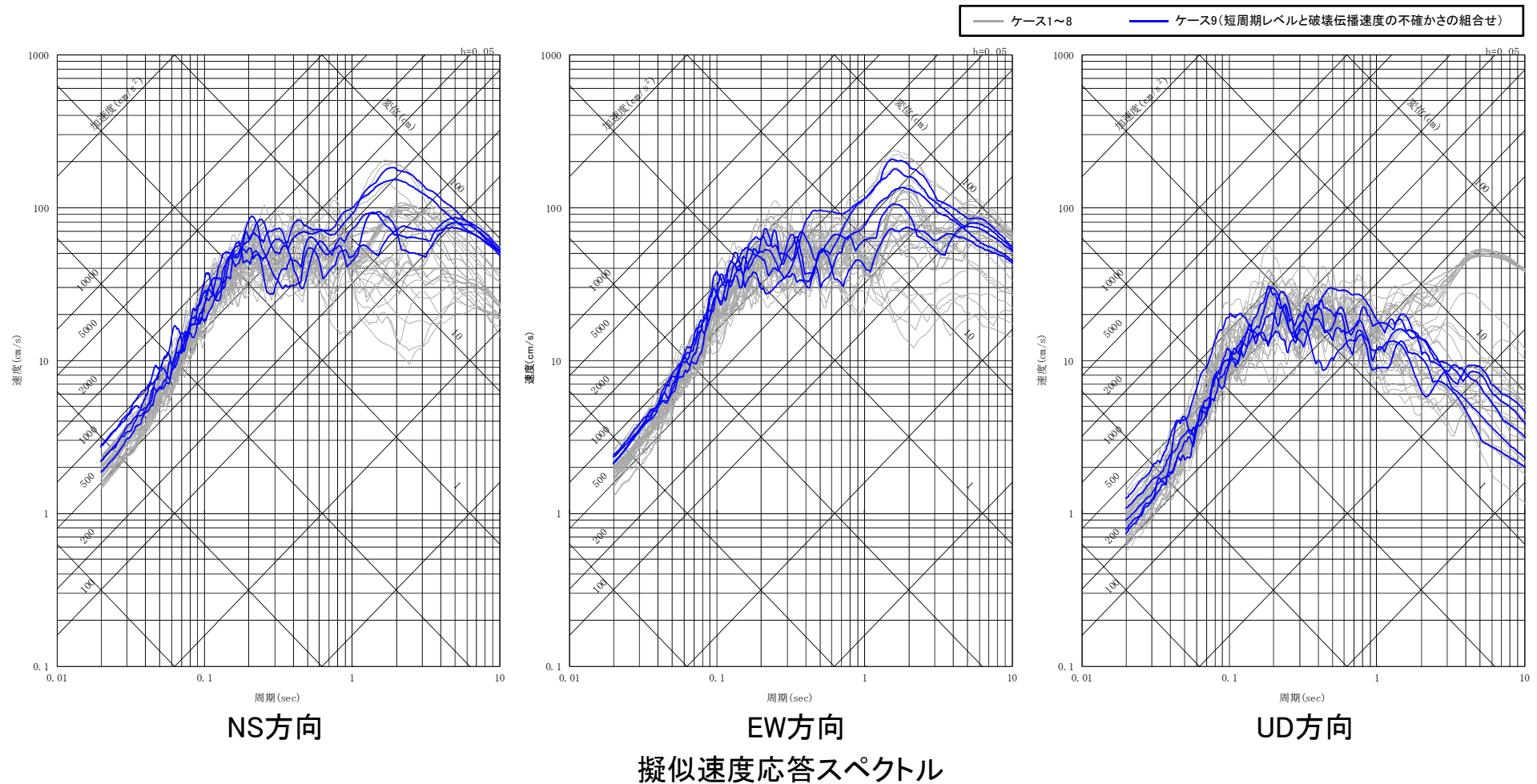
- ① 不確かさを考慮した地震動評価結果を見ると、短周期帯での地震動が大きいケースは、短周期レベルと破壊伝播速度の不確かさを組み合わせたケース9である(次頁参照)。そこで、ケース9に対して十分な余裕を考慮する。
- ② 短周期レベルと破壊伝播速度のうち、短周期帯の地震動を直接増大させることにつながる短周期レベルについて十分な余裕を確保する。
- ③ 不確かさの組合せでは、短周期レベルは強震動予測レシピの1.25倍を考慮しているが、更に余裕の考慮として強震動予測レシピの1.5倍を考慮する。

十分な余裕の考慮の方法 (2/2)

○不確かさを考慮した地震動評価結果を見ると、短周期帯での地震動が大きいケースは、短周期レベルと破壊伝播速度の不確かさを組み合わせたケース9である。

■：偶然的な不確かさ ■：認識論的不確かさ

検討ケース	傾斜角	すべり角	浅部断層すべり量	短周期レベル	破壊伝播速度	アスペリティ位置	破壊開始点
9 ・短周期レベルの不確かさ ・破壊伝播速度の不確かさ	90°	0°	2.9m	1.25倍	0.87Vs	サイト直下位置	複数設定



検討ケース一覧

○十分な余裕を考慮したケース10及び不確かさを考慮したケースも含め、全ての検討ケースを下記に示す。

基本ケース

■： 偶然的な不確かさ ■： 認識論的な不確かさ ■： 十分な余裕の考慮

検討ケース	傾斜角	すべり角	浅部断層 すべり量	短周期 レベル	破壊伝播 速度	アスペリティ 位置	破壊 開始点
1 基本ケース	90°	0°	2.9m	レシピ平均	0.72Vs	サイト直下位置	複数設定

不確かさの考慮及び組合せ

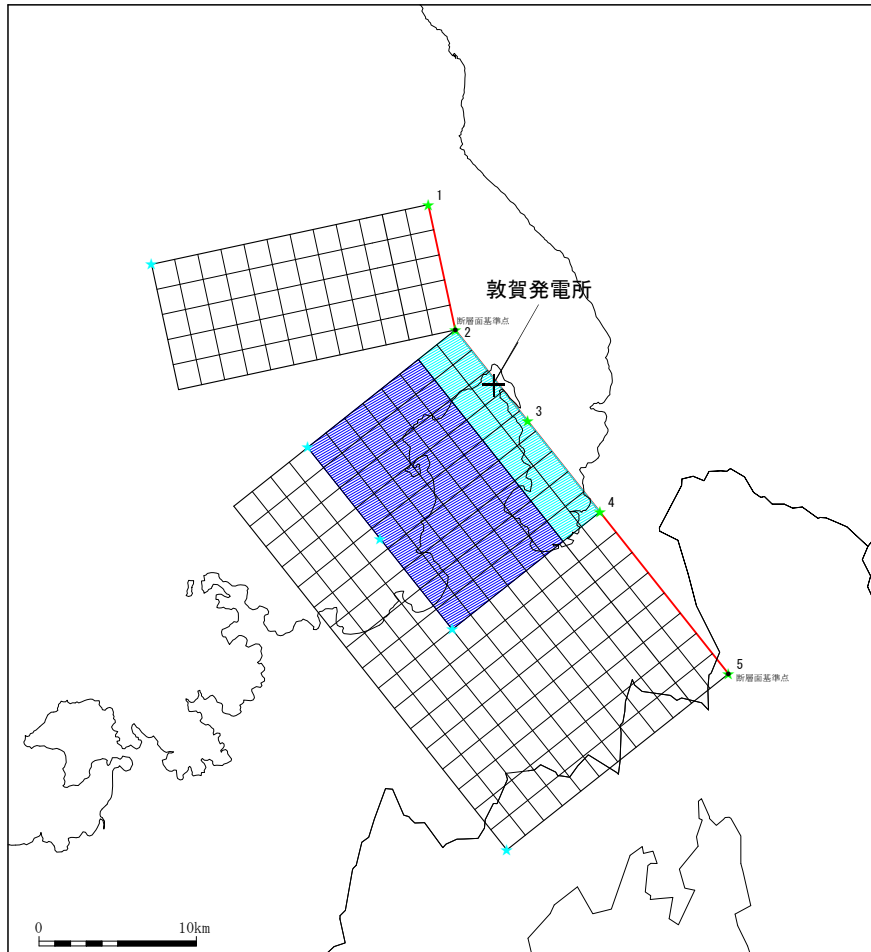
検討ケース	傾斜角	すべり角	浅部断層 すべり量	短周期 レベル	破壊伝播 速度	アスペリティ 位置	破壊 開始点
2 傾斜角の不確かさ	70°	0°	2.9m	レシピ平均	0.72Vs	サイト直下位置	複数設定
3 すべり角の不確かさ	90°	37.6°	2.9m	レシピ平均	0.72Vs	サイト直下位置	複数設定
4 浅部すべり量の不確かさ	90°	0°	1.7m	レシピ平均	0.72Vs	サイト直下位置	複数設定
5 短周期レベルの不確かさ	90°	0°	2.9m	1.5倍	0.72Vs	サイト直下位置	複数設定
6 破壊伝播速度の不確かさ	90°	0°	2.9m	レシピ平均	0.87Vs	サイト直下位置	複数設定
・すべり角の不確かさ ・短周期レベルの不確かさ	90°	37.6°	2.9m	1.25倍	0.72Vs	サイト直下位置	複数設定
・すべり角の不確かさ ・破壊伝播速度の不確かさ	90°	37.6°	2.9m	レシピ平均	0.87Vs	サイト直下位置	複数設定
・短周期レベルの不確かさ ・破壊伝播速度の不確かさ	90°	0°	2.9m	1.25倍	0.87Vs	サイト直下位置	複数設定

十分な余裕の考慮

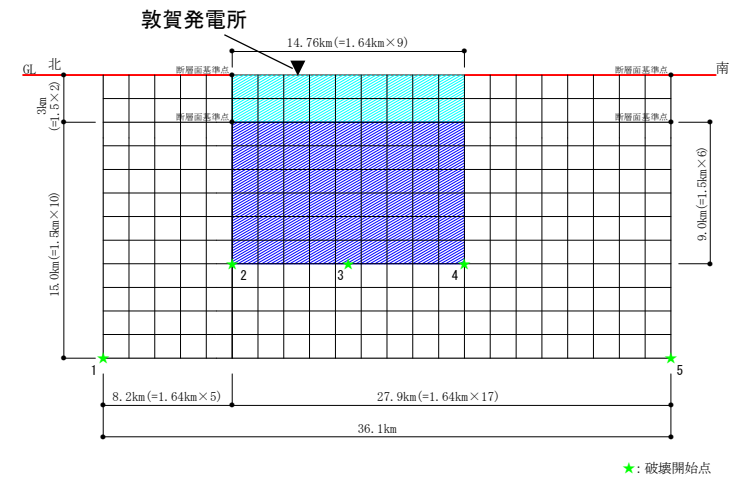
検討ケース	傾斜角	すべり角	浅部断層 すべり量	短周期 レベル	破壊伝播 速度	アスペリティ 位置	破壊 開始点
10 十分な余裕を考慮	90°	0°	2.9m	1.5倍	0.87Vs	サイト直下位置	複数設定

震源モデルの設定(1/2)

○ケース10: 十分な余裕を考慮した震源モデルを下記に示す。



断層配置図



断層モデル図

震源モデルの設定(2/2)

○ケース10: 十分な余裕を考慮した震源パラメータ

断層パラメータ	深部断層	設定方法
断層長さ(km)	36.1	断層位置を基に設定
傾斜角(°)	90	地質調査結果(高角度北東傾斜, 左横ずれ主体)を踏まえ地震動評価上は90°として設定
すべり角(°)	0	傾斜角90°の左横ずれ断層としたことを踏まえてレシピに基づき0°に設定
断層幅(km)	15	地震発生層と傾斜角から設定
断層面積(km ²)	541.5	S=L(断層長さ)×W(断層幅)
断層上端深さ(km)	3	微小地震の発生深さの上下限や地下構造を参照して設定
断層下端深さ(km)	18	
破壊伝播形式	同心円状	同心円状
地震モーメント(N・m)	1.63 × 10 ¹⁹	M ₀ = {S / (4.24 × 10 ⁻¹¹)} ^{2.0} / 10 ⁷
モーメントマグニチュード	6.7	M _w = (log M ₀ - 16.1) / 1.5
剛性率(N/m ²)	3.50 × 10 ¹⁰	μ = ρ β ² , ρ = 2.7g/cm ³ , β = 3.6km/s
平均すべり量(cm)	86.1	D = M ₀ / (μ S)
平均応力降下量(MPa)	3.2	Δσ = (7π ^{1.5} / 16) × (M ₀ / S ^{1.5})
破壊伝播速度(km/s)	3.13	V _r = 0.87 β
立ち上がり時間(sec)	1.11	T _r = 2.03 × 10 ⁻⁹ × (M ₀ × 10 ⁷) ^{1/3}
短周期レベル(N・m/s ²)※1	1.34 × 10 ¹⁹	A = 2.46 × 10 ¹⁷ × (M ₀ × 10 ⁷) ^{1/3}

断層パラメータ	深部断層	設定方法
アスペリティ	面積(km ²)	136.26 S _a = π r ² , r = (7π M ₀ β ²) / (4A _a R), R = (S / π) ^{0.5}
	平均すべり量(cm)	173 D _a = γ _D D, γ _D = 2.01
	地震モーメント(N・m)	8.25 × 10 ¹⁸ M _{0a} = μ S _a D _a
	応力降下量(MPa)	12.5 Δσ _a = (S / S _a) Δσ
背景領域	面積(km ²)	405.24 S _b = S - S _a
	平均すべり量(cm)	56.8 D _b = M _{0b} / (μ S _b)
	地震モーメント(N・m)	8.06 × 10 ¹⁸ M _{0b} = M ₀ - M _{0a}
	実効応力(MPa)	2.5 σ _b = 0.2 Δσ _a
Q値	50f ^{1.1}	佐藤他(2007)
f _{max} (Hz)	8.3	香川他(2003)

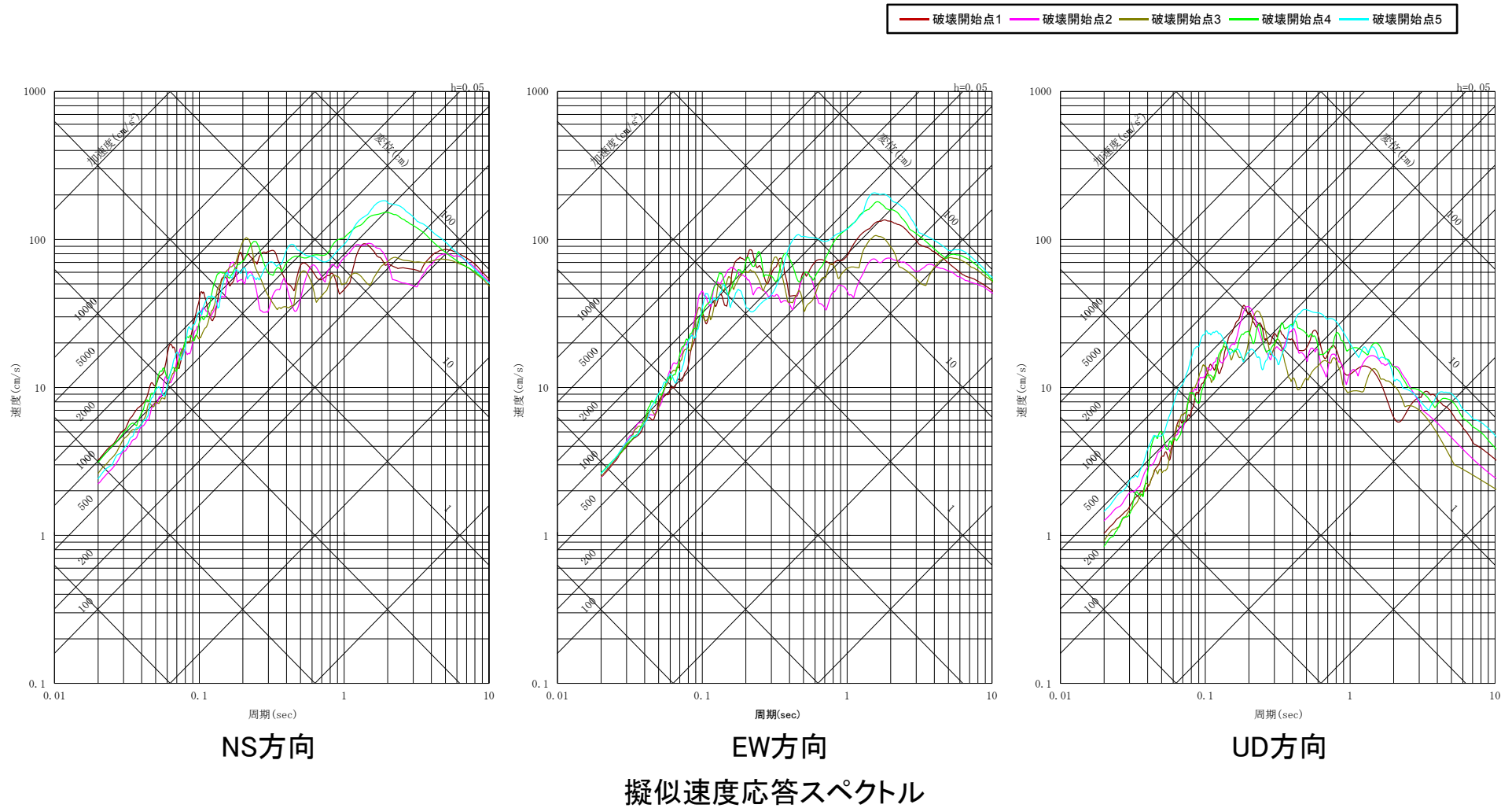
断層パラメータ	浅部断層	設定方法
剛性率(N/m ²)	2.19 × 10 ¹⁰	μ = ρ β ² , ρ = 2.6g/cm ³ β = 2.9km/s(浅部断層の平均値)
立ち上がり時間(sec)	3.68	Kagawa et al.(2004)より浅部のすべり速度が深部のすべり速度の半分となるように設定
大すべり域	面積(km ²)	44.31 S = L × W
	平均すべり量(cm)	286.8 松田(1975)に基づき設定(D _{large(浅)})
	地震モーメント(N・m)	2.78 × 10 ¹⁸ M _{0large(浅)} = μ S _{large(浅)} D _{large(浅)}
小すべり域	面積(km ²)	63.99 S = L × W
	平均すべり量(cm)	94.2 D _{small(浅)} = D _{large(浅)} × (D _{b(深)} / D _{a(深)})
	地震モーメント(N・m)	1.32 × 10 ¹⁸ M _{0small(浅)} = μ S _{small(浅)} D _{small(浅)}
地震モーメント(N・m)	4.10 × 10 ¹⁸	M _{0(浅)} = M _{0small(浅)} + M _{0large(浅)}
破壊伝播速度(km/s)	3.13	深部断層と同じ値に設定※2

※1 短周期領域のフーリエスペクトルの比が基本ケースの1.5倍となるように設定する。

※2 浅部断層の破壊伝播速度について、深部断層と同じ値とし、より波が重なり合う設定とする。

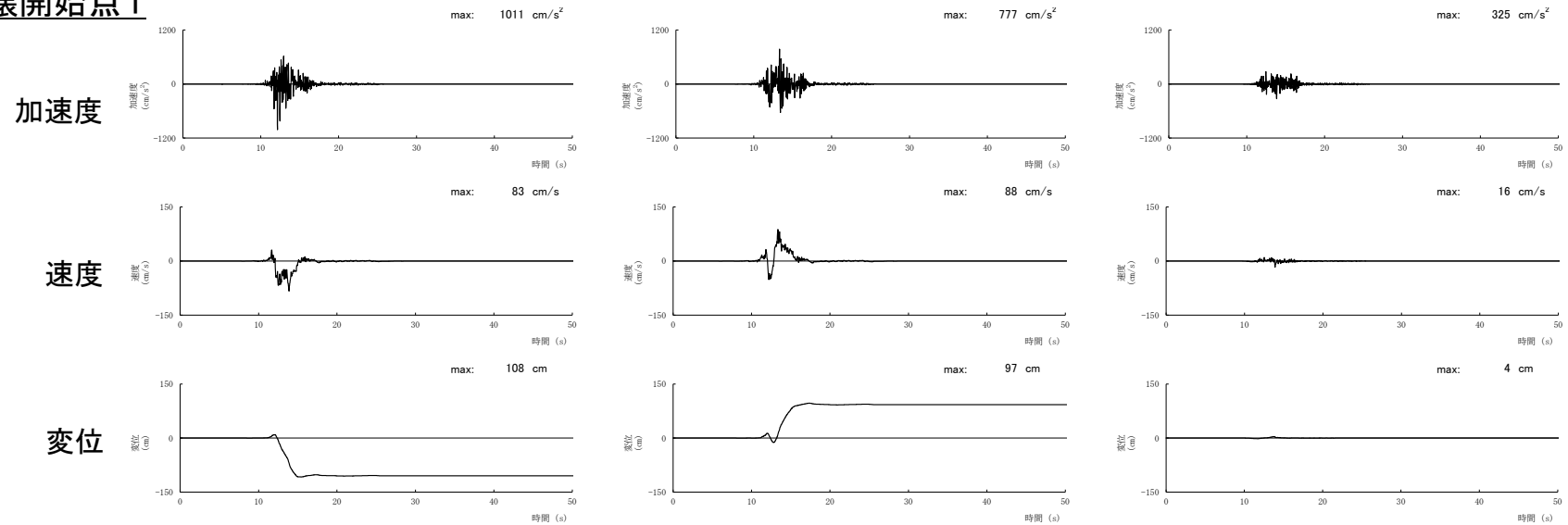
地震動評価結果(ケース10:十分な余裕を考慮)(1/6)

○断層モデルを用いた手法による地震動評価結果

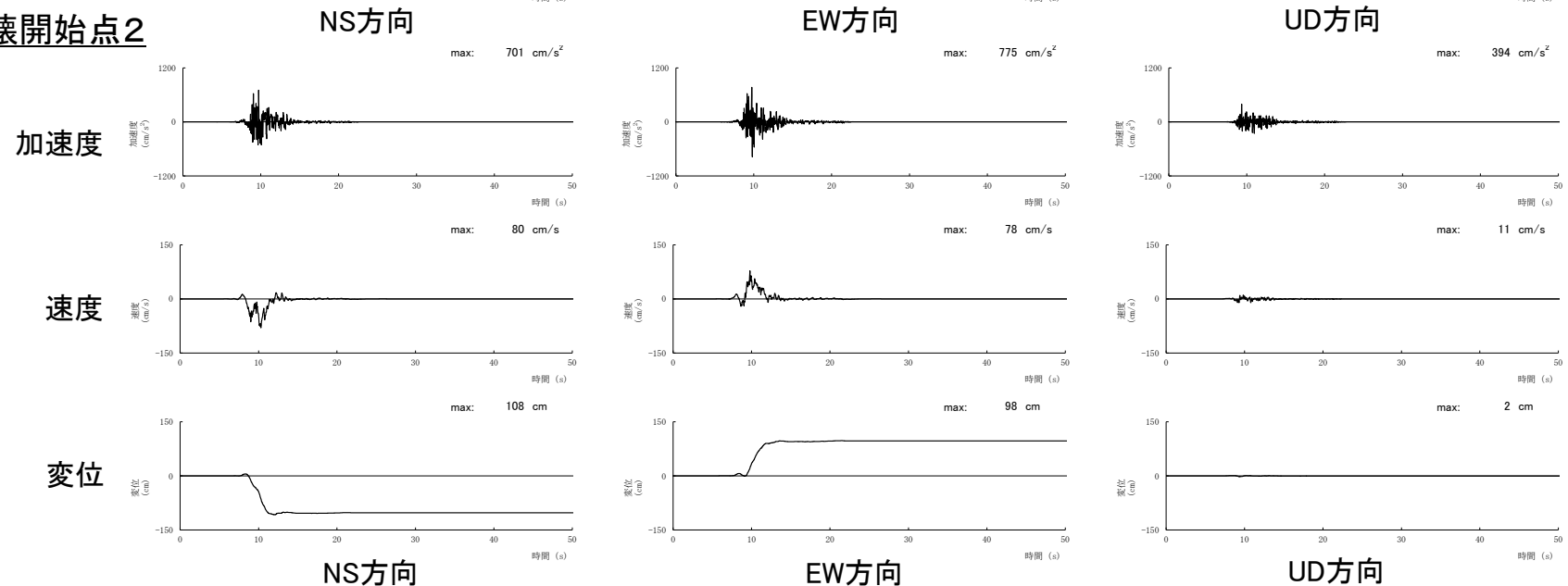


地震動評価結果(ケース10:十分な余裕を考慮)(2/6)

破壊開始点1

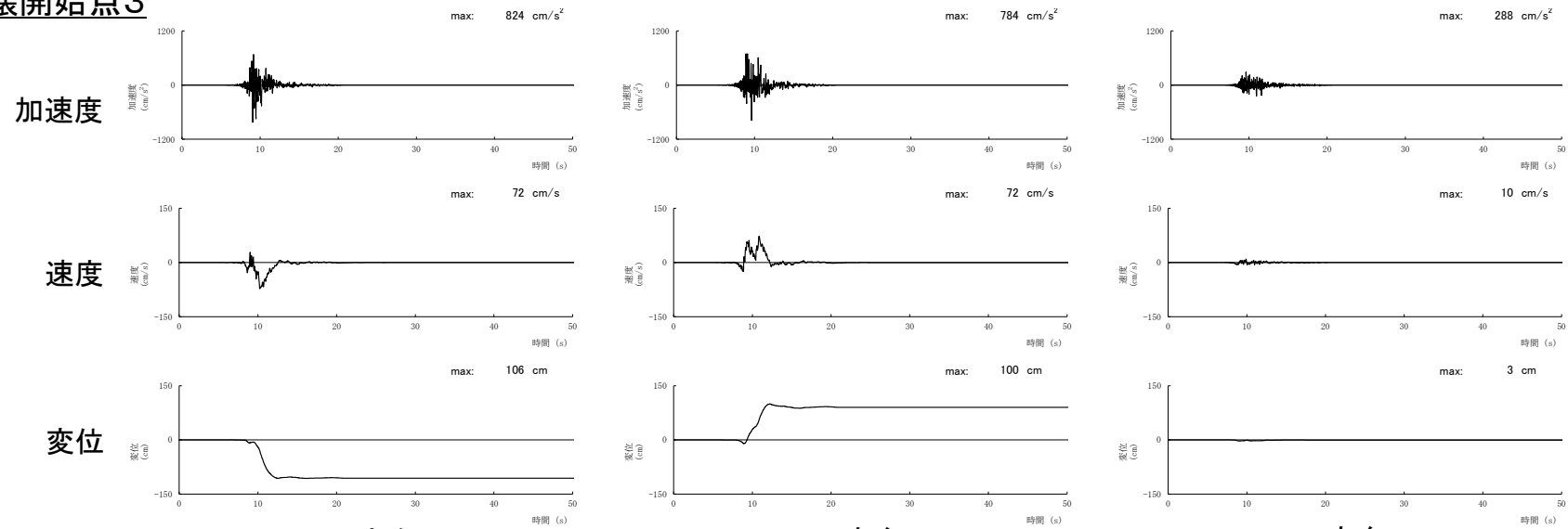


破壊開始点2

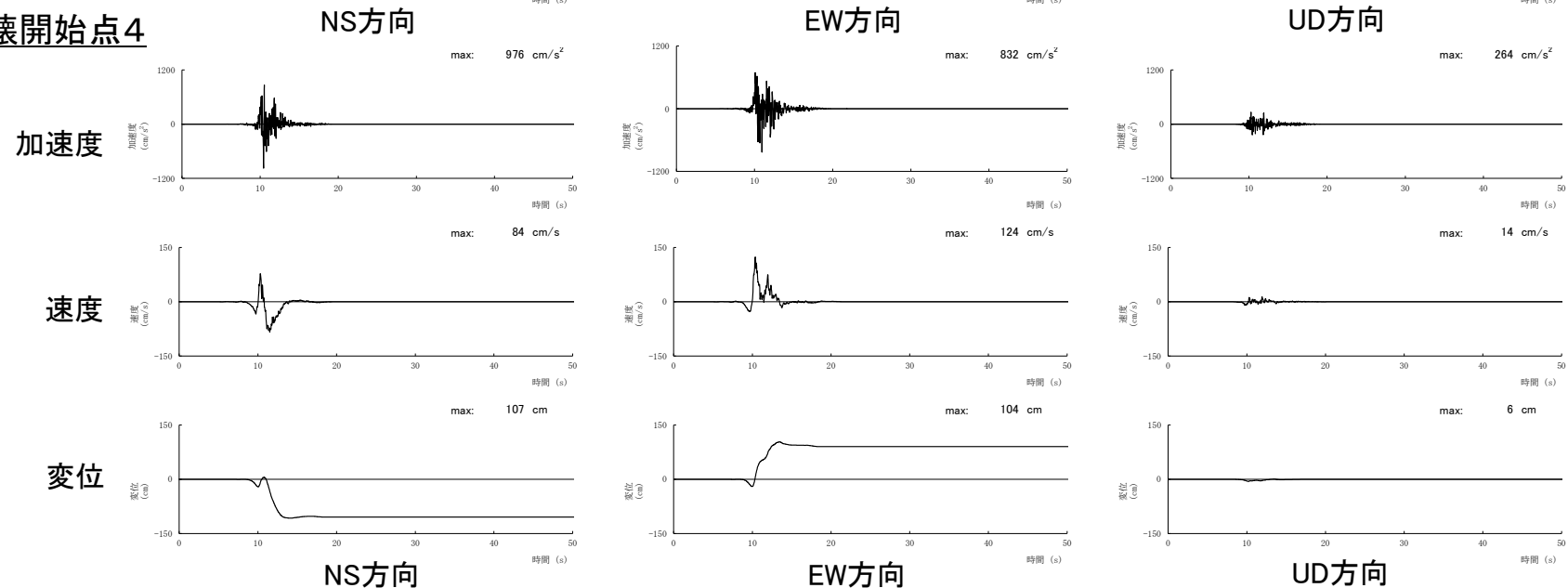


地震動評価結果(ケース10:十分な余裕を考慮)(3/6)

破壊開始点3

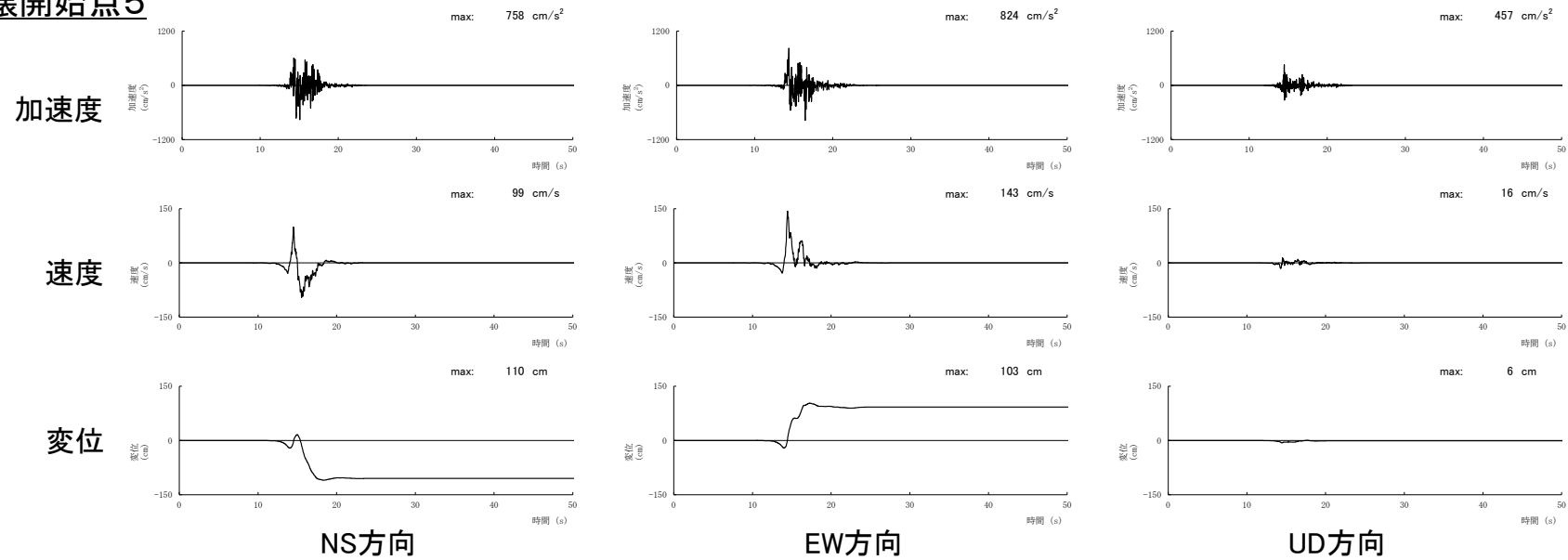


破壊開始点4



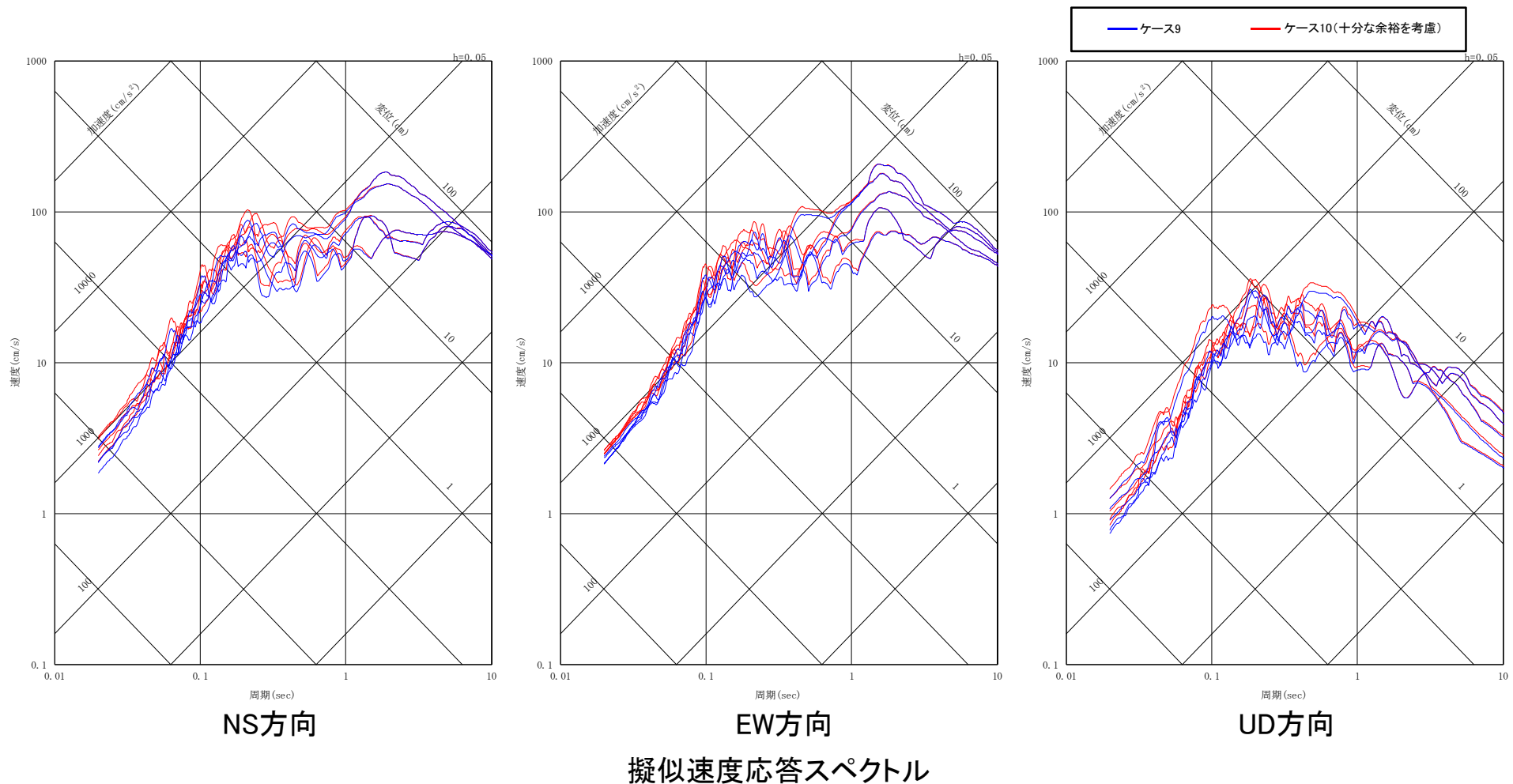
地震動評価結果(ケース10:十分な余裕を考慮)(4/6)

破壊開始点5



地震動評価結果(ケース10:十分な余裕を考慮)(5/6)

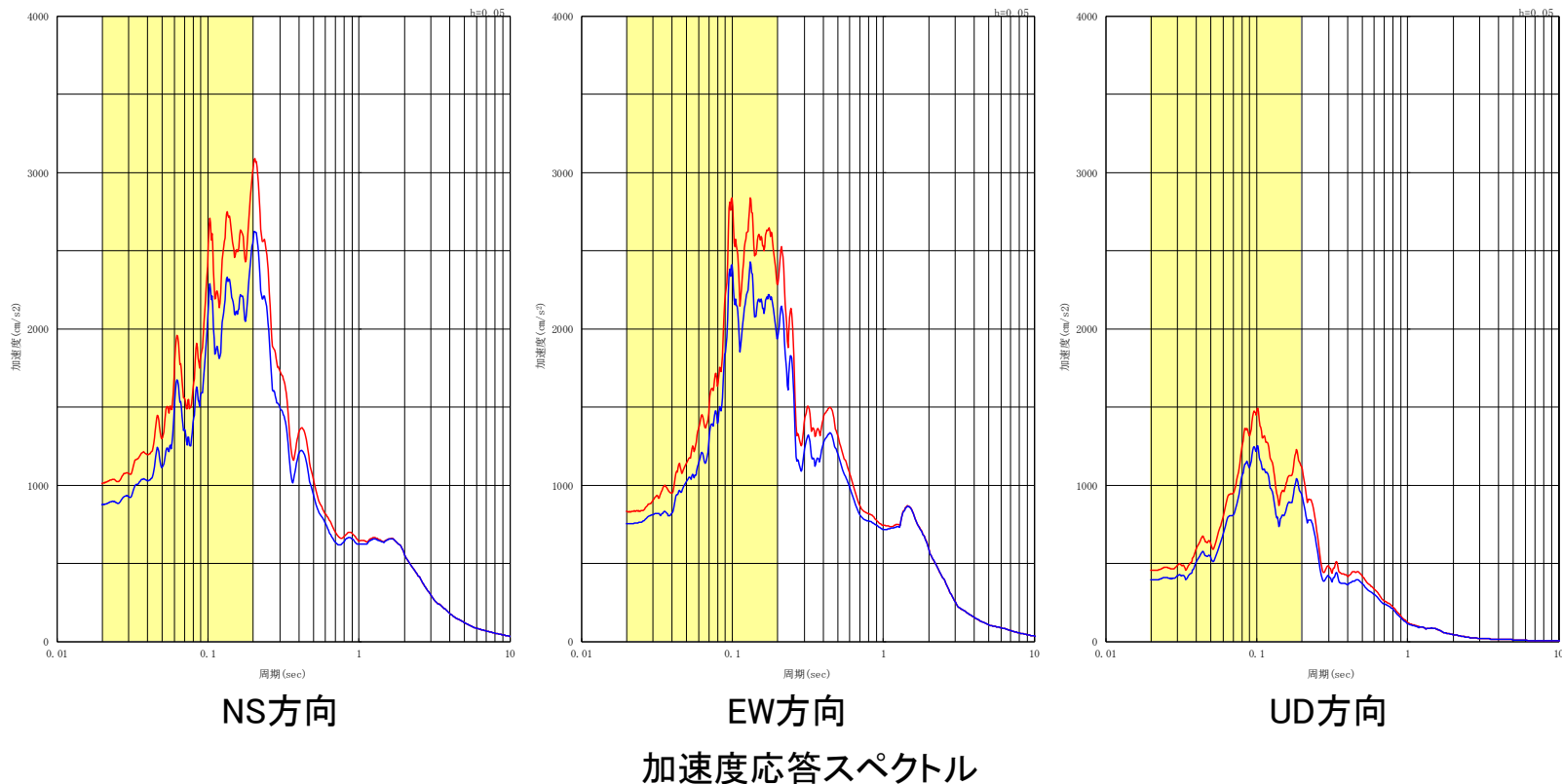
○十分な余裕を考慮したケース10(赤線)と、短周期レベルと破壊伝播速度の不確かさを組み合わせたケース9(青線)とを比較すると、短周期帯において赤線が青線を上回っている。



地震動評価結果(ケース10:十分な余裕を考慮)(6/6)

網掛け: 主要機器固有周期

— ケース9 — ケース10(十分な余裕を考慮)
 [ケース9, ケース10とも, 全ての破壊開始点に対する地震動評価結果の輪郭線を示している。]



短周期レベルと破壊伝播速度の不確かさを組み合わせた地震動(ケース9)の短周期レベルを1.25倍からさらに1.5倍にすることにより, 原子炉施設にとって重要な周期帯(0.2s以下)において十分な余裕が確保されていることを確認した。

目次

1. 検討方針
2. 知見の整理
 - 2.1 震源極近傍における地震動の特徴
 - 2.2 震源過程
 - 2.3 震源近傍における建物被害
 - 2.4 摩擦とすべり等の関係
 - 2.5 まとめ
3. 浅部断層からの短周期地震動に関する考察
4. 基本震源モデルの地震動評価法
 - 4.1 震源モデルの設定及び計算手法
 - 4.2 2016年熊本地震の再現解析
 - 4.3 まとめ
5. 震源が敷地に極めて近い場合の地震動評価の考え方
6. 浦底断層の地震動評価
 - 6.1 地下構造評価の概要
 - 6.2 基本震源モデルによる地震動評価
 - 6.3 不確かさを考慮した地震動評価
 - 6.4 十分な余裕を考慮した地震動評価
 - 6.5 連動長さの不確かさを考慮した影響検討
 - 6.6 まとめ
7. 全体まとめ
8. 参考文献

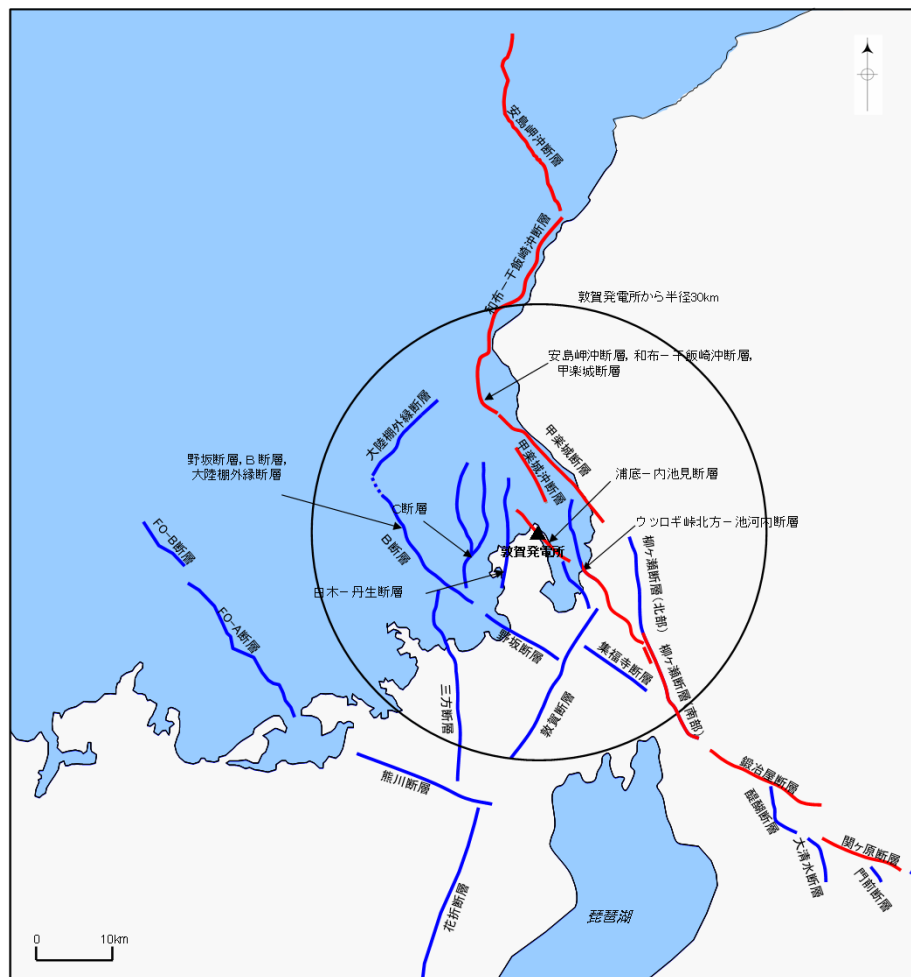
補足説明資料1 2016年熊本地震の再現解析について

補足説明資料2 浦底断層の地震動評価(応答スペクトルに基づく手法)

補足説明資料3 C.H.ショルツ(2010)の引用について

連動長さの不確かさを考慮した影響検討

○安島岬沖～和布一干飯崎沖～甲楽城断層～甲楽城沖断層～浦底断層～池河内断層～柳ヶ瀬山断層～柳ヶ瀬断層南部～鍛冶屋断層～関ヶ原断層は連動する可能性が極めて低いと考えられるが、連動長さの不確かさ(長さ137km)を考慮した地震動評価を行い、基準地震動への影響を確認※する。



※ Ss未確定の現段階では、断層長さ36kmケースの結果との比較検討を行う。

—: 安島岬沖～和布一干飯崎沖～
甲楽城断層～甲楽城沖断層～
浦底断層～池河内断層～柳ヶ瀬山断層～柳ヶ瀬断層南部～
鍛冶屋断層～関ヶ原断層(長さ137km)

敷地周辺の断層分布

パラメータ比較

- 安島岬沖～和布～干飯崎沖～甲楽城断層～甲楽城沖断層～浦底断層～池河内断層～柳ヶ瀬山断層～柳ヶ瀬断層南部～鍛冶屋断層～関ヶ原断層のパラメータについて、手法ごとの比較を行う。
- 断層全体の地震モーメント、アスペリティの応力降下量大きいFujii and Matsu'ura(2000)による手法で代表して地震動を評価する。

断層パラメータ		①Fujii and Matsu'ura(2000)※1	②壇他(2011)※2	③Murotani et al.(2010)※3
深部断層	地震モーメント M_0 (Nm)	3.73×10^{20}	3.02×10^{20}	2.53×10^{20}
	モーメント マグニチュードMw	7.6	7.6	7.5
	平均応力降下量 $\Delta \sigma$ (MPa)	3.1	3.4	3.1
	短周期レベルA ($N \cdot m/s^2$)	3.82×10^{19}	3.56×10^{19}	3.35×10^{19}
	アスペリティの面積比 S_a/S (%)	22.0	27.9	22.0
深部断層アスペリティ (浦底～池河内断層)	地震モーメント M_{0a} (Nm)	2.82×10^{19}	2.87×10^{19}	1.91×10^{19}
	応力降下量 $\Delta \sigma_a$ (Mpa)	14.1	12.2	14.1

※1: M_0 及び $\Delta \sigma$ をFujii and matsu'ura(2000)により求め、 S_a/S をSomerville et al.(1999)に基づいて22%として設定し、 $\Delta \sigma_a$ をMadariaga(1979)により算出

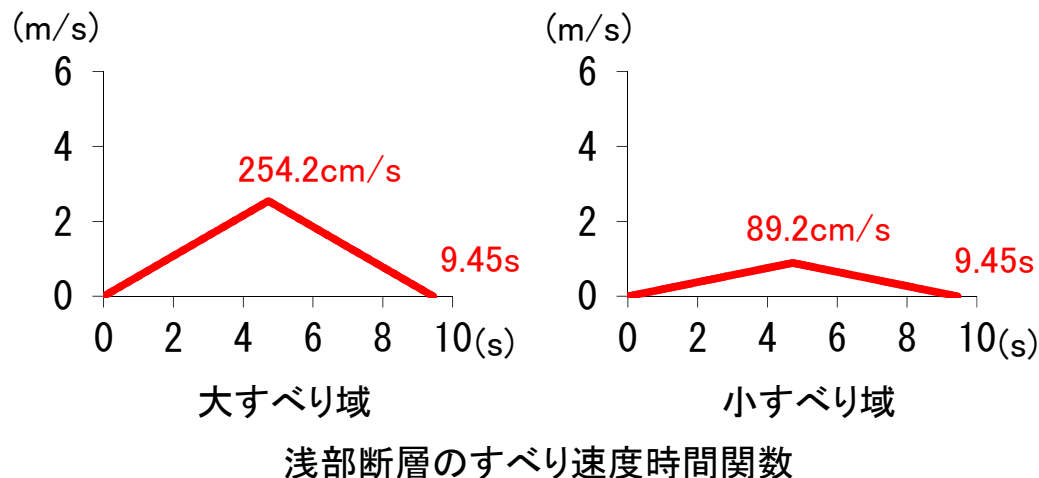
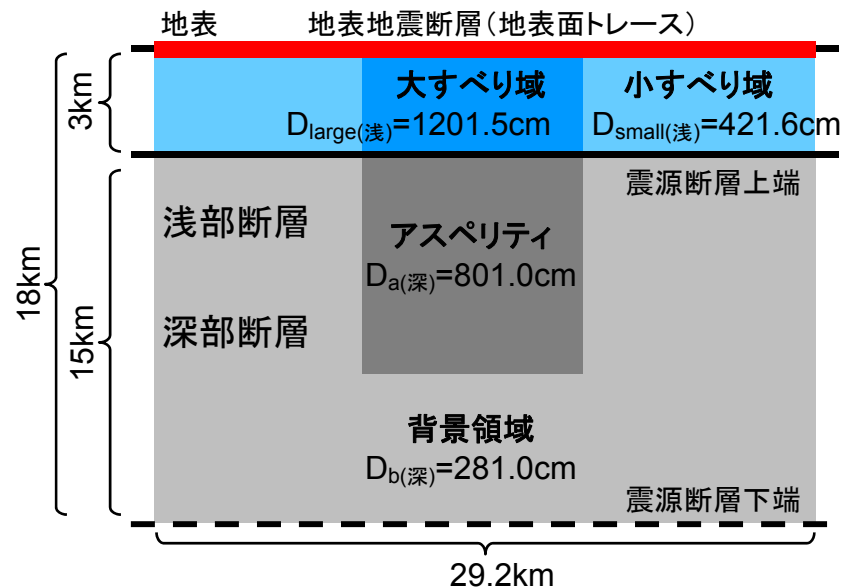
※2: M_0 、 $\Delta \sigma$ 及び S_a/S を壇他(2011)により設定し、 $\Delta \sigma_a$ をMadariaga(1979)により算出

※3: M_0 をMurotani et al.(2010)により求め、 $\Delta \sigma$ 、 S_a/S 及び $\Delta \sigma_a$ を①と同様に設定

理論計算に用いるすべり速度時間関数

○3章における2016年熊本地震での検証結果より、浅部断層の影響は敷地から離れると小さくなると考えられることから、浅部断層は浦底断層に相当する区間のみ考慮する。

○浦底断層に相当する区間の深部断層、浅部断層に用いるすべり速度時間関数を下記に示す。

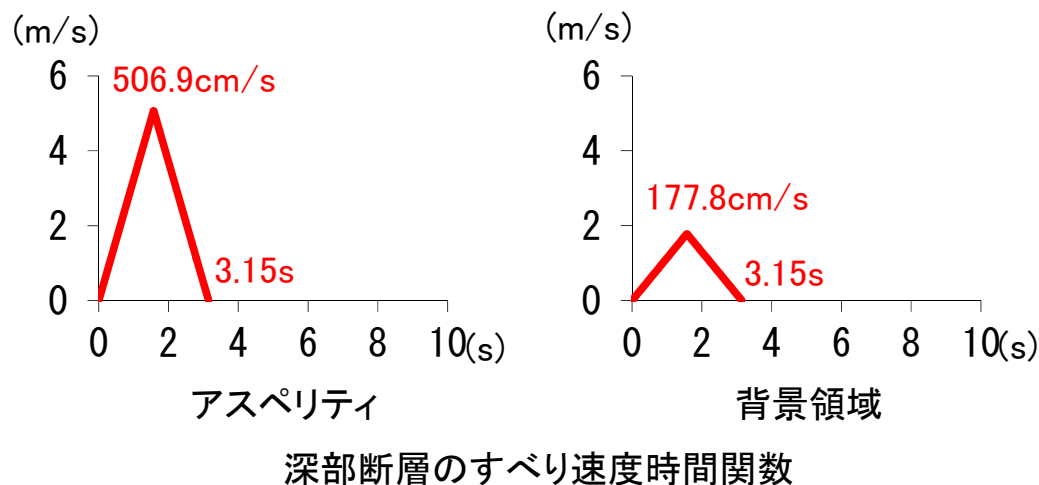


【深部断層のパラメータ】

- $t_{(深)}$ はSomerville et al. (1999)に基づき設定
- $D_{a(深)}, D_{b(深)}$ はレシピに基づき設定
- $V_{(深)} = 2 \times D_{(深)} / t_{(深)}$

【浅部断層のパラメータ】

- $V_{(浅)} = 1/2 V_{(深)}$ (Kagawa et al. (2004))
- $D_{large(浅)}$ は松島他(2010)を参考にアスペリティすべり量の1.5倍を設定
- $D_{small(浅)} = D_{b(深)} / D_{a(深)} \times D_{large(浅)}$
- $t_{(浅)} = 2 \times D_{(浅)} / V_{(浅)}$



検討ケース

○基準地震動への影響確認※は、浦底断層が原子炉施設に極めて近いことを考慮し、十分な余裕を考慮した上で行う。

○十分な余裕の考慮として、敷地への影響が大きい浦底断層に相当する区間が横ずれ断層であることを踏まえ、短周期レベルについて、レシピの1.25倍を考慮する。

※ Ss未確定の現段階では、断層長さ36kmケースの結果との比較検討を行う。

■： 偶然的な不確かさ ■： 認識論的な不確かさ ■： 十分な余裕の考慮

不確かさの考慮

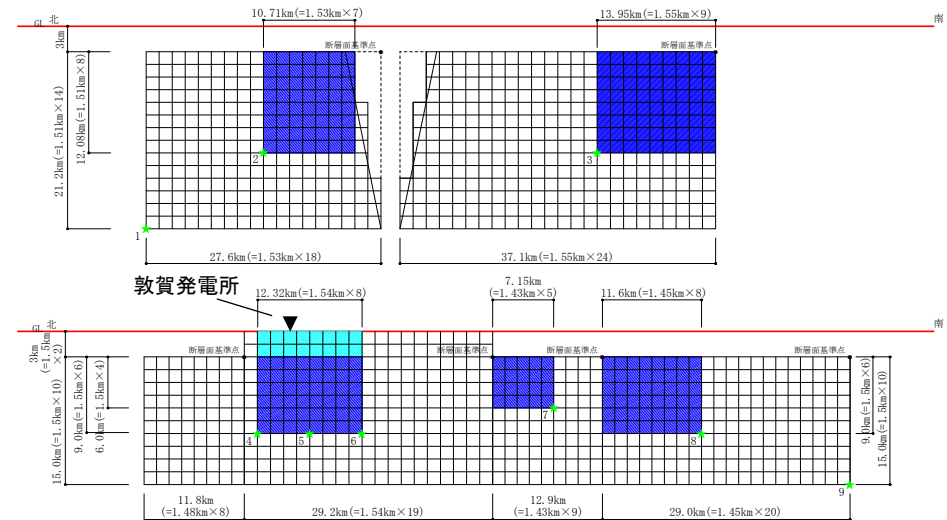
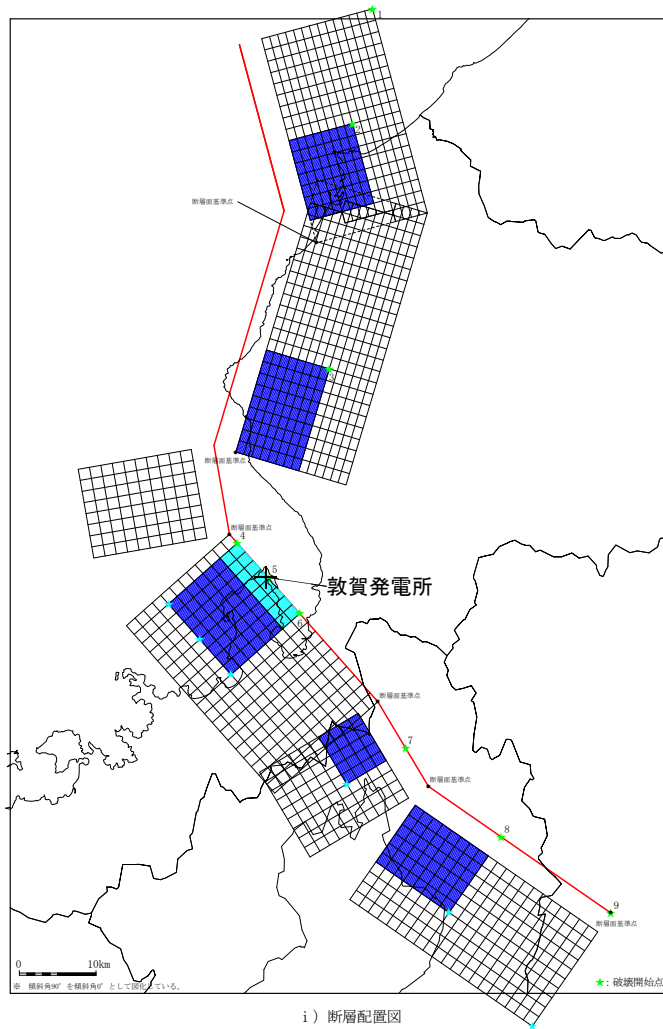
検討ケース	連動長さ	傾斜角	すべり角	浅部断層 すべり量	短周期 レベル	破壊伝播 速度	アスペリティ 位置	破壊 開始点
1 連動長さの不確かさ	137km	45° (北部) 90° (南部)	90° (北部) 0° (南部)	12m	レシピ 平均	0.72Vs	敷地に近い位置	複数設定

十分な余裕の考慮

検討ケース	連動長さ	傾斜角	すべり角	浅部断層 すべり量	短周期 レベル	破壊伝播 速度	アスペリティ 位置	破壊 開始点
2 十分な余裕を考慮	137km	45° (北部) 90° (南部)	90° (北部) 0° (南部)	12m	1.25倍	0.72Vs	敷地に近い位置	複数設定

震源モデルの設定(1/4)

○地震動評価に用いる断層モデル図を下記に示す。



- ・ケース1: 連動長さの不確かさ
- ・ケース2: 十分な余裕を考慮

連動長さの不確かさを考慮した影響検討 傾斜角・断層タイプの設定

○安島岬沖～和布一干飯崎沖～甲楽城断層～甲楽城沖断層～浦底断層～池河内断層～柳ヶ瀬山断層～柳ヶ瀬断層南部～鍛冶屋断層～関ヶ原断層について、浦底断層と同様に傾斜角及び断層タイプを設定した。

断層	傾斜角(°)	断層タイプ	備考
安島岬沖	45(東傾斜)	逆断層	断層タイプは、北部セグメントの特徴である東側隆起の逆断層を採用し、傾斜角はレシピにより設定。
和布一干飯崎沖	45(東傾斜)	逆断層	断層タイプは、地質調査結果に基づき東側隆起の逆断層とし、傾斜角はレシピにより設定。
甲楽城沖	90	左横ずれ	地質調査結果等に基づき断層タイプと傾斜角を設定。
浦底一池河内	90	左横ずれ	地質調査結果等に基づき断層タイプと傾斜角を設定。
柳ヶ瀬南部	90	左横ずれ	地質調査結果等に基づき断層タイプと傾斜角を設定。
鍛冶屋一関ヶ原	90	左横ずれ	地質調査結果等に基づき断層タイプと傾斜角を設定。

震源モデルの設定(2/4)

○ケース1:連動長さの不確かさ, ケース2:十分な余裕を考慮した震源パラメータ (1/3)

断層パラメータ	深部断層							設定方法
	深部モデル	安島岬沖	和布一 干飯崎沖	甲楽城沖	浦底一 池河内	柳ヶ瀬南部	鍛冶屋 一関ヶ原	
断層長さ(km)	143.35	25.50	34.95	11.8	29.2	12.9	29	断層位置を基に設定
傾斜角(°)	—	45	45	90	90	90	90	地質調査結果等に基づき断層タイプと傾斜角を設定。
すべり角(°)	—	90	90	0	0	0	0	断層タイプとレシピに基づき設定
断層幅(km)	—	21.2	21.2	15	15	15	15	地震発生層と傾斜角から設定
断層面積(km ²)	2525.04	540.6	740.94	177	438	193.5	435	S=L(断層長さ)×W(断層幅)
断層上端深さ(km)	3	←	←	←	←	←	←	微小地震の発生深さの上下限や地下構造を参照して設定
断層下端深さ(km)	18	←	←	←	←	←	←	
破壊伝播形式	—	—	—	—	—	—	—	同心円状
地震モーメント(N・m)	3.73×10^{20}	8.37×10^{19}	1.34×10^{20}	1.57×10^{19}	6.11×10^{19}	1.79×10^{19}	6.04×10^{19}	$M_0 = (\Delta \sigma \cdot S^2) / (\alpha S + \beta W)$
モーメントマグニチュード [*]	7.6	—	—	—	—	—	—	$M_W = (\log M_0 - 16.1) / 1.5$
剛性率(N/m ²)	3.50×10^{10}	←	←	←	←	←	←	$\mu = \rho \beta^2, \rho = 2.7 \text{g/cm}^3, \beta = 3.6 \text{km/s}$
平均すべり量(cm)	422.5	442.7	518.3	253.3	398.5	264.9	397.1	$D = M_0 / (\mu S)$
平均応力降下量(MPa)	3.1	←	←	←	←	←	←	Fujii and Matsu'ura(2000)より
破壊伝播速度(km/s)	2.59	←	←	←	←	←	←	$V_r = 0.72 V_s$
立ち上がり時間(sec)	3.15	←	←	←	←	←	←	$T_r = 2.03 \times 10^{-9} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$
短周期レベル(N・m/s ²) [*]	3.82×10^{19}	←	←	←	←	←	←	$A = 2.46 \times 10^{17} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$

※ 短周期の地震動1.25倍ケースでは, 短周期領域のフーリエスペクトルの比が基本ケースの1.25倍となるように設定する。

震源モデルの設定(3/4)

○ケース1:連動長さの不確かさ, ケース2:十分な余裕を考慮した震源パラメータ (2/3)

断層パラメータ	深部断層								設定方法
	深部モデル	安島岬沖	和布一干飯崎沖	甲楽城沖	浦底一池河内	柳ヶ瀬南部	鍛冶屋一関ヶ原		
アスペリティ	面積(km ²)	555.51	127.9	175.29	—	103.62	45.78	102.91	$S_a = \gamma_{asp} S, \gamma_{asp} = 0.22$
	平均すべり量(cm)	849.2	889.9	1041.8	—	801	532.4	798.2	$D_a = \gamma_D D, \gamma_D = 2.01$
	地震モーメント(N·m)	1.65×10^{20}	3.87×10^{19}	6.20×10^{19}	—	2.82×10^{19}	8.28×10^{18}	2.79×10^{19}	$M_{0a} = \mu S_a D_a$
	応力降下量(MPa)	14.1	←	←	←	←	←	←	$\Delta \sigma_a = (S/S_a) \Delta \sigma$
背景領域	面積(km ²)	1969.53	412.7	565.65	177	334.38	147.72	332.09	$S_b = S - S_a$
	平均すべり量(cm)	302.1	312.2	365.5	253.3	281	186.8	280.1	$D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$
	地震モーメント(N·m)	2.08×10^{20}	4.51×10^{19}	7.23×10^{19}	1.57×10^{19}	3.29×10^{19}	9.66×10^{18}	3.25×10^{19}	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$
	実効応力(MPa)	2.8	←	←	←	←	←	←	$\sigma_b = 0.2 \Delta \sigma_a$
Q値	$50f^{1.1}$	←	←	←	←	←	←	佐藤他(2007)	
f_{max} (Hz)	8.3	←	←	←	←	←	←	香川他(2003)	

震源モデルの設定(4/4)

○ケース1:連動長さの不確かさ, ケース2:十分な余裕を考慮した震源パラメータ (3/3)

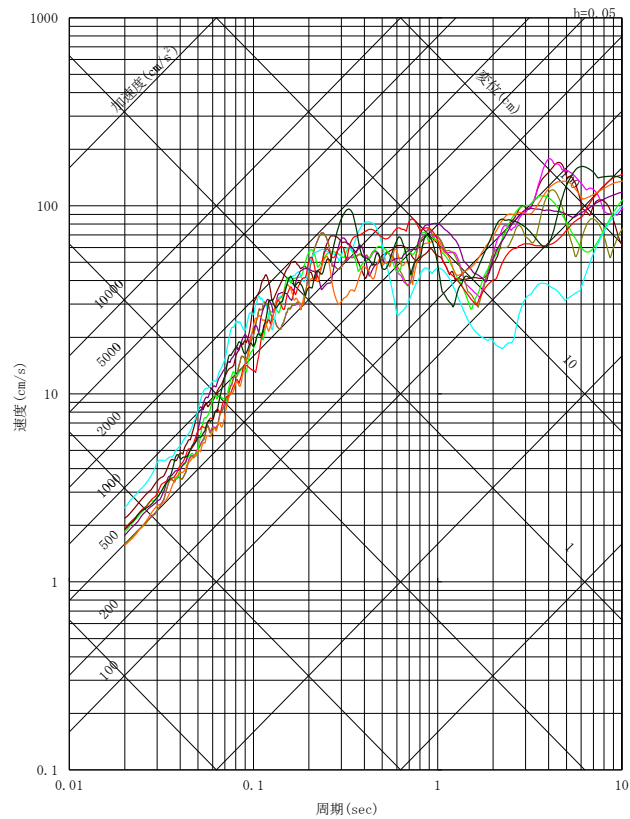
断層パラメータ	浅部断層							設定方法
	浅部モデル	安島岬沖	和布一 干飯崎沖	甲楽城沖	浦底一 池河内	柳ヶ瀬南部	一関ヶ原	
剛性率(N/m ²)	2.19 × 10 ¹⁰	—	—	—	2.19 × 10 ¹⁰	—	—	$\mu = \rho \beta^2$, $\rho = 2.6 \text{g/cm}^3$ $\beta = 2.9 \text{km/s}$ (浅部断層の平均値)
立ち上がり時間(sec)	9.45	—	—	—	9.45	—	—	Kagawa et al.(2004)より浅部のすべり速度が深部のすべり速度の半分となるように設定
大すべり域	面積(km ²)	36.89	—	—	—	36.89	—	S=L × W
	平均すべり量(cm)	1201.5	—	—	—	1201.5	—	$D_{\text{large(浅)}} = D_a \times 1.5$
	地震モーメント(N・m)	9.69 × 10 ¹⁸	—	—	—	9.69 × 10 ¹⁸	—	$M_{0\text{large(浅)}} = \mu S_{\text{large(浅)}} D_{\text{large(浅)}}$
小すべり域	面積(km ²)	50.71	—	—	—	50.71	—	S=L × W
	平均すべり量(cm)	421.6	—	—	—	421.6	—	$D_{\text{small(浅)}} = D_{\text{large(浅)}} \times (D_{\text{b(深)}}/D_{\text{a(深)}})$
	地震モーメント(N・m)	4.67 × 10 ¹⁸	—	—	—	4.67 × 10 ¹⁸	—	$M_{0\text{small(浅)}} = \mu S_{\text{small(浅)}} D_{\text{small(浅)}}$
地震モーメント(N・m)	1.44 × 10 ¹⁹	—	—	—	1.44 × 10 ¹⁹	—	$M_{0(浅)} = M_{0\text{small(浅)}} + M_{0\text{large(浅)}}$	
破壊伝播速度(km/s)	2.59	—	—	—	2.59	—	—	深部断層と同じ値に設定※

※ 浅部断層の破壊伝播速度について、深部断層と同じ値とし、より波が重なり合う設定とする。

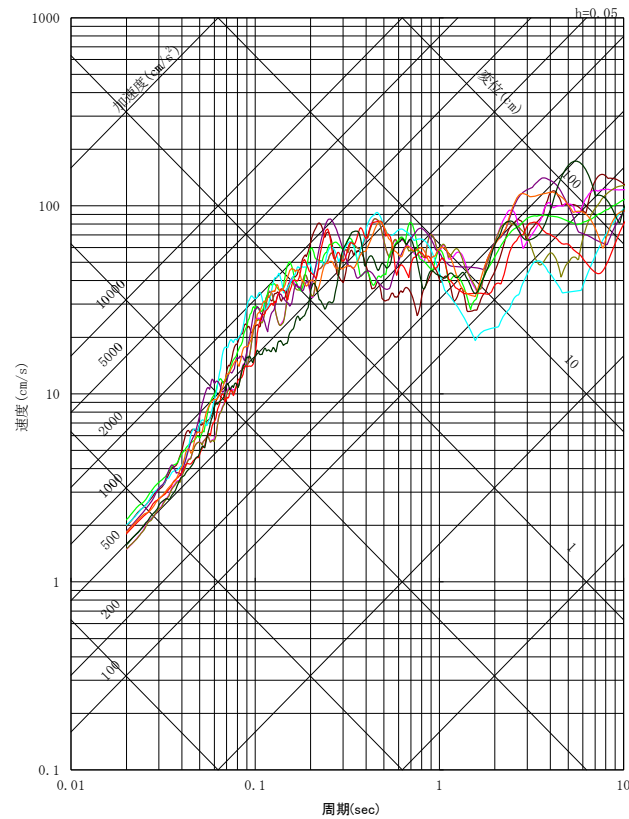
地震動評価結果(ケース1:連動長さの不確かさを考慮)(1/6)

○断層モデルを用いた手法による地震動評価結果:浦底断層 連動長さの不確かさを考慮

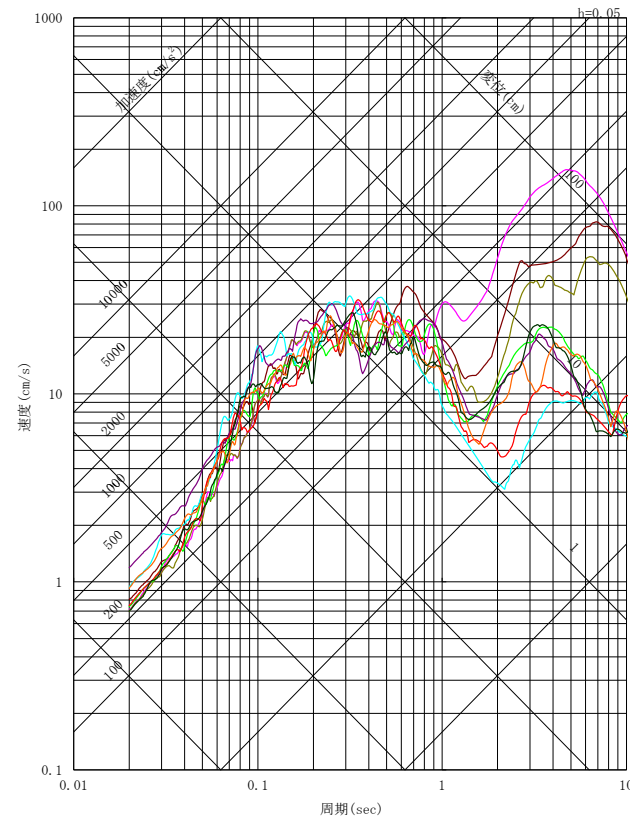
— 破壊開始点1 — 破壊開始点2 — 破壊開始点3 — 破壊開始点4 — 破壊開始点5 — 破壊開始点6 — 破壊開始点7 — 破壊開始点8 — 破壊開始点9



NS方向



EW方向

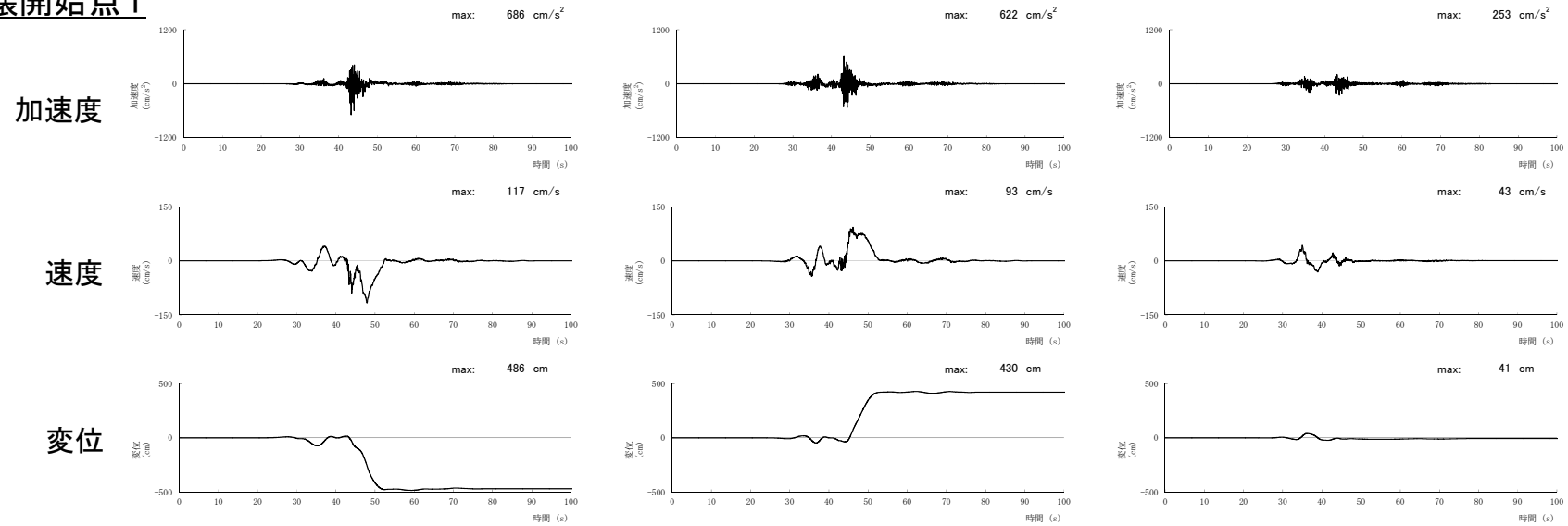


UD方向

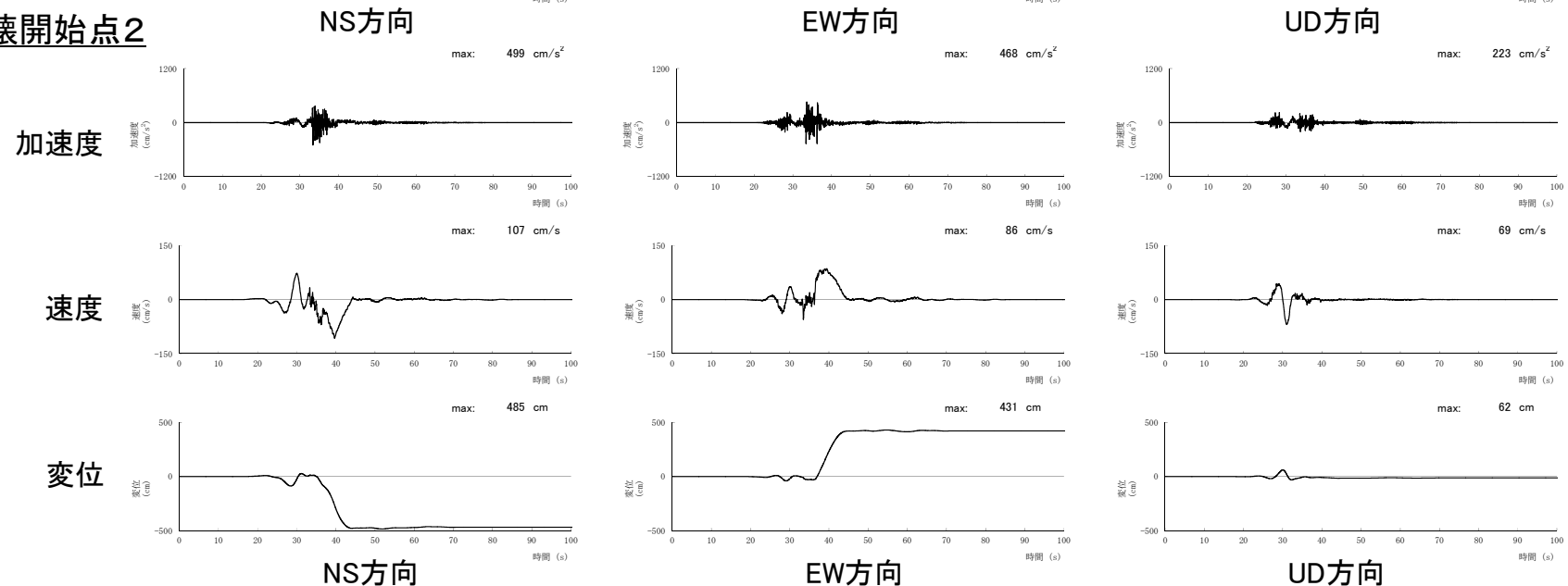
擬似速度応答スペクトル

地震動評価結果(ケース1:連動長さの不確かさを考慮)(2/6)

破壊開始点1

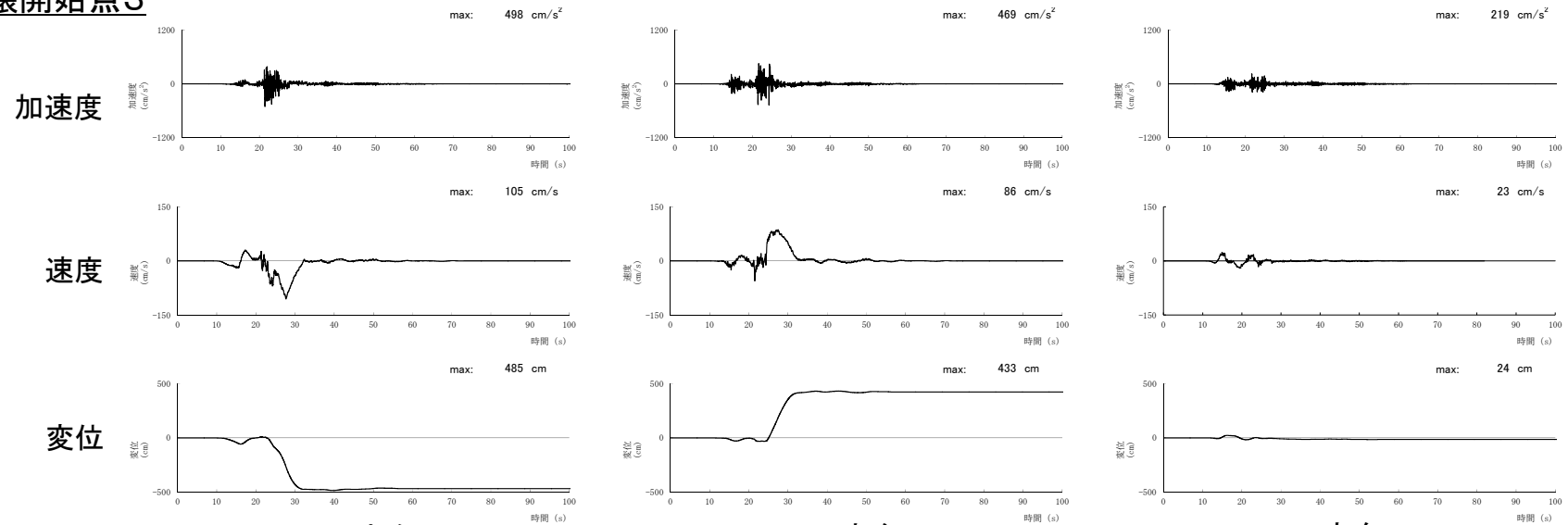


破壊開始点2

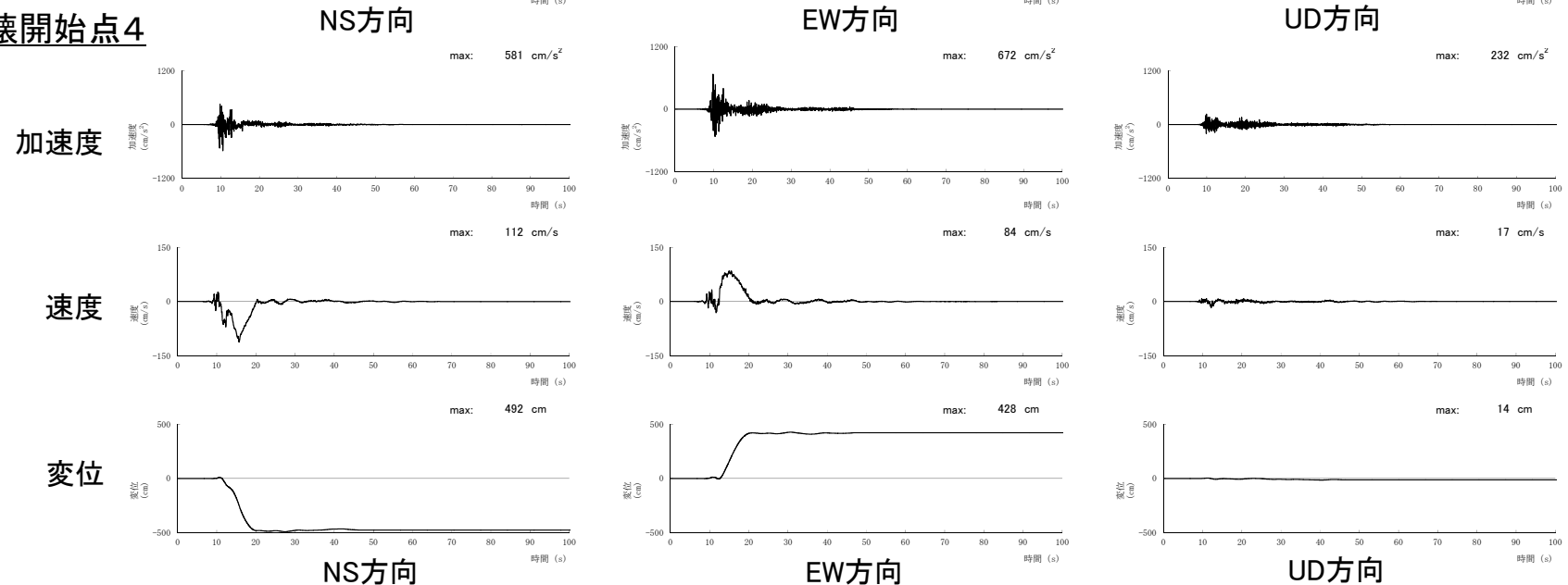


地震動評価結果(ケース1:連動長さの不確かさを考慮)(3/6)

破壊開始点3

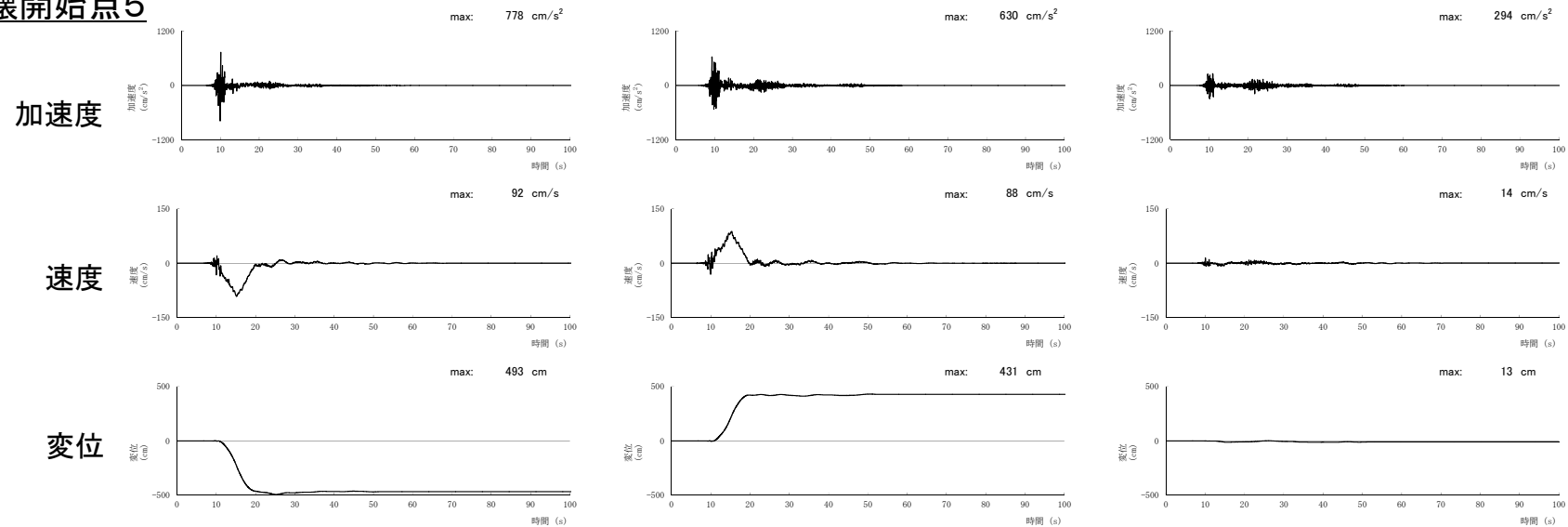


破壊開始点4

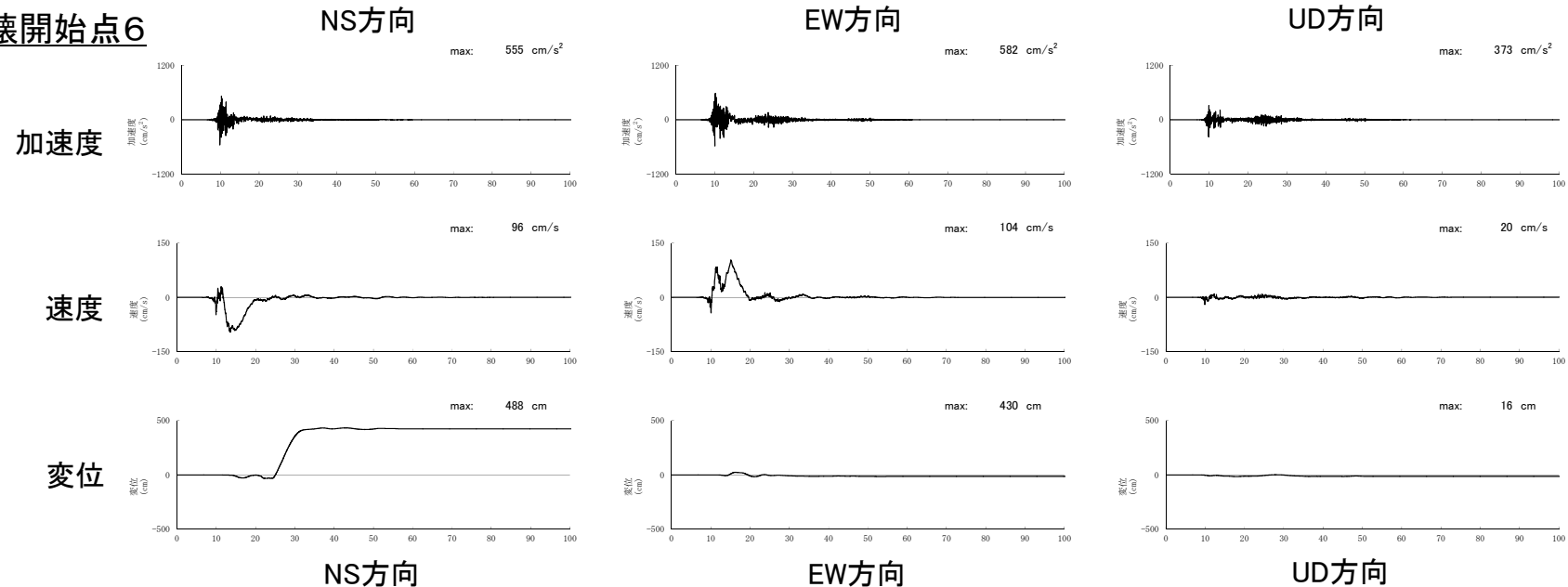


地震動評価結果(ケース1:連動長さの不確かさを考慮)(4/6)

破壊開始点5

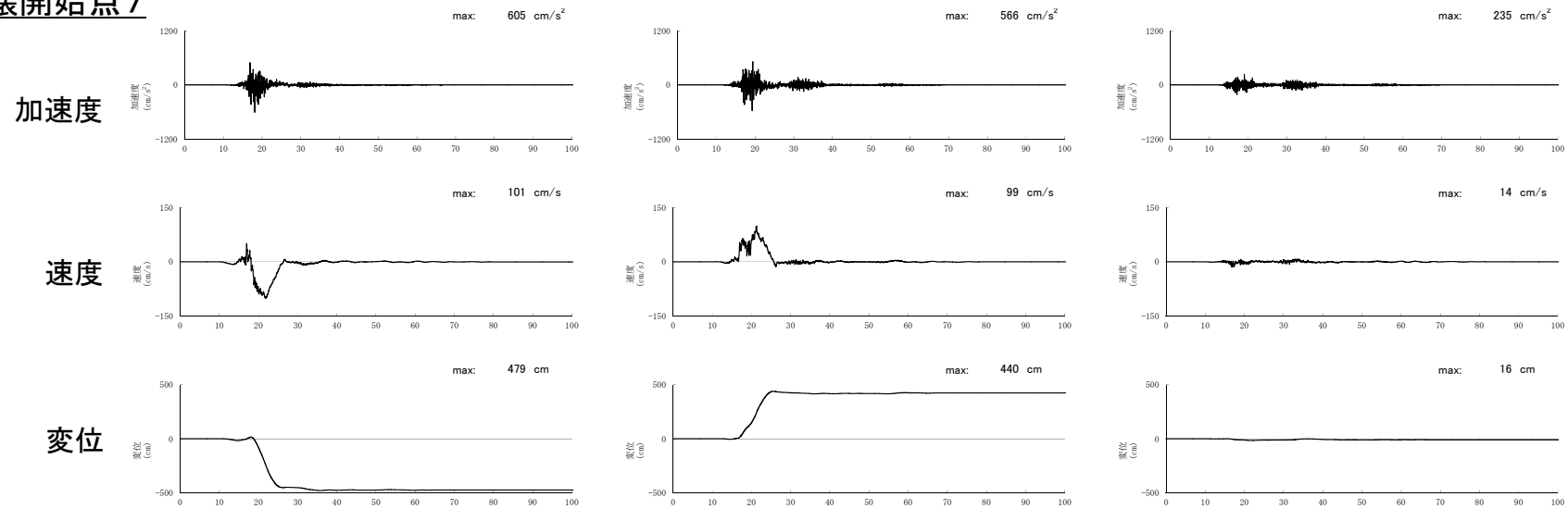


破壊開始点6

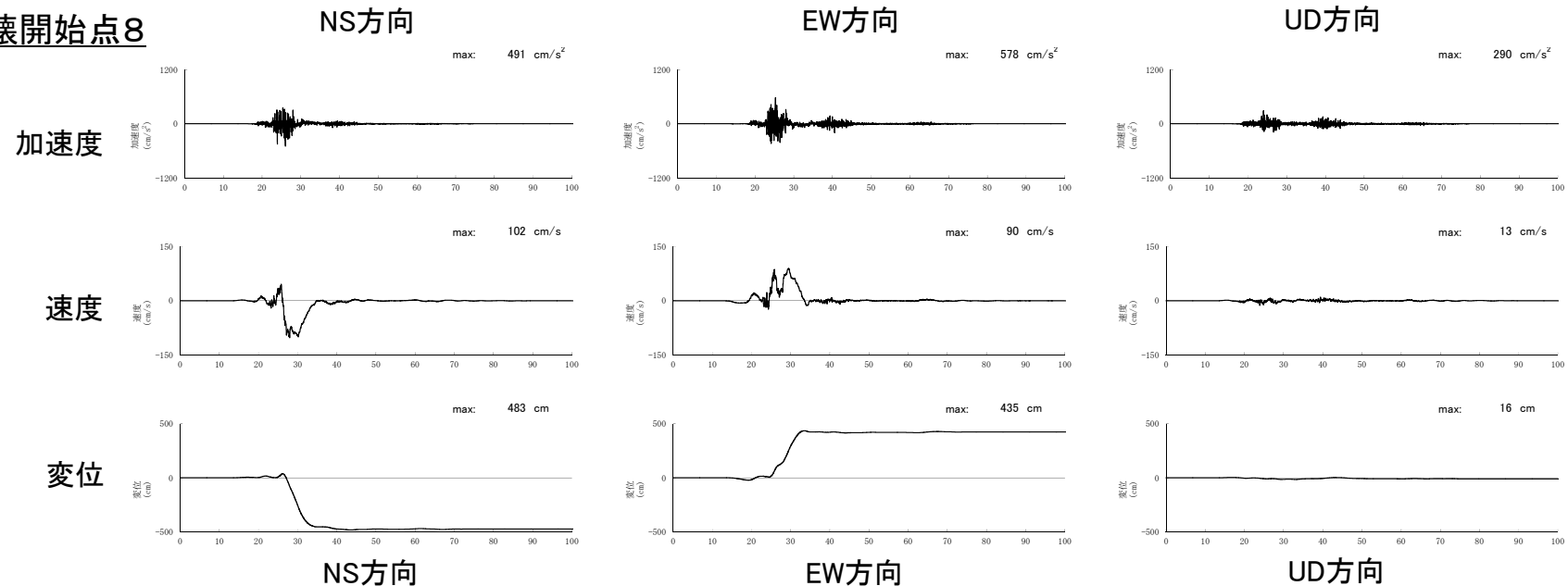


地震動評価結果(ケース1:連動長さの不確かさを考慮)(5/6)

破壊開始点7

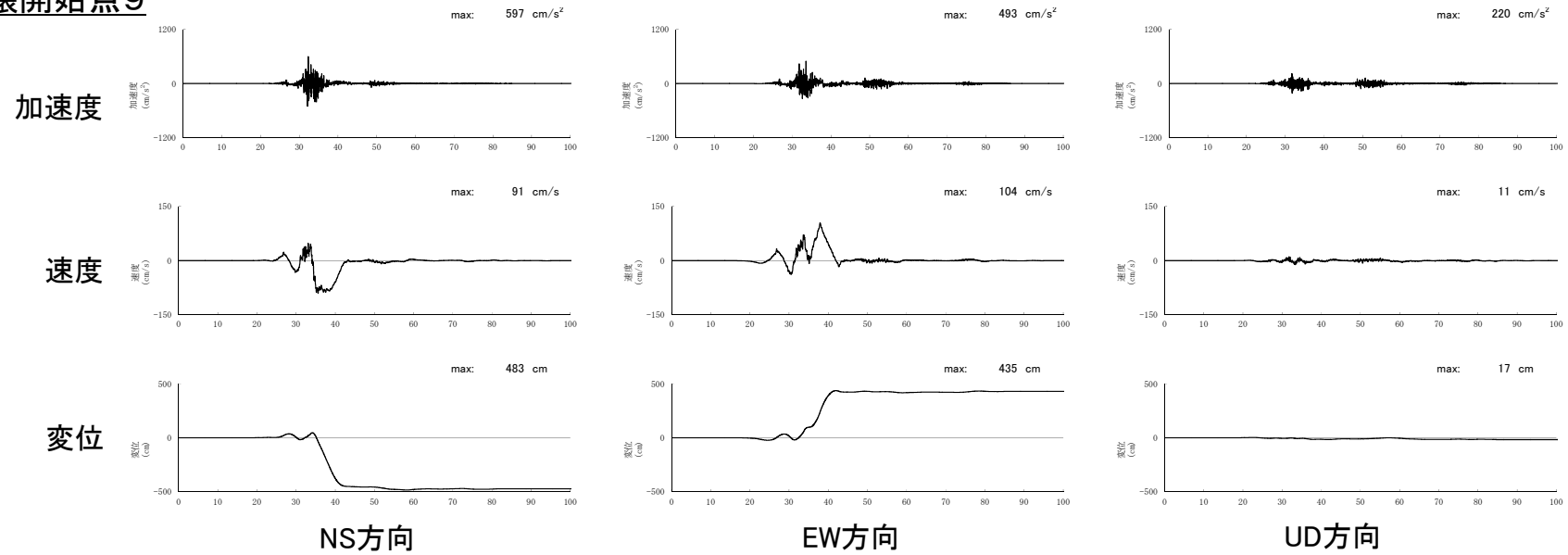


破壊開始点8



地震動評価結果(ケース1:連動長さの不確かさを考慮)(6/6)

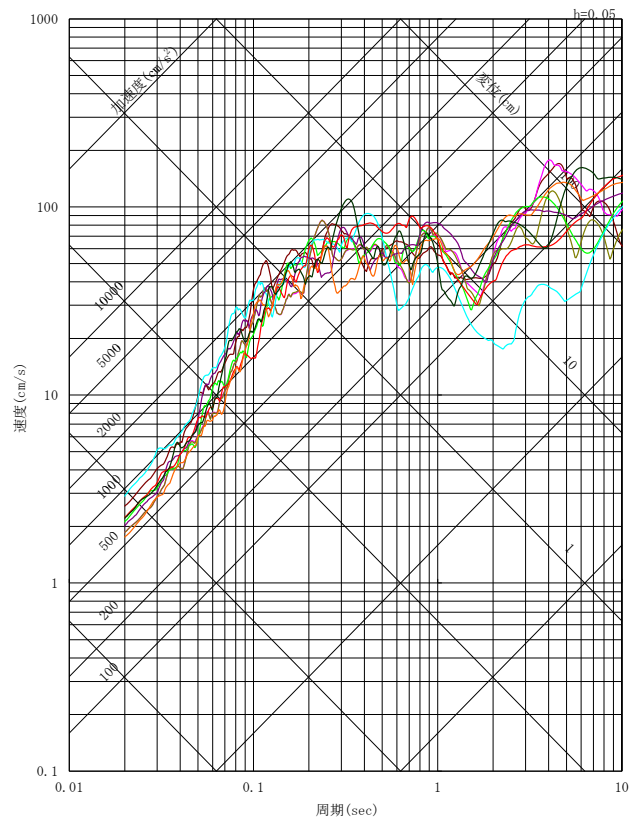
破壊開始点9



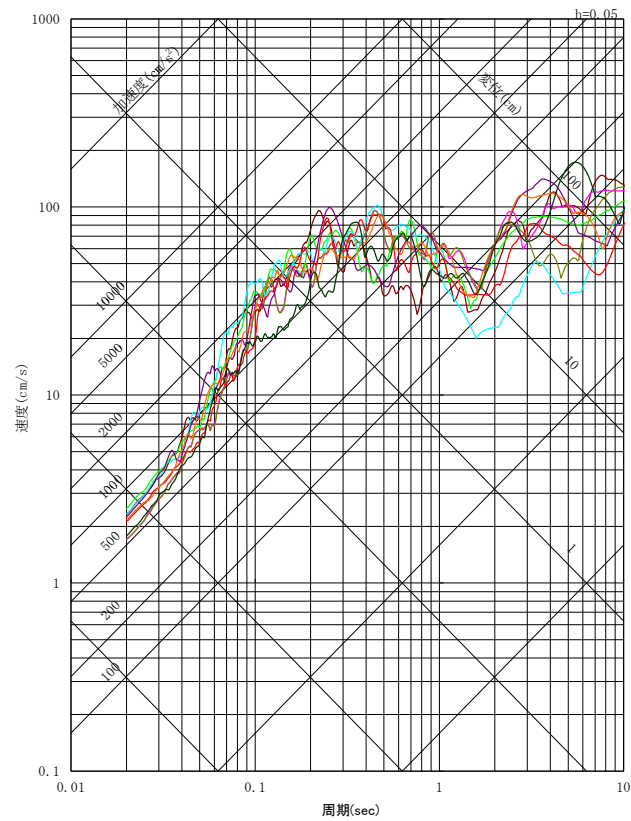
地震動評価結果(ケース2:十分な余裕を考慮)(1/6)

○断層モデルを用いた手法による地震動評価結果:浦底断層 十分な余裕を考慮

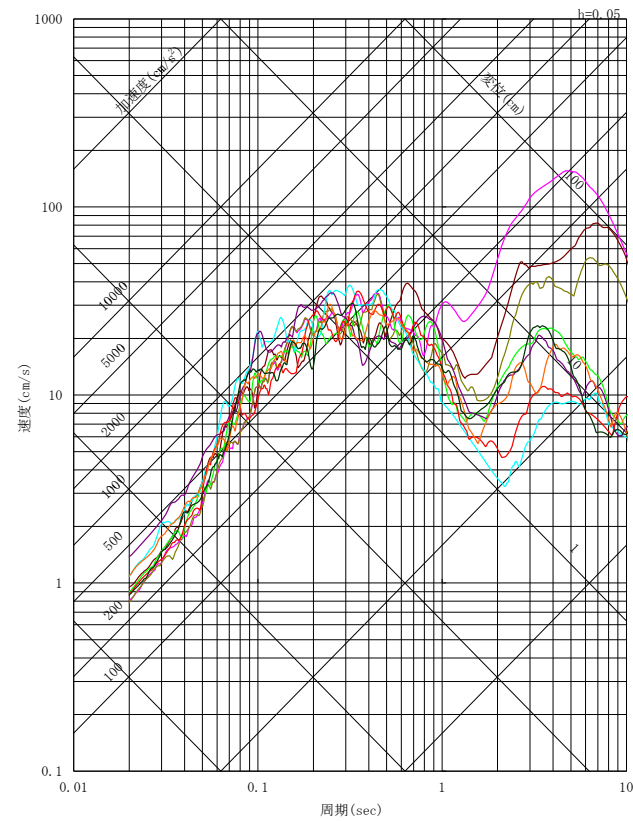
— 破壊開始点1 — 破壊開始点2 — 破壊開始点3 — 破壊開始点4 — 破壊開始点5 — 破壊開始点6 — 破壊開始点7 — 破壊開始点8 — 破壊開始点9



NS方向



EW方向

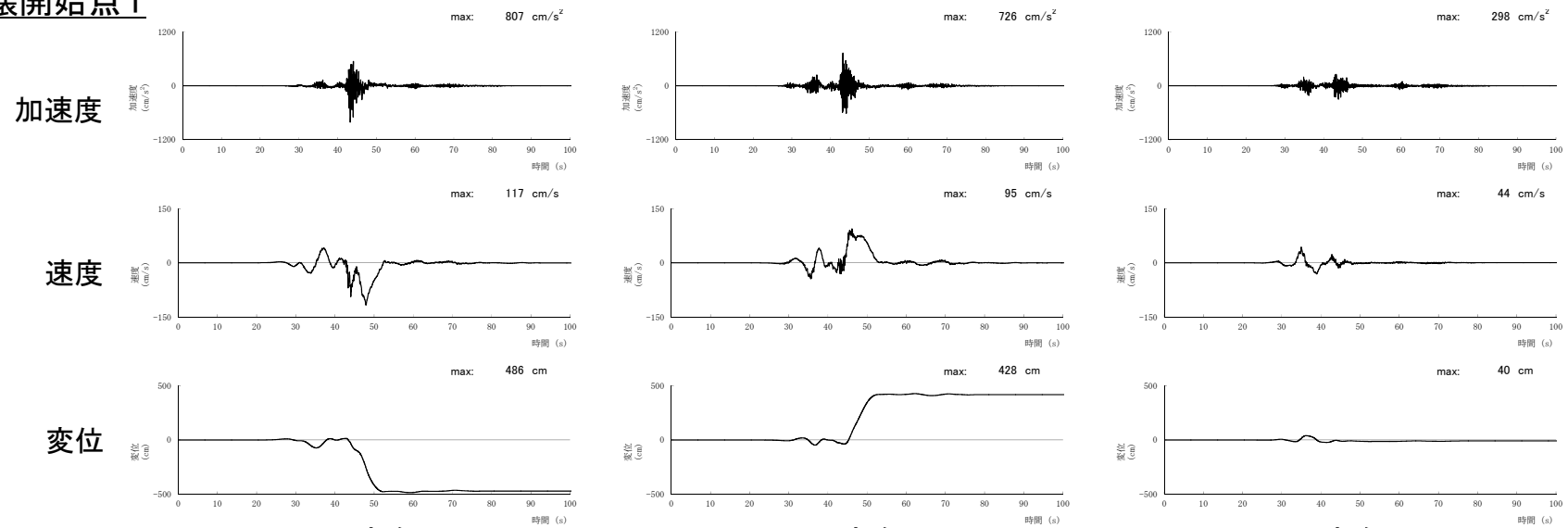


UD方向

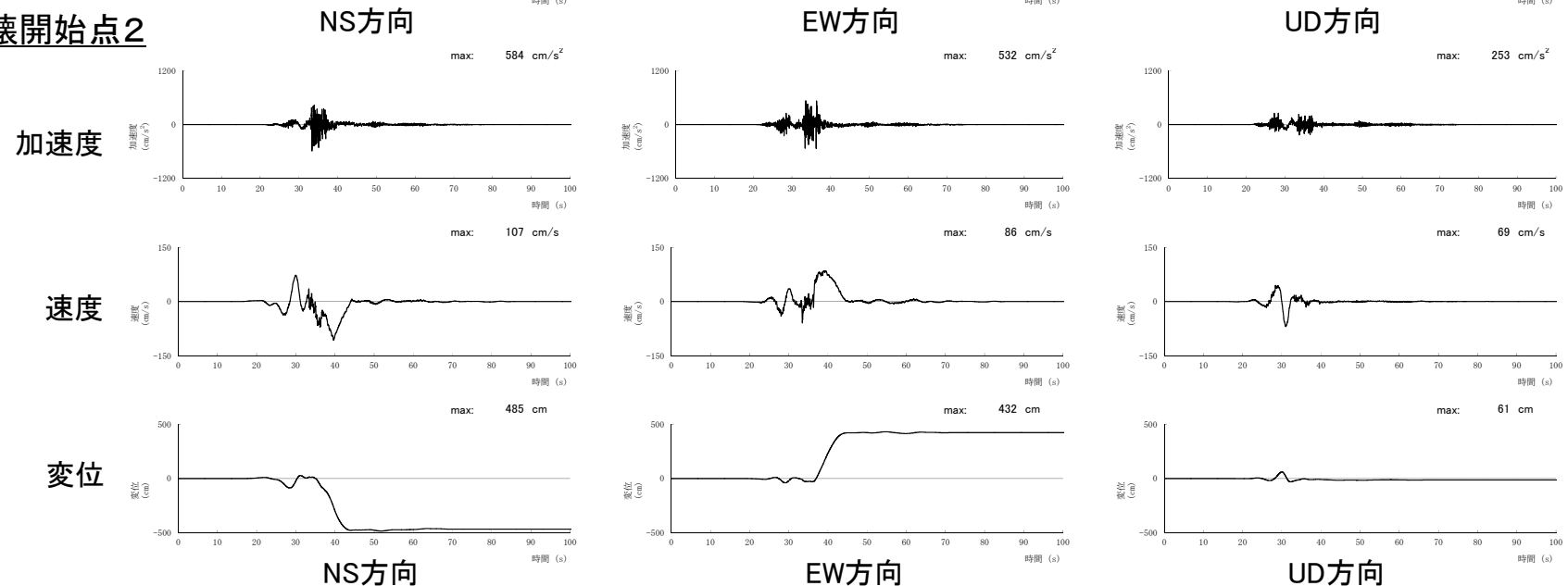
擬似速度応答スペクトル

地震動評価結果(ケース2:十分な余裕を考慮)(2/6)

破壊開始点1

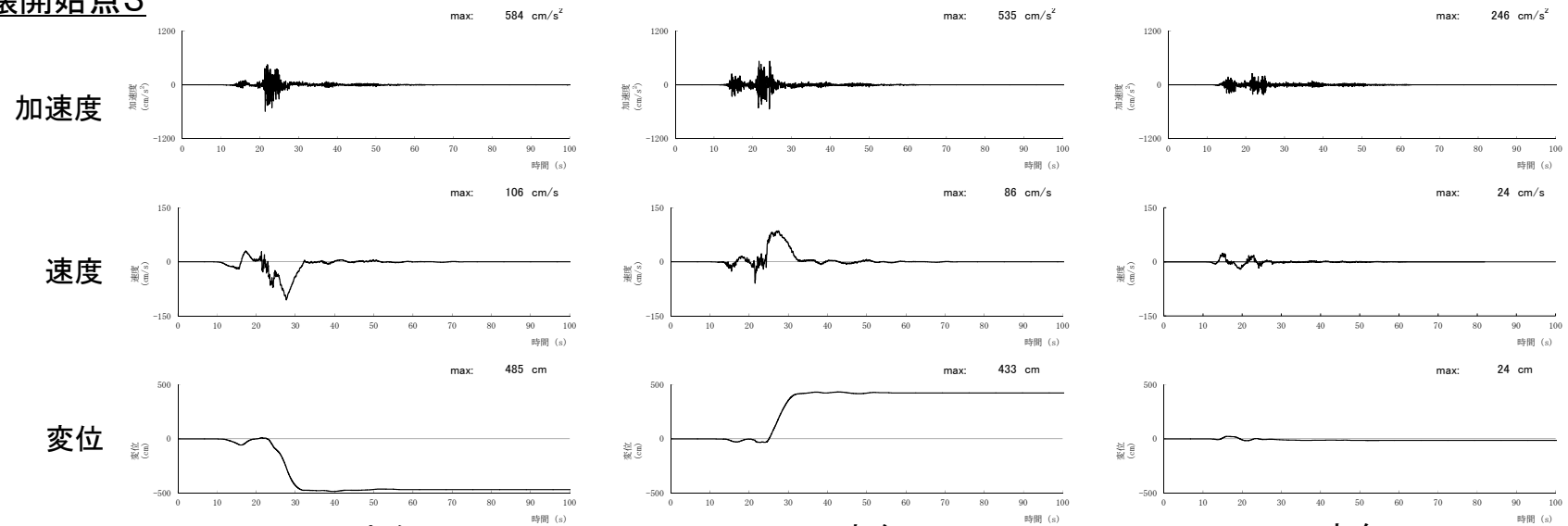


破壊開始点2

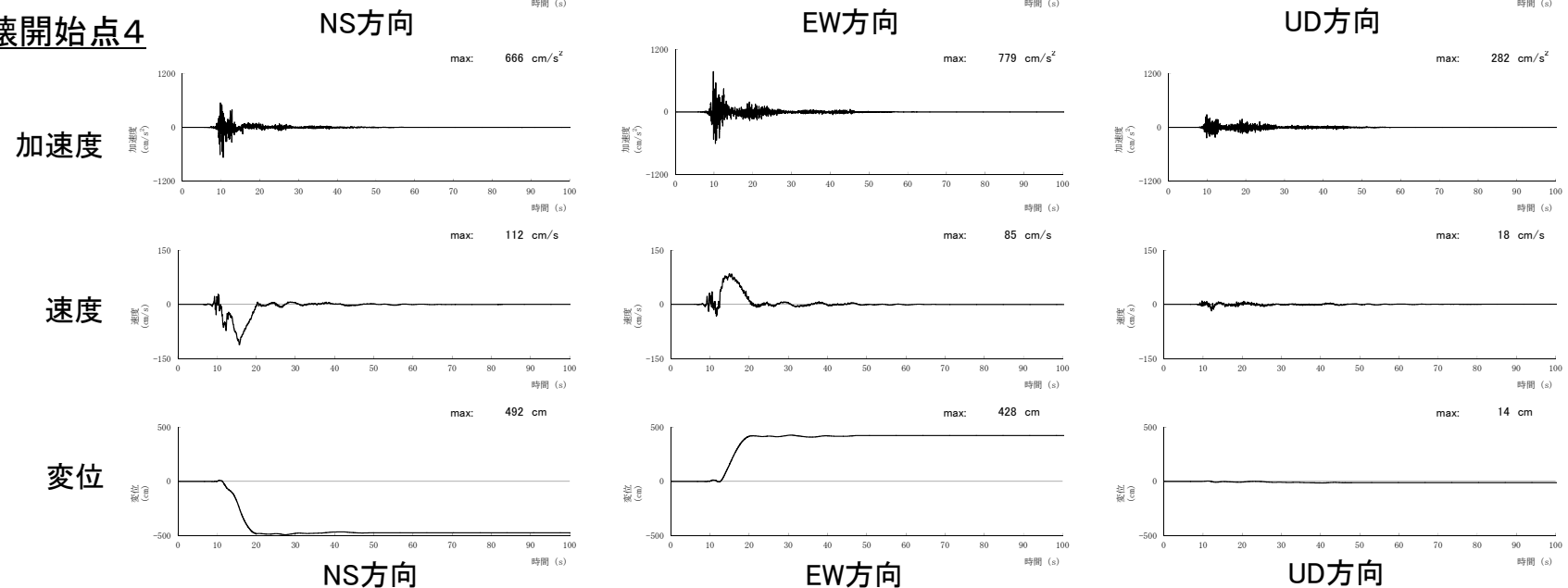


地震動評価結果(ケース2:十分な余裕を考慮)(3/6)

破壊開始点3

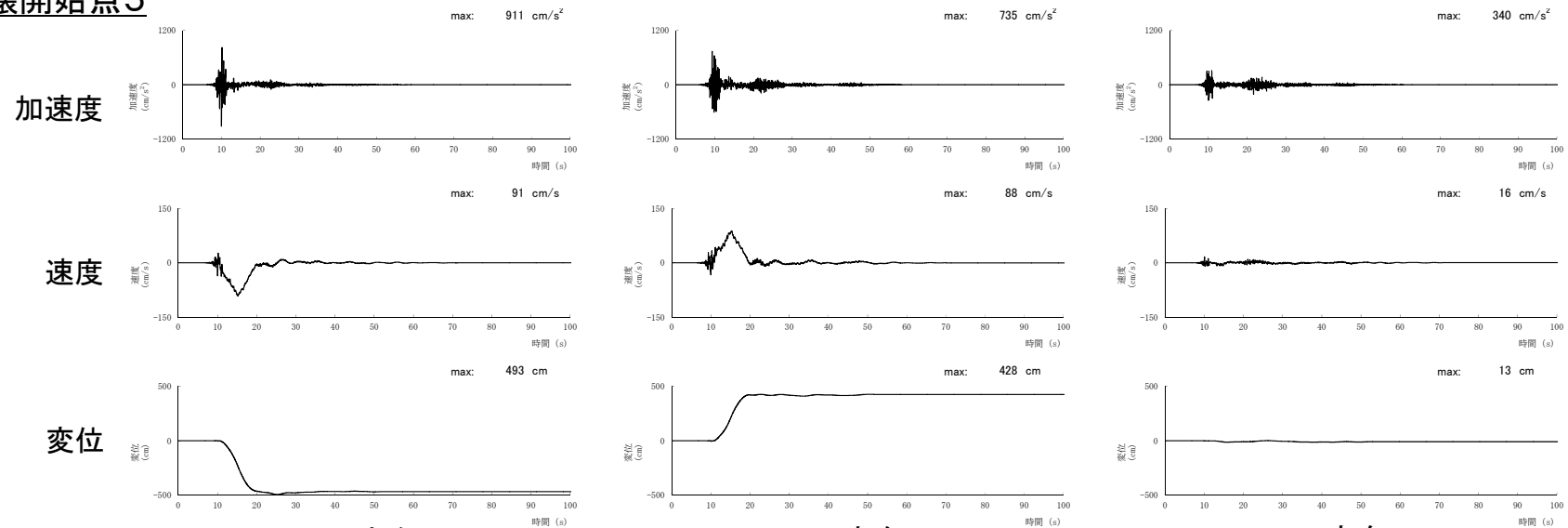


破壊開始点4

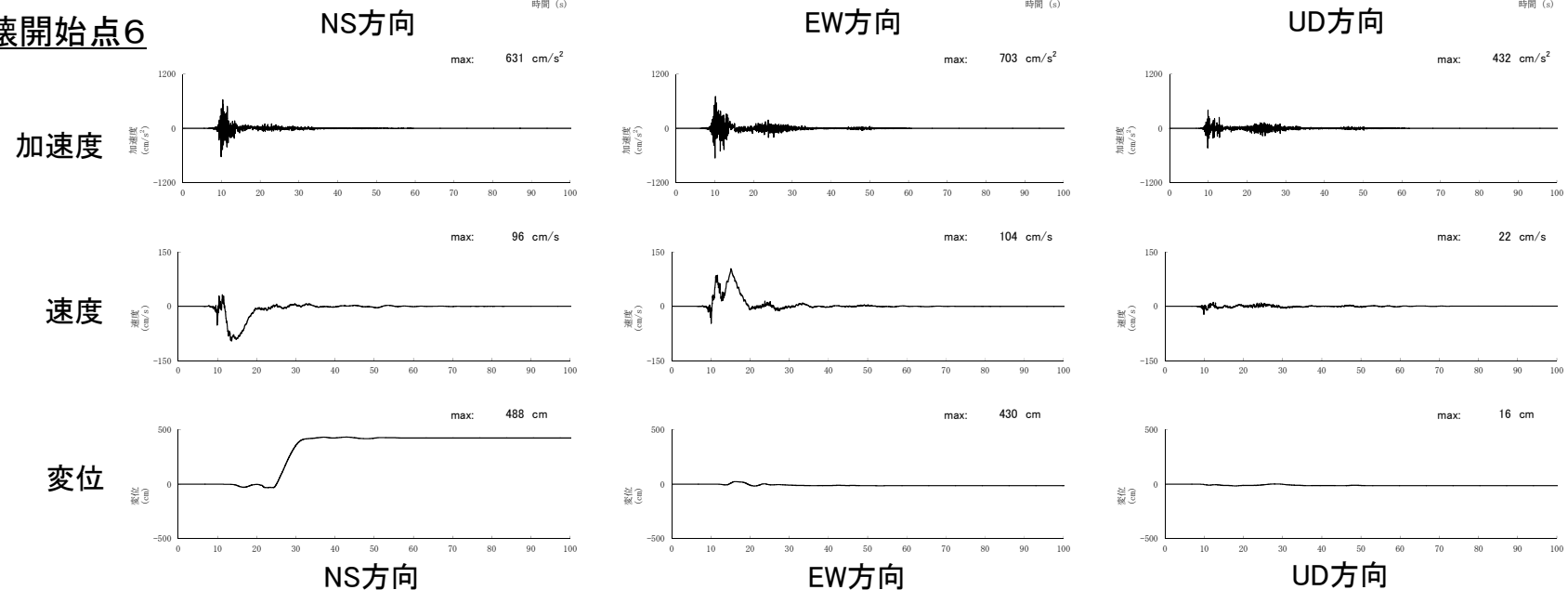


地震動評価結果(ケース2:十分な余裕を考慮)(4/6)

破壊開始点5

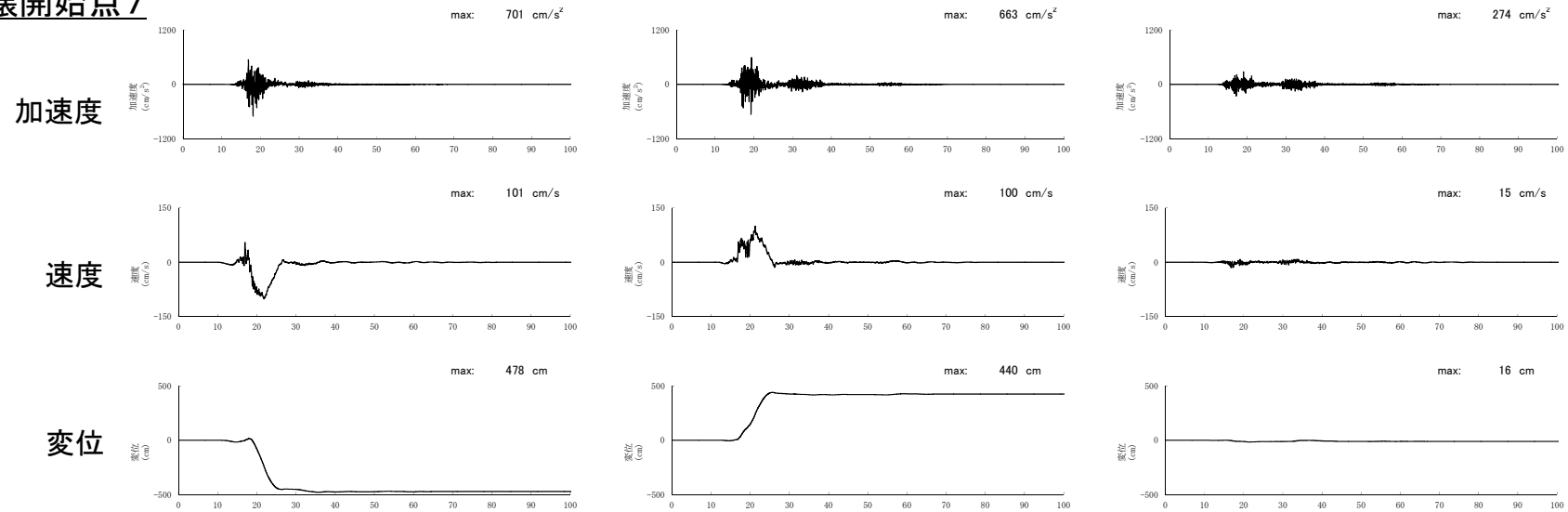


破壊開始点6

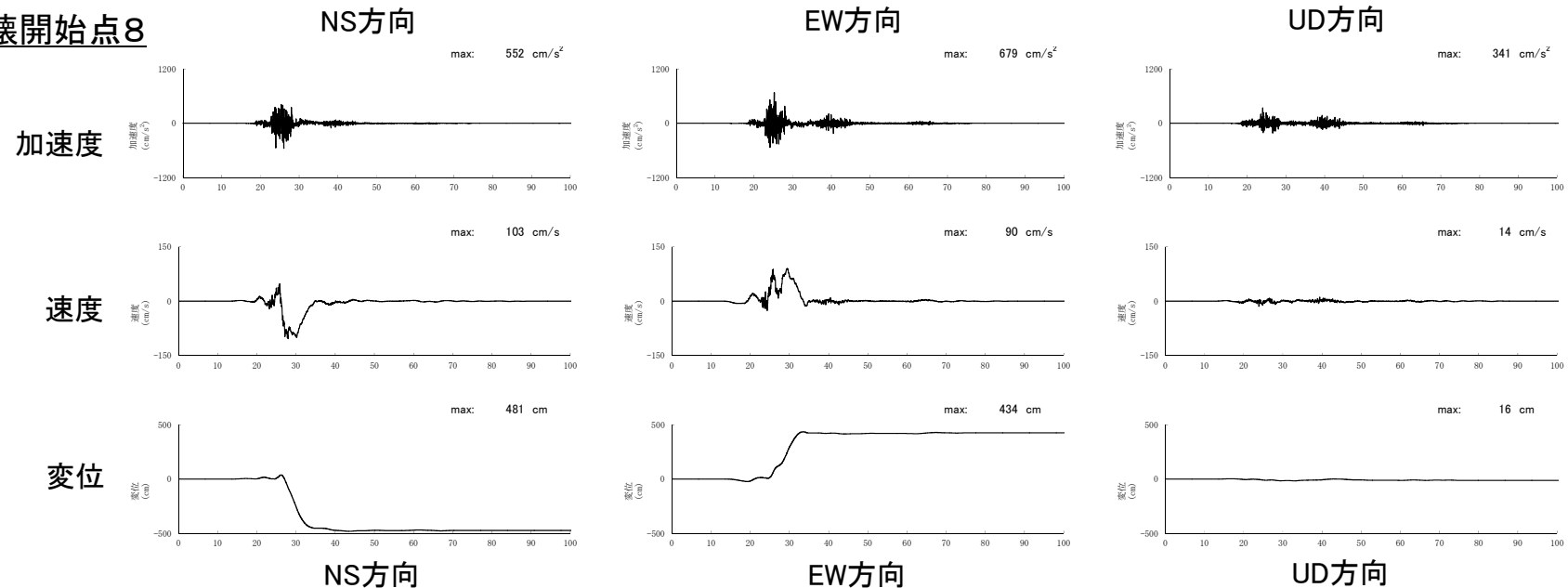


地震動評価結果(ケース2:十分な余裕を考慮)(5/6)

破壊開始点7

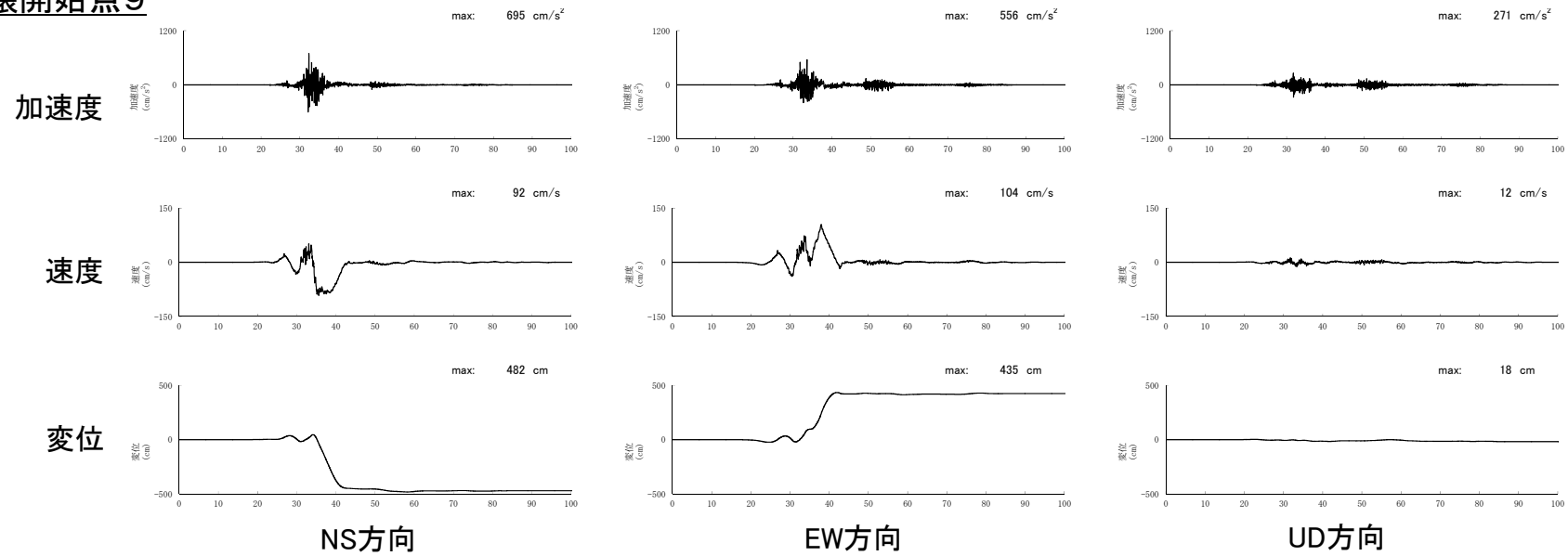


破壊開始点8



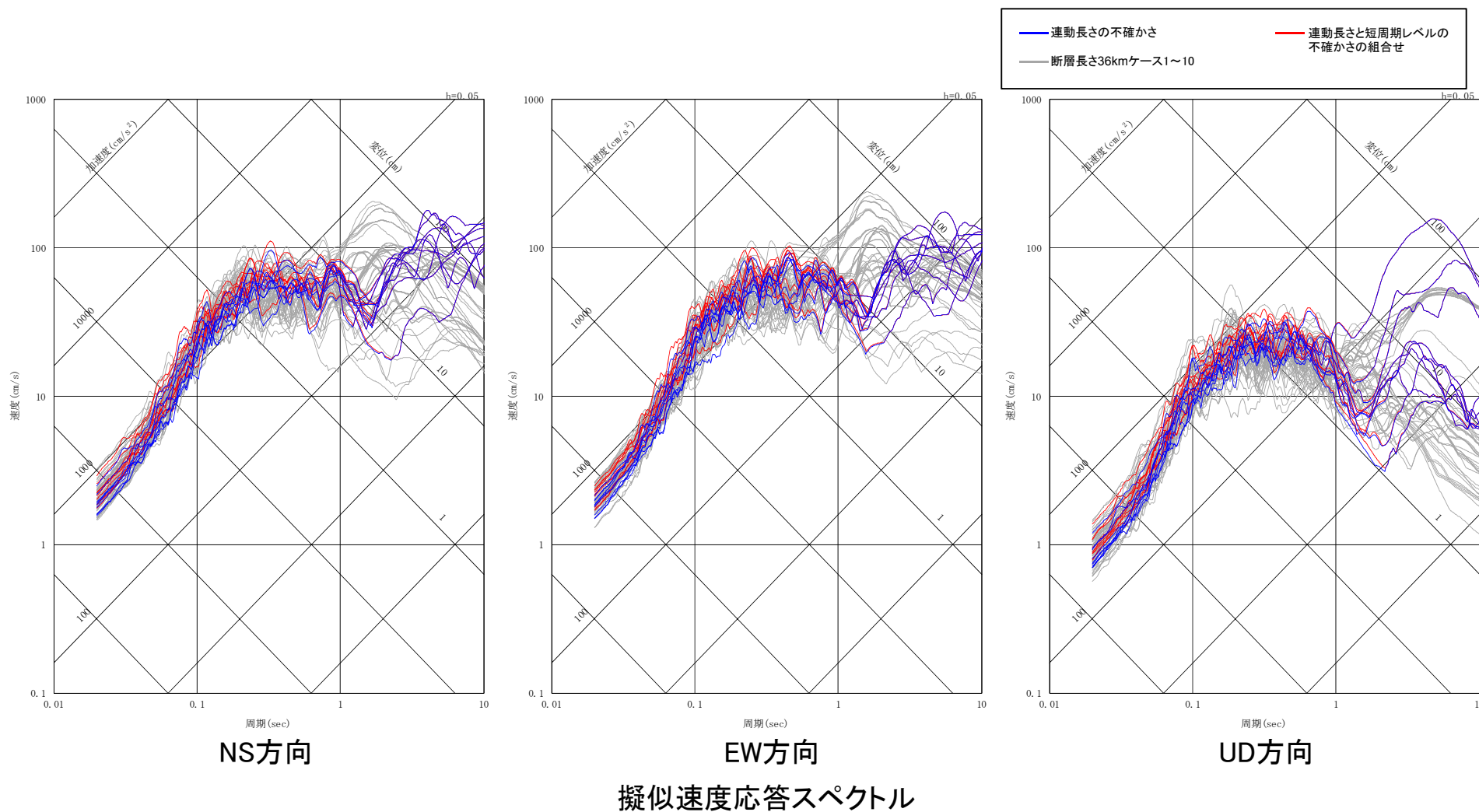
地震動評価結果(ケース2:十分な余裕を考慮)(6/6)

破壊開始点9



地震動評価結果(全ケース)(1/2)

- 連動長さの不確かさを考慮した全ケースと断層長さ36kmの全ケースを比較し、影響検討を行う。
- 周期2秒以上の長周期帯においては、連動長さの不確かさを考慮した影響が見られる。また、原子炉施設にとって重要な短周期帯においては、十分な余裕を考慮した断層長さ36kmの地震動評価結果と概ね同程度であることを確認した。



地震動評価結果(全ケース)(2/2)

○各検討ケースについて、時刻歴波形の最大加速度を整理※する。

※各破壊開始点の時刻歴波形からそれぞれ独立して選定

■浦底断層

■： 偶然的な不確かさ

■： 認識論的な不確かさ

■： 十分な余裕の考慮

検討ケース	傾斜角	すべり角	浅部すべり量	短周期レベル	破壊伝播速度	アスペリティ位置	破壊開始点	最大加速度 (cm/s ²)
1 基本ケース	90°	0°	2.9m	レシピ平均	0.72Vs	サイト直下位置	複数設定	606
2 傾斜角の不確かさ	70°	0°	2.9m	レシピ平均	0.72Vs	サイト直下位置	複数設定	706
3 すべり角の不確かさ	90°	37.6°	2.9m	レシピ平均	0.72Vs	サイト直下位置	複数設定	716
4 浅部すべり量の不確かさ	90°	0°	1.7m	レシピ平均	0.72Vs	サイト直下位置	複数設定	609
5 短周期レベルの不確かさ	90°	0°	2.9m	1.5倍	0.72Vs	サイト直下位置	複数設定	804
6 破壊伝播速度の不確かさ	90°	0°	2.9m	レシピ平均	0.87Vs	サイト直下位置	複数設定	738
7 ・すべり角の不確かさ ・短周期レベルの不確かさ	90°	37.6°	2.9m	1.25倍	0.72Vs	サイト直下位置	複数設定	821
8 ・すべり角の不確かさ ・破壊伝播速度の不確かさ	90°	37.6°	2.9m	レシピ平均	0.87Vs	サイト直下位置	複数設定	740
9 ・短周期レベルの不確かさ ・破壊伝播速度の不確かさ	90°	0°	2.9m	1.25倍	0.87Vs	サイト直下位置	複数設定	875
10 十分な余裕を考慮	90°	0°	2.9m	1.5倍	0.87Vs	サイト直下位置	複数設定	1011

■安島岬沖～和布一干飯崎沖～甲楽城断層～甲楽城沖断層～浦底断層～池河内断層～柳ヶ瀬山断層～柳ヶ瀬断層南部～鍛冶屋断層～関ヶ原断層

検討ケース	傾斜角	すべり角	浅部すべり量	短周期レベル	破壊伝播速度	アスペリティ位置	破壊開始点	最大加速度 (cm/s ²)
1 ・連動長さの不確かさ	45° (北部) 90° (南部)	90° (北部) 0° (南部)	12m	レシピ平均	0.72Vs	敷地に近い位置	複数設定	778
2 十分な余裕を考慮	45° (北部) 90° (南部)	90° (北部) 0° (南部)	12m	1.25倍	0.72Vs	敷地に近い位置	複数設定	911

6章のまとめ

浦底断層について、震源が敷地に極めて近い場合の地震動評価を行った結果を下記の通りまとめる。

- 地震動評価結果には、地表地震断層近傍における地震動の特徴である長周期パルスや永久変位を反映できていることを確認した。
- 浦底断層が原子炉施設に極めて近いことを踏まえ、不確かさの組合せに加え、十分な余裕を考慮することとした。その地震動評価結果は、原子炉施設にとって重要な短周期帯(0.2秒以下)において十分な余裕が確保されていることを確認した。
- 連動する可能性は極めて低いと考えられるが、基準地震動への影響の観点から連動長さの不確かさ(長さ137km)を考慮した地震動評価を行った※結果、断層長さ36kmの地震動評価結果と比較し、周期2秒以上の長周期帯においては、連動長さの不確かさの影響が見られた。また、原子炉施設にとって重要な短周期帯においては、十分な余裕を考慮した断層長さ36kmの評価結果と概ね同程度となっていることを確認した。

※ Ss未確定の現段階では、断層長さ36kmケースの結果との比較検討を行った。

目次

1. 検討方針
2. 知見の整理
 - 2.1 震源極近傍における地震動の特徴
 - 2.2 震源過程
 - 2.3 震源近傍における建物被害
 - 2.4 摩擦とすべり等の関係
 - 2.5 まとめ
3. 浅部断層からの短周期地震動に関する考察
4. 基本震源モデルの地震動評価法
 - 4.1 震源モデルの設定及び計算手法
 - 4.2 2016年熊本地震の再現解析
 - 4.3 まとめ
5. 震源が敷地に極めて近い場合の地震動評価の考え方
6. 浦底断層の地震動評価
 - 6.1 地下構造評価の概要
 - 6.2 基本震源モデルによる地震動評価
 - 6.3 不確かさを考慮した地震動評価
 - 6.4 十分な余裕を考慮した地震動評価
 - 6.5 連動長さの不確かさを考慮した影響検討
 - 6.6 まとめ
7. 全体まとめ
8. 参考文献

補足説明資料1 2016年熊本地震の再現解析について

補足説明資料2 浦底断層の地震動評価(応答スペクトルに基づく手法)

補足説明資料3 C.H.ショルツ(2010)の引用について

全体まとめ

震源が敷地に極めて近い場合の地震動評価について下記のとおりまとめる。

- 震源極近傍の地震動の特徴に関する知見を整理して震源モデルの設定法を検討し、2016年熊本地震の地表地震断層近傍における観測記録の再現解析を行ったところ、長周期パルスや永久変位を再現できることを確認した。
- 浦底断層を対象に地震動評価を行い、長周期パルスや永久変位といった地表地震断層極近傍における地震動の特徴が反映されていることを確認した。
- 浦底断層が原子炉施設に極めて近いことを踏まえ、不確かさの組合せに加え、十分な余裕を考慮することとした。その地震動評価結果は、原子炉施設にとって重要な短周期帯(0.2秒以下)において十分な余裕が確保されていることを確認した。

目次

1. 検討方針
2. 知見の整理
 - 2.1 震源極近傍における地震動の特徴
 - 2.2 震源過程
 - 2.3 震源近傍における建物被害
 - 2.4 摩擦とすべり等の関係
 - 2.5 まとめ
3. 浅部断層からの短周期地震動に関する考察
4. 基本震源モデルの地震動評価法
 - 4.1 震源モデルの設定及び計算手法
 - 4.2 2016年熊本地震の再現解析
 - 4.3 まとめ
5. 震源が敷地に極めて近い場合の地震動評価の考え方
6. 浦底断層の地震動評価
 - 6.1 地下構造評価の概要
 - 6.2 基本震源モデルによる地震動評価
 - 6.3 不確かさを考慮した地震動評価
 - 6.4 十分な余裕を考慮した地震動評価
 - 6.5 連動長さの不確かさを考慮した影響検討
 - 6.6 まとめ
7. 全体まとめ
8. 参考文献

補足説明資料1 2016年熊本地震の再現解析について

補足説明資料2 浦底断層の地震動評価(応答スペクトルに基づく手法)

補足説明資料3 C.H.ショルツ(2010)の引用について

参考文献(1/5)

- 原子力規制委員会(2013):基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド
- 理論地震動研究会(1994):地震動—その合成と波形処理, 鹿島出版会
- 野津厚(2006):統計的グリーン関数法に近地項と中間項を導入するための簡便な方法, 第12回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.190-193.
- Hisada, Y. and J. Bielak(2003): A Theoretical Method for Computing Near-Fault Ground Motions in Layered Half-Spaces Considering Static Offset Due to Surface Faulting, with a Physical Interpretation of Fling Step and Rupture Directivity, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.93, No.3, pp.1154-1168.
- Hisada, Y. and J. Bielak(2004): Effects of Sedimentary Layers on Directivity Pulse and Fling Step, Proceedings of 13th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No.1736.
- Kuo-Fong Ma, Emily E. Brodsky, Jim Mori, Chen Ji, Teh-Ru A. Song, and Hiroo Kanamori(2003): Evidence for fault lubrication during the 1999 Chi-Chi, Taiwan, earthquake (Mw7.6), GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 30, NO. 5, 1244
- Kuo-Liang Wen, Han-Yih Peng, Yi-Ben Tsai, Kuo-Chang Chen(2001): Why 1G Was Recorded at TCU129 Site During the 1999 Chi-Chi, Taiwan, Earthquake, Bulletin of the Seismological Society of America, 91, 5, pp.1255-1266
- 岩田知孝(2016): 益城町宮園・西原村小森本震記録の解析, 京都大学防災研究所地震災害研究部門強震動研究分野, <http://sms.dpri.kyoto-u.ac.jp/topics/masaki-nishihara0428ver2.pdf>
- Kagawa, T., K. Irikura and P. G. Somerville(2004): Differences in ground motion and fault rupture process between the surface and buried rupture earthquakes, Earth Planets Space, Vol.56, No.1, pp.3-14.
- 引間和人・中村亮一・植竹富一(2015): 2014年長野県北部の地震(Mj6.7)の震源過程～震源近傍の広帯域地震波形を考慮した解析～, 日本地震学会秋季大会講演予稿集, S15-14, pp.87.
- Kubo, H., W. Suzuki, S. Aoi and H. Sekiguchi(2016): Source rupture processes of the 2016 Kumamoto, Japan, earthquakes estimated from strong-motion waveforms, Earth, Planets and Space, Vol.68, No.161.
- 引間和人(2016): 強震波形を用いた2016年熊本地震の本震・前震の震源過程解析, 日本地震工学会第12回年次大会梗概集.
- 引間和人・三宅弘恵(2016): 観測記録により推定された震源断層モデルに見られる特徴, 第44回地盤震動シンポジウム, 日本建築学会, pp.26-33.
- Asano, K. and T. Iwata(2016): Source rupture processes of the foreshock and mainshock in the 2016 Kumamoto earthquake sequence estimated from the kinematic waveform inversion of strong motion data, Earth, Planets and Space, Vol.68, No.147.
- Kunikazu Yoshida, Ken Miyakoshi, Kazuhiro Somei and Kojiro Irikura (2017): Source process of the 2016 Kumamoto earthquake (Mj7.3) inferred from kinematic inversion of strong-motion records, Earth, Planets and Space, Vol.69, No.64.
- Somerville, P., K. Irikura, R. Graves, S. Sawada, D. Wald, N. Abrahamson, Y. Iwasaki, T. Kagawa, N. Smith and A. Kowada(1999): Characterizing Crustal Earthquake Slip Models for the Prediction of Strong Ground Motion, Seismological Research Letters, Vol.70, No.1, pp.59-80.
- 田中 信也・金田 惇平・引間 和人・久田 嘉章(2017a): 地震発生層以浅に適用可能なすべり速度時間関数の評価(その2) 規格化Yoffe 関数に基づく近似式, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 21147, pp. 293-294.
- 金田 惇平・田中 信也・引間 和人・久田 嘉章(2017): 地震発生層以浅に適用可能なすべり速度時間関数の評価(その1) 1999 年集集地震を対象とした検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 21146, pp. 291-292.
- 田中 信也・引間 和人・久田 嘉章(2017b): 震源インバージョン結果に基づく地震発生層以浅におけるすべり速度時間関数の評価, 日本地震工学会論文集, 第17巻, 第5号.
- 入倉孝次郎・倉橋奨(2017): 震源断層近傍の長周期地震動評価のための特性化震源モデルの拡張—2016年熊本地震(Mw7.0)の断層近傍地震動による検証—, 日本地震工学会第13回年次大会梗概集.

参考文献(2/5)

- 久田嘉章・田中信也(2017):2016年熊本地震の地表地震断層近傍の強震動特性と建物被害調査, 第45回地盤震動シンポジウム, 日本建築学会, pp.8-23.
- Wu, C. J., M. Takeo, and S. Ide(2001): Source process of the Chi-Chi earthquake: A joint inversion of strong motion data and global positioning system data with a multifault model, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.91, No.5.9
- 地震調査研究推進本部(2017): 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)
- Irikura, K., K. Miyakoshi, K. Kamae, K. Yoshida, K. Somei, S. Kurahashi, H. Miyake(2016): Applicability of source scaling relations for crustal earthquakes to estimation of the ground motions of the 2016 Kumamoto earthquake, Earth, Planets and Space, Vol.69, No.10.
- 佐藤智美(2017): 強震観測記録に基づく2016年熊本地震の広帯域震源特性, 日本建築学会構造系論文集, 82巻 741号, pp.1707-1717.
- 三宅 弘恵, 岩田 知孝, 入倉 孝次郎(1991): 経験的グリーン関数法を用いた1997年3月26日 ($M_{JMA}6.5$) 及び5月13日 ($M_{JMA}6.3$) 鹿児島県北西部地震の強震動シミュレーションと震源モデル, 地震 第2輯, 51 巻 4 号 pp. 431-442.
- Shinya Ikutama, Takeshi Kawasato, Yosuke Kawakami, Masahiro Noshio, Atsuko Oana, Kazuo Dan, Haruhiko Torita, Yasuo Okada(2018): Source Modeling for Predicting Ground Motions and Permanent Displacements Very Close to the Fault Trace, Journal of Earthquake and Tsunami, 1841005
- Atsuko Oana, Kazuo Dan, Shinya Ikutama, Takeshi Kawasato, Masahiro Noshio, and Haruhiko Torita(2019): Source Modelling for Reproducing of Strong Ground Motions and Permanent Displacements Very Close to the Fault Trace of the 2016 Kumamoto, Japan, Earthquake, Transactions, SMiRT-25, Charlotte, NC, USA, August 4-9.
- Dan, K. and Sato, T(1998): Simulation of Strong Ground Motions in the Near Field of the 1979 Imperial Valley, California, Earthquake by Semi-Empirical Method Based on Variable-Slip Rupture Model, 第10回日本地震工学シンポジウム, pp.703-708.
- Ralph J. Archuleta(1984): A faulting model for the 1979 Imperial Valley earthquake, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, Vol. 89, Issue B6.
- L.A. Dalguer, K. Irikura, J. D. Riera, H.C. Chiu(2001): Fault Dynamic Rupture Simulation of the Hypocenter Area of the Thrust Fault of the 1999 Chi-Chi (Taiwan) Earthquake, GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 28, NO. 7, pp.1327-1330.
- 釜江克宏・入倉孝次郎(2002): トルコ・コジャエリ, 台湾・集集地震の震源の特性化と強震動シミュレーション, 第11回日本地震工学シンポジウム, pp.545-550.
- H. Sadeghi, H. Miyake, A. Riahi (2013): Strong ground motion simulation of the 2003 Bam, Iran, earthquake using the empirical Green's function method, Journal of Seismology, Vol.17, Issue 2, pp.297-312.
- 小穴温子・壇一男・宮腰淳一・藤原広行・森川信之・前田宣浩(2017): 統計的グリーン関数法を用いた2016年熊本地震本震の特性化震源モデルの推定, 日本地球惑星科学連合2017年大会, SCG70-P04.
- Timothy D. Ancheta, Robert B. Darragh, Jonathan P. Stewart, Emel Seyhan, Walter J. Silva, Brian S.-J. Chiou, Katie E. Wooddell, Robert W. Graves, Albert R. Kottke, David M. Boore, Tadahiro Kishida, Jennifer L. Donahue(2014): NGA-West2 Database, Earthquake Spectra, Vol.30, No. 3, pp.989-1005
- 林康裕(2000): 台湾・集集地震の活断層近傍における建物被害, 第28回地盤震動シンポジウム, 日本建築学会, pp.53-6
- 宮腰淳一, 護雅史, 神原浩, 林康裕: 台湾集集地震における地震観測点周辺の建物被害のマクロ分析(速報), 東京工業大学, 地震工学研究レポート, No.72, pp.31-38, 1999.11.
- Miyakoshi, J. and Y. Hayashi: Correlation of building damage with indices of seismic ground motion intensity during the 1999 Chi-Chi, Taiwan earthquake, Proc. of International Workshop on Annual Commemoration of Chi-Chi earthquake, Vol.II, pp.337-348, 2000.9.
- 久田嘉章(2004): 震源域の強震動と被害, 2004年度建築学会大会(北海道)振動部門PD資料.
- 久田嘉章・久保智弘・松澤佳・松本俊明・田邊朗仁・森川淳(2012): 2011年福島県浜通り地震の地表地震断層の近傍における建物被害調査, 日本地震学会論文集, 第12巻, 第4号(特集号), pp.104-126.
- 石川理人・久田嘉章(2017): 2014年長野県神城断層地震における建物被害調査, 日本地震工学会第13回年次大会梗概集.

参考文献(3/5)

- Hisada, Y., J. Kaneda, A. Teramoto, M. Murakami, Y. Masuzawa, Y. Yanagida, T. Shindo, H. Suzuki, S. Sakai, K. Mori, K. Nakano, Y. Tojo, K. Kimoto, S. Tanaka and W. Kobayashi(2017): Strong Ground Motions and Damage Investigation of Buildings near the Surface Faulting of the 2016 Kumamoto Earthquake in Japan, Proceedings of 16th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No.5001.
- 久田嘉章, 田中信也, 金田惇平, 寺本彩乃, 中村 航, 村上正浩, 鱒沢 曜, 境 茂樹, 仲野健一, 森 清隆, 木本幸一郎(2019): 2016年熊本地震の地表地震断層の近傍における建物の被害調査と活断層対策, 日本地震工学会論文集, 投稿中.
- 鈴木 康弘・渡辺 満久・中田 高(2016): 2016年熊本地震を教訓とする活断層防災の課題と提言, 科学 86(8), 839-847.
- 鈴木 康弘・渡辺 満久・中田 高・田中 圭(2018): 益城町市街地における地震断層と建物被害集中, 日本地球惑星科学連合2018年大会, SSS14-05
- 中田 高(2017): 2016年熊本地震の地震断層の分布形状と家屋被害, 日本地球惑星科学連合2017年大会, HGC37-14
- 山田 真澄(2017): 2016年熊本地震で益城町に現れた震災の島とその生成要因の考察, 日本地震工学会論文集, 2017年17巻5号 pp. 38-47.
- C.H.ショルツ(2010): 地震と断層の力学, 第二版, 古今書院.
- Dieterich (1979): J. H., Modeling of rock friction: 1. Experimental results and constitutive equations, J Geophys. Res., 84, 2161-2168
- Ruina(1983): A. L., Slip instability and state variable friction laws, J. Geophys. Res., 88, 10359-10370
- Marone, C., and C. H. Scholz(1988): The depth of seismic faulting and the upper transition from stable to unstable slip regimes, Geophys. Res., Lett., 15, 621-624
- 佐藤凡子・矢部康男・山本清彦・伊藤久男(2003): 変形率変化法により推定された野島断層近傍の地殻応力, 地震. 2輯 56(2), 157-169.
- Tetsuro Hirono, Tadashi Yokoyama, Yohei Hamada, Wataru Tanikawa, Toshiaki Mishima, Minoru Ikehara, Vincent Famin, Masaharu Tanimizu, Weiren Lin, Wonn Soh, and Sheng-Rong Song(2007): A chemical kinetic approach to estimate dynamic shear stress during the 1999 Taiwan Chi-Chi earthquake, GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 34, L19308.
- Jim MORI・加納靖之(2009): 1999年台湾集集地震(Mw=7. 6)と断層摩擦決定のための断層帯の温度計測, 自然災害科学J.JSNDS28-2151-159(2009).
- Yasuyuki Kano, Jim Mori, Ryo Fujio, Hisao Ito, Takashi Yanagidani, Setsuro Nakao and Kuo-Fong Ma(2006): Heat signature on the Chelungpu fault associated with the 1999 Chi-Chi, Taiwan earthquake, GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 33, L14306.
- Kuo-Fong, Ma, Hidemi Tanaka, Sheng-Rong Song, Chien-Ying Wang, Jih-Hao Hung, Yi-Ben Tsai, Jim Mori, Yen-Fang Song, Eh-Chao Yeh, Wonn Soh, Hiroki Sone, Li-Wei Kuo, Hung-Yu Wu (2006): Slip zone and energetics of a large earthquake from the Taiwan Chelungpu-fault Drilling Project, nature LETTERS, Vol 444
- Wataru Tanikawa and Toshihiko Shimamoto(2009): Frictional and transport properties of the Chelungpu fault from shallow borehole data and their correlation with seismic behavior during the 1999 Chi-Chi earthquake, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 114, B01402.
- Kohtaro Ujiie, Hanae Tanaka, Tsubasa Saito, Akito Tsutsumi, James J. Mori, Jun Kameda, Emily E. Brodsky, Frederick M. Chester, Nobuhisa Eguchi, Sean Toczko, Expedition 343 and 343T Scientists(2013): Low Coseismic Shear Stress on the Tohoku-Oki Megathrust Determined from Laboratory Experiments, SCIENCE VOL 342 6 DECEMBER 2013.
- Tetsuro Hirono, Kenichi Tsuda & Shunya Kaneki (2019): Role of Weak Materials in Earthquake Rupture Dynamics, Scientific Reports, volume 9, Article number: 6604
- Wenbo Zhang, Tomotaka Iwata, and Kojiro Irikura, Haruko Sekiguchi, Michel Bouchon (2003): Heterogeneous distribution of the dynamic source parameters of the 1999 Chi-Chi, Taiwan, earthquake, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 108, NO. B5, 2232
- Brune, J.N. (1970): Tectonic Stress and the Spectra of Seismic Shear Waves from Earthquakes, Journal of Geophysical Research, Vol.75, pp.4997-5009.
- 小穴温子, 壇一男, 藤堂正喜, 石井透, 藤原広行, 森川信之(2015): 内陸の長大な断層におけるアスペリティの動的応力降下量の不均質性の考慮と強震動予測への適用, 日本建築学会構造系論文集第80巻第713号, 1079-1089, 2015年7月

参考文献(4/5)

- Chen Ji and Donald V. Helmberger, David J. Wald, Kuo-Fong Ma(2003): Slip history and dynamic implications of the 1999 Chi-Chi, Taiwan, earthquake, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 108, NO. B9, 2412
- Iwata, T., H. Sekiguchi, and A. Pitarka, Source and site effects on strong ground motions in near-source area during the 1999 Chi-Chi, Taiwan, earthquake, Eos Trans. AGU, 81(48), Fall Meet. Suppl., Abstract S72B-07, 2000b.
- Thorne Lay, Hiroo Kanamori, Charles J. Ammon, Keith D. Koper, Alexander R. Hutko, Lingling Ye, Han Yue, and Teresa M. Rushing(2012): Depth-varying rupture properties of subduction zone megathrust faults, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 117, B04311, doi:10.1029/2011JB009133, 2012.
- 松田時彦(1975): 活断層から発生する地震の規模と周期について, 地震第2輯, 第28巻, pp.269-283.
- 佐藤智美(2016): スペクトルインバージョンに基づく熊本地震と前震・余震等の震源・伝播・サイト特性, 日本地球惑星科学連合2016年大会, MIS34-P71.
- 松島信一・室谷智子・吾妻崇・入倉孝次郎・北川貞之(2010): 内陸地殻内の長大断層で発生する地震に関するスケーリング則, 北海道大学地球物理学研究報告, No.73, pp.117-127.
- 宮腰研・長郁夫・Anatoly Petukhin(2003): すべりの空間的不均質震源特性の抽出, 地震災害軽減のための強震動予測マスターモデルに関する研究第2回シンポジウム論文集, pp.87-92.
- 入倉孝次郎・三宅弘恵(2001): シナリオ地震の強震動予測, 地学雑誌, Vol.110, No.6, pp.849-875.
- 吉井弘治・伊藤潔(2001): 近畿地方北部の地震波速度構造と地震発生層, 地球惑星科学連合学会2001年合同大会
- 廣瀬一聖・伊藤潔(2006): 広角反射法および屈折法解析による近畿地方の地殻構造の推定, 京都大学防災研究所年報, 第49号B, pp.275-288
- 川里健・大場政章・引間和人・鈴木晴彦・増田徹(2007): 若狭湾地域における地震発生層の推定 その2 ー地震波トモグラフィ解析とまとめー, 地球惑星科学関連学会合同大会予稿集, S152-P016
- 伊藤潔・廣瀬一聖・澁谷拓郎・片尾浩・梅田康弘・佐藤比呂志・平田直・伊藤谷生・阿部進・川中卓・井川猛(2007): 近畿地方における地殻および上部マントルの構造と地震活動, 京都大学防災研究所年報第50号B平成19年4月, pp.275-288
- 伊藤潔・廣瀬一聖(2006): 人工地震記録を用いた近畿地方の地震波速度構造, 大都市大震災軽減化特別プロジェクト I 地震動(強い揺れ)の予測「大都市圏地殻構造調査研究」(平成17年度), pp.549-559.
- 気象庁: 地震月報(カタログ編)他
- 伊藤潔・中村修一(1998): 西南日本内帯による地震発生層の厚さの変化と内陸大地震, 京都大学防災研究所年報, 第41号, B-1, pp.27-35
- Geller, R. J.(1976): Scaling relations for earthquake source parameters and magnitudes, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.66, No.5, pp.1501-1523.
- Boatwright, J.(1988): The seismic radiation from composite models of faulting, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.78, No.2, pp.489-508.
- 壇一男・渡辺基史・佐藤俊明・石井透(2001): 断層の非一様すべり破壊モデルから算定される短周期レベルと半経験的波形合成法による強震動予測のための震源断層のモデル化, 日本建築学会構造系論文集, 第545号, pp.51-62.
- Eshelby, J. D. (1957): The determination of the elastic field of an ellipsoidal inclusion, and related problems, Proceedings of the Royal Society, A241, pp.376-396.
- 地震調査研究推進本部(2004): 琵琶湖西岸断層帯の地震を想定した強震動評価
- 佐藤智美・壇一男・岡崎敦・羽田浩二(2007): 若狭湾周辺の地殻内地震の記録を用いたスペクトルインバージョン解析, 日本地震学会2007年秋季大会, 講演予稿集, P03-066.
- 香川敬生・鶴来雅人・佐藤信光(2003): 硬質サイトの強震観測記録に見られる高周波低減特性の検討, 土木学会地震工学論文集, P_315, CD-ROM.
- 釜江克宏・入倉孝次郎・福知保長(1990): 地域的な震源スケーリング則を用いた大地震(M7級)のための設計用地震動予測, 日本建築学会構造系論文報告集, 第416号, pp.57-70.
- 佐藤 智美(2008): 地殻内地震に対するP波部・S波部・全継続時間の水平・上下動の距離減衰式, 日本建築学会構造系論文集, 73 巻 632 号, pp.1745-1754.

参考文献(5/5)

- 佐藤 智美(2010): 逆断層と横ずれ断層の違いを考慮した日本の地殻内地震の短周期レベルのスケーリング則, 日本建築学会構造系論文集, 75 巻, 651 号, pp. 923-932.
- 構造計画研究所(2010): 内陸地殻内地震における短周期レベルの地域的な整理・分析業務, 原子力安全委員会平成21年度業務委託報告書
- 構造計画研究所(2011): 内陸地殻内地震の観測記録に基づく短周期レベルの分析業務, 原子力安全委員会平成22年度業務委託報告書
- Yoshihiro Fujii and Mitsuhiro Matsu'ura(2000): Regional Difference in Scaling Laws for Large Earthquakes and its Tectonic Implication, Pure and Applied Geophysics, 157, pp.2283-2302.
- 壇一男・具典淑・入江紀嘉・アルズペイマサマン・石井やよい(2011): 長大横ずれ断層による内陸地震の平均動的応力降下量の推定と強震動予測のためのアスペリティモデルの設定方法への応用, 日本建築学会構造系論文集, 第670号, pp.2041-2050.
- Murotani, S., S. Matsushima, T. Azuma, K. Irikura, and S. Kitagawa (2010), Scaling Relations of Earthquakes on Active Mega-Fault Systems, Abstract of AGU fall meeting 2010, S51A-1911.
- Madariaga, R. (1979) : On the relation between seismic moment and stress drop in the presence of stress and strength heterogeneity, Journal of Geophysical Research, 84, pp.2243-2250.
- 生玉真也・川里健・川上洋介・納所昌広・小穴温子・壇一男・鳥田晴彦・岡田康男(2017): 地表地震断層極近傍における強震動及び永久変位の評価のための震源モデルの設定法, 断層帯近傍における地震動評価に関するシンポジウム論文集.
- Shizuo Noda, Kazuhiko Yashiro, Katsuya Takahashi, Masayuki Takemura, Susumu Ohno, Masanobu Tohdo, Takahide 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 Analysis, Oct.16-18, Istanbul.
- Tatsu Kanno, Akira Narita, Nobuyuki Morikawa, Hiroyuki Fujiwara, Yoshimitsu Fukushima(2006) : A New Attenuation Relation for Strong Ground Motion in Japan Based on Recorded Data , Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 96, No. 3, pp.879-897.
- John X. Zhao, Jian Zhang, Akihiro Asano, Yuki Ohno, Taishi Oouchi, Toshimasa Takahashi, Hiroshi Ogawa, Kojiro Irikura, Hong K. Thio, Paul G. Somerville, Yasuhiro Fukushima, Yoshimitsu Fukushima(2006) : Attenuation Relations of Strong Ground Motion in Japan Using Site Classification Based on Predominant Period, Bulletin of the Seismological Society of America 96 (3): pp.898-913.
- 内山 泰生, 翠川 三郎(2006): 震源深さの影響を考慮した工学的基盤における応答スペクトルの距離減衰式, 日本建築学会構造系論文集, 71 巻 606 号, pp. 81-88.
- 片岡 正次郎, 佐藤 智美, 松本 俊輔, 日下部 毅明(2006): 短周期レベルをパラメータとした地震動強さの距離減衰式, 土木学会論文集, 62 巻 4 号, pp. 740-757
- Norman A. Abrahamson, Walter J. Silva, and Ronnie Kamai (2014): Summary of the ASK14 Ground Motion Relation for Active Crustal Regions. Earthquake Spectra: August 2014, Vol. 30, No. 3, pp.1025-1055.
- David M. Boore, Jonathan P. Stewart, Emel Seyhan, and Gail M. Atkinson (2014): NGA-West2 Equations for Predicting PGA, PGV, and 5% Damped PSA for Shallow Crustal Earthquakes. Earthquake Spectra: August 2014, Vol. 30, No. 3, pp.1057-1085.
- Kenneth W. Campbell and Yousef Bozorgnia (2014): NGA-West2 Ground Motion Model for the Average Horizontal Components of PGA, PGV, and 5% Damped Linear Acceleration Response Spectra. Earthquake Spectra: August 2014, Vol. 30, No. 3, pp.1087-1115.
- Brian S.-J. Chiou and Robert R. Youngs (2014): Update of the Chiou and Youngs NGA Model for the Average Horizontal Component of Peak Ground Motion and Response Spectra. Earthquake Spectra: August 2014, Vol. 30, No. 3, pp.1117-1153.
- I. M. Idriss (2014): An NGA-West2 Empirical Model for Estimating the Horizontal Spectral Values Generated by Shallow Crustal Earthquakes. Earthquake Spectra: August 2014, Vol. 30, No. 3, pp.1155-1177.

目次

1. 検討方針
2. 知見の整理
 - 2.1 震源極近傍における地震動の特徴
 - 2.2 震源過程
 - 2.3 震源近傍における建物被害
 - 2.4 摩擦とすべり等の関係
 - 2.5 まとめ
3. 浅部断層からの短周期地震動に関する考察
4. 基本震源モデルの地震動評価法
 - 4.1 震源モデルの設定及び計算手法
 - 4.2 2016年熊本地震の再現解析
 - 4.3 まとめ
5. 震源が敷地に極めて近い場合の地震動評価の考え方
6. 浦底断層の地震動評価
 - 6.1 地下構造評価の概要
 - 6.2 基本震源モデルによる地震動評価
 - 6.3 不確かさを考慮した地震動評価
 - 6.4 十分な余裕を考慮した地震動評価
 - 6.5 連動長さの不確かさを考慮した影響検討
 - 6.6 まとめ
7. 全体まとめ
8. 参考文献

補足説明資料1 2016年熊本地震の再現解析について

補足説明資料2 浦底断層の地震動評価(応答スペクトルに基づく手法)

補足説明資料3 C.H.ショルツ(2010)の引用について

補足説明資料1 2016年熊本地震の再現解析について

- ① Ikutama et al.(2018)の震源モデル
- ② 再現計算に用いる地盤モデル
- ③ 本震記録の基盤波推定
- ④ 本編4.2節「2016年熊本地震の再現解析」で用いた震源モデル

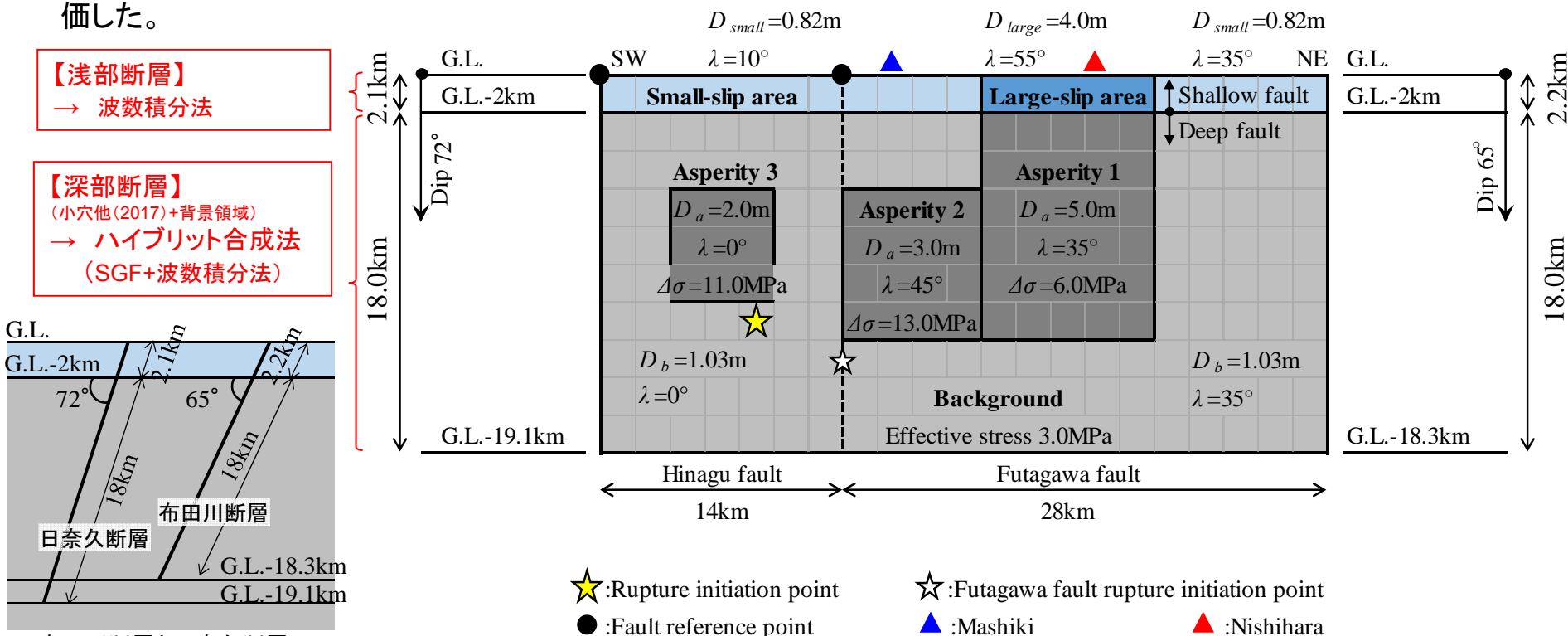
① Ikutama et al.(2018)の震源モデル

○震源モデルは、小穴他(2017)の特性化震源モデル※に、背景領域及び浅部断層を付加して設定した。

※ Asano and Iwata(2016)の震源インバージョン結果を参考に統計的グリーン関数法を用いて推定。

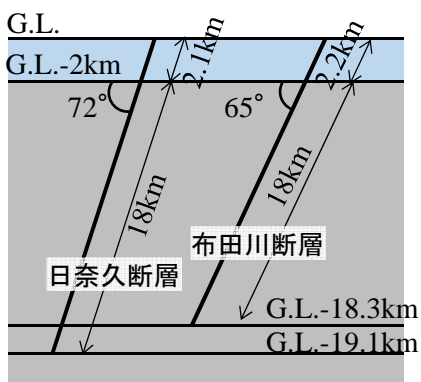
○浅部断層の大すべり域はアスペリティ1の直上に配置し、その平均すべり量は、西原村において国土地理院の緊急GNSS観測で約2mの沈降が確認されていることや、西原村の地震観測記録の変位波形に約2mの永久変位が観測されていることを参考に4mとした。

○深部断層はハイブリッド合成法(統計的グリーン関数法と波数積分法)、浅部断層は波数積分法により地震動を評価した。



【浅部断層】
→ 波数積分法

【深部断層】
(小穴他(2017)+背景領域)
→ ハイブリッド合成法
(SGF+波数積分法)



布田川断層と日奈久断層の
傾斜角、断層幅の関係

★:Rupture initiation point ☆:Futagawa fault rupture initiation point
●:Fault reference point ▲:Mashiki ▲:Nishihara

断層モデル※及び主な断層パラメータ

Ikutama et al.(2018)より抜粋・加筆・修正

Ikutama et al.(2018)に基づき作成

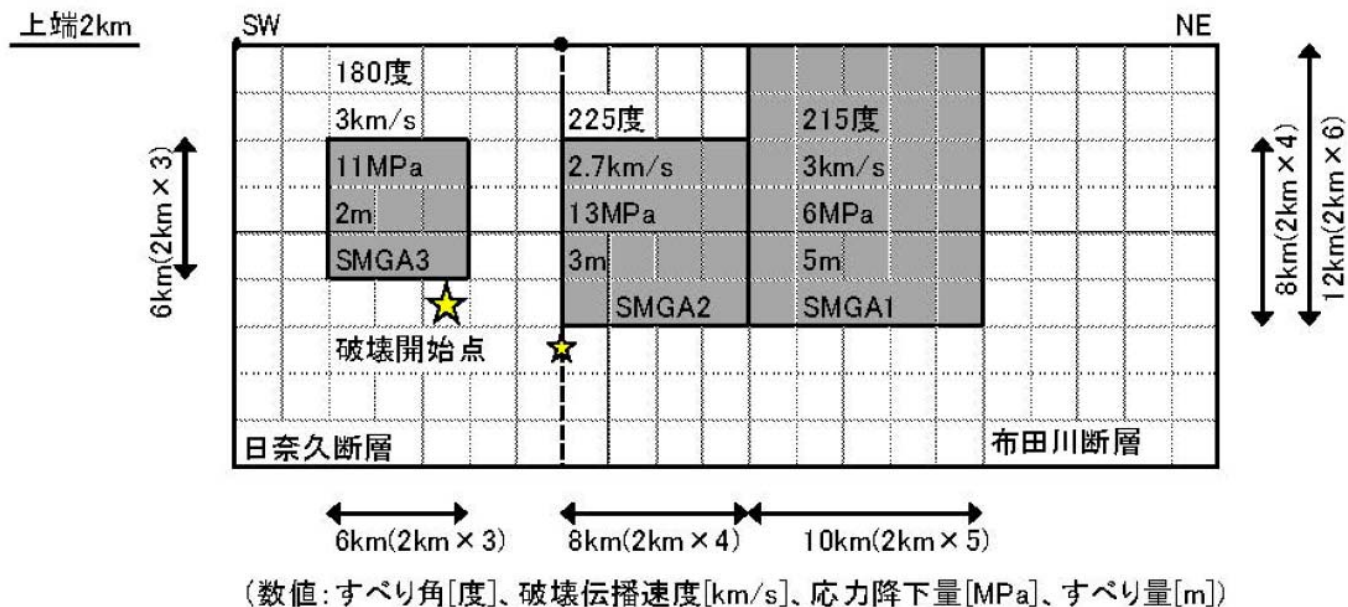
※図は模式的に記載されている。断層幅や断層下端等の詳細な関係は左図を参照。

小穴他(2017)による特性化震源モデルについて

○小穴他(2017)では、統計的グリーン関数法を用いて、2016年熊本地震の本震の観測記録をできるだけ再現するよう特性化震源モデルの推定が行われている。

<モデル化の考え方>

- 震源モデルは、強震動生成域SMGAのみモデル化。
- SMGAの位置と面積は、Asano and Iwata(2016)の震源インバージョンの領域内で、観測記録を説明できるように試行錯誤的に設定。
- SMGAのすべり量は、Asano and Iwata(2016)や引間(2016)のインバージョン結果を参照しつつ、計算結果の変位波形の振幅の大きさと長周期帯の応答スペクトルが観測記録と概ね整合するように設定。
- 応力降下量は、計算結果の加速度波形と速度波形の振幅の大きさ、短周期帯の応答スペクトルが観測記録と概ね整合するように設定。
- 断層全体の破壊開始点は気象庁の震源位置とし、布田川断層側の破壊開始点はそれよりも深い位置の断層南端部に設定。
- 破壊伝播速度は、益城町直下に位置する布田川断層の小さい方のSMGAで2.7km/s、日奈久断層のSMGAと布田川断層の大きい方のSMGAで3km/sに設定。

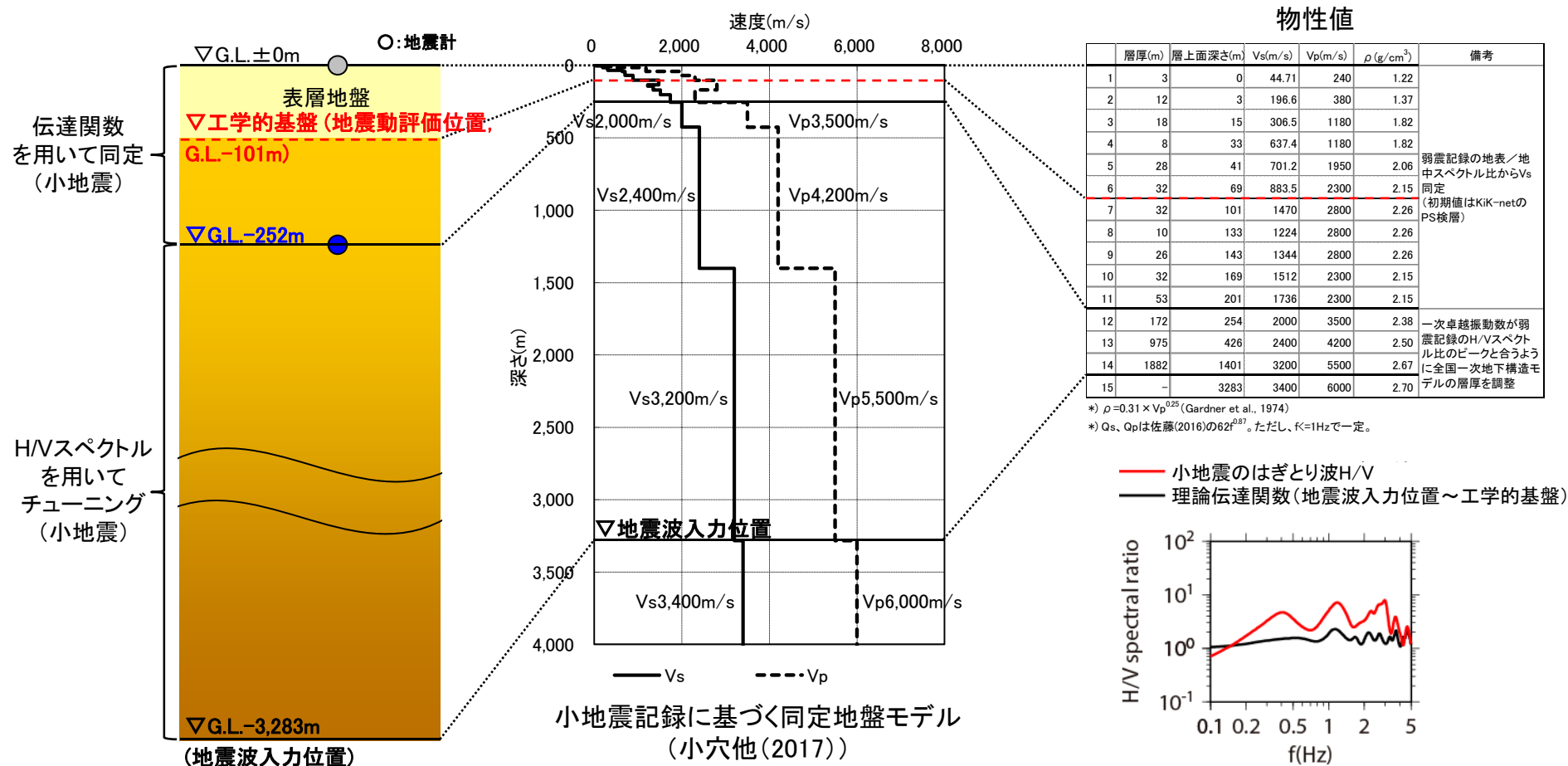


2016年熊本地震の特性化震源モデル(小穴他(2017))

小穴他(2017)より抜粋・加筆

② 再現計算に用いる地盤モデル

- 再現計算に用いる地盤モデルは、小穴他(2017)によるKiK-net益城に対する地盤モデルを用いる。
- 小穴他(2017)では、地震動評価に用いる1次元地下構造モデルを設定するため、全国1次地下構造モデル(Koketsu et al.(2012))を初期モデルとし、小地震観測記録のH/Vスペクトルを参照しながら卓越振動数が整合するようチューニングして地盤モデルが推定されている。

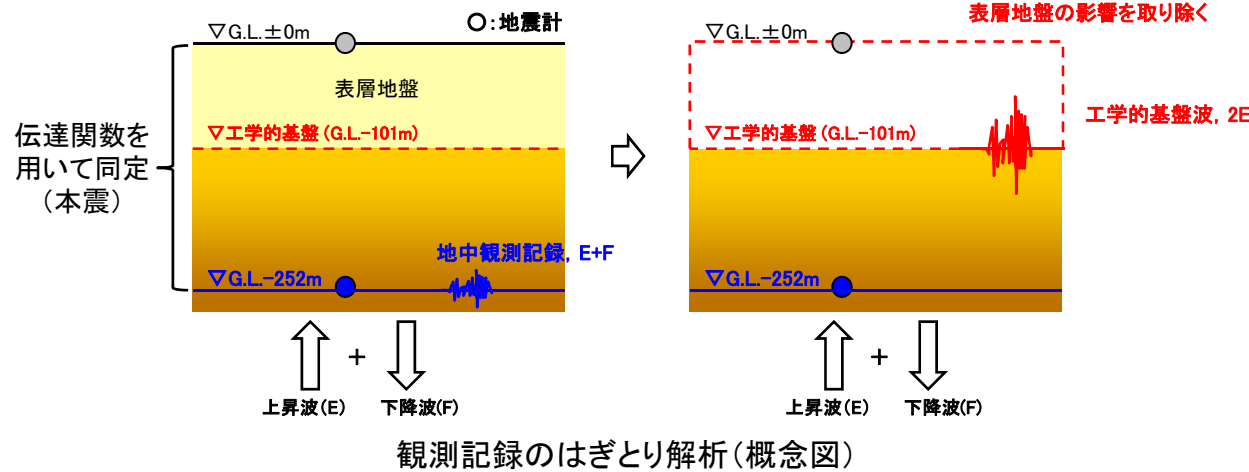


再現計算用地盤モデル(概念図)

③ 本震記録の基盤波推定(第566回審査会合)

○本震観測記録については、表層地盤の影響を取り除くため2016年熊本地震本震の地表記録と地中記録の伝達関数に合うように同定された地盤モデルを用いて基盤上の地震動として評価した。

○第566回審査会合及びIkutama et al.(2018)では、この同定地盤モデルとして、KiK-net益城、西原村とも小穴他(2017)におけるKiK-net益城に対する本震同定地盤モデル(評価対象周波数帯は5Hz以下)を用い、基盤波の推定位置も小穴他(2017)で「工学的基盤」とされる上面(G.L.-101m, Vs1,470m/s)とした。

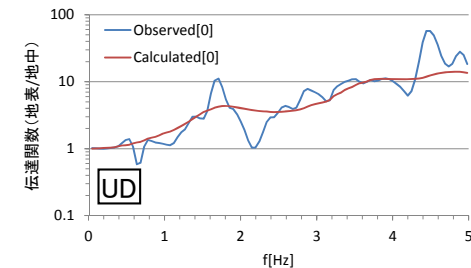
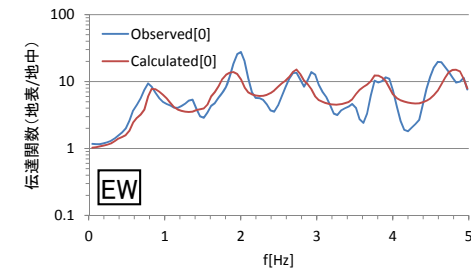
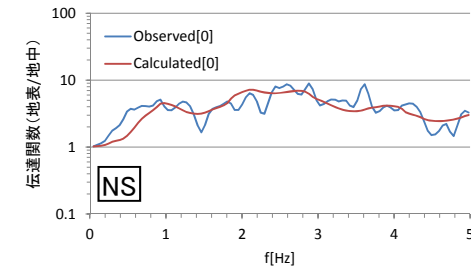


観測記録のはぎとり解析(概念図)

同定地盤モデル

層厚(m)	層上面深さ(m)	Vs(m/s) (NS)	Vs(m/s) (EW)	Vp(m/s) (UD)	ρ (g/cm ³)	Qs(NS)	Qs(EW)	Qp(UD)	備考	
1	3	0	52.87	47.9	72	1.22				
2	12	3	158.7	158.7	285.6	1.37				
3	18	15	827.4	737.1	1207	1.82				
4	8	33	282.6	409	354	1.82				
5	28	41	571.2	296.6	2963	2.06				
6	32	69	488.2	505.2	690	2.15				
7	32	101	1470	1470	2800	2.26	2.67 ^{$\rho^{0.625}$}	5.33 ^{$\rho^{0.9375}$}	1.33 ^{$\rho^{0.9062}$}	KiK-net益城における本震記録の地表/地中スペクトル比を説明できるようにVs, Vp, Q値を同定
8	10	133	700	700	2800	2.26				
9	26	143	1380	1380	2800	2.26				
10	32	169	840	840	2300	2.15				
11	33	201	1470	1470	2300	2.15				
12	18	234	2700	2700	4800	2.58				
13	0	252	2700	2700	4800	2.58				

* $\rho=0.31 \times V_p$ 初期値^{0.25}(Gardner et al., 1974)



伝達関数
(地表～地中(G.L.-252m))

同定地盤モデル, 伝達関数図は小穴他(2017)に基づき作成

③ 本震記録の基盤波推定(第711回審査会合)

- 小穴他(2017)における基盤波は、5Hz以下(周期0.2秒以上)を対象とした地盤同定解析から得られた地盤モデルにより推定している。
- より高振動数帯まで評価可能な基盤波とすべく、20Hz以下を対象とした地盤の同定解析を行った。
- 水平については、小穴他(2017)モデルによる伝達関数でも記録の伝達関数からの乖離が少ないため、速度構造はそのままにして、Q値のみ再同定した。
- 上下については、小穴他(2017)モデルでは5Hz以上の帯域で、記録の伝達関数からの乖離が大きいことから、 V_p も含めて再同定した。

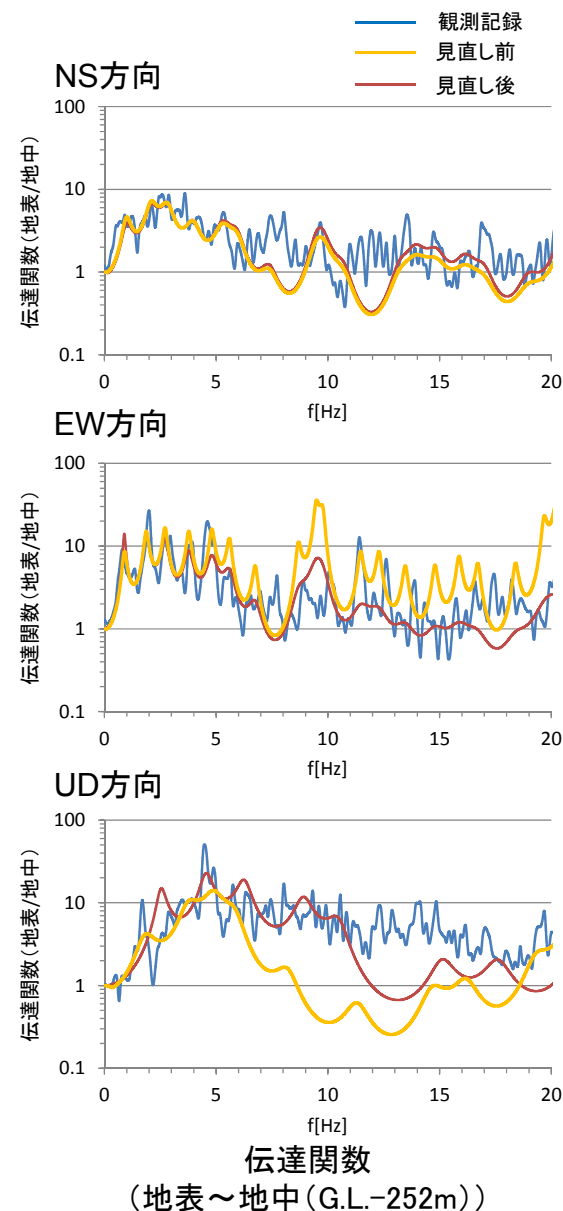
成分	同定対象
水平	V_s : 5Hz以下 Q値: 20Hz以下
上下	V_p : 10Hz以下 Q値: 20Hz以下

同定地盤モデル

層厚(m)	層上面深さ(m)	V_s (m/s)(NS-5)	V_s (m/s)(EW-5)	V_p (m/s)(UD-10)	ρ (g/cm ³)	Q_s (NS-5fix)	Q_s (EW-5fix)	Q_p (UD-10fix)	備考
1	3	0	52.87	47.9	72				
2	12	3	158.7	158.7	354.3				
3	18	15	827.4	737.1	2006				
4	8	33	282.6	409	567.2				
5	28	41	571.2	296.6	2434				
6	32	69	468.2	505.2	1936				
7	32	101	1470	1470	2800	2.285 ^{0.75}	8.0 ^{0.25}	4.0 ^{0.5}	KiK-net益城における本震記録の地表/地中スペクトル比を説明できるように V_s 、 V_p 、Q値を同定
8	10	133	700	700	2800				
9	26	143	1380	1380	2800				
10	32	169	840	840	2300				
11	33	201	1470	1470	2300				
12	18	234	2700	2700	4800				
13	0	252	2700	2700	4800				

工学的基盤上面
(はぎとり位置)

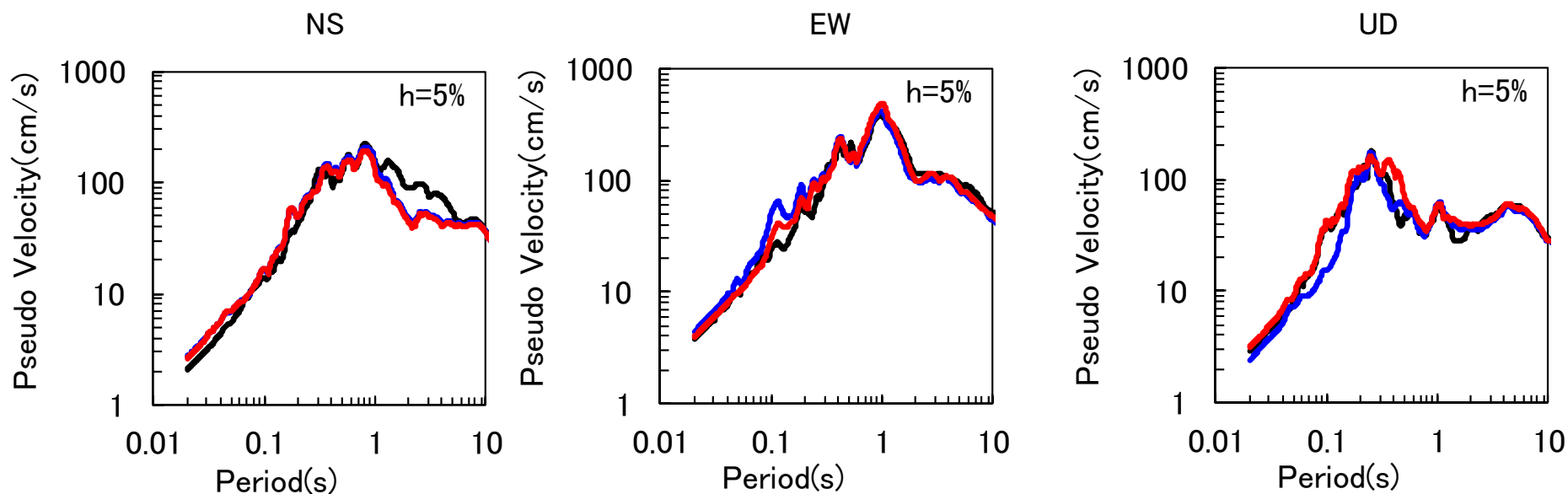
← 地中観測位置



本震記録の基盤波推定に用いる地盤モデルの検証

○ KiK-net益城の地中観測記録を用いて、変更前後のそれぞれの同定地盤モデルで推定した地表波と、地表観測記録の比較を示す。

- 地表観測記録
- 地表推定波(地盤モデル変更前: 第566回審査会合及びIkutama et al.(2018))
- 地表推定波(地盤モデル変更後: 第711回審査会合)



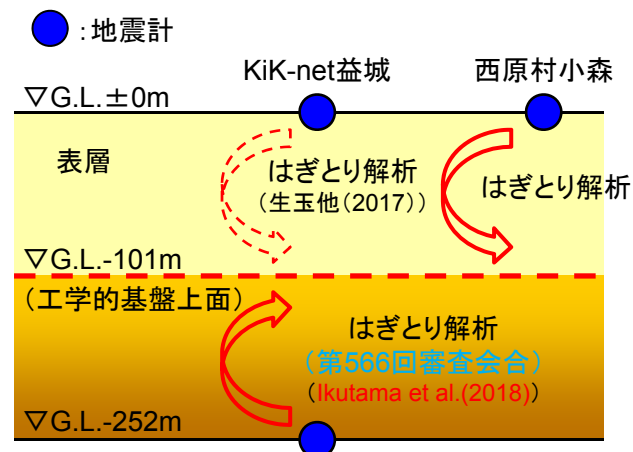
地表波の擬似速度応答スペクトル(KiK-net益城)

変更後の同定地盤モデルにより推定した地表波は、周期0.02秒までの短周期成分を含め良く再現できていることを確認した。

本震記録の基盤波推定方法に係る変遷

○2016年熊本地震本震記録の基盤波推定に際し、観測記録に含まれると考えられる表層地盤の非線形の影響低減を検討する等、以下の通り生玉他(2017)からはぎとり方法を見直した。

- ・生玉他(2017)では、はぎとり解析に用いる観測記録について、西原村小森は地表記録しかないことから、KiK-net益城も含めて地表記録を用いることで統一していた。また、観測記録、計算結果とも小穴他(2017)による小地震記録に基づき同定した地盤モデルを用いて工学的基盤上面における地震波を推定していた。
- ・第566回審査会合及びIkutama et al.(2018)では、観測記録に含まれると考えられる表層地盤の非線形の影響を低減するため、はぎとり解析に用いる観測記録を地表記録から地中記録に変更し、また、はぎとり解析に用いる地盤モデルを小地震記録に基づき同定した結果(小穴他(2017))から本震記録に基づき同定した結果(小穴他(2017))に変更した。
- ・さらに、前述のとおり、評価対象を5Hz以下から20Hz以下に拡張して地盤の再同定解析を行い、より高振動数帯まで評価範囲を広げた基盤波とした。(第711回審査会合)



○地盤の非線形による本震時と小地震時の地盤増幅特性の違いを考慮すると、本震観測記録に基づき同定した結果を用いてはぎとり解析を行うことで、より適切に表層地盤の影響を低減できる。また、より高振動数帯まで評価範囲を広げた基盤波を求めることで、再現解析においてもより高振動数帯まで評価できる。

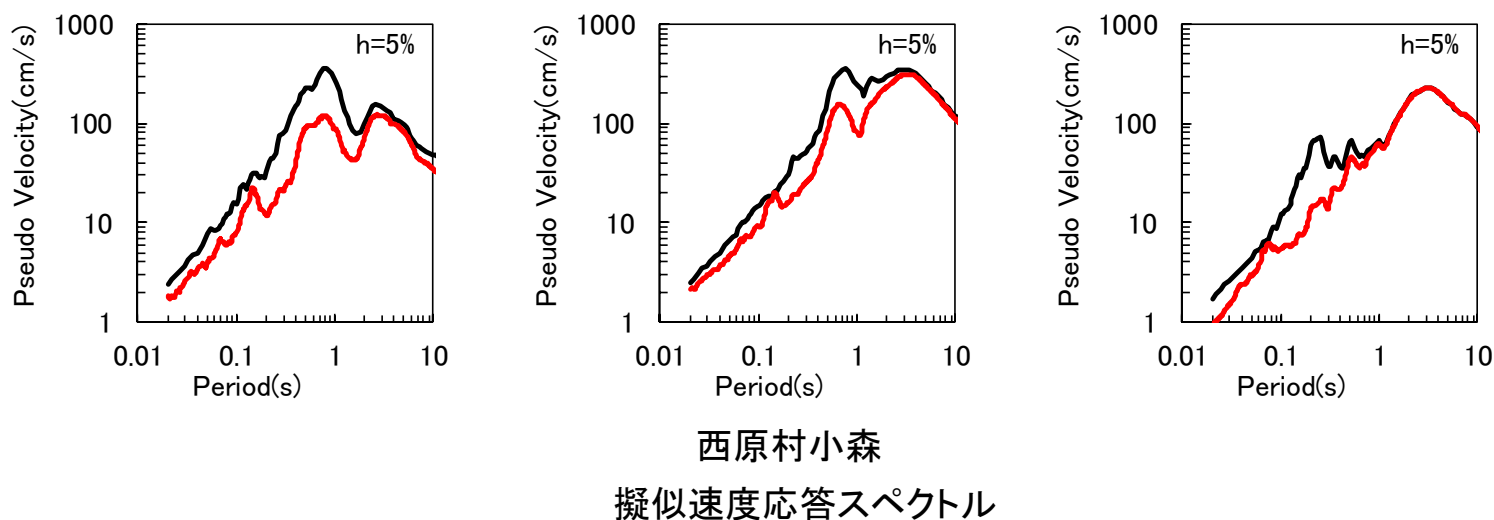
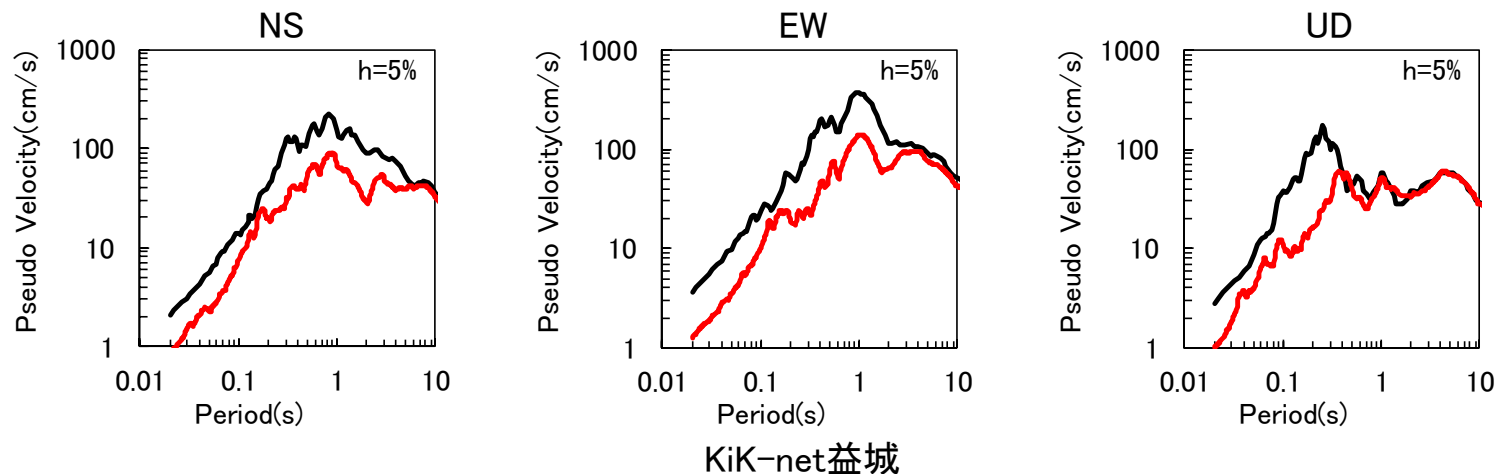
変更項目		小穴他(2017)	生玉他(2017)	・第566回審査会合 ・Ikutama et al.(2018)	第711回審査会合
はぎとり解析用 観測記録	KiK-net益城	地中記録	地表記録	地中記録	地中記録
	西原村小森	－(対象外)	地表記録	地表記録	地表記録
はぎとり地盤モデル※		本震記録に基づき5Hz以下を同定	小地震記録に基づき5Hz以下を同定	本震記録に基づき5Hz以下を同定	本震記録に基づき20Hz以下を同定
フィルター処理		周期0.2秒～10秒	フィルター無し(KiK-net益城の計算結果のみ周期0.2秒～10秒)	周期0.2秒以上	フィルター無し

※ 西原村小森については、KiK-net益城の同定地盤モデルを用いた。

2016年熊本地震本震記録の基盤波

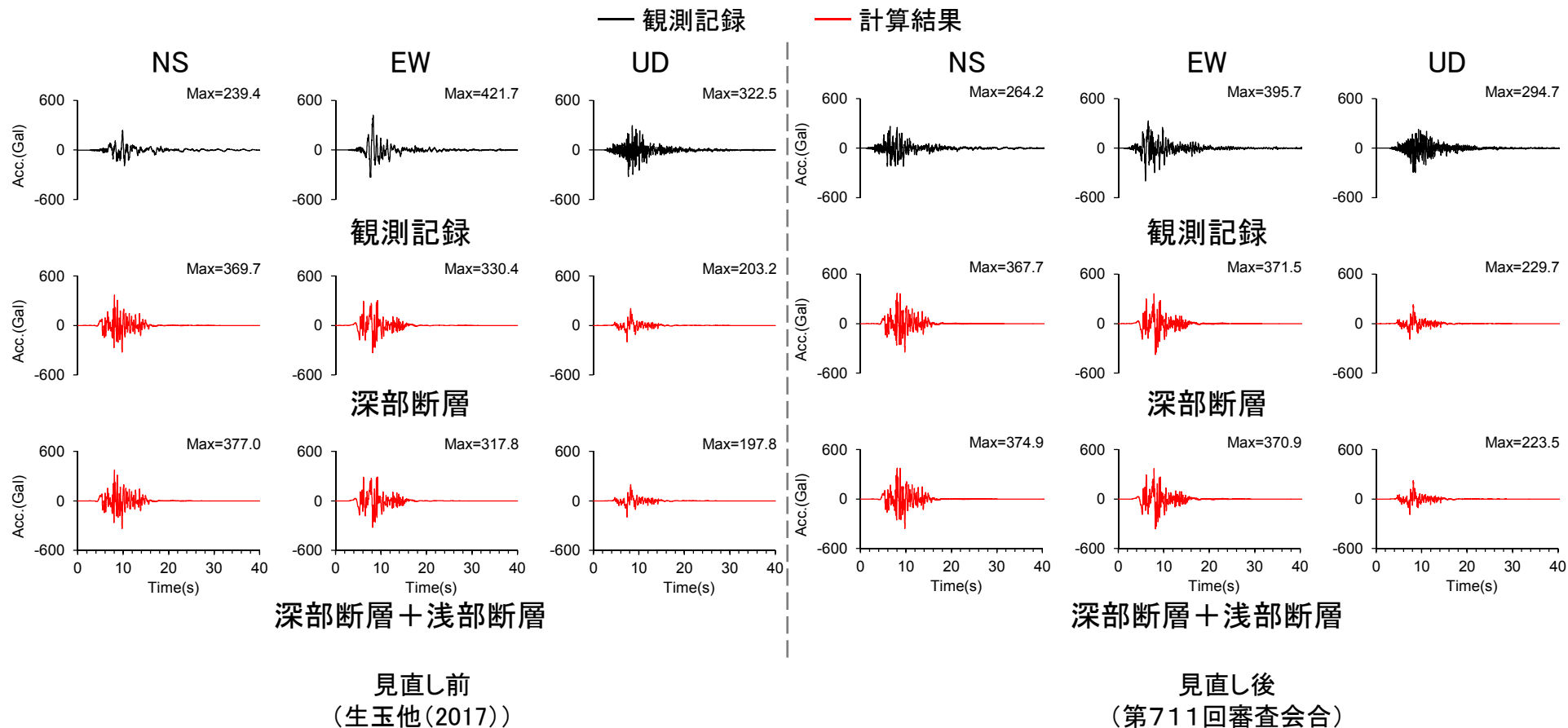
○ KiK-net益城, 西原村小森の地表記録とそれぞれの基盤波(工学的基盤上面におけるはぎとり波)を示す。

— 地表記録
— はぎとり波(第711回審査会合)



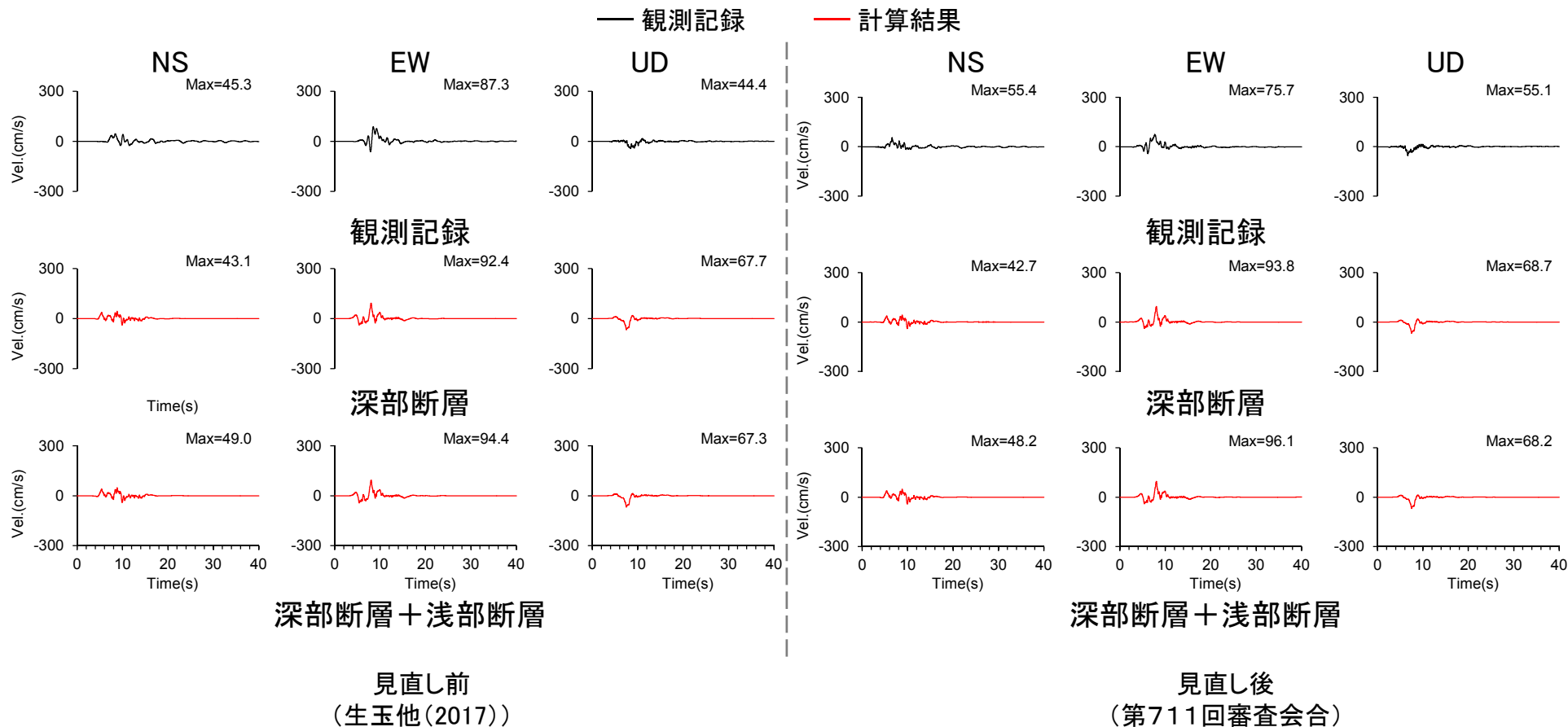
基盤波推定方法見直し前後の比較(KiK-net益城 加速度波形)

○2016年熊本地震の再現解析について、基盤波推定方法見直し前後の比較を示す。



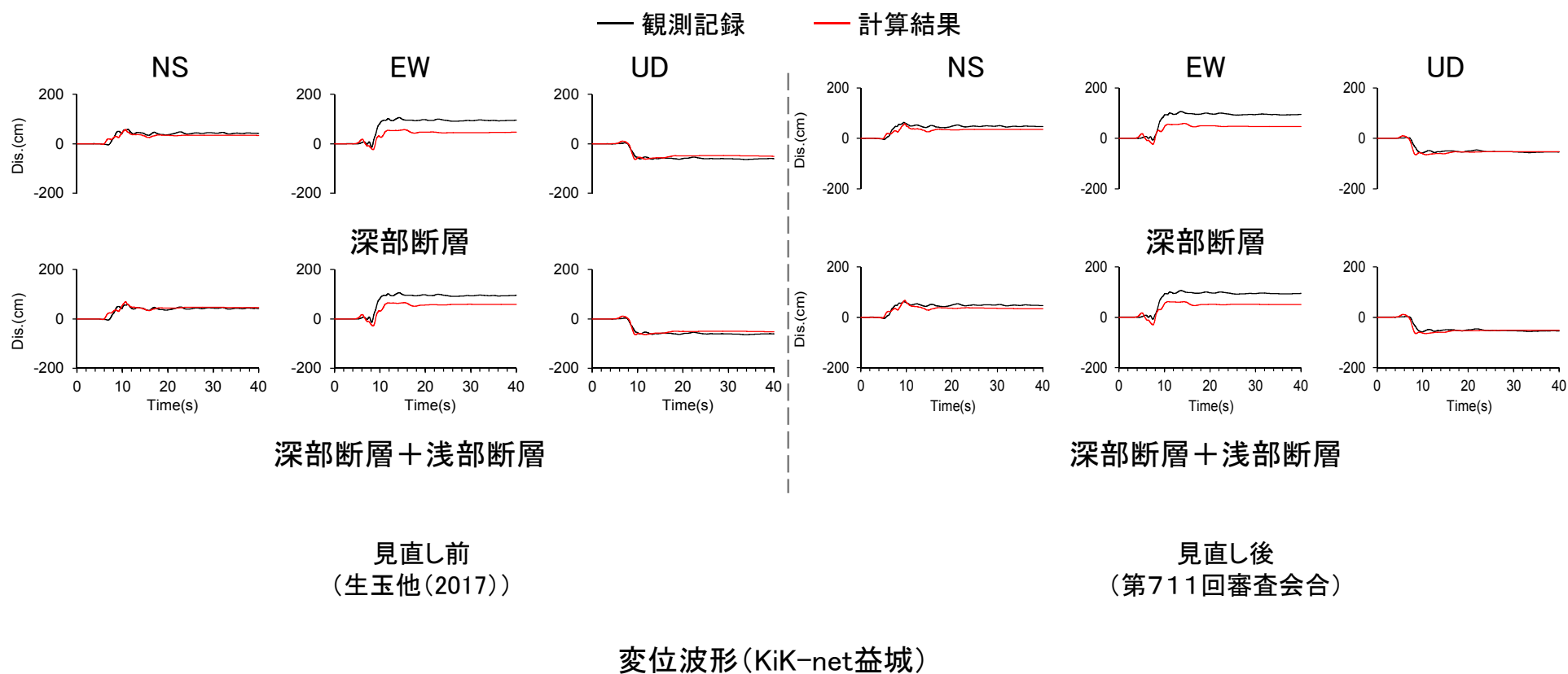
加速度波形(KiK-net益城)

基盤波推定方法見直し前後の比較(KiK-net益城 速度波形)



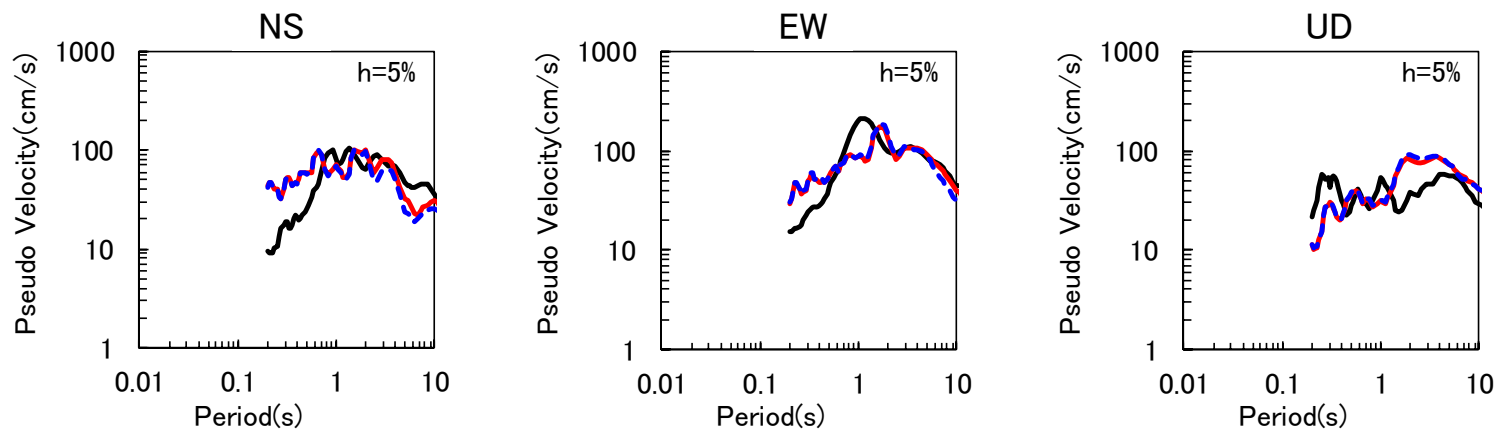
速度波形(KiK-net益城)

基盤波推定方法見直し前後の比較(KiK-net益城 変位波形)

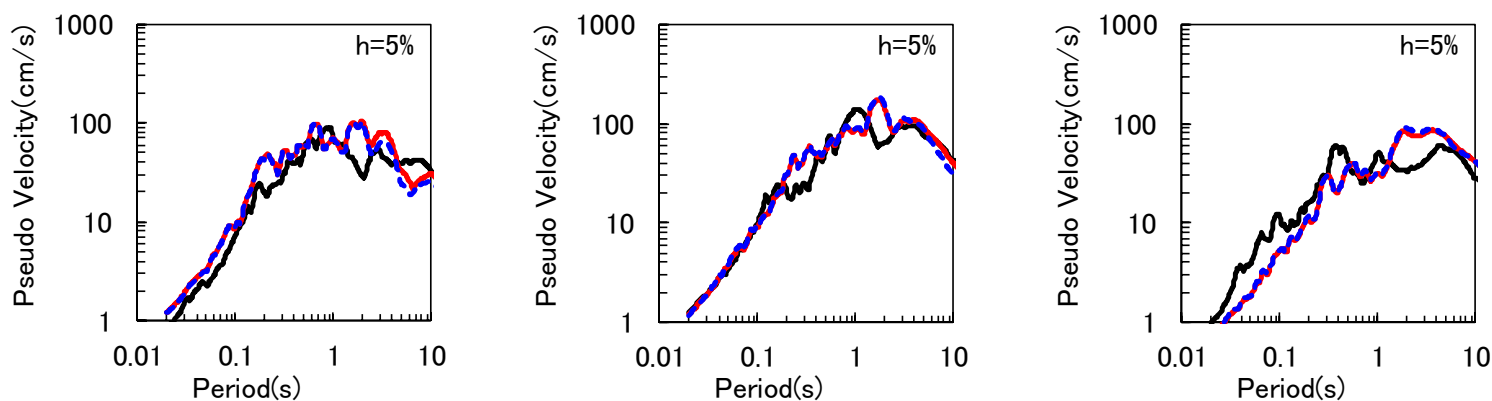


基盤波推定方法見直し前後の比較 (KiK-net益城 疑似速度応答スペクトル)

— 観測記録
- - 計算(深部)
— 計算(深部+浅部)



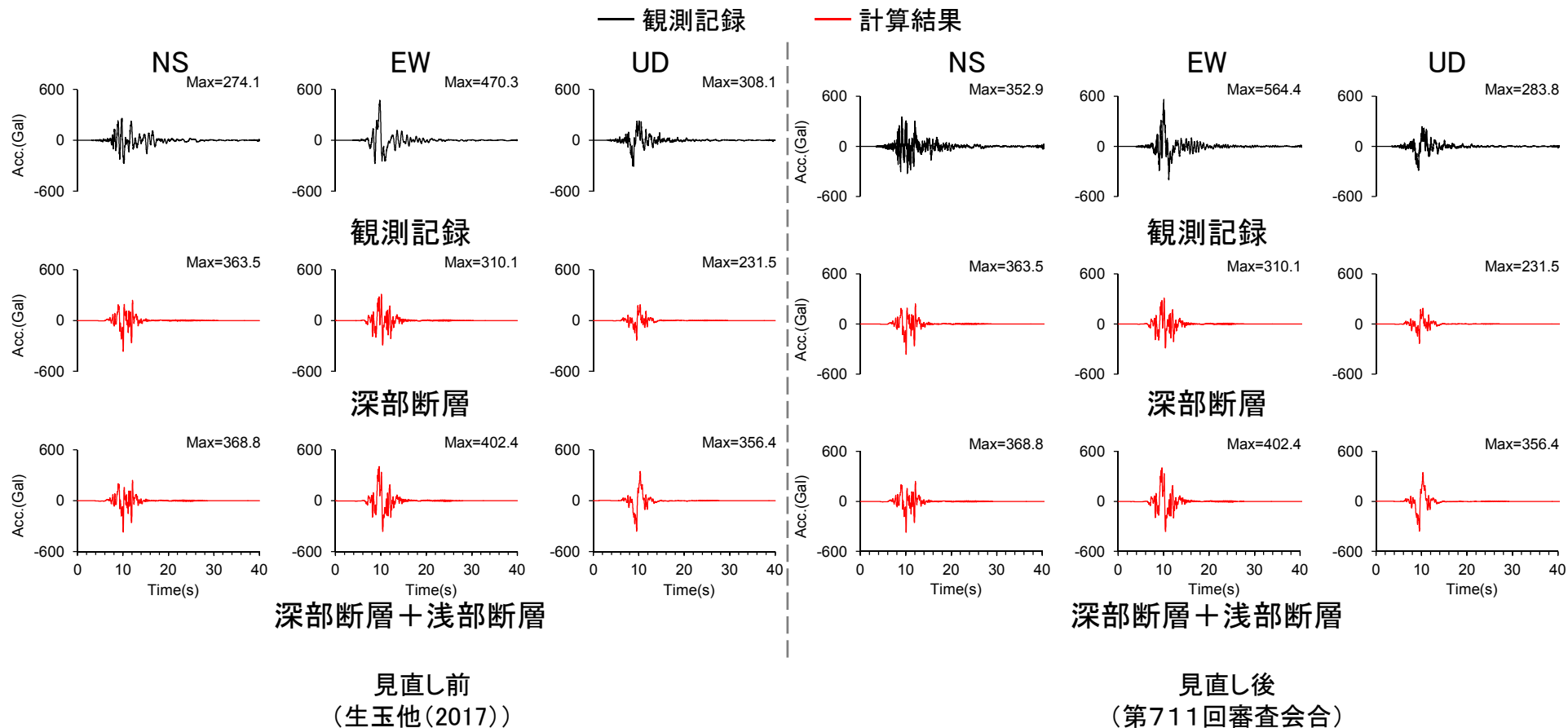
見直し前(生玉他(2017))



見直し後(第711回審査会合)

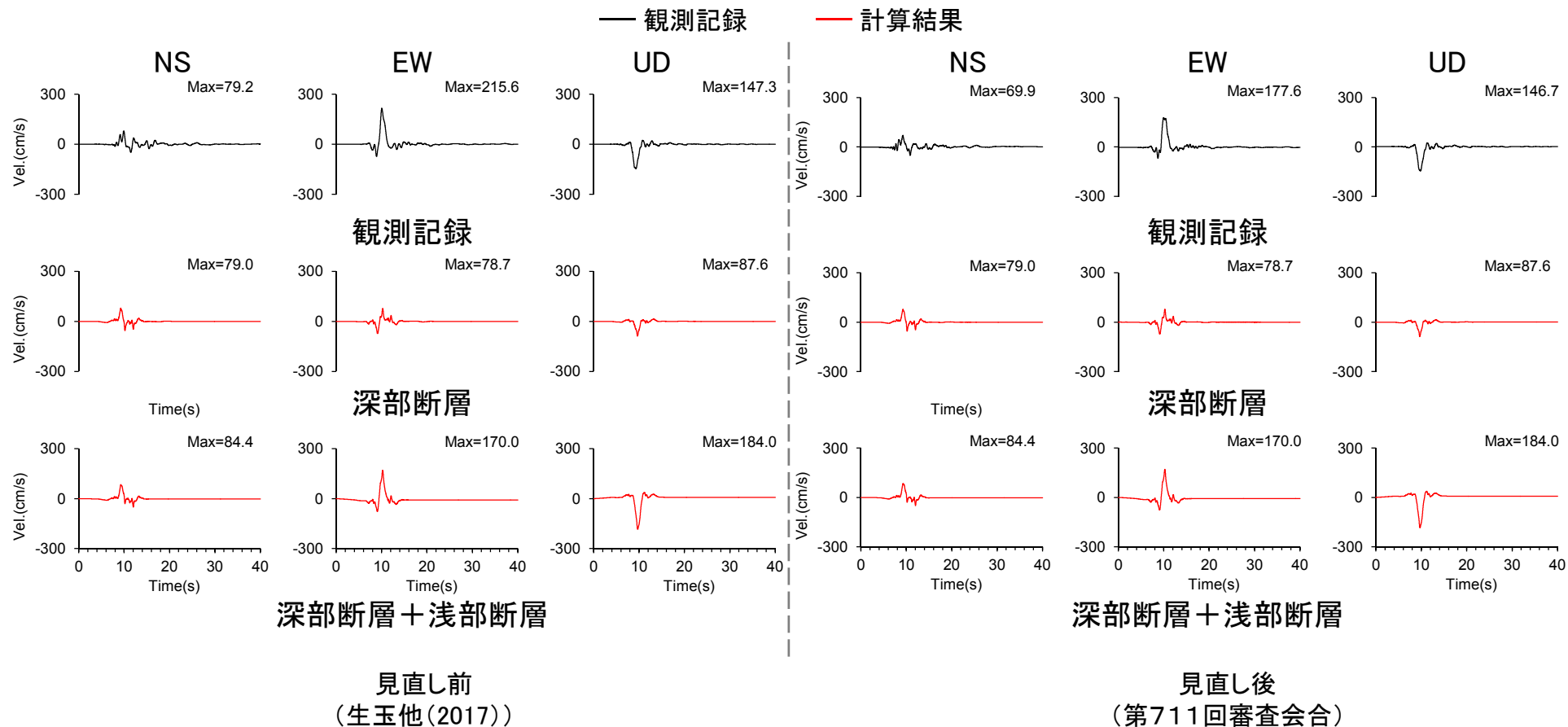
疑似速度応答スペクトル(KiK-net益城)

基盤波推定方法見直し前後の比較(西原村小森 加速度波形)



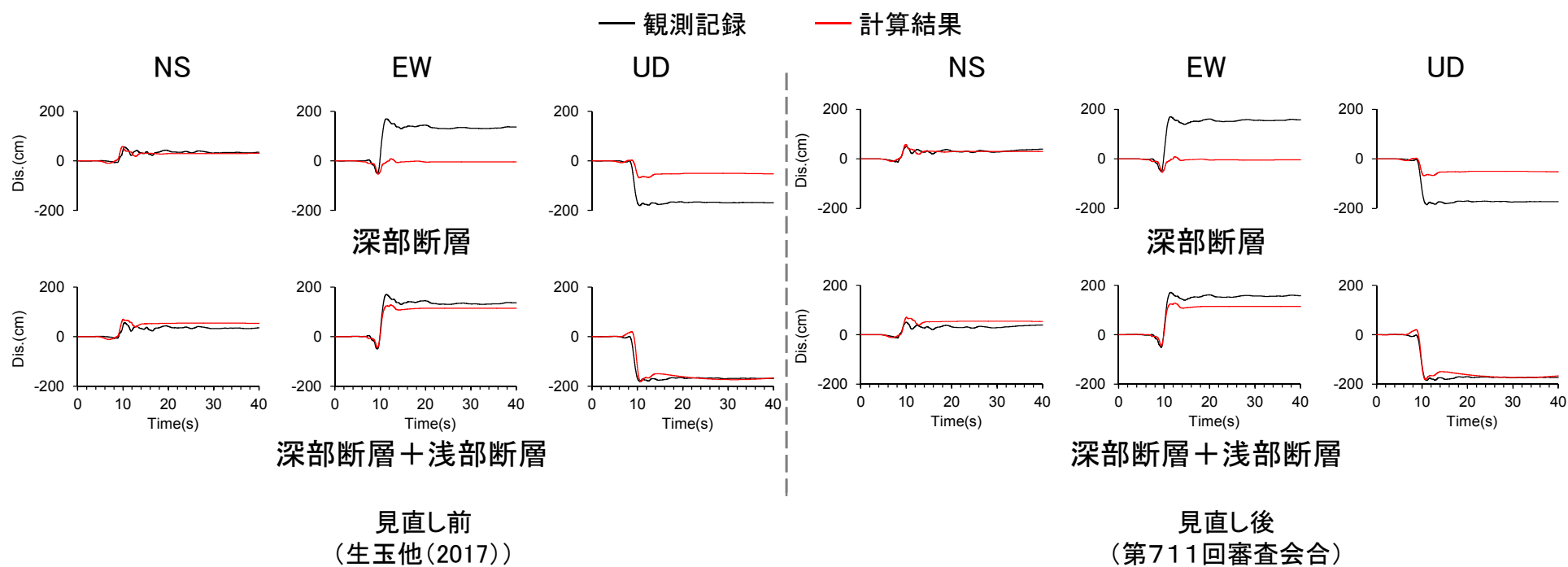
加速度波形(西原村小森)

基盤波推定方法見直し前後の比較の比較(西原村小森 速度波形)



加速度波形(西原村小森)

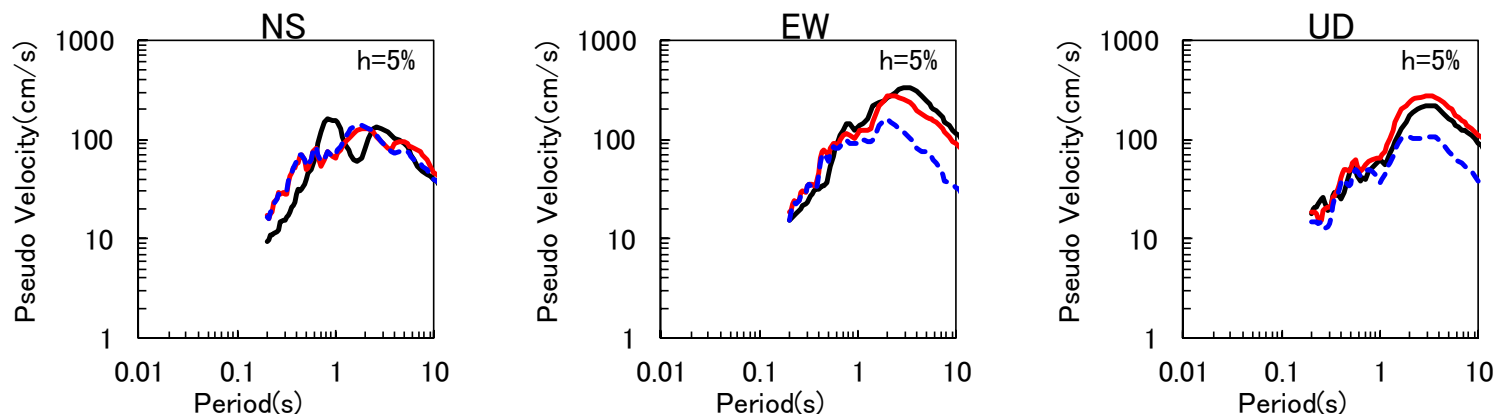
基盤波推定方法見直し前後の比較の比較(西原村小森 変位波形)



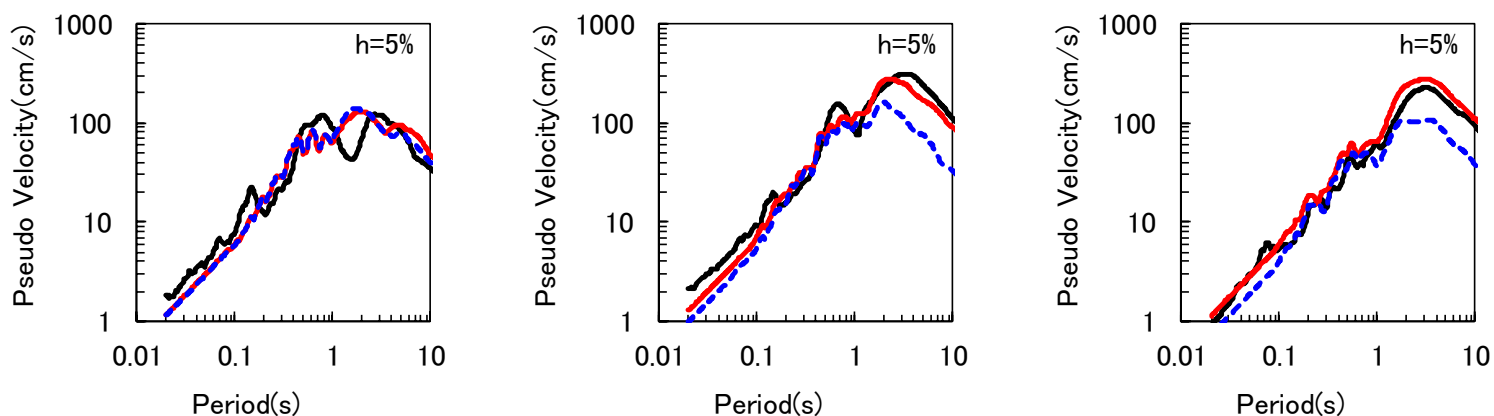
変位波形(西原村小森)

基盤波推定方法見直し前後の比較(西原村小森 疑似速度応答スペクトル)

— 観測記録
- - 計算(深部)
— 計算(深部+浅部)



見直し前(生玉他(2017))



見直し後(第711回審査会合)
疑似速度応答スペクトル(西原村小森)

本震記録の基盤波推定に係るまとめ

○2016年熊本地震本震記録の基盤波推定に際し、観測記録に含まれると考えられる表層地盤の非線形の影響低減を検討する等、以下の通り生玉他(2017)からはぎとり方法を見直した。

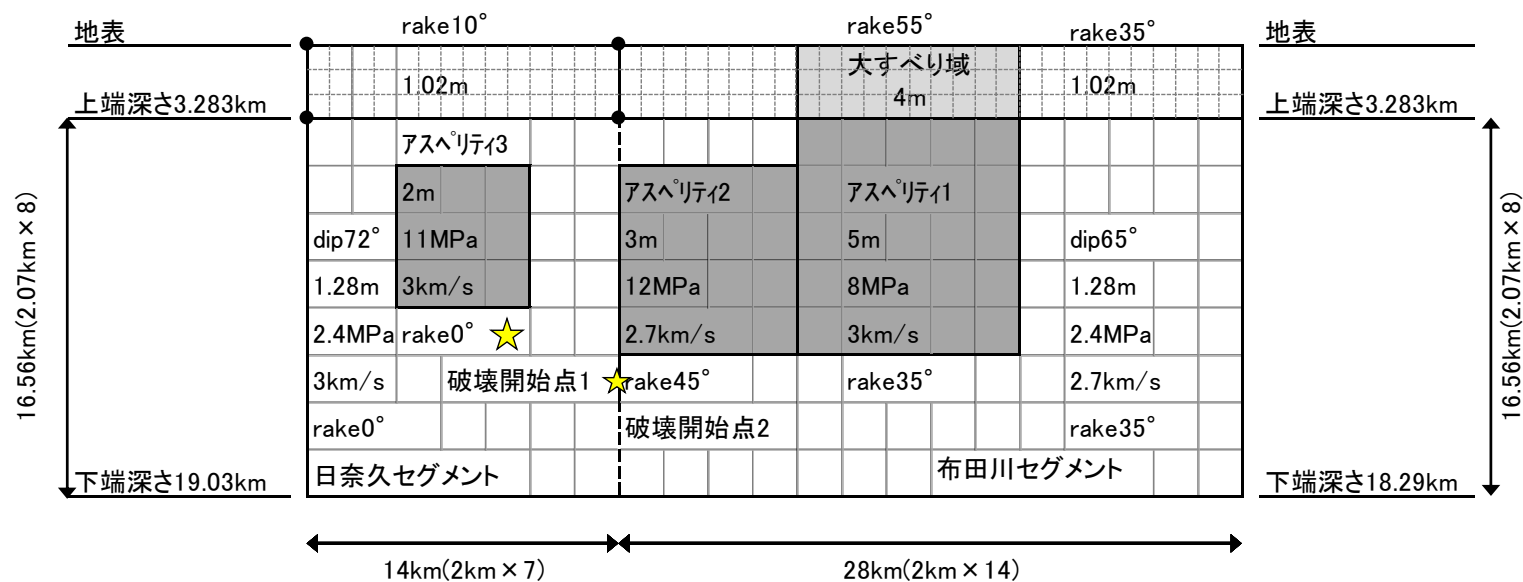
- ・生玉他(2017)では、はぎとり解析に用いる観測記録について、西原村小森は地表記録しかないことから、KiK-net益城も含めて地表記録を用いることで統一していた。また、観測記録、計算結果とも小穴他(2017)による小地震記録に基づき同定した地盤モデルを用いて工学的基盤上面における地震波を推定していた。
- ・第566回審査会合及びIkutama et al.(2018)では、観測記録に含まれると考えられる表層地盤の非線形の影響を低減するため、KiK-net益城のはぎとり解析に用いる観測記録を地表記録から地中記録に変更し、また、はぎとり解析に用いる地盤モデルを小地震記録に基づき同定した結果(小穴他(2017))から本震記録に基づき同定した結果(小穴他(2017))に変更した。
- ・さらに、評価対象を5Hz以下から20Hz以下に拡張して地盤の再同定解析を行い、より高振動数帯まで評価範囲を広げた基盤波とした。

○地盤の非線形による本震時と小地震時の地盤増幅特性の違いを考慮すると、本震観測記録に基づき同定した結果を用いてはぎとり解析を行うことで、より適切に表層地盤の影響を低減できる。また、より高振動数帯まで評価範囲を広げた基盤波を求めることで、再現解析においてもより高振動数帯まで評価できる。

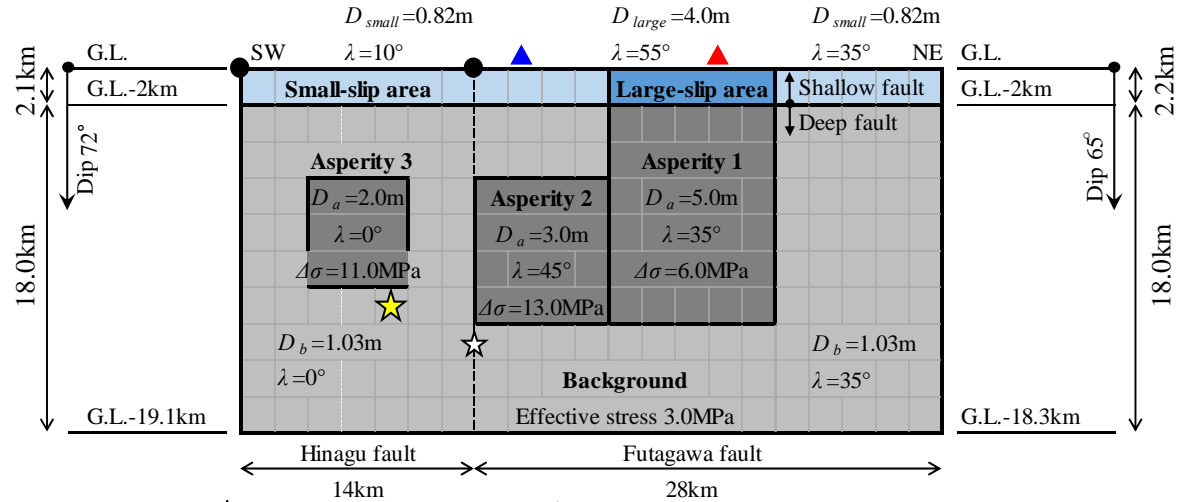
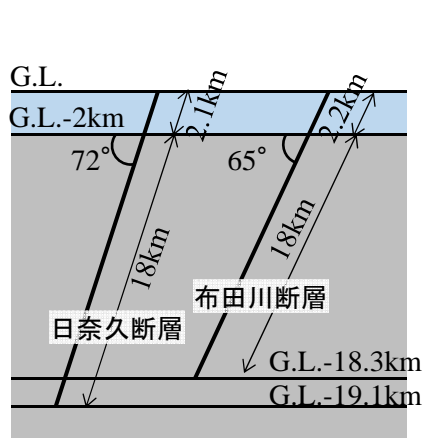
○再現解析の結果は、上記基盤波を短周期から長周期に亘りよく再現している。

④ 本編4.2節「2016年熊本地震の再現解析」で用いた震源モデル

- Oana et al.(2019)の震源モデルは, Ikutama et al.(2018)の震源モデルの深部断層上端深さを, 地盤モデルの速度構造において地震発生層上端深さと考えられるVp 6km/s層の上面深さ3.283kmに整合させた上で, 観測記録を再現するようアスペリティの応力降下量を求め直したものである。
- 本編4.2節「2016年熊本地震の再現解析」では, Oana et al.(2019)の背景領域のすべり量, 小すべり域のすべり量を修正したものをを用いた。4.2節で用いた断層モデル図を下記に示す。



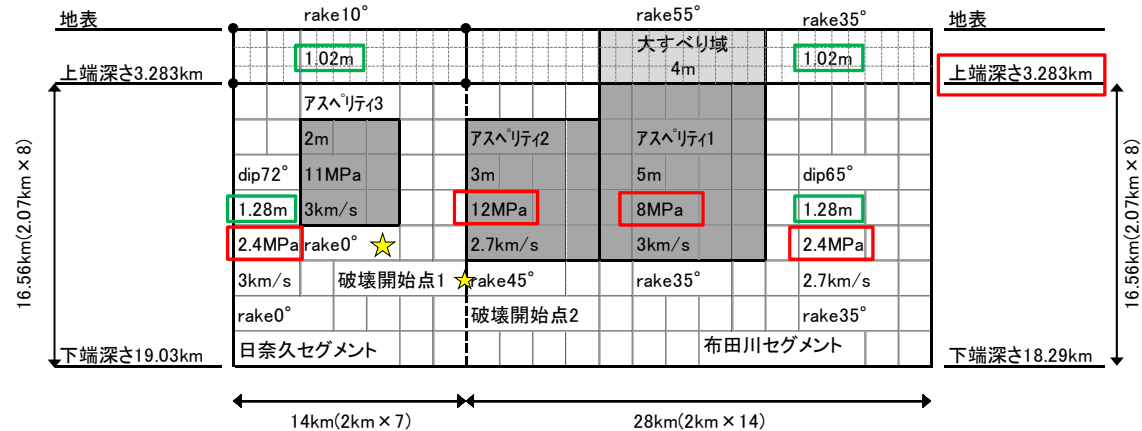
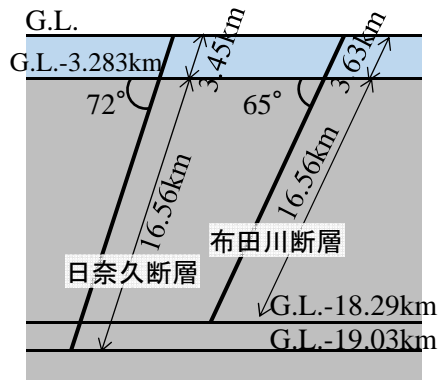
震源モデル見直し前後の比較(断層モデル及び主な断層パラメータ)



★: Rupture initiation point ☆: Futagawa fault rupture initiation point
●: Fault reference point ▲: Mashiki ▲: Nishihara

見直し前(第711回審査会合)

Ikutama et al.(2018)より抜粋・加筆・修正



□: Ikutama et al.(2018)からの変更箇所
□: Oana et al.(2019)からの変更箇所

見直し後(本編4章)

Oana et al.(2019)を参考に作成

断層モデル及び主な断層パラメータ

震源モデル見直し前後の比較(主要な断層パラメータ)

○見直し前(第711回審査会合), 見直し後(本編4章)の主要な断層パラメータを比較する。

■断層全体

断層パラメータ	記号	単位	見直し前 (第711会合, Ikutama et al.(2018))		見直し後 (本編4章, Oana et al.(2019)一部修正)		変更理由※	
			数値	設定根拠	数値	設定根拠		
断層面積	浅部	S_s	km ²	91.0	Asano and Iwata (2016)を地表まで延長	149.9	Oana et al.(2019)	A
	深部	S_d	km ²	756.0	Asano and Iwata(2016)	695.5	Oana et al.(2019)	A
	合計	S	km ²	847.0	S_d+S_s	845.5	S_d+S_s	A
地震モーメント (深部)	M_0	N·m	4.42×10^{19}	F-net	4.42×10^{19}	F-net		
モーメントマグニチュード (深部)	M_w	—	7.0	$M_w=(\log M_0-9.1)/1.5$	7.0	$M_w=(\log M_0-9.1)/1.5$		
平均すべり量 (深部)	D	m	1.87	$D=M_0/(\mu S_d)$	2.04	$D=M_0/(\mu S_d)$	A	

※ 変更理由の記号は下記の内容を示す。
 A 深部断層上端深さを見直したため
 B 観測記録を再現するために見直したため
 C 深部断層上端深さの見直しに伴い、断層面を再分割したため

震源モデル見直し前後の比較(主要な断層パラメータ)

○見直し前(第711回審査会合), 見直し後(本編4章)の主要な断層パラメータを比較する。

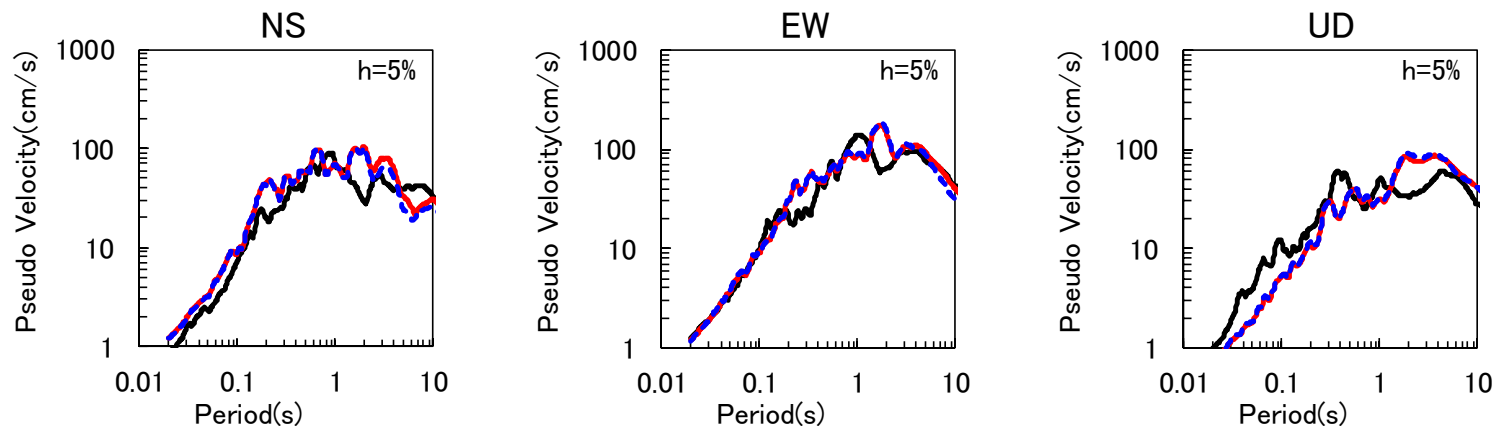
断層パラメータ	記号	単位	見直し前 (第711会合, Ikutama et al.(2018))		見直し後 (本編4章, Oana et al.(2019)一部修正)		変更理由※	
			数値	設定根拠	数値	設定根拠		
■浅部断層								
大すべり域	面積	S_{as}	km ²	20	小穴他(2017)のアスペリティ1以浅の領域	36	Oana et al.(2019)	A
	平均すべり量	D_{as}	m	4.0	観測記録を説明できるように設定	4.0	観測記録を説明できるように設定	
■深部断層								
上端深さ		—	km	2	Asano and Iwata (2016)を参考に設定	3.283	Oana et al.(2019)	A
アスペリティ1	地震モーメント	M_{0ai}	N・m	1.87×10^{19}	$M_{0ai} = \mu D_{ai} S_{ai}$	1.62×10^{19}	$M_{0ai} = \mu D_{ai} S_{ai}$	C
	面積	S_{ai}	km ²	120	小穴他(2017)	104	Oana et al.(2019)	C
	平均すべり量	D_{ai}	m	5.0	小穴他(2017)	5.0	小穴他(2017)	
	応力降下量	$\Delta \sigma_{ai}$	MPa	6.0	小穴他(2017)	8.0	Oana et al.(2019)	B
アスペリティ2	地震モーメント	M_{0ai}	N・m	5.99×10^{18}	$M_{0ai} = \mu D_{ai} S_{ai}$	6.20×10^{18}	$M_{0ai} = \mu D_{ai} S_{ai}$	C
	面積	S_{ai}	km ²	64	小穴他(2017)	66	Oana et al.(2019)	C
	平均すべり量	D_{ai}	m	3.0	小穴他(2017)	3.0	小穴他(2017)	
	応力降下量	$\Delta \sigma_{ai}$	MPa	13.0	小穴他(2017)	12.0	Oana et al.(2019)	B
アスペリティ3	地震モーメント	M_{0ai}	N・m	2.25×10^{18}	$M_{0ai} = \mu D_{ai} S_{ai}$	2.33×10^{18}	$M_{0ai} = \mu D_{ai} S_{ai}$	C
	面積	S_{ai}	km ²	36	小穴他(2017)	37	Oana et al.(2019)	C
	平均すべり量	D_{ai}	m	2.0	小穴他(2017)	2.0	小穴他(2017)	
	応力降下量	$\Delta \sigma_{ai}$	MPa	11.0	小穴他(2017)	11.0	Oana et al.(2019)	

※ 変更理由の記号は下記の内容を示す。
 A 深部断層上端深さを見直したため
 B 観測記録を再現するために見直したため
 C 深部断層上端深さの見直しに伴い、断層面を再分割した影響を受けたため

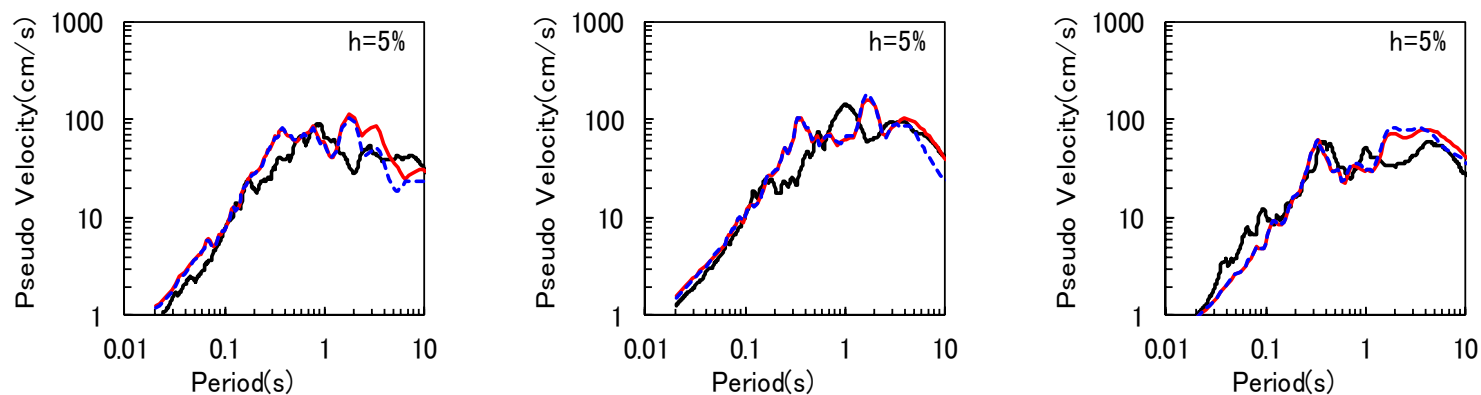
震源モデルの見直し前後の比較(KiK-net益城 擬似速度応答スペクトル)

○原子炉施設にとって重要な短周期帯(0.2秒以下)を含め広帯域で観測記録と概ね整合している。

— 観測記録
 - - 計算(深部)
 — 計算(深部+浅部)



見直し前(第711回審査会合)



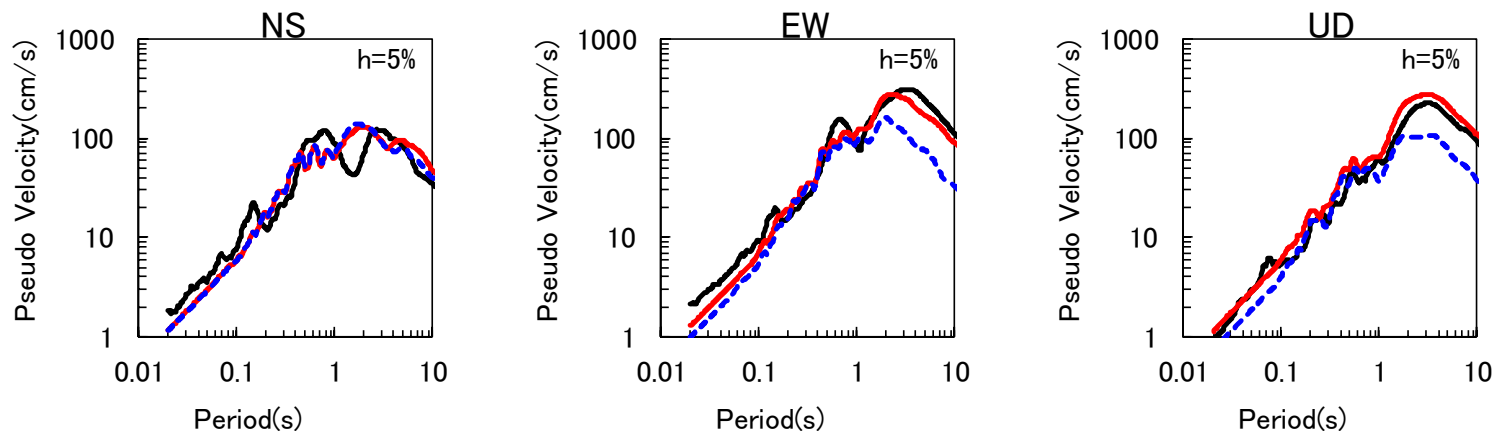
見直し後(本編4章)

擬似速度応答スペクトル(KiK-net益城)

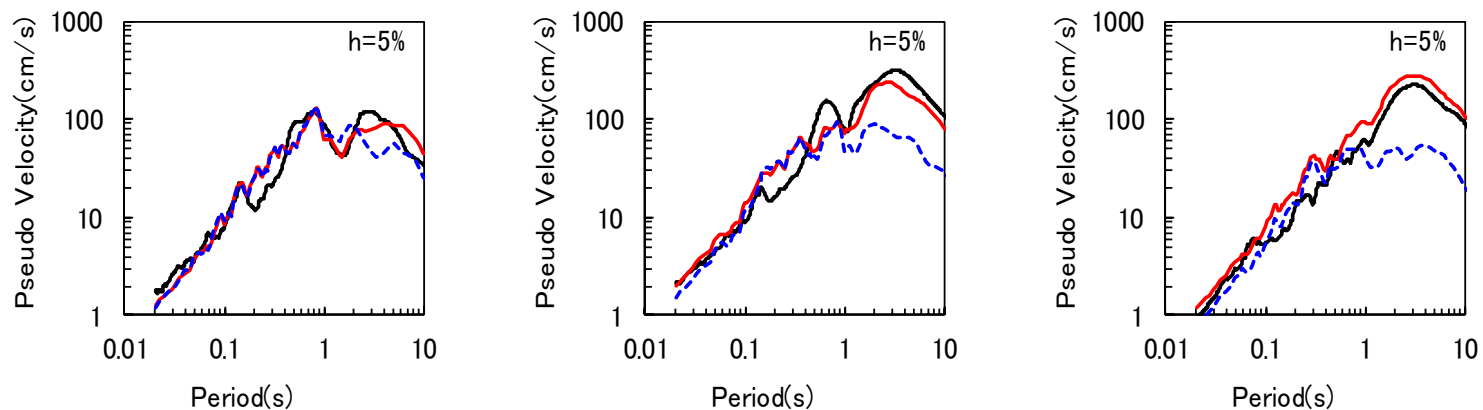
震源モデルの見直し前後の比較(西原村小森 擬似速度応答スペクトル)

○見直し後の方が、原子炉施設にとって重要な短周期帯(0.2秒以下)を含め広帯域で観測記録と概ね整合している。

— 観測記録
 - - 計算(深部)
 — 計算(深部+浅部)



見直し前(第711回審査会合)



見直し後(本編4章)

擬似速度応答スペクトル(西原村小森)

目次

1. 検討方針
2. 知見の整理
 - 2.1 震源極近傍における地震動の特徴
 - 2.2 震源過程
 - 2.3 震源近傍における建物被害
 - 2.4 摩擦とすべり等の関係
 - 2.5 まとめ
3. 浅部断層からの短周期地震動に関する考察
4. 基本震源モデルの地震動評価法
 - 4.1 震源モデルの設定及び計算手法
 - 4.2 2016年熊本地震の再現解析
 - 4.3 まとめ
5. 震源が敷地に極めて近い場合の地震動評価の考え方
6. 浦底断層の地震動評価
 - 6.1 地下構造評価の概要
 - 6.2 基本震源モデルによる地震動評価
 - 6.3 不確かさを考慮した地震動評価
 - 6.4 十分な余裕を考慮した地震動評価
 - 6.5 連動長さの不確かさを考慮した影響検討
 - 6.6 まとめ
7. 全体まとめ
8. 参考文献

補足説明資料1 2016年熊本地震の再現解析について

補足説明資料2 浦底断層の地震動評価(応答スペクトルに基づく手法)

補足説明資料3 C.H.ショルツ(2010)の引用について

浦底断層の地震動評価(手法の適用性検討)

- 地表地震断層近傍における地震動の特徴である長周期パルスや永久変位を再現でき、実務に活用されている実績のある距離減衰式は無いと考えられる。そのため、深部断層を対象に応答スペクトルに基づく地震動評価を行う。
- 浦底断層は、いずれのケースもNoda et al.(2002)(以下「耐専式」という。)の適用範囲外となることから、NGA等の適用可能な複数の距離減衰式を用いて評価する。

1. 回帰分析に用いた地震の諸元

$5.5 \leq M_j \leq 7.0$ (M_j : 気象庁マグニチュード)

$h \leq 60\text{km}$ (h : 震源深さ)

$28\text{km} \leq X_{eq} \leq 202\text{km}$ (X_{eq} : 等価震源距離)

2. 観測記録を用いて距離減衰式の適用性について検討した際に用いた地震の諸元

$5.4 \leq M_j \leq 8.1$

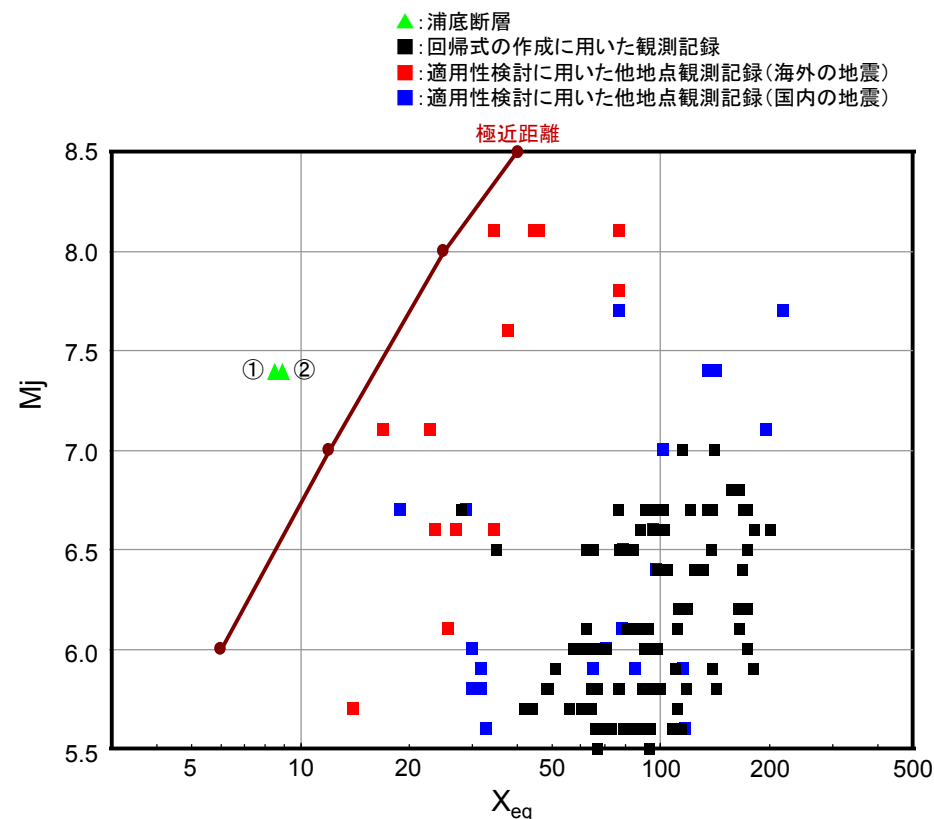
$h \leq 60\text{km}$

$14\text{km} \leq X_{eq} \leq 218\text{km}$

浦底断層の諸元 (M_j 及び X_{eq})

ケース	M_j^*	$X_{eq}(\text{km})$
①基本ケース	7.4	8.5
②傾斜角の不確かさを考慮	7.4	8.9

* M_j は、松田(1975)により算定



平成21年5月22日原安委意見交換会資料(東京電力)に加筆
地震データの比較 (M_j 及び等価震源距離 X_{eq})

浦底断層の地震動評価(耐専式以外の距離減衰式)

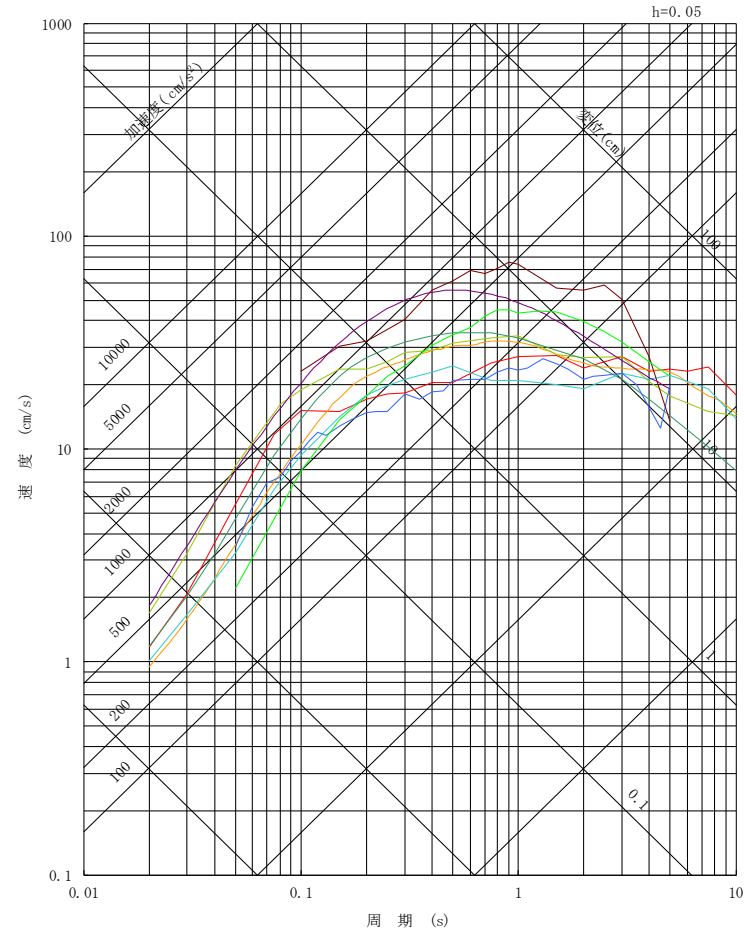
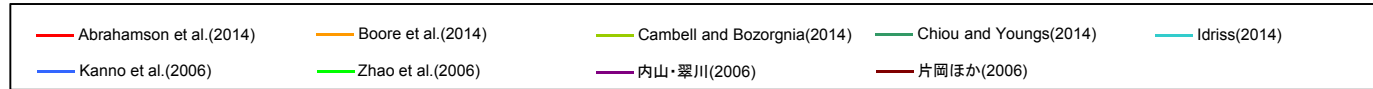
○浦底断層は、耐震式が適用範囲外であるため、国内外の地震観測記録に基づき作成された以下に示すその他の距離減衰式を用いて、応答スペクトルに基づく手法の地震動評価を実施する。

距離減衰式	データベース諸元					備考
	対象地震	地震種別	Mwの範囲	断層最短距離の範囲	地盤種別*1	
Kanno et al.(2006)	主に国内	内陸 プレート間 プレート内	5.5~8.2	1~500km	100≦Vs30≦1,400m/s (原論文の図から読取)	原論文の評価式を用いて補正
Zhao et al.(2006)	主に国内		5.0~8.3	0.3~300km	・Vs30>1,100m/s ・Vs30>600m/s 等で整理	原論文の評価式を用いて補正
内山・翠川(2006)	日本周辺		5.5~8.3	300km以内	Vs30=500m/s程度の 工学的基盤	—
片岡他(2006)	日本周辺	内陸 海溝性	4.9~8.2	250km以内	工学的基盤(31測点)の Vs30の平均値は720m/s	—
Abrahamson et al.(2014)	国内外	内陸	3.0~8.5	300km以内	180≦Vs30≦1,500m/s	原論文の評価式を用いて補正
Boore et al.(2014)			3.0~8.5(横ずれ) 3.0~8.5(逆断層) 3.3~7.0(正断層)	400km以内	150≦Vs30≦1,500m/s	原論文の評価式を用いて補正
Gambell and Bozorgnia(2014)			3.3~8.5(横ずれ) 3.3~8.0(逆断層) 3.3~7.0(正断層)	300km以内	150≦Vs30≦1,500m/s	原論文の評価式を用いて補正
Chiou and Youngs(2014)			3.5~8.5(横ずれ) 3.5~8.0(逆断層) 3.5~8.0(正断層)	300km以内	180≦Vs30≦1,500m/s	原論文の評価式を用いて補正
Idress(2014)			5.0~8.0	150km以内	450≦Vs30≦2000m/s	原論文の評価式を用いて補正

*1 Vs30: 地表から深さ30mまでの平均S波速度(敦賀発電所2号炉は、Vs30=1,600m/s)

浦底断層の地震動評価結果(ケース1:基本ケース)

○応答スペクトルに基づく手法による地震動評価結果(Mw6.7, 断層最短距離3.01km)

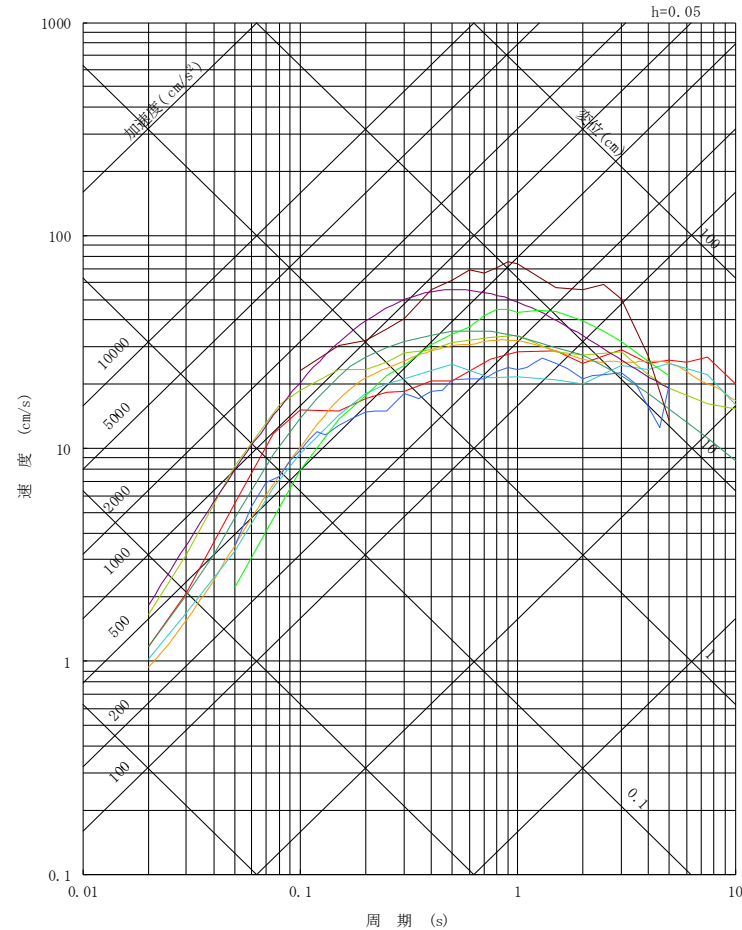
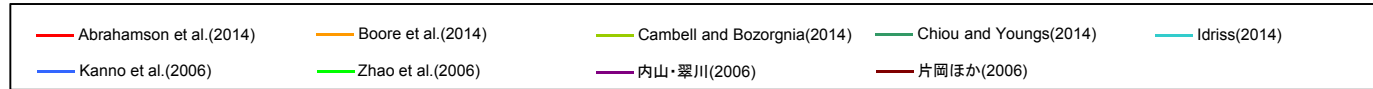


水平方向

擬似速度応答スペクトル

浦底断層の地震動評価結果(ケース2:傾斜角の不確かさを考慮)

○応答スペクトルに基づく手法による地震動評価結果(Mw6.8, 断層最短距離3.29km)



水平方向

擬似速度応答スペクトル

目次

1. 検討方針
2. 知見の整理
 - 2.1 震源極近傍における地震動の特徴
 - 2.2 震源過程
 - 2.3 震源近傍における建物被害
 - 2.4 摩擦とすべり等の関係
 - 2.5 まとめ
3. 浅部断層からの短周期地震動に関する考察
4. 基本震源モデルの地震動評価法
 - 4.1 震源モデルの設定及び計算手法
 - 4.2 2016年熊本地震の再現解析
 - 4.3 まとめ
5. 震源が敷地に極めて近い場合の地震動評価の考え方
6. 浦底断層の地震動評価
 - 6.1 地下構造評価の概要
 - 6.2 基本震源モデルによる地震動評価
 - 6.3 不確かさを考慮した地震動評価
 - 6.4 十分な余裕を考慮した地震動評価
 - 6.5 連動長さの不確かさを考慮した影響検討
 - 6.6 まとめ
7. 全体まとめ
8. 参考文献

補足説明資料1 2016年熊本地震の再現解析について

補足説明資料2 浦底断層の地震動評価(応答スペクトルに基づく手法)

補足説明資料3 C.H.ショルツ(2010)の引用について

本資料とC.H.ショルツ(2010)の引用箇所への対応

本資料		C.H.ショルツ(2010)※	
表題	該当頁	項	該当頁
速度と状態に依存する摩擦則	63	2.3.2 摩擦に対するすべり速度の効果;RS摩擦則	79, 80, 81
		2.3.2 Rate effects on friction: the rate and state variable friction laws	83, 84, 85
すべりの安定, 不安定	64	2.3.1 イントロダクション	78
		2.3.1 Introduction	82
		2.3.2 摩擦に対するすべり速度の効果;RS摩擦則	86
		2.3.2 Rate effects on friction: the rate and state variable friction laws	87, 88
		2.3.3 摩擦の安定・条件つき安定・不安定の領域	84, 85
		2.3.3 Frictional stability regimes	87, 88
すべりの安定, 不安定と地震発生層の関係(1/2)	65	3.4.1 せん断ゾーンの断面のモデリング	143, 144, 145
		3.4.1 A synoptic shear zone model	148, 149, 150
すべりの安定, 不安定と地震発生層の関係(2/2)	66	3.4.1 せん断ゾーンの断面のモデリング	145
		3.4.1 A synoptic shear zone model	150, 151, 152

※ 上段:C.H.ショルツ(2010)の該当箇所

下段:C.H.ショルツ(2010)の原書であるC.H.Scholz(2002)の該当箇所

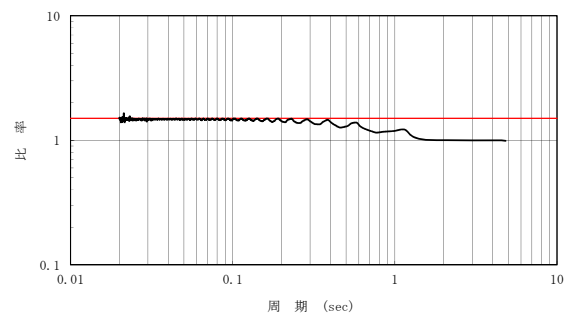
C.H.Scholz(2002): The Mechanics of Earthquakes and Faulting, Second edition, Cambridge University Press.

短周期レベルの確認

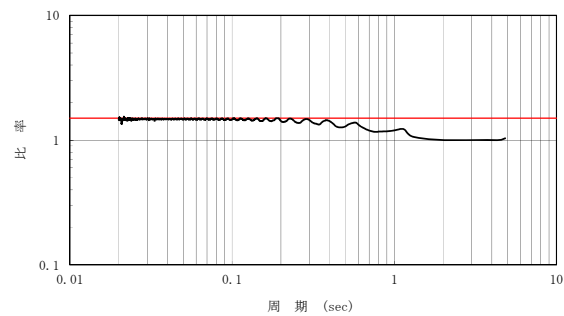
○短周期レベルの不確かさを考慮したケースについて、波形合成結果が短周期側で1.5倍になっていることを確認した。

基本ケース（短周期レベル:レシピ平均, 破壊開始点1）

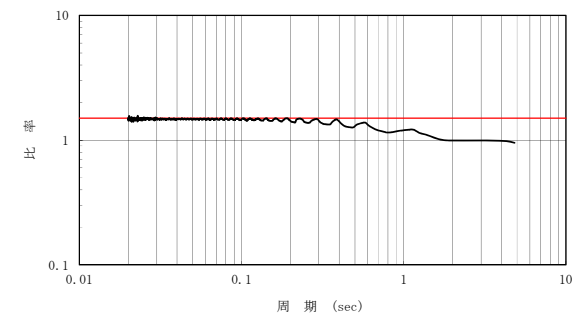
ケース5（短周期レベル:レシピ平均の1.5倍, 破壊開始点1）



NS方向



EW方向



赤線は比率1.5倍を示す。

フーリエスペクトル比
(ケース5/基本ケース)