断層パラメータの設定根拠（短周期レベル） 1/11

- 短周期レベルに関する知見をまとめると，以下のとおりである（詳細は64～73ページ）。
  - ✓ 新潟県中越沖地震（逆断層）は，短周期レベルが平均的なものより1.5倍程度大きかった。
  - ✓ 構造計画研究所（2010）及び（2011），佐藤（2010）によると，横ずれ断層の地震は逆断層の地震に比べて短周期レベルが小さく，更に横ずれ断層の地震の中で中国地方の地震は他の地域の地震よりも短周期レベルが小さい傾向である。
  - ✓ 佐藤（2010）によると，経験的グリーン関数法による短周期レベルは，異なる研究者が異なる手法で推定しているものを用い，またその値は換算式で求めていることから，その精度としてはスペクトルインバージョン解析によるものより劣ると考えられるとしている。
  - ✓ 内山ほか(2017）によると，2016年鳥取県中部の地震の短周期レベルは壇ほか（2001）による経験式と調和的な値であるとしている。
  - ✓ 染井ほか（2010）によると，佐藤（2010）ほど明瞭ではないが，短周期レベルは逆断層の方が横ずれ断層より大きく見えるとしているが，推定値の違いについて比較検討が必要としている。
  - ✓ 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領域における地震動レベルの比率は，1.2倍程度としている。

文 献		佐藤（2010）		構研（2010），（2011）
解析手法		ｽﾍﾟｸﾄﾙｲﾝﾊﾞｰｼﾞｮﾝ	経験的GF	経験的GF
短周期ﾚﾍﾞﾙ（壇ほか（2001）に対する倍率）	①逆断層	$3.57\times10^{17}\times M_0^{1/3}$（1.45倍）	$3.00\times10^{17}\times M_0^{1/3}$（1.22倍）	$2.77\times10^{17}\times M_0^{1/3}$（1.13倍）
	②横ずれ断層	$1.58\times10^{17}\times M_0^{1/3}$（0.64倍）	$1.56\times10^{17}\times M_0^{1/3}$（0.64倍）※	$2.48\times10^{17}\times M_0^{1/3}$（1.01倍）※
	③中国地方の地震	上記②の全国平均より小	上記②の全国平均より小※	上記②の全国平均より小※
対象地震数		13	11	9

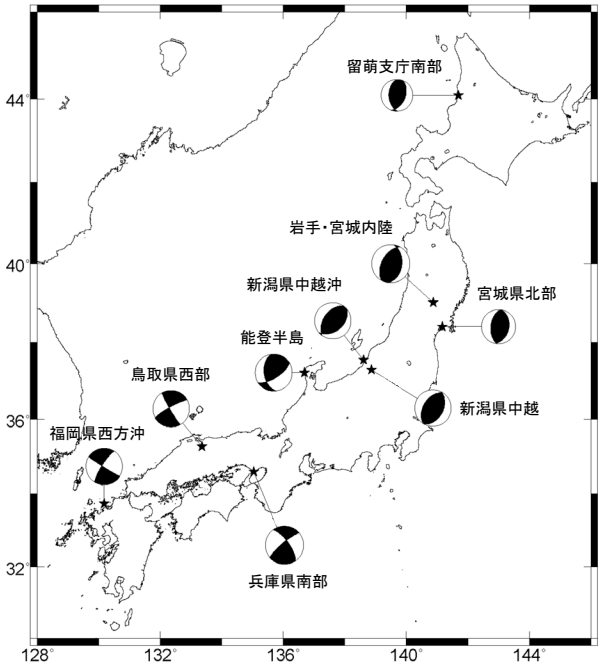
※ 池田ほか（2002）の再評価を考慮（当社算定）

第530回審査会合資料1 P69 再掲

断層パラメータの設定根拠（短周期レベル） 2/11

■ 横ずれ断層と逆断層の短周期レベルの違い及び敷地が位置する中国地方で発生した地震に関する短周期レベルの知見について整理した。

- 構造計画研究所（2010）では，以下に示す国内で発生した内陸地殻内地震について，経験的グリーン関数法に基づく震源モデルより，横ずれ断層と逆断層の違いを考慮した短周期レベルと地震モーメントの関係を検討している。



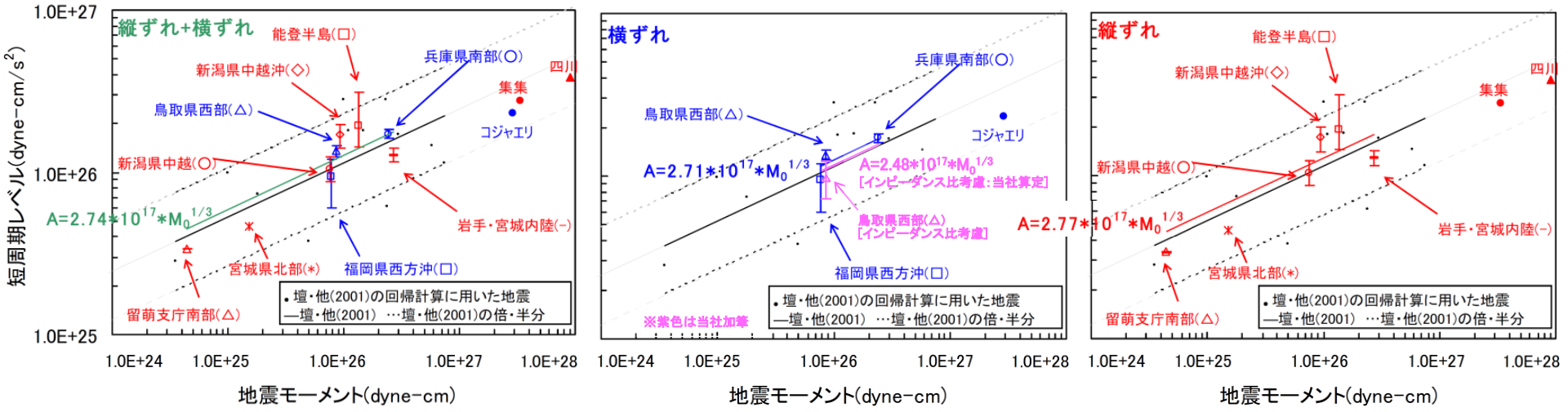
検討対象地震の震央位置とメカニズム解

［構造計画研究所(2010)に一部加筆。］

断層パラメータの設定根拠（短周期レベル） 3/11

- 構造計画研究所（2010）では，前記の内陸地殻内地震の震源モデルから求めた短周期レベルと地震モーメントの関係について，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と評価している。

※但し，上記評価に用いている池田ほか（2002）による2000年鳥取県西部地震の短周期レベルについては，構造計画研究所（2011）により，要素地震の設定時に震源と観測点での媒質（S波速度と密度）の違いを適切に考慮していないことが指摘され，震源と観測点のインピーダンス比より，その短周期レベルは約2倍過大評価している可能性があるとされていることから，上記評価の取り扱いには注意が必要である。なお，構造計画研究所（2010）の評価について，そのインピーダンス比を考慮すると，逆断層と横ずれ断層の短周期レベルの差は大きくなる。



［構造計画研究所(2010)に一部加筆。］

短周期レベルと地震モーメントの関係
（図中のバーは最大・最小の短周期レベルを示す）

断層パラメータの設定根拠（短周期レベル） 4/11

- また，構造計画研究所（2010）では，下表（左）に示すとおり，地域別の短周期レベルの検討において，中国地方の短周期レベルは壇ほか（2001）の短周期レベルと比較して，同程度か若干大きいとしている。
- 上記については，データ数が少ないため，今後データ数を増やして検討を行う必要があるとされている。

※但し，前述のとおり，上記評価に用いている池田ほか（2002）による2000年鳥取県西部地震の短周期レベルについては，構造計画研究所（2011）により，要素地震の設定時に震源と観測点での媒質（S波速度と密度）の違いを適切に考慮していないことが指摘され，震源と観測点のインピーダンス比より，その短周期レベルは約2倍過大評価している可能性があるとされていることから，そのインピーダンス比を考慮すると，下表（右）に示すとおり，中国地方の短周期レベルは壇ほか（2001）の短周期レベルより小さくなる。

短周期レベルと地震モーメントの関係

		回帰分析結果 $A[dyne\cdot cm/s^2]$ $M_0[dyne\cdot cm]$	壇・他（2001）に対する比
全地震		$A=2.74\times10^{17}\times(M_0)^{1/3}$	1.12
断層タイプ	横ずれ	$A=2.71\times10^{17}\times(M_0)^{1/3}$	1.10
	縦ずれ	$A=2.77\times10^{17}\times(M_0)^{1/3}$	1.13
地域性	北海道	$A=2.06\times10^{17}\times(M_0)^{1/3}$	0.84
	東北	$A=1.96\times10^{17}\times(M_0)^{1/3}$	0.80
	北陸	$A=3.40\times10^{17}\times(M_0)^{1/3}$	1.38
	近畿	$A=2.76\times10^{17}\times(M_0)^{1/3}$	1.12
	中国	$A=3.06\times10^{17}\times(M_0)^{1/3}$	1.24
	九州	$A=2.22\times10^{17}\times(M_0)^{1/3}$	0.90
（参考）	壇・他（2001）	$A=2.46\times10^{17}\times(M_0)^{1/3}$	

［構造計画研究所(2010)に一部加筆修正。］

中国地方の短周期レベルと地震モーメントの関係（インピーダンス比考慮：当社算定）

回帰分析結果 $A[dyne\cdot cm/s^2]$ $M_0[dyne\cdot cm]$	壇・他(2001)に対する比
$A=2.16\times10^{17}\times(M_0)^{1/3}$	0.90

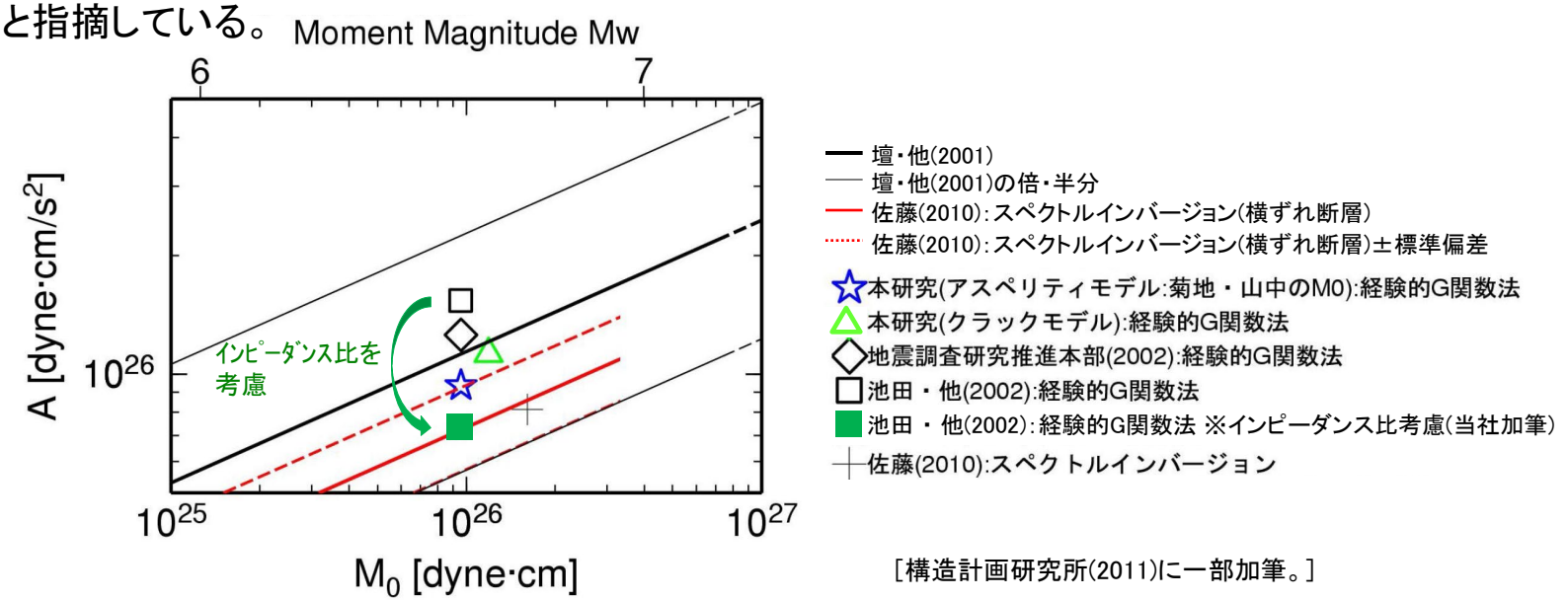
第530回審査会合資料1 P72 再掲

断層パラメータの設定根拠（短周期レベル） 5/11

- 構造計画研究所（2011）では，佐藤（2010）及び構造計画研究所（2010）に示される2000年鳥取県西部地震の短周期レベルが，スペクトルインバージョンと経験的グリーン関数法の評価の違いで差が大きいことから，経験的グリーン関数法による震源モデルの再評価を行っており，得られた短周期レベルは，佐藤（2010）より大きいものの，壇ほか（2001）と同じかやや小さいと評価している。
- また，前述のとおり，池田ほか（2002）による2000年鳥取県西部地震の短周期レベルについては，震源と観測点のインピーダンス比より，約2倍過大評価している可能性があるとされており，そのインピーダンス比を考慮すると，池田ほか（2002）の短周期レベルは以下のとおり壇ほか（2001）の短周期レベルと比較すると小さくなる。以下に比較結果を示す。

  ＜壇ほか（2001）に対する池田ほか（2002）[ｲﾝﾋﾟｰﾀﾞﾝｽ比考慮]の短周期レベルの比＞

  7.3×10^{25} dyne・cm/s^2(池田ほか(2002)[ｲﾝﾋﾟｰﾀﾞﾝｽ比考慮])／1.1×10^{26} dyne・cm/s^2(壇ほか(2001))≒0.7倍
- さらに，バックチェックにおいては，短周期レベルを壇ほか（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を求めているが，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と指摘している。

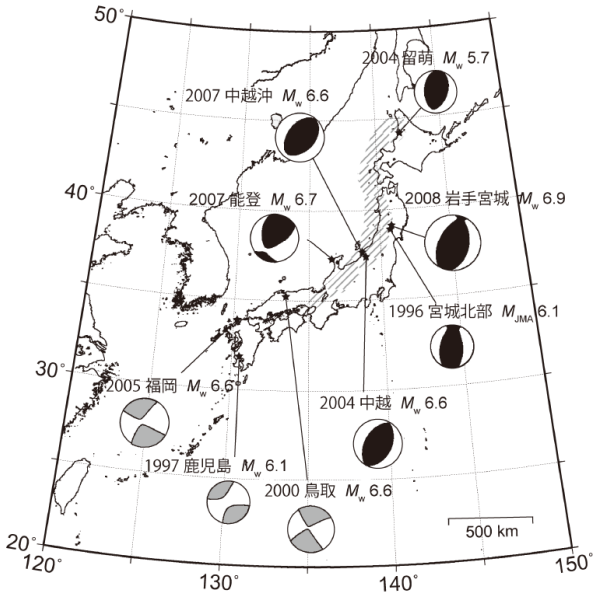


[構造計画研究所(2011)に一部加筆。]

2000年鳥取県西部地震の短周期レベルと地震モーメントの関係

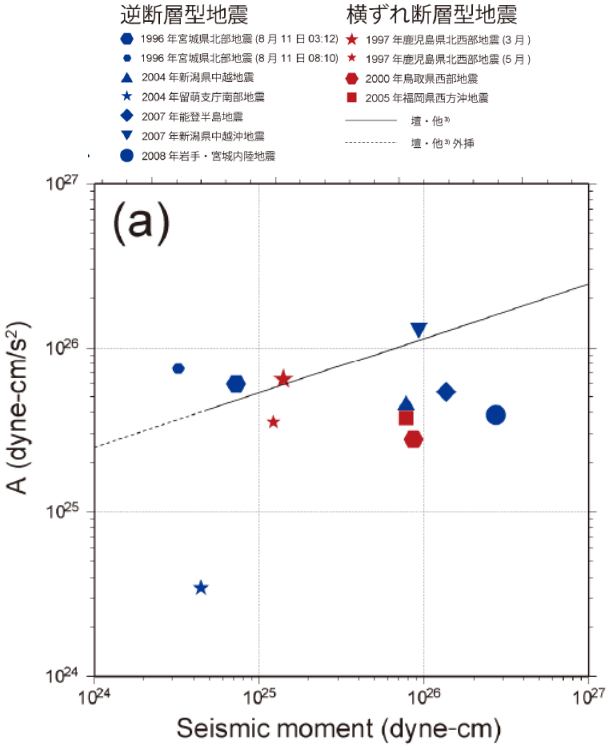
断層パラメータの設定根拠（短周期レベル） 6/11

- 染井ほか（2010）では，以下に示す国内で発生した内陸地殻内地震について，S波コーダを用いたスペクトル比法により，横ずれ断層と逆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関係を検討し，断層タイプ別の短周期レベルには違いが見られなかったと評価している（下図（a））。
- また，佐藤（2010）と同条件で再解析すると，佐藤（2010）で示されるほど明瞭ではないが，短周期レベルは逆断層の方が横ずれ断層より大きく見えると評価している（下図（b））。
- 但し，解析手法の違いによる推定値の違いについて比較検討が必要とされている。

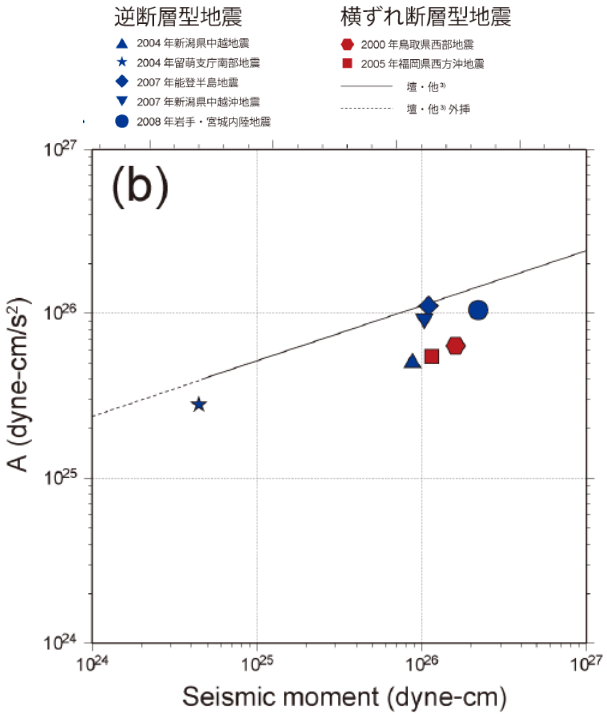


検討対象地震の震央位置とメカニズム解

（斜線部はひずみ集中帯のおよその分布を表す。
メカニズム解について，黒色がひずみ集中帯内，
灰色がひずみ集中帯外で発生した地震と分類する。）



（a）本研究の手法を用いた場合



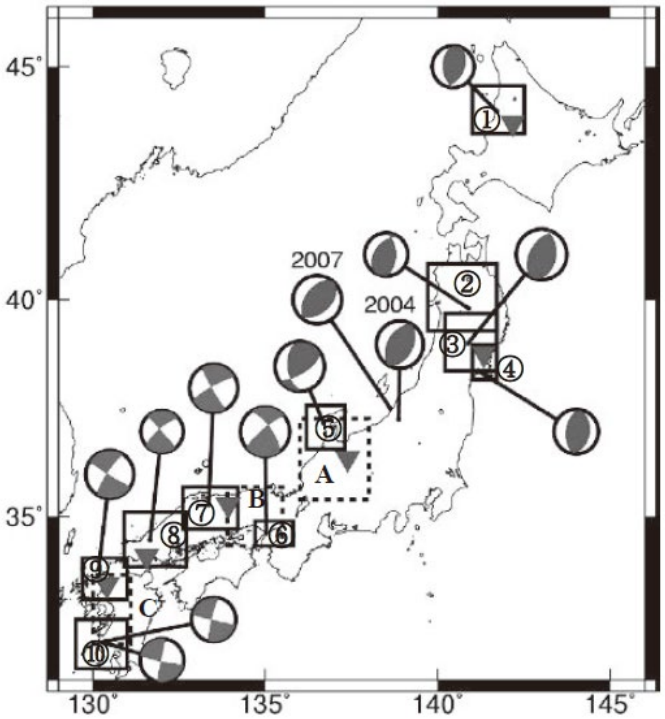
（b）佐藤(2010)の解析周波数帯域などの条件を使用し，スペクトル比法によって求めた場合

［染井ほか(2010)による。］

断層タイプ別の本震の短周期レベルと地震モーメントの関係

断層パラメータの設定根拠（短周期レベル） 7/11

- 佐藤(2010)では，以下に示す国内で発生した内陸地殻内地震の本震及びその周辺で発生した地震について，スペクトルインバージョン解析により，横ずれ断層と逆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関係を検討している。
- さらに，佐藤(2010)では，以下に示す国内で発生した内陸地殻内地震の本震（上記対象地震より2地震を除く）について，経験的グリーン関数法に基づく震源モデルにより，横ずれ断層と逆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関係を検討している。



［佐藤(2010)による。］

検討対象地震の震央位置とメカニズム解
及びスペクトルインバージョンの解析対象領域
（実線と破線の矩形領域）と基準観測点（▼）

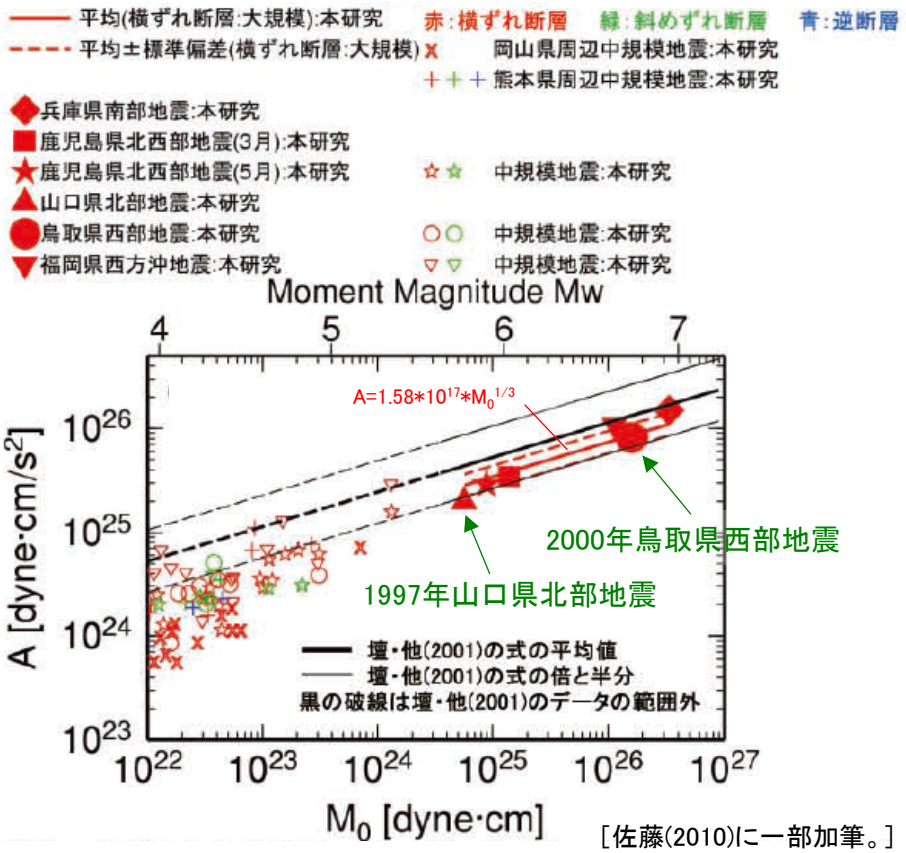
検討対象地震一覧表（○：対象，－：対象外）

No	地 震 名	スペクトル インバージョン	経験的GF 関数法
①	2004年留萌支庁南部の地震	○	○
②	1998年岩手県内陸北部地震	○	○
③	2008年岩手・宮城内陸地震	○	○
④	2003年宮城県北部地震	○	－
⑤	2007年能登半島地震	○	○
⑥	1995年兵庫県南部地震	○	○
⑦	2000年鳥取県西部地震	○	○
⑧	1997年山口県北部地震	○	○
⑨	2005年福岡県西方沖地震	○	○
⑩	1997年3月鹿児島県北西部地震	○	○
	1997年5月鹿児島県北西部地震	○	－
⑪	2004年新潟県中越地震	○	○
⑫	2007年新潟県中越沖地震	○	○

第530回審査会合資料1 P75 再掲

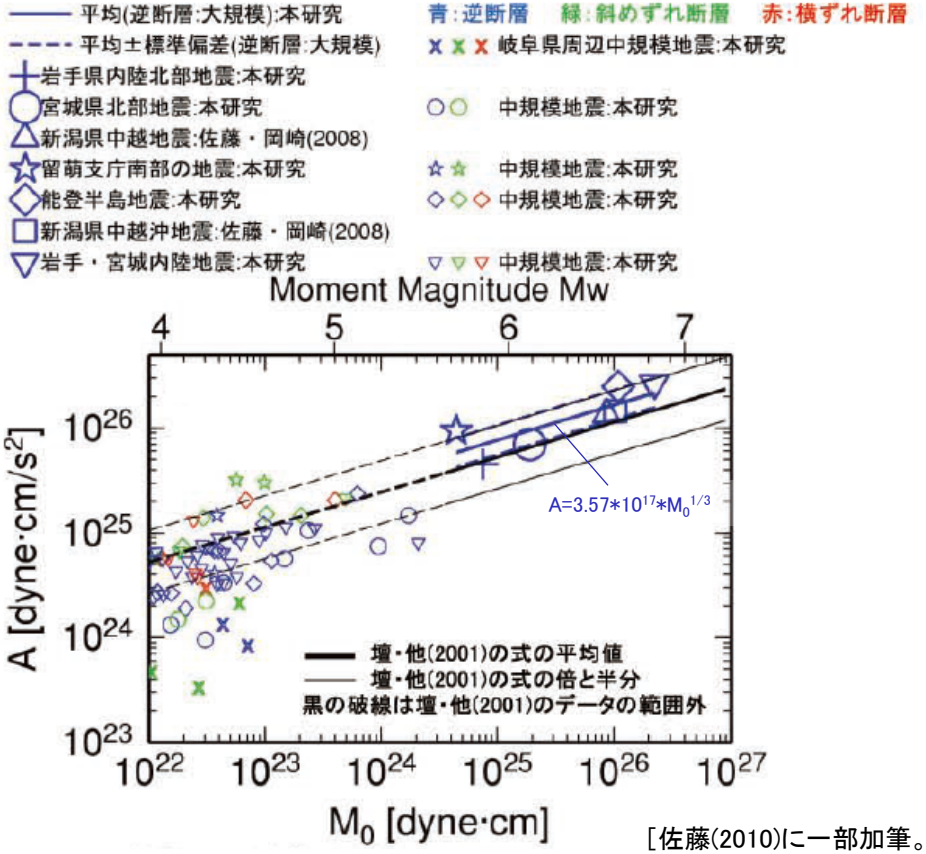
断層パラメータの設定根拠（短周期レベル） 8/11

- 佐藤（2010）におけるスペクトルインバージョン解析による地震モーメントと短周期レベルの関係について，壇ほか（2001）の短周期レベルと比較すると，1997年山口県北部地震及び2000年鳥取県西部地震を含めた横ずれ断層は0.64倍，逆断層は1.45倍と評価している。
- また，下図に示すとおり中国地方で発生した横ずれ断層の1997年山口県北部地震及び2000年鳥取県西部地震，中規模地震の短周期レベル（下図（a）の×印及び〇印）は，横ずれ断層の平均的なものより小さい傾向である。



［佐藤(2010)に一部加筆。］

（a）横ずれ断層の大規模地殻内地震とその周辺の地震



［佐藤(2010)に一部加筆。］

（b） 逆断層の大規模地殻内地震とその周辺の地震

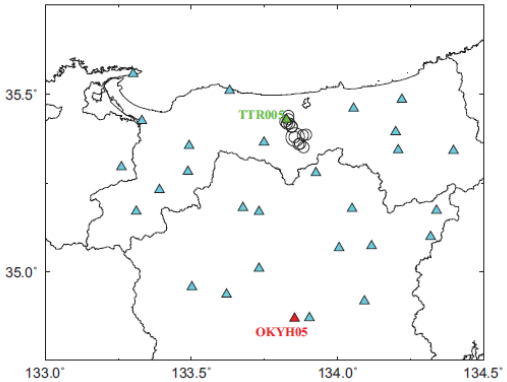
スペクトルインバージョンに基づく内陸地殻内地震の短周期レベルと地震モーメントの関係

断層パラメータの設定根拠（短周期レベル） 9/11

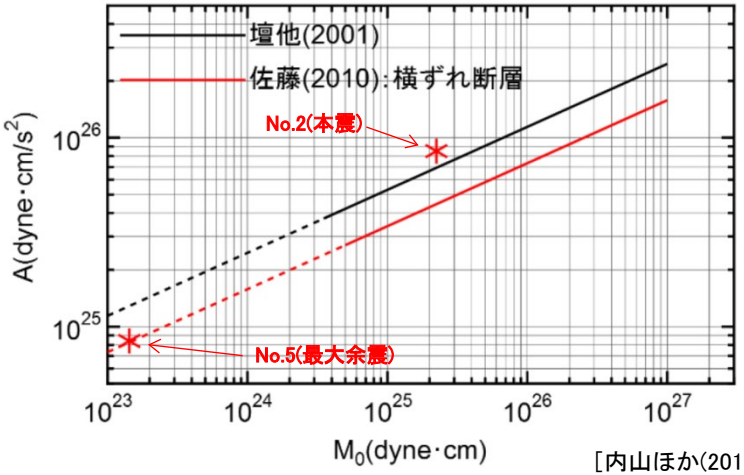
- 内山ほか（2017）では，以下に示す2016年鳥取県中部の地震の本震及び余震を対象としたスペクトルインバージョン解析により，本震及び最大余震の地震モーメントと短周期レベルの関係を検討しており，震源スペクトルから推定した本震の短周期レベルは，壇ほか（2001）による経験式と調和的な値になるとされている。

解析に用いた地震の諸元と推定された短周期レベル

	年	月	日	時間	震源位置			Mj	M_0 (Nm)	Mw	fc (Hz)	A (dyne·cm/s^2)
					東経	北緯	深さ(km)					
1	2016	10	21	12:12	133.8533	35.3800	10	4.2	1.81E+15	4.1		
2	2016	10	21	14:07	133.8550	35.3800	11	6.6	2.24E+18	6.2	0.31	8.50E+25
3	2016	10	21	14:30	133.8350	35.4183	10	4.4				
4	2016	10	21	14:50	133.8433	35.4083	10	4.2				
5	2016	10	21	14:53	133.8667	35.3600	9	5.0	1.43E+16	4.7	1.22	8.40E+24
6	2016	10	21	15:02	133.8717	35.3617	10	4.3				
7	2016	10	21	16:21	133.8317	35.4400	9	4.3	1.46E+15	4.1		
8	2016	10	21	16:52	133.8433	35.4100	6	4.1	6.73E+14	3.9		
9	2016	10	21	17:59	133.8317	35.4300	9	4.3	1.60E+15	4.1		
10	2016	10	22	6:17	133.8217	35.4233	11	4.0	3.81E+14	3.7		
11	2016	10	29	13:43	133.8917	35.3867	7	4.5	2.40E+15	4.2		



解析に用いた地震と観測点位置



［内山ほか(2017)に一部加筆。］

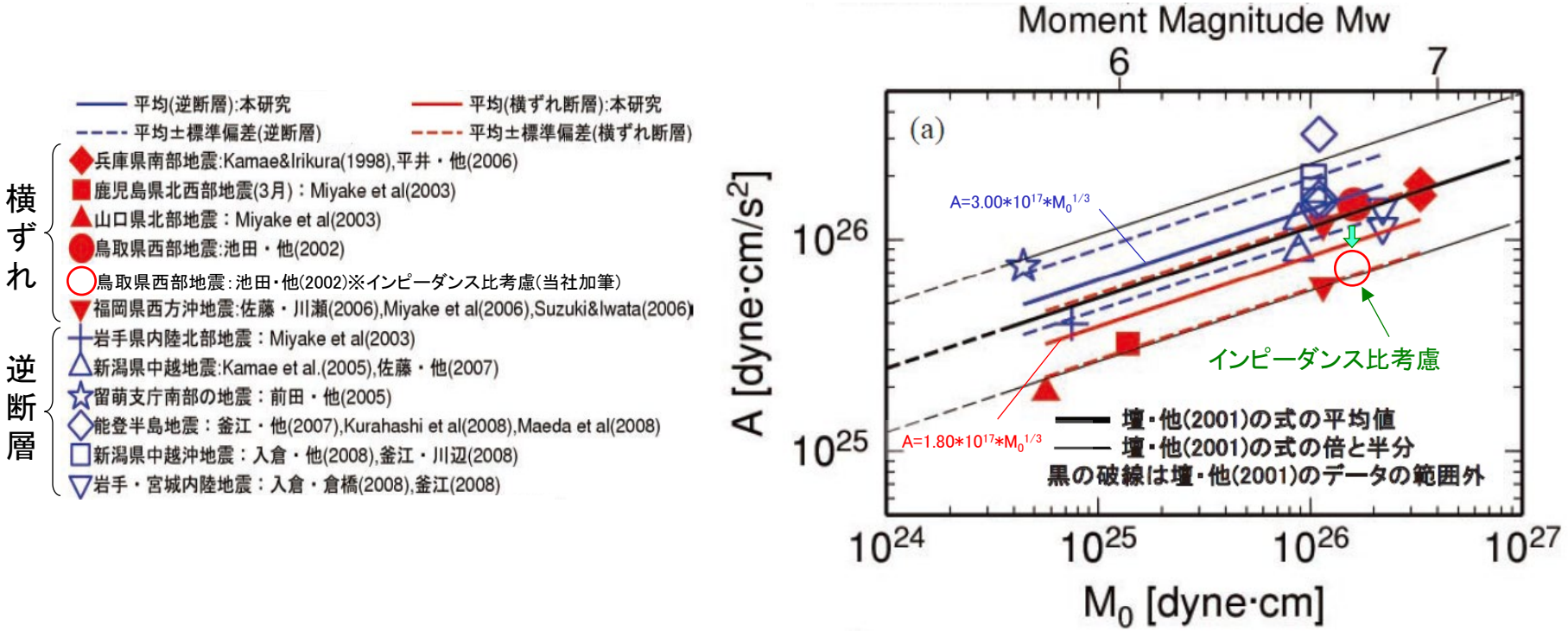
2016年鳥取県中部の地震のスペクトルインバージョン解析に基づく短周期レベルと地震モーメントの関係

第530回審査会合資料1 P77 再掲

断層パラメータの設定根拠（短周期レベル） 10/11

- 佐藤(2010)における経験的グリーン関数法による地震モーメントと短周期レベルの関係より，短周期レベルは逆断層の方が横ずれ断層より大きいことを確認している。

※但し，前述のとおり，上記評価に用いている池田ほか（2002）による2000年鳥取県西部地震の短周期レベルについては，構造計画研究所（2011）により，要素地震の設定時に震源と観測点での媒質（S波速度と密度）の違いを適切に考慮していないことが指摘され，震源と観測点のインピーダンス比より，その短周期レベルは約2倍過大評価している可能性があるとされていることから，そのインピーダンス比を考慮すると，逆断層と横ずれ断層の短周期レベルの差は大きくなると考えられる。



［佐藤(2010)に一部加筆。］

経験的グリーン関数法に基づく内陸地殻内地震の短周期レベルと地震モーメントの関係

断層パラメータの設定根拠（短周期レベル） 11/11

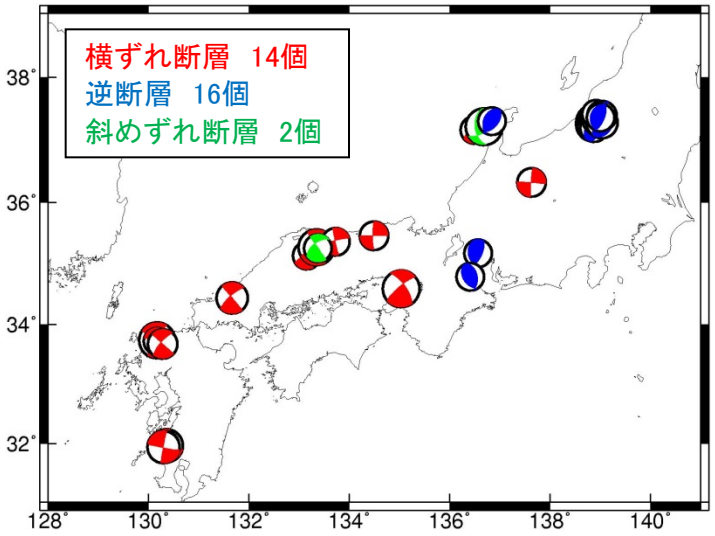
- 佐藤（2008）では，日本国内で観測された最近の地殻内地震の強震記録を用いて，最大加速度，最大速度，加速度応答スペクトルの距離減衰式を以下のとおり提案している。
- このうち，gは断層タイプの違いを表現する回帰係数であり，横ずれ断層に対する逆断層・斜めずれ断層の比率を示した図によると，0.2秒以下の短周期領域における地震動レベルは1.2倍程度（Abrahamson and Silva（1997）：約1.3倍，Zhao et al.（2006）：約1.3倍）と評価している。

＜距離減衰式＞

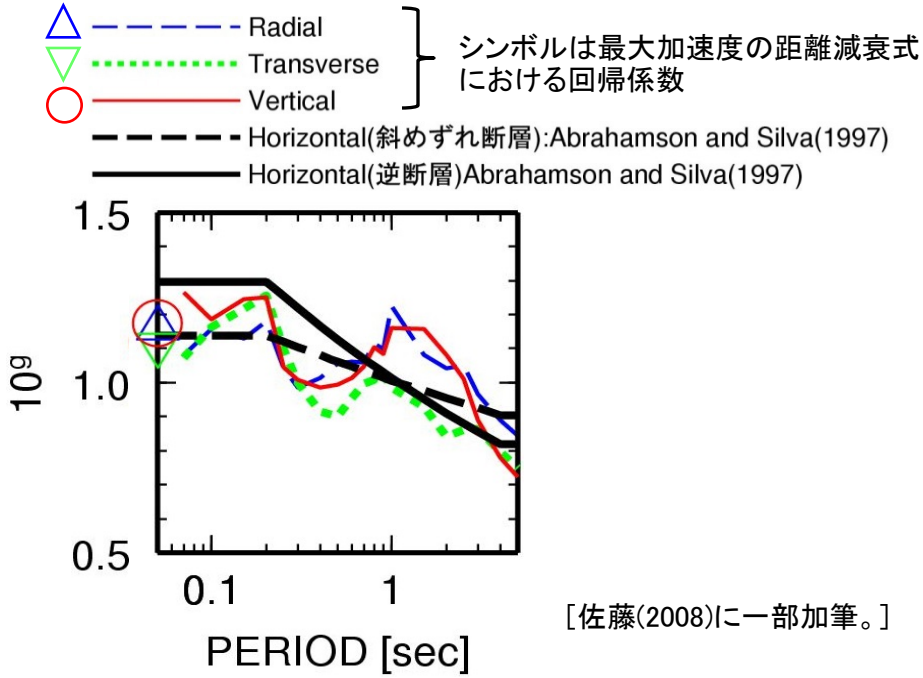
$$\log_{10} Y = aMw + g - bX - \log_{10}(X + d10^{0.5Mw}) + c_J \pm e$$

Y ： 最大加速度，最大速度，加速度応答（h=0.05）　a, g, b, d, c_J ： 回帰係数

X ： 断層最短距離　　e ： 標準偏差



距離減衰式の構築に用いた地震



［佐藤(2008)に一部加筆。］

横ずれ断層に対する逆断層・斜めずれ断層の比

不確かさの組合せ 1/5

第530回審査会合資料1 P256 再掲

- 宍道断層は敷地の極近傍に位置することから，宍道断層による地震の地震動評価ケースとして，以下に示す不確かさの各評価ケースの地震動への影響度を考慮し，不確かさの組合せケースを設定する。
- なお，不確かさの組合せにおける短周期レベルの不確かさとしては，前述したとおり，一般的な横ずれ断層の地震は，新潟県中越沖地震を引き起こしたような逆断層の地震に比べて短周期レベルが小さく，更に横ずれ断層の地震の中で中国地方の地震は他の地域の地震よりも短周期レベルが小さいことから，新潟県中越沖地震（逆断層）時の短周期レベル1.5倍を1.2（佐藤(2008)の横ずれ断層に対する逆断層の短周期レベルの比）で除し，短周期レベル1.25倍に設定（横ずれ断層の短周期レベルの不確かさ）。
- 各ケースの断層モデルを用いた手法（ハイブリッド合成法）による地震動評価結果のうち（次頁以降参照），特に地震動レベルが大きい断層傾斜角，破壊伝播速度及び横ずれ断層の短周期レベルの不確かさを考慮したケースを比較すると，各ケースとも地震動レベルが最大となる周期が存在し，どれを組合せても敷地の地震動が大きくなると考えられるため，これら3ケースの不確かさをそれぞれ組合せた「断層傾斜角と破壊伝播速度の不確かさの組合せケース」，「断層傾斜角と横ずれ断層の短周期レベルの不確かさの組合せケース」及び「破壊伝播速度と横ずれ断層の短周期レベルの不確かさの組合せケース」を考慮する。

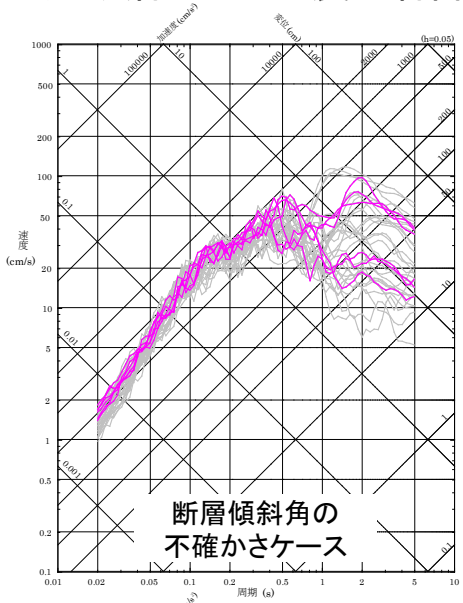
宍道断層による地震の地震動評価ケース（不確かさを考慮したケース）

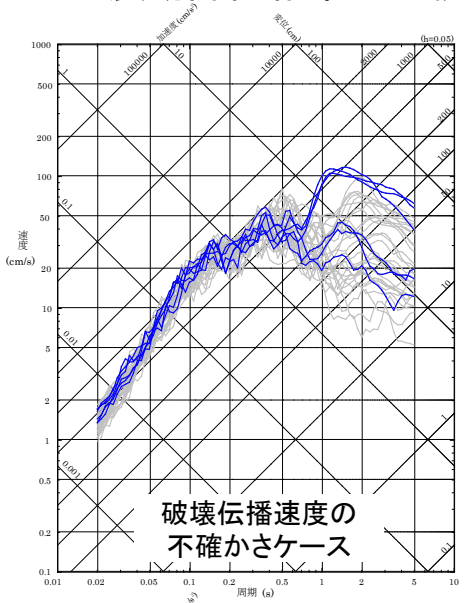
No.	評価ケース	断層長さ	断層幅	断層傾斜角	破壊伝播速度	ｱｽﾍﾟﾘﾃｨ	短周期レベル	すべり角	破壊開始点
③	断層傾斜角の不確かさを考慮したケース	39km	約19km	70°	0.72Vs	敷地近傍（2個）	レシピ	180°	6箇所
④	破壊伝播速度の不確かさを考慮したケース	39km	18km	90°	0.87Vs	敷地近傍（2個）	レシピ	180°	6箇所
⑤	すべり角の不確かさを考慮したケース	39km	18km	90°	0.72Vs	敷地近傍（2個）	レシピ	150°	6箇所
⑥	アスペリティの不確かさを考慮したケース（一塊：正方形）	39km	18km	90°	0.72Vs	敷地近傍（1個）	レシピ	180°	5箇所
⑦	アスペリティの不確かさを考慮したケース（一塊：縦長）	39km	18km	90°	0.72Vs	敷地近傍（1個）	レシピ	180°	5箇所
⑧’	横ずれ断層の短周期レベルの不確かさを考慮したケース	39km	18km	90°	0.72Vs	敷地近傍（2個）	レシピ×1.25	180°	6箇所

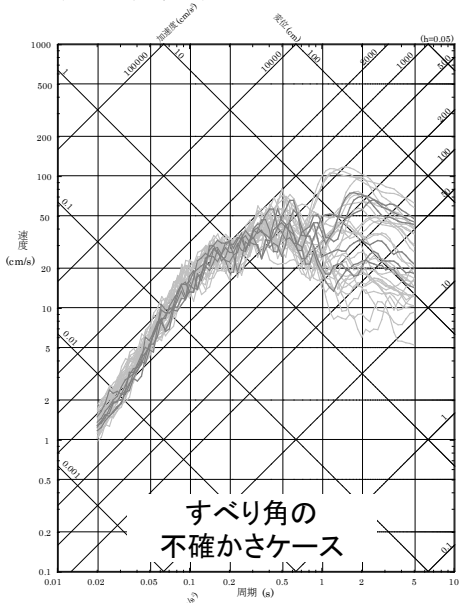
：不確かさを考慮した断層パラメータ（認識論的不確かさ）　：不確かさを考慮した断層パラメータ（偶然的不確かさ）

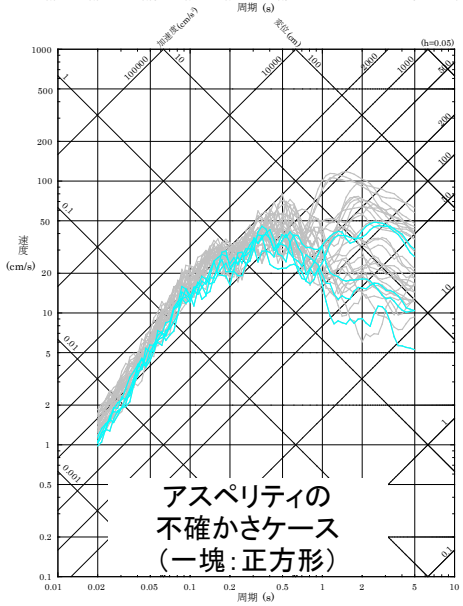
不確かさの組合せ 2/5

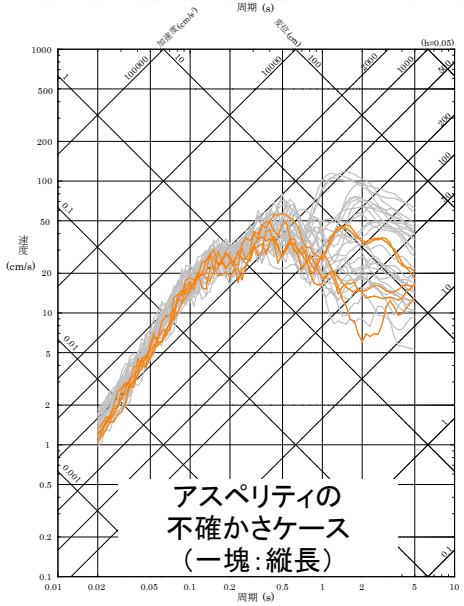
■ 宍道断層による地震の各評価ケースの地震動評価結果の比較：水平方向（NS成分）

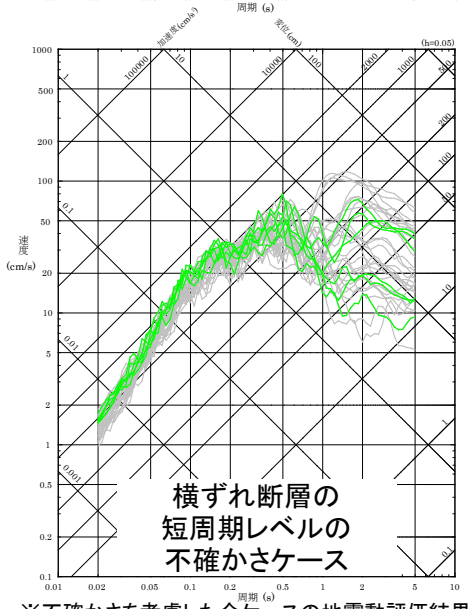










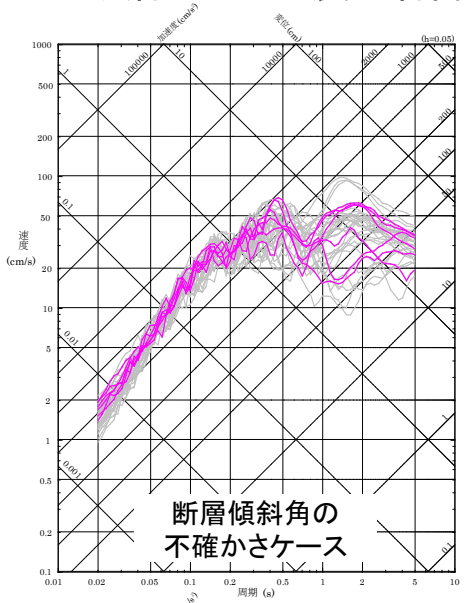


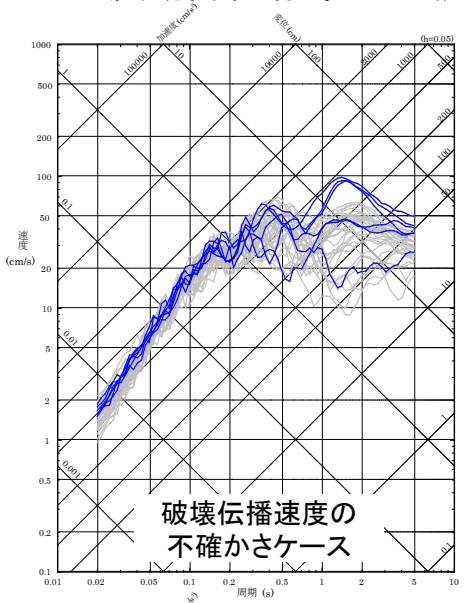
擬似速度応答スペクトル 水平方向（NS成分）

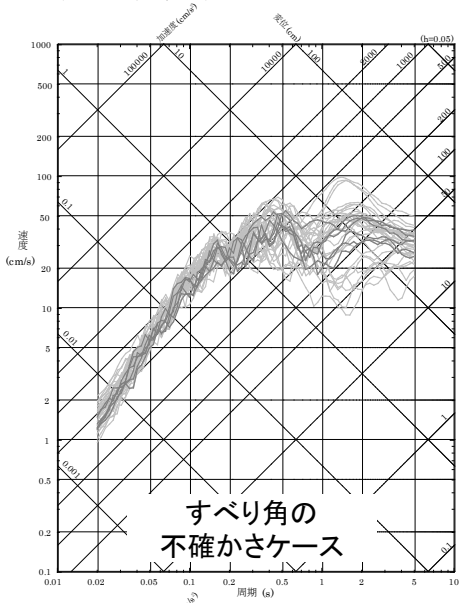
※不確かさを考慮した全ケースの地震動評価結果を灰色線で重ね書き，対象ケースを色分けして記載

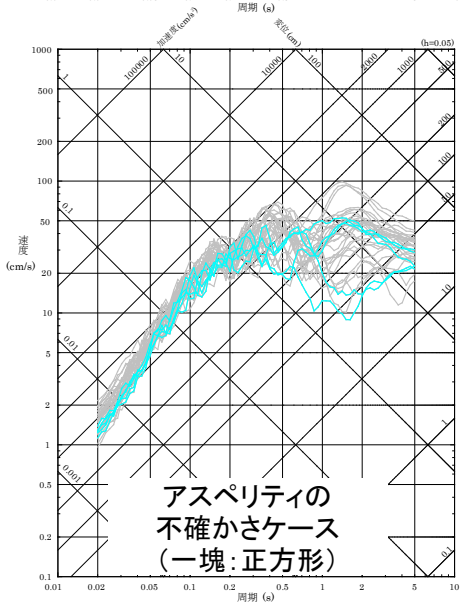
不確かさの組合せ 3/5

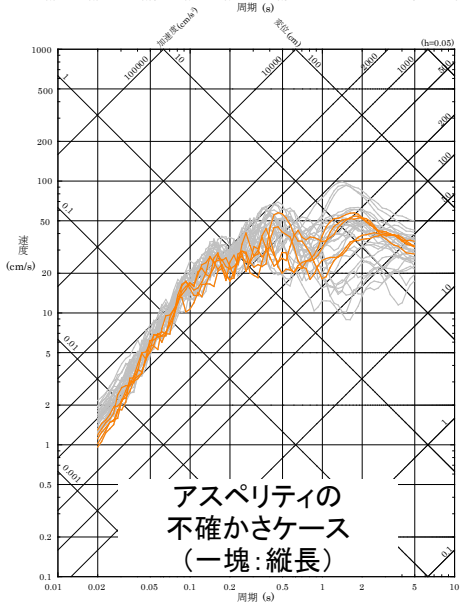
■ 宍道断層による地震の各評価ケースの地震動評価結果の比較：水平方向（EW成分）

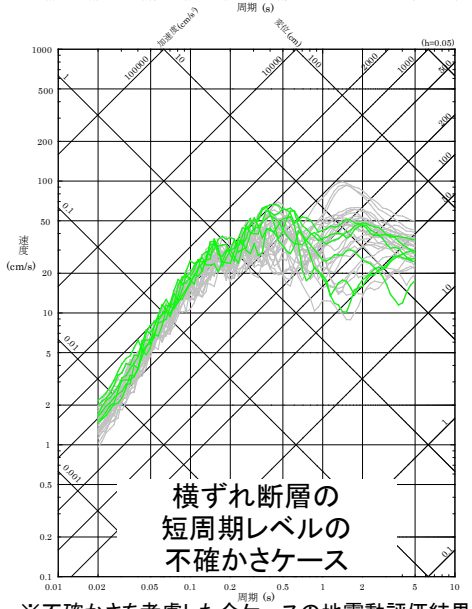












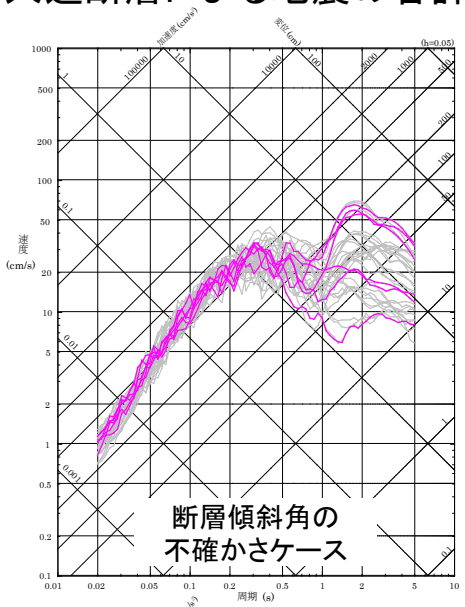
擬似速度応答スペクトル 水平方向（EW成分）

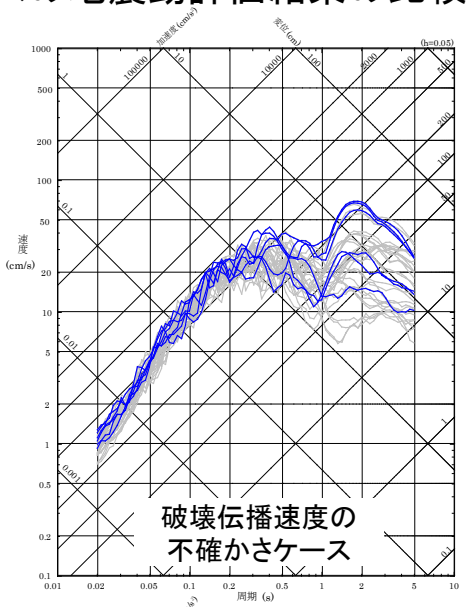
※不確かさを考慮した全ケースの地震動評価結果を灰色線で重ね書き，対象ケースを色分けして記載

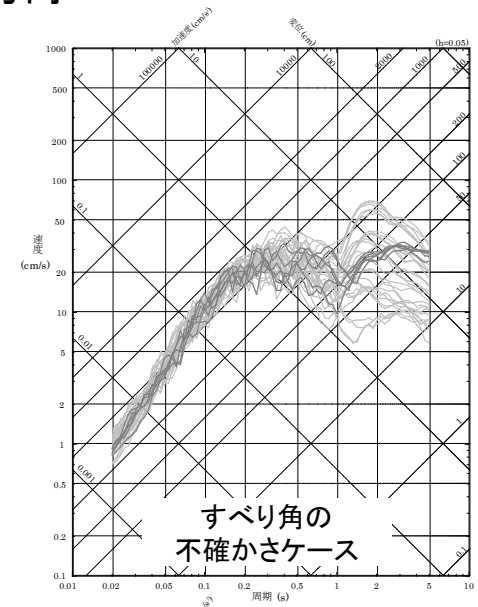
不確かさの組合せ 4/5

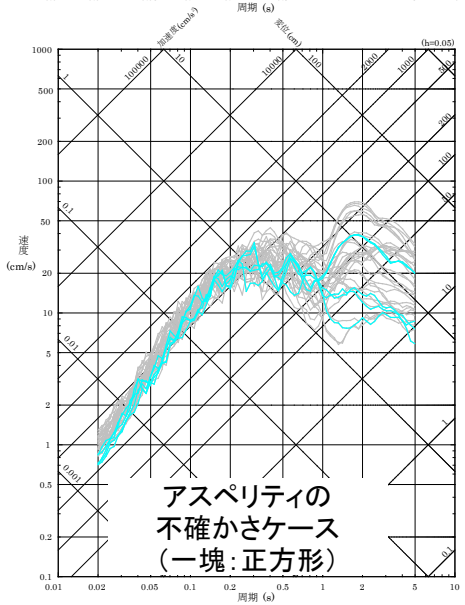
第530回審査会合資料1 P259 再掲

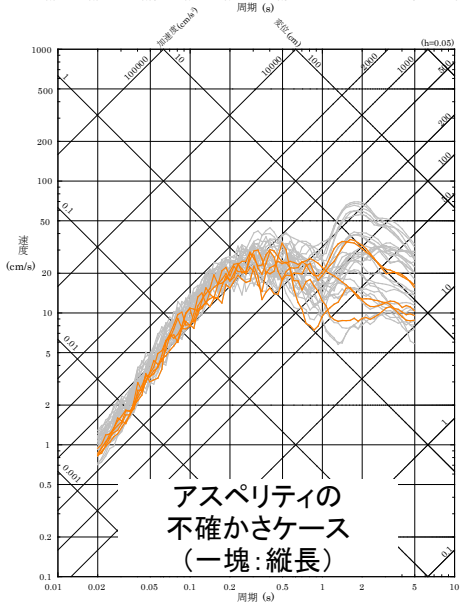
■ 宍道断層による地震の各評価ケースの地震動評価結果の比較：鉛直方向

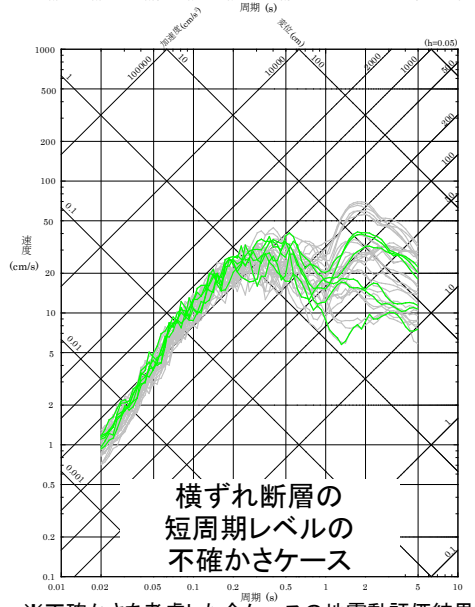












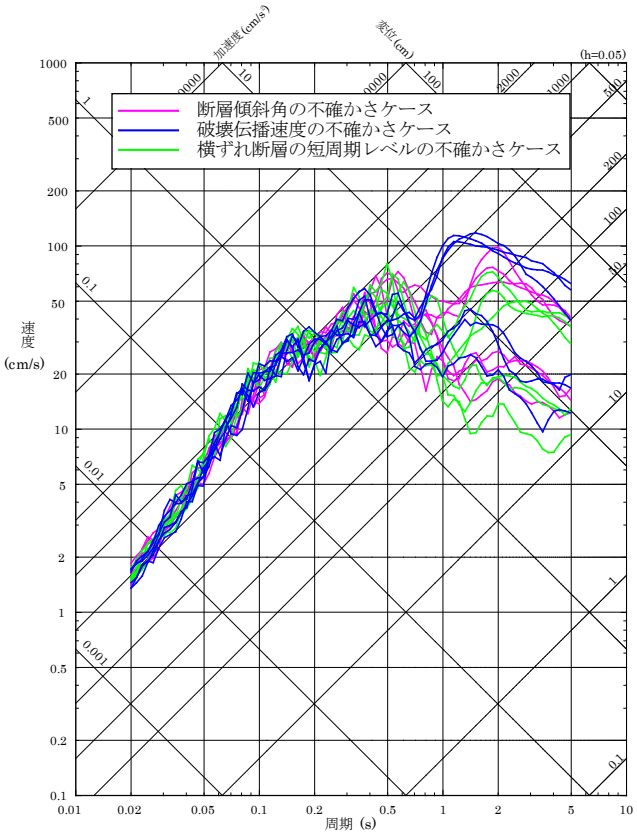
擬似速度応答スペクトル 鉛直方向

※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

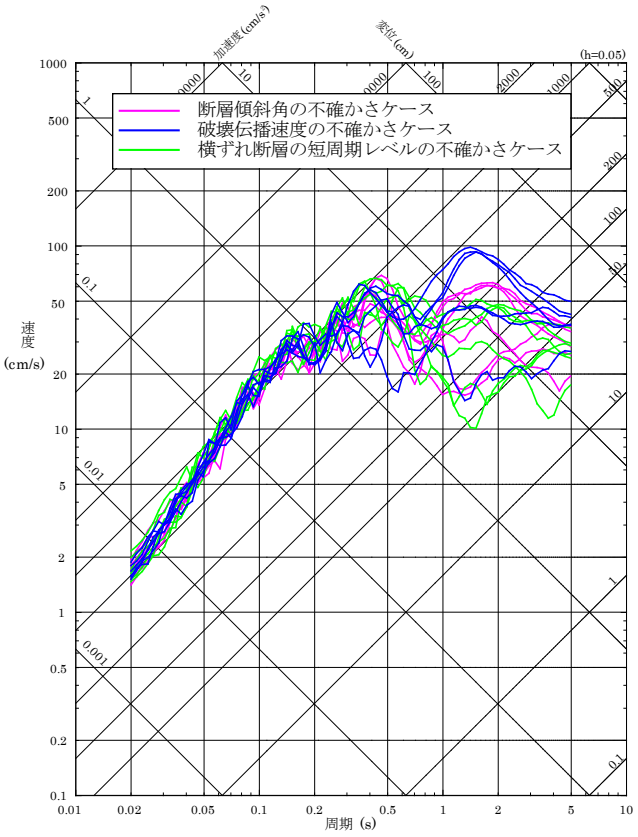
不確かさの組合せ 5/5

第530回審査会合資料1 P260 再掲

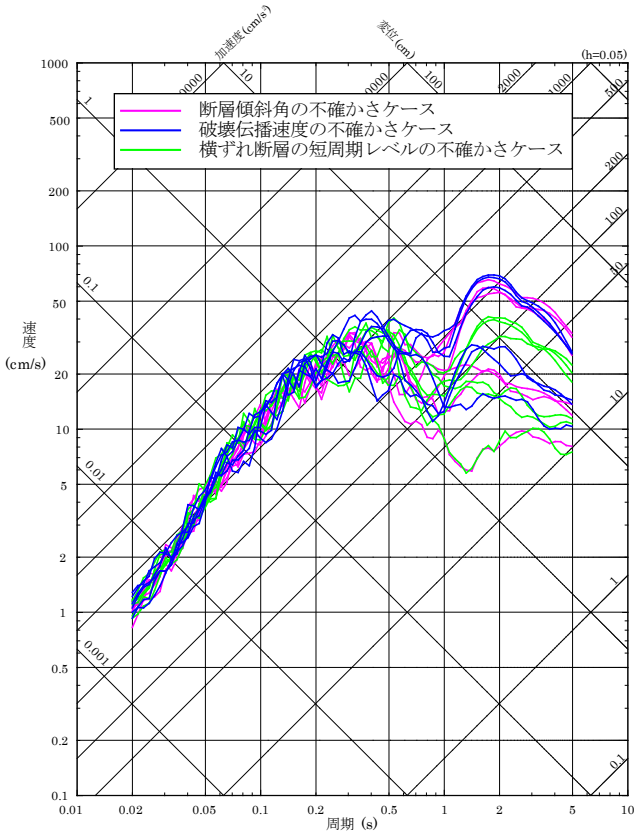
■ 宍道断層による地震の断層傾斜角，破壊伝播速度及び横ずれ断層の短周期レベルの不確かさを考慮したケースの地震動評価結果の比較：水平方向（NS・EW成分），鉛直方向



水平方向（NS成分）



水平方向（EW成分）



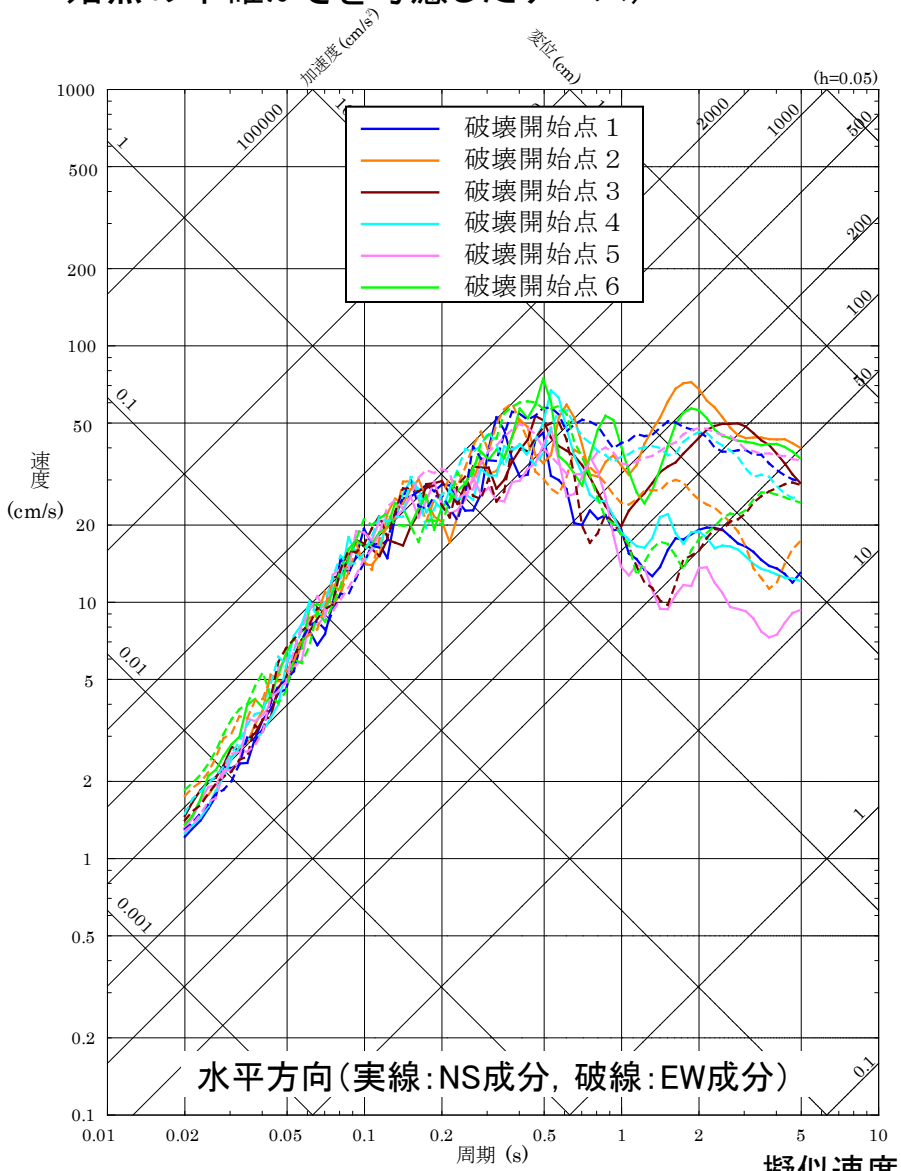
鉛直方向

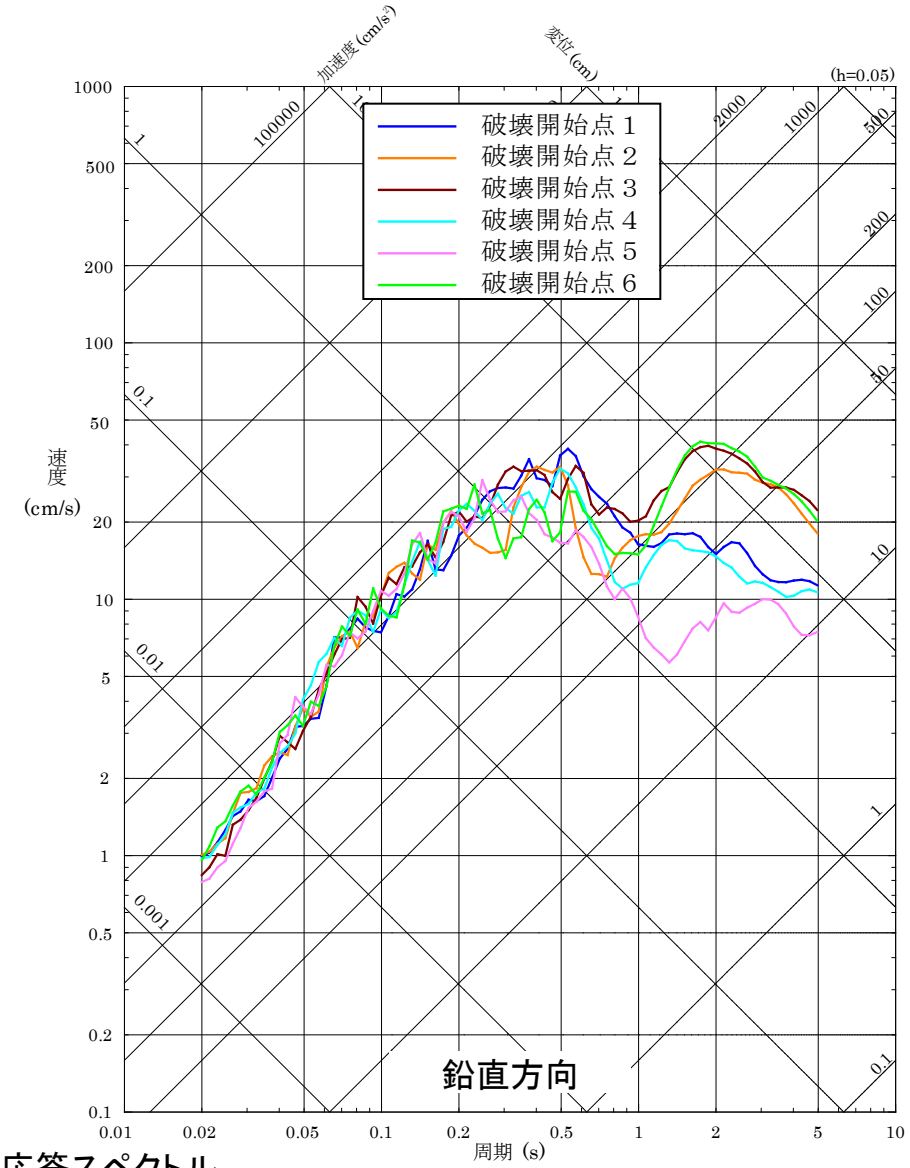
擬似速度応答スペクトル

第530回審査会合資料1 P95 再掲

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果　1/20

■ 宍道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果（①基本震源モデル及び②破壊開始点の不確かさを考慮したケース）



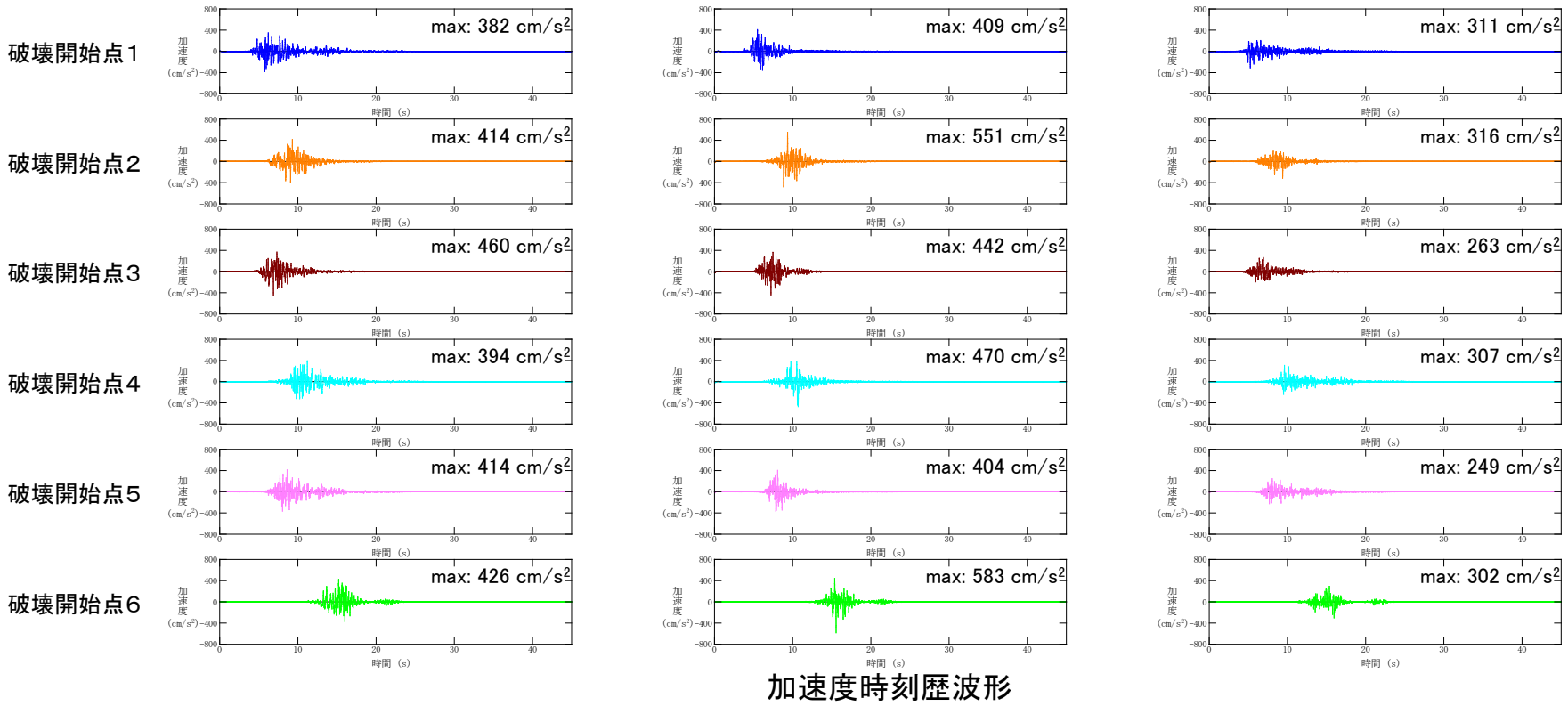


擬似速度応答スペクトル

第530回審査会合資料1 P96 再掲

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果　2/20

■ 宍道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果
（①基本震源モデル及び②破壊開始点の不確かさを考慮したケース）

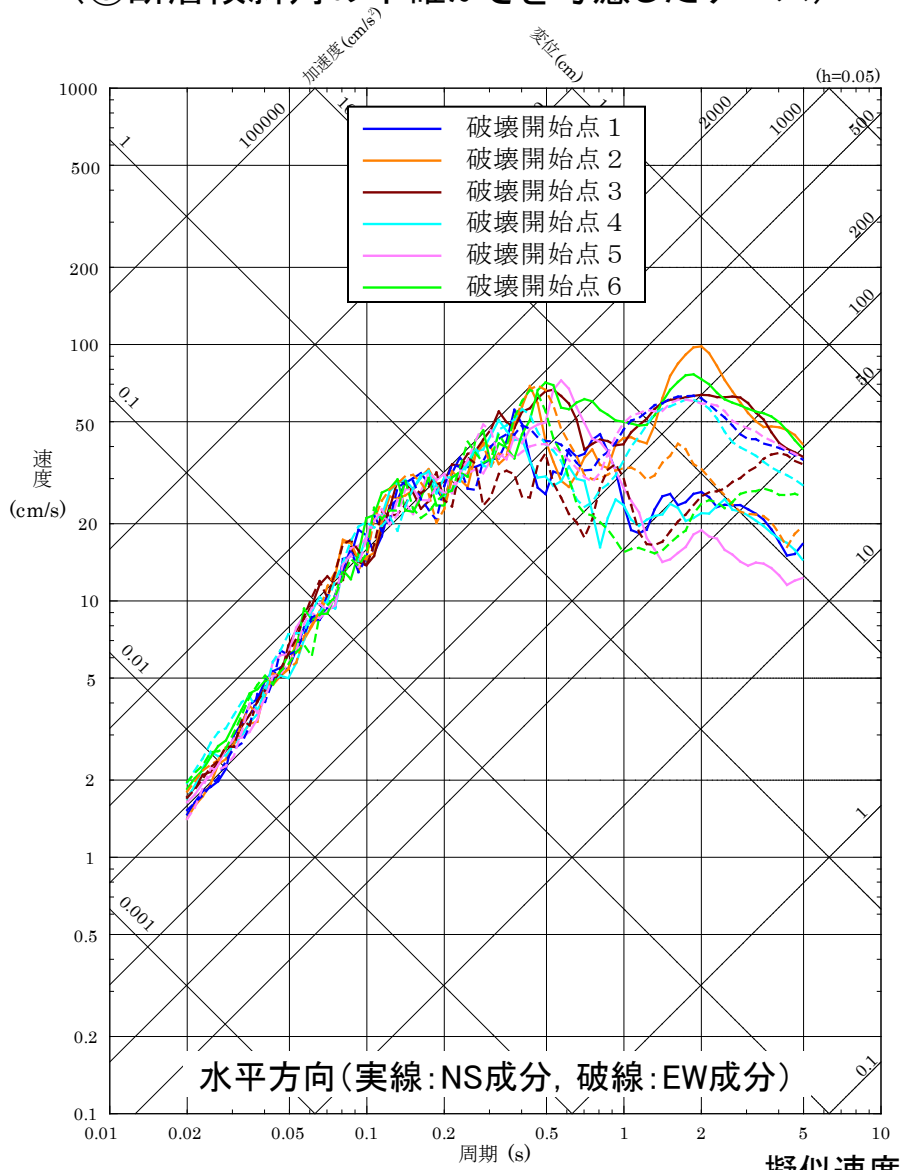


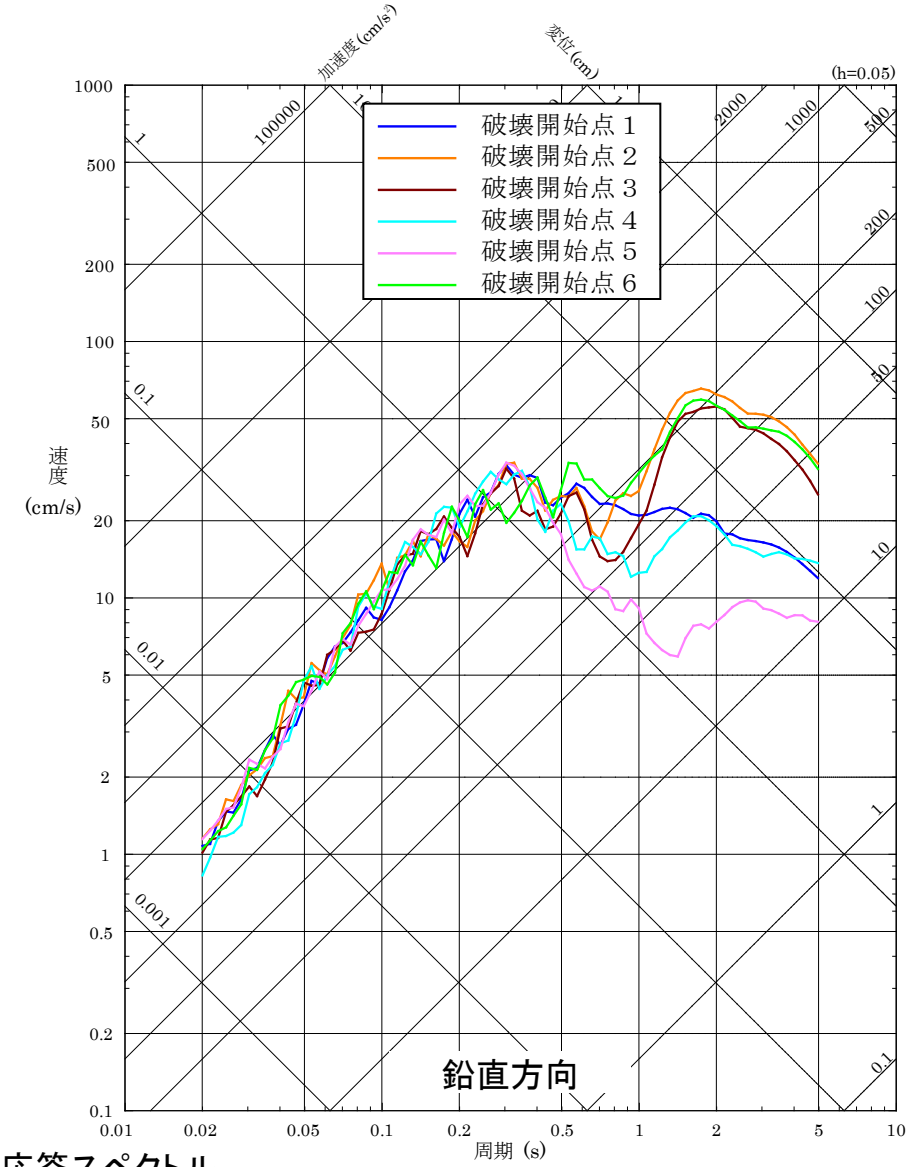
加速度時刻歴波形

第530回審査会合資料1 P97 再掲

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果　3/20

■ 宍道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果
（③断層傾斜角の不確かさを考慮したケース）



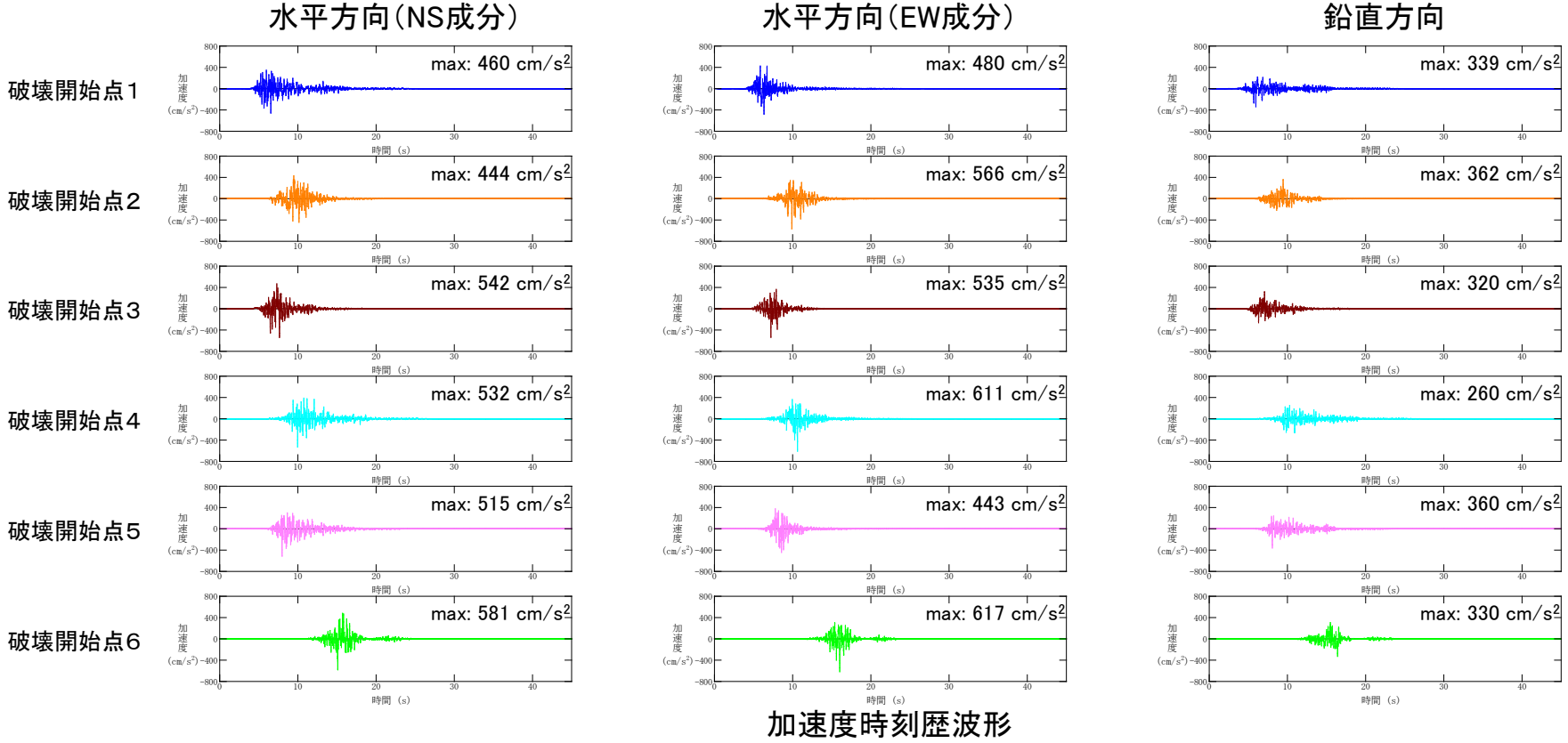


擬似速度応答スペクトル

第530回審査会合資料1 P98 再掲

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果　4/20

■ 宍道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果
（③断層傾斜角の不確かさを考慮したケース）

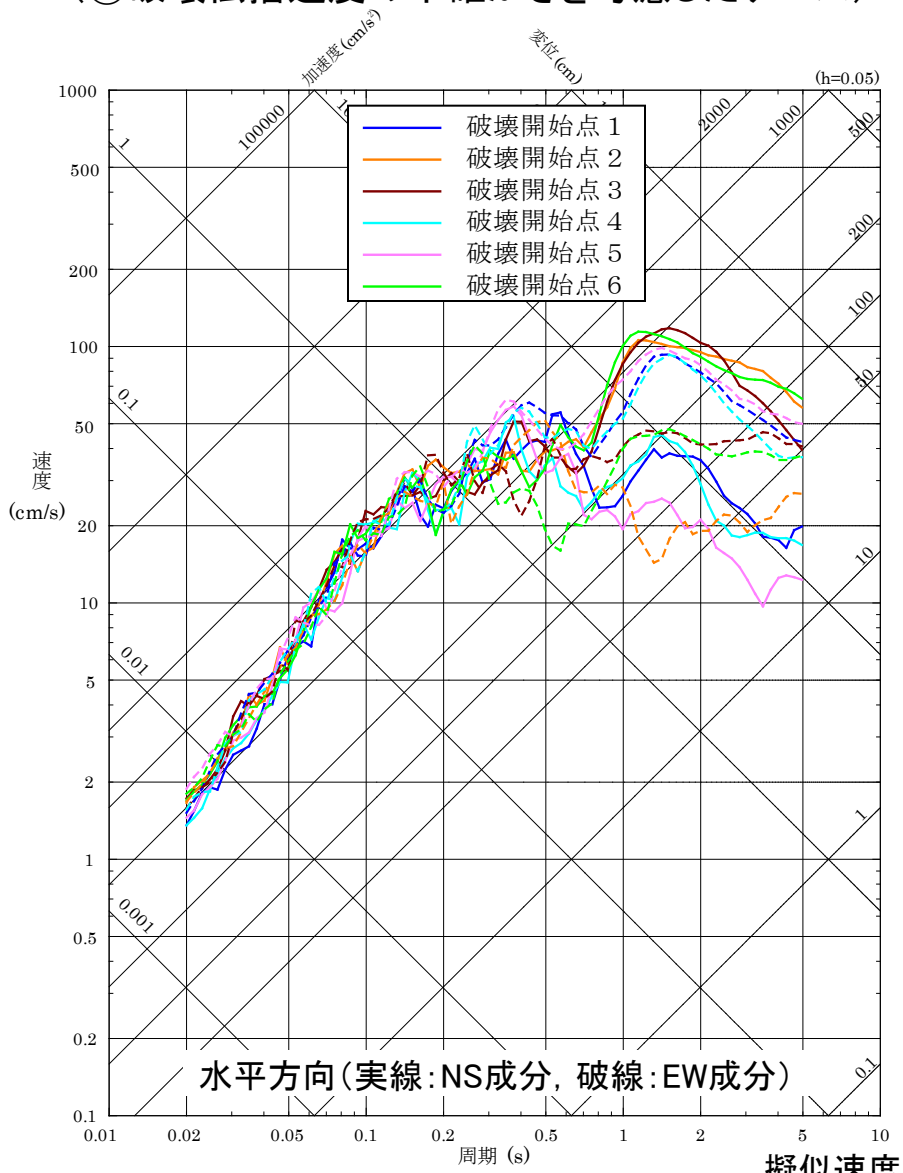


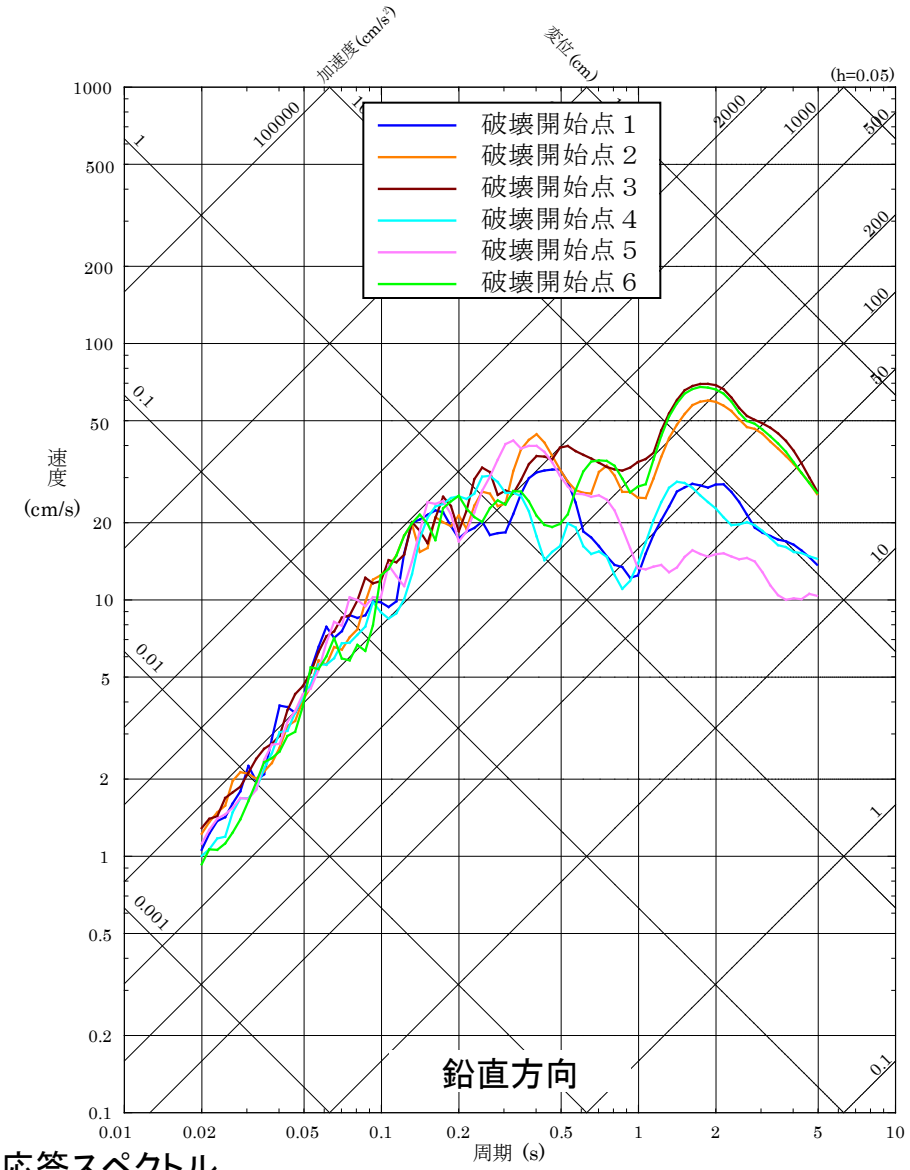
加速度時刻歴波形

第530回審査会合資料1 P99 再掲

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果　5/20

■ 宍道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果
（④破壊伝播速度の不確かさを考慮したケース）



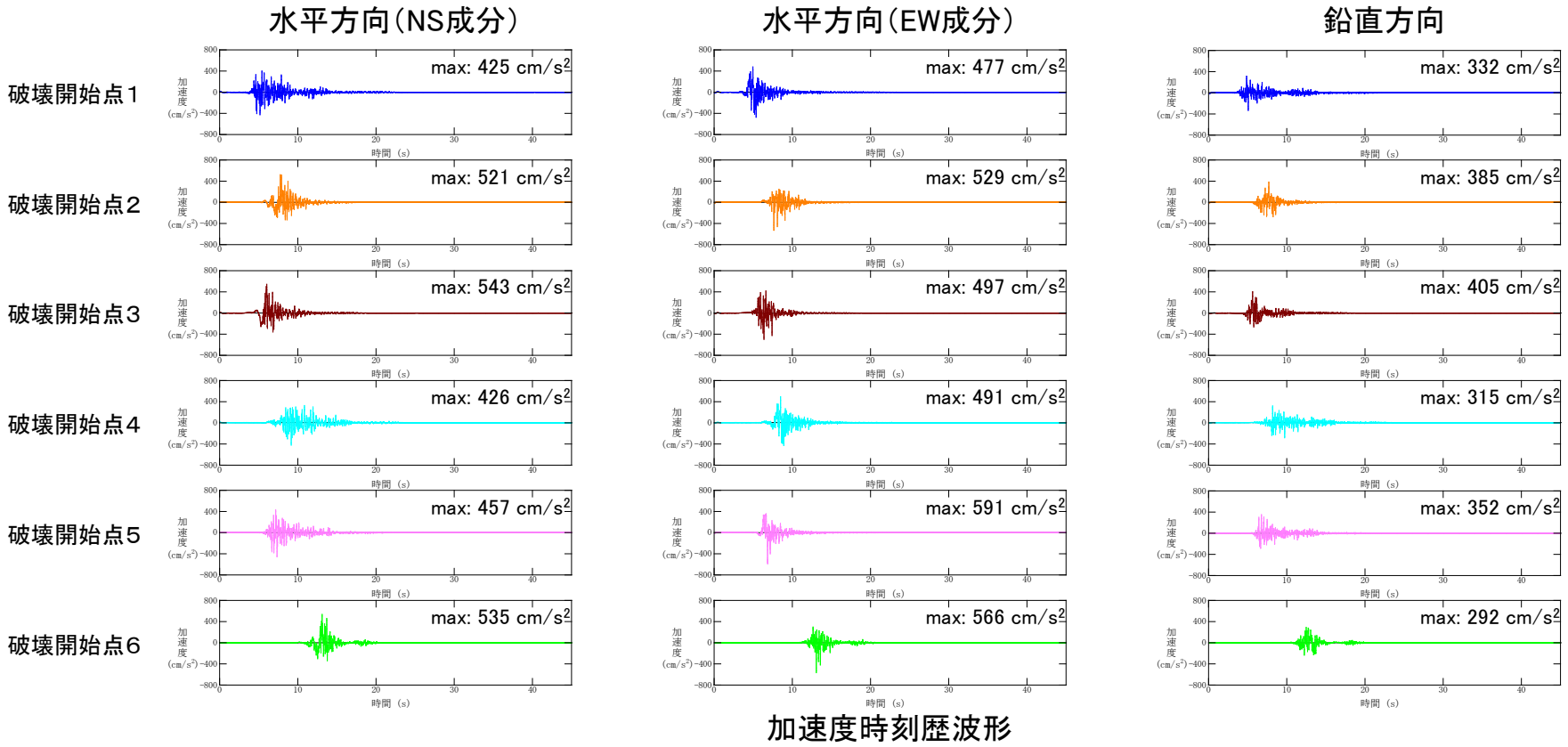


擬似速度応答スペクトル

第530回審査会合資料1 P100 再掲

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果　6/20

■ 宍道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果
（④破壊伝播速度の不確かさを考慮したケース）

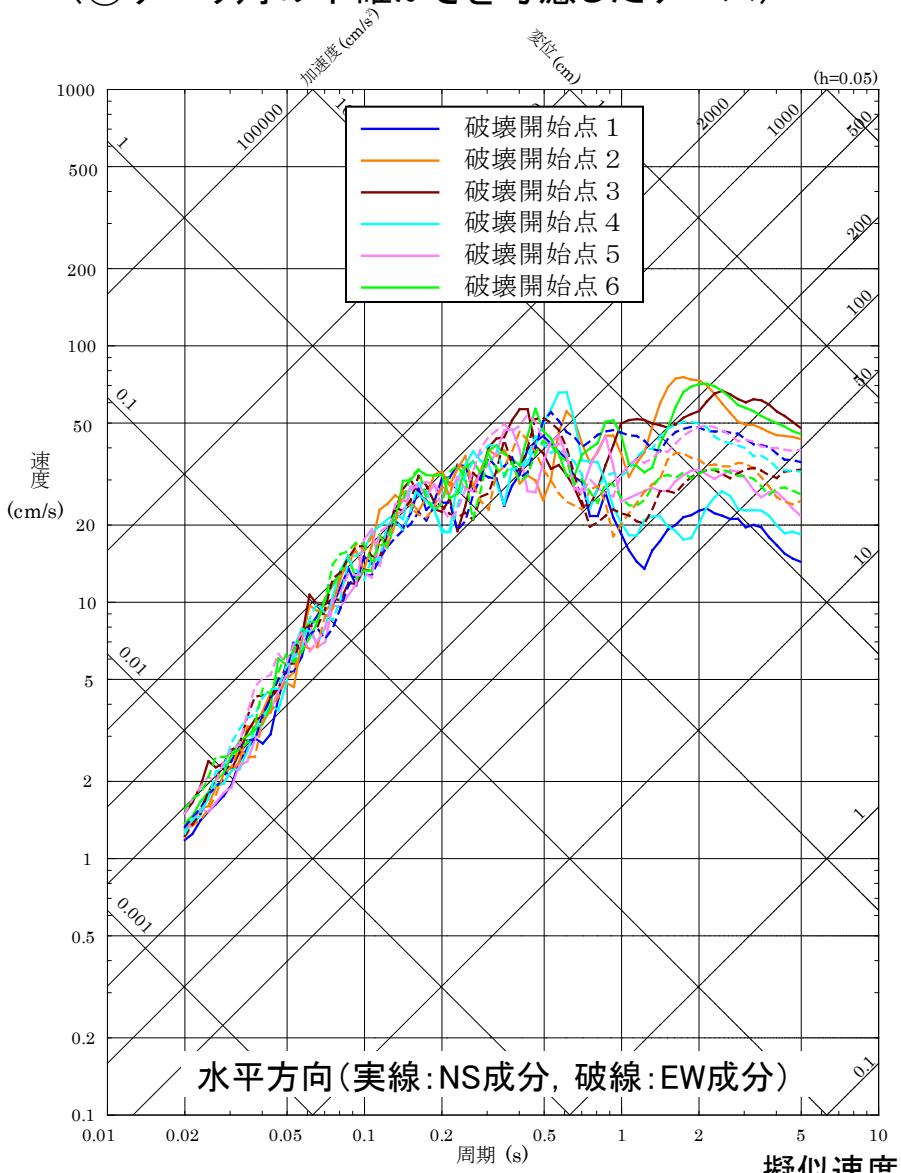


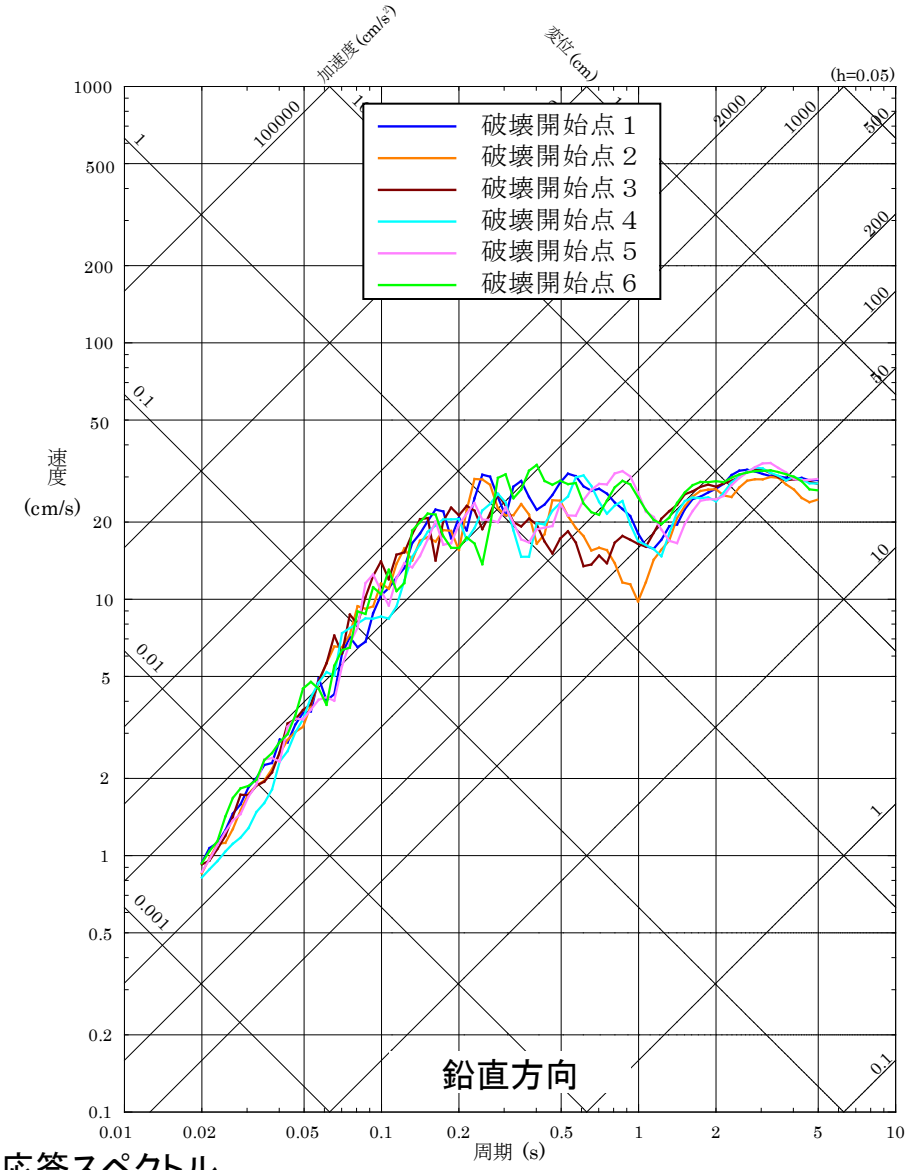
加速度時刻歴波形

第530回審査会合資料1 P101 再掲

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果　7/20

■ 宍道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果
（⑤すべり角の不確かさを考慮したケース）



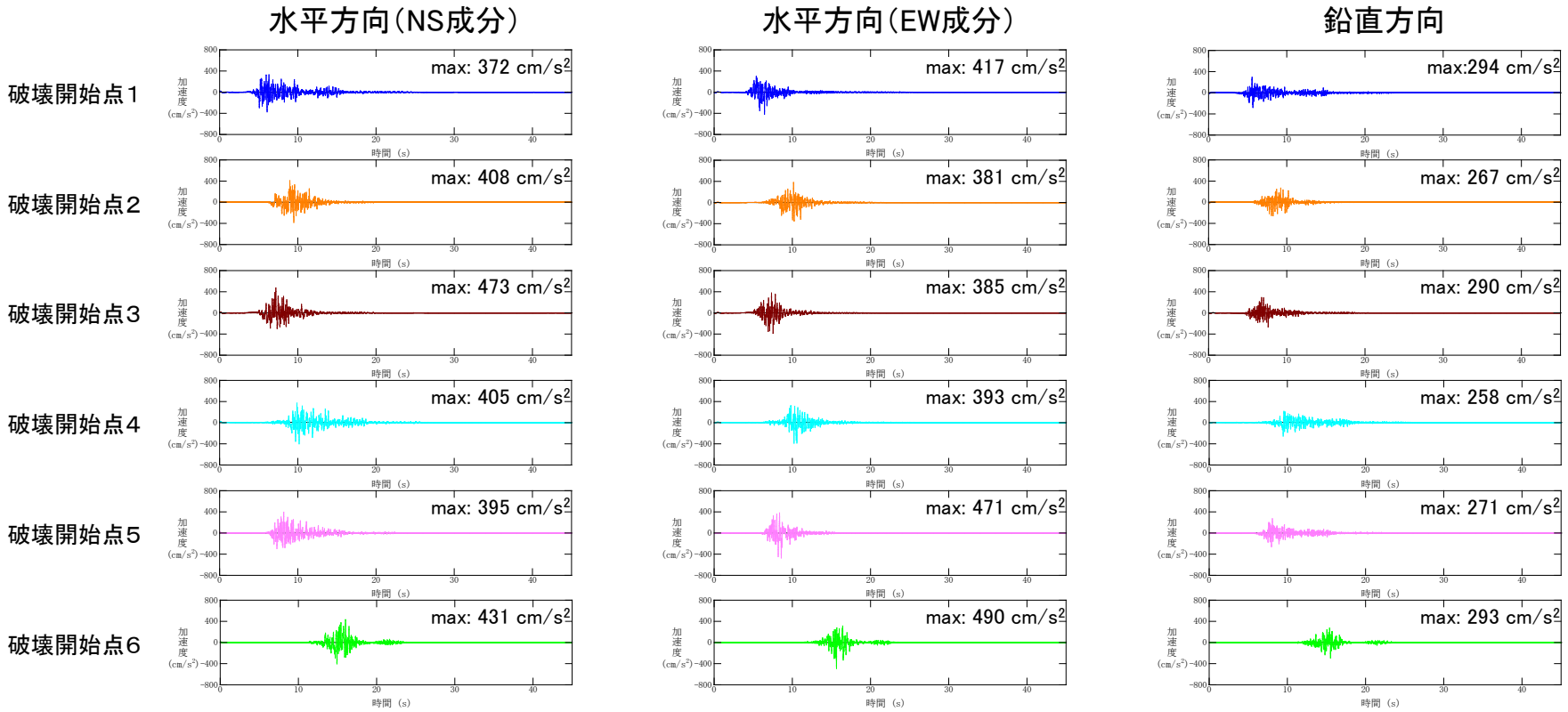


擬似速度応答スペクトル

第530回審査会合資料1 P102 再掲

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果　8/20

■ 宍道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果
（⑤すべり角の不確かさを考慮したケース）

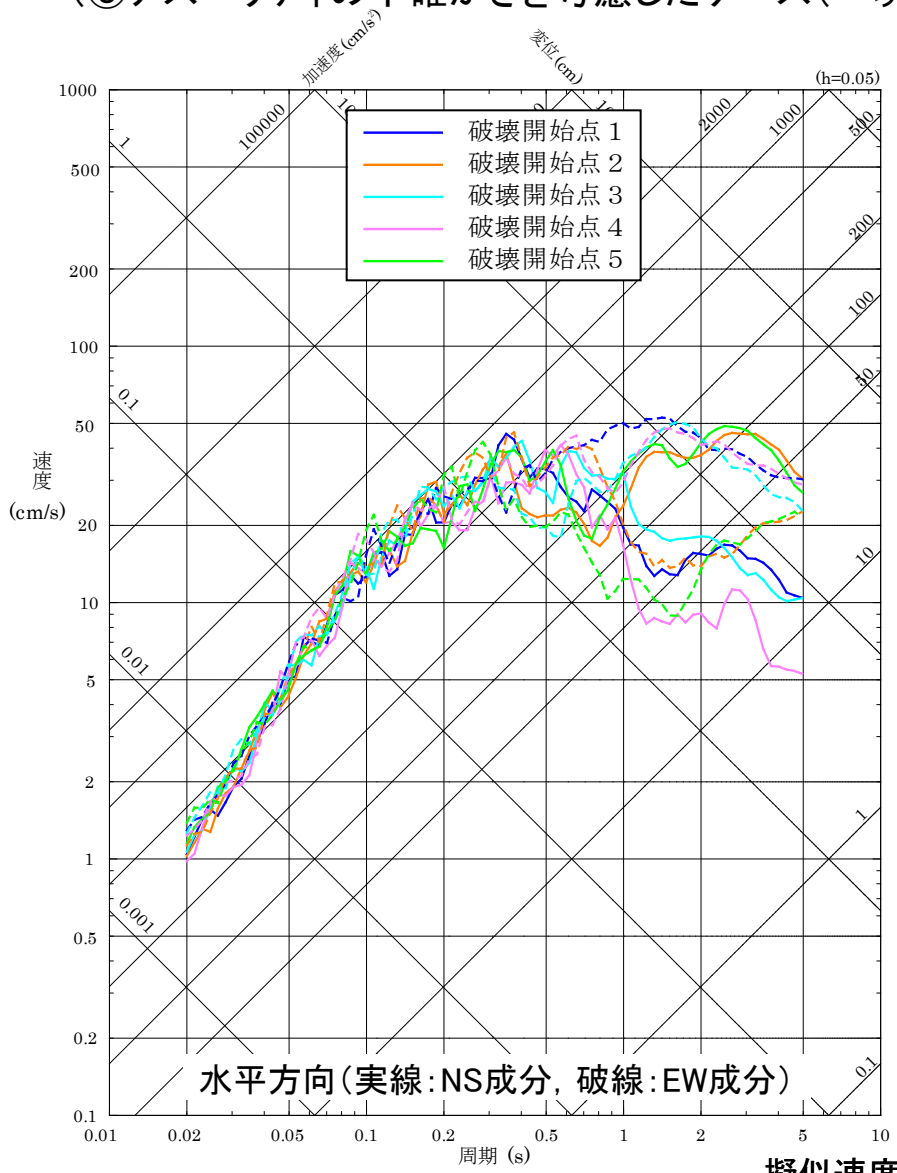


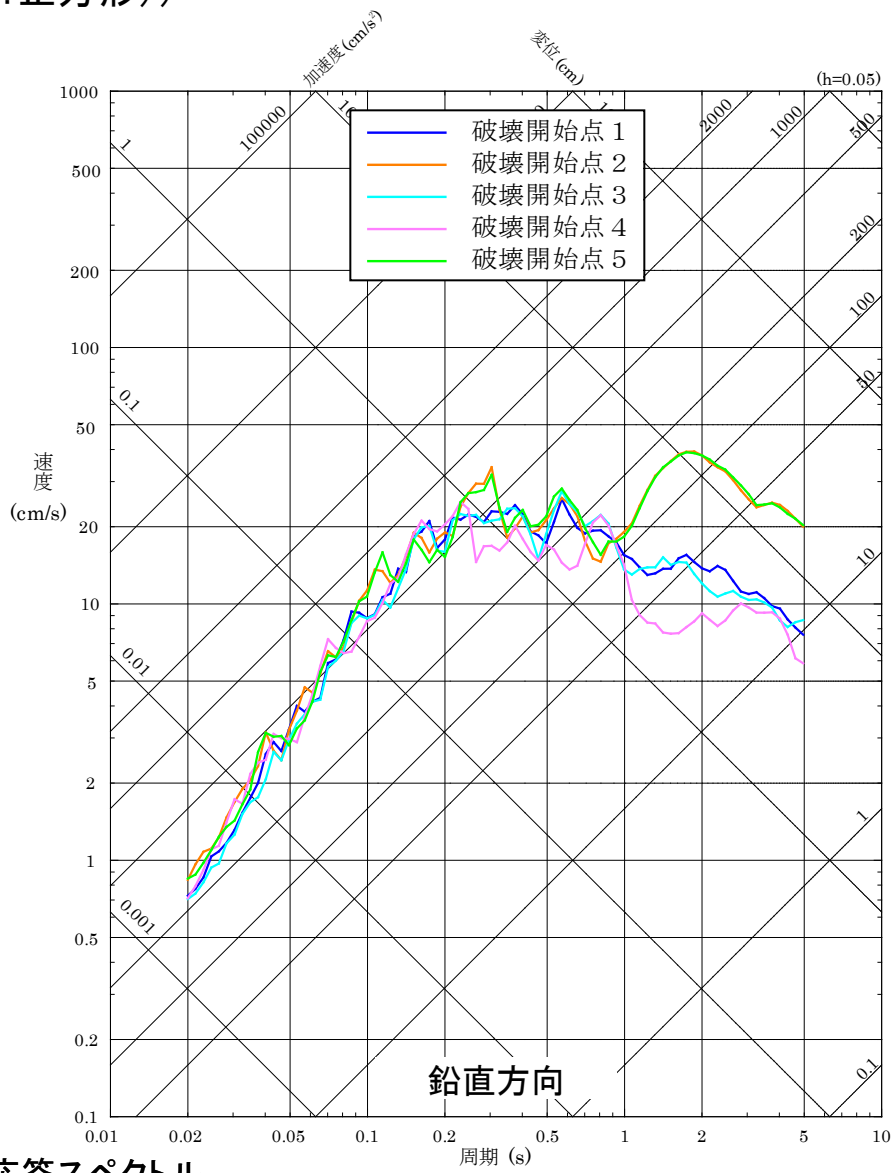
加速度時刻歴波形

第530回審査会合資料1 P103 再掲

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果　9/20

■ 宍道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果
（⑥アスペリティの不確かさを考慮したケース（一塊：正方形））



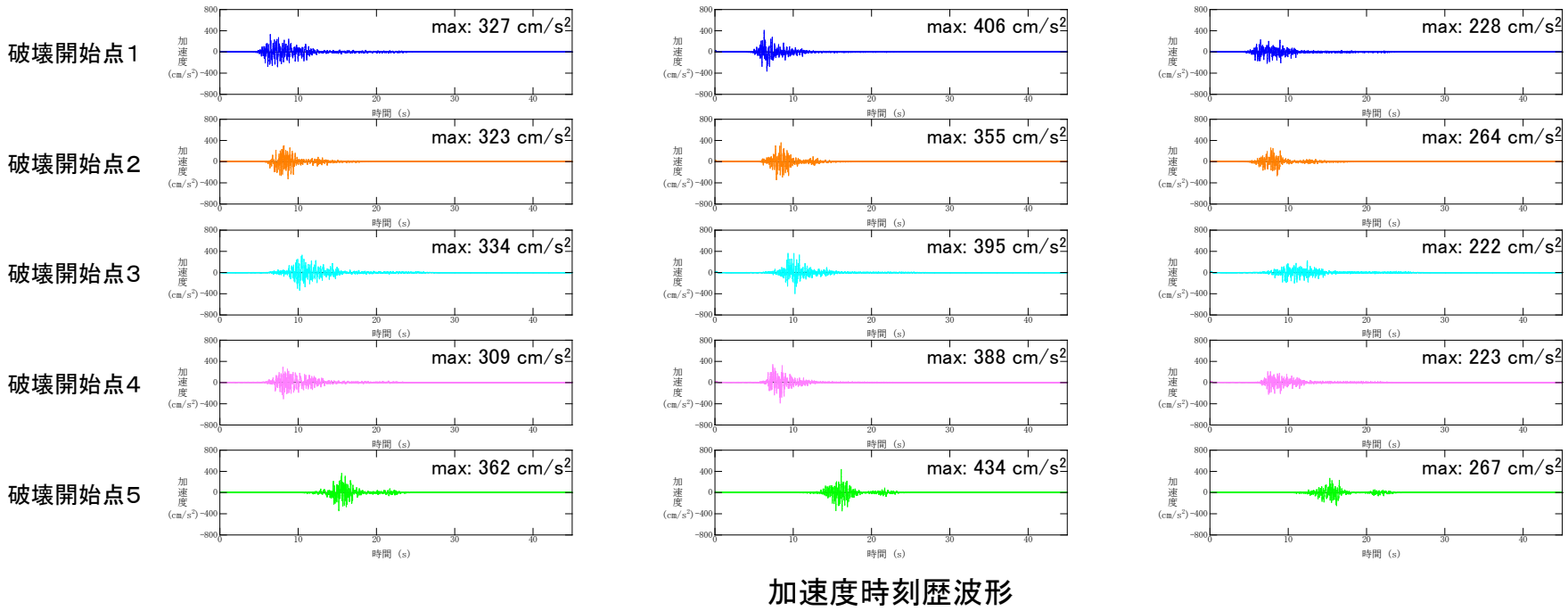


擬似速度応答スペクトル

第530回審査会合資料1 P104 再掲

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果　10/20

■ 宍道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果
（⑥アスペリティの不確かさを考慮したケース（一塊：正方形））

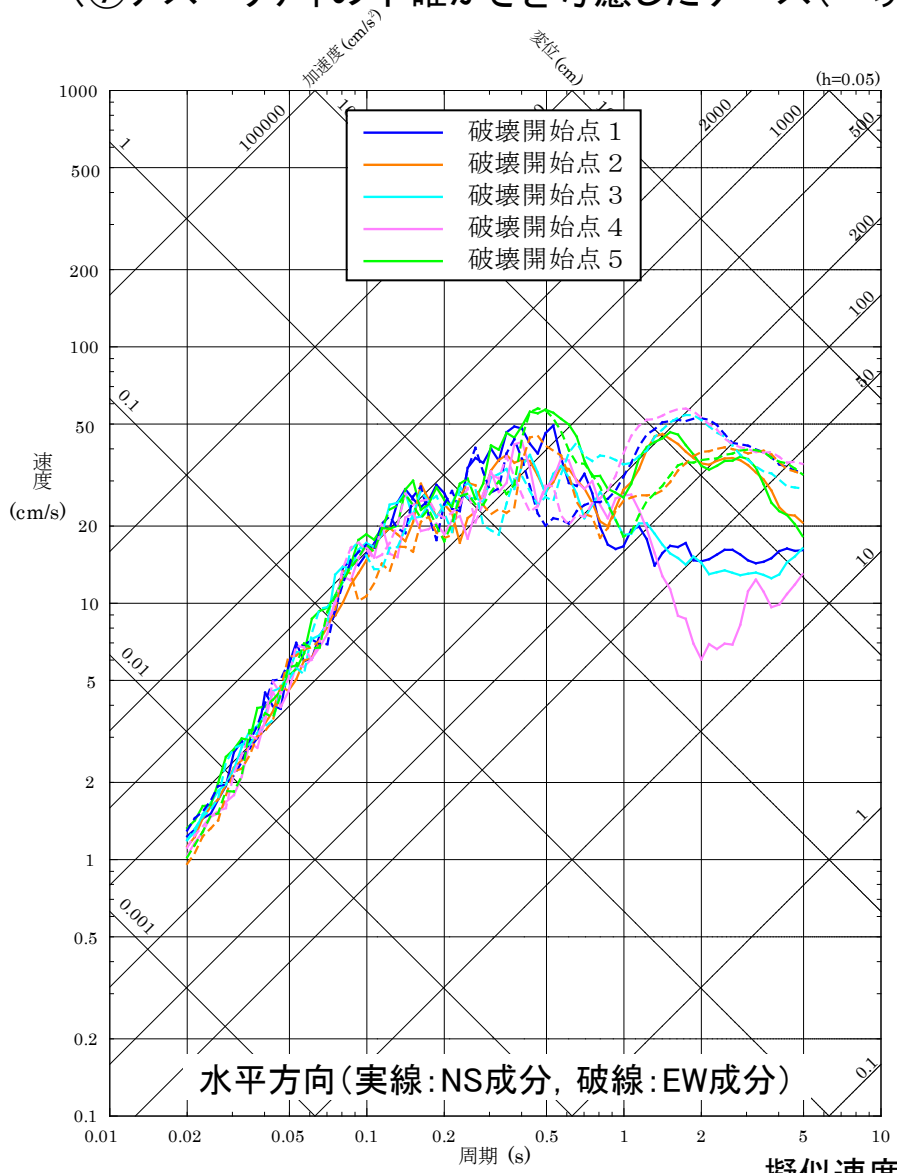


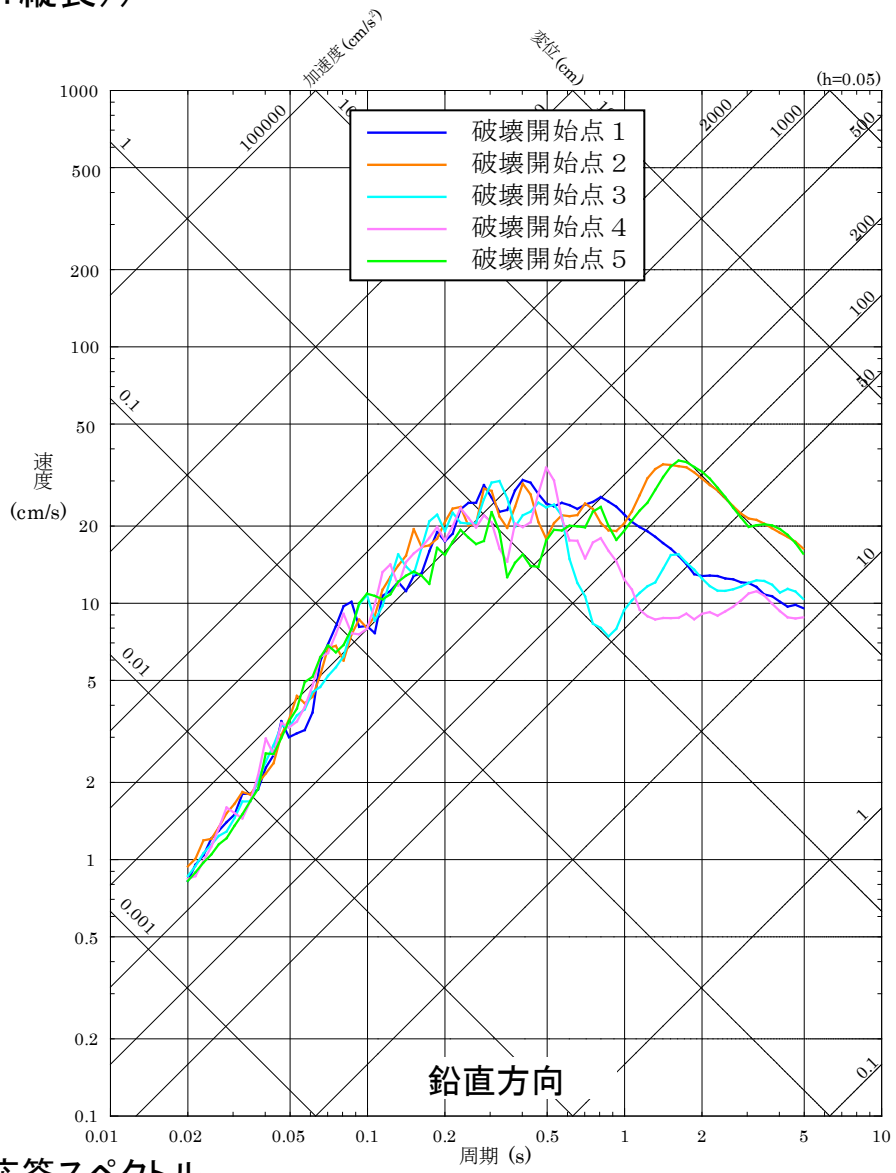
加速度時刻歴波形

第530回審査会合資料1 P105 再掲

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果　11/20

■ 宍道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果
（⑦アスペリティの不確かさを考慮したケース（一塊：縦長））



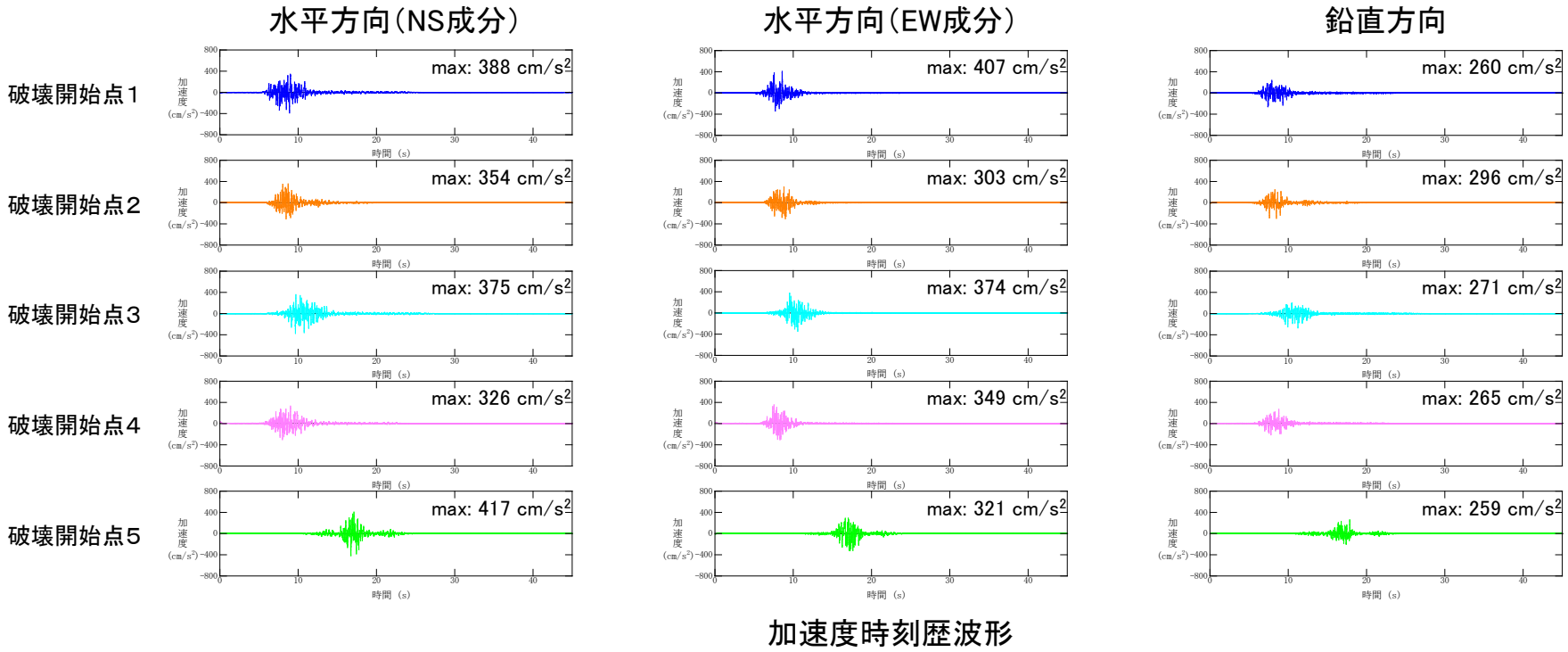


擬似速度応答スペクトル

第530回審査会合資料1 P106 再掲

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果　12/20

■ 宍道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果
（⑦アスペリティの不確かさを考慮したケース（一塊：縦長））

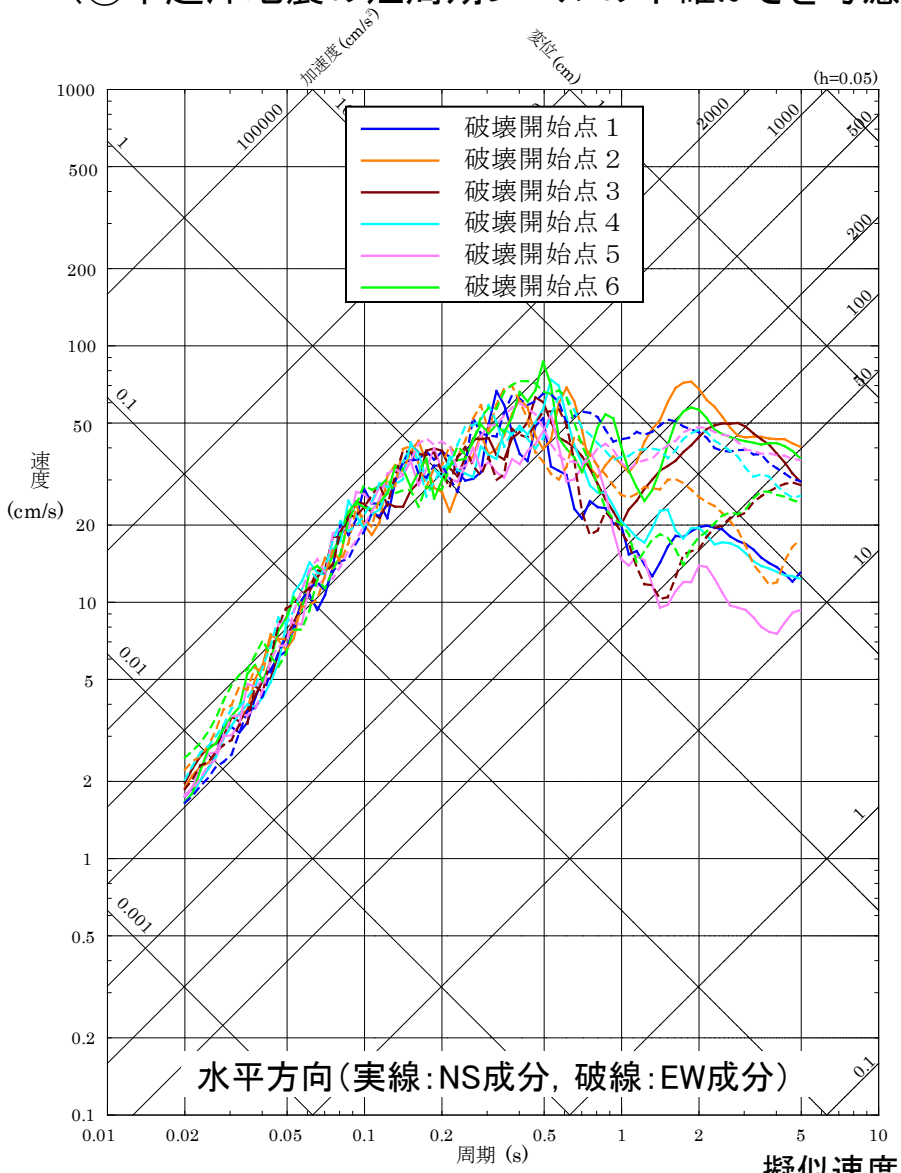


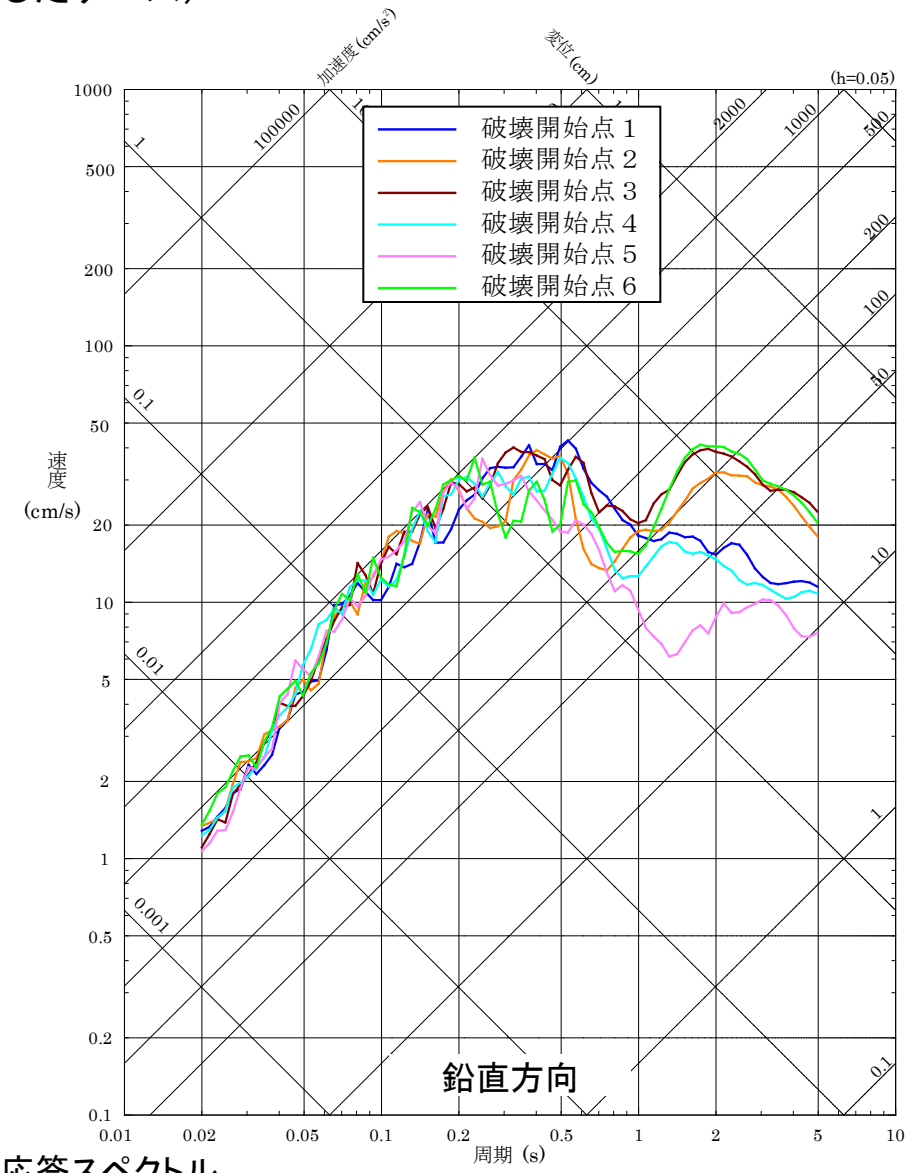
加速度時刻歴波形

第530回審査会合資料1 P107 再掲

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果　13/20

■ 宍道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果
（⑧中越沖地震の短周期レベルの不確かさを考慮したケース）





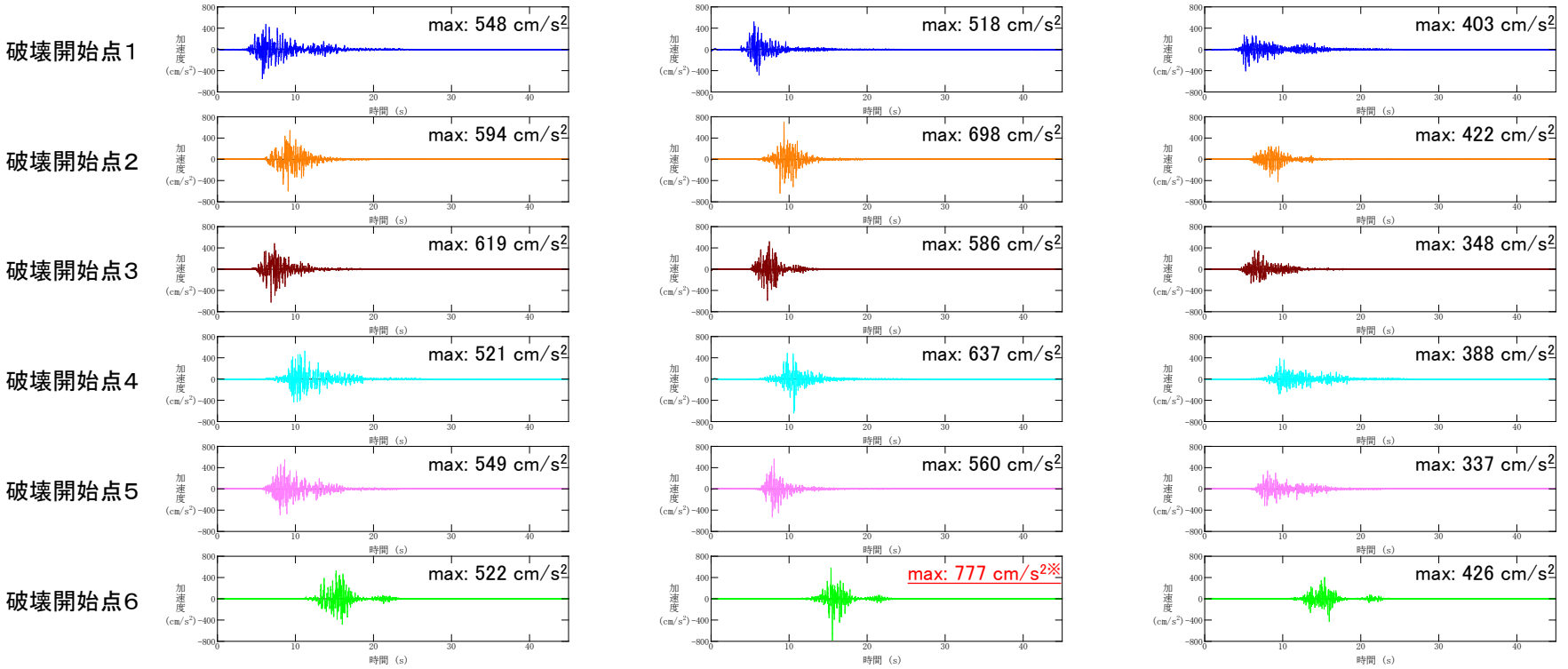
擬似速度応答スペクトル

第530回審査会合資料1 P108 再掲

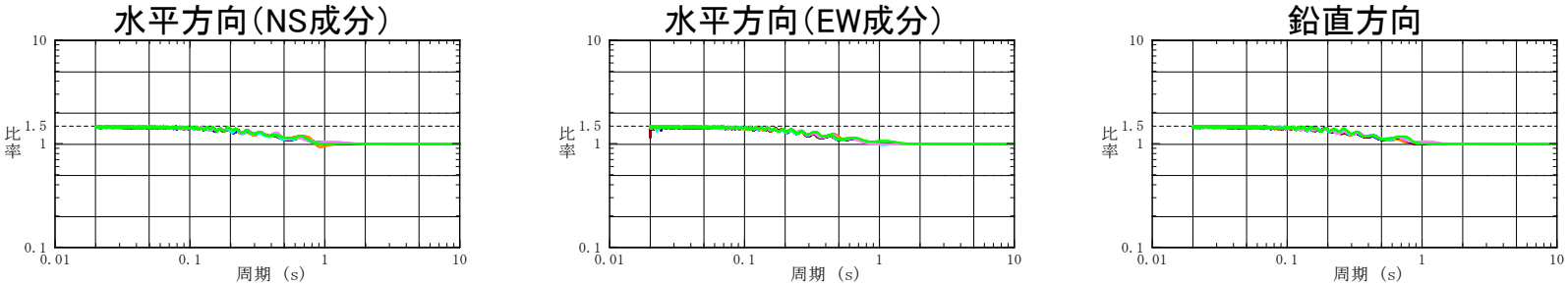
断層モデルを用いた手法による地震動評価結果　14/20

■ 宍道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果
（⑧中越沖地震の短周期レベルの不確かさを考慮したケース）

※宍道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果で最も大きい加速度値（水平方向）



加速度時刻歴波形

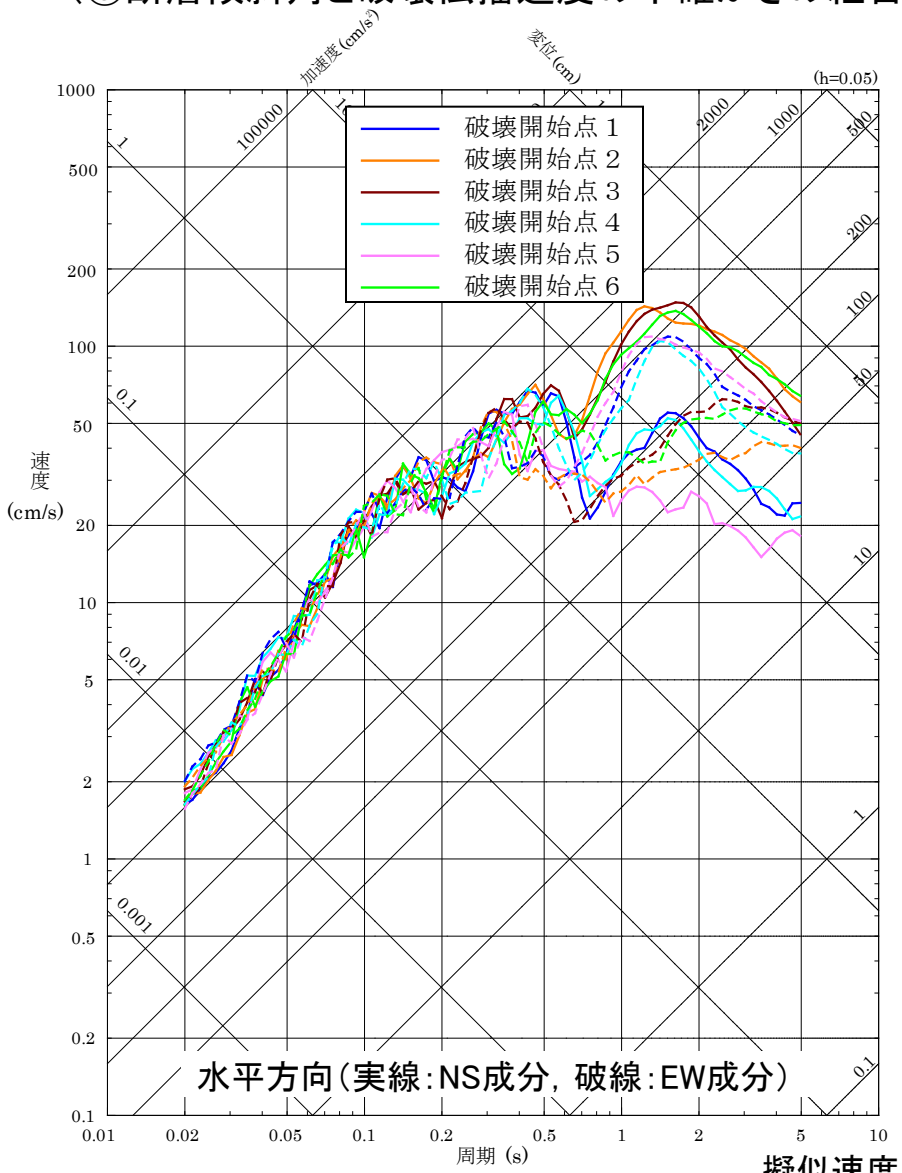


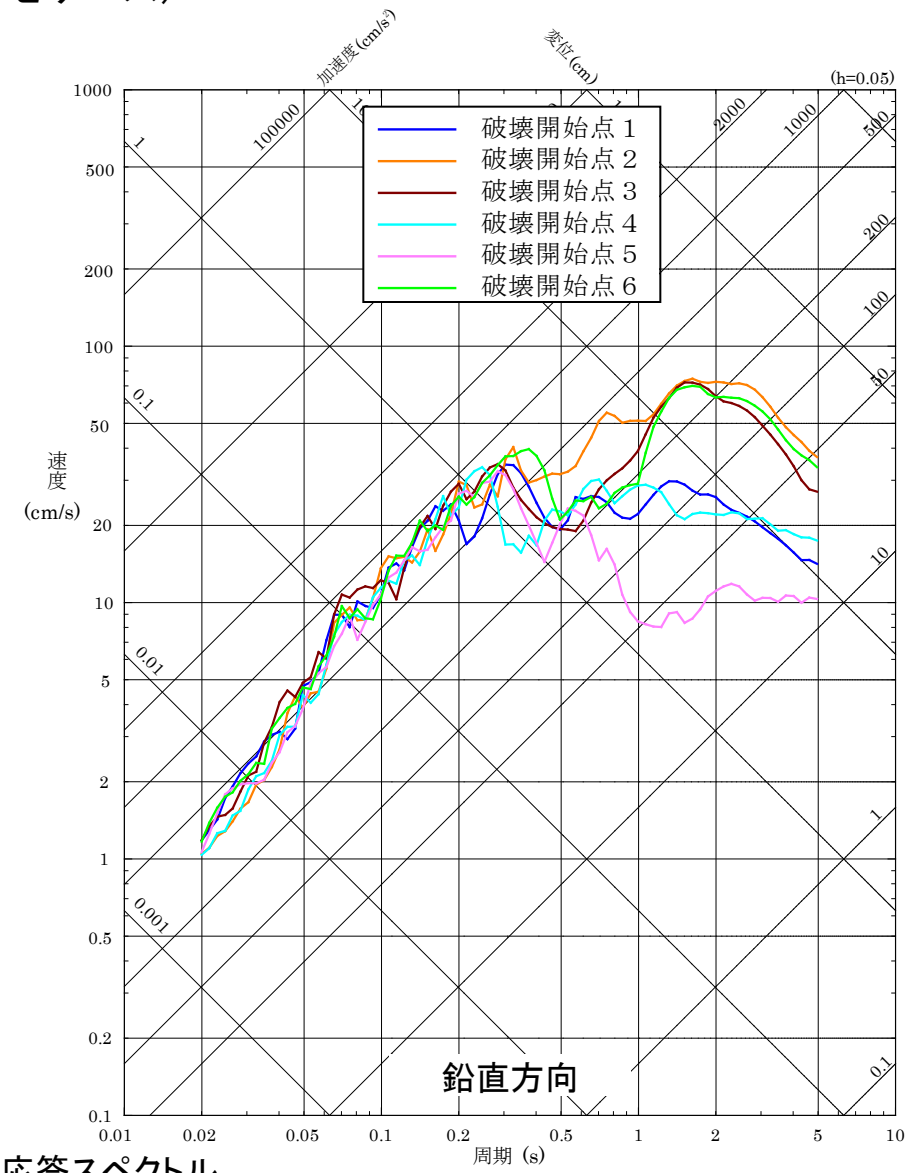
フーリエスペクトル比 （中越沖地震の短周期レベルの不確かさを考慮したケース／基本震源モデル）

第530回審査会合資料1 P109 再掲

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果　15/20

■ 宍道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果
（⑨断層傾斜角と破壊伝播速度の不確かさの組合せケース）



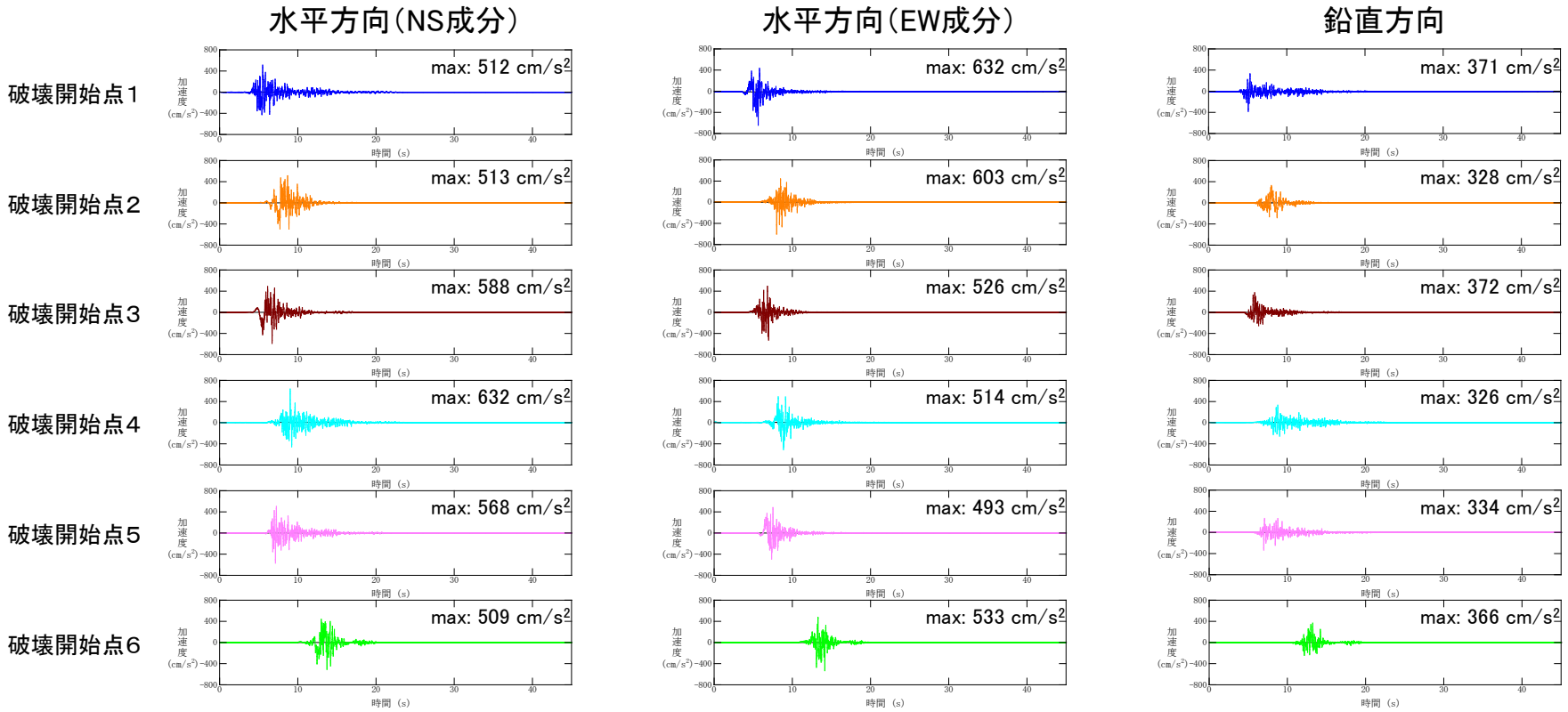


擬似速度応答スペクトル

第530回審査会合資料1 P110 再掲

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果　16/20

■ 宍道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果
（⑨断層傾斜角と破壊伝播速度の不確かさの組合せケース）

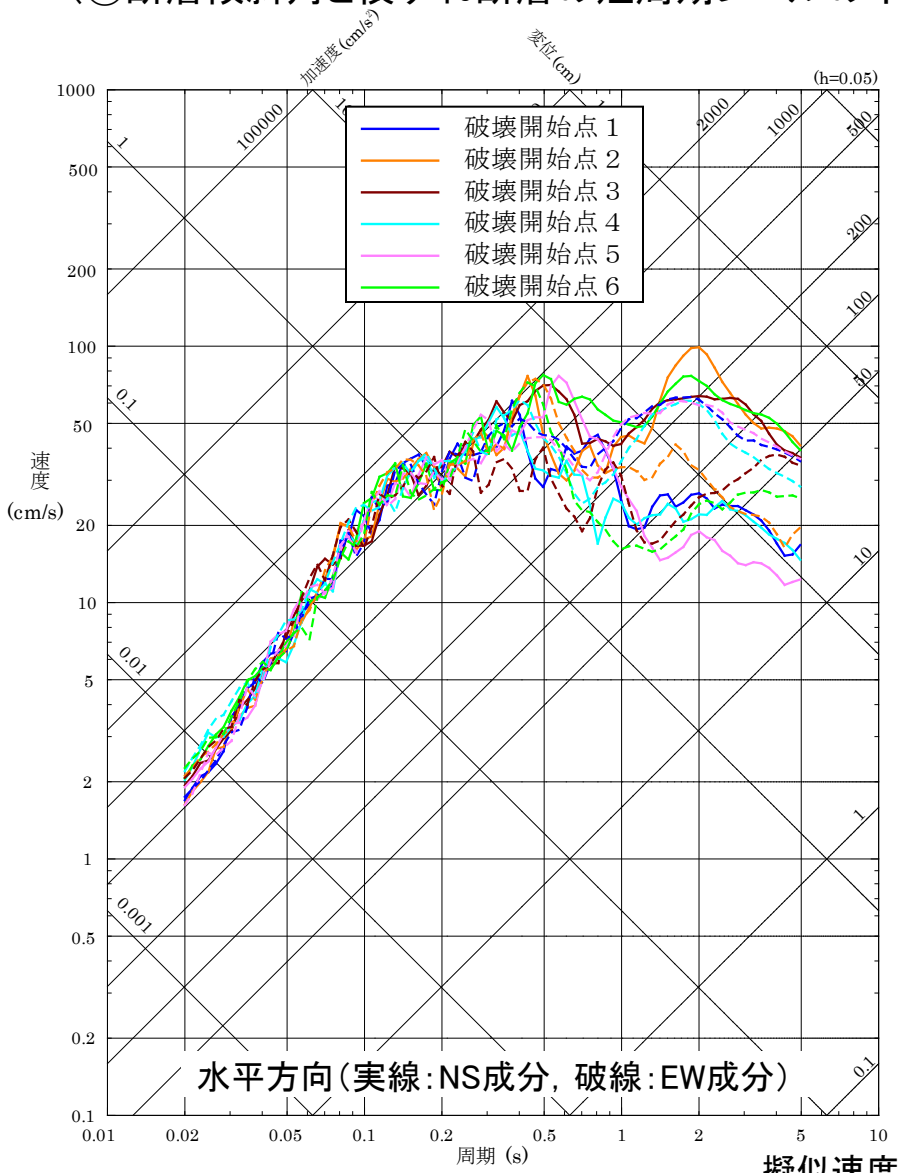


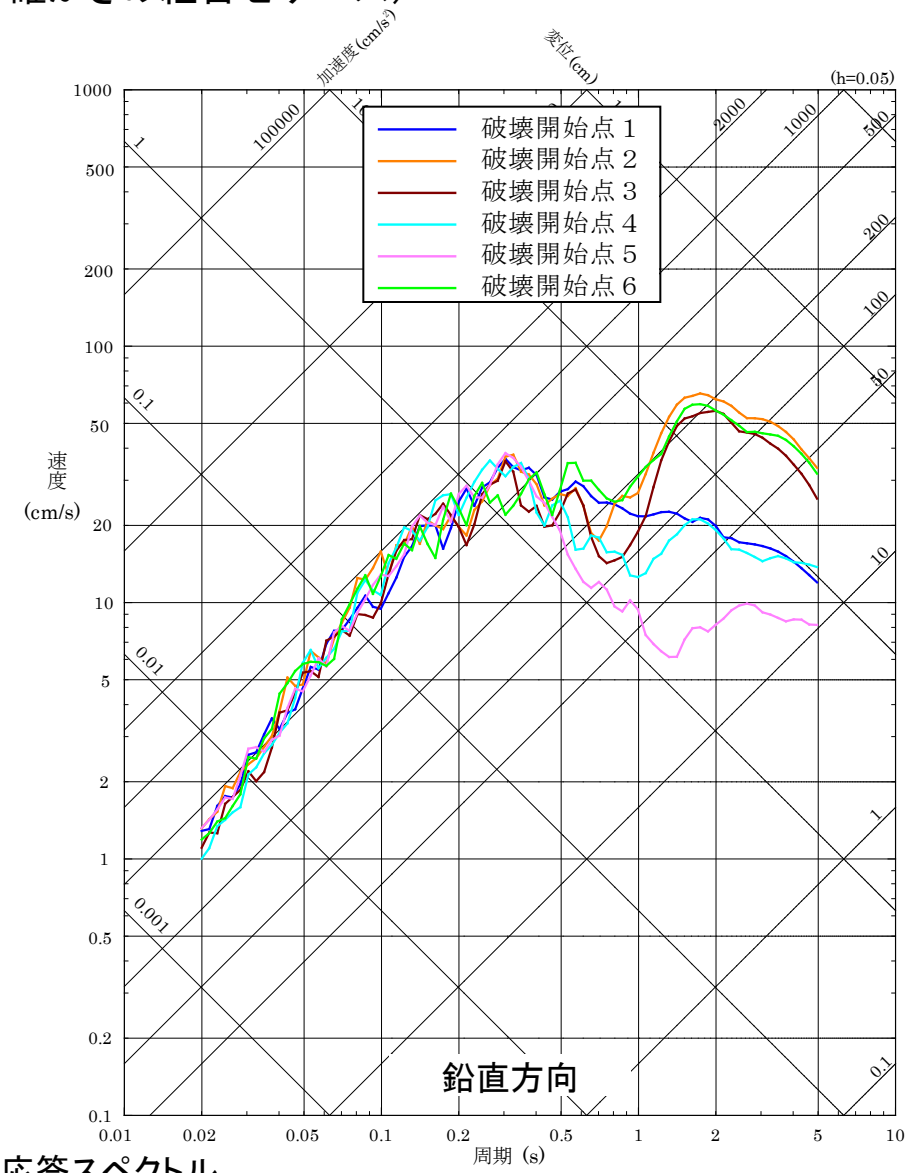
加速度時刻歴波形

第530回審査会合資料1 P111 再掲

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果　17/20

■ 宍道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果
（⑩断層傾斜角と横ずれ断層の短周期レベルの不確かさの組合せケース）





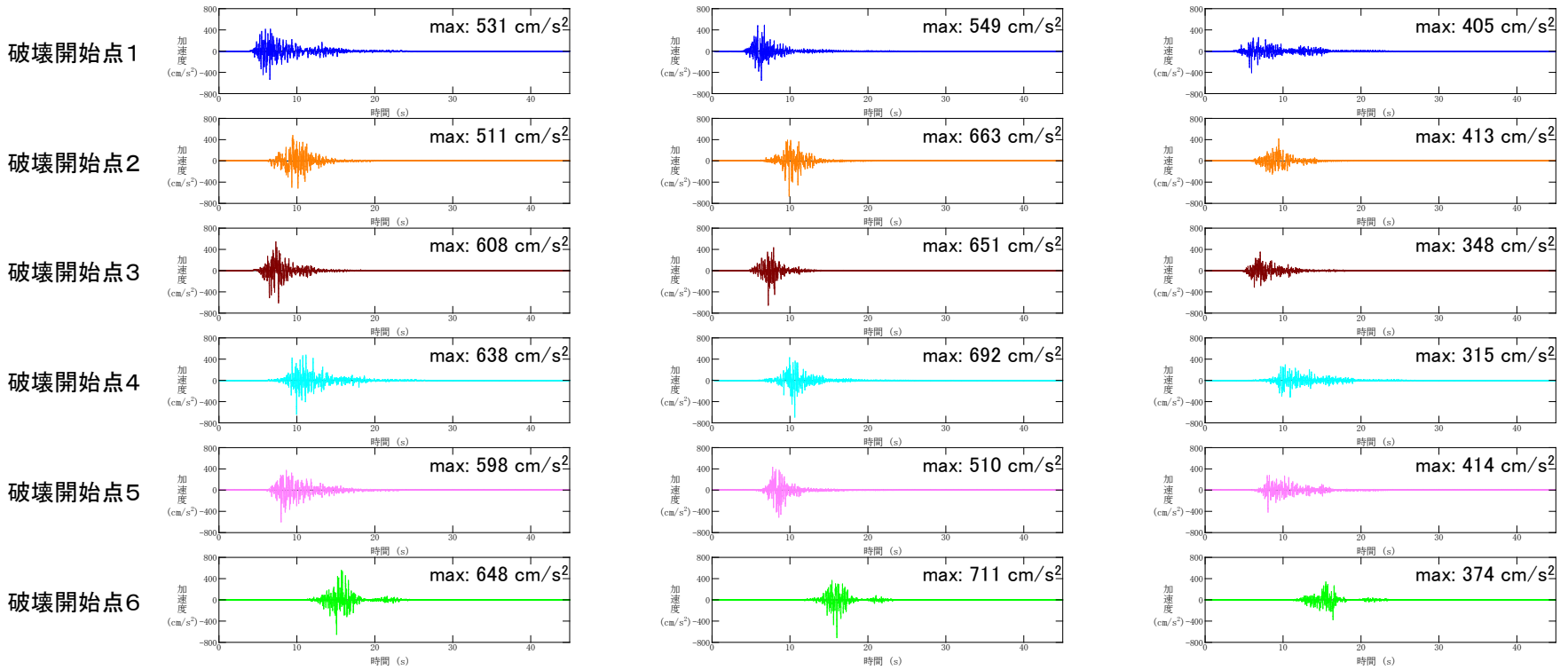
擬似速度応答スペクトル

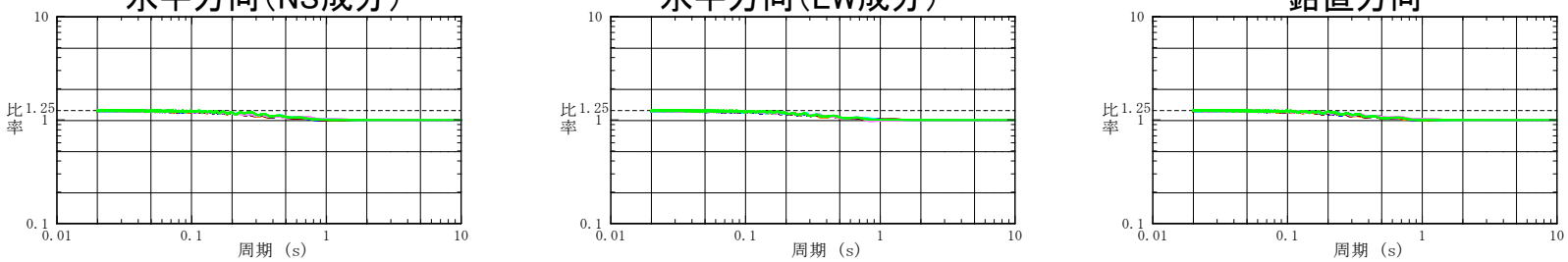
第530回審査会合資料1 P112 再掲

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果　18/20

■ 宍道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果
（⑩断層傾斜角と横ずれ断層の短周期レベルの不確かさの組合せケース）

加速度時刻歴波形



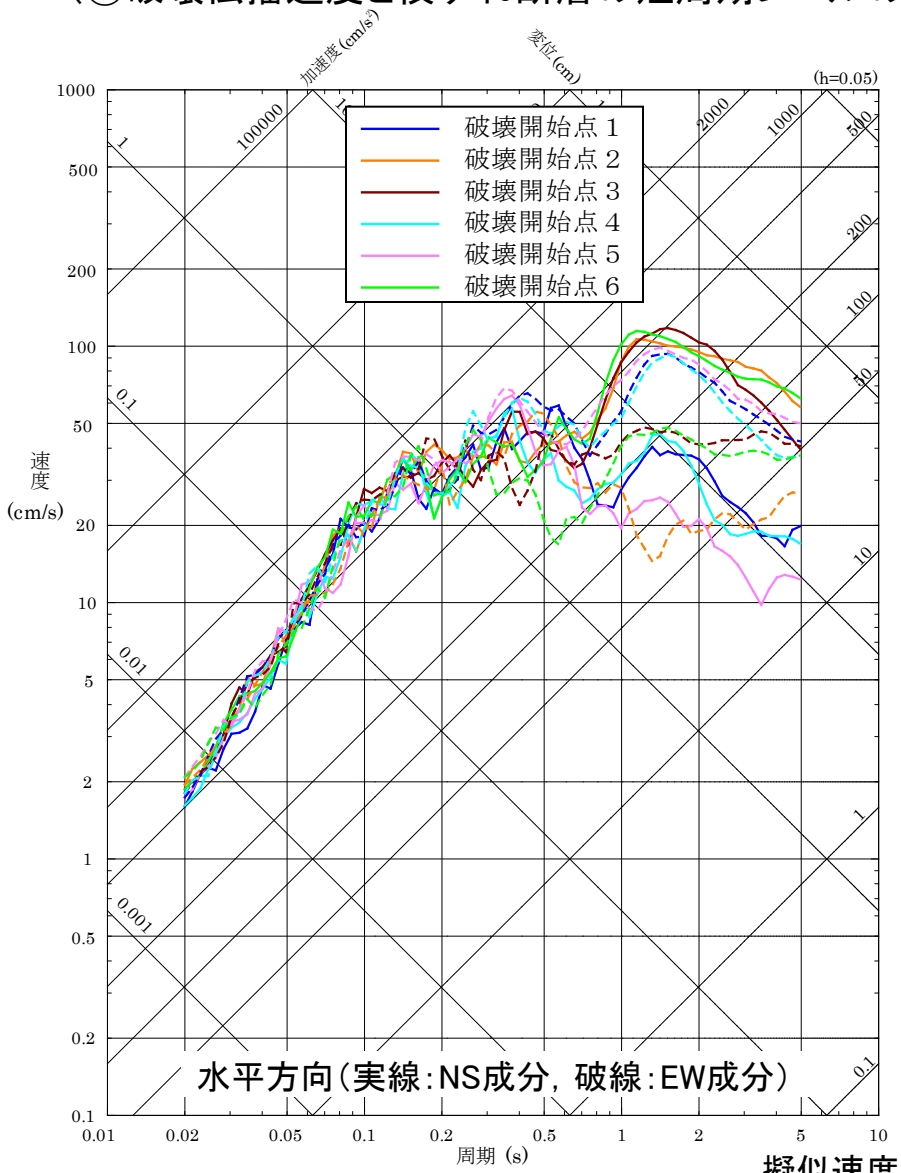


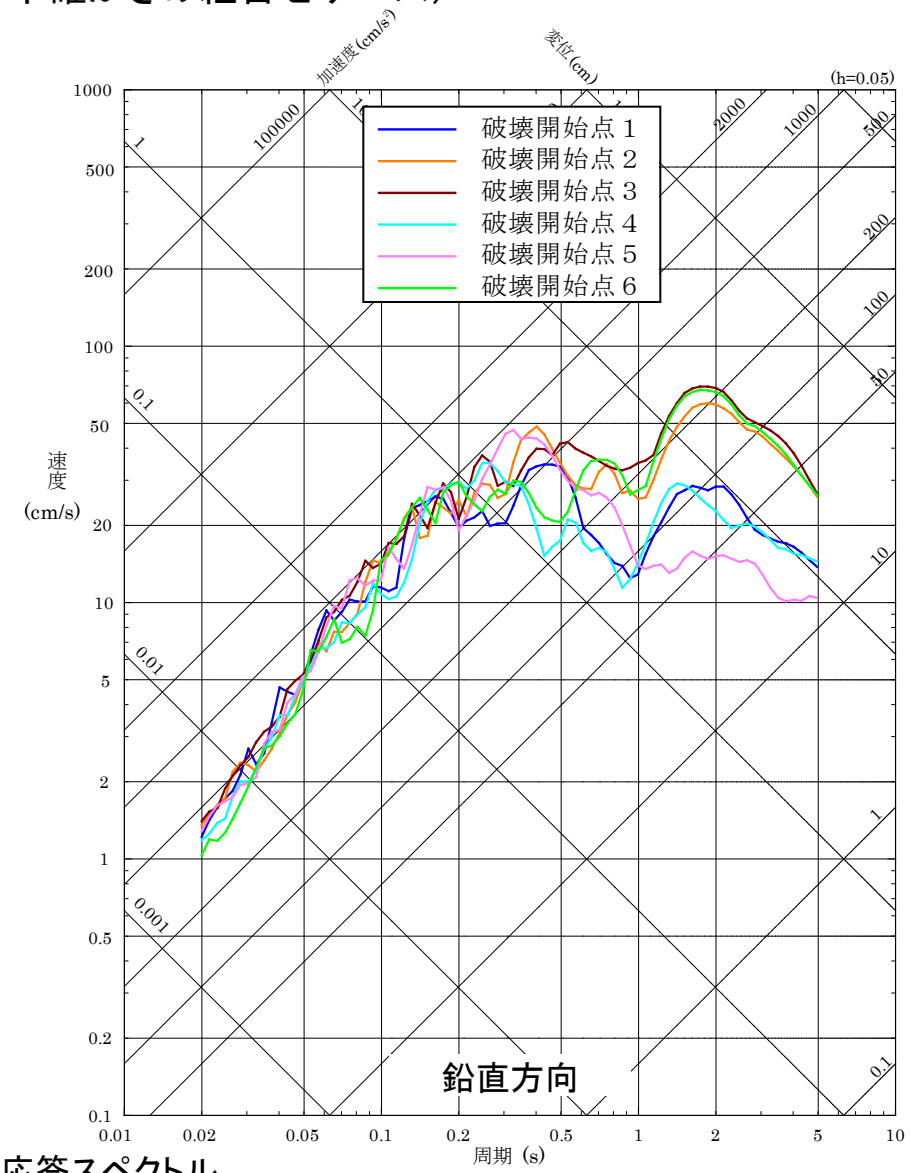
フーリエスペクトル比 （断層傾斜角と短周期レベルの不確かさの組合せケース／断層傾斜角の不確かさケース）

第530回審査会合資料1 P113 再掲

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果　19/20

■ 宍道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果
（⑪破壊伝播速度と横ずれ断層の短周期レベルの不確かさの組合せケース）





擬似速度応答スペクトル

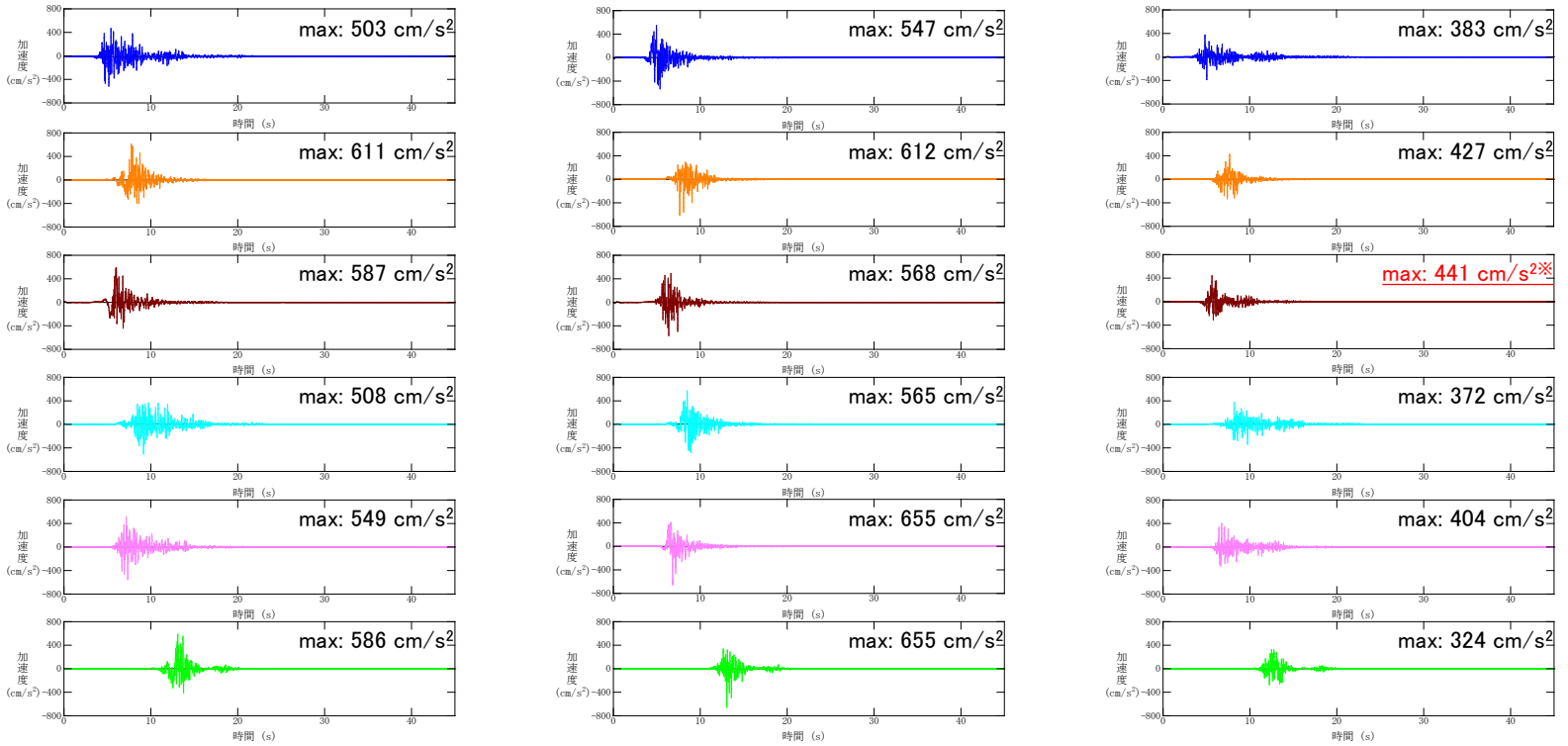
第530回審査会合資料1 P114 再掲

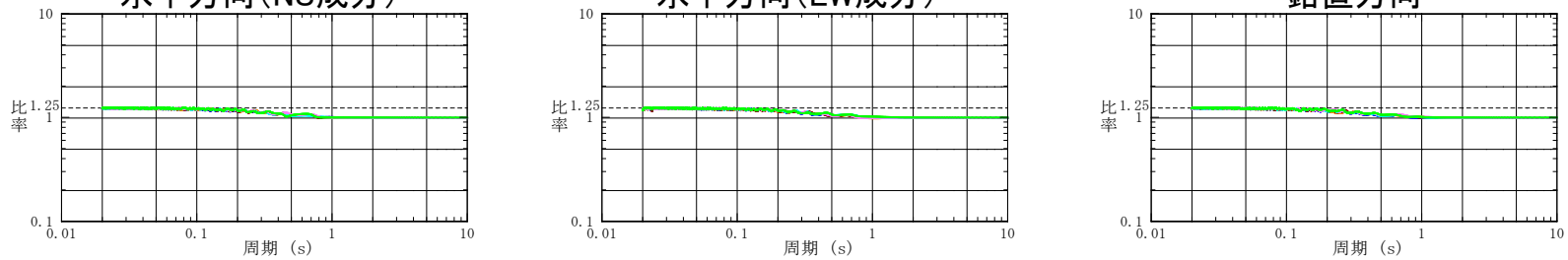
断層モデルを用いた手法による地震動評価結果　20/20

■ 宍道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果
（⑪破壊伝播速度と横ずれ断層の短周期レベルの不確かさの組合せケース）

※宍道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果で最も大きい加速度値（鉛直方向）

加速度時刻歴波形





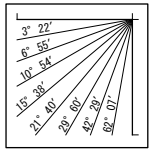
フーリエスペクトル比 （破壊伝播速度と短周期レベルの不確かさの組合せケース／破壊伝播速度の不確かさケース）

断層パラメータの設定根拠（断層傾斜角） 1/4

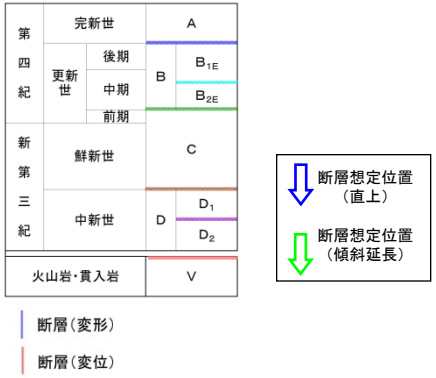
第530回審査会合資料1 P122 加筆・修正

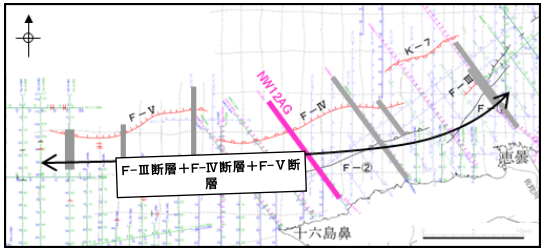
■ F-Ⅲ断層＋F-Ⅳ断層＋F-Ⅴ断層における地質調査結果

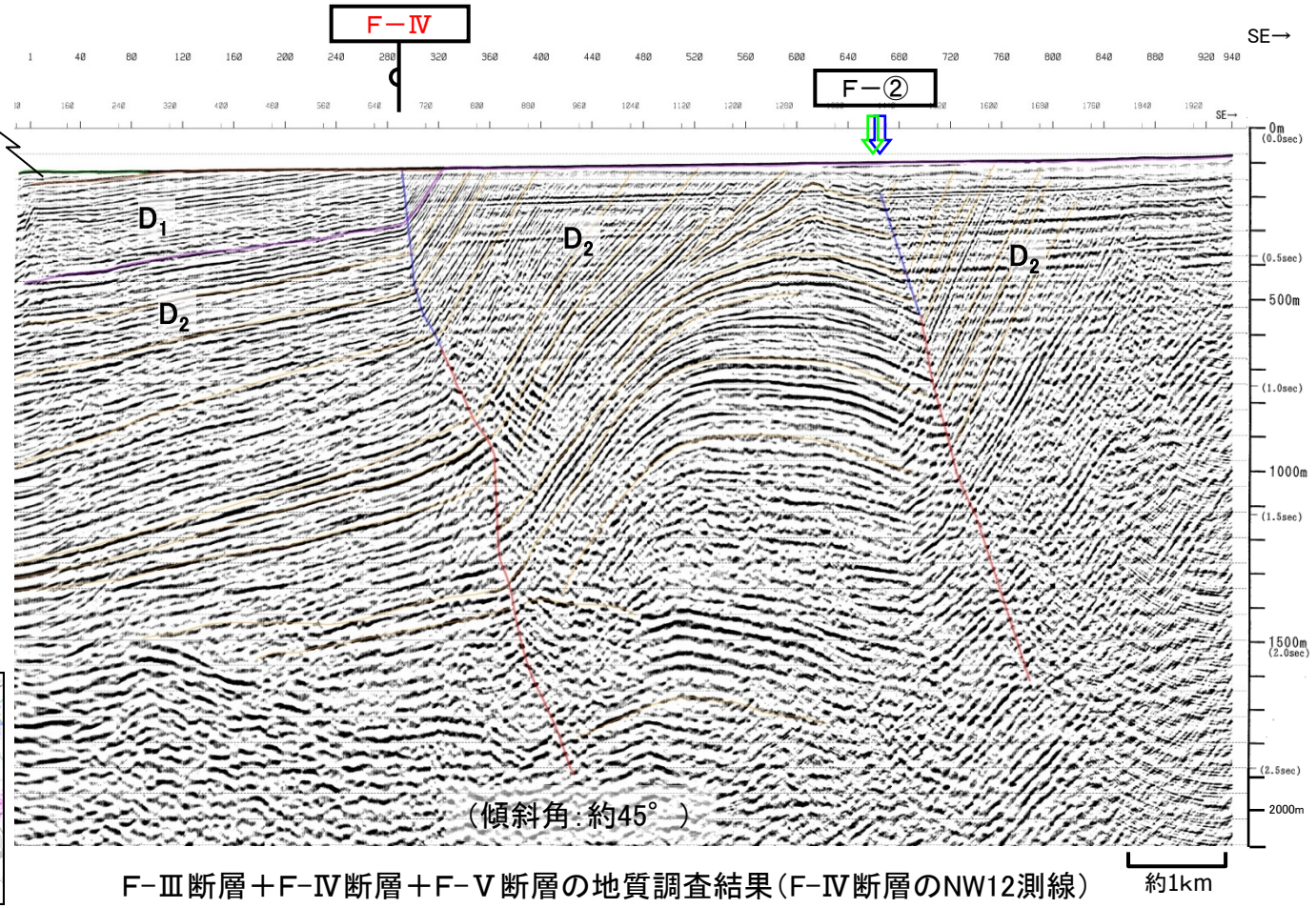
地質調査結果より，F-Ⅲ断層＋F-Ⅳ断層＋F-Ⅴ断層は，東北東－西南西走向の低角（南傾斜）逆断層が認められ，B層（更新統）の明瞭な分布が確認できていないこと等から，後期更新世以降の活動を考慮する断層としている。また，更新世以降において，南側隆起（北側沈降）の逆断層運動を示唆するB層の堆積盆の形成は認められず，横ずれ運動を示唆する花弁構造や引きずり込み構造などの特徴的な反射パターンも認められないことから，後期更新世以降の活動様式は不明である。



V.E. ≒ 3







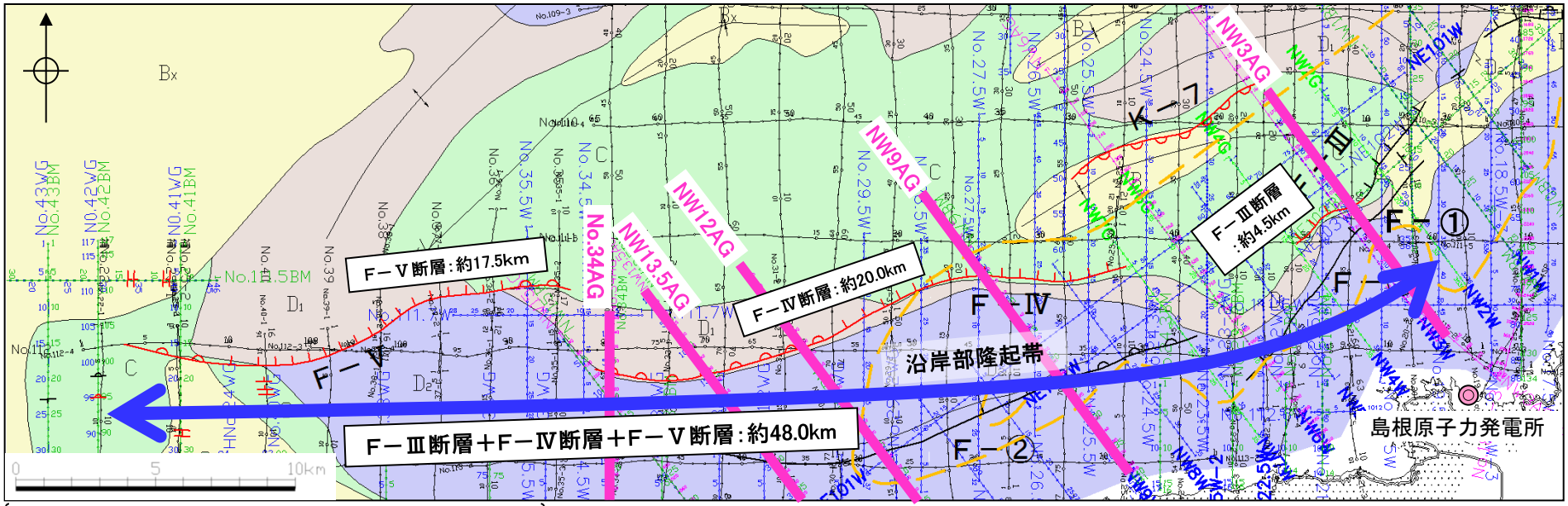
F-Ⅲ断層＋F-Ⅳ断層＋F-Ⅴ断層の地質調査結果（F-Ⅳ断層のNW12測線）

断層パラメータの設定根拠（断層傾斜角） 2/4

第530回審査会合資料1 P123 加筆・修正

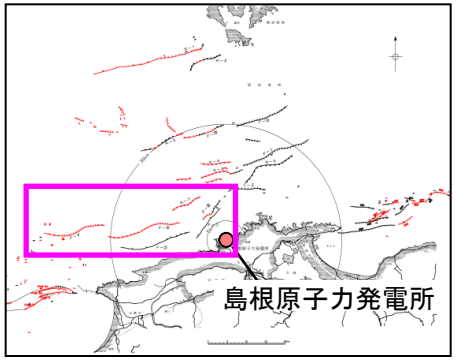
■ F－Ⅲ断層＋F－Ⅳ断層＋F－Ⅴ断層の音波探査記録に基づく断層傾斜角

F－Ⅲ断層＋F－Ⅳ断層＋F－Ⅴ断層の深部の地質構造に関する音波探査記録（エアガン記録）を参照すると，F－Ⅲ断層，F－Ⅳ断層及びF－Ⅴ断層のそれぞれの区間で地質構造上の類似性が認められることから，断層全体を傾斜角の設定区間と考え，平均して傾斜角を求めると35° 程度である。



地質図に記載された断層線の端点は断層が確認される測線と確認されない測線との中点までを表示している。

※A層を取除いた地質図



凡　例

主な断層のうち後期更新世以降の活動が認められないもの

主な断層のうち後期更新世以降の活動が否定できないもの

No.□ 中国電力㈱音波探査測線（ｽﾊﾟｰｶｰ）

No.□AG 中国電力㈱音波探査測線（ｴｱｶﾞﾝ・ﾏﾙﾁﾁｬﾝﾈﾙ）

No.□WG 中国電力㈱音波探査測線（ｳｫｰﾀｰｶﾞﾝ・ﾏﾙﾁﾁｬﾝﾈﾙ）

No.□BM 中国電力㈱音波探査測線（ﾌﾞｰﾏｰ・ﾏﾙﾁﾁｬﾝﾈﾙ）

	A 層：完新世堆積層	第四紀
B	B 層：中期～後期更新世堆積層	第四紀
C	C 層：鮮新世～前期更新世堆積層	新第三紀
D_1	D_1 層	新第三紀 中新世堆積層
D_2	D_2 層	新第三紀 中新世堆積層
V	V 層：火山岩・貫入岩	

マルチチャンネル測線により認められたB層分布域

F－Ⅲ断層，F－Ⅳ断層及びF－Ⅴ断層の音波探査記録（エアガン記録）に基づく断層傾斜角

断層	測線名	傾斜角	
F－Ⅲ断層 F－Ⅳ断層 F－Ⅴ断層	NW3AG	25°	35° ※
	NW9AG	30°	
	NW12AG	45°	
	NW13.5AG	35°	
	No.34AG	60°	

※ 平均値（5° ピッチ）とし，敷地に近づく方向に設定。

断層パラメータの設定根拠（断層傾斜角） 3/4

第530回審査会合資料1 P124 再掲

■ F－Ⅲ断層＋F－Ⅳ断層＋F－Ⅴ断層の周辺で発生したM7クラスの大規模地震の断層傾斜角

佐藤ほか（1989）及び地震調査委員会（2002）によると，1943年鳥取地震（M7.2）及び2000年鳥取県西部地震（M7.3）は，それぞれ「断層傾斜角90°」とされている。

1943/9/10　鳥取地震　〔モデル１〕

震源要素：昭和 18/9/10（17：36）　35.52° N，134.08° E，H＝0 km，M＝7.2

出　　典：Kanamori (1972b), PEPI, 5, 426-434.

・断層パラメーター決定手順

P 波初動による発震機構解は垂直横ずれ断層を示し，その１節面は地表に現われた断層の走向にほぼ一致する。また，本震後約１カ月間の余震は，ほぼ東西に 40 km ほどの長さで分布し，その深さは 13 km 程度に分布していることから，断層面を推定した▶ d＝0 km，θ＝N(70～80)° E，δ＝90°，λ＝180°。

一方，三角測量の結果より得られた，断層からの距離に対する断層に平行な水平変動量の分布を，Knopoff (1958) の理論曲線と比較することにより，断層の幅と食い違い量を推定した▶ L＝(30～40) km，W＝(8～13) km，U＝2.5 m。

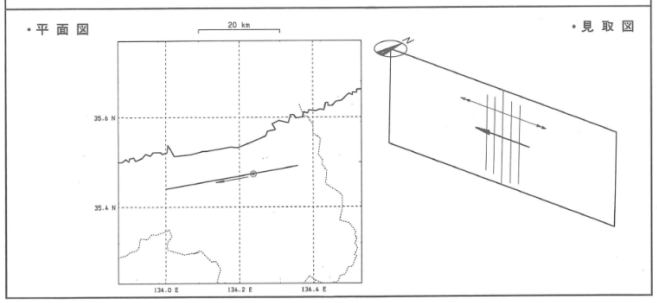
次に，動的パラメターを推定した。無限媒質中に置かれた長さ L，幅 2 W の断層による理論地震記象を Haskell の方法により計算し，阿武山で観測された地震記象と比較した。まず L＝33 km，θ＝N 80° E に固定し，断層面の幅（8 km または 13 km），破壊伝播モード（東から西への伝播または中央より両側への伝播），および破壊速度の組合せをいろいろに変えて，理論波形と観測波形との最もよい一致を求めた。その際の振幅比較より，W＝13 km なら U＝2.5 m，W＝8 km なら U＝4 m が最適値となった▶ L＝33 km，W＝13 km，θ＝N 80° E，V_{rup}＝(2～3) km/s，θ_{rup}＝0° & 180° (bilateral)。ここで V_{rup}＝2.3 km/s，U＝2.5 m と固定し，地震波形の立ち上がり部分を比較することにより，震源関数の立ち上がり時間を推定した▶ V_{rup}＝2.3 km/s，τ＝3 sec。これらの値を用いると，断層面の食い違い速度 U/τ は 84 cm/s，すべり速度は 42 cm/s と見積られる。

地震モーメントおよび応力降下量は，μ＝3.4×10^{11}dyne/cm^2 として，Mo＝μULW および $\Delta\sigma$＝4/π・$\mu U/W$ により計算している▶ Mo＝3.6×10^{26}dyne・cm，$\Delta\sigma$＝83 bar。また，以上の結果を用いて，幾つかの理論式に基づき，有効応力の算定を行なった▶ σ_{eff}＝(30～100) bar。この値は応力降下量とほぼ同じであり，この地震で有効応力がほぼ完全に解放されたことを示していると述べている。

・静的断層パラメーターリスト

N(° N)	E(° E)	d(km)	θ(°)	δ(°)	λ(°)	L(km)	W(km)	U(cm)
35.44*	134.00*	0	80	90	180	33	13	250

* 論文中の Fig. 3 より読取り。



1943年鳥取地震 ［佐藤ほか（1989）］

表１　強震動試算に用いた鳥取県西部地震の震源特性のパラメーター一覧

震源特性	断層パラメータ		ケース1（糸静中間報告の手法を用いたケース）	ケース２（観測記録をできるだけ説明可能なケース）
地震の規模	気象庁マグニチュード(M) 7.3。			
巨視的震源特性	震源断層の位置		図2参照	同左
	走向		図2参照	同左
	傾斜角		90 °	同左
	震源断層の長さ		27 km *1	同左
	震源断層幅		14 km	同左
	震源断層の面積		378 km^2 *2	同左
	震源断層の上端～下端深さ		2～16 km	同左
	地震モーメント		7.0E+18 N・m	9.6E+18 N・m
	平均すべり量		56 cm	77 cm
	加速度震源スペクトル短周期レベル		1.0E+19 N・m/s^2	1.1E+19 N・m/s^2
微視的震源特性	全アスペリティ	地震モーメント	3.1E+18 N・m	7.9E+18 N・m
		総面積	83 km^2	108 km^2
		平均すべり量	112 cm	221 cm
	第１アスペリティ	面積	60 km^2 *3	54 km^2 *4
		平均すべり量	125 cm	221 cm
		地震モーメント	2.5E+18 N・m	3.9E+18 N・m
		実効応力	10.6 MPa	16.0 MPa
		ライズタイム	1.7 sec	0.8 sec
	第２アスペリティ	面積	23 km^2 *5	54 km^2 *6
		平均すべり量	77 cm	221 cm
		地震モーメント	5.7E+17 N・m	3.9E+18 N・m
		実効応力	10.6 MPa	11.3 MPa
		ライズタイム	0.9 sec	1.2 sec
	背景領域	地震モーメント	3.9E+18 N・m	1.7E+18 N・m
		面積	295 km^2 *7	270 km^2 *8
		平均すべり量	40 cm	19 cm
		実効応力	3.8 MPa	0.9 MPa
		ライズタイム	3.0 sec	3.0 sec
	fmax		6 Hz	同左
その他の震源特性等	破壊開始点		図３参照（深さ約14km）	図３参照（深さ約10km）
	破壊伝播形式		放射状	同左
	破壊伝播速度		2.3 km/s	2.3 km/s （第1アスペリティのみ3.15）

※震源域のS波速度3.5km/s、剛性率は3.3×10^{10}N/m^2

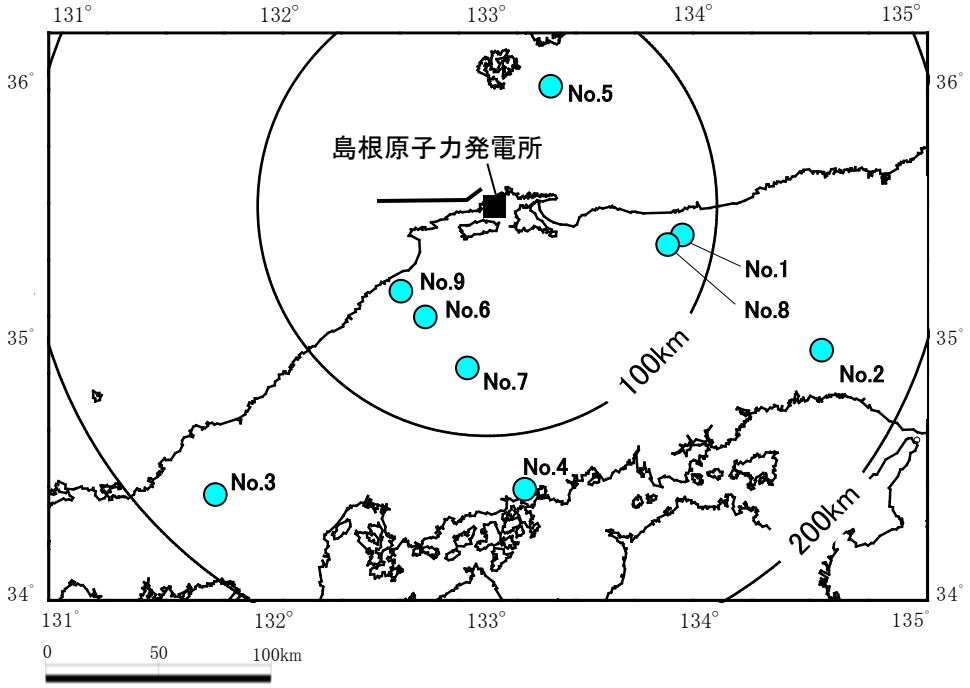
2000年鳥取県西部地震 ［地震調査委員会（2002）］

断層パラメータの設定根拠（断層傾斜角） 4/4

第530回審査会合資料1 P125加筆・修正

■ F-Ⅲ断層＋F-Ⅳ断層＋F-Ⅴ断層の周辺で発生した中小地震の断層傾斜角

F-Ⅲ断層＋F-Ⅳ断層＋F-Ⅴ断層の周辺における横ずれ断層の主な中小地震の断層傾斜角を整理すると，平均的には80°程度であり，最も傾斜しているもので71°である。



F-Ⅲ断層＋F-Ⅳ断層＋F-Ⅴ断層の周辺の横ずれ断層の主な中小地震の震央分布

F-Ⅲ断層＋F-Ⅳ断層＋F-Ⅴ断層の周辺の横ずれ断層の主な中小地震の断層傾斜角

No	発生年月日	地　震	M※1	傾斜角※2	
1	1983. 10. 31	鳥取中部の地震	6.2	85°	
2	1984. 5. 30	山崎断層の地震	5.6	90°	
3	1997. 6. 25	山口・島根県境の地震	6.6	76°	
4	1999. 7. 16	広島県南東部の地震	4.5	83°	71°
5	2011. 4. 29	隠岐島近海の地震	4.0	80°	76°
6	2011. 6. 4	島根県東部の地震	5.2	87°	
7	2011. 11. 21	広島県北部の地震	5.4	80°	
8	2016. 10. 21	鳥取県中部の地震	6.6	80°	
9	2018. 4. 9	島根県西部の地震	6.1	84°	

※1　気象庁地震カタログ
※2　No.1，2 ：佐藤ほか（1989）
No.3～9：防災科学技術研究所の広帯域地震観測網（F-net），余震分布より走向を特定できる場合は，それに対応する断層面の傾斜角を記載

断層パラメータの設定根拠（断層傾斜角の不確かさを考慮したケースのF－Ⅲ断層のすべり角） 1/2

- 塚原・小林(1991)による広域応力場の研究や敷地内の測定結果から，敷地周辺の現在の応力場は概ね東西圧縮が卓越している。
- F-Ⅲ断層＋F-Ⅳ断層＋F-Ⅴ断層の周辺で発生した現在の応力場による主な地震について下表のとおり整理すると，走向，傾斜角によらず横ずれ成分が卓越している。
- 以上のことから，F-Ⅲ断層＋F-Ⅳ断層＋F-Ⅴ断層が活動する場合，横ずれ成分が卓越すると考えられるが，当該断層周辺で発生した主な地震の中では若干縦ずれ成分も認められることから，その中で最も縦ずれ成分の大きいすべり角（158°）を考慮することとし，F-Ⅲ断層の走向が北東－南西方向であることを踏まえ，応力場と走向の関係から断層傾斜角の不確かさを考慮したケースのF-Ⅲ断層のすべり角は150°に設定する。

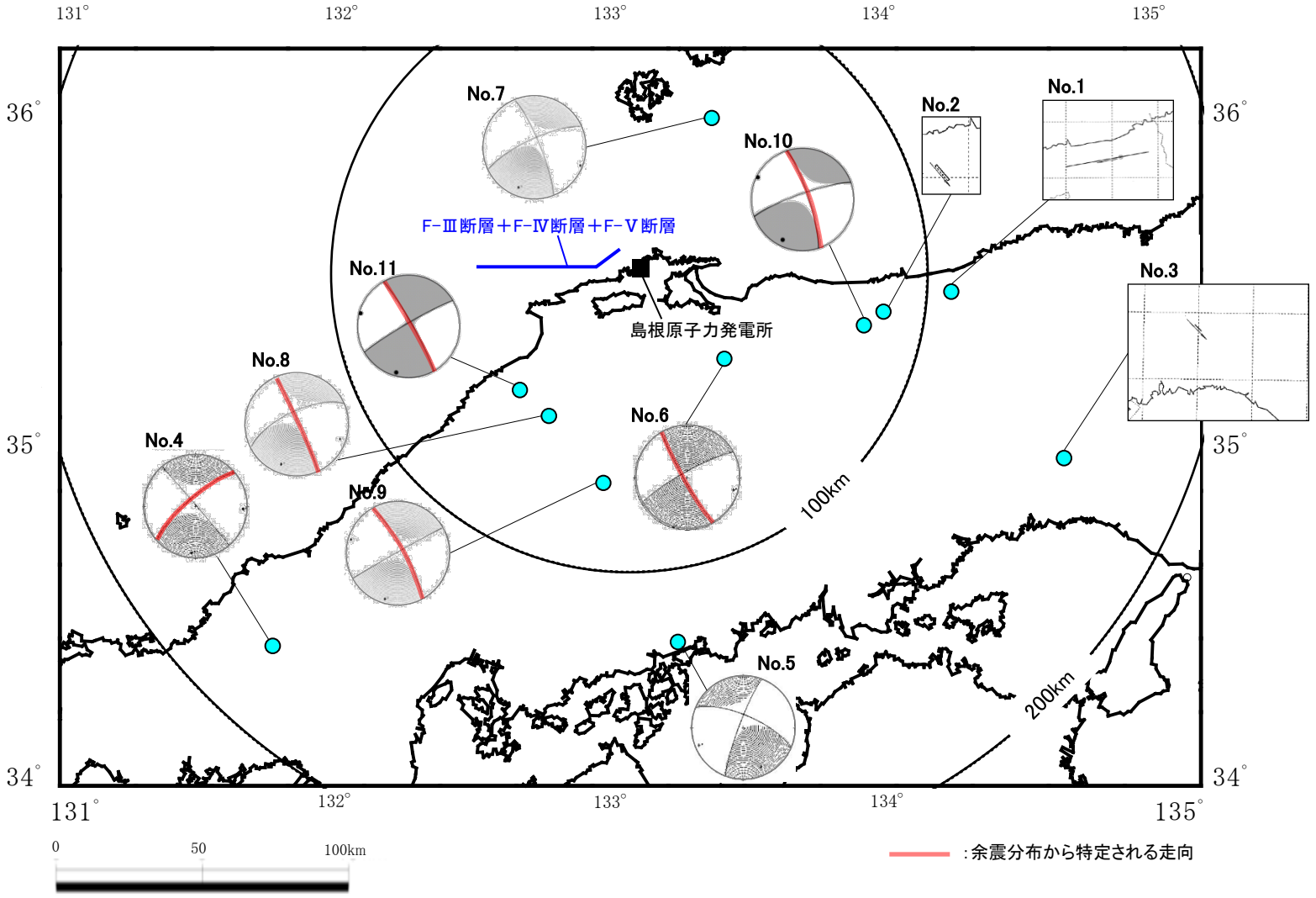
F-Ⅲ断層＋F-Ⅳ断層＋F-Ⅴ断層の周辺で発生した主な地震の走向及びすべり角

No	発生年月日	地　震	M	傾斜角	走向※1	すべり角※1,2
1	1943. 9. 10	鳥取地震	7.2	90°	80°	180°
2	1983. 10. 31	鳥取中部の地震	6.2	85°	140°	180°（0°）
3	1984. 5. 30	山崎断層の地震	5.6	90°	135°	180°（0°）
4	1997. 6. 25	山口・島根県境の地震	6.6	76°	49°	179°
5	1999. 7. 16	広島県南東部の地震	4.5	83°　71°	21°　113°	161°　172°（8°）
6	2000. 10. 6	鳥取県西部地震	7.3	90°	150°	189°（-9°）
7	2011. 4. 29	隠岐島近海の地震	4.0	80°　76°	158°　65°	165°（15°）　170°
8	2011. 6. 4	島根県東部の地震	5.2	87°	156°	158°（22°）
9	2011. 11. 21	広島県北部の地震	5.4	80°	151°	179°（1°）
10	2016. 10. 21	鳥取県中部の地震	6.6	80°	162°	171°（9°）
11	2018. 4. 9	島根県西部の地震	6.1	84°	150°	175°（5°）

※1　No.1～3　：佐藤ほか（1989）
　　No.4～11：防災科学技術研究所の広帯域地震観測網（F-net），余震分布より走向を特定できる場合は，その走向及び対応するすべり角を記載
※2　左横ずれ断層の地震は右横ずれ断層のすべり角に換算，（ ）内は換算前の値

断層パラメータの設定根拠（断層傾斜角の不確かさを考慮したケースのF－Ⅲ断層のすべり角） 2/2

■ 前頁の地震の震源メカニズム解及び断層の分布を以下に示す。

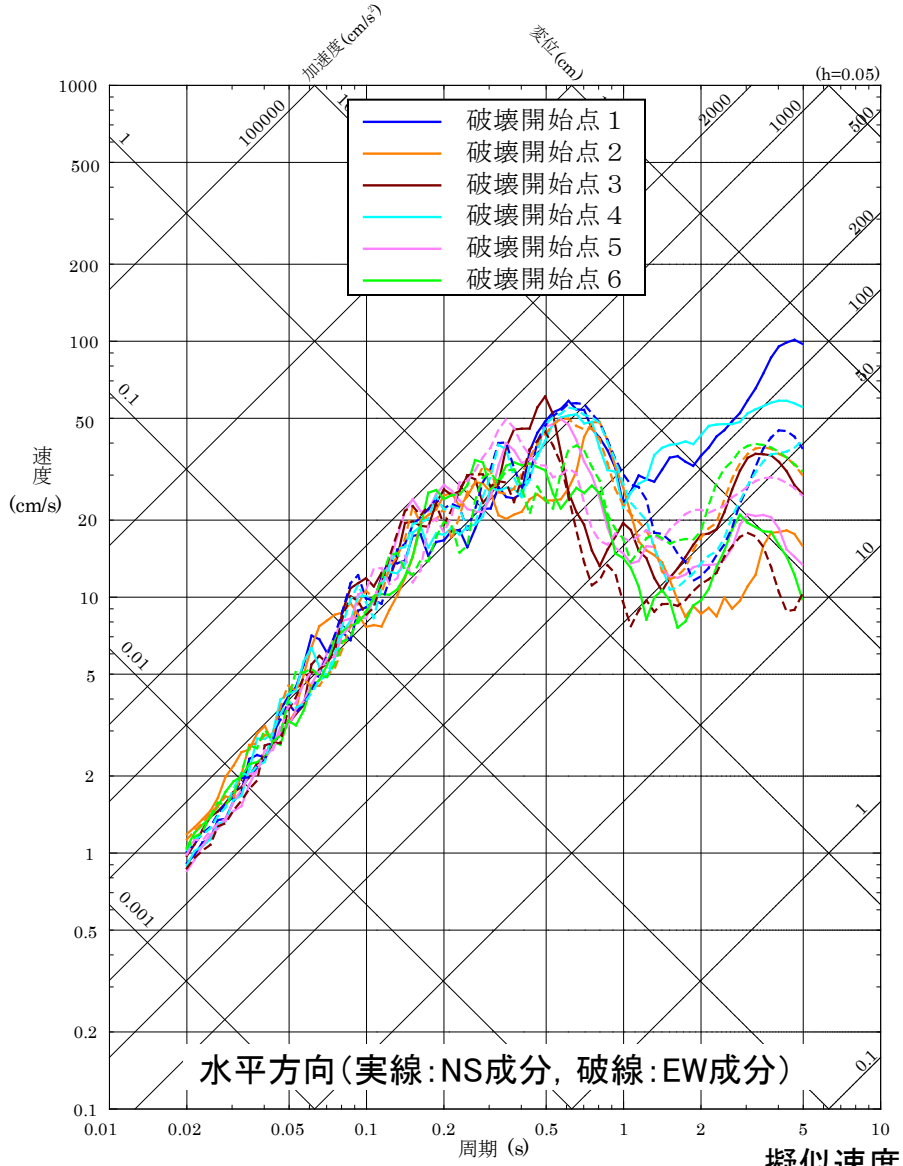


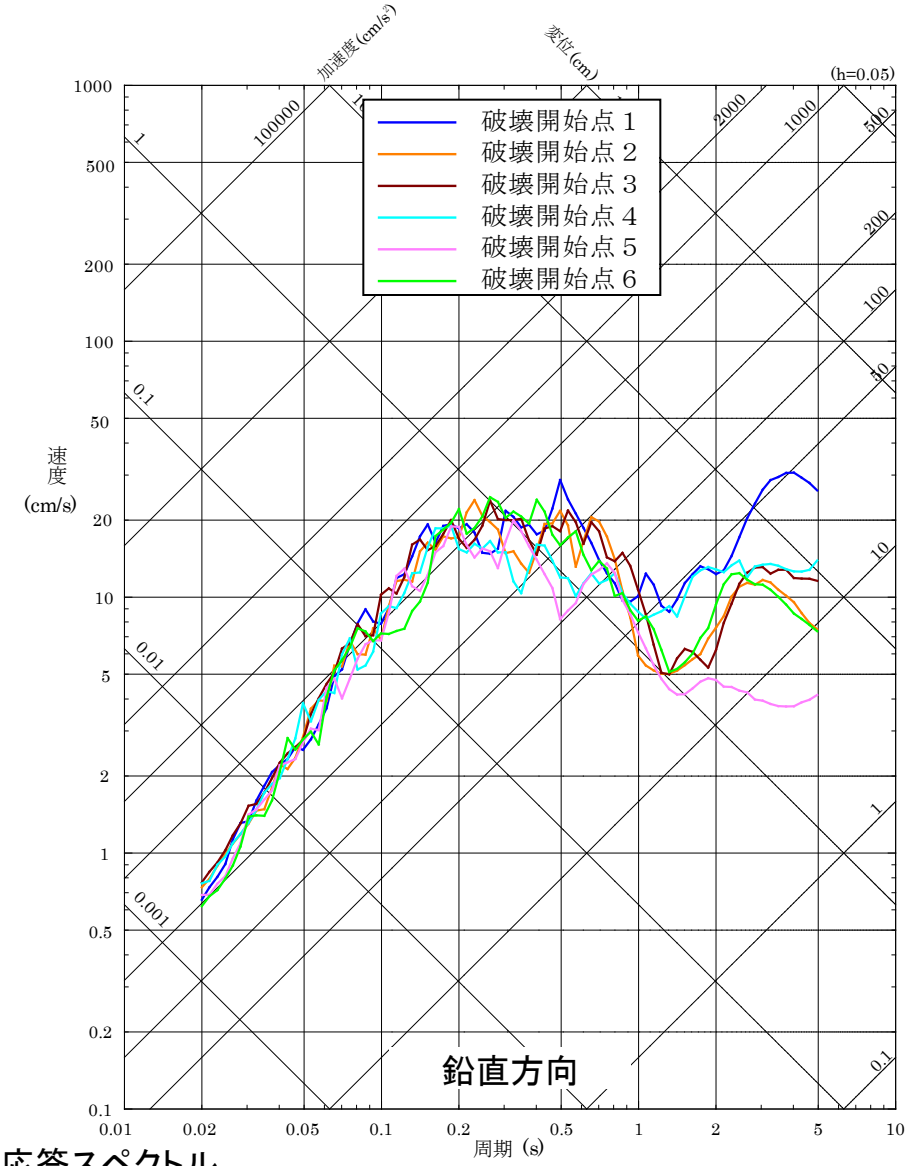
敷地周辺の横ずれ断層の主な地震の震央位置，震源メカニズム解及び断層分布

断層モデルによる地震動評価結果 1/16

第530回審査会合資料1 P147 再掲

■ F－Ⅲ断層＋F－Ⅳ断層＋F－Ⅴ断層による地震の断層モデルによる地震動評価結果
（①基本震源モデル及び②破壊開始点の不確かさを考慮したケース）



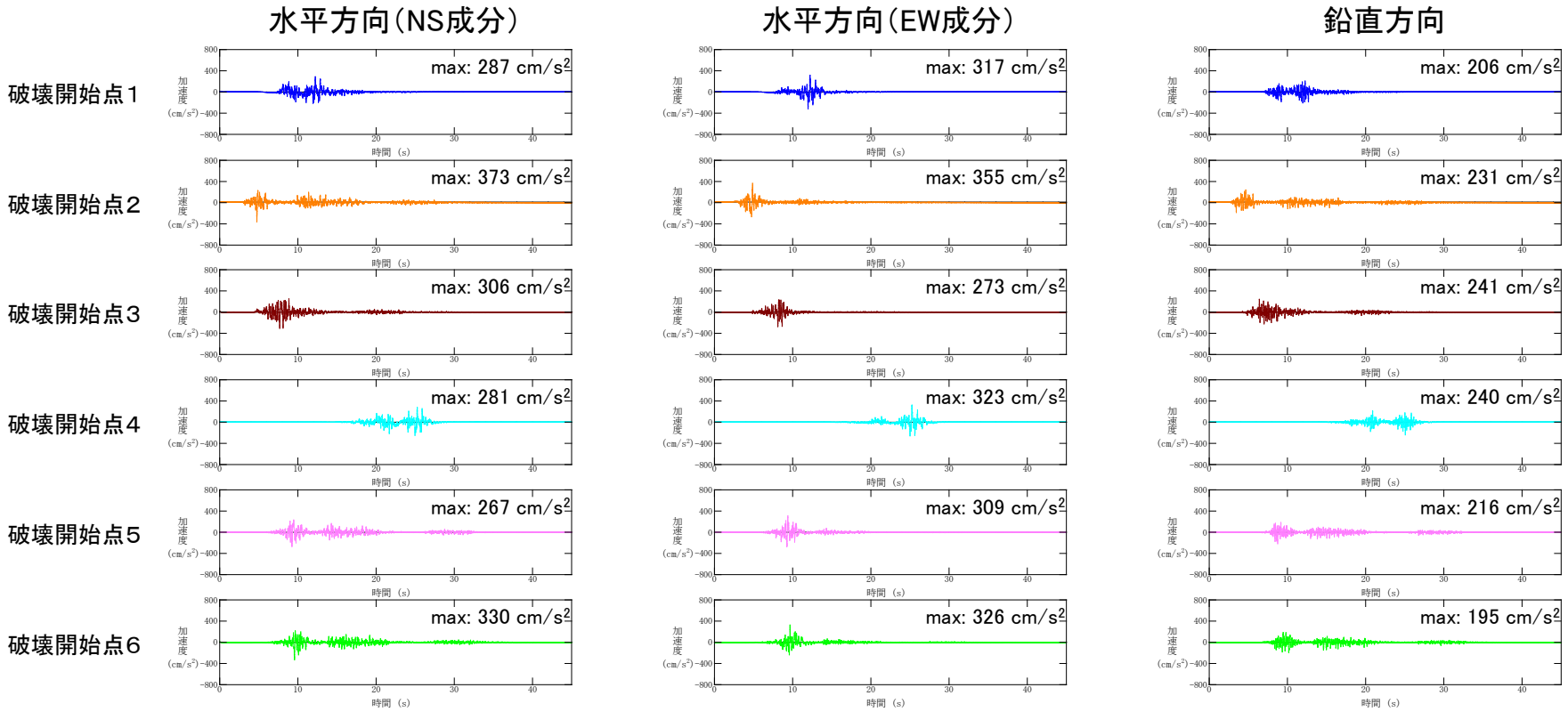


擬似速度応答スペクトル

第530回審査会合資料1 P148 再掲

断層モデルによる地震動評価結果 2/16

■ F-Ⅲ断層＋F-Ⅳ断層＋F-Ⅴ断層による地震の断層モデルによる地震動評価結果
（①基本震源モデル及び②破壊開始点の不確かさを考慮したケース）

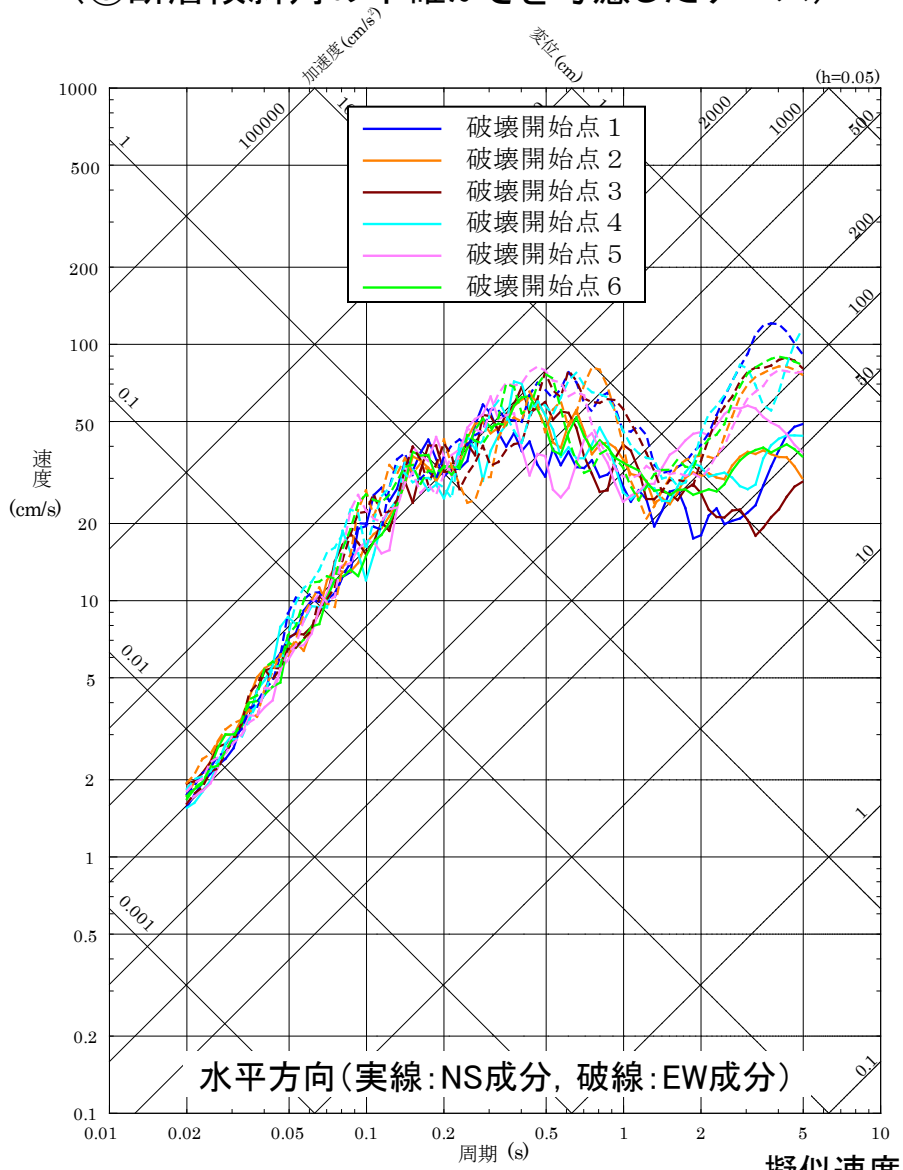


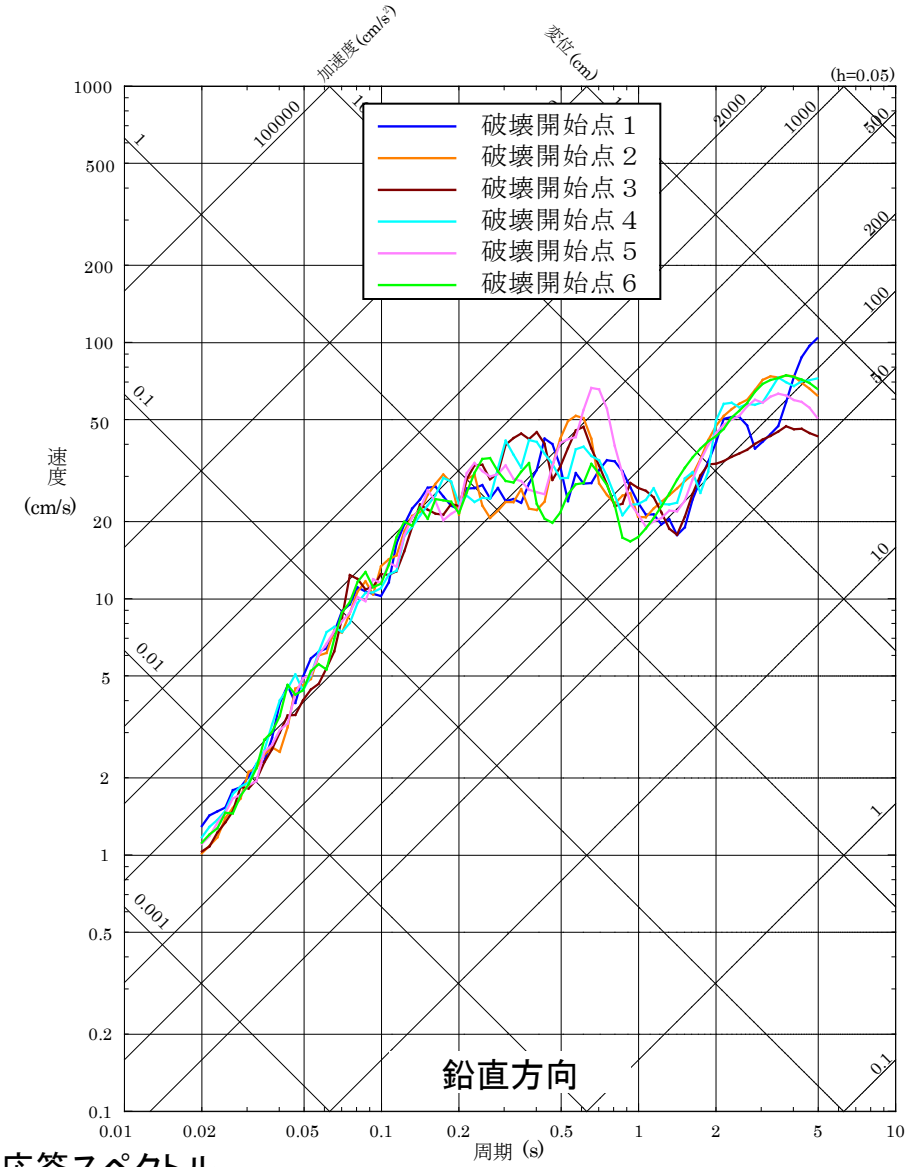
加速度時刻歴波形

断層モデルによる地震動評価結果 3/16

第530回審査会合資料1 P149 再掲

■ F－Ⅲ断層＋F－Ⅳ断層＋F－Ⅴ断層による地震の断層モデルによる地震動評価結果
（③断層傾斜角の不確かさを考慮したケース）





擬似速度応答スペクトル

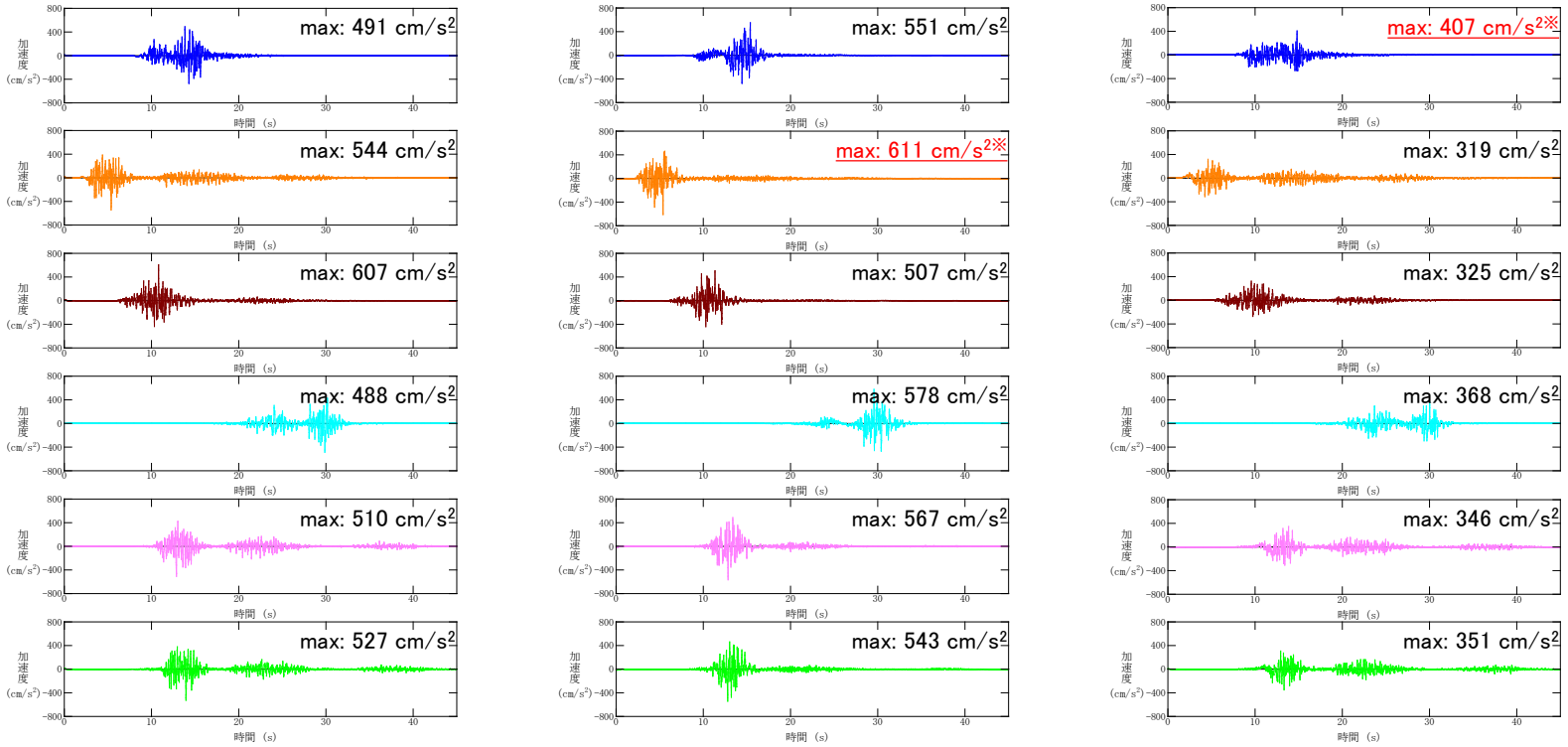
第530回審査会合資料1 P150 再掲

断層モデルによる地震動評価結果 4/16

■ F-Ⅲ断層＋F-Ⅳ断層＋F-Ⅴ断層による地震の断層モデルによる地震動評価結果（③断層傾斜角の不確かさを考慮したケース）

※F-Ⅲ断層＋F-Ⅳ断層＋F-Ⅴ断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果で最も大きい加速度値（水平・鉛直方向）

	水平方向（NS成分）	水平方向（EW成分）	鉛直方向
破壊開始点1	max: 491 cm/s^2	max: 551 cm/s^2	max: 407 cm/s^2※
破壊開始点2	max: 544 cm/s^2	max: 611 cm/s^2※	max: 319 cm/s^2
破壊開始点3	max: 607 cm/s^2	max: 507 cm/s^2	max: 325 cm/s^2
破壊開始点4	max: 488 cm/s^2	max: 578 cm/s^2	max: 368 cm/s^2
破壊開始点5	max: 510 cm/s^2	max: 567 cm/s^2	max: 346 cm/s^2
破壊開始点6	max: 527 cm/s^2	max: 543 cm/s^2	max: 351 cm/s^2

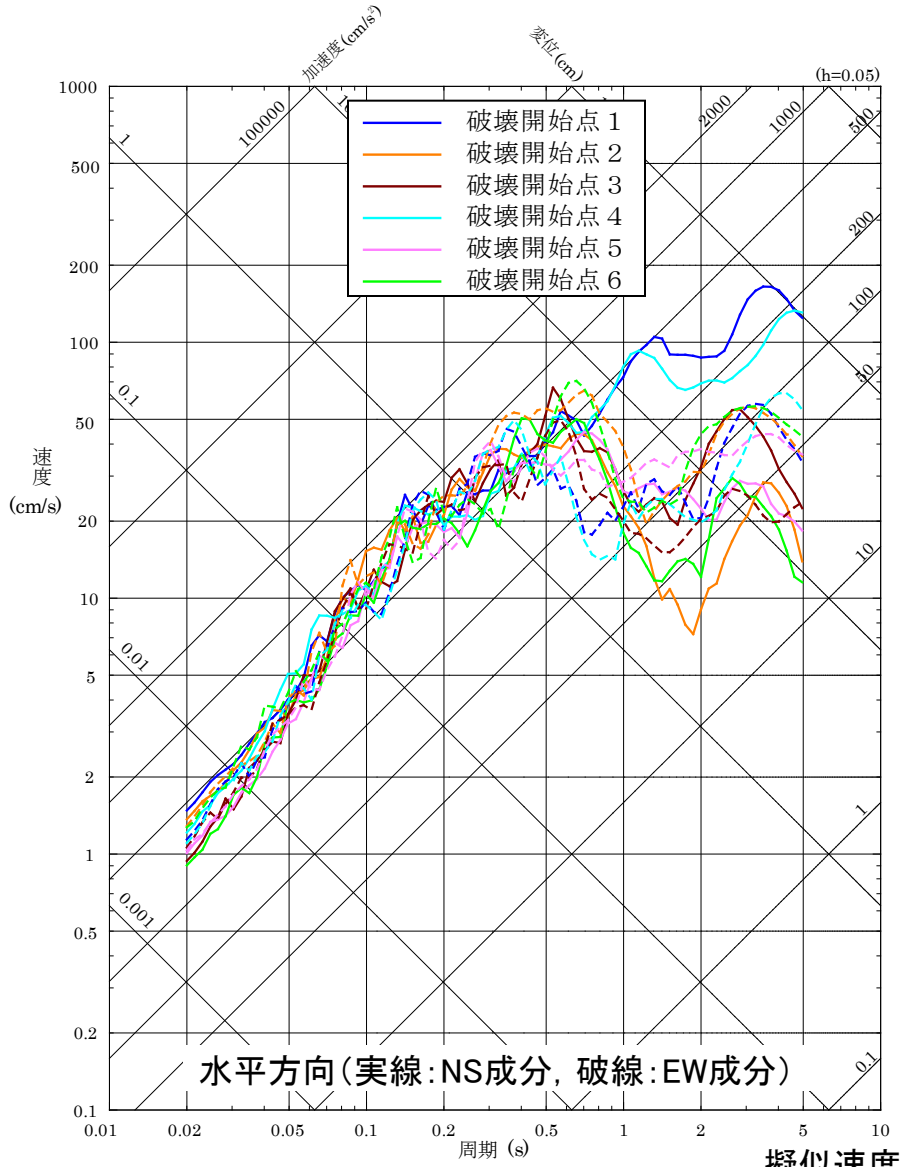


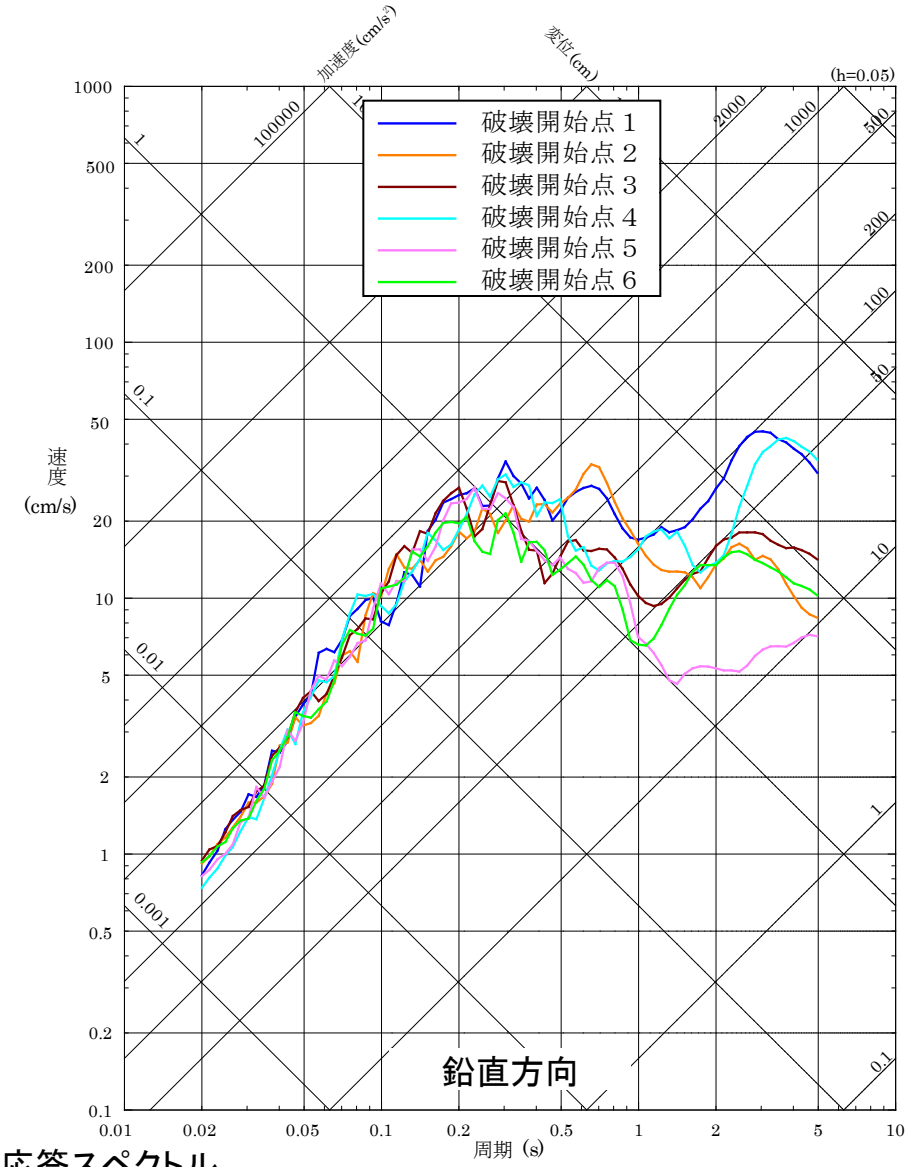
加速度時刻歴波形

断層モデルによる地震動評価結果 5/16

第530回審査会合資料1 P151 再掲

■ F-Ⅲ断層＋F-Ⅳ断層＋F-Ⅴ断層による地震の断層モデルによる地震動評価結果
（④破壊伝播速度の不確かさを考慮したケース）



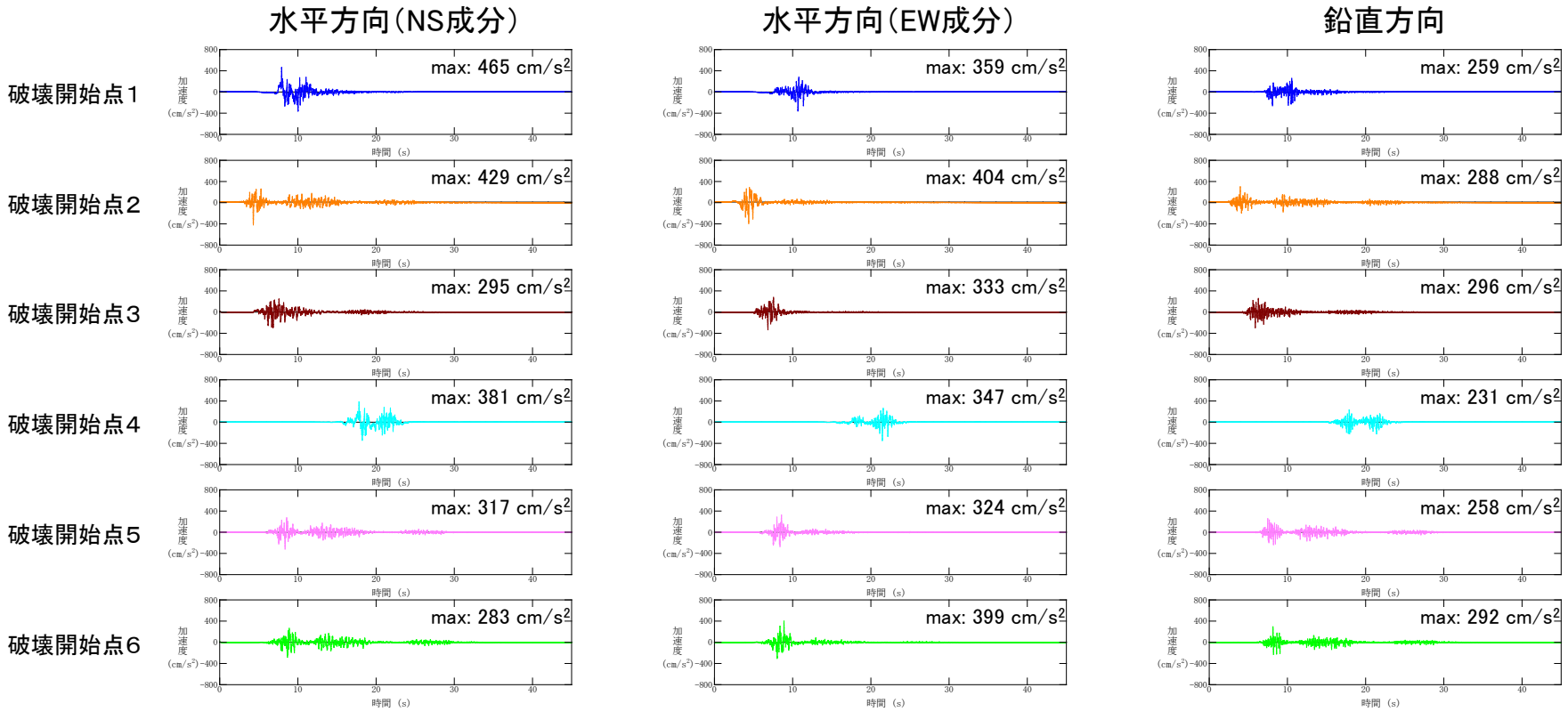


擬似速度応答スペクトル

第530回審査会合資料1 P152 再掲

断層モデルによる地震動評価結果 6/16

■ F-Ⅲ断層＋F-Ⅳ断層＋F-Ⅴ断層による地震の断層モデルによる地震動評価結果
（④破壊伝播速度の不確かさを考慮したケース）

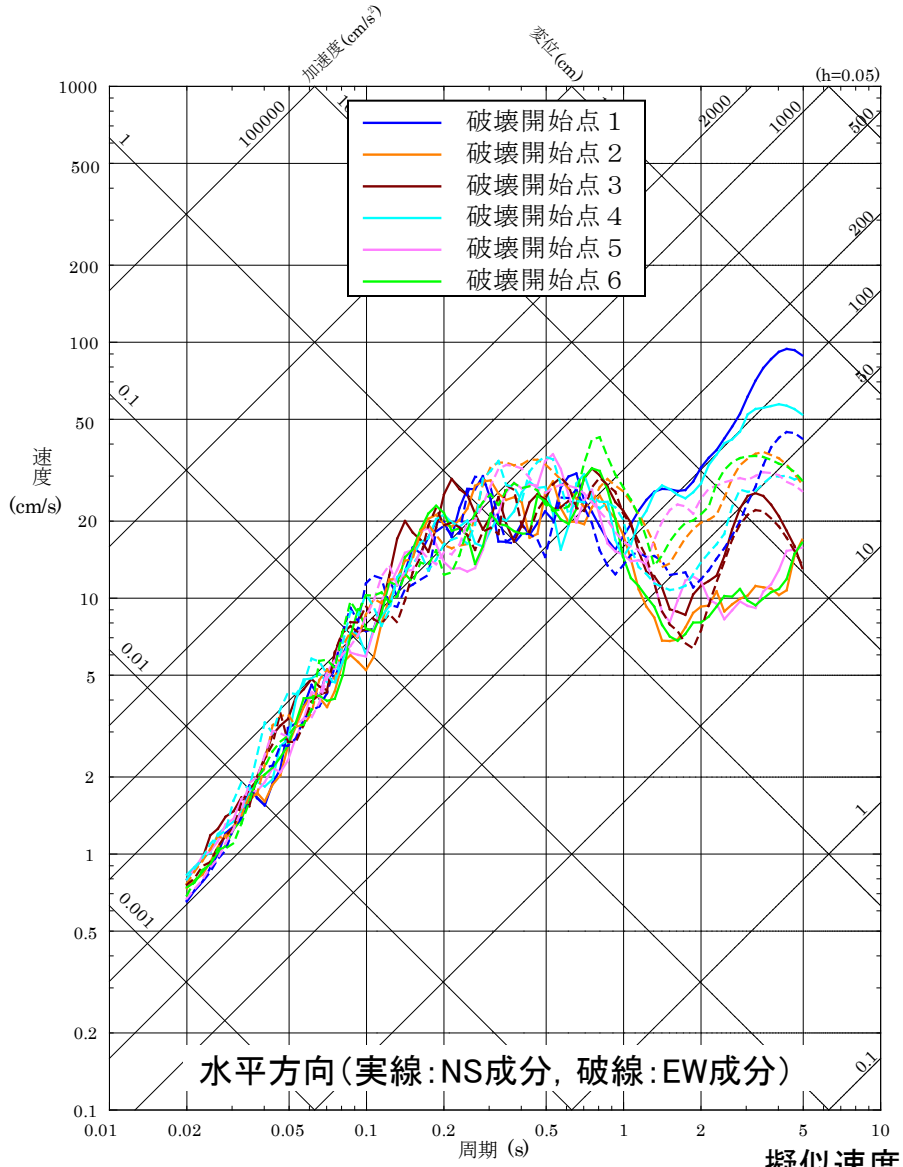


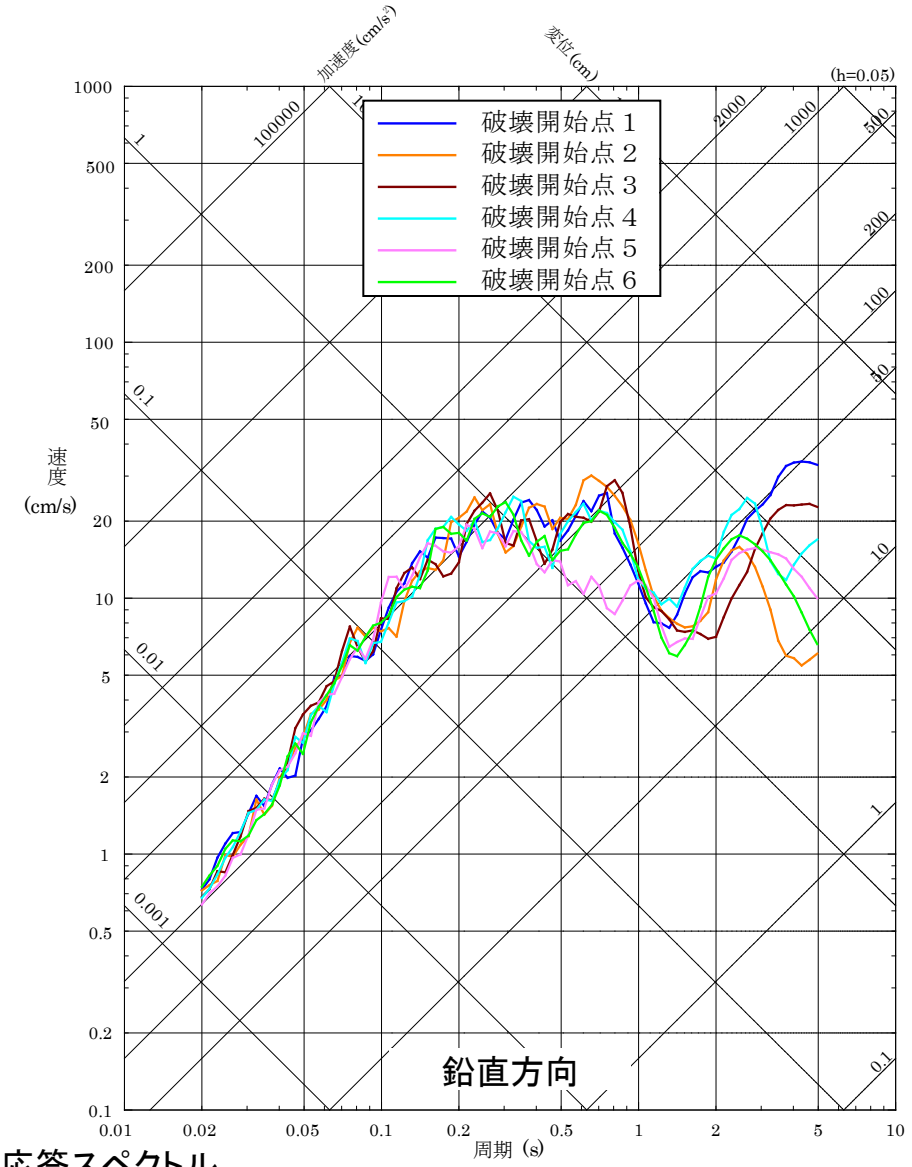
加速度時刻歴波形

断層モデルによる地震動評価結果 7/16

第530回審査会合資料1 P153 再掲

■ F－Ⅲ断層＋F－Ⅳ断層＋F－Ⅴ断層による地震の断層モデルによる地震動評価結果
（⑤すべり角の不確かさを考慮したケース）



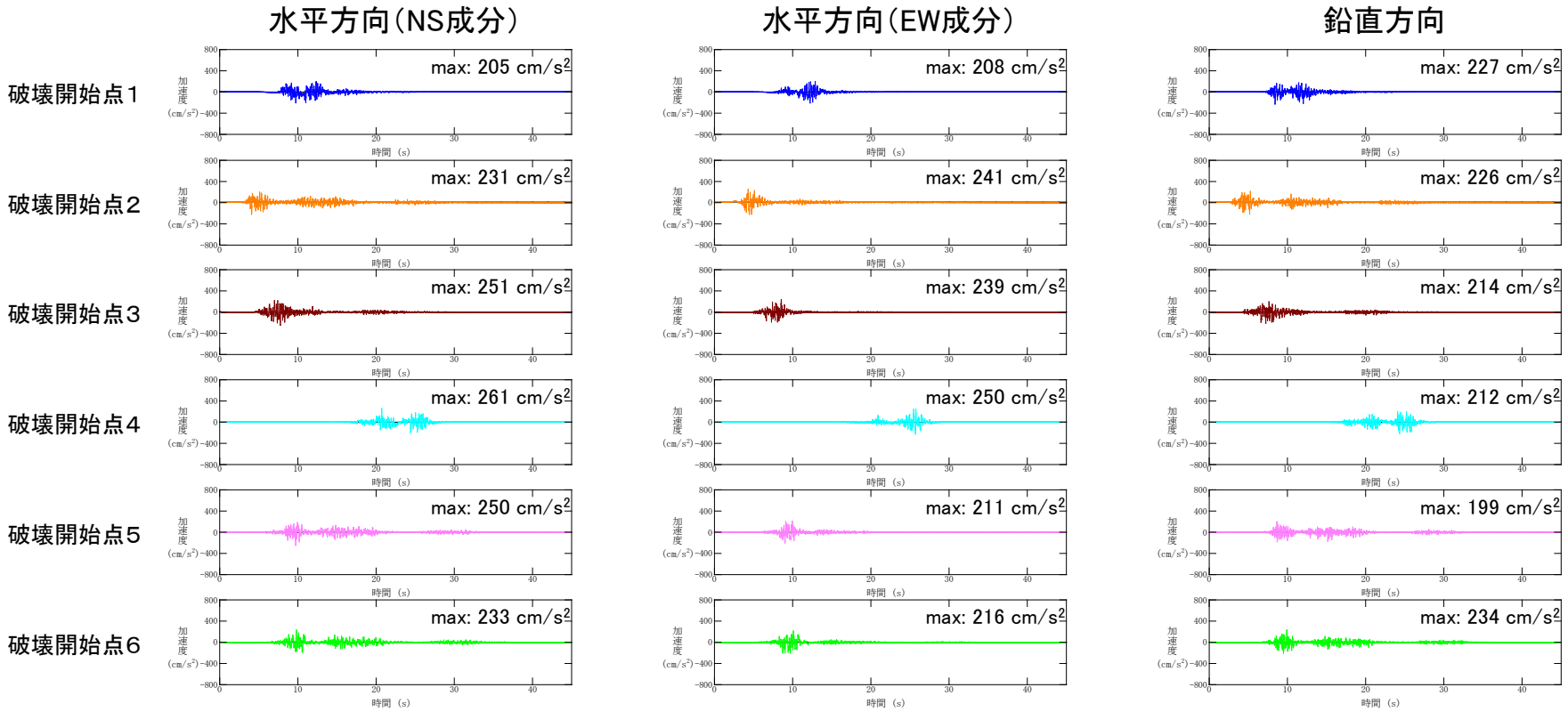


擬似速度応答スペクトル

第530回審査会合資料1 P154 再掲

断層モデルによる地震動評価結果 8/16

■ F-Ⅲ断層＋F-Ⅳ断層＋F-Ⅴ断層による地震の断層モデルによる地震動評価結果
（⑤すべり角の不確かさを考慮したケース）

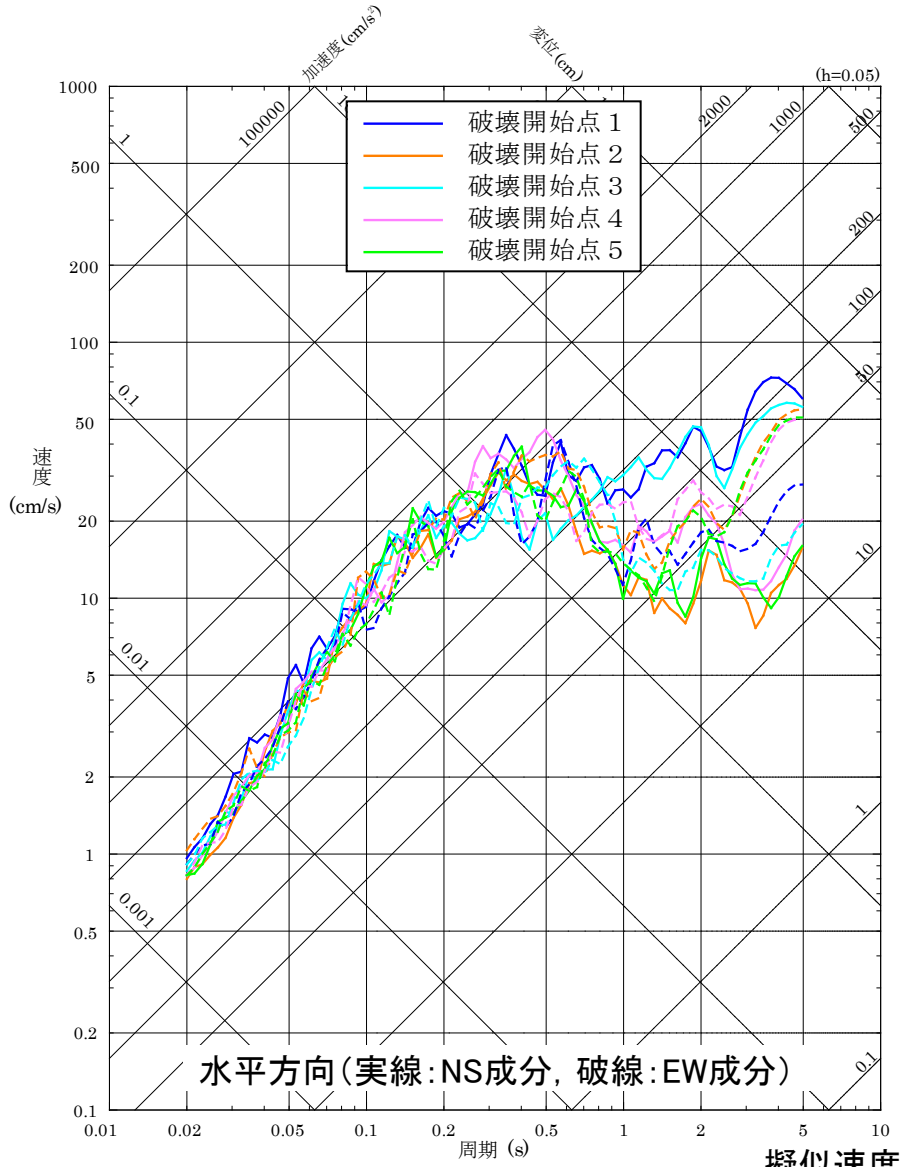


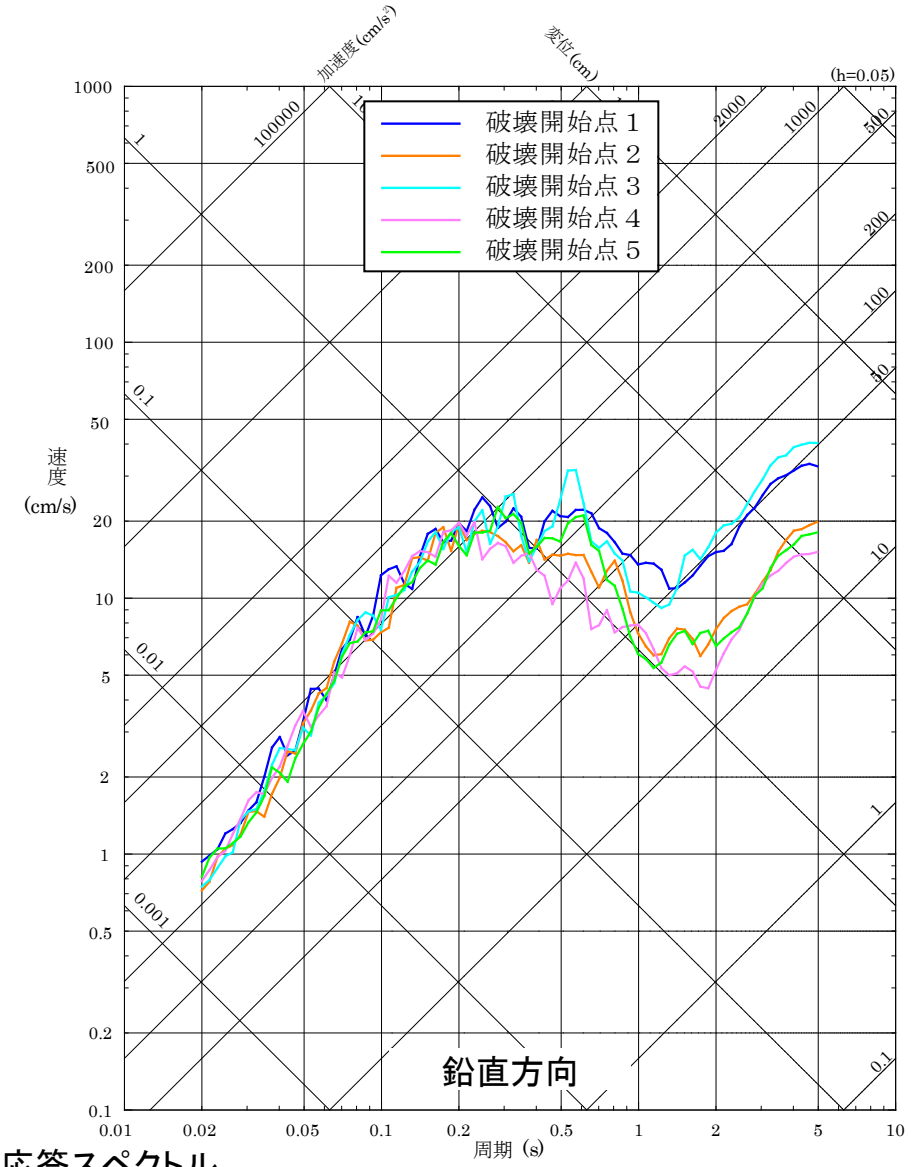
加速度時刻歴波形

断層モデルによる地震動評価結果 9/16

第530回審査会合資料1 P155 再掲

■ F-Ⅲ断層＋F-Ⅳ断層＋F-Ⅴ断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果
（⑥アスペリティの不確かさを考慮したケース（一塊：横長））



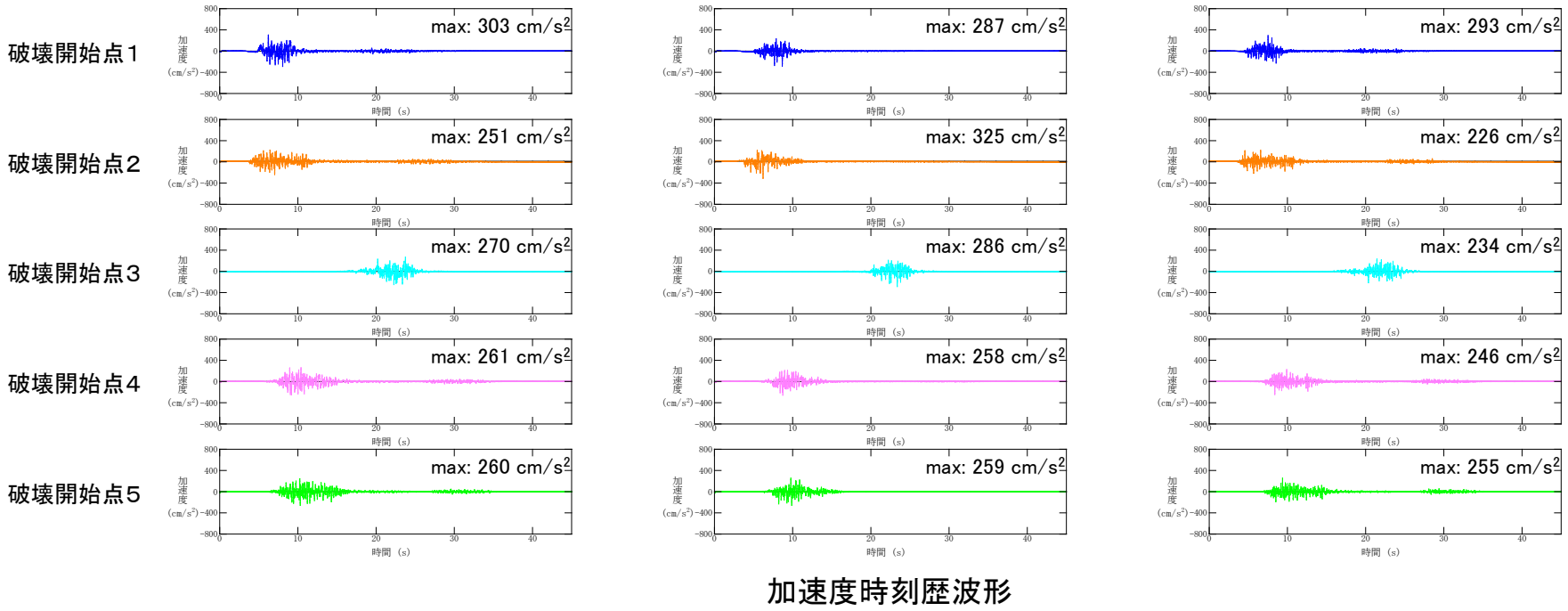


擬似速度応答スペクトル

断層モデルによる地震動評価結果 10/16

第530回審査会合資料1 P156 再掲

■ F-Ⅲ断層＋F-Ⅳ断層＋F-Ⅴ断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果
（⑥アスペリティの不確かさを考慮したケース（一塊：横長））

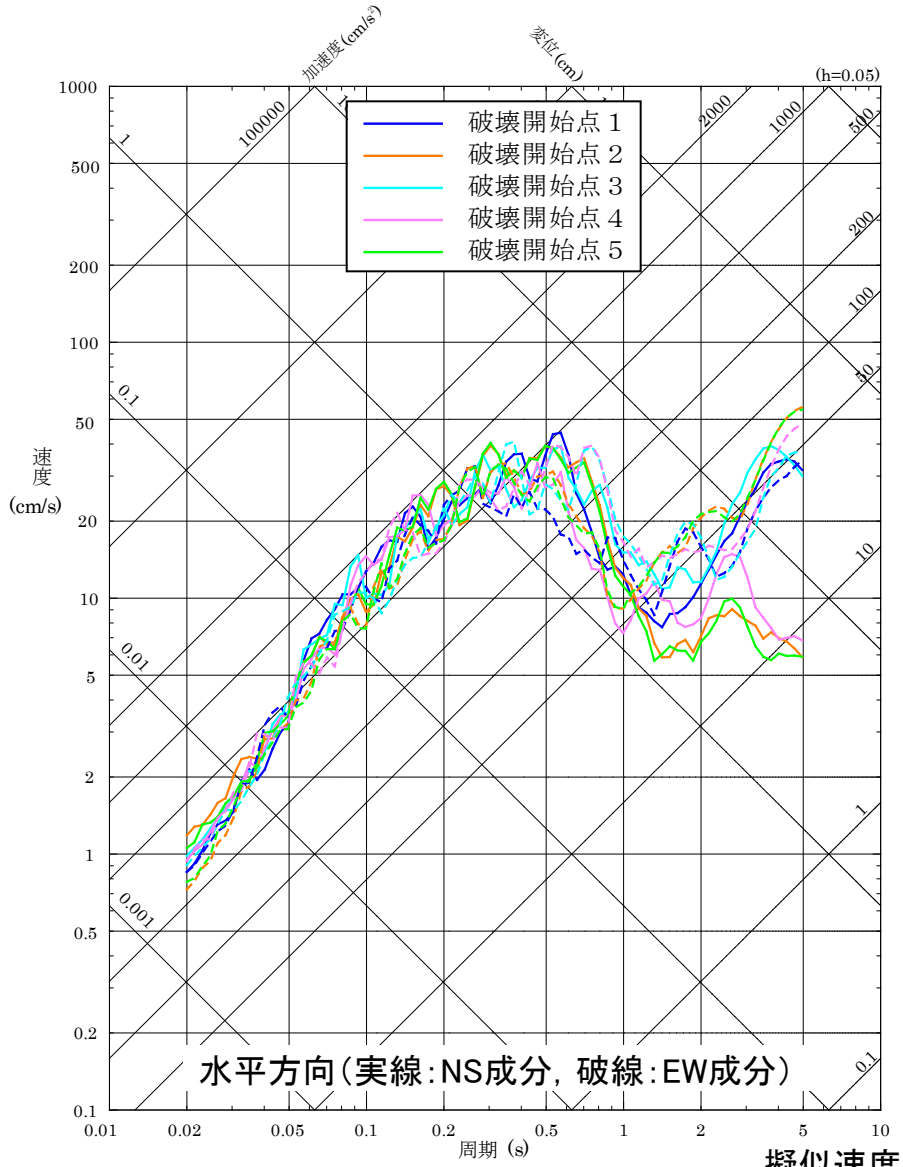


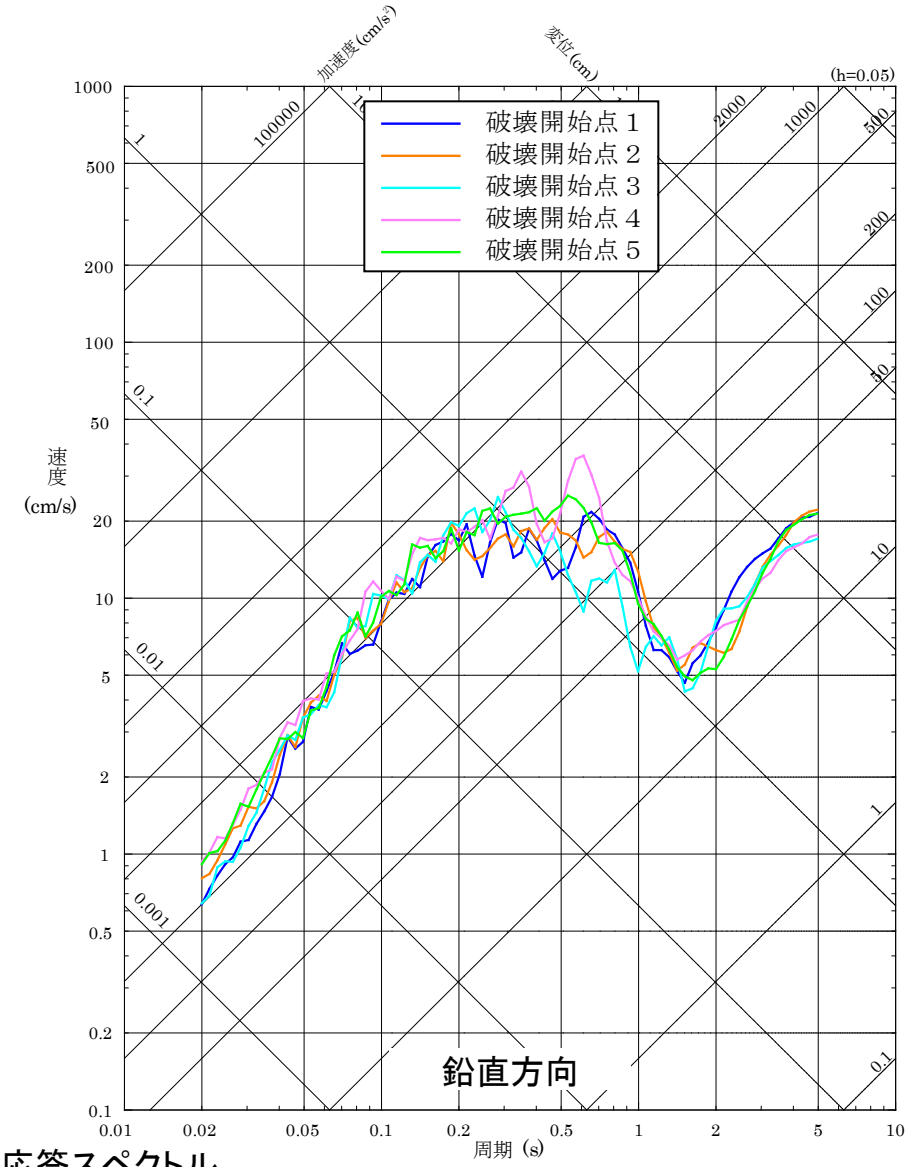
加速度時刻歴波形

断層モデルによる地震動評価結果 11/16

第530回審査会合資料1 P157 再掲

■ F-Ⅲ断層＋F-Ⅳ断層＋F-Ⅴ断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果
（⑦アスペリティの不確かさを考慮したケース（一塊：縦長））



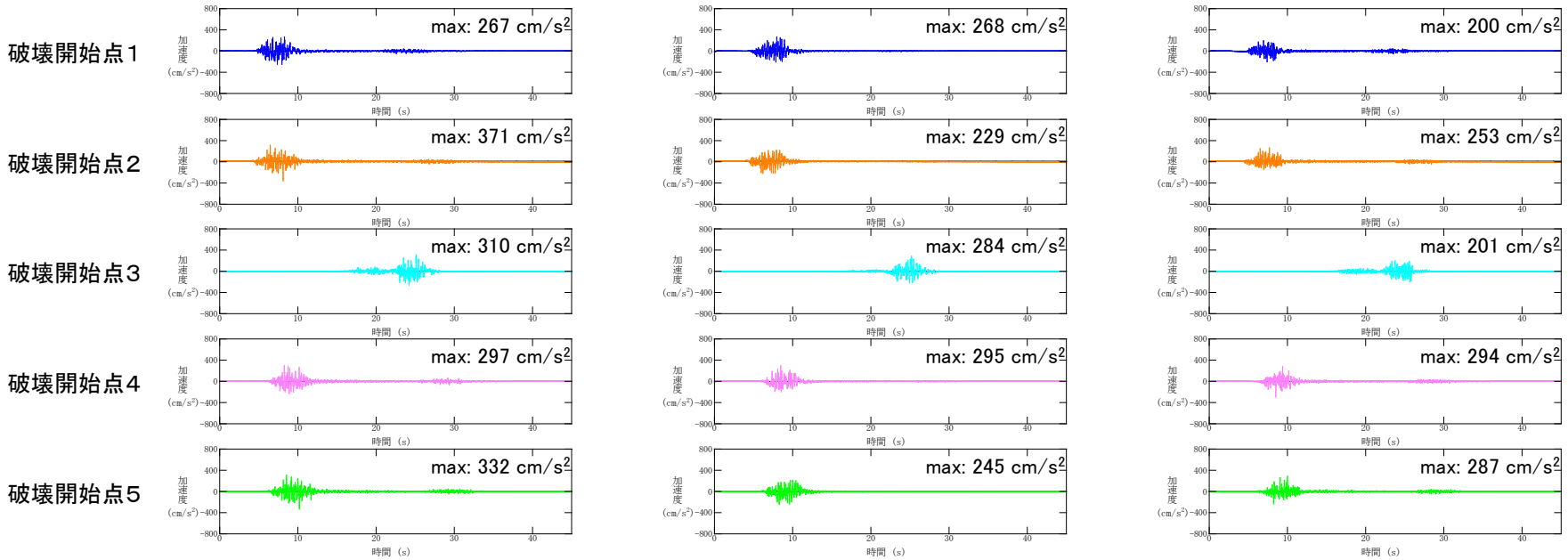


擬似速度応答スペクトル

第530回審査会合資料1 P158 再掲

断層モデルによる地震動評価結果 12/16

■ F-Ⅲ断層＋F-Ⅳ断層＋F-Ⅴ断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果
（⑦アスペリティの不確かさを考慮したケース（一塊：縦長））

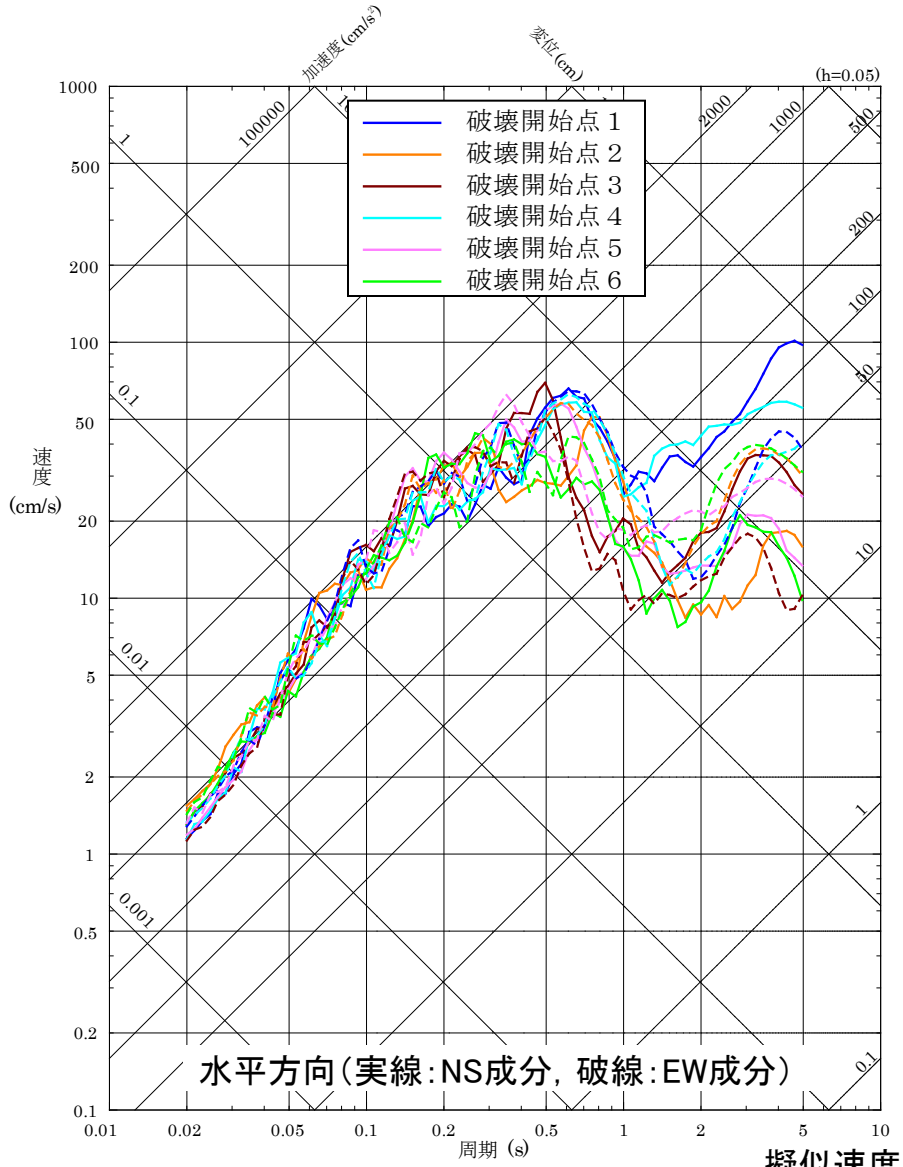


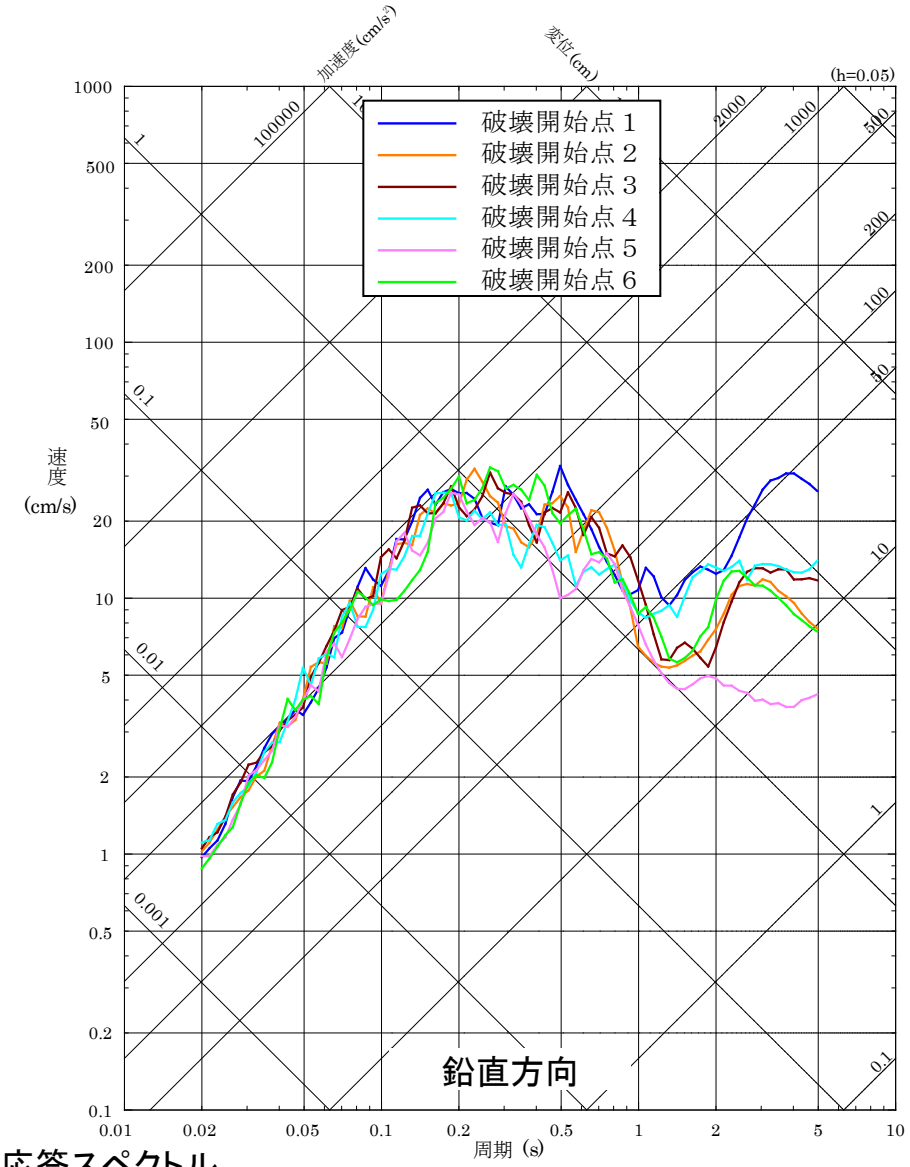
加速度時刻歴波形

断層モデルによる地震動評価結果 13/16

第530回審査会合資料1 P159 再掲

■ F-Ⅲ断層＋F-Ⅳ断層＋F-Ⅴ断層による地震の断層モデルによる地震動評価結果
（⑧中越沖地震の短周期レベルの不確かさを考慮したケース）



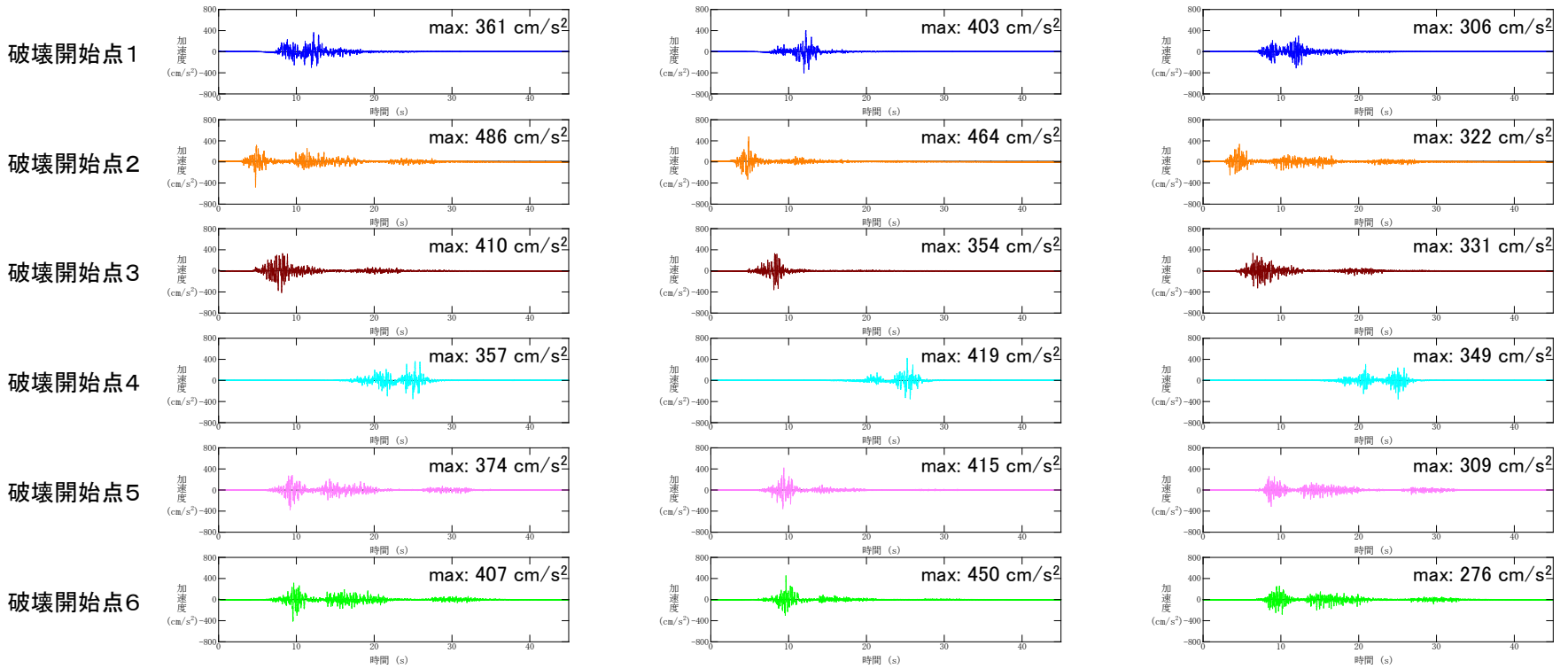


擬似速度応答スペクトル

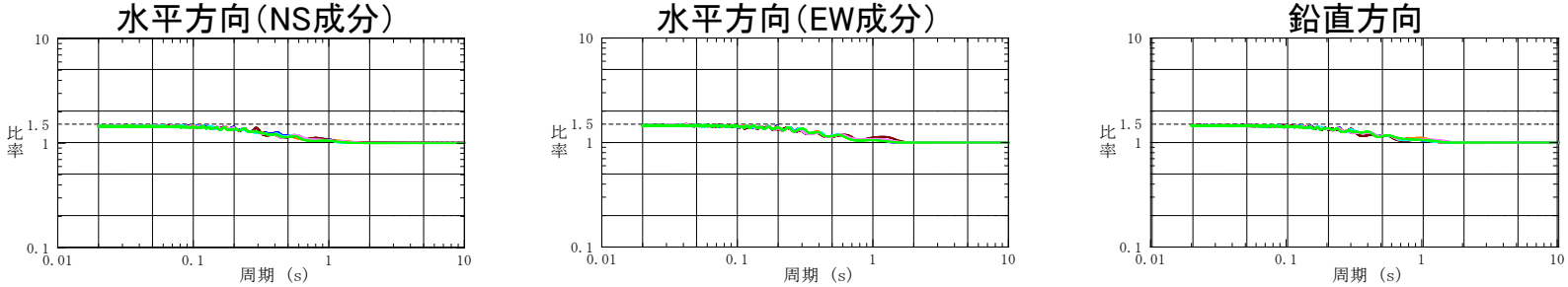
断層モデルによる地震動評価結果 14/16

第530回審査会合資料1 P160 再掲

■ F-Ⅲ断層＋F-Ⅳ断層＋F-Ⅴ断層による地震の断層モデルによる地震動評価結果
（⑧中越沖地震の短周期レベルの不確かさを考慮したケース）



加速度時刻歴波形

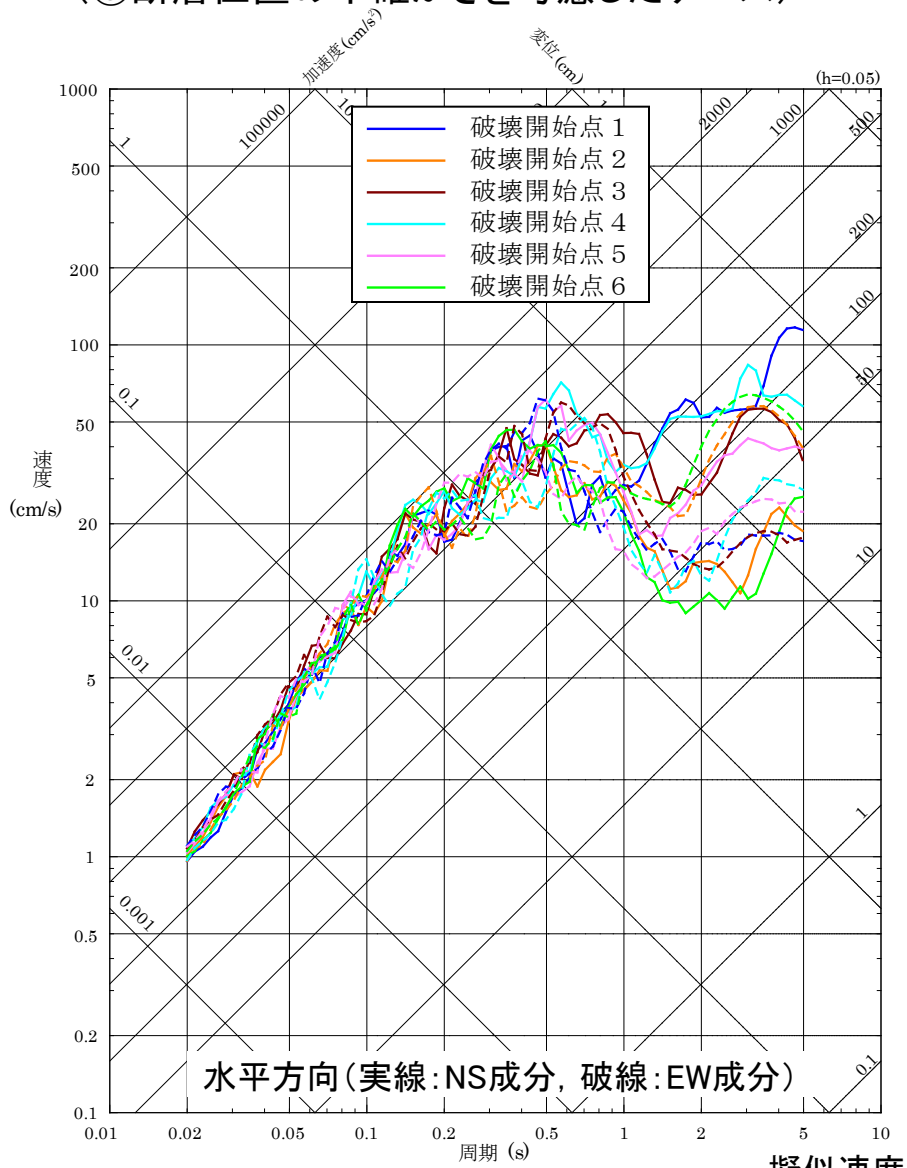


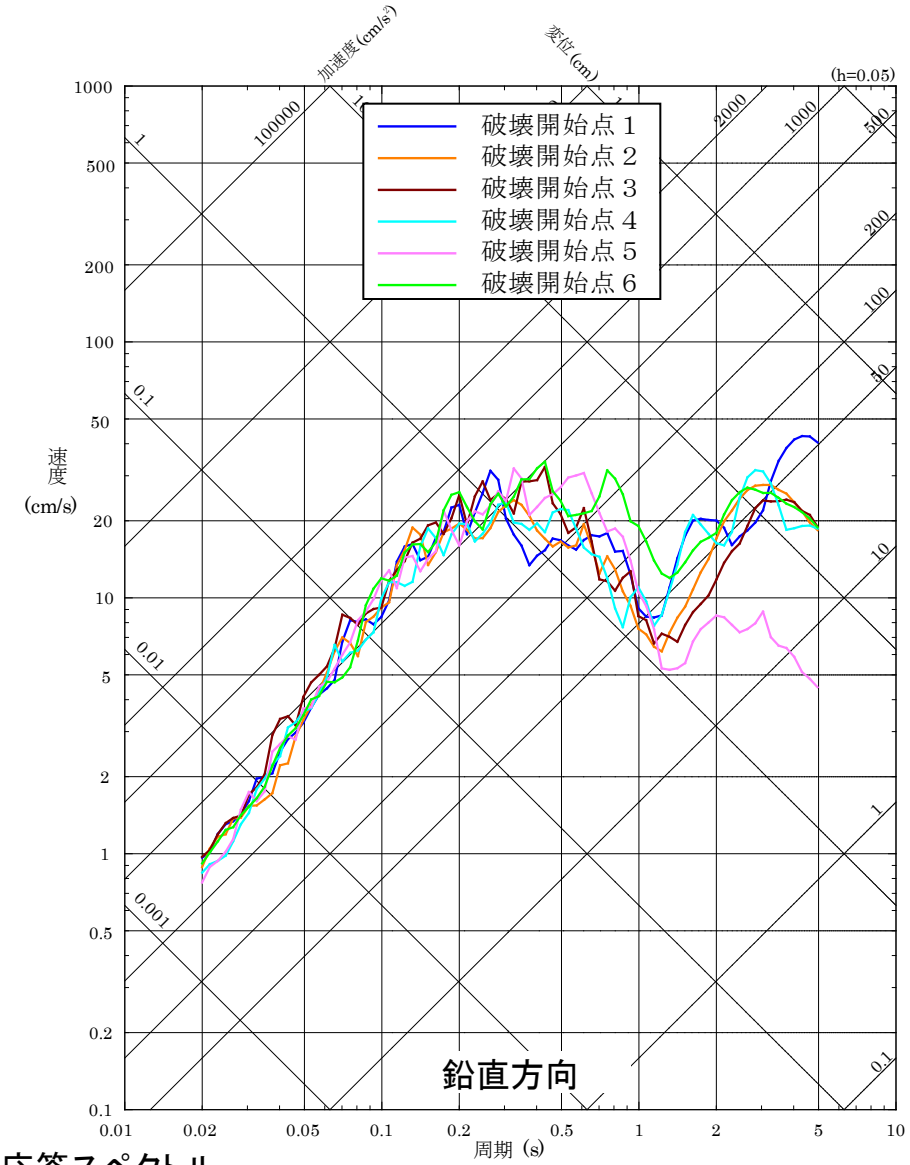
フーリエスペクトル比 （中越沖地震の短周期レベルの不確かさを考慮したケース／基本震源モデル）

断層モデルによる地震動評価結果 15/16

第530回審査会合資料1 P161 再掲

■ F-Ⅲ断層＋F-Ⅳ断層＋F-Ⅴ断層による地震の断層モデルによる地震動評価結果
（⑨断層位置の不確かさを考慮したケース）



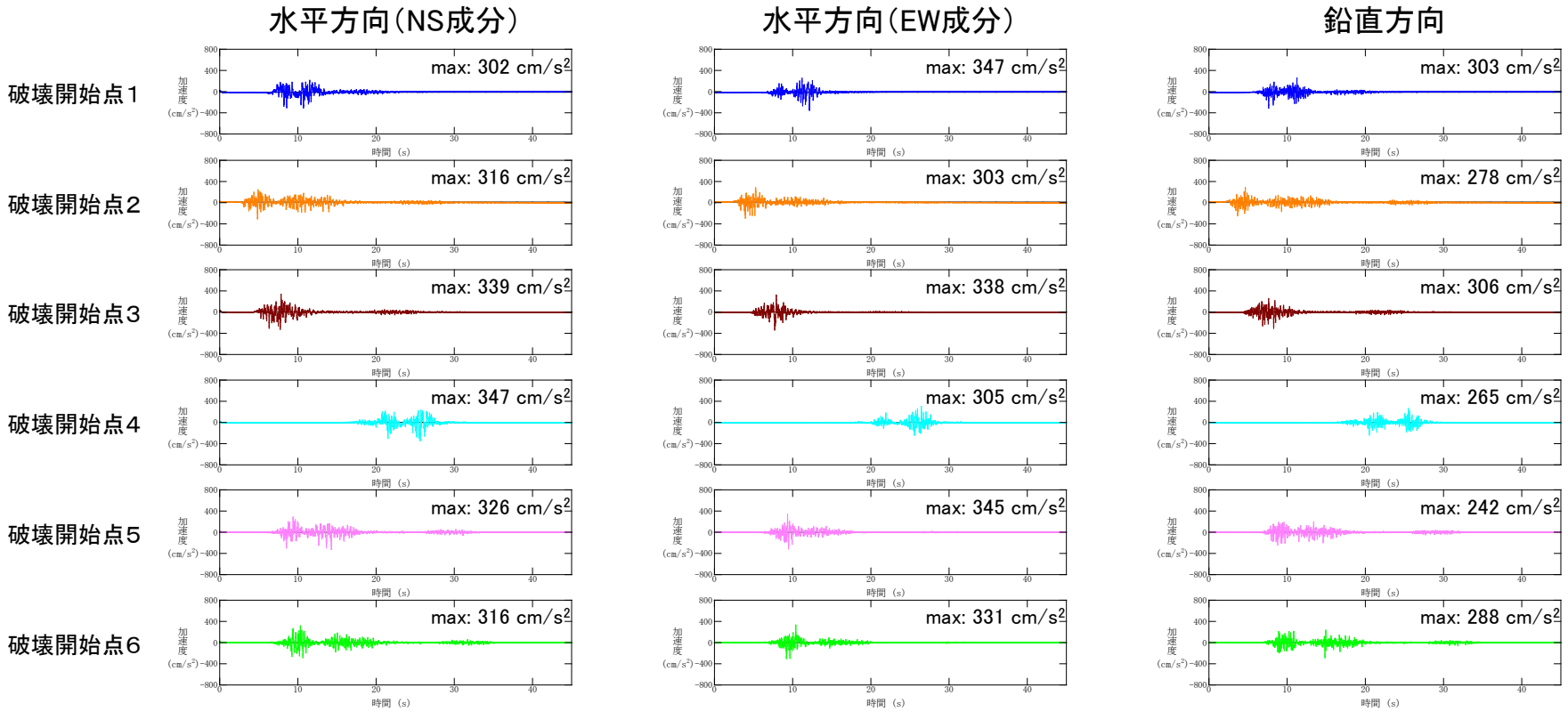


擬似速度応答スペクトル

第530回審査会合資料1 P162 再掲

断層モデルによる地震動評価結果 16/16

■ F-Ⅲ断層＋F-Ⅳ断層＋F-Ⅴ断層による地震の断層モデルによる地震動評価結果
（⑨断層位置の不確かさを考慮したケース）



加速度時刻歴波形

短周期レベルの不確かさを考慮したケースの地震動評価手法（概要）

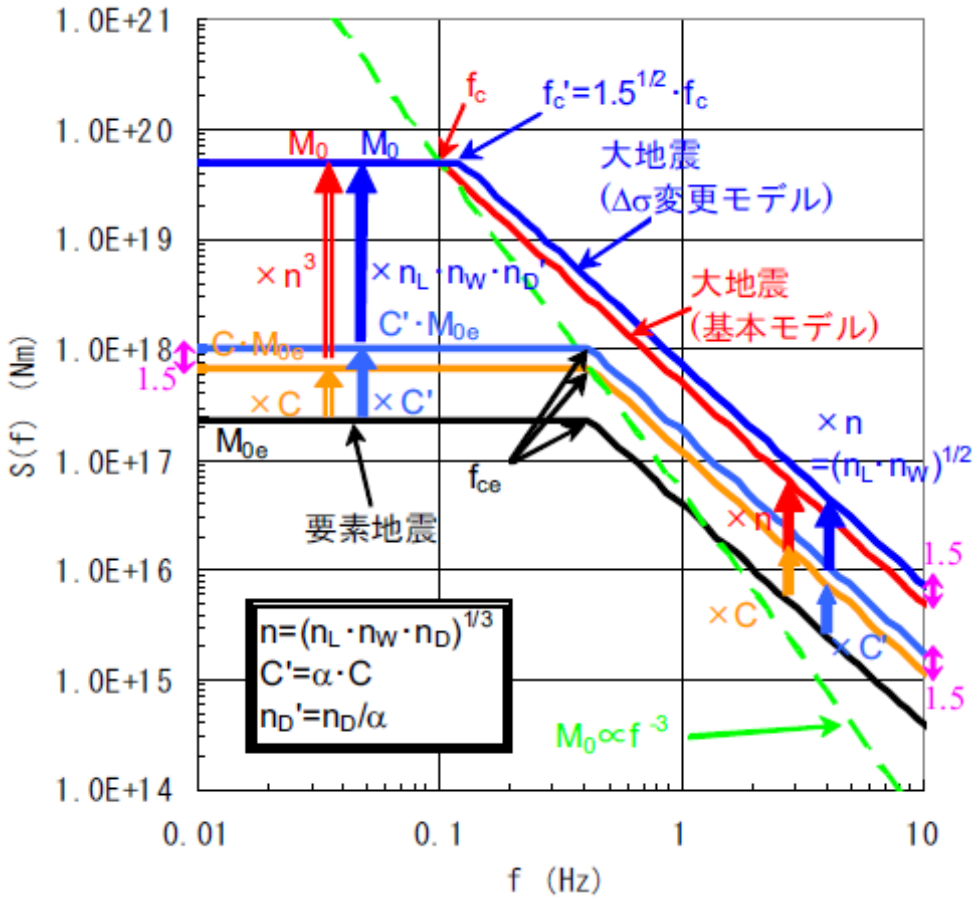
- 島根原子力発電所の断層モデルを用いた手法による地震動評価における「中越沖地震の短周期レベルの不確かさを考慮したケース」は，基本震源モデルに対して短周期レベルが1.5倍（短周期レベルと比例関係にある応力降下量も1.5倍）になる計算手法によって評価している。
- 一方，2009年4月23日に開催された原子力安全委員会 地震動解析技術等作業会合において，断層パラメータの不確かさを考慮する際，評価の仕方によっては，下表のように基本震源モデルに対して応力降下量を大きくした割合と短周期レベルが大きくなる割合が異なる場合（B法）があることが確認されている。
- 島根原子力発電所の断層モデル評価は，上記作業会合で示された2つの手法のうち，短周期レベル，応力降下量ともに1.5倍となる手法（A法）を用いて中越沖地震の短周期レベルの不確かさを考慮したケースの計算を行っている。

手法	手法の概要	評価結果	備考
A法	基本震源モデルと同じ要素地震波を用い，応力降下量補正係数Cと重ね合わせ数nを新たに設定する。経験的グリーン関数法と統計的グリーン関数法のいずれにも適用できる。	応力降下量1.5倍 短周期レベル1.5倍	島根原子力発電所の地震動評価で用いている手法
B法	要素地震の応力降下量Δσeを基本震源モデルから変更し，基本震源モデルと同じCとnを用いる。要素地震波を人工的に作成する統計的グリーン関数にのみ適用できる。	応力降下量1.5倍 短周期レベル$1.5^{2/3}$倍 （約1.3倍）	

※原子力安全委員会　地震動解析技術等作業会合（2009年4月23日）で確認された内容

原子力安全委員会 地震動解析技術等作業会合におけるA法

■ A法の概要は以下の通りであり，新たに設定した応力降下量の補正係数C'とすべりの重ね合わせ数n_D'を波形合成時に考慮することにより，合成後の大地震のM_0は基本震源モデルと変えずに，短周期レベル（図の赤線部分）のみ基本震源モデルの1.5倍となる。

手法	手法の概要
A法	

■応力降下量の補正係数C'を新たに設定
（C'=1.5C）

■合成後の大地震のM_0は1.0倍にしたまま，短周期レベルを1.5倍にするため，すべりの重ね合わせ数n_D'を新たに設定

・低振動数側　$n_L \times n_W \times n_D' = n_L \times n_W \times n_D/1.5$

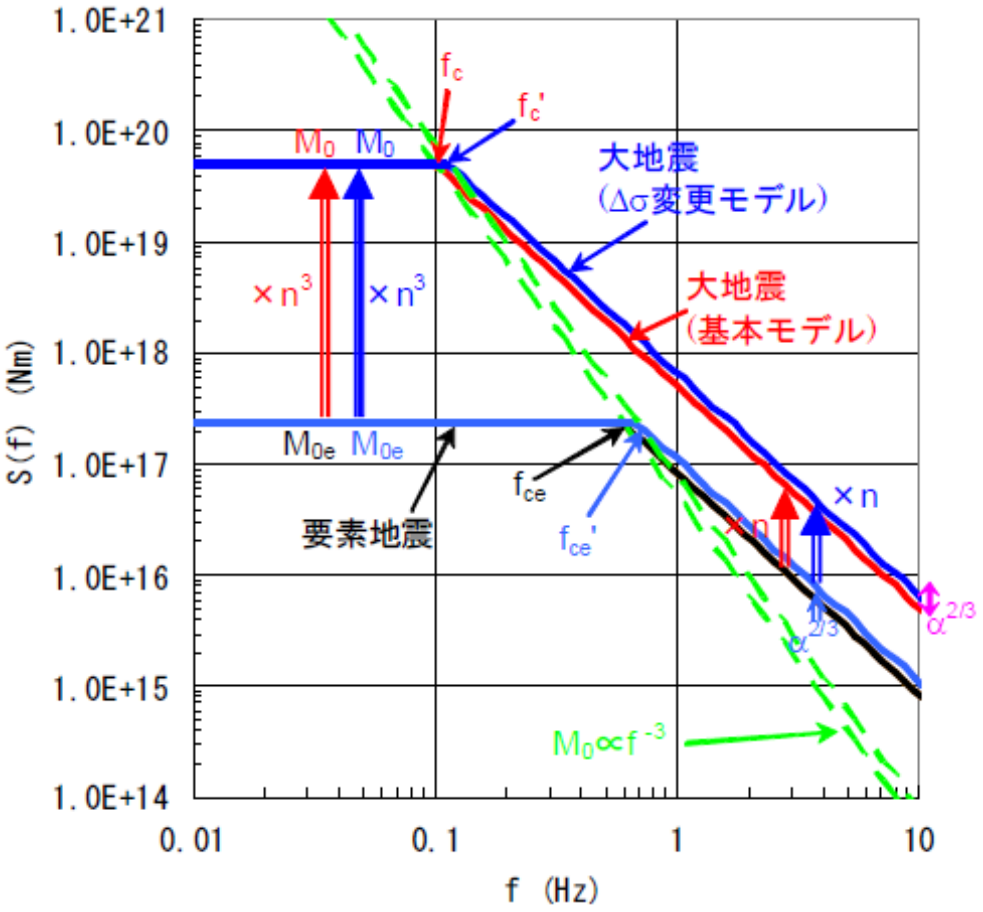
・高振動数側　$(n_L \times n_W)^{1/2}$

※$n_L \times n_W$は不変

C'=1.5C
$n_D'=n_D/1.5$

原子力安全委員会 地震動解析技術等作業会合におけるB法

■ B法の概要は以下の通りであり，要素地震の応力降下量を1.5倍（fcが高振動数側に移動）するが，Brune（1970）及びBrune(1971)によるパラメータ間の関係式により短周期レベルは基本震源モデルの1.3倍（$1.5^{2/3}$倍）程度にしかならないため，この要素地震を用いて波形合成を行っても合成後の短周期レベル（図の赤線部分）も基本震源モデルの1.3倍程度にしかならない。

手法	手法の概要	
B法		■Brune(1970)及びBrune(1971)の式に基づき1.5Δσに対応するf_{ce}'を新たに設定（短周期レベルは$1.5^{2/3}$倍） ■重ね合わせ数 ・低振動数側　$n_L \times n_W \times n_D$ ・高振動数側　$(n_L \times n_W)^{1/2}$ Brune(1970)，Brune(1971) $f_c = 4.9 \times 10^6 \times V_S \times \left(\frac{\Delta\sigma}{M_0}\right)^{\frac{1}{3}}$ $A = (2 \times \pi \times f_c)^2 \times M_0$

統計的グリーン関数法による地震動評価

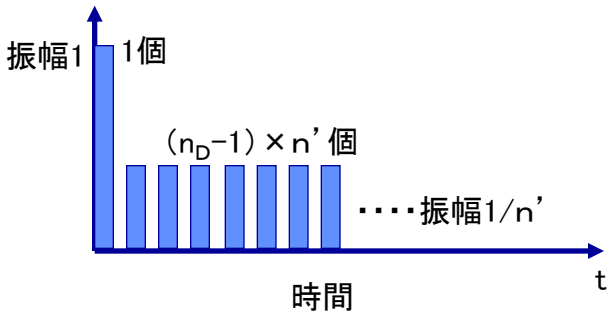
- 島根原子力発電所の基準地震動策定における断層モデル評価においては，B法のように要素地震の応力降下量を1.5倍するのではなく，A法と同じく，波形合成時に短周期レベルが1.5倍（短周期レベルに比例する応力降下量も1.5倍）となるように計算している。
- 具体的には，短周期レベル1.5倍の評価では，時間領域で小地震の波形を重ね合わせた時に低振動数（M_0）は変わらず高振動数（短周期レベル）のみ1.5倍となるようにすべりを重ね合わせて計算している。
- まず，基本となる波形合成の式を以下に示す。この基本式におけるすべりの重ね合わせについては，すべりを均等に重ね合わせるのではなく，下図に示すように振幅1と振幅1/n’のすべりを重ね合わせているのが特徴である。

【入倉法による波形合成の基本式】

$$U(t)=\overbrace{\sum_{i=1}^{n_L}\sum_{j=1}^{n_W}\frac{X_e}{X_{ij}}u_e(t-t_{ij})}^{\text{第1項}}+\overbrace{\sum_{i=1}^{n_L}\sum_{j=1}^{n_W}\sum_{k=1}^{(n_D-1)\cdot n'}\frac{X_e}{X_{ij}}\cdot\frac{1}{n'}u_e\left\{t-t_{ij}-\frac{(k-1)\tau}{n_D\cdot n'}\right\}}^{\text{第2項}}$$

$$t_{ij}=\frac{\eta_{ij}}{V_r}+\frac{X_{ij}}{V_s}$$

Xe：要素地震の震源距離
X_{ij}：要素(i,j)の震源距離
τ：立ち上がり時間
η_{ij}：破壊開始点から要素(i,j)までの距離
Vr：破壊伝播速度
Vs：S波速度

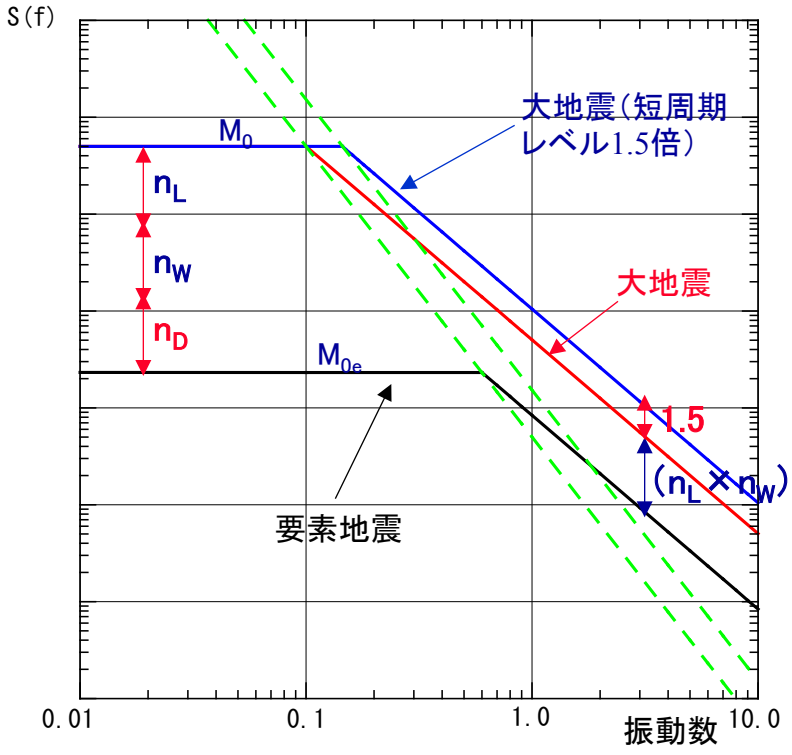


すべりの足し合わせ
1+(nD−1)×n’×1/n’=nD

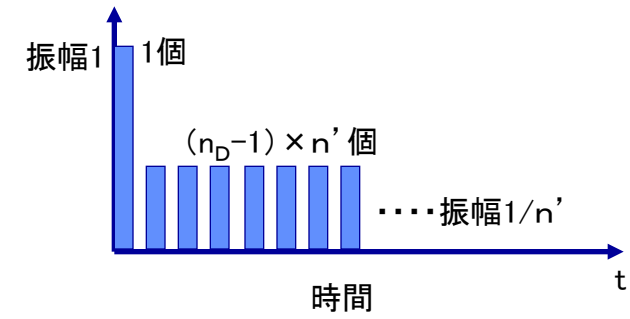
実際の計算は入倉ほか(1997)による指数関数形を採用

短周期の地震動レベルを1.5倍にする手法(1/5)

■ 人工的に作成する要素地震の応力降下量は大地震と等しくしているため，応力降下量補正係数Cは1.0のまま，すべりの重ね合わせに関する形状を変えることにより，応力降下量及び短周期レベル1.5倍を実現している。

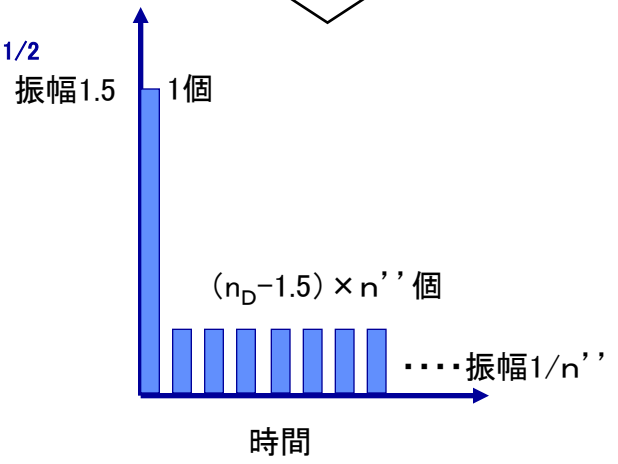


イメージ図



すべりの足し合わせ
$1+(n_D-1)\times n' \times 1/n' = n_D$

変更

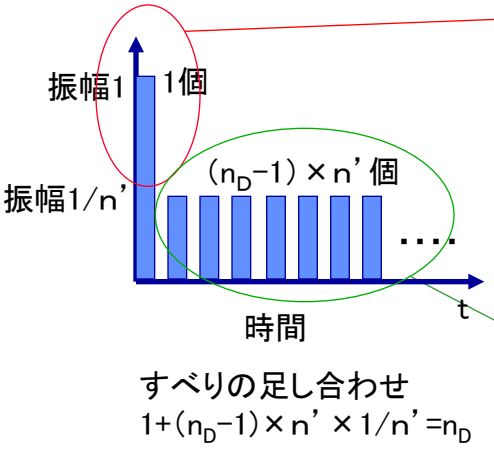


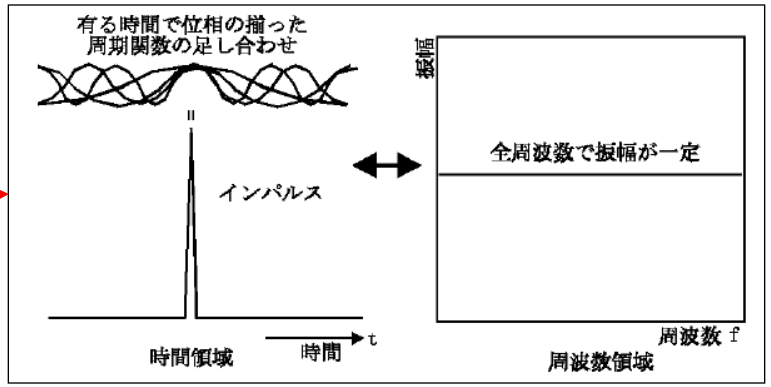
すべりの足し合わせ
$1.5+(n_D-1.5)\times n'' \times 1/n'' = n_D$

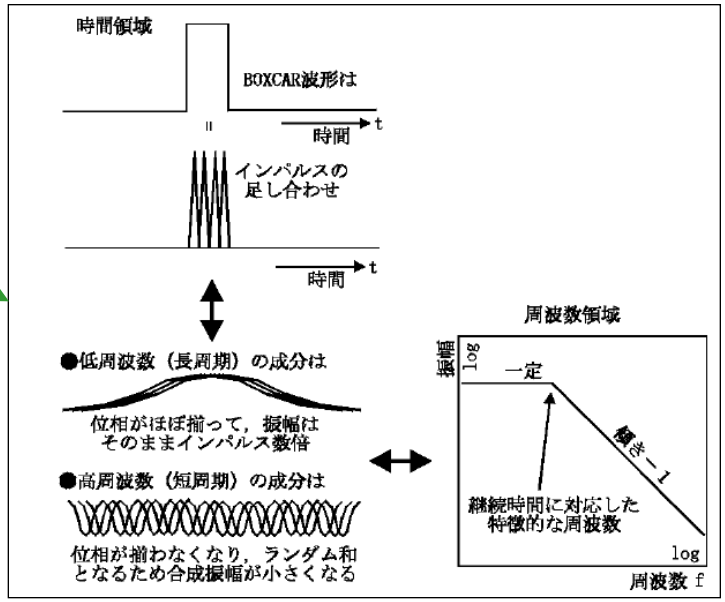
実際の計算は入倉ほか(1997)による指数関数形を採用

短周期の地震動レベルを1.5倍にする手法(2/5)

■ 通常の波形合成では，n_D個のすべりの足し合わせにおいて，振幅1の一つのインパルス波形と振幅1/n'の(n_D−1)×n'個のインパルス波形が足し合わされたBoxcar波形の組み合わせを考慮している。

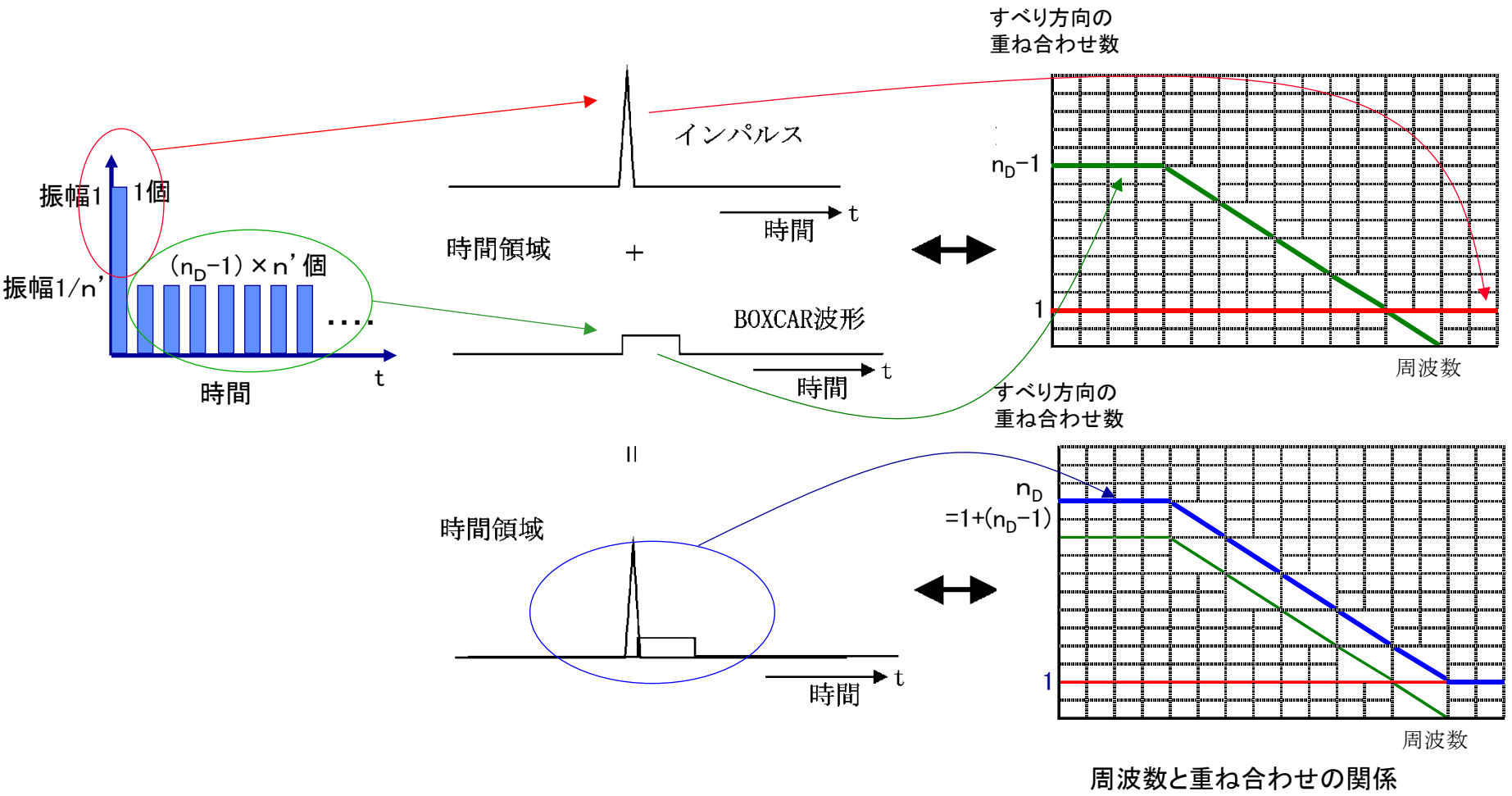






短周期の地震動レベルを1.5倍にする手法(3/5)

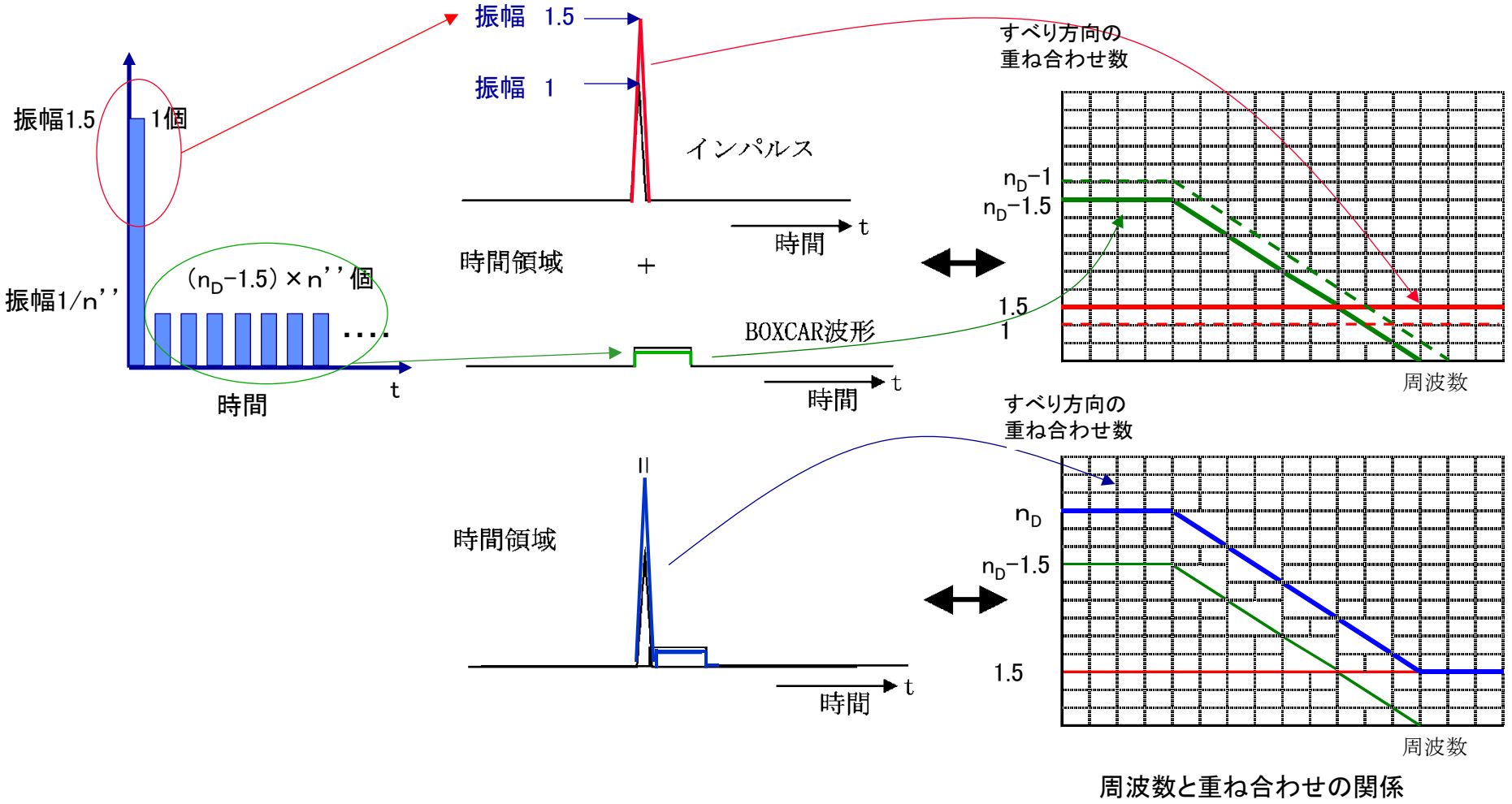
■ 通常の波形合成において，すべり(n_D)に関するインパルス波形とBoxcar波形の足し合わせは，周波数領域で表すと以下に示すように，低振動数側において$1+(n_D-1)=n_D$倍になり，高振動数側においては1倍となる。



周波数と重ね合わせの関係

短周期の地震動レベルを1.5倍にする手法(4/5)

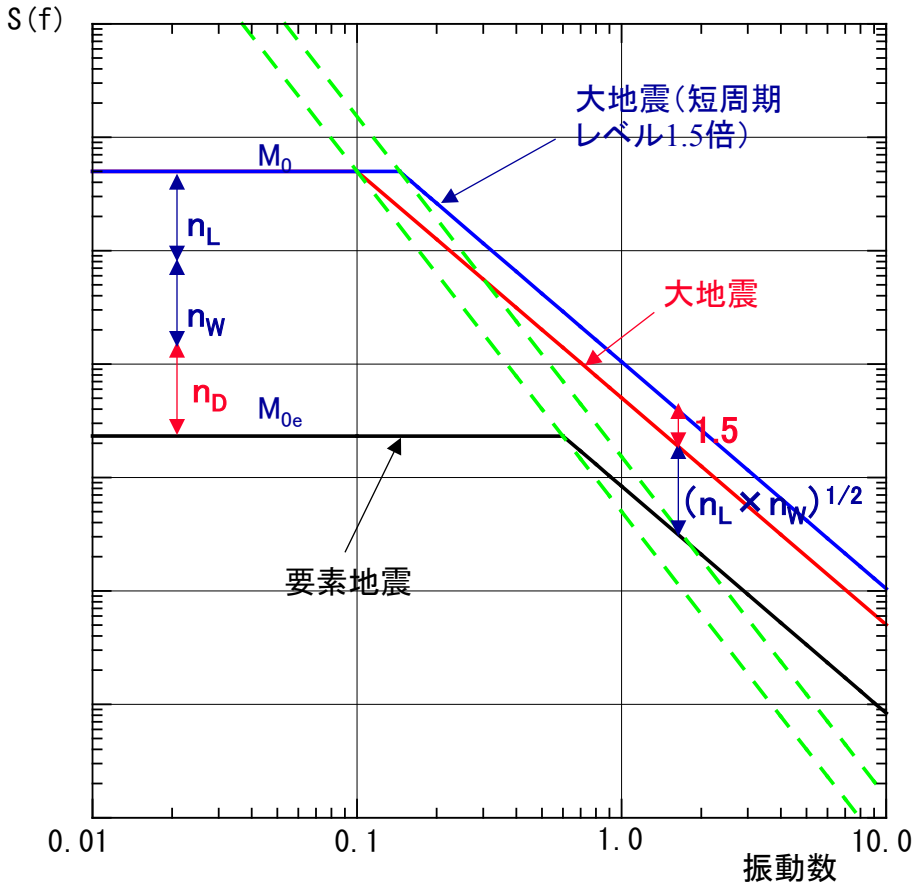
■ すべりの重ね合わせ(n_D)について，高振動数側のみ1.5倍とするためにインパルス波形の振幅を1.5倍とし，Boxcar関数については重ね合わせ後の振幅がn_Dとなるように振幅を調整すると，以下に示すように低振動数側においては$1.5+(n_D-1.5)=n_D$倍になり，高振動数側においては1.5倍となる。



周波数と重ね合わせの関係

短周期の地震動レベルを1.5倍にする手法(5/5)

■ 低振動数側のすべりの重ね合わせはn_Dのままで，高振動数側のすべりの重ね合わせの最初のパルスを1.5とすることで，高振動数側のみ大地震の短周期レベル1.5倍及び応力降下量1.5倍が実現される。(A法)



イメージ図