資料3－2

高浜発電所・大飯発電所
地震動評価について
（コメント回答）

平成26年5月16日

関西電力株式会社

	コメント内容	ページ
1	不確かさの設定の根拠や重畳の考え方等について整理すること。	p.2～11
2	大飯について、アスペリティ位置の妥当性を確認するため、速度波形により、どこから波がきて、どう重なっているのかを確認したい。また、アイソクロンの疎密により、破壊伝播特性を確認したい。	p.12～40
3	大飯について、評価している距離減衰式の1つである片岡式について、地盤補正を行った場合、どの程度のレベルになるか示すこと。	p.41～43
4	大飯について、鳥取県西部地震を考慮しなくてよい説明をするか、それが難しければ考慮することも検討して欲しい。	p.44～47

(参考)第111回審査会合 資料1-2(大飯発電所 地震動評価について)より再掲 p. 48～121

(参考)第111回審査会合 資料1-3(高浜発電所 地震動評価について)より再掲 p. 122～184

	コメント内容
1	不確かさの設定の根拠や重畳の考え方等について整理すること。

コメント回答①：不確かさの考え方

■地震動評価を行う際の基本ケースの設定

FO-A～FO-B断層と熊川断層の3連動を考慮し、また、断層上端深さについては3kmとし、保守的に設定している。

■不確かさを考慮する断層パラメータ

①短周期の地震動レベル
②断層傾斜角
③すべり角
④破壊伝播速度

認識論的な不確かさに分類されるもので、
事前の詳細な調査や経験式などに基づき設定できるもの

⑤アスペリティの配置
⑥破壊開始点

偶然的な不確かさに分類されるもので、
事前の詳細な調査や経験式からは特定が困難なもの

■不確かさの重畳の考え方

・「事前の詳細な調査や経験式などに基づき設定できるもの」については、それぞれ独立させて不確かさを考慮する。

・「事前の詳細な調査や経験式からは特定が困難なもの」については、事前に把握することが困難であるため、「事前の詳細な調査や経験式などに基づき設定できるもの」と重畳させて考慮する。

コメント回答①：不確かさの考え方

■設定した基本ケースに対して、以下の断層パラメータの不確かさを考慮する。

断層パラメータ	基本ケースの設定	不確かさを考慮したケースの設定
短周期の地震動レベル	レシピ平均	新潟県中越沖地震の知見を踏まえて、レシピ平均×1.5倍
断層傾斜角	調査結果に基づき90°	横ずれ断層であるが、縦ずれ成分もあることを考慮し、また、周辺の断層も参照して、75° ⇒p.6～10
すべり角	調査結果に基づき0°	横ずれ断層であるが、縦ずれ成分もあることを考慮し、また、周辺の断層も参照して、30° ⇒p.11
破壊伝播速度	レシピに基づき Vr=0.72β（Geller,1976） （βは地震発生層のS波速度）	宮腰・他（2003）の知見を参考にしてアスペリティ領域の平均的な破壊伝播速度に標準偏差1σを考慮したVr=0.87βとしたケース
アスペリティ配置	①FO－A～FO-B断層および熊川断層それぞれについて敷地近傍に配置	②FO－A～FO-B断層～熊川断層を1セグメントと考えて、敷地近傍に正方形に一塊にして配置 ③ FO－A～FO-B断層～熊川断層を1セグメントと考えて、敷地近傍に長方形に一塊にして配置
破壊開始点	断層面およびアスペリティの下端に複数設定（5～9箇所）	

コメント回答①：不確かさの考え方

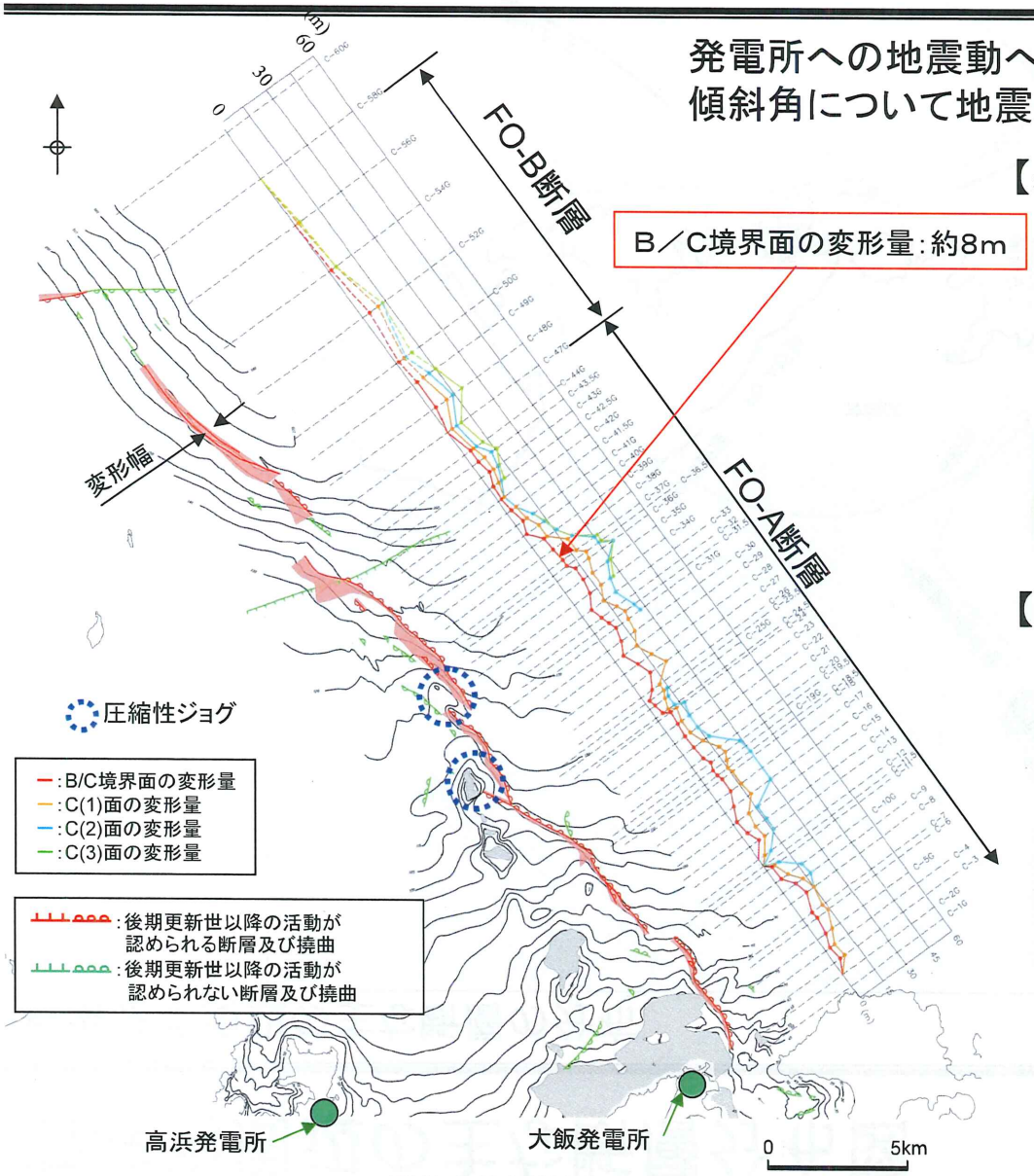
FO-A～FO-B断層と熊川断層との3連動を考慮した場合の地震動評価ケース

	短周期の地震動レベル	断層傾斜角	すべり角	破壊伝播速度Vr	アスペリティ配置	破壊開始点
基本ケース	レシピ平均	90°	0°	Vr=0.72β	①	9箇所
短周期の地震動レベルの不確かさを考慮	レシピ平均×1.5倍	90°	0°	Vr=0.72β	①	9箇所
断層傾斜角の不確かさを考慮	レシピ平均	75°	0°	Vr=0.72β	①	9箇所
すべり角の不確かさを考慮	レシピ平均	90°	30°	Vr=0.72β	①	9箇所
破壊伝播速度Vrの不確かさを考慮	レシピ平均	90°	0°	Vr=0.87β	①	9箇所
アスペリティ配置の不確かさを考慮	レシピ平均	90°	0°	Vr=0.72β	②	5箇所
	レシピ平均	90°	0°	Vr=0.72β	③	5箇所

：不確かさを独立して考慮するパラメータ

：不確かさを重畳して考慮するパラメータ

FO-A～FO-B～熊川断層の傾斜角の設定



B層基底等深線図

発電所への地震動への影響が大きいFO－A～FO－B断層の傾斜角について地震動評価に考慮する傾斜角を設定する。

【基本ケース】

- B層基底等深線図から、圧縮性ジョグにおいてプレッシャーリッジが認められる。
- 産総研「活断層データベース」において、左横ずれ・傾斜90°とされている。

⇩

地震動評価においては、鉛直の横ずれ断層(90°)を基本とする

【不確かさケース】

- 断層西側に隆起が認められ、上下成分を有する横ずれ断層である。

⇩

変位の上下成分が認められることから、周辺の逆断層の情報※も参照し、傾斜角の不確かさとして逆断層までには至らない75°を考慮する。

※白木－丹生断層
長さ15km、傾斜角60°、後期更新世以降の鉛直変位量は約20m

⇒p.9～10

若狭湾周辺の主な断層分布図

■若狭湾周辺の主な断層の分布

（注）敷地から半径約30kmの範囲の主な断層について図示している。

若狭湾周辺の主な断層一覧表

■原子力安全・保安院「耐震設計審査指針の改訂に伴う関西電力株式会社　大飯発電所3，4号機　耐震安全性に係る評価について」（平成22年11月29日）より抜粋

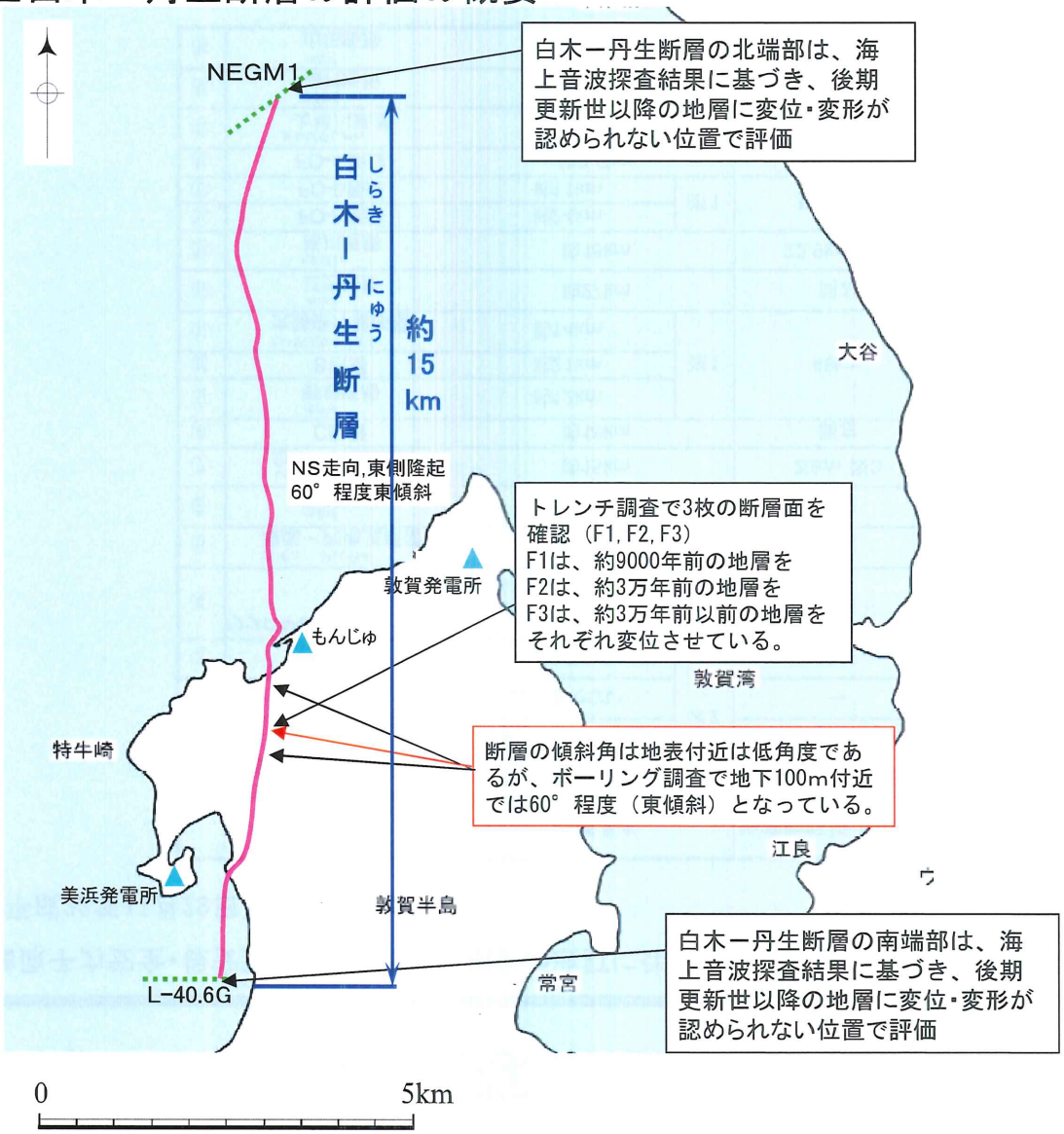
断　層		断層長さ			地震動評価上の長さ	その他（断層の性状）		
						断層のタイプ	走向	隆起方向
①	和布（めら）－干（かれい）飯崎沖断層	約42km	※1	※2	60km	逆	N-S～NE-SW	東
②	甲楽城（かぶらぎ）断層	約19km				左横ずれ	NW-SE	東
	山中（やまなか）断層	活断層でない			－	－	－	－
③	柳ヶ瀬（やながせ）断層	約31km			同左	左横ずれ	N-S～NNW-SSE	東
④	ウツロギ峠北方－池河内（いけのこうち）断層	約23km			同左	左横ずれ	N-S～NW-SE	西
⑤	浦底（うらそこ）－内池見（うちいけみ）断層	約18km			同左	左横ずれ	NW-SE	東
⑥	敦賀（つるが）断層	約23km			同左	右横ずれ	NE-SW	東
⑦	白木（しらき）－丹生（にゅう）断層	約15km			20km ※3	逆	N-S	東
⑧	C断層	約18km			同左	逆	N-S	東
⑨	野坂（のさか）断層	約12km		※1	49km	左横ずれ	NW-SE	南，一部北
⑩	B断層	約21km				左横ずれ	NW-SE	北東
⑪	大陸棚外縁（たいりくだながいえん）断層	約14km				右横ずれ	NE-SW	南東
⑫	三方（みかた）断層	約27km			同左	逆	N-S	東
⑬	熊川（くまがわ）断層	約18km			22.9km ※4	左横ずれ	WNW-ESE	南
⑭	FO-A断層	約24km		※1	35km ※5	左横ずれ	NW-SE	南西
⑮	FO-B断層	約11km				左横ずれ	NW-SE	南西
⑯	FO-C断層	約2.5km			20km ※6	右横ずれ	NE-SW	北西
⑰	上林川（かんばやしがわ）断層	26km以上			39.5km ※7	右横ずれ	NE-SW	北
⑱	郷村（ごうむら）断層	約34km			同左	左横ずれ	NW-SE	西
⑲	山田（やまだ）断層	約33km			同左	右横ずれ	NE-SW	北

＊ 断層のタイプ，走向，隆起方向は主たるものを記載

※1：合同Cサブグループにおいて、同時活動を考慮して地震動を評価すべきと指摘。
※2：合同Cサブグループにおいて、基準地震動Ssの妥当性確認の観点から、和布－干飯崎沖断層・甲楽城断層、柳ヶ瀬断層及び鍛冶屋断層～関ヶ原断層（120km）について念のため同時活動を考慮するよう指摘。
※3：断層モデルを用いた評価において、断層面積から算定した地震規模がM6.8以上になるように設定。
※4：小浜湾内において、後期更新世以降の断層活動による変形の可能性が否定できない反射面の落差が更新世以降の地層に認められた地点も熊川断層の一部として設定。
※5：FO－A断層及びFO－B断層は、その特徴が類似しており近接してほぼ同一直線状にあることから、一つの断層として設定。
※6：孤立した短い活断層として評価。
※7：調査により断層の南西端を特定することは難しいことから、断層の延長を確実に否定できる福知山付近まで延伸して設定。

FO-A～FO-B～熊川断層の傾斜角の設定

■白木ー丹生断層の評価の概要

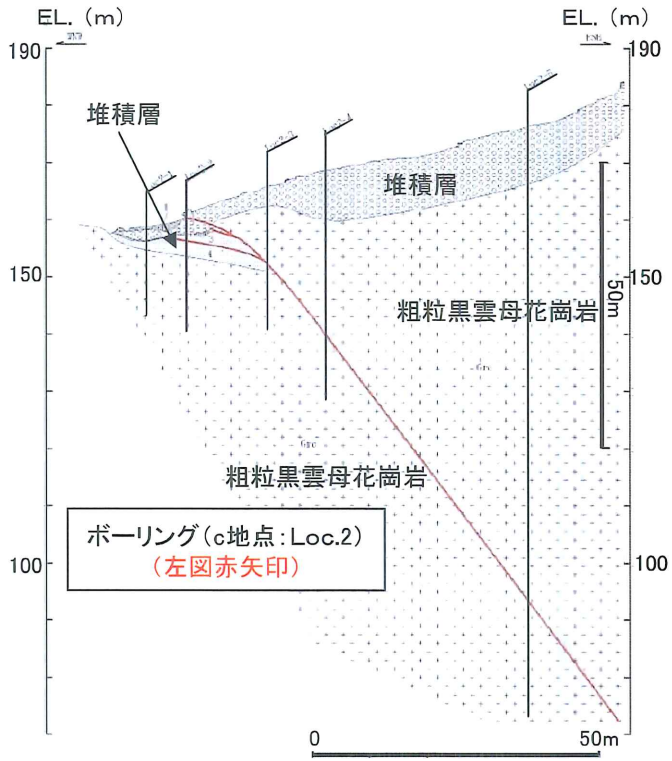


白木ー丹生断層の北端部は、海上音波探査結果に基づき、後期更新世以降の地層に変位・変形が認められない位置で評価

トレンチ調査で3枚の断層面を確認（F1, F2, F3）
F1は、約9000年前の地層を
F2は、約3万年前の地層を
F3は、約3万年前以前の地層を
それぞれ変位させている。

断層の傾斜角は地表付近は低角度であるが、ボーリング調査で地下100m付近では60° 程度（東傾斜）となっている。

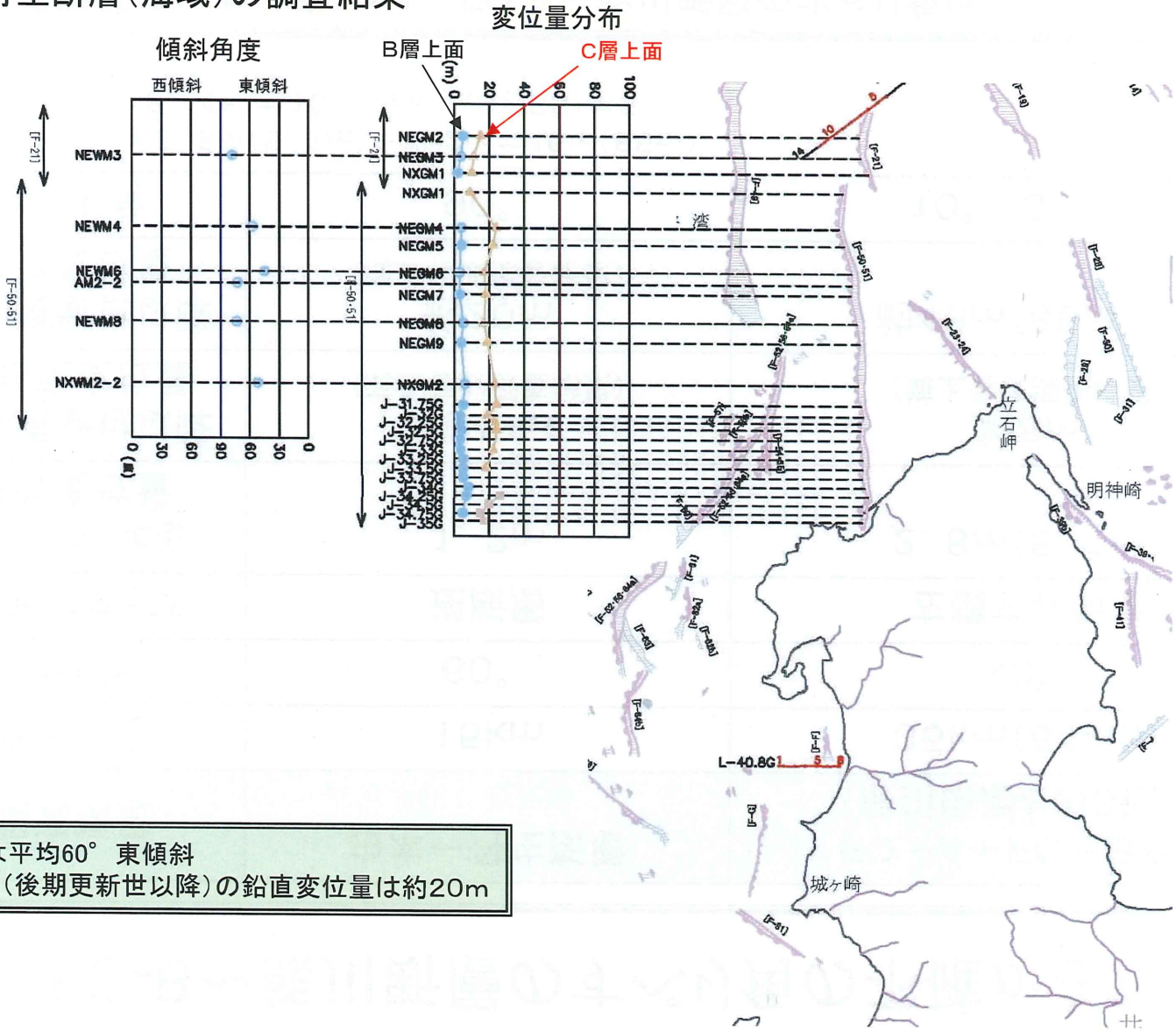
白木ー丹生断層の南端部は、海上音波探査結果に基づき、後期更新世以降の地層に変位・変形が認められない位置で評価



- 白木ー丹生断層は、長さ約15kmの東側隆起の逆断層で、後期更新世以降、繰り返し活動しており、最新活動が約9000年前以降である。
- 断層の傾斜角は地表付近は低角度であるが、地下100m付近では60° 程度（東傾斜）となっている。

FO-A～FO-B～熊川断層の傾斜角の設定

■白木－丹生断層（海域）の調査結果



・傾斜角は平均60°　東傾斜
・C層上面（後期更新世以降）の鉛直変位量は約20m

FO-A～FO-B～熊川断層のすべり角の不確かさの設定

調査項目	白木－丹生断層	FO－A～FO－B断層 （熊川断層との3連動）
断層長さ	15km	35km（64km）
傾斜角	60°	90°
断層のタイプ	逆断層	左横ずれ断層
松田式による 単位変位量	1．2m	2．8m（5．1m）
後期更新世以降 の鉛直変位量	約20m （海上音波探査結果）	約8m （海上音波探査結果）
後期更新世以降 の全変位量	約20m （海上音波探査結果）	約46m（85m）※1
すべり角	90°	10°（5°）※2

※1：20m×2．8m（5．1m）÷1．2m＝46m（85m）
※2：$\sin^{-1}(8/46)=10°$、$\sin^{-1}(8/85)=5°$

地震動評価におけるFO-A～FO-B～熊川断層のすべり角は0°を基本とし、不確かさとして保守的に30°を考慮する。

	コメント内容
2	大飯について、アスペリティ位置の妥当性を確認するため、速度波形により、どこから波がきて、どう重なっているのかを確認したい。また、アイソクロンの疎密により、破壊伝播特性を確認したい。

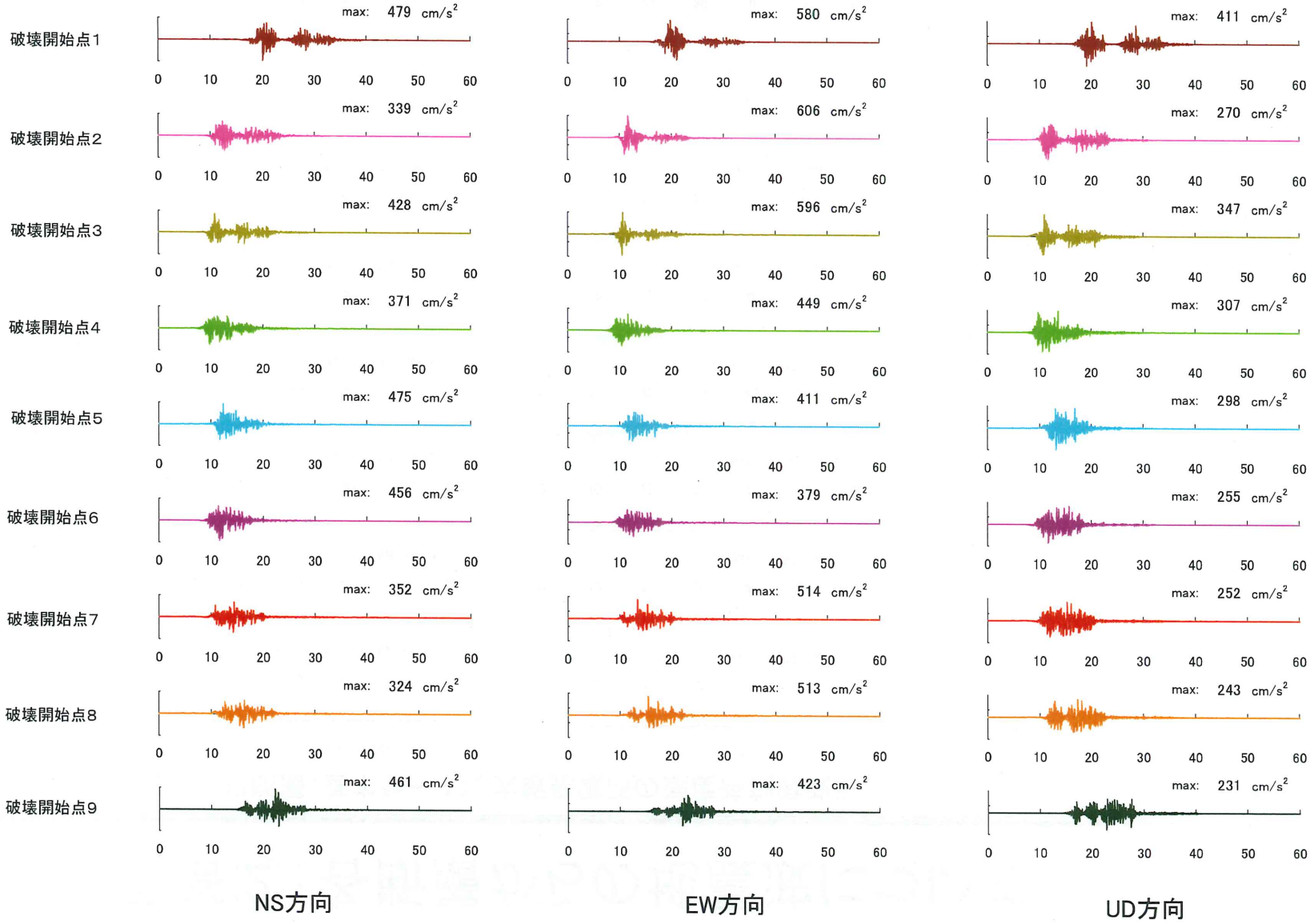
コメント回答②：各断層からの地震波について

■FO-A～FO-B～熊川断層・基本ケースを対象として、各断層から放出される地震波の速度波形を描き、主要なパルスが断層面のどの部分から放出されているか確認する。

コメント回答②：各断層からの地震波について

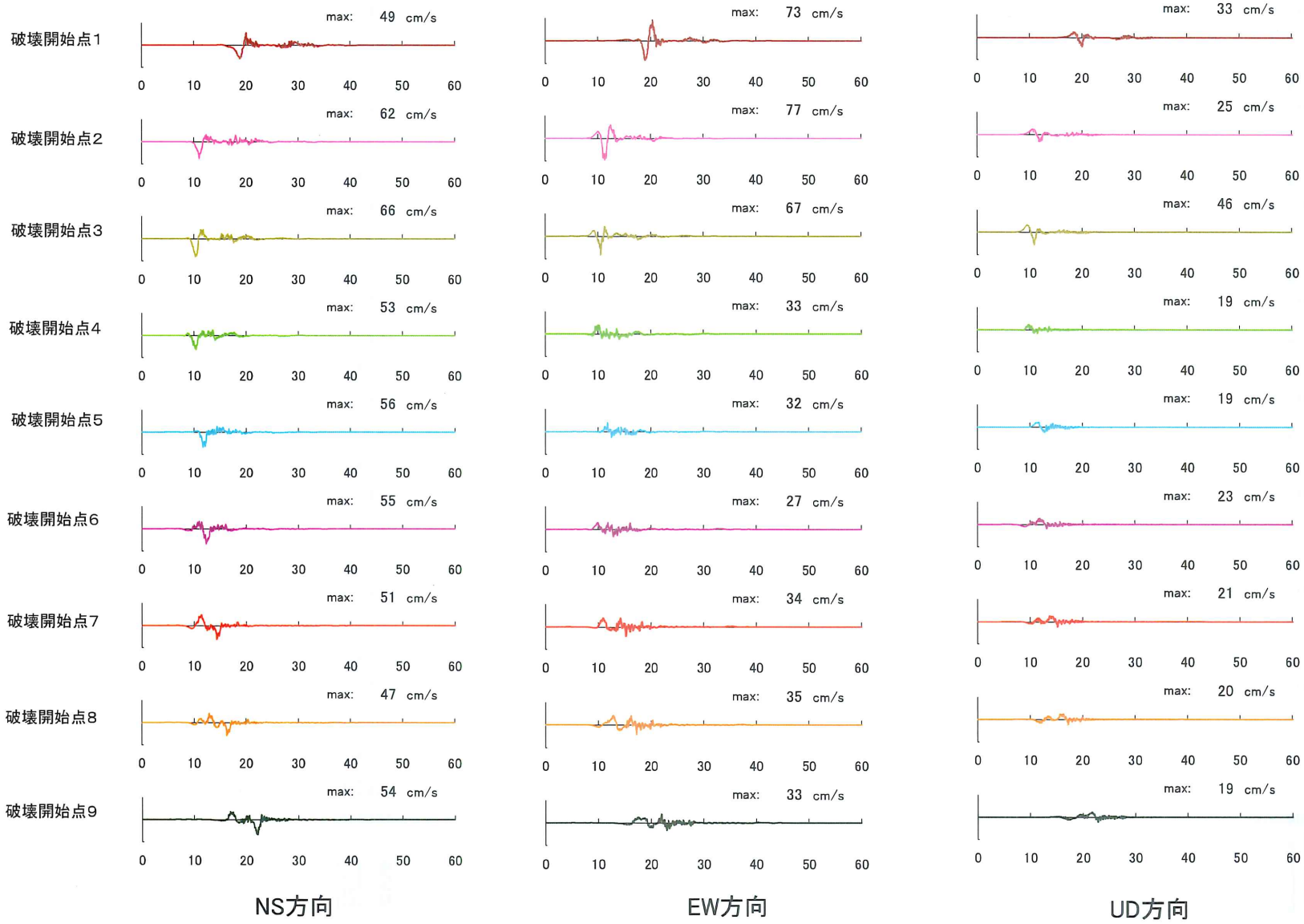
第111回審査会合
資料再掲

■FO-A～FO-B～熊川断層（基本ケース）、大飯発電所の加速度時刻歴波形



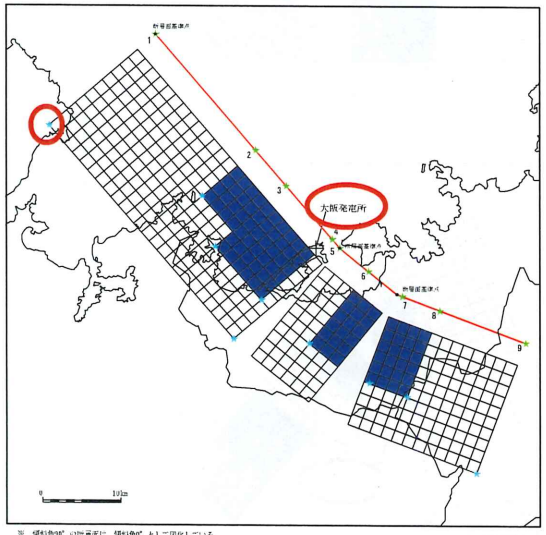
コメント回答②：各断層からの地震波について

■FO-A～FO-B～熊川断層（基本ケース）、大飯発電所の速度時刻歴波形

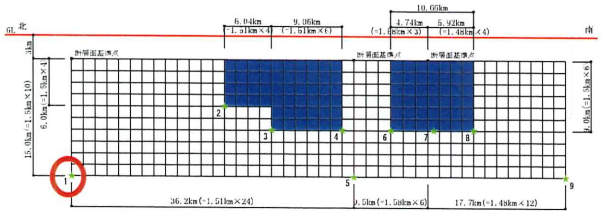


コメント回答②：各断層からの地震波について

■破壊開始点１のケースを例に、速度波形を各断層からの波ごとに分解する。
⇒最大振幅を示すパルスは、FO-A～FO-B断層の寄与が大きいことがわかる。

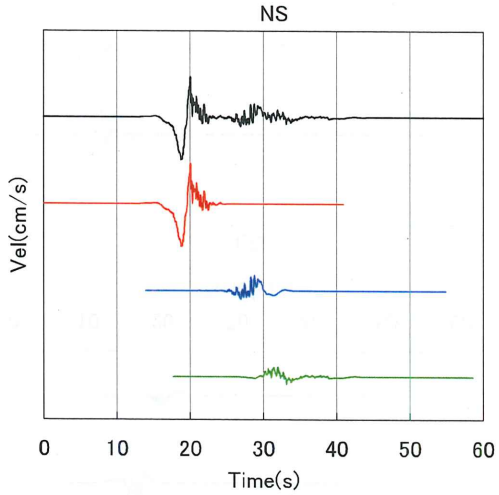


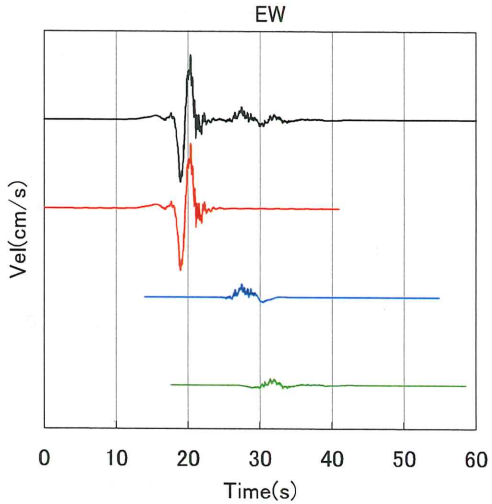
i ）断層配置図

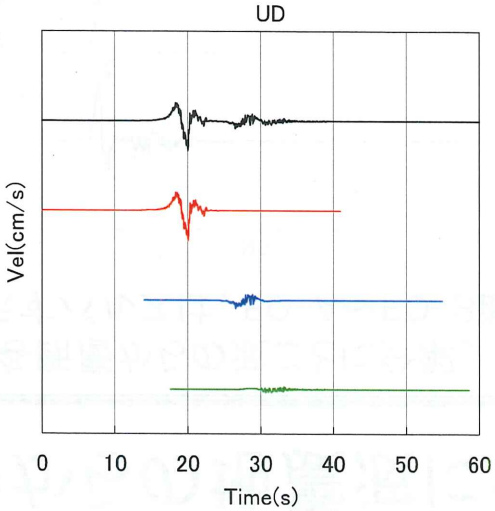


破壊開始点１

ii ）断面図



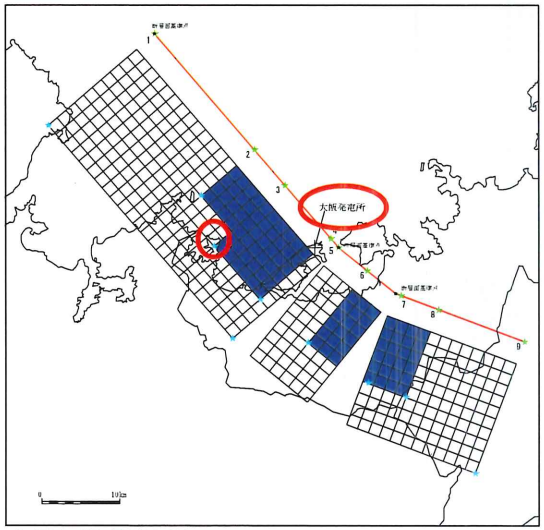




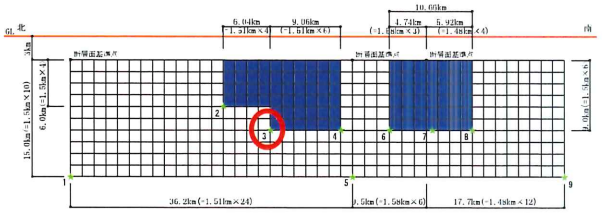
- 全断層
- FO-A～FO-B断層
- 熊川断層（西側）
- 熊川断層（東側）

コメント回答②：各断層からの地震波について

■破壊開始点3のケースの速度波形を各断層からの波ごとに分解。
⇒破壊開始点1と同様に、最大振幅を示すパルスは、FO-A～FO-B断層の寄与が大きい。

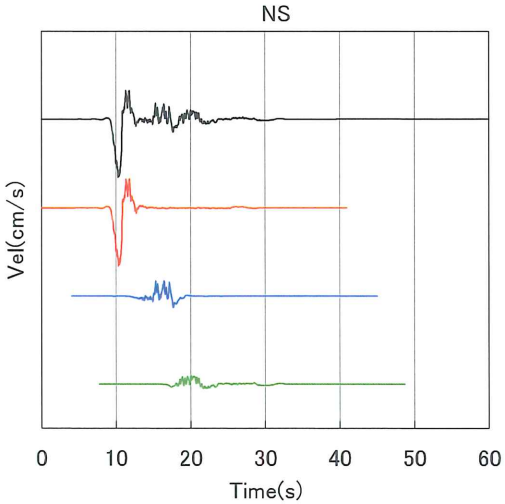


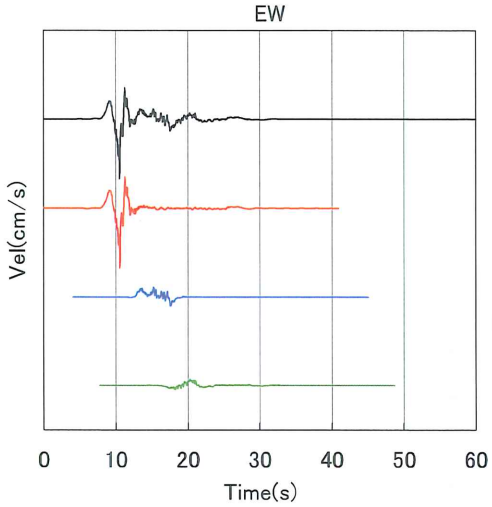
i）断層配置図

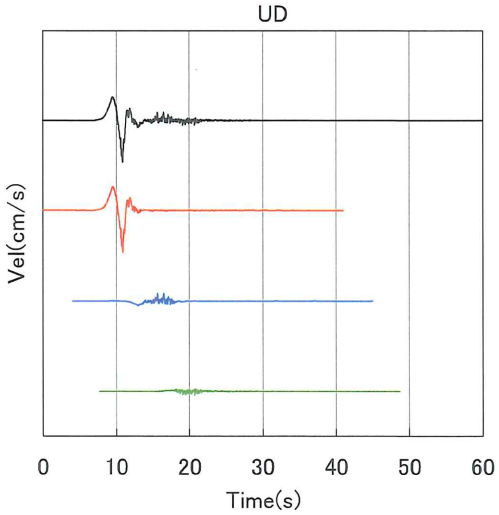


ii）断面図

破壊開始点3



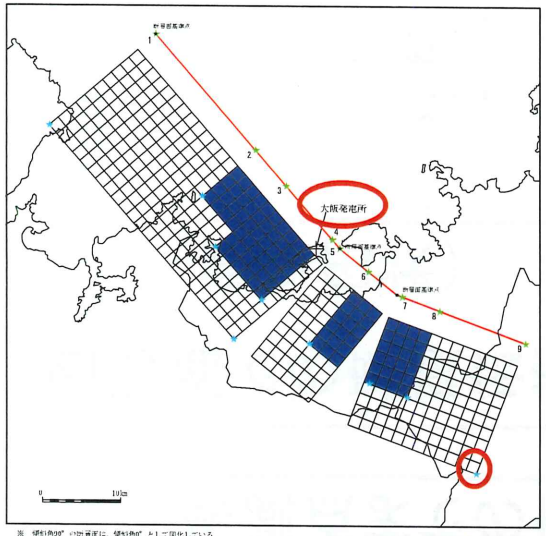




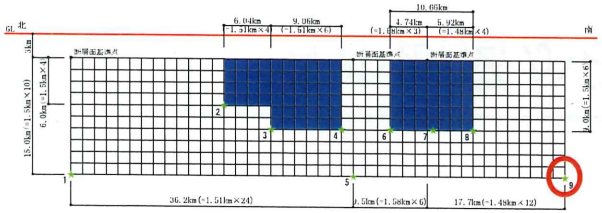
- 全断層
- FO-A～FO-B断層
- 熊川断層（西側）
- 熊川断層（東側）

コメント回答②：各断層からの地震波について

■破壊開始点9のケースの速度波形を各断層からの波ごとに分解
⇒FO-A～FO-B断層の寄与が大きいが、破壊がサイトから遠くなる方向に進展するため、最大振幅は小さい。

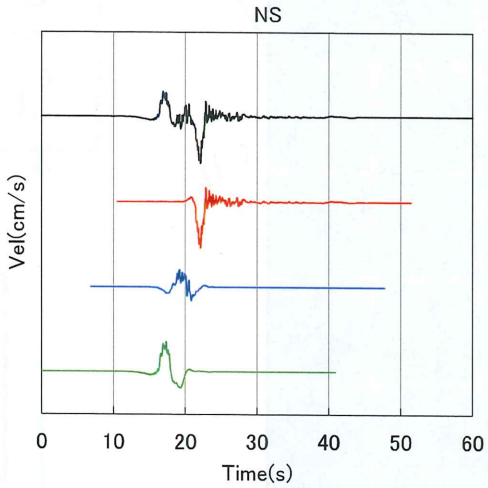


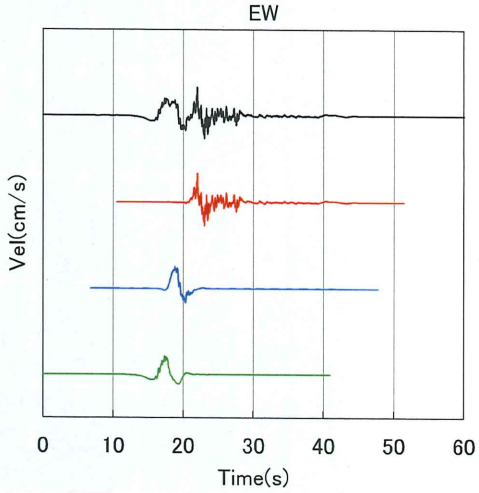
i）断層配置図

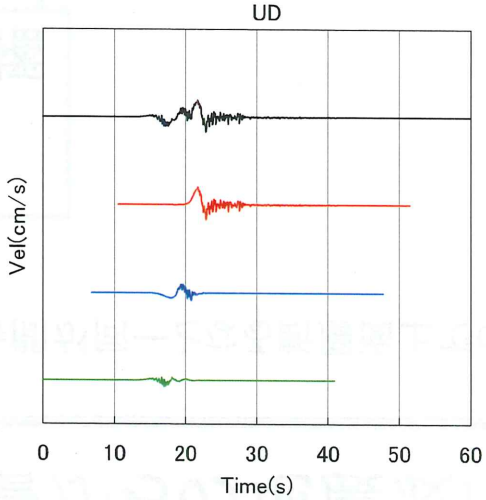


ii）断面図

破壊開始点9







- 全断層
- FO-A～FO-B断層
- 熊川断層（西側）
- 熊川断層（東側）

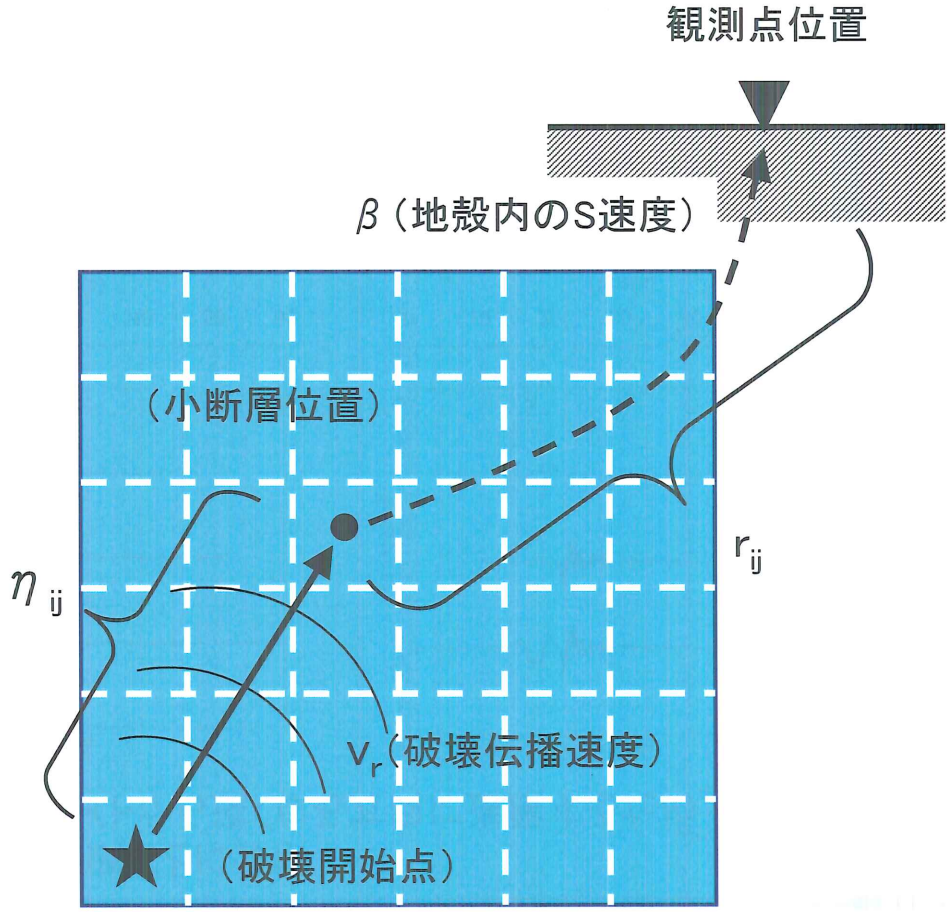
コメント回答②：各断層からの地震波について

■アイソクロンとは
観測点へ同時に地震動が到達する時間が同一となる断層面上での曲線

各小断層から
観測点までの伝播

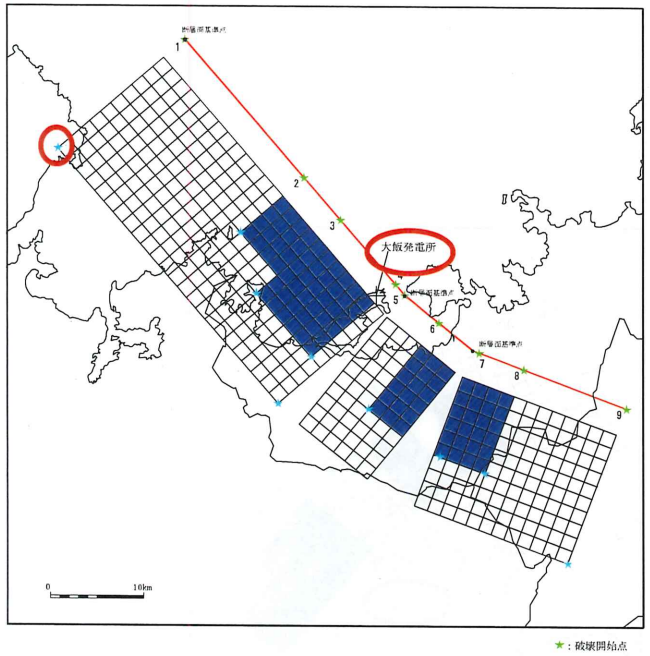
断層面での破壊伝播
（同心円状）

アイソクロン $t_{ij} = \dfrac{\eta_{ij}}{V_r} + \dfrac{r_{ij}}{\beta}$

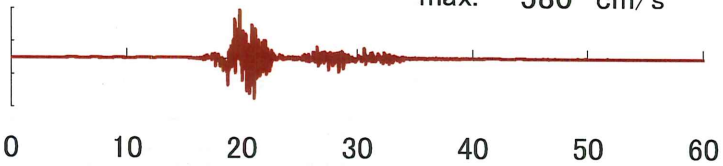


コメント回答②：各断層からの地震波について

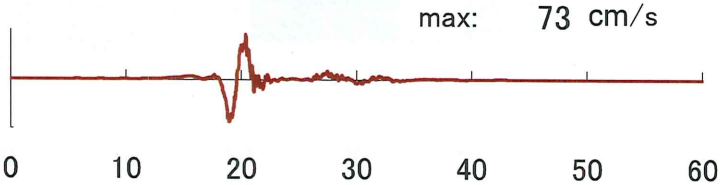
■FO-A～FO-B～熊川断層（基本ケース）、破壊開始点1・大飯発電所のアイソクロン

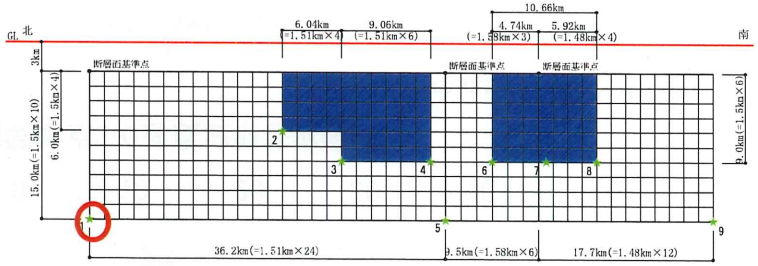


破壊開始点1の加速度波形（EW成分）



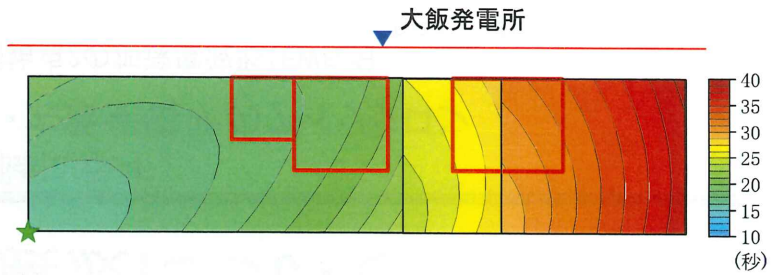
破壊開始点1の速度波形（EW成分）





ii）断面図

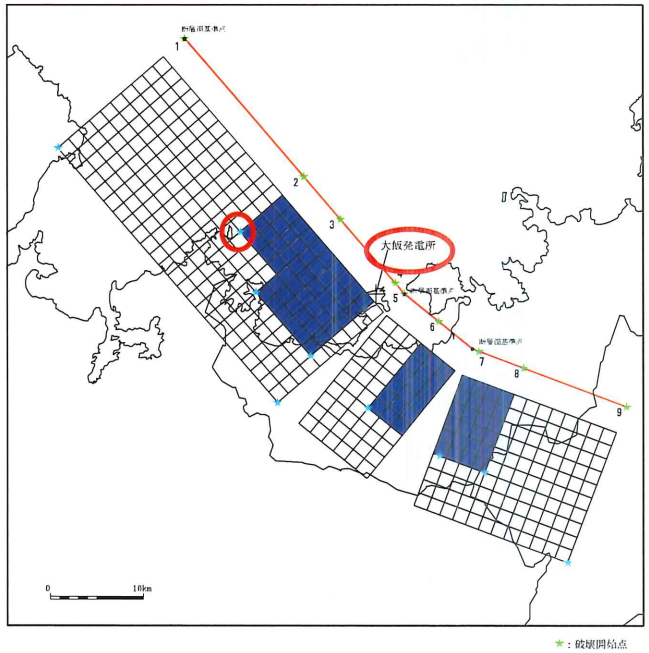
■速度パルスの最大値発生時刻（約20秒付近）は、サイトに近いアスペリティ部分からの波の到達時刻と概ね対応していることが確認できる。



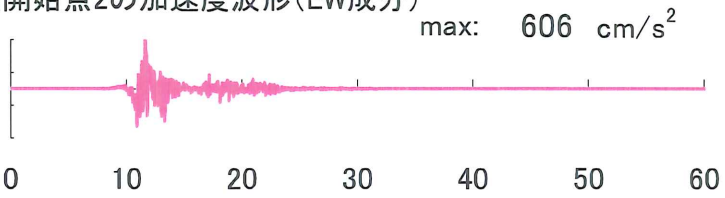
コメント回答②：各断層からの地震波について

■破壊開始点2～9についても、同様にアイソクロンを以降に示す。

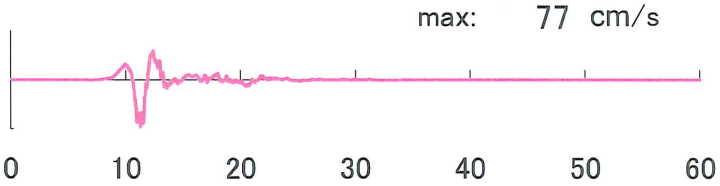
■FO-A～FO-B～熊川断層（基本ケース）、破壊開始点2・大飯発電所のアイソクロン

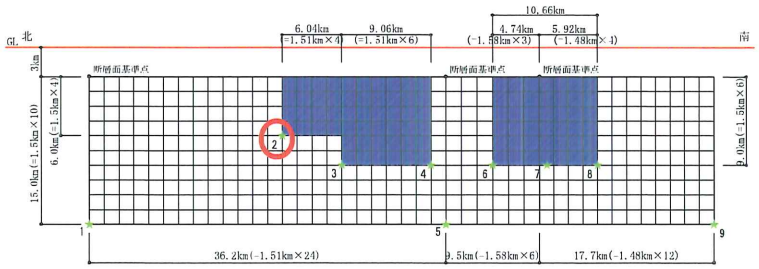


破壊開始点2の加速度波形（EW成分）

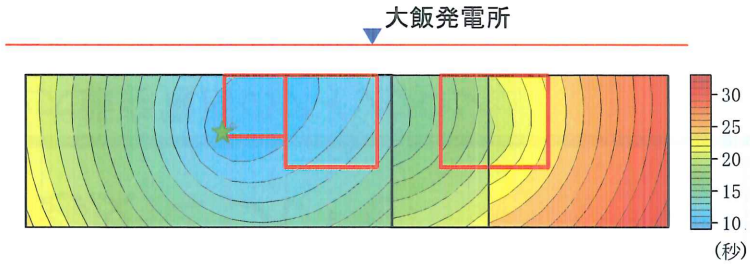


破壊開始点2の速度波形（EW成分）



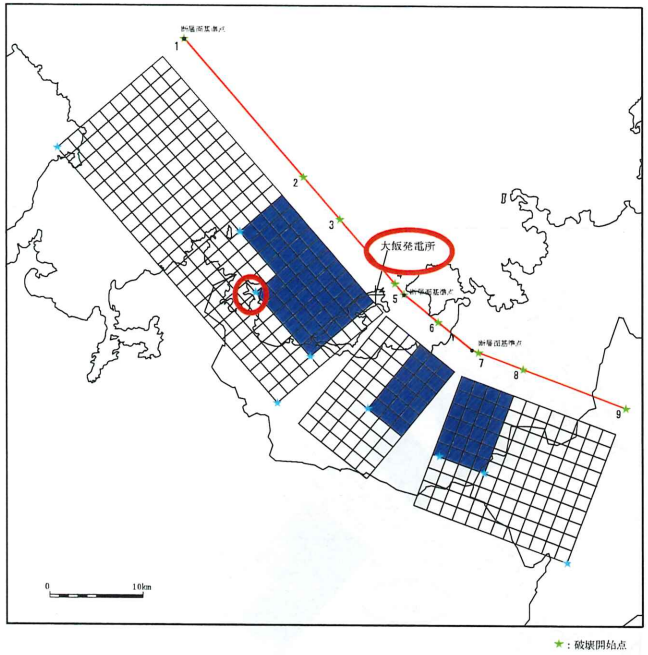


ii）断面図

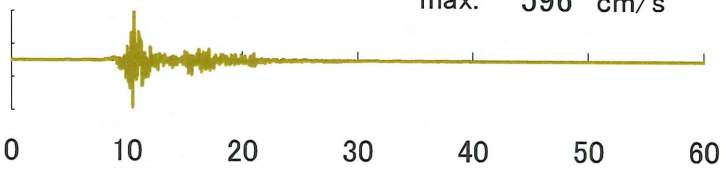


コメント回答②：各断層からの地震波について

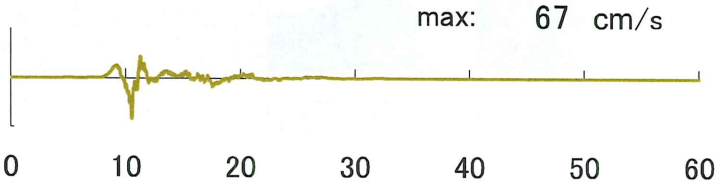
■FO-A～FO-B～熊川断層（基本ケース）、破壊開始点3・大飯発電所のアイソクロン

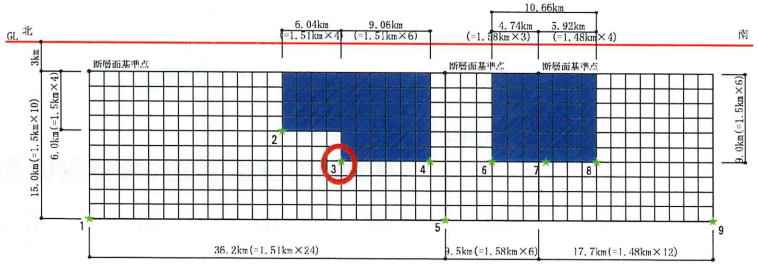


破壊開始点3の加速度波形（EW成分）

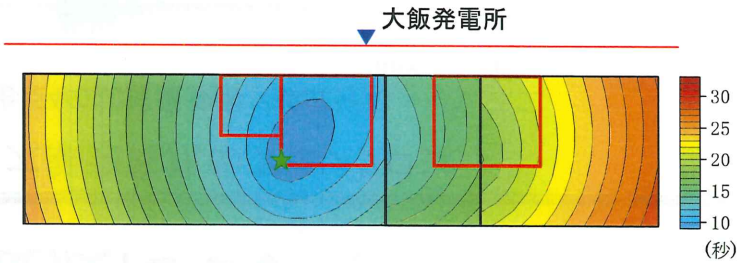


破壊開始点3の速度波形（EW成分）



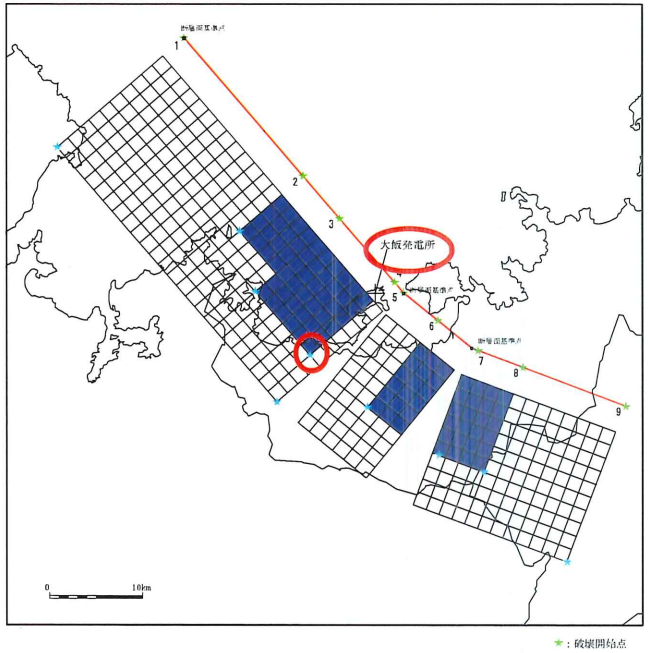


ii）断面図

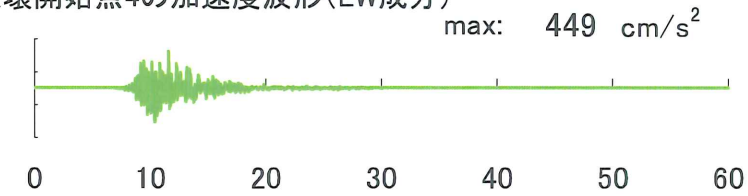


コメント回答②：各断層からの地震波について

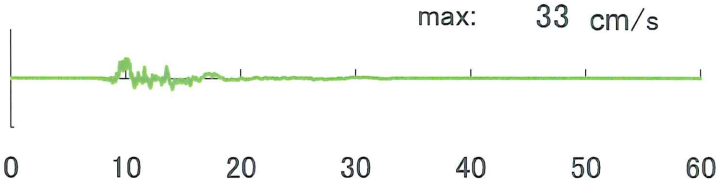
■FO-A～FO-B～熊川断層（基本ケース）、破壊開始点4・大飯発電所のアイソクロン

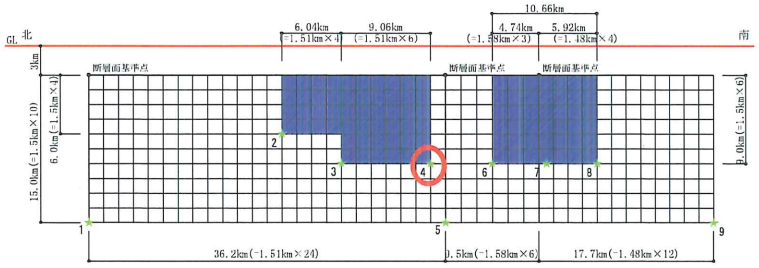


破壊開始点4の加速度波形（EW成分）

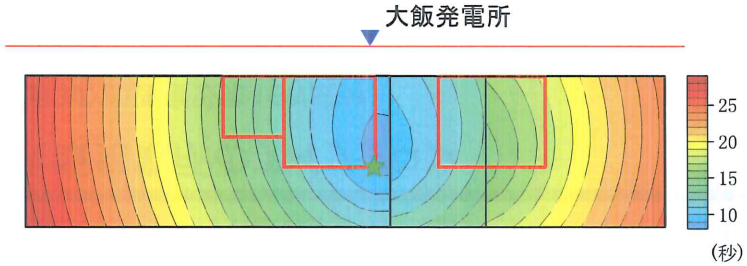


破壊開始点4の速度波形（EW成分）



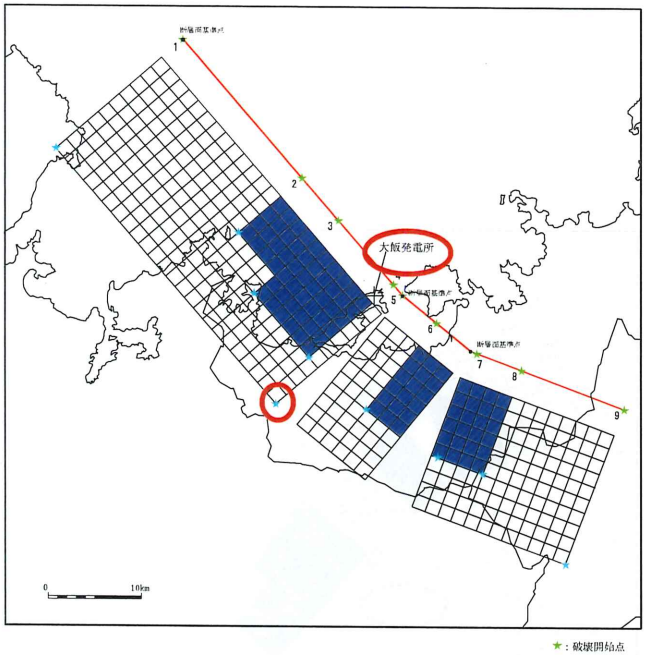


ii）断面図

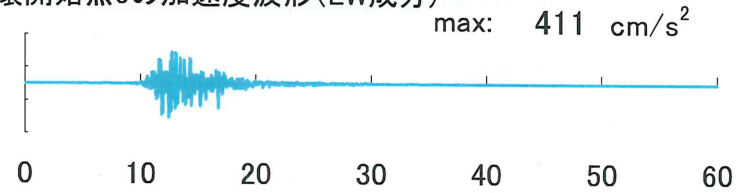


コメント回答②：各断層からの地震波について

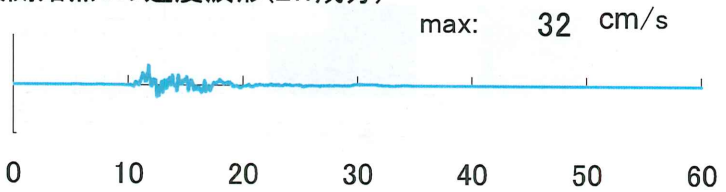
■FO-A～FO-B～熊川断層（基本ケース）、破壊開始点5・大飯発電所のアイソクロン

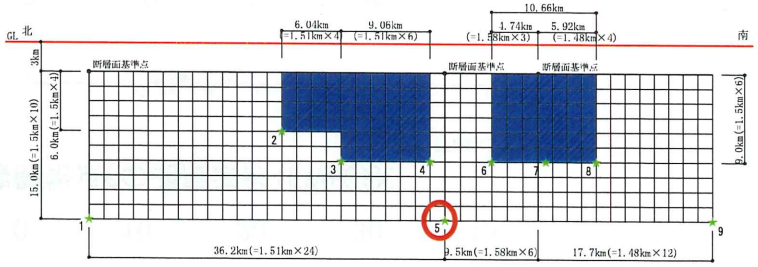


破壊開始点5の加速度波形（EW成分）

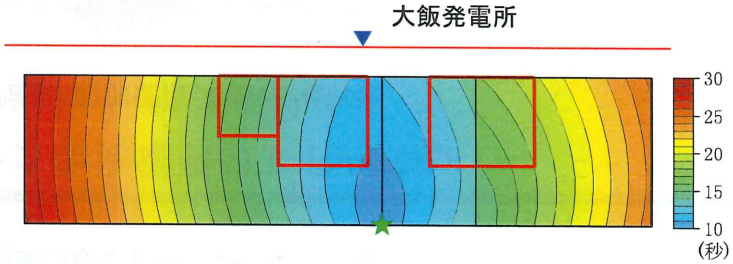


破壊開始点5の速度波形(EW成分)



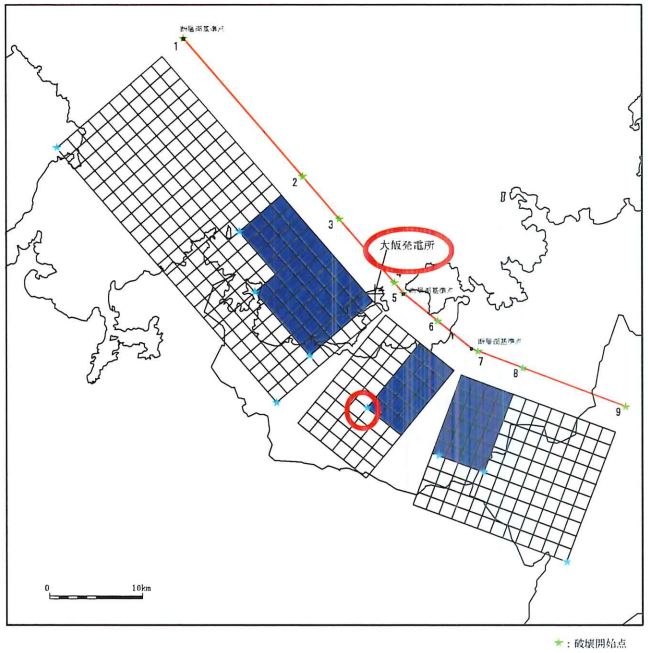


ii）断面図

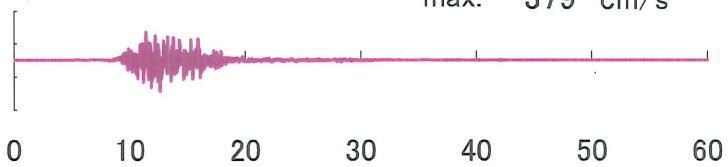


コメント回答②：各断層からの地震波について

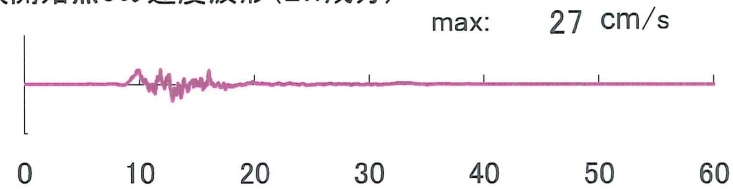
■FO-A～FO-B～熊川断層（基本ケース）、破壊開始点6・大飯発電所のアイソクロン

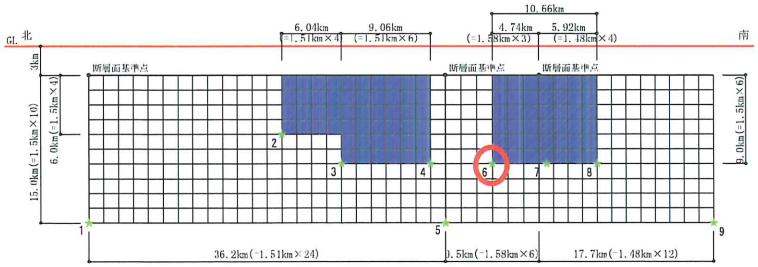


破壊開始点6の加速度波形（EW成分）

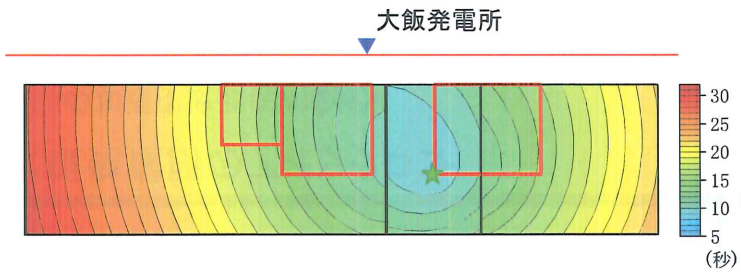


破壊開始点6の速度波形（EW成分）



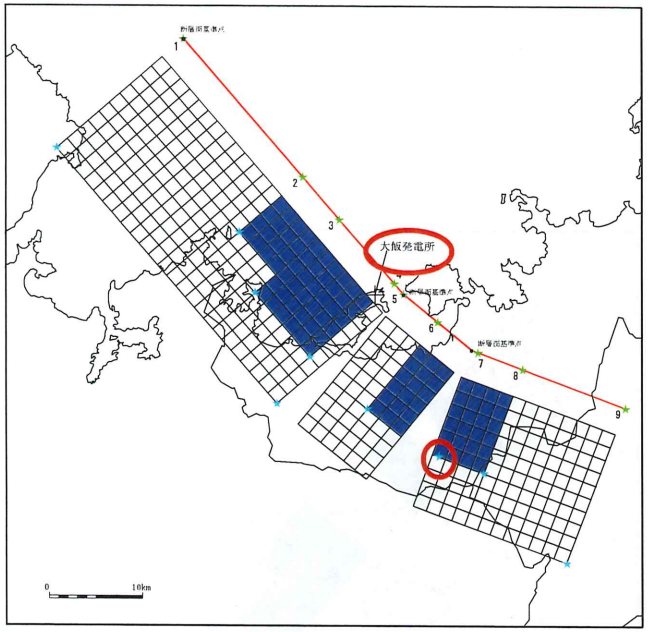


ii）断面図

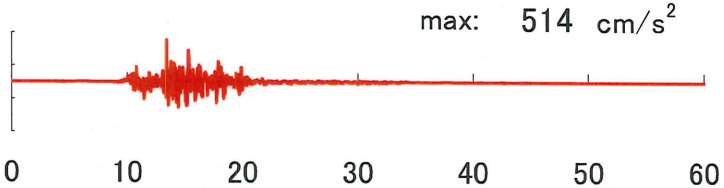


コメント回答②：各断層からの地震波について

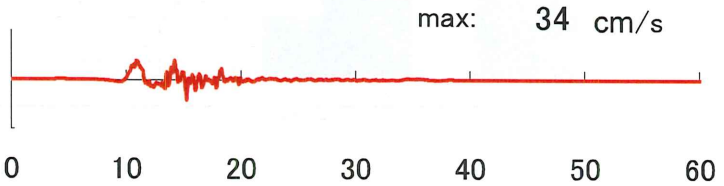
■FO-A～FO-B～熊川断層（基本ケース）、破壊開始点7・大飯発電所のアイソクロン

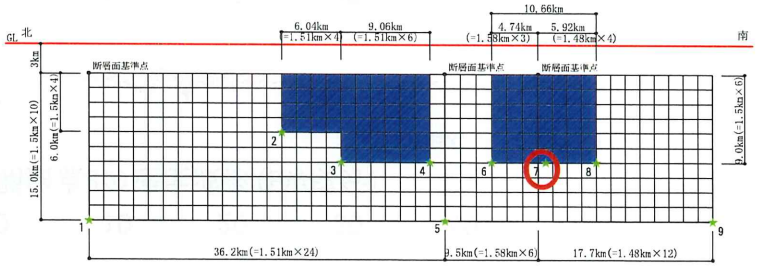


破壊開始点7の加速度波形（EW成分）

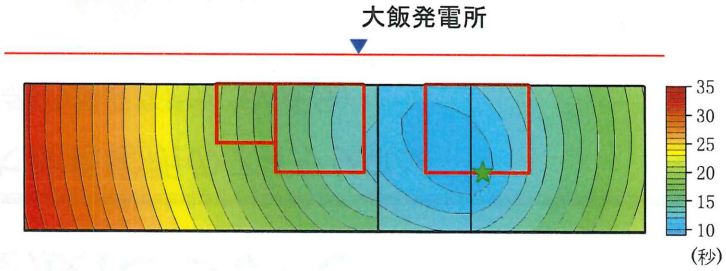


破壊開始点7の速度波形（EW成分）



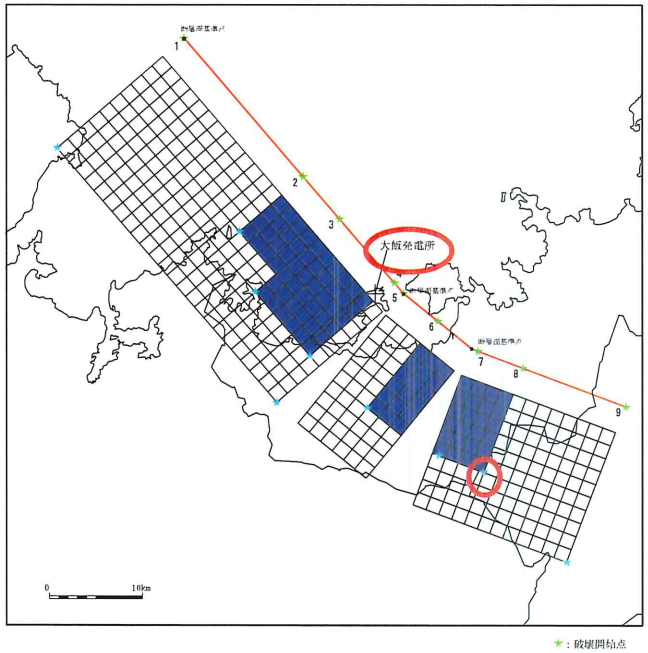


ii）断面図

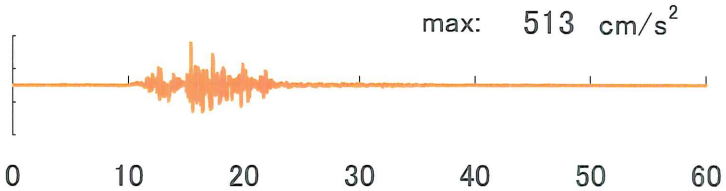


コメント回答②：各断層からの地震波について

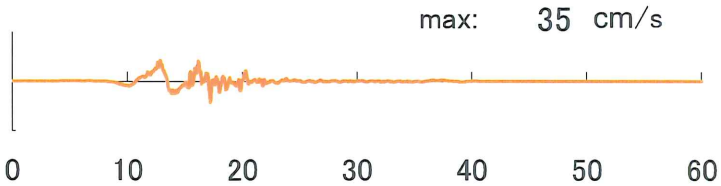
■FO-A～FO-B～熊川断層（基本ケース）、破壊開始点8・大飯発電所のアイソクロン

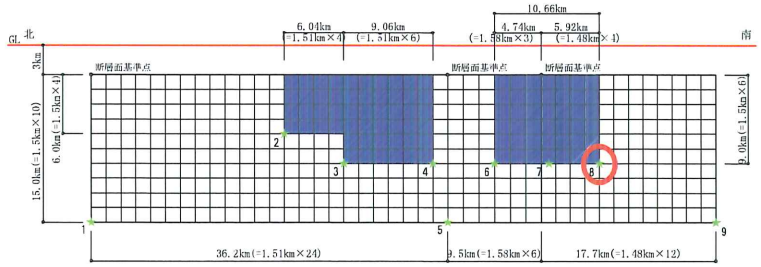


破壊開始点8の加速度波形（EW成分）

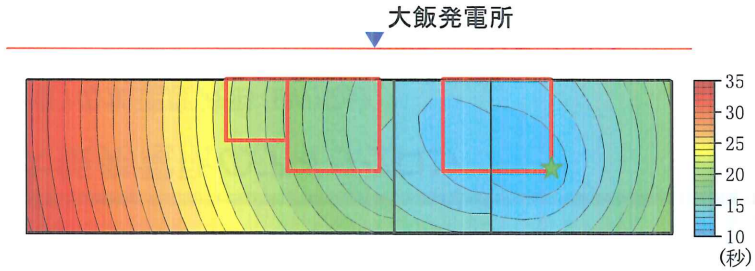


破壊開始点8の速度波形（EW成分）



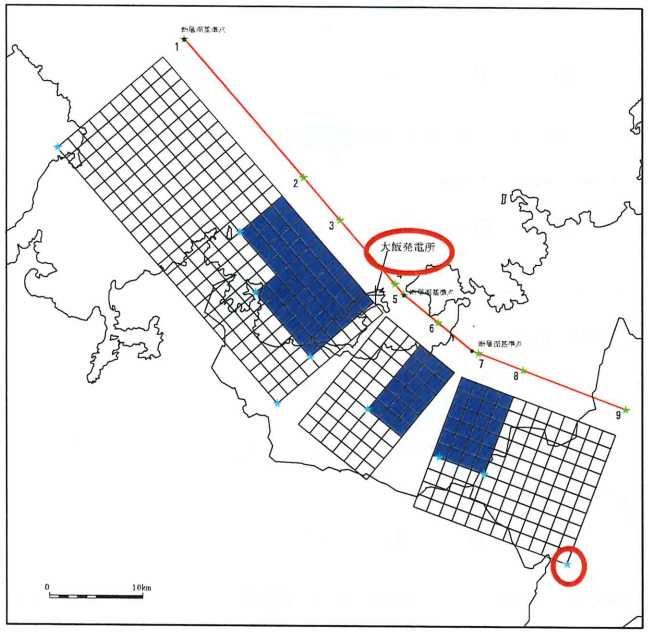


ii）断面図



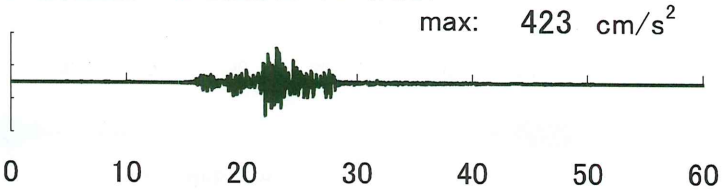
コメント回答②：各断層からの地震波について

■FO-A～FO-B～熊川断層（基本ケース）、破壊開始点9・大飯発電所のアイソクロン

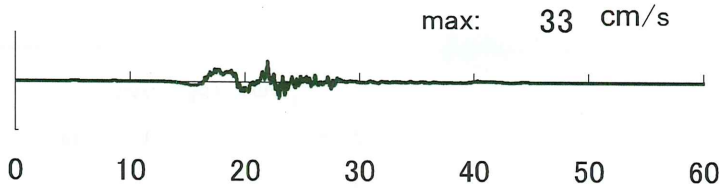


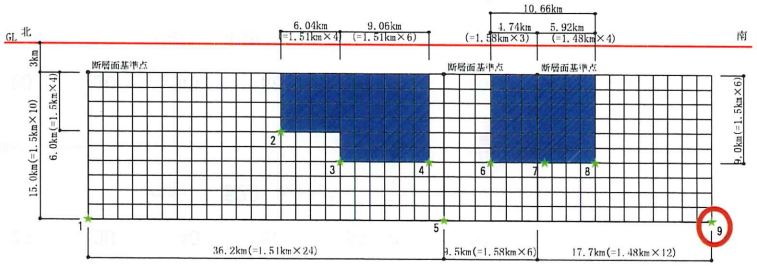
★：破壊開始点

破壊開始点9の加速度波形（EW成分）

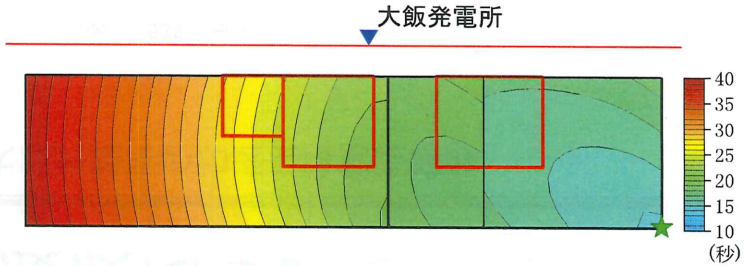


破壊開始点9の速度波形（EW成分）





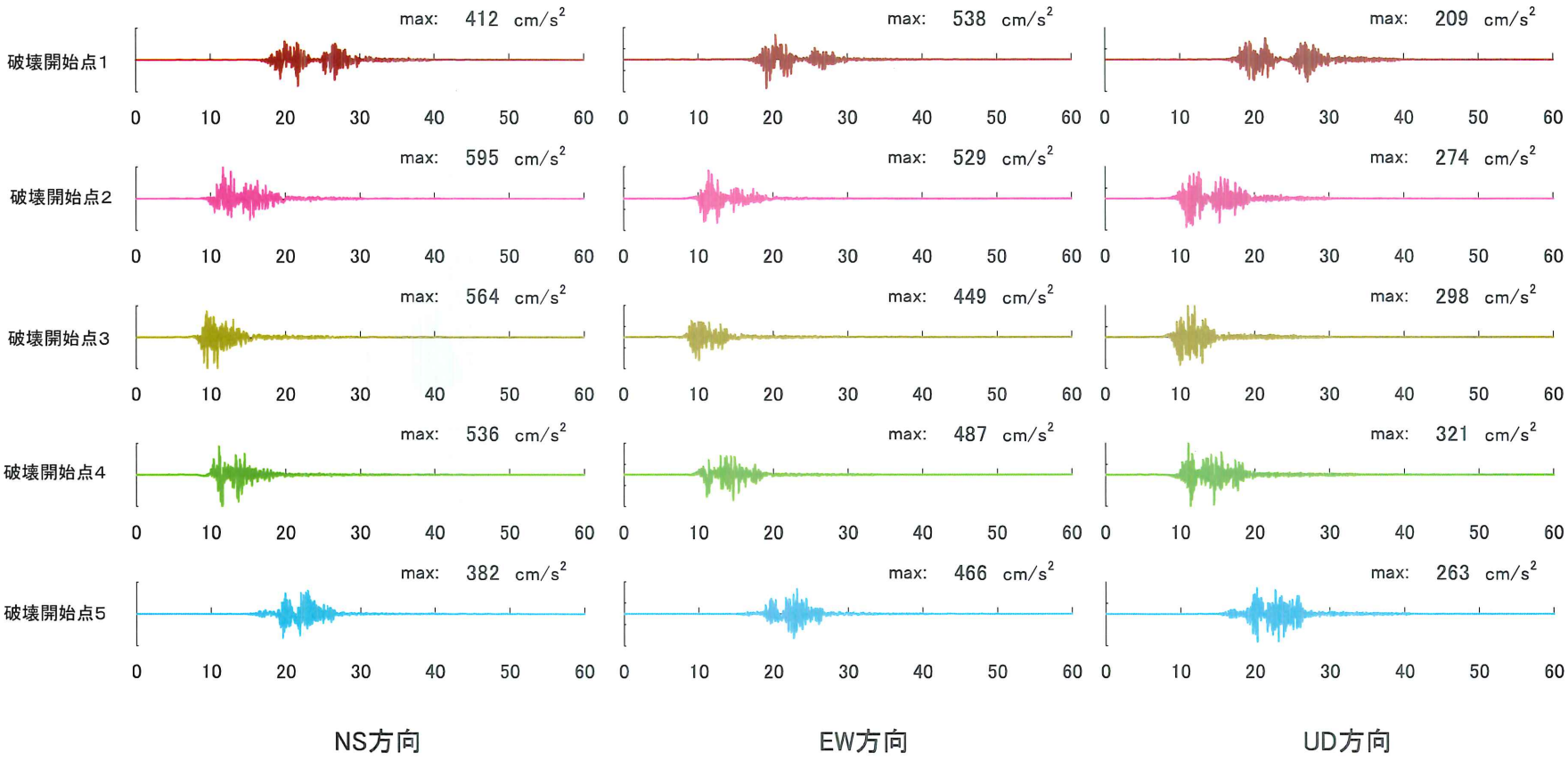
ii）断面図



コメント回答②：各断層からの地震波について

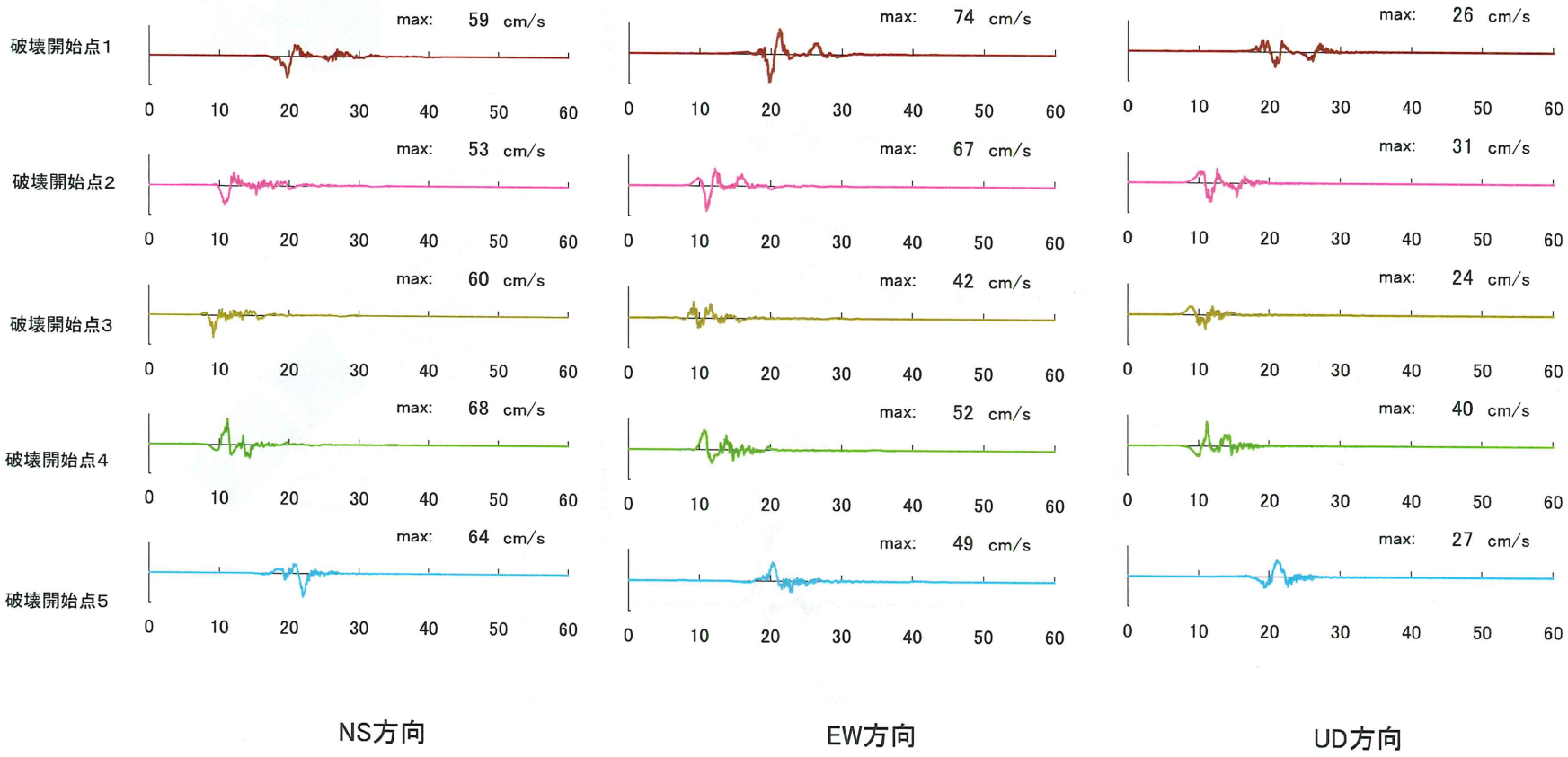
第111回審査会合
資料再掲

■FO-A～FO-B～熊川断層（アスペリティー塊横長ケース）、大飯発電所の加速度時刻歴波形



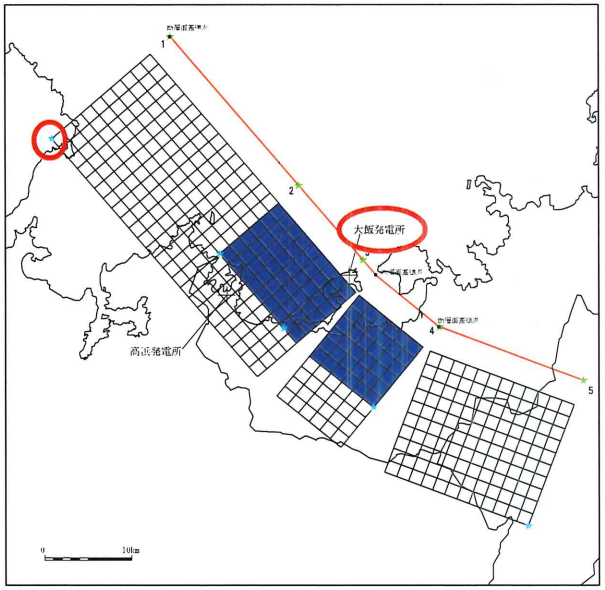
コメント回答②：各断層からの地震波について

■FO-A～FO-B～熊川断層（アスペリティー塊横長ケース）、大飯発電所の速度時刻歴波形

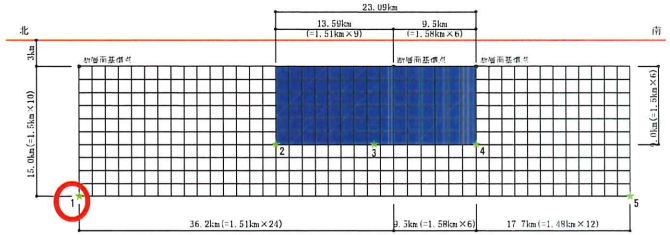


コメント回答②：各断層からの地震波について

■アスペリティー塊横長ケース・破壊開始点1の場合の速度波形を各断層からの波ごとに分解。

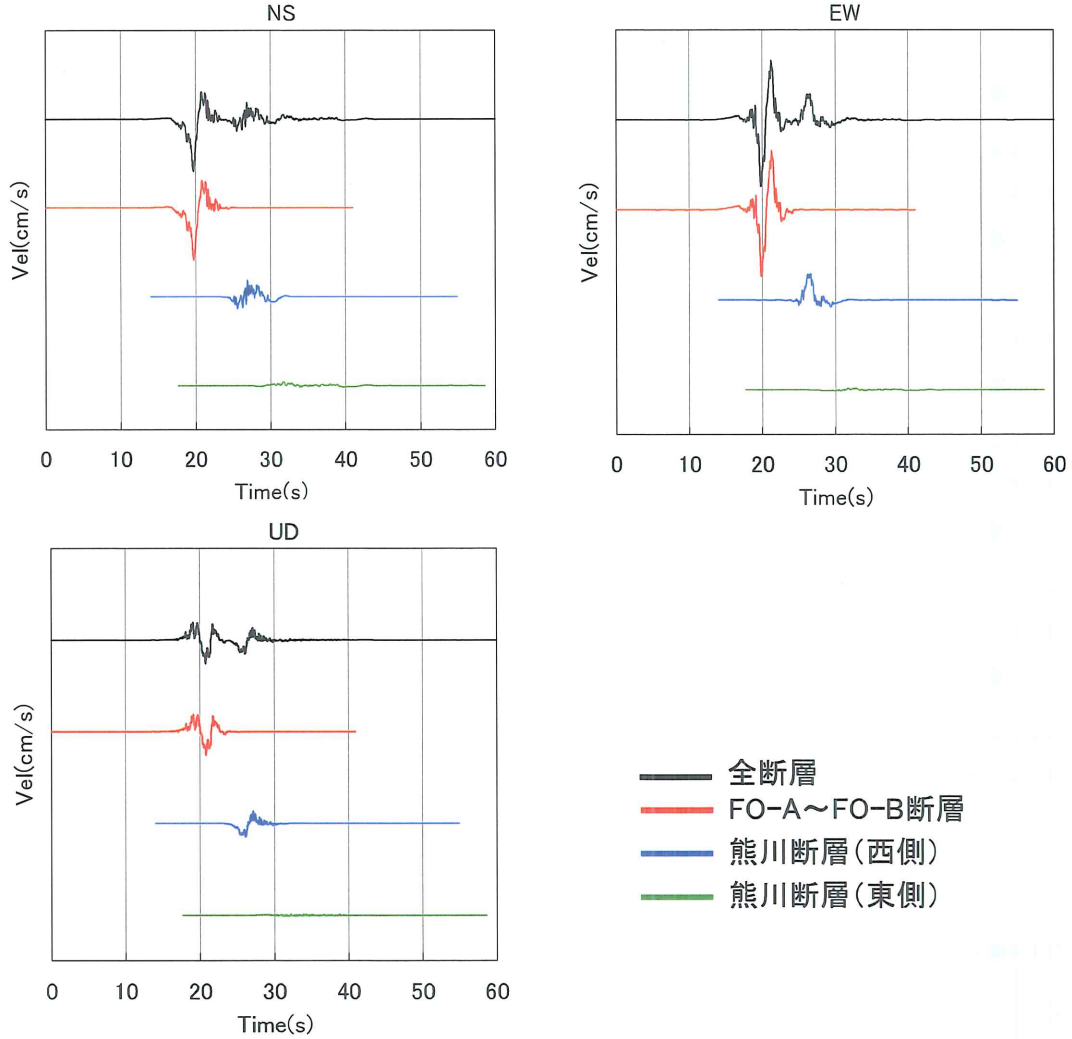


i）断層配置図



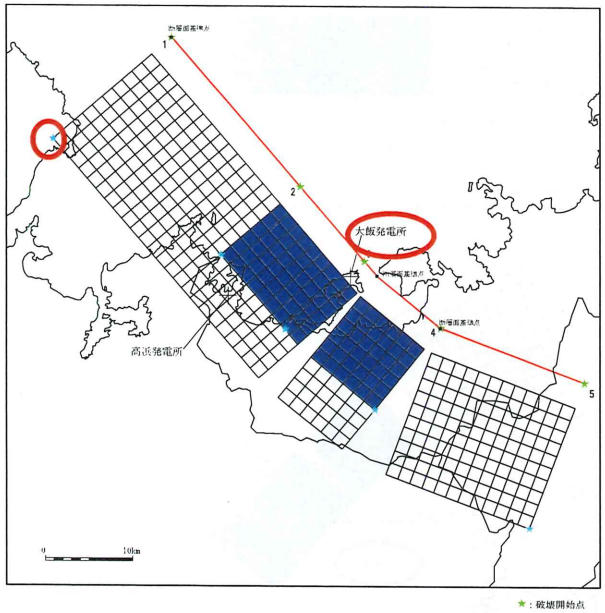
ii）断面図

破壊開始点1

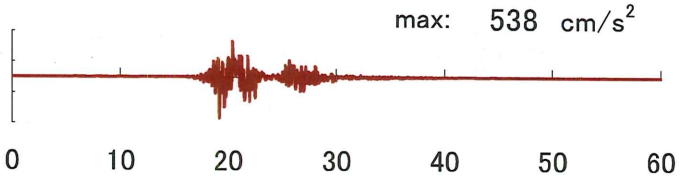


コメント回答②：各断層からの地震波について

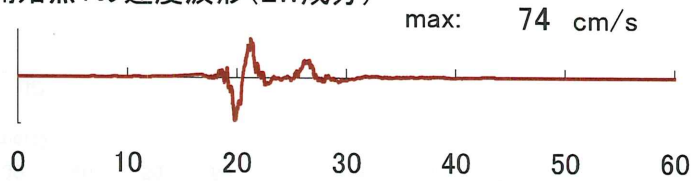
■FO-A～FO-B～熊川断層（アスペリティー塊横長ケース）、破壊開始点1・大飯発電所のアイソクロン

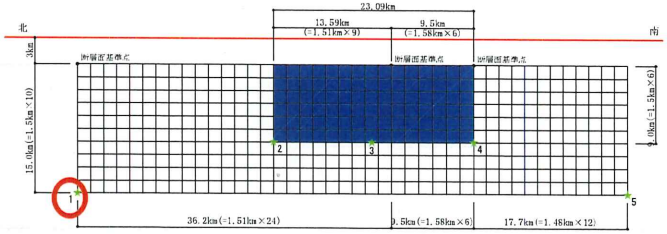


破壊開始点1の加速度波形（EW成分）

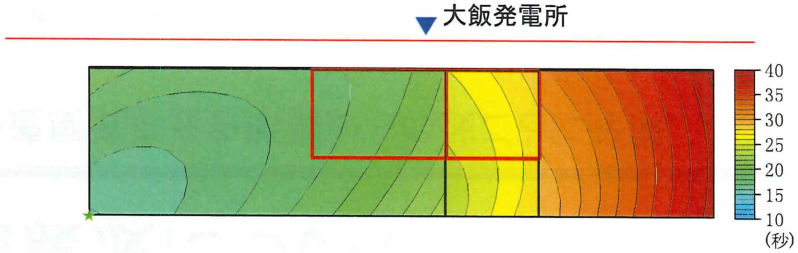


破壊開始点1の速度波形（EW成分）



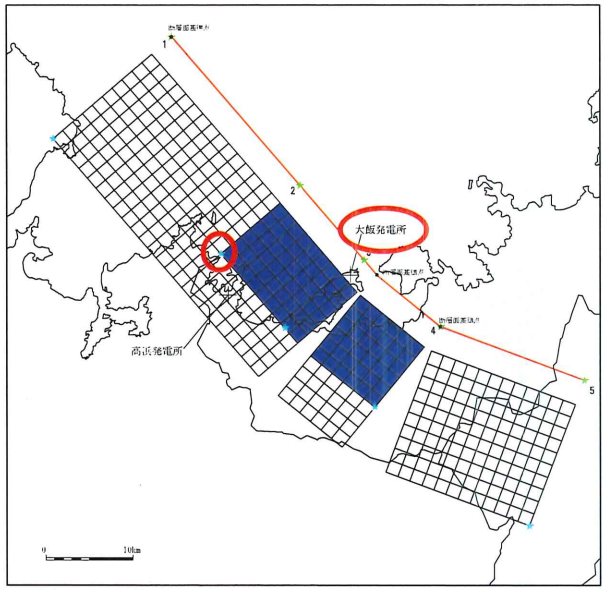


ii）断面図

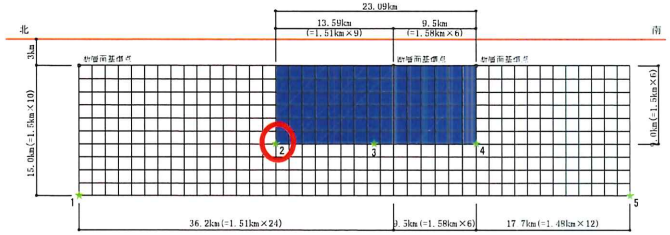


コメント回答②：各断層からの地震波について

■アスペリティー塊横長ケース・破壊開始点2の場合の速度波形を各断層からの波ごとに分解。

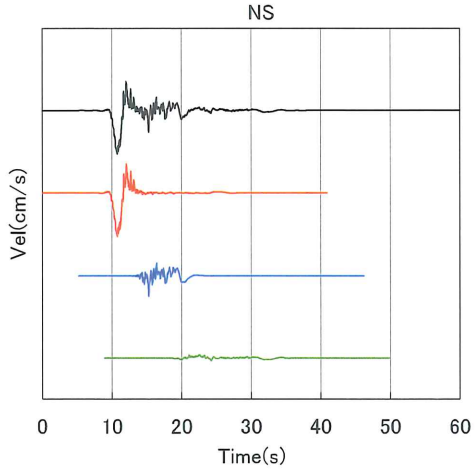


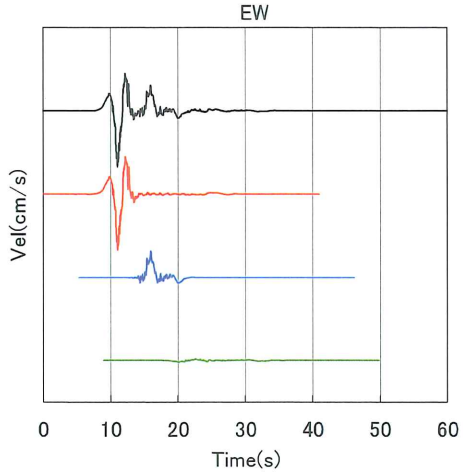
i ）断層配置図

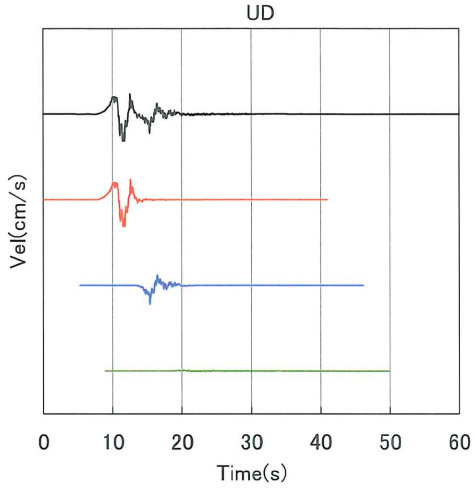


ii ）断面図

破壊開始点2



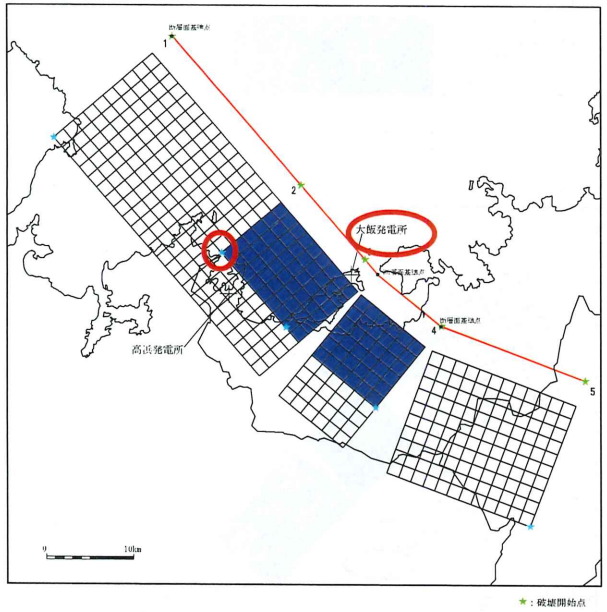




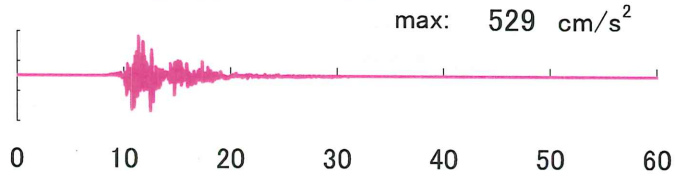
- 全断層
- FO-A～FO-B断層
- 熊川断層（西側）
- 熊川断層（東側）

コメント回答②：各断層からの地震波について

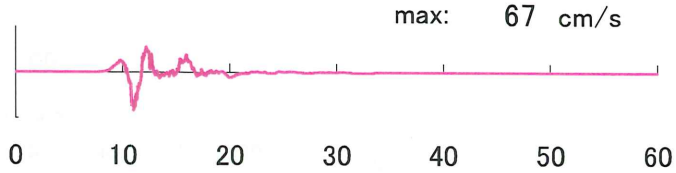
■FO-A～FO-B～熊川断層（アスペリティー塊横長ケース）、破壊開始点2・大飯発電所のアイソクロン

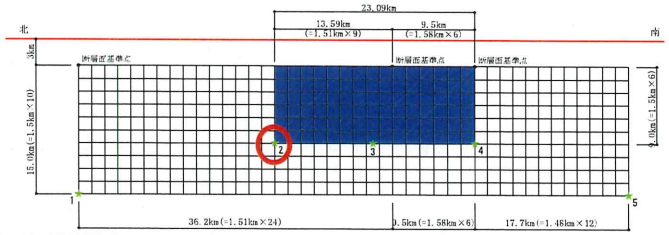


破壊開始点2の加速度波形（EW成分）

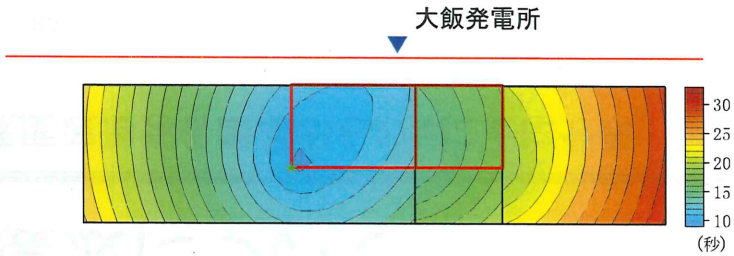


破壊開始点2の速度波形（EW成分）



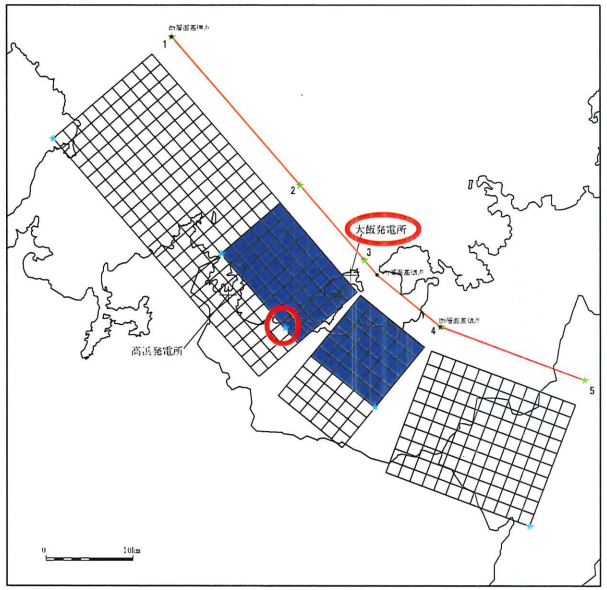


ii）断面図

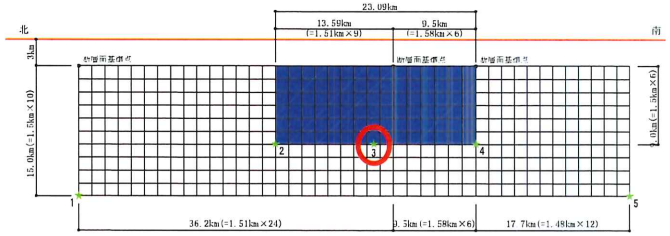


コメント回答②：各断層からの地震波について

■アスペリティー塊横長ケース・破壊開始点3の場合の速度波形を各断層からの波ごとに分解。

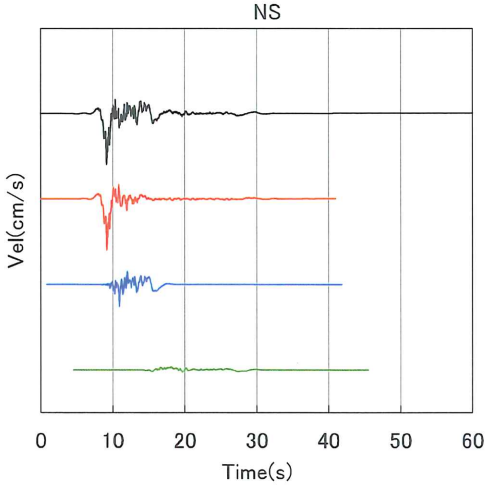


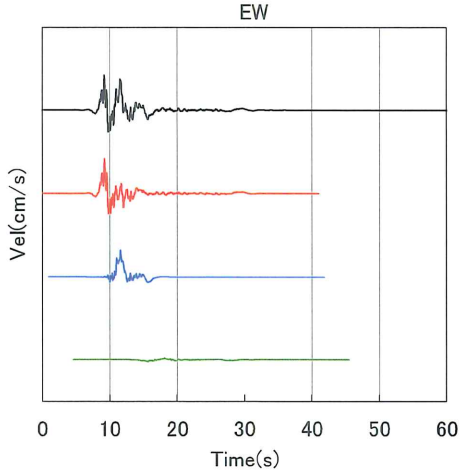
i）断層配置図

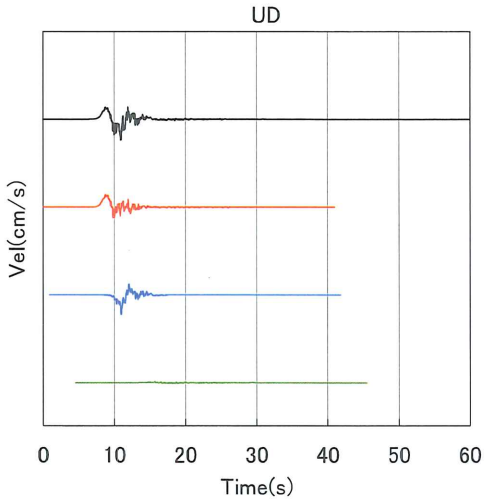


ii）断面図

破壊開始点3



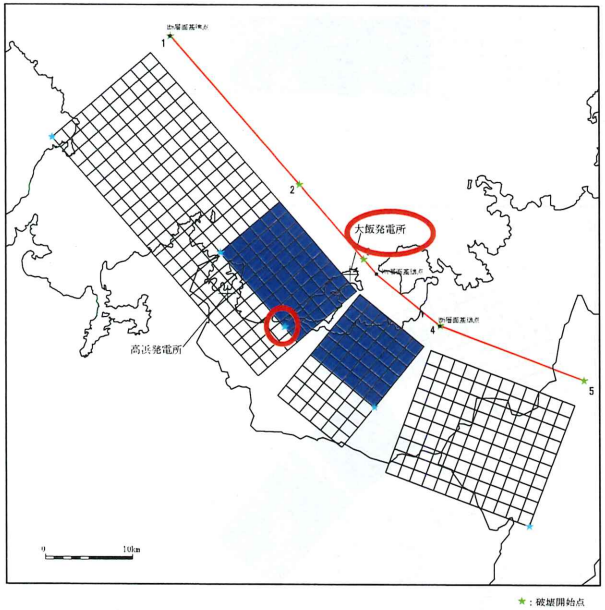




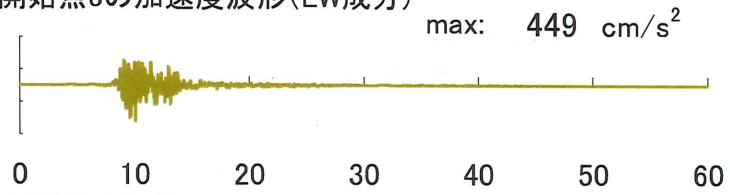
- 全断層
- FO-A～FO-B断層
- 熊川断層（西側）
- 熊川断層（東側）

コメント回答②：各断層からの地震波について

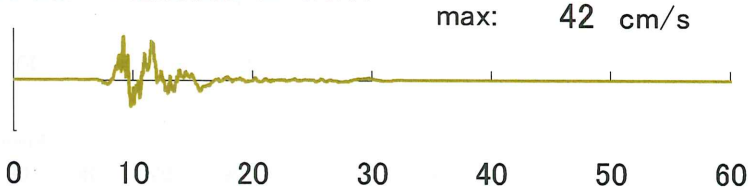
■FO-A～FO-B～熊川断層（アスペリティー塊横長ケース）、破壊開始点3・大飯発電所のアイソクロン

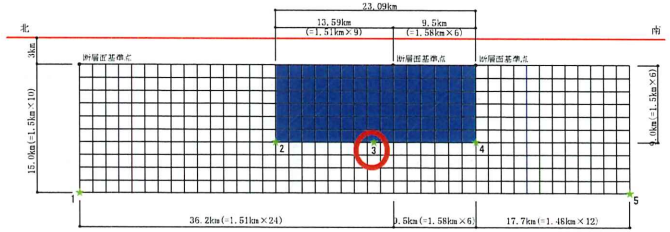


破壊開始点3の加速度波形（EW成分）

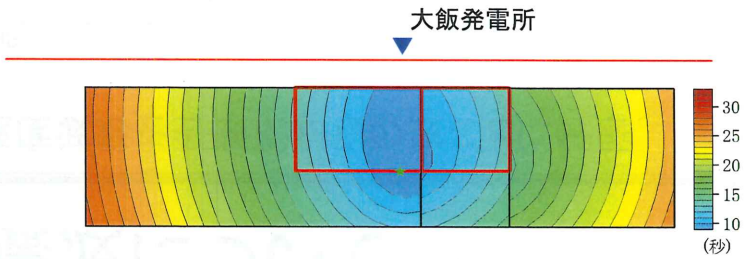


破壊開始点3の速度波形（EW成分）



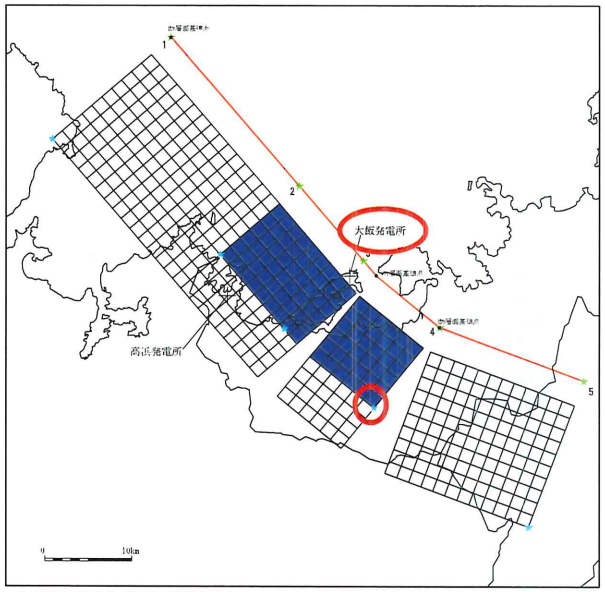


ii）断面図

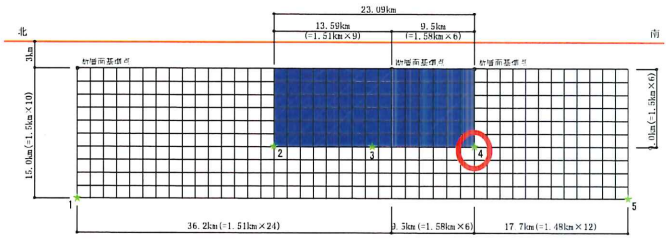


コメント回答②：各断層からの地震波について

■アスペリティー塊横長ケース・破壊開始点4の場合の速度波形を各断層からの波ごとに分解。

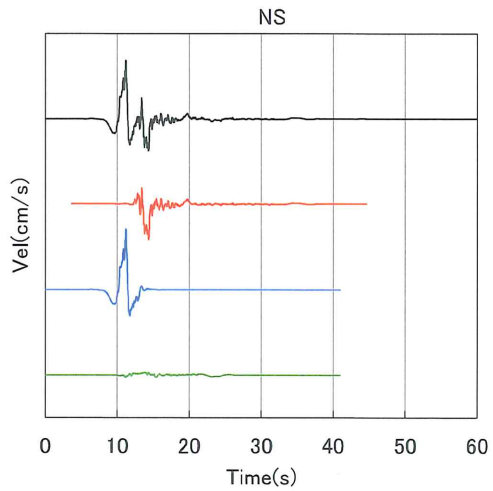


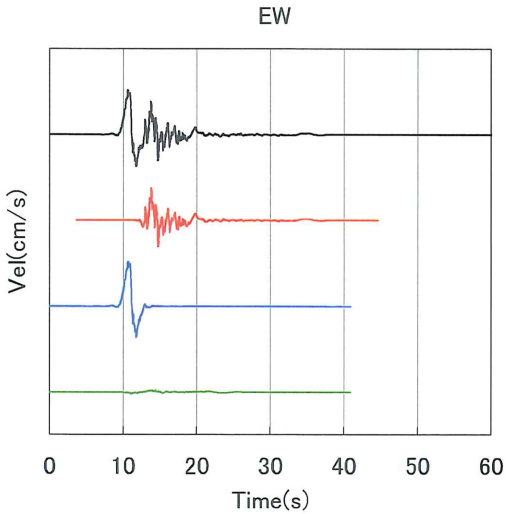
i）断層配置図

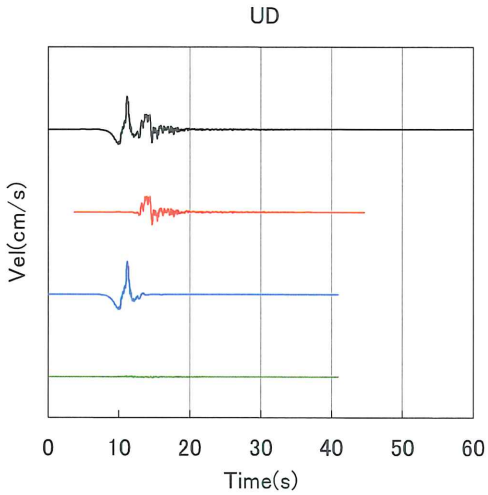


ii）断面図

破壊開始点4



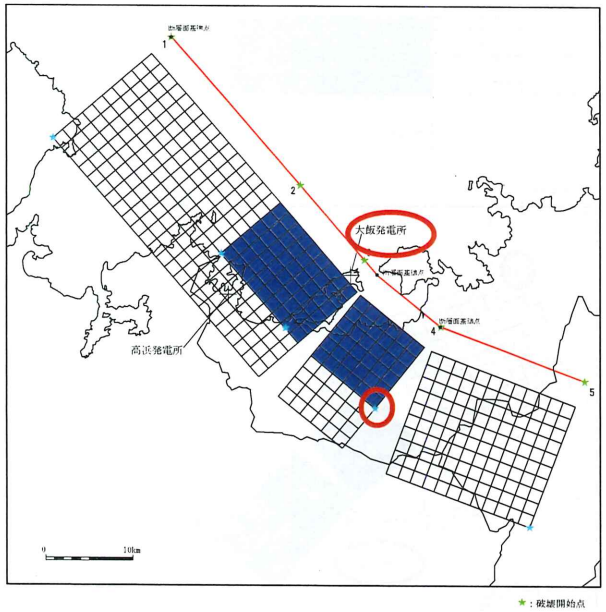




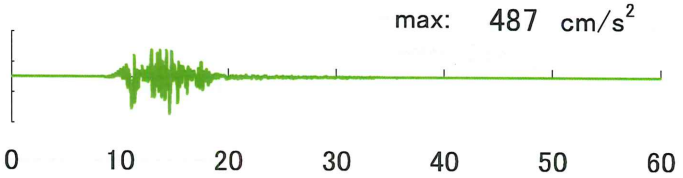
- 全断層
- FO-A～FO-B断層
- 熊川断層（西側）
- 熊川断層（東側）

コメント回答②：各断層からの地震波について

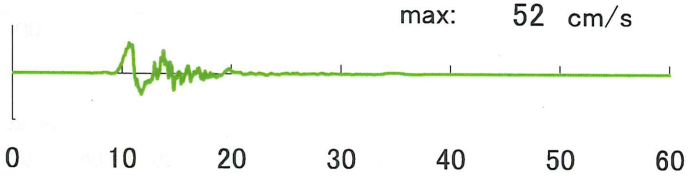
■FO-A～FO-B～熊川断層（アスペリティー塊横長ケース）、破壊開始点4・大飯発電所のアイソクロン

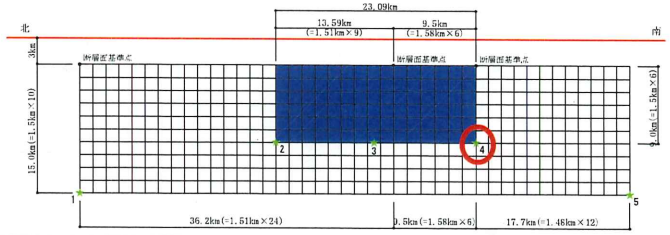


破壊開始点4の加速度波形（EW成分）

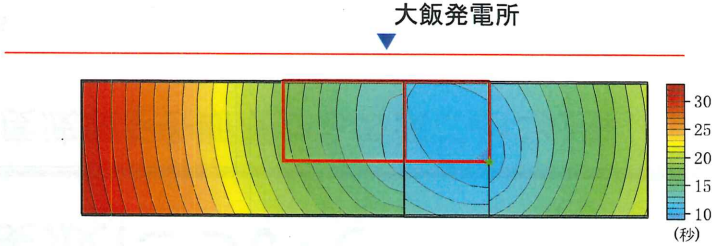


破壊開始点4の速度波形（EW成分）



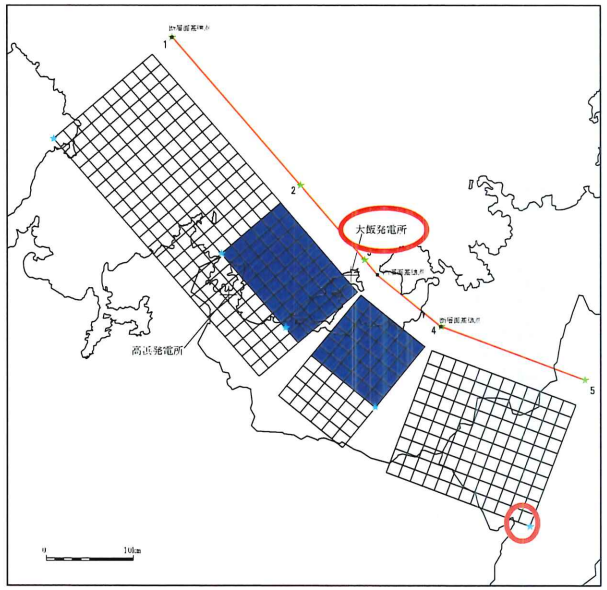


ii）断面図



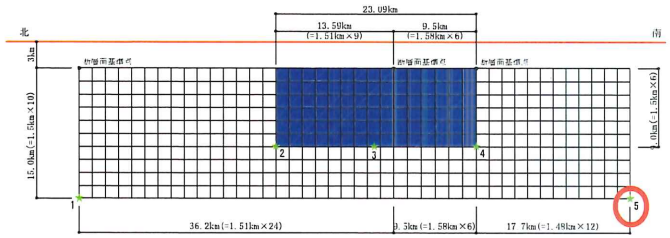
コメント回答②：各断層からの地震波について

■アスペリティー塊横長ケース・破壊開始点5の場合の速度波形を各断層からの波ごとに分解。



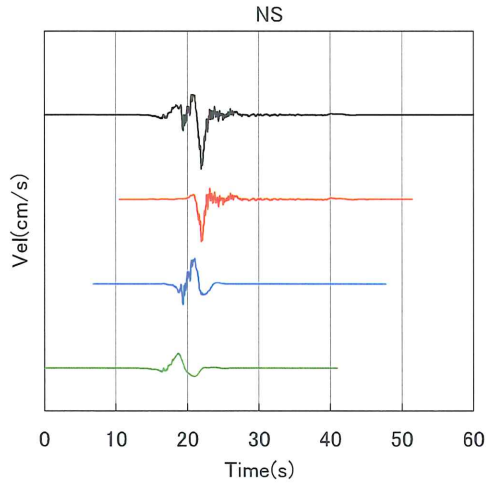
i）断層配置図

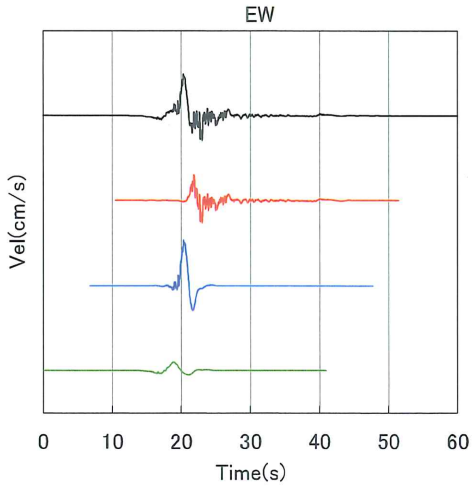
★：破壊開始点

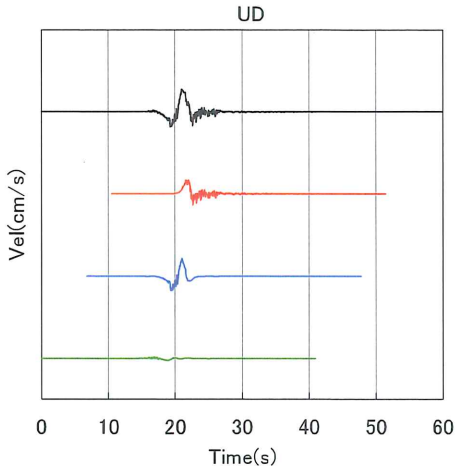


ii）断面図

破壊開始点5



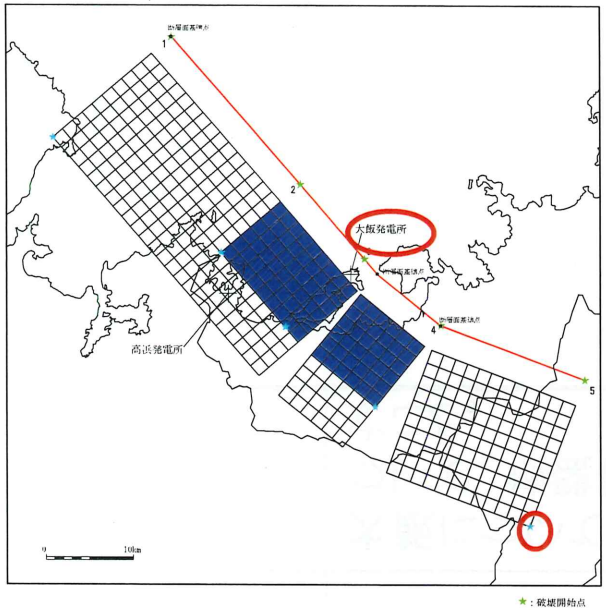




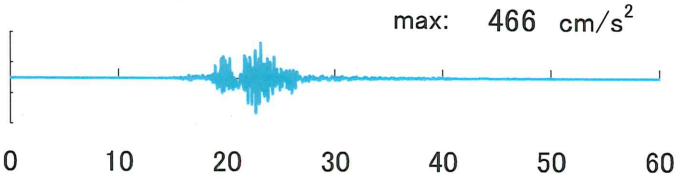
- 全断層
- FO-A～FO-B断層
- 熊川断層（西側）
- 熊川断層（東側）

コメント回答②：各断層からの地震波について

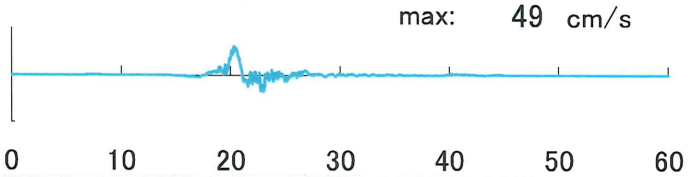
■FO-A～FO-B～熊川断層（アスペリティー塊横長ケース）、破壊開始点5・大飯発電所のアイソクロン

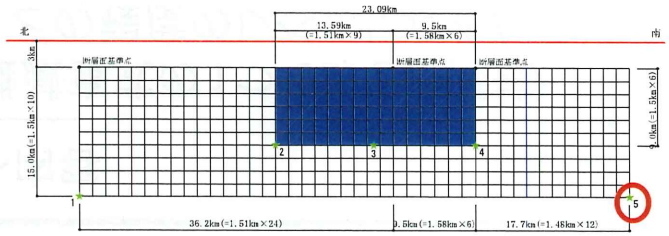


破壊開始点5の加速度波形（EW成分）

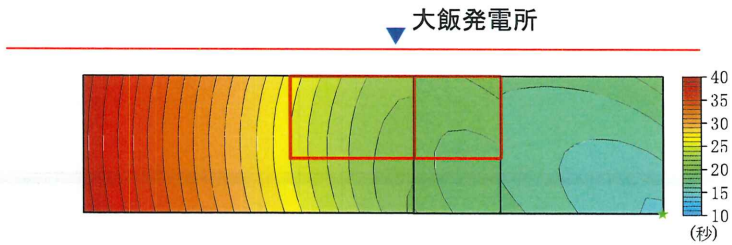


破壊開始点5の速度波形（EW成分）





ii）断面図



	コメント内容
3	大飯について、評価している距離減衰式の1つである片岡式について、地盤補正を行った場合、どの程度のレベルになるか示すこと。

コメント回答③：距離減衰式の地盤補正について

■各種距離減衰式は断層モデルの妥当性を検証するため評価しているものであり、傾斜角75°のケースで長周期側（1秒付近）では片岡式で100cm/sを僅かに上回っているが、Vs30の平均値が720m/sをもとにつくられ、また地盤補正係数がないことから、包絡させる必要はないと判断した。

■ここでは、以下に①～④に示す地盤補正係数を用いて、片岡式による評価結果に乗じてレベルを確認する。

①インピーダンス比

$$c1 = \frac{\rho_1 \cdot V_{s1}}{\rho_2 \cdot V_{s2}} = 0.33$$

②インピーダンス比の平方根

$$c2 = \sqrt{\frac{\rho_1 \cdot V_{s1}}{\rho_2 \cdot V_{s2}}} = 0.57$$

③Midorikawa et al.(1994)※の加速度の補正式

$$c3 = 10^{1.35-0.47\log(Vs)} = 0.72$$

④Midorikawa et al.(1994)※の速度の補正式

$$c4 = 10^{1.83-0.66\log(Vs)} = 0.54$$

・①、②の係数については、V_{s1}=720m/s（片岡式の値）、V_{s2}=2200m/s（大飯発電所の解放基盤のVs）とする。また、$\rho_1 = \rho_2$とした。

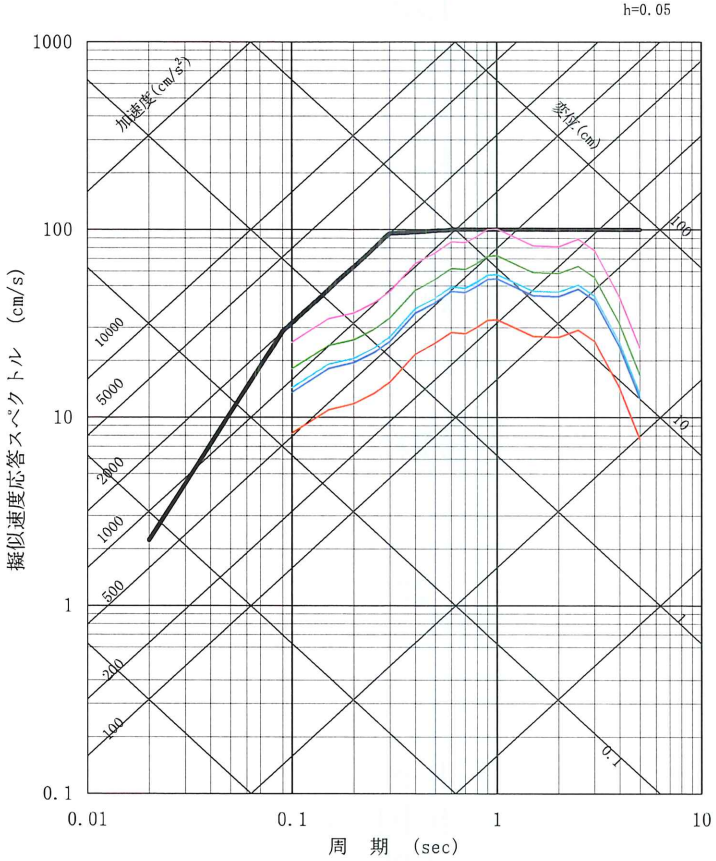
・③、④の係数については、補正式の適用限界であるVs=1500m/sとする。

※Midorikawa et al.(1994):SITE EFFECTS ON STRONG-MOTION RECORDS OBSERVED DURING THE 1987 CHIBA-KEN-TOHO-OKI,JAPAN EARTHQUAKE, 第9回日本地震工学シンポジウム

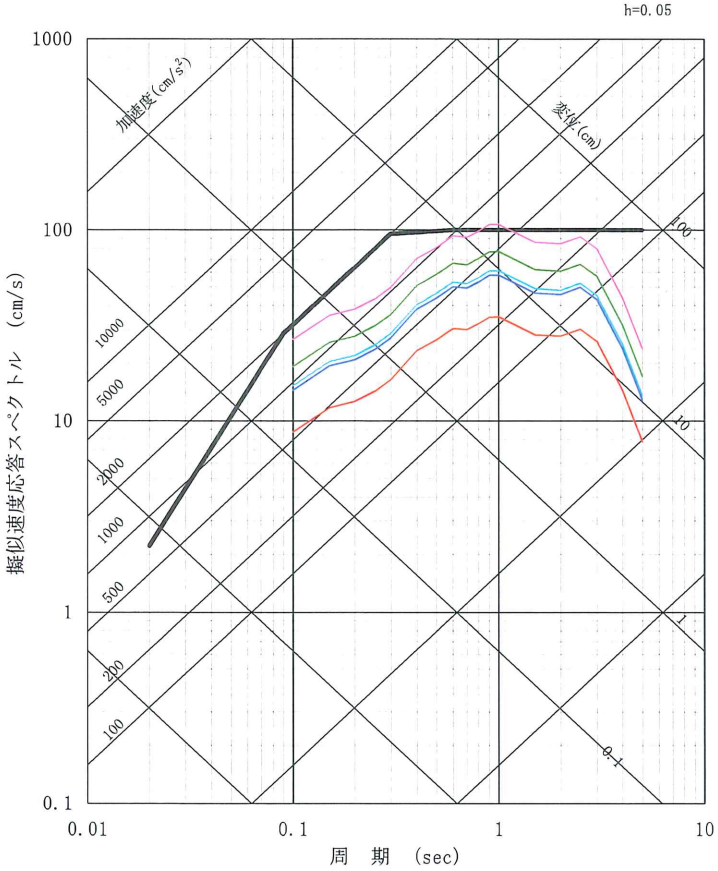
コメント回答③：距離減衰式の地盤補正について

■片岡式に地盤補正を考慮した場合の評価結果

地盤補正を考慮した場合、すべてのケースで地震動評価結果がSs-1よりも小さくなった。



基本ケース



傾斜角75° ケース

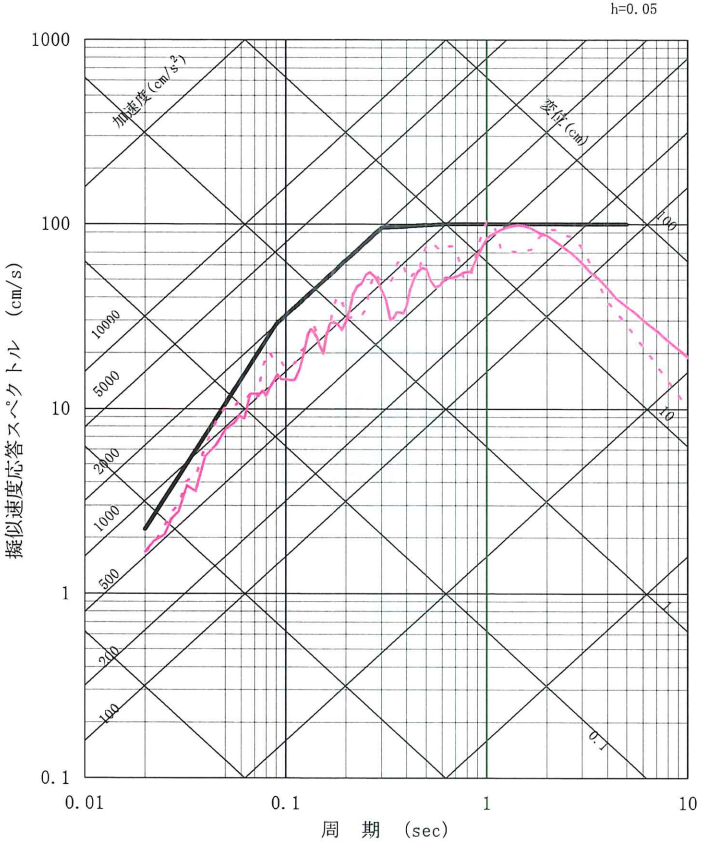
大飯発電所Ss-1　補正係数なし　補正係数①　補正係数②　補正係数③　補正係数④

	コメント内容
4	大飯について、鳥取県西部地震を考慮しなくてよい説明をするか、それが難しければ考慮することも検討して欲しい。

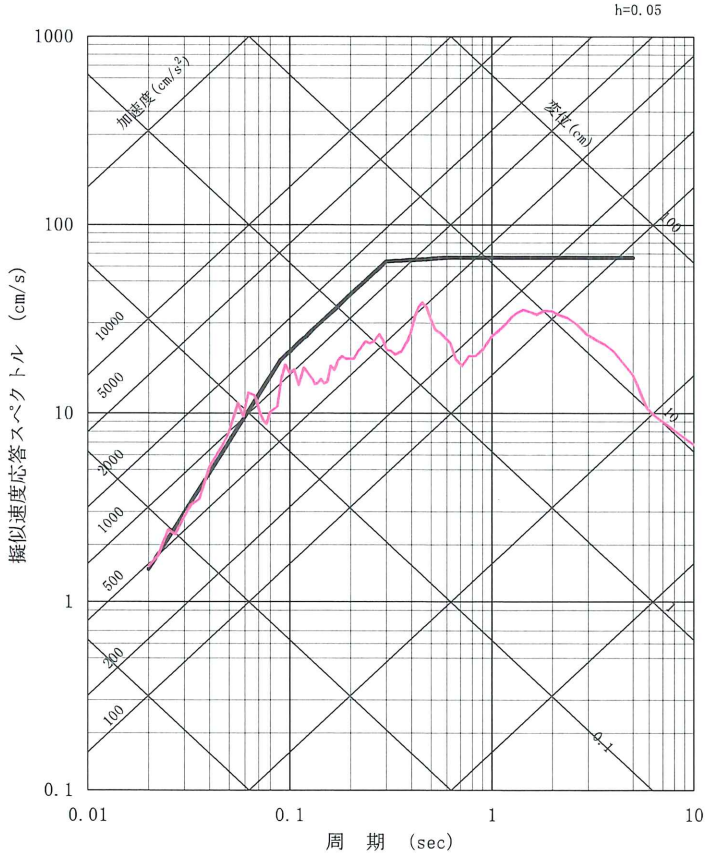
コメント回答④：鳥取県西部地震の取扱いについて

■大飯発電所の基準地震動Ss－1と賀祥ダムの観測記録を比較して以下に示す。

■賀祥ダムの記録がVp=2.0～2.2km/s（Vs=1.2～1.3km/s）程度のCM級岩盤に設置された観測記録であり、大飯発電所の解放基盤のVs=2.2km/sよりも小さいことから、地盤特性の補正等は行わず、観測記録を基準地震動として採用する。



水平（実線：NS方向、点線：EW方向）

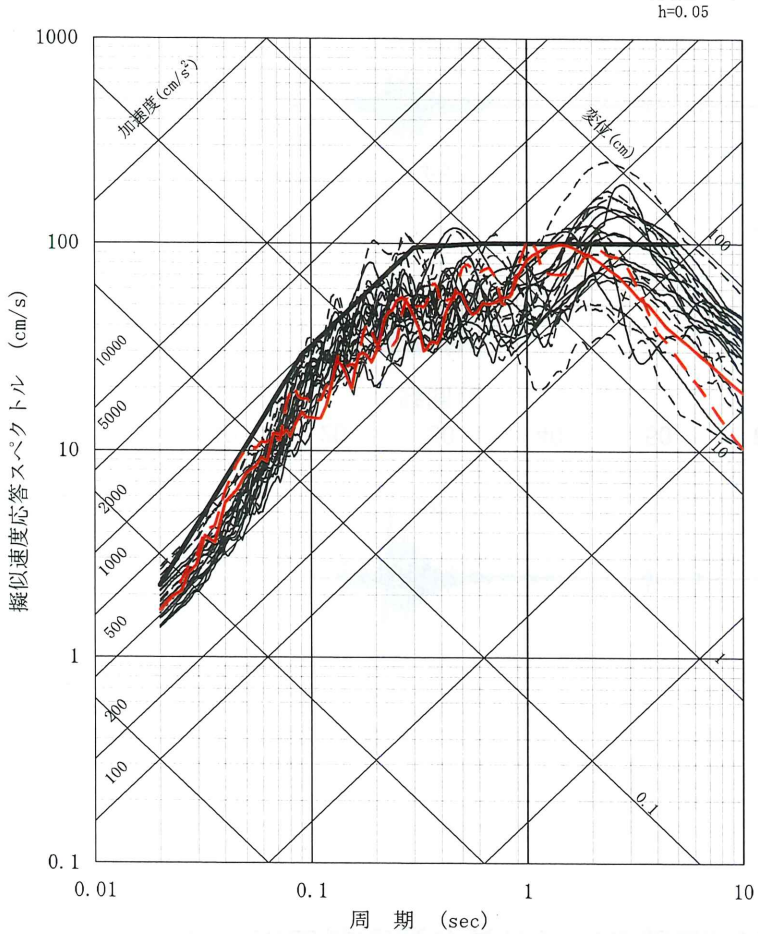


上下

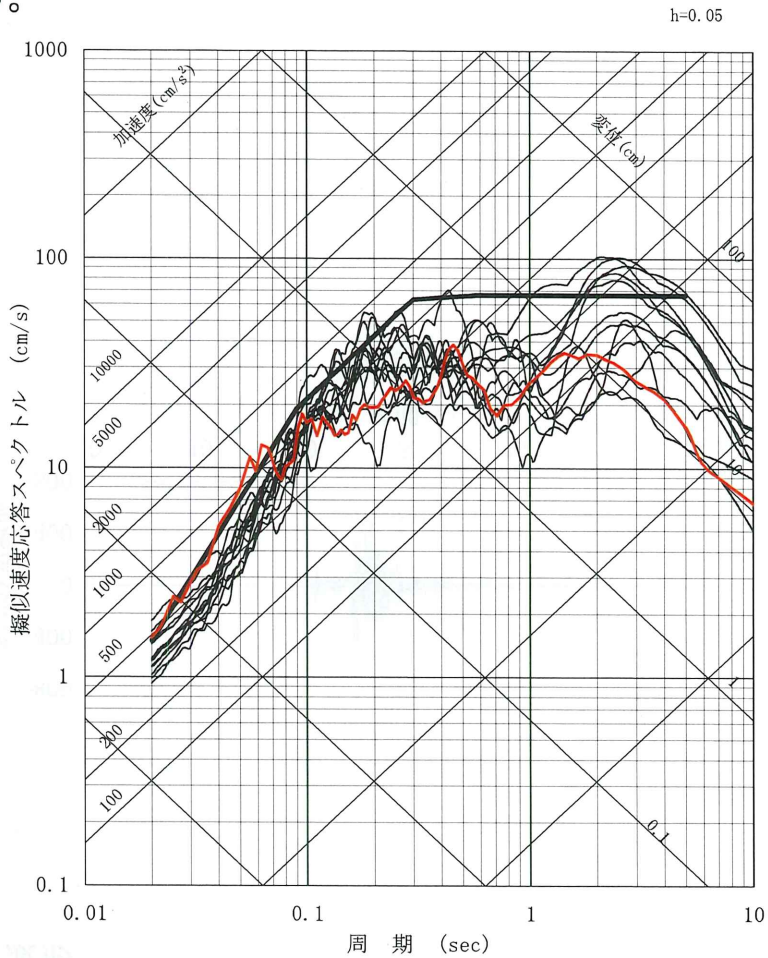
―― 大飯発電所Ss-1　―― 2000年鳥取県西部地震・賀祥ダムの記録

コメント回答④：鳥取県西部地震の取扱いについて

■2000年鳥取県西部地震の賀祥ダムの記録について、大飯発電所の基準地震動Ss-14として採用する。
Ss-1～Ss-13およびSs-14の応答スペクトルは以下のとおり。



水平



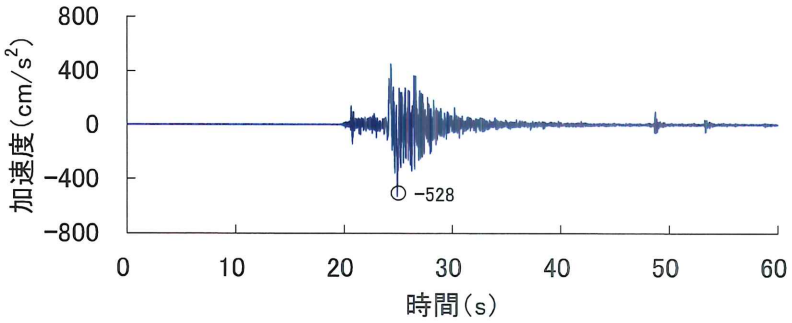
上下

（Ss2～Ss12では実線がNS成分、破線がEW成分）

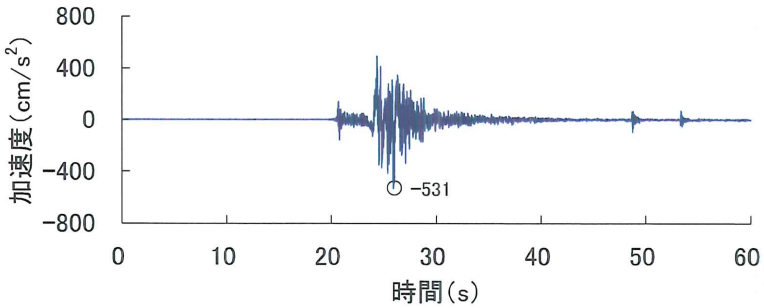
—— 大飯発電所Ss-1～Ss-13　—— Ss-14（2000年鳥取県西部地震・賀祥ダムの記録）

コメント回答④：鳥取県西部地震の取扱いについて

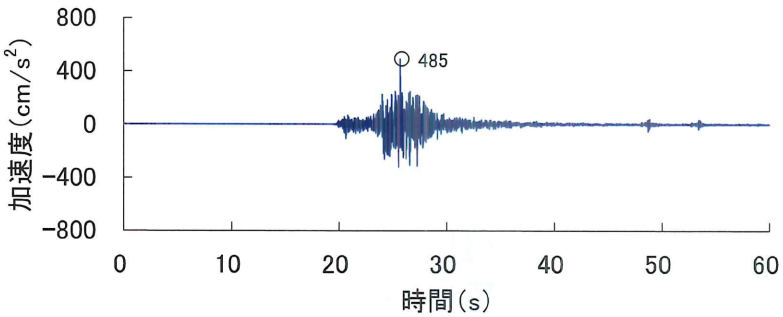
■Ss-14(2000年鳥取県西部地震の賀祥ダムの記録)の加速度波形



NS方向



EW方向



UD方向

（参考）第111回審査会合

資料１－２（大飯発電所　地震動評価について）より再掲

3. 地震動評価手法

■評価方法

○応答スペクトルに基づく地震動評価

・解放基盤表面の地震動として評価できること、震源の拡がりが考慮できること、敷地における地震観測記録等を用いて諸特性が考慮できること、更に水平方向及び鉛直方向の地震動が評価できることから、Noda et al.(2002)（以下、耐専式という。）を採用

・耐専式の適用性を検討し、適用が難しいと判断した場合は、断層モデルを用いた地震動評価結果を重視

・地震規模は松田式により算定

	長さ※1	地震規模※2
FO-A～FO-B～熊川断層	63.4km	7.8
上林川断層	39.5km	7.5

※1：地震動評価上の長さ
※2：地震規模は松田式より算出

○断層モデルを用いた手法による地震動評価

・評価地点の震源近傍で発生した地震の適切な観測記録が得られていないため、短周期側を統計的グリーン関数法、長周期側を理論的方法（離散化波数法）を適用したハイブリッド合成法により評価

・前回審査会合にて示した地盤モデルを用いて評価

・新潟県中越沖地震の反映事項を踏まえて、短周期の地震動レベルを1.5倍したケースも評価

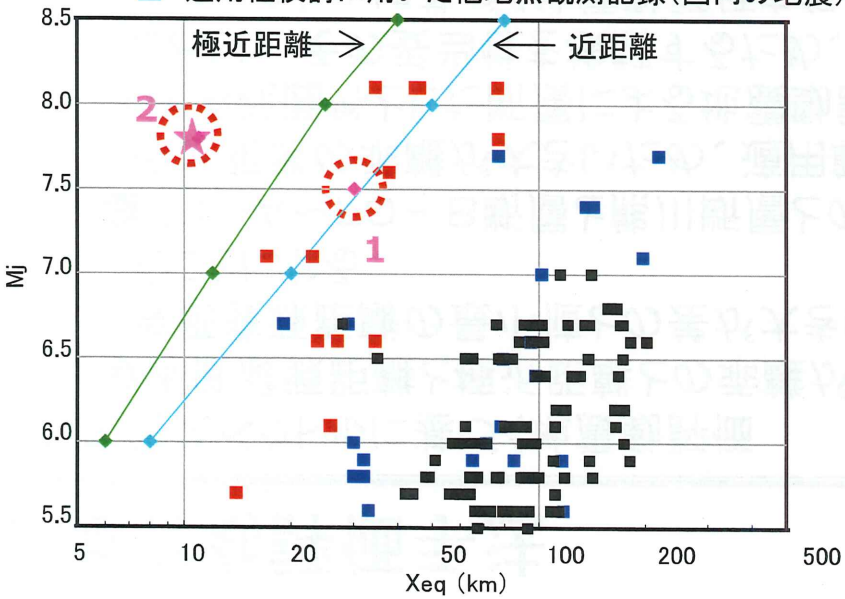
3. 地震動評価手法

○応答スペクトルに基づく地震動評価

■検討用地震の等価震源距離と耐専式での地震の諸元との比較

1. 回帰分析に用いた地震の諸元
   5.5≦Mj≦7.0（Mj：気象庁マグニチュード）
   h≦60km（h：震源深さ）
   28km≦Xeq≦202km（Xeq：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≦Mj≦8.1（Mj：気象庁マグニチュード）
   h≦60km（h：震源深さ）
   14km≦Xeq≦218km（Xeq：等価震源距離）

■ 回帰式の作成に用いた観測記録
■ 適用性検討に用いた他地点観測記録（海外の地震）
■ 適用性検討に用いた他地点観測記録（国内の地震）



No.		検討用地震	Mj	Xeq (km)
大飯	1	上林川断層	7.5	30.2
	2	FO-A～FO-B断層～熊川断層	7.8	11.0

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

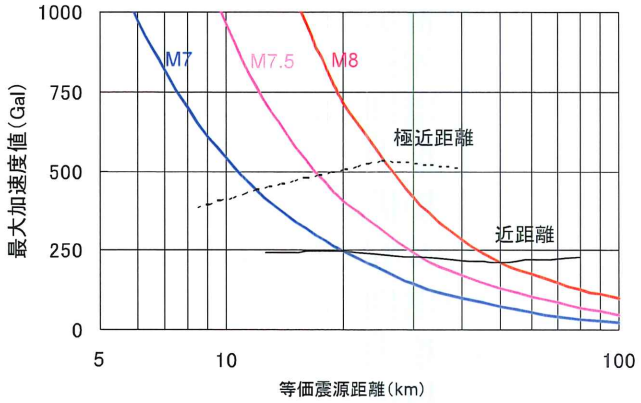
3. 地震動評価手法

○応答スペクトルに基づく地震動評価

■等価震源距離と極近距離との乖離が大きく、回帰式を策定するうえで用いた等価震源距離の最小値との差が大きい断層の評価については、大きく外挿することになる。

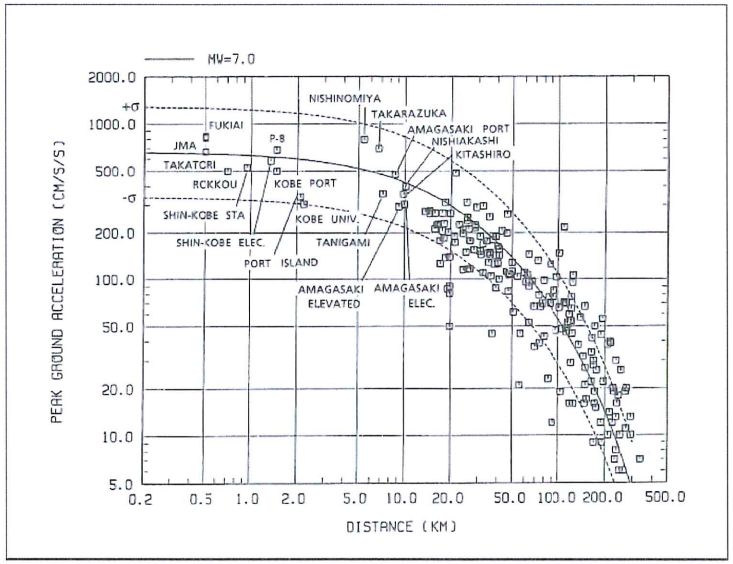
■FO－A～FO－B断層と熊川断層との3連動については、等価震源距離と極近距離の乖離が大きいため、適用範囲外とする。

■適用範囲外とした断層による地震動評価については、断層モデルを重視することとし、その妥当性を検証するため、耐専式以外の距離減衰式を用いて、応答スペクトルに基づく地震動評価を行う。



耐専式における等価震源距離と最大加速度値の関係

極近距離とは
近距離（約200～250Galの加速度となる点）の1/2程度



兵庫県南部地震で観測された最大加速度値と既往の距離減衰式（福島・田中（1992））との比較（Fukushima & Irikura,1997）

3. 地震動評価手法

○応答スペクトルに基づく地震動評価

■ 耐専式以外の距離減衰式

国内の地震を含むデータベースにより作成された距離減衰式のうち、FO－A～FO－B断層と熊川断層との3連動を考慮した地震動評価に用いた距離減衰式は以下のとおり

各種距離減衰式のデータベース諸元

距離減衰式	データベース諸元					サイト補正の考え方
	対象地震	地震種別	Mの範囲	断層最短距離の範囲	地盤種別	
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≦1400m/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	内陸 プレート間 プレート内	5.0～8.3	0.3～300km	・Vs30>1100m/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	内陸 プレート間 プレート内	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 and Silva(2008)	国内外	内陸	4.27～7.9	200km以内	100≦Vs30≦2000m/s	原論文の評価式を用いて補正
Boore and Atkinson(2008)			4.27～7.9	400km以内	NEHRP分類A～E	原論文の評価式を用いて補正
Campbell and Bozorgnia(2008)			4.27～7.9	200km以内	150≦Vs30≦1500m/s	原論文の評価式を用いて補正
Chiou and Youngs(2008)			4.27～7.9	70km以内	100≦Vs30≦2000m/s	原論文の評価式を用いて補正
Idriss(2008)			4.5～7.7	200km以内	450≦Vs30≦900m/s	原論文の評価式を用いて補正

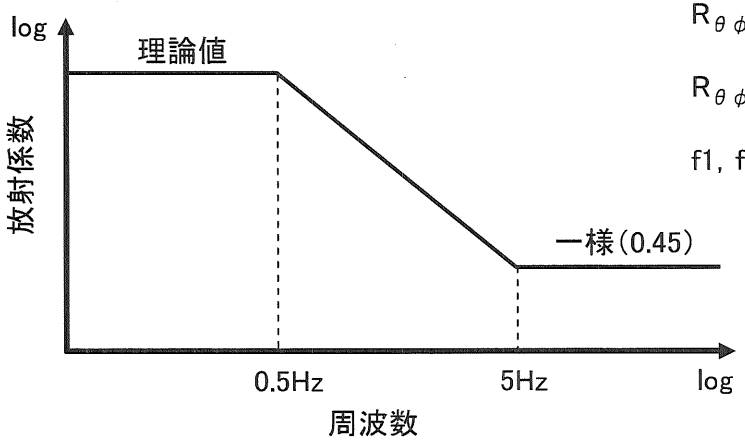
※Vs30：地表から深さ30mまでの平均S波速度（大飯はVs30=2200m/s）

3. 地震動評価手法

■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波の放射特性を、釜江・他(1990)による振動数に依存するモデル(下式)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=0.5Hz、f_2=5Hzと設定した。

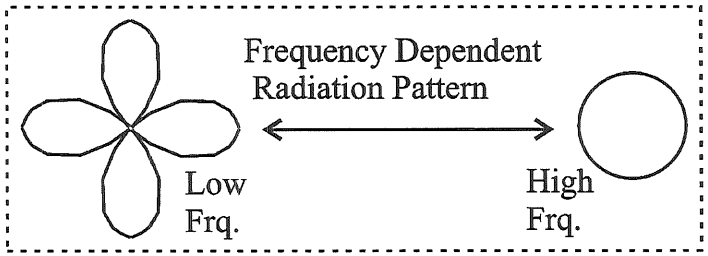
$$R_{\theta\phi}(f)=\frac{\left(\log(f_2)-\log(f)\right)R_{\theta\phi 0}+\left(\log(f)-\log(f_1)\right)R_{\theta\phi m}}{\log(f_2)-\log(f_1)}$$



$R_{\theta\phi 0}$: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

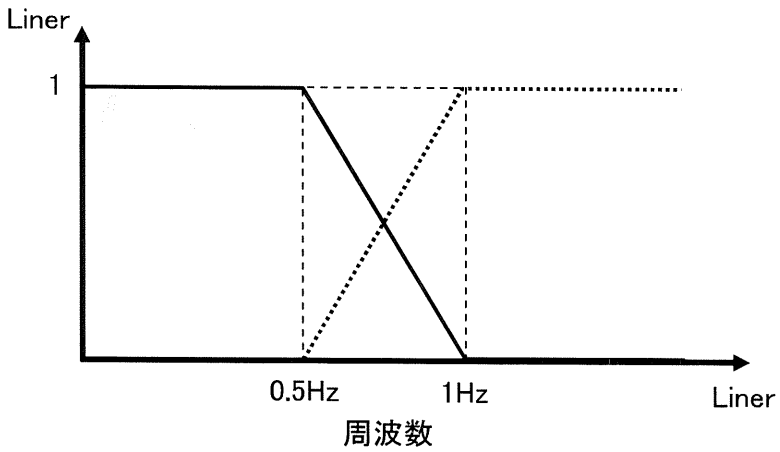
$R_{\theta\phi m}$:高周波数で等方放射として平均化された放射係数

f1, f2:理論的な放射から等方的な放射へと遷移する周波数帯



3. 地震動評価手法

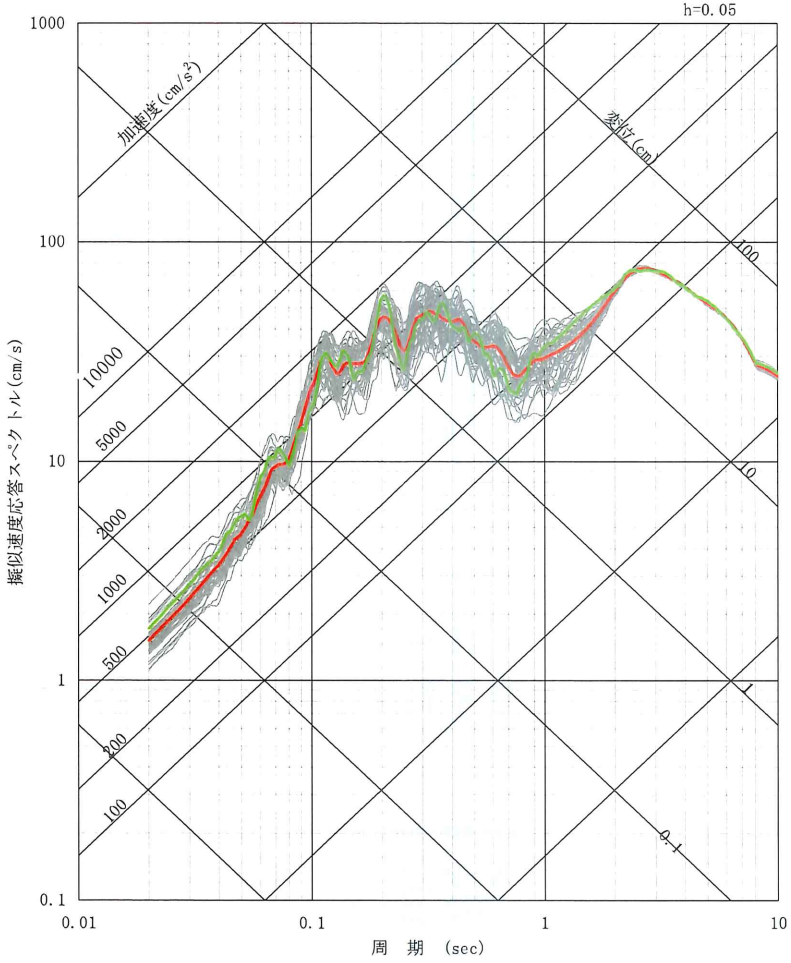
■統計的グリーン関数法と理論的方法の結果のハイブリッドのフィルター
遷移周波数帯(0.5Hz～1Hz)で相補的に低減するフィルター(マッチングフィルター)を施した。



マッチングフィルターの形状

3. 地震動評価手法

■破壊伝播速度Vrは、Geller(1976)によりS波速度の0.72倍とする。また、統計的グリーン関数法における位相の乱数と、破壊伝播速度Vrを±5%の揺らぎを与える乱数を変えて50組の波形合成を行い、50波の平均値（減衰定数5%の擬似速度応答スペクトル）との残差が最小となる波形を選定した。



「震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」）」（平成21年12月21日）には、以下のとおり記載されている。

平均破壊伝播速度Vr（km/s）は、特にその震源域の詳しい情報がない限り、Geller（1976）による地震発生層のS波速度 β（km/s）との経験式　$Vr = 0.72 \cdot \beta$　により推定する。

50波平均
選定波

4. 地震動評価結果（FO-A～FO-B断層と熊川断層との3連動）

■FO-A～FO-B断層と熊川断層との3連動を考慮した場合の地震動評価ケースにおいては以下のとおり設定した。

①基本ケースの震源モデルを調査結果等に基づき、左横ずれ断層傾斜角90°、すべり角0°と設定。

②考慮する不確かさケース

・新潟県中越沖地震の反映を踏まえ短周期の地震動レベルを1．5倍としたケースを考慮
・断層傾斜角について敷地側へ近くなるように傾斜させた傾斜角75°としたケースを考慮
・横ずれ断層であるが、縦ずれ成分もあることも想定し、すべり角30°としたケースを考慮
・破壊伝播速度については基本ケースVr=0.72β（βは地震発生層のS波速度）に対して、宮腰・他（2003）の知見を参考にしてアスペリティ領域の平均的な破壊伝播速度に標準偏差1σを考慮したVr=0.87βとしたケースを考慮
・アスペリティ位置については、基本ケースにおいて各断層ごとに敷地近傍に配置しているが、さらにすべてのアスペリティを一塊として敷地近傍に配置し、影響が大きくなるようなケース（アスペリティの形状を変えて2ケース）を考慮

なお、破壊開始点については、すべてのケースにおいて、断層およびアスペリティ下端に複数のケースを設定した。その結果、全55ケースを評価した。

4. 地震動評価結果

FO-A～FO-B断層と熊川断層との3連動を考慮した場合の地震動評価ケース

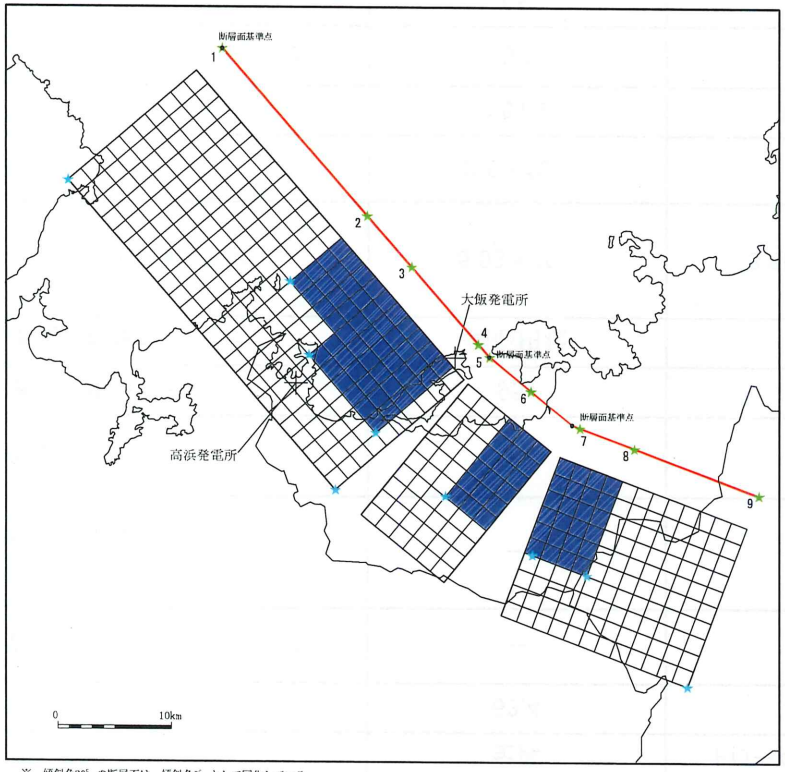
	短周期の地震動レベル	断層傾斜角	すべり角	破壊伝播速度Vr	アスペリティ	破壊開始点
基本ケース	レシピ平均	90°	0°	Vr=0.72β	敷地近傍に配置	複数設定
短周期の地震動レベルの不確かさを考慮	レシピ平均×1.5倍	90°	0°	Vr=0.72β	敷地近傍に配置	複数設定
断層傾斜角の不確かさを考慮	レシピ平均	75°	0°	Vr=0.72β	敷地近傍に配置	複数設定
すべり角の不確かさを考慮	レシピ平均	90°	30°	Vr=0.72β	敷地近傍に配置	複数設定
破壊伝播速度Vrの不確かさを考慮	レシピ平均	90°	0°	Vr=0.87β	敷地近傍に配置	複数設定
アスペリティ配置の不確かさを考慮	レシピ平均	90°	0°	Vr=0.72β	敷地近傍で一塊	複数設定
	レシピ平均	90°	0°	Vr=0.72β	敷地近傍で一塊・横長	複数設定

：不確かさを考慮したパラメータ

4. 地震動評価結果

第111回審査会合
資料加筆修正

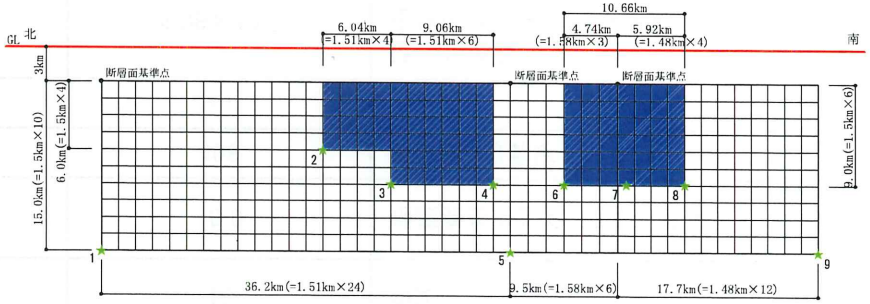
■FO-A～FO-B～熊川断層のモデル図
（基本ケース、短周期の地震動レベル1.5倍ケース、すべり角30°ケース、Vr=0.87βケース）



※ 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



断面図

4. 地震動評価結果

■FO-A～FO-B～熊川断層の断層パラメータ（基本ケース、短周期の地震動レベル1.5倍ケース）

断層パラメータ	パラメータ			設定方法
	全体	FO－A～FO－B	熊川	
断層長さL（km）	63.4	36.2	27.2	断層位置から計算
断層傾斜角（°）	－	90	90	調査結果に基づき設定
断層上端深さ（km） 断層下端深さ（km）	－	3 18	3 18	微小地震の発生及び地下構造を参考に設定
断層幅W（km）	－	15.0	15.0	地震発生層と傾斜角から設定
断層面積S（km^2）	951	543	408	断層面より算定
破壊伝播様式	同心円状	←	←	－
地震モーメントM_0（Nm）	5.03×10^{19}	3.05×10^{19}	1.98×10^{19}	$M_0=\{S/(4.24\times10^{-11})\}^{2.0}$ 全体の地震モーメントを断層面積の1.5乗比で分配
剛性率μ（N/m^2）	3.5×10^{10}	←	←	$\mu=\rho\beta^2$、ρ=2.7g/cm^3、β=3.6km/s
平均すべり量D（cm）	151.2	160.3	139.0	$D=M_0/(\mu S)$
平均応力降下量$\Delta\sigma$（MPa）	3.1	←	←	Fujii and Matsu'ura(2000)
破壊伝播速度Vr（km/s）	2.59	←	←	$Vr=0.72\beta$
立ち上がり時間Tr(sec)	1.61	←	←	$Tr=2.03\times10^{-9}M_0^{1/3}$
高周波限界遮断周波数fmax（Hz）	8.3	←	←	香川他(2003)
短周期レベルA（Nm/s^2）（参考）	1.96×10^{19}	←	←	$A=2.46\times10^{10}\times(M_0\times10^7)^{1/3}$
Q値	$50f^{1.1}$	←	←	佐藤他(2007)

4. 地震動評価結果

■FO-A～FO-B～熊川断層の断層パラメータ（基本ケース、短周期の地震動レベル1.5倍ケース）

断層パラメータ		パラメータ			設定方法
		全体	FO－A～FO－B	熊川	
全アスペリティ	面積S_a(km^2)	209.22	119.46	89.76	$Sa=\gamma asp\times S$, $\gamma asp=0.22$
	平均すべり量D_a(cm)	303.9	322.3	279.4	$D_a=\gamma_D D$、$\gamma_D=2.01$
	地震モーメントM_{0a}(Nm)	2.22×10^{19}	1.35×10^{19}	8.77×10^{18}	$M_{0a}=\mu S_a D_a$
	応力降下量$\Delta\sigma_a$(MPa)	14.1	←	←	$\Delta\sigma_a=(S/S_a)\Delta\sigma$
大アスペリティ	面積S_{a1}(km^2)	－	79.64		$S_{a1}=2/3S_a$
	平均すべり量D_{a1}(cm)	－	357.1		$D_{a1}=M_{0a1}/(\mu S_{a1})$
	地震モーメントM_{0a1}(Nm)	－	9.95×10^{18}		$M_{0a1}=M_{0a}S_{a1}^{1.5}/(S_{a1}^{1.5}+S_{a2}^{1.5})$
	応力降下量$\Delta\sigma_{a1}$(MPa)	－	14.1		$\Delta\sigma_{a1}=\Delta\sigma_a$
小アスペリティ	面積S_{a2}(km^2)	－	39.82		$S_{a2}=1/3S_a$
	平均すべり量D_{a2}(cm)	－	252.5		$D_{a2}=M_{0a2}/(\mu S_{a2})$
	地震モーメントM_{0a2}(Nm)	－	3.52×10^{18}		$M_{0a2}=M_{0a}S_{a2}^{1.5}/(S_{a1}^{1.5}+S_{a2}^{1.5})$
	応力降下量$\Delta\sigma_{a2}$(MPa)	－	14.1		$\Delta\sigma_{a2}=\Delta\sigma_a$
背景領域	面積S_b(km^2)	741.78	423.54	318.24	$S_b=S-S_a$
	平均すべり量D_b(cm)	108.1	114.7	99.4	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$
	地震モーメントM_{0b}(Nm)	2.81×10^{19}	1.70×10^{19}	1.11×10^{19}	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$
	実効応力σ_b(MPa)	2.8	←	←	$\sigma_b=0.2\Delta\sigma_a$

4. 地震動評価結果

■FO-A～FO-B～熊川断層の断層パラメータ（すべり角30° ケース）

断層パラメータ	パラメータ			設定方法
	全体	FO－A～FO－B	熊川	
断層長さL（km）	63.4	36.2	27.2	断層位置から計算
断層傾斜角（°）	－	90	90	調査結果に基づき設定
すべり角（°）	－	30	30	調査結果に基づき設定
断層上端深さ（km） 断層下端深さ（km）	－	3 18	3 18	微小地震の発生及び地下構造を参考に設定
断層幅W（km）	－	15.0	15.0	地震発生層と傾斜角から設定
断層面積S（km^2）	951	543	408	断層面より算定
破壊伝播様式	同心円状	←	←	－
地震モーメントM_0（Nm）	5.03×10^{19}	3.05×10^{19}	1.98×10^{19}	$M_0=\{S/(4.24\times10^{-11})\}^{2.0}$ 全体の地震モーメントを断層面積の1.5乗比で分配
剛性率μ（N/m^2）	3.5×10^{10}	←	←	$\mu=\rho\beta^2$、ρ=2.7g/cm^3、β=3.6km/s
平均すべり量D（cm）	151.2	160.3	139.0	$D=M_0/(\mu S)$
平均応力降下量$\Delta\sigma$（MPa）	3.1	←	←	Fujii and Matsu'ura(2000)
破壊伝播速度Vr（km/s）	2.59	←	←	$Vr=0.72\beta$
立ち上がり時間Tr(sec)	1.61	←	←	$Tr=2.03\times10^{-9}M_0^{1/3}$
高周波限界遮断周波数fmax（Hz）	8.3	←	←	香川他(2003)
短周期レベルA（Nm/s^2）（参考）	1.96×10^{19}	←	←	$A=2.46\times10^{10}\times(M_0\times10^7)^{1/3}$
Q値	$50f^{1.1}$	←	←	佐藤他(2007)

4. 地震動評価結果

第111回審査会合
資料加筆修正

■FO-A～FO-B～熊川断層の断層パラメータ（すべり角30° ケース）

断層パラメータ		パラメータ			設定方法
		全体	FO－A～FO－B	熊川	
全アスペリティ	面積S_a(km^2)	209.22	119.46	89.76	$Sa=\gamma asp\times S$, $\gamma asp=0.22$
	平均すべり量D_a(cm)	303.9	322.3	279.4	$D_a=\gamma_D D$、$\gamma_D=2.01$
	地震モーメントM_{0a}(Nm)	2.22×10^{19}	1.35×10^{19}	8.77×10^{18}	$M_{0a}=\mu S_a D_a$
	応力降下量$\Delta\sigma_a$(MPa)	14.1	←	←	$\Delta\sigma_a=(S/S_a)\Delta\sigma$
大アスペリティ	面積S_{a1}(km^2)	－	79.64		$S_{a1}=2/3S_a$
	平均すべり量D_{a1}(cm)	－	357.1		$D_{a1}=M_{0a1}/(\mu S_{a1})$
	地震モーメントM_{0a1}(Nm)	－	9.95×10^{18}		$M_{0a1}=M_{0a}S_{a1}^{1.5}/(S_{a1}^{1.5}+S_{a2}^{1.5})$
	応力降下量$\Delta\sigma_{a1}$(MPa)	－	14.1		$\Delta\sigma_{a1}=\Delta\sigma_a$
小アスペリティ	面積S_{a2}(km^2)	－	39.82		$S_{a2}=1/3S_a$
	平均すべり量D_{a2}(cm)	－	252.5		$D_{a2}=M_{0a2}/(\mu S_{a2})$
	地震モーメントM_{0a2}(Nm)	－	3.52×10^{18}		$M_{0a2}=M_{0a}S_{a2}^{1.5}/(S_{a1}^{1.5}+S_{a2}^{1.5})$
	応力降下量$\Delta\sigma_{a2}$(MPa)	－	14.1		$\Delta\sigma_{a2}=\Delta\sigma_a$
背景領域	面積S_b(km^2)	741.78	423.54	318.24	$S_b=S-S_a$
	平均すべり量D_b(cm)	108.1	114.7	99.4	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$
	地震モーメントM_{0b}(Nm)	2.81×10^{19}	1.70×10^{19}	1.11×10^{19}	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$
	実効応力σ_b(MPa)	2.8	←	←	$\sigma_b=0.2\Delta\sigma_a$

4. 地震動評価結果

■FO-A～FO-B～熊川断層の断層パラメータ(Vr=0.87β ケース)

断層パラメータ	パラメータ			設定方法
	全体	FO－A～FO－B	熊川	
断層長さL(km)	63.4	36.2	27.2	断層位置から計算
断層傾斜角(°)	－	90	90	調査結果に基づき設定
断層上端深さ(km) 断層下端深さ(km)	－	3 18	3 18	微小地震の発生及び地下構造を参考に設定
断層幅W(km)	－	15.0	15.0	地震発生層と傾斜角から設定
断層面積S(km^2)	951	543	408	断層面より算定
破壊伝播様式	同心円状	←	←	－
地震モーメントM_0(Nm)	5.03×10^{19}	3.05×10^{19}	1.98×10^{19}	$M_0=\{S/(4.24\times10^{-11})\}^{2.0}$ 全体の地震モーメントを断層面積の1.5乗比で分配
剛性率μ(N/m^2)	3.5×10^{10}	←	←	$\mu=\rho\beta^2$、ρ=2.7g/cm^3、β=3.6km/s
平均すべり量D(cm)	151.2	160.3	139.0	$D=M_0/(\mu S)$
平均応力降下量Δσ(MPa)	3.1	←	←	Fujii and Matsu'ura(2000)
破壊伝播速度Vr(km/s)	3.13	←	←	Vr=0.87β
立ち上がり時間Tr(sec)	1.61	←	←	$Tr=2.03\times10^{-9}M_0^{1/3}$
高周波限界遮断周波数fmax(Hz)	8.3	←	←	香川他(2003)
短周期レベルA(Nm/s^2)(参考)	1.96×10^{19}	←	←	$A=2.46\times10^{10}\times(M_0\times10^7)^{1/3}$
Q値	$50f^{1.1}$	←	←	佐藤他(2007)

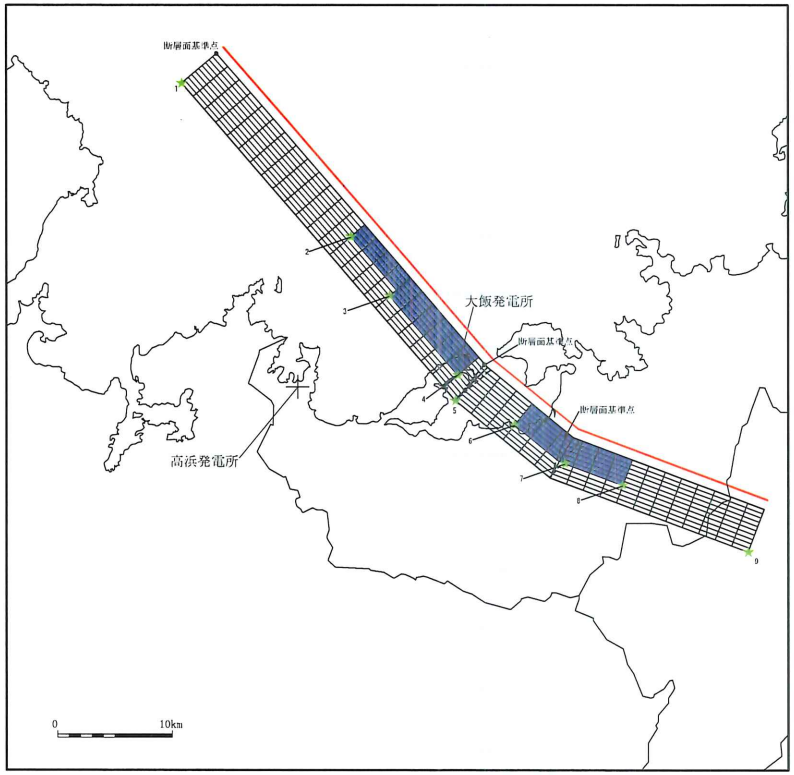
4. 地震動評価結果

■FO-A～FO-B～熊川断層の断層パラメータ(Vr=0.87βケース)

断層パラメータ		パラメータ			設定方法
		全体	FO－A～FO－B	熊川	
全アスペリティ	面積S_a(km^2)	209.22	119.46	89.76	$Sa=\gamma asp\times S$, $\gamma asp=0.22$
	平均すべり量D_a(cm)	303.9	322.3	279.4	$D_a=\gamma_D D$、$\gamma_D=2.01$
	地震モーメントM_{0a}(Nm)	2.22×10^{19}	1.35×10^{19}	8.77×10^{18}	$M_{0a}=\mu S_a D_a$
	応力降下量$\Delta\sigma_a$(MPa)	14.1	←	←	$\Delta\sigma_a=(S/S_a)\Delta\sigma$
大アスペリティ	面積S_{a1}(km^2)	—	79.64		$S_{a1}=2/3S_a$
	平均すべり量D_{a1}(cm)	—	357.1		$D_{a1}=M_{0a1}/(\mu S_{a1})$
	地震モーメントM_{0a1}(Nm)	—	9.95×10^{18}		$M_{0a1}=M_{0a}S_{a1}^{1.5}/(S_{a1}^{1.5}+S_{a2}^{1.5})$
	応力降下量$\Delta\sigma_{a1}$(MPa)	—	14.1		$\Delta\sigma_{a1}=\Delta\sigma_a$
小アスペリティ	面積S_{a2}(km^2)	—	39.82		$S_{a2}=1/3S_a$
	平均すべり量D_{a2}(cm)	—	252.5		$D_{a2}=M_{0a2}/(\mu S_{a2})$
	地震モーメントM_{0a2}(Nm)	—	3.52×10^{18}		$M_{0a2}=M_{0a}S_{a2}^{1.5}/(S_{a1}^{1.5}+S_{a2}^{1.5})$
	応力降下量$\Delta\sigma_{a2}$(MPa)	—	14.1		$\Delta\sigma_{a2}=\Delta\sigma_a$
背景領域	面積S_b(km^2)	741.78	423.54	318.24	$S_b=S-S_a$
	平均すべり量D_b(cm)	108.1	114.7	99.4	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$
	地震モーメントM_{0b}(Nm)	2.81×10^{19}	1.70×10^{19}	1.11×10^{19}	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$
	実効応力σ_b(MPa)	2.8	←	←	$\sigma_b=0.2\Delta\sigma_a$

4. 地震動評価結果

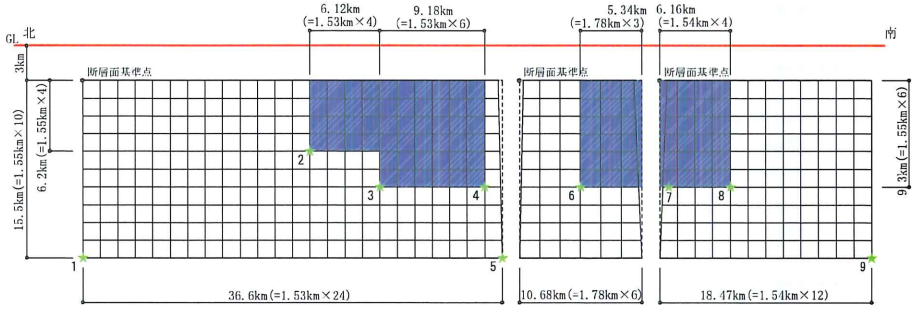
■FO-A～FO-B～熊川断層のモデル図（傾斜角75° ケース）



※ 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



★：破壊開始点

断面図

■FO-A～FO-B～熊川断層の断層パラメータ（傾斜角75° ケース）

断層パラメータ	パラメータ			設定方法
	全体	FO－A～FO－B	熊川	
断層長さL（km）	64.7	36.4	28.3	断層位置から計算
断層傾斜角（° ）	－	75	75	調査結果に基づき設定
断層上端深さ（km） 断層下端深さ（km）	－	3 18	3 18	微小地震の発生及び地下構造を参考に設定
断層幅W（km）	－	15.5	15.5	地震発生層と傾斜角から設定
断層面積S（km^2）	1002.85	564.2	438.65	断層面より算定
破壊伝播様式	同心円状	←	←	－
地震モーメントM_0（Nm）	5.59×10^{19}	3.32×10^{19}	2.28×10^{19}	$M_0=\{S/(4.24\times10^{-11})\}^{2.0}$ 全体の地震モーメントを断層面積の1.5乗比で分配
剛性率μ（N/m^2）	3.5×10^{10}	←	←	$\mu=\rho\beta^2$、ρ=2.7g/cm^3、β=3.6km/s
平均すべり量D（cm）	159.4	168.1	148.2	$D=M_0/(\mu S)$
平均応力降下量$\Delta\sigma$（MPa）	3.1	←	←	Fujii and Matsu'ura(2000)
破壊伝播速度Vr（km/s）	2.59	←	←	$Vr=0.72\beta$
立ち上がり時間Tr(sec)	1.67	←	←	$Tr=2.03\times10^{-9}M_0^{1/3}$
高周波限界遮断周波数fmax（Hz）	8.3	←	←	香川他(2003)
短周期レベルA（Nm/s^2）（参考）	2.03×10^{19}	←	←	$A=2.46\times10^{10}\times(M_0\times10^7)^{1/3}$
Q値	$50f^{1.1}$	←	←	佐藤他(2007)

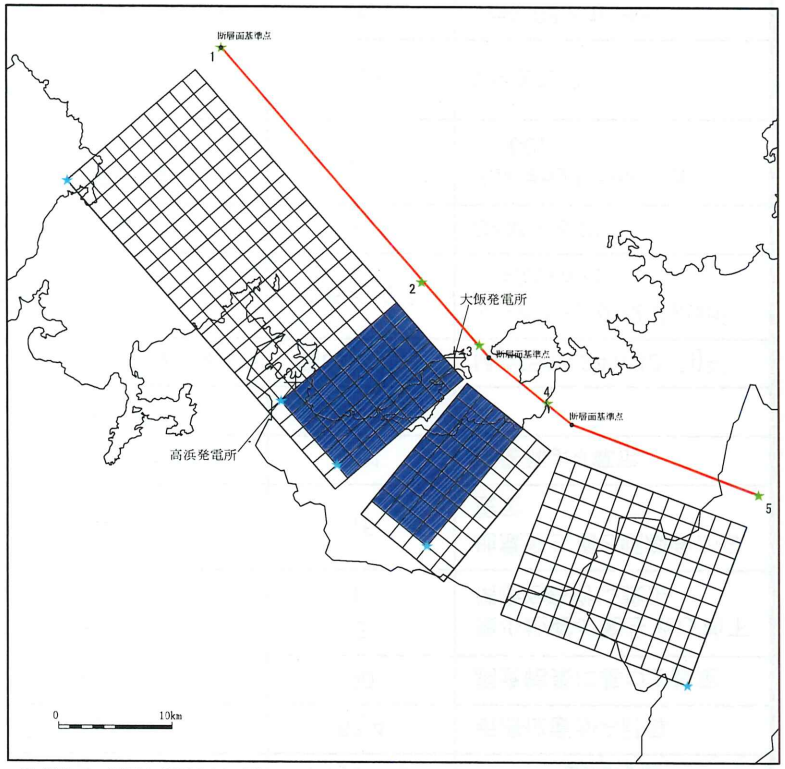
4. 地震動評価結果

■FO-A～FO-B～熊川断層の断層パラメータ（傾斜角75° ケース）

断層パラメータ		パラメータ			設定方法
		全体	FO－A～FO－B	熊川	
全アスペリティ	面積S_a(km^2)	220.63	124.12	96.50	$Sa=\gamma asp\times S$, $\gamma asp=0.22$
	平均すべり量D_a(cm)	320.4	337.9	297.9	$D_a=\gamma_D D$、$\gamma_D=2.01$
	地震モーメントM_{0a}(Nm)	2.47×10^{19}	1.47×10^{19}	1.01×10^{19}	$M_{0a}=\mu S_a D_a$
	応力降下量$\Delta\sigma_a$(MPa)	14.1	←	←	$\Delta\sigma_a=(S/S_a)\Delta\sigma$
大アスペリティ	面積S_{a1}(km^2)	—	82.75		$S_{a1}=2/3S_a$
	平均すべり量D_{a1}(cm)	—	374.5		$D_{a1}=M_{0a1}/(\mu S_{a1})$
	地震モーメントM_{0a1}(Nm)	—	1.08×10^{19}		$M_{0a1}=M_{0a}S_{a1}^{1.5}/(S_{a1}^{1.5}+S_{a2}^{1.5})$
	応力降下量$\Delta\sigma_{a1}$(MPa)	—	14.1		$\Delta\sigma_{a1}=\Delta\sigma_a$
小アスペリティ	面積S_{a2}(km^2)	—	41.37		$S_{a2}=1/3S_a$
	平均すべり量D_{a2}(cm)	—	264.8		$D_{a2}=M_{0a2}/(\mu S_{a2})$
	地震モーメントM_{0a2}(Nm)	—	3.83×10^{18}		$M_{0a2}=M_{0a}S_{a2}^{1.5}/(S_{a1}^{1.5}+S_{a2}^{1.5})$
	応力降下量$\Delta\sigma_{a2}$(MPa)	—	14.1		$\Delta\sigma_{a2}=\Delta\sigma_a$
背景領域	面積S_b(km^2)	782.22	440.08	342.15	$S_b=S-S_a$
	平均すべり量D_b(cm)	114.0	120.2	106.0	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$
	地震モーメントM_{0b}(Nm)	3.12×10^{19}	1.85×10^{19}	1.27×10^{19}	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$
	実効応力σ_b(MPa)	2.8	←	←	$\sigma_b=0.2\Delta\sigma_a$

4. 地震動評価結果

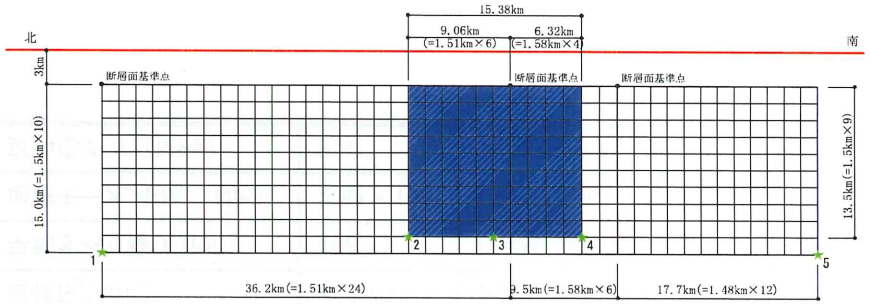
■FO-A～FO-B～熊川断層のモデル図（アスペリティー塊ケース）



※　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



断面図

4. 地震動評価結果

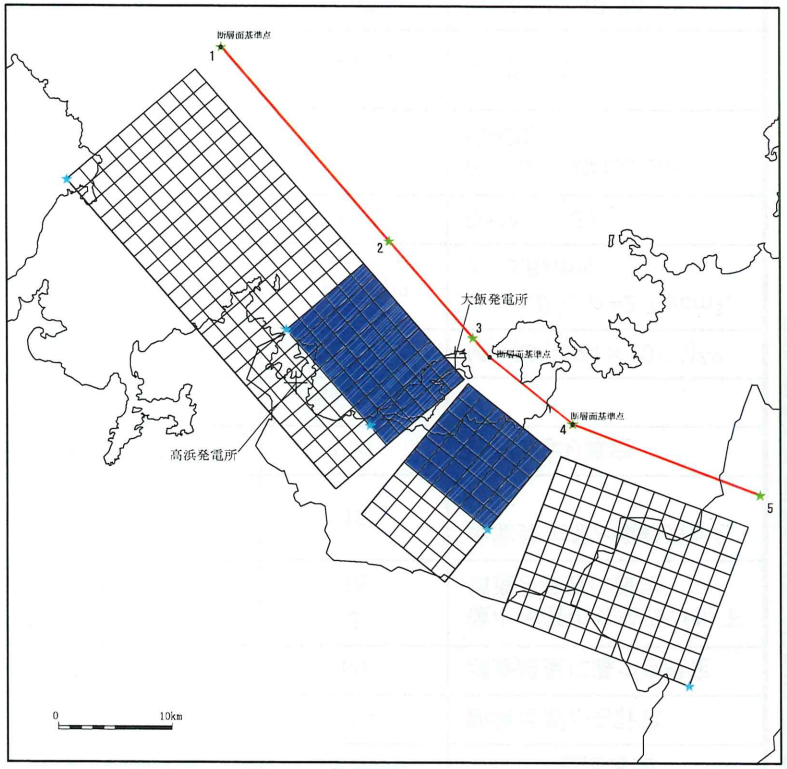
■FO-A～FO-B～熊川断層の断層パラメータ（アスペリティー塊ケース）

断層パラメータ	パラメータ	設定方法
断層長さL（km）	63.4	断層位置から計算
断層傾斜角（°）	90	調査結果に基づき設定
断層上端深さ（km） 断層下端深さ（km）	3 18	微小地震の発生及び地下構造を参考に設定
断層幅W（km）	15	地震発生層と傾斜角から設定
断層面積S（km^2）	951	断層面より算定
破壊伝播様式	同心円状	―
地震モーメントM_0（Nm）	5.03×10^{19}	$M_0=\{S/(4.24\times10^{-11})\}^{2.0}$
剛性率(N/m^2)	3.5×10^{10}	$\mu=\rho\beta^2$、ρ=2.7g/cm^3、β=3.6km/s
平均すべり量D（cm）	151.2	$D=M_0/(\mu S)$
平均応力降下量$\Delta\sigma$（MPa）	3.1	Fujii and Matsu'ura (2000)
破壊伝播速度Vr（km/s）	2.59	$Vr=0.72\beta$
立ち上がり時間Tr(sec)	1.61	$Tr=2.03\times10^{-9}M_0^{1/3}$
高周波限界遮断周波数fmax（Hz）	8.3	香川ほか、2003
短周期レベルA（Nm/s^2）	1.96×10^{19}	$A=2.46\times10^{17}\times M_0^{1/3}$
Q値	$50f^{1.1}$	佐藤ほか、2007

断層パラメータ		パラメータ	設定方法
アスペリティ	面積S_a（km^2）	209.22	$Sa=\gamma asp\times S$, $\gamma asp=0.22$
	平均すべり量D_a（cm）	303.9	$D_a=\gamma_D D$、$\gamma_D=2.01$
	地震モーメントM_{0a}（Nm）	2.22×10^{19}	$M_{0a}=\mu S_a D_a$
	応力降下量$\Delta\sigma_a$（MPa）	14.1	$\Delta\sigma_a=(S/S_a)\Delta\sigma$
背景領域	面積S_b（km^2）	741.78	$S_b=S-S_a$
	平均すべり量D_b（cm）	108.1	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$
	地震モーメントM_{0b}（Nm）	2.81×10^{19}	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$
	実効応力σ_b（MPa）	2.8	$\sigma_b=0.2\Delta\sigma_a$

4. 地震動評価結果

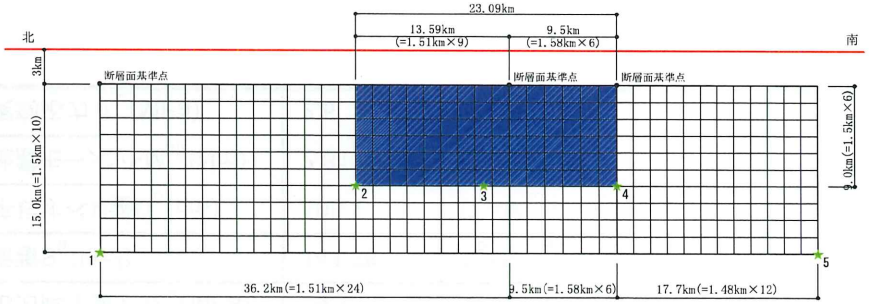
■FO-A～FO-B～熊川断層のモデル図（アスペリティー塊横長ケース）



※　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



断面図

4. 地震動評価結果

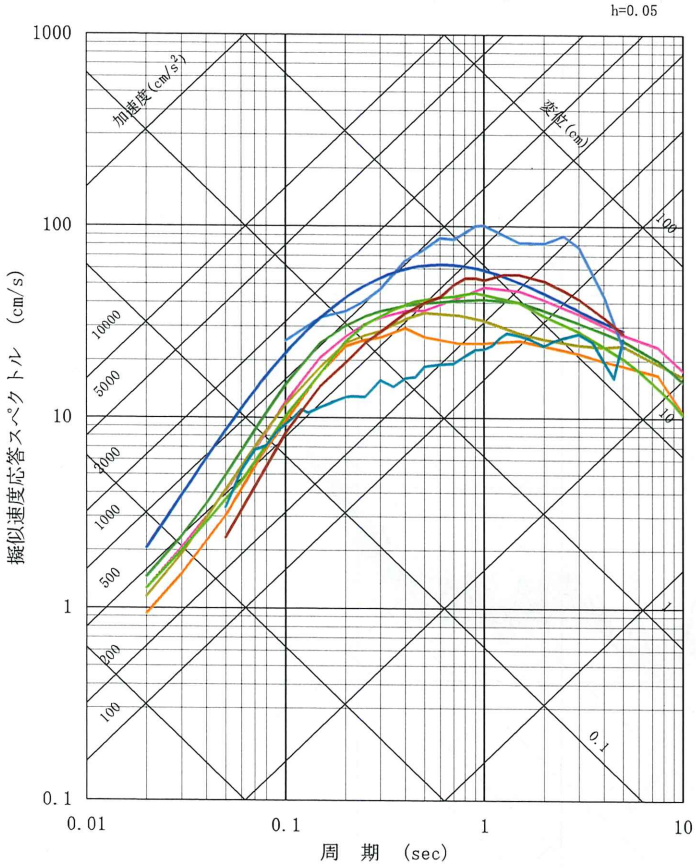
■FO-A～FO-B～熊川断層の断層パラメータ（アスペリティー塊横長ケース）

断層パラメータ	パラメータ	設定方法
断層長さL（km）	63.4	断層位置から計算
断層傾斜角（°）	90	調査結果に基づき設定
断層上端深さ（km） 断層下端深さ（km）	3 18	微小地震の発生及び地下構造を参考に設定
断層幅W（km）	15	地震発生層と傾斜角から設定
断層面積S（km^2）	951	断層面より算定
破壊伝播様式	同心円状	―
地震モーメントM_0（Nm）	5.03×10^{19}	$M_0=\{S/(4.24\times10^{-11})\}^{2.0}$
剛性率(N/m^2)	3.5×10^{10}	$\mu=\rho\beta^2$、ρ=2.7g/cm^3、β=3.6km/s
平均すべり量D（cm）	151.2	$D=M_0/(\mu S)$
平均応力降下量$\Delta\sigma$（MPa）	3.1	Fujii and Matsu'ura (2000)
破壊伝播速度Vr（km/s）	2.59	$Vr=0.72\beta$
立ち上がり時間Tr(sec)	1.61	$Tr=2.03\times10^{-9}M_0^{1/3}$
高周波限界遮断周波数fmax（Hz）	8.3	香川ほか、2003
短周期レベルA（Nm/s^2）	1.96×10^{19}	$A=2.46\times10^{17}\times M_0^{1/3}$
Q値	$50f^{1.1}$	佐藤ほか、2007

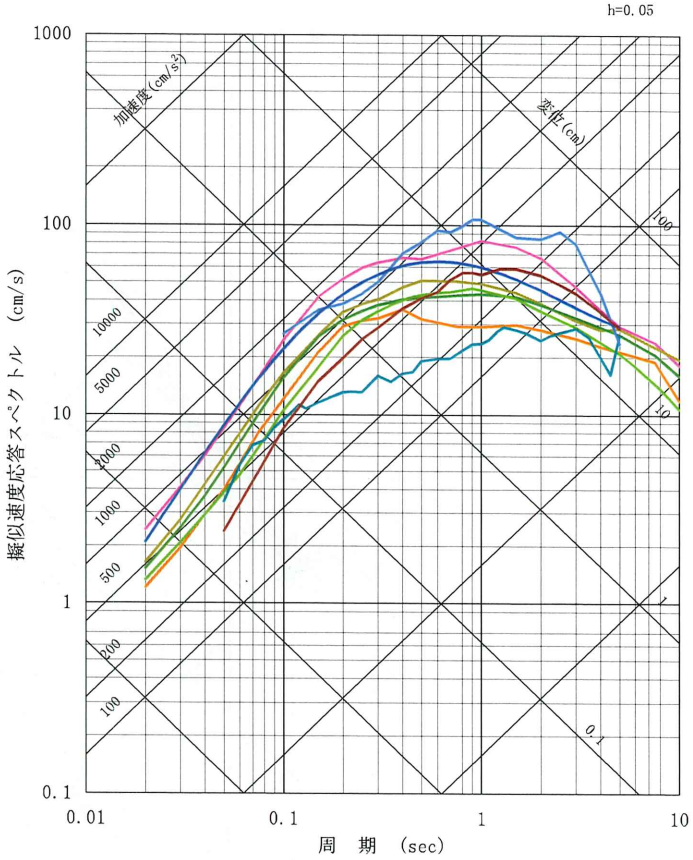
断層パラメータ		パラメータ	設定方法
アスペリティ	面積S_a（km^2）	209.22	$Sa=\gamma asp\times S$, $\gamma asp=0.22$
	平均すべり量D_a（cm）	303.9	$D_a=\gamma_D D$、$\gamma_D=2.01$
	地震モーメントM_{0a}（Nm）	2.22×10^{19}	$M_{0a}=\mu S_a D_a$
	応力降下量$\Delta\sigma_a$（MPa）	14.1	$\Delta\sigma_a=(S/S_a)\Delta\sigma$
背景領域	面積S_b（km^2）	741.78	$S_b=S-S_a$
	平均すべり量D_b（cm）	108.1	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$
	地震モーメントM_{0b}（Nm）	2.81×10^{19}	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$
	実効応力σ_b（MPa）	2.8	$\sigma_b=0.2\Delta\sigma_a$

4. 地震動評価結果

■各種距離減衰式による地震動評価結果：FO-A～FO-B～熊川断層



基本ケース

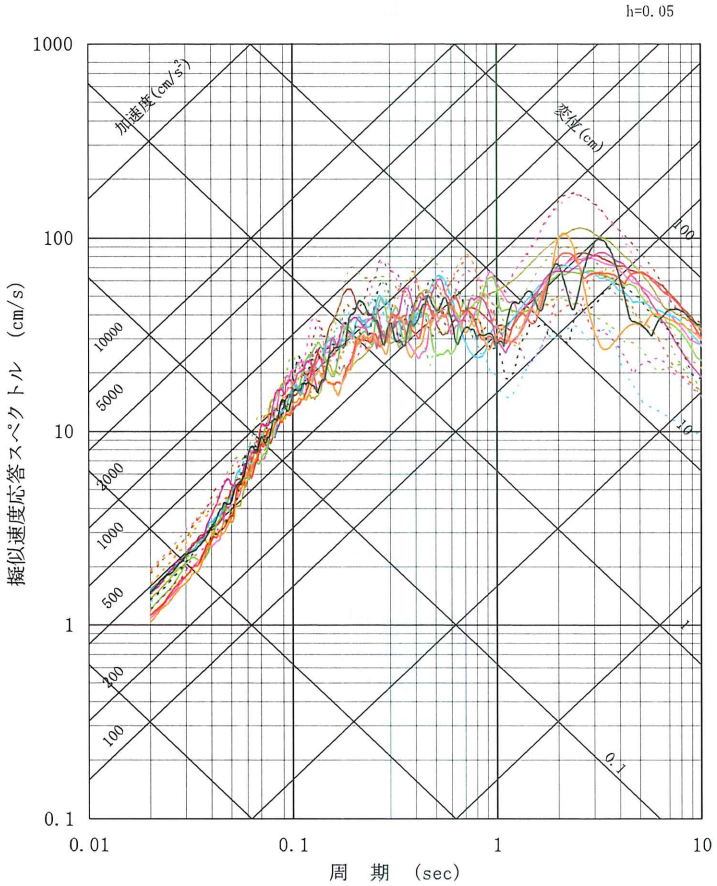


傾斜角75° ケース

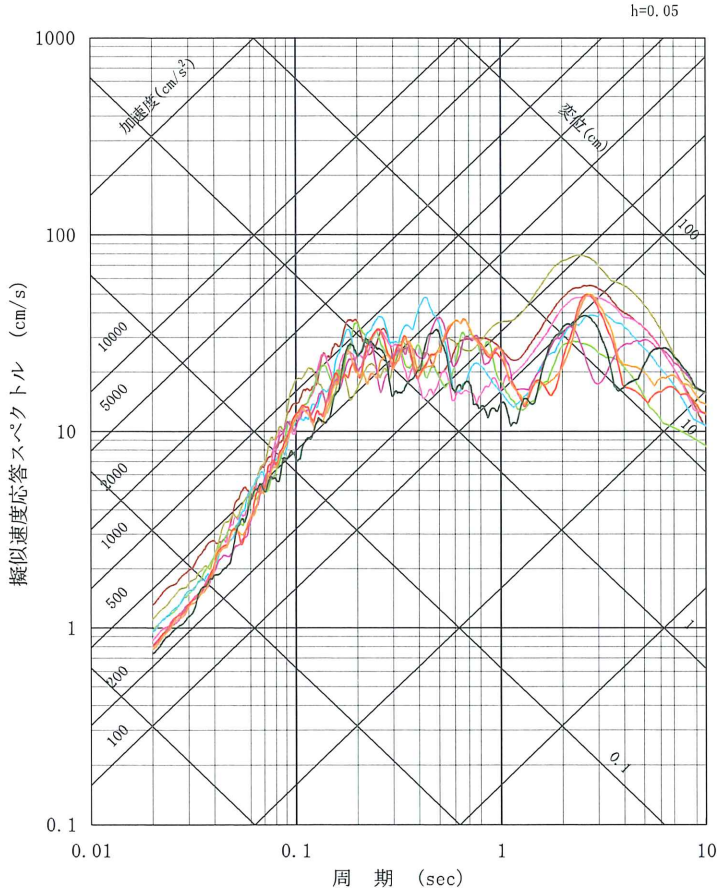
- Abrahamson and Silva (2008)
- Boore and Atkinson (2008)
- Campbell and Bozorgnia (2008)
- Chiou and Youngs(2008)
- Idriss (2008)
- Kanno et al. (2006)
- 片岡・他(2006)
- 内山・翠川(2006)
- Zhao et al. (2006)

4. 地震動評価結果

■断層モデルを用いた手法による地震動評価結果：FO-A～FO-B～熊川断層：基本ケース



水平方向（実線: NS方向、破線: EW方向）

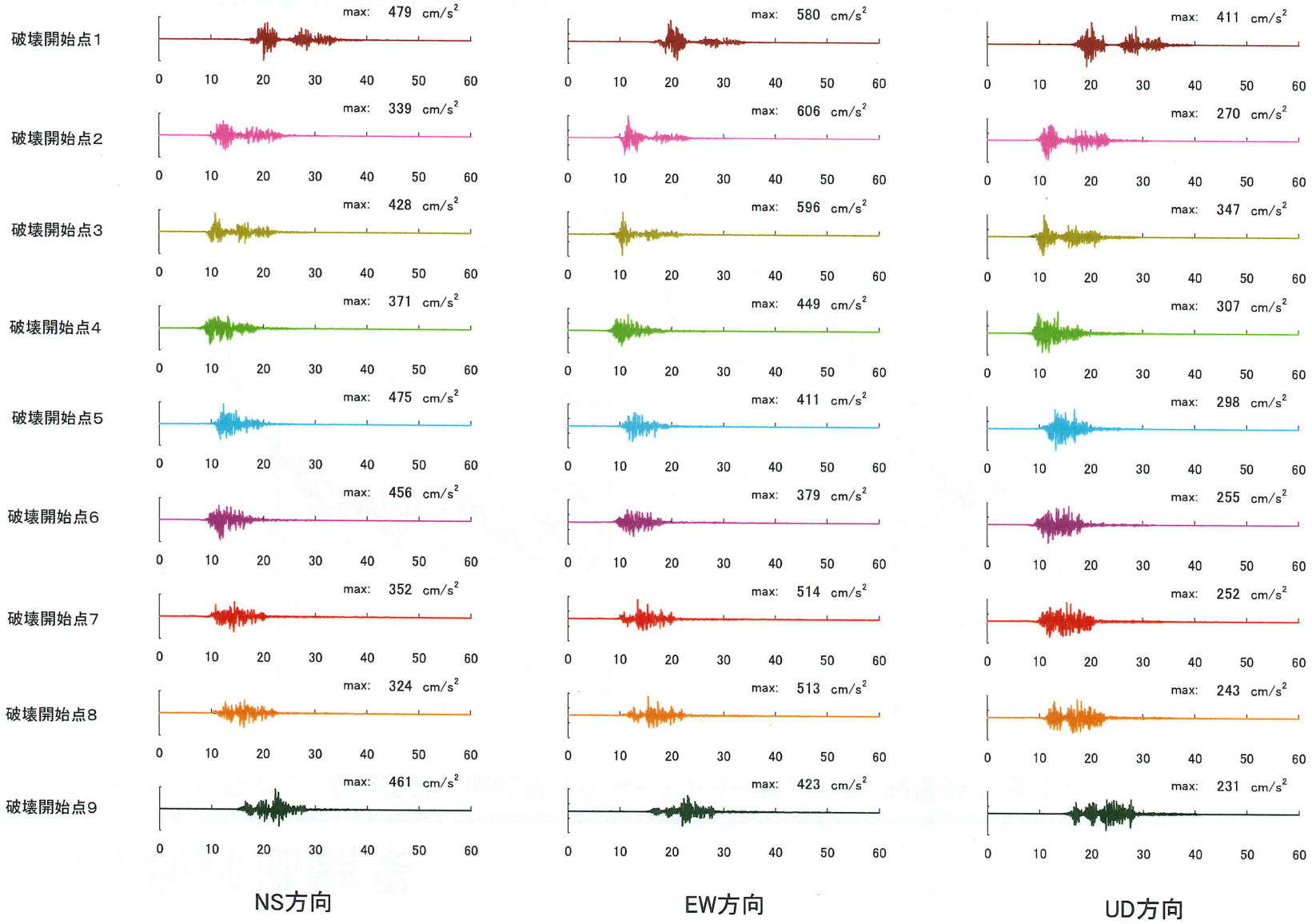


鉛直方向

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

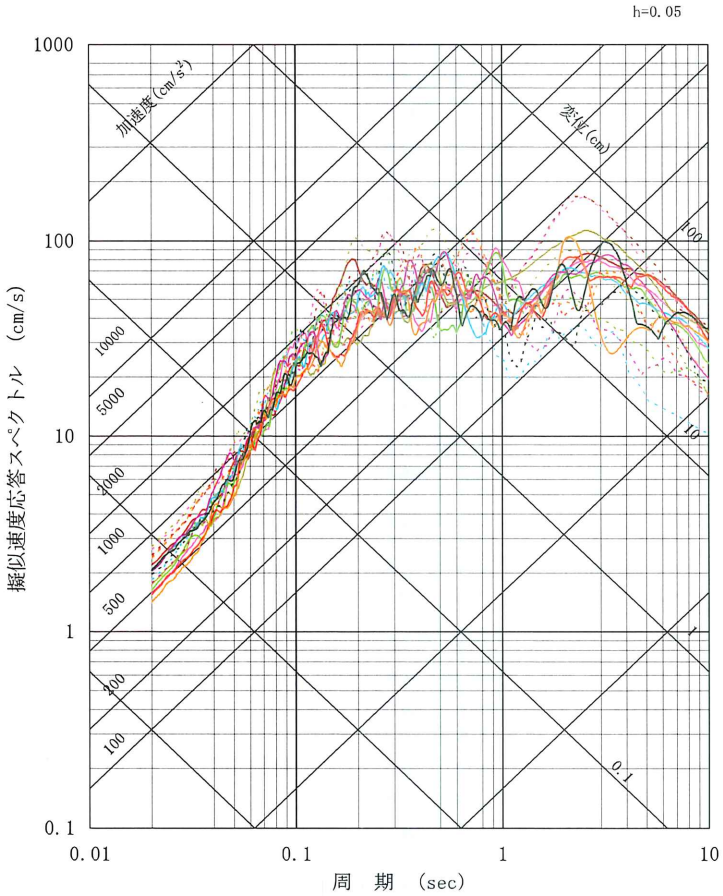
4. 地震動評価結果

■基本ケースの加速度時刻歴波形

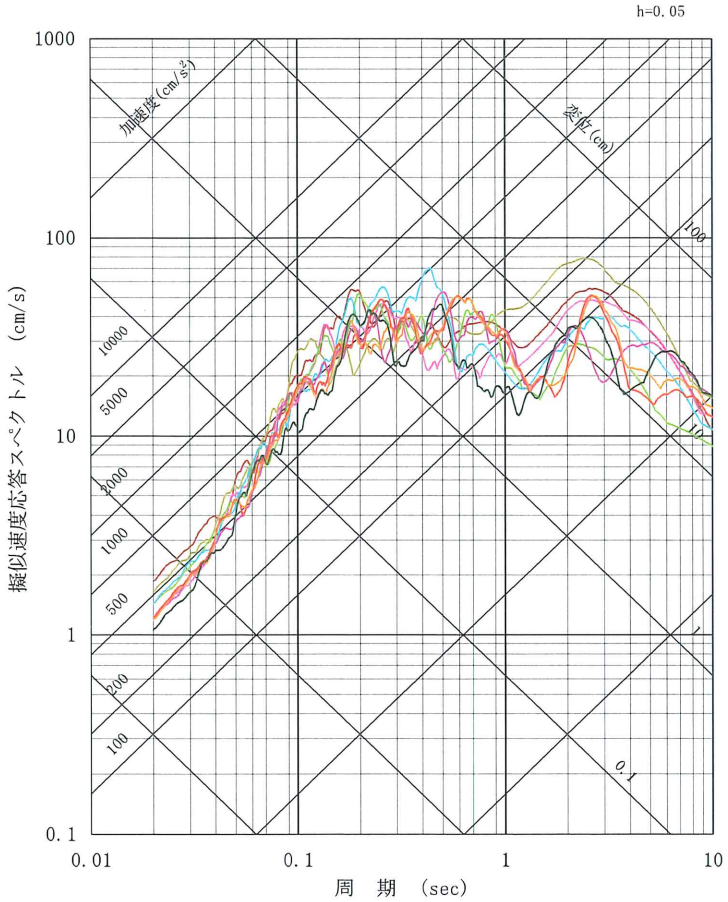


4. 地震動評価結果

■断層モデルを用いた手法による地震動評価結果：FO-A～FO-B～熊川断層：短周期の地震動レベル1.5倍ケース



水平方向（実線: NS方向、破線: EW方向）

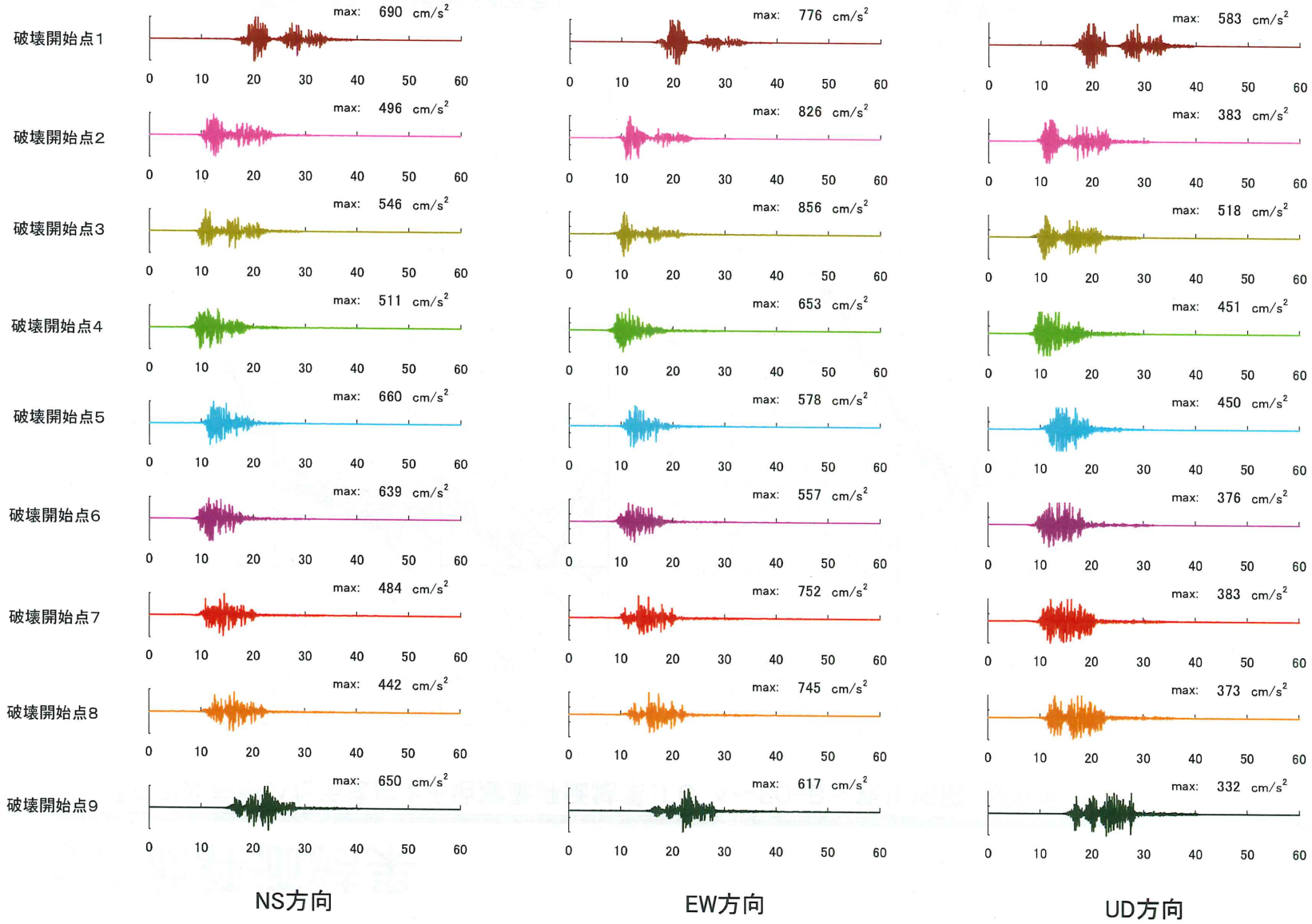


鉛直方向

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

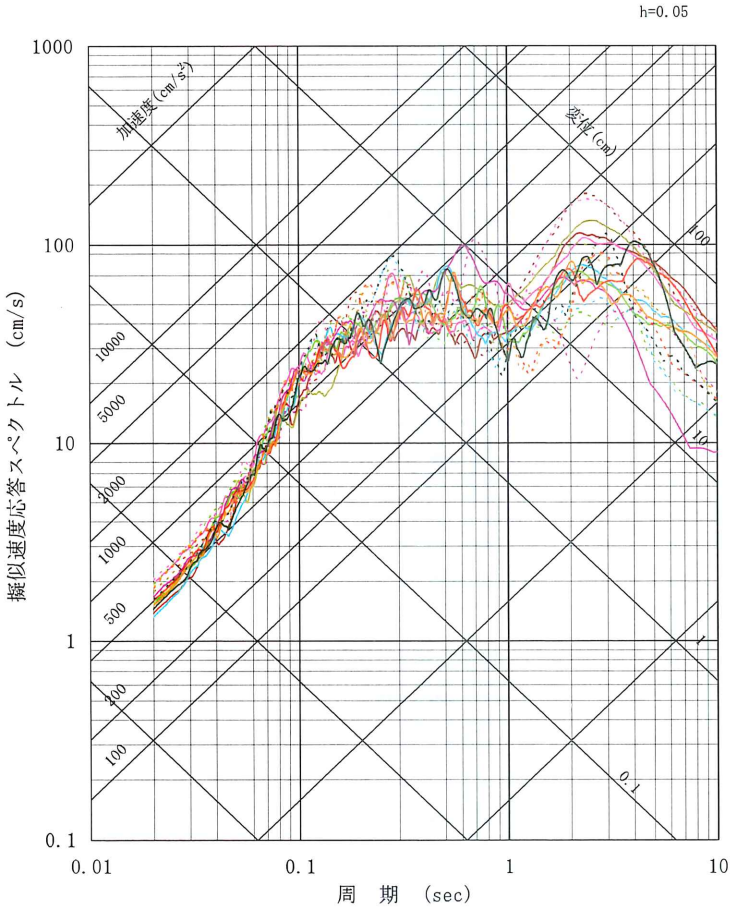
4. 地震動評価結果

■短周期の地震動レベル1.5倍ケースの加速度時刻歴波形

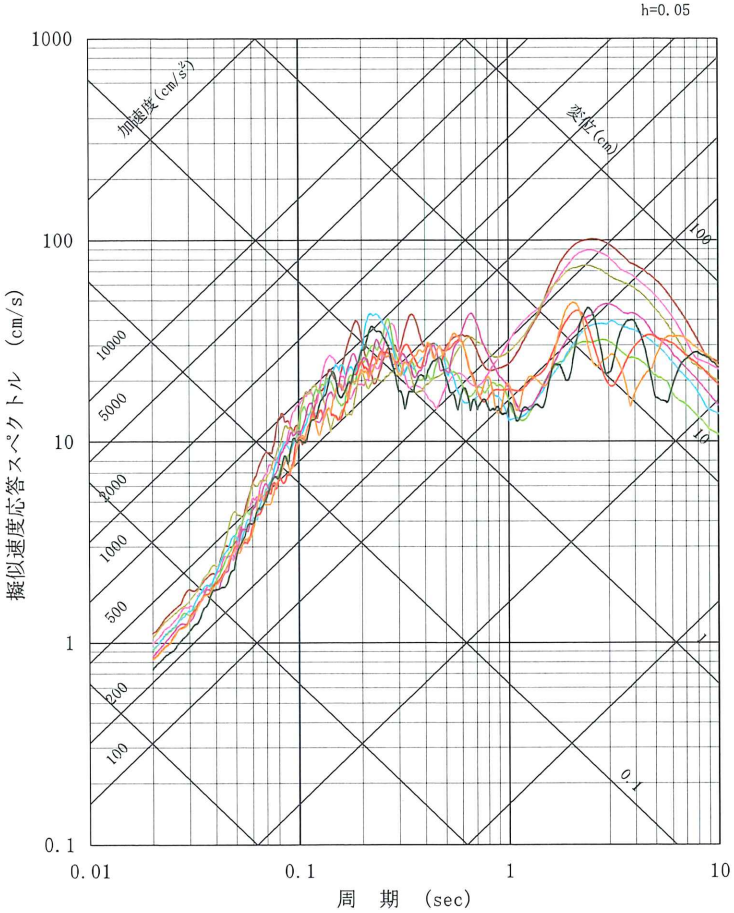


4. 地震動評価結果

■断層モデルを用いた手法による地震動評価結果：FO-A～FO-B～熊川断層：傾斜角75° ケース



水平方向（実線: NS方向、破線: EW方向）

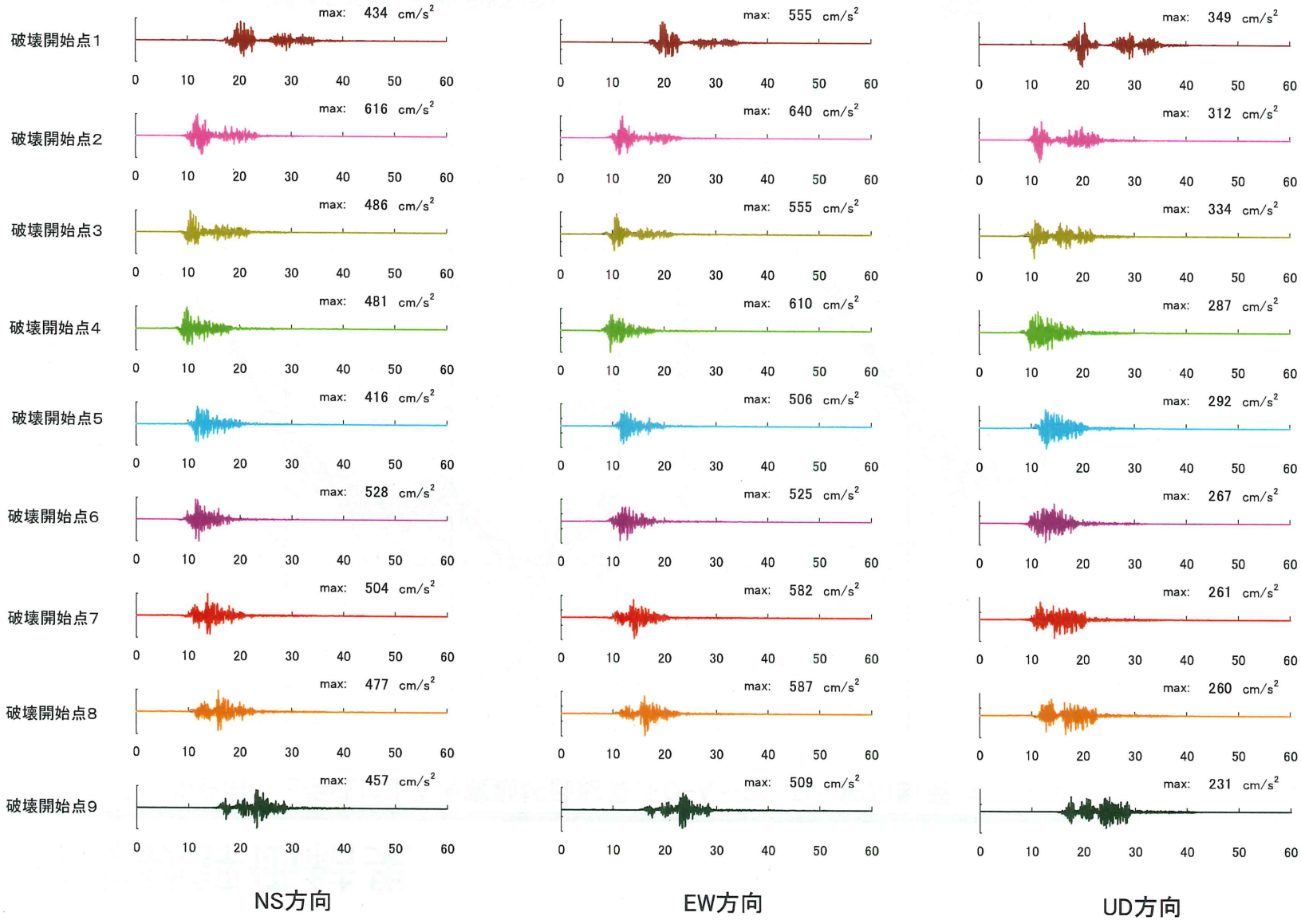


鉛直方向

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

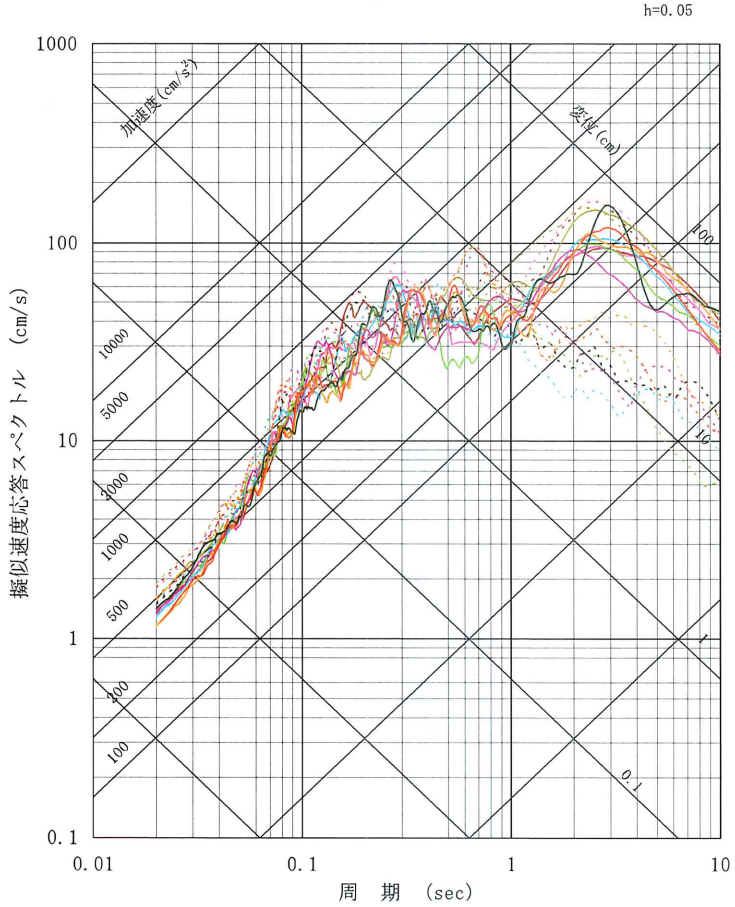
4. 地震動評価結果

■傾斜角75° ケースの加速度時刻歴波形

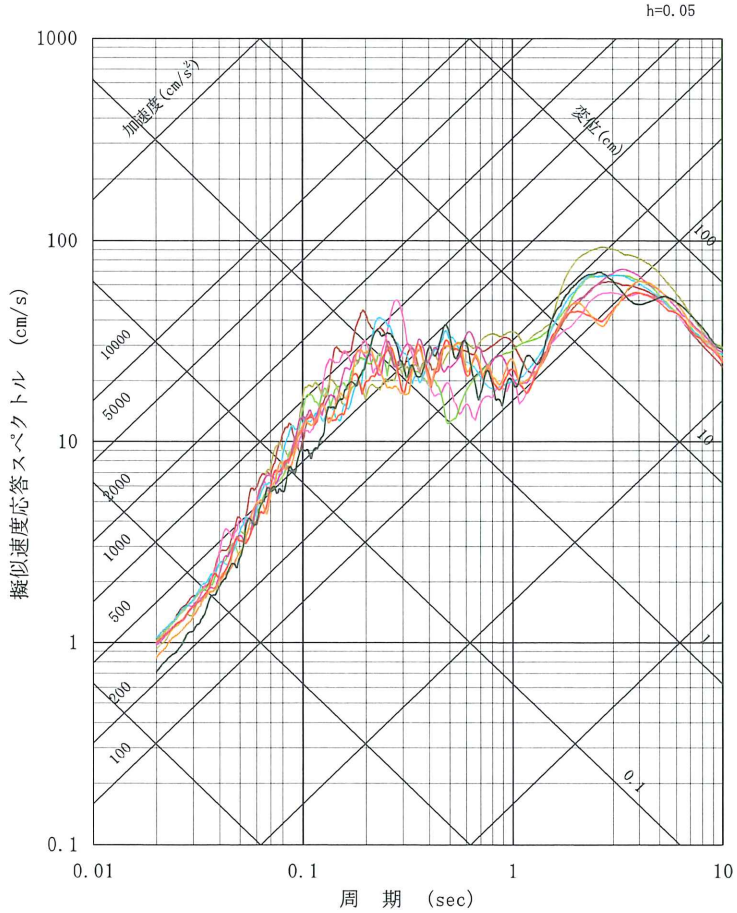


4. 地震動評価結果

■断層モデルを用いた手法による地震動評価結果：FO-A～FO-B～熊川断層：すべり角30° ケース



水平方向（実線: NS方向、破線: EW方向）

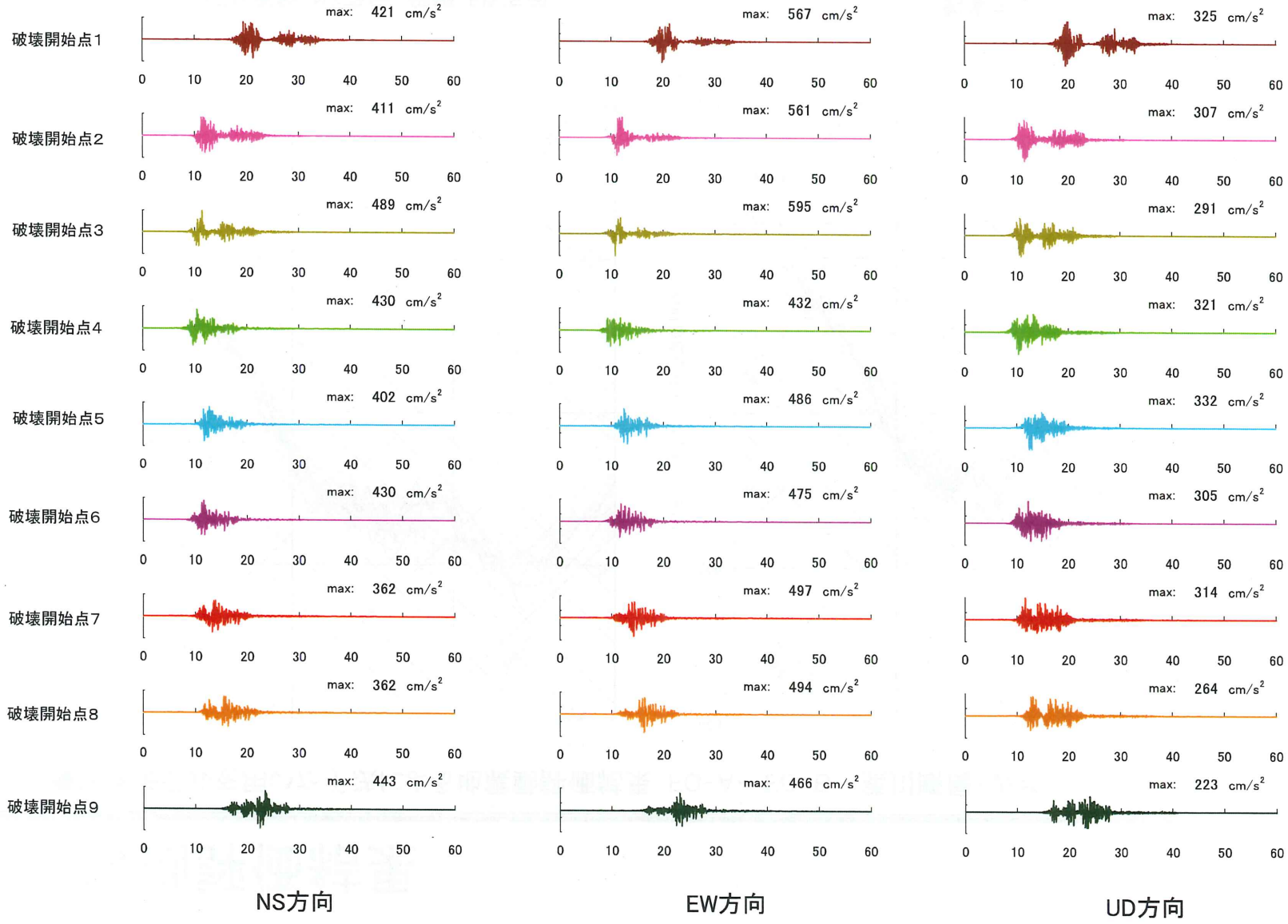


鉛直方向

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

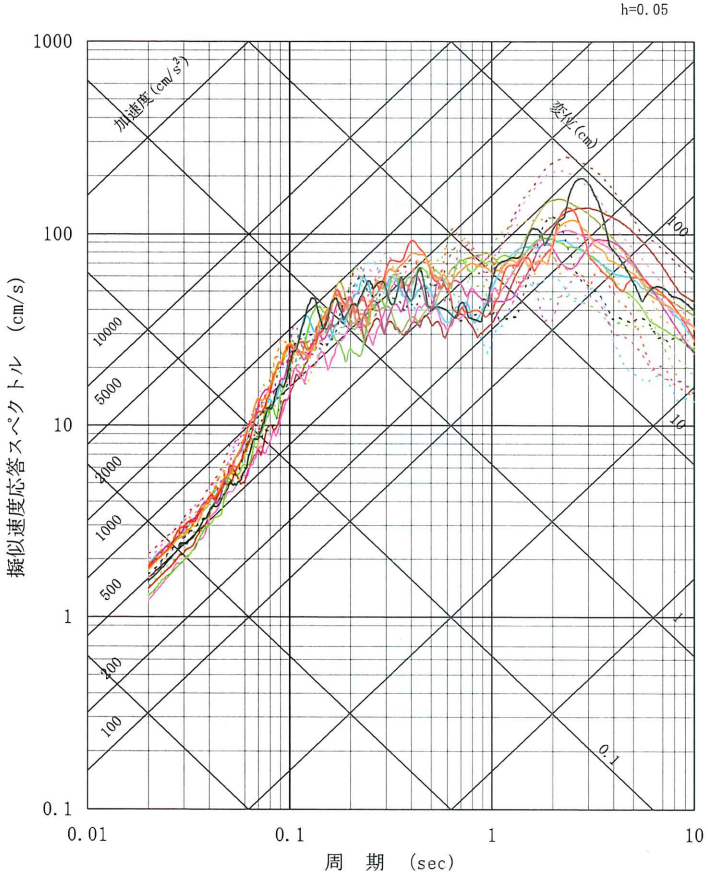
4. 地震動評価結果

■すべり角30° ケースの加速度時刻歴波形

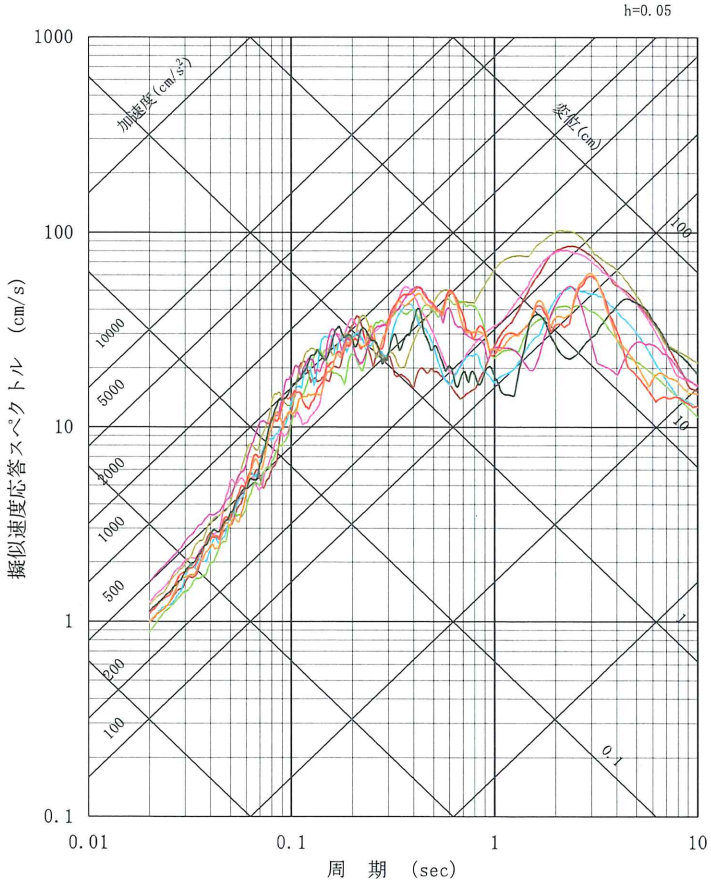


4. 地震動評価結果

■断層モデルを用いた手法による地震動評価結果：FO-A～FO-B～熊川断層：Vr=0.87β のケース



水平方向（実線: NS方向、破線: EW方向）

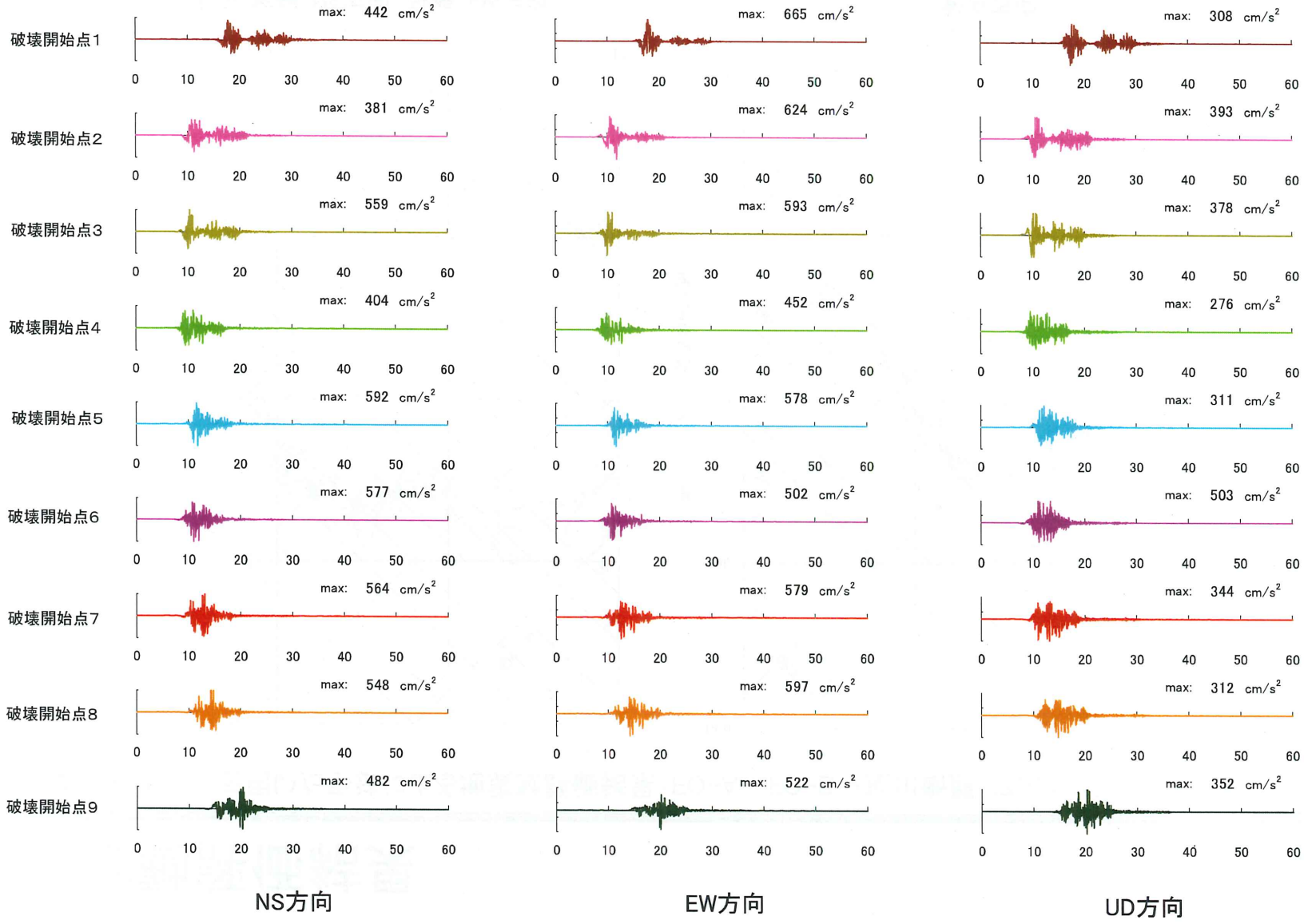


鉛直方向

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

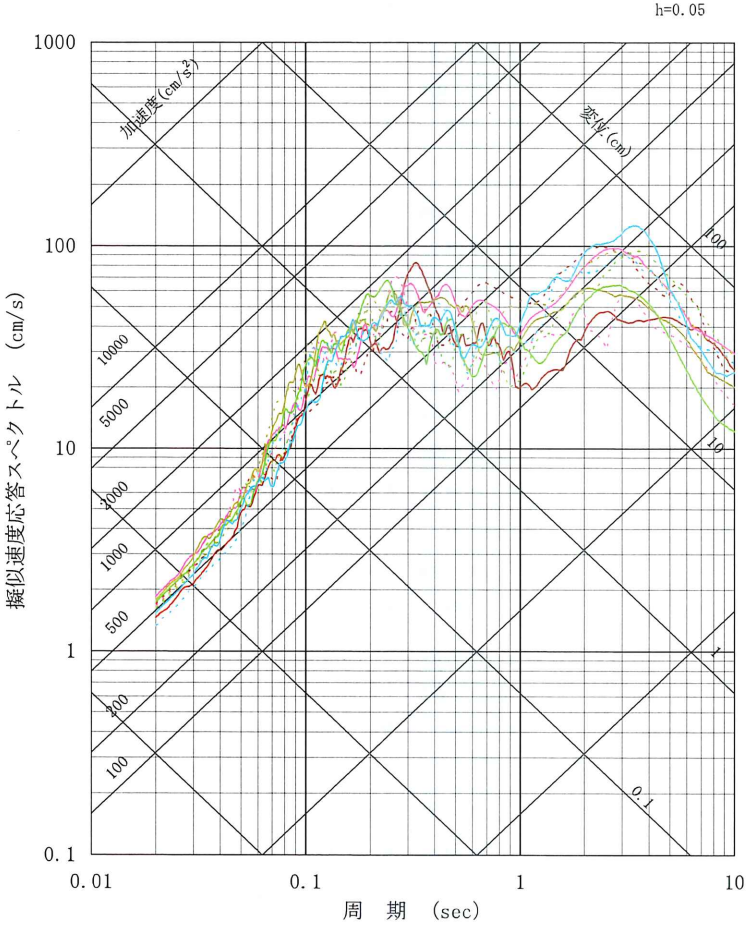
4. 地震動評価結果

■Vr=0.87β のケースの加速度時刻歴波形

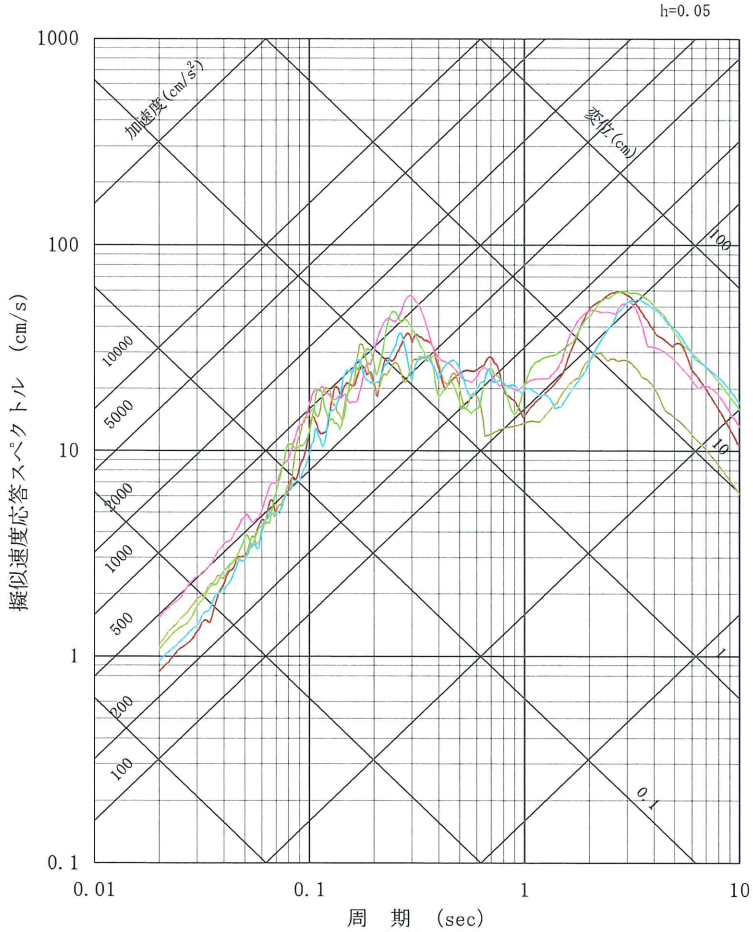


4. 地震動評価結果

■断層モデルを用いた手法による地震動評価結果：FO-A～FO-B～熊川断層：アスペリティー塊ケース



水平方向（実線: NS方向、破線: EW方向）

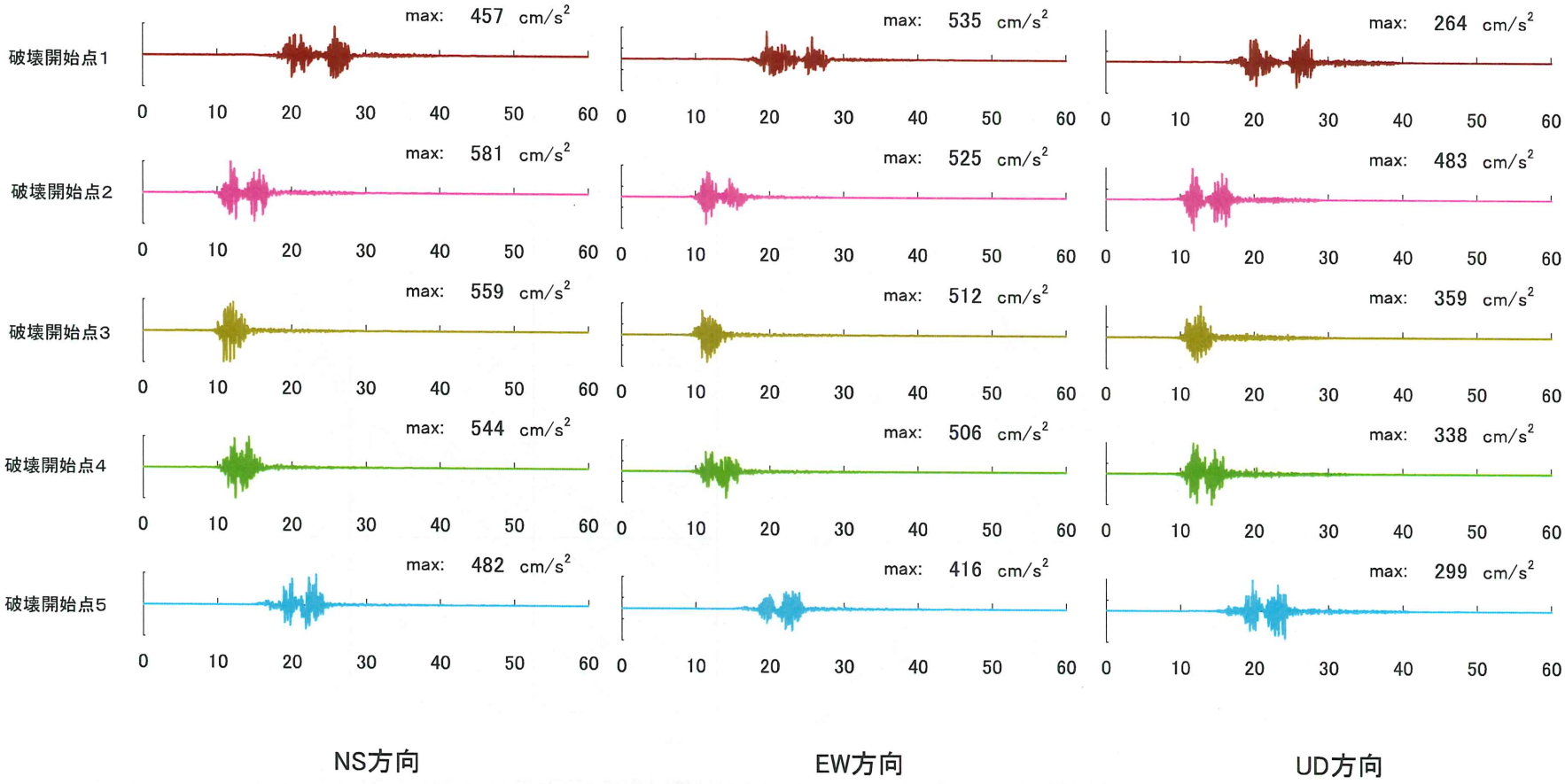


鉛直方向

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

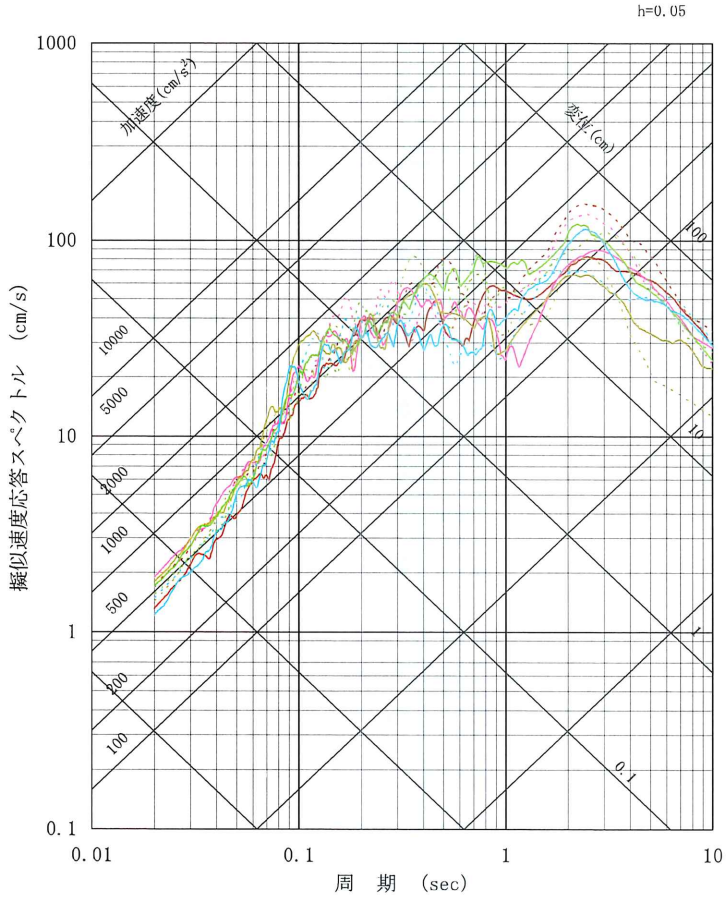
4. 地震動評価結果

■アスペリティー塊ケースの加速度時刻歴波形

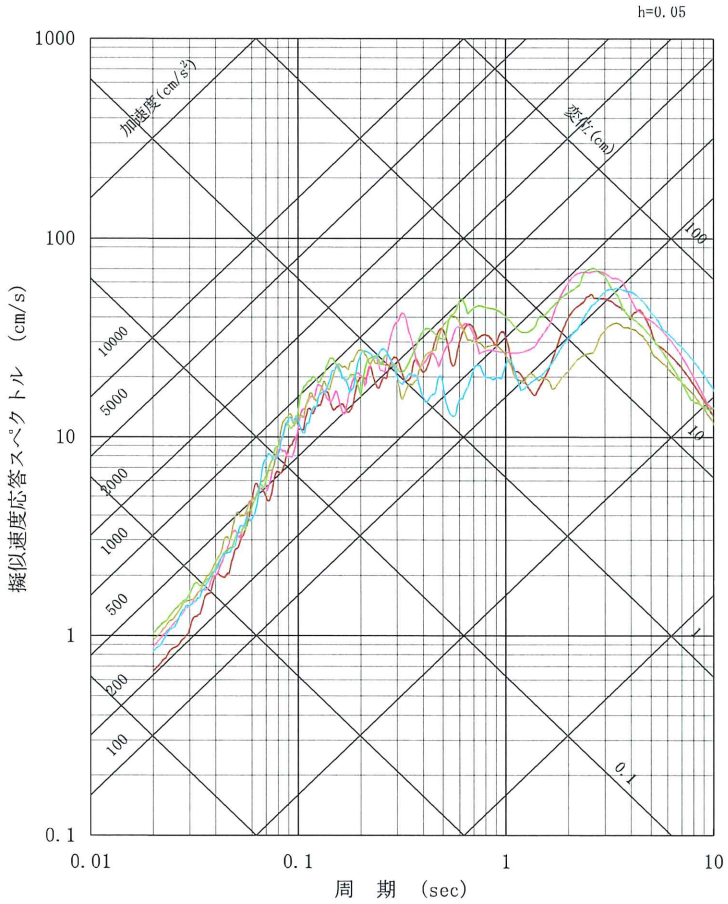


4. 地震動評価結果

■断層モデルを用いた手法による地震動評価結果：FO-A～FO-B～熊川断層：アスペリティー塊横長ケース



水平方向（実線: NS方向、破線: EW方向）

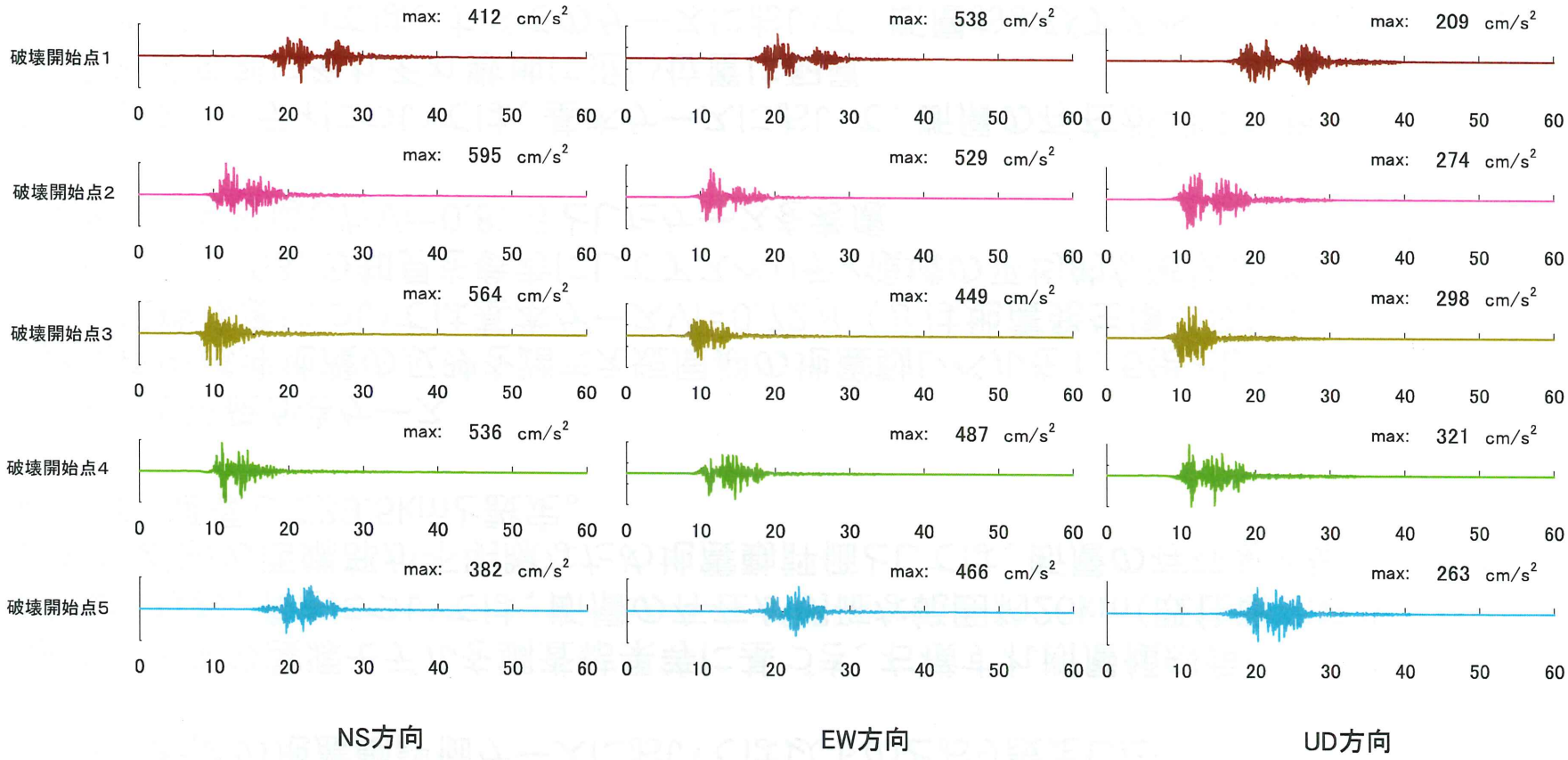


鉛直方向

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

4. 地震動評価結果

■アスペリティー塊横長ケースの加速度時刻歴波形



4. 地震動評価結果（上林川断層）

第111回審査会合
資料加筆修正

■上林川断層の地震動評価ケースにおいては以下のとおり設定した。

①基本ケースの震源モデルを調査結果等に基づき、右横ずれ断層傾斜角90°、すべり角180°と設定。なお、長さについては、断層の存在が明確な範囲約26km（既往研究結果と整合）と上林川断層の西端部が不明瞭なため地震動評価としては、断層の存在を明確に否定できる場所まで延長して39.5kmと設定。

②考慮する不確かさケース
・新潟県中越沖地震の反映を踏まえ短周期の地震動レベルを1．5倍としたケースを考慮
・破壊伝播速度については基本ケースVr=0.72β（βは地震発生層のS波速度）に対して、宮腰・他（2003）の知見を参考にしてアスペリティ領域の平均的な破壊伝播速度に標準偏差1σを考慮したVr=0.87βとしたケースを考慮

なお、アスペリティについては、基本ケースにおいて、断層の存在が明確な範囲およびその西方延長部にそれぞれ敷地に近い位置に配置。
破壊開始点については、すべてのケースにおいて、断層およびアスペリティ下端に複数のケースを設定した。

4. 地震動評価結果

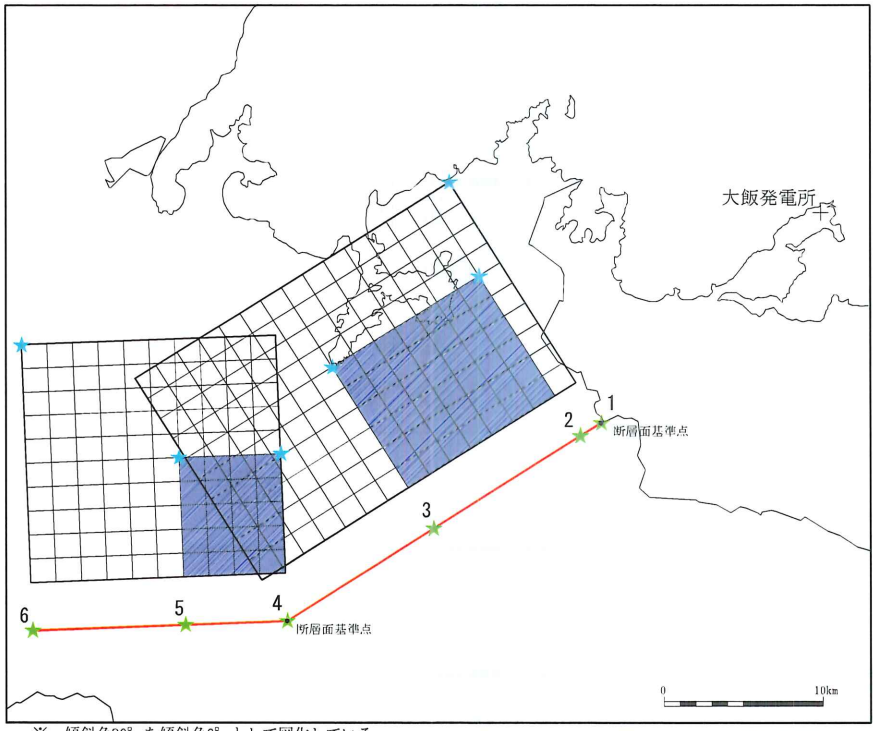
上林川断層の地震動評価ケース

	短周期の地震動レベル	破壊伝播速度Vr	アスペリティ	破壊開始点
基本ケース	レシピ平均	Vr=0.72β	敷地に近い位置に配置	複数設定
短周期の地震動レベルの不確かさを考慮	レシピ平均×1.5倍	Vr=0.72β	敷地に近い位置に配置	複数設定
破壊伝播速度Vrの不確かさを考慮	レシピ平均	Vr=0.87β	敷地に近い位置に配置	複数設定

：不確かさを考慮したパラメータ

4. 地震動評価結果

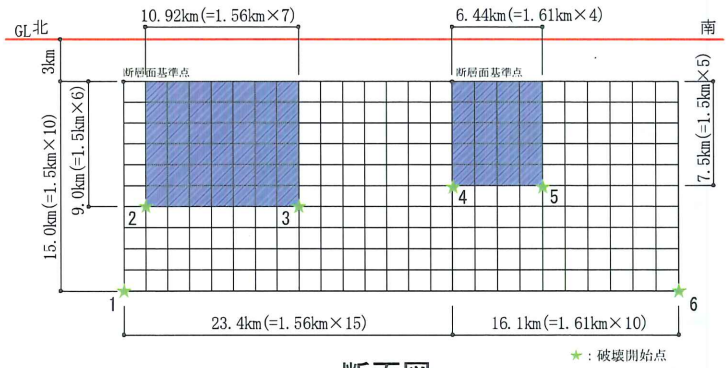
■上林川断層のモデル図
（基本ケース、短周期の地震動レベル1.5倍ケース、Vr=0.87βケース）



※　傾斜角90°を傾斜角0°として図化している。

★：破壊開始点

断層配置図



断面図

4. 地震動評価結果

■上林川断層のパラメータ（基本ケース、短周期の地震動レベル1.5倍ケース）

断層パラメータ	パラメータ	設定方法
断層長さL（km）	39.5	断層位置から計算
断層傾斜角（°）	90	調査結果に基づき設定
断層上端深さ（km） 断層下端深さ（km）	3 18	微小地震の発生及び地下構造を参考に設定
断層幅W（km）	15	地震発生層と傾斜角から設定
断層面積S（km^2）	592.5	断層面より算定
破壊伝播様式	同心円状	―
地震モーメントM_0（Nm）	1.95×10^{19}	$M_0=\{S/(4.24\times10^{-11})\}^{2.0}$
剛性率（N/m^2）	3.5×10^{10}	$\mu=\rho\beta^2$、$\rho=2.7g/cm^3$、$\beta=3.6km/s$
平均すべり量D（cm）	94.2	$D=M_0/(\mu S)$
平均応力降下量$\Delta\sigma$（MPa）	3.3	$\Delta\sigma=(7\pi^{1.5}/16)(M_0/S^{1.5})$
破壊伝播速度Vr（km/s）	2.59	$Vr=0.72\beta$
立ち上がり時間Tr(sec)	1.18	$Tr=2.03\times10^{-9}M_0^{1/3}$
高周波限界遮断周波数fmax（Hz）	8.3	香川ほか、2003
短周期レベルA（Nm/s^2）	1.43×10^{19}	$A=2.46\times10^{17}\times M_0^{1/3}$
Q値	$50f^{1.1}$	佐藤ほか、2007

断層パラメータ		パラメータ	設定方法
全アスペリティ	面積S_a（km^2）	158.31	$Sa=\pi r^2$、 $r=(7\pi M_0\beta^2)/(4AaR)$、$R=(S/\pi)^{0.5}$
	平均すべり量D_a（cm）	189.3	$D_a=\gamma_D D$、$\gamma_D=2.01$
	地震モーメントM_{0a}（Nm）	1.05×10^{19}	$M_{0a}=\mu S_a D_a$
	応力降下量$\Delta\sigma_a$（MPa）	12.3	$\Delta\sigma_a=(S/S_a)\Delta\sigma$
大アスペリティ	面積S_{a1}（km^2）	105.54	$S_{a1}=2/3S_a$
	平均すべり量D_{a1}（cm）	209.8	$D_{a1}=M_{0a1}/(\mu S_{a1})$
	地震モーメントM_{0a1}（Nm）	7.75×10^{18}	$M_{0a1}=M_{0a}S_{a1}^{1.5}/(S_{a1}^{1.5}+S_{a2}^{1.5})$
	応力降下量$\Delta\sigma_{a1}$（MPa）	12.3	$\Delta\sigma_{a1}=\Delta\sigma_a$
小アスペリティ	面積S_{a2}（km^2）	52.77	$S_{a2}=1/3S_a$
	平均すべり量D_{a2}（cm）	148.3	$D_{a2}=M_{0a2}/(\mu S_{a2})$
	地震モーメントM_{0a2}（Nm）	2.74×10^{18}	$M_{0a2}=M_{0a}S_{a2}^{1.5}/(S_{a1}^{1.5}+S_{a2}^{1.5})$
	応力降下量$\Delta\sigma_{a2}$（MPa）	12.3	$\Delta\sigma_{a2}=\Delta\sigma_a$
背景領域	面積S_b（km^2）	434.19	$S_b=S-S_a$
	平均すべり量D_b（cm）	59.5	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$
	地震モーメントM_{0b}（Nm）	9.04×10^{18}	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$
	実効応力σ_b（MPa）	2.5	$\sigma_b=0.2\Delta\sigma_a$

4. 地震動評価結果

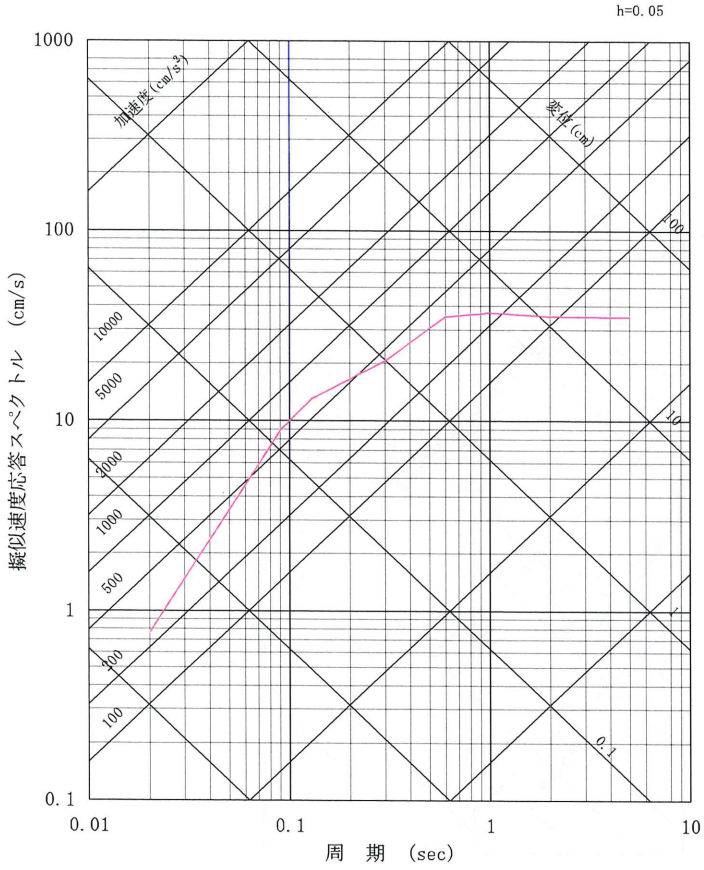
■上林川断層のパラメータ（Vr=0.87β ケース）

断層パラメータ	パラメータ	設定方法
断層長さL（km）	39.5	断層位置から計算
断層傾斜角（°）	90	調査結果に基づき設定
断層上端深さ（km） 断層下端深さ（km）	3 18	微小地震の発生及び地下構造を参考に設定
断層幅W（km）	15	地震発生層と傾斜角から設定
断層面積S（km^2）	592.5	断層面より算定
破壊伝播様式	同心円状	―
地震モーメントM_0（Nm）	1.95×10^{19}	$M_0=\{S/(4.24\times10^{-11})\}^{2.0}$
剛性率（N/m^2）	3.5×10^{10}	$\mu=\rho\beta^2$、$\rho=2.7g/cm^3$、$\beta=3.6km/s$
平均すべり量D（cm）	94.2	$D=M_0/(\mu S)$
平均応力降下量Δσ（MPa）	3.3	$\Delta\sigma=(7\pi^{1.5}/16)(M_0/S^{1.5})$
破壊伝播速度Vr（km/s）	3.13	$Vr=0.72\beta$
立ち上がり時間Tr（sec）	1.18	$Tr=2.03\times10^{-9}M_0^{1/3}$
高周波限界遮断周波数fmax（Hz）	8.3	香川ほか、2003
短周期レベルA（Nm/s^2）	1.43×10^{19}	$A=2.46\times10^{17}\times M_0^{1/3}$
Q値	$50f^{1.1}$	佐藤ほか、2007

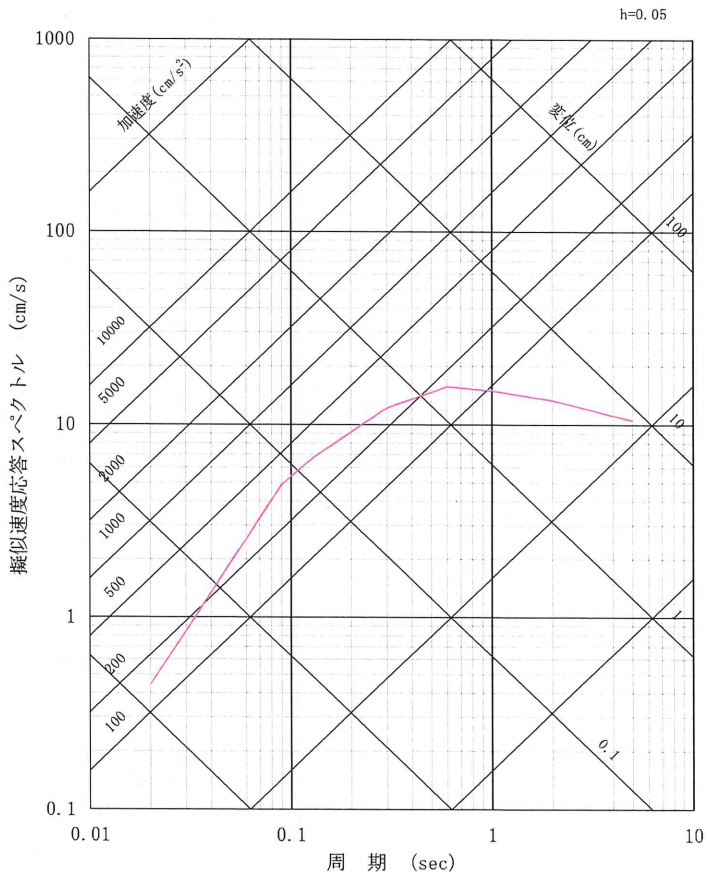
断層パラメータ		パラメータ	設定方法
全アスペリティ	面積S_a（km^2）	158.31	$Sa=\pi r^2$、 $r=(7\pi M_0\beta^2)/(4AaR)$、$R=(S/\pi)^{0.5}$
	平均すべり量D_a（cm）	189.3	$D_a=\gamma_D D$、$\gamma_D=2.01$
	地震モーメントM_{0a}（Nm）	1.05×10^{19}	$M_{0a}=\mu S_a D_a$
	応力降下量$\Delta\sigma_a$（MPa）	12.3	$\Delta\sigma_a=(S/S_a)\Delta\sigma$
大アスペリティ	面積S_{a1}（km^2）	105.54	$S_{a1}=2/3S_a$
	平均すべり量D_{a1}（cm）	209.8	$D_{a1}=M_{0a1}/(\mu S_{a1})$
	地震モーメントM_{0a1}（Nm）	7.75×10^{18}	$M_{0a1}=M_{0a}S_{a1}^{1.5}/(S_{a1}^{1.5}+S_{a2}^{1.5})$
	応力降下量$\Delta\sigma_{a1}$（MPa）	12.3	$\Delta\sigma_{a1}=\Delta\sigma_a$
小アスペリティ	面積S_{a2}（km^2）	52.77	$S_{a2}=1/3S_a$
	平均すべり量D_{a2}（cm）	148.3	$D_{a2}=M_{0a2}/(\mu S_{a2})$
	地震モーメントM_{0a2}（Nm）	2.74×10^{18}	$M_{0a2}=M_{0a}S_{a2}^{1.5}/(S_{a1}^{1.5}+S_{a2}^{1.5})$
	応力降下量$\Delta\sigma_{a2}$（MPa）	12.3	$\Delta\sigma_{a2}=\Delta\sigma_a$
背景領域	面積S_b（km^2）	434.19	$S_b=S-S_a$
	平均すべり量D_b（cm）	59.5	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$
	地震モーメントM_{0b}（Nm）	9.04×10^{18}	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$
	実効応力σ_b（MPa）	2.5	$\sigma_b=0.2\Delta\sigma_a$

4. 地震動評価結果

■耐専式による地震動評価結果：上林川断層



水平方向

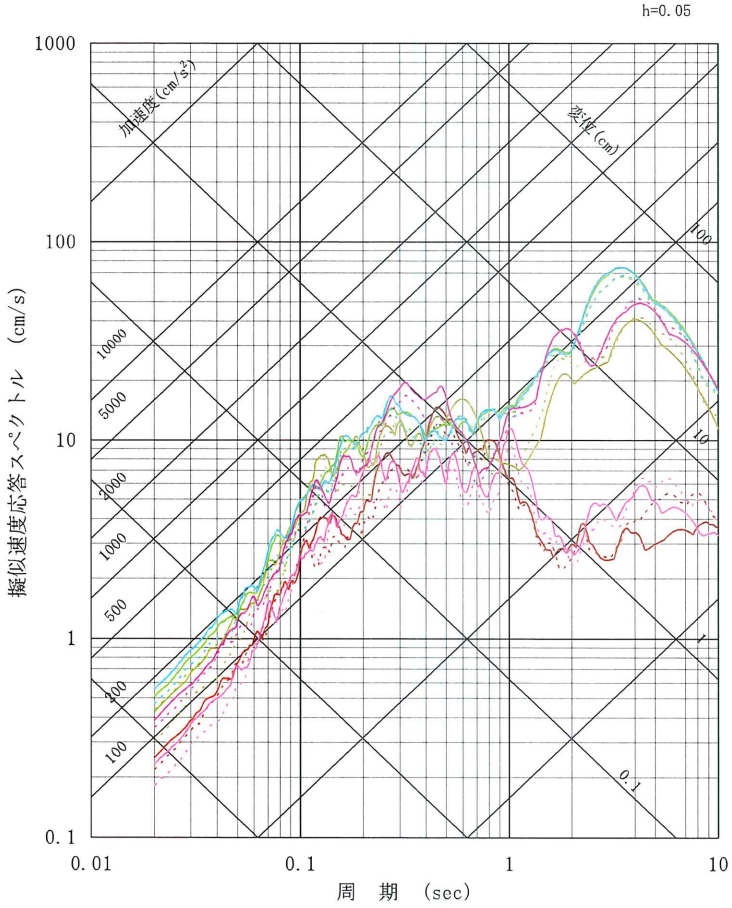


鉛直方向

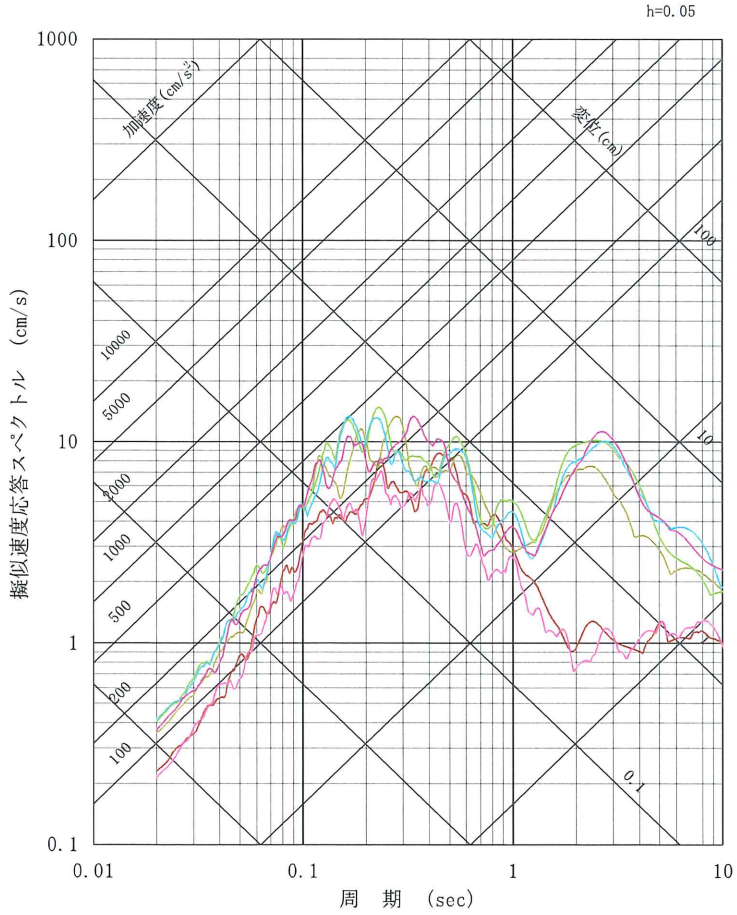
— 基本ケース

4. 地震動評価結果

■上林川断層：基本ケース



水平方向（実線: NS方向、破線: EW方向）

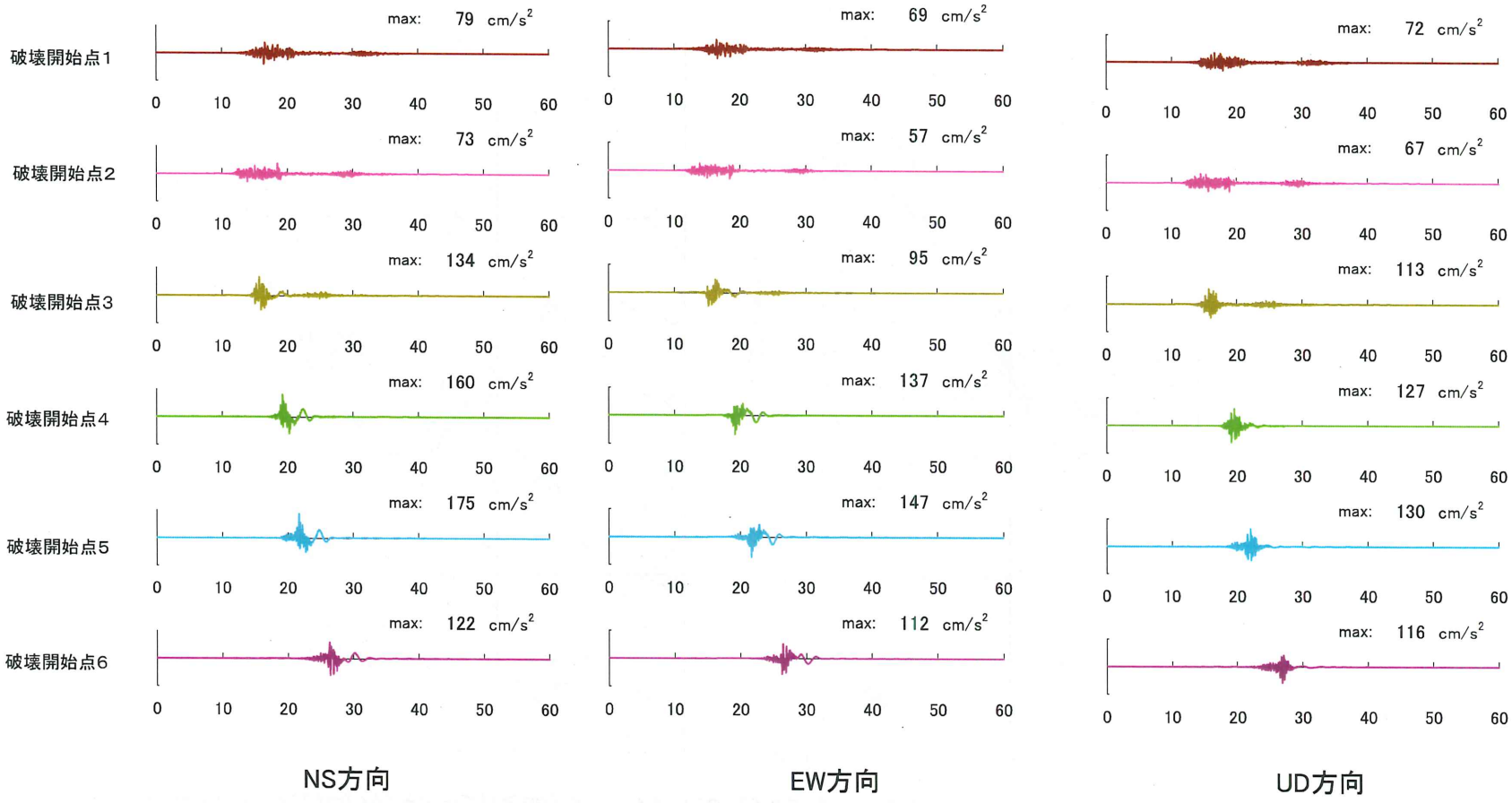


鉛直方向

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

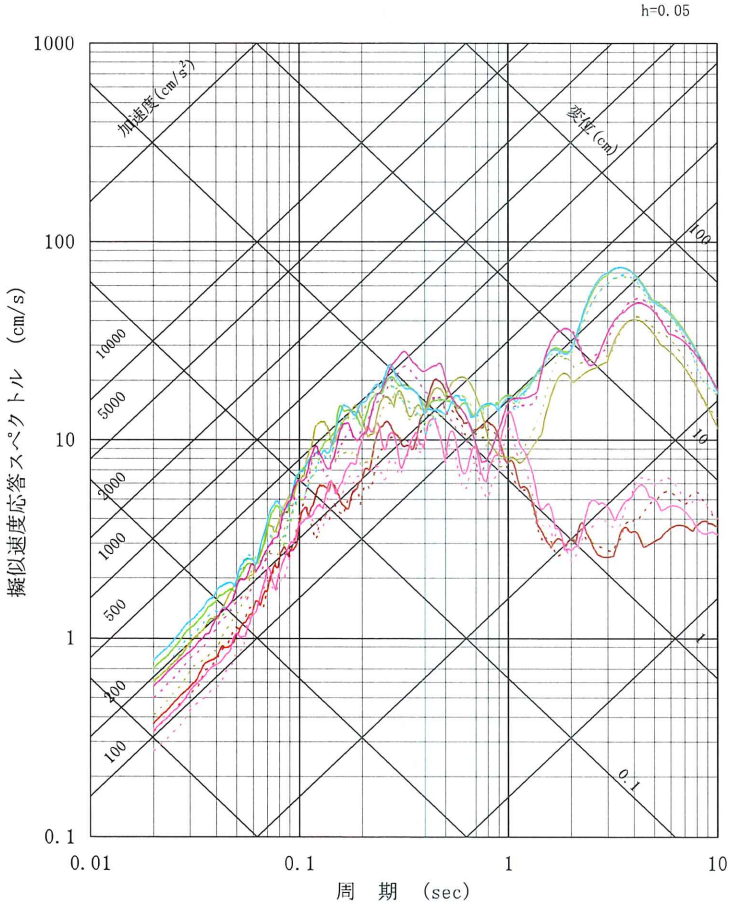
4. 地震動評価結果

■基本ケースの加速度時刻歴波形

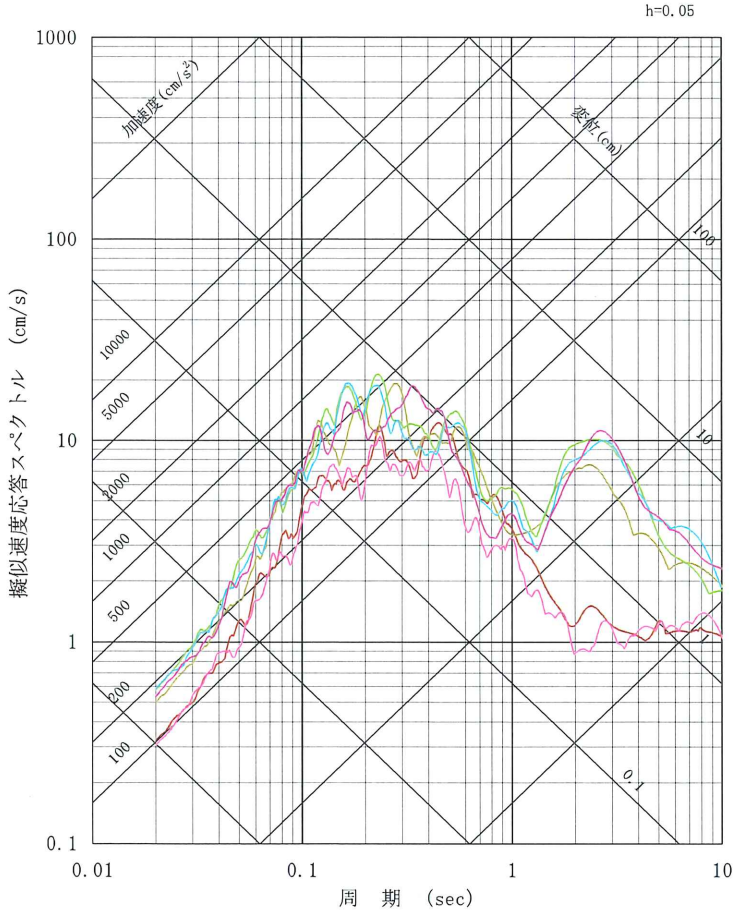


4. 地震動評価結果

■上林川断層：短周期の地震動レベル1.5倍のケース



水平方向（実線: NS方向、破線: EW方向）

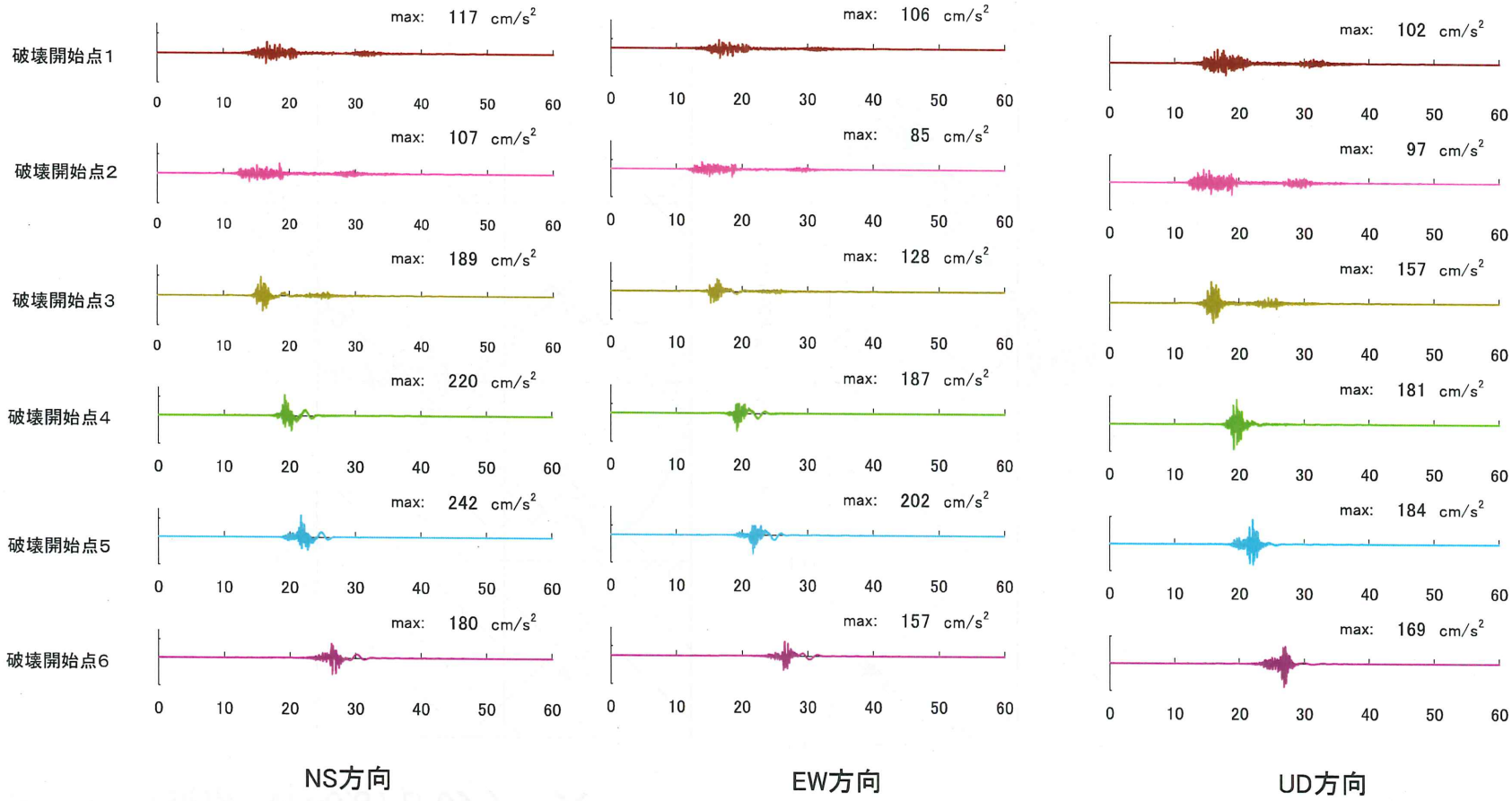


鉛直方向

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

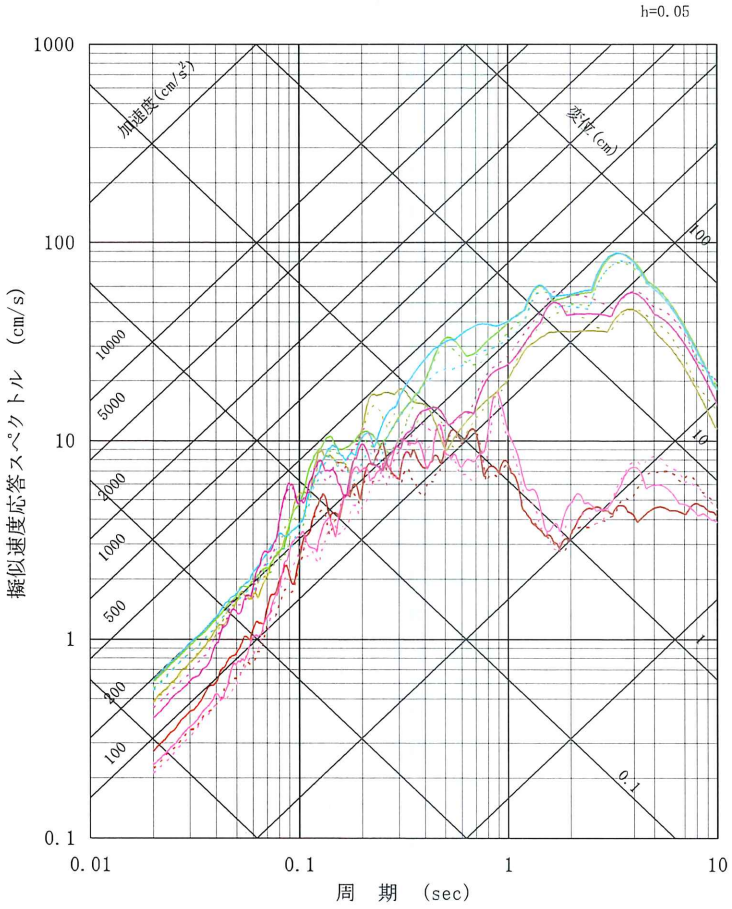
4. 地震動評価結果

■短周期の地震動レベル1.5倍ケースの加速度時刻歴波形

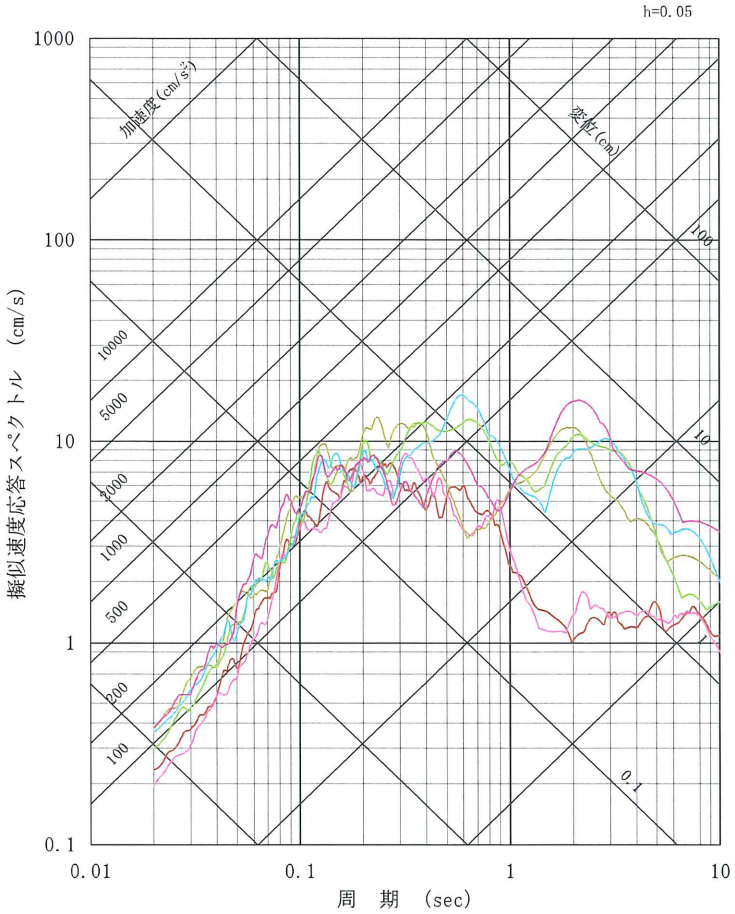


4. 地震動評価結果

■上林川断層：Vr=0.87β のケース



水平方向（実線: NS方向、破線: EW方向）

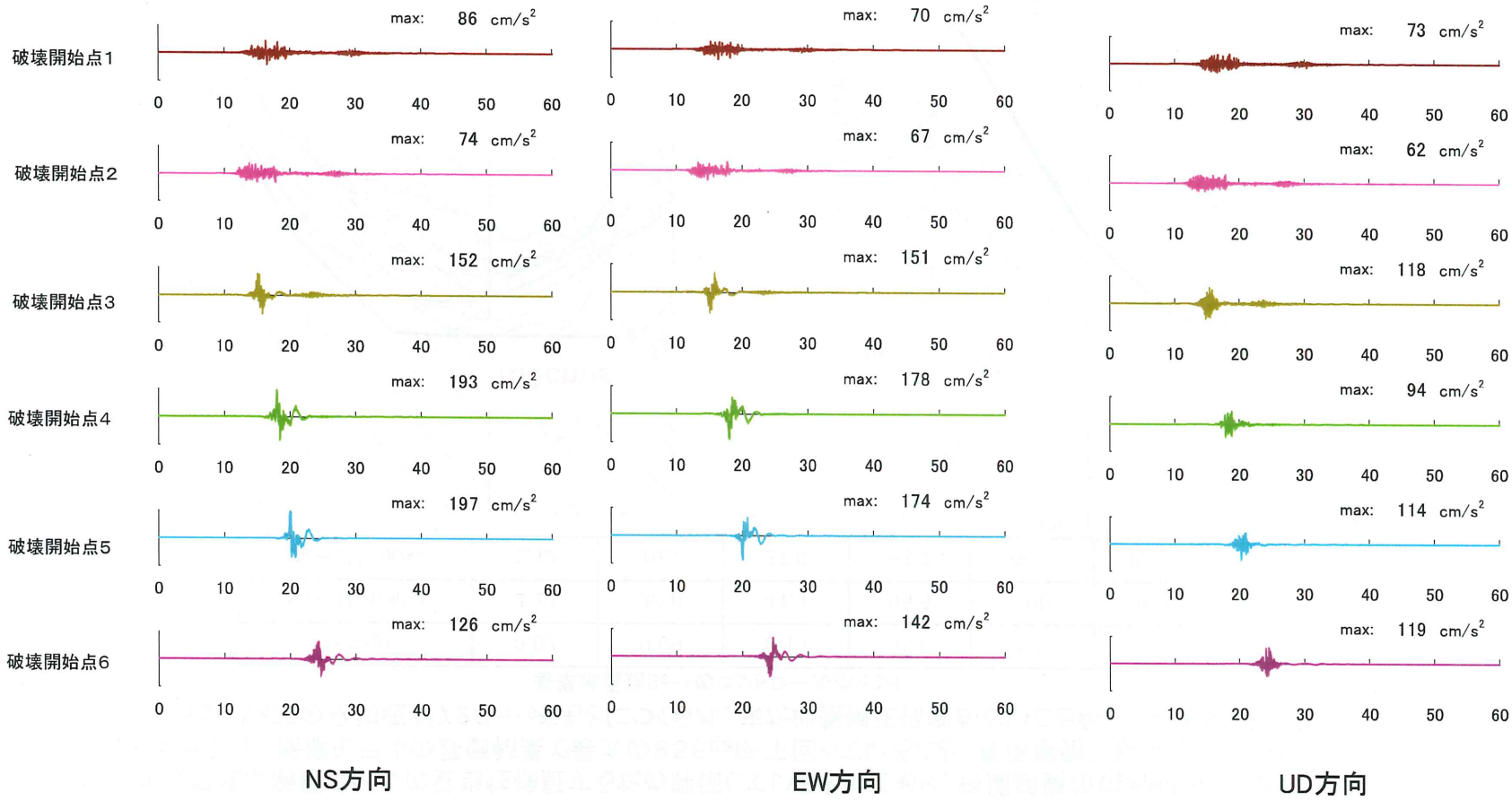


鉛直方向

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

4. 地震動評価結果

■Vr=0.87βケースの加速度時刻歴波形

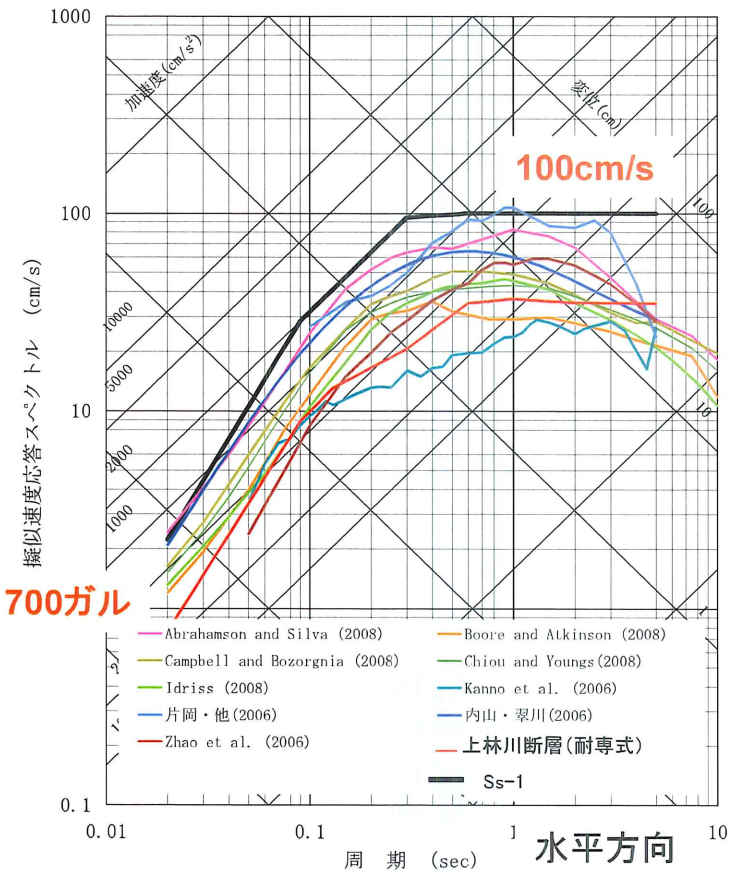


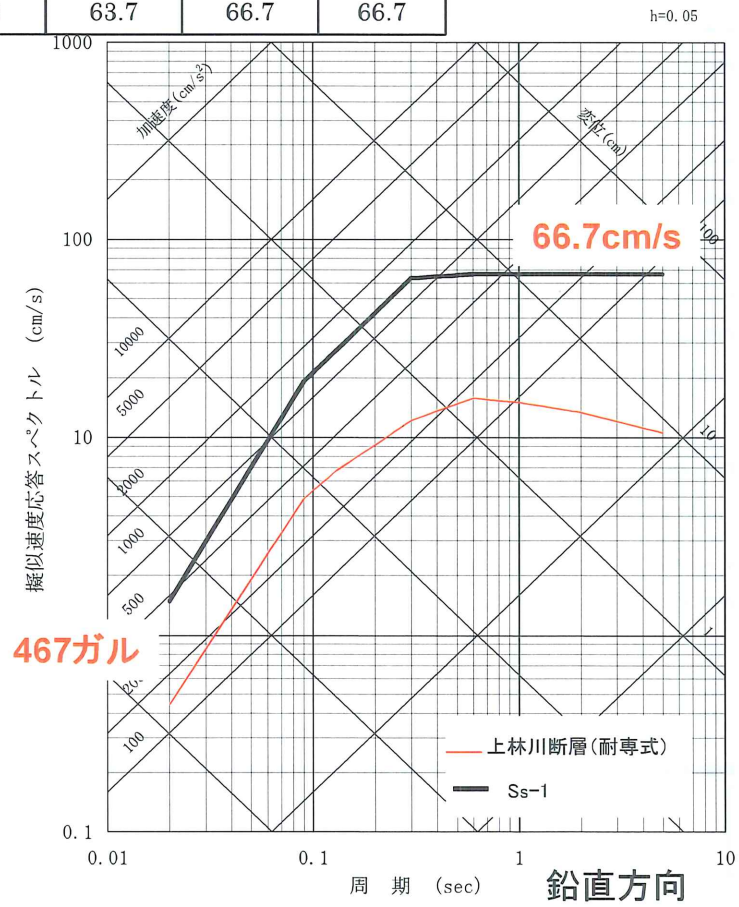
5. 基準地震動の策定（震源を特定して策定する地震動）

■応答スペクトルに基づく地震動評価結果を踏まえて、大飯発電所における基準地震動Ss-1を以下のとおり策定した。
なお、各種距離減衰式は断層モデルの妥当性検証するため評価しているものであり、短周期側（0.02秒付近）では傾斜角75°のケースで一部700galを超えるが、断層モデルの評価結果で最大の856galを下回っていること、長周期側（1秒付近）では片岡式で100cm/sを僅かに上回っているが、Vs30の平均値が720m/sをもとにつくられ、また地盤補正係数がないことから、包絡させる必要はないと判断した。

基準地震動Ss-1のコントロールポイント

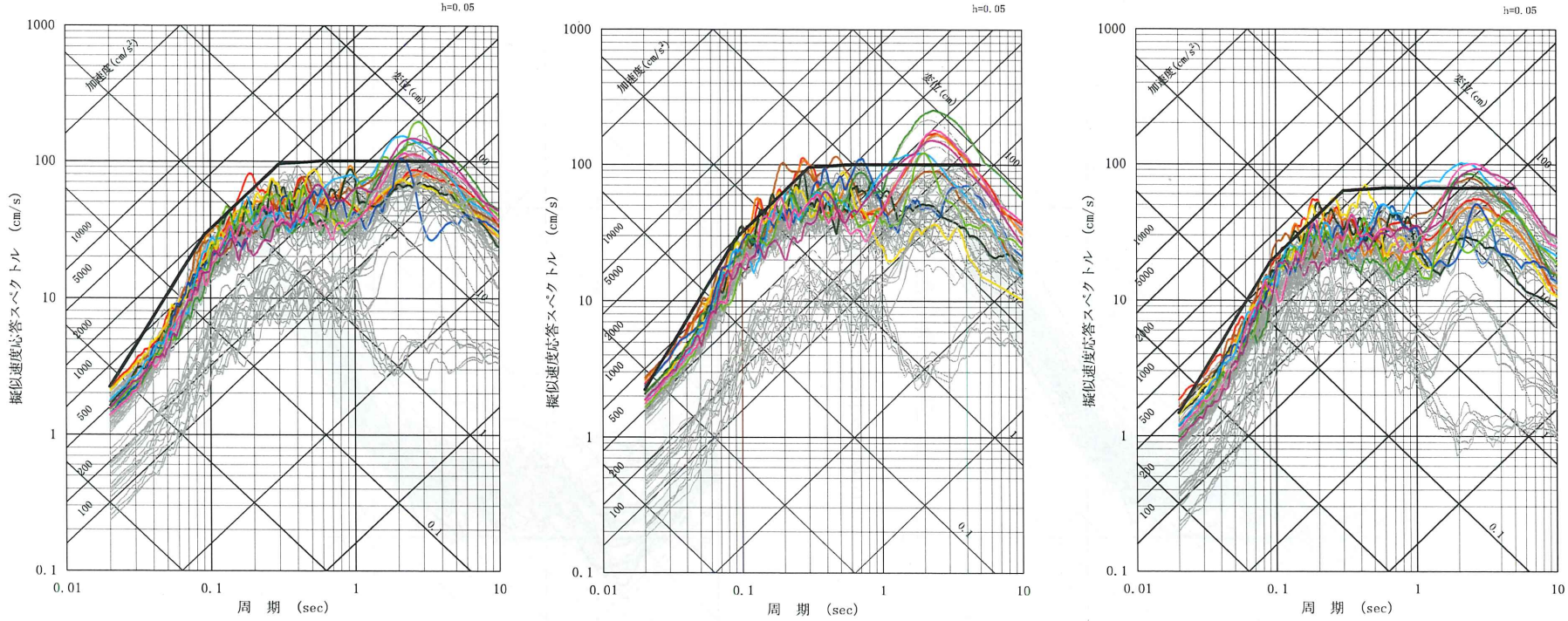
周期(s)	0.02	0.09	0.13	0.3	0.6	5
Ss－1H (cm/s)	2.23	28.6	41.4	95.5	100	100
Ss－1V (cm/s)	1.49	19.1	27.6	63.7	66.7	66.7





5. 基準地震動の策定

■FO-A～FO-Bと熊川断層との3連動および上林川断層の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果のうち、Ss－1の設計用応答スペクトルを上回るケースから、以下のケースを基準地震動（Ss-2～Ss-12)として採用する。

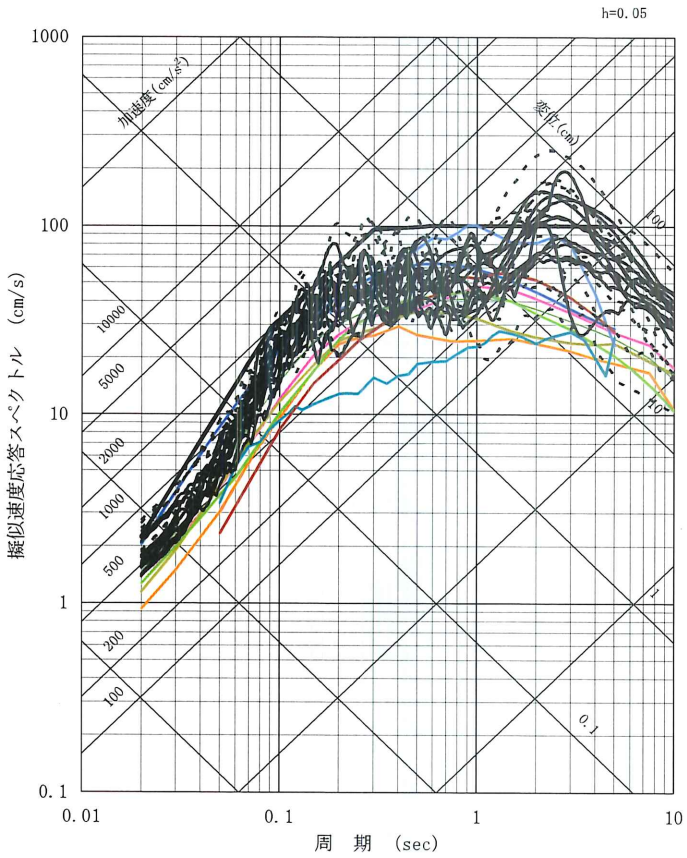


水平(NS)方向　　水平(EW)方向　　鉛直(UD)方向

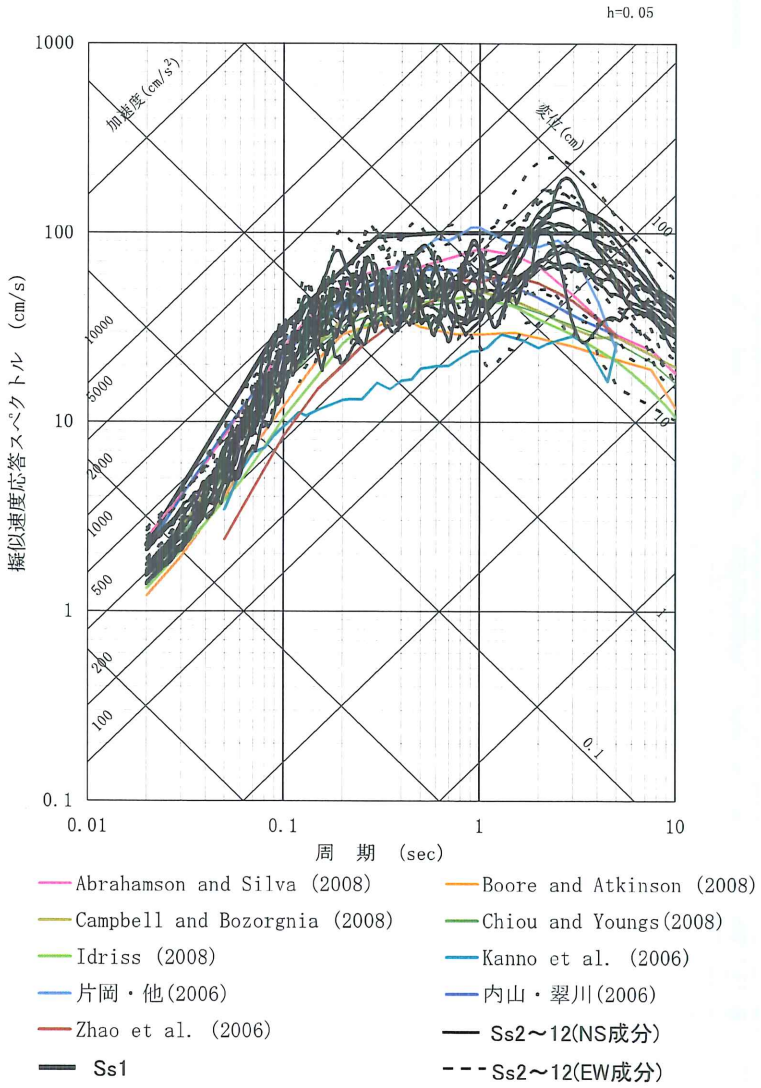
- 基準地震動 Ss-1
- Ss-2 :FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.5倍ケース、破壊開始点1)
- Ss-3 :FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.5倍ケース、破壊開始点2)
- Ss-4 :FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.5倍ケース、破壊開始点3)
- Ss-5 :FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.5倍ケース、破壊開始点4)
- Ss-6 :FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.5倍ケース、破壊開始点5)
- Ss-7 :FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.5倍ケース、破壊開始点8)
- Ss-8 :FO-A～FO-B～熊川断層(Vr=0.87β ケース、破壊開始点1)
- Ss-9 :FO-A～FO-B～熊川断層(Vr=0.87β ケース、破壊開始点3)
- Ss-10:FO-A～FO-B～熊川断層(Vr=0.87β ケース、破壊開始点9)
- Ss-11:FO-A～FO-B～熊川断層(傾斜角75°、破壊開始点1)
- Ss-12:FO-A～FO-B～熊川断層(すべり角30°、破壊開始点3)

灰色:Ssを除くFO-A～FO-B～熊川断層、上林川断層の全てのケースの地震動評価結果

■各種距離減衰式による地震動評価結果と基準地震動Ss-1～Ss-12との比較



各種距離減衰式（基本ケース）とSsとの比較



各種距離減衰式（傾斜角75°　ケース）とSsとの比較

5. 基準地震動の策定（震源を特定せず策定する地震動）

■審査ガイドに示されている16地震について、

①Mw6.5以上の2地震（2008年岩手・宮城内陸地震、2000年鳥取県西部地震）については、地域性について整理・分析した結果、観測記録収集の対象外とした。

②Mw6.5未満の14地震については、震源近傍の観測記録を収集し、基盤地震動の検討・評価を実施。

表-1　収集対象となる内陸地殻内の地震の例

No	地震名	日時	規模
1	2008年岩手・宮城内陸地震	2008/06/14, 08:43	Mw6.9
2	2000年鳥取県西部地震	2000/10/06, 13:30	Mw6.6
3	2011年長野県北部地震	2011/03/12, 03:59	Mw6.2
4	1997年3月鹿児島県北西部地震	1997/03/26, 17:31	Mw6.1
5	2003年宮城県北部地震	2003/07/26, 07:13	Mw6.1
6	1996年宮城県北部（鬼首）地震	1996/08/11, 03:12	Mw6.0
7	1997年5月鹿児島県北西部地震	1997/05/13, 14:38	Mw6.0
8	1998年岩手県内陸北部地震	1998/09/03, 16:58	Mw5.9
9	2011年静岡県東部地震	2011/03/15, 22:31	Mw5.9
10	1997年山口県北部地震	1997/06/25, 18:50	Mw5.8
11	2011年茨城県北部地震	2011/03/19, 18:56	Mw5.8
12	2013年栃木県北部地震	2013/02/25, 16:23	Mw5.8
13	2004北海道留萌支庁南部地震	2004/12/14, 14:56	Mw5.7
14	2005年福岡県西方沖地震の最大余震	2005/04/20, 06:11	Mw5.4
15	2012年茨城県北部地震	2012/03/10, 02:25	Mw5.2
16	2011年和歌山県北部地震	2011/07/05, 19:18	Mw5.0

5. 基準地震動の策定（震源特定せず）

■Mw6.5未満の地震のうち影響の大きい5記録について整理した結果は以下のとおり。

		2004年北海道留萌支庁南部地震	2013年栃木県北部地震	2011年和歌山北部地震	2011茨城県北部地震	2011年長野県北部地震
地盤モデル	使用モデル	佐藤他(2013)のボーリング結果に基づく地盤モデル	KiK-net観測記録に基づく地盤同定モデル	KiK-net観測記録に基づく地盤同定モデル	KiK-net観測記録に基づく地盤同定モデル	地盤情報が少なくモデルを構築できない
	既往の知見との整合性	微動探査による地盤データと整合 知見で指摘されている非線形性を考慮	KiK-net地盤データと整合しない 知見で指摘されている減衰・方位依存性の影響が不明	KiK-net地盤データと整合しない 知見で指摘されている減衰の影響が不明	観測記録の伝達関数及びKiK-net地盤データと整合しない 知見で指摘されている減衰の影響が不明	地盤モデルに関する既往の知見がない
		○	×	×	×	×
	更なる知見収集・検討事項	ー	地盤モデルの改良 知見で指摘されている特性に係るデータの取得と影響度合いの評価	地盤モデルの改良 知見で指摘されている特性に係るデータの取得と影響度合いの評価	地盤モデルの改良 知見で指摘されている特性に係るデータの取得と影響度合いの評価	地質調査、微動探査等による地盤情報の取得
はぎとり解析	解析手法	非線形を考慮した等価線形解析	線形解析	線形解析	線形解析	地盤モデルが構築できないため、解析できない
	精度	観測記録と整合	はぎとり解析の適用性が不明	はぎとり解析の適用性が不明	はぎとり解析の適用性が不明	はぎとり解析の適用性が不明
		○	×	×	×	×
	更なる知見収集・検討事項	ー	地表・地中観測記録の再現解析	V地表・地中観測記録の再現解析	地表・地中観測記録の再現解析	地表観測記録の再現解析
		○	×	×	×	×

5. 基準地震動の策定（震源特定せず）

■Mw6.5未満の地震のうち、影響の大きい5記録について整理した結果、2004年留萌支庁南部地震のHKD020の記録については、信頼性のある基盤地震動が評価できたと考えられ、震源を特定せず策定する地震動に反映する。

■2013年栃木県北部地震のTCGH07、2011年茨城県北部地震のIBRH13、2011年和歌山北部地震のWKYH01の記録については、一次元波動論では信頼性のある地盤モデルが構築できず、はぎとり解析による基盤地震動の評価は困難と考えられ、今後とも継続的に知見の収集とはぎとり解析等の検討を進め、信頼性の高い解放基盤波の算定を試みる。

■2011年長野県北部地震のNIG023の記録については、地盤情報が乏しいためはぎとり解析が困難であり、今後各種調査により地盤情報の取得を行い、分析を試みる。

5. 基準地震動の策定（震源特定せず）

2004年北海道留萌支庁南部の地震に関する検討のまとめ

- 2004年北海道留萌支庁南部の地震における佐藤・他(2013)による港町観測点の基盤地震動評価（水平動585cm/s^2、上下動296cm/s^2）を元に、以下の検討を行った。

  ①GL-41mまでの非線形性を考慮した基盤地震動評価（水平動，561cm/s^2）

  ②当社として不確かさを考慮して、GL-6mからGL-41mまでの減衰定数を3%とした基盤地震動を評価（水平動，609cm/s^2）

  ③再測定されたPS検層結果を踏まえた上下動の再評価（上下動，306cm/s^2）

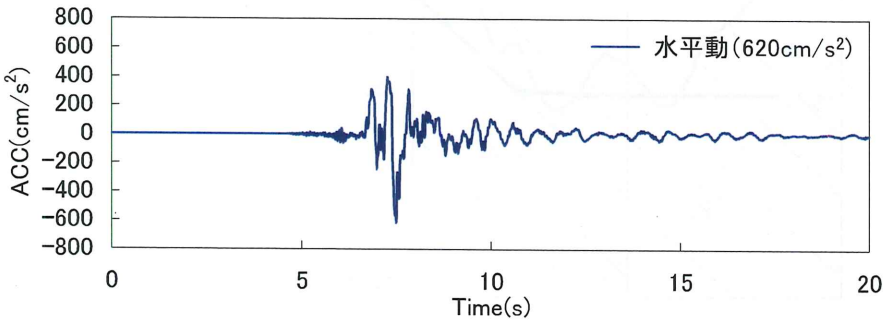
  ④地下水位の現状を反映したGL-6mまでポアソン比一定とした上下動評価（上下動，262cm/s^2）

- 以上より、基盤地震動の評価結果としては、水平動に関しては②のケース(609cm/s^2）が、上下動に関しては③のケース（306cm/s^2）が最も地震動の最大加速度が大きくなる事を確認した。

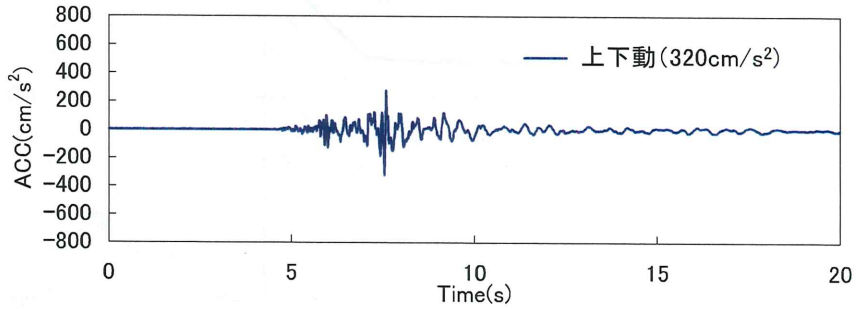
5. 基準地震動の策定（震源特定せず）

2004年北海道留萌支庁南部の地震の検討結果

- これまでの検討により、2004年北海道留萌支庁南部の地震の記録を用いて基盤地震動を求めた結果、水平動609cm/s^2、上下動306cm/s^{2}となった。
- 当社として、原子力発電所の耐震性に求められる保守性を勘案して、震源を特定せず策定する地震動として水平動620cm/s^2、上下動320cm/s^{2}と設定する。



水平

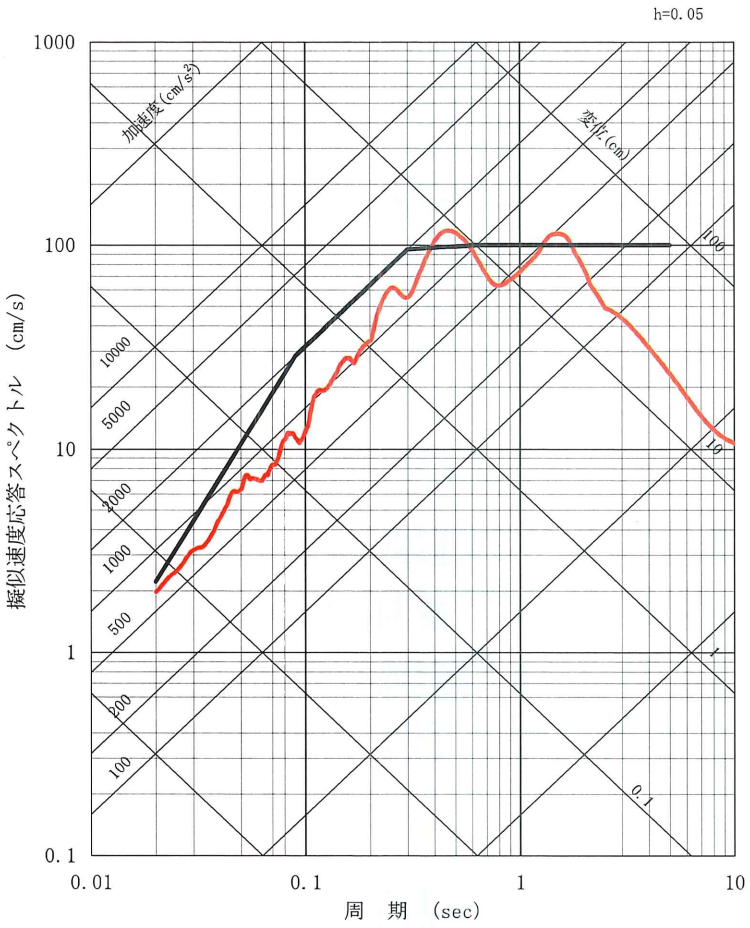


上下

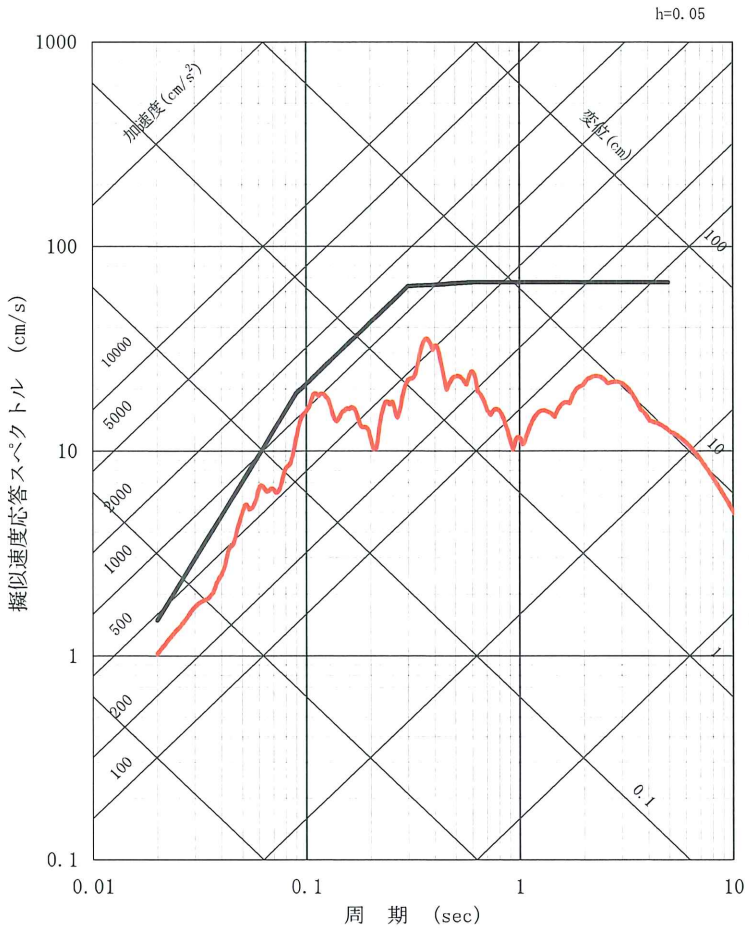
加速度波形

5. 基準地震動の策定（震源特定せず）

■ 留萌支庁南部の地震の評価結果と基準地震動Ss-1との比較



水平



上下

大飯Ss-1

震源を特定せず策定する地震動(留萌)

5. 基準地震動の策定（まとめ）

■前回審査会合で示した地盤モデルを用いて、FO-A～FO-Bと熊川断層との3連動および上林川断層について地震動評価を行った。

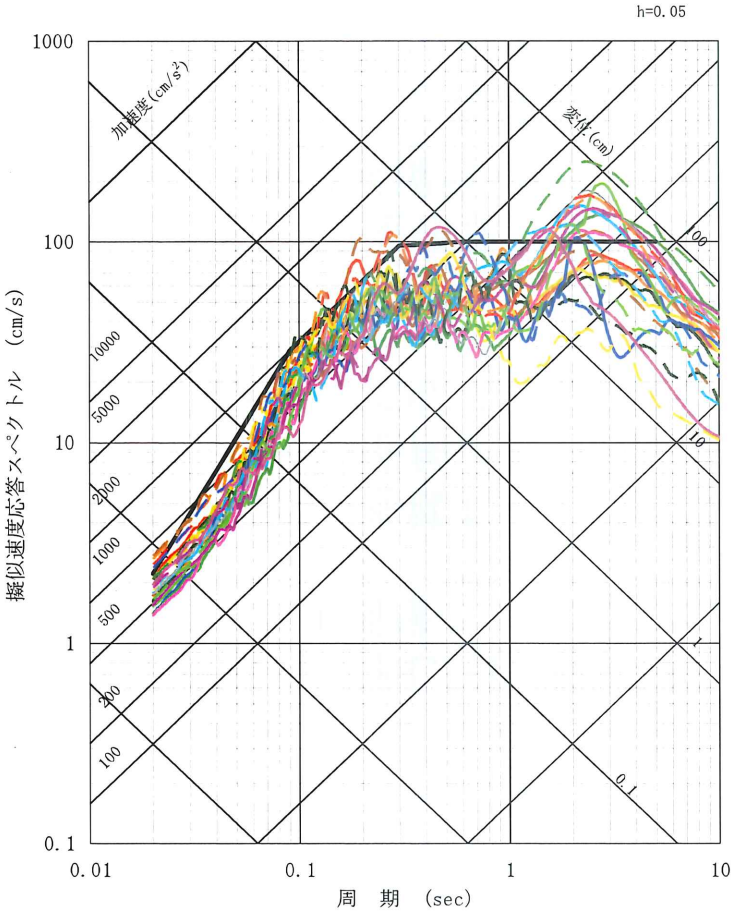
■地震動評価結果を踏まえて、基準地震動Ss-1の設計用スペクトルを設定した。また、断層モデルを用いた手法による地震動評価結果のうち、Ss-1のスペクトルを上回るケースについて、基準地震動（Ss-2～Ss-12）として選定した。

■震源を特定せず策定する地震動については、前回までの審査会合で示した検討結果から、以下を基準地震動として採用する。

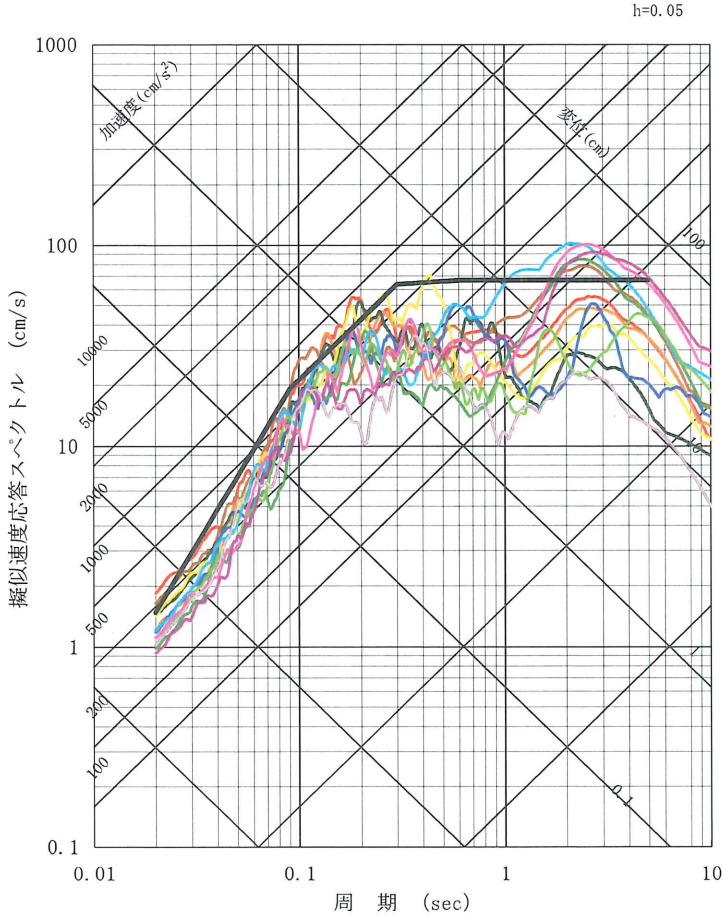
・Ss-13：2004年留萌支庁南部地震、港町観測点の記録を考慮した地震動

5. 基準地震動の策定

■基準地震動Ss-1～Ss-13の応答スペクトルは以下のとおり。



水平

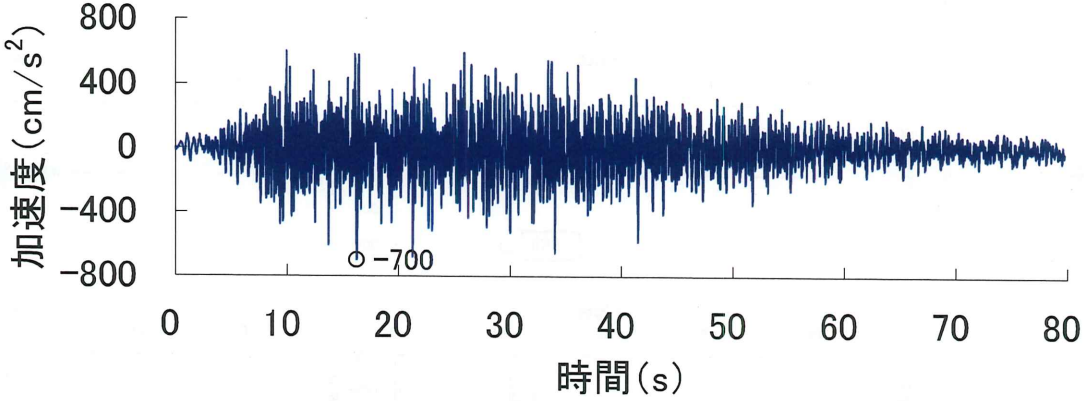


上下

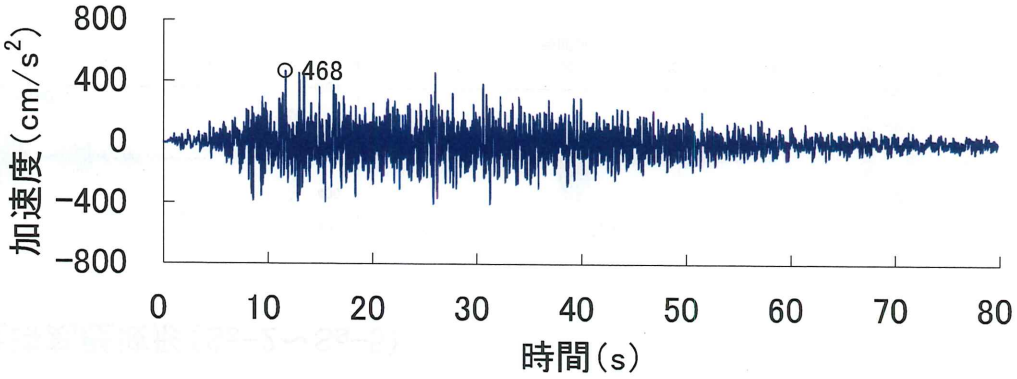
(Ss2～Ss12では実線がNS成分、破線がEW成分)

Ss-1 Ss-2 Ss-3 Ss-4 Ss-5
Ss-6 Ss-7 Ss-8 Ss-9 Ss-10
Ss-11 Ss-12 Ss-13

■基準地震動Ss-1の加速度時刻歴波形



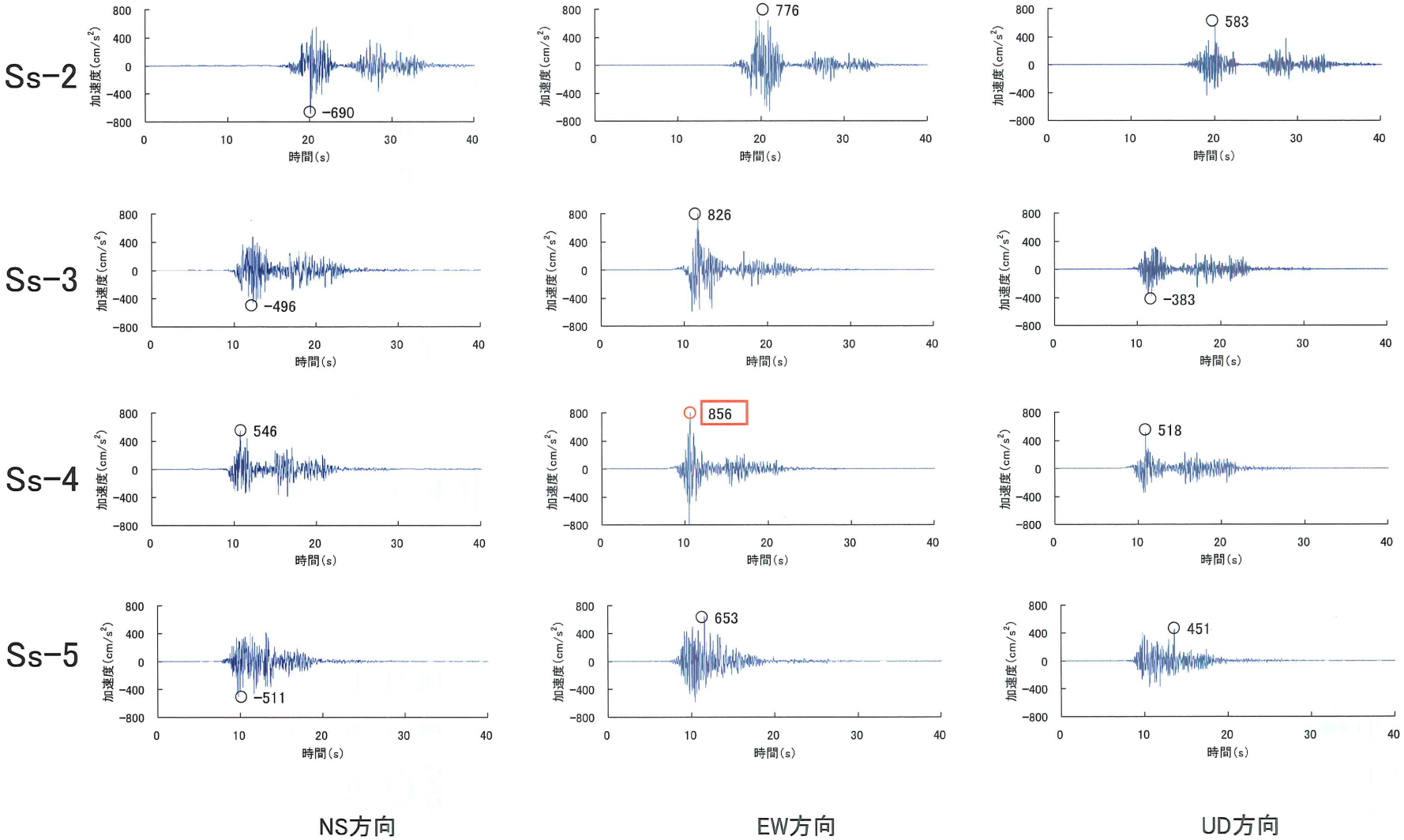
水平



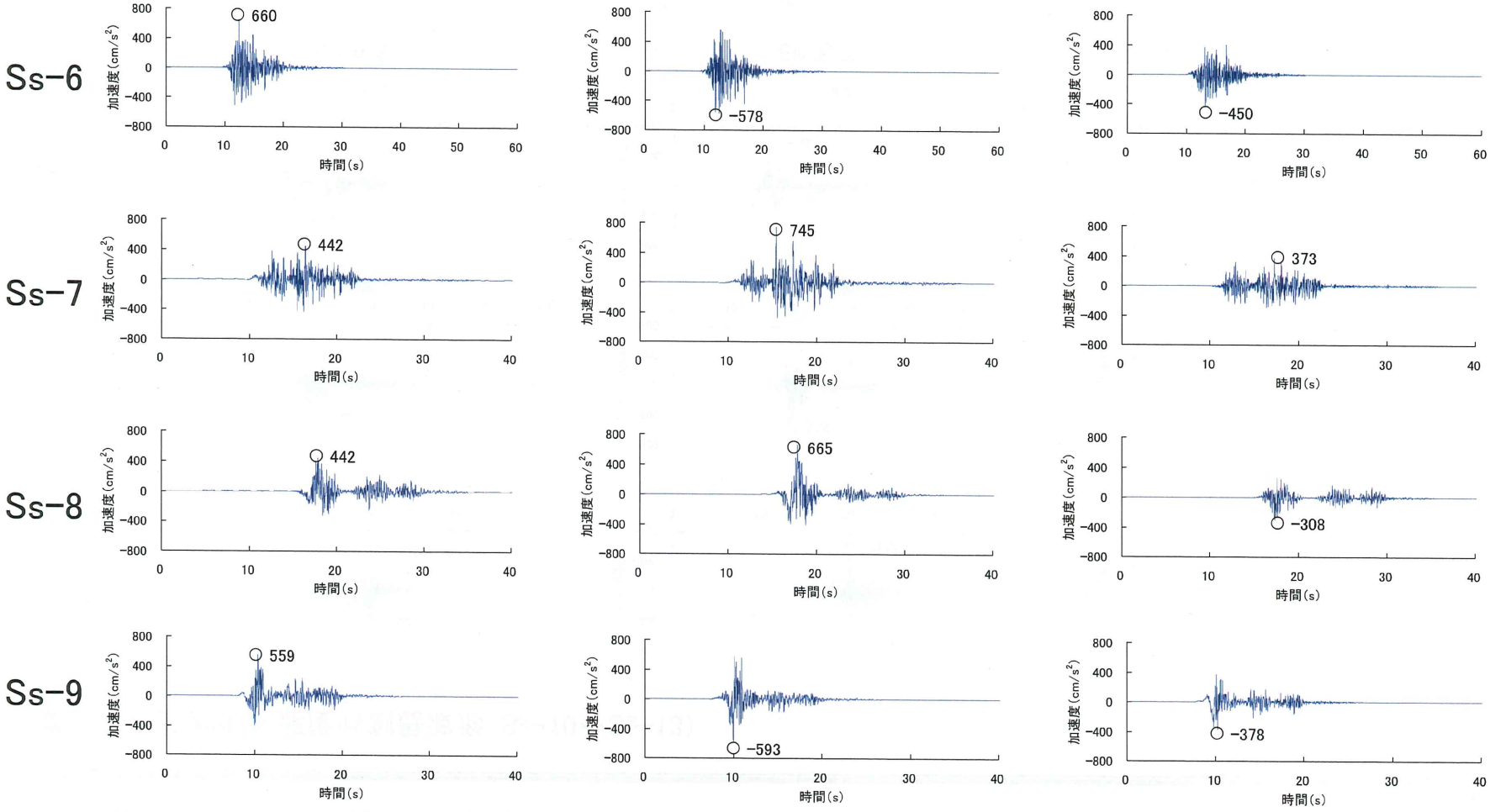
鉛直

5. 基準地震動の策定

■基準地震動の加速度時刻歴波形（Ss-2～Ss-5）



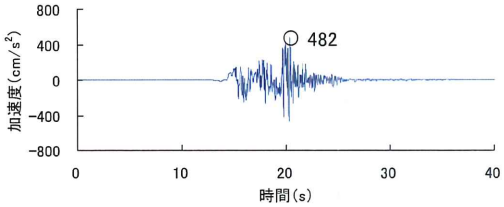
■基準地震動の加速度時刻歴波形（Ss-6～Ss-9）

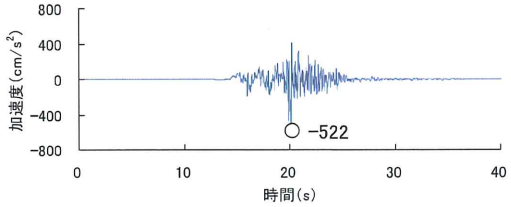


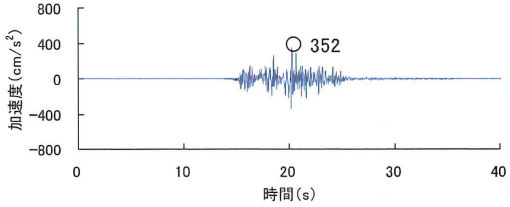
NS方向　　EW方向　　UD方向

■基準地震動の加速度時刻歴波形（Ss-10～Ss-13）

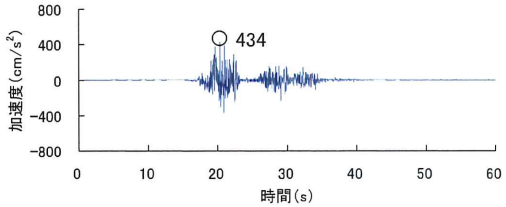
Ss-10

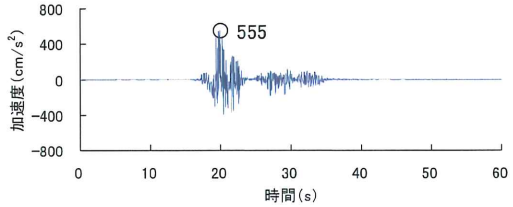


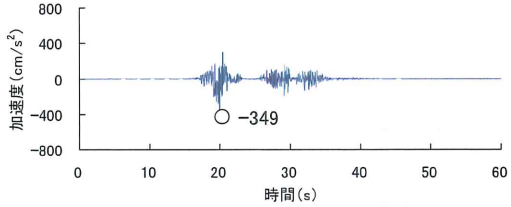




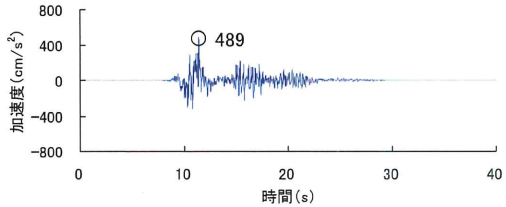
Ss-11



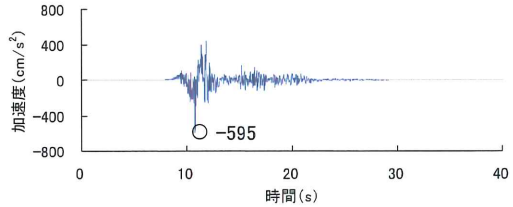




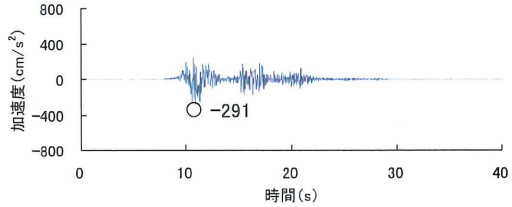
Ss-12



NS方向

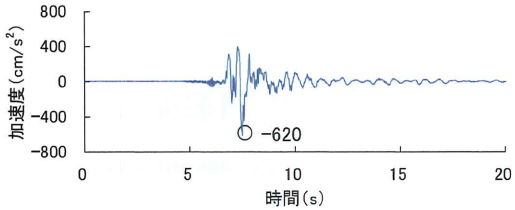


EW方向

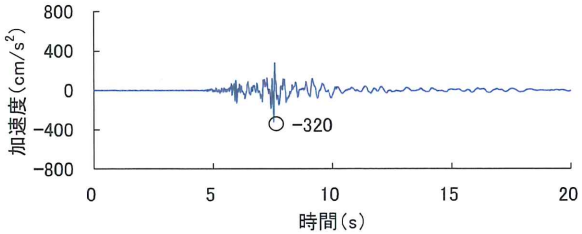


UD方向

Ss-13



水平方向



上下方向

参考

断層モデルによる地震動評価における
パラメータの設定について

（参考）断層パラメータの設定のフロー

＜基本方針＞

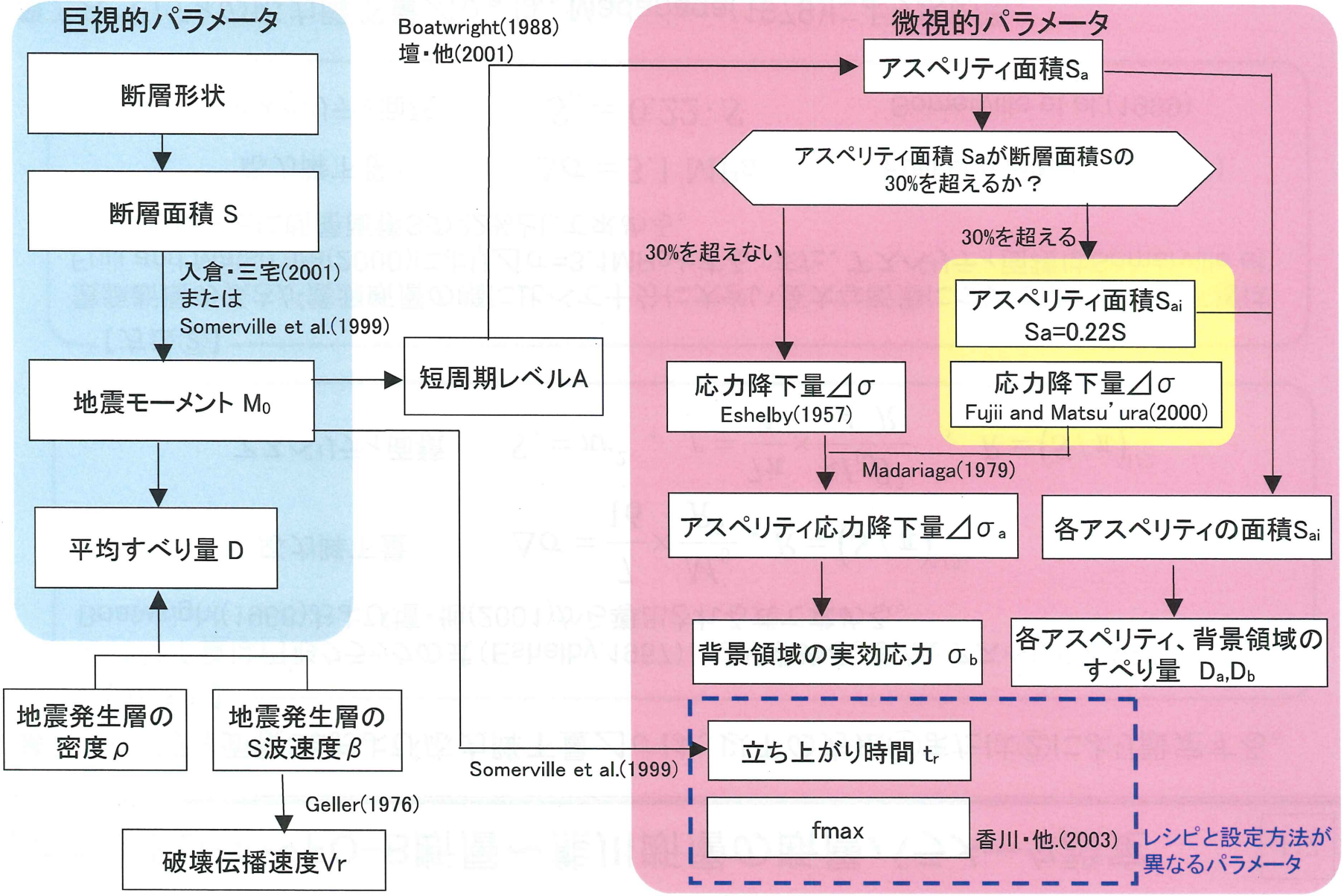
■活断層調査等をもとに、地震本部の強震動予測レシピに従ってパラメータを設定する。
（アスペリティ面積については、レシピのとおり短周期レベルから設定する。）

■応力降下量の算定には、アスペリティ面積比Sa/Sの値に応じ、以下の2つの方法のいずれかを用いる
①円形クラックの式（Eshelby（1957））
②Fujii and Matsu' ura(2000)

■以下の2つのパラメータは、レシピと異なる方法で設定する。
①立ち上がり時間Tr：Somerville et al.(1999)
②fmax　：香川・他(2003)

■上記によりパラメータを設定したものを基本ケースとする。なお、不確かさを考慮したケースとして、短周期の地震動を1.5倍したケース等を検討する。

（参考）断層パラメータの設定のフロー



（参考）FO-A～FO-B断層～熊川断層の断層パラメータ設定

■アスペリティ面積Saおよび応力降下量⊿σは、以下の方法①または②により設定する。

【方法①】

応力降下量は円形クラックの式（Eshelby,1957）により求める。また、アスペリティ面積はBoatwright(1988)および壇・他(2001)から導出される式で求める。

応力降下量 $$\Delta\sigma = \frac{7}{16} \times \frac{M_0}{R^3}\ ,\ R = (S/\pi)^{1/2}$$

アスペリティ面積 $$S_a = \pi r^2\ ,\quad r = \frac{7\pi}{4} \times \frac{M_0 \beta^2}{A \cdot R}\ ,\quad R = (S/\pi)^{1/2}$$

【方法②】

震源断層の長さが震源断層の幅に比べて十分に大きい長大な断層については、応力降下量はFujii and Matsu'ura(2000)により⊿σ=3.1MPaとする。また、アスペリティ面積はSomerville et al(1999)をもとに断層面積Sの22%として求める。

応力降下量	$\Delta\sigma = 3.1\ \mathrm{MPa}$	Fujii and Matsu'ura(2000)
アスペリティ面積	$S_a = 0.22 \cdot S$	Somerville et al.(1999)

■アスペリティの応力降下量⊿σ_aは、Madariaga(1979)により求める。

アスペリティ応力降下量 $$\Delta\sigma_a = (S/S_a) \cdot \Delta\sigma$$

（参考）FO-A～FO-B断層～熊川断層の断層パラメータ設定

■地盤モデル変更により上端深さ3kmとしたケースについて、前頁の2つの方法でパラメータを求めると、以下のとおりとなる。

■レシピで引用されている既往の研究（例えばSomerville et al,1999 や 宮腰・他,2001）では、内陸地震の場合の断層面積Sに対するアスペリティ面積Saの比は、約22%あるいは15～27%とされている。

■方法①で算定した場合、アスペリティ面積比Sa/Sが0.37であり、既往の研究結果に比べて大きくなる。

⇒アスペリティ応力降下量が大きくなり保守的な評価となる方法②を採用する。

	方法①	方法②
断層面積S（km²）	951	
地震モーメントM_0（N・m）	5.03×10^{19}	
短周期レベルA(N・m/s2)	1.96×10^{19}	
応力降下量⊿σ(MPa)	4.2	3.1
アスペリティ面積Sa (km²)	348.34	209.22
アスペリティ面積比Sa/S	0.37	0.22
アスペリティ応力降下量⊿σa(MPa)	11.4	14.1

（参考）FO-A～FO-B断層～熊川断層の断層パラメータ設定

■立ち上がり時間trは、Somerville et al(1999)による次式で設定する。

$$t_r = 2.03 \times 10^{-9} \times M_0^{1/3} \qquad \cdots 式①$$

なお、レシピでは次式により算定すると記載されている。

$$t_r = \alpha \cdot W / V_r \quad , \alpha = 0.5 \qquad \cdots 式②$$

W：アスペリティ領域においてはアスペリティ幅、背景領域においては断層全体の幅
Vr：破壊伝播速度

■上記の2式で立ち上がり時間を求めると、式①で算定したほうが立ち上がり時間が小さくなり、保守的な評価となっている。

	式① Somerville et al(1999)	式② レシピ
立ち上がり時間tr(s)	1.60	1.71（アスペリティ） 2.85（背景領域）

（参考）FO-A～FO-B断層～熊川断層の断層パラメータ設定

■fmaxは、香川・他(2003)によるfmax=8.3Hzを用いる。

香川・他(2003)では、1995年兵庫県南部地震・1997年鹿児島県北西部地震・2000年鳥取県西部地震の硬質サイトでの10観測記録を用いて高周波低減特性について分析した結果、fmax=8.3Hzと評価している。

なお、レシピではfmaxについて以下のように記載されており、fmax=6Hzとされている。

地震調査委員会強震動評価部会(2001)では、fmax=6Hz(鶴来・他,1997)およびfmax=13.5Hz(佐藤・他1994)の2つのケースを想定し、比較した。その結果、fmax=6Hzのケースの方が、既存の距離減衰式の対応が良いことが分かったため、fmax=6Hzを用いることとする。

■fmaxは香川・他(2003)を用いたほうが保守的な評価となっている。

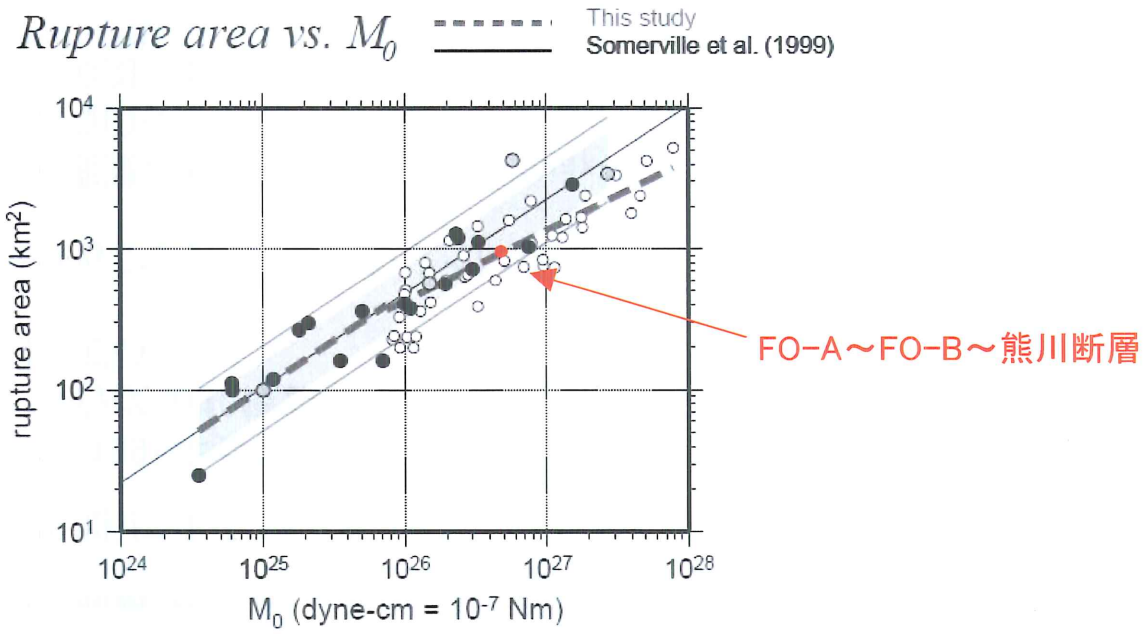
	香川・他(2003)	レシピ
fmax	8.3	6

（参考）FO-A～FO-B断層～熊川断層の断層パラメータ設定

■地震モーメントM0：断層面積Sに応じて、次式により求める。

$$M_0 = \{S/(2.23\times10^{-15})\}^{3/2} \qquad (S < 291\mathrm{km}^2)$$ Somerville et al(1999)

$$M_0 = \{S/(4.24\times10^{-11})\}^{2} \qquad (S \geq 291\mathrm{km}^2)$$ 入倉・三宅(2001)



入倉・三宅(2001)

（参考）第111回審査会合

資料１－３（高浜発電所　地震動評価について）より再掲

3. 地震動評価手法

■評価方法

○応答スペクトルに基づく地震動評価

・解放基盤表面の地震動として評価できること、震源の拡がりが考慮できること、敷地における地震観測記録等を用いて諸特性が考慮できること、更に水平方向及び鉛直方向の地震動が評価できることから、Noda et al.(2002)（以下、耐専式という。）を採用

・地震規模は松田式により算定

	長さ※1	地震規模※2
FO-A～FO-B～熊川断層	63.4km	7.8
上林川断層	39.5km	7.5

※1：地震動評価上の長さ
※2：地震規模は松田式より算出

○断層モデルを用いた手法による地震動評価

・評価地点の震源近傍で発生した地震の適切な観測記録が得られていないため、短周期側を統計的グリーン関数法、長周期側を理論的方法（離散化波数法）を適用したハイブリッド合成法により評価

・前回審査会合にて示した地盤モデルを用いて評価

・新潟県中越沖地震の反映事項を踏まえて、短周期の地震動レベルを1.5倍したケースも評価

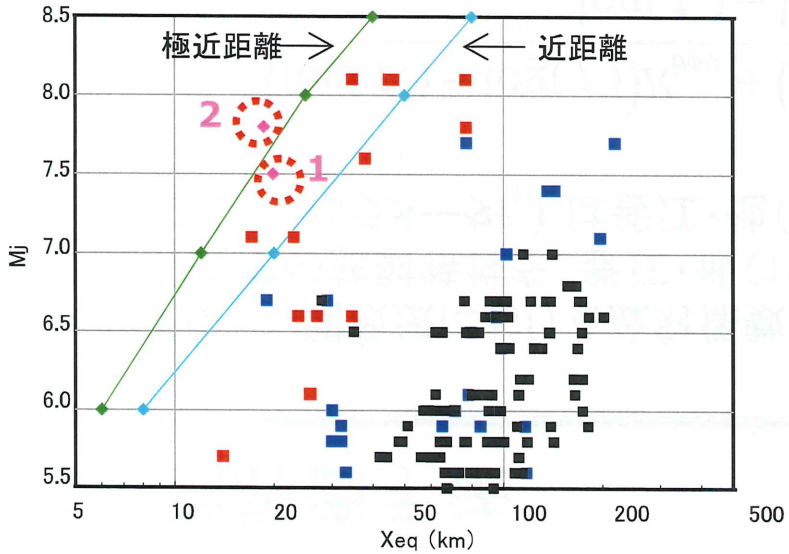
3. 地震動評価手法

○応答スペクトルに基づく地震動評価

■検討用地震の等価震源距離と耐専式での地震の諸元との比較

1. 回帰分析に用いた地震の諸元
   5.5≦Mj≦7.0（Mj：気象庁マグニチュード）
   h≦60km（h：震源深さ）
   28km≦Xeq≦202km（Xeq：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≦Mj≦8.1（Mj：気象庁マグニチュード）
   h≦60km（h：震源深さ）
   14km≦Xeq≦218km（Xeq：等価震源距離）

■ 回帰式の作成に用いた観測記録
■ 適用性検討に用いた他地点観測記録（海外の地震）
■ 適用性検討に用いた他地点観測記録（国内の地震）



マグニチュードMと等価震源距離Xeq

No.		検討用地震	Mj	Xeq (km)
高浜	1	上林川断層	7.5	19.9
	2	FO-A～FO-B断層～熊川断層	7.8	18.6

極近距離との乖離が小さいため、FO-A～FO-B断層と熊川断層との3連動についても、耐専式を適用できると判断した。

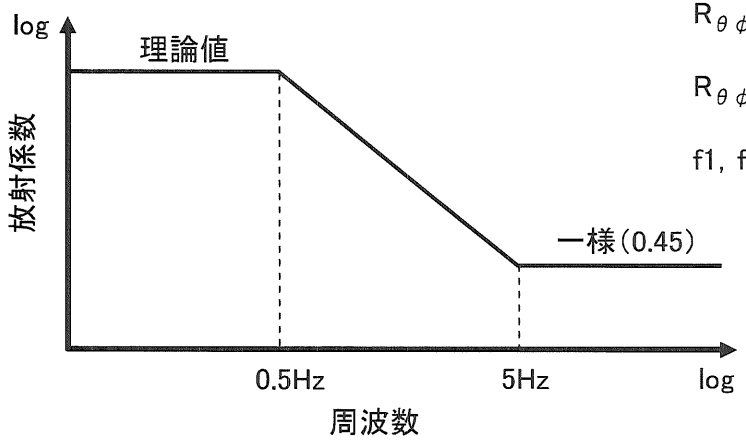
平成21年5月22日原安委意見交換会資料（東京電力）に加筆

3. 地震動評価手法

■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波の放射特性を、釜江・他(1990)による振動数に依存するモデル(下式)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=0.5Hz、f_2=5Hzと設定した。

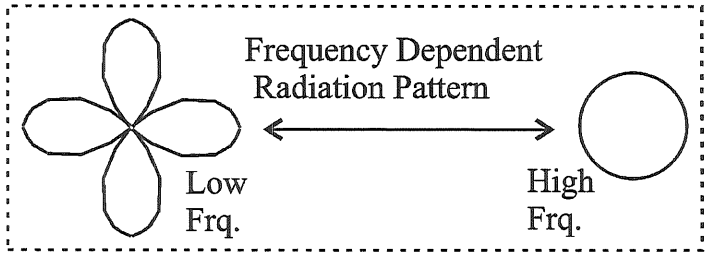
$$R_{\theta\phi}(f)=\frac{\left(\log(f_2)-\log(f)\right)R_{\theta\phi 0}+\left(\log(f)-\log(f_1)\right)R_{\theta\phi m}}{\log(f_2)-\log(f_1)}$$



$R_{\theta\phi 0}$: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

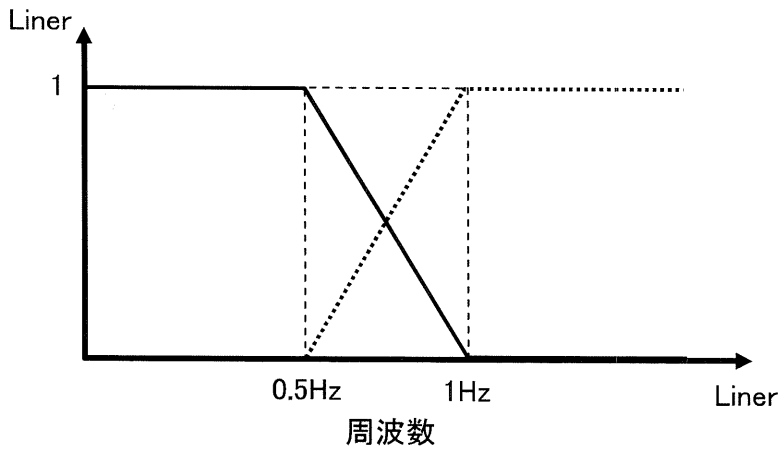
$R_{\theta\phi m}$:高周波数で等方放射として平均化された放射係数

f1, f2:理論的な放射から等方的な放射へと遷移する周波数帯



3. 地震動評価手法

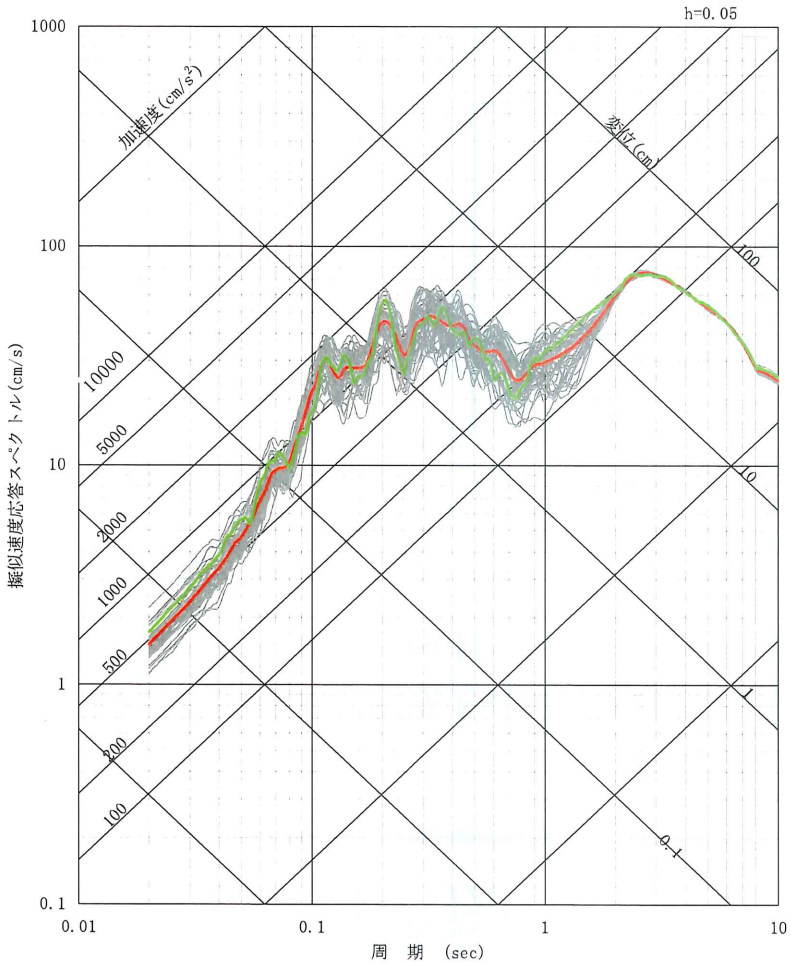
■統計的グリーン関数法と理論的方法の結果のハイブリッドのフィルター
遷移周波数帯(0.5Hz～1Hz)で相補的に低減するフィルター(マッチングフィルター)を施した。



マッチングフィルターの形状

3. 地震動評価手法

■破壊伝播速度Vrは、Geller(1976)によりS波速度の0.72倍とする。また、統計的グリーン関数法における位相の乱数と、破壊伝播速度Vrを±5%の揺らぎを与える乱数を変えて50組の波形合成を行い、50波の平均値（減衰定数5%の擬似速度応答スペクトル）との残差が最小となる波形を選定した。



「震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」）」（平成21年12月21日）には、以下のとおり記載されている。

平均破壊伝播速度Vr（km/s）は、特にその震源域の詳しい情報がない限り、Geller（1976）による地震発生層のS波速度 β（km/s）との経験式　$Vr = 0.72 \cdot \beta$　により推定する。

50波平均
選定波

4. 地震動評価結果（FO-A～FO-B断層と熊川断層との3連動）

■FO-A～FO-B断層と熊川断層との3連動を考慮した場合の地震動評価ケースにおいては以下のとおり設定した。

①基本ケースの震源モデルを調査結果等に基づき、左横ずれ断層傾斜角90°、すべり角0°と設定。

②考慮する不確かさケース

- 新潟県中越沖地震の反映を踏まえ短周期の地震動レベルを1．5倍としたケースを考慮
- 断層傾斜角について敷地側へ近くなるように傾斜させた傾斜角75°としたケースを考慮
- 横ずれ断層であるが、縦ずれ成分もあることも想定し、すべり角30°としたケースを考慮
- 破壊伝播速度については基本ケースVr=0.72β（βは地震発生層のS波速度）に対して、宮腰・他（2003）の知見を参考にしてアスペリティ領域の平均的な破壊伝播速度に標準偏差1σを考慮したVr=0.87βとしたケースを考慮
- アスペリティ位置については、基本ケースにおいて各断層ごとに敷地近傍に配置しているが、さらにすべてのアスペリティを一塊として敷地近傍に配置し、影響が大きくなるようなケース（アスペリティの形状を変えて2ケース）を考慮

なお、破壊開始点については、すべてのケースにおいて、断層およびアスペリティ下端に複数のケースを設定した。その結果、全56ケースを評価した。

4. 地震動評価結果

FO-A～FO-B断層と熊川断層との3連動を考慮した場合の地震動評価ケース

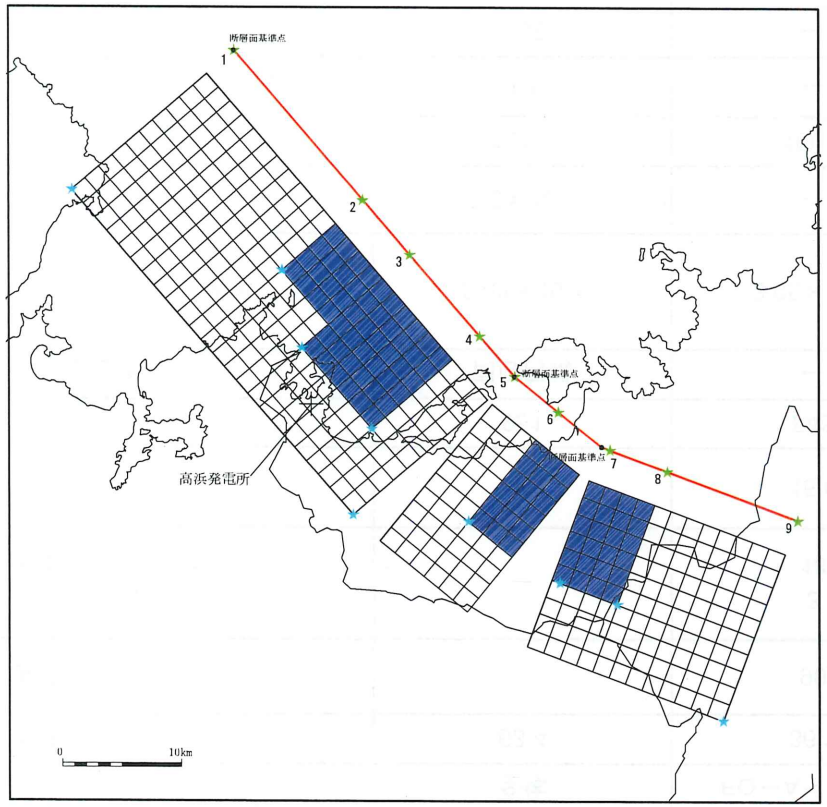
	短周期の地震動レベル	断層傾斜角	すべり角	破壊伝播速度Vr	アスペリティ	破壊開始点
基本ケース	レシピ平均	90°	0°	Vr=0.72β	敷地近傍に配置	複数設定
短周期の地震動レベルの不確かさを考慮	レシピ平均×1.5倍	90°	0°	Vr=0.72β	敷地近傍に配置	複数設定
断層傾斜角の不確かさを考慮	レシピ平均	75°	0°	Vr=0.72β	敷地近傍に配置	複数設定
すべり角の不確かさを考慮	レシピ平均	90°	30°	Vr=0.72β	敷地近傍に配置	複数設定
破壊伝播速度Vrの不確かさを考慮	レシピ平均	90°	0°	Vr=0.87β	敷地近傍に配置	複数設定
アスペリティ配置の不確かさを考慮	レシピ平均	90°	0°	Vr=0.72β	敷地近傍で一塊	複数設定
	レシピ平均	90°	0°	Vr=0.72β	敷地近傍で一塊・横長	複数設定

：不確かさを考慮したパラメータ

4. 地震動評価結果

第111回審査会合
資料加筆修正

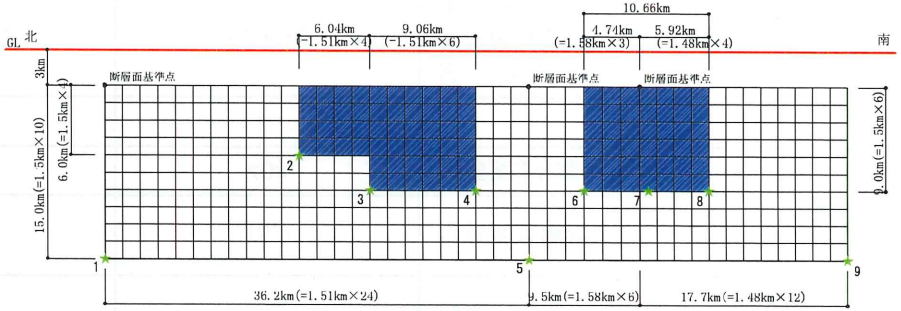
■FO-A～FO-B～熊川断層のモデル図
（基本ケース、短周期の地震動レベル1.5倍ケース、すべり角30°ケース、Vr=0.87βケース）



※ 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



★：破壊開始点

断面図

■FO-A～FO-B～熊川断層の断層パラメータ（基本ケース、短周期の地震動レベル1.5倍ケース）

断層パラメータ	パラメータ			設定方法
	全体	FO－A～FO－B	熊川	
断層長さL（km）	63.4	36.2	27.2	断層位置から計算
断層傾斜角（°）	－	90	90	調査結果に基づき設定
断層上端深さ（km） 断層下端深さ（km）	－	3 18	3 18	微小地震の発生及び地下構造を参考に設定
断層幅W（km）	－	15.0	15.0	地震発生層と傾斜角から設定
断層面積S（km^2）	951	543	408	断層面より算定
破壊伝播様式	同心円状	←	←	－
地震モーメントM_0（Nm）	5.03×10^{19}	3.05×10^{19}	1.98×10^{19}	$M_0=\{S/(4.24\times10^{-11})\}^{2.0}$ 全体の地震モーメントを断層面積の1.5乗比で分配
剛性率μ（N/m^2）	3.5×10^{10}	←	←	$\mu=\rho\beta^2$、ρ=2.7g/cm^3、β=3.6km/s
平均すべり量D（cm）	151.2	160.3	139.0	$D=M_0/(\mu S)$
平均応力降下量$\Delta\sigma$（MPa）	3.1	←	←	Fujii and Matsu'ura(2000)
破壊伝播速度Vr（km/s）	2.59	←	←	$Vr=0.72\beta$
立ち上がり時間Tr(sec)	1.61	←	←	$Tr=2.03\times10^{-9}M_0^{1/3}$
高周波限界遮断周波数fmax（Hz）	8.3	←	←	香川他(2003)
短周期レベルA（Nm/s^2）（参考）	1.96×10^{19}	←	←	$A=2.46\times10^{10}\times(M_0\times10^7)^{1/3}$
Q値	$50f^{1.1}$	←	←	佐藤他(2007)

4. 地震動評価結果

■FO-A～FO-B～熊川断層の断層パラメータ（基本ケース、短周期の地震動レベル1.5倍ケース）

断層パラメータ		パラメータ			設定方法
		全体	FO－A～FO－B	熊川	
全アスペリティ	面積S_a(km^2)	209.22	119.46	89.76	$Sa=\gamma asp\times S$, $\gamma asp=0.22$
	平均すべり量D_a(cm)	303.9	322.3	279.4	$D_a=\gamma_D D$、$\gamma_D=2.01$
	地震モーメントM_{0a}(Nm)	2.22×10^{19}	1.35×10^{19}	8.77×10^{18}	$M_{0a}=\mu S_a D_a$
	応力降下量$\Delta\sigma_a$(MPa)	14.1	←	←	$\Delta\sigma_a=(S/S_a)\Delta\sigma$
大アスペリティ	面積S_{a1}(km^2)	－	79.64		$S_{a1}=2/3S_a$
	平均すべり量D_{a1}(cm)	－	357.1		$D_{a1}=M_{0a1}/(\mu S_{a1})$
	地震モーメントM_{0a1}(Nm)	－	9.95×10^{18}		$M_{0a1}=M_{0a}S_{a1}^{1.5}/(S_{a1}^{1.5}+S_{a2}^{1.5})$
	応力降下量$\Delta\sigma_{a1}$(MPa)	－	14.1		$\Delta\sigma_{a1}=\Delta\sigma_a$
小アスペリティ	面積S_{a2}(km^2)	－	39.82		$S_{a2}=1/3S_a$
	平均すべり量D_{a2}(cm)	－	252.5		$D_{a2}=M_{0a2}/(\mu S_{a2})$
	地震モーメントM_{0a2}(Nm)	－	3.52×10^{18}		$M_{0a2}=M_{0a}S_{a2}^{1.5}/(S_{a1}^{1.5}+S_{a2}^{1.5})$
	応力降下量$\Delta\sigma_{a2}$(MPa)	－	14.1		$\Delta\sigma_{a2}=\Delta\sigma_a$
背景領域	面積S_b(km^2)	741.78	423.54	318.24	$S_b=S-S_a$
	平均すべり量D_b(cm)	108.1	114.7	99.4	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$
	地震モーメントM_{0b}(Nm)	2.81×10^{19}	1.70×10^{19}	1.11×10^{19}	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$
	実効応力σ_b(MPa)	2.8	←	←	$\sigma_b=0.2\Delta\sigma_a$

4. 地震動評価結果

■FO-A～FO-B～熊川断層の断層パラメータ（すべり角30° ケース）

断層パラメータ	パラメータ			設定方法
	全体	FO－A～FO－B	熊川	
断層長さL（km）	63.4	36.2	27.2	断層位置から計算
断層傾斜角（°）	－	90	90	調査結果に基づき設定
すべり角（°）	－	30	30	調査結果に基づき設定
断層上端深さ（km） 断層下端深さ（km）	－	3 18	3 18	微小地震の発生及び地下構造を参考に設定
断層幅W（km）	－	15.0	15.0	地震発生層と傾斜角から設定
断層面積S（km^2）	951	543	408	断層面より算定
破壊伝播様式	同心円状	←	←	－
地震モーメントM_0（Nm）	5.03×10^{19}	3.05×10^{19}	1.98×10^{19}	$M_0=\{S/(4.24\times10^{-11})\}^{2.0}$ 全体の地震モーメントを断層面積の1.5乗比で分配
剛性率μ（N/m^2）	3.5×10^{10}	←	←	$\mu=\rho\beta^2$、ρ=2.7g/cm^3、β=3.6km/s
平均すべり量D（cm）	151.2	160.3	139.0	$D=M_0/(\mu S)$
平均応力降下量$\Delta\sigma$（MPa）	3.1	←	←	Fujii and Matsu'ura(2000)
破壊伝播速度Vr（km/s）	2.59	←	←	$Vr=0.72\beta$
立ち上がり時間Tr(sec)	1.61	←	←	$Tr=2.03\times10^{-9}M_0^{1/3}$
高周波限界遮断周波数fmax（Hz）	8.3	←	←	香川他(2003)
短周期レベルA（Nm/s^2）（参考）	1.96×10^{19}	←	←	$A=2.46\times10^{10}\times(M_0\times10^7)^{1/3}$
Q値	$50f^{1.1}$	←	←	佐藤他(2007)

4. 地震動評価結果

■FO-A～FO-B～熊川断層の断層パラメータ（すべり角30° ケース）

断層パラメータ		パラメータ			設定方法
		全体	FO－A～FO－B	熊川	
全アスペリティ	面積S_a(km^2)	209.22	119.46	89.76	$Sa=\gamma asp\times S$, $\gamma asp=0.22$
	平均すべり量D_a(cm)	303.9	322.3	279.4	$D_a=\gamma_D D$、$\gamma_D=2.01$
	地震モーメントM_{0a}(Nm)	2.22×10^{19}	1.35×10^{19}	8.77×10^{18}	$M_{0a}=\mu S_a D_a$
	応力降下量$\Delta\sigma_a$(MPa)	14.1	←	←	$\Delta\sigma_a=(S/S_a)\Delta\sigma$
大アスペリティ	面積S_{a1}(km^2)	－	79.64		$S_{a1}=2/3S_a$
	平均すべり量D_{a1}(cm)	－	357.1		$D_{a1}=M_{0a1}/(\mu S_{a1})$
	地震モーメントM_{0a1}(Nm)	－	9.95×10^{18}		$M_{0a1}=M_{0a}S_{a1}^{1.5}/(S_{a1}^{1.5}+S_{a2}^{1.5})$
	応力降下量$\Delta\sigma_{a1}$(MPa)	－	14.1		$\Delta\sigma_{a1}=\Delta\sigma_a$
小アスペリティ	面積S_{a2}(km^2)	－	39.82		$S_{a2}=1/3S_a$
	平均すべり量D_{a2}(cm)	－	252.5		$D_{a2}=M_{0a2}/(\mu S_{a2})$
	地震モーメントM_{0a2}(Nm)	－	3.52×10^{18}		$M_{0a2}=M_{0a}S_{a2}^{1.5}/(S_{a1}^{1.5}+S_{a2}^{1.5})$
	応力降下量$\Delta\sigma_{a2}$(MPa)	－	14.1		$\Delta\sigma_{a2}=\Delta\sigma_a$
背景領域	面積S_b(km^2)	741.78	423.54	318.24	$S_b=S-S_a$
	平均すべり量D_b(cm)	108.1	114.7	99.4	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$
	地震モーメントM_{0b}(Nm)	2.81×10^{19}	1.70×10^{19}	1.11×10^{19}	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$
	実効応力σ_b(MPa)	2.8	←	←	$\sigma_b=0.2\Delta\sigma_a$

4. 地震動評価結果

■FO-A～FO-B～熊川断層の断層パラメータ（Vr=0.87βケース）

断層パラメータ	パラメータ			設定方法
	全体	FO－A～FO－B	熊川	
断層長さL（km）	63.4	36.2	27.2	断層位置から計算
断層傾斜角（°）	－	90	90	調査結果に基づき設定
断層上端深さ（km） 断層下端深さ（km）	－	3 18	3 18	微小地震の発生及び地下構造を参考に設定
断層幅W（km）	－	15.0	15.0	地震発生層と傾斜角から設定
断層面積S（km^2）	951	543	408	断層面より算定
破壊伝播様式	同心円状	←	←	－
地震モーメントM_0（Nm）	5.03×10^{19}	3.05×10^{19}	1.98×10^{19}	$M_0=\{S/(4.24\times10^{-11})\}^{2.0}$ 全体の地震モーメントを断層面積の1.5乗比で分配
剛性率μ（N/m^2）	3.5×10^{10}	←	←	$\mu=\rho\beta^2$、$\rho=2.7g/cm^3$、$\beta=3.6km/s$
平均すべり量D（cm）	151.2	160.3	139.0	$D=M_0/(\mu S)$
平均応力降下量Δσ（MPa）	3.1	←	←	Fujii and Matsu'ura(2000)
破壊伝播速度Vr（km/s）	3.13	←	←	$Vr=0.87\beta$
立ち上がり時間Tr(sec)	1.61	←	←	$Tr=2.03\times10^{-9}M_0^{1/3}$
高周波限界遮断周波数fmax（Hz）	8.3	←	←	香川他(2003)
短周期レベルA（Nm/s^2）（参考）	1.96×10^{19}	←	←	$A=2.46\times10^{10}\times(M_0\times10^7)^{1/3}$
Q値	$50f^{1.1}$	←	←	佐藤他(2007)

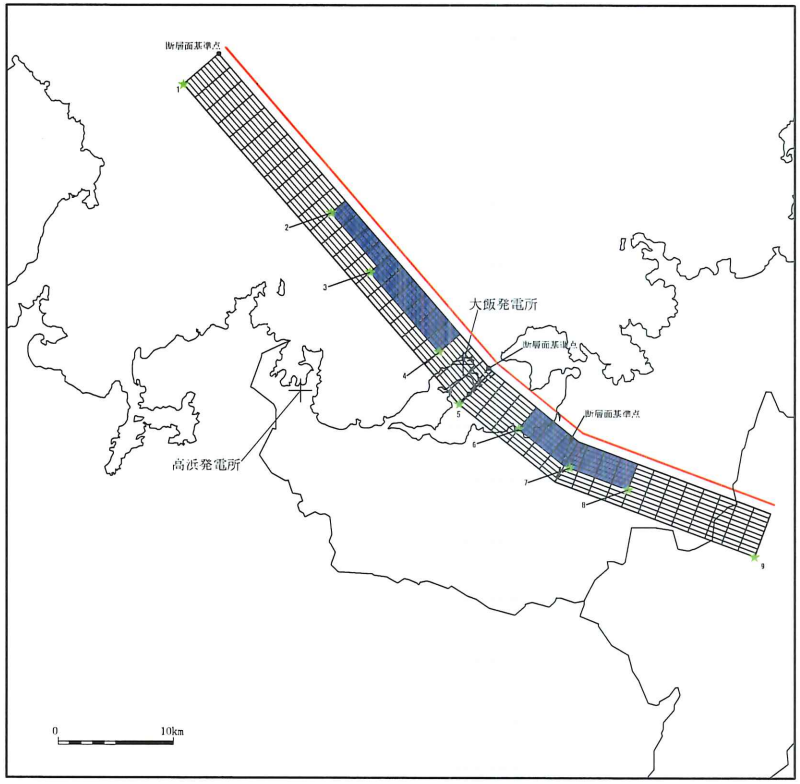
4. 地震動評価結果

■FO-A～FO-B～熊川断層の断層パラメータ(Vr=0.87βケース)

断層パラメータ		パラメータ			設定方法
		全体	FO－A～FO－B	熊川	
全アスペリティ	面積S_a(km^2)	209.22	119.46	89.76	$Sa=\gamma asp\times S$, $\gamma asp=0.22$
	平均すべり量D_a(cm)	303.9	322.3	279.4	$D_a=\gamma_D D$、$\gamma_D=2.01$
	地震モーメントM_{0a}(Nm)	2.22×10^{19}	1.35×10^{19}	8.77×10^{18}	$M_{0a}=\mu S_a D_a$
	応力降下量$\Delta\sigma_a$(MPa)	14.1	←	←	$\Delta\sigma_a=(S/S_a)\Delta\sigma$
大アスペリティ	面積S_{a1}(km^2)	－	79.64		$S_{a1}=2/3S_a$
	平均すべり量D_{a1}(cm)	－	357.1		$D_{a1}=M_{0a1}/(\mu S_{a1})$
	地震モーメントM_{0a1}(Nm)	－	9.95×10^{18}		$M_{0a1}=M_{0a}S_{a1}^{1.5}/(S_{a1}^{1.5}+S_{a2}^{1.5})$
	応力降下量$\Delta\sigma_{a1}$(MPa)	－	14.1		$\Delta\sigma_{a1}=\Delta\sigma_a$
小アスペリティ	面積S_{a2}(km^2)	－	39.82		$S_{a2}=1/3S_a$
	平均すべり量D_{a2}(cm)	－	252.5		$D_{a2}=M_{0a2}/(\mu S_{a2})$
	地震モーメントM_{0a2}(Nm)	－	3.52×10^{18}		$M_{0a2}=M_{0a}S_{a2}^{1.5}/(S_{a1}^{1.5}+S_{a2}^{1.5})$
	応力降下量$\Delta\sigma_{a2}$(MPa)	－	14.1		$\Delta\sigma_{a2}=\Delta\sigma_a$
背景領域	面積S_b(km^2)	741.78	423.54	318.24	$S_b=S-S_a$
	平均すべり量D_b(cm)	108.1	114.7	99.4	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$
	地震モーメントM_{0b}(Nm)	2.81×10^{19}	1.70×10^{19}	1.11×10^{19}	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$
	実効応力σ_b(MPa)	2.8	←	←	$\sigma_b=0.2\Delta\sigma_a$

4. 地震動評価結果

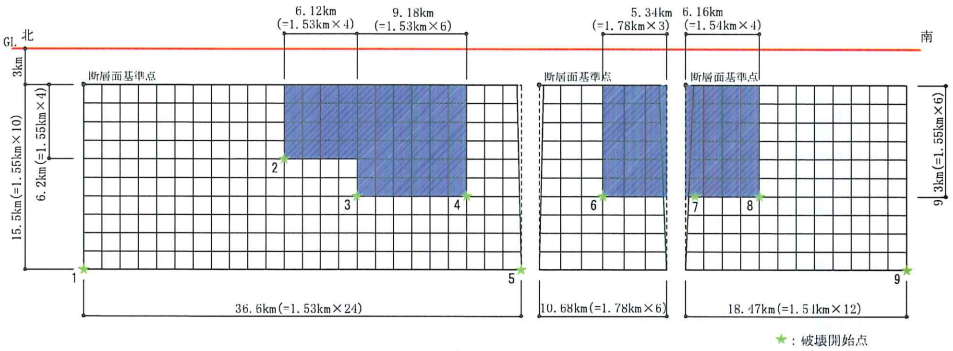
■FO-A～FO-B～熊川断層のモデル図（傾斜角75° ケース）



※ 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



★：破壊開始点

断面図

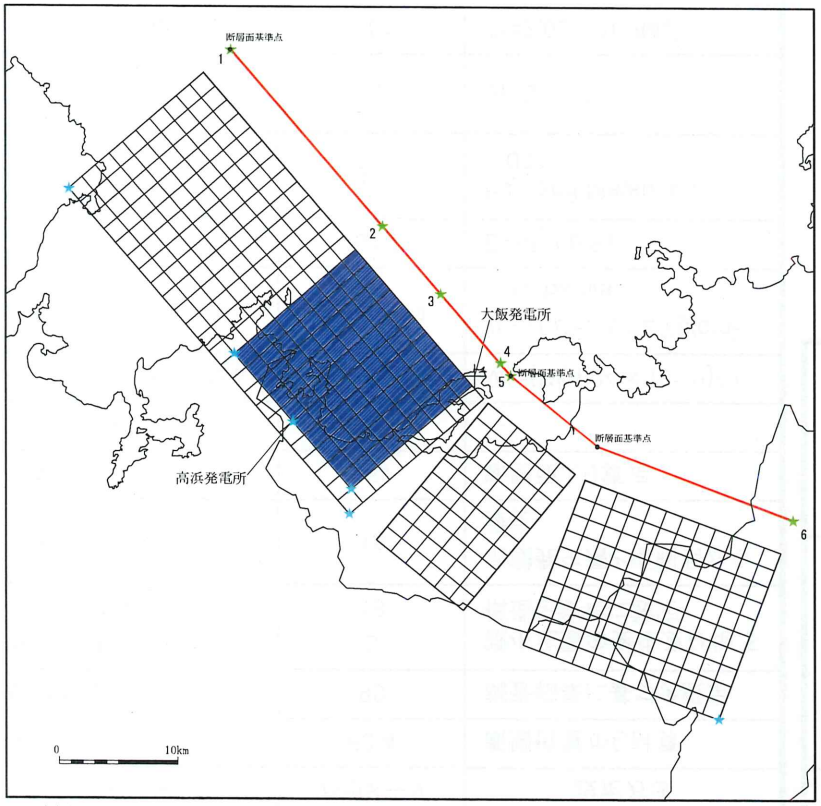
■FO-A～FO-B～熊川断層の断層パラメータ(傾斜角75° ケース)

断層パラメータ	パラメータ			設定方法
	全体	FO－A～FO－B	熊川	
断層長さL(km)	64.7	36.4	28.3	断層位置から計算
断層傾斜角(°)	－	75	75	調査結果に基づき設定
断層上端深さ(km) 断層下端深さ(km)	－	3 18	3 18	微小地震の発生及び地下構造を参考に設定
断層幅W(km)	－	15.5	15.5	地震発生層と傾斜角から設定
断層面積S(km^2)	1002.85	564.2	438.65	断層面より算定
破壊伝播様式	同心円状	←	←	－
地震モーメントM_0(Nm)	5.59×10^{19}	3.32×10^{19}	2.28×10^{19}	$M_0=\{S/(4.24\times10^{-11})\}^{2.0}$ 全体の地震モーメントを断層面積の1.5乗比で分配
剛性率μ(N/m^2)	3.5×10^{10}	←	←	$\mu=\rho\beta^2$、ρ=2.7g/cm^3、β=3.6km/s
平均すべり量D(cm)	159.4	168.1	148.2	$D=M_0/(\mu S)$
平均応力降下量$\Delta\sigma$(MPa)	3.1	←	←	Fujii and Matsu'ura(2000)
破壊伝播速度Vr(km/s)	2.59	←	←	$Vr=0.72\beta$
立ち上がり時間Tr(sec)	1.67	←	←	$Tr=2.03\times10^{-9}M_0^{1/3}$
高周波限界遮断周波数fmax(Hz)	8.3	←	←	香川他(2003)
短周期レベルA(Nm/s^2)(参考)	2.03×10^{19}	←	←	$A=2.46\times10^{10}\times(M_0\times10^7)^{1/3}$
Q値	$50f^{1.1}$	←	←	佐藤他(2007)

■FO-A～FO-B～熊川断層の断層パラメータ（傾斜角75° ケース）

断層パラメータ		パラメータ			設定方法
		全体	FO－A～FO－B	熊川	
全アスペリティ	面積S_a(km^2)	220.63	124.12	96.50	$Sa=\gamma asp\times S$, $\gamma asp=0.22$
	平均すべり量D_a(cm)	320.4	337.9	297.9	$D_a=\gamma_D D$、$\gamma_D=2.01$
	地震モーメントM_{0a}(Nm)	2.47×10^{19}	1.47×10^{19}	1.01×10^{19}	$M_{0a}=\mu S_a D_a$
	応力降下量$\Delta\sigma_a$(MPa)	14.1	←	←	$\Delta\sigma_a=(S/S_a)\Delta\sigma$
大アスペリティ	面積S_{a1}(km^2)	－	82.75		$S_{a1}=2/3S_a$
	平均すべり量D_{a1}(cm)	－	374.5		$D_{a1}=M_{0a1}/(\mu S_{a1})$
	地震モーメントM_{0a1}(Nm)	－	1.08×10^{19}		$M_{0a1}=M_{0a}S_{a1}^{1.5}/(S_{a1}^{1.5}+S_{a2}^{1.5})$
	応力降下量$\Delta\sigma_{a1}$(MPa)	－	14.1		$\Delta\sigma_{a1}=\Delta\sigma_a$
小アスペリティ	面積S_{a2}(km^2)	－	41.37		$S_{a2}=1/3S_a$
	平均すべり量D_{a2}(cm)	－	264.8		$D_{a2}=M_{0a2}/(\mu S_{a2})$
	地震モーメントM_{0a2}(Nm)	－	3.83×10^{18}		$M_{0a2}=M_{0a}S_{a2}^{1.5}/(S_{a1}^{1.5}+S_{a2}^{1.5})$
	応力降下量$\Delta\sigma_{a2}$(MPa)	－	14.1		$\Delta\sigma_{a2}=\Delta\sigma_a$
背景領域	面積S_b(km^2)	782.22	440.08	342.15	$S_b=S-S_a$
	平均すべり量D_b(cm)	114.0	120.2	106.0	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$
	地震モーメントM_{0b}(Nm)	3.12×10^{19}	1.85×10^{19}	1.27×10^{19}	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$
	実効応力σ_b(MPa)	2.8	←	←	$\sigma_b=0.2\Delta\sigma_a$

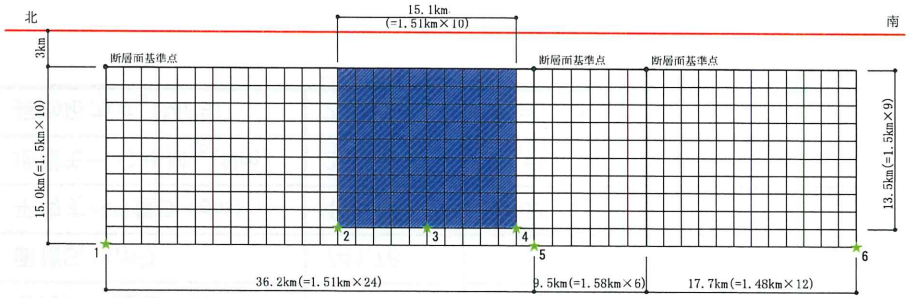
■FO-A～FO-B～熊川断層のモデル図（アスペリティー塊ケース）



※　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



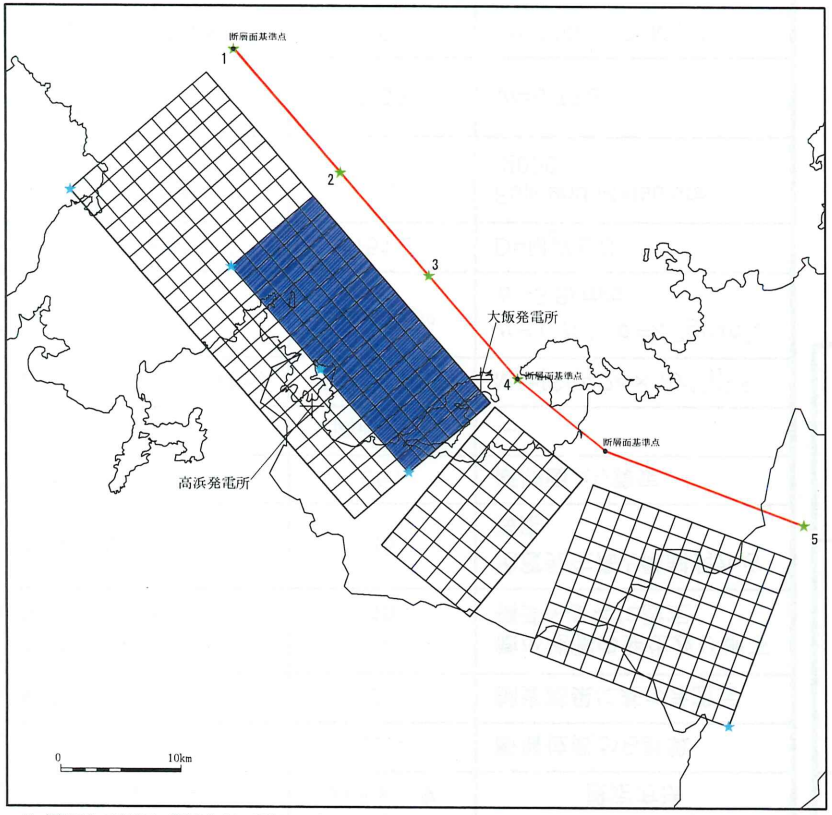
断面図

■FO-A～FO-B～熊川断層の断層パラメータ（アスペリティー塊ケース）

断層パラメータ	パラメータ	設定方法
断層長さL（km）	63.4	断層位置から計算
断層傾斜角（°）	90	調査結果に基づき設定
断層上端深さ（km） 断層下端深さ（km）	3 18	微小地震の発生及び地下構造を参考に設定
断層幅W（km）	15	地震発生層と傾斜角から設定
断層面積S（km^2）	951	断層面より算定
破壊伝播様式	同心円状	―
地震モーメントM_0（Nm）	5.03×10^{19}	$M_0=\{S/(4.24\times10^{-11})\}^{2.0}$
剛性率（N/m^2）	3.5×10^{10}	$\mu=\rho\beta^2$、$\rho=2.7g/cm^3$、$\beta=3.6km/s$
平均すべり量D（cm）	151.2	$D=M_0/(\mu S)$
平均応力降下量$\Delta\sigma$（MPa）	3.1	Fujii and Matsu'ura (2000)
破壊伝播速度Vr（km/s）	2.59	$Vr=0.72\beta$
立ち上がり時間Tr(sec)	1.61	$Tr=2.03\times10^{-9}M_0^{1/3}$
高周波限界遮断周波数fmax（Hz）	8.3	香川ほか、2003
短周期レベルA（Nm/s^2）	1.96×10^{19}	$A=2.46\times10^{17}\times M_0^{1/3}$
Q値	$50f^{1.1}$	佐藤ほか、2007

断層パラメータ		パラメータ	設定方法
アスペリティ	面積S_a（km^2）	209.22	$Sa=\gamma asp\times S$，$\gamma asp=0.22$
	平均すべり量D_a（cm）	303.9	$D_a=\gamma_D D$、$\gamma_D=2.01$
	地震モーメントM_{0a}（Nm）	2.22×10^{19}	$M_{0a}=\mu S_a D_a$
	応力降下量$\Delta\sigma_a$（MPa）	14.1	$\Delta\sigma_a=(S/S_a)\Delta\sigma$
背景領域	面積S_b（km^2）	741.78	$S_b=S-S_a$
	平均すべり量D_b（cm）	108.1	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$
	地震モーメントM_{0b}（Nm）	2.81×10^{19}	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$
	実効応力σ_b（MPa）	2.8	$\sigma_b=0.2\Delta\sigma_a$

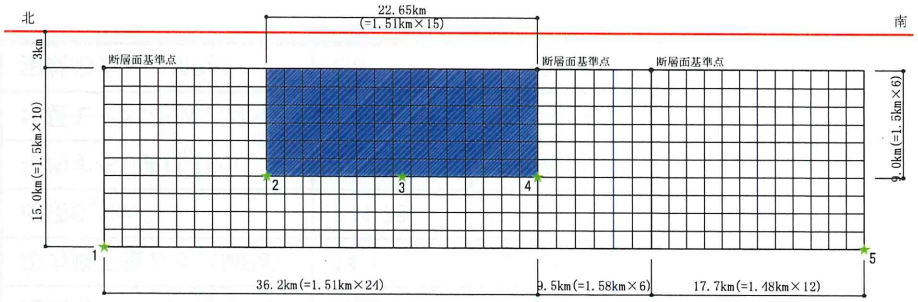
■FO-A～FO-B～熊川断層のモデル図（アスペリティー塊横長ケース）



※ 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



断面図

4. 地震動評価結果

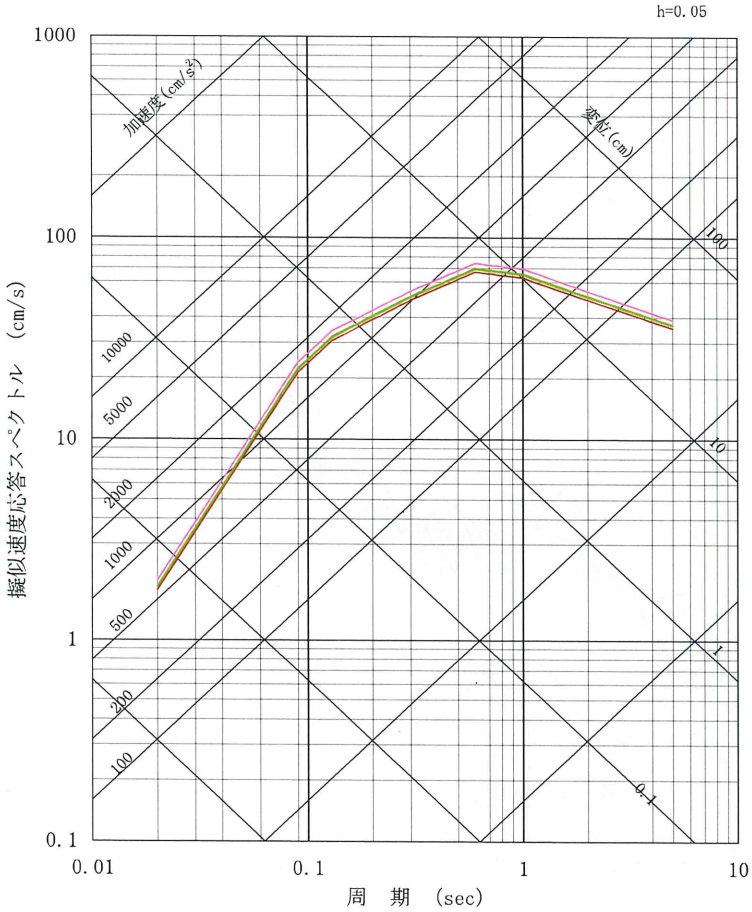
■FO-A～FO-B～熊川断層の断層パラメータ（アスペリティー塊横長ケース）

断層パラメータ	パラメータ	設定方法
断層長さL（km）	63.4	断層位置から計算
断層傾斜角（°）	90	調査結果に基づき設定
断層上端深さ（km） 断層下端深さ（km）	3 18	微小地震の発生及び地下構造を参考に設定
断層幅W（km）	15	地震発生層と傾斜角から設定
断層面積S（km^2）	951	断層面より算定
破壊伝播様式	同心円状	―
地震モーメントM_0（Nm）	5.03×10^{19}	$M_0=\{S/(4.24\times10^{-11})\}^{2.0}$
剛性率（N/m^2）	3.5×10^{10}	$\mu=\rho\beta^2$、$\rho=2.7g/cm^3$、$\beta=3.6km/s$
平均すべり量D（cm）	151.2	$D=M_0/(\mu S)$
平均応力降下量$\Delta\sigma$（MPa）	3.1	Fujii and Matsu'ura (2000)
破壊伝播速度Vr（km/s）	2.59	$Vr=0.72\beta$
立ち上がり時間Tr(sec)	1.61	$Tr=2.03\times10^{-9}M_0^{1/3}$
高周波限界遮断周波数fmax（Hz）	8.3	香川ほか、2003
短周期レベルA（Nm/s^2）	1.96×10^{19}	$A=2.46\times10^{17}\times M_0^{1/3}$
Q値	$50f^{1.1}$	佐藤ほか、2007

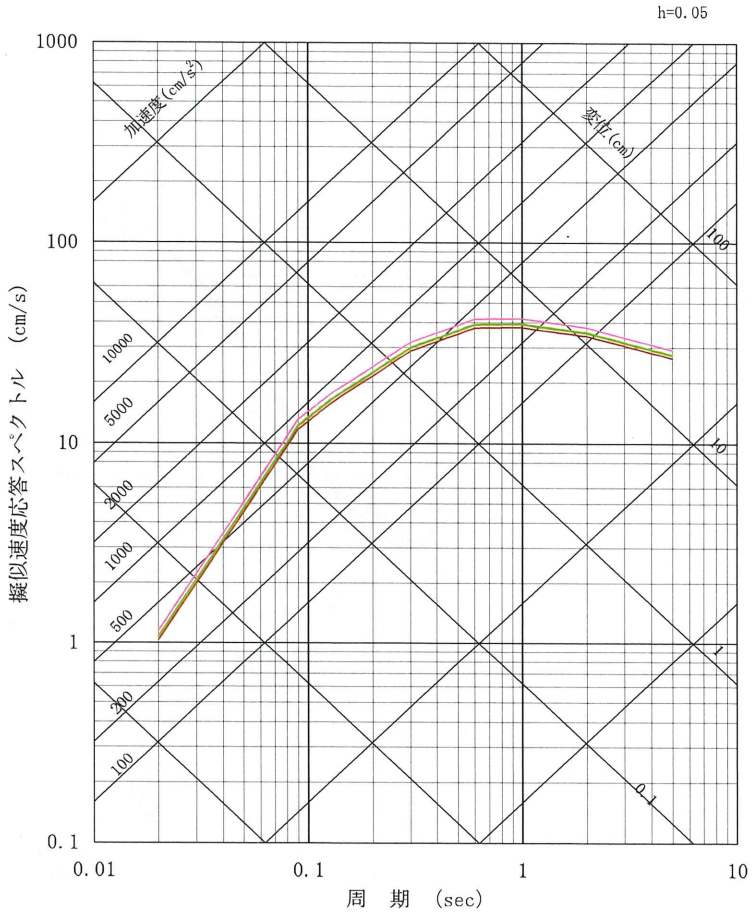
断層パラメータ		パラメータ	設定方法
アスペリティ	面積S_a（km^2）	209.22	$Sa=\gamma asp\times S$, $\gamma asp=0.22$
	平均すべり量D_a（cm）	303.9	$D_a=\gamma_D D$、$\gamma_D=2.01$
	地震モーメントM_{0a}（Nm）	2.22×10^{19}	$M_{0a}=\mu S_a D_a$
	応力降下量$\Delta\sigma_a$（MPa）	14.1	$\Delta\sigma_a=(S/S_a)\Delta\sigma$
背景領域	面積S_b（km^2）	741.78	$S_b=S-S_a$
	平均すべり量D_b（cm）	108.1	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$
	地震モーメントM_{0b}（Nm）	2.81×10^{19}	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$
	実効応力σ_b（MPa）	2.8	$\sigma_b=0.2\Delta\sigma_a$

4. 地震動評価結果

■応答スペクトルに基づく地震動評価結果：FO-A～FO-B～熊川断層（高浜発電所）



水平方向

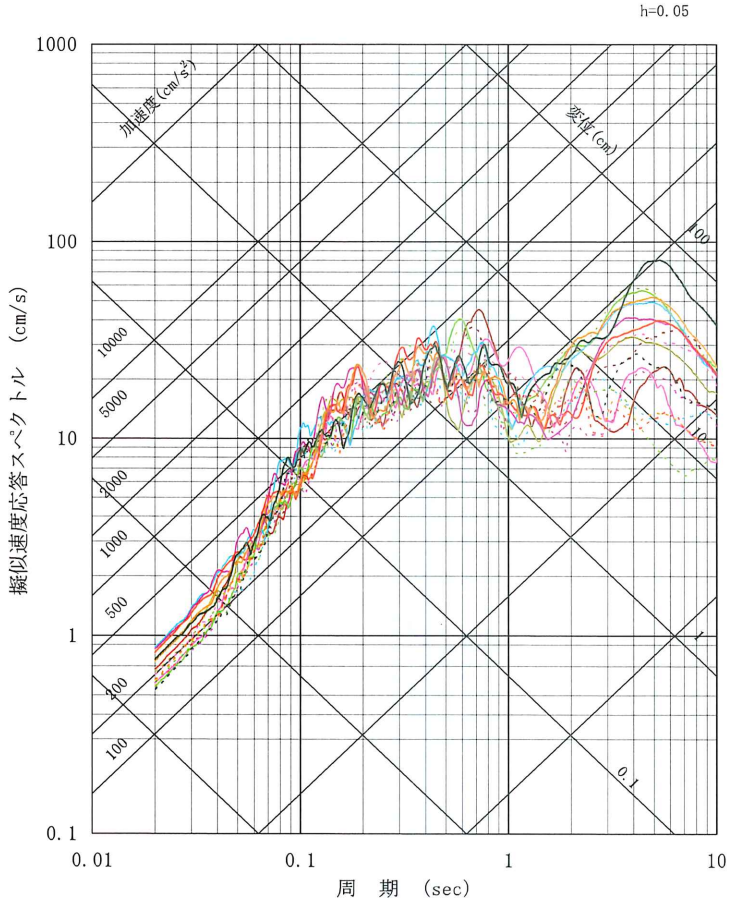


鉛直方向

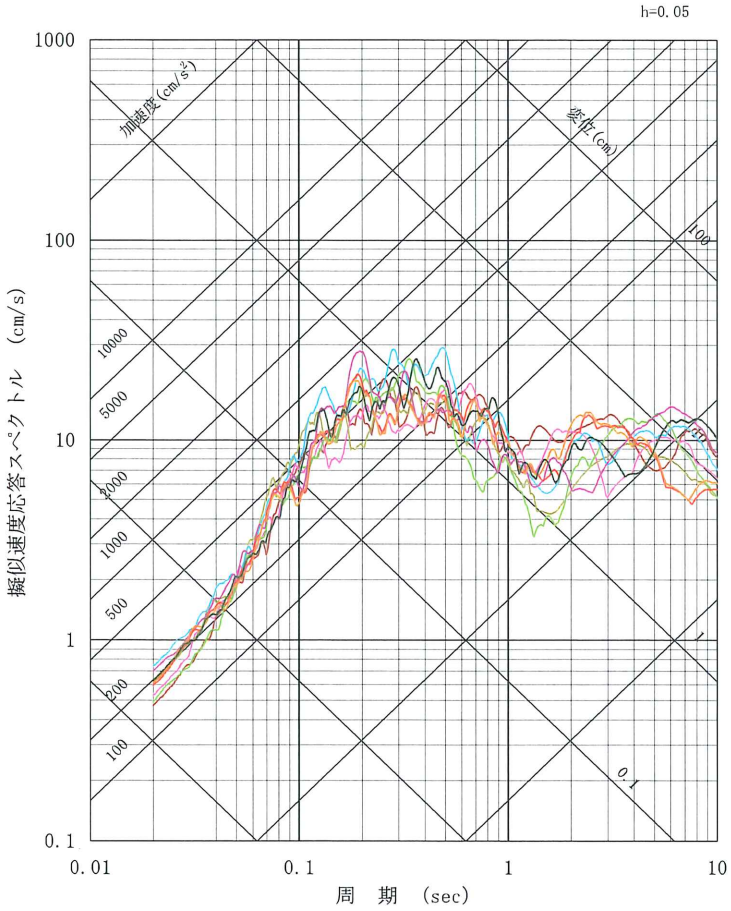
- 基本ケース
- 傾斜角75° ケース
- アスペリティー塊ケース
- アスペリティー塊横長ケース

4. 地震動評価結果

■断層モデルを用いた手法による地震動評価結果：FO-A～FO-B～熊川断層：基本ケース



水平方向（実線: NS方向、破線: EW方向）

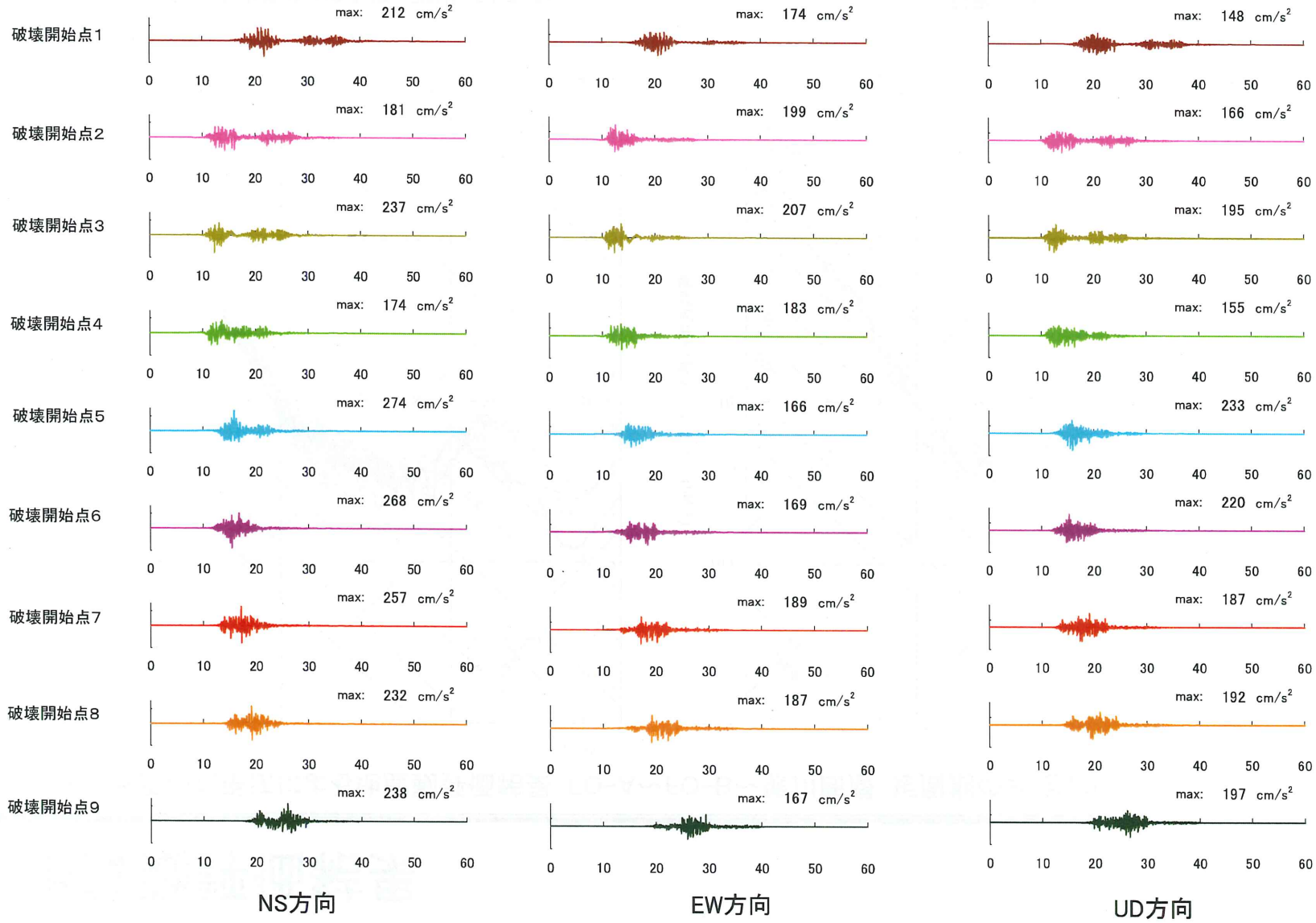


鉛直方向

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

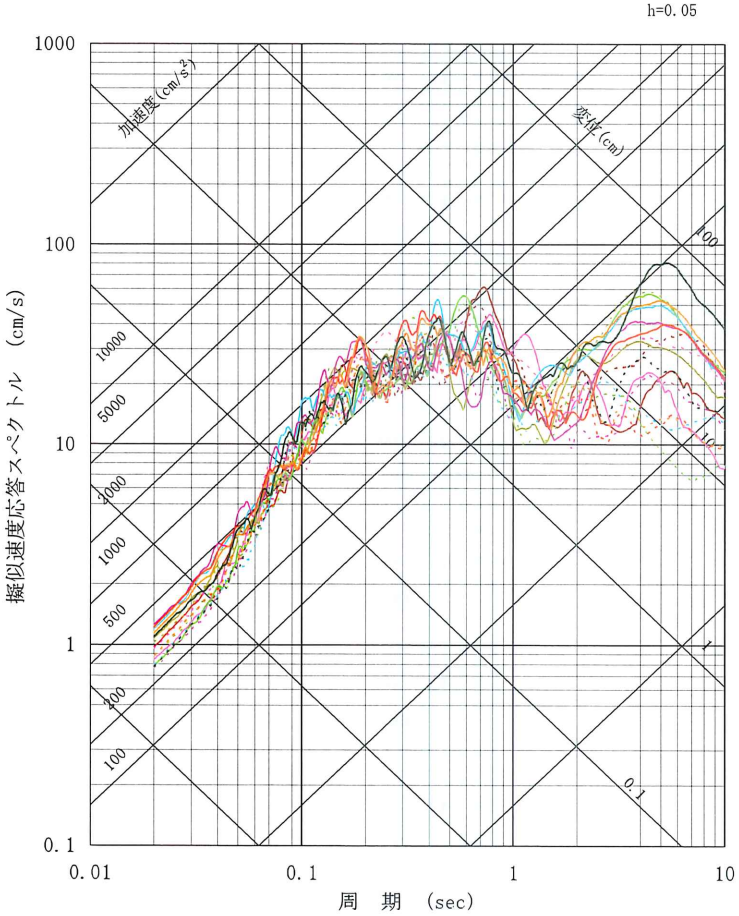
4. 地震動評価結果

■基本ケースの加速度時刻歴波形

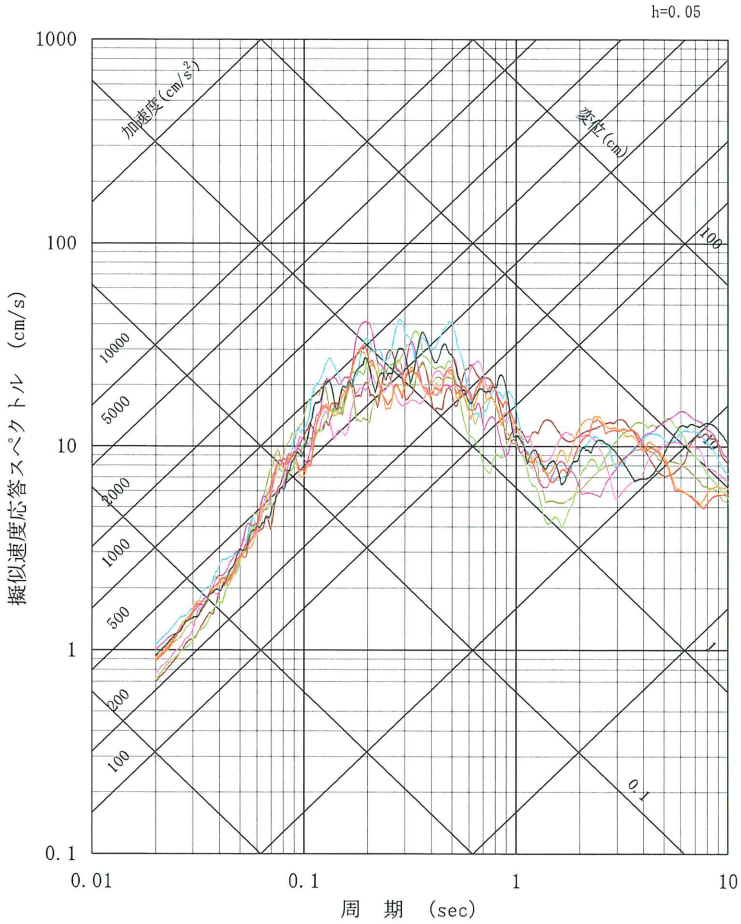


4. 地震動評価結果

■断層モデルを用いた手法による地震動評価結果：FO-A～FO-B～熊川断層：短周期の地震動レベル1.5倍ケース



水平方向（実線: NS方向、破線: EW方向）

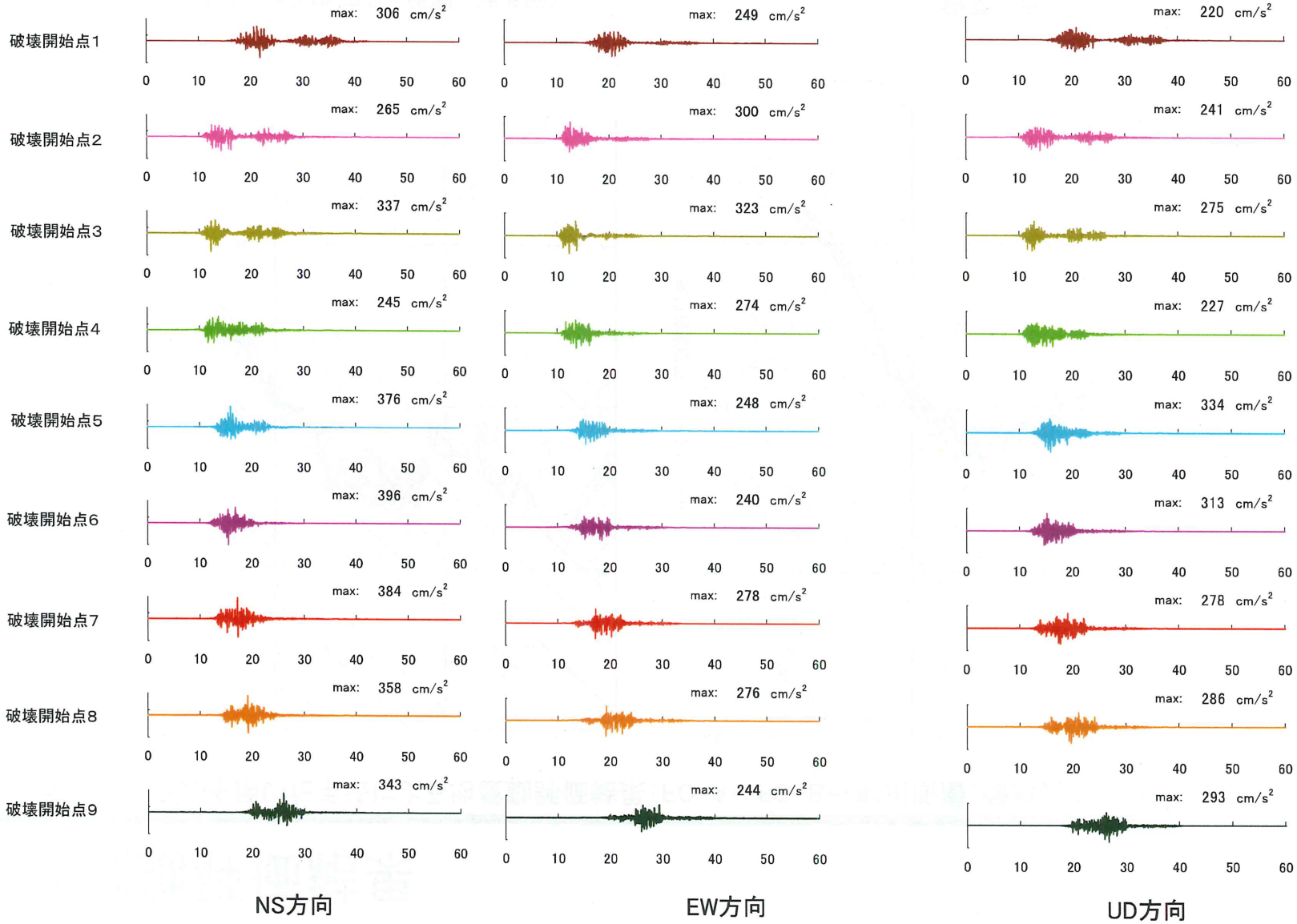


鉛直方向

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

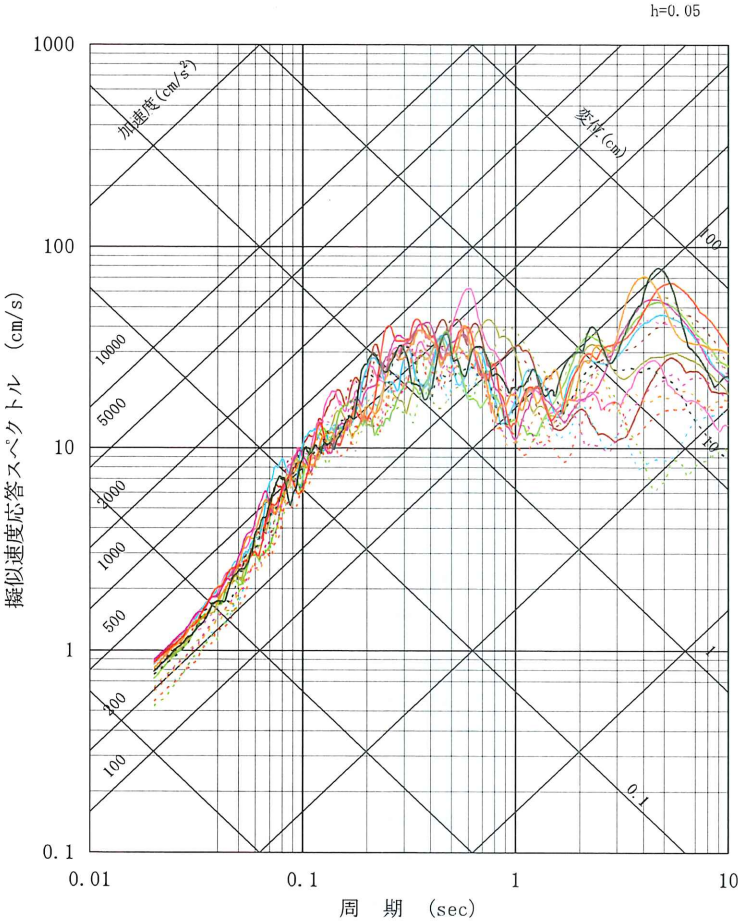
4. 地震動評価結果

■短周期の地震動レベル1.5倍ケースの加速度時刻歴波形

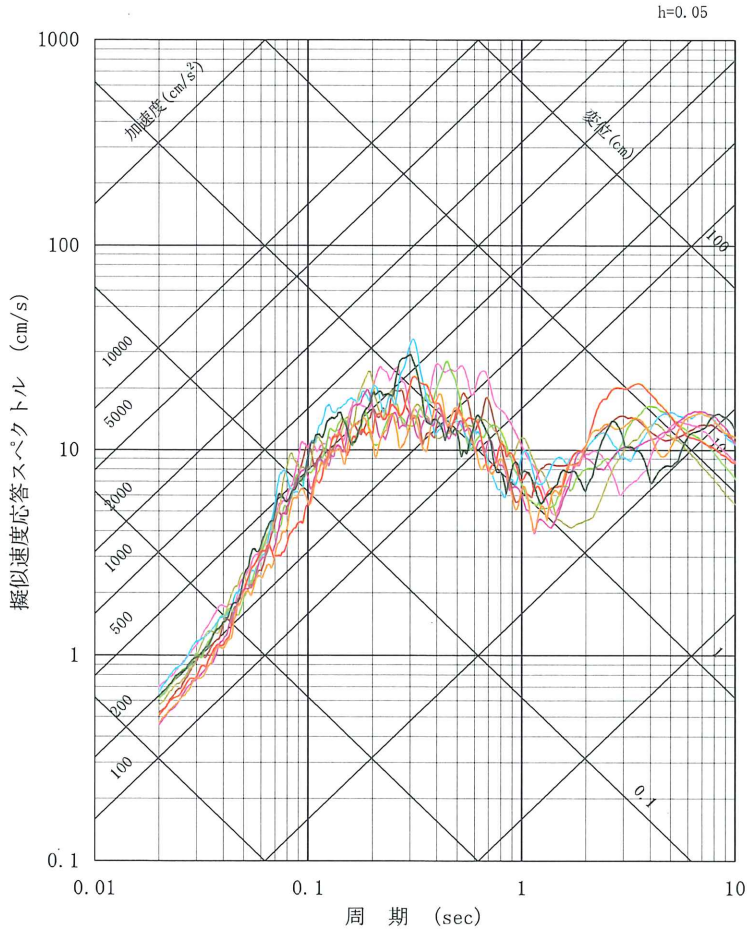


4. 地震動評価結果

■断層モデルを用いた手法による地震動評価結果：FO-A～FO-B～熊川断層：傾斜角75° ケース



水平方向（実線: NS方向、破線: EW方向）

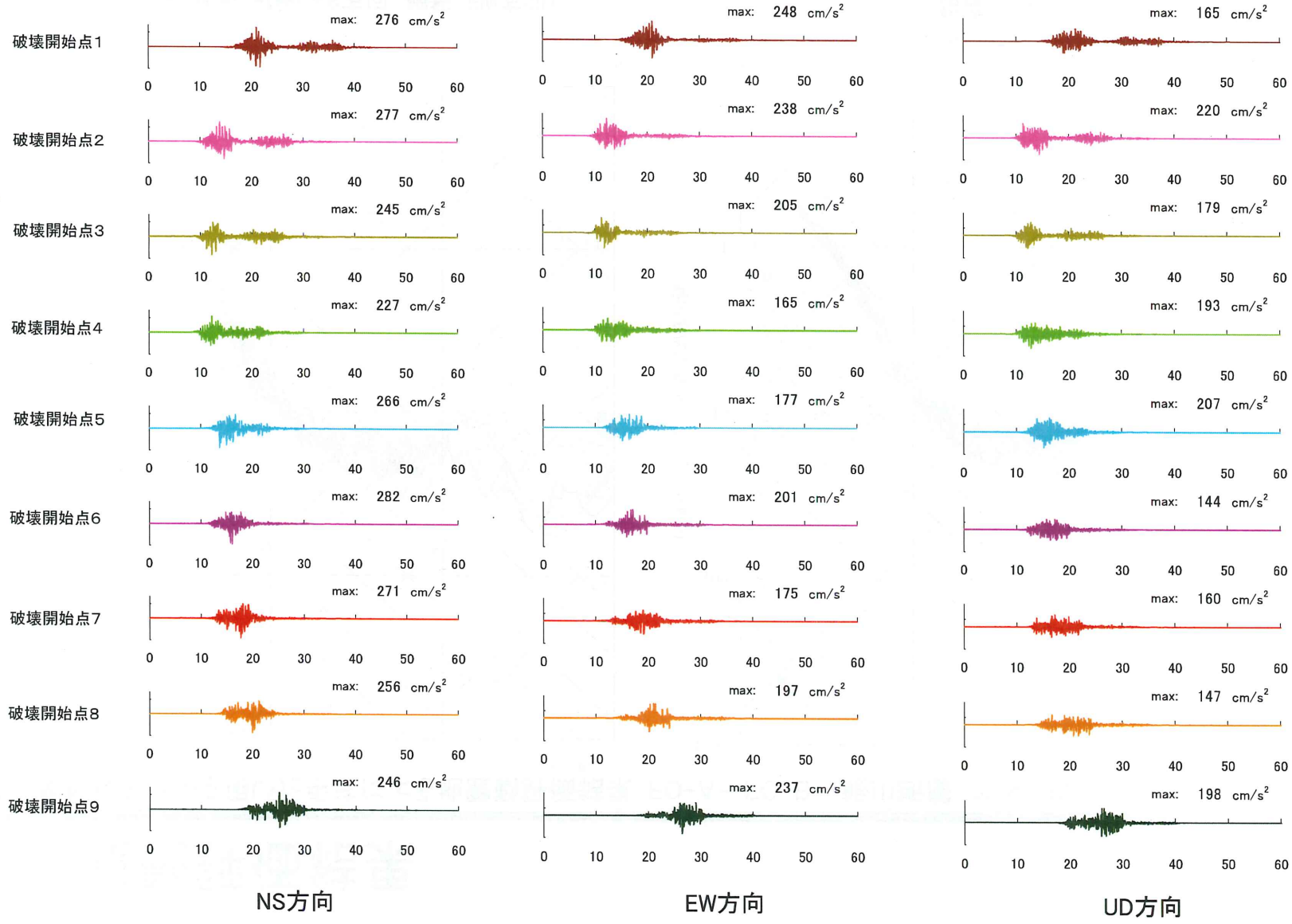


鉛直方向

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

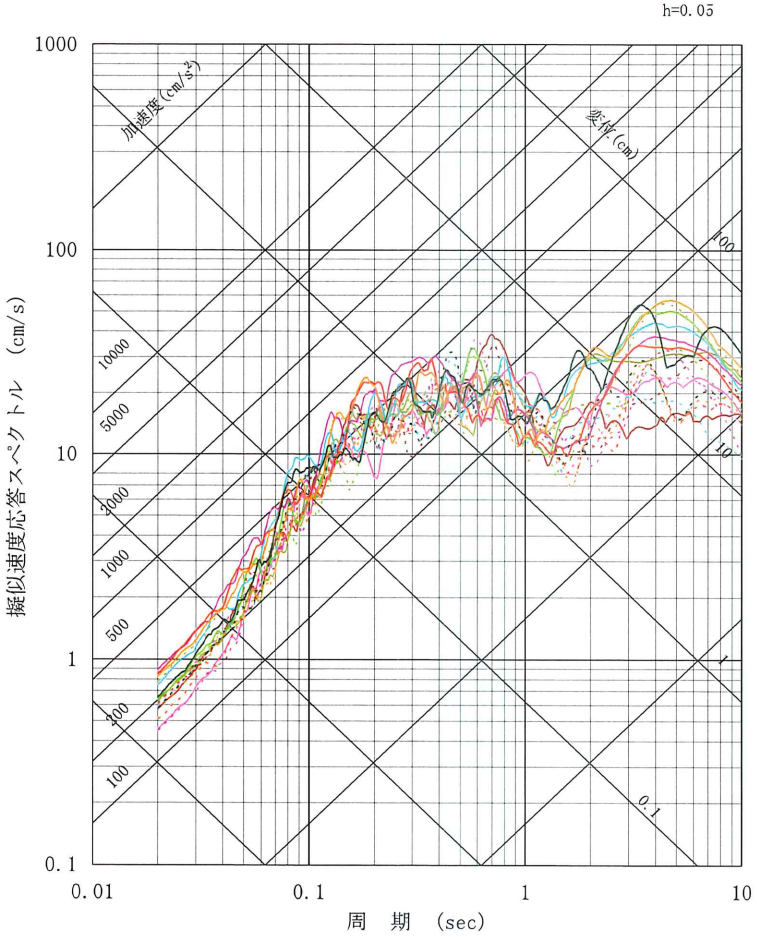
4. 地震動評価結果

■傾斜角75° ケースの加速度時刻歴波形

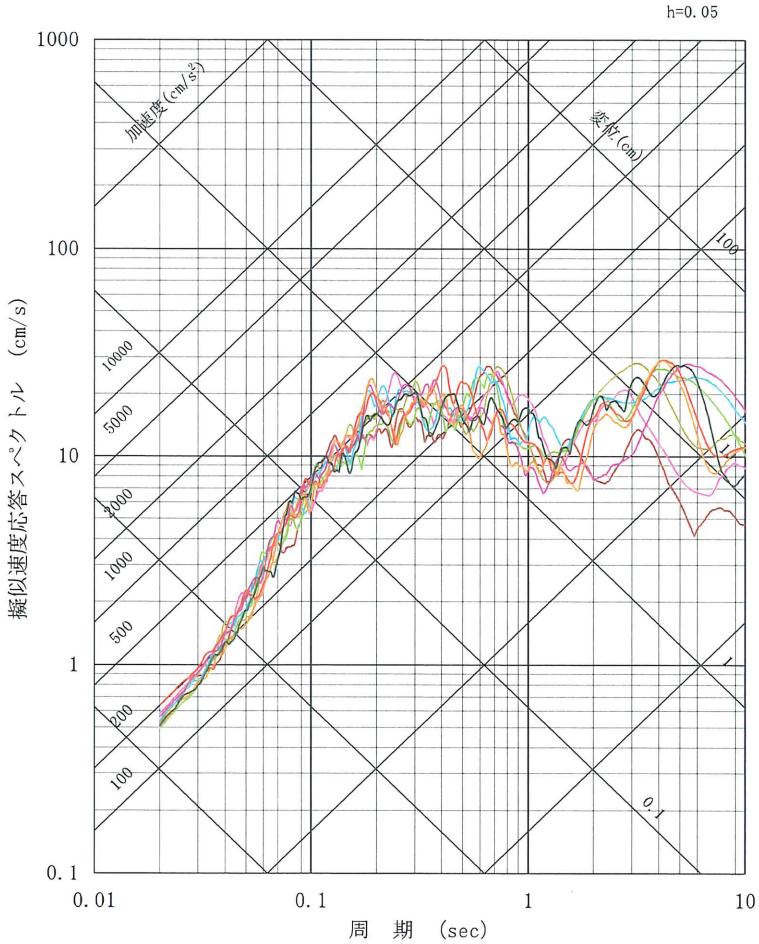


4. 地震動評価結果

■断層モデルを用いた手法による地震動評価結果：FO-A～FO-B～熊川断層：すべり角30° ケース



水平方向（実線: NS方向、破線: EW方向）

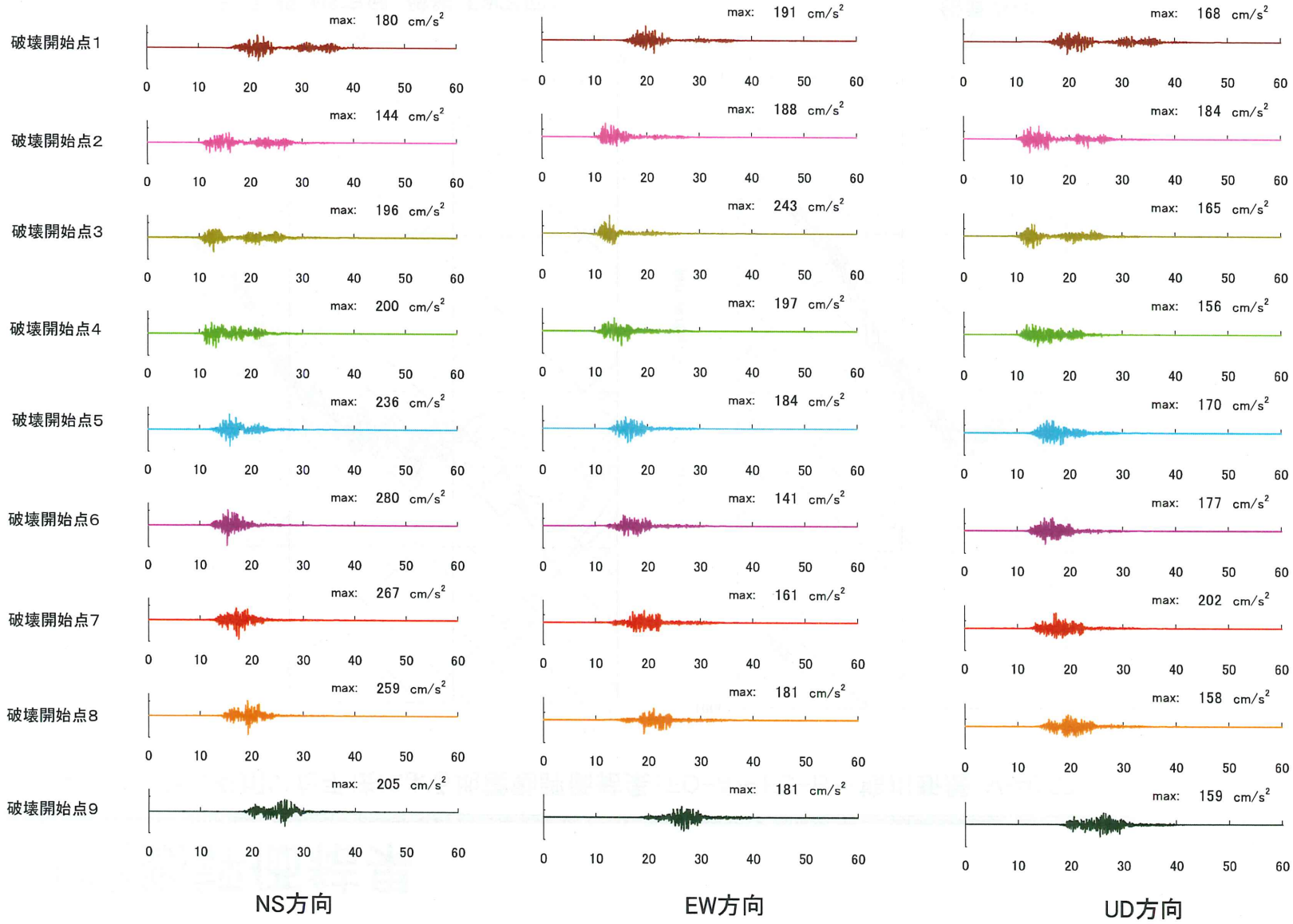


鉛直方向

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

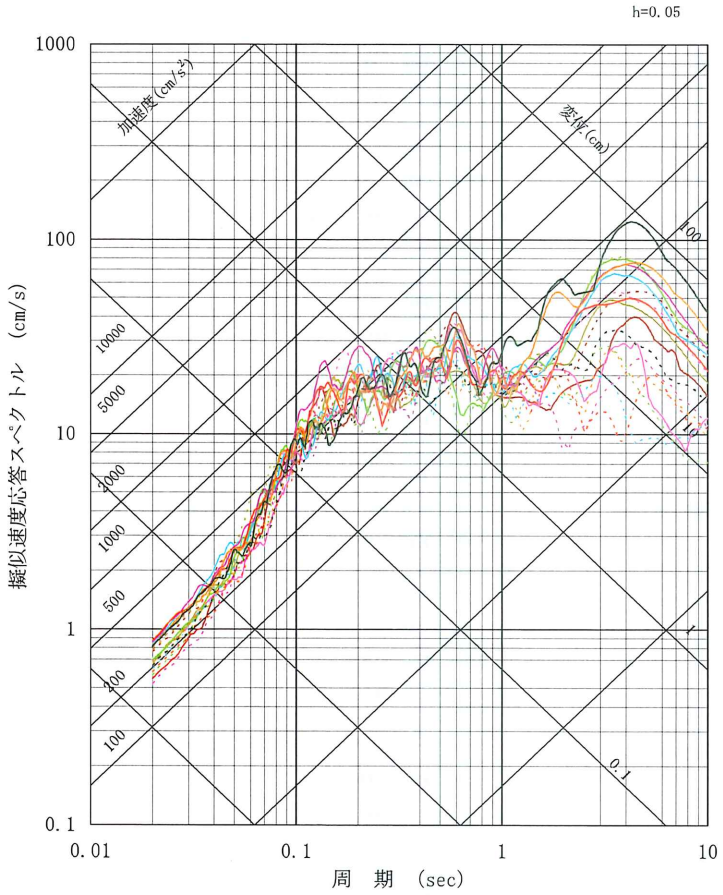
4. 地震動評価結果

■すべり角30°ケースの加速度時刻歴波形

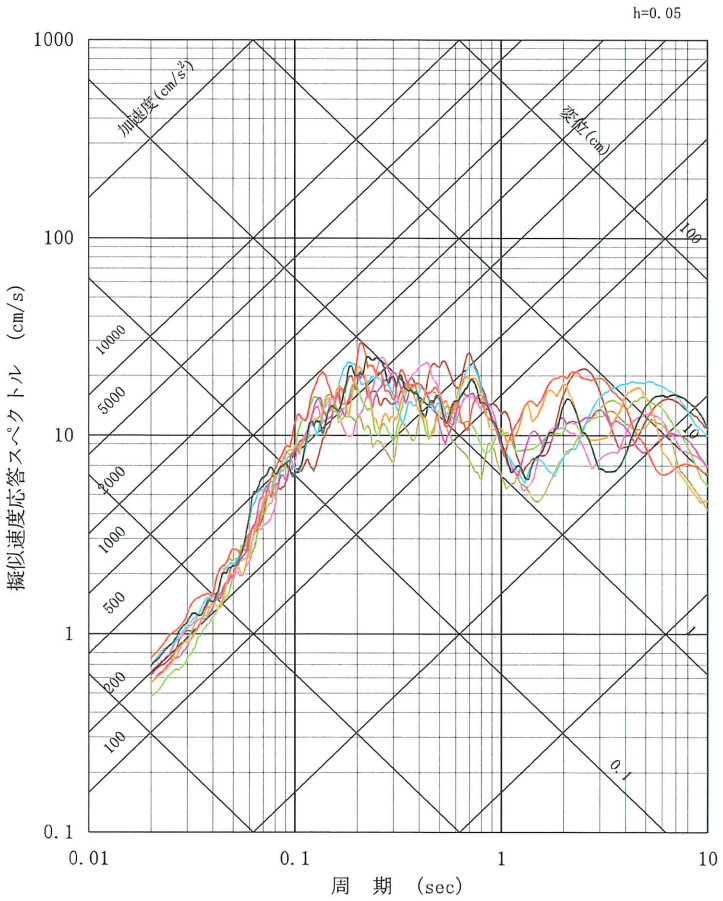


4. 地震動評価結果

■断層モデルを用いた手法による地震動評価結果：FO-A～FO-B～熊川断層：Vr=0.87β のケース



水平方向（実線: NS方向、破線: EW方向）

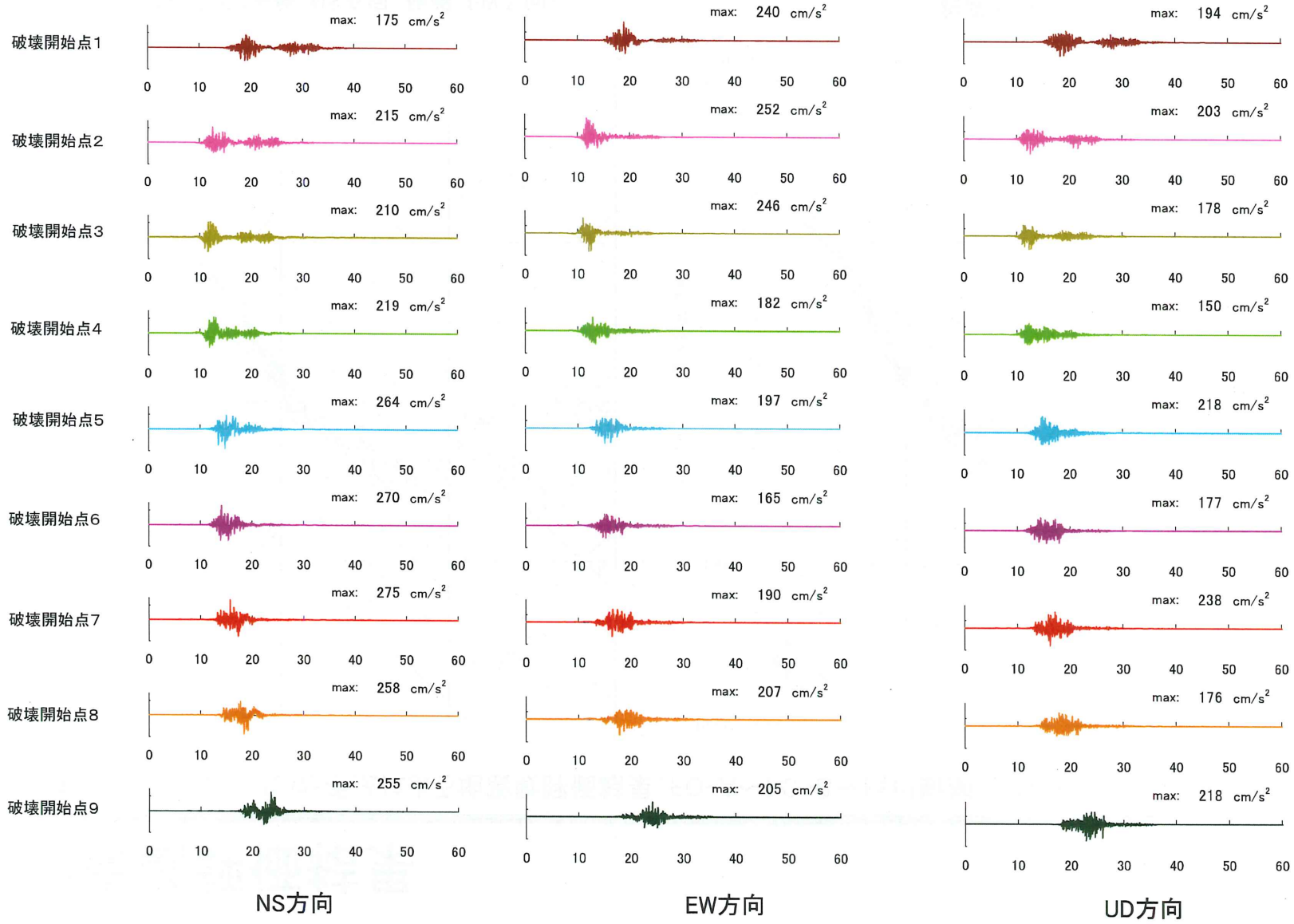


鉛直方向

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

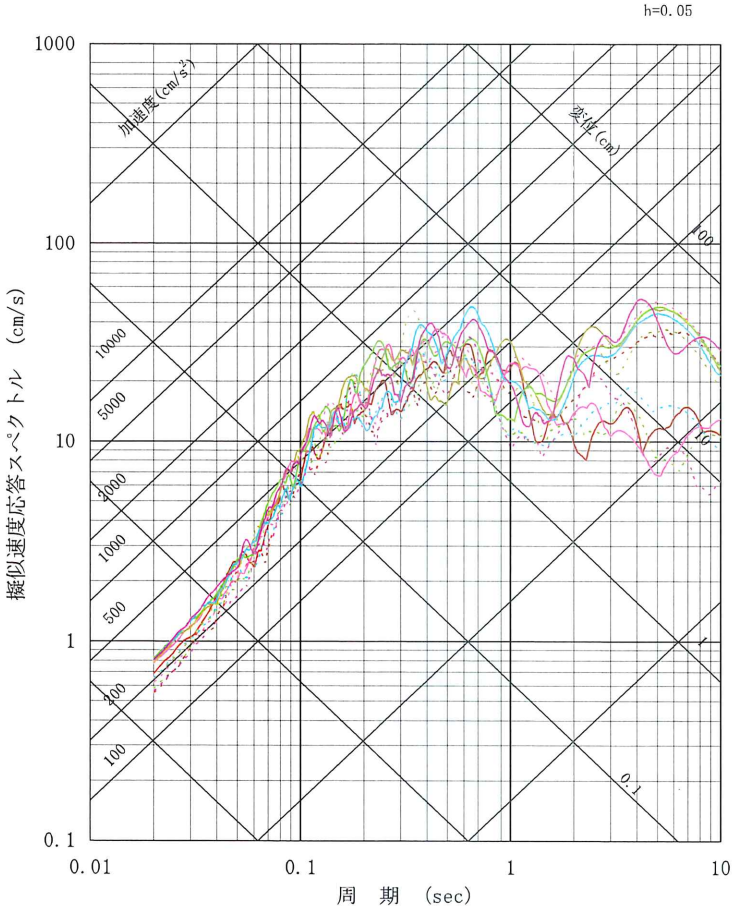
4. 地震動評価結果

■Vr=0.87βのケースの加速度時刻歴波形

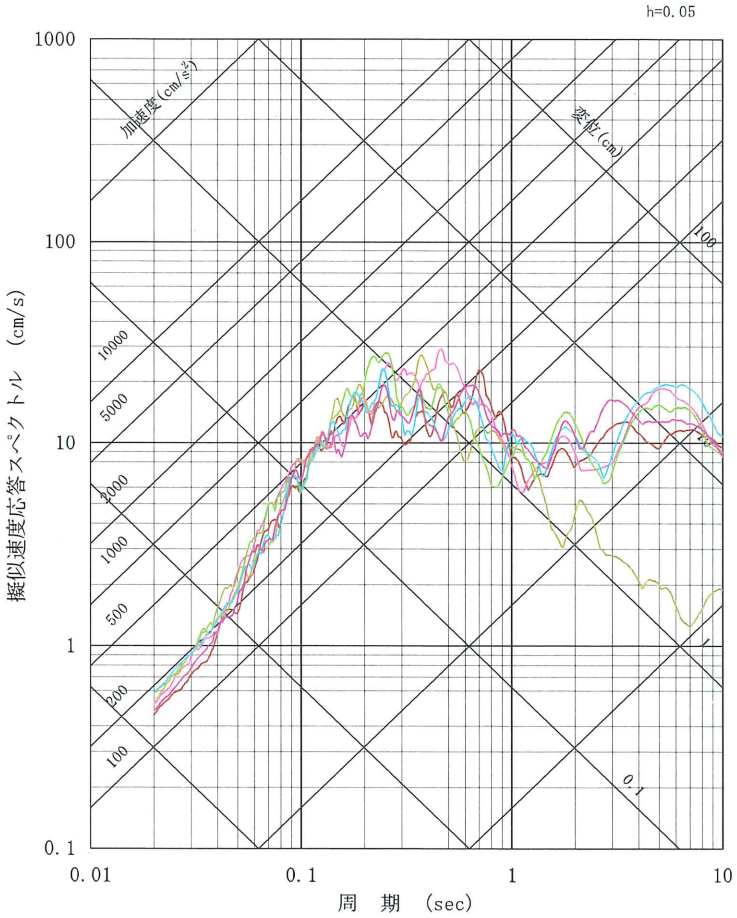


4. 地震動評価結果

■断層モデルを用いた手法による地震動評価結果：FO-A～FO-B～熊川断層：アスペリティー塊ケース



水平方向（実線: NS方向、破線: EW方向）

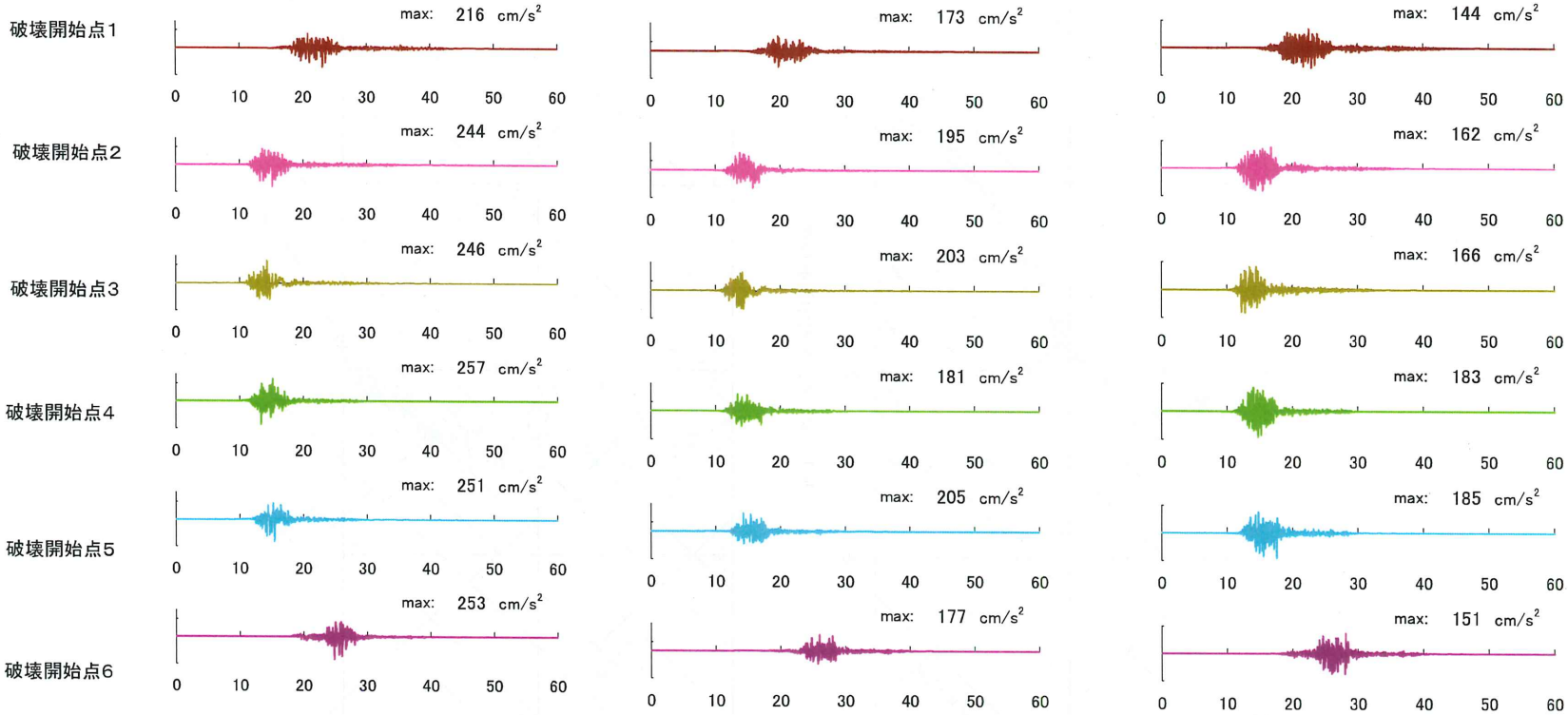


鉛直方向

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

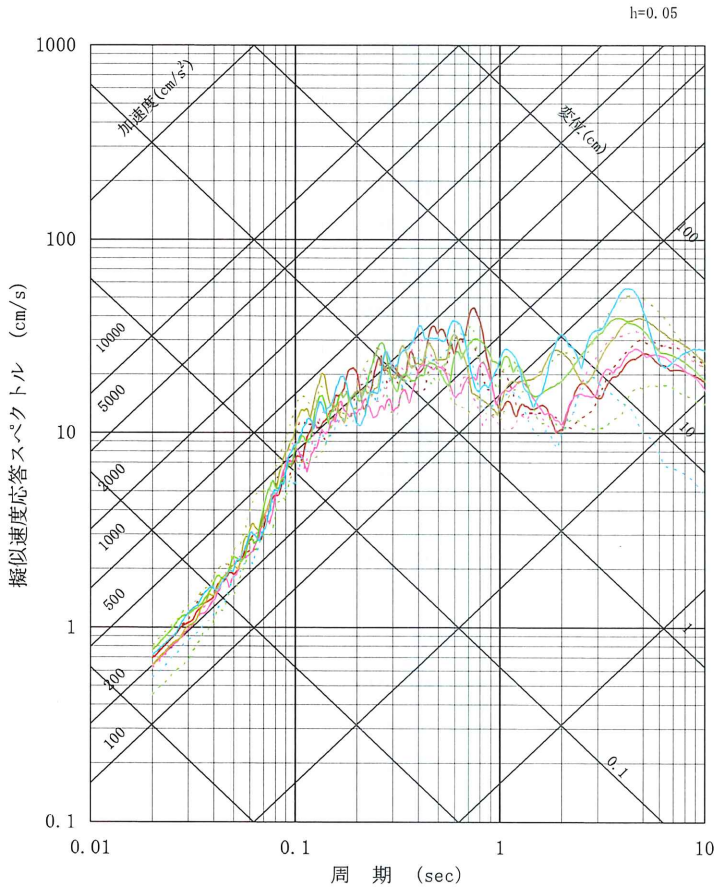
4. 地震動評価結果

■アスペリティー塊ケースの加速度時刻歴波形

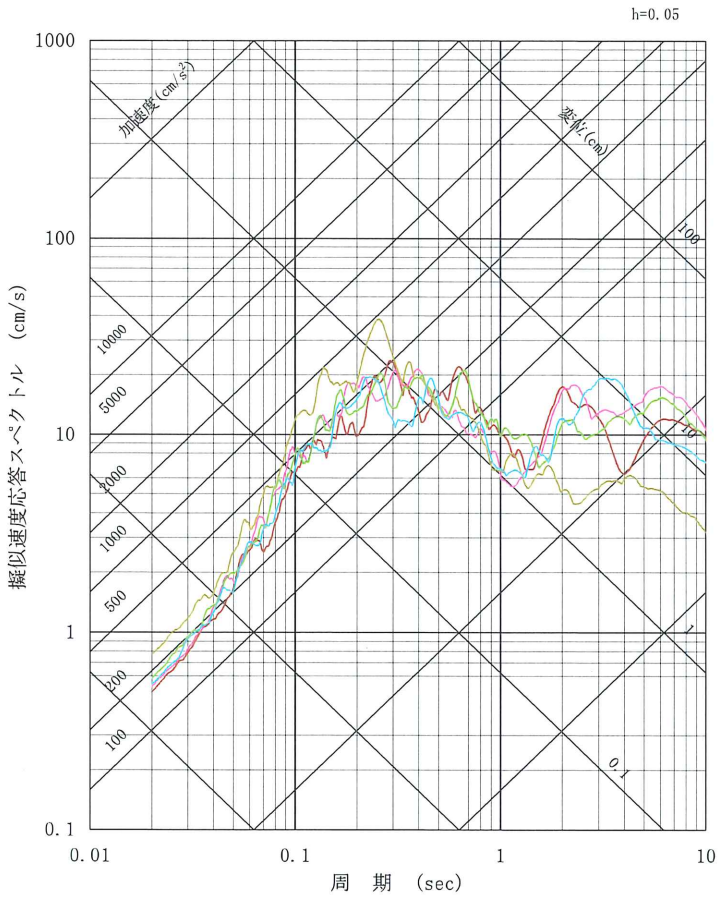


4. 地震動評価結果

■断層モデルを用いた手法による地震動評価結果：FO-A～FO-B～熊川断層：アスペリティー塊横長ケース



水平方向（実線: NS方向、破線: EW方向）

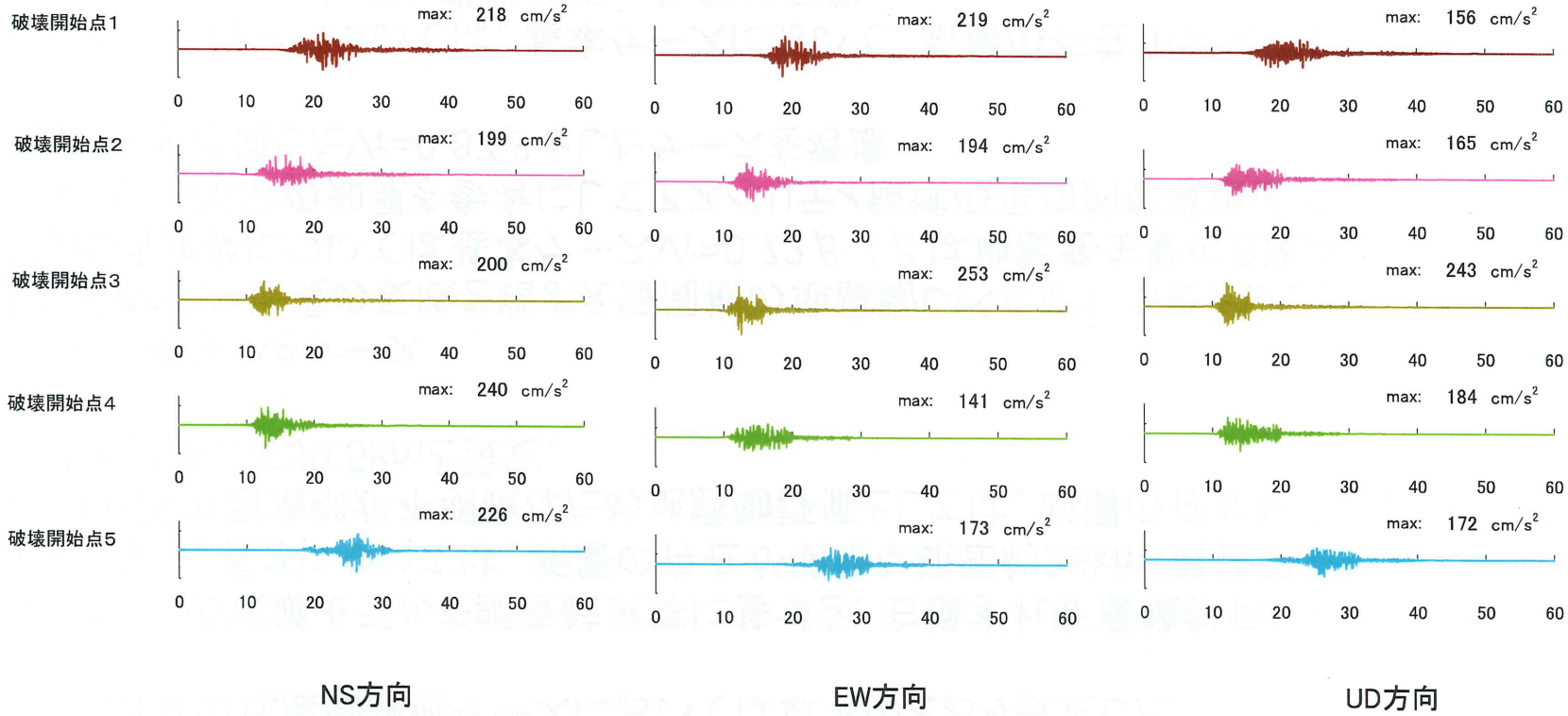


鉛直方向

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

4. 地震動評価結果

■アスペリティー塊横長ケースの加速度時刻歴波形



4. 地震動評価結果（上林川断層）

第111回審査会合
資料加筆修正

■上林川断層の地震動評価ケースにおいては以下のとおり設定した。

①基本ケースの震源モデルを調査結果等に基づき、右横ずれ断層傾斜角90°、すべり角180°と設定。なお、長さについては、断層の存在が明確な範囲約26km（既往研究結果と整合）と上林川断層の西端部が不明瞭なため地震動評価としては、断層の存在を明確に否定できる場所まで延長して39.5kmと設定。

②考慮する不確かさケース

・新潟県中越沖地震の反映を踏まえ短周期の地震動レベルを1．5倍としたケースを考慮

・破壊伝播速度については基本ケースVr=0.72β（βは地震発生層のS波速度）に対して、宮腰・他（2003）の知見を参考にしてアスペリティ領域の平均的な破壊伝播速度に標準偏差1σを考慮したVr=0.87βとしたケースを考慮

なお、アスペリティについては、基本ケースにおいて、断層の存在が明確な範囲およびその西方延長部にそれぞれ敷地に近い位置に配置。

破壊開始点については、すべてのケースにおいて、断層およびアスペリティ下端に複数のケースを設定した。

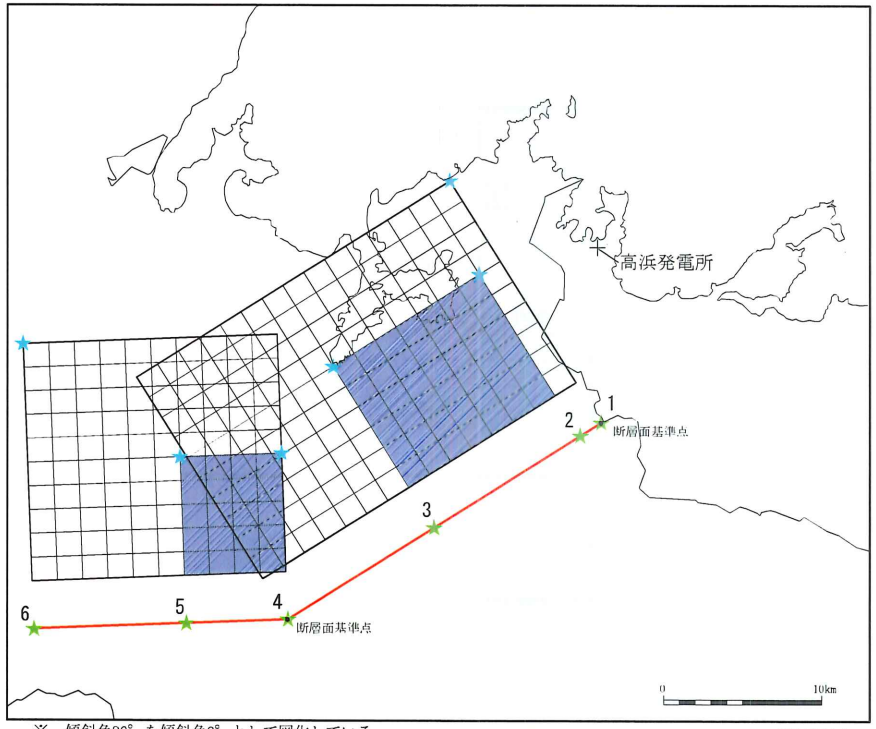
上林川断層の地震動評価ケース

	短周期の地震動レベル	破壊伝播速度Vr	アスペリティ	破壊開始点
基本ケース	レシピ平均	Vr=0.72β	敷地に近い位置に配置	複数設定
短周期の地震動レベルの不確かさを考慮	レシピ平均×1.5倍	Vr=0.72β	敷地に近い位置に配置	複数設定
破壊伝播速度Vrの不確かさを考慮	レシピ平均	Vr=0.87β	敷地に近い位置に配置	複数設定

：不確かさを考慮したパラメータ

4. 地震動評価結果

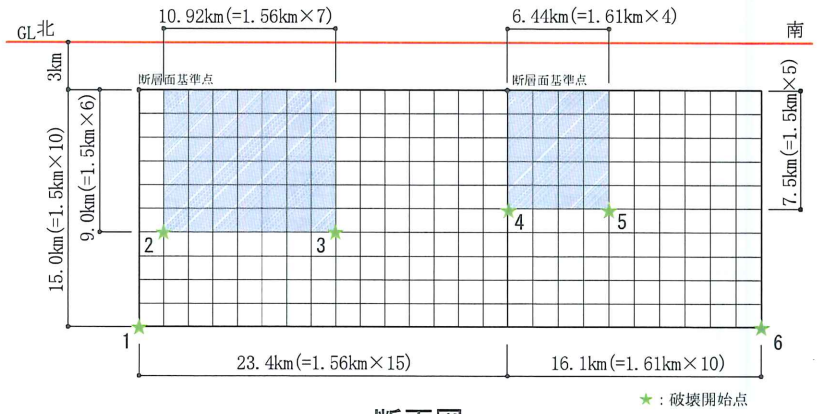
■上林川断層のモデル図
（基本ケース、短周期の地震動レベル1.5倍ケース、Vr=0.87βケース）



※　傾斜角90°を傾斜角0°として図化している。

★：破壊開始点

断層配置図



断面図

4. 地震動評価結果

■上林川断層のパラメータ（基本ケース、短周期の地震動レベル1.5倍ケース）

断層パラメータ	パラメータ	設定方法
断層長さL（km）	39.5	断層位置から計算
断層傾斜角（°）	90	調査結果に基づき設定
断層上端深さ（km） 断層下端深さ（km）	3 18	微小地震の発生及び地下構造を参考に設定
断層幅W（km）	15	地震発生層と傾斜角から設定
断層面積S（km^2）	592.5	断層面より算定
破壊伝播様式	同心円状	―
地震モーメントM_0（Nm）	1.95×10^{19}	$M_0=\{S/(4.24\times10^{-11})\}^{2.0}$
剛性率（N/m^2）	3.5×10^{10}	$\mu=\rho\beta^2$、$\rho=2.7g/cm^3$、$\beta=3.6km/s$
平均すべり量D（cm）	94.2	$D=M_0/(\mu S)$
平均応力降下量$\Delta\sigma$（MPa）	3.3	$\Delta\sigma=(7\pi^{1.5}/16)(M_0/S^{1.5})$
破壊伝播速度Vr（km/s）	2.59	$Vr=0.72\beta$
立ち上がり時間Tr(sec)	1.18	$Tr=2.03\times10^{-9}M_0^{1/3}$
高周波限界遮断周波数fmax（Hz）	8.3	香川ほか、2003
短周期レベルA（Nm/s^2）	1.43×10^{19}	$A=2.46\times10^{17}\times M_0^{1/3}$
Q値	$50f^{1.1}$	佐藤ほか、2007

断層パラメータ		パラメータ	設定方法
全アスペリティ	面積S_a（km^2）	158.31	$Sa=\pi r^2$、 $r=(7\pi M_0\beta^2)/(4AaR)$、$R=(S/\pi)^{0.5}$
	平均すべり量D_a（cm）	189.3	$D_a=\gamma_D D$、$\gamma_D=2.01$
	地震モーメントM_{0a}（Nm）	1.05×10^{19}	$M_{0a}=\mu S_a D_a$
	応力降下量$\Delta\sigma_a$（MPa）	12.3	$\Delta\sigma_a=(S/S_a)\Delta\sigma$
大アスペリティ	面積S_{a1}（km^2）	105.54	$S_{a1}=2/3S_a$
	平均すべり量D_{a1}（cm）	209.8	$D_{a1}=M_{0a1}/(\mu S_{a1})$
	地震モーメントM_{0a1}（Nm）	7.75×10^{18}	$M_{0a1}=M_{0a}S_{a1}^{1.5}/(S_{a1}^{1.5}+S_{a2}^{1.5})$
	応力降下量$\Delta\sigma_{a1}$（MPa）	12.3	$\Delta\sigma_{a1}=\Delta\sigma_a$
小アスペリティ	面積S_{a2}（km^2）	52.77	$S_{a2}=1/3S_a$
	平均すべり量D_{a2}（cm）	148.3	$D_{a2}=M_{0a2}/(\mu S_{a2})$
	地震モーメントM_{0a2}（Nm）	2.74×10^{18}	$M_{0a2}=M_{0a}S_{a2}^{1.5}/(S_{a1}^{1.5}+S_{a2}^{1.5})$
	応力降下量$\Delta\sigma_{a2}$（MPa）	12.3	$\Delta\sigma_{a2}=\Delta\sigma_a$
背景領域	面積S_b（km^2）	434.19	$S_b=S-S_a$
	平均すべり量D_b（cm）	59.5	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$
	地震モーメントM_{0b}（Nm）	9.04×10^{18}	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$
	実効応力σ_b（MPa）	2.5	$\sigma_b=0.2\Delta\sigma_a$

4. 地震動評価結果

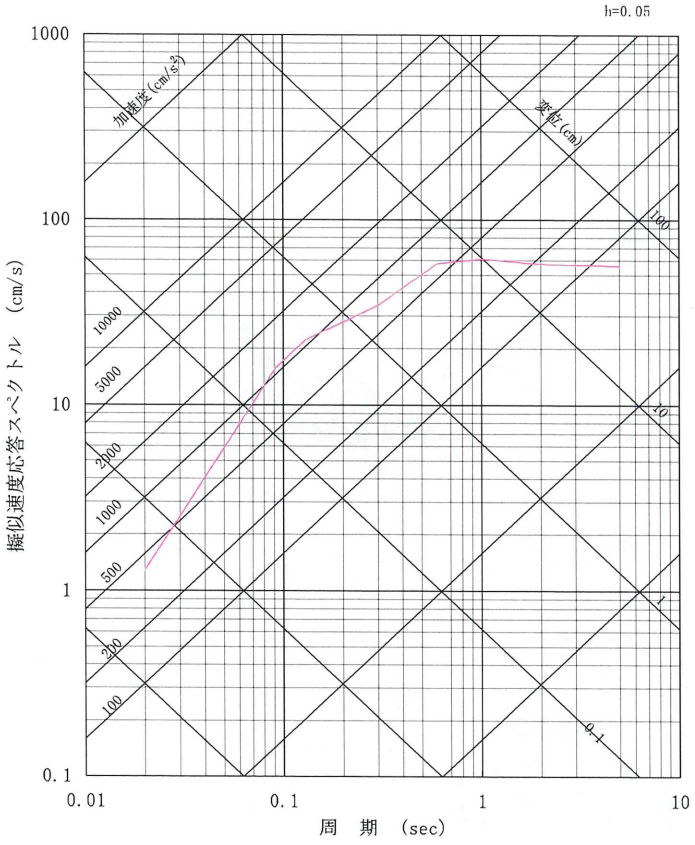
■上林川断層のパラメータ（Vr=0.87β ケース）

断層パラメータ	パラメータ	設定方法
断層長さL（km）	39.5	断層位置から計算
断層傾斜角（°）	90	調査結果に基づき設定
断層上端深さ（km） 断層下端深さ（km）	3 18	微小地震の発生及び地下構造を参考に設定
断層幅W（km）	15	地震発生層と傾斜角から設定
断層面積S（km^2）	592.5	断層面より算定
破壊伝播様式	同心円状	―
地震モーメントM_0（Nm）	1.95×10^{19}	$M_0=\{S/(4.24\times10^{-11})\}^{2.0}$
剛性率（N/m^2）	3.5×10^{10}	$\mu=\rho\beta^2$、$\rho=2.7g/cm^3$、$\beta=3.6km/s$
平均すべり量D（cm）	94.2	$D=M_0/(\mu S)$
平均応力降下量Δσ（MPa）	3.3	$\Delta\sigma=(7\pi^{1.5}/16)(M_0/S^{1.5})$
破壊伝播速度Vr（km/s）	3.13	$Vr=0.72\beta$
立ち上がり時間Tr（sec）	1.18	$Tr=2.03\times10^{-9}M_0^{1/3}$
高周波限界遮断周波数fmax（Hz）	8.3	香川ほか、2003
短周期レベルA（Nm/s^2）	1.43×10^{19}	$A=2.46\times10^{17}\times M_0^{1/3}$
Q値	$50f^{1.1}$	佐藤ほか、2007

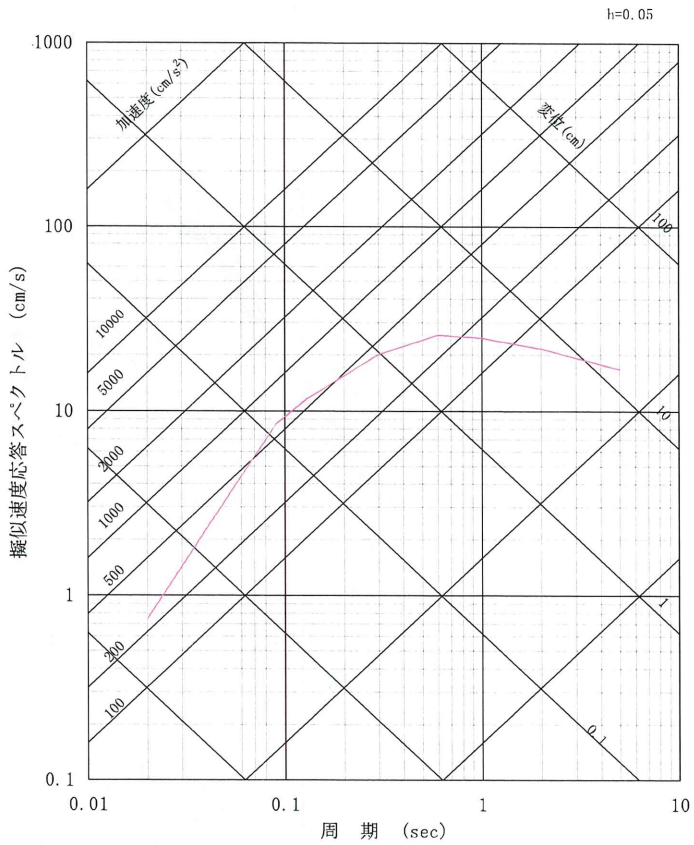
断層パラメータ		パラメータ	設定方法
全アスペリティ	面積S_a（km^2）	158.31	$Sa=\pi r^2$、 $r=(7\pi M_0\beta^2)/(4AaR)$、$R=(S/\pi)^{0.5}$
	平均すべり量D_a（cm）	189.3	$D_a=\gamma_D D$、$\gamma_D=2.01$
	地震モーメントM_{0a}（Nm）	1.05×10^{19}	$M_{0a}=\mu S_a D_a$
	応力降下量$\Delta\sigma_a$（MPa）	12.3	$\Delta\sigma_a=(S/S_a)\Delta\sigma$
大アスペリティ	面積S_{a1}（km^2）	105.54	$S_{a1}=2/3S_a$
	平均すべり量D_{a1}（cm）	209.8	$D_{a1}=M_{0a1}/(\mu S_{a1})$
	地震モーメントM_{0a1}（Nm）	7.75×10^{18}	$M_{0a1}=M_{0a}S_{a1}^{1.5}/(S_{a1}^{1.5}+S_{a2}^{1.5})$
	応力降下量$\Delta\sigma_{a1}$（MPa）	12.3	$\Delta\sigma_{a1}=\Delta\sigma_a$
小アスペリティ	面積S_{a2}（km^2）	52.77	$S_{a2}=1/3S_a$
	平均すべり量D_{a2}（cm）	148.3	$D_{a2}=M_{0a2}/(\mu S_{a2})$
	地震モーメントM_{0a2}（Nm）	2.74×10^{18}	$M_{0a2}=M_{0a}S_{a2}^{1.5}/(S_{a1}^{1.5}+S_{a2}^{1.5})$
	応力降下量$\Delta\sigma_{a2}$（MPa）	12.3	$\Delta\sigma_{a2}=\Delta\sigma_a$
背景領域	面積S_b（km^2）	434.19	$S_b=S-S_a$
	平均すべり量D_b（cm）	59.5	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$
	地震モーメントM_{0b}（Nm）	9.04×10^{18}	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$
	実効応力σ_b（MPa）	2.5	$\sigma_b=0.2\Delta\sigma_a$

4. 地震動評価結果

■耐専式による地震動評価結果：上林川断層（高浜発電所）



水平方向

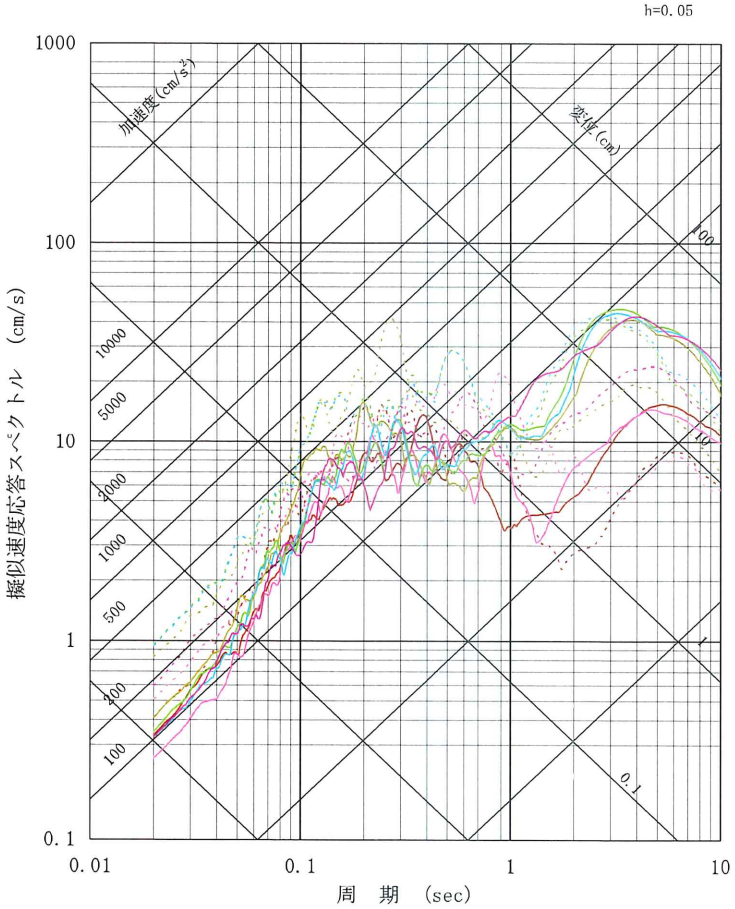


鉛直方向

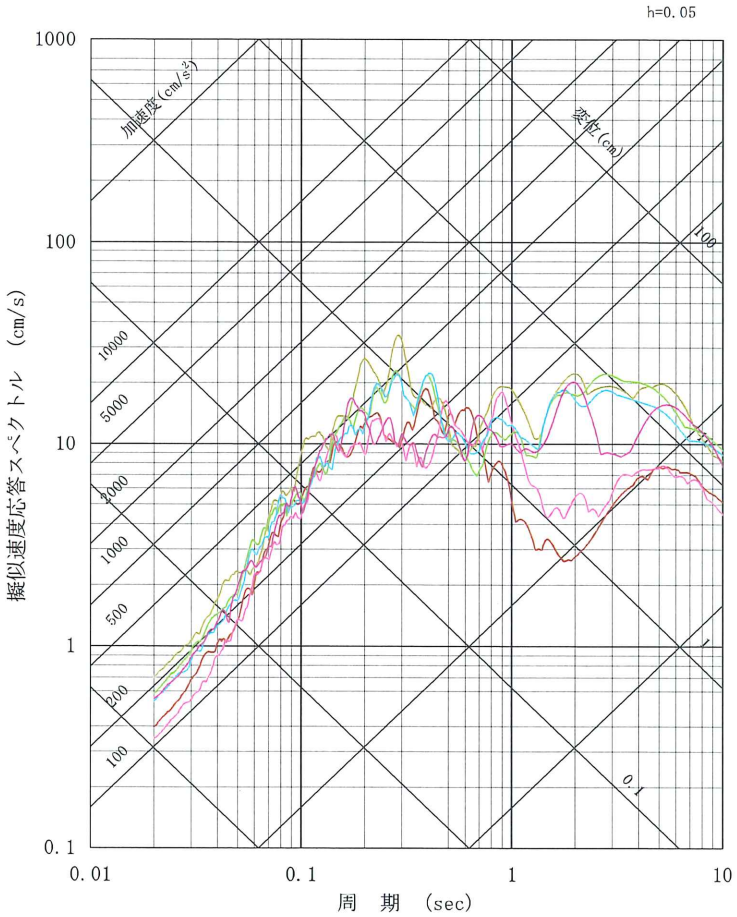
—— 基本ケース

4. 地震動評価結果

■上林川断層：基本ケース（高浜発電所）



水平方向（実線: NS方向、破線: EW方向）

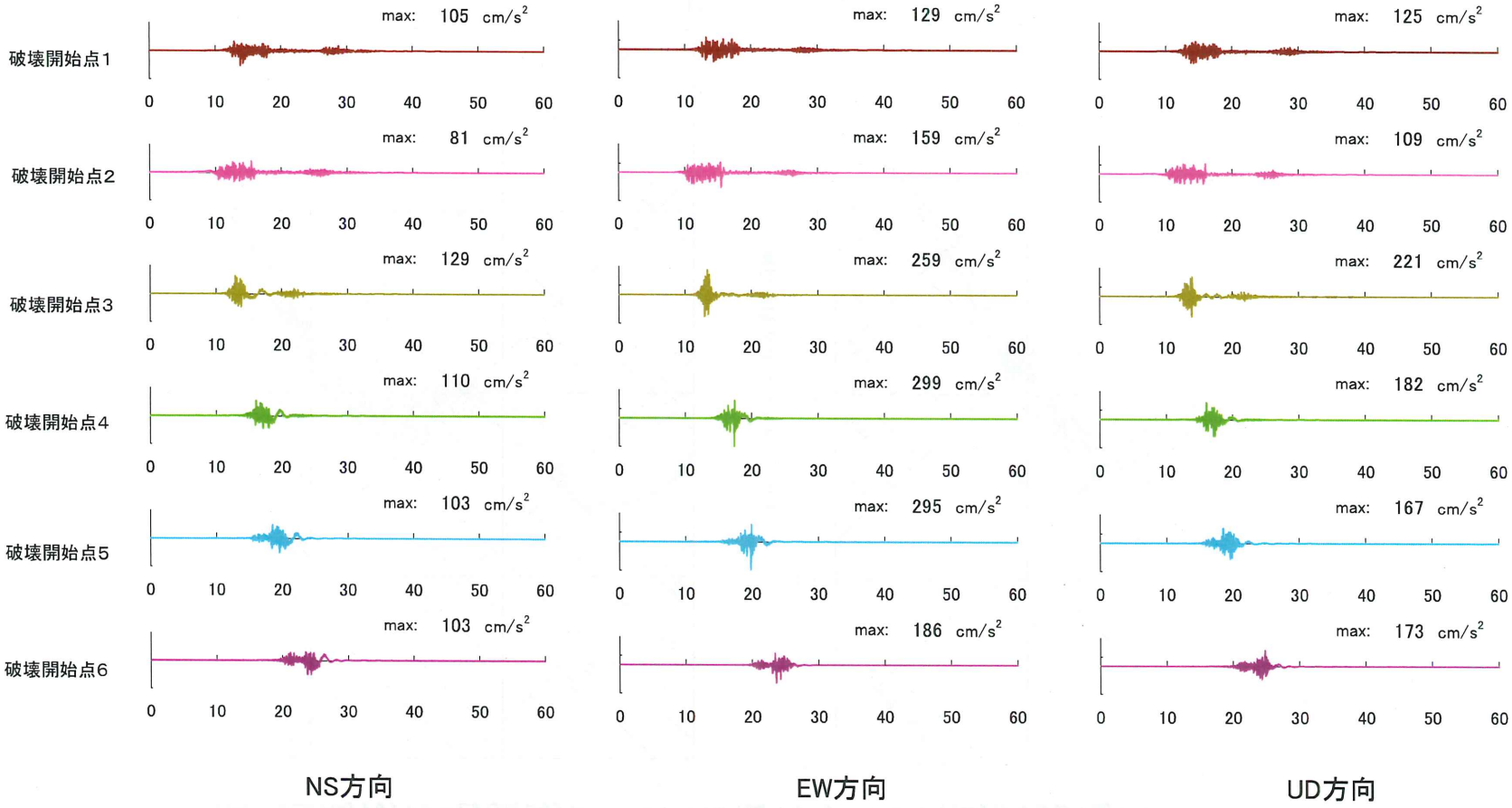


鉛直方向

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

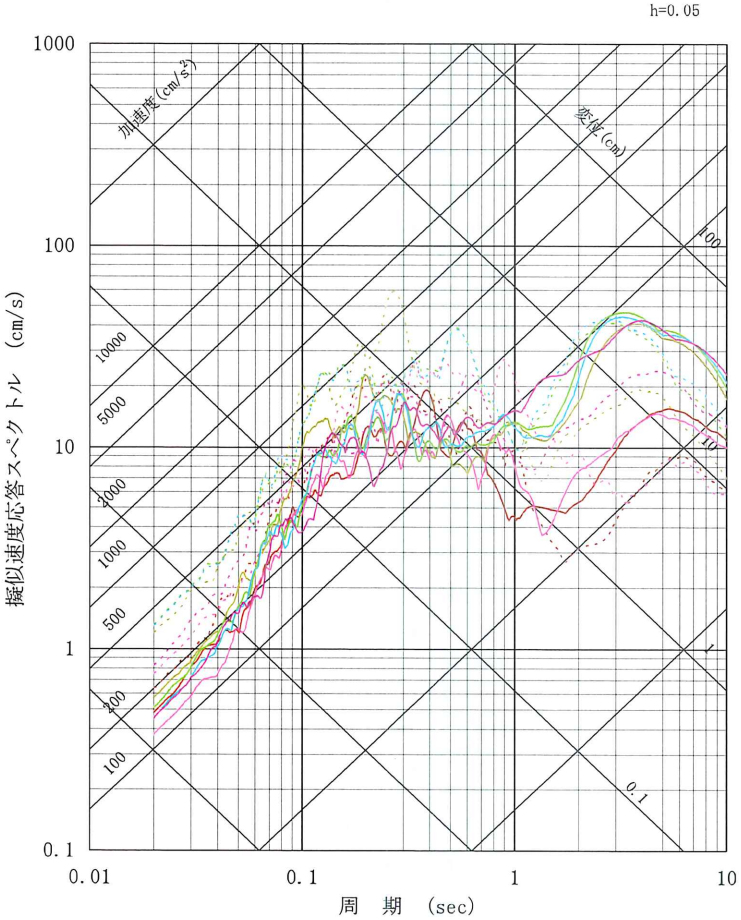
4. 地震動評価結果

■基本ケースの加速度時刻歴波形

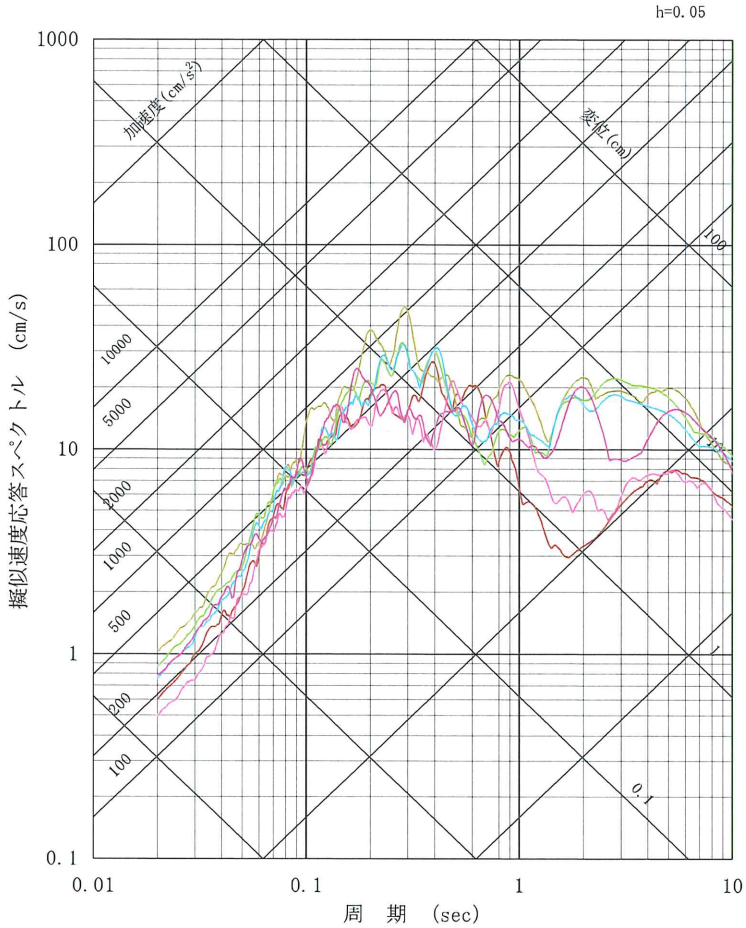


4. 地震動評価結果

■上林川断層：短周期の地震動レベル1.5倍のケース（高浜発電所）



水平方向（実線: NS方向、破線: EW方向）

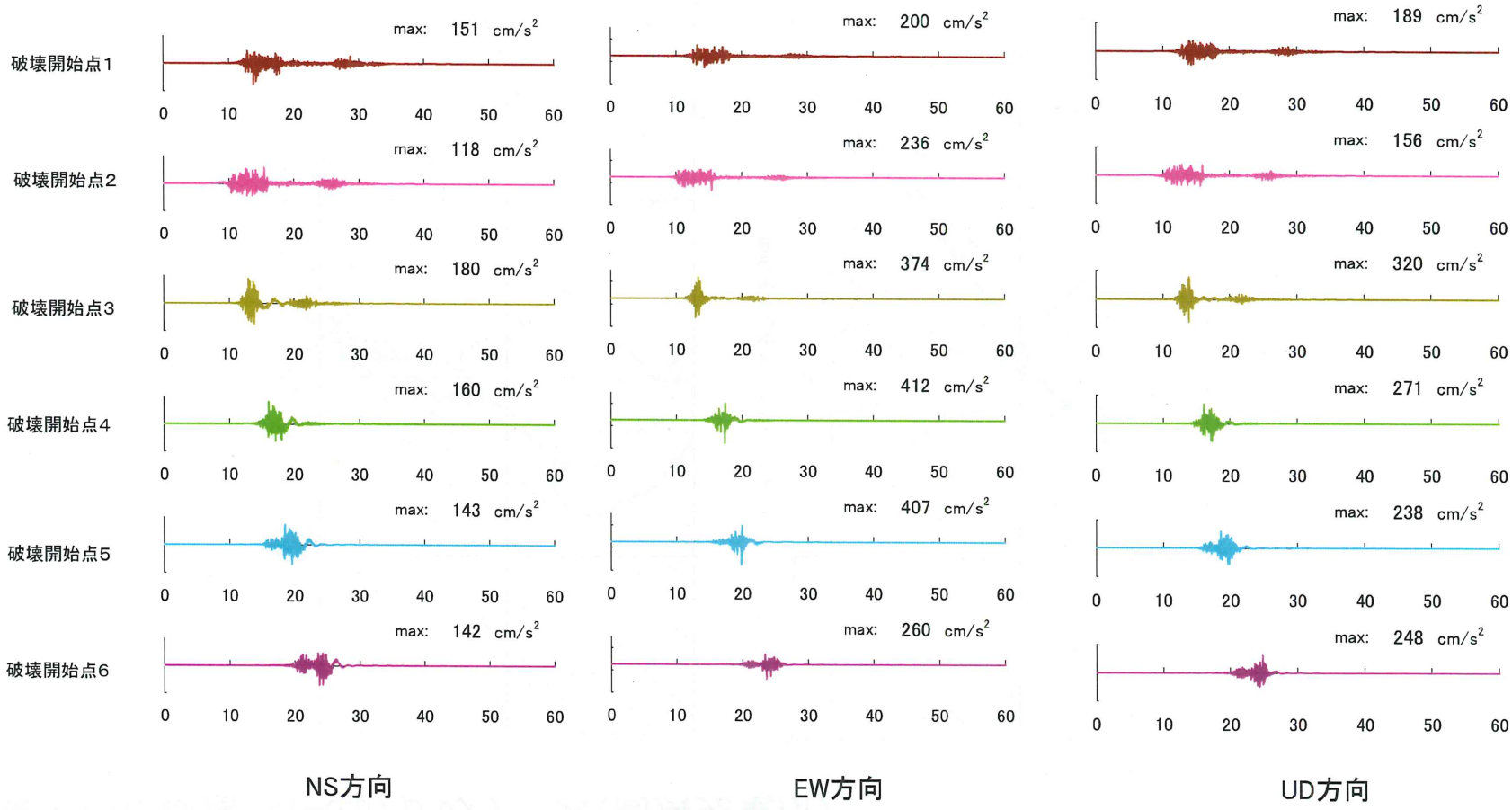


鉛直方向

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

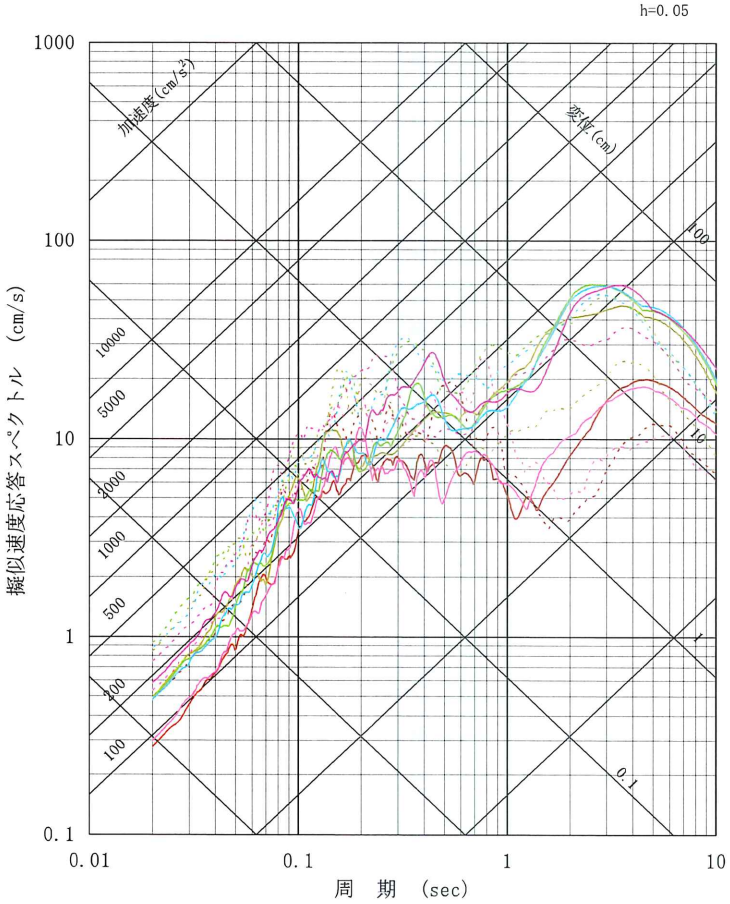
4. 地震動評価結果

■短周期の地震動レベル1.5倍ケースの加速度時刻歴波形

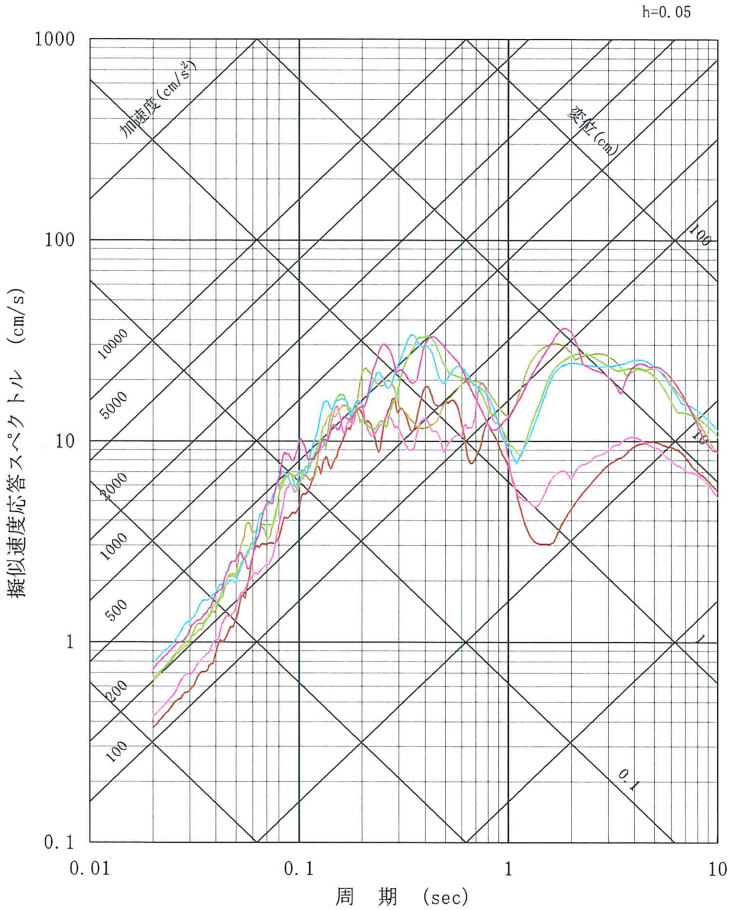


4. 地震動評価結果

■上林川断層：Vr=0.87βのケース（高浜発電所）



水平方向（実線: NS方向、破線: EW方向）

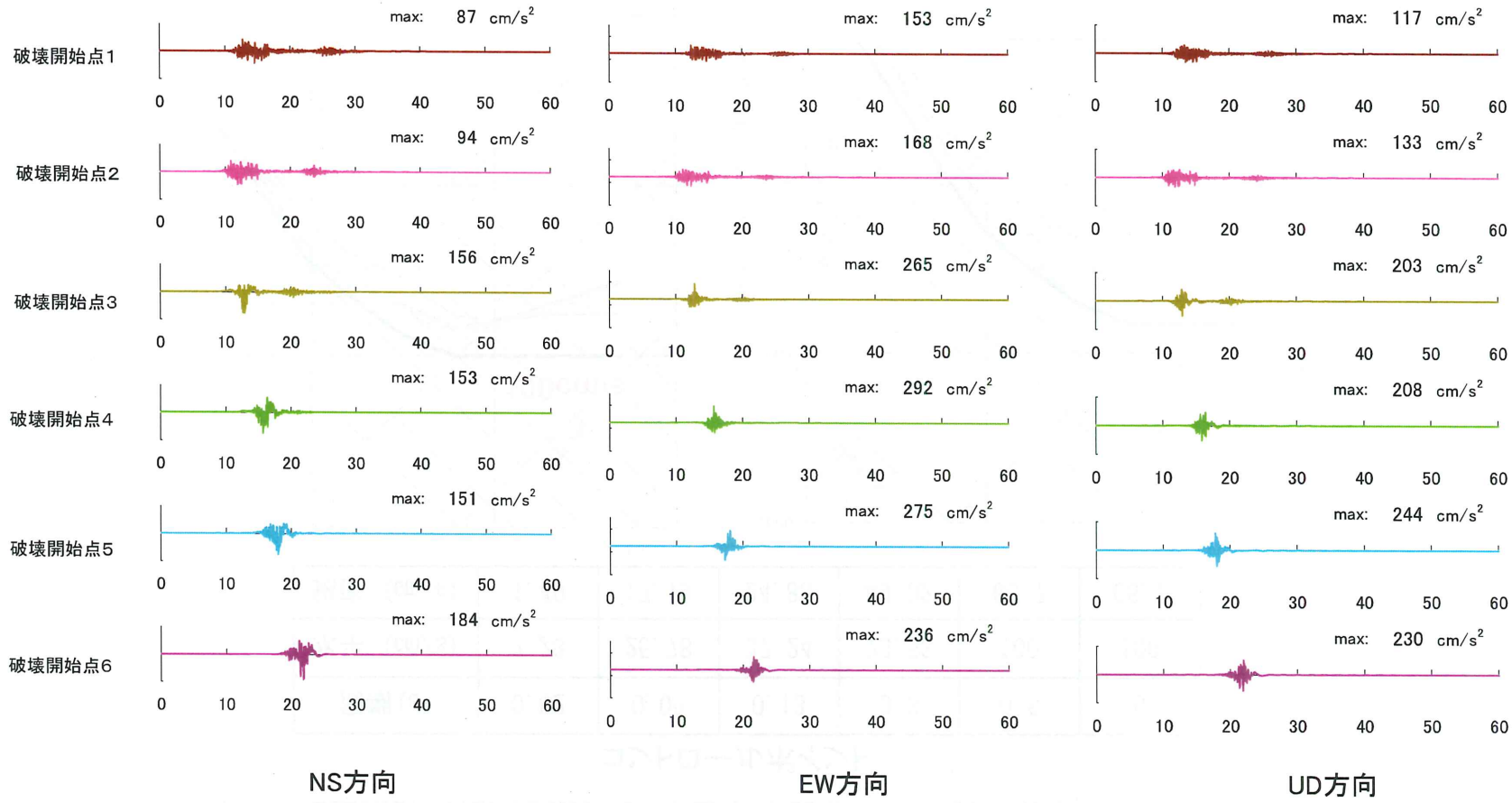


鉛直方向

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

4. 地震動評価結果

■Vr=0.87βケースの加速度時刻歴波形

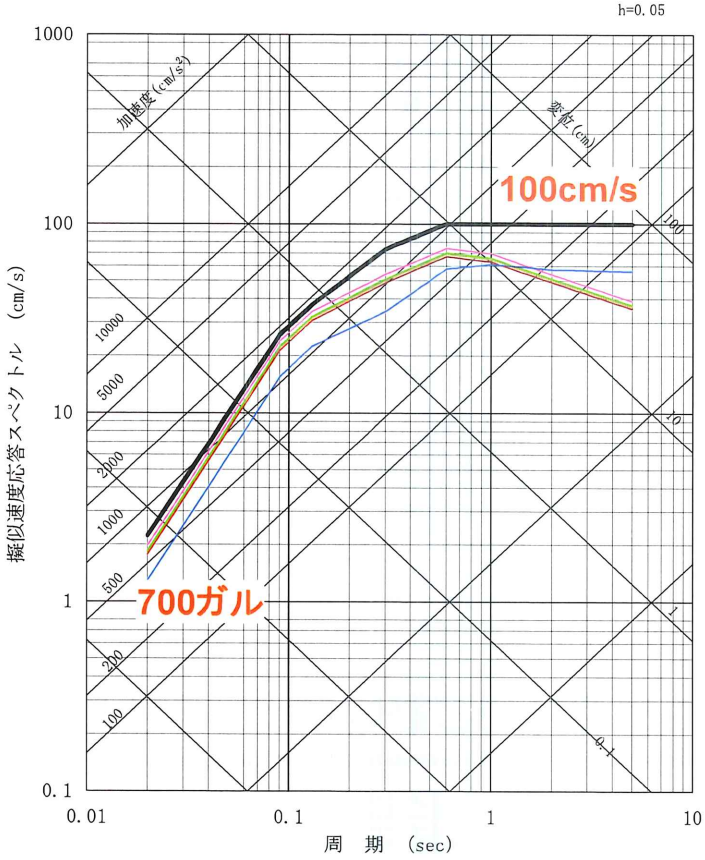


5. 基準地震動の策定（震源を特定して策定する地震動）

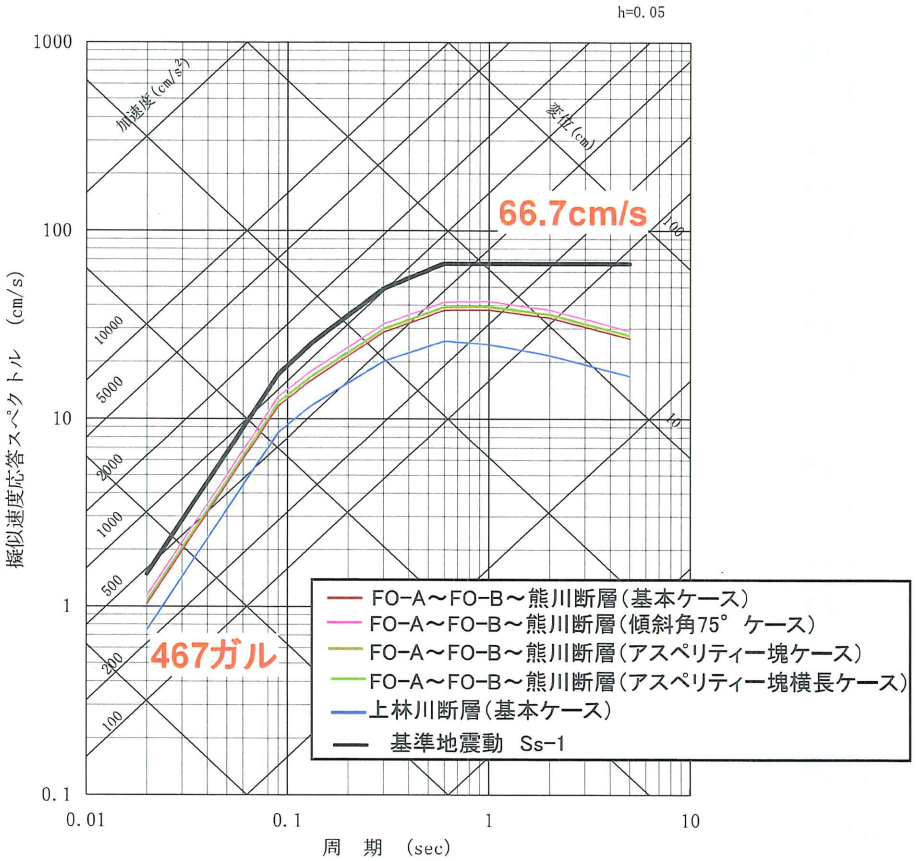
■応答スペクトルに基づく地震動評価結果を踏まえて、基準地震動Ss-1の設計用応答スペクトルを設定する。

コントロールポイント

周期(s)	0.02	0.09	0.13	0.3	0.6	5
水平 (cm/s)	2.23	25.78	37.24	73.53	100	100
鉛直 (cm/s)	1.49	17.19	24.83	49.02	66.7	66.7



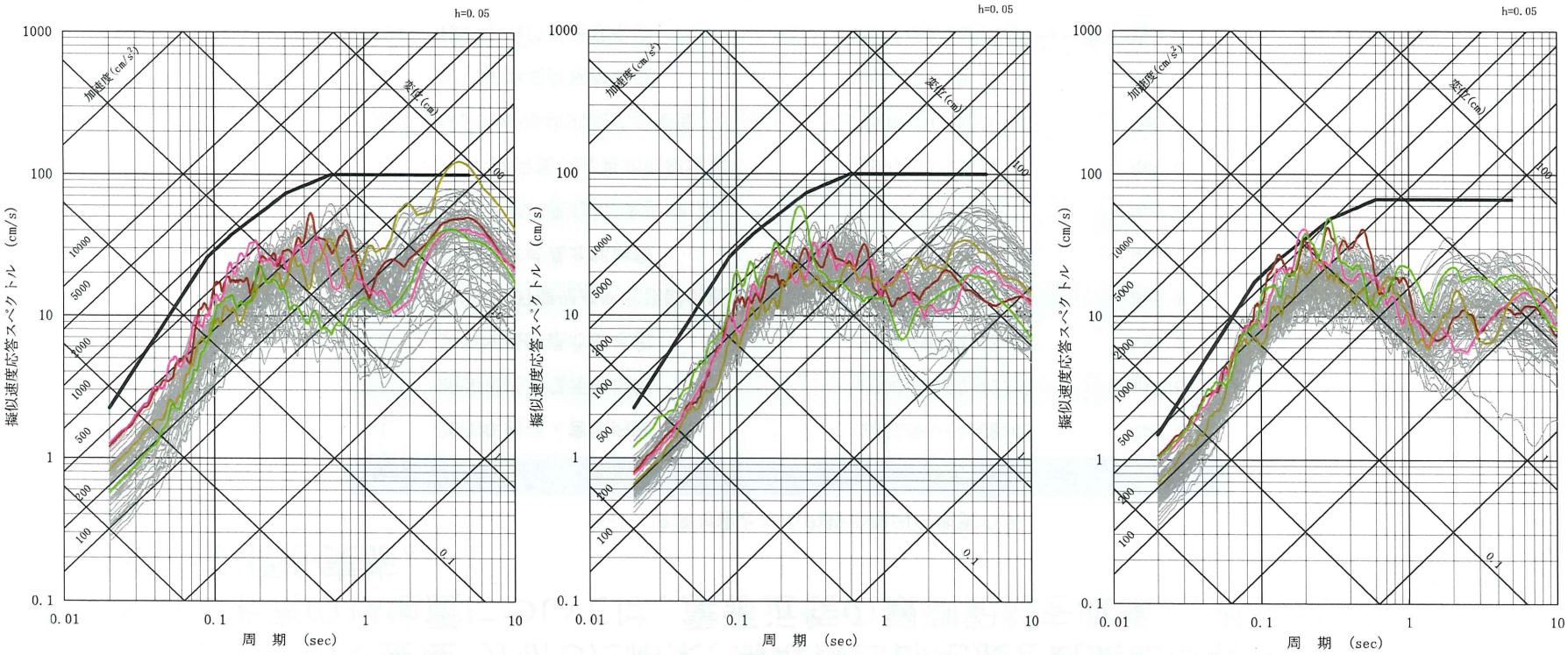
水平方向



鉛直方向

5. 基準地震動の策定

■FO-A～FO-Bと熊川断層との3連動および上林川断層の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果のうち、基準地震動Ss-1の設計用応答スペクトルを上回るケースから、以下のケースを基準地震動（Ss-2～Ss-5）として採用する。



水平（NS）方向　　水平（EW）方向　　鉛直（UD）方向

- 基準地震動 Ss-1
- Ss-2：FO-A～FO-B～熊川断層（短周期1.5倍ケース、破壊開始点5）
- Ss-3：FO-A～FO-B～熊川断層（短周期1.5倍ケース、破壊開始点6）
- Ss-4：FO-A～FO-B～熊川断層（Vr=0.87β ケース、破壊開始点9）
- Ss-5：上林川断層（短周期1.5倍ケース、破壊開始点3）

灰色：Ssを除くFO-A～FO-B～熊川断層、上林川断層の全てのケースの地震動評価結果

5. 基準地震動の策定（震源を特定せず策定する地震動）

■審査ガイドに示されている16地震について、

①Mw6.5以上の2地震（2008年岩手・宮城内陸地震、2000年鳥取県西部地震）については、地域性について整理・分析した結果、鳥取県西部地震を観測記録収集の対象とした。

②Mw6.5未満の14地震については、震源近傍の観測記録を収集し、基盤地震動の検討・評価を実施。

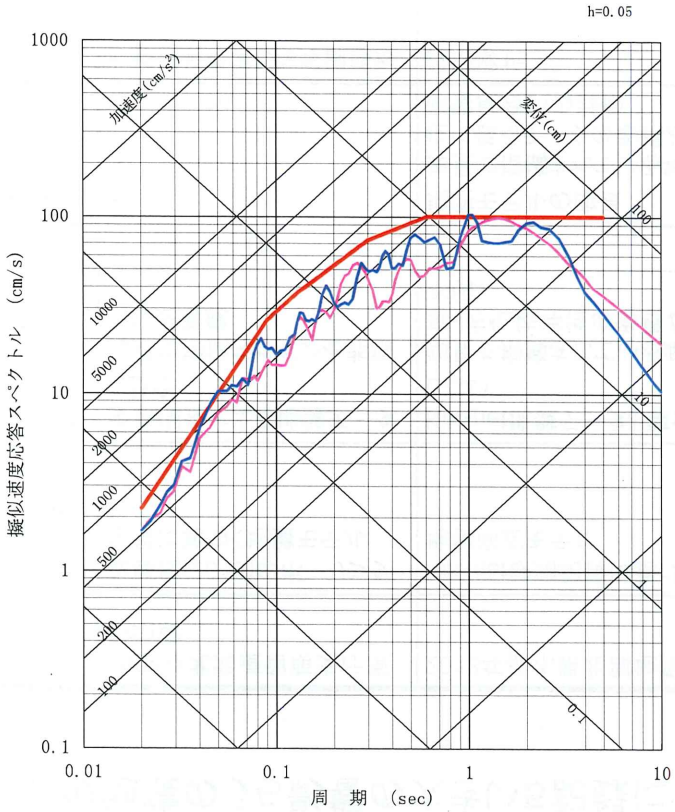
表-1　収集対象となる内陸地殻内の地震の例

No	地震名	日時	規模
1	2008年岩手・宮城内陸地震	2008/06/14, 08:43	Mw6.9
2	2000年鳥取県西部地震	2000/10/06, 13:30	Mw6.6
3	2011年長野県北部地震	2011/03/12, 03:59	Mw6.2
4	1997年3月鹿児島県北西部地震	1997/03/26, 17:31	Mw6.1
5	2003年宮城県北部地震	2003/07/26, 07:13	Mw6.1
6	1996年宮城県北部（鬼首）地震	1996/08/11, 03:12	Mw6.0
7	1997年5月鹿児島県北西部地震	1997/05/13, 14:38	Mw6.0
8	1998年岩手県内陸北部地震	1998/09/03, 16:58	Mw5.9
9	2011年静岡県東部地震	2011/03/15, 22:31	Mw5.9
10	1997年山口県北部地震	1997/06/25, 18:50	Mw5.8
11	2011年茨城県北部地震	2011/03/19, 18:56	Mw5.8
12	2013年栃木県北部地震	2013/02/25, 16:23	Mw5.8
13	2004北海道留萌支庁南部地震	2004/12/14, 14:56	Mw5.7
14	2005年福岡県西方沖地震の最大余震	2005/04/20, 06:11	Mw5.4
15	2012年茨城県北部地震	2012/03/10, 02:25	Mw5.2
16	2011年和歌山県北部地震	2011/07/05, 19:18	Mw5.0

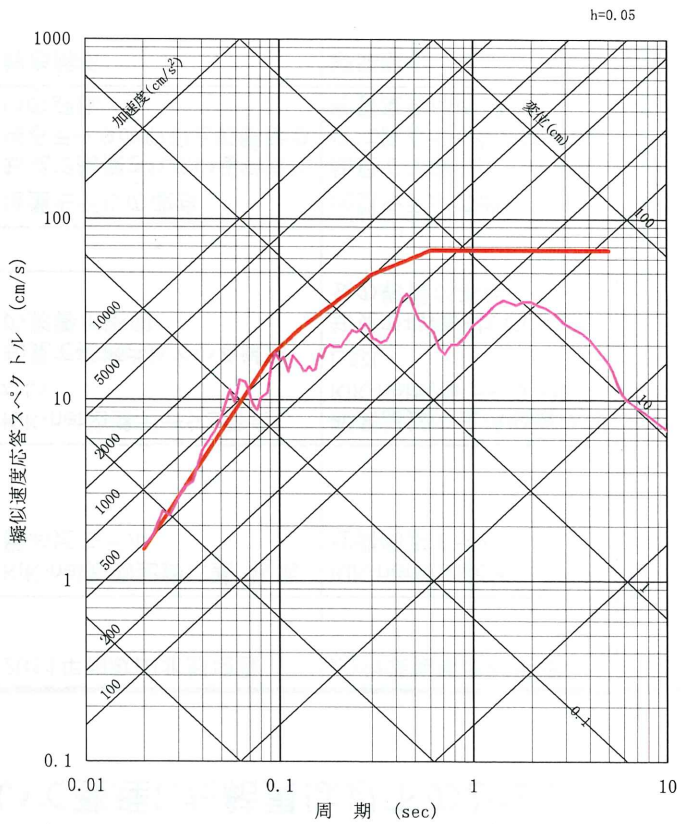
5. 基準地震動の策定（震源を特定せず、鳥取県西部）

■基準地震動Ss-1と賀祥ダムの観測記録を比較して以下に示す。

■なお、賀祥ダムの記録がVp=2.0～2.2km/s（Vs=1.2～1.3km/s）程度のCM級岩盤に設置された観測記録であり、高浜発電所の解放基盤のVs=2.2km/sよりも小さいことから、地盤特性の補正等は行わず、観測記録を基準地震動として採用する。



（水 平）



（上 下）

基準地震動 Ss-1　賀祥ダム（NS方向）　賀祥ダム（EW方向）

基準地震動 Ss-1　賀祥ダム（上下方向）

5. 基準地震動の策定（震源特定せず）

■Mw6.5未満の地震のうち影響の大きい5記録について整理した結果は以下のとおり。

		2004年北海道留萌支庁南部地震	2013年栃木県北部地震	2011年和歌山北部地震	2011茨城県北部地震	2011年長野県北部地震
地盤モデル	使用モデル	佐藤他(2013)のボーリング結果に基づく地盤モデル	KiK-net観測記録に基づく地盤同定モデル	KiK-net観測記録に基づく地盤同定モデル	KiK-net観測記録に基づく地盤同定モデル	地盤情報が少なくモデルを構築できない
	既往の知見との整合性	微動探査による地盤データと整合 知見で指摘されている非線形性を考慮	KiK-net地盤データと整合しない 知見で指摘されている減衰・方位依存性の影響が不明	KiK-net地盤データと整合しない 知見で指摘されている減衰の影響が不明	観測記録の伝達関数及びKiK-net地盤データと整合しない 知見で指摘されている減衰の影響が不明	地盤モデルに関する既往の知見がない
		○	×	×	×	×
	更なる知見収集・検討事項	ー	地盤モデルの改良 知見で指摘されている特性に係るデータの取得と影響度合いの評価	地盤モデルの改良 知見で指摘されている特性に係るデータの取得と影響度合いの評価	地盤モデルの改良 知見で指摘されている特性に係るデータの取得と影響度合いの評価	地質調査、微動探査等による地盤情報の取得
はぎとり解析	解析手法	非線形を考慮した等価線形解析	線形解析	線形解析	線形解析	地盤モデルが構築できないため、解析できない
	精度	観測記録と整合	はぎとり解析の適用性が不明	はぎとり解析の適用性が不明	はぎとり解析の適用性が不明	はぎとり解析の適用性が不明
		○	×	×	×	×
	更なる知見収集・検討事項	ー	地表・地中観測記録の再現解析	V地表・地中観測記録の再現解析	地表・地中観測記録の再現解析	地表観測記録の再現解析
		○	×	×	×	×

5. 基準地震動の策定（震源特定せず）

■Mw6.5未満の地震のうち、影響の大きい5記録について整理した結果、2004年留萌支庁南部地震のHKD020の記録については、信頼性のある基盤地震動が評価できたと考えられ、震源を特定せず策定する地震動に反映する。

■2013年栃木県北部地震のTCGH07、2011年茨城県北部地震のIBRH13、2011年和歌山北部地震のWKYH01の記録については、一次元波動論では信頼性のある地盤モデルが構築できず、はぎとり解析による基盤地震動の評価は困難と考えられ、今後とも継続的に知見の収集とはぎとり解析等の検討を進め、信頼性の高い解放基盤波の算定を試みる。

■2011年長野県北部地震のNIG023の記録については、地盤情報が乏しいためはぎとり解析が困難であり、今後各種調査により地盤情報の取得を行い、分析を試みる。

5. 基準地震動の策定（震源を特定せず、留萌）

2004年北海道留萌支庁南部の地震に関する検討のまとめ

- 2004年北海道留萌支庁南部の地震における佐藤・他(2013)による港町観測点の基盤地震動評価（水平動585cm/s^2、上下動296cm/s^2）を元に、以下の検討を行った。

  ①GL-41mまでの非線形性を考慮した基盤地震動評価（水平動，561cm/s^2）

  ②当社として不確かさを考慮して、GL-6mからGL-41mまでの減衰定数を3%とした基盤地震動を評価（水平動，609cm/s^2）

  ③再測定されたPS検層結果を踏まえた上下動の再評価（上下動，306cm/s^2）

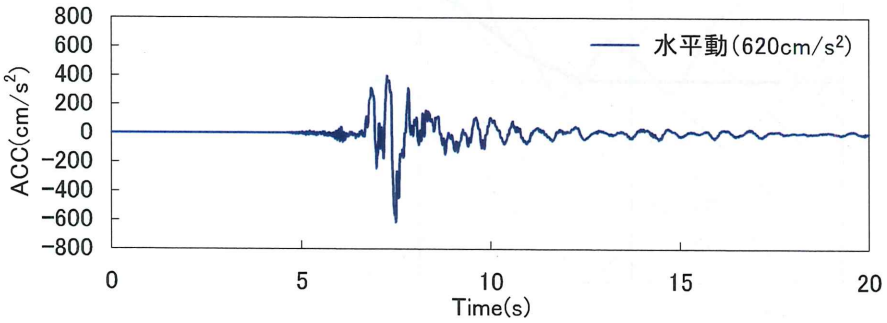
  ④地下水位の現状を反映したGL-6mまでポアソン比一定とした上下動評価（上下動，262cm/s^2）

- 以上より、基盤地震動の評価結果としては、水平動に関しては②のケース(609cm/s^2)が、上下動に関しては③のケース（306cm/s^2）が最も地震動の最大加速度が大きくなる事を確認した。

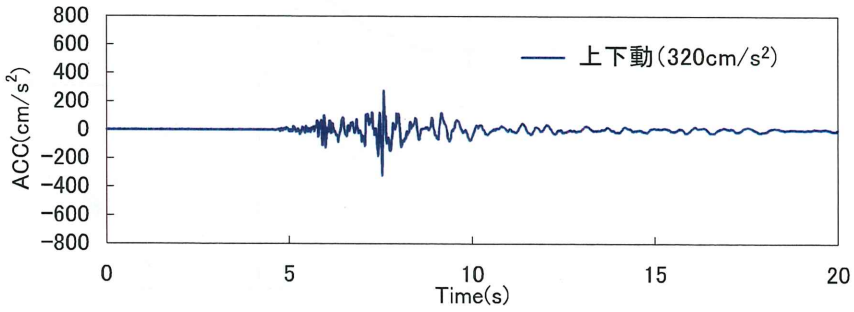
5. 基準地震動の策定（震源を特定せず、留萌）

2004年北海道留萌支庁南部の地震の検討結果

- これまでの検討により、2004年北海道留萌支庁南部の地震の記録を用いて基盤地震動を求めた結果、水平動609cm/s^2、上下動306cm/s^{2}となった。
- 当社として、原子力発電所の耐震性に求められる保守性を勘案して、震源を特定せず策定する地震動として水平動620cm/s^2、上下動320cm/s^{2}と設定する。



水平

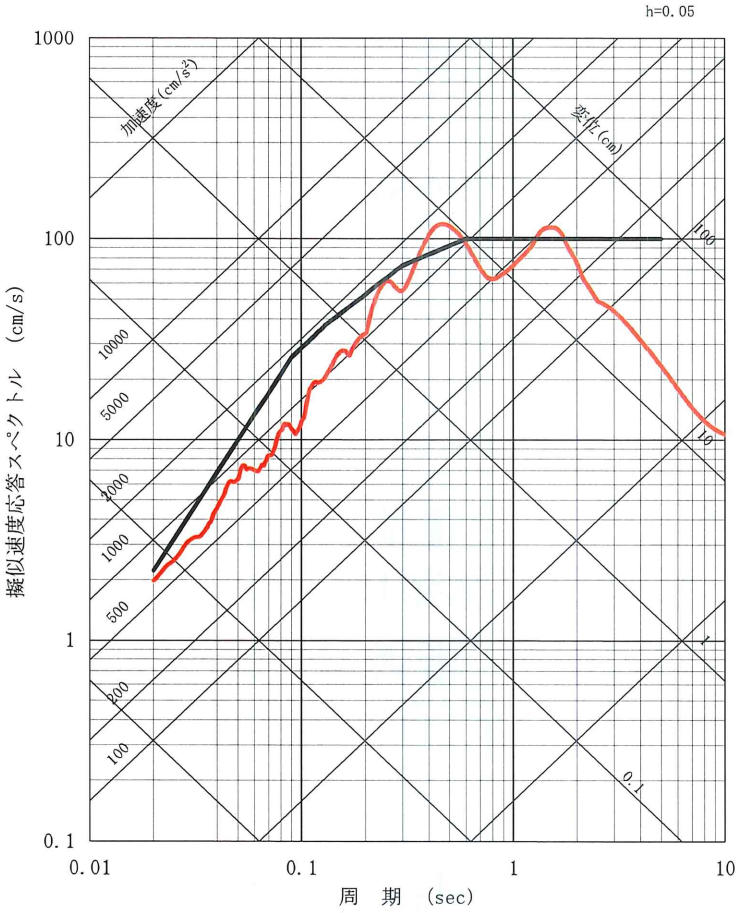


上下

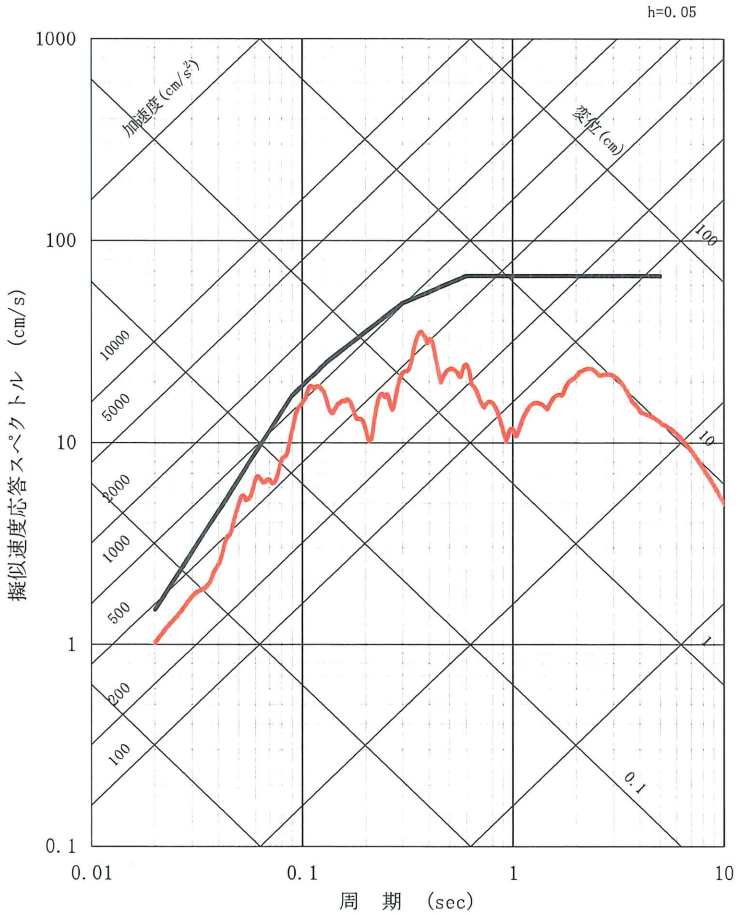
加速度波形

5. 基準地震動の策定（震源を特定せず、留萌）

■ 留萌支庁南部の地震の評価結果と基準地震動Ss-1との比較



水平



上下

基準地震動 Ss-1

震源を特定せず策定する地震動（留萌）

5. 基準地震動の策定（まとめ）

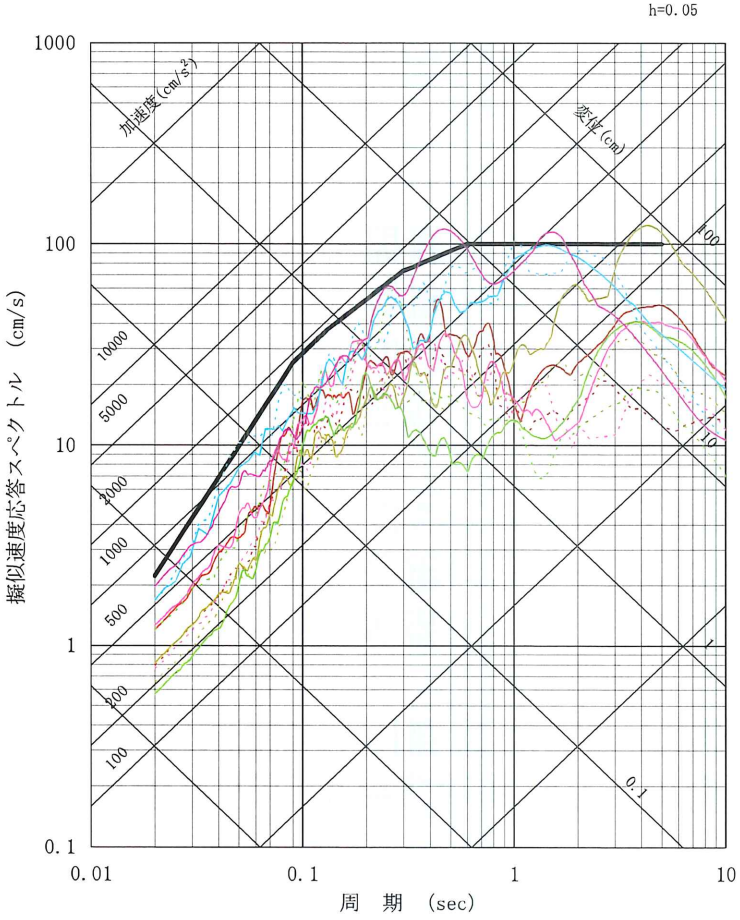
■前回審査会合で示した地盤モデルを用いて、FO-A～FO-B断層と熊川断層との3連動および上林川断層について地震動評価を行った。

■地震動評価結果を踏まえて、基準地震動Ss-1の設計用スペクトルを設定した。また、断層モデルを用いた手法による地震動評価結果のうち、Ss-1のスペクトルを上回るケースについて、基準地震動（Ss-2～Ss-5）として選定した。

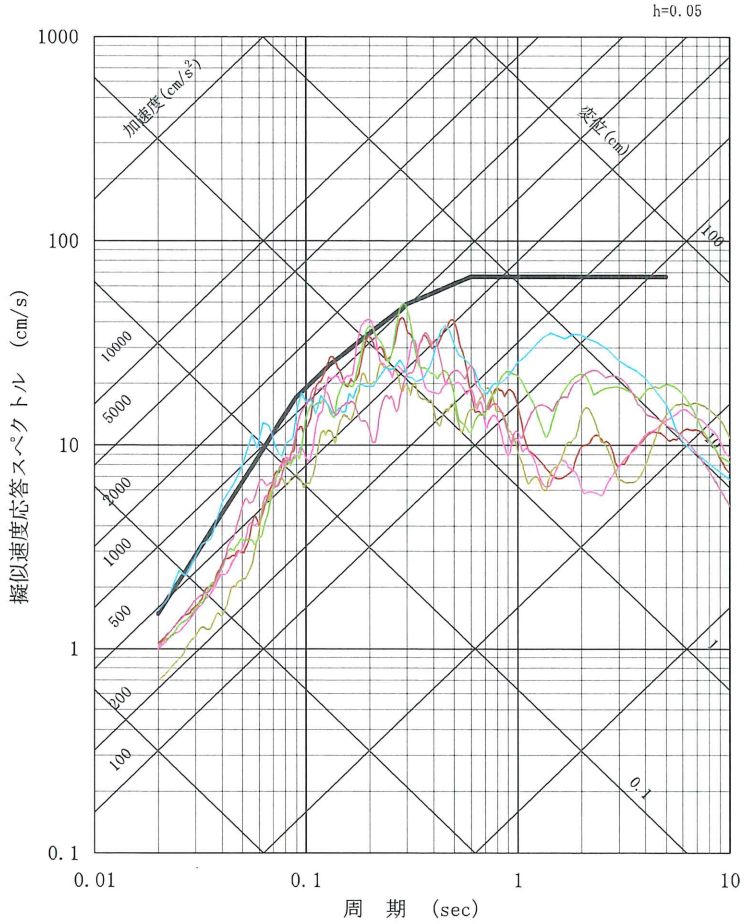
■震源を特定せず策定する地震動については、これまでに示した検討結果から、以下の2つの基準地震動を採用する。

- Ss-6：2000年鳥取県西部地震、賀祥ダムの観測記録
- Ss-7：2004年留萌支庁南部地震、港町観測点の記録を考慮した地震動

■基準地震動Ss-1～Ss-7の応答スペクトルは以下のとおり。



水平



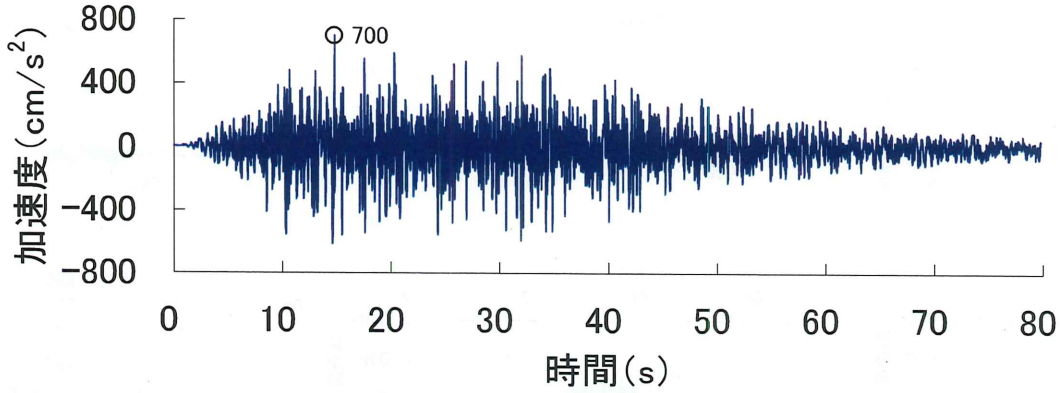
上下

(Ss2～Ss7では実線がNS成分、破線がEW成分)

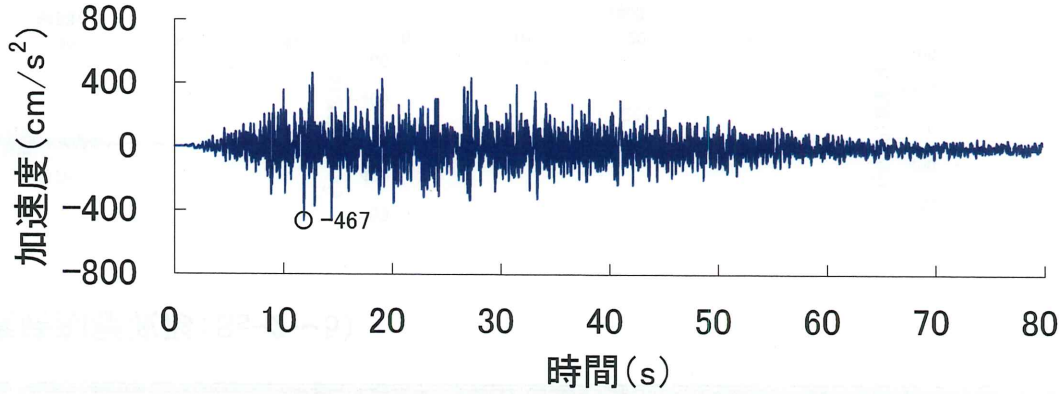
Ss-1 Ss-2 Ss-3 Ss-4
Ss-5 Ss-6 Ss-7

■基準地震動の加速度時刻歴波形（Ss-1）

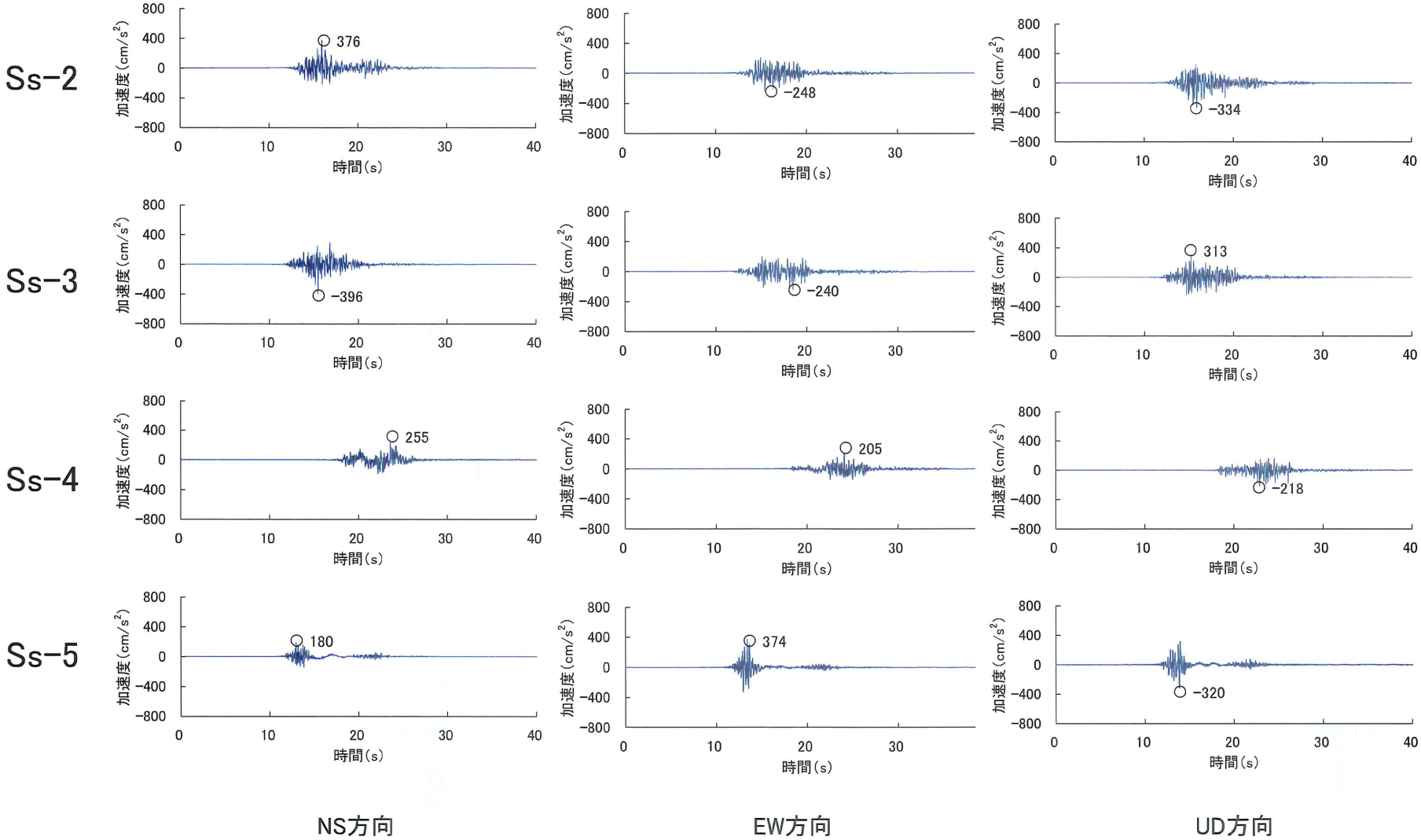
水平方向



上下方向



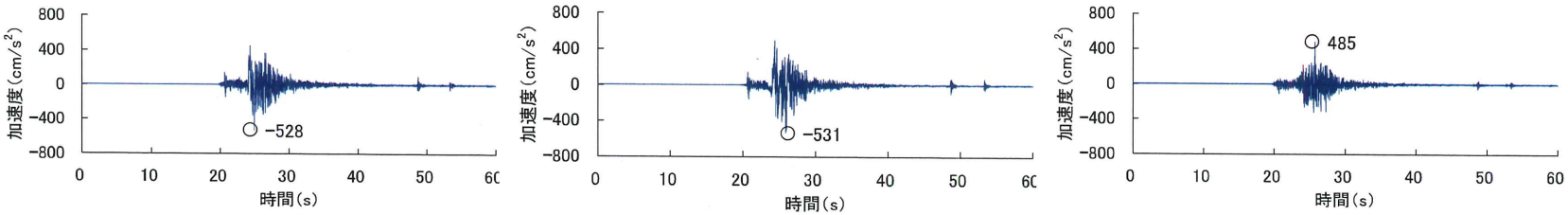
■基準地震動の加速度時刻歴波形（Ss-2～5）



5. 基準地震動の策定

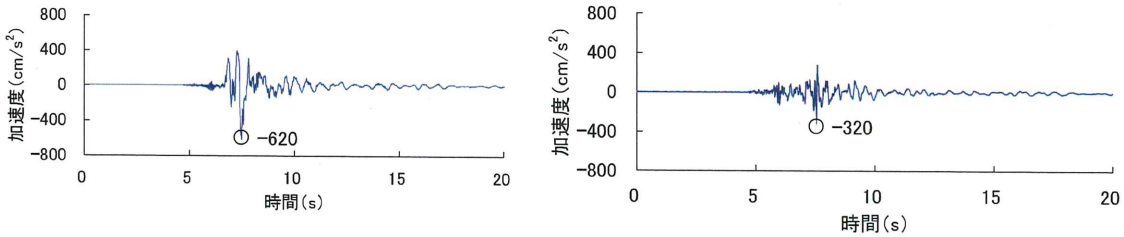
■基準地震動の加速度時刻歴波形（Ss-6～7）

Ss-6



NS方向　EW方向　UD方向

Ss-7



水平方向　上下方向