

# 大飯発電所 地震動評価について

平成28年2月19日  
関西電力株式会社

---

1. 敷地周辺の地震発生状況	・・・2～5
2. 敷地周辺の活断層の分布	・・・6～9
3. 地盤モデルの策定	・・・10～58
4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動	・・・59～122
5. 震源を特定せず策定する地震動	・・・123～129
6. 基準地震動の策定	・・・130～141
7. 基準地震動 $S_s$ の超過確率	・・・142～164
8. 地震動評価のまとめ	・・・165
(参考)孤立した長さの短い活断層に対する地震動評価	・・・166～182

# 1. 敷地周辺の地震発生状況

## ■ 敷地周辺における主な地震を分類し、それぞれの地震が敷地に及ぼす影響について検討する。

### ○過去の被害地震

「日本被害地震総覧599-2012」に記載されている震度分布図及び気象庁が公表している震度分布図によると、敷地で震度V以上であった地震には、1586年畿内・東海・東山・北陸諸道の地震、1596年畿内および近隣の地震、1662年山城・大和・河内・和泉・摂津・丹後・若狭・近江・美濃・伊勢・駿河・三河・信濃の地震、1819年伊勢・美濃・近江の地震、1891年濃尾地震、1927年北丹後地震及び1963年越前岬沖地震がある。また、被害地震から想定される地震について、規模Mと震央距離 $\Delta$ 及び敷地で想定される震度の関係から、上記7地震以外に敷地で震度V以上であったと考えられる被害地震として、745年美濃の地震及び1185年近江・山城・大和の地震が挙げられる。

### ○内陸地殻内地震

震度V以上の被害地震は、陸域の活断層との関連や地震の発生深さからして、いずれも内陸地殻内地震であると考えられる。抽出された被害地震と活断層について、規模と距離の観点から敷地への影響を検討する。

### ○プレート間地震

敷地周辺地域では、プレート間地震の可能性のあるものとして、1855年遠州灘の地震や1906年三重県沖の地震が発生している。また、南海トラフに沿ってM8クラスのプレート間地震が繰り返し発生しているが、これらの地震はいずれも敷地から200kmを超える範囲で発生しており、敷地で震度V以上が想定される地震はないことから、敷地へ及ぼす影響は大きくない。

### ○スラブ内地震

敷地周辺地域では、沈み込んだフィリピン海プレート内で発生したと考えられる陸域のやや深い地震として1952年吉野地震や1994年滋賀県中東部の地震等が該当し、それらの地震の多くが近畿中南部で発生しており、敷地で震度V以上が想定される地震はないことから、敷地へ及ぼす影響は大きくない。

### ○アウターライズ地震

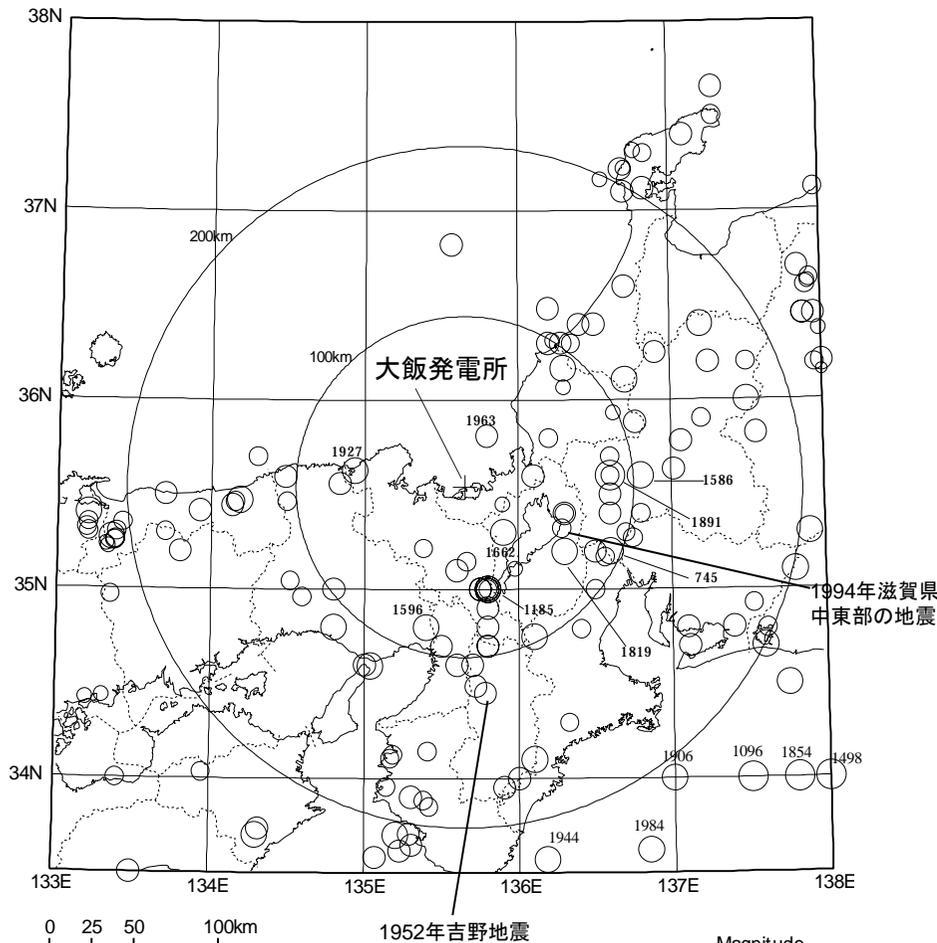
海溝軸周辺で発生した地震として、2004年紀伊半島南東沖地震が該当するが、敷地から200kmを超える範囲で発生しており、敷地へ及ぼす影響は大きくない。

### ○その他の地震

敷地周辺地域では、上記4種類の地震のいずれにも分類されない特徴的な地震は発生していない。

# 1. 敷地周辺の地震発生状況

## ■ 敷地周辺で過去に発生した被害地震



### ○ 内陸地殻内地震

敷地周辺の主な被害地震として、1662年山城・大和・河内・和泉・摂津・丹後・若狭・近江・美濃・伊勢・駿河・三河・信濃の地震や1963年越前岬沖地震などが発生している。

### ○ プレート間地震

南海トラフに沿ってM8クラスのプレート間地震が繰り返し発生しているが、これらの地震はいずれも敷地から200kmを超える範囲で発生しており、敷地で震度V以上が想定される地震はないことから、敷地へ及ぼす影響は大きくない。

### ○ スラブ内地震・アウターライズ地震

敷地周辺地域では、沈み込んだプレート内で発生したと考えられる陸域のやや深い地震として1952年吉野地震、1994年滋賀県中東部の地震等が該当し、それらの地震の多くが近畿中南部で発生しており、また敷地から離れた場所で発生しているため、敷地へ及ぼす影響は大きくない。

また海溝軸付近で発生した地震として、2004年紀伊半島南東沖地震などが該当するが、敷地から200kmを超える範囲で発生しており、敷地へ及ぼす影響は大きくない。

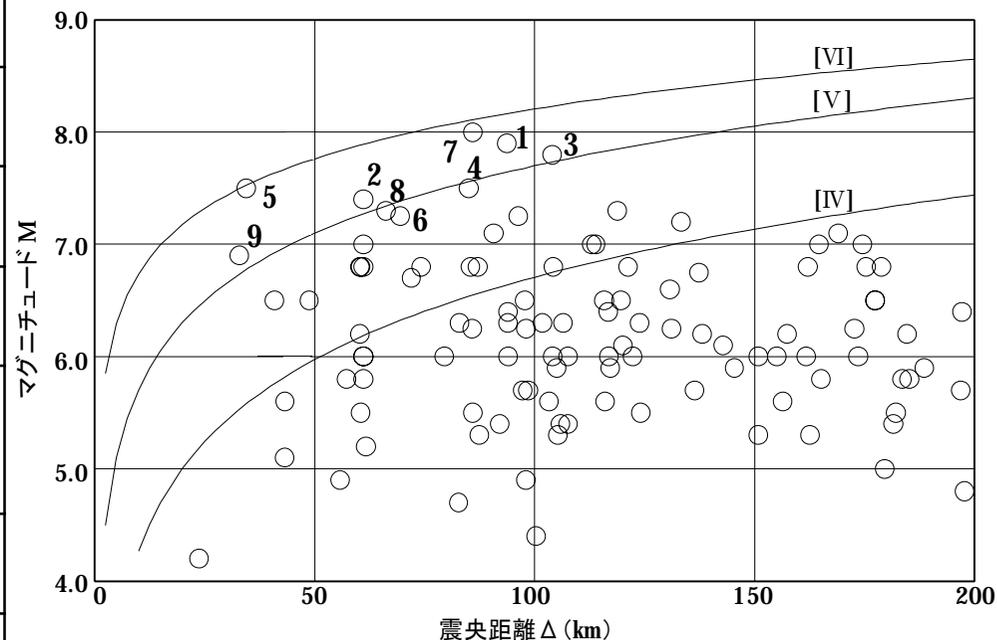
### ○ その他の地震

敷地周辺地域では、上記4種類の地震のいずれにも分類されない特徴的な地震は発生していない。

# 1. 敷地周辺の地震発生状況

## ■ 敷地に大きな影響を及ぼす被害地震

番号	年月日	マグニチュード	震央距離 (km)	地名 (地震名)
1	745.6.5	7.9	94	美濃
2	1185.8.13	7.4	61	近江・山城・大和
3	1586.1.18	7.8	104	畿内・東海・東山・北陸諸道
4	1596.9.5	7.5	85	畿内および近隣
5	1662.6.16	7.5	35	山城・大和・河内・和泉・摂津・丹後・若狭・近江・美濃・伊勢・駿河・三河・信濃
6	1819.8.2	7.25	70	伊勢・美濃・近江
7	1891.10.28	8.0	86	愛知県・岐阜県 (濃尾地震)
8	1927.3.7	7.3	67	京都府北西部 (北丹後地震)
9	1963.3.27	6.9	33	福井県沖 (越前岬沖地震)



【IV】、【V】、【VI】は気象庁震度階級で、震度の境界線は村松(1969)、勝又・徳永(1971)による

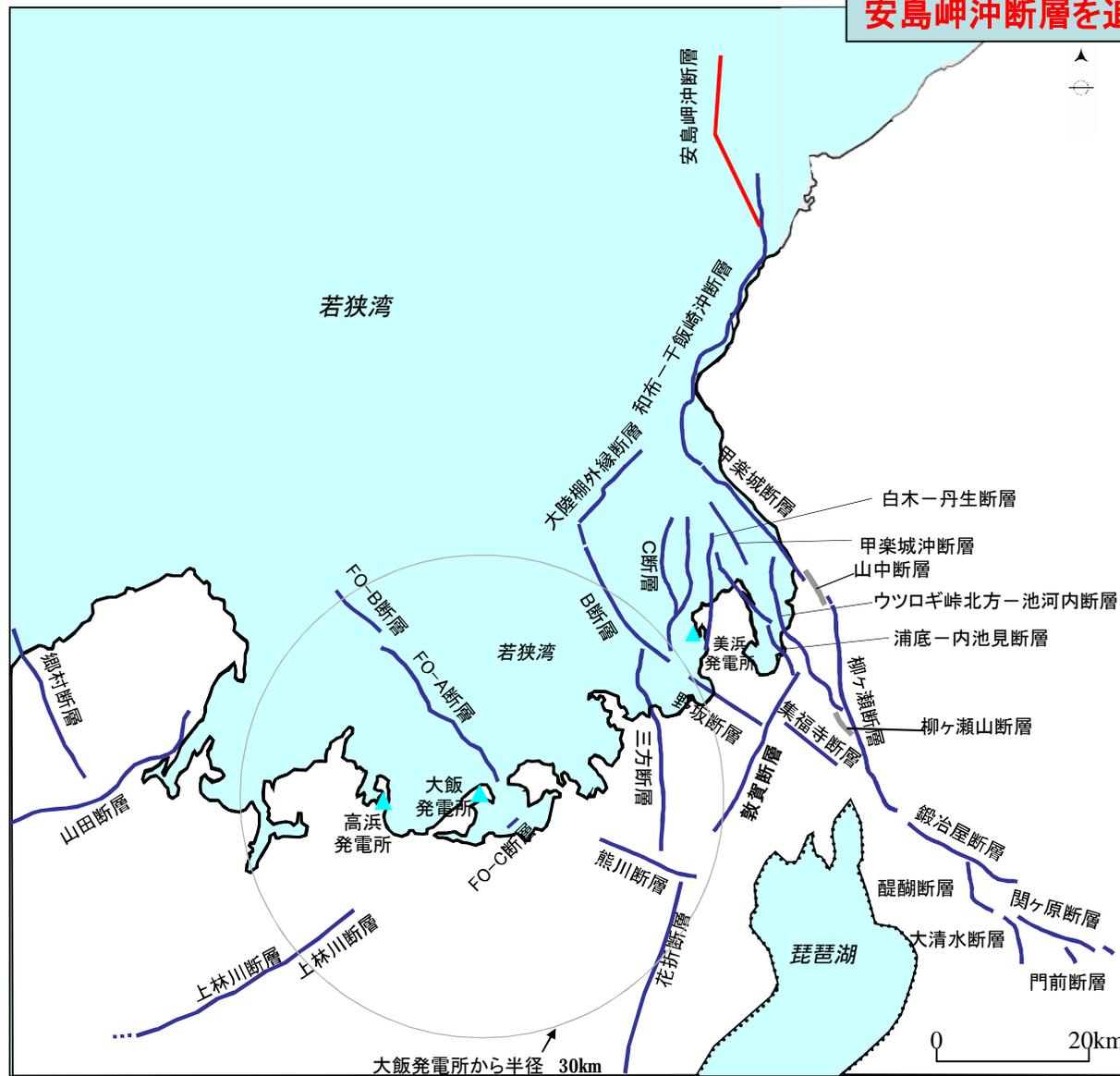
敷地に大きな影響を及ぼす被害地震のM- Δ 図

震度5弱(1996年以前は震度V)程度以上と推定される過去の地震を敷地に大きな影響を及ぼす被害地震として、表のとおり抽出する。



## 2. 敷地周辺の活断層の分布

### ■ 若狭湾周辺の主な断層の分布



和布-干飯崎沖～甲楽城断層に対し、  
安島岬沖断層を追加して評価

(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。

## 2. 敷地周辺の活断層の分布

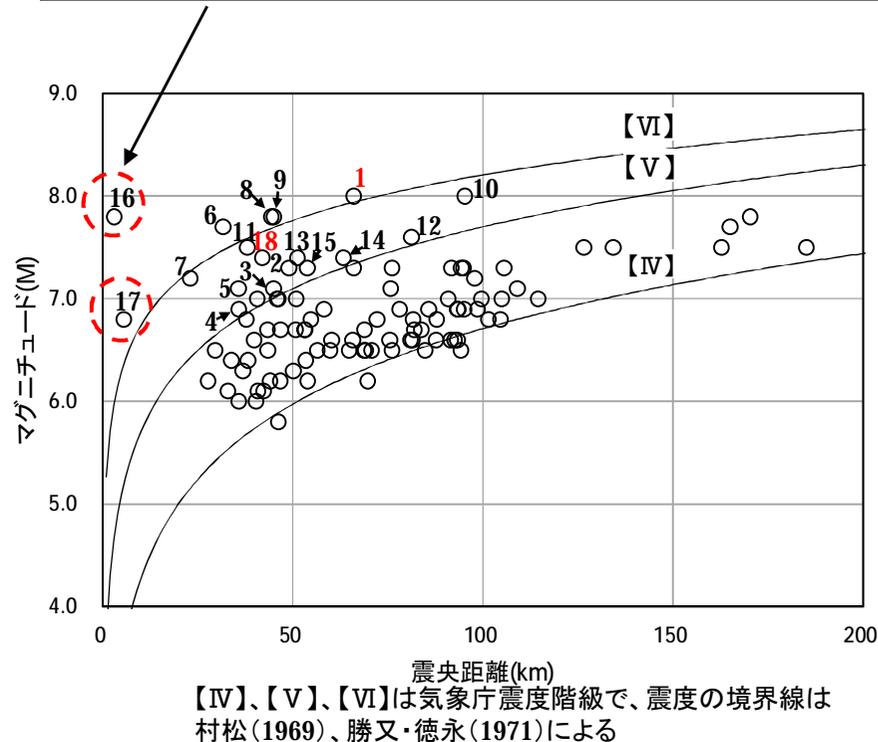
### ■ 敷地に大きな影響を及ぼす活断層の地震

番号	断層名	長さ (km)	規模 M	震央距離 (km)
1	安島岬沖～和布-干飯崎沖～甲楽城断層	76	8.0	66
2	柳ヶ瀬断層	31	7.3	49
3	ウツロギ峠北方-池河内断層	24※ <sup>1</sup>	7.1	45
4	C断層	18	6.9	36
5	敦賀断層	23	7.1	36
6	大陸棚外縁～B～野坂断層	49	7.7	32
7	三方断層	27	7.2	23
8	花折断層	58	7.8	44
9	琵琶湖西岸断層系	60	7.8	45
10	濃尾地震断層系	80	8.0	95
11	上林川断層	39.5※ <sup>2</sup>	7.5	38
12	有馬-高槻構造線	45	7.6	81
13	山田断層	33	7.4	51
14	郷村断層	34	7.4	63
15	F <sub>GA</sub> 3東部断層	29	7.3	54
16	FO-A～FO-B～熊川断層	63.4※ <sup>2</sup>	7.8	3
17	FO-C断層	20※ <sup>2</sup>	6.8	5.5
18	甲楽城沖断層～浦底断層～池河内断層～柳ヶ瀬山断層	36	7.4	42

※<sup>1</sup>端部見直しによる変更(23km⇒24km)

※<sup>2</sup>地震動評価上の長さ

・M-Δ図より、敷地への影響が大きいと考えられるFO-A～FO-B～熊川断層を検討用地震に選定する。  
・FO-C断層については、検討用地震ではないが、敷地に近いことから、孤立した長さの短い活断層として、参考として評価する。



敷地に大きな影響を及ぼす活断層のM-Δ図

震度5弱程度以上と推定される活断層による地震を表のとおり抽出する。

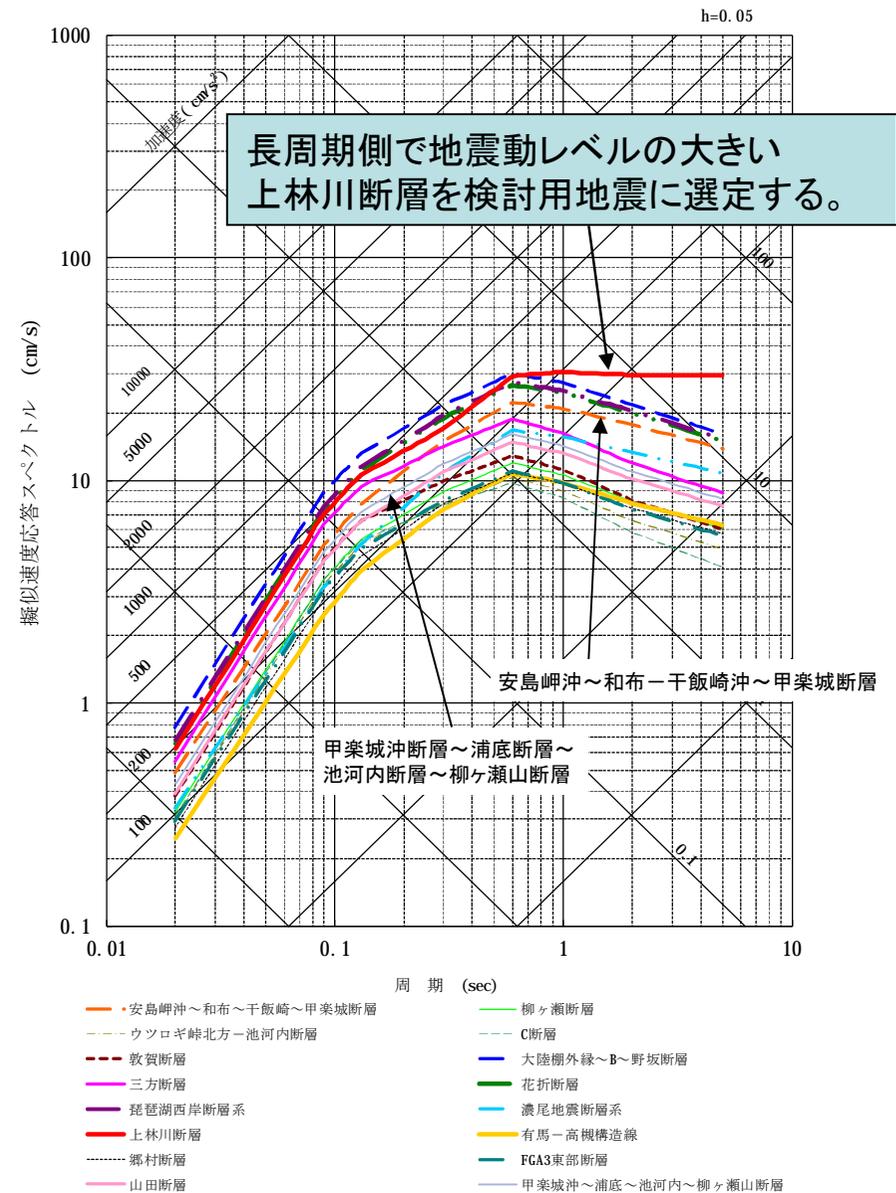
# 2. 敷地周辺の活断層の分布

## ■ 検討用地震の選定(活断層による地震)

番号	断層名	規模 M	等価震源距離 (km)
1	安島岬沖～和布-干飯崎沖～甲楽城断層	8.0	67.2
2	柳ヶ瀬断層	7.3	50.8
3	ウツロギ峠北方-池河内断層	7.1	44.7
4	C断層	6.9	37.2
5	敦賀断層	7.1	37.4
6	大陸棚外縁～B～野坂断層	7.7	35.1
7	三方断層	7.2	30.9
8	花折断層	7.8	43.3
9	琵琶湖西岸断層系	7.8	42.2
10	濃尾地震断層系	8.0	94.7
11	上林川断層	7.5	35.7
12	有馬-高槻構造線	7.6	81.5
13	山田断層	7.4	47.7
14	郷村断層	7.4	63.3
15	F <sub>GA</sub> 3東部断層	7.3	54.7
16	FO-A～FO-B～熊川断層	7.8	14.9
17	甲楽城沖断層～浦底断層～池河内断層～柳ヶ瀬山断層	7.4	44.4

■ 耐専式適用外

M-△図および耐専式による地震動評価結果を基に、FO-A～FO-B～熊川断層および上林川断層を検討用地震として選定する。(従来の評価から変更なし)



敷地に影響を及ぼすと考えられる活断層の地震による応答スペクトル図

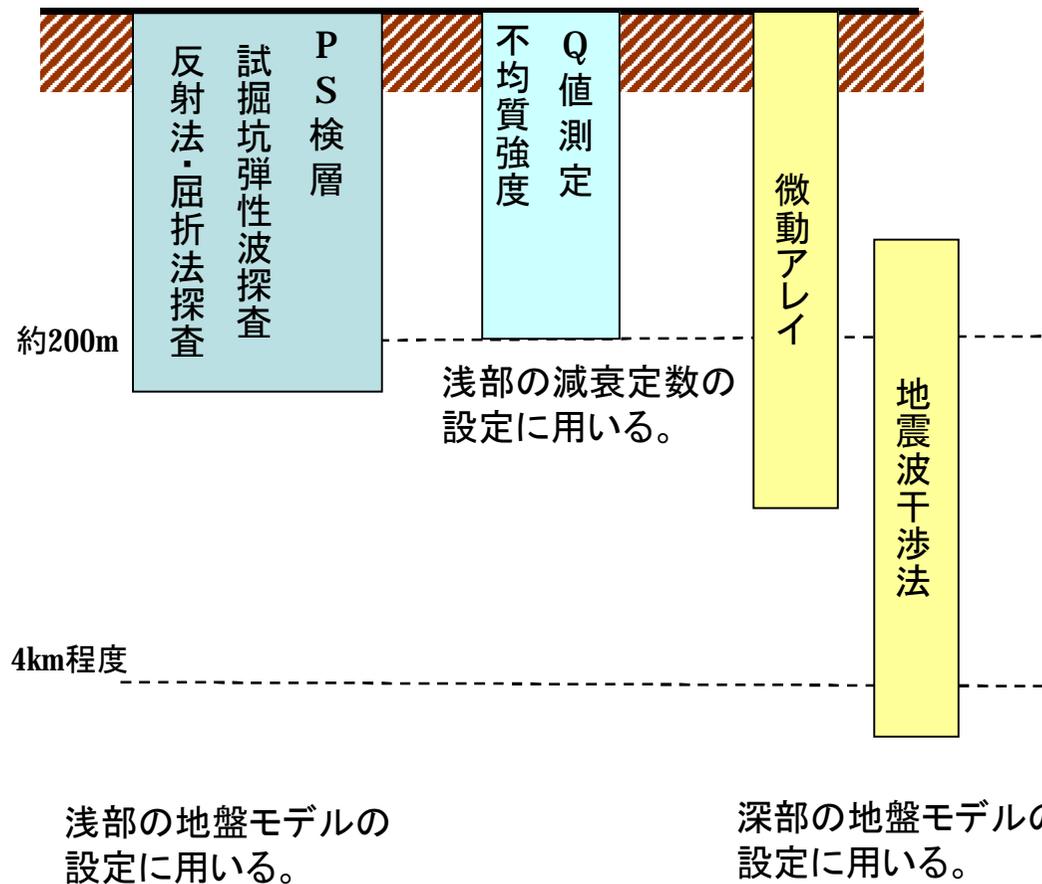
## 2. 敷地周辺の活断層の分布

---

- 敷地周辺の過去の地震および活断層について、Mと震央距離および敷地で想定される震度の関係から影響の大きい地震を抽出。
- FO-A～FO-B～熊川断層および上林川断層を検討用地震として選定した。

### 3. 地盤モデルの策定

■ 敷地周辺で実施した各種調査結果を組み合わせ、地盤モデルを策定する。



### 3. 地盤モデルの策定

■これまでに実施した地下構造モデル策定のための調査は以下のとおり。

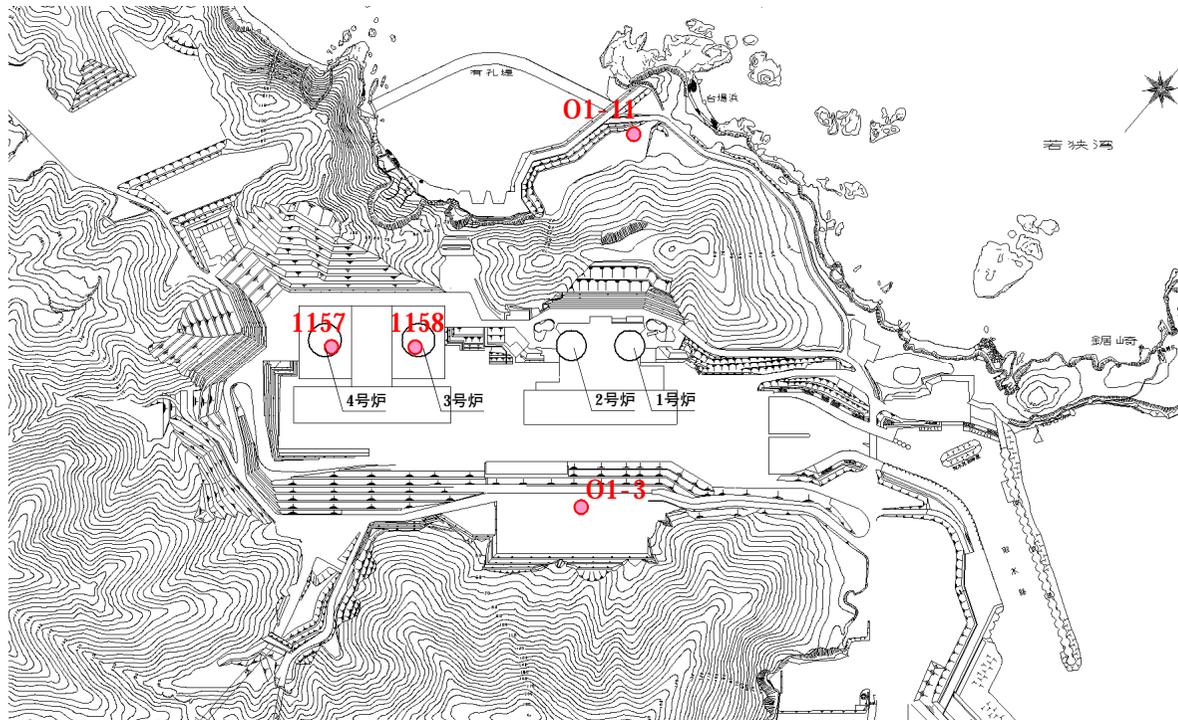
調査・検討項目	審査会合	検討結果の概要
PS検層	9/18 第21回会合	浅部の速度構造の評価
試掘坑弾性波探査	9/18 第21回会合	解放基盤面のP波・S波速度の評価
地質構造の評価	9/18 第21回会合	敷地内の地質に特異な構造がないことを確認
PS検層結果を用いた不均質強度の評価	9/18 第21回会合	浅部の減衰定数の評価
Q値測定	9/18 第21回会合	浅部の減衰定数の評価
敷地内の単点微動調査	9/18 第21回、第41回	解放基盤面に著しい高低差等の特異な構造がないことを確認
反射法地震探査	12/18 第59回会合	敷地の地下構造に特異な構造がないことを確認
屈折法地震探査	12/18 第59回会合	浅部のP波速度の評価、および浅部に特異な構造がないことを確認
敷地内での微動アレイ探査	3/5 第89回会合	周期約0.5～2.0秒の位相速度を評価
地震波干渉法	第41回、第59回、第74回、第89回会合	周期約2秒以上の位相速度・群速度を評価

浅部の地下構造評価に用いる。

主に深部の地下構造評価に用いる。

### 3. 地盤モデルの策定

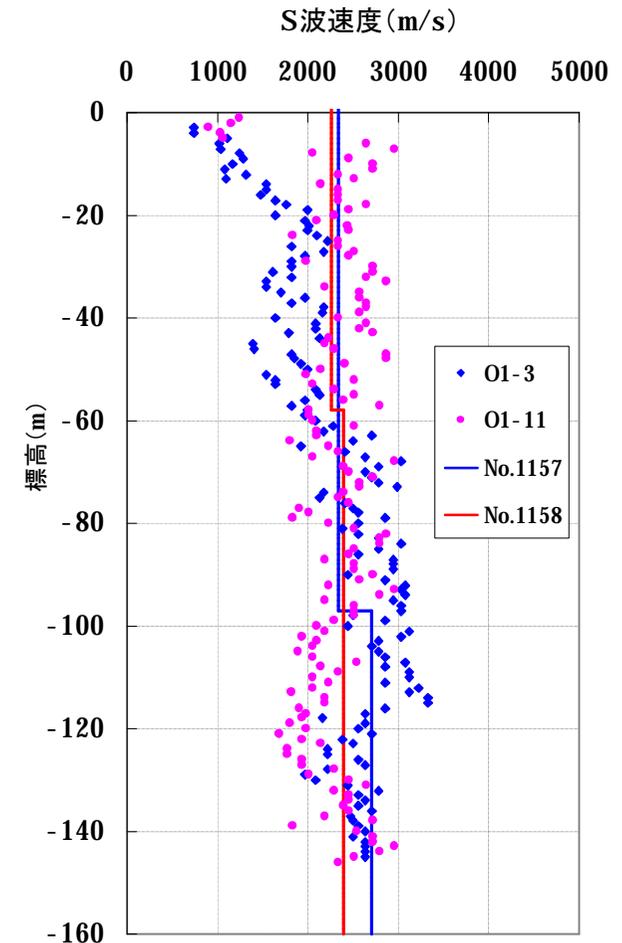
#### ■敷地浅部の地盤構造について(敷地内ボーリングデータ)



大飯発電所 PS検層調査位置

敷地の速度構造を確認した結果、ごく表層部においては風化の影響等により、ややばらつきは見られるものの、ほぼ均質な地盤と考えられる。

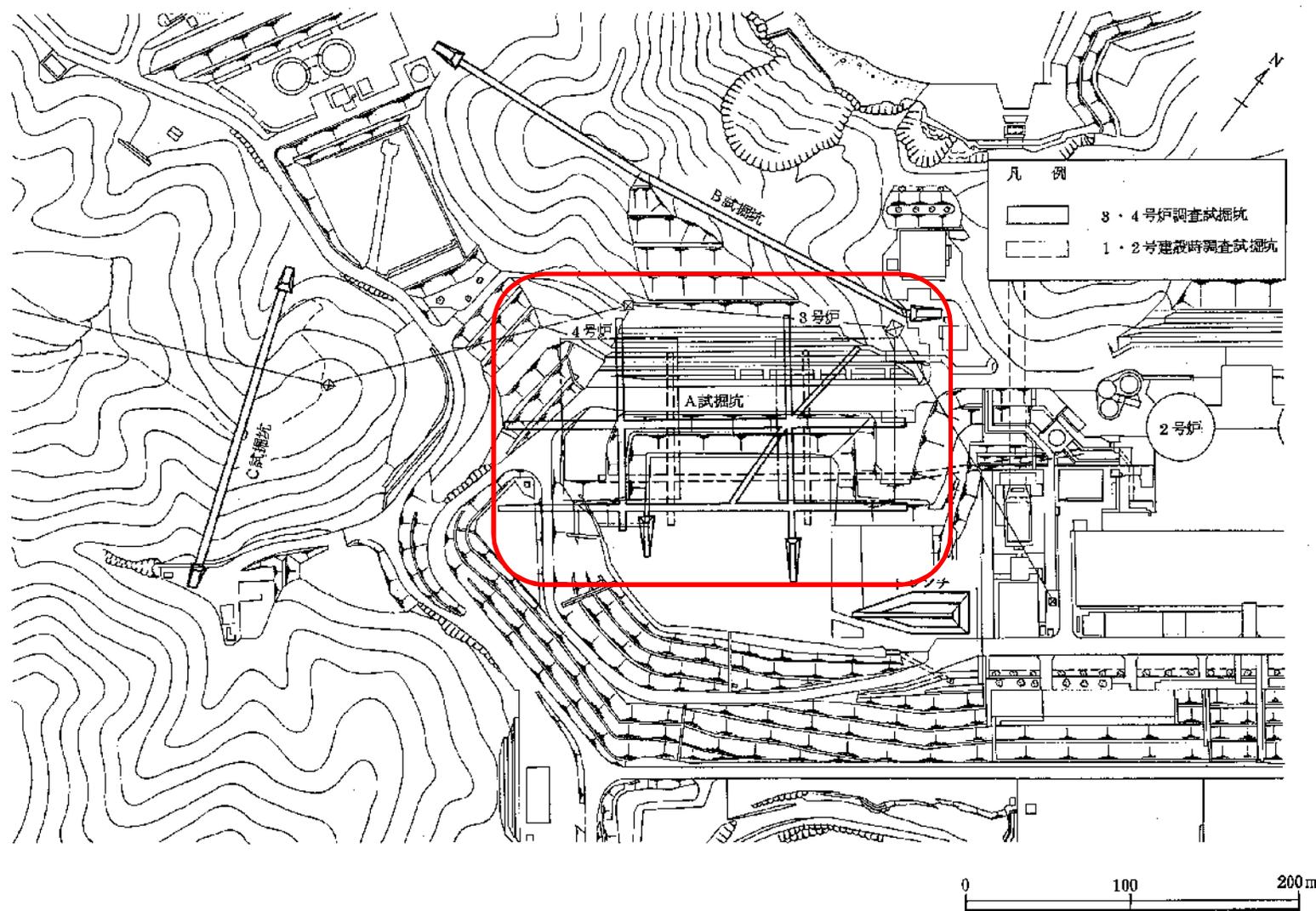
⇒敷地内の浅部構造に特異な構造は見られない



S波速度構造

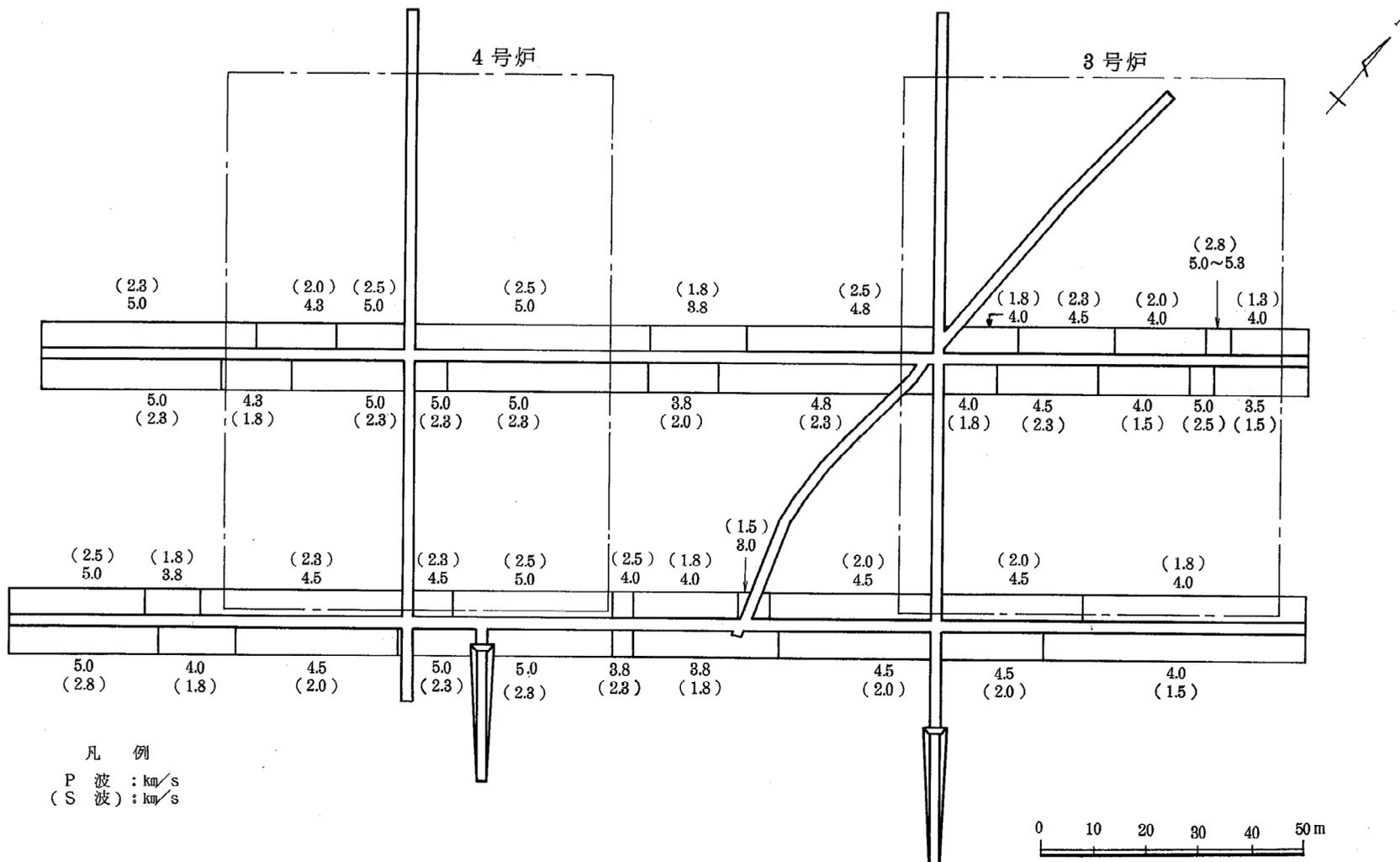
### 3. 地盤モデルの策定

#### ■大飯発電所3,4号炉試掘坑位置



# 3. 地盤モデルの策定

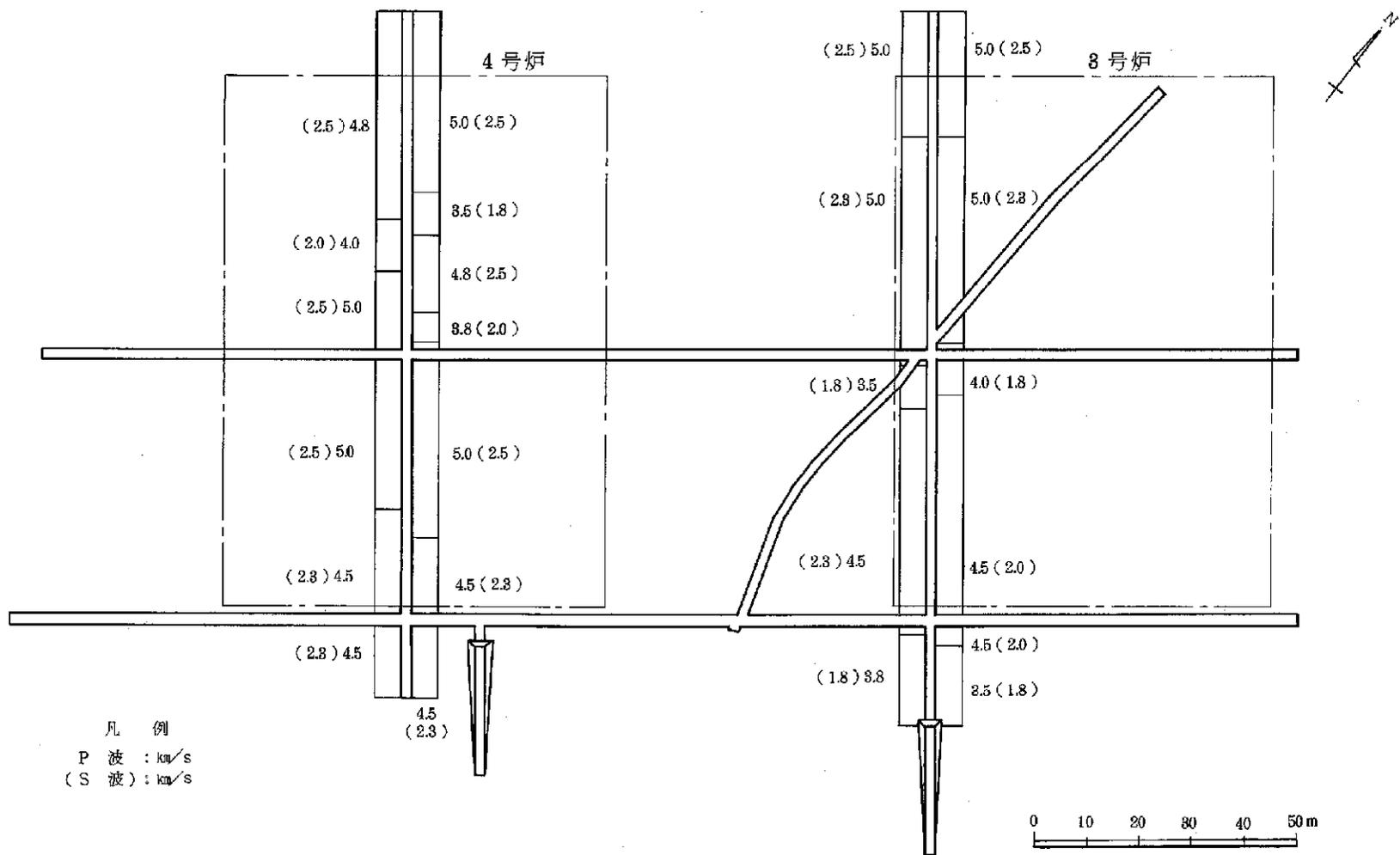
■敷地内での試掘坑弾性波探査より、解放基盤のS波速度を2.2km/sと評価した。



試掘坑内弾性波速度図(1) 本坑

### 3. 地盤モデルの策定

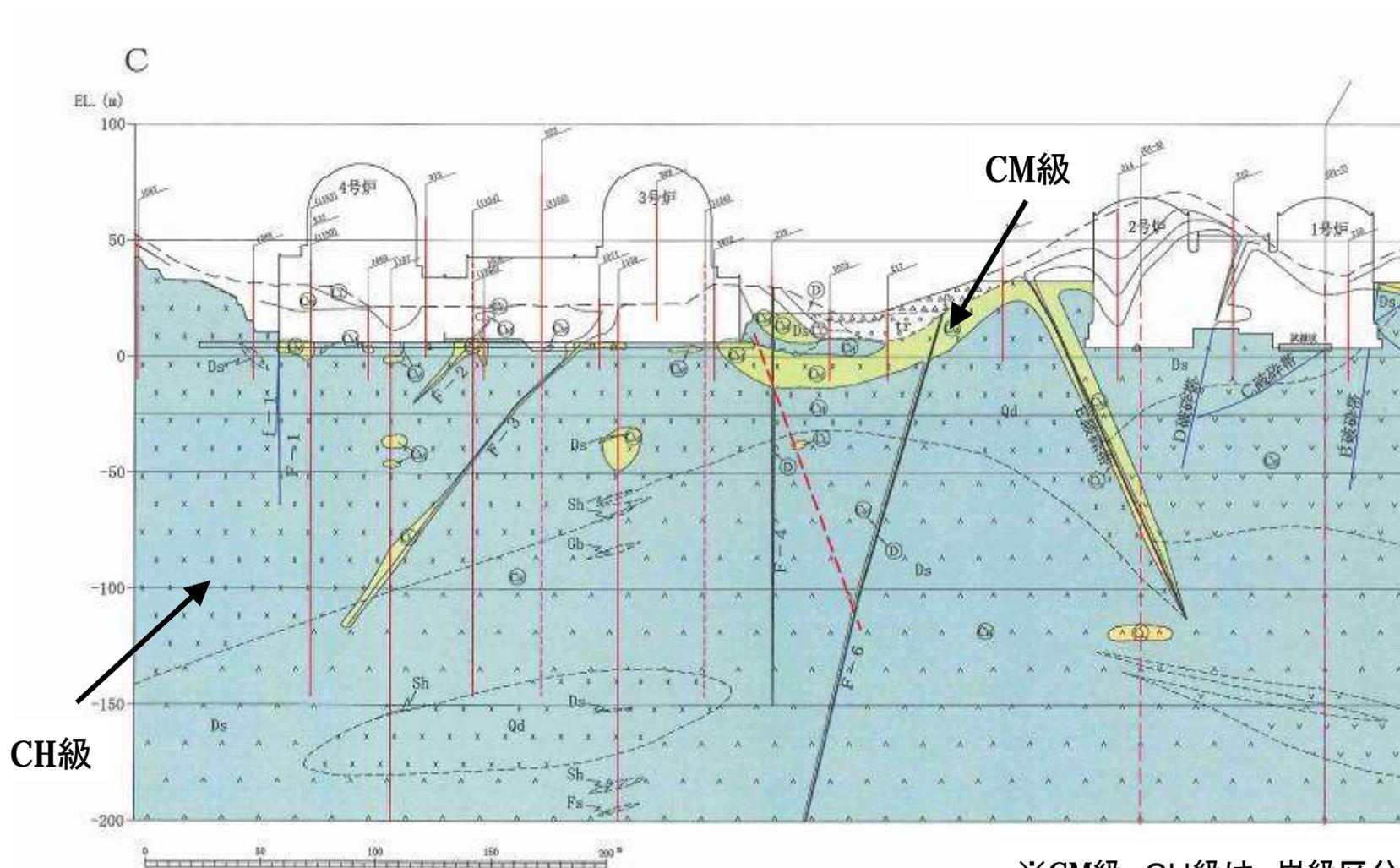
■敷地内での試掘坑弾性波探査より、解放基盤のS波速度を2.2km/sと評価した。



試掘坑内弾性波速度図(2) 枝坑

### 3. 地盤モデルの策定

■原子炉建屋基礎岩盤については、CM級以上の岩盤が基礎直下より確認されている。



3, 4号機直下の地質断面図

### 3. 地盤モデルの策定

---

- 敷地内のボーリングデータ、PS検層、試掘坑弾性波探査から、敷地浅部に $V_s=2.2\text{km/s}$ 程度の硬質な岩盤が広がっていることを確認。また、地質断面図から、原子炉建屋の基礎直下よりCM級以上の岩盤が確認されていることから、原子炉建屋設置位置付近のEL. 0mの位置に解放基盤表面を設定。

### 3. 地盤モデルの策定(減衰定数)

#### ■Vs2000m/s程度の岩盤の減衰定数の下限値と速度構造の不均質性に関する知見

##### ○佐藤(浩)・他(2007)による不均質性の統計的性質の推定方法

- a. 対象データとなる速度検層データ $V(z)$ に対して、(1)式をフィッティングすることにより深さ方向に増加する漸増(トレンド)成分( $V_0+V_1 \cdot z$ )を推定する。

$$V(z) = V_0 + V_1 \cdot z + x_0(z) \quad (1)$$

- b. 検層データから漸増成分を除去して $x_0(z)$ を求め、平均速度で無次元化することにより、速度構造の不均質(揺らぎ)のデータ $\xi(z)$ を抽出する。

$$\xi(z) = \frac{x_0(z)}{(V_0 + V_1 \cdot z)} \quad (2)$$

- c. 不均質データ $\xi(z)$ のパワースペクトル $P(k)$ を求め、 $P(k) \propto k^{-\alpha}$ を仮定したフィッティングから傾き $\alpha$ を求め、更にHurst指数 $\nu$ を次式(3)から求める。

$$n = \frac{\alpha - 1}{2} \quad (3)$$

- d. 不均質データ $\xi(z)$ の自己相関関数を求め、(4)式で示すフォンカルマン型の自己相関関数 $N(r)$ を仮定してフィッティングすることにより、標準偏差 $\varepsilon$ 、相関距離 $a$ を求める。なお、Hurst指数 $\nu$ については、c.で求めた値を用いる。

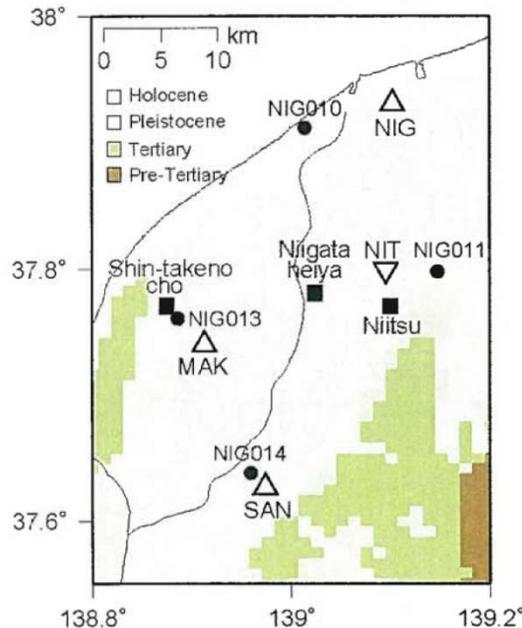
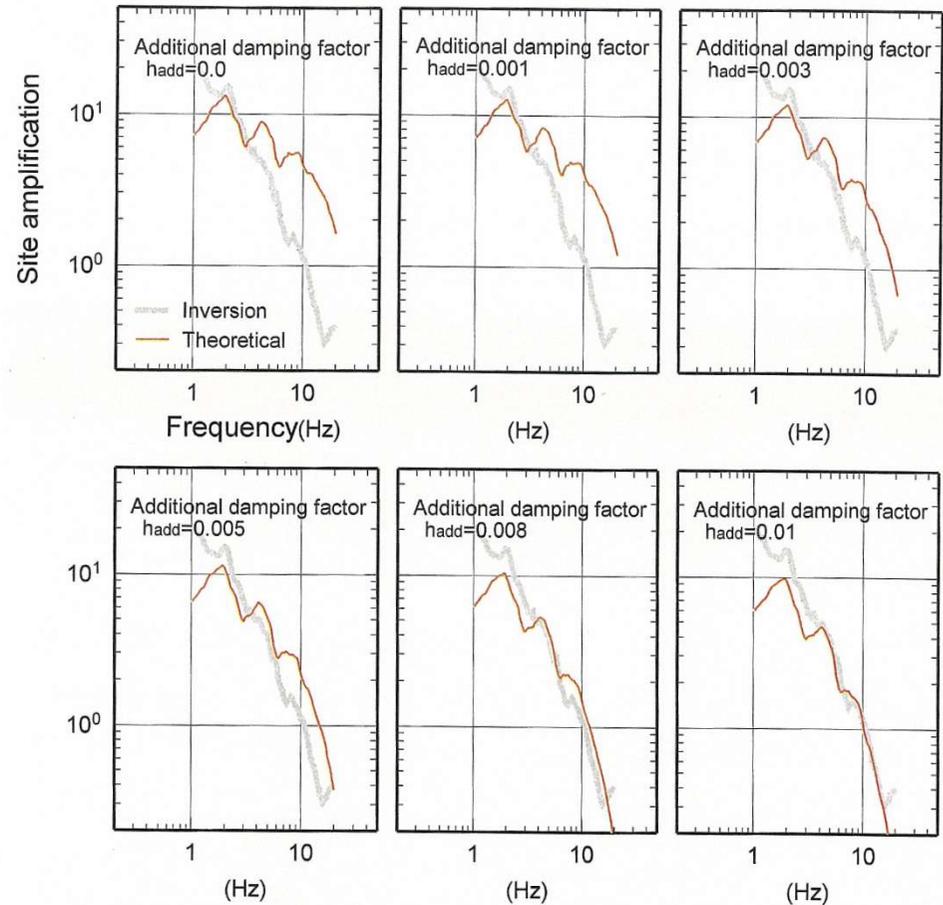
$$N(r) = \frac{e^2 2^{1-n}}{\Gamma(n)} \left( \frac{|r|}{a} \right)^n K_n \left( \frac{|r|}{a} \right) \quad (4)$$

ここに、 $r$ は相対的な距離、 $K_\nu$ は $\nu$ 次修正ベッセル関数、 $\Gamma$ はガンマ関数である。

# 3. 地盤モデルの策定(減衰定数)

## ■速度構造の不均質性と付加減衰に関する知見

- 佐藤(浩)(2009)では、速度構造の不均質性が地震波の減衰の要因の一つであることが指摘されていることから、新潟平野や関東平野の検層結果から求めた不均質強度と減衰定数の関係にも着目している。
- これによると、新潟平野地域の4地点におけるサイト増幅特性について、理論サイト増幅特性に速度構造の不均質性とそれと等価な効果をもたらす減衰定数の付加値を考慮すると、経験的サイト増幅特性と調和的なレベルとなるように改善されるとしている。



佐藤(浩)(2009)で対象とした石油公団による基礎試錐(■)、微動アレイ観測点(△)および地震観測点(●)の位置

NIG014における経験的サイト増幅特性(灰太線)と表層地盤を考慮したSANの深部地盤モデルの減衰定数を変化させたときの理論サイト増幅特性(赤線)の比較

※図は佐藤(浩)(2009)より抜粋

### 3. 地盤モデルの策定(減衰定数)

#### ■速度構造の不均質性と付加減衰に関する知見(続き)

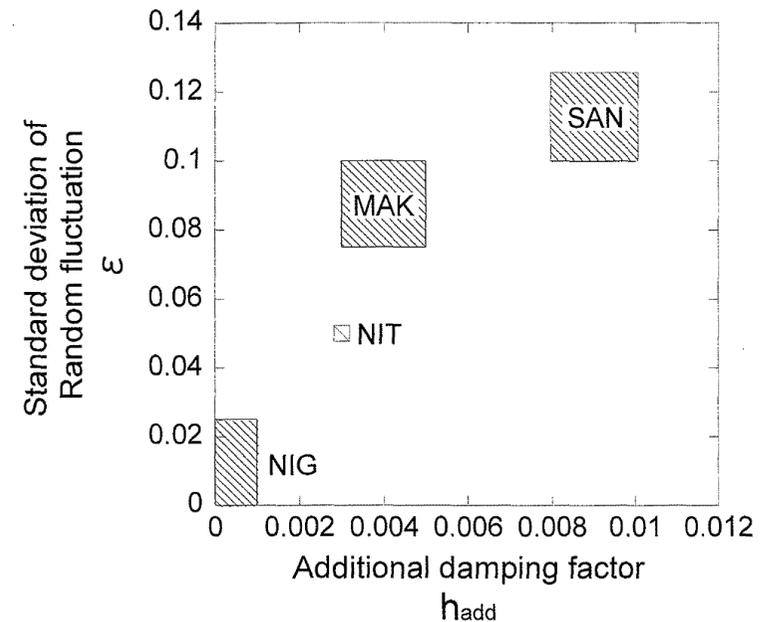
○また、不均質データの標準偏差  $\varepsilon$  が不均質強度を支配しており、平均的な減衰定数に対して付加すべき減衰定数とその地点で考慮すべき不均質強度は比例するとしている。

広帯域のサイト増幅特性で考慮すべき  
不均質性の標準偏差(強度)の目安

	NIG (NIG010)	NIT (NIG011)	MAK (NIG013)	SAN (NIG014)
Standard deviation $\varepsilon$	0 ~ 0.025	0.05	0.075 ~ 0.1	0.1 ~ 0.125

広帯域のサイト増幅特性で考慮すべき  
減衰定数の付加量

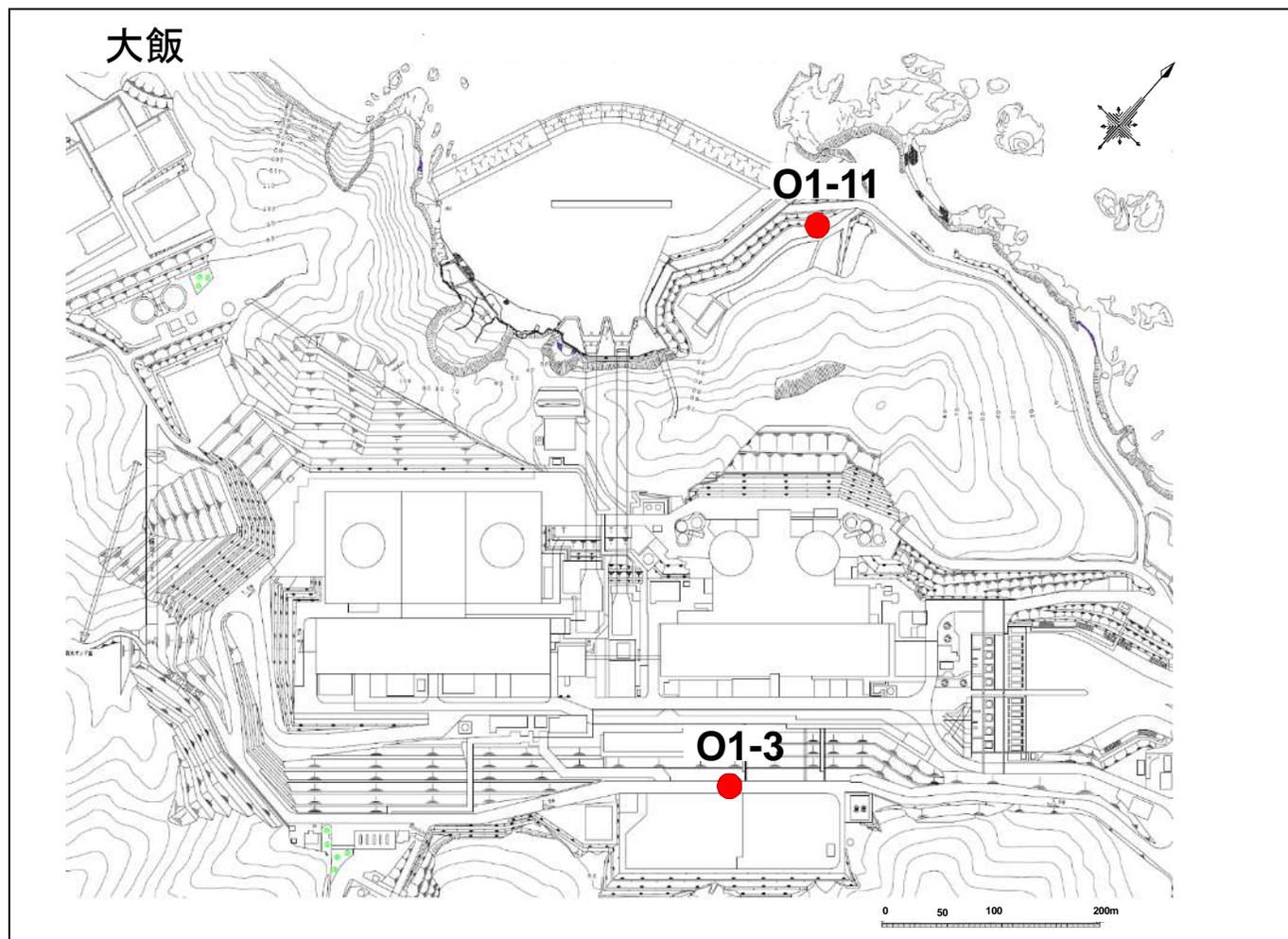
	NIG (NIG010)	NIT (NIG011)	MAK (NIG013)	SAN (NIG014)
Additional damping factor $h_{add}$	0 ~ 0.001	0.003	0.003 ~ 0.005	0.008 ~ 0.01



新潟平野地域での広帯域のサイト増幅特性評価において、考慮すべき深部地盤の不均質性強度(標準偏差  $\varepsilon$ )とそれと等価な効果をもたらす減衰定数の付加量  $h_{add}$  の関係

### 3. 地盤モデルの策定(減衰定数)

- 地盤の速度構造の不均質性と減衰定数の関係について着目し、不均質強度を検討し、浅部(深さ200m以浅)の地盤の減衰定数を評価。

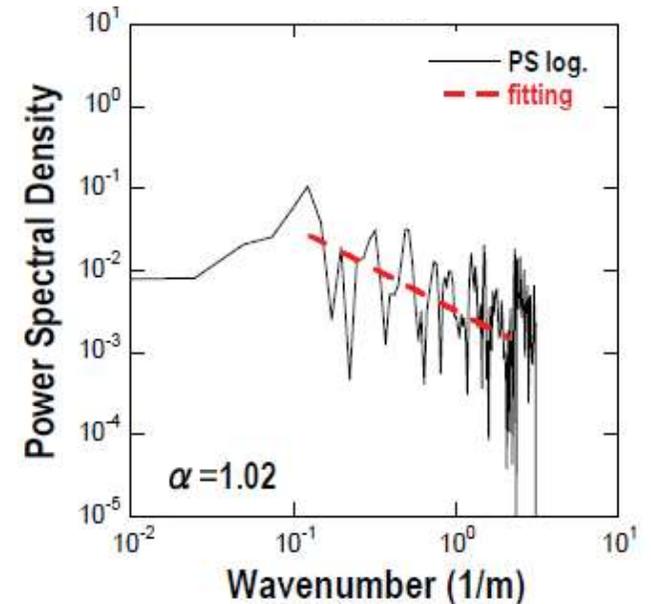


● : 不均質強度検討に使用したPS検層孔

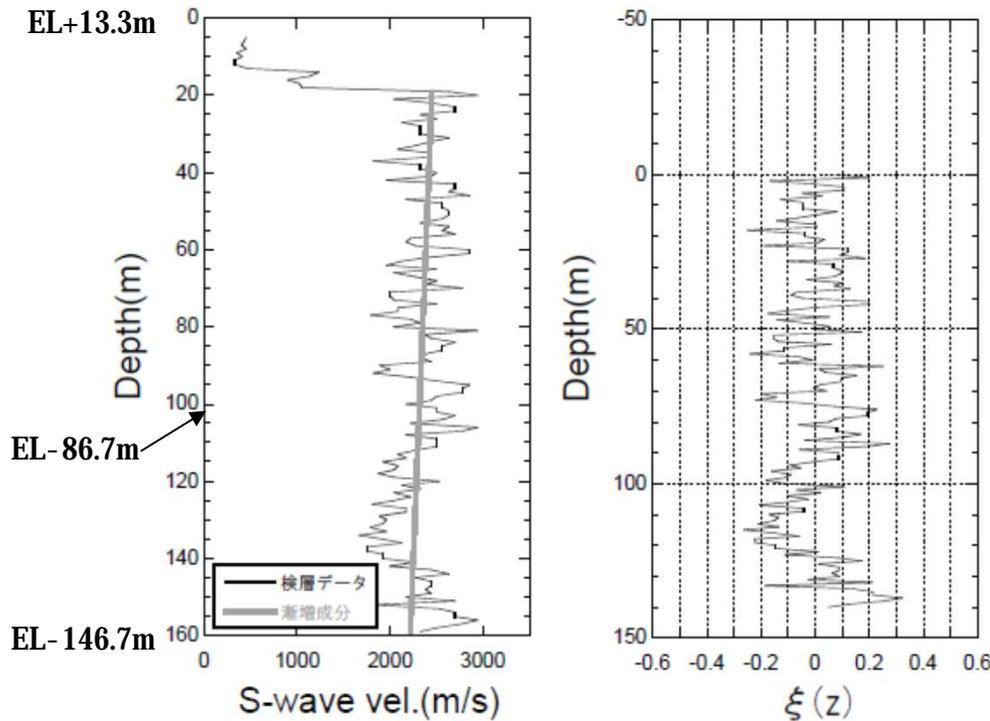
# 3. 地盤モデルの策定(減衰定数)

大飯発電所(○1-11孔)のPS 検層(S波速度)による不均質性の統計的性質の推定結果

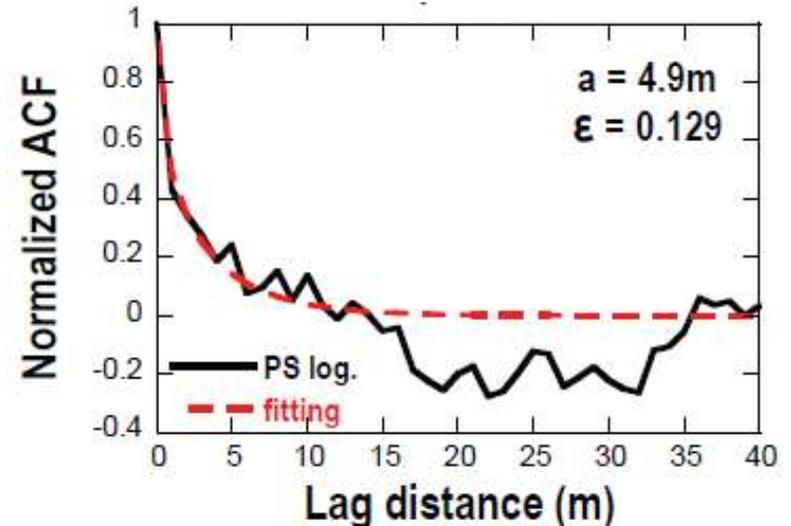
対象データ範囲(m)	平均S波速度(km/s)	漸増成分の傾き(1/s)	相関距離a(m)	Hurst指数 $\nu$	標準偏差 $\epsilon$
GL-19 ~ -159	2.34	-1.67	4.9	0.21	0.129



不均質データのパワースペクトルとフィッティング結果



検層データに対するフィッティング結果(左)と抽出された不均質データ $\xi(z)$ (右)  
(孔口標高EL+13.3m)

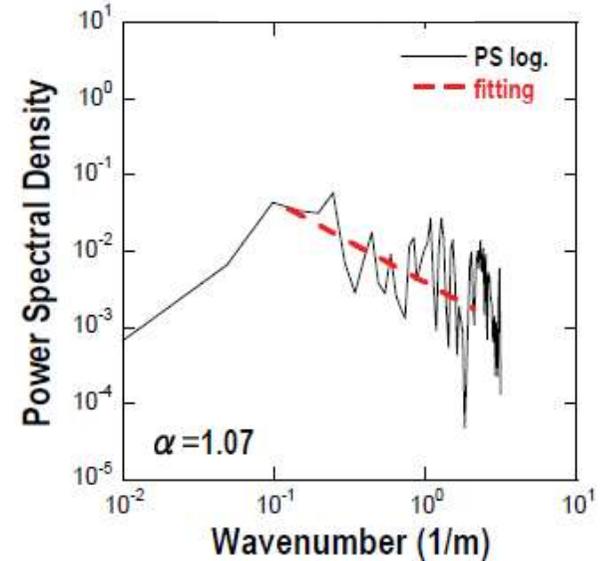


不均質データの自己相関関数とフィッティング結果

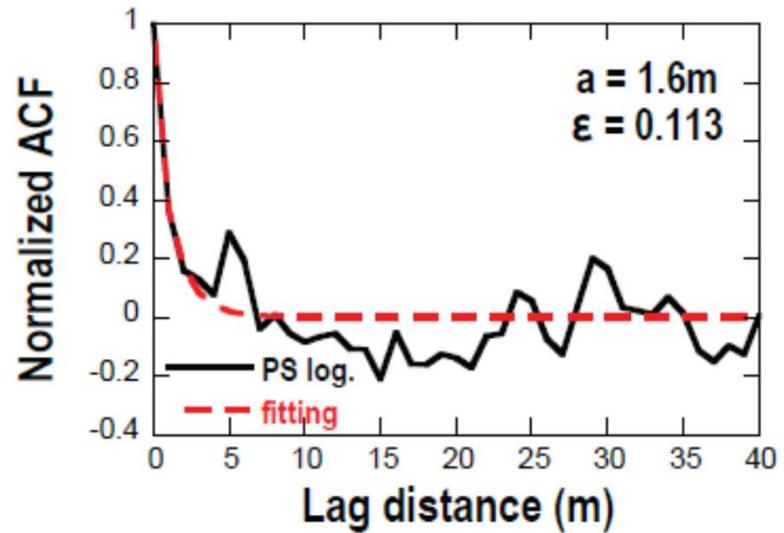
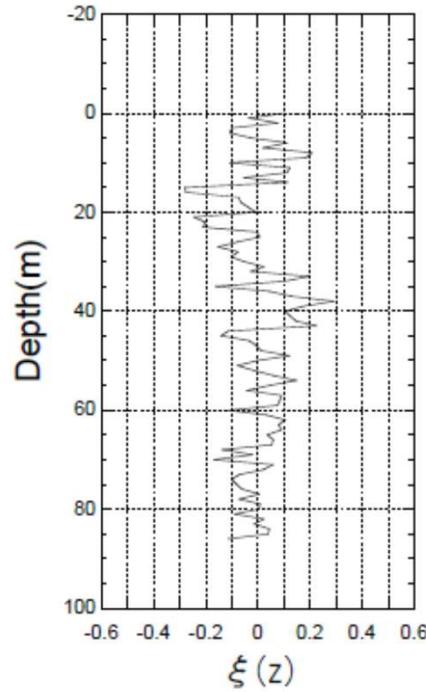
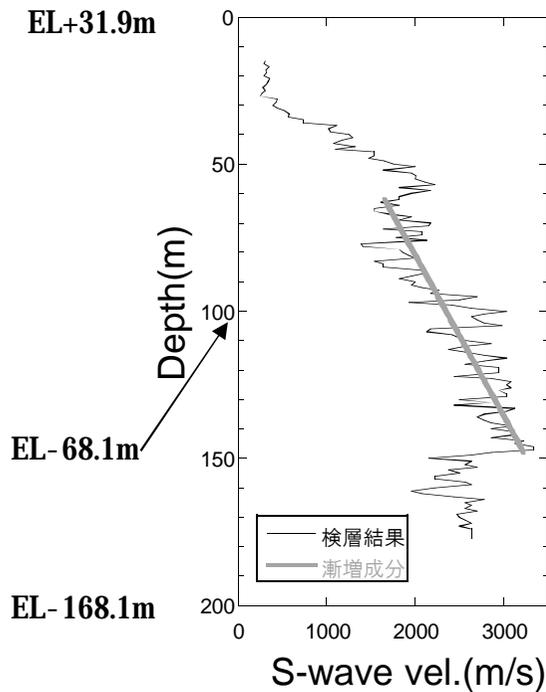
# 3. 地盤モデルの策定(減衰定数)

大飯発電所(O1-3孔)のPS 検層(S 波速度)による不均質性の統計的性質の推定結果

対象データ範囲(m)	平均S波速度(km/s)	漸増成分の傾き(1/s)	相関距離a(m)	Hurst指数 $\nu$	標準偏差 $\epsilon$
GL-62 ~ -148	2.44	18.29	1.6	0.21	0.113



不均質データのパワースペクトルとフィッティング結果



不均質データの自己相関関数とフィッティング結果

検層データに対するフィッティング結果(左)と(孔口標高EL+31.9m) 抽出された不均質データ $\xi(z)$ (右)

### 3. 地盤モデルの策定(減衰定数)

#### ■速度構造の不均質性と付加減衰に関する考察

○不均質強度(標準偏差)は0.11~0.13程度であり、佐藤・山中(2010)の指標を参考にすると、大きめの数字である。

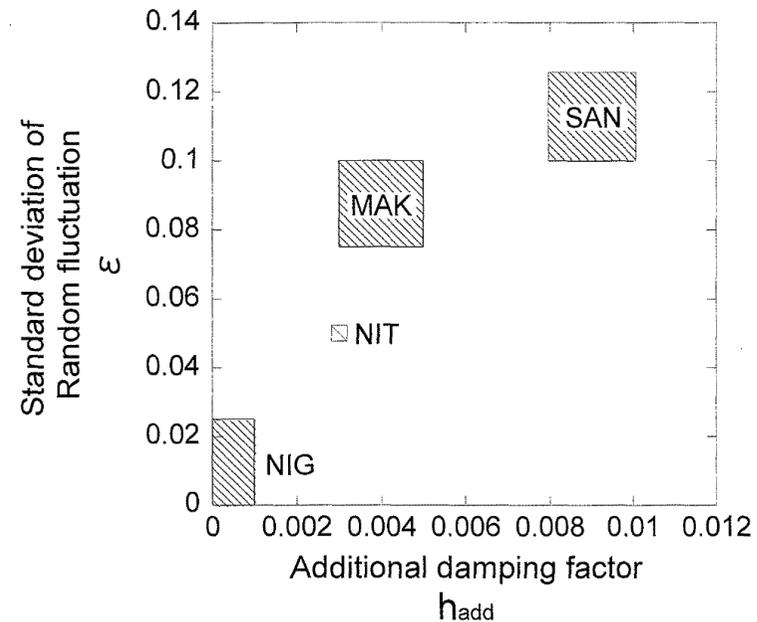
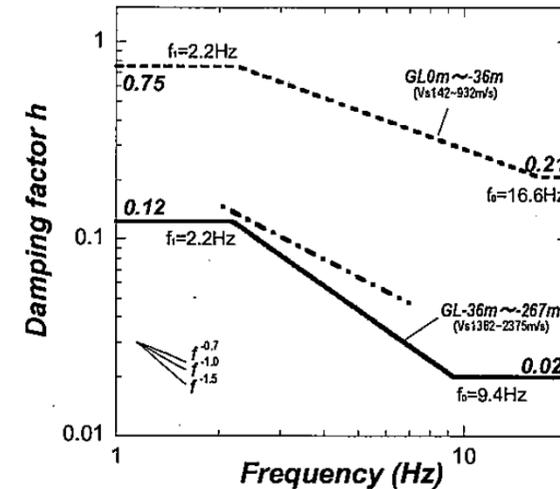
○佐藤・他(2007)による同等の速度構造の減衰定数の下限値と合わせて考えると表層の減衰定数は3%程度と考えられる。

広帯域のサイト増幅特性で考慮すべき  
不均質性の標準偏差(強度)の目安

	NIG (NIG010)	NIT (NIG011)	MAK (NIG013)	SAN (NIG014)
Standard deviation $\varepsilon$	0 ~ 0.025	0.05	0.075 ~ 0.1	0.1 ~ 0.125

広帯域のサイト増幅特性で考慮すべき  
減衰定数の付加量

	NIG (NIG010)	NIT (NIG011)	MAK (NIG013)	SAN (NIG014)
Additional damping factor $h_{add}$	0 ~ 0.001	0.003	0.003 ~ 0.005	0.008 ~ 0.01

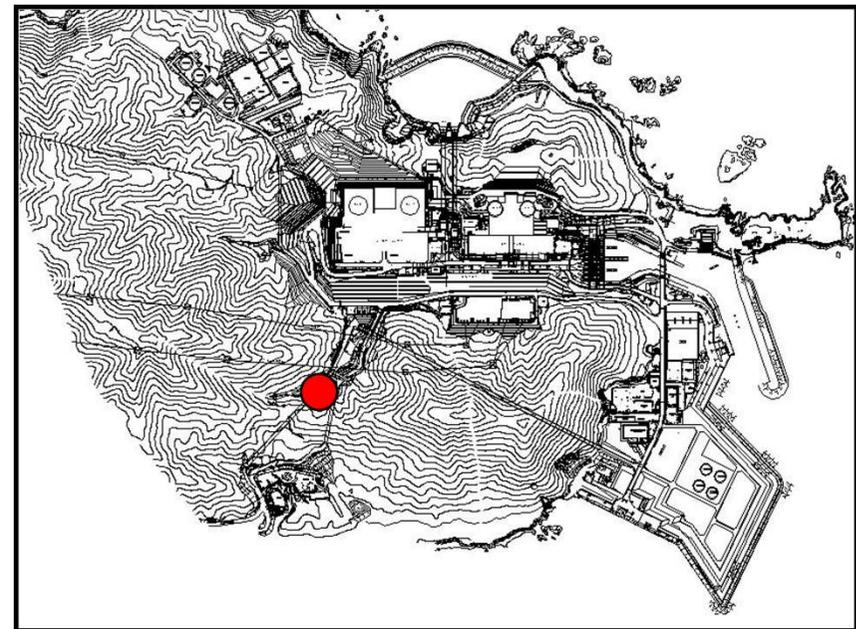
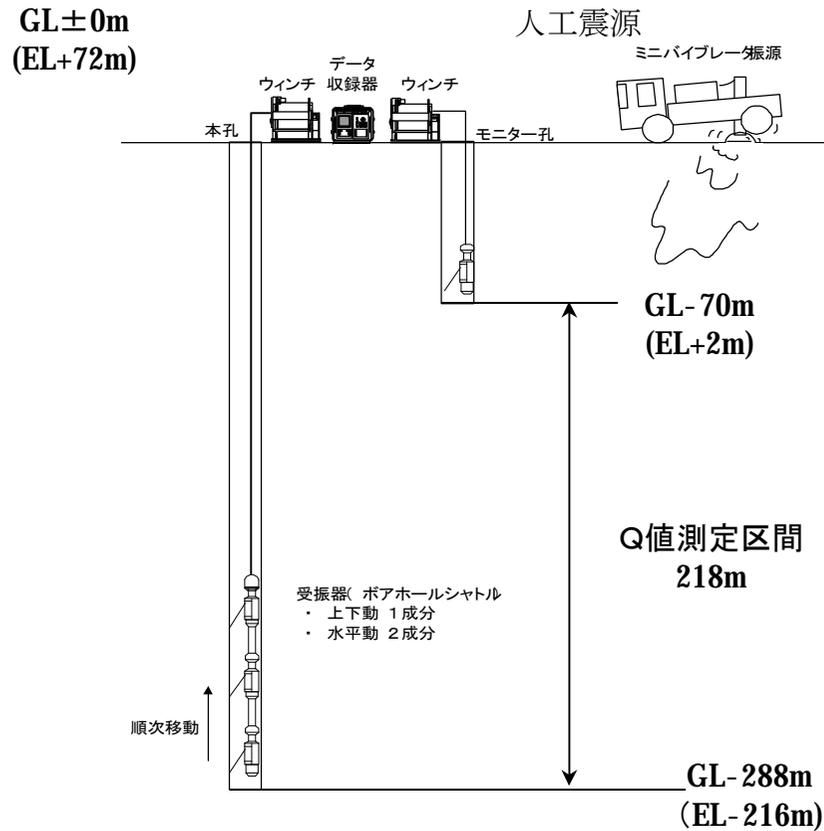


新潟平野地域での広帯域のサイト増幅特性評価において、考慮すべき深部地盤の不均質性強度(標準偏差  $\varepsilon$ )とそれと等価な効果をもたらす減衰定数の付加量  $h_{add}$  の関係

### 3. 地盤モデルの策定(減衰定数)

#### ■ 敷地浅部の地盤構造について(ボーリング孔を用いたQ値測定)

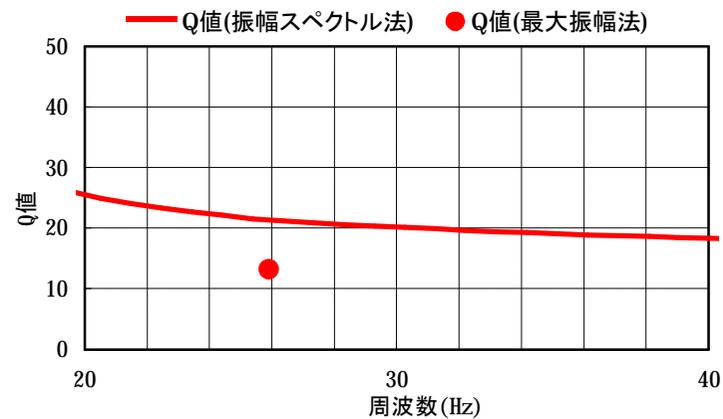
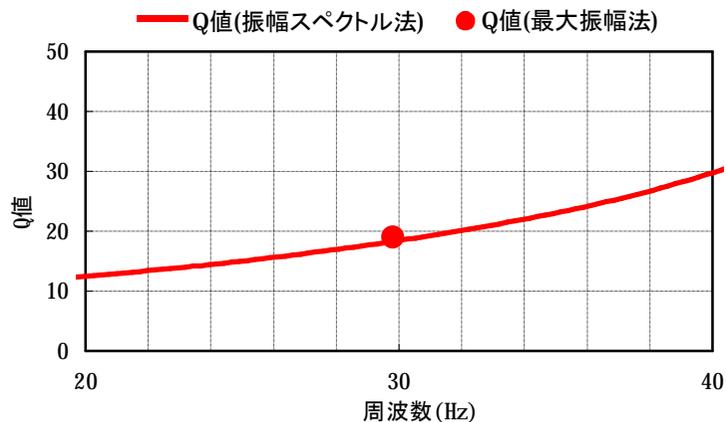
ボーリング孔を用いて、ミニバイブおよび板叩き起振によるQ値測定を実施。



測定位置

# 3. 地盤モデルの策定(減衰定数)

敷地浅部の地盤構造について(Q値測定結果)



S波・ミニバイブレータ

S波・板たたき

波種	起振源	解析深度区間 (m)	卓越周波数 (Hz)	Q値 (減衰定数%)
S波	ミニバイブレータ	42~70	30.2	15.78(3.17)
		70~288	29.8	19.05(2.62)
	板たたき	42~70	29.7	7.42(6.74)
		70~288	25.9	13.21(3.79)

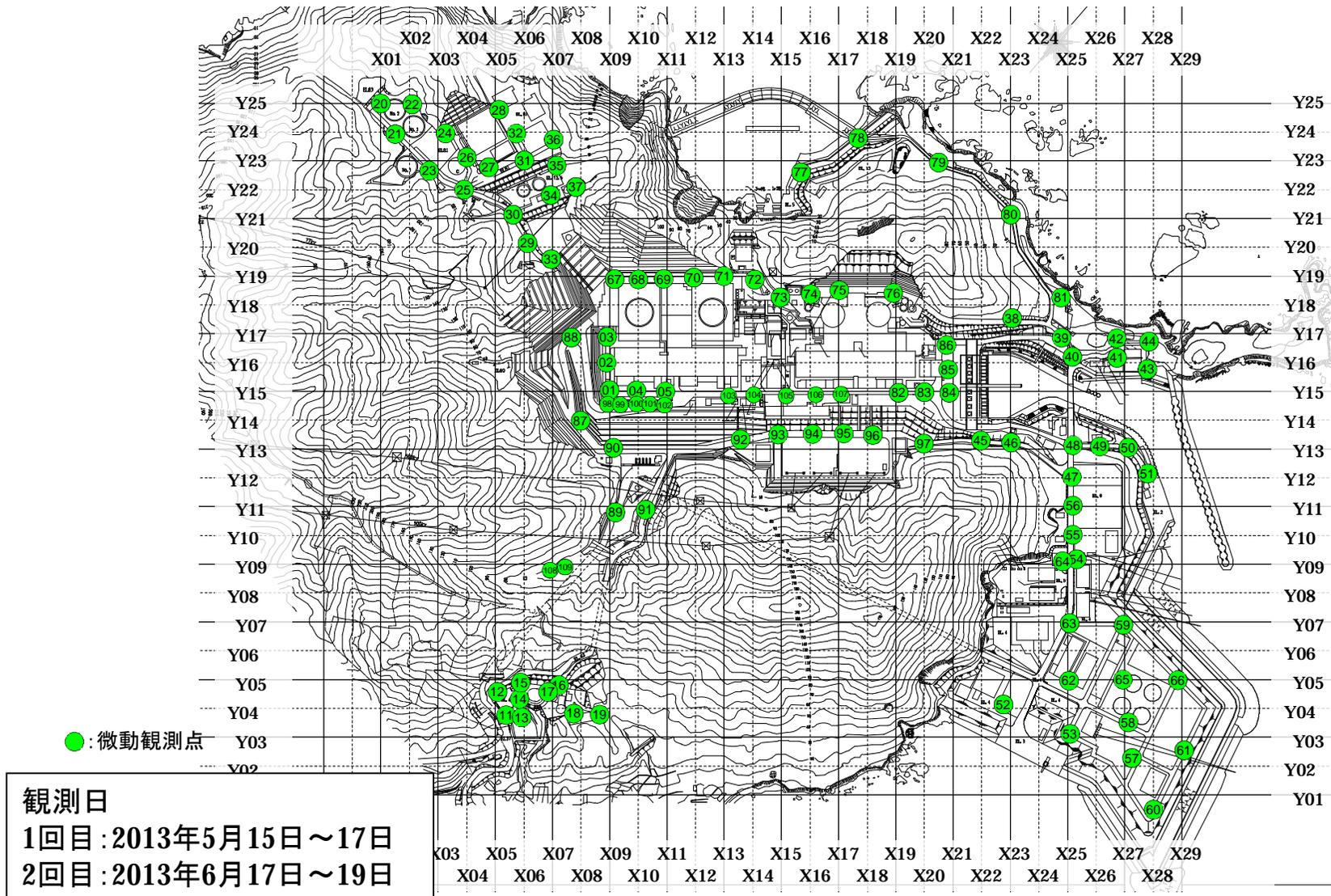
### 3. 地盤モデルの策定(減衰定数)

---

- 佐藤・他(2007)、佐藤・山中(2010)の知見を基に、敷地内のPS検層結果から速度構造の不均質性と減衰定数の関係について着目して不均質強度を評価した結果から減衰定数は3%程度と考えられる。
  - 敷地内でのQ値測定を実施した結果、減衰定数は約3%程度以上となっている。
- ⇒浅部の減衰定数を3%とする。

### 3. 地盤モデルの策定(単点微動観測)

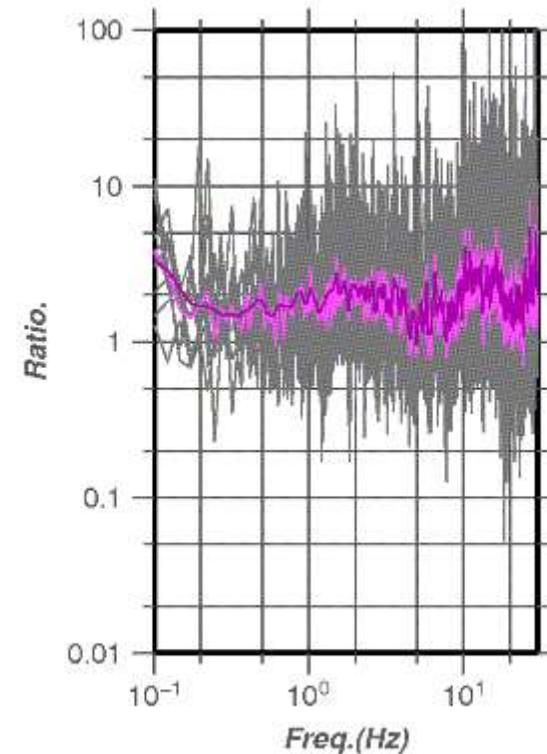
■大飯発電所敷地内において、約50m間隔の微動観測を実施してH/Vスペクトルを評価し、敷地内における空間変動を評価した。



### 3. 地盤モデルの策定(単点微動観測)

#### ■H/Vスペクトルの算定方法

- ①微動観測は1地点につき15分間とする。
- ②観測波形から目視によりノイズの影響の小さい区間を複数選択し、データセットを作成する。  
1区間のデータ長は40.96秒とし、データセット数は10区間程度とする。
- ③各区間ごとにフーリエ変換を実施してH/Vスペクトル比を算定し、周波数領域で平均スペクトルを算出する。  
さらに、得られた平均スペクトルに対して幅0.1HzのParzenウィンドウで平滑化を行う。  
なお、H(水平成分)スペクトルは、2方向のベクトル和としたものとする。
- ④ H/Vスペクトルの評価においては、信頼性の観点から、1Hz～数Hzの周波数範囲に着目して評価を行う。

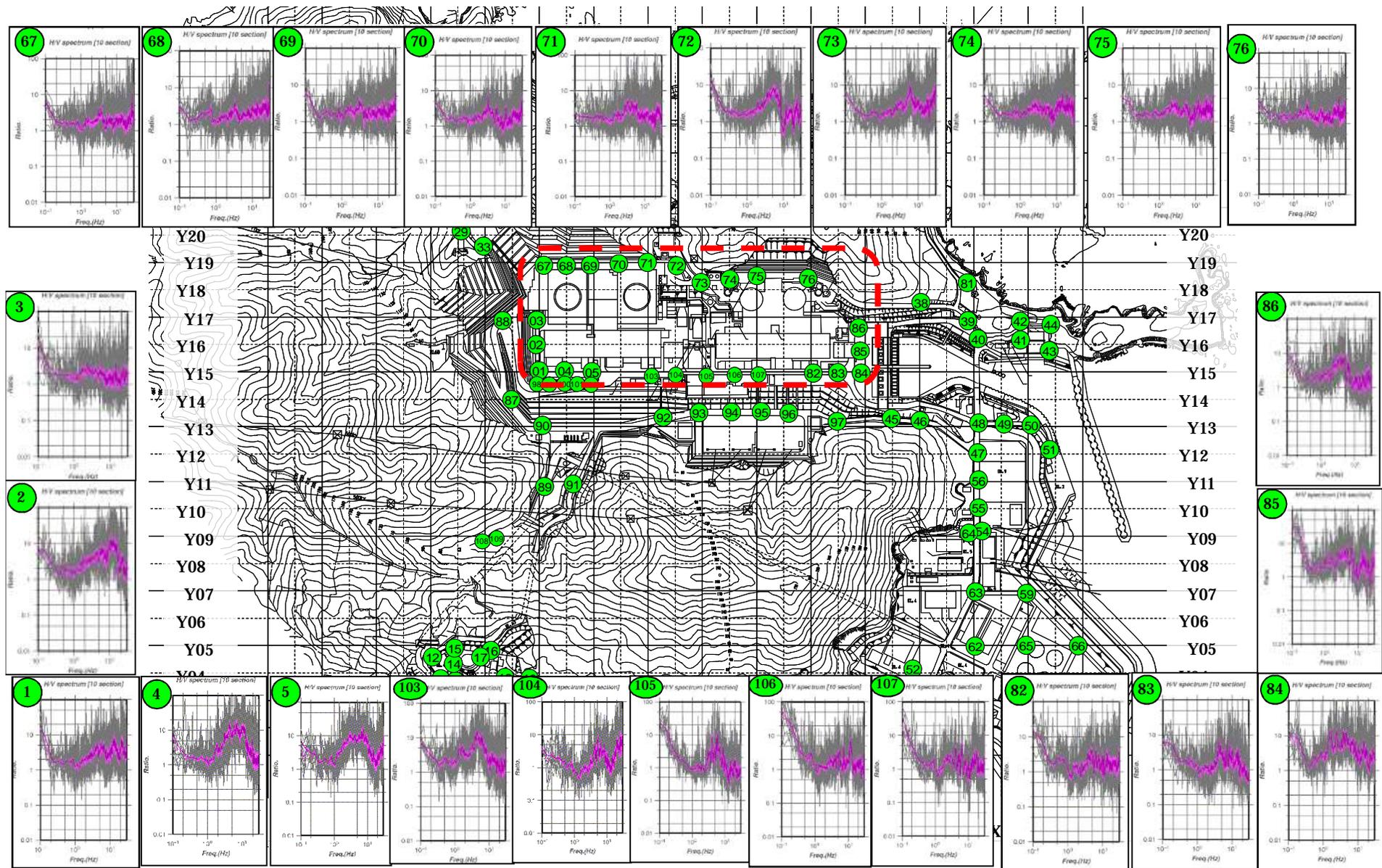


灰色:各区間のH/Vスペクトル比  
薄紫:平均H/Vスペクトル比  
紫色:平滑化されたH/Vスペクトル比

H/Vスペクトル比の例

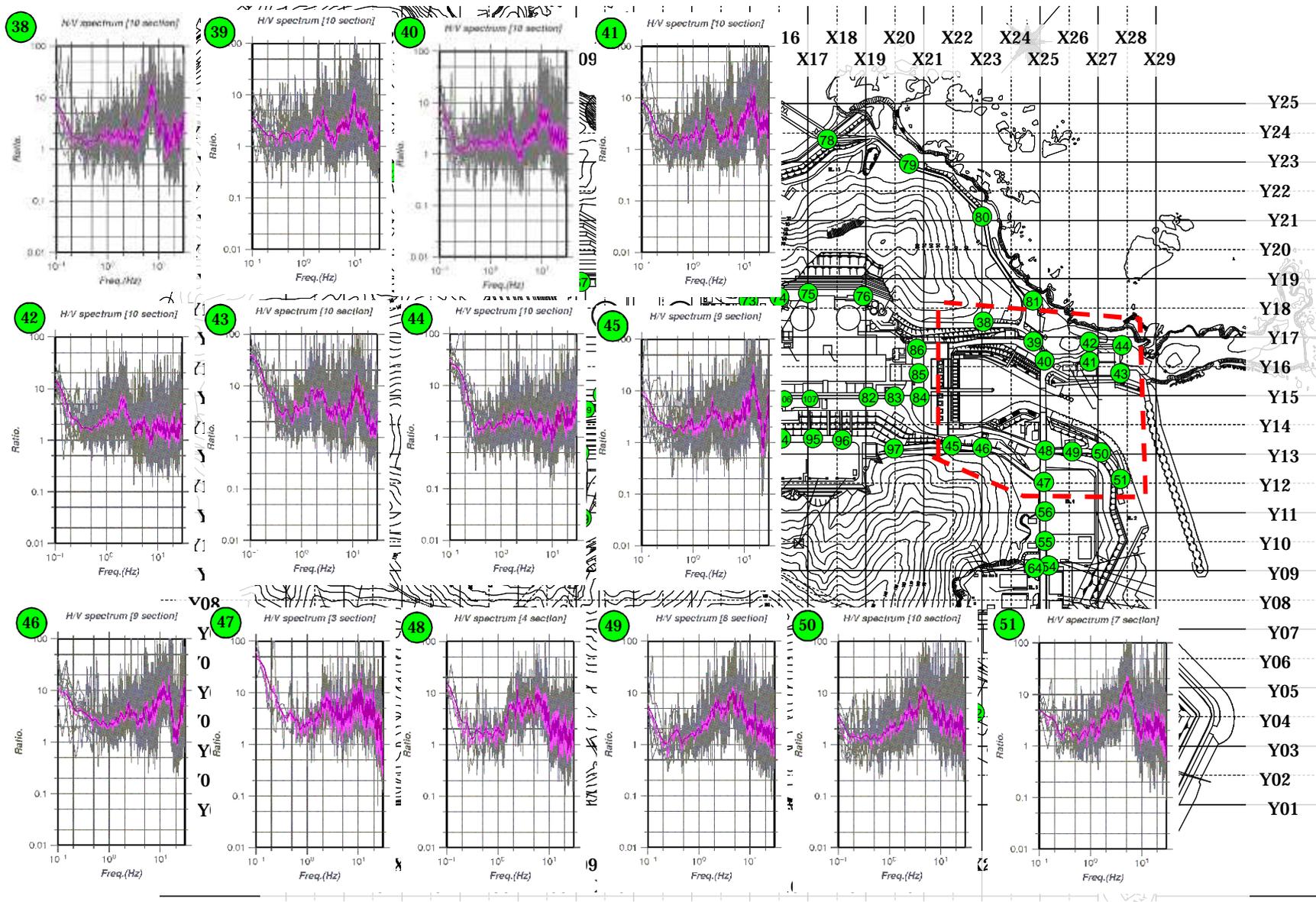
# 3. 地盤モデルの策定(単点微動観測)

## ■原子炉建屋周辺観測点のH/Vスペクトル分布



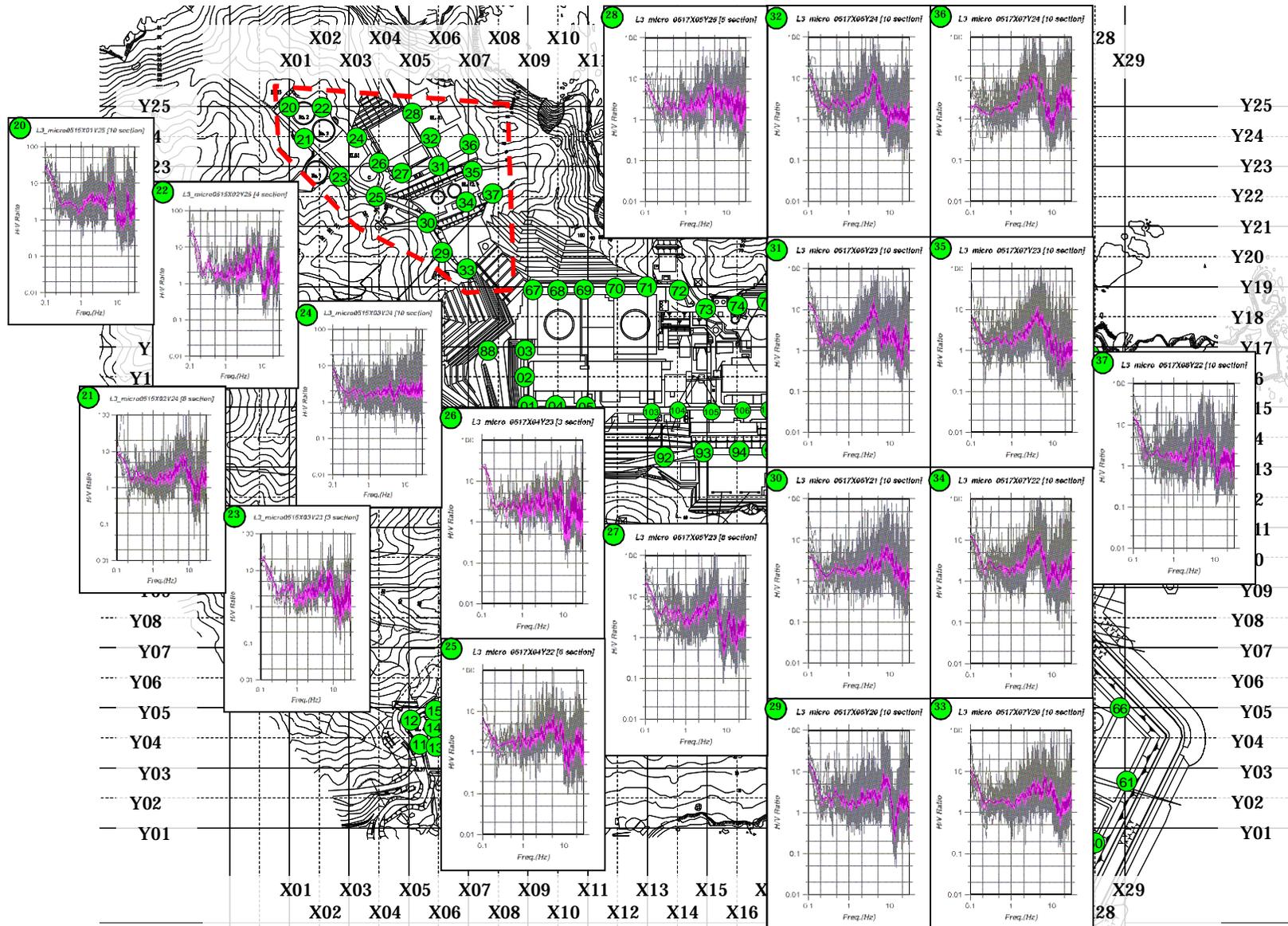
# 3. 地盤モデルの策定(単点微動観測)

## ■ 取水口周辺観測点のH/Vスペクトル分布



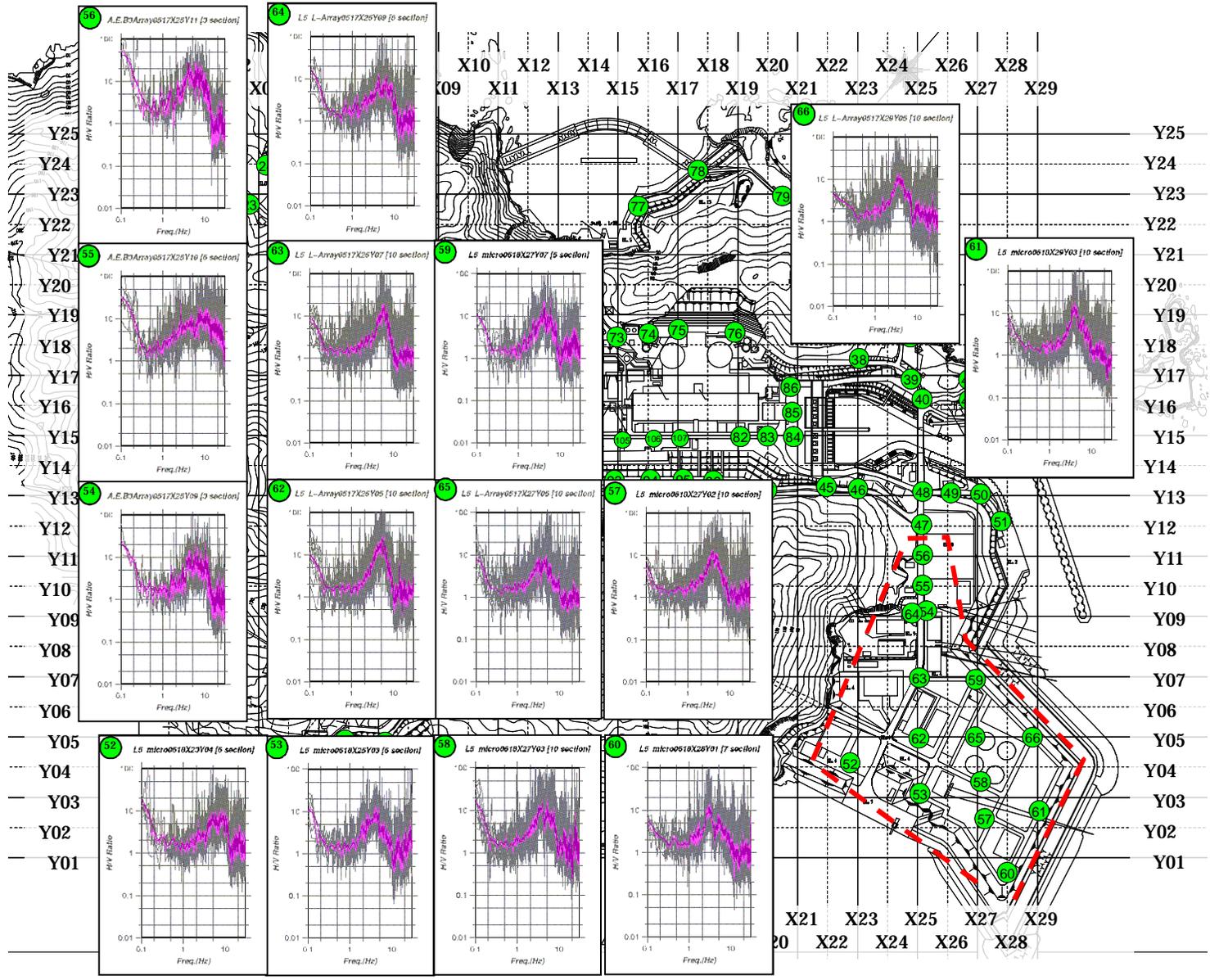
# 3. 地盤モデルの策定(単点微動観測)

## ■敷地西側エリアのH/Vスペクトル分布



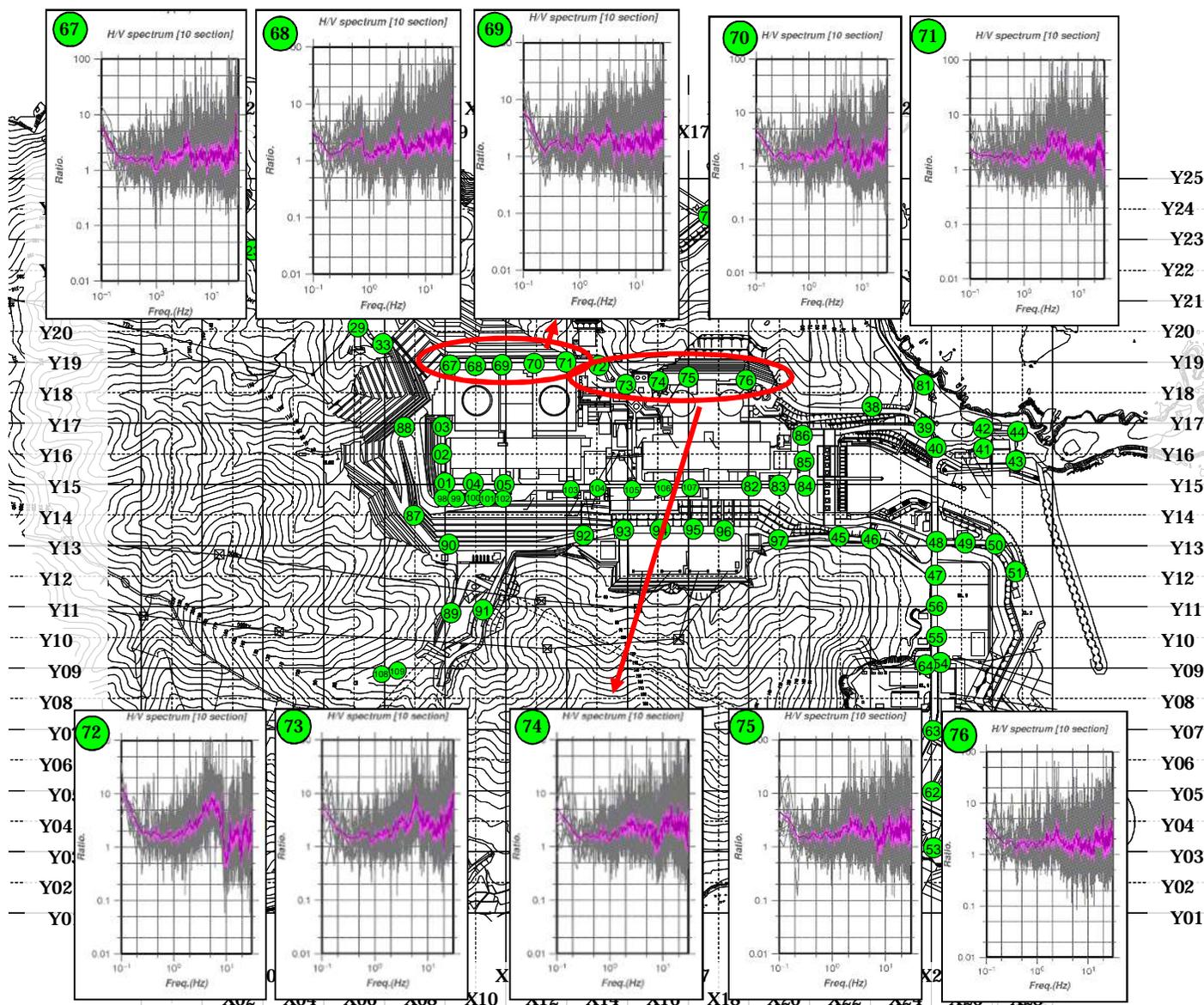
# 3. 地盤モデルの策定(単点微動観測)

## ■敷地東側エリアのH/Vスペクトル分布



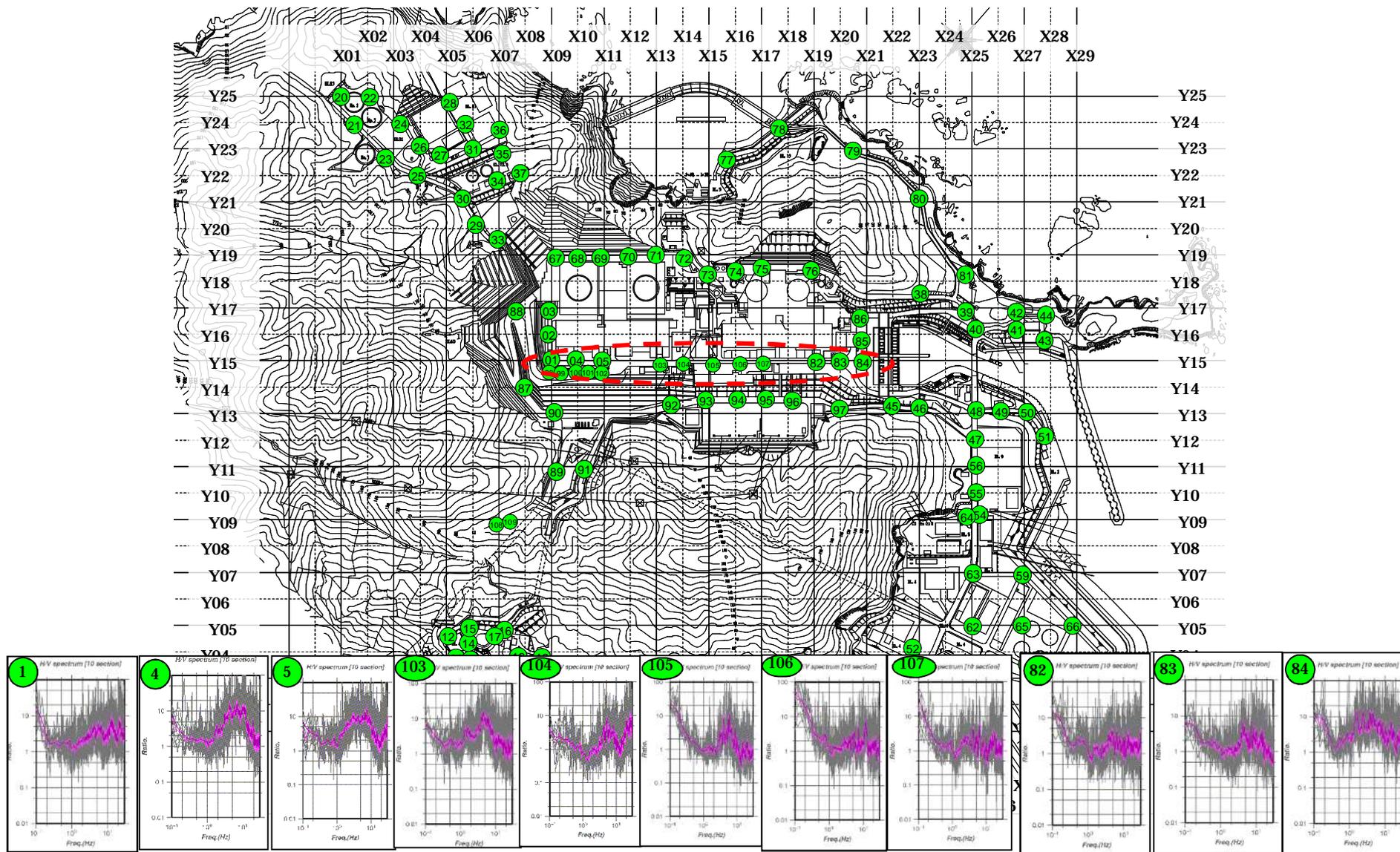
### 3. 地盤モデルの策定(単点微動観測)

■背面道路では、72,73地点を除き、フラットなスペクトルであり特異なピークは見られない。



# 3. 地盤モデルの策定(単点微動観測)

■ 前面道路上の観測点では、埋戻し土・埋設構造物等によるものと思われるピークが見られる。



### 3. 地盤モデルの策定(単点微動観測)

#### ■2層地盤によるH/Vスペクトルの同定手順

##### ①2層地盤の仮定

第1層のVs・Vpは、敷地内の各ボーリング孔のPS  
検層結果から、表層の埋土部分の平均値を用いる。  
(Vs=472m/s、Vp=1124m/s)

第2層のVsは2200m/sとする。

密度ρと第2層のVpは、以下の経験式により算定する。

$$Vp=1.29+1.11Vs$$

$$\rho=1.2475+0.399Vp-0.026Vp^2$$

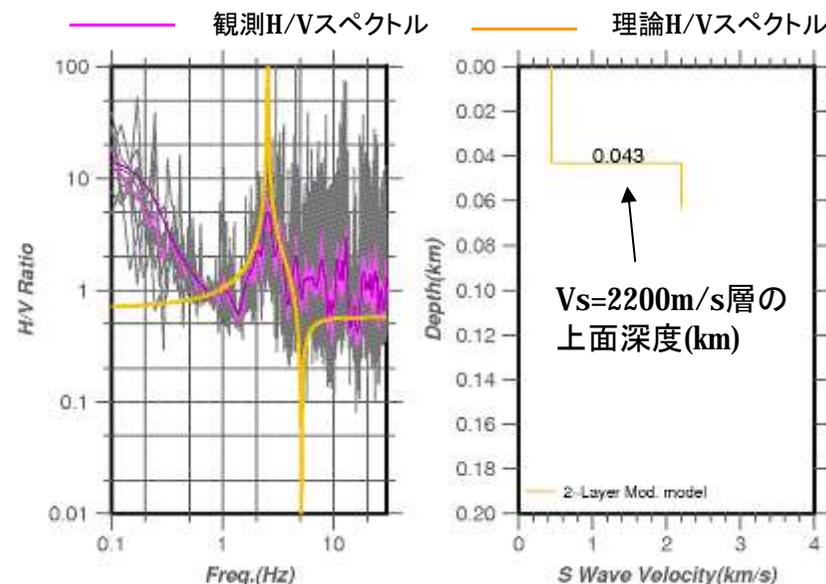
##### ②観測H/Vスペクトルのピーク周波数の読み取り

微動のH/Vスペクトルから、1Hz～10HzでH/Vスペクトルが最大となる周波数を読み取る

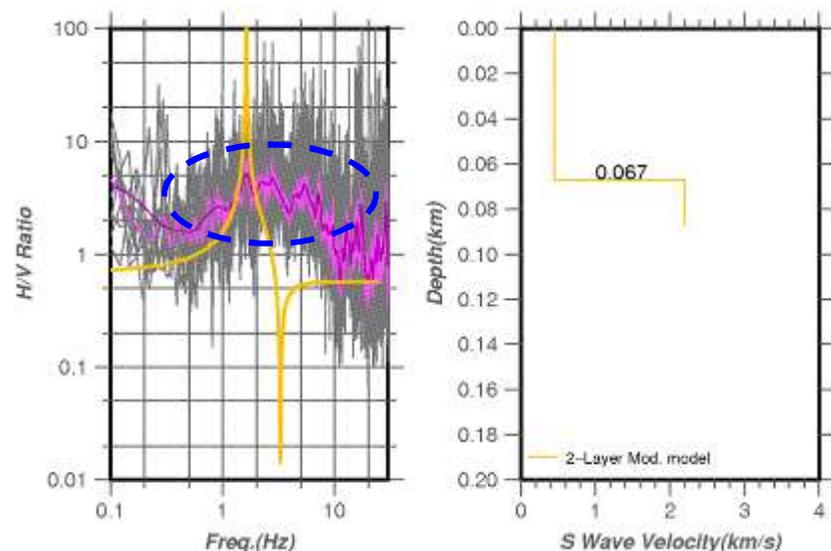
##### ③H/Vスペクトルの同定

①の物性値から算定した理論H/Vのピーク周波数が、  
②で求めた観測H/Vのピーク周波数と一致するように、  
第1層の層厚を求める。

※なお、1Hz～10Hzに明瞭なピークが見られるもの  
のみを対象とする。



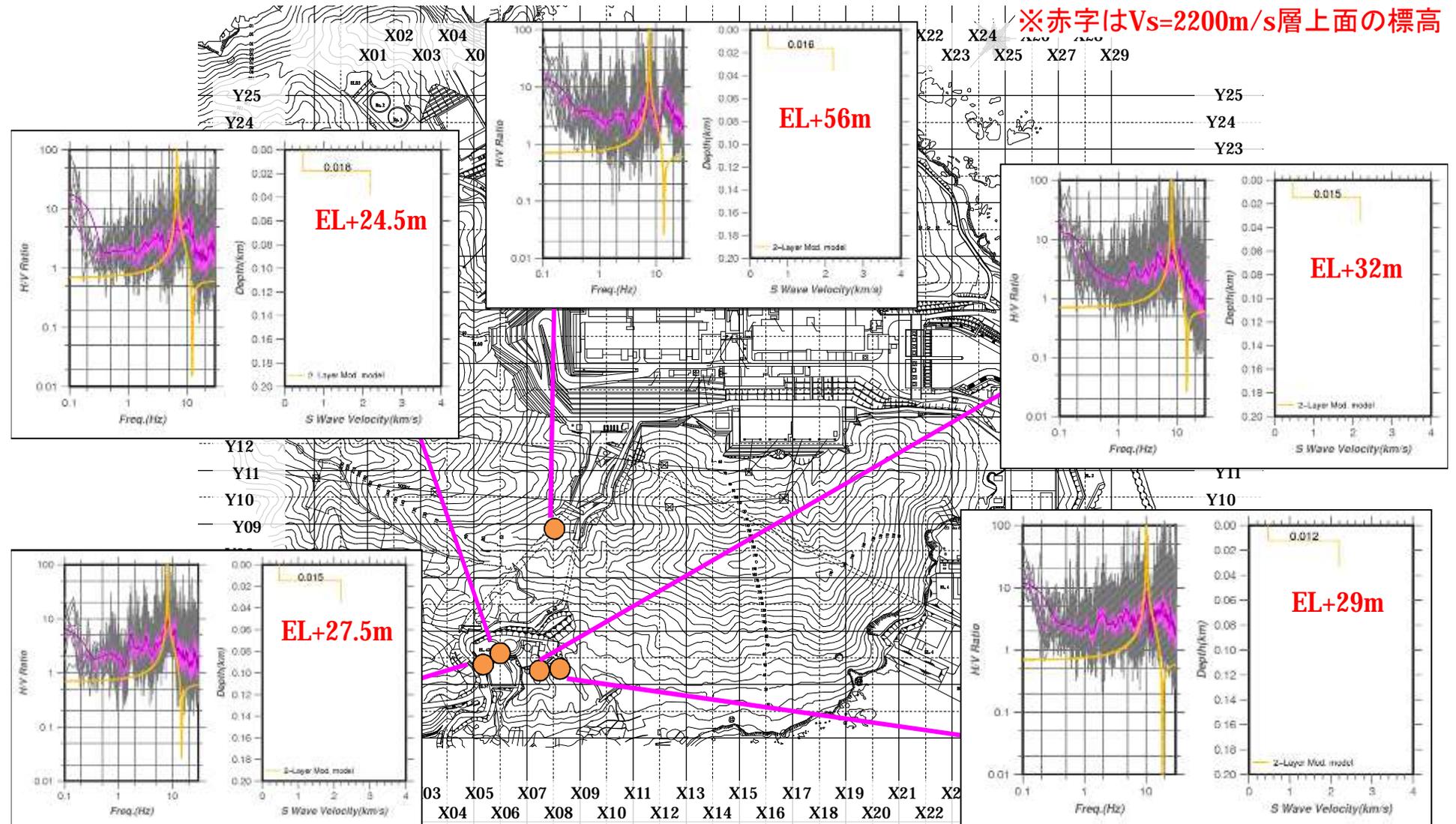
明瞭なピークが見られる場合のH/Vスペクトル



明瞭なピークが見られない場合のH/Vスペクトル

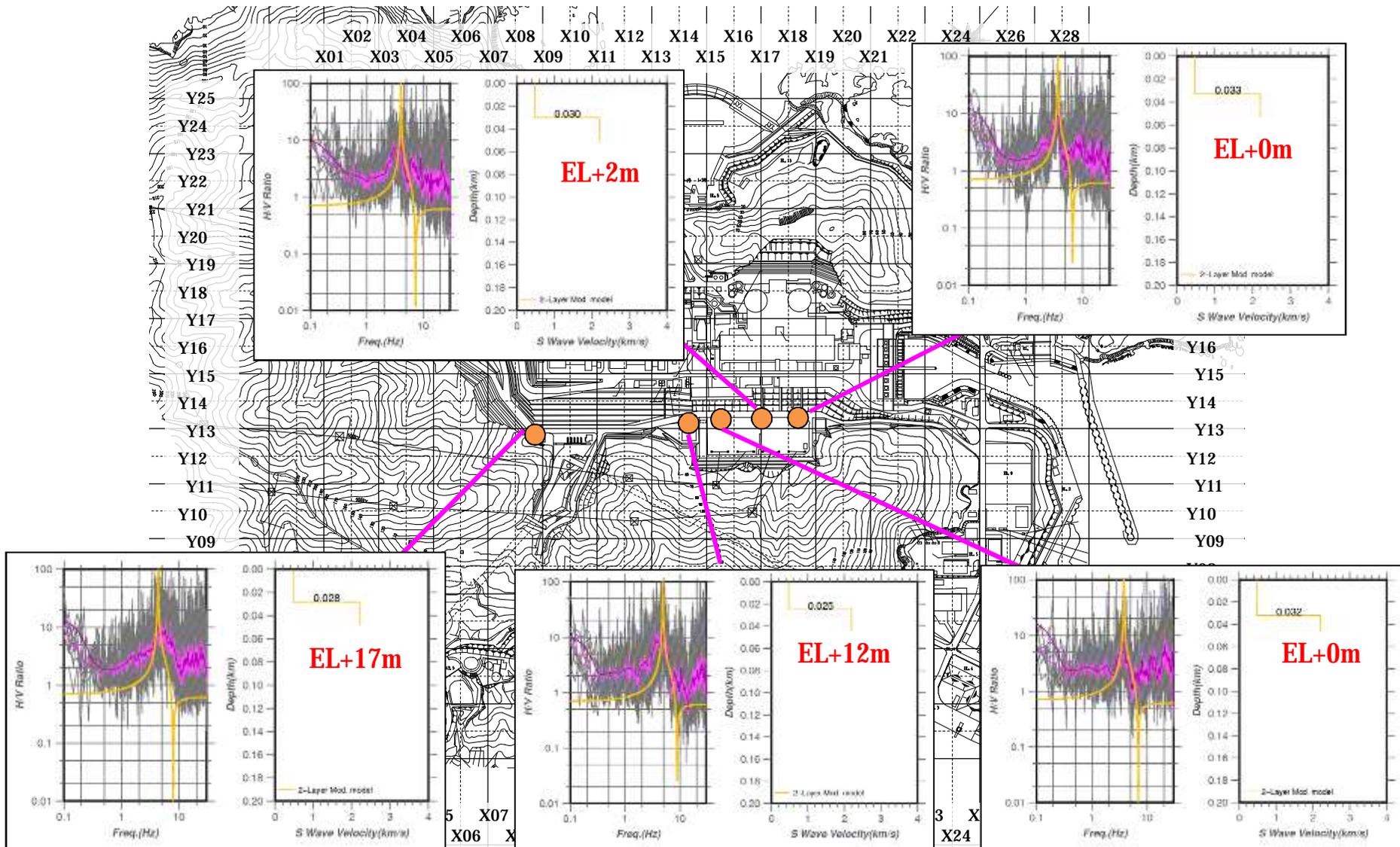
# 3. 地盤モデルの策定(単点微動観測)

■PR館では、約5~10Hz付近にH/Vスペクトルのピークがあり、概ね深さ10~20m付近(標高に換算するとEL+25~60m程度)にVs=2,200m/s層の上面が推定される。



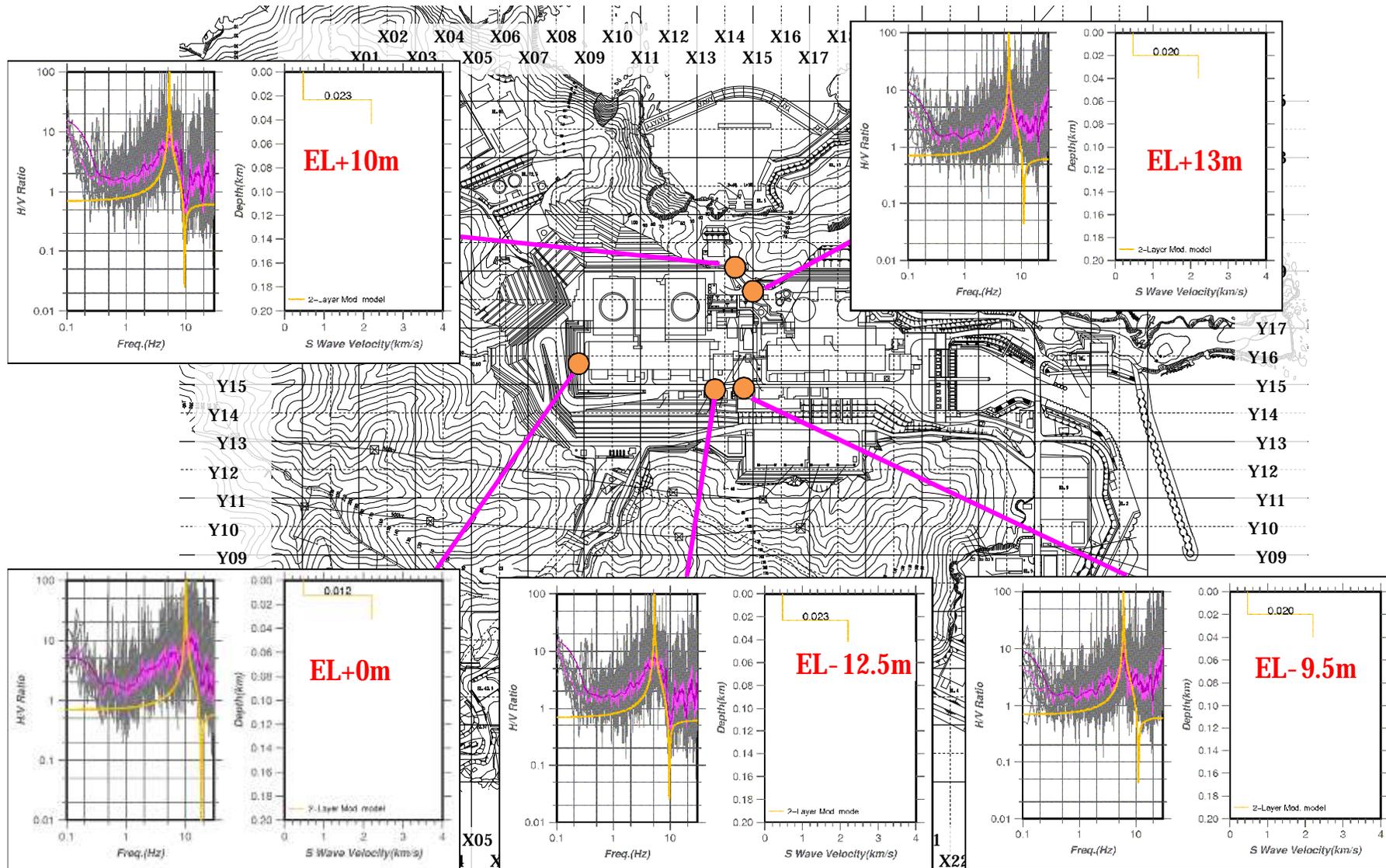
# 3. 地盤モデルの策定(単点微動観測)

■正門前道路では、約5Hz付近にH/Vスペクトルのピークがあり、概ね深さ20~30m付近(標高に換算するとEL+0~20m程度)にVs=2,200m/s層の上面が推定される。



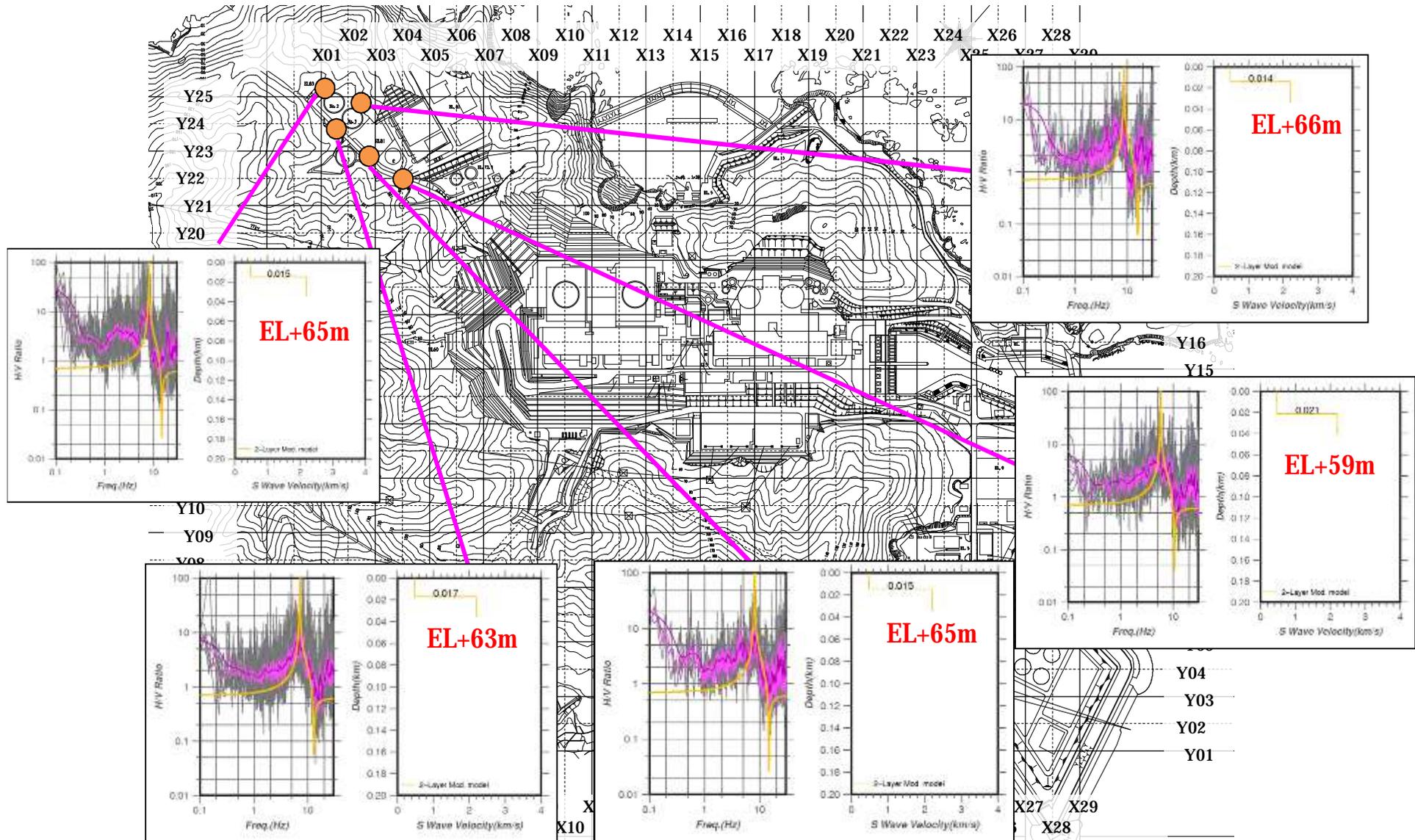
# 3. 地盤モデルの策定(単点微動観測)

■ 前面道路・背面道路では、約5~10Hz付近にH/Vスペクトルのピークがあり、概ね深さ10~20m付近(標高に換算するとEL-10~+10m程度)にVs=2,200m/s層の上面が推定される。



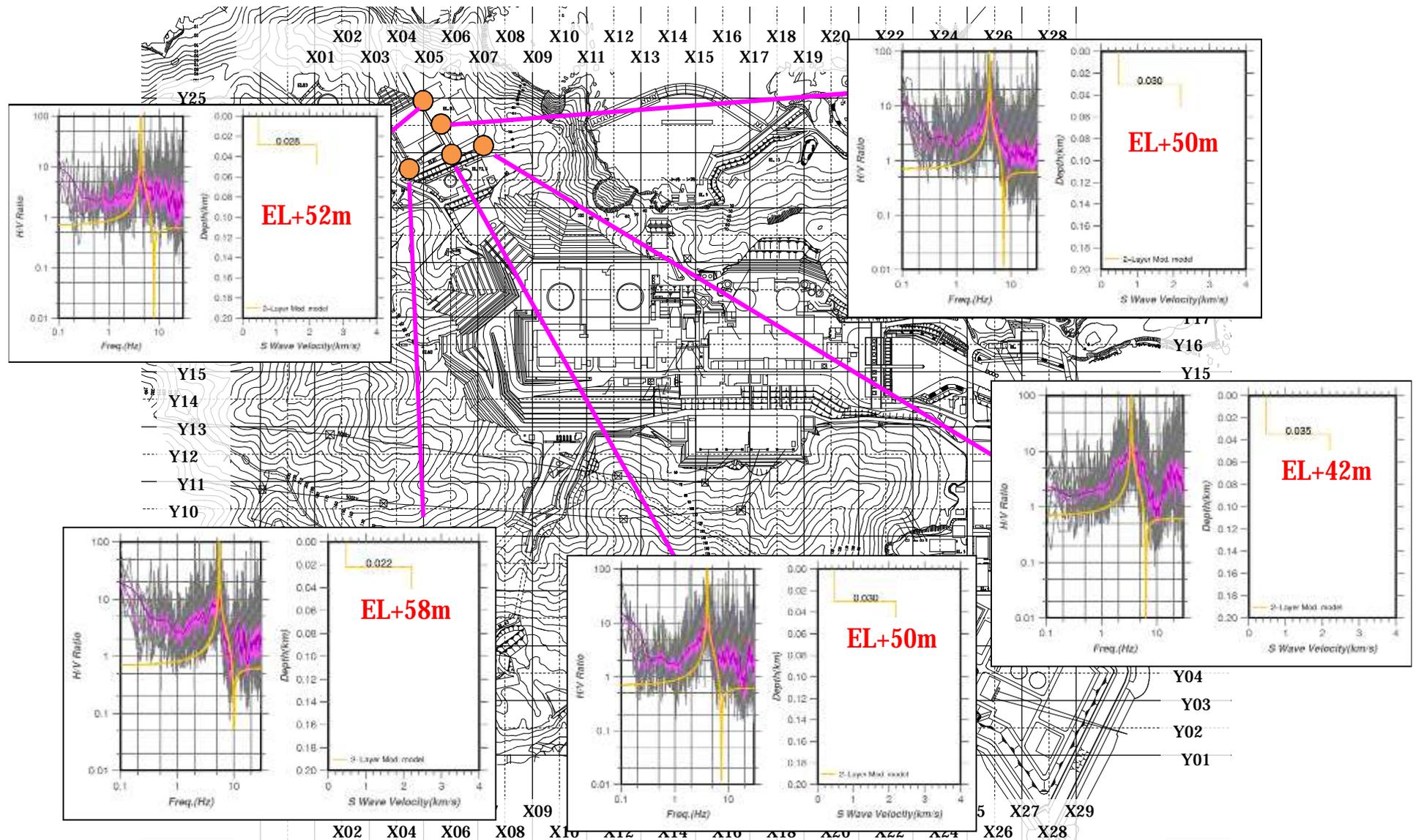
# 3. 地盤モデルの策定(単点微動観測)

■敷地西側では、約5~10Hz付近にH/Vスペクトルのピークがあり、概ね深さ10~20m付近(標高に換算するとEL+60~65m程度)にVs=2,200m/s層の上面が推定される。



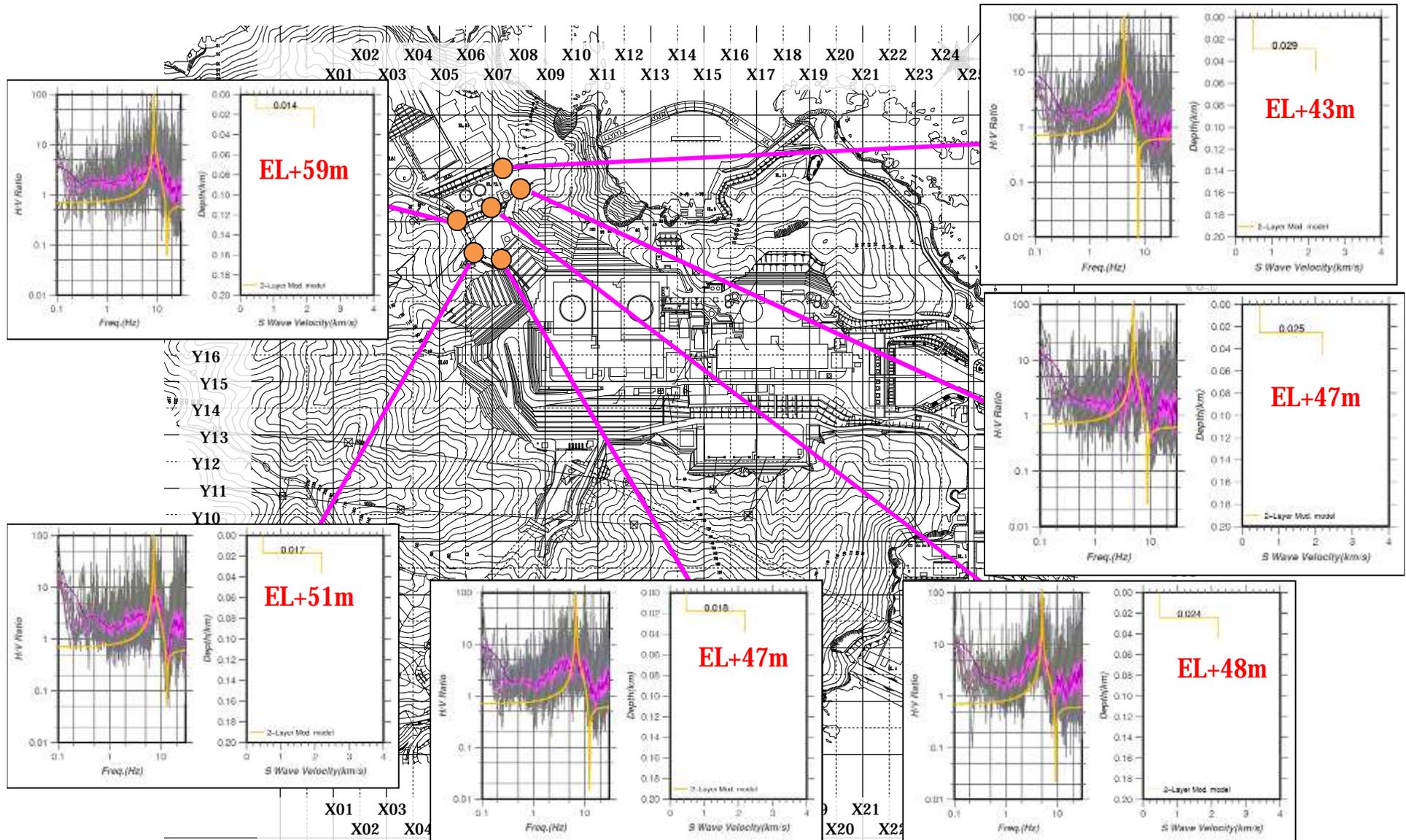
# 3. 地盤モデルの策定(単点微動観測)

敷地西側では、約5~10Hz付近にH/Vスペクトルのピークがあり、概ね深さ20~30m付近(標高に換算するとEL+45~60m程度)にVs=2,200m/s層の上面が推定される。



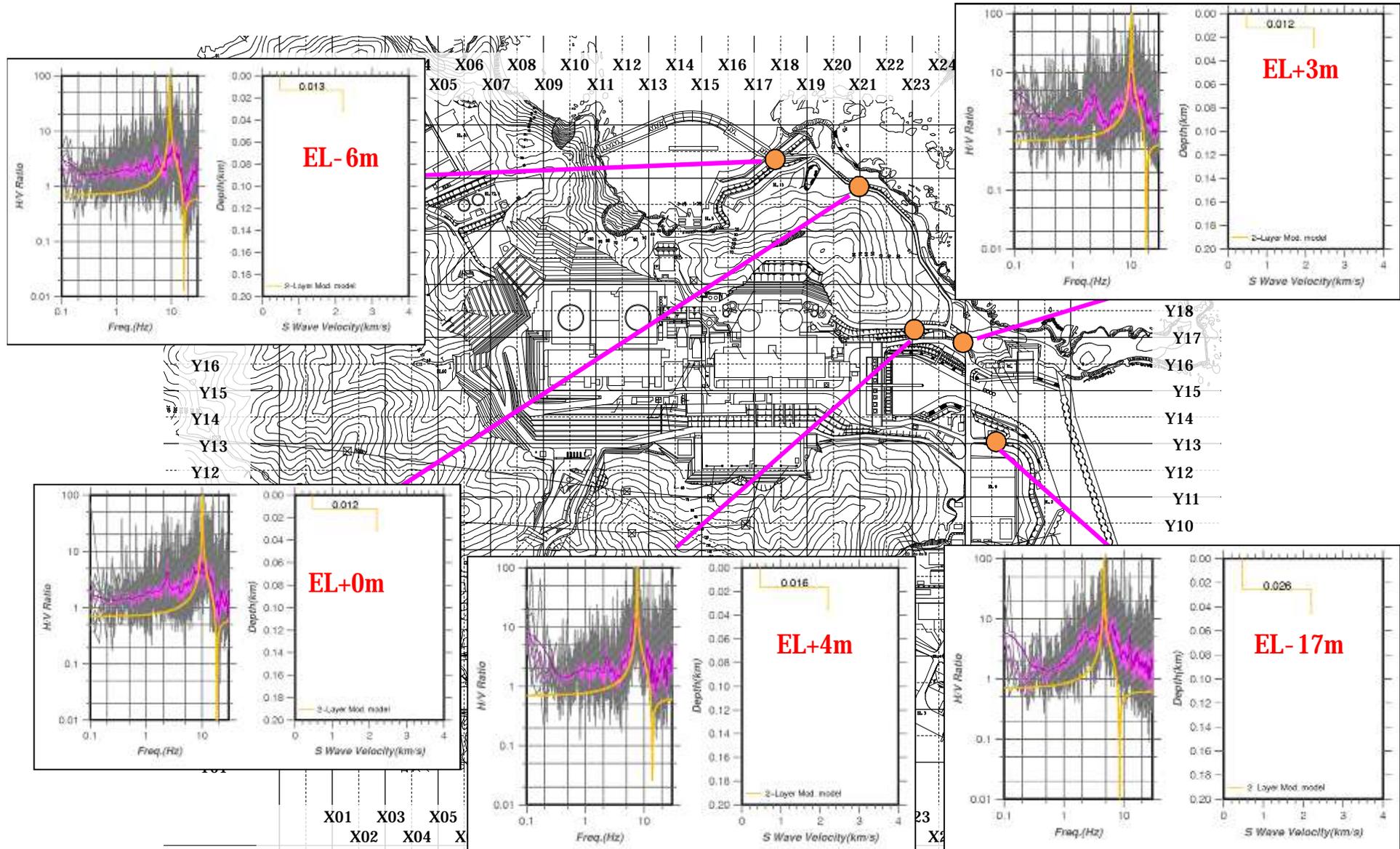
# 3. 地盤モデルの策定(単点微動観測)

■敷地西側では、約5~10Hz付近にH/Vスペクトルのピークがあり、概ね深さ15~30m付近(標高に換算するとEL+45~60m程度)にVs=2,200m/s層の上面が推定される。



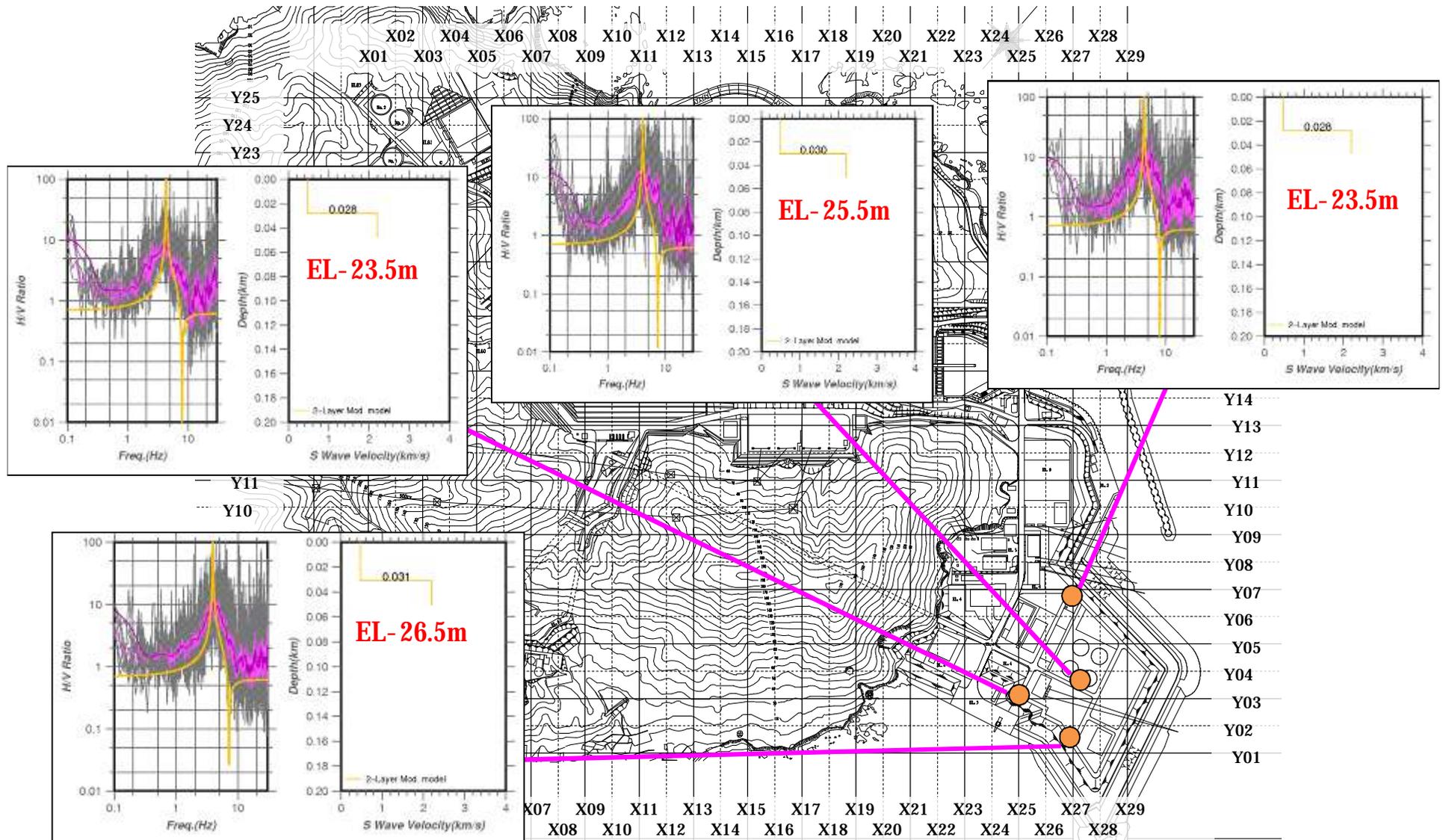
# 3. 地盤モデルの策定(単点微動観測)

■放水口・取水口周辺では、約5~10Hz付近にH/Vスペクトルのピークがあり、概ね深さ10~20m付近(標高に換算するとEL-15~+5m程度)にVs=2,200m/s層の上面が推定される。



# 3. 地盤モデルの策定(単点微動観測)

■敷地南東側では、約5Hz付近にH/Vスペクトルのピークがあり、概ね深さ30m付近(標高に換算するとEL-25m程度)にVs=2,200m/s層の上面が推定される。

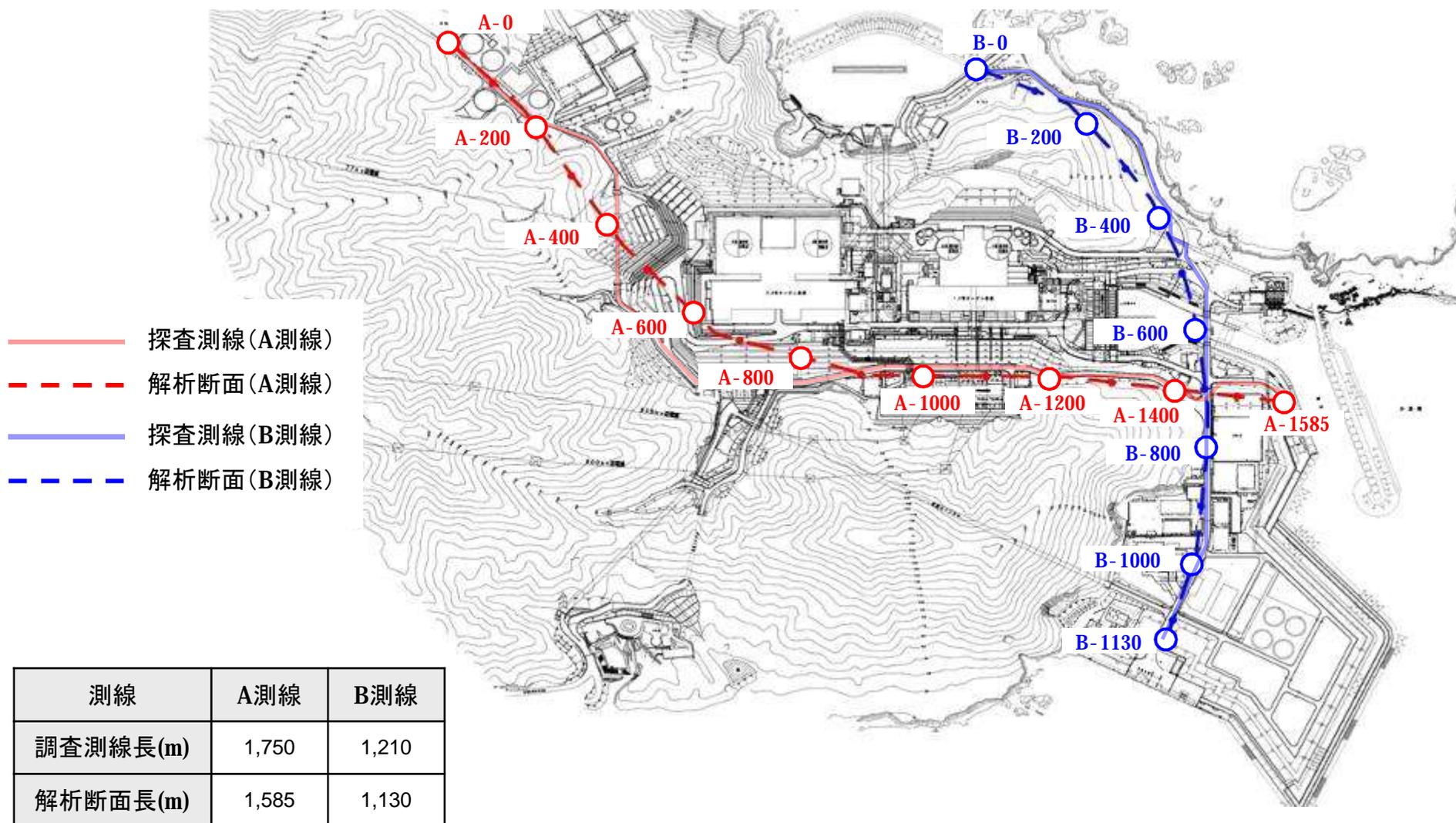


### 3. 地盤モデルの策定(単点微動観測)のまとめ

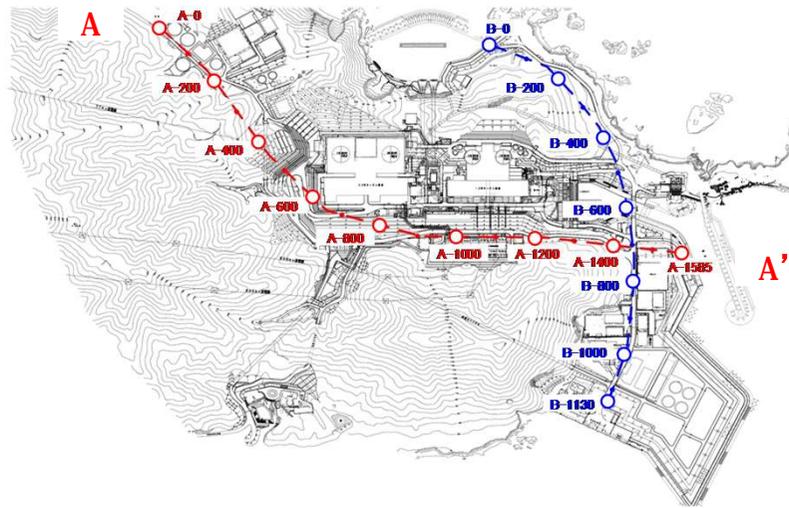
- 敷地内での取得された微動記録を用いて算定したH/Vスペクトルを用いて、2層地盤を仮定した場合の解放基盤面の深度推定を行った。
- 推定にあたっては、解放基盤面のS波速度を $V_s=2,200\text{m/s}$ であると仮定し、表層部の速度は既存のPS検層による埋土部分の平均値を用いた。
- その結果、 $V_s=2,200\text{m/s}$ の上面深度は概ね敷地西側ではEL+65m程度まで、敷地南東側ではEL-25m程度の範囲の深さに推定され、解放基盤面の深度については、敷地全体に渡って著しい高低差がないことを確認した。

### 3. 地盤モデルの策定(反射法地震探査)

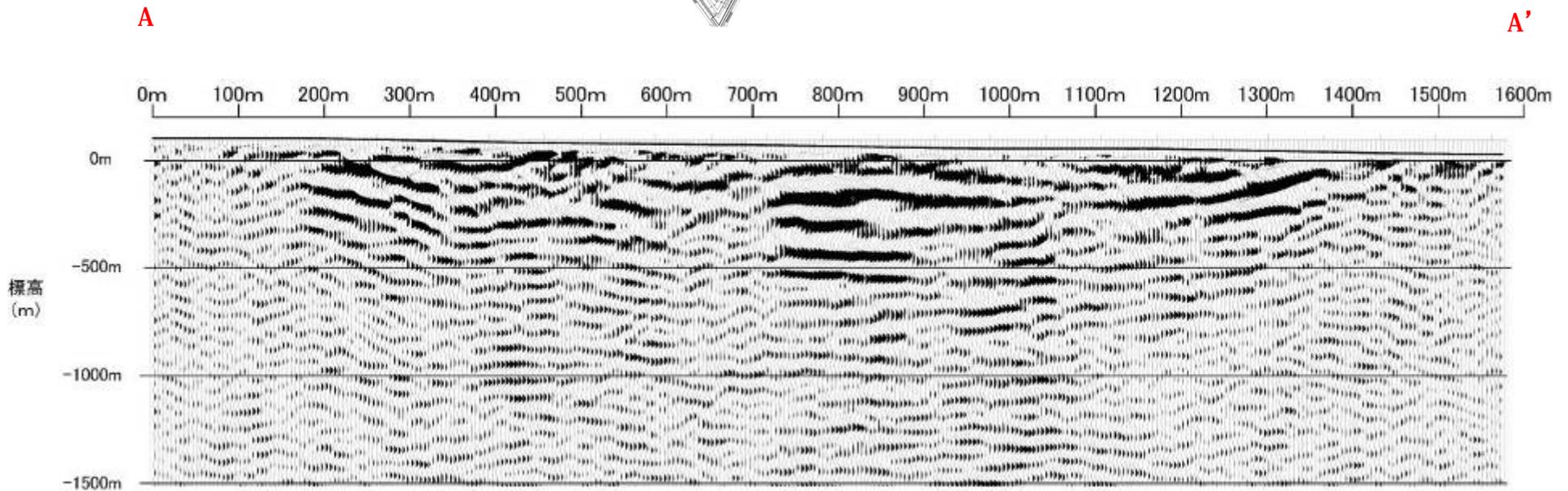
■本調査では測線配置が屈曲しているため、反射点分布のほぼ中央付近を通過する解析断面を設定した。



### 3. 地盤モデルの策定(反射法地震探査)



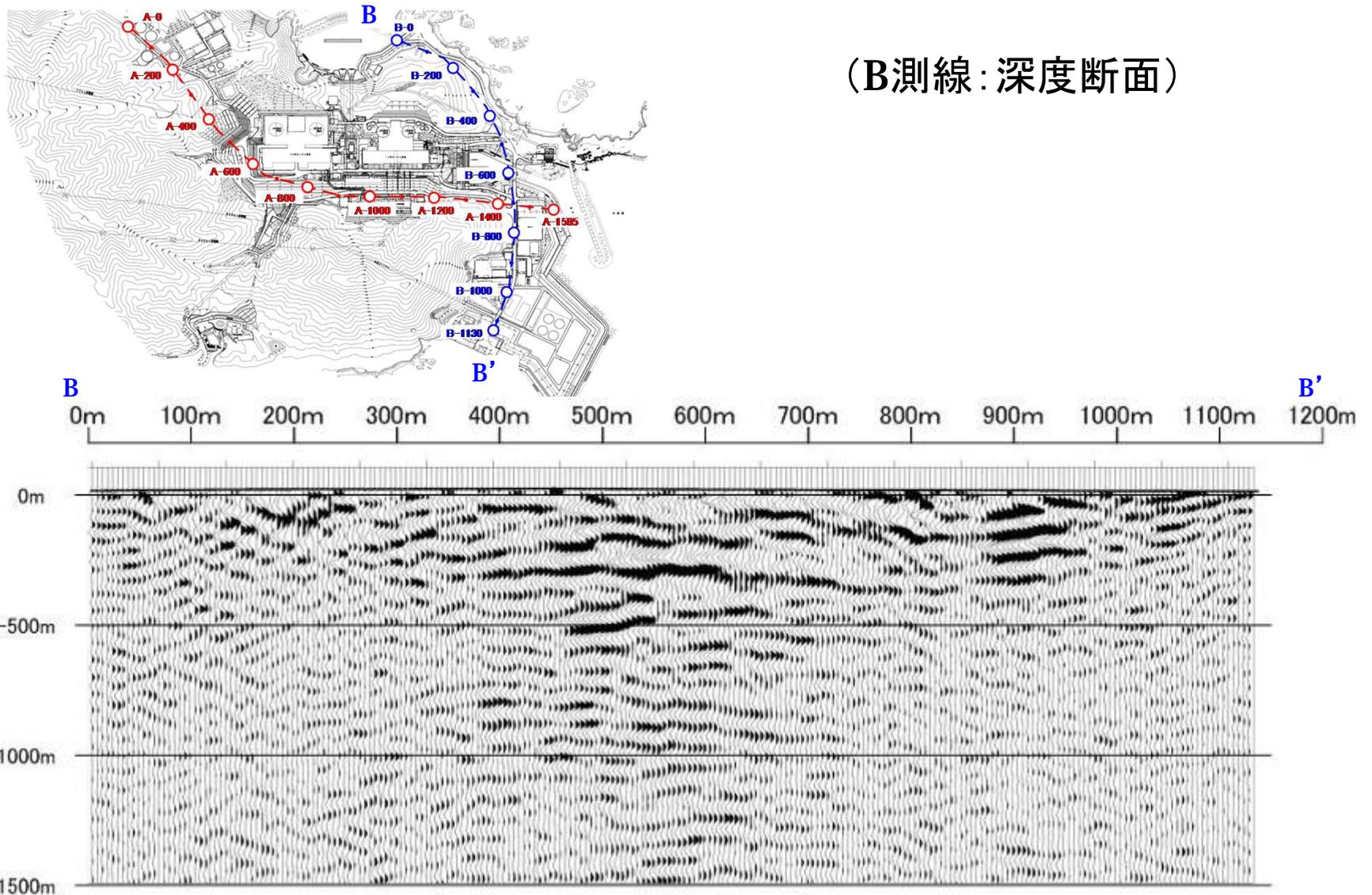
(A測線: 深度断面)



縦横比1:4

■地下500m位まで反射面が確認され、その範囲内では特異な構造は認められていない。

### 3. 地盤モデルの策定(反射法地震探査)

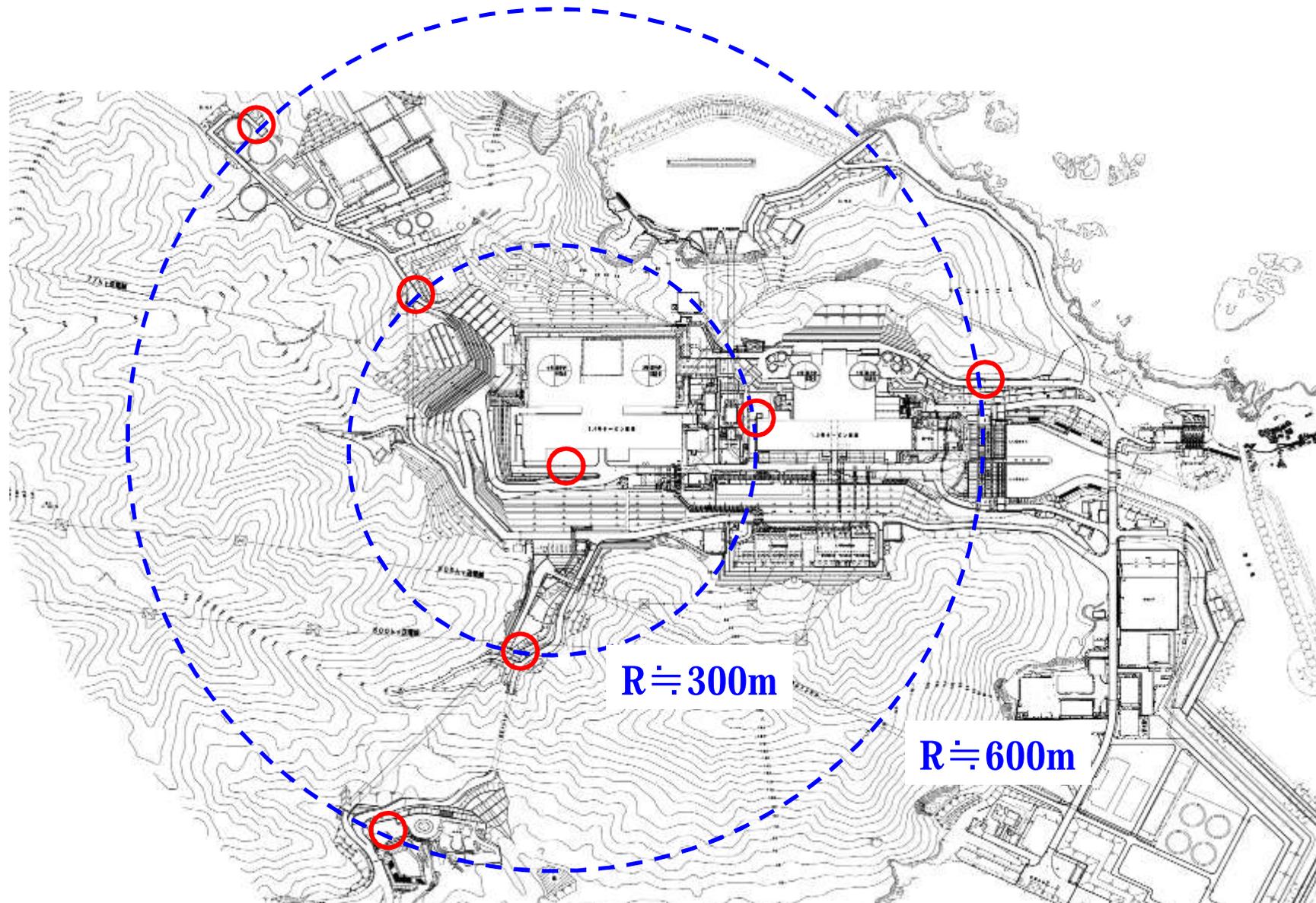


■ 地下500m位まで反射面が確認され、その範囲内では特異な構造は認められていない。

■ 深部までの地下構造に特異な構造が見られないことから、水平成層構造とみなして1次元の速度構造をモデル化する。

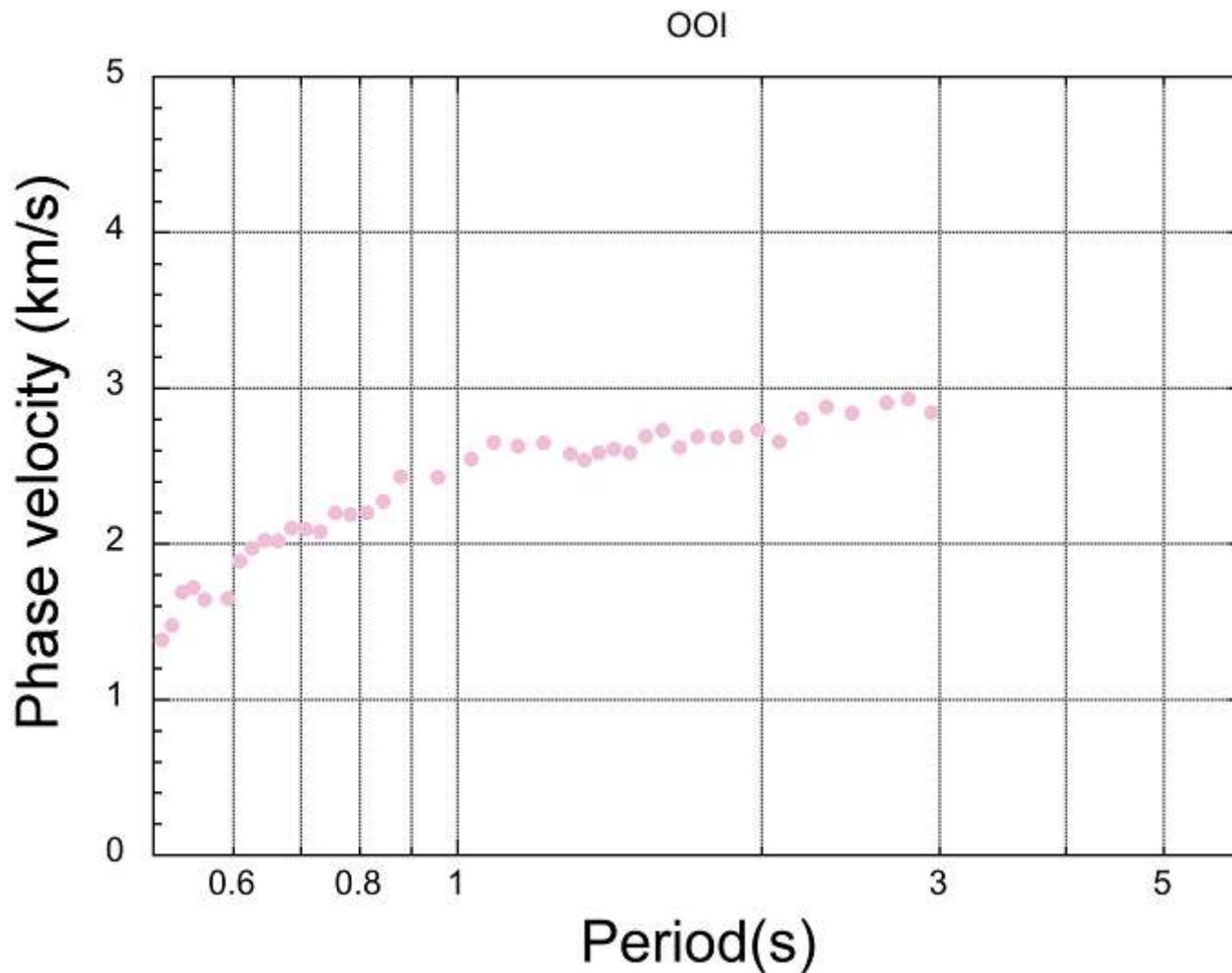
### 3. 地盤モデルの策定(敷地内微動アレイ)

■大飯発電所敷地内で半径約600m・300mの微動アレイ観測を行う。



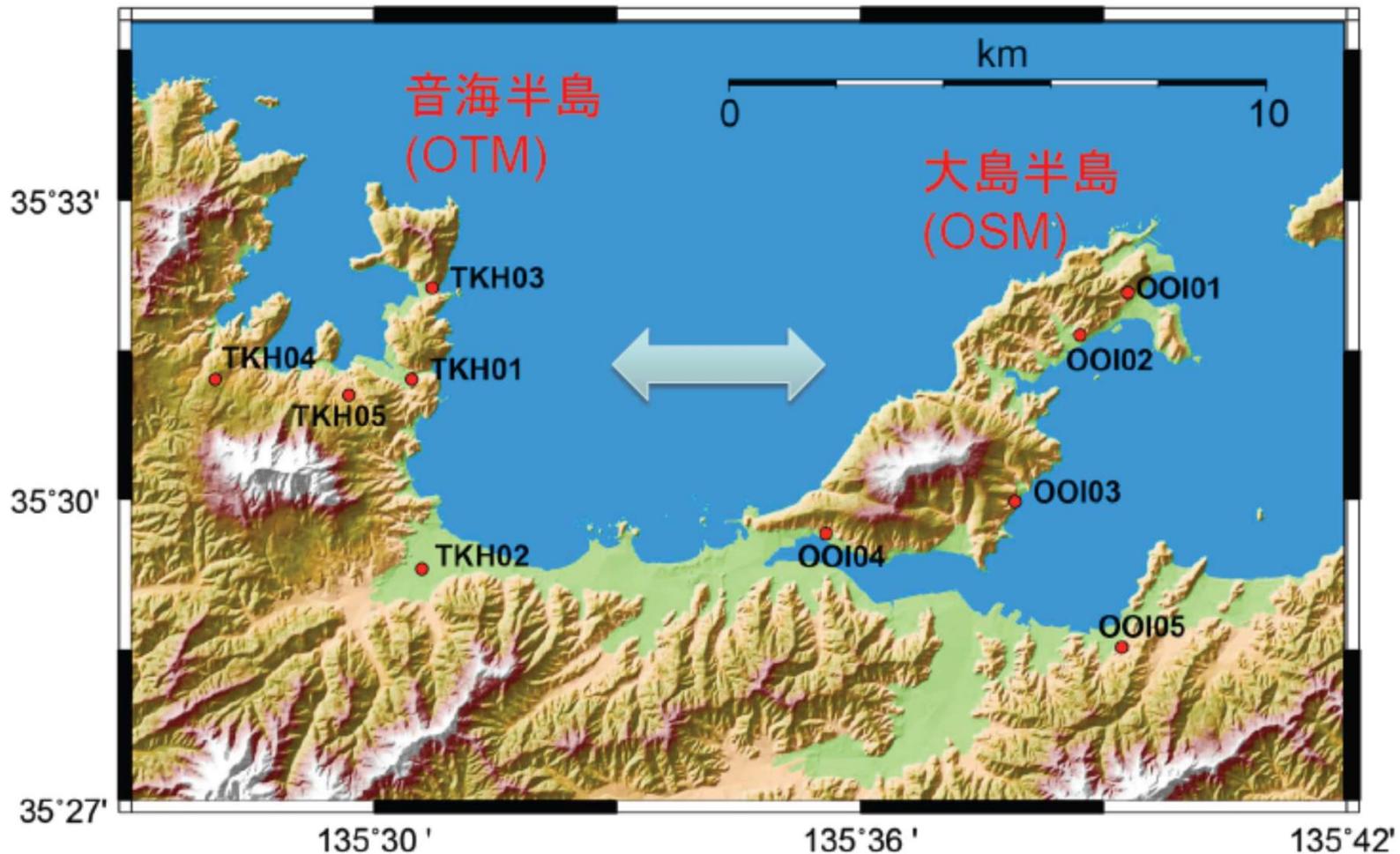
### 3. 地盤モデルの策定(敷地内微動アレイ)

#### ■大飯発電所の微動アレイにより得られた位相速度



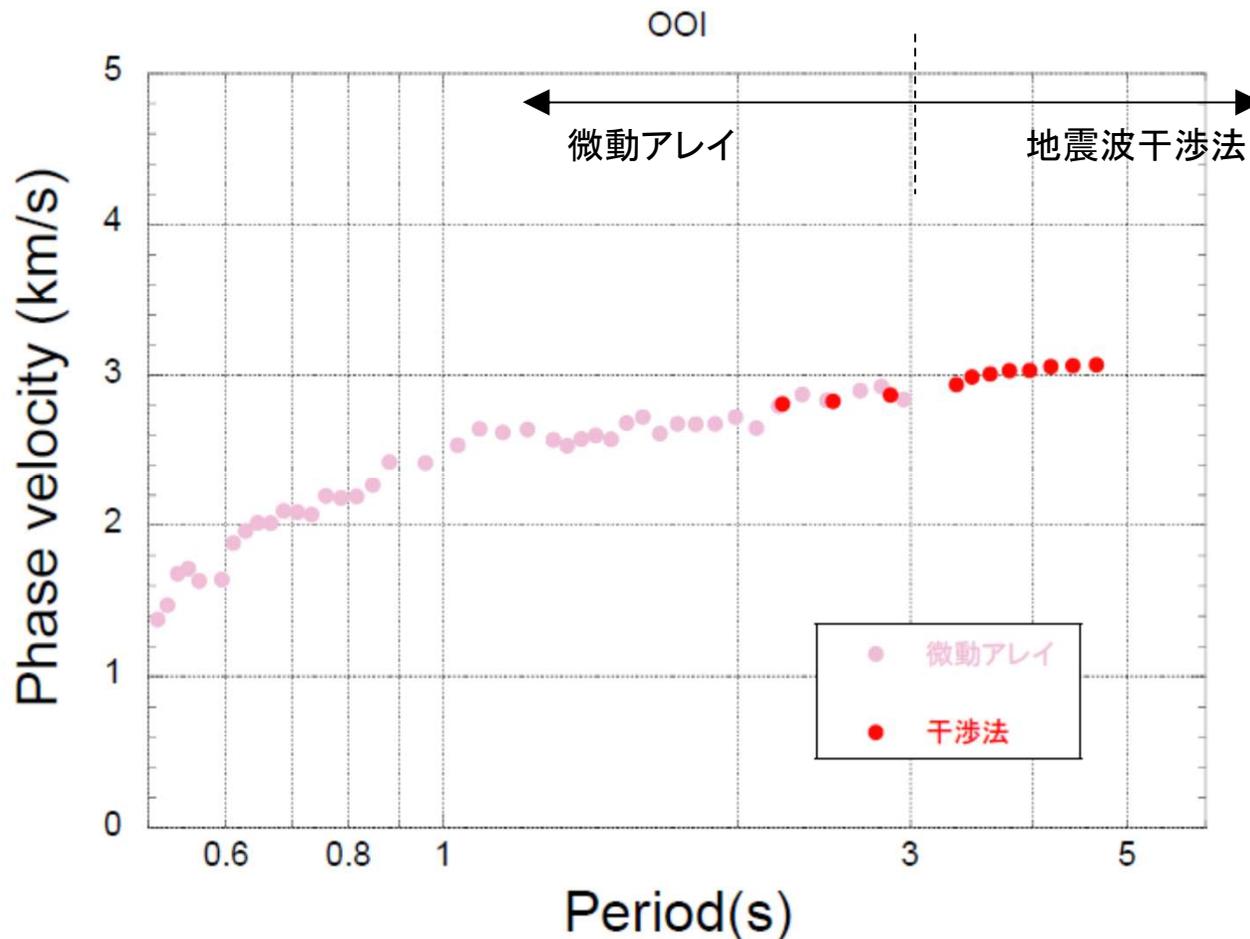
### 3. 地盤モデルの策定(地震波干渉法)

■大飯・高浜発電所周辺で7月末より12月末まで実施した地表面地震観測で得られた常時微動記録を用いて、地震波干渉法による深部地下構造の評価を行う。



### 3. 地盤モデルの策定(地震波干渉法)

- 微動アレイによる位相速度と地震波干渉法(参照点付きF-Kスペクトル解析)による位相速度は、周期2~3秒付近でよい連続性を示す。  
⇒ 微動アレイによる位相速度(3秒以下)と地震波干渉法による位相速度(3秒以上)を目的関数としたジョイントインバージョン解析により、速度構造を推定する。



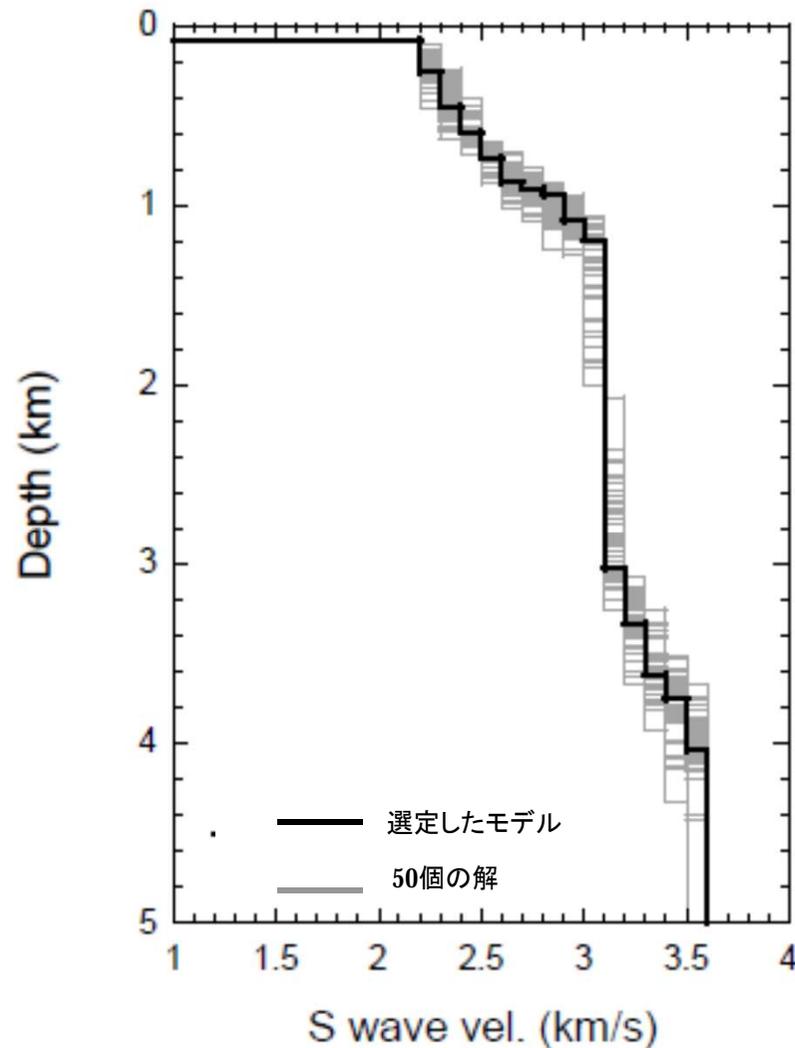
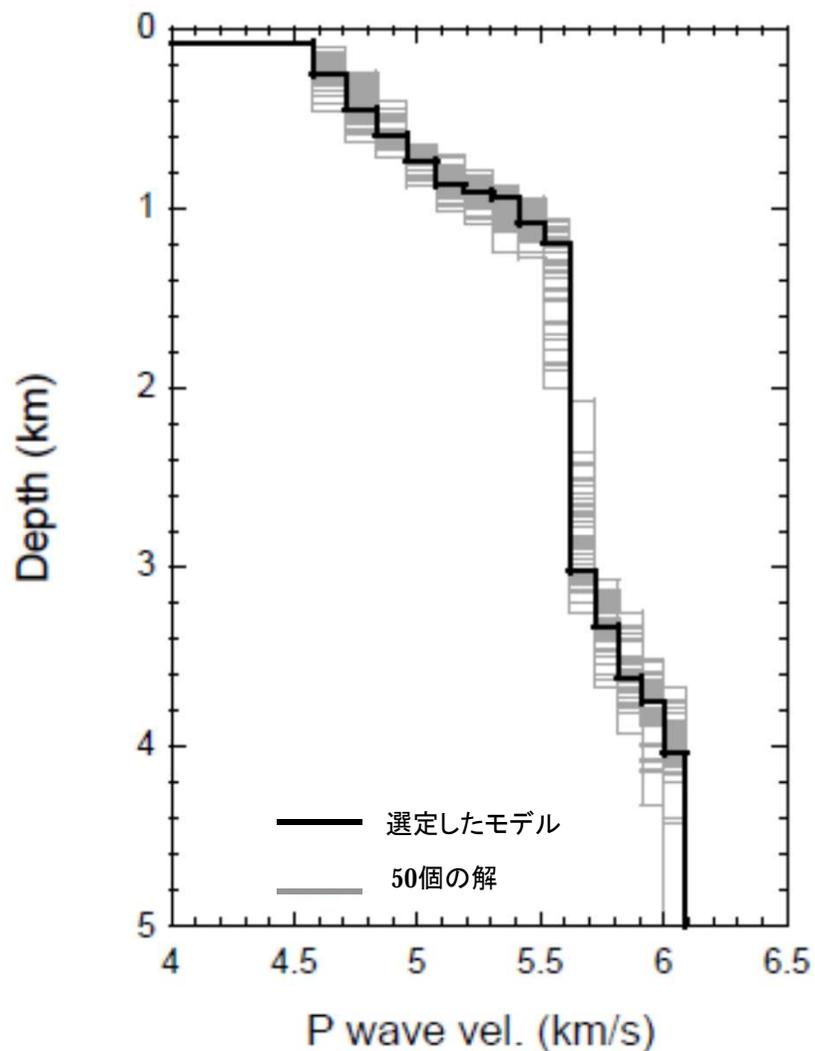
### 3. 地盤モデルの策定

- 第1層に $V_s=0.5\text{km/s}$ の表層を考慮し、層厚 $0.01\sim 0.1\text{km}$ の範囲で探索する。
- 第2層以深は、サイトでのボーリング結果や既往の分析結果から、 $V_s=2.2\sim 3.6\text{km/s}$ までを $0.1\text{km/s}$ ごとにS波速度を設定し、層厚を $0.01\sim 2.0\text{km}$ の範囲で探索する。
- 逆解析は山中(2007)によるハイブリッドヒューリスティック探索を用いた。

No.	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)	層厚 (km)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )
1	2.0	0.5	0.01 - 0.1	2.08
2	4.6	2.2	0.01 - 2.0	2.7
3	4.7	2.3	0.01 - 2.0	2.7
4	4.8	2.4	0.01 - 2.0	2.7
5	5.0	2.5	0.01 - 2.0	2.7
6	5.1	2.6	0.01 - 2.0	2.7
7	5.2	2.7	0.01 - 2.0	2.7
8	5.3	2.8	0.01 - 2.0	2.7
9	5.4	2.9	0.01 - 2.0	2.7
10	5.5	3.0	0.01 - 2.0	2.7
11	5.6	3.1	0.01 - 2.0	2.7
12	5.7	3.2	0.01 - 2.0	2.7
13	5.8	3.3	0.01 - 2.0	2.7
14	5.9	3.4	0.01 - 2.0	2.7
15	6.0	3.5	0.01 - 2.0	2.7
16	6.1	3.6	-	2.7

### 3. 地盤モデルの策定

■ 得られた50個の解から、その平均に最も近いモデルを地盤モデルとして選定する。



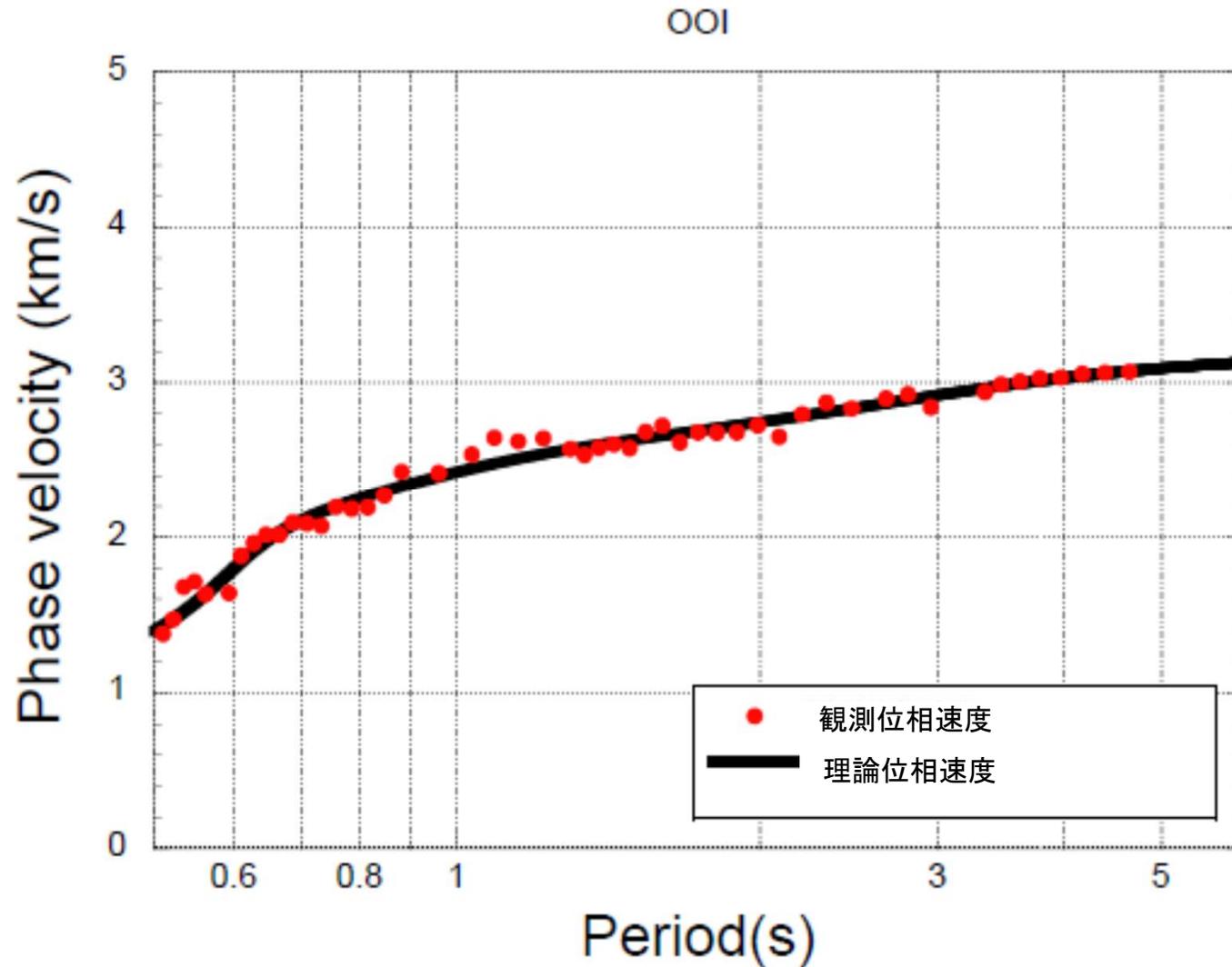
### 3. 地盤モデルの策定

■選定された地盤モデルの諸元は以下のとおりであり、断層上端深さに相当すると考えられる $V_p=5.8\text{km/s}$ 層の上面深度は約3.3kmであった。

No	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)	密度 ( $\text{g/cm}^3$ )	層厚 (km)	上面深度 (km)
1	2.0	0.5	2.08	0.08	0
2	4.6	2.2	2.7	0.18	0.1
3	4.7	2.3	2.7	0.19	0.3
4	4.8	2.4	2.7	0.14	0.5
5	5.0	2.5	2.7	0.14	0.6
6	5.1	2.6	2.7	0.13	0.7
7	5.2	2.7	2.7	0.04	0.9
8	5.3	2.8	2.7	0.04	0.9
9	5.4	2.9	2.7	0.14	0.9
10	5.5	3.0	2.7	0.11	1.1
11	5.6	3.1	2.7	1.83	1.2
12	5.7	3.2	2.7	0.31	3.0
13	5.8	3.3	2.7	0.29	3.3
14	5.9	3.4	2.7	0.14	3.6
15	6.0	3.5	2.7	0.28	3.8
16	6.1	3.6	2.7	-	4.0

### 3. 地盤モデルの策定

- 選定された地盤モデルについて、その物性値を用いて算定される理論位相速度を評価した結果、観測位相速度と良く対応していることを確認した。



### 3. 地盤モデルの策定

■断層モデルを用いた手法による地震動評価のための地盤モデルは以下のとおり。

No.	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	層厚 (km)	上面深度 (km)	Qs	減衰定数 (%)
1	4.6	2.2	2.7	0.18	0	16.67	3.0
2	4.7	2.3	2.7	0.19	0.18	100.00	0.5
3	4.8	2.4	2.7	0.14	0.37	100.00	0.5
4	5.0	2.5	2.7	0.14	0.51	100.00	0.5
5	5.1	2.6	2.7	0.13	0.66	100.00	0.5
6	5.2	2.7	2.7	0.04	0.79	100.00	0.5
7	5.3	2.8	2.7	0.04	0.83	100.00	0.5
8	5.4	2.9	2.7	0.14	0.87	100.00	0.5
9	5.5	3.0	2.7	0.11	1.01	100.00	0.5
10	5.6	3.1	2.7	1.83	1.12	100.00	0.5
11	5.7	3.2	2.7	0.05	2.95	100.00	0.5
12	6.1	3.6	2.7	—	3.0	100.00	0.5

### 3. 地盤モデルの策定

---

- 敷地内における微動アレイ観測、および敷地周辺で実施した地表面地震観測で得られた微動データを用いて位相速度を求めた。
- 得られた位相速度の同定より地盤の速度構造を推定し、地震動評価に用いる地盤モデルを策定した。

## 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

■断層上端深さについて、下記の文献を参考にして検討した。

シナリオ地震の強震動予測

入倉孝次郎・三宅弘恵, 2001, 地学雑誌, 110(6)

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

近畿地方北部の地震波速度構造と地震発生層

吉井弘治・伊藤潔, 2001, 地球惑星科学連合学会2001年合同大会

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

広角反射法および屈折法解析による近畿地方の地殻構造の推定

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

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

# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

## ■ 地盤速度構造による地震発生層の検討

若狭周辺地域において、大都市大震災軽減化特別プロジェクト(大大特)による大規模な地下構造探査が実施されており、内陸地殻内地震が発生する上部地殻に相当する $V_p=6.0\sim 6.2\text{km/s}$ 層は、深さ約 $6\sim 16\text{km}$ であった。また、速度構造断面図に気象庁一元化カタログによる測線に沿う幅 $20\text{km}$ の範囲内の震源分布は、 $V_p=6.0\sim 6.2\text{km/s}$ 層に対応している。

### ○ 新宮－舞鶴測線(2004)の探査結果

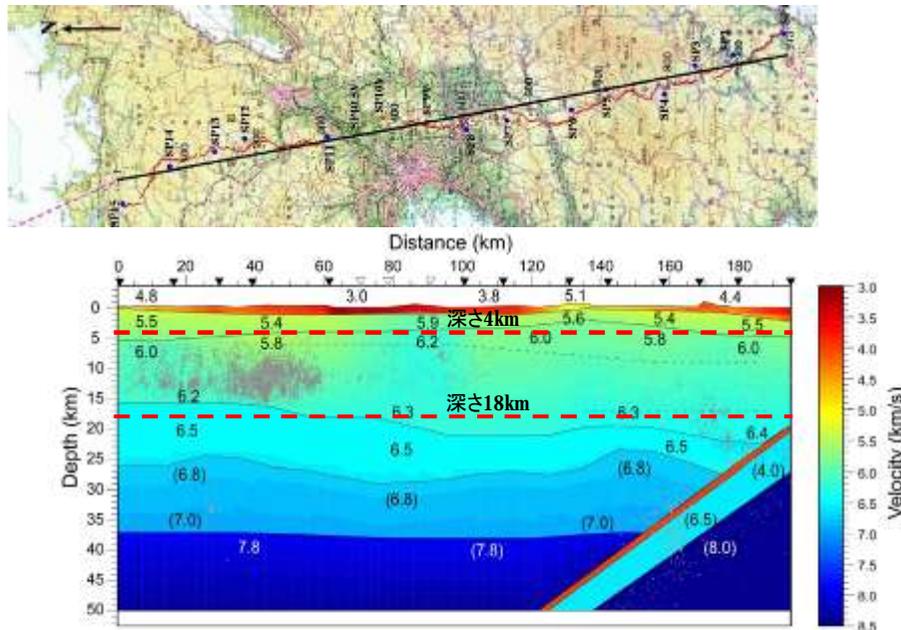


Fig. 9 P-wave velocity structure for the Niigata-Mitsukoshi profile. Numerals show P-wave velocities in km/s. Parentheses show assumed velocity value. Small black and red dots (about 35-40km deep) show earthquakes and low frequency earthquakes, respectively after Hirose and Ito (2007).

伊藤、他(2007)に一部加筆

### ○ 藤橋－上郡測線(1989)の再解析結果

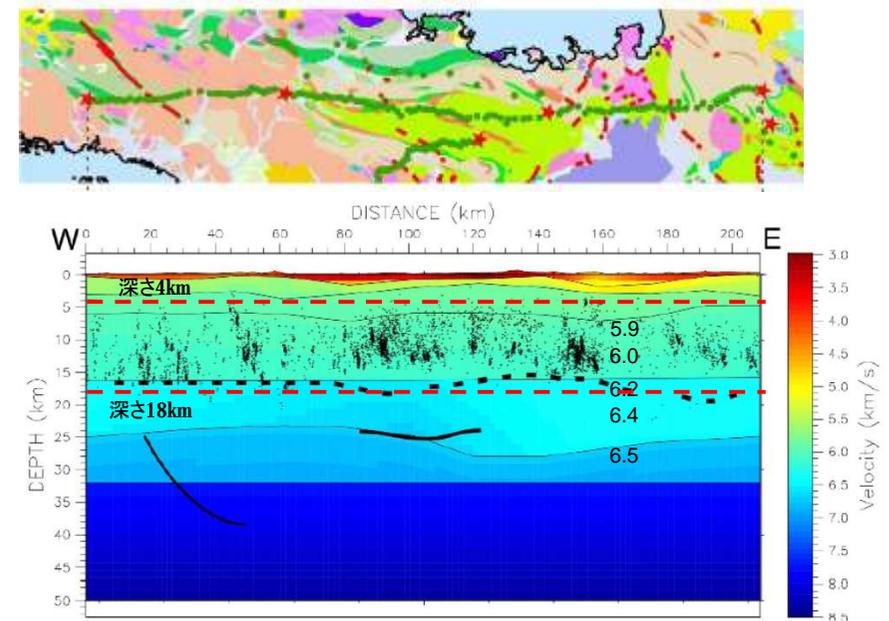


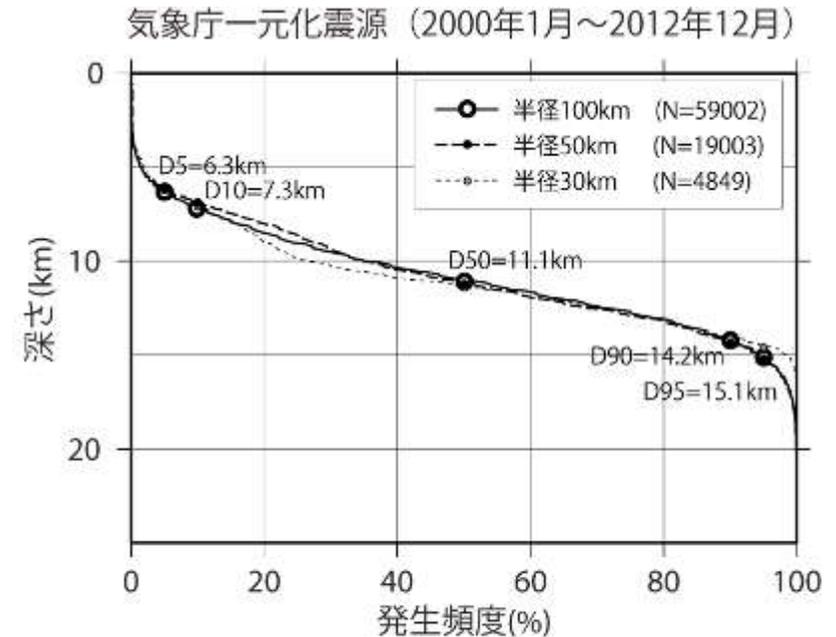
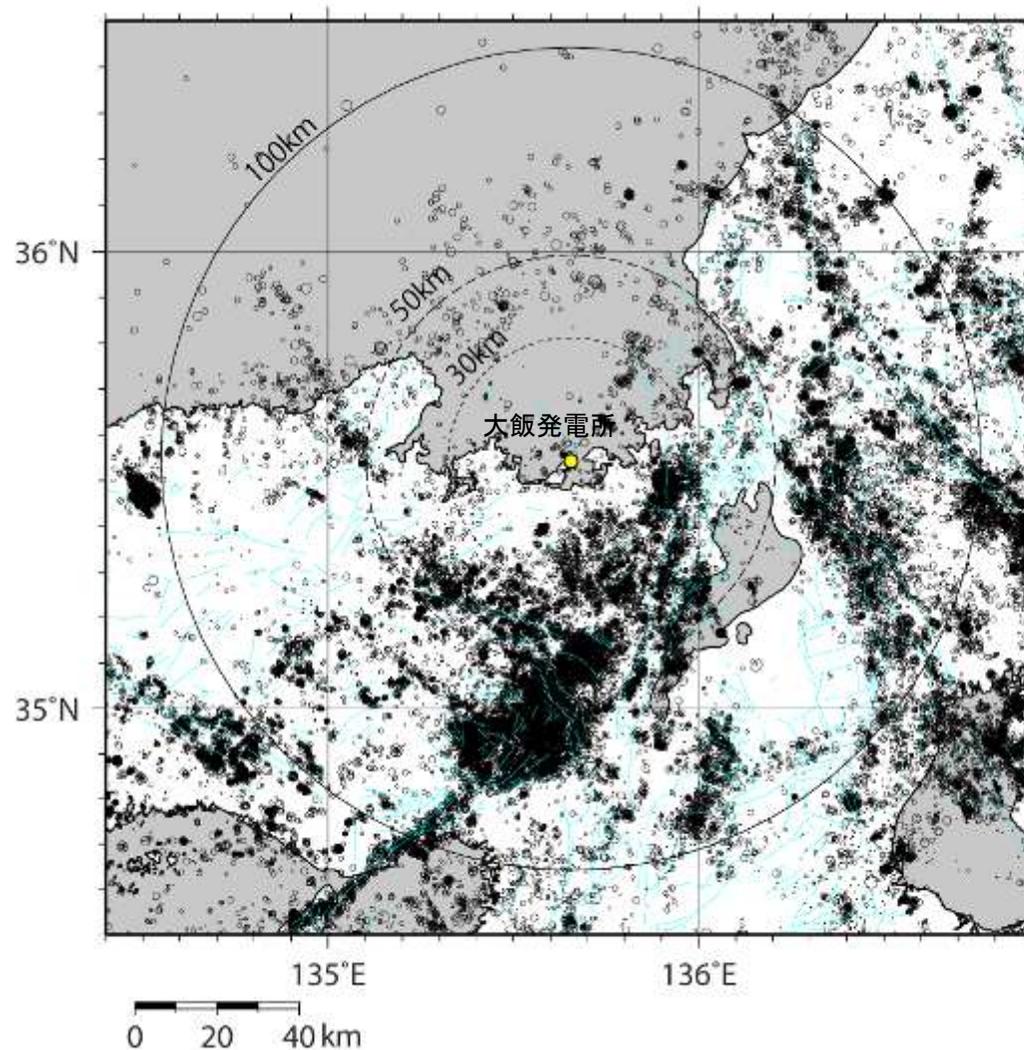
図 16 藤橋－上郡測線の地震波速度構造に、測線周辺の震源分布と反射法解析によって見出された反射面を重ねた。

伊藤、他(2006)に一部加筆

## 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

### ■ 微小地震記録を用いた検討(大飯発電所)

伊藤・中村(1998)を参考に、大飯発電所を中心とする半径100km以内の地震発生状況を統計的に評価すると、地震の10%発生頻度深さ(D10%)は約7km、地震の90%発生頻度深さ(D90%)は約15kmであった。伊藤・中村(1998)によれば、D90は地震発生層の下限より2~3km浅いとされている。



領域半径	100km	50km	30km
D5	6.3km	6.2km	6.1km
D10	7.3km	6.9km	7.1km
D50	11.1km	11.2km	11.4km
D90	14.2km	14.4km	14.1km
D95	15.1km	15.2km	14.6km
地震個数N	59002	19003	4849

## 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

---

- 近畿地方の地震発生層に関する文献調査を行った。また、敷地周辺の微小地震発生状況について整理を行った。
- 発電所敷地の速度構造の $V_p=5.8\text{km/s}$ 層の上面深度や微小地震の発生状況から、断層上端深さを3km、下端深さを18kmと設定した。

## 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

### ■ 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、震源の拡がりや考慮できること、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
- ・検討用地震毎に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
- ・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

## 4. 敷地ごとに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

#### ■ 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

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

$h \leq 60\text{km}$  ( $h$ : 震源深さ)

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

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

$5.4 \leq M_j \leq 8.1$  ( $M_j$ : 気象庁マグニチュード)

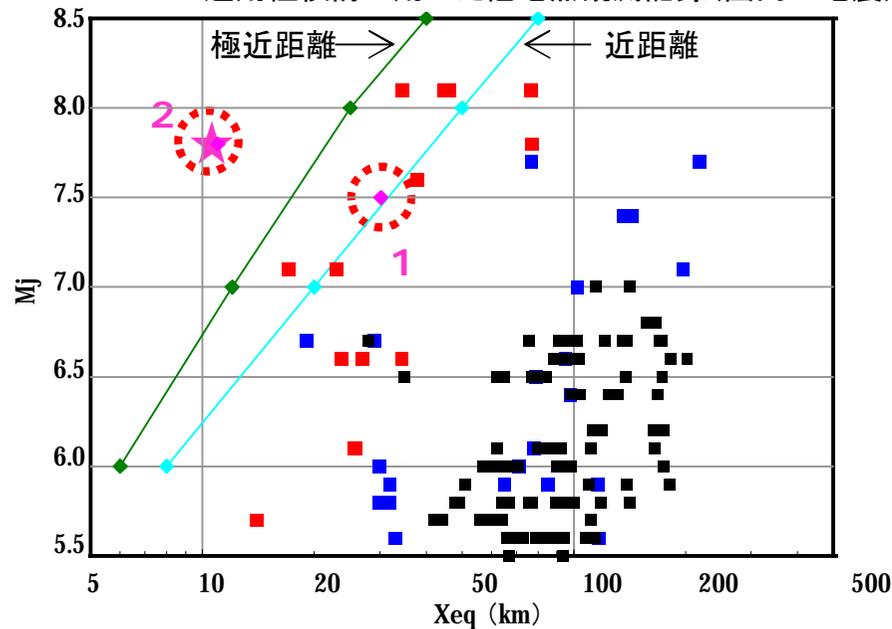
$h \leq 60\text{km}$  ( $h$ : 震源深さ)

$14\text{km} \leq X_{eq} \leq 218\text{km}$  ( $X_{eq}$ : 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	$M_j$	$X_{eq}$ ※ (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

※ $X_{eq}$ は基本ケースの値

FO-A~FO-B~熊川断層については、極近距離との乖離が大きいため、耐専式を適用範囲外と判断する。

## 4. 敷地ごとに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

#### ■ 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～熊川断層の地震動評価に用いた距離減衰式は以下のとおり

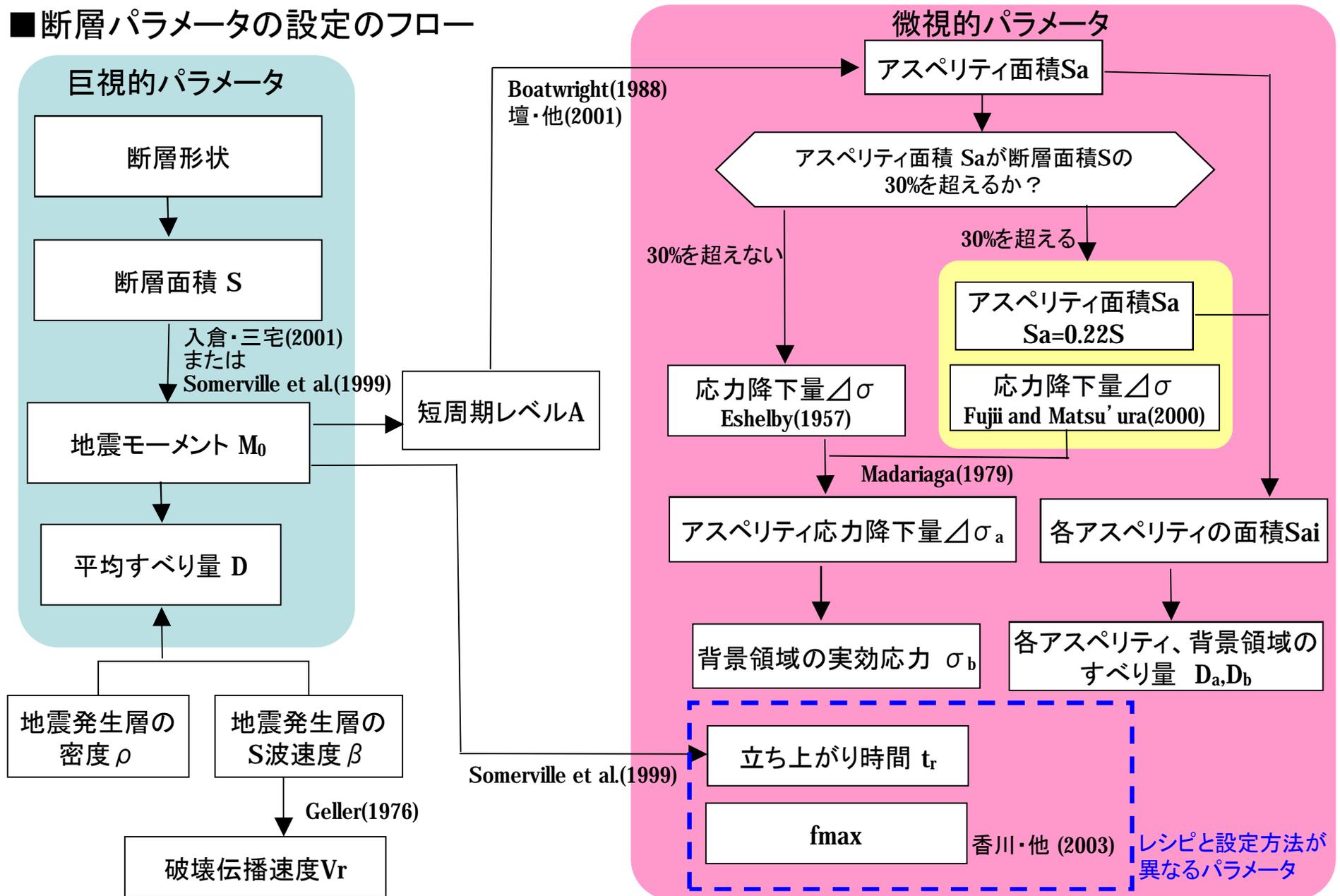
各種距離減衰式のデータベース諸元

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)

# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

## ■ 断層パラメータの設定のフロー

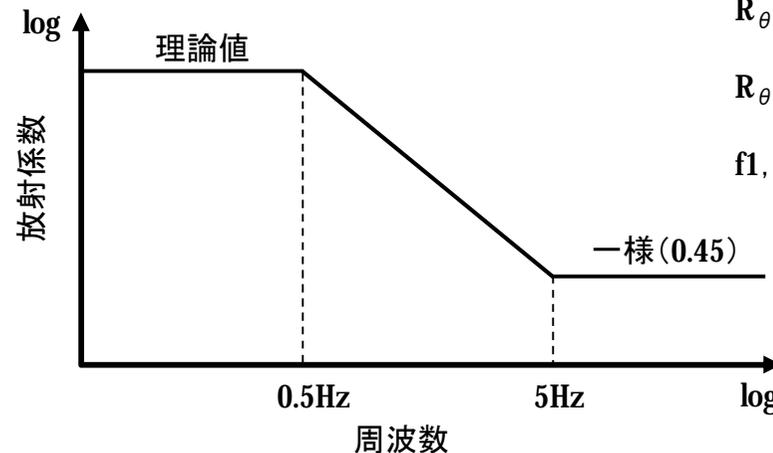


## 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

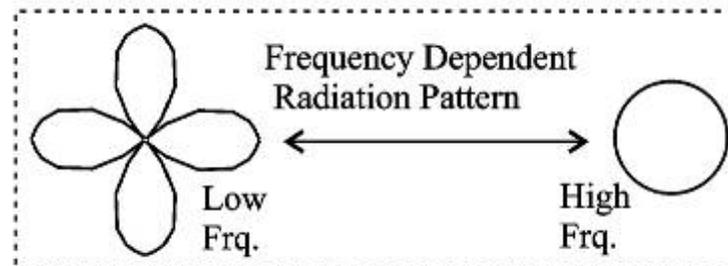
### ■統計的グリーン関数法における放射係数の設定

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、 $f_1=0.5\text{Hz}$ 、 $f_2=5\text{Hz}$ と設定した。

$$R_{qf}(f) = \frac{(\log(f_2) - \log(f))R_{qf0} + (\log(f) - \log(f_1))R_{qfm}}{\log(f_2) - \log(f_1)}$$

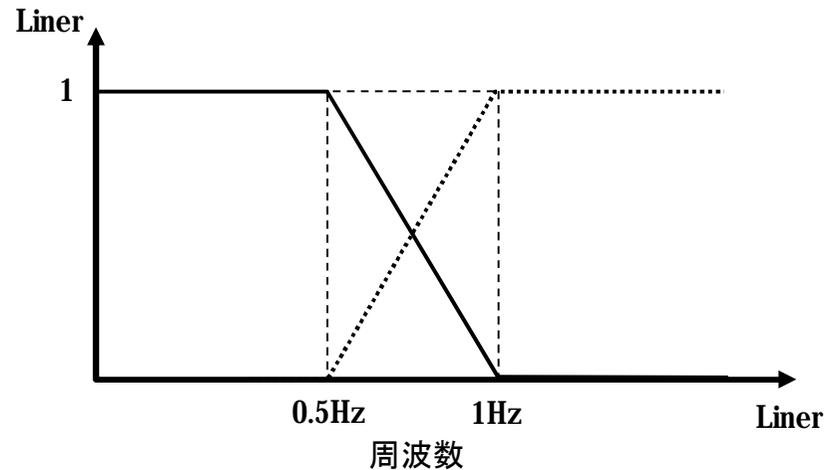


$R_{\theta\phi 0}$ : 震源とサイトの位置関係及びすべり方向から理論的に評価される放射係数  
 $R_{\theta\phi m}$ : 高周波数で等方放射として平均化された放射係数  
 $f_1, f_2$ : 理論的な放射から等方的な放射へと遷移する周波数帯



## 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

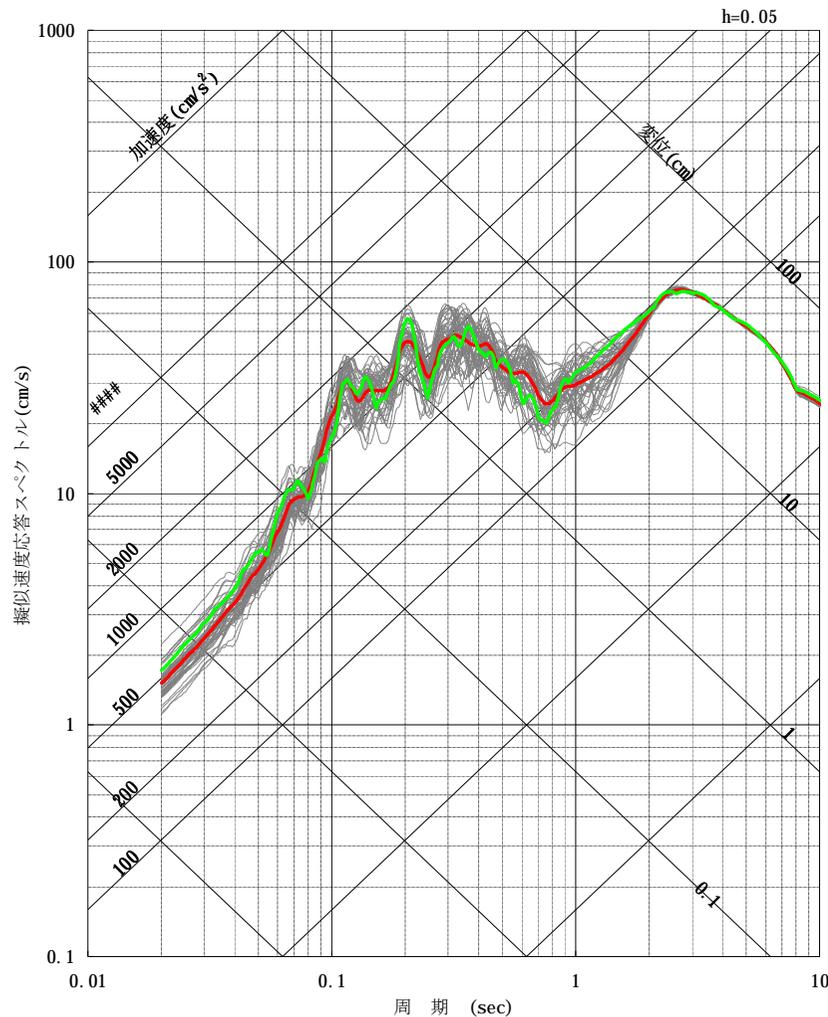
- 統計的グリーン関数法と理論的方法の結果のハイブリッドのフィルター  
遷移周波数帯(0.5Hz~1Hz)で相補的に低減するフィルター(マッチングフィルター)を施した。



マッチングフィルターの形状

## 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

■ 破壊伝播速度 $V_r$ 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 $V_r$ 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 $V_r$  (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  $\beta$  (km/s) との経験式  $V_r = 0.72 \cdot \beta$  により推定する。

— 50波平均  
— 選定波

## 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

■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 $90^\circ$ 、すべり角 $0^\circ$ 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 $75^\circ$ 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 $30^\circ$ 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 $V_r=0.72\beta$  ( $\beta$ 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 $1\sigma$ を考慮した $V_r=0.87\beta$ 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
- ・さらに、敷地が長い断層の近傍にあることから、不確かさを組合わせた検討として、短周期の地震動レベル1.25倍と破壊伝播速度 $V_r=0.87\beta$ の重畳を考慮

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64ケースを評価した。

## 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

(敷地が長い断層の近傍にあることによる不確かさの追加検討)

○現状の地震動評価で、不確かさを考慮しているパラメータは以下のとおり。

- 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、⑤アスペリティ配置、⑥破壊開始点

○敷地が長い断層の近傍にあることによる不確かさの考慮に関する方針

- ・②断層傾斜角、③すべり角、④破壊伝播速度の不確かさのうち、②および③は、地質調査の結果から相対的に不確かさの度合いが小さいと考えられること、また、④破壊伝播速度は、短周期側の地震動への影響は②、③と同程度であるが、長周期側においてもっとも影響が大きくなっていることから、④破壊伝播速度を組合せて検討するパラメータとして考慮する。
- ・⑤アスペリティ配置、⑥破壊開始点については、基本ケースとしてあらかじめ余裕を見込んで考慮しており、今回の検討でも考慮する。

敷地が長い断層の近傍にあることによる不確かさの考慮として、各不確かさ検討ケースの地震動評価結果も踏まえて、影響の大きいパラメータである①短周期の地震動レベルと④破壊伝播速度を組合わせて検討する。

○なお、不確かさの重畳についての従来の考え方を超えて認識論的な不確かさを重畳させるにあたり、パラメータを設定する。①短周期の地震動レベルについては、断層タイプによる違いに着目して、設定する。④破壊伝播速度については、審査会合で詳細に議論したところであり、従来と同様の不確かさを考慮する。

# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

(短周期の地震動レベルの不確かさについて(1/5))

## ■佐藤(2010)の知見について

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

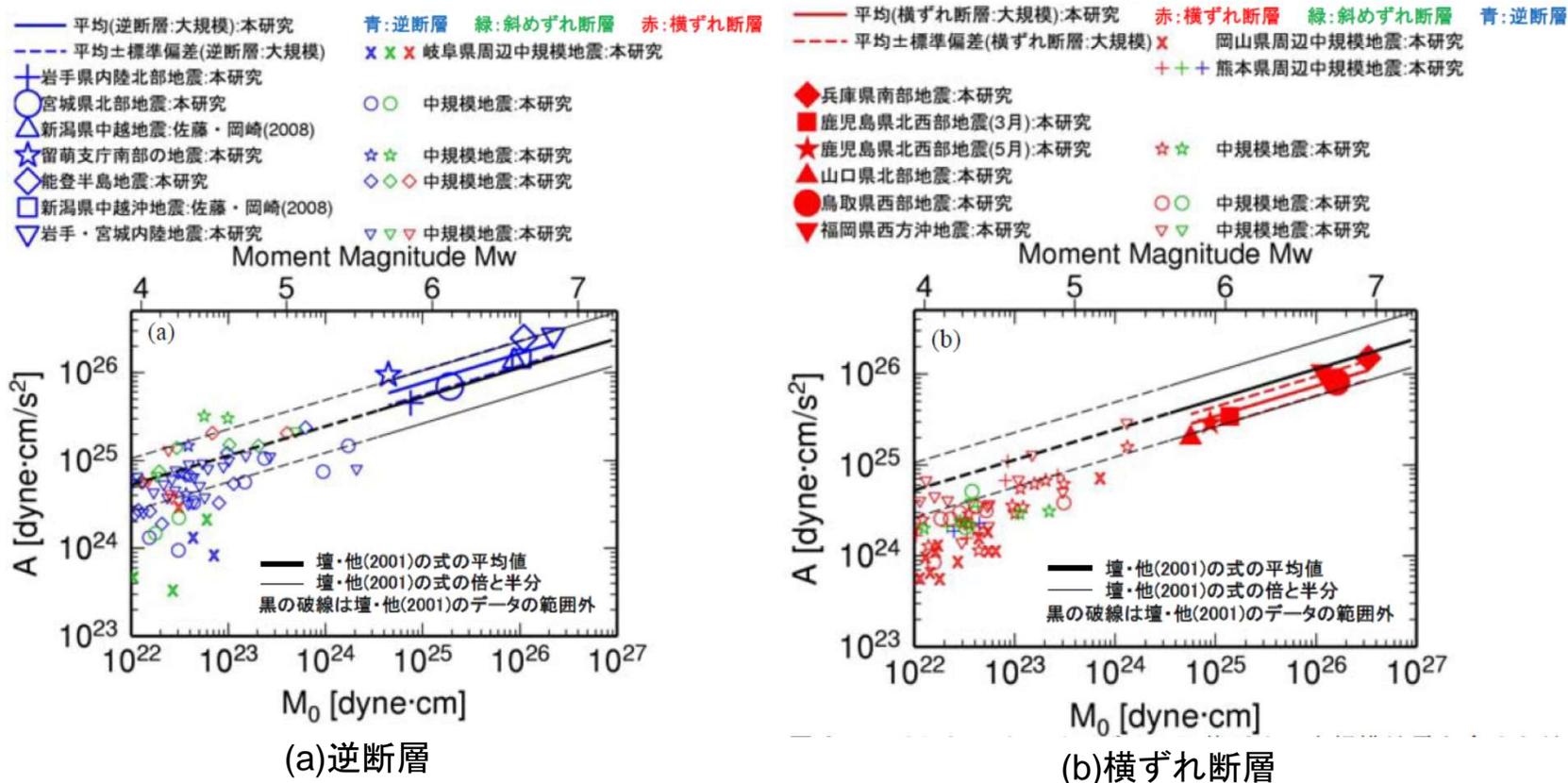


図9 スペクトルインバージョンに基づく、中規模地震を含めた地殻内地震の  $A$  と  $M_0$  の関係。(a)は大規模地震が逆断層の場合の周辺の地震、(b)は大規模地震が横ずれ断層の場合の周辺の地震

# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 (短周期の地震動レベルの不確かさについて(2/5))

## ■ 佐藤(2010)の知見について

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

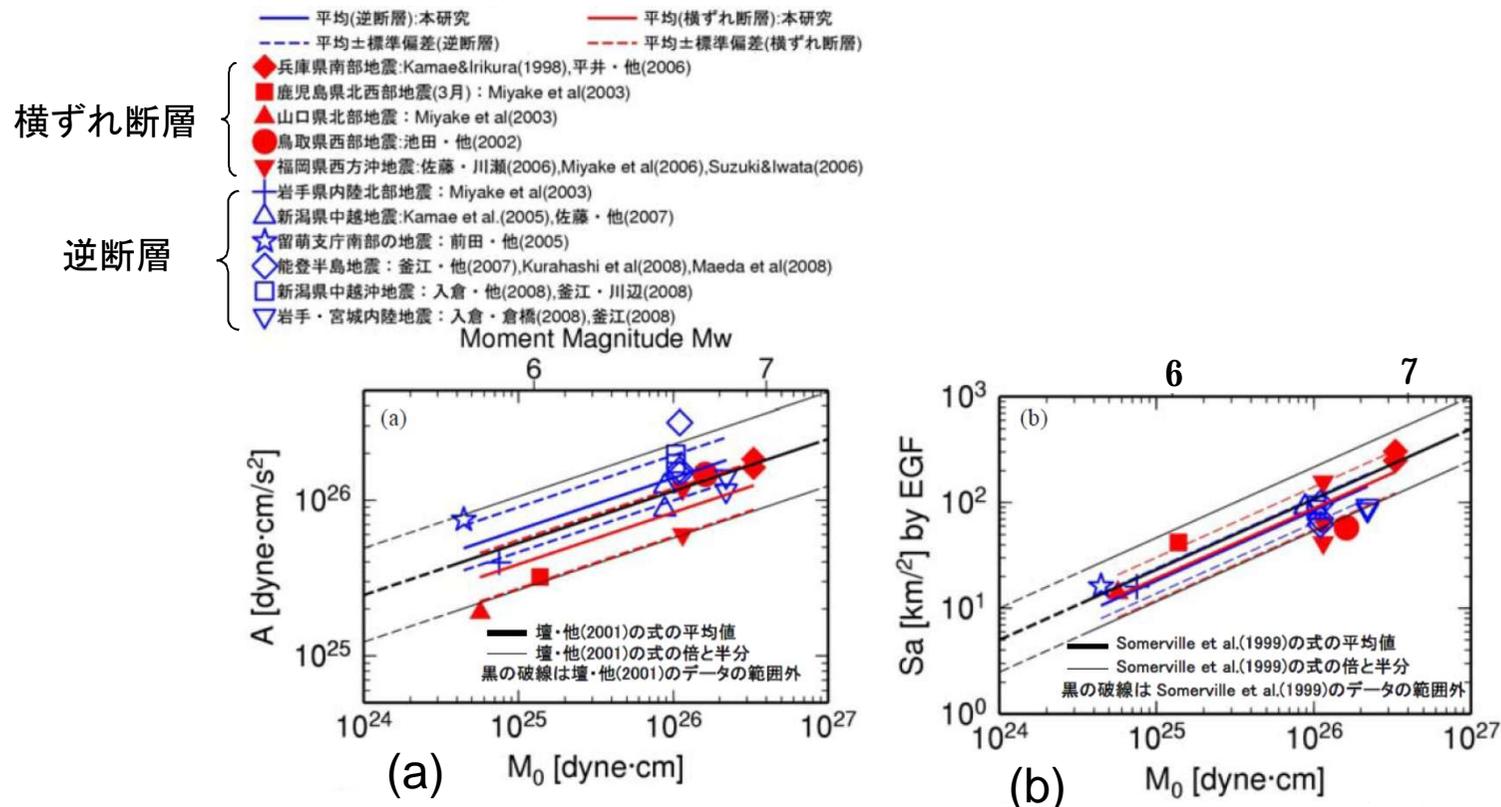


図 10 経験的グリーン関数法に基づく、地殻内地震の  $A$  と  $M_0$  の関係(a)、アスペリティ総面積  $S_a$  と  $M_0$  の関係(b)

# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

(短周期の地震動レベルの不確かさについて(3/5))

## ■ 構造計画研究所(2010)の知見について

過去の内陸地殻内地震の特性化震源モデルから換算した短周期レベルを断層タイプ別に整理し、以下のとおり評価している。

- 断層タイプ別の短周期レベルには明確な違いは見られなかったが、逆断層の短周期レベルが若干大きい。  
この傾向は佐藤(2010)による結果と調和的であるが、数値的には大きく異なるので、今後の検討課題になる。

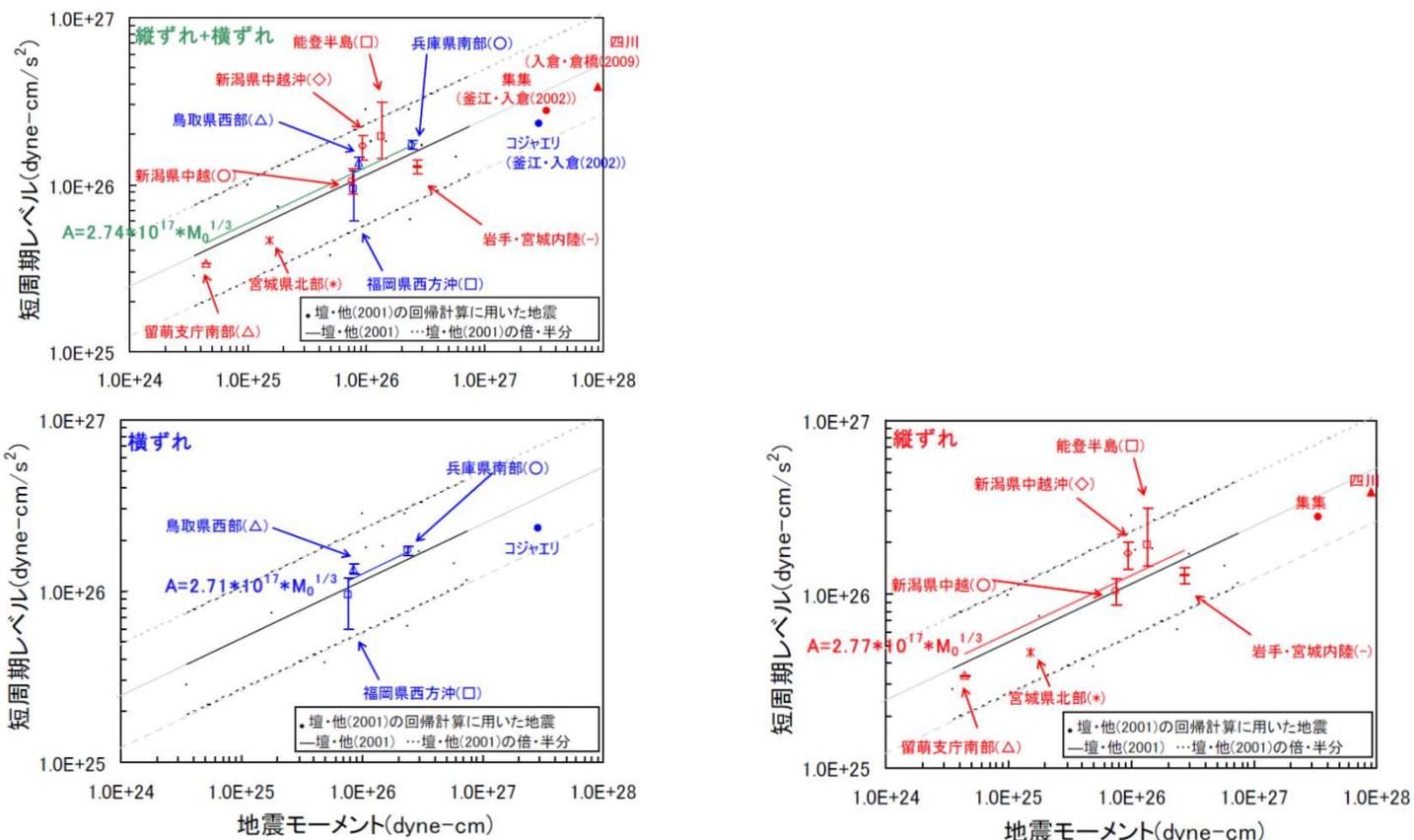


図 3-2 地震モーメントと短周期レベルの関係

(ハーフは最大・最小の短周期レベルを示す)

# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

(短周期の地震動レベルの不確かさについて(4/5))

## ■ 構造計画研究所(2011)の知見について

スペクトルインバージョンに基づく短周期レベルAと経験的グリーン関数法に基づく短周期レベルAの差が大きかった2000年鳥取県西部地震について、経験的グリーン関数法による震源モデルの再評価を行った。

その結果、得られた震源モデルによる短周期レベルは佐藤(2010)より大きいものの、壇・他(2001)と同じかやや小さいと評価している。

さらに、バックチェックにおいては、短周期レベルを壇・他(2001)の式の1.5倍として震源パラメータの不確かさの考慮を求めているが、横ずれ断層では逆断層より短周期レベルが小さいという佐藤(2010)の結果と今回の検討結果から、横ずれ断層では1.5倍を考慮する必要がない可能性がある」と指摘している。

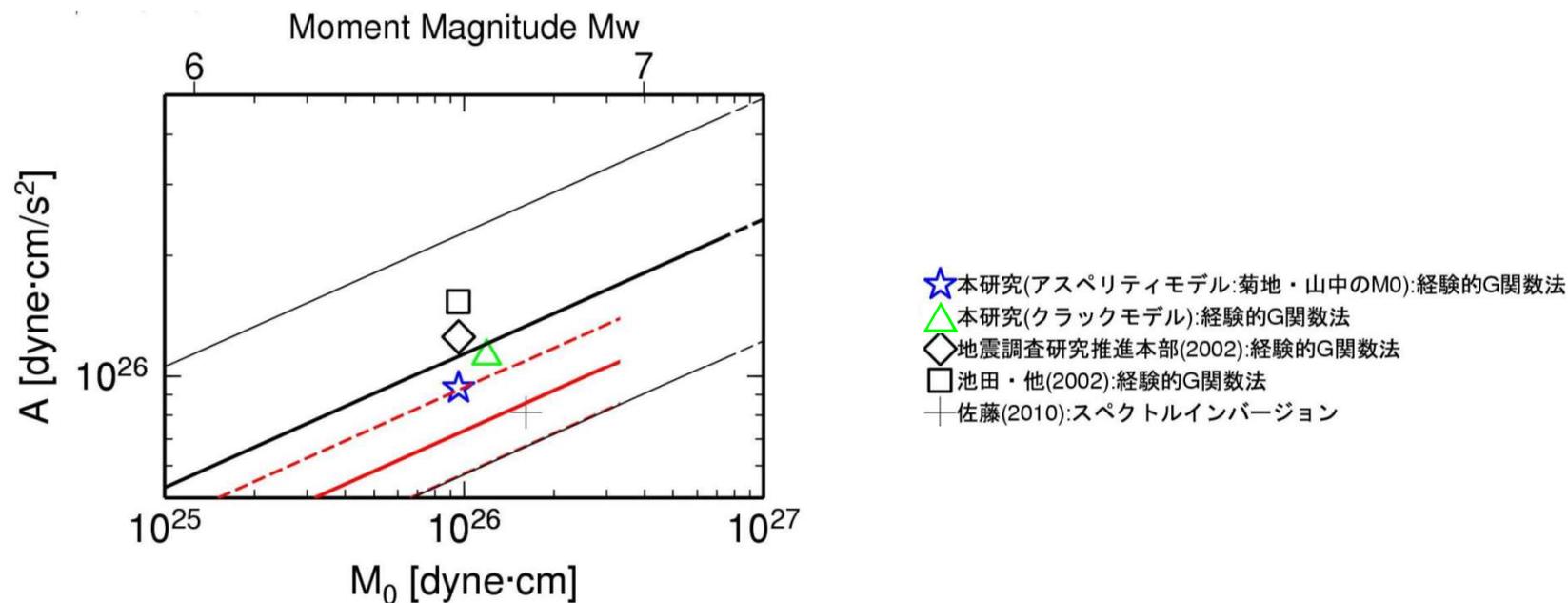


図 2-45 本研究(caseB-16b)と既往の研究の  $M_0$ -A の比較

# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

(短周期の地震動レベルの不確かさについて(5/5))

## ■ 佐藤(2008)の知見について

日本国内で観測された最近の地殻内地震の強震記録を用いて、P波部・S波部・全継続時間の3成分それぞれの最大加速度、最大速度、加速度応答スペクトルの距離減衰式を以下の形で提案している。

このうち、 $g$ は断層タイプの違いを表現する回帰係数であり、横ずれ断層の場合0で、逆断層・斜めずれ断層に値をもつとされており、論文中で横ずれ断層に対する比として0.2秒以下の短周期領域で地震動レベルが1.2倍程度と評価している。

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

--- Horizontal(斜めずれ断層):Abrahamson and Silva(1997)  
 ——— Horizontal(逆断層)Abrahamson and Silva(1997)

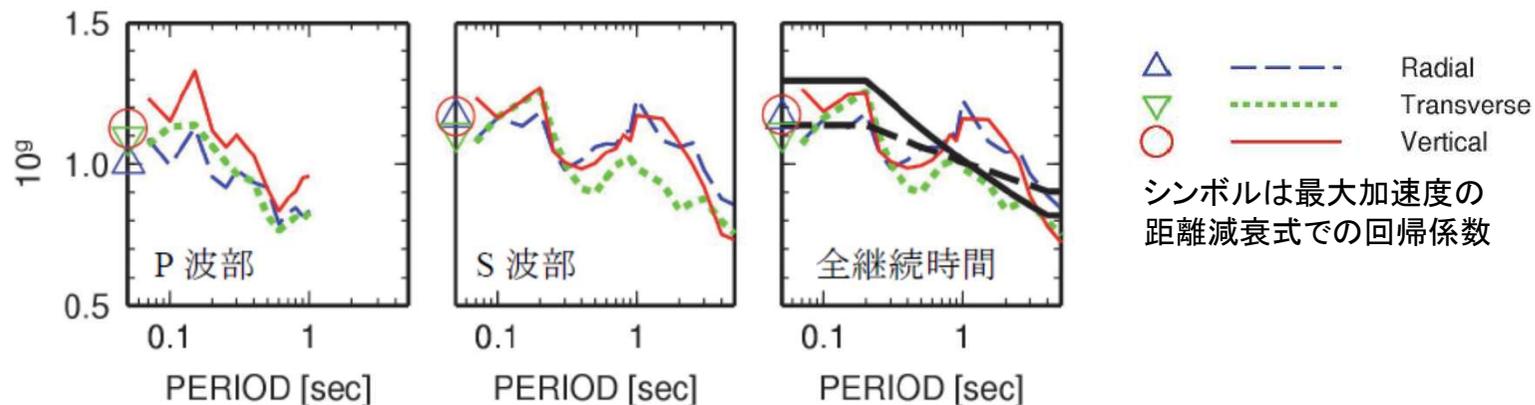


図7 横ずれ断層に対する逆断層・斜めずれ断層の比  $10^g$

## 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

(短周期の地震動レベルの不確かさパラメータの再設定)

■これらの知見を以下のとおり整理し、短周期の地震動レベルの不確かさのパラメータを設定する。

○FO-A～FO-B～熊川断層は横ずれ断層であり、逆断層、斜めずれ断層とは、同じ規模の地震でも短周期レベルに差があると考えられる。

○佐藤(2010)などによれば、短周期レベルは、逆断層 > 横ずれ断層 の関係があると考えられる。

○また、佐藤(2008)では、横ずれ断層に対する逆断層や斜めずれ断層の、短周期の地震動レベルの比率が1.2倍程度とされている。

以上より、新潟県中越沖地震(逆断層)で考慮した1.5倍を1.2で除して、短周期の地震動レベルを1.25倍として再設定する。

# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

FO-A～FO-B～熊川断層の地震動評価ケース

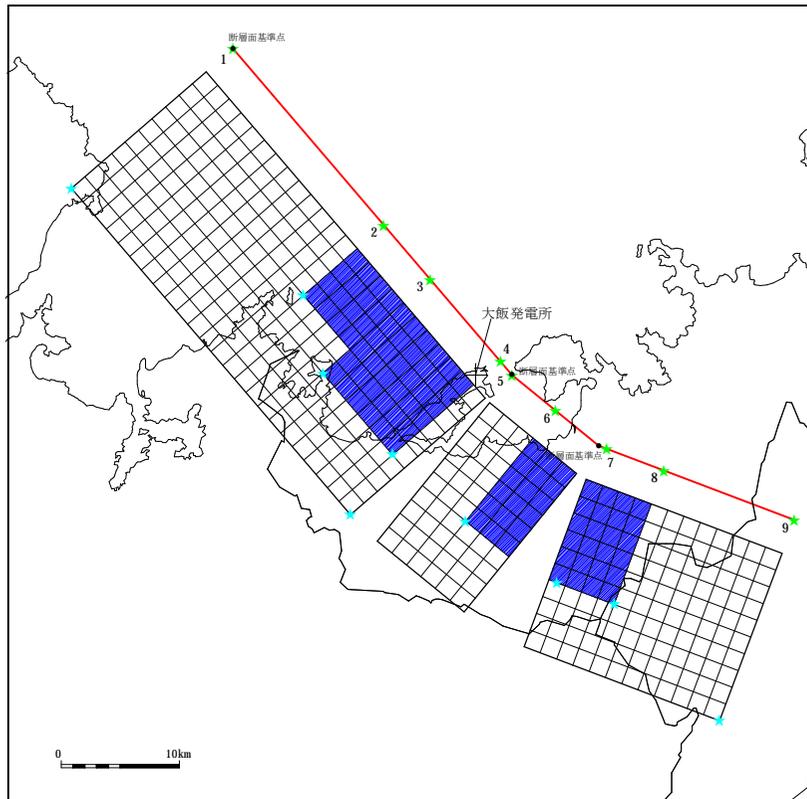
考慮した不確かさ	短周期の地震動レベル	断層傾斜角	すべり角	破壊伝播速度 Vr	アスペリティ配置	破壊開始点
基本ケース	レシピ平均	90°	0°	$Vr=0.72\beta$	①断層ごとに敷地近傍に配置	9箇所
短周期の地震動レベル	レシピ平均×1.5倍	90°	0°	$Vr=0.72\beta$	①断層ごとに敷地近傍に配置	9箇所
断層傾斜角	レシピ平均	75°	0°	$Vr=0.72\beta$	①断層ごとに敷地近傍に配置	9箇所
すべり角	レシピ平均	90°	30°	$Vr=0.72\beta$	①断層ごとに敷地近傍に配置	9箇所
破壊伝播速度 Vr	レシピ平均	90°	0°	$Vr=0.87\beta$	①断層ごとに敷地近傍に配置	9箇所
アスペリティ配置	レシピ平均	90°	0°	$Vr=0.72\beta$	②敷地近傍に一塊(正方形)	5箇所
	レシピ平均	90°	0°	$Vr=0.72\beta$	③敷地近傍に一塊(長方形)	5箇所
短周期の地震動レベルおよび破壊伝播速度 Vrの不確かさの組合せを考慮	レシピ平均×1.25倍	90°	0°	$Vr=0.87\beta$	①断層ごとに敷地近傍に配置)	9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

# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

## ■FO-A～FO-B～熊川断層のモデル図

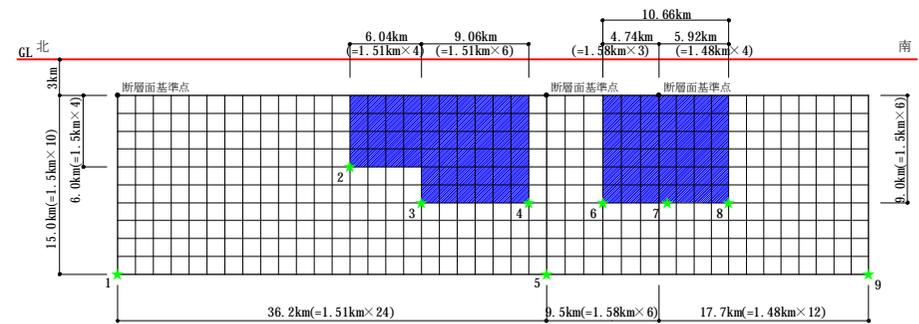
(基本ケース、短周期の地震動1.5倍ケース、すべり角30° ケース、 $V_r=0.87\beta$ ケース、  
短周期の地震動1.25倍かつ $V_r=0.87\beta$ ケース)



※ 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. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

## ■ 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 <sup>2</sup> )	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 <sub>0</sub> (Nm)	5.03 × 10 <sup>19</sup>	3.05 × 10 <sup>19</sup>	1.98 × 10 <sup>19</sup>	M <sub>0</sub> ={S/(4.24 × 10 <sup>-11</sup> )} <sup>2.0</sup> 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 <sup>2</sup> )	3.5 × 10 <sup>10</sup>	←	←	μ=ρβ <sup>2</sup> 、ρ=2.7g/cm <sup>3</sup> 、β=3.6km/s
平均すべり量D(cm)	151.2	160.3	139.0	D=M <sub>0</sub> /(μS)
平均応力降下量Δσ(MPa)	3.1	←	←	Fujii and Matsu'ura(2000)
破壊伝播速度V <sub>r</sub> (km/s)	2.59	←	←	V <sub>r</sub> =0.72β
立ち上がり時間Tr(sec)	1.61	←	←	Tr=2.03 × 10 <sup>-9</sup> M <sub>0</sub> <sup>1/3</sup>
高周波限界遮断周波数f <sub>max</sub> (Hz)	8.3	←	←	香川他(2003)
短周期レベルA(Nm/s <sup>2</sup> )(参考)※	1.96 × 10 <sup>19</sup>	←	←	A=2.46 × 10 <sup>10</sup> × (M <sub>0</sub> × 10 <sup>7</sup> ) <sup>1/3</sup>
Q値	50f <sup>1.1</sup>	←	←	佐藤他(2007)

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

# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

## ■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 イ	面積 $S_a$ (km <sup>2</sup> )	209.22	119.46	89.76	$S_a = \gamma_{asp} \times S, \gamma_{asp} = 0.22$
	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)	$2.22 \times 10^{19}$	$1.35 \times 10^{19}$	$8.77 \times 10^{18}$	$M_{0a} = \mu S_a D_a$
	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 イ	面積 $S_{a1}$ (km <sup>2</sup> )	—	79.64	/	$S_{a1} = 2/3 S_a$
	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)	—	$9.95 \times 10^{18}$		$M_{0a1} = M_{0a} S_{a1}^{1.5} / (S_{a1}^{1.5} + S_{a2}^{1.5})$
	応力降下量 $\Delta\sigma_{a1}$ (MPa)	—	14.1		$\Delta\sigma_{a1} = \Delta\sigma_a$
小 ア ス ペ リ テ イ	面積 $S_{a2}$ (km <sup>2</sup> )	—	39.82		$S_{a2} = 1/3 S_a$
	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)	—	$3.52 \times 10^{18}$		$M_{0a2} = M_{0a} S_{a2}^{1.5} / (S_{a1}^{1.5} + S_{a2}^{1.5})$
	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 <sup>2</sup> )	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)	$2.81 \times 10^{19}$	$1.70 \times 10^{19}$	$1.11 \times 10^{19}$	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$
	実効応力 $\sigma_b$ (MPa)	2.8	←	←	$\sigma_b = 0.2 \Delta\sigma_a$

# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

## ■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)	—	3	3	微小地震の発生及び地下構造を参考に設定
断層下端深さ(km)		18	18	
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 <sup>2</sup> )	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 <sub>0</sub> (Nm)	5.03 × 10 <sup>19</sup>	3.05 × 10 <sup>19</sup>	1.98 × 10 <sup>19</sup>	M <sub>0</sub> ={S/(4.24 × 10 <sup>-11</sup> )} <sup>2.0</sup> 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 <sup>2</sup> )	3.5 × 10 <sup>10</sup>	←	←	μ=ρβ <sup>2</sup> 、ρ=2.7g/cm <sup>3</sup> 、β=3.6km/s
平均すべり量D(cm)	151.2	160.3	139.0	D=M <sub>0</sub> /(μS)
平均応力降下量Δσ(MPa)	3.1	←	←	Fujii and Matsu'ura(2000)
破壊伝播速度V <sub>r</sub> (km/s)	2.59	←	←	V <sub>r</sub> =0.72β
立ち上がり時間T <sub>r</sub> (sec)	1.61	←	←	T <sub>r</sub> =2.03 × 10 <sup>-9</sup> M <sub>0</sub> <sup>1/3</sup>
高周波限界遮断周波数f <sub>max</sub> (Hz)	8.3	←	←	香川他(2003)
短周期レベルA(Nm/s <sup>2</sup> )(参考)	1.96 × 10 <sup>19</sup>	←	←	A=2.46 × 10 <sup>10</sup> × (M <sub>0</sub> × 10 <sup>7</sup> ) <sup>1/3</sup>
Q値	50f <sup>1.1</sup>	←	←	佐藤他(2007)

# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

## ■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 <sup>2</sup> )	209.22	119.46	89.76	$S_a = \gamma_{asp} \times S, \gamma_{asp} = 0.22$
	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)	$2.22 \times 10^{19}$	$1.35 \times 10^{19}$	$8.77 \times 10^{18}$	$M_{0a} = \mu S_a D_a$
	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 <sup>2</sup> )	—	79.64	/	$S_{a1} = 2/3 S_a$
	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)	—	$9.95 \times 10^{18}$		$M_{0a1} = M_{0a} S_{a1}^{1.5} / (S_{a1}^{1.5} + S_{a2}^{1.5})$
	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 <sup>2</sup> )	—	39.82		$S_{a2} = 1/3 S_a$
	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)	—	$3.52 \times 10^{18}$		$M_{0a2} = M_{0a} S_{a2}^{1.5} / (S_{a1}^{1.5} + S_{a2}^{1.5})$
	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 <sup>2</sup> )	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)	$2.81 \times 10^{19}$	$1.70 \times 10^{19}$	$1.11 \times 10^{19}$	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$
	実効応力 $\sigma_b$ (MPa)	2.8	←	←	$\sigma_b = 0.2 \Delta\sigma_a$

## 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

### ■FO-A～FO-B～熊川断層の断層パラメータ ( $V_r=0.87\beta$ ケース、短周期の地震動1.25倍かつ $V_r=0.87\beta$ 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 <sup>2</sup> )	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 <sub>0</sub> (Nm)	5.03 × 10 <sup>19</sup>	3.05 × 10 <sup>19</sup>	1.98 × 10 <sup>19</sup>	$M_0 = \{S / (4.24 \times 10^{-11})\}^{2.0}$ 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 <sup>2</sup> )	3.5 × 10 <sup>10</sup>	←	←	$\mu = \rho\beta^2$ 、 $\rho = 2.7\text{g/cm}^3$ 、 $\beta = 3.6\text{km/s}$
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V <sub>r</sub> (km/s)	3.13	←	←	$V_r = 0.87\beta$
立ち上がり時間Tr(sec)	1.61	←	←	$Tr = 2.03 \times 10^{-9} M_0^{1/3}$
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 <sup>2</sup> )(参考)※	1.96 × 10 <sup>19</sup>	←	←	$A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$
Q値	50f <sup>1.1</sup>	←	←	佐藤他(2007)

※短周期の地震動1.25倍かつ $V_r=0.87\beta$ ケースでは、短周期領域のフーリエスペクトルの比が基本ケースの1.25倍となるように設定する。

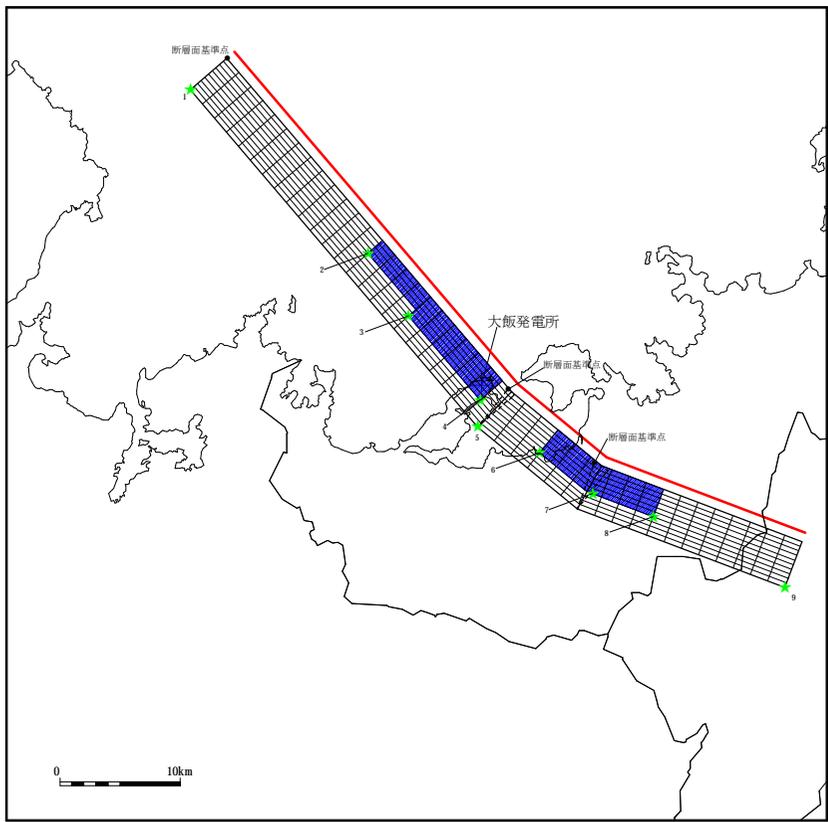
# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

■ FO-A~FO-B~熊川断層の断層パラメータ  
( $V_r=0.87\beta$ ケース、短周期の地震動1.25倍かつ $V_r=0.87\beta$ 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 <sup>2</sup> )	209.22	119.46	89.76	$S_a = \gamma_{asp} \times S, \gamma_{asp} = 0.22$
	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)	$2.22 \times 10^{19}$	$1.35 \times 10^{19}$	$8.77 \times 10^{18}$	$M_{0a} = \mu S_a D_a$
	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 <sup>2</sup> )	—	79.64	/	$S_{a1} = 2/3 S_a$
	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)	—	$9.95 \times 10^{18}$		$M_{0a1} = M_{0a} S_{a1}^{1.5} / (S_{a1}^{1.5} + S_{a2}^{1.5})$
	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 <sup>2</sup> )	—	39.82		$S_{a2} = 1/3 S_a$
	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)	—	$3.52 \times 10^{18}$		$M_{0a2} = M_{0a} S_{a2}^{1.5} / (S_{a1}^{1.5} + S_{a2}^{1.5})$
	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 <sup>2</sup> )	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)	$2.81 \times 10^{19}$	$1.70 \times 10^{19}$	$1.11 \times 10^{19}$	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$
	実効応力 $\sigma_b$ (MPa)	2.8	←	←	$\sigma_b = 0.2 \Delta\sigma_a$

# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

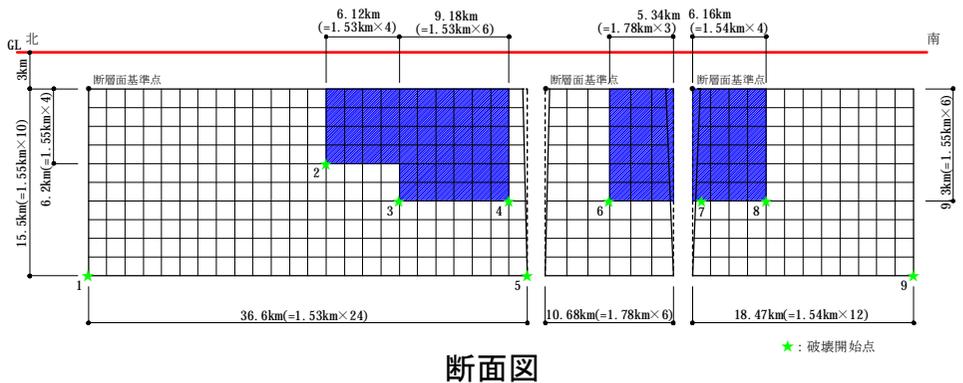
## ■ FO-A~FO-B~熊川断層のモデル図(傾斜角75° ケース)



※ 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



断面図

★：破壊開始点

# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

## ■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)	—	3	3	微小地震の発生及び地下構造を参考に設定
断層下端深さ(km)		18	18	
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 <sup>2</sup> )	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 <sub>0</sub> (Nm)	5.59 × 10 <sup>19</sup>	3.32 × 10 <sup>19</sup>	2.28 × 10 <sup>19</sup>	M <sub>0</sub> ={S/(4.24 × 10 <sup>-11</sup> )} <sup>2.0</sup> 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 <sup>2</sup> )	3.5 × 10 <sup>10</sup>	←	←	μ=ρβ <sup>2</sup> 、ρ=2.7g/cm <sup>3</sup> 、β=3.6km/s
平均すべり量D(cm)	159.4	168.1	148.2	D=M <sub>0</sub> /(μS)
平均応力降下量Δσ(MPa)	3.1	←	←	Fujii and Matsu'ura(2000)
破壊伝播速度V <sub>r</sub> (km/s)	2.59	←	←	V <sub>r</sub> =0.72β
立ち上がり時間T <sub>r</sub> (sec)	1.67	←	←	T <sub>r</sub> =2.03 × 10 <sup>-9</sup> M <sub>0</sub> <sup>1/3</sup>
高周波限界遮断周波数f <sub>max</sub> (Hz)	8.3	←	←	香川他(2003)
短周期レベルA(Nm/s <sup>2</sup> )(参考)	2.03 × 10 <sup>19</sup>	←	←	A=2.46 × 10 <sup>10</sup> × (M <sub>0</sub> × 10 <sup>7</sup> ) <sup>1/3</sup>
Q値	50f <sup>1.1</sup>	←	←	佐藤他(2007)

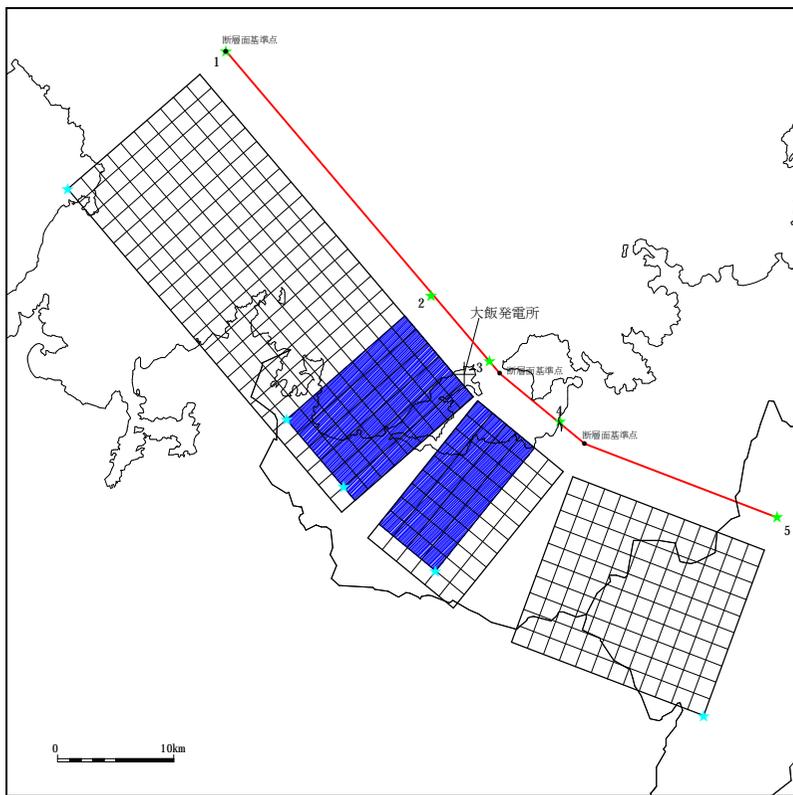
# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

## ■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 <sup>2</sup> )	220.63	124.12	96.50	$S_a = \gamma_{asp} \times S, \gamma_{asp} = 0.22$
	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)	$2.47 \times 10^{19}$	$1.47 \times 10^{19}$	$1.01 \times 10^{19}$	$M_{0a} = \mu S_a D_a$
	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 <sup>2</sup> )	—	82.75	/	$S_{a1} = 2/3 S_a$
	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)	—	$1.08 \times 10^{19}$		$M_{0a1} = M_{0a} S_{a1}^{1.5} / (S_{a1}^{1.5} + S_{a2}^{1.5})$
	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 <sup>2</sup> )	—	41.37		$S_{a2} = 1/3 S_a$
	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)	—	$3.83 \times 10^{18}$		$M_{0a2} = M_{0a} S_{a2}^{1.5} / (S_{a1}^{1.5} + S_{a2}^{1.5})$
	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 <sup>2</sup> )	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)	$3.12 \times 10^{19}$	$1.85 \times 10^{19}$	$1.27 \times 10^{19}$	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$
	実効応力 $\sigma_b$ (MPa)	2.8	←	←	$\sigma_b = 0.2 \Delta\sigma_a$

# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

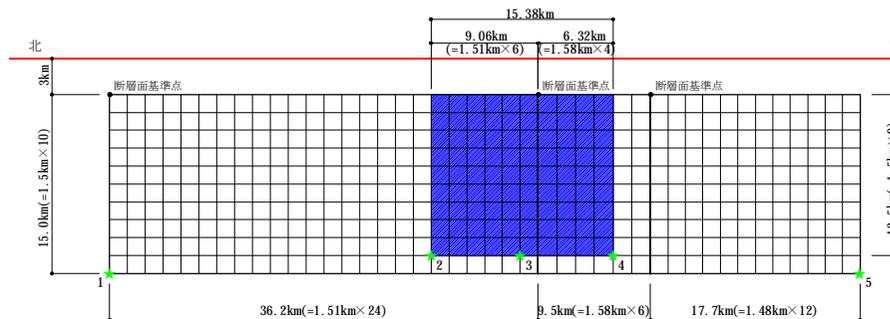
## ■ FO-A～FO-B～熊川断層のモデル図(アスペリティー塊ケース)



※ 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. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

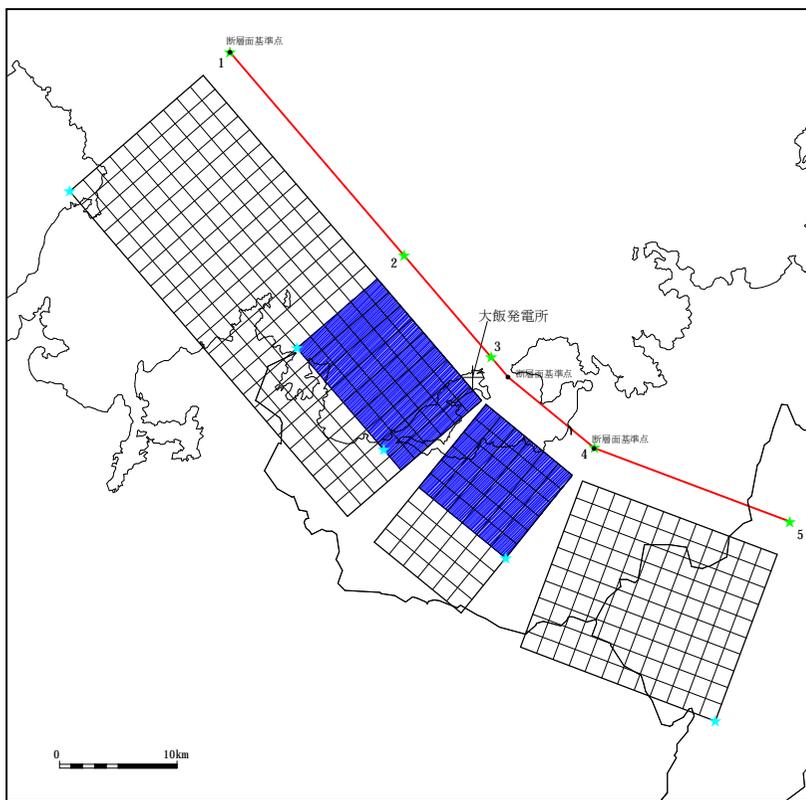
## ■FO-A～FO-B～熊川断層の断層パラメータ(アスペリティー塊ケース)

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)	3	微小地震の発生及び地下構造を参考に設定
断層下端深さ(km)	18	
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 <sup>2</sup> )	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 <sub>0</sub> (Nm)	5.03 × 10 <sup>19</sup>	$M_0 = \{S / (4.24 \times 10^{-11})\}^{2.0}$
剛性率(N/m <sup>2</sup> )	3.5 × 10 <sup>10</sup>	$\mu = \rho\beta^2$ 、 $\rho = 2.7\text{g/cm}^3$ 、 $\beta = 3.6\text{km/s}$
平均すべり量D(cm)	151.2	$D = M_0 / (\mu S)$
平均応力降下量Δσ(MPa)	3.1	Fujii and Matsu'ura (2000)
破壊伝播速度V <sub>r</sub> (km/s)	2.59	$V_r = 0.72\beta$
立ち上がり時間T <sub>r</sub> (sec)	1.61	$T_r = 2.03 \times 10^{-9} M_0^{1/3}$
高周波限界遮断周波数f <sub>max</sub> (Hz)	8.3	香川ほか、2003
短周期レベルA(Nm/s <sup>2</sup> )	1.96 × 10 <sup>19</sup>	$A = 2.46 \times 10^{17} \times M_0^{1/3}$
Q値	50f <sup>1.1</sup>	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 <sub>a</sub> (km <sup>2</sup> )	209.22	$S_a = \pi r^2$ 、 $r = (7\pi M_0 \beta^2) / (4AR)$ 、 $R = (S/\pi)^{0.5}$
	平均すべり量D <sub>a</sub> (cm)	303.9	$D_a = Y_D D$ 、 $Y_D = 2.01$
	地震モーメントM <sub>0a</sub> (Nm)	2.22 × 10 <sup>19</sup>	$M_{0a} = \mu S_a D_a$
	応力降下量Δσ <sub>a</sub> (MPa)	14.1	$\Delta\sigma_a = (S/S_a)\Delta\sigma$
背 景 領 域	面積S <sub>b</sub> (km <sup>2</sup> )	741.78	$S_b = S - S_a$
	平均すべり量D <sub>b</sub> (cm)	108.1	$D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$
	地震モーメントM <sub>0b</sub> (Nm)	2.81 × 10 <sup>19</sup>	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$
	実効応力σ <sub>b</sub> (MPa)	2.8	$\sigma_b = 0.2\Delta\sigma_a$

# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

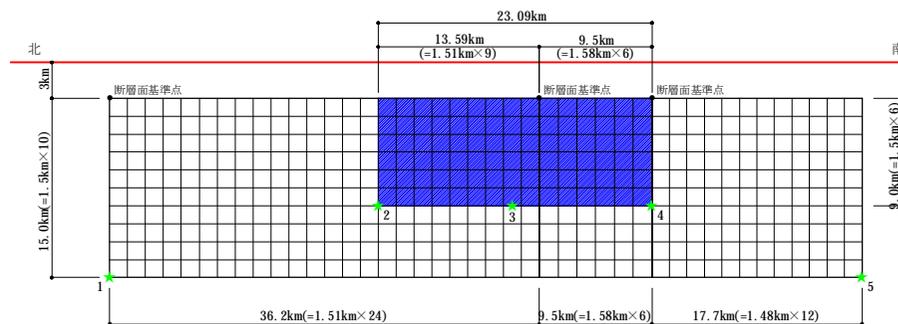
## ■FO-A～FO-B～熊川断層のモデル図(アスペリティー塊横長ケース)



※ 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. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

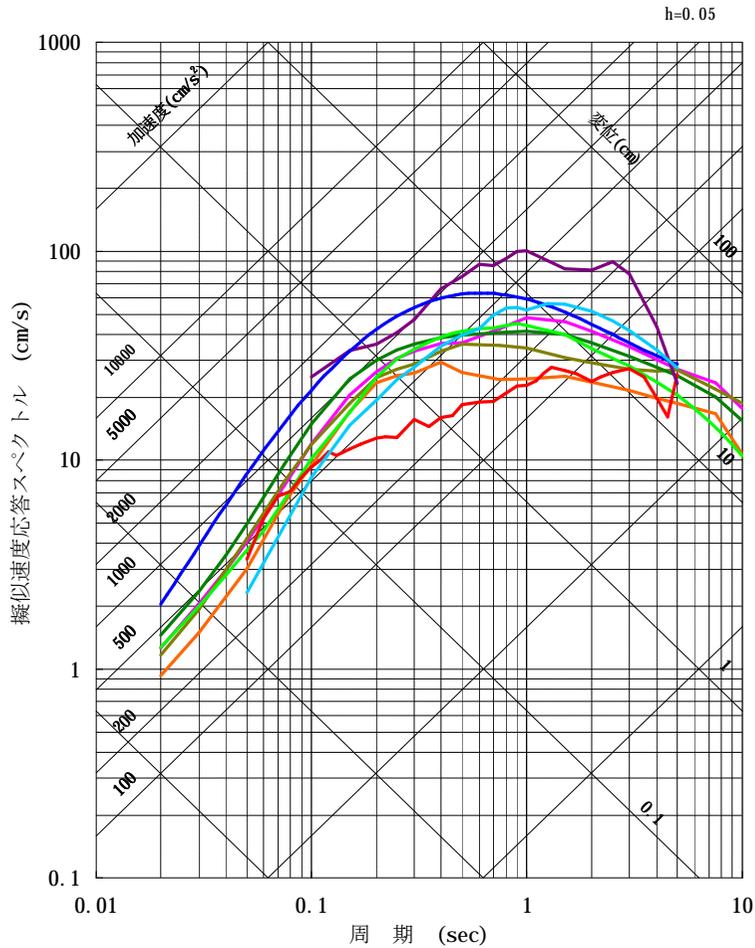
## ■FO-A～FO-B～熊川断層の断層パラメータ(アスペリティー塊横長ケース)

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)	3	微小地震の発生及び地下構造を参考に設定
断層下端深さ(km)	18	
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 <sup>2</sup> )	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 <sub>0</sub> (Nm)	5.03 × 10 <sup>19</sup>	M <sub>0</sub> ={S/(4.24 × 10 <sup>-11</sup> )} <sup>2.0</sup>
剛性率(N/m <sup>2</sup> )	3.5 × 10 <sup>10</sup>	μ=ρβ <sup>2</sup> 、ρ=2.7g/cm <sup>3</sup> 、β=3.6km/s
平均すべり量D(cm)	151.2	D=M <sub>0</sub> /(μS)
平均応力降下量Δσ(MPa)	3.1	Fujii and Matsu'ura (2000)
破壊伝播速度V <sub>r</sub> (km/s)	2.59	V <sub>r</sub> =0.72β
立ち上がり時間T <sub>r</sub> (sec)	1.61	T <sub>r</sub> =2.03 × 10 <sup>-9</sup> M <sub>0</sub> <sup>1/3</sup>
高周波限界遮断周波数f <sub>max</sub> (Hz)	8.3	香川ほか、2003
短周期レベルA(Nm/s <sup>2</sup> )	1.96 × 10 <sup>19</sup>	A=2.46 × 10 <sup>17</sup> × M <sub>0</sub> <sup>1/3</sup>
Q値	50f <sup>1.1</sup>	佐藤ほか、2007

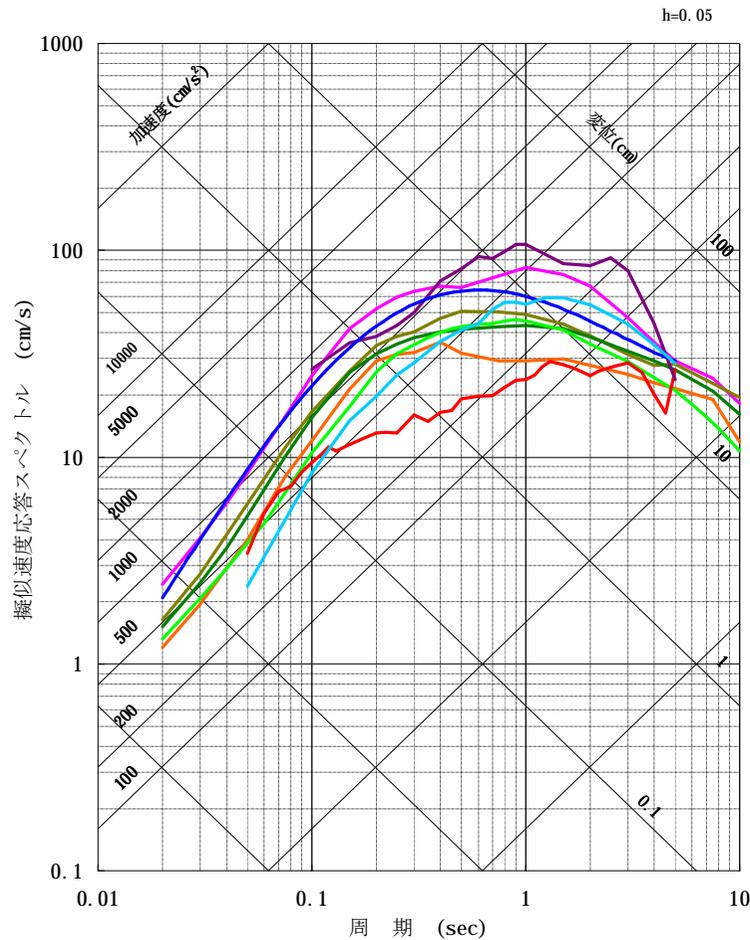
	断層パラメータ	パラメータ	設定方法
ア ス ペ リ テ ィ	面積S <sub>a</sub> (km <sup>2</sup> )	209.22	S <sub>a</sub> =πr <sup>2</sup> 、 r=(7πM <sub>0</sub> β <sup>2</sup> )/(4AR)、R=(S/π) <sup>0.5</sup>
	平均すべり量D <sub>a</sub> (cm)	303.9	D <sub>a</sub> =Y <sub>D</sub> D、Y <sub>D</sub> =2.01
	地震モーメントM <sub>0a</sub> (Nm)	2.22 × 10 <sup>19</sup>	M <sub>0a</sub> =μS <sub>a</sub> D <sub>a</sub>
	応力降下量Δσ <sub>a</sub> (MPa)	14.1	Δσ <sub>a</sub> =(S/S <sub>a</sub> )Δσ
背 景 領 域	面積S <sub>b</sub> (km <sup>2</sup> )	741.78	S <sub>b</sub> =S-S <sub>a</sub>
	平均すべり量D <sub>b</sub> (cm)	108.1	D <sub>b</sub> =M <sub>0b</sub> /(μS <sub>b</sub> )
	地震モーメントM <sub>0b</sub> (Nm)	2.81 × 10 <sup>19</sup>	M <sub>0b</sub> =M <sub>0</sub> -M <sub>0a</sub>
	実効応力σ <sub>b</sub> (MPa)	2.8	σ <sub>b</sub> =0.2Δσ <sub>a</sub>

# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

## ■ 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

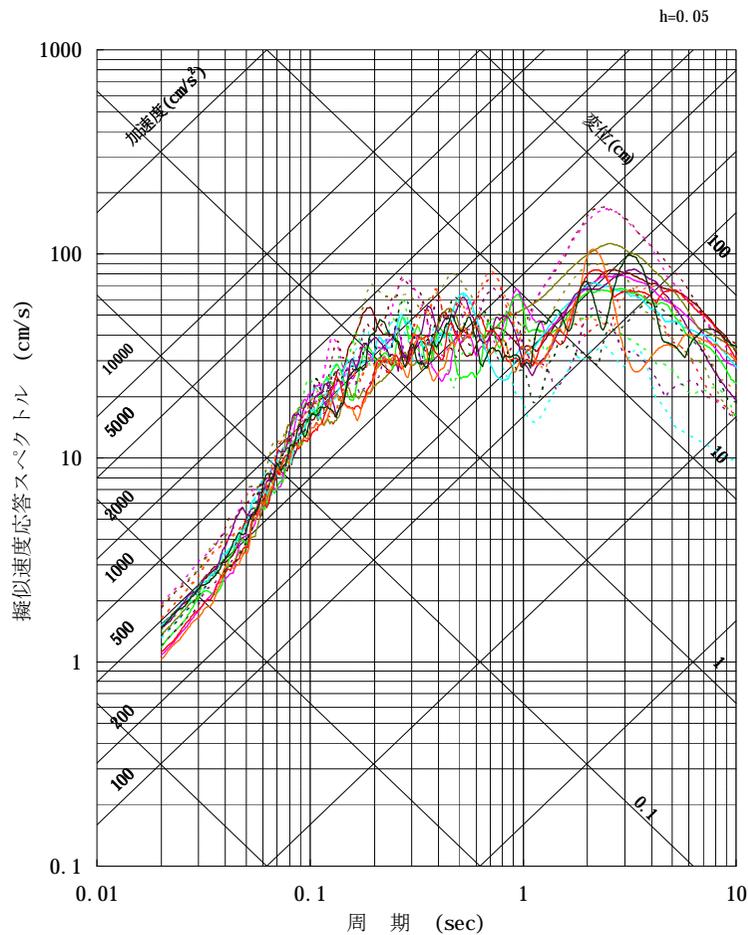


傾斜角75° ケース

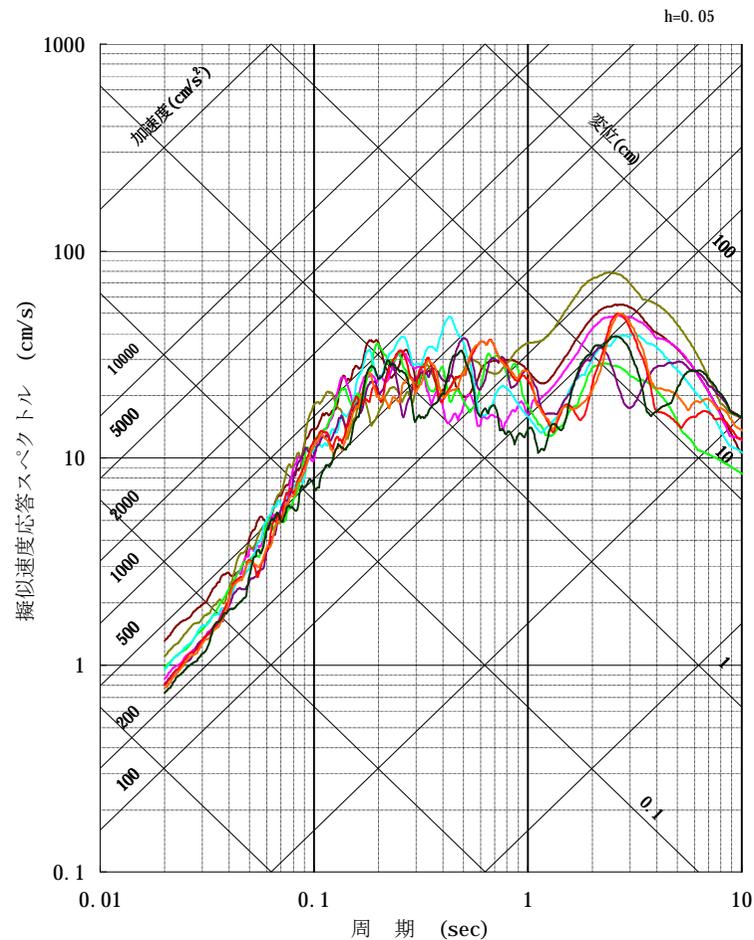
- |                             |                          |
|-----------------------------|--------------------------|
| Abrahamson and Silva(2008)  | Boore and Atkinson(2008) |
| Cambell and Bozorgnia(2008) | Chiou and Youngs(2008)   |
| Idriss(2008)                | Kanno et al.(2006)       |
| 片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

# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

## ■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)

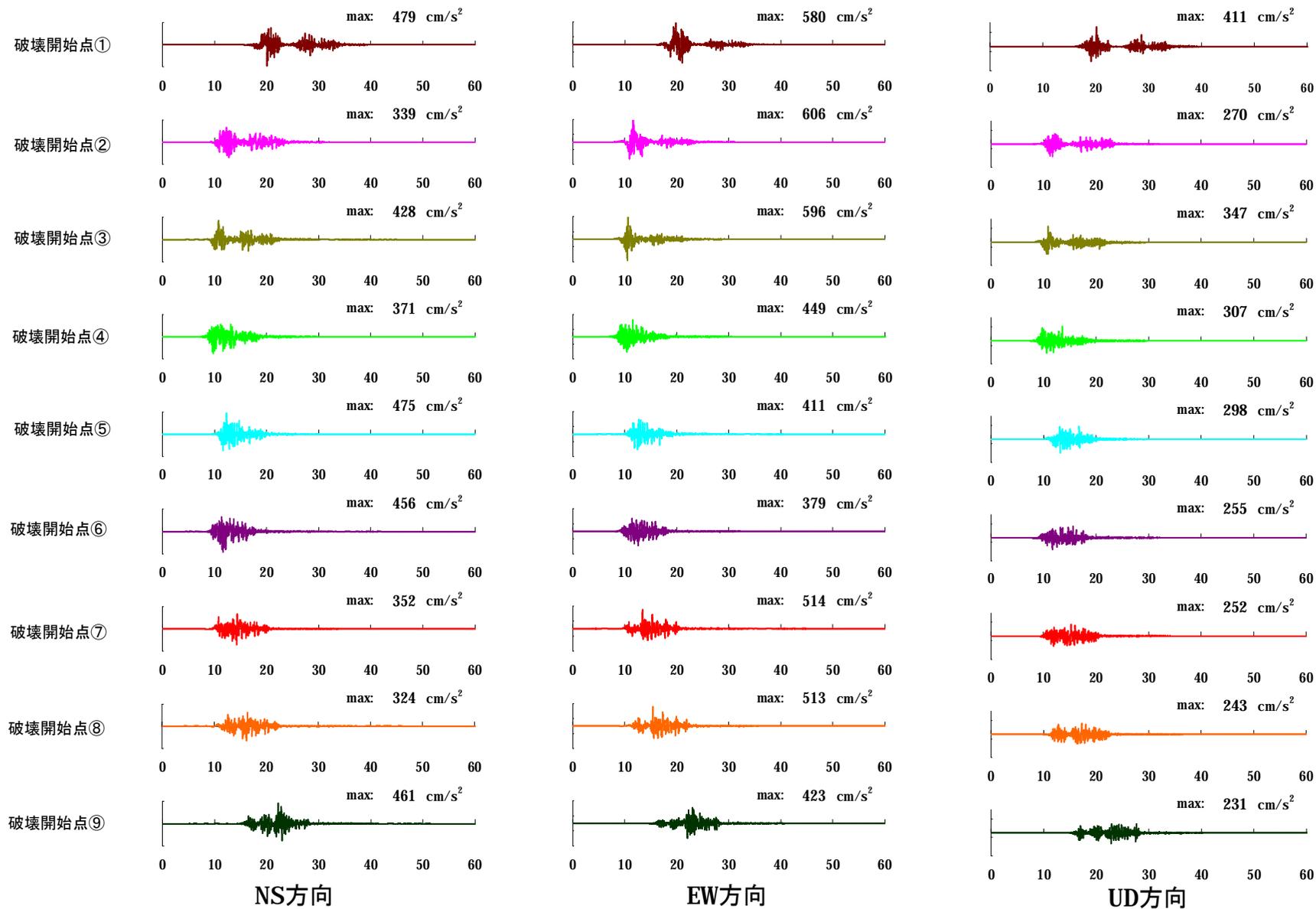


鉛直方向

- 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

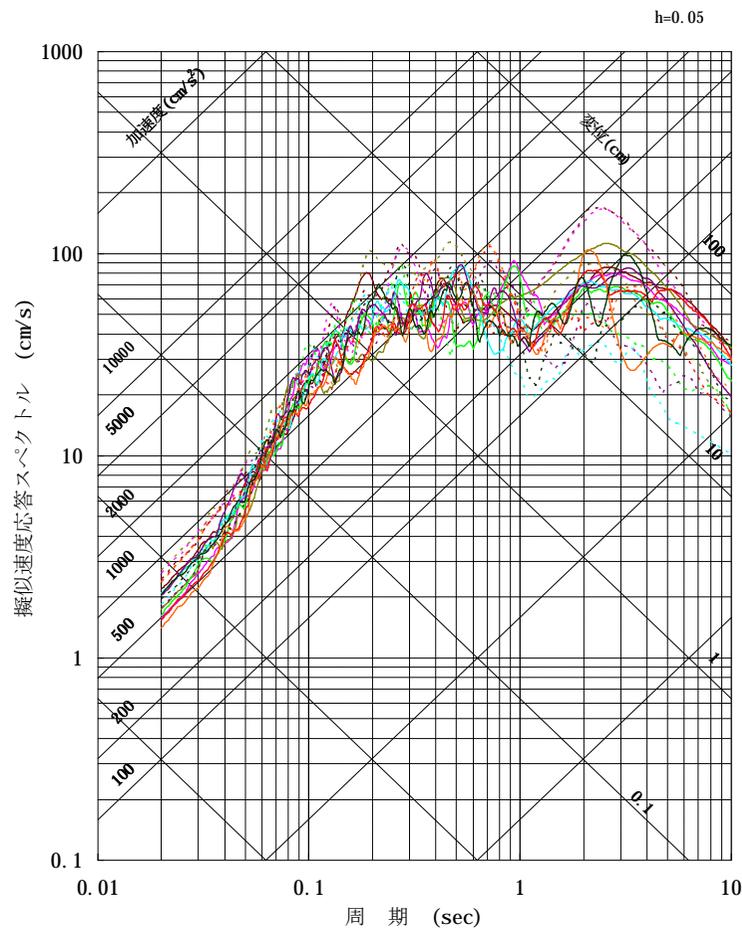
# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

■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  
基本ケースの加速度時刻歴波形

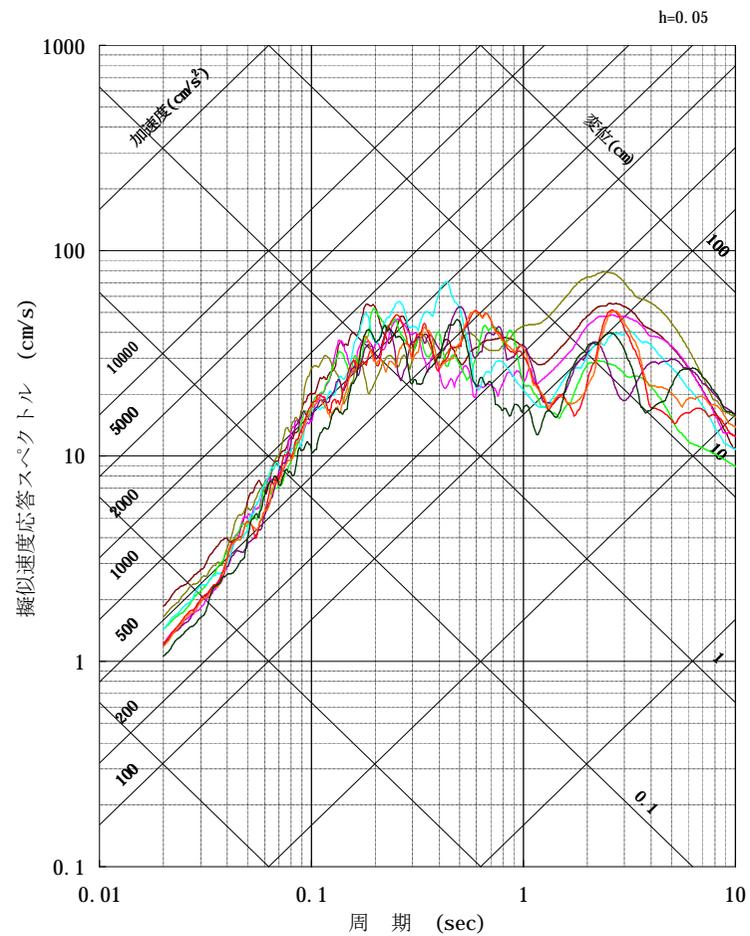


# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

■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)

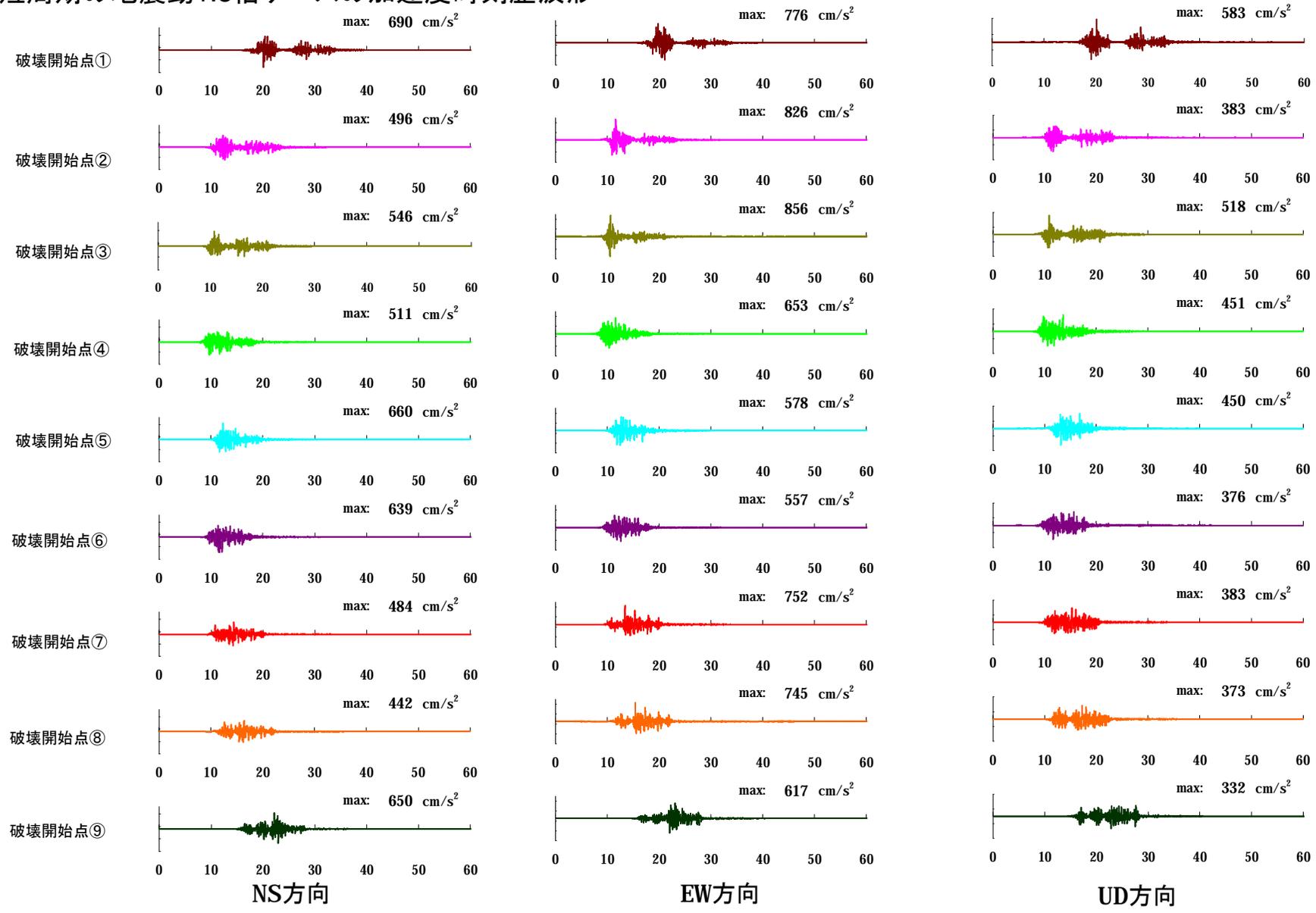


鉛直方向

- 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

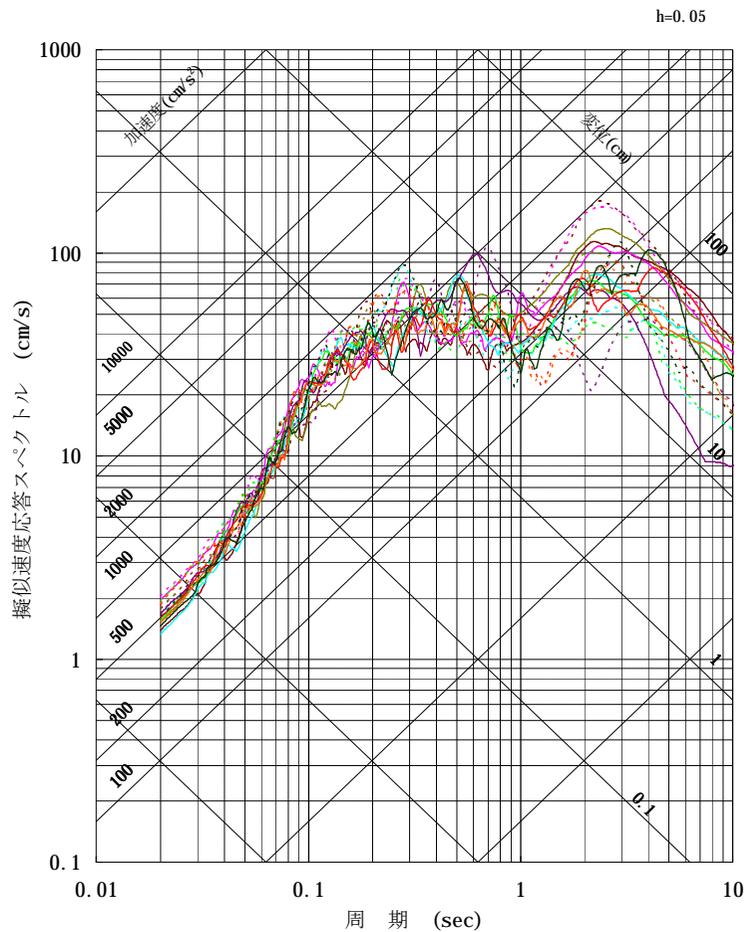
# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

■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1.5倍ケースの加速度時刻歴波形

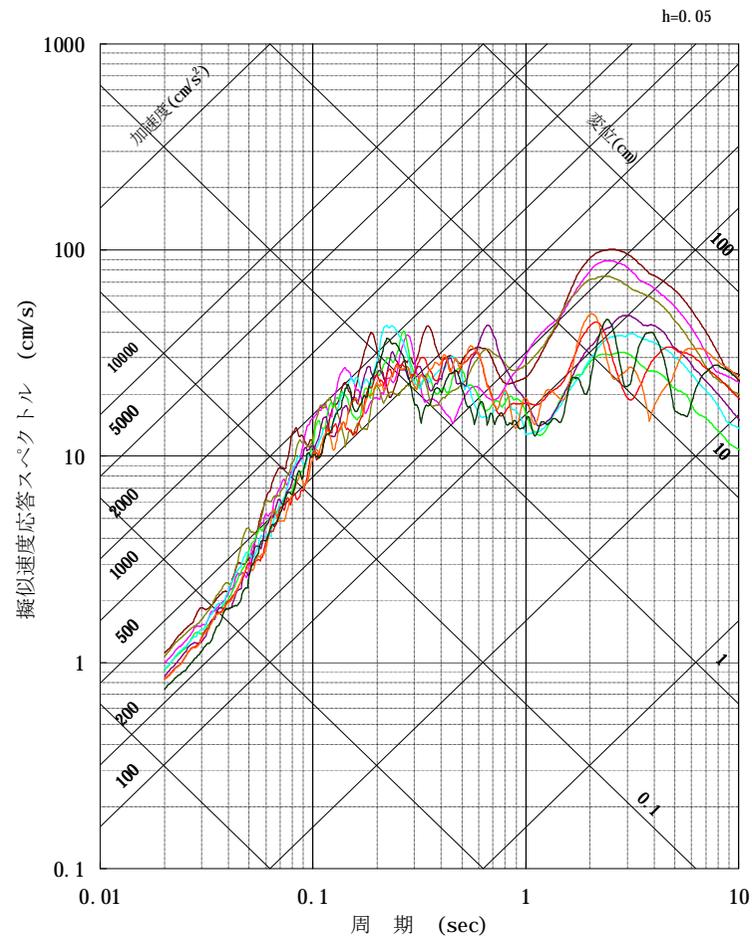


# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

## ■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)

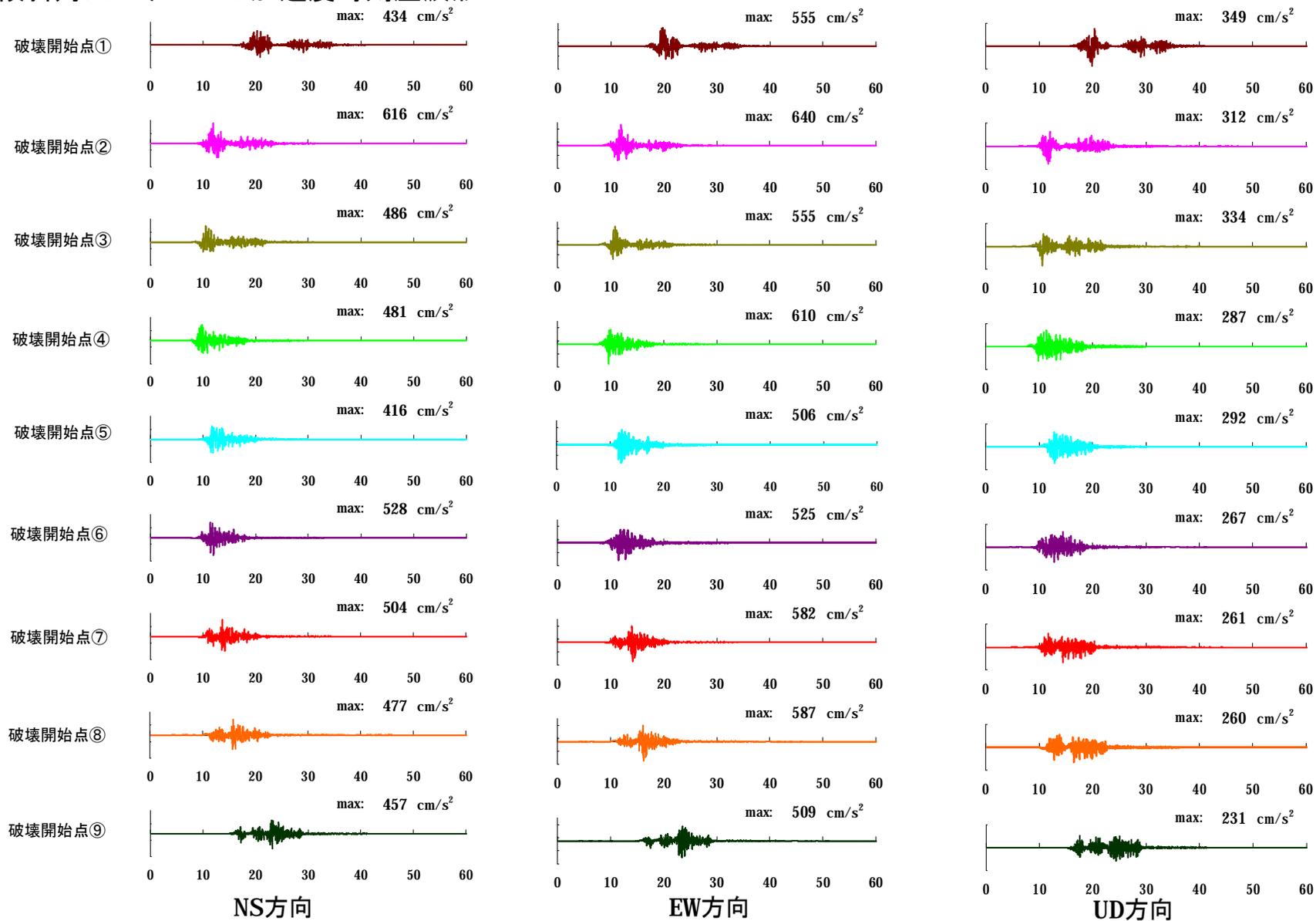


鉛直方向

- |          |          |          |
|----------|----------|----------|
| — 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 |

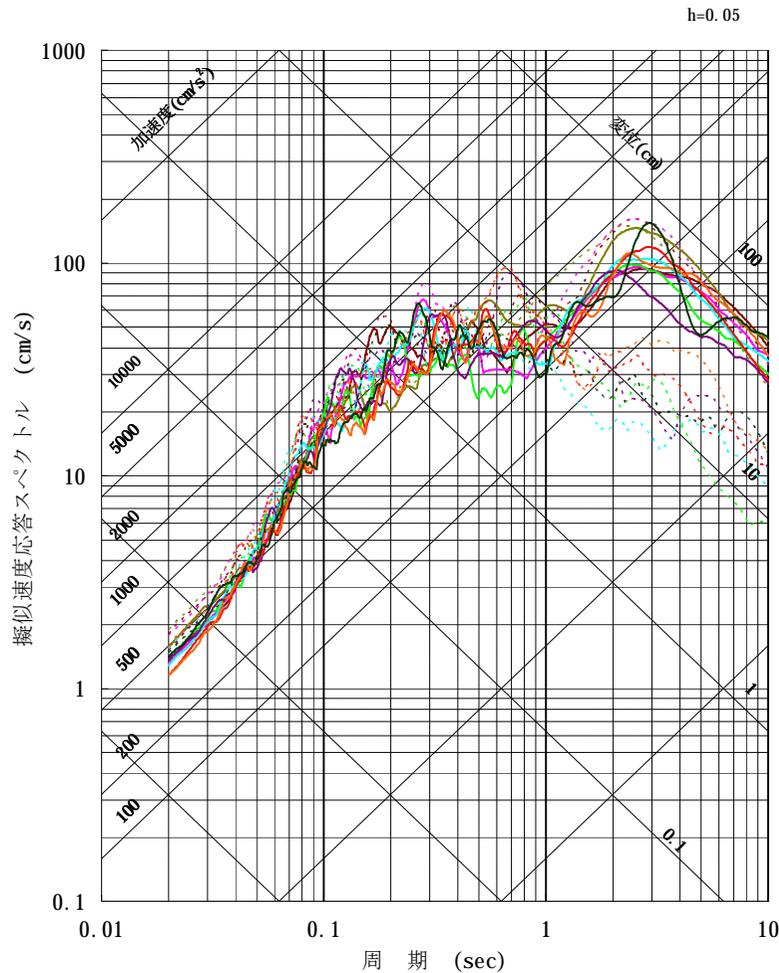
# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

■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° ケースの加速度時刻歴波形

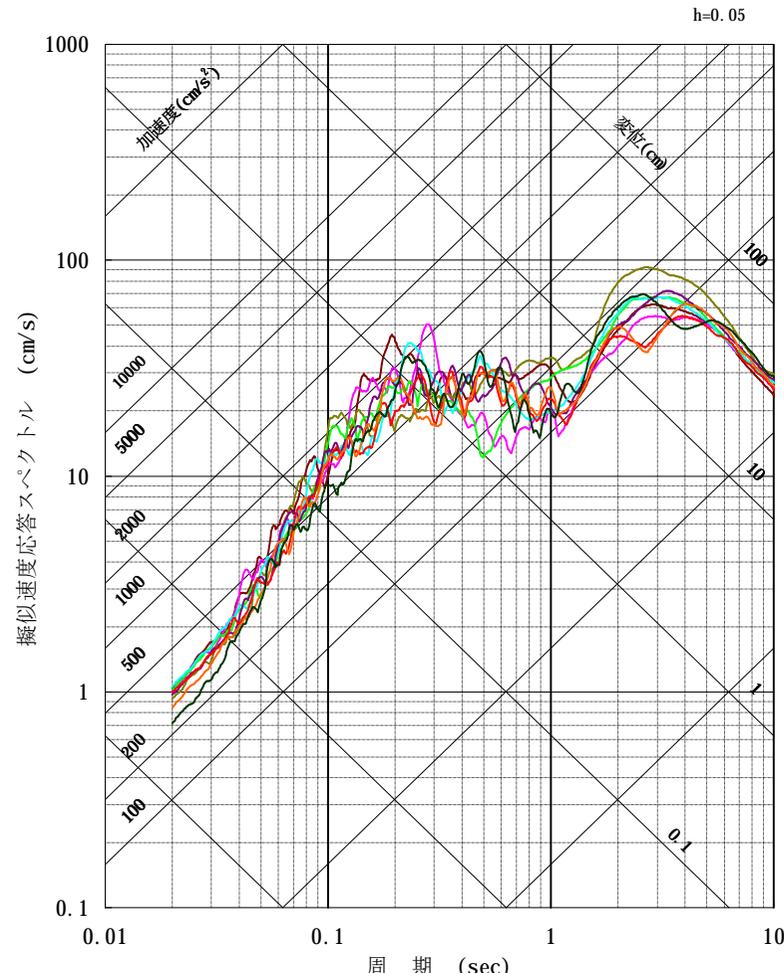


# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

## ■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)

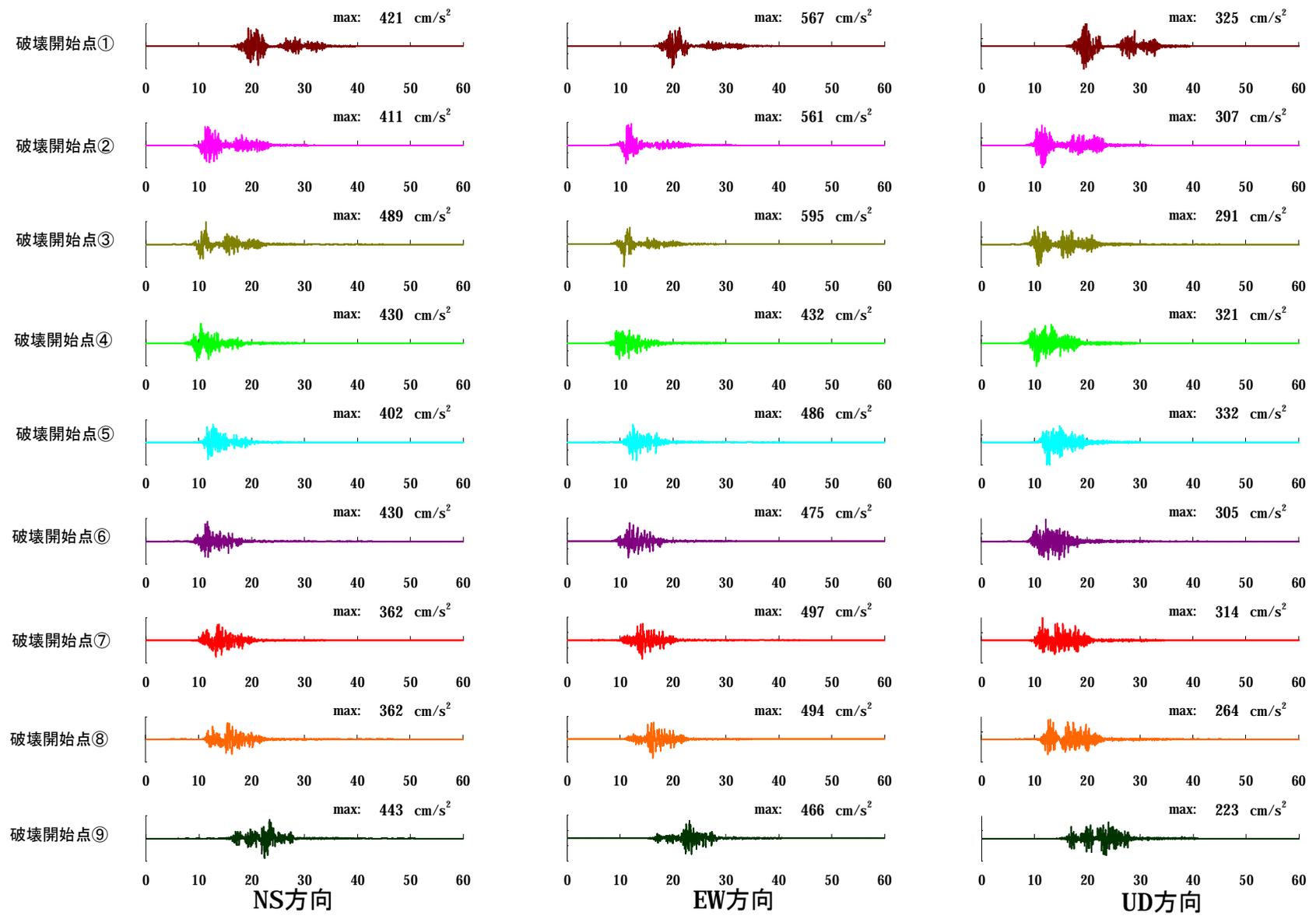


鉛直方向

- 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

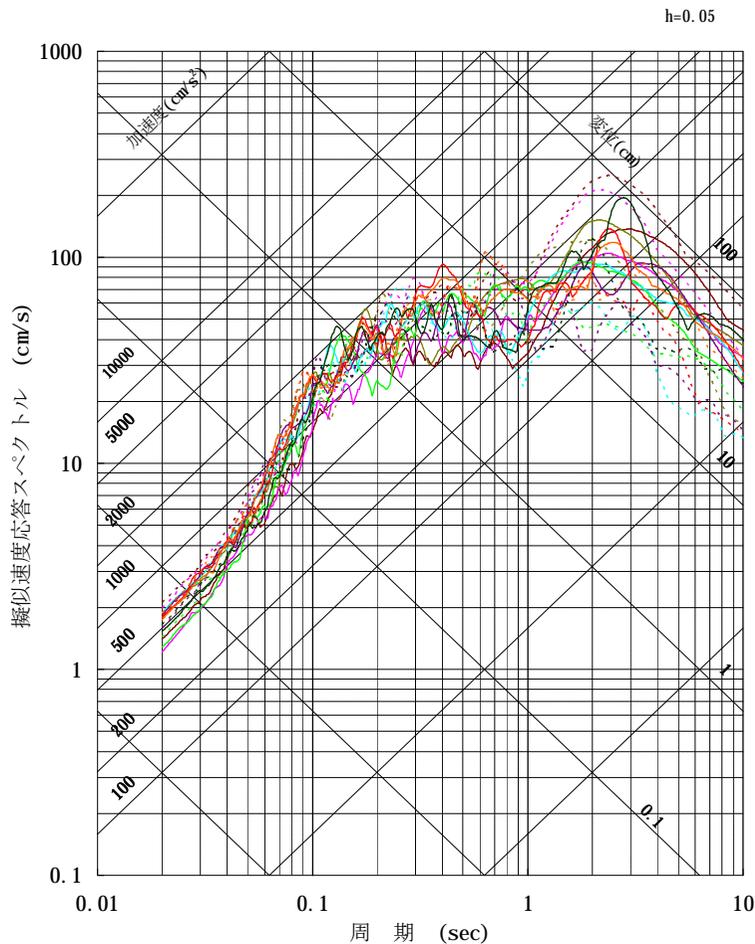
# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

■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° ケースの加速度時刻歴波形

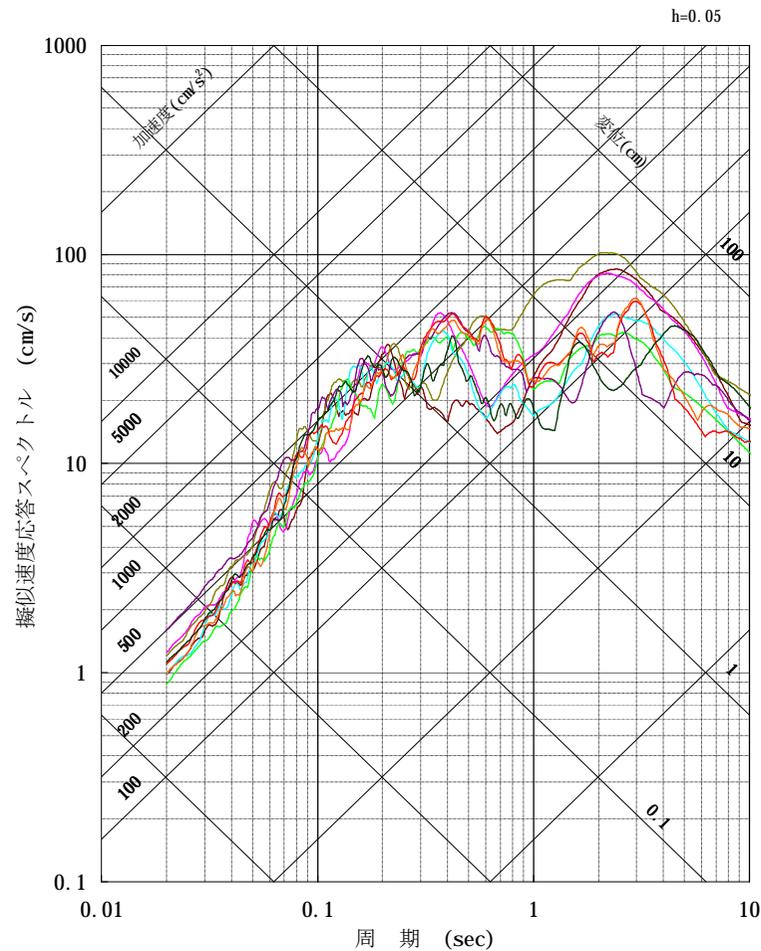


# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

■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:  $V_r=0.87\beta$  のケース



水平方向(実線: NS方向、破線: EW方向)

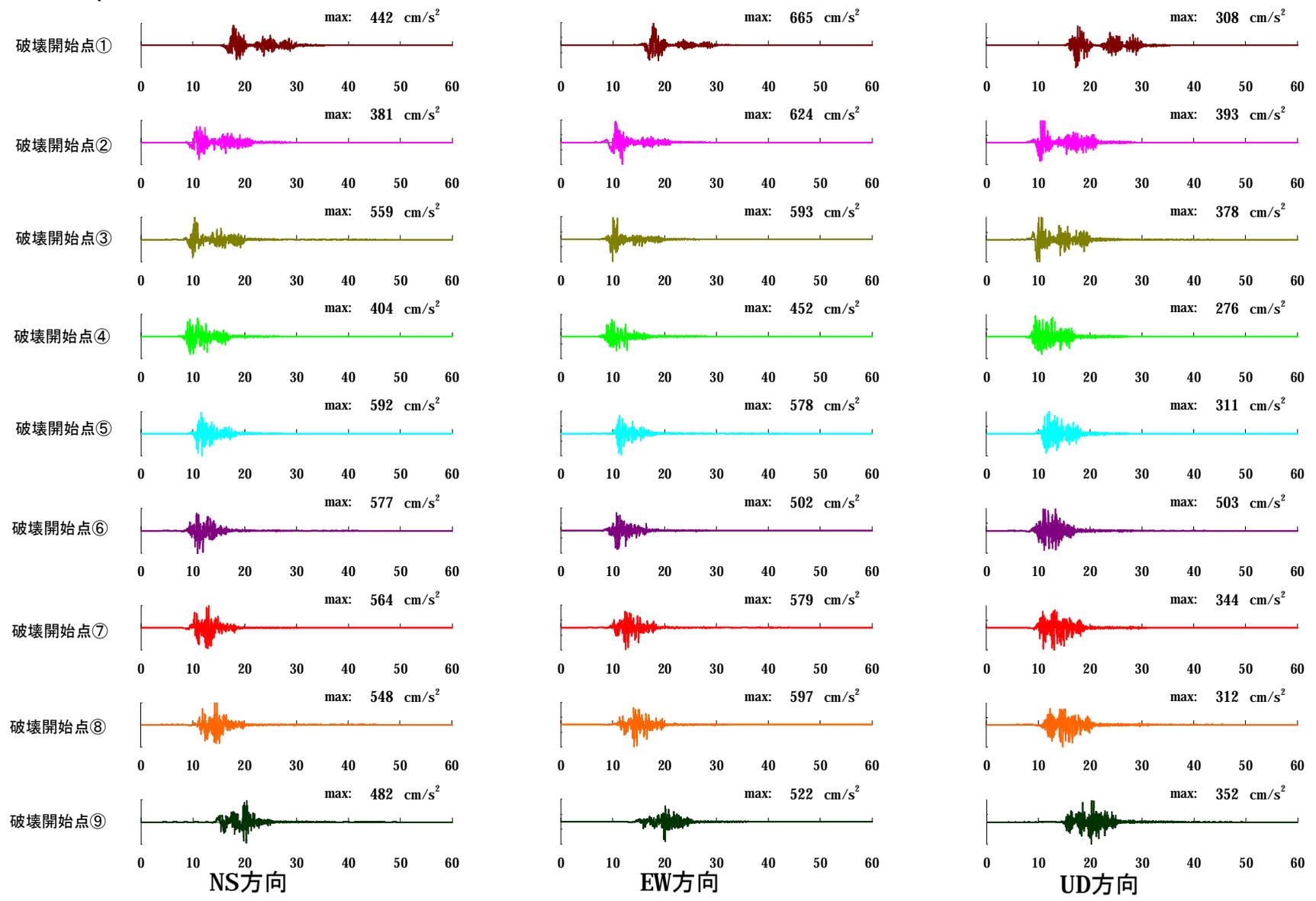


鉛直方向

- 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

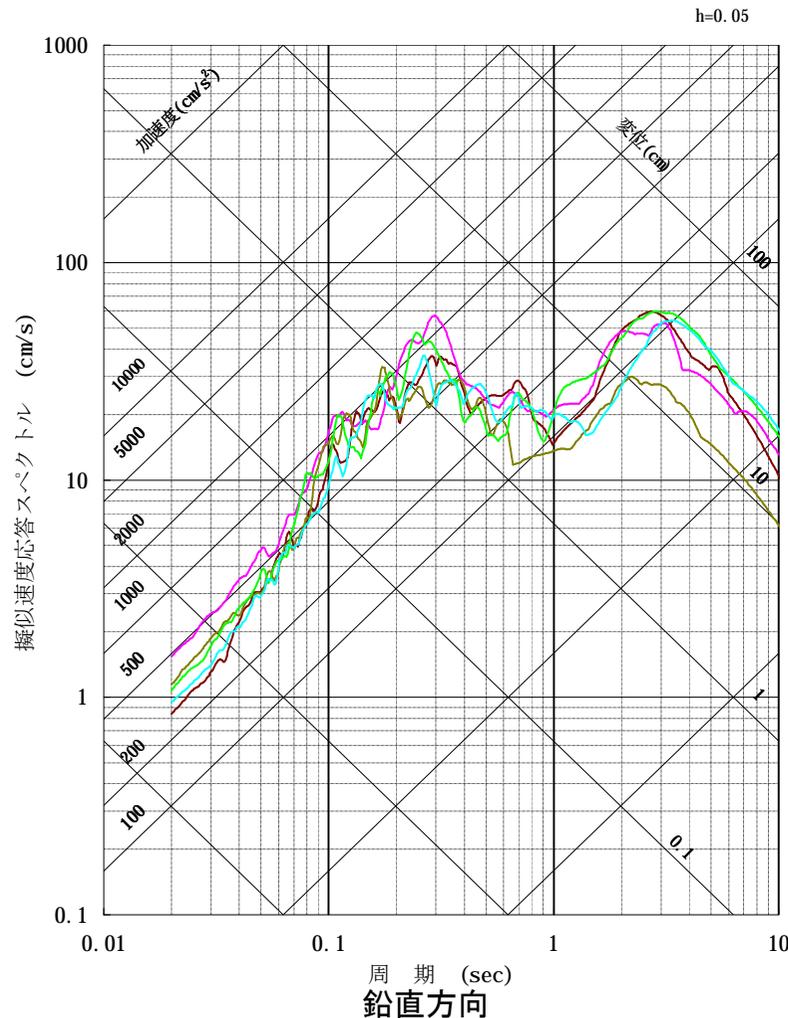
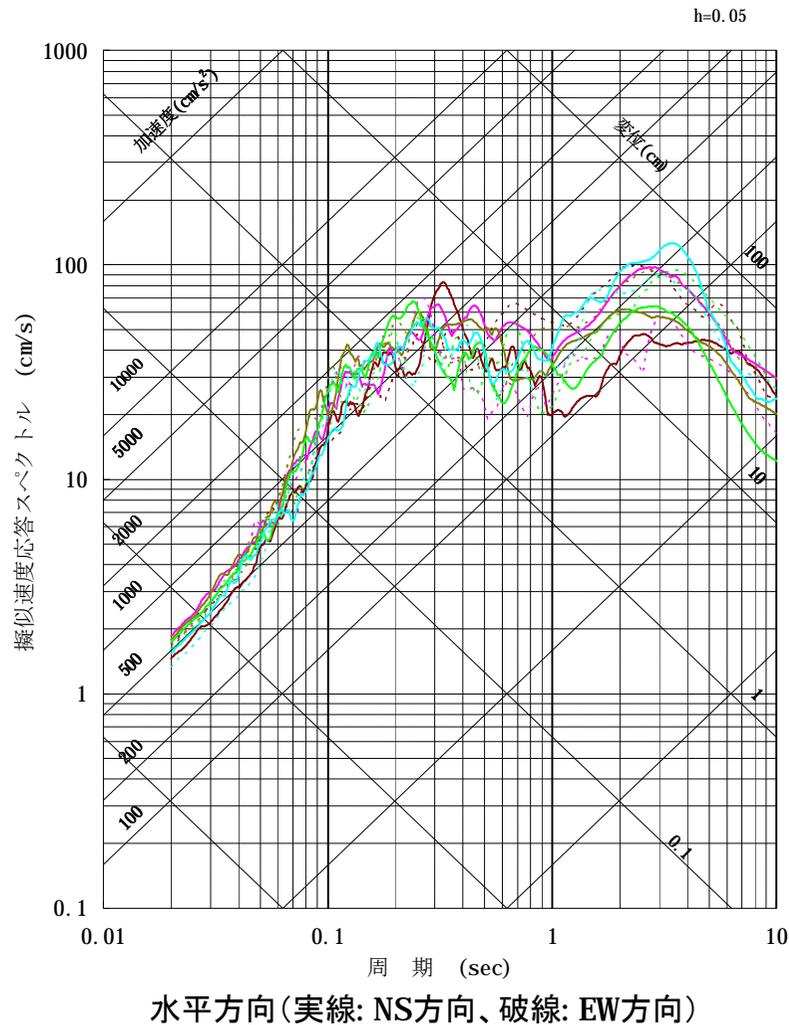
# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

■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のケースの加速度時刻歴波形



# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

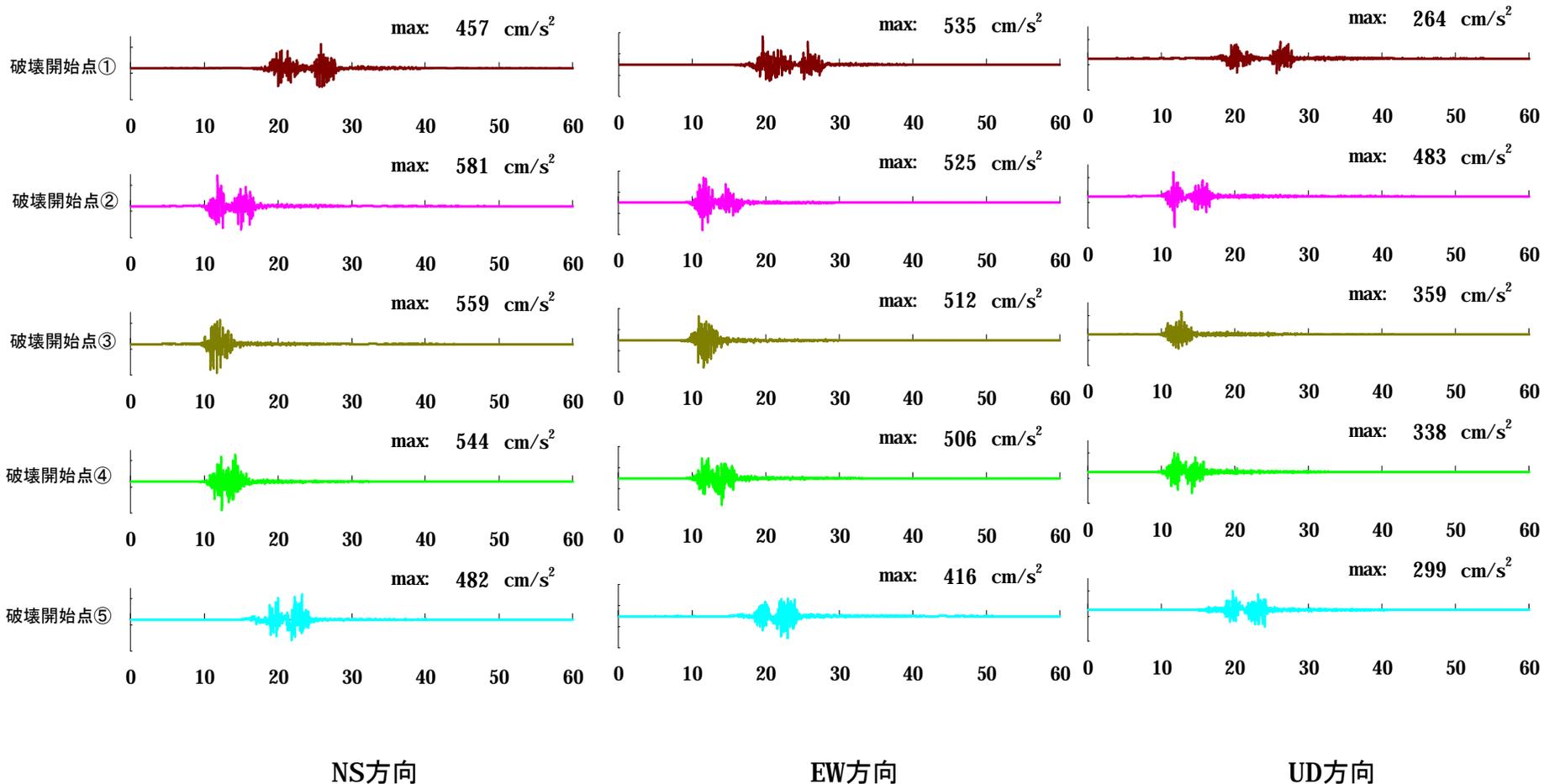
■断層モデルを用いた手法による地震動評価結果:FO-A~FO-B~熊川断層:アスペリティー塊ケース



- 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

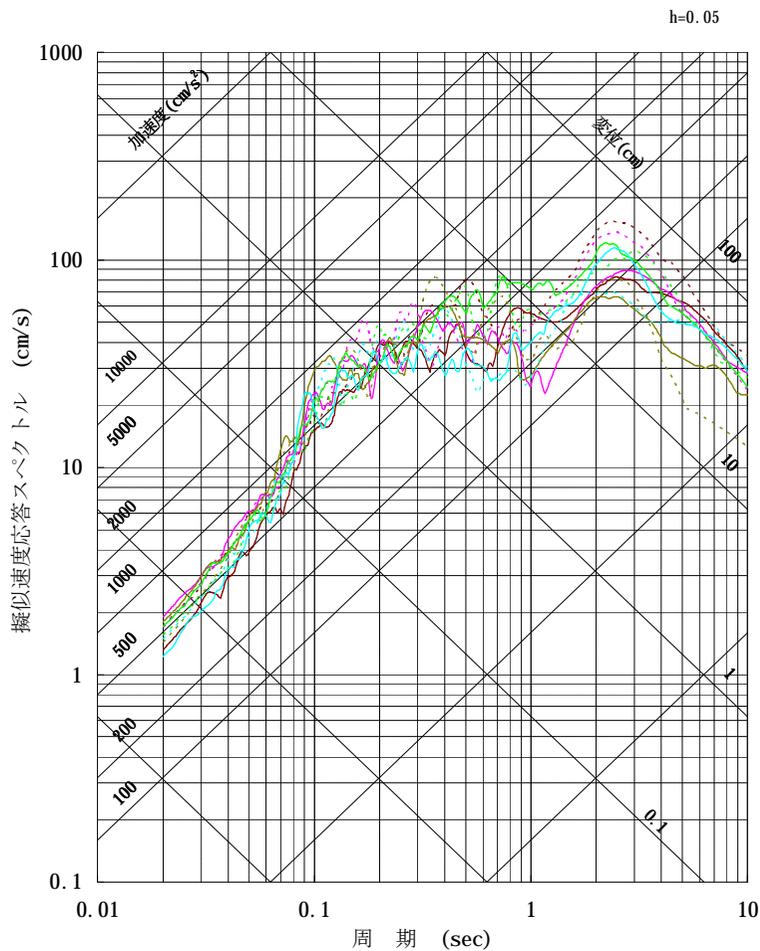
# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

■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の加速度時刻歴波形

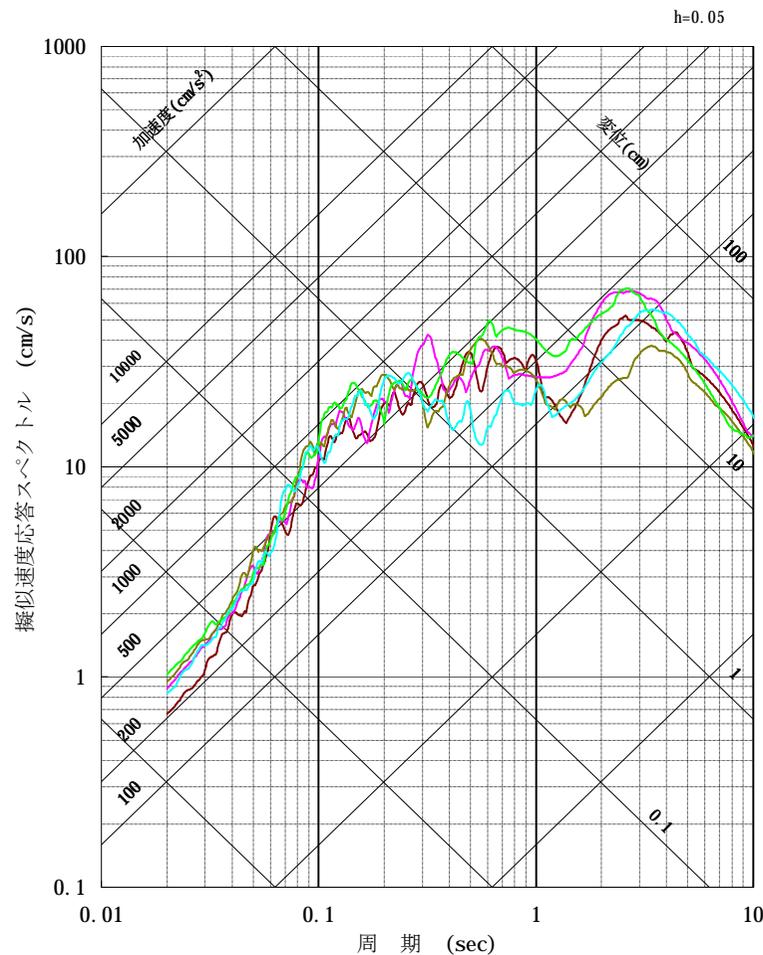


# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

■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)

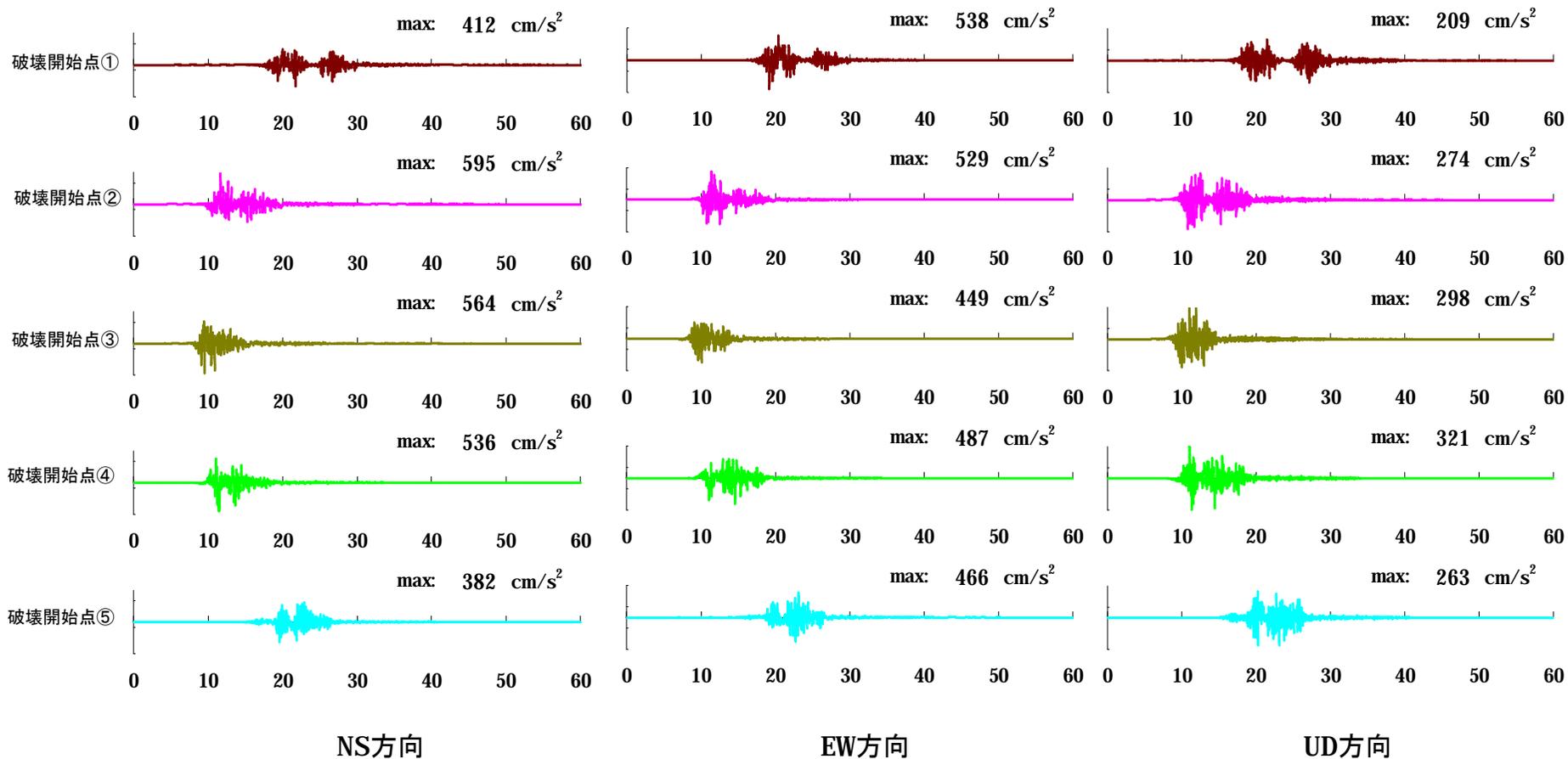


鉛直方向

- 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

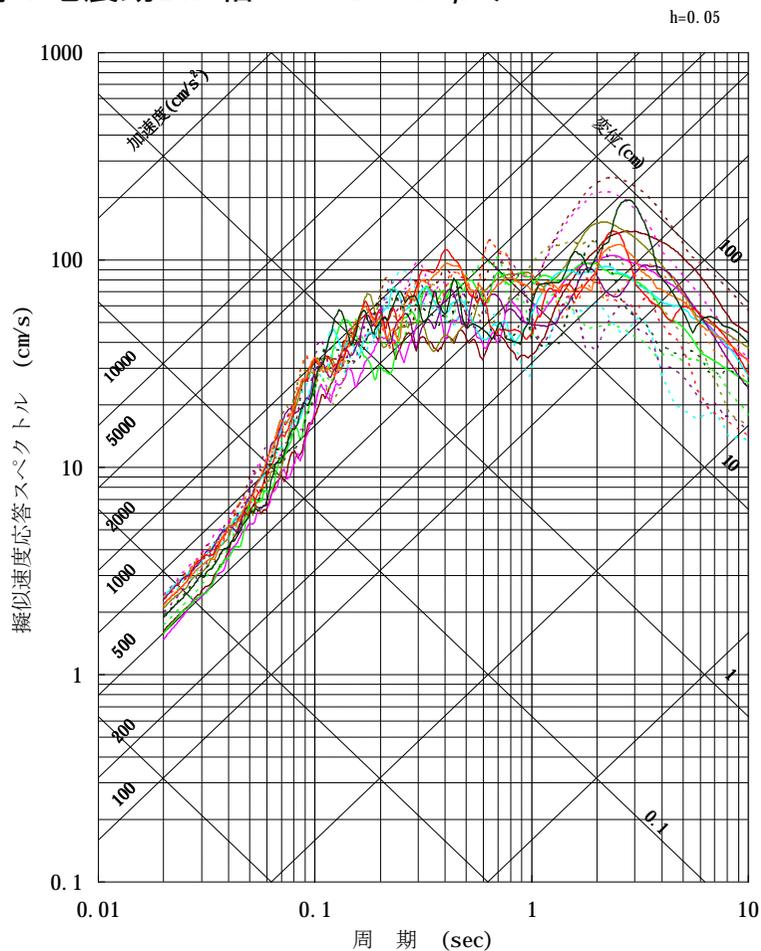
# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

■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の加速度時刻歴波形

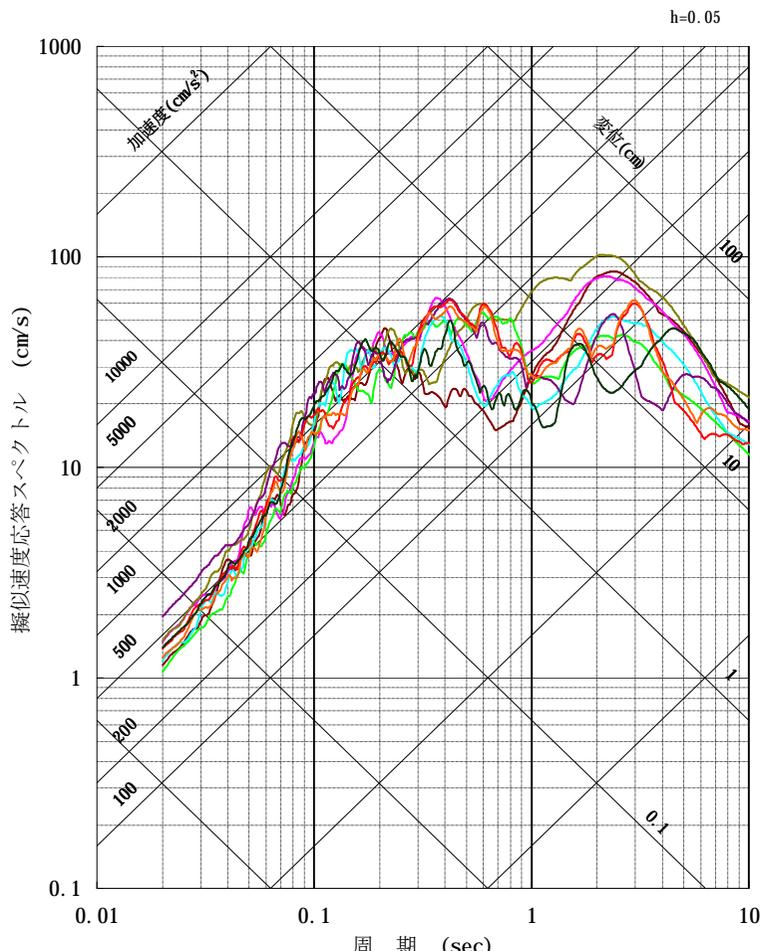


# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

■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1.25倍かつ $V_r=0.87\beta$  ケース



水平方向(実線: NS方向、破線: EW方向)

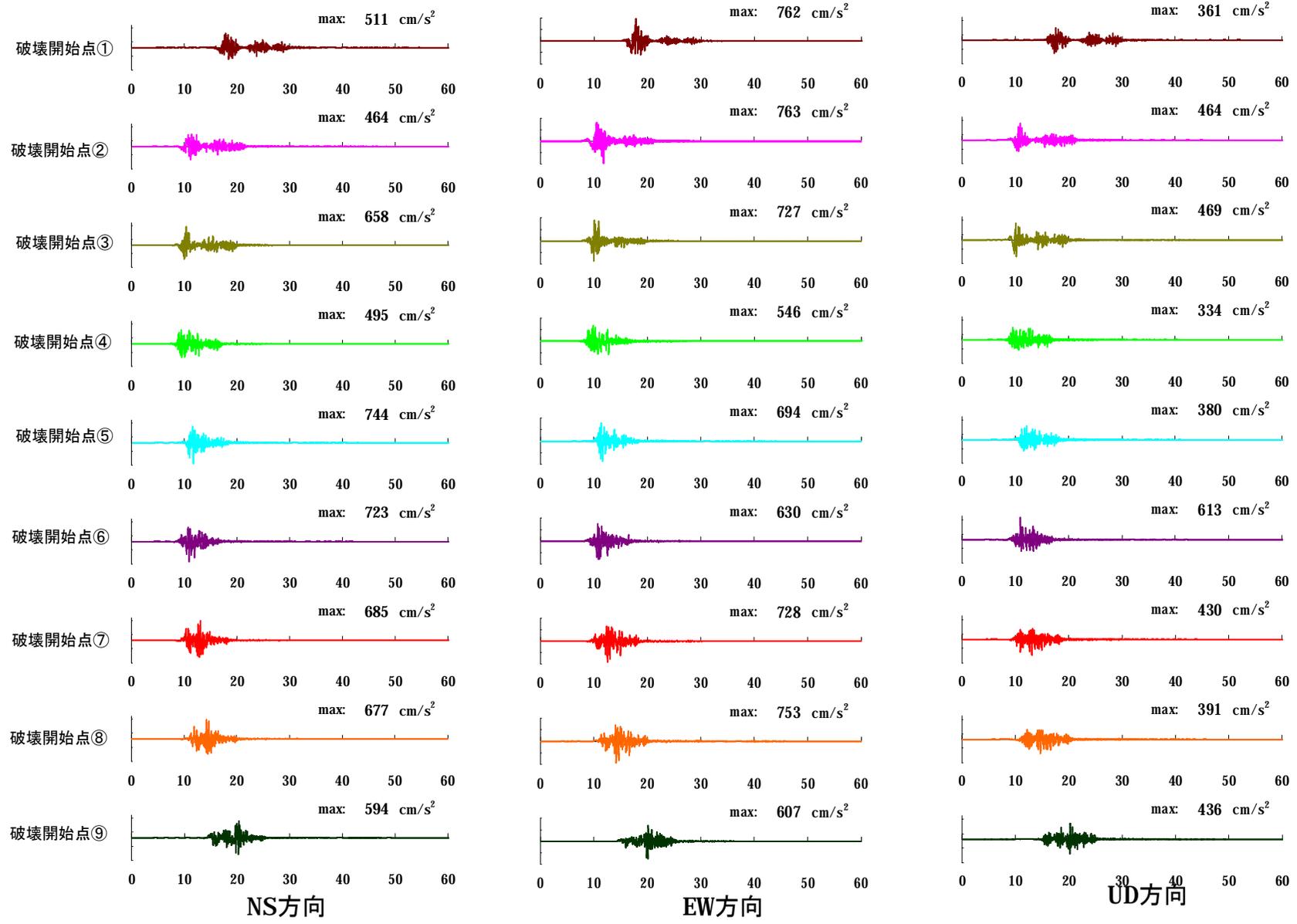


鉛直方向

- 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. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

■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1.25倍かつ $V_r=0.87\beta$ ケースの加速度波形



## 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

■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 $90^\circ$ 、すべり角 $180^\circ$ 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 $V_r=0.72\beta$  ( $\beta$ 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 $1\sigma$ を考慮した $V_r=0.87\beta$ 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. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

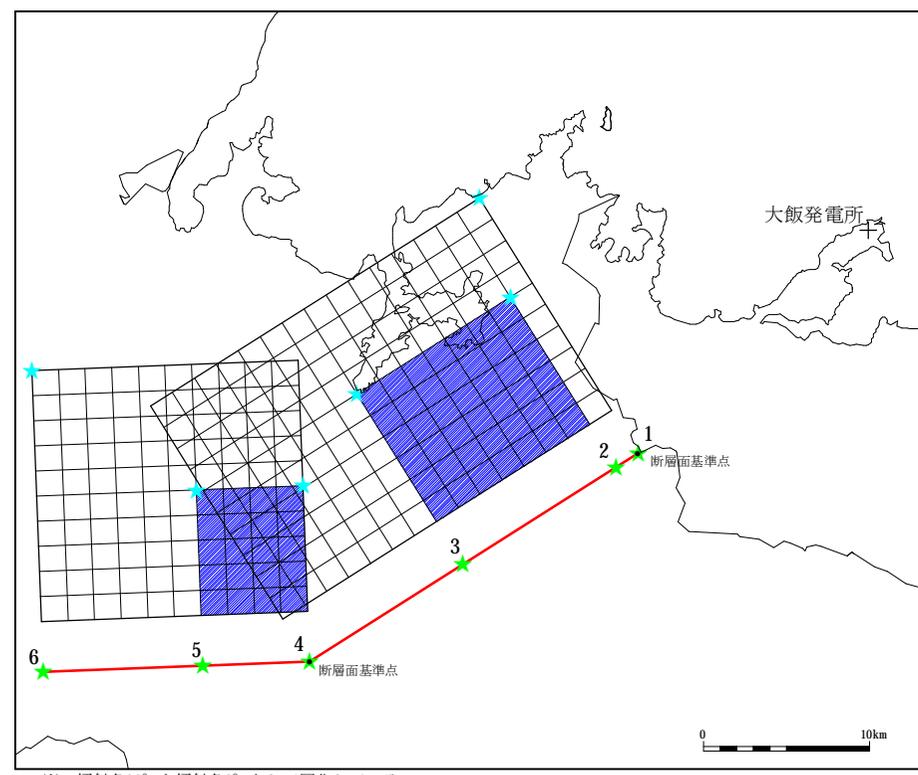
### 上林川断層の地震動評価ケース

	短周期の 地震動レベル	破壊伝播速度 $V_r$	アスペリティ	破壊開始点
基本ケース	レスピ平均	$V_r=0.72\beta$	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	レスピ平均 $\times 1.5$ 倍	$V_r=0.72\beta$	敷地に近い 位置に配置	複数設定
破壊伝播速度 $V_r$ の 不確かさを考慮	レスピ平均	$V_r=0.87\beta$	敷地に近い 位置に配置	複数設定

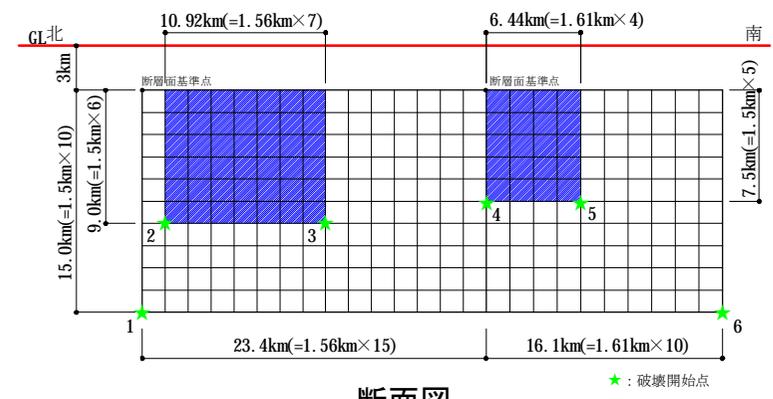
 : 不確かさを考慮したパラメータ

# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

## ■上林川断層のモデル図 (基本ケース、短周期の地震動1.5倍ケース、 $V_r=0.87\beta$ ケース)



断層配置図



断面図

# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

## ■ 上林川断層のパラメータ(基本ケース、短周期の地震動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)	3	微小地震の発生及び地下構造を参考に設定
断層下端深さ(km)	18	
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 <sup>2</sup> )	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 <sub>0</sub> (Nm)	1.95 × 10 <sup>19</sup>	$M_0 = \{S / (4.24 \times 10^{-11})\}^{2.0}$
剛性率(N/m <sup>2</sup> )	3.5 × 10 <sup>10</sup>	$\mu = \rho\beta^2$ , $\rho = 2.7\text{g/cm}^3$ , $\beta = 3.6\text{km/s}$
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)	2.59	$Vr = 0.72\beta$
立ち上がり時間Tr(sec)	1.18	$Tr = 2.03 \times 10^{-9} M_0^{1/3}$
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 <sup>2</sup> ) ※	1.43 × 10 <sup>19</sup>	$A = 2.46 \times 10^{17} \times M_0^{1/3}$
Q値	50f <sup>1.1</sup>	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 <sub>a</sub> (km <sup>2</sup> )	158.31	$S_a = \pi r^2$ , $r = (7\pi M_0 \beta^2) / (4AR)$ , $R = (S/\pi)^{0.5}$
	平均すべり量D <sub>a</sub> (cm)	189.3	$D_a = \gamma_D D$ , $\gamma_D = 2.01$
	地震モーメントM <sub>0a</sub> (Nm)	1.05 × 10 <sup>19</sup>	$M_{0a} = \mu S_a D_a$
	応力降下量Δσ <sub>a</sub> (MPa)	12.3	$\Delta\sigma_a = (S/S_a)\Delta\sigma$
大アスペリティ	面積S <sub>a1</sub> (km <sup>2</sup> )	105.54	$S_{a1} = 2/3 S_a$
	平均すべり量D <sub>a1</sub> (cm)	209.8	$D_{a1} = M_{0a1} / (\mu S_{a1})$
	地震モーメントM <sub>0a1</sub> (Nm)	7.75 × 10 <sup>18</sup>	$M_{0a1} = M_{0a} S_{a1}^{1.5} / (S_{a1}^{1.5} + S_{a2}^{1.5})$
	応力降下量Δσ <sub>a1</sub> (MPa)	12.3	$\Delta\sigma_{a1} = \Delta\sigma_a$
小アスペリティ	面積S <sub>a2</sub> (km <sup>2</sup> )	52.77	$S_{a2} = 1/3 S_a$
	平均すべり量D <sub>a2</sub> (cm)	148.3	$D_{a2} = M_{0a2} / (\mu S_{a2})$
	地震モーメントM <sub>0a2</sub> (Nm)	2.74 × 10 <sup>18</sup>	$M_{0a2} = M_{0a} S_{a2}^{1.5} / (S_{a1}^{1.5} + S_{a2}^{1.5})$
	応力降下量Δσ <sub>a2</sub> (MPa)	12.3	$\Delta\sigma_{a2} = \Delta\sigma_a$
背景領域	面積S <sub>b</sub> (km <sup>2</sup> )	434.19	$S_b = S - S_a$
	平均すべり量D <sub>b</sub> (cm)	59.5	$D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$
	地震モーメントM <sub>0b</sub> (Nm)	9.04 × 10 <sup>18</sup>	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$
	実効応力σ <sub>b</sub> (MPa)	2.5	$\sigma_b = 0.2\Delta\sigma_a$

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

# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

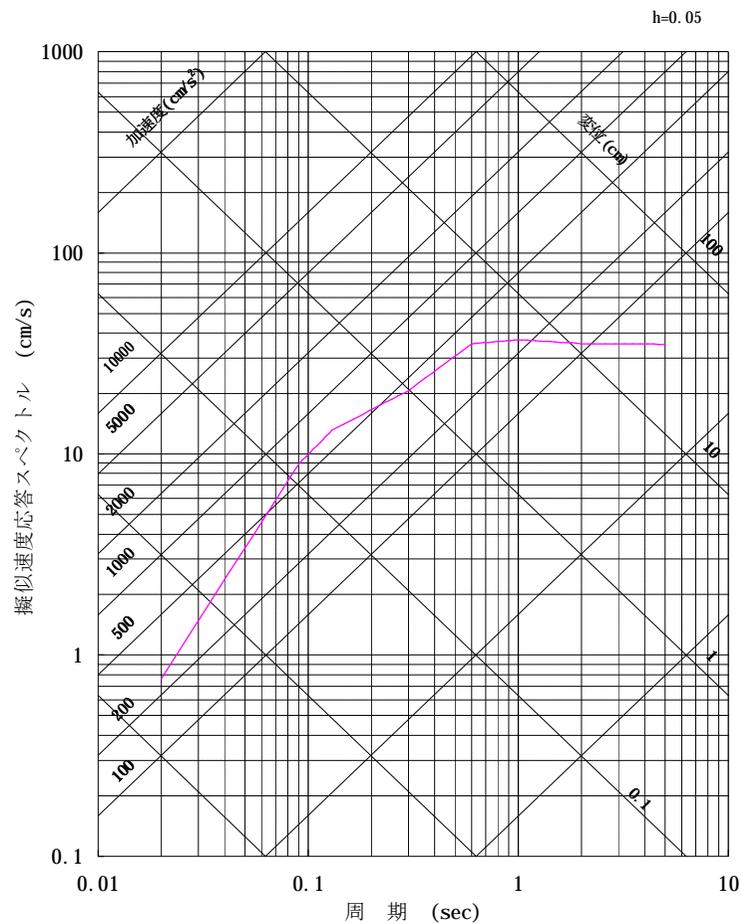
## ■ 上林川断層のパラメータ(Vr=0.87βケース)

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)	3	微小地震の発生及び地下構造を参考に設定
断層下端深さ(km)	18	
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 <sup>2</sup> )	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 <sub>0</sub> (Nm)	1.95 × 10 <sup>19</sup>	$M_0 = \{S / (4.24 \times 10^{-11})\}^{2.0}$
剛性率(N/m <sup>2</sup> )	3.5 × 10 <sup>10</sup>	$\mu = \rho\beta^2$ , $\rho = 2.7\text{g/cm}^3$ , $\beta = 3.6\text{km/s}$
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=0.87β
立ち上がり時間Tr(sec)	1.18	$Tr = 2.03 \times 10^{-9} M_0^{1/3}$
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 <sup>2</sup> )	1.43 × 10 <sup>19</sup>	$A = 2.46 \times 10^{17} \times M_0^{1/3}$
Q値	50f <sup>1.1</sup>	佐藤ほか、2007

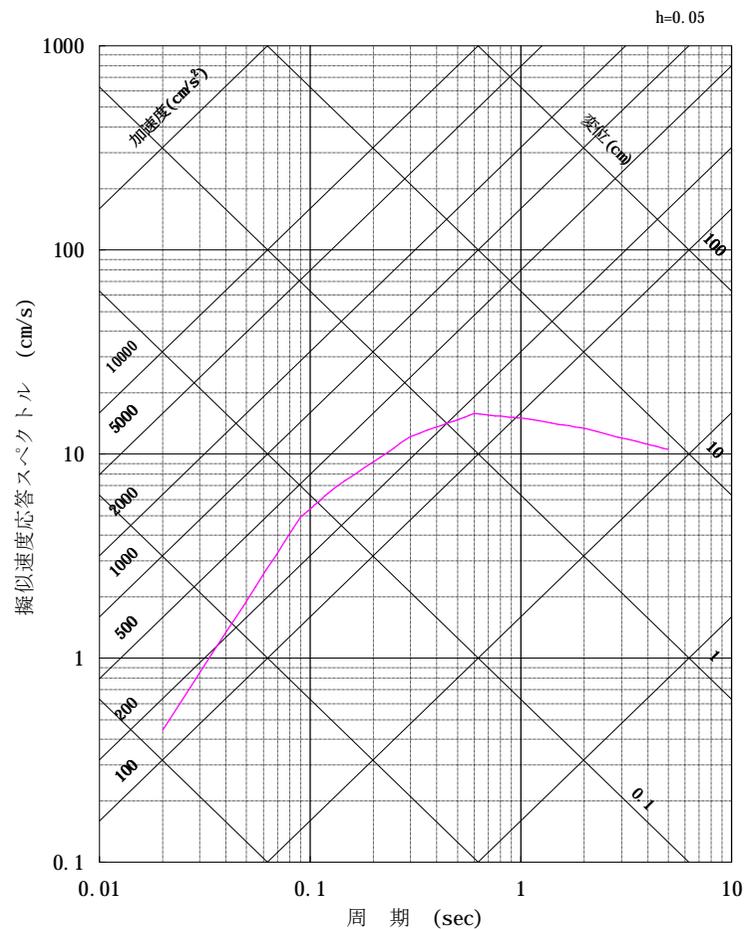
	断層パラメータ	パラメータ	設定方法
全アスペリティ	面積S <sub>a</sub> (km <sup>2</sup> )	158.31	$S_a = \pi r^2$ , $r = (7\pi M_0 \beta^2) / (4AR)$ , $R = (S/\pi)^{0.5}$
	平均すべり量D <sub>a</sub> (cm)	189.3	$D_a = \gamma_D D$ , $\gamma_D = 2.01$
	地震モーメントM <sub>0a</sub> (Nm)	1.05 × 10 <sup>19</sup>	$M_{0a} = \mu S_a D_a$
	応力降下量Δσ 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

# 4. 敷地ごとに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：上林川断層



水平方向

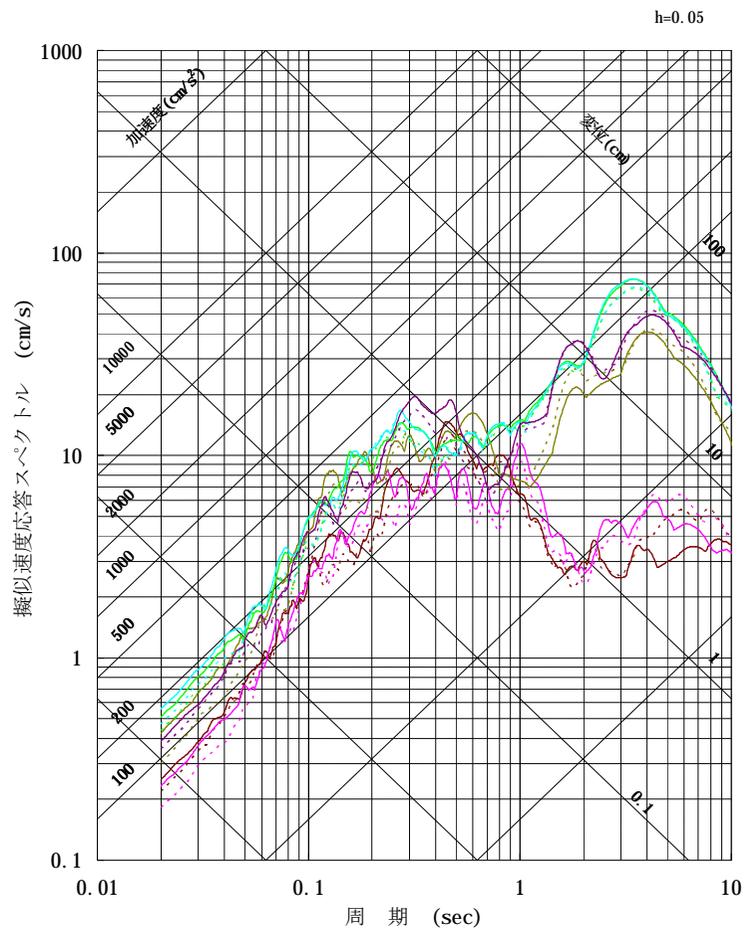


鉛直方向

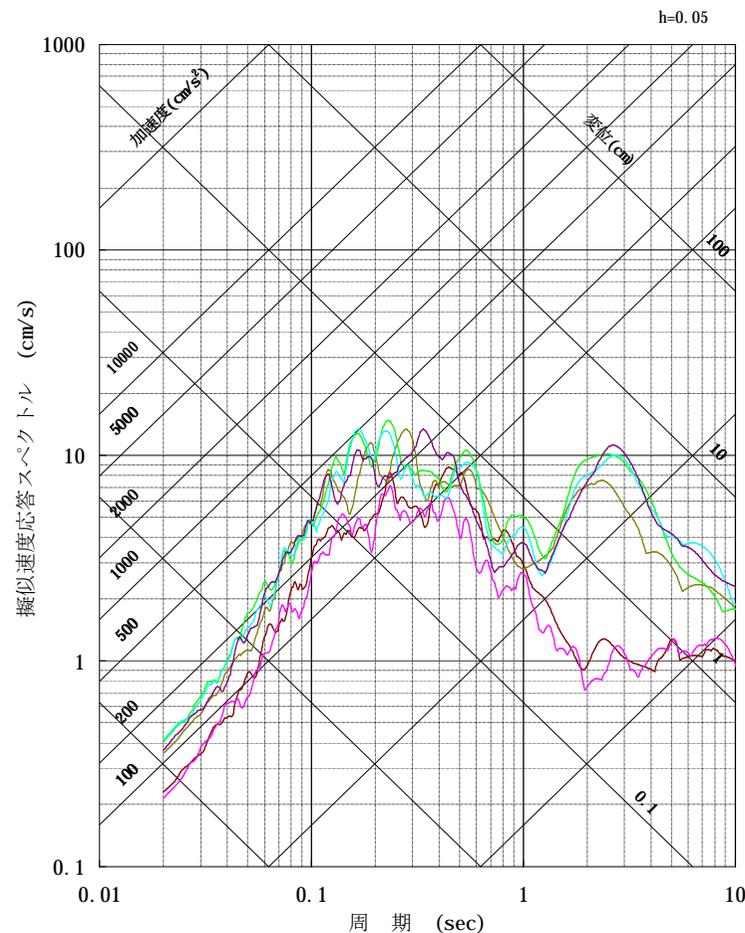
— 基本ケース (M7.5, Xeq=30.2km)

# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

## ■断層モデルを用いた手法による地震動評価結果：上林川断層：基本ケース



水平方向(実線: NS方向、破線: EW方向)

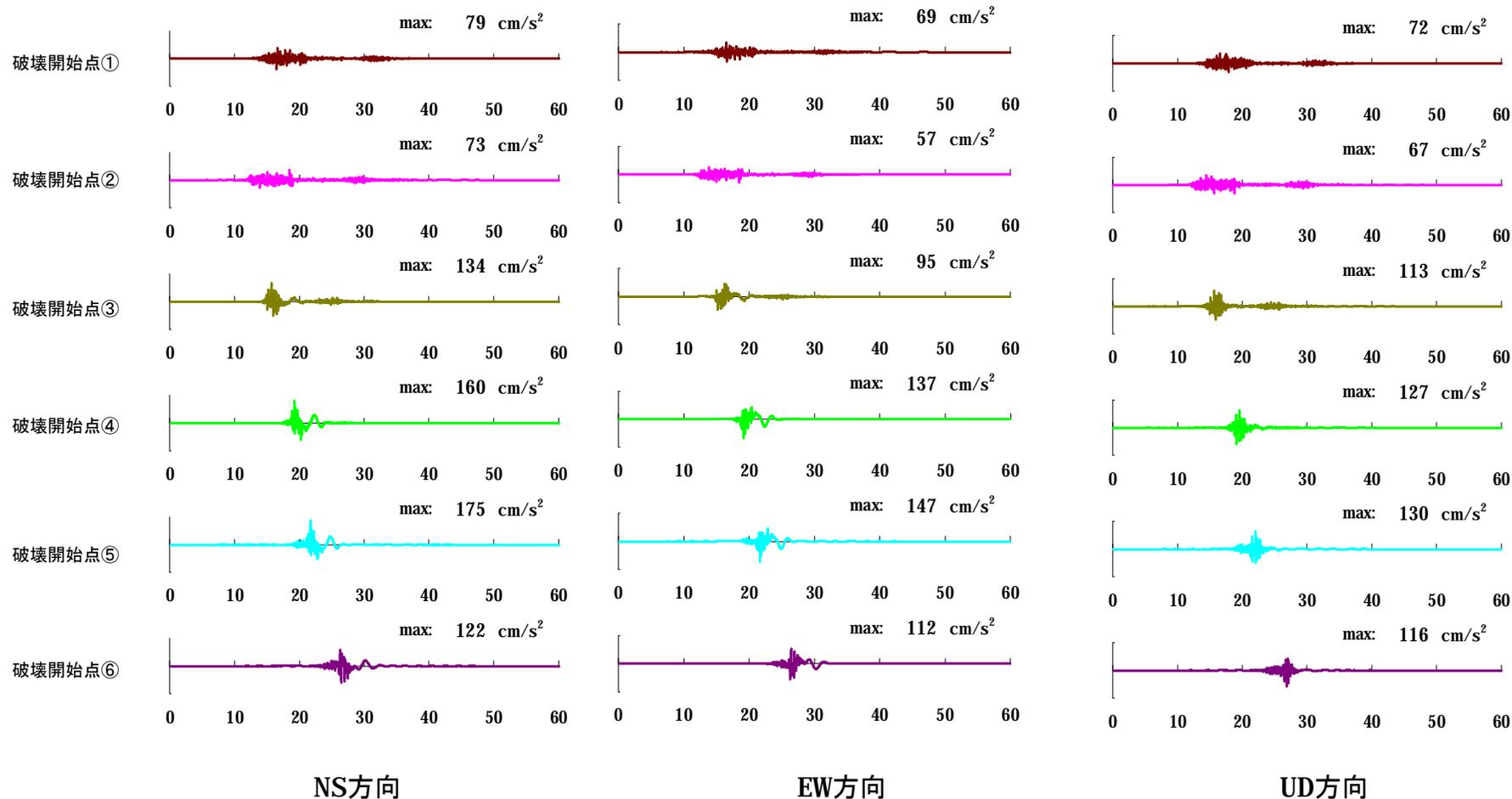


鉛直方向

- 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

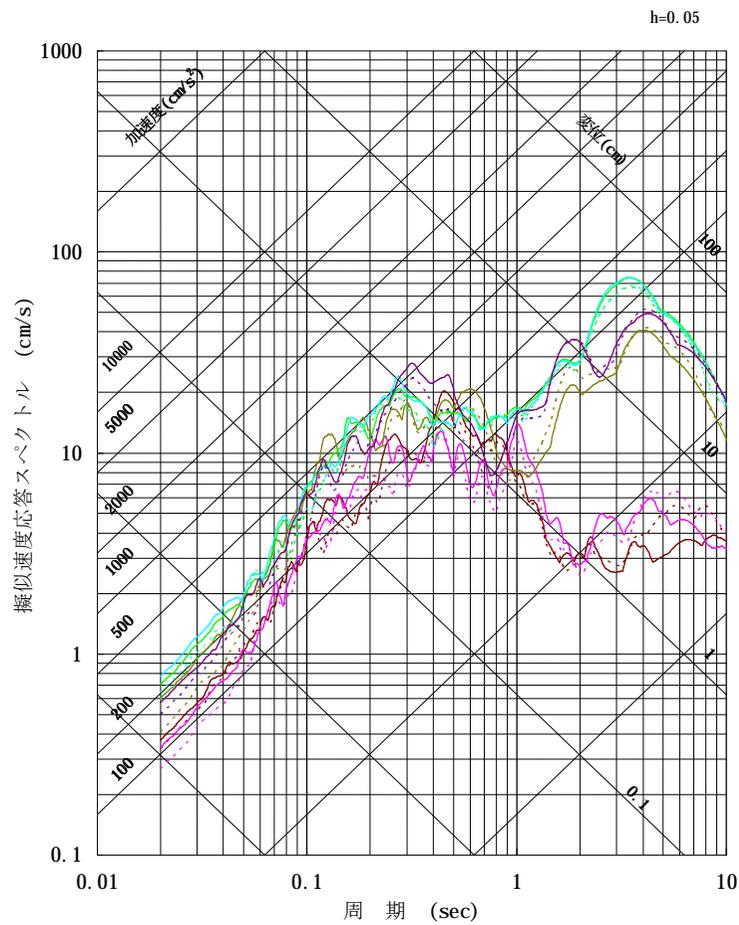
# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

## ■断層モデルを用いた手法による地震動評価結果: 上林川断層 基本ケースの加速度波形

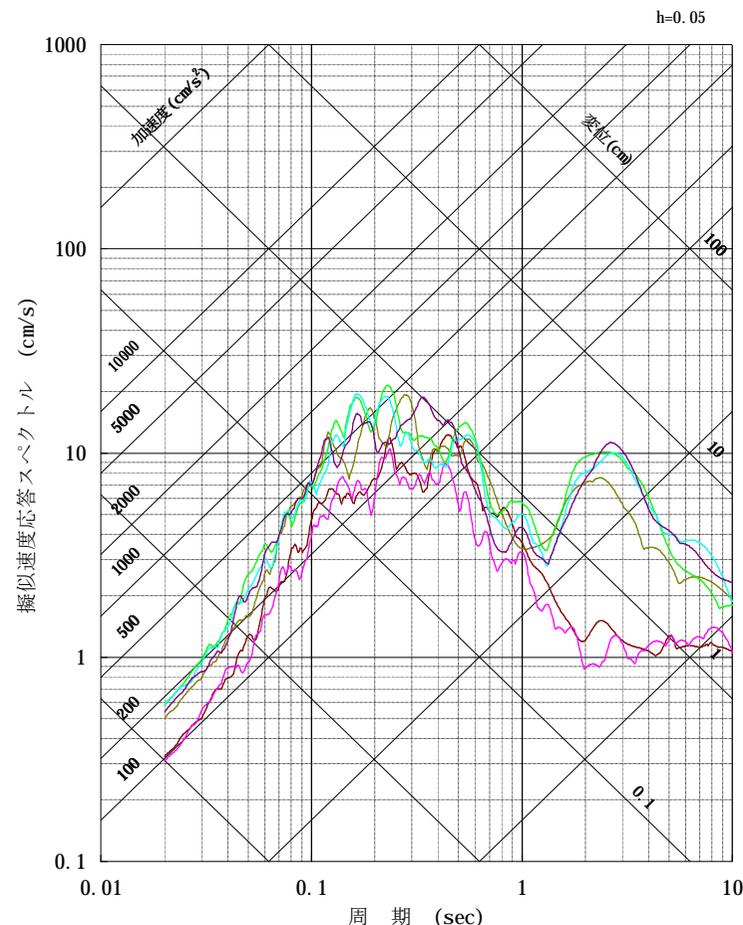


# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

■断層モデルを用いた手法による地震動評価結果：上林川断層：短周期の地震動1.5倍ケース



水平方向(実線: NS方向、破線: EW方向)

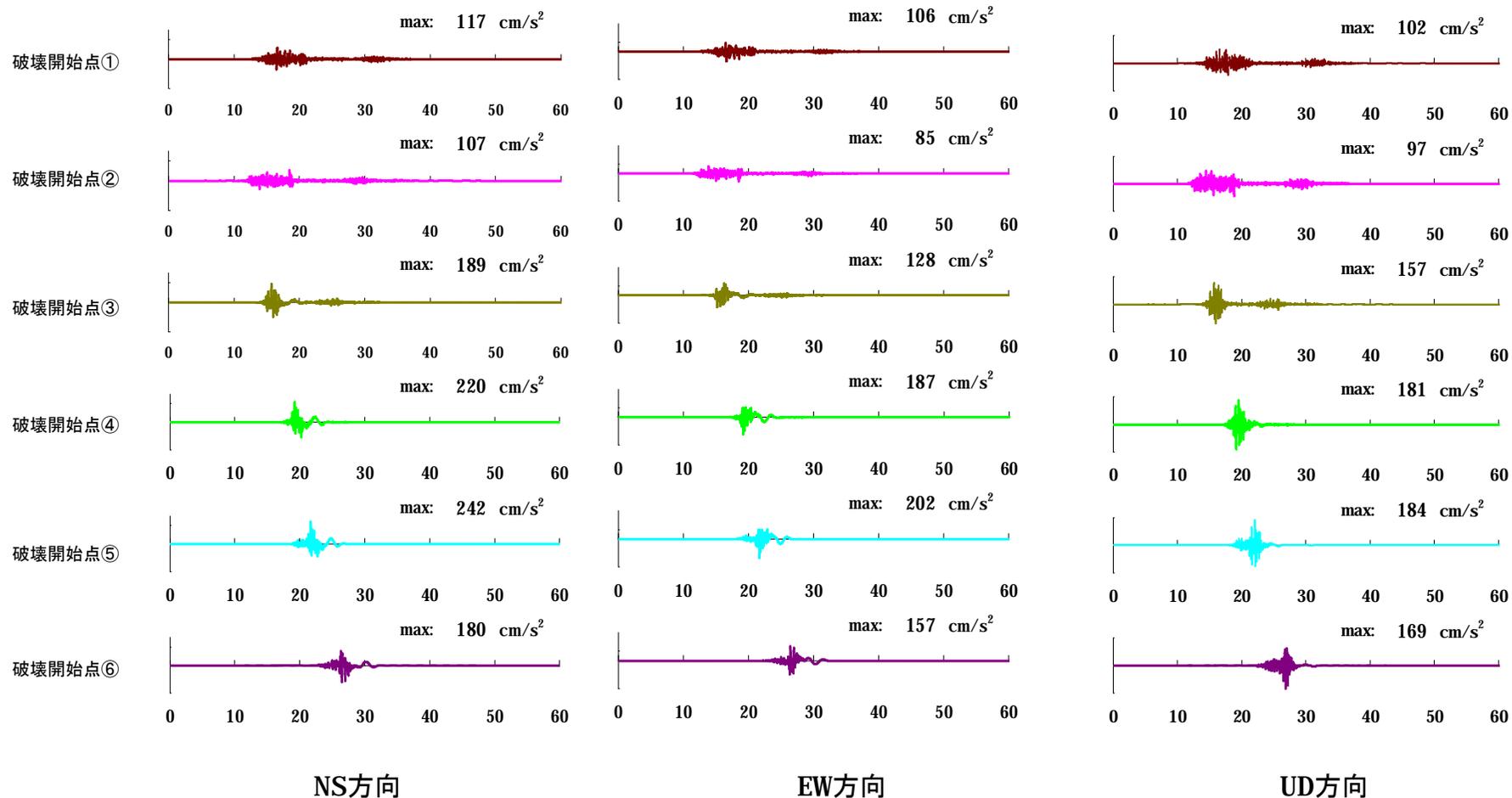


鉛直方向

- 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

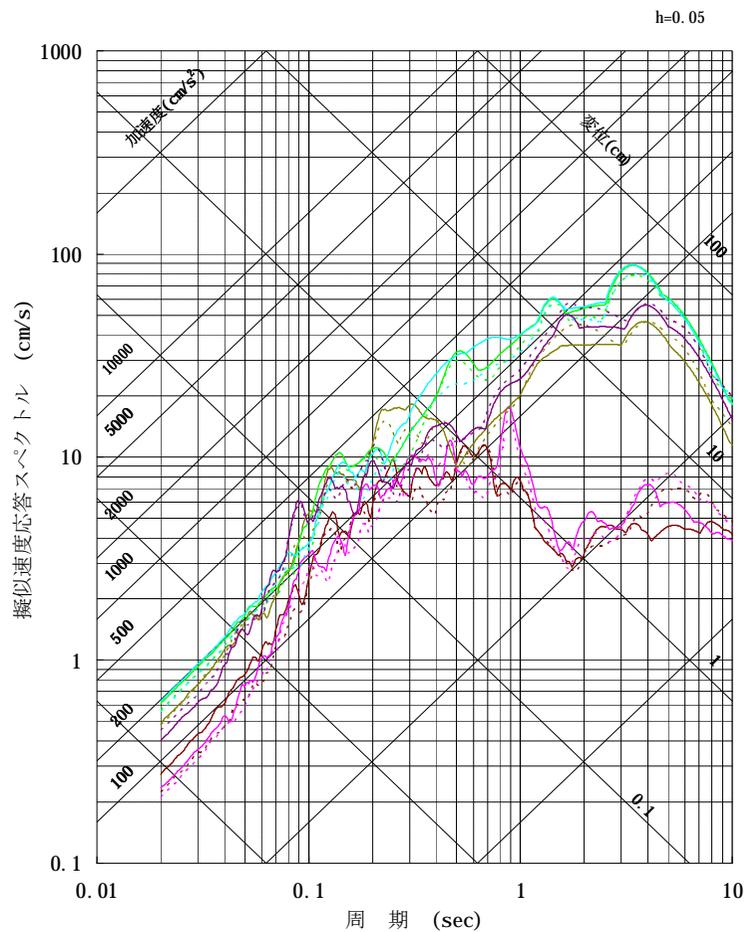
# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

■断層モデルを用いた手法による地震動評価結果: 上林川断層  
短周期の地震動1.5倍ケースの加速度波形

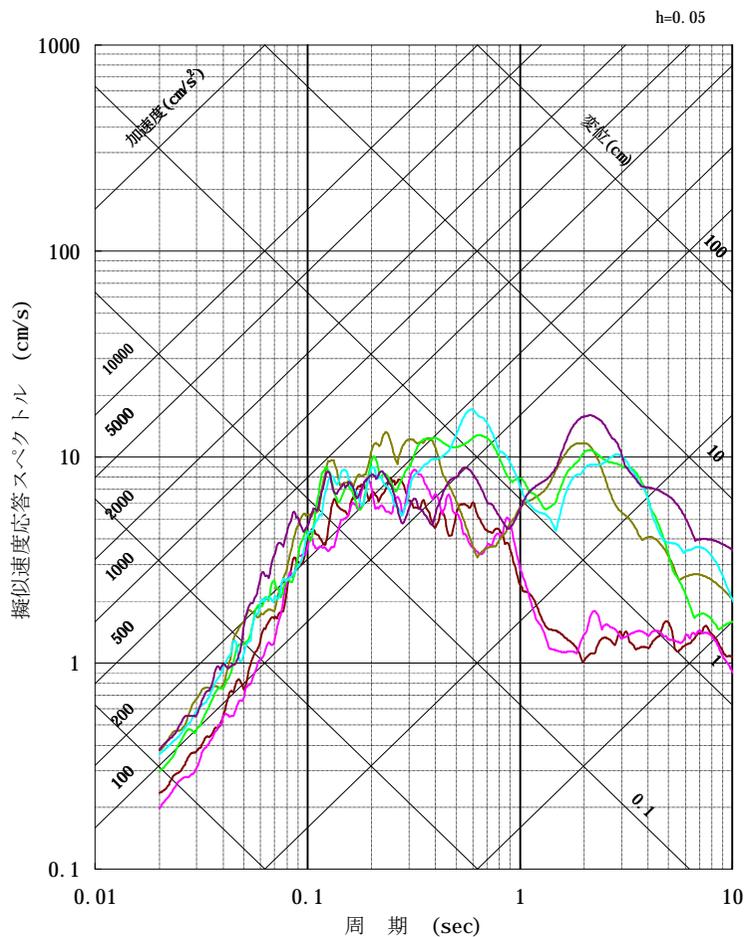


# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

■断層モデルを用いた手法による地震動評価結果：上林川断層： $V_r=0.87\beta$  ケース



水平方向(実線: NS方向、破線: EW方向)

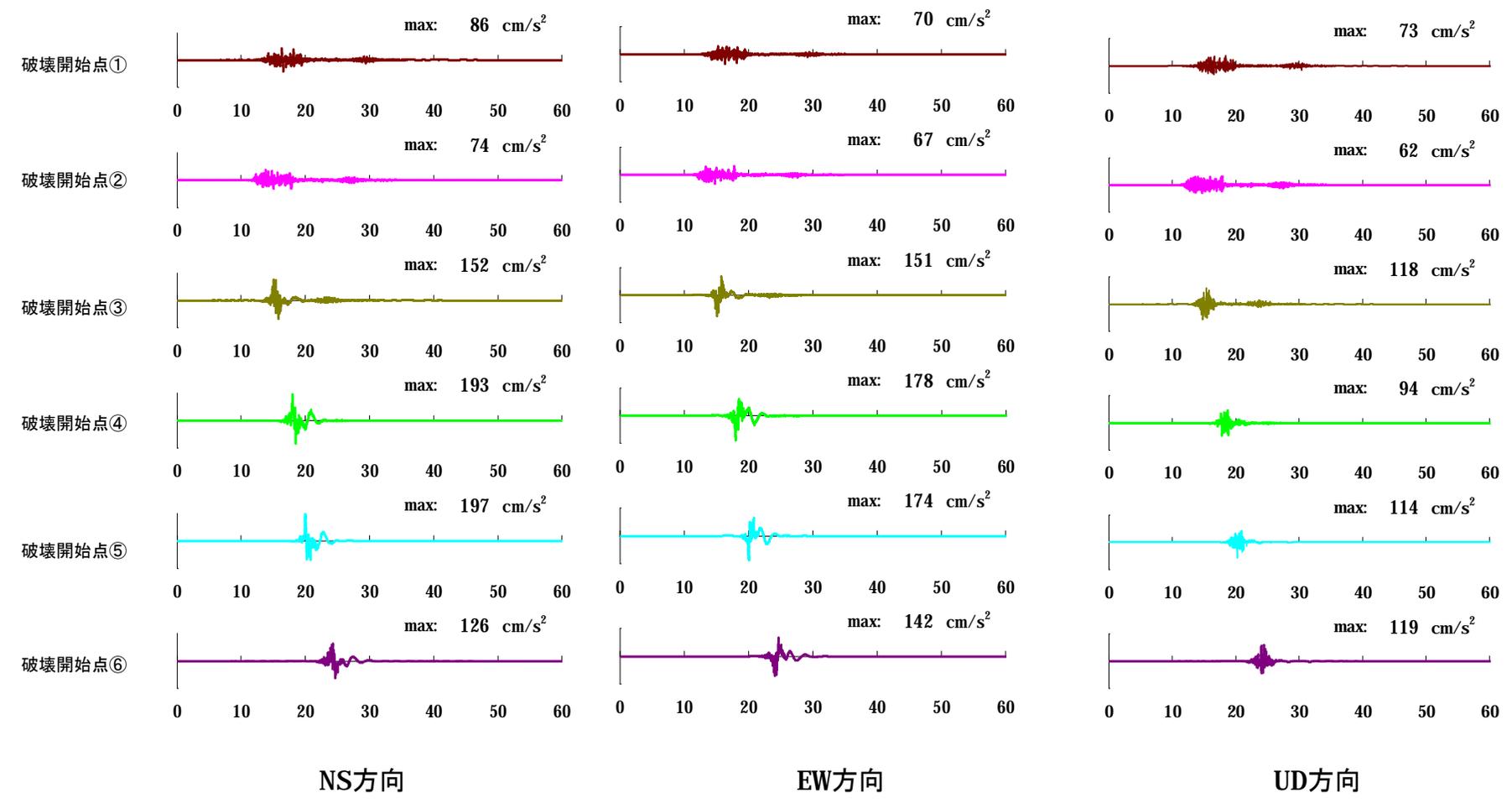


鉛直方向

- 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. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

■断層モデルを用いた手法による地震動評価結果: 上林川断層  
 $V_r=0.87\beta$  ケースの加速度波形



## 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

---

- 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動については過去に発生した地震および周辺活断層による地震のうち影響が大きいFO-A～FO-B～熊川断層および上林川断層を検討用地震として選定した。
- 各検討用地震について、基本ケースおよび不確かさを考慮したケースのモデル化を行った。
- 各検討ケースについて、地震動評価を行い、応答スペクトルおよび加速度波形を示した。

## 5. 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、

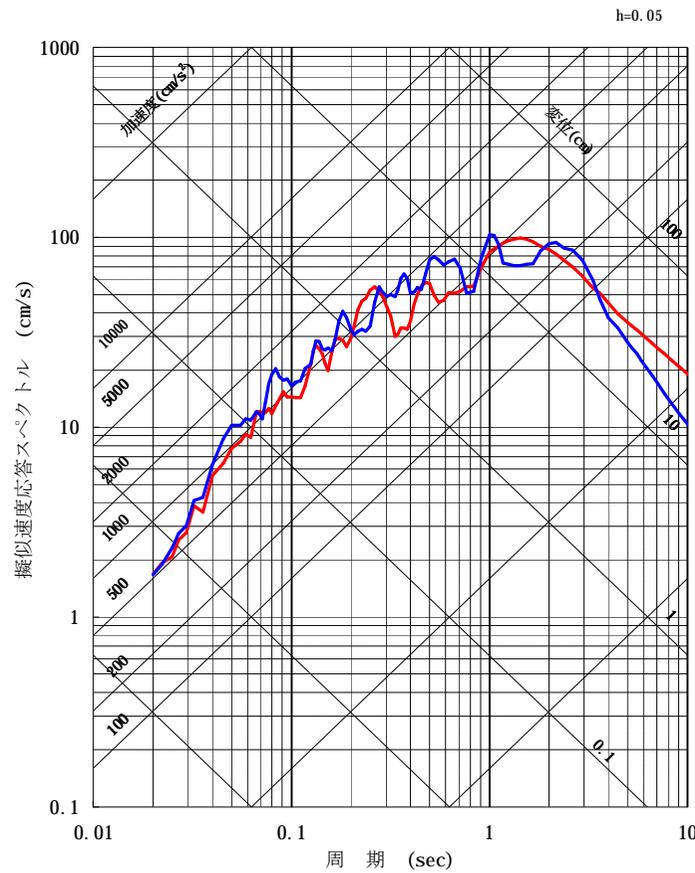
- ① Mw6.5以上の2地震(2008年岩手・宮城内陸地震、2000年鳥取県西部地震)については、地域性について整理・分析した結果、鳥取県西部地震を観測記録収集の対象とした。
- ② Mw6.5未満の14地震については、震源近傍の観測記録を収集し、基盤地震動の検討・評価を実施。

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

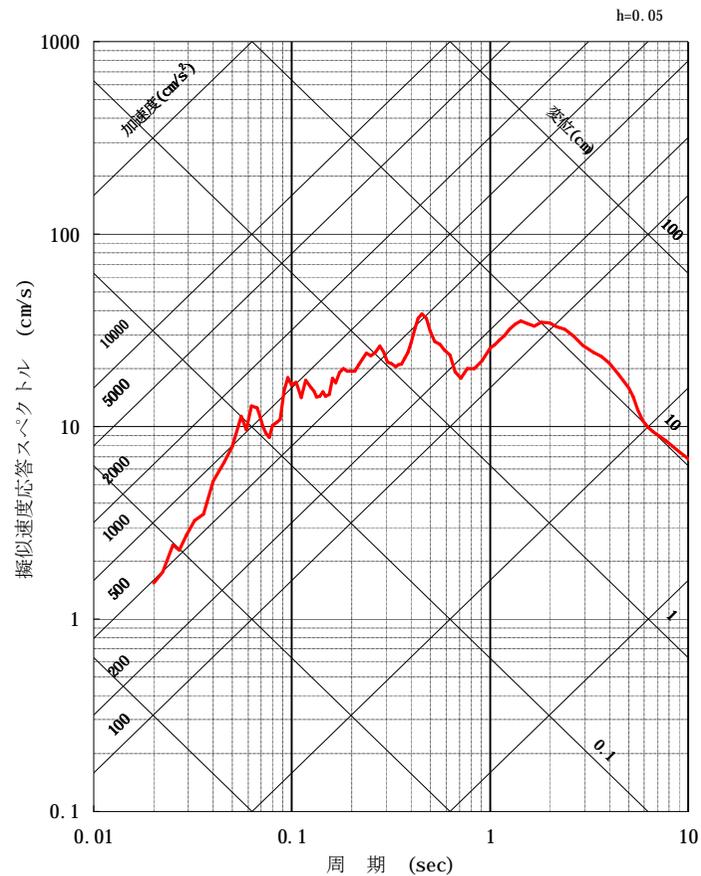
# 5. 震源を特定せず策定する地震動

- 2000年鳥取県西部地震について、震源近傍に位置する賀祥ダムで、観測記録が得られている。
- 賀祥ダムの記録が $V_p=2.0\sim 2.2\text{km/s}$  ( $V_s=1.2\sim 1.3\text{km/s}$ )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 $V_s=2.2\text{km/s}$ よりも小さいことから、地盤特性の補正等を行わず、観測記録を基準地震動として採用する。



(水平)

- 賀祥ダム(NS方向)
- 賀祥ダム(EW方向)



(上下)

- 賀祥ダム(上下方向)

# 5. 震源を特定せず策定する地震動

■ 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年茨城県北部地震	2011年長野県北部地震
地盤モデル	使用モデル	佐藤他(2013)のポ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	—	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
はざとり解析	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	はざとり解析の適用性が不明	はざとり解析の適用性が不明	はざとり解析の適用性が不明	はざとり解析の適用性が不明
		○	×	×	×	×
	更なる知見収集・検討事項	—	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. 震源を特定せず策定する地震動

---

■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. 震源を特定せず策定する地震動

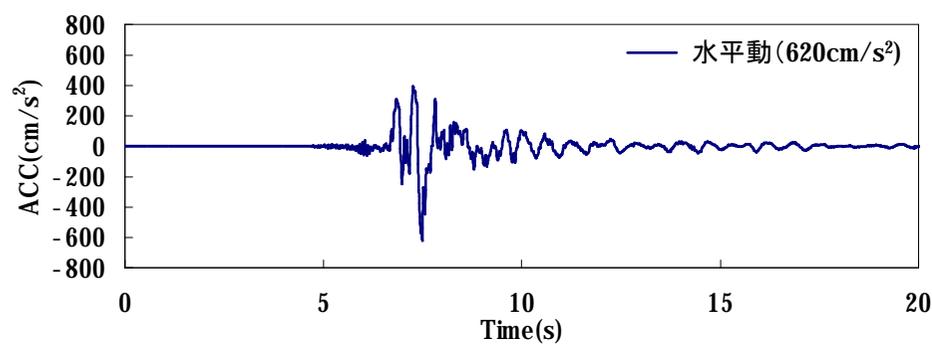
### 2004年北海道留萌支庁南部の地震に関する検討のまとめ

- 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 $585\text{cm/s}^2$ 、上下動 $296\text{cm/s}^2$ )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,  $561\text{cm/s}^2$ )
  - 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,  $609\text{cm/s}^2$ )
  - 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,  $306\text{cm/s}^2$ )
  - 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,  $262\text{cm/s}^2$ )
- 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( $609\text{cm/s}^2$ )が、上下動に関しては③のケース( $306\text{cm/s}^2$ )が最も地震動の最大加速度が大きくなる事を確認した。

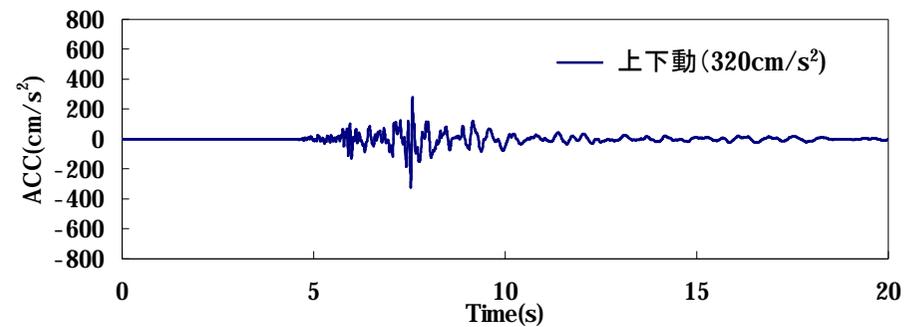
## 5. 震源を特定せず策定する地震動

### 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 $609\text{cm/s}^2$ 、上下動 $306\text{cm/s}^2$ 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 $620\text{cm/s}^2$ 、上下動 $320\text{cm/s}^2$ と設定する。



水平

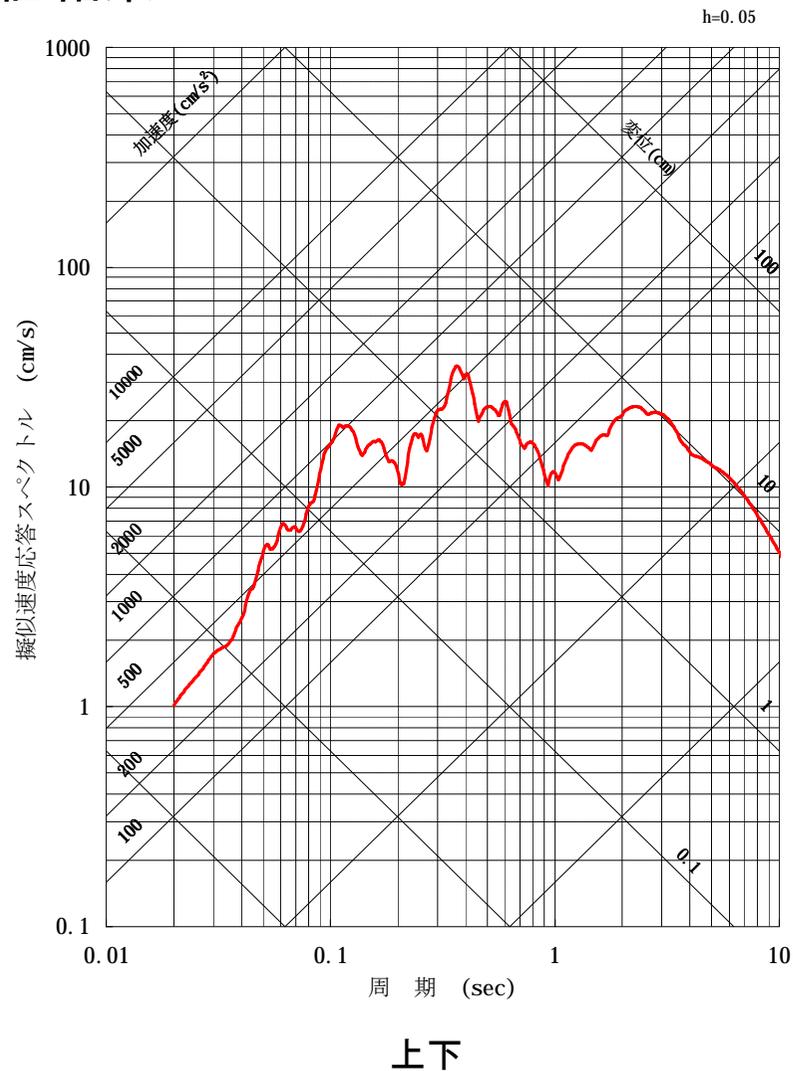
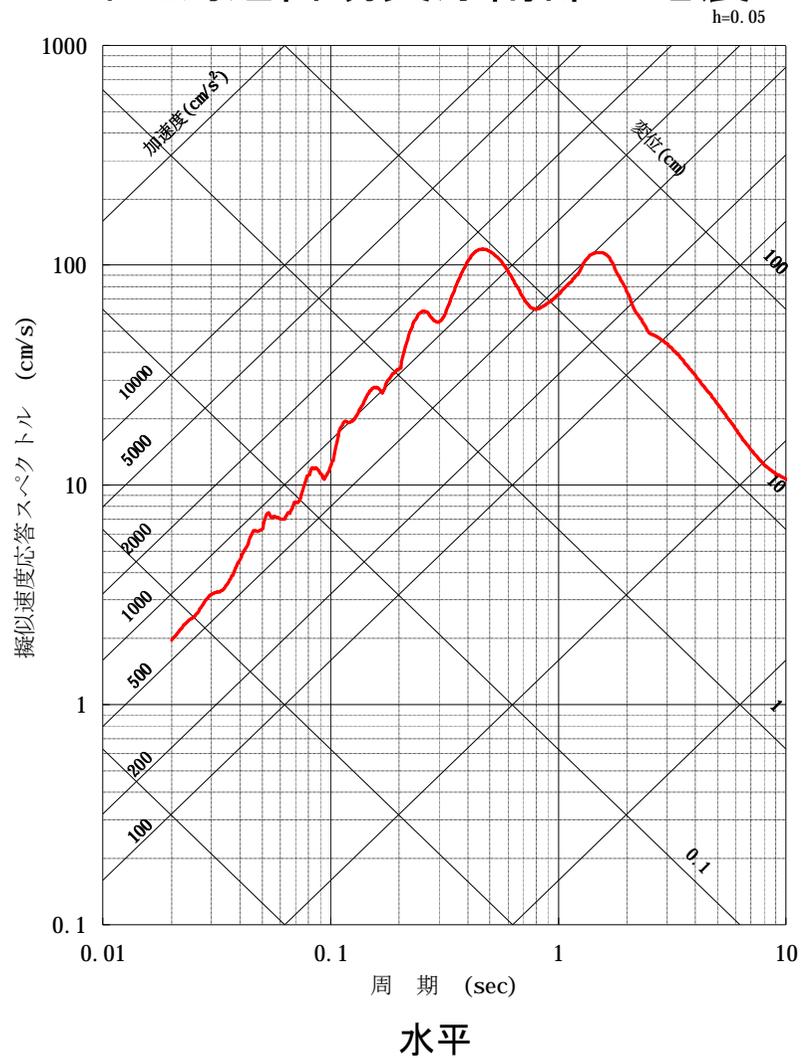


上下

加速度波形

# 5. 震源を特定せず策定する地震動

## ■ 2004年北海道留萌支庁南部の地震の評価結果



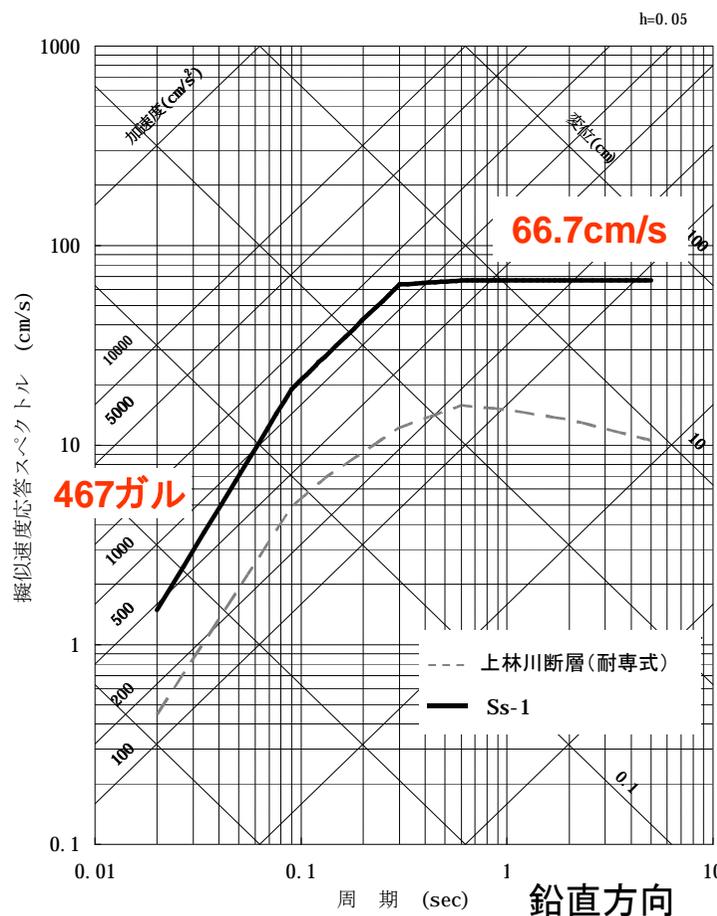
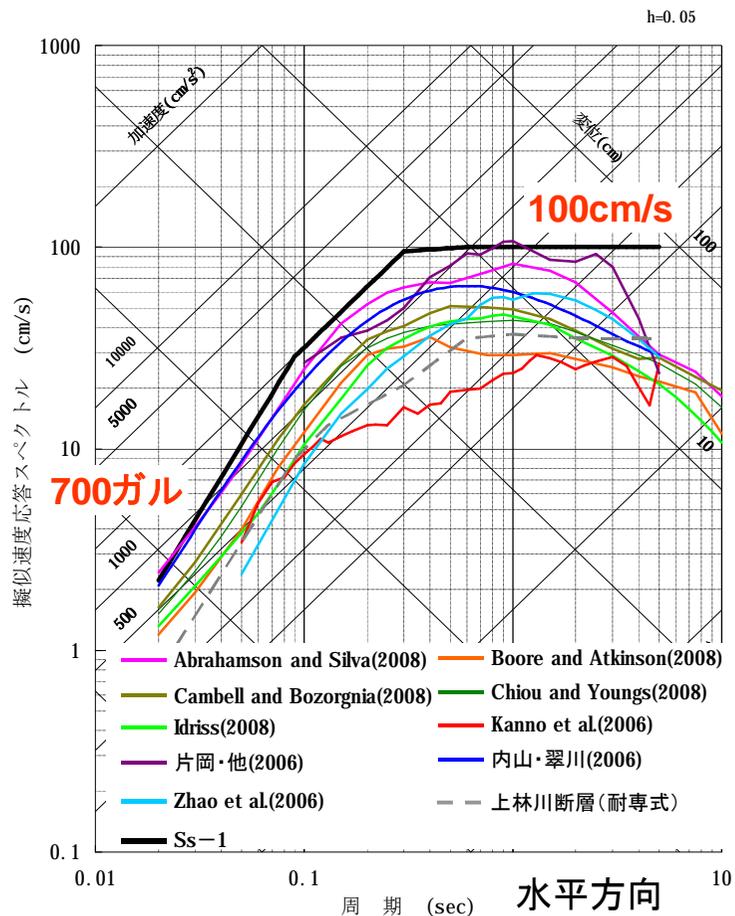
— 震源を特定せず策定する地震動(留萌)

# 6. 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

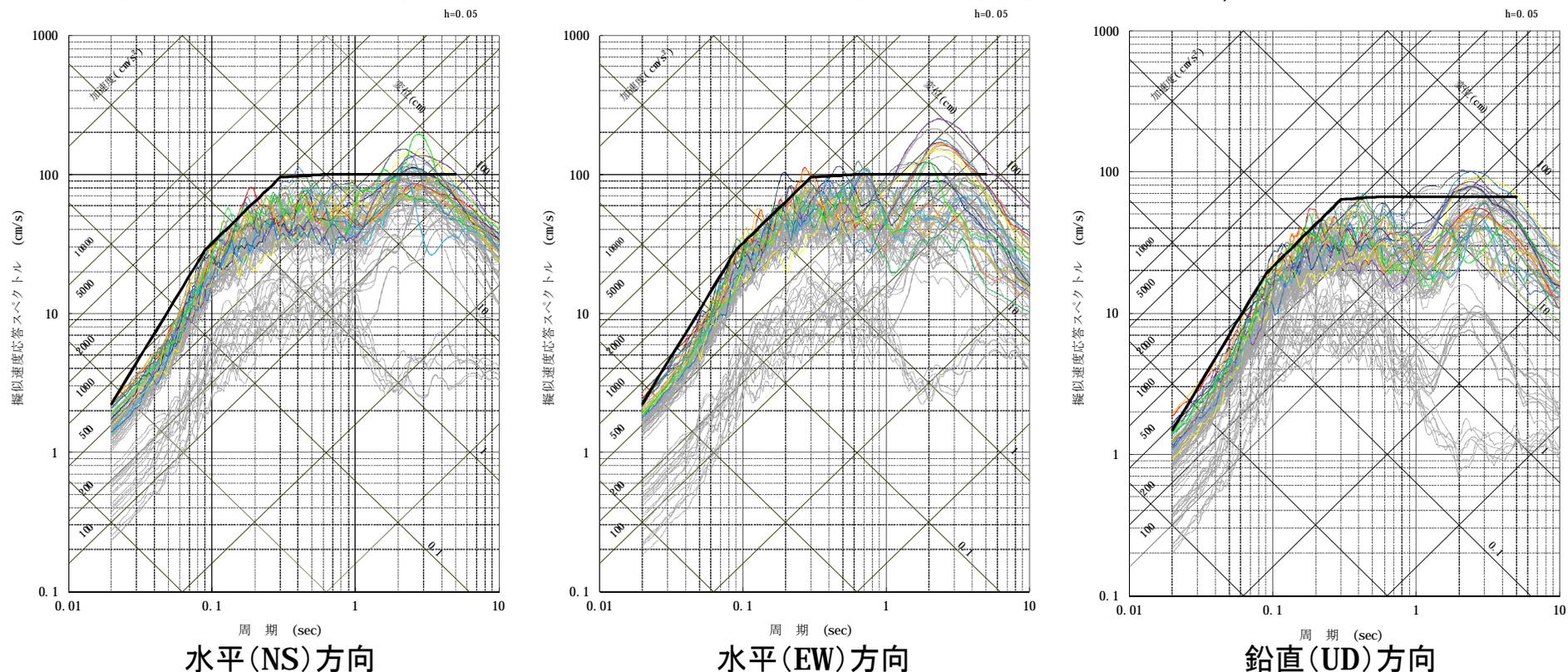
周期(s)	0.02	0.09	0.13	0.3	0.6	5
水平 (cm/s)	2.23	28.6	41.4	95.5	100	100
上下 (cm/s)	1.49	19.1	27.6	63.7	66.7	66.7



※鉛直方向は  
水平方向の  
2/3として設定

# 6. 基準地震動の策定 (震源を特定して策定する地震動)

■FO-A~FO-B~熊川断層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-17)として採用する。

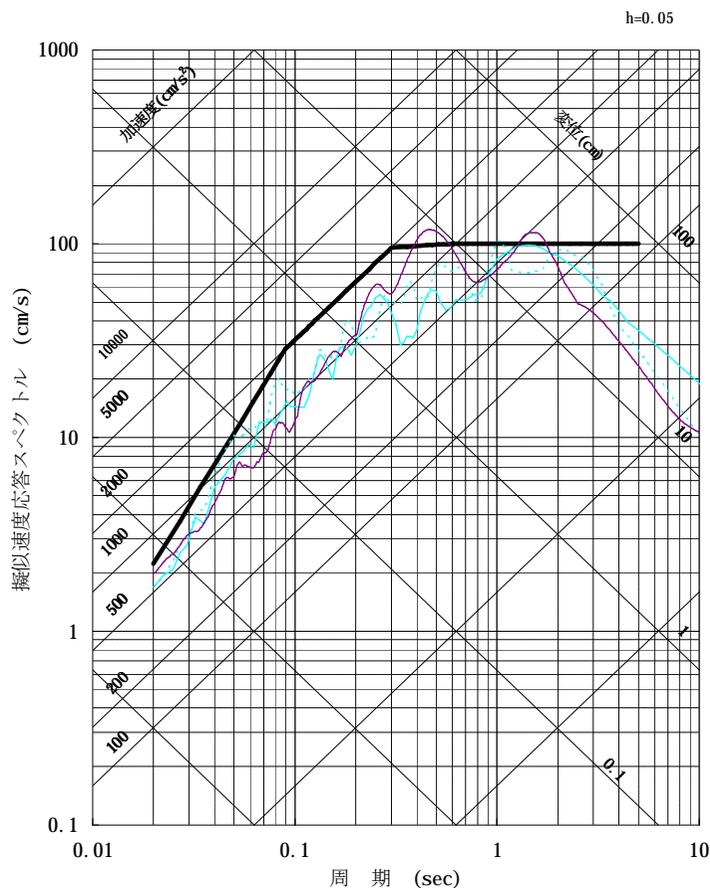


- |  |   |
|--|---|
| — 基準地震動 Ss-1   | — Ss-11: FO-A~FO-B~熊川断層 (短周期1.25倍かつ $V_r=0.87\beta$ ケース、破壊開始点3) |
| — Ss-2 : FO-A~FO-B~熊川断層 (短周期1.5倍ケース、破壊開始点1)                      | — Ss-12: FO-A~FO-B~熊川断層 (短周期1.25倍かつ $V_r=0.87\beta$ ケース、破壊開始点4) |
| — Ss-3 : FO-A~FO-B~熊川断層 (短周期1.5倍ケース、破壊開始点2)                      | — Ss-13: FO-A~FO-B~熊川断層 (短周期1.25倍かつ $V_r=0.87\beta$ ケース、破壊開始点5) |
| — 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-14: FO-A~FO-B~熊川断層 (短周期1.25倍かつ $V_r=0.87\beta$ ケース、破壊開始点6) |
| — 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-15: FO-A~FO-B~熊川断層 (短周期1.25倍かつ $V_r=0.87\beta$ ケース、破壊開始点7) |
| — 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-16: FO-A~FO-B~熊川断層 (短周期1.25倍かつ $V_r=0.87\beta$ ケース、破壊開始点8) |
| — 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-17: FO-A~FO-B~熊川断層 (短周期1.25倍かつ $V_r=0.87\beta$ ケース、破壊開始点9) |
| — Ss-8 : FO-A~FO-B~熊川断層 (傾斜角 $75^\circ$ ケース、破壊開始点1)              |   |
| — Ss-9 : FO-A~FO-B~熊川断層 (すべり角 $30^\circ$ ケース、破壊開始点3)             |   |
| — Ss-10 : FO-A~FO-B~熊川断層 (短周期1.25倍かつ $V_r=0.87\beta$ ケース、破壊開始点1) |   |

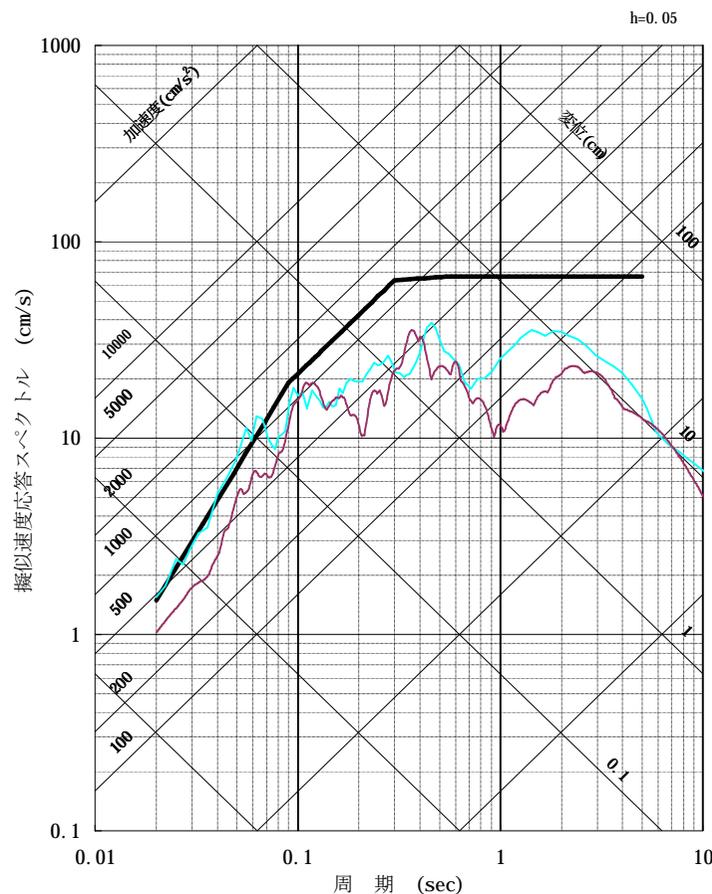
灰色 : Ssを除くFO-A~FO-B~熊川断層、上林川断層の全てのケースの地震動評価結果

# 6. 基準地震動の策定 (震源を特定せず策定する地震動)

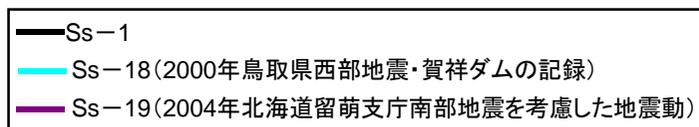
■ 2000年鳥取県西部地震・賀祥ダムの記録および2004年北海道留萌支庁南部地震を考慮した地震動は、基準地震動Ss-1の応答スペクトルを一部周期で上回ることから、基準地震動(Ss-18、Ss-19)として採用する。



水平方向



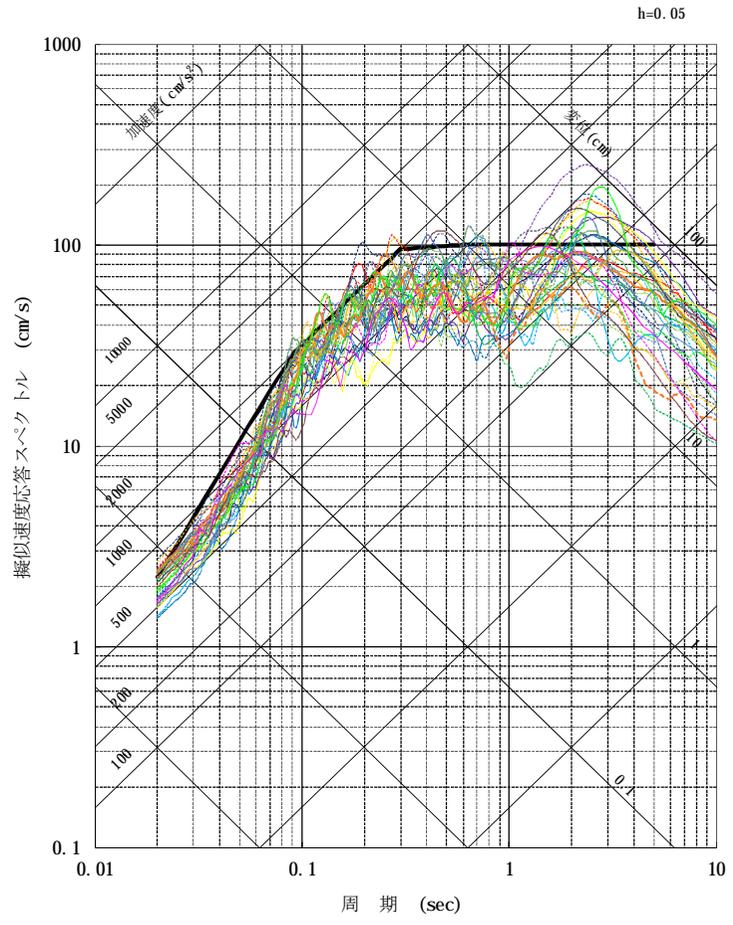
鉛直方向



- 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-17)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した。
  - ・Ss-18:2000年鳥取県西部地震、賀祥ダムの観測記録
  - ・Ss-19:2004年北海道留萌支庁南部地震、港町観測点の記録を考慮した地震動
- 以上より選定した基準地震動Ss-1～19について、次ページ以降に速度応答スペクトルおよび加速度時刻歴波形を示す。

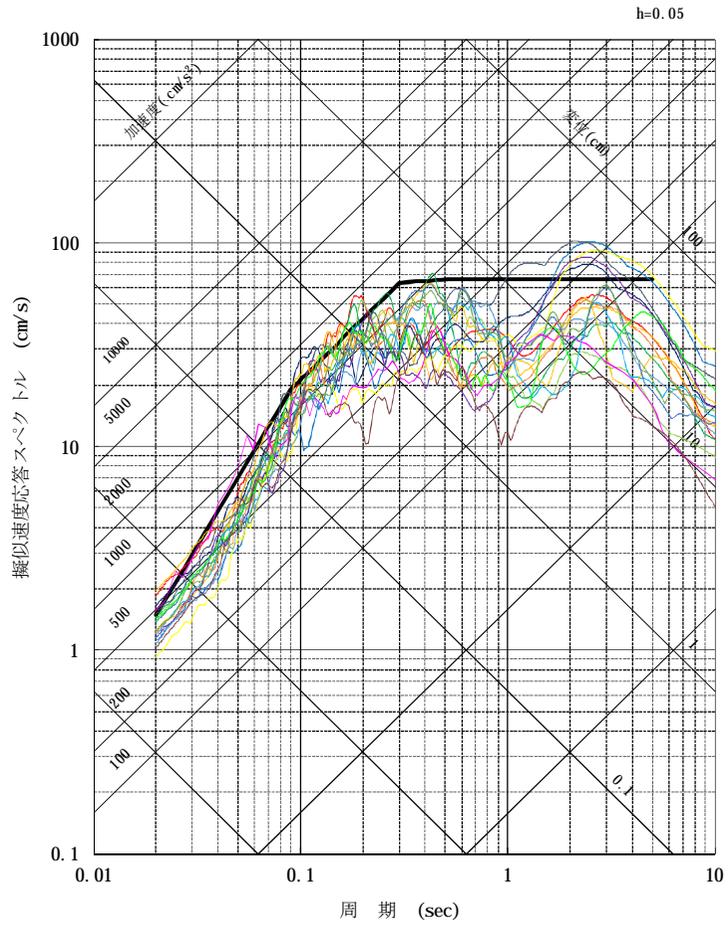
# 6. 基準地震動の策定

■ 基準地震動Ss-1～Ss-19の応答スペクトルは以下のとおり。



水平方向

(Ss-2～Ss-18では実線がNS成分、点線がEW成分)



鉛直方向

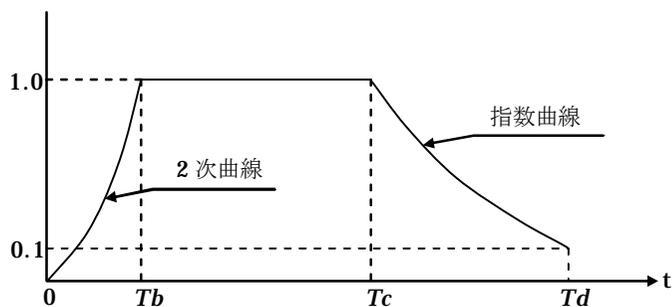
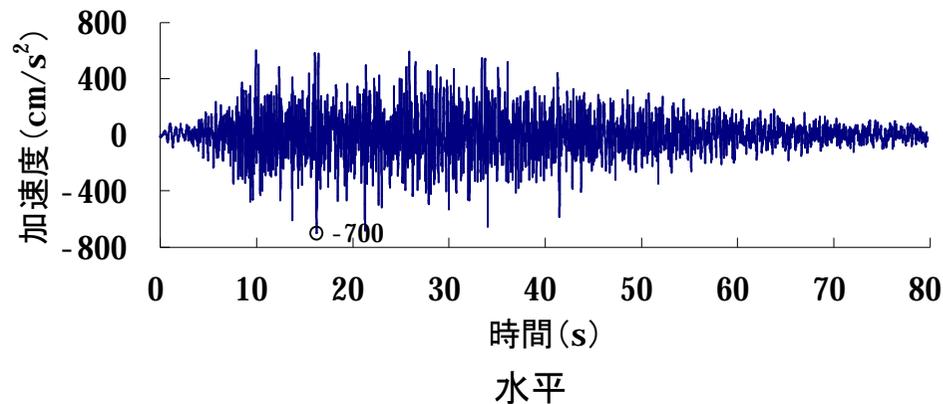
— Ss-1	— Ss-2	— Ss-3	— Ss-4	— Ss-5
— Ss-6	— Ss-7	— Ss-8	— Ss-9	— Ss-10
— Ss-11	— Ss-12	— Ss-13	— Ss-14	— Ss-15
— Ss-16	— Ss-17	— Ss-18	— Ss-19	

# 6. 基準地震動の策定

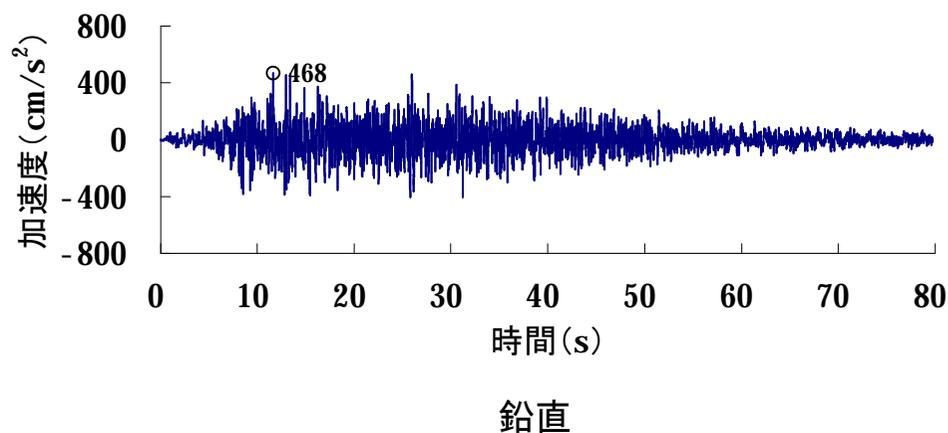
- 基準地震動Ss-1の応答スペクトルに適合する模擬地震波は、位相角を一様乱数として与えた正弦波を重ね合わせて、目標とする応答スペクトルに適合するように補正して作成する。
- 振幅包絡線の経時変化についてはNoda et al.(2002)に基づくものとし、マグニチュードM=7.8、等価震源距離Xeq=60kmとして設定する。

模擬地震波の振幅包絡線の経時変化

マグニチュード M	等価震源距離 Xeq (km)	振幅包絡線の 経時変化 (s)		
		T <sub>b</sub>	T <sub>c</sub>	T <sub>d</sub>
7.8	60	9.33	31.21	79.76



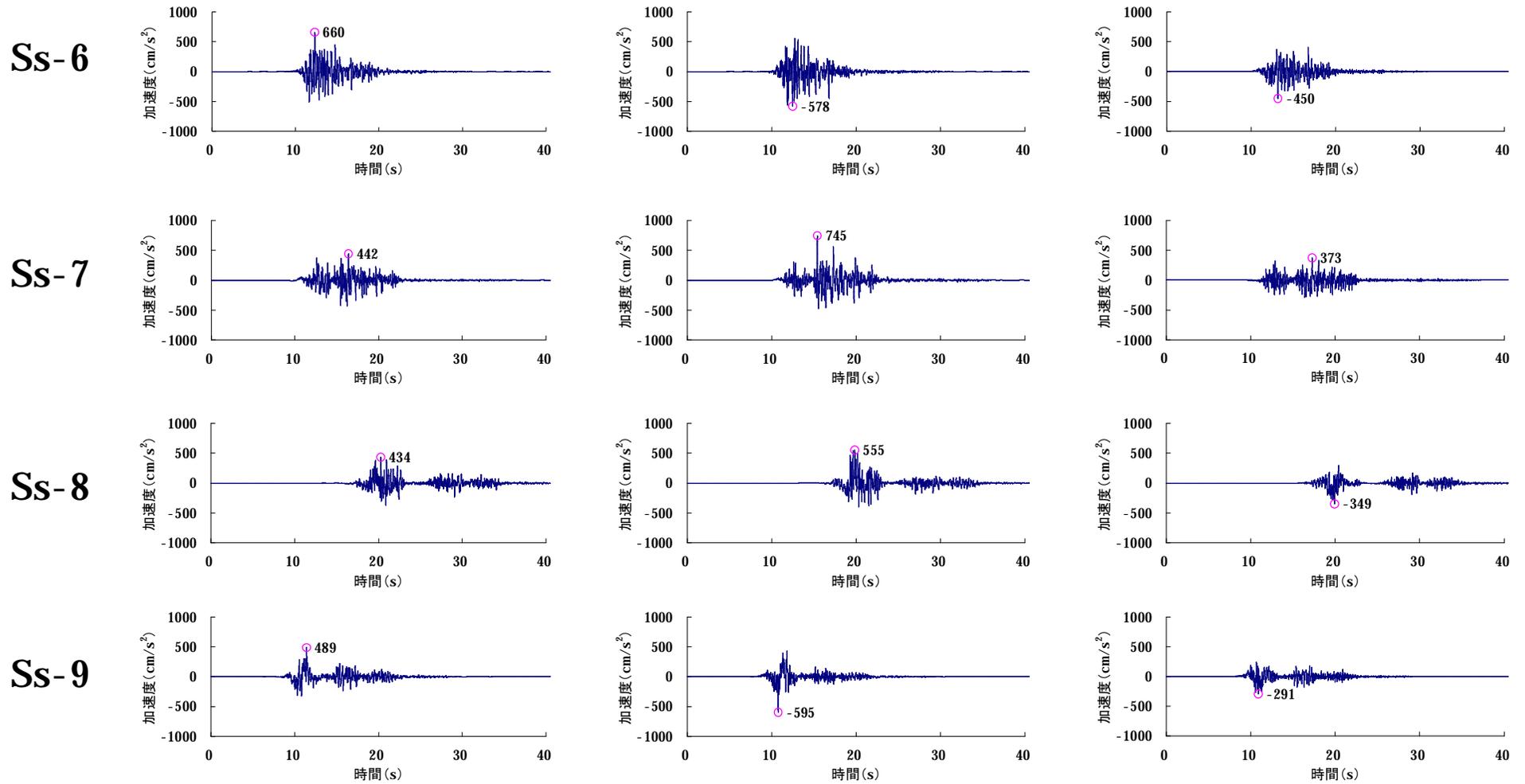
$$E(t) = \begin{cases} (T/T_b)^2 & 0 \leq T \leq T_b & T_b = 10^{0.5M-2.93} \\ 1.0 & T_b \leq T \leq T_c & T_c - T_b = 10^{0.3M-1.0} \\ e^{\frac{\ln(0.1)}{T_d-T_c}(T-T_c)} & T_c \leq T \leq T_d & T_d - T_c = 10^{0.17M+0.54\log X_{eq}-0.6} \end{cases}$$





# 6. 基準地震動の策定

## ■ 基準地震動の加速度時刻歴波形 (Ss-6~Ss-9)



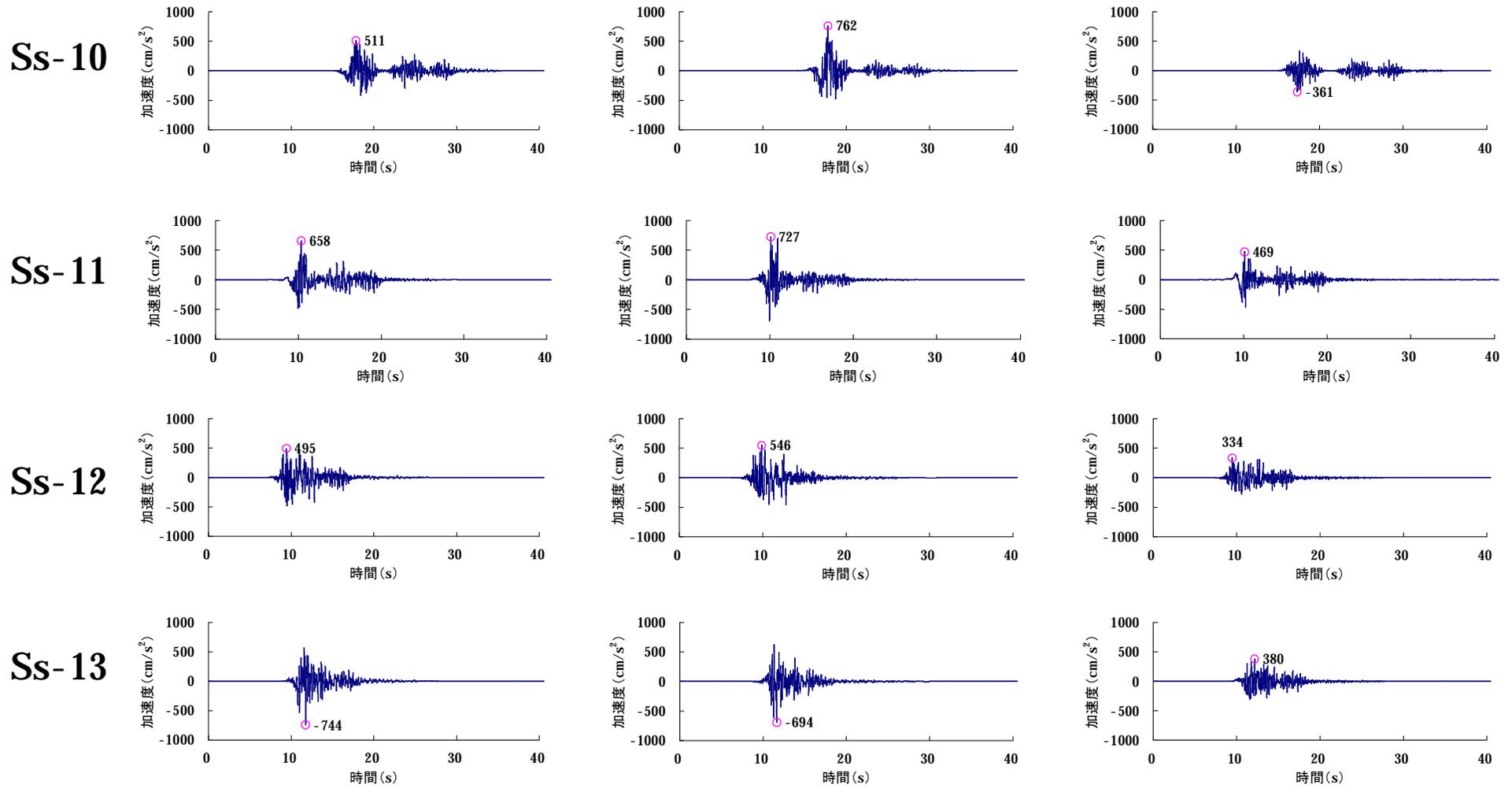
NS方向

EW方向

UD方向

# 6. 基準地震動の策定

## ■ 基準地震動の加速度時刻歴波形 (Ss-10~Ss-13)



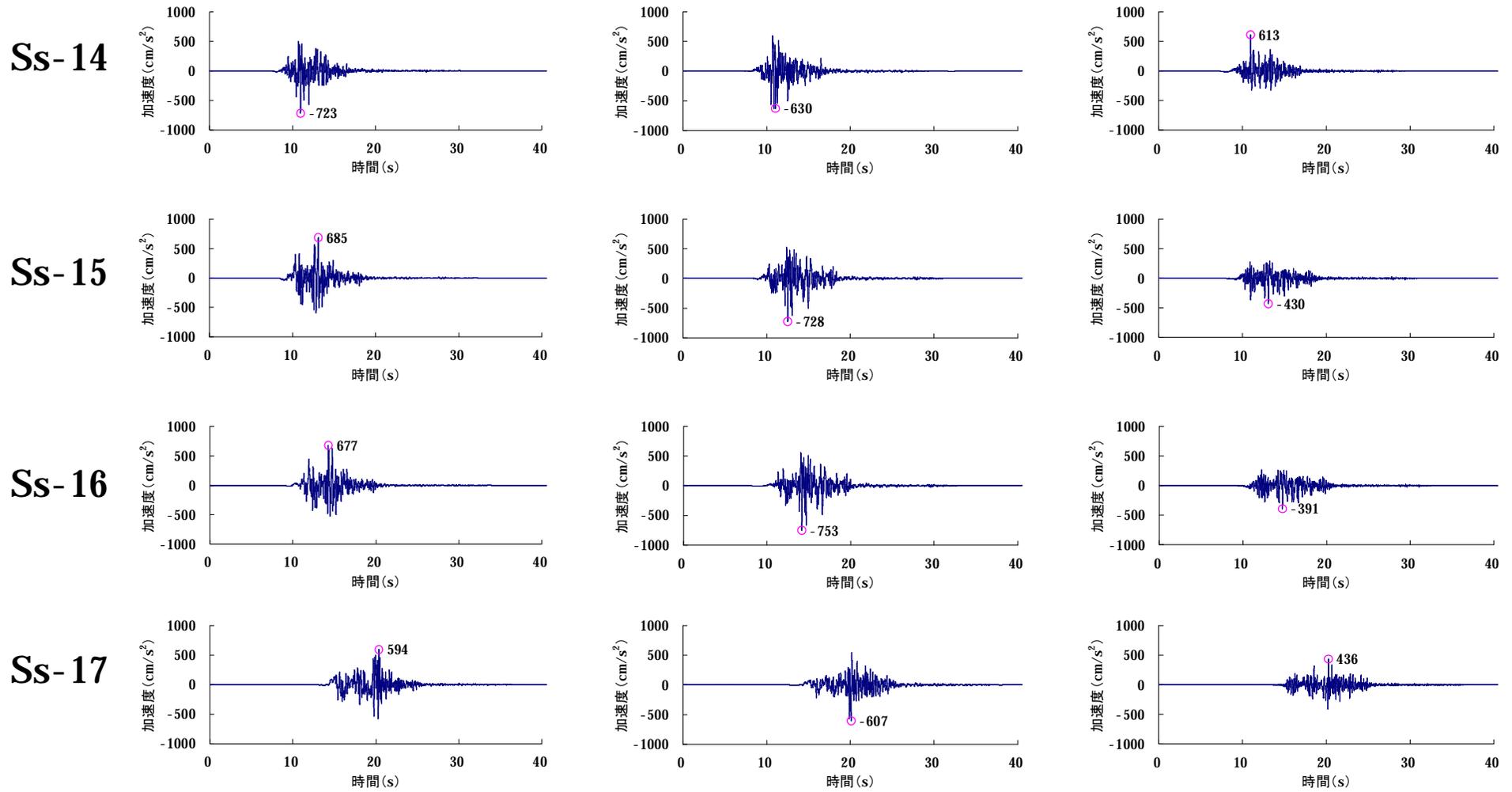
NS方向

EW方向

UD方向

# 6. 基準地震動の策定

## ■ 基準地震動の加速度時刻歴波形 (Ss-14~Ss-17)



NS方向

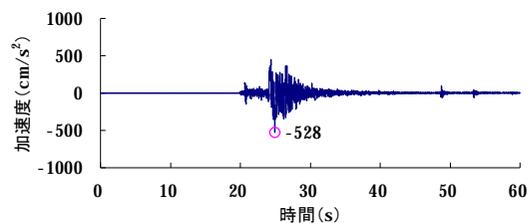
EW方向

UD方向

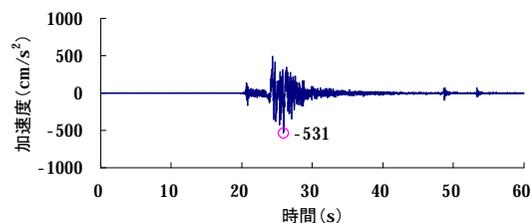
# 6. 基準地震動の策定

## ■ 基準地震動の加速度時刻歴波形 (Ss-18、Ss-19)

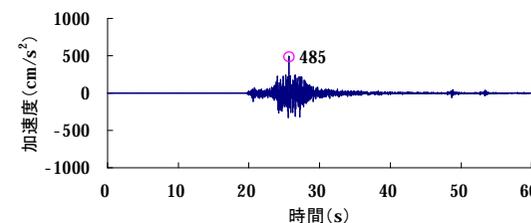
Ss-18



NS方向

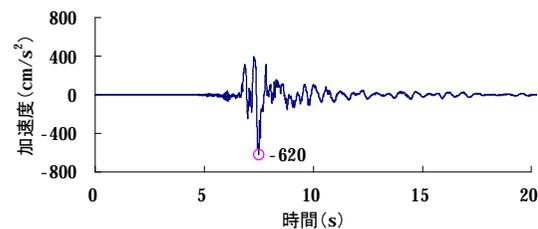


EW方向

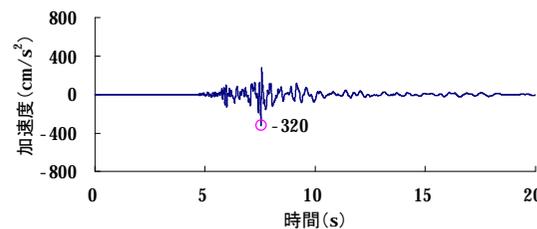


UD方向

Ss-19



水平方向



上下方向

# 6. 基準地震動の策定

## ■ 基準地震動の最大加速度

(cm/s<sup>2</sup>)

基準地震動		NS方向	EW方向	UD方向
Ss-1	設計用模擬地震波	700		468
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)	690	776	583
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)	496	826	383
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)	546	856	518
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)	511	653	451
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)	660	578	450
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)	442	745	373
Ss-8	FO-A～FO-B～熊川断層(傾斜角75° ケース・破壊開始点1)	434	555	349
Ss-9	FO-A～FO-B～熊川断層(すべり角30° ケース・破壊開始点3)	489	595	291
Ss-10	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.25倍かつ $V_r=0.87\beta$ ケース・破壊開始点1)	511	762	361
Ss-11	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.25倍かつ $V_r=0.87\beta$ ケース・破壊開始点3)	658	727	469
Ss-12	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.25倍かつ $V_r=0.87\beta$ ケース・破壊開始点4)	495	546	334
Ss-13	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.25倍かつ $V_r=0.87\beta$ ケース・破壊開始点5)	744	694	380
Ss-14	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.25倍かつ $V_r=0.87\beta$ ケース・破壊開始点6)	723	630	613
Ss-15	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.25倍かつ $V_r=0.87\beta$ ケース・破壊開始点7)	685	728	430
Ss-16	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.25倍かつ $V_r=0.87\beta$ ケース・破壊開始点8)	677	753	391
Ss-17	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.25倍かつ $V_r=0.87\beta$ ケース・破壊開始点9)	594	607	436
Ss-18	2000年鳥取県西部地震・賀祥ダムの記録	528	531	485
Ss-19	2004年北海道留萌支庁南部地震を考慮した地震動	620		320

## 7. 基準地震動Ssの超過確率

■日本原子力学会(2007)の方法を基に、専門家活用水準<sup>1</sup>※としてロジックツリーを作成して敷地における地震動の一樣ハザードスペクトルを算定し、基準地震動の応答スペクトルがどの程度の年超過確率に相当するかを把握する。

### ■震源モデルの設定

#### (1) 特定震源モデルに基づく評価

敷地への影響度に応じて、敷地周辺の活断層を以下の(A)～(C)の3種類に分類してモデル化する。

##### (A) 詳細なロジックツリーを設定する主要活断層モデル

検討用地震として選定したFO-A～FO-B～熊川断層、上林川断層については、詳細なロジックツリーに展開して評価する。

##### (B) 上記(A)以外の主要活断層モデル

上記(A)以外の主要な活断層については、マグニチュードの分岐のみを考慮したロジックツリーで評価する。

##### (C) その他の活断層モデル

主要活断層モデル以外の活断層を対象に、基本的にサイトから100km程度以内にある

「新編 日本の活断層」に掲載されている確実度Ⅰ及びⅡの活断層をモデル化する。

なお、詳細な地質調査を実施している一部の断層については、調査結果による断層長さを採用。

#### (2) 領域震源モデルに基づく評価

領域震源モデルについては、萩原(1991)及び垣見・他(2003)の領域区分に基づき、サイトから100km以内の領域を対象とする。

また、地震規模と発生頻度はG-R式を用い、各領域の最大マグニチュードは領域内の過去の地震の最大値をもとに設定する。

### ■地震動伝播モデルの設定

地震動伝播モデルはNoda et al.(2002)の方法を用いる。地震動評価のばらつきは対数標準偏差で0.53とし、内陸補正のあり・なしをロジックツリーの分岐として考慮する。

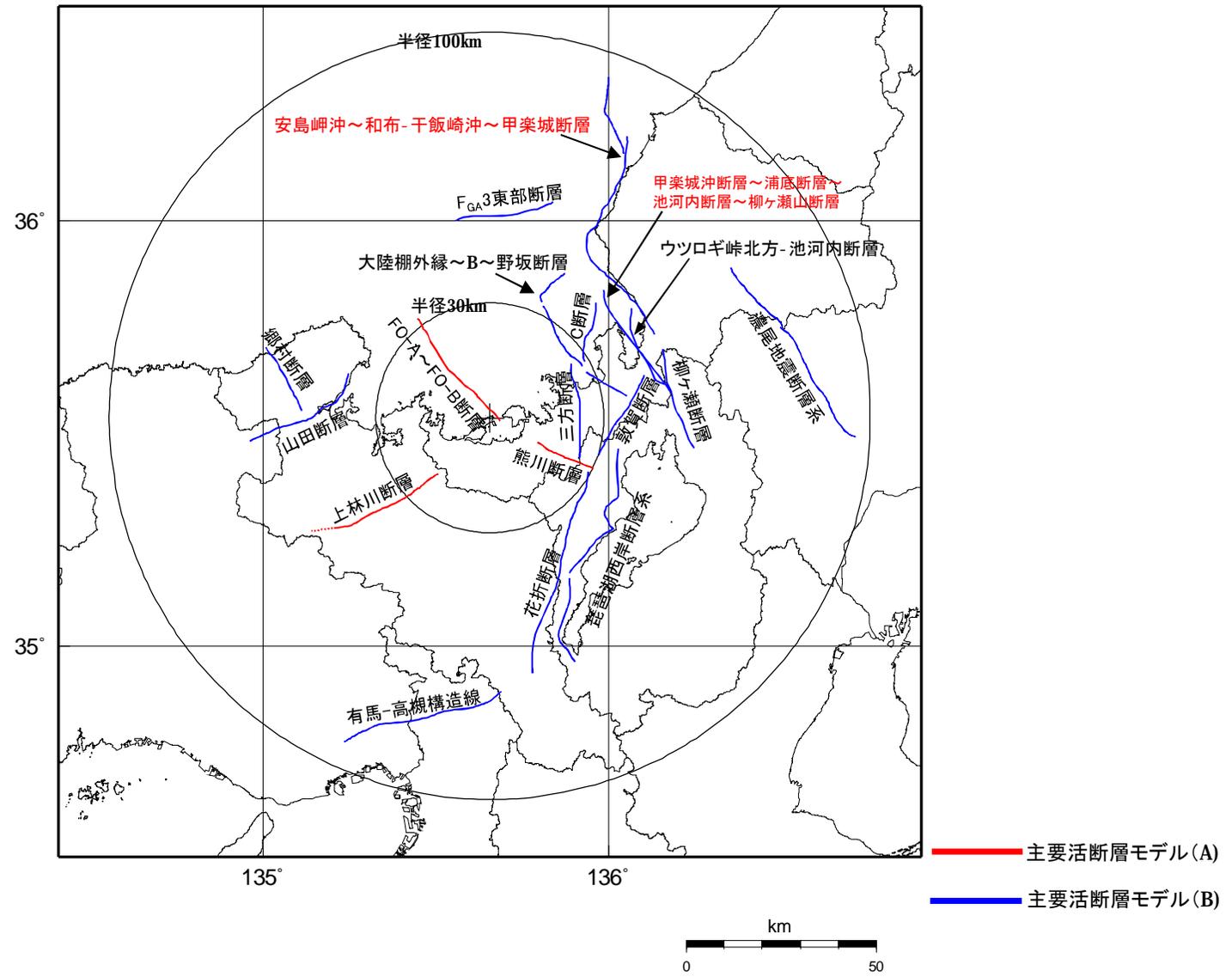
また、基準地震動Ssの策定で断層モデルを用いた手法を重視したFO-A～FO-B～熊川断層については、断層モデルを用いた手法もロジックツリーの分岐として考慮することとする。

いずれの手法においても、ばらつきの打切り範囲は対数標準偏差の3倍とする。

※専門家活用水準<sup>1</sup>: 地震ハザードの不確かさへの影響が比較的小さい水準を想定し、TI(Technical Integrator,ロジックツリーの技術的な纏め役)が文献レビュー及び自らの経験に基づきコミュニティ分布(科学者集団が総合的に評価するその時点での不確かさの客観的分布)を評価し、ロジックツリーを作成する。

# 7. 基準地震動Ssの超過確率

主要活断層モデルの断層位置図



## 7. 基準地震動Ssの超過確率

### 詳細なロジックツリーを設定する主要活断層モデル(A)

- 決定論による地震動評価の際に不確かさとして考慮したパラメータのうち、Noda et al.(2002)の算定に影響を与えるパラメータについて、ロジックツリーに展開する。さらに、地震規模Mの評価式についても、ロジックツリーに展開する。

- ・FO-A～FO-B～熊川断層 ⇒ 傾斜角、アスペリティ配置、地震規模M
- ・上林川断層 ⇒ アスペリティ配置、地震規模M

- 地震の年発生頻度は、日本原子力学会(2007)に基づき次式で評価する。また、活断層の年平均変位速度は、地質調査結果および「新編 日本の活断層」を参考に断層の活動度(A～C)を設定した後、奥村・石川(1998)により活動度に応じた年平均変位速度を設定する。

$$n = S / D = (10^{1.1} \cdot S) / L$$

$\nu$ : 年平均発生頻度(回/年)

L: 断層長さ(km)

D: すべり量(m)

S: 活断層の年平均変位速度(m/年)

奥村・石川(1998)より、

活動度A: 0.0024(m/年)

活動度B: 0.00025(m/年)

活動度C: 0.000047(m/年)

- 地震規模Mは、基準地震動策定において用いている松田(1975)に加えて、学会標準に記載されている断層長さから規模Mを算出する方法(武村(1998))、断層モデルとの整合を考えた断層面積から規模Mを算出する方法(入倉・三宅(2001)とTakemura et al.(1990))をロジックツリーに展開する。

①松田(1975)

$$\log L = 0.6M - 2.9$$

②武村(1998)

$$\log L = 0.6M - 2.97$$

③入倉・三宅(2001)と  
Takemura et al.(1990)

$$\begin{cases} S = 4.24 \times 10^{-11} \times M_0^{1/2} \\ \log M_0 = 1.17M + 17.72 \end{cases}$$

M: マグニチュード

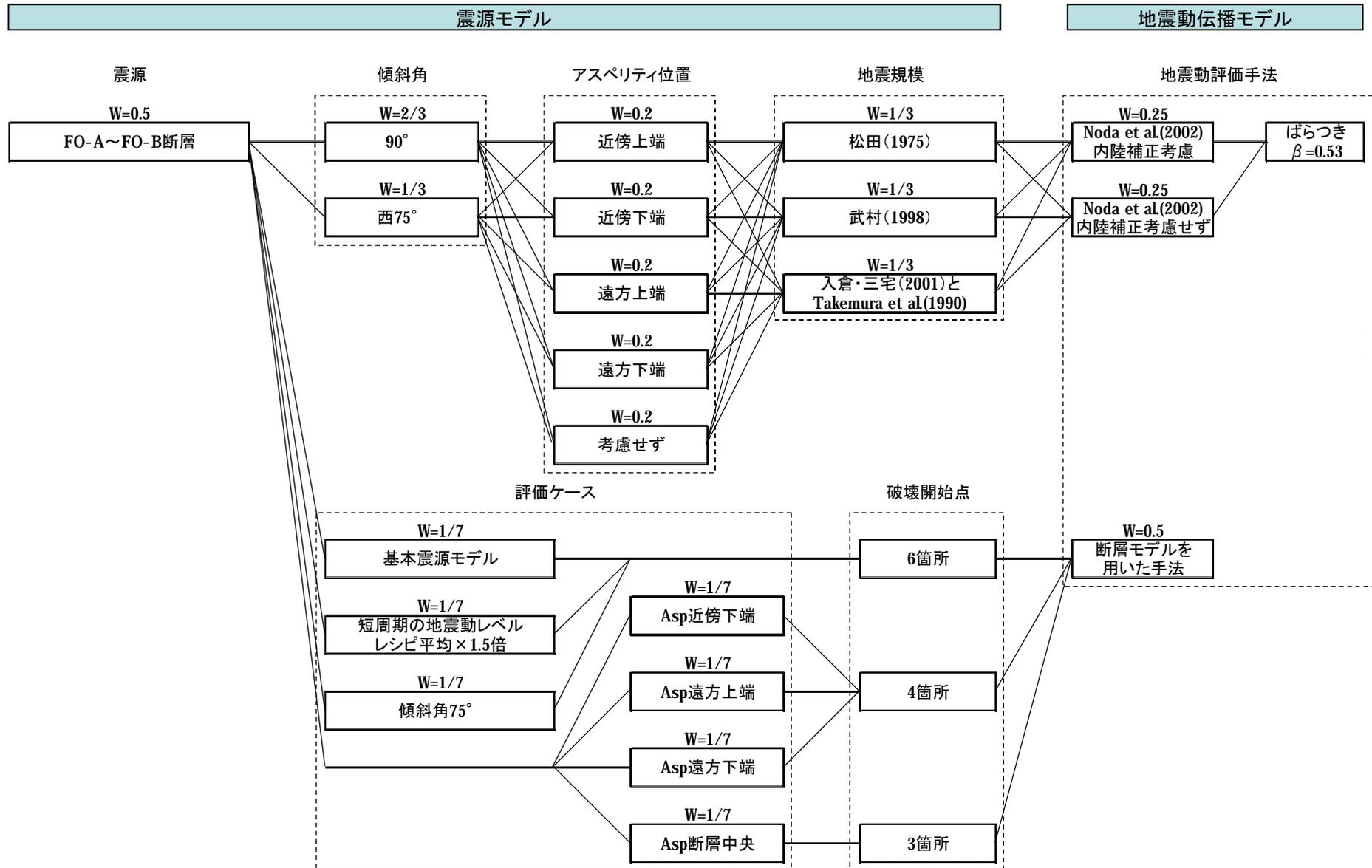
L: 断層長さ(km)

S: 断層面積(km<sup>2</sup>)

M<sub>0</sub>: 地震モーメント(dyne・cm)

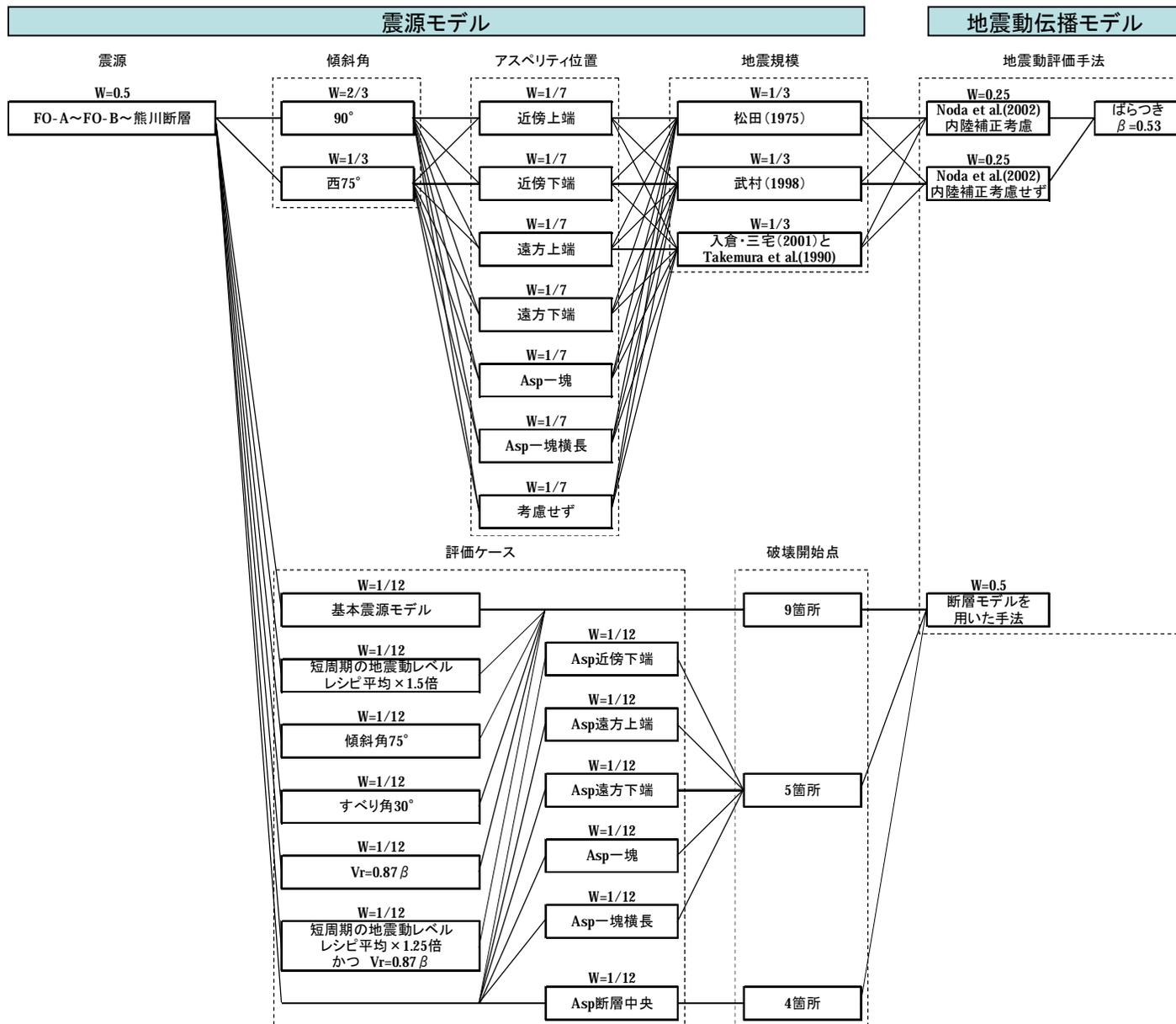
# 7. 基準地震動Ssの超過確率

■FO-A~FO-B~熊川断層のロジックツリーは以下のとおり。



# 7. 基準地震動Ssの超過確率

■FO-A~FO-B~熊川断層のロジックツリーは以下のとおり。



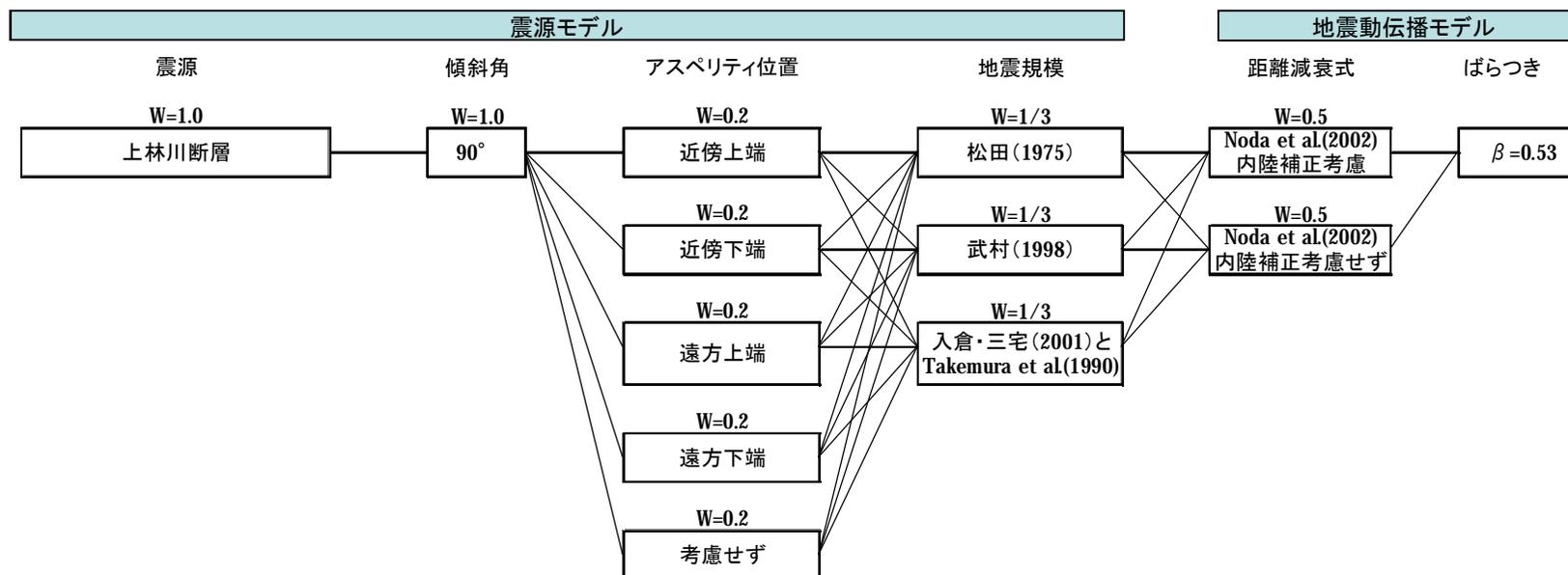
# 7. 基準地震動Ssの超過確率

■FO-A～FO-B～熊川断層のロジックツリーの分岐ごとの諸元は以下のとおり。

震源断層	断層長さ (km)	傾斜角 (°)	アスペリティ	Xeq(km)	M 松田(1975)	M 武村(1998)	M 入倉・三宅(2001)と Takemura et al.(1990)	活動度	年発生頻度 (回/年)
FO-A～FO-B断層	35.3	90	近傍上端	10.3	7.4	7.5	7.2	B	8.92E-05
			近傍下端	14.8					
			遠方上端	20.0					
			遠方下端	20.8					
			考慮せず	14.8					
		75	近傍上端	9.8	7.4	7.5	7.3		
			近傍下端	14.5					
			遠方上端	19.7					
			遠方下端	20.4					
			考慮せず	14.3					
FO-A～FO-B ～熊川断層	63.4	90	近傍上端	11.0	7.8	8.0	7.7	B	4.96E-05
			近傍下端	15.2					
			遠方上端	19.3					
			遠方下端	19.9					
			Asp一塊	10.6					
			Asp一塊横長	10.4					
			考慮せず	14.9					
		75	近傍上端	10.7	7.8	8.0	7.7		
			近傍下端	15.0					
			遠方上端	19.0					
			遠方下端	19.6					
			Asp一塊	10.2					
			Asp一塊横長	10.0					
考慮せず	14.5								

# 7. 基準地震動Ssの超過確率

■上林川断層のロジックツリーと分岐ごとの諸元は以下のとおり。



震源断層	断層長さ (km)	傾斜角 (°)	アスペリティ	Xeq(km)	M 松田 (1975)	M 武村 (1998)	M 入倉・三宅(2001)と Takemura et al(1990)	活動度	年発生頻度 (回/年)
上林川断層	39.5	90	近傍上端	30.2	7.5	7.6	7.3	B	7.97E-05
			近傍下端	32.1					
			遠方上端	38.0					
			遠方下端	39.1					
			考慮せず	35.7					

# 7. 基準地震動Ssの超過確率

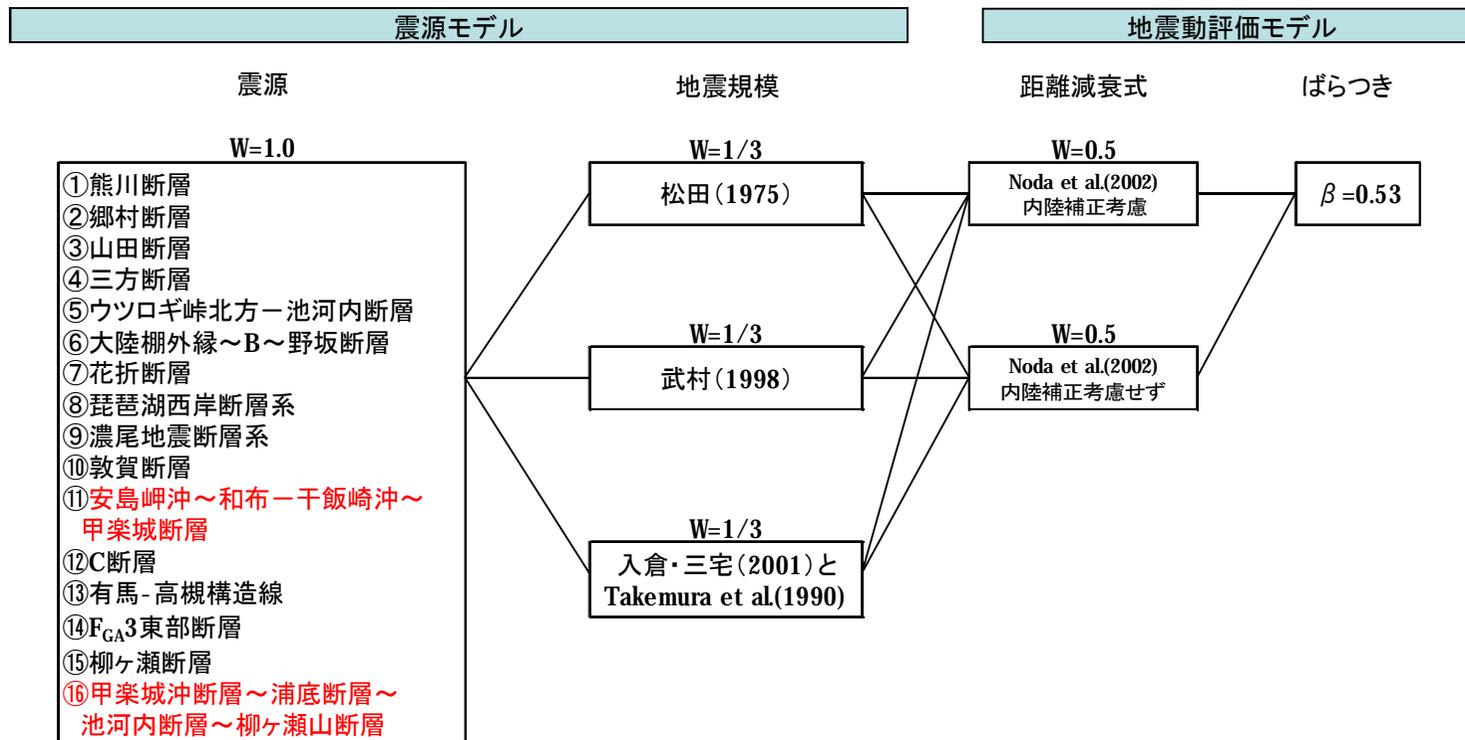
## 主要活断層モデル(B)の設定

■ 検討用地震の選定で検討した断層のうち、FO-A～FO-B～熊川断層および上林川断層を除いた下表の断層を対象とする。

また、地震規模Mの評価式について、ロジックツリーに展開する。

■ 地震の年発生頻度、地震規模の評価式は、主要活断層モデル(A)と同様とする。

■ 主要活断層モデル(B)のロジックツリーは以下のとおり。



# 7. 基準地震動Ssの超過確率

■主要活断層モデル(B)の諸元は以下のとおり。

	断層名	断層長さ (km)	Xeq(km)	M 松田(1975)	M 武村(1998)	M 入倉・三宅(2001)と Takemura et al.(1990)	活動度 <sup>※2</sup>	年発生頻度 (回/年)
1	熊川断層 <sup>※1</sup>	23	18.7	7.1	7.2	6.8	B	1.37E-04
2	郷村断層	34	63.3	7.4	7.5	7.2	B	9.26E-05
3	山田断層	33	47.7	7.4	7.5	7.1	B	9.54E-05
4	三方断層	27	30.9	7.2	7.3	7.1	B	1.17E-04
5	ウツロギ峠北方-池河内断層	24	44.7	7.1	7.3	7.0	B	1.31E-04
6	大陸棚外縁~B~野坂断層	49	35.1	7.7	7.8	7.4	B	6.42E-05
7	花折断層	58	43.3	7.8	7.9	7.6	B	5.43E-05
8	琵琶湖西岸断層系 <sup>※3</sup>	60	42.2	7.8	7.9	7.7	A	5.04E-04
9	濃尾地震断層系 <sup>※3</sup>	80	94.7	8.0	8.1	7.8	B	3.93E-05
10	敦賀断層	23	37.4	7.1	7.2	6.9	B	1.37E-04
11	安島岬沖~和布-干飯崎沖~甲 楽城断層	76	67.2	8.0	8.1	8.1	B	4.14E-05
12	C断層	18	37.2	6.9	7.0	6.9	B	1.75E-04
13	有馬-高槻構造線 <sup>※3</sup>	45	81.5	7.6	7.7	7.4	B	6.99E-05
14	F <sub>GA</sub> 3東部断層	29	54.7	7.3	7.4	7.0	B	1.09E-04
15	柳ヶ瀬断層	31	50.8	7.3	7.4	7.1	B	1.02E-04
16	甲楽城沖断層~浦底断層~ 池河内断層~柳ヶ瀬山断層	36	44.4	7.4	7.5	7.3	B	8.74E-05

※1: 熊川断層について、主要活断層モデル(A)で「FO-A~FO-B断層」(2連動)の場合のみ、主要活断層モデル(B)として上記の諸元で考慮した。

※2: 活動度は地質調査結果および「新編 日本の活断層」を参考に設定した。なお、琵琶湖西岸断層系については、地震調査研究推進本部「琵琶湖西岸断層帯の長期評価」に示される年平均変位速度(1.1~1.6m/千年)を参考に活動度をAとした。

※3: 断層長さは地質調査結果を優先して設定しているが、敷地から遠方の一部の活断層については「新編 日本の活断層」を基に設定した。

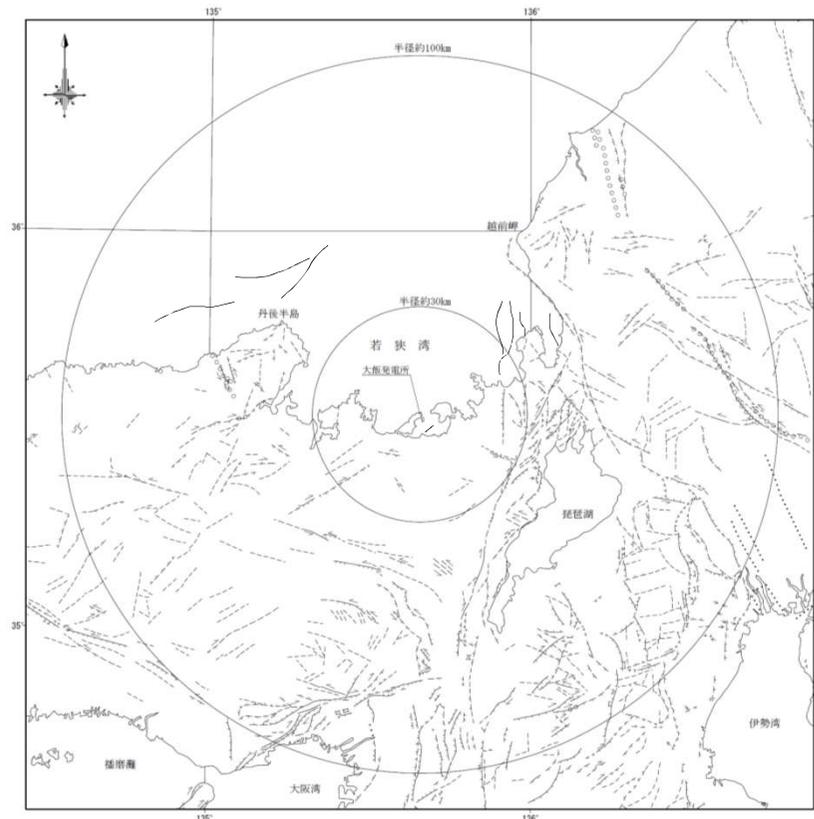
# 7. 基準地震動Ssの超過確率

## その他の活断層モデル(C)の設定

- その他の活断層モデルでは、「新編 日本の活断層」に掲載されている活断層のうち、サイトから100km程度以内※1にある確実度ⅠおよびⅡの活断層等の文献に記載されている断層を対象とする。なお、地震調査研究推進本部の知見を参考に、グルーピングできると考えられる断層については、ひとつの断層帯として考慮する。
- 各断層の地震規模Mは松田(1975)による。
- 年発生頻度は、主要活断層モデルと同様に算定する。
- 短い活断層については、地震規模をM6.8として評価する※2。また、発生頻度は、M6.8としたときに松田(1975)より得られる断層長さを用いて算定する。

※1: 100km以遠の活断層については、影響が小さいことから評価対象外としている。

※2: 短い活断層については重複している可能性もあるが、明確に区分することは困難であるため、それぞれをM6.8として考慮している。



- ⇒ ⇨ ⇩ ⇪ ⇫ ⇬ ⇭ ⇮ ⇯ ⇰ ⇱ ⇲ ⇳ ⇴ ⇵ ⇶ ⇷ ⇸ ⇹ ⇺ ⇻ ⇼ ⇽ ⇾ ⇿ ⇿ 活断層であることが確実なもの(確実度Ⅰ)
- ⇨ ⇩ ⇪ ⇫ ⇬ ⇭ ⇮ ⇯ ⇰ ⇱ ⇲ ⇳ ⇴ ⇵ ⇶ ⇷ ⇸ ⇹ ⇺ ⇻ ⇼ ⇽ ⇾ ⇿ ⇿ 活断層であると推定されるもの(確実度Ⅱ)
- 活断層の疑いのあるリアメント(確実度Ⅲ)
- 短線は縦ずれの低下側、  
矢印は横ずれのむきを示す
- 伏在断層
- 地震断層
- 活傾動  
← 地形面の傾き下る方向

「新編 日本の活断層」に加筆

# 7. 基準地震動Ssの超過確率

## その他の活断層モデル(C)の諸元(1/2)

No.	断層名	断層長さ(km)	Xeq(km)	M	活動度	年発生頻度(回/年)	No.	断層名	断層長さ(km)	Xeq(km)	M	活動度	年発生頻度(回/年)
1	鳩ヶ湯断層	14	105.1	6.8	C	4.21E-05	41	鼎東方	7.3	85.4	6.8	C	3.92E-05
2	剣ヶ岳断層	17	94	6.9	B	1.82E-04	42	北勢町	7.4	92.4	6.8	C	3.92E-05
3	細呂木断層	10	93.9	6.8	B	2.08E-04	43	美鹿-古野	4.4	97.9	6.8	C	3.92E-05
4	篠岡断層	4.5	86.9	6.8	B	2.08E-04	44	治田断層	8.3	89.7	6.8	B	2.08E-04
5	松岡断層	5.6	82.5	6.8	B	2.08E-04	45	宇賀断層	1.5	93.2	6.8	B	2.08E-04
6	更毛断層	10	71.4	6.8	B	2.08E-04	46	田光断層	2.3	94.1	6.8	B	2.08E-04
7	宝泉寺断層	7.7	66.3	6.8	B	2.08E-04	47	菟野南	3.6	98.1	6.8	B	2.08E-04
8	越前富田	2.8	93.4	6.8	B	2.08E-04	48	藤原岳断層	17	87.2	6.9	B	1.81E-04
9	上唯野断層	1.4	94.8	6.8	B	2.08E-04	49	今須断層	7.8	74.7	6.8	B	2.08E-04
10	佐開断層	1.4	93.4	6.8	B	2.08E-04	50	仏生寺断層	13	70.3	6.8	B	2.08E-04
11	宝慶寺断層	16	88.6	6.8	B	2.01E-04	51	彦根断層	8.1	67.1	6.8	B	2.08E-04
12	武儀川断層	27	97.9	7.2	B	1.19E-04	52	常安寺撓曲	2.3	69.5	6.8	B	2.08E-04
13	三田洞断層	11	104.6	6.8	B	2.08E-04	53	釈迦ヶ岳断層	4.4	91.4	6.8	B	2.08E-04
14	木知原断層	2.8	93.2	6.8	B	2.08E-04	54	御在所岳断層	5.8	95.4	6.8	B	2.08E-04
15	谷汲断層	13	84.6	6.8	B	2.08E-04	55	百済寺断層	8.9	75.1	6.8	B	2.08E-04
16	池田山断層	13	83.5	6.8	B	2.08E-04	56	綿向山断層	11	84.9	6.8	B	2.08E-04
17	宮代断層	4.9	82.5	6.8	B	2.08E-04	57	入道ヶ岳断層	1.8	94.5	6.8	B	2.08E-04
18	白樺山断層	9.2	77.6	6.8	B	2.08E-04	58	鈴鹿坂本断層	18	95.6	6.9	B	1.72E-04
19	殿上山断層	6.1	77.5	6.8	B	2.08E-04	59	黒滝断層	6.2	92.9	6.8	B	2.08E-04
20	金草岳断層	12	66.6	6.8	B	2.08E-04	60	鈴鹿坂下断層	9.1	95.6	6.8	B	2.08E-04
21	笹ヶ峰断層	12	65.6	6.8	B	2.08E-04	61	下田撓曲	9.4	70.1	6.8	C	3.92E-05
22	揖斐川断層	24	76.2	7.1	B	1.31E-04	62	高松ブロック状構造	1.9	74.5	6.8	C	3.92E-05
23	鱈江断層	9.3	67.4	6.8	B	2.08E-04	63	正福寺断層	6.1	69.7	6.8	C	3.92E-05
24	蟬口断層	11	60.8	6.8	B	2.08E-04	64	篠原断層	1.4	62.4	6.8	C	3.92E-05
25	小菅原断層	3.3	56.1	6.8	B	2.08E-04	65	葛木断層	9.5	85.7	6.8	C	3.92E-05
26	奥川並断層	13	54.3	6.8	B	2.08E-04	66	上野川	4.3	87	6.8	C	3.92E-05
27	集福寺断層	12	44.6	6.8	B	2.08E-04	67	三雲断層	1.6	76.6	6.8	C	3.92E-05
28	高野断層	3.3	40	6.8	B	2.08E-04	68	東坂断層	5.0	72.8	6.8	B	2.08E-04
29	駄口断層	9.0	39.4	6.8	B	2.08E-04	69	大鳥居断層	12	76.1	6.8	C	3.92E-05
30	在原断層	3.7	38.1	6.8	B	2.08E-04	70	大戸川断層	2.9	78.6	6.8	C	3.92E-05
31	大浦峠西断層	1.7	43.1	6.8	B	2.08E-04	71	黄瀬断層	11	80.9	6.8	C	3.92E-05
32	路原断層	11	41	6.8	B	2.08E-04	72	信楽断層	6.3	83.8	6.8	C	3.92E-05
33	大浦断層	10	44.5	6.8	C	3.92E-05	73	信楽南断層	3.7	84.9	6.8	C	3.92E-05
34	マキノ断層	8.8	35.2	6.8	B	2.08E-04	74	笹ヶ岳断層	5.3	86.8	6.8	C	3.92E-05
35	鱈江台地西縁	5.3	67.5	6.8	B	2.08E-04	75	木津川断層西部	20	91.6	7.0	B	1.57E-04
36	朝日断層	3.4	67.2	6.8	B	2.08E-04	76	木津川断層東部	18	94.1	6.9	B	1.79E-04
37	笹川断層	7.0	59.8	6.8	B	2.08E-04	77	木根断層	2.2	96.3	6.8	B	2.08E-04
38	黒河川-八王子川	5.0	36.8	6.8	B	2.08E-04	78	花ノ木断層	6.1	98.1	6.8	C	3.92E-05
39	山中	3.5	40.6	6.8	B	2.08E-04	79	北勢-多度撓曲	3.3	92.3	6.8	B	2.08E-04
40	養老北縁断層	2.1	82.2	6.8	B	2.08E-04	80	霊仙山西	8.6	71.4	6.8	B	2.08E-04

# 7. 基準地震動Ssの超過確率

## その他の活断層モデル(C)の諸元(2/2)

No.	断層名	断層長さ(km)	Xeq(km)	M	活動度	年発生頻度(回/年)
81	甲津畑断層	1.7	80.2	6.8	B	2.08E-04
82	鎌掛断層	6.7	84.1	6.8	B	2.08E-04
83	大納言北東	2.7	77.2	6.8	C	3.92E-05
84	石樽北山断層	1.3	92.5	6.8	C	3.92E-05
85	奥一松屋	11	31.9	6.8	B	2.08E-04
86	耳川断層	9.4	29.8	6.8	B	2.08E-04
87	堂建山断層	6.0	34	6.8	C	3.92E-05
88	中山断層	7.0	50.9	6.8	C	3.92E-05
89	五十河断層	3.7	46.2	6.8	C	3.92E-05
90	内宮断層	6.8	46.8	6.8	C	3.92E-05
91	河守断層	6.4	53.9	6.8	C	3.92E-05
92	三岳山断層	10	57	6.8	B	2.08E-04
93	志高断層	5.8	41.2	6.8	C	3.92E-05
94	畑一富坂	7.4	38	6.8	B	2.08E-04
95	鶴川一鹿ヶ瀬	4.2	41.9	6.8	C	3.92E-05
96	釈迦岳北	3.9	41.8	6.8	B	2.08E-04
97	井手断層	4.1	83.5	6.8	B	2.08E-04
98	和束谷断層	11	84.9	6.8	B	2.08E-04
99	奈良坂撓曲	2.1	95.7	6.8	B	2.08E-04
100	佐保田撓曲群	3.3	93.2	6.8	B	2.08E-04
101	周山断層	6.1	43.3	6.8	B	2.08E-04
102	箕面断層	10	76.5	6.8	B	2.08E-04
103	馬場断層	3.9	74.7	6.8	C	3.92E-05
104	小野原断層	12	81.5	6.8	B	2.08E-04
105	長尾断層	2.2	80.7	6.8	C	3.92E-05
106	交野断層	12	88.1	6.8	B	2.08E-04
107	杉断層	1.8	83.3	6.8	B	2.08E-04
108	枚方撓曲	6.5	86.1	6.8	B	2.08E-04
109	田口断層	4.9	79.1	6.8	B	2.08E-04
110	あやめ池撓曲	4.9	94.8	6.8	B	2.08E-04
111	富雄川撓曲一高船断層	12	91.1	6.8	C	3.92E-05
112	矢田断層	8.8	94.3	6.8	C	3.92E-05
113	上町断層	5.8	96.5	6.8	B	2.08E-04
114	埴生断層	17	60.3	6.9	B	1.84E-04
115	五月山断層	6.7	78.7	6.8	B	2.08E-04
116	十方辻断層	11	82.7	6.8	C	3.92E-05
117	名塩断層	4.3	86.9	6.8	B	2.08E-04
118	六甲断層	3.3	88.5	6.8	B	2.08E-04
119	湯槽谷断層	8.3	94.5	6.8	B	2.08E-04
120	大月断層	12	91.7	6.8	B	2.08E-04

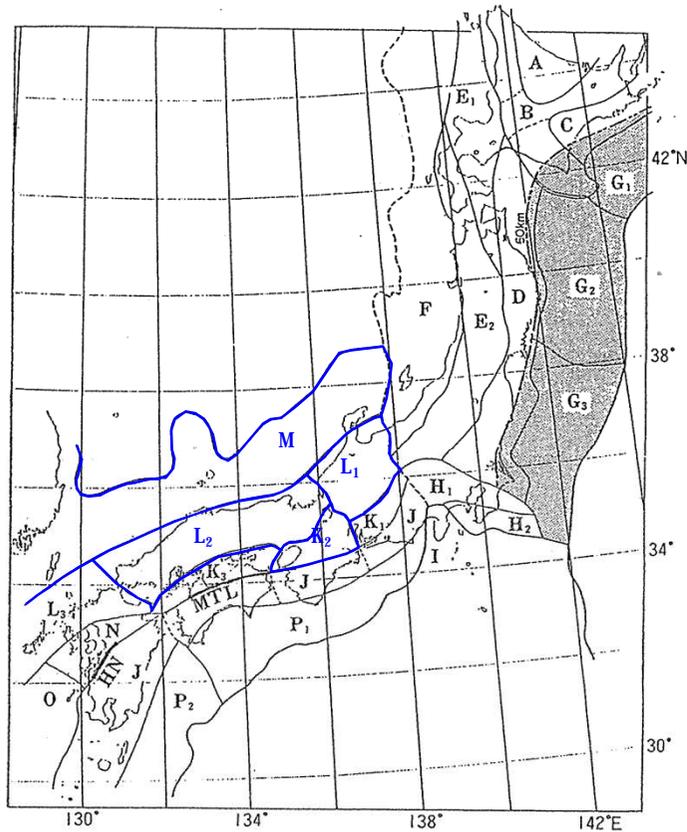
No.	断層名	断層長さ(km)	Xeq(km)	M	活動度	年発生頻度(回/年)
121	五助橋断層	11	92.8	6.8	B	2.08E-04
122	芦屋断層	10	93	6.8	B	2.08E-04
123	甲陽断層	5.2	92	6.8	B	2.08E-04
124	伊丹断層	3.6	87.2	6.8	B	2.08E-04
125	仏念寺山断層(北側)	6.6	85.2	6.8	B	2.08E-04
126	藤原山撓曲	1.7	90.9	6.8	C	3.92E-05
127	有野一淡河断層	12	94	6.8	B	2.08E-04
128	柏尾谷断層	7.9	98.1	6.8	B	2.08E-04
129	古々山断層	4.5	95.7	6.8	B	2.08E-04
130	山田断層	3.5	99	6.8	B	2.08E-04
131	芹生断層系	6.6	45.1	6.8	B	2.08E-04
132	天王山断層	1.5	73.1	6.8	B	2.08E-04
133	普賢寺断層	4.6	86.3	6.8	B	2.08E-04
134	東畑断層	6.9	88.2	6.8	B	2.08E-04
135	豊野断層	3.8	87.1	6.8	A	2.00E-03
136	御所谷断層	15	81.9	6.8	B	2.10E-04
137	床尾山北西	6.4	69.8	6.8	B	2.08E-04
138	養父断層	18	78.9	6.9	B	1.74E-04
139	八木断層	5.0	86.7	6.8	B	2.08E-04
140	福田新田一作畑	10	84.9	6.8	C	3.92E-05
141	明延北方	10	94	6.8	C	3.92E-05
142	仏念寺山断層(南側)	3.1	90.7	6.8	B	2.08E-04
143	東岸湖底断層系(東側)	5.5	56.4	6.8	B	2.08E-04
144	南岸湖底断層系	14	51.9	6.8	B	2.08E-04
145	中央撓曲	4.3	49.8	6.8	A	2.00E-03
146	東岸湖底断層系(西側)	8.0	51	6.8	B	2.08E-04
147	掘削点断層	2.4	48.9	6.8	B	2.08E-04
148	FO-C断層	20	9.7	6.8	B	1.57E-04
149	鍛冶屋一関ヶ原断層	30	67.9	7.3	B	1.05E-04
150	浦底一内池見断層	18	42.8	6.9	B	1.75E-04
151 <sup>※1</sup>	白木一丹生断層	15	44	6.8	B	2.10E-04
152	C断層西系列	17	40.7	6.9	B	1.88E-04
153	三峠断層 <sup>※2</sup>	26	45.9	7.2	B	1.21E-04
154	F <sub>CA</sub> 8	24	52.3	7.1	B	1.31E-04
155	A <sub>GA</sub> -11	25	59.5	7.2	B	1.26E-04
156	A <sub>GA</sub> -13	31	73.9	7.3	B	1.02E-04
157	京都西山断層帯 <sup>※2</sup>	42	55.6	7.5	B	7.49E-05

※1: 甲楽城冲断層～浦底断層～池河内断層～柳ヶ瀬山断層については主要活断層モデル(B)へ移動したため、本表からは削除した。  
 ※2: 地震調査研究推進本部「三峠・京都西山断層帯の長期評価」に示される三峠断層および京都西山断層帯の諸元を考慮した。

# 7. 基準地震動Ssの超過確率

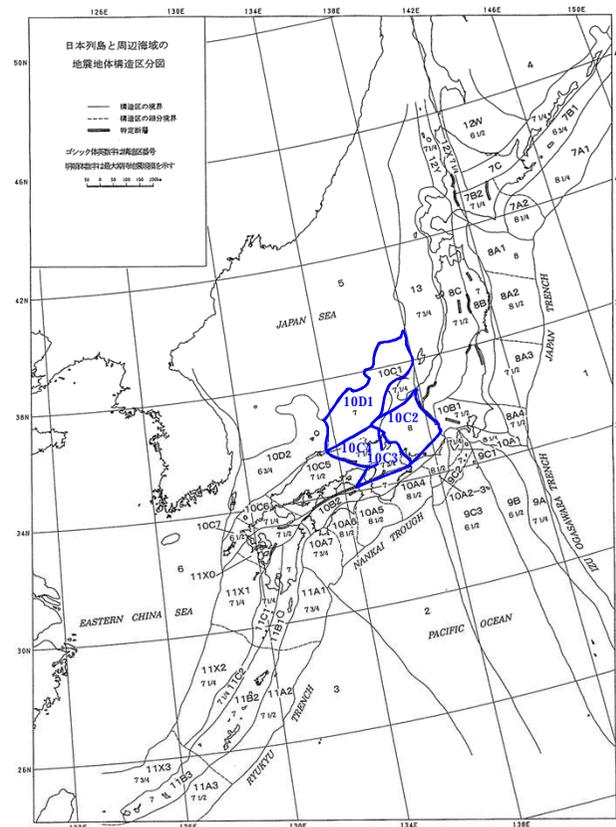
## ■ 領域震源モデル

萩原(1991)および垣見・他(2003)の領域区分のうち、サイトから半径100km以内の領域を対象とする。



萩原(1991)による地震地体構造区分図

対象領域	構造区	
K2	西南日本内帯南部	近畿三角地域
L1	西南日本内帯北部	中部山地
L2		中国山地
M	西南日本内帯沿海部	

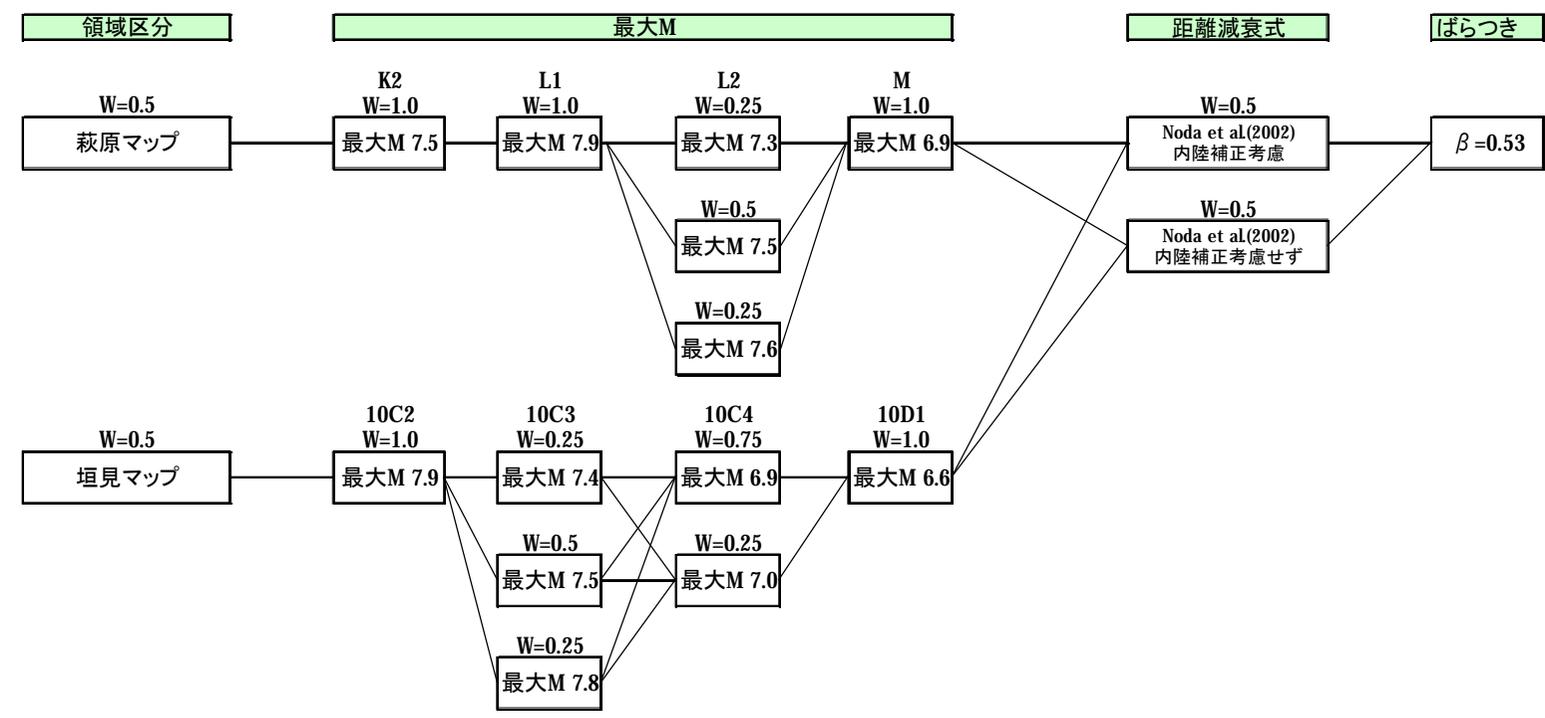


垣見他(2003)による地震地体構造区分図

対象領域	構造区
10C2	中部山岳
10C3	近畿三角帯
10C4	西近畿
10D1	能登・若狭沖海域

# 7. 基準地震動Ssの超過確率

- 領域震源の諸元は、各領域における歴史地震データに基づき設定する。
- 最大マグニチュードは、各領域で過去に発生した地震のうち、活断層と関連づけることが困難な地震の最大規模とする。  
また、地震カタログに記載されている過去の複数の地震の最大マグニチュードに幅がある場合には、その中央値・上限値・下限値をロジックツリーの分岐として考慮する。
- 地震規模および発生頻度はG-R式とし、各領域でb値・発生頻度を設定する。
- 震源深さは、気象庁カタログのデータに基づき各領域で震源深さの頻度分布を求め、正規分布または一様分布でモデル化する。
- 領域震源のロジックツリーは以下のとおり。



# 7. 基準地震動Ssの超過確率

## ■領域震源の諸元は以下のとおり

萩原(1991)による領域震源モデルの諸元

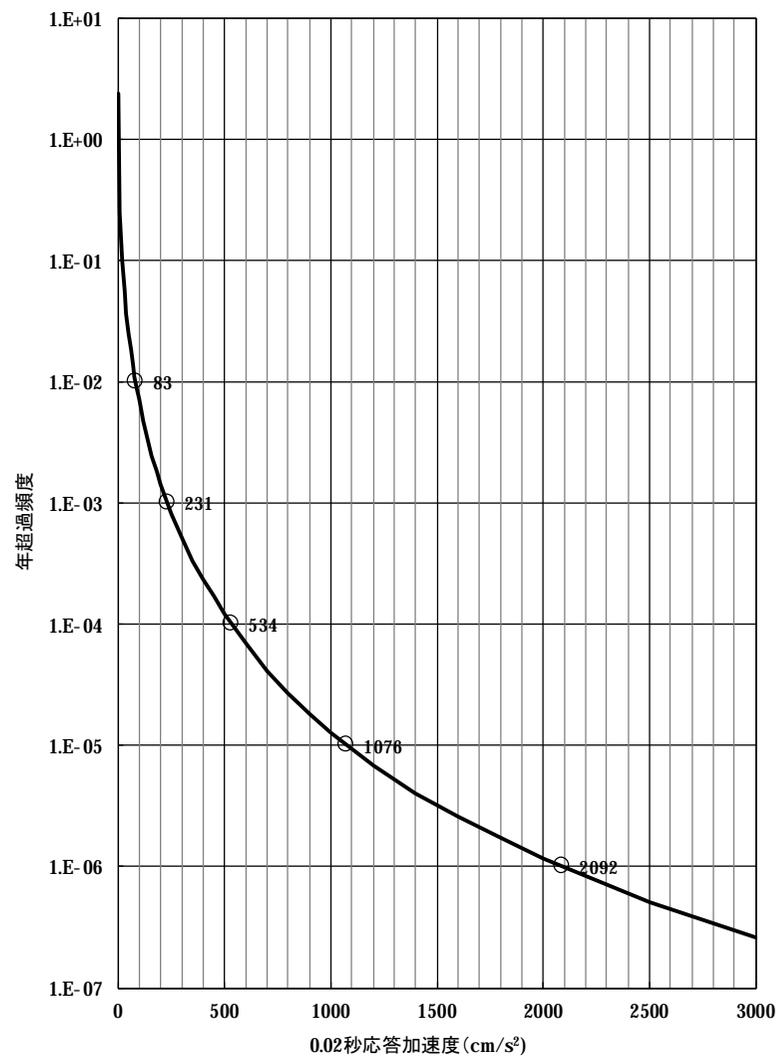
領域名	構造区		最大M	b値	発生頻度	震源深さ
K2	西南日本内帯南部	近畿三角地域	7.5	0.89	0.62	各領域で震源深さの頻度分布を求め、正規分布でモデル化する。 (正規分布によるモデル化が困難な場合は深さ3km~18kmの一様分布とする。)
L1	西南日本内帯北部	中部山地	7.9	0.86	0.47	
L2		中国山地	7.3、7.5、7.6	0.92	0.86	
M	西南日本内帯沿海部		6.9	0.62	0.17	

垣見他(2003)による領域震源モデルの諸元

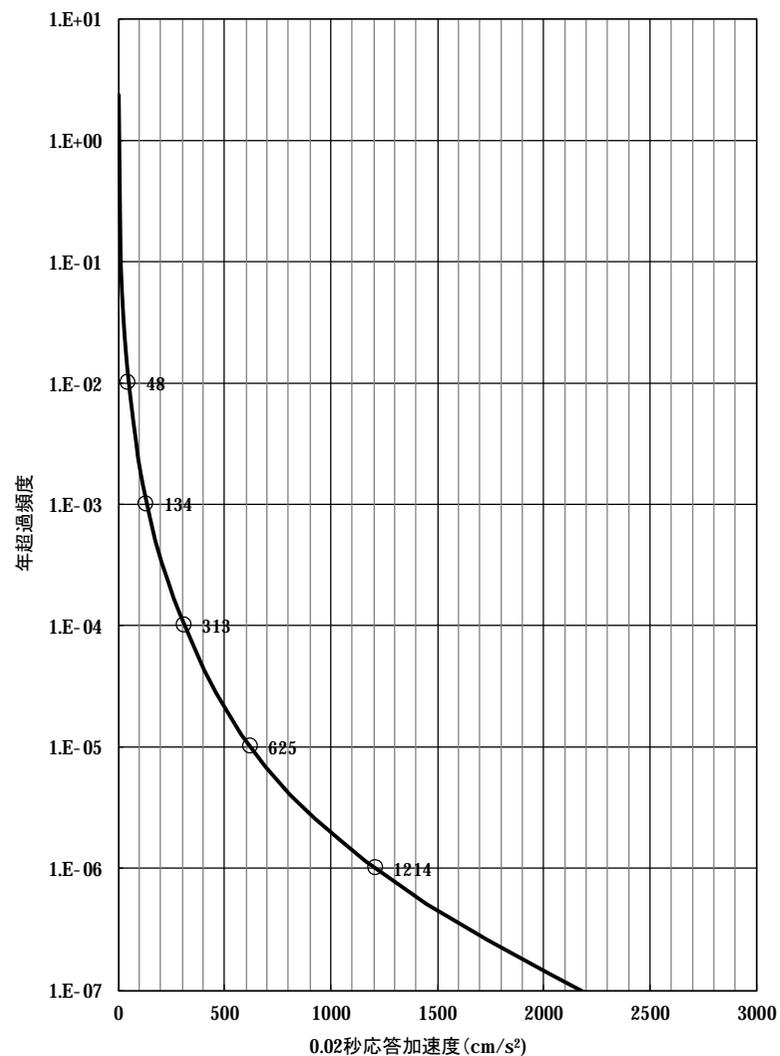
領域名	構造区	最大M	b値	発生頻度	震源深さ
10C2	中部山岳	7.9	0.87	0.50	各領域で震源深さの頻度分布を求め、正規分布でモデル化する。 (正規分布によるモデル化が困難な場合は深さ3km~18kmの一様分布とする。)
10C3	近畿三角帯	7.4、7.5、7.8	0.85	0.87	
10C4	西近畿	6.9、7.0	0.81	0.27	
10D1	能登・若狭沖海域	6.6	0.82	0.92	

# 7. 基準地震動Ssの超過確率

## ■ 平均ハザード曲線



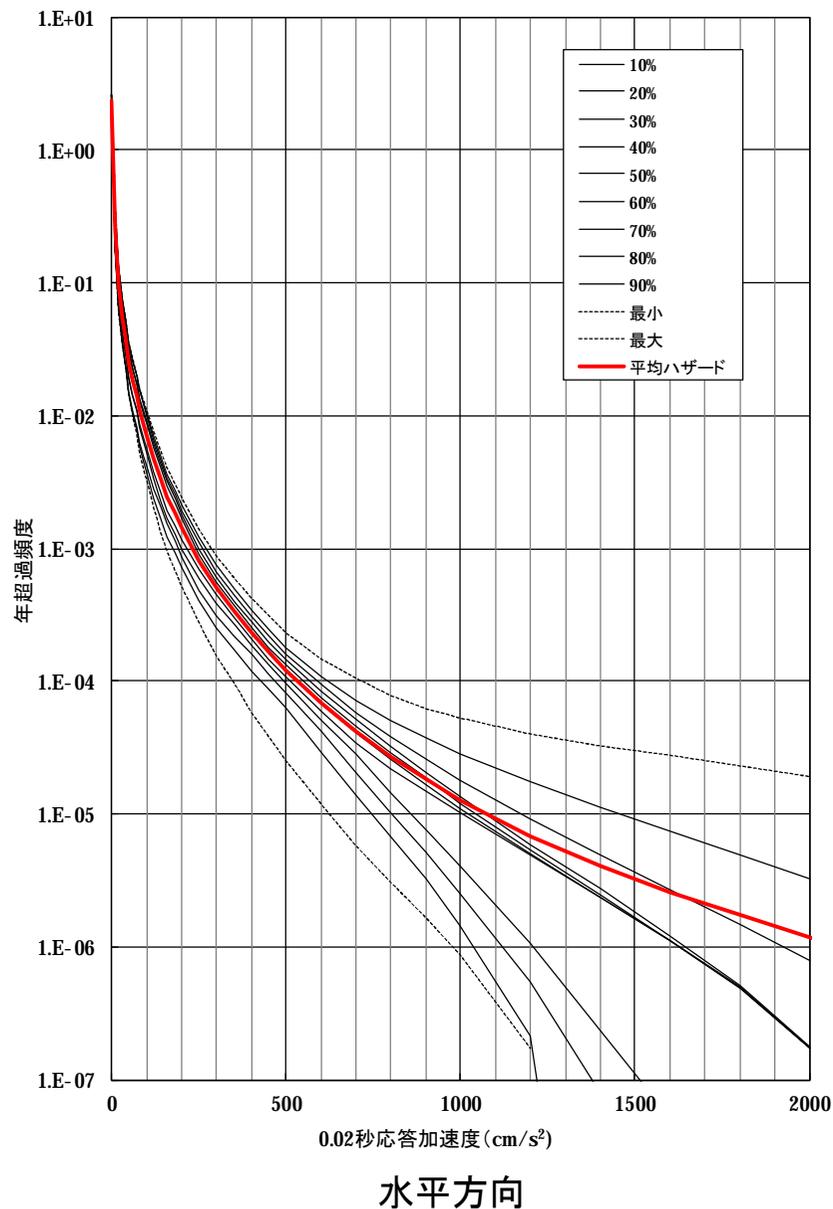
水平方向



鉛直方向

# 7. 基準地震動Ssの超過確率

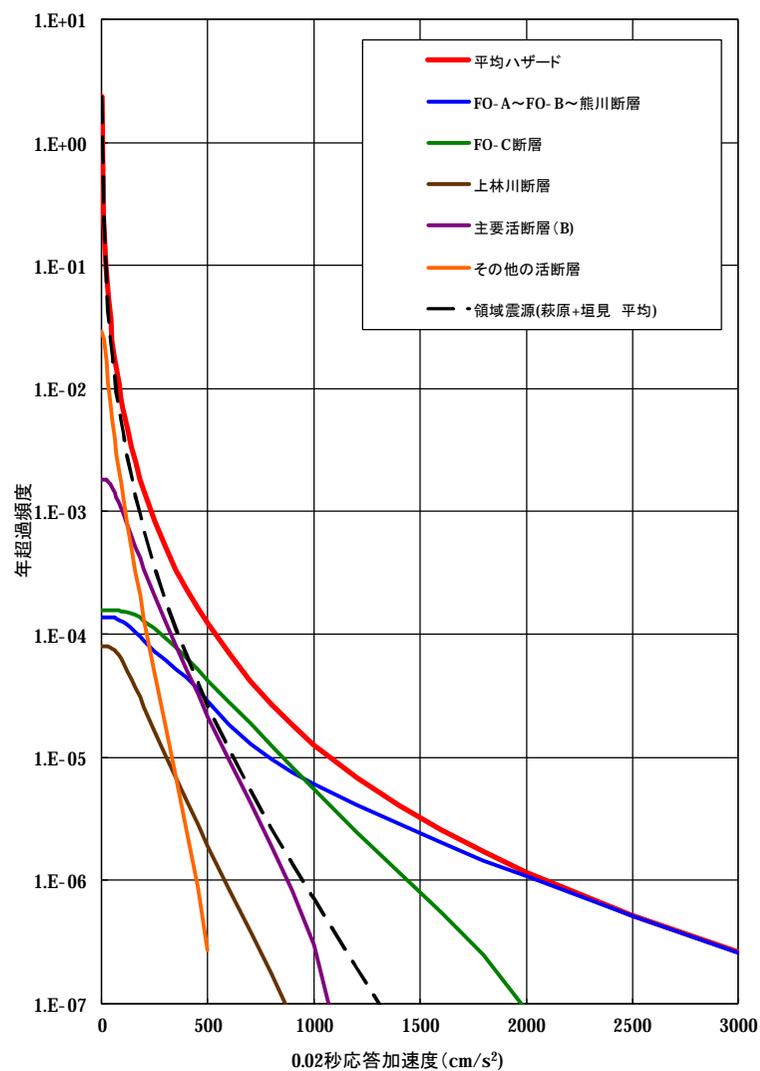
## ■ 平均ハザード曲線とフラクタイルハザード曲線の重ねがき



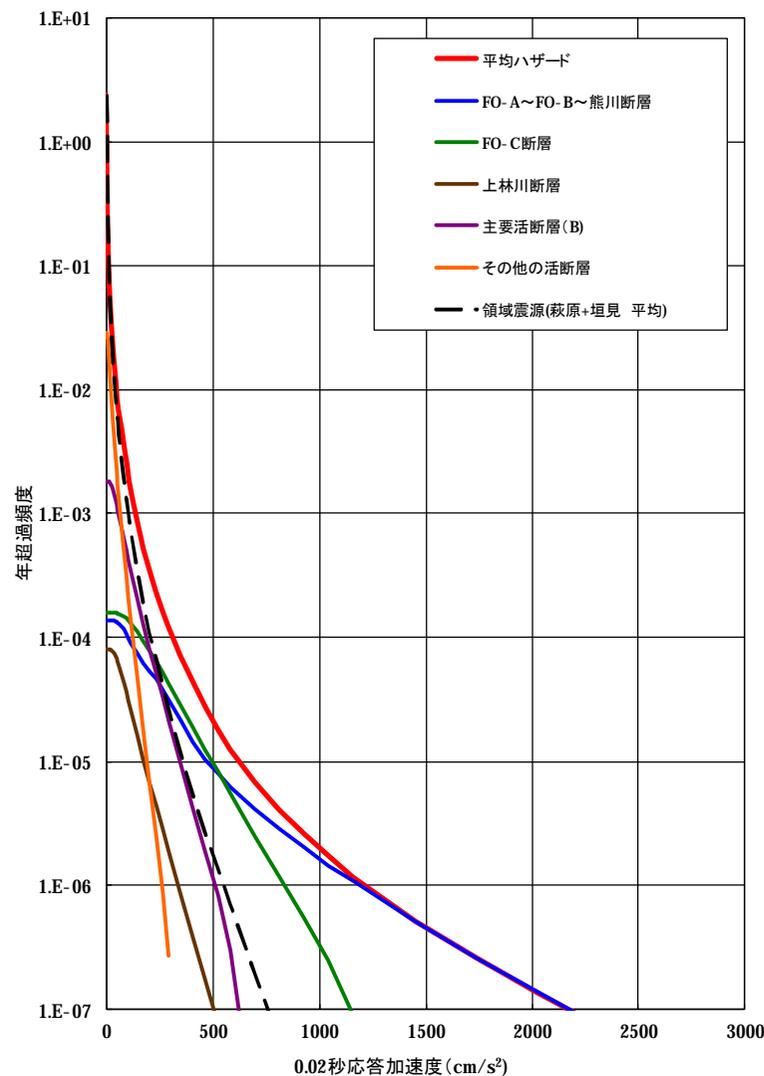
# 7. 基準地震動Ssの超過確率

## ■ 震源ごとのハザード曲線

年超過頻度が大きい範囲では領域震源の影響が大きく、年超過頻度が小さい範囲ではFO-A～FO-B～熊川断層の影響が大きい。



水平方向

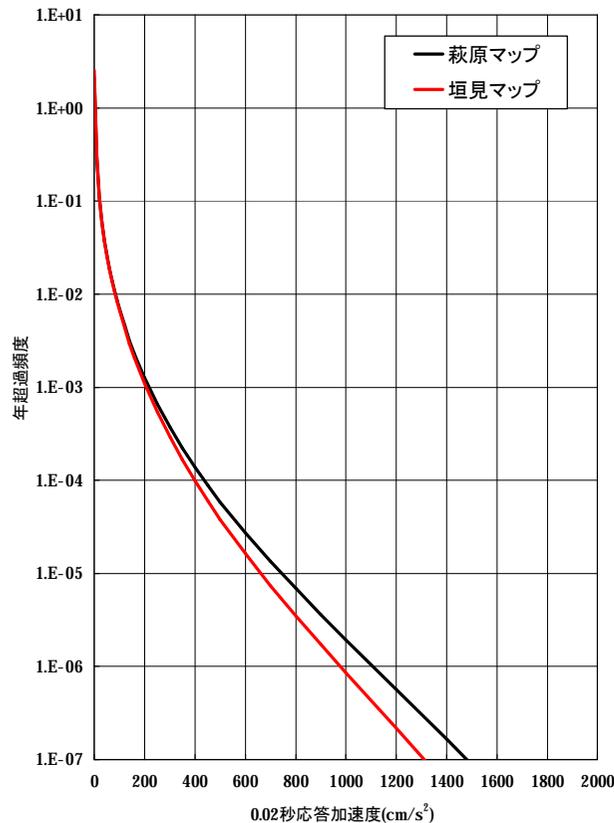


鉛直方向

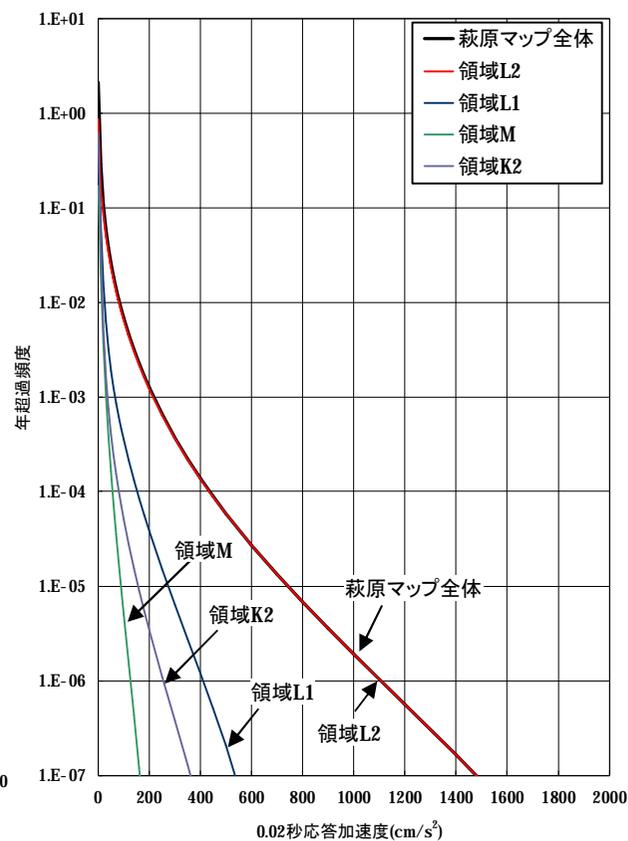
# 7. 基準地震動Ssの超過確率

## ■領域震源のハザード曲線の内訳

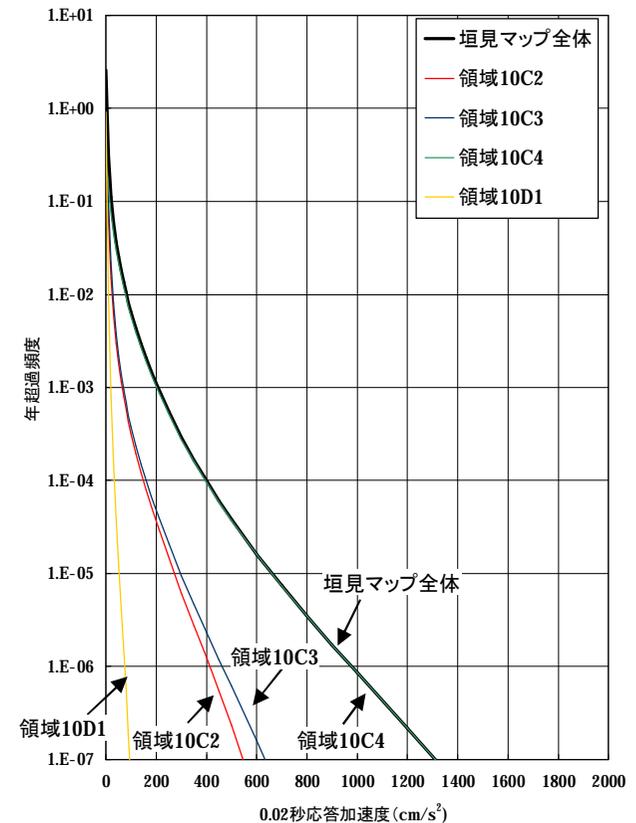
萩原マップと垣見マップの領域震源のハザード曲線は、ほぼ同等である。また、萩原マップ・垣見マップともに、サイトを含む領域(領域L2、領域10C4)が支配的となっている。



萩原マップと垣見マップの比較



萩原マップの内訳

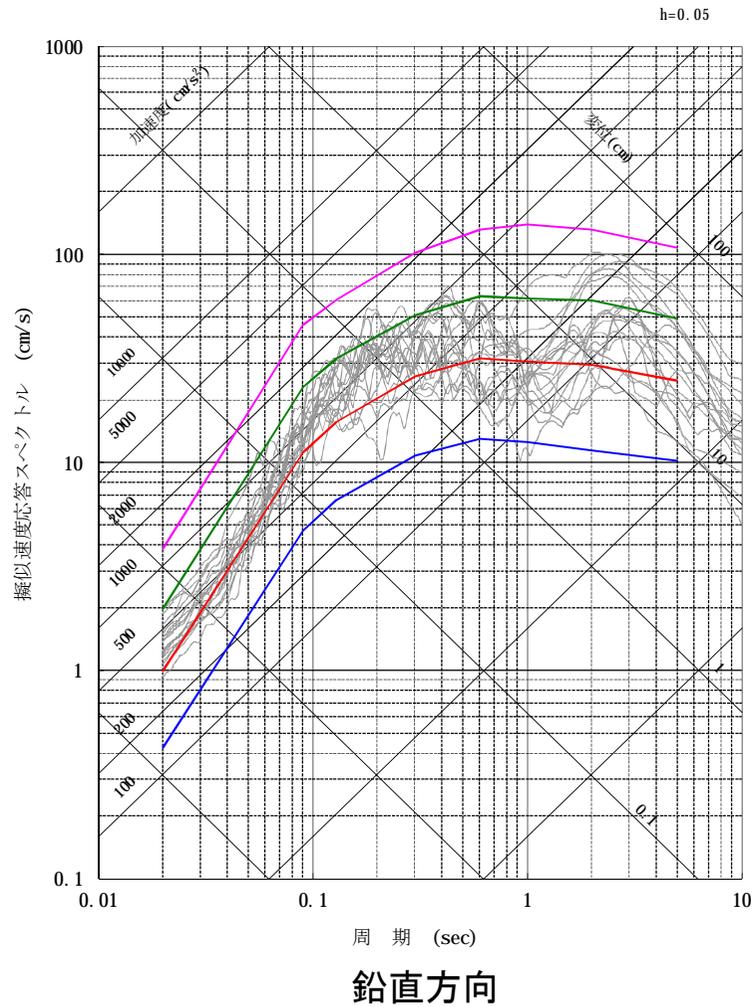
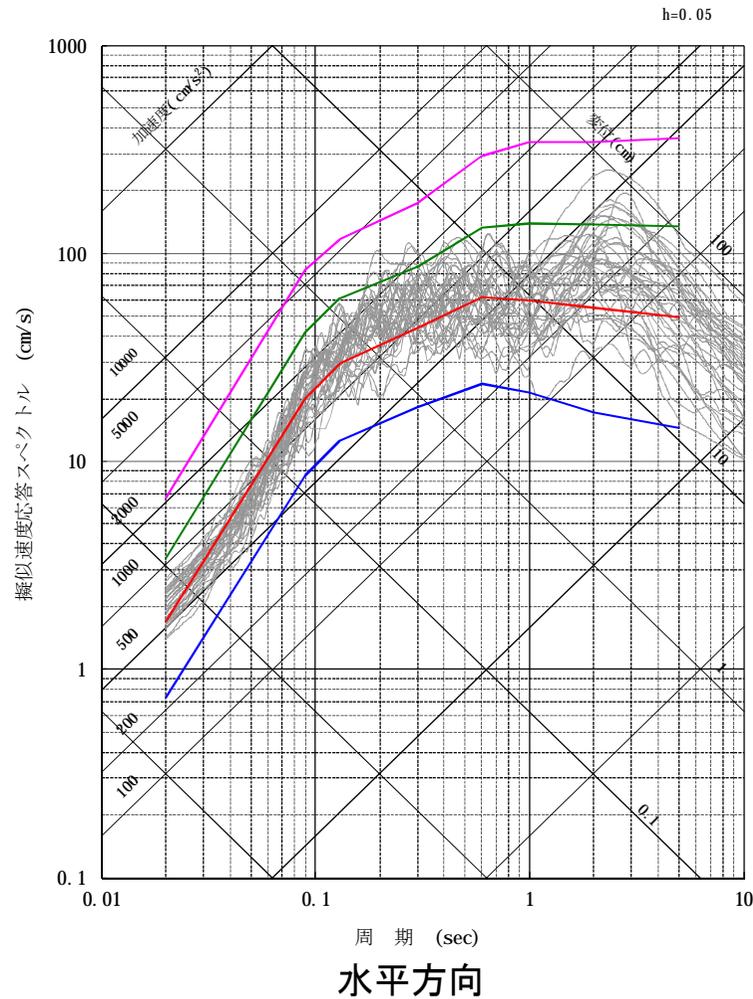


垣見マップの内訳



# 7. 基準地震動Ssの超過確率

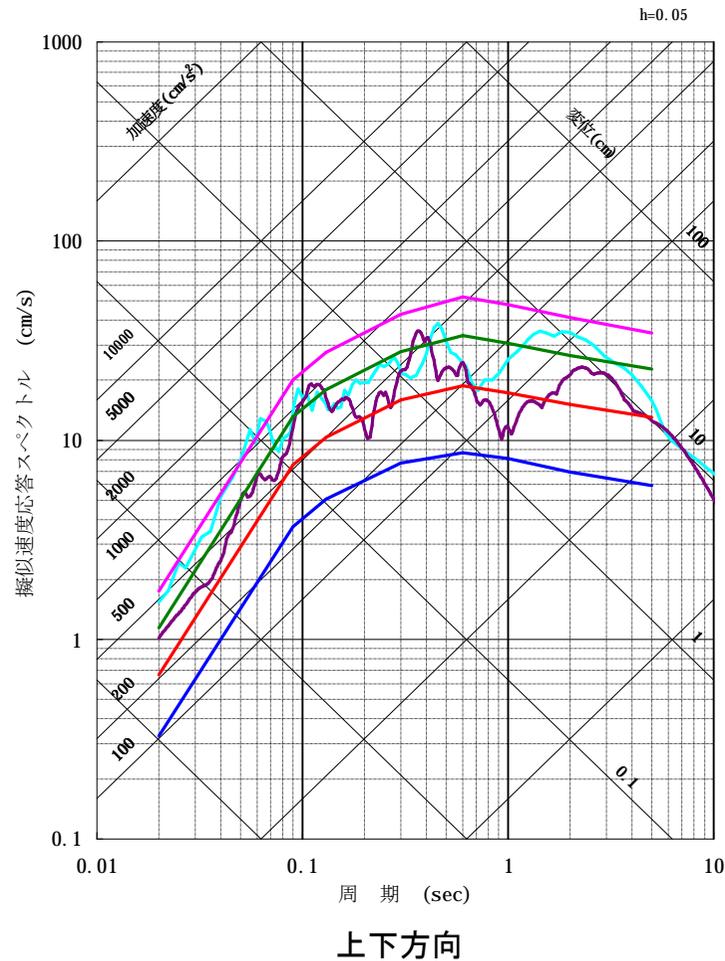
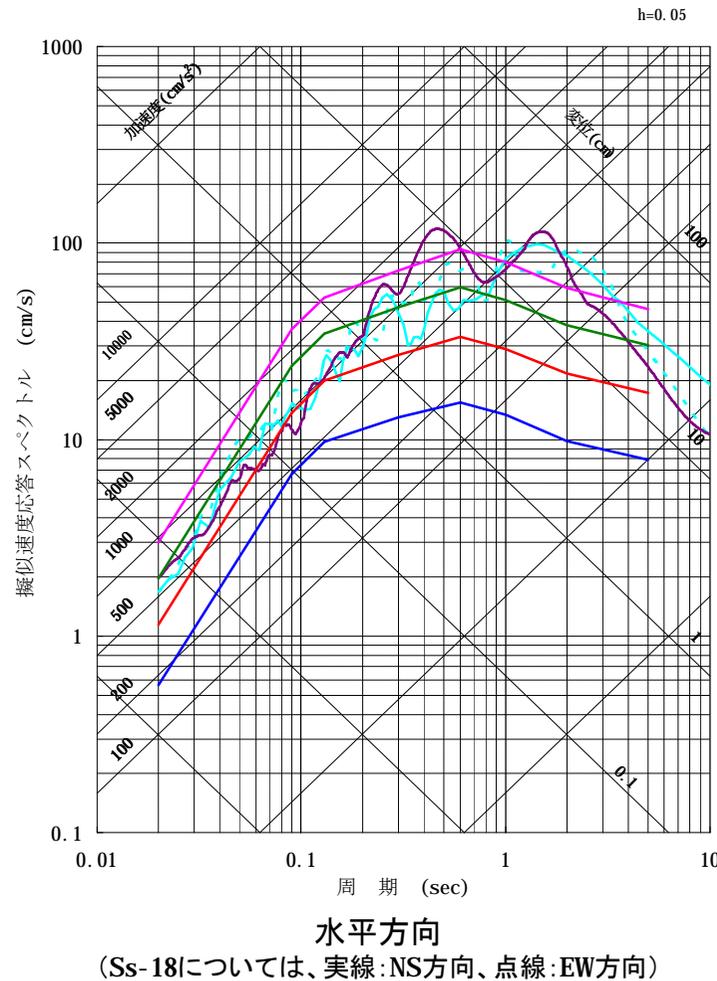
## ■ 一様ハザードスペクトルと基準地震動Ss-2~19の比較



- 一様ハザードスペクトル
- 年超過確率 $10^{-3}$
  - 年超過確率 $10^{-4}$
  - 年超過確率 $10^{-5}$
  - 年超過確率 $10^{-6}$
- Ss-2~19

# 7. 基準地震動Ssの超過確率

■ 領域震源のみの一様ハザードスペクトルと震源を特定せず策定する地震動 (Ss-18, Ss-19) の比較  
Ss-18, Ss-19の年超過確率は、 $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 程度である。



領域震源のみの  
一様ハザードスペクトル

- 年超過確率  $10^{-3}$
- 年超過確率  $10^{-4}$
- 年超過確率  $10^{-5}$
- 年超過確率  $10^{-6}$

- Ss-18 (2000年鳥取県西部地震・賀祥ダムの観測記録)
- Ss-19 (2004年北海道留萌支庁南部地震を考慮した地震動)

## 7. 基準地震動Ssの超過確率

---

- 特定震源モデルと領域震源モデルを作成し評価した。
- 主要活断層モデルは、ロジックツリーを用いて詳細な評価を行った。
- 一様ハザードスペクトルと基準地震動Ss-1との比較より、基準地震動Ss-1の年超過確率は $10^{-4}$ ~ $10^{-5}$ 程度となっている。
- 領域震源のみの一様ハザードスペクトルと震源を特定せず策定する地震動(Ss-18,Ss-19)の比較により、Ss-18,Ss-19の年超過確率は $10^{-4}$ ~ $10^{-6}$ 程度となっている。

- 敷地周辺の過去の地震や活断層から、検討用地震としてFO-A～FO-B～熊川断層および上林川断層を選定した。
- 敷地および敷地周辺で実施した各種地下構造に関する調査結果に基づき、地震動評価に用いる地盤モデルを設定した。
- 検討用地震についての応答スペクトルに基づく地震動評価、断層モデルを用いた手法による地震動評価および震源を特定せず策定する地震動に関する検討結果に基づき、基準地震動Ss-1～Ss-19を策定した。

(参考)

孤立した長さの短い活断層の地震動評価

# 孤立した長さの短い活断層に対する地震動評価

- FO-C断層については、活断層調査結果により評価された地表断層長さ(3km) が、地震発生層厚さから想定される震源断層の幅に比べて短いことから、孤立した長さの短い活断層として扱う。この際、地震規模を少なくともM6.8※となるように震源断層を設定した上で、地震動評価を行う。
- FO-C断層について、以下のとおり基本ケース及び不確かさを考慮したケースの地震動評価を行う。
- ①基本ケースの震源モデルは、Stirling et al.(2002)を参考に震源断層長さ $L=20\text{km}$ とする。また、地震モーメント $M_0$ は、断層面積を $S=LW$ として算定した後、断層面積 $S$ と地震モーメント $M_0$ の経験式により算定する。また、設定した地震モーメントから、Takemura et al.(1990)により気象庁マグニチュード $M$ を求め、M6.8以上となっていることを確認する。さらに、活断層の走向や傾斜を踏まえて、横ずれ断層として地震動評価を行う。
- ②考慮する不確かさケース
- ・新潟県中越沖地震の知見を踏まえ短周期の地震動レベルを1.5倍としたケース
  - ・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 $75^\circ$ としたケース
  - ・断層のずれの種類の不確かさとして、縦ずれをしたケース

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で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。

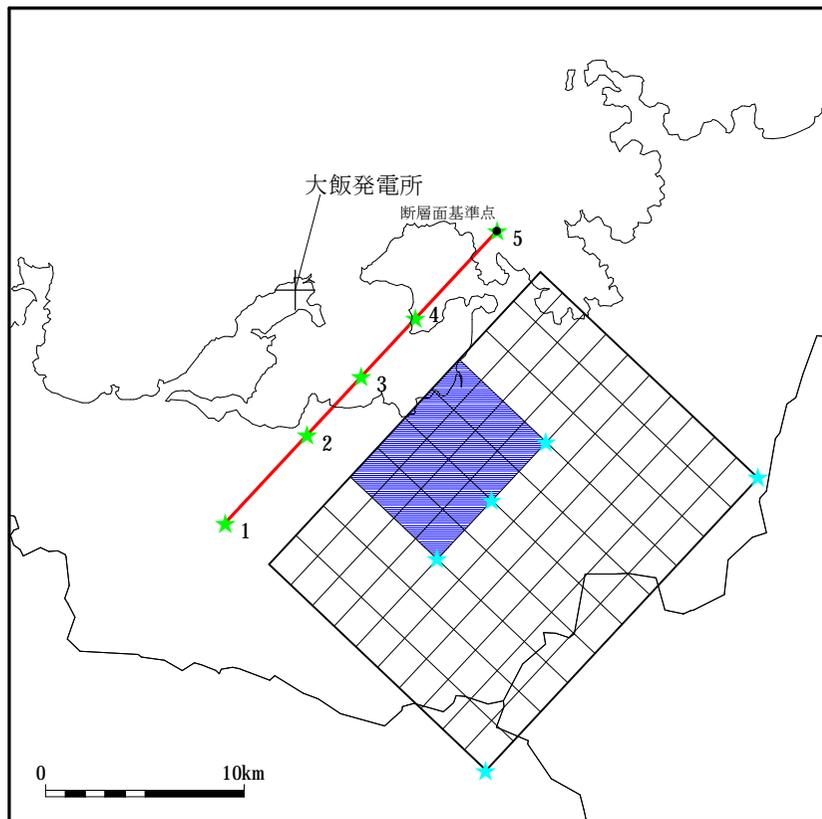
## FO-C断層の地震動評価ケース

	短周期の地震動レベル	断層傾斜角	ずれの方向	アスペリティ配置	破壊開始点
基本ケース	レシピ平均	90°	横ずれ	断層が確認されている位置	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°	横ずれ	断層が確認されている位置	複数設定
断層傾斜角の不確かさを考慮	レシピ平均	75°	横ずれ	断層が確認されている位置	複数設定
ずれの方向の不確かさを考慮	レシピ平均	75°	縦ずれ	断層が確認されている位置	複数設定

 : 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

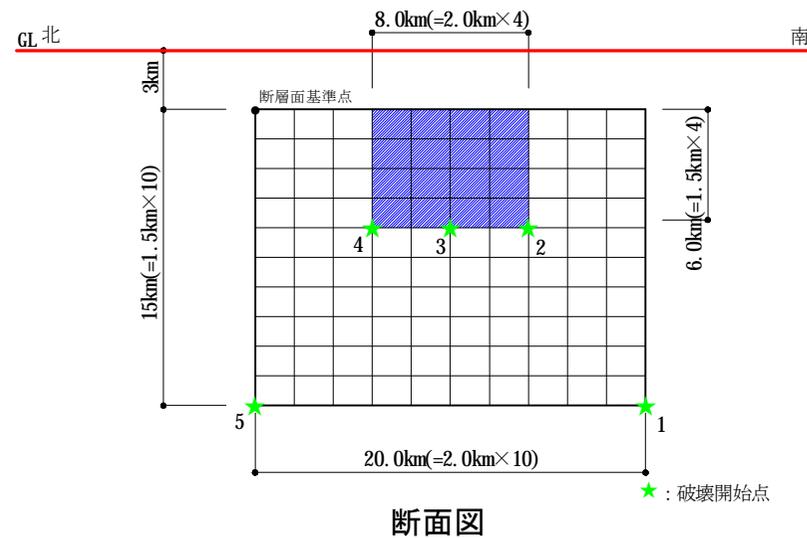
## ■FO-C断層のモデル図 (基本ケース、短周期の地震動1.5倍ケース)



※ 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

# 孤立した長さの短い活断層に対する地震動評価

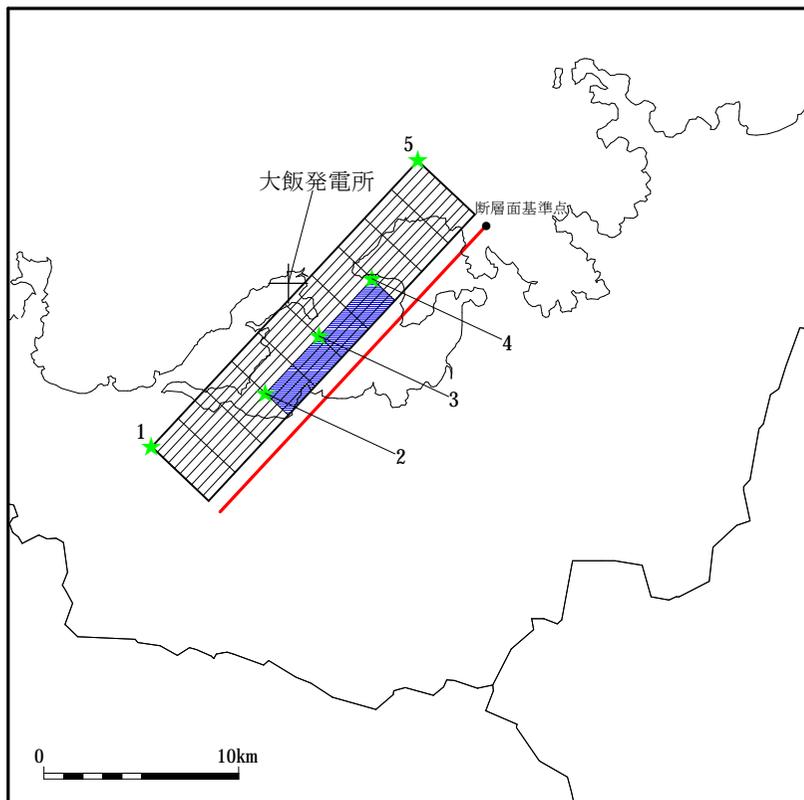
## ■FO-C断層のパラメータ(基本ケース、短周期の地震動1.5倍ケース)

断層パラメータ	パラメータ	設定方法
断層長さL(km)	20	断層位置およびStirling et al.(2002)に基づき設定
断層傾斜角(°)	90	調査結果に基づき設定
断層上端深さ(km)	3	微小地震の発生及び地下構造を参考に設定
断層下端深さ(km)	18	
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 <sup>2</sup> )	300	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 <sub>0</sub> (Nm)	5.01 × 10 <sup>18</sup>	$M_0 = \{S / (4.24 \times 10^{-11})\}^{2.0}$
剛性率(N/m <sup>2</sup> )	3.5 × 10 <sup>10</sup>	$\mu = \rho\beta^2$ , $\rho = 2.7\text{g/cm}^3$ , $\beta = 3.6\text{km/s}$
平均すべり量D(cm)	47.7	$D = M_0 / (\mu S)$
平均応力降下量Δσ(MPa)	2.4	$\Delta\sigma = (7\pi^{1.5}/16)(M_0/S^{1.5})$
破壊伝播速度Vr(km/s)	2.59	$Vr = 0.72\beta$
立ち上がり時間Tr(sec)	0.75	$Tr = 2.03 \times 10^{-9} M_0^{1/3}$
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 <sup>2</sup> ) ※	9.07 × 10 <sup>18</sup>	$A = 2.46 \times 10^{17} \times M_0^{1/3}$
Q値	50f <sup>1.1</sup>	佐藤ほか、2007

	断層パラメータ	パラメータ	設定方法
ア ス ベ リ テ イ	面積S <sub>a</sub> (km <sup>2</sup> )	50.92	$S_a = \pi r^2$ , $r = (7\pi M_0 \beta^2) / (4AR)$ , $R = (S/\pi)^{0.5}$
	平均すべり量D <sub>a</sub> (cm)	95.9	$D_a = \gamma_D D$ , $\gamma_D = 2.01$
	地震モーメントM <sub>0a</sub> (Nm)	1.71 × 10 <sup>18</sup>	$M_{0a} = \mu S_a D_a$
	応力降下量Δσ <sub>a</sub> (MPa)	13.8	$\Delta\sigma_a = (S/S_a)\Delta\sigma$
背 景 領 域	面積S <sub>b</sub> (km <sup>2</sup> )	249.08	$S_b = S - S_a$
	平均すべり量D <sub>b</sub> (cm)	37.8	$D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$
	地震モーメントM <sub>0b</sub> (Nm)	3.30 × 10 <sup>18</sup>	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$
	実効応力σ <sub>b</sub> (MPa)	2.8	$\sigma_b = 0.2\Delta\sigma_a$

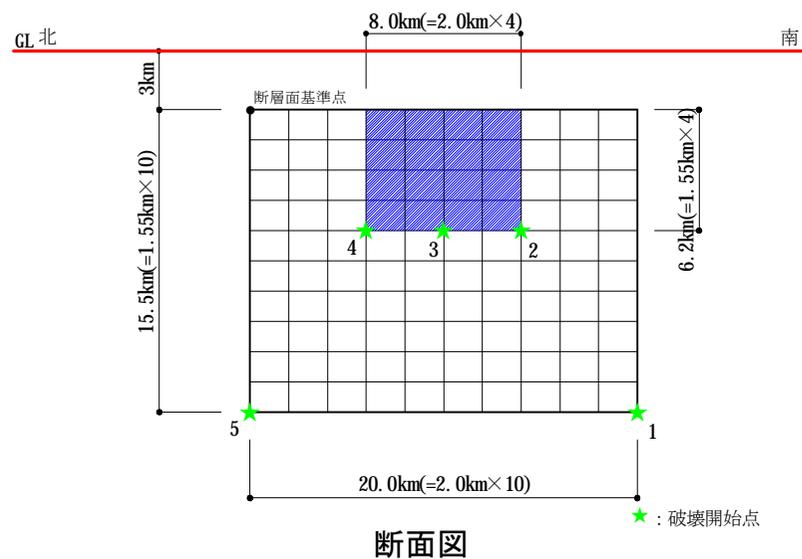
※短周期の地震動1.5倍ケースでは、短周期領域のフーリエスペクトルの比が基本ケースの1.5倍となるように設定する。

## ■FO-C断層のモデル図 (傾斜角75° ケース、傾斜角75° 縦ずれケース)



断層配置図

★ : 破壊開始点



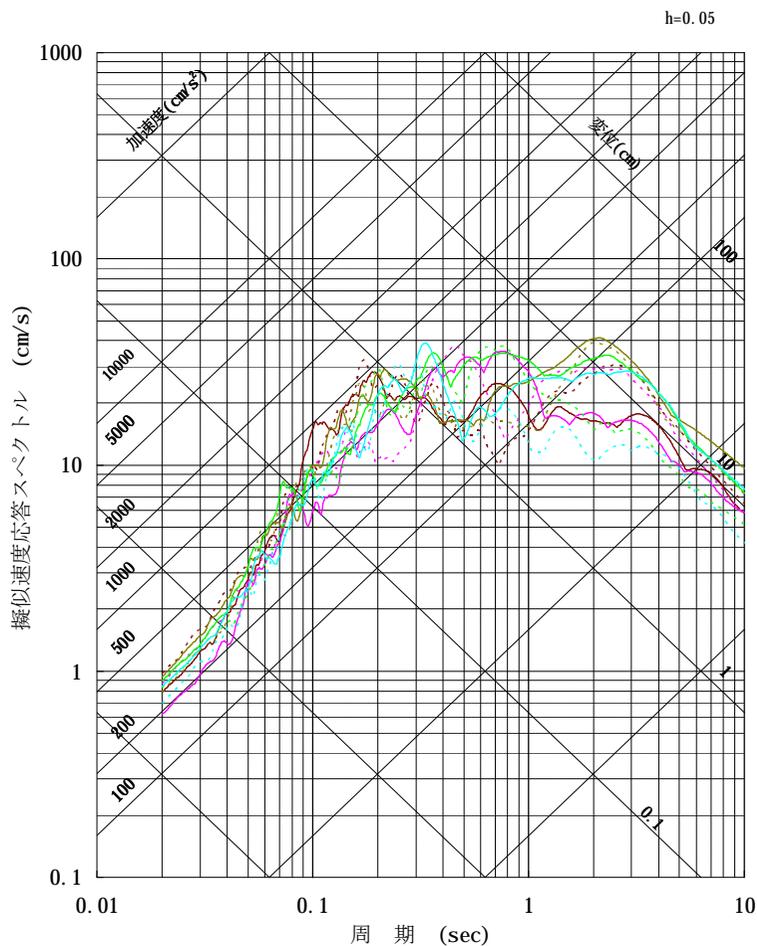
# 孤立した長さの短い活断層に対する地震動評価

## ■FO-C断層のパラメータ(傾斜角75° ケース、傾斜角75° 縦ずれケース)

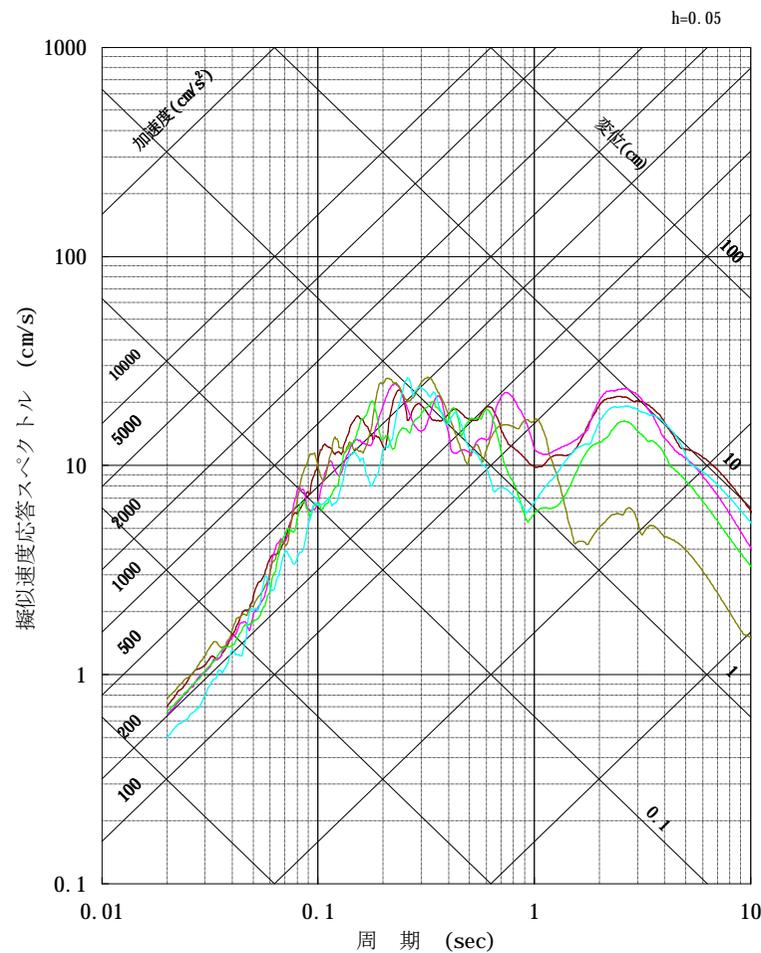
断層パラメータ	パラメータ	設定方法
断層長さL(km)	20	断層位置およびStirling et al.(2002)に基づき設定
断層傾斜角(°)	75	調査結果に基づき設定
断層上端深さ(km)	3	微小地震の発生及び地下構造を参考に設定
断層下端深さ(km)	18	
断層幅W(km)	15.5	地震発生層と傾斜角から設定
断層面積S(km <sup>2</sup> )	310	断層面より算定
破壊伝播様式	同心円状	—
地震モーメントM <sub>0</sub> (Nm)	5.35 × 10 <sup>18</sup>	$M_0 = \{S / (4.24 \times 10^{-11})\}^{2.0}$
剛性率(N/m <sup>2</sup> )	3.5 × 10 <sup>10</sup>	$\mu = \rho\beta^2$ , $\rho = 2.7\text{g/cm}^3$ , $\beta = 3.6\text{km/s}$
平均すべり量D(cm)	49.3	$D = M_0 / (\mu S)$
平均応力降下量Δσ(MPa)	2.4	$\Delta\sigma = (7\pi^{1.5}/16)(M_0/S^{1.5})$
破壊伝播速度Vr(km/s)	2.59	$Vr = 0.72\beta$
立ち上がり時間Tr(sec)	0.76	$Tr = 2.03 \times 10^{-9} M_0^{1/3}$
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 <sup>2</sup> )	9.27 × 10 <sup>18</sup>	$A = 2.46 \times 10^{17} \times M_0^{1/3}$
Q値	50f <sup>1.1</sup>	佐藤ほか、2007

	断層パラメータ	パラメータ	設定方法
ア ス ベ リ テ イ	面積S <sub>a</sub> (km <sup>2</sup> )	53.78	$S_a = \pi r^2$ , $r = (7\pi M_0 \beta^2) / (4AR)$ , $R = (S/\pi)^{0.5}$
	平均すべり量D <sub>a</sub> (cm)	99.1	$D_a = \gamma_D D$ , $\gamma_D = 2.01$
	地震モーメントM <sub>0a</sub> (Nm)	1.86 × 10 <sup>18</sup>	$M_{0a} = \mu S_a D_a$
	応力降下量Δσ <sub>a</sub> (MPa)	13.8	$\Delta\sigma_a = (S/S_a)\Delta\sigma$
背 景 領 域	面積S <sub>b</sub> (km <sup>2</sup> )	256.22	$S_b = S - S_a$
	平均すべり量D <sub>b</sub> (cm)	38.8	$D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$
	地震モーメントM <sub>0b</sub> (Nm)	3.48 × 10 <sup>18</sup>	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$
	実効応力σ <sub>b</sub> (MPa)	2.8	$\sigma_b = 0.2\Delta\sigma_a$

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



水平方向(実線: NS方向、破線: EW方向)

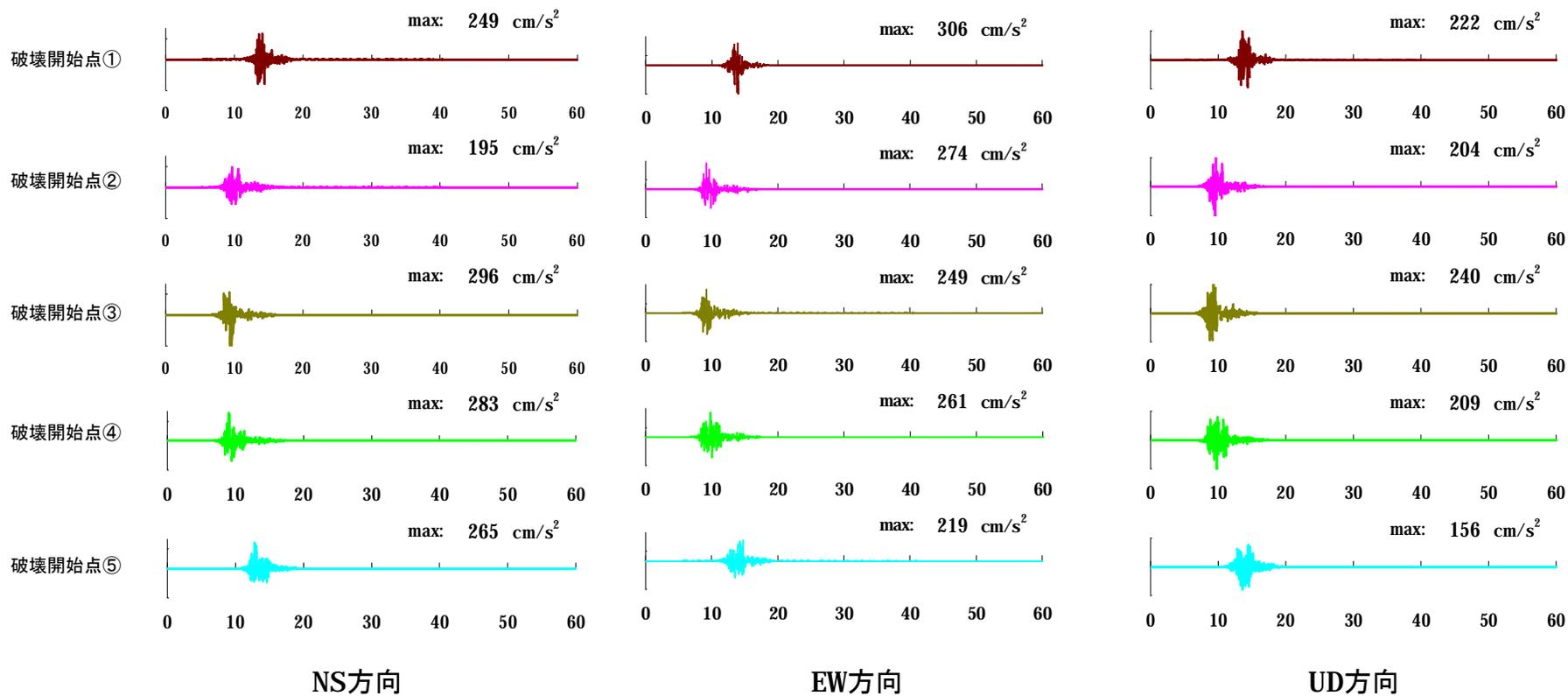


鉛直方向

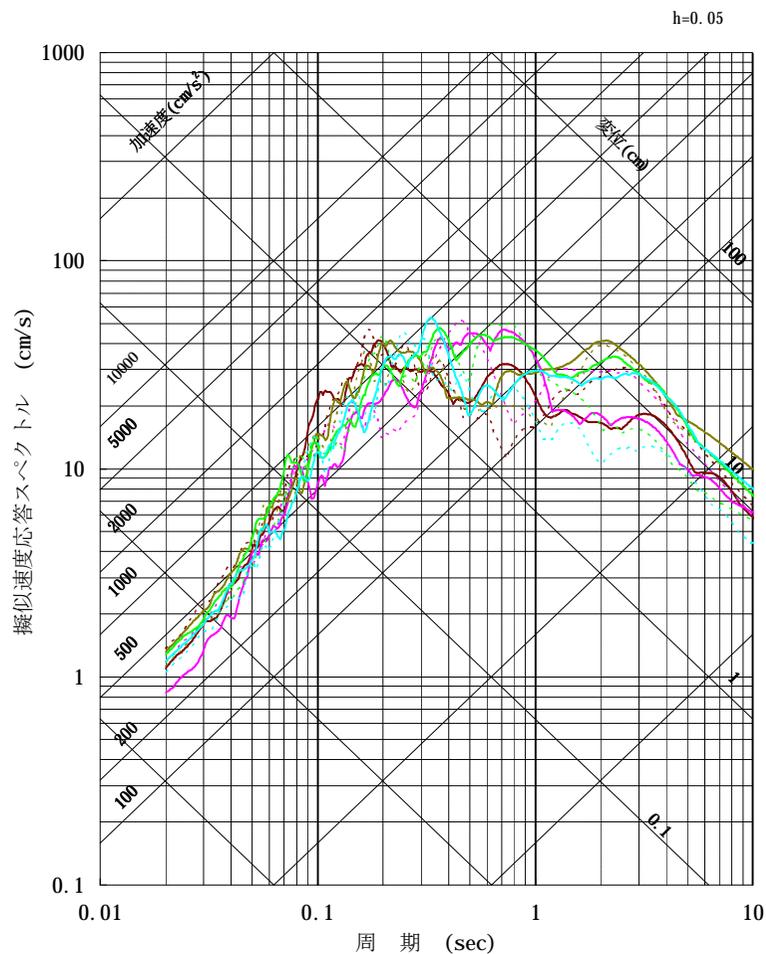
- |          |          |          |
|----------|----------|----------|
| — 破壊開始点① | — 破壊開始点② | — 破壊開始点③ |
| — 破壊開始点④ | — 破壊開始点⑤ |          |

# 孤立した長さの短い活断層に対する地震動評価

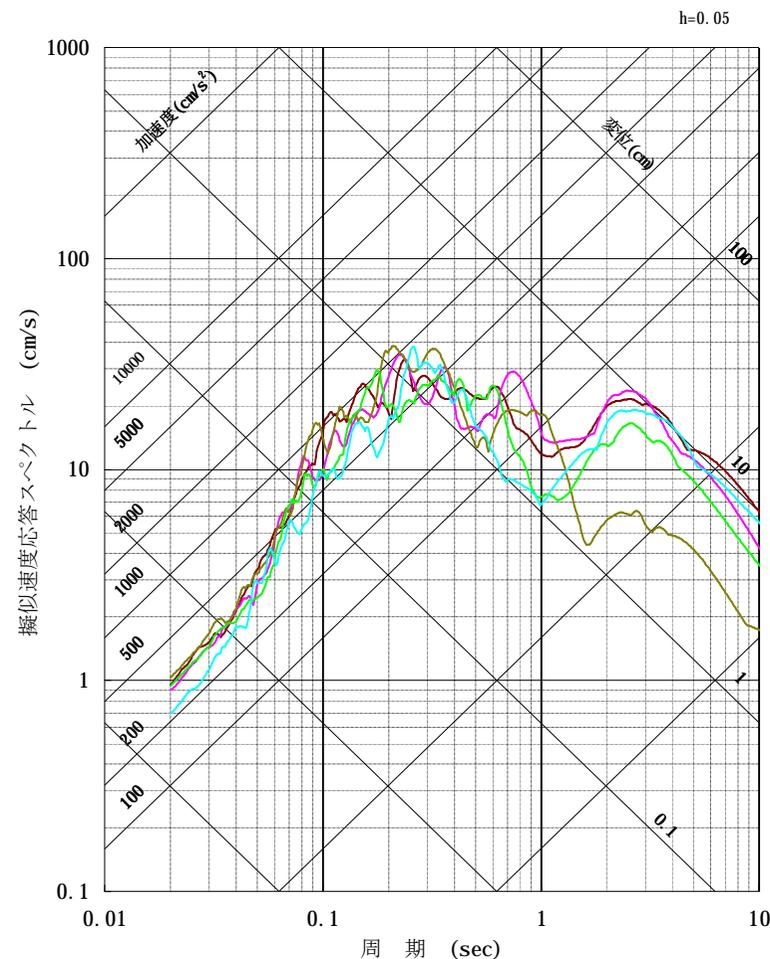
## ■断層モデルを用いた手法による地震動評価結果:FO-C断層 基本ケースの加速度波形



## ■断層モデルを用いた手法による地震動評価結果：FO-C断層：短周期の地震動1.5倍ケース



水平方向(実線: NS方向、破線: EW方向)

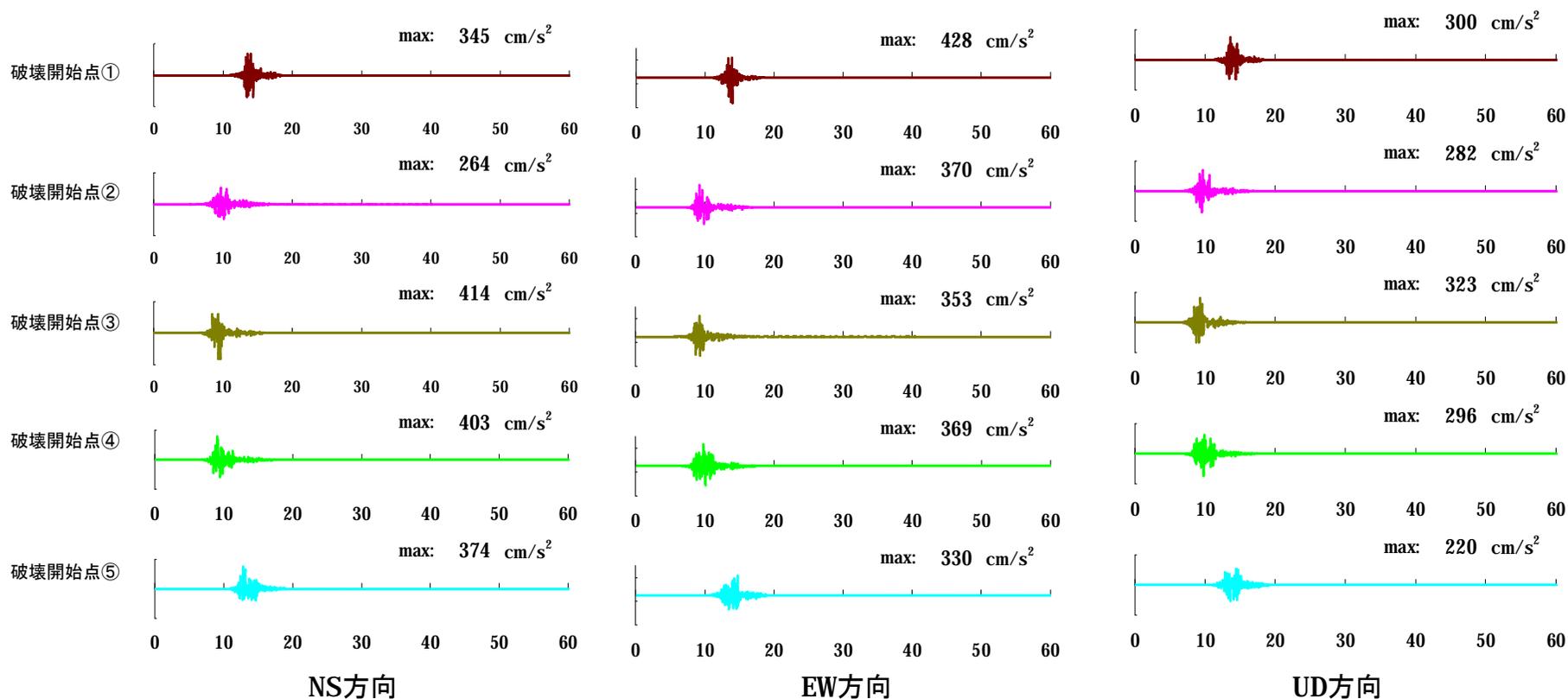


鉛直方向

- 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

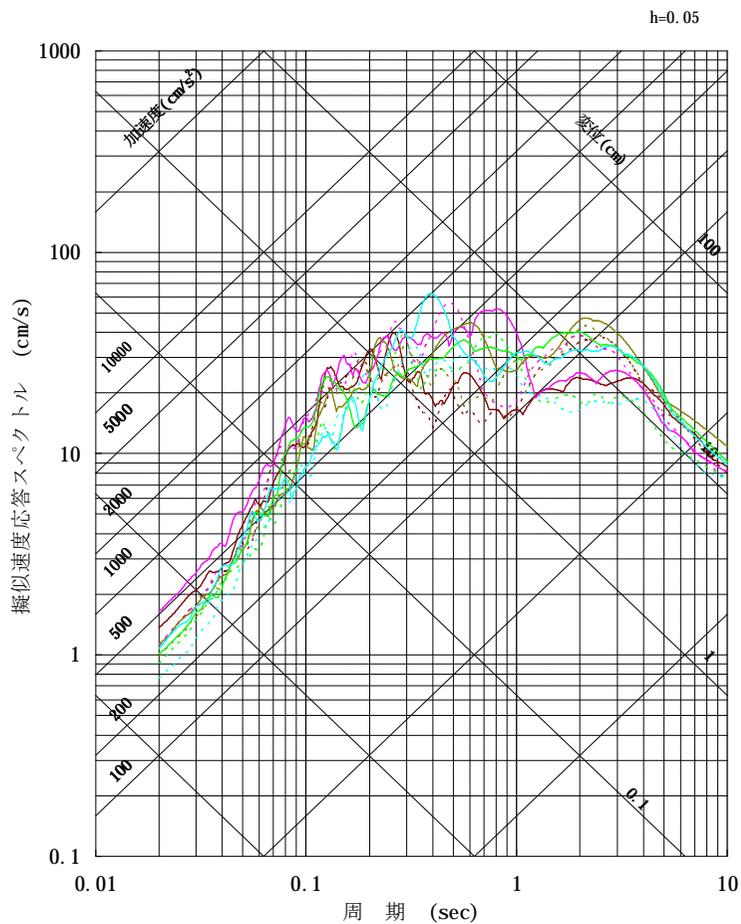
# 孤立した長さの短い活断層に対する地震動評価

## ■断層モデルを用いた手法による地震動評価結果:FO-C断層 短周期の地震動1.5倍ケースの加速度波形

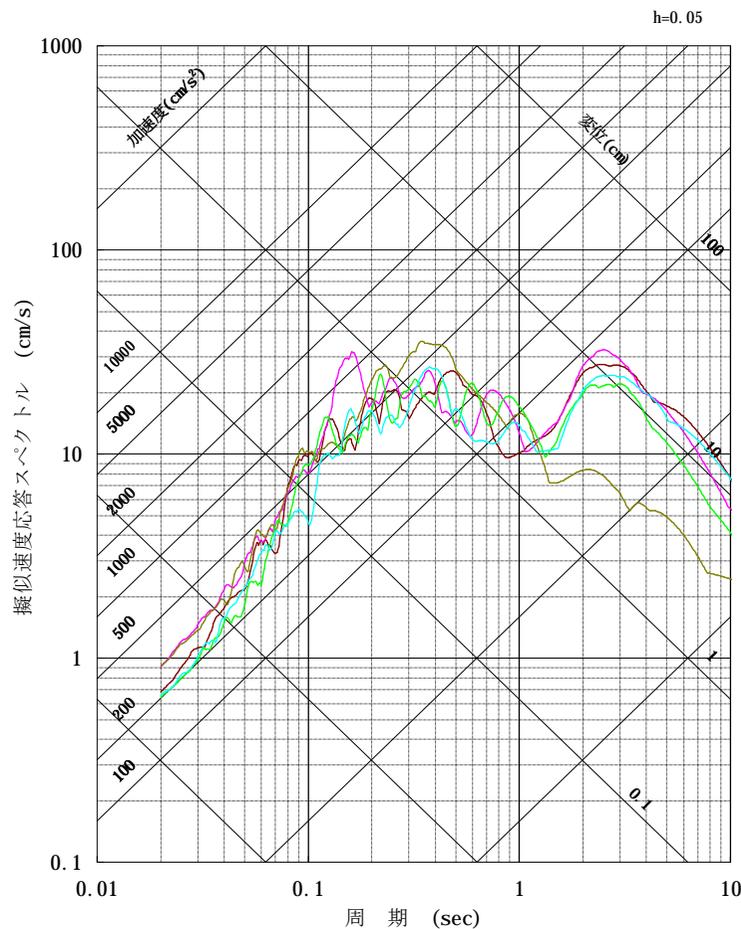


# 孤立した長さの短い活断層に対する地震動評価

## ■断層モデルを用いた手法による地震動評価結果：FO-C断層：傾斜角75°（横ずれ）ケース



水平方向(実線: NS方向、破線: EW方向)

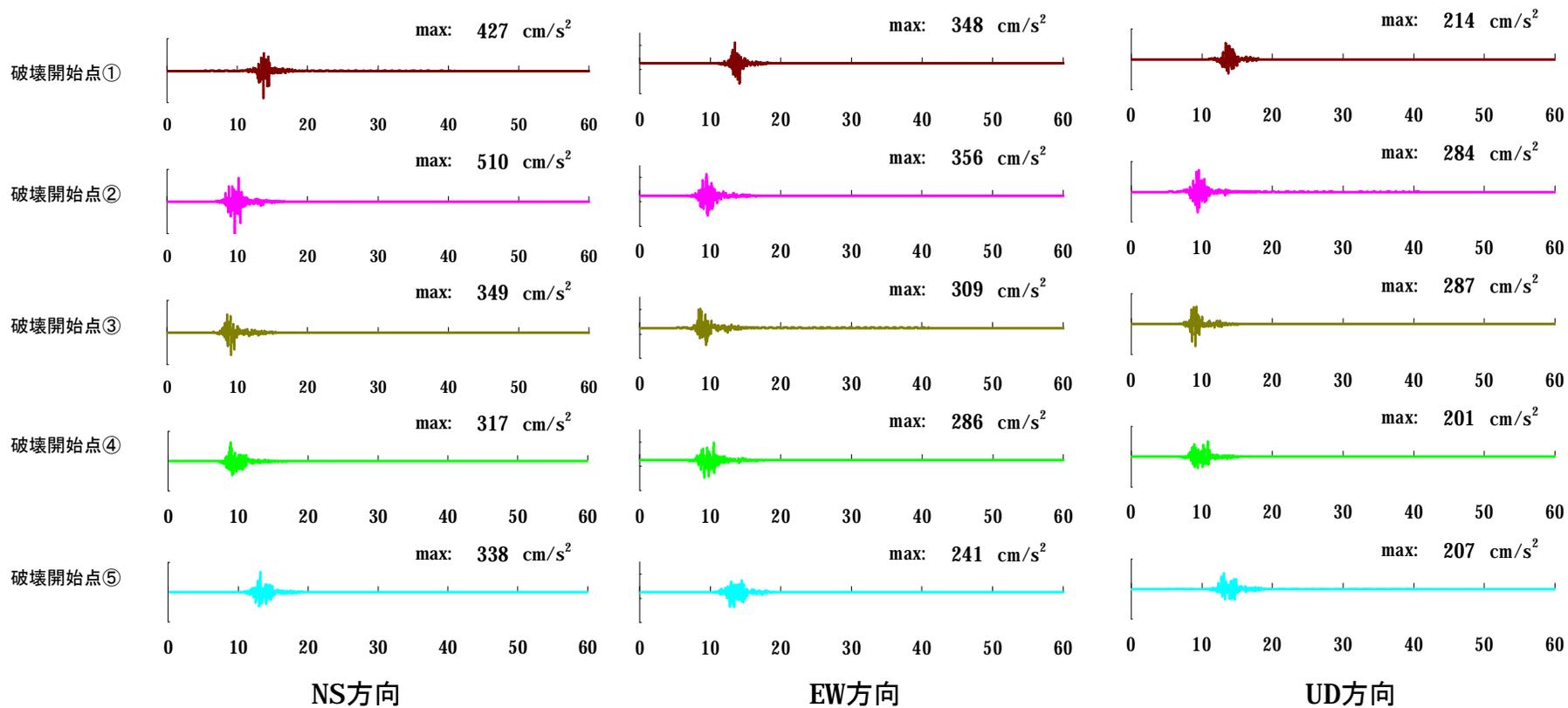


鉛直方向

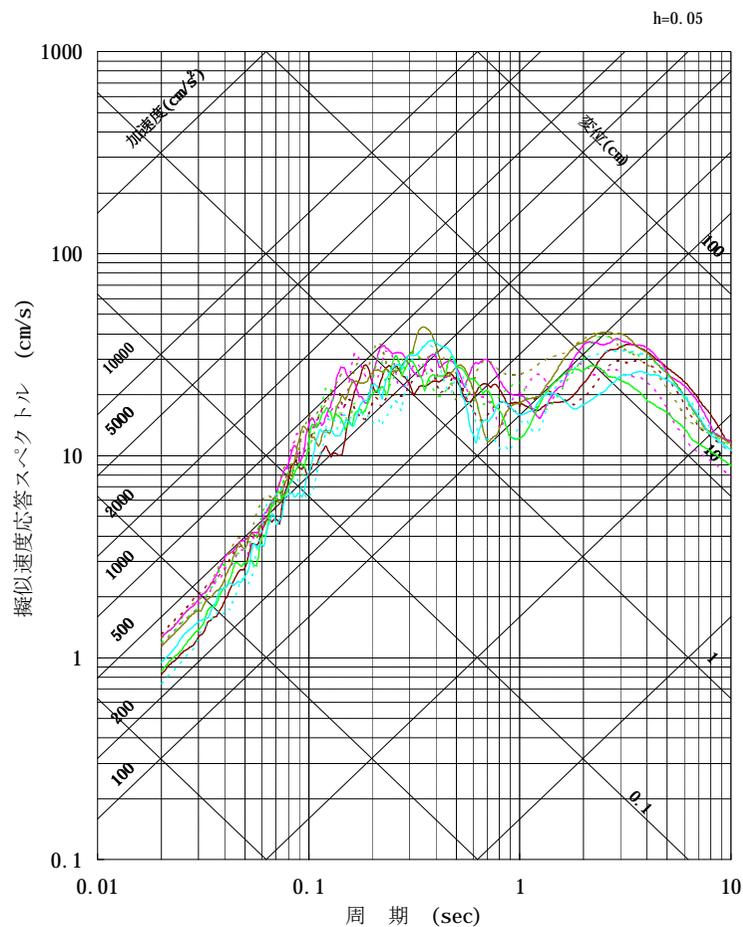
- 破壊開始点①    — 破壊開始点②    — 破壊開始点③
- 破壊開始点④    — 破壊開始点⑤

# 孤立した長さの短い活断層に対する地震動評価

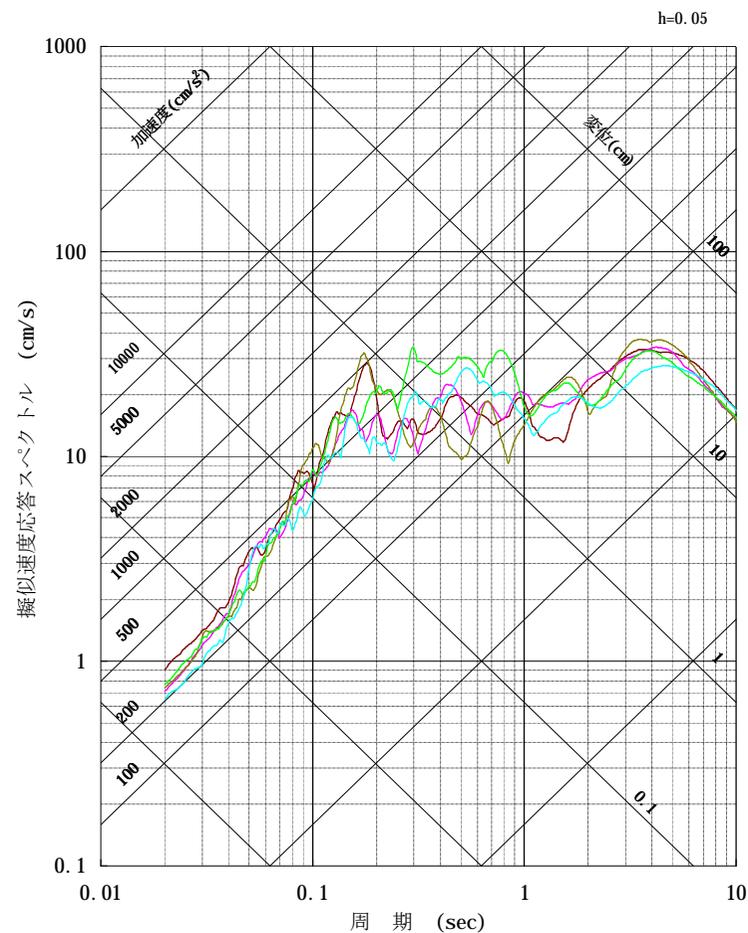
## ■断層モデルを用いた手法による地震動評価結果:FO-C断層 傾斜角75° (横ずれ)ケースの加速度波形



## ■断層モデルを用いた手法による地震動評価結果：FO-C断層：傾斜角75°（縦ずれ）ケース



水平方向(実線: NS方向、破線: EW方向)

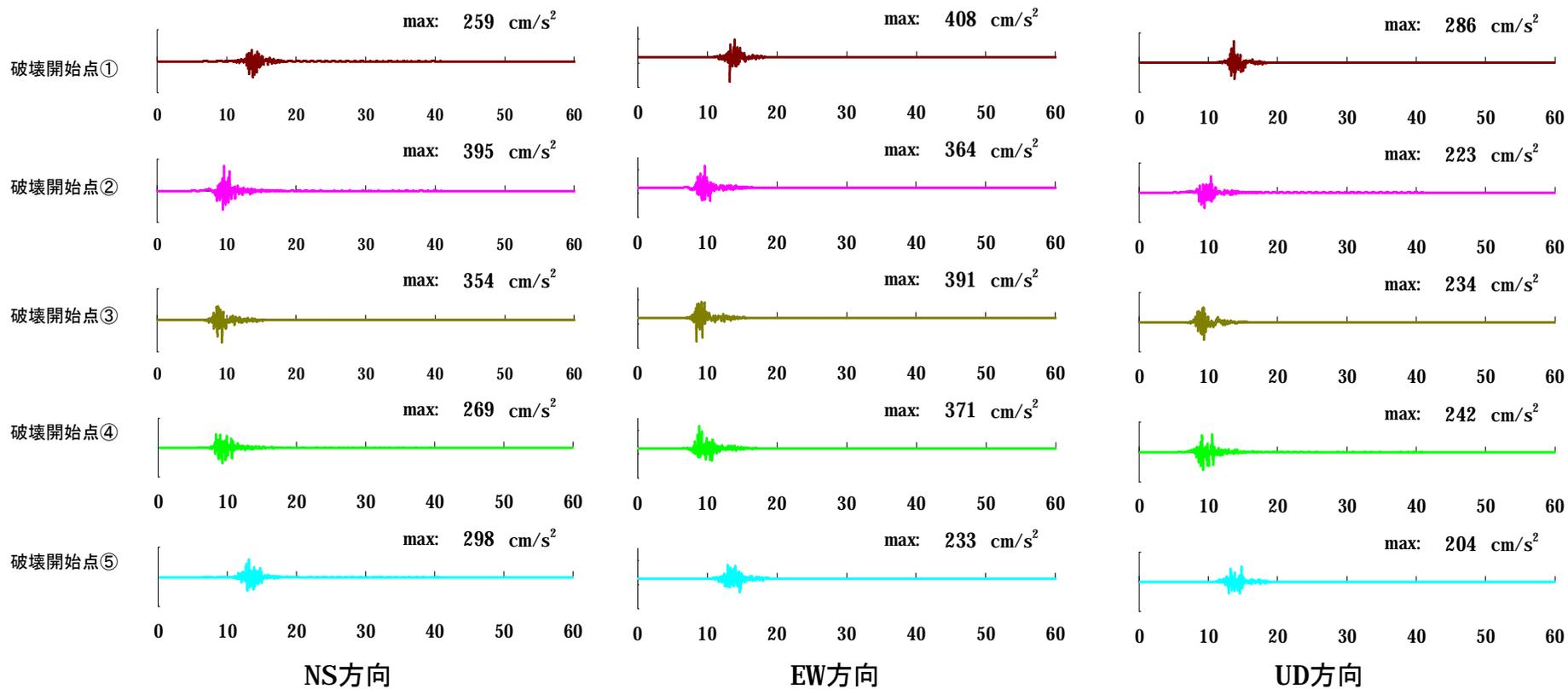


鉛直方向

- 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

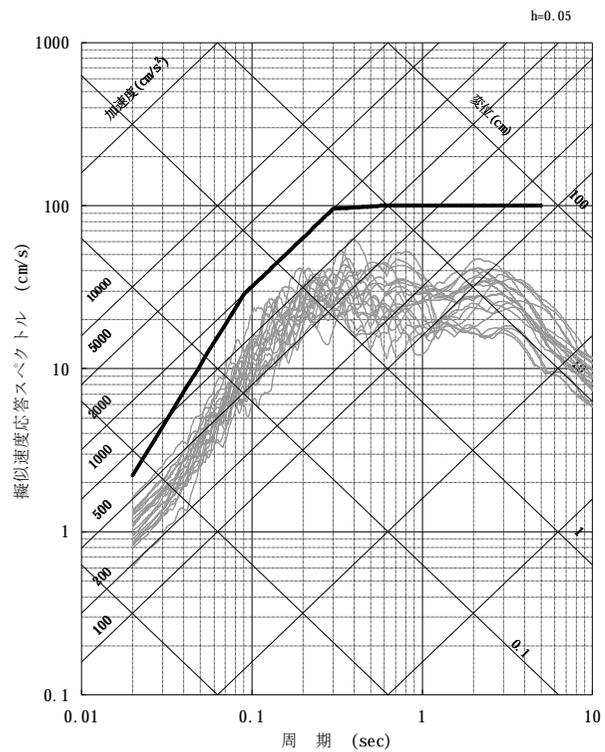
# 孤立した長さの短い活断層に対する地震動評価

## ■断層モデルを用いた手法による地震動評価結果:FO-C断層 傾斜角75° (縦ずれ)ケースの加速度波形

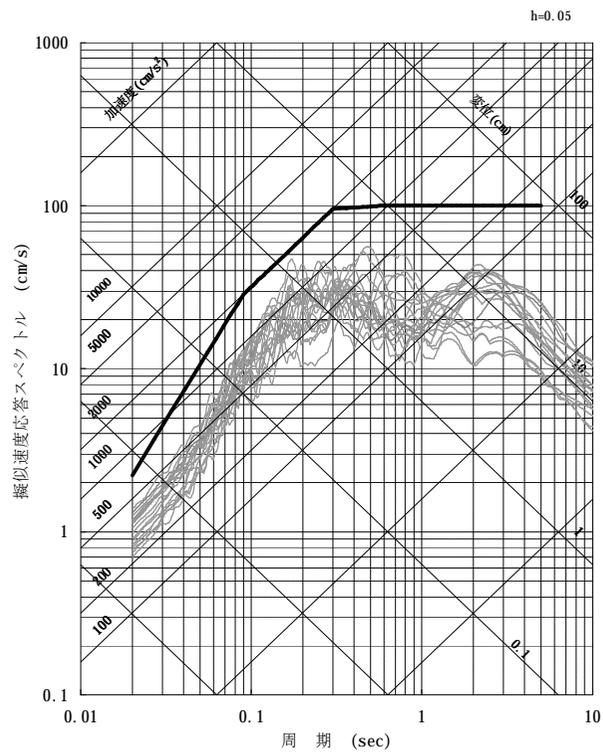


# 孤立した長さの短い活断層に対する地震動評価

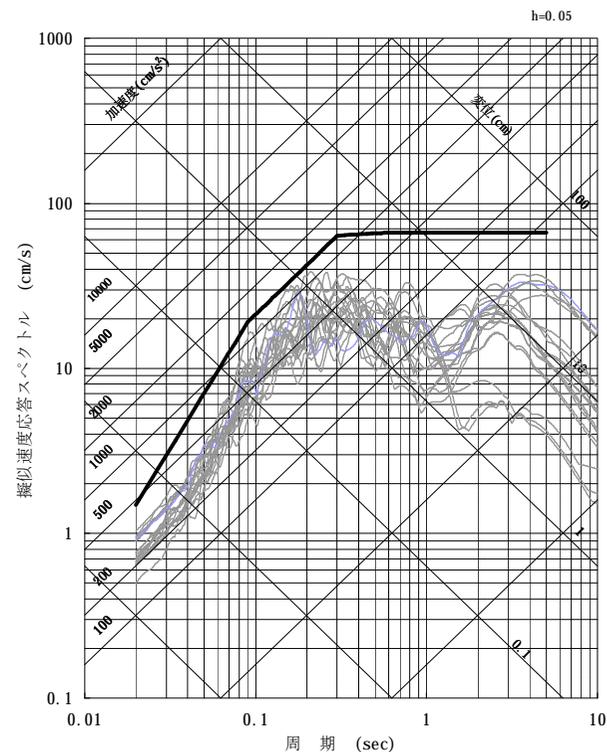
■FO-C断層の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果は、Ss-1の設計用応答スペクトルに包絡されていることを確認。



水平(NS)方向



水平(EW)方向



鉛直(UD)方向

— Ss-1    — FO-C断層(全ケース)の地震動評価結果

- 孤立した長さの短い活断層(FO-C断層)について、基本ケースおよび不確かさを考慮したケースのモデル化を行った。
- 各検討ケースについて、地震動評価を行い、応答スペクトルおよび加速度波形を示した。
- 孤立した長さの短い断層の地震動評価は、基準地震動 $S_s - 1$ の応答スペクトルに包絡されることを確認した。

- 宇佐美龍夫・石井寿・今村隆正・武村雅之・松浦律子(2013): 日本被害地震総覧599-2012, 東京大学出版会
- 宇津徳治(1982): 日本付近のM6.0以上の地震及び被害地震の表: 1885年~1980年, 東京大学地震研究所彙報, Vol.57
- 気象庁(2013): 地震年報2011年版
- 村松郁栄(1969): 震度分布と地震のマグニチュードとの関係, 岐阜大学教育学部研究報告, 自然科学, 第4巻, 第3号, p.168-176
- 勝又護・徳永規一(1971): 震度IVの範囲と地震の規模及び震度と加速度の対応, 験震時報, 第36巻, 第3・4号, p.89-96
- 佐藤浩章・東貞成・芝良昭・佐藤清隆・高橋裕幸・敦賀隆史(2007): 地震観測記録に基づく地震動の減衰特性(その3) - 硬質地盤における減衰メカニズムの解明 -, 電力中央研究所報告N07013
- 佐藤浩章(2009): 広帯域強震動予測のための新潟平野における深部地盤のモデル化とサイト増幅特性評価, 電力中央研究所報告N08
- 佐藤浩章・山中浩明(2010): 広帯域サイト増幅特性評価のための深部地盤の不均質性のモデル化に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第648号, p.289-298
- 山中浩明(2007): ハイブリッドヒューリスティック探索による位相速度の逆解析, 物理探査, 第60巻, 第3号, p.265-275
- 入倉孝次郎・三宅弘恵(2001): シナリオ地震の強震動予測, 地学雑誌, Vol.110, No.6, p.849-875
- 吉井弘治・伊藤潔(2001): 近畿地方北部の地震波速度構造と地震発生層, 地球惑星科学連合大会2001年合同大会
- 廣瀬一聖・伊藤潔(2006): 広角反射法および屈折法解析による近畿地方の地殻構造の推定, 京都大学防災研究所年報, 第49号B, p.307-321
- 伊藤潔・廣瀬一聖・澁谷拓郎・片尾浩・梅田康弘・佐藤比呂志・平田直・伊藤谷生・阿部進・川中卓・井川猛(2007): 近畿地方における地殻および上部マントルの構造と地震活動, 京都大学防災研究所年報, 第50号B, p.275-288
- 伊藤潔・廣瀬一聖(2006): 人口地震記録を用いた近畿地方の地震波速度構造, 大都市大震災軽減化特別プロジェクト I 地震動(強い揺れ)の予測「大都市圏地殻構造調査研究」(平成17年度), p.549-559
- 伊藤潔・中村修一(1998): 西南日本内帯による地震発生層の厚さの変化と内陸大地震, 京都大学防災研究所年報, 第41号, B-1, p.27-35
- Noda, S., K.Yashiro, K.Takahashi, M.Takemura, S.Ohno, M.Tohdo and T.Watanabe(2002): RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES, OECD-NEA Workshop on the Relations between Seismological Data and Seismic Engineering Analysis, Oct.16-18, Istanbul
- 松田時彦(1975): 活断層から発生する地震の規模と周期について, 地震, 第2輯, 第28巻, 269-283
- Boore, D.M.(1983): Stochastic simulation of high-frequency ground motions based on seismological models of the radiated spectra, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.73, p.1865-1894
- Bouchon, M. (1981): A simple method to calculate Green's functions for elastic layered media, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.71, p.959-971
- Kanno, T., A.Narita, N.Morikawa, H.Fujiwara and Y.Fukushima (2006): A New Attenuation Relation for Strong Ground Motion in Japan Based on Recorded Data, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.96, p.879-897
- Zhao, J.X., J.Zhang, A.Asano, Y.Ohno, T.Oouchi, T.Takahashi, H.Ogawa, K.Irikura, H.K.Thio, P.G.Somerville, Y.Fukushima and Y.Fukushima (2006): Attenuation Relations of Strong Ground Motion in Japan Using Site Classification Based on Predominant Period, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.96, p.898-913

- 内山泰生・翠川三郎(2006): 震源深さの影響を考慮した工学的基盤における応答スペクトルの距離減衰式, 日本建築学会構造系論文集, 第606号, p.81-88
- 片岡正次郎・佐藤智美・松本俊輔・日下部毅明(2006): 短周期レベルをパラメータとした地震動強さの距離減衰式, 土木学会論文集 A, 62, p.740-757
- Abrahamson, N. and W. Silva (2008): Summary of the Abrahamson & Silva NGA Ground-Motion Relations, Earthquake Spectra, Vol.24, p.67-97
- Boore, D.M. and G.M. Atkinson (2008): Ground-Motion Prediction Equations for the Average Horizontal Component of PGA, PGV, and 5%-Damped PSA at Spectral Periods between 0.01s and 10.0s, Earthquake Spectra, Vol.24, p.99-138
- Campbell, K.W. and Y. Bozorgnia (2008): NGA Ground Motion Model for the Geometric Mean Horizontal Component of PGA, PGV, and PGD, and 5% Damped Linear Elastic Response Spectra for Periods Ranging from 0.01 to 10s, Earthquake Spectra, Vol.24, p.139-171
- Chiou, B.S.-J. and R.R. Youngs (2008): An NGA Model for the Average Horizontal Component of Peak Ground Motion and Response Spectra, Earthquake Spectra, Vol.24, p.173-215
- Idriss, I.M. (2008): An NGA Empirical Model for Estimating the Horizontal Spectral Values Generated By Shallow Crustal Earthquakes, Earthquake Spectra, Vol.24, p.217-242
- Somerville, P. G., K. Irikura, R. Graves, S. Sawada, D. Wald, N. Abrahamson, Y. Iwasaki, T. Kagawa, N. Smith and A. Kowada (1999): Characterizing crustal earthquake slip models for the prediction of strong ground motion, Seismological Research Letters, Vol.70, No.1, p.59-80.
- Boatwright (1988): The seismic radiation from composite models of faulting, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.78, p.489-508.
- 壇一男・渡辺基史・佐藤俊明・石井透(2001): 断層非一様すべり破壊モデルから算定される短周期レベルと半経験的波形合成法による強震動予測のための震源断層のモデル化, 日本建築学会構造系論文集, Vol.545, p.51-62
- Eshelby (1957): The determination of the elastic field of an ellipsoidal inclusion, and related problems, Proceedings of the Royal Society, A241, p.376-396.
- Fujii, Y. and M. Matsu'ura, (2000): Regional Difference in Scaling Laws for Large Earthquakes and its Tectonic Implication, Pure and Applied Geophysics, 157, 2283-2302
- Geller, R.J., (1976): Scaling relations for earthquake source parameters and magnitudes, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.66, p.1501-1523.
- 香川敬生・鶴来雅人・佐藤信光(2003): 硬質サイトの強震観測記録に見られる高周波低減特性の検討, 土木学会地震工学論文集, P.315, CD-ROM
- 釜江克宏・入倉孝次郎・福知保長(1990): 地域的な震源スケーリング則を用いた大地震(M7級)のための設計用地震動予測, 日本建築学会構造系論文報告集, 第416号, p.57-70.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2009): 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」), 「全国地震動予測地図」技術報告書 付録3

- 宮腰研・PETUKHIN Anatoly・長郁夫(2003): すべりの時空間的不均質特性のモデル化,地震災害軽減のための強震動予測マスターモデルに関する研究 成果報告書, p.113-123
- 佐藤智美(2010): 逆断層と横ずれ断層の違いを考慮した日本の地殻内地震の短周期レベルのスケーリング則,日本建築学会構造系論文集,第651号,p.923-932
- 構造計画研究所(2010): 内陸地殻内地震における短周期レベルの地域的な整理・分析業務,原子力安全委員会平成21年度業務委託報告書
- 構造計画研究所(2011): 内陸地殻内地震の観測記録に基づく短周期レベルの分析業務,原子力安全委員会平成22年度業務委託報告書
- 佐藤智美(2008): 地殻内地震に対するP波部・S波部・全継続時間の水平・上下動の距離減衰式,日本建築学会構造系論文集,第632号,p.1745-1754
- 佐藤智美・壇一男・岡崎敦・羽田浩二(2007): 若狭湾周辺の地殻内地震の記録を用いたスペクトルインバージョン解析,2007年度日本地震学会講演予稿集,P03-066
- 佐藤浩章・芝良昭・東貞成・功刀卓・前田宜浩・藤原広行(2013): 物理探査・室内試験に基づく2004年留萌支庁南部の地震によるK-NET港町観測点(HKD020)の基盤地震動とサイト特性評価,電力中央研究所報告N13007
- 社団法人日本原子力学会(2007): 原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施基準:2007,(社)日本原子力学会標準, ASEJ-SC-P006:2007
- 活断層研究会(1991): [新編]日本の活断層,東京大学出版会
- 萩原尊禮編(1991): 日本列島の地震,鹿島出版会
- 垣見俊弘・松田時彦・相田勇・衣笠善博(2003): 日本列島と周辺海域の地震地体構造区分,地震第2輯,第55巻,p.389-406
- 奥村俊彦・石川裕(1998): 活断層の活動度から推定される平均変位速度に関する検討,土木学会第53回年次学術講演会講演概要集,第I部(B), 554-555
- 武村雅之(1998): 日本列島における地殻内地震のスケーリング則—地震断層の影響および地震被害との関連—,地震第2輯, Vol.51, No.2, p.211-228
- Takemura, M., T. Ikeura and R. Sato(1990): Scaling Relations for Source Parameters and Magnitude of Earthquakes, The science reports of the Tohoku University. Fifth series, Tohoku geophysical journal, Vol.32, No3-4, p.77-89
- 地震調査研究推進本部(2009): 琵琶湖西岸断層帯の長期評価の一部改訂について,平成21年8月27日
- 地震調査研究推進本部(2005): 三峠・京都西山断層帯の長期評価について,平成17年2月9日
- Stirling, M.W., Rhoades, D. and Berryman, K. (2002): Comparison of earthquake scaling relations derived from data of the instrumental and preinstrumental era, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.92, p.812-830