

## 5.1.4 海洋プレート内地震の地震動評価

# 断層モデル < 海洋プレート内地震 >

## < 応答スペクトル・断層モデルによる評価 >

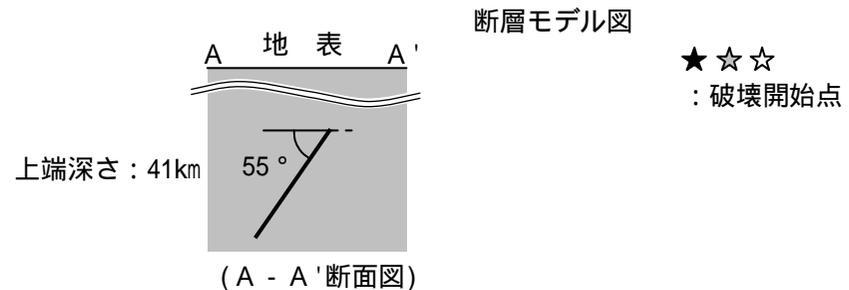
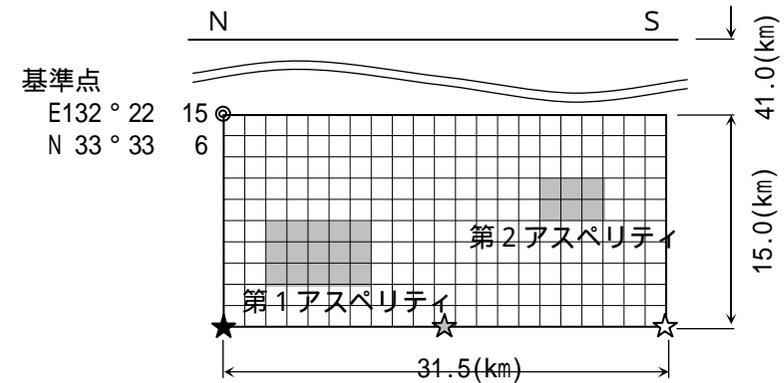
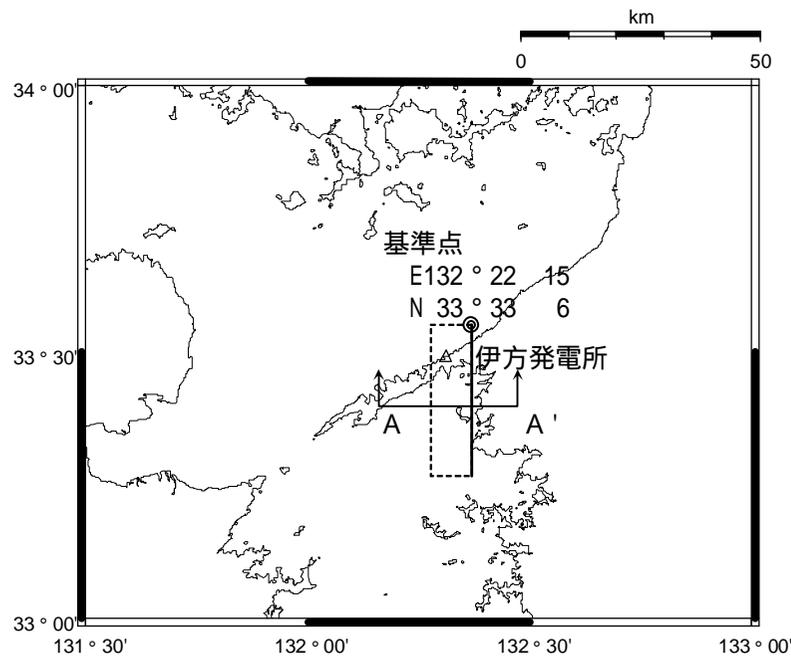
検討用地震

1649年安芸・伊予の地震

不確かさの考慮

地震発生位置の不確かさを考慮して敷地真下での発生を想定し、さらに地震規模として既往最大の規模であるM7.0(1854年伊予西部)を採用  
 加えて断層モデルでは、破壊伝播方向の不確かさを考慮して破壊開始点を3箇所を設定

これらを予め基本モデルに織り込む



断層面は2001年芸予地震のYagi & Kikuchiモデルを参考に設定

# 断層パラメータ<海洋プレート内地震>

5. 地震動評価  
5.1 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	記号	設定値	根拠
断層位置	-	東経: 132° 22' 15" 北緯: 33° 33' 6"	
走向		N180E	2001芸予
傾斜角		55°	2001芸予
断層長さ	L	31.5 km	
断層幅	W	15.0 km	
断層面積	S	462.0 km <sup>2</sup>	2001芸予をスケールリング( $M_0^{2/3}$ )
断層上端深さ	H	41.0km	微小地震観測
破壊伝播形式	-	同心円状	
応力降下量		9.78MPa	円形クラック
地震モーメント	$M_0$	$3.98 \times 10^{19}$ N·m	$=10^{1.5M_w+9.1}$
モーメントマグニチュード	$M_w$	7.0	$=M_J$
気象庁マグニチュード	$M_J$	7.0	敷地周辺の最大値
剛性率	$\mu$	$5.28 \times 10^{10}$ N/m <sup>2</sup>	$=3.3 \times 4.0^2 \times 10^9$
平均すべり量	D	163 cm	$=M_0 / (\mu S)$
S波速度		4.0 km/s	
破壊伝播速度	$V_R$	2.88 km/s	Geller(1976)
短周期レベル	A'	$7.96 \times 10^{19}$ N·m/s <sup>2</sup>	$4 (S/V)^{1/2} \cdot \dots$

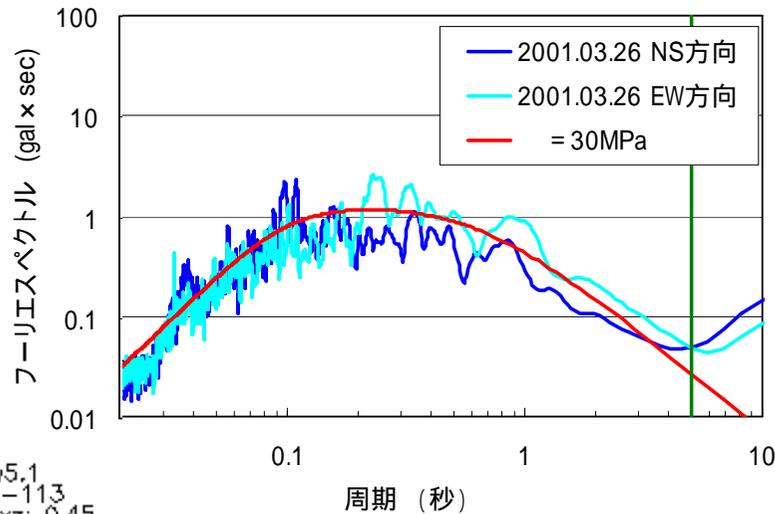
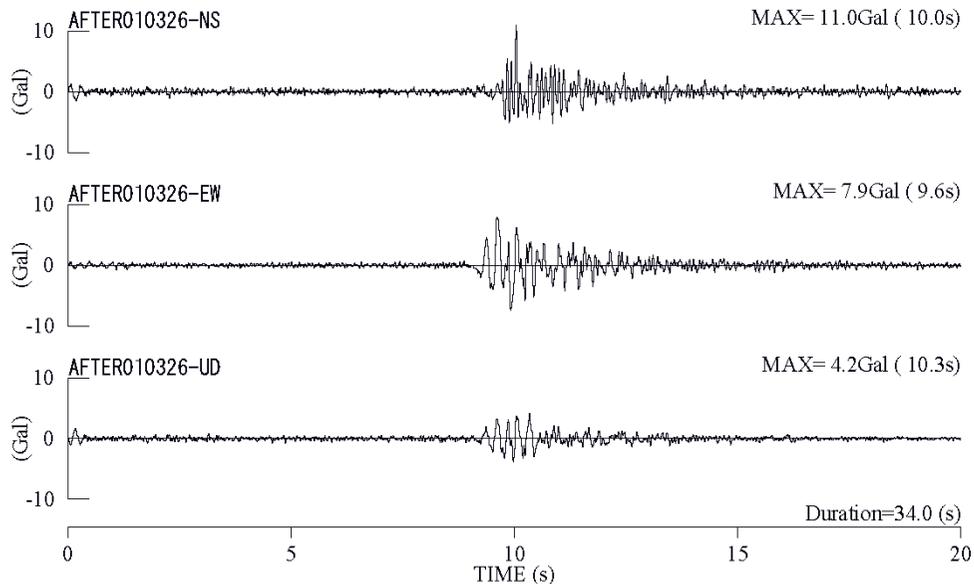
断層パラメータ	記号	設定値	根拠	
全アスベリティ	地震モーメント	$M_{0a}$	$7.96 \times 10^{18}$ N·m	$=\mu D_a S_a$
	面積	$S_a$	46.2 km <sup>2</sup>	$=0.1S$ (2001芸予)
	平均すべり量	$D_a$	326 cm	$=2.0D$
	応力降下量	$\sigma_a$	97.8 MPa	$=\dots / 0.1$
第1アスベリティ	地震モーメント	$M_{0a1}$	$6.48 \times 10^{18}$ N·m	$S^{1.5}$ 比で配分
	面積	$S_{a1}$	33.6 km <sup>2</sup>	$=S_a \times 16\%/22\%$
	平均すべり量	$D_{a1}$	365 cm	$D_{a1} = M_{0a1} / (\mu S_{a1})$
	実効応力	$\sigma_{a1}$	97.8 MPa	$\sigma_{a1} = \sigma_a$
第2アスベリティ	地震モーメント	$M_{0a2}$	$1.49 \times 10^{18}$ N·m	$S^{1.5}$ 比で配分
	面積	$S_{a2}$	12.6 km <sup>2</sup>	$=S_a \times 6\%/22\%$
	平均すべり量	$D_{a2}$	224 cm	$D_{a2} = M_{0a2} / (\mu S_{a2})$
	実効応力	$\sigma_{a2}$	97.8 MPa	$\sigma_{a2} = \sigma_a$
背景領域	地震モーメント	$M_{0b}$	$3.18 \times 10^{19}$ N·m	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$
	面積	$S_b$	415.8 km <sup>2</sup>	$S_b = S - S_a$
	平均すべり量	$D_b$	145 cm	$D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$
	実効応力	$\sigma_b$	11.0 MPa	$=D_b / S_b^{0.5} \cdot S_{a1}^{0.5} / D_{a1} \cdot \dots$



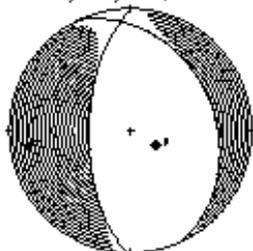
# 海洋プレート内地震の要素地震

5. 地震動評価  
 5.1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

海洋プレート内で発生した  
 2001年3月26日安芸灘の地震(M5.2, 深さ46km)の  
 敷地観測記録 (GL-5m) を要素地震に採用した。

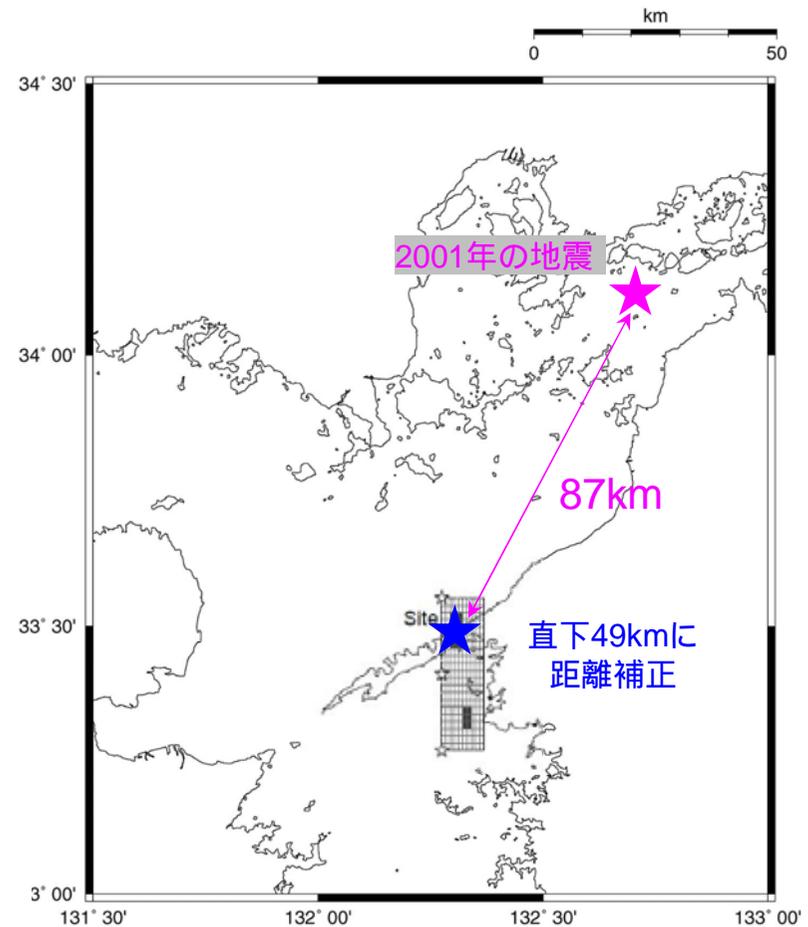


2001/03/26,05:41



34.1N 132.7E 38km Mw5.1  
 strike: 335 dip: 31 slip: -113  
 mxx: -0.36 mxy: 0.91 mxz: 0.45  
 myy: 4.07 myz: -2.55 mzz: -3.71  
 unit: 1e+16 moment: 4.76e+16 Nm

応力降下量の評価



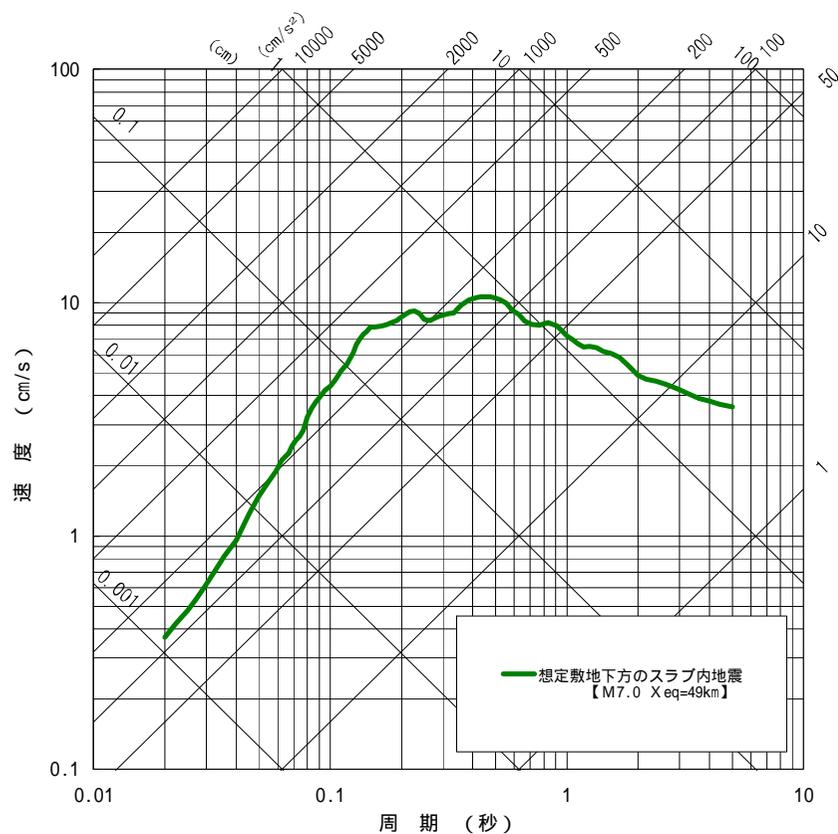
観測記録をサイト直下の想定断層面内まで  
 距離補正

- ・震源距離87km 49kmに, 1/Xの幾何減衰で補正
- ・敷地近傍で発生したスラブ内地震から同定したQ値を使用

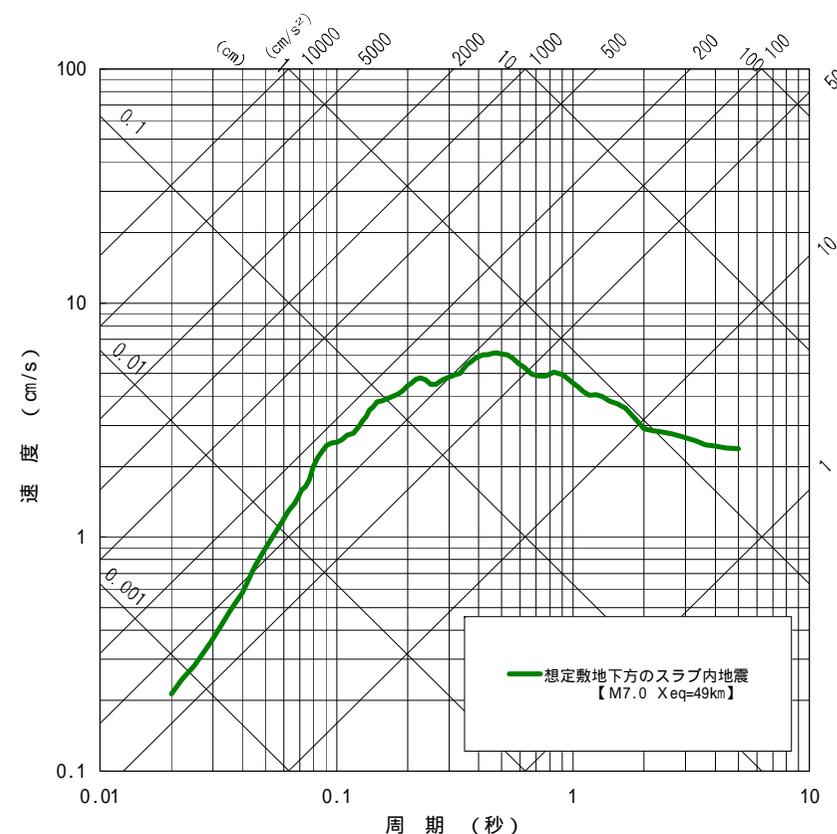
# 応答スペクトルに基づく地震動評価結果

5. 地震動評価  
5.1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

## ➤ 【海洋プレート内地震】想定敷地下方のスラブ内地震



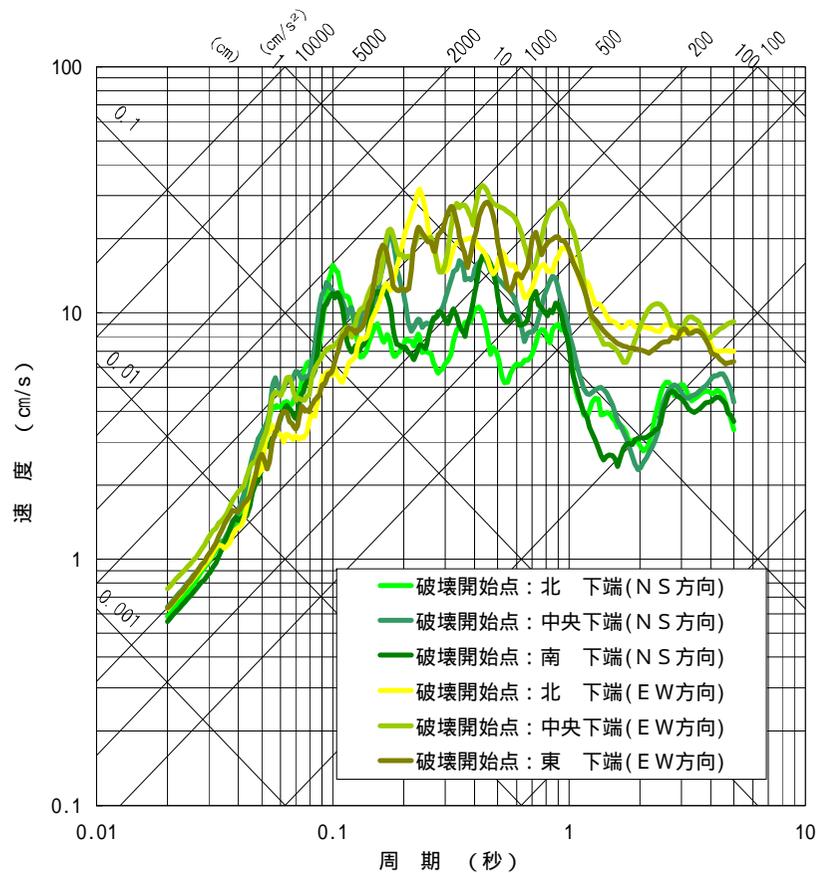
水平方向



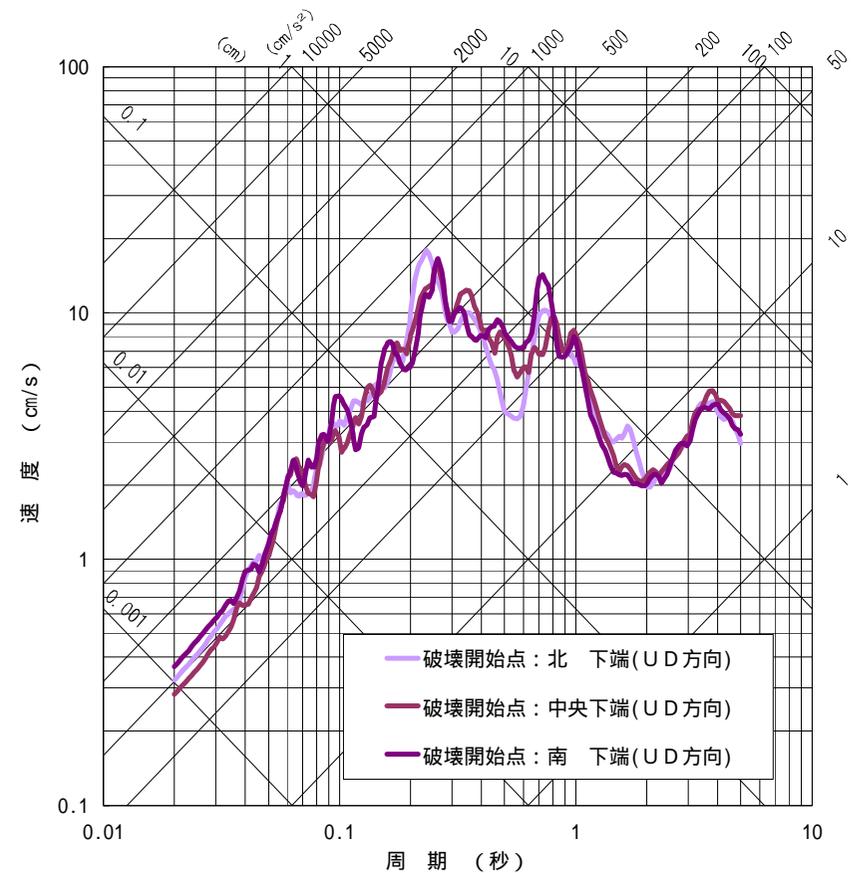
鉛直方向

海洋プレート内の地震については観測記録に基づく応答スペクトル比で補正

## ➤ 【海洋プレート内地震】想定敷地下方のスラブ内地震



水平方向

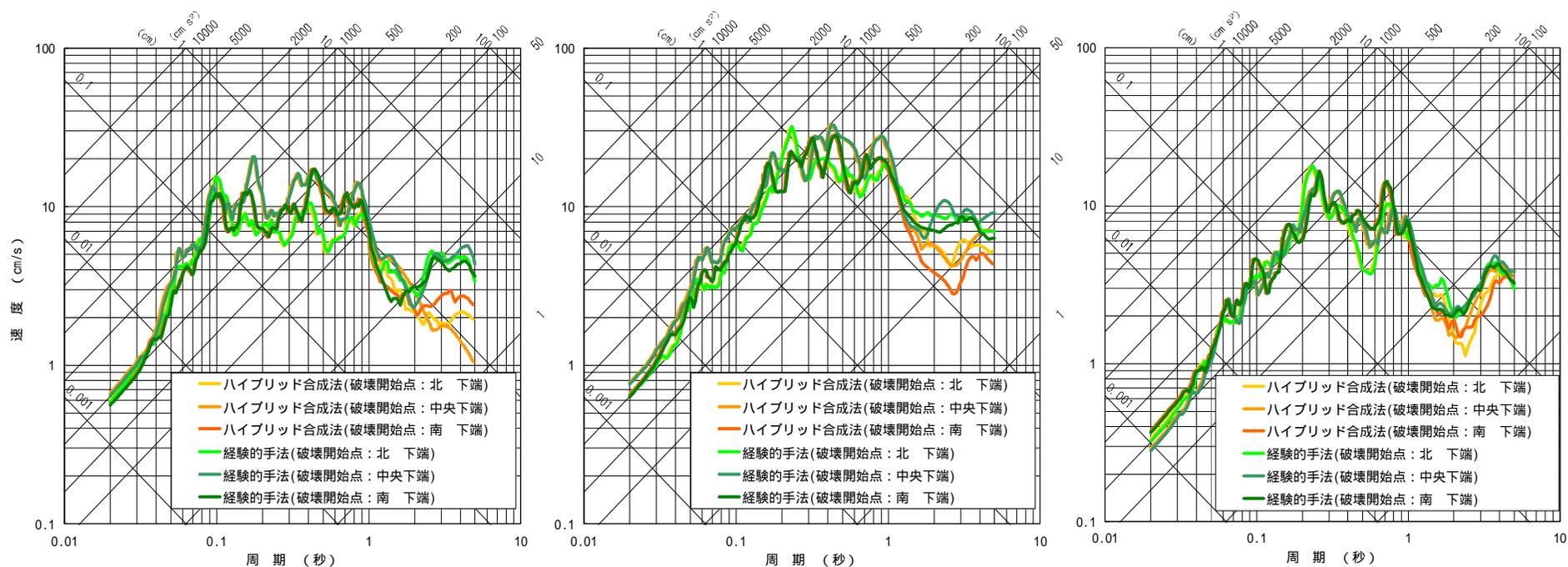


鉛直方向



## ➤ 【海洋プレート内地震】想定敷地下方のスラブ内地震

経験的手法と理論的手法を組み合わせたハイブリット合成法により経験的グリーン関数法による結果の妥当性確認を実施



NS方向

EW方向

UD方向

## 5.1.5 プレート間地震の地震動評価

## 断層モデル<プレート間地震>

### <応答スペクトル・断層モデルによる評価>

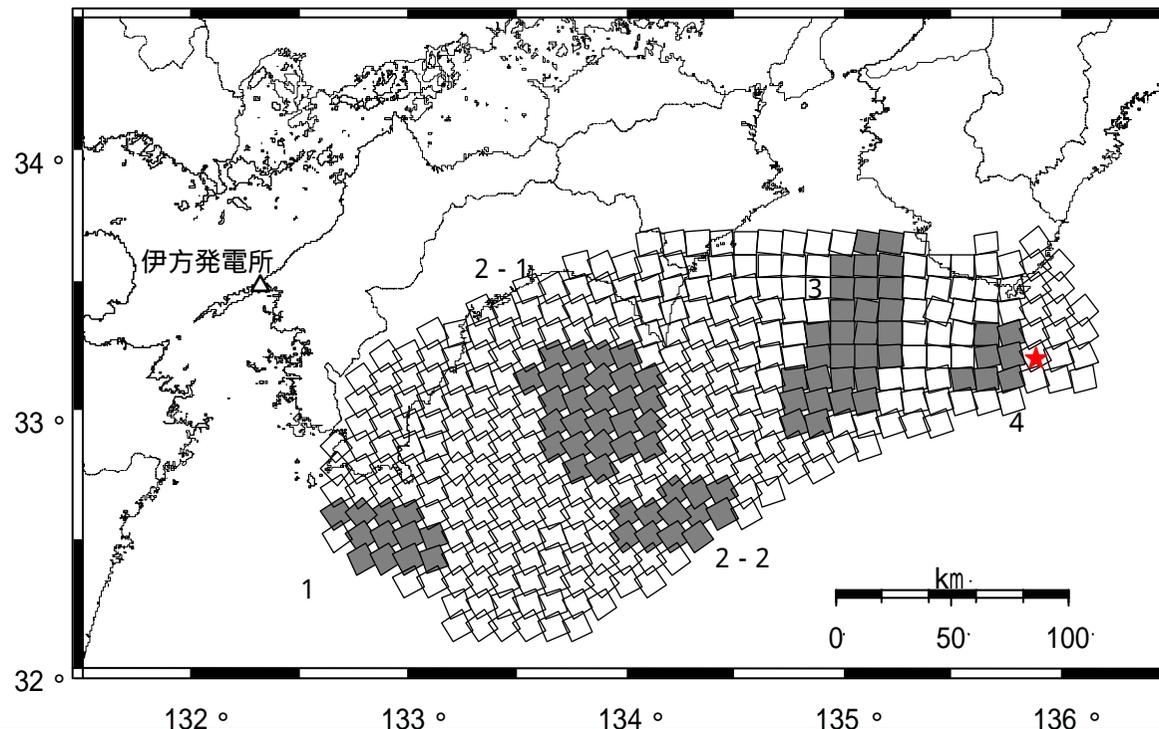
検討用地震

想定南海地震(中央防災会議)

不確かさの考慮

中央防災会議(2003)の想定南海地震モデル(M8.6)は過去最大規模の宝永地震(M8.6)や安政南海地震の各地の震度分布を再現できるモデルであることから**同モデルを採用することで震源規模および震源要素の不確かさを考慮することとする。**

断層モデルを用いた地震動評価において**破壊開始点はアスペリティの破壊が敷地に向かう方向となるように設定。**



★ : 破壊開始点

図中の番号はアスペリティ番号

# 断層パラメータ<プレート間地震>

5. 地震動評価  
5.1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

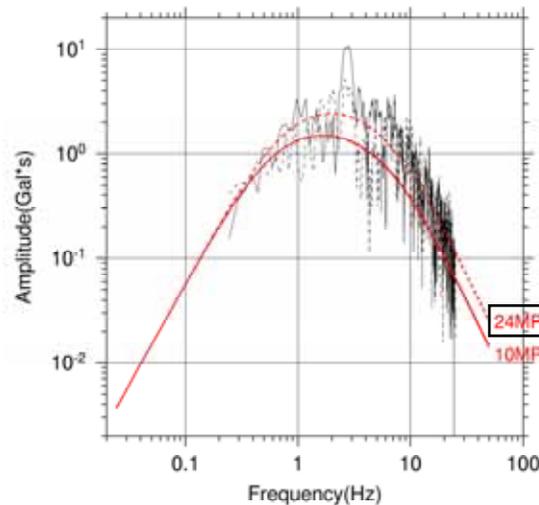
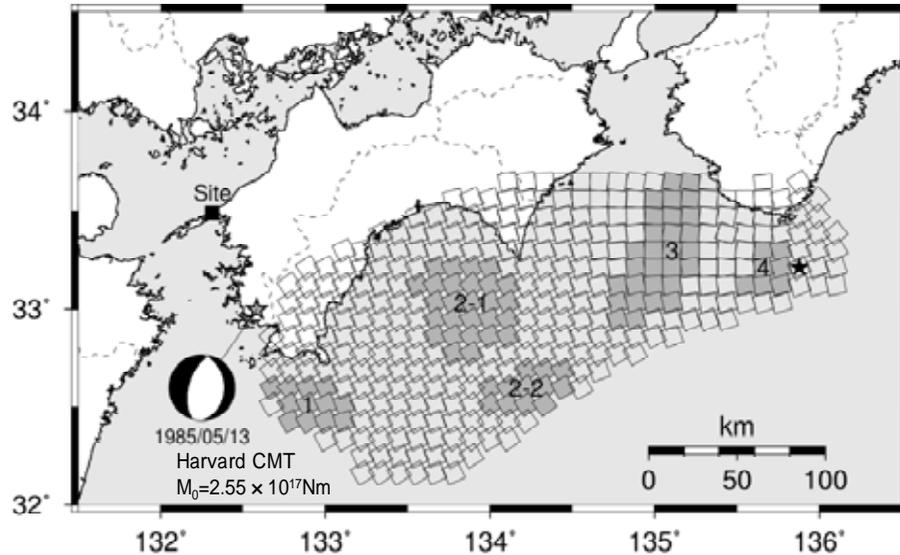
断層パラメータ		記号	設定値
断層面積		S	約37,000 km <sup>2</sup>
破壊伝播形式		-	同心円状
応力パラメータ			3.0MPa
地震モーメント		M <sub>0</sub>	8.76 × 10 <sup>21</sup> N・m
モーメントマグニチュード		M <sub>W</sub>	8.6
気象庁マグニチュード		M <sub>J</sub>	8.6
剛性率		μ	4.1 × 10 <sup>10</sup> N/m <sup>2</sup>
平均すべり量		D	5.8 m
S波速度			3.82 km/s
破壊伝播速度		V <sub>R</sub>	2.7 km/s
全 ア ス ペ リ テ ィ	地震モーメント	M <sub>0a</sub>	4.15 × 10 <sup>21</sup> N・m
	面積	S <sub>a</sub>	8,884 km <sup>2</sup>
	平均すべり量	D <sub>a</sub>	11.4 m
	応力パラメータ	<sub>a</sub>	24.6 MPa
ア ス ペ リ テ ィ 1	地震モーメント	M <sub>0a1</sub>	4.32 × 10 <sup>20</sup> N・m
	面積	S <sub>a1</sub>	1,222 km <sup>2</sup>
	平均すべり量	D <sub>a1</sub>	8.6m
	応力パラメータ	<sub>a1</sub>	24.6 MPa

断層パラメータ		記号	設定値	
ア ス ペ リ テ ィ 2	2-1	地震モーメント	M <sub>0a2-1</sub>	1.46 × 10 <sup>21</sup> N・m
		面積	S <sub>a2-1</sub>	2,758 km <sup>2</sup>
		平均すべり量	D <sub>a2-1</sub>	12.9 m
		応力パラメータ	<sub>a2-1</sub>	24.6 MPa
	2-2	地震モーメント	M <sub>0a2-2</sub>	4.34 × 10 <sup>20</sup> N・m
		面積	S <sub>a2-2</sub>	1,226 km <sup>2</sup>
		平均すべり量	D <sub>a2-2</sub>	8.6 m
		応力パラメータ	<sub>a2-2</sub>	24.6 MPa
ア ス ペ リ テ ィ 3	地震モーメント	M <sub>0a3</sub>	1.63 × 10 <sup>21</sup> N・m	
	面積	S <sub>a3</sub>	2,963 km <sup>2</sup>	
	平均すべり量	D <sub>a3</sub>	13.4 m	
	応力パラメータ	<sub>a3</sub>	24.6 MPa	
ア ス ペ リ テ ィ 4	地震モーメント	M <sub>0a4</sub>	1.93 × 10 <sup>20</sup> N・m	
	面積	S <sub>a4</sub>	715 km <sup>2</sup>	
	平均すべり量	D <sub>a4</sub>	6.6 m	
	応力パラメータ	<sub>a4</sub>	24.6 MPa	
背 景 領 域	地震モーメント	M <sub>0b</sub>	4.60 × 10 <sup>21</sup> N・m	
	面積	S <sub>b</sub>	28,100 km <sup>2</sup>	
	平均すべり量	D <sub>b</sub>	4.0 m	
	応力パラメータ	<sub>b</sub>	2.4 MPa	



# プレート間地震の要素地震

要素地震として用いた1985年5月13日愛媛県南西部の地震(M6.0, 深さ39km) 敷地観測記録(GL-5m)の加速度・速度・変位波形を示す。

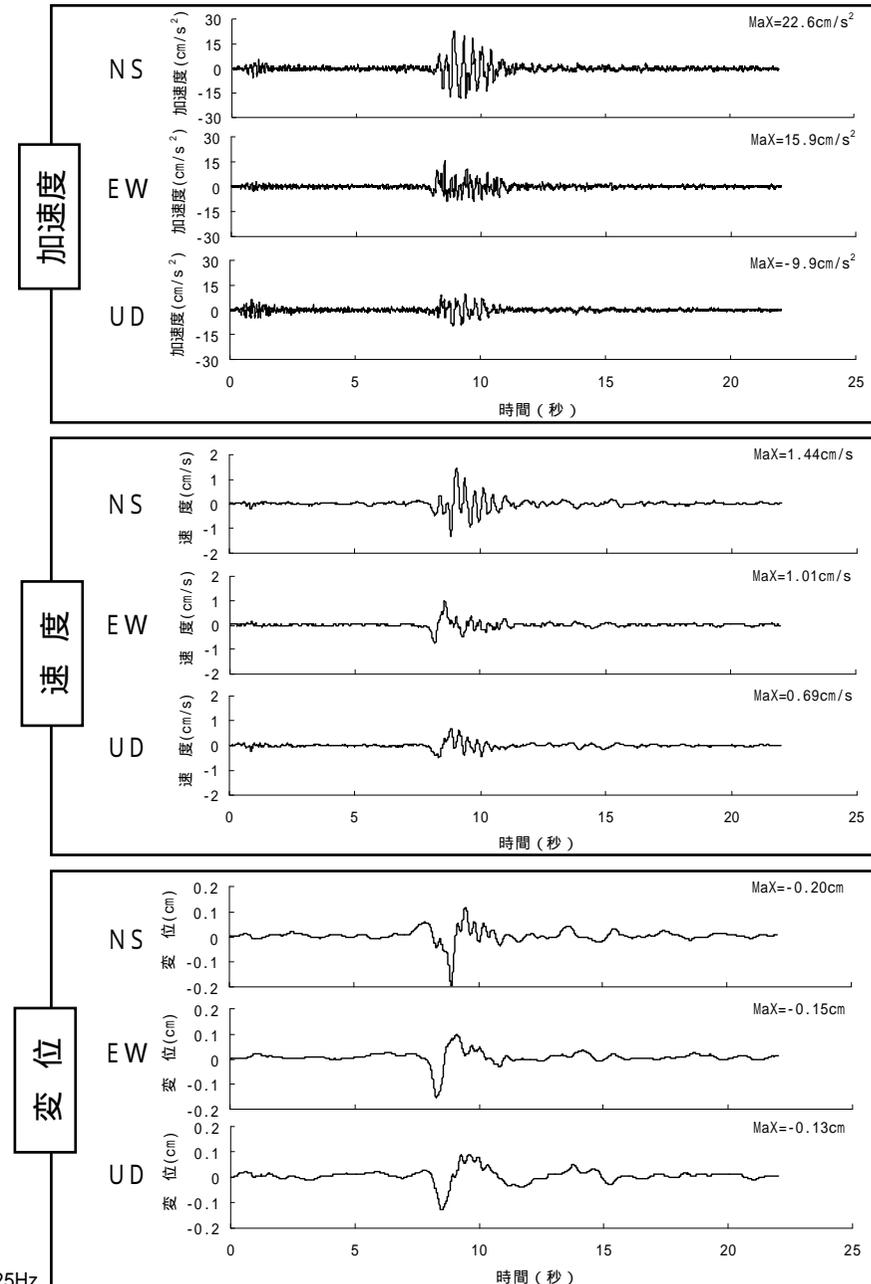


黒実線: 要素地震波の  
フーリエスペクトル(Radial)  
黒点線: 要素地震波の  
フーリエスペクトル(Transverse)  
赤線: Boore(1983)による計算結果

24MPa 採用

応力降下量の評価

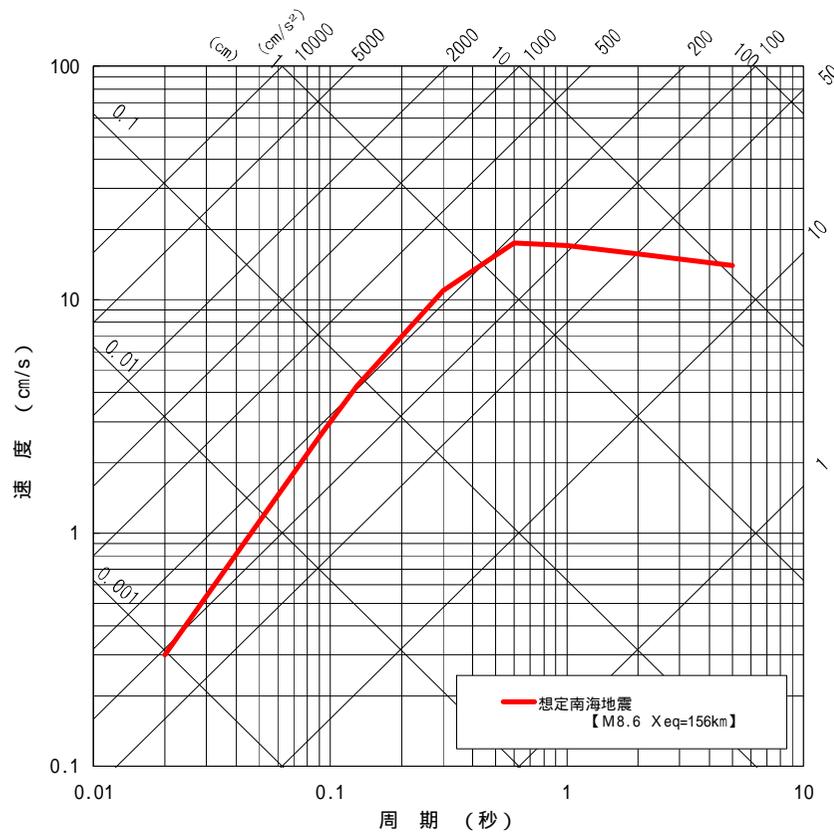
Band-pass 0.2-25Hz



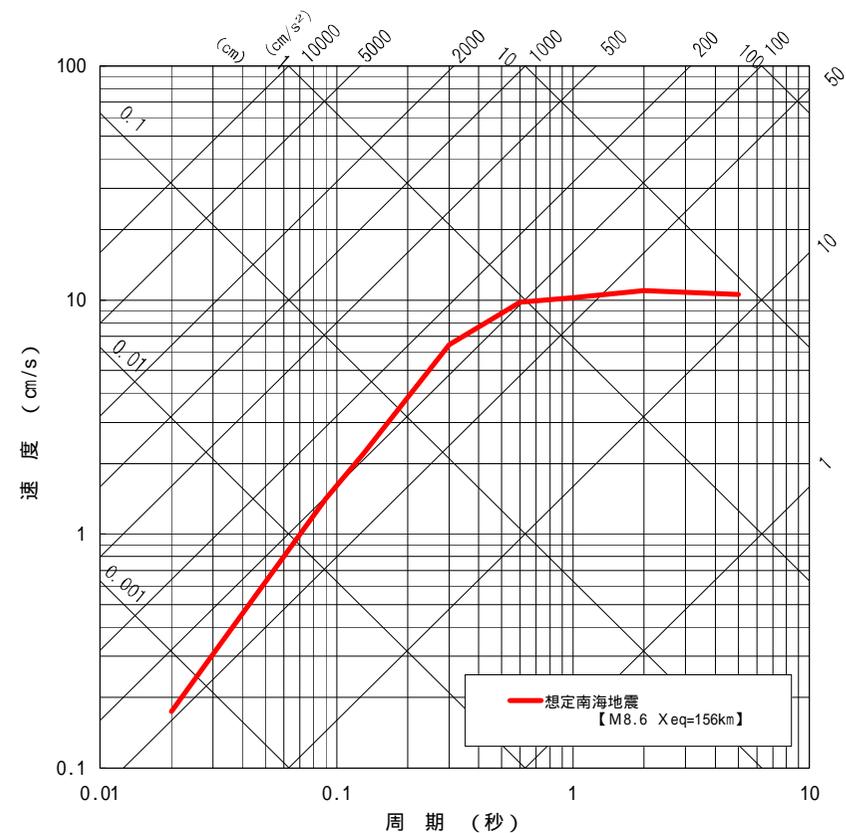
# 応答スペクトルに基づく地震動評価結果

5. 地震動評価  
5.1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

## ➤ 【プレート間地震】想定南海地震



水平方向

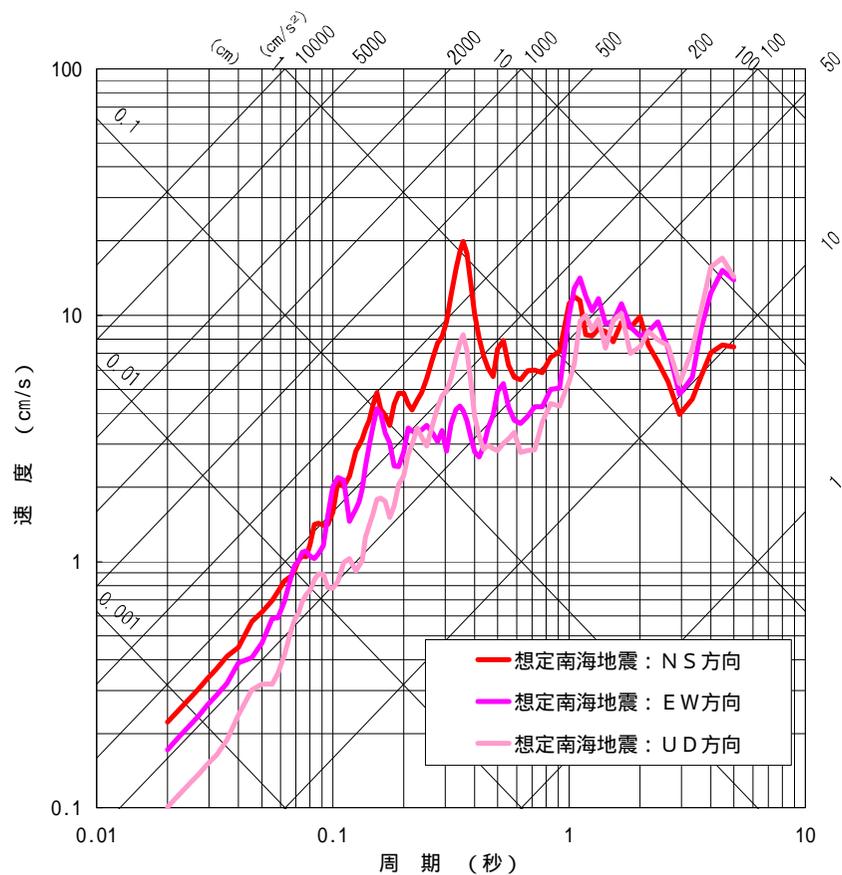


鉛直方向

想定南海地震については適用範囲外のため参考として示す。

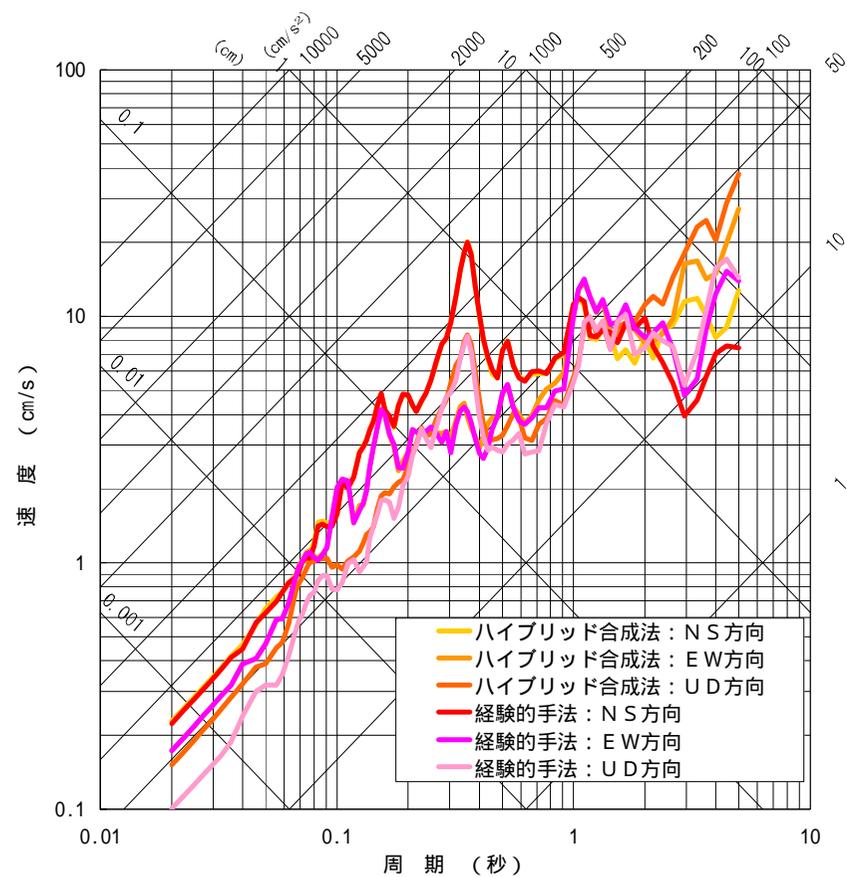


## ➤ 【プレート間地震】想定南海地震



## ➤ 【プレート間地震】南海地震

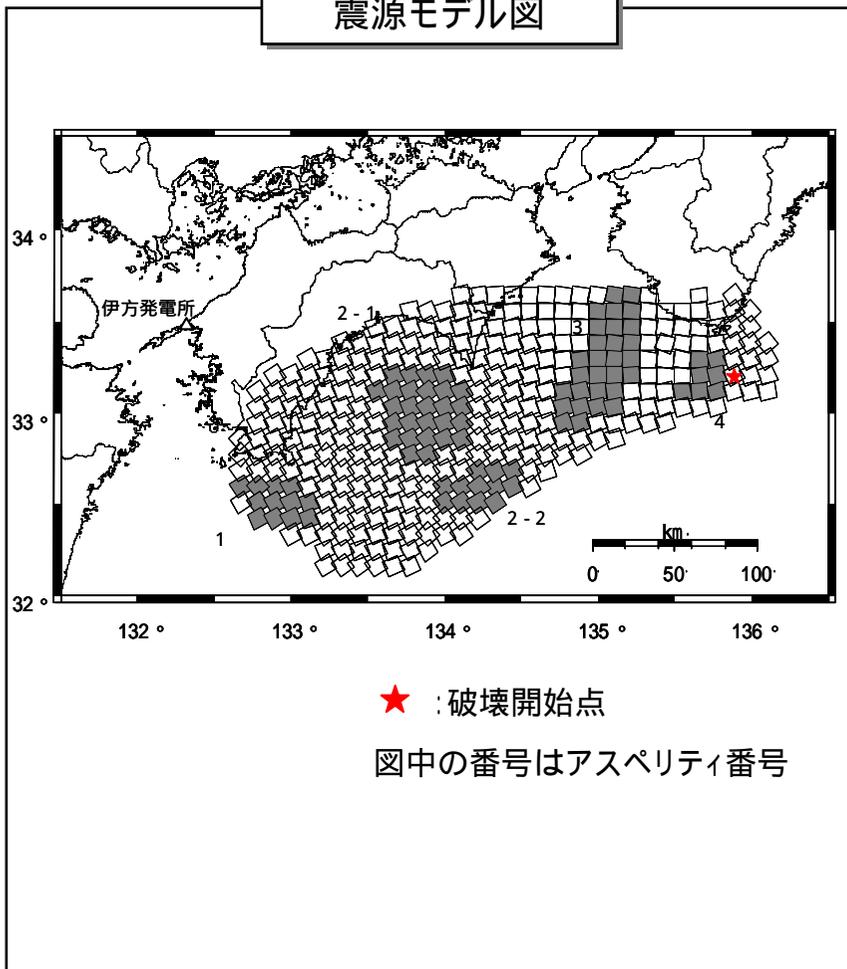
経験的手法と理論的手法を組み合わせたハイブリット合成法により経験的グリーン関数法による結果の妥当性確認を実施



# 統計的グリーン関数法による評価 < 想定南海地震 >

短周期側に統計的グリーン関数法の結果，長周期側に理論的手法の結果を採用したハイブリッド合成法による地震動評価を行い，経験的グリーン関数法による結果（ハイブリッド）と比較する。  
 震源モデルと地盤構造モデルを以下に示す。

震源モデル図



地盤構造モデル

解放基盤表面  
 (EL.10m)

統計的グリーン関数法に用いる地盤モデルの範囲

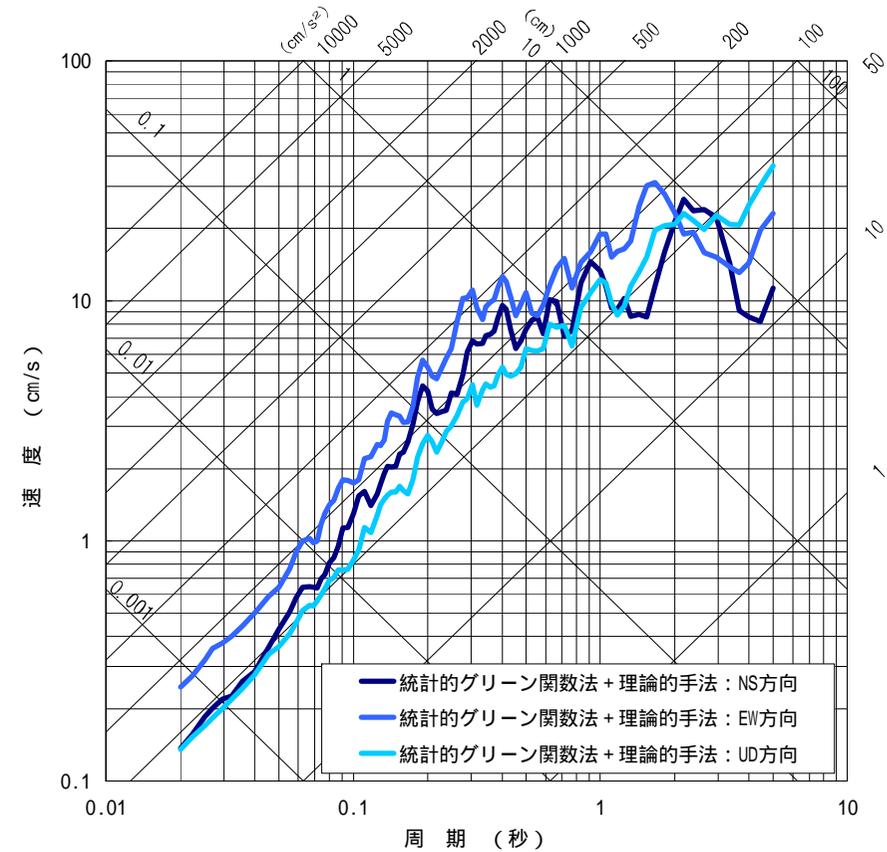
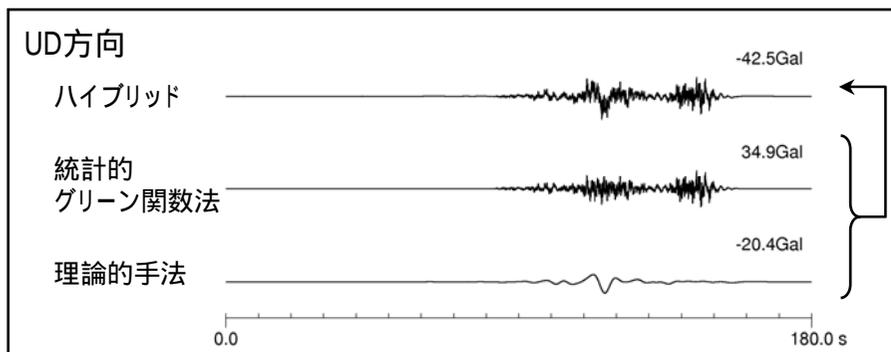
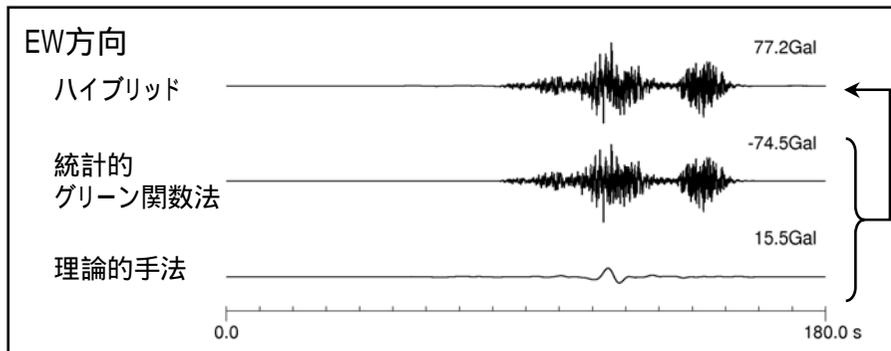
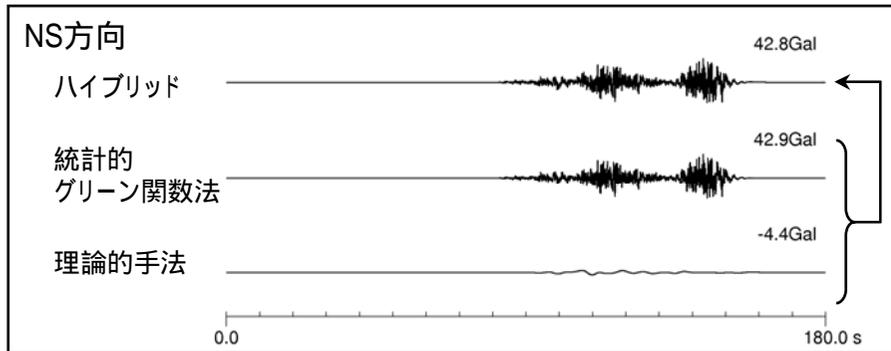
層上面 (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	Q値
0	5300	2600	3000	50
10	5500	2700	3000	50
200	5700	2800	3000	190
2000	6100	3500	3000	230
16000	6700	3870	2800	400
40000	6600	3820	2800	400
42000	6700	3870	2900	400
46000	8000	4620	3200	1200

地震基盤  
 上面

理論的手法に用いる地盤モデルの範囲

# 地震動評価結果 <ハイブリッド合成法:統計的手法 + 理論的手法>

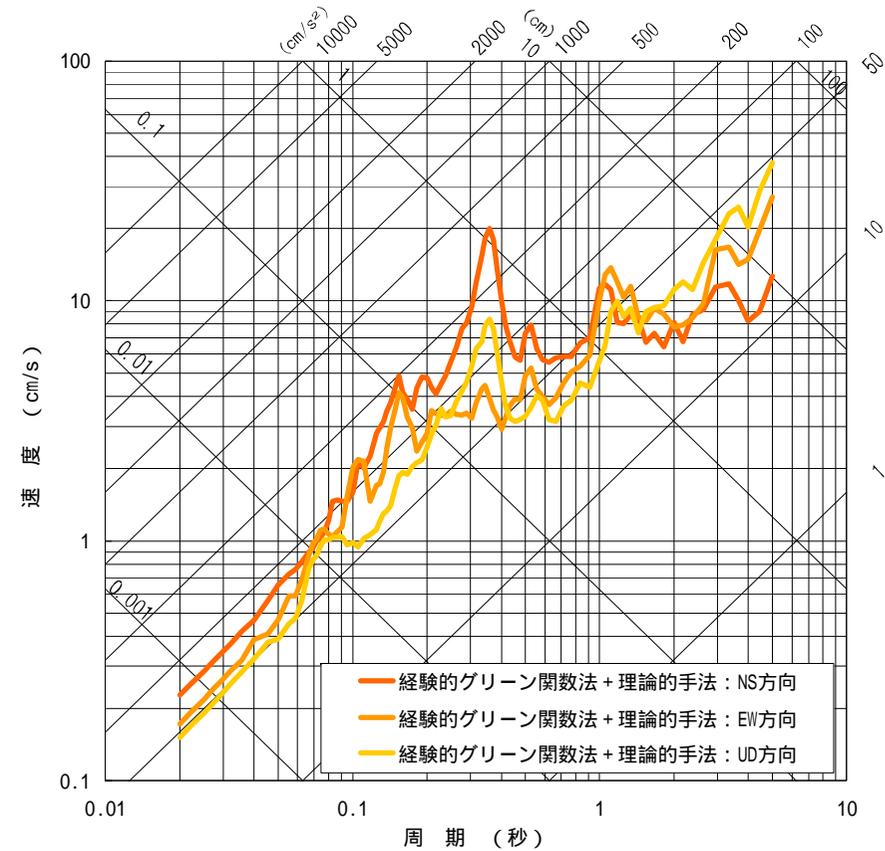
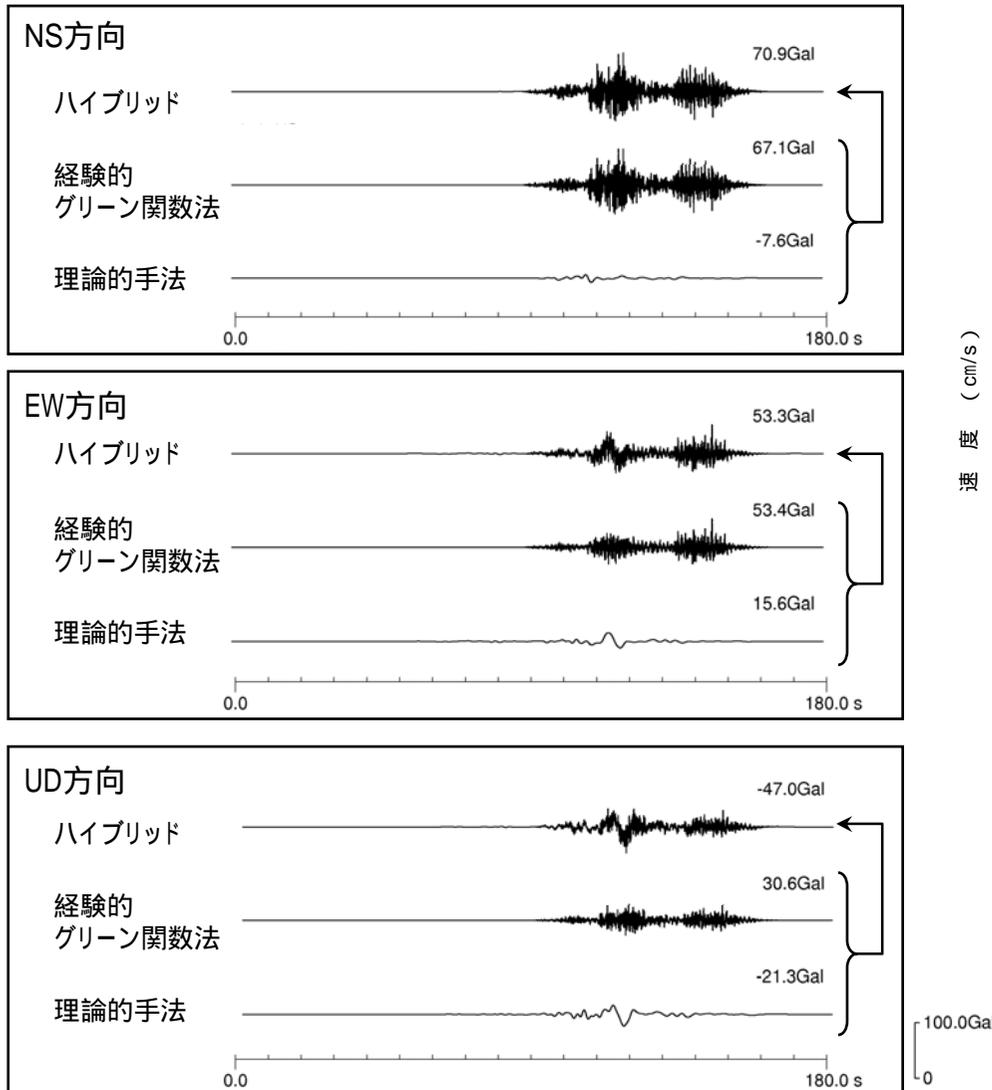
統計的グリーン関数法と理論的手法によるハイブリッド合成の結果を示す。



統計的グリーン関数法と理論的手法との合成は、それぞれの応答スペクトルの結果から応答スペクトルが交差する4秒(0.25Hz)を接続周期とした。

# 地震動評価結果 <ハイブリッド合成法: 経験的手法 + 理論的手法 >

経験的グリーン関数法と理論的手法によるハイブリッド合成の結果を示す。

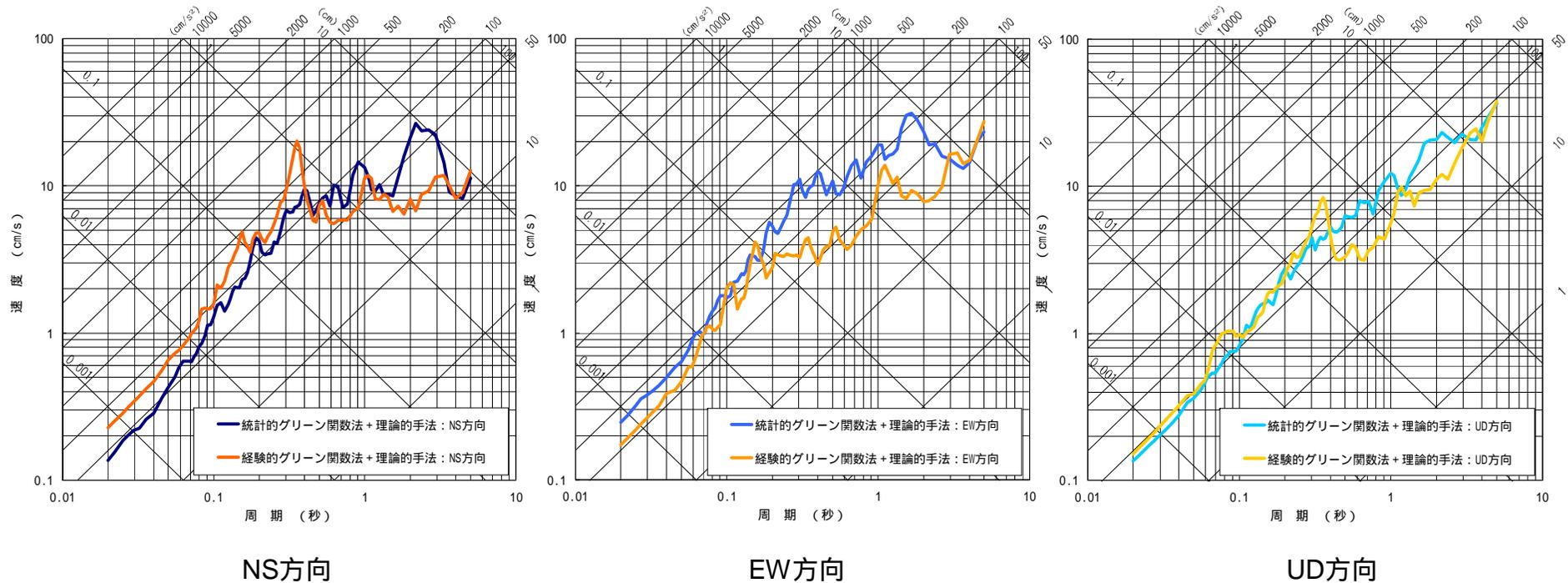


# 経験的手法と統計的手法による結果の比較

短周期側に統計的グリーン関数法を用いたハイブリッド合成法の結果と、短周期側に経験的グリーン関数法を用いたハイブリッド合成法の結果を比較したところ、

周期0.2秒程度以下ではほぼ同レベルの地震動であり、  
 周期0.2秒程度以上では、要素地震の周期特性に起因して、経験的が上回る周期帯もあれば、  
 統計的が上回る周期帯もある

以上のことから総合的に判断すれば、経験的グリーン関数法の結果と統計的グリーン関数法の結果は、ほぼ同程度と評価される。

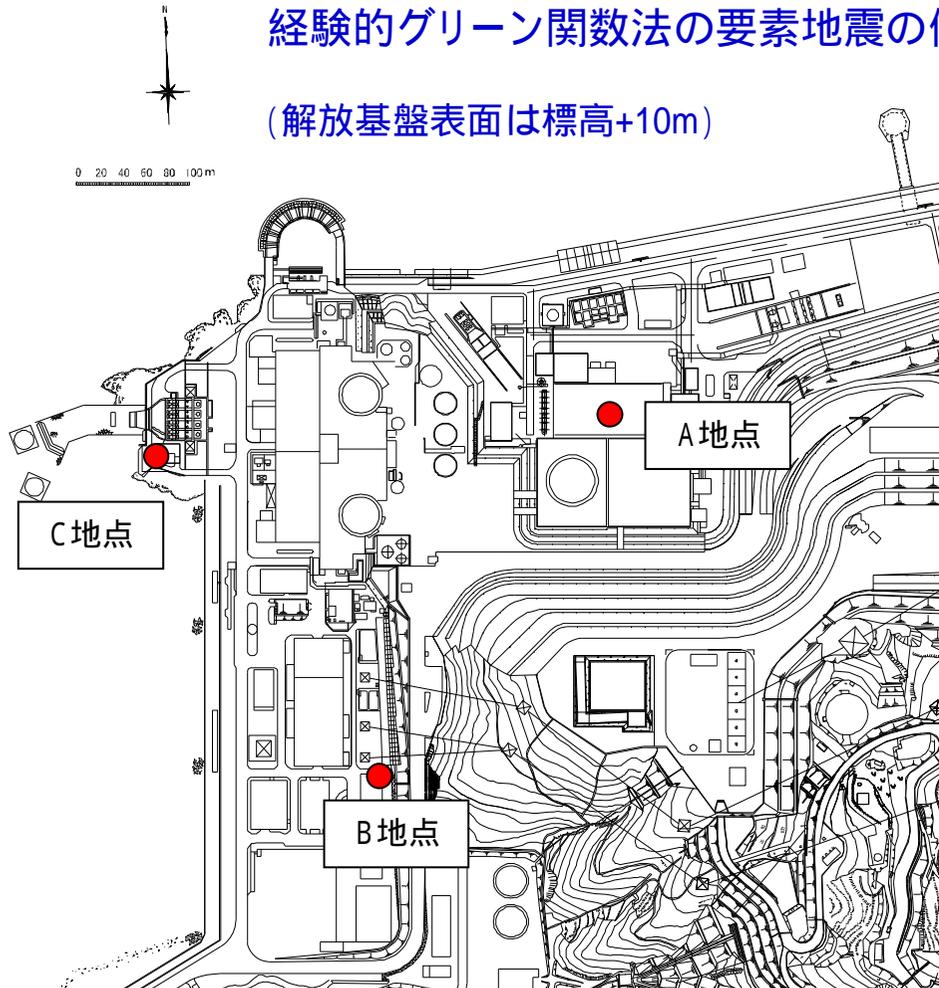


## 5.1.6 要素地震に関する検討

## 【地震計設置位置】

GL-5mまたはGL±0mの観測記録を経験的グリーン関数法の要素地震の候補として検討

(解放基盤表面は標高+10m)



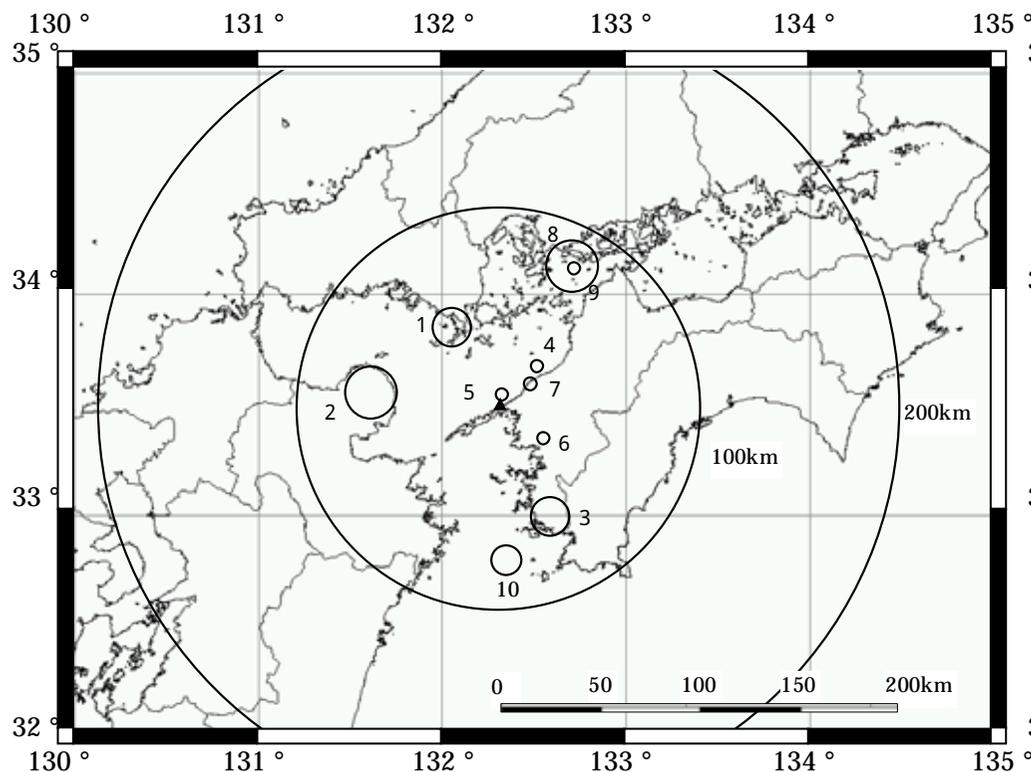
観測点	観測期間
A地点	1975 ~ 1982
B地点	1982 ~ 1994
C地点	1999 ~

標高 (m)	A地点		B地点		C地点	
	地震計	地層	地震計	地層	地震計	地層
+51	GL ▽ ○ GL±0m	第四系	GL ▽ ○ GL-5m	三波川 変成岩 類	GL ▽ ○ GL-5m	三波川 変成岩 類
+10						
+5						
-9	GL-60m ○	三波川 変成岩 類				
-70			GL-80m ○		GL-80m ○	
-150			GL-160m ○		GL-160m ○	
-200						

地震計設置位置図 (配置図)

地震計設置位置図 (柱状図)

## 【主な観測記録】



凡例	
○	5.0 M < 5.5
○	5.5 M < 6.0
○	6.0 M < 6.5
○	6.5 M < 7.0

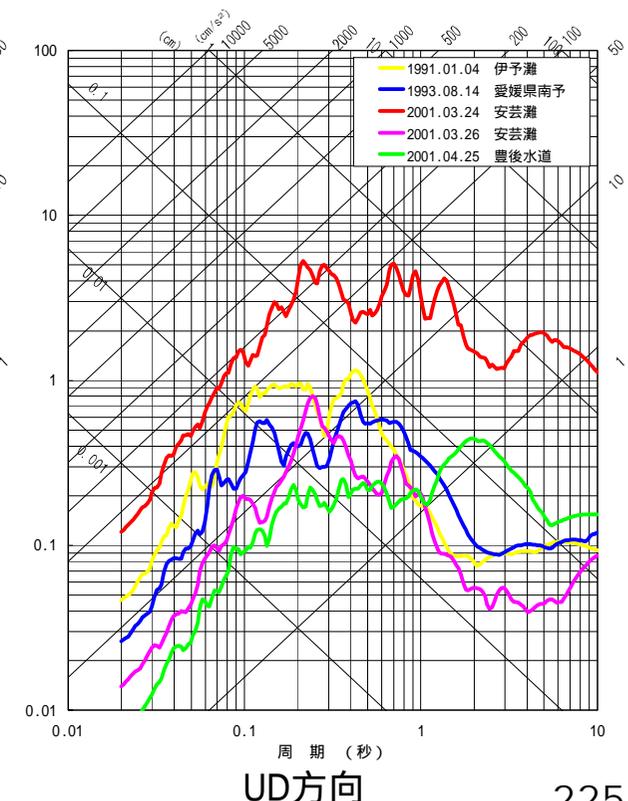
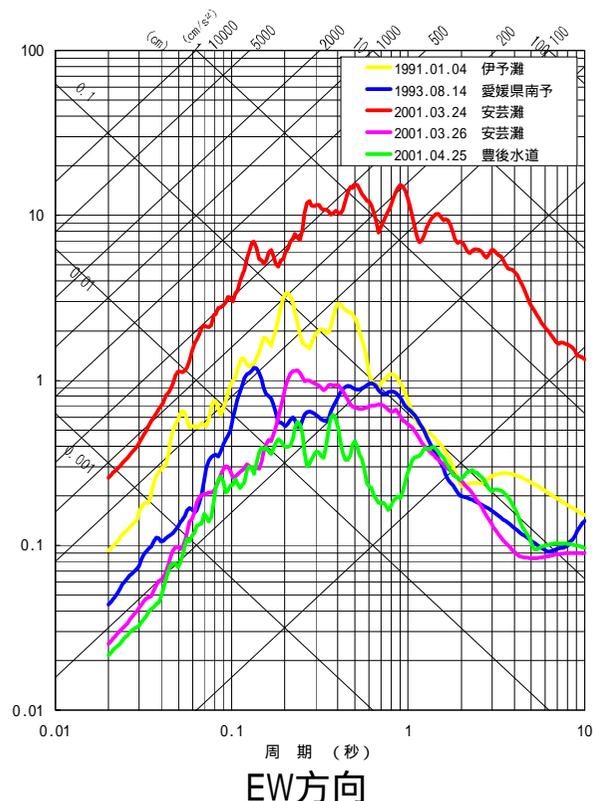
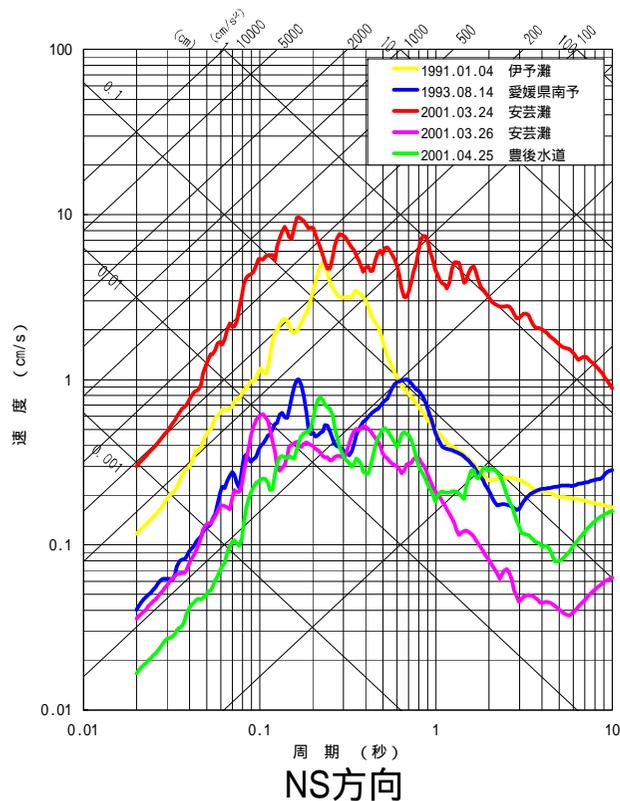
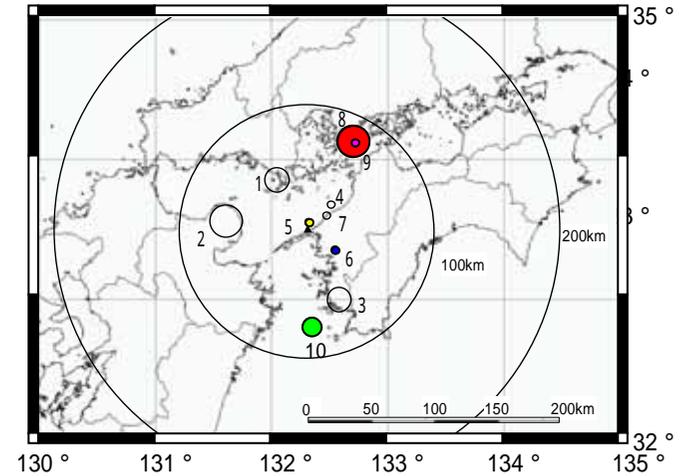
主な観測地震の震央分布

主な観測記録のほとんどが海洋プレート内の地震と考えられる  
大きな内陸地殻内地震の記録はない

番号	震央位置 または地震名	発生日時	M	深さ (km)	震央 距離 (km)
1	周防灘	1979年7月13日	6.0	70	47
2	大分県北部	1983年8月26日	6.6	116	66
3	愛媛県南予	1985年5月13日	6.0	39	61
4	伊予灘	1988年7月29日	5.1	53	28
5	伊予灘	1991年1月4日	5.3	58	6
6	愛媛県南予	1993年8月14日	5.3	47	27
7	伊予灘	1993年8月31日	5.1	62	19
8	2001年芸予地震	2001年3月24日	6.7	46	80
9	安芸灘	2001年3月26日	5.2	46	78
10	豊後水道	2001年4月25日	5.7	39	77

## 【主な観測記録の応答スペクトル】

内陸地殻内地震の記録はないものの、海洋プレート内地震の記録は得られており、観測記録にはサイト特性が含まれる利点がある。  
地震動に影響を与える要因としては、震源特性・伝播特性・サイト特性があるが、サイト特性を既知として評価できる経験的グリーン関数法は有用であると考えられる。  
経験的グリーン関数法の要素地震としては、芸予地震の本震は規模が大きく適切ではないため、到来方向も勘案すると、2001年の地震 および1991年の地震 が要素地震の候補と考えられる。



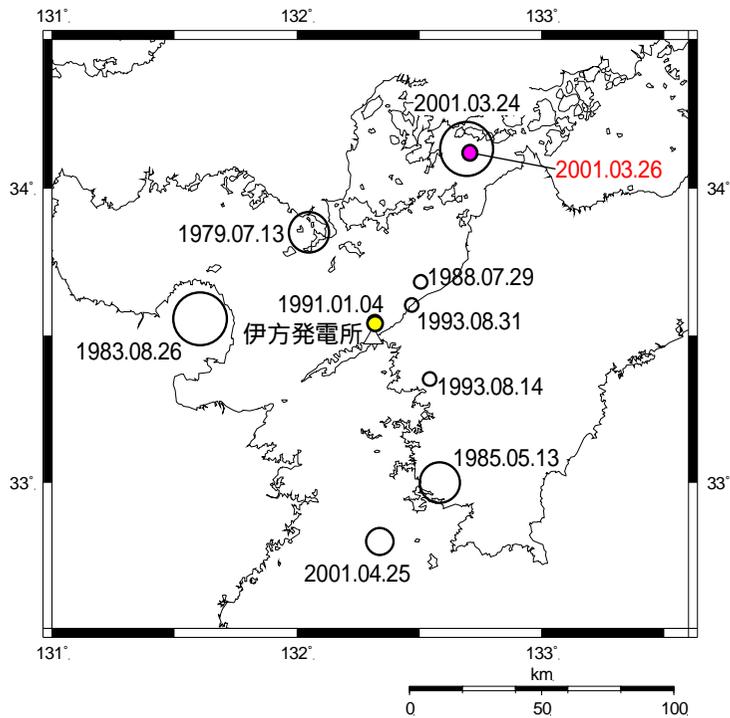
# 要素地震の検討

メカニズムおよびフリースペクトル

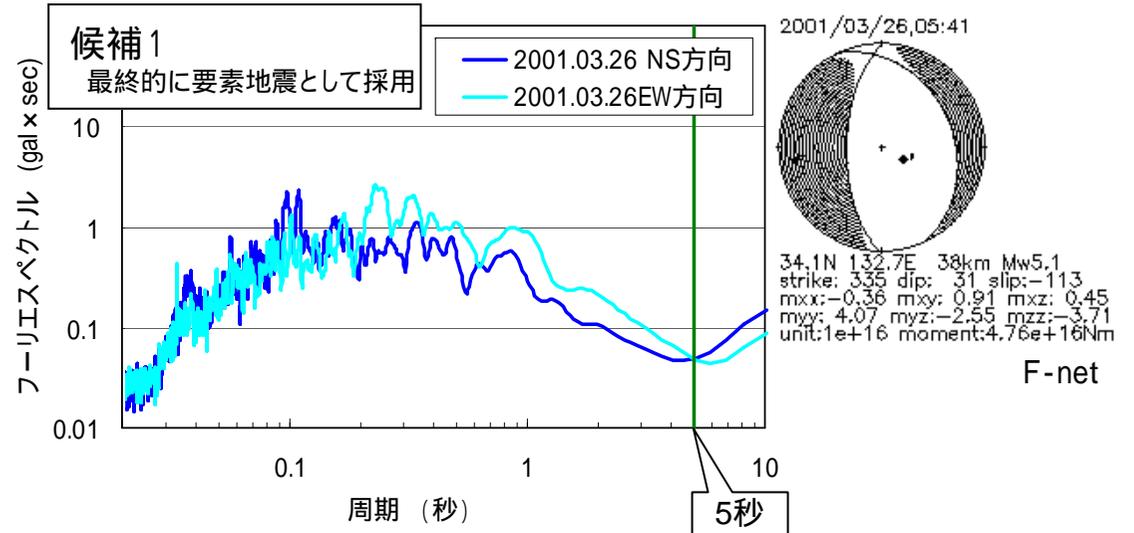
5. 地震動評価  
5.1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

候補とした地震のスペクトルを比較して検証を行う

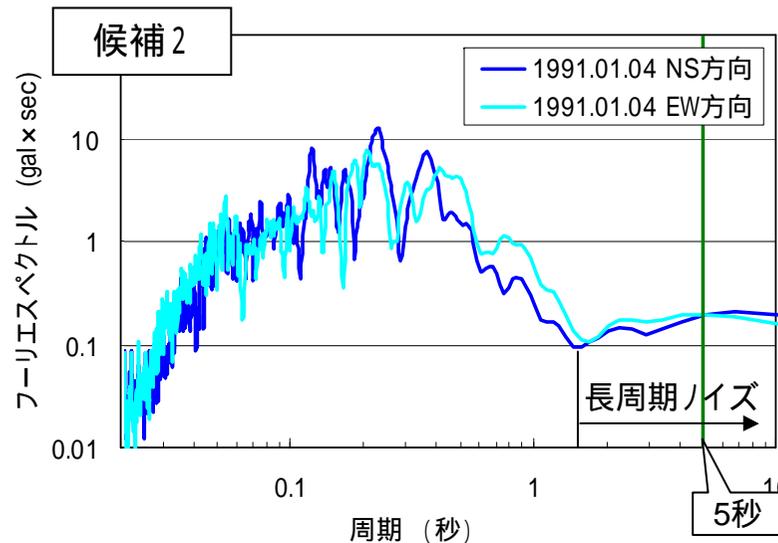
発生日時	深さ(km)	マグニチュード
2001年3月26日	46	5.2
1991年1月4日	58	5.3



2001年3月26日の地震



1991年1月4日の地震



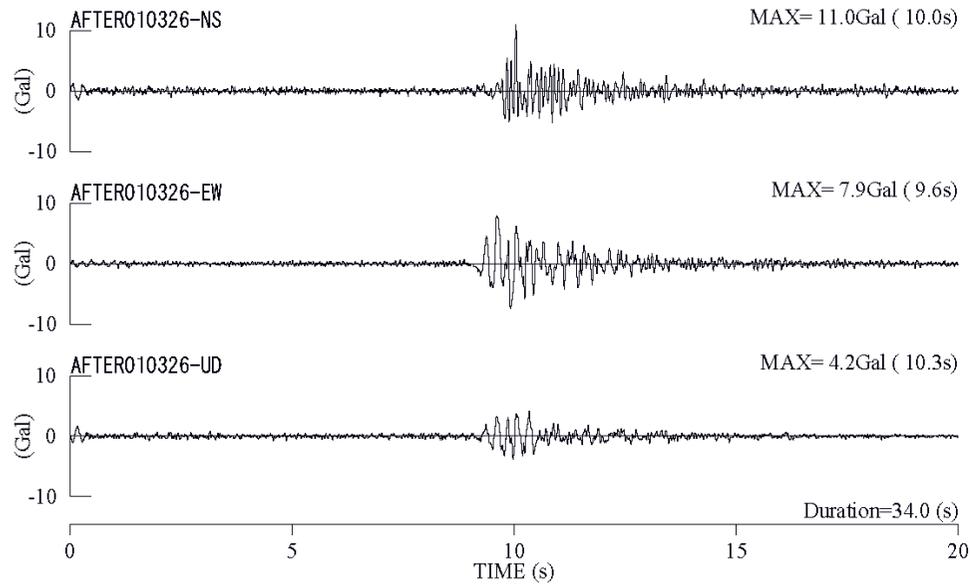
震源位置と深さから正断層タイプの地震と考えられる。地震モーメントは公的機関から公表されていない。

どちらの地震も正断層タイプの地震と考えられる。

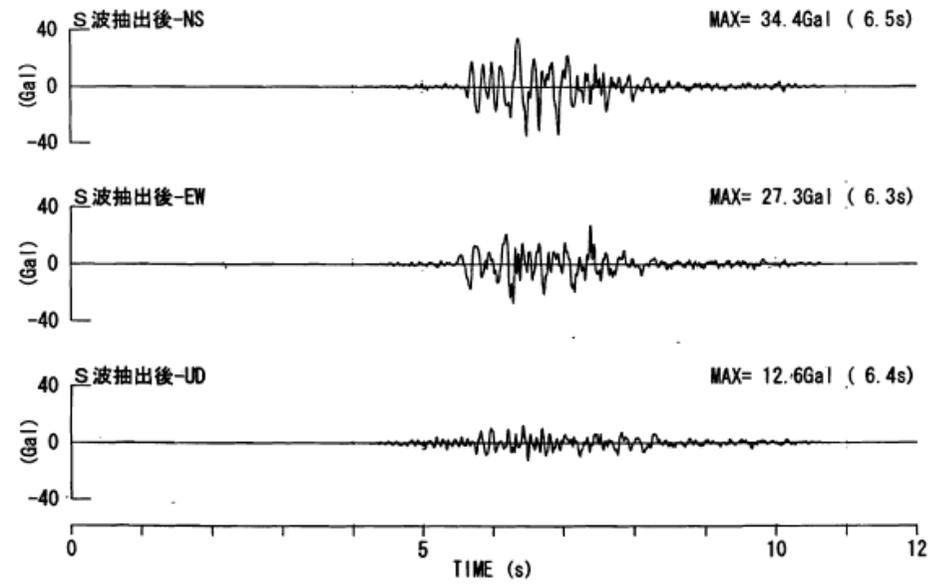
2001年の地震は公的機関で定められた地震モーメントがあるが、1991年の地震にはない。

また、2001年の地震は、長周期信頼限界が周期5秒まで確保できるが、1991年の地震は確保できない。

### 2001年の地震



### 1991年の地震



### 2001年の地震

観測記録を想定断層面内まで距離補正

- 震源距離87km 40kmに、 $1/X$ の幾何減衰で補正

- 敷地近傍で発生したスラブ内地震から同定したQ値を使用

観測記録を媒質補正

スラブ内 ( $v_p=4.0\text{km/s}$ )

内陸地殻内 ( $v_p=3.5\text{km/s}$ )

震源距離40kmの位置で統計的グリーン関数を作成して、補正した観測記録と比較する

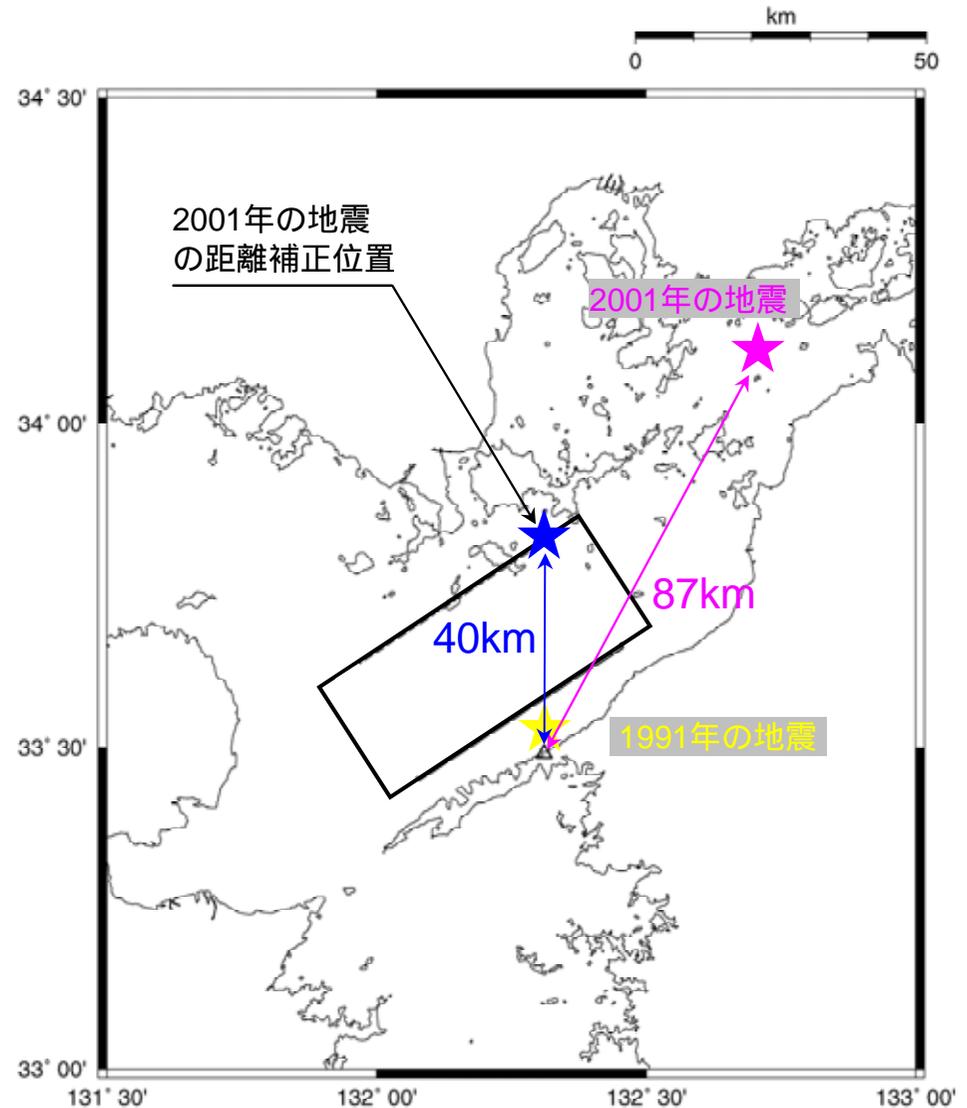
### 1991年の地震

観測記録を媒質補正

スラブ内 ( $v_p=4.0\text{km/s}$ )

内陸地殻内 ( $v_p=3.5\text{km/s}$ )

発生位置(震源距離58km)で統計的グリーン関数を作成し、観測記録と比較する



## 観測記録と同一諸元をもつ統計的グリーン関数の作成

統計的グリーン関数は、下式に基づく点震源の理論スペクトルとBoore(1983)の時刻歴包絡関数により、敷地の解放基盤表面(せん断波速度2600m/s, 密度3.0g/cm<sup>3</sup>)で作成する。

$$A(f) = \frac{F}{4\pi\rho\beta^3} \times \frac{M_0(2\pi f)^2}{1+(f/f_c)^2} \times \frac{1}{r} \times 2 \times \frac{1}{\sqrt{1+(f/f_{\max})^m}} \times e^{-\frac{\pi f r}{Q(f)\beta}} \times \sqrt{\frac{\rho\beta}{\rho_s\beta_s}}$$

$$2\pi f_c = 2\beta \sqrt{\frac{\pi\lambda\sigma}{M_0}}$$

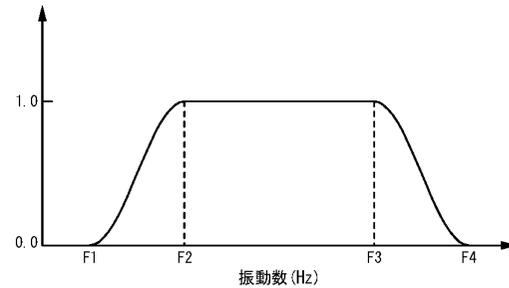
## 2001年の地震の諸元

F: S波の放射特性係数=0.445  
 : 震源における地盤密度=3.265g/cm<sup>3</sup>  
 : 震源におけるS波速度=3.5km/s  
 M<sub>0</sub>: 地震モーメント=3.61e+16Nm (F-netより)  
 f<sub>c</sub>: 臨界振動数  
 r: 震源距離=40km  
 : 円形断層の半径=0.885km  
 : 応力降下量=22.7MPa  
 f<sub>max</sub>: 高周波遮断振動数=6Hz  
 m: 高周波遮断後の勾配=4  
 Q(f): Q値=150f<sup>0.75</sup> 中村・植竹(2002)  
 s: 観測点における地盤密度=3.0g/cm<sup>3</sup>  
 s: 観測点におけるS波速度=2.6km/s

## 1991年の地震の諸元

F: S波の放射特性係数=0.445  
 : 震源における地盤密度=3.265g/cm<sup>3</sup>  
 : 震源におけるS波速度=3.5km/s  
 M<sub>0</sub>: 地震モーメント=8.50e+16Nm  
 (M<sub>w</sub>=M<sub>j</sub>としてKanamori(1977)より算出)  
 f<sub>c</sub>: 臨界振動数  
 r: 震源距離=58km  
 : 円形断層の半径=0.790km  
 : 応力降下量=75.8MPa  
 f<sub>max</sub>: 高周波遮断振動数=6Hz  
 m: 高周波遮断後の勾配=4  
 Q(f): Q値=150f<sup>0.75</sup> 中村・植竹(2002)  
 s: 観測点における地盤密度=3.0g/cm<sup>3</sup>  
 s: 観測点におけるS波速度=2.6km/s

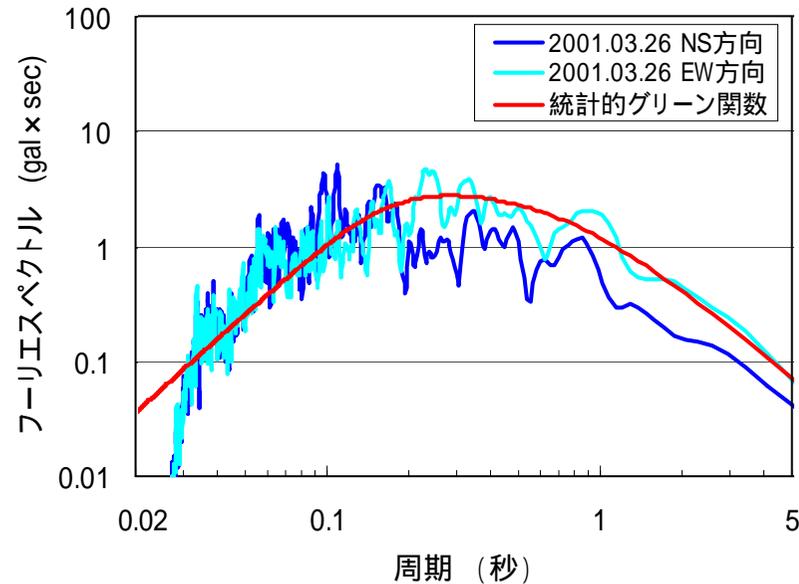
観測記録を媒質補正したフーリエスペクトルと(2001年の地震については距離補正も実施), 統計的グリーン関数のフーリエスペクトルを比較する。観測記録には下記に示すフィルタ処理を施した。



観測記録に適用したフィルタ

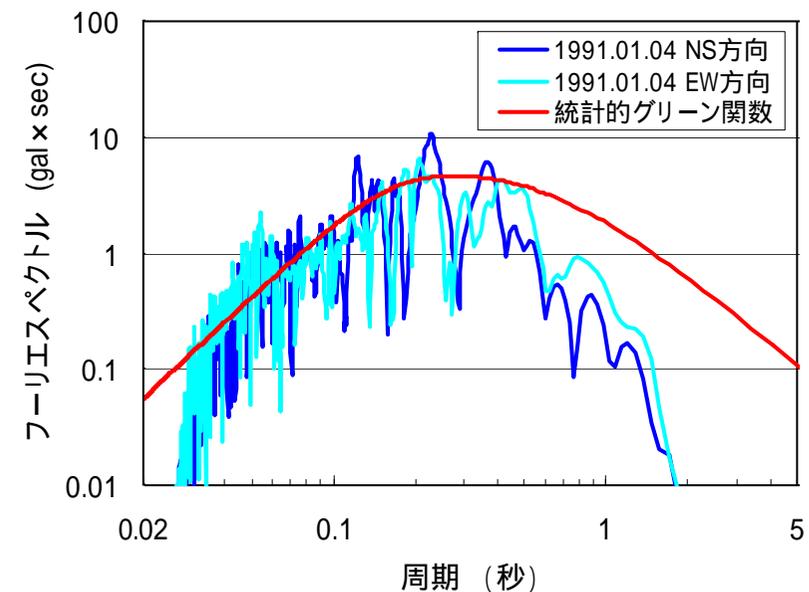
	F1	F2	F3	F4
2001年の地震	0.2Hz (5.0s)	0.25Hz (4.0s)	30Hz (0.033s)	40Hz (0.025s)
1991年の地震	0.5Hz (2.0s)	0.7Hz (1.429s)	30Hz (0.033s)	40Hz (0.025s)

### 2001年の地震



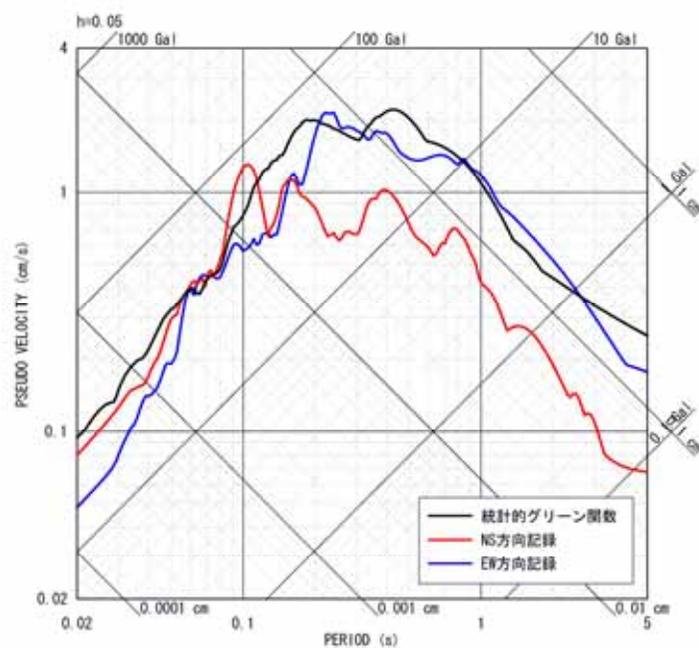
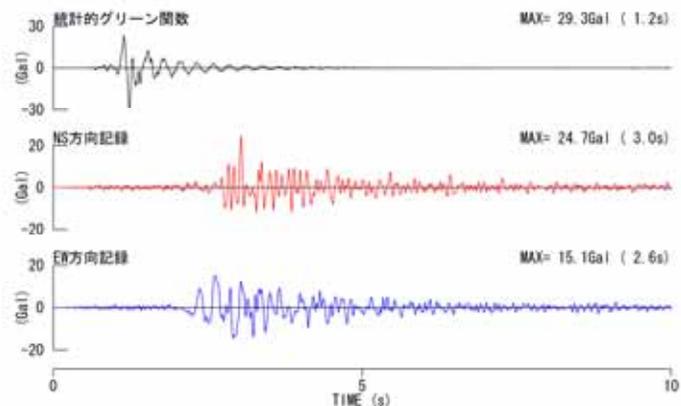
NS成分の周期0.2秒以上を除けば, 観測記録と統計的グリーン関数は整合的。

### 1991年の地震



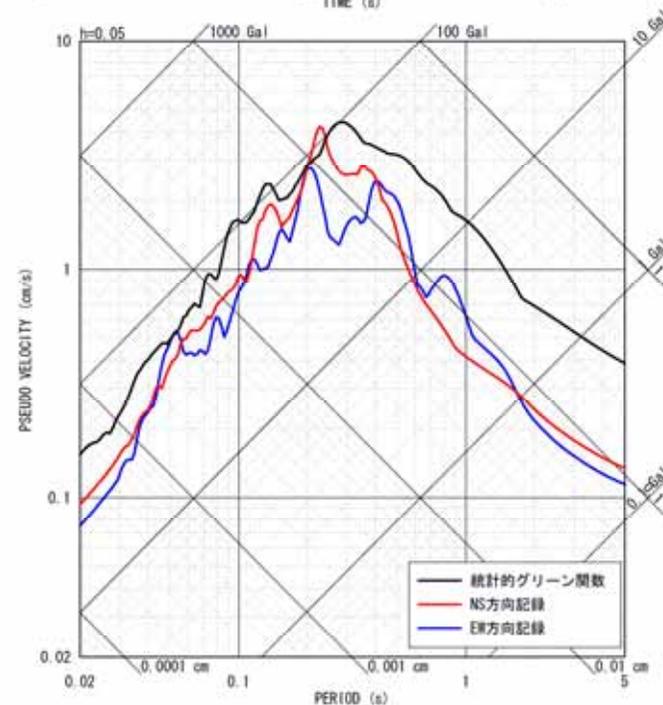
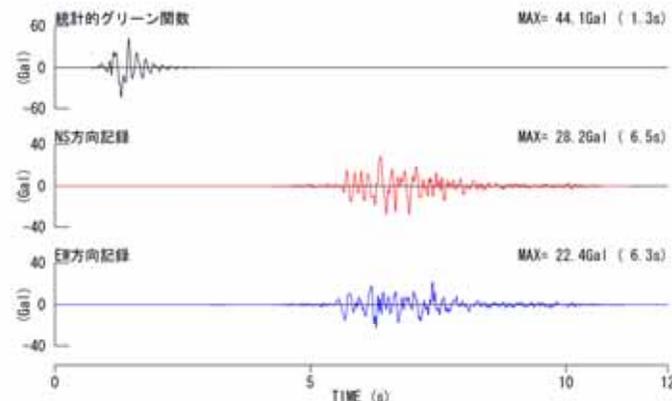
観測記録はNS・EWともに周期0.5秒以上で統計的グリーン関数よりも小さい。

### 2001年の地震



NS成分の周期0.2秒以上を除けば、観測記録と統計的グリーン関数は整合的。観測記録のNS成分は、主要機器の固有周期がある周期0.1秒付近のパワーを有する。

### 1991年の地震

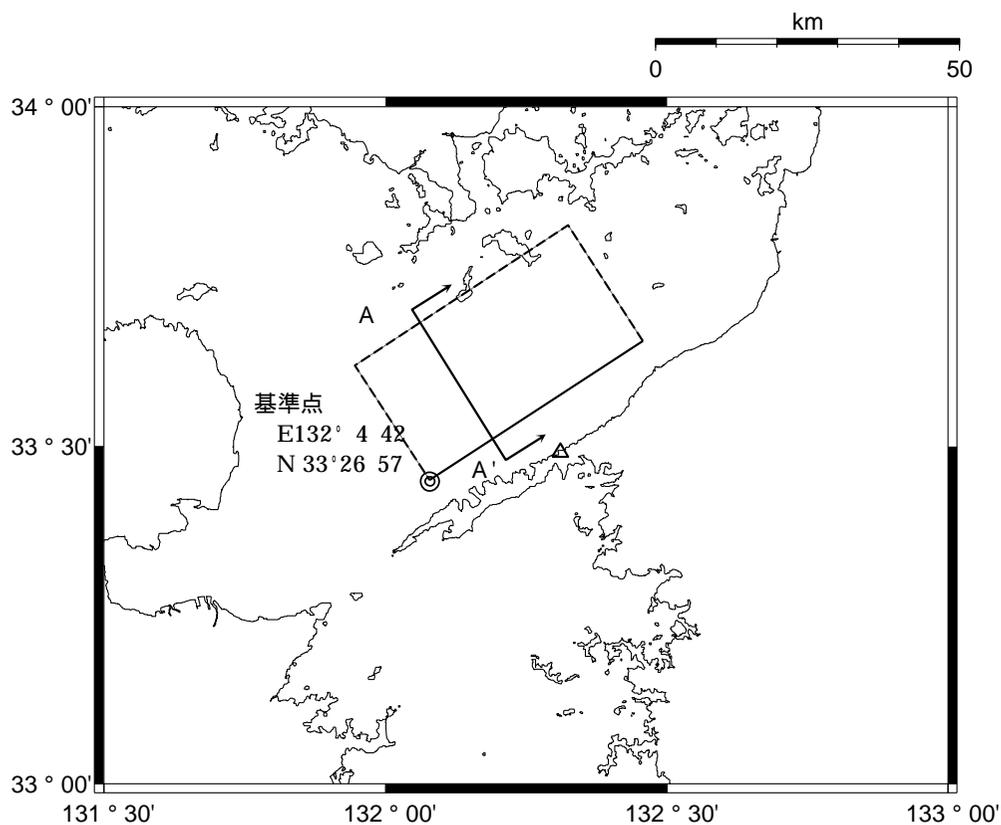


観測記録はNS・EWともに周期0.5秒以上で統計的グリーン関数よりも小さい。

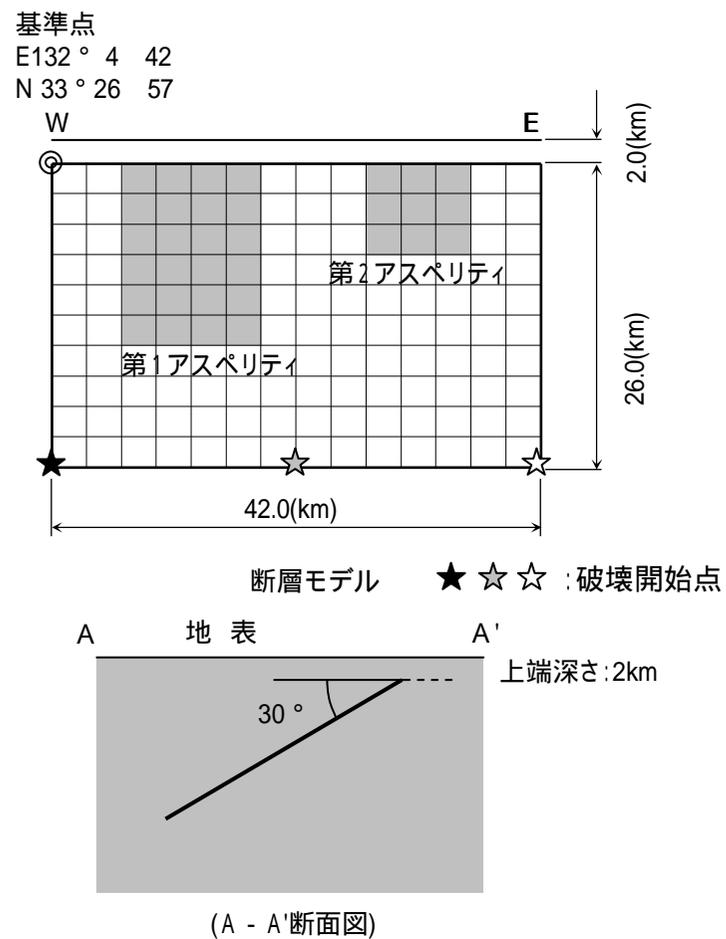
# 地震動の試算・要素地震の違いによる影響

5. 地震動評価  
 5.1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

2つの要素地震を用いて経験的グリーン関数法で敷地における地震動評価を行い、算出される地震動の特徴を検証する。検討ケースは、断層長さ42km・傾斜角30度とする。



断層位置図



# 地震動の試算・要素地震の違いによる影響

5. 地震動評価  
5.1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

## 試算ケース(断層長さ42km・傾斜角30度)のパラメータ

断層パラメータ	記号	設定値	根拠
断層位置	-	東経: 132° 42' 北緯: 33° 26' 57"	
走向		N57E	
傾斜角		30°	
断層長さ	L	42.0 km	
断層幅	W	26.0 km	
断層面積	S	1092.0 km <sup>2</sup>	
断層上端深さ	H	2.0km	
破壊伝播形式	-	同心円状	
応力降下量		3.3MPa	楕円クラック
地震モーメント	M <sub>0</sub>	6.63 × 10 <sup>19</sup> N・m	入倉・三宅(2001)
モーメントマグニチュード	M <sub>W</sub>	7.1	Kanamori(1977)
気象庁マグニチュード	M <sub>J</sub>	7.6	武村(1998)
剛性率	μ	4.0 × 10 <sup>10</sup> N/m <sup>2</sup>	
平均すべり量	D	152 cm	D=M <sub>0</sub> /(μ S)
S波速度		3.5 km/s	
破壊伝播速度	V <sub>R</sub>	2.5 km/s	Geller(1976)
短周期レベル	A'	2.13 × 10 <sup>19</sup> N・m/s <sup>2</sup>	4 (S/ ) <sup>1/2</sup> . 2

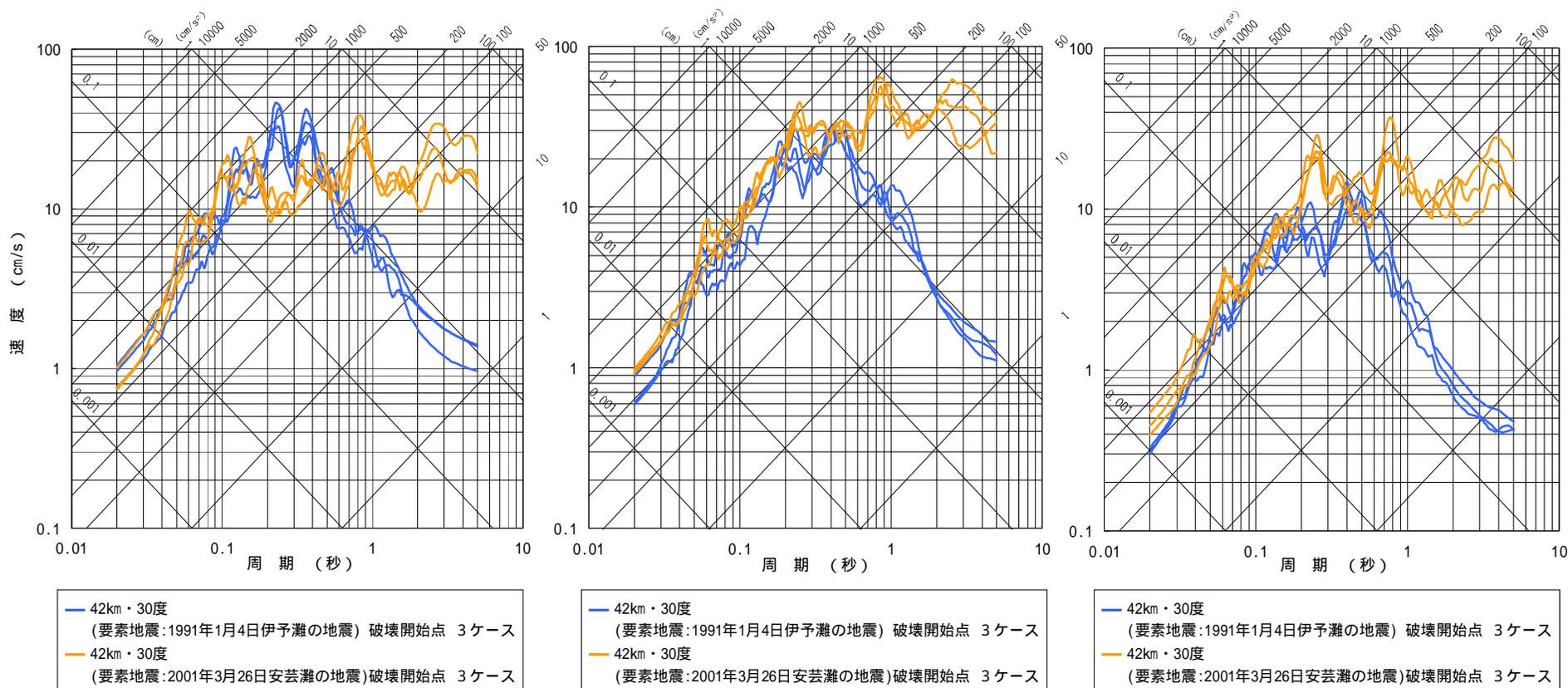
断層パラメータ	記号	設定値	根拠	
全アスペリティ	地震モーメント	M <sub>0a</sub>	2.92 × 10 <sup>19</sup> N・m	M <sub>0a</sub> = μ D <sub>a</sub> S <sub>a</sub>
	面積	S <sub>a</sub>	240.2 km <sup>2</sup>	S <sub>a</sub> = S × 22%
	平均すべり量	D <sub>a</sub>	304 cm	D <sub>a</sub> = 2.0 × D
	応力降下量	a	14.8 MPa	a = /0.22
第1アスペリティ	地震モーメント	M <sub>0a1</sub>	2.37 × 10 <sup>19</sup> N・m	S <sup>1.5</sup> 比で配分
	面積	S <sub>a1</sub>	174.7 km <sup>2</sup>	S <sub>a1</sub> = S × 16%
	平均すべり量	D <sub>a1</sub>	340 cm	D <sub>a1</sub> = M <sub>0a1</sub> / (μ S <sub>a1</sub> )
	実効応力	a1	14.8 MPa	a1 = a
第2アスペリティ	地震モーメント	M <sub>0a2</sub>	5.45 × 10 <sup>18</sup> N・m	S <sup>1.5</sup> 比で配分
	面積	S <sub>a2</sub>	65.5 km <sup>2</sup>	S <sub>a2</sub> = S × 6%
	平均すべり量	D <sub>a2</sub>	208 cm	D <sub>a2</sub> = M <sub>0a2</sub> / (μ S <sub>a2</sub> )
	実効応力	a2	14.8 MPa	a2 = a
背景領域	地震モーメント	M <sub>0b</sub>	3.71 × 10 <sup>19</sup> N・m	M <sub>0b</sub> = M <sub>0</sub> - M <sub>0a</sub>
	面積	S <sub>b</sub>	851.8 km <sup>2</sup>	S <sub>b</sub> = S - S <sub>a</sub>
	平均すべり量	D <sub>b</sub>	109 cm	D <sub>b</sub> = M <sub>0b</sub> / (μ S <sub>b</sub> )
	実効応力	b	3.0 MPa	b = 0.2 × a

# 地震動の試算・要素地震の違いによる影響

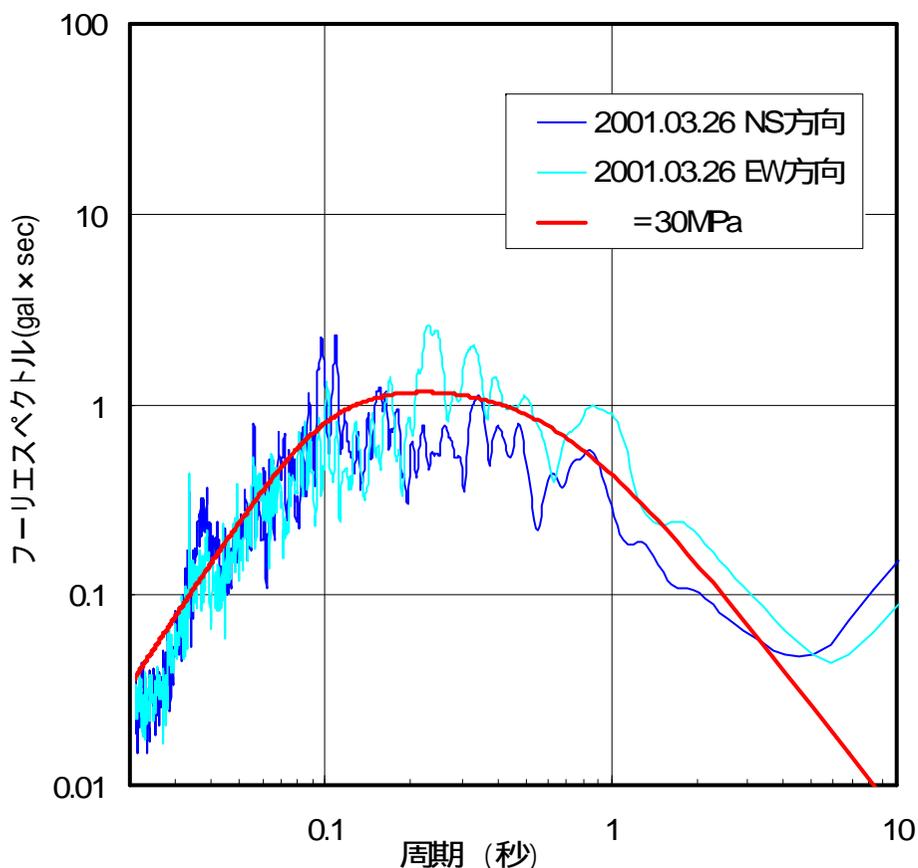
要素地震がかわっても、短周期側の地震動は大きくは変わらない結果となった。細かく評価すると、NS成分の周期0.05～0.1秒など、部分的には2001年の地震の方が地震動が大きいところがある。(主要な機器の固有周期は0.05～0.1秒付近にあり影響が大きい)

両者の結果を対比して最も顕著なのは長周期側であり、1991年の地震を採用した場合には周期約0.5秒以上で急激に落ち込む結果となった。

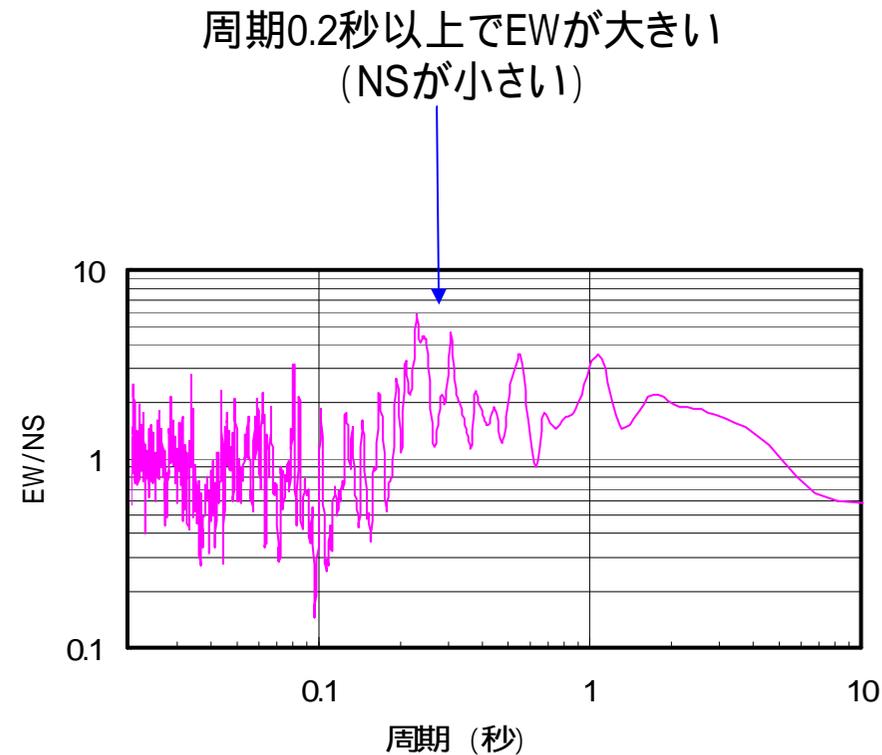
：1991年伊予灘の地震， ：2001年安芸灘の地震



2001年の地震は、周期0.2秒以上でNS成分が小さい特徴があるが、その要因分析を行う。

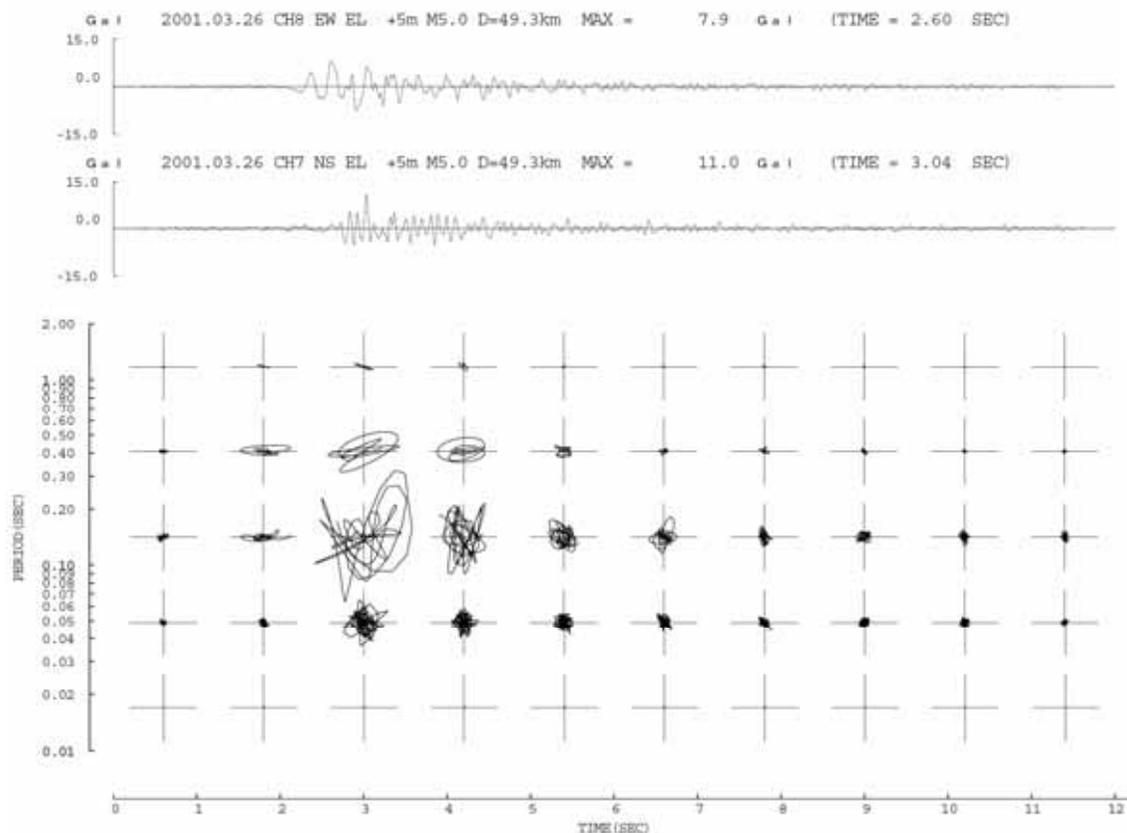


要素地震のフーリエスペクトル



フーリエ振幅のEW/NS比

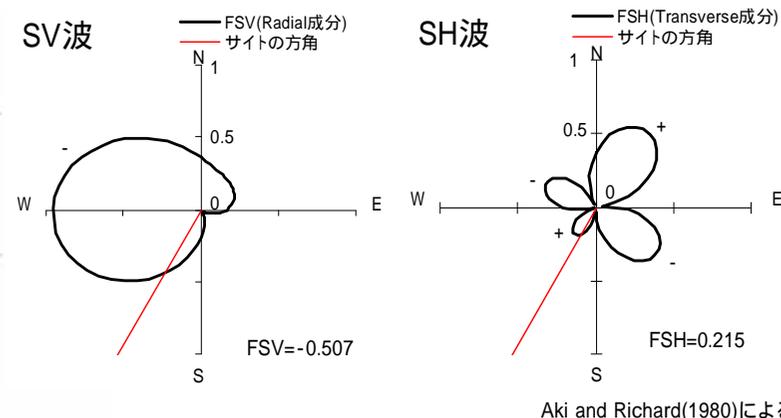
## 水平方向の加速度オービット



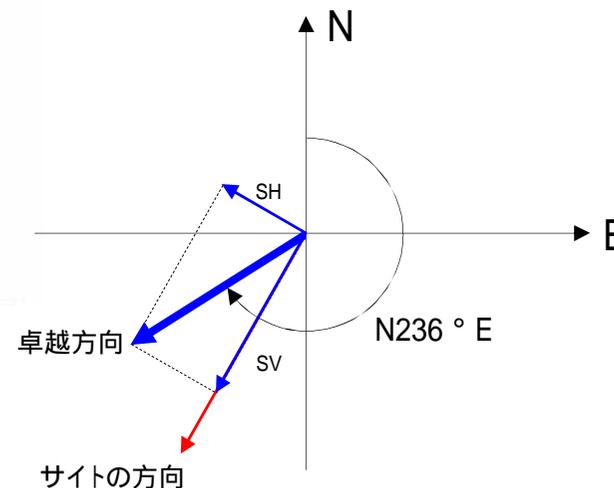
周期0.5秒付近の成分で東西方向の卓越が見られる。  
これは、ラディエーションから推定される卓越方向とは異なる。  
したがって、EWの卓越は震源特性ではないと思われる。

また、短周期領域には特異な方位性はみられない。

## ラディエーション係数



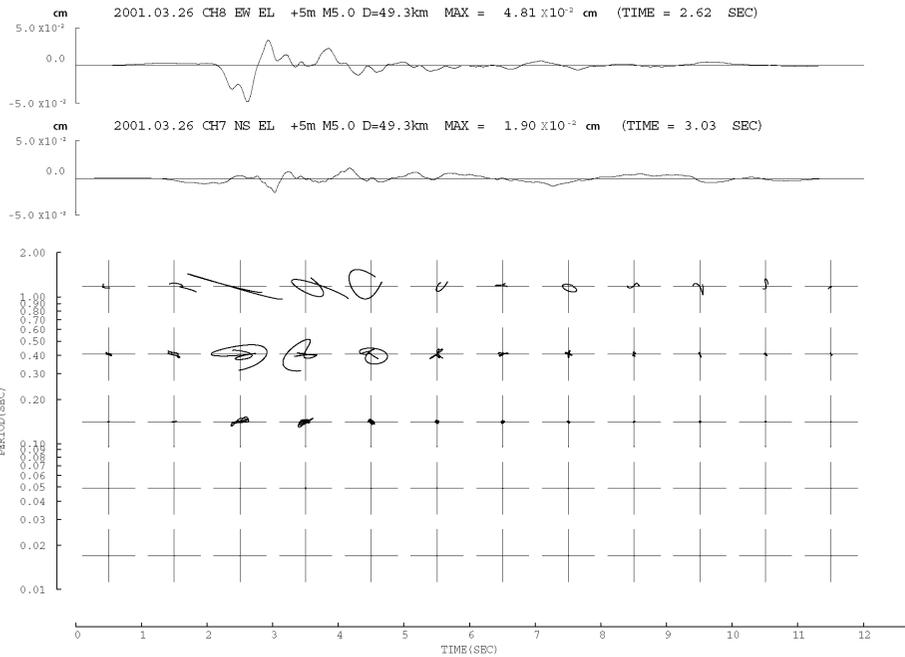
## ラディエーション係数から求めた卓越方向



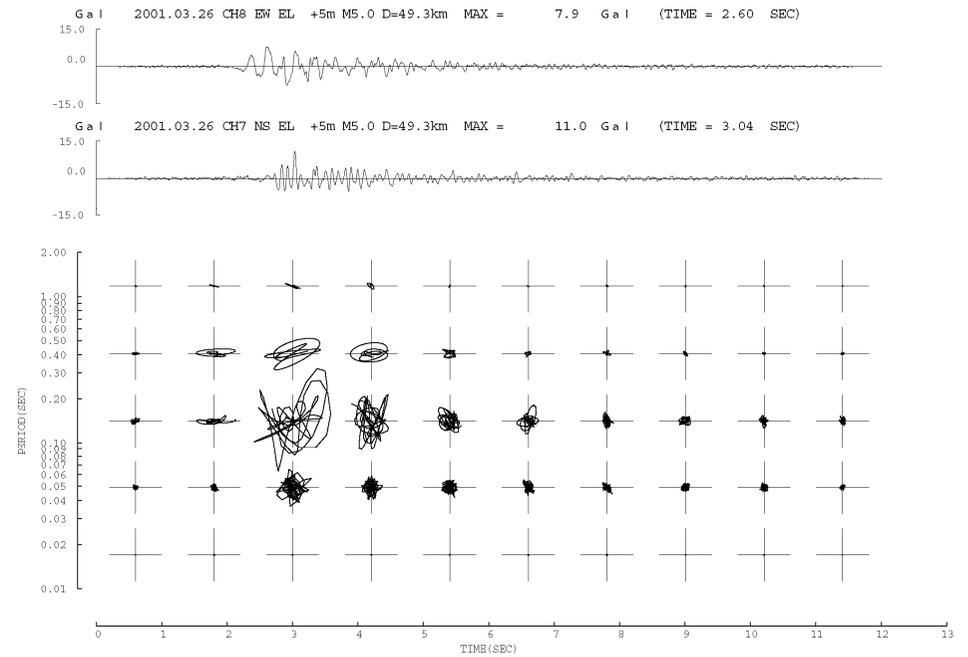
S波のラディエーション係数と、敷地への直達波の入射角(51.4°:水平成層構造を仮定して算出)から、敷地においてS波が卓越する方向を算定するとN236°Eとなる。

# S波の変位オービット

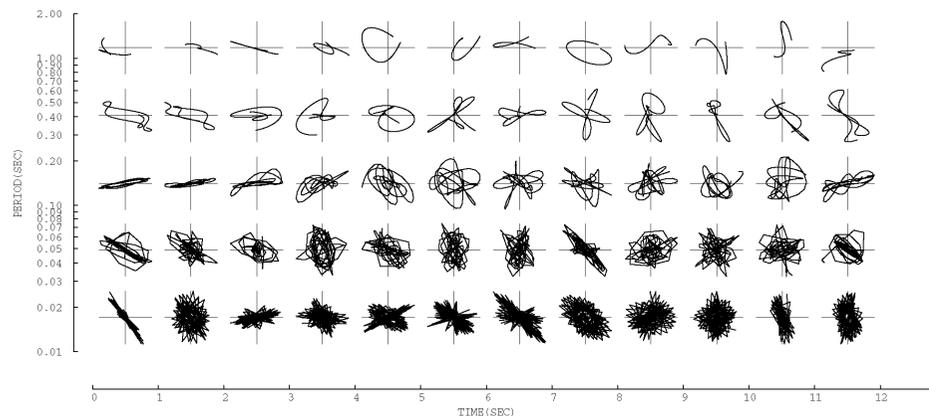
## 変位



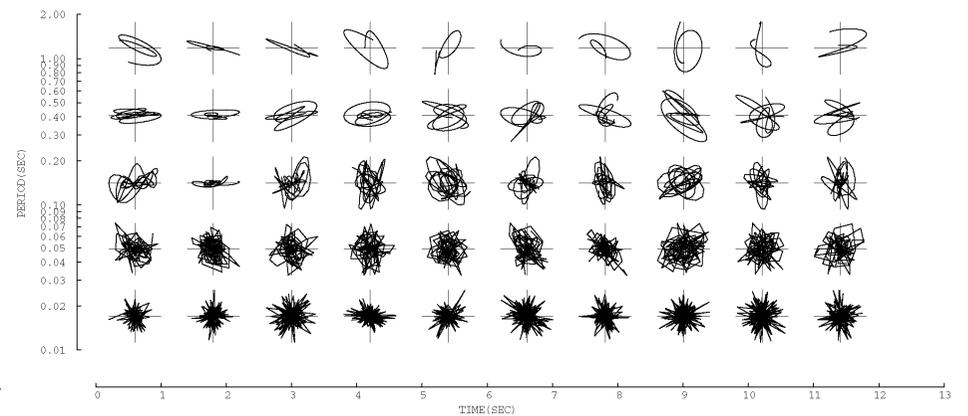
## 加速度(再掲)



各オービット毎にフルスケール表示

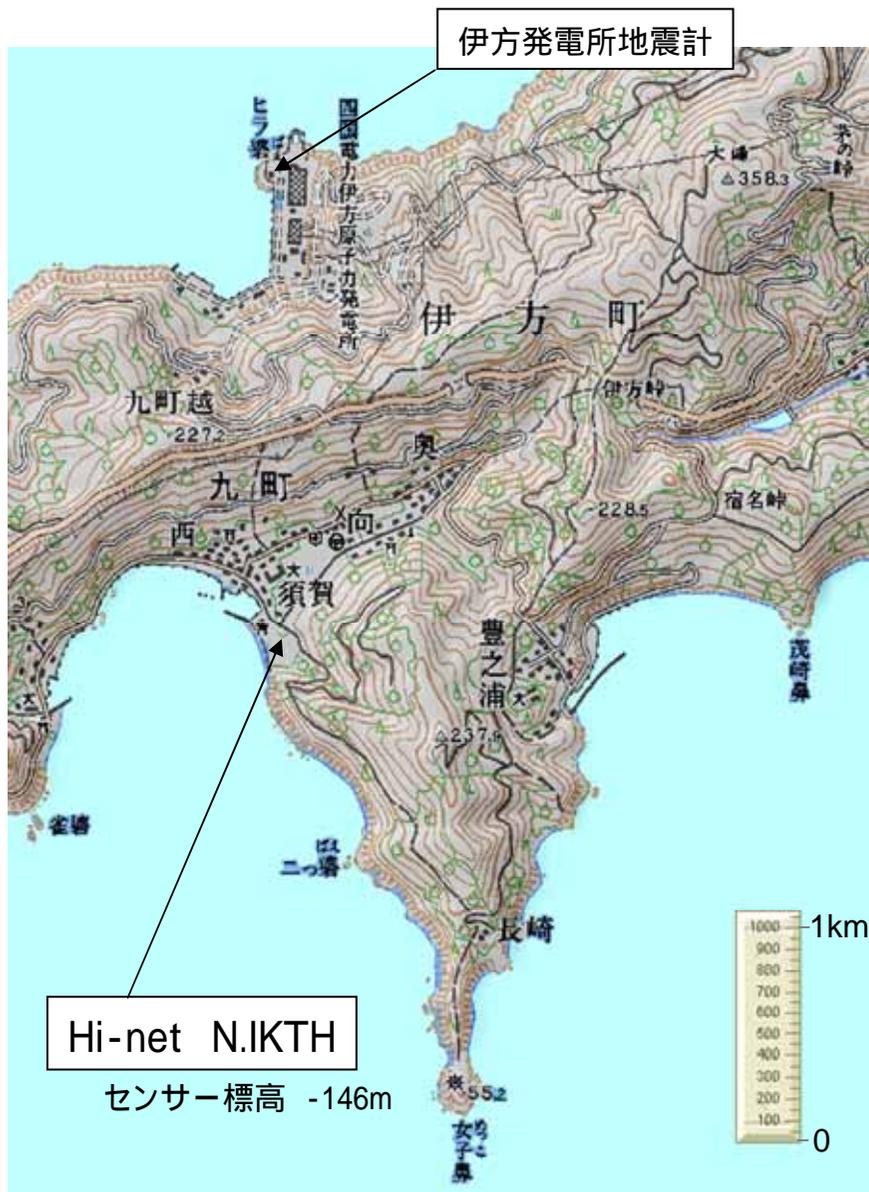


各オービット毎にフルスケール表示

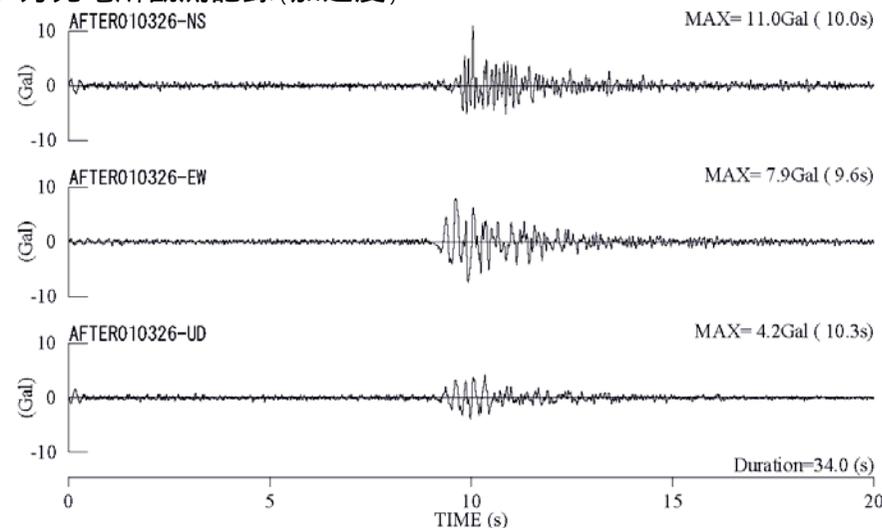


# P波の速度オービット

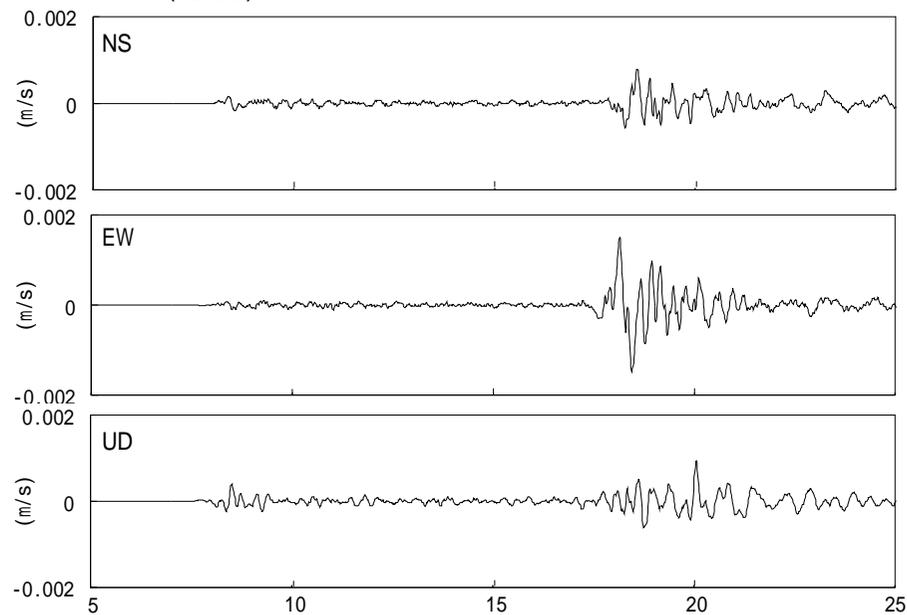
敷地強震計ではP波初動を記録できていないため(遅延時間の設定が10秒), Hi-net伊方の地中の速度波形を用いてP波のオービットの検討を行う。



伊方発電所観測記録(加速度)

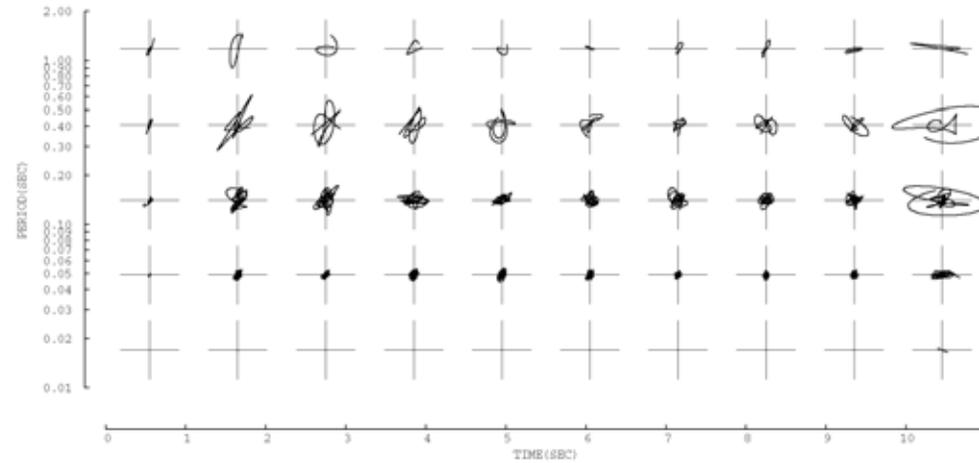
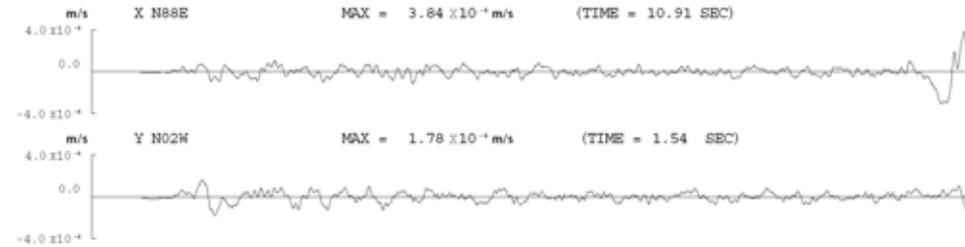
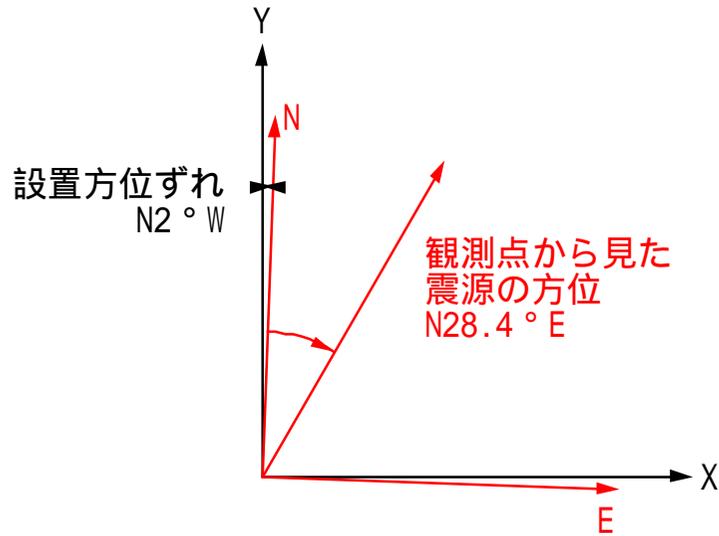


Hi-net伊方(速度)

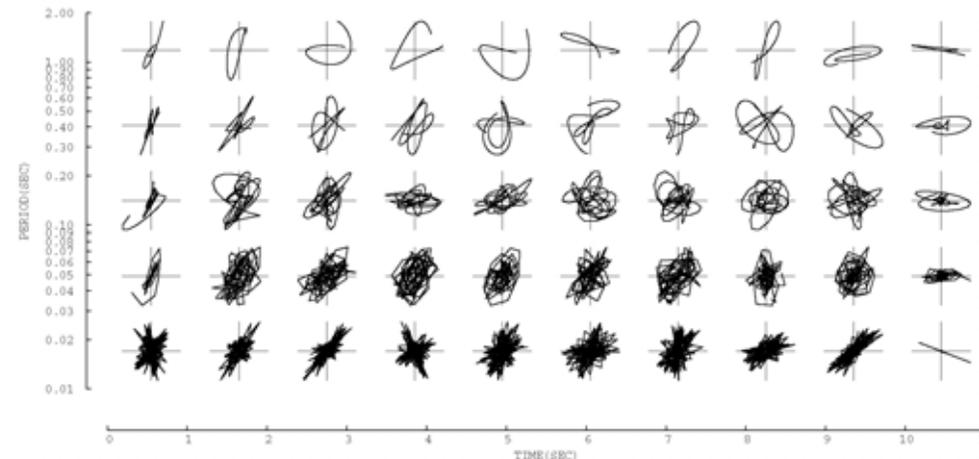


# P波の速度オービット

P波初動の振動方向は、震源と敷地の方向にほぼ一致する。



各オービット毎にフルスケール表示



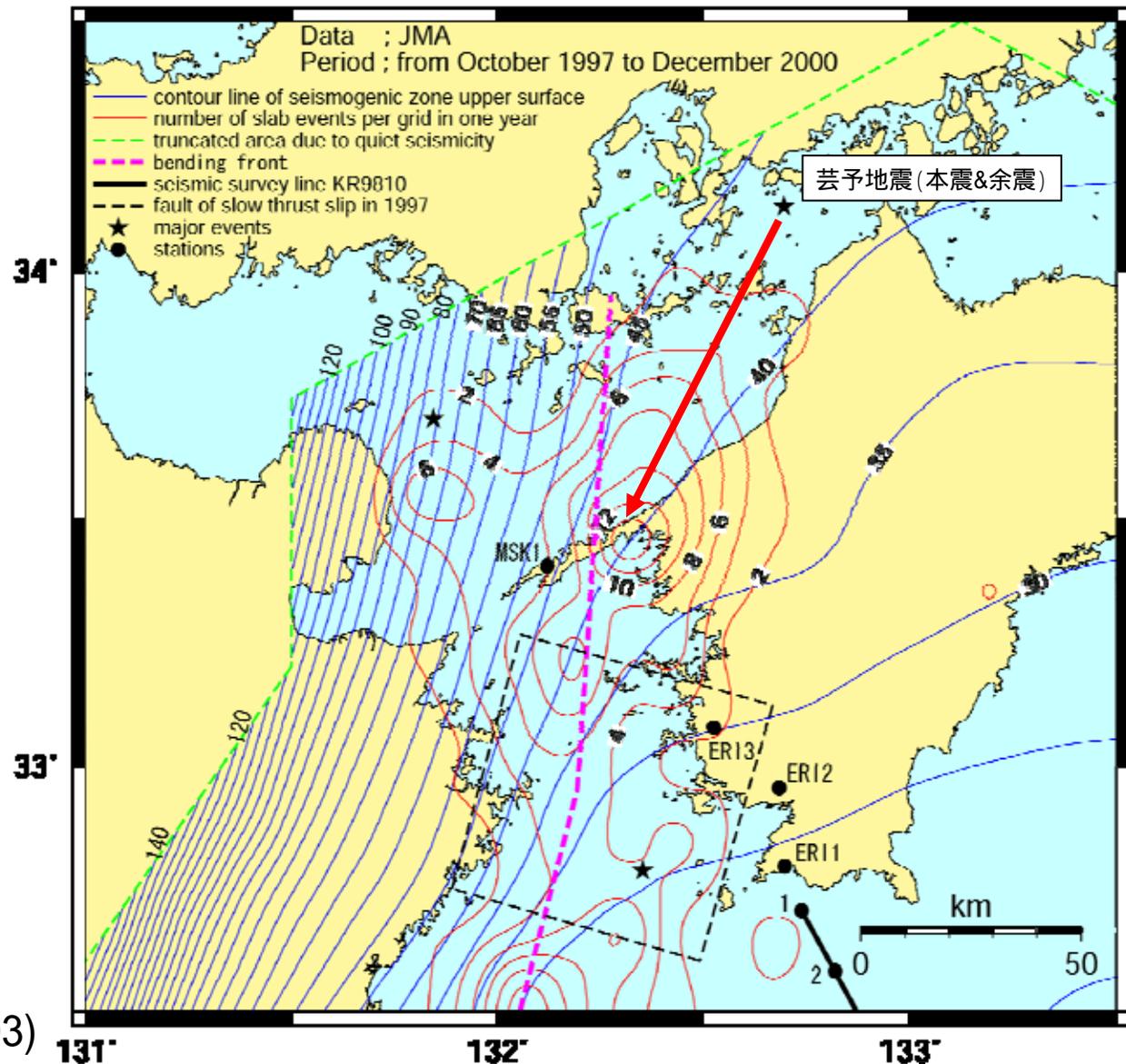
## レイトレーシング

P波初動の振動方向は、震源と敷地との方向とほぼ一致している。

これより、3次元的な伝播（プレート形状に起因する地震波の回り込み）の影響は大きくは受けていないと考えられる。

また、震源と敷地との方向は、プレート上面等深線とほぼ並行している。

そこで、地盤を水平成層とみなして、震源とサイトを通る鉛直断面に対する2次元のレイトレーシングを行なった。

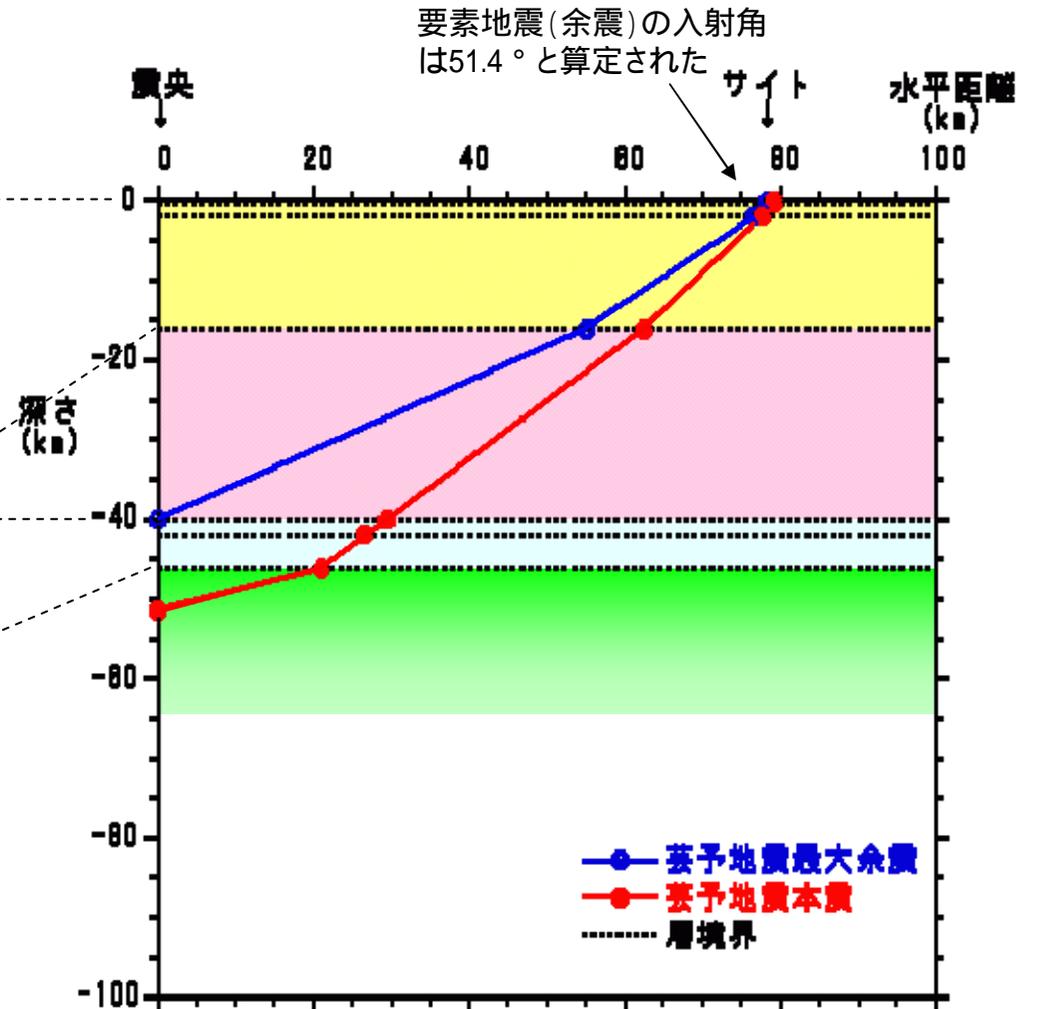


松崎ほか(2003)

# レイトレーシング

理論計算に用いた地盤構造モデルから水平成層構造を仮定して、直達波における震源から敷地への入射角をSnellの法則に基づいて算定した。

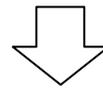
層上面 (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	Q値	区分
0	5300	2600	3000	50	上部地殻
10	5500	2700	3000	50	
200	5700	2800	3000	190	
2000	6100	3500	3000	230	
16000	6700	3870	2800	400	下部地殻
40000	6600	3820	2800	400	海洋性地殻1
42000	6700	3870	2900	400	海洋性地殻2
46000	8000	4620	3200	1200	海洋マントル



震源深さはF-netの値を採用した。



要素地震の伝播特性を詳しく見てみるため、放射特性の検討として、オービットの検討を行った。



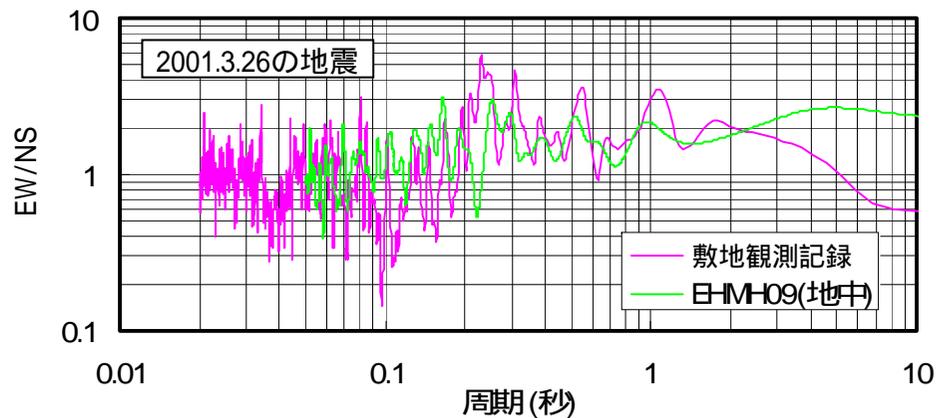
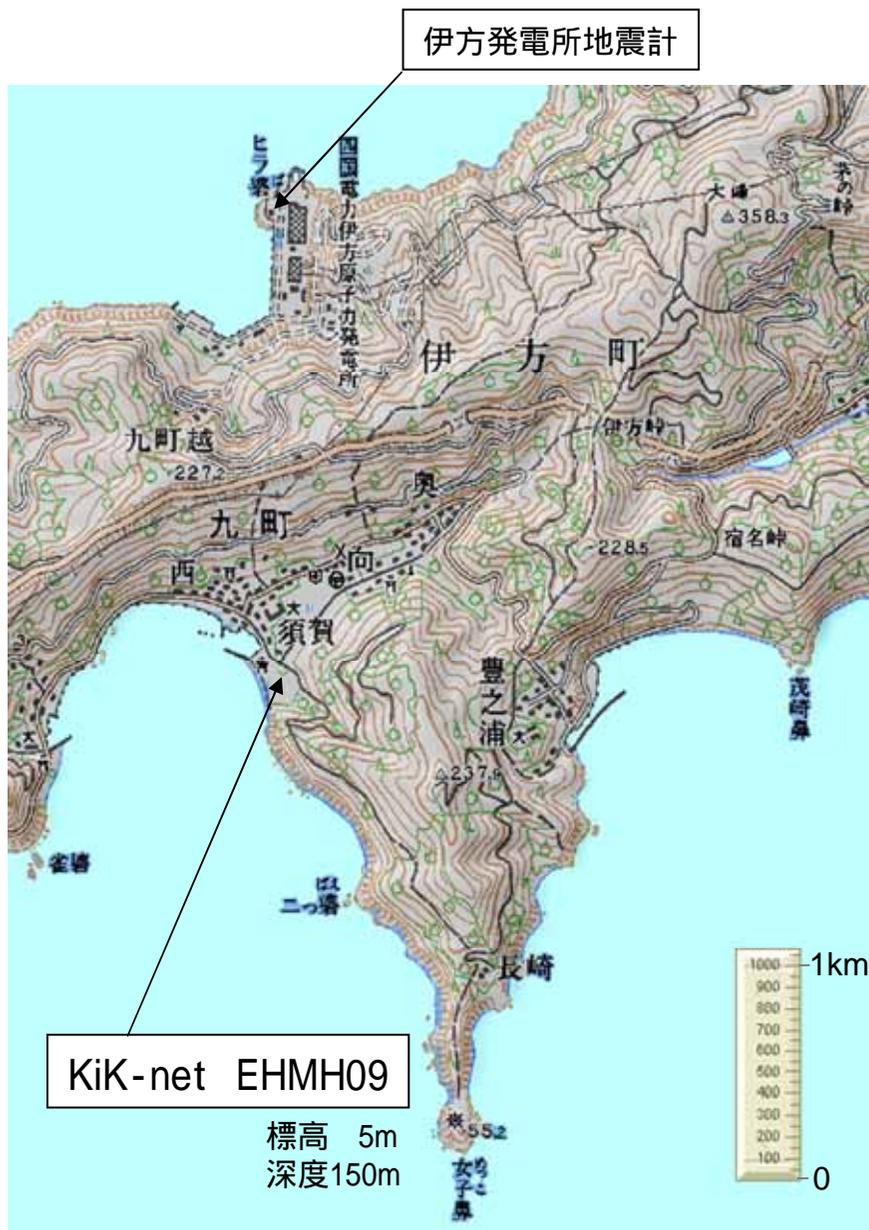
その結果、P波初動の振動方向が震源と敷地との方向とほぼ一致していることから、3次元的な伝播の影響は大きくは受けていない(プレート形状に起因する地震波の回り込みはない)と考えられる。

さらに、地盤を水平成層とみなして、震源とサイトを通る鉛直断面に対する2次元のレイトレーシングを行ない入射角の推定を行った結果も示した。

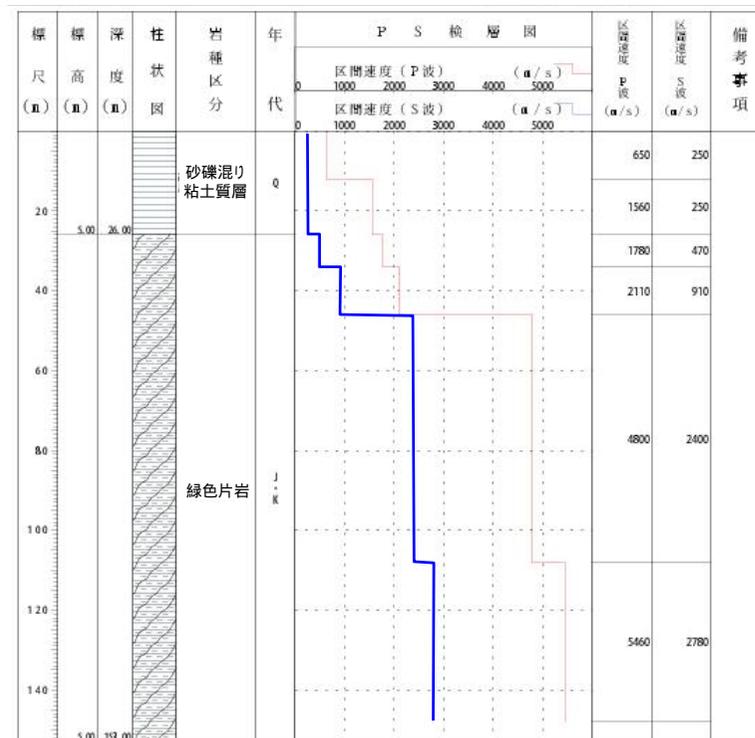
# 2001年の地震の検討(その3) 近傍のKiK-net観測記録との比較

5. 地震動評価  
 5.1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

敷地南方約2kmにある, KiK-net伊方観測点の地中記録と比較する



KiK-netでも敷地観測記録と同様のEWの卓越がみられる  
 サイト特性ではないと考えられる

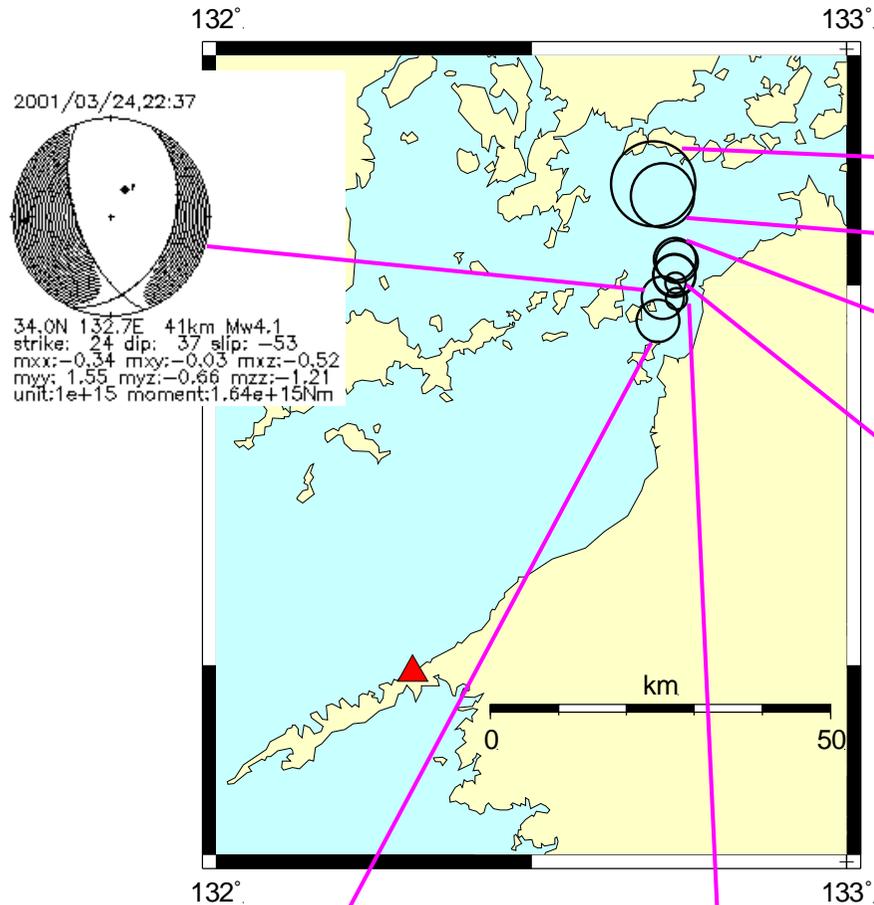


# 2001年の地震の検討(その3)

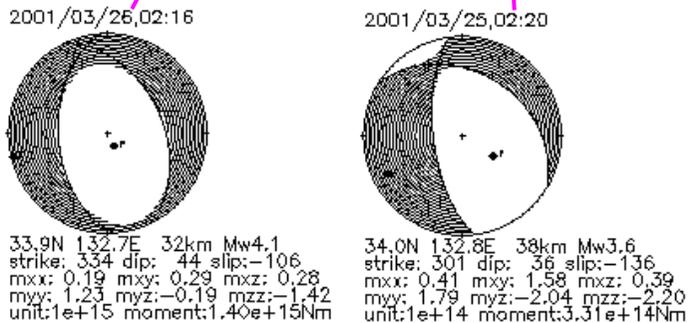
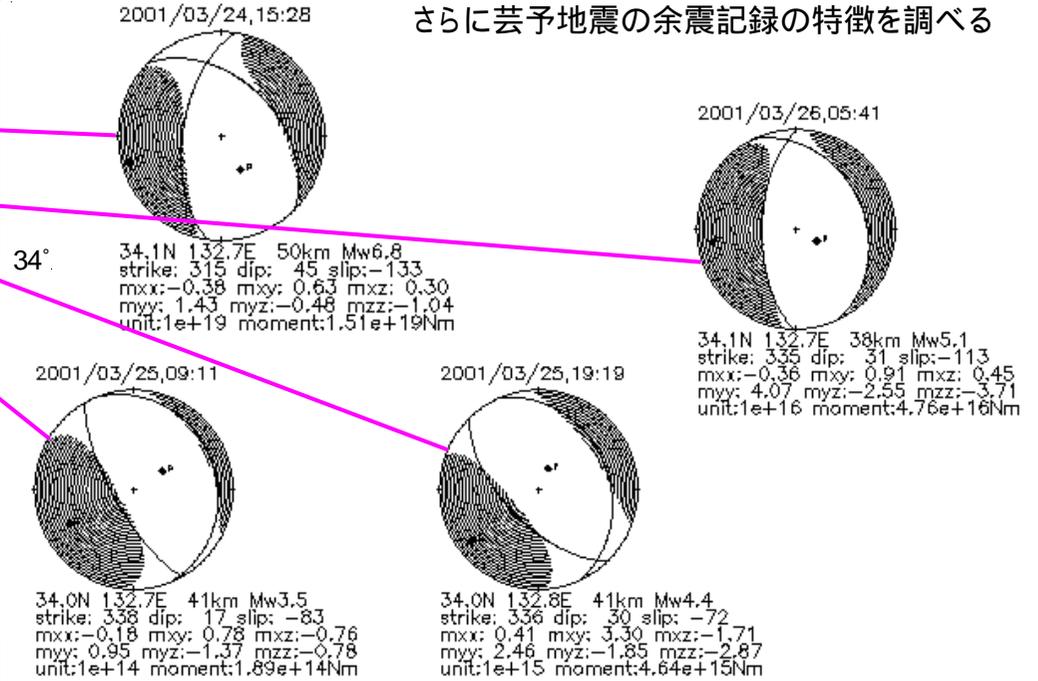
芸予地震(本震・余震)のKiK-net伊方観測記録の分析

## 5. 地震動評価

5.1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動



さらに芸予地震の余震記録の特徴を調べる



発震時	北緯	東経	深さ(km)	M <sub>J</sub>
2001/3/24 15:28	34 ° 7.9	132 ° 41.6	46	6.7
2001/3/24 15:48	34 ° 0.8	132 ° 43.6	46	4.0
2001/3/24 16:25	34 ° 1.8	132 ° 43.8	45	4.1
2001/3/24 17:02	34 ° 0.7	132 ° 43.6	47	4.0
2001/3/24 22:37	33 ° 59.0	132 ° 42.5	47	4.0
2001/3/25 02:19	33 ° 58.9	132 ° 43.8	46	3.5
2001/3/25 09:10	34 ° 0.2	132 ° 43.7	47	3.6
2001/3/25 19:19	34 ° 2.0	132 ° 43.7	47	4.5
2001/3/26 02:16	33 ° 57.2	132 ° 42.0	44	4.1
2001/3/26 05:41	34 ° 7.0	132 ° 42.5	46	5.2

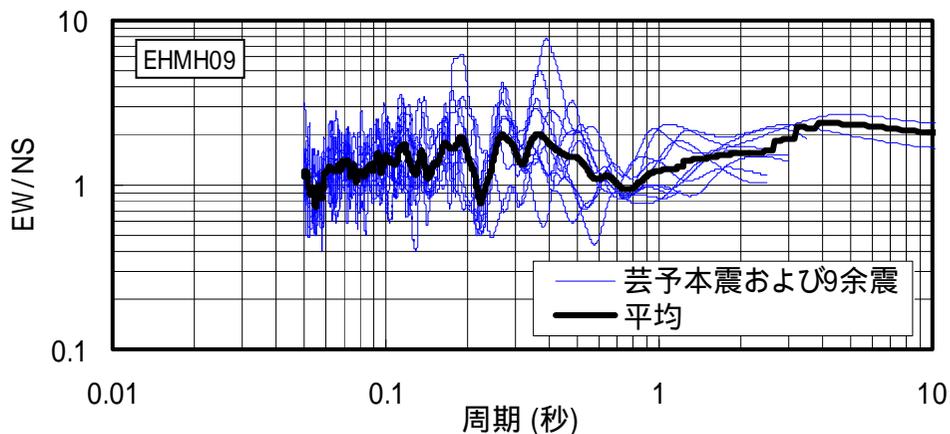
# 2001年の地震の検討(その3)

芸予地震(本震・余震)のKiK-net伊方観測記録の分析

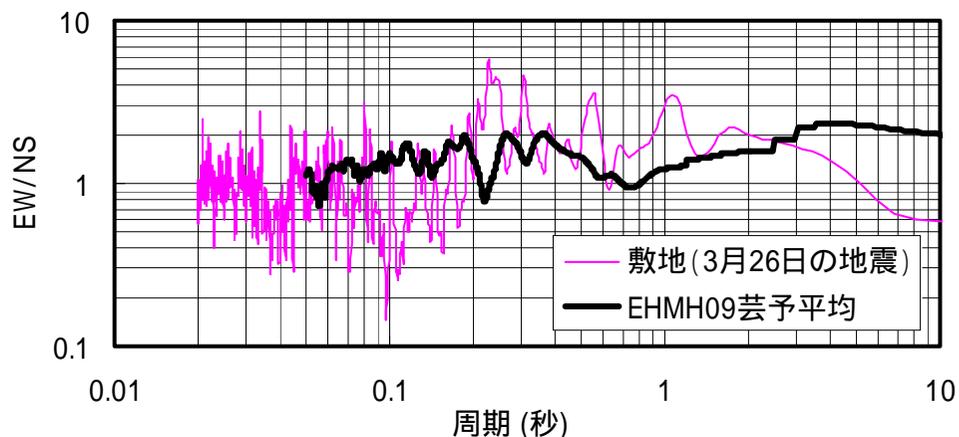
5. 地震動評価

5.1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

KiK-net伊方観測記録(芸予地震の本震・余震 10記録)



KiK-net伊方観測記録の芸予地震平均と敷地観測記録(2001年の地震)の比較



芸予地震の本震・余震にもEWの卓越がみられる。

→ 芸予地震の震源域で正断層タイプの地震が発生した場合には、敷地周辺ではEWが卓越すると考えられる

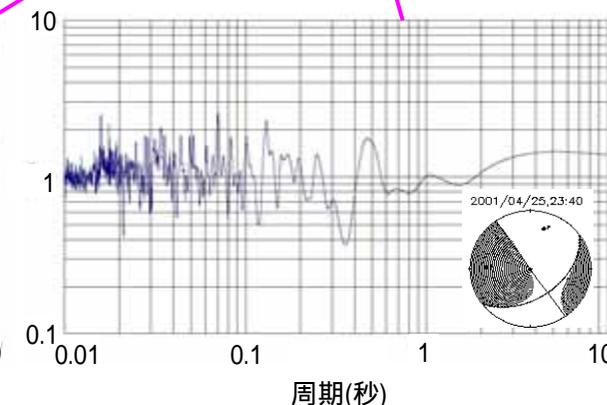
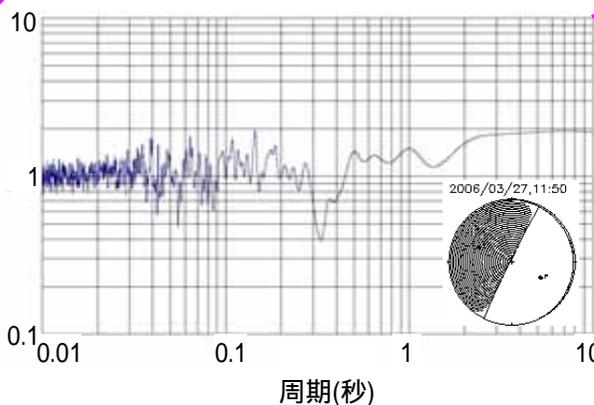
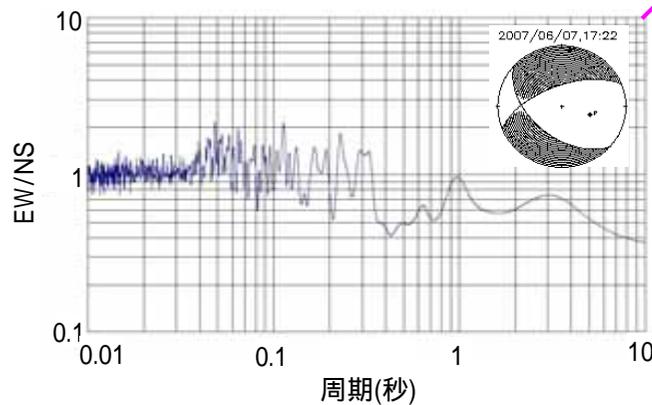
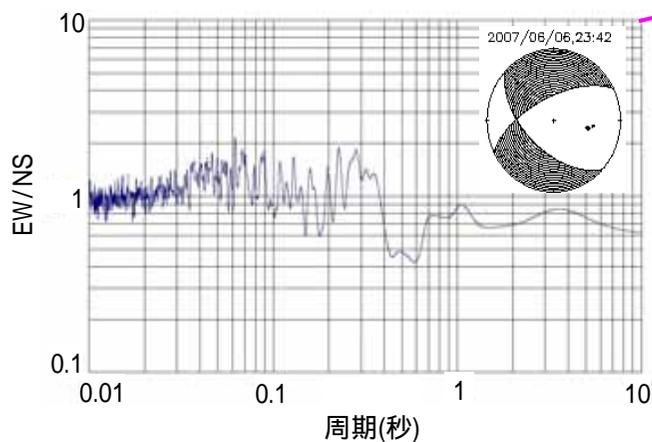
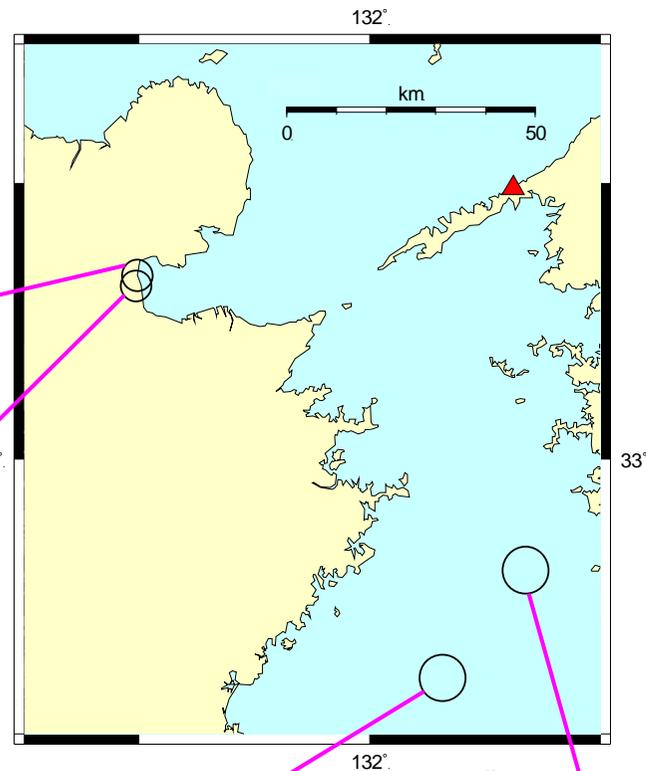
# 2001年の地震の検討(その3)

KiK-net伊方で観測した他の領域の地震

## 5. 地震動評価

5.1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

発震時	北緯	東経	深さ (km)	M <sub>J</sub>	震央
2001/4/25 23:40	32° 47.9	132° 20.3	39	5.8	豊後水道
2006/3/27 11:50	32° 36.1	132° 9.4	35	5.5	日向灘
2007/6/06 23:42	33° 20.0	131° 29.7	11	4.9	大分県中部
2007/6/07 17:22	33° 18.9	131° 29.5	9	4.7	大分県中部



日向灘や大分県で発生した地震ではEWの卓越はみられない

したがってEWの卓越は伝播特性の可能性が考えられる

## 観測記録の調査

敷地における観測記録を分析したところ、海洋プレート内の地震が多く、中央構造線断層帯付近で発生した内陸地殻内地震の記録はない。また、想定する内陸地震のメカニズム(横ずれ)と合致する記録も得られていない。

しかし、発生位置やメカニズムは異なるものの適切な規模の地震記録が得られている。

## 要素地震の評価と統計的グリーン関数法

経験的グリーン関数法の要素地震としては、2001年の地震と1991年の地震が考えられるが、この2つの観測記録を統計的グリーン関数と比較したところ、

- ・2001年の地震はNS成分の周期0.2秒以上を除けば、観測記録と統計的グリーン関数は整合的
- ・1991年の地震は、統計的グリーン関数と比較すると、NS・EWともに周期0.5秒以上のパワーに乏しい
- ・2001年の地震のNS成分は、主要機器の固有周期がある周期0.1秒付近にパワーを有する(この周期帯で統計的グリーン関数よりも大きい)

という特徴を有する。1991年の地震は周期0.5秒以上の成分に乏しいこと、2001年の地震のNS成分は主要機器の固有周期がある周期0.1秒付近のパワーを有することから、要素地震としては、2001年の地震がより適切であると評価される。

しかしながら、2001年の地震は、NS成分の周期0.1秒付近にピークがあり、かつ長周期側のパワーが少ない特徴を有すること、この地震のメカニズムは正断層タイプであり、検討用地震として想定する内陸地殻内地震の横ずれとは断層タイプが異なることから、経験的グリーン関数法の要素地震としては適切とは言えない。

このため、地震動評価としては、統計的グリーン関数法を用いることが望ましいと考えられる。

## 経験的グリーン関数法

しかしながら、敷地での観測記録があり、サイト特性等を既知として評価できる経験的グリーン関数法は有用であると考えられる。

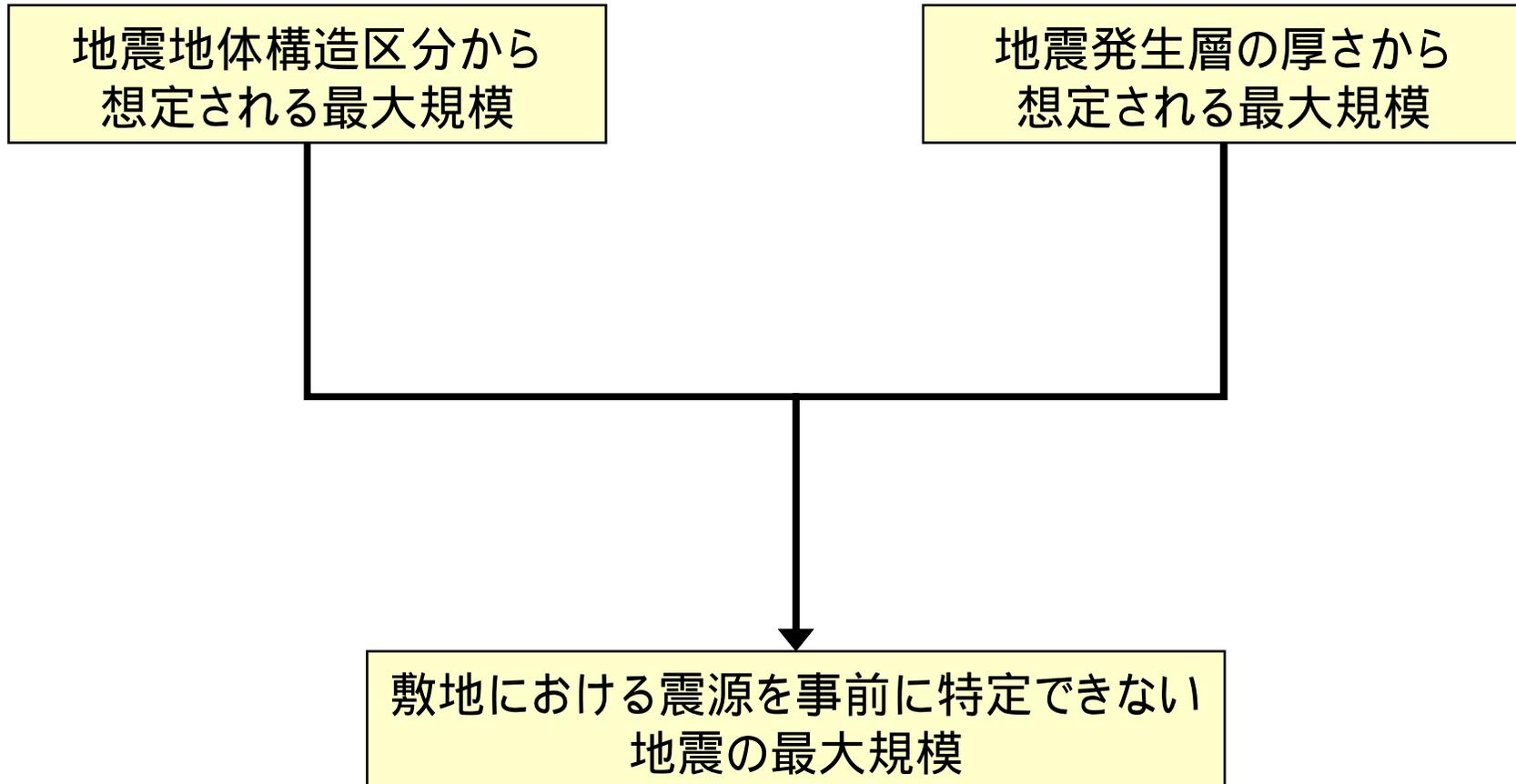
そこで、経験的グリーン関数法でも地震動評価を行うこととする。

ただし、2001年の地震の短周期領域にラディエーションの卓越はみられないため、ラディエーションの補正はしない。

また、2001年の地震はNS成分の長周期側が小さい特徴がある。(この要因分析を行ったところ、震源特性やサイト特性ではなく、伝播特性に起因するのではないかと考えられる。)そこで、ハイブリッド合成を行い、長周期側には理論地震動を採用することとする。(理論計算の結果から接続周期は0.8秒とした)

## 5.2 震源を特定せず策定する地震動

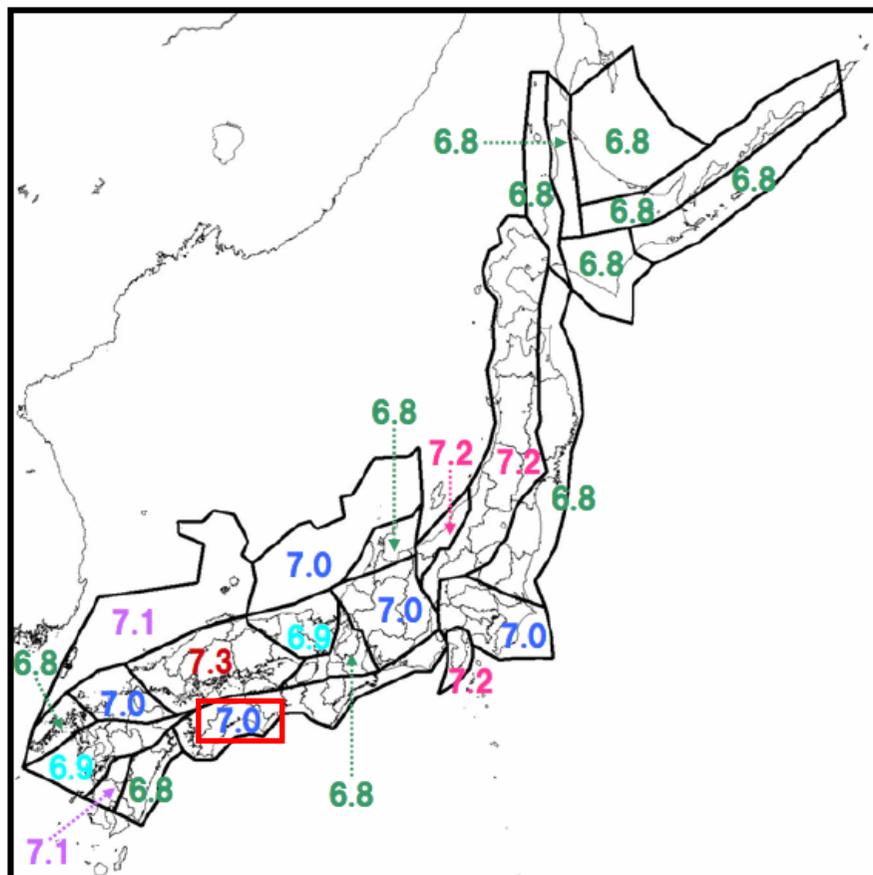
# 震源を事前に特定できない地震の最大規模の考え方



# 地震地体構造区分から想定される最大規模

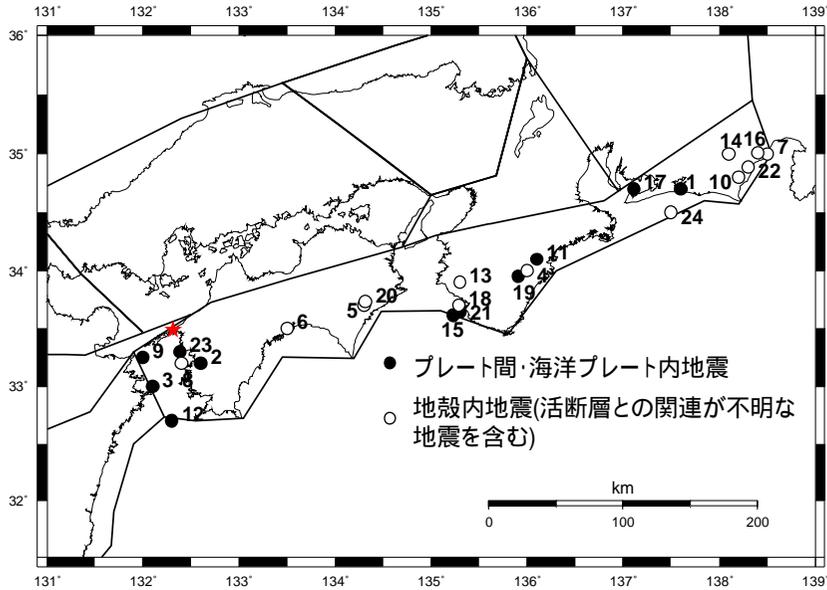
5. 地震動評価  
5.2 震源を特定せず  
策定する地震動

地震調査研究推進本部による全国地震動予測地図(2009)では、敷地が属する地体構造区分に想定される最大の地震規模はM7.0とされている。  
このM7.0は1789年阿波の地震に基づいている。



全国地震動予測地図(2009)

# 地震地体構造区分から想定される最大規模



敷地が属する地体構造区分で発生したM6.0以上の地震を再整理(下表) 1600年以降の地震を対象とした

活断層との関連が不明な地震は13地震



そのうち、最大はM7.0(1789 阿波)



この地震は地震発生状況が伊方サイト周辺と異なる地域で発生した地震であることから敷地には想定されない(次ページ以降に詳述)

番号	年月日	地震	東経	北緯	深さ	マグニチュード	地表地震断層	地震発生機構	文 献	備 考
1	1686 . 10 . 3	遠江・三河	137.6°	34.7°		7 ± 1/4		B or C	郡司(1993)	フィリピン海プレートの沈み込みによるプレート境界地震の可能性を示唆
2	1749 . 5 . 25	伊予宇和島	132.6°	33.2°		6 3/4		C	宇佐美(2003)	583番の地震に似ている。583番の地震(1968.8.6 M6.6)はD=40kmでありプレート内の地震
3	1769 . 8 . 29	日向・豊後	132.1°	33°		7.8		C	地震本部(2004)	より規模の小さいプレート内の地震であった可能性が指摘されている(松浦他, 2003)。本報告ではこの見解を採用
4	1778 . 11 . 25	紀伊	136°	34°		6?	不明	不明	宇佐美(2003)	尾鷲・奈良吉野郡で石垣・山・道崩れる
5	1789 . 5 . 11	阿波	134.3°	33.7°		7.0	不明	不明	宇佐美(2003)	1955年の地震に似る。しかし、震央が紀伊水道にある中規模地震という考えもありうるだろう
6	1812 . 4 . 21	土佐	133.5°	33.5°		6?	不明	不明	宇佐美(2003)	震源はやや深いか、高知よりやや沖に出る可能性も否定できない。
7	1841 . 4 . 22	駿河	138.5°	35°		6 1/4	不明	不明	地震本部(1999)	県中西部、清水市付近から浜名湖付近に至る広い範囲に、深さ20~30kmの定期的な地震活動が点在している
8	1841 . 11 . 3	宇和島	132.4°	33.2°		6	不明	不明	宇佐美(2003)	宇和島城の堀・壁などに損あり。四国・中国の西部および筑後で有感
9	1854 . 12 . 26	伊予西部	132°	33°	1/4	7.3 ~ 7.5		B or C	地震本部(1999)	フィリピン海プレートの沈み込みに伴うやや深い地震の可能性がある
10	1857 . 7 . 14	駿河	138.2°	34.8°		6 1/4 ± 1/4	不明	不明	地震本部(1999)	県中西部、清水市付近から浜名湖付近に至る広い範囲に、深さ20~30kmの定期的な地震活動が点在している
11	1899 . 3 . 7	紀伊半島南東部	136.1°	34.1°		7.0		B or C	地震本部(1999)	沈み込んだフィリピン海プレート内で発生するやや深い地震
12	1899 . 11 . 25	日向灘	132.3°	32.7°		6.9		B or C	宇佐美(2003)	津波らしきものを記録した
13	1906 . 5 . 5	紀伊中部	135.3°	33.9°		6.2	不明	不明	地震本部(1999)	(大分県)東方の海域で発生する主な地震は沈み込んだフィリピン海プレートと陸側のプレートとの境界付近で発生していると考えられる
14	1917 . 5 . 18	静岡県	138.1°	35°		6.3	不明	不明	地震本部(1999)	活断層のない地域や紀伊水道を含めて、県内のところどころでM7より小さいが局所的に被害が生ずる地震が発生することがある
15	1924 . 8 . 13	紀伊	135° 13.7	33° 37	46km	6.1		B or C	宇佐美(2003)	震源深さが深いことから内陸地殻内地震以外と考えられる
16	1935 . 7 . 11	静岡付近	138° 24.2	35° 0.4	9km	6.4	不明	不明	地震本部(1999)	震源深さが深いことから内陸地殻内地震以外と考えられる
17	1945 . 1 . 13	愛知県南部	137° 6.8	34° 42	10km	6.8	あり	A	宇佐美(2003)	三河の地震: 断層を生じ長さ9kmで断層の北東側が約2m沈下した
18	1948 . 6 . 15	田辺市付近	135° 17.3	33° 42.3	0km	6.7	不明	不明	地震本部(1999)	活断層のない地域や紀伊水道を含めて、県内のところどころでM7より小さいが局所的に被害が生ずる地震が発生することがある
19	1950 . 4 . 26	熊野川下流域	135° 54.3	33° 57.1	47km	6.5		B or C	宇佐美(2003)	震源深さが深いことから内陸地殻内地震以外と考えられる
20	1955 . 7 . 27	徳島県南部	134° 19	33° 44	10km	6.4	不明	不明	宇佐美(2003)	宮浜村・平谷村・木頭村・上木頭村などの那賀川・海部川上流域が震央で、死1, 傷8, 山(崖)崩れが随所に生じた。そのほかに道路の亀裂, 落石多く, 家屋の亀裂などがあつた。また, トンネルの埋没, 墓石の転倒などもあつた
21	1962 . 1 . 4	和歌山県西部	135° 18.2	33° 38.8	45km	6.4		B or C	宇佐美(2003)	震源深さが深いことから内陸地殻内地震以外と考えられる
22	1965 . 4 . 20	静岡付近	138° 18.2	34° 53	20km	6.1	不明	不明	地震本部(1999)	県西部、清水市付近から浜名湖付近に至る広い範囲に、深さ20~30kmの定期的な地震活動が点在しており、数名の犠牲者を生じするようなM6程度の被害地震が発生している
23	1968 . 8 . 6	愛媛県西方沖	132° 23	33° 18	40km	6.6		B or C	宇佐美(2003)	震源深さが深いことから内陸地殻内地震以外と考えられる
24	1999 . 5 . 24	遠州灘	137° 29.99	34° 30.05	23.1km	6.6	不明	不明	気象庁(2007)	

活断層との関連が不明な地震

A: 地殻内地震  
B: プレート間地震  
C: 海洋プレート内地震

郡司嘉宣, 1993, 歴史地震  
宇佐美龍夫, 2003, 最新版日本被害地震総覧  
地震調査研究推進本部地震調査委員会, 1999, 日本の地震活動追補版  
地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2004, 日向灘の地震活動の長期評価  
気象庁 地震・火山月報(カタログ編), 2007年7月

# 1789年阿波の地震

5. 地震動評価  
5.2 震源を特定せず  
策定する地震動

## 1789年阿波の地震

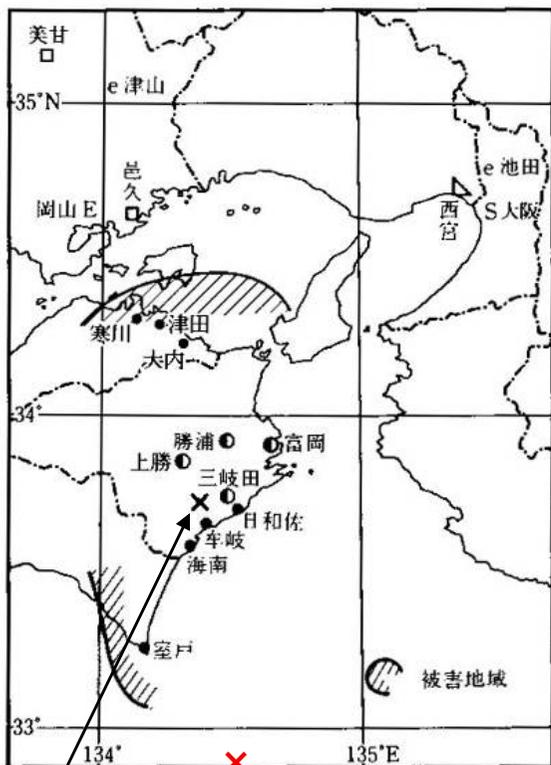


図211-1 震度分布

新編以降の震央

初版の震央

### 日本被害地震総覧における記載の変遷

区分	出版年	東経	北緯	M	記事
初版	1975	134.5	32.9	7.4	阿波富岡町で文珠院の本堂の壁はなはだしく損じ、秋葉山拝殿の壁も損ず。同町の町屋土蔵にも損害があり、かつ山崩れもあった。土佐室津で石垣等崩れ、地割れあり。備前邑久郡で池堤損じ、広島・鳥取で有感。
新編	1987	134.3	33.7	7.0 ± 0.1	阿波富岡町で文珠院の本堂の壁はなはだしく損じ、秋葉山拝殿の壁も損ず。同町の町屋土蔵にも損害があり、かつ山崩れもあった。徳島県南部の沿岸地方にも家・土蔵など痛み、山崩れあり。土佐室津で石垣等崩れ、地割れあり。備前邑久郡で池堤損じ、広島・鳥取で有感。 <b>1955年の地震に似るか。震央が紀伊水道にあるとの旧版の見解もすてきれない。</b>
増補改訂版	1996	134.3	33.7	7.0 ± 0.1	阿波富岡町で文珠院の本堂の壁はなはだしく損じ、秋葉山拝殿の壁も損ず。同町の町屋土蔵にも損害があり、かつ山崩れもあった。徳島県南部の沿岸地方にも家・土蔵など痛み、山崩れあり。土佐室津で石垣等崩れ、地割れあり。備前邑久郡・讃岐で池堤損じ、広島・鳥取・岡山・山口で有感。 <b>1955年の地震に似るか。しかし、震央が紀伊水道にある中規模地震という考えもありうるだろう。</b>
最新版	2003	134.3	33.7	7.0 ± 0.1	被害は表211-1のとおり。比較的軽い被害が広範囲にあったようである。京都・鯖江・出雲・広島・鳥取・岡山・山口で有感。 <b>1955年の地震に似るか。しかし、震央が紀伊水道にある中規模地震という考えもありうるだろう。</b>



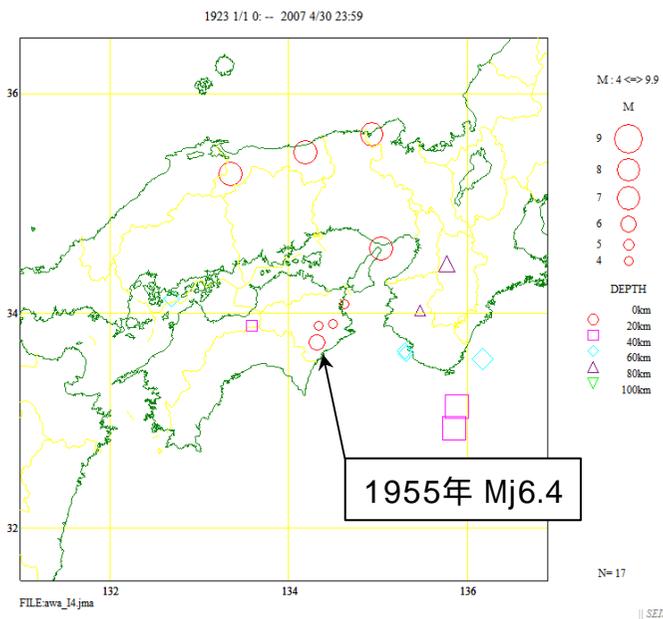
震源の精度が高いとは言えず、海洋プレートの地震の可能性も残る

# (参考) 1955年徳島県南部の地震

5. 地震動評価  
5.2 震源を特定せず  
策定する地震動



1955年徳島県南部の地震の震度分布



1923年以降の徳島県で震度4以上を記録した地震

## 日本被害地震総覧における記載

区分	出版年	東経	北緯	M	h	記事
初版	1975	134.3 °	33.75 °	6.0	0 ~ 10km	宮浜村・平谷村・木頭村・上木頭村等の那賀川・海部川上流域が震央で、死1、傷8、山(崖)崩れが随所に生じた。その他道路の亀裂、落石多く、家屋の壁の亀裂等があった。また、トンネルの埋没、墓石の転倒等もあった。
新編	1987	134.32 °	33.73 °	6.4	10km	宮浜村・平谷村・木頭村・上木頭村などの那賀川・海部川上流域が震央で、死1傷8、山(崖)崩れが随所に生じた。そのほか道路の亀裂、落石多く、家屋の壁の亀裂等があった。また、トンネルの埋没、墓石の転倒などもあった。
増補改訂版	1996	134.32 °	33.73 °	6.4	10km	宮浜村・平谷村・木頭村・上木頭村などの那賀川・海部川上流域が震央で、死1傷8、山(崖)崩れが随所に生じた。そのほか道路の亀裂、落石多く、家屋の壁の亀裂等があった。また、トンネルの埋没、墓石の転倒などもあった。
最新版	2003	134 ° 19	33 ° 44	6.4	10km	宮浜村・平谷村・木頭村・上木頭村などの那賀川・海部川上流域が震央で、死1傷8、山(崖)崩れが随所に生じた。そのほか道路の亀裂、落石多く、家屋の壁の亀裂等があった。また、トンネルの埋没、墓石の転倒などもあった。

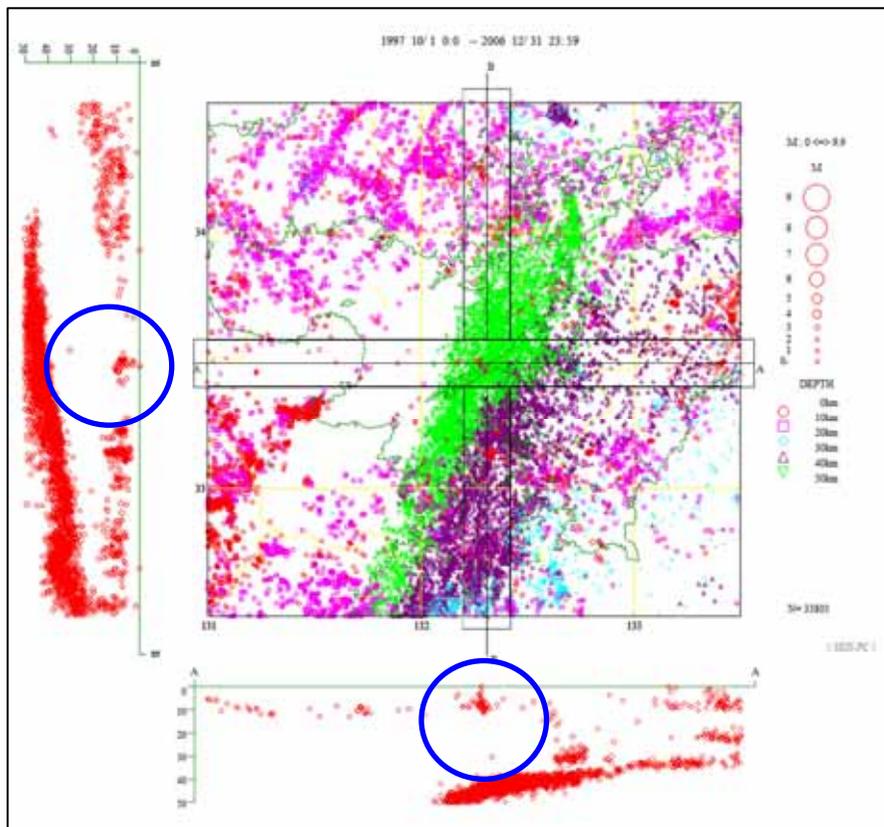
宇佐美龍夫, 1975, 資料 日本被害地震総覧  
 宇佐美龍夫, 1987, 新編 日本被害地震総覧  
 宇佐美龍夫, 1996, 新編 日本被害地震総覧 [増補改訂版]  
 宇佐美龍夫, 2003, 最新版日本被害地震総覧

# 1789年阿波の地震

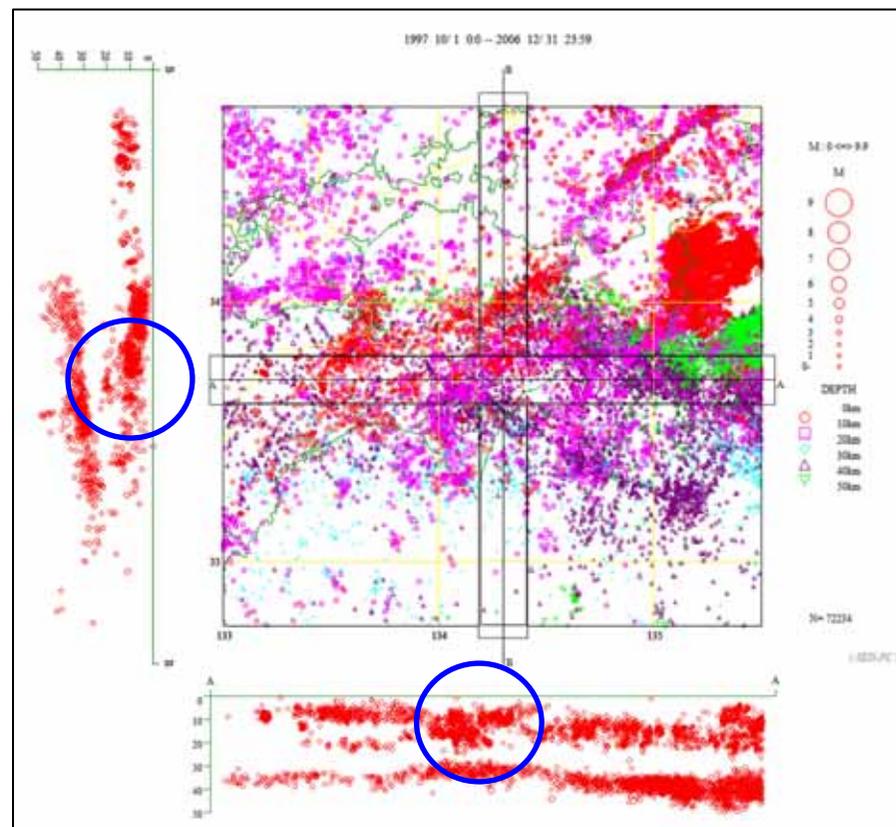
5. 地震動評価  
5.2 震源を特定せず  
策定する地震動

微小地震の発生状況の比較 気象庁一元化震源 1997.10 ~ 2006.12

敷地周辺



1789年阿波の地震の震央付近

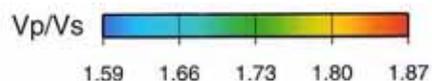
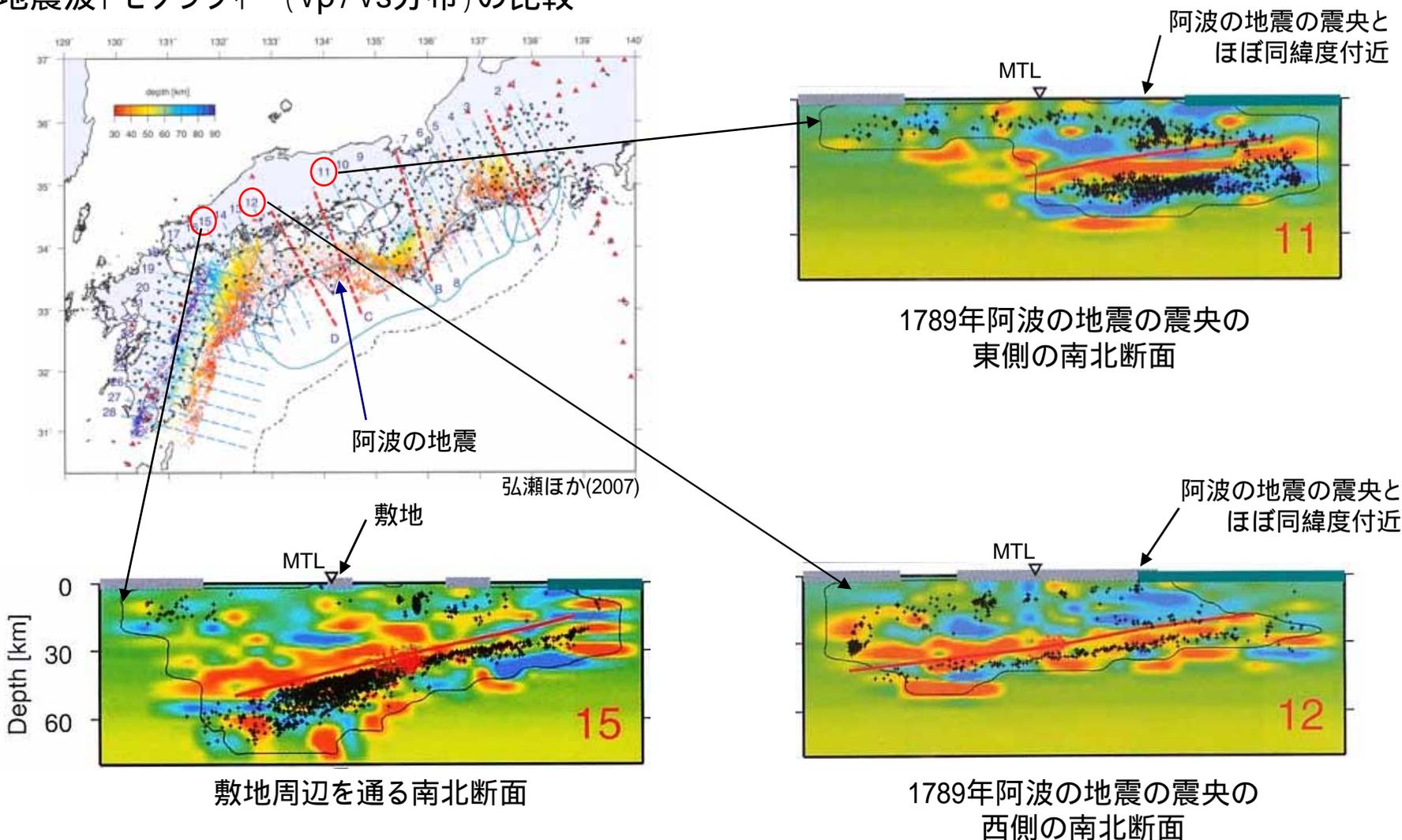


地震発生状況(頻度や発生層の厚さ)が異なる



# 1789年阿波の地震

## 地震波トモグラフィー (Vp/Vs分布) の比較



Vp/Vs分布の様子が異なる。  
1789年阿波の地震の震央周辺は発生層が厚いことが推察される



# 1789年阿波の地震

## 1789年阿波の地震

震源の決定精度が低いと考えられ、海洋プレートの地震の可能性も残るものの、仮に、現在の震央位置に想定される場合には、地震発生状況が敷地周辺とは異なることから、敷地に想定されるものではないと考えられる。

## 地震地体構造区分毎に想定される地震規模

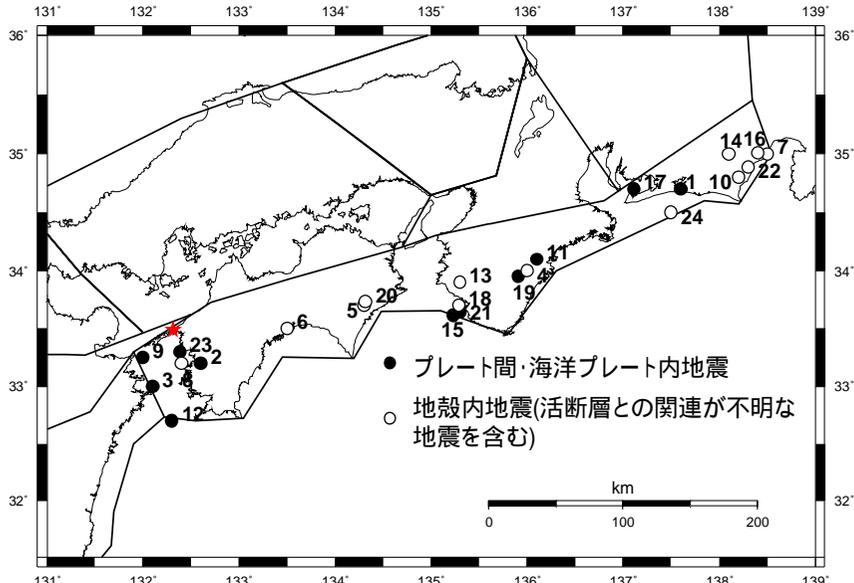
敷地周辺で発生したM6.9以上の地震については、多くの地震は海洋プレートの地震であり、唯一、活断層との関連が不明な1789年阿波の地震については、仮に内陸地殻内地震であるとしても、地震発生状況(頻度や地震発生層の厚さ)から敷地に想定されるものではないと考える。



阿波の地震につぐ地震規模は？

# 地震地体構造区分から想定される最大規模

5. 地震動評価  
5.2 震源を特定せず  
策定する地震動



1789年阿波の地震に次ぐ規模の地震は



1948年 田辺市付近の地震 M6.7  
四国地域に限定すると  
1955年 徳島県南部の地震 M6.4



活断層との関連が不明な地震の最大規模は、地体構造区分が東西に細長いことから四国地域に限定した場合にはM6.4であり、近畿・東海に拡げてもM6.7である。



ここで、地震調査研究推進本部による全国地震動予測地図(2009)において、地震地体構造区分毎の最大地震規模の下限値はM6.8。



以上の検討や、スケーリングに関する知見等を踏まえると

地震地体構造区分から想定される最大規模はM6.8

番号	年月日	地震	東経	北緯	深さ	マグニチュード	地表地震断層	地震発生機構	文献
1	1686. 10. 3	遠江・三河	137.6°	34.7°		7 ± 1/4		B or C	郡司(1993)
2	1749. 5. 25	伊予宇和島	132.6°	33.2°		6 3/4		C	宇佐美(2003)
3	1769. 8. 29	日向・豊後	132.1°	33°		7.8		C	地震本部(2004)
4	1778. 11. 25	紀伊	136°	34°		6?	不明	不明	宇佐美(2003)
5	1789. 5. 11	阿波	134.3°	33.7°		7.0	不明	不明	宇佐美(2003)
6	1812. 4. 21	土佐	133.5°	33.5°		6?	不明	不明	宇佐美(2003)
7	1841. 4. 22	駿河	138.5°	35°		6 1/4	不明	不明	地震本部(1999)
8	1841. 11. 3	宇和島	132.4°	33.2°		6	不明	不明	宇佐美(2003)
9	1854. 12. 26	伊予西部	132°	33° 1/4		7.3 ~ 7.5		B or C	地震本部(1999)
						7.0		C	神田ほか(2008)
10	1857. 7. 14	駿河	138.2°	34.8°		6 1/4 ± 1/4	不明	不明	地震本部(1999)
11	1899. 3. 7	紀伊半島南東部	136.1°	34.1°		7.0		B or C	地震本部(1999)
12	1899. 11. 25	日向灘	132.3°	32.7°		6.9		B or C	地震本部(1999)
13	1906. 5. 5	紀伊中部	135.3°	33.9°		6.2	不明	不明	地震本部(1999)
14	1917. 5. 18	静岡県	138.1°	35°		6.3	不明	不明	地震本部(1999)
15	1924. 8. 13	紀伊	135° 13.7'	33° 37'	46km	6.1		B or C	宇佐美(2003)
16	1935. 7. 11	静岡付近	138° 24.2'	35° 0.4'	9km	6.4	不明	不明	地震本部(1999)
17	1945. 1. 13	愛知県南部	137° 6.8'	34° 42'	10km	6.8	あり	A	宇佐美(2003)
18	1948. 6. 15	田辺市付近	135° 17.3'	33° 42.3'	0km	6.7	不明	不明	地震本部(1999)
19	1950. 4. 26	熊野川ト流域	135° 54.3'	33° 57.1'	47km	6.5		B or C	宇佐美(2003)
20	1955. 7. 27	徳島県南部	134° 19'	33° 44'	10km	6.4	不明	不明	宇佐美(2003)
21	1962. 1. 4	和歌山県西部	135° 18.2'	33° 38.8'	45km	6.4		B or C	宇佐美(2003)
22	1965. 4. 20	静岡付近	138° 18.2'	34° 53'	20km	6.1	不明	不明	地震本部(1999)
23	1968. 8. 6	愛媛県西方沖	132° 23'	33° 18'	40km	6.6		B or C	宇佐美(2003)
24	1999. 5. 24	遠州灘	137° 29.99'	34° 30.05'	23.1km	6.6	不明	不明	気象庁(2007)

A: 地殻内地震  
B: プレート間地震  
C: 海洋プレート内地震

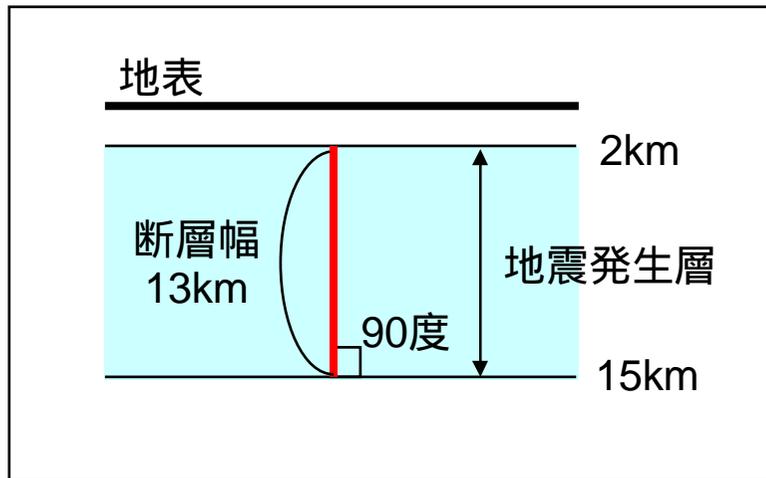
郡司嘉宣, 1993, 歴史地震  
宇佐美龍夫, 2003, 最新版日本被害地震総覧  
地震調査研究推進本部地震調査委員会, 1999, 日本の地震活動追補版  
地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2004, 日向灘の地震活動の長期評価  
気象庁 地震・火山月報(カタログ編), 2007年7月

## 地震発生層の厚さから想定される地震規模

震源と活断層とを関連付けることが困難な地震の最大規模は、地震発生層を飽和する震源断層による地震と考え、地震発生層の上端から下端まで広がる断層幅及びそれに等しい断層長さをもつ震源断層を仮定する。

ここで、地震発生層の厚さは「2.3 地震発生層の厚さ」に記述したとおり13kmとする。

また、敷地周辺は横ずれ断層が卓越する地域であることから、断層の傾斜角は90度と設定する。



震源断層の仮定  
断層長さ = 断層幅 = 13km

↓ ← 入倉・三宅(2001)  $S$   $M_0$

地震モーメント  
 $M_0 = 1.59 \times 10^{18} \text{N} \cdot \text{m}$

↓ ← 武村(1990)  $M_0$   $M$

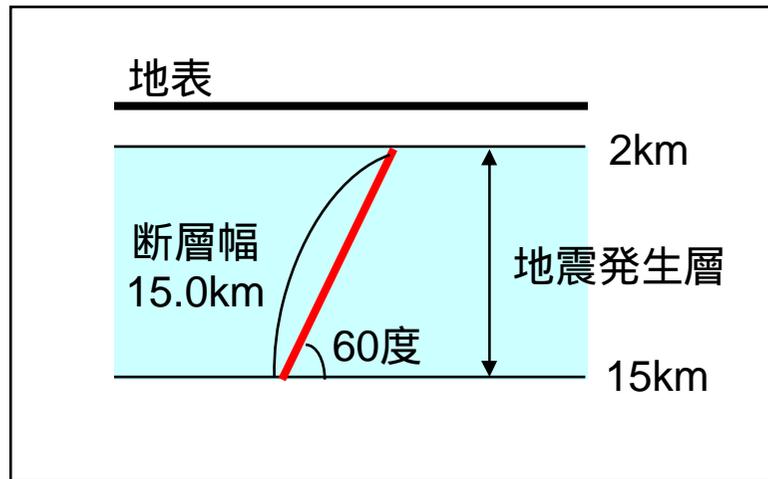
地震規模  
M6.4 (武村1990)



震源と活断層とを関連付けることが困難な地震の最大規模はM6.4

## 地震発生層の厚さから想定される地震規模

仮に、断層の傾斜角を60度と仮定した場合には



震源断層の仮定  
断層長さ = 断層幅 = 15km



← 入倉・三宅(2001) S  $M_0$

地震モーメント  
 $M_0 = 2.82 \times 10^{18} \text{N}\cdot\text{m}$



← 武村(1990)  $M_0$  M

地震規模  
M6.6 (武村1990)

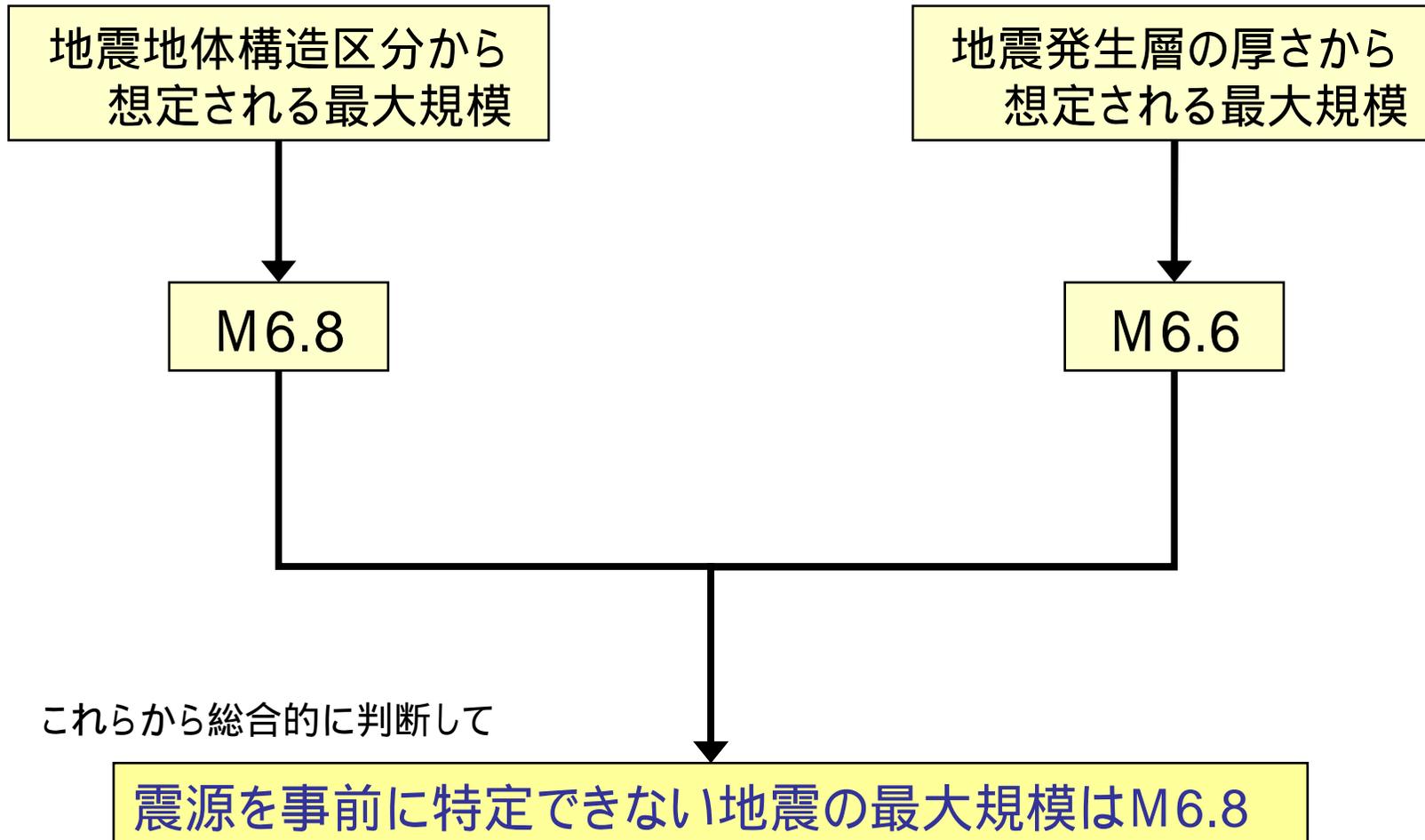


震源と活断層とを関連付けることが困難な地震の最大規模はM6.6



地震発生層の厚さから想定される地震規模はM6.6

# 震源を事前に特定できない地震の最大規模のまとめ

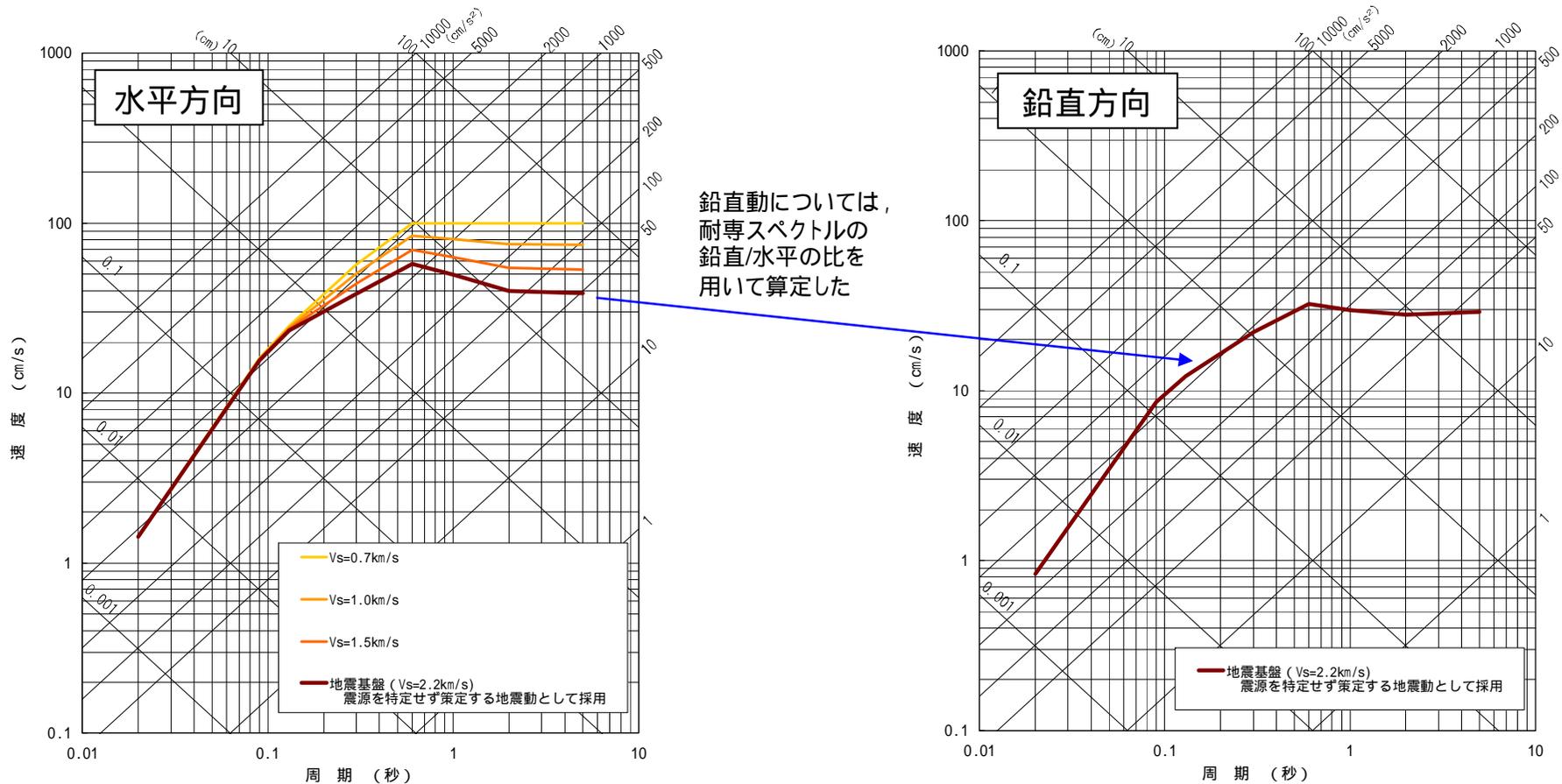


# 震源を特定せず策定する地震動

敷地周辺における震源を事前に特定できない地震の最大規模はM6.8と推定された。

一方,加藤ほか(2004)が提案する「震源を事前に特定できない地震による地震動レベル」は,長野県西部地震に相当する規模の地震(M6.8)を概ね包絡するとされている。

そこで,敷地の地盤物性( $V_s=2.6\text{km/s}$ )を考慮し,加藤ほか(2004)が提案した地震基盤における地震動レベルを,震源を特定せず策定する地震動として設定する。

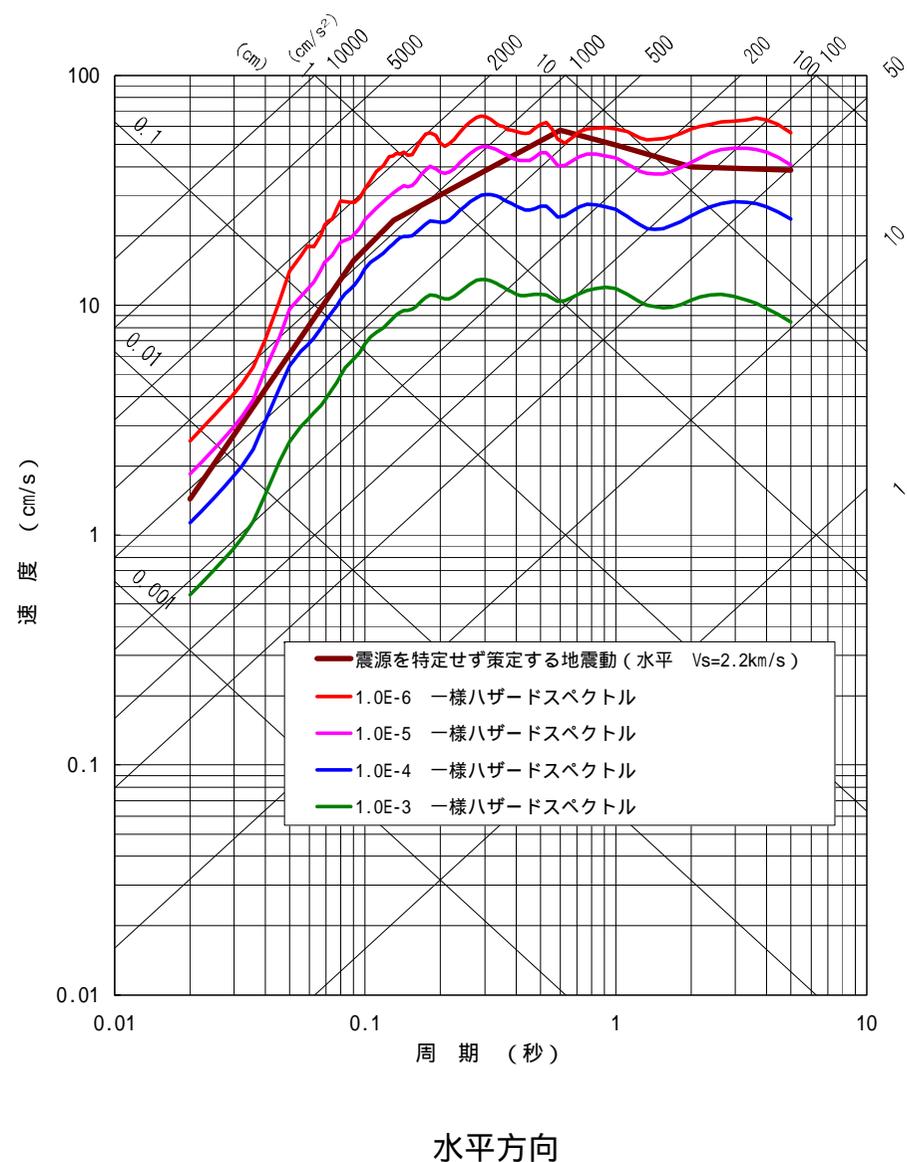


# 震源を特定せず策定する地震動の年超過確率

原子力安全基盤機構(2005)は、ハイブリッド合成法を用いた断層モデルによるM5.5～7.3の地震の震源近傍における地震動評価から、各地域の特定しにくい地震動について、地震基盤における水平動の年超過確率を求めている。

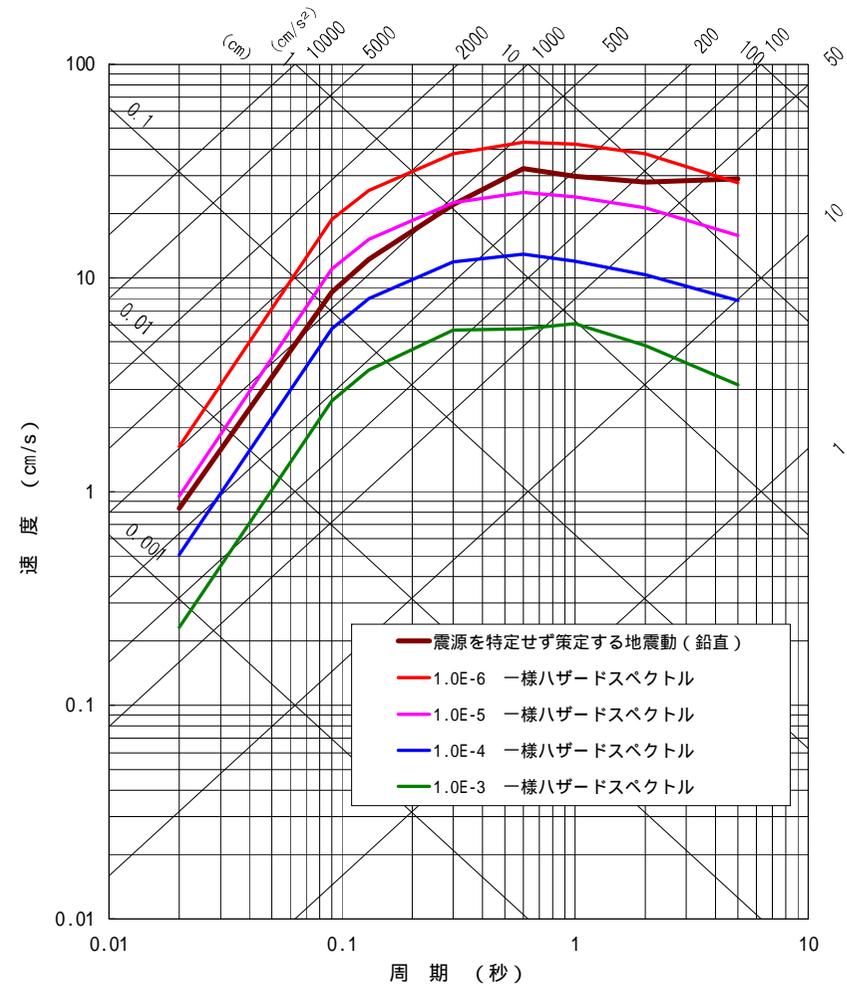
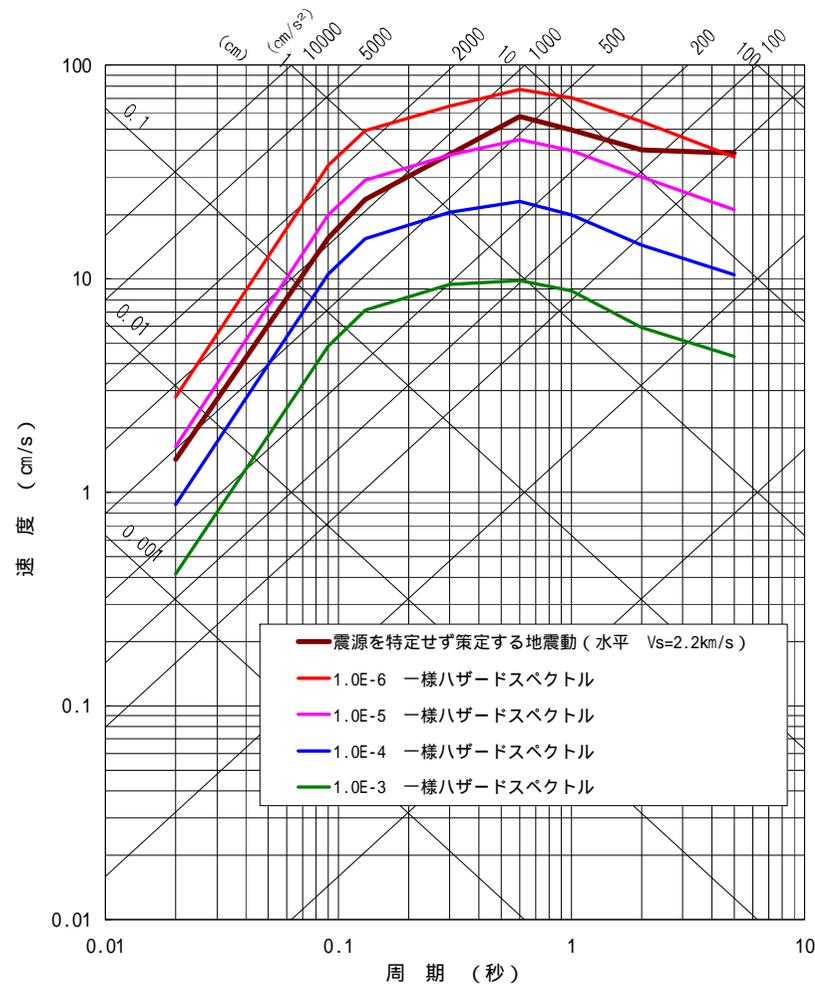
そのうち中国・四国地方の一様ハザードスペクトルと「震源を特定せず策定する地震動」を比較する。

年超過確率は $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 程度である。



# 震源を特定せず策定する地震動の年超過確率

敷地から概ね半径100km以内にかかる領域震源の一様ハザードスペクトルを、「震源を特定せず策定する地震動」と比較する。ハザードスペクトルは日本原子力学会標準(2007)に基づいて算定した。これより、年超過確率は $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 程度である。



## 震源を特定せず策定する地震動(まとめ)

「震源を特定せず策定する地震動」の「震源と活断層を関連付けることが困難な内陸地殻内地震」の最大規模については、地震発生層から想定される地震規模の検討及び地震調査委員会(2006)による「震源を予め特定しにくい地震」に関する知見に対する検討より、最大規模はM6.8と推定される。

よって、震源を特定せず策定する地震動としては、震源近傍の硬質地盤上における強震記録に基づいて検討がなされ、長野県西部地震に相当する規模の地震(M6.8)を概ね包絡する加藤ほか(2004)による応答スペクトル[敷地の地盤物性( $V_s=2.6\text{km/s}$ )を考慮し、地震基盤における地震動]を採用した。

また、一様ハザードスペクトルとの比較から、策定した「震源を特定せず策定する地震動」の年超過確率は $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 程度である。

なお、「震源を特定せず策定する地震動」の設計用応答スペクトルは、基準地震動 $S_s-1$ の応答スペクトルに全ての周期帯で包絡されるため、「震源を特定して策定する地震動」の設計用応答スペクトルで代表させる。