

**伊方発電所3号機  
「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」  
の改訂に伴う耐震安全性評価における  
総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会  
耐震・構造設計小委員会  
合同ワーキンググループAサブグループ会合  
での審議内容の紹介**

---

〔 敷地前面海域の断層群による地震の地震動評価  
（断層の連動におけるスケーリングについて） 〕

平成 21 年 3 月  
四国電力株式会社

---

## 敷地前面海域の断層群による地震の地震動評価 (スケーリング)

### コ メ ン ト

カスケードモデルを用いることの妥当性の説明として、各セグメントが固有のすべりをくり返していることを示しているが、違うセグメントまで動いても変位量が変わらないということが示せないで、カスケードモデルを用いていることの妥当性は説明できない。スケーリングのケースも念のために検討しておくのが良い。

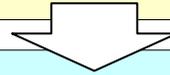
平成21年2月13日開催, 第16回会合  
資料: 合同A16-2-2より抜粋

# これまでの審議内容①

## 第5回WG[H20.8.27]

### ○コメント

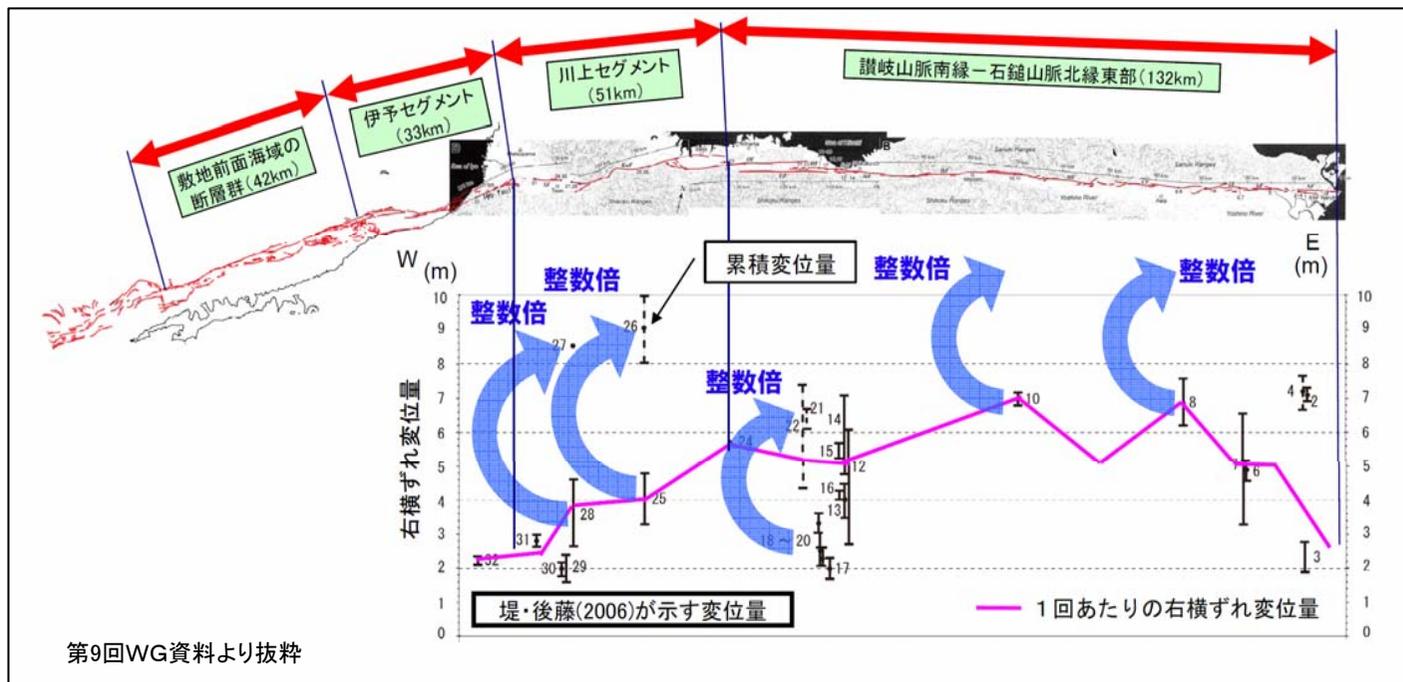
長大な断層や連動する地震に対して、単純に個々の地震を足し算するより大きな地震になるという研究事例もある。



## 第9回WG[H20.10.29]

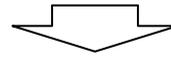
### ●コメント回答

堤・後藤(2006)に記載のように、四国の中央構造線断層帯は「累積変位量のほとんどが最新活動時の変位量の整数倍に近い値になっている。」, 「地震ごとに破壊領域が変わるとしても、断層ごとに固有の変位量をもつ傾向は認められる。」ことから、各々のセグメント毎にカスケード地震モデルで断層モデルを構築することが適切であると考えている。



## これまでの審議内容②

---



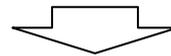
### ●コメント回答(第9回)～つづき～

また、ご指摘のような断層の連動については、プレート境界型地震に関しては比較的研究が進んでおり適用事例も見られるが、内陸地殻内地震の連動や長大断層の評価については、まだ研究段階にあると認識している。今後も研究動向に注視し、新しい知見として認知され実用化の域に達すれば適切に対応することとしたい。



### ○追加コメント(第9回)

カスケードモデルを用いることの妥当性の説明として、各セグメントが固有のすべりをくり返していることを示しているが、違うセグメントまで動いても変位量が変わらないということが示せない、カスケードモデルを用いていることの妥当性は説明できない。スケーリングのケースも念のために検討しておくのが良い。

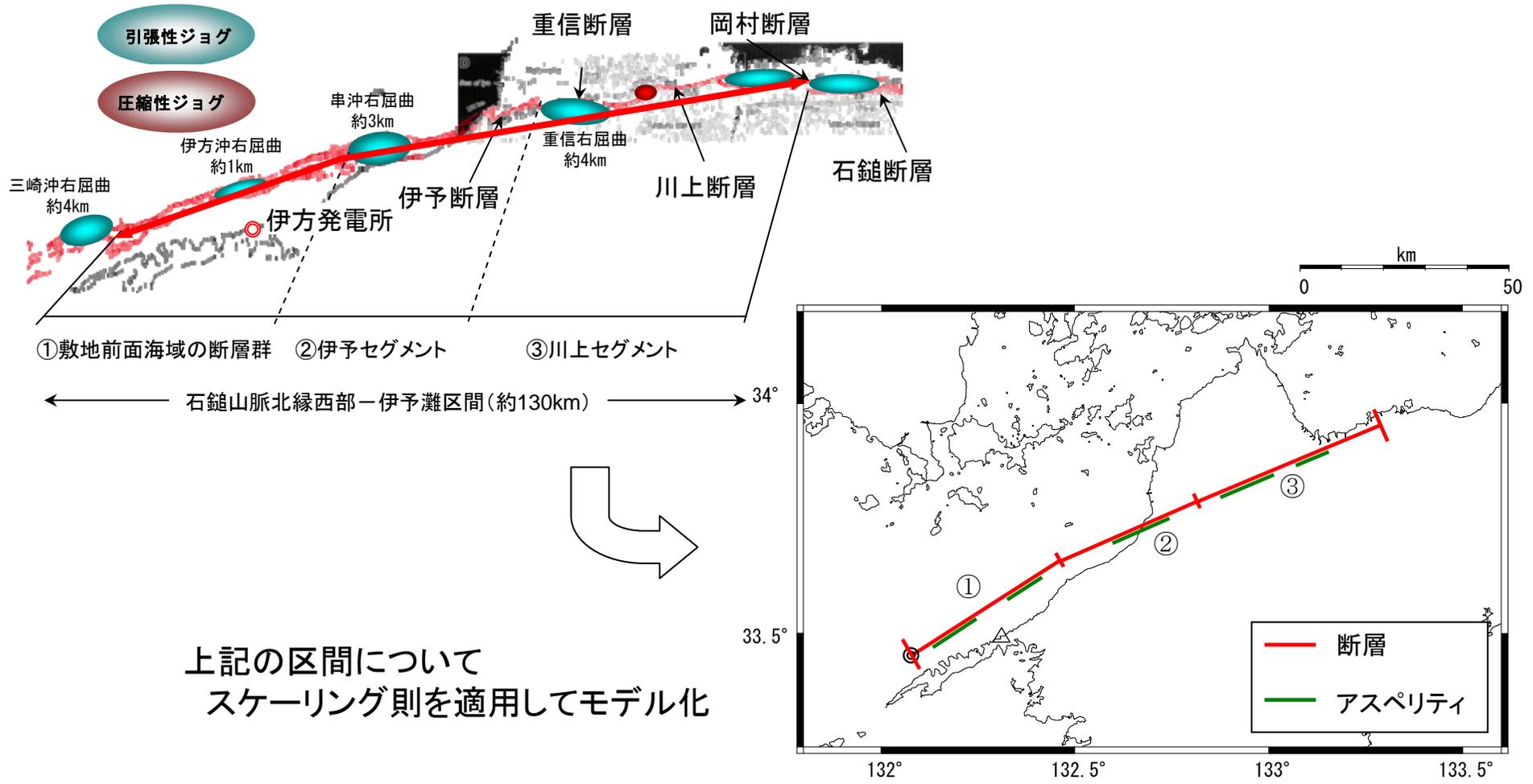


### ●今回のコメント回答

長大断層のスケーリング則の適用にあたっては研究段階であるとの認識ではあるが、今回、念のため現在のレシピを用いてスケーリングしたモデルを設定し断層モデルによる地震動評価を実施し、基準地震動との比較を行う。

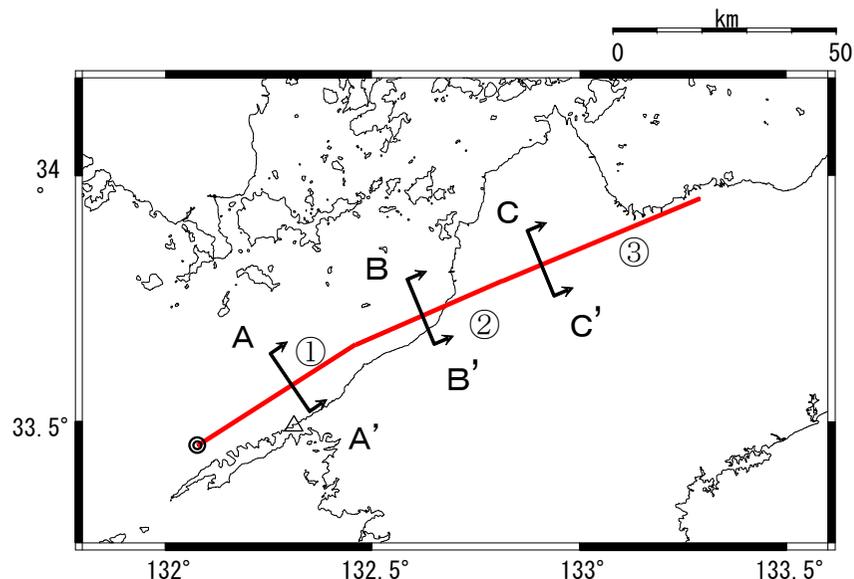
# スケーリングモデルの構築①

地震調査研究推進本部(2003)で地震本部が設定している「石鎚山脈北縁西部－伊予灘区間(約130km)」について、スケーリング則を適用してモデル化を実施。  
 なおアスペリティの平面位置については、伊方沖、串沖、重信等のジョグを考慮して設定する。



上記の区間について  
 スケーリング則を適用してモデル化

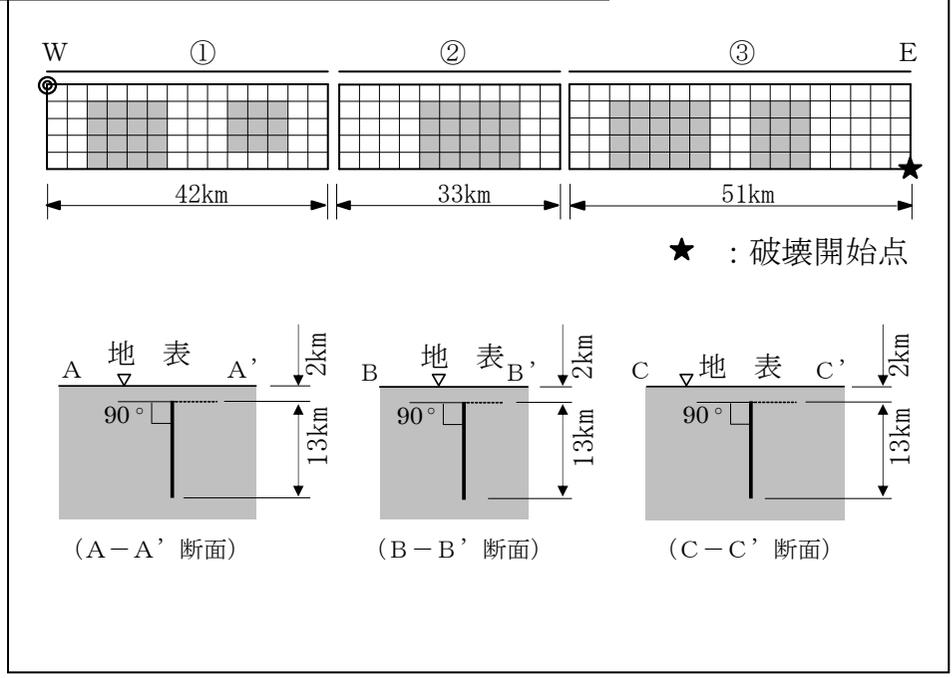
# スケーリングモデルの構築②



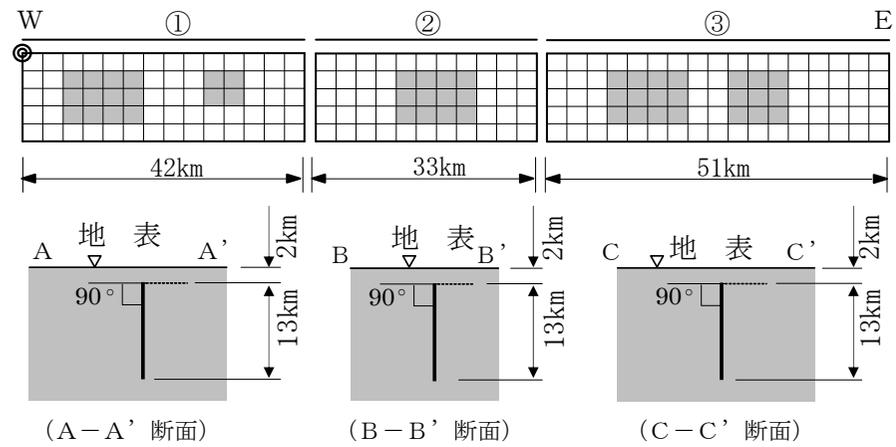
**【モデル構築の基本方針】**

壇・他(2001)の短周期レベルに一致するようにアスペリティ面積の比率を設定(アスペリティの面積比は34%)

## スケーリングモデルの断層モデル



### ※参考 カスケードモデルの断層モデル



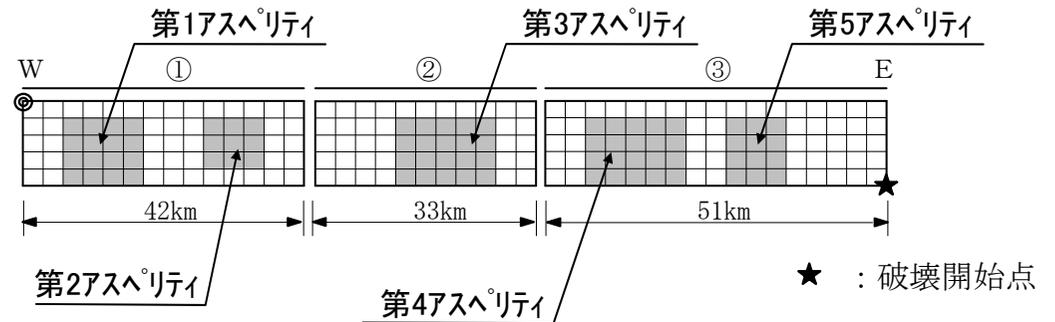
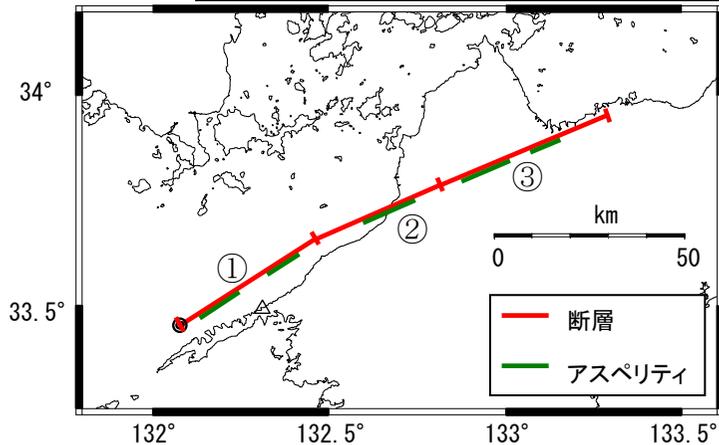
# 130kmスケーリングモデル・パラメータ表

断層パラメータ		記号	カスケードモデル				スケーリングモデル				
			敷地前面海域の断層群	伊予セグメント	川上セグメント	全体 (約130km)	根拠	全体 (約130km)	根拠		
巨視的 パラメータ	断層位置 (断層西端)	-	東経: 132° 4' 42" 北緯: 33° 26' 57"	東経: 132° 27' 27" 北緯: 33° 39' 18"	東経: 132° 46' 58" 北緯: 33° 46' 33"	東経: 132° 4' 42" 北緯: 33° 26' 57"	【基本方針】 地震本部レシビの アスベリティ面積 22%の手法を適用	東経: 132° 4' 42" 北緯: 33° 26' 57"	【基本方針】 短周期レベルが壇・ 他(2001)に等しくなる ように設定 ↓ アスベリティ面積を 34%で設定		
	走向	$\theta$	N57E	N66E	N67E	N57E~N67E	/	N57E~N67E	/		
	傾斜角	$\delta$	90°	90°	90°	90°		126.0 km		126.0 km	
	断層長さ	L	42.0 km	33.0 km	51.0 km	126.0 km		13.0 km		13.0 km	
	断層幅	W	13.0 km	13.0 km	13.0 km	13.0 km		1638.0 km <sup>2</sup>		1638.0 km <sup>2</sup>	
	断層面積	S	546.0 km <sup>2</sup>	429.0 km <sup>2</sup>	663.0 km <sup>2</sup>	1638.0 km <sup>2</sup>		2.0km		2.0km	
	断層上端深さ	H	2.0km	2.0km	2.0km	2.0km		同心円状		同心円状	
	破壊伝播形式	-	同心円状	同心円状	同心円状	同心円状		4.46 MPa		無限長地表垂直横ずれ	
	応力降下量	$\Delta\sigma$	2.2 MPa	1.9 MPa	2.5 MPa	-		入倉・三宅(2001)		1.49E+20 N・m	入倉・三宅(2001)
	地震モーメント	$M_0$	1.66E+19 N・m	1.02E+19 N・m	2.45E+19 N・m	5.13E+19 N・m		Kanamori(1977)		7.4	Kanamori(1977)
	モーメントマグニチュード	$M_R$	6.7	6.6	6.9	7.1		武村(1998)		7.9	武村(1998)
	気象庁マグニチュード	$M_J$	7.1	6.9	7.2	7.5		$4\pi(S/\pi)^{1/2} \cdot \Delta\sigma \cdot \beta$		2.81E+19 N・m/s <sup>2</sup>	壇・他(2001)
短周期レベル	A	1.03E+19 N・m/s <sup>2</sup>	7.99E+18 N・m/s <sup>2</sup>	1.27E+19 N・m/s <sup>2</sup>	-	$M_{0a} = \mu D_a S_a$		1.00E+20 N・m		$M_{0a} = \mu D_a S_a$	
微視的 パラメータ	全アス ベリティ	地震モーメント	$M_{0a}$	7.30E+18 N・m	4.50E+18 N・m	1.08E+19 N・m	2.26E+19 N・m	$S_a/S=22\%$	550.4 km <sup>2</sup>	$S_a/S=34\%$	
		面積	$S_a$	120.1 km <sup>2</sup>	94.4 km <sup>2</sup>	145.9 km <sup>2</sup>	360.4 km <sup>2</sup>	$D_a=2.0 \times D$	456 cm	$D_a=2.0 \times D$	
		平均すべり量	$D_a$	152 cm	119 cm	184 cm	157 cm	$\Delta\sigma_a = \Delta\sigma/0.22$	13.3 MPa	$\Delta\sigma_a = \Delta\sigma/0.34$	
		応力降下量	$\Delta\sigma_a$	10.1 MPa	8.9 MPa	11.4 MPa	-				
	第1アス ベリティ	地震モーメント	$M_{0a1}$	5.93E+18 N・m			5.93E+18 N・m		2.26E+19 N・m		
		面積	$S_{a1}$	87.4 km <sup>2</sup>			87.4 km <sup>2</sup>		122.3 km <sup>2</sup>		
		平均すべり量	$D_{a1}$	170 cm			170 cm		461 cm		
		実効応力	$\sigma_{a1}$	10.1 MPa			10.1 MPa		13.3 MPa		
	第2アス ベリティ	地震モーメント	$M_{0a2}$	1.36E+18 N・m			1.36E+18 N・m		7.98E+18 N・m		
		面積	$S_{a2}$	32.8 km <sup>2</sup>			32.8 km <sup>2</sup>		61.2 km <sup>2</sup>		
		平均すべり量	$D_{a2}$	104 cm			104 cm		326 cm		
		実効応力	$\sigma_{a2}$	10.1 MPa			10.1 MPa		13.3 MPa		
	第3アス ベリティ	地震モーメント	$M_{0a3}$		4.50E+18 N・m		4.50E+18 N・m		2.89E+19 N・m		
		面積	$S_{a3}$		94.4 km <sup>2</sup>		94.4 km <sup>2</sup>		144.1 km <sup>2</sup>		
		平均すべり量	$D_{a3}$		119 cm		119 cm		501 cm		
		実効応力	$\sigma_{a3}$		8.9 MPa		8.9 MPa		13.3 MPa		
	第4アス ベリティ	地震モーメント	$M_{0a4}$			8.75E+18 N・m	8.75E+18 N・m		3.02E+19 N・m		
		面積	$S_{a4}$			106.1 km <sup>2</sup>	106.1 km <sup>2</sup>		148.5 km <sup>2</sup>		
		平均すべり量	$D_{a4}$			206 cm	206 cm		508 cm		
		実効応力	$\sigma_{a4}$			11.4 MPa	11.4 MPa		13.3 MPa		
第5アス ベリティ	地震モーメント	$M_{0a5}$			2.01E+18 N・m	2.01E+18 N・m		1.07E+19 N・m			
	面積	$S_{a5}$			39.8 km <sup>2</sup>	39.8 km <sup>2</sup>		74.3 km <sup>2</sup>			
	平均すべり量	$D_{a5}$			126 cm	126 cm		359 cm			
	実効応力	$\sigma_{a5}$			11.4 MPa	11.4 MPa		13.3 MPa			
背景領域	地震モーメント	$M_{0b}$	9.29E+18 N・m	5.73E+18 N・m	1.37E+19 N・m	2.87E+19 N・m	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$	4.90E+19 N・m	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$		
	面積	$S_b$	425.9 km <sup>2</sup>	334.6 km <sup>2</sup>	517.1 km <sup>2</sup>	1277.6 km <sup>2</sup>	$S_b = S - S_a$	1087.6 km <sup>2</sup>	$S_b = S - S_a$		
	平均すべり量	$D_b$	55 cm	43 cm	66 cm	56 cm	$D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$	113 cm	$D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$		
	実効応力	$\sigma_b$	2.0 MPa	1.8 MPa	2.3 MPa	-	$\sigma_b = 0.2 \times \Delta\sigma_a$	2.7 MPa	$\sigma_b = 0.2 \times \Delta\sigma_a$		
その他の 震源パラ メータ	剛性率	$\mu$	4.00E+10 N/m <sup>2</sup>	4.00E+10 N/m <sup>2</sup>	4.00E+10 N/m <sup>2</sup>	4.00E+10 N/m <sup>2</sup>	-	4.00E+10 N/m <sup>2</sup>	-		
	平均すべり量	D	76 cm	60 cm	92 cm	78 cm	$D = M_0 / (\mu S)$	228 cm	$D = M_0 / (\mu S)$		
	S波速度	$\beta$	3.5 km/s	3.5 km/s	3.5 km/s	3.5 km/s	-	3.5 km/s	-		
	破壊伝播速度	$V_R$	2.5 km/s	2.5 km/s	2.5 km/s	2.5 km/s	Geller(1976)	2.5 km/s	Geller(1976)		

経験的グリーン関数法に用いた要素地震は敷地前面海域の断層群の地震動評価と同様に芸予地震の余震 (2001.03.26 M5.2)

# 130kmパラメータ表比較(抜粋)

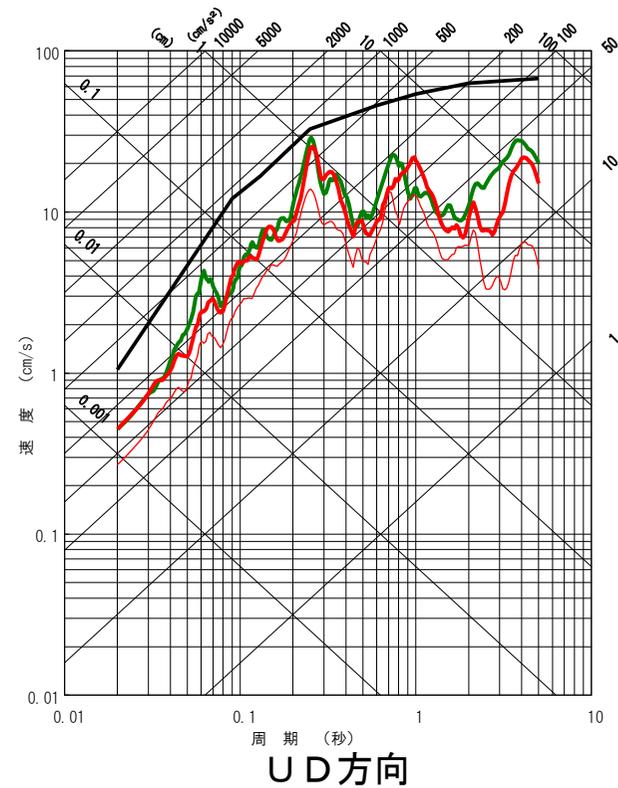
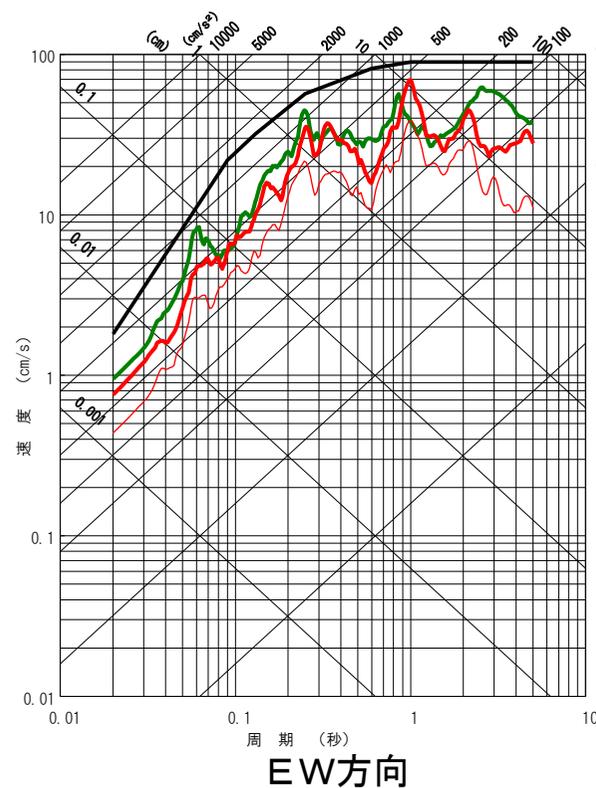
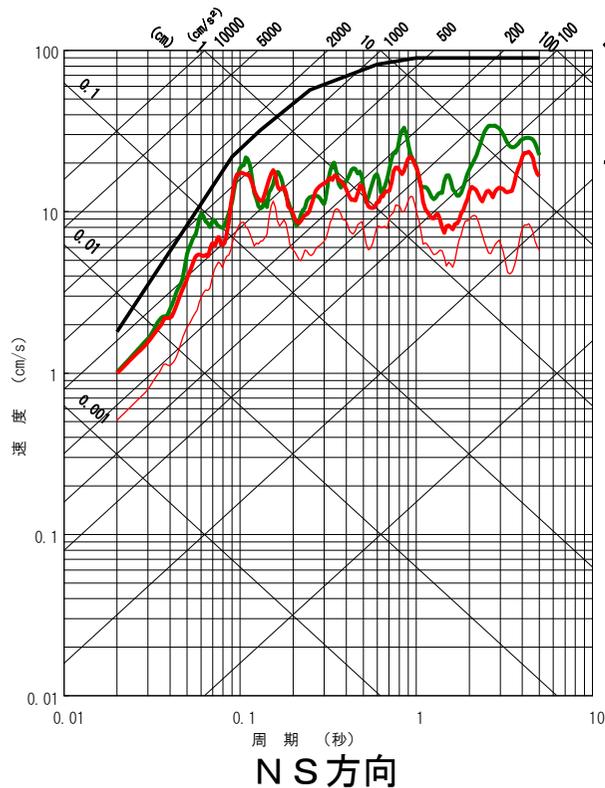
断層パラメータ		記号	130kmカスケードモデル	130kmスケーリングモデル	
巨視的 パラメータ	地震モーメント	$M_0$	$5.13 \times 10^{19} \text{ N}\cdot\text{m}$	$1.49 \times 10^{20} \text{ N}\cdot\text{m}$	
	モーメントマグニチュード	$M_W$	7.1	7.4	
	気象庁マグニチュード	$M_J$	7.5	7.9	
微視的パラメータ	全アスペリティ	平均すべり量	$D_a$	157 cm	456 cm
		応力降下量	$\Delta \sigma_a$	8.9~11.4 MPa	13.3 MPa
	第1アスペリティ	平均すべり量	$D_{a1}$	170 cm	461 cm
		応力降下量	$\Delta \sigma_{a1}$	10.1 MPa	13.3 MPa
	第2アスペリティ	平均すべり量	$D_{a2}$	104 cm	326 cm
		応力降下量	$\Delta \sigma_{a2}$	10.1 MPa	13.3 MPa
	第3アスペリティ	平均すべり量	$D_{a3}$	119 cm	501 cm
		応力降下量	$\Delta \sigma_{a3}$	8.9 MPa	13.3 MPa
	第4アスペリティ	平均すべり量	$D_{a4}$	206 cm	508 cm
		応力降下量	$\Delta \sigma_{a4}$	11.4 MPa	13.3 MPa
第5アスペリティ	平均すべり量	$D_{a5}$	126 cm	359 cm	
	応力降下量	$\Delta \sigma_{a5}$	11.4 MPa	13.3 MPa	



# 断層モデルによる地震動評価結果

断層モデル(経験的グリーン関数法)による地震動評価を実施。  
評価の結果, スケーリング則を適用した地震動は, 基準地震動 $S_s-1$ に包絡されること, および基準地震動 $S_s-2$ と同程度以下であることを確認した。

- 基準地震動  $S_s-1$
- 基準地震動  $S_s-2$
- 中央構造線断層帯130kmスケールモデル
- 中央構造線断層帯130kmカスケードモデル



# 参考文献

---

- 壇一男・渡辺基史, 佐藤俊明, 石井透, 2001, 断層の非一様すべり破壊モデルから算定される短周期レベルと半経験的波形合成法による強震動予測のための震源断層のモデル化, 日本建築学会構造系論文集, 第545号, 51-62
- 壇一男・佐藤俊明, 1998, 断層の非一様すべり破壊を考慮した半経験的波形合成法による強震動予測, 日本建築学会構造系論文集, 第509号, 49-60.
- Geller, R. , 1976, Scaling relations for earthquake source parameters and magnitudes, Bull. Seism. Soc. Am., 66, 1501-1523.
- 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, 849-875.
- JEAG4601-2007, 2007, 原子力発電所耐震設計技術指針 基準地震動策定・地質調査編, 社団法人日本電気協会原子力規格委員会
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2003, 中央構造線断層帯(金剛山地東縁-伊予灘)の長期評価について
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2005, 「全国を概観した地震動予測地図 報告書」
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2008, 「震源を特定した地震の強震動予測手法(レシピ)」
- Kanamori, H. , 1977, The energy release in great earthquakes, J. Geophys. Res. 82,2981-2987.
- 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の関係, 地震2, 51, 211-228.
- 堤浩之・後藤秀昭, 2006, 四国の中央構造線断層帯の最新活動に伴う横ずれ変位量分布, 地震2, 59, 117-132.