

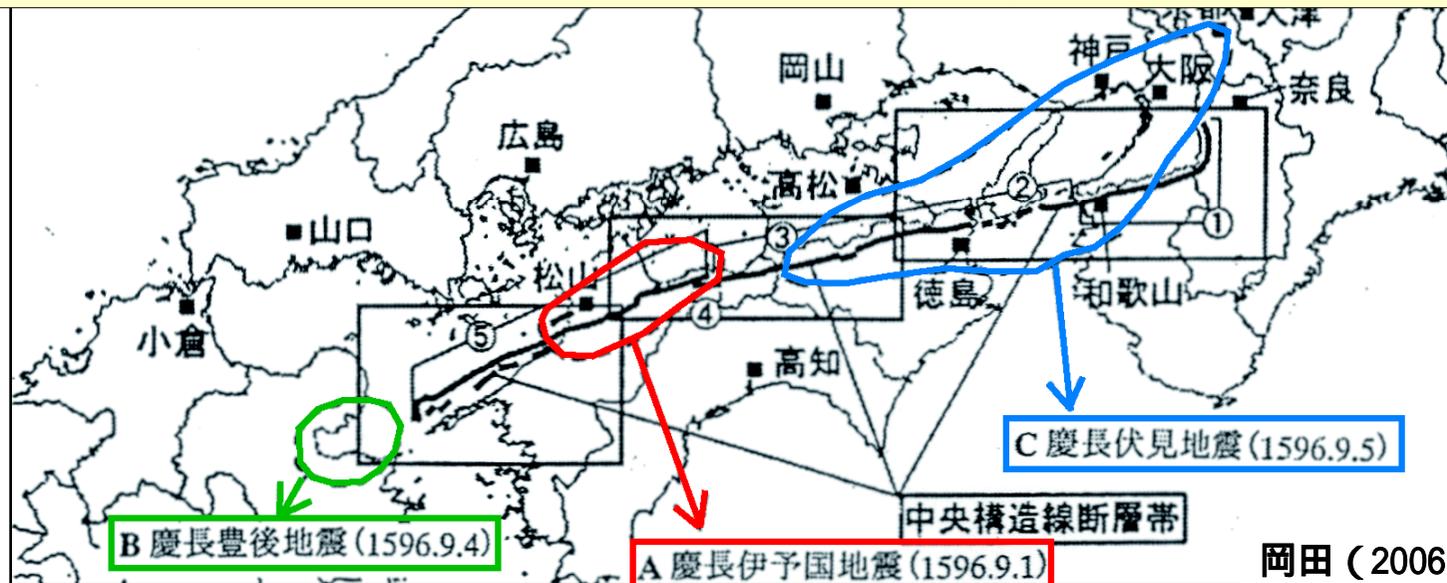
歴史地震

どの程度の規模の地震がどの活断層から発生したのか現状では結論を出すには至っていない。

「中央構造線断層帯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，2003）より
四国東端の鳴門市付近から愛媛県伊予市を経て伊予灘の佐田岬北西沖付近に至る区間では，16世紀に最新活動が起こったと推定される。（歴史地震との関係については，記載なし）

「別府 - 万年山断層帯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）より
別府湾 - 日出生断層帯東部の最新活動時期は1596年の慶長豊後地震と推定される。

「活断層で発生する大地震の連動・連鎖」（岡田，2006）より
9月1日に最初に川上断層が活動し，次いで9月4日に別府湾内の活断層帯が動いて，豊後地震を引き起こした。さらに，9月5日に六甲・淡路島や有馬 - 高槻断層帯が活動して，慶長伏見地震を引き起こしたことになる。四国中央部～東部にかけての地域では，地震による被害記録は無いが，現段階でのトレンチ調査結果から推測しても，ほぼ四国全域の中央構造線断層帯が9月1日から5日にかけて連動的に活動した可能性が大きいことになる。



岡田（2006）に一部加筆

豊予海峡～別府湾の活断層分布

地震調査研究推進本部地震調査委員会（2005）による別府湾 - 日出生断層帯は，七山ほか（2002）の豊予海峡セグメントを含む。



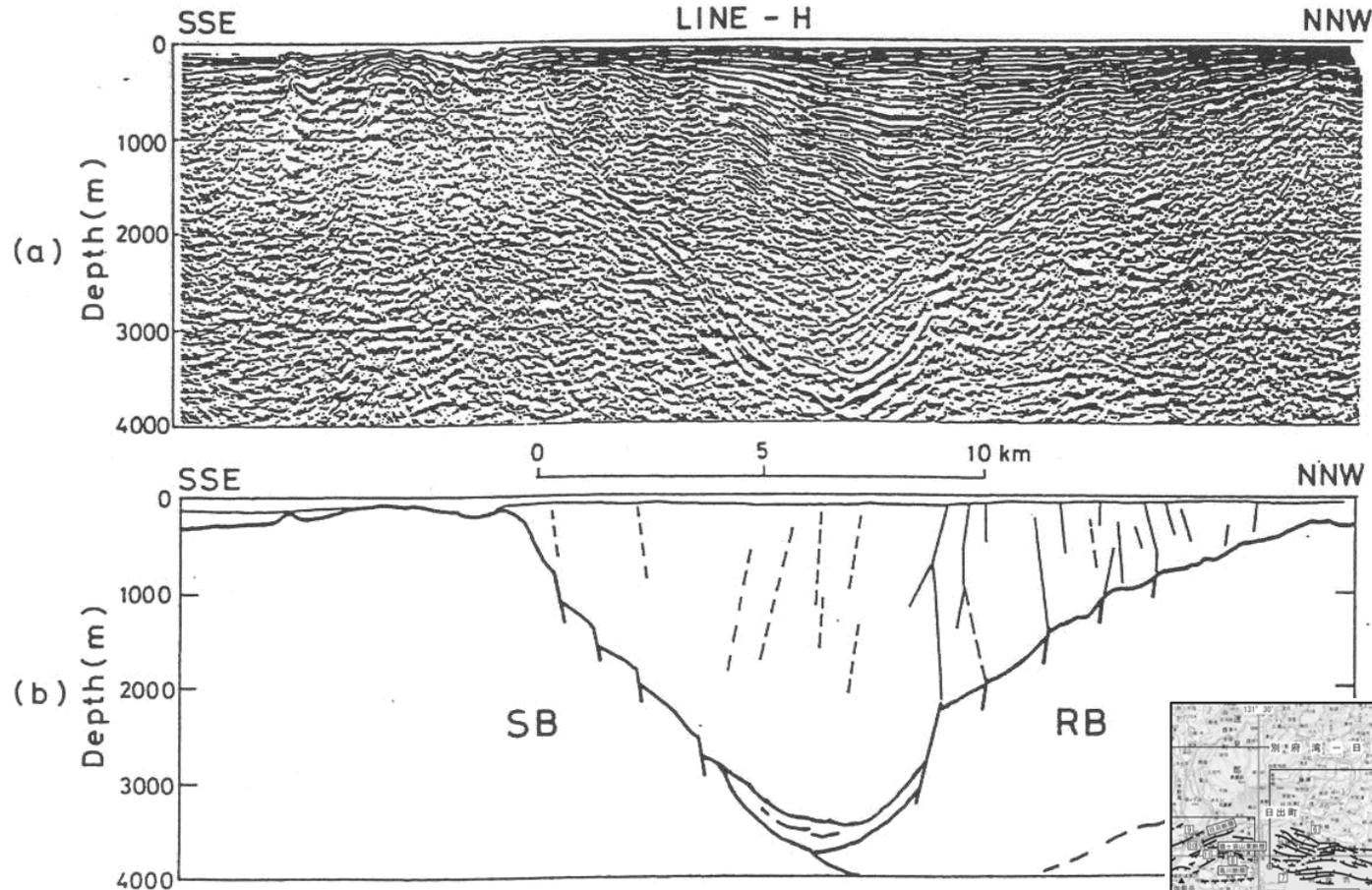
- 1：大在冲地点 2：杵築冲北地点 3：杵築冲南地点 4：別府湾中央東地点 5：別府湾中央西地点 6：豊岡冲地点
 7：亀川冲西地点 8：亀川地点 9：十字字原地点 10：目苅地点 11：猫ヶ岩山東地点 18：大野川河口右岸地点
 19：大野川右岸地点 20：日岡地点 21：芸術会館地点 22：大分川左岸地点 23：府内城址地点 24：朝見地点 25：堀田地点
 （調査地点12-17及び26-38は図2-2参照）
 A-D：反射法弾性波探査測線 A：文献20 B：文献4 C、D：文献12
 ◎：断層帯の東端と西端 ⊕：活動区間の両端
 断層の位置は文献6, 7, 9, 13, 14, 17に基づく。
 基図は国土地理院発行数値地図200000「中津」「大分」を使用。

地震調査研究推進本部
地震調査委員会（2005）より



豊予海峡付近の深部地下構造(由佐ほか, 1992)

エアガン断面(由佐ほか, 1992)



「反射法地震探査と重力測定による別府湾の地下構造」(由佐ほか, 1992)
「領家帯基盤の上方に断層が多い。そのいくつかは基盤から海底面まで堆積層全体を切っており、また、基盤の断裂と連続しているものもある。」
「これに反し、南側の三波川基盤の上方においては、地層の乱れがめだち、はっきりした断層は認めがたい。」

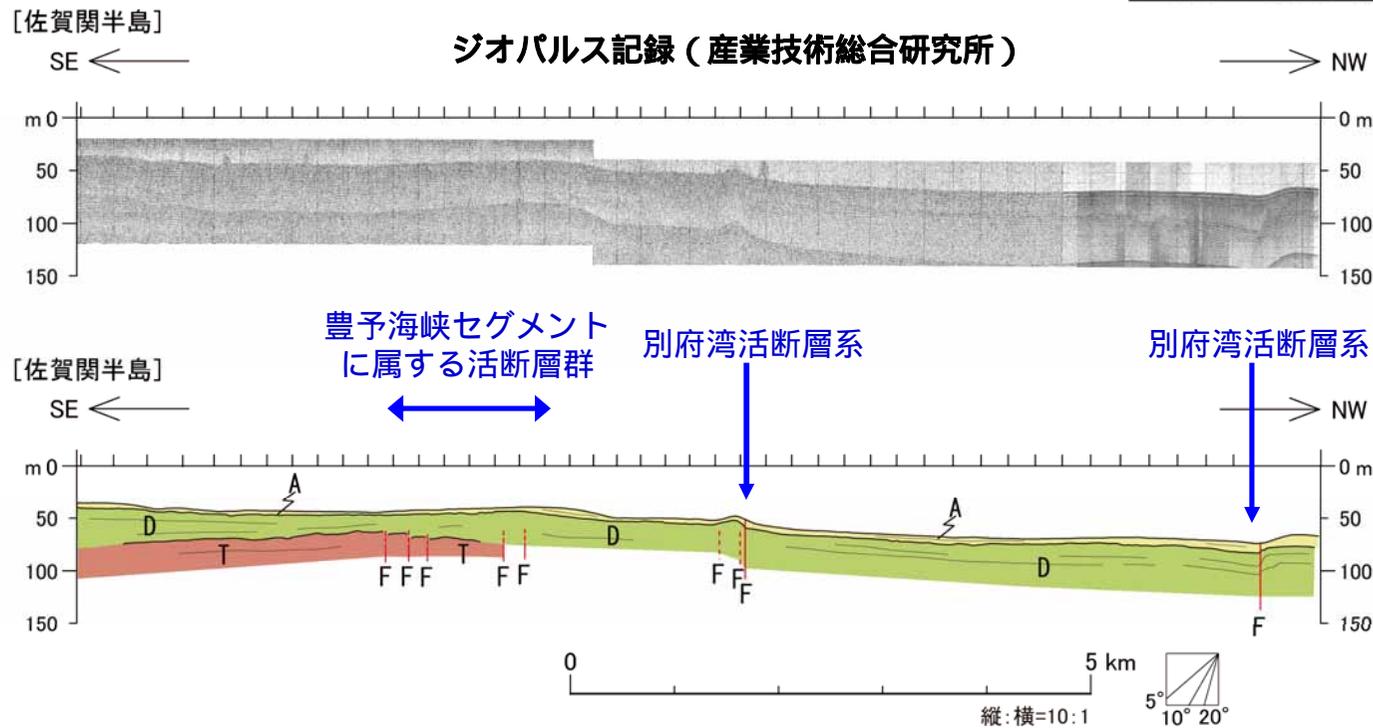
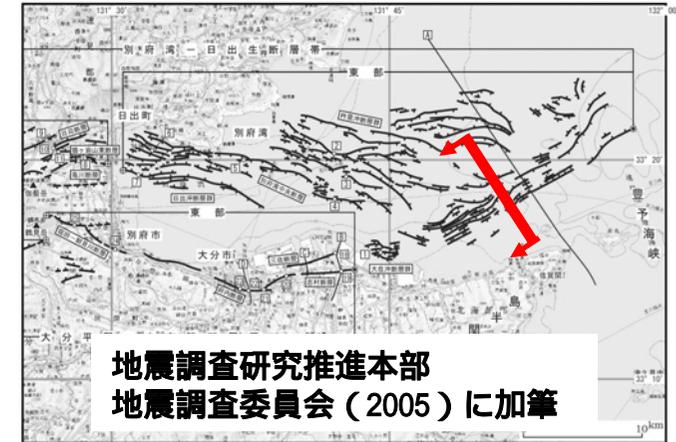


豊予海峡付近の浅部地下構造(七山ほか, 2002)

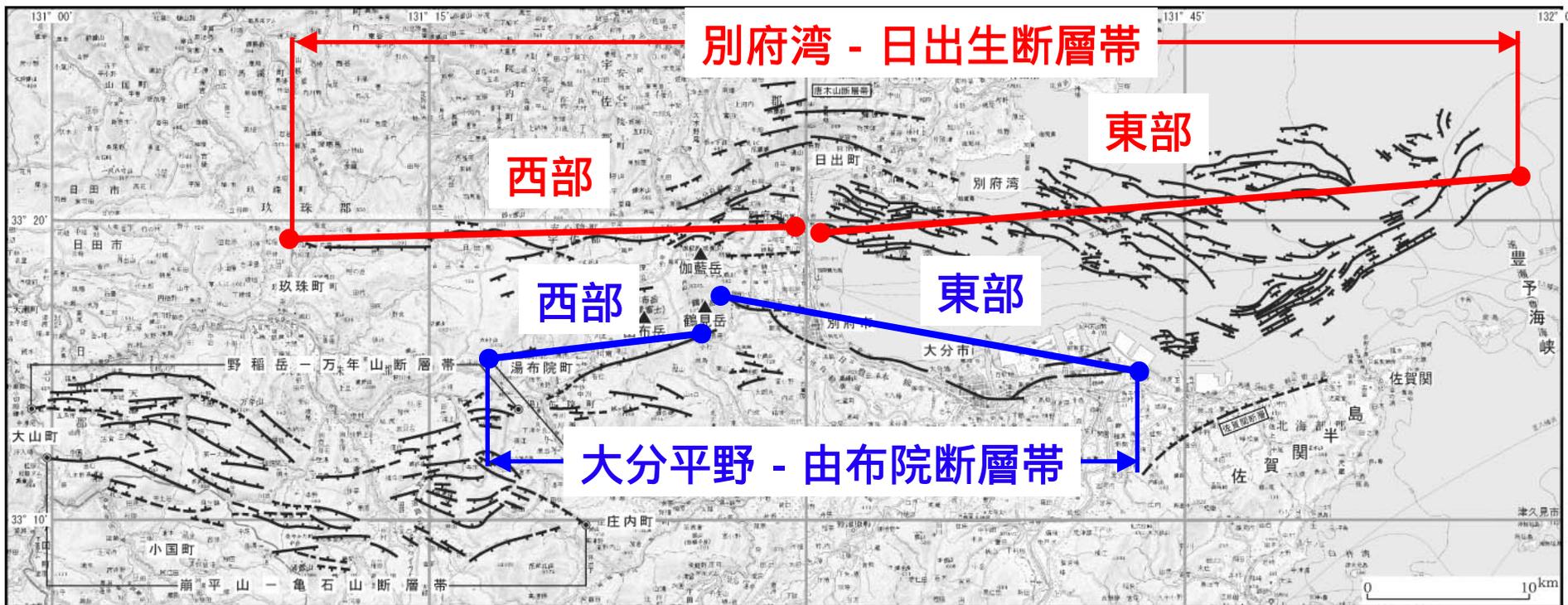
「伊予灘～佐賀関沖MTL活断層系の広域イメージングとセグメント区分」(七山ほか, 2002)

「領家帯上の活断層群は, その分布位置と走向から, 別府湾活断層系に属すると考えられ, 完新統に変位を及ぼし多くは海底の変位・変形を伴っている。」

「豊予海峡セグメントには, 正断層的な構造を伴う断層と横ずれ構造を伴う断層が混在する。これらは完新統や海底面に变位を及ぼしていないものが多く, 本セグメントの活動性が伊予セグメントや伊予灘セグメントよりも低いことを示唆する。」



地震調査研究推進本部地震調査委員会(2005)



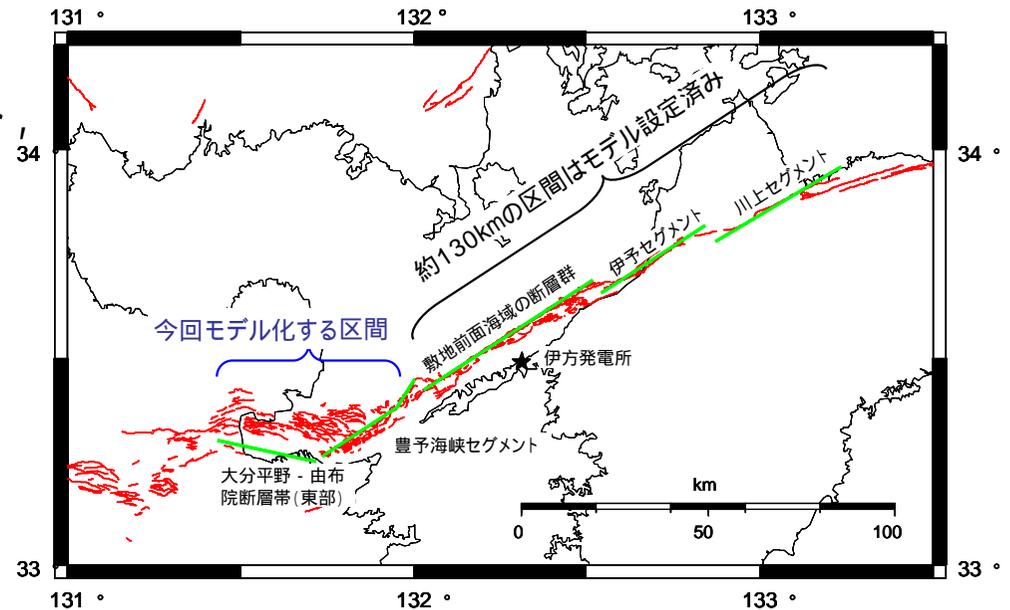
断層の名称		長さ	断層の性状	最新活動時期	平均活動間隔	将来の活動	今後に向けて
別府湾 - 日出生断層帯	東部	43km	主として北側が相対的に隆起する正断層	1596年の慶長豊後地震	約1,300 ~ 1,700年	東部と西部がそれぞれ単独で活動すると推定される。なお、全体が同時に活動する場合、火山地域に分布する断層帯であることを考慮すると、「今後に向けて」に記述するような事項に留意する必要がある。	過去の活動時期を見ると別府湾 - 日出生断層帯東部と大分平野 - 由布院断層帯東部が短い時間で連続して活動した可能性も示唆されるため、過去の活動について、さらに精度の良い資料を集積する必要がある。 また、別府 - 万年山断層帯の活動は火山活動とも密接な関係があることも考えられ、この点についても今後検討していく必要がある。
	西部	32km		約7,300年前以降 6世紀以前	約13,000 ~ 25,000年		
大分平野 - 由布院断層帯	東部	27km	南側が相対的に隆起する正断層	約2,200年前以降 6世紀以前	約2,300 ~ 3,000年	同上	
	西部	14km		約2千年前以降 18世紀初頭以前	約700 ~ 1,700年		



地震動評価

西側への連動モデル(約180km)

敷地前面海域の断層群を含む約130kmの区間(前面海域の断層群, 伊予セグメント, 川上セグメント)から大分平野 - 由布院断層帯(東部)までの180km区間が連動するケースを念のために想定し, 地震動評価を行なった。断層モデルは5つのセグメント毎にスケーリング則を適用するカスケードモデルで構築した。



検討ケース	基本震源モデルの設定条件			不確かさを考慮するパラメータ		
	アスペリティ 深さ	アスペリティ 平面位置	破壊 開始点	断層長さ (km)	応力 降下量	断層傾斜角
180km連動 (カスケード)	断層上端	地質調査 結果より	断層東下端 断層西下端	186 (カスケード)	レシピ	大分, 豊予(西): 60° 豊予(東)他: 90°

: 予め基本震源モデルに織り込む不確かさ

: 不確かさを考慮するパラメータ

モデル化方針(豊予海峡セグメント, 大分平野 - 由布院断層帯(東部))

豊予海峡セグメントおよび大分平野 - 由布院断層帯(東部)のモデルは下記の方針に基づき設定する。

【断層長さ, 位置】

豊予海峡セグメント: 地表トレースと整合するように設定

大分平野 - 由布院断層帯(東部): 断層長さは地震本部(2005)のモデルを採用。
断層上端深さは地震本部(2009)の値を採用

【傾斜角】

豊予海峡セグメント: 地質調査結果や大分平野 - 由布院断層帯(東部)への連動を考慮して設定

大分平野 - 由布院断層帯(東部): 地震本部(2009)の知見を踏まえて設定

【応力降下量】

中央構造線断層帯の評価において, 長さ33 ~ 69kmの断層は長大断層と短い断層の中間的なものであることから断層面の形状に応じて評価できる楕円クラック式を採用して応力降下量を算定している。この考えを踏襲し,

・豊予海峡セグメント(三崎沖ジョグを一部含む) L=33km: 楕円クラック式

・大分平野 - 由布院断層帯(東部) L=27km: 円形クラック式

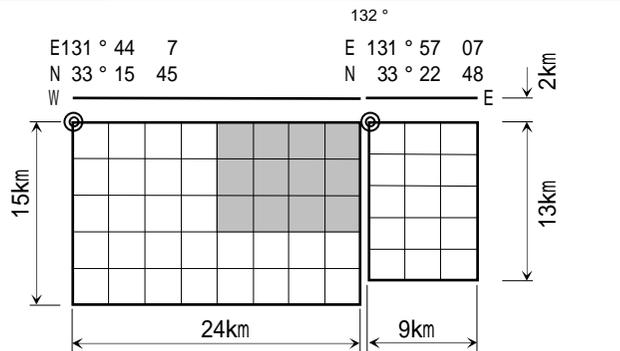
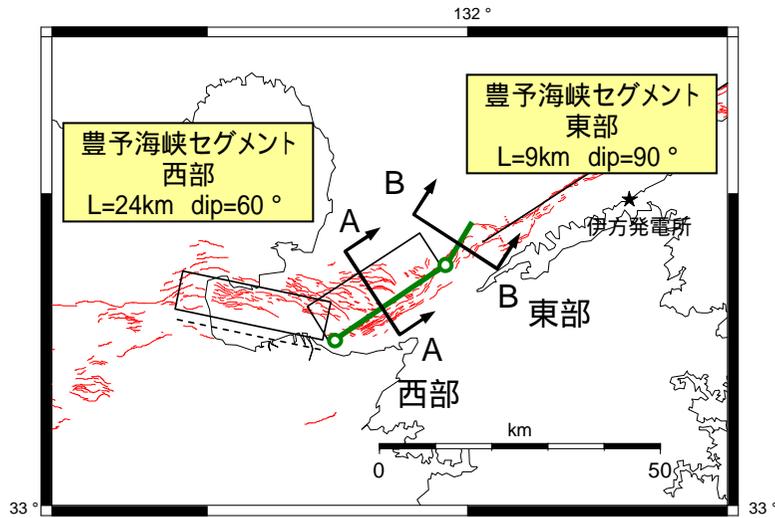
を採用する。

【アスペリティ位置】

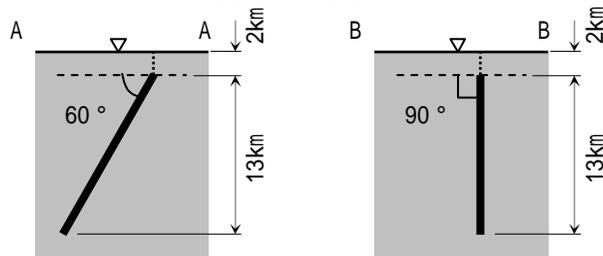
豊予海峡セグメント: 断層上端に配置するとともに, 三崎沖ジョグに隣接する位置に1つ配置

大分平野 - 由布院断層帯(東部): 断層上端に配置するとともに, 敷地に最も近づけた位置に1つ配置

豊予海峡セグメント 断層モデル



断層モデル図



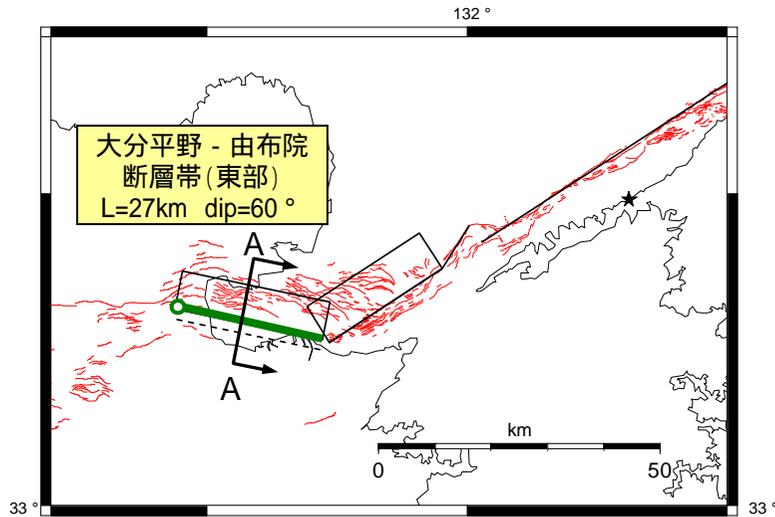
A-A 断面図

B-B 断面図

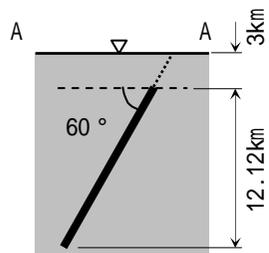
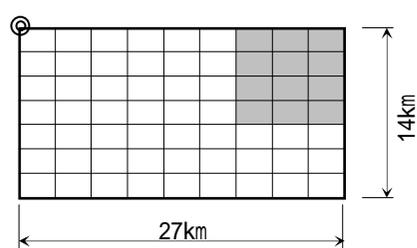
断層パラメータ	記号	豊予海峡セグメント		根拠	
		豊予海峡セグメント 西部	豊予海峡セグメント 東部		
断層位置(断層西端)	-	東経 131° 44' 7"	東経 131° 57' 7"	走向・傾斜角が東部と西部で異なるため東部と西部に分けて設定	
		北緯 33° 15' 45"	北緯 33° 22' 48"		
走向		N57E	N32E		
傾斜角		60°	90°		
断層長さ	L	24 km	9 km		
断層幅	W	15 km	13 km		
断層面積	S	360 km ²	117 km ²		
断層上端深さ	H	2 km	2 km		
破壊伝播形式	-	同心円状			
応力降下量		2.1 MPa		楕円クラック	
地震モーメント	M ₀	1.27E+19 N·m		入倉・三宅(2001)	
モーメントマグニチュード	M _w	6.7		Kanamori(1977)	
気象庁マグニチュード	M _J	7.0		武村(1998)	
短周期レベル	A	8.98E+18 N·m/s ²		A=(A _a ² +A _b ²) ^{1/2}	
アスベリティ	地震モーメント	M _{0a}	5.57E+18 N·m	-	M _{0a} =μ D _a S _a
	面積	S _a	104.9 km ²	-	S _a =S×22%
	平均すべり量	D _a	133 cm	-	D _a =2.0×D
	応力降下量	a	9.4 MPa	-	a = /22%
	短周期レベル	A _a	8.40E+18 N·m/s ²	-	A _a =4 (S _a /) ^{1/2} a ²
背景領域	地震モーメント	M _{0b}	7.09E+18 N·m	-	M _{0b} =M ₀ -M _{0a}
	面積	S _b	372.1 km ²	-	S _b =S-S _a
	平均すべり量	D _b	48 cm	-	D _b =M _{0b} /(μ S _b)
	実効応力	b	1.9 MPa	-	b=0.2× a
短周期レベル	A _b	3.16E+18 N·m/s ²	-	A _b =4 (S _b /) ^{1/2} b ²	
その他の震源パラメータ	剛性率	μ	4.00E+10 N/m ²		
	平均すべり量	D	66 cm		D=M ₀ /(μ S)
	S波速度		3.5 km/s		
	破壊伝播速度	V _R	2.5 km/s		Geller(1976)



大分平野 - 由布院断層帯(東部) 断層モデル



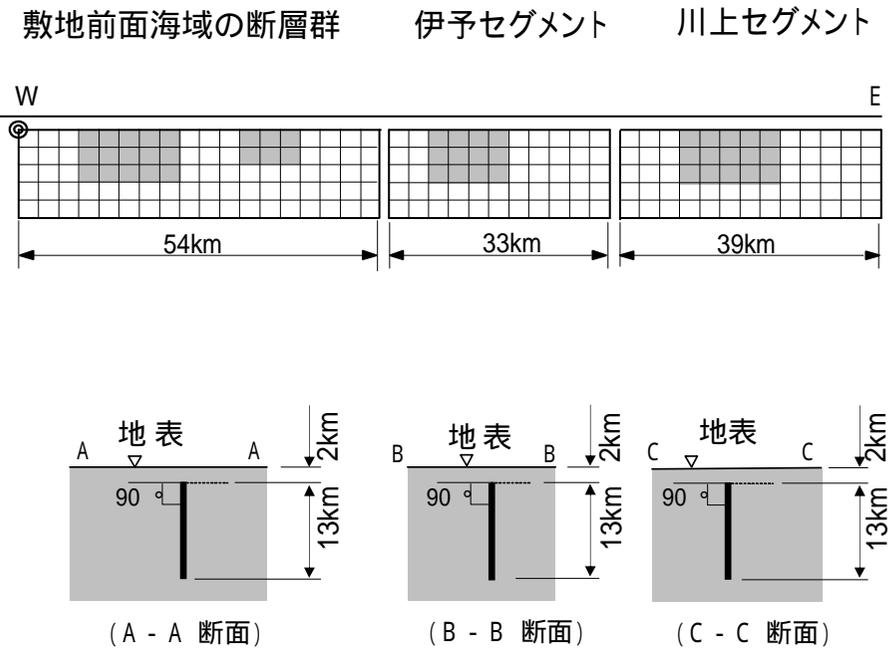
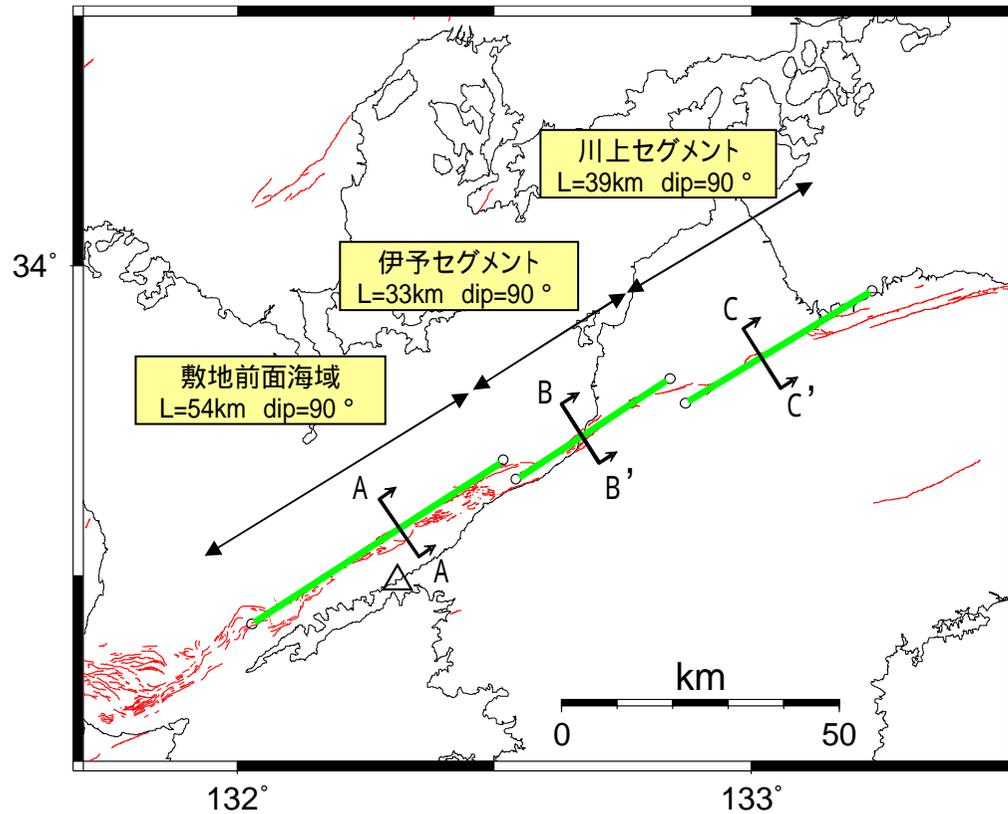
E 131° 26' 14"
N 33° 18' 55"



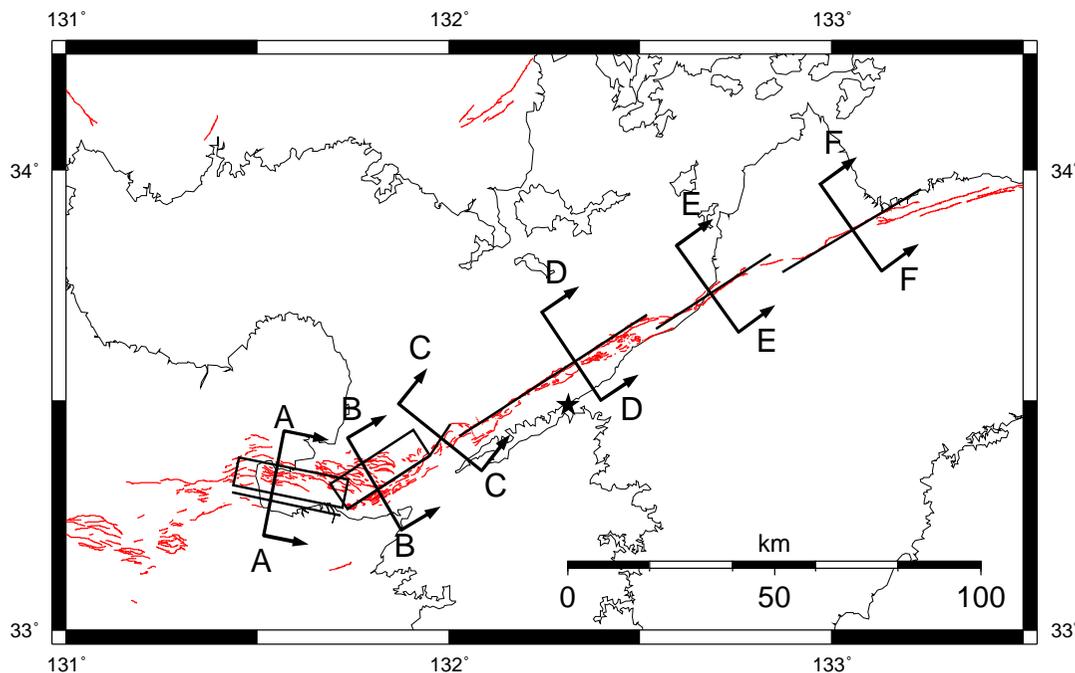
断層パラメータ	記号	大分平野 - 由布院断層帯 東 部	根拠	
断層位置(断層西端)	-	東経 131° 26' 14" 北緯 33° 18' 55"	地震本部(2005,2009)を参考に設定	
走向		N101.8E		
傾斜角		60°		
断層長さ	L	27 km		
断層幅	W	14 km		
断層面積	S	378 km ²		
断層上端深さ	H	3 km		
破壊伝播形式	-	同心円状		
応力降下量		2.6 MPa		円形クラック
地震モーメント	M ₀	7.95E+18 N·m		入倉・三宅(2001)
モーメントマグニチュード	M _W	6.5	Kanamori(1977)	
気象庁マグニチュード	M _J	7.0	武村(1990)	
短周期レベル	A	1.14E+19 N·m/s ²	A=(A _a ² +A _b ²) ^{1/2}	
巨視的パラメータ	地震モーメント	M _{0a}	2.81E+18 N·m	M _{0a} =μ D _a S _a
	面積	S _a	66.9 km ²	S _a = ((7/4)Mo/(A*(S/) ^{1/2})*) ²
	平均すべり量	D _a	105 cm	D _a =2.0 × D
	応力降下量	a	14.9 MPa	a=(S/S _a)*
微視的パラメータ	短周期レベル	A _a	1.06E+19 N·m/s ²	A=4 (S _a /) ^{1/2} , a ²
	地震モーメント	M _{0b}	5.14E+18 N·m	M _{0b} =M ₀ -M _{0a}
	面積	S _b	311.1 km ²	S _b =S-S _a
	平均すべり量	D _b	41 cm	D _b =M _{0b} /(μ S _b)
背景領域	実効応力	b	2.7 MPa	b=(D _b /(S _b) ^{1/2})/(D _a /(S _a) ^{1/2})
	短周期レベル	A _b	4.15E+18 N·m/s ²	A _b =4 (S _b /) ^{1/2} , b ²
	剛性率	μ	4.00E+10 N/m ²	
その他の震源パラメータ	平均すべり量	D	53 cm	D=M ₀ /(μ S)
	S波速度		3.5 km/s	
	破壊伝播速度	V _R	2.5 km/s	Geller(1976)



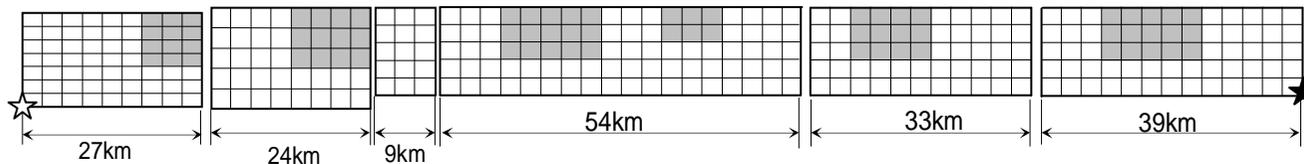
敷地前面海域, 伊予セグメント, 川上セグメントの断層モデル



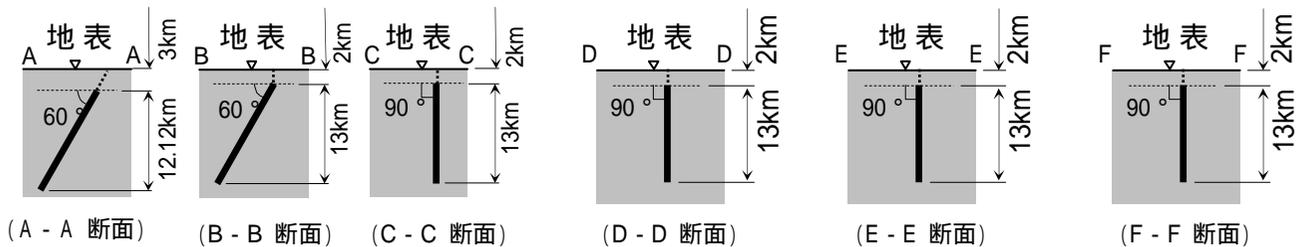
180km連動モデル(カスケード)



大分平野
 - 由布院断層帯 (東部) 豊予海峡セグメント (西部・東部) 敷地前面海域の断層群 伊予セグメント 川上セグメント
 W E



☆☆ : 破壊開始点



パラメータ表(全体)

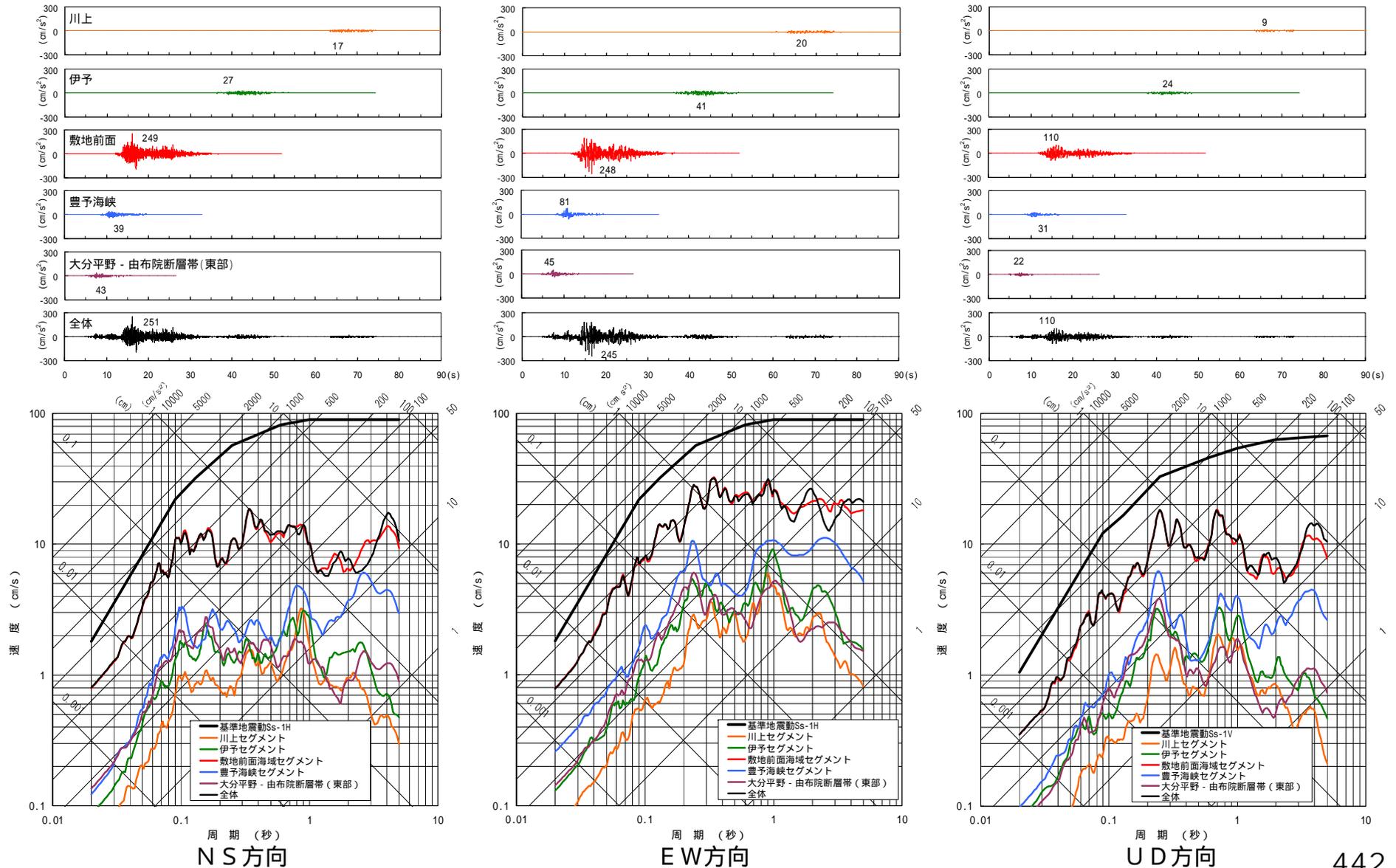
断層パラメータ	記号	180km連動モデル(カスケードモデル)						全体(186km)	
		大分平野 - 由布院断層帯 (東部)	豊予海峡セグメント		敷地前面海域の断層群	伊予セグメント	川上セグメント		
			西部	東部					
断層位置(断層西端)	-	東経: 131° 26' 14" 北緯: 33° 18' 55"	東経: 131° 44' 7" 北緯: 33° 15' 45"	東経: 132° 57' 7" 北緯: 33° 22' 48"	東経: 132° 1' 42" 北緯: 33° 25' 20"	東経: 132° 32' 28" 北緯: 33° 39' 21"	東経: 132° 52' 16" 北緯: 33° 46' 42"	東経: 131° 26' 14" 北緯: 33° 18' 55"	
走向		N101.8E	N57E	N32E	N57E	N57E	N59E	-	
傾斜角		60°	60°	90°	90°	90°	90°	60~90°	
断層長さ	L	27.0 km	24.0 km	9.0 km	54.0 km	33.0 km	39.0 km	186.0 km	
断層幅	W	14.0 km	15.0 km	13.0 km	13.0 km	13.0 km	13.0 km	13~15 km	
断層面積	S	378.0 km ²	360.0 km ²	117.0 km ²	702.0 km ²	429.0 km ²	507.0 km ²	2493.0 km ²	
断層上端深さ	H	3.0 km	2.0 km	2.0 km	2.0 km	2.0 km	2.0 km	2.0~3.0 km	
破壊伝播形式	-	同心円状	同心円状		同心円状	同心円状	同心円状	同心円状	
応力降下量		2.6 MPa	2.1 MPa		2.6 MPa	1.9 MPa	2.1 MPa	-	
地震モーメント	M ₀	7.95E+18 N・m	1.27E+19 N・m		2.74E+19 N・m	1.02E+19 N・m	1.43E+19 N・m	7.26E+19 N・m	
モーメントマグニチュード	M _W	6.5	6.7		6.9	6.6	6.7	7.2	
気象庁マグニチュード	M _J	7.0	7.0		7.3	6.9	7.0	7.6	
短周期レベル	A	1.14E+19 N・m/s ²	8.98E+18 N・m/s ²		1.36E+19 N・m/s ²	7.99E+18 N・m/s ²	9.49E+18 N・m/s ²	-	
巨視的 パラメータ	全アス ペリティ	地震モーメント	M _{0a}	2.81E+18 N・m	5.57E+18 N・m	1.21E+19 N・m	4.50E+18 N・m	6.29E+18 N・m	
		面積	S _a	66.9 km ²	104.9 km ²	154.4 km ²	94.4 km ²	111.5 km ²	
	平均すべり量	D _a	105 cm	133 cm	195 cm	119 cm	141 cm		
	応力降下量	a	14.9 MPa	9.4 MPa	11.8 MPa	8.9 MPa	9.7 MPa		
	第1アス ペリティ	地震モーメント	M _{0a1}	2.81E+18 N・m	5.57E+18 N・m	9.81E+18 N・m	4.50E+18 N・m	6.29E+18 N・m	
		面積	S _{a1}	66.9 km ²	104.9 km ²	112.3 km ²	94.4 km ²	111.5 km ²	
		平均すべり量	D _{a1}	105 cm	133 cm	218 cm	119 cm	141 cm	
		実効応力	a ₁	14.9 MPa	9.4 MPa	11.8 MPa	8.9 MPa	9.7 MPa	
	第2アス ペリティ	地震モーメント	M _{0a2}			2.25E+18 N・m			
		面積	S _{a2}			42.1 km ²			
		平均すべり量	D _{a2}			134 cm			
		実効応力	a ₂			11.8 MPa			
	背景 領域	地震モーメント	M _{0b}	5.14E+18 N・m	7.09E+18 N・m	1.54E+19 N・m	5.73E+18 N・m	8.01E+18 N・m	
		面積	S _b	311.1 km ²	372.1 km ²	547.6 km ²	334.6 km ²	395.5 km ²	
		平均すべり量	D _b	41 cm	48 cm	70 cm	43 cm	51 cm	
		実効応力	b	2.7 MPa	1.9 MPa	2.4 MPa	1.8 MPa	1.9 MPa	
その他の 震源パ ラメータ	剛性率	μ	4.00E+10 N/m ²	4.00E+10 N/m ²	4.00E+10 N/m ²	4.00E+10 N/m ²	4.00E+10 N/m ²		
	平均すべり量	D	53 cm	98 cm	66 cm	60 cm	71 cm		
	S波速度		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	2.5 km/s		

地震動評価は、中央構造線断層帯の地震動評価で採用した要素地震[2001年3月26日安芸灘の地震(M5.2)]を用いた経験的グリーン関数法を用いて行う。



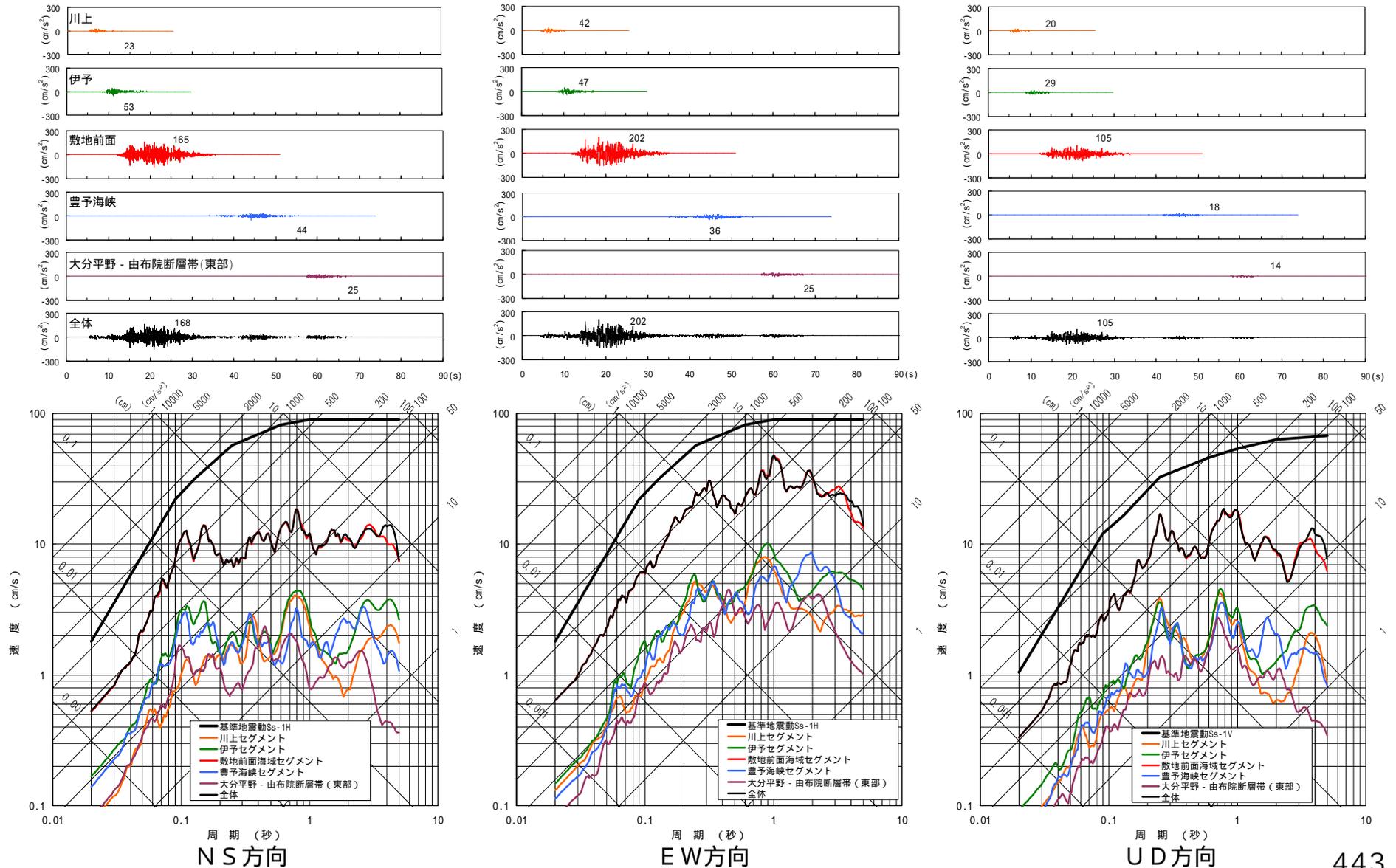
評価結果(破壊開始点 西下端)

念のために実施した180km連動ケースについて、基準地震動に影響しないことを確認した。
また、これまでの連動ケースと同様に、敷地での地震動は敷地前面海域の断層群が支配的であることがわかる。



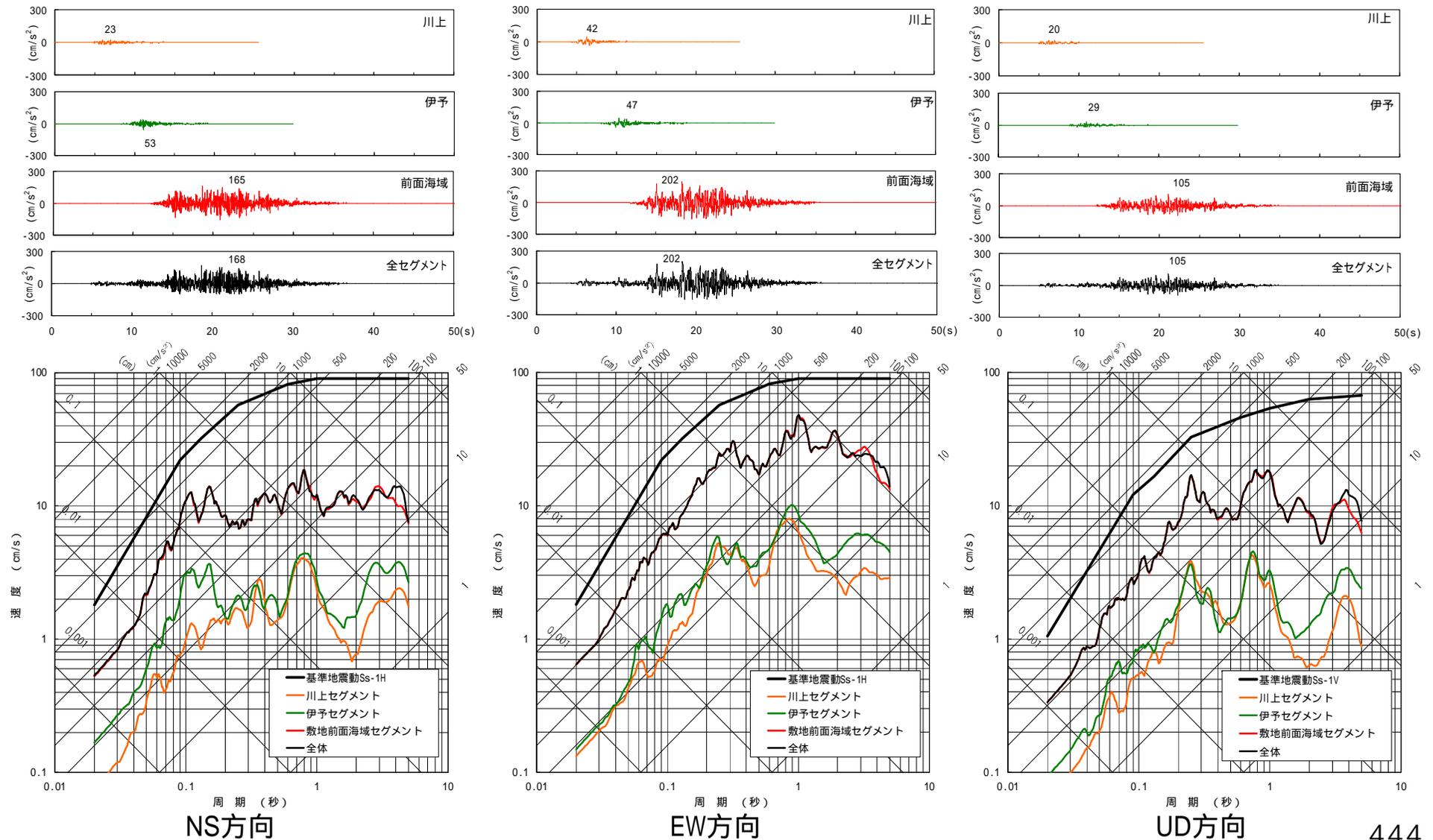
評価結果 (破壊開始点 東下端)

東下端からの破壊ケースも西下端からの破壊と同様に、基準地震動に影響しないことを確認した。
また、敷地前面海域の断層群による地震動が支配的であることがわかる。



参考: 130km連動モデル(カスケード 破壊開始点 東下端)

130kmの結果と180kmの結果を比較すると、180km連動モデルによる地震動は、130km連動モデルよりも継続時間が長くなるが、短周期地震動レベルはほとんど変わらないことがわかる。



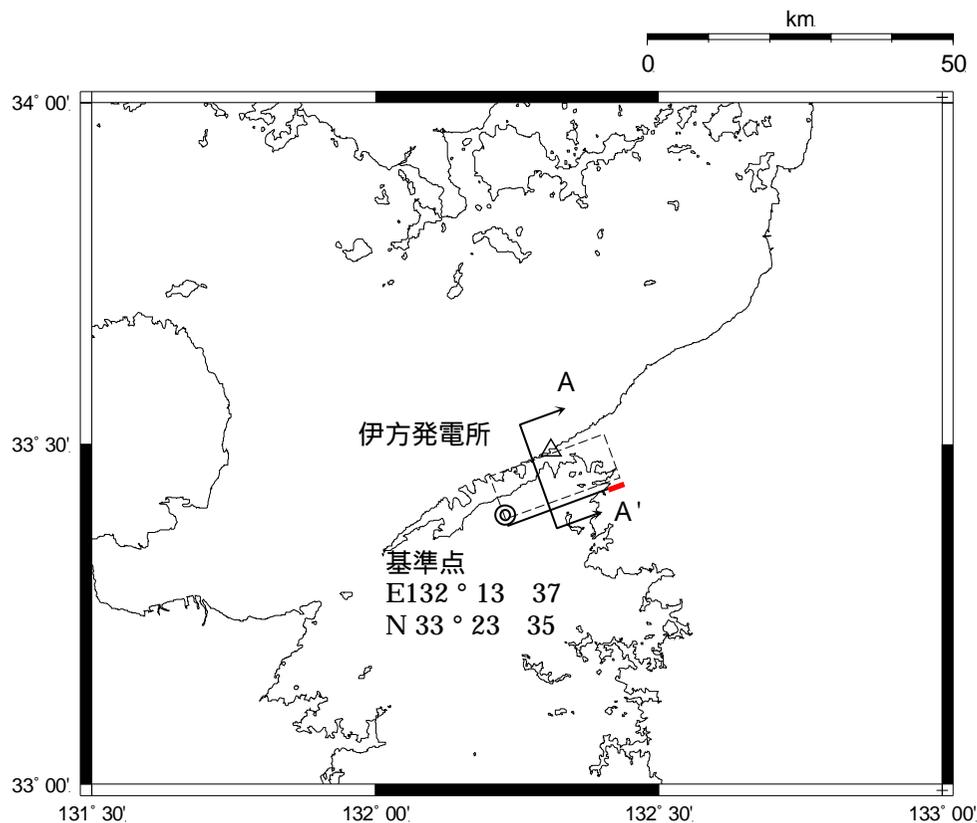
8.16 想定五反田断層の地震動評価

検討の主旨

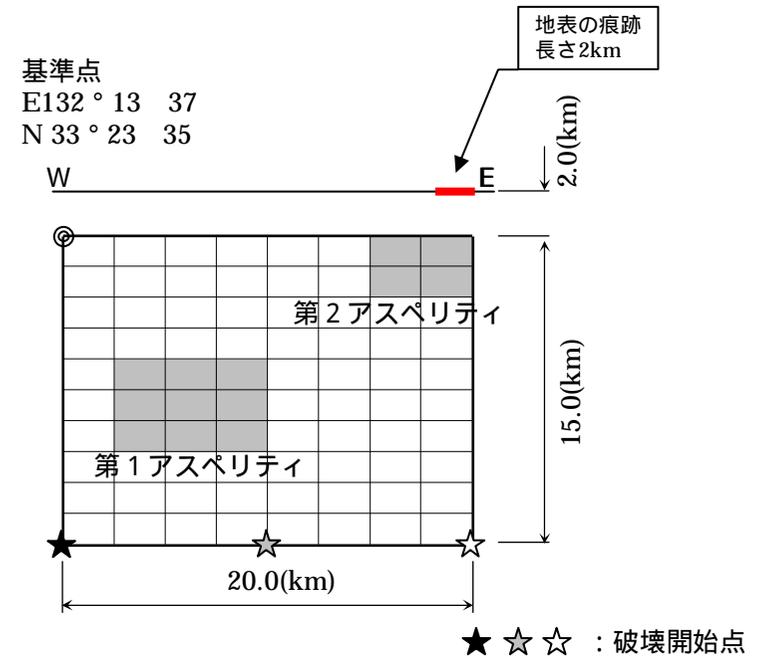
敷地近傍に位置する五反田断層について、孤立した短い活断層の評価に鑑み、地震規模M6.8を設定して地震動評価を行った。

想定五反田断層の地震動評価

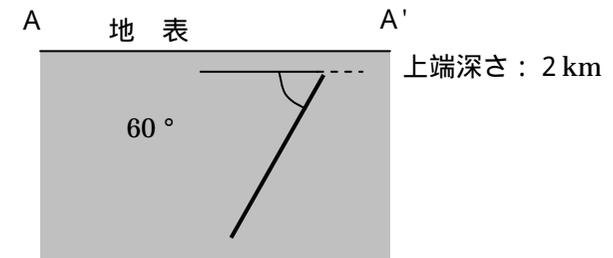
敷地近傍に存在する五反田断層について、孤立した短い活断層の評価に鑑み、地震規模としてM6.8を設定して、地震動評価を行った。



想定五反田断層による地震



断層モデル



(A - A'断面図)

想定五反田断層の地震動評価

断層パラメータ(想定五反田断層による地震)

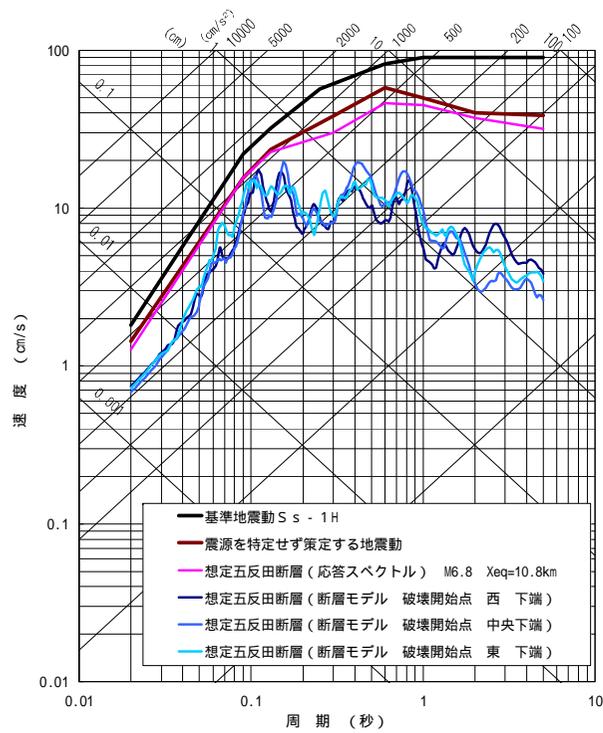
断層パラメータ	記号	設定値	根拠
断層位置	-	東経: 132° 13' 37" 北緯: 33° 23' 35"	
走向		N70E	
傾斜角		北傾斜60°	
断層長さ	L	20.0 km	
断層幅	W	15.0 km	
断層面積	S	300.0 km ²	
断層上端深さ	H	2.0km	
破壊伝播形式	-	同心円状	
応力降下量		2.3MPa	円形クラック
地震モーメント	M ₀	5.01 × 10 ¹⁸ N・m	入倉・三宅(2001)
モーメントマグニチュード	M _W	6.4	Kanamori(1977)
気象庁マグニチュード	M _J	6.8	武村(1990)
剛性率	μ	4.0 × 10 ¹⁰ N/m ²	
平均すべり量	D	42 cm	D=M ₀ /(μ S)
S波速度		3.5 km/s	
破壊伝播速度	V _R	2.5 km/s	Geller(1976)
短周期レベル	A	9.07 × 10 ¹⁸ N・m/s ²	A=2.46 × 10 ¹⁷ × M ₀ ^{1/3}

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 _{0a}	1.52 × 10 ¹⁸ N・m	M _{0a} = μ D _a S _a
	面積	S _a	45.5 km ²	S _a = {(7/4)M ₀ /A/(S/r) ^{1/2} × 2 ² }
	平均すべり量	D _a	83 cm	D _a = 2.0 × D
	応力降下量	σ _a	15.5 MPa	σ _a = (R/r) ² ×
第1アスペリティ	地震モーメント	M _{0a1}	1.12 × 10 ¹⁸ N・m	S ^{1.5} 比で配分
	面積	S _{a1}	30.3 km ²	S _{a1} = S × (2/3)
	平均すべり量	D _{a1}	92 cm	D _{a1} = M _{0a1} / (μ S _{a1})
	実効応力	σ _{a1}	15.5 MPa	σ _{a1} = σ _a
第2アスペリティ	地震モーメント	M _{0a2}	3.97 × 10 ¹⁷ N・m	S ^{1.5} 比で配分
	面積	S _{a2}	15.2 km ²	S _{a2} = S × (1/3)
	平均すべり量	D _{a2}	65 cm	D _{a2} = M _{0a2} / (μ S _{a2})
	実効応力	σ _{a2}	15.5 MPa	σ _{a2} = σ _a
背景領域	地震モーメント	M _{0b}	3.49 × 10 ¹⁸ N・m	M _{0b} = M ₀ - M _{0a}
	面積	S _b	254.5 km ²	S _b = S - S _a
	平均すべり量	D _b	34 cm	D _b = M _{0b} / (μ S _b)
	実効応力	σ _b	2.0 MPa	σ _b = D _b / S _b ^{1/2} × 1/2 / D _a × r × (1/3 + 2/3) ³ / a

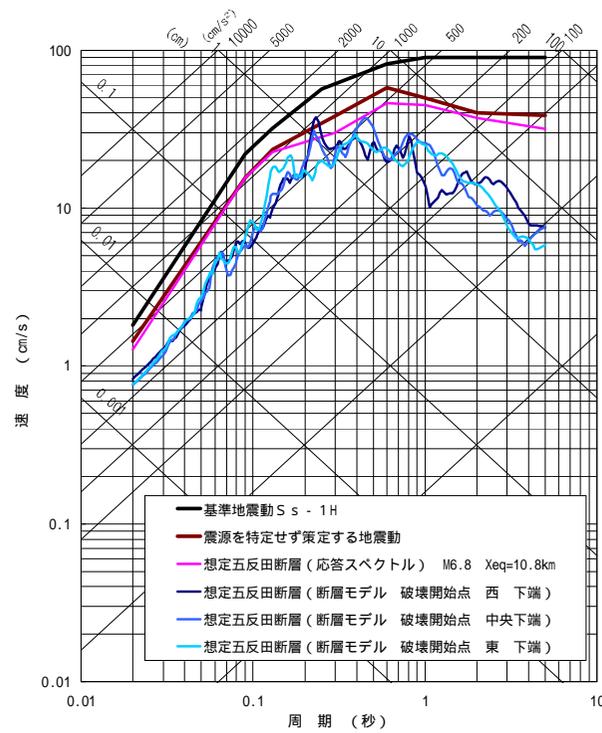


想定五反田断層の地震動評価

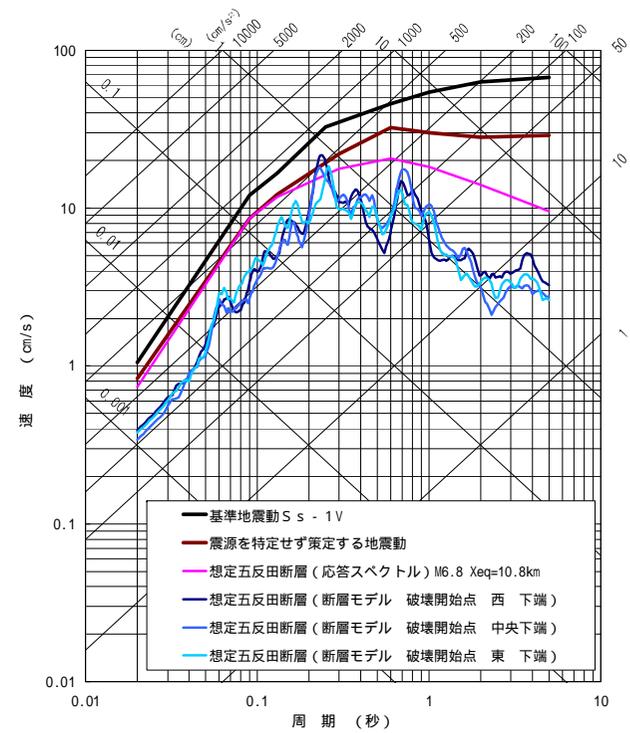
想定五反田断層による評価結果を示す。基準地震動Ss-1を下回ることを確認した。



NS方向



EW方向



UD方向



【参考】 応力降下量に関する知見

Kagawa et al. (2004)

Kagawa et al.(2004)は、破壊が地中に留まる断層(以下伏在断層)と地表に破壊が達する断層(以下地表断層)による地震動の特徴について、以下のような指摘を行っている。

伏在断層による地震動は、周期1秒付近において、平均的な地震動よりも1.5倍程度大きく、逆に、地表断層による地震動は同じ周期帯で、平均よりも1.5倍程度小さい(fig.1)

伏在断層の破壊領域は、地表断層の2/3程度であり、伏在断層の応力降下量は地表断層の応力降下量よりもほぼ2倍程度大きい(Table 3)

深いアスペリティは浅いアスペリティに対して応力降下量が3倍程度大きい(Table 4)

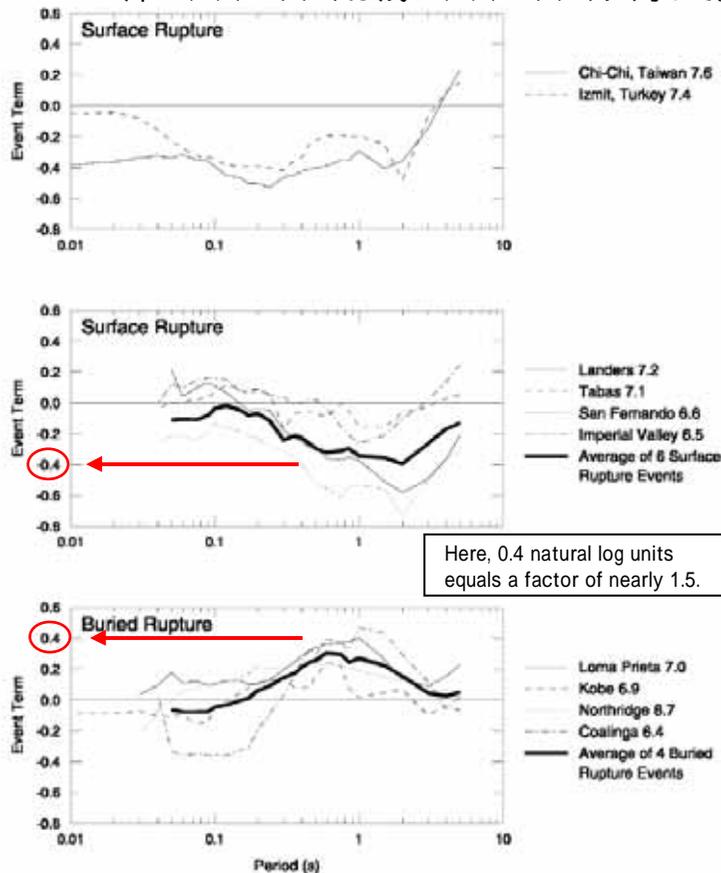


Fig. 1. Ratio of response spectra of recorded ground motions to that of an empirical attenuation relationship for the cases of surface rupture earthquake (top and center) and buried rupture earthquake (bottom). The zero line represents the level of the empirical attenuation relationship. Lines above the zero line indicate an event's ground motion exceeding the model.

Table 3. Scaling relations for the whole ruptures: rupture area A_0 versus M_0 , stress drop $\Delta\sigma_0$, and the ratio of the combined asperity area to the fault area A_a/A_0 .

	M_0 Vs. Rupture Area (common logarithmic standard deviation)	Stress Drop	Area of Fault Covered by Asperities
All Faults	$2.40 \times 10^{-15} M_0^{2/3}$ (0.25)	2.9 ± 2.3 MPa	0.22 ± 0.07
Faults with Surface Break and Shallow Asperities	$2.97 \times 10^{-15} M_0^{2/3}$ (0.25)	2.1 ± 1.7 MPa	0.22 ± 0.07
Faults without Surface Break and Shallow Asperities	$2.03 \times 10^{-15} M_0^{2/3}$ (0.23)	3.7 ± 3.0 MPa	0.20 ± 0.08

2/3程度

ほぼ2倍程度

Table 4. Scaling parameters (the *const* values) for individual asperities: effective stress drops $\Delta\sigma_a$, asperity slip contrast D_a/D_0 and slip velocity V_{eff} .

		Stress Drop	Asperity Slip Contrast	Effective Slip Velocity
Surface Break Fault	Shallow Asperities	6.5 ± 4.6 MPa	2.1 ± 0.4	133 ± 60 cm/s
	Deep Asperities	23.6 ± 15.2 MPa	2.0 ± 0.3	
Buried Fault	Deep Asperities	24.5 ± 14.5 MPa	2.4 ± 0.8	286 ± 164 cm/s

約3倍

【参考】応力降下量に関する知見

壇・ほか(2003)

壇・ほか(2003)は、異なるデータセットを用いてアスペリティの実効応力について分析を行い、以下のような指摘を行っている。

内陸地震の震源インバージョン結果から求めた実効応力
 $asp[\text{bar}] = 106$ (深さを考慮せず)

内陸地震のスペクトルインバージョン結果から求めた実効応力
 $asp[\text{bar}] = 1.45 \cdot H[\text{km}] + 90$ [H:震源深さ]

内陸地震の断層の非一様すべり破壊モデルから求めた実効応力

解放型の横ずれ断層	$asp[\text{bar}] = 0.5 \cdot H[\text{km}] + 44$
潜在型の逆断層	$asp[\text{bar}] = 3.5 \cdot H[\text{km}] + 148$
潜在型の斜めずれ断層	$asp[\text{bar}] = 3.1 \cdot H[\text{km}] + 57$

:アスペリティ内の要素断層の実効応力は、断層タイプによって数倍の差があり、同じ断層タイプでも震源深さによって1~3割の差がある

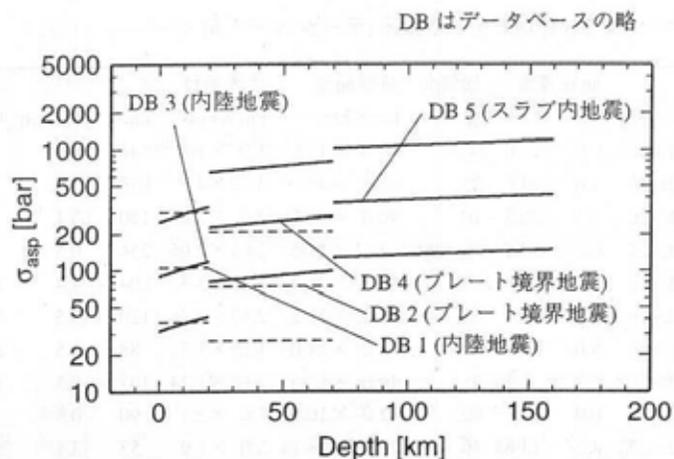


図7 アスペリティの実効応力と震源深さとの関係 (データベース1~5)

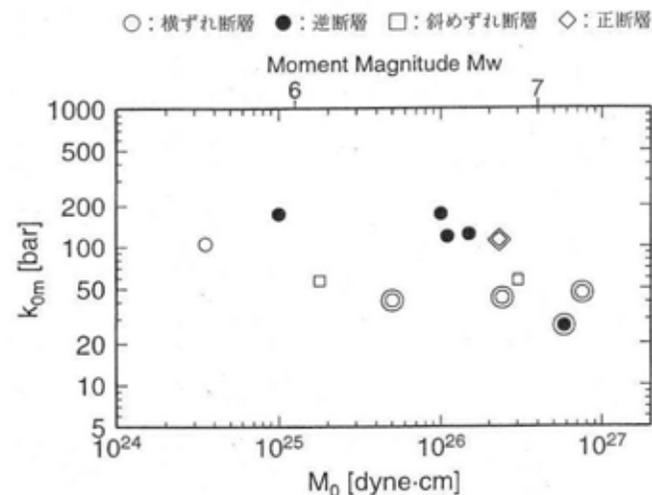


図10 アスペリティ内の要素断層の実効応力を深さ0 kmに換算した値と地震モーメントとの関係(データベース6) 二重印は解放型の地震(断層が地表に達した地震)

【参考】 応力降下量に関する知見

佐藤(2003)

佐藤(2003)は、K-NETおよびKiK-netで観測された加速度波形を用いて、中小地震の応力降下量の推定を行い、以下のような指摘をしている。

内陸地震の応力降下量は震源深さ依存性を持つ

データの重心に近い深さ15kmでは、逆断層が横ずれ断層の約2倍、正断層が横ずれ断層の約1/2、斜めずれ断層は横ずれ断層と正断層の中間的な応力降下量があった

逆断層は正断層の約4倍の応力降下量という結果は、「地殻の強度は引っ張りに対して圧縮では約4倍である」という摩擦法則から推定される関係と調和的である

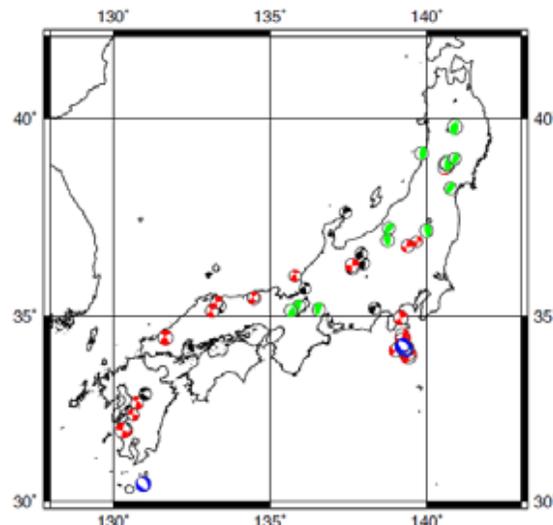


図-1 内陸地震のメカニズム解 (緑=逆断層, 青=正断層, 赤=横ずれ, 黒=斜めずれ)

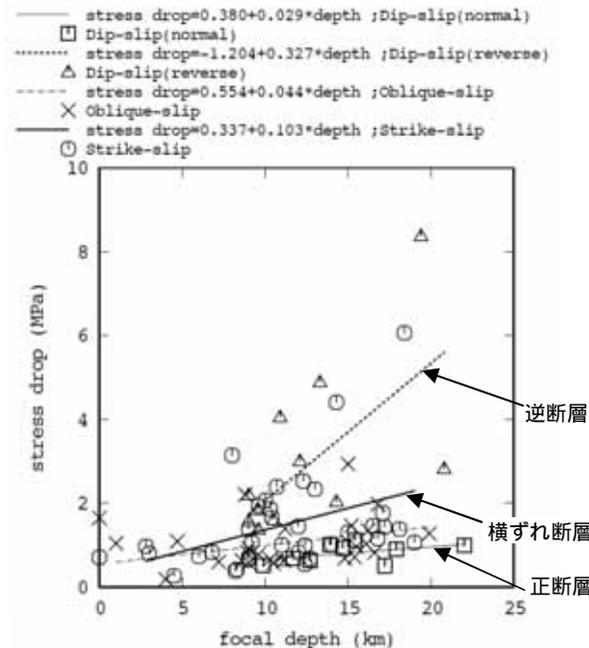


図-7 メカニズムで分類した内陸地震の応力降下量と震源深さとの関係

震源深さD(km)と
応力降下量 (MPa)の関係

横ずれ断層 $=0.337+0.103D$

逆断層 $=1.204+0.327D$

正断層 $=0.380+0.029D$

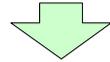
斜めずれ断層 $=0.554+0.044D$

【参考】中村・植竹(2002)のQ値

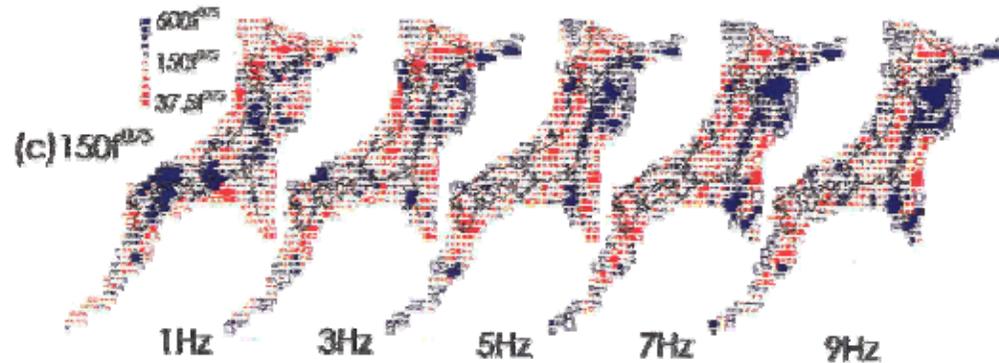
【加速度強震計記録を用いた日本列島下の三次元減衰構造トモグラフィー】

目的: 強震記録を用いた周波数領域の日本列島全体の三次元減衰構造を求める

データセット: 気象庁87型強震計および防災科学技術研究所K-NET強震計の記録(15,768記録, 904地震)

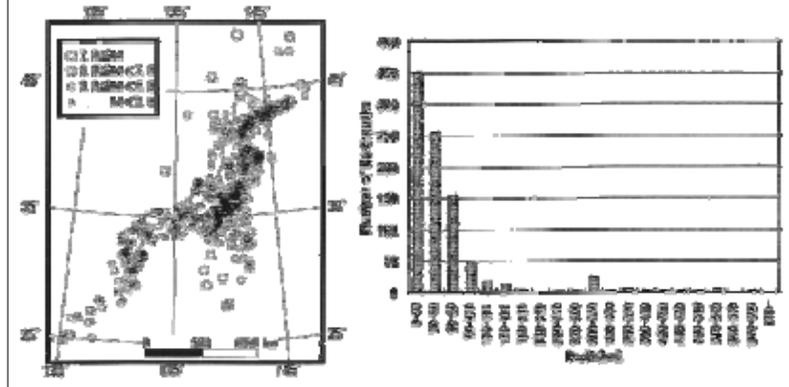


結論: Q値の周波数依存特性を確認するため, 解像度が良いと考えられる深さ30km ~ 60kmで検討した結果, Qは $f^{0.75}$ に比例する傾向が見られる。

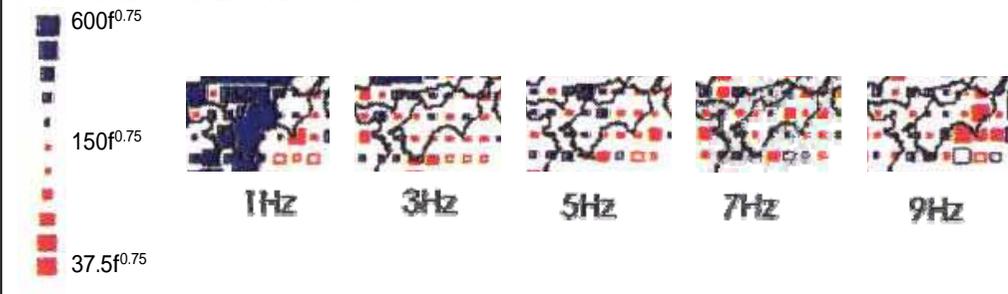


検討に用いたデータセット

地震計	期間	観測数
気象庁87型強震計	1988年8月 ~ 1993年8月	4062
K-NET強震計	1996年3月 ~ 1998年4月	11706



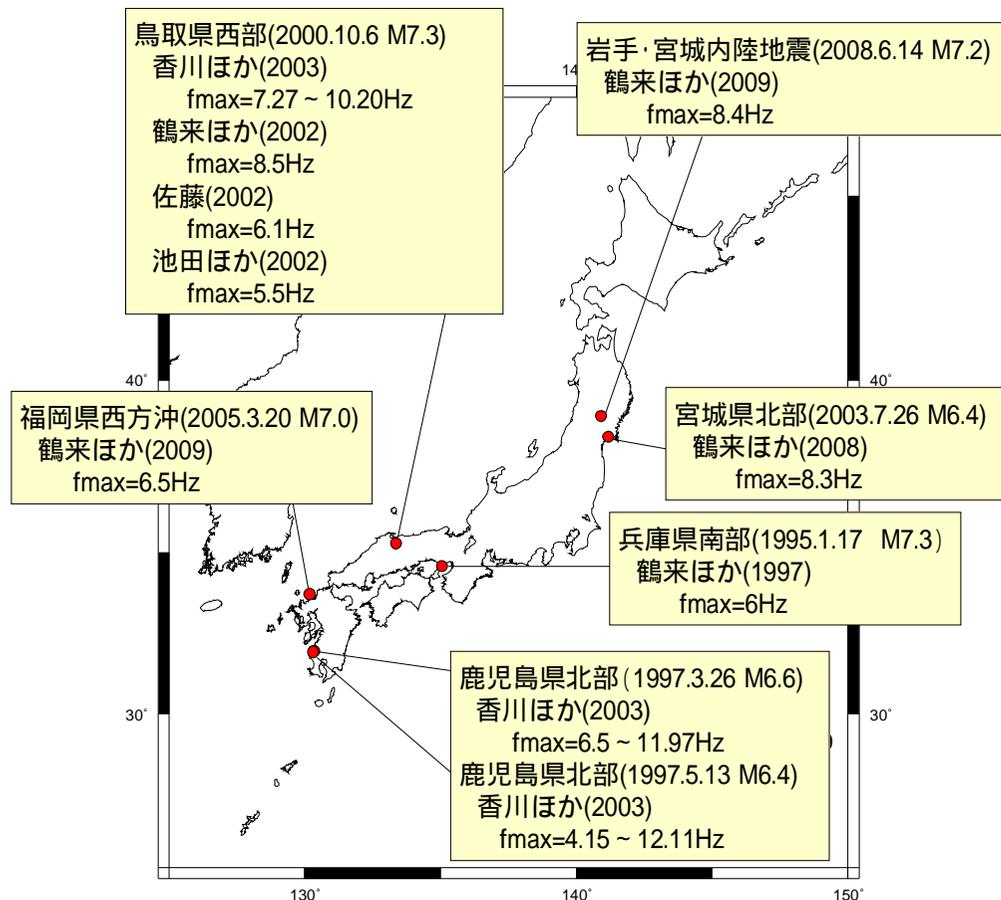
伊方発電所周辺の拡大図



四国北西部に位置する伊方発電所付近において, 1Hzより高い振動数では中村・植竹(2002)で示す $150f^{0.75}$ とほぼ整合している。
したがって $Q = 150f^{0.75}$ を採用。

【参考】 f_{max} の地域性について

地震本部の強震動予測においては、6Hzという値が標準的に用いられている。四国周辺の値を調べたが、この知見から大きく逸脱するようなものはない。



地震本部レシピ(2008)

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

佐藤(2001)

鳥取県西部地震について解析を行い、『本震の f_{max} は6.1Hzとなった。また、本震と余震から推定された f_{max} には地震規模依存性や応力降下量依存性がみられず、震源特性としての f_{max} の影響を示唆する結果は得られなかった。』と記している。

香川ほか(2003)

1997年鹿児島県北西部の地震(3月・5月)および鳥取県西部地震の10記録から求めた高周波遮断特性は8.3Hz, より硬質な全ダムサイトのみで解析をおこなうと5.4Hz, と指摘している。

鶴来ほか(2009)

『现阶段では f_{max} の地震規模依存性の有無を明確に判断することはできないが、ここで得られた結果は、 f_{max} の値に地震規模依存性があることを示唆している。』

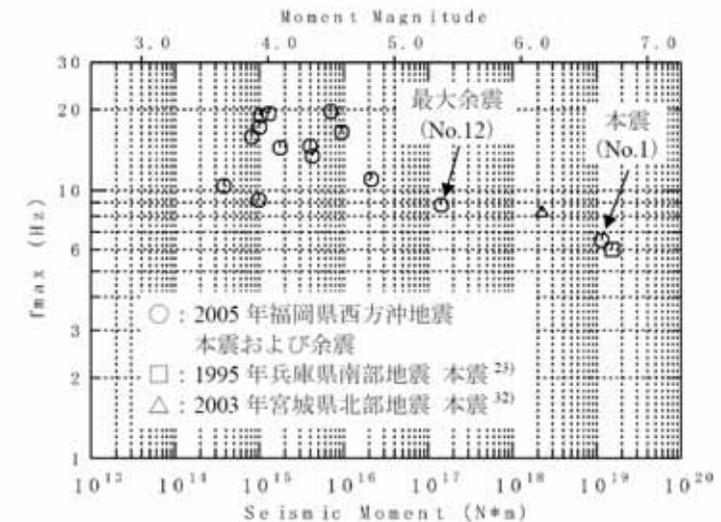
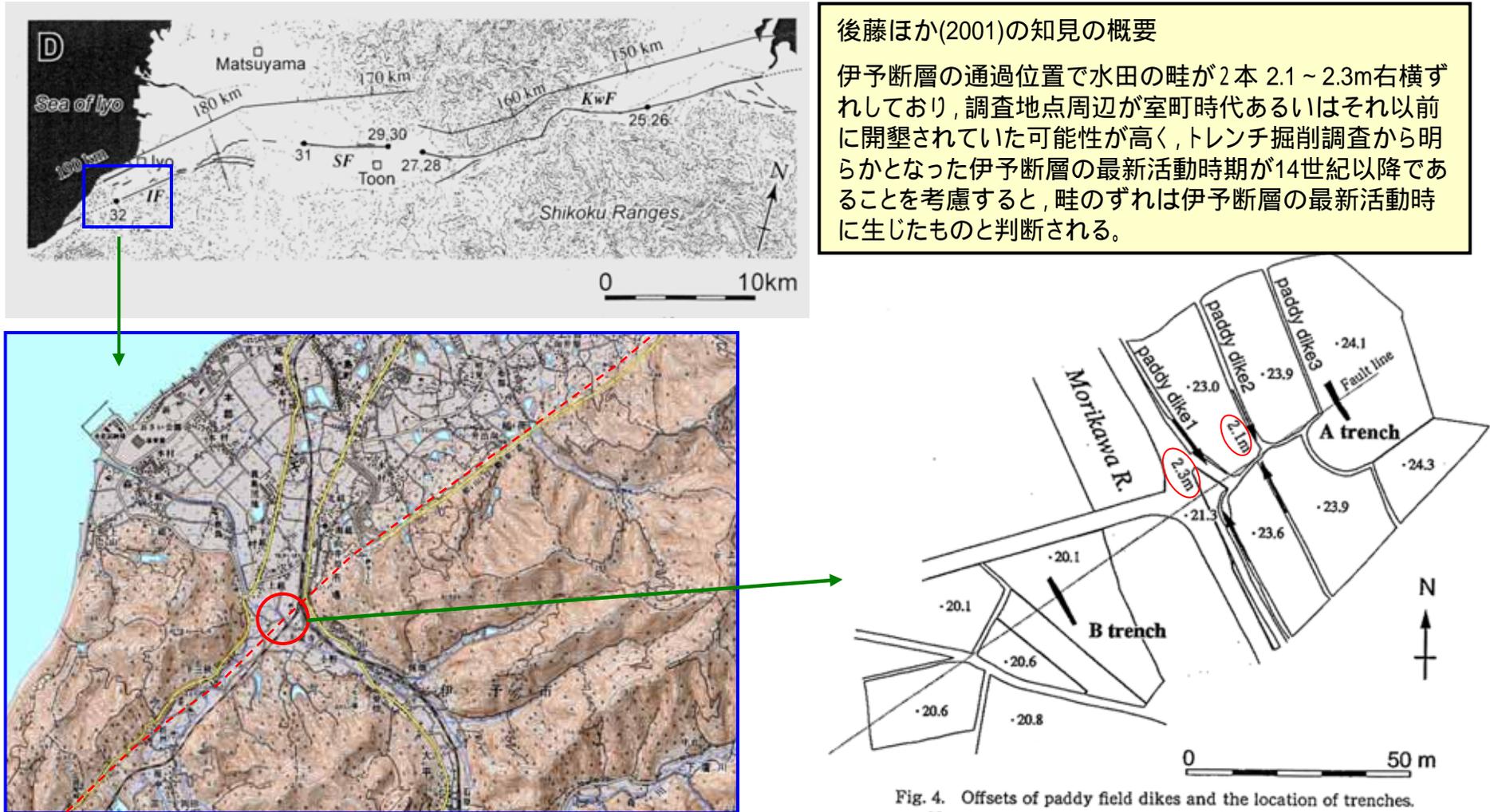


図9 地震モーメントと f_{max} の関係

【参考】伊予断層の地表変位量

当社は、四国の中央構造線断層帯の1回あたりの変位量(2m)の根拠として堤・後藤(2006)を引用している。その堤・後藤(2006)が伊予断層の変位量として採用している数値は、後藤ほか(2001)の知見であり、後藤ほか(2001)は以下のように1回あたりの変位量を推定している。



国土地理院2万5千分1地形図に加筆

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.

後藤秀明・中田高・堤浩之・奥村晃史・今泉俊文・中村俊夫・渡辺トキ工, 2001, 中央構造線活断層系(四国)の最新活動時期からみた活断層系の活動集中期, 地震2, 53, 205-219.

【参考】伊方3号機 基準地震動 S_s に対する主要施設の検討状況

基準地震動 S_s (応答スペクトル波(S_s-1), 今回策定した断層モデル波(S_s-2))に対する評価結果

発生値は評価基準値を満足しており, 主要な施設の安全機能は保持されることを確認した。

評価対象施設	評価部位	評価内容 [単位]	発生値 ¹	評価基準値	結果
原子炉建屋	耐震壁	せん断ひずみ[-]	0.63×10^{-3}	2.0×10^{-3}	良
原子炉補助建屋	耐震壁	せん断ひずみ[-]	0.84×10^{-3}	2.0×10^{-3}	
炉内構造物	炉心そう	応力[N/mm ²]	90	391	
蒸気発生器	支持構造物	応力[N/mm ²]	56	79	
一次冷却材管	本 体	応力[N/mm ²]	117	348	
余熱除去ポンプ	基礎ボルト	応力[N/mm ²]	1	210	
余熱除去設備配管	本 体	応力[N/mm ²]	176	343	
原子炉容器	支持構造物	応力[N/mm ²]	274	465	
原子炉格納容器	本 体	応力[N/mm ²]	60	351	
制御棒(挿入性)	-	挿入時間[秒]	2.03	2.50	

1: 発生値は, 応答スペクトル波(S_s-1)および今回策定した断層モデル波(S_s-2)の中から最も厳しいものを記載。
 なお, 発生値は全て応答スペクトル波(S_s-1)によるものであった。



引用文献

- Abrahamson, N. and W. Silva, 2008, Summary of the Abrahamson & Silva NGA Ground-Motion Relations, Earthquake Spectra, Vol.24, No.1, 67-97.
- 浅野周三・三浦勝美・井上義弘・三浦礼子・石桁征夫・吉井敏勉, 1986, 中国地方およびその周辺の最近の地震活動——白木微小地震観測所テレメータ観測網による——, 地震2, 39, 229-240.
- Asano, K., T. Iwata, and K. Irikura, 2005, Estimation of Source Rupture Process and Strong Ground Motion Simulation of the 2002 Denali, Alaska, Earthquake, Bull. Seism. Soc. Am., 95, 1701-1715.
- Boore, D.M., 1983, Stochastic simulation of high-frequency ground motions based on seismological models of the radiation spectra, Bull. Seism. Soc. Am., Vol.73, No.6, 1865-1894.
- 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 0.01 s and 10.0 s, Earthquake Spectra, Vol.24, No.1, 99-138.
- Campbell, K. W. and Y. Bozorgnia, 2008, NGA Ground Motion Model for the Geometric Mean Horizontal Component of PGA, PGV, PGD and 5% Damped Linear Elastic Response Spectra for Periods Ranging from 0.01 to 10 s, Earthquake Spectra, Vol.24, No.1, 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, No.1, 173-215.
- 中央防災会議, 2003, 「東南海, 南海地震等に関する専門調査会(第16回), 東南海, 南海地震に関する報告(案), 平成15年12月16日」
- Dan, K., T. Watanabe and T. Tanaka, 1989, A semi-empirical method to synthesize earthquake ground motions based on approximate far-field shear-wave displacement, Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of the Architectural Institute of Japan), No.396, 27-36
- 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.
- 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・武藤尊彦・宮腰淳一・渡辺基史, 2004, 長大な横ずれ断層による内陸地震のアスペリティにおける実効応力の推定と強震動シミュレーション, 月刊地球/号外, No.46, 238-246.
- 壇一男, 2008, 内陸地震による強震動予測のための断層モデルの設定方法—活断層情報の捉え方とアスペリティモデルの力学特性—, ORI研究報告, 08-01.
- 愛媛県, 1999, 平成10年度地震関係基礎調査交付金中央構造線断層帯(愛媛北西部・石鎚山脈北縁)に関する調査結果報告書, 愛媛県, 416.
- 愛媛県, 2000a, 平成11年度地震関係基礎調査交付金中央構造線断層帯(愛媛北西部・石鎚山脈北縁・讃岐山脈南縁)に関する調査結果報告書, 421.
- 愛媛県, 2000b, 平成11年度地震関係基礎調査交付金中央構造線断層帯(愛媛北西部・石鎚山脈北縁・讃岐山脈南縁)に関する調査結果報告書(概要版), 54.
- Elliott, A. J., J. F. Dolan, and D. D. Oglesby, 2009, Evidence from coseismic slip gradients for dynamic control on rupture propagation and arrest through stepovers, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 114, B02312.
- Fujii, Yoshihiro and Mitsuhiro Matsu'ura, 2000, Regional difference in scaling laws for large earthquakes and its tectonic implication, Pure and Applied Geophysics, Vol.157, 2283-2302.
- 福島美光, 田中貞二, 1991, 気象庁マグニチュードによる震源スペクトルのスケーリング則, 日本建築学会構造系論文報告集, 第425号, 19-25,
- Geller, R., 1976, Scaling relations for earthquake source parameters and magnitudes, Bull. Seism. Soc. Am., 66, 1501-1523.
- 原子力安全基盤機構, 2005, 震源を特定しにくい地震による地震動の検討に関する報告書, JNES/SAE05-004.

-
- 後藤秀昭・中田 高, 2000, 活断層のセグメンテーションと変位速度の分布 — 四国の中央構造線活断層系における検討 —, 月刊地球ノ号外, 31, 182-188
- 弘瀬冬樹・中島淳一・長谷川昭, 2007, Double-Difference Tomography法による西南日本の3次元地震波速度構造およびフィリピン海プレートの形状, 地震2, 60, 1-20.
- Idriss, I. M., 2008, An NGA Empirical Model for Estimating the Horizontal Spectral Values Generated By Shallow Crustal Earthquakes, Earthquake Spectra, Vol.24, No 1, 217-242.
- 池田隆明・釜江克宏, 三輪 滋・入倉孝次郎, 経験的グリーン関数法を用いた2000年鳥取県西部地震の震源のモデル化と強震動シミュレーション, 日本建築学会構造系論文集, 第561号, 37-45
- 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.
- 入倉孝次郎・三宅弘恵・岩田知孝・釜江克宏・川辺秀憲, 2002, 強震動予測のための修正レシピとその検証, 第11回日本地震工学シンポジウム, 567-572
- 伊藤潔, 2006, 地震発生層の深さ分布と活断層のセグメンテーションとの関係, 京都大学防災研究所年報, 第49号B, 227-238.
- 伊藤久男・桑原保人・佃栄吉, 1998, 活断層のセグメント構造と地震発生に関する観測研究, 月刊地球号外, 20, 168-173.
- 伊藤谷生・井川猛・足立幾久・伊勢崎修弘・平田直・浅沼俊夫・宮内崇裕・松本みどり・高橋通浩・松澤進一・鈴木雅也・石田啓祐・奥池司郎・木村学・國友孝洋・後藤忠徳・澤田巨啓・竹下徹・仲谷英夫・長谷川修一・前田卓哉・村田明広・山北聡・山口和雄・山口寛, 1996, 四国中央構造線地下構造の総合物理探査, 地質学雑誌, 102, 4, 346-360.
- Ito, Tanio, Yuji Kojima, Shuichi Kodaira, Hiroshi Sato, Yoshiyuki Kaneda, Takaya Iwasaki, Eiji Kurashimo, Noriko Tsumura, Akira Fujiwara, Takahiro Miyauchi, Naoshi Hirata, Steven Harder, Kate Miller, Akihiro Murata, Satoshi Yamakita, Masazumi Onishi, Susumu Abe, Takeshi Sato, Takeshi Ikawa, 2009, Crustal structure of southwest Japan, revealed by the integrated seismic experiment Southwest Japan 2002, Tectonophysics 472, 124-134.
- 岩城啓美・伊藤浩子・北田菜緒子・井上直人・香川敬生・宮腰研・竹村恵二・岡田篤正, 2006, 大規模地震に伴う地表地震断層と深部起震断層に関する既存資料の整理とカタログの作成, 活断層研究, 26, 37-61.
- 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, 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, 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, 2004, 日向灘の地震活動の長期評価
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2005, 中央構造線断層帯(金剛山地東縁-和泉山脈南縁)の地震を想定した強震動評価について
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2005, 別府-万年山断層帯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, 2006, 「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, 付録 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」).
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2009, 全国地震動予測地図
- 香川敬生, 2004, ハイブリッド合成法に用いる統計的グリーン関数法の長周期帯域への拡張, 日本地震工学会論文集, 第4巻, 第2号, 21-32.

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, 第27回地震工学研究発表会, No.315.

Takehi, Y., 2004, Analysis of the 2001 Geiyo, Japan, earthquake using high-density strong ground motion data: Detailed rupture process of a slab earthquake in a medium with a large velocity contrast, J. Geophys. Res., 109, B08306.

Kanamori, H., 1977, The energy release in great earthquakes, J. Geophys. Res. 82,2981-2987.

神田克久・武村雅之・高橋利昌・浅野彰洋・大内泰志・川崎真治・宇佐美龍夫, 2008, 豊後水道近傍で発生した歴史的被害地震の地震規模, 地震2, 60, 225-242

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, BSSA, 96, 879-897.

Kamata, H and Kodama, K, 1999, Volcanic history and tectonics of the Southwest Japan Arc, The Island Arc, 8, 393-403

加藤研一・宮腰勝義・武村雅之・井上大栄・上田圭一・壇一男, 2004, 震源を事前に特定できない内陸地殻内地震による地震動レベル—地質学的調査による地震の分類と強震観測記録に基づく上限レベルの検討—, 日本地震工学会論文集, 第4巻, 第4号.

活断層研究会編, 1991, [新編]日本の活断層—分布図と資料—

河村和徳・蔵下英司・篠原雅尚・津村紀子・伊藤谷生・宮内崇裕・佐藤比呂志・井川猛, 2001, 活断層周辺における地震波散乱体の検出とその地質学的実態の推定—紀伊半島北西部中央構造線を例として—, 地震2, 54, 233-249.

Kawasaki, S., S.Matsusaki and Y.Fukushima, 2008, A relation between M_{jma} and seismic moment (determined from dense broad band seismograph network) for shallow crustal events in Japan, AGU(American Geophysical Union) Fall Meeting, 1810.

Kubo,A.,E.Fukuyama,H.Kawai,K.Nonomura, 2002, NIED seismic moment tensor catalogue for regional earthquakes around Japan: quality test and application, Tectonophysics, 356,23-48

建設省土木研究所地震防災部振動研究室, 1983, 前・余震の頻度および規模に関する調査, 土建資料, 第1995号

気象庁, 2007.7, 地震・火山月報(カタログ編)

瀧川一・古村孝志, 2002, 2001年芸予地震の強震動分布と深部地下構造, 地震2, 55, 97-105.

Ludwig, W. J., Nafe, J. E. and Drake, C. L., 1970, Seismic refraction, The Sea, 4, 53-84, edited by Maxwell, A., Wiley Interscience, New York.

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2, 28, 269-283.

松岡昌志・翠川三郎, 1994, 国土数値情報とサismックマイクロゾーニング, 日本建築学会, 第22回地盤振動シンポジウム, 23-34.

松崎伸一・大野裕記・池田倫治・福島美光, 2003, 震源分布からみた伊予灘周辺フィリピン海プレートの形状および地震特性, 地震2, 56, 267-279.

松浦律子・中村操・唐鎌郁夫・茅野一郎, 2005, 歴史地震の震源域位置および規模の系統的再検討—第7報—(文政近江の地震など), 日本地震学会秋季大会講演予稿集, 278.

松浦律子, 2001, 江戸時代の歴史地震の震源域位置および規模の系統的再検討作業について, 歴史地震, 17, 27-31.

松浦律子・中村操・茅野一郎・唐鎌郁夫, 2003, 震度分布にもとづく江戸時代の4地震の震源域と規模の再検討(概報)—1662年日向灘・1769年日向・豊後・1847年善光寺地震・1861年宮城の4地震について—歴史地震, 19, 53-59.



Miyakoshi(2001私信):元の文献は入倉・三宅(2001)

三好崇之・石橋克彦, 2004, 震源分布からみた伊勢湾から四国西部にかけてのフィリピン海スラブの形状, 地震2, 57, 139-152.

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, 4, 169-176.

中村洋光・宮武隆, 2000, 断層近傍強震動シミュレーションのための滑り速度時間関数の近似式, 地震2, 53, 1-9.

中村亮一・植竹富一, 2002, 加速度強震計記録を用いた日本列島下の三次元減衰構造トモグラフィー, 地震2, 54, 475-488.

中田高・後藤秀昭, 1998, 活断層はどこまで割れるのか? -横ずれ断層の分岐形態と縦ずれ分布に着目したセグメント区分モデル-, 活断層研究, 17, 43-53.

中田高・今泉俊文編, 2002, 活断層詳細デジタルマップ

七山太・池田倫治・大塚一広・三浦健一郎・金山清一・小林修二・長谷川正・杉山雄一・佃栄吉, 2002, 伊予灘~佐賀関沖MTL活断層系の広域イメージングとセグメント区分, 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 活断層・古地震研究報告, 2, 141-152

奈良岡浩二・宮腰淳一・渡辺孝英・八代和彦, 1999, 岩盤上における観測記録の経時特性のマグニチュード・等価震源距離依存性, 日本建築学会学術講演梗概集, B-2, 構造II, 179-180.

日本原子力学会, 2007, 原子力発電所の地震を起因とした確立論的安全評価実施基準

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 relation between seismological data and seismic engineering analysis, OCT.16-18, Istanbul.

岡田篤正, 1992, 中央構造線活断層系の活動区の分割試案, 地質学論集, 40, 15-30.

岡田篤正, 2006, 活断層で発生する大地震の連動・連鎖 -中央構造線・濃尾断層系・山陰地域の活断層を事例として-, 月刊地球/号外, 54, 5-24

Ohkura, T., 2000, Structure of the upper part of the Philippine Sea plate estimated by later phases of upper mantle earthquakes in and around Shikoku, Japan, Tectonophysics, 321, 17-36.

大倉敬宏・瀬野徹三, 2002, 芸予地震(2001.3.24)はスラブマントル地震か?, 日本地震学会秋季大会講演予稿集, A64

Omer Emre, Yasuo Awata, Tamer Yigit Duman, 2003, Surface Rapture Associated With The 17 August 1999 İZMİT Earthquake, General Directorate of Mineral Research and Exploration, Special Publication Series-1, 280p.

大久保泰邦, 1984, 全国のキュリー点解析結果, 地質ニュース, 352号, 12-17.

大野裕記・小林修二・長谷川修一・本荘静光・長谷川正, 1997, 四国北西部伊予灘海域における中央構造線活断層系の深部構造とセグメンテーション, 四国電力研究期報, 68, 48-59.

大塚一広・七山太・三浦健一郎・池田倫治・金山清一・横山芳春・杉山雄一・佃栄吉, 2001, 伊予灘東部海域の中央構造線活断層系の完新世活動性評価(II)-上灘沖海上ボーリングコアの解析結果-, 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 活断層・古地震研究報告, 1, 215-232

大塚一広・七山太・三浦健一郎・池田倫治・金山清一・小林修二・徳間伸介・安間恵・横山芳春・安原盛明・杉山雄一・佃栄吉, 2002, 中央構造線活断層系伊予セグメント西端部, 下灘沖南断層の完新世活動履歴, 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 活断層・古地震研究報告, 2, 125-140

Saikia, C., 1994, Modified frequency-wavenumber algorithm for regional seismograms using Filon's quadrature: modeling of Lg waves in eastern North America. Geophys. J. Int., 118, 142-158.



- 佐竹健治・須貝俊彦・寒川旭・柳田誠・横田裕・岩崎孝明・小俣雅志・石川玲, 1999, 奈良県金剛断層系の構造と最新活動時期, 地震2, 52, 65-79.
- 佐藤良輔, 1989, 日本の地震断層パラメター・ハンドブック, 鹿島出版会
- 佐藤智美, 2001, KiK-net強震記録を用いた鳥取県西部地震とその余震のラディエーションパターン及び f_{max} の検討, 日本地震学会講演予稿集, A56
- 佐藤智美, 2002, KiK-net強震記録に基づく鳥取県西部地震とその余震のラディエーションパターン及び f_{max} の評価, 日本建築学会構造系論文集, 第556号, 25-34
- 佐藤智美, 2003, 中小地震の応力降下量の断層タイプ・震源深さ依存性及び地域性に関する研究, 土木学会地震工学論文集, p.048.pdf
- 司宏俊・翠川三郎, 1999, 断層タイプおよび地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式, 日本建築学会構造系論文集, 523, 63-70.
- 澁谷拓郎, 2001, レシーバ関数解析による四国東部地域の地殻およびスラブ構造, 月刊地球, 23, 708-713.
- 島崎邦彦・松岡裕美・岡村眞・千田昇・中田高, 2000, 別府湾の海底活断層分布, 月刊地球/号外, 28, 79-84
- Somerville, P. G., K. Irikura, R. Graves, S. Sawada, D. Wald, N. Abrahamson, Y. Iwasaki, T. Kagawa, N. Smith, A. Kowada, 1999, Characterizing crustal earthquake slip models for the prediction of strong ground motion, Seismological Research Letters, 70, 59-80.
- 損害保険料率算定会, 2000, 活断層と歴史地震とを考慮した地震危険度評価の研究～地震ハザードマップの提案～, 地震保険調査研究47.
- 杉山雄一, 2003, 活断層情報の現状とその活用法—強震動予測への貢献の観点から—, 第31回地盤震動シンポジウム, 5-14.
- Takahashi, N., S. Kodaira, A. Nakanishi, J. O. Park, S. Miura, T. Tsuru, Y. Kaneda, K. Suyehiro, H. Kinoshita, N. Hirata and T. Iwasaki, 2002, Seismic structure of western end of the Nankai trough seismogenic zone, J. Geophys. Res., 107, ESE2-1 – ESE2-19.
- 高橋利昌・浅野彰洋・大内泰志・川崎真治・神田克久・武村雅之・宇佐美龍夫, 2008, 17世紀以降に芸予地域で発生した被害地震の地震規模, 地震2, 60, 193-217.
- Takemura, M., T. Ikeura and R. Sato, 1990, Scaling relation for source parameters and magnitude of earthquakes in the Izu Peninsula region, Japan, Tohoku Geophysical Journal, 32, 77-89
- 武村雅之, 1990, 日本列島およびその周辺で起こる浅発地震のマグニチュードと地震モーメントの関係, 地震2, 43, 257-265
- 武村雅之, 1998, 日本列島における地殻内地震のスケールリング則, 地震2, 51, 211-228
- Tanaka, A. 2004, Geothermal gradient and heat flow data in and around Japan (II): Crustal thermal structure and its relationship to seismogenic layer, Earth Planets Space, 56, 1195-1199.
- Tanaka, A., M. Yamano, Y. Yano, and M. Sasada, Geothermal gradient and heat flow data in and around Japan (I): Appraisal of heat flow from geothermal gradient data, Earth Planets Space, 56, 1191-1194.
- 都司嘉宣・上田和江, 1993, 貞享3年8月6日(1686年10月3日)の遠江三河地震による遠州横須賀城の被害, 歴史地震, 第9号, 43-61
- 鶴来雅人・香川敬生・入倉孝次郎・古和田明, 1997, 近畿地方で発生する地震の f_{max} に関する基礎的検討, 地球惑星科学関連学会合同大会予稿集, 103
- 鶴来雅人・香川敬生・三明雅幸・羽田浩二・入倉孝次郎, 2002, 2000年鳥取県西部地震本震および余震の f_{max} , 地球惑星科学関連学会合同大会予稿集, S042-005
- 鶴来雅人・香川敬生・入倉孝次郎, 2008, 宮城県北部地域を震源とする地殻内地震の地震動の高域遮断フィルター特性について地球惑星科学関連学会合同大会予稿集, S146-P007

- 鶴来雅人・香川敬生・入倉孝次郎, 2009, 強震動予測のための高域遮断フィルターに関する研究(その2)―2005年福岡県西方沖地震の観測記録に基づく検討―, 日本地震工学会論文集 第9巻, 第1号.
- 鶴来雅人・香川敬生・入倉孝次郎, 2009, 2008岩手・宮城内陸地震 本震および余震記録の高域遮断フィルター, 日本地震工学会・大会2009梗概集, 248-249
- 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.
- 佃栄吉, 1996, 中央構造線活断層系のセグメンテーションと周辺の地質構造, テクトニクスと変成作用, 創文, 250-257.
- 佃栄吉, 1997, 中央構造線活断層系(紀伊半島地域)の活動性調査, 地質調査所研究資料集, No.303(平成8年度活断層研究調査概要報告書), 161-177.
- 佃栄吉・佐藤努, 1996, 徳島県鳴門市板東観測井周辺の地下構造, 兵庫県那部地震の地質学的背景, 第11回地質調査所研究講演会資料, (財)日本産業技術振興協会, 90-93.
- Tsutsumi, H. and Okada, A., 1996, Segmentation and Holocene Surface Faulting on the Median Tectonic Line, Southwest Japan, J. Geophys. Res., 101, 5855-5871
- 露口耕治・松岡裕美・岡村 眞, 1996, 伊予灘における中央構造線系海底活断層の分布とセグメンテーション, 日本地質学会第103年学術大会講演要旨集, 364.
- 内山泰夫・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, 606, 81-88.
- 宇佐美龍夫, 1975, 資料 日本地震被害総覧, 東京大学出版会
- 宇佐美龍夫, 1987, 新編 日本地震被害総覧, 東京大学出版会
- 宇佐美龍夫, 1996, 増補改訂版 日本地震被害総覧, 東京大学出版会
- 宇佐美龍夫, 2003, 最新版 日本地震被害総覧416-2001, 東京大学出版会
- 宇津徳治, 1982, 日本付近のM6.0以上の地震および被害地震の表: 1885年~1980年, 地震研究所彙報, Vol.57.
- 宇津徳治ほか編集, 2001, 地震の事典[第2版], 朝倉書店.
- Wallace, L. M., S.Ellis, K.Miyao, S.Miura, J.Beavan, J.Goto, 2009, Enigmatic, highly active left-lateral shear zone in southwest Japan explained by aseismic ridge collision, Geology, 143-146.
- 渡辺基史・佐藤俊明・壇一男, 1998, 内陸地震の断層パラメータの相似則, 第10回日本地震工学シンポジウム, 583-5888.
- Wells, D.L. and Coppersmith, K.J., 1994, New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement, Bull. Seism. Soc. Am., 84, 974-1002.
- Yagi and Kikuchi, 2001, Joint inversion was made using strong-ground-motion data (provided by K-net (NIED)) and teleseismic data, <http://www.eic.eri.u-tokyo.ac.jp/~yuji/Aki-nada/>
- 横倉隆伸・加野直巳・山口和雄・宮崎光旗・井川猛・太田陽一・川中卓・阿部進, 1998, 大阪湾における反射法深部構造探査, 地調月報, 49, 571-590.
- 吉川宗治・岩崎好規・井川猛・横田裕, 1992, 反射法地震探査による和歌山県西部の中央構造線の地質構造, 地質学論集, 40, 177-186.
- 吉岡敏和・粟田泰夫・下川浩一・杉山雄一・伏島祐一郎, 2005, 全国主要活断層活動確率地図および同説明書(20万分の1), 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- Zhao, J., J. Zhang, A. Asano, Y. Ohno, T. Oouchi, T. Takahashi, H. Ogawa, K. Irikura, H. K. Thio, P. G. Somerville, Y. Fukushima, Y. Fukushima, 2006, Attenuation Relations of Strong Ground Motion in Japan Using Site Classification Based on Predominant Period, BSSA(Bulletin of the Seismological Society of America), 96, 898-913.

