伊方発電所
中央構造線断層帯の地震動評価
130km北傾斜ケース

目 次

○意見聴取会におけるコメント　p 1
○耐震バックチェックにおける評価（断層モデルを用いた手法）　p 2
○今回検討
　断層モデルを用いた手法による地震動評価　p 8
　応答スペクトルに基づいた地震動評価　p18

参考1：耐震バックチェックにおける連動ケースの断層モデルとパラメータ　p43
参考2：地震発生層の設定　p54
参考3：地震本部の強震動予測モデルとの比較　p73

平成24年6月19日

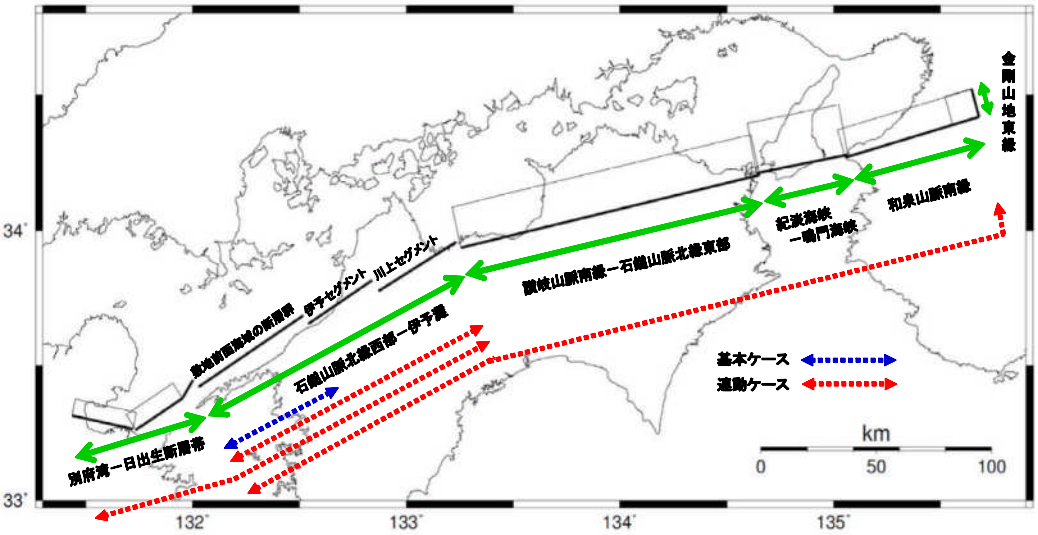
四国電力株式会社

四国電力株式会社
YONDEN

意見聴取会（活断層関係　第3回 平成24年3月9日）におけるコメント

委員意見	保安院の見解（案）
○敷地前面で3つのセグメントを連動させた130kmについては，垂直な断層面のケースのみならず，北傾斜したケースもスケーリングで評価しておくべき。 ○敷地前面海域の断層群，伊予セグメント，川上セグメントまでの130kmの連動ケースについてはスケーリングとカスケードの両方で評価しており，それ以上のケースについてはカスケードモデルで評価している。どこまでスケーリングで評価すればよいかということは難しいが，地震発生層の厚さなどを考えると，130kmの連動ケースまで評価しているので良い。	○敷地前面海域の断層群，伊予セグメント及び川上セグメントについては，連動するものとし地震動評価が必要。 ○なお，敷地前面海域の断層群，伊予セグメント及び川上セグメントの連動（130km）を考慮した地震動評価及び耐震安全性評価中間報告書で示された基準地震動Ss（570ガル）の妥当性については，既に耐震バックチェックにおいて審議済み。

平成24年3月28日：地震・津波15-2-1



耐震バックチェックにおける評価

（断層モデルを用いた手法）

耐震バックチェックにおける検討ケース　断層モデルを用いた手法

基本震源モデル

54kmモデル

断層長さ54km
断層傾斜角90度
M7.3
アスペリティ上端

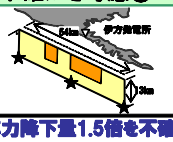
○断層長さは54km
○傾斜角は90度
○断層上端深さは2km
○アスペリティ深さは断層上端
○破壊開始点は断層西下端，中央下端，東下端を設定

不確かさ

不確かさ考慮①

応力降下量1.5倍

断層長さ54km
断層傾斜角90度
M7.3
アスペリティ上端
応力降下量1.5倍



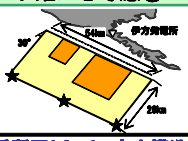
○応力降下量1.5倍を不確かさとして考慮

不確かさ

不確かさ考慮②

北傾斜30°

断層長さ54km
断層傾斜角30度
M7.8
アスペリティ上端



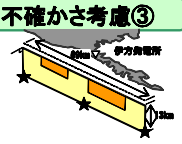
○活断層としての中央構造線断層帯が地質境界断層としての中央構造線と一致する可能性を考慮して北傾斜30度を設定

不確かさ

不確かさ考慮③

69kmモデル

断層長さ69km
断層傾斜角90度
M7.5
アスペリティ上端



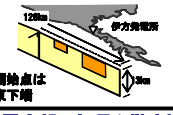
○安全側に，引張性ジョグの全長を含む領域に対してスケーリング則を適用する　→　断層長さ69km

不確かさ

不確かさ考慮④

130km連動モデル
（カスケード）

断層長さ126km
断層傾斜角90度
M7.5
アスペリティ上端



○地震本部の知見も勘案して断層の連動（断層長さ約130km）を考慮

不確かさ

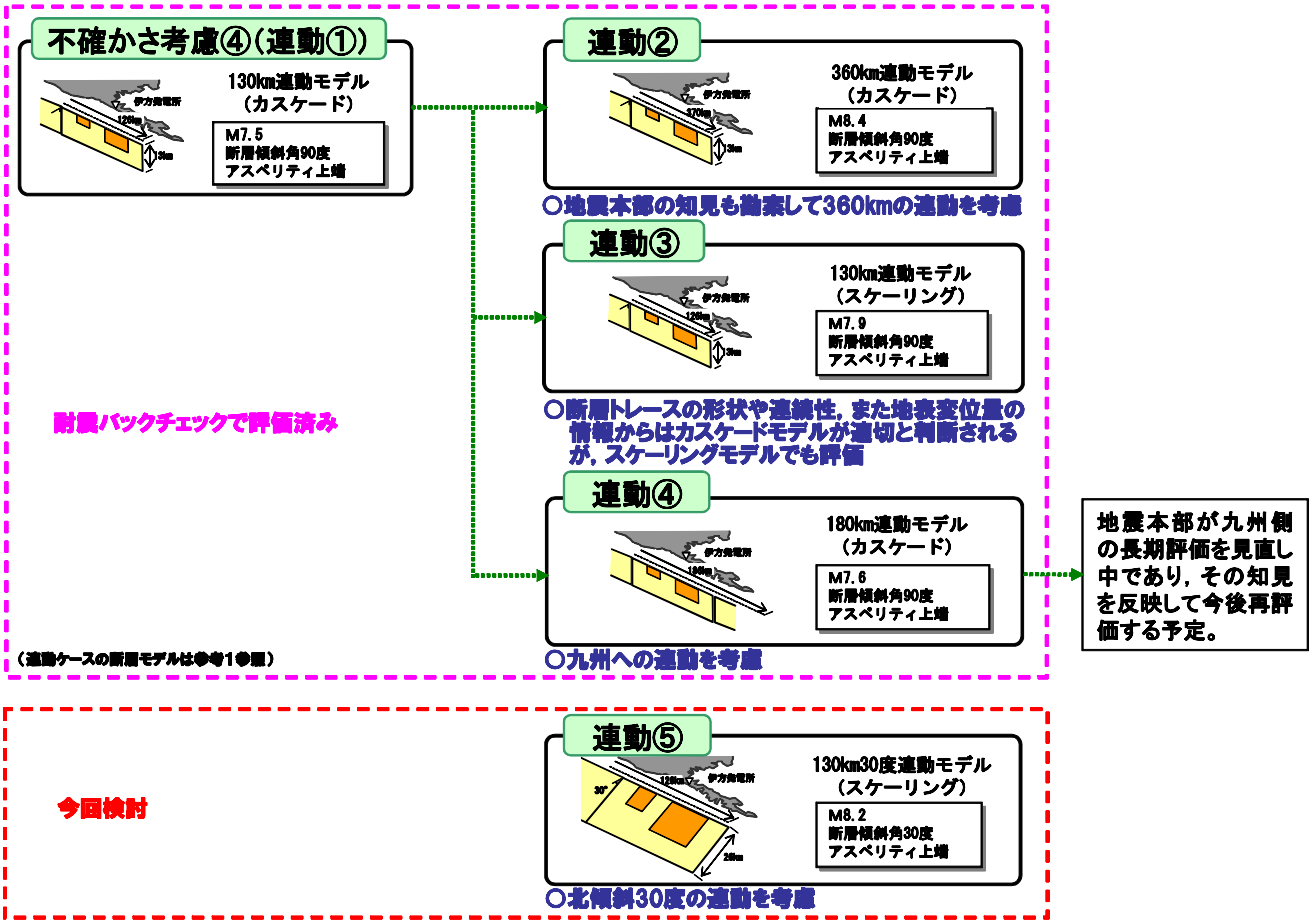
不確かさ考慮⑤

南傾斜80°

断層長さ54km
断層傾斜角80度
M7.3
アスペリティ上端

○角度のばらつきを考慮

耐震バックチェックにおける検討ケースと今回検討ケース



耐震バックチェックにおけるパラメータ設定手順

基本ケース（長さ54km）

断層面積S　702km²

$S=4.24\times10^{-11}\times(M_0\times10^7)^{1/2}$
：入倉・三宅(2001)

地震モーメントM_0　2.74×10^{19} Nm

⊿σ：楕円クラック：渡辺・他(1998)

平均応力降下量⊿σ　2.6 MPa

Sa/S=22%：Somerville et al.(1999)

⊿σa=(S/Sa)×⊿σ：Madariaga(1979)

アスペリティの応力降下量$\Delta\sigma_a$　11.8MPa

長さ130km傾斜角90度（スケーリング）

断層面積S　1638 km²

$S=4.24\times10^{-11}\times(M_0\times10^7)^{1/2}$
：入倉・三宅(2001)

地震モーメントM_0　1.49×10^{20} Nm

⊿σ：無限長地表垂直横ずれ断層

平均応力降下量⊿σ　4.5 MPa

$A=2.46\times10^{17}\times(M_0\times10^7)^{1/3}$
：壇・他(2001)

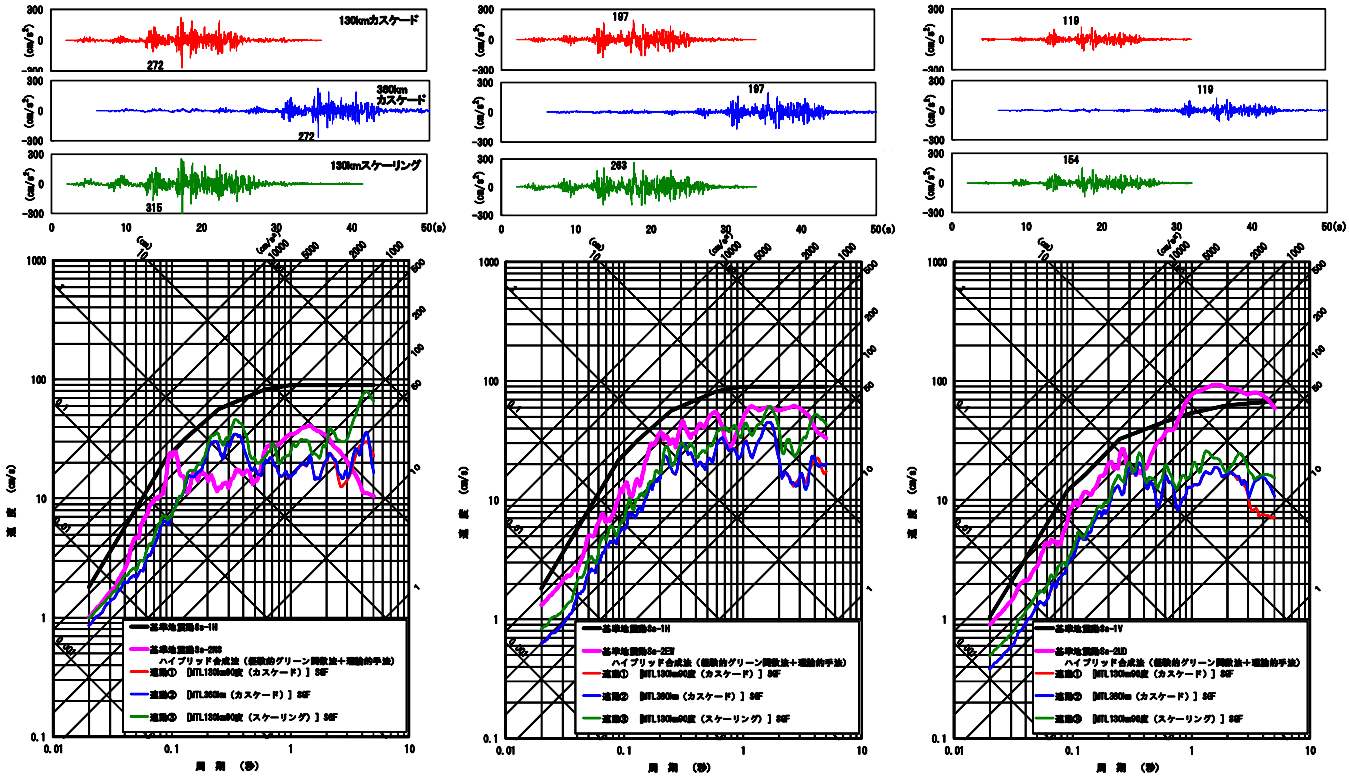
$Sa=16\pi\beta^4S^2\Delta\sigma^2/A^2$
：壇・他(2001) & Madariaga (1979)

⊿σa=(S/Sa)×⊿σ：Madariaga(1979)

アスペリティの応力降下量$\Delta\sigma_a$　13.3MPa

既解析結果（統計的グリーン関数法）

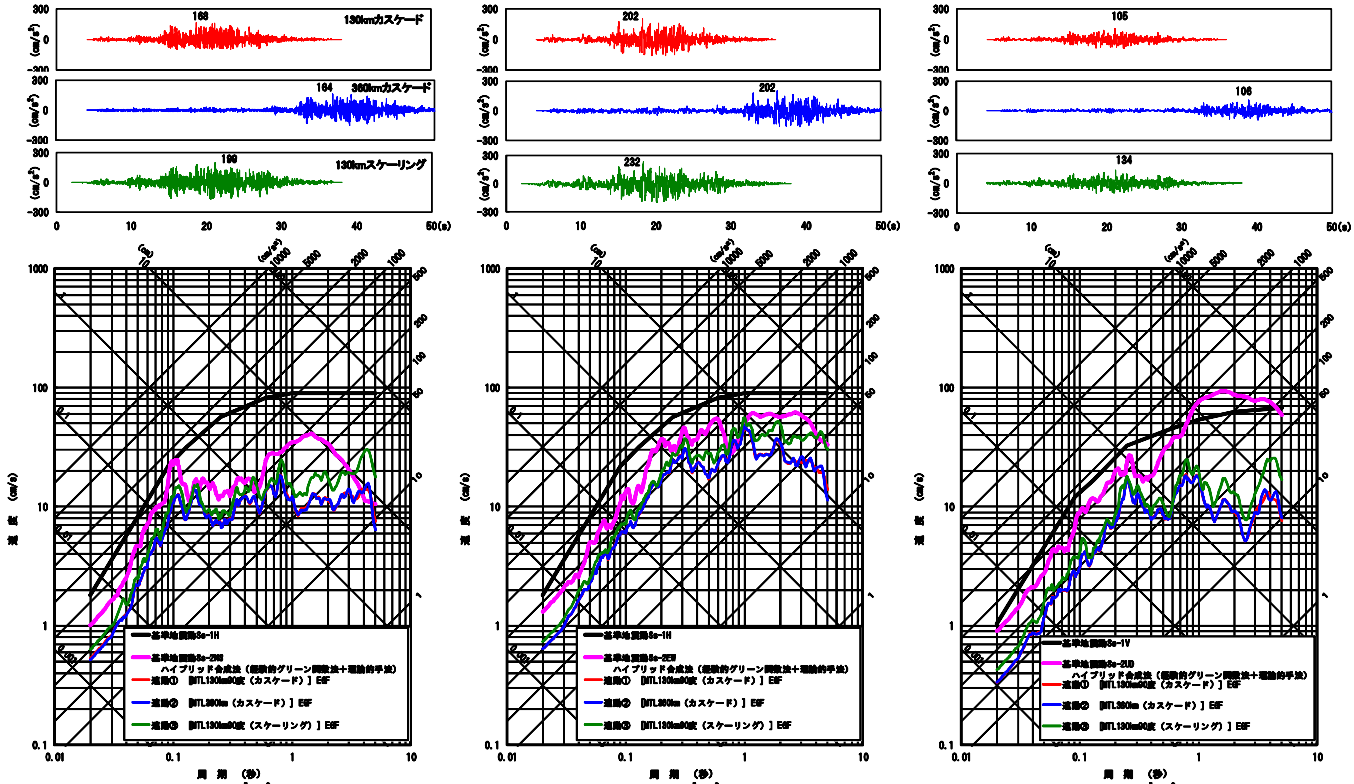
破壊伝播が敷地に向かう東から西への破壊を想定し，統計的グリーン関数法で地震動評価を行った。その結果，中央構造線断層帯の連動を考慮しても，基準地震動Ssに影響はないと判断した。



ＮＳ方向　　ＥＷ方向　　ＵＤ方向

既解析結果（経験的グリーン関数法）

破壊伝播が敷地に向かう東から西への破壊を想定し，経験的グリーン関数法で地震動評価を行った。その結果，中央構造線断層帯の連動を考慮しても，基準地震動Ssに影響はないと判断した。



ＮＳ方向　　ＥＷ方向　　ＵＤ方向

断層モデルを用いた手法による地震動評価

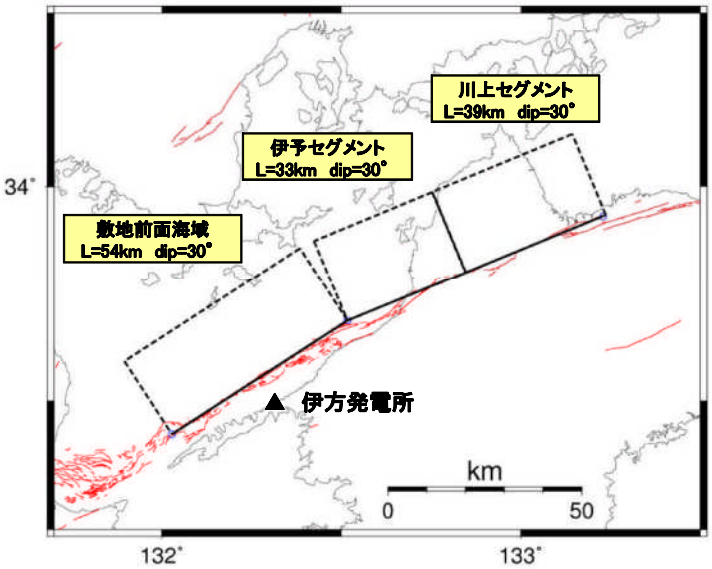
130km30度モデル　構築の考え方

○敷地前面海域の断層群，伊予セグメント，川上セグメントの連動（長さ約130km）を対象とする。

○地質境界としての中央構造線の知見を反映し，断層傾斜角を北傾斜30度とする。

○地震発生層の上端深さは2km，下端深さは15km，発生層厚さ13kmとする。（参考2参照）

○パラメータ設定は基本的に地震本部(2009)による強震動予測レシピに準拠することとし，具体的には以下の考えで設定する。



・全長（約130km）に対してスケーリング則を適用（長大断層を対象としているMurotani et al.(2010)を適用）。
・平均応力降下量はFujii and Matsu'ura(2000)を採用。
・短周期レベルが壇・他(2001)に合うようにパラメータ設定する。

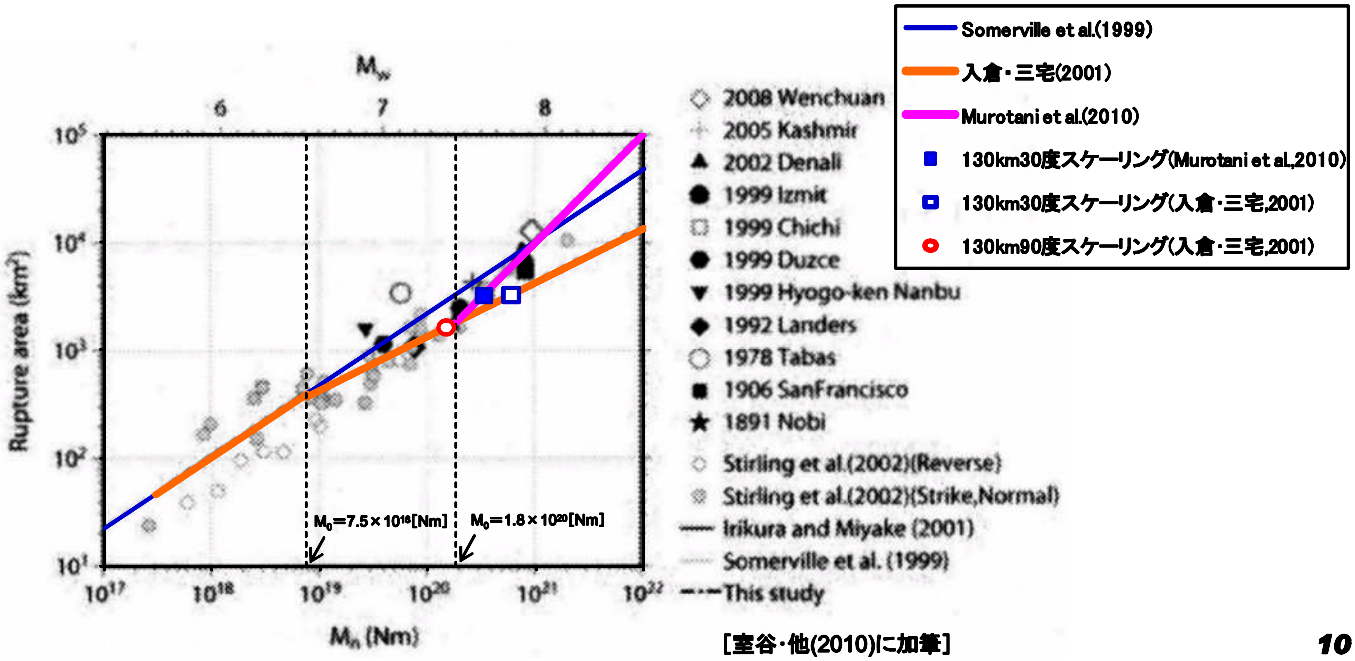
○統計的グリーン関数法および経験的グリーン関数法で地震動評価を行う。

地震モーメントの設定について

○長大断層に該当するため，Murotani et al.(2010)で地震規模を評価する。
○Murotani et al.(2010)で算定した130km30度モデルの地震モーメントは，既存データと整合的である。

Murotani et al.(2010)

$S=1.0\times10^{-17}\times M_0$[Nm]　$M_0 \geqq 1.8\times10^{20}$[Nm]



[室谷・他(2010)に加筆]

平均応力降下量の設定について

○設定法1：無限長地表垂直横ずれ断層の式
・130km90度モデルにおいては，無限長地表垂直横ずれ断層の関係式（$\Delta\sigma=2/\pi\times\mu D/W$）を用いて平均応力降下量（4.5MPa）を算定した。
・30度モデルに上記関係式を適用するとアスペリティの面積比が14%となる。

○設定法2：90度モデルの値を採用
・90度モデルで設定した値（4.5MPa）を採用すると，アスペリティの面積比が39%となる。

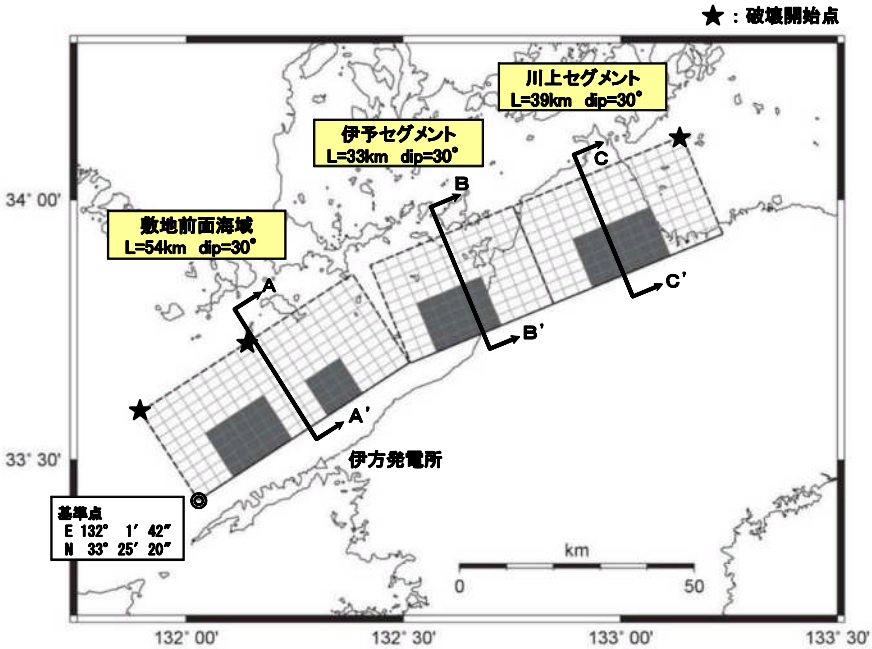
○設定法3：Fujii and Matsu'ura(2000)
・地震本部(2009)の強震動予測レシピが内陸の長大な横ずれ断層の値として示す3.1MPa（Fujii and Matsu'ura，2000）を適用すると，アスペリティの面積比は21%となる。

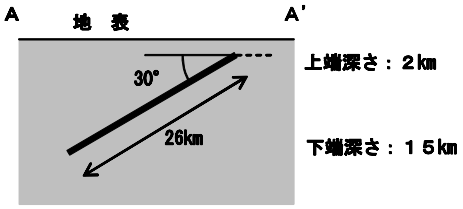
⇩

○アスペリティの面積比は，最近の研究成果では，22%（Somerville et al.，1999），15%～27%（宮腰・他，2001）とされていることから，Fujii and Matsu'ura(2000)を採用する。アスペリティの応力降下量は15.1MPaとなる。

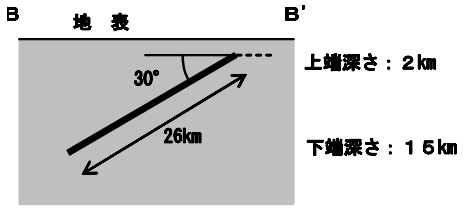
断層モデル

【断層諸元】
- 断層長さ　：126km（全断層面積から地震規模を評価）
- 断層傾斜角：30°
- アスペリティ位置：上端
- 破壊開始点：３ケース
  （断層東下端，西下端，敷地前面中央下端）

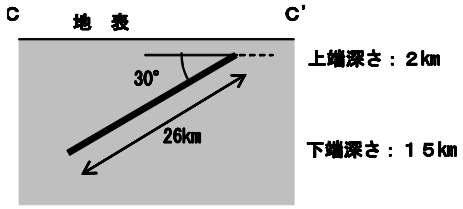




（Ａ－Ａ'断面図）



（Ｂ－Ｂ'断面図）



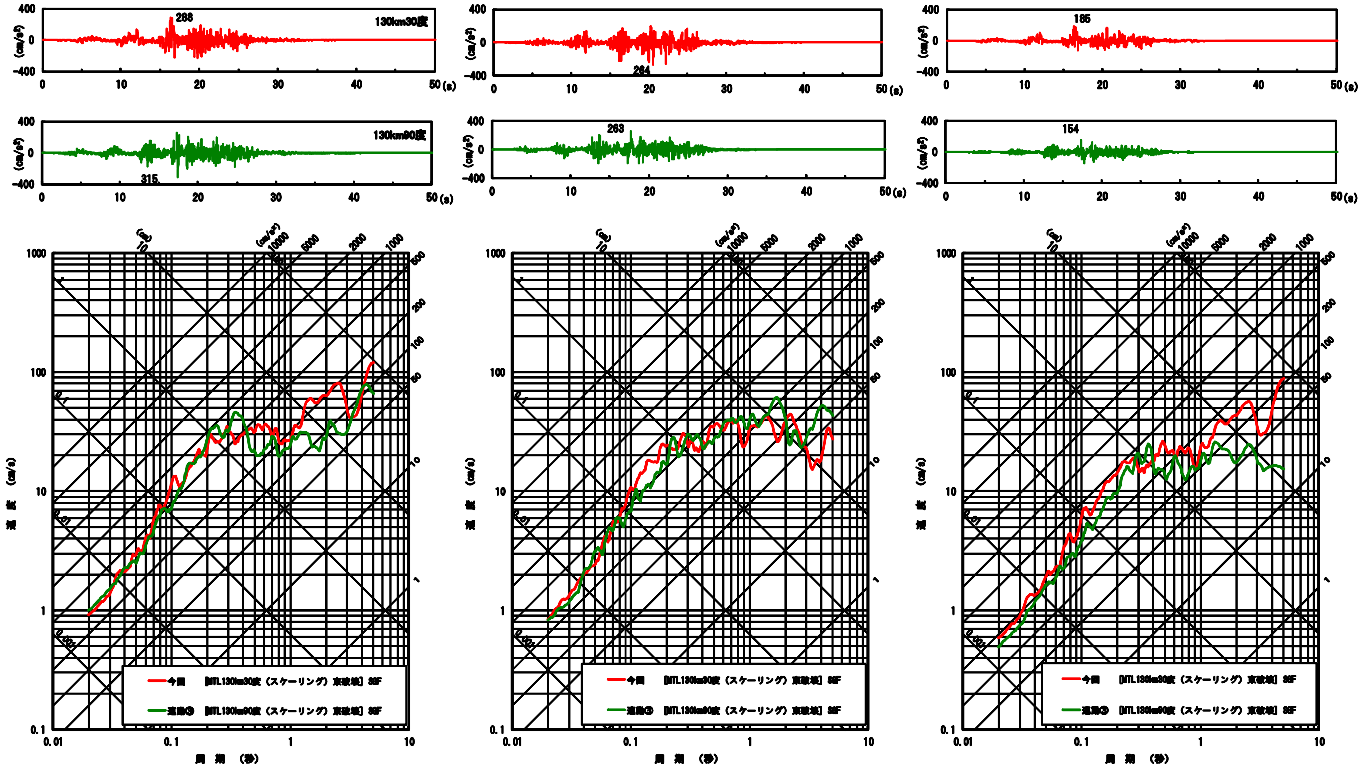
（Ｃ－Ｃ'断面図）

断層パラメータ（90度～30度比較）

断層パラメータ		記号	130km90度スケーリングモデル 全体（約130km）	130km90度スケーリングモデル 根拠	130km30度スケーリングモデル 全体（約130km）	130km30度スケーリングモデル 根拠
巨視的パラメータ	断層位置（断層西端）	-	東経：132° 1′ 42″ 北緯：33° 25′ 20″		東経：132° 1′ 42″ 北緯：33° 25′ 20″	
	走向	θ	N57E～N59E		N57E～N67.5E	
	傾斜角	δ	90°		30°	
	断層長さ	L	126.0 km		126.0 km	
	断層幅	W	13.0 km		26.0 km	
	断層面積	S	1638.0 km^2		3276.0 km^2	
	断層上端深さ	H	2.0km		2.0km	
	破壊伝播形式	-	同心円状		同心円状	
	応力降下量	$\Delta\sigma$	4.5 MPa	無限長地表垂直横ずれ	3.1 MPa	Fujii & Matsu'ura(2000)
	地震モーメント	M_0	1.49E+20 N･m	入倉・三宅(2001)	3.28E+20 N･m	Murotani et al.(2010)
	モーメントマグニチュード	M_W	7.4	Kanamori(1977)	7.6	Kanamori(1977)
	気象庁マグニチュード	M_J	7.9	武村(1998)	8.2	武村(1998)
	短周期レベル	A	2.81E+19 N･m/s^2	壇・他(2001)	3.65E+19 N･m/s^2	壇・他(2001)
微視的パラメータ 全アスペリティ	地震モーメント	M_{0a}	1.00E+20 N･m	$M_{0a}=\mu D_a S_a$	1.35E+20 N･m	$M_{0a}=\mu D_a S_a$
	面積	S_a	550.4 km^2	S_a/S=34%	673.0 km^2	S_a/S=20.5%
	平均すべり量	D_a	456 cm	D_a=2.0×D	500 cm	D_a=2.0×D
	応力降下量	$\Delta\sigma_a$	13.3 MPa	$\Delta\sigma_a=\Delta\sigma/0.34$	15.1 MPa	$\Delta\sigma_a=\Delta\sigma/0.205$
微視的パラメータ 第1アスペリティ	地震モーメント	M_{0a1}	3.35E+19 N･m		4.50E+19 N･m	
	面積	S_{a1}	171.5 km^2		209.8 km^2	
	平均すべり量	D_{a1}	489 cm		537 cm	
	実効応力	σ_{a1}	13.3 MPa		15.1 MPa	
微視的パラメータ 第2アスペリティ	地震モーメント	M_{0a2}	7.70E+18 N･m		1.03E+19 N･m	
	面積	S_{a2}	64.3 km^2		78.7 km^2	
	平均すべり量	D_{a2}	299 cm		329 cm	
	実効応力	σ_{a2}	13.3 MPa		15.1 MPa	
微視的パラメータ 第3アスペリティ	地震モーメント	M_{0a3}	2.58E+19 N･m		3.47E+19 N･m	
	面積	S_{a3}	144.1 km^2		176.3 km^2	
	平均すべり量	D_{a3}	448 cm		492 cm	
	実効応力	σ_{a3}	13.3 MPa		15.1 MPa	
微視的パラメータ 第4アスペリティ	地震モーメント	M_{0a4}	3.32E+19 N･m		4.46E+19 N･m	
	面積	S_{a4}	170.4 km^2		208.3 km^2	
	平均すべり量	D_{a4}	487 cm		535 cm	
	実効応力	σ_{a4}	13.3 MPa		15.1 MPa	
微視的パラメータ 背景領域	地震モーメント	M_{0b}	4.90E+19 N･m	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$	1.93E+20 N･m	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$
	面積	S_b	1087.6 km^2	$S_b=S-S_a$	2603.0 km^2	$S_b=S-S_a$
	平均すべり量	D_b	113 cm	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$	185 cm	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$
	実効応力	σ_b	2.7 MPa	$\sigma_b=0.2\times\Delta\sigma_a$	3.0 MPa	$\sigma_b=0.2\times\Delta\sigma_a$
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	－
	平均すべり量	D	228 cm	$D=M_0/(\mu S)$	250 cm	$D=M_0/(\mu S)$
	S波速度	β	3.5 km/s	－	3.5 km/s	－
	破壊伝播速度	V_R	2.5 km/s	Geller(1976)	2.5 km/s	Geller(1976)

断層モデルによる評価結果　SGF　東破壊

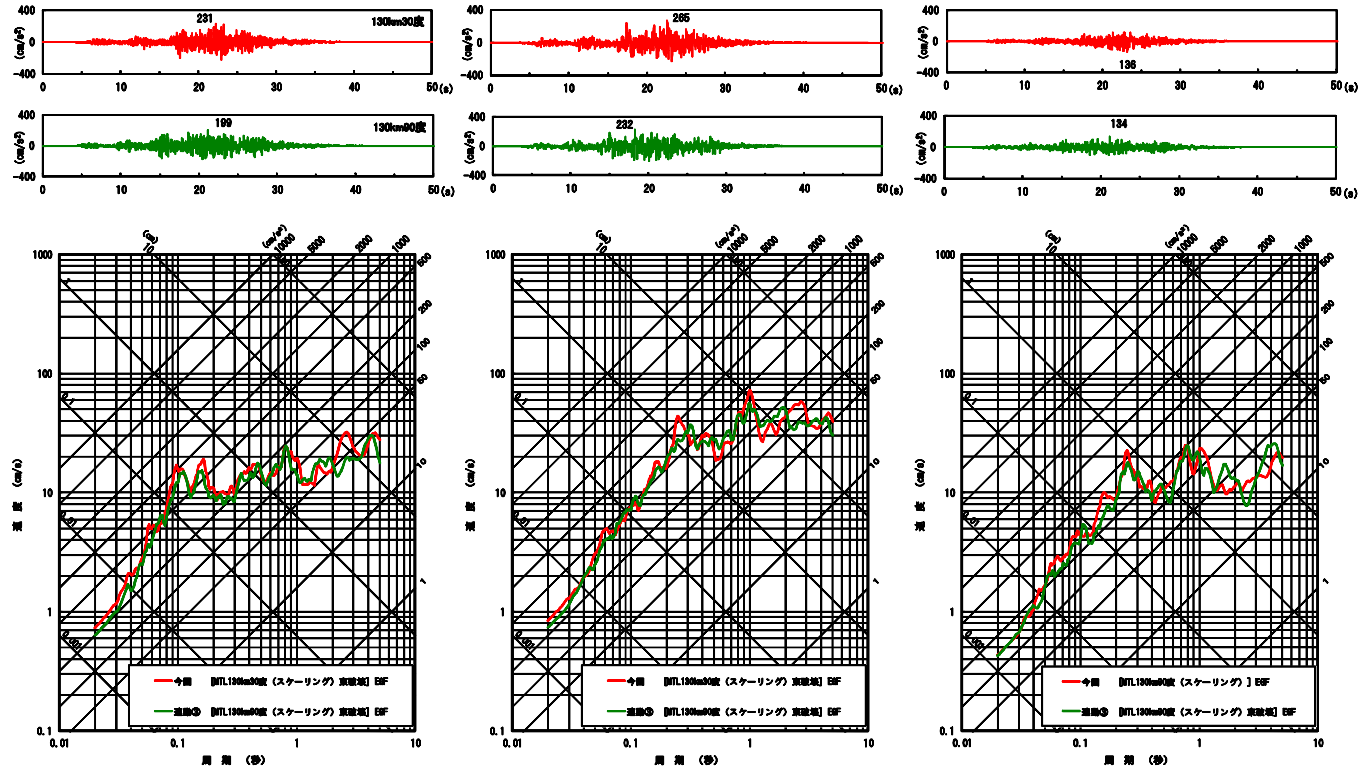
東から西に破壊するケースについて，耐震バックチェックで解析済みである90度モデルの結果と比較して示す。30度の結果は，90度の結果とほぼ同等の地震動レベルである。



ＮＳ方向　　ＥＷ方向　　ＵＤ方向

断層モデルによる評価結果　EGF　東破壊

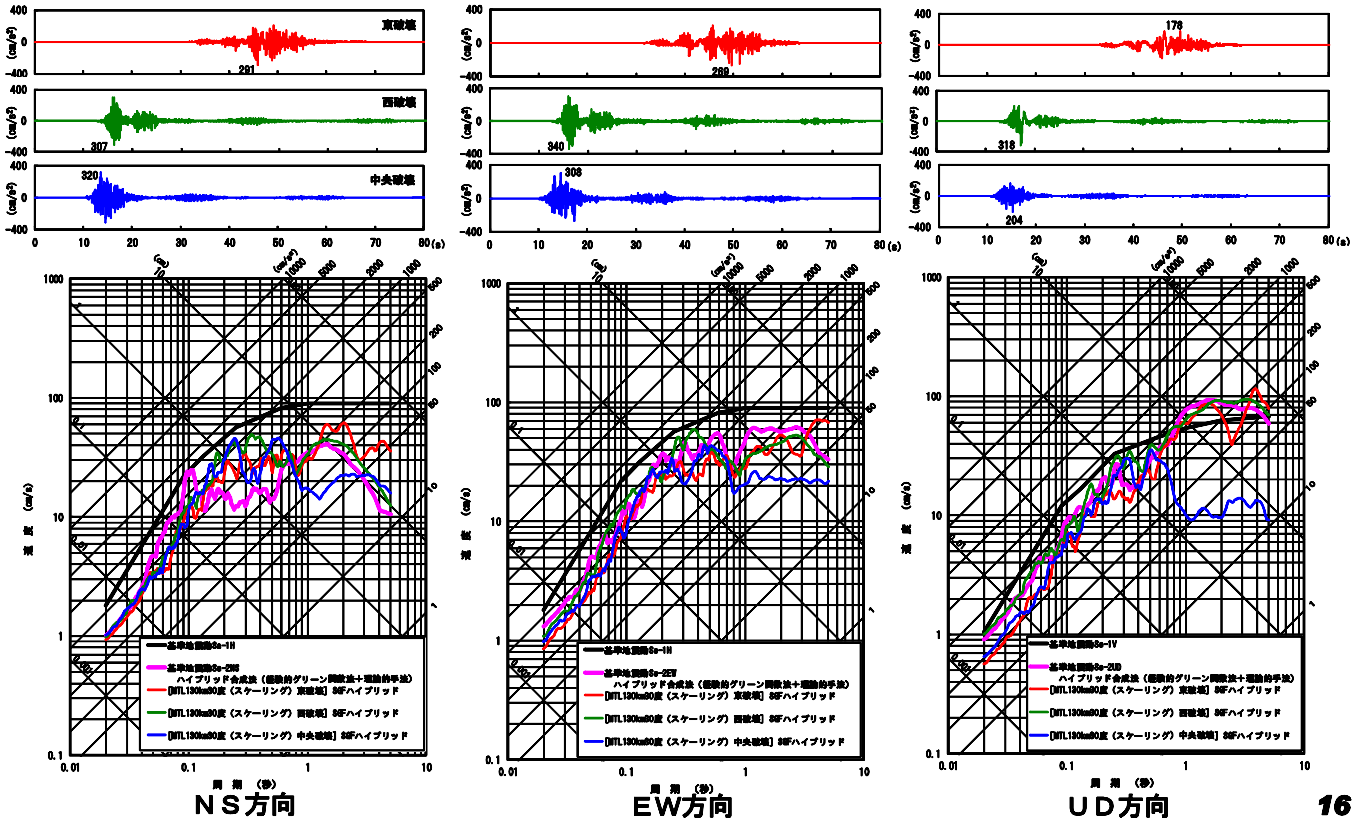
同様に，経験的グリーン関数法による結果を示す。これも，30度の結果は，90度の結果とほぼ同等の地震動レベルである。



ＮＳ方向　　ＥＷ方向　　ＵＤ方向

断層モデルによる評価結果　SGF　破壊開始点3ケース＋ハイブリッド合成

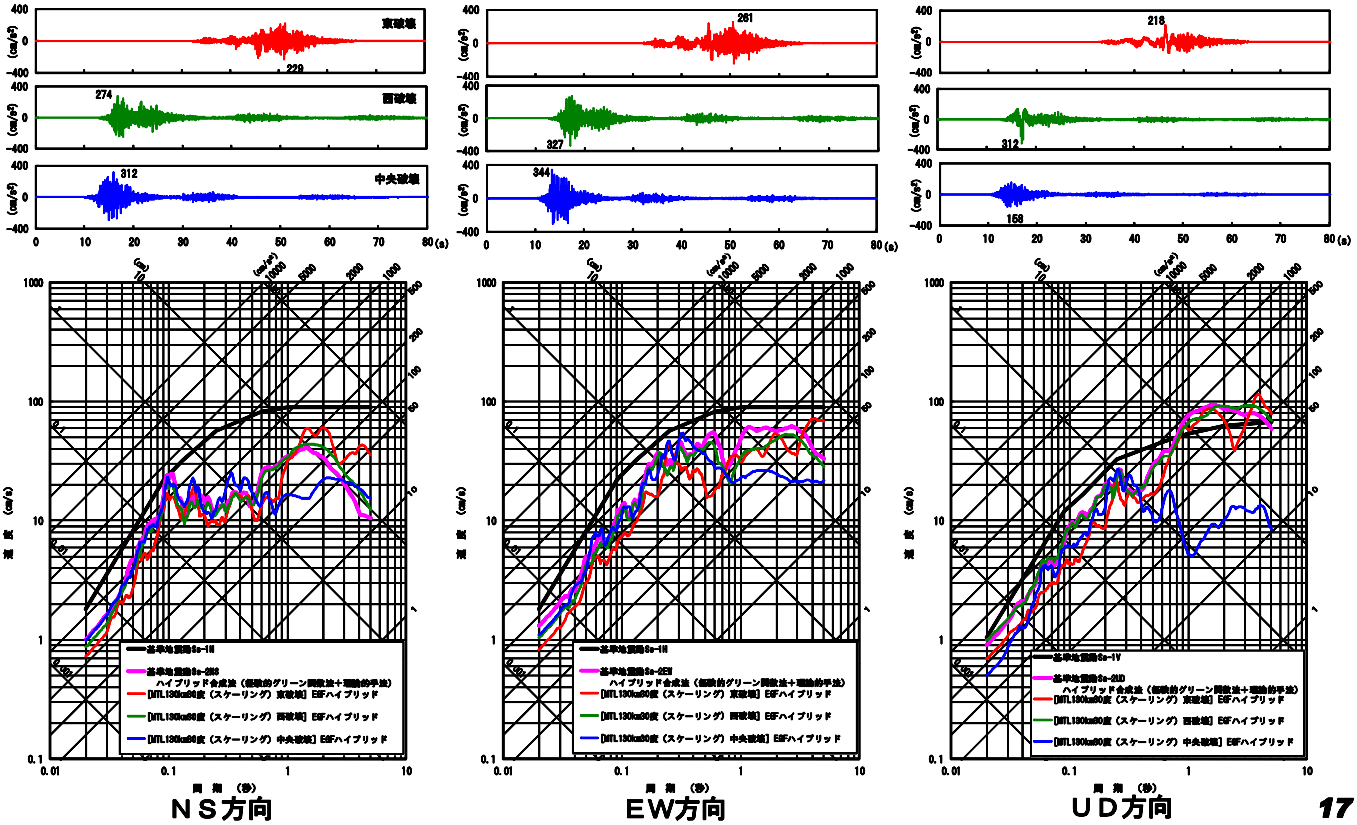
破壊開始点3ケースについて，短周期側：統計的グリーン関数法と長周期側：理論計算を接続周期0.8秒でハイブリッド合成した。水平動はSs-1に包絡されている。上下動の長周期側でSs-1を超える部分があるが，Ss-2と似た地震動であることや，当該周期帯には影響を受ける施設がないことから，施設の耐震安全性に影響はないと考える。



ＮＳ方向　　ＥＷ方向　　ＵＤ方向

断層モデルによる評価結果　EGF　破壊開始点3ケース＋ハイブリッド合成

同様に，経験的グリーン関数法について接続周期0.8秒でハイブリッド合成した。水平動はSs-1に包絡されている。上下動の長周期側でSs-1を超える部分があるが，Ss-2と似た地震動であることや，当該周期帯には影響を受ける施設がないことから，施設の耐震安全性に影響はないと考える。



ＮＳ方向　　ＥＷ方向　　ＵＤ方向

応答スペクトルに基づいた地震動評価

主な応答スペクトル手法

敷地での地震動評価に適用が考えられる主な応答スペクトル手法（距離減衰式）を以下に示す。

距離減衰式一覧

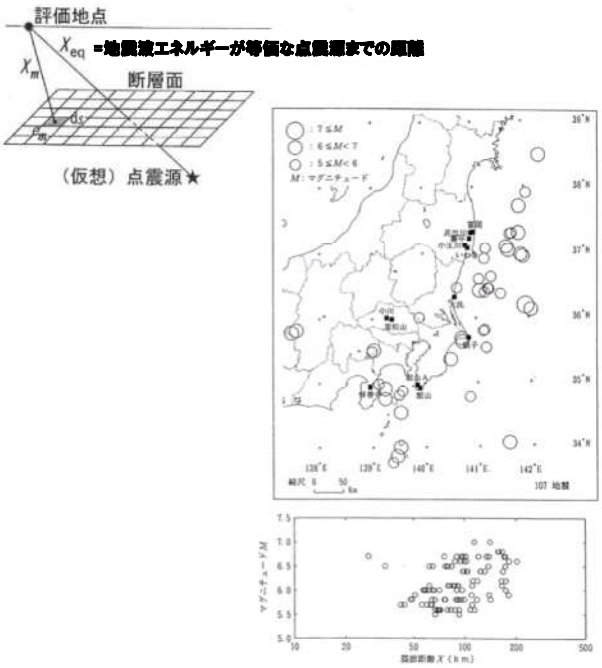
距離減衰式	データベースの対象地域	地震タイプ	主なパラメータ	Mの範囲	距離の範囲	地盤条件・種別	その他
耐専スペクトル [Noda et al.(2002)]	国内	主に太平洋沿岸の60km以浅の地震	Mjma 等価震源距離 Vs, Vp 地盤の卓越周期	M_J5.5～7.0	28～202km （震源距離）	500≦Vs≦2700 m/s	NFRD効果を考慮可能 水平動・鉛直動を評価可能
Kanno et al.(2006)	主に国内	内陸 プレート間 プレート内	Mw 断層最短距離 震源深さ、Vs30	5.5～8.2	1～500km	100≦Vs30≦1400 m/s	Vs30による補正が可能
Zhao et al.(2006)			Mw 断層最短距離 震源深さ	5.0～8.3	0.3～300km	Soft soil ～Hard rock (Hard rock Vs=2000m/s)	
内山・翠川(2006)	日本周辺		Mw 断層最短距離 震源深さ	5.5～8.3	300km以内	150≦Vs30≦750m/s	
Abrahamson and Silva(2008)	主に国外	内陸	Mw 断層最短距離 Vs30, 断層上端深さ	4.27～7.9	0.07～200km	100≦Vs30≦2000m/s	Vs30による補正が可能
Boore and Atkinson(2008)			Mw 断層面の地表投影面への最短距離、Vs30		0.1～400km	NEHRP分類A～E	Vs30による補正が可能
Campbell and Bozorgnia(2008)			Mw 断層最短距離 Vs30, 断層上端深さ		0.1～200km	150≦Vs30≦1500m/s	Vs30による補正が可能
Chiou and Youngs(2008)			Mw 断層最短距離 Vs30, 断層上端深さ		0.07～70km	100≦Vs30≦2000m/s	Vs30による補正が可能
Idriss(2008)			Mw 断層最短距離、Vs30	4.5～7.7	0.3～200km	450≦Vs30≦900m/s	Vs30による補正が可能

Vs30：表層30mにおけるS波速度の平均値

耐専スペクトル[Noda et al.(2002)]

データベース諸元

対象地震	国内	
データベースに含まれる地震タイプ	主に太平洋沿岸で発生した震源深さ60km以浅の地震	
地震タイプの考慮方法	・内陸地震に対する補正 ・震源近傍における破壊伝播効果に対する補正が提案されている	
データベースにおけるM※1の範囲	5.5～7.0 (理論的検討によりM8.5までの地震の地震動評価が可能とされている)	
データベースにおける等価震源距離Xeq※2の範囲	28～202km	
データベースにおける地盤種別	500≦Vs※3≦2700 m/s (1700≦Vp※3≦5500 m/s)	
備考	【適用性の確認に用いたデータ】	
	・国内23記録 ・M　:5.4～7.7 ・Xeq:17～216km	・海外14記録 ・M　:5.7～8.1 ・Xeq:14～76.9km



附図1.1-1　回帰分析に用いた観測記録の震央位置(上)と地震の規模と震源距離の分布(下)

※1 気象庁マグニチュード
※2 地震波エネルギーが等価な点震源までの距離
※3 各観測位置におけるS波(P波)速度

【本敷地に適用する場合の地盤条件】
耐専スペクトルでは地震基盤(Vs=2200m/s)における応答スペクトルを算出し，これに地盤増幅率を乗じて解放基盤表面での地震動を評価する。
→地震基盤Vs=2200m/sにおいて地震動評価を行う。

Kanno et al.(2006)

データベース諸元

対象地震	主に国内
データベースに含まれる地震タイプ	内陸地殻内 プレート間 プレート内
地震タイプの考慮方法	浅発地震と深発地震の回帰式を提案(深さ30kmがしきい値)
データベースにおけるMwの範囲	5.5～8.2※1
データベースにおける断層最短距離の範囲	1～500km※1
データベースにおける地盤種別	100≦Vs30※2≦1400 m/s※1
備考	Vs30※2の値によりサイト補正が可能

データベースに含まれる主な内陸地震	
1971 San Fernando	R
1979 Imperial Valley	S
1989 Loma Prieta	R
1992 Landers	S
1994 Northridge	R
1995 兵庫県南部	S
1999 Kocaeli	S
1999 Duzce	S
2000 鳥取県西部	S

S:横ずれ断層，R:逆断層

※1 論文中の図表等から読み取った値

※2 表層30mにおけるS波速度の平均値

原論文ではスペクトルの短周期側は0.05秒まで評価。本検討では，PGAとして示されている値を周期0.02秒での値と読み替えて0.02秒までのスペクトルを評価した

【本敷地に適用する場合の地盤条件】

→データベースの上限値Vs30=1400m/sにおいて地震動評価を行う

Zhao et al. (2006)

データベース諸元

対象地震	主に国内(1968～2003年)
データベースに含まれる地震タイプ	内陸地殻内 プレート間 プレート内
地震タイプの考慮方法	地震タイプを直接入力 震源深さも入力(15km以深で深さ依存)
データベースにおけるMwの範囲	5.0～8.3※1
データベースにおける断層最短距離の範囲	0.3～300km※1
データベースにおける地盤種別	SC Ⅰ(Rock) SC Ⅱ(Hard soil) SCⅢ(Medium soil) SCⅣ(Soft soil)
備考	・SC Ⅰ(Rock)地点の中にHard rock地点(平均せん断波速度は1020～2200m/s)を12箇所含む ・Hard rock(Vs=2000m/s)の補正係数を提示 ・Hard rock～SCⅣの地盤条件をパラメータとして選択

※1 論文中の図表等から読み取った値

原論文ではスペクトルの短周期側は0.05秒まで評価。本検討では，PGAとして示されている値を周期0.02秒での値と読み替えて0.02秒までのスペクトルを評価した

地盤種別(Zhao et al.(2006))

Site Class Definitions Used in the Present Study and the Approximately Corresponding NEHRP Site Classes

Site Class	Description	Natural Period	V_{30} Calculated from Site Period	NEHRP Site Classes
Hard rock			$V_{30} > 1100$	A
SC I	Rock	$T < 0.2$ sec	$V_{30} > 600$	A + B
SC II	Hard soil	$0.2 = T < 0.4$ sec	$300 < V_{30} = 600$	C
SC III	Medium soil	$0.4 = T < 0.6$ sec	$200 < V_{30} = 300$	D
SC IV	Soft soil	$T = 0.6$ sec	$V_{30} = 200$	E + F

地盤種別ごとの記録数(Zhao et al.(2006))

Source Type	Unknown	SC I	SC II	SC III	SC IV	Total for Each Source Type
Japan						
Crustal	32	427	401	137	288	1285
Interface	9	373	540	186	400	1508
Slab	22	668	530	210	295	1725
Total for each site class	63	1468	1471	533	983	4518
Iran and Western USA						
Crustal		24	73	93	6	196
Interface		2	7	3		12
Total for each site class		26	80	96	6	208
Totals for each site class from all regions	63	1494	1551	629	989	Grand Total 4726

データベースに含まれる主な内陸地震	
1978 Tabas	R
1995 兵庫県南部	S
2000 鳥取県西部	S
Western USA 20地震	R&S

S:横ずれ断層，R:逆断層

【本敷地に適用する場合の地盤条件】

→Hard rockVs=2000m/sにおいて地震動評価を行う

内山・翠川 (2006)

データベース諸元

対象地震	1968～2003年に日本周辺で発生した地震
データベースに含まれる地震タイプ	内陸地殻内 プレート間 プレート内
地震タイプの考慮方法	震源深さで考慮
データベースにおけるMwの範囲	5.5～8.3 ※1
データベースにおける断層最短距離の範囲	300km以内※1
データベースにおける地盤種別	150m/s≦Vs30※2≦750m/s ※1
備考	・Vs30※2が500m/s程度の工学的基盤における地震動評価が可能 ・Vs30※2の平均値は550m/s，再頻値は500～525m/s

※1 論文中の図表等から読み取った値

※2 表層30mにおけるS波速度の平均値

データベースに含まれる主な内陸地震
1995 兵庫県南部
2000 鳥取県西部
2003 宮城県北部

【本敷地に適用する場合の地盤条件】

①内山・翠川 (2006) によりVs30=500 m/s相当層での地震動評価を行う

②松岡・翠川 (1994) が基準地盤とするS波速度600m/s相当層からS波速度500m/sおよび1500m/s相当層への増幅度をそれぞれ求める

③求めたそれぞれの増幅度の比 (増幅率) を，①の評価結果に掛ける

→Vs30=1500m/sにおいて地震動評価を行う

Abrahamson and Silva (2008)

データベース諸元

対象地震	主に国外
地震データベース	NGA※1データベースより選択
データベースに含まれる地震タイプ	内陸地殻内
データベースにおけるMwの範囲	4.27～7.9 ※2
データベースにおける断層最短距離の範囲	0.07～200km※2
データベースにおける地盤種別	100≦Vs30※3≦2000m/s※2
備考	・Vs30※3の値により補正が可能 ・ただし，Vs30≧1500m/sでサイト係数が一定となる

データベースに含まれる主な地震	
1971 San Fernando	R
1979 Imperial Valley	S
1989 Loma Prieta	R
1992 Landers	S
1994 Northridge	R
1995 兵庫県南部	S
1999 Kocaeli	S
1999 Chi-Chi	R
1999 Hector Mine	S
1999 Duzce	S
2002 Denali	S

S:横ずれ断層，R:逆断層

※1 Next Generation Attenuation

※2 論文中の図表等から読み取った値

※3 表層30mにおけるS波速度の平均値

【本敷地に適用する場合の地盤条件】

→サイト係数が一定となるVs30=1500～2000m/sにおいて地震動評価を行う

Boore and Atkinson (2008)

データベース諸元

対象地震	主に国外
地震データベース	NGA※1データベースより選択
データベースに含まれる地震タイプ	内陸地殻内
データベースにおけるMwの範囲	4.27～7.9※2
データベースにおける断層最短距離※3の範囲	0.1～400km※2
データベースにおける地盤種別	NEHRPによる分類※4A～E
備考	・Vs30※5の値により補正が可能 ・Vs30※5が1300m/s以下の場合に適用可とされている

NEHRP分類	
A	1500m/s ＜ Vs30
B	760m/s ＜ Vs30 ≦ 1500m/s
C	360m/s ＜ Vs30 ≦ 760m/s
D	180m/s ＜ Vs30 ≦ 360m/s
E	Vs30 ≦ 180m/s

データベースに含まれる主な地震	
1971 San Fernando	R
1979 Imperial Valley	S
1989 Loma Prieta	R
1992 Landers	S
1994 Northridge	R
1995 兵庫県南部	S
1999 Kocaeli	S
1999 Chi-Chi	R
1999 Hector Mine	S
1999 Duzce	S
2002 Denali	S

S:横ずれ断層，R:逆断層

※1 Next Generation Attenuation

※2 論文中の図表等から読み取った値

※3 断層地表投影面からの最短距離

※4 National Earthquake Hazards Reduction Program

※5 表層30mにおけるS波速度の平均値

【本敷地に適用する場合の地盤条件】

→Vs30適用の上限Vs30=1300m/sにおいて地震動評価を行う

Campbell and Bozorgnia (2008)

データベース諸元

対象地震	主に国外
地震データベース	NGA※1データベースより選択
データベースに含まれる地震タイプ	内陸地殻内
データベースにおけるMwの範囲	4.27～7.9※2
データベースにおける断層最短距離の範囲	0.1～200km※2
データベースにおける地盤種別	150≦Vs30※3≦1500m/s （Applicabilityとして記載）
備考	・Vs30※3の値により補正が可能 ・ただし，Vs30 ≧ 1100m/sでサイト係数が一定となる

データベースに含まれる主な地震	
1971 San Fernando	R
1979 Imperial Valley	S
1989 Loma Prieta	R
1992 Landers	S
1994 Northridge	R
1995 兵庫県南部	S
1999 Kocaeli	S
1999 Chi-Chi	R
1999 Hector Mine	S
1999 Duzce	S
2002 Denali	S

S:横ずれ断層，R:逆断層

※1 Next Generation Attenuation

※2 論文中の図表等から読み取った値

※3 表層30mにおけるS波速度の平均値

【本敷地に適用する場合の地盤条件】

→サイト係数が一定となるVs30=1100～1500m/sにおいて地震動評価を行う

Chiou and Youngs (2008)

データベース諸元

対象地震	主に国外
地震データベース	NGA※1データベースより選択
データベースに含まれる地震タイプ	内陸地殻内
データベースにおけるMwの範囲	4.27～7.9※2
データベースにおける断層最短距離の範囲	0.07～70km※2
データベースにおける地盤種別	100≦Vs30※3≦2000m/s ※2 （Applicabilityとして 150m/s≦Vs30≦1500m/sと記載）
備考	・Vs30※3の値により補正が可能 ・ただし，Vs30≧1130m/sでサイト係数が一定となる

データベースに含まれる主な地震	
1971 San Fernando	R
1979 Imperial Valley	S
1989 Loma Prieta	R
1992 Landers	S
1994 Northridge	R
1995 兵庫県南部	S
1999 Kocaeli	S
1999 Chi-Chi	R
1999 Hector Mine	S
1999 Duzce	S
2002 Denali	S

S:横ずれ断層，R:逆断層

※1 Next Generation Attenuation

※2 論文中の図表等から読み取った値

※3 表層30mにおけるS波速度の平均値

【本敷地に適用する場合の地盤条件】

→サイト係数が一定となるVs30=1130～1500m/sにおいて地震動評価を行う

Idriss (2008)

データベース諸元

対象地震	主に国外
地震データベース	NGA※1データベースより選択
データベースに含まれる地震タイプ	内陸地殻内
データベースにおけるMwの範囲	4.5～7.7※2
データベースにおける断層最短距離の範囲	0.3～200km※2
データベースにおける地盤種別	450≦Vs30※3≦900m/s※2
備考	・Vs30※3＞900m/sの場合は一定の補正係数を掛け合わせる

※1 Next Generation Attenuation

※2 論文中の表から読み取った値

※3 表層30mにおけるS波速度の平均値

データベースに含まれる主な地震	
1971 San Fernando	R
1979 Imperial Valley	S
1989 Loma Prieta	R
1992 Landers	S
1994 Northridge	R
1995 兵庫県南部	S
1999 Kocaeli	S
1999 Chi-Chi	R
1999 Hector Mine	S
1999 Duzce	S

S:横ずれ断層，R:逆断層

【本敷地に適用する場合の地盤条件】

→Vs30＞900m/sにおいて地震動評価を行う

地震動評価に用いる応答スペクトル手法の選定

本検討における応答スペクトル手法の採用条件を以下のように考えて，各々の距離減衰式を評価する。

- ○解放基盤表面における地震動評価ができること
- ○水平及び鉛直方向の地震動評価ができること
- ○震源の拡がりを考慮できること
- ○地震観測記録を用いて諸特性（地域特性等）が考慮できること

距離減衰式	距離減衰式の採用条件			
	解放基盤表面における地震動評価ができること	水平及び鉛直方向の地震動評価ができること	震源の拡がりを考慮できること	地震観測記録を用いて諸特性（地域特性等）が考慮できること
耐専スペクトル [Noda et al.(2002)]	○ (Vs=2200m/s)	○	○	○
Kanno et al.(2006)	○ (Vs30=1400m/s)	－ (水平のみ)	△	○
Zhao et al.(2006)	○ (Vs=2000m/s)	－ (水平のみ)	△	○
内山・翠川(2006)	△※ (Vs30=500m/s)	－ (水平のみ)	△	○
Abrahamson and Silva(2008)	○ (Vs30=2000m/s)	－ (水平のみ)	△	○
Boore and Atkinson(2008)	○ (Vs30=1300m/s)	－ (水平のみ)	△	○
Campbell and Bozorgnia(2008)	○ (Vs30=1500m/s)	－ (水平のみ)	△	○
Chiou and Youngs(2008)	○ (Vs30=1500m/s)	－ (水平のみ)	△	○
Idriss(2008)	○ (Vs30=900m/s)	－ (水平のみ)	△	○

※:松岡・翠川(1994)の増幅度を用いることによりVs30=1500m/sでの評価が可能

これより，耐専スペクトルを基本と考える。

敷地が断層近傍に位置する場合

しかしながら，敷地が前面海域の断層群の近傍（約8km）に位置することから・・・

↓

○新耐震指針に基づく既設原子力施設の耐震安全性の評価結果に対するワーキング・グループとしての検討のポイントについて（案）

耐特委第20-2-5号（平成21年6月12日）

『応答スペクトルによる手法は経験的手法であり，用いられたデータの質・量によってその適用範囲を慎重に吟味することが重要である。特に震源が敷地に近い場合にはより慎重な対応が必要となる。』

『震源が敷地に近い場合の地震動評価に際しては，適用可能な各種の応答スペクトルによる手法を用いた評価結果や断層モデルに基づく地震動評価結果等を踏まえ，総合的な判断を行う必要がある。』

↓ 検討のポイントに鑑み・・・

回帰データと評価条件を照らし合わせて適用性を吟味した上で，各種の応答スペクトルによる手法や断層モデルの結果と比較し，総合的に応答スペクトル評価を行う。

適用性の検証
（距離・地震規模）

耐専スペクトルやその他距離減衰式のデータベースに立ち返って，想定ケースに適用が可能かどうかを吟味する

検証に用いる応答スペクトル手法

敷地での適用性の検証に用いる距離減衰式と，評価を行う地盤条件を示す。

どの距離減衰式も敷地の解放基盤表面のVs=2600m/sまでは対応していないので，適用範囲内で最も硬い地盤条件で地震動を算定する。

各距離減衰式のデータベース諸元

距離減衰式	データベース諸元					今回地震動の推定に設定した対象地盤のせん断波速度(Vs30)[最も硬い地盤で推定]
	対象地域	地震タイプ	Mwの範囲	断層最短距離の範囲	地盤種別	
耐専スペクトル	国内	主に太平洋沿岸の60km以浅の地震	M_J5.5～7.0	28～202km（震源距離）	500≦Vs≦2700 m/s	2200m/s (Vs)
Kanno et al.(2006)	主に国内	内陸 プレート間 プレート内	5.5～8.2	1～500km	100≦Vs30※1≦1400 m/s	1400m/s
Zhao et al.(2006)			5.0～8.3	0.3～300km	Soft soil ～Hard rock (Hard rock Vs=2000m/s)	2000m/s (Vs)
内山・翠川(2006)	日本周辺		5.5～8.3	300km以内	150≦Vs30※1≦750m/s	1500m/s
Abrahamson and Silva(2008)	主に国外	内陸	4.27～7.9	0.07～200km	100≦Vs30※1≦2000m/s	1500～2000m/s※2
Boore and Atkinson(2008)				0.1～400km	NEHRP分類A～E	1300m/s
Campbell and Bozorgnia(2008)				0.1～200km	150≦Vs30※1≦1500m/s	1100～1500m/s※2
Chiou and Youngs(2008)				0.07～70km	100≦Vs30※1≦2000m/s	1130～1500m/s※2
Idriss(2008)			4.5～7.7	0.3～200km	450≦Vs30※1≦900m/s	＞900m/s※2

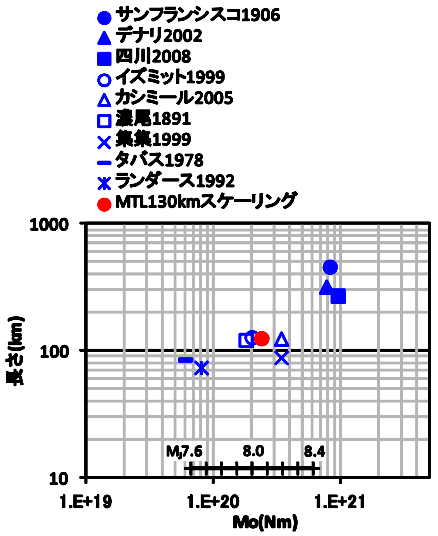
※1 Vs30：表層30mにおけるS波速度の平均値
※2 この間の地震動は一定値として算出される
伊方発電所敷地のS波速度：2600m/s

距離・地震規模の適用性①

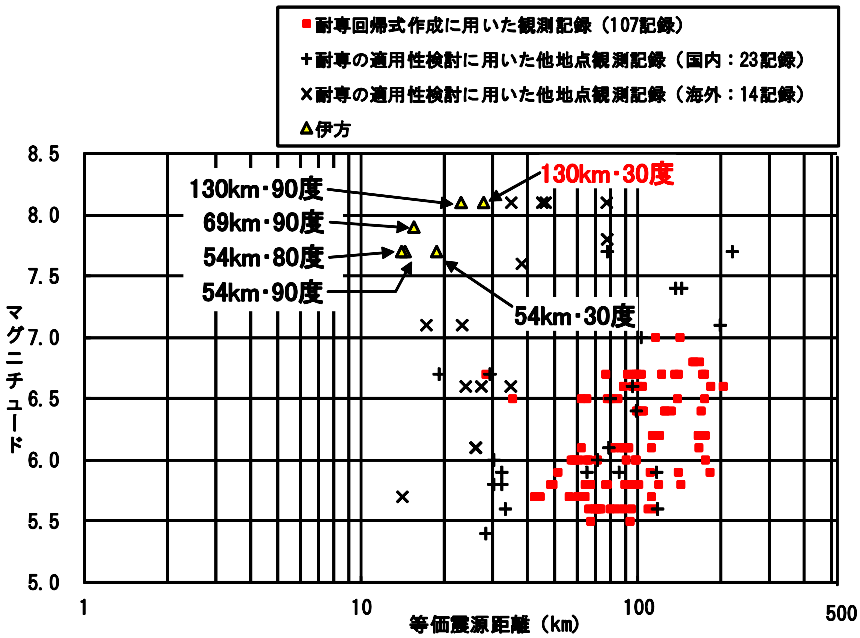
【耐専スペクトル】

○長さ130kmのケースは，回帰式作成に用いたデータ(■)と比較すると外挿となる(右下図)

○なお，地震規模は，断層の長さに基づき，松田(1975)と武村(1998)より以下のように設定した。
- 敷地前面海域の断層群(54km)→M_0=8.71e19Nm
- 伊予セグメント＋川上セグメント(72km)→M_0=1.51e20Nm
- 全長のM_0=2.38e20Nm →Mj8.1

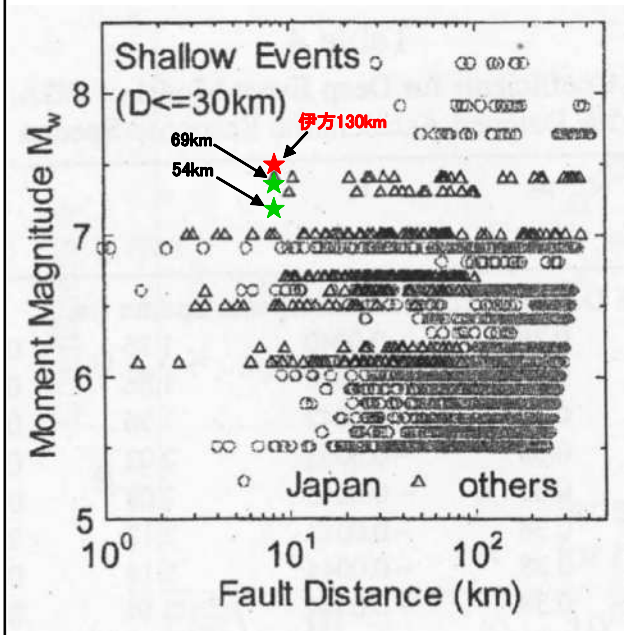


設定した地震規模を過去の長大断層と比較
断層パラメータは宝谷・他(2009)[地震波解析による値]



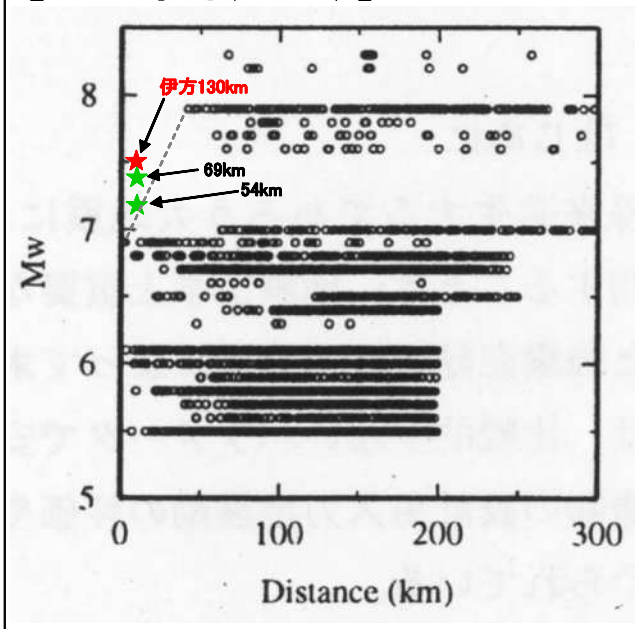
距離・地震規模の適用性②

【Kanno et al.(2006)】



Mw7.4 Kocaeli
Mw7.3 Landers
Mw7.0 Loma Prieta, Duzce
Mw6.9 Kobe

【内山・翠川(2006)】



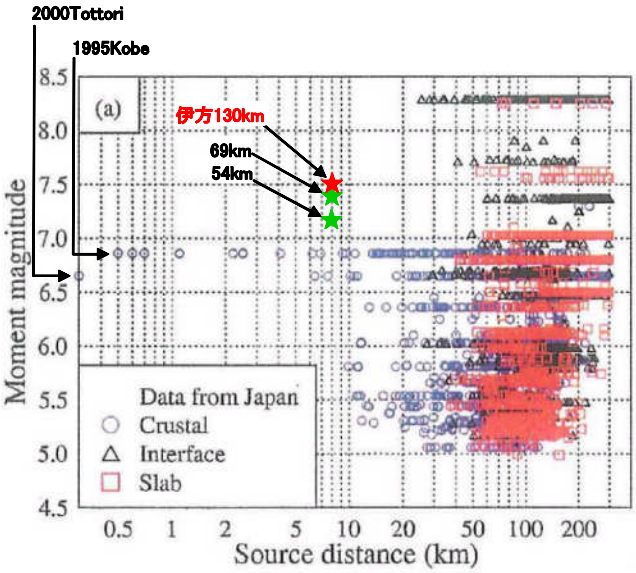
Mw7.9 十勝沖
Mw7.0 2003宮城県沖
Mw6.9 兵庫県南部
Mw6.8 鳥取県西部

図中の破線や★等は当社加筆

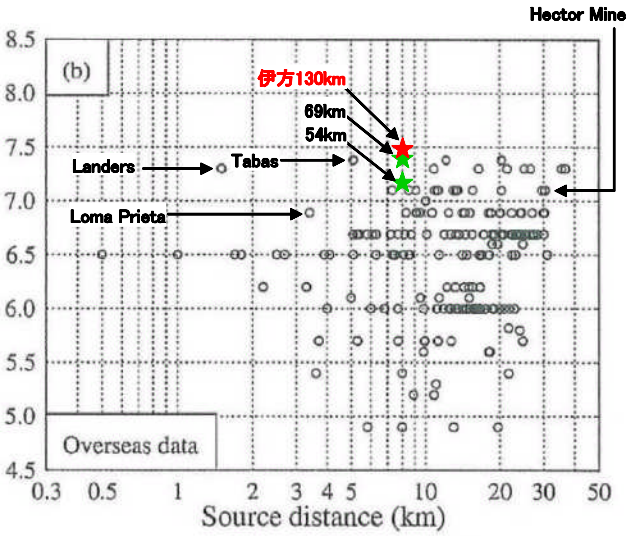
これより，130kmのケースは外挿評価になると判断される

距離・地震規模の適用性③

【Zhao et al.(2006)】



日本の記録



国外の記録

距離・地震規模の適用性④

【Abrahamson and Silva (2008)】

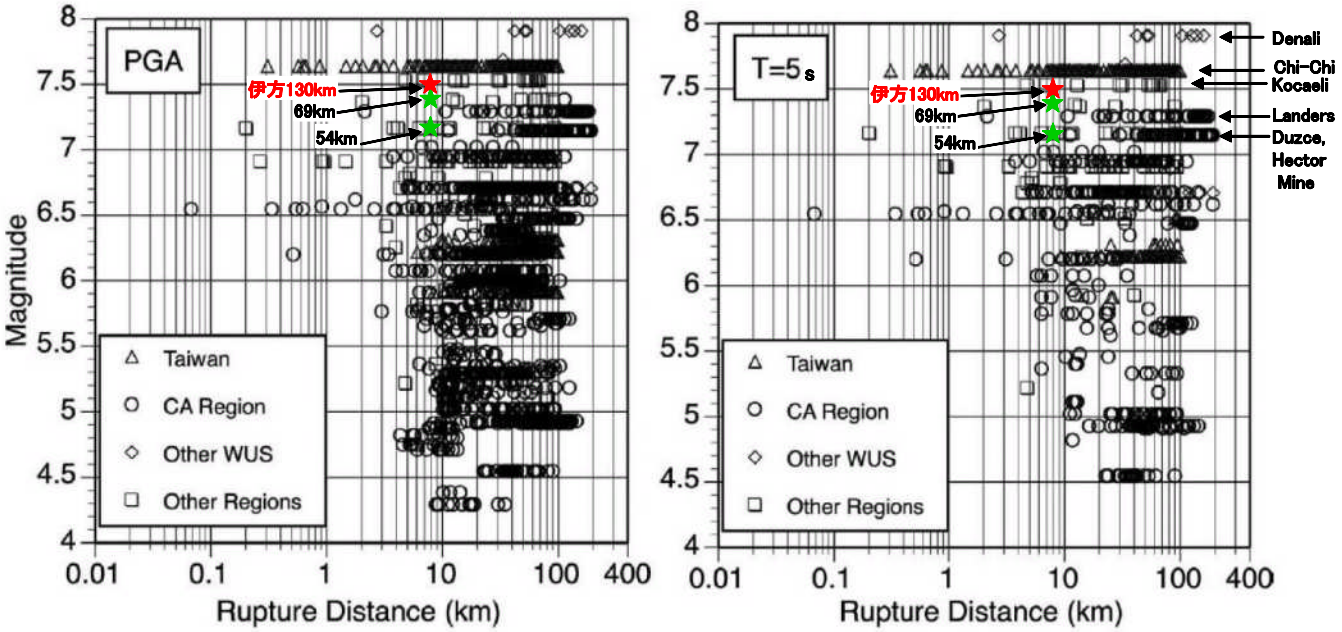


Figure 2. Distribution of magnitude-distance pairs for PGA and T=5 sec.

距離・地震規模の適用性⑤

【Boore and Atkinson (2008)】

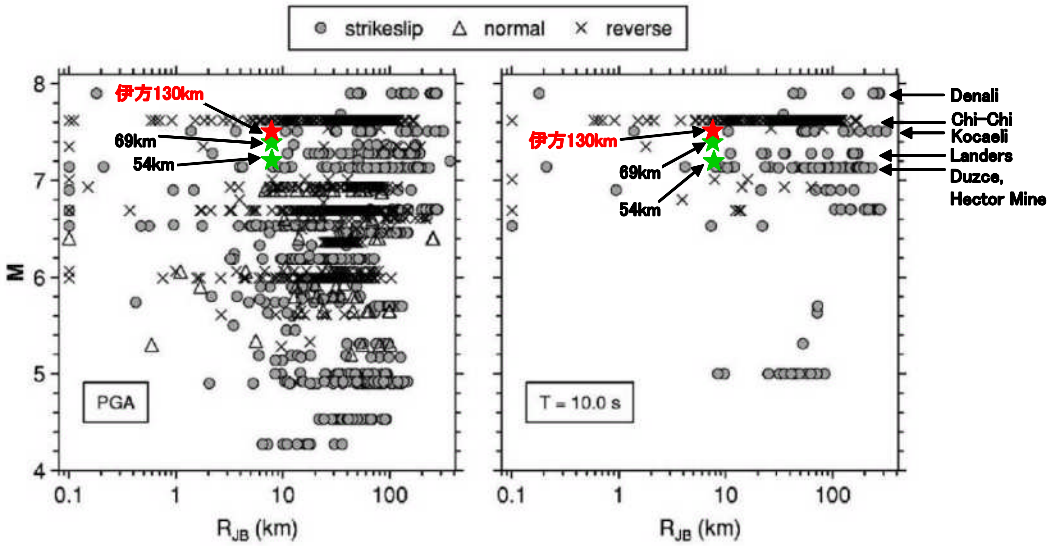


Figure 2. Distribution of data used to derive our regression equations for PGA and for PSA at a period 10.0 s, differentiated by fault type (points with R_{JB} less than 0.1 km plotted at 0.1 km). The overall distributions for periods less than about 4 s are similar to those for PGA, although there are fewer recordings (the number of available recordings decreases noticeably for periods longer than 2 s).

距離・地震規模の適用性⑥

【Campbell and Bozorgnia (2008)】

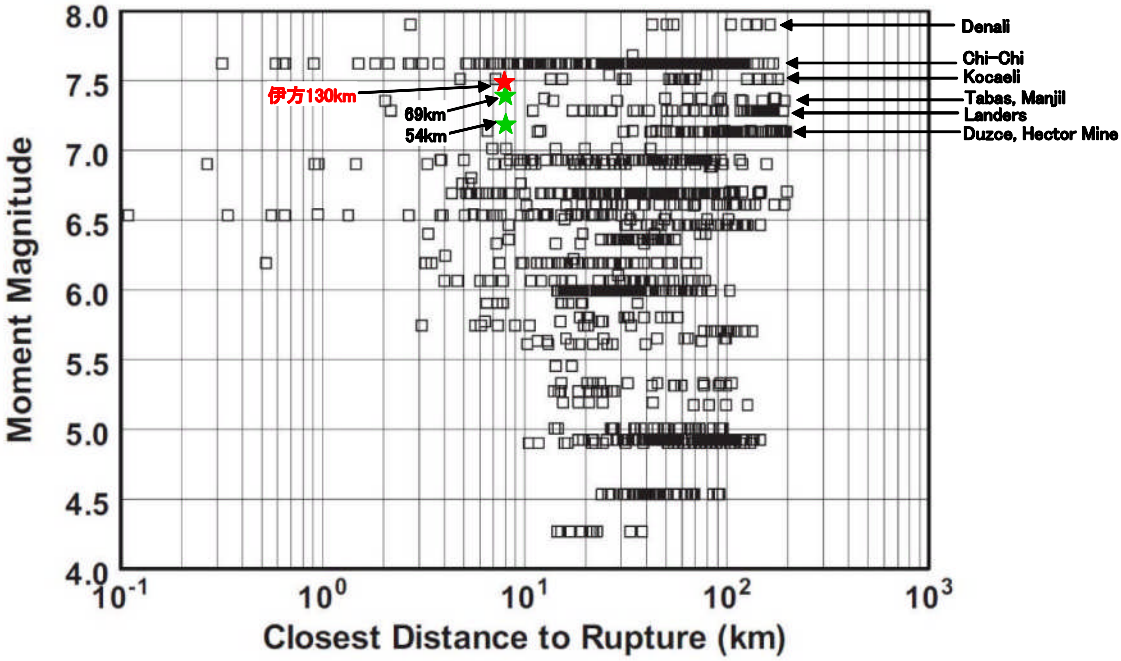


Figure 1. Distribution of recordings with respect to moment magnitude (**M**) and rupture distance (R_{RUP}) for the database used in this study.

距離・地震規模の適用性⑦

【Chiou and Youngs (2008)】

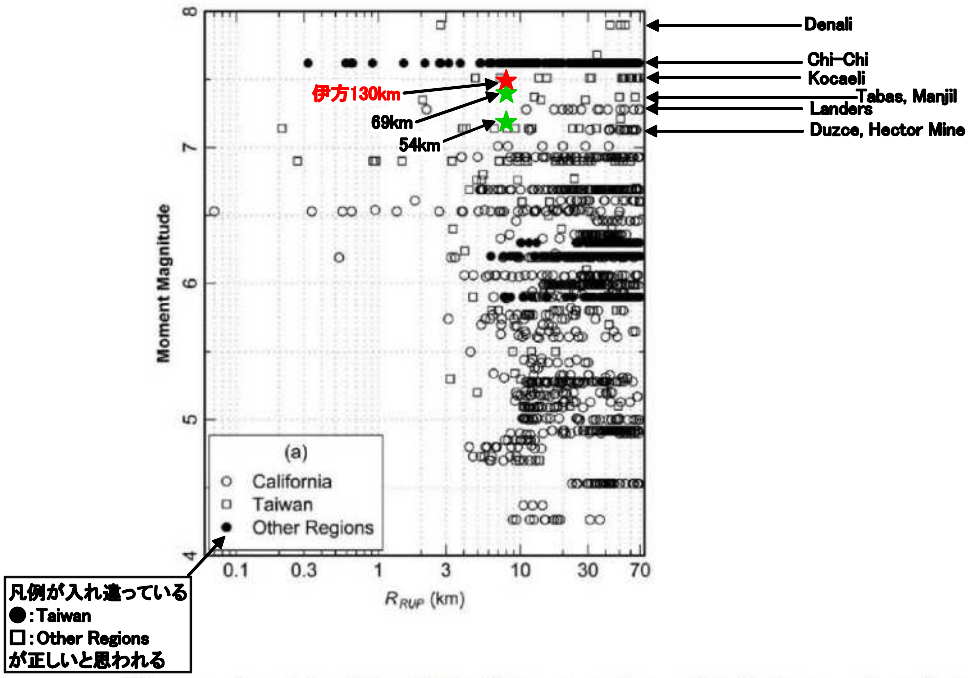


Figure 1. (a) Magnitude-distance-region distribution of selected recordings. (b) V_{S30}-magnitude-region distribution of selected recordings. V_{S30} ranges for NEHRP site classes are indicated by the vertical dashed lines.

【Idriss (2008) 】

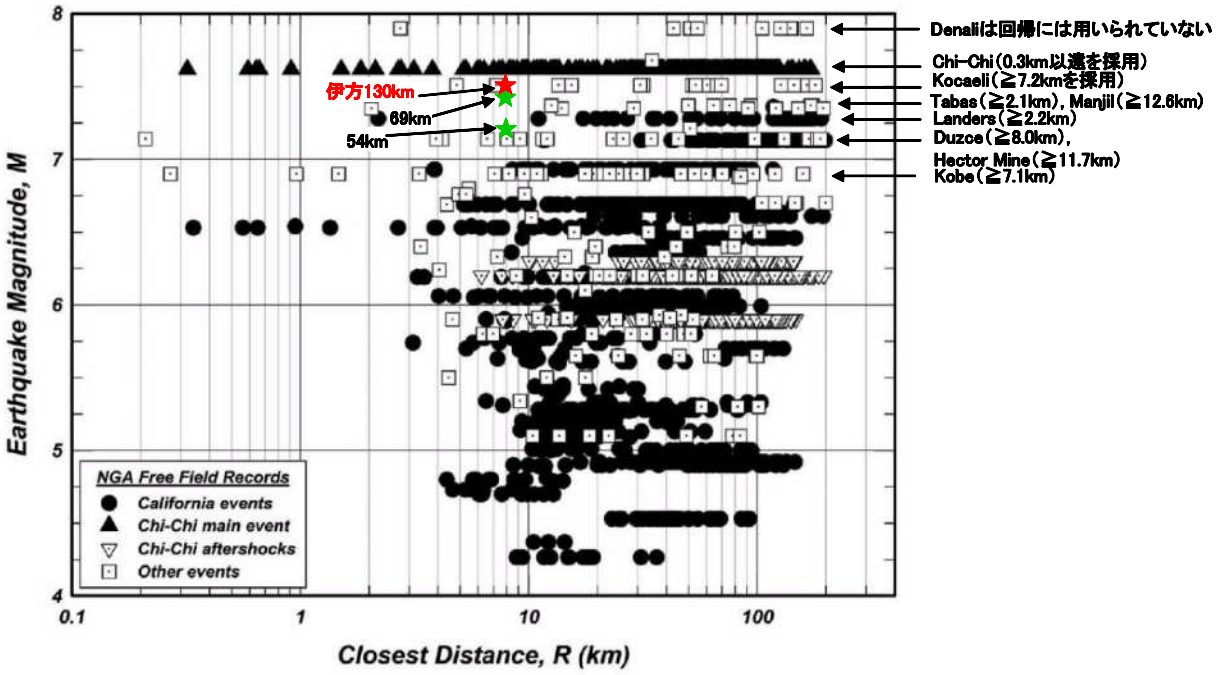


Figure 1. Magnitude-distance distribution of free-field records included in the PEER Flatfile.

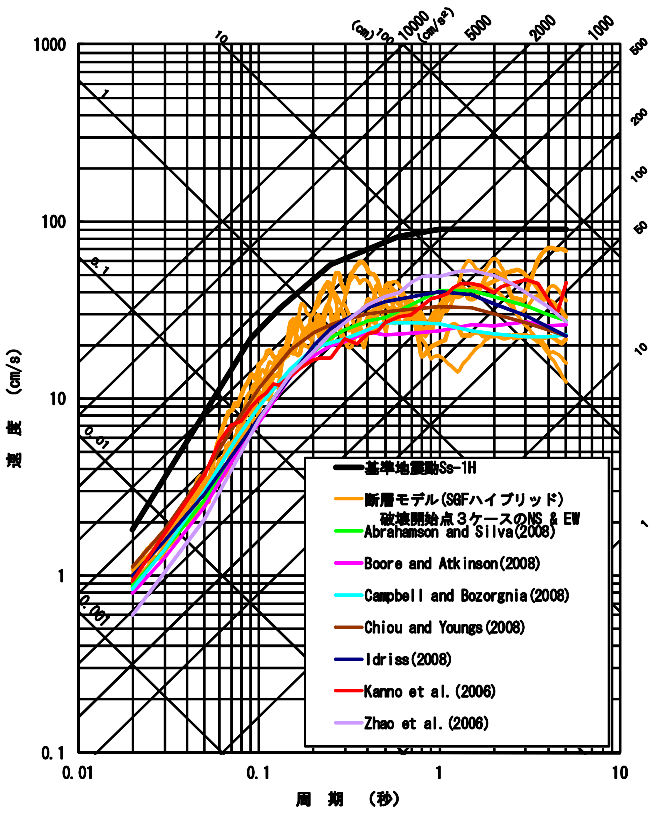
NGAデータベースを表示しており，Idriss(2008)が回帰に用いていない記録も含まれている

応答スペクトル手法による地震動評価結果

適用可能と評価される応答スペクトル手法による評価結果を示す。断層モデルによる評価結果も参考表記する。

応答スペクトルに基づいた地震動評価結果　130km30度スケーリング

応答スペクトル手法による評価結果は，Ss-1に包絡される。応答スペクトル手法による評価結果は，断層モデル解析による評価結果と整合的である。



水平方向