

伊方発電所 地震動評価

震源を特定して策定する地震動
(中央構造線断層帯地震動評価)
と基準地震動の策定
(コメント回答)

平成26年11月7日

四国電力株式会社



1. 地震動評価の基本方針

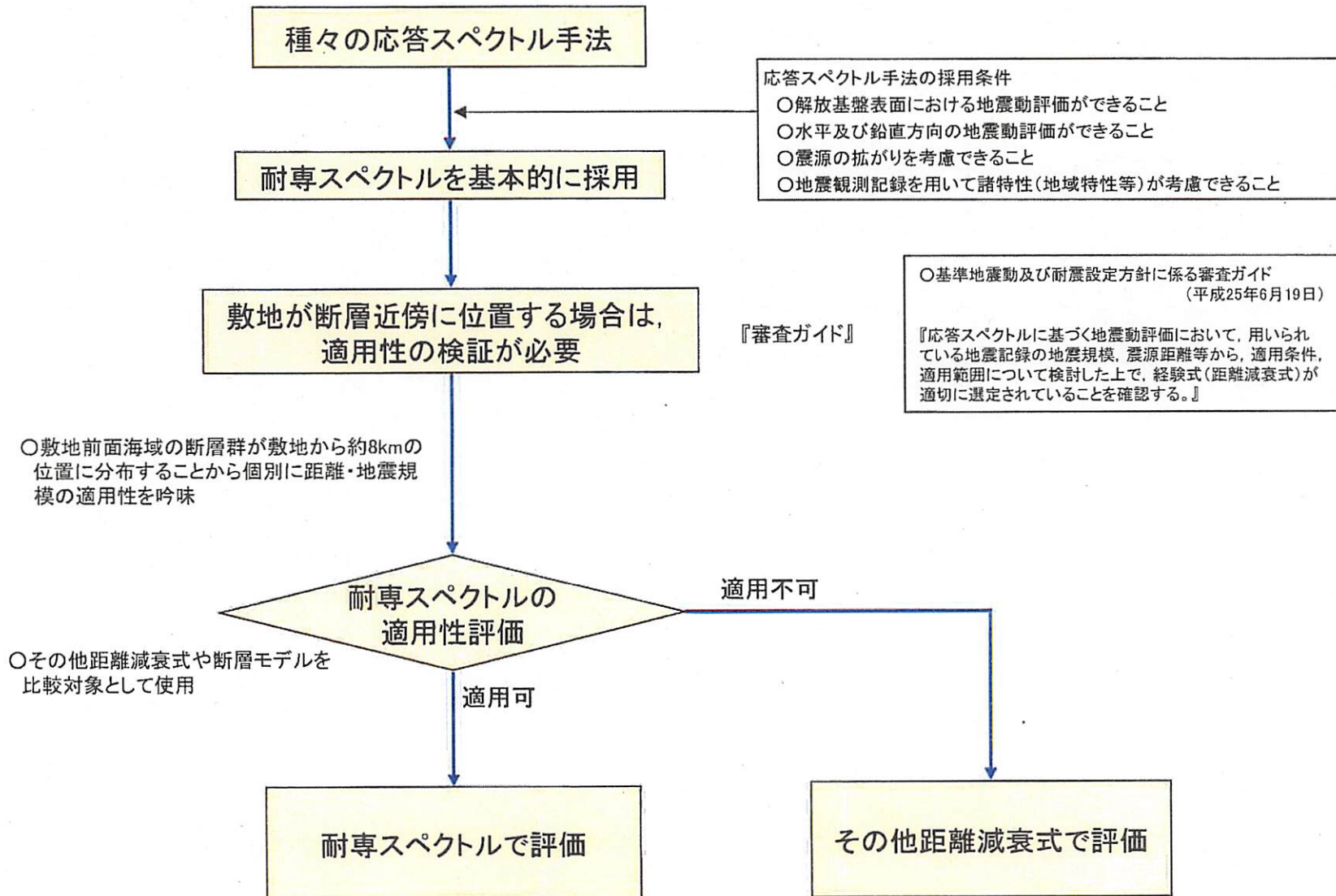
2. 検討用地震

- 2.1 検討用地震の候補
- 2.2 検討用地震の選定
- 2.3 検討用地震の選定結果

3. 内陸地殻内地震の地震動評価

- 3.1 解析条件の設定
 - 3.2 応答スペクトルに基づく地震動評価 -----> 3.2.1 評価方針
 - 3.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価 3.2.2 適用性の検証
 - (1) 距離・地震規模の検証
 - (2) 地震動レベルの検証
- 4. 基準地震動の策定 3.2.3 地震動評価結果
 - 4.1 応答スペクトルに基づく手法による基準地震動 S_s-1
 - 4.2 断層モデルを用いた手法による基準地震動 S_s-2
 - 4.3 基準地震動 S_s まとめ

応答スペクトル手法による評価の流れ



応答スペクトル手法による評価方針

○検討ケース

先に示した地震動評価の解析ケースの中から、応答スペクトル評価において評価可能なものとして、右のケースを想定する。すなわち、断層長さは想定される3ケースを設定し、鉛直と北傾斜を考慮する※。

$$\begin{pmatrix} \text{断層長さ} \\ 480\text{km} \\ 130\text{km} \\ 54\text{km} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \text{傾斜角} \\ \text{鉛直} \\ \text{北傾斜} \end{pmatrix}$$

保守的に長さ69kmについても応答スペクトル評価を行う。

69kmケースについては、連動ケースに含まれるものと考え、解析ケースとして想定していない。断層モデル解析においては長さを変えても地震動は変わらないことを確認したが、耐専スペクトルにおいては地震規模と等価震源距離の関係により影響がある可能性も考えられることから、保守的な観点に立ち、応答スペクトル評価においては念のため69kmについても検討を行うこととし、基準地震動はこれも考慮して設定するものとする。

※：南傾斜ケース、アスペリティ正面ケースについては、130kmと54kmでは等価震源距離ではなく、断層最短距離を用いた距離減衰式で評価することとなるため、地震動は鉛直ケースと同じになる。480kmについては、等価震源距離が大きいので、その値が多少変わっても地震動に与える影響は小さい。

○パラメータ設定(地震規模・距離)

【地震規模】

地震規模は断層長さから松田式で算定する。長さ480km, 130kmについては、長さが80km以下になるようにセグメント区分し、セグメント毎に地震規模を算出し、合計して算出する。

【距離】

耐専スペクトルにおいては、断層の不均質破壊を考慮して算出した等価震源距離 X_{eq} を用いる。その他距離減衰式については、断層最短距離 X_{sh} を用いる。

○耐専スペクトル (Noda et al. (2002)) に用いる補正係数

敷地周辺の観測記録がないため観測記録による補正は行わない。

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	Mj5.5~7.0	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
片岡ほか(2006)	国内	内陸 海溝性	Mw 断層最短距離 短周期レベル	陸: 4.9~6.9 海: 5.2~8.2	250km以内	I種、II種、III種地盤 および工学的基盤	
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		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)]

3.2.1 評価方針

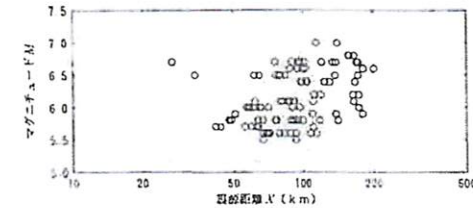
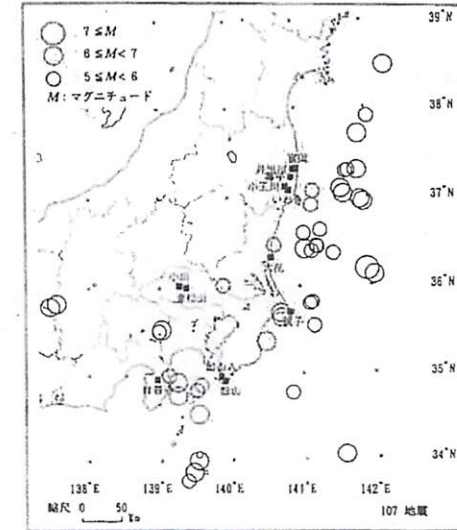
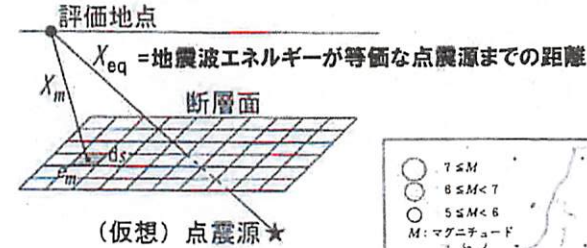
データベース諸元

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	<ul style="list-style-type: none"> ・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】					
	<table border="1"> <tr> <td>・国内23記録</td> <td>・海外14記録</td> </tr> <tr> <td>・M : 5.4～7.7</td> <td>・M : 5.7～8.1</td> </tr> <tr> <td>・Xeq: 17～216km</td> <td>・Xeq: 14～76.9km</td> </tr> </table>	・国内23記録	・海外14記録	・M : 5.4～7.7	・M : 5.7～8.1	・Xeq: 17～216km
・国内23記録	・海外14記録					
・M : 5.4～7.7	・M : 5.7～8.1					
・Xeq: 17～216km	・Xeq: 14～76.9km					

※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($V_s=2200\text{m/s}$)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 $V_s=2200\text{m/s}$ において地震動評価を行う。

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	$100 \leq V_{s30} \leq 1400 \text{ m/s} \text{ ※1}$
備考	V_{s30} 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 $V_{s30}=1400\text{m/s}$ において地震動評価を行う

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) SC III (Medium soil) SC IV (Soft soil)
備考	<ul style="list-style-type: none"> 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 ($V_s=2000\text{m/s}$)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	$T < 0.2 \text{ sec}$	$V_{30} > 600$	A + B
SC II	Hard soil	$0.2 = T < 0.4 \text{ sec}$	$300 < V_{30} = 600$	C
SC III	Medium soil	$0.4 = T < 0.6 \text{ sec}$	$200 < V_{30} = 300$	D
SC IV	Soft soil	$T = 0.6 \text{ sec}$	$V_{30} = 200$	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 rock $V_s=2000\text{m/s}$ において地震動評価を行う

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	$150\text{m/s} \leq V_{s30}^{*2} \leq 750\text{m/s} \text{ ※1}$
備考	<ul style="list-style-type: none"> ・V_{s30}^{*2}が500m/s程度の工学的基盤における地震動評価が可能 ・V_{s30}^{*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 $V_{s30}=500$ 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

→ $V_{s30}=1500\text{m/s}$ において地震動評価を行う

片岡・他(2006)

データベース諸元

対象地震	1978～2003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	内陸地震 海溝性地震
地震タイプの考慮方法	内陸地震と海溝性地震の回帰式を提案(プレート間とスラブ内は短周期レベルの違いで考慮)
データベースにおけるMwの範囲	内陸地震:4.9～6.9※ ¹ 海溝性地震:5.2～8.2※ ¹
データベースにおける断層最短距離の範囲	250km以内
データベースにおける地盤種別	I種、II種、III種地盤および工学的基盤
備考	・道路橋示方書の定義によるI種、II種、III種地盤とVs30=720m/s程度の工学的基盤の4種類の地盤補正係数がある。

※1 論文中の図表等から読み取った値

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片岡・他(2006)により工学的基盤(Vs30=720m/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720m/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	$100 \leq V_{s30} \leq 2000 \text{ m/s} \text{ ※2}$
備考	<ul style="list-style-type: none"> ・$V_{s30} \text{ ※3}$の値により補正が可能 ・ただし、$V_{s30} \geq 1500 \text{ m/s}$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 $V_{s30} = 1500 \sim 2000 \text{ m/s}$ 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	<ul style="list-style-type: none"> ・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

※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



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

【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

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	$150 \leq V_{s30}^{*3} \leq 1500 \text{m/s}$ (Applicabilityとして記載)
備考	<ul style="list-style-type: none"> • V_{s30}^{*3}の値により補正が可能 • ただし、$V_{s30} \geq 1100 \text{m/s}$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 $V_{s30}=1100\sim1500\text{m/s}$ において地震動評価を行う

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	$100 \leq V_{s30}^{*3} \leq 2000 \text{m/s}$ ※2 (Applicabilityとして $150 \text{m/s} \leq V_{s30} \leq 1500 \text{m/s}$ と記載)
備考	<ul style="list-style-type: none"> • V_{s30}^{*3}の値により補正が可能 • ただし、$V_{s30} \geq 1130 \text{m/s}$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 $V_{s30} = 1130 \sim 1500 \text{m/s}$
 において地震動評価を行う

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	$450 \leq V_{s30}^{*3} \leq 900 \text{m/s}^{*2}$
備考	・ $V_{s30}^{*3} > 900 \text{m/s}$ の場合は一定の補正係数を掛け合わせる

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

S:横ずれ断層, R:逆断層

※1 Next Generation Attenuation

※2 論文中的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

【本敷地に適用する場合の地盤条件】
→ $V_{s30} > 900 \text{m/s}$ 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

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)]	○ ($V_{s30}=2200\text{m/s}$)	○	○	○
Kanno et al.(2006)	○ ($V_{s30}=1400\text{m/s}$)	— (水平のみ)	△	○
Zhao et al.(2006)	○ ($V_{s30}=2000\text{m/s}$)	— (水平のみ)	△	○
内山・翠川(2006)	△※ ($V_{s30}=500\text{m/s}$)	— (水平のみ)	△	○
片岡・他(2006)	△※ ($V_{s30}=720\text{m/s}$)	— (水平のみ)	△	○
Abrahamson and Silva(2008)	○ ($V_{s30}=2000\text{m/s}$)	— (水平のみ)	△	○
Boore and Atkinson(2008)	○ ($V_{s30}=1300\text{m/s}$)	— (水平のみ)	△	○
Campbell and Bozorgnia(2008)	○ ($V_{s30}=1500\text{m/s}$)	— (水平のみ)	△	○
Chiou and Youngs(2008)	○ ($V_{s30}=1500\text{m/s}$)	— (水平のみ)	△	○
Idriss(2008)	○ ($V_{s30}=900\text{m/s}$)	— (水平のみ)	△	○

※:松岡・翠川(1994)の増幅度を用いることにより $V_{s30}=1500\text{m/s}$ での評価が可能

これより、耐専スペクトルを基本的に用いる。

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に位置することから…



○基準地震動及び耐震設定方針に係る審査ガイド

(平成25年6月19日)

『応答スペクトルに基づく地震動評価において、用いられている地震記録の地震規模、震源距離等から、適用条件、適用範囲について検討した上で、経験式(距離減衰式)が適切に選定されていることを確認する。』

『参照する距離減衰式に応じて適切なパラメータを設定する必要がある、併せて震源断層の拡がりや不均質性、断層破壊の伝播や震源メカニズムの影響が適切に考慮されていることを確認する。』

『震源が敷地に近く、その破壊過程が地震動評価に大きな影響を与えると考えられる地震については、断層モデルを用いた手法が重視されている必要がある。』



審査ガイドに鑑み…

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。

1. 地震動評価の基本方針

2. 検討用地震

2.1 検討用地震の候補

2.2 検討用地震の選定

2.3 検討用地震の選定結果

3. 内陸地殻内地震の地震動評価

3.1 解析条件の設定

3.2 応答スペクトルに基づく地震動評価 ----->

3.2.1 評価方針

3.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価

3.2.2 適用性の検証

(1) 距離・地震規模の検証

(2) 地震動レベルの検証

4. 基準地震動の策定

4.1 応答スペクトルに基づく手法による基準地震動Ss-1

3.2.3 地震動評価結果

4.2 断層モデルを用いた手法による基準地震動Ss-2

4.3 基準地震動Ss まとめ

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

検証に用いる距離減衰式を以下に示す。

どの距離減衰式も敷地の解放基盤表面の $V_s=2600\text{m/s}$ 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(V_{s30}) [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以内の浅い地震	$M_J 5.5 \sim 7.0$	28~202km (震源距離)	$500 \leq V_s \leq 2700 \text{ m/s}$	2200m/s (V_s)
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	$100 \leq V_{s30}^{*1} \leq 1400 \text{ m/s}$	1400m/s
Zhao et al.(2006)			5.0~8.3	0.3~300km	Soft soil ~ Hard rock (Hard rock $V_s=2000\text{m/s}$)	2000m/s (V_s)
内山・翠川(2006)			日本周辺	5.5~8.3	300km以内	$150 \leq V_{s30}^{*1} \leq 750\text{m/s}$
片岡ほか(2006)	国内	内陸 海溝性	4.9~6.9 5.2~8.2	250km以内	I種、II種、III種地盤 および工学的基盤	1500m/s
Abrahamson and Silva(2008)	主に国外	内陸	4.27~7.9	0.07~200km	$100 \leq V_{s30}^{*1} \leq 2000\text{m/s}$	$1500 \sim 2000\text{m/s}^{*2}$
Boore and Atkinson(2008)				0.1~400km	NEHRP分類A~E	1300m/s
Campbell and Bozorgnia(2008)				0.1~200km	$150 \leq V_{s30}^{*1} \leq 1500\text{m/s}$	$1100 \sim 1500\text{m/s}^{*2}$
Chiou and Youngs(2008)				0.07~70km	$100 \leq V_{s30}^{*1} \leq 2000\text{m/s}$	$1130 \sim 1500\text{m/s}^{*2}$
Idriss(2008)				4.5~7.7	0.3~200km	$450 \leq V_{s30}^{*1} \leq 900\text{m/s}$

※1 V_{s30} : 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

【耐専スペクトル】

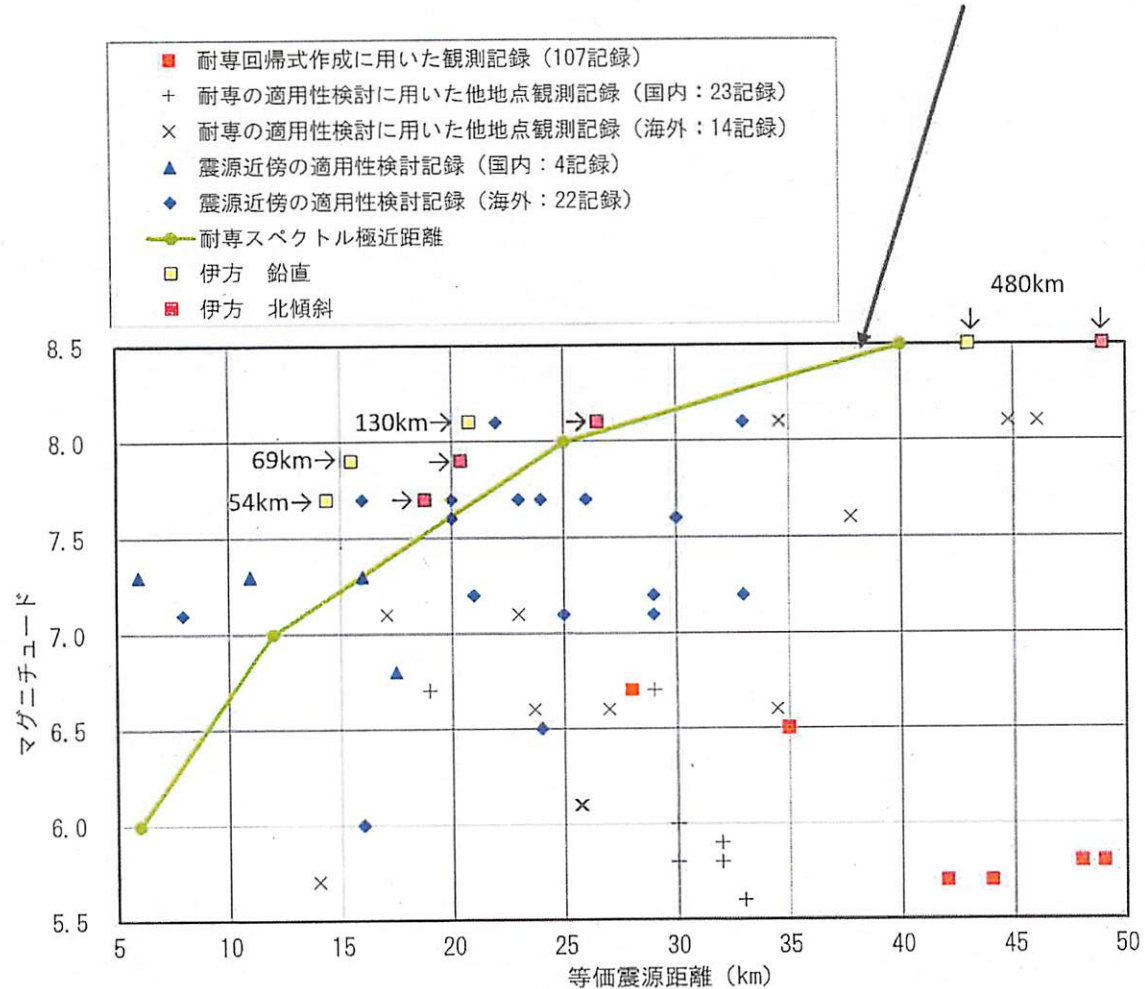
極近距離より近いような、近傍地点での適用に際しては、他の距離減衰式や断層モデルでの評価結果との対比を行ったうえで慎重に判断することとされている。

480kmケースは極近距離以遠であり、適用は可能と評価される。

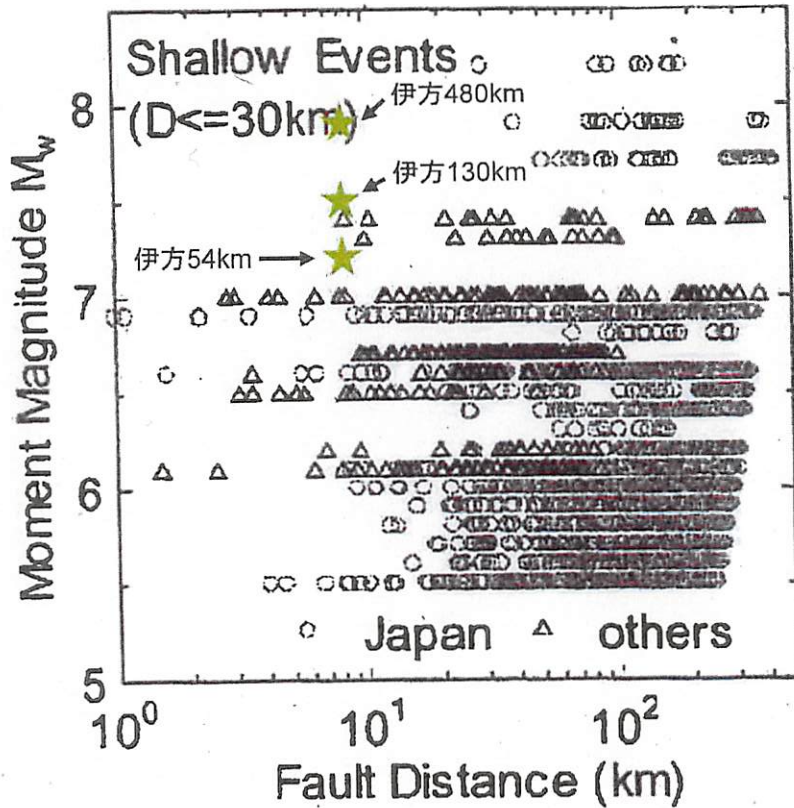
130kmケース、69kmケース、54kmケースについては、極近距離内の評価となるため、慎重な検討が必要である。

したがって、その他距離減衰式や断層モデルの結果と比較して、総合的に判断することとする。

耐専スペクトルの極近距離



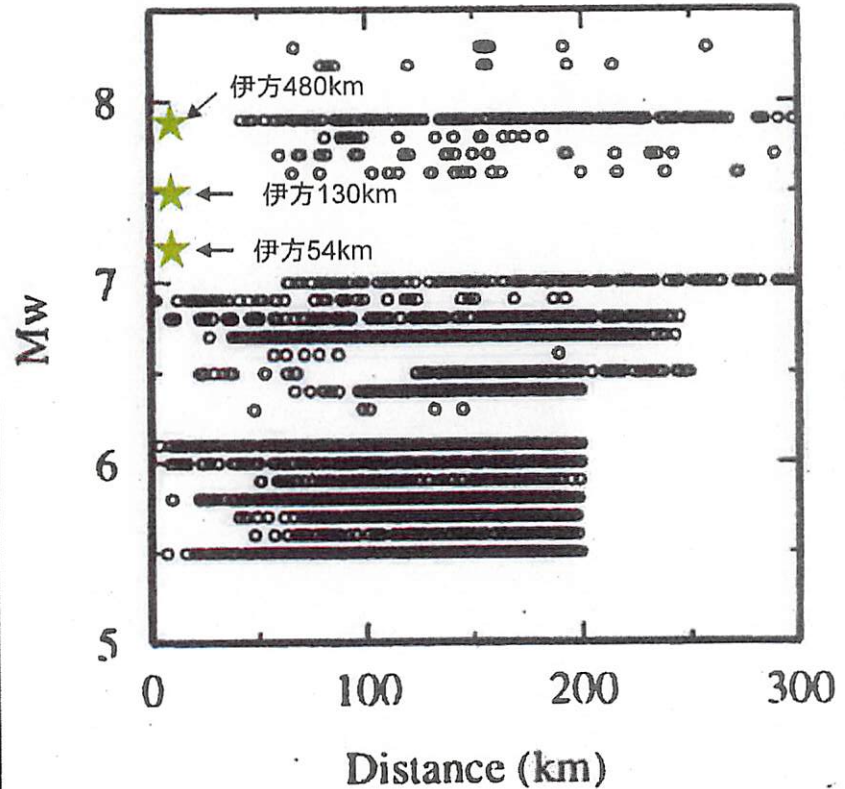
【Kanno et al. (2006)】



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

伊方480kmはデータの少ない範囲にある

【内山・翠川 (2006)】

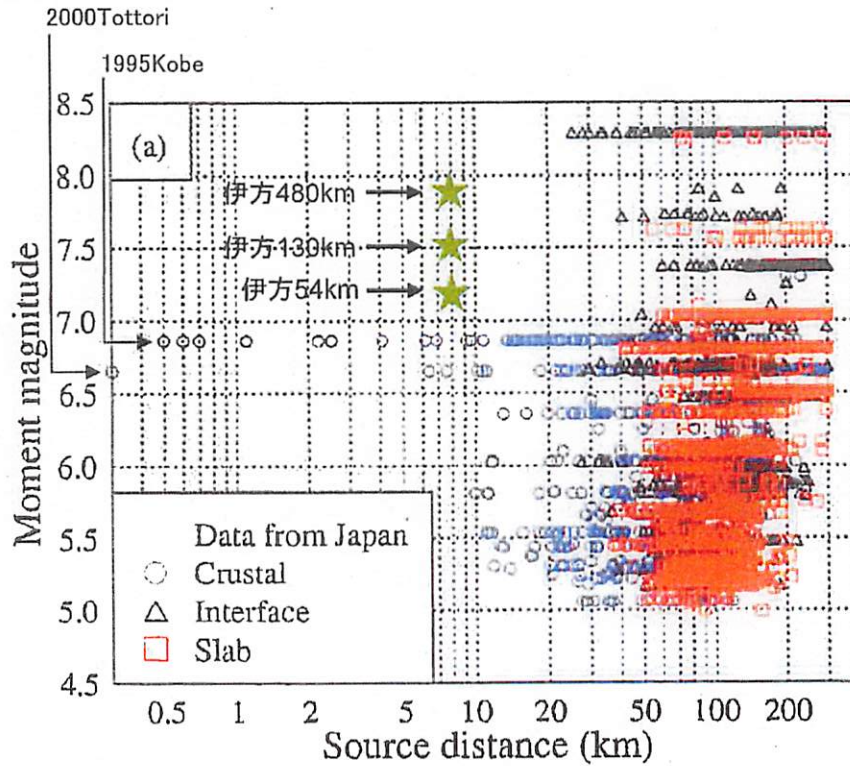


Mw7.9 十勝沖
Mw7.0 2003宮城県沖
Mw6.9 兵庫県南部
Mw6.8 鳥取県西部

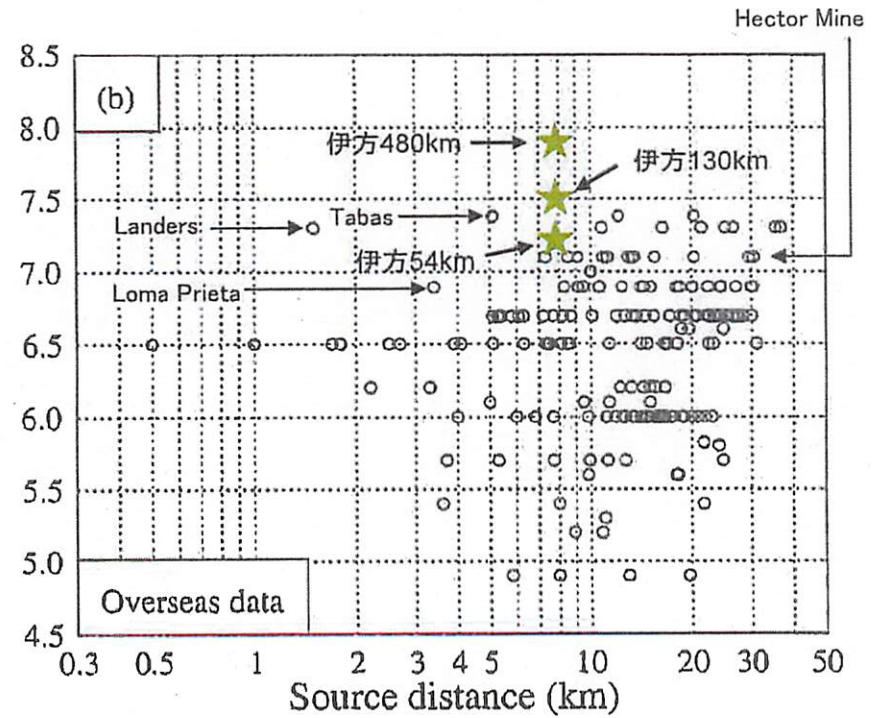
伊方は外挿評価になると判断される

図にはMw7.2(54kmケース)、Mw7.5(130kmケース)およびMw7.9(480kmケース)をプロットした。

【Zhao et al. (2006)】



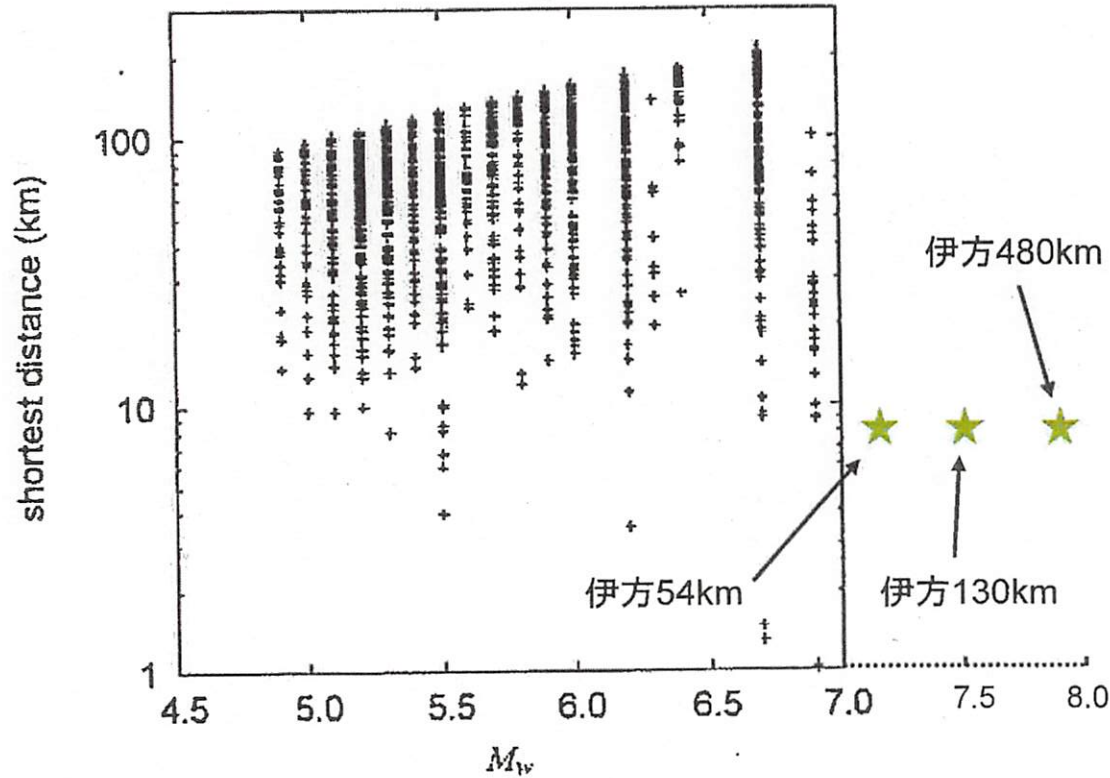
日本の記録



国外の記録

伊方480kmと130kmはデータの少ない範囲にある

【片岡・他(2006)】



距離減衰式の作成に用いた内陸地震の M_w と断層面最短距離の関係

伊方基本ケースは
外挿評価になると判断される

【Abrahamson and Silva (2008)】

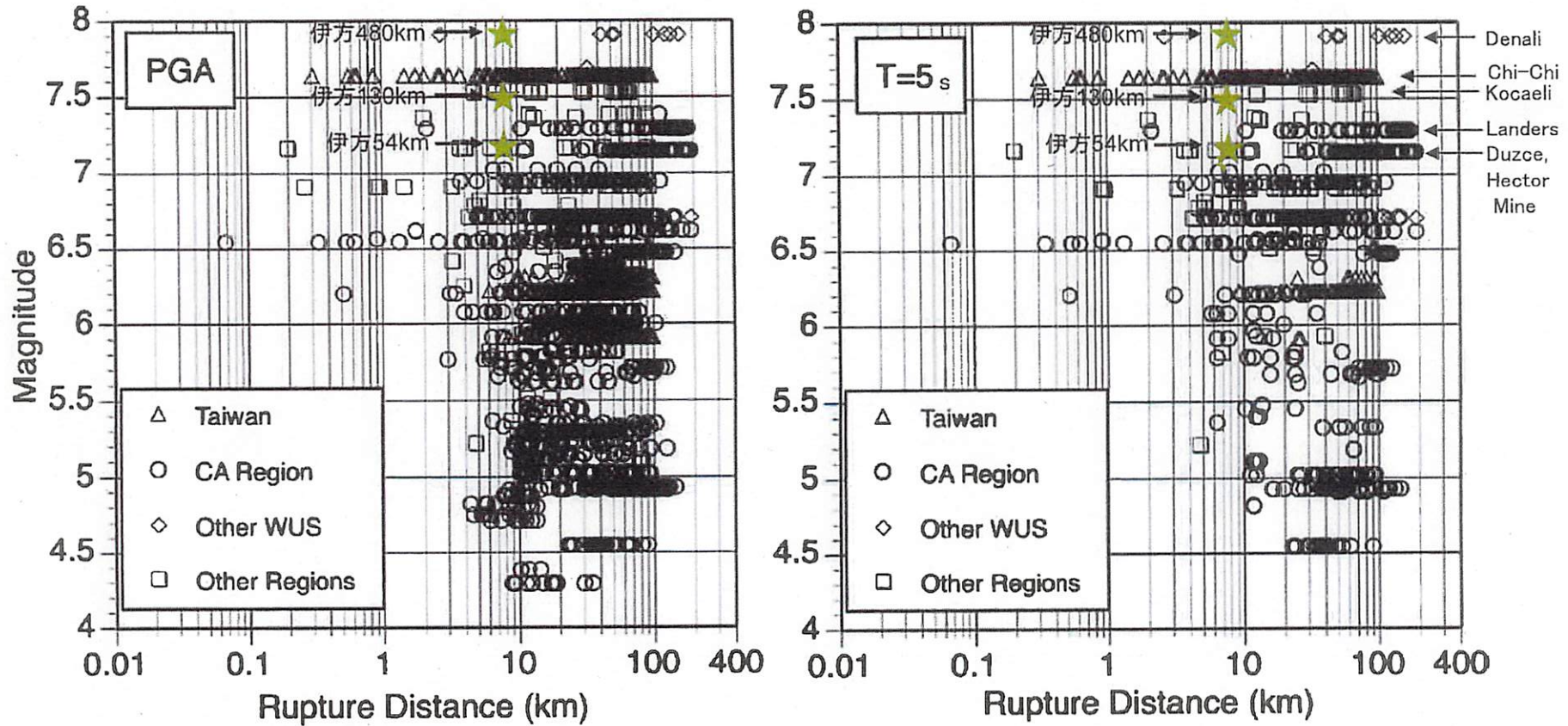


Figure 2. Distribution of magnitude-distance pairs for PGA and T=5 sec.

【Boore and Atkinson (2008)】

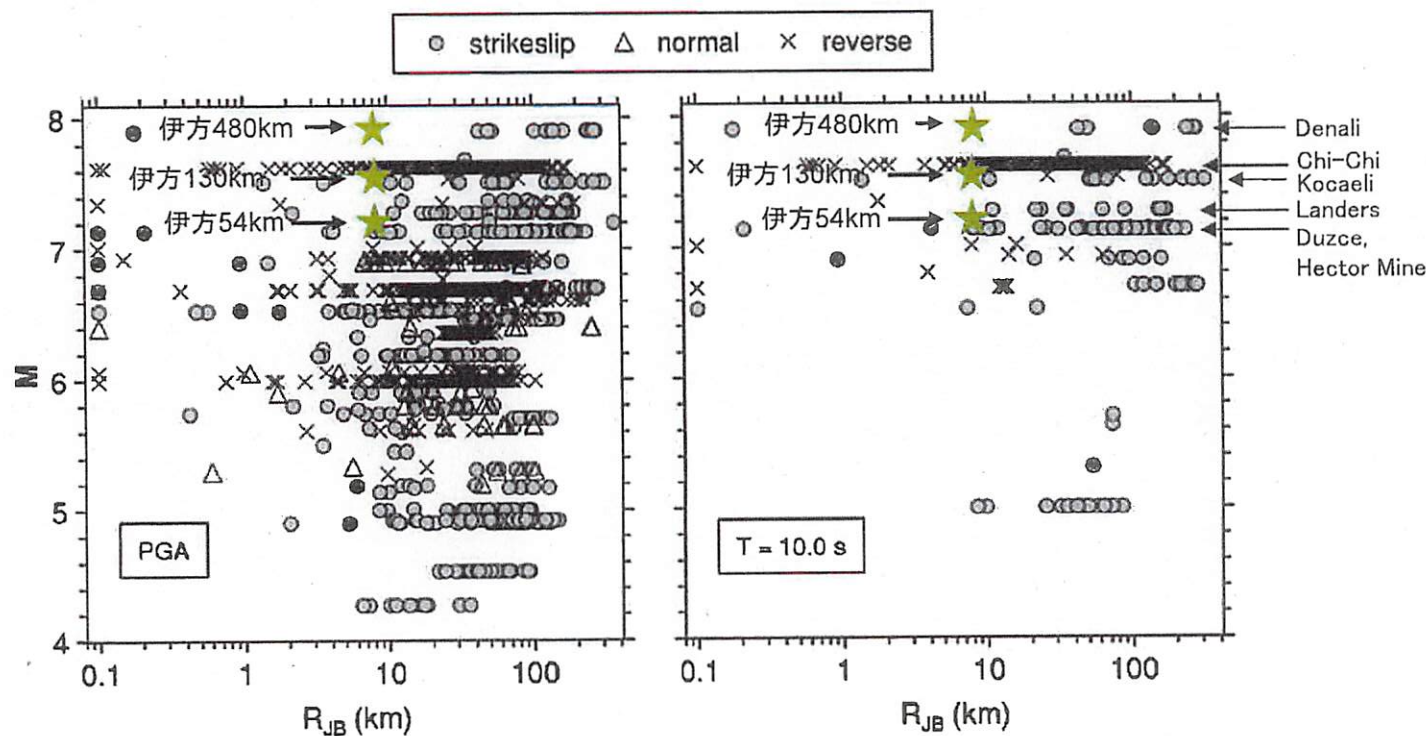


Figure 2. Distribution of data used to derive our regression equations for PGA and for PSA at a period 10.0 s, differentiated by fault type (points with R_{JB} less than 0.1 km plotted at 0.1 km). The overall distributions for periods less than about 4 s are similar to those for PGA, although there are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

【Campbell and Bozorgnia (2008)】

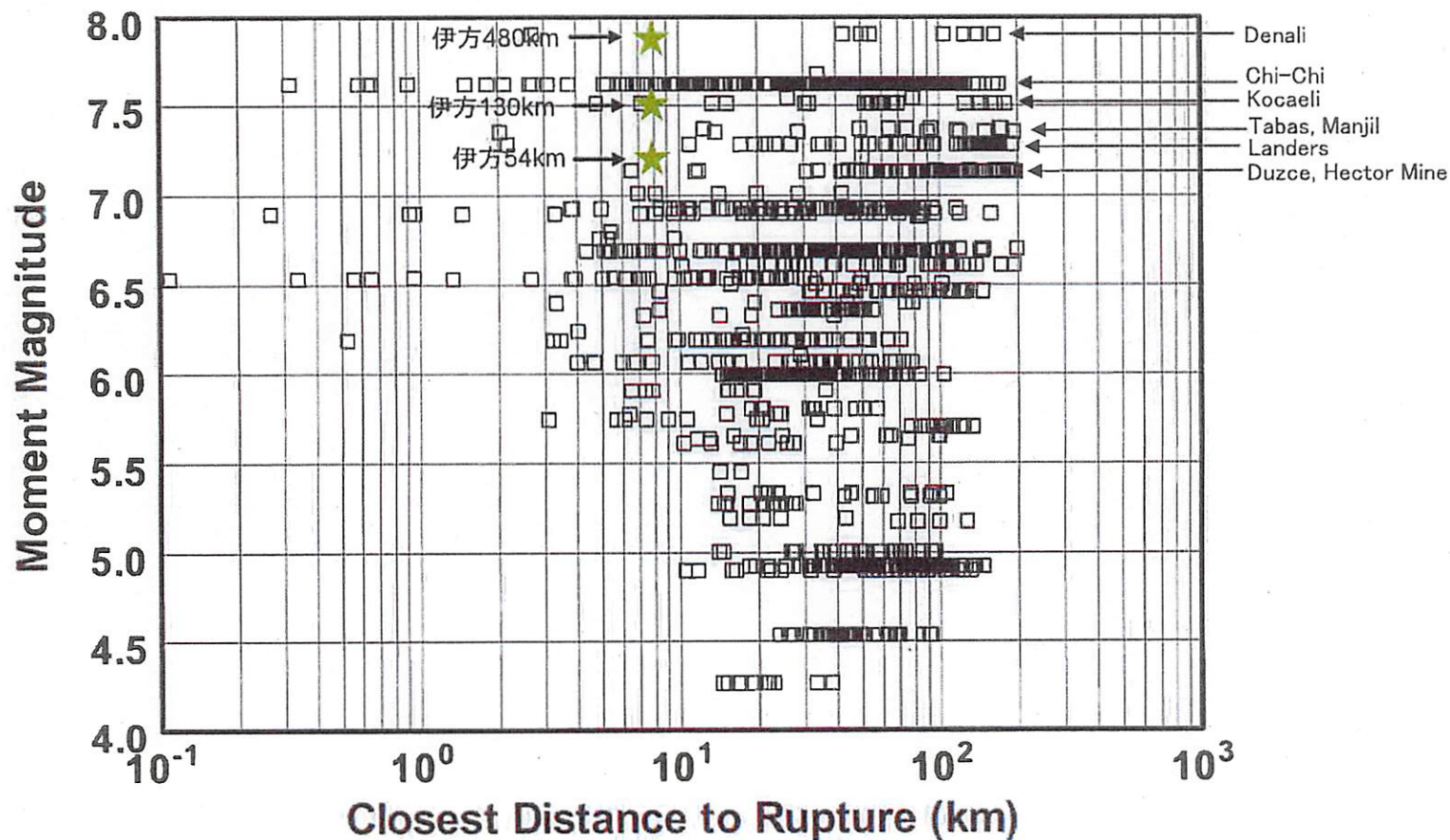
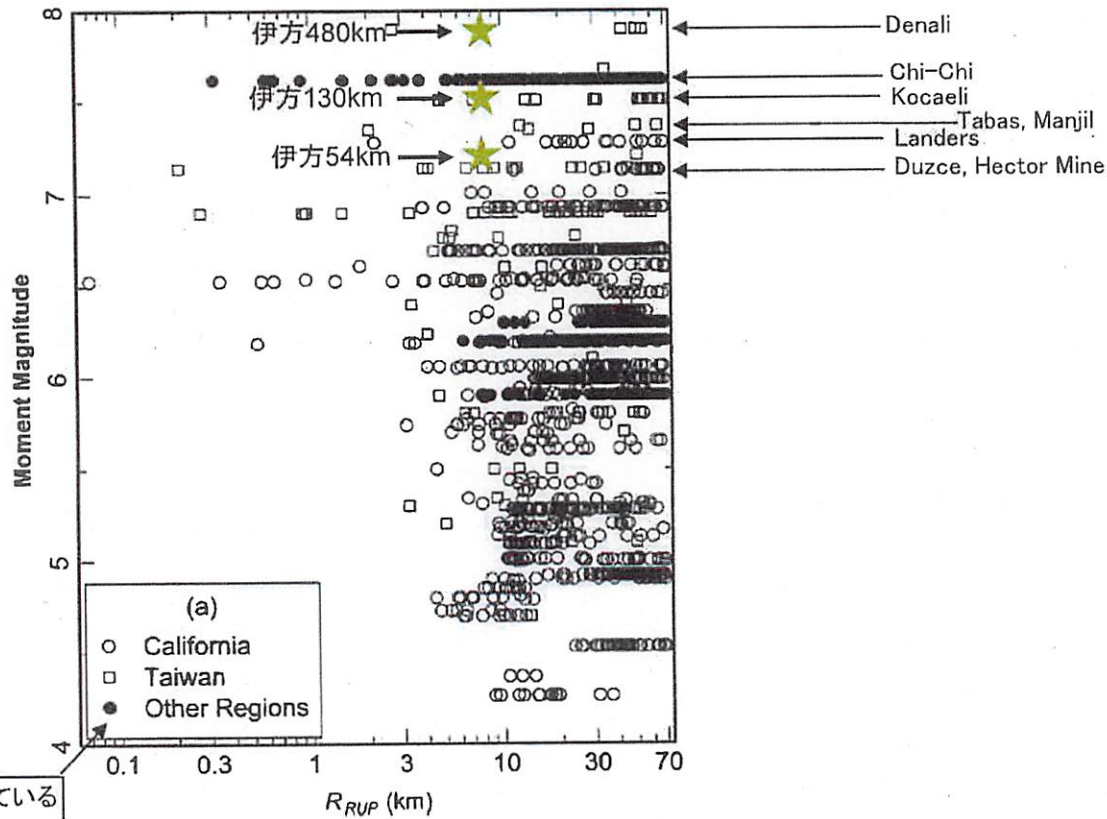


Figure 1. Distribution of recordings with respect to moment magnitude (M) and rupture distance (R_{RUP}) for the database used in this study.

【Chiou and Youngs (2008)】



凡例が入れ違っている
●: Taiwan
□: Other Regions
が正しいと思われる

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)】

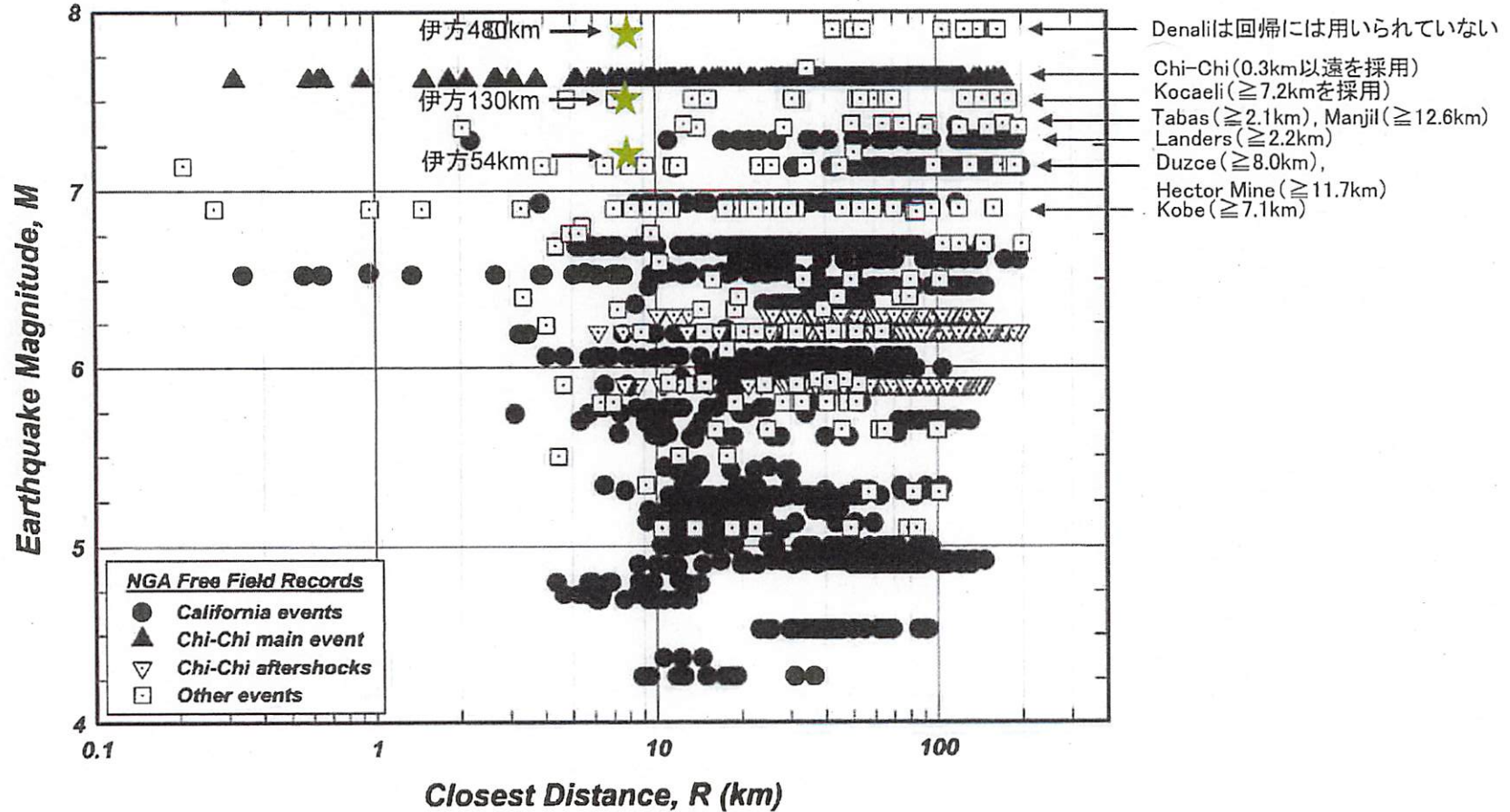


Figure 1. Magnitude-distance distribution of free-field records included in the PEER Flatfile.

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

距離と地震規模の観点から評価した適用性

3.2.2 適用性の検証 (1) 距離・地震規模の検証

	54km鉛直	54km北傾斜	130km鉛直	130km北傾斜	480km鉛直	480km北傾斜
耐専スペクトル	×	△	×	△	○	○
Kanno et al.(2006)	○	○	△	△	△	△
Zhao et al.(2006)	○	○	△	△	△	△
内山・翠川(2006)	△	△	△	△	△	△
片岡・他(2006)	△	△	△	△	△	△
Abrahamson and Silva(2008)	◎	◎	◎	◎	○	○
Boore and Atkinson(2008)	◎	◎	◎	◎	○	○
Campbell and Bozorgnia(2008)	◎	◎	◎	◎	○	○
Chiou and Youngs(2008)	◎	◎	◎	◎	○	○
Idriss(2008)	◎	◎	◎	◎	○	○

◎:適用可(データが比較的豊富), ○:適用可, △:外挿となるため慎重な検証が必要, ×:適用範囲外

1. 地震動評価の基本方針

2. 検討用地震

- 2.1 検討用地震の候補
- 2.2 検討用地震の選定
- 2.3 検討用地震の選定結果

3. 内陸地殻内地震の地震動評価

- 3.1 解析条件の設定
- 3.2 応答スペクトルに基づく地震動評価
- 3.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価

4. 基準地震動の策定

- 4.1 応答スペクトルに基づく手法による基準地震動 S_s-1
- 4.2 断層モデルを用いた手法による基準地震動 S_s-2
- 4.3 基準地震動 S_s まとめ

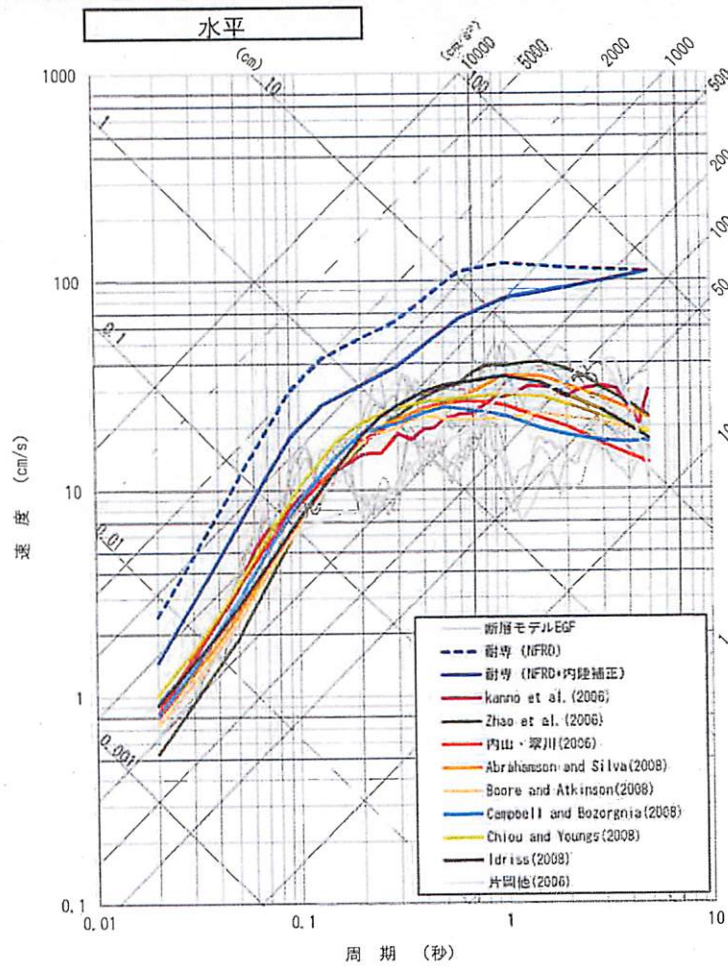
耐専スペクトルによる地震動評価結果とその他距離減衰式による地震動評価結果を比較して、各々の応答スペクトル手法の適用の可否を吟味する。
その際には、断層モデルによる結果も比較対象として参照する。

- 3.2.1 評価方針
- 3.2.2 適用性の検証
 - (1) 距離・地震規模の検証
 - (2) 地震動レベルの検証
- 3.2.3 地震動評価結果

適用性の検証: 54km鉛直

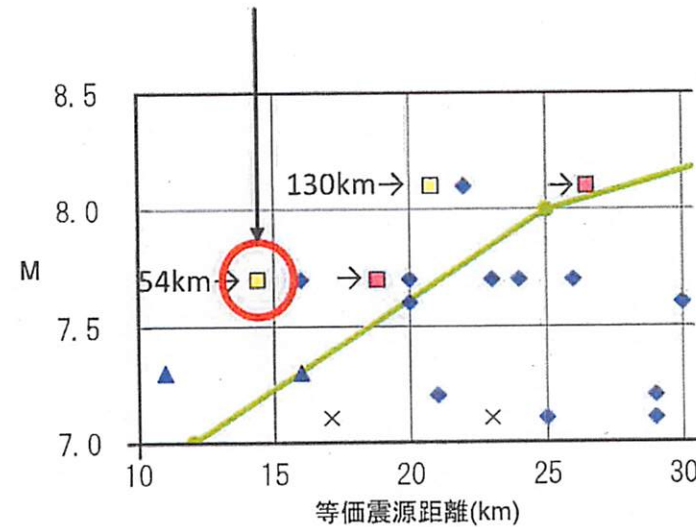
3.2.2 適用性の検証 (2) 地震動レベルの検証

Mw=7.2, Xsh=8km, Mj=7.7, Xeq=14.4km



水平方向

検証ケース

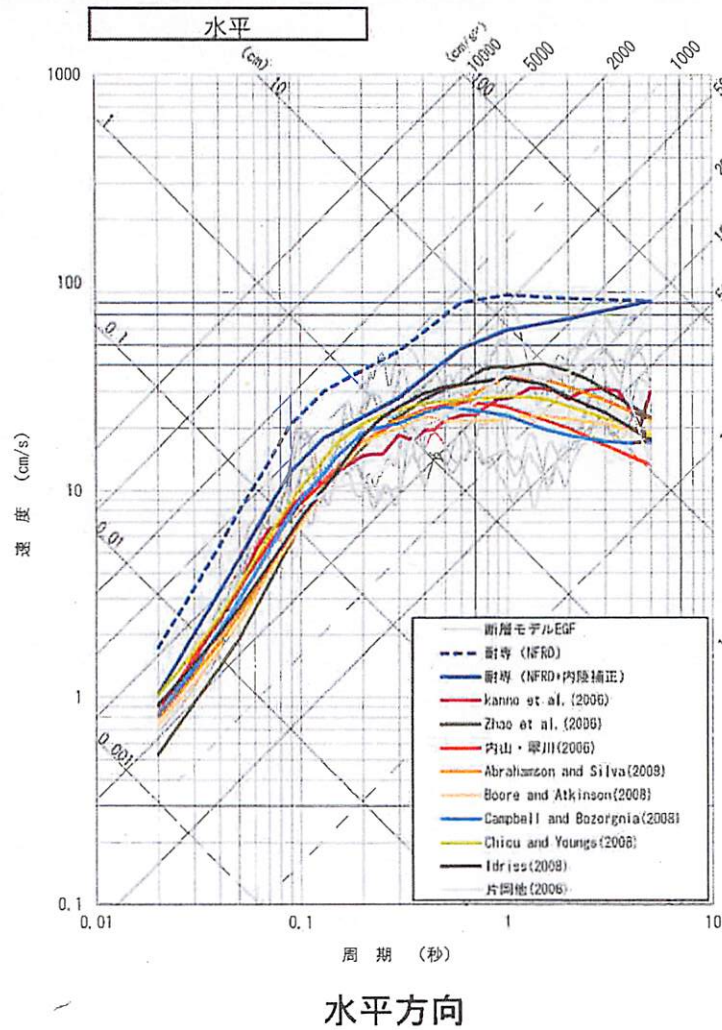


- 耐専回帰式作成に用いた観測記録 (107記録)
- + 耐専の適用性検討に用いた他地点観測記録 (国内: 23記録)
- × 耐専の適用性検討に用いた他地点観測記録 (海外: 14記録)
- ▲ 震源近傍の適用性検討記録 (国内: 4記録)
- ◆ 震源近傍の適用性検討記録 (海外: 22記録)
- 耐専スペクトル極近距離
- 伊方 鉛直
- 伊方 北傾斜

➡ 耐専スペクトルの検証データがない範囲であり、内陸補正をしてもその他距離減衰式と大きく乖離する。耐専スペクトルの適用は不適であり、その他距離減衰式で評価を行う。

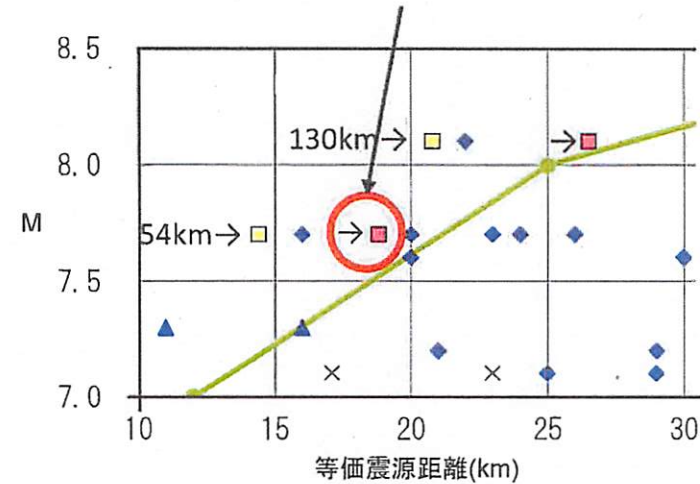
54km北傾斜

3.2.2 適用性の検証 (2) 地震動レベルの検証



Mw=7.2, Xsh=8km, Mj=7.7, Xeq=18.8km

検証ケース



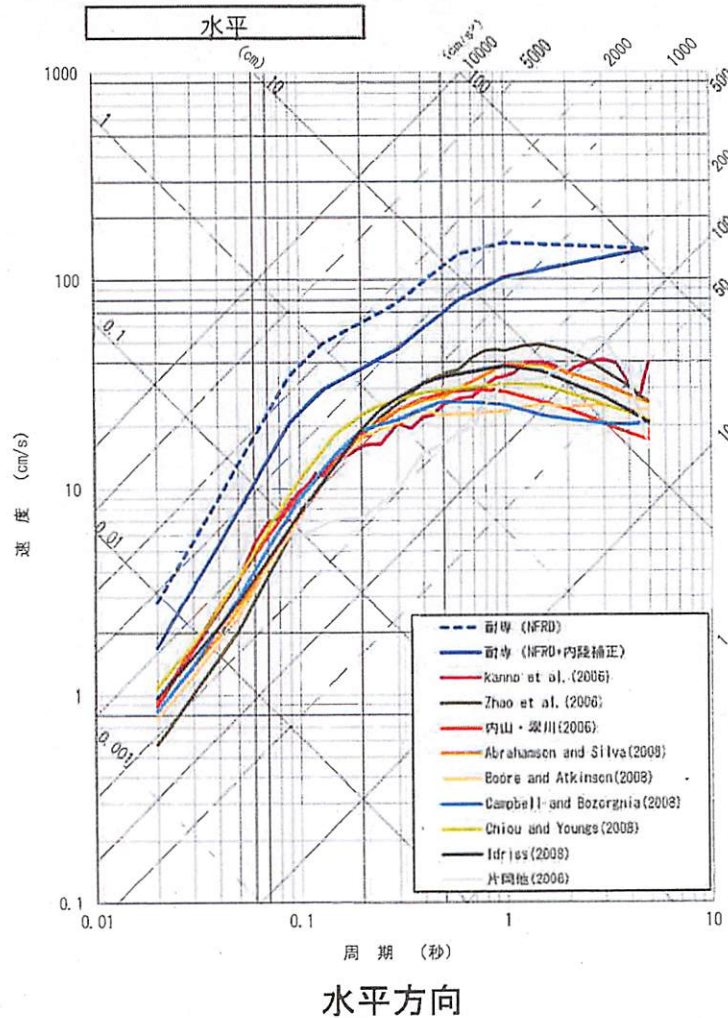
➔ 震源近傍の適用性を検証したデータがある領域であり、内陸補正をした場合には、その他距離減衰式と比較的整合的であることから、内陸補正を適用した評価が適切と評価される。

一方、内陸補正を適用しない場合は、その他距離減衰式との乖離が大きく、過大評価となっている。

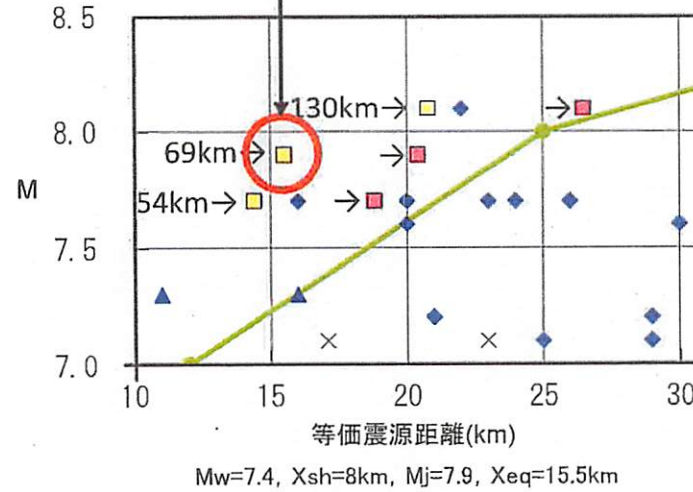
しかしながら、保守的に内陸補正を見込まずに評価を行うこととする。

適用性の検証: 69km鉛直

3.2.2 適用性の検証 (2) 地震動レベルの検証



検証ケース

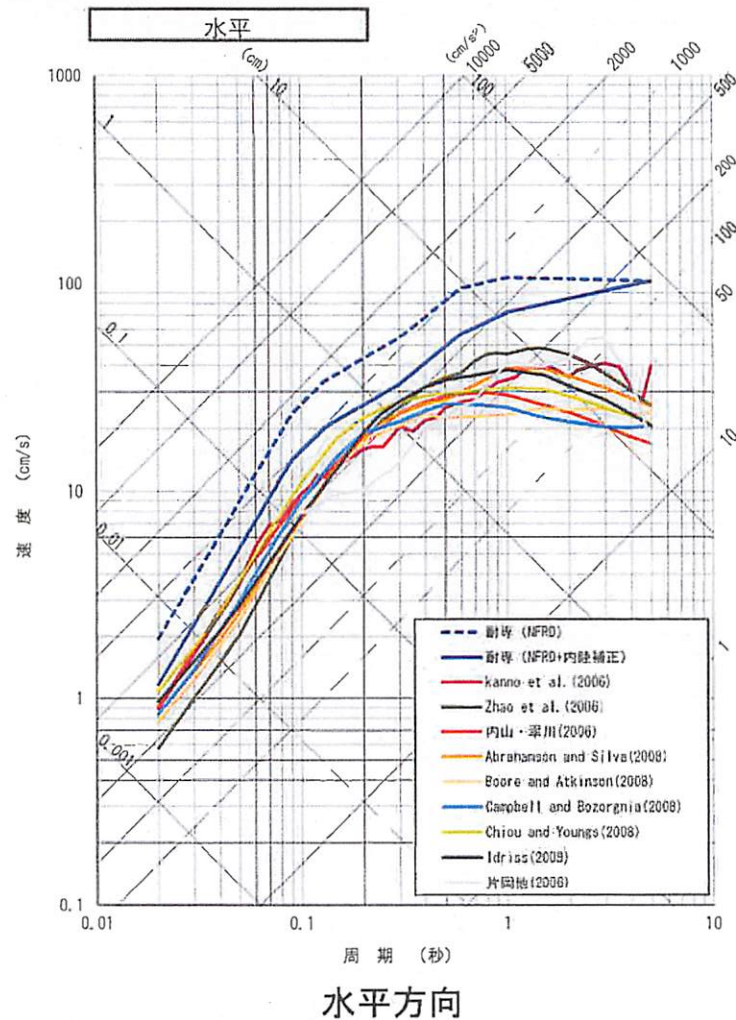


- 耐専回帰式作成に用いた観測記録 (107記録)
- + 耐専の適用性検討に用いた他地点観測記録 (国内: 23記録)
- × 耐専の適用性検討に用いた他地点観測記録 (海外: 14記録)
- ▲ 震源近傍の適用性検討記録 (国内: 4記録)
- ◆ 震源近傍の適用性検討記録 (海外: 22記録)
- 耐専スペクトル極近距離
- 伊方 鉛直
- 伊方 北傾斜

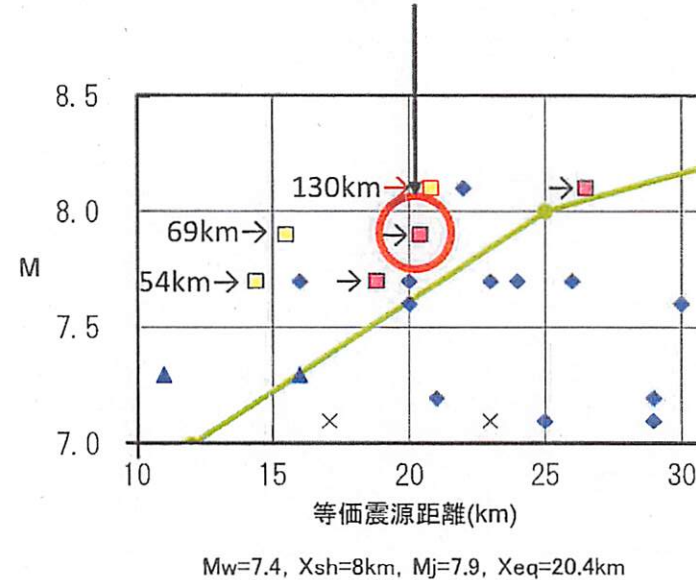
➡ 耐専スペクトルの検証データがない範囲であり、内陸補正をしてもその他距離減衰式と大きく乖離する。耐専スペクトルの適用は不適であり、その他距離減衰式で評価を行う。

69km北傾斜

3.2.2 適用性の検証 (2) 地震動レベルの検証



検証ケース



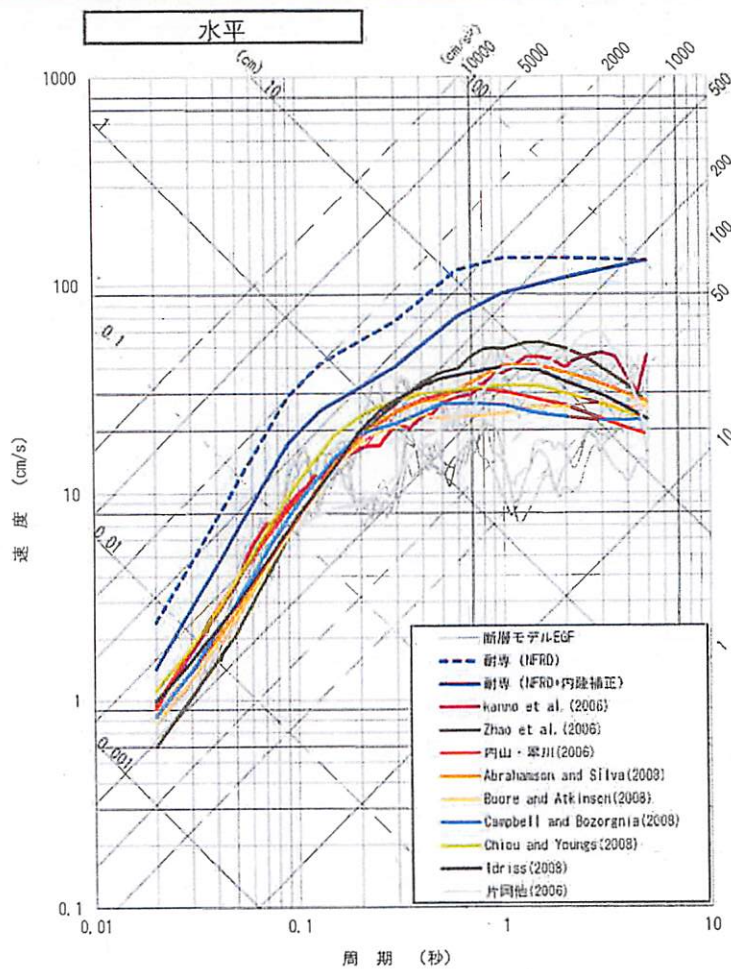
➔ 震源近傍の適用性を検証したデータがある領域であり、内陸補正をした場合には、その他距離減衰式と比較的整合的であることから、内陸補正を適用した評価が適切と評価される。

一方、内陸補正を適用しない場合は、その他距離減衰式との乖離が大きく、過大評価となっている。

しかしながら、保守的に内陸補正を見込まずに評価を行うこととする。

130km鉛直

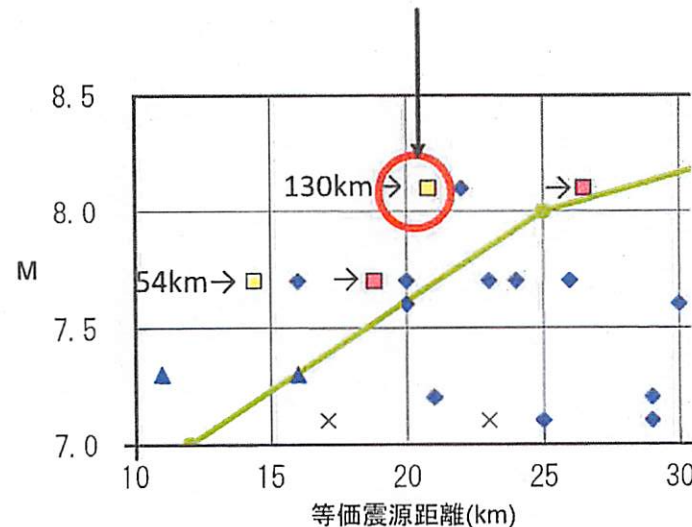
3.2.2 適用性の検証 (2) 地震動レベルの検証



水平方向

Mw=7.5, Xsh=8km, Mj=8.1, Xeq=20.8km

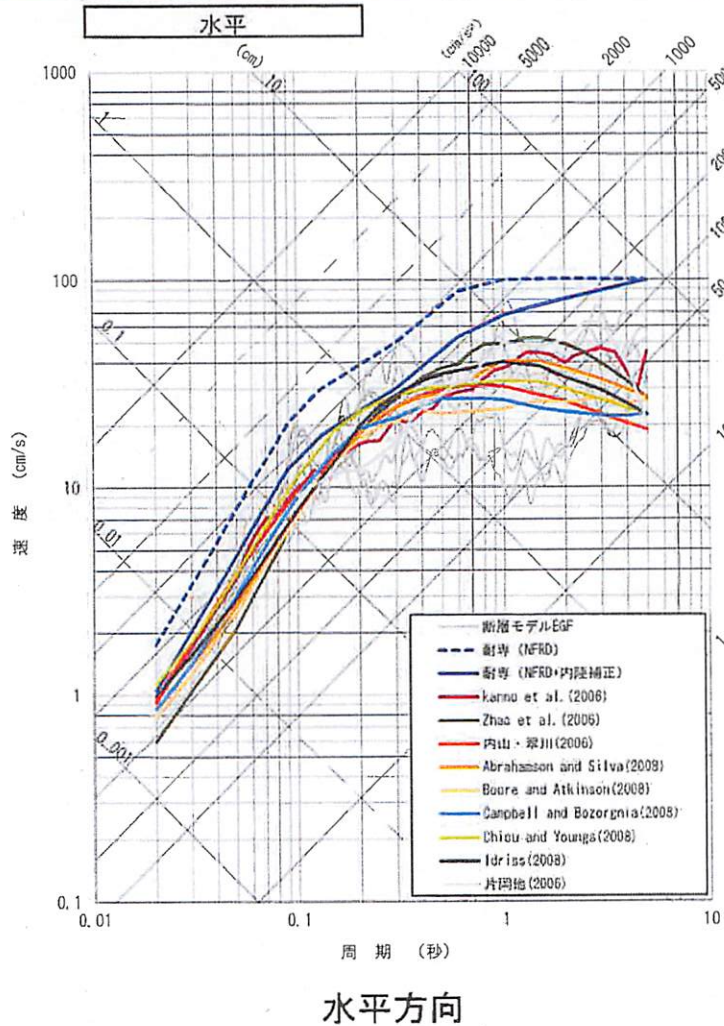
検証ケース



➡ 耐専スペクトルの検証データがない範囲であり、内陸補正をしてもその他距離減衰式と大きく乖離する。耐専スペクトルの適用は不適であり、その他距離減衰式で評価を行う。

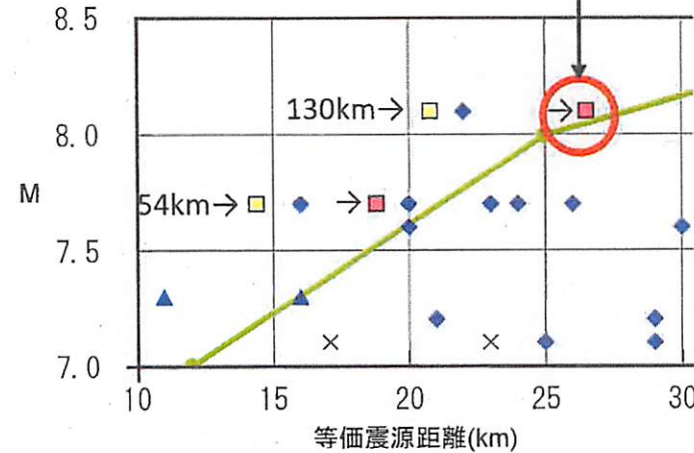
130km北傾斜

3.2.2 適用性の検証 (2) 地震動レベルの検証



Mw=7.5, Xsh=8km, Mj=8.1, Xeq=26.5km

検証ケース



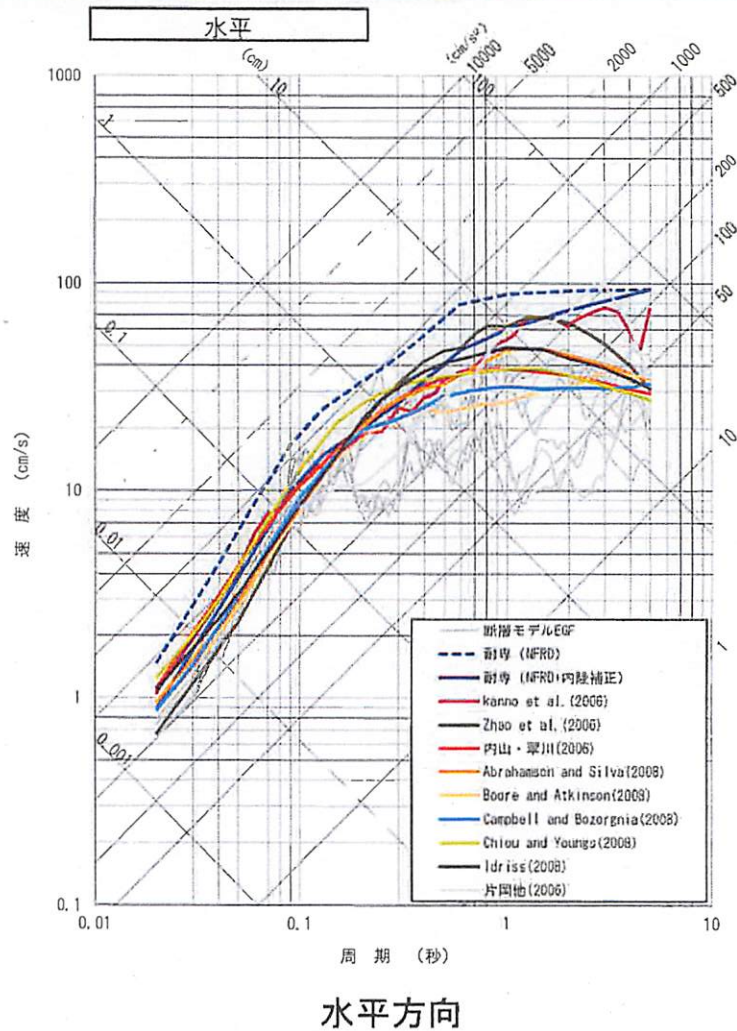
➔ 震源近傍の適用性を検証したデータがある領域であり、内陸補正をした場合には、その他距離減衰式と比較的整合的であることから、内陸補正を適用した評価が適切と評価される。

一方、内陸補正を適用しない場合は、その他距離減衰式との乖離が大きく、過大評価となっている。

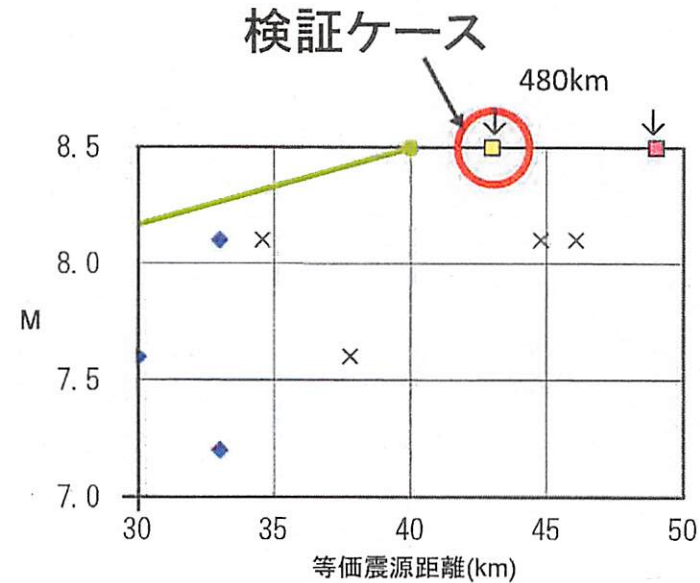
しかしながら、保守的に内陸補正を見込まずに評価を行うこととする。

480km鉛直

3.2.2 適用性の検証 (2) 地震動レベルの検証



Mw=7.9, Xsh=8km, Mj=8.5, Xeq=43km

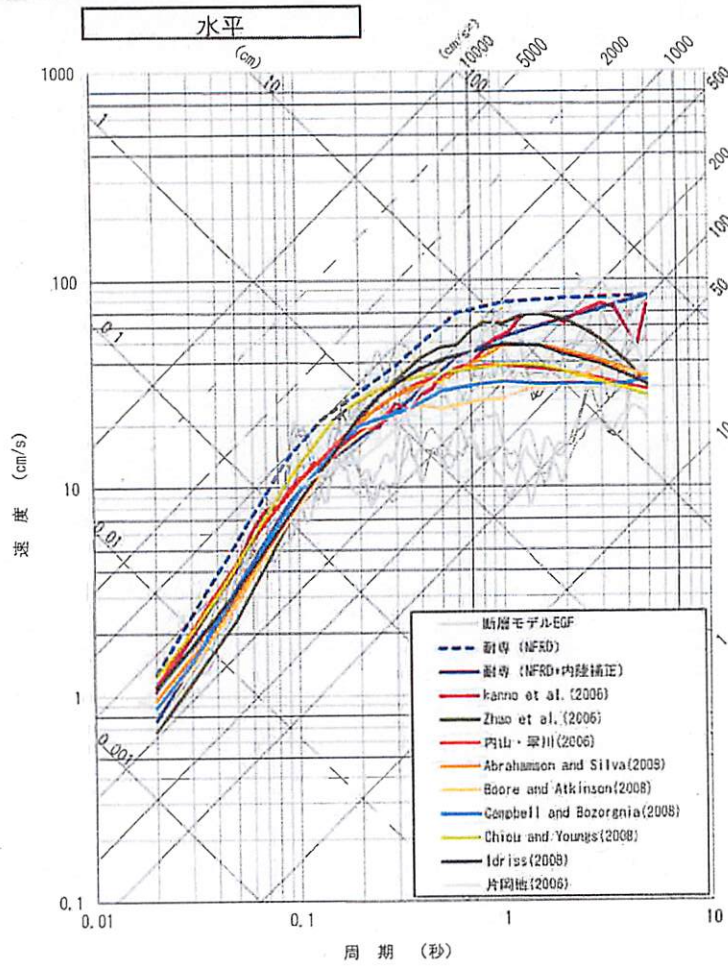


➔ 極近距離以遠の範囲であり、内陸補正をした場合、その他距離減衰式と整合的。内陸補正をしない場合でもその他距離減衰式との乖離は比較的大きくないことから、内陸補正を見込まずに評価を行う。

480km北傾斜

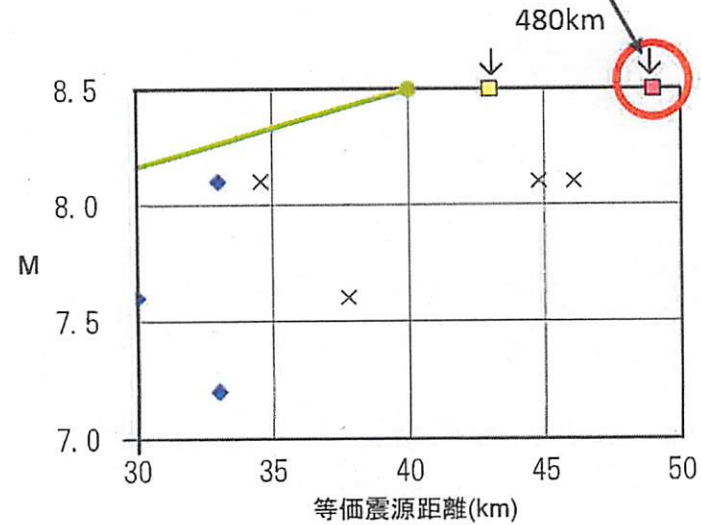
3.2.2 適用性の検証 (2) 地震動レベルの検証

Mw=7.9, Xsh=8km, Mj=8.5, Xeq=49km



水平方向

検証ケース



→ 極近距離以遠の範囲であり、内陸補正をした場合、その他距離減衰式と整合的。
内陸補正をしない場合でもその他距離減衰式との乖離は比較的大きくないことから、内陸補正を見込まずに評価を行う。

耐専スペクトルの適用について

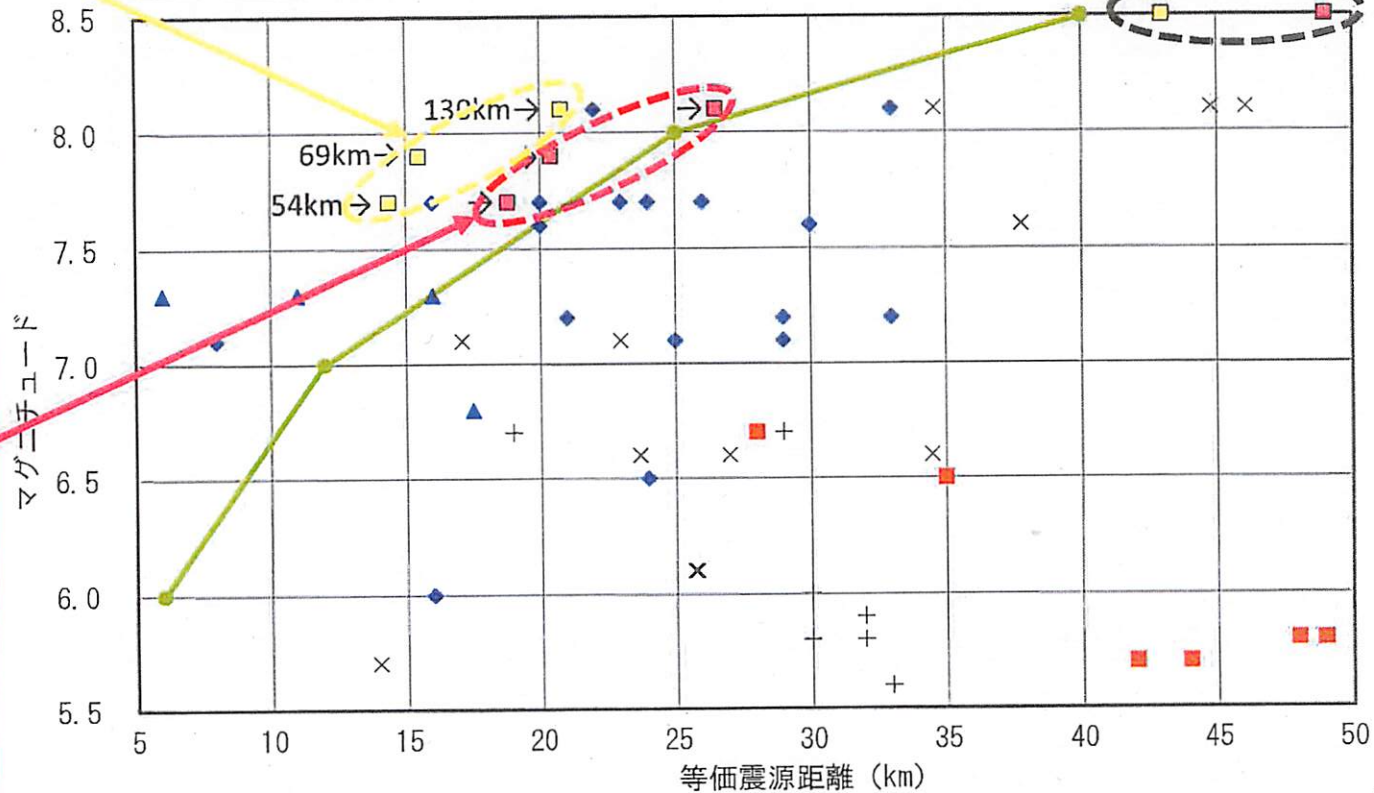
内陸補正を適用してもその他距離減衰式との乖離が大きく耐専スペクトルの適用は不適。その他距離減衰式で評価する。

その他距離減衰式との対比からは内陸補正を適用した評価が適切。

内陸補正を適用しない耐専スペクトルはその他距離減衰式との乖離が大きく過大評価。

しかしながら保守的に耐専スペクトル(内陸補正なし)で評価する。

- 耐専回帰式作成に用いた観測記録 (107記録)
- + 耐専の適用性検討に用いた他地点観測記録 (国内: 23記録)
- × 耐専の適用性検討に用いた他地点観測記録 (海外: 14記録)
- ▲ 震源近傍の適用性検討記録 (国内: 4記録)
- ◆ 震源近傍の適用性検討記録 (海外: 22記録)
- 耐専スペクトル極近距離
- 伊方 鉛直
- 伊方 北傾斜



耐専スペクトル(内陸補正なし)で評価する。

適用性の検証結果①

3.2.2 適用性の検証 (2) 地震動レベルの検証

応答スペクトル手法(距離減衰式)の適用性の検証結果を以下にまとめる。
耐専スペクトルについては、中央構造線断層帯の評価には内陸補正は適用しない。

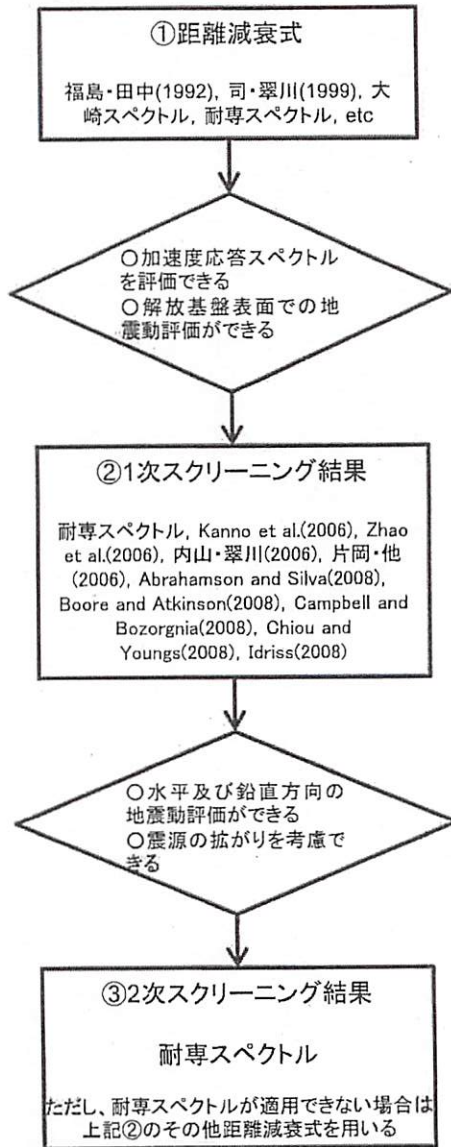
	54km 鉛直	54km 北傾斜	69km 鉛直	69km 北傾斜	130km 鉛直	130km 北傾斜	480km 鉛直	480km 北傾斜
耐専スペクトル	×	△	×	△	×	△	○	○
Kanno et al.(2006)	○	○	○	○	○	○	○	○
Zhao et al.(2006)	○	○	○	○	○	○	○	○
内山・翠川(2006)	○	○	○	○	○	○	○	○
片岡・他(2006)	○	○	○	○	○	○	○	○
Abrahamson and Silva(2008)	○	○	○	○	○	○	○	○
Boore and Atkinson(2008)	○	○	○	○	○	○	○	○
Campbell and Bozorgnia(2008)	○	○	○	○	○	○	○	○
Chiou and Youngs(2008)	○	○	○	○	○	○	○	○
Idriss(2008)	○	○	○	○	○	○	○	○

○:適用可, △:保守的に適用, ×:適用不可

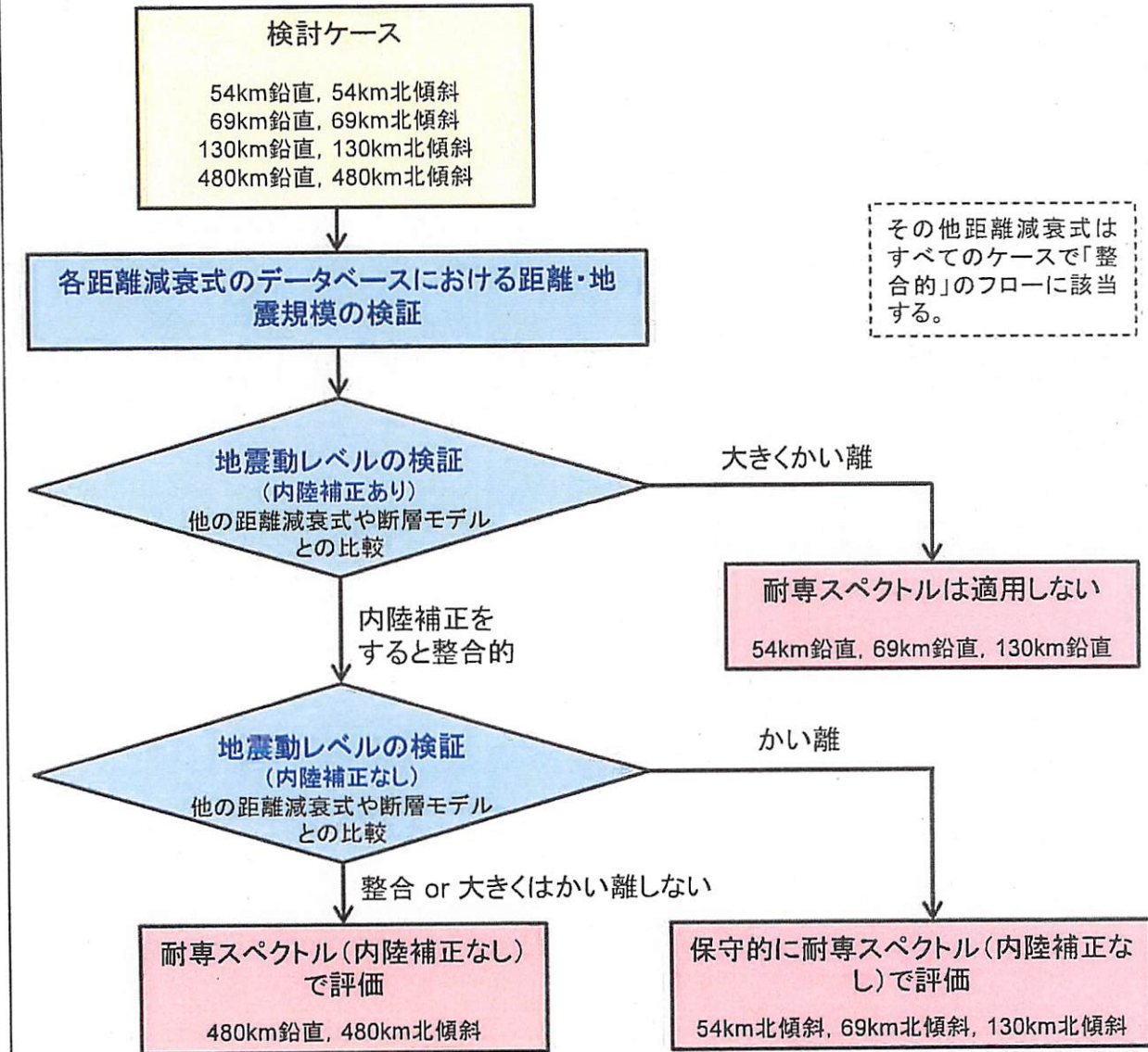
適用性の検証結果②

3.2.2 適用性の検証 (2) 地震動レベルの検証

距離減衰式のスクリーニング



耐専スペクトルの適用の判断



その他距離減衰式はすべてのケースで「整合的」のフローに該当する。

1. 地震動評価の基本方針

2. 検討用地震

2.1 検討用地震の候補

2.2 検討用地震の選定

2.3 検討用地震の選定結果

3. 内陸地殻内地震の地震動評価

3.1 解析条件の設定

3.2 応答スペクトルに基づく地震動評価 ----->

3.2.1 評価方針

3.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価

3.2.2 適用性の検証

(1) 距離・地震規模の検証

(2) 地震動レベルの検証

4. 基準地震動の策定

4.1 応答スペクトルに基づく手法による基準地震動Ss-1

3.2.3 地震動評価結果

4.2 断層モデルを用いた手法による基準地震動Ss-2

4.3 基準地震動Ss まとめ

地震動評価に用いる応答スペクトル手法

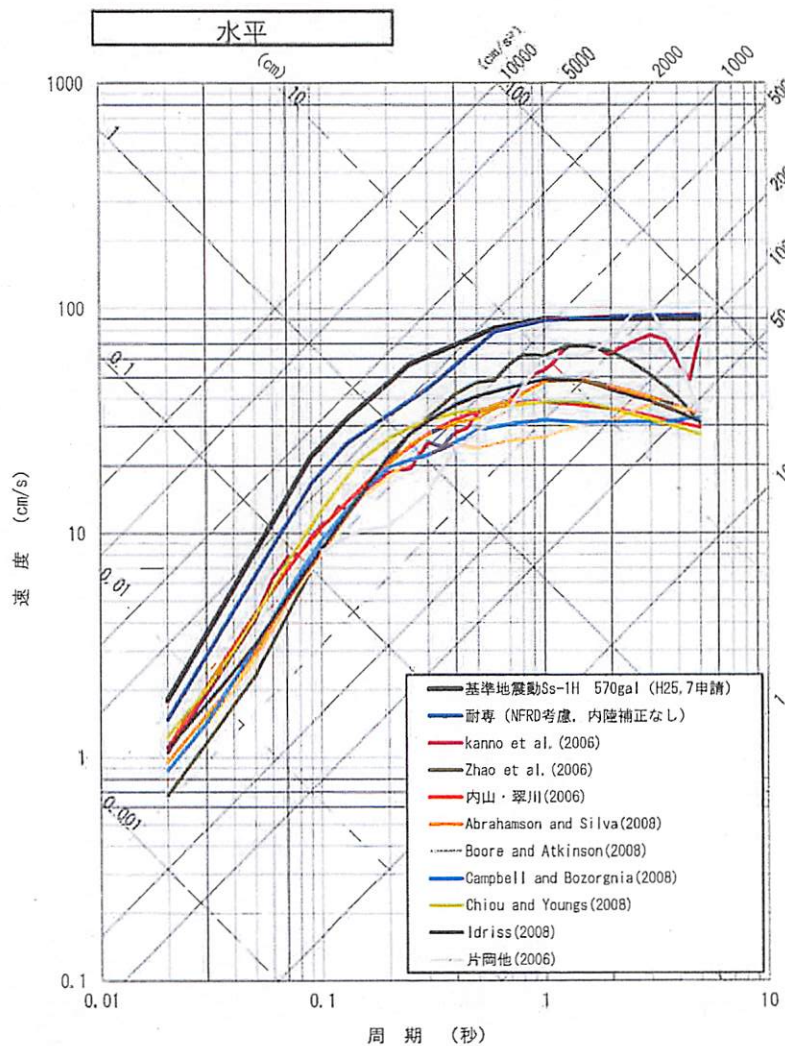
応答スペクトルに基づく地震動評価には以下の手法を採用することとする。

検討ケース	採用する手法	
	水平動の評価	鉛直動の評価
480km鉛直	耐専スペクトル その他距離減衰式	耐専スペクトル
480km北傾斜	耐専スペクトル その他距離減衰式	耐専スペクトル
130km鉛直	その他距離減衰式	—
130km北傾斜	耐専スペクトル その他距離減衰式	耐専スペクトル
69km鉛直	その他距離減衰式	—
69km北傾斜	耐専スペクトル その他距離減衰式	耐専スペクトル
54km鉛直	その他距離減衰式	—
54km北傾斜	耐専スペクトル その他距離減衰式	耐専スペクトル

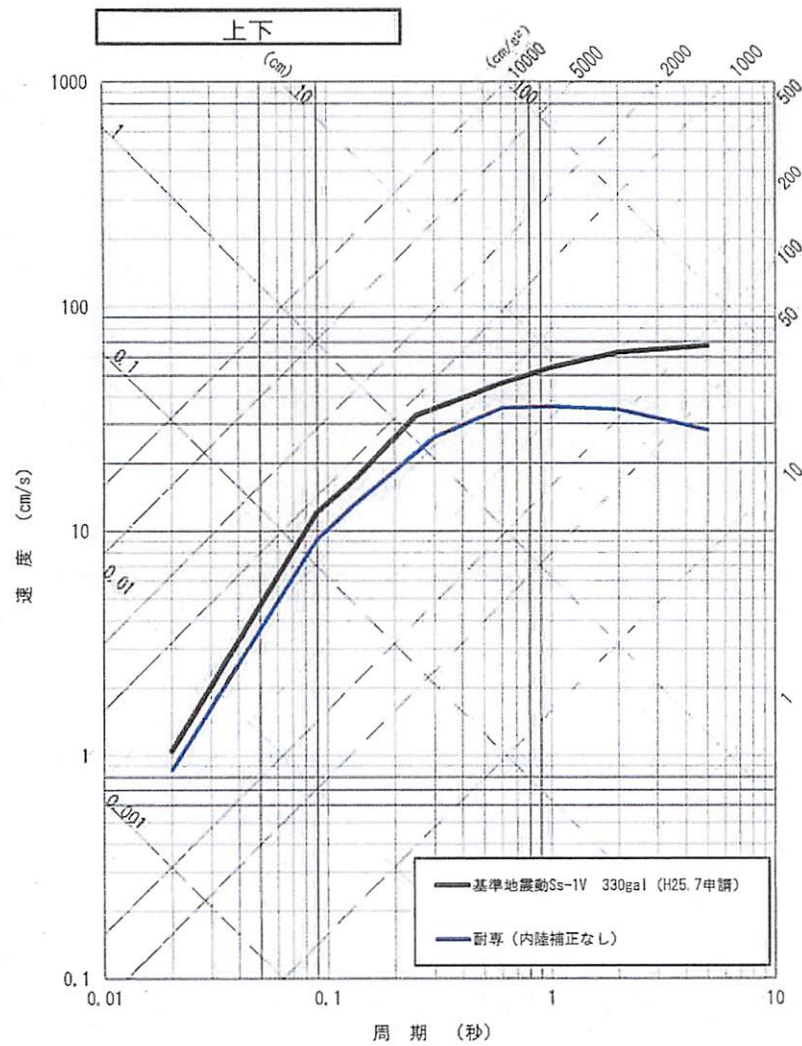
○その他距離減衰式: Kanno et al.(2006), Zhao et al.(2006), 内山・翠川(2006), 片岡・他(2006), Abrahamson and Silva(2008), Boore and Atkinson(2008), Campbell and Bozorgnia(2008), Chiou and Youngs(2008), Idriss(2008)

480km地震動評価結果(基本震源モデル)

長周期側で申請時の基準地震動Ss-1(570Gal)をわずかに上回る結果となった。



水平方向

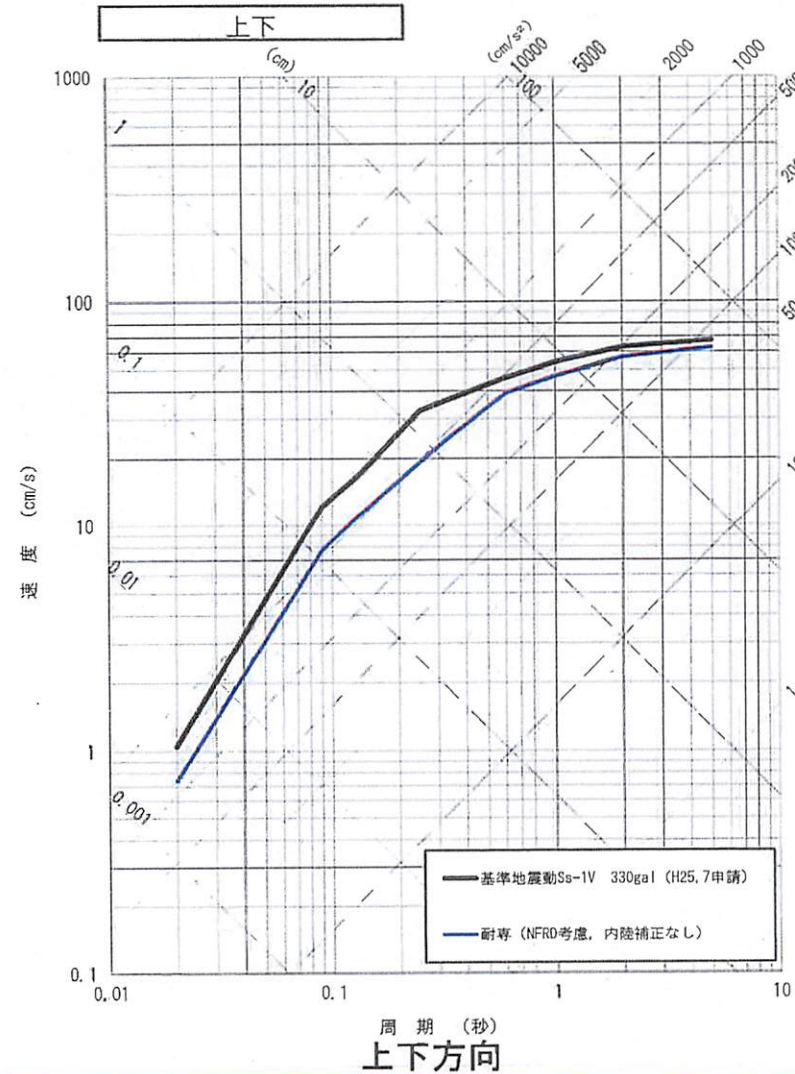
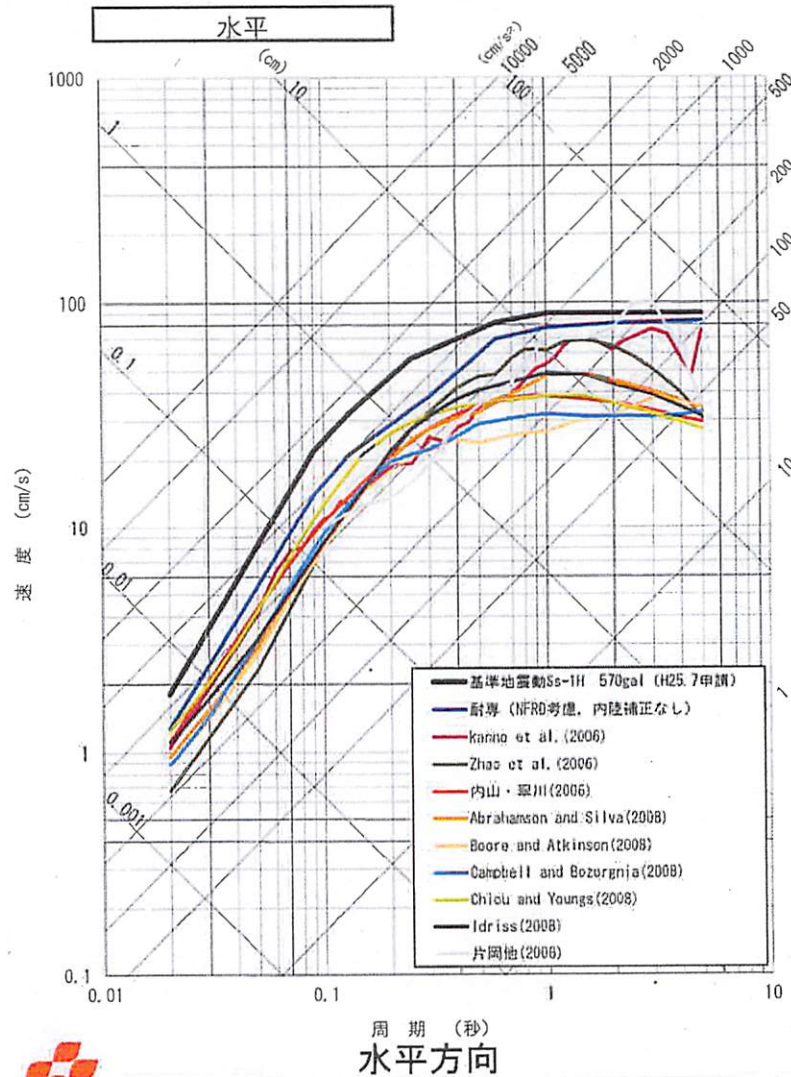


上下方向



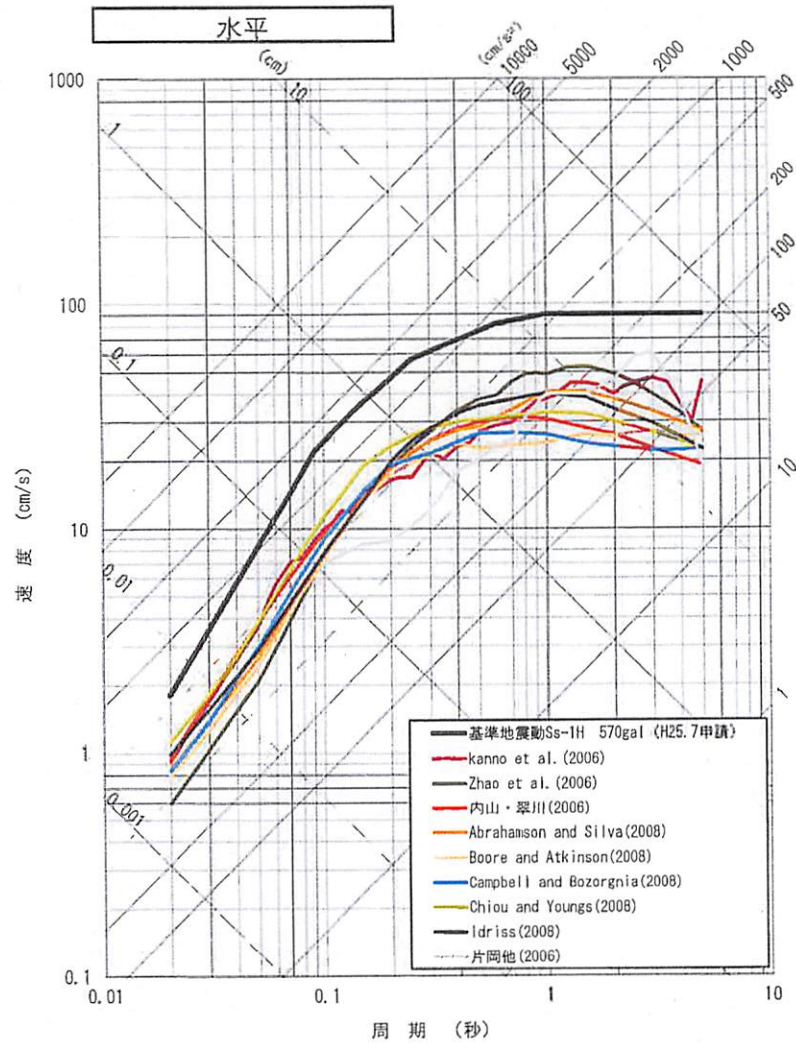
480km地震動評価結果(北傾斜)

長周期側の一部で、その他距離減衰式の結果が申請時の基準地震動Ss-1(570Gal)を上回る結果となった。



130km地震動評価結果(基本震源モデル)

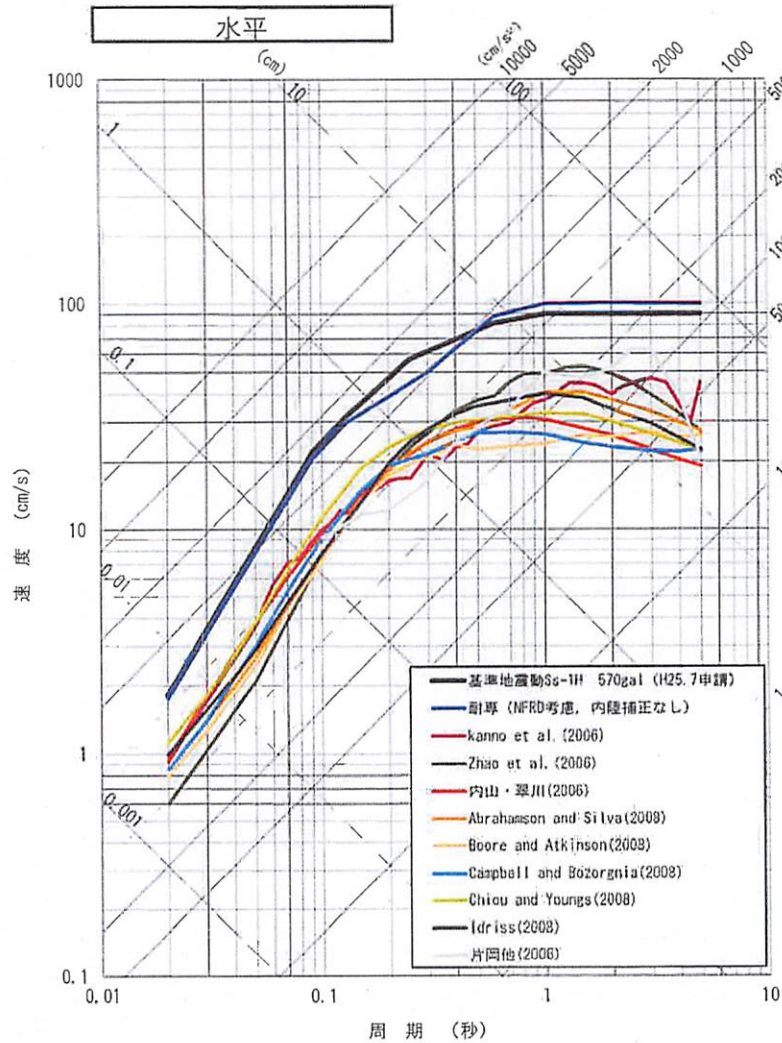
申請時の基準地震動Ss-1(570Gal)を下回る結果となった。



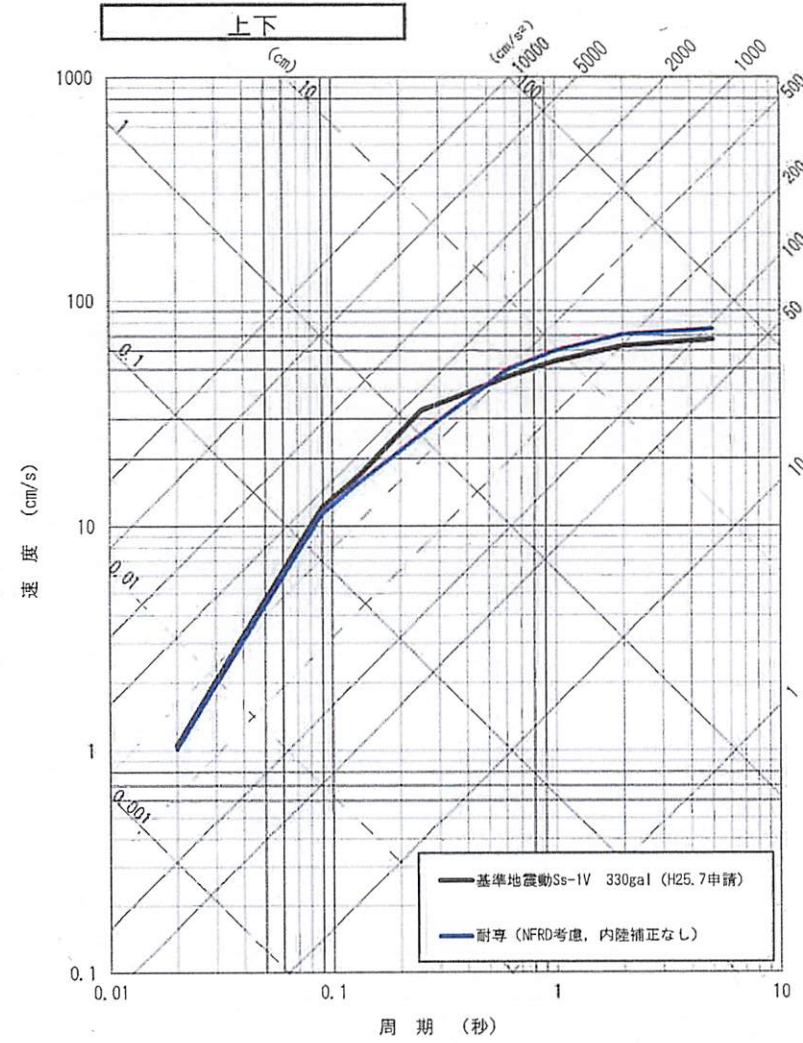
水平方向

130km地震動評価結果(北傾斜)

長周期側で申請時の基準地震動Ss-1(570Gal)を上回る結果となった。



水平方向

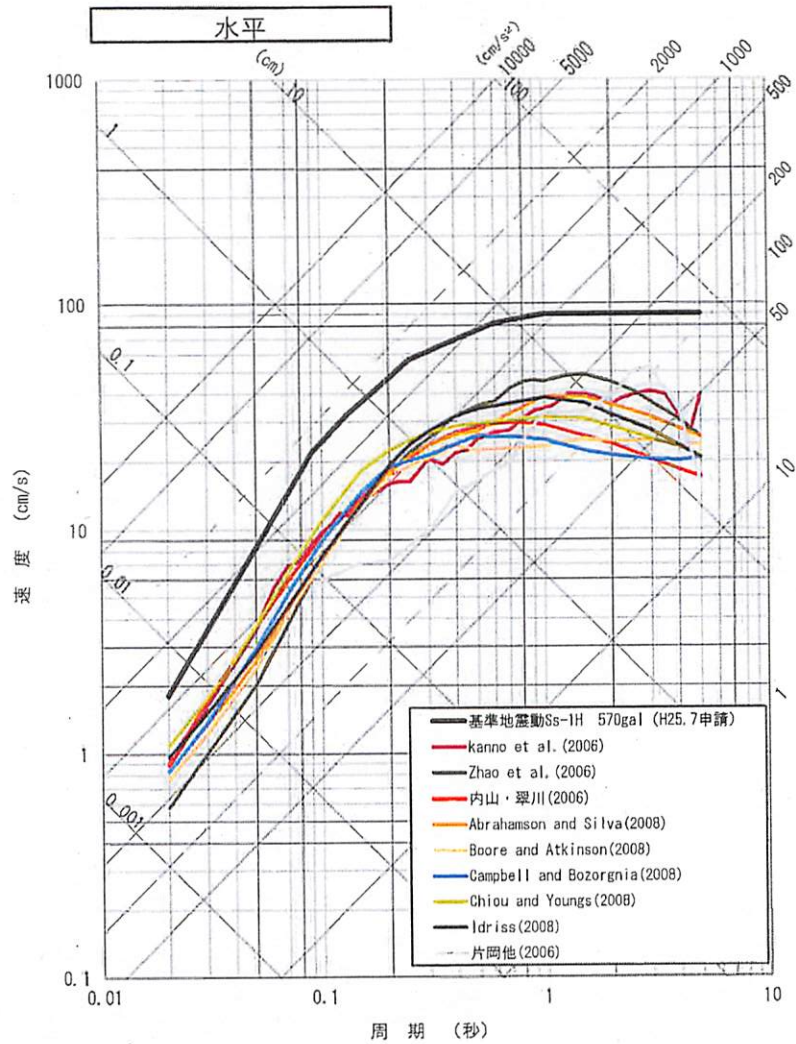


上下方向



69km地震動評価結果(基本震源モデル)

申請時の基準地震動Ss-1(570Gal)を下回る結果となった。

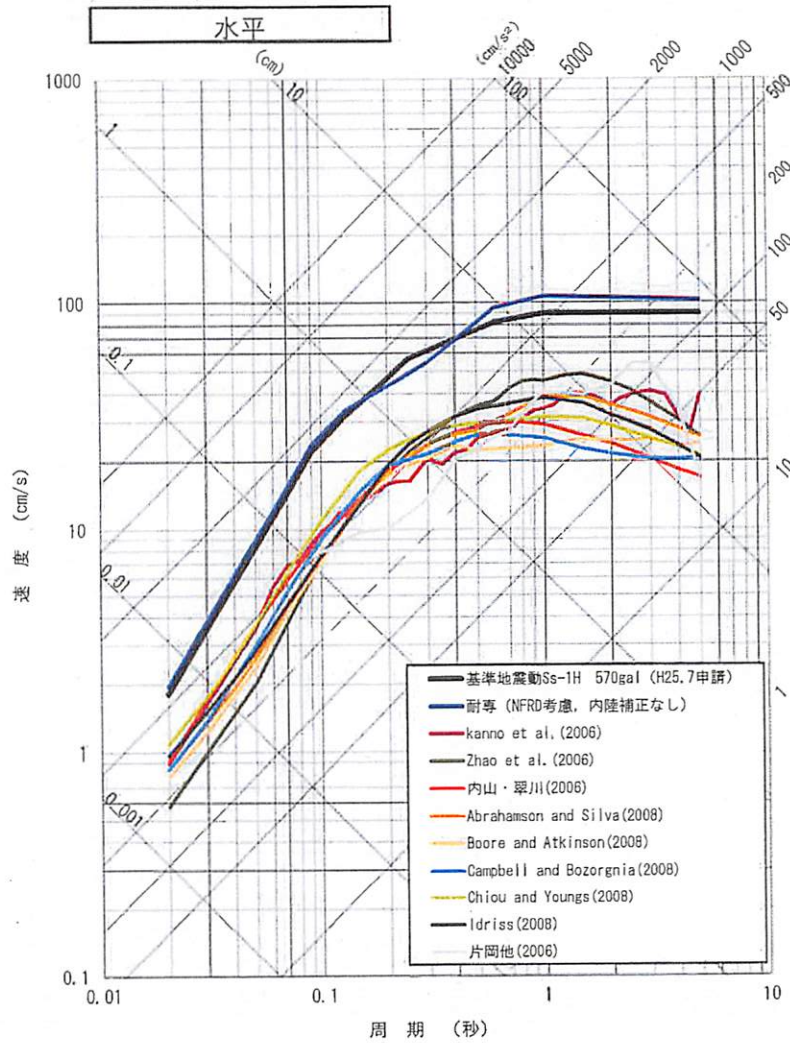


水平方向

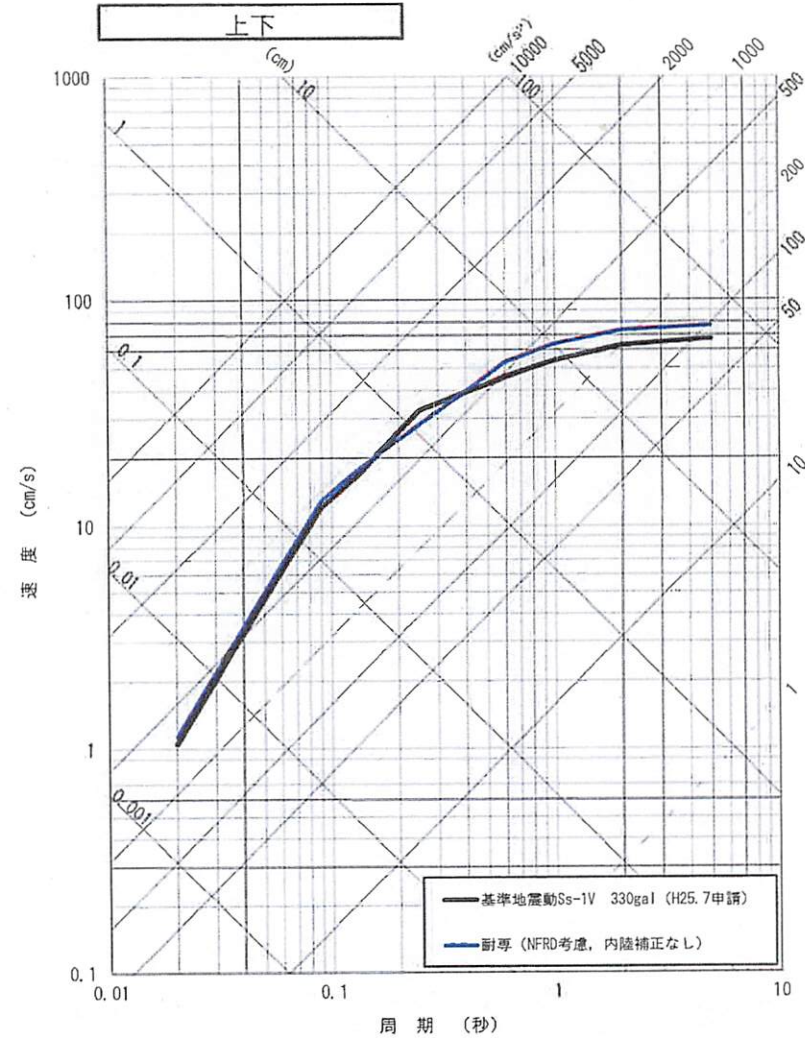


69km地震動評価結果(北傾斜)

申請時の基準地震動Ss-1(570Gal)を上回る結果となった。



水平方向

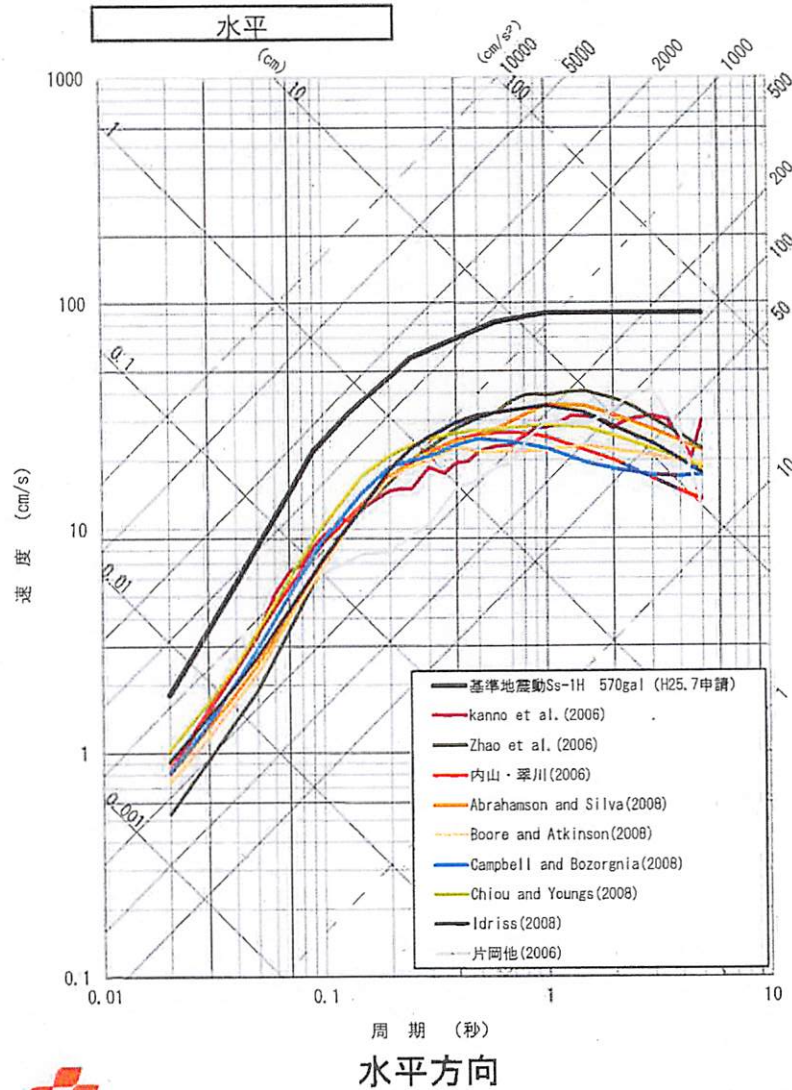


上下方向



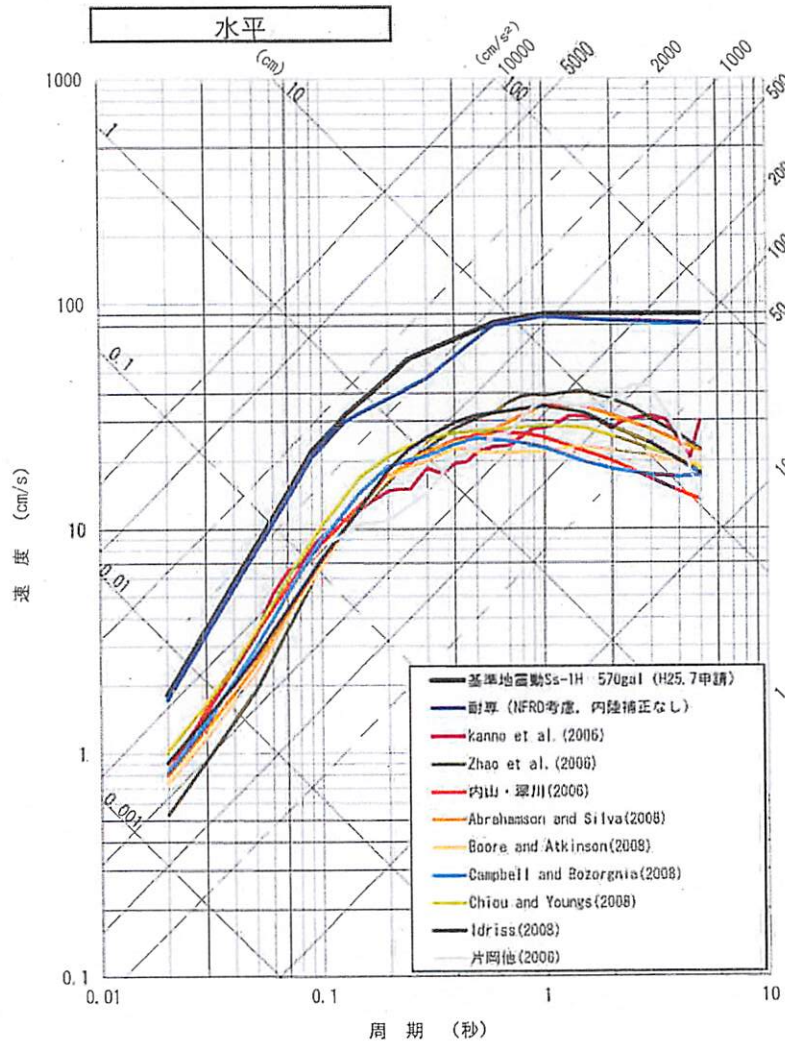
54km地震動評価結果(基本震源モデル)

申請時の基準地震動Ss-1(570Gal)を下回る結果となった。

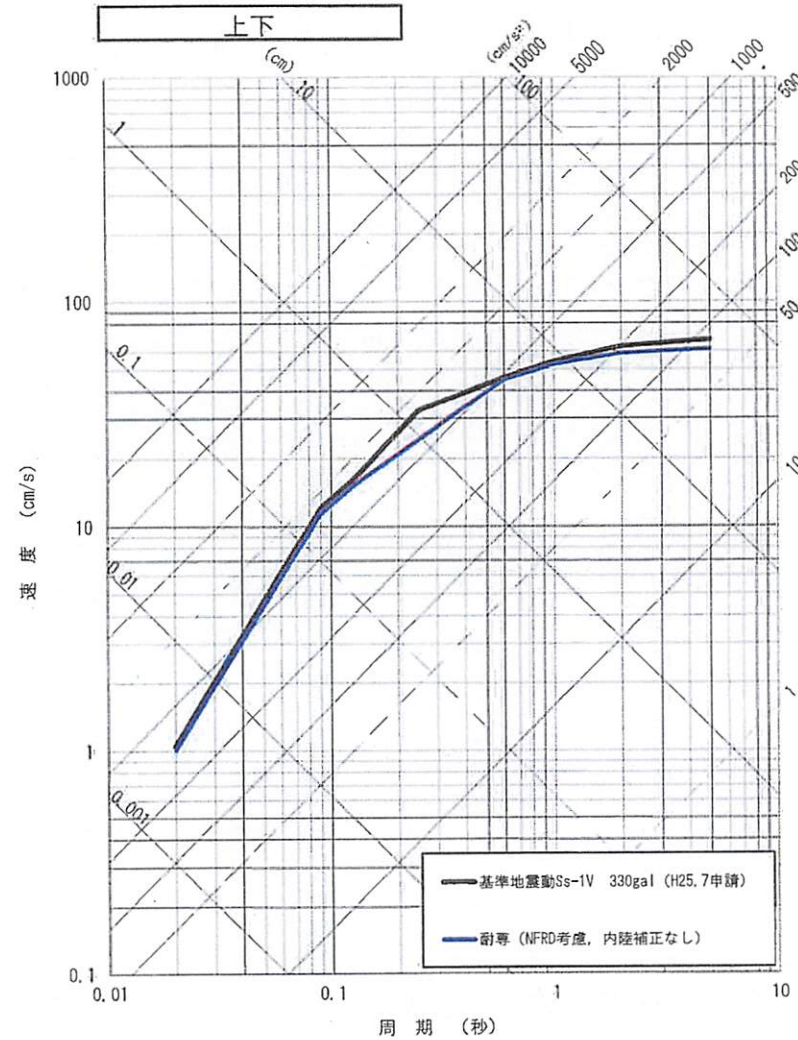


54km地震動評価結果(北傾斜)

申請時の基準地震動Ss-1(570Gal)を下回る結果となった。



水平方向



上下方向



1. 地震動評価の基本方針

2. 検討用地震

- 2.1 検討用地震の候補
- 2.2 検討用地震の選定
- 2.3 検討用地震の選定結果

3. 内陸地殻内地震の地震動評価

- 3.1 解析条件の設定
- 3.2 応答スペクトルに基づく地震動評価
- 3.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価

4. 基準地震動の策定

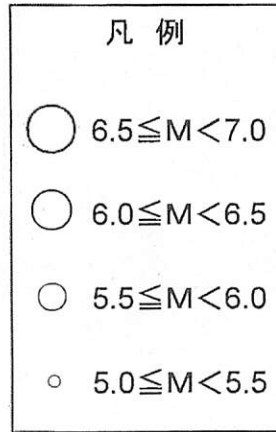
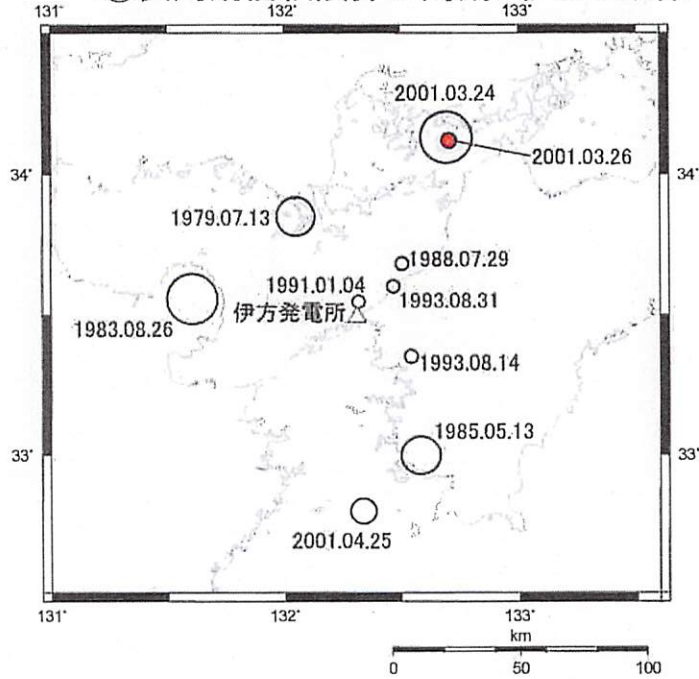
- 4.1 応答スペクトルに基づく手法による基準地震動Ss-1
- 4.2 断層モデルを用いた手法による基準地震動Ss-2
- 4.3 基準地震動Ss まとめ

- 3.3.1 解析手法
- 3.3.2 影響評価(事前検討)
- 3.3.3 地震動評価結果
- 3.3.4 地震動評価結果の検証
 - (1) 長大断層の観測記録との比較
 - (2) 地震本部の強震動予測結果との比較
- 3.3.5 断層モデル解析のまとめ

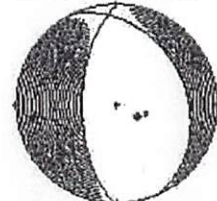
経験的グリーン関数法の要素地震①

➤ 要素地震の選定および選定基準

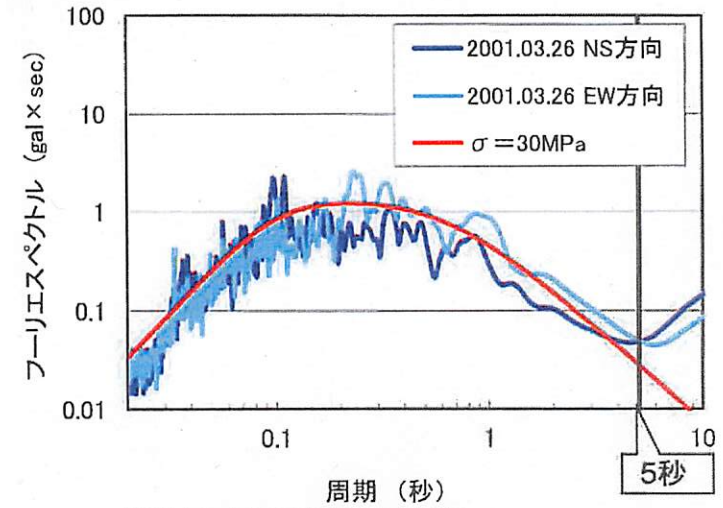
- ①伝播特性を勘案し、伊予灘側に震源がある地震
- ②長周期信頼限界が周期5秒まで確保できる記録



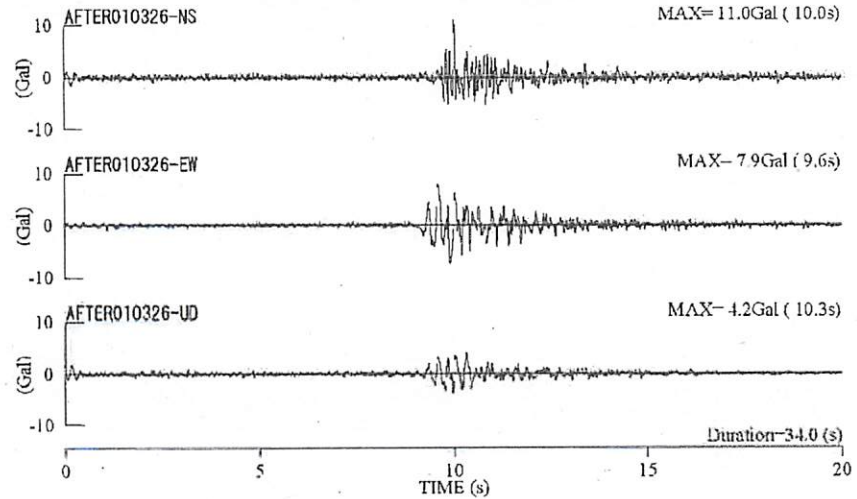
2001/03/26,05:41



34.1N 132.7E 38km Mw5.1
 strike: 335 dip: 51 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



要素地震の時刻歴波形



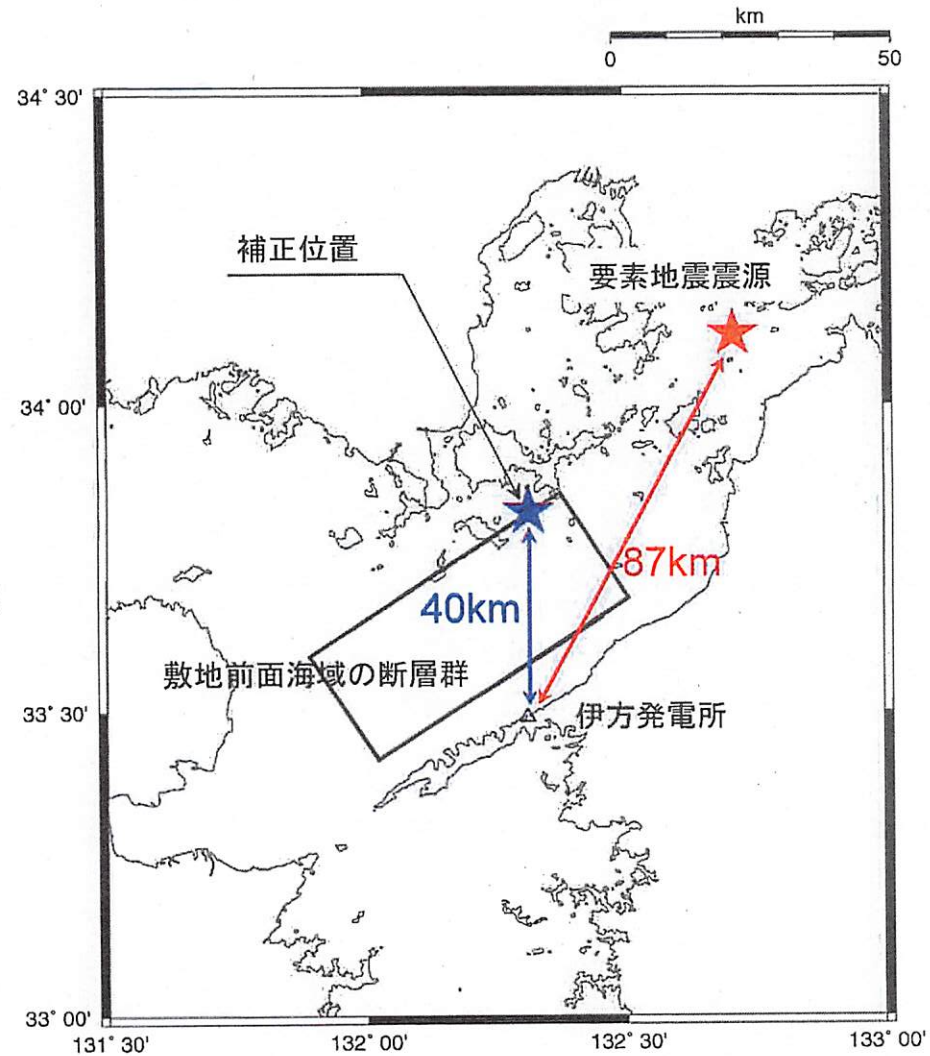
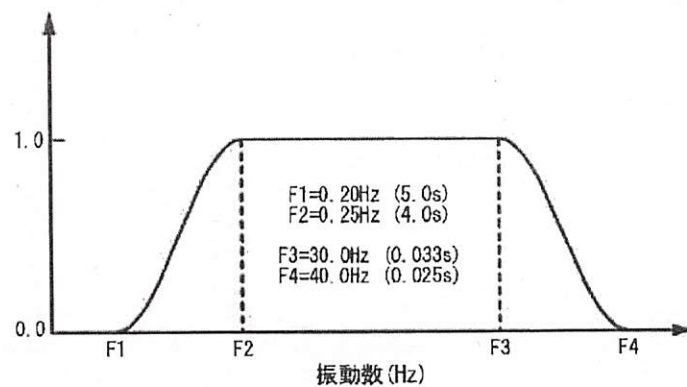
経験的グリーン関数法の要素地震②

➤ 要素地震の補正(発生位置の補正)

本来の震源位置から想定する断層面内に幾何減衰と内部減衰を考慮して距離補正する。

Q値はサイトにおける海洋プレート内地震の観測記録から同定したものを使用する。

➤ 要素地震の補正 (観測記録に対するフィルター処理)



経験的グリーン関数法の要素地震③

➤ 要素地震の補正(媒質の補正)

観測地震は、対象地震とは媒質の異なるスラブ内で発生した地震であるため、密度やせん断波速度を考慮して、壇・佐藤(1998)によりスラブ内から内陸地殻内の媒質へ補正する

	スラブ内	内陸地殻内
せん断波速度	4.0km/s	3.5km/s
剛性率	4.80×10^{10} N/m ²	3.31×10^{10} N/m ²
密度	3.0g/cm ³	2.7g/cm ³
応力降下量	30MPa	20.7MPa
地震モーメント	4.76×10^{16} Nm	3.28×10^{16} Nm
断層面	1.569km × 1.569km	同左
平均すべり量	40.3cm	同左

$$\sigma_d = \sigma_s \times \frac{\rho_d \cdot \beta_d^2}{\rho_s \cdot \beta_s^2} = \sigma_s \times \frac{\mu_d}{\mu_s}$$

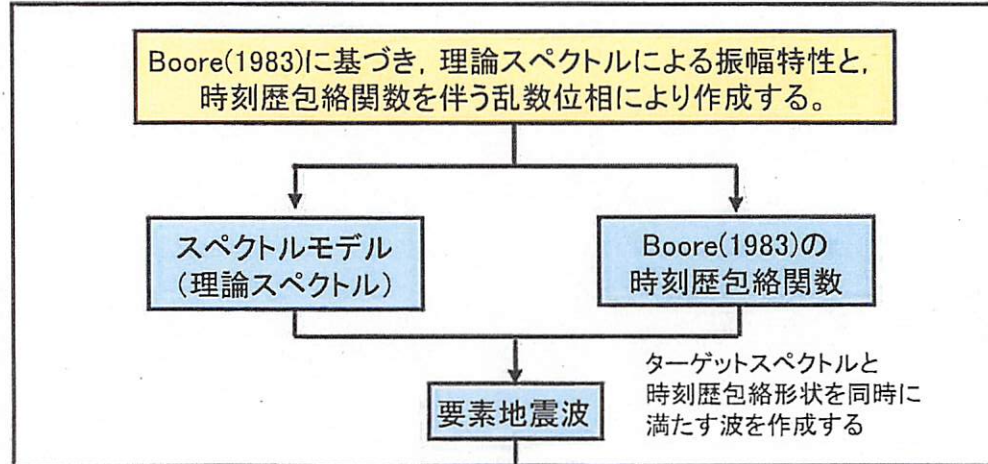
$$M_{od} = M_{os} \times \frac{\rho_d \cdot \beta_d^2}{\rho_s \cdot \beta_s^2} = M_{os} \times \frac{\mu_d}{\mu_s}$$

σ_s : 応力降下量(スラブ内地震)
 σ_d : 応力降下量(内陸地殻内地震)
 ρ_s : 密度(スラブ内地震)
 ρ_d : 密度(内陸地殻内地震)
 β_s : せん断波速度(スラブ内地震)
 β_d : せん断波速度(内陸地殻内地震)
 μ_s : 剛性率(スラブ内地震)
 μ_d : 剛性率(内陸地殻内地震)
 M_{os} : 地震モーメント(スラブ内地震)
 M_{od} : 地震モーメント(内陸地殻内地震)

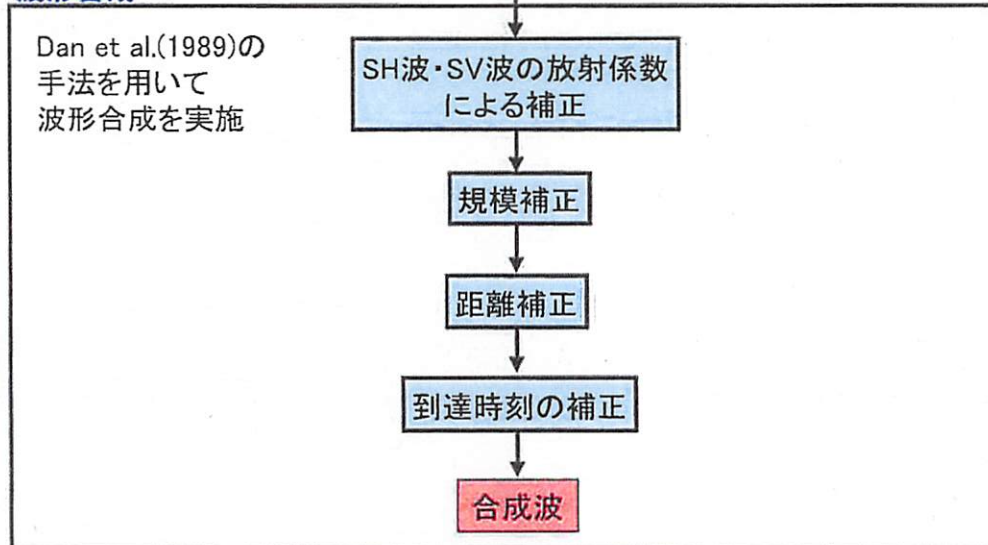
統計的グリーン関数の作成①

統計的グリーン関数(要素地震波)の作成と波形合成

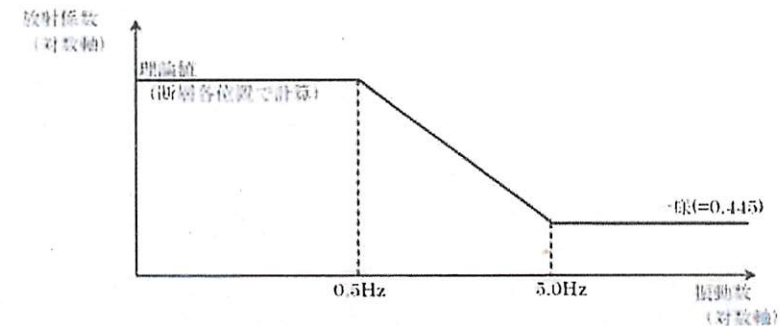
統計的グリーン関数の作成



波形合成



統計的グリーン関数は、敷地解放基盤表面の V_s が 2.6km/s と地震基盤相当であることから、解放基盤表面で作成する。
(地盤モデルと一次元波動論による解析は行わない)



放射係数の周波数依存特性の概要図




地盤構造モデル

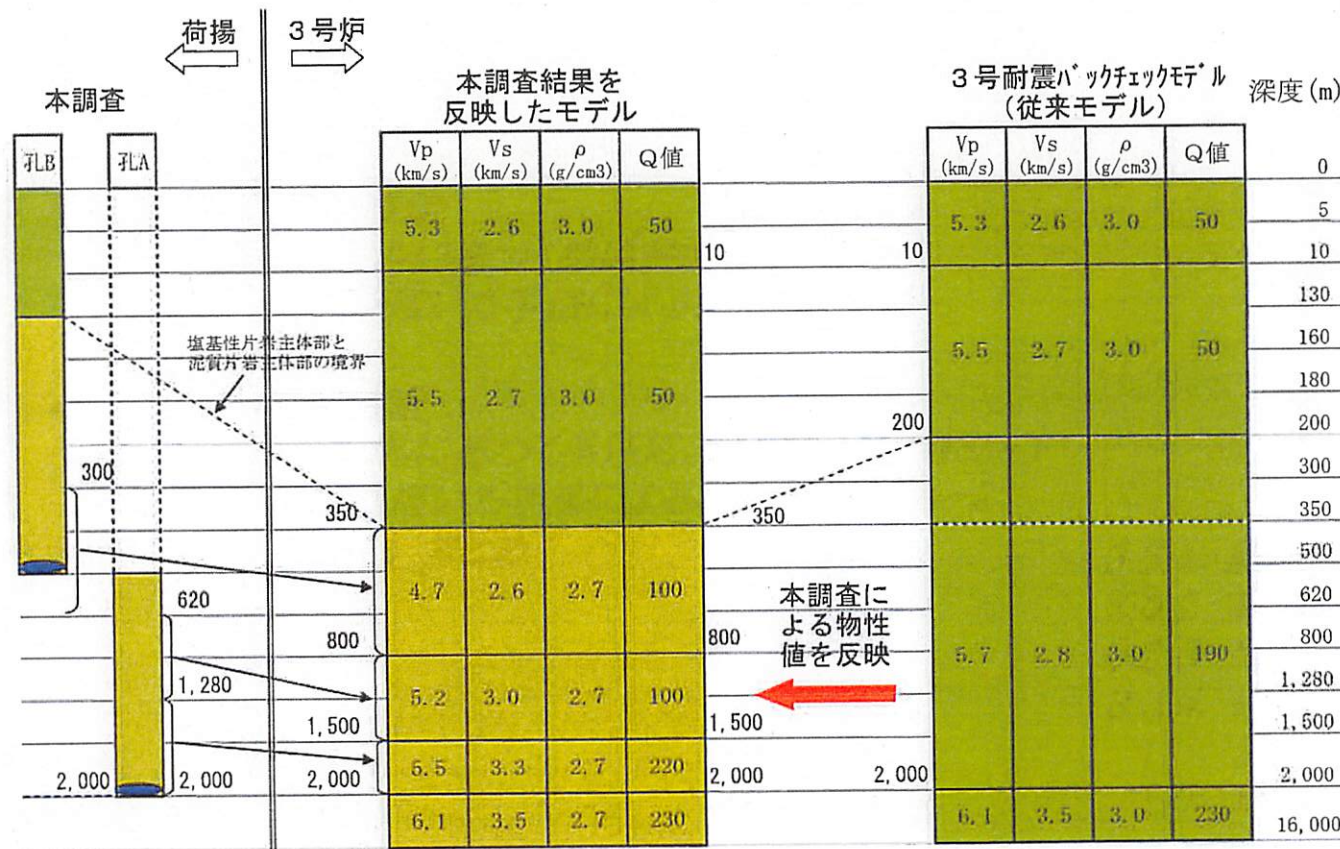
長周期地震動の理論計算に用いる地盤構造モデルは大深度ボーリングにおける地質調査結果を反映したものとする。

大深度ボーリング

3号炉心

【凡例】

-  : 地震計設置位置
-  : 塩基性片岩主体層
-  : 泥質片岩主体層

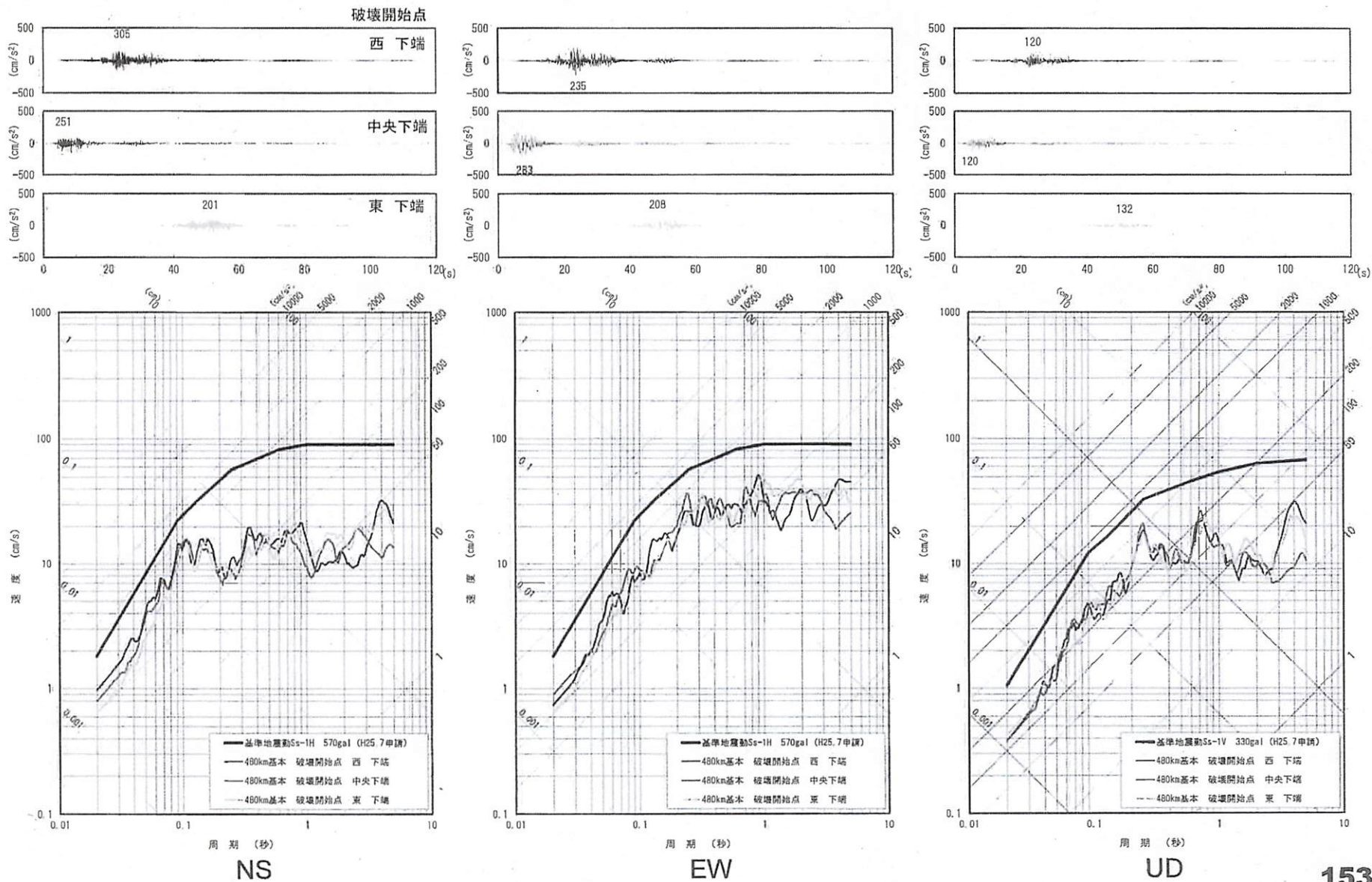


←解放基盤表面 (標高10m)

←地震基盤 (地下2km)

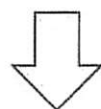
地震動評価結果(480km 基本ケース) 経験的グリーン関数法

経験的手法の結果を示す。



経験的手法と統計的手法による結果を比較した結果、EWとUDについてはほぼ同等の結果を得た。

NSでは、要素地震の特徴から長周期側で統計的手法の結果が大きいが、主要周期帯である周期0.1秒付近に着目すると経験的手法の方が厳しい結果となっている。

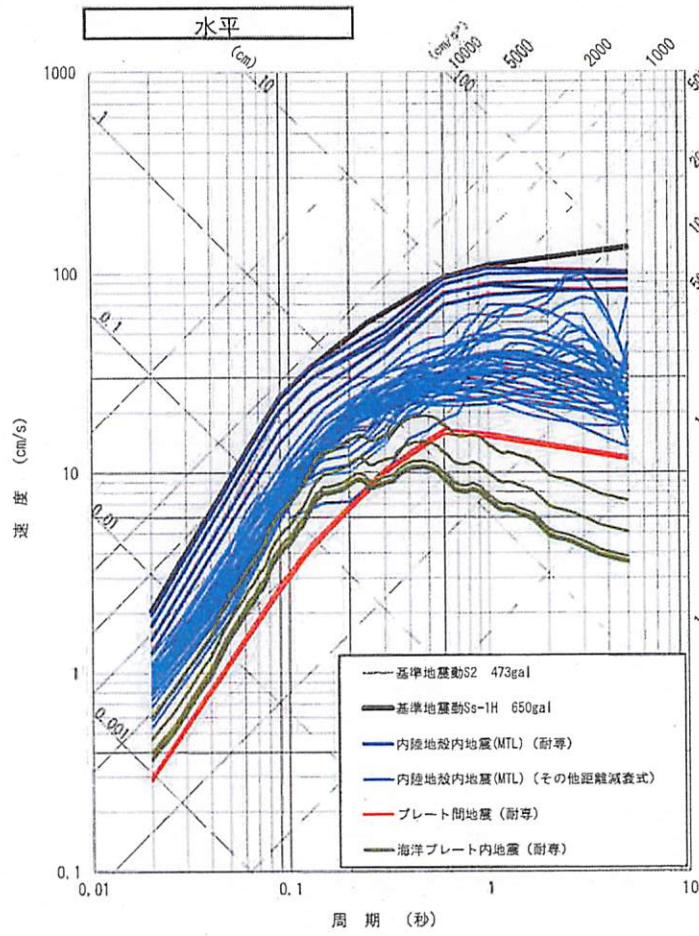


したがって、不確かさを考慮した地震動評価においては、施設への影響度の観点から、経験的手法を採用することとする。

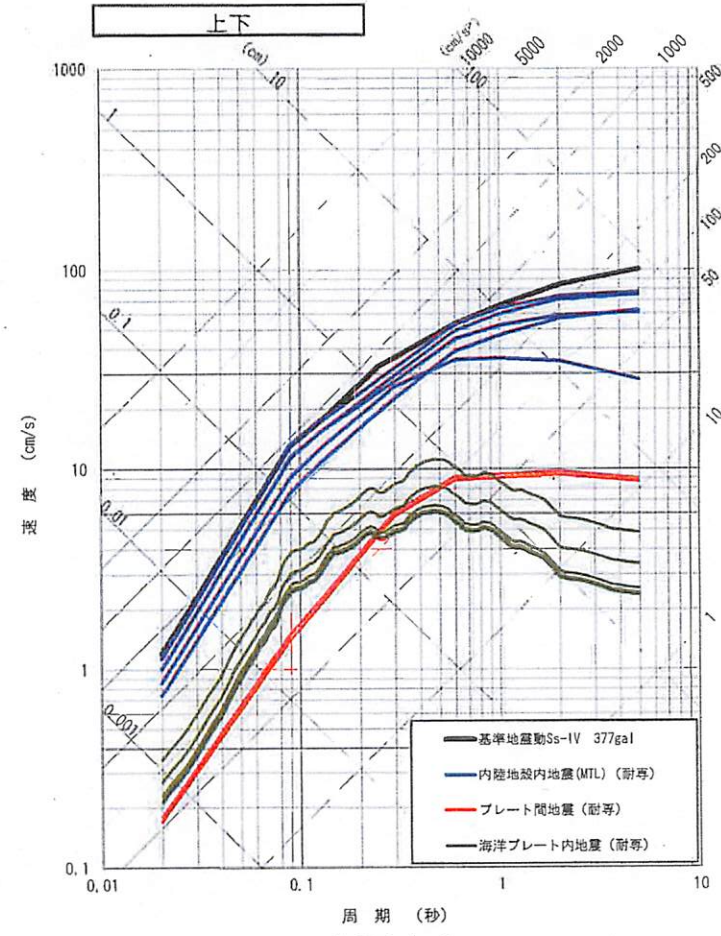
応答スペクトルに基づく手法による基準地震動Ss-1

4.1. 応答スペクトルに基づく手法による基準地震動Ss-1

○ 応答スペクトルに基づく地震動評価結果および基準地震動S2を包絡するように、水平方向の「基準地震動Ss-1H」を新たに設定する。鉛直動については、Ss-1Hに対して、耐専スペクトルの鉛直方向の地盤増幅率を乗じて「基準地震動Ss-1V」を設定する。



水平方向



上下方向

