

伊方発電所3号機 基準地震動の策定について (前回の補足)

平成27年2月4日
四国電力株式会社

目次

1. 基準地震動策定に係る申請時からの主な変更点について P2
2. 地震動・地震規模の算定式(耐専スペクトル、松田式)の概要と、断層長さ
69kmケース評価の保守性について P6
3. 基準地震動として賀祥ダム(監査廊)観測記録を採用する
妥当性について P16

1. 基準地震動策定に係る申請時からの主な変更点について

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動(中央構造線断層帯)

応答スペクトルに基づく地震動評価(Ss-1)

申請時

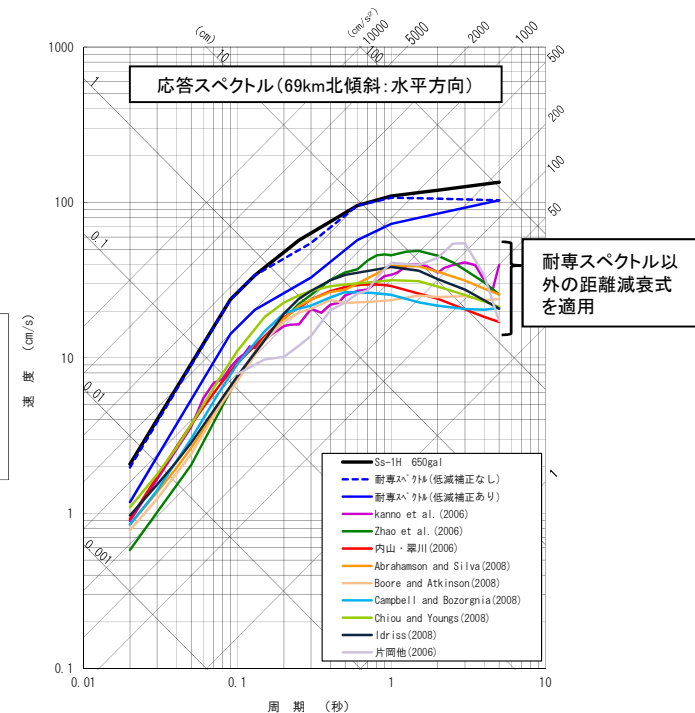
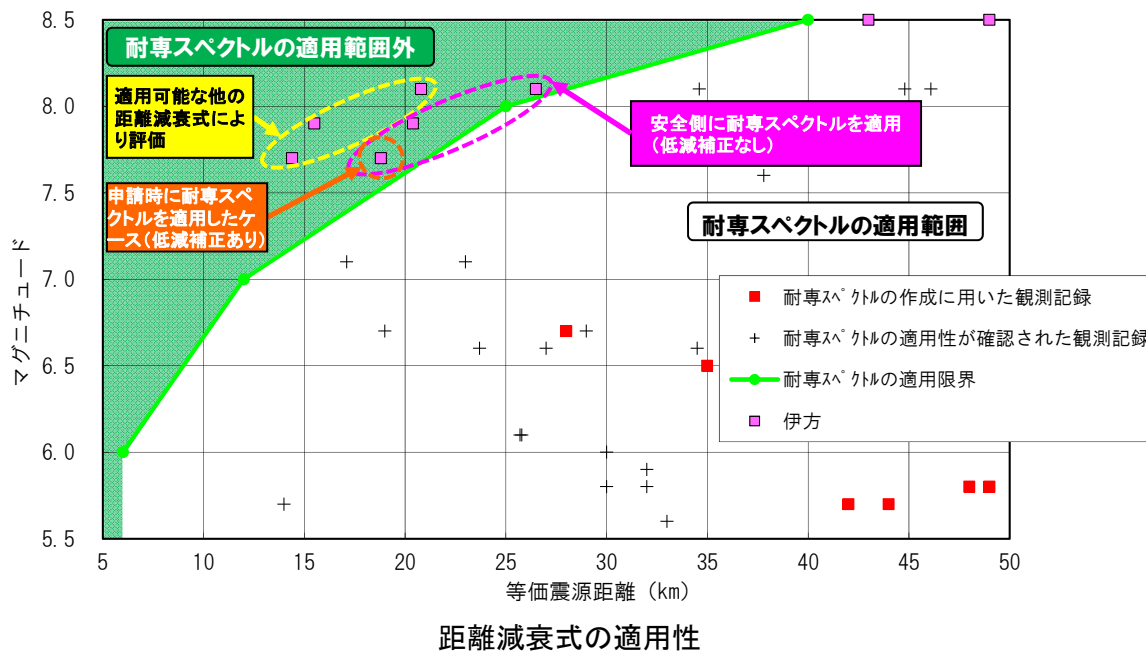
- 断層長さ54kmを基本ケースとし、断層の傾きや断層長さ等の不確かさを考慮した上で地震動を評価
- 評価の際、54km北傾斜ケースのみ、距離減衰式^{※1}として耐専スペクトル[Noda et al.(2002)]を適用
- 耐専スペクトルによる評価では、低減補正^{※2}を考慮
- その他のケースについては、距離減衰式としてZhao et al.(2006)等を採用
- 以上評価に余裕を見て基準地震動Ss-1を設定 [570ガル:1波]

不確かさを伴う自然現象に対する評価であることを踏まえ、より安全側に評価するため、評価条件・評価手法を一部変更

現状

- 中央構造線断層帯および豊予海峡・九州側断層帯が連動することを想定した480kmおよび130kmも基本ケースに加え、更に69kmについても念のため検討追加(申請時Ss-1を超えず)
- 耐専スペクトルの適用範囲外^{※3}となるケースであっても、低減補正を考慮した評価結果が他の距離減衰式と比較的整合的であるケースについては、安全側に耐専スペクトルによる評価を実施
- より安全側の評価とするため、低減補正を考慮せず耐専スペクトルによる評価を実施
- 以上評価に、更に余裕を見て基準地震動Ss-1を設定(69kmモデルで申請時Ss-1を超える) [650ガル:1波]

※1 これまでに得られている地震観測記録から策定されたものであり、「地震のマグニチュード」と「震源から評価地点までの距離」に応じ、評価地点における地震の揺れを評価する式
 ※2 耐専スペクトルを適用して内陸地殻内地震を評価する場合、評価値が大きくなる傾向があることから、地震動の特性をより正確に表すよう、耐専スペクトルから求まる地震動レベルを低減させること
 ※3 耐専スペクトルを震源近傍に適用した場合、他の距離減衰式と比較して地震動が大きく評価される傾向があり、耐専スペクトルを適用することが適当でない範囲(左下図 ■ 範囲)



敷地ごとに震源を特定して策定する地震動(中央構造線断層帯)

断層モデルを用いた手法による地震動評価(Ss-2)

申請時

- 断層長さ54kmを基本ケースとし、断層の傾きや断層長さ等の不確かさを考慮した上で地震動を評価し、応答スペクトルに基づく手法により策定したSs-1を一部の周期帯で超えるケースを基準地震動Ss-2として設定
[413ガル:1波]



不確かさを伴う自然現象に対する評価であることを踏まえ、より安全側に評価するため、評価条件を追加

現状

- 中央構造線断層帯および豊予海峡・九州側断層帯が連動することを想定した480kmおよび130kmも基本ケースに追加
- 破壊伝播速度※等、あらゆるパラメータについて不確かさを考慮した解析ケースを設定
- 応答スペクトルに基づく手法により策定したSs-1を一部の周期帯で超えるケースを基準地震動Ss-2として設定

[最大579ガル:8波]

※ 断層の破壊が伝わる速さ

解析ケース

No.	検討ケース	不確かさを考慮するパラメータ							
		長さ(km)	アスペリティ深さ	破壊開始点	応力降下量(短周期レベル)	断層傾斜角	破壊伝播速度	アスペリティ平面位置	スケーリング則
-	検討用地震 敷地前面海域の断層群 (中央構造線断層帯)	54	-	-	-	-	-	-	-
0	基本震源モデル	480 130 54	断層上端	3ケース	1.0倍	90度	0.72Vs	地質調査結果を基に敷地への影響も考慮して配置	壇・他(2011), Fujii and Matsu'ura(2000) or 入倉・三宅
1	不確かさ考慮① 応力降下量の不確かさ	480 130 54	断層上端	5ケース	1.5倍 or 20MPa	90度	0.72Vs	地質調査結果を基に敷地への影響も考慮して配置	壇・他(2011), Fujii and Matsu'ura(2000) or 入倉・三宅
2	不確かさ考慮② 地質境界断層の知見考慮	480 130 54	断層上端	3ケース	1.0倍	北傾斜	0.72Vs	地質調査結果を基に敷地への影響も考慮して配置	壇・他(2011), Fujii and Matsu'ura(2000) or 入倉・三宅
3	不確かさ考慮③ 角度のばらつきを考慮	480 130 54	断層上端	3ケース	1.0倍	南傾斜	0.72Vs	地質調査結果を基に敷地への影響も考慮して配置	壇・他(2011), Fujii and Matsu'ura(2000) or 入倉・三宅
4	不確かさ考慮④ 破壊伝播速度の不確かさ	480 130 54	断層上端	3ケース	1.0倍	90度	1.0Vs or 0.87Vs	地質調査結果を基に敷地への影響も考慮して配置	壇・他(2011), Fujii and Matsu'ura(2000) or 入倉・三宅
5	不確かさ考慮⑤ アスペリティの平面位置の不確かさ	480 130 54	断層上端	3ケース	1.0倍	90度	0.72Vs	敷地正面のジョグに配置	壇・他(2011), Fujii and Matsu'ura(2000) or 入倉・三宅

- : 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
- : 申請時(平成25年7月8日)からの変更点

○経験的グリーン関数法で地震動評価を行う。(断層長さ480kmの基本震源モデル[壇・他(2011)]により経験的グリーン関数法と統計的グリーン関数法を比較)
 ○破壊開始点3ケースは、断層下端3ケース(東下端, 中央下端, 西下端)。5ケースはこれに敷地前面海域セグメントのアスペリティ下端2ケースを追加。
 ○不確かさ考慮④における破壊伝播速度: 480km, 130km[1.0Vs], 54km[0.87Vs]
 ○スケーリング則: 壇・他(2011)は480km, 130km, 54kmに採用。Fujii and Matsu'ura(2000) [Mo: FM, Δσ: FM 3.1MPa, Sa/S: 21.5%]は480km, 130kmに採用、入倉・三宅[Mo: 入倉・三宅, Δσ: FM 3.1MPa, Sa/S: 21.5%]は54kmに採用。

震源を特定せず策定する地震動

震源を特定せず策定する地震動評価(Ss-3)

申請時

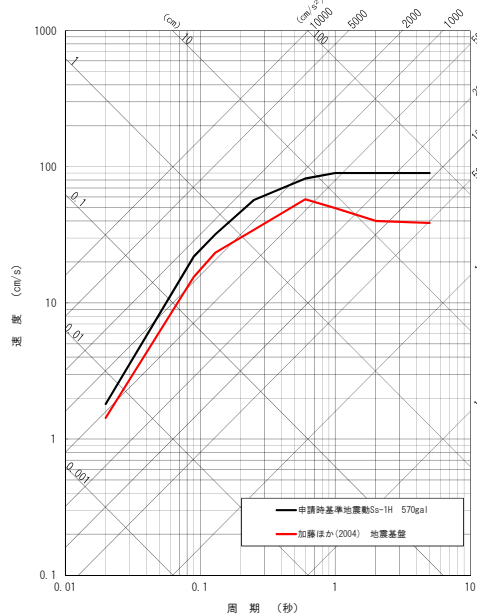
- 地震発生層の厚さ等から想定される震源を事前に特定できない地震の最大規模はM 6.8であり、加藤ほか(2004)が提案した「震源を事前に特定できない地震動レベル」について検討した結果、基準地震動Ss-1を上回らないことを確認したため、基準地震動としては選定せず

不確かさを伴う自然現象に対する評価であることを踏まえ、より安全側に対象地震を選定・評価

現状

- Mw※6.5以上の地震のうち、2000年鳥取県西部地震について、伊方発電所立地地点と鳥取県西部地震震源域では審査ガイドに示された「活断層の成熟度」に地域差が認められ、地震が発生する深部地下構造にも違いがあると考えられるものの、自然現象の評価と将来予測には不確かさが残るため、いずれも西南日本の東西圧縮横ずれの応力場であることを踏まえ、更には原子力安全に対する信頼向上の観点から、より安全側に鳥取県西部地震の観測記録を基準地震動Ss-3として設定
[531ガル:1波]
- Mw6.5未満の14地震について、敷地に及ぼす影響が大きいとして抽出した観測記録のうち、2004年北海道留萌支庁南部地震については信頼性の高い観測波が得られたことから、敷地の地盤物性を考慮した上でさらに余裕を見て基準地震動Ss-3として設定
[620ガル:1波]

※ モーメントマグニチュード:地震時の岩盤のずれの規模(ずれ動いた部分の面積×ずれた量×岩盤の硬さ)をもとにして計算した地震の大きさ



応答スペクトルの比較[水平方向]

表-1 収集対象となる内陸地殻内の地震の例(審査ガイドより)

No	地震名	日時	規模
1	2008年岩手・宮城内陸地震	2008/06/14, 08:43	Mw6.9
2	2000年鳥取県西部地震	2000/10/06, 13:30	Mw6.6
3	2011年長野県北部地震	2011/03/12, 03:59	Mw6.2
4	1997年3月鹿児島県北西部地震	1997/03/26, 17:31	Mw6.1
5	2003年宮城県北部地震	2003/07/26, 07:13	Mw6.1
6	1996年宮城県北部(鬼首)地震	1996/08/11, 03:12	Mw6.0
7	1997年5月鹿児島県北西部地震	1997/05/13, 14:38	Mw6.0
8	1998年岩手県内陸北部地震	1998/09/03, 16:58	Mw5.9
9	2011年静岡県東部地震	2011/03/15, 22:31	Mw5.9
10	1997年山口県北部地震	1997/06/25, 18:50	Mw5.8
11	2011年茨城県北部地震	2011/03/19, 18:56	Mw5.8
12	2013年栃木県北部地震	2013/02/25, 16:23	Mw5.8
13	2004年北海道留萌支庁南部地震	2004/12/14, 14:56	Mw5.7
14	2005年福岡県西方沖地震の最大余震	2005/04/20, 06:11	Mw5.4
15	2012年茨城県北部地震	2012/03/10, 02:25	Mw5.2
16	2011年和歌山県北部地震	2011/07/05, 19:18	Mw5.0

検討方針

- 「震源を特定せず策定する地震動」は、震源と活断層を関連付けることが困難な過去の内陸地殻内地震について得られた震源近傍における観測記録を収集し、これらを基に敷地の地盤物性を加味した応答スペクトルを設定する。
- 観測記録の収集では、以下の2つの観点で審査ガイドに示された16地震を対象に整理を行う。
 - ① Mw6.5以上の地震(No.1,2)について、活断層の成熟度等の地域差の観点から対象の要否を判断
 - ② Mw6.5未満の地震(No.3~16)について、敷地に及ぼす影響が大きく信頼性の高い観測波が得られたものを対象として選定

2. 地震動・地震規模の算定式(耐専スペクトル、松田式)の 概要と、断層長さ69kmケース評価の保守性について



地震動・地震規模の算定式(耐専スペクトル、松田式)の概要



耐専スペクトルについて

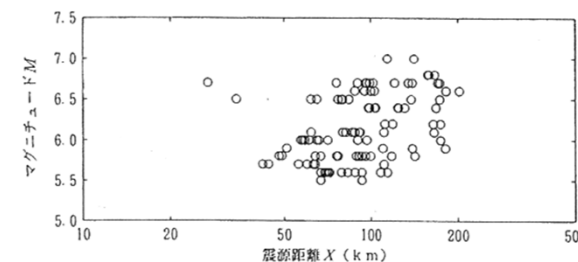
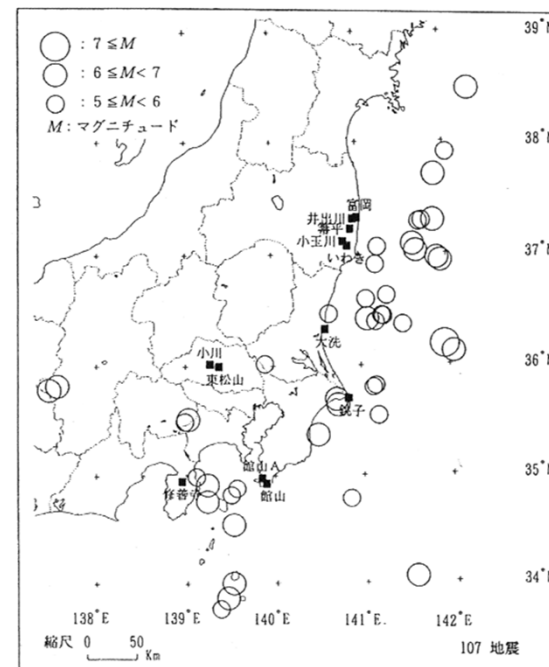
○耐専スペクトル※は、解放基盤表面相当における地盤特性が明らかな観測点のデータを回帰分析した距離減衰式に基づいており、地盤の特性に応じた地震動の応答スペクトルをより精度よく算定できる手法である。

※日本電気協会 原子力発電耐震設計専門部会(耐専)で策定されたスペクトル

○地震基盤における応答スペクトルは、マグニチュードMと等価震源距離 X_{eq} を用いて算出される。

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	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 その他特徴	<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 ・水平動、鉛直動を評価可能 	
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 X_{eq} ※ ² の範囲	28~202km	
データベースにおける地盤種別	$500 \leq V_s \leq 2700 \text{ m/s}$ $(1700 \leq V_p \leq 5500 \text{ m/s})$	
備考	【適用性の確認に用いたデータ】	
	<table border="0"> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> ・国内23記録 ・M : 5.4~7.7 ・X_{eq}: 17~218km </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ・海外14記録 ・M : 5.7~8.1 ・X_{eq}: 14~76.9km </td> </tr> </table>	<ul style="list-style-type: none"> ・国内23記録 ・M : 5.4~7.7 ・X_{eq}: 17~218km
<ul style="list-style-type: none"> ・国内23記録 ・M : 5.4~7.7 ・X_{eq}: 17~218km 	<ul style="list-style-type: none"> ・海外14記録 ・M : 5.7~8.1 ・X_{eq}: 14~76.9km 	



【伊方サイト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。

※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

耐専スペクトルについて

○等価震源距離について

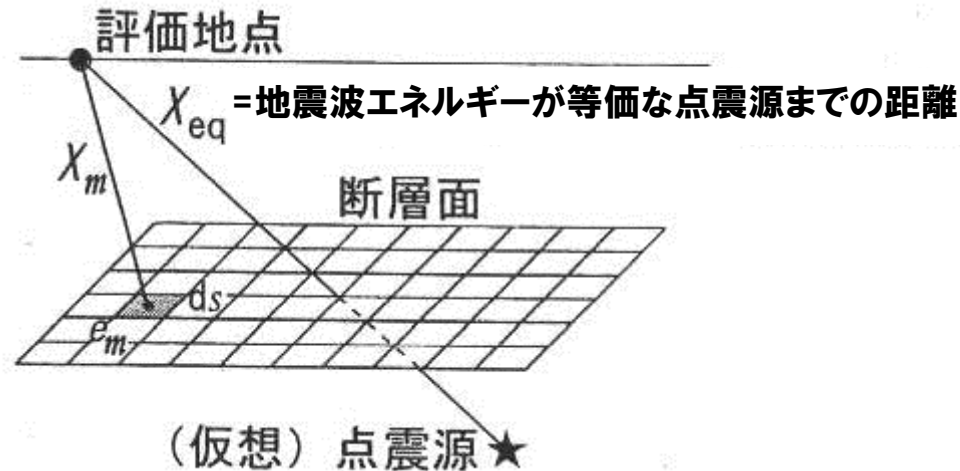
耐専スペクトルでは断層面の面的な拡がりの効果を等価震源距離 X_{eq} で考慮

$$X_{eq}^{-2} = \int e_m X_m^{-2} ds / \int e_m ds$$

X_m : 観測点から断層面の各微小領域 m への距離 (km)

e_m : 断層面上の各微小領域 m からの地震波エネルギーの相対的放出分布

ds : 断層面の微小領域 m の面積 (km^2)



耐専スペクトルについて

○地震基盤における応答スペクトル

耐専スペクトルは、地震基盤における水平動の応答スペクトルを8つのコントロールポイントで定義する手法である。

コントロールポイントは、周期 T (s)と擬似速度応答スペクトル $pSv(T)$ により定まり、代表的な値として右表が示されている。

任意のマグニチュード M と等価震源距離 X_{eq} (km)に対してコントロールポイントの値を求めるには、まず $\log_p S_V$ を M によって補正し、ついでこれを $\log X_{eq}$ によって補正して求める。

右表A～Hの各周期に対するコントロールポイントを求め、両対数の横軸に周期、縦軸に求めたコントロールポイントをプロットし、各ポイントを直線で結び、応答スペクトルを策定する。

○耐専スペクトルの適用範囲

耐専スペクトルの作成に用いた観測記録の範囲は $M=5.5\sim 7.0$ 、 $X_{eq}=28\sim 202$ km、震源深さ60km以浅であり、耐専スペクトルの適用性確認に用いた観測記録の範囲は $M=5.4\sim 8.1$ 、 $X_{eq}=14\sim 218$ km、震源深さ60km以浅である。

また、 $M>8.0$ については、理論的検討によって外挿し、 $M=8.5$ までの地震動評価に供するようになっているものである。

このため、耐専スペクトルは、右表のコントロールポイントが示されている極近距離までは適用可能と考えられる。

地震基盤における水平地震動のコントロールポイント

領域	M	X_{eq} (km)	コントロールポイントの座標 pSv (cm/s)							
			A	B	C	D	E	F	G	H
			T_A (s)	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)	T_E (s)	T_F (s)	T_G (s)	T_H (s)
			0.02	0.09	0.13	0.30	0.60	1.00	2.00	5.00
極近距離	8.5	40	1.62	18.44	27.32	47.87	68.05	64.66	53.52	40.06
	8	25	1.69	20.05	28.96	48.22	67.80	65.25	52.51	38.35
	7	12	1.40	17.20	24.84	33.86	43.42	36.42	25.15	17.85
	6	6	1.04	12.82	18.51	21.84	23.17	17.41	9.64	3.88
近距離	8.5	80	0.73	7.36	11.43	22.92	34.79	32.58	27.60	21.96
	8	50	0.67	7.45	11.17	20.05	28.65	27.06	22.70	17.19
	7	20	0.78	9.44	13.64	19.10	24.83	20.69	14.46	10.37
	6	8	0.77	9.45	13.65	16.23	17.18	12.73	7.16	2.89
中距離	8.5	160	0.26	2.22	3.67	9.45	15.17	14.83	13.64	12.26
	8	100	0.32	3.08	4.86	10.27	16.04	14.96	12.73	10.37
	7	50	0.23	2.65	4.01	6.02	7.64	6.68	4.87	3.64
	6	25	0.21	2.49	3.60	4.54	4.84	3.98	2.07	0.86
遠距離	8.5	200	0.18	1.44	2.43	6.87	11.17	11.17	10.67	10.04
	8	200	0.10	0.80	1.35	3.82	6.21	6.21	5.93	5.58
	7	125	0.046	0.43	0.70	1.34	1.81	1.59	1.26	1.05
	6	78	0.041	0.45	0.65	0.95	1.03	0.80	0.49	0.22

pSv の値は、減衰定数5%の擬似速度応答スペクトルの絶対値

[原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-2008(日本電気協会)より]



耐専スペクトルについて

○震源近傍における破壊伝播効果の考慮

震源近傍では、断層破壊の伝播と震源メカニズムの影響により、破壊の進行方向で断層走向と直行する水平地震動成分が長周期で大きくなる効果が指摘されており、この効果については次式の $\lambda(T)$ を乗ずることでスペクトルの補正が可能である。

$$\lambda(T) = \begin{cases} 1 & (T \leq T_D) \\ 10^{\log(2.5) \times \log(T/T_D) / \log(T_H/T_D)} & (T_D \leq T) \end{cases}$$

※ $T_D=0.3$ 秒, $T_H=5$ 秒

[原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-2008(日本電気協会)より]

○内陸地震に対する補正(低減補正)

内陸地震に適用する際には、地震基盤における水平地震動 $S_b(T)$ に対して下表に示す補正係数を乗じることで、地震動の平均的な特性をより正確に表すことができる。

周期	A	E	H
	$T_A(s)$	$T_E(s)$	$T_H(s)$
	0.02	0.6	5.0
補正係数	0.6	0.6	1.0

上記の周期間の補正係数は両対数軸で直線補間により与える。

[原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-2008(日本電気協会)より]



松田(1975)について

○日本で発生した内陸地震の断層長さLと地震規模Mの関係から下記の回帰式を示した。

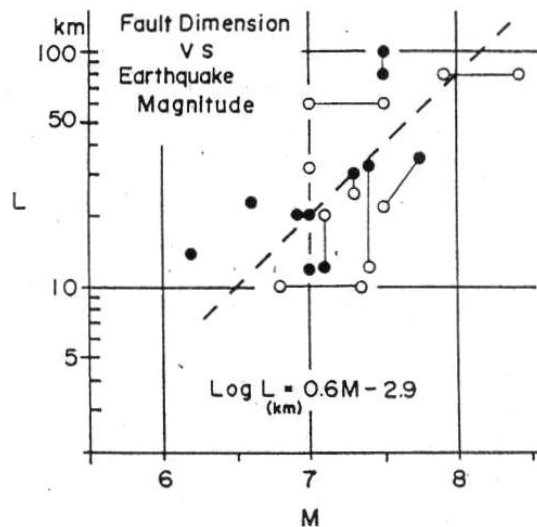
$$\log L(\text{km}) = 0.6M - 2.9$$

○回帰に用いたデータを下表に、回帰結果を下図に示す。

○松田(1975)による断層長さLと地震規模Mの関係は、長さが80km以下のデータに基づいて求められたものであるため、長さ80kmの時に地震規模は最大となり、それよりも長い断層に対しては適用範囲外である。

(参考文献: 全国地震動予測地図 技術報告書(2009))

図：回帰結果



表：回帰に用いたデータ

Table 1. Earthquake magnitude, fault length and fault displacement in historic earthquakes in Japan (inland).

Earthquake			Fault				
Year	Location	M	Name	Length (km)	Displacement (m)	Ref*	**
1891	Nobi	8.4 (7.9)	Neodani, etc.	80	8	1)	○
1894	Shonai	7.3 (6.8)	Yadarezawa	10	1	2)	○
1896	Riku-U	7.5 (7.0)	Sonya Kawafune	60 15	3 2	2)	○
1927	Tango	7.5	Gomura, etc. Yamada	18 7.5	2.5 0.8	2)	○
		7.75		L=22 35	3	3)	●
1930	N-Izu	7.0	Tanna, etc. Himenoyu	30 6	3.3 1.2	2)	○
				L=32			
1931	W-Saitama	7.0		20	1	4)	●
1943	Tottori	7.4	Shikano Yoshioka	8 4.5	1.5 0.9	2)	○
				L=12 33	2.5	3)	●
1945	Mikawa	7.1	Fukozu Yokosuka	9 7	2 0.6	2) 5)	○
				L=20 12	2.2	6)	●
1948	Fukui	7.3		25 30	2.3 2.5	2) 3)	○
							●
1961	N-Mino	7.0	Koike-Hatogayu	12	2.5	7)	●
1963	Echizen-misaki	6.9		20	0.6	4)	●
1964	Niigata	7.5 7.4			9 4	8) 9)	○
				100			●
1969	C-Gifu	6.6		23	0.7	10)	●
1970	S-Akita	6.2		14	0.65	11)	●

Gothic figures are used in Fig. 1.

* Reference: 1) MATSUDA (1974a), 2) YONEKURA (1972), 3) KANAMORI (1973), 4) ABE (1974), 5) INOUE (1950), 6) ANDO (1974), 7) KAWASAKI (1975), 8) MOGI, et al. (1964), 9) AKI (1966), 10) MIKUMO (1973), 11) MIKUMO (1973).

** ○: values of surface faulting, ●: values obtained from seismological or geodetic data.

【データセット】

日本で発生した14個の内陸地震

- 1891~1970年
- M6.2~8.4
- データセットの断層長さには地表の値と震源断層の値が混在する
- マグニチュードは気象庁マグニチュードに相当すると考えられている

【回帰】

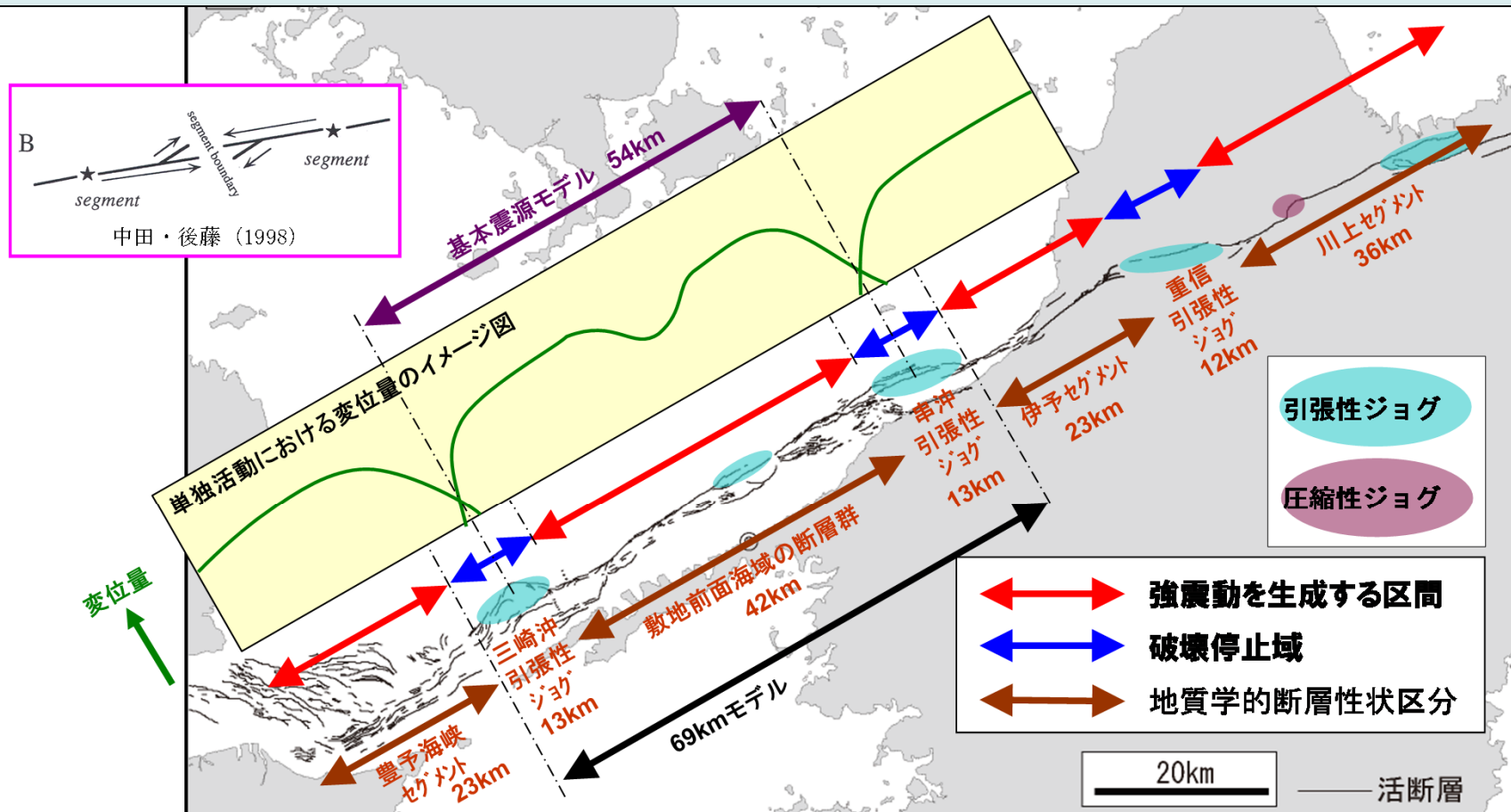
Mの係数と常数は、上図から、M8の地震ではL=80km, M7ではL=20kmとして決定

断層長さ69kmケース評価の保守性について



69kmモデルについて

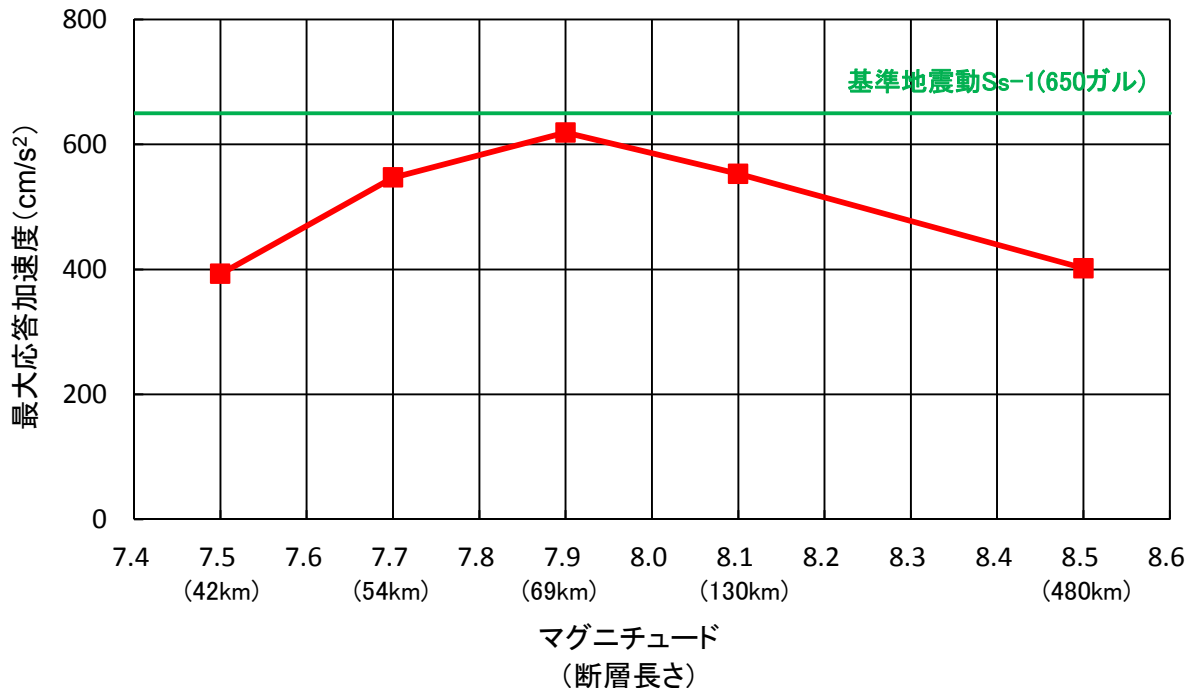
- 地質学的に評価される前面海域断層本体の長さは42km。
- その両端にはジョグが存在する。
- ジョグは破壊が停止する領域であり、変位量が低減する。
- そして引張性ジョグでは断層が分岐して対置する構造がみられ、中田・後藤(1998)はセグメント境界を推定する有力な指標としている。
- そこで、単独の活動としては、連動も考慮することを前提として、両端のジョグのほぼ中心から中心までの54kmを基本震源モデルとした。
- 69kmモデルはジョグの変位量が大きい(ジョグで変位量が低減しない)モデルを想定することになる。
- これはジョグで破壊が停止せず、隣のセグメントに破壊が伝播(連動)することを意味する。
- その場合の断層長さは80km以上となり、松田式の適用範囲を超える。
- 以上より、69kmモデルは地質学的に想定しがたいモデルであるものの、松田式の適用範囲内で地震規模が最大となること及び耐専スペクトルの特徴(地震規模と等価震源距離の関係)を踏まえ、保守的な観点に立ち応答スペクトル手法による検討を行ったものである。



耐専スペクトルによる評価結果について

- 地震動評価における想定ケースとしては、敷地前面の長さ54kmに加え、地震本部の知見を踏まえた長さ130kmおよび480kmの連動ケースを設定している。さらに、耐専スペクトルの地震規模Mと等価震源距離 X_{eq} の関係を踏まえ、想定ケースに設定していない長さ69kmについても検討を行っている。
- 耐専スペクトルにより求まる最大加速度と地震規模の関係を以下の図に示す。
- 松田式による適用範囲内となるモデルのうち、セグメントの考え方を考慮すると、地震規模が最大となる69kmモデル(M7.9)が最も大きな地震動レベルを与える。それよりも断層が長くなると、等価震源距離も長くなることから、地震動レベルは小さくなるのが分かる。
- なお、仮に69kmモデルを超える断層長さが破壊した場合には、最大応答加速度が変動する可能性はあるものの、基準地震動 S_s-1 (650ガル)に影響を及ぼすような大きな変動はないと考える。

■耐専スペクトルにより求まる最大加速度と地震規模の関係



松田式を用いた地震規模の求め方

- ・松田式の適用限界である断層長さ80km以下となるようにセグメント区分する。
- ・各セグメントの断層長さLから、松田式 $[\log L(\text{km}) = 0.6M - 2.9]$ を用い、地震規模Mを算出する。
- ・各セグメントごとに求めた地震規模を合計し、断層全体の地震規模を算出する。

※地質学的に評価される42kmモデル(M7.5)についてもプロットした。

3. 基準地震動として賀祥ダム(監査廊)観測記録を 採用する妥当性について

2000年鳥取県西部地震における賀祥ダム観測記録の概要

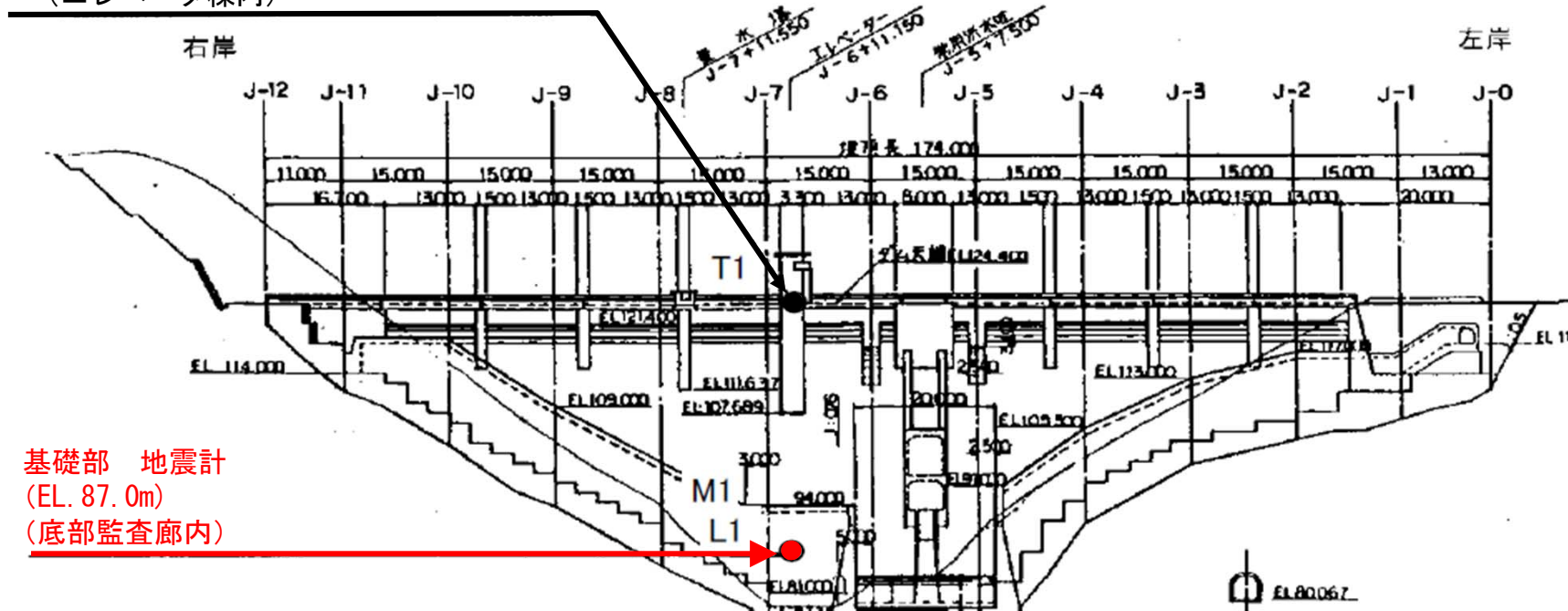
賀祥ダム地震計設置点の概要

○賀祥ダム堤体には、基礎部(監査廊内)と堤頂部(エレベータ棟内)の2箇所に地震計が設置されており、震源を特定せず策定する地震動に設定した賀祥ダムの観測記録は基礎部の地震計の記録である。

■賀祥ダム地震計 正面図

堤頂部 地震計
(EL. 124.4m)
(エレベータ棟内)

下流面図



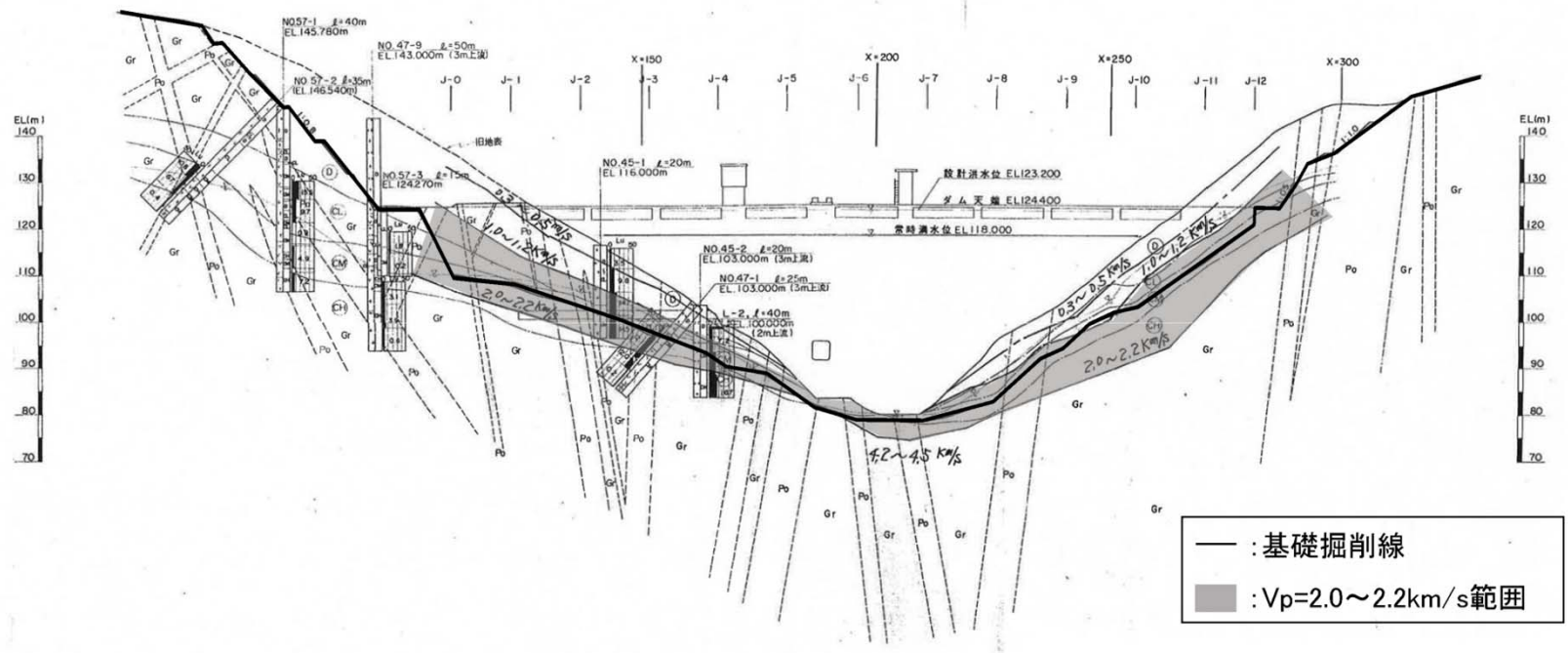
基礎部 地震計
(EL. 87.0m)
(底部監査廊内)



賀祥ダム基礎が設置されている地盤の速度構造

○賀祥ダムのダム基礎は、弾性波探査の結果によると、 $V_p=2.0\sim 2.2\text{km/s}$ (V_p と V_s の一般的な関係式からせん断波速度は $V_s=1.2\sim 1.3\text{km/s}$ 程度)の C_M 級岩盤に設置されている。

弾性波探査結果



弾性波速度と岩盤の関係

「鳥取県西部総合事務所」提供資料による

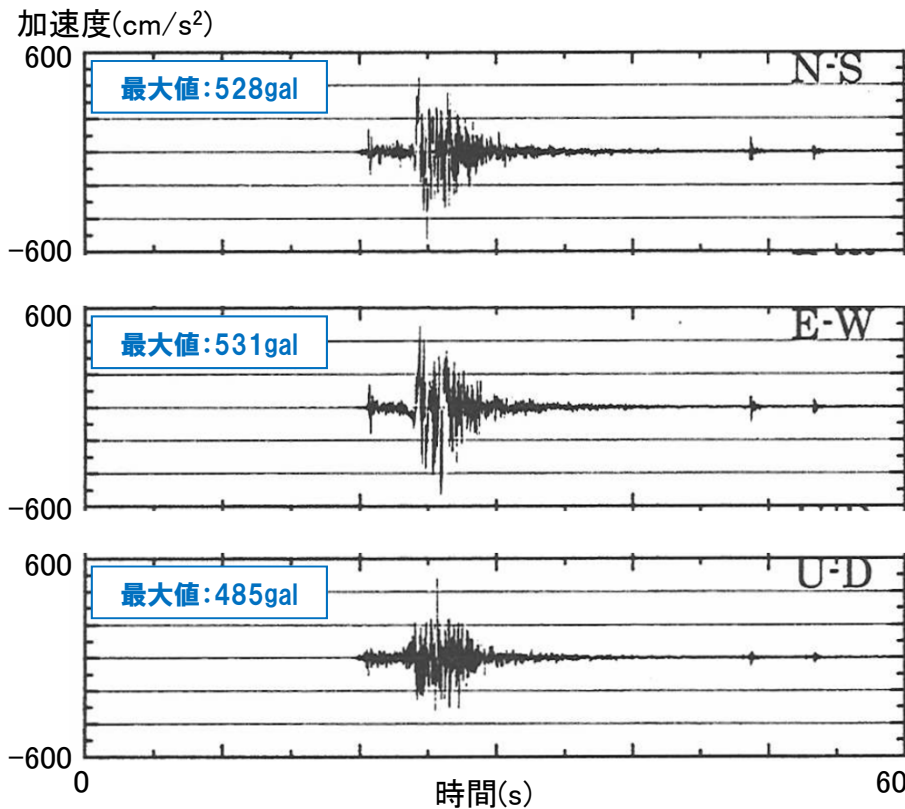
速度層名	速度 (km/sec)	層厚		岩級 区分
		左岸	右岸	
第1速度層	0.3~0.8	3~15	5~10	C_L
第2速度層	1.0~1.2	5~15	10~15	
第3速度層	2.0~2.2			C_M
第4速度層	3.6~4.5			C_H 以上

← ダム基礎が設置されている地盤の速度層

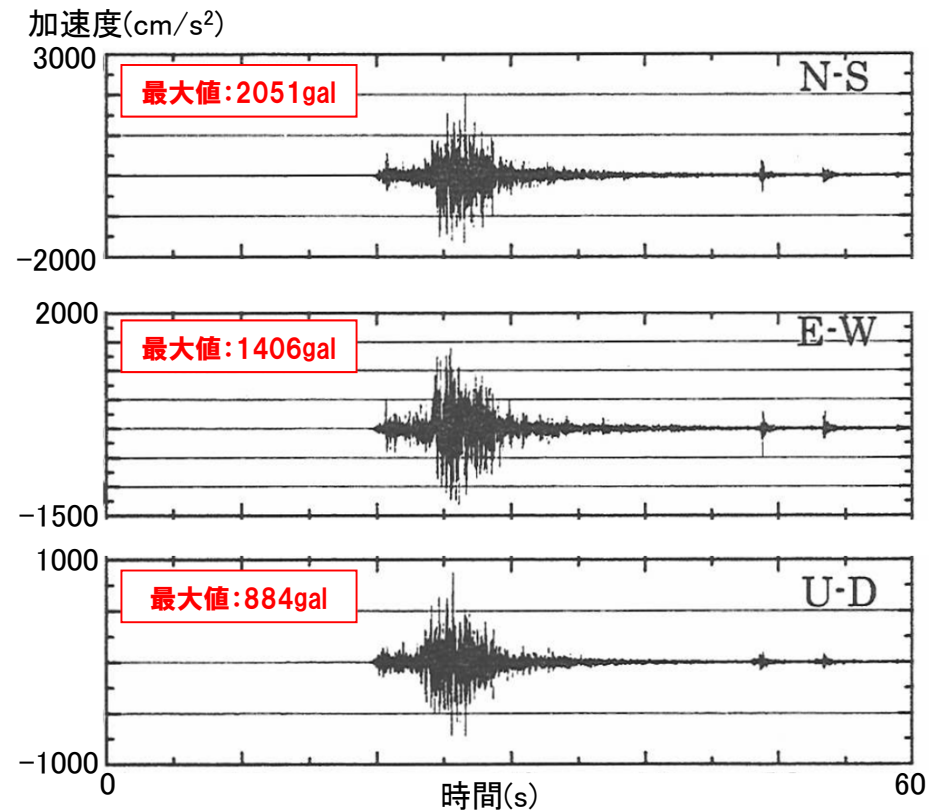
2000年鳥取県西部地震における賀祥ダムの観測記録

- 2000年鳥取県西部地震においては、賀祥ダムに設置されている基礎部(監査廊内)と堤頂部(エレベータ棟内)の地震計でそれぞれ観測記録が得られている。
- 堤頂部では最大で2051ガルという大きな加速度が観測されており、ダム構造物等の影響を受けて大きく増幅していると考えられるが、基礎部は最大でも531ガルであり堤頂部と比べて構造物の影響は少ないと考えられる。

■2000年鳥取県西部地震における賀祥ダム観測記録(加速度時刻歴波形)



基礎部(監査廊内)



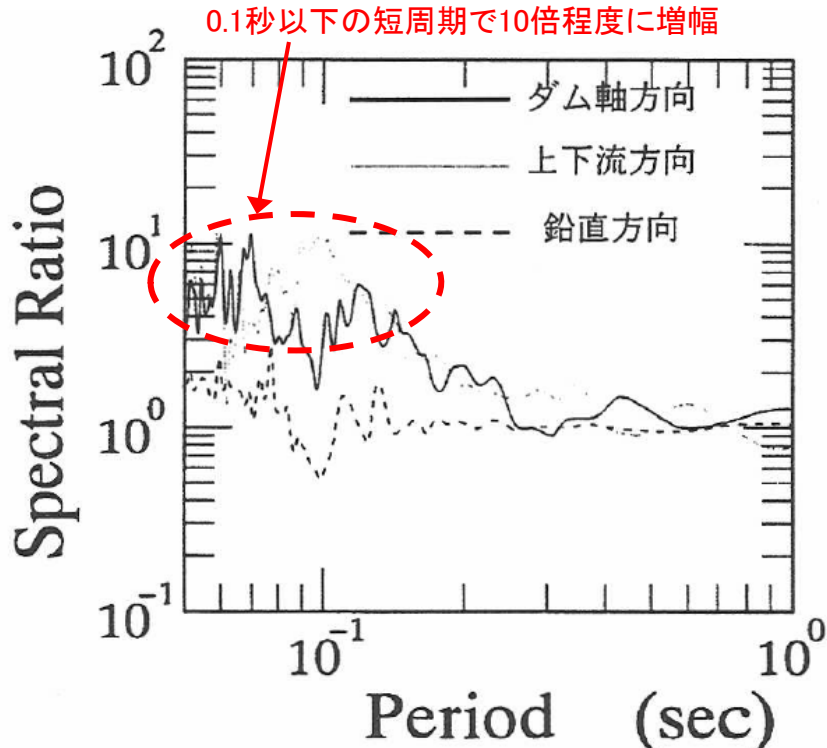
堤頂部(エレベータ棟内)



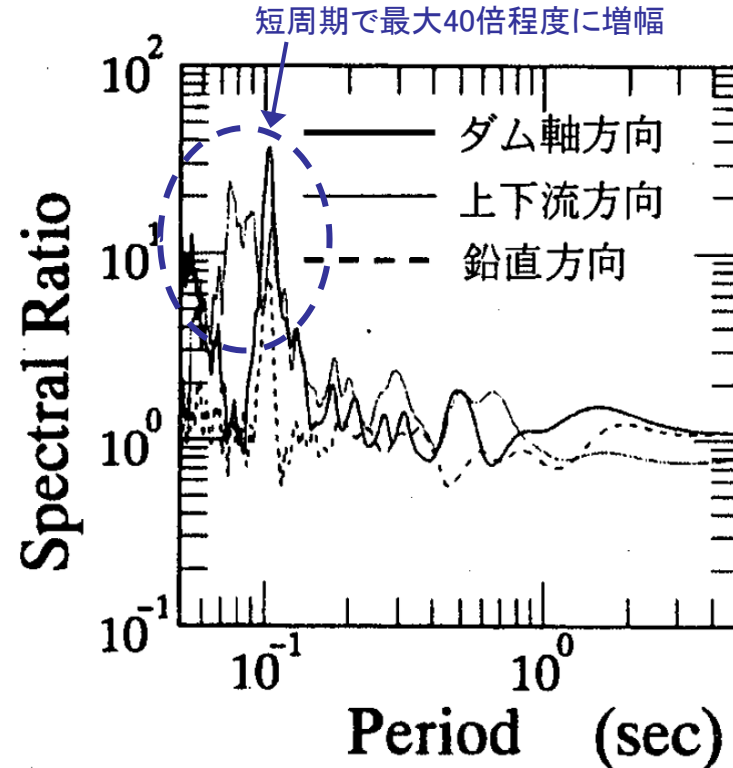
賀祥ダム堤頂部の観測記録に関する検討(ダム構造物等の影響)

- 大町・小島(2001)では、鳥取県西部地震本震による賀祥ダム基礎部と堤頂部(エレベータ棟内)の観測記録を用い、基礎部に対する堤頂部の増幅率を検討しており、「水平方向は0.1秒以下の短周期で最大10倍程度の増幅率を示すピークが多数あり、堤頂部の記録にダム以外の振動特性が混入している可能性がある」としている。
- また、ダムの基本振動特性を調べるために常時微動測定を実施し、基礎部に対する堤頂部の増幅率を検討しており、「強震記録と同様に短周期で大きい増幅率を示していることから、堤頂部での強震記録にはダム本体の揺れだけでなくエレベータ棟等の振動が混入している可能性が高い」としている。

■基礎部に対する堤頂部の増幅率(本震記録)



■基礎部に対する堤頂部の増幅率(常時微動記録)



**賀祥ダム基礎部(監査廊内)の観測記録を
岩盤相当の記録と判断する妥当性に関する考察**

賀祥ダム基礎部の観測記録を岩盤相当の記録と判断する妥当性について

- 地震観測記録から解放基盤表面の地震動を評価するにあたっては、信頼性の高い観測地点の地盤モデル等を用いたはぎとり解析を実施する必要がある。
- これは2000年鳥取県西部地震においても同様であり、賀祥ダム観測記録を用いたはぎとり解析においては地盤やダム構造物の影響を踏まえた解析を実施する必要があるが、同地点は信頼性の高い地盤モデルやダム構造物のモデルなど解析に必要な物性値が乏しいため、信頼性の高い解析は困難である。

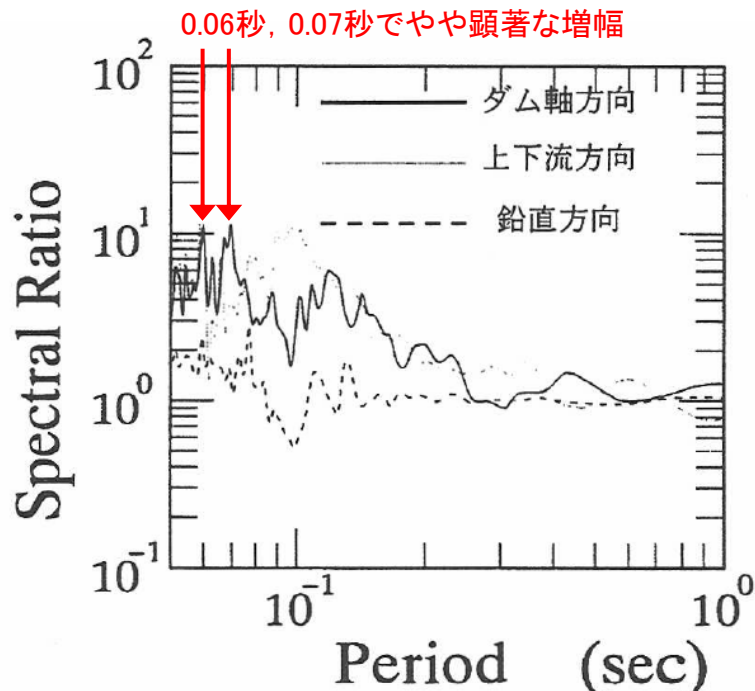
- これを踏まえ当社では、2000年鳥取県西部地震で得られた観測記録のうち、岩盤相当の記録と判断でき、かつ、敷地に及ぼす影響が大きいと考えられる記録として、賀祥ダムの基礎部(監査廊内)での記録を「震源を特定せず策定する地震動」に設定している。

- 以降では、2000年鳥取県西部地震の本震や余震記録を用いた検討等に基づき、賀祥ダムの基礎部の記録を岩盤相当の記録と判断する妥当性について説明する。

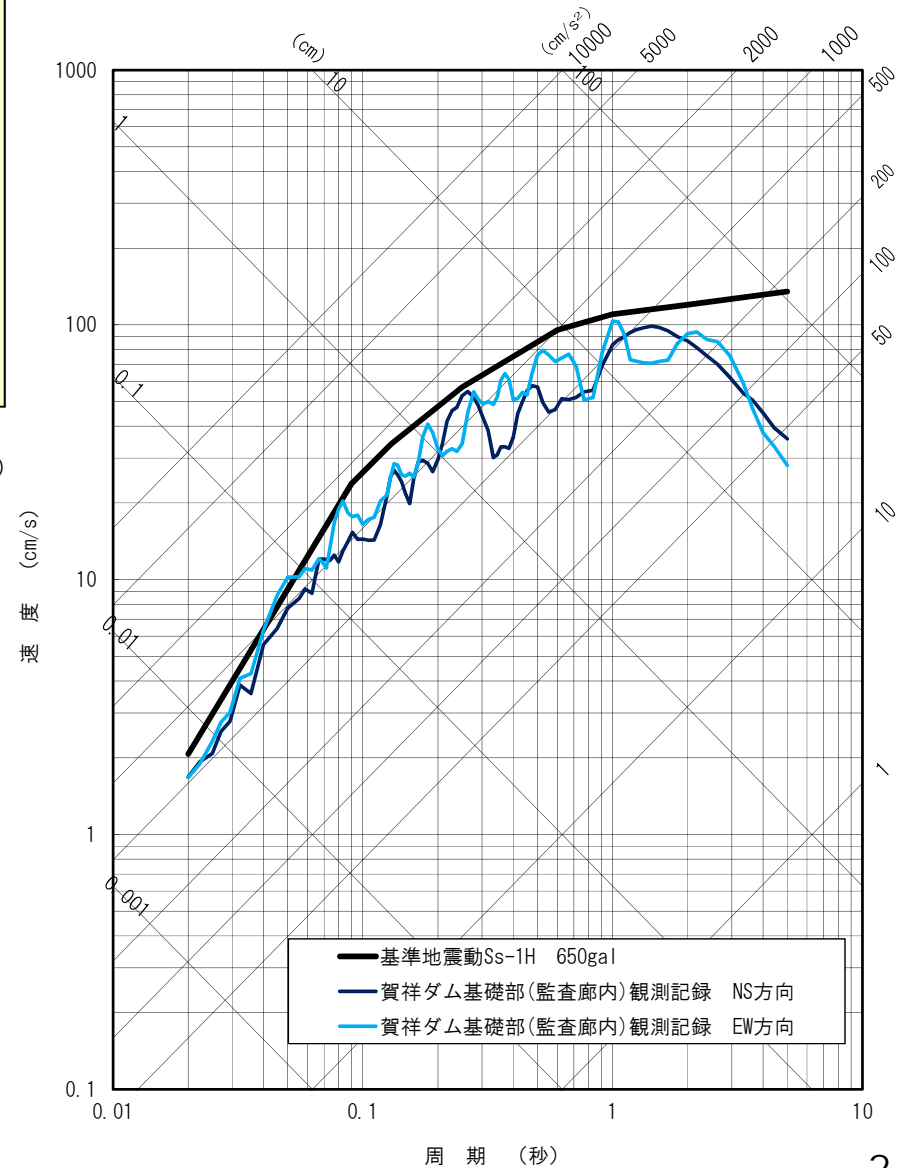
基礎部の地震動レベルに関する考察

- 前述した大町・小島(2001)による基礎部に対する堤頂部の観測記録の増幅率を見ると、周期0.06秒や0.07秒付近でやや大きめの増幅が確認できることから、同周期付近では、構造物等の影響を受けて基礎部の地震動レベルが小さくなっている可能性も考えられる。
- 基礎部の応答スペクトルを見ると、EW方向では同周期帯前後の地震動レベルと比較して若干小さい傾向にはあるものの、全周期帯の地震動レベルの傾向と比べて大きく減衰しているものではない。
- このため、その影響度は小さく、基準地震動の策定には影響はないものと考えられる。

■基礎部に対する堤頂部の増幅率(本震記録) ※大町・小島(2001)



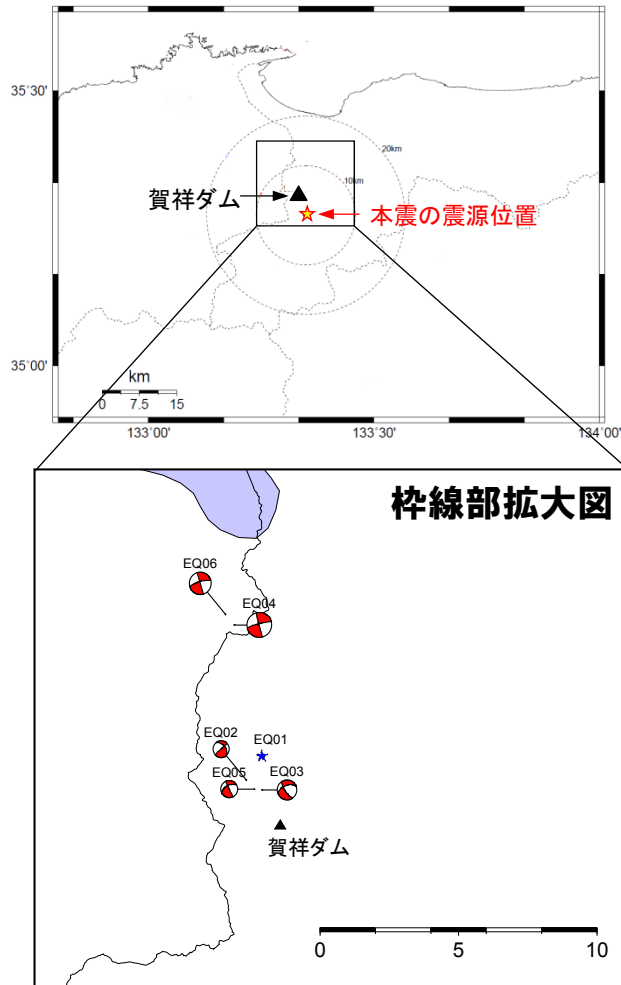
■2000年鳥取県西部地震における賀祥ダム基礎部観測記録の応答スペクトル



地盤の非線形化に関する考察

- 基礎部の観測記録について、地盤の非線形化の影響が見られるか確認するため、2000年鳥取県西部地震の本震記録と6つの余震記録の観測記録に基づくH/Vスペクトルを比較する。
- 本震および余震のH/Vスペクトルを比較すると、概ね同様の結果となっていることから、本震時の基礎部の観測記録には地盤の非線形化の影響は見られない。

■検討対象地震の震央分布



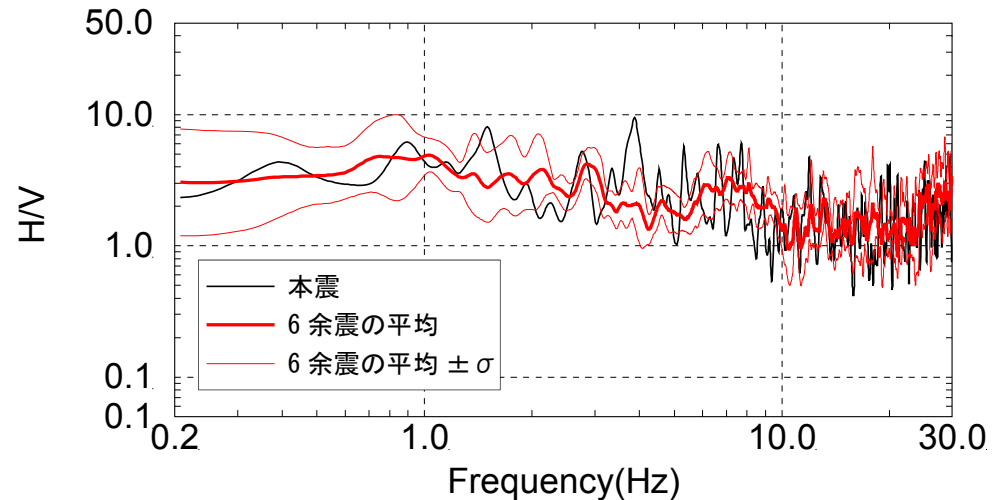
■検討対象地震の諸元

出典: 国総研資料 第734号 国土交通省所管ダムの地震観測記録

ID	発生時刻						震央緯度		震央経度		深さ (km)	Mj	Mw*
	年	月	日	時	分	秒	度	分	度	分			
本震	2000	10	6	13	30	17.94	35	16.45	133	20.94	8.96	7.3	6.6
EQ01	2000	10	6	21	28	59.89	35	19.56	133	19.30	6.75	3.8	
EQ02	2000	10	7	12	14	23.58	35	19.10	133	18.93	6.43	3.3	3.3
EQ03	2000	10	7	18	32	11.44	35	18.90	133	19.31	7.53	4.0	3.9
EQ04	2000	10	8	20	51	17.10	35	22.13	133	18.64	8.30	5.2	5
EQ05	2000	10	10	2	26	16.80	35	18.92	133	19.12	5.97	3.3	3.4
EQ06	2000	10	10	21	57	59.53	35	22.34	133	18.43	9.86	4.4	4.4

* F-netの震源メカニズムに基づく

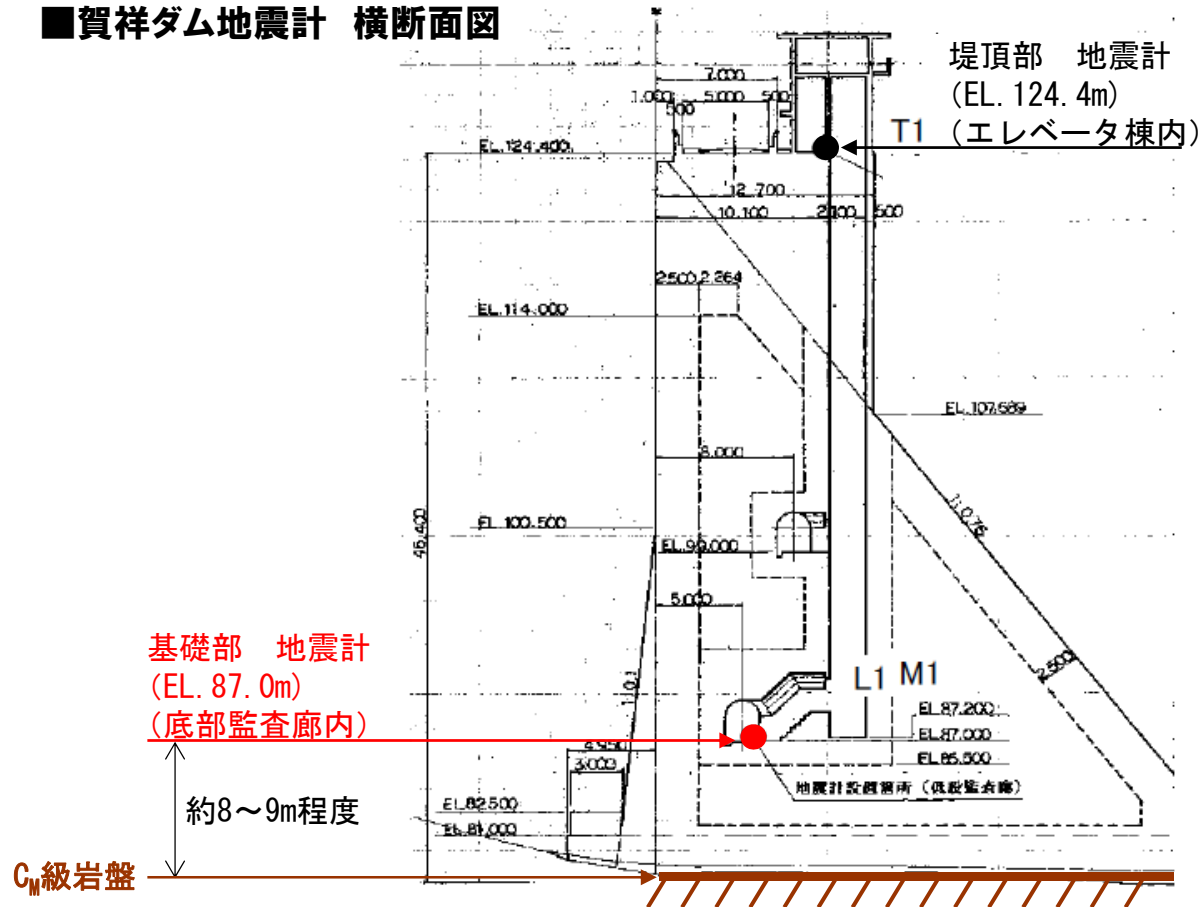
■H/Vスペクトルの比較



基礎部地震計と岩盤の位置関係を踏まえた考察

- 基礎部の地震計は約8～9m程度のコンクリート基礎を介してC_M級岩盤の直上に設置された構造であり、この地震計による観測記録は岩盤とほぼ同様の挙動を示していると考えられる。
- また、鳥取県西部地震における基礎部の観測記録は、余震記録を用いた検討により地盤の非線形化の影響が見られないことから、岩盤相当の記録とみなせると考えられる。

■賀祥ダム地震計 横断面図

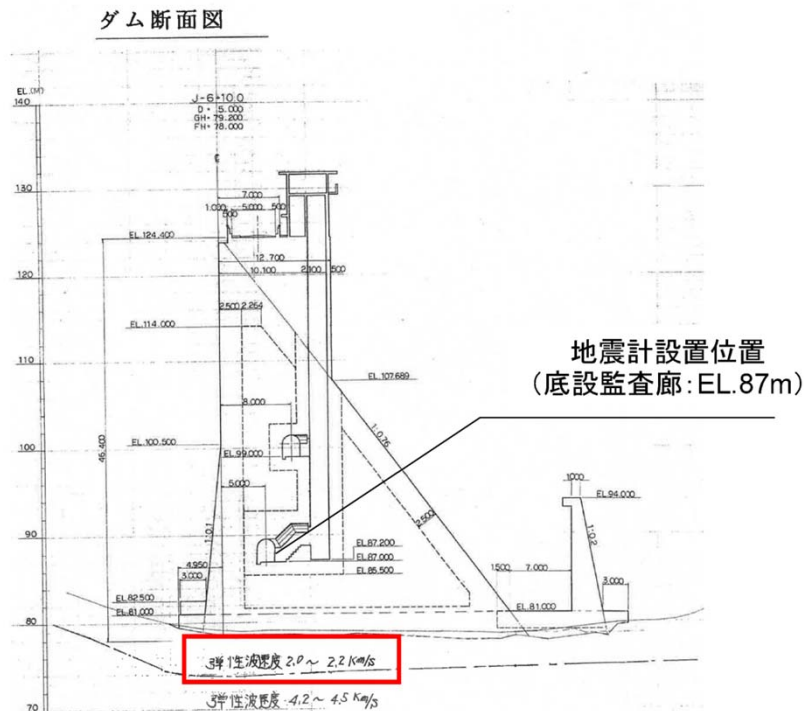


賀祥ダムと伊方発電所の地盤条件の比較

地盤条件の比較

- 賀祥ダム堤体は、基礎岩盤として $V_p=2.0\sim 2.2\text{km/s}$ の C_M 級岩盤に設置されており、 V_p と V_s の一般的な関係式から、せん断波速度は $V_s=1.2\sim 1.3\text{km/s}$ 程度である。
- 一方、伊方発電所の原子炉建屋及びその周りの地盤は、 $V_s=2.6\text{km/s}$ の堅固な岩盤が十分な拡がりを持つていることが確認されている。
- 以上より、賀祥ダム監査廊の観測記録($V_s=1.2\sim 1.3\text{km/s}$ 程度)は、伊方発電所の解放基盤表面($V_s=2.6\text{km/s}$)と比較すると速度の遅い岩盤上の記録であるものの、保守的に観測記録をそのまま震源を特定せず策定する地震動に設定している。

■弾性波探査結果



ダム堤体底部は C_M 級岩盤に設置
 $V_p=2.0\sim 2.2\text{km/s}$

V_p と V_s の一般的な関係式から、
ダム堤体底部のせん断波速度は
 $V_s=1.2\sim 1.3\text{km/s}$ 程度

伊方発電所の解放基盤表面の
 $V_s=2.6\text{km/s}$ と比較すると速度が遅い

保守的に観測記録をそのまま採用

まとめ

- 2000年鳥取県西部地震においては、賀祥ダムに設置されている基礎部(監査廊内)と堤頂部(エレベータ棟内)の地震計でそれぞれ観測記録が得られており、基礎部では最大で531ガルを記録しているのに対し、堤頂部では最大で2051ガルという非常に大きな加速度が観測されている。
- 大町・小島(2001)では、2000年鳥取県西部地震の本震記録および常時微動測定記録を用い、賀祥ダム基礎部に対する堤頂部の増幅率を検討しており、短周期で大きい増幅率を示していることから、堤頂部の記録にはダム本体の揺れだけでなくエレベータ棟等の振動が混入している可能性が高いとしている。

⇒堤頂部の地震計の観測記録を岩盤相当の記録とみなすことは難しいと判断される。

- 賀祥ダム基礎部に対する堤頂部の本震記録は周期0.06秒や0.07秒付近でやや大きめの増幅が確認でき、同周期付近は構造物等の影響を受けて基礎部の地震動レベルが小さくなっている可能性も考えられるが、同周期帯における基礎部の応答スペクトルを見ても、全周期帯の地震動レベルの傾向と比べて大きく減衰しているものではない。このため、その影響度は小さく基準地震動の策定には影響はないものと考えられる。
- 基礎部の観測記録について、鳥取県西部地震の本震記録と余震記録に基づくH/Vスペクトルを比較したところ、概ね同様の結果となっていることから、基礎部の本震記録には地盤の非線形化の影響は見られない。
- 基礎部の地震計は約8~9m程度のコンクリート基礎を介して岩盤の直上に設置された構造であり、この地震計による観測記録は岩盤とほぼ同様の挙動を示していると考えられる。

⇒基礎部の地震計の観測記録は岩盤相当の記録とみなせると考えられる。

- 賀祥ダム基礎部の観測記録($V_s=1.2\sim 1.3\text{km/s}$ 程度)は、伊方発電所の解放基盤表面($V_s=2.6\text{km/s}$)と比較すると速度の遅い岩盤上の記録である。

⇒保守的に観測記録をそのまま震源を特定せず策定する地震動に設定している。

本資料はご参考として平成26年12月24日の部会資料を抜粋したものです

資料 1 - 1 - 1 別添

伊方発電所3号機 基準地震動の策定について (耐震性能)

平成26年12月24日

四国電力株式会社

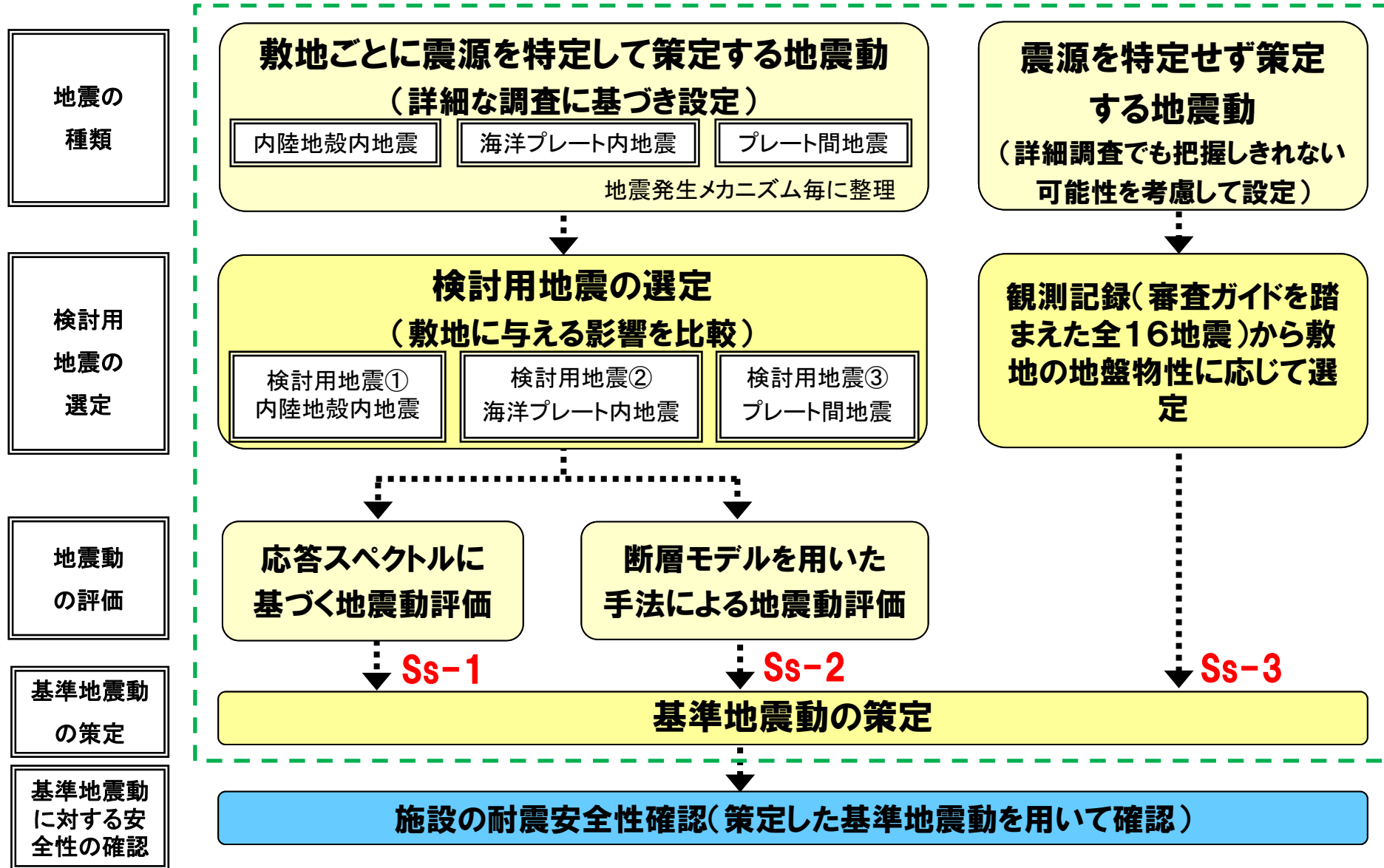
1. 耐震評価の流れ
2. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
 - 2-1. 検討用地震
 - 2-2. 内陸地殻内地震の地震動評価
 - 2-3. 海洋プレート内地震の地震動評価
 - 2-4. プレート間地震の地震動評価
3. 震源を特定せず策定する地震動
4. 基準地震動

参考:用語集

耐震評価の流れ

以下のフローにより，新規基準に準拠した基準地震動を策定し，施設の耐震安全性を確認する。

ご説明範囲



選定例:内陸地殻内地震

【敷地に影響を及ぼす地震のリストアップ】

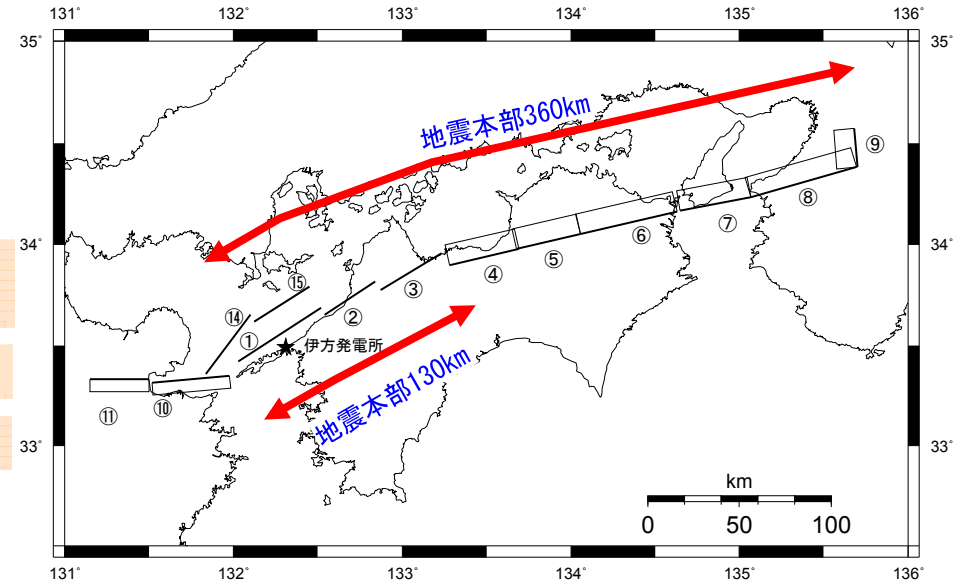
■ 主な被害地震

顕著な被害地震の記録は残っていないが、中央構造線が1596年9月の数日間に連鎖的に活動したとの指摘もある（岡田，2006）。

■ 当社の調査に基づく敷地周辺30km内の活断層

- ・ 敷地前面海域の断層群
(中央構造線断層帯 L=54km 断層最短距離 8km) ①
- ・ 宇和海F-21断層 (L=22km 断層最短距離 16km) ⑫
- ・ 五反田断層 (L=15km 断層最短距離 9km) ⑬

五反田断層は地質評価上の長さは2kmであるが、地震動評価上は、長さ15kmとした



■ 敷地から離れた主な活断層

<当社調査に基づくもの>

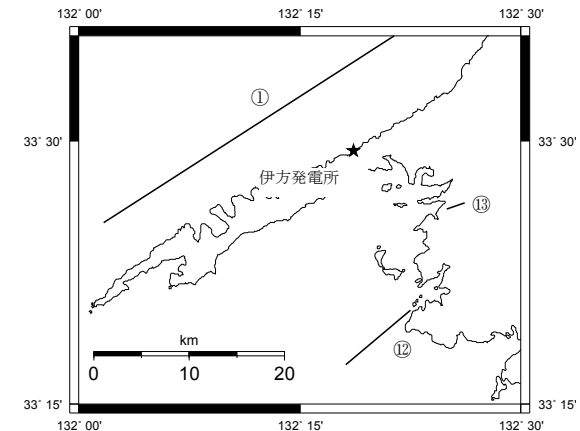
- ・ 伊予断層 (中央構造線断層帯 L=33km 断層最短距離 28km) ②

<その他機関での評価に基づくもの>

活断層の長期評価において、地震調査研究推進本部が評価結果を公表(2011)

- ・ 中央構造線断層帯 (金剛山地東縁-伊予灘 L=約360km) ①②③④⑤⑥⑦⑧⑨
- ・ 中央構造線断層帯 (石鎚山脈北縁西部-伊予灘 L=約130km) ①②③
- ・ 別府湾-日出生断層帯 (L=76km 断層最短距離 36km) ⑩⑪
- ・ 上関断層 (F-15) (L=48km 断層最短距離 32km) ⑭
- ・ 上関断層 (F-16) (L=32km 断層最短距離 22km) ⑮

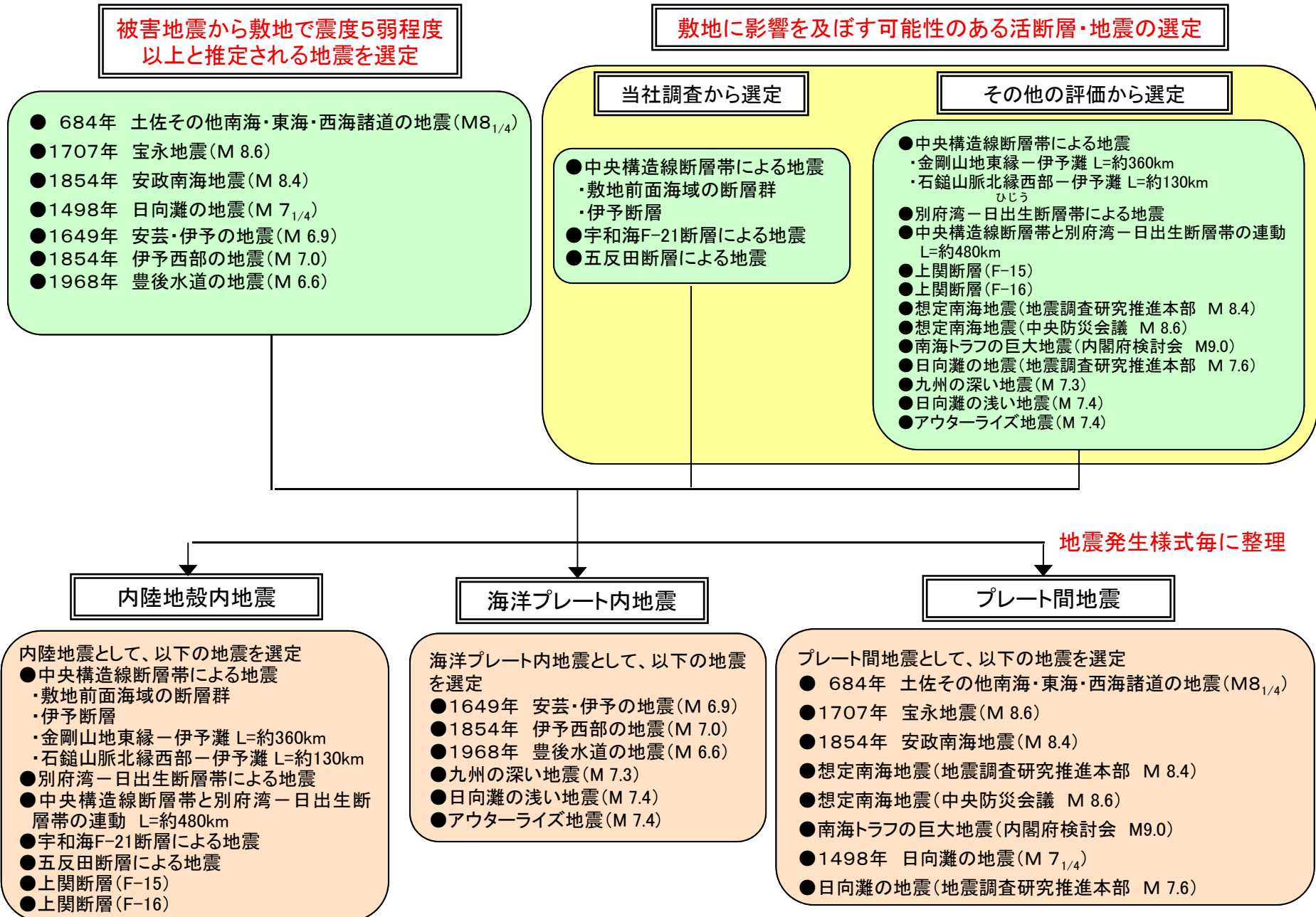
地震本部は中央構造線断層帯と別府湾-日出生断層帯が連動する可能性も言及



敷地周辺拡大図

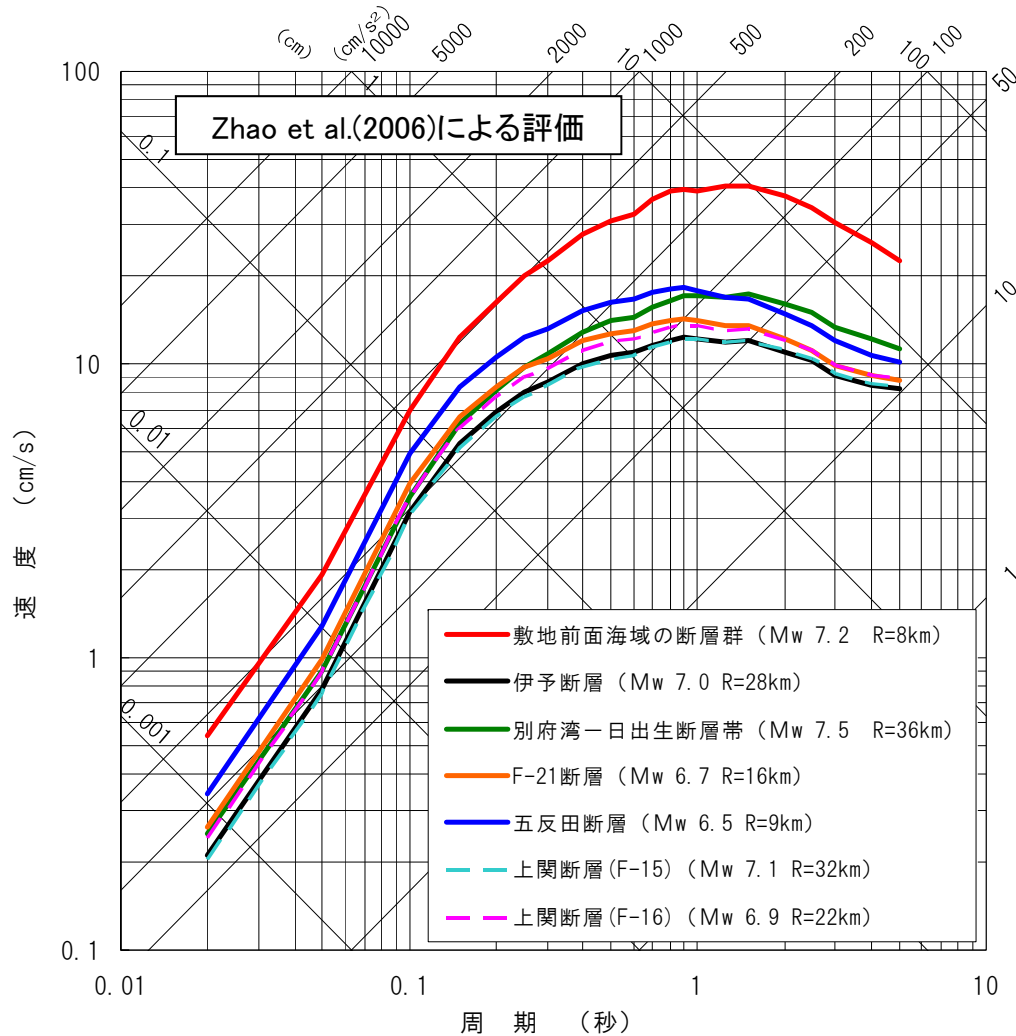
網掛けは敷地に影響を及ぼす可能性のある活断層

検討用地震選定の対象とした地震の整理



敷地への影響の度合いの比較例

【内陸地殻内地震】



R: 断層最短距離

地震規模は基本的に断層長さから松田式で設定する。

ただし五反田断層は、審査ガイドに示される「震源を特定せず策定する地震動」の考え方に鑑み、 $M_w 6.5$, $M_0 = 7.5 \times 10^{18} [N \cdot m]$ の地震規模を想定した。

中央構造線断層帯による地震は、敷地前面海域の断層群(L=54km)で代表させて検討



敷地前面海域の断層群 (L=54km) による地震が、五反田断層やF-21断層による地震など、他の敷地周辺の断層による地震と比較して、敷地により大きな影響を与えることを確認。



敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯)による地震
を検討用地震として選定



検討用地震の選定結果

内陸地殻内地震

:敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯)による地震

海洋プレート内地震

:1649年安芸・伊予の地震(M6.9)

プレート間地震

:南海トラフの巨大地震(M9.0 内閣府検討会 陸側ケース)

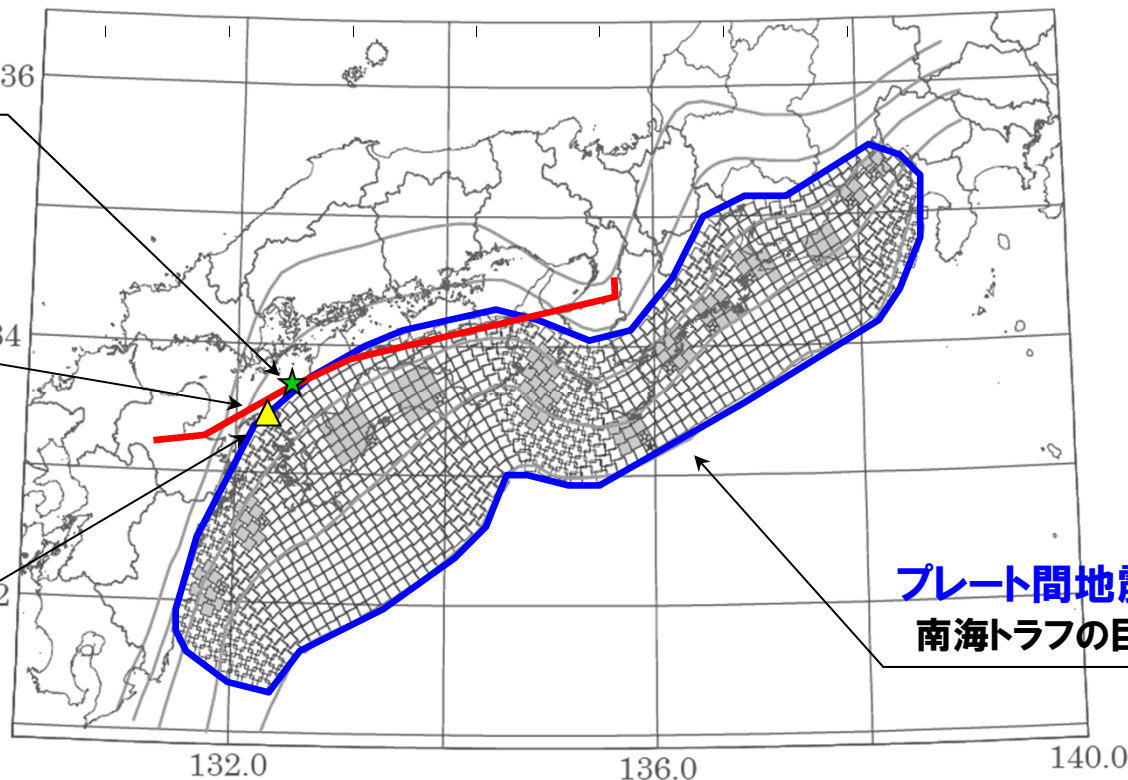
海洋プレート内地震

1649年安芸・伊予の地震 36

内陸地殻内地震

敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯)による地震 34

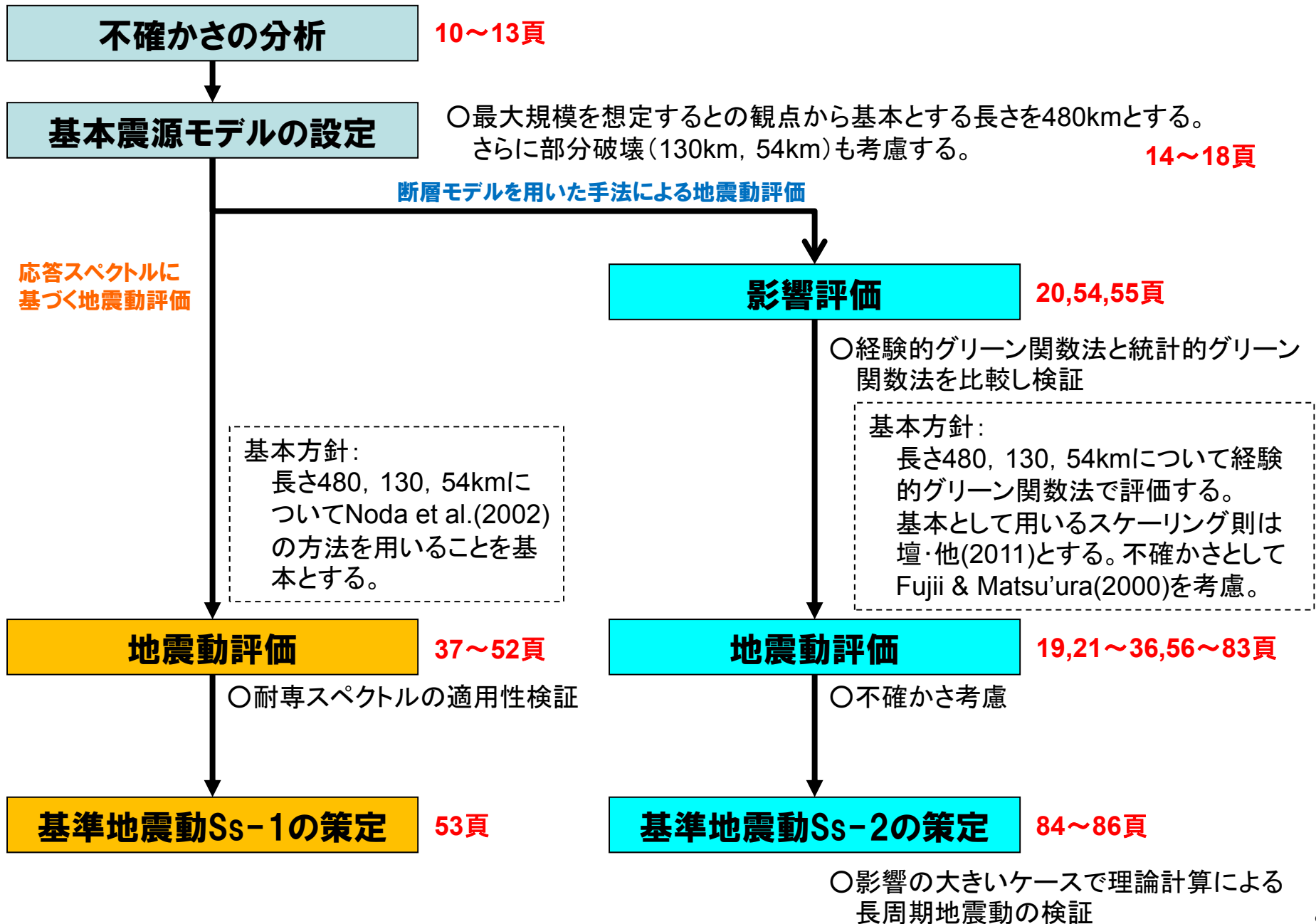
伊方発電所 32



プレート間地震

南海トラフの巨大地震

評価方針:敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯)による地震



地震動評価の基本方針

検討用地震の地震動評価は、「**応答スペクトルに基づいた地震動評価**」および「**断層モデルを用いた手法による地震動評価**」の双方を実施。

➤ 応答スペクトルに基づいた地震動評価手法について

- ・解放基盤表面における水平及び鉛直方向の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)が考慮できることから、Noda et al. (2002)の方法を用いることを基本とする。

➤ 断層モデルを用いた手法による地震動評価手法について

○内陸地殻内地震

- ・敷地で地震観測を実施しており、周期5秒程度まで信頼性のある観測記録が得られていることから、「**経験的グリーン関数法**」により評価を行うこととする。
- ・しかしながら観測記録は海洋プレート内地震であるため、「**統計的グリーン関数法**」でも評価し、「**経験的グリーン関数法**」と比較・検証することとする。

○海洋プレート内地震

- ・敷地で地震観測を実施しており、周期5秒程度まで信頼性のある観測記録が得られていることから、「**経験的グリーン関数法**」により評価を行うこととする。

○プレート間地震

- ・内閣府検討会と同じ「**統計的グリーン関数法**」で評価する。

基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド

平成25年6月19日 原子力規制委員会決定

基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド

地震動評価においては、震源特性(震源モデル)、伝播特性(地殻・上部マントル構造)、サイト特性(深部・浅部地下構造)における各種の不確かさが含まれるため、これらの不確かさ要因を偶然的な不確かさと認識論的不確かさに分類して、分析が適切になされていることを確認する。

→ガイドの記載に従って不確かさを分類し、不確かさとして考慮するもの、しないものの評価を行う

不確かさについては、以下のように解釈することとする。

○認識論的不確かさ：調査精度や知見の限界を要因とする不確かさ

①事前の調査や経験式等に基づいて平均モデルを特定できるもの

→ 不確かさを独立で考慮

②平均モデルを事前に特定し難いもの

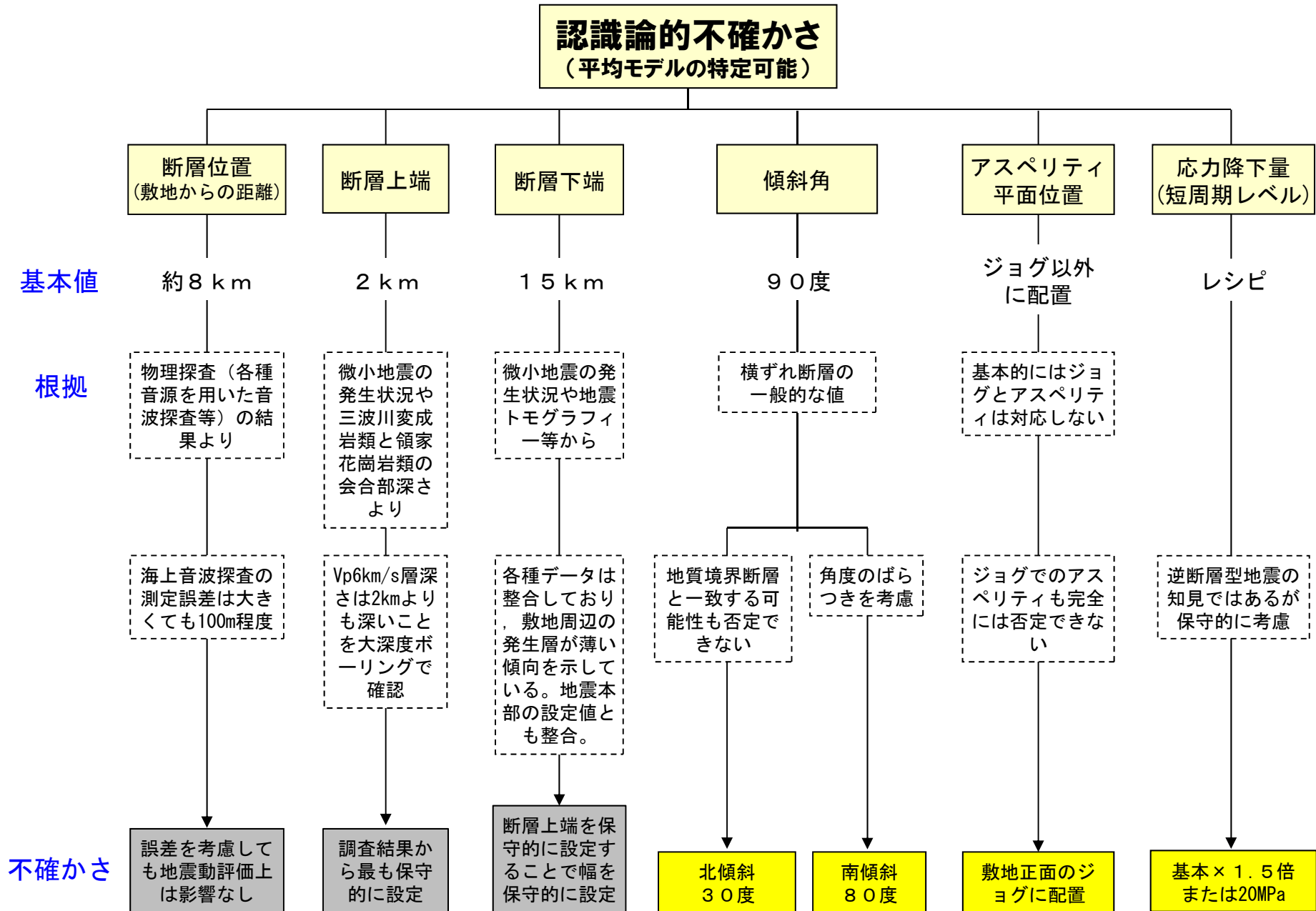
→ 不確かさを基本モデルに考慮(重畳)

○偶然的な不確かさ：地震発生時の環境に左右されて地震の度に変化する不確かさ(平均モデルを事前に特定困難)

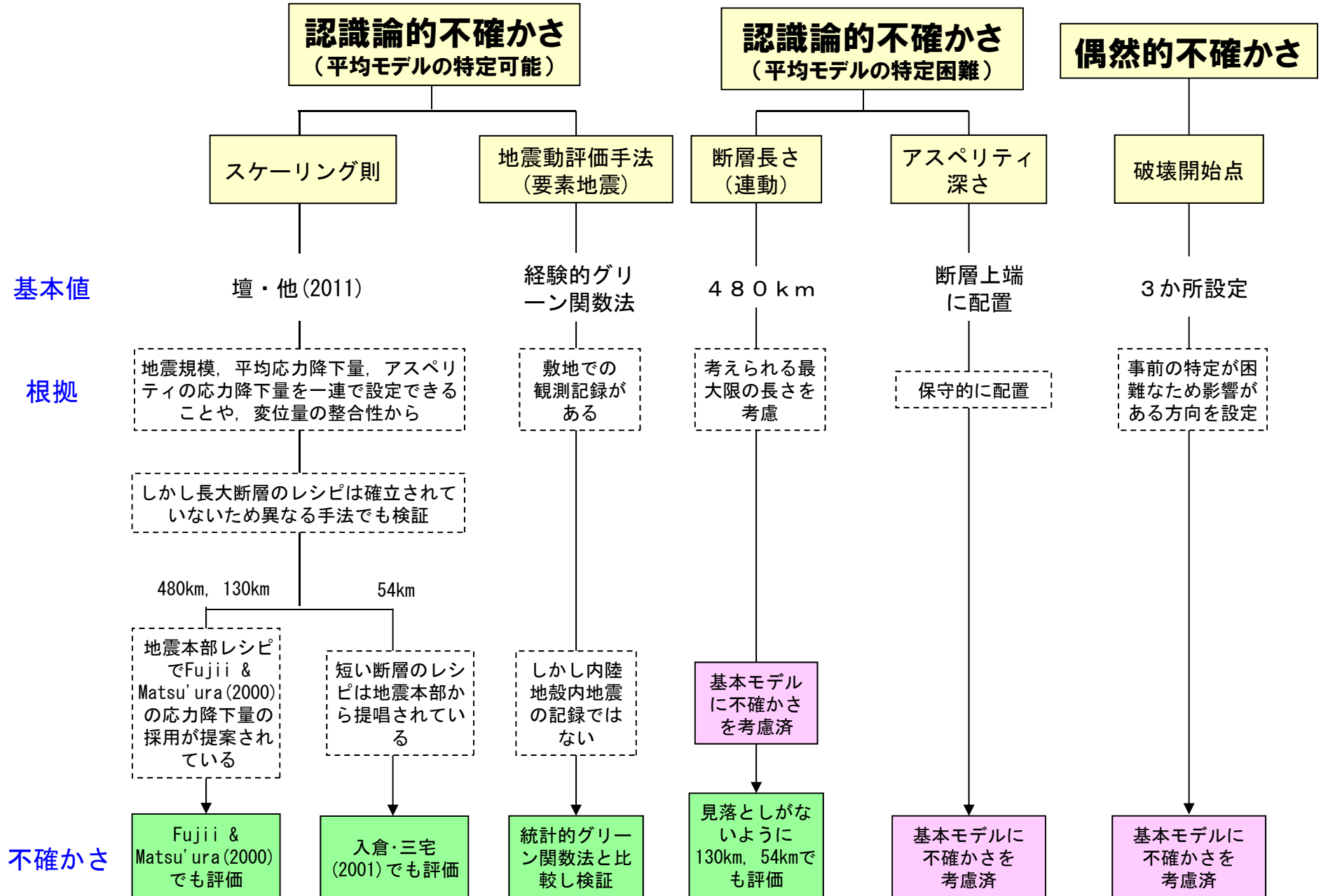
→ 不確かさを基本モデルに考慮(重畳)



震源特性(震源モデル)の不確かさ①

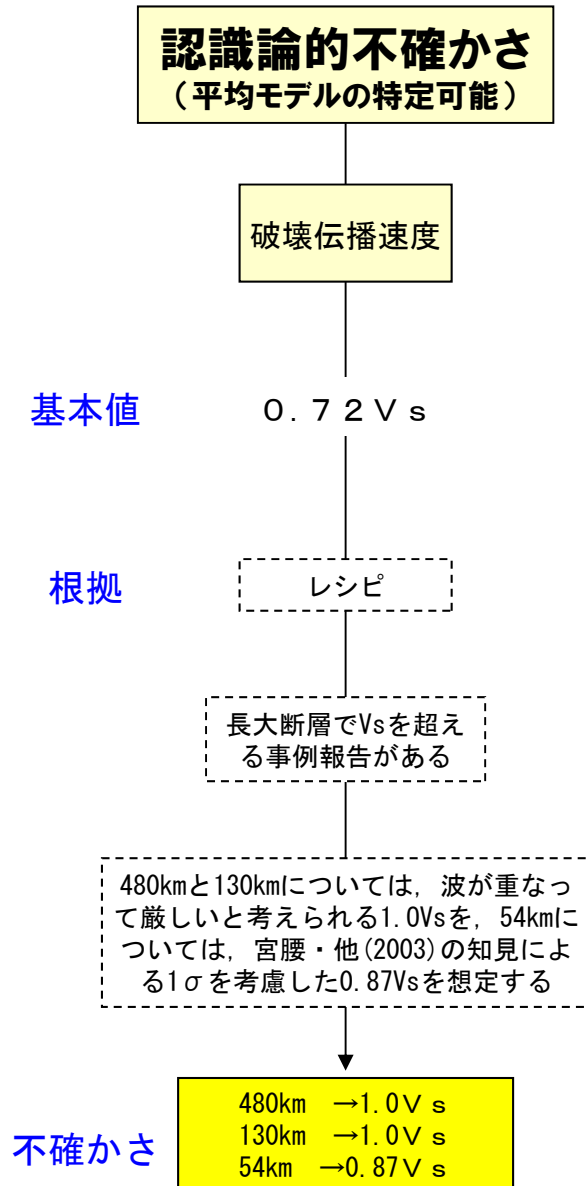


震源特性(震源モデル)の不確かさ②

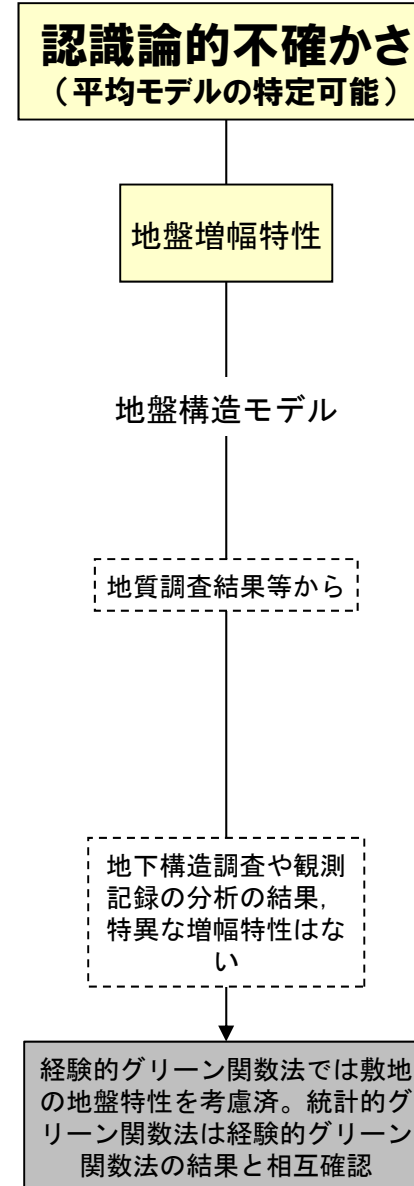


伝播特性およびサイト特性の不確かさ

伝播特性(地殻・上部マントル構造)の不確かさ



サイト特性(深部・浅部地下構造)の不確かさ



スケーリング則に壇・他(2011)を基本として採用する理由【例】

断層モデル解析で地震動評価を行う際の主なパラメータとしては下記の6つがある。

断層面積 S

アスペリティの面積 S_a

平均応力低下量 $\Delta\sigma$

アスペリティの応力低下量 $\Delta\sigma_a$

地震モーメント M_0

短周期レベル A

解析にあたっては、 S から M_0 を定めたあと、 $\Delta\sigma$ と $\Delta\sigma_a$ を設定する必要がある。

現在提案されているスケーリング則の中で、これら3つのパラメータを一連で設定する考え方を示しているものは、壇・他(2011)のみである。

また、壇・他(2011)は異なる長さの断層(480, 130, 54km)に対して適用可能と考えられることから、断層長さの影響を同一の手法で評価できる利点がある。

⇒ 壇・他(2011)を基本的に採用し、スケーリング則の違いによる影響評価を行うため、Fujii & Matsu'ura(2000)でも評価を行う。

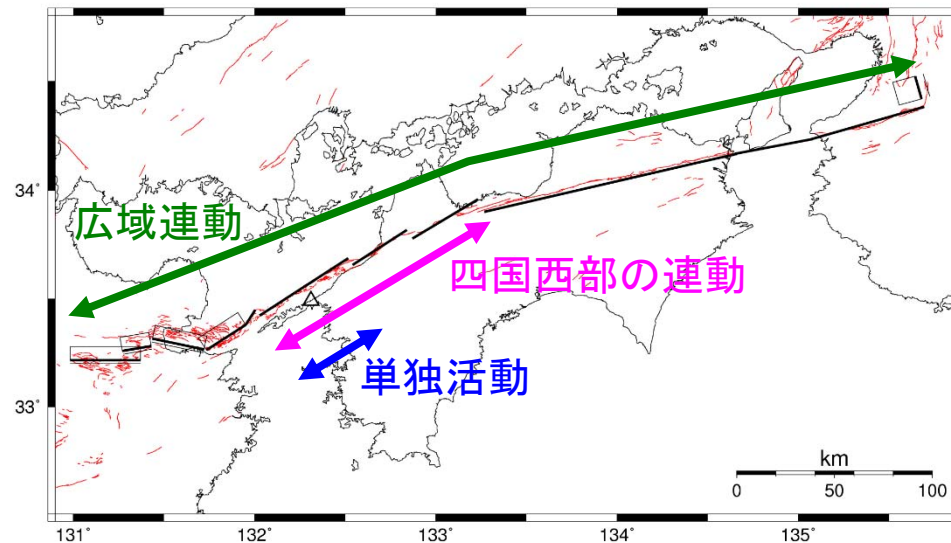
	M_0	$\Delta\sigma$	$\Delta\sigma_a$	備考
Murotani et al.(2010)	○	—	—	$S \sim M_0$ 関係式
Fujii & Matsu'ura(2000)	○	○	—	$S \sim M_0 \sim \Delta\sigma$ 関係式
壇・他(2011)	○	○	○	一連の設定手法を提案

基本震源モデル 断層長さ

活動区間としては、

<p>広域が連動するケース</p>		<p>480 km</p>	<p>地震本部の中央構造線断層帯と九州側の別府-万年山断層帯の連動</p>
<p>四国西部のセグメントが連動するケース</p>		<p>130 km</p>	<p>地震本部の石鎚山脈北縁西部～伊予灘区間に相当</p>
<p>敷地前面海域セグメントが単独で活動するケース</p>		<p>54 km</p>	

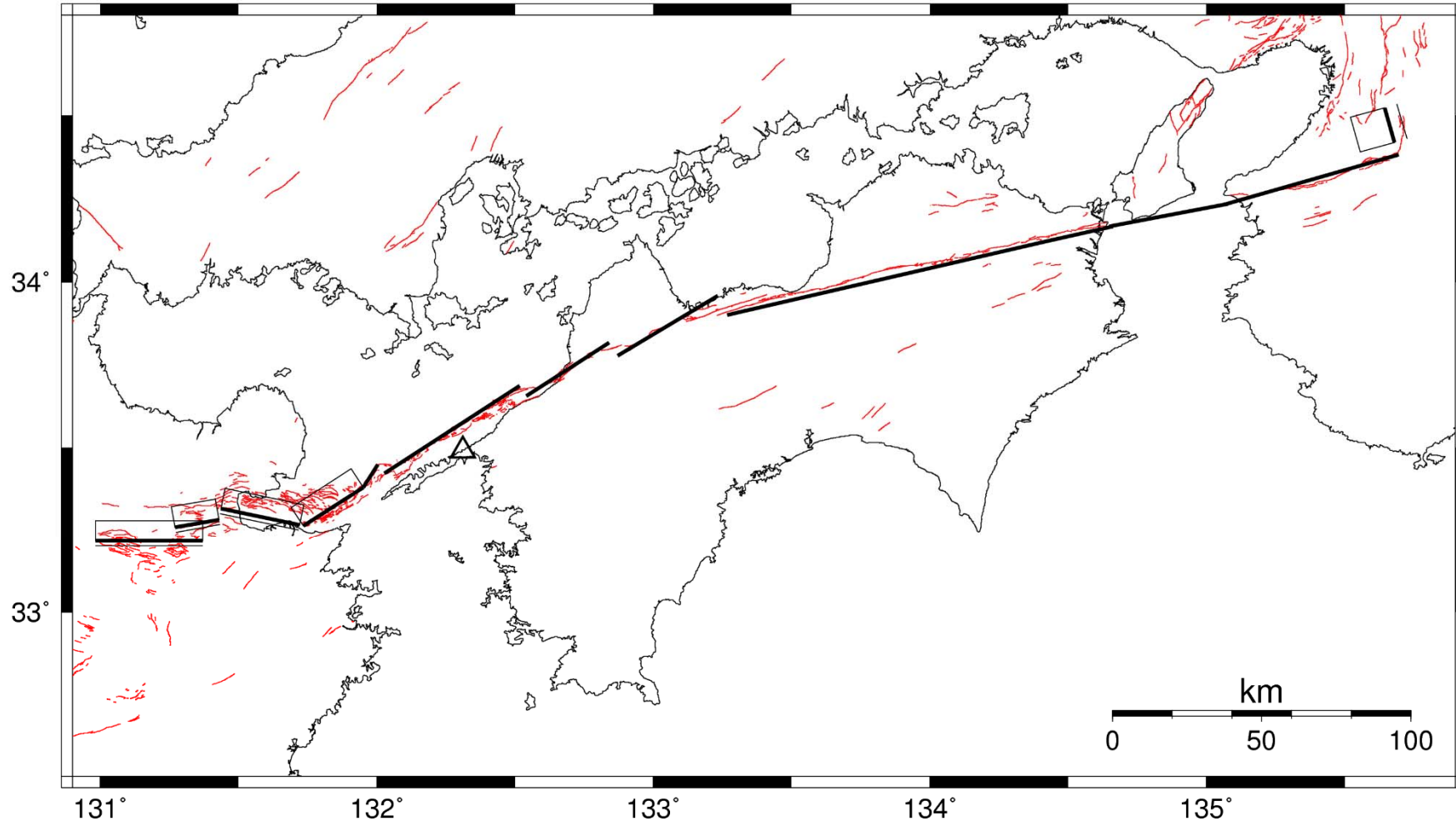
が想定されるが、最大規模を想定するとの観点から、480kmを基本震源モデルの長さとする。しかし、部分破壊も考慮することとし、130kmモデル、54kmモデルでも評価を行う。



基本震源モデル 傾斜角

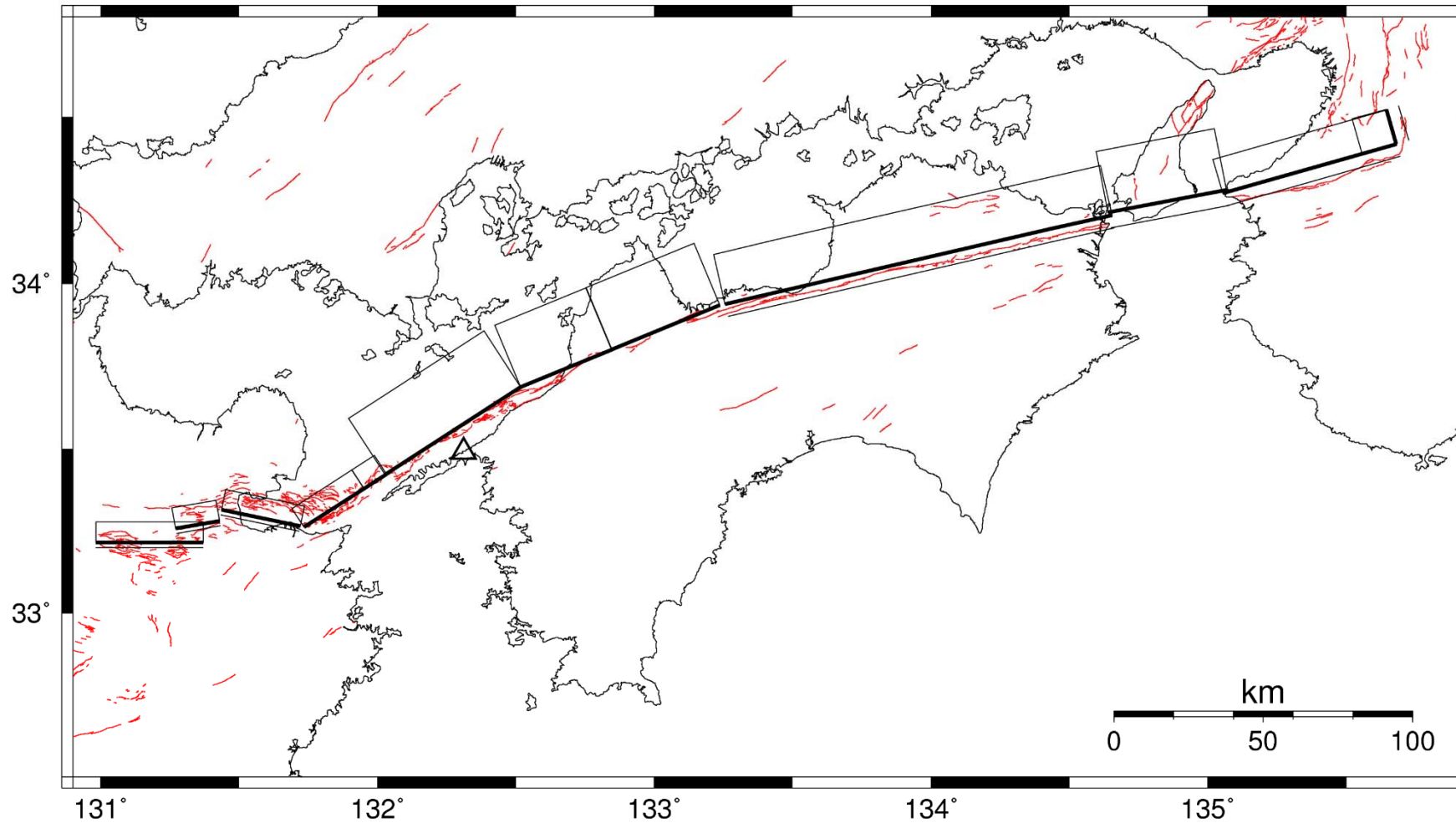
そして、480km区間のうち、正断層と逆断層は傾斜断層として、横ずれ断層については鉛直断層としてモデル化することとし、九州側の正断層の傾斜角を60度、金剛山地東縁の逆断層の傾斜角を43度、その他を90度とした。

これを基本震源モデルとする。



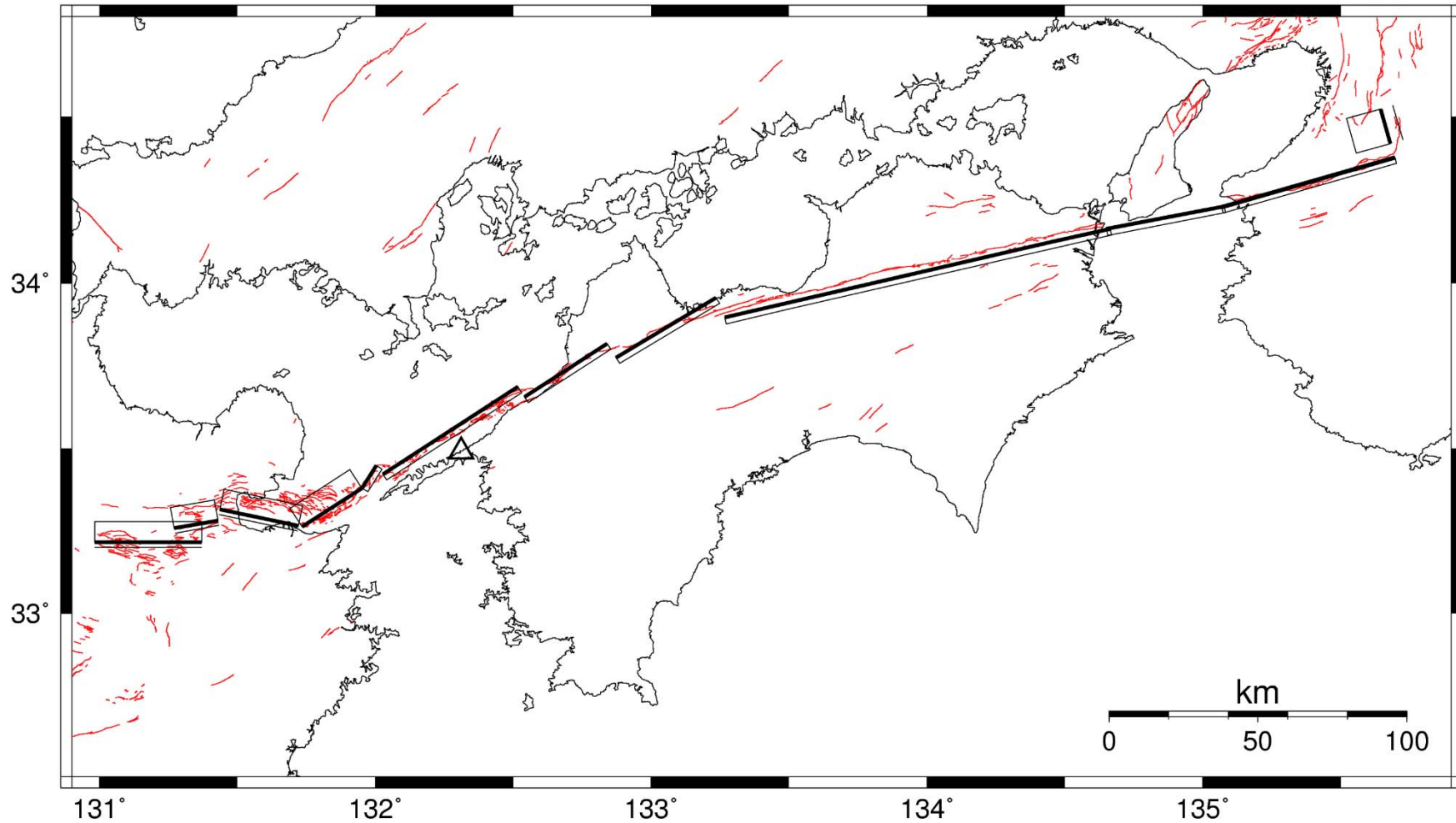
北傾斜モデル

基本震源モデルでは、横ずれ断層を鉛直断層としてモデル化したが、北傾斜する地質境界断層と震源断層が一致する可能性を考慮して、北傾斜モデルも想定する。



南傾斜モデル

基本震源モデルでは、横ずれ断層を鉛直断層としてモデル化したが、角度のばらつきを考慮して、敷地側に傾斜する南傾斜モデルを想定する。横ずれ断層のみ南傾斜80度とした。九州側及び金剛山地東縁は基本震源モデルと同一とした。



断層モデルで考慮する不確かさ

【Ⅰ.影響評価を行う不確かさ】

- ・評価手法（経験的グリーン関数法と統計的グリーン関数法の比較）

【Ⅱ.地震動評価における不確かさ】

Ⅱ-1 基本モデルに考慮する(重畳させる)不確かさ

- ・アスペリティ上端深さ
- ・破壊開始点（断層東下端，敷地前面海域セグメント中央下端，断層西下端の3ケース）

[厳しいケースでは破壊開始点（アスペリティ下端2ケース）を追加]

Ⅱ-2 独立で考慮する不確かさ

	考慮する不確かさ	設定する値
	断層長さ	480km, 130km, 54km
	スケーリング則	壇・他(2011)を基本とする。 Fujii & Matsu'ura(2000)や入倉・三宅(2001)でも 評価を行う。
①	応力降下量(短周期レベル)	基本×1.5倍または20MPa
②	傾斜角(地質境界)	北傾斜30度
③	傾斜角(ばらつき)	南傾斜80度
④	破壊伝播速度	480km・130km → $V_r = V_s$ 54km → $V_r = 0.87V_s$
⑤	アスペリティの平面位置	敷地正面のジョグに配置

【Ⅲ.基準地震動 S_s-2 策定の際に考慮する不確かさ】

- ・理論計算で長周期側の地震動を検証

影響評価(事前検討)における解析ケース

○経験的グリーン関数法と統計的グリーン関数法の比較

No.	検討ケース	主なパラメータ								
		長さ (km)	アスペリ ティ深さ	破壊 開始点	応力降下量 (短周期レベル)	断層 傾斜角	破壊伝播 速度	アスペリティ 平面位置	評価手法	スケーリング則
1	影響評価①	480	断層上端	3 ケース	1.0倍	90度	0.72Vs	地質調査結果を基に 敷地への影響も 考慮して配置	EGF	壇・他(2011)
	経験的グリーン関数法 ～統計的グリーン関数 法の比較	480	断層上端	3 ケース	1.0倍	90度	0.72Vs	地質調査結果を基に 敷地への影響も 考慮して配置	SGF	壇・他(2011)

○壇・他(2011)でパラメータを設定する。

○破壊開始点は、断層下端3ケース(東下端, 中央下端, 西下端)。

○SGF: 統計的グリーン関数法, EGF: 経験的グリーン関数法

: 予め基本震源モデルに織り込む不確かさ

: 影響を評価する不確かさ

: 前回部会(平成26年6月4日)からの変更点

■スケーリング則を「Fujii and Matsu'ura(2000)」から「壇・他(2011)」に変更。

地震動評価 解析ケース① 480kmシリーズ by 壇の手法

No.	検討ケース	不確かさを考慮するパラメータ							
		長さ (km)	アスペリ ティ深さ	破壊 開始点	応力降下量 (短周期レベル)	断層 傾斜角	破壊伝播 速度	アスペリティ 平面位置	スケーリング則
—	検討用地震 敷地前面海域の断層群 (中央構造線断層帯)	54	—	—	—	—	—	—	—
0	基本震源モデル 中央構造線+別府-万年山	480	断層上端	3ケース	1.0倍	90度	0.72Vs	地質調査結果を基に 敷地への影響も 考慮して配置	壇・他(2011)
1	不確かさ考慮① 応力降下量の不確かさ	480	断層上端	5ケース	1.5倍 or 20MPa	90度	0.72Vs	地質調査結果を基に 敷地への影響も 考慮して配置	壇・他(2011)
2	不確かさ考慮② 地質境界断層の知見考慮	480	断層上端	3ケース	1.0倍	北傾斜	0.72Vs	地質調査結果を基に 敷地への影響も 考慮して配置	壇・他(2011)
3	不確かさ考慮③ 角度のばらつきを考慮	480	断層上端	3ケース	1.0倍	南傾斜	0.72Vs	地質調査結果を基に 敷地への影響も 考慮して配置	壇・他(2011)
4	不確かさ考慮④ 破壊伝播速度の不確かさ	480	断層上端	3ケース	1.0倍	90度	1.0Vs	地質調査結果を基に 敷地への影響も 考慮して配置	壇・他(2011)
5	不確かさ考慮⑤ アスペリティの平面位置の 不確かさ	480	断層上端	3ケース	1.0倍	90度	0.72Vs	敷地正面のジョグに 配置	壇・他(2011)

○経験的グリーン関数法で地震動評価を行う。

○破壊開始点3ケースは、断層下端3ケース(東下端, 中央下端, 西下端)。5ケースはこれに敷地前面海域セグメントのアスペリティ下端2ケースを追加。

 : 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

 : 前回部会(平成26年6月4日)からの変更点

■ 検討ケースNo.1 破壊開始点について、敷地前面海域セグメントのアスペリティ下端2ケースを追加。

■ スケーリング則(地震規模の評価)について、これまで不確かさの検討ケースとしていた「壇・他(2011)」を基本とし、不確かさの考慮としては「Fujii and Matsu'ura(2000)」を採用(次頁に検討ケースを記載)。

■ 要素地震の不確かさについては、事前検討(前頁)にて考慮。



地震動評価 解析ケース② 480kmシリーズ by Fujii & Matsu'uraの手法

地震動予測レシピでは、長大断層の知見としてFujii and Matsu'ura(2000)の平均応力降下量を用いる手法が提案されていることに鑑み、480kmケースについては、この手法によるモデル化も行い、不確かさも考慮して影響評価することとする。

不確かさとしては、壇・他(2011)による検討結果から、影響が比較的大きい応力降下量と破壊伝播速度を考慮する。

No.	検討ケース	不確かさを考慮するパラメータ							
		長さ (km)	アスペリティ深さ	破壊開始点	応力降下量 (短周期レベル)	断層傾斜角	破壊伝播速度	アスペリティ平面位置	スケーリング則
—	検討用地震 敷地前面海域の断層群 (中央構造線断層帯)	54	—	—	—	—	—	—	—
0	基本震源モデル 中央構造線+別府-万年山	480	断層上端	3 ケース	1.0倍	90度	0.72Vs	地質調査結果を基に敷地への影響も考慮して配置	Mo : FM $\Delta\sigma$: FM 3.1MPa Sa/S : 21.5%
1	不確かさ考慮① 応力降下量の不確かさ	480	断層上端	5 ケース	1.5倍 or 20MPa	90度	0.72Vs	地質調査結果を基に敷地への影響も考慮して配置	Mo : FM $\Delta\sigma$: FM 3.1MPa Sa/S : 21.5%
4	不確かさ考慮④ 破壊伝播速度の不確かさ	480	断層上端	3 ケース	1.0倍	90度	1.0Vs	地質調査結果を基に敷地への影響も考慮して配置	Mo : FM $\Delta\sigma$: FM 3.1MPa Sa/S : 21.5%

○経験的グリーン関数法で地震動評価を行う。

○破壊開始点3ケースは、断層下端3ケース(東下端, 中央下端, 西下端)。5ケースはこれに敷地前面海域セグメントのアスペリティ下端2ケースを追加。

○FMIはFujii and Matsu'ura(2000)。Sa/Sはアスペリティ面積比。

 : 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

 : 前回部会(平成26年6月4日)からの変更点

■スケーリング則(地震規模の評価)について、これまで不確かさの検討ケースとしていた「壇・他(2011)」を基本とし、不確かさの考慮としては「Fujii and Matsu'ura(2000)」を採用(本頁に記載)。

■スケーリング則の不確かさの検討ケースを「基本震源モデル」に加え、「応力降下量の不確かさ」、「破壊伝播速度の不確かさ」の2ケース追加。(応力降下量の不確かさの検討においては、破壊開始点について敷地前面海域セグメントのアスペリティ下端2ケースも考慮)



[参考] 前回部会(平成26年6月4日)時の内陸地殻内地震の解析ケース

[参考] 前回部会(平成26年6月4日)時の内陸地殻内地震の解析ケース

No.	検討ケース	不確かさを考慮するパラメータ								
		長さ (km)	アスペリ ティ深さ	破壊 開始点	スケーリング則	評価手法 (要素地震)	応力降下量 (短周期レベル)	断層 傾斜角	破壊伝播 速度	アスペリティ 平面位置
—	検討用地震 敷地前面海域の断層群 (中央構造線断層帯)	54	—	—	—	—	—	—	—	—
0	基本震源モデル 中央構造線+別府-万年山	480	断層上端	3 ケース	Murotani F & M 3.1MPa Sa/S=21.5%	経験的 グリーン関数法	1.0倍	90度	0.72Vs	地質調査結果を基に 敷地への影響も 考慮して配置
1	不確かさ考慮① スケーリング則の不確かさ 中央構造線+別府-万年山	480	断層上端	3 ケース	壇・他(2011)	経験的 グリーン関数法	1.0倍	90度	0.72Vs	地質調査結果を基に 敷地への影響も 考慮して配置
2	不確かさ考慮② 評価手法(要素地震)の不確かさ 中央構造線+別府-万年山	480	断層上端	3 ケース	Murotani F & M 3.1MPa Sa/S=21.5%	統計的 グリーン関数法	1.0倍	90度	0.72Vs	地質調査結果を基に 敷地への影響も 考慮して配置
3	不確かさ考慮③ 応力降下量の不確かさ 中央構造線+別府-万年山	480	断層上端	3 ケース	Murotani F & M 3.1MPa Sa/S=21.5%	経験的 グリーン関数法	1.5倍	90度	0.72Vs	地質調査結果を基に 敷地への影響も 考慮して配置
4	不確かさ考慮④ 地質境界断層の知見考慮 中央構造線+別府-万年山	480	断層上端	3 ケース	Murotani F & M 3.1MPa Sa/S=21.5%	経験的 グリーン関数法	1.0倍	北傾斜	0.72Vs	地質調査結果を基に 敷地への影響も 考慮して配置
5	不確かさ考慮⑤ 角度のばらつきを考慮 中央構造線+別府-万年山	480	断層上端	3 ケース	Murotani F & M 3.1MPa Sa/S=21.5%	経験的 グリーン関数法	1.0倍	南傾斜	0.72Vs	地質調査結果を基に 敷地への影響も 考慮して配置
6	不確かさ考慮⑥ 破壊伝播速度の不確かさ 中央構造線+別府-万年山	480	断層上端	東破壊	Murotani F & M 3.1MPa Sa/S=21.5%	経験的 グリーン関数法	1.0倍	90度	1.0Vs	地質調査結果を基に 敷地への影響も 考慮して配置
7	不確かさ考慮⑦ アスペリティの平面位置の不確かさ 中央構造線+別府-万年山	480	断層上端	3 ケース	Murotani F & M 3.1MPa Sa/S=21.5%	経験的 グリーン関数法	1.0倍	90度	0.72Vs	敷地正面のジョグに 配置

○Murotani : Murotani et al.(2010), F & M : Fujii and Matsu'ura(2000), Sa/S=21.5% : アスペリティ面積比21.5%

○破壊開始点3ケースは、断層西下端、中央下端、東下端。破壊伝播速度ケースは敷地に向かってくるケース。

■ : 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



地震動評価 解析ケース③ 130kmシリーズ by 壇の手法

□ 前回部会(平成26年6月4日)からの変更:断層長さ130kmの地震動評価を追加

No.	検討ケース	不確かさを考慮するパラメータ							
		長さ (km)	アスペリ ティ深さ	破壊 開始点	応力低下量 (短周期レベル)	断層 傾斜角	破壊伝播 速度	アスペリティ 平面位置	スケーリング則
—	検討用地震 敷地前面海域の断層群 (中央構造線断層帯)	54	—	—	—	—	—	—	—
0	基本震源モデル 中央構造線四国西部	130	断層上端	3 ケース	1.0倍	90度	0.72Vs	地質調査結果を基に 敷地への影響も 考慮して配置	壇・他(2011)
1	不確かさ考慮① 応力低下量の不確かさ	130	断層上端	5 ケース	1.5倍 or 20MPa	90度	0.72Vs	地質調査結果を基に 敷地への影響も 考慮して配置	壇・他(2011)
2	不確かさ考慮② 地質境界断層の知見考慮	130	断層上端	3 ケース	1.0倍	北傾斜	0.72Vs	地質調査結果を基に 敷地への影響も 考慮して配置	壇・他(2011)
3	不確かさ考慮③ 角度のばらつきを考慮	130	断層上端	3 ケース	1.0倍	南傾斜	0.72Vs	地質調査結果を基に 敷地への影響も 考慮して配置	壇・他(2011)
4	不確かさ考慮④ 破壊伝播速度の不確かさ	130	断層上端	3 ケース	1.0倍	90度	1.0Vs	地質調査結果を基に 敷地への影響も 考慮して配置	壇・他(2011)
5	不確かさ考慮⑤ アスペリティの平面位置の 不確かさ	130	断層上端	3 ケース	1.0倍	90度	0.72Vs	敷地正面のジョグに 配置	壇・他(2011)

○経験的グリーン関数法で地震動評価を行う。

○破壊開始点3ケースは、断層下端3ケース(東下端, 中央下端, 西下端)。5ケースはこれに敷地前面海域セグメントのアスペリティ下端2ケースを追加。

□ : 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

地震動評価 解析ケース④ 130kmシリーズ by Fujii & Matsu'uraの手法

地震動予測レシピでは、長大断層の知見としてFujii and Matsu'ura(2000)の平均応力降下量を用いる手法が提案されていることに鑑み、130kmケースについては、この手法によるモデル化も行い、不確かさも考慮して影響評価することとする。

不確かさとしては、壇・他(2011)による検討結果から、影響が比較的大きい応力降下量と破壊伝播速度を考慮する。

□ 前回部会(平成26年6月4日)からの変更:断層長さ130kmの地震動評価を追加

No.	検討ケース	不確かさを考慮するパラメータ							
		長さ(km)	アスペリティ深さ	破壊開始点	応力降下量(短周期レベル)	断層傾斜角	破壊伝播速度	アスペリティ平面位置	スケーリング則
—	検討用地震 敷地前面海域の断層群 (中央構造線断層帯)	54	—	—	—	—	—	—	—
0	基本震源モデル 中央構造線四国西部	130	断層上端	3ケース	1.0倍	90度	0.72Vs	地質調査結果を基に敷地への影響も考慮して配置	Mo : FM Δσ : FM 3.1MPa Sa/S : 21.5%
1	不確かさ考慮① 応力降下量の不確かさ	130	断層上端	5ケース	1.5倍 or 20MPa	90度	0.72Vs	地質調査結果を基に敷地への影響も考慮して配置	Mo : FM Δσ : FM 3.1MPa Sa/S : 21.5%
4	不確かさ考慮④ 破壊伝播速度の不確かさ	130	断層上端	3ケース	1.0倍	90度	1.0Vs	地質調査結果を基に敷地への影響も考慮して配置	Mo : FM Δσ : FM 3.1MPa Sa/S : 21.5%

○経験的グリーン関数法で地震動評価を行う。

○破壊開始点3ケースは、断層下端3ケース(東下端, 中央下端, 西下端)。5ケースはこれに敷地前面海域セグメントのアスペリティ下端2ケースを追加。

○FMIはFujii and Matsu'ura(2000)。Sa/Sはアスペリティ面積比。

□ : 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



地震動評価 解析ケース⑤ 54kmシリーズ by 壇の手法

□ 前回部会(平成26年6月4日)からの変更:断層長さ54kmの地震動評価を追加

No.	検討ケース	不確かさを考慮するパラメータ							
		長さ(km)	アスペリティ深さ	破壊開始点	応力降下量(短周期レベル)	断層傾斜角	破壊伝播速度	アスペリティ平面位置	スケーリング則
-	検討用地震 敷地前面海域の断層群 (中央構造線断層帯)	54	-	-	-	-	-	-	-
0	基本震源モデル 敷地前面海域の断層群	54	断層上端	3ケース	1.0倍	90度	0.72Vs	地質調査結果を基に敷地への影響も考慮して配置	壇・他(2011)
1	不確かさ考慮① 応力降下量の不確かさ	54	断層上端	5ケース	1.5倍 or 20MPa	90度	0.72Vs	地質調査結果を基に敷地への影響も考慮して配置	壇・他(2011)
2	不確かさ考慮② 地質境界断層の知見考慮	54	断層上端	3ケース	1.0倍	北傾斜	0.72Vs	地質調査結果を基に敷地への影響も考慮して配置	壇・他(2011)
3	不確かさ考慮③ 角度のばらつきを考慮	54	断層上端	3ケース	1.0倍	南傾斜	0.72Vs	地質調査結果を基に敷地への影響も考慮して配置	壇・他(2011)
4	不確かさ考慮④ 破壊伝播速度の不確かさ	54	断層上端	3ケース	1.0倍	90度	0.87Vs	地質調査結果を基に敷地への影響も考慮して配置	壇・他(2011)
5	不確かさ考慮⑤ アスペリティの平面位置の不確かさ	54	断層上端	3ケース	1.0倍	90度	0.72Vs	敷地正面のジョグに配置	壇・他(2011)

○経験的グリーン関数法で地震動評価を行う。

○破壊開始点3ケースは、断層下端3ケース(東下端, 中央下端, 西下端)。5ケースはこれに敷地前面海域セグメントのアスペリティ下端2ケースを追加。

■ : 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

地震動評価 解析ケース⑥ 54kmシリーズ by 入倉・三宅の手法

地震動予測レシピでは、入倉・三宅(2001)のスケーリング則とFujii and Matsu'ura(2000)の平均応力降下量を用いる手法が提案されていることに鑑み、54kmケースについては、この手法によるモデル化も行い、不確かさも考慮して影響評価することとする。

□ 前回部会(平成26年6月4日)からの変更:断層長さ54kmの地震動評価を追加

No.	検討ケース	不確かさを考慮するパラメータ							
		長さ(km)	アスペリティ深さ	破壊開始点	応力降下量(短周期レベル)	断層傾斜角	破壊伝播速度	アスペリティ平面位置	スケーリング則
-	検討用地震 敷地前面海域の断層群 (中央構造線断層帯)	54	-	-	-	-	-	-	-
0	基本震源モデル 敷地前面海域の断層群	54	断層上端	3ケース	1.0倍	90度	0.72Vs	地質調査結果を基に敷地への影響も考慮して配置	Mo : 入倉・三宅 Δσ : FM 3.1MPa Sa/S : 21.5%
1	不確かさ考慮① 応力降下量の不確かさ	54	断層上端	5ケース	1.5倍 or 20MPa	90度	0.72Vs	地質調査結果を基に敷地への影響も考慮して配置	Mo : 入倉・三宅 Δσ : FM 3.1MPa Sa/S : 21.5%
2	不確かさ考慮② 地質境界断層の知見考慮	54	断層上端	3ケース	1.0倍	北傾斜	0.72Vs	地質調査結果を基に敷地への影響も考慮して配置	Mo : 入倉・三宅 Δσ : FM 3.1MPa Sa/S : 21.5%
3	不確かさ考慮③ 角度のばらつきを考慮	54	断層上端	3ケース	1.0倍	南傾斜	0.72Vs	地質調査結果を基に敷地への影響も考慮して配置	Mo : 入倉・三宅 Δσ : FM 3.1MPa Sa/S : 21.5%
4	不確かさ考慮④ 破壊伝播速度の不確かさ	54	断層上端	3ケース	1.0倍	90度	0.87Vs	地質調査結果を基に敷地への影響も考慮して配置	Mo : 入倉・三宅 Δσ : FM 3.1MPa Sa/S : 21.5%
5	不確かさ考慮⑤ アスペリティの平面位置の不確かさ	54	断層上端	3ケース	1.0倍	90度	0.72Vs	敷地正面のジョグに配置	Mo : 入倉・三宅 Δσ : FM 3.1MPa Sa/S : 21.5%

○経験的グリーン関数法で地震動評価を行う。

○破壊開始点3ケースは、断層下端3ケース(東下端, 中央下端, 西下端)。5ケースはこれに敷地前面海域セグメントのアスペリティ下端2ケースを追加。

○FMはFujii and Matsu'ura(2000)。Sa/Sはアスペリティ面積比

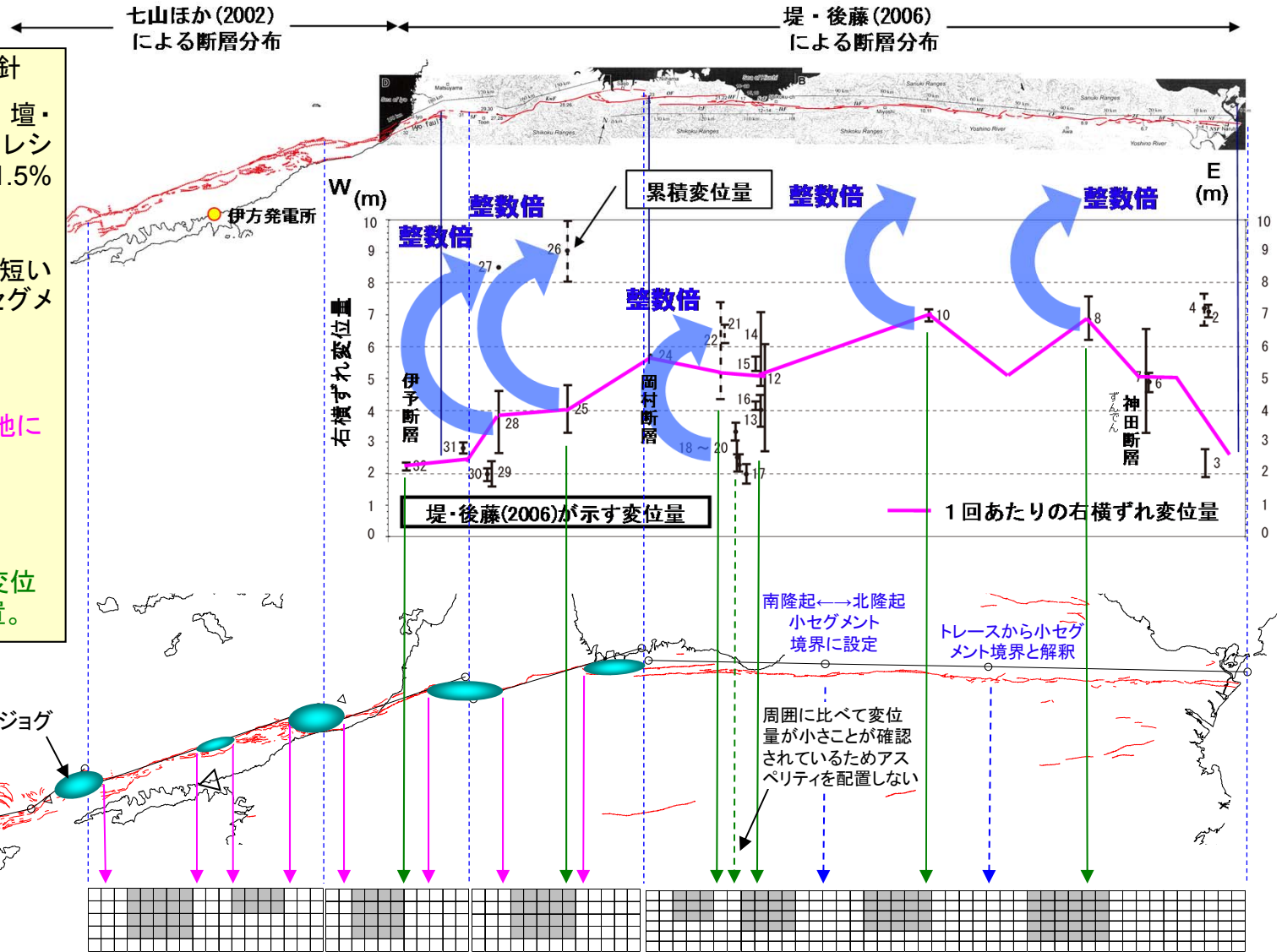
□ : 予め基本震源モデルに織り込む不確かさ

□ : 不確かさを考慮するパラメータ

アスペリティ配置の考え方

アスペリティ配置の基本方針

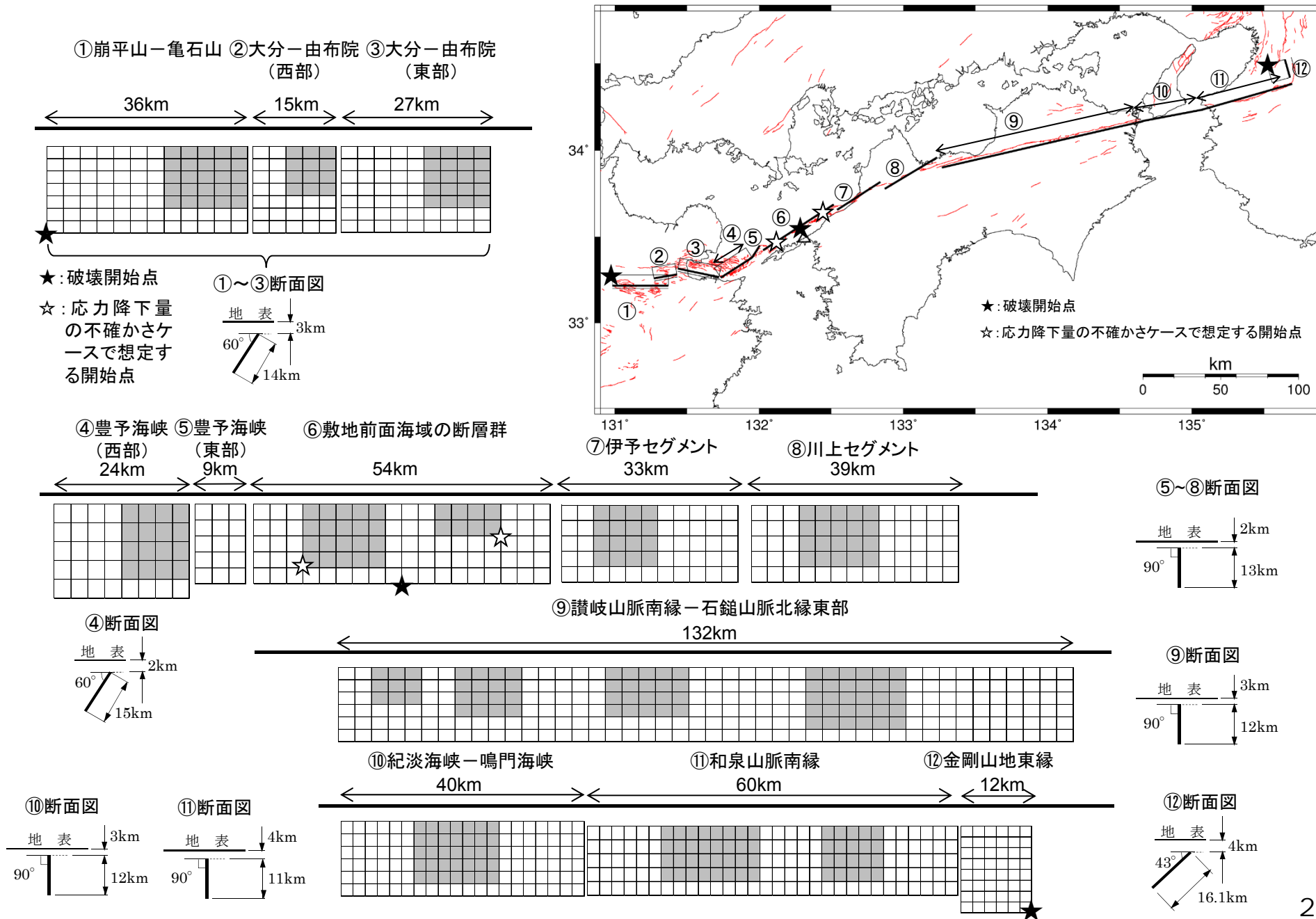
- ①アスペリティの面積は、壇・他(2011)または地震本部レシピに従い面積比27.9%, 21.5%から設定。
- ②アスペリティの個数は、短いセグメントには1個、長いセグメントには2個。
- ③位置は、
1)ジョグ以外の区間で敷地に
厳しい位置に配置。
あるいは
2)堤・後藤(2006)の地表変位
量の大きいところに配置。



ジョグ以外の区間に配置

堤・後藤(2006)の地表変位量が大きいところに配置

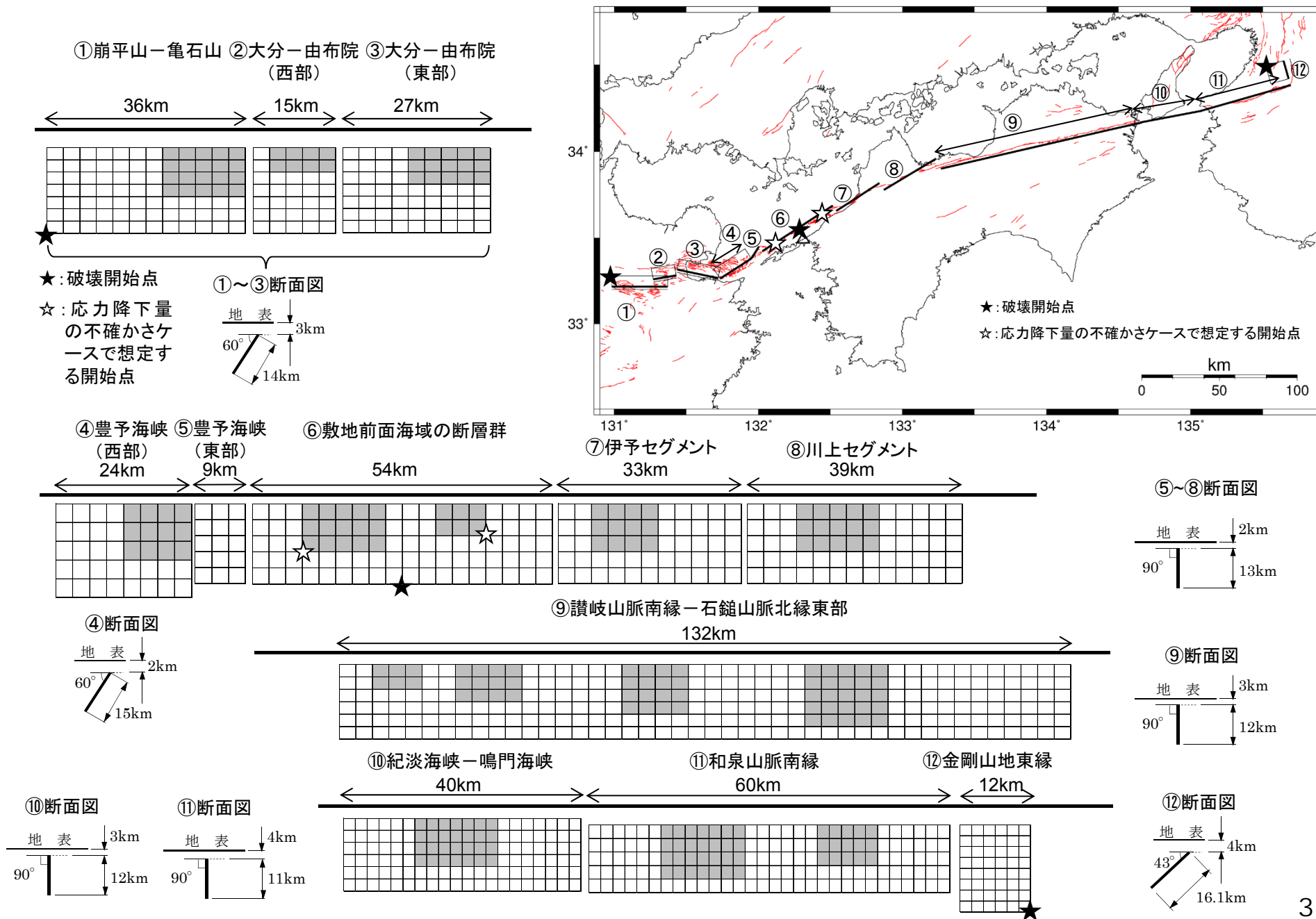
基本, 不確かさ考慮①(応力降下量), 不確かさ考慮④(破壊伝播速度) by 壇の手法



不確かさ考慮①(応力降下量) by 壇の手法

断層パラメータ		記号	単位	設定方法	全体	崩平山—亀石山	大分-由布院(西部)	大分-由布院(東部)	豊予海峡(西部)	豊予海峡(東部)	敷地前面海域の断層群	伊予	川上	讃岐山脈南縁—石鎚山脈北縁東部	紀淡海峡—鳴門海峡	和泉山脈南縁	金剛山地東縁
断層位置	西端	—	北緯	—	—	33° 12' 56"	33° 15' 31"	33° 18' 55"	33° 15' 45"	33° 22' 48"	33° 25' 20"	33° 39' 21"	33° 46' 42"	33° 54' 2"	34° 10' 2"	34° 14' 1"	34° 25' 10"
		—	東経	—	—	130° 59' 0"	131° 16' 16"	131° 26' 14"	131° 44' 7"	131° 57' 7"	132° 1' 42"	132° 32' 28"	132° 52' 16"	133° 16' 0"	134° 38' 59"	135° 4' 0"	135° 40' 50"
走向	θ	[度]	—	—	—	N90E	N80E	N101.8E	N57E	N32E	N57E	N57E	N59E	N77E	N79.1E	N74E	N16W
傾斜角	δ	[度]	—	—	—	60	60	60	60	90	90	90	90	90	90	90	43
ずれの種類	—	—	—	—	—	正断層	正断層	正断層	正断層	右横ずれ	右横ずれ	右横ずれ	右横ずれ	右横ずれ	右横ずれ	右横ずれ	逆断層
断層上端深さ	H	[km]	—	—	—	3	3	3	2	2	2	2	2	3	3	4	4
断層長さ	L	[km]	—	—	481.0	36.0	15.0	27.0	24.0	9.0	54.0	33.0	39.0	132.0	40.0	60.0	12.0
断層幅	W	[km]	$W=S/L$	—	12.7	14.0	14.0	14.0	15.0	13.0	13.0	13.0	13.0	12.0	12.0	11.0	16.1
断層面積	S	[km ²]	$S=\Sigma(L \times W)$	—	6124.2	504.0	210.0	378.0	360.0	117.0	702.0	429.0	507.0	1584.0	480.0	660.0	193.2
剛性率	μ	[N/m ²]	$\mu=\rho\beta^2$	—	—	3.31E+10	3.31E+10	3.31E+10	3.31E+10	3.31E+10	3.31E+10	3.31E+10	3.31E+10	3.31E+10	3.12E+10	3.12E+10	3.12E+10
S波速度	β	[km/s]	—	—	—	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.4	3.4	3.4
密度	ρ	[g/cm ³]	—	—	—	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
破壊伝播速度	V_r	[km/s]	$V_r=0.72\beta$ (Geller et al., 1976)	—	—	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.4	2.4	2.4
地震モーメント	M_0	[N·m]	壇他(2011)	—	5.30E+20	4.36E+19	1.82E+19	3.27E+19	3.12E+19	1.01E+19	6.08E+19	3.71E+19	4.39E+19	1.37E+20	4.16E+19	5.71E+19	1.67E+19
モーメント「ニチュート」	M_w	—	kanamori(1977)	—	7.7	7.0	6.8	6.9	6.9	6.6	7.1	7.0	7.0	7.4	7.0	7.1	6.7
気象庁「マ」ニチュート	M_j	—	武村(1998)	—	8.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
平均すべり量	D	[cm]	$D=M_0/(\mu S)$	—	—	262	262	262	262	262	262	262	262	262	277	277	277
平均動的応力降下量	$\Delta\sigma$	[MPa]	壇他(2011)	—	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
短周期レベル	A'	[N·m/s ²]	$A'=(A_a^2+A_b^2)^{0.5}$	—	7.45E+19	2.16E+19	1.40E+19	1.87E+19	2.07E+19	3.76E+18	2.55E+19	2.00E+19	2.17E+19	3.83E+19	1.99E+19	2.62E+19	4.56E+18
	地震モーメント	M_{0a}	[N·m]	$M_{0a}=\mu D \Delta\sigma_a$	2.96E+20	2.43E+19	1.01E+19	1.82E+19	2.30E+19	—	3.39E+19	2.07E+19	2.45E+19	7.64E+19	2.32E+19	4.12E+19	—
全アスペリティ	面積	S_a	[km ²]	$S_a=S \cdot \Delta\sigma / \Delta\sigma_a = 0.279 \cdot S$ (壇他, 2011)	1706.7	140.5	58.5	105.3	132.9	—	195.6	119.6	141.3	441.4	133.8	237.8	—
	平均すべり量	D_a	[cm]	$D_a=\gamma_1 \cdot D$, $\gamma_1=2.0$	—	524	524	524	524	—	524	524	524	524	555	555	—
動的応力降下量	$\Delta\sigma_a$	[MPa]	設定20MPa (>12.2MPa×1.5)	—	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	—	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	—
	短周期レベル	A_a	[N·m/s ²]	$A_a=4\pi\beta^2 \Delta\sigma_a (S_a/\pi)^{0.5}$	7.09E+19	2.06E+19	1.33E+19	1.78E+19	2.00E+19	—	2.43E+19	1.90E+19	2.06E+19	3.65E+19	1.90E+19	2.53E+19	—
第1アスペリティ	地震モーメント	M_{0a1}	[N·m]	$M_{0a1}=\mu \cdot D_{a1} \cdot S_{a1}$	—	2.43E+19	1.01E+19	1.82E+19	2.30E+19	—	2.75E+19	2.07E+19	2.45E+19	4.34E+18	2.32E+19	3.04E+19	—
	面積	S_{a1}	[km ²]	—	—	140.5	58.5	105.3	132.9	—	142.3	119.6	141.3	43.5	133.8	158.5	—
平均すべり量	D_{a1}	[cm]	$D_{a1}=(\gamma_1/\Sigma\gamma_i^3) \cdot D_a$, $\gamma_1=r_1/r$	—	—	524	524	524	524	—	585	524	524	302	555	615	—
	実効応力	σ_{a1}	[MPa]	$\sigma_{a1}=\Delta\sigma_a$	—	20.0	20.0	20.0	20.0	—	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	—
短周期レベル	A_{a1}	[N·m/s ²]	$A_{a1}=4\pi\beta^2 \sigma_{a1} (S_{a1}/\pi)^{0.5}$	—	—	2.06E+19	1.33E+19	1.78E+19	2.00E+19	—	2.07E+19	1.90E+19	2.06E+19	1.15E+19	1.90E+19	2.06E+19	—
	地震モーメント	M_{0a2}	[N·m]	$M_{0a2}=\mu \cdot D_{a2} \cdot S_{a2}$	—	—	—	—	—	—	6.33E+18	—	—	1.23E+19	—	1.08E+19	—
第2アスペリティ	面積	S_{a2}	[km ²]	—	—	—	—	—	—	—	53.4	—	—	87.0	—	79.3	—
	平均すべり量	D_{a2}	[cm]	$D_{a2}=(\gamma_2/\Sigma\gamma_i^3) \cdot D_a$, $\gamma_2=r_2/r$	—	—	—	—	—	—	358	—	—	427	—	435	—
実効応力	σ_{a2}	[MPa]	$\sigma_{a2}=\Delta\sigma_a$	—	—	—	—	—	—	—	20.0	—	—	20.0	—	20.0	—
	短周期レベル	A_{a2}	[N·m/s ²]	$A_{a2}=4\pi\beta^2 \sigma_{a2} (S_{a2}/\pi)^{0.5}$	—	—	—	—	—	—	1.27E+19	—	—	1.62E+19	—	1.46E+19	—
第3アスペリティ	地震モーメント	M_{0a3}	[N·m]	$M_{0a3}=\mu \cdot D_{a3} \cdot S_{a3}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.00E+19	—	—	—
	面積	S_{a3}	[km ²]	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	120.4	—	—	—
平均すべり量	D_{a3}	[cm]	$D_{a3}=(\gamma_3/\Sigma\gamma_i^3) \cdot D_a$, $\gamma_3=r_3/r$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	502	—	—	—
	実効応力	σ_{a3}	[MPa]	$\sigma_{a3}=\Delta\sigma_a$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	20.0	—	20.0	—
短周期レベル	A_{a3}	[N·m/s ²]	$A_{a3}=4\pi\beta^2 \sigma_{a3} (S_{a3}/\pi)^{0.5}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.91E+19	—	—	—
	地震モーメント	M_{0a4}	[N·m]	$M_{0a4}=\mu \cdot D_{a4} \cdot S_{a4}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.98E+19	—	—	—
第4アスペリティ	面積	S_{a4}	[km ²]	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	190.6	—	—	—
	平均すべり量	D_{a4}	[cm]	$D_{a4}=(\gamma_4/\Sigma\gamma_i^3) \cdot D_a$, $\gamma_4=r_4/r$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	632	—	—	—
実効応力	σ_{a4}	[MPa]	$\sigma_{a4}=\Delta\sigma_a$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	20.0	—	—	—
	短周期レベル	A_{a4}	[N·m/s ²]	$A_{a4}=4\pi\beta^2 \sigma_{a4} (S_{a4}/\pi)^{0.5}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.40E+19	—	—	—
背景領域	地震モーメント	M_{0b}	[N·m]	$M_{0b}=M_{0a} \cdot M_{0b}$	—	1.93E+19	8.05E+18	1.45E+19	1.21E+19	6.22E+18	2.69E+19	1.64E+19	1.94E+19	6.07E+19	1.84E+19	2.24E+19	1.03E+19
	面積	S_b	[km ²]	$S_b=S \cdot S_a$	—	363.5	151.5	272.7	227.1	117.0	506.4	309.4	365.7	1142.6	346.2	422.2	193.2
平均すべり量	D_b	[cm]	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$	—	161	161	161	161	161	161	161	161	161	170	170	170	
実効応力	σ_b	[MPa]	$\sigma_b=0.2 \cdot \Delta\sigma_a$	—	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	
短周期レベル	A_b	[N·m/s ²]	$A_b=4\pi\beta^2 \sigma_b (S_b/\pi)^{0.5}$	—	6.62E+18	4.28E+18	5.74E+18	5.23E+18	3.76E+18	7.82E+18	6.11E+18	6.64E+18	1.17E+19	6.10E+18	6.74E+18	4.56E+18	

基本, 不確かさ考慮①(応力降下量), 不確かさ考慮④(破壊伝播速度) by Fujii & Matsu'uraの手法



不確かさ考慮①(応力降下量) by Fujii & Matsu'uraの手法

断層パラメータ		記号	単位	設定方法	全体	崩平山—亀石山	大分-由布院(西部)	大分-由布院(東部)	豊予海峡(西部)	豊予海峡(東部)	敷地前面海域の断層群	伊予	川上	讃岐山脈南縁—石鎚山脈北縁東部	紀淡海峡—鳴門海峡	和泉山脈南縁	金剛山地東縁
断層位置	西端	—	北緯	—	—	33° 12' 56"	33° 15' 31"	33° 18' 55"	33° 15' 45"	33° 22' 48"	33° 25' 20"	33° 39' 21"	33° 46' 42"	33° 54' 2"	34° 10' 2"	34° 14' 1"	34° 25' 10"
	—	—	東経	—	—	130° 59' 0"	131° 16' 16"	131° 26' 14"	131° 44' 7"	131° 57' 7"	132° 1' 42"	132° 32' 28"	132° 52' 16"	133° 16' 0"	134° 38' 59"	135° 4' 0"	135° 40' 50"
走向	θ	[度]	—	—	—	N90E	N80E	N101.8E	N57E	N32E	N57E	N57E	N59E	N77E	N79.1E	N74E	N16W
傾斜角	δ	[度]	—	—	—	60	60	60	60	90	90	90	90	90	90	90	43
ずれの種類	—	—	—	—	—	正断層	正断層	正断層	正断層	右横ずれ	右横ずれ	右横ずれ	右横ずれ	右横ずれ	右横ずれ	右横ずれ	逆断層
断層上端深さ	H	[km]	—	—	—	3	3	3	2	2	2	2	2	3	3	4	4
断層長さ	L	[km]	—	—	481.0	36.0	15.0	27.0	24.0	9.0	54.0	33.0	39.0	132.0	40.0	60.0	12.0
断層幅	W	[km]	—	$W=S/L$	12.7	14.0	14.0	14.0	15.0	13.0	13.0	13.0	13.0	12.0	12.0	11.0	16.1
断層面積	S	[km ²]	—	$S=\Sigma(L \times W)$	6124.2	504.0	210.0	378.0	360.0	117.0	702.0	429.0	507.0	1584.0	480.0	660.0	193.2
剛性率	μ	[N/m ²]	—	$\mu=\rho\beta^2$	—	3.31E+10	3.31E+10	3.31E+10	3.31E+10	3.31E+10	3.31E+10	3.31E+10	3.31E+10	3.31E+10	3.12E+10	3.12E+10	3.12E+10
S波速度	β	[km/s]	—	—	—	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.4	3.4	3.4
密度	ρ	[g/cm ³]	—	—	—	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
破壊伝播速度	V_r	[km/s]	—	$V_r=0.72\beta$ (Geller et al., 1976)	—	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.4	2.4	2.4
地震モーメント	M_0	[N·m]	—	Fujii & Matsu'ura(2000)	1.18E+21	9.72E+19	4.05E+19	7.29E+19	6.94E+19	2.26E+19	1.35E+20	8.27E+19	9.77E+19	3.05E+20	9.25E+19	1.27E+20	3.72E+19
モーメントマグニチュード	M_w	—	—	kanamori(1977)	8.0	7.3	7.0	7.2	7.2	6.8	7.4	7.2	7.3	7.6	7.2	7.3	7.0
気象庁マグニチュード	M_J	—	—	武村(1998)	8.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
平均すべり量	D	[cm]	—	$D=M_0/(\mu S)$	—	583	583	583	583	583	583	583	583	583	618	618	618
平均応力降下量	$\Delta\sigma$	[MPa]	—	$\Delta\sigma=3.1\text{MPa}$ (Fujii & Matsu'ura,2000)	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1
短周期レベル	A'	[N·m/s ²]	—	$A'=4\pi\beta^2\Delta\sigma_0(S_0/\pi)^{0.5}$	7.21E+19	2.09E+19	1.35E+19	1.81E+19	2.00E+19	4.06E+18	2.47E+19	1.93E+19	2.10E+19	3.71E+19	1.93E+19	2.52E+19	4.93E+18
全アスベリテイ	地震モーメント	M_{0a}	[N·m]	$M_{0a}=\mu D_a S_a$	5.08E+20	4.18E+19	1.74E+19	3.13E+19	3.95E+19	—	5.82E+19	3.56E+19	4.20E+19	1.31E+20	3.98E+19	7.07E+19	—
	面積	S_a	[km ²]	$S_a=0.215 \cdot S$ (設定値 $S_a/S=21.5\%$)	1316.7	108.4	45.2	81.3	102.6	—	150.9	92.2	109.0	340.6	103.2	183.4	—
	平均すべり量	D_a	[cm]	$D_a=\gamma_D \cdot D$, $\gamma_D=2.0$	—	1166	1166	1166	1166	—	1166	1166	1166	1166	1235	1235	—
	応力降下量	$\Delta\sigma_a$	[MPa]	$\Delta\sigma_a=\Delta\sigma/0.215 \times 1.5$	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	—	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	—
	短周期レベル	A_a	[N·m/s ²]	$A_a=4\pi\beta^2\Delta\sigma_a(S_a/\pi)^{0.5}$	6.73E+19	1.96E+19	1.26E+19	1.69E+19	1.90E+19	—	2.31E+19	1.80E+19	1.96E+19	3.47E+19	1.80E+19	2.40E+19	—
第1アスベリテイ	地震モーメント	M_{0a1}	[N·m]	$M_{0a1}=\mu \cdot D_{a1} \cdot S_{a1}$	—	4.18E+19	1.74E+19	3.13E+19	3.95E+19	—	4.73E+19	3.56E+19	4.20E+19	7.45E+18	3.98E+19	5.23E+19	—
	面積	S_{a1}	[km ²]	—	—	108.4	45.2	81.3	102.6	—	109.8	92.2	109.0	33.5	103.2	122.3	—
	平均すべり量	D_{a1}	[cm]	$D_{a1}=(\gamma_1/\Sigma\gamma_i^3) \cdot D_a$, $\gamma_i=r_i/r$	—	1166	1166	1166	1166	—	1304	1166	1166	672	1235	1369	—
	実効応力	σ_{a1}	[MPa]	$\sigma_{a1}=\Delta\sigma_a$	—	21.6	21.6	21.6	21.6	—	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	—
	短周期レベル	A_{a1}	[N·m/s ²]	$A_{a1}=4\pi\beta^2\Delta\sigma_{a1}(S_{a1}/\pi)^{0.5}$	—	1.96E+19	1.26E+19	1.69E+19	1.90E+19	—	1.97E+19	1.80E+19	1.96E+19	1.09E+19	1.80E+19	1.96E+19	—
第2アスベリテイ	地震モーメント	M_{0a2}	[N·m]	$M_{0a2}=\mu \cdot D_{a2} \cdot S_{a2}$	—	—	—	—	—	—	1.09E+19	—	—	2.11E+19	—	1.85E+19	—
	面積	S_{a2}	[km ²]	—	—	—	—	—	—	—	41.2	—	—	67.1	—	61.1	—
	平均すべり量	D_{a2}	[cm]	$D_{a2}=(\gamma_2/\Sigma\gamma_i^3) \cdot D_a$, $\gamma_i=r_i/r$	—	—	—	—	—	—	798	—	—	950	—	968	—
	実効応力	σ_{a2}	[MPa]	$\sigma_{a2}=\Delta\sigma_a$	—	—	—	—	—	—	21.6	—	—	21.6	—	21.6	—
	短周期レベル	A_{a2}	[N·m/s ²]	$A_{a2}=4\pi\beta^2\Delta\sigma_{a2}(S_{a2}/\pi)^{0.5}$	—	—	—	—	—	—	1.21E+19	—	—	1.54E+19	—	1.39E+19	—
第3アスベリテイ	地震モーメント	M_{0a3}	[N·m]	$M_{0a3}=\mu \cdot D_{a3} \cdot S_{a3}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.43E+19	—	—	—
	面積	S_{a3}	[km ²]	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	92.9	—	—	—
	平均すべり量	D_{a3}	[cm]	$D_{a3}=(\gamma_3/\Sigma\gamma_i^3) \cdot D_a$, $\gamma_i=r_i/r$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1118	—	—	—
	実効応力	σ_{a3}	[MPa]	$\sigma_{a3}=\Delta\sigma_a$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21.6	—	—	—
	短周期レベル	A_{a3}	[N·m/s ²]	$A_{a3}=4\pi\beta^2\Delta\sigma_{a3}(S_{a3}/\pi)^{0.5}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.81E+19	—	—	—
第4アスベリテイ	地震モーメント	M_{0a4}	[N·m]	$M_{0a4}=\mu \cdot D_{a4} \cdot S_{a4}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6.84E+19	—	—	—
	面積	S_{a4}	[km ²]	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	147.1	—	—	—
	平均すべり量	D_{a4}	[cm]	$D_{a4}=(\gamma_4/\Sigma\gamma_i^3) \cdot D_a$, $\gamma_i=r_i/r$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1407	—	—	—
	実効応力	σ_{a4}	[MPa]	$\sigma_{a4}=\Delta\sigma_a$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21.6	—	—	—
	短周期レベル	A_{a4}	[N·m/s ²]	$A_{a4}=4\pi\beta^2\Delta\sigma_{a4}(S_{a4}/\pi)^{0.5}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.28E+19	—	—	—
背景領域	地震モーメント	M_{0b}	[N·m]	$M_{0b}=M_0 \cdot M_{0b}$	—	5.54E+19	2.31E+19	4.15E+19	3.60E+19	1.64E+19	7.71E+19	4.71E+19	5.57E+19	1.74E+20	5.27E+19	6.67E+19	2.70E+19
	面積	S_b	[km ²]	$S_b=S-S_a$	—	395.6	164.9	296.7	257.4	117.0	551.1	336.8	398.0	1243.4	376.8	476.6	193.2
	平均すべり量	D_b	[cm]	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$	—	423	423	423	423	423	423	423	423	423	449	449	449
	実効応力	σ_b	[MPa]	$\sigma_b=0.2 \cdot \Delta\sigma_a$	—	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3
	短周期レベル	A_b	[N·m/s ²]	$A_b=4\pi\beta^2\sigma_b(S_b/\pi)^{0.5}$	—	7.47E+18	4.82E+18	6.47E+18	6.03E+18	4.06E+18	8.82E+18	6.89E+18	7.49E+18	1.32E+19	6.88E+18	7.74E+18	4.93E+18

基本, 不確かさ考慮①(応力降下量), 不確かさ考慮④(破壊伝播速度) by 入倉・三宅の手法

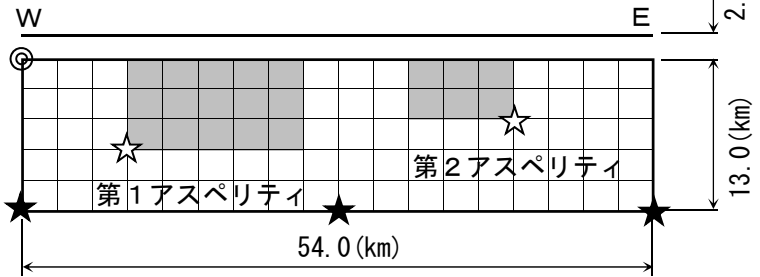
【断層諸元】

- ・断層長さ : 54km
- ・断層傾斜角 : 90°
- ・アスペリティ位置 : 上端
- ・破壊開始点 : 断層西下端, 中央下端, 東下端
(応力降下量のケースではアスペリティ下端を追加)

基準点

E132° 1' 42"

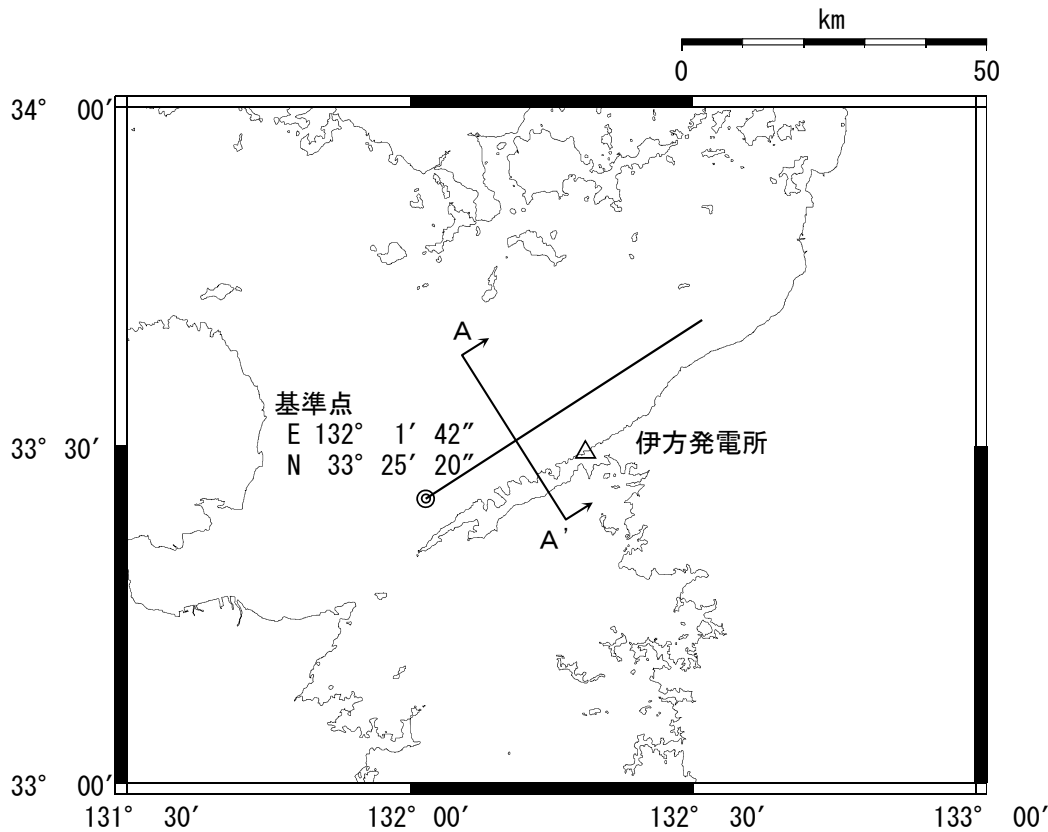
N 33° 25' 20"



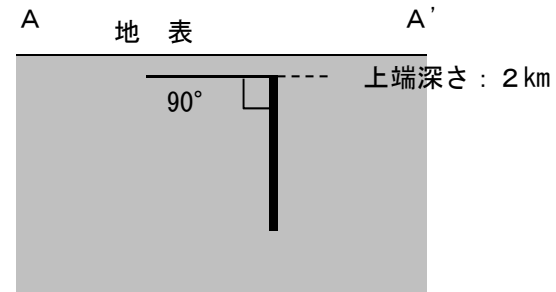
★ : 破壊開始点

☆ : 応力降下量の不確かさケースで想定する開始点

断層モデル図



断層位置図



(A-A' 断面図)



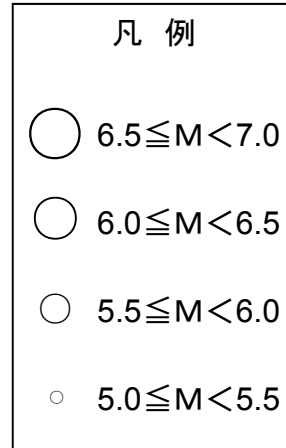
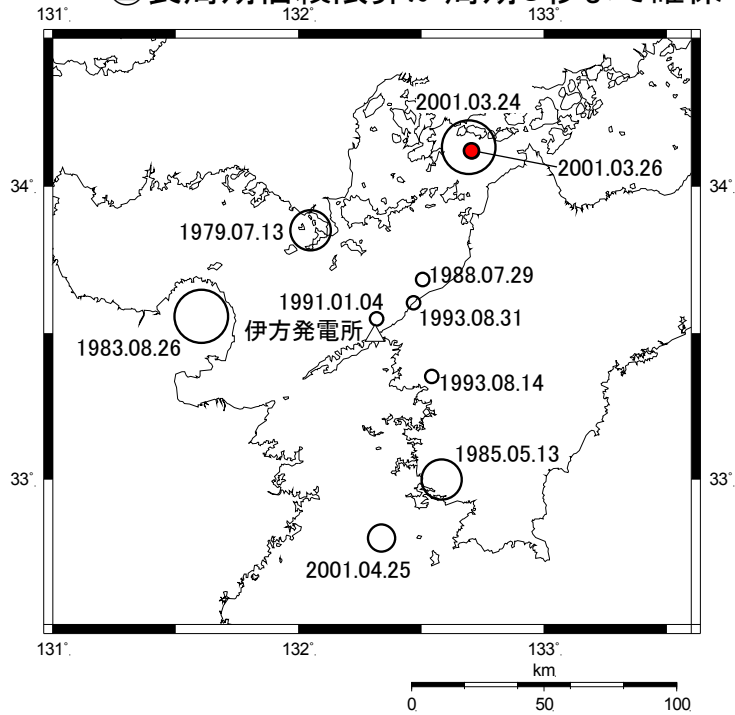
基本, 不確かさ考慮①~⑤ by 入倉・三宅の手法

断層パラメータ		記号	単位	基本ケースの設定方法	基本	不確かさ① 応力降下量	不確かさ② 北傾斜	不確かさ③ 南傾斜	不確かさ④ 破壊伝播速度	不確かさ⑤ 敷地正面
断層位置	西端	—	北緯		33° 25' 20"	33° 25' 20"	33° 25' 20"	33° 25' 20"	33° 25' 20"	33° 25' 20"
		—	東経		132° 1' 42"	132° 1' 42"	132° 1' 42"	132° 1' 42"	132° 1' 42"	132° 1' 42"
走向	θ	[度]			N57E	N57E	N57E	N57E	N57E	N57E
傾斜角	δ	[度]			90	90	30	80S	90	90
ずれの種類	—	—			右横ずれ	右横ずれ	右横ずれ	右横ずれ	右横ずれ	右横ずれ
断層上端深さ	H	[km]			2	2	2	2	2	2
断層長さ	L	[km]			54.0	54.0	54.0	54.0	54.0	54.0
断層幅	W	[km]	$W=S/L$		13.0	13.0	26.0	13.2	13.0	13.0
断層面積	S	[km ²]	$S=\Sigma(L \times W)$		702.0	702.0	1404.0	712.8	702.0	702.0
剛性率	μ	[N/m ²]	$\mu=\rho\beta^2$		3.31E+10	3.31E+10	3.31E+10	3.31E+10	3.31E+10	3.31E+10
S波速度	β	[km/s]			3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
密度	ρ	[g/cm ³]			2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
破壊伝播速度	V_r	[km/s]	$V_r=0.72\beta$ (Geller et al., 1976)		2.5	2.5	2.5	2.5	3.0	2.5
地震モーメント	M_0	[N・m]	入倉・三宅(2001)		2.74E+19	2.74E+19	1.10E+20	2.83E+19	2.74E+19	2.74E+19
モーメントマグニチュード	M_w	—	kanamori(1977)		6.9	6.9	7.3	6.9	6.9	6.9
気象庁マグニチュード	M_J	—	武村(1998)		7.3	7.3	7.8	7.3	7.3	7.3
平均すべり量	D	[cm]	$D=M_0/(\mu S)$		118	118	236	120	118	118
平均応力降下量	$\Delta\sigma$	[MPa]	$\Delta\sigma=3.1\text{MPa}$ (Fujii & Matsu'ura,2000)		3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1
短周期レベル	A'	[N・m/s ²]	$A'=(A_a^2+A_b^2)^{0.5}$		1.65E+19	2.47E+19	2.33E+19	1.66E+19	1.65E+19	1.65E+19
全 ア ス ベ リ テ イ	地震モーメント	M_{0a}	[N・m]	$M_{0a}=\mu D_a S_a$	1.18E+19	1.18E+19	4.71E+19	1.22E+19	1.18E+19	1.18E+19
	面積	S_a	[km ²]	$S_a=0.215 \cdot S$ (設定値 $S_a/S=21.5\%$)	150.9	150.9	301.9	153.3	150.9	150.9
	平均すべり量	D_a	[cm]	$D_a=\gamma_D \cdot D, \gamma_D=2.0$	236	236	472	240	236	236
	応力降下量	$\Delta\sigma_a$	[MPa]	$\Delta\sigma_a=\Delta\sigma/0.215$	14.4	21.6	14.4	14.4	14.4	14.4
	短周期レベル	A_a	[N・m/s ²]	$A_a=4\pi\beta^2 \Delta\sigma_a (S_a/\pi)^{0.5}$	1.54E+19	2.31E+19	2.18E+19	1.55E+19	1.54E+19	1.54E+19
第 1 ア ス ベ リ テ イ	地震モーメント	M_{0a1}	[N・m]	$M_{0a1}=\mu \cdot D_{a1} \cdot S_{a1}$	9.59E+18	9.59E+18	3.83E+19	9.88E+18	9.59E+18	9.59E+18
	面積	S_{a1}	[km ²]		109.8	109.8	219.5	111.5	109.8	109.8
	平均すべり量	D_{a1}	[cm]	$D_{a1}=(\gamma_1/\Sigma\gamma_i^3) \cdot D_a, \gamma_i=r_i/r$	264	264	528	268	264	264
	実効応力	σ_{a1}	[MPa]	$\sigma_{a1}=\Delta\sigma_a$	14.4	21.6	14.4	14.4	14.4	14.4
	短周期レベル	A_{a1}	[N・m/s ²]	$A_{a1}=4\pi\beta^2 \sigma_{a1} (S_{a1}/\pi)^{0.5}$	1.31E+19	1.97E+19	1.86E+19	1.32E+19	1.31E+19	1.31E+19
第 2 ア ス ベ リ テ イ	地震モーメント	M_{0a2}	[N・m]	$M_{0a2}=\mu \cdot D_{a2} \cdot S_{a2}$	2.20E+18	2.20E+18	8.81E+18	2.27E+18	2.20E+18	2.20E+18
	面積	S_{a2}	[km ²]		41.2	41.2	82.3	41.8	41.2	41.2
	平均すべり量	D_{a2}	[cm]	$D_{a2}=(\gamma_2/\Sigma\gamma_i^3) \cdot D_a, \gamma_i=r_i/r$	162	162	323	164	162	162
	実効応力	σ_{a2}	[MPa]	$\sigma_{a2}=\Delta\sigma_a$	14.4	21.6	14.4	14.4	14.4	14.4
	短周期レベル	A_{a2}	[N・m/s ²]	$A_{a2}=4\pi\beta^2 \sigma_{a2} (S_{a2}/\pi)^{0.5}$	8.03E+18	1.21E+19	1.14E+19	8.10E+18	8.03E+18	8.03E+18
背 景 領 域	地震モーメント	M_{0b}	[N・m]	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$	1.56E+19	1.56E+19	6.25E+19	1.61E+19	1.56E+19	1.56E+19
	面積	S_b	[km ²]	$S_b=S-S_a$	551.1	551.1	1102.1	559.5	551.1	551.1
	平均すべり量	D_b	[cm]	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$	86	86	171	87	86	86
	実効応力	σ_b	[MPa]	$\sigma_b=0.2 \cdot \Delta\sigma_a$	2.9	4.3	2.9	2.9	2.9	2.9
	短周期レベル	A_b	[N・m/s ²]	$A_b=4\pi\beta^2 \sigma_b (S_b/\pi)^{0.5}$	5.88E+18	8.82E+18	8.31E+18	5.92E+18	5.88E+18	5.88E+18

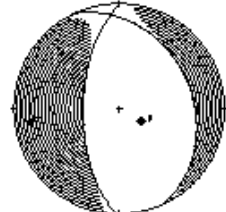
経験的グリーン関数法の要素地震

➤ 要素地震の選定および選定基準

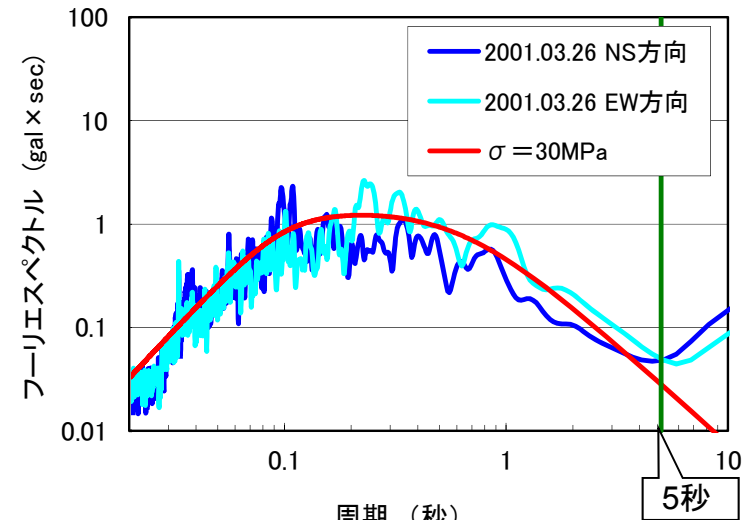
- ①伝播特性を勘案し、伊予灘側に震源がある地震
- ②長周期信頼限界が周期5秒まで確保できる記録



2001/03/26, 05:41

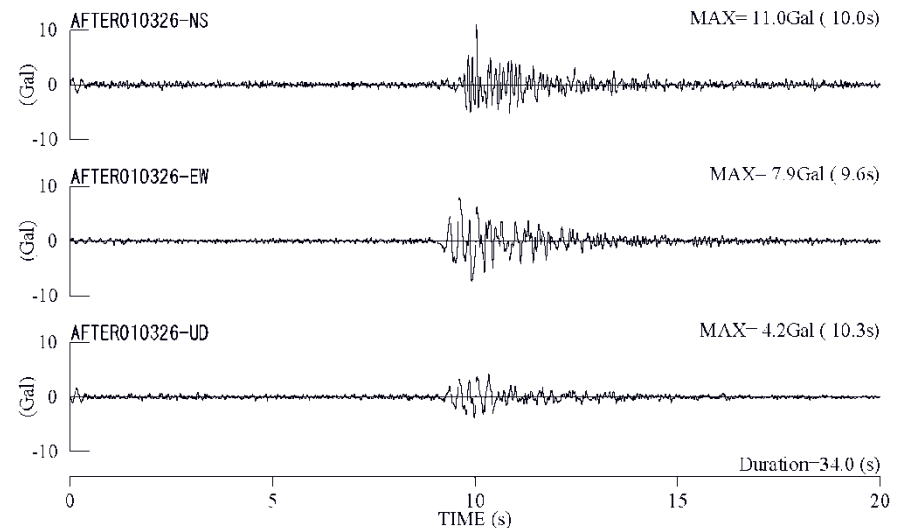


34.1N 132.7E 38km Mw5.1
 strike: 335 dip: 31 slip: -113
 mxx: -0.36 mxy: 0.91 mzx: 0.45
 myy: 4.07 myz: -2.55 mzz: -3.71
 unit: 1e+16 moment: 4.76e+16 Nm



2001年3月26日の地震

要素地震の時刻歴波形






地盤構造モデル

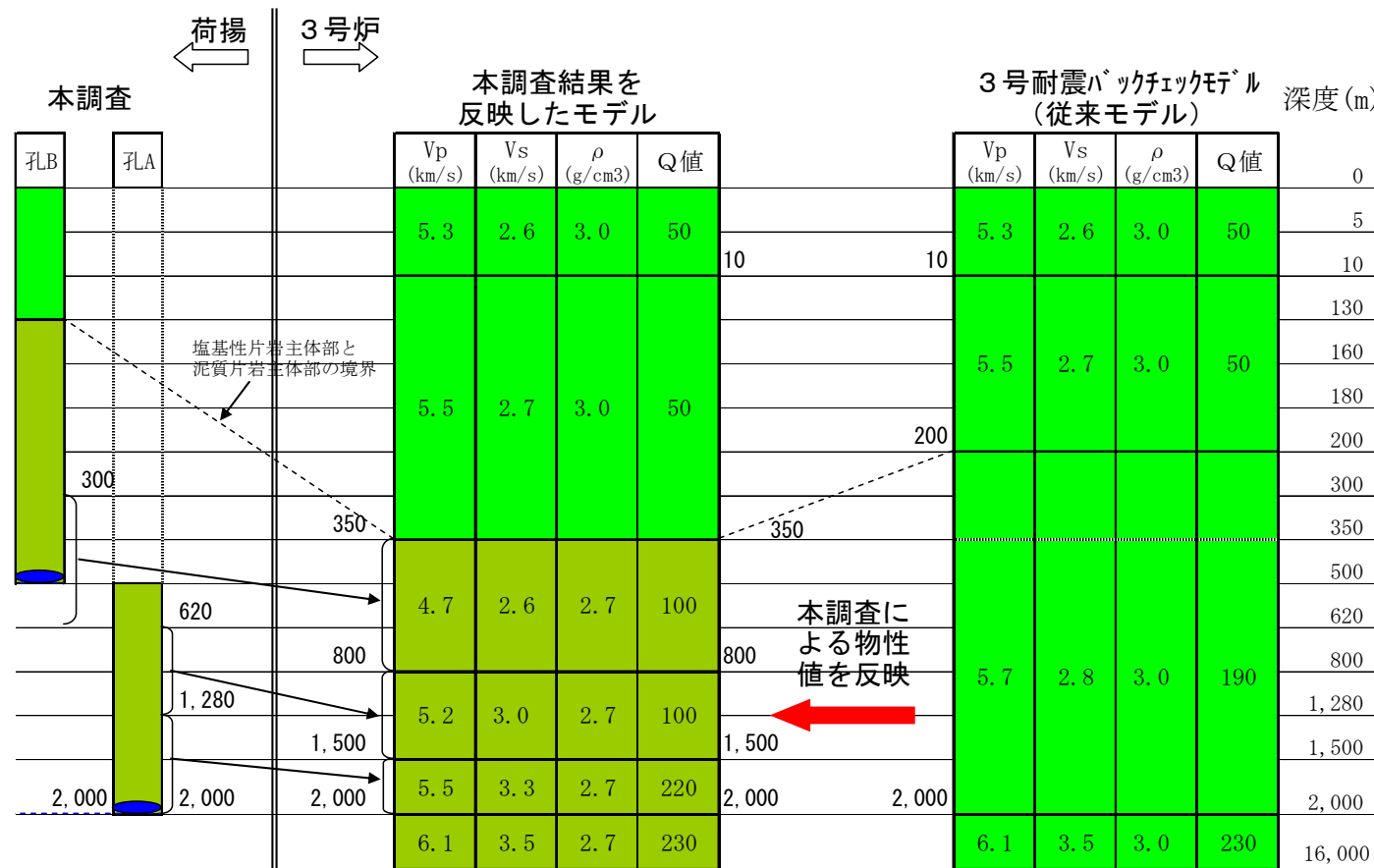
長周期地震動の理論計算に用いる地盤構造モデルは大深度ボーリングにおける地質調査結果を反映したものとする。

大深度ボーリング

3号炉心

【凡例】

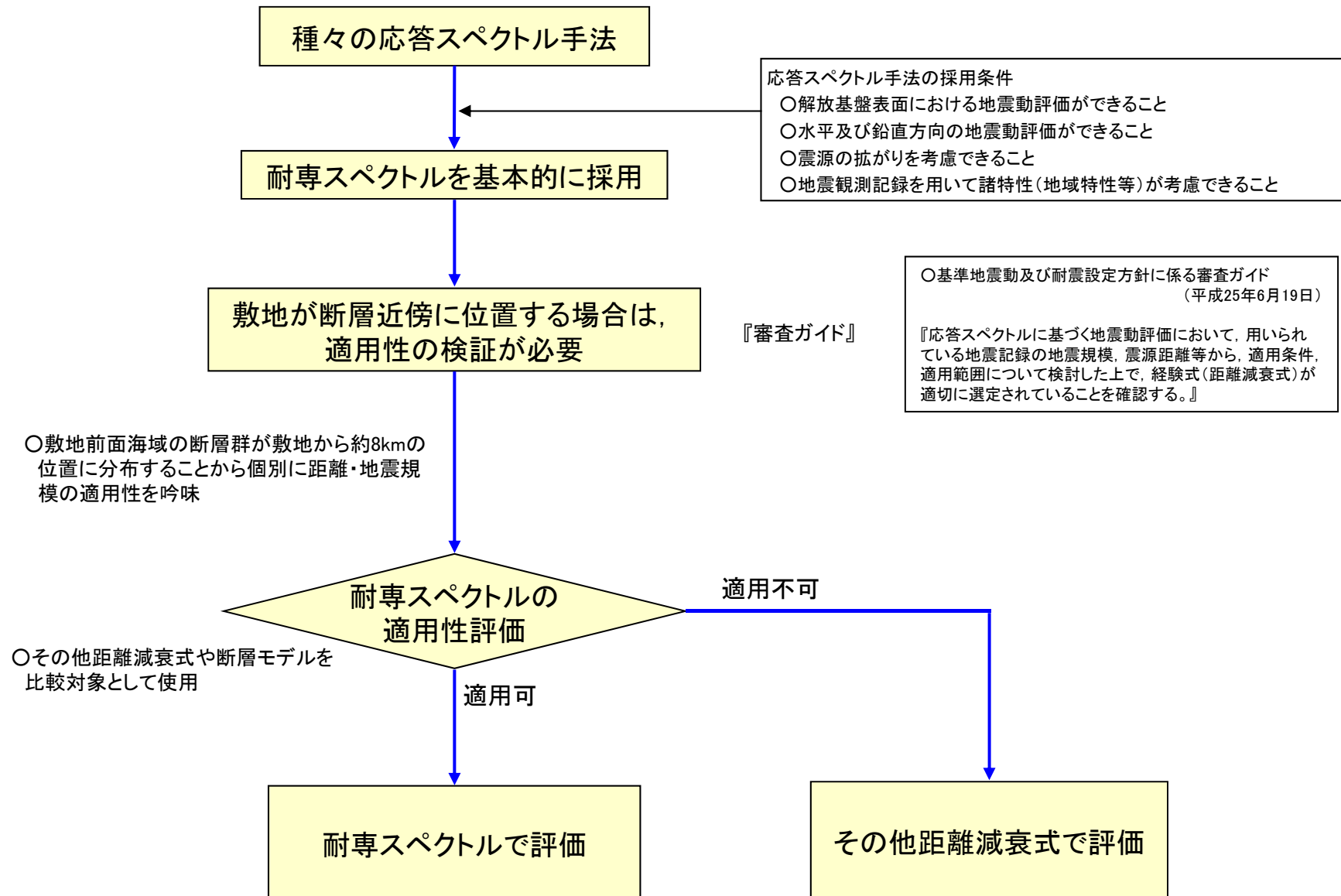
-  : 地震計設置位置
-  : 塩基性片岩主体層
-  : 泥質片岩主体層



←解放基盤表面 (標高10m)

←地震基盤 (地下2km)

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いため、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

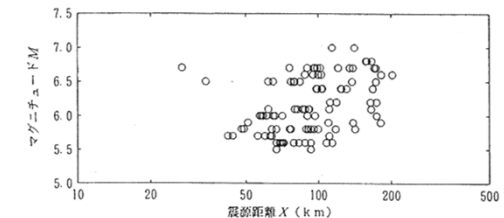
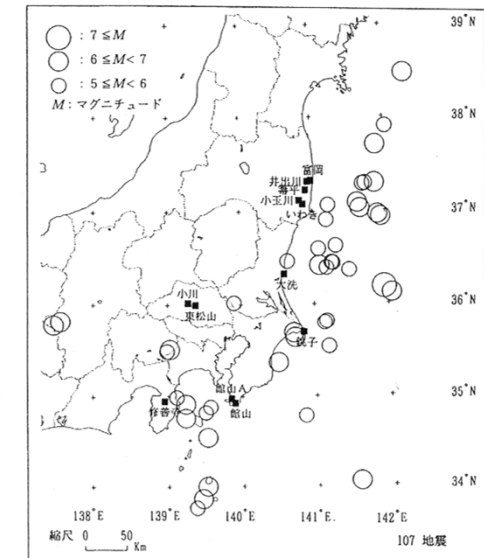
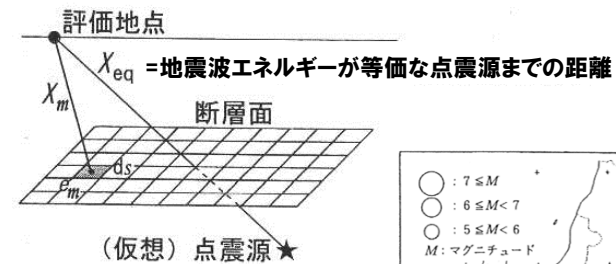
敷地周辺の観測記録がないため観測記録による補正は行わない。



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	<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	$500 \leq V_s^{*3} \leq 2700 \text{ m/s}$ $(1700 \leq V_p^{*3} \leq 5500 \text{ m/s})$	
備考	【適用性の確認に用いたデータ】	
	<ul style="list-style-type: none"> ・国内23記録 ・M : 5.4~7.7 ・Xeq: 17~216km 	<ul style="list-style-type: none"> ・海外14記録 ・M : 5.7~8.1 ・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。

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

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)]	○ (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)	△	○
片岡・他(2006)	△※ (Vs30=720m/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的に用いる。

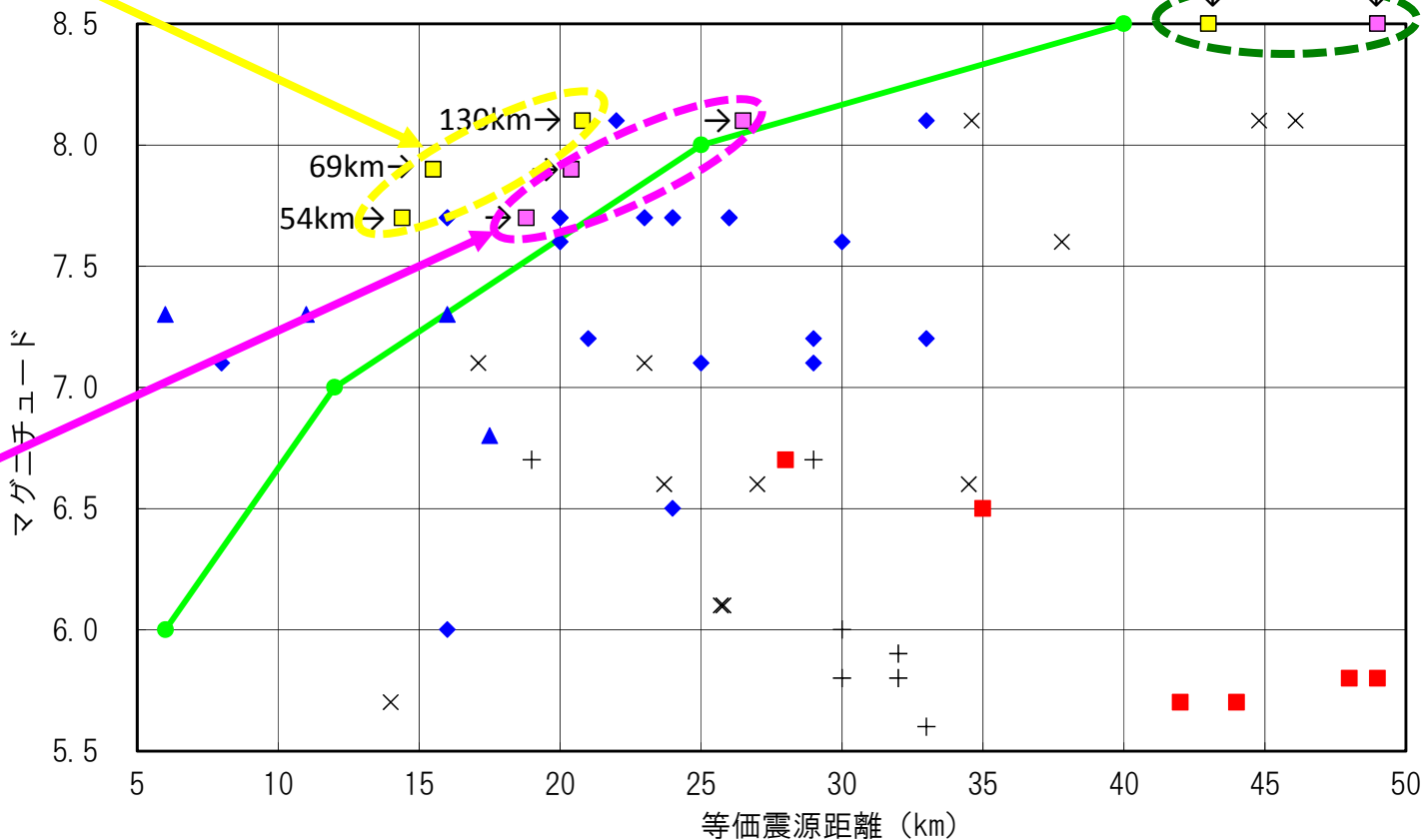
耐専スペクトルの適用について

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。

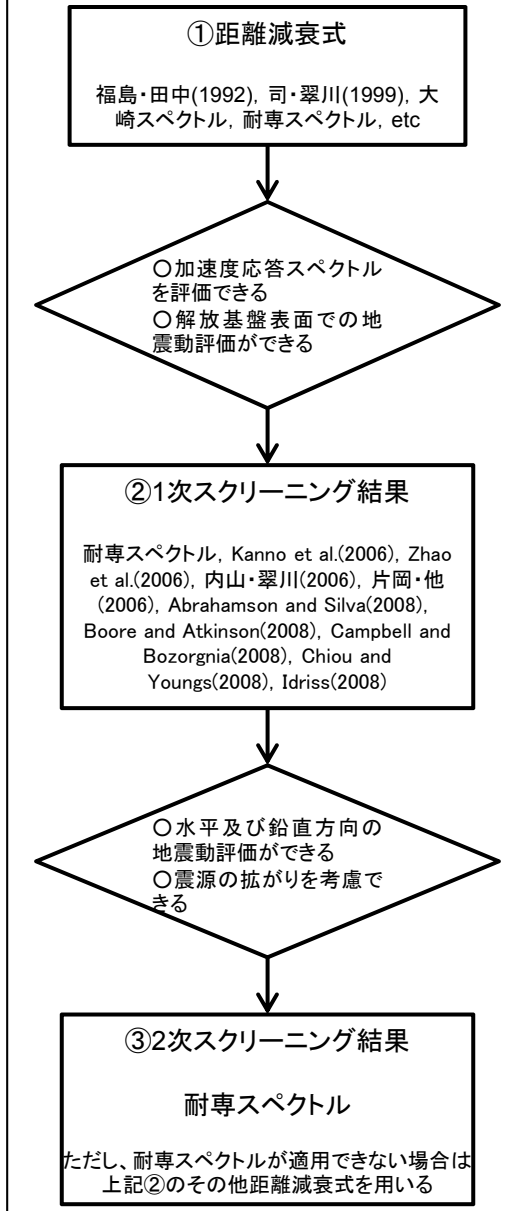
- 耐専回帰式作成に用いた観測記録 (107記録)
- + 耐専の適用性検討に用いた他地点観測記録 (国内: 23記録)
- × 耐専の適用性検討に用いた他地点観測記録 (海外: 14記録)
- ▲ 震源近傍の適用性検討記録 (国内: 4記録)
- ◆ 震源近傍の適用性検討記録 (海外: 22記録)
- 耐専スペクトル極近距離
- 伊方 鉛直
- 伊方 北傾斜

耐専スペクトル(内陸補正なし)で評価する。

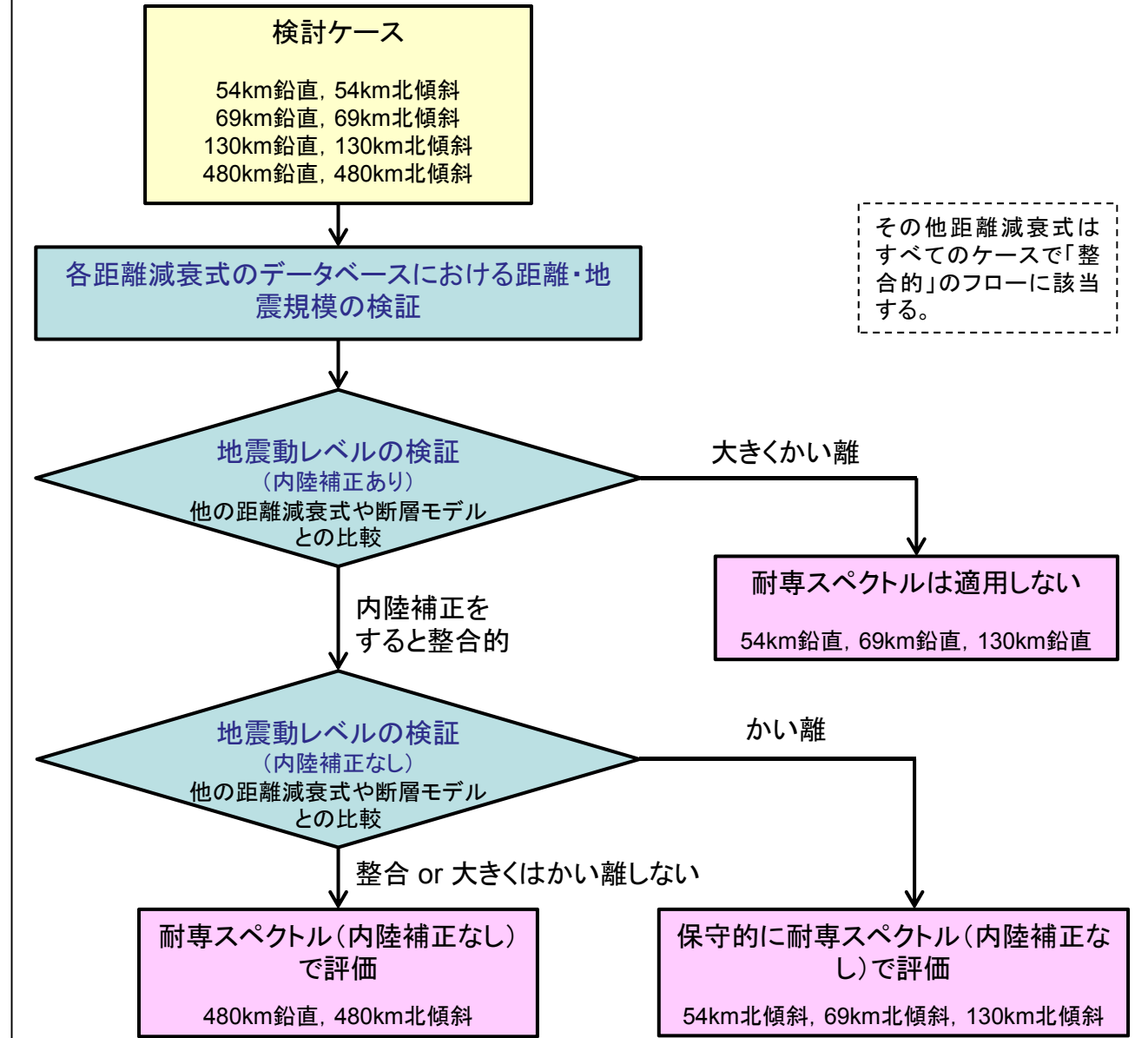


適用性の検証結果

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



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。

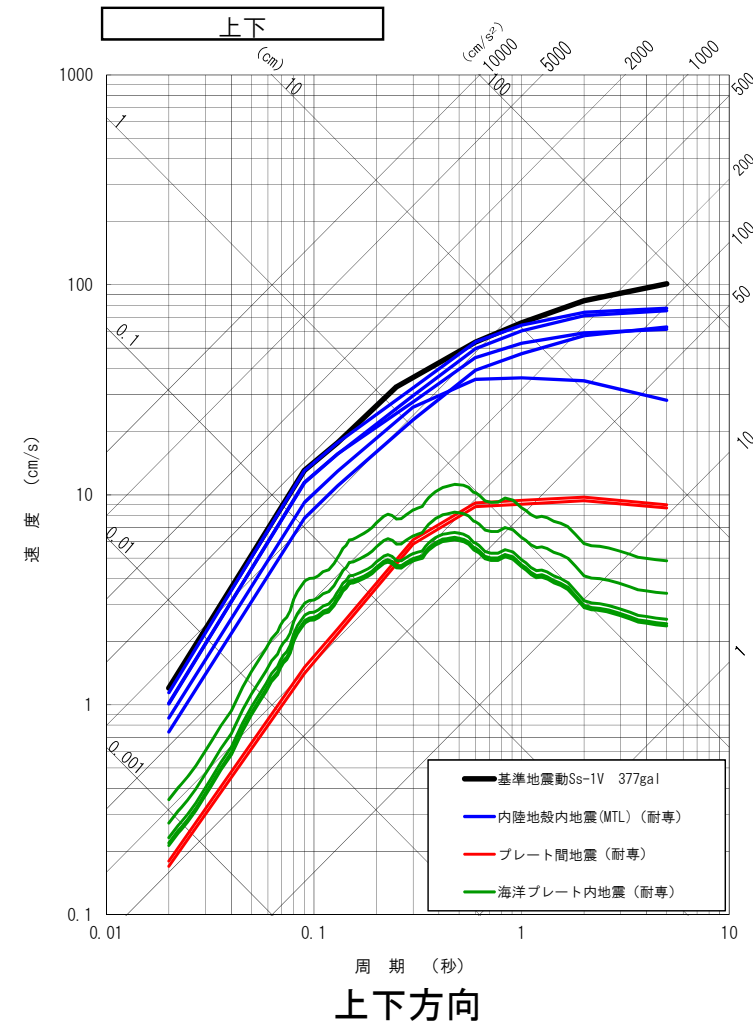
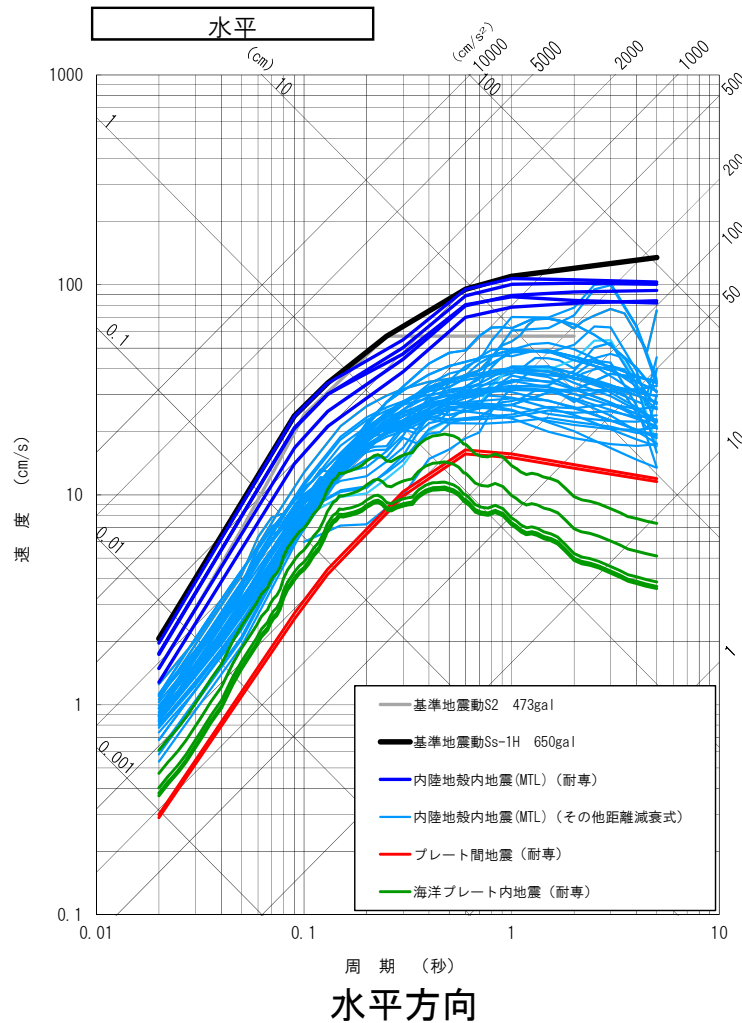
検討ケース	採用する手法	
	水平動の評価	鉛直動の評価
480km鉛直	耐専スペクトル※	耐専スペクトル
	その他距離減衰式	
480km北傾斜	耐専スペクトル	耐専スペクトル
	その他距離減衰式	
130km鉛直	その他距離減衰式	—
130km北傾斜	耐専スペクトル その他距離減衰式	耐専スペクトル
69km鉛直	その他距離減衰式	—
69km北傾斜	耐専スペクトル その他距離減衰式	耐専スペクトル
54km鉛直	その他距離減衰式	—
54km北傾斜	耐専スペクトル その他距離減衰式	耐専スペクトル

○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)

□:前回部会(平成26年6月4日)より追加 (※:前回部会時は参考扱い)

基準地震動Ss-1の策定

○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。



断層モデル解析のまとめ

中央構造線断層帯に対して種々の不確かさを想定して断層モデル解析を実施した結果を比較・検討すると、以下のようなことが言える。

- 短周期地震動に最も影響が大きい不確かさは、応力降下量であり、いくつかのケースで申請時Ssを超える結果となった。
- 破壊伝播速度の不確かさについては、破壊伝播速度を大きくした場合には、長周期地震動に影響があることを確認した。いくつかのケースの長周期側で申請時Ssを超過する結果となった。
- スケーリング則にFujii and Matsu'uraの手法を採用した場合には、壇の手法よりも大きめの地震モーメントとなっていることから、長周期側で地震動が大きくなった。入倉・三宅の手法を採用した場合には、長周期側で小さくなった。短周期地震動については、長周期側に比べると顕著な影響がないことを確認した。
- そのほかの不確かさ(傾斜角, アスペリティ位置)については、あまり影響は大きくなく、申請時Ssを上回るものではないことを確認した。
- 断層モデル解析による地震動評価結果は、1999年kocaeli地震など長大断層における断層近傍の岩盤観測点の記録と整合的であることを確認した。また、地震本部による強震動予測結果よりも保守的な評価となっていることも確認した。以上より、種々の不確かさを想定して求めた地震動は適切なものと評価される。

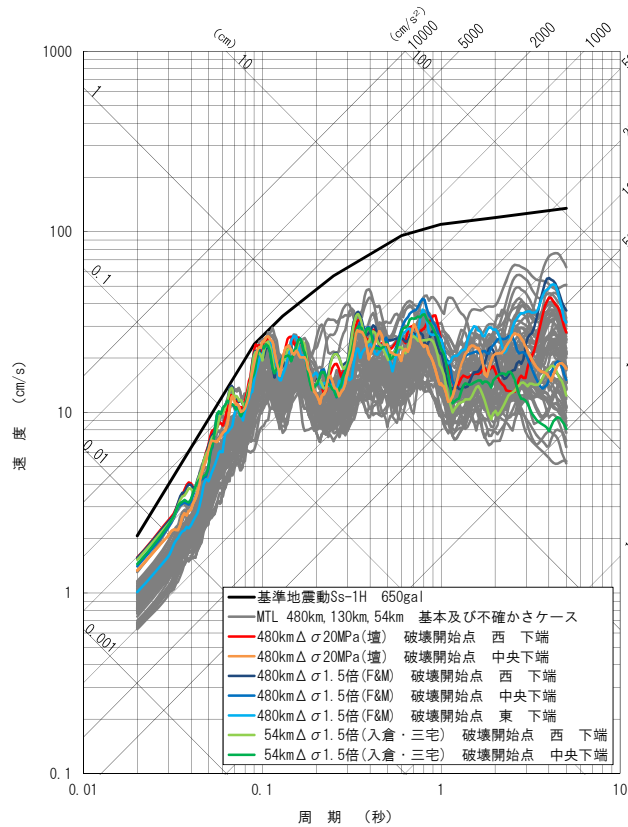
地震動評価結果の集約

No.	検討ケース (不確かさ)	480km		130km		54km	
		壇の手法	F&Mの手法	壇の手法	F&Mの手法	壇の手法	入倉・三宅 の手法
0	基本震源モデル	▽	▽	▽	▽	▽	▽
1	応力降下量	◎	◎	480kmで代表	480kmで代表	480kmで代表	◎
2	地質境界断層の知見(北傾斜)	▽	—	480kmで代表	—	480kmで代表	▽
3	角度のばらつき(南傾斜)	▽	—	480kmで代表	—	480kmで代表	▽
4	破壊伝播速度	○	○	480kmで代表	480kmで代表	▽	▽
5	アスペリティの平面位置	▽	—	480kmで代表	—	480kmで代表	▽

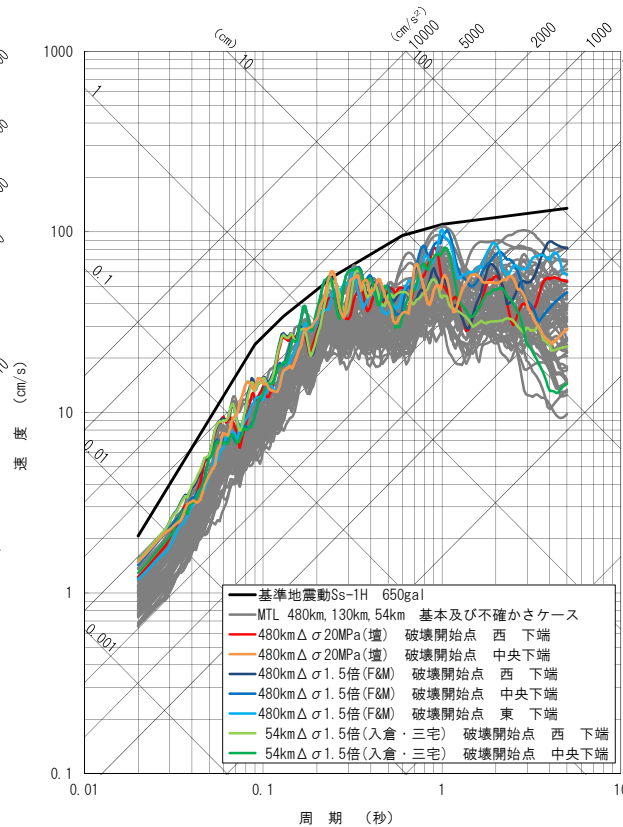
◎: 短周期側で申請時Ssを超過, ○: 長周期側で申請時Ssを超過, ▽: 申請時Ssに収まる, —: ケースを想定していない

基準地震動Ss-2候補の選定

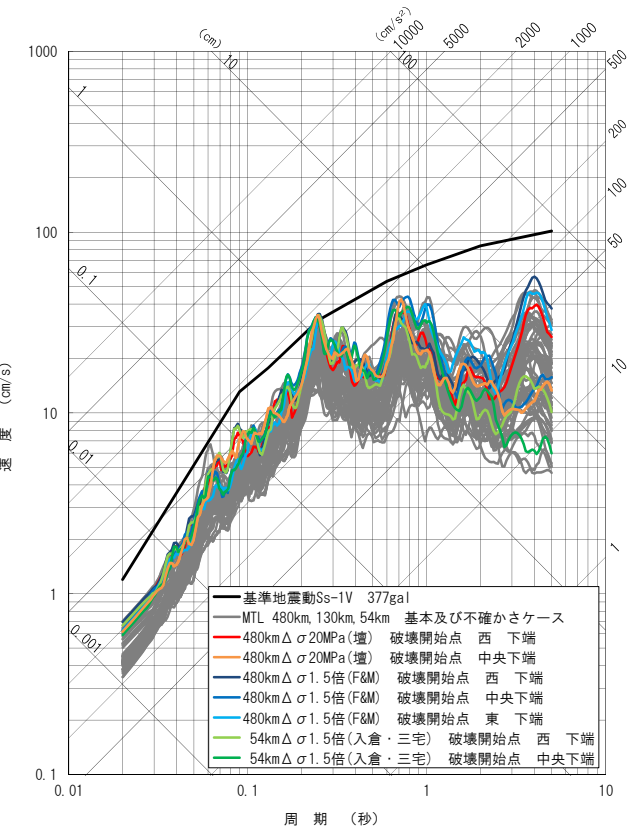
○中央構造線断層帯の断層モデル解析結果を先に設定した基準地震動Ss-1と比較する。Ss-1を超えるケース(480km×壇×応力降下量, 480km×F&M×応力降下量, 54km×入倉・三宅×応力降下量)について, 長周期理論地震動を算出し, ハイブリッド合成を行うこととする。



NS方向



EW方向



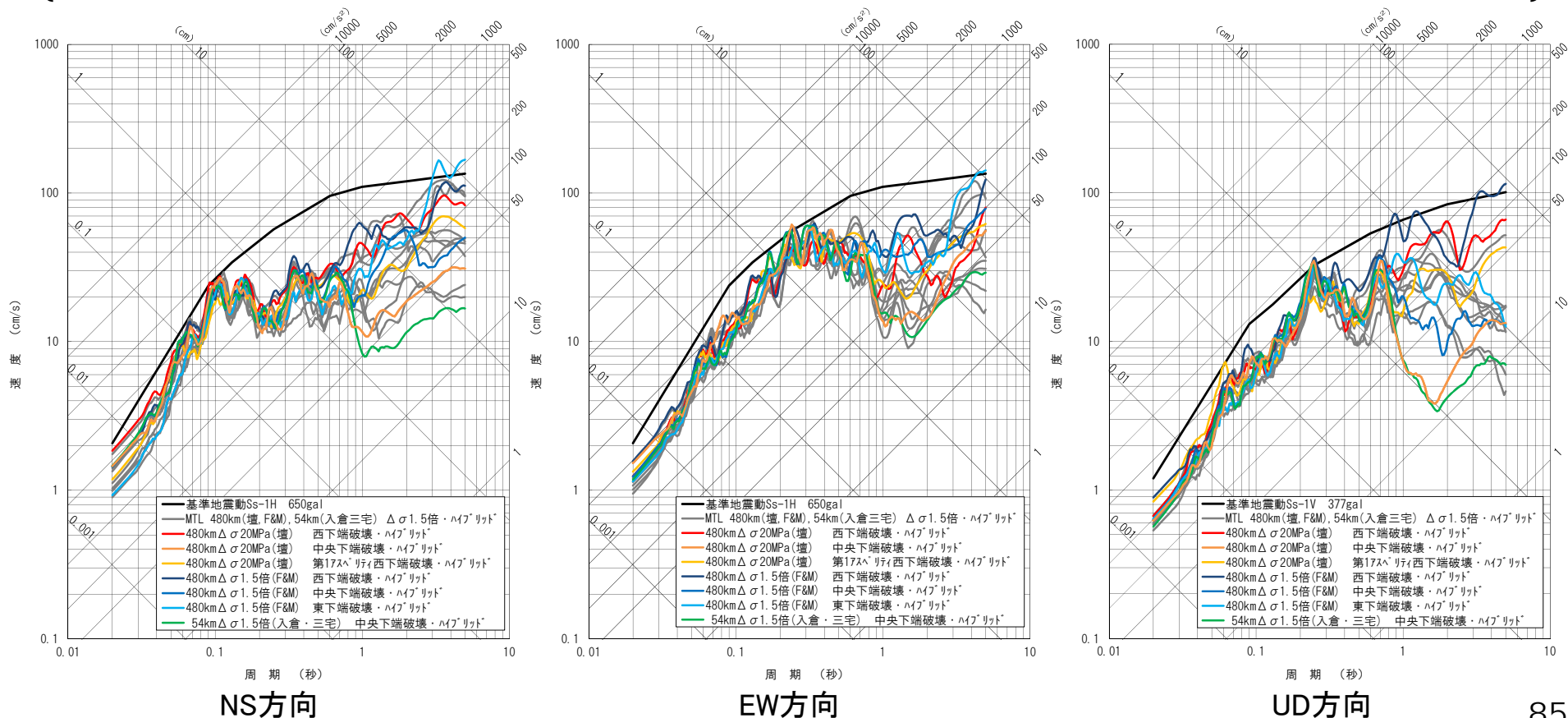
UD方向



基準地震動Ss-2の策定①

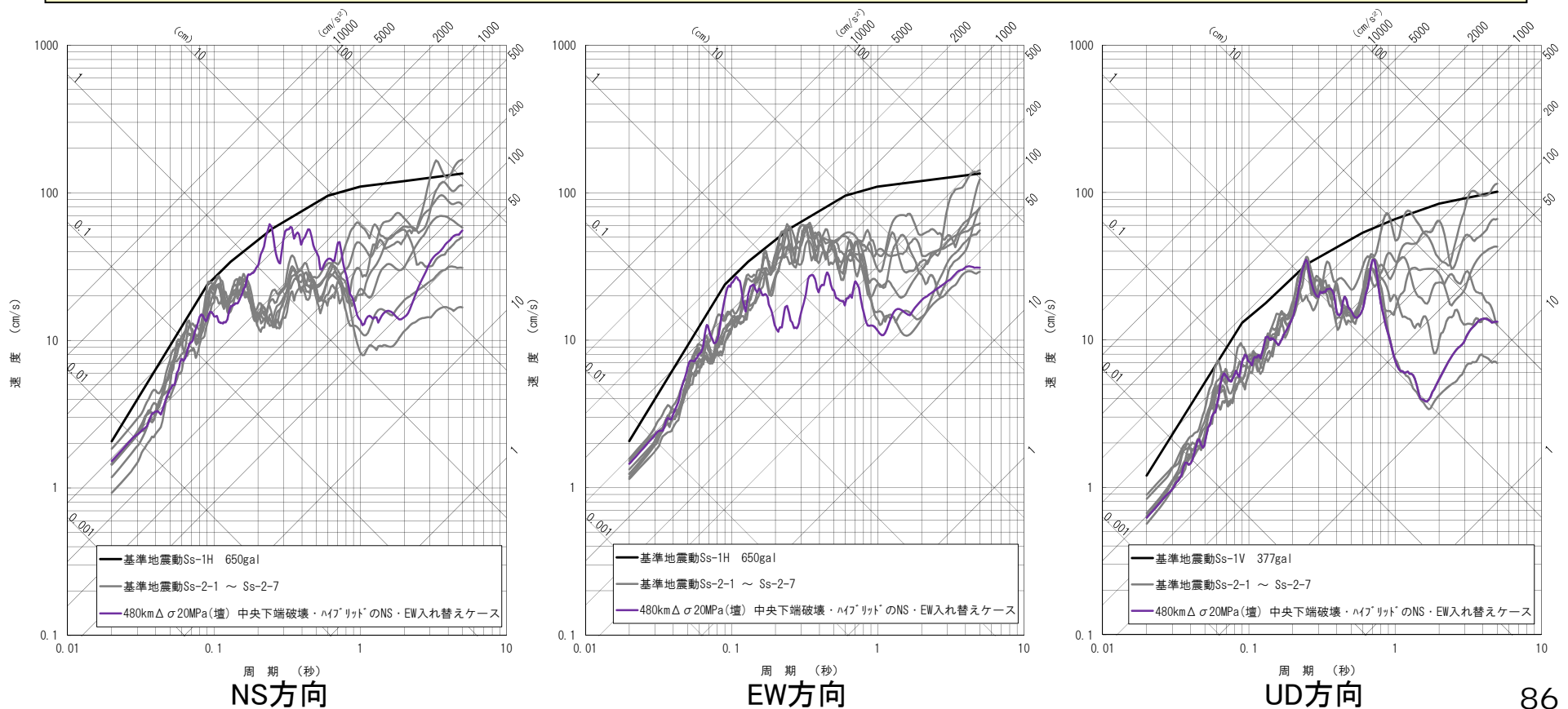
- 480km×壇×応力降下量, 480km×F&M×応力降下量, 54km×入倉・三宅×応力降下量ケースについて, 1.5Hz (周期0.6秒)より長周期側を波数積分法により算出し, 周期0.8秒を接続周期としてハイブリッド合成を行った。
- 前ページの経験的グリーン関数法の結果と比較して, NSやUDの長周期側ではハイブリッド合成の方が大きめの傾向を示していることから, ハイブリッド合成法の結果を基準地震動として採用することとする。
- そして, 新しい基準地震動Ss-1を超える7波を基準地震動Ss-2として設定する。

※1: 480km Δσ 20MPa (壇) の第1アスペリティ西下端破壊のケースについては, EGFではSs-1を超過していないが, ハイブリッド合成の結果が超過したため, Ss-2として設定する。
 ※2: 54km Δσ 1.5倍 (入倉・三宅) の西下端破壊のケースについては, 上下方向でSs-1を超過するが, 超過する周期帯で480km Δσ 1.5倍 (F&M) 西下端破壊のケースに包絡されるため, Ss-2には設定しない。



基準地震動Ss-2の策定②

- 基準地震動Ss-2の策定においては、要素地震のNS成分の長周期側が小さい特徴を補うため、ハイブリッド合成を行い、長周期側には理論地震動をあてがった波を基準地震動に設定している。ハイブリッドに際しては、極力短周期側まで理論地震動を採用する方針とし、結果的に接続周期を0.8秒とした。
- これより、NS方向の周期0.02~0.2秒の短周期側および0.8秒以上の長周期側については、信頼性の高い、保守的な評価となっていると考える。周期0.2~0.8秒の間は観測記録のパワーが小さいが、断層モデル波における一部の周期帯の落ち込みは、基準地震動Ss-1によってカバーされるものとする。
- しかしながらEGFの結果においては、EW方向の周期0.2~0.3秒の付近でSs-1を超過する結果が得られている。仮に、要素地震のNS方向の波がEW方向の波と同程度のレベルであった場合には、NS方向でもSs-1を超過する可能性を否定できない。
- そこで、工学的判断として、EW方向の周期0.2~0.3秒でSs-1を超過するケースについて、EWとNSを入れ替えたケースをSs-2として設定することとする。NSとEWを入れ替えるケースとしては、Ss-1を超過する度合いが大きく、かつスケーリング則として基本に考えている壇の手法に基づく結果である、480km応力降下量20MPaの中央破壊ハイブリッドを選定する。



検討方針(震源を特定せず策定する地震動)

- 「震源を特定せず策定する地震動」は、震源と活断層を関連付けることが困難な過去の内陸地殻内地震について得られた震源近傍における観測記録を収集し、これらを基に敷地の地盤物性を加味した応答スペクトルを設定する。
- 観測記録の収集では、以下の2つの観点で審査ガイドに示された16地震を対象に整理を行う。
 - ①震源断層がほぼ地震発生層の厚さ全体に広がっているものの、地表地震断層としてその全容を表すまでには至っていないMw6.5以上の地震
 - ②断層破壊領域が地震発生層内部にとどまり、国内においてどこでも発生すると考えられる地震で、震源の位置も規模もわからない地震として地質学的検討から全国共通に考慮すべきMw6.5未満の地震

表-1 収集対象となる内陸地殻内の地震の例

No	地震名	日時	規模
1	2008年岩手・宮城内陸地震	2008/06/14, 08:43	Mw6.9
2	2000年鳥取県西部地震	2000/10/06, 13:30	Mw6.6
3	2011年長野県北部地震	2011/03/12, 03:59	Mw6.2
4	1997年3月鹿児島県北西部地震	1997/03/26, 17:31	Mw6.1
5	2003年宮城県北部地震	2003/07/26, 07:13	Mw6.1
6	1996年宮城県北部(鬼首)地震	1996/08/11, 03:12	Mw6.0
7	1997年5月鹿児島県北西部地震	1997/05/13, 14:38	Mw6.0
8	1998年岩手県内陸北部地震	1998/09/03, 16:58	Mw5.9
9	2011年静岡県東部地震	2011/03/15, 22:31	Mw5.9
10	1997年山口県北部地震	1997/06/25, 18:50	Mw5.8
11	2011年茨城県北部地震	2011/03/19, 18:56	Mw5.8
12	2013年栃木県北部地震	2013/02/25, 16:23	Mw5.8
13	2004北海道留萌支庁南部地震	2004/12/14, 14:56	Mw5.7
14	2005年福岡県西方沖地震の最大余震	2005/04/20, 06:11	Mw5.4
15	2012年茨城県北部地震	2012/03/10, 02:25	Mw5.2
16	2011年和歌山県北部地震	2011/07/05, 19:18	Mw5.0

- 審査ガイドでは、Mw6.5以上の地震は、「事前に活断層の存在が指摘されていなかった地域において発生し、地表付近に一部の痕跡が確認された地震」とされている。
- また、審査ガイドでは、「活断層や地表地震断層の出現要因の可能性として、地域によって活断層の成熟度が異なること、上部に軟岩や火山岩、堆積層が厚く分布する場合や地質体の違い等の地域差があることが考えられる」とされている。
- これらを踏まえ、伊方発電所立地地点とMw6.5以上の2地震が発生した地域との地域差について検討する。

- Mw6.5未満の地震は、全国共通に考慮すべきとの観点から、震源近傍の観測記録を適切に収集し、整理を行う。

伊方発電所立地地点と岩手・宮城内陸地震震源域の地域差(総合評価)

項目	伊方発電所立地地点	岩手・宮城内陸地震震源域
微小地震の発生状況	極めて低調, 深さ~12kmで発生	非常に活発, 深さ~20km程度で発生
応力場	東西圧縮の横ずれ型 (沖縄トラフの開きによる正断層型への遷移域)	東西圧縮の逆断層型
変位地形・リニアメント	変位地形・リニアメントなし	孤立した長さの短い活断層あり
地質	堅硬かつ緻密な結晶片岩が少なくとも 地下2kmまで連続, 貫入岩なし	新第三紀以降の 火山岩、堆積岩が厚く分布
第四紀火山との位置 関係	火山フロントより前弧側で離隔あり	火山フロント付近で火山と近接
地震地体構造区	伊方発電所立地地点と岩手・宮城内陸地震震源域とは地震地体構造が異なるとされており, 地震の起こり方も異なる。	

○伊方発電所立地地点と岩手・宮城内陸地震震源域では, 微小地震の発生状況, 応力場, 地形・地質, 第四紀火山との位置関係などにおいて, 特徴が大きく異なる。特に, 審査ガイドに示された活断層や地表地震断層の出現要因の可能性としての軟岩・火山岩・堆積層の厚さの観点から, 堅硬かつ緻密な結晶片岩が少なくとも地下2 kmまで連続する伊方発電所立地地点と新第三紀以降の火山岩, 堆積岩が厚く分布する岩手・宮城内陸地震震源域とでは**地域差が顕著**である。

○伊方発電所立地地点と岩手・宮城内陸地震震源域とは地震地体構造が異なるとされており, 地震の起こり方も異なる。したがって, **伊方発電所立地地点では岩手・宮城内陸地震と類似する地震は起こらないと評価される。**

→審査ガイドに従い, 岩手・宮城内陸地震を観測記録収集対象外とする。

伊方発電所立地地点と鳥取県西部地震震源域の地域差(総合比較)

地表 ↑		項目	① 鳥取県西部地震震源域	② 伊方発電所立地地点	
		変位地形・リニアメント	多数のリニアメントが集中	変位地形・リニアメントなし	
活断層の成熟度		活断層の成熟度	活断層の成熟度が低い地域	成熟度の低い活断層が存在し難い地域	
		活断層の成熟度に寄与する要因	歪み蓄積速度	小さい (アムールプレート東進の寄与)	相対的に大きい (フィリピン海プレート沈み込みと対応)
			第四紀火山との位置関係	火山フロント直上で単成火山群と近接	火山フロントより前弧側で離隔あり
			地質	花崗岩主体で安山岩～玄武岩の岩脈が頻繁に貫入	堅硬かつ緻密な結晶片岩が少なくとも地下2kmまで連続, 貫入岩なし
地震が発生する地下深部の情報 ↓ 地下深部		反射断面	水平方向の反射面の連続性が乏しい	成層かつ均質な速度構造	
		応力場	西北西－東南東圧縮の横ずれ型	東西圧縮の横ずれ型 (沖縄トラフの開きによる正断層型への遷移域)	
		微小地震の発生状況	非常に活発, 深さ～20km程度で発生	極めて低調, 深さ～12kmで発生	
		④ 重力異常	有意な地域差は認められず, 他のデータと総合した検討が必要		
		深部地質構造	西南日本の骨格をなす帯状の地質構造の中で異なる地質ユニットに属する。		
		地震波速度構造	下部地殻に低速度異常あり (第四紀火山のマグマ源あり)	下部地殻に低速度異常なし	

③ 地震地体構造	いずれの文献においても伊方発電所立地地点と鳥取県西部地震震源域とは地震地体構造が異なるとされており, 地震の起こり方も異なる。
----------	---

①鳥取県西部地震震源域の地域性の検討

③地震地体構造の検討

②伊方発電所立地地点の地域性の検討

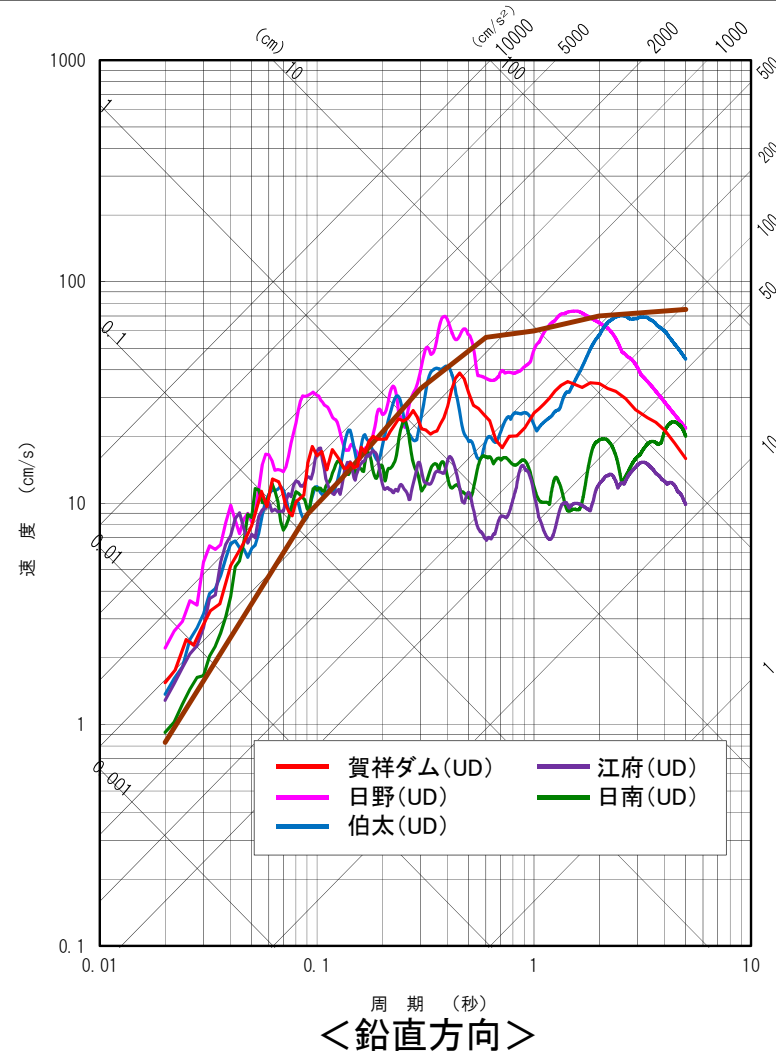
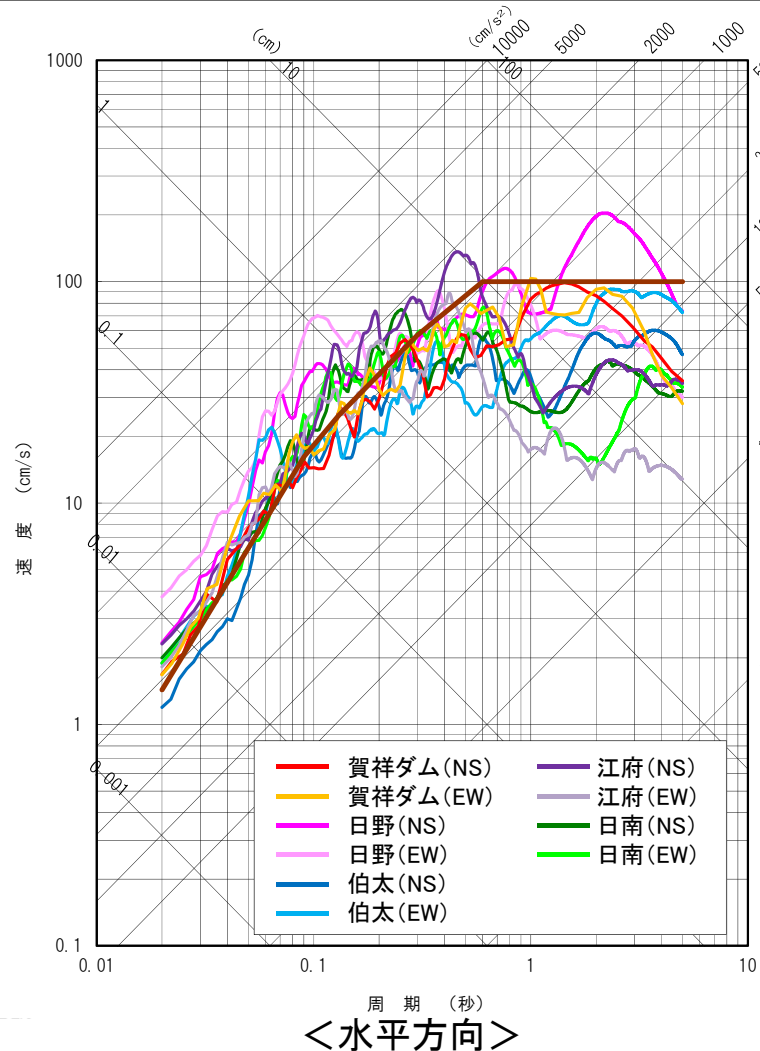
④深部地下構造の検討

伊方発電所立地地点と鳥取県西部地震震源域の地域差(総合評価)

- 審査ガイドに準拠し、活断層や地表地震断層の出現要因として「活断層の成熟度」の地域差の観点から、2000年鳥取県西部地震を観測記録収集対象の地震とするか個別に検討した。その結果、伊方発電所立地地点と鳥取県西部地震震源域では地震テクトニクスが異なり、活断層の成熟度およびこれに寄与する歪み蓄積速度や地下の均質性において地域差が認められるものの、一方で大局的にはいずれも西南日本の東西圧縮横ずれの応力場である。
- そこで、地震が発生する地下深部の構造について、さらに慎重な検討を行った結果、主に中央構造線や第四紀火山との位置関係に関連して両地域の深部地下構造に違いがあると考えられるものの、一方で重力異常に有意な地域差は認められない。
- 以上のように、伊方発電所立地地点と鳥取県西部地震震源域では審査ガイドに示された「活断層の成熟度」に地域差が認められ、地震が発生する深部地下構造にも違いがあると考えられるものの、自然現象の評価と将来予測には不確かさが残るため、大局的にはいずれも西南日本の東西圧縮横ずれの応力場であることを踏まえ、更には原子力安全に対する信頼向上の観点から、より保守的に鳥取県西部地震を観測記録収集対象として選定する。
- なお、当社は深さ2 kmまでの深部ボーリング調査によって地震基盤までの地下構造を詳細に把握しており、平成25年8月から深部地震計の観測を開始している。今後も各種の調査・研究を継続して両地域の地域差に関する科学的知見の拡充に努め、更なる安全性・信頼性の向上に努めることと致したい。

観測記録の応答スペクトル まとめ(2000年鳥取県西部地震)

- 敷地周辺の観測記録の収集および抽出を行った結果、敷地に及ぼす影響が大きいと考えられる記録として、KiK-net TTRH02(日野)及びSMNH01(伯太)の観測記録(地中×2)、K-NET TTR007(江府)、TTR009(日南)および賀祥ダム(監査廊)の観測記録が抽出された。
- 抽出された観測記録について、地盤情報が得られている観測点の記録について解放基盤波の算定に関する検討を実施するとともに、得られた解放基盤波の地震動レベルについて検討する。



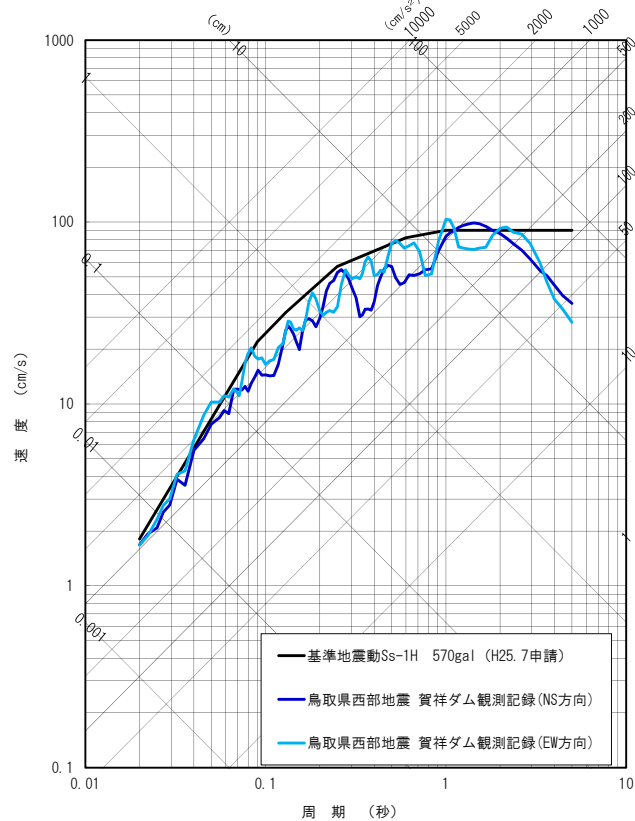
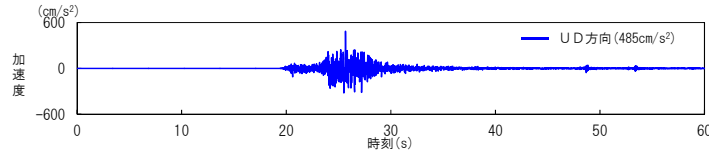
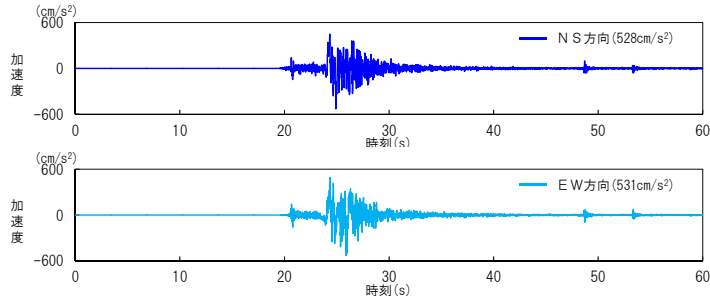
2000年鳥取県西部地震 賀祥ダム及びKiK-net観測記録の検討のまとめ

		①岩盤相当の記録	②K-NET		③KiK-net	
		賀祥ダム(監査廊)	TTR007(江府)	TTR009(日南)	TTRH02(日野)	SMNH01(伯太)
観測記録	観測点位置	ダム(監査廊) EL.87m	地表 GL.0m	地表 GL.0m	地表 GL.0m 地中 GL.-100m	地表 GL.0m 地中 GL.-101m
	最大加速度 ※()内は地中	NS: 528cm/s ² EW: 531cm/s ² UD: 485cm/s ²	NS: 725cm/s ² EW: 573cm/s ² UD: 404cm/s ²	NS: 629cm/s ² EW: 595cm/s ² UD: 289cm/s ²	NS: 927(357)cm/s ² EW: 753(575)cm/s ² UD: 776(318)cm/s ²	NS: 720(185)cm/s ² EW: 607(274)cm/s ² UD: 631(196)cm/s ²
	観測記録の特徴・特性	・震源直上(約2km)の記録で、水平動が大きく、上下動が短周期帯で比較的大きい傾向にある	・観測記録のH/Vスペクトルより表層地盤の非線形化の影響が含まれている	・観測記録のH/Vスペクトルより表層地盤の非線形化の影響が含まれている	・地表観測記録には観測小屋、地中観測記録にはセンサー共振の影響がある	・地中観測記録にはセンサー共振の影響がある
地盤情報	地盤情報	・CM級岩盤で弾性波探査結果から、Vs=1200~1300m/s	・解放基盤相当までの地盤情報が得られていない	・解放基盤相当までの地盤情報が得られていない	・KiK-net地盤情報	・KiK-net地盤情報
	観測記録との整合	・2000年鳥取県西部地震本震・余震記録のH/Vスペクトルには、地盤の非線形化の影響は見られない ○	・地盤モデルに係る既往の知見が無い ×	・地盤モデルに係る既往の知見が無い ×	・KiK-net地盤データと観測記録(伝達関数)が整合しない ・地盤の2次元性の影響が指摘されている ×	・KiK-net地盤データによる1次元地盤モデルにより、観測記録(伝達関数)を概ね再現可能である ○
はぎとり解析	解放基盤波の推定	・非線形化の影響のない岩盤相当の記録であり、観測記録をそのまま解放基盤波として採用可能 ・震源近傍の観測記録の特性は、観測記録にそのまま考慮されている ○	・信頼性の高い地盤情報がないことから、 精度の高い基盤地震動の推定は困難 ×	・信頼性の高い地盤情報がないことから、 精度の高い基盤地震動の推定は困難 ×	・山添・他(2004)により、観測記録を1次元波動論では説明できない ・ 精度の良い基盤地震動の推定は困難 ×	・山添・他(2004)により、水平の基盤地震動を推定 ・センサー更新後の観測記録を用いた検討により、伊方発電所の解放基盤相当の地震波を推定 ○

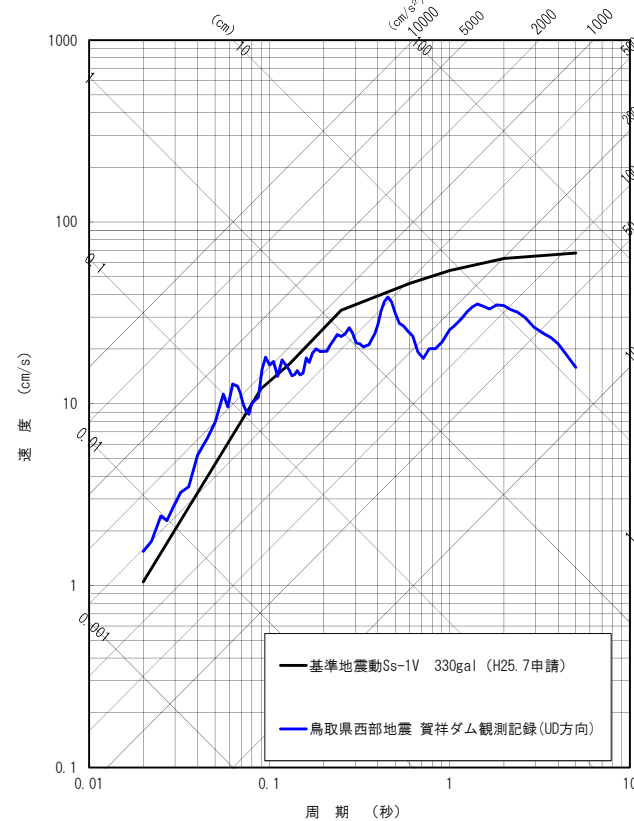
⇒解放基盤波の加速度波形、速度波形及び応答スペクトルの比較から、賀祥ダム(監査廊)の観測記録で代表可能である。

基準地震動Ss-3の策定(2000年鳥取県西部地震)

○賀祥ダム(監査廊)の観測記録は一部の周期帯で基準地震動Ss-1を上回る。
 ○2000年鳥取県西部地震の基盤地震動についての検討を踏まえ、賀祥ダム(監査廊)の観測記録は敷地のVs2.6km/sに対してVs1.2~1.3km/s程度とやや遅い岩盤での観測記録ではあるが、保守的に震源を特定せず策定する地震動に設定する。



水平方向



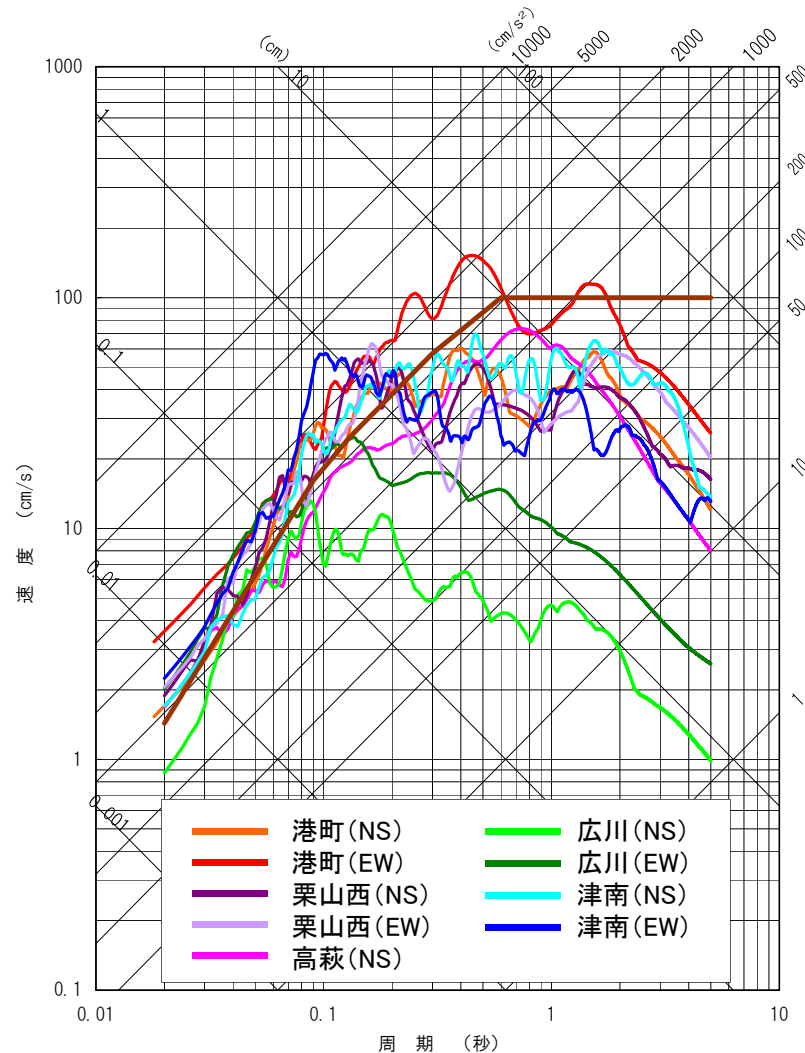
鉛直方向

観測記録の応答スペクトル まとめ(2004年北海道留萌支庁南部地震)

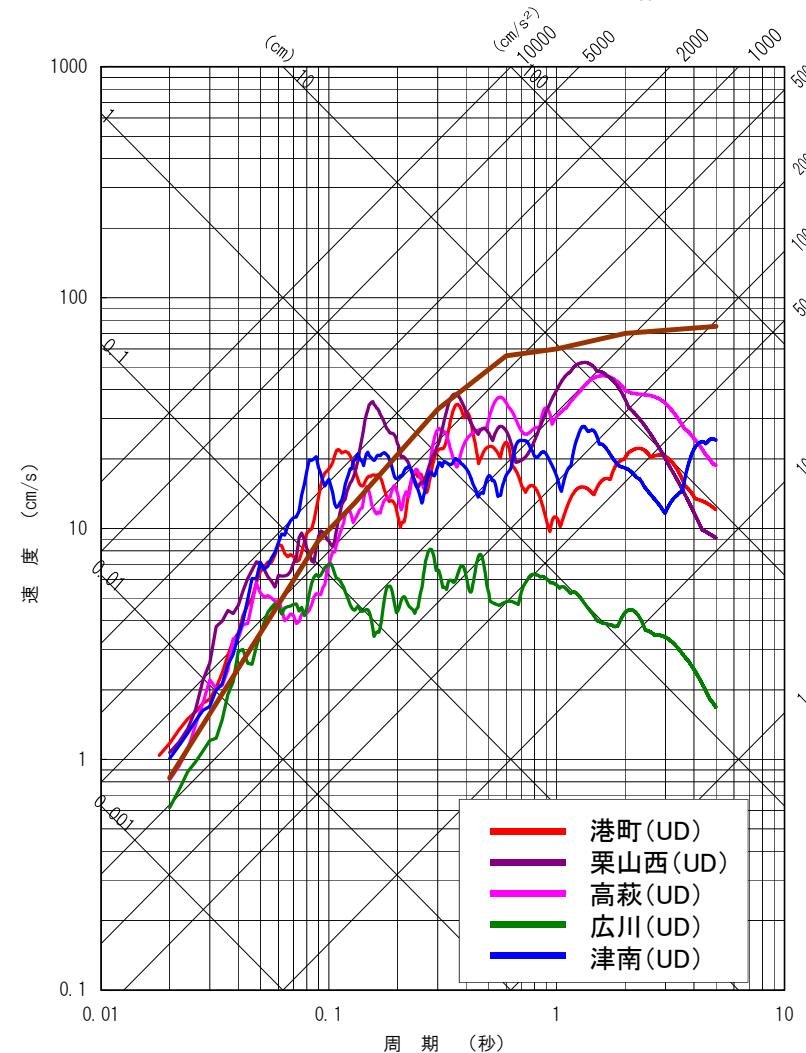
前回部会(平成26年6月4日)より変更なし 本頁~103頁

○観測記録を整理した結果、敷地に及ぼす影響が大きいと考えられるものとして、以下の記録が抽出された。

(— 加藤ほか(2004) Vs700m/s)



<水平方向>



<鉛直方向>

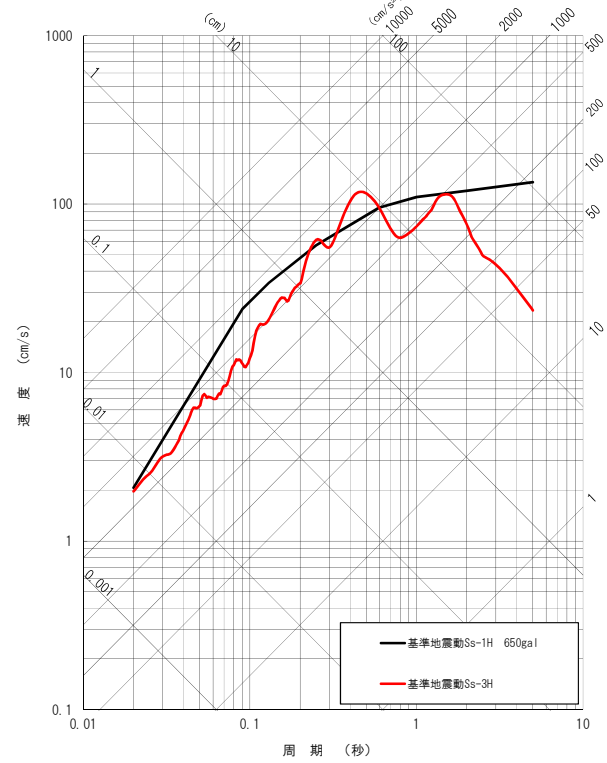
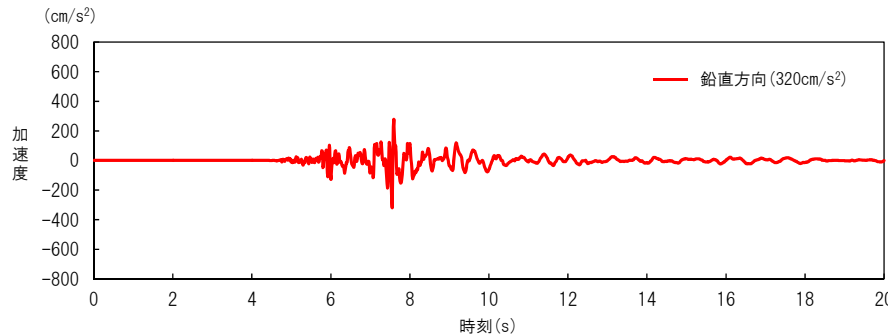
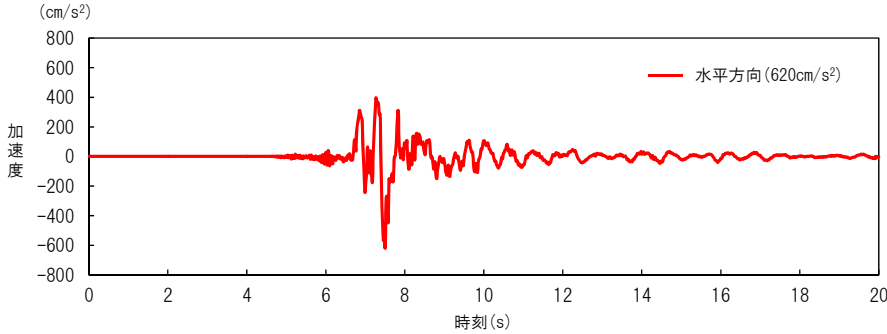
Mw6.5未満の地震についてのまとめ

		2004年 北海道留萌支庁南部地震	2013年 栃木県北部地震	2011年 和歌山県北部地震	2011年 茨城県北部地震	2011年 長野県北部地震
地盤モデル	使用モデル	・佐藤他(2013)の地盤モデル	・地表及び地中観測記録に基づく地盤同定モデル	・地表及び地中観測記録に基づく地盤同定モデル	・地表及び地中観測記録に基づく地盤同定モデル	・地盤情報が乏しくモデルが構築できない
	既往の知見との整合性	・微動探査による地盤データと整合 ・知見で指摘されている特性(非線形性)を考慮	・KiK-net地盤データと整合しない ・知見で指摘されている特性(減衰、方位依存)の影響が不明	・KiK-net地盤データと整合しない ・知見で指摘されている特性(非線形性)の影響が不明	・伝達関数及びKiK-net地盤データと整合しない ・知見で指摘されている特性(非線形性)の影響が不明	・地盤モデルに関する既往の知見がない
	更なる知見収集・検討事項	○	×	×	×	×
はざとり解析	解析手法	・非線形性を考慮した等価線形解析	・線形解析	・線形解析	・線形解析	・地盤モデルが構築できないため、解析できない
	精度	・観測事実(非線形性によるサイト増幅の低下)と整合	・はざとり解析手法の適用性が不明	・はざとり解析手法の適用性が不明	・はざとり解析手法の適用性が不明	・はざとり解析手法の適用性が不明
	更なる知見収集・検討事項	—	・地表及び地中観測記録の再現解析	・地表及び地中観測記録の再現解析	・地表及び地中観測記録の再現解析	・地表観測記録の再現解析
結果の信頼性		○	×	×	×	×

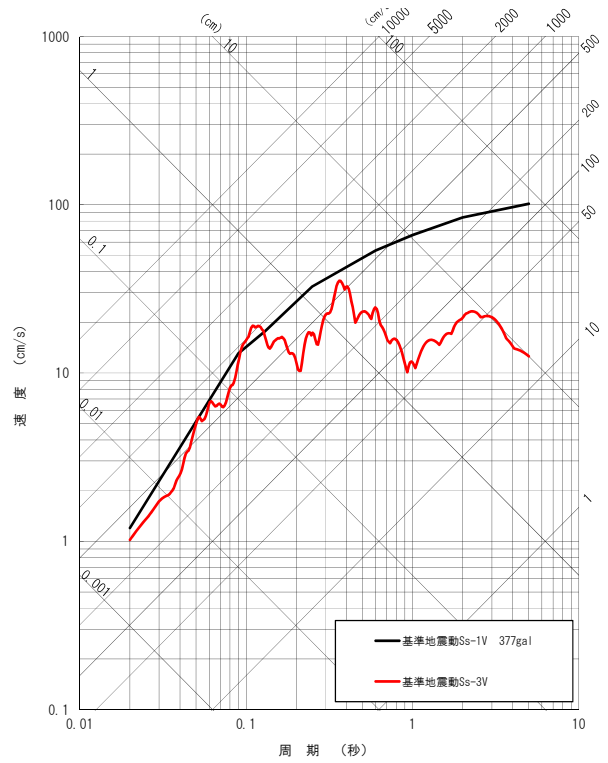
以上を踏まえ、佐藤ほか(2013)による2004年北海道留萌支庁南部地震の解放基盤波を考慮の対象とする。

基準地震動S_s-3の策定(2004年北海道留萌支庁南部地震)

○震源を特定せず策定する地震動として、留萌支庁南部の地震の基盤波(最大加速度 水平620ガル, 鉛直320ガル)を基準地震動S_s-1と比較する。S_s-1を上回ることから、基準地震動S_s-3として選定する。

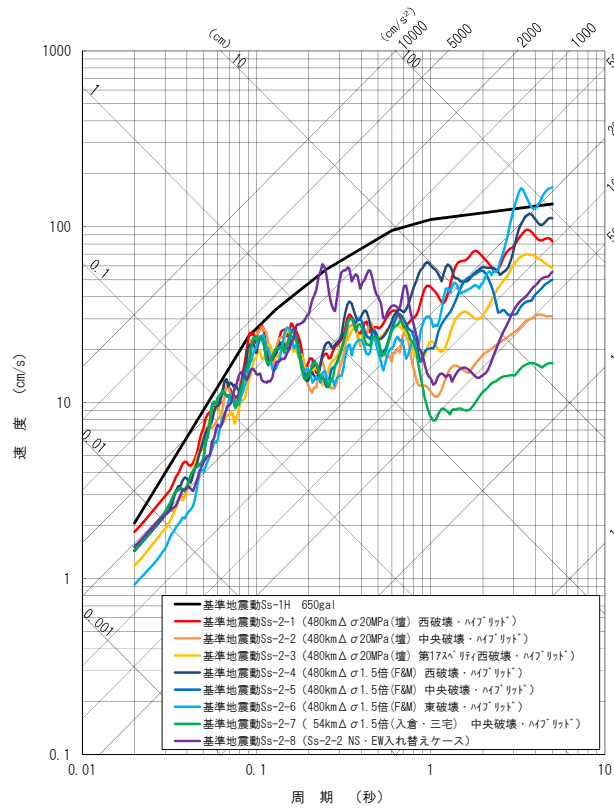


水平方向

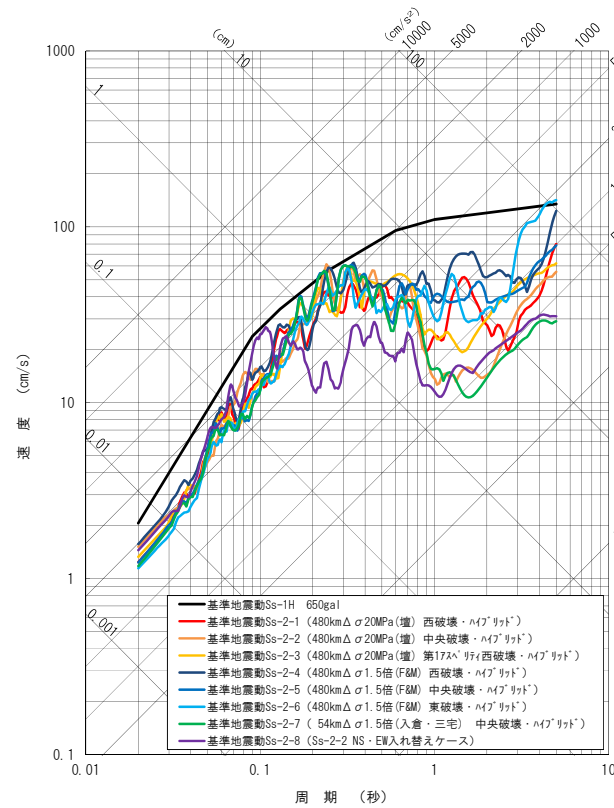


鉛直方向

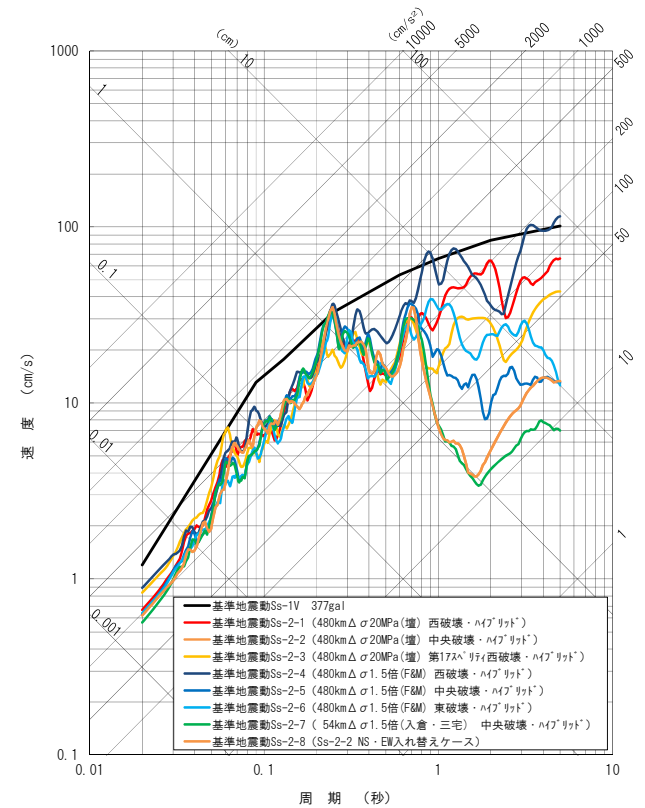
基準地震動Ss-1, 2(応答スペクトル)



NS方向



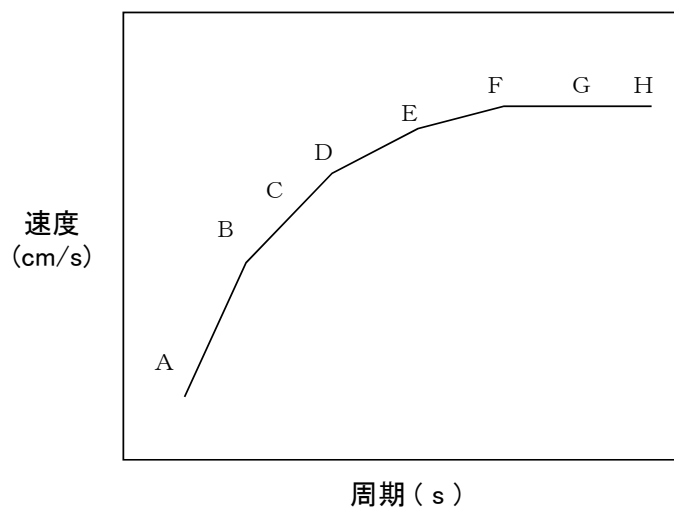
EW方向



UD方向

基準地震動 S_s-1 (応答スペクトル値)

設計用応答スペクトル		コントロールポイント							
		A	B	C	D	E	F	G	H
S_s-1H	周期 (s)	0.02	0.09	0.13	0.25	0.60	1	2	5
	速度 (cm/s)	2.07	23.80	34.10	57.00	95.40	110.00	120.00	135.00
S_s-1V	周期 (s)	0.02	0.09	0.13	0.25	0.60	1	2	5
	速度 (cm/s)	1.20	13.09	17.73	32.72	53.42	66.00	84.00	101.25

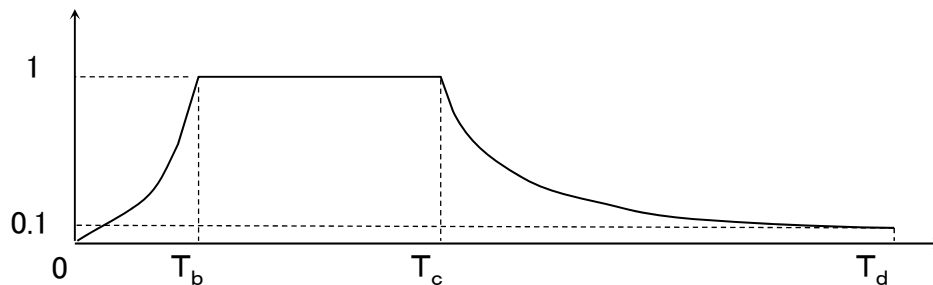


擬似速度応答スペクトル

基準地震動Ss-1(模擬地震波)

○設計用応答スペクトル「基準地震動Ss-1」の模擬地震波

設計用 模擬地震波	継続時間 (s)	振幅包絡線の経時変化 (s)		
		T_b	T_c	T_d
Ss-1H Ss-1V	109.7	20.9	56.4	109.7



$$T_b = 10^{0.5M-2.93} \quad (\text{立ち上がり部の継続時間})$$

$$T_c - T_b = 10^{0.3M-1.0} \quad (\text{強震部の継続時間})$$

$$T_d - T_c = 10^{0.17M+0.54\log X_{eq}-0.6} \quad (\text{減衰部の継続時間})$$

振幅包絡線: $E(T)$

$$E(T) = \begin{cases} (T/T_b)^2 & 0 < T \leq T_b \\ 1.0 & T_b < T \leq T_c \\ \frac{\ln(0.1)}{T_d - T_c} (T - T_c) & T_c < T \leq T_d \end{cases}$$

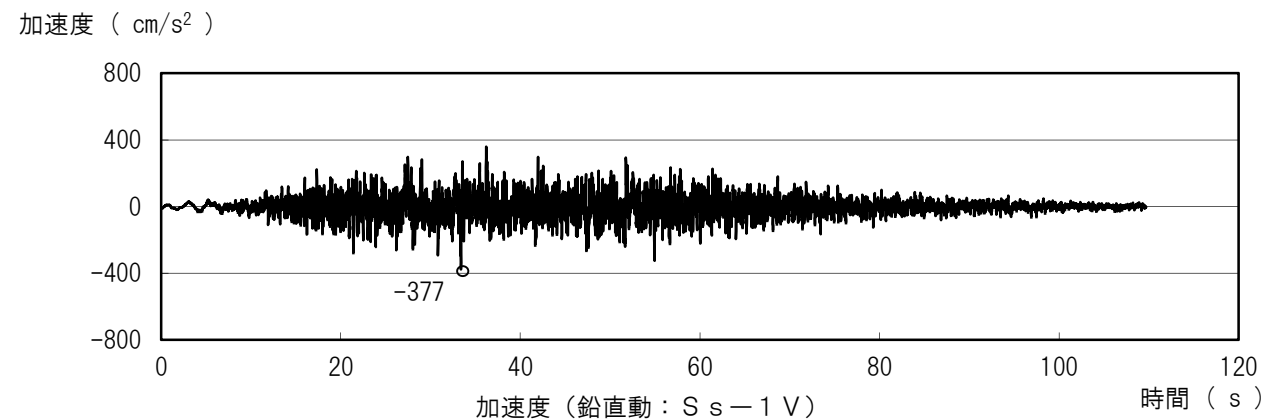
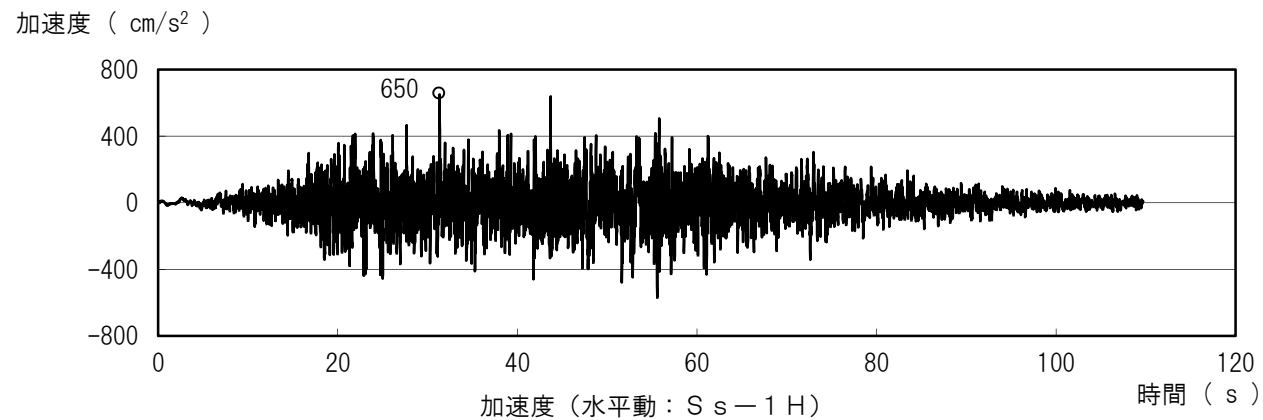
$$M=8.5, \quad X_{eq}=43(\text{km})$$

- 模擬地震波は応答スペクトルに適合する周波数-振動特性と一様乱数の位相をもつ正弦波の重ね合わせによって作成する
- 振幅包絡線の経時変化についてはNoda et al.(2002)に基づき設定

基準地震動 S_s-1 (時刻歴波形:加速度)

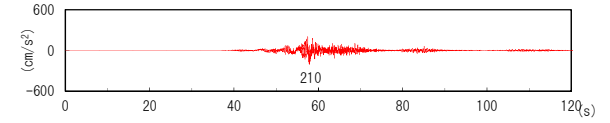
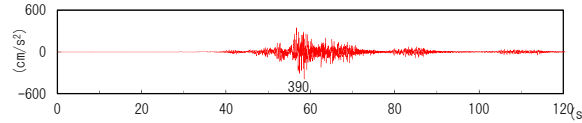
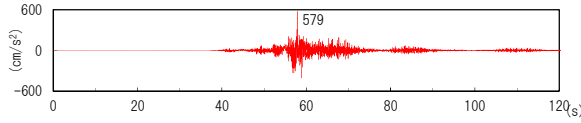
○設計用模擬地震波(S_s-1H , S_s-1V)の時刻歴波形(加速度)

※設計用応答スペクトルに適合するよう一様乱数の位相をもつ正弦波の重ね合わせより作成

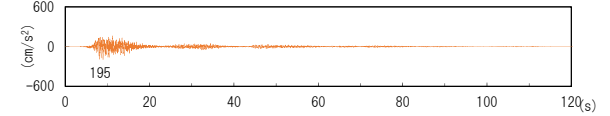
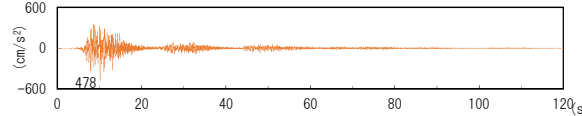
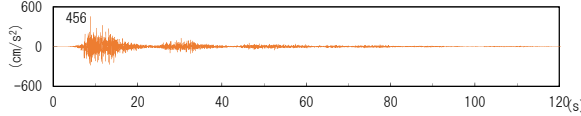


基準地震動Ss-2(時刻歴波形:加速度)

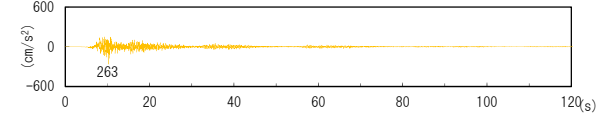
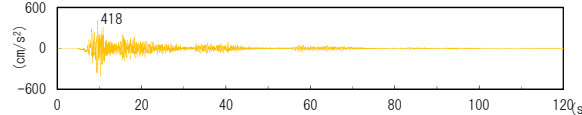
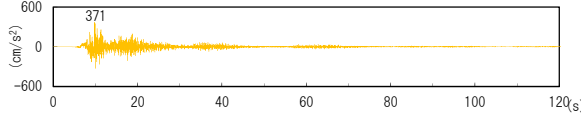
○Ss-2-1(480km Δ σ 20MPa(壇)・西破壊・ハイブリッド')



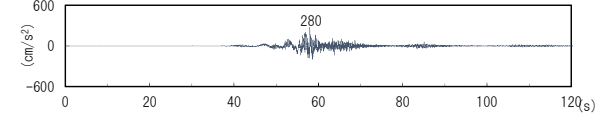
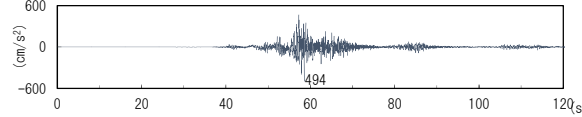
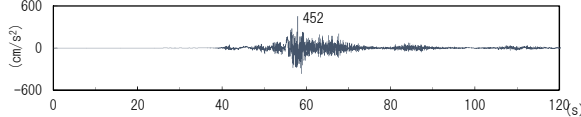
○Ss-2-2(480km基本 Δ σ 20MPa(壇)・中央破壊・ハイブリッド')



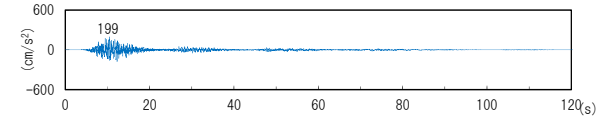
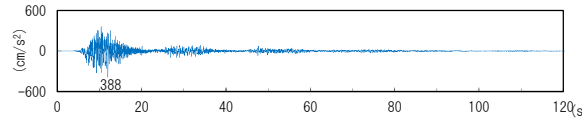
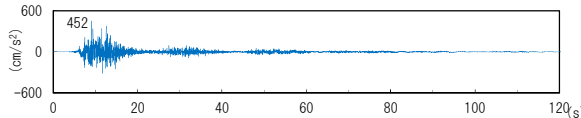
○Ss-2-3(480km基本 Δ σ 20MPa(壇)・第1アスベリティ西破壊・ハイブリッド')



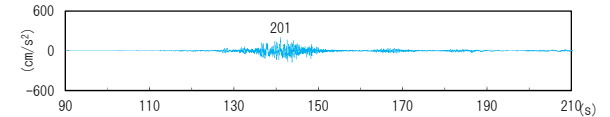
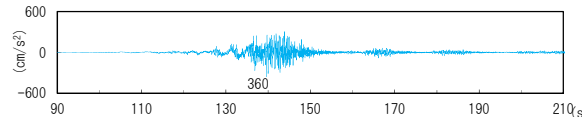
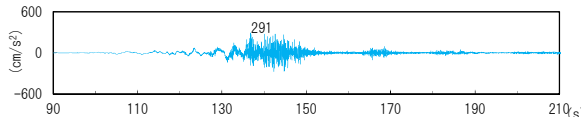
○Ss-2-4(480km Δ σ 1.5倍(F&M)・西破壊・ハイブリッド')



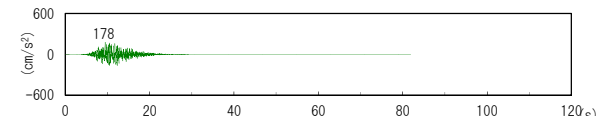
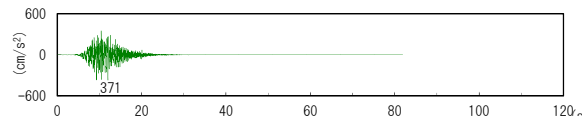
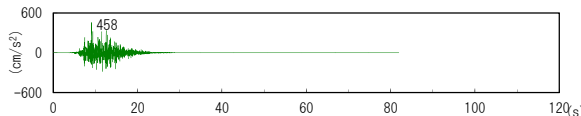
○Ss-2-5(480km基本 Δ σ 1.5倍(F&M)・中央破壊・ハイブリッド')



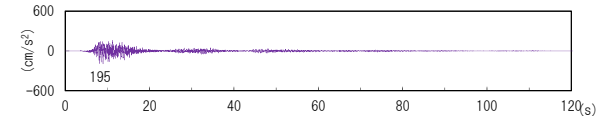
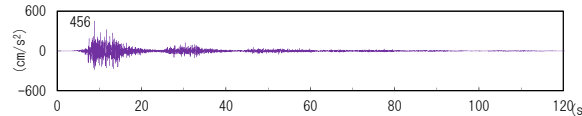
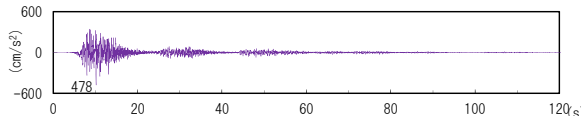
○Ss-2-6(480km基本 Δ σ 1.5倍(F&M)・東破壊・ハイブリッド')



○Ss-2-7(54km Δ σ 1.5倍(入倉・三宅)・中央破壊・ハイブリッド')



○Ss-2-8(Ss-2-2 NS・EW入れ替えケース)



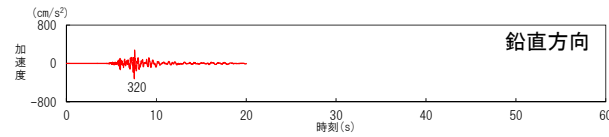
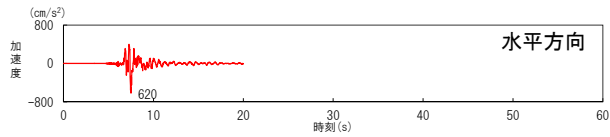
NS方向

EW方向

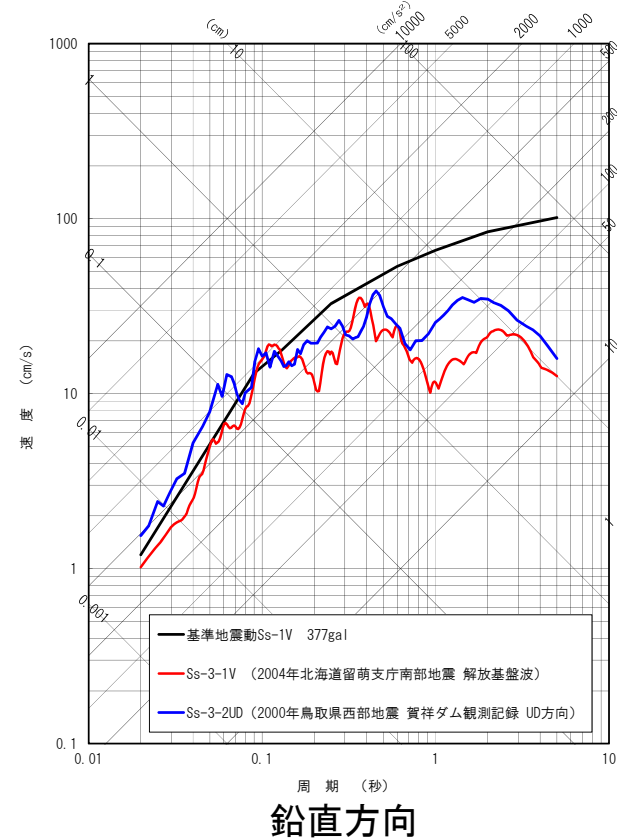
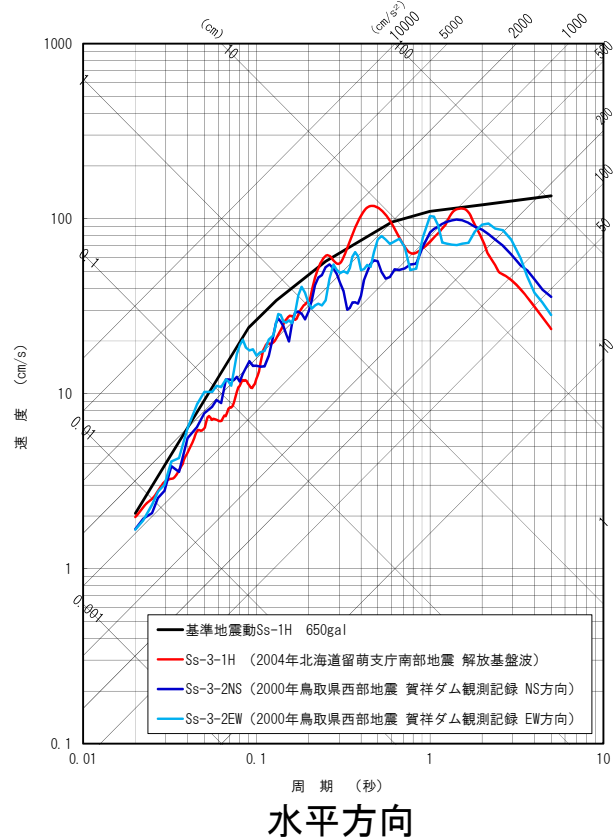
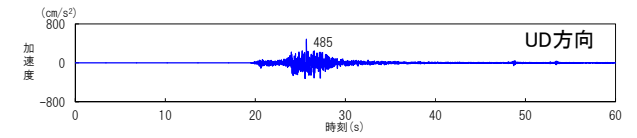
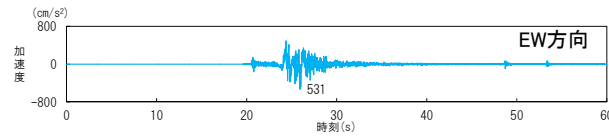
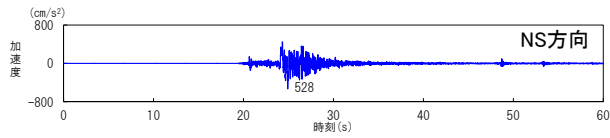
UD方向

基準地震動Ss-3

○ Ss-3-1 (2004年北海道留萌支庁南部地震 解放基盤波')



○ Ss-3-2 (2000年鳥取県西部地震 賀祥ダム観測記録)



基準地震動Ssの最大加速度振幅

基準地震動Ss				最大加速度振幅(cm/s ²)	
震源を特定して 策定する地震動	応答スペクトル に基づく手法	設計用模擬地震波	水平動	Ss-1H	650
			鉛直動	Ss-1V	377
	断層モデルを 用いた手法	敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯) 480km連動・壇の手法・ $\angle\sigma$ 20MPa・西破壊	水平動NS	Ss-2-1NS	579
			水平動EW	Ss-2-1EW	390
			鉛直動UD	Ss-2-1UD	210
		敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯) 480km連動・壇の手法・ $\angle\sigma$ 20MPa・中央破壊	水平動NS	Ss-2-2NS	456
			水平動EW	Ss-2-2EW	478
			鉛直動UD	Ss-2-2UD	195
		敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯) 480km連動・壇の手法・ $\angle\sigma$ 20MPa・第1アスベリティ西破壊	水平動NS	Ss-2-3NS	371
			水平動EW	Ss-2-3EW	418
			鉛直動UD	Ss-2-3UD	263
		敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯) 480km連動・F&Mの手法・ $\angle\sigma$ 1.5倍・西破壊	水平動NS	Ss-2-4NS	452
			水平動EW	Ss-2-4EW	494
			鉛直動UD	Ss-2-4UD	280
		敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯) 480km連動・F&Mの手法・ $\angle\sigma$ 1.5倍・中央破壊	水平動NS	Ss-2-5NS	452
			水平動EW	Ss-2-5EW	388
			鉛直動UD	Ss-2-5UD	199
		敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯) 480km連動・F&Mの手法・ $\angle\sigma$ 1.5倍・東破壊	水平動NS	Ss-2-6NS	291
			水平動EW	Ss-2-6EW	360
			鉛直動UD	Ss-2-6UD	201
敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯) 54km・入倉・三宅の手法・ $\angle\sigma$ 1.5倍・中央破壊	水平動NS	Ss-2-7NS	458		
	水平動EW	Ss-2-7EW	371		
	鉛直動UD	Ss-2-7UD	178		
敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯) 480km連動・壇の手法・ $\angle\sigma$ 20MPa・中央破壊・入れ替え	水平動NS	Ss-2-8NS	478		
	水平動EW	Ss-2-8EW	456		
	鉛直動UD	Ss-2-8UD	195		
震源を特定せず策定する地震動		2004年北海道留萌支庁南部の地震 基盤地震動の基準化波	水平動	Ss-3-1H	620
			鉛直動	Ss-3-1V	320
			水平動NS	Ss-3-2NS	528
			水平動EW	Ss-3-2EW	531
			鉛直動UD	Ss-3-2UD	485
		2000年鳥取県西部地震 賀祥ダム(監査廊)の観測記録			

【参考】用語集

アスペリティ：地震断層面のうち、通常は強く固着し、ある時急激にずれて地震波を出す領域
強震動生成域（SMGA）：断層面内で、応力降下量が特に大きく、強震動を出す領域。アスペリティと同じように使われる。

M（マグニチュード）：地震が発するエネルギーの大きさを対数で表した指標値。地震規模を直接測定する手段が無く、なんらかの方法で推定するしかないため、いくつかの定義がある。

M_w（モーメントマグニチュード）：地震規模を物理的に定義するために提唱された地震モーメントM₀（断層の面積、断層の平均すべり量、断層周辺の岩盤の変形しやすさの指標である剛性率の積）を用いて、従来のマグニチュードの数値と合致するように換算して得られるマグニチュード。
 $\log M_0 = 1.5M_w + 16.1$

M_j（気象庁マグニチュード）：気象庁が地震を観測した際に発表するマグニチュード。

V_s：地震によって発生する横波（S波）の速度

V_p：地震によって発生する縦波（P波）の速度

V_r：断層面の破壊が進んで行く速度(破壊伝播速度)

応力降下量：地震によって固着した断層面から解放されるエネルギー量

経験的グリーン関数法：地震動を評価する手法の一つで、小規模地震観測記録から、大規模地震動の波形を合成して作り出す方法

統計的グリーン関数法：地震動を評価する手法の一つで、観測記録の代わりに小さな地震による揺れとして人工的に時刻歴波形を作成し、それを足し合わせて大きな地震による揺れを計算する方法

セグメント：一連の活断層を単位となる区間に分けたもの

ジョグ：活断層トレースは、屈曲、分岐、ステップなどの形状を有する。このような非直線性の構造をジョグという。

ジョグは断層破壊の停止域であり、ジョグからは強い地震動は生じないと考えられている。

剛性率：断層破壊を生じる地殻部分の硬さの指標

破壊伝播速度：断層の破壊が伝わる速さ

距離減衰式：地震の揺れや震度の大きさと震源からの距離との関係を示したもの

