

3. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

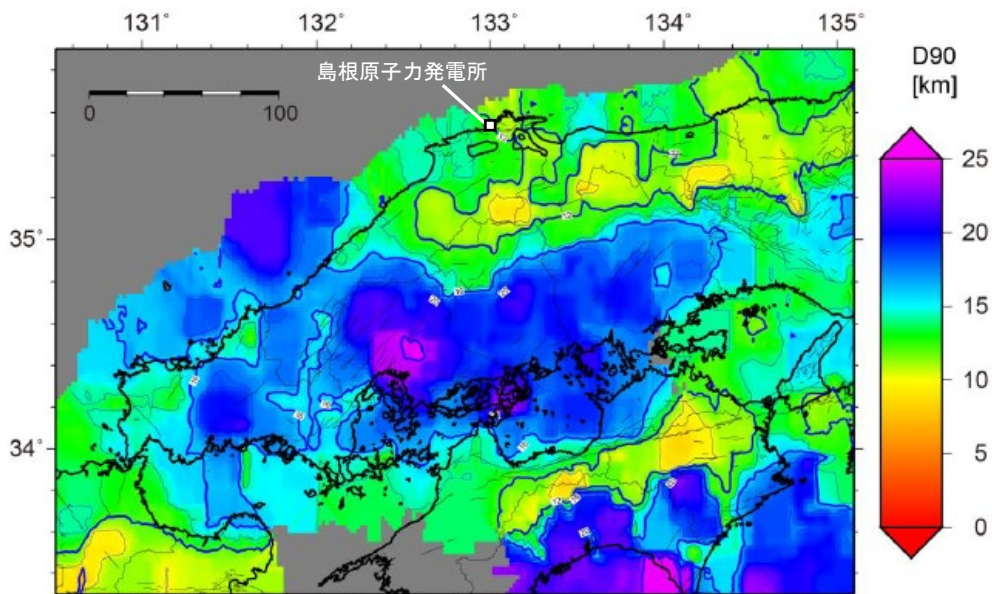
- 3. 1 地震発生層の設定
- 3. 2 検討用地震の選定
- 3. 3 地震動評価の基本方針
- 3. 4 宍道断層による地震の地震動評価
- 3. 5 F-Ⅲ断層＋F-Ⅳ断層＋F-Ⅴ断層による地震の地震動評価

地震発生層の設定(地震発生層) 1/3

- 敷地及び敷地周辺における地震発生層の上限・下限深さについて、他機関の検討における中国地域の地震発生層の設定値、敷地周辺で発生した地震の震源鉛直分布、敷地及び敷地周辺における地下構造調査結果やその他の研究成果に基づき検討した。
- 中国地域の長期評価(H28年7月)では、宍道(鹿島)断層における地震発生層の下限深さD90を15km～20km程度としており、その根拠となっている下図に示すD90の分布においては、敷地周辺は約15km未満で、その南側の山陽地域等は20km程度である。

中国地域の長期評価(H28年7月)における宍道断層のパラメータ

活断層のくくり (付録2)	評価単位区間 (付録2)	位置・形状					過去の活動				
		断層長	ずれの向きと種類		断層面の傾斜 (向きまたは角度)	断層面の幅	地震発生層 下限の深さD90	平均変位速度	1回のずれ量 (最大値)	最新活動時期	平均活動間隔
			断層の走向	断層の型							
宍道(鹿島)断層	宍道(鹿島)断層	約21km もしくはそれ以上	N80° E	右横ずれ	ほぼ鉛直	不明	15~20km程度	0.4~0.6m/千年程度	2m程度 もしくはそれ以上	ケース1:奈良時代以後、 鎌倉時代以前 ケース2:約5,900年前以前 後、約3,700年前以前	約3,300~4,900年



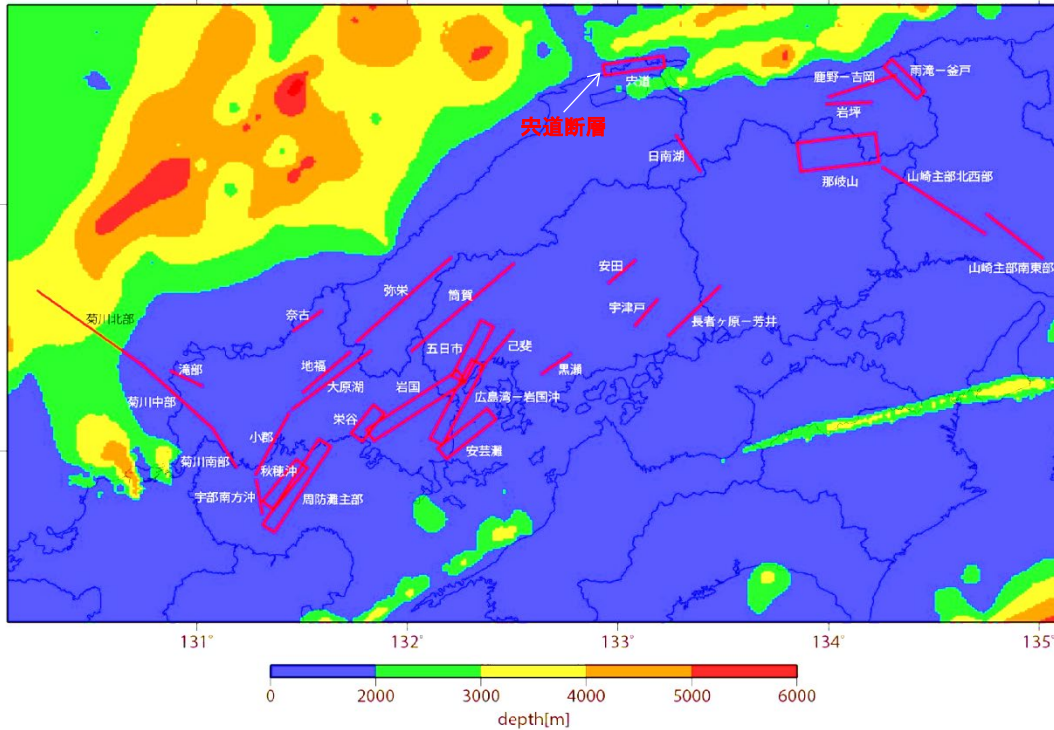
[中国地域の長期評価(H28年7月)に一部加筆。]

中国地域の地震発生層の下限(D90)の分布

地震発生層の設定(地震発生層) 2/3

- 全国地震動予測地図2017年版の震源断層を特定した地震動予測地図では、地震発生層の上限深さを下図に示す地震基盤深さと深さ2kmのうち深い方を用いて設定しており、宍道(鹿島)断層による地震の評価においては、右表のとおり上限深さを2kmに設定している。

宍道(鹿島)断層による地震の断層パラメータ



[全国地震動予測地図2017年版に一部加筆。]

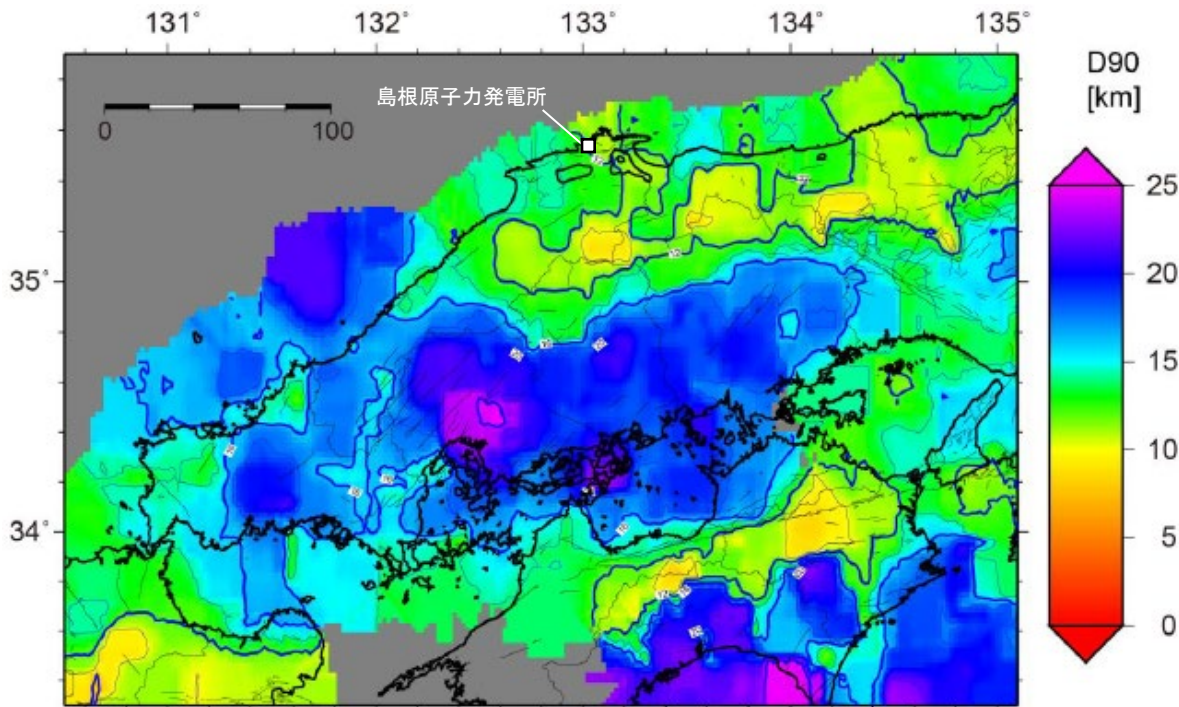
中国地域の活断層の震源断層モデル位置と地震基盤深さ

巨視的震源パラメータ		「長期評価」または設定方法	設定値
断層長さ L [km]		「約21kmもしくはそれ以上」	21
地震規模 M		$M = \{\log(L) + 2.9\} / 0.6$	7.0
地震モーメント M_0 [Nm]		$\log M_0 = 1.17 \cdot M + 10.72$	8.98E+18
モーメントマグニチュード M_w		$M_w = \{\log(M_0) - 9.1\} / 1.5$	6.6
断層モデル原点(地中) [°N]		地中における端	35.552
断層モデル原点(地中) [°E]			133.223
走向 θ [度]		長期評価の端点を結んだ方向	261.8
傾斜角 δ [度]		長期評価に基づく	70
すべり角 ϵ [度]		「右横ずれ断層」	180
地震発生層上限深さ H_s [km]		地震基盤と2kmの深い方	2
地震発生層下限深さ H_d [km]		長期評価に基づく	15
断層モデル上端深さ D_{top} [km]		$D_{top} = H_s$	2
断層モデル長さ L_{model} [km]		「レシビ」の(イ)の手順に従う	26
断層モデル幅 W_{model} [km]		「レシビ」の(イ)の手順に従う	14
断層モデル面積 S_{model} [km ²]		$S_{model} = L_{model} \times W_{model}$	364
静的平均応力降下量 $\Delta\sigma$ [MPa]		$\Delta\sigma = 7/16 \cdot (M_0 / R^3)$, $R = (S_{model}/\pi)^{1/2}$	3.2
平均すべり量 D [m]		$D = M_0 / (\mu \cdot S_{model})$	0.8
微視的震源パラメータ		設定方法	ケース1・2
短周期レベル A [Nm/s ²]		$A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$	1.10E+19
アスベリ	全面積 S_a [km ²]	$S_a = \pi r^2$, $r = (7\pi/4) \cdot \{M_0 / (A \cdot R)\} \cdot \beta^2$	72.8
	実効応力 σ_a [MPa]	$\sigma_a = \Delta\sigma_a = (S / S_a) \cdot \Delta\sigma$	15.8
	平均すべり量 D_a [m]	$D_a = \gamma_D \cdot D$, $\gamma_D = 2.0$	1.6
	地震モーメント M_{0a} [Nm]	$M_{0a} = \mu \cdot D_a \cdot S_a$	3.59E+18
1アスベリ	面積 S_{a1} [km ²]	$S_{a1} = S_a$	72.8
	実効応力 σ_{a1} [MPa]	$\sigma_{a1} = \sigma_a$	15.8
	平均すべり量 D_{a1} [m]	$D_{a1} = D_a$	1.6
	地震モーメント M_{0a1} [Nm]	$M_{0a1} = \mu \cdot D_{a1} \cdot S_{a1}$	3.59E+18
1アスベリ	計算用面積 $L_{a1} \times W_{a1}$ [km×km]	2kmメッシュサイズ	10 × 8
2アスベリ	面積 S_{a2} [km ²]	—	—
	実効応力 σ_{a2} [MPa]	—	—
	平均すべり量 D_{a2} [m]	—	—
	地震モーメント M_{0a2} [Nm]	—	—
2アスベリ	計算用面積 $L_{a2} \times W_{a2}$ [km×km]	—	—
背景領域	面積 S_b [km ²]	$S_b = S_{model} - S_a$	291.2
	実効応力 σ_b [MPa]	$\sigma_b = (D_b/W_b) \cdot (\pi^{1/2} / D_a) \cdot r \cdot \Sigma \gamma_i^3 \cdot \sigma_a$	3.2
	平均すべり量 D_b [m]	$D_b = M_{0b} / (\mu \cdot S_b)$	0.6
	地震モーメント M_{0b} [Nm]	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$	5.39E+18

[全国地震動予測地図2017年版に一部加筆。]

地震発生層の設定(地震発生層) 3/3

- また、同じく全国地震動予測地図2017年版では、地震発生層の下限深さを下図に示す中国地域の長期評価(H28年7月)によるD90の分布に基づき設定しており、宍道(鹿島)断層による地震の評価においては、右表のとおり下限深さを15kmに設定している。



[中国地域の長期評価(H28年7月)に一部加筆。]

中国地域の地震発生層の下限(D90)の分布

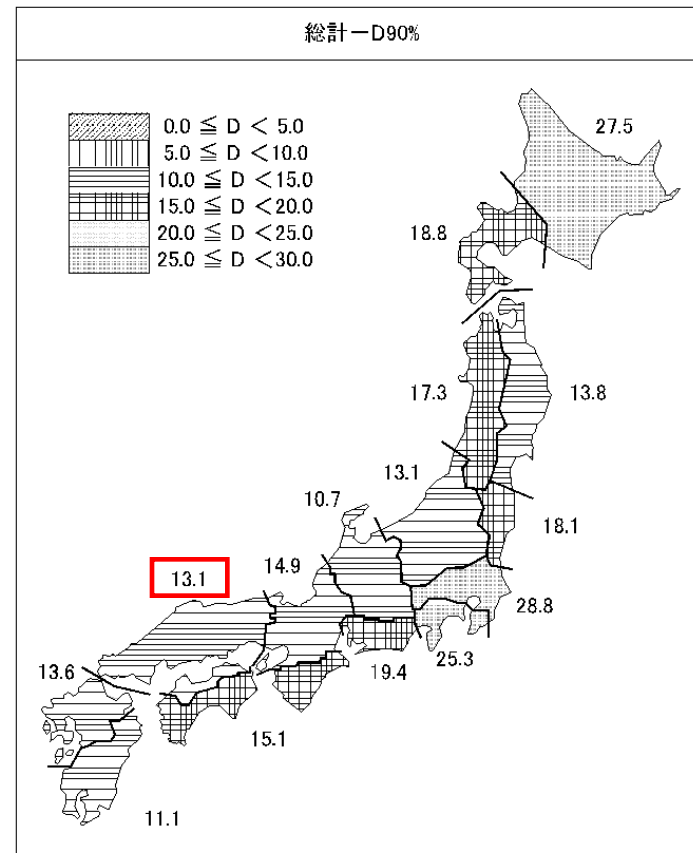
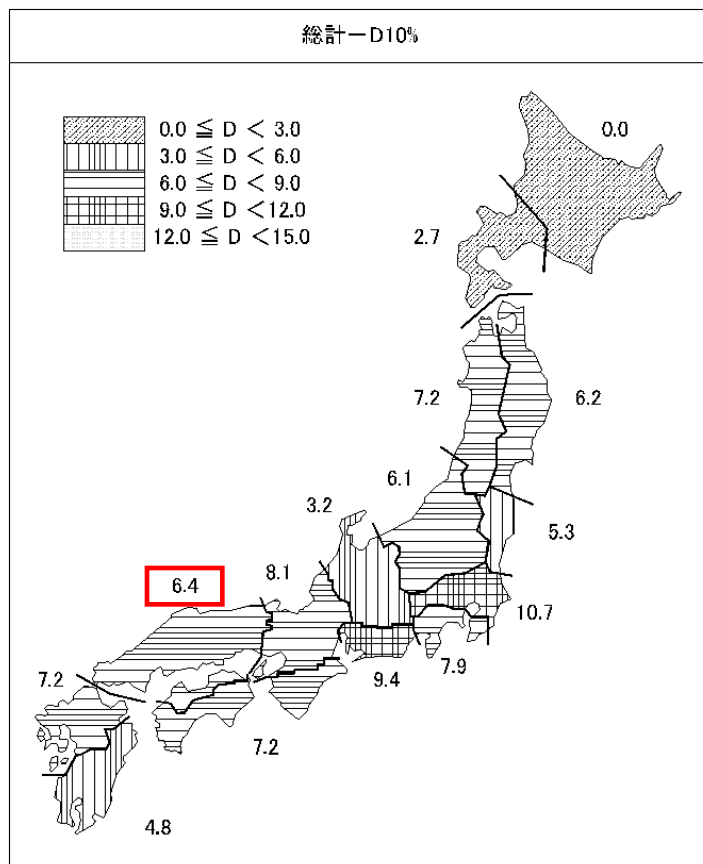
宍道(鹿島)断層による地震の断層パラメータ

巨視的震源パラメータ	「長期評価」または設定方法	設定値	
断層長さ L [km]	「約21kmもしくはそれ以上」	21	
地震規模 M	$M = \{\log(L) + 2.9\} / 0.6$	7.0	
地震モーメント M_0 [Nm]	$\log M_0 = 1.17 \cdot M + 10.72$	8.98E+18	
モーメントマグニチュード M_w	$M_w = \{\log(M_0) - 9.1\} / 1.5$	6.6	
断層モデル原点(地中) [°N]	地中における端	35.552	
断層モデル原点(地中) [°E]		133.223	
走向 θ [度]	長期評価の端点を結んだ方向	261.8	
傾斜角 δ [度]	長期評価に基づく	70	
すべり角 ϵ [度]	「右横ずれ断層」	180	
地震発生層上限深さ H_s [km]	地震基盤と2kmの深い方	2	
地震発生層下限深さ H_d [km]	長期評価に基づく	15	
断層モデル上端深さ D_{top} [km]	$D_{top} = H_s$	2	
断層モデル長さ L_{model} [km]	「レシビ」の(イ)の手順に従う	26	
断層モデル幅 W_{model} [km]	「レシビ」の(イ)の手順に従う	14	
断層モデル面積 S_{model} [km ²]	$S_{model} = L_{model} \cdot W_{model}$	364	
静的平均応力降下量 $\Delta\sigma$ [MPa]	$\Delta\sigma = 7/16 \cdot (M_0 / R^3), R = (S_{model} / \pi)^{1/2}$	3.2	
平均すべり量 D [m]	$D = M_0 / (\mu \cdot S_{model})$	0.8	
微視的震源パラメータ		設定方法	ケース1・2
短周期レベル A [Nm/s ²]	$A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$		1.10E+19
全面積 S_a [km ²]	$S_a = \pi r^2, r = (7\pi/4) \cdot \{M_0 / (A \cdot R)\} \cdot \beta^2$		72.8
実効応力 σ_a [MPa]	$\sigma_a = \Delta\sigma_a = (S / S_a) \cdot \Delta\sigma$		15.8
平均すべり量 D_a [m]	$D_a = \gamma_D \cdot D, \gamma_D = 2.0$		1.6
地震モーメント M_{0a} [Nm]	$M_{0a} = \mu \cdot D_a \cdot S_a$		3.59E+18
面積 S_{a1} [km ²]	$S_{a1} = S_a$		72.8
実効応力 σ_{a1} [MPa]	$\sigma_{a1} = \sigma_a$		15.8
平均すべり量 D_{a1} [m]	$D_{a1} = D_a$		1.6
地震モーメント M_{0a1} [Nm]	$M_{0a1} = \mu \cdot D_{a1} \cdot S_{a1}$		3.59E+18
計算用面積 $L_{a1} \times W_{a1}$ [km×km]	2kmメッシュサイズ		10 × 8
面積 S_{a2} [km ²]	—		—
実効応力 σ_{a2} [MPa]	—		—
平均すべり量 D_{a2} [m]	—		—
地震モーメント M_{0a2} [Nm]	—		—
計算用面積 $L_{a2} \times W_{a2}$ [km×km]	—		—
背景領域			
面積 S_b [km ²]	$S_b = S_{model} - S_a$		291.2
実効応力 σ_b [MPa]	$\sigma_b = (D_b / W_b) \cdot (\pi^{1/2} / D_a) \cdot r \cdot \Sigma \gamma_i^3 \cdot \sigma_a$		3.2
平均すべり量 D_b [m]	$D_b = M_{0b} / (\mu \cdot S_b)$		0.6
地震モーメント M_{0b} [Nm]	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$		5.39E+18

[全国地震動予測地図2017年版に一部加筆。]

地震発生層の設定(震源鉛直分布) 1/4

- 原子力安全基盤機構(2004)では、気象庁一元化データを用いて全国15地域に対してD10^{※1}、D90^{※2}を求めており、敷地が位置する中国地方のD10^{※1}は6.4km、D90^{※2}は13.1kmである。



[原子力安全基盤機構(2004)に一部加筆。]

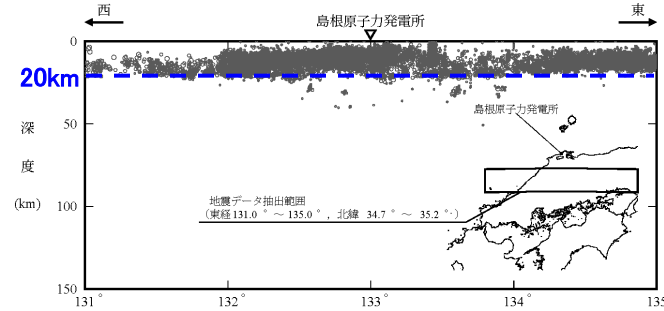
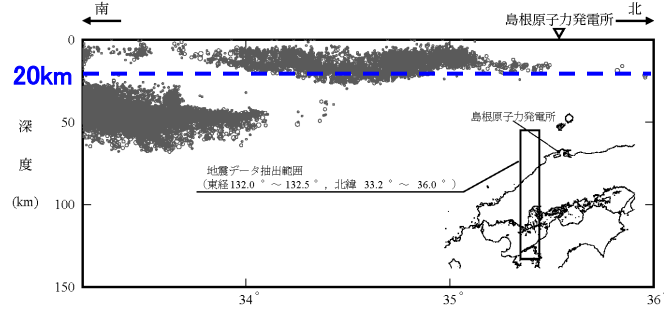
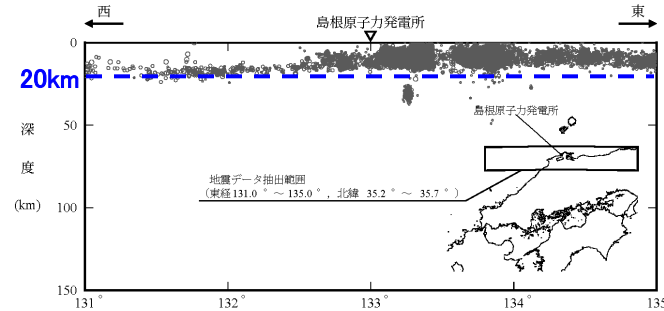
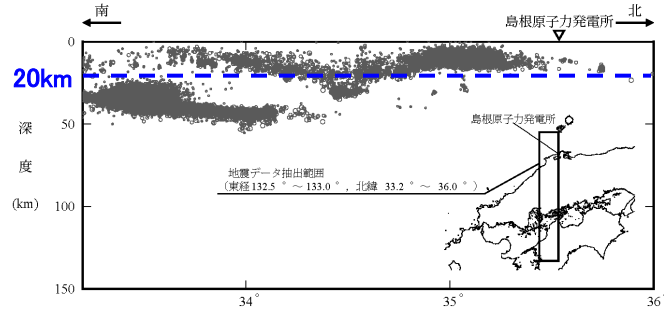
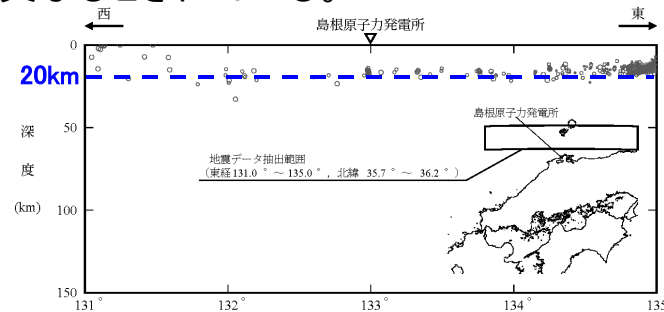
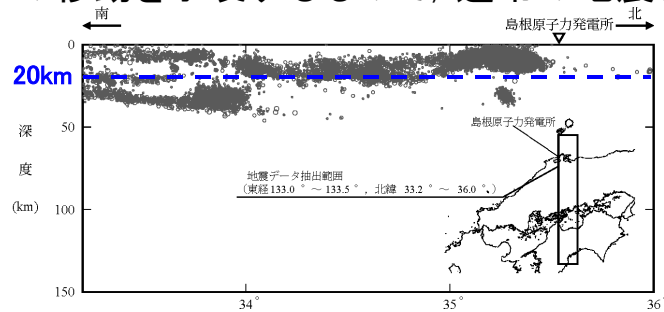
全国15地域のD10及びD90の算定結果

※1 地震発生数を浅い方から数え、全体の10%の地震数となる震源深さ

※2 地震発生数を浅い方から数え、全体の90%の地震数となる震源深さ

地震発生層の設定(震源鉛直分布) 2/4

- 敷地周辺で発生した地震(M<3)の気象庁一元化データの震源鉛直分布によると、敷地周辺で発生する地震の震源深さは大部分が20km以浅であり、また敷地周辺南側の山陽地域では、震源深さが深くなる傾向が見られる。
- なお、発電所の南東方向の深さ約30kmの位置に地震の集中がみられるが、これらの地震は大見ほか(2004)によると、鳥取県西部地震の震源域で本震後に活動が活発化した深部低周波地震で、これは水等の流体の移動を示唆するもので、通常の地震とは異なるとされている。



凡例
 ○ 2.0 ≤ M < 3.0
 □ 1.0 ≤ M < 2.0
 ● M < 1.0

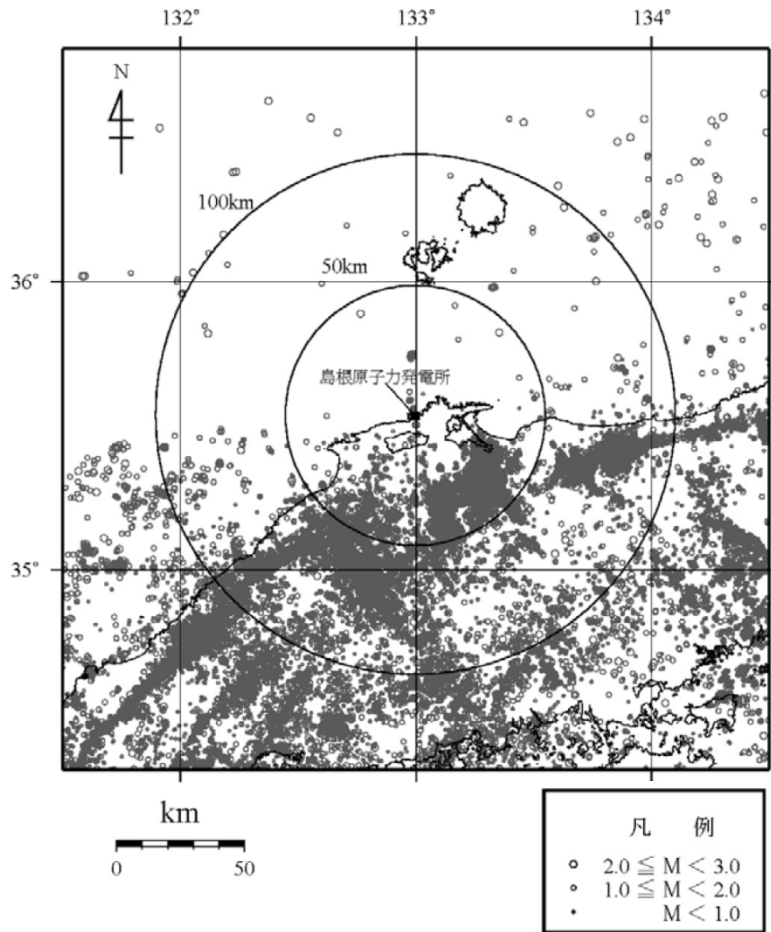
南北方向

東西方向

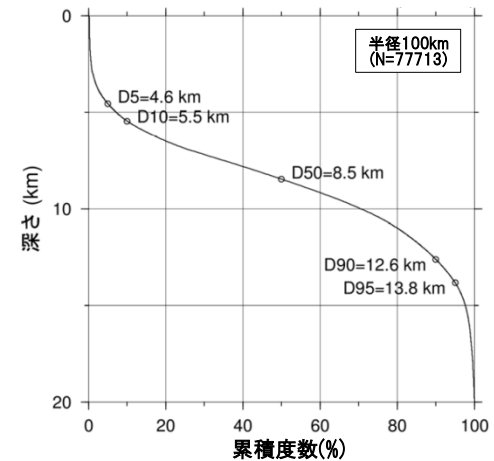
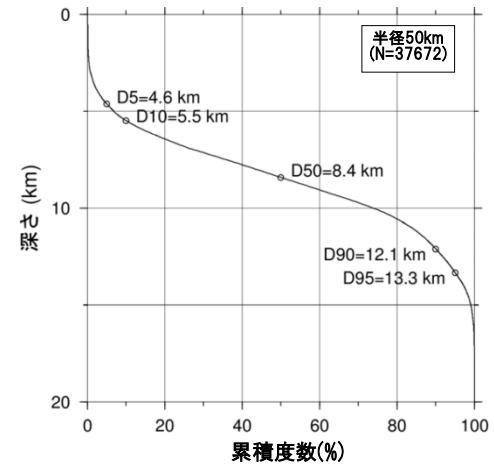
敷地周辺で発生した地震(M<3, 1997年10月~2016年10月)の震源鉛直分布 [地震諸元は「気象庁地震カタログ」による。]

地震発生層の設定(震源鉛直分布) 3/4

- 敷地から100km以内の範囲で発生した地震(M<3)の気象庁一元化データを用いてD10及びD90を求めると, D10は約5km, D90は約13kmである。



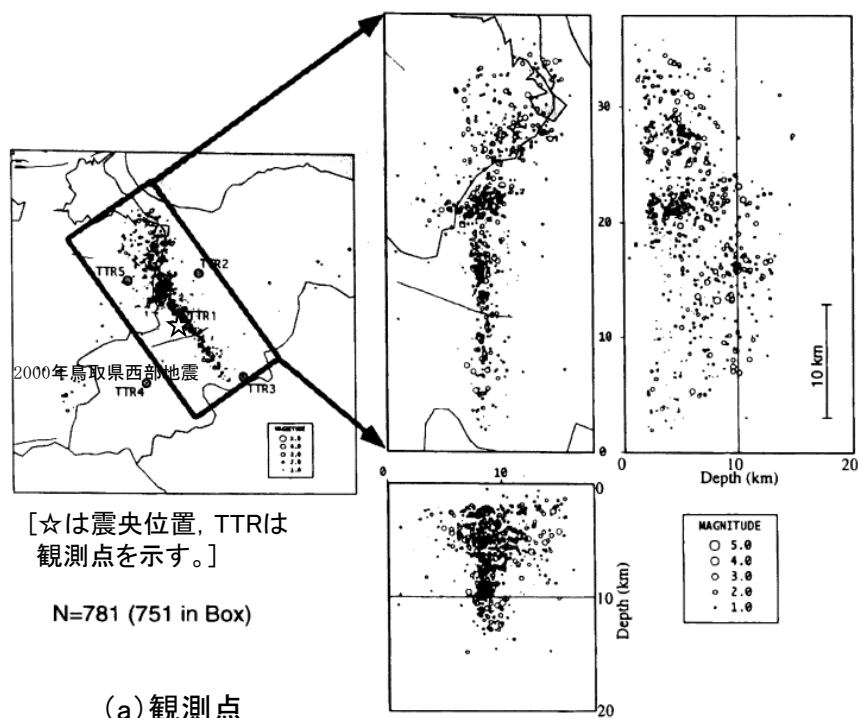
[地震諸元は「気象庁地震カタログ」による。]



敷地周辺で発生した地震(M<3, 1997年10月~2016年10月)によるD10及びD90の算定結果

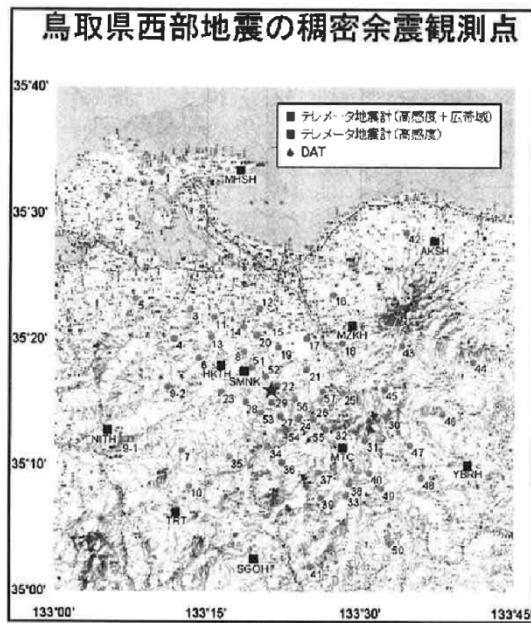
地震発生層の設定(震源鉛直分布) 4/4

- 片尾・吉井(2002)によると, 2000年10月9日~10日に京都大学による2000年鳥取県西部地震の緊急余震観測, 2000年10月15日~25日に京都大学以外の大学も加わり合同稠密余震観測が実施されており, 余震発生深さとしては約3kmから約12kmまでとされている。

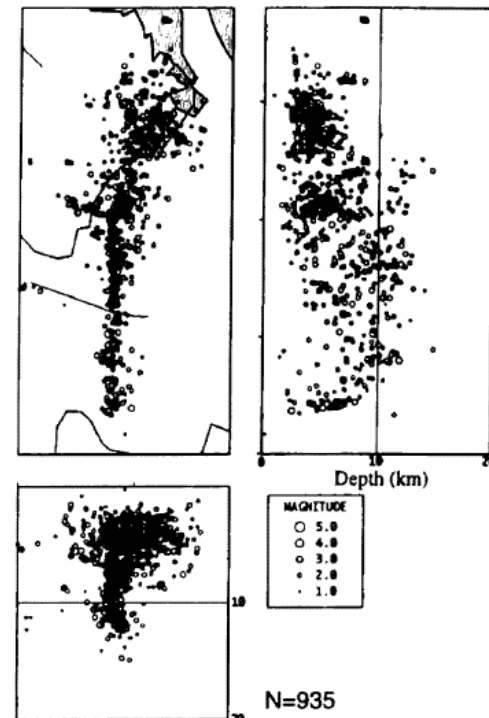


[片尾・吉井(2002)に一部加筆。]

(b) 震央分布及び震源鉛直分布



(a) 観測点



[片尾・吉井(2002)による。]

(b) 震央分布及び震源鉛直分布

京都大学緊急余震観測の観測点, 震央分布及び震源鉛直分布

合同稠密余震観測の観測点, 震央分布及び震源鉛直分布

地震発生層の設定(地震発生層上限深さに関する既往の知見)

- 地震発生層の上限深さに対応する地盤の速度値としては、既往の知見及びP波速度とS波速度の関係式($V_p=1.73 \times V_s$)より、P波速度が6.0km/s程度、S波速度が3.5km/s程度と考えられる。

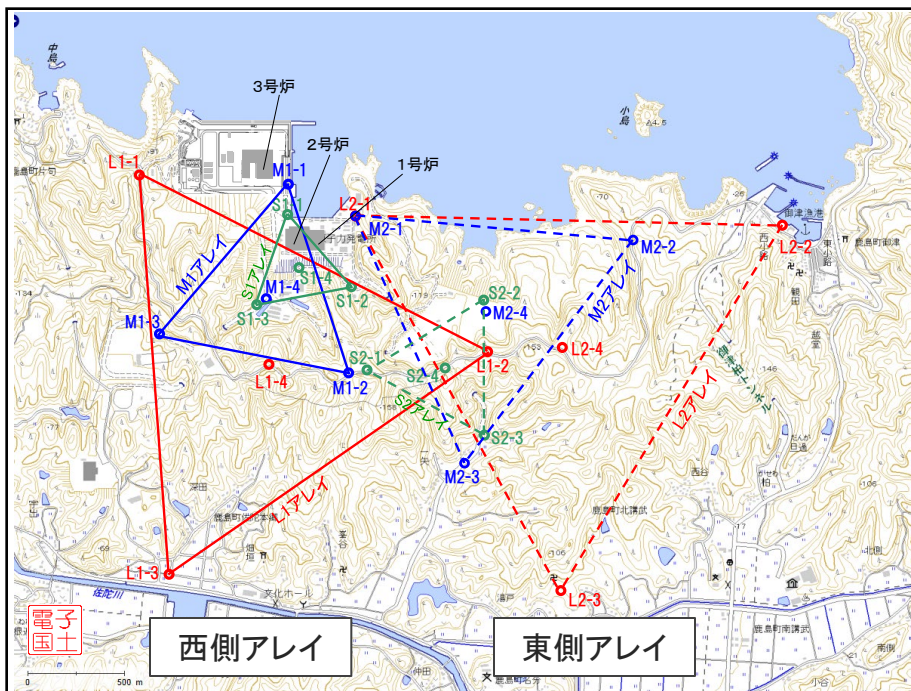
地震発生層上限深さとP波速度の対応に関する既往の知見

文献名	記載内容
入倉・三宅(2001)	微小地震の浅さ限界HsはP波速度5.8~5.9km/sの層の上限と良い相関がある。
吉井・伊藤(2001)	地震発生層の上限は速度構造が6km/sとなるところにおおむね一致していることが分かった。
廣瀬・伊藤(2006)	浅い地殻内で発生する微小地震は、P波速度が5.8~6.4km/sの層に集中しており、その上下には地震波速度境界が存在する。

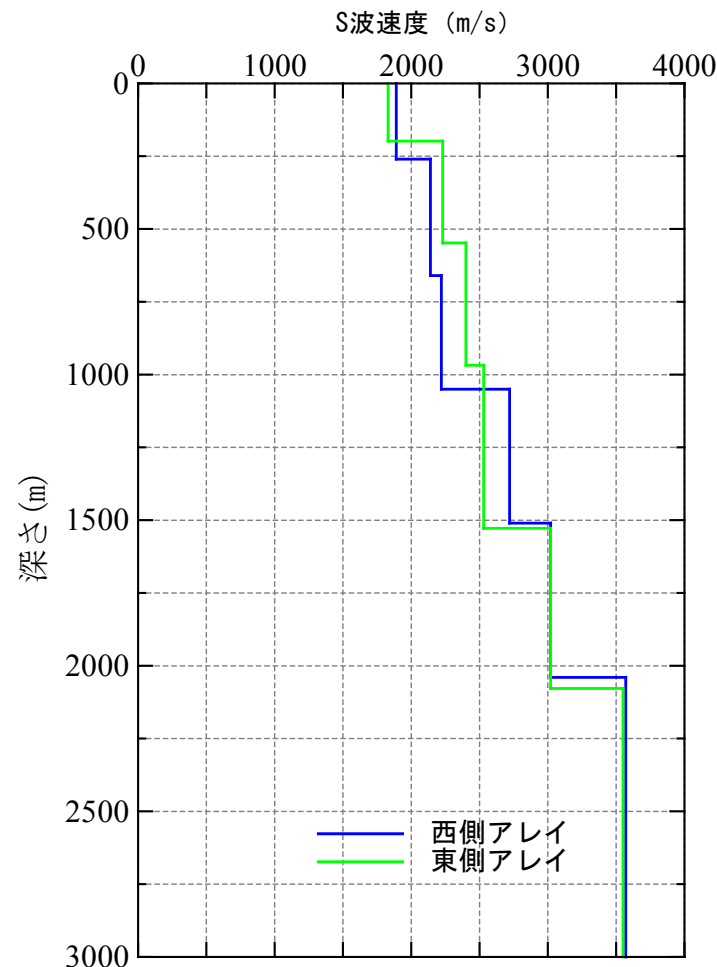
地震発生層の設定(地下構造調査)

- 敷地及び敷地周辺において微動アレイ探査(西側・東側アレイ)を実施し、速度構造を推定したところ、西側アレイと東側アレイは概ね同程度の深さに同程度の速度層が分布しており、 $V_s=3.5\text{km/s}$ 程度の層の深さは約2kmである。

観測点	底辺長 (km)	標高 (m)								
		L1-1	71	L1-2	129	L1-3	1	L1-4	148	
西側	L1アレイ	2.0	L1-1	71	L1-2	129	L1-3	1	L1-4	148
	M1アレイ	1.0	M1-1	25	M1-2	147	M1-3	134	M1-4	56
	S1アレイ	0.5	S1-1	14	S1-2	46	S1-3	55	S1-4	50
東側	L2アレイ	2.2	L2-1	13	L2-2	7	L2-3	30	L2-4	145
	M2アレイ	1.4	M2-1	14	M2-2	72	M2-3	25	M2-4	85
	S2アレイ	0.7	S2-1	158	S2-2	85	S2-3	41	S2-4	142



アレイ配置



微動アレイ探査により同定されたS波速度構造

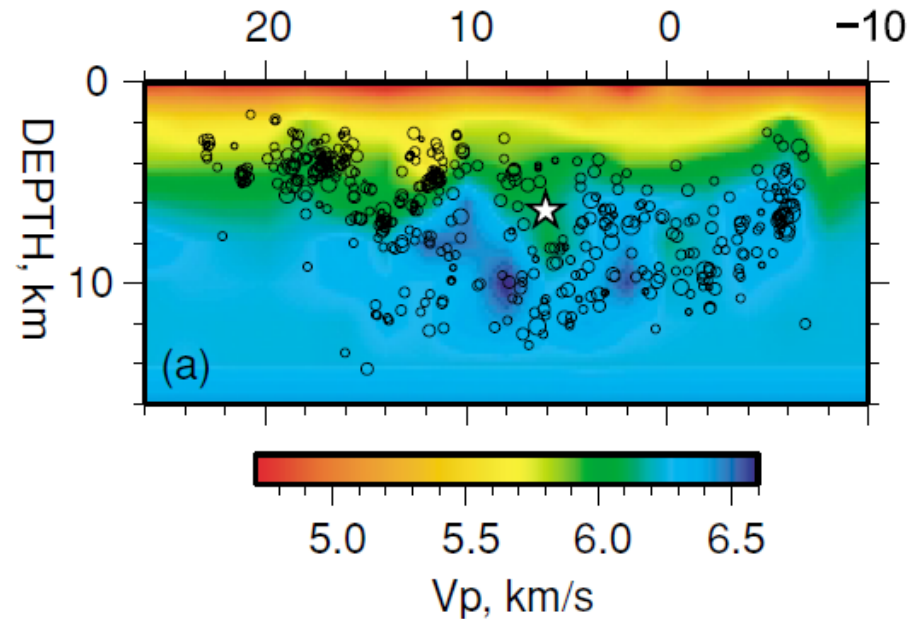
地震発生層の設定(その他の研究成果) 1/3

- 岩田・関口(2002)では, 京都大学防災研究所地震予知センター鳥取地震観測所が震源決定に用いている速度構造を参考に設定した1次元速度構造モデルを用い, 2000年鳥取県西部地震の波形インバージョン解析を行っており, その速度構造の $V_p=6.0\text{km/s}$ 程度, $V_s=3.5\text{km/s}$ 程度の層の深さは2kmである。
- Shibutani et al.(2005)では, 2000年鳥取県西部地震の稠密観測による余震記録を用いて地震波トモグラフィ解析を行い, 震源域とその周辺での3次元速度構造を推定しており, その速度構造によると, $V_p=6.0\text{km/s}$ 程度の層の上限深さは約2~4kmである。

2000年鳥取県西部地震の震源過程解析に用いられた速度構造

Top depth of the layer (km)	V_p (km/s)	V_s (km/s)	ρ (g/cm^3)	Q_p	Q_s
0	5.5	3.18	2.6	400	200
2.	6.1	3.53	2.7	550	270
16.	6.7	3.87	2.8	800	400
38.	7.8	4.51	3.1	1000	500

[岩田・関口(2002)による。]

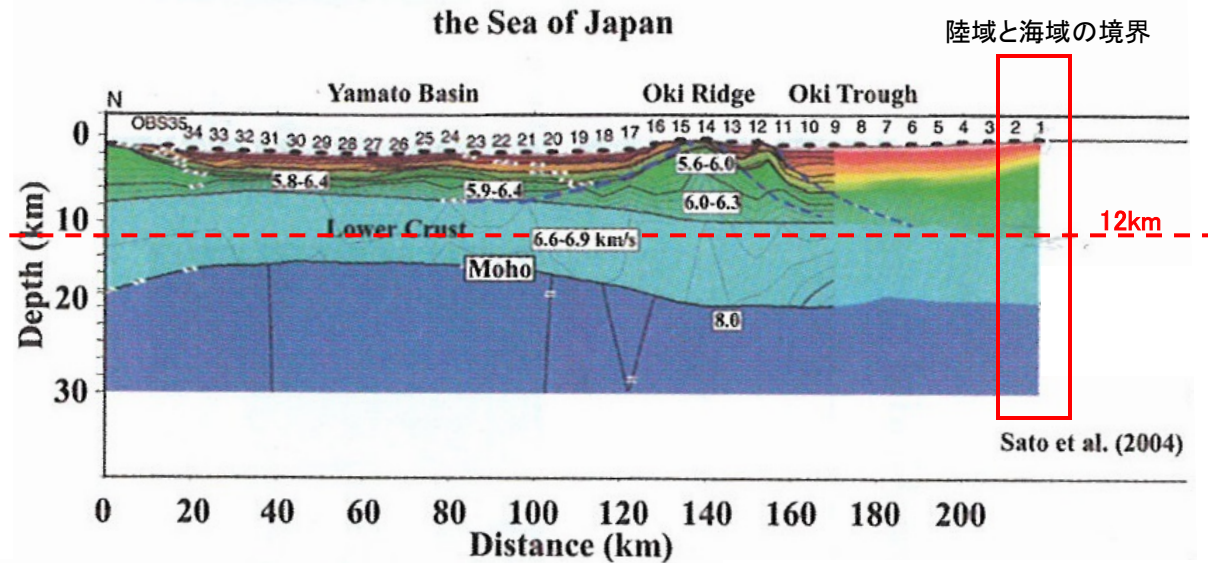
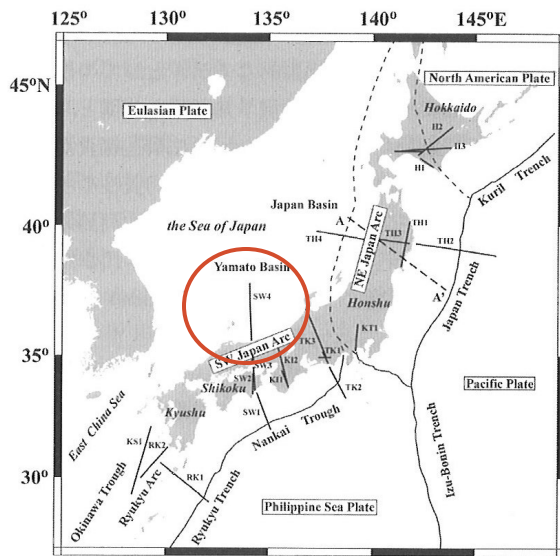


[Shibutani et al.(2005)による。]

2000年鳥取県西部地震の余震記録を用いて推定されたP波速度構造

地震発生層の設定(その他の研究成果) 2/3

- 岩崎・佐藤(2009)では、地殻構造探査データから地殻構造断面を推定しており、敷地周辺の測線における地殻構造断面によると、 $V_p=6.5\text{km/s}$ 程度の下部地殻の上限深さは約12kmである。

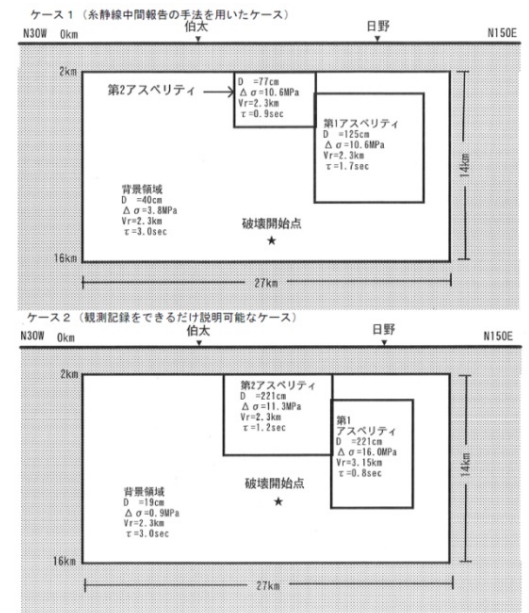
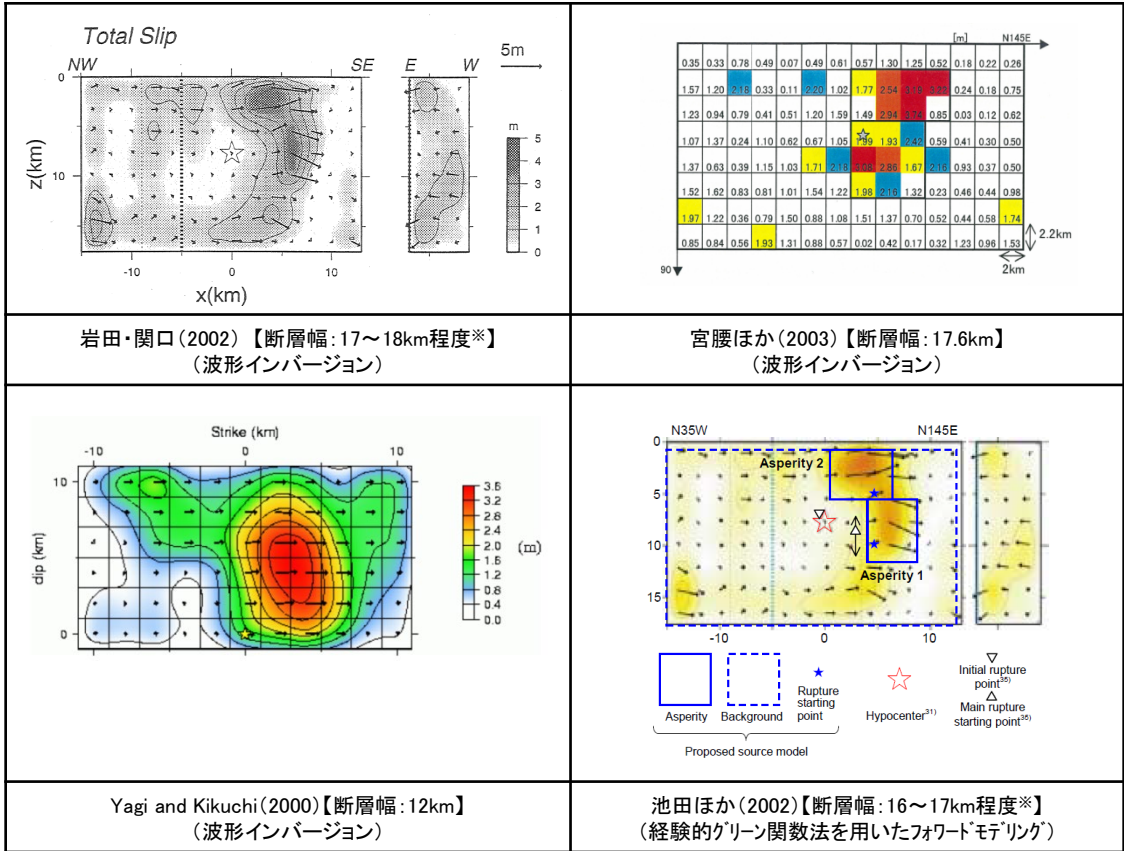


[岩崎・佐藤(2009)に一部加筆。]

地殻構造探査データから推定された地殻構造断面

地震発生層の設定(その他の研究成果) 3/3

- 波形インバージョン等の各種解析により推定された2000年鳥取県西部地震の震源モデルの断層幅としては、岩田・関口(2002)では17~18km程度、宮腰ほか(2003)では17.6km, Yagi and Kikuchi(2000)では12km, 池田ほか(2002)では16~17km程度とされている。
- また、地震調査委員会(2002)による2000年鳥取県西部地震の地震動評価においては、断層長さは波形インバージョン解析結果に基づいて設定されているが、深さ方向については、気象庁等の余震分布を参考にして、地震発生層を2~16kmに設定している。



○震源断層の位置・長さ・幅・傾斜角・深さ・走向
 震源断層の位置・長さ・幅・傾斜角・深さ・走向は、前提条件で述べたように震源断層の形状は既知としたため、ケース1・2共通で、強震動インバージョンにより推定された関口・岩田(2000)のモデルを基に設定した。複数の強震動インバージョン結果から関口・岩田(2000)のモデルを選んだ理由は、地震動の短周期成分も含めて、解析を行って算定したためである。
ただし、インバージョンより得られる断層の領域は、ほとんど動いていない部分も含まれていて、実際の断層面よりもかなり広めに設定される傾向にある。そこで、Somerville et al.(1999)の規範に従い、インバージョンより得られた断層の領域からほとんど動いていない部分を取り除いた。その結果、インバージョンによる断層長さが33kmであったのが27kmに短縮した。深さ方向については、気象庁等の余震分布を参考にして、地震発生層を2~16kmと推定し、この部分に断層を設定した。

※ 図から読み取った値

地震発生層の設定(上限・下限深さ)

■ 地震発生層の設定にあたっては、下表に示す各種検討結果を踏まえ、総合的に判断して次のとおり設定する。

◆ 敷地及び敷地周辺の地震発生層の上限深さ

・地震発生層の上限深さは、以下の表-1に示す地震発生層の設定に考慮した各種検討結果の中で最も浅い2kmに設定する。

◆ 敷地及び敷地周辺の地震発生層の下限深さ

・地震発生層の下限深さは、以下の表-1に示す地震発生層の設定に考慮した各種検討結果の中で最も深い15kmと考えられる。

・但し、以下の表-2に示す各種検討結果(参考)をみると、「中国地域の長期評価(H28年7月)によるD90」及び「気象庁一元化データによる震源鉛直分布」において上記よりも深い下限深さ(20km)が示され、また、波形インバージョン解析等による2000年鳥取県西部地震の震源モデルにおいて最大18km程度の断層幅が示されていることから、地震動評価においては、それらを参考に安全側に下限深さを20kmに設定する。

表-1 地震発生層の設定に考慮した各種検討結果

項目	検討内容	上限深さ	下限深さ
他機関の検討	全国地震動予測地図2017年版による地震発生層の設定値	2km	15km
震源鉛直分布	原子力安全基盤機構(2004)による中国地方のD10, D90	6.4km	13.1km
	気象庁一元化データによる敷地周辺(100km以内)のD10, D90	約5km	約13km
	片尾・吉井(2002)による2000年鳥取県西部地震(余震)の震源鉛直分布	約3km	約12km
地下構造調査	敷地及び敷地周辺における微動アレイ探査結果	約2km	—
その他の研究成果	岩田・関口(2002)による2000年鳥取県西部地震の波形インバージョン解析で用いられた速度構造	2km	—
	Shibutani et al.(2005)による2000年鳥取県西部地震のトモグラフィー解析	約2~4km	—
	岩崎・佐藤(2009)による鳥取県沖の地殻構造探査	—	約12km

表-2 各種検討結果(参考)

項目	検討内容	上限深さ	下限深さ
他機関の検討	中国地域の長期評価(H28年7月)による地震発生層の下限深さD90※1	—	15~20km
震源鉛直分布	気象庁一元化データによる敷地周辺の震源鉛直分布※1,2	—	約20km
その他の研究成果	岩田・関口(2002)による2000年鳥取県西部地震の震源モデル※3	断層幅: 17~18km程度	
	宮腰ほか(2003)による2000年鳥取県西部地震の震源モデル※3	断層幅: 17.6km	
	Yagi and Kikuchi(2000)による2000年鳥取県西部地震の震源モデル※3	断層幅: 12km	
	池田ほか(2002)による2000年鳥取県西部地震の震源モデル※3	断層幅: 16~17km程度	
	地震調査委員会(2002)による2000年鳥取県西部地震の震源モデル※2,3	2km	16km

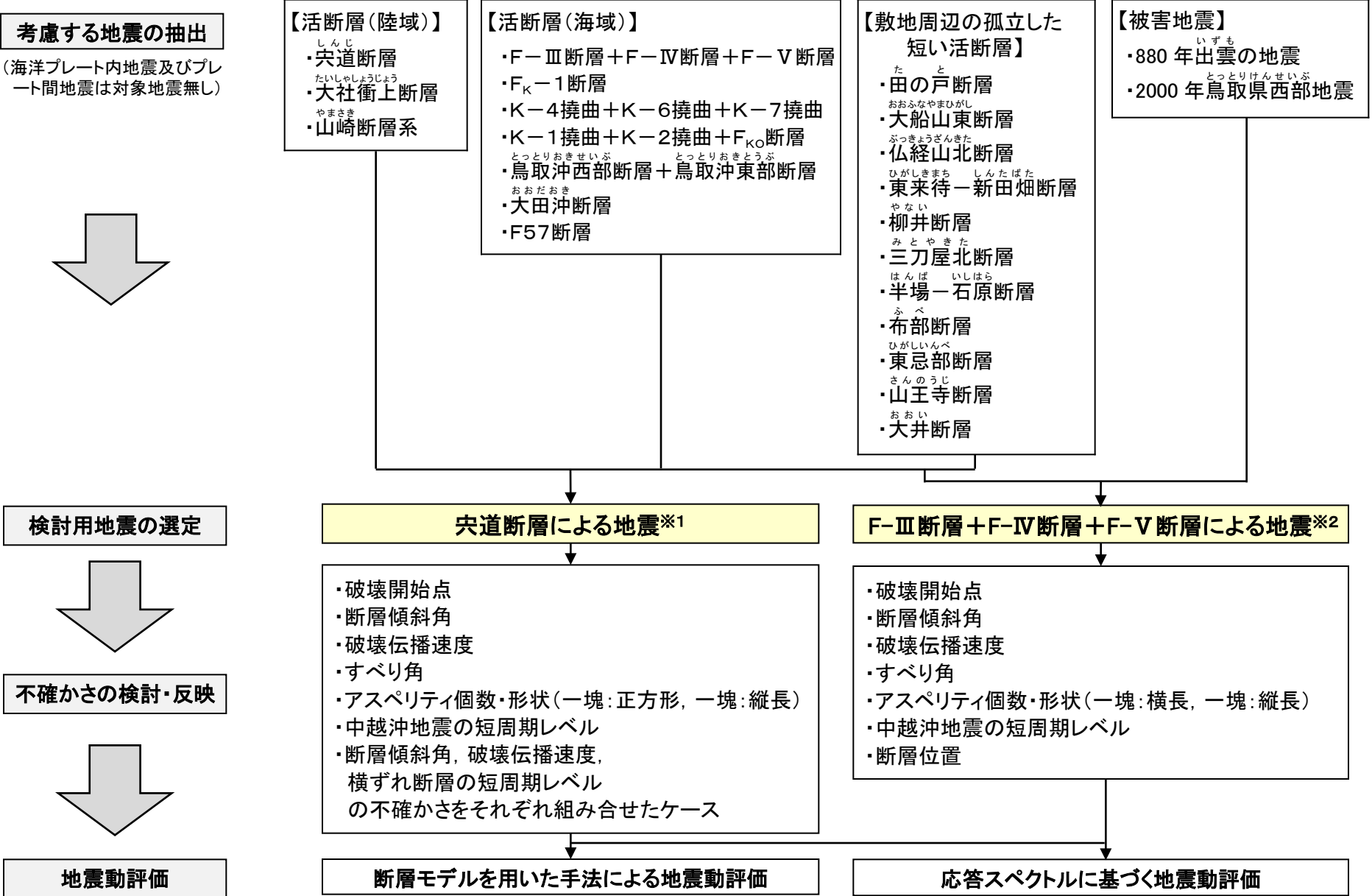
表-2の各種検討結果を(参考)としている理由は以下による

※1「中国地域の長期評価(H28年7月)によるD90」及び「気象庁一元化データによる震源鉛直分布」における下限深さは、敷地周辺よりも震源が深い南側の山陽地域の影響により、中国地域全体として深く求まっていると考えられる。

※2上野ほか(2002)によると、震源決定に用いている速度値を大きく設定の影響で震源が深く求まっていると考えられる。

※3地震調査委員会による2000年鳥取県西部地震の地震動評価(地震調査委員会(2002))及び2005年福岡県西方沖の地震の地震動評価(地震調査委員会(2008))では、波形インバージョン解析により得られる震源断層の領域を、断層長さの設定では考慮しているが、断層幅の設定では考慮せず、余震分布を参考に推定していることから、波形インバージョン解析等の断層幅についてのデータは参考とする。

検討用地震の選定 地震動評価概要フロー



※1 耐専式の適用範囲外であるため、M-Δの関係の比較に基づき選定(109ページ参照)

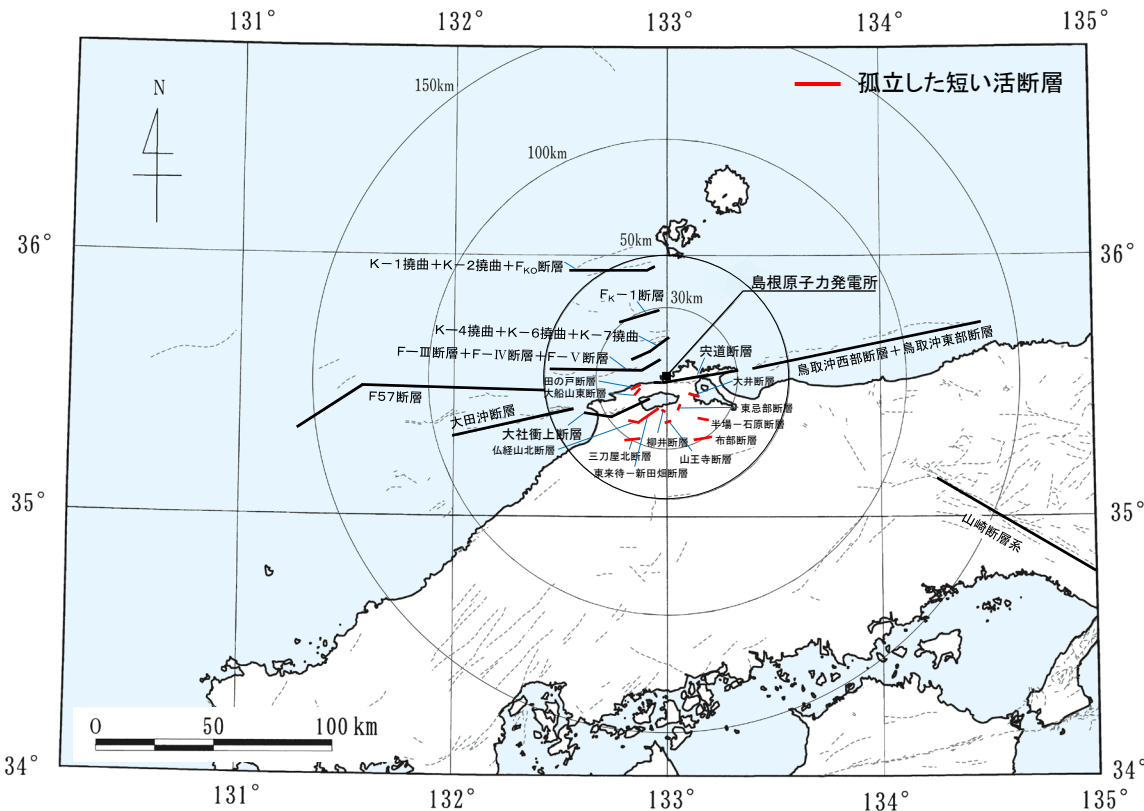
※2 耐専式による地震動評価結果(突道断層による地震以外)の比較に基づき選定(110ページ参照)

検討用地震の選定 1/3

- 敷地周辺の地震発生状況や活断層の分布状況を踏まえ、敷地へ及ぼす影響が大きいと想定される地震を検討用地震として選定する。なお、敷地周辺の海洋プレート内地震は広島県沖の安芸灘を震源とする2001年芸予地震等が対象で、プレート間地震は四国沖の南海トラフを震源とする1707年宝永地震等が対象であり、それらは敷地から遠方に位置し、敷地へ及ぼす影響が小さいことから、検討用地震は内陸地殻内地震を対象に選定する。
- 敷地周辺の考慮する活断層のうち、断層長さが19km未満の活断層については、孤立した短い活断層として、震源断層が傾斜角70°※で地震発生層の上限から下限まで広がっているものと仮定し、その断層幅は約19km、断層長さも断層幅と同等の約19kmに設定した。

※地質調査等の十分な情報がないことから、後述のF-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層の周辺で発生した中小地震の断層傾斜角(補足説明資料100ページ参照)に基づき70°に設定。

敷地周辺の孤立した短い活断層



断層名	断層長さ (km)	評価長さ (km)	震央※距離 (km)
たの戸断層	5	約19	14.0
おおふなやまひがし大船山東断層	4	約19	13.6
ぶつきょうざんきた 仏経山北断層	5	約19	22.8
ひがしきまち しんたばた 東来待-新田畑断層	11	約19	17.4
やない 柳井断層	2	約19	13.7
みやききた 三刀屋北断層	7	約19	29.4
はんぼ いしはら 半場-石原断層	5	約19	23.3
ふべ 布部断層	8	約19	29.3
ひがいんべ 東忌部断層	3	約19	13.6
さんのうじ 山王寺断層	3	約19	18.1
おおい 大井断層	5	約19	13.7

※ 断層中央までの距離

敷地周辺における活断層の分布

[[新編]日本の活断層]に加筆修正.]

検討用地震の選定 2/3

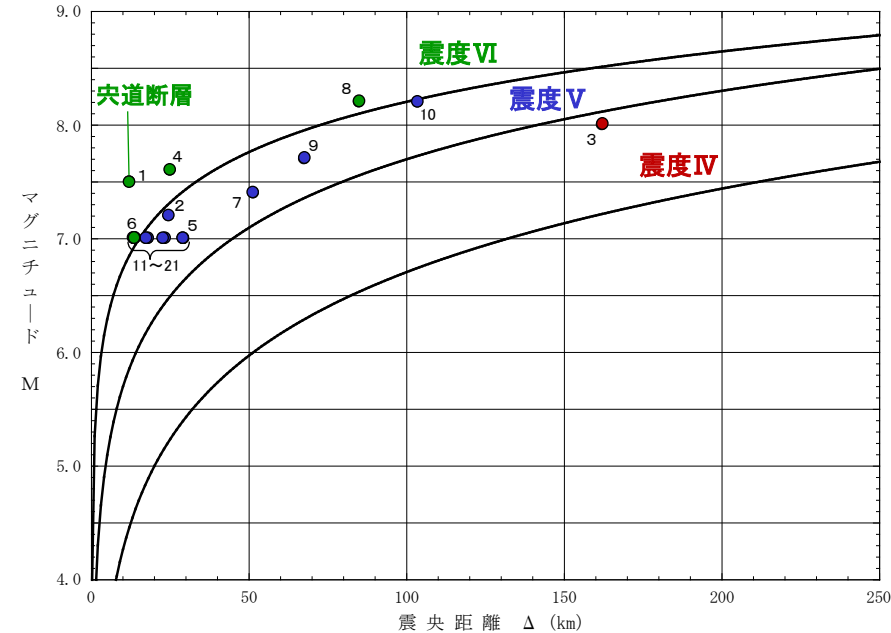
- 敷地周辺の考慮する活断層(孤立した短い活断層を含む)について、M-Δの関係を比較すると、敷地の極近傍に位置している宍道断層が、敷地に大きな影響を及ぼすと考えられるため、「宍道断層による地震」を検討用地震として選定した。

敷地周辺の考慮する活断層

No.	断層名	断層長さ (km)	マグニチュード M※1	震央距離※2 (km)	備考
1	しんじ 宍道断層	39	7.5	12.2	検討用地震として選定
2	たいしやうじやう 大社街上断層	28	7.2	24.6	
3	やまさき 山崎断層系	79	8.0	162.1	
4	F-I断層+F-II断層+F-III断層	48	7.6	25.1	
5	F _K -1断層	19	7.0	29.3	
6	K-4撓曲+K-6撓曲+K-7撓曲	19	7.0	13.8	
7	K-1撓曲+K-2撓曲+F _{KO} 断層	36	7.4	51.5	
8	とっとりおきせいぶ 鳥取沖西部断層+とっとりおきとうぶ 鳥取沖東部断層	98	8.2	85.0	
9	おおたおき 大田沖断層	53	7.7	67.6	
10	F57断層	108	8.2	103.6	
11	た と 田の戸断層	約19	7.0	14.0	孤立した短い活断層
12	おおふなやまひがし 大船山東断層	約19	7.0	13.6	孤立した短い活断層
13	ぶつきやうざんきた 仏経山北断層	約19	7.0	22.8	孤立した短い活断層
14	ひがしきまち 東来待-新田畑断層	約19	7.0	17.4	孤立した短い活断層
15	やない 柳井断層	約19	7.0	13.7	孤立した短い活断層
16	みとやきた 三刀屋北断層	約19	7.0	29.4	孤立した短い活断層
17	はんぼ 半場-石原断層	約19	7.0	23.3	孤立した短い活断層
18	ふべ 布部断層	約19	7.0	29.3	孤立した短い活断層
19	ひがしいんべ 東忌部断層	約19	7.0	13.6	孤立した短い活断層
20	さんのおうじ 山王寺断層	約19	7.0	18.1	孤立した短い活断層
21	おおい 大井断層	約19	7.0	13.7	孤立した短い活断層

※1 松田(1975)による断層長さとMの関係式により算定

※2 断層中央までの距離



〔IV, V, VIは旧気象庁震度階級で、震度の境界線は村松(1969)及び勝又・徳永(1971)による。〕

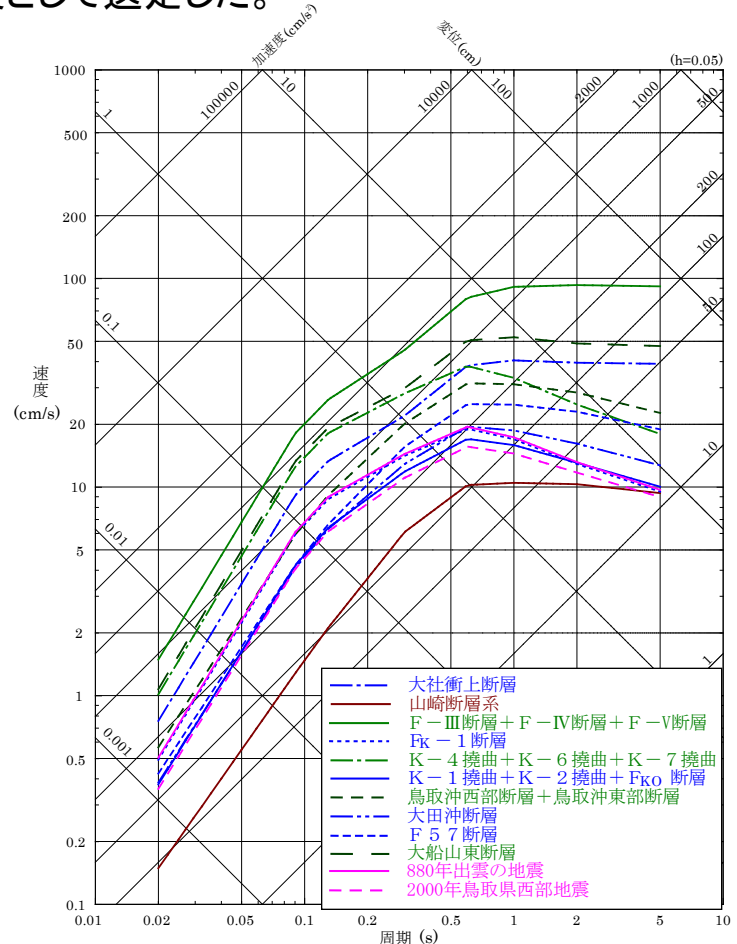
M-Δ図

検討用地震の選定 3/3

- 突道断層以外の敷地周辺の考慮する活断層(孤立した短い活断層を含む)及び地震について, Noda et al. (2002) (以下「耐専式」という。)による地震動評価結果を比較すると, F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層が, 敷地に及ぼす影響が最も大きいと考えられるため, 「F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震」を検討用地震として選定した。
- 以上より, M-Δの関係及び耐専式による地震動評価結果の比較に基づき, 「突道断層による地震」及び「F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震」を検討用地震として選定した。

検討用地震選定のための内陸地殻内地震の諸元

No.	断層名	断層長さ (km)	マグニチュード M※1	等価震源距離 Xeq(km)※2	備考※3
1	しんじ 突道断層	39	7.5	12.5	耐専式適用範囲外 (135ページと同様の検討による)
2	たいししょうじょう 大社衝上断層	28	7.2	24.0	
3	やまさき 山崎断層系	79	8.0	158.0	
4	F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層	48	7.6	19.4	検討用地震として選定
5	F _K -1断層	19	7.0	28.2	
6	K-4撓曲+K-6撓曲+K-7撓曲	19	7.0	15.9	
7	K-1撓曲+K-2撓曲+F _{KO} 断層	36	7.4	49.4	
8	とっとりおきせいぶ とっとりおきとうぶ 鳥取沖西部断層+鳥取沖東部断層	98	8.2	71.1	
9	おおだおき 大田沖断層	53	7.7	63.8	
10	F57断層	108	8.2	89.8	
11	たの戸断層	約19	7.0	15.7	No.12で代表させる
12	おおふなやまひがし 大船山東断層	約19	7.0	15.1	
13	ぶつしょうざんきた 仏経山北断層	約19	7.0	23.4	No.12で代表させる
14	ひがしまち しんたばた 東来待-新田畑断層	約19	7.0	18.7	No.12で代表させる
15	やない 柳井断層	約19	7.0	16.1	No.12で代表させる
16	みやま 三刀屋北断層	約19	7.0	29.3	No.12で代表させる
17	はんば いしはら 半場-石原断層	約19	7.0	23.7	No.12で代表させる
18	ふべ 布部断層	約19	7.0	29.0	No.12で代表させる
19	ひがしふべ 東急部断層	約19	7.0	15.6	No.12で代表させる
20	さんのおうじ 山王寺断層	約19	7.0	19.6	No.12で代表させる
21	おおい 大井断層	約19	7.0	15.2	No.12で代表させる
22	とっとり 880年出雲の地震	-	7.0	27.7	
23	とっとり 2000年鳥取県西部地震	-	7.3	47.0	



※1 松田(1975)による断層長さMの関係式により算定
 ※2 No.22,23は円形断層, No.1,3は地質調査結果等に基づき断層傾斜角90°の矩形断層, それ以外は地質調査等の十分な情報がないことから, 後述の敷地周辺で発生した主な中小地震の断層傾斜角(補足説明資料100ページ参照)に基づき70°の矩形断層を仮定して設定。

※3 No.11~21の孤立した短い活断層については, 等価震源距離がより近いNo.12大船山東断層で代表させる

検討用地震選定のための応答スペクトルの比較

地震動評価手法

- 検討用地震の地震動評価においては、「応答スペクトルに基づく地震動評価」及び「断層モデルを用いた手法による地震動評価」の双方を実施する。
 - 応答スペクトルに基づく地震動評価
 - ・ 解放基盤表面における水平及び鉛直方向の地震動が評価できる。
 - ・ 震源の拡がりが考慮できる。
 - ・ 以上の条件を満足する耐専式の適用性を確認し、地震動評価を実施する。なお、耐専式が適用できない場合は、適用可能な他の距離減衰式を用いて地震動評価を実施するが、断層モデルを用いた手法による地震動評価を重視する。
 - 断層モデルを用いた手法による地震動評価
 - ・ 検討用地震の震源近傍で発生した地震において、要素地震として選定できる適切な敷地の観測記録が得られていないことから、評価手法としては短周期側に統計的グリーン関数法(釜江ほか(1991), 入倉ほか(1997)), 長周期側に理論的手法(Hisada(1994))を用いたハイブリッド合成法(Kamae et al.(1998))により地震動評価を実施する。
- 地震動評価における不確かさの考慮については、評価結果に与える影響が大きいと考えられる断層パラメータを選定し、その地震動を評価する。
 - 不確かさを考慮するパラメータの分類

<ul style="list-style-type: none"> ・ 断層傾斜角 ・ 破壊伝播速度 ・ すべり角 ・ アスペリティ※ ・ 短周期レベル 	}	<p>認識論的な不確かさに分類されるもので、事前の詳細な調査や経験式等に基づき設定できるもの</p> <p>※アスペリティは、地質調査結果(変位地形・リニアメント)に基づき設定することから、本評価では認識論的な不確かさとして扱う</p>
<ul style="list-style-type: none"> ・ 破壊開始点 	}	<p>偶然的な不確かさに分類されるもので、事前の詳細な調査や経験式からは特定が困難なもの</p>
 - 不確かさの組合せに関する基本的な考え方
 - ・ 敷地における地震動評価に大きな影響を与えると考えられる支配的なパラメータについて分析した上で、必要に応じて不確かさを組み合わせて考慮する。

応答スペクトルに基づく地震動評価

- 耐専式が適用範囲外の場合は、国内外の地震観測記録に基づき作成された以下に示すその他の距離減衰式を用いて、応答スペクトルに基づく地震動評価を実施する。

距離減衰式のデータベース諸元

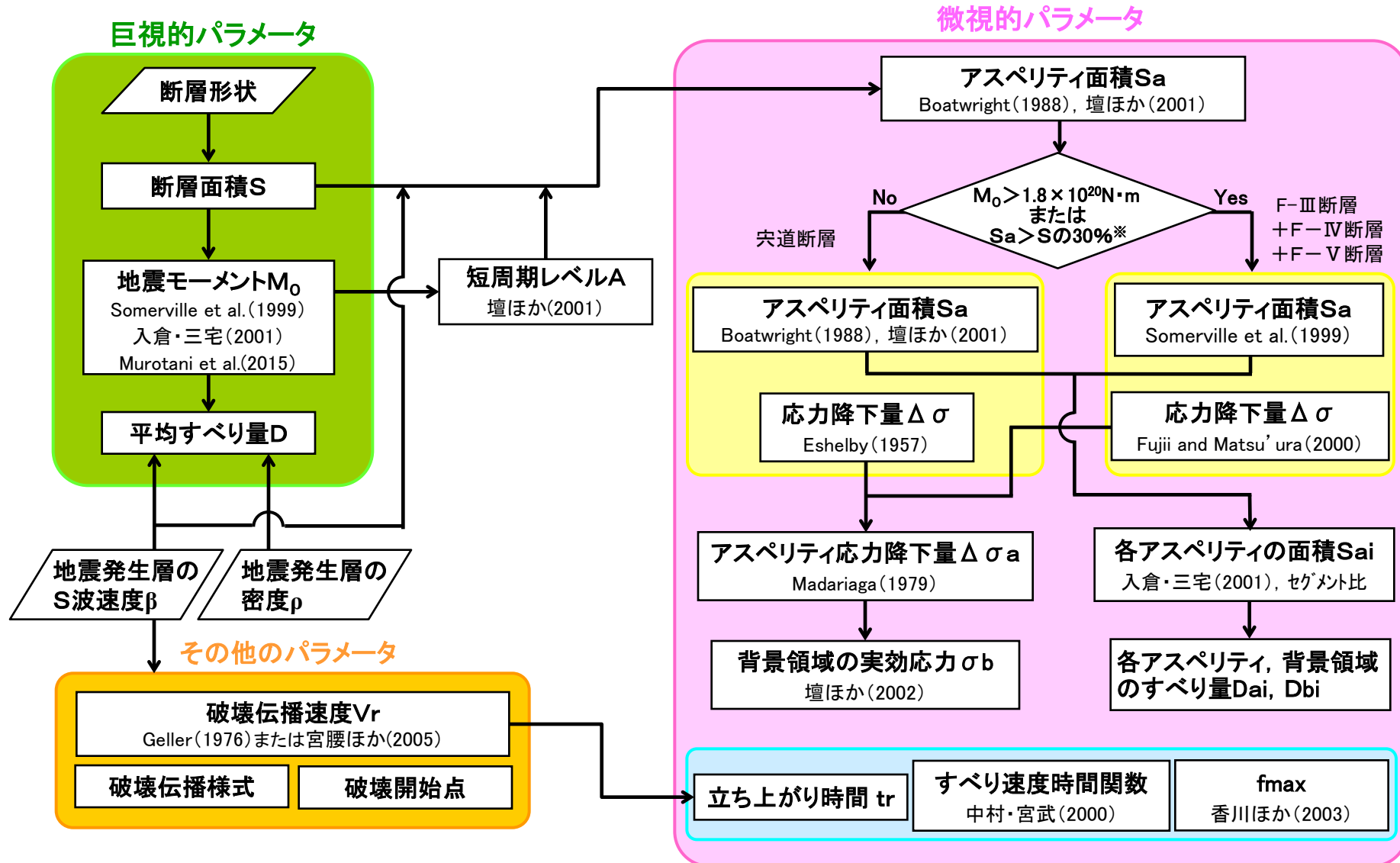
距離減衰式	データベース諸元					
	対象地震	地震種別	Mwの範囲	断層最短距離の範囲	地盤条件・種別	備考
Kanno et al.(2006)	主に国内	内陸プレート間プレート内	5.5~8.2	1~500km	$100 \leq V_{s30} \leq 1400 \text{m/s}$	V_{s30}^{*2} による補正が可能
Zhao et al.(2006)	主に国内		5.0~8.3	0.3~300km	Hard Rock($V_{s30} > 1100 \text{m/s}$) ~Soft Soil	V_{s30}^{*2} による補正が可能
内山・翠川(2006)	日本周辺		5.5~8.3	300km以内	$150 \leq V_{s30} \leq 750 \text{m/s}$ ($V_{s30}=500 \text{m/s}$ 程度の工学的基盤の V_{s30} の平均値は 550m/s)	
片岡ほか(2006)	日本周辺	内陸海溝性	4.9~8.2	250km以内	工学的基盤~第三種地盤 工学的基盤(31測点)の V_{s30} の平均値は 720m/s	
Abrahamson et al.(2014)	国内外	内陸	3.0~8.5	300km以内	$180 \leq V_{s30} \leq 1500 \text{m/s}^{*1}$	V_{s30}^{*2} による補正が可能
Boore et al.(2014)			3.0~8.5(横ずれ) 3.0~8.5(逆断層) 3.3~7.0(正断層)	400km以内	$150 \leq V_{s30} \leq 1500 \text{m/s}^{*1}$	V_{s30}^{*2} による補正が可能
Campbell and Bozorgnia(2014)			3.3~8.5(横ずれ) 3.3~8.0(逆断層) 3.3~7.0(正断層)	300km以内	$150 \leq V_{s30} \leq 1500 \text{m/s}^{*1}$	V_{s30}^{*2} による補正が可能
Chiou and Youngs(2014)			3.5~8.5(横ずれ) 3.5~8.0(逆断層) 3.5~8.0(正断層)	300km以内	$180 \leq V_{s30} \leq 1500 \text{m/s}^{*1}$	V_{s30}^{*2} による補正が可能
Idriss(2014)			5.0~8.0	150km以内	$450 \leq V_{s30} \leq 2000 \text{m/s}^{*1}$	V_{s30}^{*2} による補正が可能

*1 Gregor et al.(2014)による

*2 表層30mのS波速度の平均値(島根原子力発電所は $V_{s30}=1700 \text{m/s}$)

断層モデルのパラメータ設定

- 断層モデルのパラメータ設定は、レシピに基づき、以下のフローのとおり実施する。



* レシピにおいて、内陸地震によるアスペリティ総面積の占める割合は「断層総面積の15~27%(宮腰ほか(2001))」とされていることを踏まえ、当社の判断で設定した条件

断層パラメータの設定根拠(巨視的断層パラメータ) 1/6

第530回審査会合資料1 P53 再掲

■ 宍道断層による地震の巨視的断層パラメータの設定根拠を示す。

(1) 断層長さ

○基本震源モデル

■ 断層長さ

- ✓ 基本震源モデルの断層長さは、以下に基づき、女島(西端)から美保関町東方沖合い(東端)までの39kmに設定。

■ 西端

- ✓ 宍道断層の西端については、古浦より西側の海域、陸海境界付近、陸域のいずれの調査地点においても、宍道断層の延長部に対応する断層は認められないが、陸海境界付近の調査結果の不確かさを考慮し、精度や信頼性のより高い調査結果が得られている「女島」とする。
- ✓ また、宍道断層と古浦～十六島沿岸付近の重力異常の関係については、地質調査の結果、
 - ①古浦沖から大田沖断層の海域及び沿岸付近における音波探査の結果、古浦沖から女島付近の陸海境界付近における群列ボーリング調査等の結果、さらに、古浦西方から女島付近の陸域における地表地質踏査等の結果、宍道断層の延長部に対応する断層は認められないこと
 - ②宍道断層の末端性状について、変動地形学的調査の結果、端部付近では断層活動性が低下していること
 - ③古浦～十六島沿岸付近の重力コンターの傾斜部は、後期更新世以降の断層活動が認められないF-①断層及びF-②断層に伴う音響基盤の落差(音響基盤の傾斜部)を反映したものと考えられ、その重力異常は、宍道断層で認められる明瞭な重力異常へ連続しないこと

から、宍道断層と古浦～十六島沿岸付近の重力異常は関連しないものと評価する。

- ✓ 地震動評価における基本震源モデルの設定については、宍道断層の端部評価に加えて、変位地形・リニアメントの有無及び谷の屈曲量・屈曲率から断層活動性は端部に向かって低下していること、古浦～十六島沿岸付近の重力コンターの傾斜部は、後期更新世以降の断層活動が認められないF-①断層及びF-②断層に伴う音響基盤の落差(音響基盤の傾斜部)を反映したものと考えられ、その重力異常は、宍道断層で認められる明瞭な重力異常へ連続しないことから、古浦～十六島沿岸付近の重力異常は宍道断層の破壊伝播区間として考慮しない。

断層パラメータの設定根拠(巨視的断層パラメータ) 2/6

第530回審査会合資料1 P54 再掲

■ 東端

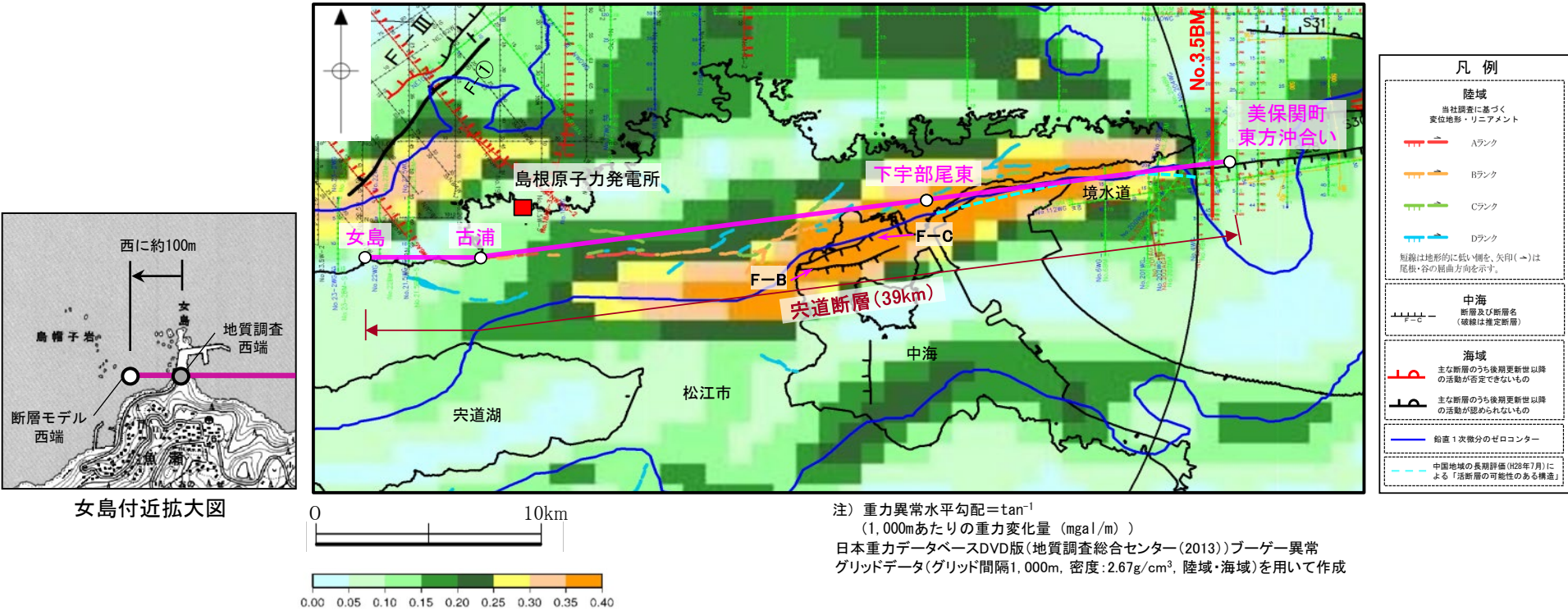
- ✓ 宍道断層の東端については、中国地域の長期評価(H28年7月)において宍道断層東部を「活断層の可能性のある構造(P1)」と評価しているため(補足説明資料56ページ)、その周辺の地質について当社で詳細に調査したところ、陸域では一部の断層を除いて上載地層がなく、陸海境界では十分な調査が実施できず、後期更新世以降の断層活動が完全には否定できなかったことから、音波探査により精度や信頼性のより高い調査結果が得られ、かつ、明瞭な重力異常が認められないこと(補足説明資料57ページ)を確認している「美保関町東方沖合い」とする。
- ✓ また、宍道断層と鳥取沖西部断層の連動については、地質調査の結果、
 - ①宍道断層及び鳥取沖西部断層の端部評価について、複数の音源・測線による浅部から深部の地質・地質構造に関する音波探査の結果、後期更新世以降の断層活動は認められないこと
 - ②宍道断層及び鳥取沖西部断層の末端性状について、変動地形学的調査及び音波探査の結果、端部付近では断層活動性が低下していること
 - ③宍道断層と鳥取沖西部断層の間の地質構造について、音波探査の結果、両断層間に後期更新世以降の断層活動は認められないこと、詳細地質構造に関する検討の結果、D₂層の高まり及びS30断層を横断する断層は認められないこと、宍道断層で認められる明瞭な重力異常は、鳥取沖西部断層へ連続しないこと
 から、宍道断層と鳥取沖西部断層は連動しないと評価する。
- ✓ 地震動評価における基本震源モデルの設定については、宍道断層及び鳥取沖西部断層の端部評価に加えて、断層の分布形態及び変位量から断層活動性は端部に向かって低下していること、また、両断層間については、後期更新世以降の断層活動は認められず、雁行(ステップ)等の非単調な構造も認められないこと、D₂層の高まり及びS30断層を横断する断層は認められないこと、宍道断層で認められる明瞭な重力異常は、鳥取沖西部断層へ連続しないことから、宍道断層と鳥取沖西部断層の連動を考慮しない。

○不確かさ

基本震源モデルの断層長さは、上記の考え方にに基づき設定していることから、不確かさは設定しない。

断層パラメータの設定根拠(巨視的断層パラメータ) 3/6

第530回審査会合資料1 P58 再掲



凡例

陸域	当社調査に基づく変位地形・リニアメント
Aランク	(Red line)
Bランク	(Orange line)
Cランク	(Green line)
Dランク	(Blue line)
短線は地形的に低い種を、矢印(→)は尾根・谷の屈曲方向を示す。	
中海	断層及び断層名(破線は推定断層)
海域	主な断層のうち後期更新世以降の活動が否定できないもの
	主な断層のうち後期更新世以降の活動が認められないもの
	船道 1 次級分のゼロコンター
	中国地域の長期評価(028年7月)による「活断層の可能性のある構造」

注) 重力異常水平勾配 = \tan^{-1}
 (1,000mあたりの重力変化量 (mgal/m))
 日本重力データベースDVD版(地質調査総合センター(2013))ブーゲー異常グリッドデータ(グリッド間隔1,000m, 密度: 2.67g/cm³, 陸域・海域)を用いて作成

宍道断層による地震の断層モデル(39km)

モデル化

- ✓ 美保関町東方沖合い～下宇部尾東 : 地質調査結果, 音波探査記録や重力異常分布等に基づき設定した宍道断層の東端である美保関町東方沖合いの当社探査測線(No.3.5BM)に向かい, 下宇部尾東～古浦と同様の走向により直線でモデル化。その東端はモデル化上, 測線よりも東側に設定。
- ✓ 下宇部尾東～古浦 : 地質調査結果に基づき設定した下宇部尾東と古浦の地点間を, Aランク及びBランクの変位地形・リニアメント分布よりも敷地に近づくよう安全側に直線でモデル化。
- ✓ 古浦～女島 : 地質調査結果に基づき設定した古浦と女島の地点間を, 陸海境界付近の当社追加地質調査結果の不確かさを考慮し, 海岸線よりも敷地に近づくよう安全側に直線でモデル化。その西端はモデル化上, 女島地点よりも西側に設定。

断層パラメータの設定根拠(巨視的断層パラメータ) 4/6

(2) 断層幅

○基本震源モデル

安全側に設定した地震発生層(上限深さ2km, 下限深さ20km)に基づき断層幅を18kmに設定。

○不確かさ

安全側に設定した地震発生層に基づき, 基本震源モデルの断層幅を設定していることから, 断層幅の不確かさは設定しない。但し, 断層傾斜角の不確かさの考慮に伴い, その傾斜角により地震発生層を飽和するように断層幅を設定。

断層パラメータの設定根拠(巨視的断層パラメータ) 5/6

(3) 断層傾斜角

断層傾斜角については、以下のレシピの考え方に基づき、①～③の順に、より信頼性の高い情報を考慮して設定する。

◆断層傾斜角の設定に関するレシピの考え方

- ①対象とする断層についての反射法探査結果等、断層の傾斜角を推定する資料がある場合にはそれを参照する。
- ②また、周辺にある同じタイプの断層から傾斜角が推定できる場合には、それを参照する。
- ③上記のような資料が得られない場合は、横ずれ断層の傾斜角は90°を基本とする。

○基本震源モデル

基本震源モデルの断層傾斜角は、以下に基づき、宍道断層に焦点をあてたデータの充足性の観点から、宍道断層沿いの調査結果等の情報より90°に設定。

- ✓ ①として、横ずれ断層の一般的な分布形態・性状や、鹿島断層を事例とした形態的特徴に係わる文献調査結果及び、宍道断層における変動地形学的調査結果を踏まえて設定した断層傾斜角の設定区間の地質調査結果(補足説明資料58～60ページ)を参照すると、断層傾斜角は「南傾斜～ほぼ鉛直」である。
- ✓ 次に、①として、全国地震動予測地図2017年版の震源断層を特定した地震動予測地図における宍道(鹿島)断層による地震の評価(119ページ)を参照すると、断層傾斜角は70°北傾斜に設定されているが、これは鳥取沖での調査結果に基づいている。

○不確かさ

上記①の全国地震動予測地図2017年版の宍道(鹿島)断層による地震の評価における「断層傾斜角70°北傾斜」の情報については、その根拠が宍道断層から離れた鳥取沖での調査結果であることを踏まえ、不確かさとして考慮することとし、断層傾斜角の不確かさとしては70°北傾斜に設定。

断層パラメータの設定根拠(巨視的断層パラメータ) 6/6

■ 全国地震動予測地図2017年版

全国地震動予測地図2017年版の震源断層を特定した地震動予測地図における宍道(鹿島)断層による地震の評価において、断層傾斜角は右表のとおり中国地域の長期評価(H28年7月)に基づき、70°(北傾斜)に設定されている。

この断層傾斜角については、中国地域の予測震度分布(H28年12月)における宍道(鹿島)断層による地震の評価と同様な設定であり、この根拠としては、地震調査研究推進本部事務局によると、「宍道断層沿いのトレンチではほぼ垂直の断層が観察されること及び鳥取沖の構造探査の図等を参照し、この地域の大局的な地質構造が北傾斜であることから、今回の簡便法では70°北傾斜に仮置きした」とされている。

宍道(鹿島)断層による地震の断層パラメータ

巨視的震源パラメータ		「長期評価」または設定方法	設定値
断層長さ L [km]		「約21kmもしくはそれ以上」	21
地震規模 M		$M = \{\log(L) + 2.9\} / 0.6$	7.0
地震モーメント M_0 [Nm]		$\log M_0 = 1.17 \cdot M + 10.72$	8.98E+18
モーメントマグニチュード M_w		$M_w = \{\log(M_0) - 9.1\} / 1.5$	6.6
断層モデル原点(地中) [°N]		地中における端	35.552
断層モデル原点(地中) [°E]			133.223
走向 θ [度]		長期評価の端点を結んだ方向	261.8
傾斜角 δ [度]		長期評価に基づく	70
すべり角 ϵ [度]		「右横ずれ断層」	180
地震発生層上限深さ H_s [km]		地震基盤と2kmの深い方	2
地震発生層下限深さ H_d [km]		長期評価に基づく	15
断層モデル上端深さ D_{top} [km]		$D_{top} = H_s$	2
断層モデル長さ L_{model} [km]		「レシピ」の(イ)の手順に従う	26
断層モデル幅 W_{model} [km]		「レシピ」の(イ)の手順に従う	14
断層モデル面積 S_{model} [km ²]		$S_{model} = L_{model} \times W_{model}$	364
静的平均応力降下量 $\Delta\sigma$ [MPa]		$\Delta\sigma = 7/16 \cdot (M_0 / R^3)$, $R = (S_{model}/\pi)^{1/2}$	3.2
平均すべり量 D [m]		$D = M_0 / (\mu \cdot S_{model})$	0.8
微視的震源パラメータ		設定方法	ケース1・2
短周期レベル A [Nm/s ²]		$A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$	1.10E+19
全 ア ス ベ リ テ イ	面積 S_a [km ²]	$S_a = \pi r^2$, $r = (7\pi/4) \cdot \{M_0 / (A \cdot R)\} \cdot \beta^2$	72.8
	実効応力 σ_a [MPa]	$\sigma_a = \Delta\sigma_a = (S / S_a) \cdot \Delta\sigma$	15.8
	平均すべり量 D_a [m]	$D_a = \gamma_D \cdot D$, $\gamma_D = 2.0$	1.6
	地震モーメント M_{0a} [Nm]	$M_{0a} = \mu \cdot D_a \cdot S_a$	3.59E+18
ア ス ベ リ テ イ	面積 S_{a1} [km ²]	$S_{a1} = S_a$	72.8
	実効応力 σ_{a1} [MPa]	$\sigma_{a1} = \sigma_a$	15.8
	平均すべり量 D_{a1} [m]	$D_{a1} = D_a$	1.6
	地震モーメント M_{0a1} [Nm]	$M_{0a1} = \mu \cdot D_{a1} \cdot S_{a1}$	3.59.E+18
	計算用面積 $L_{a1} \times W_{a1}$ [km×km]	2kmメッシュサイズ	10 × 8
ア ス ベ リ テ イ	面積 S_{a2} [km ²]	—	—
	実効応力 σ_{a2} [MPa]	—	—
	平均すべり量 D_{a2} [m]	—	—
	地震モーメント M_{0a2} [Nm]	—	—
	計算用面積 $L_{a2} \times W_{a2}$ [km×km]	—	—
背 景 領 域	面積 S_b [km ²]	$S_b = S_{model} - S_a$	291.2
	実効応力 σ_b [MPa]	$\sigma_b = (D_b / W_b) \cdot (\pi^{1/2} / D_a) \cdot r \cdot \Sigma \gamma_i^3 \cdot \sigma_a$	3.2
	平均すべり量 D_b [m]	$D_b = M_{0b} / (\mu \cdot S_b)$	0.6
	地震モーメント M_{0b} [Nm]	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$	5.39E+18

断層パラメータの設定根拠(微視的断層パラメータ) 1/5

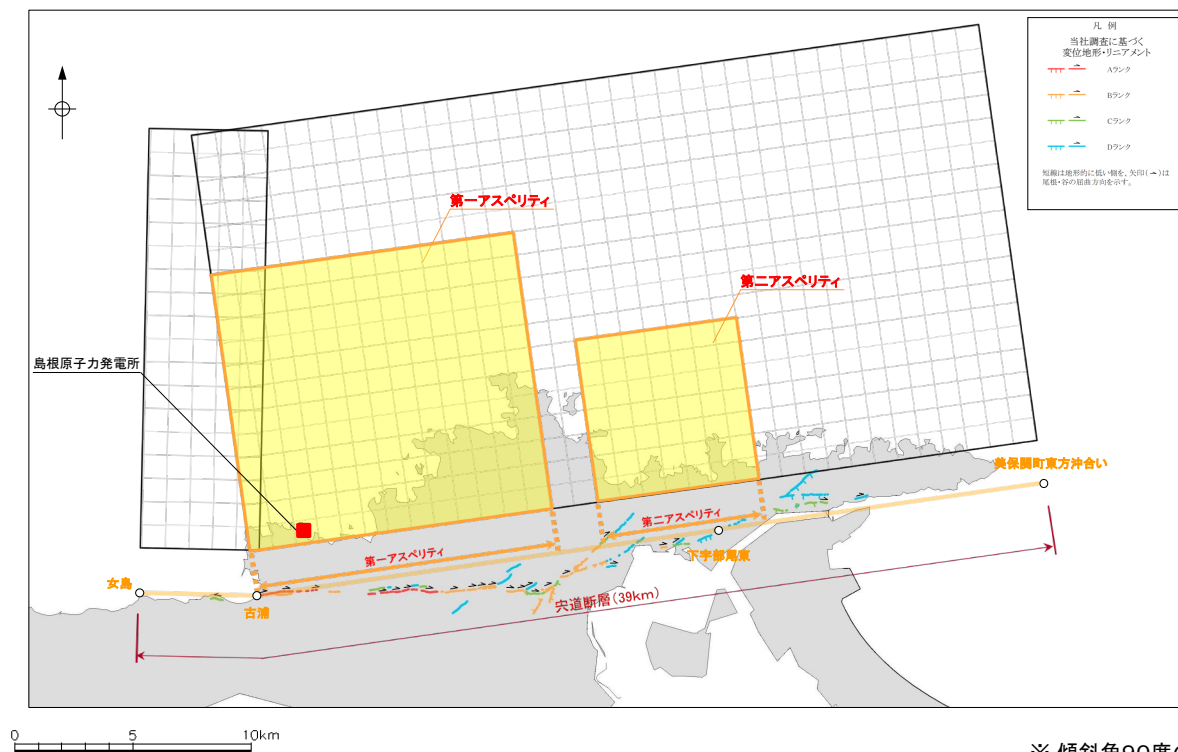
■ 宍道断層による地震の微視的断層パラメータの設定根拠を示す。

(1) アスペリティ

○基本震源モデル

入倉・三宅(2001)によると、アスペリティの個数は断層長さが20kmより短いときは1つで、それより長くなると増加するとされていることから、宍道断層の断層長さ(39km)に基づき、アスペリティは2個設定。

それらの位置については、レシピによると震源断層浅部の変位量分布と起震断層の変位量分布がよく対応するとされていることから、以下のとおり地質調査結果を考慮して設定。



宍道断層のアスペリティ配置と変位地形・リニアメントの関係

※ 傾斜角90度の断層面を断層傾斜角0度として図化

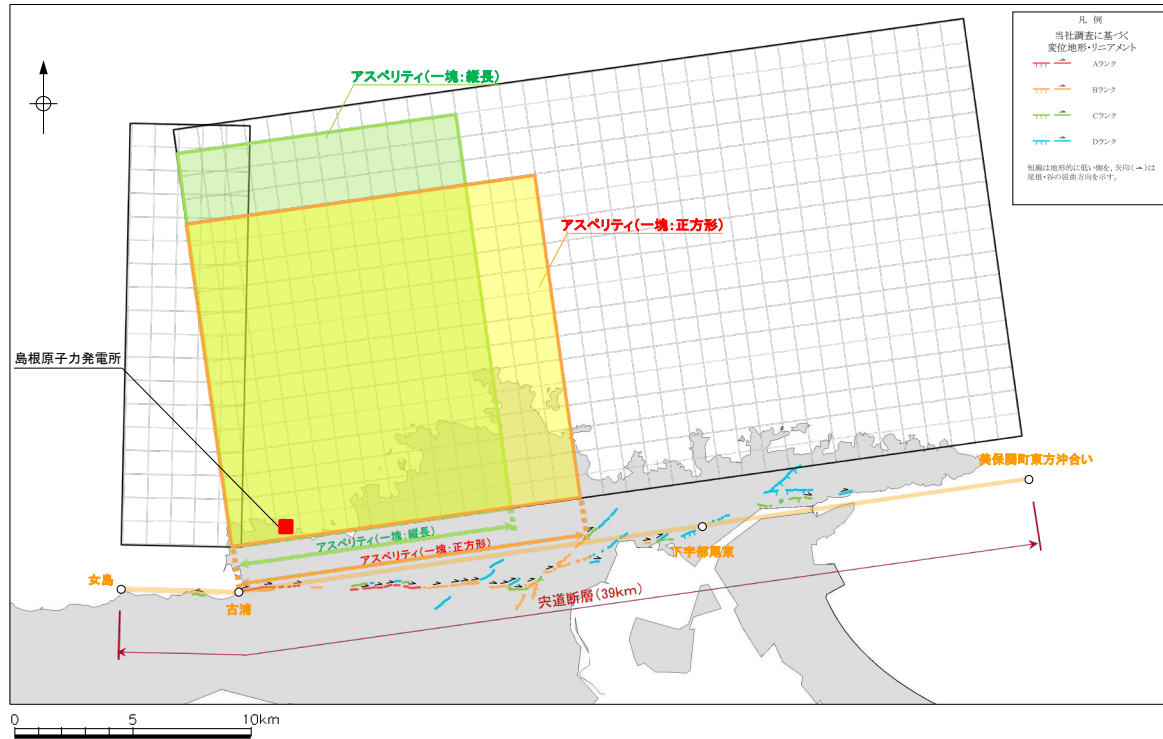
アスペリティ位置

- ✓ 第一アスペリティ : 敷地に近いAランクのリニアメントを考慮して設定
- ✓ 第二アスペリティ : 第一アスペリティ範囲のリニアメントよりも東に分布するリニアメントの中央部付近に設定

断層パラメータの設定根拠(微視的断層パラメータ) 2/5

○不確かさ

アスペリティの個数・位置は地震動に大きく影響するパラメータであることから、基本震源モデルの2個のアスペリティを一塊にして敷地近傍に配置し、その形状は以下のとおり2ケース設定。



突道断層のアスペリティ配置と変位地形・リニアメントの関係

※ 傾斜角90度の断層面を断層傾斜角0度として図化

アスペリティ位置

- ✓ 敷地に近いAランクのリニアメントを考慮して一塊にしたアスペリティを配置し、その形状は正方形と縦長の2ケースを設定

断層パラメータの設定根拠(微視的断層パラメータ) 3/5

(2) 短周期レベル

○基本震源モデル

レシピに基づき、壇ほか(2001)の地震モーメント(M_0)と短周期レベル(A)の以下の経験的關係より短周期レベルを設定。

$$A = 2.46 \times 10^{17} \times M_0^{1/3} \text{ (Nm/s}^2\text{)}$$

○不確かさ

短周期レベルに関する知見(補足説明資料61～71ページ)より、一般的な横ずれ断層の地震は、中越沖地震を引き起こしたような逆断層の地震に比べて短周期レベルが半分程度と小さく、更に横ずれ断層の地震の中で中国地方の地震は他の地域の地震よりも短周期レベルが小さいことから、中国地方の横ずれ断層である宍道断層による地震の短周期レベルの不確かさとしては、中越沖地震(逆断層)時の短周期レベル1.5倍を1.2(佐藤(2008)の横ずれ断層に対する逆断層の短周期レベルの比)で除して1.25倍とすれば十分に安全側と考えられる。

但し、短周期レベルは地震動に大きく影響するパラメータであることから、短周期レベルの不確かさとしては、審査ガイドに基づき、中越沖地震を踏まえて短周期レベル1.5倍を設定。

断層パラメータの設定根拠(微視的断層パラメータ) 4/5

(3) すべり角

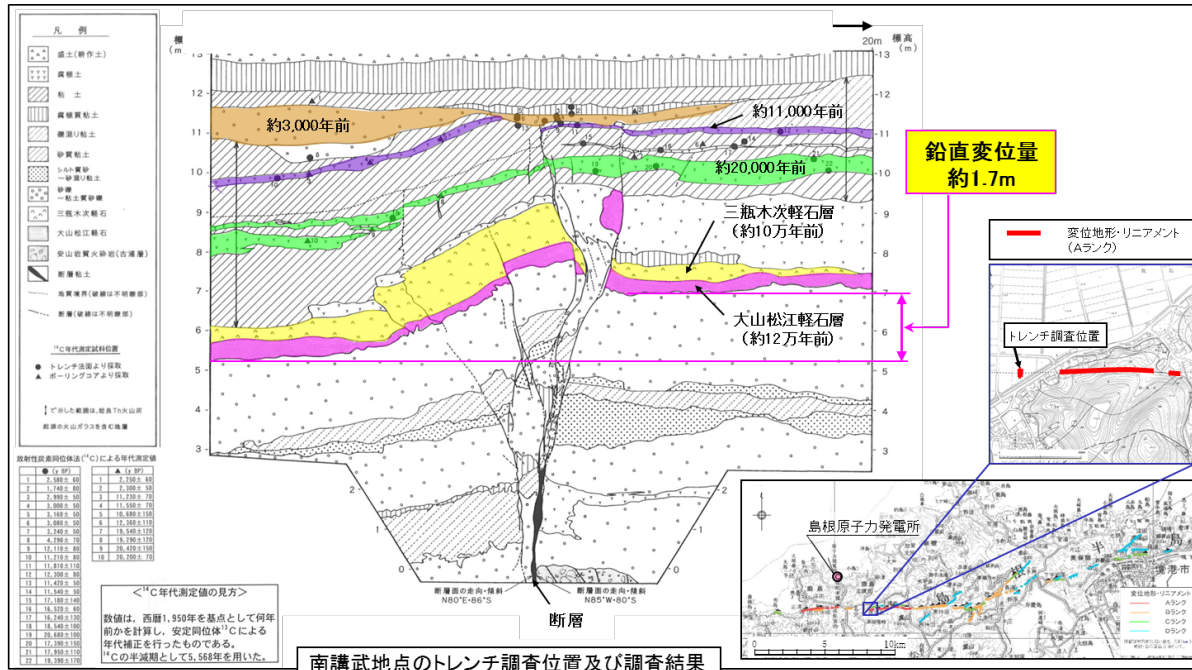
○基本震源モデル

地質調査結果及び産総研の活断層データベースによると、宍道断層は右横ずれの断層であることから、レシピに基づきすべり角を180°に設定。

○不確かさ

鉛直変位量と全変位量(斜め方向の変位量)に基づく以下の検討より、すべり角は162°程度になるため、すべり角の不確かさとしては150°に設定。

- 宍道断層は横ずれ断層ではあるが、トレンチ調査結果より鉛直方向の変位も認められることから、その変位を考慮してすべり角の不確かさを検討。
- 後期更新世以降の鉛直変位量としては、以下に示すとおり、南講武地点のトレンチ調査結果における約12万年前の地層の鉛直変位量に基づき、約1.7mと推定。



断層パラメータの設定根拠(微視的断層パラメータ) 5/5

第530回審査会合資料1 P81 再掲

- 後期更新世以降の全変位量(斜め方向の変位量)としては、奥村・石川(1998)による平均変位速度に基づき、5.6mと推定。
- 前記の後期更新世以降の鉛直変位量と全変位量から求まる角度(すべりの方向)は、水平方向から18°程度と考えられ、宍道断層が右横ずれ断層であることを考慮すると、162°程度になる。

地質調査結果を考慮したすべり角

項目		設定値	設定根拠
後期更新世以降の鉛直変位量	a	約1.7 m	南講武地点のトレンチ調査結果における約12万年前の地層の鉛直変位量
後期更新世以降の全変位量	b	5.6 m	奥村・石川(1998)による活動度C級※の平均変位速度×検討期間(安全側) ⇒ 0.047mm/年×12万年
水平方向からの角度(すべりの方向)	λ'	18°	$\lambda' = \sin^{-1}(a/b)$
すべり角(右横ずれ断層)	λ	162°	$\lambda = 180 - \lambda'$

※「[新編]日本の活断層」によると宍道断層の活動度はC級

断層パラメータの設定根拠(その他の断層パラメータ) 1/2

■ 央道断層による地震のその他の断層パラメータの設定根拠を示す。

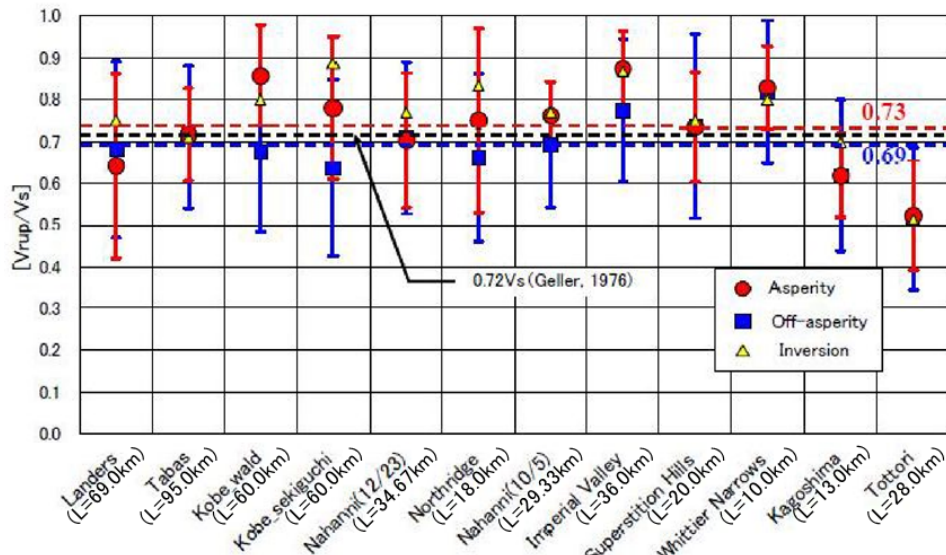
(1) 破壊伝播速度

○基本震源モデル

レシピに基づき、Geller(1976)の地震発生層のS波速度(V_s)との関係より破壊伝播速度を $0.72V_s$ に設定。

○不確かさ

- 宮腰ほか(2005)では、主にSomerville et al.(1999)で用いられた地震について、震源インバージョン結果を用いて破壊伝播速度を求め、「アスペリティ領域での平均的な破壊伝播速度は $0.73V_s$ (標準偏差:0.14)、背景領域では $0.69V_s$ (標準偏差:0.19)となり、Geller(1976)の $0.72V_s$ と大差のない結果が得られた。」としている。
- 上記の宮腰ほか(2005)に基づき、アスペリティ領域の平均的な破壊伝播速度 $0.73V_s$ に標準偏差 1σ を考慮した $0.87V_s$ を、破壊伝播速度の不確かさとして設定。



[宮腰ほか(2005)に一部加筆。]

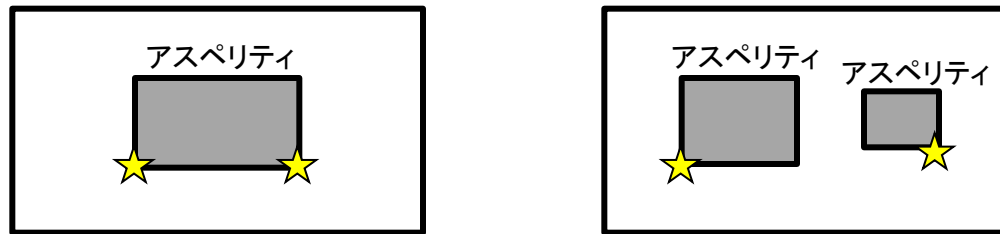
各地震の震源S波速度に対する平均的な破壊伝播速度の比

断層パラメータの設定根拠(その他の断層パラメータ) 2/2

(2) 破壊開始点

○基本震源モデル

レシピによると、「破壊開始点を特定できない場合、簡便化したパラメータ設定として、横ずれ成分が卓越する時はアスペリティ下端の左右端を基本とする。」とされ、以下のとおり設定位置が示されているので、基本震源モデルの破壊開始点は、第一アスペリティ下端の西端と第二アスペリティ下端の東端の2点に設定。



破壊開始点(★)とアスペリティの位置の一例

○不確かさ

- 破壊開始点の不確かさとしては、基本震源モデルとは異なる位置の断層下端の西端・東端・サイト直近と第一アスペリティ下端の東端の4点に設定。
- また、他の不確かさを考慮したケースの破壊開始点についても、基本震源モデルと破壊開始点の不確かさを考慮したケースで設定した6点に設定。なお、アスペリティの不確かさを考慮したケースの破壊開始点については、アスペリティ下端の西端・東端と断層下端の西端・東端・サイト直近の5点に設定。

3. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 3.4 宍道断層による地震の地震動評価

断層パラメータの設定根拠(まとめ)

■ 巨視的及び微視的断層パラメータとその他の断層パラメータの設定根拠をまとめて以下に示す。

断層パラメータ		基本震源モデル	不確かさの考慮
巨視的 パラメータ	断層長さ	地質調査結果に基づき、女島(西端)から美保関町東方沖合い(東端)までの39kmに設定。	基本震源モデルの断層長さは、詳細な地質調査結果に基づき設定していることから、 <u>不確かさは設定しない</u> 。
	断層幅	安全側に設定した地震発生層(上限深さ2km, 下限深さ20km)及び断層傾斜角に基づき、18kmに設定。	安全側に設定した地震発生層に基づき、基本震源モデルの断層幅を設定していることから、 <u>不確かさは設定しない</u> 。
	断層傾斜角	地質調査結果等に基づき、90°に設定。	全国地震動予測地図2017年版の震源断層を特定した地震動予測地図における宍道(鹿島)断層の傾斜角(鳥取沖の構造探査の図等を参照して仮置きされた設定値)に基づき70°に設定し、傾斜方向は敷地に近づく方向(北傾斜)に設定。
微視的 パラメータ	アスペリティ (個数・位置)	入倉・三宅(2001)に基づき、アスペリティを2個設定し、各アスペリティの位置については、レシピに基づき、変位地形・リニアメント分布を考慮して設定。	基本震源モデルの2個のアスペリティを一塊にして敷地近傍に配置し、形状は正方形・縦長の2ケースを設定。
	短周期レベル	レシピに基づき、壇ほか(2001)の地震モーメントと短周期レベルの経験的關係より設定。	中国地方で発生した地震の短周期レベルに関する知見を踏まえ、レシピの1.25倍にすれば十分と考えられるが、短周期レベルは地震動に大きく影響するパラメータであることから、審査ガイドに基づき、中越沖地震の知見を踏まえて安全側にレシピの1.5倍に設定。但し、不確かさの組合せにおいて考慮する短周期レベルは、レシピの1.25倍に設定。
	すべり角	地質調査結果及び産総研の活断層データベースによると、宍道断層は右横ずれの断層であることから、レシピに基づき、180°に設定。	トレンチ調査結果による鉛直方向の変位を考慮して150°に設定。
その 他の パラメータ	破壊伝播速度	レシピに基づき、Geller(1976)の地震発生層のS波速度(Vs)との関係より、0.72Vsに設定。	宮腰ほか(2005)に基づき、アスペリティ領域の平均的な破壊伝播速度0.73Vsに標準偏差1σを考慮した0.87Vsに設定。
	破壊開始点	レシピに基づき、第一アスペリティ下端の西端と第二アスペリティ下端の東端の2箇所を設定(破壊が敷地に向かうような位置に設定)。	破壊が敷地に向かうような位置に複数設定。また、他の不確かさを考慮したケースの破壊開始点についても、基本震源モデルと破壊開始点の不確かさを考慮したケースで設定した位置に複数設定。

不確かさの組合せケースの設定根拠

- 宍道断層による地震の不確かさの組合せケースの設定根拠を以下に示す(補足説明資料72～76ページ)。
 - 宍道断層は敷地の極近傍に位置することから、宍道断層による地震の地震動評価ケースとして、不確かさの各評価ケースの地震動への影響度を考慮し、不確かさの組合せケースを設定する。
 - 後述する不確かさの各ケースの断層モデルを用いた手法(ハイブリッド合成法)による地震動評価結果のうち、特に地震動レベルが大きい断層傾斜角、破壊伝播速度及び横ずれ断層の短周期レベルの不確かさを考慮したケースを比較すると、各ケースとも地震動レベルが最大となる周期が存在し、どれを組合せても敷地の地震動が大きくなると考えられるため、これら3ケースの不確かさをそれぞれ組合せた「断層傾斜角と破壊伝播速度の不確かさの組合せケース」、「断層傾斜角と横ずれ断層の短周期レベルの不確かさの組合せケース」及び「破壊伝播速度と横ずれ断層の短周期レベルの不確かさの組合せケース」を考慮する。
 - 但し、一般的な横ずれ断層の地震は、中越沖地震を引き起こしたような逆断層の地震に比べて短周期レベルが小さく、更に横ずれ断層の地震の中で中国地方の地震は他の地域の地震よりも短周期レベルが小さいことから、中国地方の横ずれ断層である宍道断層による地震の短周期レベルの不確かさとしては、中越沖地震(逆断層)時の短周期レベル1.5倍を1.2(佐藤(2008)の横ずれ断層に対する逆断層の短周期レベルの比)で除して1.25倍とすれば十分に安全側の設定と考えられる。
 - 以上より、不確かさの組合せにおいて考慮する短周期レベルとしては、中越沖地震の短周期レベルを踏まえた1.5倍ではなく、上記の横ずれ断層の短周期レベルとして考えられる1.25倍を設定。

地震動評価ケース

- 宍道断層による地震の地震動評価ケースとしては、以下のとおり、基本震源モデル、不確かさを考慮したケース及び不確かさの組合せケースの11ケースを設定した。

宍道断層による地震の地震動評価ケース(基本震源モデル、不確かさを考慮したケース)

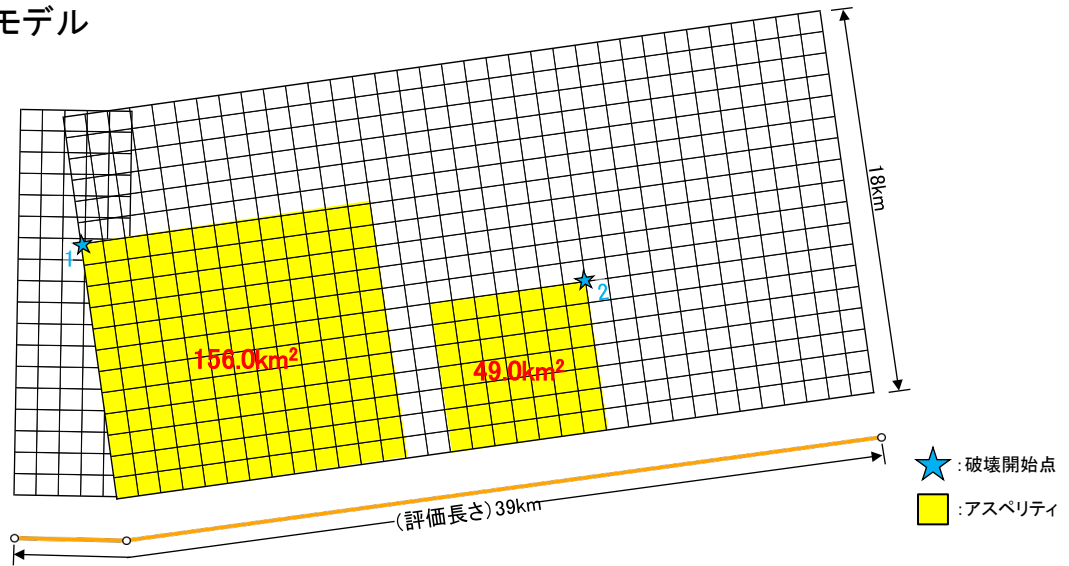
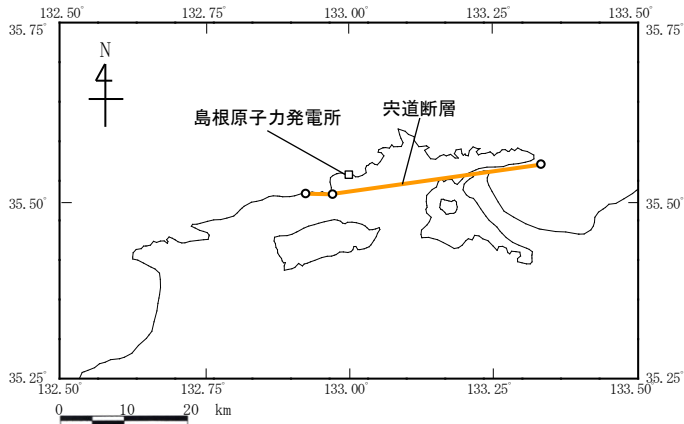
No.	評価ケース	断層長さ	断層幅	断層傾斜角	破壊伝播速度	アスペリティ	短周期レベル	すべり角	破壊開始点
①	基本震源モデル	39km	18km	90°	0.72Vs	敷地近傍(2個)	レシピ	180°	2箇所
②	破壊開始点の不確かさを考慮したケース	39km	18km	90°	0.72Vs	敷地近傍(2個)	レシピ	180°	4箇所
③	断層傾斜角の不確かさを考慮したケース	39km	約19km	70°	0.72Vs	敷地近傍(2個)	レシピ	180°	6箇所
④	破壊伝播速度の不確かさを考慮したケース	39km	18km	90°	0.87Vs	敷地近傍(2個)	レシピ	180°	6箇所
⑤	すべり角の不確かさを考慮したケース	39km	18km	90°	0.72Vs	敷地近傍(2個)	レシピ	150°	6箇所
⑥	アスペリティの不確かさを考慮したケース(一塊:正方形)	39km	18km	90°	0.72Vs	敷地近傍(1個)	レシピ	180°	5箇所
⑦	アスペリティの不確かさを考慮したケース(一塊:縦長)	39km	18km	90°	0.72Vs	敷地近傍(1個)	レシピ	180°	5箇所
⑧	中越沖地震の短周期レベルの不確かさを考慮したケース	39km	18km	90°	0.72Vs	敷地近傍(2個)	レシピ×1.5	180°	6箇所
⑨	断層傾斜角と破壊伝播速度の不確かさの組合せケース	39km	約19km	70°	0.87Vs	敷地近傍(2個)	レシピ	180°	6箇所
⑩	断層傾斜角と横ずれ断層の短周期レベルの不確かさの組合せケース	39km	約19km	70°	0.72Vs	敷地近傍(2個)	レシピ×1.25	180°	6箇所
⑪	破壊伝播速度と横ずれ断層の短周期レベルの不確かさの組合せケース	39km	18km	90°	0.87Vs	敷地近傍(2個)	レシピ×1.25	180°	6箇所

■ : 不確かさを考慮した断層パラメータ(認識論的不確かさ)

■ : 不確かさを考慮した断層パラメータ(偶然的な不確かさ)

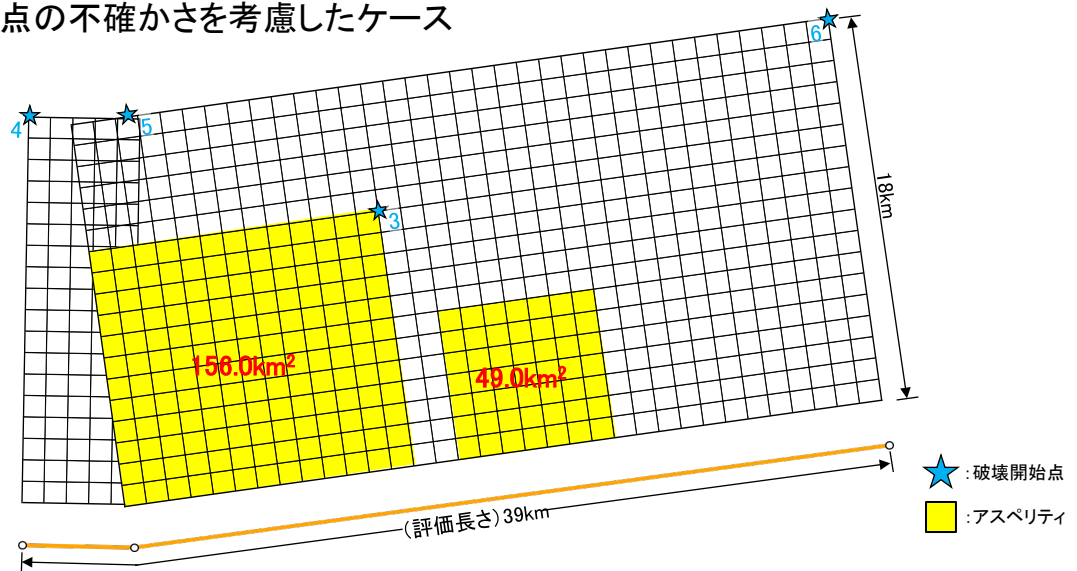
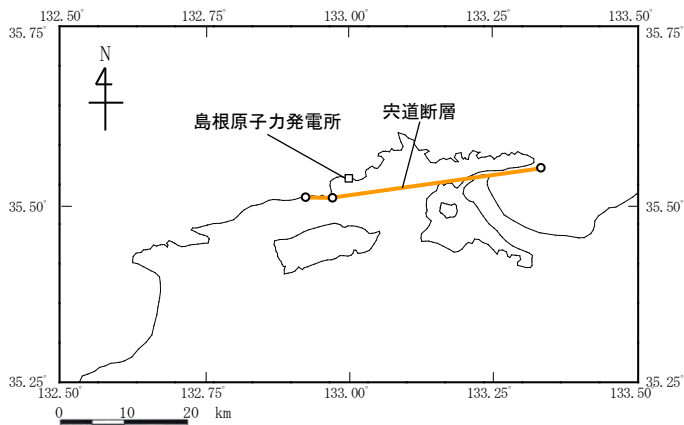
断層モデル 1/3

➤ 突道断層による地震の断層モデル図：①基本震源モデル



※ 傾斜角90度の断層面を傾斜角0度として図化

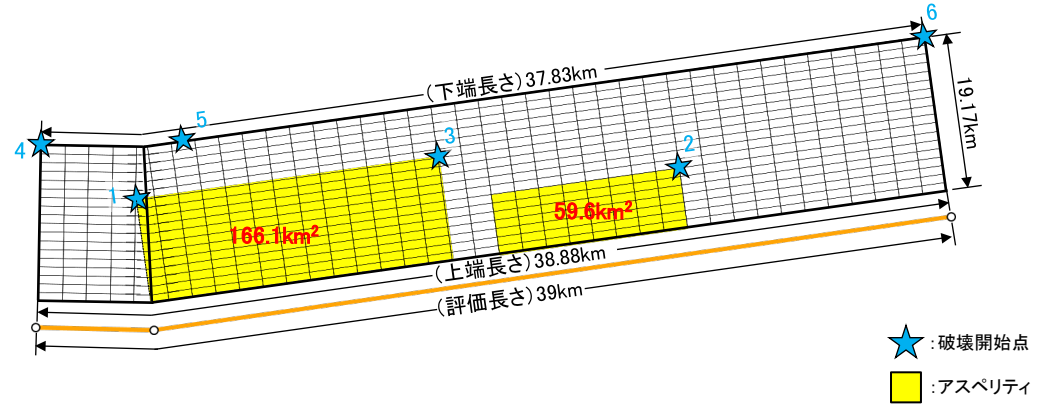
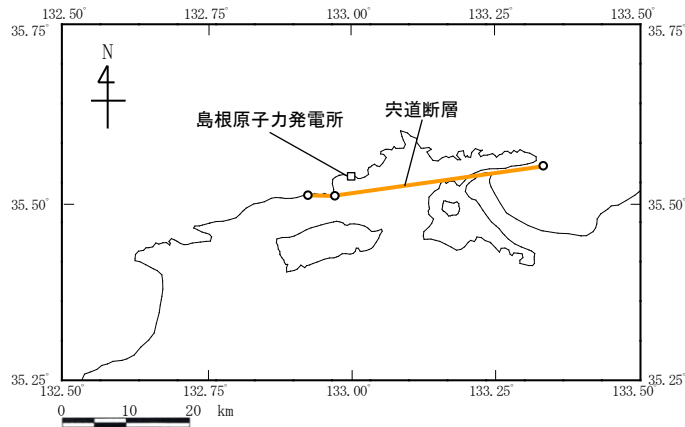
➤ 突道断層による地震の断層モデル図：②破壊開始点の不確かさを考慮したケース



※ 傾斜角90度の断層面を傾斜角0度として図化

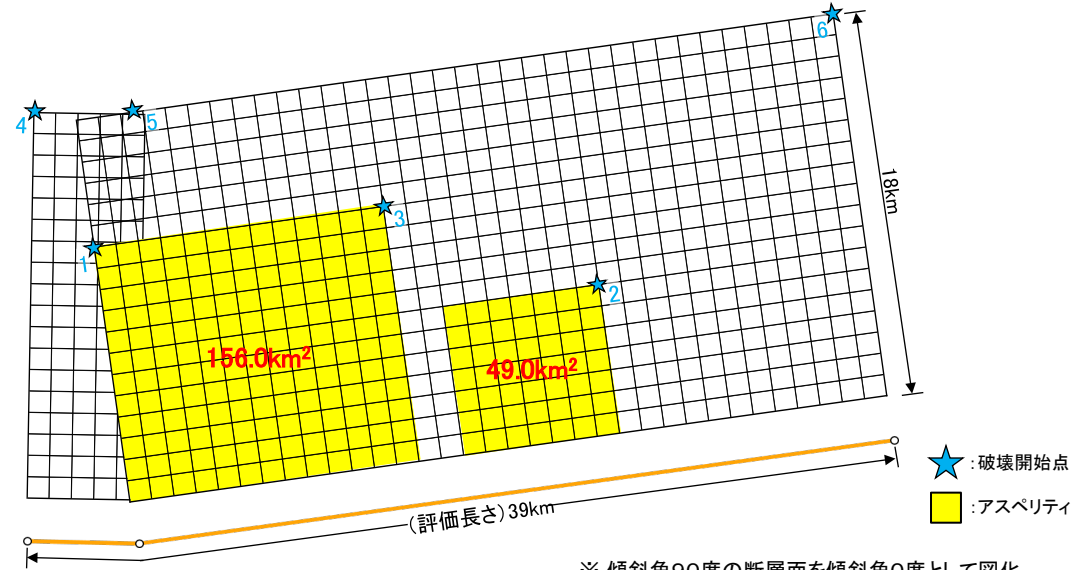
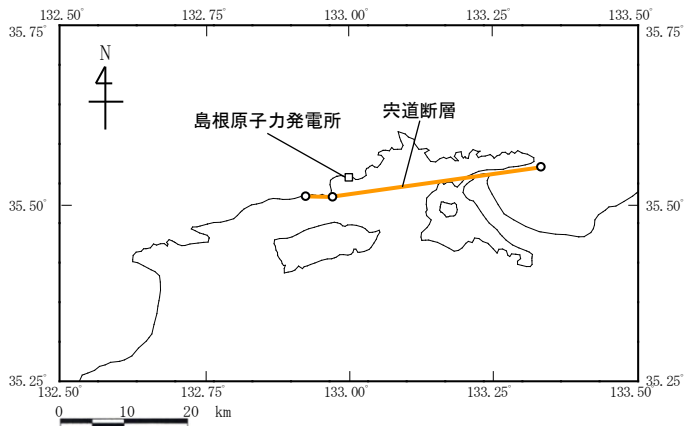
断層モデル 2/3

- 突道断層による地震の断層モデル図: ③断層傾斜角の不確かさを考慮したケース, ⑨断層傾斜角と破壊伝播速度・⑩断層傾斜角と横ずれ断層の短周期レベルの不確かさの組合せケース



※ 傾斜角70度の断層面を図化

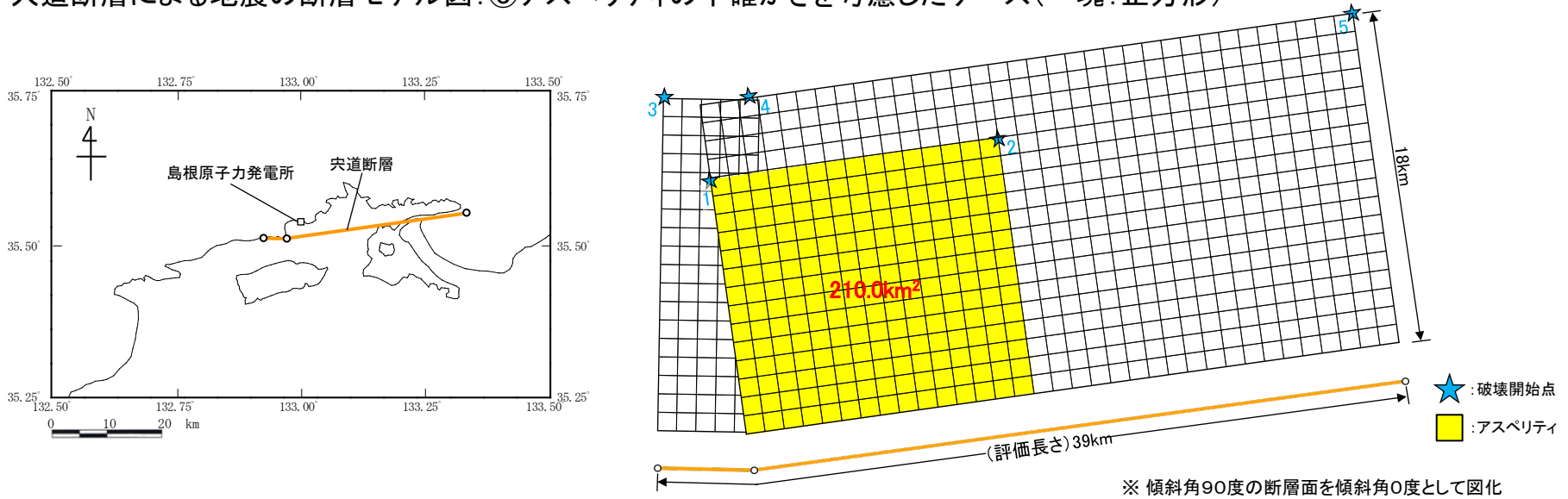
- 突道断層による地震の断層モデル図: ④破壊伝播速度・⑤すべり角・⑧中越沖地震の短周期レベルの不確かさを考慮したケース, ⑪破壊伝播速度と横ずれ断層の短周期レベルの不確かさの組合せケース



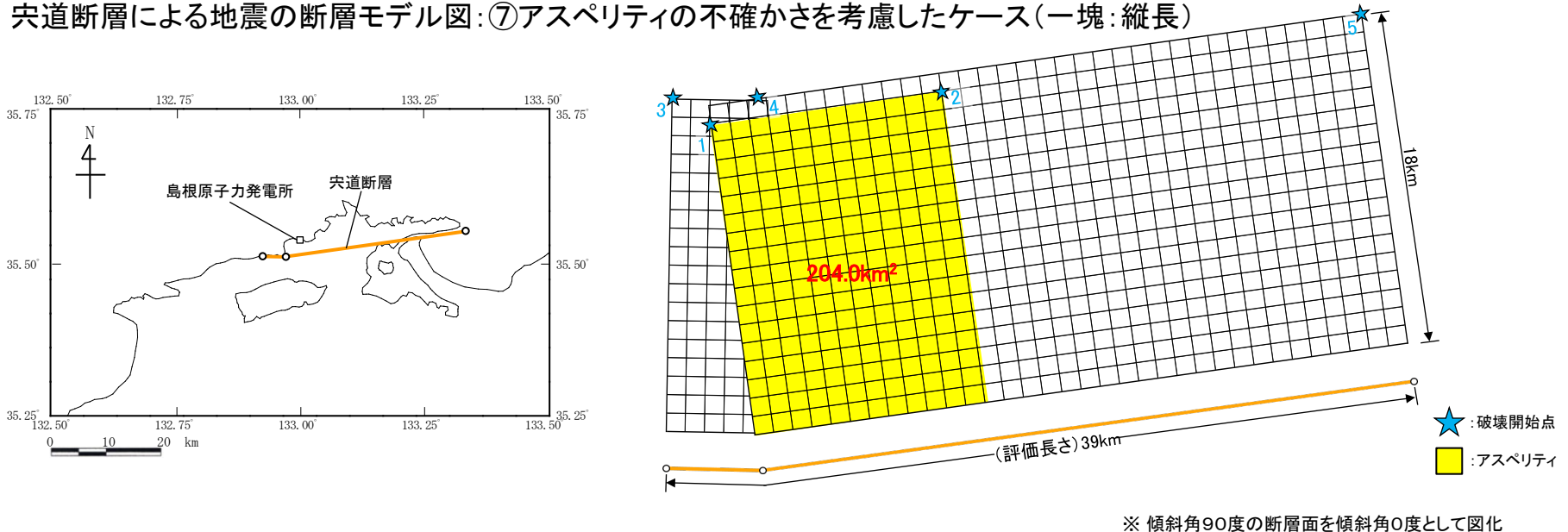
※ 傾斜角90度の断層面を傾斜角0度として図化

断層モデル 3/3

➤ 突道断層による地震の断層モデル図：⑥アスペリティの不確かさを考慮したケース（一塊：正方形）



➤ 突道断層による地震の断層モデル図：⑦アスペリティの不確かさを考慮したケース（一塊：縦長）



断層パラメータ 1/2

■ 突道断層による地震の断層パラメータ(地震動評価ケース:①~⑦)

断層パラメータ

項目		①基本震源モデル ②破壊開始点	不確かさを考慮したケース				⑥アスペリティ (一塊:正方形) ⑦アスペリティ (一塊:縦長)	設定根拠
			③断層傾斜角	④破壊伝播速度	⑤すべり角			
断層基準点	女島	北緯 (°)	35.52	--	--	--	--	追加地質調査結果に基づき設定
		東経 (°)	132.92	--	--	--	--	
	古浦	北緯 (°)	35.52	--	--	--	--	追加地質調査結果に基づき設定
走向	古浦より西側	θ (°)	91.2	--	--	--	--	追加地質調査結果に基づき設定
	古浦より東側	θ (°)	82.0	--	--	--	--	追加地質調査結果に基づき設定
断層評価長さ	L (km)	39	--	--	--	--	追加地質調査結果に基づき設定	
断層上端長さ	-- (km)	39.00	38.88	39.00	--	--	断層評価長さ及び断層傾斜角に基づき設定	
断層下端長さ	-- (km)	39.00	37.83	39.00	--	--	断層評価長さ及び断層傾斜角に基づき設定	
断層傾斜角	δ (°)	90	70(北傾斜)	90	--	--	追加調査結果及び敷地周辺の積ずれ断層の傾斜角等に基づき設定	
断層上端深さ	H (km)	2.0	--	--	--	--	地震発生層の検討結果に基づき設定	
断層幅	W (km)	18.00	19.17	18.00	--	--	地震発生層及び断層傾斜角の検討結果に基づき設定	
断層面積	S (km ²)	702.0	735.3	702.0	--	--	S=L×W	
破壊伝播様式	--	放射状	--	--	--	--	レンビに基づき、放射状の破壊伝播を設定	
S波速度	Vs (m/s)	3570	--	--	--	--	地震発生層のS波速度から設定	
破壊伝播速度	Vr (m/s)	2570	--	3110	2570	--	①,②,③,⑤,⑥,⑦ケース: Vr=0.72Vs Geller(1976) ④ケース: Vr=0.87Vs 宮藤ほか(2005)	
剛性率	μ (N/m ²)	3.47×10 ¹⁰	--	--	--	--	μ=ρ×Vs ²	
密度	ρ (kg/m ³)	2720	--	--	--	--	ρ=1.2475+0.399Vp-0.026Vp ² , Vp=1.73Vs Ludwig et al.(1970)	
地震モーメント	M ₀ (Nm)	2.74×10 ¹⁹	3.01×10 ¹⁹	2.74×10 ¹⁹	--	--	M ₀ =[S/(4.24×10 ⁻¹¹)] ² 入倉・三宅(2001)	
モーメントマグニチュード	M _w	6.9	--	--	--	--	M _w =(LogM ₀ -9.1)/1.5 (Kanamori, 1977)	
気象庁マグニチュード	M	7.5	--	--	--	--	M=(LogL+2.9)/0.6 (松田, 1975)	
平均すべり量	D (cm)	112.6	118.0	112.6	--	--	D=(LogM ₀ -17.72)/1.17 (武村, 1990)	
すべり角	-- (°)	180	--	--	180	--	①,②,③,④,⑥,⑦ケース: レンビに基づき、右積ずれ断層のすべり角を設定 ⑤ケース: 地質調査結果に基づき設定	
平均応力降下量	Δσ (MPa)	3.59	3.67	3.59	--	--	Δσ=(7π ⁻¹³ /16)(M ₀ /S ¹⁵) Eshelby(1957)	
高周波限界断周波数	fmax (Hz)	8.3	--	--	--	--	香川ほか(2003)	
短周期レベル	A (Nm/s ²)	1.60×10 ¹⁹	1.65×10 ¹⁹	1.60×10 ¹⁹	--	--	A=2.46×10 ⁻¹³ ×M ₀ ^{1/3} 増ほか(2001)	
Q値	--	72.0×f ^{0.6}	--	--	--	--	敷地及び敷地周辺における地震観測記録に基づき設定	
全アスペリティ	面積	S _a (km ²)	203.1	219.4	203.1	--	S _a =πr _a ² , r _a =7π/4(M ₀ /(A·R))Vs ² , R=(S/π) ^{0.5} Boatwright(1988), 増ほか(2001)	
	モデル面積	-- (km ²)	205.0	225.8	205.0	--	⑥ケース: 210.0 ⑦ケース: 204.0	
	面積比(S _a /S)	--	0.289	0.298	0.289	--	--	
	地震モーメント	M _{0a} (Nm)	1.59×10 ¹⁹	1.79×10 ¹⁹	1.59×10 ¹⁹	--	--	
	平均すべり量	D _a (cm)	225.3	236.0	225.3	--	--	
第一アスペリティ	応力降下量	Δσ ₁ (MPa)	12.4	12.3	12.4	--	Δσ ₁ =(S/S _a)Δσ Madariaga(1979)	
	面積	S ₁ (km ²)	147.7	159.6	147.7	--	S ₁ =S _a ×(16/22) 入倉・三宅(2001)	
	モデル面積	-- (km ²)	156.0	166.1	156.0	--	--	
	地震モーメント	M ₀₁ (Nm)	1.29×10 ¹⁹	1.46×10 ¹⁹	1.29×10 ¹⁹	--	M ₀₁ =M _{0a} ×S ₁ ^{1/3} /(S _a ^{1/3} ×S _a ^{1/3})	
	平均すべり量	D ₁ (cm)	251.9	263.9	251.9	--	D ₁ =M ₀₁ /(μ·S ₁)	
第二アスペリティ	応力降下量	Δσ ₂ (MPa)	12.4	12.3	12.4	--	Δσ ₂ =Δσ ₁	
	面積	S ₂ (km ²)	55.4	59.8	55.4	--	S ₂ =S _a ×(6/22) 入倉・三宅(2001)	
	モデル面積	-- (km ²)	49.0	59.6	49.0	--	--	
	地震モーメント	M ₀₂ (Nm)	2.96×10 ¹⁸	3.35×10 ¹⁸	2.96×10 ¹⁸	--	M ₀₂ =M _{0a} ×S ₂ ^{1/3} /(S _a ^{1/3} ×S ₂ ^{1/3})	
	平均すべり量	D ₂ (cm)	154.3	161.6	154.3	--	D ₂ =M ₀₂ /(μ·S ₂)	
背景領域	応力降下量	Δσ ₃ (MPa)	12.4	12.3	12.4	--	Δσ ₃ =Δσ ₁	
	面積	S ₃ (km ²)	498.9	515.9	498.9	--	S ₃ =S-S _a	
	モデル面積	-- (km ²)	497.0	509.5	497.0	--	⑥ケース: 492.0 ⑦ケース: 498.0	
	地震モーメント	M ₀₃ (Nm)	1.15×10 ¹⁹	1.21×10 ¹⁹	1.15×10 ¹⁹	--	M ₀₃ =M ₀ -M _{0a}	
	平均すべり量	D ₃ (cm)	66.8	67.8	66.8	--	D ₃ =M ₀₃ /(μ·S ₃)	
有効応力	σ _v (MPa)	2.22	2.09	2.22	--	--	⑥ケース: 2.86 ⑦ケース: 2.45	
							①,②,③,④,⑤ケース: σ _v =(D ₁ /W ₁)×(π ^{0.5} /D ₁)×r ₁ ×γ _{soil} ³ ×Δσ ₁ 増ほか(2002) ⑥,⑦ケース: σ _v =(D ₁ /W ₁)/(D ₁ /W ₁)×Δσ ₁ 増ほか(2002)	

断層パラメータ 2/2

■ 突道断層による地震の断層パラメータ(地震動評価ケース:⑧~⑪)

断層パラメータ

項目		不確かさを考慮したケース				設定根拠	
		⑧中継沖地震の短周期レベル	⑨断層傾斜角と破壊伝播速度の組合せ	⑩断層傾斜角と横ずれ断層の短周期レベルの組合せ	⑪破壊伝播速度と横ずれ断層の短周期レベルの組合せ		
断層基準点	女島	北緯 (°)	35.52	—	—	—	追加地質調査結果に基づき設定
		東経 (°)	132.92	—	—	—	
	古浦	北緯 (°)	35.52	—	—	—	追加地質調査結果に基づき設定
		東経 (°)	132.97	—	—	—	
走向	古浦より西側	θ (°)	91.2	—	—	—	追加地質調査結果に基づき設定
	古浦より東側		82.0	—	—	—	追加地質調査結果に基づき設定
断層評価長さ	L (km)	39	—	—	—	—	追加地質調査結果に基づき設定
断層上端長さ	— (km)	39.00	38.88	—	—	39.00	断層評価長さ及び断層傾斜角に基づき設定
断層下端長さ	— (km)	39.00	37.83	—	—	39.00	断層評価長さ及び断層傾斜角に基づき設定
断層傾斜角	δ (°)	90	70(北傾斜)	—	—	90	追加調査結果及び敷地周辺の横ずれ断層の傾斜角等に基づき設定
断層上端深さ	H (km)	2.0	—	—	—	—	地震発生層の検討結果に基づき設定
断層幅	W (km)	18.00	19.17	—	—	18.00	地震発生層及び断層傾斜角の検討結果に基づき設定
断層面積	S (km ²)	702.0	735.3	—	—	702.0	S=L×W
破壊伝播様式	—	放射状	—	—	—	—	レシビに基づき、放射状の破壊伝播を設定
S波速度	Vs (m/s)	3570	—	—	—	—	地震発生層のS波速度から設定
破壊伝播速度	Vr (m/s)	2570	3110	2570	3110	—	⑧⑩ケース: Vr=0.72Vs Geller(1976) ⑨⑪⑫ケース: Vr=0.87Vs 宮腰ほか(2005)
剛性率	μ (N/m ²)	3.47×10 ¹⁰	—	—	—	—	μ=ρ×Vs ²
密度	ρ (kg/m ³)	2720	—	—	—	—	ρ=1.2475+0.398Vp-0.026Vp ² , Vp=1.73Vs Ludwig et al.(1970)
地震モーメント	M ₀ (Nm)	2.74×10 ¹⁹	3.01×10 ¹⁹	—	—	2.74×10 ¹⁹	M ₀ =IS/(4.24×10 ⁻¹¹) ² 入倉・三宅(2001)
モーメントマグニチュード	M _w -	6.9	—	—	—	—	M _w =(LogM ₀ -9.1)/1.5 (Kanamori, 1977)
気象庁マグニチュード	M	7.5	—	—	—	—	M=(LogL+2.9)/0.6 (松田, 1975)
		7.5	—	—	—	—	M=(LogM ₀ -17.72)/1.17 (武村, 1990)
平均すべり量	D (cm)	112.6	118.0	—	—	112.6	D=M ₀ /(μS)
すべり角	— (°)	180	—	—	—	—	レシビに基づき、右横ずれ断層のすべり角を設定
平均応力降下量	Δσ (MPa)	3.59	3.67	—	—	3.59	Δσ=(7π ^{1.5} /16)(M ₀ /S ^{1.5}) Eshelby(1957)
高周波限界週波数	f _{max} (Hz)	8.3	—	—	—	—	審川ほか(2003)
短周期レベル	A (Nm/s ²)	①ケースの1.5倍	1.65×10 ¹⁹	③ケースの1.25倍	④ケースの1.25倍	—	A=2.46×10 ¹⁷ ×M ₀ ^{1/3} 壇ほか(2001)
Q値	—	72.0×r ^{-0.6}	—	—	—	—	敷地及び敷地周辺における地震観測記録に基づき設定
全アスベリティ	面積	S ₀ (km ²)	203.1	219.4	—	203.1	S ₀ =πr ₀ ² , r ₀ =(7π/4)(M ₀ /(A×R))Vs ² , R=(S/π) ^{0.5} Boatwright(1988), 壇ほか(2001)
	モデル面積	— (km ²)	205.0	225.8	—	205.0	
	面積比(S ₀ /S)	—	0.289	0.298	—	0.289	断層面積に対するアスベリティ総面積の比
	地震モーメント	M _{0a} (Nm)	1.59×10 ¹⁹	1.79×10 ¹⁹	—	1.59×10 ¹⁹	M _{0a} =μD ₀ S ₀
	平均すべり量	D ₀ (cm)	225.3	236.0	—	225.3	D ₀ =ξ×D, ξ=2.0
応力降下量	Δσ ₀ (MPa)	12.4	12.3	—	12.4	Δσ ₀ =(S ₀ /S) ^{1/2} Δσ Madariaga(1979)	
第一アスベリティ	面積	S ₂₁ (km ²)	147.7	159.6	—	147.7	S ₂₁ =S ₀ ×(16/22) 入倉・三宅(2001)
	モデル面積	— (km ²)	156.0	166.1	—	156.0	
	地震モーメント	M _{0a1} (Nm)	1.29×10 ¹⁹	1.46×10 ¹⁹	—	1.29×10 ¹⁹	M _{0a1} =M _{0a} ×S ₂₁ ^{1.5} /(S ₀ ^{1.5} ×S ₂₂ ^{1.5})
	平均すべり量	D _{a1} (cm)	251.9	263.9	—	251.9	D _{a1} =M _{0a1} /(μ×S ₂₁)
	応力降下量	Δσ _{a1} (MPa)	12.4	12.3	—	12.4	Δσ _{a1} =Δσ ₀
第二アスベリティ	面積	S ₂₂ (km ²)	55.4	59.8	—	55.4	S ₂₂ =S ₀ ×(6/22) 入倉・三宅(2001)
	モデル面積	— (km ²)	49.0	59.6	—	49.0	
	地震モーメント	M _{0a2} (Nm)	2.96×10 ¹⁸	3.35×10 ¹⁸	—	2.96×10 ¹⁸	M _{0a2} =M _{0a} ×S ₂₂ ^{1.5} /(S ₀ ^{1.5} ×S ₂₁ ^{1.5})
	平均すべり量	D _{a2} (cm)	154.3	161.6	—	154.3	D _{a2} =M _{0a2} /(μ×S ₂₂)
	応力降下量	Δσ _{a2} (MPa)	12.4	12.3	—	12.4	Δσ _{a2} =Δσ ₀
背景領域	面積	S _b (km ²)	498.9	515.9	—	498.9	S _b =S-S ₀
	モデル面積	— (km ²)	497.0	509.5	—	497.0	
	地震モーメント	M _{0b} (Nm)	1.15×10 ¹⁹	1.21×10 ¹⁹	—	1.15×10 ¹⁹	M _{0b} =M ₀ -M _{0a}
	平均すべり量	D _b (cm)	66.8	67.8	—	66.8	D _b =M _{0b} /(μ×S _b)
	実効応力	σ _s (MPa)	2.22	2.09	—	2.22	σ _s =(D ₀ /W ₀)×(π ^{0.5} /D ₀) ² ×r ₀ ×Σγ _{ij} ² ×Δσ _{ij} 壇ほか(2002)

応答スペクトルの適用性検討

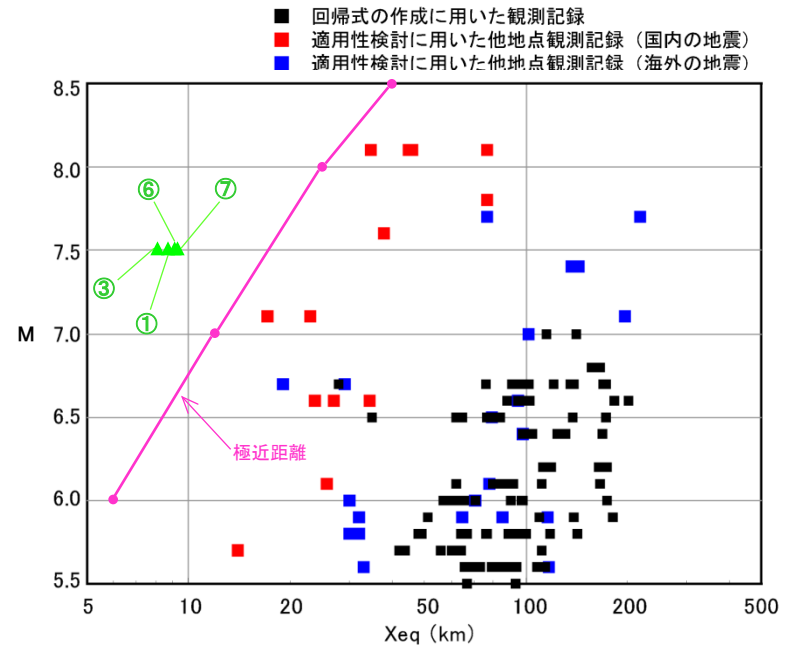
- 突道断層による地震の応答スペクトルに基づく地震動評価においては、Mを松田(1975)により算定するが、念のため、安全側に設定した地震発生層に基づく断層面積により算出した地震モーメントを用い、武村(1990)により算定したケースについても検討した結果、耐専式で設定されている極近距離との関係から、すべてのケースは耐専式の適用範囲外と判断した。
- 従って、突道断層による地震の応答スペクトルに基づく地震動評価においては、NGA等の適用可能な複数の距離減衰式を用い、基本震源モデル及び断層傾斜角の不確かさを考慮したケースについて評価する。なお、アスペリティの不確かさを考慮したケースの評価については、断層モデルを用いた手法による地震動評価により検討する。

突道断層による地震の諸元(M及びXeq)

地震動評価ケース	M		Xeq (km)
	松田式※1	武村式※2	
①基本震源モデル	7.5	7.5	8.8
③断層傾斜角の不確かさを考慮したケース	7.5	7.5	8.2
⑥アスペリティの不確かさを考慮したケース(一塊:正方形)	7.5	7.5	9.3
⑦アスペリティの不確かさを考慮したケース(一塊:縦長)	7.5	7.5	9.4

※1 松田(1975)による断層長さとの関係式により算定

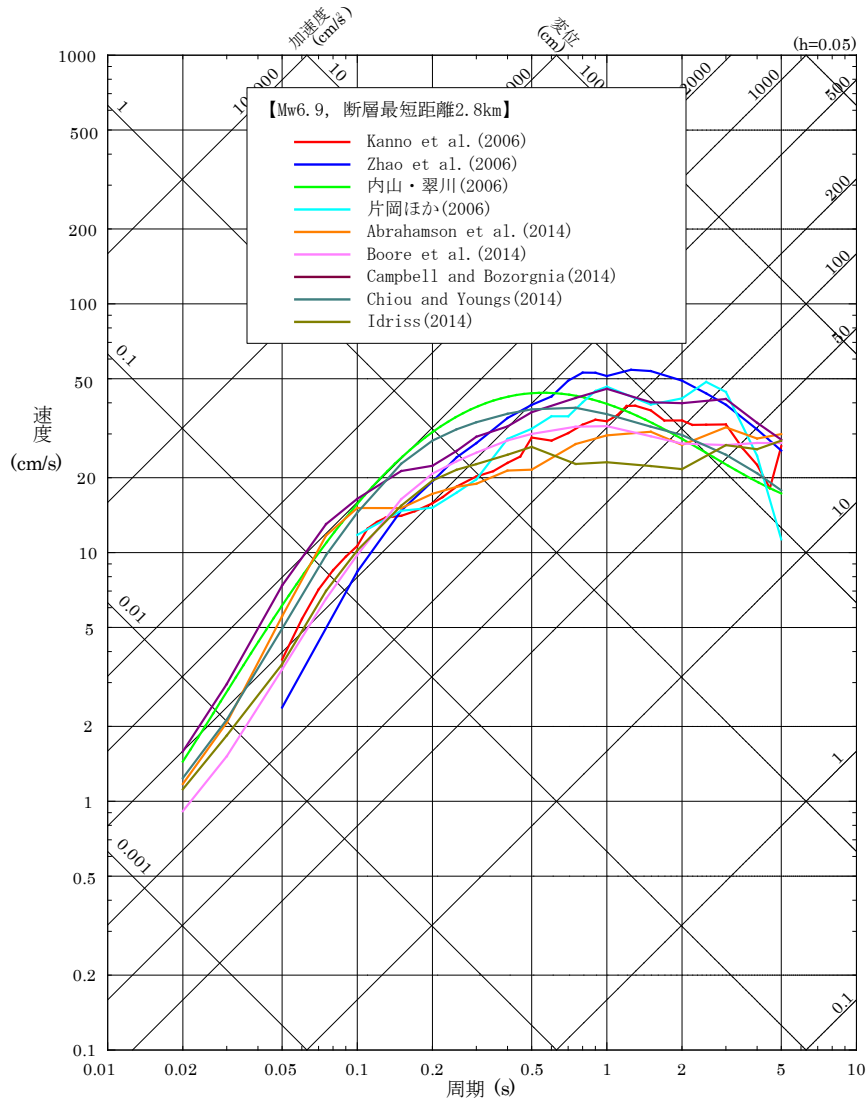
※2 武村(1990)による地震モーメントとの関係式により算定



[平成21年5月22日原安委意見交換会資料(東京電力)に一部加筆。]
地震データの比較(M及び等価震源距離Xeq)

応答スペクトルの評価結果 1/2

■ 突道断層による地震の応答スペクトルに基づく地震動評価結果 (①基本震源モデル)

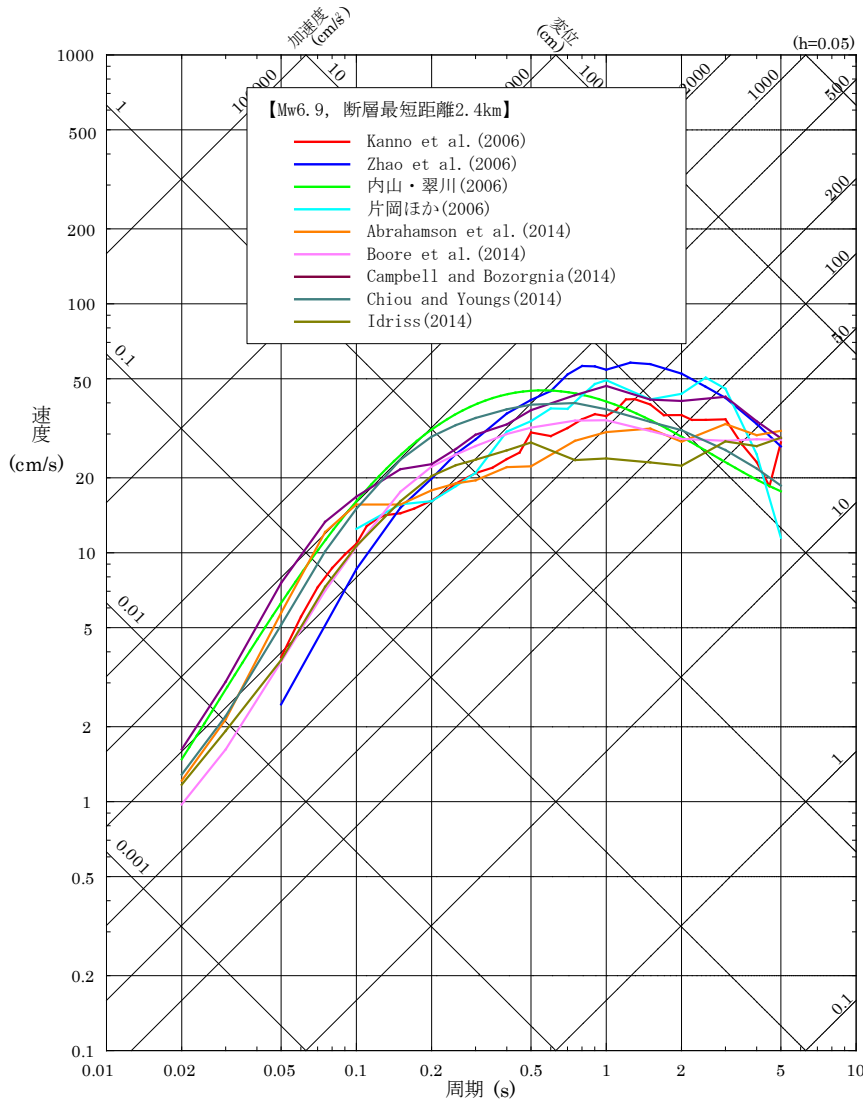


※内山・翠川(2006)及び片岡ほか(2006)については、工学的基盤に対する岩盤の比である 1/1.4 (Midorikawa et al.(1994))を乗じている。

擬似速度応答スペクトル

応答スペクトルの評価結果 2/2

■ 突道断層による地震の応答スペクトルに基づく地震動評価結果 (③断層傾斜角の不確かさを考慮したケース)

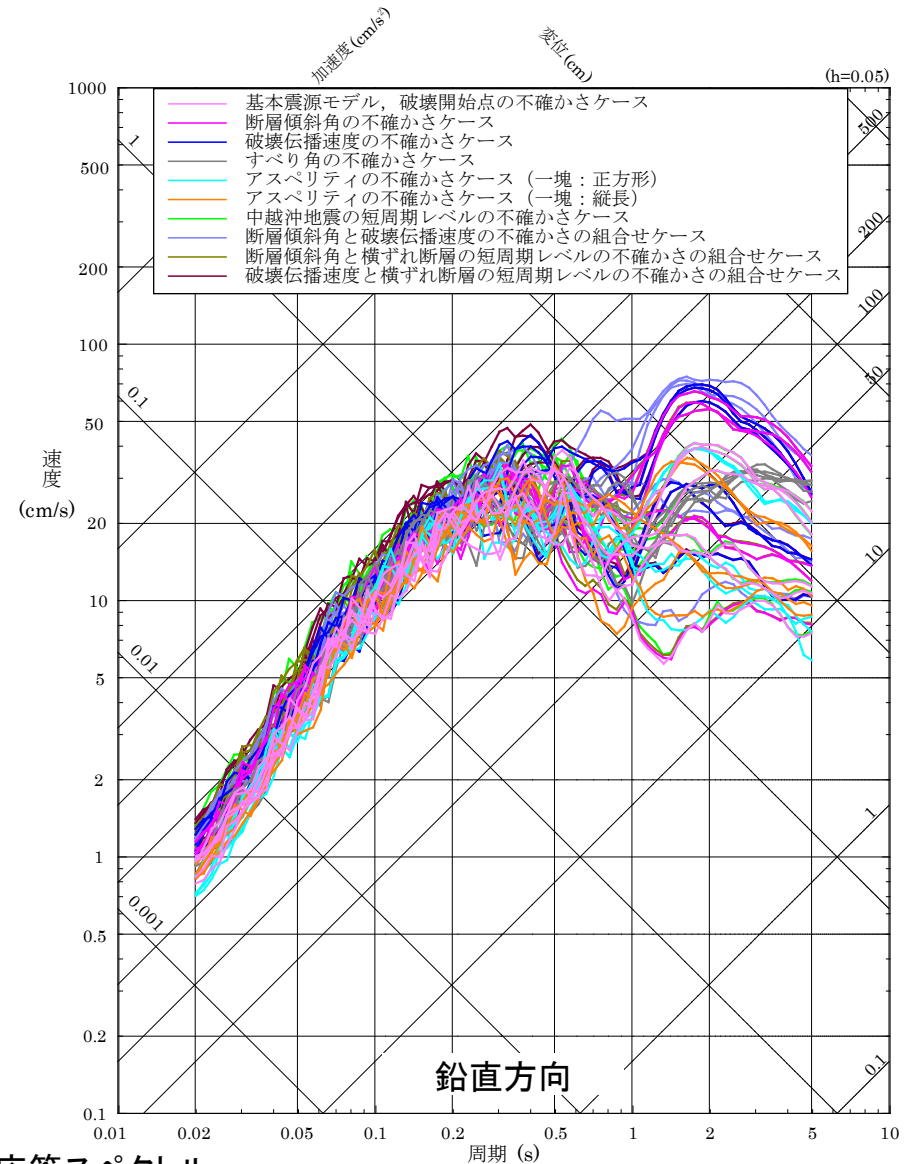
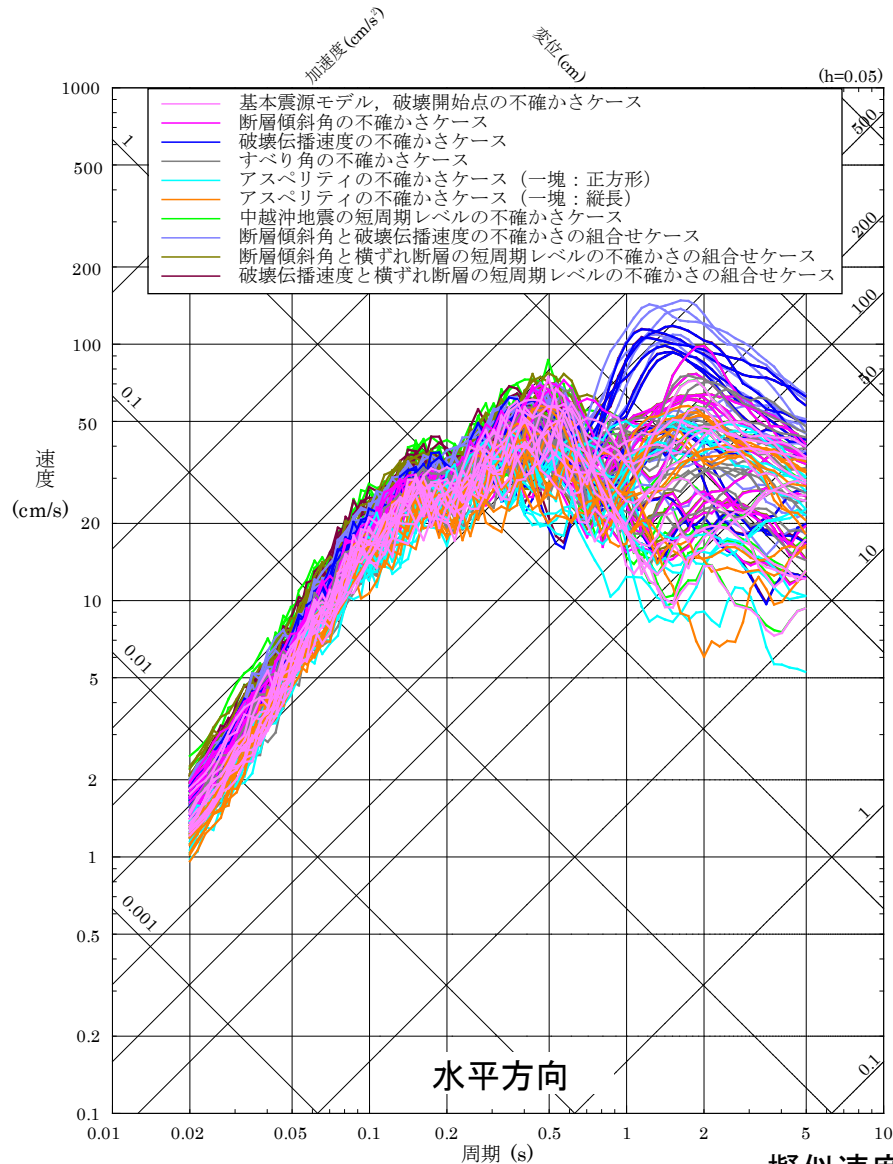


※内山・翠川(2006)及び片岡ほか(2006)については、工学的基盤に対する岩盤の比である 1/1.4 (Midorikawa et al.(1994))を乗じている。

擬似速度応答スペクトル

断層モデルの評価結果

■ 突道断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果(全評価ケース)



断層パラメータの設定根拠(巨視的断層パラメータ) 1/4

■ F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震の巨視的断層パラメータの設定根拠を示す。

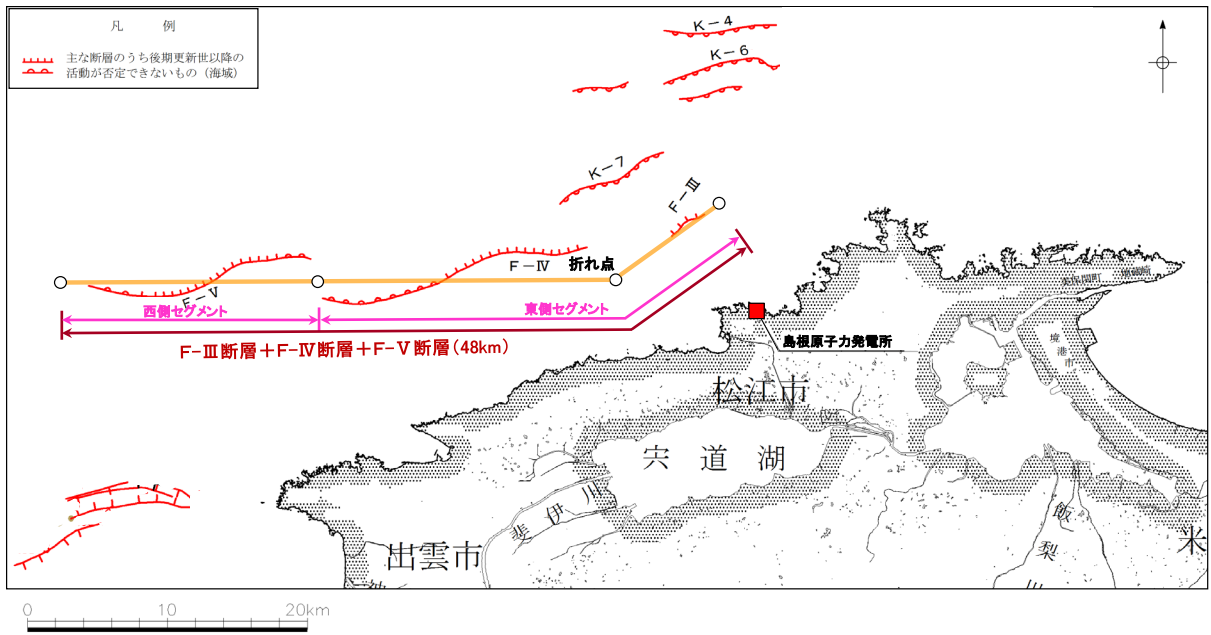
(1) 断層長さ

○基本震源モデル

追加地質調査結果に基づき、断層長さをF-Ⅲ断層、F-Ⅳ断層及びF-Ⅴ断層の連動を考慮して48kmに設定。

○不確かさ

基本震源モデルの断層長さは、詳細な地質調査結果に基づき設定していることから、不確かさは設定しない。



F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震の断層モデル

モデル化

- ✓ F-Ⅲ : 追加地質調査による評価区間に沿って直線でモデル化。その東端はモデル化上、評価区間よりも東側に設定。
- ✓ F-Ⅳ, F-Ⅴ : 追加地質調査による湾曲した評価区間の敷地に近い東側部分が敷地に近づくよう安全側に直線でモデル化。その西端はモデル化上、評価区間よりも西側に設定。
- ✓ 折れ点 : F-Ⅲ断層の直線とF-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層の直線の交点をモデル化上の折れ点に設定。
- ✓ 連動 : 当社探査測線を考慮して各断層端部を設定し、3断層を連動させてモデル化。
(東側セグメント:F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層, 西側セグメント:F-Ⅴ断層)

断層パラメータの設定根拠(巨視的断層パラメータ) 2/4

(2) 断層幅

○基本震源モデル

後述する断層傾斜角を考慮し、安全側に設定した地震発生層(上限深さ2km, 下限深さ20km)に基づき断層幅を約19kmに設定。

○不確かさ

安全側に設定した地震発生層に基づき、基本震源モデルの断層幅を設定していることから、断層幅の不確かさは設定しない。

断層パラメータの設定根拠(巨視的断層パラメータ) 3/4

(3) 断層傾斜角

断層傾斜角については、以下のレシピの考え方にに基づき、①～③の順に、より信頼性の高い情報を考慮して設定する。

◆断層傾斜角の設定に関するレシピの考え方

- ①対象とする断層についての反射法探査結果等、断層の傾斜角を推定する資料がある場合にはそれを参照する。
- ②また、周辺にある同じタイプの断層から傾斜角が推定できる場合には、それを参照する。
- ③上記のような資料が得られない場合は、横ずれ断層の傾斜角は 90° を基本とする。

○基本震源モデル

基本震源モデルの断層傾斜角は、以下に基づき安全側に 70° に設定し、その傾斜方向は敷地に近づく方向(南傾斜)に設定。

- ✓ ①として、B層(更新統)の明瞭な分布が確認できていないF-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層の深部においては、地質調査結果(補足説明資料97ページ)より、東北東-西南西走向の低角(南傾斜)逆断層が認められ、その傾斜角は、音波探査記録を参照すると、それぞれの区間で地質構造上の類似性が認められることから、断層全体を傾斜角の設定区間と考え、平均すると 35° 程度(補足説明資料98ページ)である。但し、当該断層は、更新世以降において、南側隆起(北側沈降)の逆断層運動を示唆するB層の堆積盆の形成は認められず、横ずれ運動を示唆する花卉構造や引きずり込み構造などの特徴的な反射パターンも認められないことから、後期更新世以降の活動様式は不明である。従って、本調査結果を基本震源モデルの断層傾斜角として採用することは適切でないと考えらる。
- ✓ 次に、②として、F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層が、現在の東西圧縮応力場で活動する場合、主に横ずれの断層活動を示すと考えられることから、当該断層の周辺で発生したM7クラスの横ずれ断層による大規模地震及び主な中小地震の断層傾斜角を参照する。

＜大規模地震:補足説明資料99ページ＞

対象となる1943年鳥取地震(M7.2)及び2000年鳥取県西部地震(M7.3)は、佐藤ほか(1989)及び地震調査委員会(2002)により、それぞれ「断層傾斜角 90° 」とされている。

＜主な中小地震:補足説明資料100ページ＞

対象となる中小地震の断層傾斜角は、平均的には 80° 程度であり、最も傾斜しているもので 71° である。

断層パラメータの設定根拠(巨視的断層パラメータ) 4/4

○不確かさ

前記より、F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層を評価する際には、低角の傾斜角として活動する可能性は考えにくいですが、地質調査結果を参考に、念のため断層傾斜角の不確かさとして 35° に設定し、その傾斜方向は敷地に近づく方向(南傾斜)に設定。

その際、現在の東西圧縮応力場、当該断層の走向及び断層周辺で発生した主な地震のすべり角を考慮し、F-Ⅲ断層のすべり角は 150° に設定(F-Ⅳ断層及びF-Ⅴ断層のすべり角は 180°)〔補足説明資料101～102ページ〕。

断層パラメータの設定根拠(微視的断層パラメータ) 1/4

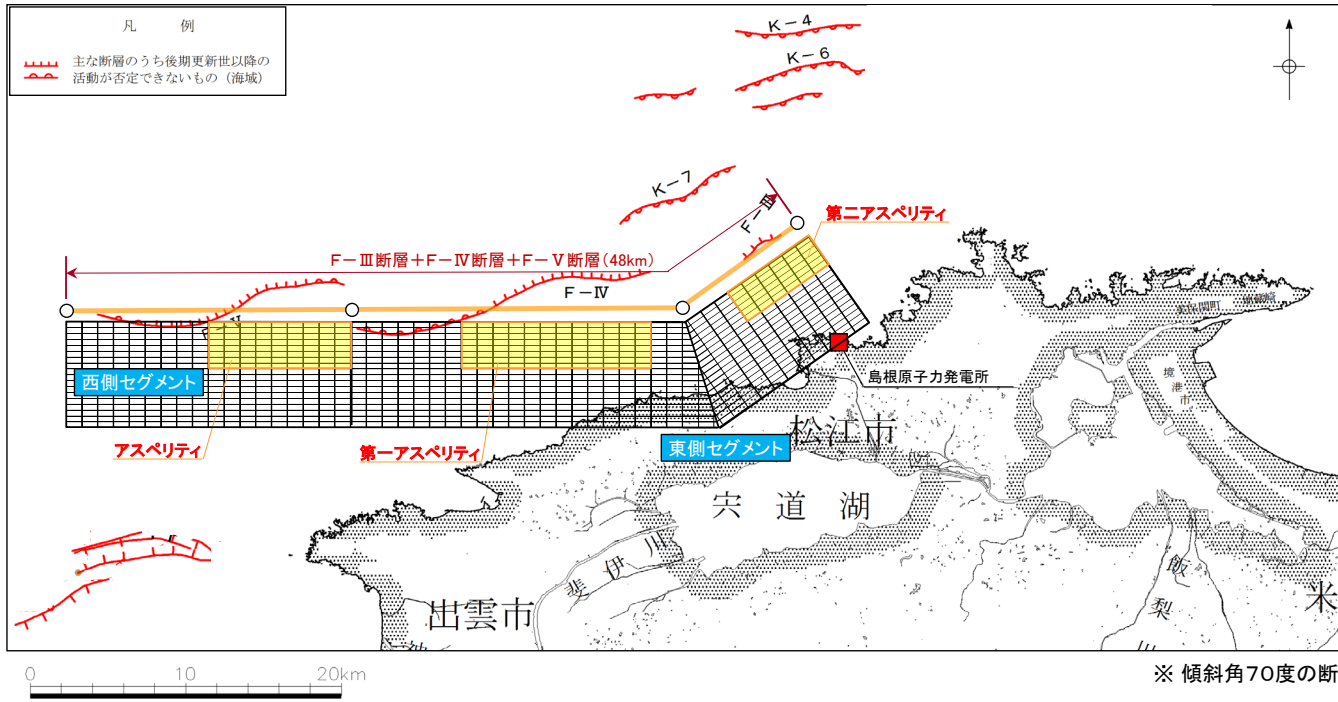
■ F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震の微視的断層パラメータの設定根拠を示す。

(1) アスペリティ

○基本震源モデル

入倉・三宅(2001)によると、アスペリティの個数は断層長さが20kmより短いときは1つで、それより長くなると増加するとされていることから、F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層の各セグメント長さに基づき、アスペリティは東側セグメント(30km)に2個、西側セグメント(18km)に1個設定。

それらのアスペリティの位置としては、以下のとおり、後期更新世以降の活動が否定できないと評価している各断層の評価区間を考慮して設定。



F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層のアスペリティ配置と断層の評価区間の関係

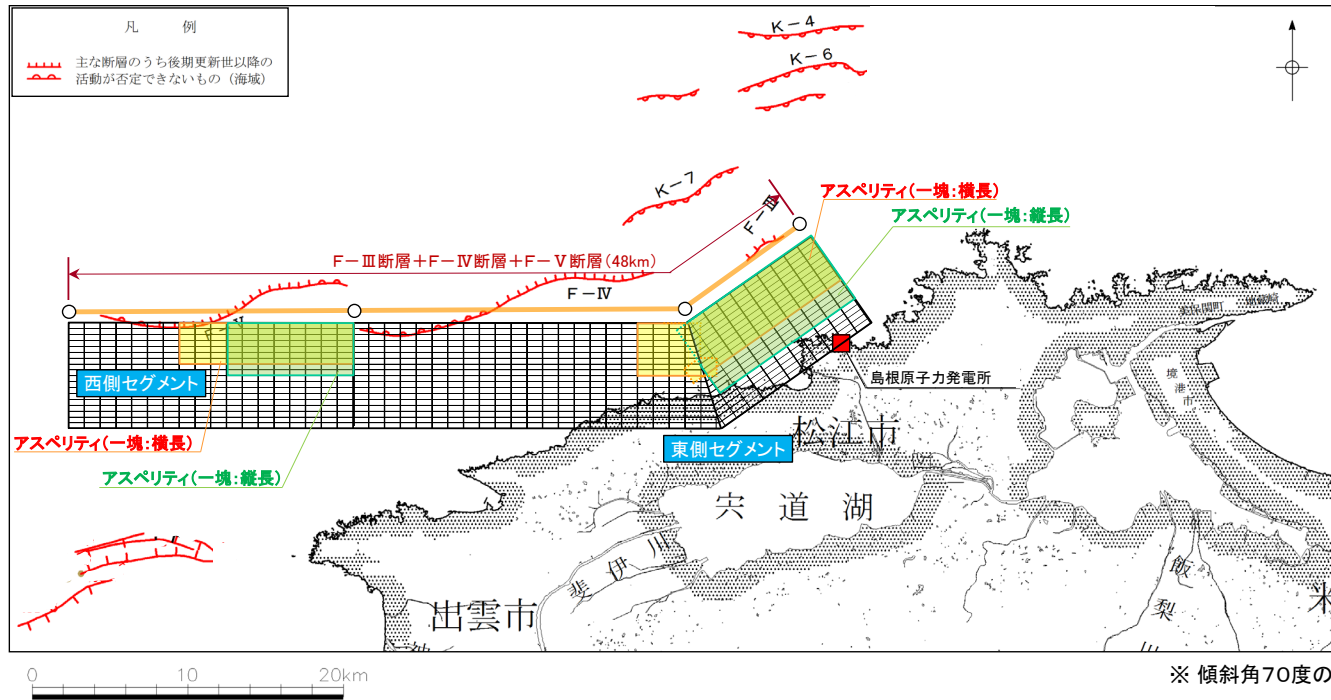
アスペリティ位置

- ✓ 各セグメントのアスペリティ(東側:2個, 西側:1個)については、後期更新世以降の活動が否定できないと評価している各断層の評価区間の中で最も敷地に近い位置に設定。

断層パラメータの設定根拠(微視的断層パラメータ) 2/4

○不確かさ

アスペリティの個数・位置は地震動に大きく影響するパラメータであることから、基本震源モデルの東側セグメントにおける2個のアスペリティを一塊にして敷地近傍に配置し、その形状は以下のとおり2ケース設定。



F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層のアスペリティ配置と断層の評価区間の関係

アスペリティ位置

- ✓ 各セグメントのアスペリティ(東側:1個[2個を一塊に設定], 西側:1個)については、それぞれのセグメントで敷地に最も近い位置に配置し、その形状は横長と縦長の2ケースを設定。

断層パラメータの設定根拠(微視的断層パラメータ) 3/4

(2) 短周期レベル

○基本震源モデル

レシピに基づき、壇ほか(2001)の地震モーメント(M_0)と短周期レベル(A)の以下の経験的關係より短周期レベルを設定。

$$A = 2.46 \times 10^{17} \times M_0^{1/3} \text{ (Nm/s}^2\text{)}$$

○不確かさ

短周期レベルに関する知見(補足説明資料61～71ページ)より、一般的な横ずれ断層の地震は、中越沖地震を引き起こしたような逆断層の地震に比べて短周期レベルが半分程度と小さく、更に横ずれ断層の地震の中で中国地方の地震は他の地域の地震よりも短周期レベルが小さいことから、中国地方の横ずれ断層であるF-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震の短周期レベルの不確かさとしては、中越沖地震(逆断層)時の短周期レベル1.5倍を1.2(佐藤(2008)の横ずれ断層に対する逆断層の短周期レベルの比)で除して1.25倍とすれば十分に安全側と考えられる。

但し、短周期レベルは地震動に大きく影響するパラメータであることから、短周期レベルの不確かさとしては、審査ガイドに基づき、中越沖地震を踏まえて短周期レベル1.5倍を設定。

断層パラメータの設定根拠(微視的断層パラメータ) 4/4

(3) すべり角

○基本震源モデル

F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層の走向が東北東—西南西方向であり、また現在の応力場が東西圧縮応力場であるため、F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層は右横ずれ断層と推定されることから、レシピに基づきすべり角を 180° に設定。

○不確かさ

すべり角を設定する上で根拠となる地質調査結果は得られておらず、F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層は宍道断層と同様の右横ずれ断層と推定されるが、縦ずれ成分を考慮し、宍道断層による地震のすべり角の不確かさと同様に 150° に設定。

断層パラメータの設定根拠(その他の断層パラメータ) 1/4

■ F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震のその他の断層パラメータの設定根拠を示す。

(1) 破壊伝播速度

○基本震源モデル

レシピに基づき、Geller(1976)の地震発生層のS波速度(V_s)との関係より破壊伝播速度を $0.72V_s$ に設定。

○不確かさ

宮腰ほか(2005)に基づき、アスペリティ領域の平均的な破壊伝播速度 $0.73V_s$ に標準偏差 1σ を考慮した $0.87V_s$ を、破壊伝播速度の不確かさとして設定。

(2) 破壊開始点

○基本震源モデル

レシピによると、「破壊開始点を特定できない場合、簡便化したパラメータ設定として、横ずれ成分が卓越する時はアスペリティ下端の左右端を基本とする。」とされていることから、基本震源モデルの破壊開始点は、敷地近傍の東側セグメントの第一アスペリティ下端の西端と第二アスペリティ下端の東端の2点に設定。

○不確かさ

- 破壊開始点の不確かさとしては、基本震源モデルとは異なる位置の断層下端の西端・東端・サイト直近と東側セグメントの第一アスペリティ下端の東端の4点に設定。
- また、他の不確かさを考慮したケースの破壊開始点についても、基本震源モデルと破壊開始点の不確かさを考慮したケースで設定した6点に設定。なお、アスペリティの不確かさを考慮したケースの破壊開始点については、東側セグメントのアスペリティ下端の西端・東端と断層下端の西端・東端・サイト直近の5点に設定。

断層パラメータの設定根拠(その他の断層パラメータ) 2/4

(3) 断層位置

○基本震源モデル

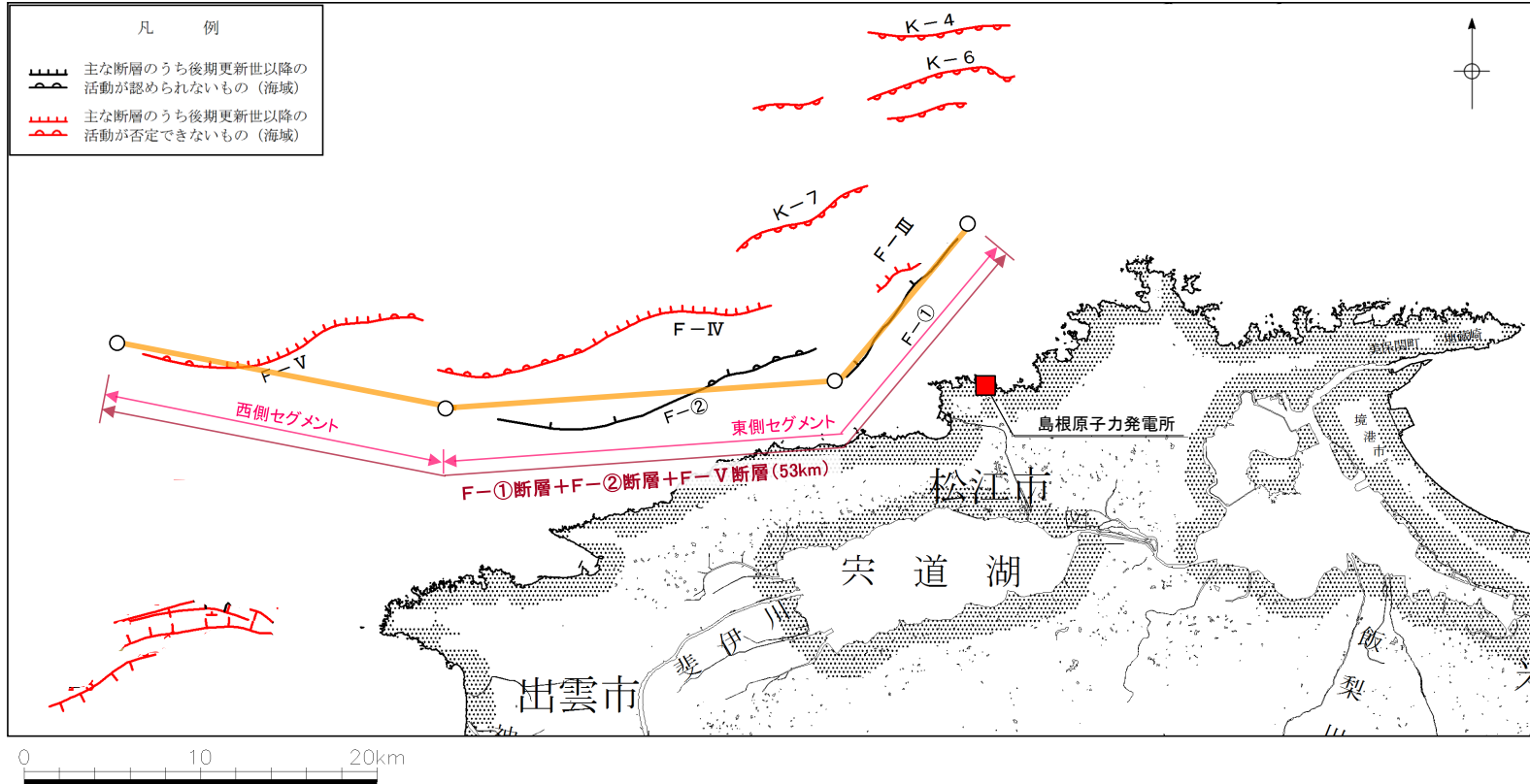
F-Ⅲ断層, F-Ⅳ断層及びF-Ⅴ断層の連動を考慮した位置に設定(評価長さ:48km)。

○不確かさ

- F-Ⅲ断層及びF-Ⅳ断層の近傍に位置するF-①断層及びF-②断層は, 後期更新世以降の活動は認められないが, 地質調査結果によりF-Ⅲ断層及びF-Ⅳ断層と地下深部において収斂していると考えられることから, 断層位置の不確かさとしてF-①断層及びF-②断層とF-Ⅴ断層の連動を考慮した位置に設定(評価長さ:53km)。
- アスペリティの個数は, 入倉・三宅(2001)に基づき, 東側セグメント(34km)に2個, 西側セグメント(19km)に1個設定。それらのアスペリティの位置については, 各断層の評価区間の中で最も近い位置に設定。破壊開始点は, 基本震源モデル及び破壊開始点の不確かさを考慮したケースにおける6点に設定。

断層パラメータの設定根拠(その他の断層パラメータ) 3/4

- 以下のとおり、断層位置の不確かさとして、F-①断層及びF-②断層とF-Ⅴ断層の連動を考慮して53kmの断層モデルを設定。



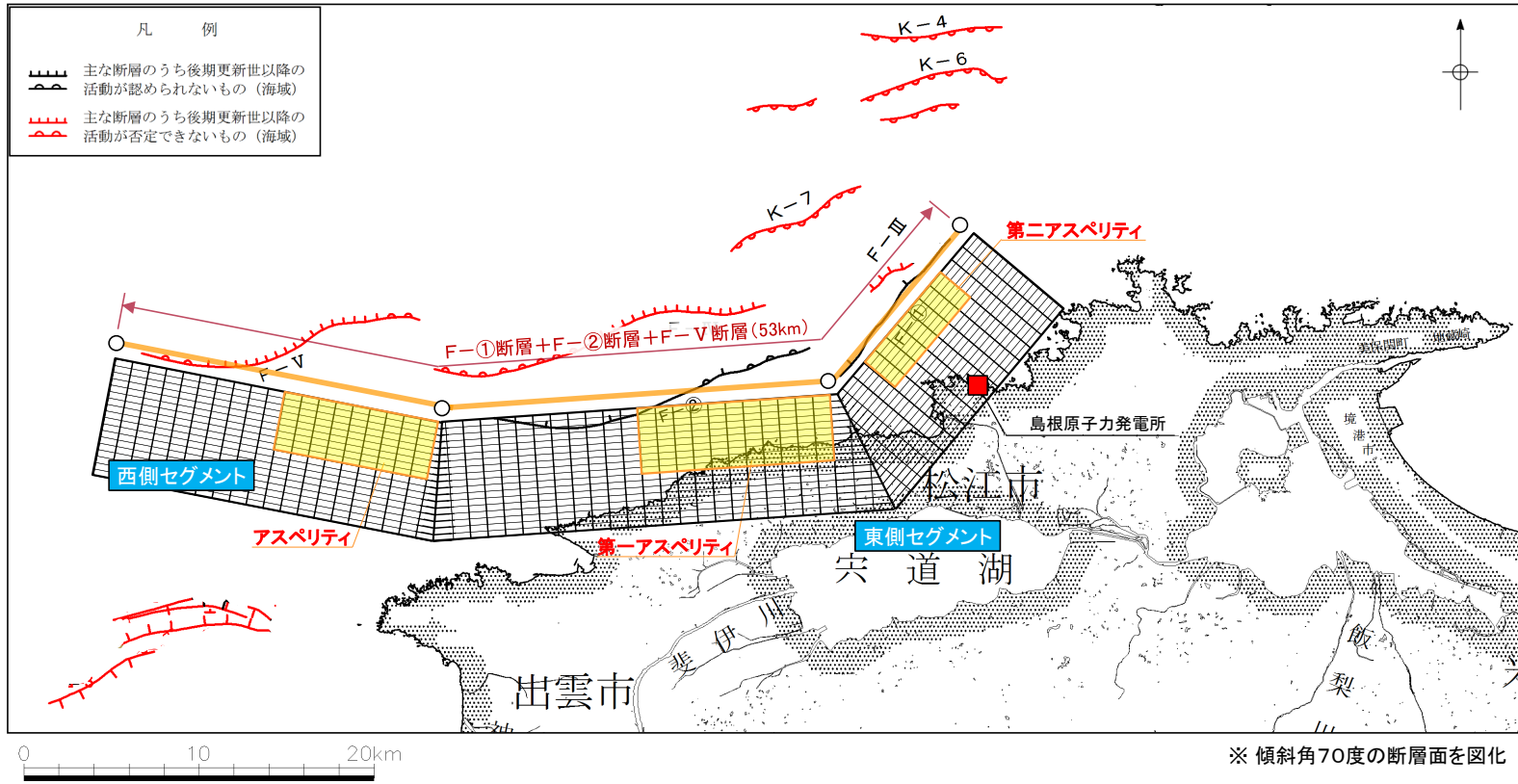
F-①断層+F-②断層+F-Ⅴ断層による地震の断層モデル

- ✓ F-① : 追加地質調査による評価区間に沿って直線でモデル化し、東端はモデル化上、評価区間よりも東側に設定。
- ✓ F-②, F-Ⅴ : 追加地質調査による湾曲した評価区間の敷地に近い東側部分が敷地に近づくよう安全側にそれぞれ直線でモデル化し、西端はモデル化上、評価区間よりも西側に設定。
- ✓ 連動 : 当社探査測線を考慮して各断層端部を設定し、3断層を連動させてモデル化 (東側セグメント:F-①断層+F-②断層, 西側セグメント:F-Ⅴ断層)

モデル化

断層パラメータの設定根拠(その他の断層パラメータ) 4/4

- 以下のとおり、断層位置の不確かさにおける断層モデルのアスペリティを設定。



F-①断層+F-②断層+F-V断層のアスペリティ配置

アスペリティ
位置

- ✓ 東側及び西側セグメントのアスペリティ(東側:2個, 西側:1個)の位置としては、F-①断層, F-②断層, F-V断層のそれぞれの評価区間に基づき、各区間で最も敷地に近い位置に設定。

断層パラメータの設定根拠(まとめ)

■ 巨視的及び微視的断層パラメータとその他の断層パラメータの設定根拠をまとめて以下に示す。

断層パラメータ		基本震源モデル	不確かさの考慮
巨視的 パラメータ	断層長さ	地質調査結果に基づき、F-Ⅲ断層、F-Ⅳ断層及びF-Ⅴ断層の連動を考慮して48kmに設定。	基本震源モデルの断層長さは、詳細な地質調査結果に基づき設定していることから、 <u>不確かさは設定しない。</u>
	断層幅	安全側に設定した地震発生層(上限深さ2km、下限深さ20km)及び断層傾斜角に基づき、約19kmに設定。	安全側に設定した地震発生層に基づき、基本震源モデルの断層幅を設定していることから、 <u>不確かさは設定しない。</u>
	断層傾斜角	敷地周辺における現在の応力場及びF-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層の周辺の横ずれ断層の主な地震の断層傾斜角より70°に設定し、傾斜方向は敷地に近づく方向(南傾斜)に設定。	現在の応力場を考えると、低角の傾斜角として活動する可能性は考えにくいだが、地質調査結果を参考に、念のため35°に設定し、傾斜方向は敷地に近づく方向(南傾斜)に設定。その際、現在の東西圧縮応力場、断層走向及び断層周辺で発生した主な地震のすべり角を考慮し、F-Ⅲ断層のすべり角は150°に設定(F-Ⅳ断層及びF-Ⅴ断層のすべり角は180°)。
微視的 パラメータ	アスペリティ (個数・位置)	入倉・三宅(2001)に基づき、アスペリティを東側セグメントに2個、西側セグメントに1個設定し、各アスペリティの位置については、後期更新世以降の活動が否定できないと評価している各断層の評価区間を考慮して設定。	基本震源モデルの東側セグメントにおける2個のアスペリティを一塊にして敷地近傍に配置し、形状は横長・縦長の2ケースを設定。
	短周期レベル	レシピに基づき、壇ほか(2001)の地震モーメントと短周期レベルの経験的關係より設定。	中国地方で発生した地震の短周期レベルに関する知見を踏まえ、レシピの1.25倍にすれば十分と考えられるが、短周期レベルは地震動に大きく影響するパラメータであることから、審査ガイドに基づき、中越沖地震の知見を踏まえて安全側にレシピの1.5倍に設定。
	すべり角	断層走向及び敷地周辺における現在の応力場より、F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層は右横ずれ断層と推定されることから、レシピに基づき180°に設定。	根拠となる地質調査結果が得られていないため、F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層近傍に位置する右横ずれ断層(宍道断層)による地震の不確かさと同様に150°に設定。
その他 のパラメータ	破壊伝播速度	レシピに基づき、Geller(1976)の地震発生層のS波速度(Vs)との関係より、0.72Vsに設定。	宮腰ほか(2005)に基づき、アスペリティ領域の平均的な破壊伝播速度0.73Vsに標準偏差1σを考慮した0.87Vsに設定。
	破壊開始点	レシピに基づき、東側セグメントの第一アスペリティ下端の西端と第二アスペリティ下端の東端の2箇所に設定(破壊が敷地に向かうような位置に設定)。	破壊が敷地に向かうような位置に複数設定。また、他の不確かさを考慮したケースの破壊開始点についても、基本震源モデルと破壊開始点の不確かさを考慮したケースで設定した位置に複数設定。
	断層位置	F-Ⅲ断層、F-Ⅳ断層及びF-Ⅴ断層の連動を考慮した位置に設定。	F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層近傍に位置するF-①断層及びF-②断層を考慮し、F-①断層+F-②断層+F-Ⅴ断層を設定(断層長さ:53km)。

地震動評価ケース

■ F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震の地震動評価ケースとしては、以下のとおり、基本震源モデル及び不確かさを考慮したケースの9ケースを設定した。

F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震の地震動評価ケース(基本震源モデル, 不確かさを考慮したケース)

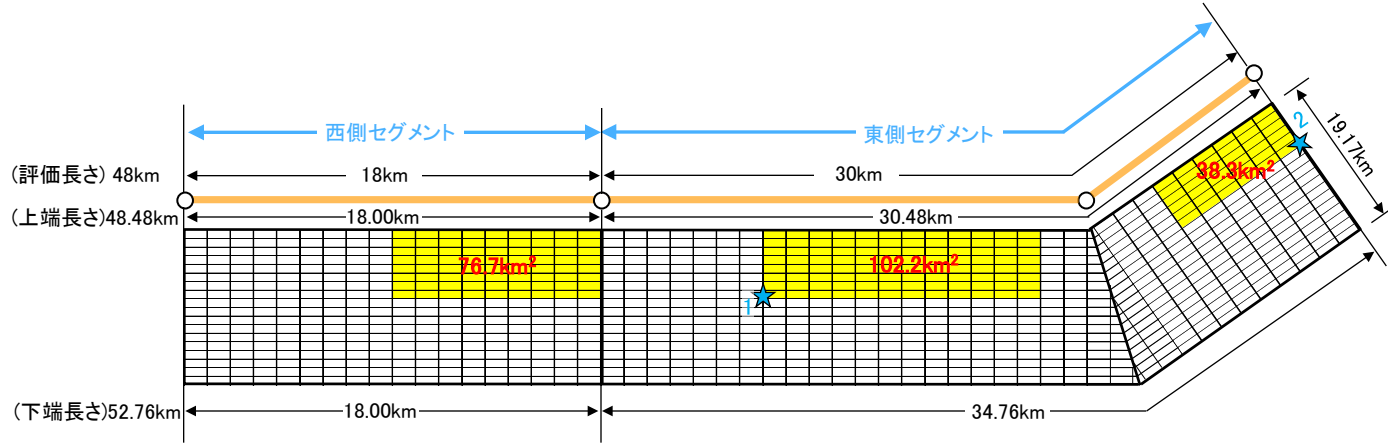
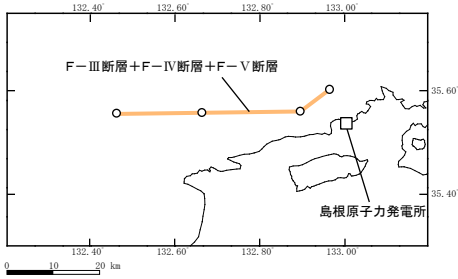
No.	評価ケース	断層長さ	断層幅	断層位置	断層傾斜角	破壊伝播速度	アスペリティ	短周期レベル	すべり角	破壊開始点
①	基本震源モデル	48km	約19km	F-Ⅲ +F-Ⅳ +F-Ⅴ	70°	0.72Vs	調査結果 (3個)	レシピ	180°	2箇所
②	破壊開始点の不確かさを考慮したケース	48km	約19km	F-Ⅲ +F-Ⅳ +F-Ⅴ	70°	0.72Vs	調査結果 (3個)	レシピ	180°	4箇所
③	断層傾斜角の不確かさを考慮したケース	48km	約32km	F-Ⅲ +F-Ⅳ +F-Ⅴ	35°	0.72Vs	調査結果 (3個)	レシピ	(F-Ⅲ)150° (F-Ⅳ)180° (F-Ⅴ)180°	6箇所
④	破壊伝播速度の不確かさを考慮したケース	48km	約19km	F-Ⅲ +F-Ⅳ +F-Ⅴ	70°	0.87Vs	調査結果 (3個)	レシピ	180°	6箇所
⑤	すべり角の不確かさを考慮したケース	48km	約19km	F-Ⅲ +F-Ⅳ +F-Ⅴ	70°	0.72Vs	調査結果 (3個)	レシピ	150°	6箇所
⑥	アスペリティの不確かさを考慮したケース(一塊:横長)	48km	約19km	F-Ⅲ +F-Ⅳ +F-Ⅴ	70°	0.72Vs	敷地近傍 (2個)	レシピ	180°	5箇所
⑦	アスペリティの不確かさを考慮したケース(一塊:縦長)	48km	約19km	F-Ⅲ +F-Ⅳ +F-Ⅴ	70°	0.72Vs	敷地近傍 (2個)	レシピ	180°	5箇所
⑧	中越沖地震の短周期レベルの不確かさを考慮したケース	48km	約19km	F-Ⅲ +F-Ⅳ +F-Ⅴ	70°	0.72Vs	調査結果 (3個)	レシピ ×1.5	180°	6箇所
⑨	断層位置の不確かさを考慮したケース	53km	約19km	F-① +F-② +F-Ⅴ	70°	0.72Vs	調査結果 (3個)	レシピ	180°	6箇所

■ : 不確かさを考慮した断層パラメータ(認識論的不確かさ)

□ : 不確かさを考慮した断層パラメータ(偶然的な不確かさ)

断層モデル 1/5

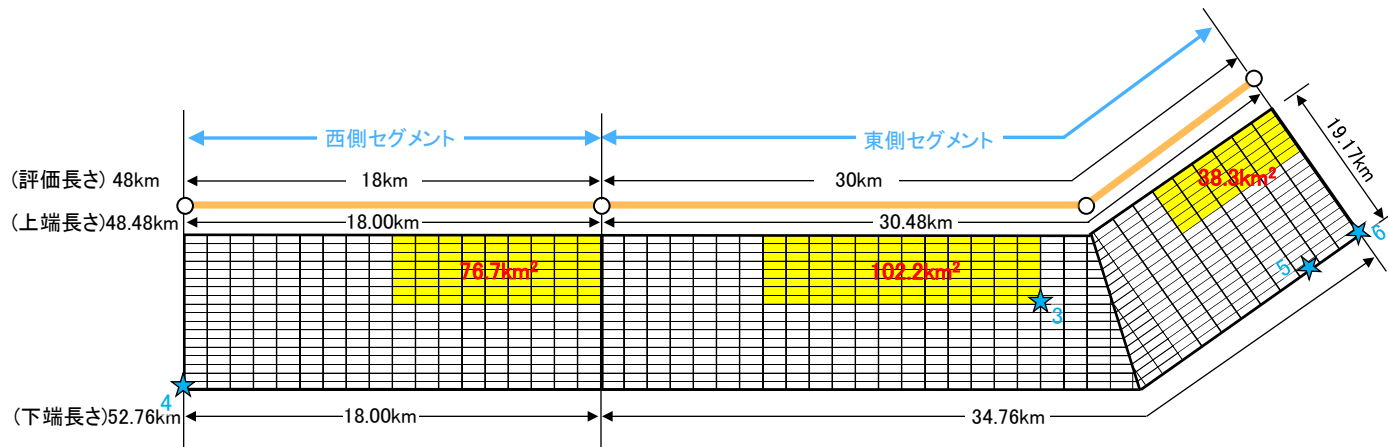
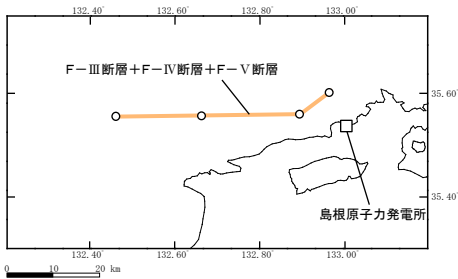
➤ F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震の断層モデル図：①基本震源モデル



※ 傾斜角70度の断層面を図化

★ : 破壊開始点 □ : アスペリティ

➤ F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震の断層モデル図：②破壊開始点の不確かさを考慮したケース

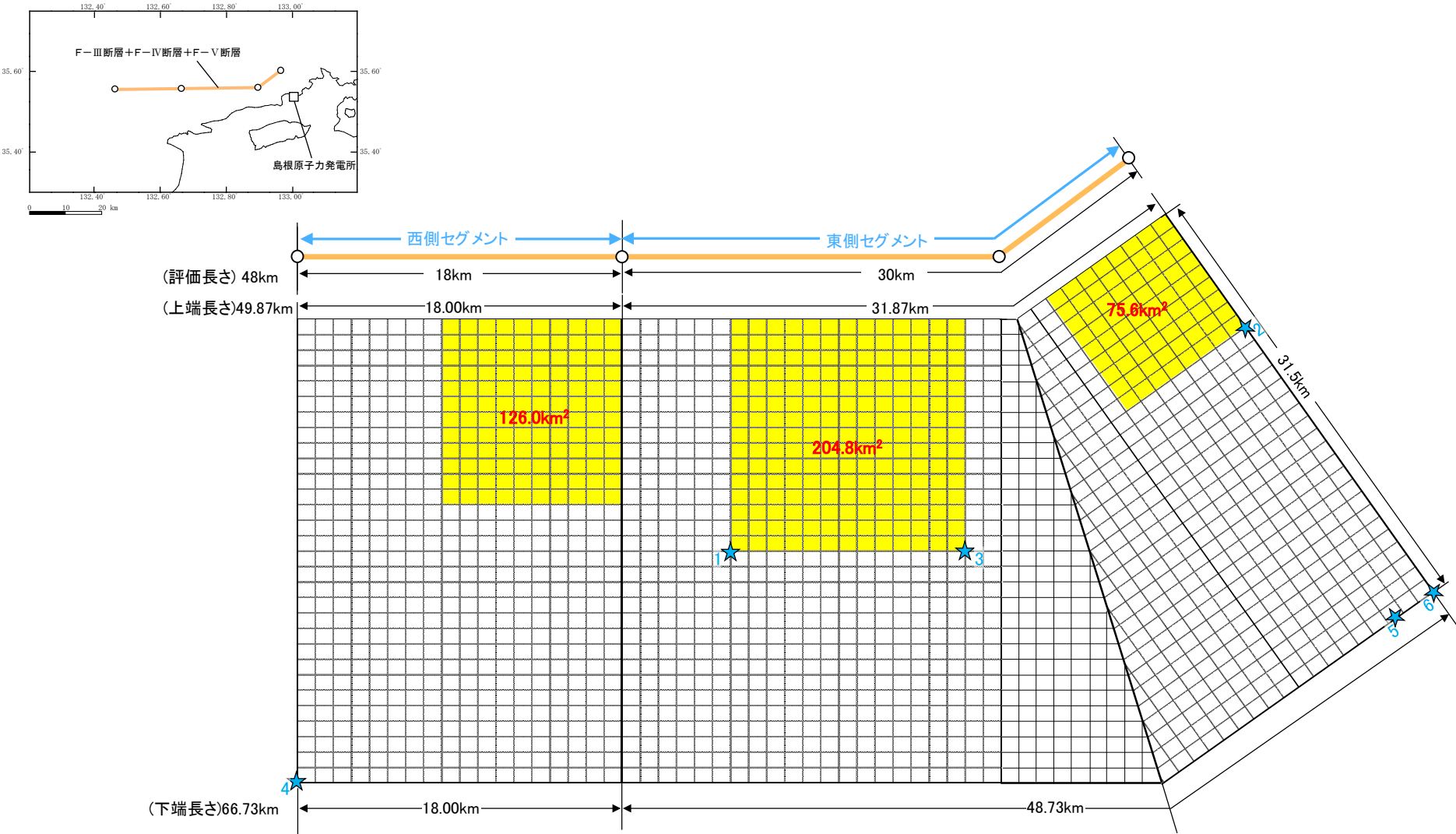


※ 傾斜角70度の断層面を図化

★ : 破壊開始点 □ : アスペリティ

断層モデル 2/5

➤ F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震の断層モデル図：③断層傾斜角の不確かさを考慮したケース

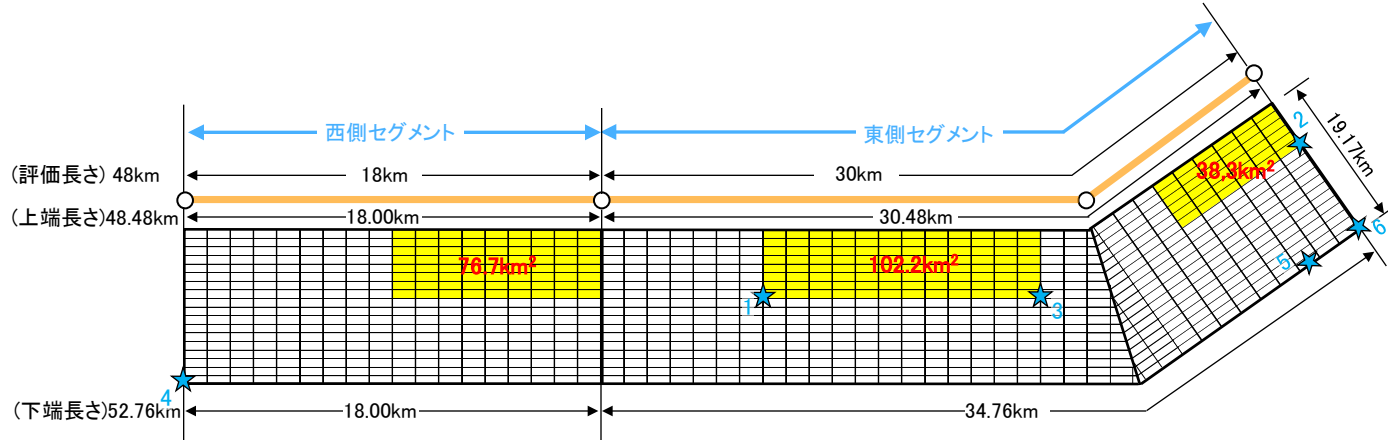
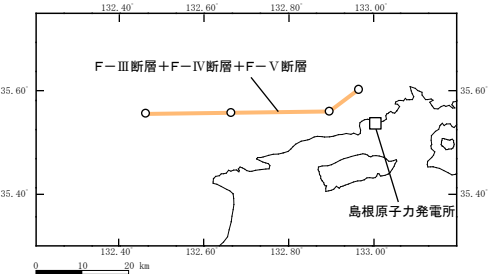


※ 傾斜角35度の断層面を図化

★ : 破壊開始点 ■ : アスペリティ

断層モデル 3/5

➤ F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震の断層モデル図：④破壊伝播速度・⑤すべり角・⑧中越沖地震の短周期レベルの不確かさを考慮したケース

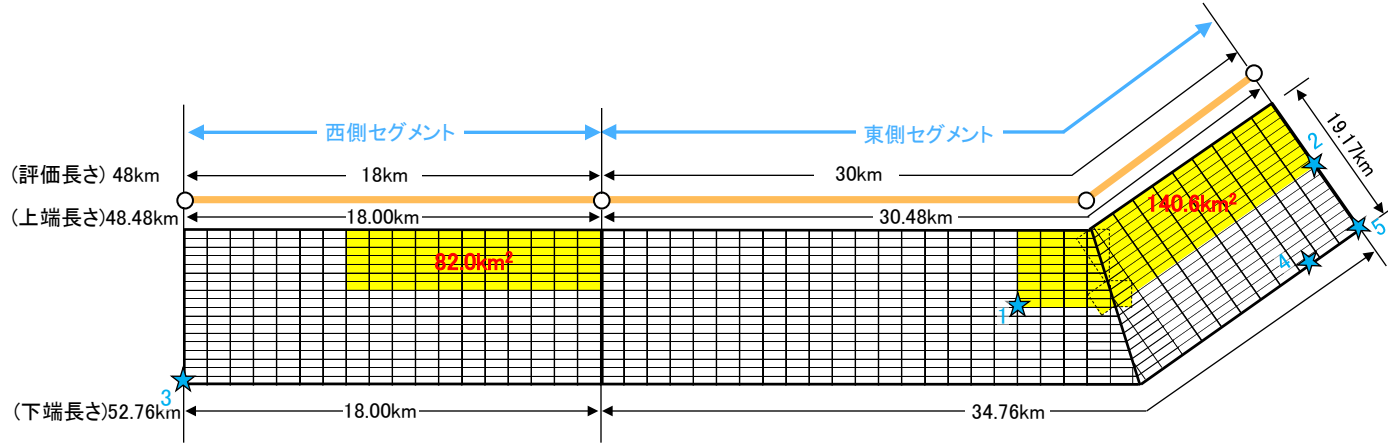
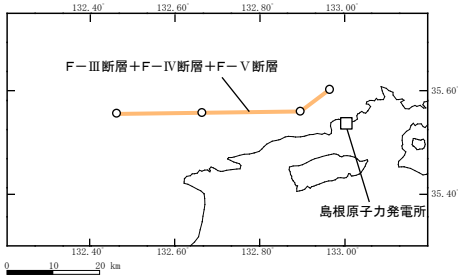


※ 傾斜角70度の断層面を図化

★ : 破壊開始点 ■ : アスベリティ

断層モデル 4/5

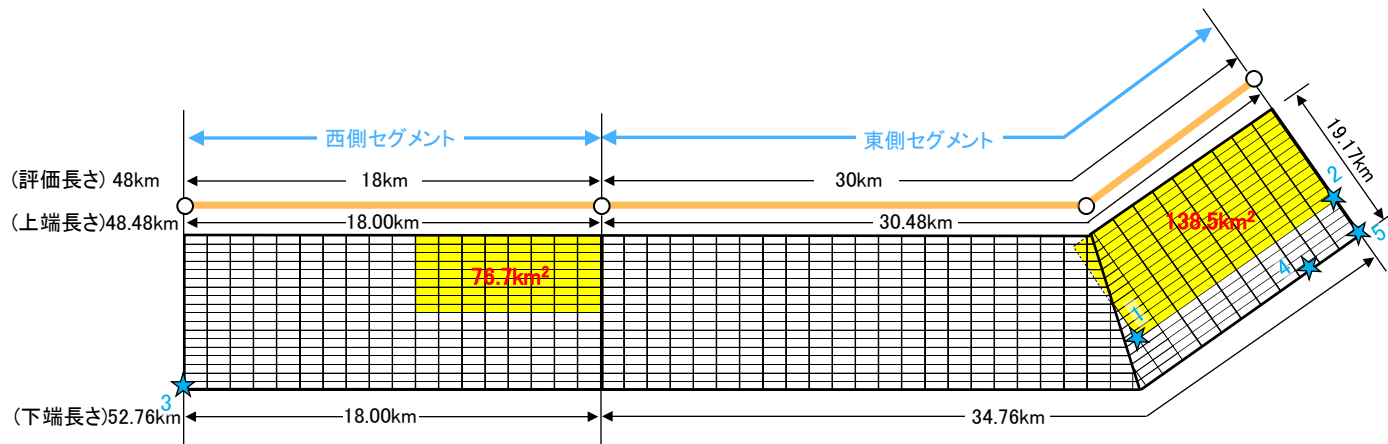
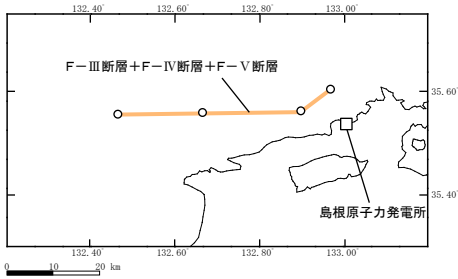
➤ F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震の断層モデル図：⑥アスペリティの不確かさを考慮したケース（一塊：横長）



※ 傾斜角70度の断層面を図化

★ : 破壊開始点 □ : アスペリティ

➤ F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震の断層モデル図：⑦アスペリティの不確かさを考慮したケース（一塊：縦長）

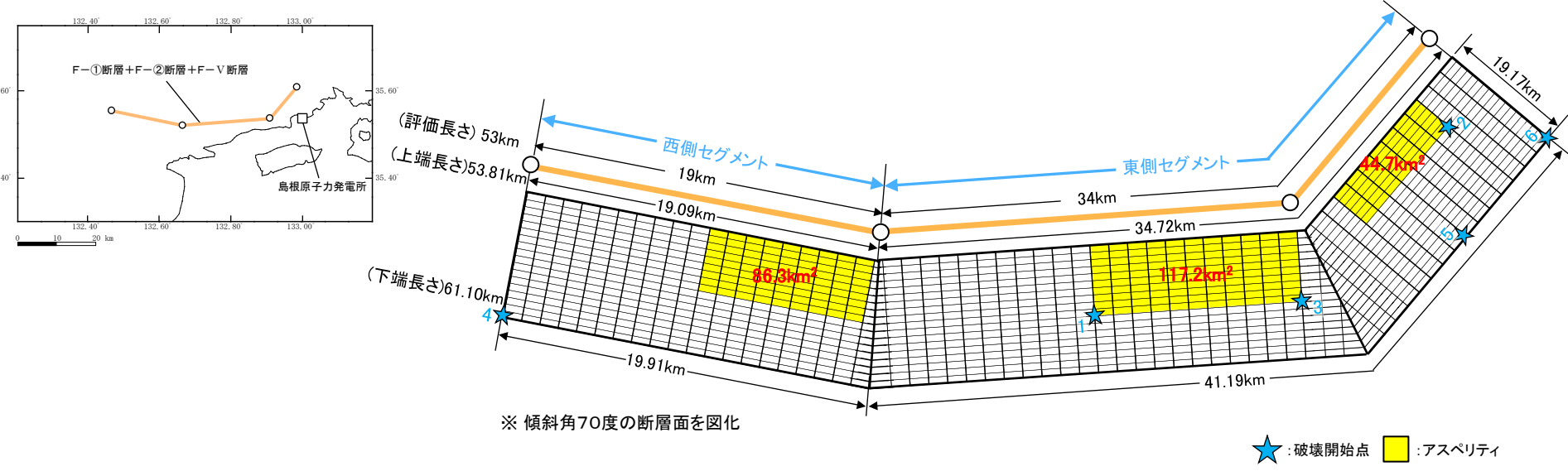


※ 傾斜角70度の断層面を図化

★ : 破壊開始点 □ : アスペリティ

断層モデル 5/5

➤ F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震の断層モデル図：⑨断層位置の不確かさを考慮したケース(F-①断層+F-②断層+F-Ⅴ断層)



断層パラメータ 1/3

■ F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震の断層パラメータ(地震動評価ケース: ①, ②, ④~⑨)

断層パラメータ(その1)

項目	①基本震源モデル ②破壊開始点	不確かさを考慮したケース					設定根拠	
		④破壊伝播速度	⑤すべり角	⑥アスペリティ (一塊:横長) ⑦アスペリティ (一塊:縦長)	⑧中越沖地震の 短周期レベル	⑨断層位置		
断層基準点	F-Ⅲ断層(西端)	北緯 (°)	35.56	—	—	—	35.54	追加地質調査結果に基づき設定
		東経 (°)	132.89	—	—	—	132.90	
	F-Ⅳ断層(西端)	北緯 (°)	35.56	—	—	—	35.53	追加地質調査結果に基づき設定
		東経 (°)	132.66	—	—	—	132.66	
	F-Ⅴ断層(西端)	北緯 (°)	35.56	—	—	—	35.56	追加地質調査結果に基づき設定
		東経 (°)	132.46	—	—	—	132.46	
走向	F-Ⅲ断層(F-①断層)	θ (°)	53.4	—	—	—	39.8	追加地質調査結果に基づき設定
	F-Ⅳ断層(F-②断層)	θ (°)	89.6	—	—	—	86.4	追加地質調査結果に基づき設定
	F-Ⅴ断層	θ (°)	89.6	—	—	—	100.7	追加地質調査結果に基づき設定
断層評価長さ	L (km)	48	—	—	—	53	追加地質調査結果に基づき設定	
断層上端長さ	- (km)	48.48	—	—	—	53.81	断層評価長さ及び断層傾斜角に基づき設定	
断層下端長さ	- (km)	52.76	—	—	—	61.10	断層評価長さ及び断層傾斜角に基づき設定	
断層傾斜角	δ (°)	70	—	—	—	—	追加調査結果及び敷地周辺の横ずれ断層の傾斜角等に基づき設定	
断層上端深さ	H (km)	2.0	—	—	—	—	地震発生層の検討結果に基づき設定	
断層幅	W (km)	19.17	—	—	—	—	地震発生層及び断層傾斜角の検討結果に基づき設定	
断層面積	S (km ²)	970.4	—	—	—	1101.4	S=L×W	
破壊伝播様式	-	放射状	—	—	—	—	レシビに基づき、放射状の破壊伝播を設定	
S波速度	Vs (m/s)	3570	—	—	—	—	地震発生層のS波速度から設定	
破壊伝播速度	Vr (m/s)	2570	3110	2570	—	—	①,②,⑤,⑥,⑦,⑧,⑨ケース: Vr=0.72Vs Geller(1976) ④ケース: Vr=0.87Vs 宮腰ほか(2005)	
剛性率	μ (N/m ²)	3.47×10 ¹⁰	—	—	—	—	μ=ρ×Vs ²	
密度	ρ (kg/m ³)	2720	—	—	—	—	ρ=1.2475+0.399Vp-0.026Vp ² , Vp=1.73Vs Ludwig et al.(1970)	
地震モーメント	M ₀ (Nm)	5.24×10 ¹⁸	—	—	—	6.75×10 ¹⁸	M ₀ =[S/(4.24×10 ⁻¹¹)] ² 入倉・三宅(2001)	
モーメントマグニチュード	M _w	7.1	—	—	—	7.2	M _w =(LogM ₀ -9)/1.5 (Kanamori, 1977)	
気象庁マグニチュード	M	7.6	—	—	—	7.7	M=(LogL+2.9)/0.6 (松田, 1975)	
平均すべり量	D (cm)	7.7	—	—	—	7.8	M=(LogM ₀ -17.72)/1.17 (武村, 1990)	
		155.7	—	—	—	176.7	D=M ₀ /(μ・S)	
すべり角	- (°)	180	—	150	180	—	①,②,④,⑥,⑦,⑧,⑨ケース: レシビに基づき、右横ずれ断層のすべり角を設定 ⑤ケース: 突進断層による地震の不確かさと同様のすべり角を設定	
平均応力降下量	Δσ (MPa)	3.1	—	—	—	—	Fujii & Matsu'ura(2000)	
高周波遮断限界周波数	fmax (Hz)	8.3	—	—	—	—	香川ほか(2003)	
短周期レベル	A (Nm/s ²)	1.98×10 ¹⁹	—	—	—	2.16×10 ¹⁹	A=2.46×10 ¹⁷ ×M ₀ ^{1/3} 壇ほか(2001)	
Q値	-	72.0×10 ⁰⁶	—	—	—	—	敷地及び敷地周辺における地震観測記録に基づき設定	
セグメント全体	断層評価長さ	L ₁ (km)	18	—	—	—	19	追加地質調査結果に基づき設定
	断層上端長さ	- (km)	18.00	—	—	—	19.09	断層評価長さ及び断層傾斜角に基づき設定
	断層下端長さ	- (km)	18.00	—	—	—	19.91	断層評価長さ及び断層傾斜角に基づき設定
	面積	S ₁ (km ²)	345.1	—	—	—	373.9	S ₁ =L ₁ ×W
	地震モーメント	M ₀₁ (Nm)	1.52×10 ¹⁹	—	—	—	1.82×10 ¹⁹	M ₀₁ =M ₀ ×S ₁ ^{1/3} /(S ₁ ^{1/3} +S ₂ ^{1/3}) ^{1.5}
	平均すべり量	D ₁ (cm)	127.3	—	—	—	140.2	D ₁ =M ₀₁ /(μ・S ₁)
全アスペリティ	面積	S ₂₁ (km ²)	75.9	—	—	—	82.3	S ₂₁ =0.22×S ₁ Somerville et al.(1999)
	モデル面積	- (km ²)	76.7	—	⑥ケース: 82.0 ⑦ケース: 76.7	76.7	86.3	—
	面積比(S ₂₁ /S ₁)	-	0.220	—	—	—	—	Somerville et al.(1999)に基づく断層面積に対するアスペリティ総面積の比
	地震モーメント	M ₀₂₁ (Nm)	6.70×10 ¹⁸	—	—	—	7.99×10 ¹⁸	M ₀₂₁ =μD ₂₁ S ₂₁
	平均すべり量	D ₂₁ (cm)	254.6	—	—	—	280.3	D ₂₁ =ξ×D ₁ , ξ=2.0
	応力降下量	Δσ ₂₁ (MPa)	14.1	—	—	—	—	Δσ ₂₁ =(S ₁ /S ₂₁)×Δσ Madariaga(1979)
背景領域	面積	S ₃₁ (km ²)	269.1	—	—	—	291.6	S ₃₁ =S ₁ -S ₂₁
	モデル面積	- (km ²)	268.4	—	⑥ケース: 263.1 ⑦ケース: 268.4	268.4	287.6	—
	地震モーメント	M ₀₃₁ (Nm)	8.53×10 ¹⁸	—	—	—	1.02×10 ¹⁹	M ₀₃₁ =M ₀₁ -M ₀₂₁
	平均すべり量	D ₃₁ (cm)	91.4	—	—	—	100.6	D ₃₁ =M ₀₃₁ /(μ・S ₃₁)
実効応力	σ ₂₁ (MPa)	2.39	—	—	⑥ケース: 2.09 ⑦ケース: 2.25	2.39	σ ₂₁ =(D ₂₁ /W ₂₁)/(D ₂₁ /W ₂₁)×Δσ ₂₁ 壇ほか(2002)	

断層パラメータ 2/3

■ F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震の断層パラメータ(地震動評価ケース: ①, ②, ④~⑨)

断層パラメータ(その2)

項目	①基本震源モデル ②破壊開始点		不確かさを考慮したケース					設定根拠	
			④破壊伝播速度	⑤すべり角	⑥アスベリティ (一塊: 横長) ⑦アスベリティ (一塊: 縦長)	⑧中越沖地震の 短周期レベル	⑨断層位置		
セグメント全体	断層評価長さ	L_2 (km)	30	—	—	—	—	34	追加地質調査結果に基づき設定
	断層上端長さ	— (km)	30.48	—	—	—	—	34.72	断層評価長さ及び断層傾斜角に基づき設定
	断層下端長さ	— (km)	34.76	—	—	—	—	41.19	断層評価長さ及び断層傾斜角に基づき設定
	面積	S_2 (km ²)	625.3	—	—	—	—	727.6	$S_2=L_2 \times W$
	地震モーメント	M_{02} (Nm)	3.71×10^{19}	—	—	—	—	4.93×10^{19}	$M_{02}=M_0 \times S_2^{1.5}/(S_1^{1.5}+S_2^{1.5})$
全アスベリティ	平均すべり量	D_2 (cm)	171.4	—	—	—	—	195.5	$D_2=M_{02}/(\mu \cdot S_2)$
	面積	S_{a2} (km ²)	137.6	—	—	—	—	160.1	$S_{a2}=0.22 \times S_2$ Somerville et al.(1999)
	モデル面積	— (km ²)	140.6	—	—	⑥ケース: 140.6 ⑦ケース: 138.5	140.6	161.9	—
	面積比(S_{a2}/S_2)	—	0.220	—	—	—	—	—	Somerville et al.(1999)に基づく断層面積に対するアスベリティ総面積の比
	地震モーメント	M_{0a2} (Nm)	1.63×10^{19}	—	—	—	—	2.17×10^{19}	$M_{0a2}=\mu D_2 S_{a2}$
第一アスベリティ	平均すべり量	D_{a2} (cm)	342.7	—	—	—	—	391.1	$D_{a2}=\xi \times D_2, \xi=2.0$
	応力降下量	$\Delta \sigma_{a2}$ (MPa)	14.1	—	—	—	—	—	$\Delta \sigma_{a2}=(S_2/S_{a2}) \times \Delta \sigma$ Madariaga(1979)
	面積	S_{a21} (km ²)	100.0	—	—	—	100.0	116.4	$S_{a21}=S_{a2} \times (16/22)$ 入倉・三宅(2001)
	モデル面積	— (km ²)	102.2	—	—	—	102.2	117.2	—
	地震モーメント	M_{0a21} (Nm)	1.33×10^{19}	—	—	—	1.33×10^{19}	1.76×10^{19}	$M_{0a21}=M_{0a2} \times S_{a21}^{1.5}/(S_{a21}^{1.5}+S_{a22}^{1.5})$
第二アスベリティ	平均すべり量	D_{a21} (cm)	383.3	—	—	—	383.3	437.3	$D_{a21}=M_{0a21}/(\mu \cdot S_{a21})$
	応力降下量	$\Delta \sigma_{a21}$ (MPa)	14.1	—	—	—	14.1	—	$\Delta \sigma_{a21}=\Delta \sigma_{a2}$
	面積	S_{a22} (km ²)	37.5	—	—	—	37.5	43.7	$S_{a22}=S_{a2} \times (6/22)$ 入倉・三宅(2001)
	モデル面積	— (km ²)	38.3	—	—	—	38.3	44.7	—
	地震モーメント	M_{0a22} (Nm)	3.05×10^{18}	—	—	—	3.05×10^{18}	4.05×10^{18}	$M_{0a22}=M_{0a2} \times S_{a22}^{1.5}/(S_{a21}^{1.5}+S_{a22}^{1.5})$
背景領域	平均すべり量	D_{a22} (cm)	234.7	—	—	—	234.7	267.8	$D_{a22}=M_{0a22}/(\mu \cdot S_{a22})$
	応力降下量	$\Delta \sigma_{a22}$ (MPa)	14.1	—	—	—	14.1	—	$\Delta \sigma_{a22}=\Delta \sigma_{a2}$
	面積	S_{a2} (km ²)	487.7	—	—	—	—	567.5	$S_{a2}=S_2-S_{a2}$
	モデル面積	— (km ²)	484.7	—	—	⑥ケース: 484.7 ⑦ケース: 486.8	484.7	565.7	—
	地震モーメント	M_{0a2} (Nm)	2.08×10^{19}	—	—	—	—	2.76×10^{19}	$M_{0a2}=M_{02}-M_{0a21}$
実効応力	σ_{a2} (MPa)	2.36	—	—	⑥ケース: 2.53 ⑦ケース: 2.64	2.36	2.55	2.55	①,②,④,⑤,⑧,⑨ケース: $\sigma_{a2}=(D_{a2}/W_0) \cdot (\pi^{0.5}/D_{a2}) \cdot r_{a2} \cdot \sum \gamma_{a2}^2 \cdot \Delta \sigma_{a2}$ 壇ほか(2002) ⑥,⑦ケース: $\sigma_{a2}=(D_{a2}/W_0) \cdot (D_{a2}/W_0) \times \Delta \sigma_{a2}$ 壇ほか(2002)

断層パラメータ 3/3

■ F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震の断層パラメータ(地震動評価ケース: ③)

断層パラメータ

項目		③断層傾斜角	設定根拠	
断層基準点	F-Ⅲ断層(西端)	北緯 (°) 35.56 東経 (°) 132.89	追加地質調査結果に基づき設定	
	F-Ⅳ断層(西端)	北緯 (°) 35.56 東経 (°) 132.66	追加地質調査結果に基づき設定	
走向	F-Ⅲ断層	θ (°) 53.4	追加地質調査結果に基づき設定	
	F-Ⅳ断層	θ (°) 89.6	追加地質調査結果に基づき設定	
断層評価長さ	F-Ⅲ断層	θ (°) 89.6	追加地質調査結果に基づき設定	
	F-Ⅴ断層	θ (°) 89.6	追加地質調査結果に基づき設定	
断層上端長さ	L (km)	48	追加地質調査結果に基づき設定	
断層下端長さ	- (km)	49.87	断層評価長さ及び断層傾斜角に基づき設定	
断層傾斜角	δ (°)	66.73	断層評価長さ及び断層傾斜角に基づき設定	
断層上端深さ	H (km)	35	追加地質調査結果に基づき設定	
断層幅	W (km)	2.0	地震発生層の検討結果に基づき設定	
断層面積	S (km ²)	31.5	地震発生層及び断層傾斜角の検討結果に基づき設定	
破壊伝播様式	-	1836.5	S=L×W	
S波速度	Vs (m/s)	-	放射状	
破壊伝播速度	Vr (m/s)	3570	地震発生層のS波速度から設定	
剛性率	μ (N/m ²)	2570	Vr=0.72Vs Geller(1976)	
密度	ρ (kg/m ³)	3.47×10 ¹⁰	μ=ρ×Vs ²	
地震モーメント	M ₀ (Nm)	2720	ρ=1.2475+0.399Vp-0.026Vp ² , Vp=1.73Vs Ludwig et al.(1970)	
モーメントマグニチュード	M _w	1.84×10 ²⁰	M ₀ =S×10 ¹⁷ Murotani et al.(2015)	
気象庁マグニチュード	M	7.4	M _w =(LogM ₀ -9.1)/1.5 (Kanamori, 1977)	
平均すべり量	D (cm)	7.6	M=(LogL+2.9)/0.6 (松田, 1975)	
平均応力降下量	Δσ (MPa)	8.2	M=(LogM ₀ -17.72)/1.17 (武村, 1990)	
高周波連断限界周波数	fmax (Hz)	3.1	Fujii & Matsu'ura(2000)	
短周期レベル	A (Nm/s ²)	8.3	香川ほか(2003)	
Q値	-	3.01×10 ¹⁹	A=2.46×10 ¹⁷ ×M ₀ ^{1/3} 壇ほか(2001)	
セグメント全体	断層評価長さ	L ₁ (km)	72.0×10 ¹⁹	敷地及び敷地周辺における地震観測記録に基づき設定
	断層上端長さ	- (km)	18	追加地質調査結果に基づき設定
全アスぺリティ	断層下端長さ	- (km)	18.00	断層評価長さ及び断層傾斜角に基づき設定
	面積	S ₁ (km ²)	18.00	断層評価長さ及び断層傾斜角に基づき設定
背景領域	地震モーメント	M _{0s1} (Nm)	567.0	S ₁ =L ₁ ×W
	平均すべり量	D _{s1} (cm)	5.67×10 ¹⁹	M _{0s1} =M ₀ ×S ₁ /(S ₁ +S ₂)
西側セグメント	すべり角	- (°)	288.5	D _{s1} =M _{0s1} /(μ×S ₁)
	面積	S _{s1} (km ²)	180	S _{s1} =S ₁ -S ₂
全アスぺリティ	モデル面積	- (km ²)	124.7	S _{s1} =0.22×S ₁ Somerville et al.(1999)
	面積比(S _{s1} /S ₁)	-	126.0	S _{s1} =0.22×S ₁ Somerville et al.(1999)
背景領域	地震モーメント	M _{0s2} (Nm)	442.3	M _{0s2} =μ×D _{s2} ×S _{s2}
	平均すべり量	D _{s2} (cm)	411.0	D _{s2} =ξ×D _{s1} , ξ=2.0
西側セグメント	すべり角	- (°)	14.1	Δσ _{s1} =(S ₁ /S _{s1})×Δσ Madariaga(1979)
	面積	S _{s2} (km ²)	207.1	面積
全アスぺリティ	モデル面積	- (km ²)	207.1	モデル面積
	面積比(S _{s2} /S ₂)	-	207.1	面積比(S _{s2} /S ₂)
背景領域	地震モーメント	M _{0s3} (Nm)	1.61	M _{0s3} =M ₀₁ -M _{0s1}
	平均すべり量	D _{s3} (cm)	1.61	D _{s3} =M _{0s3} /(μ×S _{s3})
西側セグメント	すべり角	- (°)	1.61	σ _{s3} =(D _{s3} /W _{s3})/(D _{s1} /W _{s1})×Δσ _{s1} 壇ほか(2002)
	実効応力	σ _{s3} (MPa)	1.61	

項目		③断層傾斜角	設定根拠
セグメント全体	断層評価長さ	L ₂ (km)	30
	断層上端長さ	- (km)	31.87
全アスぺリティ	断層下端長さ	- (km)	48.73
	面積	S ₂ (km ²)	1269.5
東側セグメント	地震モーメント	M _{0s2} (Nm)	1.27×10 ²⁰
	平均すべり量	D _{s2} (cm)	288.5
全アスぺリティ	すべり角	- (°)	180
	面積	S _{s2} (km ²)	279.3
東側セグメント	モデル面積	- (km ²)	280.4
	面積比(S _{s2} /S ₂)	-	0.220
全アスぺリティ	地震モーメント	M _{0s2} (Nm)	5.59×10 ¹⁹
	平均すべり量	D _{s2} (cm)	576.9
東側セグメント	応力降下量	Δσ _{s2} (MPa)	14.1
	面積	S _{s21} (km ²)	203.1
全アスぺリティ	モデル面積	- (km ²)	204.8
	地震モーメント	M _{0s21} (Nm)	4.54×10 ¹⁹
東側セグメント	平均すべり量	D _{s21} (cm)	645.1
	応力降下量	Δσ _{s21} (MPa)	14.1
全アスぺリティ	面積	S _{s22} (km ²)	76.2
	モデル面積	- (km ²)	75.6
東側セグメント	地震モーメント	M _{0s22} (Nm)	1.04×10 ¹⁹
	平均すべり量	D _{s22} (cm)	395.1
全アスぺリティ	応力降下量	Δσ _{s22} (MPa)	14.1
	面積	S _{s2} (km ²)	990.2
東側セグメント	モデル面積	- (km ²)	989.1
	地震モーメント	M _{0s2} (Nm)	7.11×10 ¹⁹
全アスぺリティ	平均すべり量	D _{s2} (cm)	207.1
	実効応力	σ _{s2} (MPa)	2.05

応答スペクトルの適用性検討

- F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震の応答スペクトルに基づく地震動評価においては、Mを松田(1975)により算定するが、念のため、安全側に設定した地震発生層に基づく断層面積により算出した地震モーメントを用い、武村(1990)により算定したケースについても検討した結果、耐専式で設定されている極近距離との関係から、基本震源モデル(松田(1975)及び武村(1990)によりMを算定)及び断層傾斜角の不確かさを考慮したケース(松田(1975)によりMを算定)に耐専式を適用し、その他のケースは適用範囲外と判断した。
- 耐専式の評価としては、内陸地殻内地震のため、Noda et al.(2002)による内陸補正を考慮して地震動レベルを低減できるが、本評価では安全側の評価として内陸補正を考慮せずに実施する。なお、耐専式を適用範囲外としたケースについては、断層モデルを用いた手法による地震動評価により検討する。

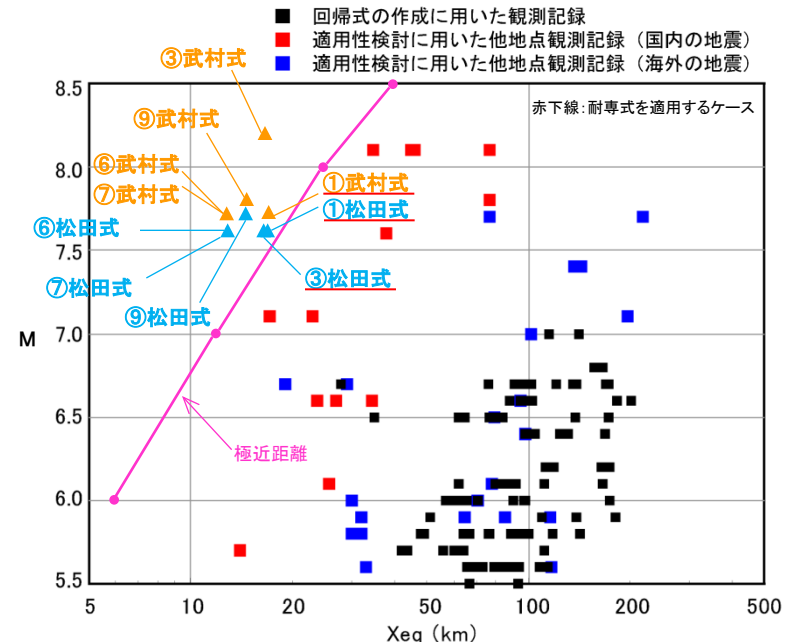
F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震の諸元(M及びXeq)

地震動評価ケース	M		Xeq (km)
	松田式※1	武村式※2	
①基本震源モデル	<u>7.6</u>	<u>7.7</u>	17.3
③断層傾斜角の不確かさを考慮したケース	<u>7.6</u>	8.2	16.7
⑥アスペリティの不確かさを考慮したケース(一塊:横長)	7.6	7.7	13.1
⑦アスペリティの不確かさを考慮したケース(一塊:縦長)	7.6	7.7	13.2
⑨断層位置の不確かさを考慮したケース	7.7	7.8	15.0

※1 松田(1975)による断層長さとの関係式により算定

※2 武村(1990)による地震モーメントとの関係式により算定

赤下線: 耐専式を適用するケース

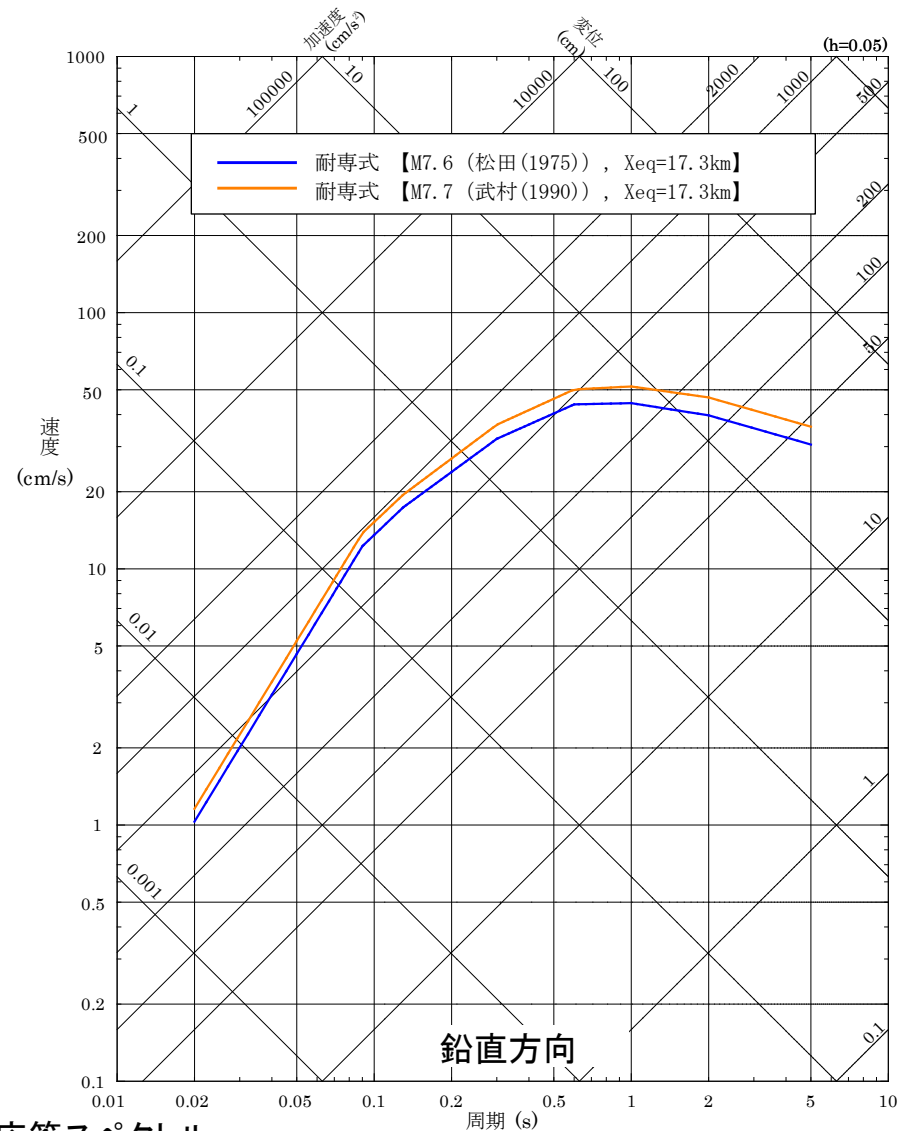
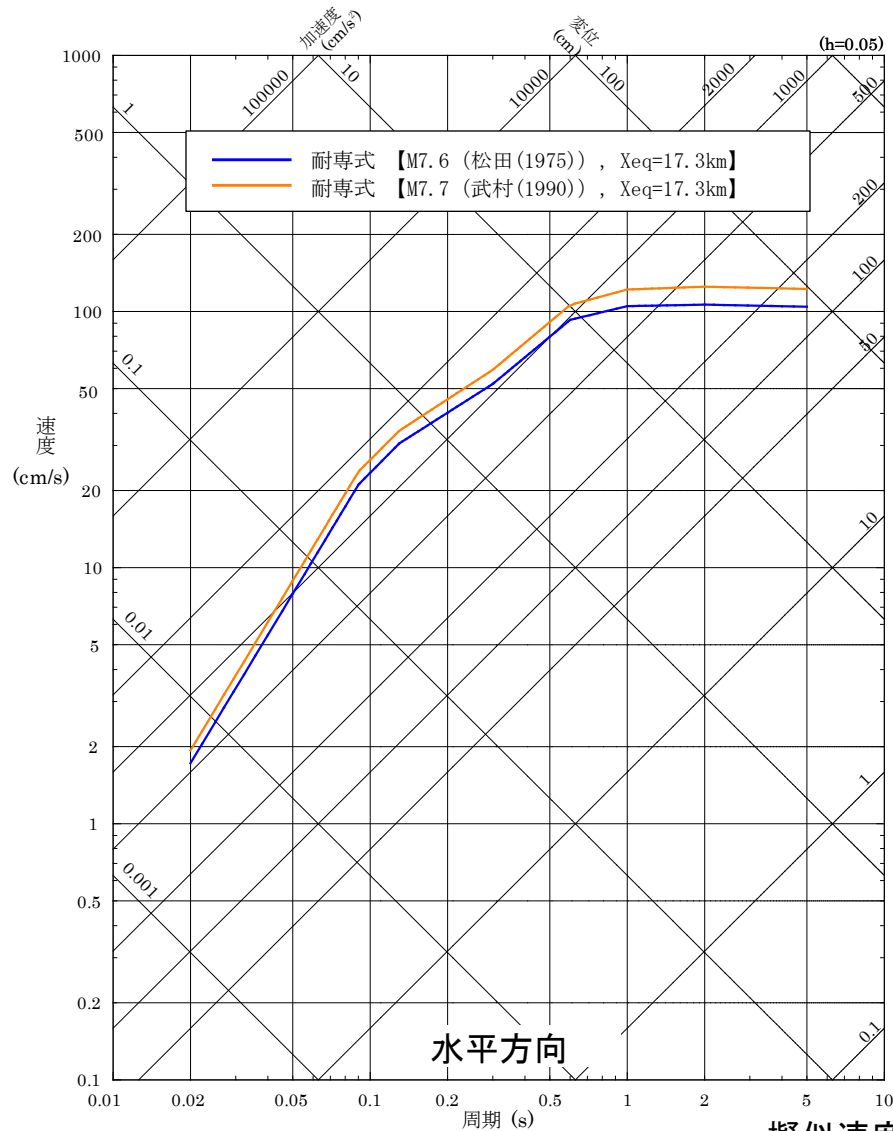


[平成21年5月22日原安委意見交換会資料(東京電力)に一部加筆。]

地震データの比較(M及び等価震源距離Xeq)

応答スペクトルの評価結果 1/2

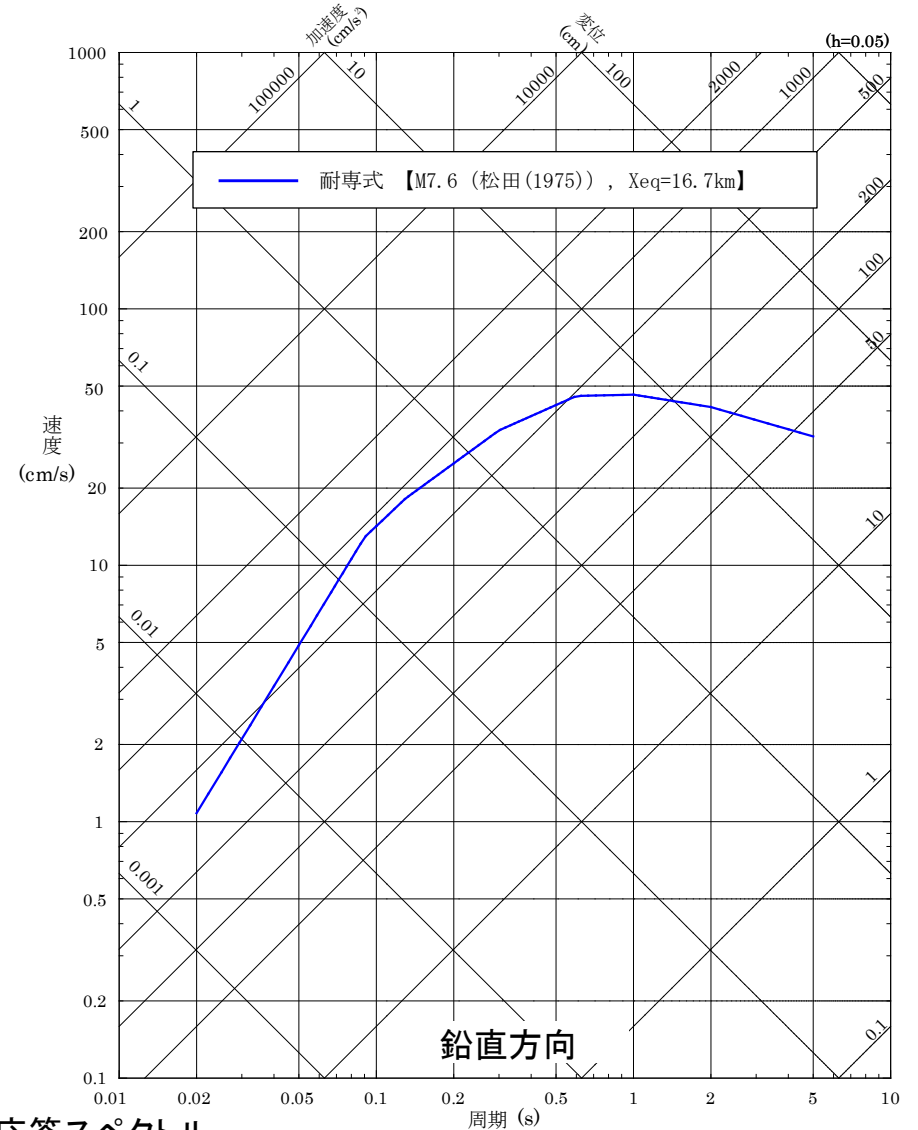
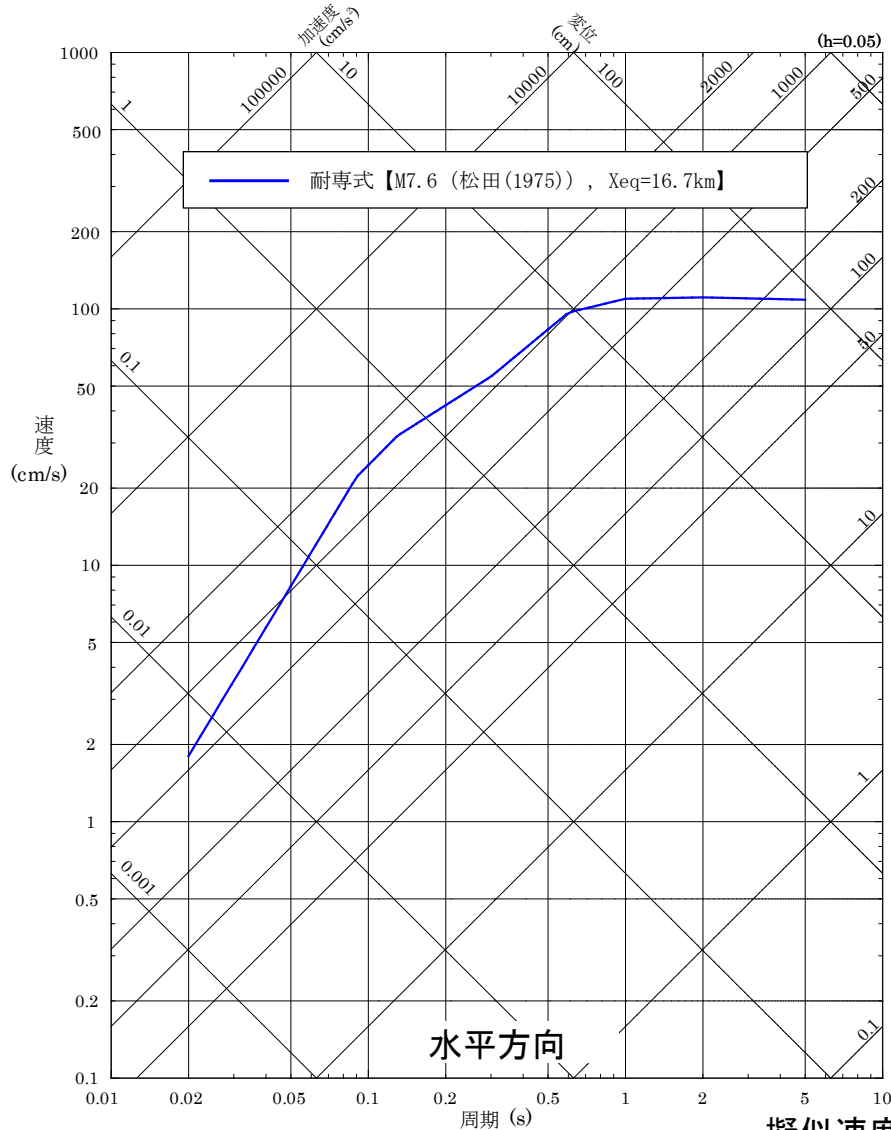
■ F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震の応答スペクトルに基づく地震動評価結果
 (①基本震源モデル)



擬似速度応答スペクトル

応答スペクトルの評価結果 2/2

■ F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震の応答スペクトルに基づく地震動評価結果
 (③断層傾斜角の不確かさを考慮したケース)



擬似速度応答スペクトル

4. 震源を特定せず策定する地震動

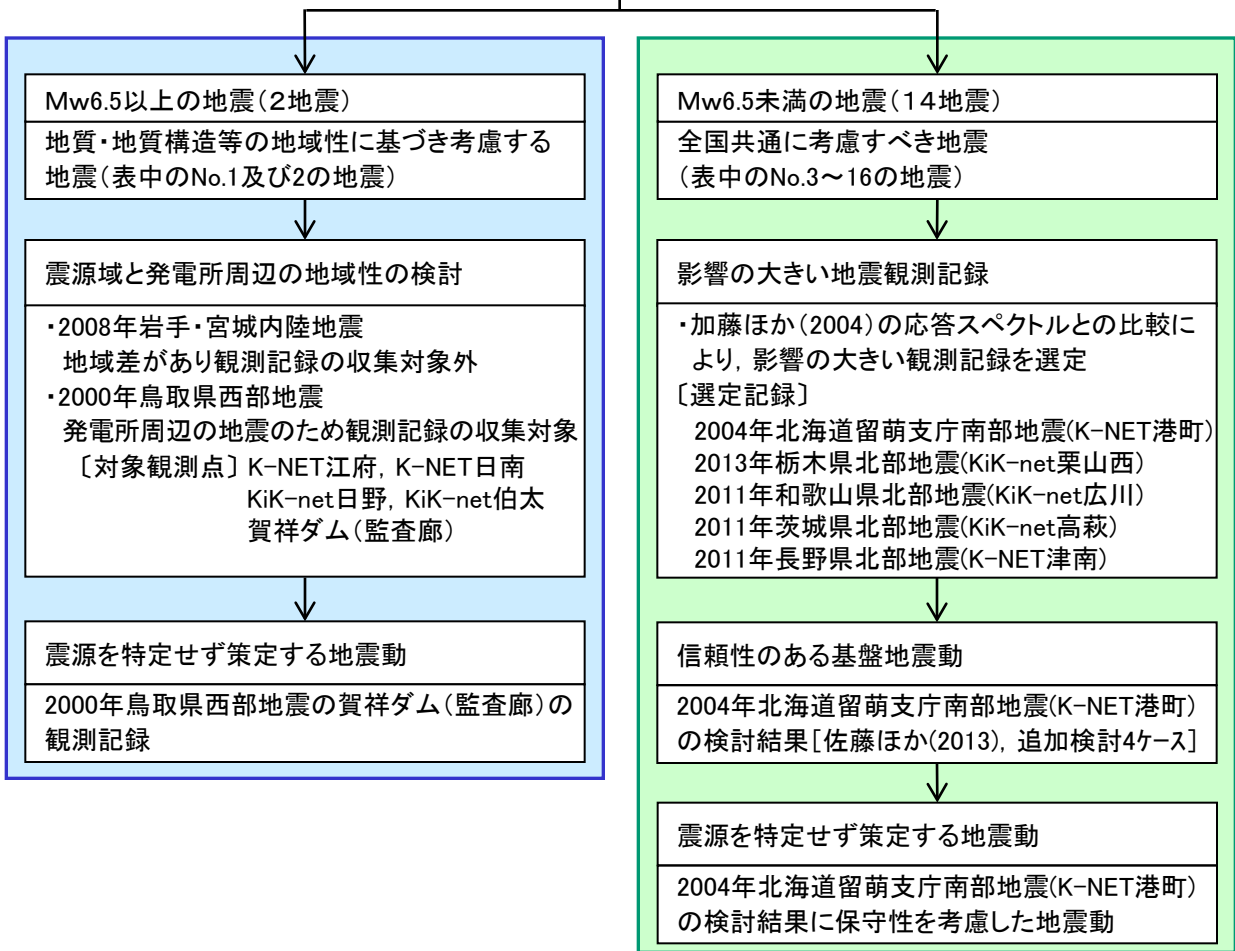
- 4. 1 Mw6.5以上の地震(2地震)に関する検討
- 4. 2 Mw6.5未満の地震(14地震)に関する検討
- 4. 3 「震源を特定せず策定する地震動」の策定

4. 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の検討概要

- 敷地周辺の状況等を十分考慮した詳細な調査を実施しても、なお敷地近傍において発生する可能性のある内陸地殻内の地震の全てを事前に評価しうるとは言い切れないとの観点から、「震源を特定せず策定する地震動」を考慮する。
- 審査ガイドでは、上記地震動として、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の収集を要求しており、例として示される16地震について、以下のフローのとおり検討した。
- なお、それ以外の地震については、加藤ほか(2004)による応答スペクトルで代表させた。

「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」に示される16地震



審査ガイドに示される16地震

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

■ Mw6.5以上の地震(2地震) ■ Mw6.5未満の地震(14地震)

原子力規制委員会(2013)「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」より抜粋

(1) 2008年岩手・宮城内陸地震

- 2008年岩手・宮城内陸地震の震源域周辺及び島根原子力発電所周辺における地質・地質構造等を整理した結果、両地域の地質・地質構造等の特徴が異なっていることから、2008年岩手・宮城内陸地震については観測記録の収集対象外とする。

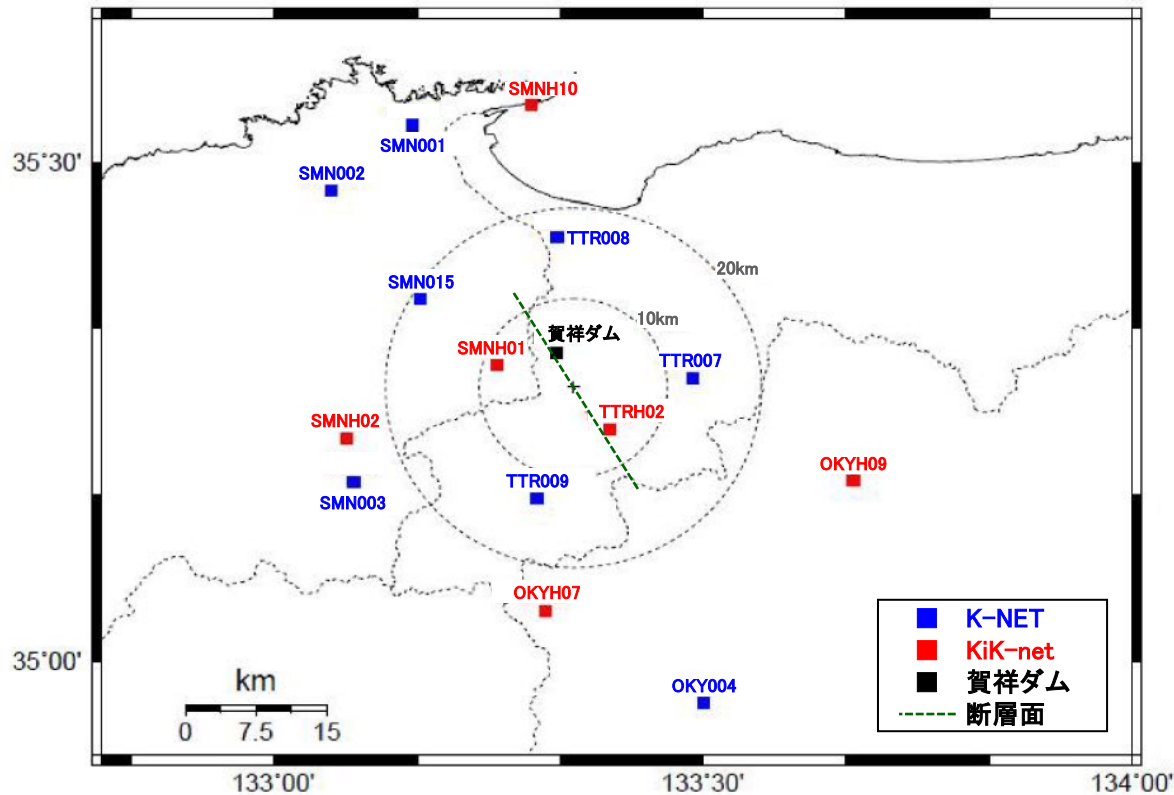
項目		2008年岩手・宮城内陸地震の震源域周辺	島根原子力発電所周辺
地質・地質構造		<ul style="list-style-type: none"> ・新第三紀以降の火山岩, 堆積岩が厚く分布 ・現在の応力場に調和的に褶曲・撓曲構造が発達 	<ul style="list-style-type: none"> ・主に新第三紀の堅固な堆積岩が厚く分布 ・現在の応力場に調和しない褶曲・撓曲構造が認められる
断層センス		逆断層が卓越	横ずれ断層が卓越
参考	ひずみ集中帯	ひずみ集中帯に位置	ひずみ集中帯ではない
	地震地体構造区分	東北日本弧外帯と内帯の境界	隠岐・対馬海域
	日本列島の変動タイプ	褶曲断層山脈に位置	曲隆山地に位置

(2) 2000年鳥取県西部地震

- 2000年鳥取県西部地震は、島根原子力発電所周辺地域で発生した地震であるため、震源近傍における観測記録を収集する。
- 収集対象としては、防災科学技術研究所のK-NET及びKiK-net観測点の観測記録のうち、以下の条件に適合するものとする。
 - ・ 断層最短距離が30km以内の観測点
 - ・ K-NET観測点はAVS30(Kanno et al.(2006))が500m/s程度以上の観測点
 - ・ KiK-net観測点は全ての地中観測点
- あわせて、本地震の震源直上に位置している賀祥ダム(監査廊)の観測記録も収集対象とする。

(2) 2000年鳥取県西部地震

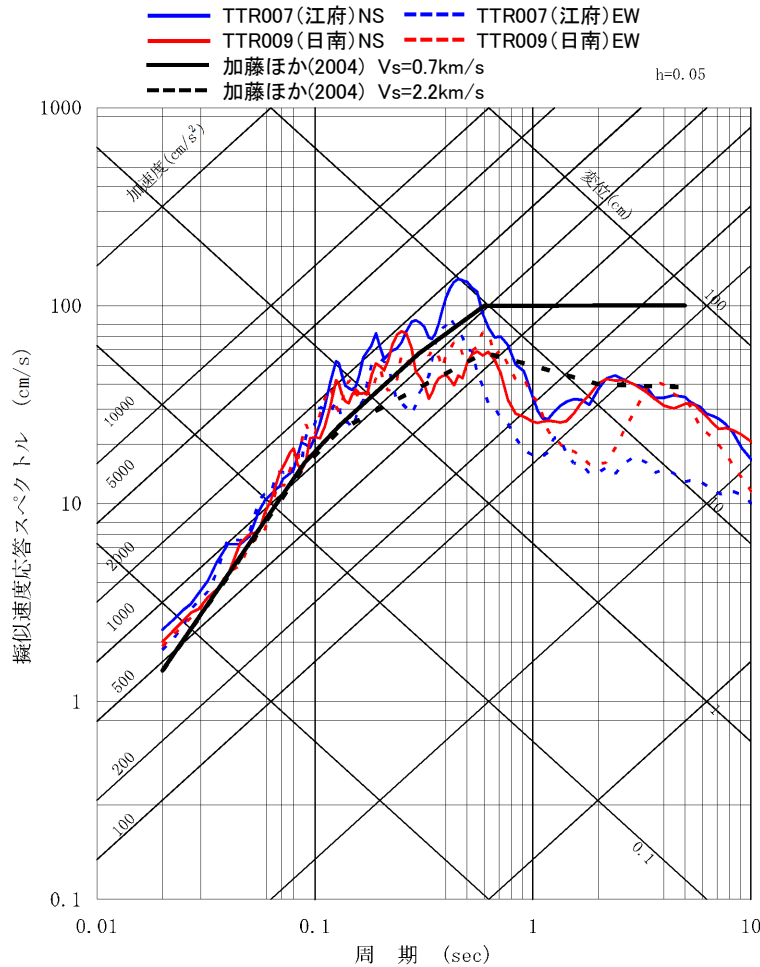
- 断層最短距離が30km以内の観測点としては、以下の15地点(K-NET観測点:8地点, KiK-net観測点:6地点, 賀祥ダム)である。
- K-NETの8観測点のうち, AVS30が500m/s程度と評価されるのは, TTR007(江府)及びTTR009(日南)であり, その他はAVS30が小さいため検討対象外とする。



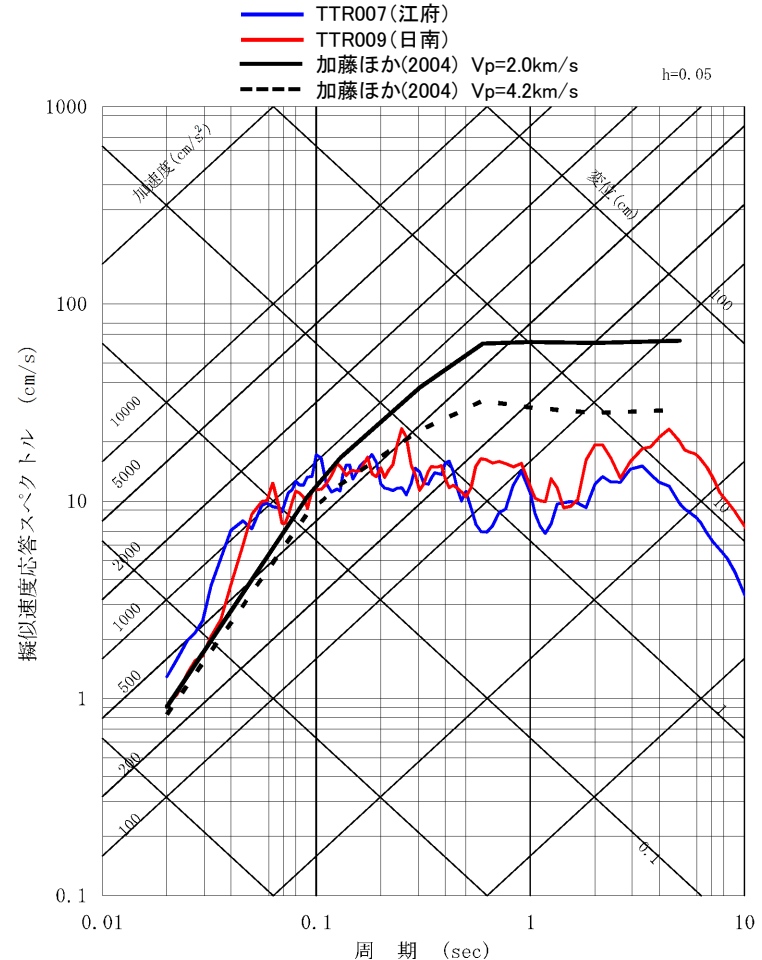
※断層面は地震調査研究推進本部(2002)による

(2) 2000年鳥取県西部地震

■ K-NET観測点のうち, AVS30が500m/s程度のTTR007(江府)及びTTR009(日南)の観測記録は, 加藤ほか(2004)の応答スペクトルを上回る。



水平方向

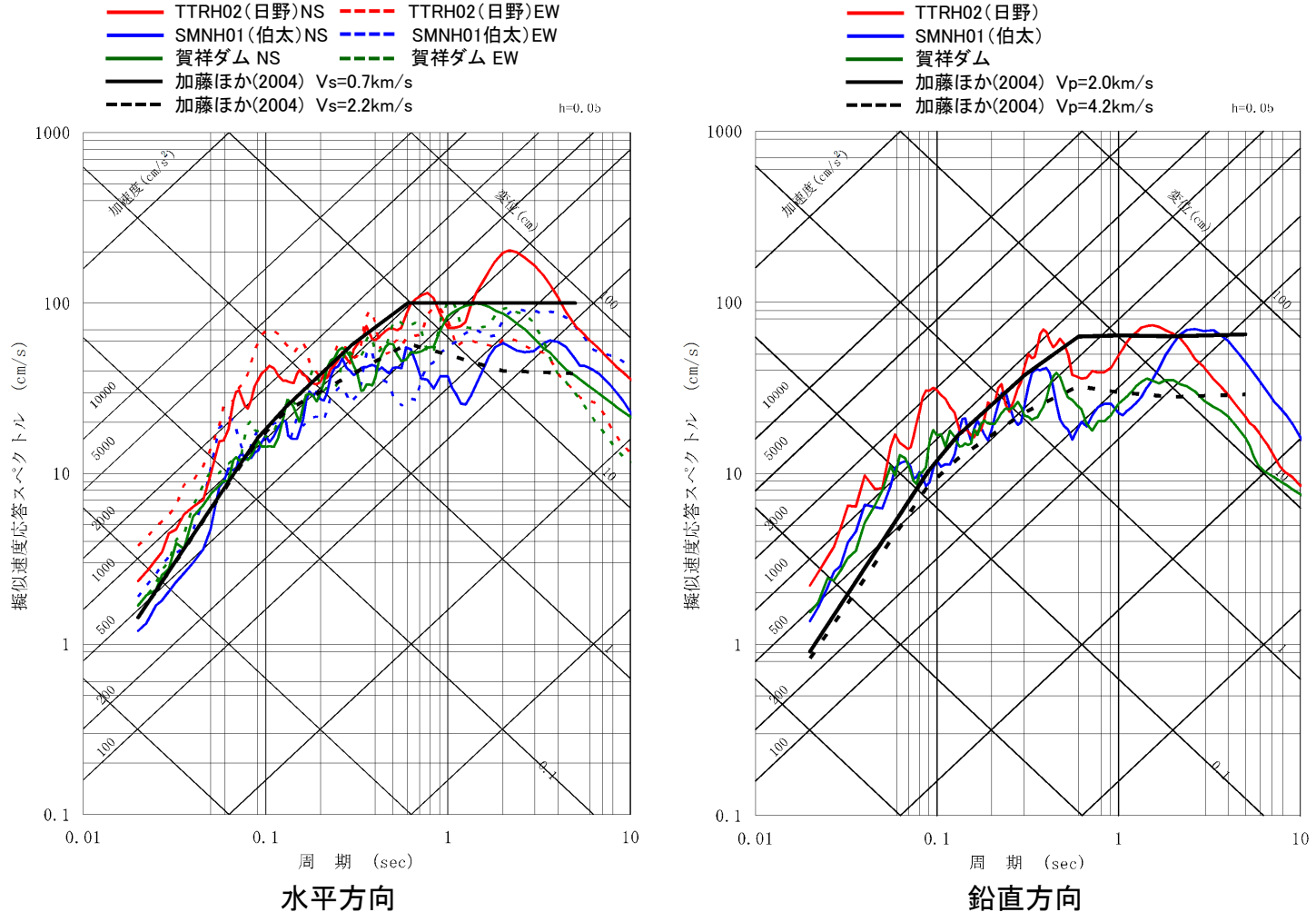


鉛直方向

K-NET各観測記録の応答スペクトルと加藤ほか(2004)の応答スペクトルの比較

(2) 2000年鳥取県西部地震

■ 2000年鳥取県西部地震の震源近傍における観測記録を収集し、島根原子力発電所の「震源を特定せず策定する地震動」として考慮している加藤ほか(2004)の応答スペクトルと比較したところ、TTRH02(日野), SMNH01(伯太)及び賀祥ダム(監査廊)の観測記録が加藤ほか(2004)の応答スペクトルを上回ったことから、それらの観測記録について詳細に検討を行う。



賀祥ダム(監査廊)等の観測記録の応答スペクトルと加藤ほか(2004)の応答スペクトルの比較

4. 震源を特定せず策定する地震動 4. 1 Mw6.5以上の地震(2地震)に関する検討

(2) 2000年鳥取県西部地震

- 震源近傍における防災科学技術研究所のK-NET及びKiK-net観測点の観測記録, 賀祥ダム(監査廊)の観測記録に基づく検討結果より, 賀祥ダム(監査廊)の観測記録で代表可能であることから, 賀祥ダム(監査廊)の観測記録を震源を特定せず策定する地震動として考慮する。

2000年鳥取県西部地震の観測記録を用いた基盤地震動の検討

		賀祥ダム(監査廊)	K-NET		KiK-net	
			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
	最大加速度値 ※()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	・観測記録のH/Vスペクトルより地盤の非線形性の影響は見られない	・観測記録のH/Vスペクトルより表層地盤の非線形性の影響が含まれる	・観測記録のH/Vスペクトルより表層地盤の非線形性の影響が含まれる	・地表観測記録には観測小屋の影響, 地中観測記録にはセンサー共振の影響が含まれる	・山添ほか(2004), センサー更新後の観測記録による検討に基づいて地中観測記録を再現
		○	×	×	×	○
観測点の地盤	地盤情報	・ダム堤体はVs=1.2~1.3km/sのCM級岩盤に設置	・解放基盤相当までの地盤情報無し	・解放基盤相当までの地盤情報無し	・KiK-netの地盤情報	・KiK-netの地盤情報
	地盤特性	・島根原子力発電所の解放基盤表面(Vs=1.52km/s)に比べて速度の遅い岩盤	・地盤モデルに関する既往の知見無し	・地盤モデルに関する既往の知見無し	・KiK-net地盤情報と観測記録に基づく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地盤情報と観測記録に基づく伝達関数は概ね整合している
		○	×	×	×	○
はぎとり解析	基盤地震動の推定	・非線形性の影響は見られない岩盤上の記録であり, 観測記録をそのまま解放基盤波として採用可能	・信頼性の高い地盤情報がないことから, 精度の良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, 精度の良い基盤地震動の推定は困難	・山添ほか(2004)により観測記録を一次元波動論では説明はできず, 精度の良い基盤地震動の推定は困難	・山添ほか(2004), センサー更新後の観測記録を用いた検討に基づいて島根原子力発電所の解放基盤相当の地震波を推定
		○	×	×	×	○※

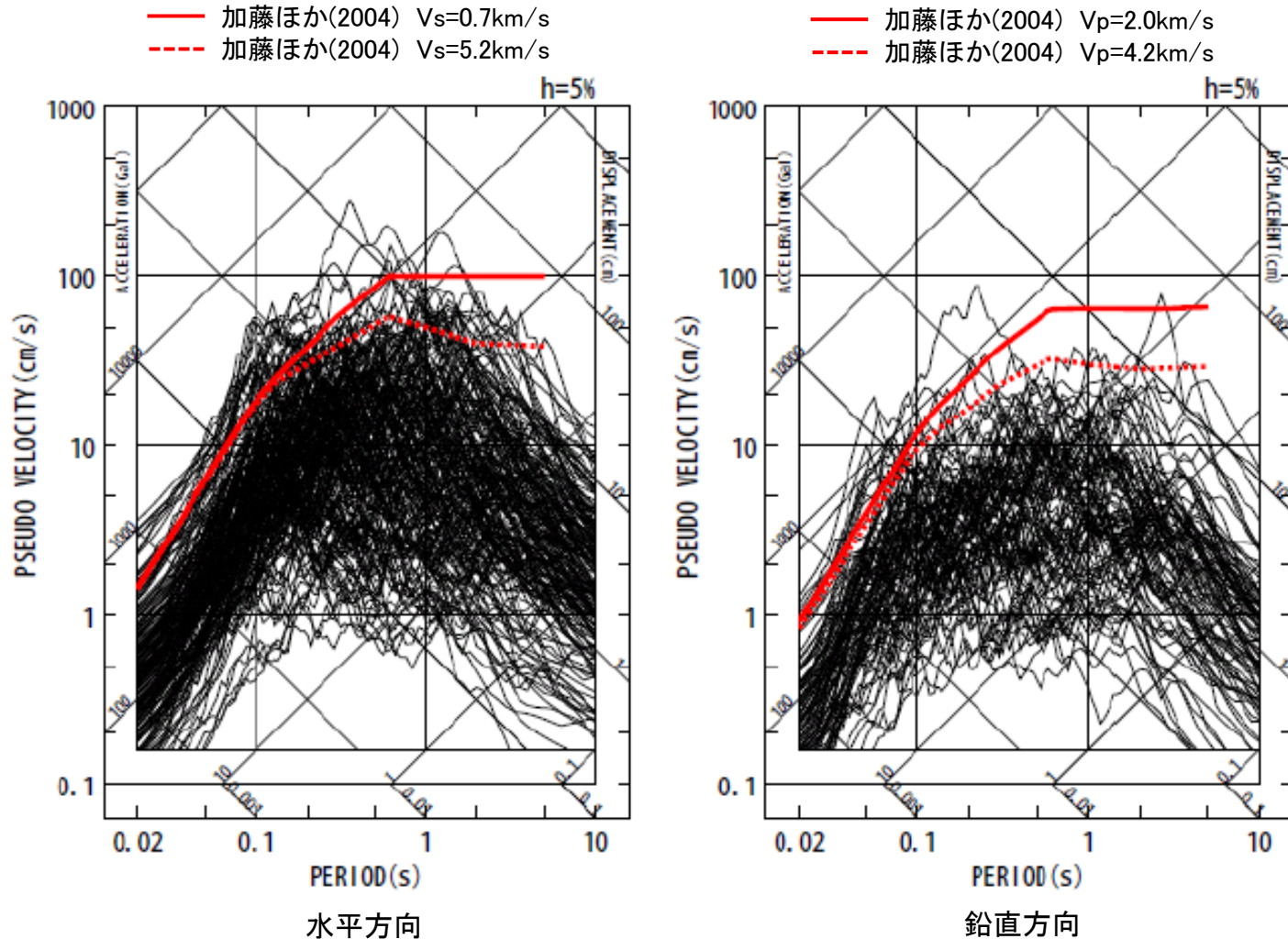
※解放基盤波の応答スペクトルの比較から, 賀祥ダム(監査廊)の観測記録で代表可能である。

観測記録の収集・整理

- 「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」において、震源を特定せず策定する地震動の収集対象とされている16地震のうち、Mw6.5未満の14地震を対象として、震源近傍における観測記録を収集する。
 - 収集対象としては、防災科学技術研究所のK-NET及びKiK-net観測点の観測記録のうち、以下の条件に適合するものとする。
 - ・ 断層最短距離(断層面が把握できていない地震は震源距離)が30km以内の観測点
 - ・ AVS30(Kanno et al.(2006))が500m/s以上の観測点(地盤条件が不明な観測点は全て収集対象に含める)
- 上記条件の震源近傍における観測記録を収集すると、観測記録は137記録となる。

観測記録の収集・整理

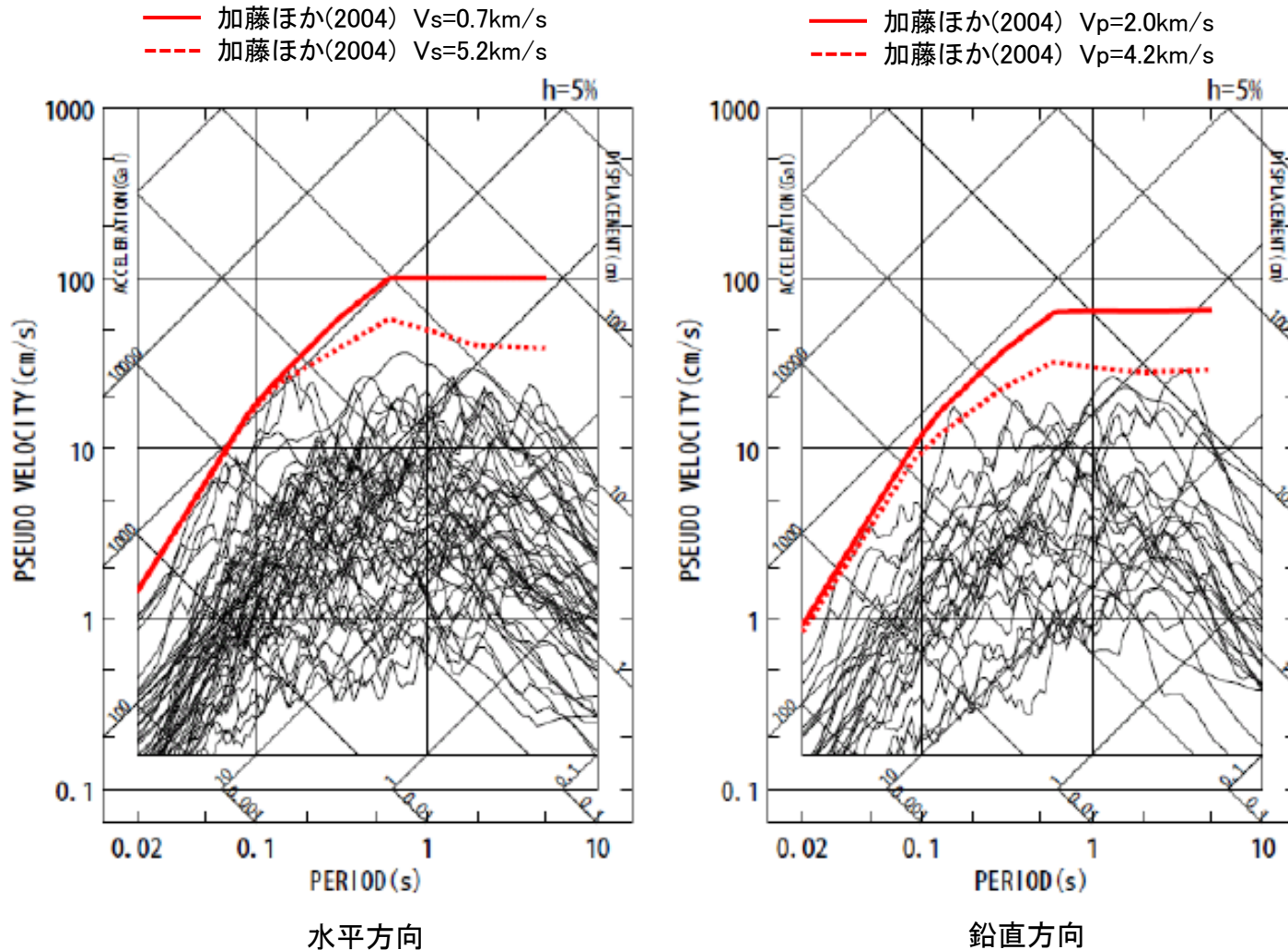
- 14地震の観測記録(地表)の応答スペクトルを重ね書き、加藤ほか(2004)の応答スペクトルと比較する。



14地震の観測記録(地表)の応答スペクトルと加藤ほか(2004)の応答スペクトル

観測記録の収集・整理

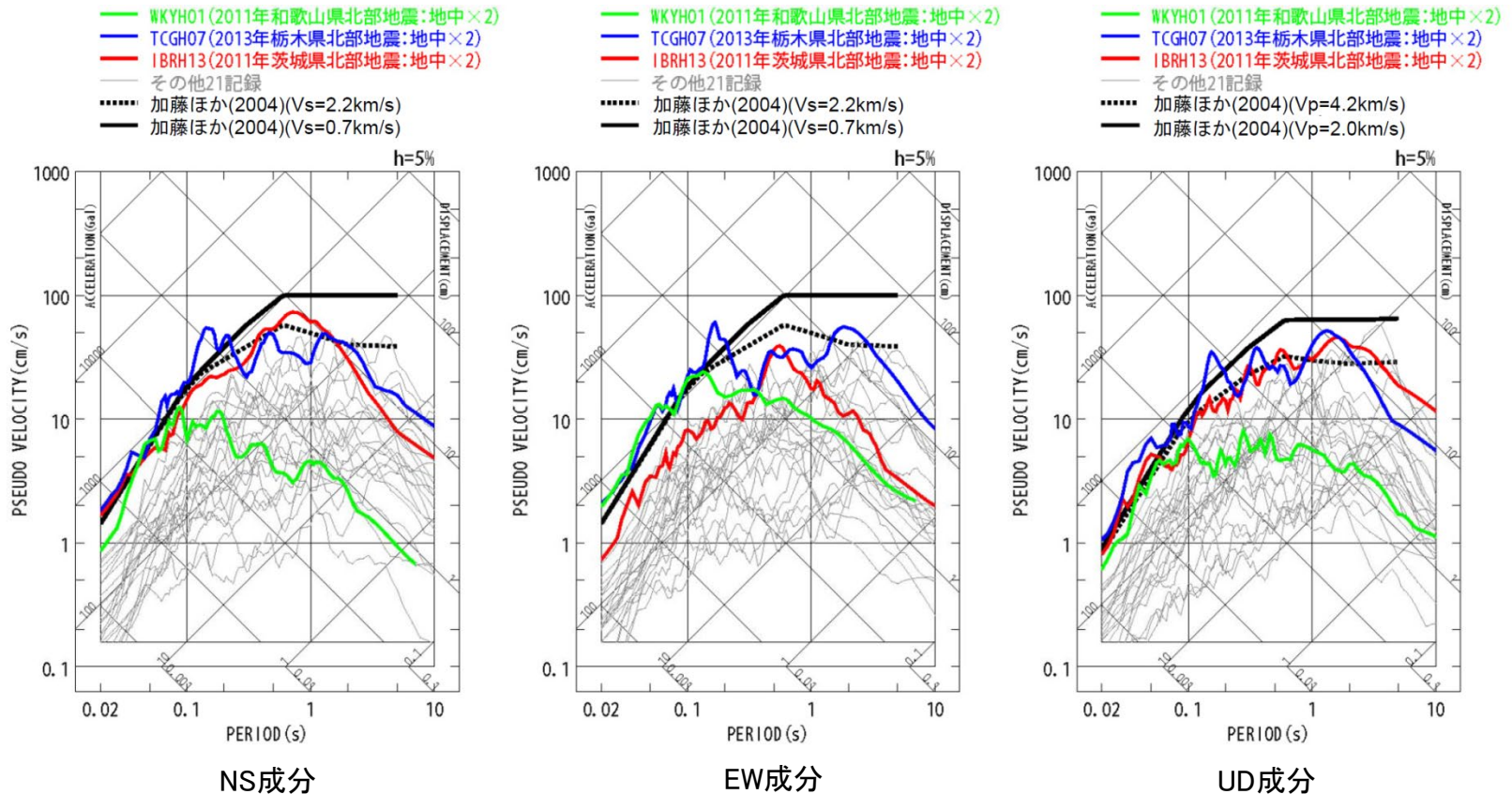
- 14地震の観測記録(地中)の応答スペクトルを重ね書き, 加藤ほか(2004)の応答スペクトルと比較する。



14地震の観測記録(地中)の応答スペクトルと加藤ほか(2004)の応答スペクトル

KiK-net観測点における基盤地震動

- 収集した観測記録のうち、敷地に与える影響が大きいと考えられる観測記録を用いて基盤地震動を検討する。
- KiK-net観測点の地中記録の2倍が基盤地震動に相当すると仮定し、加藤ほか(2004)の応答スペクトルと比較すると、2011年和歌山県北部地震・WKYH01(広川)、2013年栃木県北部地震・TCGH07(栗山西)、2011年茨城県北部地震・IBRH13(高萩)の観測記録が、加藤ほか(2004)の応答スペクトルを上回る。



14地震の観測記録(地中×2)の応答スペクトルと加藤ほか(2004)の応答スペクトル

Mw6.5未満の地震に関する検討(5地震)

- Mw6.5未満の14地震について、収集対象のK-NET及びKiK-net観測点における観測記録と加藤ほか(2004)の応答スペクトルを比較し、影響が大きいと考えられる5地震を選定し、それらの検討結果を以下に示す。
- 2004年北海道留萌支庁南部地震(K-NET港町)の観測記録については、信頼性のある基盤地震動が評価できたと考えられることから、震源を特定せず策定する地震動として考慮する。

Mw6.5未満の5地震の検討結果

		北海道留萌支庁南部地震 2004/12/14, 14:56, Mw5.7	栃木県北部地震 2013/02/25, 16:23, Mw5.8	和歌山県北部地震 2011/07/05, 19:18, Mw5.0	茨城県北部地震 2011/03/19, 18:56, Mw5.8	長野県北部地震 2011/03/12, 03:59, Mw6.2
観測点		HKD020(港町)	TCGH07(栗山西)	WKYH01(広川)	IBRH13(高萩)	NIG023(津南)
地盤モデル	使用モデル	・佐藤ほか(2013)のボーリング結果に基づく地盤モデル	・KiK-net観測記録に基づく地盤同定モデル	・KiK-net観測記録に基づく地盤同定モデル	・KiK-net観測記録に基づく地盤同定モデル	・地盤情報が少なく、地盤モデルを構築できない
	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減衰、方位依存性の影響が不明	・KiK-net地盤データと整合しない ・知見で指摘されている減衰の影響が不明	・観測記録の伝達関数及びKiK-net地盤データと整合しない ・知見で指摘されている減衰の影響が不明	・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	○	×	×	×	×
		—	・地盤モデルの改良 ・知見で指摘されている特性に係るデータの取得と影響度合いの評価	・地盤モデルの改良 ・知見で指摘されている特性に係るデータの取得と影響度合いの評価	・地盤モデルの改良 ・知見で指摘されている特性に係るデータの取得と影響度合いの評価	・地質調査、微動探査等による地盤情報の取得
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	・観測記録と整合	・はざとり解析の適用性が不明	・はざとり解析の適用性が不明	・はざとり解析の適用性が不明	・はざとり解析の適用性が不明
	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		○	×	×	×	×

2004年北海道留萌支庁南部地震

- 佐藤ほか(2013)では、K-NET港町観測点について、GL-6mまでの室内試験結果を考慮した非線形解析を行い(GL-6m以深は線形解析を仮定、減衰定数は1%に設定)、GL-41mの基盤面における基盤地震動を評価。
- 佐藤ほか(2013)の評価結果について妥当性を確認するため、以下の検討ケースを追加で実施。
 - ① 佐藤ほか(2013)の報告時点以降に、GL-6mからGL-41mまでの室内試験結果が得られたことから、その結果を用い、GL-41mまで非線形性を考慮して水平方向の基盤地震動を評価。
 - ② 不確かさを考慮した基盤地震動の評価として、GL-6mまで非線形、GL-6m以深は減衰定数を3%として水平方向の基盤地震動を評価。
 - ③ 佐藤ほか(2013)の報告時点以降に、PS検層の再測定結果が得られたことから、その結果を用い、地盤モデルを変更して鉛直方向の基盤地震動を評価(解析方法は佐藤ほか(2013)と同様)。
 - ④ K-NET港町観測点における地下水位の状況を踏まえ、GL-6mまではポアソン比一定、GL-6m以深は体積弾性率一定として鉛直方向の基盤地震動を評価。
- 上記の佐藤ほか(2013)及び検討ケース①～④の基盤地震動の評価結果※を以下に示す。

2004年北海道留萌支庁南部地震の基盤地震動の評価結果

	佐藤ほか (2013)	追加検討			
		ケース①	ケース②	ケース③	ケース④
水平方向	585cm/s ²	561cm/s ²	609cm/s ²	—	—
鉛直方向	296cm/s ²	—	—	306cm/s ²	262cm/s ²

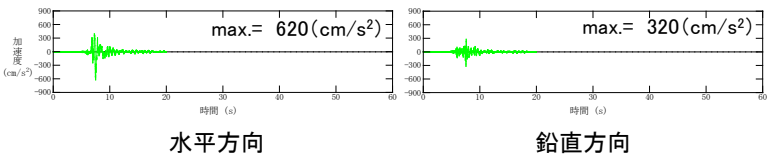
※島根原子力発電所の解放基盤表面におけるS波速度(1,520m/s)およびP波速度(3,240m/s)は、PS検層結果から得られているK-NET港町観測点の解放基盤表面相当のS波速度(938m/s)およびP波速度(2,215m/s)を上回っている。

- 以上の基盤地震動の検討結果のうち、最大加速度値は水平方向ではケース②(609cm/s²)、鉛直方向ではケース③(306cm/s²)が最も大きくなった。これらの基盤地震動について、原子力発電所の耐震性に求められる保守性を勘案し、加速度時刻歴波形を水平方向は620cm/s²、鉛直方向は320cm/s²に基準化(位相特性を変えずに振幅特性のみ変更)し、その地震動を震源を特定せず策定する地震動として考慮する。

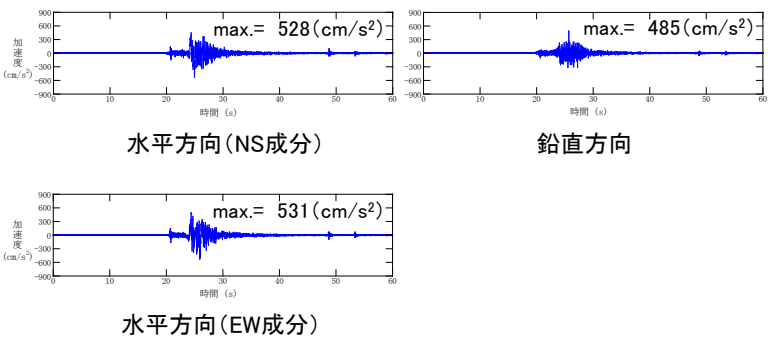
「震源を特定せず策定する地震動」の策定

■ 「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」に示される16地震の各観測記録の分析結果に基づき、震源を特定せず策定する地震動として、2000年鳥取県西部地震の賀祥ダム(監査廊)の観測記録及び2004年北海道留萌支庁南部地震(K-NET港町)の検討結果に保守性を考慮した地震動を設定するとともに、加藤ほか(2004)による応答スペクトルを設定する。

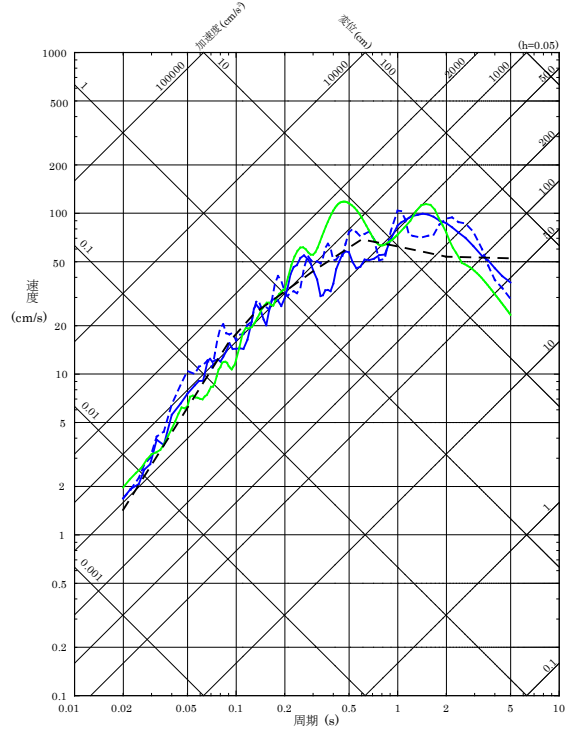
— 2004年北海道留萌支庁南部地震 (K-NET港町) 保守性考慮した地震動
— 2000年鳥取県西部地震 (賀祥ダム観測記録: NS成分)
- - - 2000年鳥取県西部地震 (賀祥ダム観測記録: EW成分)
- - - 加藤ほか、(2004) による応答スペクトル



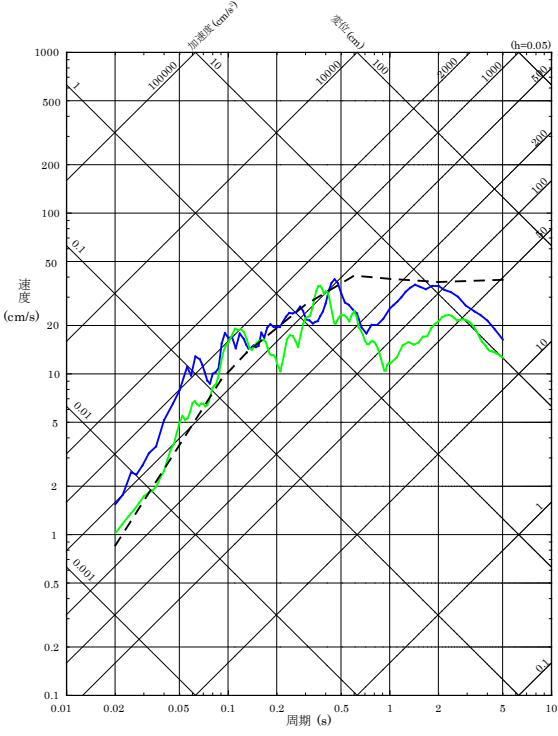
2004年北海道留萌支庁南部地震(K-NET港町)の検討結果に保守性を考慮した地震動



2000年鳥取県西部地震の賀祥ダム(監査廊)の観測記録
震源を特定せず策定する地震動の加速度時刻歴波形



水平方向



鉛直方向

震源を特定せず策定する地震動の応答スペクトル

5. 基準地震動の策定

- 5. 1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動
- 5. 2 震源を特定せず策定する地震動による基準地震動
- 5. 3 基準地震動の策定のまとめ

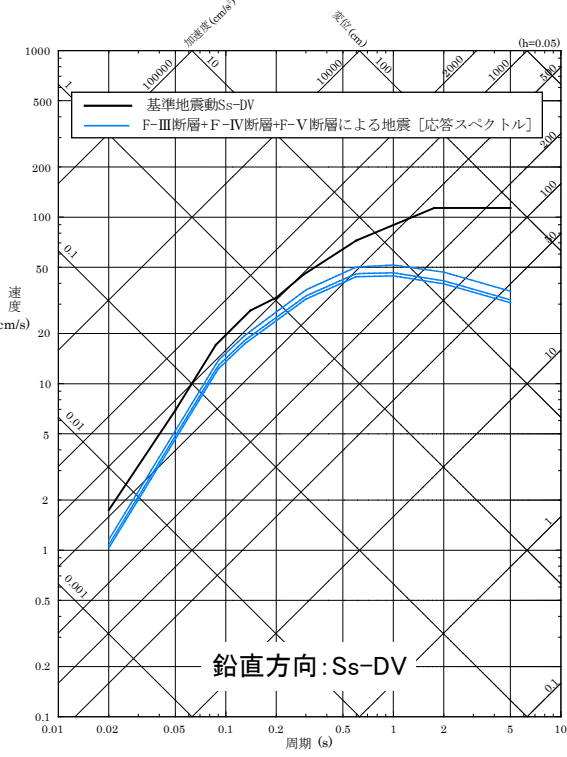
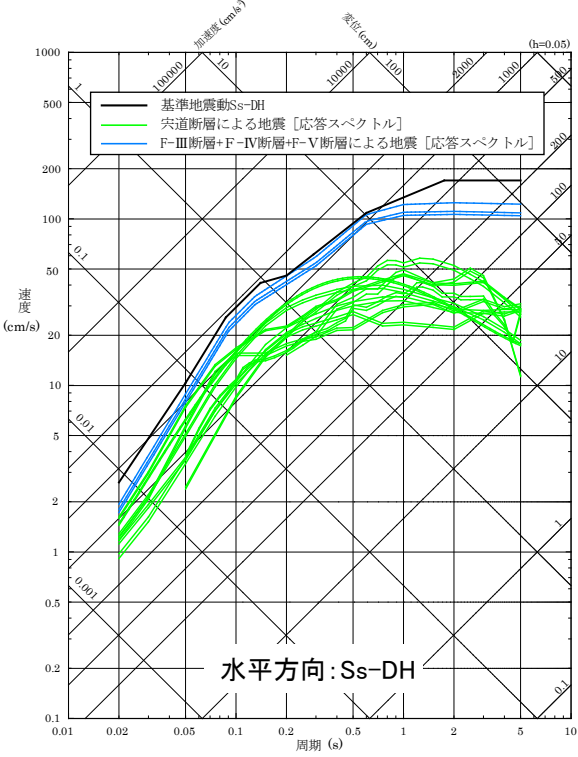
(1) 応答スペクトル手法による基準地震動 1/4

■ 審査ガイドでは、応答スペクトルに基づく手法による基準地震動は、検討用地震ごとに評価した応答スペクトルを下回らないように作成することを要求。



■ 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動として、検討用地震の応答スペクトル手法による地震動評価結果を包絡する基準地震動S_s-Dの設計用応答スペクトルを設定。この設計用応答スペクトルは、断層モデル手法による地震動評価結果を全て包絡させている。
 なお、鉛直方向の設計用応答スペクトルは、水平方向の2/3倍を下回らないように設定している。

S _s -D コントロール ポイント	周期(s)	0.020	0.050	0.087	0.14	0.20	0.29	0.60	1.75	5.00
	S _s -DH	速度 (cm/s)	2.611	10.35	25.62	41.22	45.63	61.16	108.5	170.0
S _s -DV	速度 (cm/s)	1.742	6.939	17.08	27.48	32.88	45.10	72.34	113.4	113.4



基準地震動S_s-D及び応答スペクトル手法による地震動評価結果の応答スペクトルの比較

(1) 応答スペクトル手法による基準地震動 2/4

- 基準地震動S_s-Dの設計用応答スペクトルに適合する模擬地震波は、乱数の位相を持つ正弦波の重ね合わせによって作成する。
- 振幅包絡線の経時的变化については、Noda et al.(2002)に基づき、以下に示す耐専式を適用する検討用地震の地震動評価ケースのうち、継続時間が長くなるように「F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震の基本震源モデル(M:武村(1990))」の諸元により設定する。なお、T_d(継続時間)は同ケースの算定結果[52.6(s)]よりも安全側に長く[60.0(s)]設定する。

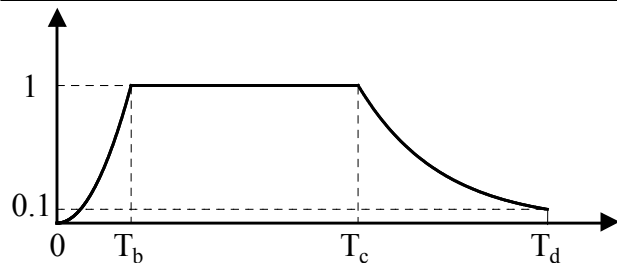
検討用地震のM, X_{eq}及び振幅包絡線の経時的变化

地震動評価ケース		マグニチュード M	等価震源距離 X _{eq} (km)	振幅包絡線の経時的变化(s)			
				T _b	T _c	T _c -T _b	T _d (継続時間)
F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層 +F-Ⅴ断層による地震	基本震源モデル (M:松田(1975))	7.6	17.3	7.4	26.5	19.1	49.4
	基本震源モデル (M:武村(1990))	7.7	17.3	8.3	28.7	20.4	52.6
	断層傾斜角の不確かさを考慮したケース (M:松田(1975))	7.6	16.7	7.4	26.5	19.1	49.0
(参考) 央道断層 による地震	基本震源モデル (M:松田(1975)及び武村(1990))	7.5	8.8	6.6	24.4	17.8	39.7

※央道断層による地震は耐専式の適用外としているが、参考に基本震源モデルについて記載。

基準地震動S_s-Dの模擬地震波の振幅包絡線の経時的变化

模擬地震波	最大加速度 (cm/s ²)	マグニチュード M	等価震源距離 X _{eq} (km)	振幅包絡線の経時的变化(s)		
				T _b	T _c	T _d (継続時間)
S _s -DH	820	7.7	17.3	8.3	28.7	60.0
S _s -DV	547					



$$T_b = 10^{0.5M - 2.93}$$

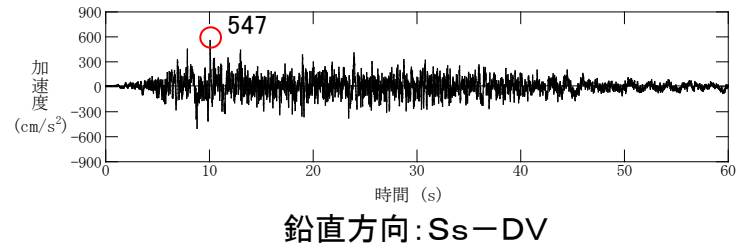
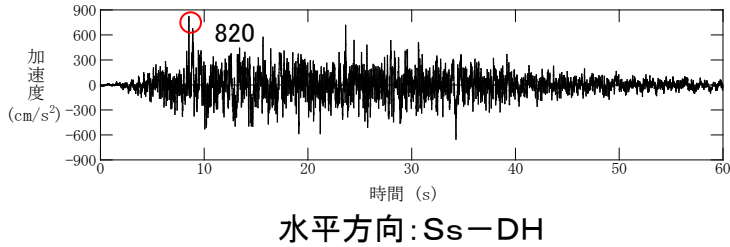
$$T_c - T_b = 10^{0.3M - 1.0}$$

$$T_d - T_c = 10^{0.17M + 0.541 \log X_{eq} - 0.6}$$

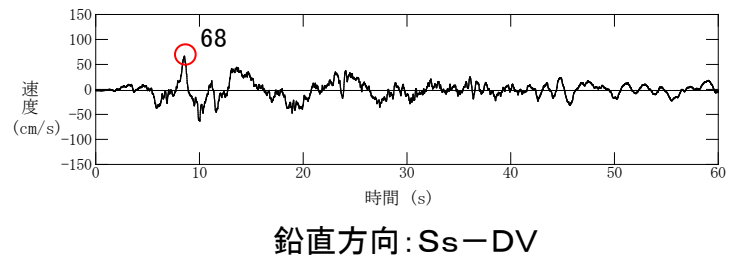
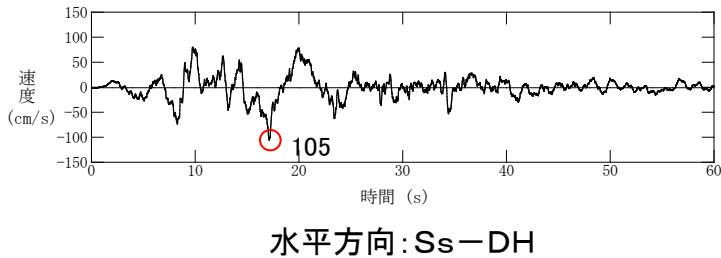
$$\text{振幅包絡線} : E(T) = \begin{cases} (T/T_b)^2 & 0 \leq T \leq T_b \\ 1.0 & T_b \leq T \leq T_c \\ e^{\frac{\ln 0.1}{T_d - T_c}(T - T_c)} & T_c \leq T \leq T_d \end{cases}$$

(1) 応答スペクトル手法による基準地震動 3/4

■ 基準地震動 S_s-D の模擬地震波の加速度時刻歴波形

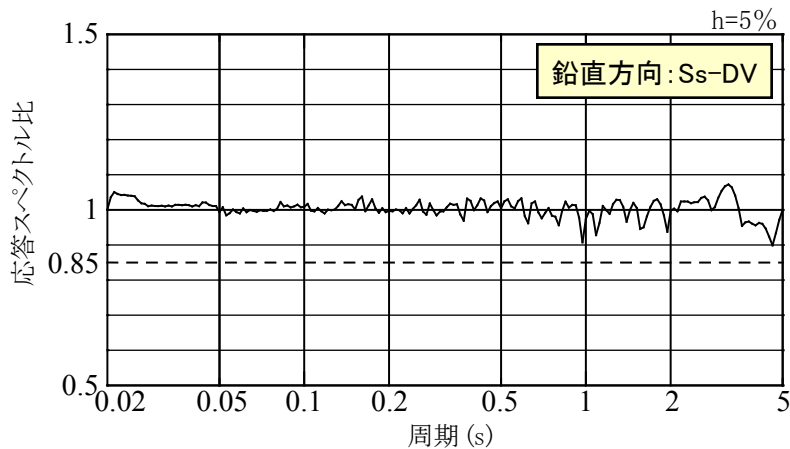
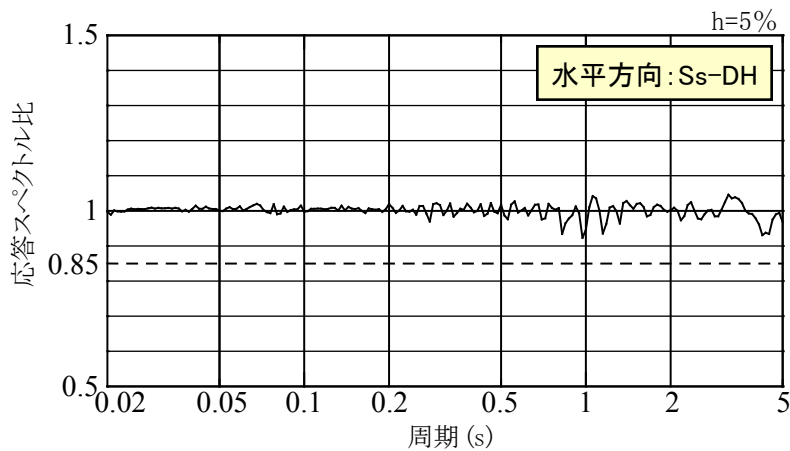


■ 基準地震動 S_s-D の模擬地震波の速度時刻歴波形



(1) 応答スペクトル手法による基準地震動 4/4

- 作成した基準地震動S_s-Dの模擬地震波が、日本電気協会(2008)に示される以下の適合度の条件を満足していることを確認した。
 - ・ 目標とする応答スペクトル値に対する模擬地震波の応答スペクトル値の比が全周期帯で0.85以上
 - ・ 応答スペクトル強さの比(SI比)が1.0以上



基準地震動S_s-Dの応答スペクトル比

応答スペクトル強さの比(SI比)

応答スペクトル	SI比 (周期0.1~2.5秒)
S _s -DH	1.00
S _s -DV	1.00

$$SI比: \frac{\int_{0.1}^{2.5} S_v(T) dt}{\int_{0.1}^{2.5} \bar{S}_v(T) dt}$$

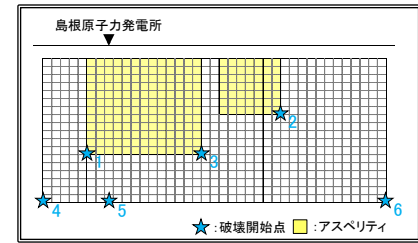
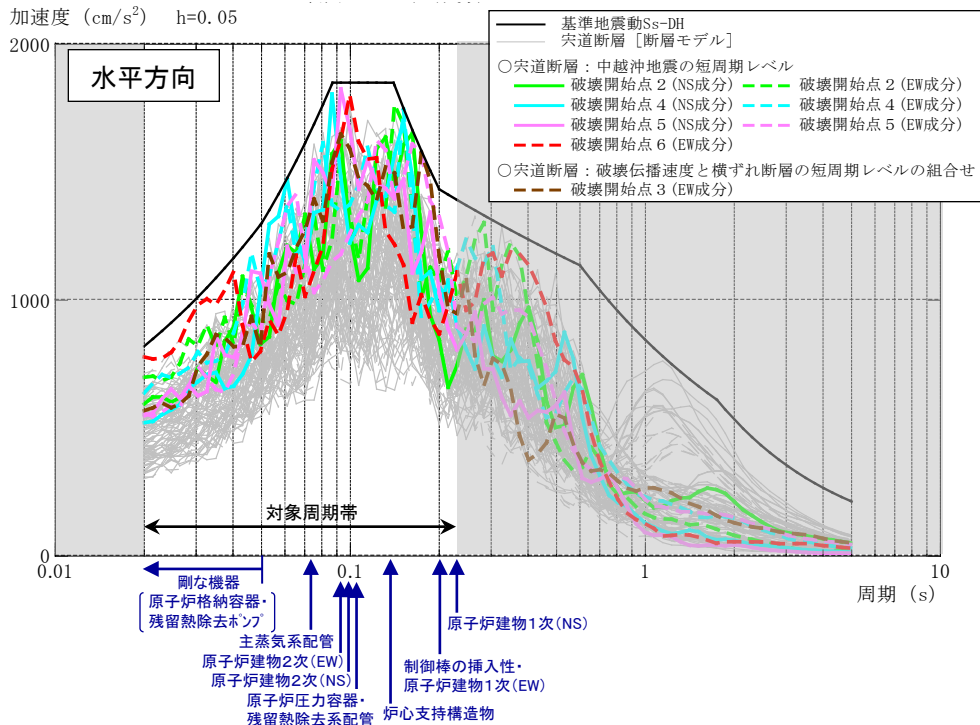
SI : 応答スペクトル強さ(減衰定数h=5%)
 S_v(T) : 設計用模擬地震波の速度応答スペクトル(cm/s)
 $\bar{S}_v(T)$: 目標とする設計用速度応答スペクトル(cm/s)
 T : 固有周期(秒)

(2) 断層モデル手法による基準地震動(検討に用いる地震動の選定)

- ◆ 断層モデル手法による基準地震動の検討において、震源が敷地に近い地震については断層モデルを用いた手法を重視する観点から、宍道断層による地震の断層モデル手法による地震動評価結果のうち、施設の耐震設計に最も重要な水平方向の応答スペクトルのピークに着目し、下図に示す対象周期帯において、基準地震動 S_s-D の設計用応答スペクトルに近接しているものを選定する。ここで、対象周期帯とは、原子炉を「止める」、「冷やす」、放射性物質を「閉じ込める」ための主要な施設の固有周期が存在する、原子炉建物の固有周期より短周期側の周期帯のことをいう。
- ◆ 選定した宍道断層による地震の水平方向の以下の8波に対応する「中越沖地震の短周期レベルの不確かさを考慮したケース:破壊開始点2, 4, 5, 6の4ケース」と「破壊伝播速度と横ずれ断層の短周期レベルの不確かさの組合せケース:破壊開始点3の1ケース」の合計5ケースの破壊開始点の水平方向(NS, EW成分)の地震動評価結果を選定し、地震動の諸特性を検討する。

【選定した宍道断層による地震の水平方向の地震動評価結果】

- ・中越沖地震の短周期レベルの不確かさを考慮したケース
破壊開始点(成分): 2(NS), 2(EW), 4(NS), 4(EW), 5(NS), 5(EW), 6(EW) → 2, 4, 5, 6
- ・破壊伝播速度と横ずれ断層の短周期レベルの不確かさの組合せケース
破壊開始点(成分): 3(EW) → 3



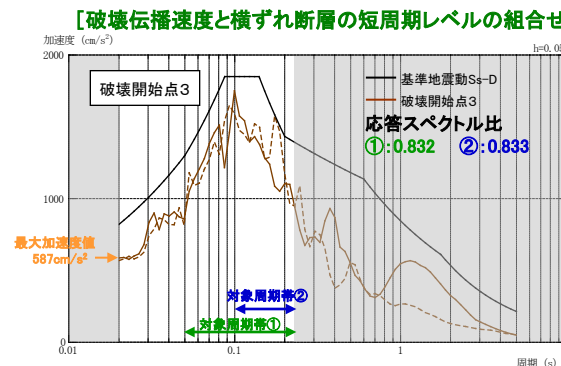
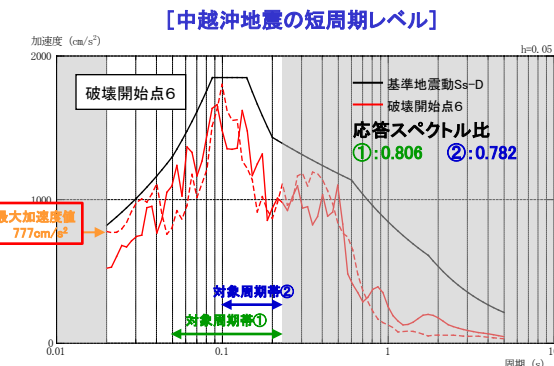
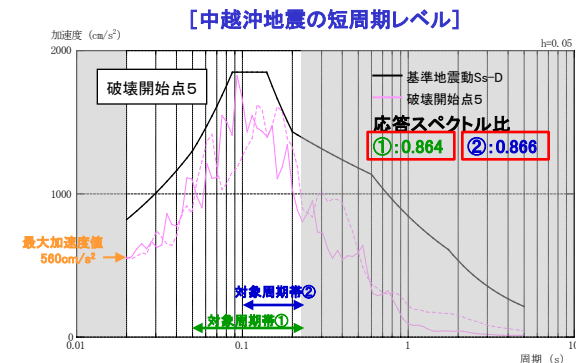
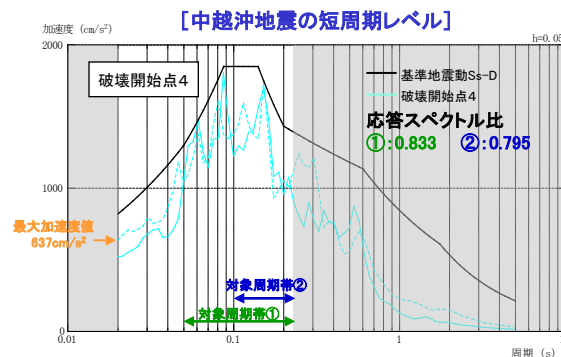
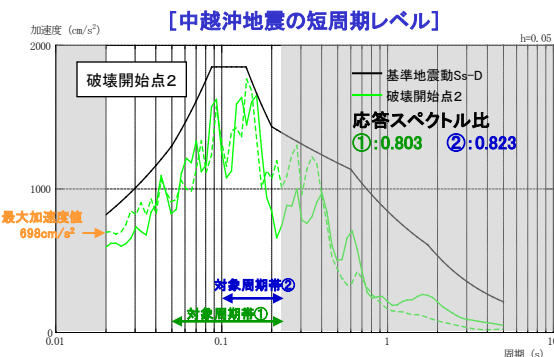
<宍道断層による地震の破壊開始点>

(2) 断層モデル手法による基準地震動(最大加速度値と応答スペクトルに関する検討: 宍道断層(水平方向))

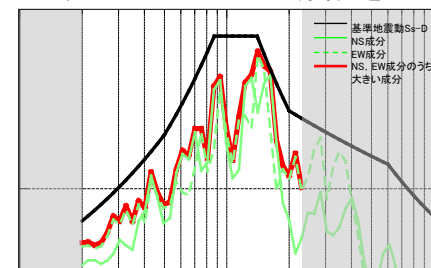
- ◆ 選定した宍道断層による地震の水平方向の断層モデル手法による地震動評価結果(5ケースの破壊開始点)について、最大加速度値は「中越沖地震の短周期レベルの不確かさを考慮したケースの破壊開始点6」が最も大きい。また、応答スペクトル比は対象周期帯①、②とも「中越沖地震の短周期レベルの不確かさを考慮したケースの破壊開始点5」が最も大きい。

対象周期帯①: 剛な機器を除く主要な施設の固有周期全体を考慮した周期帯

対象周期帯②: 原子炉建物の1次、2次固有周期及び炉内構造物等の主要な施設の固有周期を考慮した周期帯

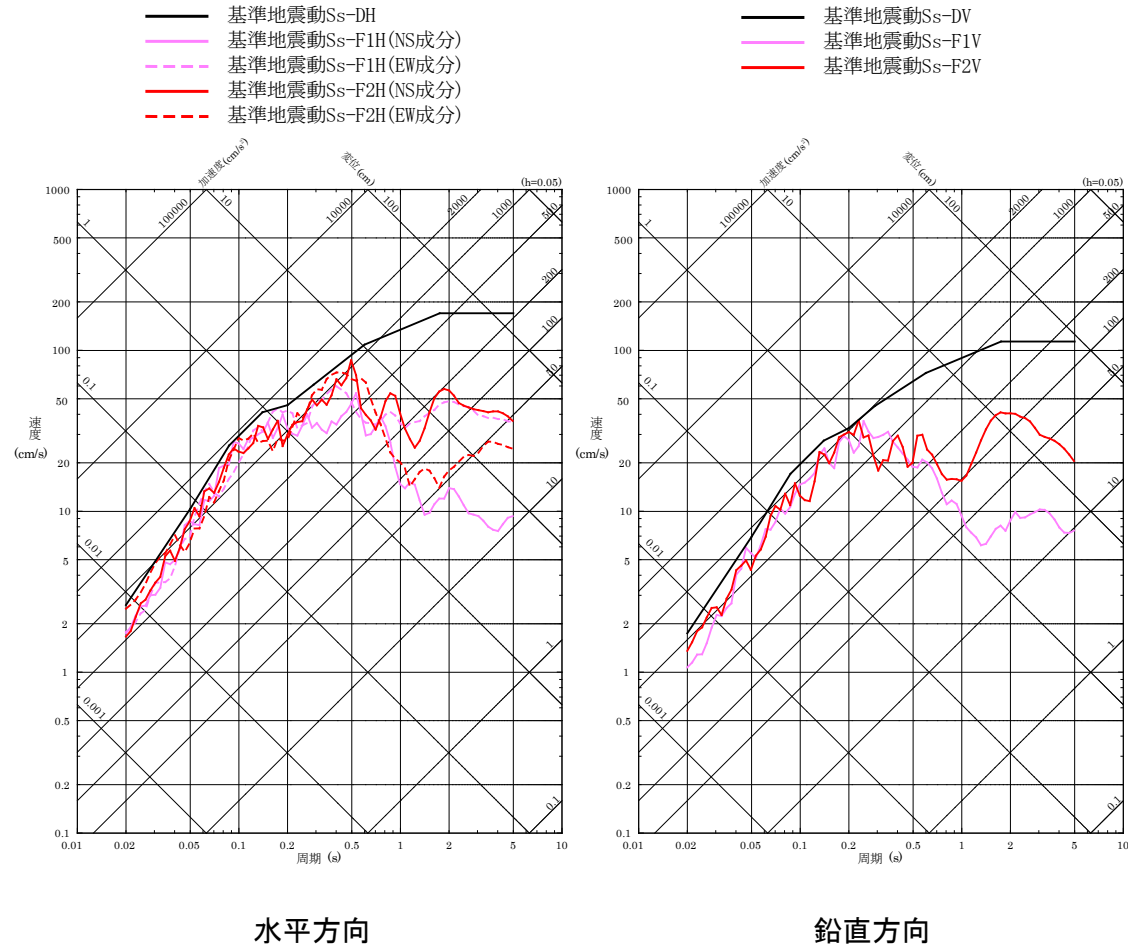
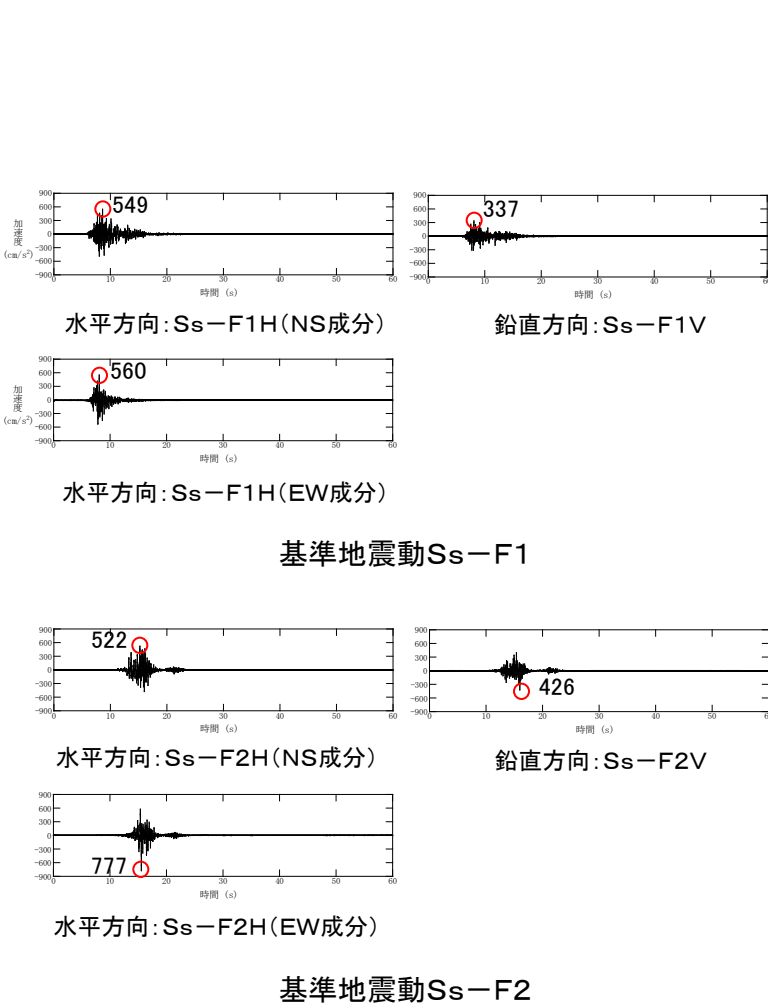


※施設の設計では、水平方向の各成分の建物応答のうち、大きい方の値を用いる方針としているため、水平方向の応答スペクトル比の算定においては、施設への影響を考慮し、対象周期帯の各周期の地震動レベルが大きい方の応答スペクトル(下図の赤線)を用いる。



(2) 断層モデル手法による基準地震動(まとめ)

◆ 断層モデル手法による基準地震動は、施設に与える影響の観点から地震動の諸特性を考慮し、応答スペクトルのピークが基準地震動 S_s-D に接近し、かつ地震動レベルが大きいケースの地震動評価結果を S_s-F1 及び S_s-F2 として設定。



基準地震動 S_s-F1 及び S_s-F2 の加速度時刻歴波形

基準地震動 S_s-F1 及び S_s-F2 の擬似速度応答スペクトル

震源を特定せず策定する地震動による基準地震動 1/2

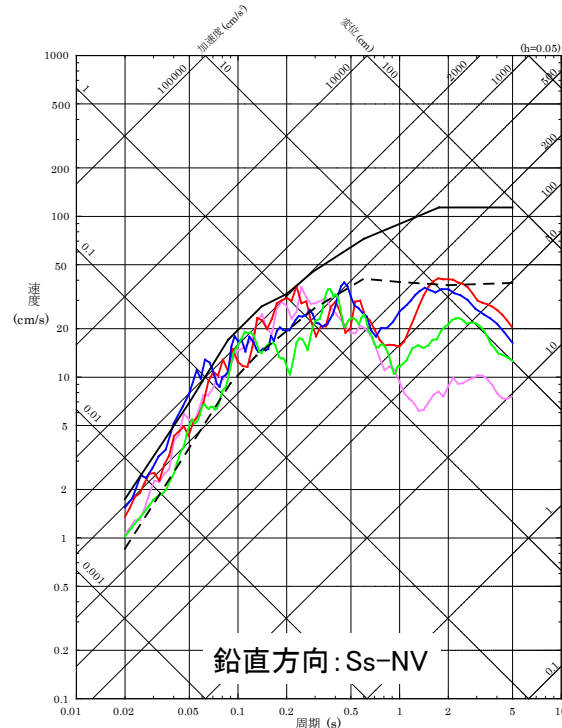
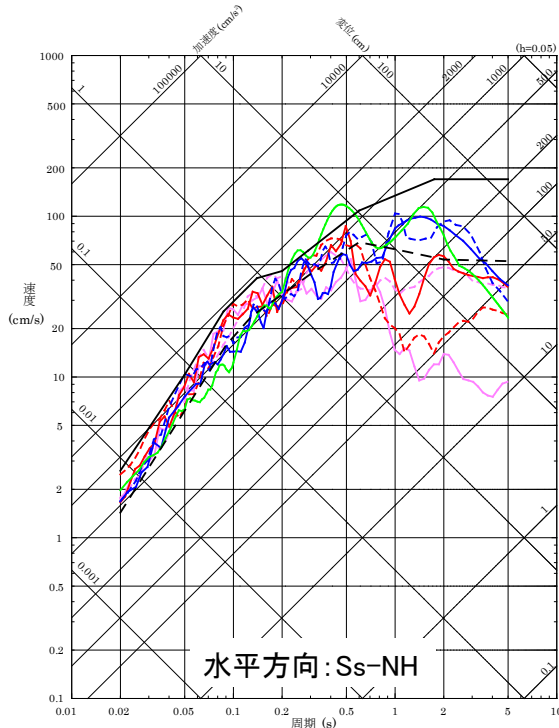
■ 震源を特定せず策定する地震動と、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動の評価結果に基づき設定した基準地震動 S_s を比較する。



■ 2004年北海道留萌支庁南部地震(K-NET港町)の検討結果に保守性を考慮した地震動及び2000年鳥取県西部地震の賀祥ダム(監査廊)の観測記録は、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動の評価結果に基づき設定した基準地震動 S_s の応答スペクトルを一部の周期帯で上回ることから、基準地震動 S_s-N1 及び S_s-N2 として設定する。加藤ほか(2004)による応答スペクトルについては、基準地震動 S_s の応答スペクトルを全周期帯において下回ることから、基準地震動に選定しない。

- 基準地震動 S_s-DH
- 基準地震動 S_s-F1H (NS成分)
- - 基準地震動 S_s-F1H (EW成分)
- 基準地震動 S_s-F2H (NS成分)
- - 基準地震動 S_s-F2H (EW成分)
- 2004年北海道留萌支庁南部地震(K-NET港町) 保守性考慮した地震動 [基準地震動 S_s-N1H]
- 2000年鳥取県西部地震(賀祥ダム観測記録: NS成分) [基準地震動 S_s-N2H (NS成分)]
- - 2000年鳥取県西部地震(賀祥ダム観測記録: EW成分) [基準地震動 S_s-N2H (EW成分)]
- - 加藤ほか(2004)による応答スペクトル

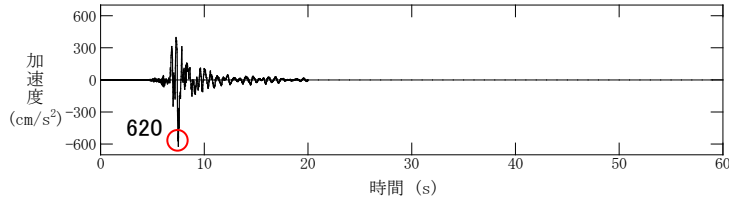
- 基準地震動 S_s-DV
- 基準地震動 S_s-F1V
- 基準地震動 S_s-F2V
- 2004年北海道留萌支庁南部地震(K-NET港町) 保守性考慮した地震動 [基準地震動 S_s-N1V]
- 2000年鳥取県西部地震(賀祥ダム観測記録) [基準地震動 S_s-N2V]
- - 加藤ほか(2004)による応答スペクトル



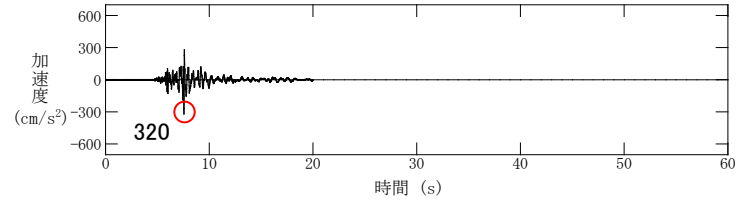
基準地震動 S_s-D , 基準地震動 S_s-F 及び基準地震動 S_s-N1 ・ S_s-N2 の比較

震源を特定せず策定する地震動による基準地震動 2/2

■ 基準地震動S_s-Nの加速度時刻歴波形

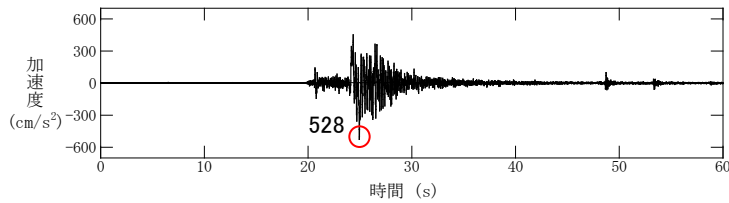


水平方向: S_s-N1H

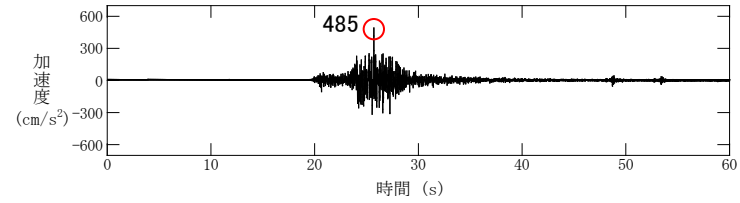


鉛直方向: S_s-N1V

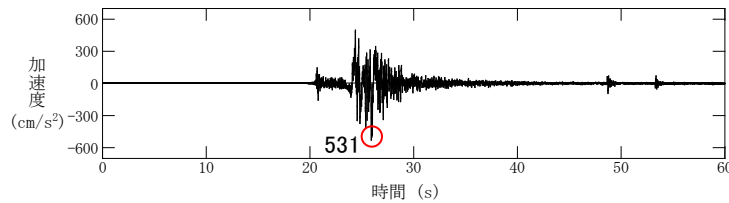
基準地震動S_s-N1



水平方向: S_s-N2H(NS成分)



鉛直方向: S_s-N2V



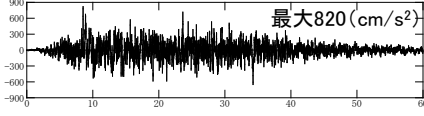
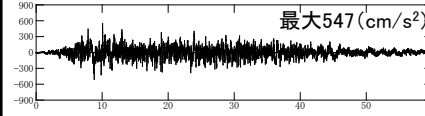
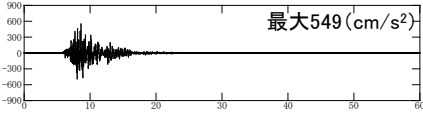
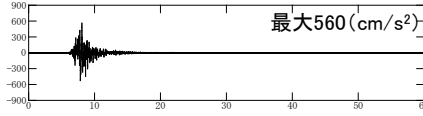
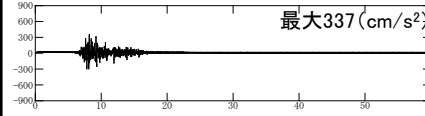
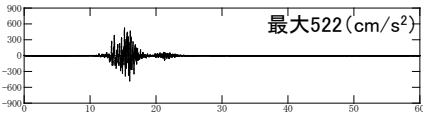
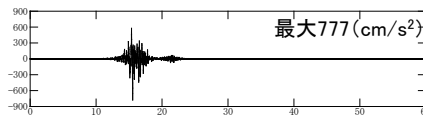
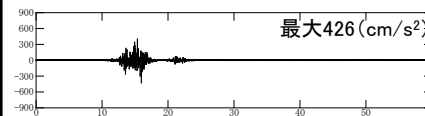
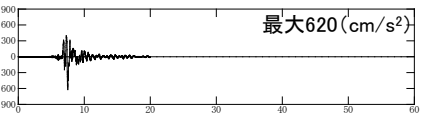
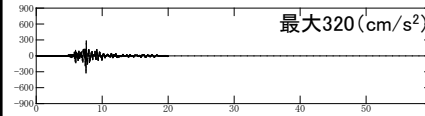
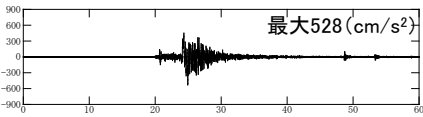
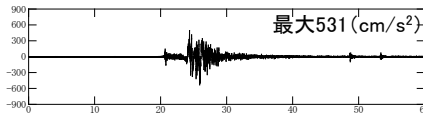
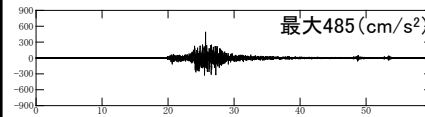
水平方向: S_s-N2H(EW成分)

基準地震動S_s-N2

基準地震動の策定のまとめ(最大加速度値)

■ 基準地震動の最大加速度値を以下に示す。

基準地震動の最大加速度値

基準地震動		水平方向(NS成分)	水平方向(EW成分)	鉛直方向
Ss-D	敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動 〔応答スペクトル手法による基準地震動〕			
Ss-F1	敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動 断層モデル手法による基準地震動 〔宍道断層による地震の中越沖地震の短周期レベルの不確かさ破壊開始点5〕			
Ss-F2	敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動 断層モデル手法による基準地震動 〔宍道断層による地震の中越沖地震の短周期レベルの不確かさ破壊開始点6〕			
Ss-N1	震源を特定せず策定する地震動による基準地震動 〔2004年北海道留萌支庁南部地震(K-NET港町)の検討結果に保守性を考慮した地震動〕			
Ss-N2	震源を特定せず策定する地震動による基準地震動 〔2000年鳥取県西部地震の賀禰ダム(監査廊)の観測記録〕			

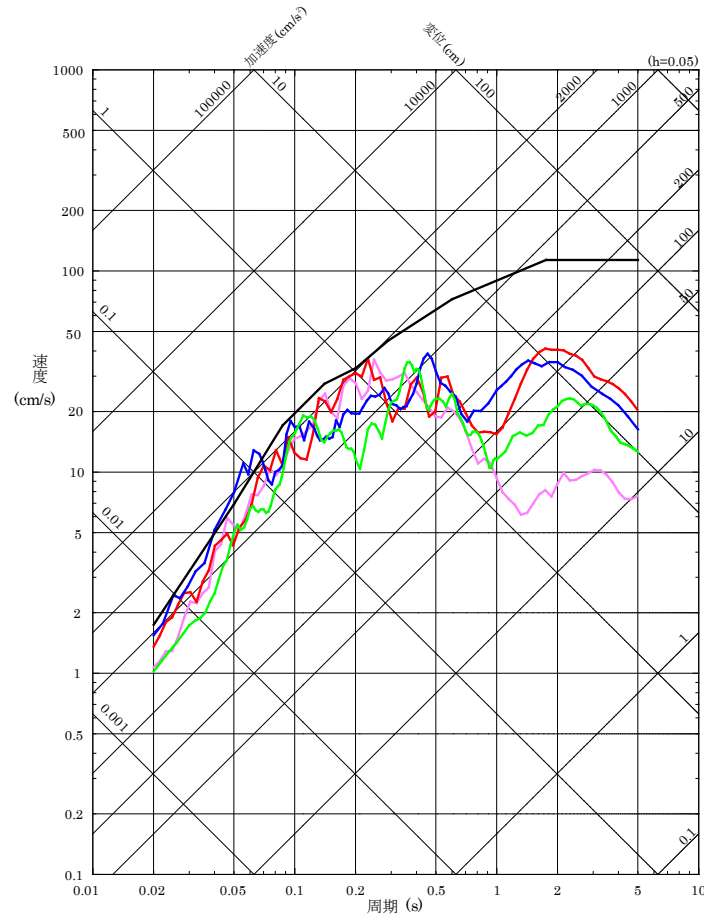
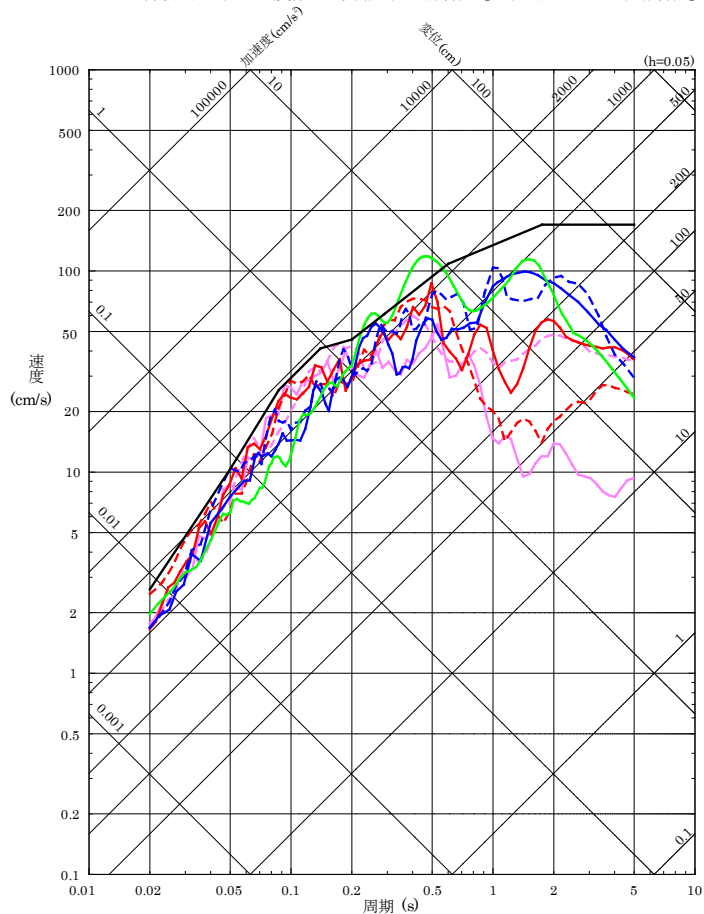
※ 表中のグラフは各基準地震動の加速度時刻歴波形[縦軸:加速度(cm/s²), 横軸:時間(s)]

基準地震動の策定のまとめ(応答スペクトル) 1/2

■ 策定した基準地震動の応答スペクトル(擬似速度)を以下に示す。

- 基準地震動Ss-DH
- 基準地震動Ss-F1H (NS成分)
- - 基準地震動Ss-F1H (EW成分)
- 基準地震動Ss-F2H (NS成分)
- - 基準地震動Ss-F2H (EW成分)
- 2004年北海道留萌支庁南部地震 (K-NET港町) 保守性考慮した地震動 [基準地震動Ss-N1H]
- 2000年鳥取県西部地震 (賀祥ダム観測記録: NS成分) [基準地震動Ss-N2H (NS成分)]
- - 2000年鳥取県西部地震 (賀祥ダム観測記録: EW成分) [基準地震動Ss-N2H (EW成分)]

- 基準地震動Ss-DV
- 基準地震動Ss-F1V
- 基準地震動Ss-F2V
- 2004年北海道留萌支庁南部地震 (K-NET港町) 保守性考慮した地震動 [基準地震動Ss-N1V]
- 2000年鳥取県西部地震 (賀祥ダム観測記録) [基準地震動Ss-N2V]



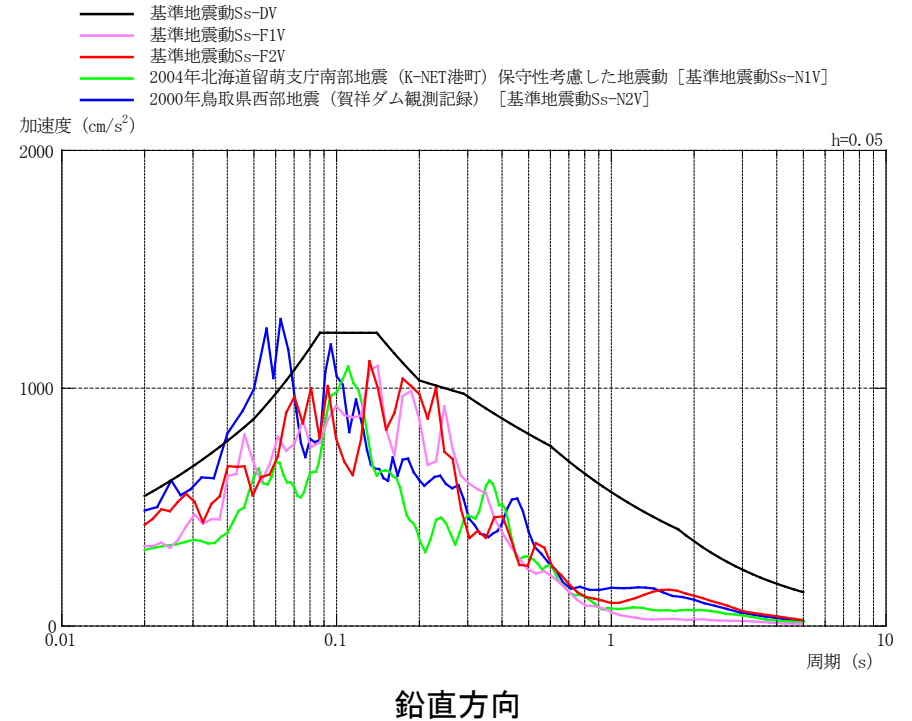
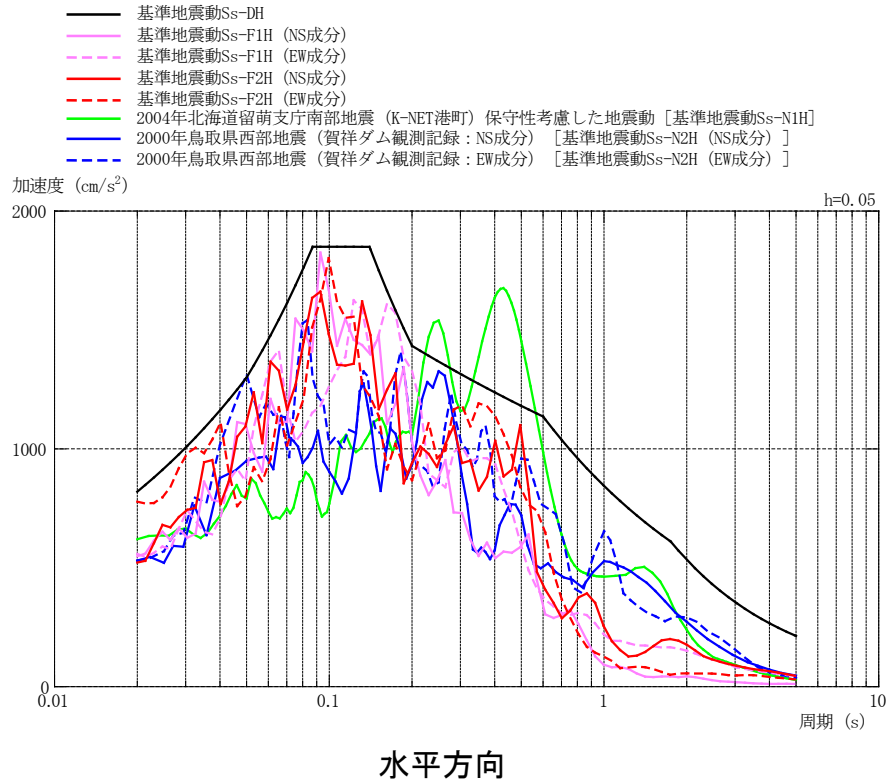
水平方向

鉛直方向

基準地震動の擬似速度応答スペクトルの比較

基準地震動の策定のまとめ(応答スペクトル) 2/2

■ 策定した基準地震動の応答スペクトル(加速度)を以下に示す。



基準地震動の加速度応答スペクトルの比較

6. 基準地震動の年超過確率の参照

- 6. 1 確率論的地震ハザードの評価方針
- 6. 2 特定震源モデル
- 6. 3 領域震源モデル
- 6. 4 地震動伝播モデル
- 6. 5 ロジックツリー
- 6. 6 地震ハザード評価結果
- 6. 7 年超過確率の参照

確率論的地震ハザードの評価方針

■ 基本方針

一般社団法人日本原子力学会「原子力発電所に対する地震を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準(以下「地震PRA実施基準」という):2015※1」に基づき、専門家活用水準1※2として地震ハザード評価を実施し、基準地震動の応答スペクトルがどの程度の年超過確率に相当するかを確認する。

■ 震源モデルの設定

震源モデルとしては、特定震源モデルと領域震源モデルを設定する。モデルの設定においては、敷地周辺の地質調査結果及び各種知見を参考にする。また、地震発生層については地震調査研究推進本部(2017)による地震発生層の設定値(上限深さ:2km, 下限深さ:15km)、片尾・吉井(2002)による2000年鳥取県西部地震(余震)の震源鉛直分布(上限深さ:約3km, 下限深さ:約12km)等の知見より上限深さは2km, 下限深さは15kmと考えられるが、参考の位置付けの文献である地震調査研究推進本部(2016)による地震発生層の下限深さD90(15~20km)等の知見を踏まえ、決定論と同様に上限深さは2km, 下限深さは安全側に20kmに設定する。

震源モデル		モデルの設定	
特定震源	検討用地震	中央断層による地震	地質調査結果, 地震調査研究推進本部(2016), [新編]日本の活断層, 今泉ほか(2018)に基づき設定
		F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震	地質調査結果, 防災科学技術研究所の広帯域地震観測網(F-net)に基づき設定
	検討用地震以外	主要な活断層※3による地震	地質調査結果, [新編]日本の活断層に基づき設定
		その他の活断層による地震	地質調査結果, 地震調査研究推進本部(2016), [新編]日本の活断層に基づき設定
領域震源	領域区分		萩原(1991), 垣見ほか(2003)に基づき設定
	最大マグニチュード		領域区分内で発生した既往最大
	発生頻度		気象庁カタログのデータに基づきG-R式により算定

■ 地震動伝播モデルの設定

特定震源モデルのうち「中央断層による地震」及び「F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震」は、断層モデルを用いた手法と距離減衰式の両者を用い、それ以外の震源モデルは距離減衰式を用いる。距離減衰式としては、基本的に耐専式を用いるが、震源が敷地に近く耐専式の適用範囲外となる「中央断層による地震」はAbrahamson et al.(2014)を用いる。

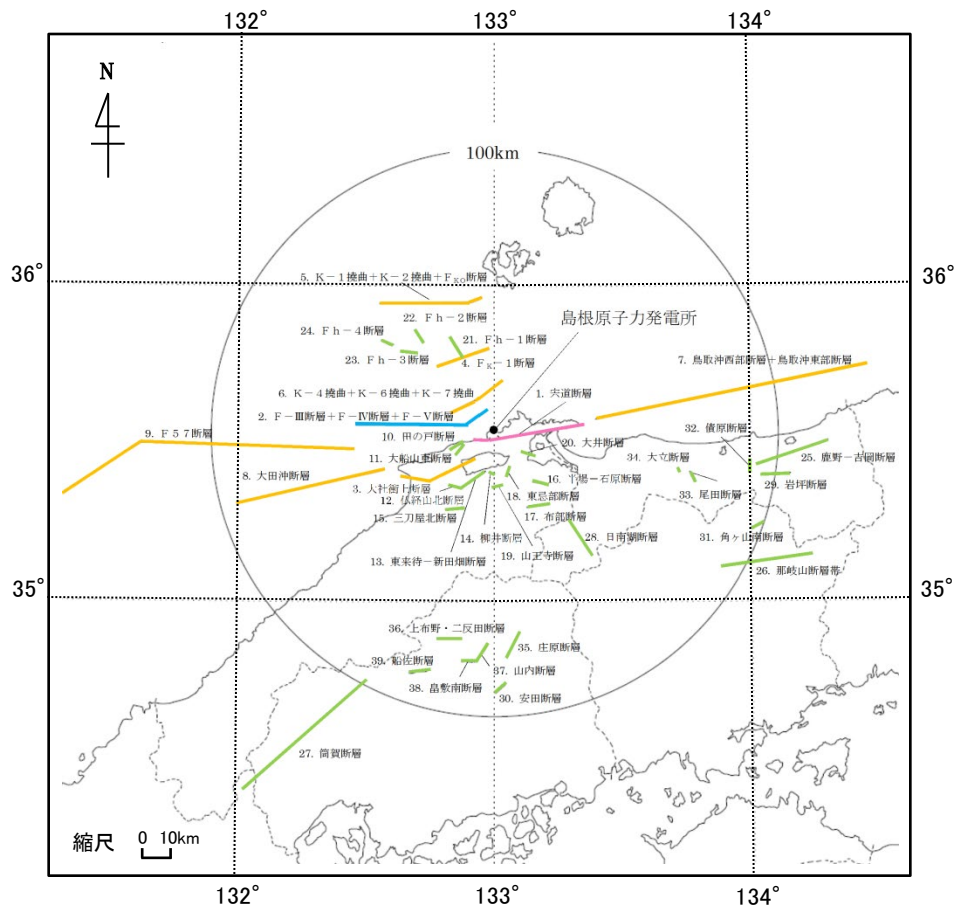
■ ロジックツリーの作成

震源モデル及び地震動伝播モデルにおいて、地震ハザード評価に大きな影響を及ぼす認識論的不確実さを選定し、ロジックツリーを作成する。

- ※1 審査ガイドにおいて、地震ハザード評価に関する知見の代表例として地震PRA実施基準2007年版が示されているが、2015年版において、サイト周辺の深部地下構造のモデル化の影響を考慮することや巨大地震(海溝型地震)に伴う大きな余震及び誘発地震を考慮すること等の改定がなされていることから、最新の2015年版を用いる。なお、島根原子力発電所の地震ハザード評価において、改定内容のうちサイト周辺の深部地下構造の影響については検討し、特異な増幅がないことを把握した上で考慮せず、また、敷地に影響を及ぼす海溝型地震については存在しないことから考慮していない。
- ※2 地震ハザードの不確実さへの影響が比較的小さい水準を想定し、TI(Technical Integrator, ロジックツリーの技術的な纏め役)が文献レビュー及び自らの経験に基づきコミュニティ分布(科学的集団が総合的に評価するその時点での不確実さの客観的分布)を評価し、ロジックツリーを作成する。
- ※3 検討用地震の選定において対象とした活断層のうち、検討用地震及び孤立した短い活断層以外の活断層のことをいう。

対象活断層

■ 特定震源モデルとしては、敷地から100km以内に位置する敷地周辺の地質調査結果に基づいて評価した活断層、地震調査研究推進本部(2016)に掲載されている活断層及び「[新編]日本の活断層」に掲載されている確実度 I 及び II の活断層を対象に設定する。



<p>【検討用地震の対象活断層】</p> <ul style="list-style-type: none"> — 宍道断層 — F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層 	<p>【検討用地震以外の対象活断層】</p> <ul style="list-style-type: none"> — 主要な活断層 — その他の活断層
--	--

対象活断層の分布

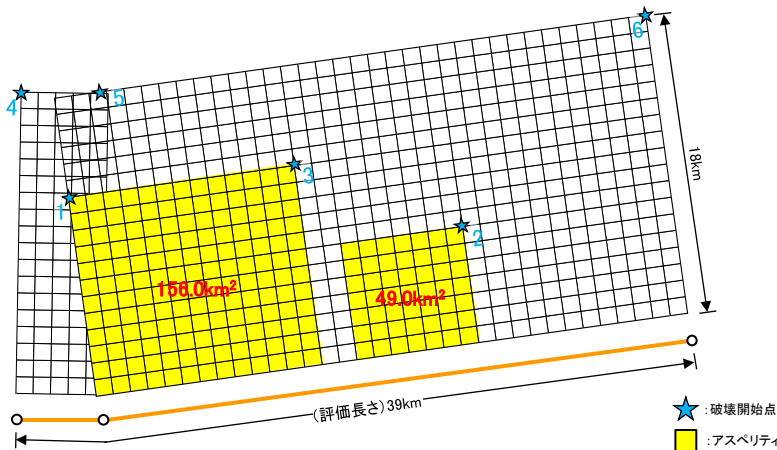
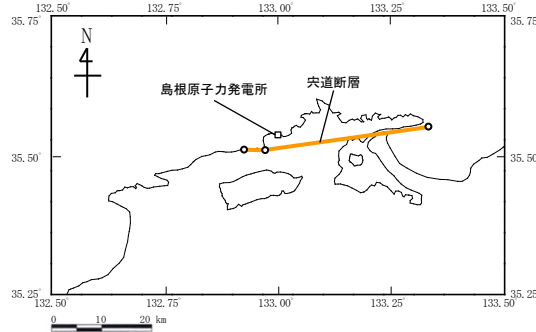
対象活断層の一覧表

分類	No.	断層名	断層長さ (km)
検討用地震	1	宍道断層	39
	2	F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層	48
主要な活断層	3	大社衝上断層	28
	4	F _K -1断層	19
	5	K-1撓曲+K-2撓曲+F _{KO} 断層	36
	6	K-4撓曲+K-6撓曲+K-7撓曲	19
	7	鳥取沖西部断層+鳥取沖東部断層	98
	8	大田沖断層	53
	9	F57断層	108
	10	田の戸断層	5
	11	大船山断層	4
その他の活断層	12	仏経山北断層	5
	13	東来待-新田畑断層	11
	14	柳井断層	2
	15	三刀屋北断層	7
	16	半場-石原断層	5
	17	布部断層	8
	18	東忌部断層	3
	19	山王寺断層	3
	20	大井断層	5
	21	Fh-1断層	7
	22	Fh-2断層	5
	23	Fh-3断層	5.5
	24	Fh-4断層	4.5
	25	鹿野-吉岡断層	26
	26	那岐山断層帯	32
	27	筒賀断層	58
	28	日南湖断層	13
	29	岩坪断層	10
	30	安田断層	5
	31	角ヶ山南断層	6
	32	債原断層	3.3
	33	尾田断層	2.5
	34	大立断層	1
	35	庄原断層	10
	36	上布野-二反田断層	7
	37	山内断層	8
	38	皇敷南断層	5
	39	船佐断層	6

宍道断層による地震 1/2

- 検討用地震のうち「宍道断層による地震」の震源モデルについては、決定論による「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価において基本震源モデル及び認識論的不確かさとして考慮した以下の評価ケースをロジックツリーの分岐として考慮する。なお、アスペリティ位置の不確かさについては、感度解析を行った結果、その不確かさを考慮した場合と考慮しない場合の宍道断層による地震の平均ハザード曲線は同程度であり、地震ハザード評価に大きな影響を及ぼさないことから、ロジックツリーの分岐として考慮しない。(補足説明資料154～156ページ参照。)
- 距離減衰式に用いる地震規模Mwは、入倉・三宅(2001)により断層面積から算出する方法及び武村(1998)により断層長さから算出する方法をロジックツリーの分岐として考慮する。

宍道断層による地震の地震動評価ケース



宍道断層による地震の断層モデル図(基本震源モデル)

特定震源	評価ケース	地震規模Mw	
		入倉・三宅(2001)	武村(1998)
宍道断層による地震	基本震源モデル※1	6.9	7.1
	断層傾斜角(70°)	6.9	7.1
	破壊伝播速度(0.87Vs)	—※2	
	すべり角(150°)	—※2	
	アスペリティ(一塊:正方形)	—※2	
	アスペリティ(一塊:縦長)	—※2	
	中越沖地震の短周期レベル(レシビ×1.5倍)	—※2	
	断層傾斜角(70°)+破壊伝播速度(0.87Vs)	—※2	
	断層傾斜角(70°)+横ずれ断層の短周期レベル(レシビ×1.25倍)	—※2	
	破壊伝播速度(0.87Vs)+横ずれ断層の短周期レベル(レシビ×1.25倍)	—※2	

黄色 : 不確かさを考慮したケース 紫色 : 不確かさの組合せケース

※1 基本震源モデルの断層パラメータ
断層長さ(39km), 断層傾斜角(90°), 破壊伝播速度(0.72Vs), すべり角(180°), アスペリティ(2個), 短周期レベル(レシビ)

※2 距離減衰式の評価ケースとしては微視的パラメータ等であることから考慮せず、断層モデルを用いた手法のみ考慮。

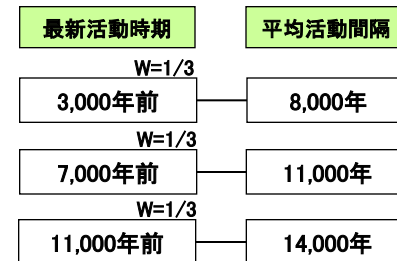
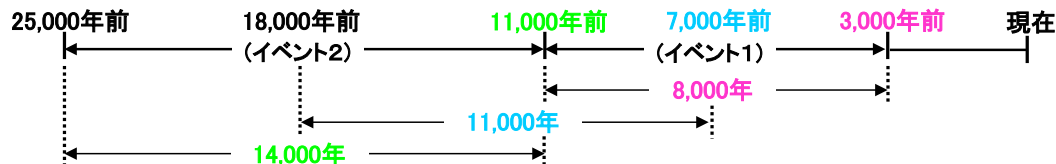
6. 基準地震動の年超過確率の参照 6.2 特定震源モデル

宍道断層による地震 2/2

- 発生頻度は、地質調査結果、地震調査研究推進本部(2016)及び[新編]日本の活断層等に基づき以下のとおり設定し、ロジックツリーの分岐として考慮する。

【地質調査結果】

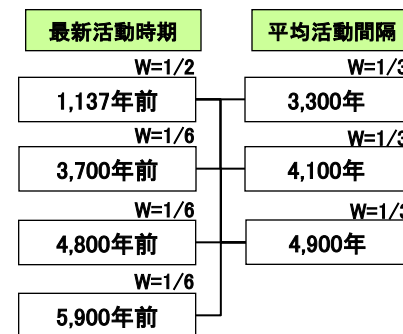
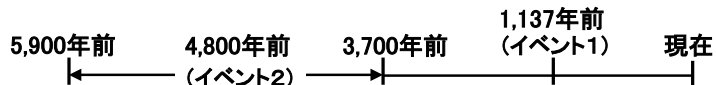
- 地質調査結果(南講武におけるトレンチ調査結果)により、宍道断層は約25,000年前以降に2回の活動があり、最新活動時期としては約3,000~11,000年前の期間であることを推定。
- 上記より、3,000~11,000年前を「イベント1」、11,000~25,000年前を「イベント2」として、以下に示すように、最新活動時期は、イベント1期間の(新)3,000年前、(中間)7,000年前、(古)11,000年前に設定し、それぞれの最新活動時期についての平均活動間隔は、それぞれのイベント期間の(新)3,000年前と11,000年前[8,000年]、(中間)7,000年前と18,000年前[11,000年]、(古)11,000年前と25,000年前[14,000年]を対応させた間隔に設定し、BPT分布に従い発生頻度を算定。



地質調査結果に基づく発生頻度のロジックツリー

【地震調査研究推進本部(2016)】

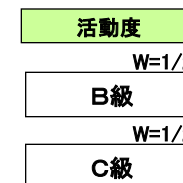
- 地震調査研究推進本部(2016)によると、宍道(鹿島)断層の活動時期は奈良時代~鎌倉時代、約3,700~5,900年前、約7,300~11,000年前とされ、最新活動時期は約3,700~5,900年前であった可能性があるとされている。また、平均活動間隔は約3,300年~約4,900年とされている。
- 渡辺ほか(2006)では、鹿島断層の奈良時代~鎌倉時代の最新活動は、出雲の地震に対応する可能性が高いとされている。
- 上記より、出雲の地震に対応する1,137年前を「イベント1」、3,700~5,900年前を「イベント2」として、最新活動時期はイベント1の1,137年前、イベント2期間の(新)3,700年前、(中間)4,800年前、(古)5,900年前に設定し、平均活動間隔は地震調査研究推進本部(2016)に示される間隔より(短)3,300年、(中間)4,100年、(長)4,900年に設定し、それぞれの最新活動時期毎に3つの間隔を対応させてBPT分布に従い発生頻度を算定。



地震調査研究推進本部(2016)に基づく発生頻度のロジックツリー

【[新編]日本の活断層, 今泉ほか(2018)】

- [新編]日本の活断層において、宍道断層に該当する法田, 高尾山, 森山, 宍道断層[北][南], 古浦東方の活動度はC級とされており、今泉ほか(2018)では、宍道(鹿島)断層帯の活動度はB~C級とされていることから、宍道断層の活動度をB, C級と仮定。
- 上記の活動度から松田(1975)及び奥村・石川(1998)に基づき平均活動間隔を設定※し、ポアソン過程に従い発生頻度を算定。



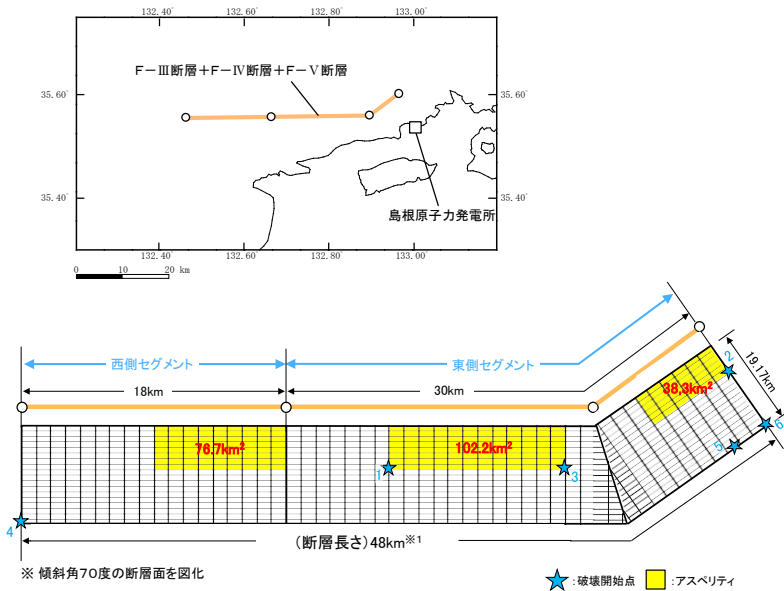
[新編]日本の活断層, 今泉ほか(2018)に基づく発生頻度のロジックツリー

※ 松田(1975)に基づき断層長さから求めたM[logL=0.6M-2.9]を用いて算定したすべり量D(m)[logD=0.6M-4.0]及び奥村・石川(1998)に記載の平均変位速度S(mm/年)[B級:0.25, C級:0.0047]から、平均活動間隔T(年)[T=1000D/S]を算出。

F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震

- 検討用地震のうち「F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震」の震源モデルについては、決定論による「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動の評価」において基本震源モデル及び認識論的不確かさとして考慮した以下の評価ケースをロジックツリーの分岐として考慮する。
- 距離減衰式に用いる地震規模Mは、松田(1975)により断層長さから算出する方法及び入倉・三宅(2001)により断層面積から算出した地震モーメントを用いて武村(1990)により算出する方法をロジックツリーの分岐として考慮する。
- 発生頻度は、参考にできる地質調査結果や知見がないことから、活動度をB, C級に仮定して松田(1975)及び奥村・石川(1998)に基づき平均活動間隔を設定し、ポアソン過程に従い算定する。

F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震の地震動評価ケース



F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震の断層モデル図(基本震源モデル)

※1 各断層の単独破壊も考えられるが、後述(211ページ参照)のとおり、ハザード全体に占める割合は突道断層による地震と比較して小さく、規模の小さな各断層の単独破壊を考慮したとしても評価結果への影響はほとんどないと考えられる。

特定震源	評価ケース	地震規模M ^{※3}		X _{eq} (km)	平均活動間隔 ^{※6} (活動度)
		松田(1975)	入倉・三宅(2001) 武村(1990)		
F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震	基本震源モデル ^{※2}	7.6	7.7	17.3	14,500年(B級) 77,300年(C級)
	断層傾斜角(35°)	7.6	— ^{※4}	16.7	
	破壊伝播速度(0.87Vs)		— ^{※5}		
	すべり角(150°)		— ^{※5}		
	アスペリティ(一塊:横長)		— ^{※4}		
	アスペリティ(一塊:縦長)		— ^{※4}		
	中越沖地震の短周期レベル(レシビ×1.5倍)		— ^{※5}		
	断層位置(F-①断層+F-②断層+F-Ⅴ断層, 断層長さ53km)		— ^{※4}		16,700年(B級) 88,700年(C級)

■ : 不確かさを考慮したケース

- ※2 基本震源モデルの断層パラメータ
断層長さ(48km), 断層傾斜角(70°), 破壊伝播速度(0.72Vs), すべり角(180°), アスペリティ(3個), 短周期レベル(レシビ)
- ※3 武村(1998)についてはMとX_{eq}の関係から、距離減衰式として用いる耐専式の適用範囲外となるため考慮しない。
- ※4 該当の評価ケースについてはMとX_{eq}の関係から、距離減衰式として用いる耐専式の適用範囲外となるため考慮しない。
- ※5 距離減衰式の評価ケースとしては微視的パラメータ等であることから考慮せず、断層モデルを用いた手法のみ考慮。
- ※6 一例として松田(1975)に基づき断層長さから求めたM(L→M)を用いて算定したすべり量D(M→D)及び奥村・石川(1998)に記載の平均変位速度Sから算出した平均活動間隔を記載。

主要な活断層による地震

- 検討用地震以外の「主要な活断層による地震」の震源モデルについては、地質調査結果及び[新編]日本の活断層に基づき設定する。
- 距離減衰式に用いる地震規模Mは、松田(1975)により断層長さから算出する方法、武村(1998)により断層長さから算出する方法、入倉・三宅(2001)により断層面積から算出した地震モーメントを用いて武村(1990)により算出する方法をロジックツリーの分岐として考慮する。
- 発生頻度は、[新編]日本の活断層に示される活動度を採用し、活動度が示されていないものはB級、C級に仮定して松田(1975)及び奥村・石川(1998)に基づき平均活動間隔を設定し、ポアソン過程に従い算定する。

No	震源断層	断層長さ (km)	地震規模 M			Xeq (km)	平均活動間隔 ^{※1} (活動度)
			松田 (1975)	武村 (1998)	入倉・三宅(2001) 武村 (1990)		
3	大社衝上断層	28	7.2	7.4	7.2	24.8	44,500年 (C級)
4	F _K -1断層	19	7.0	7.1	6.9	31.5	6,300年 (B級) 33,700年 (C級)
5	K-1撓曲+K-2撓曲+F _{KO} 断層 ^{※2}	36	7.4	7.5	7.4	52.8	11,000年 (B級) 58,600年 (C級)
6	K-4撓曲+K-6撓曲+K-7撓曲 ^{※2}	19	7.0	7.1	6.9	18.1	6,300年 (B級) 33,700年 (C級)
7	鳥取沖西部断層+鳥取沖東部断層 ^{※2}	98	8.2	8.3	8.1	71.0	33,300年 (B級) 177,000年 (C級)
8	大田沖断層	53	7.7	7.8	7.7	64.0	16,700年 (B級) 88,700年 (C級)
9	F57断層	108	8.2	8.3	8.2	90.0	33,300年 (B級) 177,000年 (C級)

※1 一例として松田(1975)に基づき断層長さから求めたM(L→M)を用いて算定したすべり量D(M→D)及び奥村・石川(1998)に記載の平均変位速度Sから算出した平均活動間隔を記載。

※2 各断層の単独破壊も考えられるが、後述(211ページ参照)のとおり、ハザード全体に占める割合は突道断層による地震と比較して小さく、規模の小さな各断層の単独破壊を考慮したとしても評価結果への影響はほとんどないと考えられる。

その他の活断層による地震

- 検討用地震以外の「その他の活断層による地震」の震源モデルについては、地質調査結果、地震調査研究推進本部(2016)及び[新編]日本の活断層に基づき設定する。
- 距離減衰式に用いる地震規模Mは、文献に記載がある活断層についてはその値を採用することとし、孤立した短い活断層については震源断層が地震発生層(深さ2~20km)の上限から下限まで広がっているものと仮定し、その断層幅は18km、断層長さも断層幅と同等の18kmでモデル化し、松田(1975)に基づきM6.9として設定する。
- 発生頻度は、地震調査研究推進本部(2016)または[新編]日本の活断層に示される最新活動時期、平均活動間隔及び活動度を採用し、示されていないものは活動度をC級に仮定する。活動度を用いる場合は、松田(1975)及び奥村・石川(1998)に基づき平均活動間隔を設定する。なお、1943年鳥取地震の震源断層として活動した鹿野一吉岡断層はBPT分布、それ以外の活断層はポアソン過程に従い発生頻度を算定する。

分類	No	震源断層	断層長さ (km)	地震規模 M	Xeq (km)	平均活動間隔 (活動度)
地質調査結果	10	田の戸断層	5	6.9	16.0	29,400年(C級) ^{※1}
	11	大船山東断層	4	6.9	16.1	29,400年(C級) ^{※1}
	12	仏経山北断層	5	6.9	26.2	29,400年(C級) ^{※1}
	13	東来待一新田畑断層	11	6.9	20.2	29,400年(C級) ^{※1}
	14	柳井断層	2	6.9	18.3	29,400年(C級) ^{※1}
	15	三刀屋北断層	7	6.9	32.1	29,400年(C級) ^{※1}
	16	半場一石原断層	5	6.9	25.7	29,400年(C級) ^{※1}
	17	布部断層	8	6.9	32.1	29,400年(C級) ^{※1}
	18	東忌部断層	3	6.9	17.3	29,400年(C級) ^{※1}
	19	山王寺断層	3	6.9	22.2	29,400年(C級) ^{※1}
	20	大井断層	5	6.9	16.0	29,400年(C級) ^{※1}
	21	Fh-1断層	7	6.9	34.3	29,400年(C級) ^{※1}
	22	Fh-2断層	5	6.9	44.2	29,400年(C級) ^{※1}
	23	Fh-3断層	5.5	6.9	43.2	29,400年(C級) ^{※1}
24	Fh-4断層	4.5	6.9	50.4	29,400年(C級) ^{※1}	

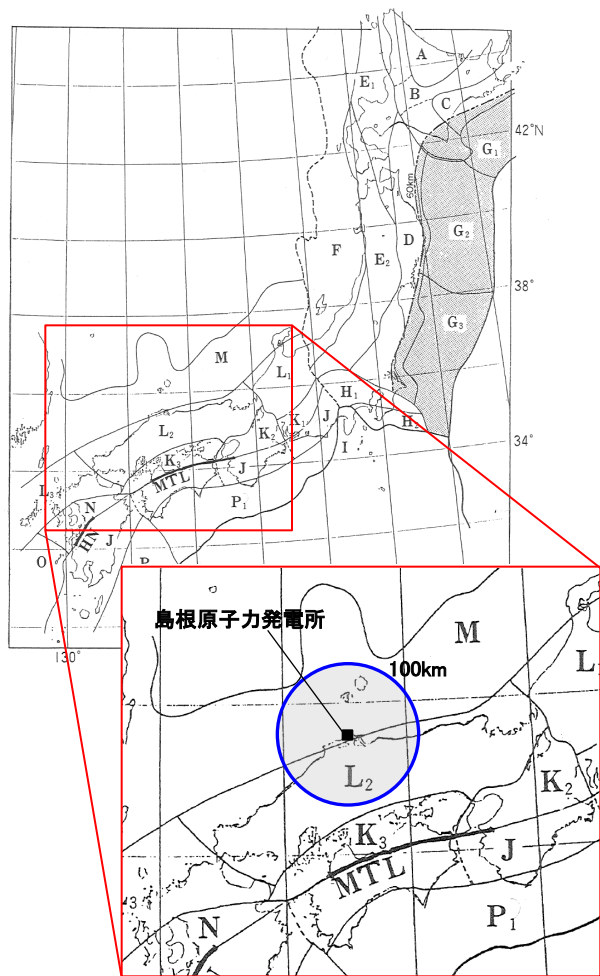
分類	No	震源断層	断層長さ (km)	地震規模 M	Xeq (km)	平均活動間隔 (活動度)
地震調査研究推進本部(2016)	25	鹿野一吉岡断層	26	7.2	105.8	6,900年 ^{※2}
	26	那岐山断層帯	32	7.3	100.3	38,500年 ^{※2}
	27	筒賀断層	58	7.8	123.1	12,000年
	28	日南湖断層	13	6.9	48.5	20,000年
	29	岩坪断層	10	6.9	101.0	20,000年
	30	安田断層	5	6.9	90.5	20,000年
[新編]日本の活断層	31	角ヶ山南断層	6	6.9	99.1	29,400年(C級) ^{※1}
	32	債原断層	3.3	6.9	91.9	29,400年(C級) ^{※1}
	33	尾田断層	2.5	6.9	72.4	29,400年(C級) ^{※1}
	34	大立断層	1	6.9	67.3	29,400年(C級) ^{※1}
	35	庄原断層	10	6.9	75.5	29,400年(C級) ^{※1}
	36	上布野・二反田断層	7	6.9	75.2	29,400年(C級) ^{※1}
	37	山内断層	8	6.9	78.5	29,400年(C級) ^{※1}
	38	畠敷南断層	5	6.9	82.0	29,400年(C級) ^{※1}
	39	船佐断層	6	6.9	89.0	29,400年(C級) ^{※1}

※1 松田(1975)に基づき断層長さから求めたM(L→M)を用いて算定したすべり量D(M→D)及び奥村・石川(1998)に記載の平均変位速度Sから平均活動間隔を算出。

※2 地震調査研究推進本部(2016)に記載の平均活動間隔の中央値。

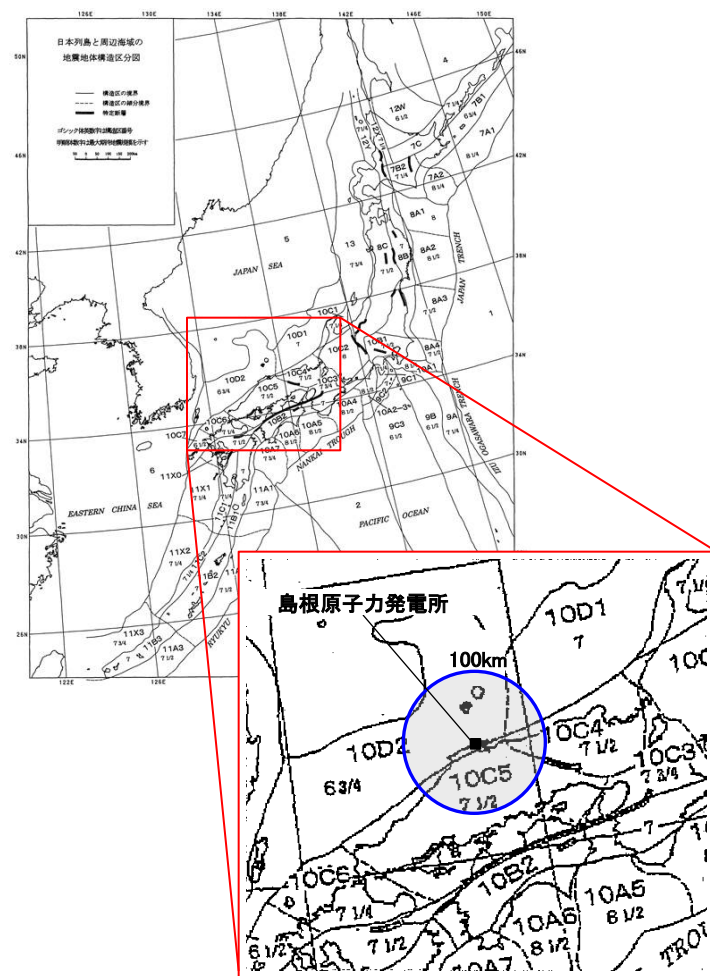
領域震源モデル 1/2

- 領域震源モデルとしては、萩原(1991)及び垣見ほか(2003)の領域区分における敷地から100km以内に位置する領域を対象とする。



[萩原(1991)に一部加筆。]

萩原(1991)に基づく対象領域



[垣見ほか(2003)に一部加筆。]

垣見ほか(2003)に基づく対象領域

領域震源モデル 2/2

- 領域震源の最大マグニチュードは、各領域で過去に発生した地震のうち、活断層と関連づけることが困難な地震の最大規模とする。また、下表に示す文献に記載されている地震の最大マグニチュードに幅がある場合には、その中央値、上限値、下限値をロジックツリーの分岐として考慮する。
- 発生頻度は、気象庁カタログの1923年以降のデータに基づきG-R式により算定する。
- 震源深さは、地震発生層内(深さ2~20km)で一様分布するものとしてモデル化する。

文献	対象領域	最大M	根拠となる歴史地震	b値	震源深さ
萩原(1991)	L ₂ * ¹	7.3	2000年鳥取県西部地震	0.872	地震発生層内 (深さ2~20km)で 一様分布
	M* ²	6.6, 6.8, 7.0	1729年能登の地震	0.811	
		6.9	2007年能登半島地震		
垣見ほか(2003)	10C4	7.0	868年播磨・山城の地震	0.701	
	10C5	7.3	2000年鳥取県西部地震	1.002	
	10D1	6.6, 6.8, 7.0	1729年能登の地震	0.824	
	10D2	6.6	1940年島根県沖の地震	1.448	

※1 萩原(1991)のL₂領域における最大Mは1872年浜田地震による7.1±0.2であるが、萩原(1991)以降に起こった2000年鳥取県西部地震のMは7.3であり、1872年浜田地震のM以上となることから、最大Mを7.3に設定。

※2 萩原(1991)のM領域における最大Mは1729年能登の地震による6.6~7.0であるが、萩原(1991)以降に起こった2007年能登半島地震のMは6.9であり、1729年能登の地震のMの中央値より大きく、上限値より小さいことから、それぞれの地震を考慮して最大Mを設定。

地震動伝播モデル

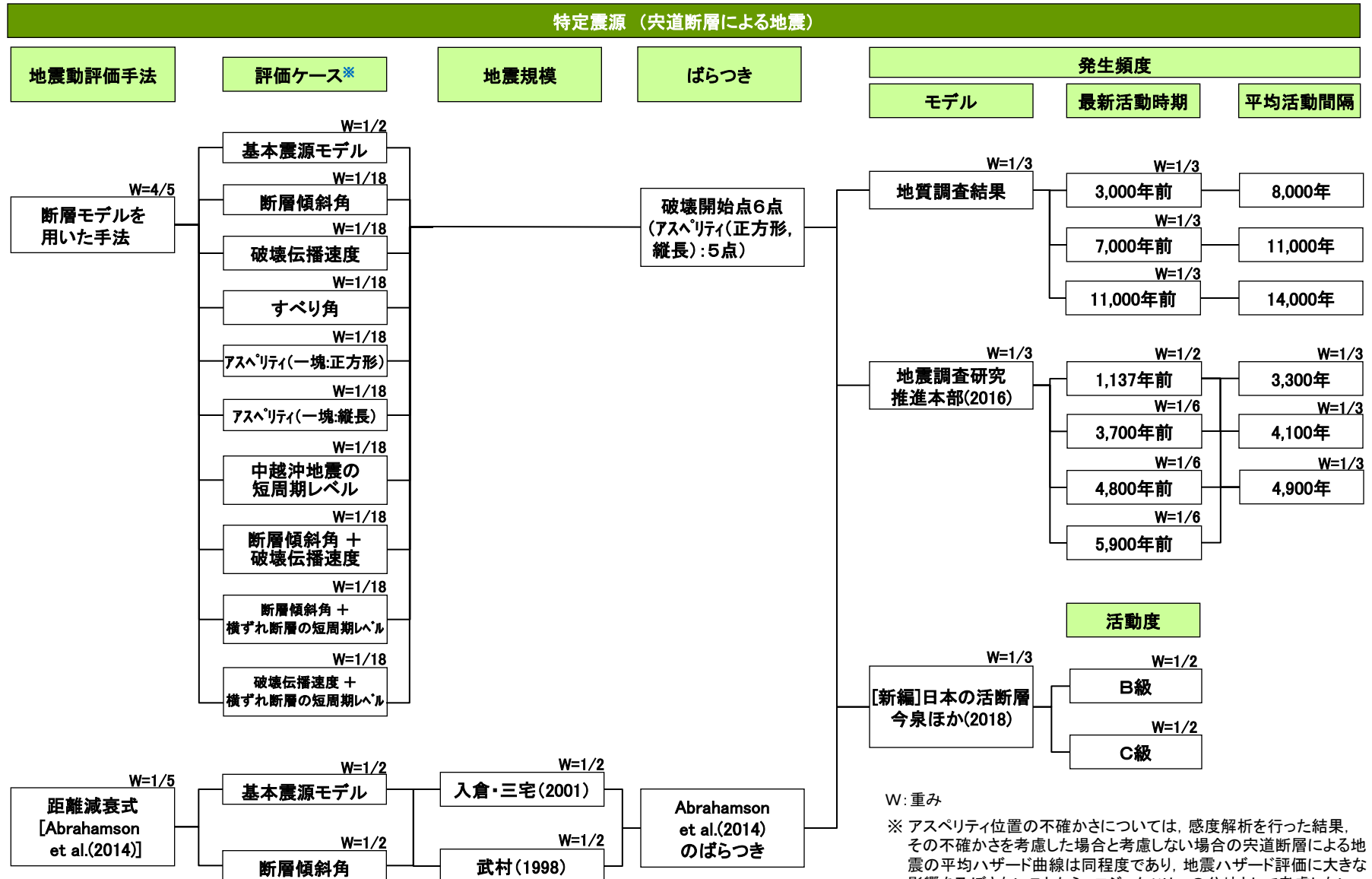
- 地震動伝播モデルとしては、特定震源モデルのうち「宍道断層」は敷地の極近傍に位置しており、また「F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層」については評価ケースにおいて、耐専式の適用範囲外となるケースがあり、敷地に比較的近いことから、断層モデルを用いた手法と距離減衰式の両者を用いる。その重みについては、震源が敷地に近い地震は断層モデルを用いた手法を重視するという観点から、断層モデルを用いた手法を4/5、距離減衰式を1/5として設定する。
- その他の震源モデルは距離減衰式を用い、基本的に耐専式により評価し、内陸補正の有無を考慮する。その重みについては、島根原子力発電所の観測記録に基づき作成したサイト補正係数が、耐専式の内陸補正係数をかなり下回っており、また中国地方で発生した地震の短周期レベルは新潟県中越沖地震の短周期レベル(内陸補正無しが該当)に比べてかなり小さい傾向であることから、補正有りを3/4、補正無しを1/4として設定する。(補足説明資料152～153ページ)また、震源が敷地に近く耐専式の適用範囲外となる「宍道断層による地震」はAbrahamson et al.(2014)による距離減衰式※を用いる。
- 距離減衰式のばらつきは各式で評価されたばらつきを用い、打ち切り範囲は対数標準偏差の3倍とする。断層モデルを用いた手法のばらつきは6点の破壊開始点(アスペリティの不確かさは5点)により考慮する。

考慮する震源		評価手法	補正係数	ばらつき	ばらつきの打ち切り	
特定震源	検討用地震	断層モデル	—	破壊開始点6点 [アスペリティ(正方形, 縦長):5点]	—	
		Abrahamson et al.(2014)	—	0.65～0.88 [Abrahamson et al.(2014)]	3 σ	
		F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層 +F-Ⅴ断層による地震	断層モデル	—	破壊開始点6点 [アスペリティ(横長, 縦長):5点]	—
			耐専式	耐専式の内陸補正 有り, 無し	0.53 [耐専式]	3 σ
	検討用地震以外	主要な活断層による地震	耐専式	耐専式の内陸補正 有り, 無し	0.53 [耐専式]	3 σ
		その他の活断層による地震	耐専式	耐専式の内陸補正 有り, 無し	0.53 [耐専式]	3 σ
領域震源		耐専式	耐専式の内陸補正 有り, 無し	0.53 [耐専式]	3 σ	

※ 地震PRA実施基準2007年版において、原子力発電所施設に対しての適用性が高いと考えられる距離減衰式の代表例として、Abrahamson and Silva(1997)が示され、また2015年版ではAbrahamson et al.(2014)を含むNGAプロジェクトで提案されている距離減衰式などがあるとされていることから、距離減衰式としてはAbrahamson and Silva(1997)を更新した最新版のAbrahamson et al.(2014)を用いる。

特定震源: 宍道断層による地震

■ 宍道断層による地震のロジックツリーを以下に示す。

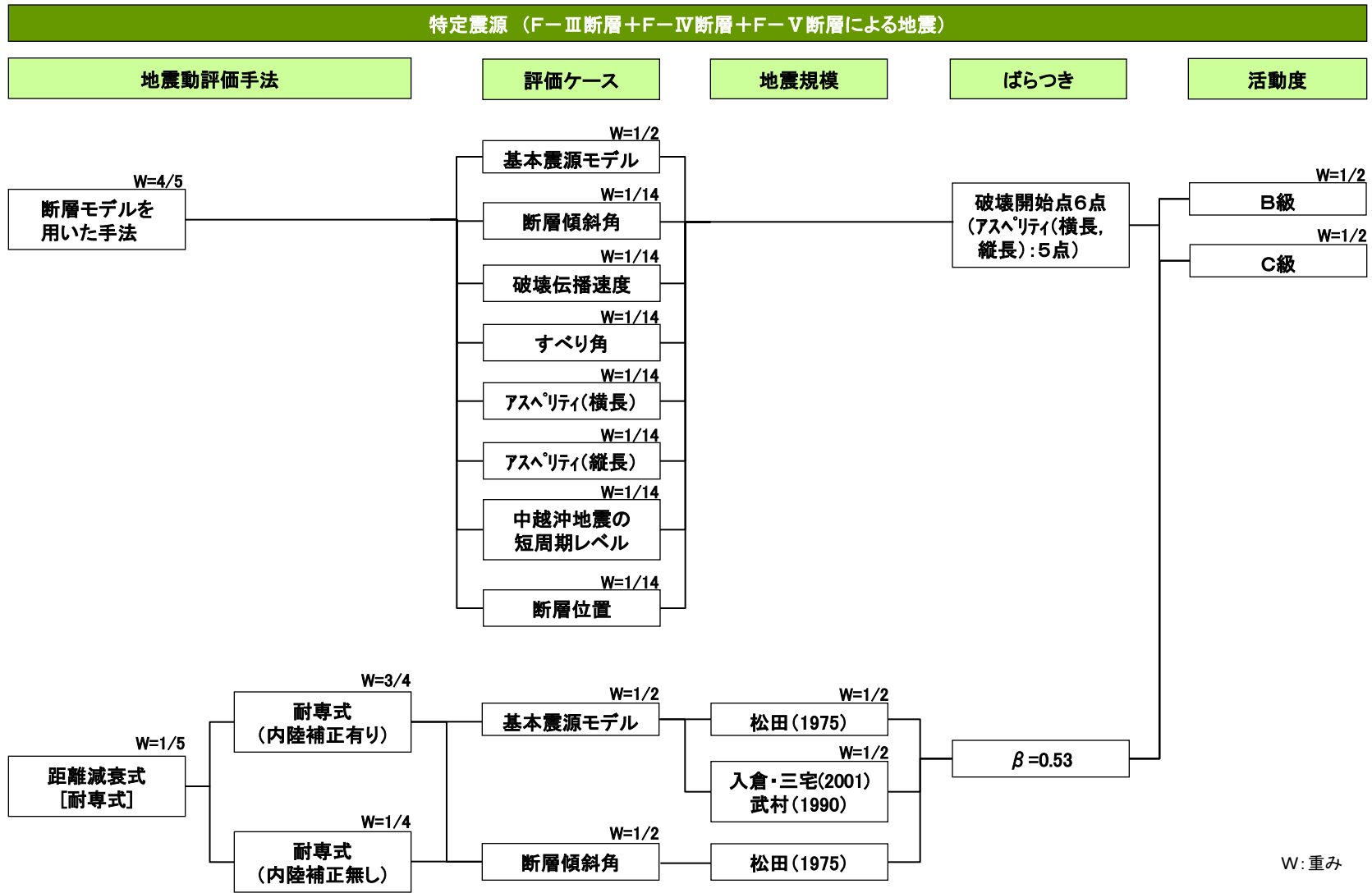


W: 重み

※ アスペリティ位置の不確かさについては、感度解析を行った結果、その不確かさを考慮した場合と考慮しない場合の宍道断層による地震の平均ハザード曲線は同程度であり、地震ハザード評価に大きな影響を及ぼさないことから、ロジックツリーの分岐として考慮しない。(補足説明資料154~156ページ参照。)

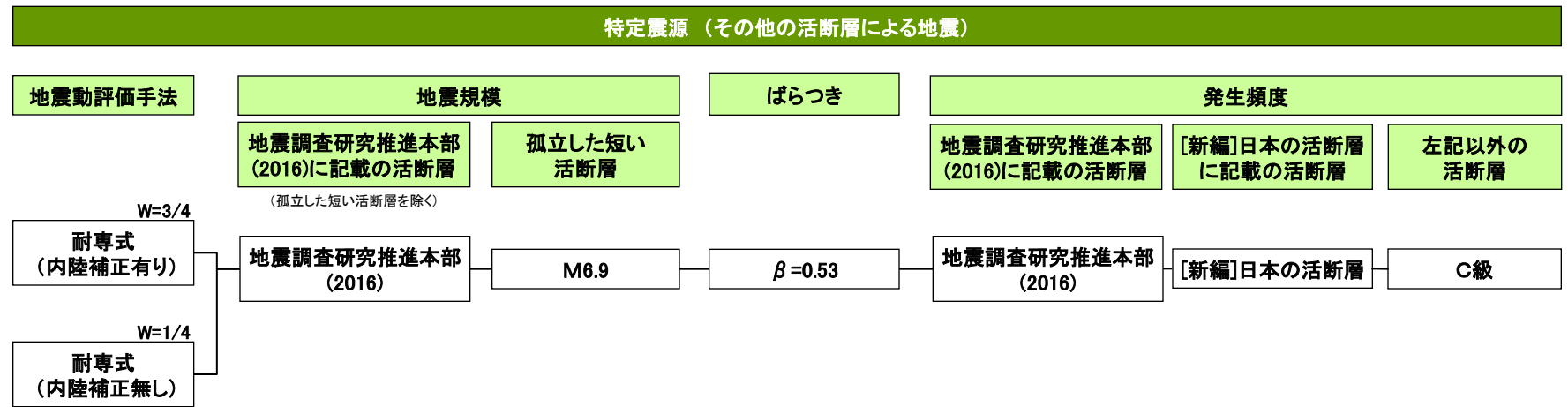
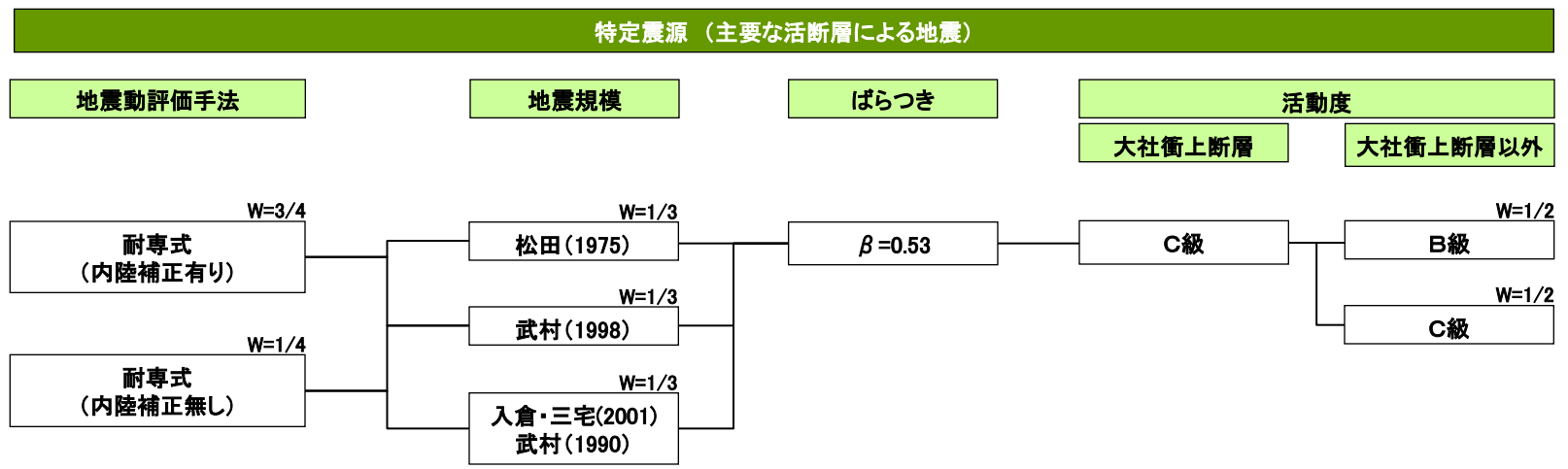
F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震

■ F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震のロジックツリーを以下に示す。



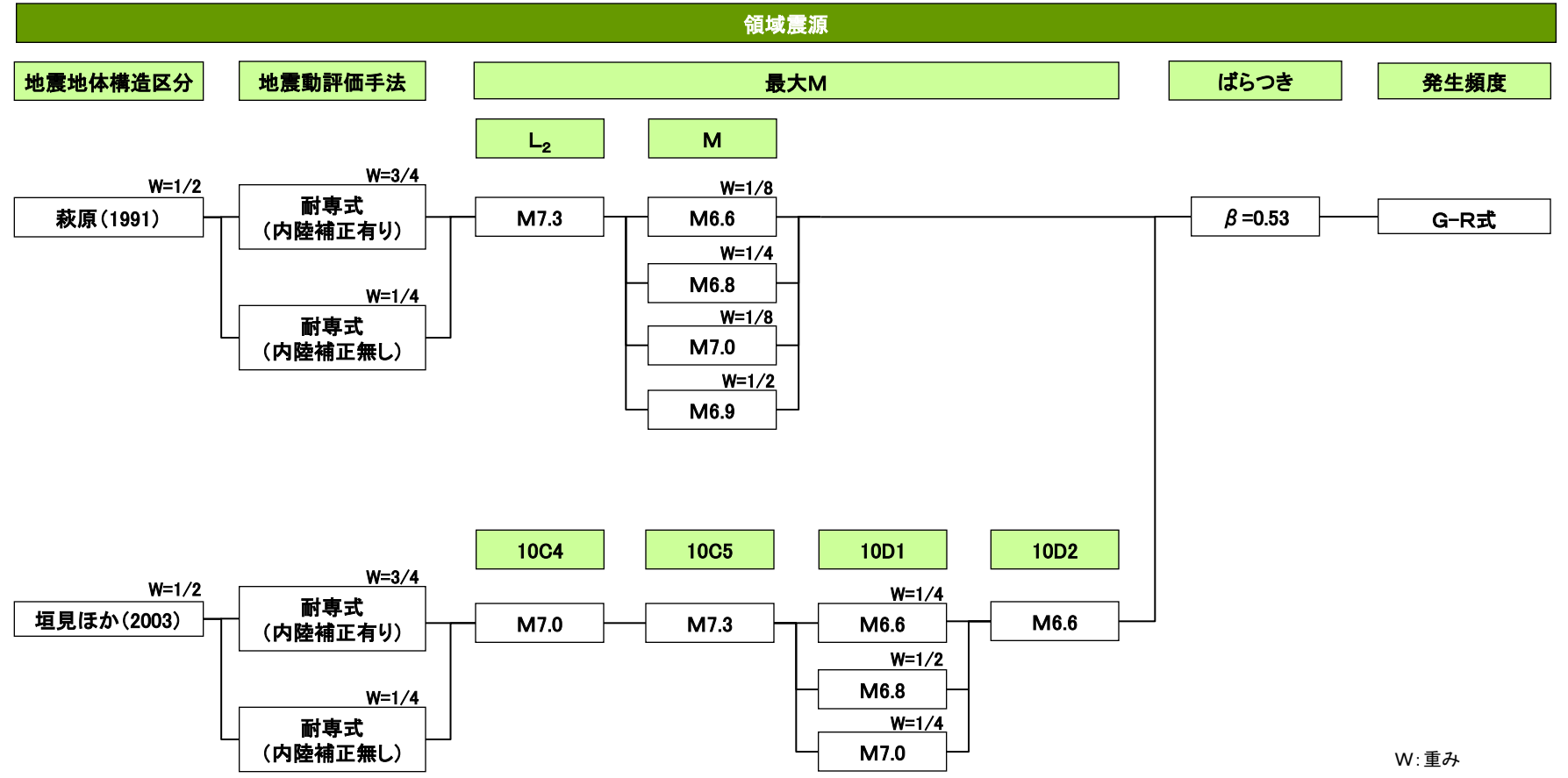
特定震源：主要な活断層による地震, その他の活断層による地震

■ 主要な活断層及びその他の活断層による地震のロジックツリーを以下に示す。



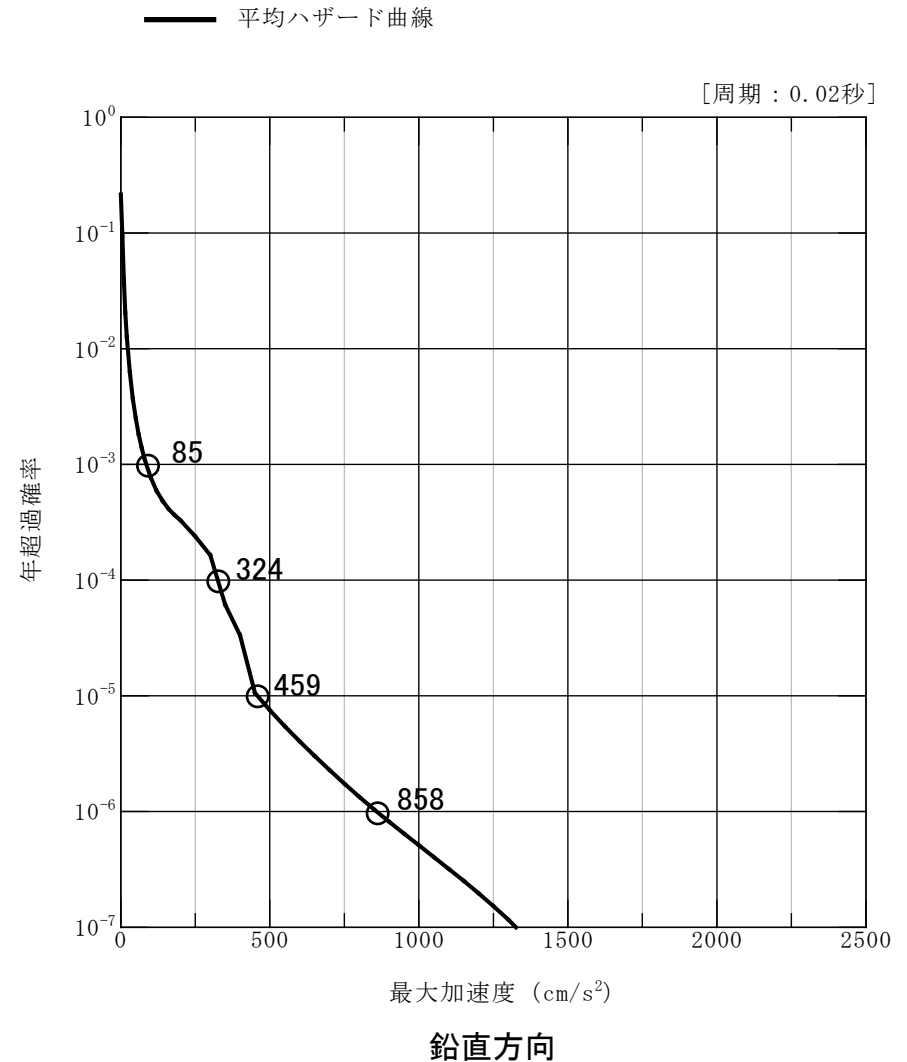
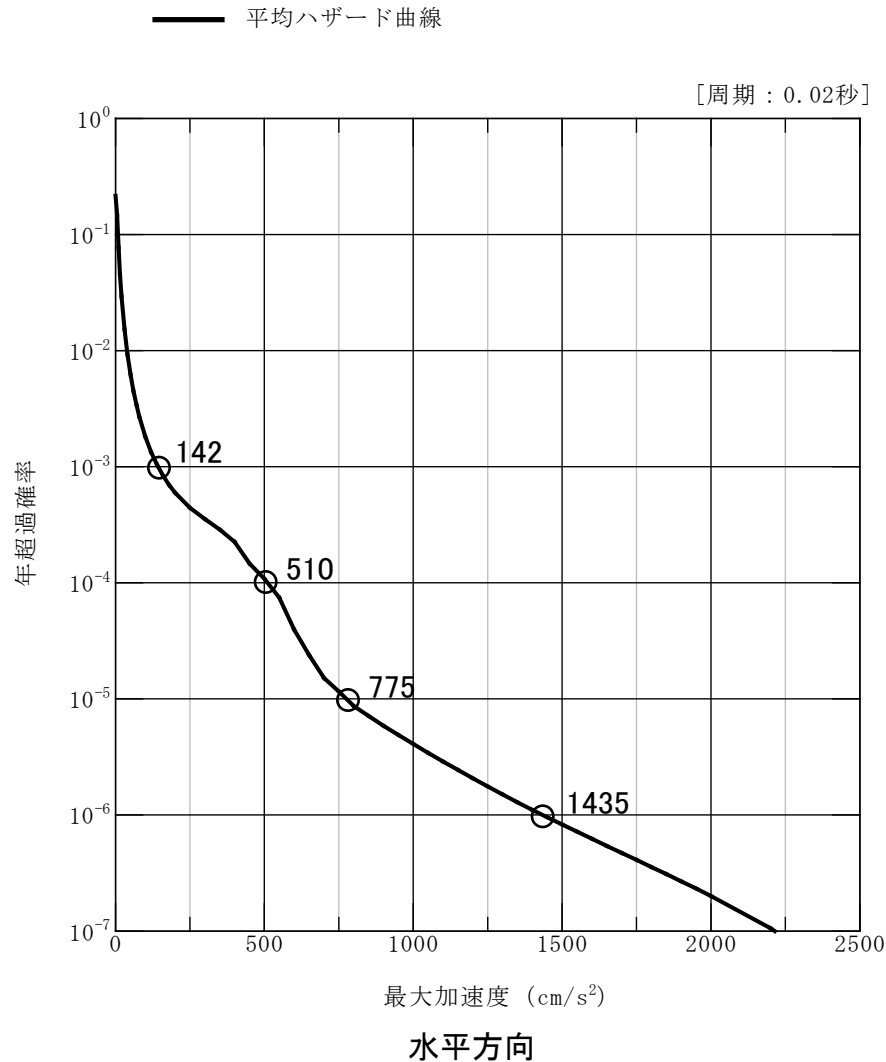
領域震源

■ 領域震源のロジックツリーを以下に示す。



平均ハザード曲線

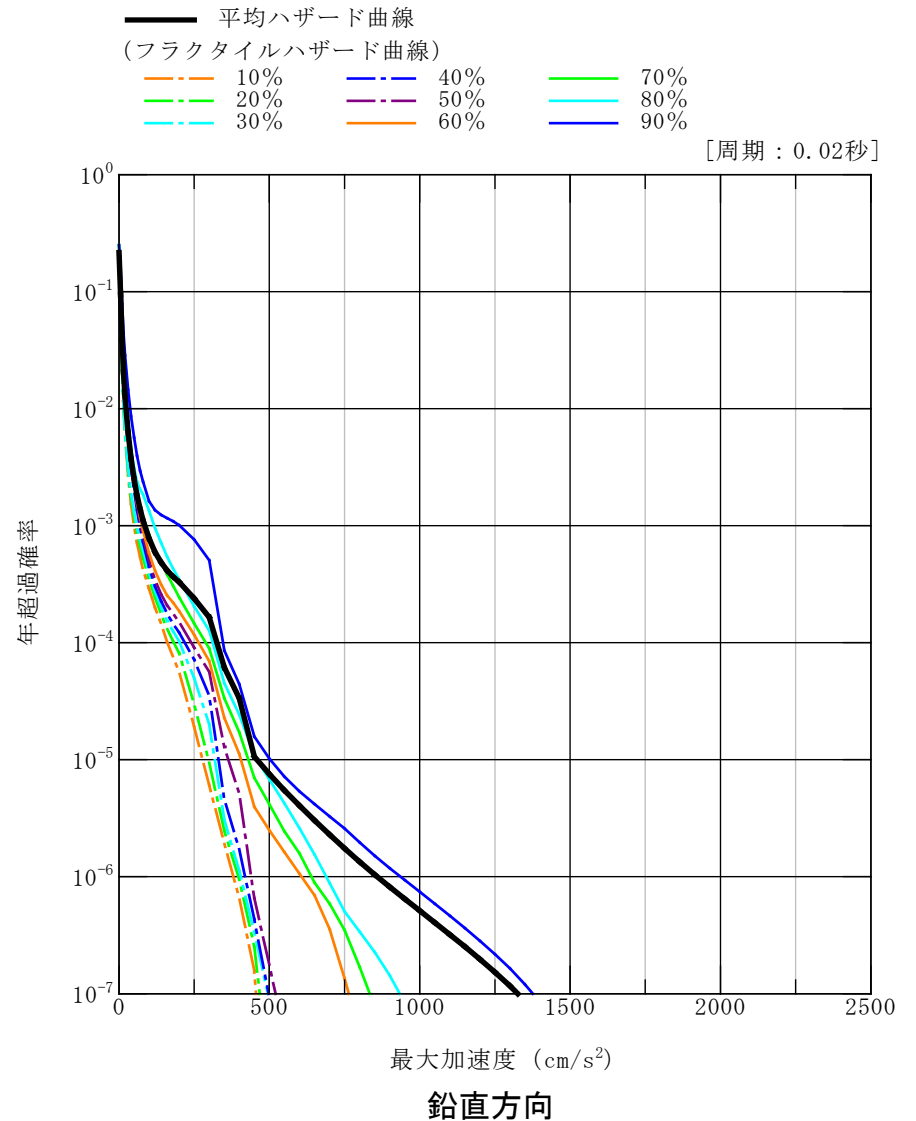
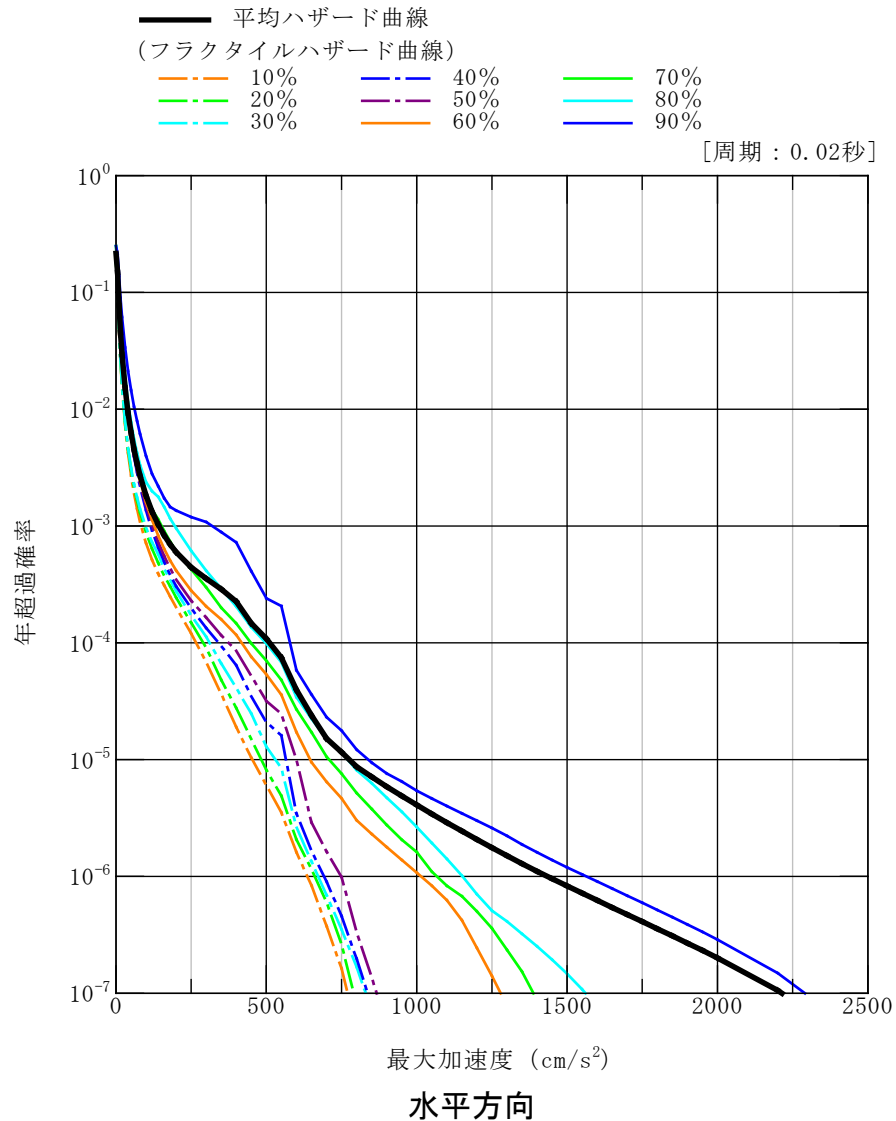
■ ロジックツリーに基づき、以下の平均ハザード曲線を評価した。



平均ハザード曲線

フラクタイルハザード曲線

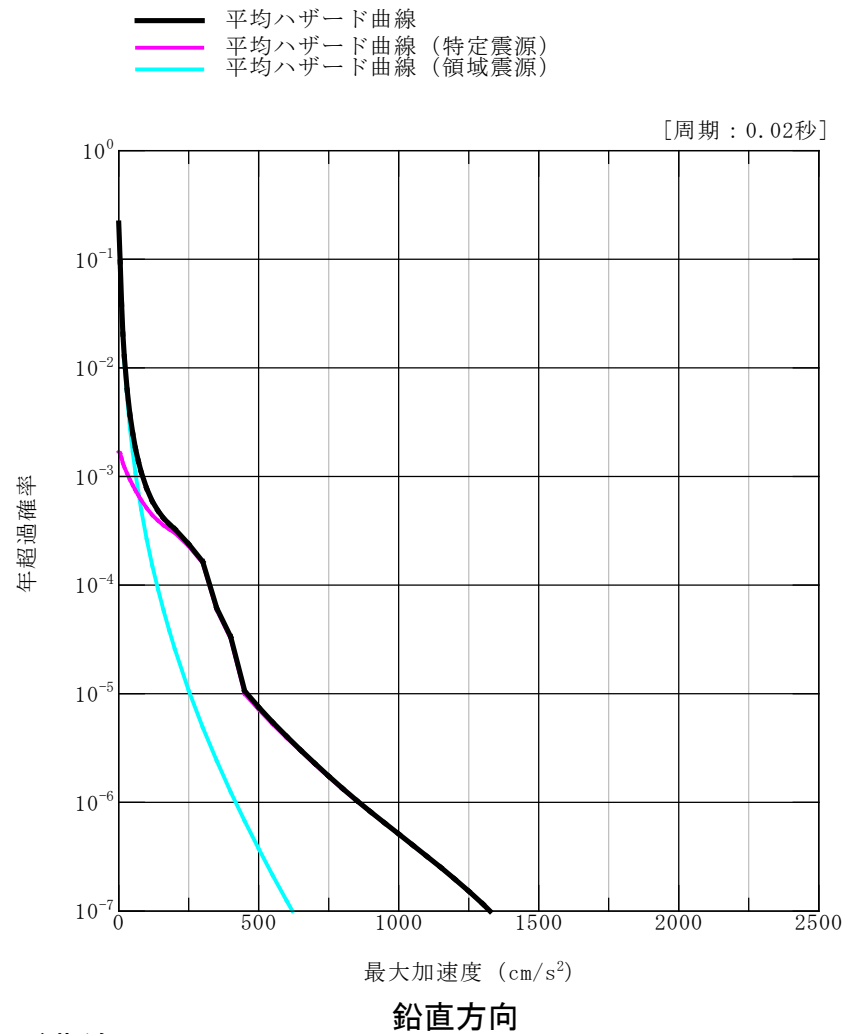
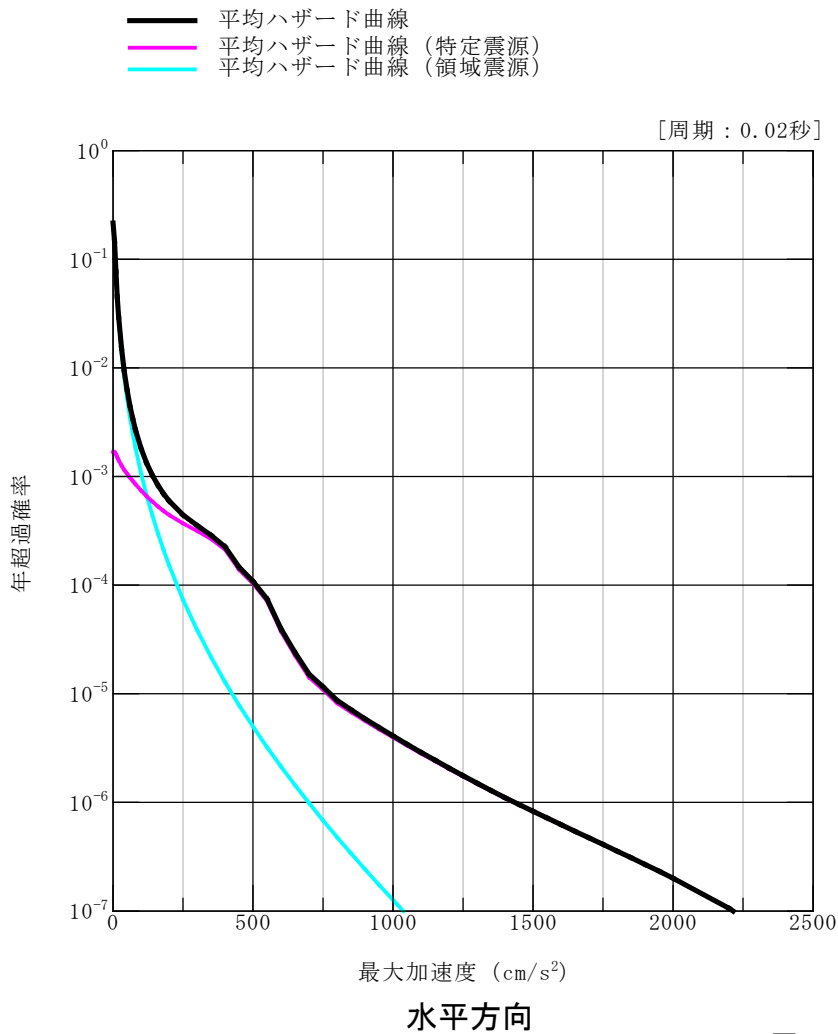
■ ロジックツリーに基づき、以下のフラクタイルハザード曲線を評価した。



フラクタイルハザード曲線

震源別ハザード曲線

■ 特定震源と領域震源の震源別のハザード曲線を比較すると、年超過確率が 10^{-4} 程度より低い範囲では特定震源の影響が大きい。



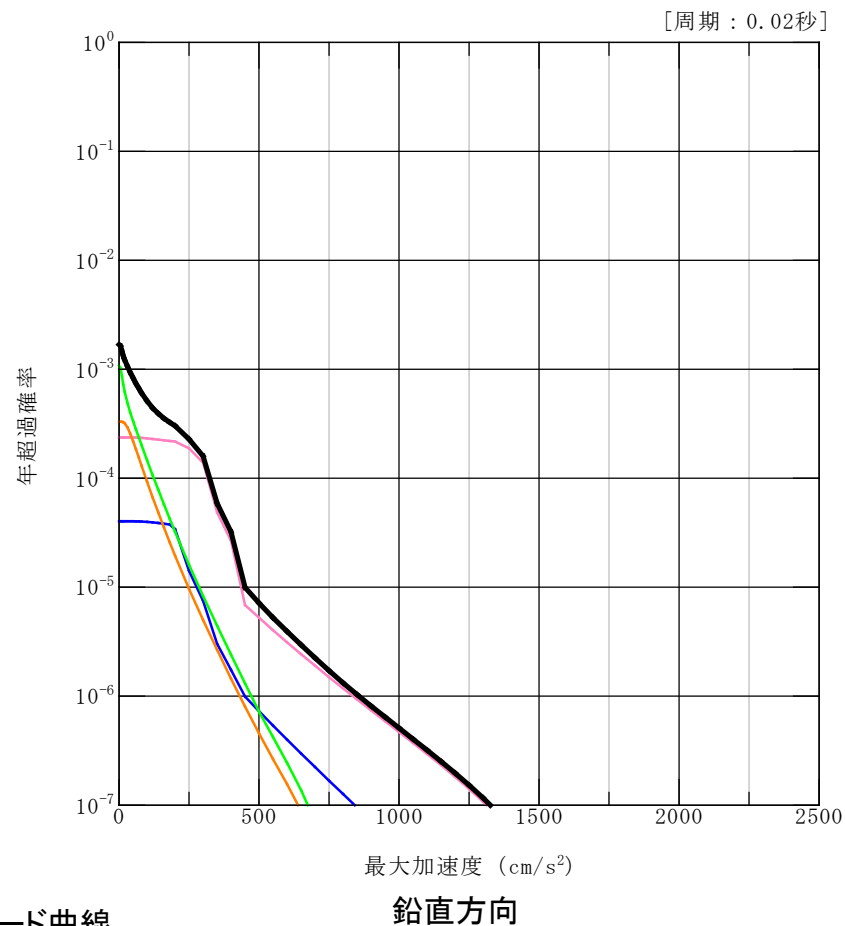
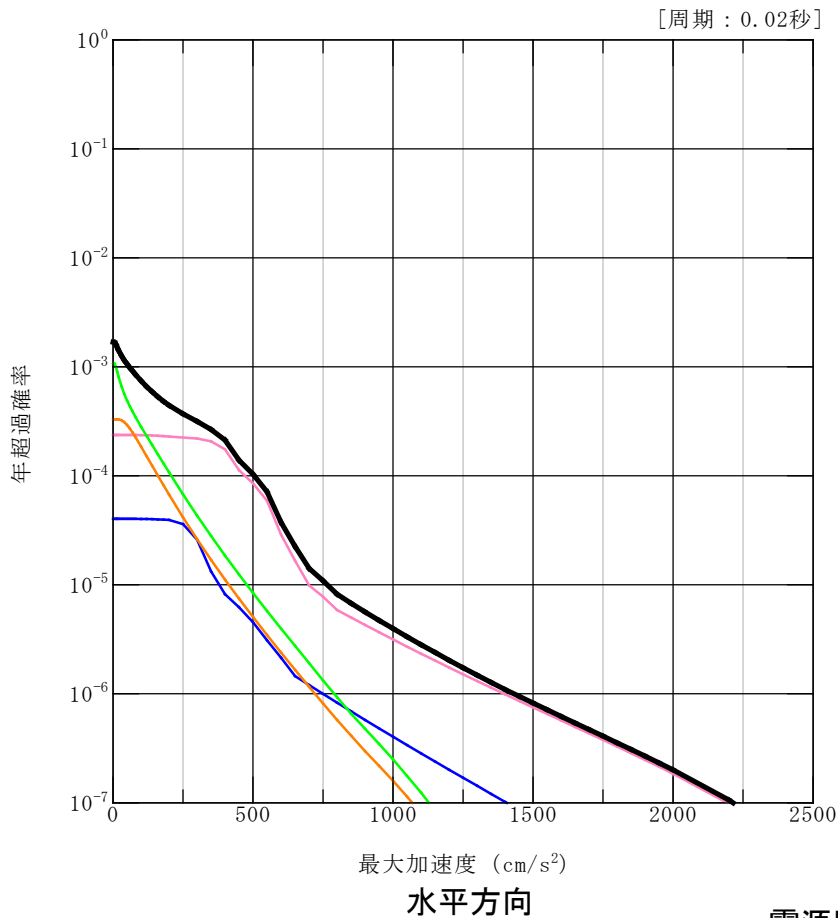
震源別ハザード曲線

特定震源の震源別ハザード曲線

■ 特定震源の各震源別のハザード曲線を比較すると、宍道断層による地震の影響が大きい。

- 平均ハザード曲線（特定震源）
- 宍道断層による地震
- F-III断層 + F-IV断層 + F-V断層による地震
- 主要な活断層による地震
- その他の活断層による地震

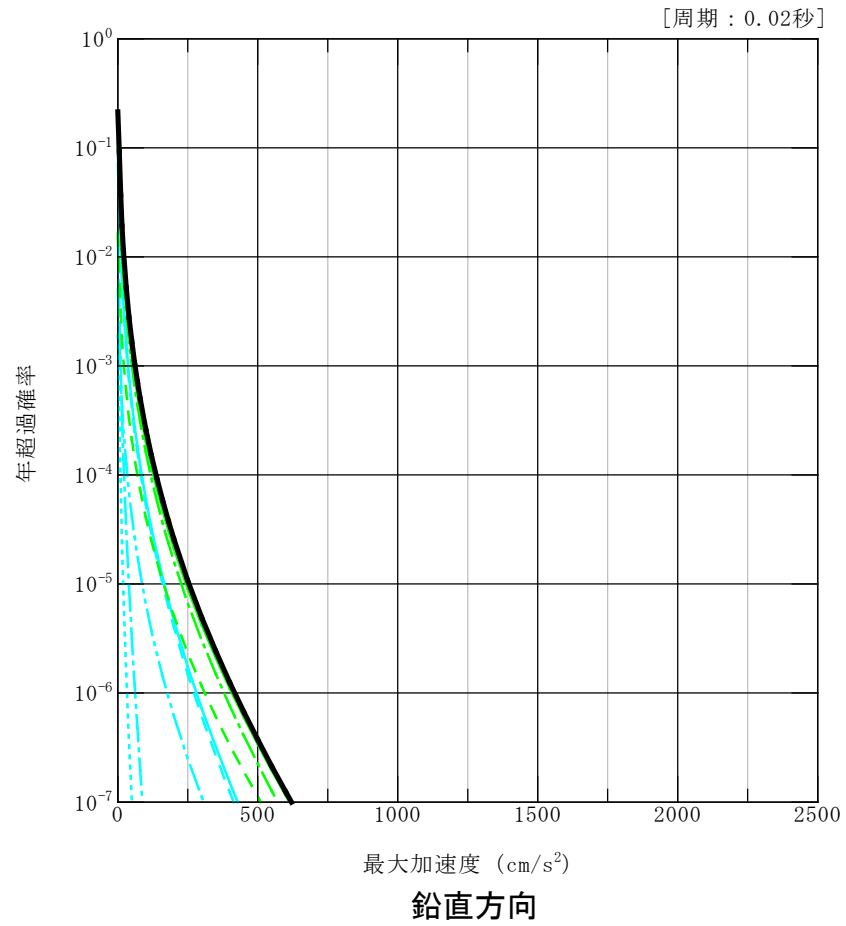
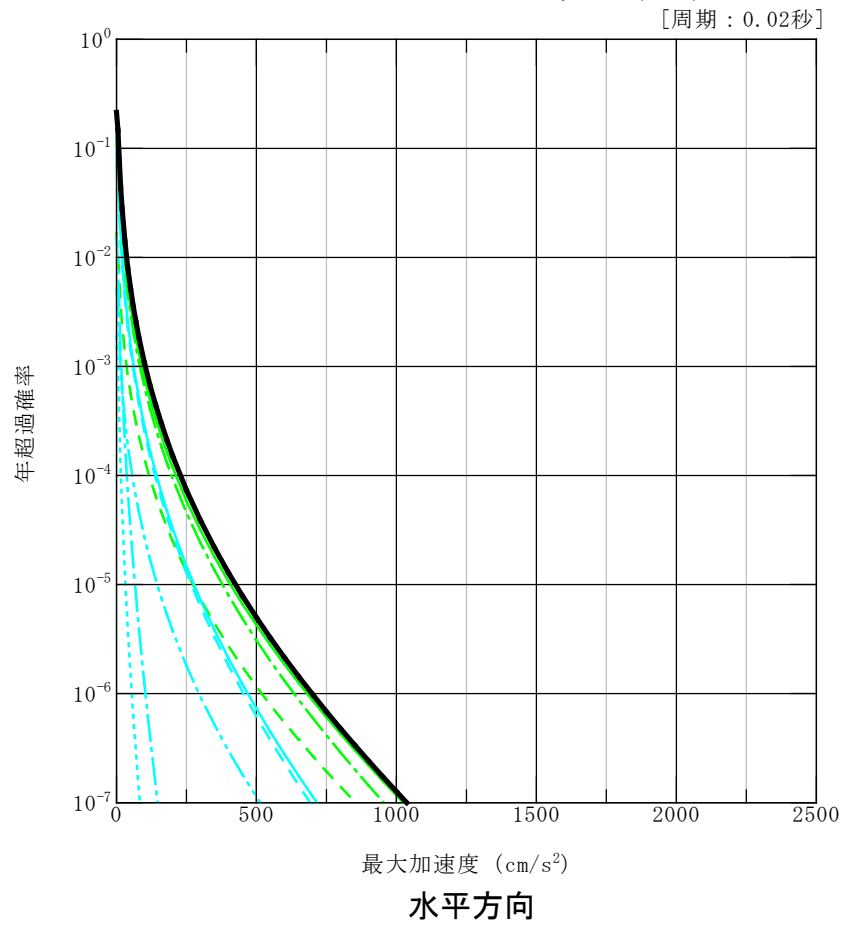
- 平均ハザード曲線（特定震源）
- 宍道断層による地震
- F-III断層 + F-IV断層 + F-V断層による地震
- 主要な活断層による地震
- その他の活断層による地震



領域震源の領域別ハザード曲線

■ 領域震源の領域別のハザード曲線を比較すると、萩原(1991)におけるL₂領域の影響が大きい。

- | | |
|-----------------------------|--------------------|
| — 平均ハザード曲線 (領域震源) | — 垣見ほか(2003)全体 |
| — 萩原(1991)全体 | — 垣見ほか(2003)10C4 |
| - - 萩原(1991) L ₂ | - - 垣見ほか(2003)10C5 |
| - - 萩原(1991) M | - - 垣見ほか(2003)10D1 |
| | - - 垣見ほか(2003)10D2 |

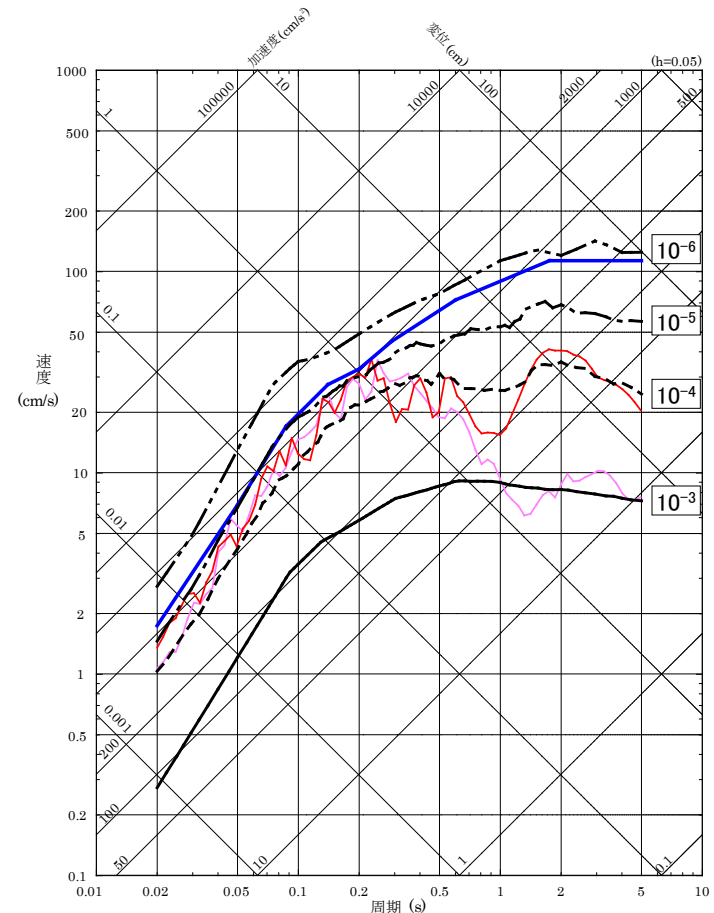
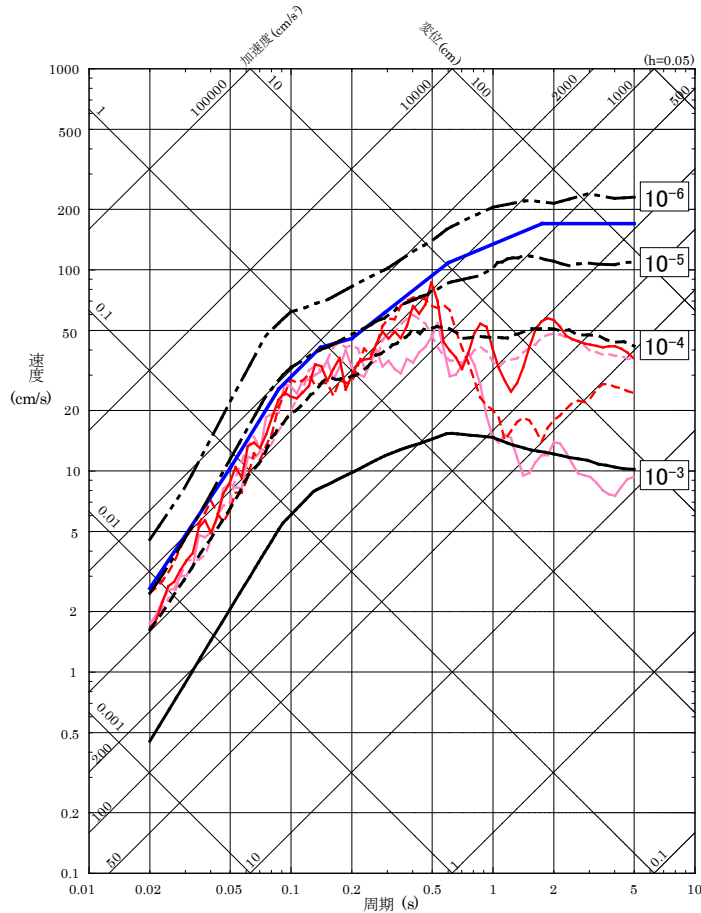


領域別ハザード曲線

一様ハザードスペクトルと基準地震動S_sの比較

■ 一様ハザードスペクトルと基準地震動S_sの応答スペクトルを比較すると、基準地震動S_s-Dの年超過確率は、周期0.2秒より短周期側では10⁻⁴~10⁻⁵程度、それより長周期側では10⁻⁵~10⁻⁶程度である。また、基準地震動S_s-F1及びS_s-F2は基準地震動S_s-Dに包絡されており、それらの年超過確率は周期0.5秒より短周期側では10⁻⁴~10⁻⁵程度、それより長周期側では10⁻³~10⁻⁴程度である。

- 基準地震動 S_s-D H
- 基準地震動 S_s-F1 H (NS成分)
- 基準地震動 S_s-F1 H (EW成分)
- 基準地震動 S_s-F2 H (NS成分)
- 基準地震動 S_s-F2 H (EW成分)
- 基準地震動 S_s-D V
- 基準地震動 S_s-F1 V
- 基準地震動 S_s-F2 V

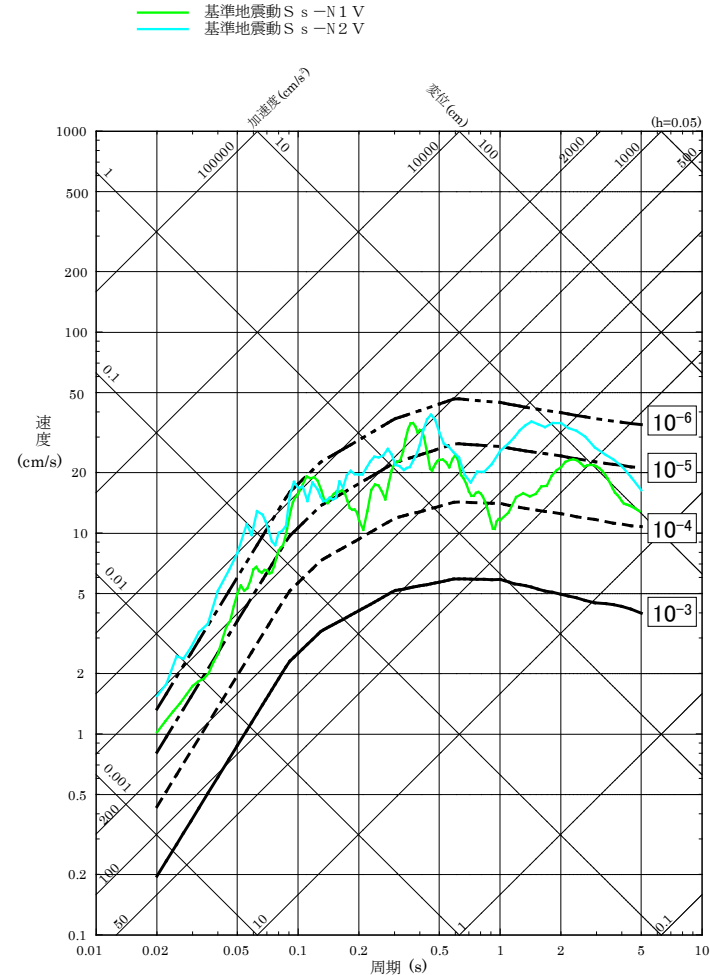
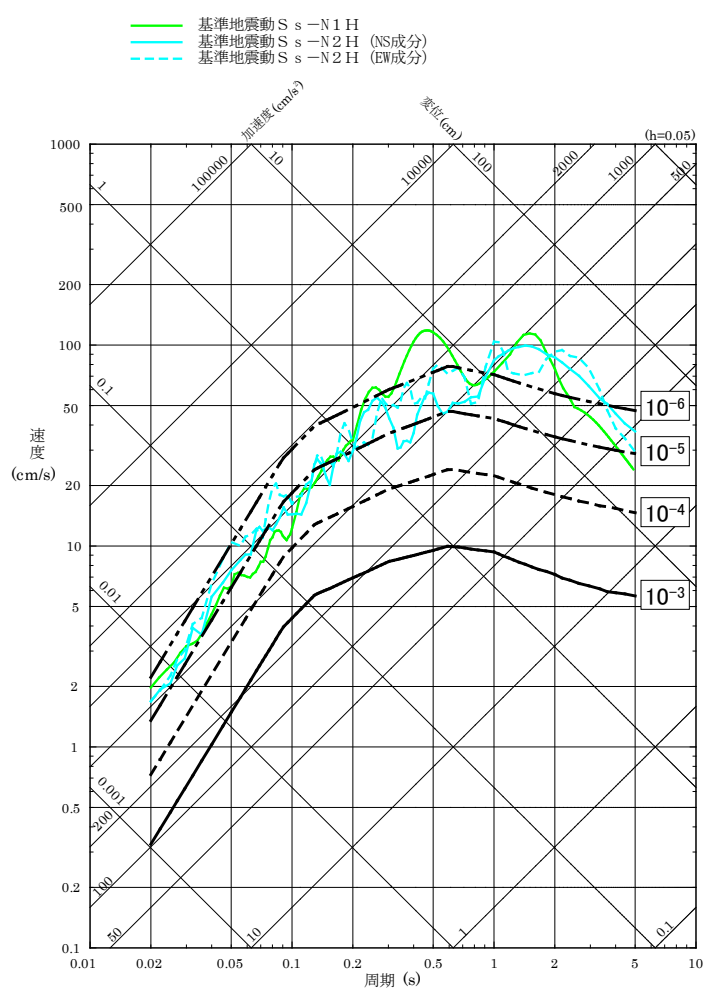


水平方向

鉛直方向

一様ハザードスペクトルと基準地震動 S_s-N の比較

■ 領域震源のみの一様ハザードスペクトルと震源を特定せず策定する地震動による基準地震動 S_s-N1 及び S_s-N2 の応答スペクトルを比較すると、基準地震動 S_s-N1 及び S_s-N2 の年超過確率は $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 程度である。



水平方向

鉛直方向

基準地震動 S_s-N 及び領域震源の一様ハザードスペクトル

参考文献(1)

基準地震動の策定の全体概要

1. 松田時彦(1975):活断層から発生する地震の規模と周期について, 地震, 第2輯, 第28巻, pp.269-283
2. 武村雅之(1990):日本列島およびその周辺地域に起こる浅発地震のマグニチュードと地震モーメントの関係, 地震, 第2輯, 第43巻, pp.257-265
3. 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2020):震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)
4. 加藤研一・宮腰勝義・武村雅之・井上大栄・上田圭一・壇一男(2004):震源を事前に特定できない内陸地殻内地震による地震動レベルー地質学的調査による地震の分類と強震観測記録に基づく上限レベルの検討ー, 日本地震工学会論文集, 第4巻, 第4号, 2004, pp.46-86

1. 敷地周辺の地震発生状況

1. 気象庁:地震年報2012年, 地震・火山月報
2. 大見士朗・廣瀬一聖・James J. Mori(2004):鳥取県西部に発生する深部低周波地震の現状, 京都大学防災研究所年報, 47(B), pp.691-696
3. 宇佐美龍夫・石井寿・今村隆正・武村雅之・松浦律子(2013):日本被害地震総覧599-2012, 東京大学出版会
4. 気象庁推計震度分布図:<http://www.data.jma.go.jp/svd/eew/data/suikai/>
5. 気象庁, 消防庁(2009):震度に関する検討会報告書
6. 村松郁栄(1969):震度分布と地震のマグニチュードとの関係, 岐阜大学教育学部研究報告, 自然科学, 第4巻, 第3号, pp.168-176
7. 勝又護・徳永規一(1971):震度IVの範囲と地震の規模および震度と加速度の対応, 験震時報, 第36巻, 第3, 4号, pp.89-96
8. 地震調査研究推進本部:http://www.jishin.go.jp/regional_seismicity/rs_chugoku-shikoku/p32_shimane/
9. 内閣府(2012):南海トラフの巨大地震モデル検討会(第二次報告)
10. 活断層研究会編(1991):[新編]日本の活断層分布図と資料, 東京大学出版会

2. 敷地地盤の振動特性及び地下構造モデルの設定

1. 島根県地質図説明書編集委員会編(1985):島根県の地質, 島根県
2. 鹿野和彦・吉田史郎(1985):境港地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所
3. 鹿野和彦・中野俊(1986):恵曇地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所
4. 狐崎長琅・後藤典俊・小林芳正・井川猛・堀家正則・斉藤徳美・黒田徹・山根一修・奥住宏一(1990):地震動予測のための深層地盤P・S波速度の推定, 自然災害科学
5. Ludwig W.J., J.E.Nafe and C.L.Drake(1970):Seismic Refraction, The sea, vol.4, edited by Maxwell, A., Wiley InterScience, New York
6. 岩田知孝・関口春子(2002):2000年鳥取県西部地震の震源過程と震源域強震動, 月刊地球/号外

参考文献(2)

3. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

1. 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2016):中国地域の活断層の長期評価(第一版)
2. 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2017):「全国地震動予測地図2017年版」
3. 独立行政法人原子力安全基盤機構(2004):地震記録データベースSANDELのデータ整備と地震発生上下限層深さの評価に関する報告書(平成15年度), JNES/SAE04-017
4. 大見士朗・廣瀬一聖・James J. Mori(2004):鳥取県西部に発生する深部低周波地震の現状, 京都大学防災研究所年報, 47(B), pp.691-696
5. 気象庁:地震年報2012年, 地震・火山月報
6. 片尾浩・吉井弘治(2002):緊急観測によって得られた鳥取県西部地震直後の余震分布, 地震, 第2輯, 第54巻, pp.581-585
7. 京都大学防災研究所附属地震予知研究センター:<http://www1.rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp/TOTTORI/goudouj.html>
8. 入倉孝次郎・三宅弘恵(2001):シナリオ地震の強震動予測, 地学雑誌, Vol.110, No.6, pp.849-875
9. 吉井弘治・伊藤潔(2001):近畿地方北部の地震波速度構造と地震発生層, 地球惑星科学連合学会2001年合同大会, Sz-P006
10. 廣瀬一聖・伊藤潔(2006):広角反射法および屈折法解析による近畿地方の地殻構造の推定, 京都大学防災研究所年報, 第49号B, pp.307-321
11. 岩田知孝・関口春子(2002):2000年鳥取県西部地震の震源過程と震源域強震動, 月刊地球/号外
12. Shibutani, T.・H. Katao・Group for the dense aftershock observations of the 2000 Western Tottori Earthquake(2005):High resolution 3-D velocity structure in the source region of the 2000 Western Tottori Earthquake in southwestern Honshu, Japan using very dense aftershock observations, Earth, Planets and Space, Volume 57, Issue 9, pp.825-838
13. 岩崎貴哉・佐藤比呂志(2009):陸域制御震源地震探査から明らかになりつつある鳥取地殻・上部マントル構造, 地震, 第2輯, 第61巻, pp.S165-S176
14. 宮腰研・長郁夫・PETUKHIN Anatoly (2003):すべりの空間的不均質性の抽出, 地震災害軽減のための強震動予測マスターモデルに関する研究平成14年度研究成果報告書, pp.25-40
15. Yagi・Kikuchi(2000):Source Rupture Process of the Tottori-ken Seibu earthquake of Oct. 6, 2000, <https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/yuji/tottori/>
16. 池田隆明・釜江克宏・三輪滋・入倉孝次郎(2002):経験的グリーン関数法を用いた2000年鳥取県西部地震の震源のモデル化と強震動シミュレーション, 日本建築学会構造系論文集, 第561号, pp.37-45
17. 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2002):鳥取県西部地震の観測記録を利用した強震動評価手法の検証について
18. Somerville, P. G.・K. Irikura・R. Graves・S. Sawada・D. Wald・N. Abrahamson・Y. Iwasaki・T. Kagawa・N. Smith・A. Kowada(1999):Characterizing Crustal Earthquake Slip Models for the Prediction of Strong Ground Motion, Seismological Research Letters, Vol.70, No.1, pp.59-80
19. 上野寛・畠山信一・明田川保・舟崎淳・浜田信生(2002):気象庁の震源決定方法の改善-浅部速度構造と重み関数の改良-, 験震時報, 65, 123~134

参考文献(3)

20. 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2008):2005年福岡県西方沖の地震の観測記録に基づく強震動評価手法の検証について
21. 松田時彦(1975):活断層から発生する地震の規模と周期について,地震,第2輯,第28巻,pp.269-283
22. 村松郁栄(1969):震度分布と地震のマグニチュードとの関係,岐阜大学教育学部研究報告,自然科学,第4巻,第3号,pp.168-176
23. 勝又護・徳永規一(1971):震度IVの範囲と地震の規模および震度と加速度の対応,験震時報,第36巻,第3,4号,pp.89-96
24. Noda, S.・K. Yashiro・K. Takahashi・M. Takemura・S. Ohno・M. Tohdo・T. Watanabe(2002):RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES, OECD-NEA Workshop on the Relations Between Seismological DATA and Seismic Engineering, Oct.16-18 Istanbul,pp.399-408
25. 釜江克宏・入倉孝次郎・福知保長(1991):地震のスケーリング則に基づいた大地震時の強震動予測統計的波形合成法による予測,日本建築学会構造系論文報告集,第430号,pp.1-9
26. 入倉孝次郎・香川敬生・関口春子(1997):経験的グリーン関数を用いた強震動予測方法の改良,日本地震学会講演予稿集, Vol.2, B25
27. Hisada, Y.(1994):An Efficient Method for Computing Green's Functions for a Layered Half-Space with Sources and Receivers at Close Depths, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.84, No.5, pp.1456-1472
28. Kamae, K.・K. Irikura・A. Pitarka(1998):A Technique for Simulating Strong Ground Motion Using Hybrid Green's Function, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.88, No.2, pp.357-367
29. Kanno, T.・A. Narita・N. Morikawa・H. Fujiwara・Y. Fukushima(2006):A New Attenuation Relation for Strong Ground Motion in Japan Based on Recorded Data, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.96, No.3, pp.879-897
30. Zhao, J. X.・J. Zhang・A. Asano・Y. Ohno・T. Oouchi・T. Takahashi・H. Ogawa・K. Irikura・H. K. Thio・P. G. Somerville・Y. Fukushima・Y. Fukushima(2006):Attenuation Relations of Strong Ground Motion in Japan Using Site Classification Based on Predominant Period, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.96, No.3, pp.898-913
31. 内山泰生・翠川三郎(2006):震源深さの影響を考慮した工学的基盤における応答スペクトルの距離減衰式,日本建築学会構造系論文集,第606号,pp.81-88
32. 片岡正次郎・佐藤智美・松本俊輔・日下部毅明(2006):短周期レベルをパラメータとした地震動強さの距離減衰式,土木学会論文集A, Vol.62, No.4, pp.740-757
33. Abrahamson, N. A.・W. J. Silva・R. Kamai(2014):Summary of the ASK14 ground motion relation for active crustal regions, Earthquake Spectra Vol.30, No.3, pp.1025-1055
34. Boore, D. M.・J. P. Stewart・E. Seyhan・G. M. Atkinson(2014):NGA-West2 equations for predicting PGA, PGV, and 5% damped PSA for shallow crustal earthquakes, Earthquake Spectra Vol.30, No.3, pp.1057-1085
35. Campbell, K. W.・Y. Bozorgnia(2014):NGA-West2 ground motion model for the average horizontal components of PGA, PGV, and 5% damped linear acceleration response spectra, Earthquake Spectra Vol.30, No.3, pp.1087-1115

参考文献(4)

36. Chiou, B. S.-J.・R. R. Youngs(2014): Update of the Chiou and Youngs NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra, *Earthquake Spectra* Vol.30, No.3, pp.1117-1153
37. Idriss, I. M.(2014): An NGA-West2 empirical model for estimating the horizontal spectral values generated by shallow crustal earthquakes, *Earthquake Spectra* Vol.30, No.3, pp.1155-1177
38. Gregor, N.・N. A. Abrahamson・G. M. Atkinson・D. M. Boore・Y. Bozorgnia・K. W. Campbell・B. S.-J. Chiou・I. M. Idriss・R. Kamai・E. Seyhan・W. Silva・J. P. Stewart・R. Youngs(2014): Comparison of NGA-West2 GMPEs, *Earthquake Spectra*, Volume 30, No. 3, pages pp.1179-1197
39. 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2020): 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)
40. Murotani, S.・S. Matsushima・T. Azuma・K. Irikura・S. Kitagawa(2015): Scaling relations of source parameters of earthquakes occurring on inland crustal megafault systems, *Pure and Applied Geophys*, Vol.172, pp.1371-1381
41. 壇一男・渡辺基史・佐藤俊明・石井透(2001): 断層の非一様すべり破壊モデルから算定される短周期レベルと半経験的波形合成法による強震動予測のための震源断層のモデル化, *日本建築学会構造系論文集*, 第545号, pp.51-62
42. Boatwright, J.(1988): THE SEISMIC RADIATION FROM COMPOSITE MODELS OF FAULTING, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.78, No.2, pp.489-508
43. Eshelby, J. D.(1957): The determination of the elastic field of an ellipsoidal inclusion, and related problems, *Proceedings of the Royal Society of London, Series A*, Vol.241, pp.376-396
44. Fujii, Y.・M. Matsu'ura(2000): Regional Difference in Scaling Laws for Large Earthquakes and its Tectonic Implication, *Pure and Applied Geophysics*, Vol.157, pp.2283-2302
45. Madariaga, R.(1979): On the Relation Between Seismic Moment and Stress Drop in the Presence of Stress and Strength Heterogeneity, *Journal of Geophysical Research*, Vol.84, pp.2243-2250
46. 壇一男・佐藤俊明・入倉孝次郎(2002): アスペリティモデルに基づく強震動予測のための震源モデルの特性化手法, 第11回日本地震工学シンポジウム, pp.555-560
47. Geller, R. J.(1976): SCALING RELATIONS FOR EARTHQUAKE SOURCE PARAMETERS AND MAGNITUDES, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.66, No.5, pp.1501-1523
48. 宮腰研・PETUKHIN Anatoly・長郁夫(2005): すべりの時空間的不均質特性のモデル化, 地震災害軽減のための強震動予測マスターモデルに関する研究 平成16年度研究成果報告書, pp.113-123
49. 中村洋光・宮武隆(2000): 断層近傍強震動シミュレーションのための滑り速度時間関数の近似式, *地震*, 第2輯, 第53巻, pp.1-9
50. 香川敬生・鶴来雅人・佐藤信光(2003): 硬質サイトの強震観測記録に見られる高周波低減特性の検討, *土木学会地震工学論文集*, 第27巻, No.315
51. 宮腰研・関口春子・岩田知孝(2001): すべりの空間的不均質性の抽出, 平成12年度科学振興調整費「地震災害軽減のための強震動予測マスターモデルに関する研究」研究成果報告書, pp.99-109

参考文献(5)

52. 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2016):「中国地域の活断層の長期評価(第一版)」で評価対象となった活断層で発生する地震の予測震度分布(簡便法計算結果)
53. 佐藤智美(2008):地殻内地震に対するP波部・S波部・全継続時間の水平・上下動の距離減衰式,日本建築学会構造系論文集,第73巻,第632号,pp.1745-1754
54. 国立研究開発法人産業技術総合研究所:活断層データベース, https://gbank.gsj.jp/activefault/index_gmap.html
55. 奥村俊彦・石川裕(1998):活断層の活動度から推定される平均変位速度に関する検討,土木学会第53回年次学術講演会講演概要集,第I部(B),pp.554-555
56. 活断層研究会編(1991):[新編]日本の活断層分布図と資料,東京大学出版会
57. Ludwig W.J.・J.E.Nafe.・C.L.Drake(1970):Seismic Refraction, The sea, vol.4, edited by Maxwell, A., Wiley InterScience, New York
58. Kanamori, H.(1977):The Energy Release in Great Earthquakes, Journal of Geophysical Research, Vol.82, No20, pp.2981-2987
59. 武村雅之(1990):日本列島およびその周辺地域に起こる浅発地震のマグニチュードと地震モーメントの関係,地震,第2輯,第43巻,pp.257-265
60. 原子力安全委員会(2009):「応答スペクトルに基づく地震動評価」に関する専門家との意見交換会,資料第1-1号
61. Midorikawa, S・M.Matsuoka・K.Sakugawa(1994):Site Effect on Strong Motion Record Observed during the 1987 Chiba-ken-toho-oki, Japan Earthquake, The 9th Japan Earthquake Engineering Symposium, Vol.3, pp.85-90
62. 佐藤良輔・阿部勝征・岡田義光・島崎邦彦・鈴木保典(1989):日本の地震断層パラメーター・ハンドブック,鹿島出版会

4. 震源を特定せず策定する地震動

1. 加藤研一・宮腰勝義・武村雅之・井上大栄・上田圭一・壇一男(2004):震源を事前に特定できない内陸地殻内地震による地震動レベルー地質学的調査による地震の分類と強震観測記録に基づく上限レベルの検討一,日本地震工学会論文集,第4巻,第4号,2004,pp.46-86
2. 佐藤浩章・芝良昭・東貞成・功刀卓・前田宜浩・藤原広行(2013):物理探査・室内試験に基づく2004年留萌支庁南部の地震によるK-NET港町観測点(HKD020)の基盤地震動とサイト特性評価,電力中央研究所,平成25年12月
3. 原子力規制(2013)「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」より抜粋
4. 地震調査研究推進本部(2002):鳥取県西部地震の観測記録を利用した強震動評価手法の検証について,平成14年10月31日
5. 山添正稔・加藤研一・山田有孝・武村雅之(2004):KiK-net伯太および日野地点の地盤構造の推定と2000年鳥取県西部地震時の基盤地震動の再評価,日本地震工学会論文集,第4巻,第4号,2004,pp.107-125
6. Kanno,T.・A.Narita・N.Morikawa・H.Fujiwara・Y.Fukushima(2006):A New Attenuation Relation for Strong Ground Motion in Japan Based on Recorded Data, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.96, No.3, pp.879-897

参考文献(6)

5. 基準地震動の策定

1. Noda, S.・K. Yashiro・K. Takahashi・M. Takemura・S. Ohno・M. Tohdo・T. Watanabe(2002): RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES, OECD-NEA Workshop on the Relations Between Seismological DATA and Seismic Engineering, Oct.16-18 Istanbul,pp.399-408
2. 武村雅之(1990):日本列島およびその周辺地域に起こる浅発地震のマグニチュードと地震モーメントの関係,地震,第2輯,第43巻,pp.257-265
3. 松田時彦(1975):活断層から発生する地震の規模と周期について,地震,第2輯,第28巻,pp.269-283
4. 一般社団法人 日本電気協会(2008):原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-2008
5. 加藤研一・宮腰勝義・武村雅之・井上大栄・上田圭一・壇一男(2004):震源を事前に特定できない内陸地殻内地震による地震動レベルー地質学的調査による地震の分類と強震観測記録に基づく上限レベルの検討ー,日本地震工学会論文集,第4巻,第4号,2004,pp.46-86

6. 基準地震動の年超過確率の参照

1. 日本原子力学会(2015):日本原子力学会標準,原子力発電所に対する地震を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準:2015
2. 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2017):「全国地震動予測地図2017年版」
3. 片尾浩・吉井弘治(2002):緊急観測によって得られた鳥取県西部地震直後の余震分布,地震,第2輯,第54巻,pp.581-585
4. 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2016):中国地域の活断層の長期評価(第一版)
5. 活断層研究会編(1991):[新編]日本の活断層分布図と資料,東京大学出版会
6. 今泉俊文・宮内崇裕・堤浩之・中田高編(2018):活断層詳細デジタルマップ[新編],東京大学出版会
7. 独立行政法人防災科学技術研究所:広帯域地震観測網(F-NET),<http://www.fnet.bosai.go.jp/top.php>
8. 萩原尊禮編(1991):日本列島の地震地震工学と地震地体構造,鹿島出版会
9. 垣見俊弘・松田時彦・相田勇・衣笠善博(2003):日本列島と周辺海域の地震地体構造区分,地震第2輯,第55巻,pp.389-406
10. Noda, S.・K. Yashiro・K. Takahashi・M. Takemura・S. Ohno・M. Tohdo・T. Watanabe(2002): RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES, OECD-NEA Workshop on the Relations Between Seismological DATA and Seismic Engineering, Oct.16-18 Istanbul, pp.399-408
11. Abrahamson, N. A.・W. J. Silva・R. Kamai(2014): Summary of the ASK14 ground motion relation for active crustal regions, Earthquake Spectra Vol.30, No.3, pp.1025-1055a
12. 日本原子力学会(2007):日本原子力学会標準,原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施基準:2007

参考文献(7)

13. 入倉孝次郎・三宅弘恵(2001):シナリオ地震の強震動予測, 地学雑誌, Vol.110, No.6, pp.849-875
14. 武村雅之(1998):日本列島における地殻内地震のスケーリング則地震断層の影響および地震被害との関連, 地震第2輯, 第51巻, pp.211-228
15. 渡辺満久・中田高・奥村晃史・熊原康博・後藤秀昭・隈元崇・今泉俊文・徳岡隆夫・吹田歩(2006):鹿島断層(島根半島)東部におけるトレンチ調査, 日本地震学会秋季大会講演予稿集, pp.50
16. 松田時彦(1975):活断層から発生する地震の規模と周期について, 地震, 第2輯, 第28巻, pp.269-283
17. 奥村俊彦・石川裕(1998):活断層の活動度から推定される平均変位速度に関する検討, 土木学会第53回年次学術講演会講演概要集, 第I部(B), pp.554-555
18. 武村雅之(1990):日本列島およびその周辺地域に起こる浅発地震のマグニチュードと地震モーメントの関係, 地震, 第2輯, 第43巻, pp.257-265
19. Abrahamson, N. A.・W. J. Silva(1997):Empirical Response Spectral Attenuation Relations for Shallow Crustal Earthquakes, Seismological Research Letters, Vol.68, No.1, pp.94-127