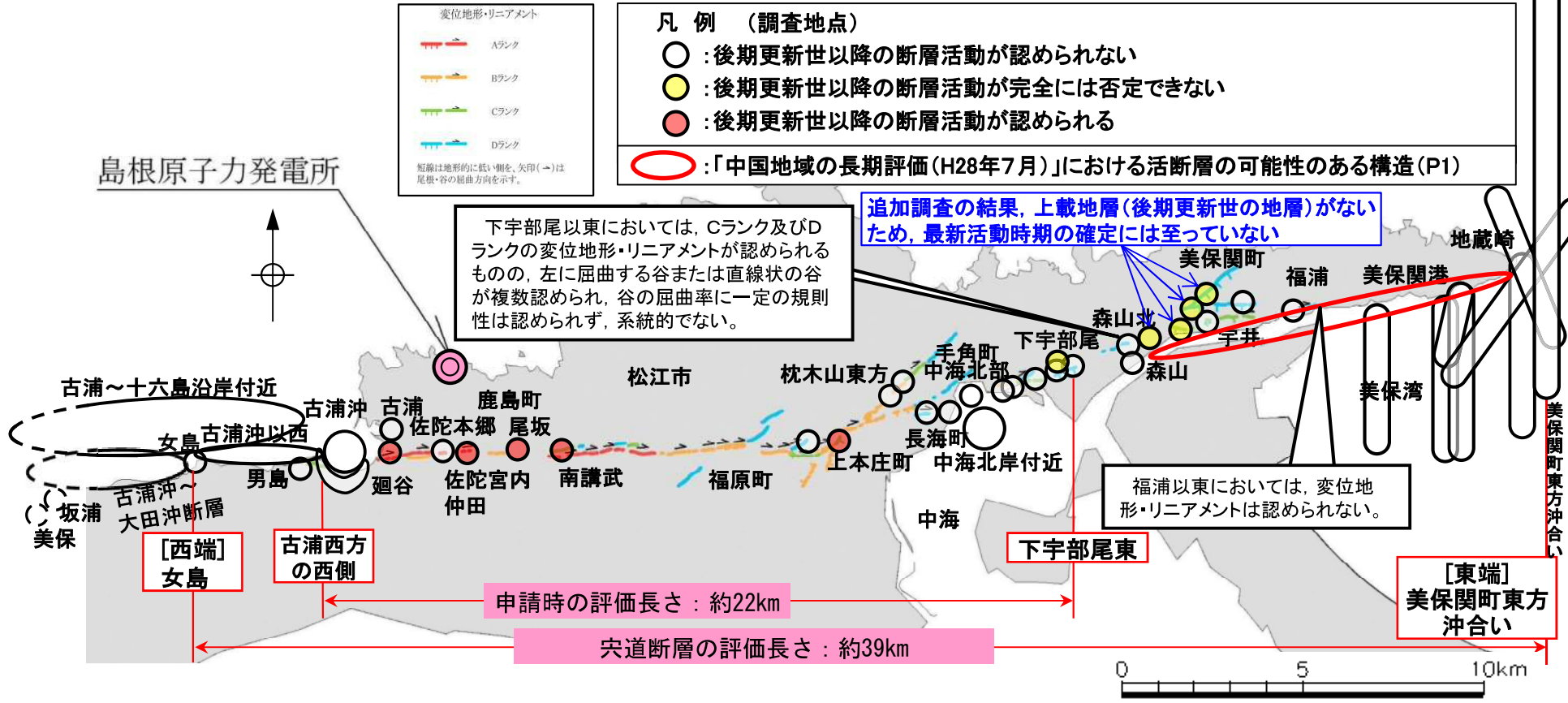


宍道断層の評価(まとめ)



【西端の評価】

○申請時の西端「古浦西方の西側」より更に西側において、海域、陸海境界、陸域で様々な調査を進めてきたが、宍道断層の延長部に対応する断層は認められない。

○しかしながら、審査会合における原子力規制委員会のコメントを踏まえ、発電所の安全性に万全を期す観点から、宍道断層の端部評価にあたっては、陸海境界の調査結果の不確かさを考慮し、「古浦西方の西側」と比較して、精度や信頼性のより高い調査結果が得られている「女島」を西端として評価する。

【東端の評価】

○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ており、かつ、明瞭な重力異常が認められないことを確認している「美保関町東方沖合い」を東端として評価する。

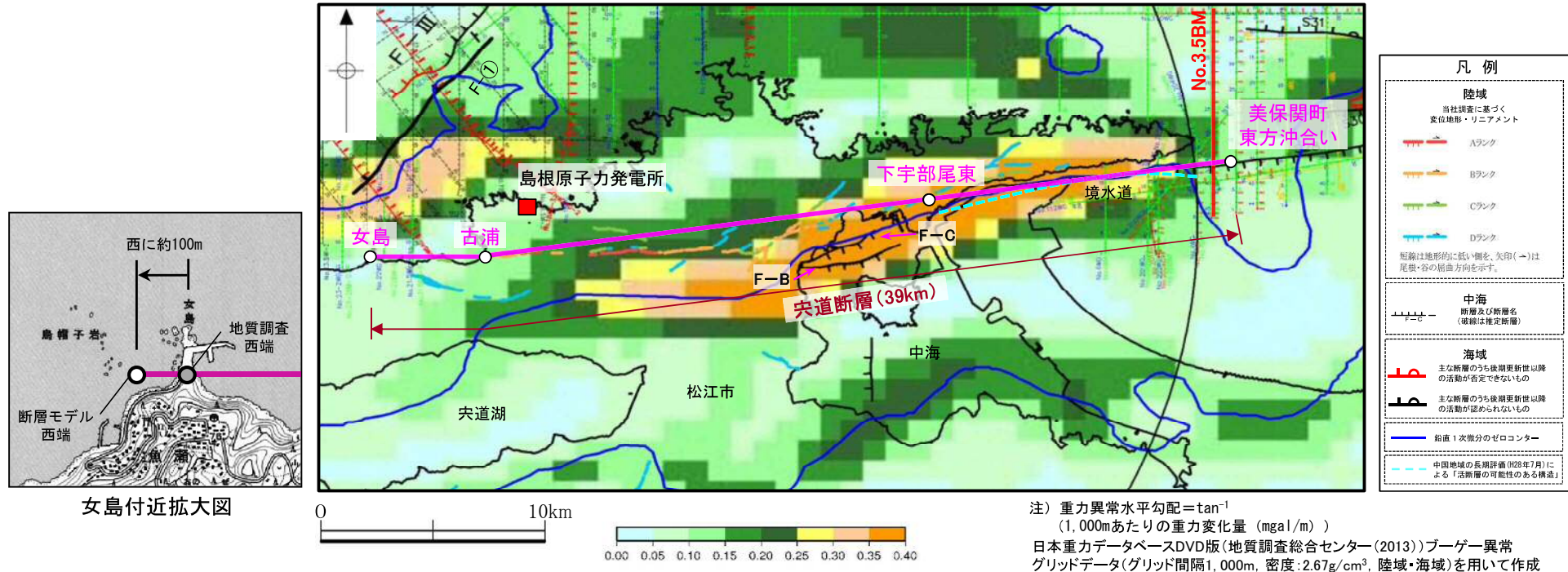
【評価長さ】

○宍道断層の西端、東端付近における追加調査を含む全ての調査結果を踏まえ、宍道断層の評価長さを約39kmとする。

宍道断層の基本震源モデルの各パラメータの設定根拠

(1) 断層長さ

地質調査結果に基づき、以下のとおり、女島(西端)から美保関町東方沖合い(東端)までの39kmに設定。



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。

宍道断層の基本震源モデルの各パラメータの設定根拠

(2) 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)に基づき断層幅を18kmに設定。
〔地震発生層の上限・下限深さの設定根拠は、40～43ページに記載〕

(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。

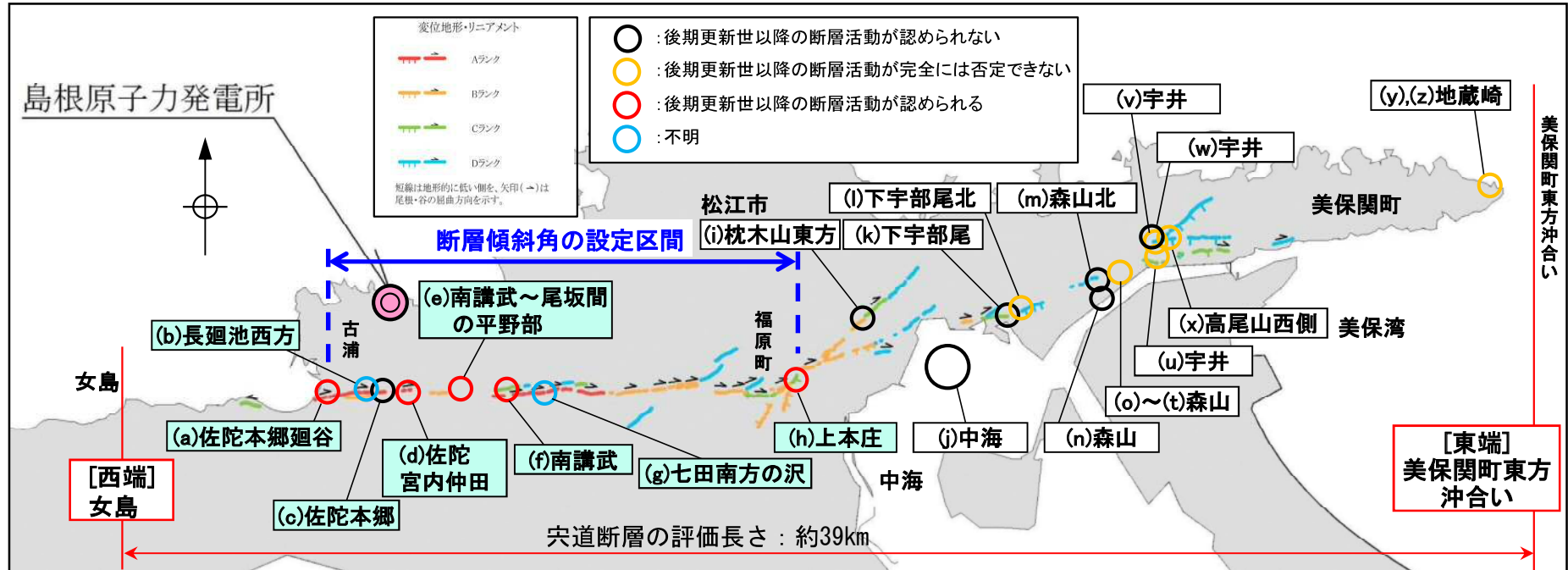
◆断層傾斜角の設定に関するレシピの考え方

- 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(30ページに記載)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(31ページに記載)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(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)。**

宍道断層の基本震源モデルの各パラメータの設定根拠



宍道断層の地質調査位置

宍道断層における地質調査結果(断層傾斜角及び傾斜方向)

調査地点 (調査方法)	(a)	(b)	(c)	(d)※1	(e)	(f)	(g)	(h)※1
	さだほんごうさこや 佐陀本郷廻谷 (ボーリング調査 反射法地震探査)	ながさこいけ 長廻池西方 (露頭観察)	さだほんごう 佐陀本郷 (ボーリング調査)	さだみやうちなかだ 佐陀宮内仲田 (トレンチ調査)	みなみこうぶ おさか 南講武～尾坂間 の平野部 (ボーリング調査 反射法地震探査)	みなみこうぶ 南講武 (ボーリング調査 反射法地震探査)	しちで 七田南方の沢 (露頭観察)	かみほんじょう 上本庄 (トレンチ調査)
断層傾斜角 及び傾斜方向	約66° 南東傾斜	約54° 南傾斜	ほぼ鉛直	ほぼ鉛直 (文献読取值)	約70° 南傾斜	約65° 南傾斜	約78° 南傾斜	約87° 北西傾斜 (文献値)
変位地形・ リニアメント※2	Aランク	Aランク	Aランク	Aランク	Bランク	Aランク	Aランク	Bランク
後期更新世以降 の断層活動	認められる	—※3	認められない	認められる	認められる	認められる	—※3	認められる

※1 文献調査による ※2 調査地点通過位置もしくはその延長位置の変位地形・リニアメントのランク ※3 不明(後期更新世以降の断層活動が認められる区間に位置するため、個別に評価していない)

宍道断層の基本震源モデルの各パラメータの設定根拠

■ 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
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]	$\sigma_b = (D_b/W_b) \cdot (\pi^{1/2} / D_b) \cdot r \cdot \sum \gamma_i^3 \cdot \sigma_a$	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

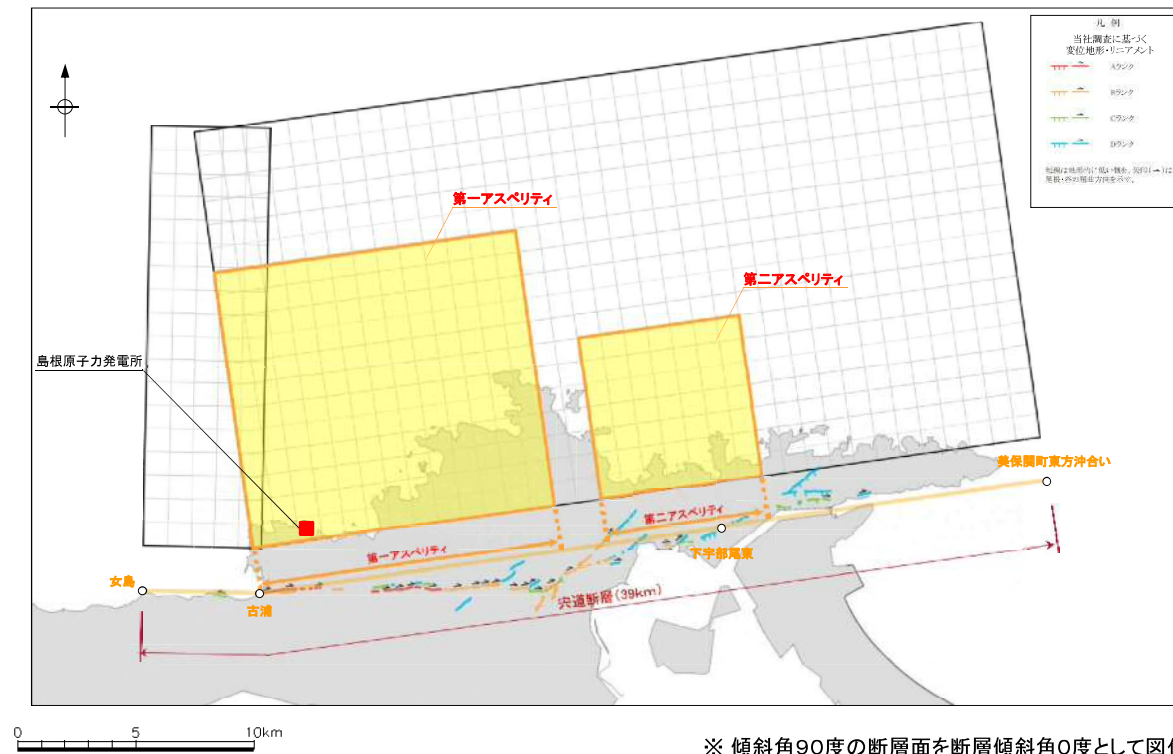
[全国地震動予測地図2017年版に一部加筆。]

宍道断層の基本震源モデルの各パラメータの設定根拠

(4) アスペリティ

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

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

宍道断層の基本震源モデルの各パラメータの設定根拠

(5) 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(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。

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

(6) すべり角

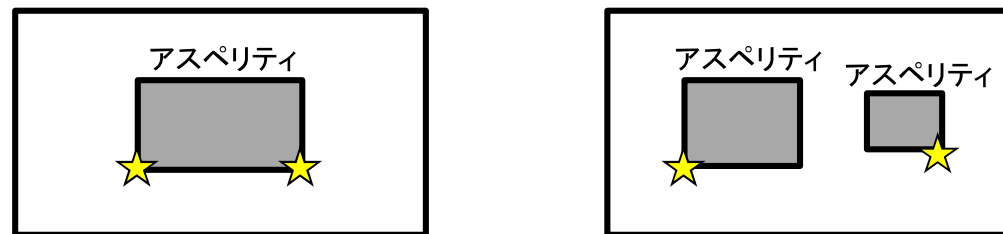
地質調査結果及び産総研の活断層データベースによると、宍道断層は右横ずれの断層であることから、レシピに基づきすべり角を 180° に設定。

(7) 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(V_s)との関係より破壊伝播速度を $0.72V_s$ に設定。

(8) 破壊開始点

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

【補足】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構造(浅部の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。

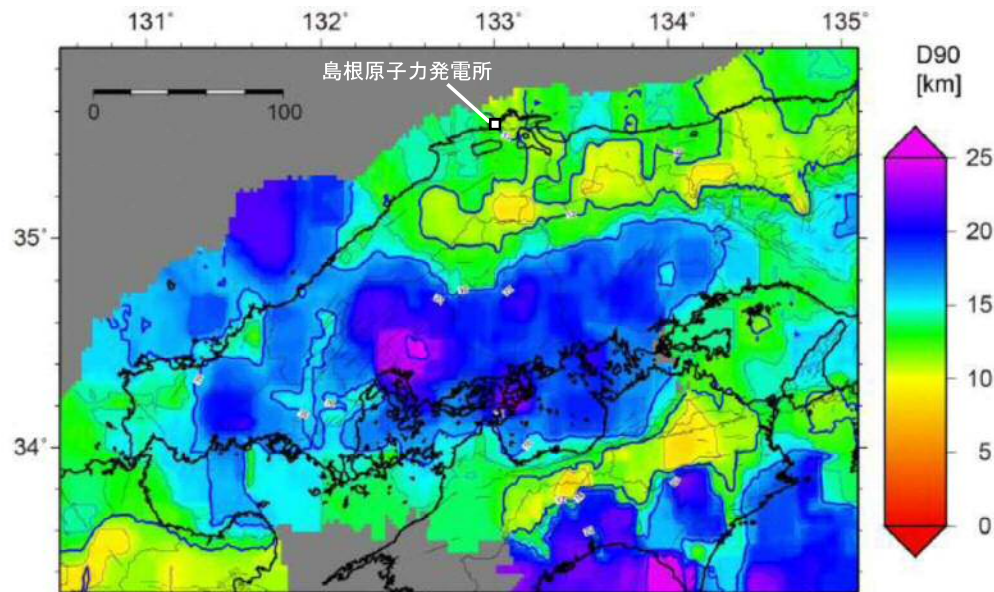
※3地震調査委員会による2000年鳥取県西部地震の地震動評価(地震調査委員会(2002))及び2005年福岡県西方沖の地震の地震動評価(地震調査委員会(2008))では、波形インバージョン解析により得られる震源断層の領域を、断層長さの設定では考慮しているが、断層幅の設定では考慮せず、余震分布を参考に推定していることから、波形インバージョン解析等の断層幅についてのデータは参考とする。

【補足】地震発生層の設定(各種検討結果の例—他機関の検討)

- 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 後、約3,700年前以前	約3,300-4,900年

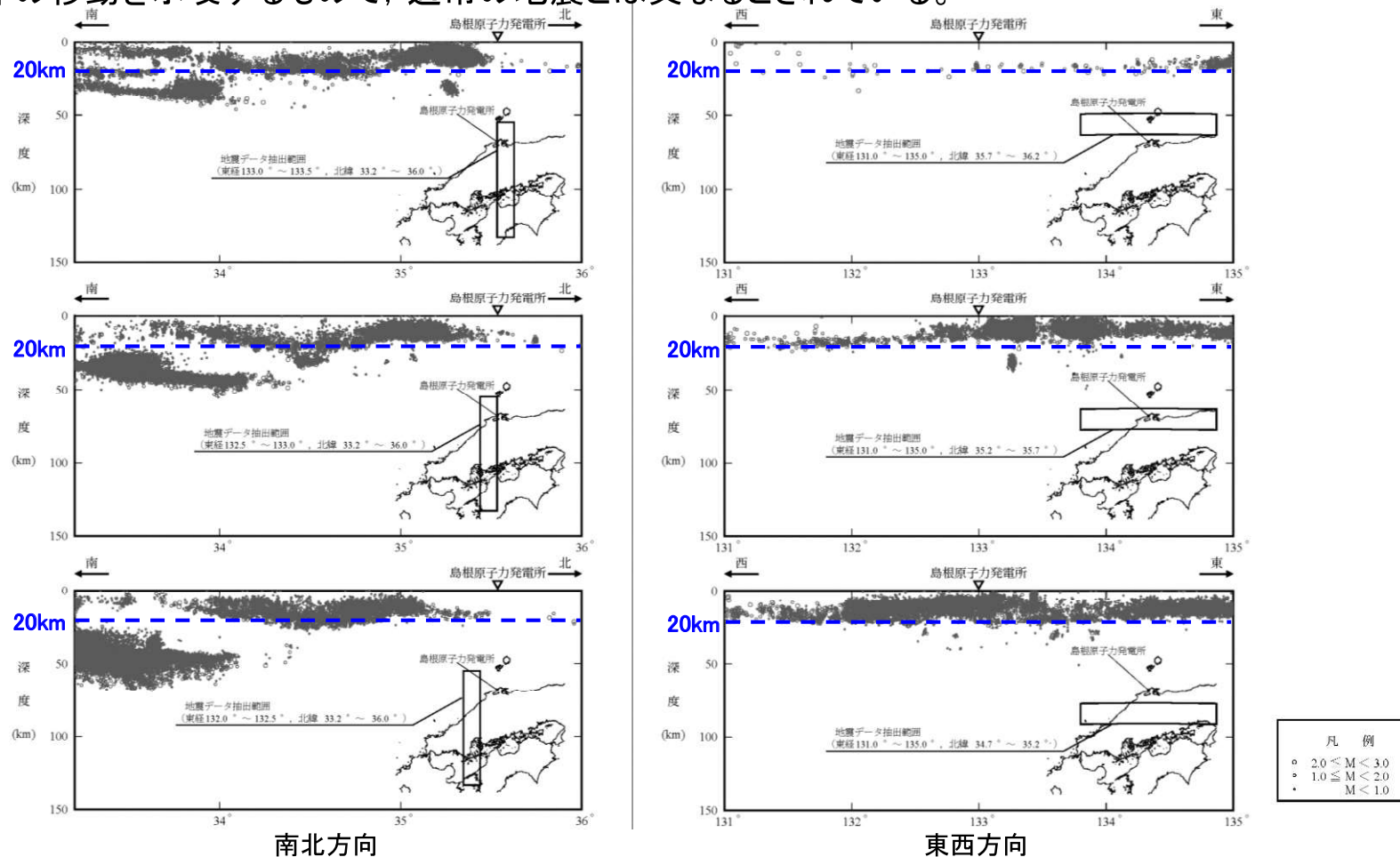


[中国地域の長期評価(H28年7月)に一部加筆。]

中国地域の地震発生層の下限(D90)の分布

【補足】地震発生層の設定(各種検討結果の例—震源鉛直分布)

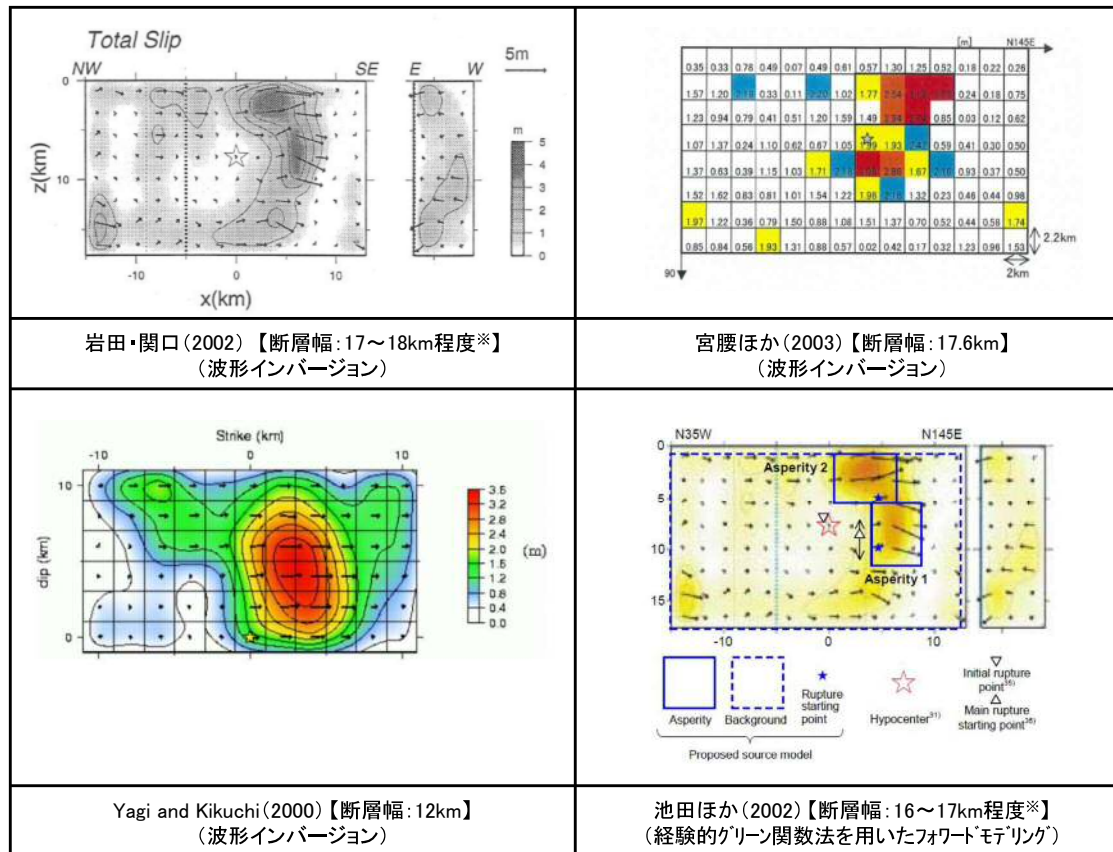
- 敷地周辺で発生した地震(M<3)の気象庁一元化データの震源鉛直分布によると、敷地周辺で発生する地震の震源深さは大部分が20km以浅であり、また敷地周辺南側の山陽地域では、震源深さが深くなる傾向が見られる。
- なお、発電所の南東方向の深さ約30kmの位置に地震の集中がみられるが、これらの地震は大見ほか(2004)によると、鳥取県西部地震の震源域で本震後に活動が活発化した深部低周波地震で、これは水等の流体の移動を示唆するもので、通常地震とは異なるとされている。



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。]

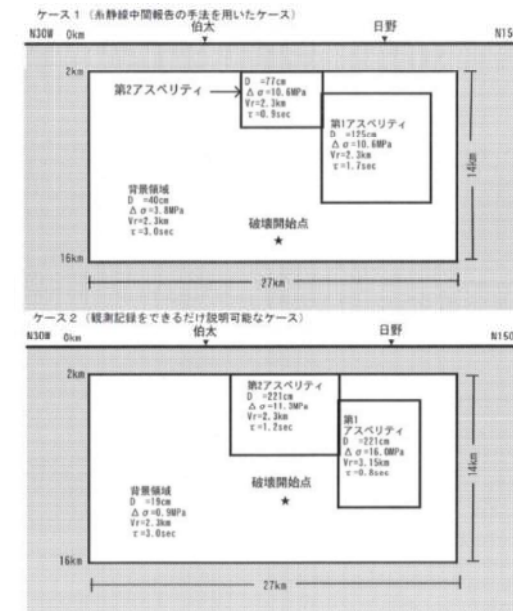
【補足】地震発生層の設定(各種検討結果の例—その他の研究成果)

- 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。



※ 図から読み取った値

2000年鳥取県西部地震の震源モデルの推定結果



○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。

2000年鳥取県西部地震の震源モデルの設定
[地震調査委員会(2002)]

宍道断層による地震の地震動評価(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。なお、不確かさの組合せケースについては、各ケースの断層モデルを用いた手法による地震動評価結果のうち、特に地震動レベルの大きい断層傾斜角、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それぞれ組合せて設定した。

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(偶然的不確かさ)