

## 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

■断層上端深さについて、下記の文献を参考にして検討した。

### シナリオ地震の強震動予測

入倉孝次郎・三宅弘恵, 2001, 地学雑誌, 110(6)

微小地震の浅さ限界 $H_s$ はP波速度5.8~5.9km/sの層の上限と良い相関がある。

### 近畿地方北部の地震波速度構造と地震発生層

吉井弘治・伊藤潔, 2001, 地球惑星科学連合学会2001年合同大会

1989年に実施された岐阜県藤橋村から兵庫県上郡町における人工地震探査データをもとに、波線追跡法によって地殻の詳細な速度構造を求め、得られた速度構造モデルと、地震活動の深さ断面とを比較し、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。

### 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

廣瀬一聖・伊藤潔, 2006, 京都大学防災研究所年報, 第49号B, pp307-321

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。

# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

## ■地盤速度構造による地震発生層の検討

若狭周辺地域において、大都市大震災軽減化特別プロジェクト(大大特)による大規模な地下構造探査が実施されており、内陸地殻内地震が発生する上部地殻に相当する $V_p=6.0\sim 6.2\text{km/s}$ 層は、深さ約 $6\sim 16\text{km}$ であった。また、速度構造断面図に気象庁一元化カタログによる測線に沿う幅 $20\text{km}$ の範囲内の震源分布は、 $V_p=6.0\sim 6.2\text{km/s}$ 層に対応している。

### ○新宮—舞鶴測線(2004)の探査結果

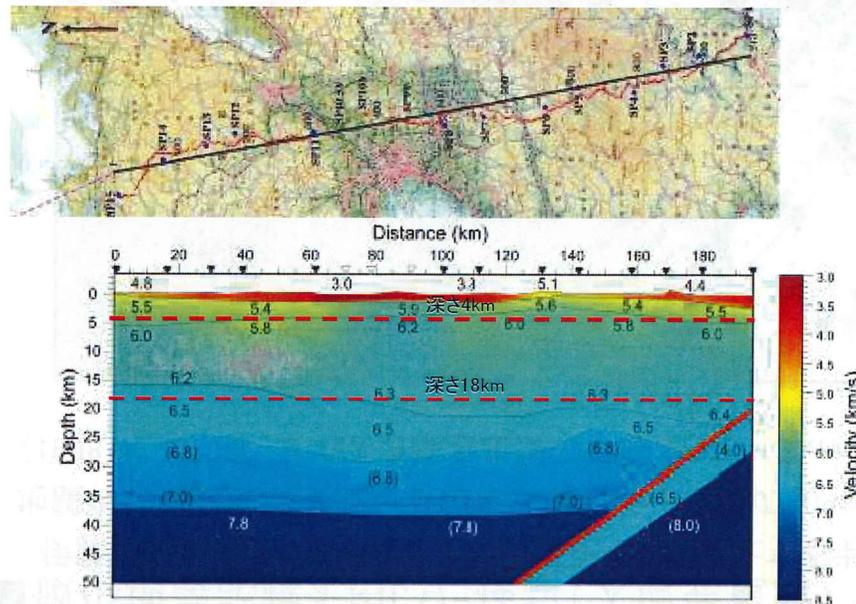


Fig. 9 P-wave velocity structure for the Niigata-Mitsukoshi profile. Numerals show P-wave velocities in km/s. Parentheses show assumed velocity value. Small black and red dots (about 35-40km deep) show earthquakes and low-frequency earthquakes, respectively after Hirose and Ito (2007).

伊藤、他(2007)に一部加筆

### ○藤橋—上郡測線(1989)の再解析結果

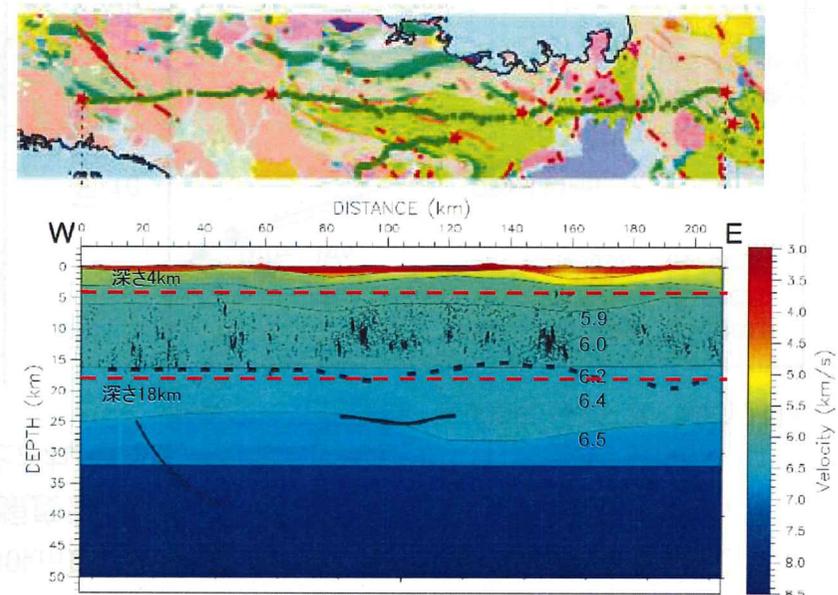


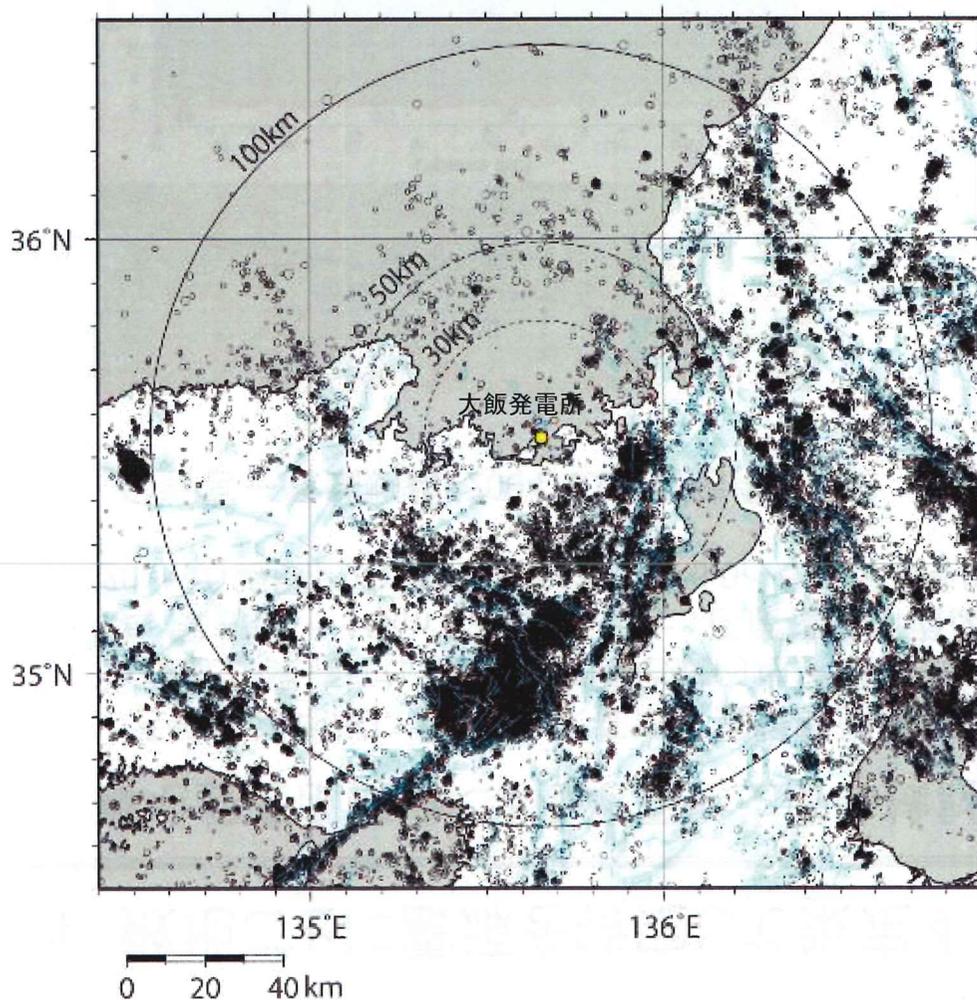
図 16 藤橋—上郡測線の地震波速度構造に、測線周辺の震源分布と反射法解析によって見出された反射面を重ねた。

伊藤、他(2006)に一部加筆

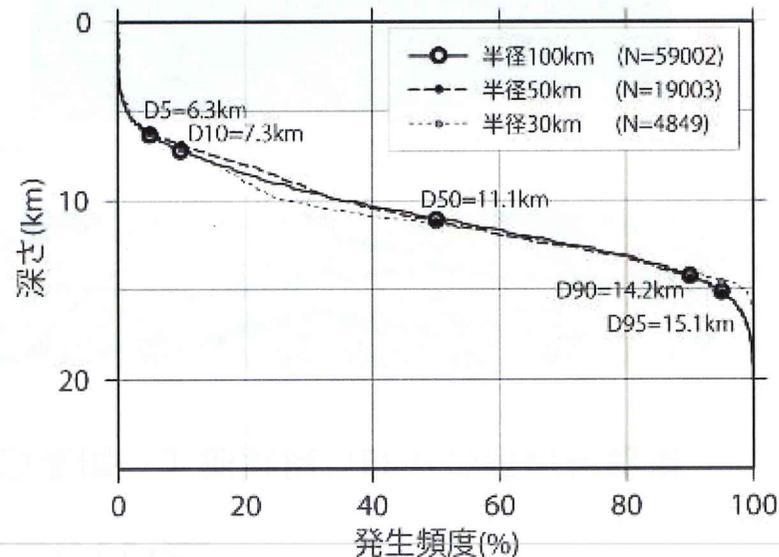
# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

## ■ 微小地震記録を用いた検討(大飯発電所)

伊藤・中村(1998)を参考に、大飯発電所を中心とする半径100km以内の地震発生状況を統計的に評価すると、地震の10%発生頻度深さ(D10%)は約7km、地震の90%発生頻度深さ(D90%)は約15kmであった。伊藤・中村(1998)によれば、D90は地震発生層の下限より2~3km浅いとされている。



気象庁一元化震源 (2000年1月~2012年12月)



領域半径	100km	50km	30km
D5	6.3km	6.2km	6.1km
D10	7.3km	6.9km	7.1km
D50	11.1km	11.2km	11.4km
D90	14.2km	14.4km	14.1km
D95	15.1km	15.2km	14.6km
地震個数N	59002	19003	4849

## 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

- 近畿地方の地震発生層に関する文献調査を行った。また、敷地周辺の微小地震発生状況について整理を行った。
- 発電所敷地の速度構造の $V_p=5.8\text{km/s}$ 層の上面深度や微小地震の発生状況から、断層上端深さを3km、下端深さを18kmと設定した。

## 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

### ■ 評価方法

#### ○ 応答スペクトルに基づく地震動評価

- ・解放基盤表面の地震動として評価できること、震源の拡がりや考慮できること、敷地における地震観測記録等を用いて諸特性が考慮できること、更に水平方向及び鉛直方向の地震動が評価できることから、Noda et al.(2002)(以下、耐専式という。)を採用
- ・検討用地震毎に耐専式の適用性を検討し、適用が難しいと判断した場合は、断層モデルを用いた地震動評価結果を重視
- ・地震規模は松田式により算定

	長さ※1	地震規模※2
FO-A～FO-B～熊川断層	63.4km	7.8
上林川断層	39.5km	7.5

※1:地震動評価上の長さ

※2:地震規模は松田式より算出

#### ○ 断層モデルを用いた手法による地震動評価

- ・評価地点の震源近傍で発生した地震の適切な観測記録が得られていないため、短周期側を統計的グリーン関数法、長周期側を理論的方法(離散化波数法)を適用したハイブリッド合成法により評価
- ・新潟県中越沖地震の反映事項を踏まえて、短周期の地震動レベルを1.5倍したケースも評価

# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

## ○応答スペクトルに基づく地震動評価

### ■検討用地震の等価震源距離と耐専式での地震の諸元との比較

#### 1. 回帰分析に用いた地震の諸元

5.5 ≤ Mj ≤ 7.0 (Mj: 気象庁マグニチュード)

h ≤ 60km (h: 震源深さ)

28km ≤ Xeq ≤ 202km (Xeq: 等価震源距離)

#### 2. 観測記録を用いて距離減衰式の適用性について検討した際に用いた地震の諸元

5.4 ≤ Mj ≤ 8.1 (Mj: 気象庁マグニチュード)

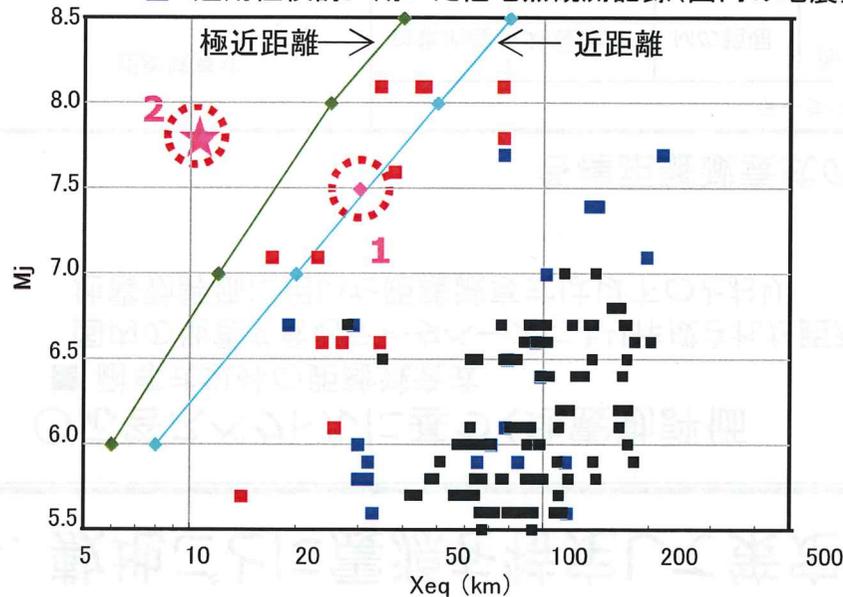
h ≤ 60km (h: 震源深さ)

14km ≤ Xeq ≤ 218km (Xeq: 等価震源距離)

■ 回帰式の作成に用いた観測記録

■ 適用性検討に用いた他地点観測記録(海外の地震)

■ 適用性検討に用いた他地点観測記録(国内の地震)



No.	検討用地震	Mj	Xeq ※ (km)
大飯	1 上林川断層	7.5	30.2
	2 FO-A~FO-B断層~熊川断層	7.8	11.0

※Xeqは基本ケースの値

FO-A~FO-B~熊川断層については、極近距離との乖離が大きいため、耐専式を適用範囲外と判断する。

## 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

### ○応答スペクトルに基づく地震動評価

#### ■ 耐専式以外の距離減衰式

国内の地震を含むデータベースにより作成された距離減衰式のうち、FO-A～FO-B～熊川断層の地震動評価に用いた距離減衰式は以下のとおり

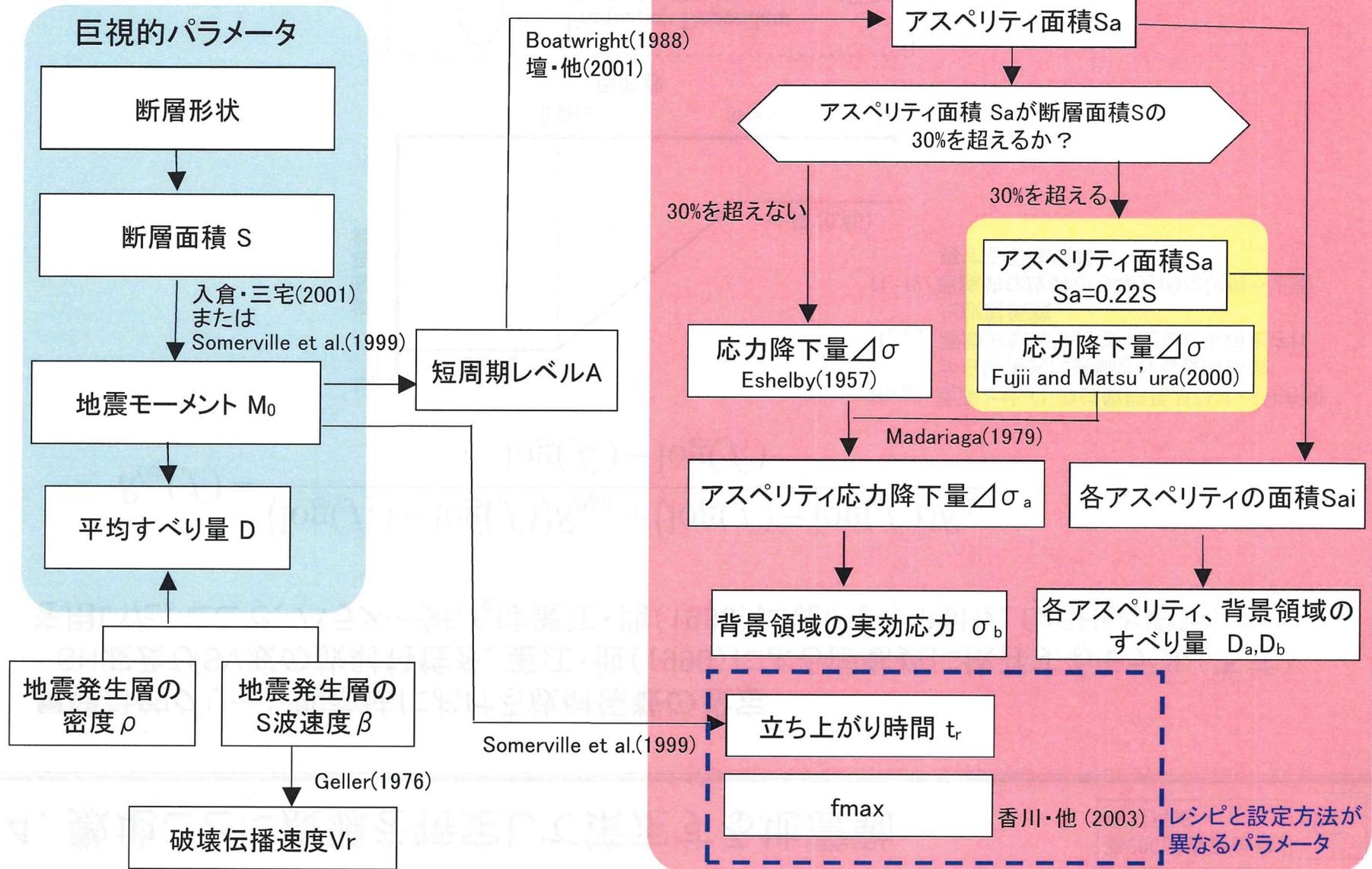
#### 各種距離減衰式のデータベース諸元

距離減衰式	データベース諸元					サイト補正の考え方
	対象地震	地震種別	Mの範囲	断層最短距離の範囲	地盤種別	
Kanno et al.(2006)	主に国内	内陸 プレート間 プレート内	5.5～8.2	1～500km	100≦Vs30≦1400m/s (原論文の図から読取)	原論文の評価式を用いて補正
Zhao et al.(2006)	主に国内	内陸 プレート間 プレート内	5.0～8.3	0.3～300km	・Vs30>1100m/s ・Vs30>600m/s 等で整理	原論文の評価式を用いて補正
内山・翠川(2006)	日本周辺	内陸 プレート間 プレート内	5.5～8.3	300km以内	Vs30=500m/s程度の工学的 基盤	—
片岡・他(2006)	日本周辺	内陸 海溝性	4.9～8.2	250km以内	工学的基盤(31測点)の Vs30の平均値は720m/s	—
Abrahamson and Silva(2008)	国内外	内陸	4.27～7.9	200km以内	100≦Vs30≦2000m/s	原論文の評価式を用いて補正
Boore and Atkinson(2008)			4.27～7.9	400km以内	NEHRP分類A～E	原論文の評価式を用いて補正
Campbell and Bozorgnia(2008)			4.27～7.9	200km以内	150≦Vs30≦1500m/s	原論文の評価式を用いて補正
Chiou and Youngs(2008)			4.27～7.9	70km以内	100≦Vs30≦2000m/s	原論文の評価式を用いて補正
Idriss(2008)			4.5～7.7	200km以内	450≦Vs30≦900m/s	原論文の評価式を用いて補正

※Vs30: 地表から深さ30mまでの平均S波速度(大飯はVs30=2200m/s)

# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

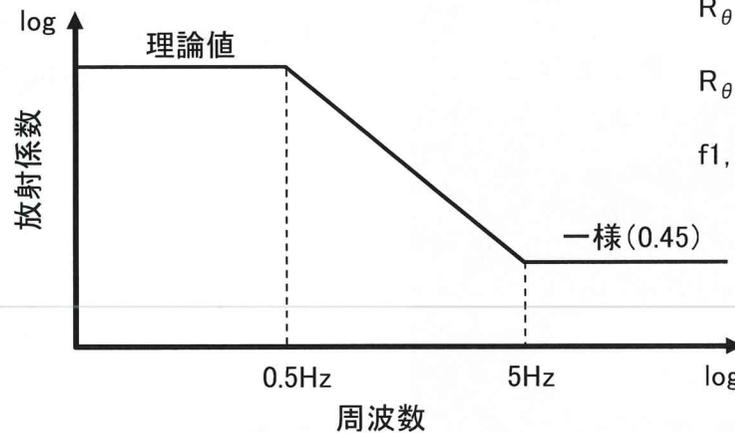
## ■断層パラメータの設定のフロー



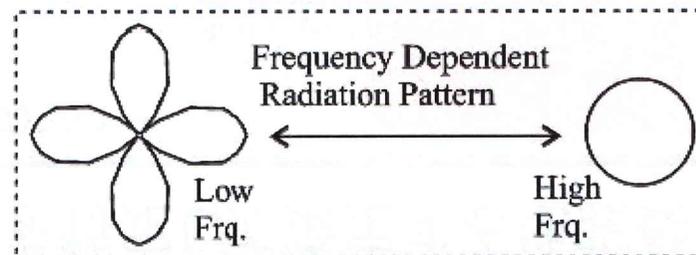
## ■統計的グリーン関数法における放射係数の設定

SH波及びSV波の放射特性を、釜江・他(1990)による振動数に依存するモデル(下式)を用いた。ここで、パラメータ $f_1, f_2$ は釜江・他(1990)に従い、 $f_1=0.5\text{Hz}$ 、 $f_2=5\text{Hz}$ と設定した。

$$R_{\theta\phi}(f) = \frac{(\log(f_2) - \log(f))R_{\theta\phi_0} + (\log(f) - \log(f_1))R_{\theta\phi_m}}{\log(f_2) - \log(f_1)}$$

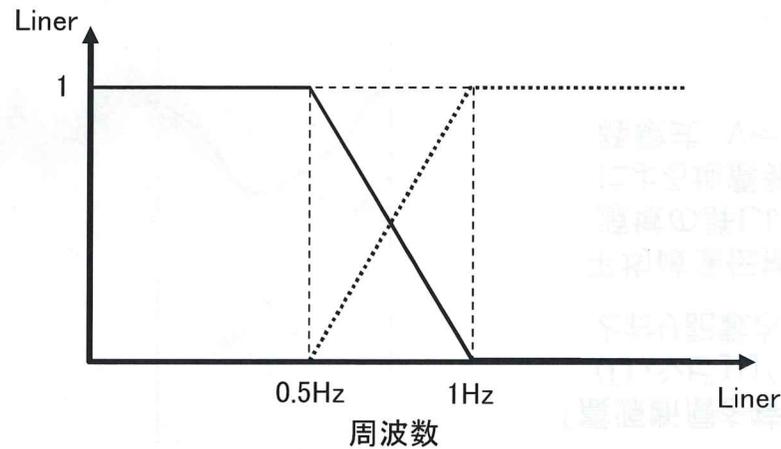


$R_{\theta\phi_0}$ : 震源とサイトの位置関係及びすべり方向から理論的に評価される放射係数  
 $R_{\theta\phi_m}$ : 高周波数で等方放射として平均化された放射係数  
 $f_1, f_2$ : 理論的な放射から等方的な放射へと遷移する周波数帯



## 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

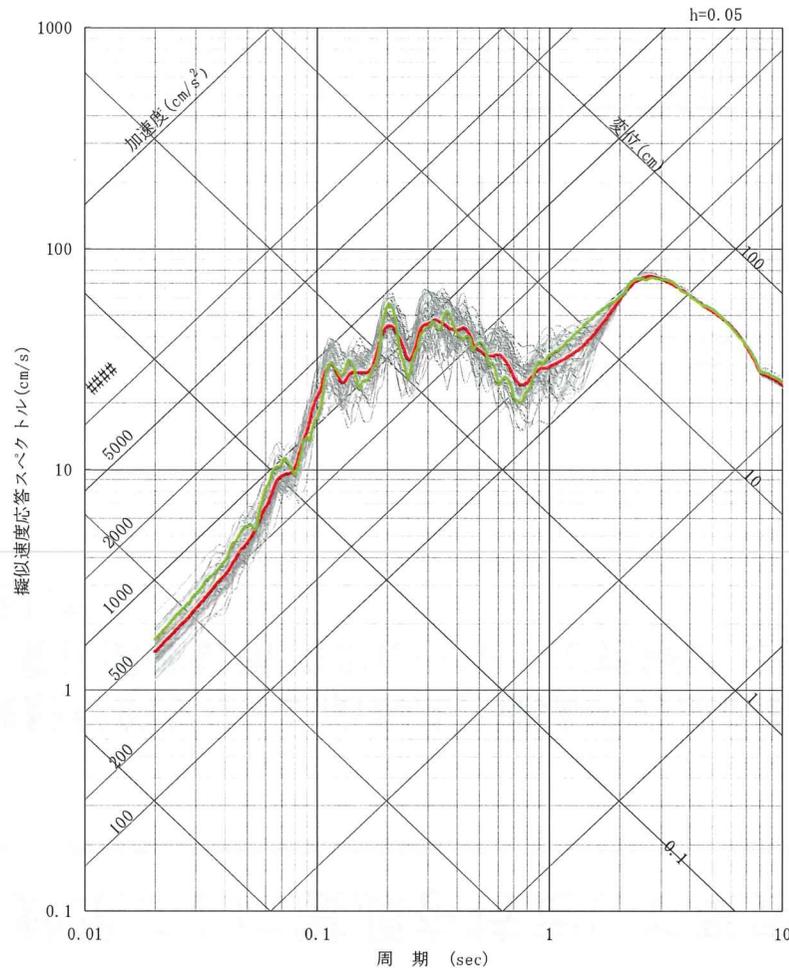
■統計的グリーン関数法と理論的方法の結果のハイブリッドのフィルター  
遷移周波数帯(0.5Hz~1Hz)で相補的に低減するフィルター(マッチングフィルター)を  
施した。



マッチングフィルターの形状

## 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

■破壊伝播速度 $V_r$ は、Geller(1976)によりS波速度の0.72倍とする。また、統計的グリーン関数法における位相の乱数と、破壊伝播速度 $V_r$ を±5%の揺らぎを与える乱数を変えて50組の波形合成を行い、50波の平均値(減衰定数5%の擬似速度応答スペクトル)との残差が最小となる波形を選定した。



「震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)(平成21年12月21日)には、以下のとおり記載されている。

平均破壊伝播速度 $V_r$  (km/s) は、特にその震源域の詳しい情報がない限り、Geller (1976) による地震発生層のS波速度  $\beta$  (km/s) との経験式  $V_r = 0.72 \cdot \beta$  により推定する。

— 50波平均  
— 選定波

## 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

■FO-A～FO-B断層と熊川断層との3連動を考慮した場合の地震動評価ケースにおいては以下のとおり設定した。

①基本ケースの震源モデルを調査結果等に基づき、左横ずれ断層傾斜角 $90^\circ$ 、すべり角 $0^\circ$ と設定。

②考慮する不確かさケース

- ・新潟県中越沖地震の反映を踏まえ短周期の地震動レベルを1.5倍としたケースを考慮
- ・断層傾斜角について敷地側へ近くなるように傾斜させた傾斜角 $75^\circ$ としたケースを考慮
- ・横ずれ断層であるが、縦ずれ成分もあることも想定し、すべり角 $30^\circ$ としたケースを考慮
- ・破壊伝播速度については基本ケース $V_r=0.72\beta$  ( $\beta$ は地震発生層のS波速度)に対して、宮腰・他(2003)の知見を参考にしてアスペリティ領域の平均的な破壊伝播速度に標準偏差 $1\sigma$ を考慮した $V_r=0.87\beta$ としたケースを考慮
- ・アスペリティ位置については、基本ケースにおいて各断層ごとに敷地近傍に配置しているが、さらにすべてのアスペリティを一塊として敷地近傍に配置し、影響が大きくなるようなケース(アスペリティの形状を変えて2ケース)を考慮
- ・さらに、敷地が長い断層の近傍にあることから、不確かさを組合わせた検討として、短周期の地震動レベル1.25倍と破壊伝播速度 $V_r=0.87\beta$ の重畳を考慮

なお、破壊開始点については、すべてのケースにおいて、断層およびアスペリティ下端に複数のケースを設定した。その結果、全64ケースを評価した。

## 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

(敷地が長い断層の近傍にあることによる不確かさの追加検討)

○現状の地震動評価で、不確かさを考慮しているパラメータは以下のとおり。

- ①短周期の地震動レベル、②断層傾斜角、③すべり角、④破壊伝播速度、⑤アスペリティ配置、⑥破壊開始点

○敷地が長い断層の近傍にあることによる不確かさの考慮に関する方針

- ・②断層傾斜角、③すべり角、④破壊伝播速度の不確かさのうち、②および③は、地質調査の結果から相対的に不確かさの度合いが小さいと考えられること、また、④破壊伝播速度は、短周期側の地震動への影響は②、③と同程度であるが、長周期側においてもっとも影響が大きくなっていることから、④破壊伝播速度を組合せて検討するパラメータとして考慮する。
- ・⑤アスペリティ配置、⑥破壊開始点については、基本ケースとしてあらかじめ余裕を見込んで考慮しており、今回の検討でも考慮する。

敷地が長い断層の近傍にあることによる不確かさの考慮として、各不確かさ検討ケースの地震動評価結果も踏まえて、影響の大きいパラメータである①短周期の地震動レベルと④破壊伝播速度を組合わせて検討する。

○なお、不確かさの重畳についての従来の考え方を超えて認識論的な不確かさを重畳させるにあたり、パラメータを設定する。①短周期の地震動レベルについては、断層タイプによる違いに着目して、設定する。④破壊伝播速度については、審査会合で詳細に議論したところであり、従来と同様の不確かさを考慮する。

# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

(短周期の地震動レベルの不確かさについて(1/5))

## ■佐藤(2010)の知見について

日本の大規模地殻内地震の震源近傍の強震記録を用いてスペクトルインバージョン解析を実施し、逆断層と横ずれ断層の違いを考慮した地震モーメントと短周期レベルのスケージング則を導出した結果、壇・他(2001)の経験式と比較して逆断層では1.45倍、横ずれ断層では0.64倍と評価している。

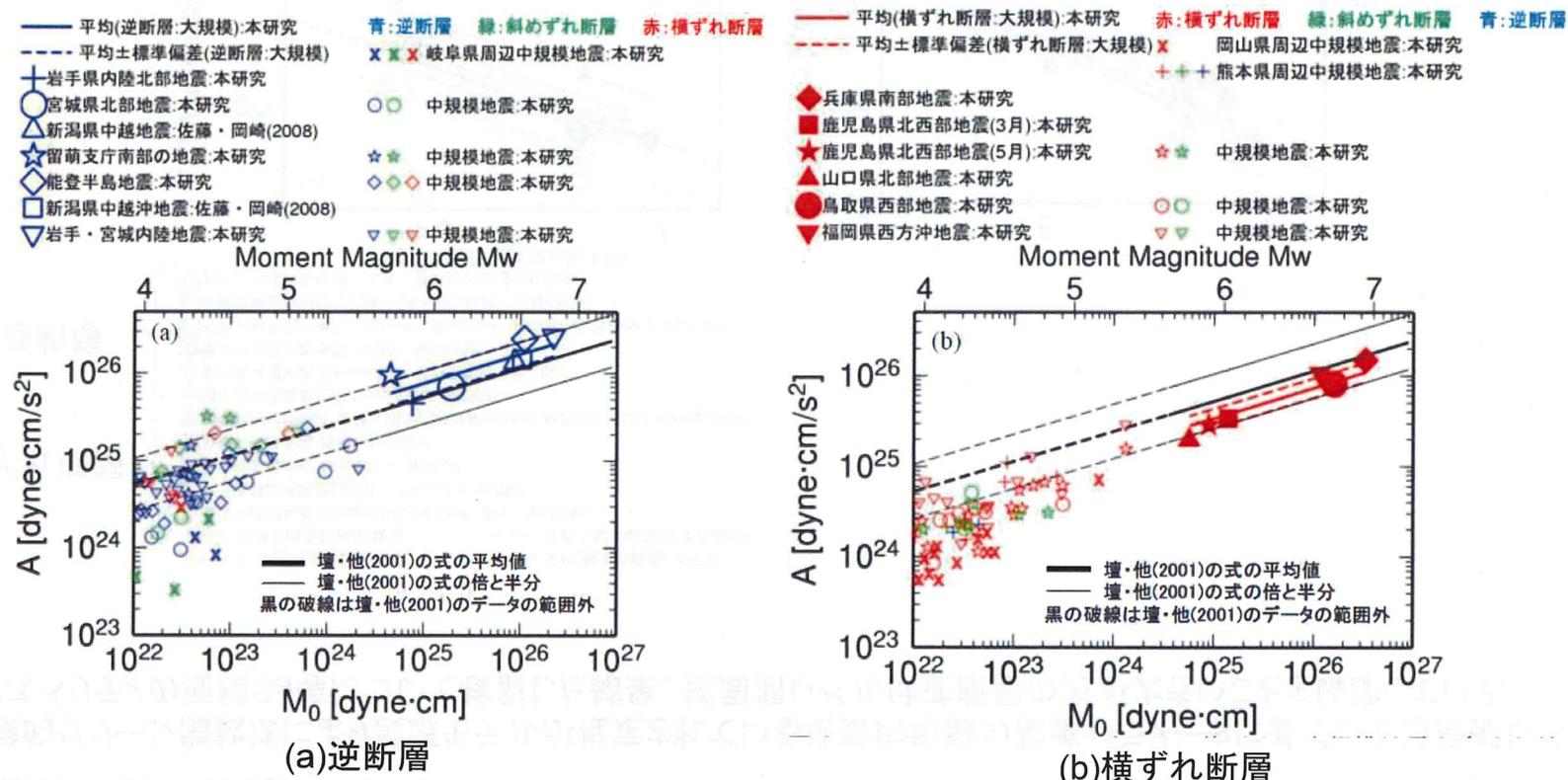


図9 スペクトルインバージョンに基づく、中規模地震を含めた地殻内地震の  $A$  と  $M_0$  の関係。(a)は大規模地震が逆断層の場合の周辺の地震、(b)は大規模地震が横ずれ断層の場合の周辺の地震

# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 (短周期の地震動レベルの不確かさについて(2/5))

## ■佐藤(2010)の知見について

経験的グリーン関数法により震源モデルが推定されている地殻内地震の震源パラメータに基づいて短周期レベルAやアスペリティの面積 $S_a$ 等について検討した結果、短周期レベルは逆断層の方が大きいことを確認している。

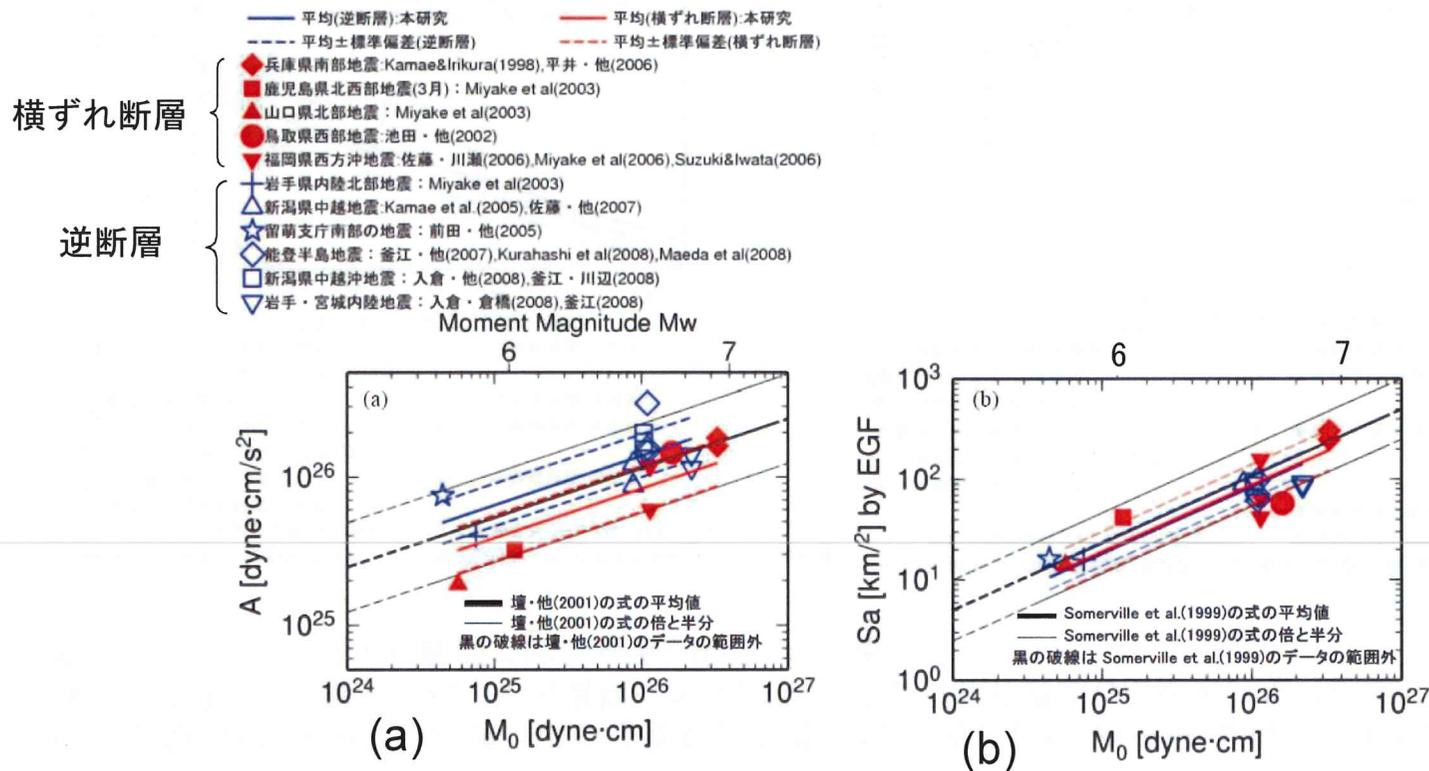


図10 経験的グリーン関数法に基づく、地殻内地震の  $A$  と  $M_0$  の関係(a)、アスペリティ総面積  $S_a$  と  $M_0$  の関係(b)

# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 (短周期の地震動レベルの不確かさについて(3/5))

## ■ 構造計画研究所(2010)の知見について

過去の内陸地殻内地震の特性化震源モデルから換算した短周期レベルを断層タイプ別に整理し、以下のとおり評価している。

- ・断層タイプ別の短周期レベルには明確な違いは見られなかったが、逆断層の短周期レベルが若干大きい。  
この傾向は佐藤(2010)による結果と調和的であるが、数値的には大きく異なるので、今後の検討課題になる。

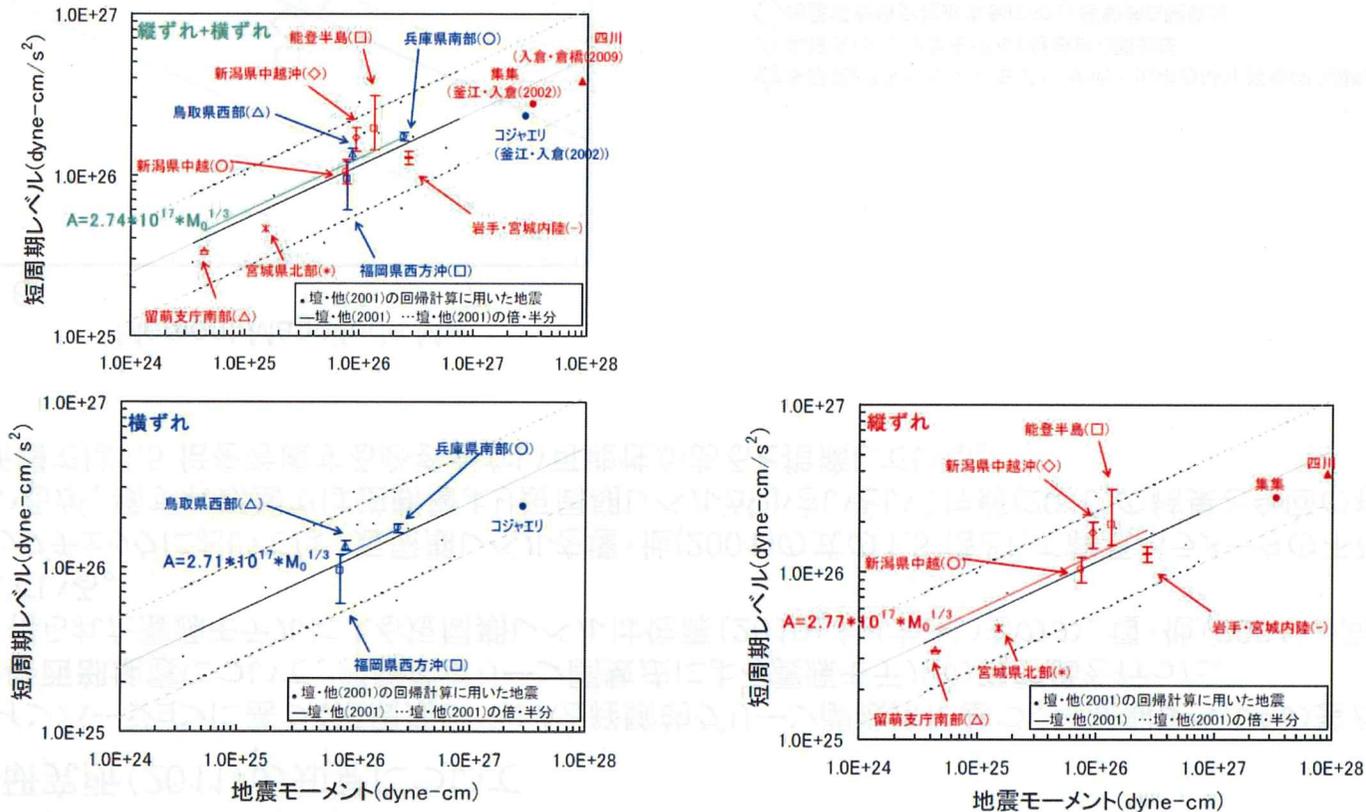


図 3-2 地震モーメントと短周期レベルの関係

(パ-は最大・最小の短周期レベルを示す)

# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

(短周期の地震動レベルの不確かさについて(4/5))

## ■ 構造計画研究所(2011)の知見について

スペクトルインバージョンに基づく短周期レベルAと経験的グリーン関数法に基づく短周期レベルAの差が大きかった2000年鳥取県西部地震について、経験的グリーン関数法による震源モデルの再評価を行った。

その結果、得られた震源モデルによる短周期レベルは佐藤(2010)より大きいものの、壇・他(2001)と同じかやや小さいと評価している。

さらに、バックチェックにおいては、短周期レベルを壇・他(2001)の式の1.5倍として震源パラメータの不確かさの考慮を求めているが、横ずれ断層では逆断層より短周期レベルが小さいという佐藤(2010)の結果と今回の検討結果から、横ずれ断層では1.5倍を考慮する必要がない可能性がある」と指摘している。

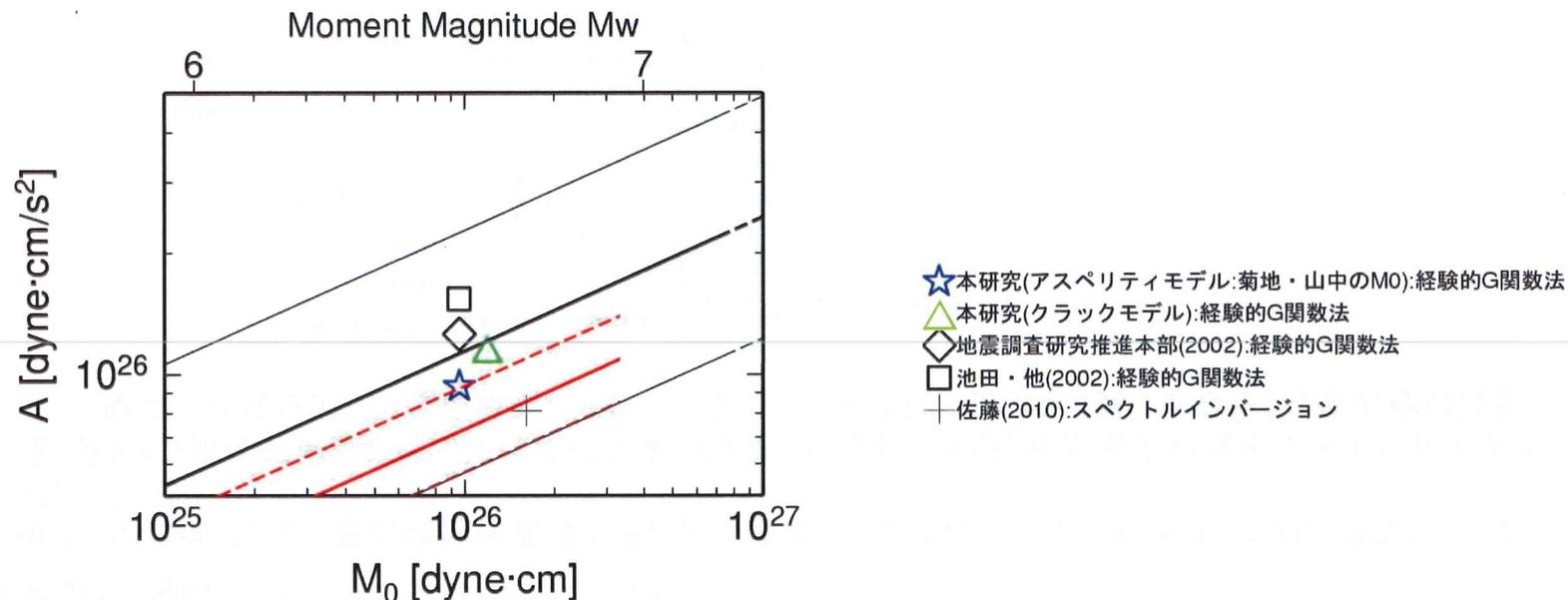


図 2-45 本研究(caseB-16b)と既往の研究の  $M_0$ - $A$  の比較

# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

(短周期の地震動レベルの不確かさについて(5/5))

## ■佐藤(2008)の知見について

日本国内で観測された最近の地殻内地震の強震記録を用いて、P波部・S波部・全継続時間の3成分それぞれの最大加速度、最大速度、加速度応答スペクトルの距離減衰式を以下の形で提案している。

このうち、 $g$ は断層タイプの違いを表現する回帰係数であり、横ずれ断層の場合0で、逆断層・斜めずれ断層に値をもつとされており、論文中で横ずれ断層に対する比として0.2秒以下の短周期領域で地震動レベルが1.2倍程度と評価している。

$$\log_{10} Y = aMw + g - bX - \log_{10}(X + d10^{0.5Mw}) + c_1 \pm e$$

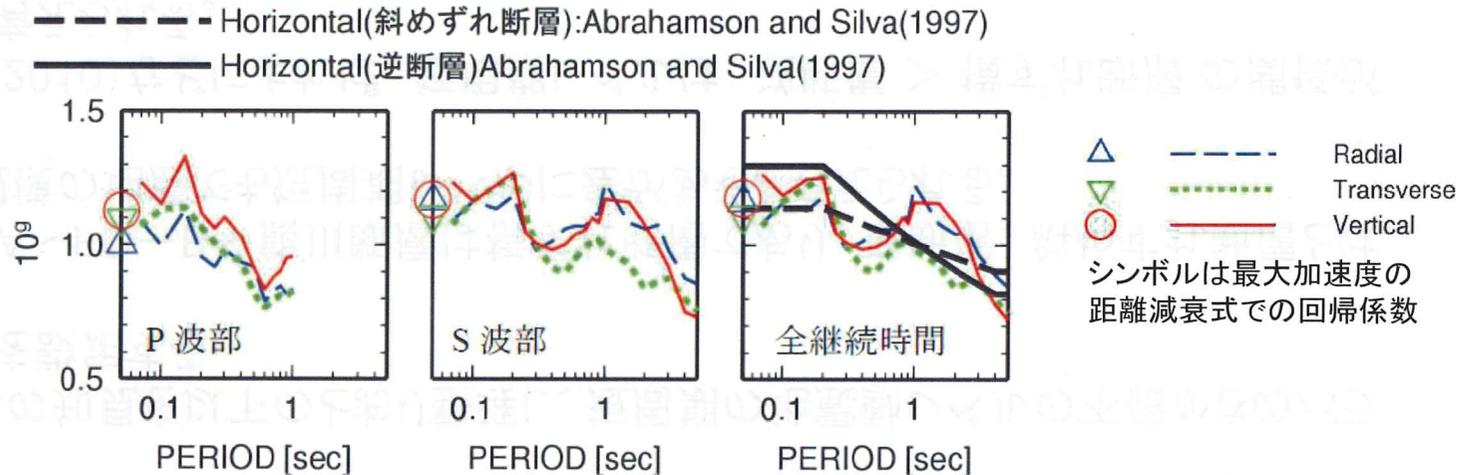


図7 横ずれ断層に対する逆断層・斜めずれ断層の比  $10^g$

## 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 (短周期の地震動レベルの不確かさパラメータの再設定)

- これらの知見を以下のとおり整理し、短周期の地震動レベルの不確かさのパラメータを設定する。
- FO-A～FO-B～熊川断層は横ずれ断層であり、逆断層、斜めずれ断層とは、同じ規模の地震でも短周期レベルに差があると考えられる。
- 佐藤(2010)などによれば、短周期レベルは、逆断層 > 横ずれ断層 の関係があると考えられる。
- また、佐藤(2008)では、横ずれ断層に対する逆断層や斜めずれ断層の、短周期の地震動レベルの比率が1.2倍程度とされている。

以上より、新潟県中越沖地震(逆断層)で考慮した1.5倍を1.2で除して、短周期の地震動レベルを1.25倍として再設定する。

## 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

FO-A～FO-B～熊川断層の地震動評価ケース

考慮した不確かさ	短周期の地震動レベル	断層傾斜角	すべり角	破壊伝播速度 $V_r$	アスペリティ配置	破壊開始点
基本ケース	レシピ平均	90°	0°	$V_r=0.72\beta$	①断層ごとに敷地近傍に配置	9箇所
短周期の地震動レベル	レシピ平均 × 1.5倍	90°	0°	$V_r=0.72\beta$	①断層ごとに敷地近傍に配置	9箇所
断層傾斜角	レシピ平均	75°	0°	$V_r=0.72\beta$	①断層ごとに敷地近傍に配置	9箇所
すべり角	レシピ平均	90°	30°	$V_r=0.72\beta$	①断層ごとに敷地近傍に配置	9箇所
破壊伝播速度 $V_r$	レシピ平均	90°	0°	$V_r=0.87\beta$	①断層ごとに敷地近傍に配置	9箇所
アスペリティ配置	レシピ平均	90°	0°	$V_r=0.72\beta$	②敷地近傍に一塊(正方形)	5箇所
	レシピ平均	90°	0°	$V_r=0.72\beta$	③敷地近傍に一塊(長方形)	5箇所
短周期の地震動レベルおよび破壊伝播速度 $V_r$ の不確かさの組合せを考慮	レシピ平均 × 1.25倍	90°	0°	$V_r=0.87\beta$	①断層ごとに敷地近傍に配置)	9箇所

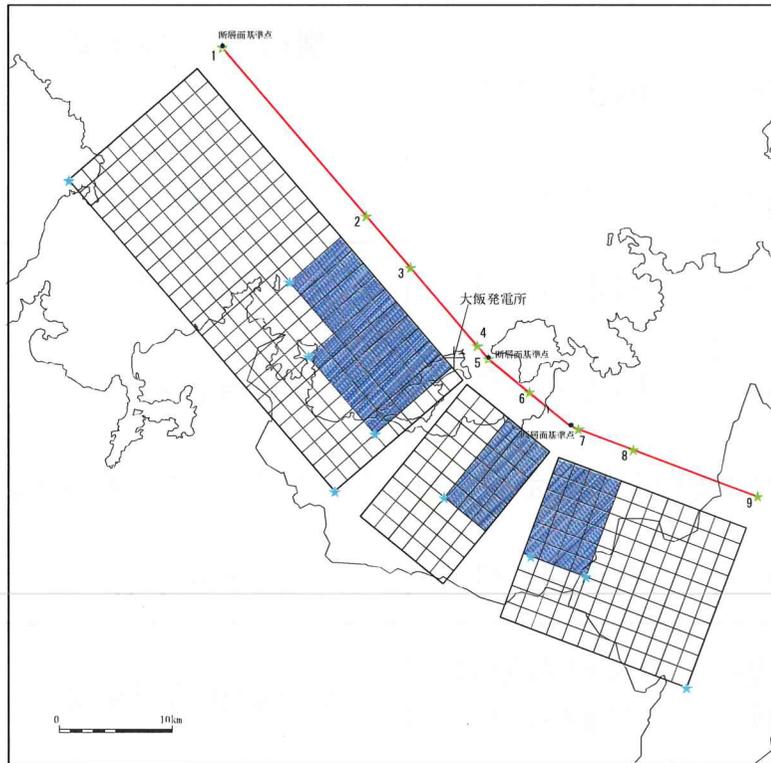
: 不確かさを独立して考慮するパラメータ

: 不確かさを重畳して考慮するパラメータ

# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

## ■FO-A～FO-B～熊川断層のモデル図

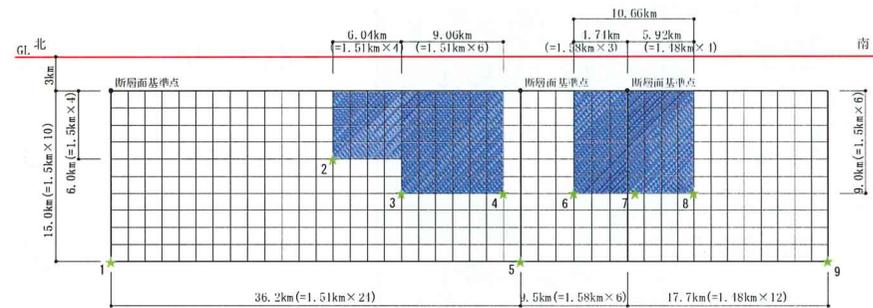
(基本ケース、短周期の地震動1.5倍ケース、すべり角30° ケース、 $V_r=0.87\beta$  ケース、  
短周期の地震動1.25倍かつ $V_r=0.87\beta$  ケース)



※ 傾斜角90°の断層面は、傾斜角0°として図化している。

★：破壊開始点

断層配置図



断面図

## 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

### ■FO-A～FO-B～熊川断層の断層パラメータ(基本ケース、短周期の地震動1.5倍ケース)

断層パラメータ	パラメータ			設定方法
	全体	FO-A～FO-B	熊川	
断層長さL(km)	63.4	36.2	27.2	断層位置から計算
断層傾斜角(°)	—	90	90	調査結果に基づき設定
断層上端深さ(km)	—	3	3	微小地震の発生及び地下構造を参考に設定
断層下端深さ(km)	—	18	18	
断層幅W(km)	—	15.0	15.0	地震発生層と傾斜角から設定
断層面積S(km <sup>2</sup> )	951	543	408	断層面より算定
破壊伝播様式	同心円状	←	←	—
地震モーメントM <sub>0</sub> (Nm)	5.03 × 10 <sup>19</sup>	3.05 × 10 <sup>19</sup>	1.98 × 10 <sup>19</sup>	M <sub>0</sub> ={S/(4.24 × 10 <sup>-11</sup> )} <sup>2.0</sup> 全体の地震モーメントを断層面積の1.5乗比で分配
剛性率μ(N/m <sup>2</sup> )	3.5 × 10 <sup>10</sup>	←	←	μ=ρβ <sup>2</sup> 、ρ=2.7g/cm <sup>3</sup> 、β=3.6km/s
平均すべり量D(cm)	151.2	160.3	139.0	D=M <sub>0</sub> /(μS)
平均応力降下量Δσ(MPa)	3.1	←	←	Fujii and Matsu'ura(2000)
破壊伝播速度V <sub>r</sub> (km/s)	2.59	←	←	V <sub>r</sub> =0.72β
立ち上がり時間T <sub>r</sub> (sec)	1.61	←	←	T <sub>r</sub> =2.03 × 10 <sup>-9</sup> M <sub>0</sub> <sup>1/3</sup>
高周波限界遮断周波数f <sub>max</sub> (Hz)	8.3	←	←	香川他(2003)
短周期レベルA(Nm/s <sup>2</sup> )(参考)※	1.96 × 10 <sup>19</sup>	←	←	A=2.46 × 10 <sup>10</sup> × (M <sub>0</sub> × 10 <sup>7</sup> ) <sup>1/3</sup>
Q値	50f <sup>1.1</sup>	←	←	佐藤他(2007)

※短周期の地震動1.5倍ケースでは、短周期領域のフーリエスペクトルの比が基本ケースの1.5倍となるように設定する。

# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

■ FO-A~FO-B~熊川断層の断層パラメータ(基本ケース、短周期の地震動1.5倍ケース)

断層パラメータ		パラメータ			設定方法
		全体	FO-A~FO-B	熊川	
全 ア ス ペ リ テ イ	面積 $S_a$ (km <sup>2</sup> )	209.22	119.46	89.76	$S_a = Y_{asp} \times S, Y_{asp} = 0.22$
	平均すべり量 $D_a$ (cm)	303.9	322.3	279.4	$D_a = \gamma_D D, \gamma_D = 2.01$
	地震モーメント $M_{0a}$ (Nm)	$2.22 \times 10^{19}$	$1.35 \times 10^{19}$	$8.77 \times 10^{18}$	$M_{0a} = \mu S_a D_a$
	応力降下量 $\Delta\sigma_a$ (MPa)	14.1	←	←	$\Delta\sigma_a = (S/S_a)\Delta\sigma$
大 ア ス ペ リ テ イ	面積 $S_{a1}$ (km <sup>2</sup> )	—	79.64	/	$S_{a1} = 2/3 S_a$
	平均すべり量 $D_{a1}$ (cm)	—	357.1		$D_{a1} = M_{0a1} / (\mu S_{a1})$
	地震モーメント $M_{0a1}$ (Nm)	—	$9.95 \times 10^{18}$		$M_{0a1} = M_{0a} S_{a1}^{1.5} / (S_{a1}^{1.5} + S_{a2}^{1.5})$
	応力降下量 $\Delta\sigma_{a1}$ (MPa)	—	14.1		$\Delta\sigma_{a1} = \Delta\sigma_a$
小 ア ス ペ リ テ イ	面積 $S_{a2}$ (km <sup>2</sup> )	—	39.82	/	$S_{a2} = 1/3 S_a$
	平均すべり量 $D_{a2}$ (cm)	—	252.5		$D_{a2} = M_{0a2} / (\mu S_{a2})$
	地震モーメント $M_{0a2}$ (Nm)	—	$3.52 \times 10^{18}$		$M_{0a2} = M_{0a} S_{a2}^{1.5} / (S_{a1}^{1.5} + S_{a2}^{1.5})$
	応力降下量 $\Delta\sigma_{a2}$ (MPa)	—	14.1		$\Delta\sigma_{a2} = \Delta\sigma_a$
背 景 領 域	面積 $S_b$ (km <sup>2</sup> )	741.78	423.54	318.24	$S_b = S - S_a$
	平均すべり量 $D_b$ (cm)	108.1	114.7	99.4	$D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$
	地震モーメント $M_{0b}$ (Nm)	$2.81 \times 10^{19}$	$1.70 \times 10^{19}$	$1.11 \times 10^{19}$	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$
	実効応力 $\sigma_b$ (MPa)	2.8	←	←	$\sigma_b = 0.2 \Delta\sigma_a$

## 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

### ■FO-A～FO-B～熊川断層の断層パラメータ(すべり角30° ケース)

断層パラメータ	パラメータ			設定方法
	全体	FO-A～FO-B	熊川	
断層長さL(km)	63.4	36.2	27.2	断層位置から計算
断層傾斜角(°)	—	90	90	調査結果に基づき設定
すべり角(°)	—	30	30	調査結果に基づき設定
断層上端深さ(km)	—	3	3	微小地震の発生及び地下構造を参考に設定
断層下端深さ(km)	—	18	18	
断層幅W(km)	—	15.0	15.0	地震発生層と傾斜角から設定
断層面積S(km <sup>2</sup> )	951	543	408	断層面より算定
破壊伝播様式	同心円状	←	←	—
地震モーメントM <sub>0</sub> (Nm)	5.03 × 10 <sup>19</sup>	3.05 × 10 <sup>19</sup>	1.98 × 10 <sup>19</sup>	M <sub>0</sub> ={S/(4.24 × 10 <sup>-11</sup> )} <sup>2.0</sup> 全体の地震モーメントを断層面積の1.5乗比で分配
剛性率μ(N/m <sup>2</sup> )	3.5 × 10 <sup>10</sup>	←	←	μ=ρβ <sup>2</sup> 、ρ=2.7g/cm <sup>3</sup> 、β=3.6km/s
平均すべり量D(cm)	151.2	160.3	139.0	D=M <sub>0</sub> /(μS)
平均応力降下量Δσ(MPa)	3.1	←	←	Fujii and Matsu'ura(2000)
破壊伝播速度V <sub>r</sub> (km/s)	2.59	←	←	V <sub>r</sub> =0.72β
立ち上がり時間T <sub>r</sub> (sec)	1.61	←	←	T <sub>r</sub> =2.03 × 10 <sup>-9</sup> M <sub>0</sub> <sup>1/3</sup>
高周波限界遮断周波数f <sub>max</sub> (Hz)	8.3	←	←	香川他(2003)
短周期レベルA(Nm/s <sup>2</sup> )(参考)	1.96 × 10 <sup>19</sup>	←	←	A=2.46 × 10 <sup>10</sup> × (M <sub>0</sub> × 10 <sup>7</sup> ) <sup>1/3</sup>
Q値	50f <sup>1.1</sup>	←	←	佐藤他(2007)

# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

## ■FO-A～FO-B～熊川断層の断層パラメータ(すべり角30° ケース)

断層パラメータ		パラメータ			設定方法
		全体	FO-A～FO-B	熊川	
全 ア ス ペ リ テ イ	面積 $S_a$ (km <sup>2</sup> )	209.22	119.46	89.76	$S_a = \gamma_{asp} \times S, \gamma_{asp} = 0.22$
	平均すべり量 $D_a$ (cm)	303.9	322.3	279.4	$D_a = \gamma_D D, \gamma_D = 2.01$
	地震モーメント $M_{0a}$ (Nm)	$2.22 \times 10^{19}$	$1.35 \times 10^{19}$	$8.77 \times 10^{18}$	$M_{0a} = \mu S_a D_a$
	応力降下量 $\Delta\sigma_a$ (MPa)	14.1	←	←	$\Delta\sigma_a = (S/S_a)\Delta\sigma$
大 ア ス ペ リ テ イ	面積 $S_{a1}$ (km <sup>2</sup> )	—	79.64	/	$S_{a1} = 2/3 S_a$
	平均すべり量 $D_{a1}$ (cm)	—	357.1		$D_{a1} = M_{0a1} / (\mu S_{a1})$
	地震モーメント $M_{0a1}$ (Nm)	—	$9.95 \times 10^{18}$		$M_{0a1} = M_{0a} S_{a1}^{1.5} / (S_{a1}^{1.5} + S_{a2}^{1.5})$
	応力降下量 $\Delta\sigma_{a1}$ (MPa)	—	14.1		$\Delta\sigma_{a1} = \Delta\sigma_a$
小 ア ス ペ リ テ イ	面積 $S_{a2}$ (km <sup>2</sup> )	—	39.82		$S_{a2} = 1/3 S_a$
	平均すべり量 $D_{a2}$ (cm)	—	252.5		$D_{a2} = M_{0a2} / (\mu S_{a2})$
	地震モーメント $M_{0a2}$ (Nm)	—	$3.52 \times 10^{18}$		$M_{0a2} = M_{0a} S_{a2}^{1.5} / (S_{a1}^{1.5} + S_{a2}^{1.5})$
	応力降下量 $\Delta\sigma_{a2}$ (MPa)	—	14.1		$\Delta\sigma_{a2} = \Delta\sigma_a$
背 景 領 域	面積 $S_b$ (km <sup>2</sup> )	741.78	423.54	318.24	$S_b = S - S_a$
	平均すべり量 $D_b$ (cm)	108.1	114.7	99.4	$D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$
	地震モーメント $M_{0b}$ (Nm)	$2.81 \times 10^{19}$	$1.70 \times 10^{19}$	$1.11 \times 10^{19}$	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$
	実効応力 $\sigma_b$ (MPa)	2.8	←	←	$\sigma_b = 0.2 \Delta\sigma_a$

## 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

### ■FO-A～FO-B～熊川断層の断層パラメータ ( $V_r=0.87\beta$ ケース、短周期の地震動1.25倍かつ $V_r=0.87\beta$ ケース)

断層パラメータ	パラメータ			設定方法
	全体	FO-A～FO-B	熊川	
断層長さL(km)	63.4	36.2	27.2	断層位置から計算
断層傾斜角(°)	—	90	90	調査結果に基づき設定
断層上端深さ(km) 断層下端深さ(km)	—	3 18	3 18	微小地震の発生及び地下構造を参考に設定
断層幅W(km)	—	15.0	15.0	地震発生層と傾斜角から設定
断層面積S(km <sup>2</sup> )	951	543	408	断層面より算定
破壊伝播様式	同心円状	←	←	—
地震モーメント $M_0$ (Nm)	$5.03 \times 10^{19}$	$3.05 \times 10^{19}$	$1.98 \times 10^{19}$	$M_0=\{S/(4.24 \times 10^{-11})\}^{2.0}$ 全体の地震モーメントを断層面積の1.5乗比で分配
剛性率 $\mu$ (N/m <sup>2</sup> )	$3.5 \times 10^{10}$	←	←	$\mu=\rho\beta^2$ 、 $\rho=2.7\text{g/cm}^3$ 、 $\beta=3.6\text{km/s}$
平均すべり量D(cm)	151.2	160.3	139.0	$D=M_0/(\mu S)$
平均応力降下量 $\Delta\sigma$ (MPa)	3.1	←	←	Fujii and Matsu'ura(2000)
破壊伝播速度 $V_r$ (km/s)	3.13	←	←	$V_r=0.87\beta$
立ち上がり時間 $T_r$ (sec)	1.61	←	←	$T_r=2.03 \times 10^{-9}M_0^{1/3}$
高周波限界遮断周波数 $f_{\max}$ (Hz)	8.3	←	←	香川他(2003)
短周期レベルA(Nm/s <sup>2</sup> )(参考)※	$1.96 \times 10^{19}$	←	←	$A=2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$
Q値	$50f^{1.1}$	←	←	佐藤他(2007)

※短周期の地震動1.25倍かつ $V_r=0.87\beta$ ケースでは、短周期領域のフーリエスペクトルの比が基本ケースの1.25倍となるように設定する。

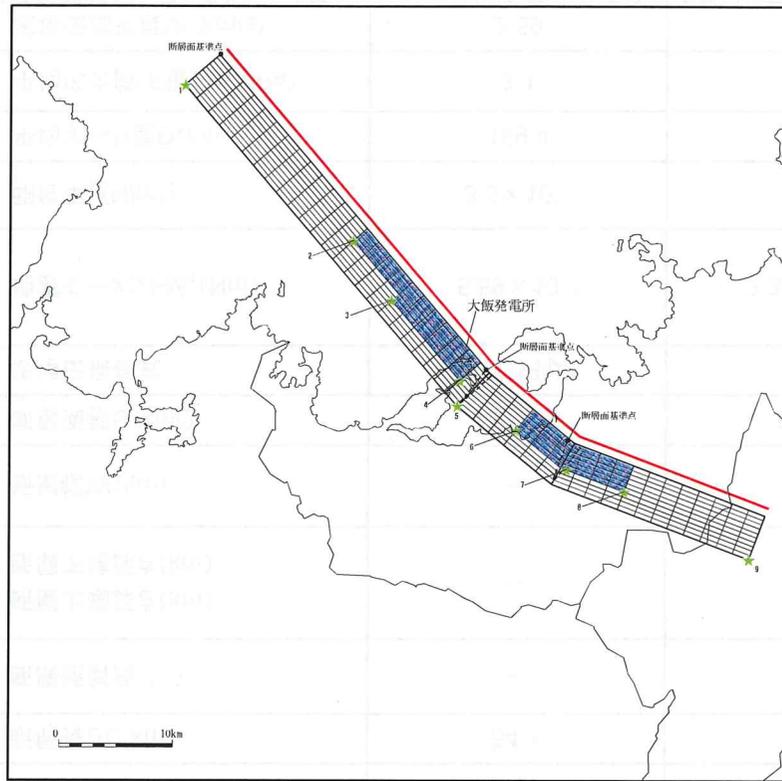
# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

■FO-A~FO-B~熊川断層の断層パラメータ  
( $V_r=0.87\beta$ ケース、短周期の地震動1.25倍かつ $V_r=0.87\beta$ ケース)

断層パラメータ		パラメータ			設定方法
		全体	FO-A~FO-B	熊川	
全 ア ス ペ リ テ イ	面積 $S_a$ (km <sup>2</sup> )	209.22	119.46	89.76	$S_a = Y_{asp} \times S, Y_{asp} = 0.22$
	平均すべり量 $D_a$ (cm)	303.9	322.3	279.4	$D_a = \gamma_D D, \gamma_D = 2.01$
	地震モーメント $M_{0a}$ (Nm)	$2.22 \times 10^{19}$	$1.35 \times 10^{19}$	$8.77 \times 10^{18}$	$M_{0a} = \mu S_a D_a$
	応力降下量 $\Delta\sigma_a$ (MPa)	14.1	←	←	$\Delta\sigma_a = (S/S_a)\Delta\sigma$
大 ア ス ペ リ テ イ	面積 $S_{a1}$ (km <sup>2</sup> )	—	79.64	/	$S_{a1} = 2/3 S_a$
	平均すべり量 $D_{a1}$ (cm)	—	357.1		$D_{a1} = M_{0a1} / (\mu S_{a1})$
	地震モーメント $M_{0a1}$ (Nm)	—	$9.95 \times 10^{18}$		$M_{0a1} = M_{0a} S_{a1}^{1.5} / (S_{a1}^{1.5} + S_{a2}^{1.5})$
	応力降下量 $\Delta\sigma_{a1}$ (MPa)	—	14.1		$\Delta\sigma_{a1} = \Delta\sigma_a$
小 ア ス ペ リ テ イ	面積 $S_{a2}$ (km <sup>2</sup> )	—	39.82		$S_{a2} = 1/3 S_a$
	平均すべり量 $D_{a2}$ (cm)	—	252.5		$D_{a2} = M_{0a2} / (\mu S_{a2})$
	地震モーメント $M_{0a2}$ (Nm)	—	$3.52 \times 10^{18}$		$M_{0a2} = M_{0a} S_{a2}^{1.5} / (S_{a1}^{1.5} + S_{a2}^{1.5})$
	応力降下量 $\Delta\sigma_{a2}$ (MPa)	—	14.1		$\Delta\sigma_{a2} = \Delta\sigma_a$
背 景 領 域	面積 $S_b$ (km <sup>2</sup> )	741.78	423.54	318.24	$S_b = S - S_a$
	平均すべり量 $D_b$ (cm)	108.1	114.7	99.4	$D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$
	地震モーメント $M_{0b}$ (Nm)	$2.81 \times 10^{19}$	$1.70 \times 10^{19}$	$1.11 \times 10^{19}$	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$
	実効応力 $\sigma_b$ (MPa)	2.8	←	←	$\sigma_b = 0.2 \Delta\sigma_a$

# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

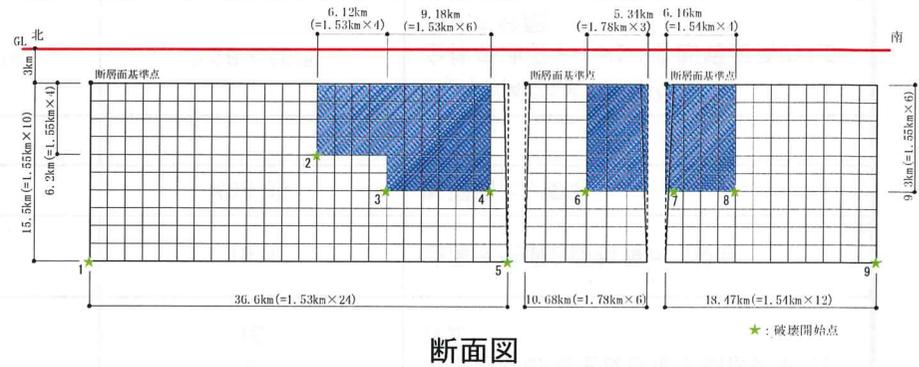
## ■FO-A~FO-B~熊川断層のモデル図(傾斜角75° ケース)



※ 傾斜角90°の断層面は、傾斜角0°として図化している。

★：破壊開始点

断層配置図



断面図

## 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

### ■FO-A～FO-B～熊川断層の断層パラメータ(傾斜角75° ケース)

断層パラメータ	パラメータ			設定方法
	全体	FO-A～FO-B	熊川	
断層長さL(km)	64.7	36.4	28.3	断層位置から計算
断層傾斜角(°)	—	75	75	調査結果に基づき設定
断層上端深さ(km)	—	3	3	微小地震の発生及び地下構造を参考に設定
断層下端深さ(km)	—	18	18	
断層幅W(km)	—	15.5	15.5	地震発生層と傾斜角から設定
断層面積S(km <sup>2</sup> )	1002.85	564.2	438.65	断層面より算定
破壊伝播様式	同心円状	←	←	—
地震モーメントM <sub>0</sub> (Nm)	5.59 × 10 <sup>19</sup>	3.32 × 10 <sup>19</sup>	2.28 × 10 <sup>19</sup>	M <sub>0</sub> ={S/(4.24 × 10 <sup>-11</sup> )} <sup>2.0</sup> 全体の地震モーメントを断層面積の1.5乗比で分配
剛性率μ(N/m <sup>2</sup> )	3.5 × 10 <sup>10</sup>	←	←	μ=ρβ <sup>2</sup> 、ρ=2.7g/cm <sup>3</sup> 、β=3.6km/s
平均すべり量D(cm)	159.4	168.1	148.2	D=M <sub>0</sub> /(μS)
平均応力降下量Δσ(MPa)	3.1	←	←	Fujii and Matsu'ura(2000)
破壊伝播速度V <sub>r</sub> (km/s)	2.59	←	←	V <sub>r</sub> =0.72β
立ち上がり時間T <sub>r</sub> (sec)	1.67	←	←	T <sub>r</sub> =2.03 × 10 <sup>-9</sup> M <sub>0</sub> <sup>1/3</sup>
高周波限界遮断周波数f <sub>max</sub> (Hz)	8.3	←	←	香川他(2003)
短周期レベルA(Nm/s <sup>2</sup> )(参考)	2.03 × 10 <sup>19</sup>	←	←	A=2.46 × 10 <sup>10</sup> × (M <sub>0</sub> × 10 <sup>7</sup> ) <sup>1/3</sup>
Q値	50f <sup>1.1</sup>	←	←	佐藤他(2007)

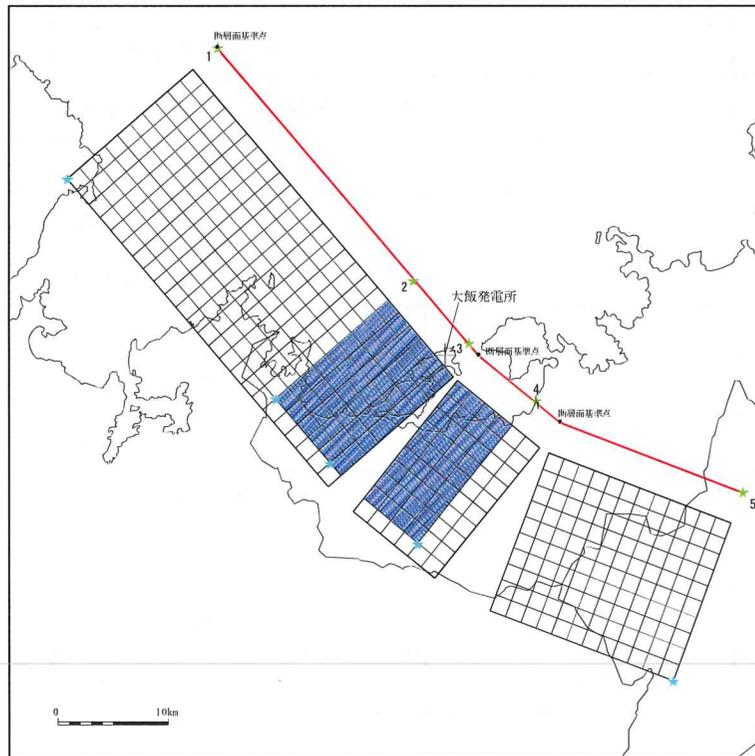
# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

## ■FO-A～FO-B～熊川断層の断層パラメータ(傾斜角75° ケース)

断層パラメータ		パラメータ			設定方法
		全体	FO-A～FO-B	熊川	
全 ア ス ペ リ テ イ	面積 $S_a$ (km <sup>2</sup> )	220.63	124.12	96.50	$S_a = \gamma_{asp} \times S, \gamma_{asp} = 0.22$
	平均すべり量 $D_a$ (cm)	320.4	337.9	297.9	$D_a = \gamma_D D, \gamma_D = 2.01$
	地震モーメント $M_{0a}$ (Nm)	$2.47 \times 10^{19}$	$1.47 \times 10^{19}$	$1.01 \times 10^{19}$	$M_{0a} = \mu S_a D_a$
	応力降下量 $\Delta\sigma_a$ (MPa)	14.1	←	←	$\Delta\sigma_a = (S/S_a)\Delta\sigma$
大 ア ス ペ リ テ イ	面積 $S_{a1}$ (km <sup>2</sup> )	—	82.75	/	$S_{a1} = 2/3 S_a$
	平均すべり量 $D_{a1}$ (cm)	—	374.5		$D_{a1} = M_{0a1} / (\mu S_{a1})$
	地震モーメント $M_{0a1}$ (Nm)	—	$1.08 \times 10^{19}$		$M_{0a1} = M_{0a} S_{a1}^{1.5} / (S_{a1}^{1.5} + S_{a2}^{1.5})$
	応力降下量 $\Delta\sigma_{a1}$ (MPa)	—	14.1		$\Delta\sigma_{a1} = \Delta\sigma_a$
小 ア ス ペ リ テ イ	面積 $S_{a2}$ (km <sup>2</sup> )	—	41.37		$S_{a2} = 1/3 S_a$
	平均すべり量 $D_{a2}$ (cm)	—	264.8		$D_{a2} = M_{0a2} / (\mu S_{a2})$
	地震モーメント $M_{0a2}$ (Nm)	—	$3.83 \times 10^{18}$		$M_{0a2} = M_{0a} S_{a2}^{1.5} / (S_{a1}^{1.5} + S_{a2}^{1.5})$
	応力降下量 $\Delta\sigma_{a2}$ (MPa)	—	14.1		$\Delta\sigma_{a2} = \Delta\sigma_a$
背 景 領 域	面積 $S_b$ (km <sup>2</sup> )	782.22	440.08	342.15	$S_b = S - S_a$
	平均すべり量 $D_b$ (cm)	114.0	120.2	106.0	$D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$
	地震モーメント $M_{0b}$ (Nm)	$3.12 \times 10^{19}$	$1.85 \times 10^{19}$	$1.27 \times 10^{19}$	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$
	実効応力 $\sigma_b$ (MPa)	2.8	←	←	$\sigma_b = 0.2 \Delta\sigma_a$

# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

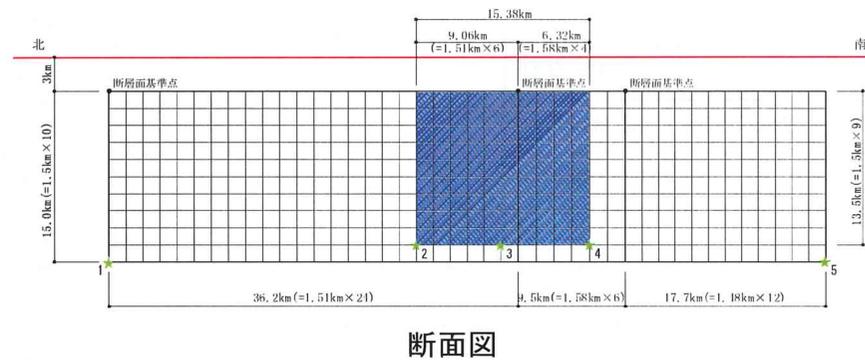
## ■FO-A～FO-B～熊川断層のモデル図(アスペリティー塊ケース)



※ 傾斜角90°の断層面は、傾斜角0°として図化している。

★：破壊開始点

断層配置図



断面図

# 4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

## ■FO-A～FO-B～熊川断層の断層パラメータ(アスペリティー塊ケース)

断層パラメータ	パラメータ	設定方法
断層長さL(km)	63.4	断層位置から計算
断層傾斜角(°)	90	調査結果に基づき設定
断層上端深さ(km)	3	微小地震の発生及び地下構造を参考に設定
断層下端深さ(km)	18	
断層幅W(km)	15	地震発生層と傾斜角から設定
断層面積S(km <sup>2</sup> )	951	断層面より算定
破壊伝播様式	同心円状	—
地震モーメントM <sub>0</sub> (Nm)	5.03 × 10 <sup>19</sup>	M <sub>0</sub> ={S/(4.24 × 10 <sup>-11</sup> )} <sup>2.0</sup>
剛性率(N/m <sup>2</sup> )	3.5 × 10 <sup>10</sup>	μ=ρβ <sup>2</sup> 、ρ=2.7g/cm <sup>3</sup> 、β=3.6km/s
平均すべり量D(cm)	151.2	D=M <sub>0</sub> /(μS)
平均応力降下量Δσ(MPa)	3.1	Fujii and Matsu'ura (2000)
破壊伝播速度Vr(km/s)	2.59	Vr=0.72β
立ち上がり時間Tr(sec)	1.61	Tr=2.03 × 10 <sup>-9</sup> M <sub>0</sub> <sup>1/3</sup>
高周波限界遮断周波数fmax(Hz)	8.3	香川ほか、2003
短周期レベルA(Nm/s <sup>2</sup> )	1.96 × 10 <sup>19</sup>	A=2.46 × 10 <sup>17</sup> × M <sub>0</sub> <sup>1/3</sup>
Q値	50f <sup>1.1</sup>	佐藤ほか、2007

	断層パラメータ	パラメータ	設定方法
ア ス ペ リ テ ィ	面積S <sub>a</sub> (km <sup>2</sup> )	209.22	S <sub>a</sub> =πr <sup>2</sup> 、 r=(7πM <sub>0</sub> β <sup>2</sup> )/(4AR)、R=(S/π) <sup>0.5</sup>
	平均すべり量D <sub>a</sub> (cm)	303.9	D <sub>a</sub> =γ <sub>D</sub> D、γ <sub>D</sub> =2.01
	地震モーメントM <sub>0a</sub> (Nm)	2.22 × 10 <sup>19</sup>	M <sub>0a</sub> =μS <sub>a</sub> D <sub>a</sub>
	応力降下量Δσ <sub>a</sub> (MPa)	14.1	Δσ <sub>a</sub> =(S/S <sub>a</sub> )Δσ
背 景 領 域	面積S <sub>b</sub> (km <sup>2</sup> )	741.78	S <sub>b</sub> =S-S <sub>a</sub>
	平均すべり量D <sub>b</sub> (cm)	108.1	D <sub>b</sub> =M <sub>0b</sub> /(μS <sub>b</sub> )
	地震モーメントM <sub>0b</sub> (Nm)	2.81 × 10 <sup>19</sup>	M <sub>0b</sub> =M <sub>0</sub> -M <sub>0a</sub>
	実効応力σ <sub>b</sub> (MPa)	2.8	σ <sub>b</sub> =0.2Δσ <sub>a</sub>