

大飯発電所の地震動に係る試算の過程等について

平成28年7月27日

原子力規制庁

1. 試算の過程

第21回原子力規制委員会（平成28年7月13日）で報告した大飯発電所の地震動の試算結果に係る試算の過程・問題点は以下のとおり（詳細は別紙1）。

(1) 武村式への置き換えに係るもの

- ① 今回の試算は「地震モーメントを武村式（1998）で算出し、その他は関西電力と同じ手法で地震動を評価する」という課題に取り組んだもの。
- ② 関西電力は、F O - A 断層、F O - B 断層及び熊川断層の各々の断層長さを既存文献にあるよりも長く設定した上で、これら3つの断層を連動させることとし、断層全体の長さを63.4 kmとしている。武村式（1998）の論文では、用いている断層長さの定義が明確にされていないが、武村式（1998）の断層長さ L と地震モーメント M_0 の関係式は、松田式（1975）と同等であり、松田式が地表断層長さ（断層線の長さ）を基にしていることを踏まえると、武村式を使う場合は地表断層長さを用いるのが適切であると考えられる。しかし、今回の試算では、関西電力と同じ条件（3つの断層の連動）を採用したため、地表で確認できない長さも含む長さを用いることとした。
- ③ 武村式（1998）と入倉・三宅式を置き換えて計算すると、アスペリティの総面積が震源断層の総面積より大きくなり、アスペリティは震源断層の一部であることとの矛盾が発生。
- ④ レシピにこの矛盾への対応は規定されていないが、試算を行うためには、何らかのアスペリティを設定する必要がある。アスペリティの総面積を震源断層の総面積と等しくする方法（一様震源モデル）も考えられたが、これは断層全体が一様に破壊するモデルであり、断層の不均質性を考慮してアスペリティにおける地震動の生成を想定する地震学の知見（特性化震源モデル）と矛盾する。また、地震動も小さくなることが予想された。
- ⑤ このため、④の方法ではなく、アスペリティ総面積を関西電力と同じにしてアスペリティの応力降下量を算出するとともに、地震モーメントが変わらないように背景領域の応力降下量を大きく設定した結果、背景領域の応力降下量が通常の約3倍となり、非現実的なものとなった。

- (2) 関西電力の「基本ケース」と同一条件の試算結果(7/13報告の試算①)と関西電力が算出した基本ケースとの相異について

関西電力は、統計的グリーン関数法に基づいた地震動評価により基準地震動を策定しているが、今回の試算における要素地震波(模擬波)の生成や波形合成のプロセスが関西電力と異なっていることにより、計算結果に相異が生じていると考えられる。

2. 基準地震動の策定における保守性の考慮

基準地震動の策定においては、保守性の考慮として、まず、断層長さを保守的に設定している(別紙2参照)。今回の対象の断層についても以下のとおり各断層長さを保守的に設定し、さらに、これら3つの断層の連動を考慮し、これを基本ケースとしている。

FO-A断層; 約24km(既存文献では18km)

FO-B断層; 約11km(既存文献に記載なし)

熊川断層; 約14km(既存文献では9km又は12km)

この基本ケースに、さらに断層幅、短周期の地震動レベル、アスペリティ配置等の不確かさを考慮している。

3. 「レシピ・入倉・三宅式」以外の震源特性パラメータの設定方法

地震動評価における震源特性パラメータの設定については、レシピにおける巨視的震源特性に係る入倉・三宅式を用いる方法((ア)の方法)及び松田式(1975)・武村式(1990)を用いる方法((イ)の方法)があり、このほかに中央防災会議の手法がある(詳細は別紙3)。

(イ)の方法及び中央防災会議の手法はいずれも、地震モーメントを震源断層の面積との関係ではなく断層長さとの関係から求めるものである。

原子力発電所の審査においては、震源として考慮する活断層の評価に当たって、調査地域の地形・地質条件に応じ、既存文献の調査、変動地形学的調査、地質調査、地球物理学的調査等の特性を活かし、これらを適切に組み合わせた調査を実施した上で、その結果を総合的に評価し活動層の位置・形状・活動性等を明らかにすることを求めていること[※]から、断層の形状等から地震モーメントを求める(ア)の方法が用いられてきている。

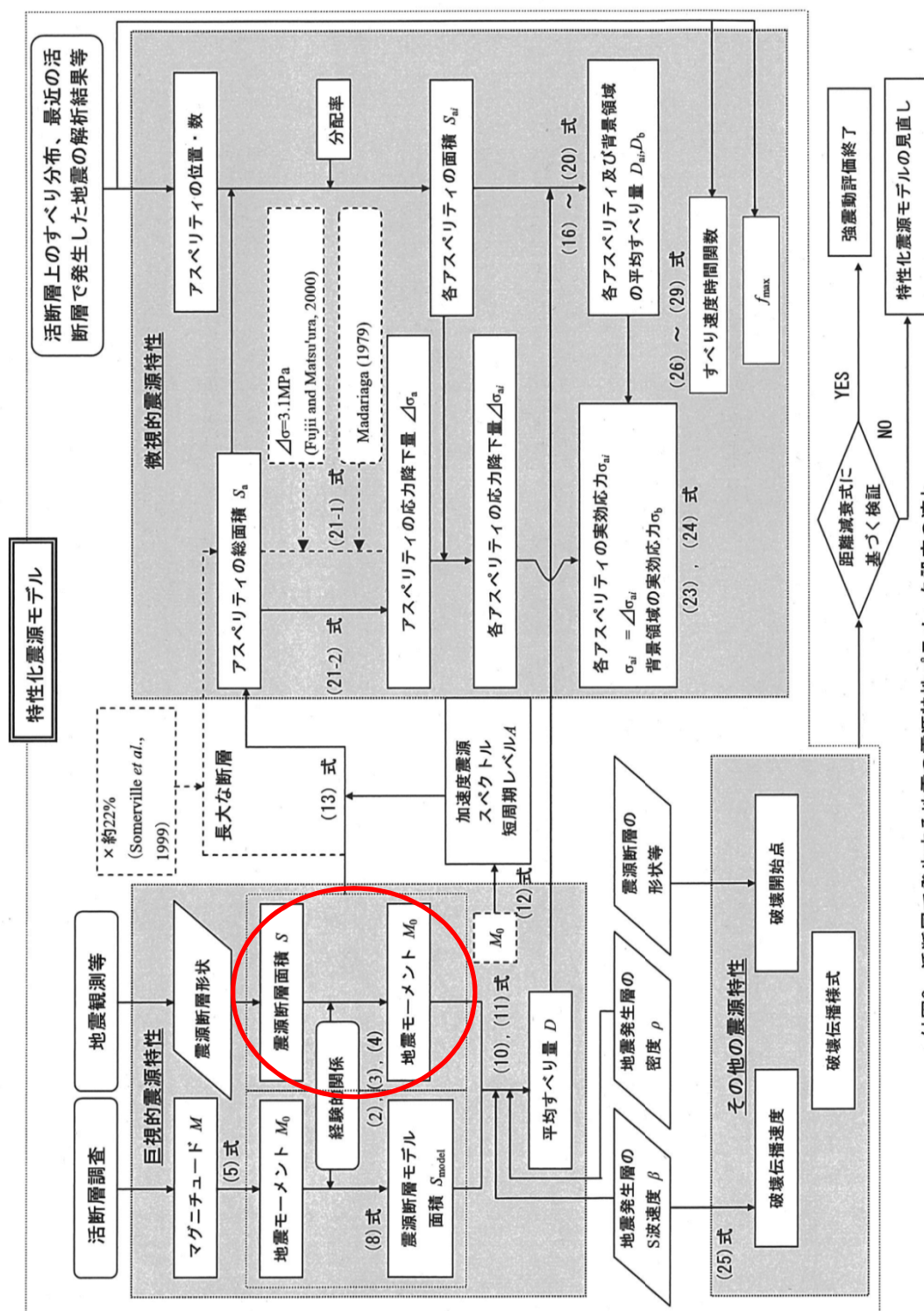
※「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」別記2の5二②

4. 対応案

- 武村式（１９９８）を用いたケース（7/13報告の試算②）は、１．のとおり、武村式（１９９８）に対応する地表断層長さではなくこれより大きい長さを用いたことにより、大きな地震モーメントが算出され、その後のプロセスで矛盾が生じ、結果として背景領域の応力降下量が通常の約３倍という非現実的なモデルとなった。これを踏まえれば、この試算結果をもって、大飯発電所の基準地震動の妥当性を議論することは適切ではない。
- 他方、大飯発電所の基準地震動の策定に当たっては、レシピの（ア）の方法（入倉・三宅式）を用いている。この方法は、震源断層の詳細な調査結果をもとに断層モデルを用いて最終的に強震動計算を行うまでの一連の手法として、その合理性が検証され広く用いられている。また、審査に当たっては、入倉・三宅式が他の関係式に比べて、同じ断層長さに対する地震モーメントを小さく算出する可能性を有していることにも留意して、断層の長さや幅等に係る保守性の考慮が適切になされているかという観点で確認してきている。
- このため、現時点において、大飯発電所の基準地震動を見直す必要は無いと考える。
- なお、震源断層の詳細な調査結果を用いて、レシピの（ア）の方法以外の方法によって基準地震動を作成するというアプローチについては、どのように保守性を確保していくか（断層長さの設定（連動の考慮を含む）、各種の不確かさの取り方等）に関し、妥当な方法が現時点で明らかになっているとは言えず、規制において要求または推奨すべきアプローチとして位置付けるまでの科学的・技術的な熟度には至っていないと考える。

以上

「震源を特定した地震の強震動予測手法」の震源特性パラメータ設定方法

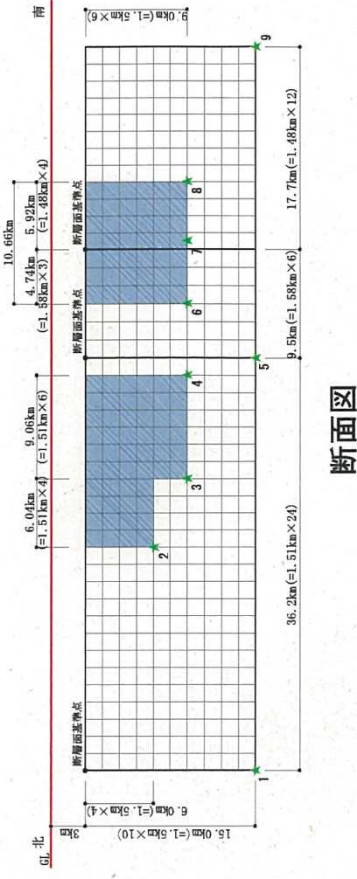
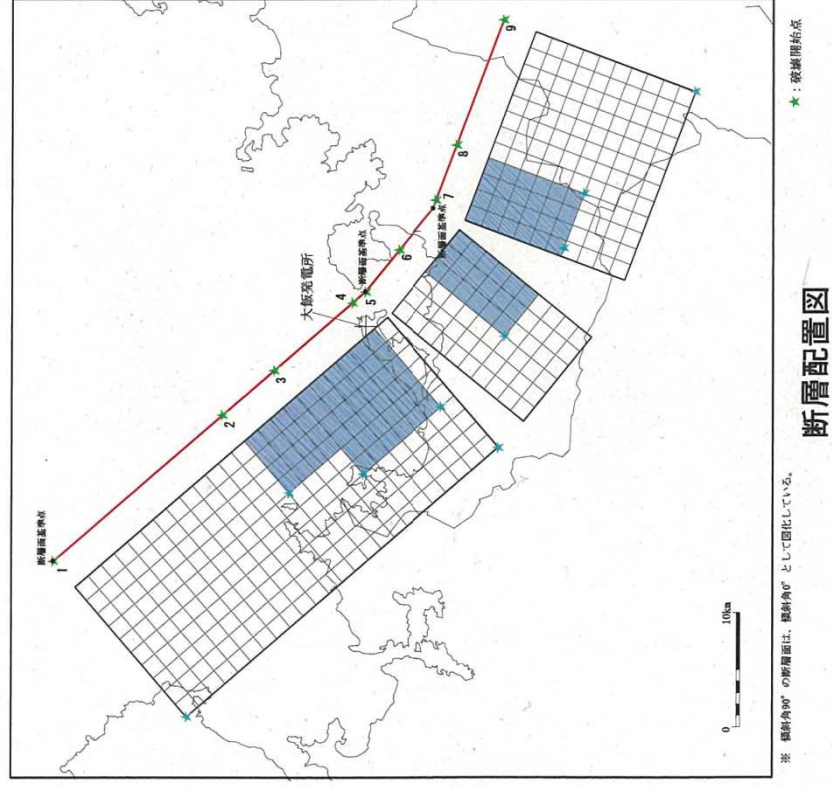


付図2 活断層で発生する地震の震源特性パラメータ設定の流れ
(過去の地震記録や詳細な調査結果に基づき震源断層を推定する場合)

震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「シピ」)平成28年(2016年)6月地震調査研究推進本部地震調査委員会

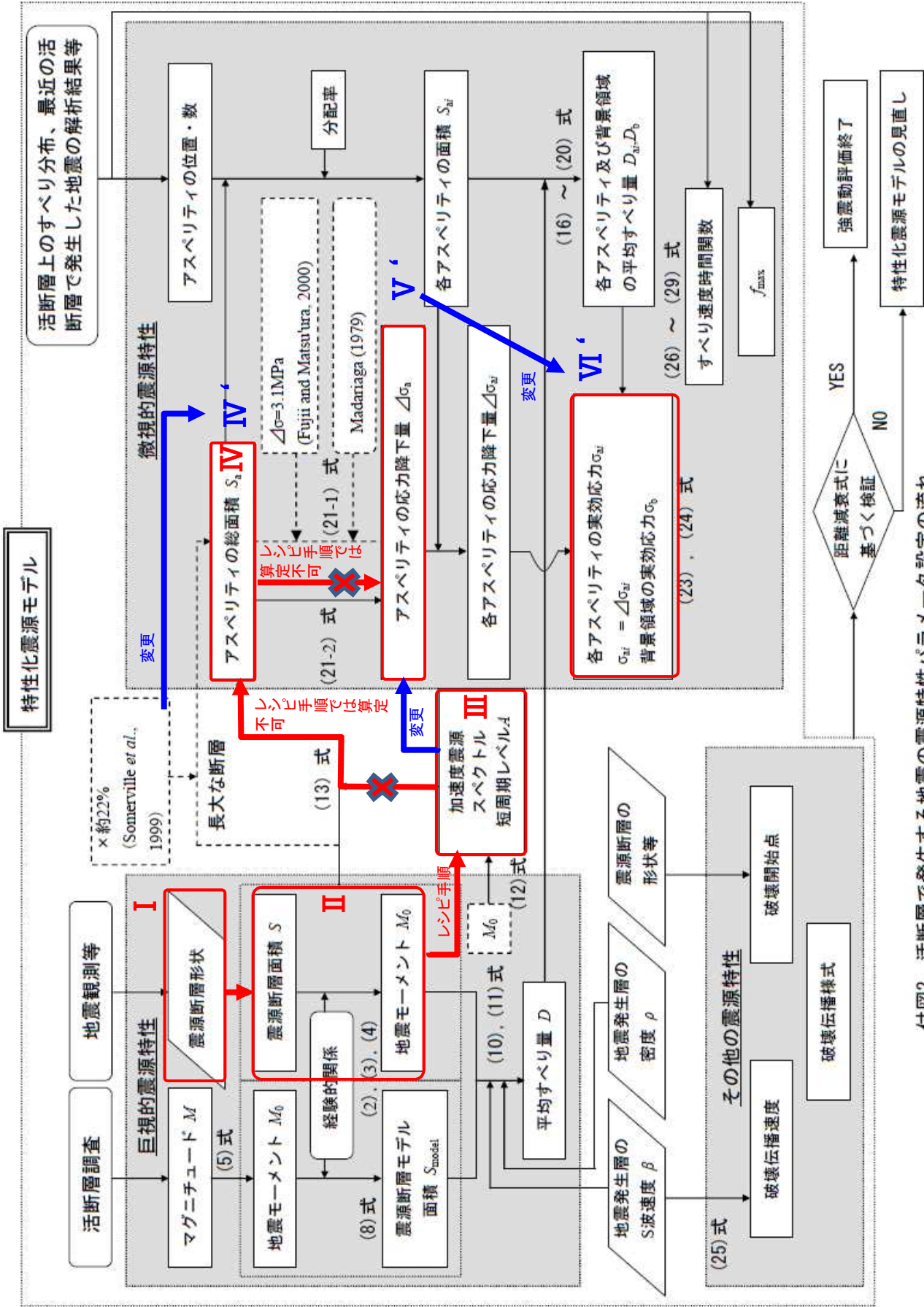
試算対象(FO-A～FO-B～熊川断層)の地震動評価上の断層長さ

地震動評価上は、FO-A～FO-B～熊川断層の連動を考慮し、震源断層長さ L を63.4kmとした。
(FO-A断層と熊川断層の間15kmも震源として扱う)



出典：第332回原子力発電所の新規規制基準適合性に係る審査会合資料「大飯発電所 地震動評価について」

「震源を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)の震源特性パラメータ設定方法



付図2 活断層で発生する地震の震源特性パラメータ設定の流れ
(過去の地震記録や詳細な調査結果に基づき震源断層を推定する場合)

レシピに基づいた特性化震源モデル構築の試み(1)

I 与条件: 断層形状

- ◆ 断層長さ $L = 63.4 \text{ km}$
- ◆ 断層幅 = 地震発生層幅 15 km
- 面積 $S = 951 \text{ km}^2$; 関西電力基本ケースと同じ

II 地震モーメント M_0 の算出

レシピ(2016)式(3)(=入倉・三宅式)を下記の武村式(1998)に置き換え、 M_0 を算出
 $\text{Log} L = 0.5 \text{Log} M_0 - 11.82 \quad (L = 63.4 \text{ Km})$
 $\Rightarrow M_0 \text{武村} = 1.75 \times 10^{27} \text{ dyne} \cdot \text{cm}$
 $(1.75 \times 10^{20} \text{ Nm})$
関西電力基本ケースの3.49倍

III 短周期レベラAの算出

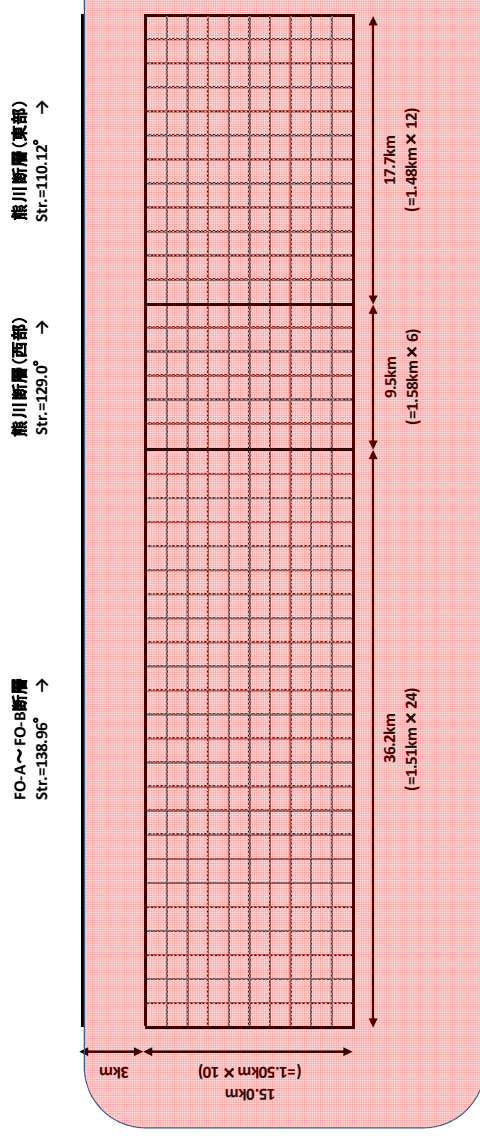
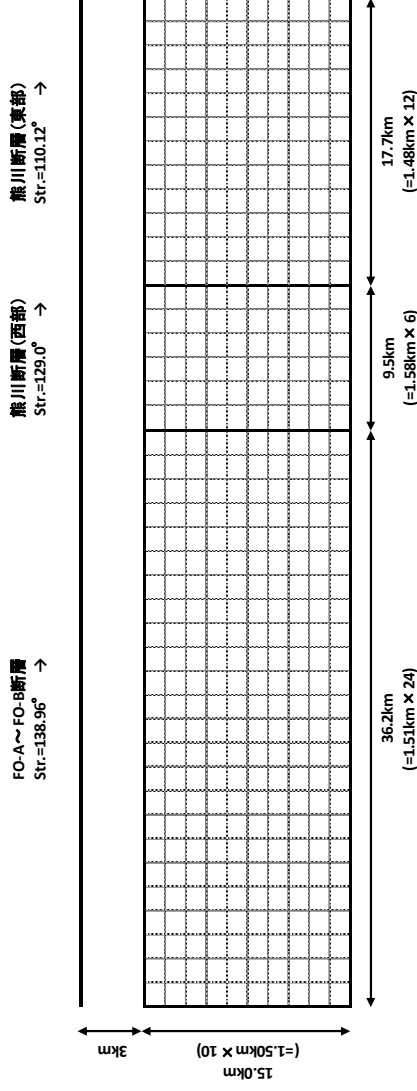
レシピ(2016)式(12)
 $A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$
 $\Rightarrow A = 2.97 \times 10^{19} \text{ Nm/s}^2$
関西電力基本ケースの1.52倍*

IV アスペリティの総面積 S_a の算出

レシピ(2016)式(13)
 $r = (7\pi/4) \cdot \{M_0 / (A \cdot R)\} \beta^2 = 24.2 \text{ km}$
 (断層の等価半径 $R = 17.4 \text{ km}$;
 S波速度 $\beta = 3.6 \text{ km/s}$)
 $S_a = 1840 \text{ km}^2$
断層面積の約1.9倍

レシピの手順に従うと、アスペリティの総面積は断層面積の約1.9倍となる。アスペリティが震源断層の一部であることと矛盾する。

* 規制委員会(平成28年7月13日)の資料1の別紙3では1.51倍と記載したが、誤記のため1.52倍に修正。



武村式に置き換えたアスペリティ(赤色)のイメージ

レシピに基づいた特性化震源モデル構築の試み(2)

- ◆ 試み(1)の検討から、武村式に基づく地震モーメント M_0 をレシピへ適用した場合、アスペリティの総面積が断層面積を上回り、レシピ手順では対応できないことが判明した。ここで、その他の試算モデルの設定を試みた。

アスペリティを震源断層領域全体に等しくすること(②一様破壊モデル)も考えられるが、レシピで扱われる特性化震源モデルは地震学の知見に基づき断層の不均質性を考慮したものであり、これと矛盾する。

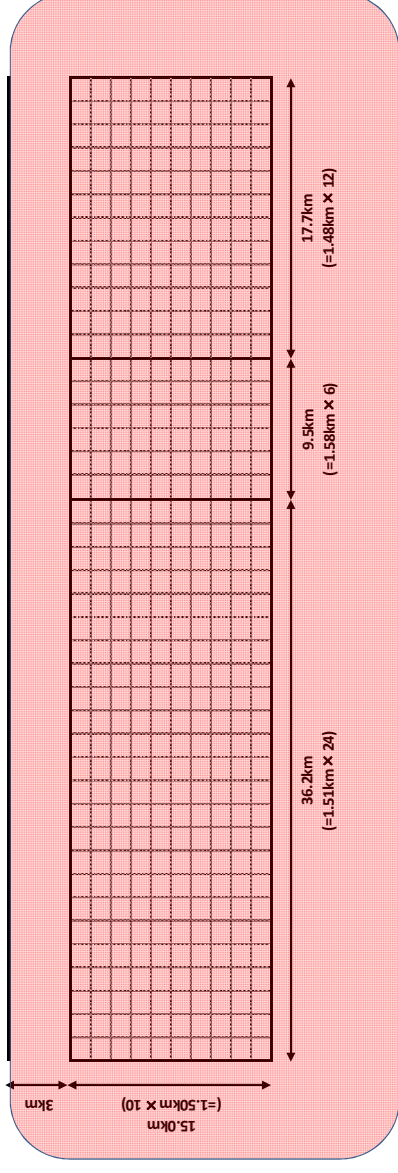
また、②一様破壊モデルの場合、応力降下量は10.8MPa (=基本モデル平均応力降下量3.1MPa \times 3.49)となるが、関西電力の基本ケースのモデルでは、アスペリティ領域に14.1MPaの応力降下量を設定している。強震動評価の観点からは、②一様破壊モデルを用いた強震動が関西電力の基本モデルより小さくなると予想される。

以上より、②一様破壊モデルは用いないこととし、関西電力の設定したアスペリティの位置及び面積を採用する。

FO-A～FO-B断層
Str.=138.96° →

熊川断層(西部)
Str.=129.0° →

熊川断層(東部)
Str.=110.12° →

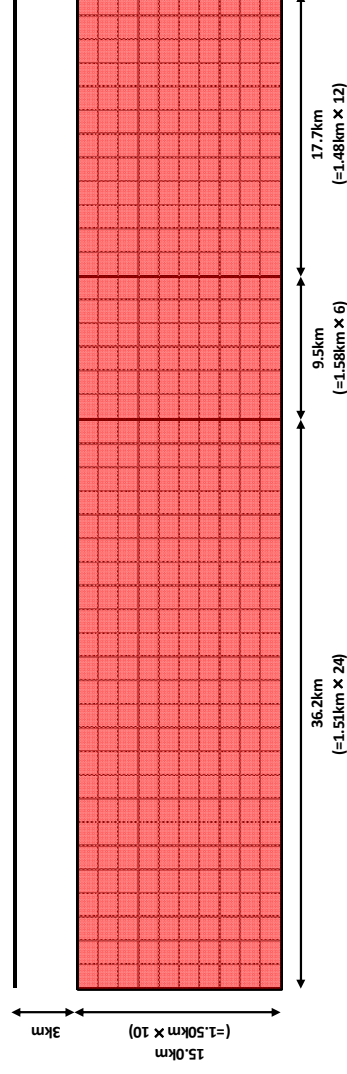


①武村式に置き換えたアスペリティ(赤色)のイメージ

FO-A～FO-B断層
Str.=138.96° →

熊川断層(西部)
Str.=129.0° →

熊川断層(東部)
Str.=110.12° →



②一様破壊モデルのイメージ

レシピに基づいた特性化震源モデル構築の試み(3)

◆ここで、レシピの手順を変更し、以下の試算モデルの構築を試みた。

レシピと異なった手順

・アスペリティの総面積の算出 **IV'**

関西電力モデルのアスペリティ割合0.22を採用

・地震モーメント M_0 から算定された短期レベルAの制約条件から、アスペリティの応力降下量の算出 **V'**

$$A = 4\pi\beta^2\tau\Delta\sigma_a \quad \text{レシピ(2016)式(15)}$$

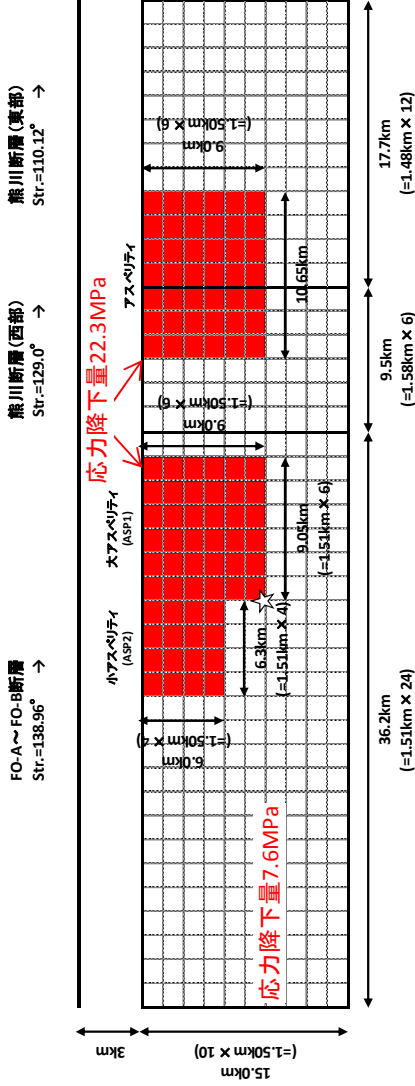
$$\tau = \sqrt{0.22S/\pi}, \beta = 3.6\text{km/s} \Rightarrow \Delta\sigma_a = 22.3\text{MPa}$$

・背景領域の応力降下量の算出 **VI'**

地震モーメント $(1.75 \times 10^{20}\text{Nm})$ を変えないように背景領域に**7.6MPa**の応力降下量を設定した。

地震調査研究推進本部「全国地震動予測地図」(2009)の特性化震源モデル(以下「推本モデル」という)との比較

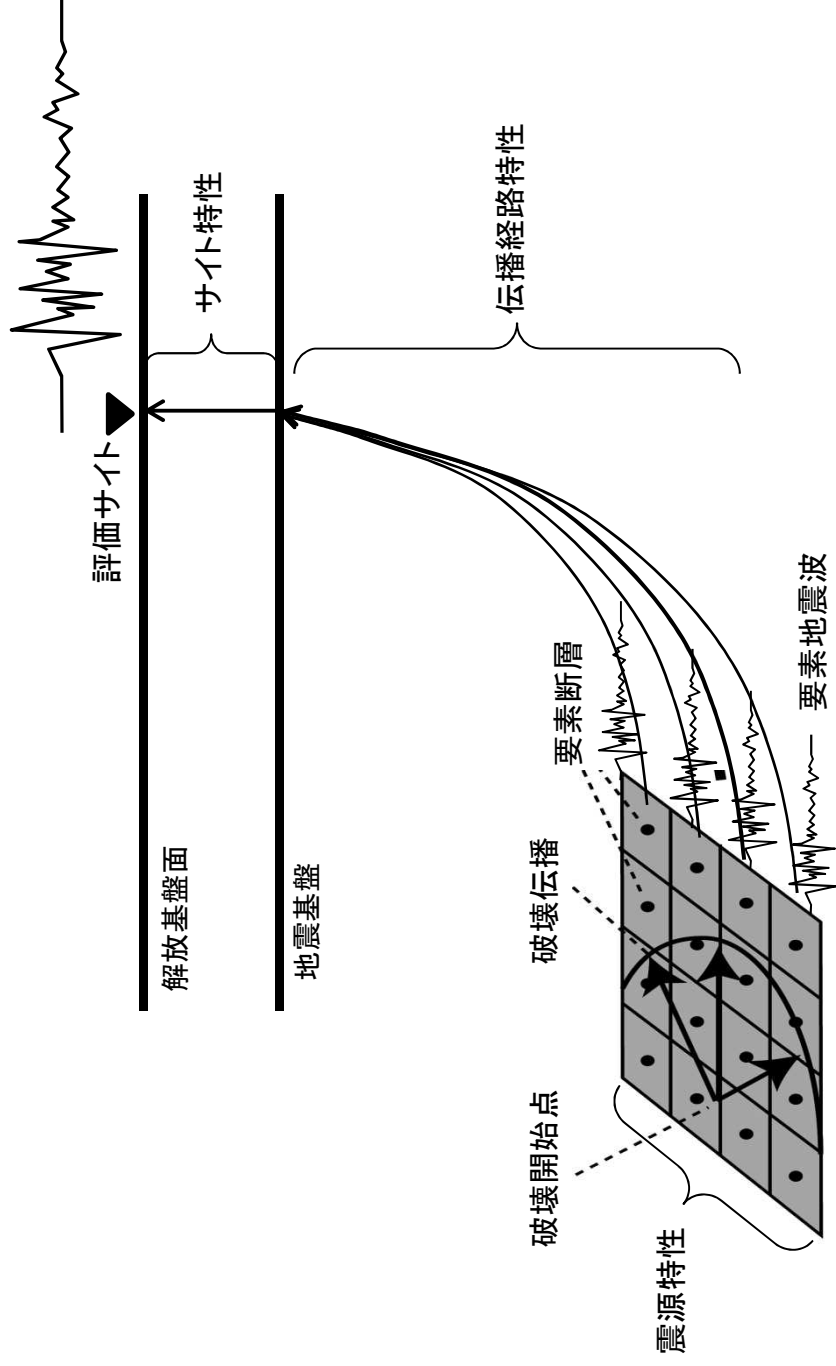
評価対象	アスペリティの 応力降下量 $\Delta\sigma_a$	背景領域の 応力降下量
$\Delta\sigma_a$ 最小ケース： 大阪湾断層帯	12.8MPa	0.7MPa
$\Delta\sigma_a$ 最大ケース： 橿形山脈断層帯	17.5MPa	3.1MPa
推本モデルの平均値	15.1MPa	2.7MPa
本試算モデル	22.3MPa	7.6MPa



試算モデル

- ◆単純に地震モーメントを入倉・三宅式から武村式に置き換えると、レシピに基づく特性化震源モデルの構築が出来ないことが分かった。
- ◆今回の試算ではレシピ中の算定式を用いているが、レシピとは異なる手順で試算モデルを構築した。その結果、アスペリティに既に大きな応力降下量を設定した上に、地震モーメントを変えないように背景領域にも大きな応力降下量を設定することが必要となった。これは、通常2~3MPa程度の背景領域の応力降下量と比べ約3倍の値である。

基本ケースにおける関西電力との相違の考察



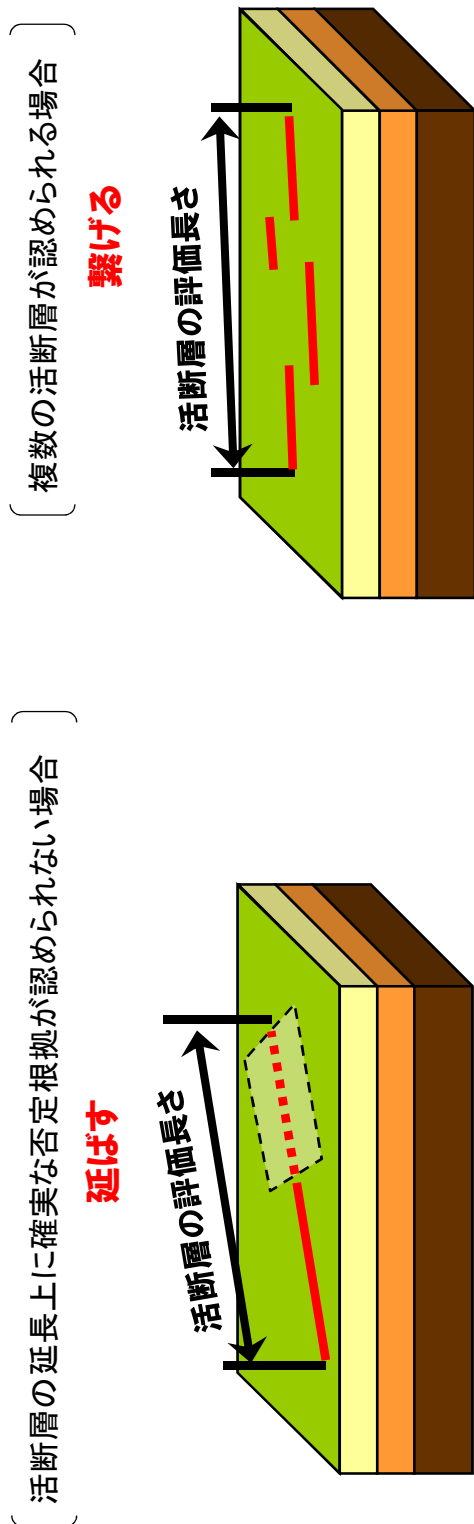
断層モデルを用いた地震動評価のイメージ図

関西電力は、基準地震動策定に当たり統計的グリーン関数法に基づいた地震動評価を行っている。今回の試算においては、要素地震波の生成や波形合成のプロセスが関西電力と異なることにより、相違が生じていると考えられる。

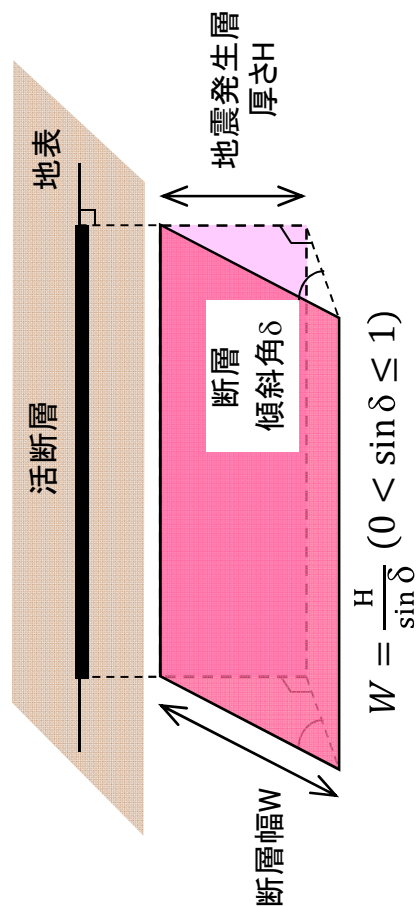
基準地震動の策定における保守性の考慮

- 変動地形的調査、地質調査、地球物理学的調査などによって、断層長さ、断層幅等について、保守的に設定。

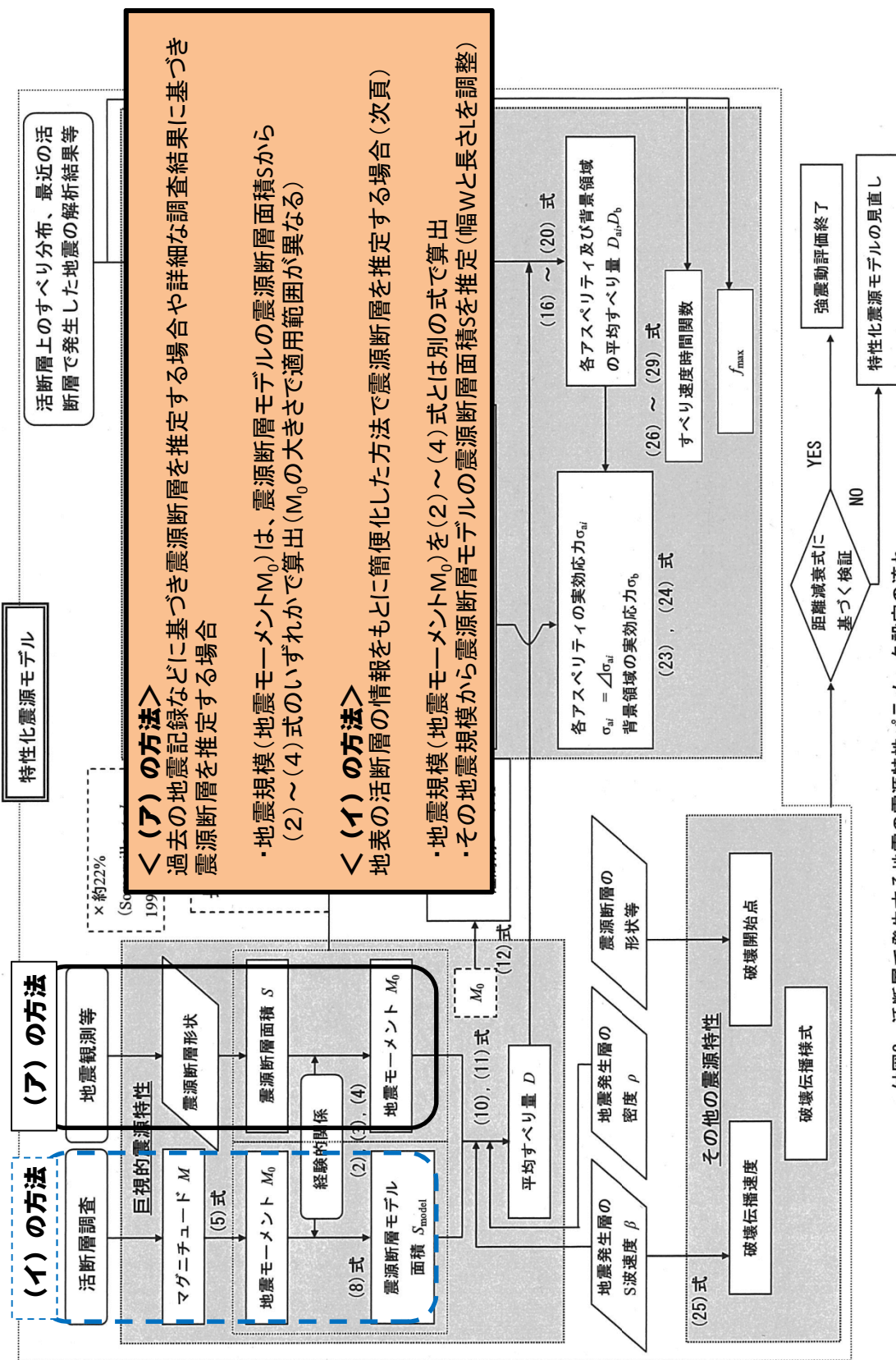
(例1) 断層長さ



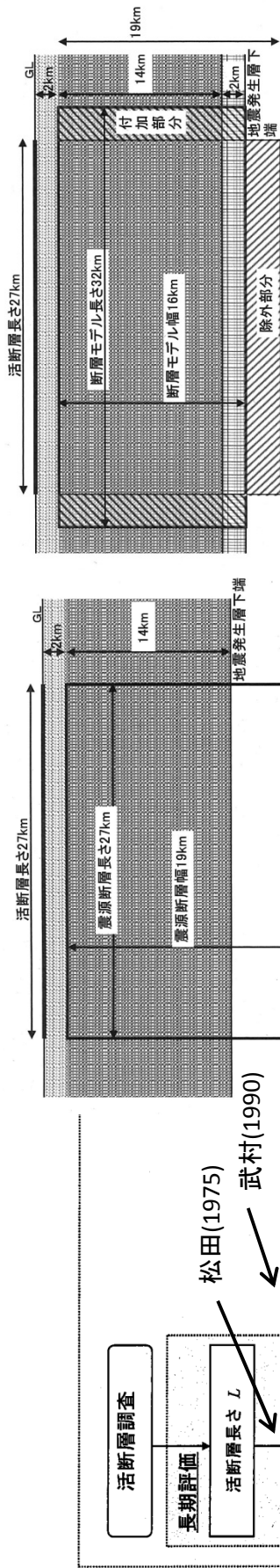
(例2) 断層傾斜角を大きくするようにして、断層幅を保守的に設定



震源断層面積以外で地震モーメント M_0 を算出する方法



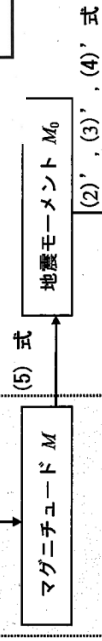
簡便化した方法で震源断層を推定する場合(前ページの(イ)の方法)



断層モデル長さおよび幅の概念図
(左) 初期モデル、(右) 修正モデル

松田(1975)

武村(1990)



付図3 活断層で発生する地震の震源特性パラメータ設定の流れ
(地表の活断層の情報をもとに簡便化した方法で震源断層を推定する場合)

中央防災会議の震源特性パラメータ設定方法

例：中部圏・近畿圏の内陸地震に関する報告

平成20年12月 中央防災会議（東南海、南海地震等に関する専門調査会）

＜地震モーメント M_0 の算出＞

地震のモーメントマグニチュード M_w を断層長さ L と M_w の関係式（※）を用いて求める。その M_w から、 M_0 に対する M_w の定義式（Kanamori, 1977）により M_0 を算出する。

※断層長さ L とマグニチュード M の関係式である松田式（松田, 1975）と M と M_w の関係式（中央防災会議, 2004）の2式から求められた式

松田式（松田, 1975）を出発点にして地震モーメント M_0 を算出する点では、地震調査研究推進本部の（イ）方法と同じ。

＜起震断層の形状＞

地震調査研究推進本部の調査結果や活断層研究会（「新編 日本の活断層」東京大学出版会）を基にモデル化。

＜応力降下量、アスペリティ＞

断層全体での平均応力パラメータ（ $\Delta\sigma$ ）は3MPaとする。
アスペリティの面積は各セグメントの面積に対して、20%よりやや大きな値に設定。