

大間原子力発電所審査資料	
資料番号	OM1-CA176-R00
提出年月日	2022年10月6日

大間原子力発電所

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のうち内陸地殻内地震について

(コメント回答 その3)

2022年10月

電源開発株式会社

大間原子力発電所

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のうち

内陸地殻内地震について

(コメント回答 その3)

2022年10月6日

電源開発株式会社

○「第615回審査会合」及び「第646回審査会合」での資料の誤りに関わる対応を踏まえ、本資料にて過去の審査会合資料を引用する際の注記を下記のとおりとする。

・右上の注記

再掲：過去の審査会合資料を、そのまま引用する場合

一部修正：過去の審査会合資料の内容を、一部修正する場合

誤りを修正：過去の審査会合資料の誤りを、正しい記載とする場合

・左下の注記

修正した誤りの内容を記載（誤りの修正がある場合）

○「大間原子力発電所 設置変更許可申請書添付書類六「5. 地震」における記載の誤りの原因と再発防止対策について（第983回審査会合 資料2-1）」にて説明した誤りに該当する記載がある場合、該当ページの左下に、該当する誤りの項目①～⑤を注記する。

指摘事項

・本資料では、内陸地殻内地震の評価に係る下表の指摘事項について回答する。

本資料でご説明

No.	項目	指摘時期	コメント内容	検討方針
S4-9	隆起再現断層による地震	第1013回会合 (2021.11.5)	隆起再現断層の隆起域再現性評価の地殻変動計算に、Okada(1992)の方法を用いているが、Mansinha and Smylie等の知見を用いた事例もある。手法の違いによる地殻変動量の差異の有無、及び地震に伴う地殻変動を説明するために行われた数値シミュレーションの事例を説明すること。	次回以降説明予定
S4-10	隆起再現断層による地震	第1013回会合 (2021.11.5)	隆起再現断層の震源モデルの設定について、地質的に設定した地表トレース3条、補間的に設定した地表トレース2条に対して、例えば断層位置、傾斜角、アスペリティ位置といったパラメータが隆起再現性に及ぼす影響度や傾向を分析して図示するなど、隆起が説明できる領域について、代表性・網羅性の観点から妥当性を説明すること。	地形発達過程の再現性に係る判定基準を明確に示すことは困難であると判断し、敷地周辺の震源として考慮する活断層による地震の地震動評価と同様の手順で基本ケースの震源モデルを設定する方針として回答する。(5章参照)
S4-11	隆起再現断層による地震	第1013回会合 (2021.11.5)	隆起再現断層の隆起域再現性の評価基準に関して、「規模・配置の再現性」の評価基準1と、「隆起速度分布の再現性」の評価基準2に対する重み付けの考え方、評価基準の閾値の考え方を説明すること。	
S4-12	隆起再現断層による地震	第1013回会合 (2021.11.5)	今回提示された隆起再現断層の地震動評価結果に関して、西部断層のアスペリティと東部断層のアスペリティの敷地における地震動評価に対する寄与率を提示すること。	

第1013回審査会合からの主な変更点(1/3)

隆起再現断層による地震に係る主な変更点

【地震動評価の実施手順の変更】

○第1013回審査会合(2021年11月5日)

- 地震動評価を実施するに当たり、地形発達過程の再現性を判定した上で、基本ケースの震源モデルを選定した。
 - 審査ガイドに示される地形発達過程の検討として、地質構造に基づく断層位置、断層傾斜角、及びアスペリティ位置の不確かさを組み合わせた震源モデルを対象に、地形発達過程の再現性を確保することを目的に、隆起シミュレーションを実施し、想定した隆起域(大間付近の隆起域)における「地形発達過程の再現性あり」と評価する許容範囲内で基本ケースの震源モデルを設定することとした。
 - 上記の許容範囲内の震源モデルのうち、敷地の地震動レベルが最大となるものを選定し、「あらかじめ断層位置、断層傾斜角、及びアスペリティ位置の不確かさを考慮した基本ケースの震源モデル」とした。
- 不確かさケースの震源モデルの設定に当たっては、基本ケースの震源モデルに対し、短周期レベルの不確かさを考慮した。

○今回説明

- 地震動評価を実施するに当たり、地形発達過程の再現性に係る判定基準を明確に示すことは困難と判断されることから、敷地周辺の震源として考慮する活断層による地震の地震動評価と同様の手順で基本ケースの震源モデルを設定する。
 - 基本ケースの震源モデルは、「隆起再現断層の想定領域」に想定できる複数の地表トレースに基づく震源モデル候補から、地震動の敷地に及ぼす影響を検討の上、選定する。
 - 審査ガイドに示される地形発達過程の検討については、基本ケースの震源モデルに対し隆起シミュレーションを実施し、その結果が大間付近の隆起域から大きく外れていないことをもって確認する。
- 不確かさケースの震源モデルの設定に当たっては、基本ケースの震源モデルに対し、地震規模、断層傾斜角、及び短周期レベルの不確かさを考慮する。

第1013回審査会合からの主な変更点(2/3)

- 地震動評価の実施手順に係る、第1013回審査会合からの主な変更点を下表に示す。

地震動評価の実施手順に係る主な変更点※

第1013回審査会合	今回説明
<p data-bbox="136 528 1070 587">5.1 隆起再現断層の想定領域の設定</p> <ul data-bbox="235 603 996 659" style="list-style-type: none"> 仮想的な断層による隆起域を「大間付近の隆起域」として設定し、その地表トレースを想定し得る領域を「隆起再現断層の想定領域」として設定する。 <p data-bbox="136 667 1070 726">5.2 地震発生層の設定</p> <ul data-bbox="235 742 952 766" style="list-style-type: none"> 「3. F-14断層による地震の地震動評価」と同じ地震発生層を設定する。 <p data-bbox="136 782 1070 879">5.3 地形発達過程の再現性に基づく隆起再現断層の選定</p> <ul data-bbox="235 890 996 1002" style="list-style-type: none"> 隆起再現断層の想定領域に地表トレースを持つ複数の震源モデルを設定する。 隆起シミュレーションにより大間付近の隆起域の地形発達過程の再現性を確保できる震源モデルを隆起再現断層に選定する。 <p data-bbox="136 1026 1070 1085">5.4 地震動評価の震源モデルの設定</p> <ul data-bbox="235 1098 996 1177" style="list-style-type: none"> 隆起再現断層のうち、敷地に及ぼす影響が大きいと考えられる震源モデルを、基本ケースの震源モデルに設定する。 不確かさケースとして、基本ケースに短周期レベルの不確かさを考慮する。 <p data-bbox="136 1289 1070 1396">5.5 地震動評価手法 5.6 地震動評価結果</p> <ul data-bbox="235 1412 974 1468" style="list-style-type: none"> 応答スペクトルに基づく手法及び断層モデルを用いた手法により地震動評価を行う。 	<p data-bbox="1167 528 2101 587">5.1 大間付近の隆起域と隆起再現断層の想定領域</p> <ul data-bbox="1265 603 2027 659" style="list-style-type: none"> 仮想的な断層による隆起域を「大間付近の隆起域」として設定し、その地表トレースを想定し得る領域を「隆起再現断層の想定領域」として設定する。 <p data-bbox="1167 667 2101 726">5.2 地震発生層の設定</p> <ul data-bbox="1265 742 1982 766" style="list-style-type: none"> 「3. F-14断層による地震の地震動評価」と同じ地震発生層を設定する。 <p data-bbox="1167 1026 2101 1085">5.3 震源モデルの設定</p> <ul data-bbox="1265 1109 2027 1273" style="list-style-type: none"> 敷地周辺の震源として考慮する活断層による地震の地震動評価と同様の手順で基本ケースの震源モデルを設定する。 設定した基本ケースに対して、大間付近の隆起域の地形発達過程の説明性を確認する。 不確かさケースとして、基本ケースに地震規模、断層傾斜角、及び短周期レベルの不確かさを考慮する。 <p data-bbox="1167 1289 2101 1396">5.4 地震動評価手法 5.5 地震動評価結果</p> <ul data-bbox="1265 1412 2004 1468" style="list-style-type: none"> 応答スペクトルに基づく手法及び断層モデルを用いた手法により地震動評価を行う。

※：図中の下線部は、主な変更点を示す。

第1013回審査会合からの主な変更点(3/3)

- 地震動評価の実施手順の変更に伴い、基本ケースの震源モデルの設定を変更する。
- 基本ケースの震源モデルの設定に係る、第1013回審査会合からの主な変更点を下表に示す。

基本ケースの震源モデルの設定に係る主な変更点

		第1013回審査会合	今回説明
基本ケースの震源モデルの設定	断層位置 (地表トレース)	古い地質構造により設定した地表トレースである北限屈曲, 中央屈曲, 南限屈曲を基本とし, 不確かさとして基本に対して補間的な配置となる北限補間, 南限補間を加えた5つの地表トレースを設定。 これらに基づく震源モデル候補に対し, 地形発達過程の再現性を確認の上, 「地形発達過程の再現性あり」と評価する許容範囲内で敷地に及ぼす影響が大きくなる地表トレースを設定。	F-14断層の西端点と想定領域東縁の任意の点を結んだ位置に複数の地表トレースを設定。 これらに基づく震源モデル候補に対し, 断層モデルによる地震動評価を実施し, 地震動の敷地に及ぼす影響を検討の上, 地表トレースを設定。
	断層傾斜角	中新世の正断層のインバージョンとして, 標準的な正断層の断層傾斜角である60°を基本とし, 不確かさとしてより低角な45°を考慮。 これらに基づく震源モデル候補に対し, 地形発達過程の再現性を確認の上, 保守的にあらかじめ不確かさを織り込み, 敷地に及ぼす影響が大きい45°を選定。	大間付近の隆起域周辺の地質構造の特徴等を踏まえ, 高角な逆断層として60°に設定。
	地震規模 (断層長さ)	設定した断層位置及び断層傾斜角に基づき設定。	設定した断層位置及び断層傾斜角に基づき設定。 (地表トレースの変更に伴い断層長さを変更。)
	アスペリティ位置	断層の東部と西部を異なる地質構造に基づき設定していることから, 東西に各1つずつ設定。	大間付近の隆起域に唯一認められる震源として考慮する活断層であるF-14断層位置に1つ設定する。

1. 敷地周辺の地震発生状況
2. 検討用地震の選定
 - 2.1 敷地周辺の震源として考慮する活断層による地震から選定される地震
 - 2.2 大間付近の隆起域を説明する仮想的な活断層から想定される地震
 - 2.3 検討用地震の選定のまとめ
3. F-14断層による地震の地震動評価
 - 3.1 地震発生層の設定
 - 3.2 震源モデルの設定
 - 3.3 地震動評価手法
 - 3.4 地震動評価結果
4. 奥尻海盆北東縁断層～奥尻海盆東縁断層～西津軽海盆東縁断層の連動を考慮した地震の地震動評価
 - 4.1 地震発生層の設定
 - 4.2 震源モデルの設定
 - 4.3 地震動評価手法
 - 4.4 地震動評価結果
5. 隆起再現断層による地震の地震動評価..... P.2
 - 5.1 大間付近の隆起域と隆起再現断層の想定領域..... P.3
 - 5.2 地震発生層の設定..... P.4
 - 5.3 震源モデルの設定..... P.5
 - 5.4 地震動評価手法
 - 5.5 地震動評価結果
6. 地震動評価のまとめ



5. 隆起再現断層による地震の地震動評価

評価方針

- 隆起再現断層による地震は、地質調査からは下北半島西部の広域的な地殻変動をもたらすような活断層や活断層を示唆する地下深部の段差構造等が認められないものの、相対的に隆起速度の速い領域(以下「大間付近の隆起域」という。)が敷地に近いため、地震動評価上の保守性の観点から検討用地震に選定し、地震動を評価するものである。
- 隆起再現断層による地震は、下北半島西部の広域的な地殻変動をもたらすような活断層や活断層を示唆する地下深部の段差構造等が認められないことから、仮想的に、大間付近の隆起域に唯一認められる震源として考慮する活断層であるF-14断層位置において断層を想定し、地表地震断層が生じない規模の地震として評価する。
- 隆起再現断層による地震は、敷地周辺及び敷地近傍の地質・地質構造調査に基づき設定した、大間付近の隆起域と隆起再現断層の想定領域(P.3参照)を条件として評価する。

実施手順

- 以下の実施手順により、隆起再現断層による地震の地震動を評価する。

実施手順

5.1 大間付近の隆起域と
隆起再現断層の想定領域

5.2 地震発生層の設定

5.3 震源モデルの設定

5.4 地震動評価手法
5.5 地震動評価結果

- 大間付近の隆起域と隆起再現断層の想定領域について整理する。
(第983回審査会合 資料2-4-1 8章参照)

- 「3. F-14断層による地震の地震動評価」と同じ地震発生層を設定する。

①基本ケースの震源モデル候補の設定

- 隆起再現断層の想定領域に基本ケースの震源モデル候補を複数設定する。

②基本ケースの震源モデルの選定

- 震源モデル候補の地震動の敷地に及ぼす影響を検討の上、基本ケースの震源モデルを選定する。

③地形発達過程の説明性の確認

- 基本ケースの震源モデルに対して、大間付近の隆起域の地形発達過程の説明性があることを確認する。

④考慮する不確かさの整理に基づく
検討ケースの設定

- 基本ケースの設定の考え方を踏まえ、考慮する不確かさを整理し、検討ケースを設定する。

⑤断層パラメータの設定

- 基本ケース、及び不確かさケースの震源モデルの断層パラメータを設定する。

- 地震動評価は、応答スペクトルに基づく手法及び断層モデルを用いた手法により行う。
(次回以降の審査会合にて説明する。)

5.1 大間付近の隆起域と隆起再現断層の想定領域

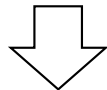
- 隆起再現断層による地震の評価条件となる、大間付近の隆起域と隆起再現断層の想定領域について下記のとおり整理する。

- 下北半島西部には、陸域から海域にわたる広域的な地殻変動が認められるが、その地殻変動をもたらすような活断層や活断層を示唆する地下深部の段差構造等は認められない。

- 下北半島西部の広域的な地殻変動のうち、大間付近の隆起域(相対的に隆起速度が速い領域)が敷地に近いため、この領域が仮想的な活断層(隆起再現断層)によって生じているものと仮定し、「隆起再現断層の想定領域」を設定する。

【大間付近の隆起域】

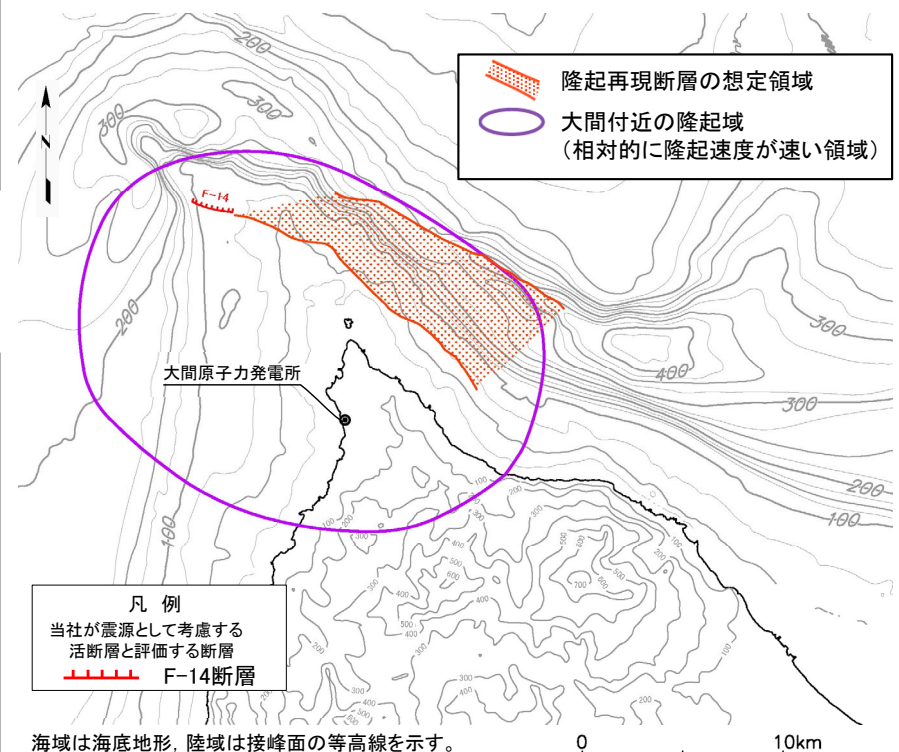
- 下北半島西部の広域的な地殻変動のうち、相対的に隆起速度が速い領域を「大間付近の隆起域」として設定する。
(第983回審査会合 資料2-4-1 P.8-23参照)



【隆起再現断層の想定領域】

- 「大間付近の隆起域」に分布する唯一の震源として考慮する活断層であるF-14断層を起点とした領域を「隆起再現断層の想定領域」と設定し、その領域において隆起再現断層の地表トレースを想定する。
- 「隆起再現断層の想定領域」は下記を踏まえ、設定する。
 - 「大間付近の隆起域」に唯一分布するF-14断層を起点とする。
 - 後期更新世以降の活動が認められない古い地形・地質構造及び重力異常に基づき領域を設定する。

(第983回審査会合 資料2-4-1 P.8-45参照)



(第983回審査会合 資料2-4-1 P.8-48参照)

5.2 地震発生層の設定



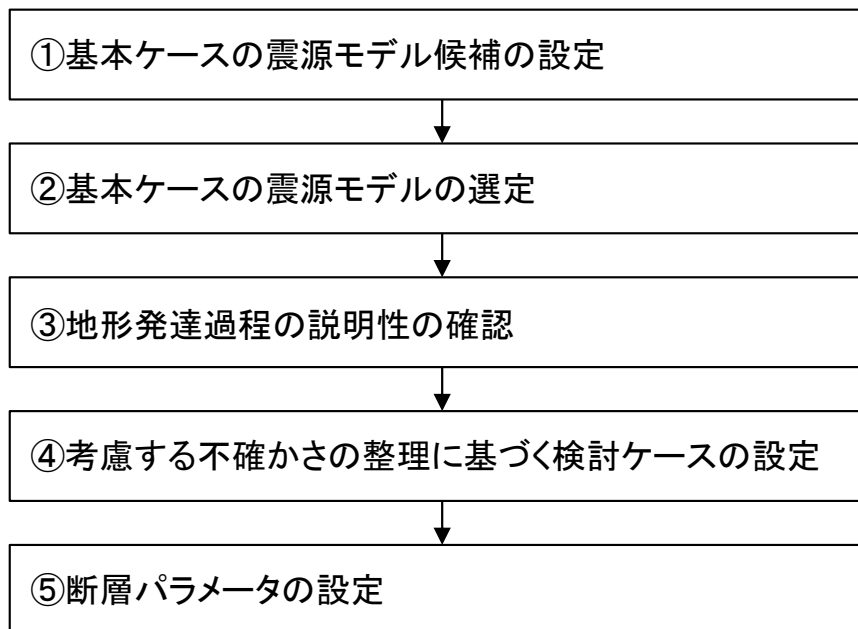
- 隆起再現断層による地震の地震発生層は、おおむね同位置に想定しているF-14断層による地震の地震発生層と同じく、上限深さを3km, 下限深さを15kmに設定する。

5.3 震源モデルの設定 (1 / 14)



震源モデルの設定の手順

- 震源モデルの設定手順を以下に示す。
 - ① 基本ケースの震源モデルの設定に当たり、隆起再現断層の想定領域には複数の地表トレースが想定できることから、それらに基づく複数の震源モデルを基本ケースの震源モデル候補として設定する。
 - ② 設定した基本ケースの震源モデル候補の地震動の敷地に及ぼす影響を検討の上、基本ケースの震源モデルを選定する。
 - ③ 選定した基本ケースの震源モデルに対し、大間付近の隆起域の地形発達過程の説明性があることを確認する。
 - ④ 基本ケースの設定の考え方を踏まえ、考慮する不確かさを整理し、検討ケースを設定する。
 - ⑤ 検討ケースの震源モデルの断層パラメータを設定する。



巨視的パラメータ及び微視的パラメータは、下北半島西部の広域的な地殻変動をもたらすような活断層や活断層を示唆する地下深部の段差構造等が認められないことを踏まえて設定する。
設定の考え方について、P.6～P.11に示す。

震源モデルの設定手順

5.3 震源モデルの設定(2/14)

①基本ケースの震源モデル候補の設定(1/7)

断層位置(地表トレース)の考え方

基本的な考え方

- 隆起再現断層は、F-14断層位置を起点として、隆起再現断層の想定領域に地表トレースを設定する。具体的には、F-14断層の西端点と想定領域東縁の任意の点を結んだ位置に設定する。
- 隆起再現断層の想定領域において、敷地に及ぼす影響が大きいと考えられる領域を特定の上、その領域において網羅的な設定となるように複数の地表トレースを設定する。

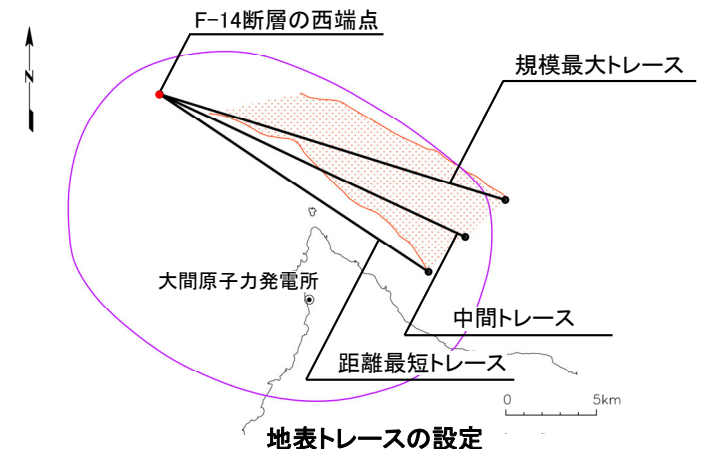
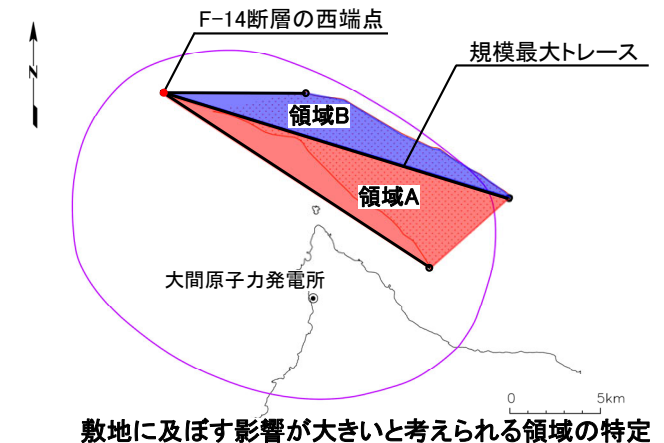
敷地に及ぼす影響が大きいと考えられる領域の特定

- 隆起再現断層の想定領域に設定した地表トレースの違いによって敷地に及ぼす影響が変化するパラメータとしては、“断層長さ \ast ”と“断層から敷地までの距離”がある。
- 断層長さ \ast が最長となり、地震規模が最大となる地表トレースは、想定領域中央付近の地表トレース(以下「規模最大トレース」という。)である。
- 規模最大トレースより北部の領域(領域B)に設定される地表トレースは、規模最大トレースに比して、断層長さ \ast が短く、敷地までの距離も遠いため、規模最大トレースよりも敷地に及ぼす影響が小さい。
- 一方で、規模最大トレースよりも南部の領域(領域A)に設定される地表トレースは、規模最大トレースに比して、断層長さ \ast は短いものの、敷地までの距離は近くなる。
- したがって、“断層長さ \ast ”と“断層から敷地までの距離”の関係から敷地に及ぼす影響が大きいと考えられる地表トレースが想定される領域は、領域Aに限定される。

※：断層長さは地表トレース長さと等しいものと仮定する。

地表トレースの設定

- 領域Aにおいて、網羅的な設定となるように、走向差が 10° 程度の間隔で複数の地表トレースを設定する。
- 領域Aの南北端の地表トレースとその中央部に補間的に設定した地表トレースの、下記3条の地表トレースを設定する。
 - 規模最大トレース：
領域Aの北端位置に設定した、想定領域内で断層長さ \ast が最長で、想定される地震規模が最大となる地表トレース
 - 距離最短トレース：
領域Aの南端位置に設定した、想定領域内で想定される断層と敷地までの距離が最短となる地表トレース
 - 中間トレース：
規模最大トレースと距離最短トレースの間を、走向差 10° 程度の間隔で補間するように設定した地表トレース



5. 隆起再現断層による地震の地震動評価

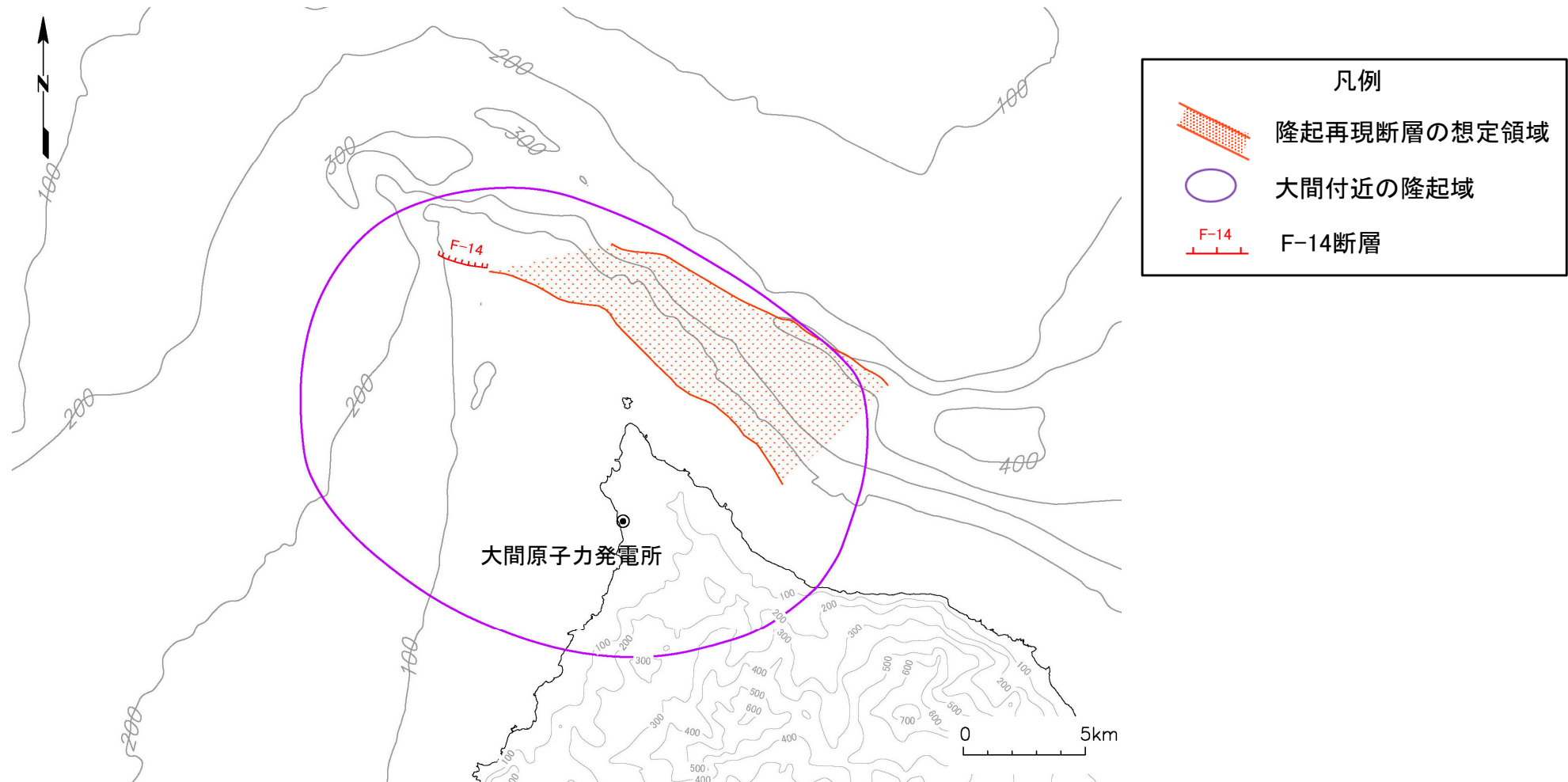
5.3 震源モデルの設定(3/14)

①基本ケースの震源モデル候補の設定(2/7)

断層傾斜角の考え方

- ・ 隆起再現断層の想定領域の南側に大間付近の隆起域が広がっていることから、想定領域より南側を隆起させる断層として、南傾斜の逆断層を想定する。
- ・ 断層傾斜角は、下記に示す地質構造の特徴等を踏まえ、 60° に設定する。
 - 下北半島を含む東北日本弧の活断層は正断層のインバージョンが主体であることから、高角な逆断層が卓越する。
 - 大間付近の隆起域に唯一認められる震源として考慮する活断層であるF-14断層の断層傾斜角は、地質調査によると鉛直または高角である。
 - 強震動予測レシピ※では、高角な逆断層の場合、断層傾斜角を 60° 以上としている。

※：地震調査研究推進本部(2020)による震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)(以下「強震動予測レシピ」という。)



5. 隆起再現断層による地震の地震動評価

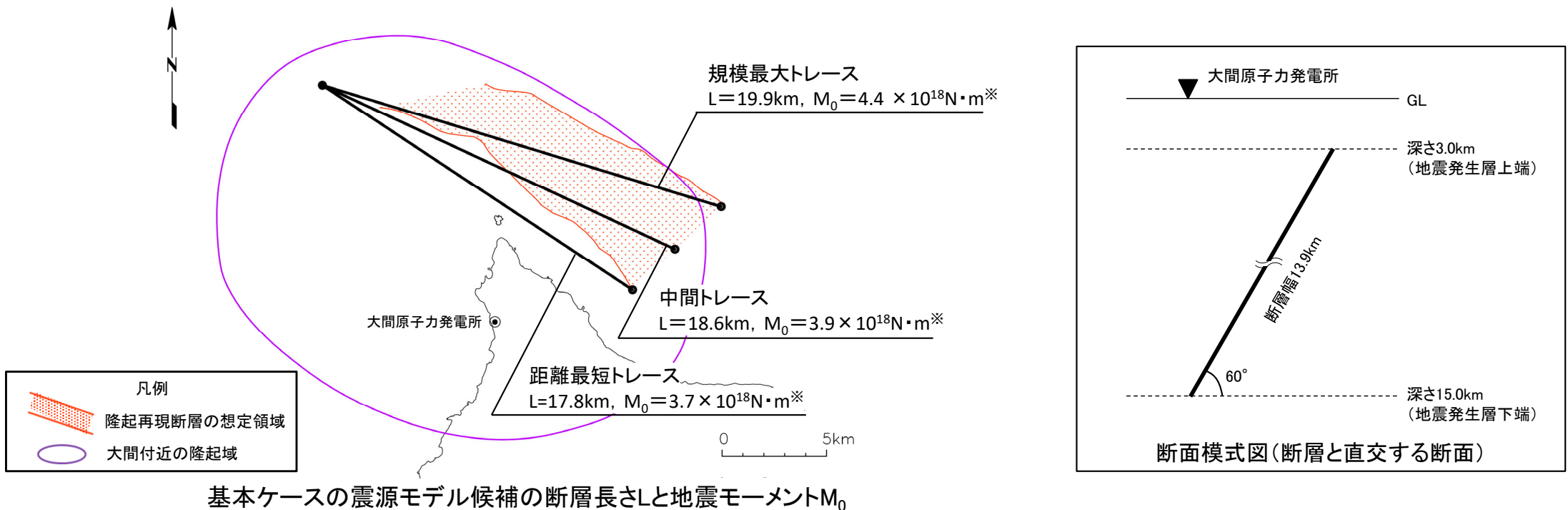
5.3 震源モデルの設定(4/14)

①基本ケースの震源モデル候補の設定(3/7)

地震規模(断層長さ)の考え方

- 隆起再現断層による地震は、下北半島西部の広域的な地殻変動をもたらすような活断層や活断層を示唆する地下深部の段差構造等が認められないため、地表地震断層が生じない規模の地震であり、断層破壊領域が地震発生層の内部に留まると考えられる。
- したがって、断層幅は地震発生層を飽和する断層幅未満に設定することが考えられるが、保守的に断層傾斜角が 60° の場合の地震発生層を飽和する断層幅13.9kmまで考慮する。
- 断層長さは、強震動予測レシピに基づく L (断層長さ) $=W$ (断層幅)の震源モデルとなるように13.9kmに設定することが考えられるが、地震動評価上の保守性を考慮し、地震発生層を飽和する断層幅(13.9km)よりも長い、隆起再現断層の想定領域に設定した地表トレースの長さ(17.8~19.9km)に設定する。
- 上記の設定では、地震発生層を飽和する断層幅を考慮しているものの、地震モーメント M_0 は最大でも $M_0=4.4 \times 10^{18} \text{N}\cdot\text{m}^{\ast}$ となり、Shimazaki(1986)、武村(1998)、入倉(2007)に基づく地表地震断層が生じる地震規模とされる $M_0=7.5 \times 10^{18} \text{N}\cdot\text{m}$ よりも小さい。

※：地震モーメント M_0 は、地震発生層を飽和する断層幅を設定していることから、強震動予測レシピに準じ、入倉・三宅(2001)に基づき算定することが考えられるが、Somerville et al.(1999)に基づき算定した値の方が大きくなるため、地震動評価上の保守性の観点からSomerville et al.(1999)に基づき算定。



5. 隆起再現断層による地震の地震動評価

5.3 震源モデルの設定 (5/14)

①基本ケースの震源モデル候補の設定 (4/7)

アスペリティ位置の考え方

- 隆起再現断層による地震のアスペリティ位置は、下北半島西部の広域的な地殻変動をもたらすような活断層や活断層を示唆する地下深部の段差構造等が認められないため、アスペリティに関する下記知見を踏まえて設定する。

アスペリティ位置に関する知見

- 強震動予測レシピ及び杉山ほか(2002)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とがよく対応することが明らかにされているとしている。
- 中田(2008)によると、近年の大地震に伴って出現した地震断層でも、地表の断層沿いの変位量分布と、地震学的に推定される地下の活断層のアスペリティの分布が一致する例が数多く報告されており、活断層に沿った変位量分布を基に地震発生以前に地下のアスペリティの位置や大きさある程度推定することが可能としている。
- 菊地・山中(2001)及び菊地(2003)では、プレート間地震を対象としているものの、アスペリティは場所に固有のものとしている。

アスペリティ数に関する知見

- 過去の内陸地殻内地震の震源インバージョン結果を整理したSomerville et al.(1999), 入倉・三宅(2001)及び糸井ほか(2009)のデータセットによると、 $M_0=1 \times 10^{19} \text{N} \cdot \text{m}$ ($1 \times 10^{26} \text{dyne} \cdot \text{cm}$) よりも小さい地震規模ではアスペリティはおおむね1つである。

- アスペリティ位置に関する知見に基づけば、隆起再現断層による地震のアスペリティ位置は、大間付近の隆起域に唯一認められる活断層であるF-14断層の位置に設定することが妥当と考えられる。
- アスペリティ数に関する知見に基づけば、隆起再現断層の想定領域に想定される地震規模が最大で $M_0=4.4 \times 10^{19} \text{N} \cdot \text{m}$ ($4.4 \times 10^{25} \text{dyne} \cdot \text{cm}$) であることから、隆起再現断層による地震のアスペリティは1つと考えられる。



- 隆起再現断層による地震のアスペリティは、F-14断層位置に1つ設定する。
- 具体的には、F-14断層による地震のアスペリティ位置の設定に準じ、敷地に及ぼす影響が大きくなるように、水平方向はF-14断層の西端を基準に敷地に最も近い配置に設定し、深さ方向は敷地に最も近い断層上端に設定する。

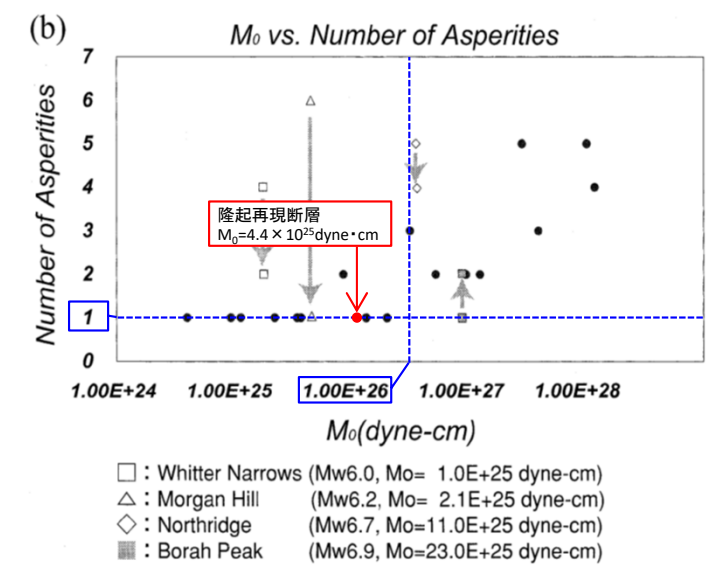
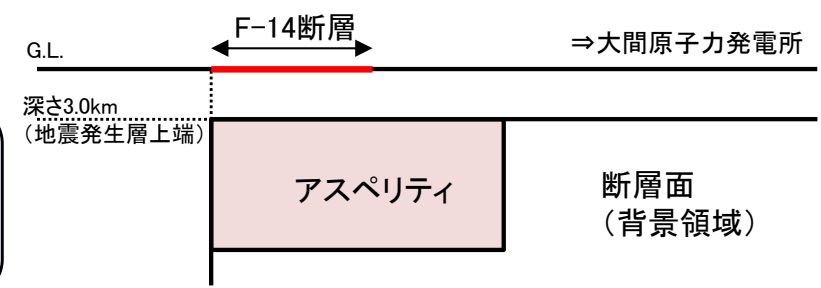


図 10 Somerville et al. (1999) によるアスペリティの抽出結果に基づき Kagawa and Miyakoshi (2000 私信) が整理した (a) アスペリティの個数と断層長さの関係と (b) アスペリティの個数と地震モーメントの関係。

アスペリティの個数と地震モーメントの関係

入倉・三宅(2001)に加筆



アスペリティの設定イメージ図(断面)

5.3 震源モデルの設定(6/14)

①基本ケースの震源モデル候補の設定(5/7)

巨視的パラメータの設定

- 基本ケースの震源モデル候補について、巨視的パラメータの設定に関する考え方を以下に示す。

基本ケースの震源モデル候補の巨視的パラメータの考え方

パラメータ		調査等に基づく震源パラメータの評価		基本ケースの震源モデル候補の設定
		設定根拠	調査等に基づく評価	
巨視的 パラメータ	断層位置 (地表トレース)	地質調査結果	<ul style="list-style-type: none"> 隆起再現断層の想定領域内に想定することが考えられる。 	<ul style="list-style-type: none"> 隆起再現断層の想定領域には複数の地表トレースが想定できることから、敷地に及ぼす影響が大きいと考えられる領域において、走向差10°程度の間隔で規模最大トレース、距離最短トレース、及び中間トレースの3つの地表トレースを設定する。
	断層傾斜角	地質調査結果	<ul style="list-style-type: none"> 隆起再現断層の想定領域の南側に大間付近の隆起域が広がっている。 大間付近の隆起域に唯一認められる震源として考慮する活断層であるF-14断層の断層傾斜角は、地質調査によると鉛直または高角である。 	<ul style="list-style-type: none"> 大間付近の隆起域を説明できるように、南傾斜の逆断層を設定する。 断層傾斜角については、下記に示す地質構造の特徴等を踏まえ、60°に設定する。 <ul style="list-style-type: none"> 下北半島を含む東北日本弧では高角な逆断層が卓越する。 大間付近の隆起域に唯一認められる震源として考慮する活断層であるF-14断層の断層傾斜角は、地質調査によると鉛直または高角である。 強震動予測レシピでは、高角な逆断層の場合、断層傾斜角を60°以上としている。
	地震規模 (断層長さ)	地質調査結果	<ul style="list-style-type: none"> 下北半島西部の広域的な地殻変動をもたらすような活断層や活断層を示唆する地下深部の段差構造等が認められないことから、断層破壊領域が地震発生層の内部に留まっていると考え、地震発生層を飽和する断層幅未満の断層長さに設定することが考えられる。 	<ul style="list-style-type: none"> 地震動評価上の保守性を考慮し、地震発生層を飽和する断層幅よりも長い、隆起再現断層の想定領域に設定した地表トレースの長さ(17.8~19.9km)に設定する。
	断層上端深さ、 断層下端深さ	微小地震分布、 速度構造データ等	<ul style="list-style-type: none"> 微小地震分布、速度構造データ等に基づく地震発生層は、上限深さ3km、下限深さ15kmである。 	<ul style="list-style-type: none"> 断層幅は、断層傾斜角60°とした場合の地震発生層を飽和する断層幅13.9kmに設定する。(上端深さ3km、下端深さ15km)

：あらかじめ不確かさを考慮するパラメータ

5.3 震源モデルの設定(7/14)




①基本ケースの震源モデル候補の設定(6/7)

微視的パラメータ等の設定

- 基本ケースの震源モデル候補について、微視的パラメータ等の設定に関する考え方を以下に示す。

基本ケースの震源モデル候補の微視的パラメータの考え方

パラメータ		調査等に基づく震源パラメータの評価		基本ケースの震源モデル候補の設定	
		設定根拠	調査等に基づく評価		
微視的 パラメータ	アスペリティ	位置	地質調査結果	<ul style="list-style-type: none"> 下北半島西部の広域的な地殻変動をもたらすような活断層や活断層を示唆する地下深部の段差構造等が認められないため、大間付近の隆起域に唯一認められる震源として考慮する活断層であるF-14断層位置に1つ設定する。 具体的には、F-14断層による地震のアスペリティ位置の設定に準じ、敷地に及ぼす影響が大きくなるように、水平方向はF-14断層の西端を基準に敷地に最も近い配置に設定し、深さ方向は敷地に最も近い断層上端に設定する。 	
		短周期レベル (応力降下量)	—	<ul style="list-style-type: none"> 敷地周辺の内陸地殻内地震の短周期レベル(応力降下量)に関する知見は得られていない。 	<ul style="list-style-type: none"> 強震動予測レシピに基づき設定する。
その他の パラメータ		破壊開始点	—	<ul style="list-style-type: none"> 敷地周辺の内陸地殻内地震の破壊開始点に関する知見は得られていない。 	<ul style="list-style-type: none"> 敷地に及ぼす影響が大きくなるように、敷地に破壊が向かう破壊開始点を複数設定する。

 :あらかじめ不確かさを考慮するパラメータ

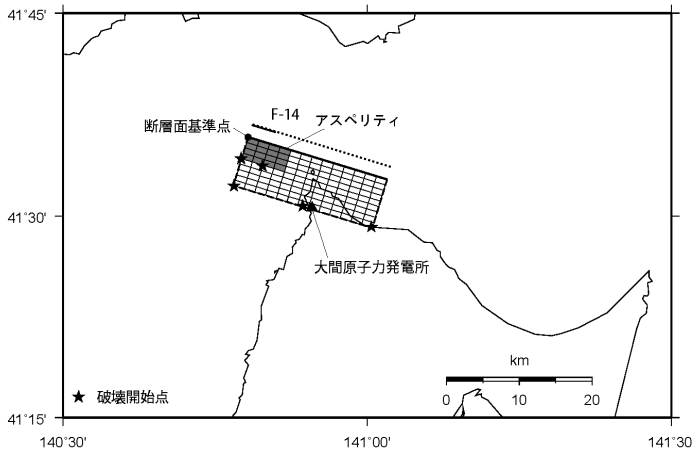
5.3 震源モデルの設定(8/14)



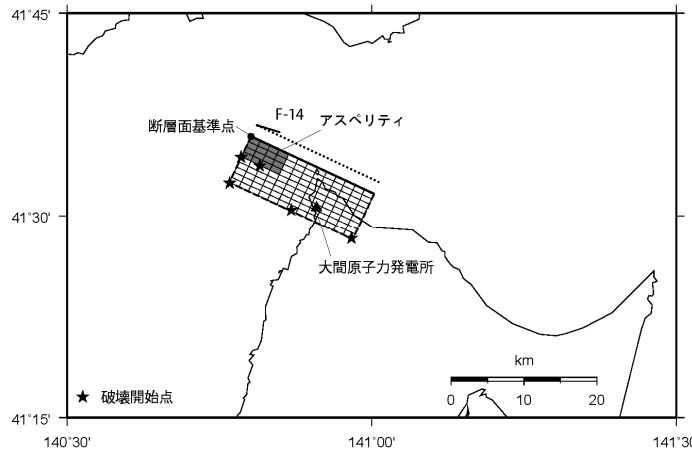
①基本ケースの震源モデル候補の設定(7/7)

基本ケースの震源モデル候補

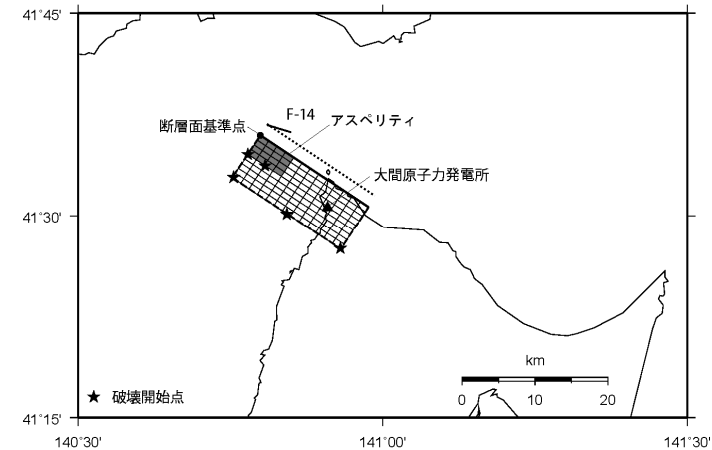
- 前述の巨視的パラメータ及び微視的パラメータ等を踏まえ、下図の3つの基本ケースの震源モデル候補を設定する。
- 3つの基本ケースの震源モデル候補の地震規模及び敷地までの距離を下表に示す。
- 3つの基本ケースの震源モデル候補の地震規模は震源モデルが北側に寄るほど大きくなり、敷地までの距離は震源モデルが南側に寄るほど近くなる傾向にある。



(a) 規模最大トレース



(b) 中間トレース



(c) 距離最短トレース

基本ケースの震源モデル候補のモデル図

基本ケースの震源モデル候補の地震規模及び敷地までの距離※1

地表トレース	走向	地震規模		距離	
		地震モーメント M_0 ※2	等価震源距離	断層最短距離	アスベリティ最短距離
規模最大トレース	N107° E	<u>$4.4 \times 10^{18} \text{N}\cdot\text{m}$</u>	10.9km	7.3km	8.9km
中間トレース	N115° E	$3.9 \times 10^{18} \text{N}\cdot\text{m}$	10.5km	5.9km	<u>8.8km</u>
距離最短トレース	N124° E	$3.7 \times 10^{18} \text{N}\cdot\text{m}$	<u>10.2km</u>	<u>4.4km</u>	<u>8.8km</u>

※1：表中の下線は、地震モーメント M_0 の最大値、及び距離の最短値を示す。

※2：地震モーメント M_0 は、地震発生層を飽和する断層幅に設定していることから、強震動予測レシピに準じ、入倉・三宅(2001)に基づき算定することが考えられるが、Somerville et al.(1999)に基づき算定した値の方が大きくなるため、地震動評価上の保守性の観点からSomerville et al.(1999)に基づき算定。

5.3 震源モデルの設定(9/14)



②基本ケースの震源モデルの選定

- 地表トレースが異なる3つの基本ケースの震源モデル候補に対し、断層モデルによる地震動評価を実施し、地震動の敷地に及ぼす影響を検討の上、基本ケースの震源モデルを選定する。
- 検討結果は、次回以降の審査会合にて説明する。

基本ケースの震源モデル候補の諸元

地表トレース	走向	断層傾斜角	断層長さ	断層幅	地震規模 M_0	アスペリティの短周期レベル(応力降下量)	アスペリティ位置	破壊開始点
規模最大トレース	N107° E	60°	19.9km	13.9km	$4.4 \times 10^{18} \text{N} \cdot \text{m}$	強震動予測レシピ	F-14断層の西端を基準に敷地寄りに配置	複数設定
中間トレース	N115° E	60°	18.6km	13.9km	$3.9 \times 10^{18} \text{N} \cdot \text{m}$	強震動予測レシピ	F-14断層の西端を基準に敷地寄りに配置	複数設定
距離最短トレース	N124° E	60°	17.8km	13.9km	$3.7 \times 10^{18} \text{N} \cdot \text{m}$	強震動予測レシピ	F-14断層の西端を基準に敷地寄りに配置	複数設定

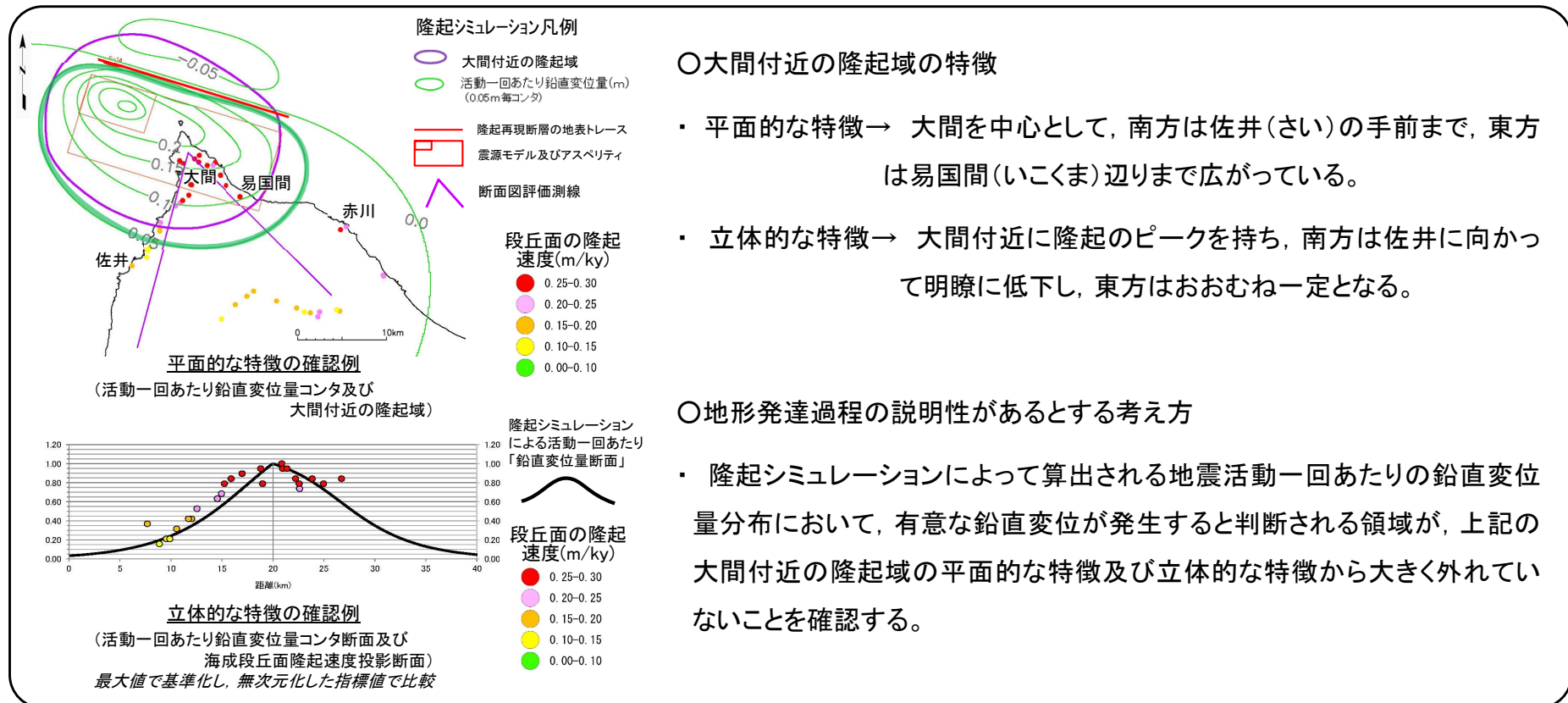
5.3 震源モデルの設定(10/14)

③地形発達過程の説明性の確認

- 基本ケースとして選定された震源モデルについて、大間付近の隆起域における後期更新世以降の地形発達過程の説明性を確認する。
- 震源モデルによる地形発達過程の説明性は、隆起シミュレーション※1によって算出される地震活動一回あたりの鉛直変位量分布が、大間付近の隆起域の特徴と大きく外れていないことをもって確認する。

※1: 隆起シミュレーションは、国立研究開発法人防災科学技術研究所がOkada(1992)に基づいて作成した「断層モデルによる地殻変動計算プログラムDC3D0/DC3D」を使用する。

地形発達過程の説明性の確認方法



5.3 震源モデルの設定(11/14)



④考慮する不確かさの整理に基づく検討ケースの設定(1/3)

地震動評価における不確かさの考慮について、基本的な考え方を以下に示す。

- 不確かさについて、「**認識論的不確かさ**」と「**偶然的な不確かさ**」に分類する。
- 事前の調査や経験則等から設定できる「**認識論的不確かさ**」について、それぞれ独立して不確かさを考慮する。
- 事前の調査や経験則等から設定が困難な「**偶然的な不確かさ**」は、「**認識論的不確かさ**」とともに考慮する。

不確かさを考慮するパラメータ

- ①断層傾斜角
- ②地震規模(断層長さ)
- ③短周期レベル

認識論的不確かさに分類されるもの
(事前の調査や経験則等から設定できるもの)

- ④アスペリティ位置
- ⑤破壊開始点

偶然的な不確かさに分類されるもの
(事前の調査や経験則等から設定が困難なもの)

5.3 震源モデルの設定(12/14)



④考慮する不確かさの整理に基づく検討ケースの設定(2/3)

- 隆起再現断層による地震の地震動評価にあたり、基本ケースの震源モデル、及び不確かさの考慮について下表のとおり整理する。

震源モデルの設定の考え方と不確かさの整理

不確かさの種類	パラメータ	基本ケースの震源モデルの設定	不確かさの考慮
認識論的不確かさ	断層傾斜角	<ul style="list-style-type: none"> 大間付近の隆起域を説明できるように、南傾斜の逆断層を設定する。 断層傾斜角については、下記に示す地質構造の特徴等を踏まえ、60°に設定する。 <ul style="list-style-type: none"> 下北半島を含む東北日本弧では高角な逆断層が卓越する。 大間付近の隆起域に唯一認められる震源として考慮する活断層であるF-14断層の断層傾斜角は、地質調査によると鉛直または高角である。 強震動予測レシピでは、高角な逆断層の場合、断層傾斜角を60°以上としている。 	<ul style="list-style-type: none"> 強震動予測レシピを踏まえ、より低角な45°を考慮する。
	地震規模(断層長さ)	<ul style="list-style-type: none"> 地震動評価上の保守性を考慮し、地震発生層を飽和する断層幅よりも長い、隆起再現断層の想定領域に設定した地表トレースの長さ(17.8~19.9km)に設定する。 	<ul style="list-style-type: none"> 更なる不確かさとして、Shimazaki(1986)、武村(1998)、入倉(2007)に基づく地表地震断層が生じる地震規模$M_0=7.5 \times 10^{18} \text{N} \cdot \text{m}$となる断層長さ26.5kmを考慮する。
	アスペリティの短周期レベル(応力降下量)	<ul style="list-style-type: none"> 強震動予測レシピに基づき設定する。 	<ul style="list-style-type: none"> 新潟県中越沖地震の知見を踏まえ、強震動予測レシピの1.5倍を考慮する。
偶然的 不確かさ	アスペリティ位置	<ul style="list-style-type: none"> 下北半島西部の広域的な地殻変動をもたらすような活断層や活断層を示唆する地下深部の段差構造等が認められないため、大間付近の隆起域に唯一認められる震源として考慮する活断層であるF-14断層位置に1つ設定する。 具体的には、F-14断層による地震のアスペリティ位置の設定に準じ、敷地に及ぼす影響が大きくなるように、水平方向はF-14断層の西端を基準に敷地に最も近い配置に設定し、深さ方向は敷地に最も近い断層上端に設定する。 	<ul style="list-style-type: none"> 基本ケースの震源モデルの段階で既に、敷地に対する影響が大きくなるような位置にアスペリティを配置している。
	破壊開始点	<ul style="list-style-type: none"> 不確かさをあらかじめ考慮することとし、敷地に及ぼす影響が大きくなるように、敷地に破壊が向かう破壊開始点を複数設定する。 	<ul style="list-style-type: none"> 基本ケースの震源モデルの段階で既に、複数の破壊開始点を考慮している。

:基本ケースの震源モデルにあらかじめ不確かさを考慮するパラメータ

:基本ケースの震源モデルに対して不確かさを考慮するパラメータ

5.3 震源モデルの設定(13/14)




④考慮する不確かさの整理に基づく検討ケースの設定(3/3)


- 隆起再現断層による地震の地震動評価の検討ケースを以下に示す。
- 地震モーメント M_0 は、地震発生層を飽和する断層幅に設定していることから、強震動予測レシピに準じ、入倉・三宅(2001)に基づき算定することを基本とする。ただし、Somerville et al.(1999)に基づき算定した値の方が大きい場合は、地震動評価上の保守性の観点からSomerville et al.(1999)に基づき算定する。

検討ケース一覧

断層位置 (地表トレース)	検討ケース	地震規模	断層傾斜角	アスペリティの 短周期レベル (応力降下量)	アスペリティ位置	破壊開始点
3つの基本ケースの震源モデル候補に対し、地震動の敷地に及ぼす影響を検討の上で設定。*	基本ケース	断層位置に基づき設定。*	60°	強震動予測レシピ	F-14断層の西端を基準に敷地寄りに配置	複数設定
	地震規模の不確かさケース	$M_0=7.5 \times 10^{18} \text{N}\cdot\text{m}$	60°	強震動予測レシピ	F-14断層の西端を基準に敷地寄りに配置	複数設定
	断層傾斜角の不確かさケース	断層位置に基づき設定。*	45°	強震動予測レシピ	F-14断層の西端を基準に敷地寄りに配置	複数設定
	短周期レベルの不確かさケース	断層位置に基づき設定。*	60°	強震動予測レシピ × 1.5倍	F-14断層の西端を基準に敷地寄りに配置	複数設定

※：次回以降の審査会合にて説明する内容。

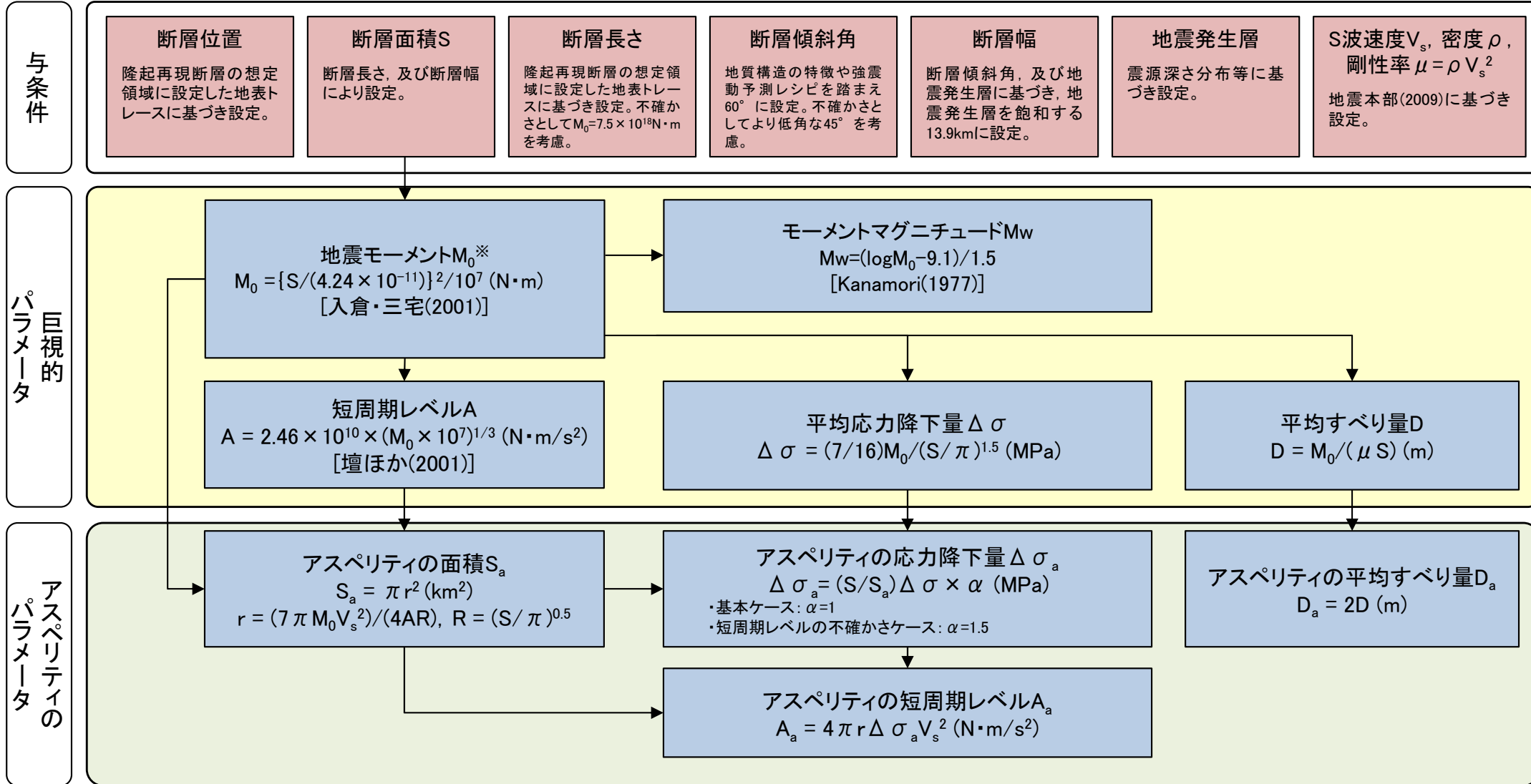
 : 基本ケースの震源モデルにあらかじめ不確かさを考慮するパラメータ

 : 基本ケースの震源モデルに対して不確かさを考慮するパラメータ



⑤断層パラメータの設定: 断層パラメータの設定フロー

- 断層パラメータは、強震動予測レシピに基づき設定する。
- 各検討ケースの断層パラメータの設定については次回以降の審査会合にて説明する。



※ : 地震モーメント M_0 は、地震発生層を飽和する断層幅に設定していることから、強震動予測レシピに準じ、入倉・三宅(2001)に基づき算定することを基本とする。
ただし、Somerville et al.(1999)に基づき算定した値の方が大きい場合は、地震動評価上の保守性の観点からSomerville et al.(1999)に基づき算定する。

断層パラメータの設定フロー

与条件とした項目
 強震動予測レシピを用いて設定

参考文献

5. 隆起再現断層による地震の地震動評価

- Kanamori, H.(1977) : The Energy Release in Great Earthquakes, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL.82, No.20
- Okada, Y.(1992) : Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.82, No.2
- Shimazaki, K.(1986) : Small and large earthquakes: The effects of the thickness of seismogenic layer and the free surface, Earthquake Source Mechanics, Am. Geophys. Union Geophys. Monogr., 37
- Somerville, P. G., K. Irikura, R. Graves, S. Sawada, D. Wald, N. Abrahamson, Y. Iwasaki, T. Kagawa, N. Smith, and A. Kowada (1999), "Characterizing Crustal Earthquake slip Models for the prediction of strong ground motion, Seismological Research Letters, Volume 70
- 糸井達哉・翠川三郎・鬼頭順三・三浦弘之・内山泰生・坂本成弘(2009) : 統計的グリーン関数法で評価した地殻内地震の応答スペクトルのバラツキ, 日本地震工学会論文集 第9巻, 第1号
- 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, 110
- 入倉孝次郎(2007) : 原子力発電所の耐震設計のための基準地震動, 日本地震工学会誌, No.5
- 菊地正幸・山中佳子(2001) : 既往大地震の破壊過程=アスペリティの同定, SEISMO 2001年7月号
- 菊地正幸(2003) : リアルタイム地震学, 東京大学出版会
- 地震調査研究推進本部(2009) : 全国地震動予測地図, 平成21年7月
- 地震調査研究推進本部(2020) : 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」), 令和2年(2020年)3月, <https://www.jishin.go.jp/main/chousa/17_yosokuchizu/recipe.pdf>
- 杉山雄一・関口春子・栗田泰夫・伏島祐一郎・下川浩一(2002) : 活断層情報と不均質震源特性との関係, 平成13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
- 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被害地震との関連—, 地震第2輯, 第51巻
- 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
- 中田高(2008) : 活断層研究の将来について, 活断層研究 28号