

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
 - 5.1 隆起再現断層の想定領域の設定
 - 5.2 地震発生層の設定
 - 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
 - 5.4 地震動評価の震源モデルの設定
 - 5.5 地震動評価手法
 - 5.6 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(1/2)

隆起再現断層による地震の地震動評価の方針

- 敷地のある下北半島西部に認められる広域的な隆起のうち、大間付近の一部に設定した仮想的な隆起域に対して、地質構造等に関する各種不確かさを考慮して、その隆起域を説明する隆起再現断層による震源モデルを複数設定する。その上で、敷地に及ぼす影響が大きい震源モデルを検討用地震とし、地震動評価を行う。

敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイドの記載

(活断層の認定)

2.2 将来活動する可能性のある断層等の活動性評価

- (2) 将来活動する可能性のある断層等が疑われる地表付近の痕跡や累積的な地殻変動が疑われる地形については、個別の痕跡等のみにとらわれることなく、その起因となる地下深部の震源断層を想定して調査が実施されていることを確認する。また、それらの調査結果や地形発達過程及び地質構造等を総合的に検討して評価が行われていることを確認する。その際、地表付近の痕跡等とその起因となる地下深部の震源断層の活動時期は常に同時ではなく、走向や傾斜は必ずしも一致しないことに留意する。

(震源モデル)

3.2.2 震源として想定する断層の形状等の評価

- (1) 内陸地殻内地震、プレート間地震及び海洋プレート内地震について、各種の調査及び観測等により震源として想定する断層の形状等の評価が適切に行われていることを確認する。

3.2.3 震源特性パラメータの設定

- (1) 内陸地殻内地震の起震断層、活動区間及びプレート間地震の震源領域に対応する震源特性パラメータに関して、既存文献の調査、変動地形学的調査、地表地質調査、地球物理学的調査の結果を踏まえ適切に設定されていることを確認する。

方針

隆起再現断層の設定

- 地殻変動の調査結果に基づく仮想的な隆起域と地質構造等に基づく複数の震源モデルを設定し、隆起シミュレーションにより地形発達過程の再現性が担保されるものを隆起再現断層として選定する。
- 震源モデルの形状等及び震源特性パラメータは、隆起再現断層の走向(位置)の不確かさ、断層傾斜角の不確かさ、アスペリティ位置の不確かさを考慮し、複数のモデルを設定する。
- 隆起シミュレーションに用いる震源モデルは、地震動評価に用いる震源モデルと同一とする。

地震動評価ケースの設定、地震動評価

- 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、地震動評価の「基本ケース」とする。さらに「基本ケース」に短周期レベルの不確かさを考慮して「不確かさケース」とする。
- 地震動評価は、「基本ケース」と「不確かさケース」について、「応答スペクトルに基づく地震動評価」と「断層モデルを用いた手法による地震動評価」の両方を評価する。

考え方

- 敷地のある下北半島西部では広域的な隆起のみが生じていると判断されるが、仮想的な隆起域「大間付近の隆起域」※1と隆起再現断層の地表トレースを想定しうる領域「隆起再現断層の想定領域」※1を設定し、不確かさを考慮した複数の震源モデルの中から、「大間付近の隆起域」の再現性のあるものを隆起再現断層として選定する。
- 隆起域の再現性は、地震動評価と共通の震源モデルを使った隆起シミュレーションにより評価する。※2
- なお、広域応力場と整合する隆起再現断層は設定できないため※3、震源モデルの変位方向は、走向に関わらず最大傾斜方向の逆断層センスとする。

- 「基本ケース」の震源モデルが、走向(位置)の不確かさ、断層傾斜角の不確かさ、アスペリティ位置の不確かさを考慮して最大の地震動を与えるモデルであるため、「不確かさケース」は、短周期レベルの不確かさを考慮する。
- 「応答スペクトルに基づく地震動評価」と「断層モデルを用いた手法による地震動評価」により、敷地における地震動を評価する。

※1：変動地形学的調査、地質・地質構造調査、地球物理学的調査及び地形発達過程の調査に基づいて、仮想的な隆起再現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うる領域を「隆起再現断層の想定領域」として設定する。(第983回審査会合資料2-4-1 P.8-48を参照。)

※2：震源モデルは、地震発生状況及び地震発生時の断層面における破壊様式等を考慮し、第983回審査会合資料2-4-1「巻末参考」に示す震源モデルを見直している。

※3：広域応力場と整合する適切な地形・地質構造が認められないため、「隆起再現断層の想定領域」の評価において広域応力場は考慮しない。(第983回審査会合資料2-4-1 P.8-33を参照。)

5. 隆起再現断層による地震の地震動評価(2/2)

隆起再現断層による地震の地震動評価の実施手順

- 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 隆起再現断層の想定領域の設定

- 隆起再現断層の制約条件の検討

5.2 地震発生層の設定

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

- 隆起シミュレーション

5.4 地震動評価の震源モデルの設定

- 基本ケースの震源モデルの選定
- 不確かさの考慮

5.5 地震動評価手法, 5.6 地震動評価結果

- 応答スペクトルに基づく地震動評価
- 断層モデルを用いた手法による地震動評価

- 仮想的な隆起再現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うる領域を「隆起再現断層の想定領域」として設定する。
(第922回審査会合資料1-1「8.4 下北半島西部の隆起への耐震設計上の考慮まとめ」(P.8-46)を参照。)

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

- 「隆起再現断層の想定領域」に地表トレースを持ち、断層諸元の不確かさを考慮した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が担保される震源モデルを隆起再現断層として選定する。

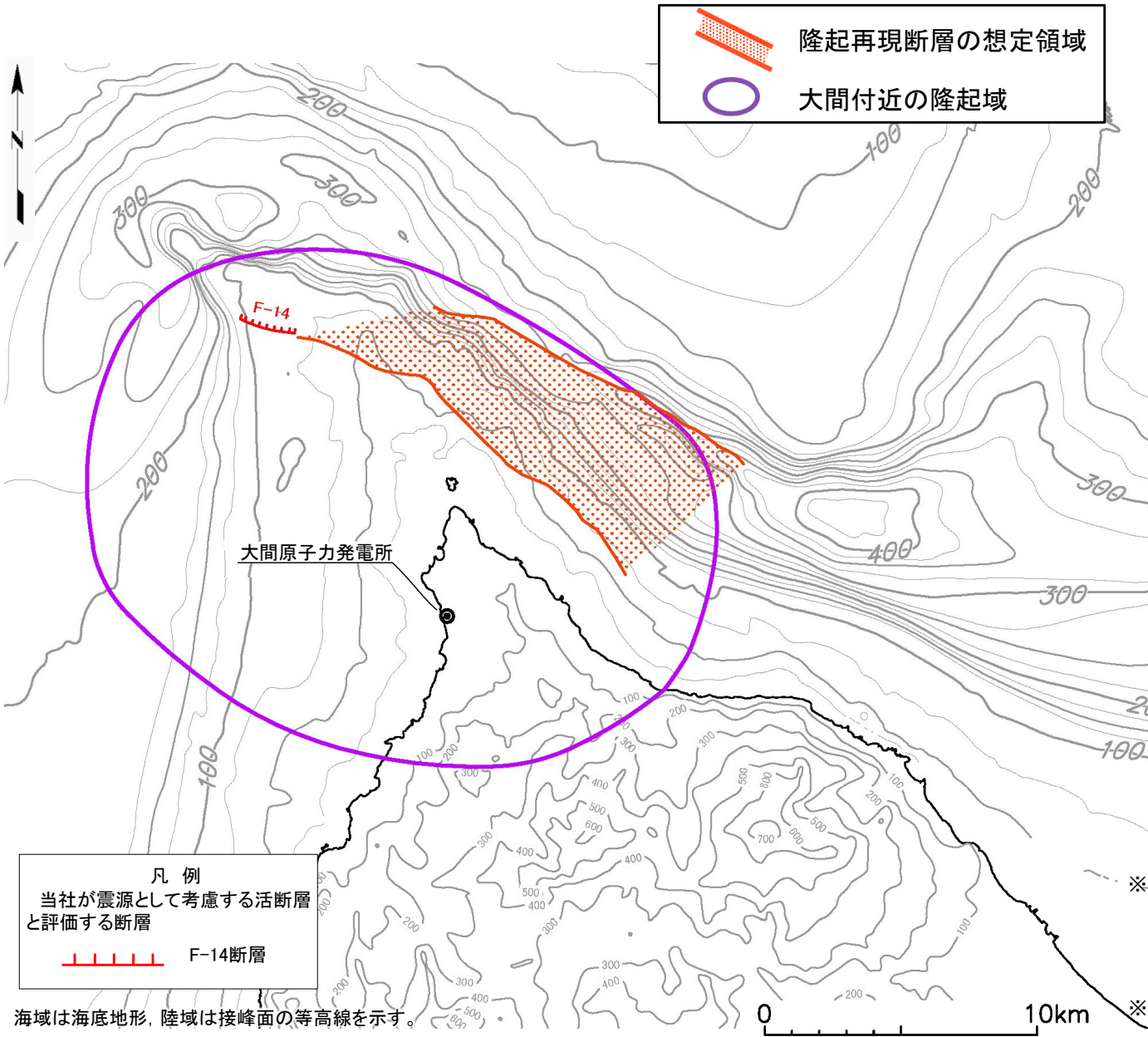
- 隆起再現断層のうち、敷地に及ぼす影響が大きいと考えられる震源モデルを、地震動評価の「基本ケース」とする。
- 「不確かさケース」として、「基本ケース」に短周期レベルの不確かさを考慮する。

- 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。

5.1 隆起再現断層の想定領域の設定



F-14断層を起点とする仮想的な活断層を想定する領域



隆起再現断層の想定領域
大間付近の隆起域

凡例
当社が震源として考慮する活断層と評価する断層
F-14断層

海域は海底地形、陸域は接峰面の等高線を示す。

- 下北半島西部の広域的な隆起のうち、敷地に近い大間付近に仮想的な隆起域(「大間付近の隆起域」)を設定し、その隆起域を説明する仮想的な活断層(隆起再現断層)を、隆起域の縁辺に分布するF-14断層を起点とした地表トレースを想定しうる領域(「隆起再現断層の想定領域」)として評価する。
- しかしながら、「大間付近の隆起域」は主に現在の地形発達過程に基づいて設定し、「隆起再現断層の想定領域」は主に後期更新世以降の活動が認められない地質構造に基づいて設定することになるため、「隆起再現断層の想定領域」に地表トレースを設定する隆起再現断層が、必ずしも「大間付近の隆起域」を再現できるとは限らない。
- 「審査ガイド」では、“調査結果や地形発達過程及び地質構造等を総合的に検討して評価”※1、“累積的な変位を説明する適切な地殻変動を検討する必要”※2が示されていることから、隆起再現断層による「大間付近の隆起域」における地形発達過程の再現性を確認し、成立性が担保される条件によって震源モデルを設定することが不可欠である。
- そこで、「隆起再現断層の想定領域」に地表トレースを設定する震源モデルの隆起シミュレーションにより、「大間付近の隆起域」の規模・配置及びその隆起域における海成段丘面の隆起速度分布の再現性が担保されるものを、「隆起再現断層」として扱うこととする。

※1:「審査ガイド」2.2(2):“将来活動する可能性のある断層等が疑われる地表付近の痕跡や累積的な地殻変動が疑われる地形については、個別の痕跡のみにとらわれることなく、その起因となる地下の震源断層を想定して調査が実施されていること…。それらの調査結果や地形発達過程及び地質構造等を総合的に検討して評価が行われていることを確認する。”

※2:「審査ガイド」2.2解説(5):“顕著な海岸隆起によって累積的な変位が認められる地域では、弾性波探査によって断層が確認されない場合でも、これをもって直ちに活断層の存在を否定せず、累積的な変位を説明する適切な地殻変動を検討する必要がある。”

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の設定

- 隆起再現断層による地震の地震発生層は、隆起再現断層による地震がF-14断層による地震とおおむね同位置に想定されていることから、F-14断層による地震の地震発生層と同様に、地震発生層上限3km, 下限17kmに設定する。

実施手順詳細

実施手順

5.1 隆起再現断層の想定領域の設定

- 震源モデルの制約条件の検討

5.2 地震発生層の設定

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

- 隆起シミュレーション

5.4 地震動評価の震源モデルの設定

- 基本ケースの震源モデルの選定
- 不確かさの考慮

5.5 地震動評価手法, 5.6 地震動評価結果

- 応答スペクトルに基づく地震動評価
- 震源モデルを用いた地震動評価

地形発達過程の再現性に基づく隆起再現断層の選定手順

(1) 基本となる地表トレースの設定

「隆起再現断層の想定領域」※1に唯一認められる断層であるF-14断層を西部の起点として、東部に認められる古い地質構造を隆起再現断層に関連する地質構造として扱い、基本となる地表トレースの走向(位置)を設定する。

(2) 補間的な地表トレースの設定

基本となる地表トレースの走向(位置)の不確かさを考慮するため、補間的な地表トレースを設定する。その配置は、基本となる地表トレースとの地質構造の整合性が保たれる配置とする。

(3) 断層諸元の設定

地質調査結果では断層諸元が定まらないため、東北日本の逆断層の特徴に基づいて基本となる断層諸元を設定し、さらに不確かさを考慮した断層諸元を設定する。また、隆起再現断層は、西部断層と東部断層との合成として設定されるため、これらが同時破壊する場合を考慮して適切な断層面形状を設定する。

(4) 隆起シミュレーションによる「大間付近の隆起域」の再現性の評価

- 評価基準の検討

「大間付近の隆起域」の規模及び配置並びに海成段丘面標高から推定される隆起速度分布の再現性に着目した評価基準を設定する。

- 隆起シミュレーションの実施

基本となる地表トレース及び補間的な地表トレースに対し、不確かさの考慮を含めた複数の断層諸元を組合せて震源モデルを複数設定し、それらの隆起シミュレーションにより、「大間付近の隆起域」における地形発達過程の再現性を確認する。

(5) 隆起再現断層の選定

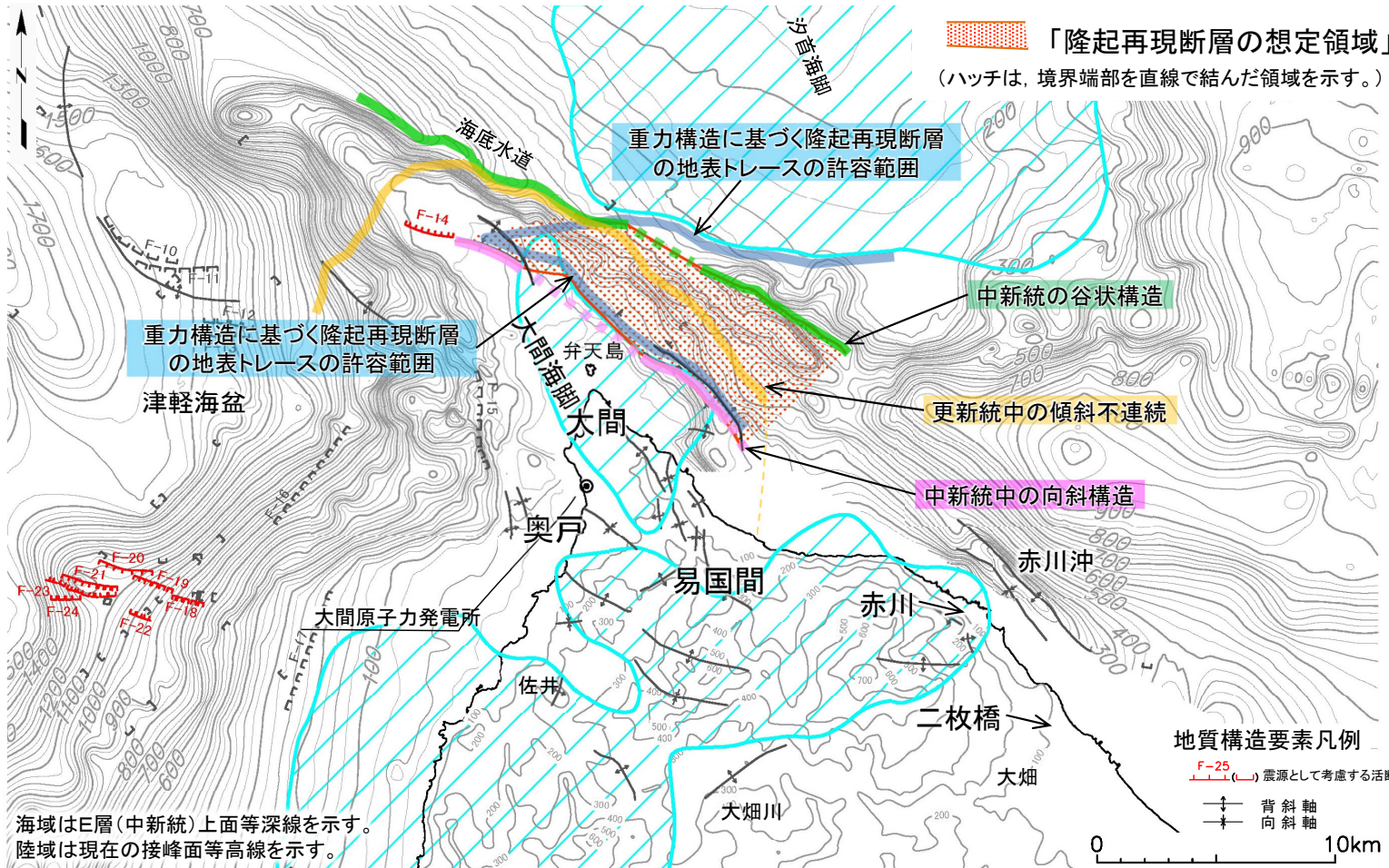
「大間付近の隆起域」における地形発達過程の再現性が認められない震源モデルを除外し、残りを隆起再現断層として選定する。

※1 : 第983回審査会合資料2-4-1 P.8-48を参照。

(1) 基本となる地表トレースの設定(1/3): 地質構造の抽出

隆起再現断層は、「震源を特定して策定する地震動」の対象として考慮するため、その配置が地形・地質構造に基づいて設定される必要がある。ここでは「隆起再現断層の想定領域」の設定において考慮した地質構造※1に基づいて、以下の方針で基本となる地表トレース案を設定することとする。

- ① 隆起再現断層の地表痕跡として扱うF-14断層を西の起点として、西部での地表トレースの走向(位置)は、F-14断層の走向を優先して設定する。
- ② 東部には断層が認められないことから、古い地質構造を隆起再現断層と関連する地質構造として扱い、地表トレースの走向(位置)を設定する。
- ③ 上記2つの方針で地表トレースの走向(位置)が設定できない場合は、重力構造に基づく隆起再現断層の地表トレースの許容範囲を参照して設定する。



「隆起再現断層の想定領域」の設定において、考慮した地質構造※1

地質構造
(隆起再現断層と関連する構造として扱う地質構造)

- 中新統の谷状構造
(破線は内挿区間)
- 更新統中の傾斜不連続
(破線は不明瞭区間)
- 中新統中の向斜構造
(破線は内挿区間)

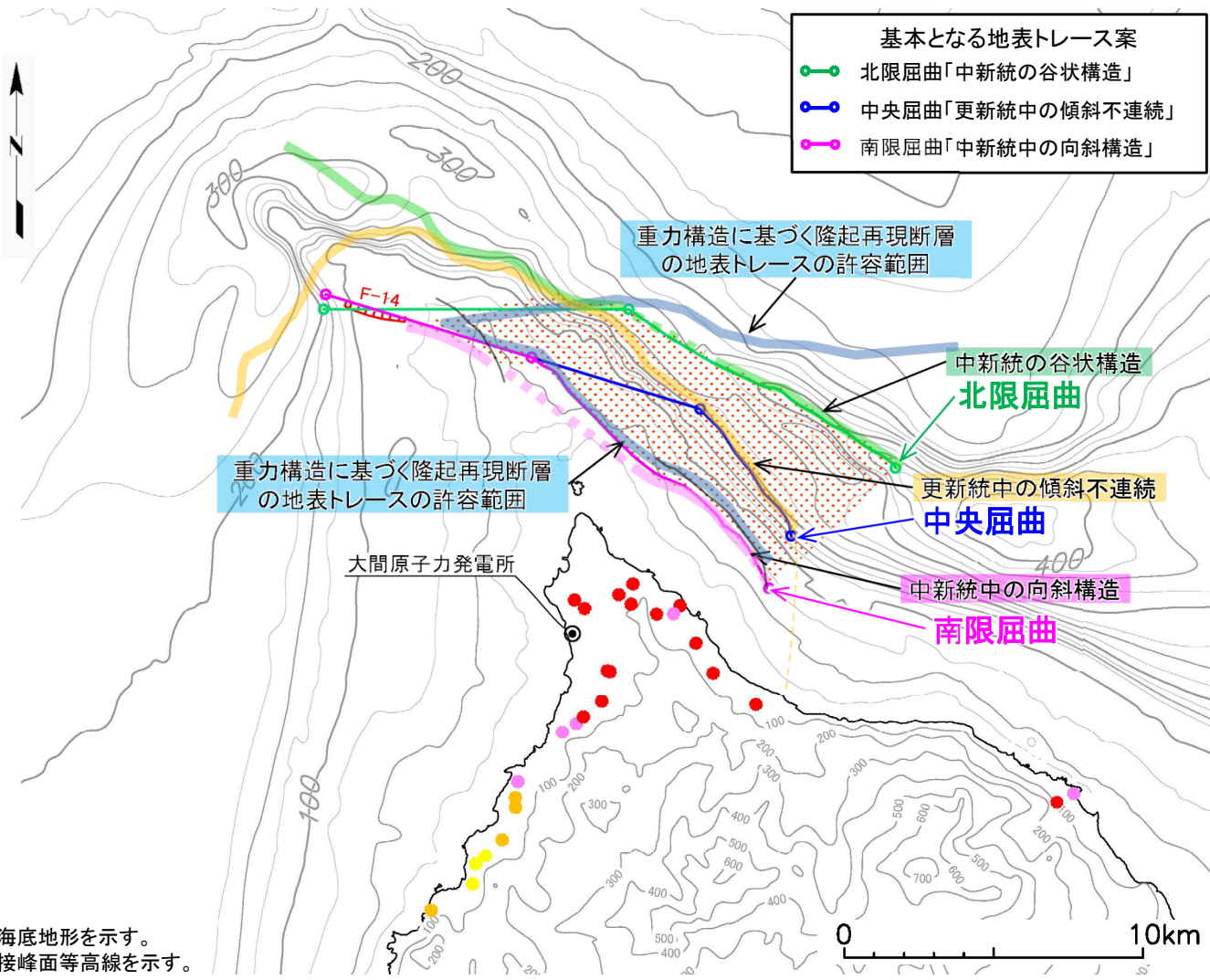
ブーゲー重力異常

- 低重力異常域
(地表トレースの許容範囲)
- 高重力異常域

※1: 地質構造の詳細は、補足説明資料5章を参照。



(1) 基本となる地表トレースの設定(2/3): 地質構造の選定



海域は海底地形を示す。
陸域は接峰面等高線を示す。

地質構造要素凡例
F-25 (●) 震源として考慮する活断層

領域の凡例
隆起再現断層の想定領域

段丘の隆起速度調査結果
隆起速度 (m/ky)
● 0.25-0.30
● 0.20-0.25
● 0.15-0.20
● 0.10-0.15
● 0.00-0.10

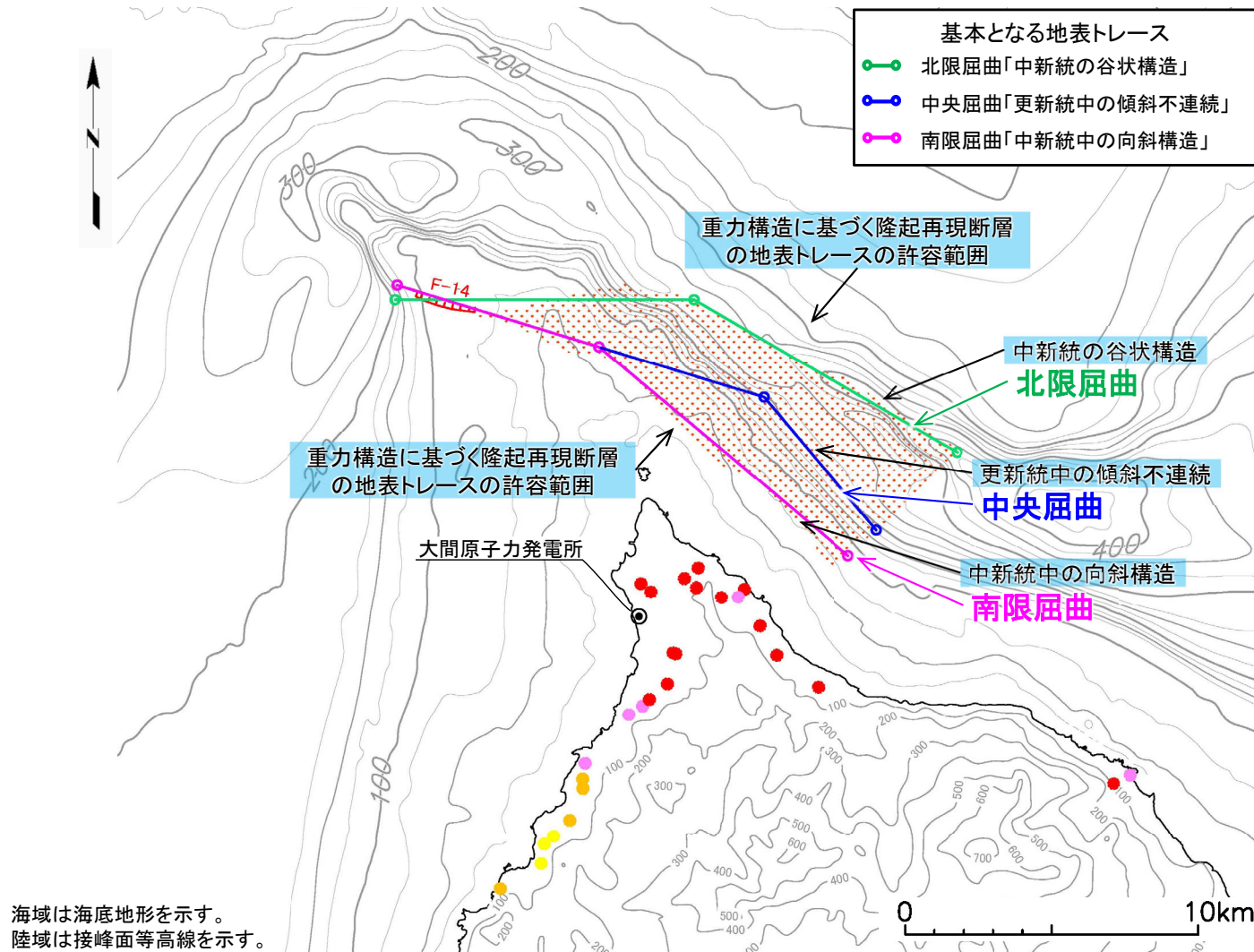
- 隆起再現断層の地表トレース案は、隆起再現断層の想定領域に唯一認められる断層であるF-14断層を地表痕跡として扱い、西部の起点として設定する。
- 東部には断層が分布しないため、古い地質構造である「中新統の谷状構造」、「更新統中の傾斜不連続」及び「中新統中の向斜構造」を、隆起再現断層と関連する地質構造として扱い、基本となる地表トレース案の根拠とする。
- 隆起を再現するため、隆起再現断層は南傾斜の逆断層とする必要があり、現在のE-W圧縮応力場との整合性※1は考慮せずに設定する。
- 現在のE-W圧縮応力場において、F-14断層の本来の変位センスは左横ずれであるため、広域応力場と整合する「孤立した短い活断層」としての評価は、別途実施することとする(3章参照)。

- 北限屈曲 ← 「中新統の谷状構造」
 - 西部は、F-14断層を起点として、「重力構造に基づく隆起再現断層の地表トレースの許容範囲」の北限に沿って設定する。
 - 東部は、「中新統の谷状構造」に沿って設定する。
- 中央屈曲 ← 「更新統中の傾斜不連続」
 - 西部は、F-14断層を延長した直線とする。
 - 東部は、「更新統中の傾斜不連続」に沿って設定する。
- 南限屈曲 ← 「中新統中の向斜構造」
 - 西部は、F-14断層を延長した直線とする。
 - 東部は、「中新統中の向斜構造」及び「重力構造に基づく隆起再現断層の地表トレースの許容範囲」の南限に沿って設定する。

※1: 広域応力場と整合する適切な地形・地質構造が認められないため、「隆起再現断層の想定領域」の評価において広域応力場は考慮しない。(第983回審査会合資料2-4-1 P.8-33を参照。)



(1) 基本となる地表トレースの設定(3/3):モデル化



- 基本となる地表トレース
- 北限屈曲「中新統の谷状構造」
 - 中央屈曲「更新統中の傾斜不連続」
 - 南限屈曲「中新統中の向斜構造」

- 地表トレースの西部と東部では、根拠とする地質構造が、形成メカニズム、活動時期・形成時期において異なっており、同一の震源断層にはできないことから、隆起再現断層の震源モデルは、隣接する2条の断層として扱う。
- 隆起シミュレーションの震源モデルとするため、各地表トレース案を直線で構成される屈曲断層に置き換えることとする。各地表トレース案に対応する地表トレースは図に示すとおりとなる。

- **北限屈曲**←「中新統の谷状構造」
 - 西部断層は、F-14断層を起点として、「重力構造に基づく隆起再現断層の地表トレースの許容範囲」の北限に沿う直線とする。
 - 東部断層は、「中新統の谷状構造」に沿う直線とする。
- **中央屈曲**←「更新統中の傾斜不連続」
 - 西部断層は、F-14断層を延長した直線とする。
 - 東部断層は、「更新統中の傾斜不連続」に沿う直線とする。
- **南限屈曲**←「中新統中の向斜構造」
 - 西部断層は、F-14断層を延長した直線とする。
 - 東部断層は、「中新統中の向斜構造」及び「重力構造に基づく隆起再現断層の地表トレースの許容範囲」の南限に沿う直線とする。

海域は海底地形を示す。
陸域は接峰面等高線を示す。

地質構造要素凡例

F-25 (●) 震源として考慮する活断層

領域の凡例

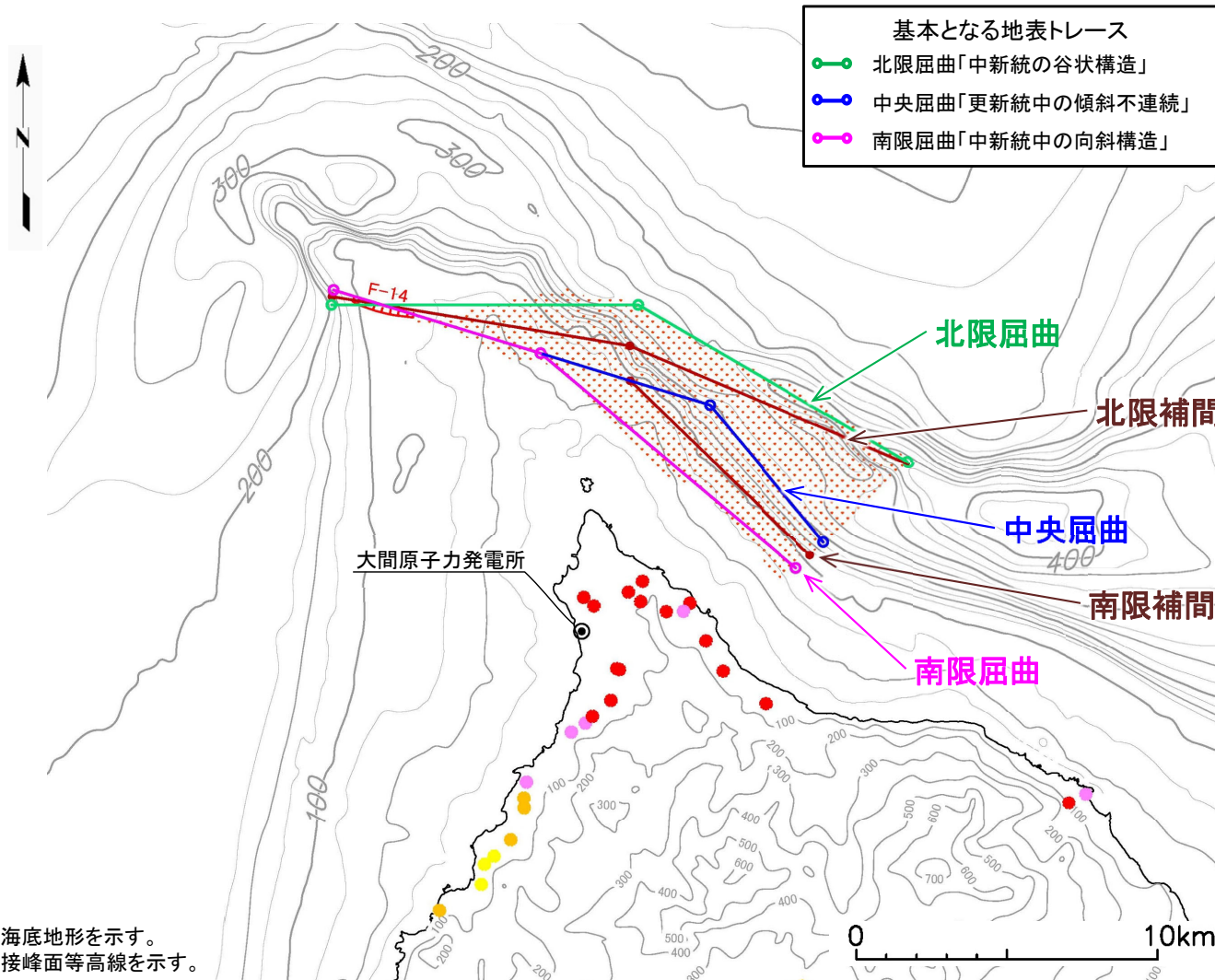
隆起再現断層の想定領域

段丘の隆起速度調査結果

- 隆起速度 (m/ky)
- 0.25-0.30
 - 0.20-0.25
 - 0.15-0.20
 - 0.10-0.15
 - 0.00-0.10



(2) 補間的な地表トレースの設定(不確かさの考慮)



「隆起再現断層の想定領域」の東部には断層が分布せず、古い地質構造によって地表トレースの走向(位置)を設定しており、走向(位置)に任意性があると考えられる。走向(位置)の不確かさを考慮するため、基本となる地表トレースの間に、以下の方針で補間的な地表トレースを設定する。

- ① 補間的な地表トレースは、基本となる地表トレースとの地質構造の整合性が保たれる配置に設定する。
- ② 基本トレースに挟まれた領域の平面的な均等性を優先して設定する。
- ③ 上記2つの方針に加え、地表トレースを長くする配置も考慮に入れる。

- **北限補間**
 - ・ 西部断層は、平面的な均等性により位置を定める。
 - ・ 東部断層は、隆起再現断層の想定領域内で地表トレースを長くする配置も考慮して定める。*1
- **南限補間**
 - ・ 西部断層は、F-14断層を延長した直線とする。
 - ・ 東部断層は、平面的な均等性により位置を定める。

*1 : 震源モデルの設定は、補足説明資料5章を参照。

海域は海底地形を示す。
陸域は接峰面等高線を示す。

地質構造要素凡例

F-25 (赤) 震源として考慮する活断層

領域の凡例

隆起再現断層の想定領域

段丘の隆起速度調査結果
隆起速度 (m/ky)

- 0.25-0.30
- 0.20-0.25
- 0.15-0.20
- 0.10-0.15
- 0.00-0.10

(3) 断層諸元の設定(1/3): 設定方針

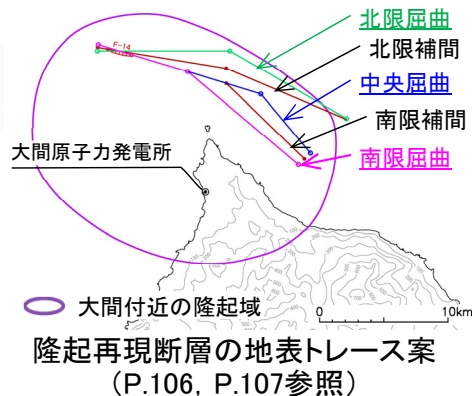
- 震源特性パラメータの基本となる断層諸元を設定する。地質調査結果では断層諸元が定まらない(P.109参照)ため、走向(位置)の不確かさ、断層傾斜角の不確かさ、アスペリティ位置の不確かさを考慮して複数の震源モデルを設定し、「大間付近の隆起域」における地形発達過程の再現性を確認することとする。

	震源モデルの断層諸元に関わる地質構造	断層諸元の設定方針	基本となる断層諸元()は不確かさ
① 震源モデルの構成	<ul style="list-style-type: none"> 西部は、中新統に変位が認められるF-14断層を地表付近の破壊の痕跡とみなしている。 東部は、中新統の谷状構造、更新統の傾斜不連続、中新統中の褶曲を、断層に準じる構造とみなしている。 	<ul style="list-style-type: none"> 西部と東部とでは、根拠とする地質構造が、形成メカニズム、活動時期・形成時期において明らかに異なっており、同一の震源断層にはできないため、隣接する2条の断層として扱う。 	構成: 震源モデルは、西部断層と東部断層との合成とする。
② 地表トレースの走向(位置)	<ul style="list-style-type: none"> 「隆起再現断層の想定領域」の西部には、孤立した短い活断層であるF-14断層が唯一認められる。ESE-WNW走向で鉛直または高角北傾斜の断層であり、E-W圧縮応力場において左横ずれセンスと判断される。 東部には断層は認められないが、中新統の谷状構造、更新統中の傾斜不連続、中新統中の向斜構造といった古い地質構造が認められる。 	<ul style="list-style-type: none"> F-14断層を隆起再現断層の地表痕跡として扱い、西部断層は、F-14断層の走向で延ばすことを基本とし、重力構造も考慮する。 東部に認められる古い地質構造を地表痕跡に準じるものとして扱い、東部断層は、古い地質構造に沿わせることを基本とする。更に、位置の不確かさとして補間的な配置となる2種を考慮する。 	西部断層の根拠: ・F-14断層を起点とする 東部断層の根拠: ・中新統の谷状構造 ・更新統中の傾斜不連続 ・中新統中の向斜構造 (不確かさ 補間的な2種)
③ 震源モデルの長さ	<ul style="list-style-type: none"> 「隆起再現断層の想定領域」の東西の端部は、地表付近に根拠とする地質構造が認められる範囲として設定している。 隆起再現断層は、隣接する2条の断層の合成として設定するため、2条が連動して活動する場合が最長となる。 	<ul style="list-style-type: none"> 東西の地表トレースをそれぞれ傾斜方向に延長する屈曲した震源モデルとして扱い、交差部は切り欠くものとする。 	長さ: 地震発生層上端及び下端での切り欠き後の東西の断層の合計長さとする。
④ 震源モデルの傾斜角※1	<ul style="list-style-type: none"> 西部断層の根拠とするF-14断層は、反射断面図で確認される範囲では、鉛直または高角北傾斜を示す。 東部断層の根拠とする地質構造では、断層の傾斜を想定することができない。 一般に、東北日本の活断層は、中新世に活動した正断層が鮮新世以降の東西圧縮応力場で逆断層として再活動した(インバージョン)ものだと考えられている。 	<ul style="list-style-type: none"> 調査で唯一確認されたF-14断層の傾斜及び変位センスとは異なるが、「大間付近の隆起域」に隆起を生じさせるため、南傾斜の逆断層として設定する。 地表付近の地質構造と震源断層とは走向・傾斜が一致していないものと解釈し、中新世の正断層のインバージョンとして設定することとし、標準的な正断層の傾斜角である60°を基本とし、傾斜角の不確かさとして45°を考慮する。 	傾斜の向き: 南傾斜 変位センス: 逆断層 傾斜角: 60°(不確かさ 45°)
⑤ 震源モデルのアスペリティ位置	<ul style="list-style-type: none"> 西部断層の根拠とするF-14断層は海底に露出する中新統の内部構造に変位が認められる。 東部断層の根拠とする地質構造は、断層を直接示すものではなく、且つ後期更新世以降の活動が認められない。 西部断層の根拠とするF-14断層も、東部断層の根拠とする地質構造も、どちらも連続性が小さく、規模の優劣はない。 	<ul style="list-style-type: none"> 西部断層は、せん断変位が地表のF-14断層まで達していることになるため、アスペリティは震源モデル上端に想定し、F-14断層直下に配置する。 東部断層は、せん断変位が地表まで達しないことになるため、アスペリティは震源モデル下端に想定し、アスペリティ位置の不確かさとして中段を考慮する。アスペリティの水平位置は、保守的に敷地直下に配置する。 西部断層と東部断層とでは、規模の優劣が無いと評価し、アスペリティ規模及び活動周期を同等として設定する。 	西部: <水平>F-14断層下方 <深さ>上端 東部: <水平>敷地下方 <深さ>下端(不確かさ 中段) アスペリティ面積比: 1:1

※1: 震源モデルの傾斜の設定は、補足説明資料5章を参照。



(3) 断層諸元の設定(2/3): 震源モデル候補に設定する走向(位置)及び断層諸元一覧



- 「隆起再現断層の想定領域」の東部には断層が分布せず古い地質構造によって地表トレースの走向(位置)を設定しており、また、領域内で唯一認められるF-14断層の断層諸元は、隆起再現断層に求められる諸元とは調和しないことから、地質調査結果によって隆起再現断層の走向(位置)及び断層諸元を一つの震源モデルに確定することができない。
- そこで、基本となる地表トレース(P.106参照)の走向(位置)及び断層諸元(P.108参照)の震源モデルを、「地質構造に基づく基本的な震源モデル候補」とし、これに走向(位置)及び断層諸元の不確かさを考慮して複数の震源モデルを設定し、「大間付近の隆起域」における地形発達過程の再現性を確認して隆起再現断層を選定することとする。
- 隆起シミュレーションに用いる断層諸元は、前頁に示す「基本となる断層諸元」に従い下表の通りとし、震源モデルは次頁に示す20モデルとなる。表に示す以外の震源特性パラメータは、強震動予測レシピに基づいて設定し、一回の活動による鉛直変位量分布の計算は、Steketee(1958)の「食い違い弾性論」に基づくOkada(1992)の方法※1を用いて計算する。

地表トレースの走向(位置)	西部断層					東部断層					アスペリティ面積比 西部:東部	地表長さ合計(km)	幅(km)	傾斜角(角度°:向き)	交差角(°)	備考
	根拠	地表長さ(km)	走向(位置)	アスペリティ位置		根拠	地表長さ(km)	走向(位置)	アスペリティ位置							
				水平	深さ				水平	深さ						
北限屈曲	F-14断層	10.2	N90°E	F-14断層直下	上端	中新統の谷状構造	10.4	N120°E	敷地直下	中段	1:1	20.6	16.2	60:S・SW	30	震源モデルの数 ○走向(位置):5条 ・基本(地質構造): 北限屈曲 中央屈曲 南限屈曲 ・不確かさ(補間): 北限補間 南限補間 ○東部断層のアスペリティ深さ:2種 ・基本:下端, ・不確かさ:中段 ○傾斜角:2種 ・基本:60° ・不確かさ:45° ◎5条×2種×2種 合計20モデル
									下端				19.8	45:S・SW		
北限補間	F-14断層	10.0	N99°E	F-14断層直下	上端	(補間)	10.0	N113°E	敷地直下	中段	1:1	20.0	16.2	60:SW	14	
										下端			19.8	45:SW		
中央屈曲	F-14断層	13.1	N107°E	F-14断層直下	上端	更新統中の傾斜不連続	6.0	N140°E	敷地直下	中段	1:1	19.1	16.2	60:SW	33	
										下端			19.8	45:SW		
南限補間	F-14断層	10.3	N107°E	F-14断層直下	上端	(補間)	8.4	N134°E	敷地直下	中段	1:1	18.7	16.2	60:SW	27	
										下端			19.8	45:SW		
南限屈曲	F-14断層	7.2	N107°E	F-14断層直下	上端	中新統中の向斜構造	11.2	N130°E	敷地直下	中段	1:1	18.4	16.2	60:SW	23	
										下端			19.8	45:SW		

☐:「地質構造に基づく基本的な震源モデル候補」に設定するパラメータ

☐:認識論的不確かさの候補として設定するパラメータ

※1:隆起シミュレーションの方法「Okada(1992)の方法」については、補足説明資料6章を参照。

(3) 断層諸元の設定(3/3): 震源モデル候補一覧

- 隆起シミュレーションに用いる震源モデルを下表に示す。不確かさを考慮するため、1つの地表トレースにつき4種の震源モデルを設定する。
- 基本となる地表トレース(P.106参照)の走向(位置)及び断層諸元(P.108参照)の震源モデルを「地質構造に基づく基本的な震源モデル候補」とする。

		北限屈曲(P.106参照)	北限補間(P.107参照)	中央屈曲(P.106参照)	南限補間(P.107参照)	南限屈曲(P.106参照)
傾斜(60度)	東部断層アスペリティ 中段					
	東部断層アスペリティ 下端					
傾斜(45度)	東部断層アスペリティ 中段					
	東部断層アスペリティ 下端					

: 地質構造に基づく基本的な震源モデル候補

: 認識論的不確かさとして設定する震源モデル候補

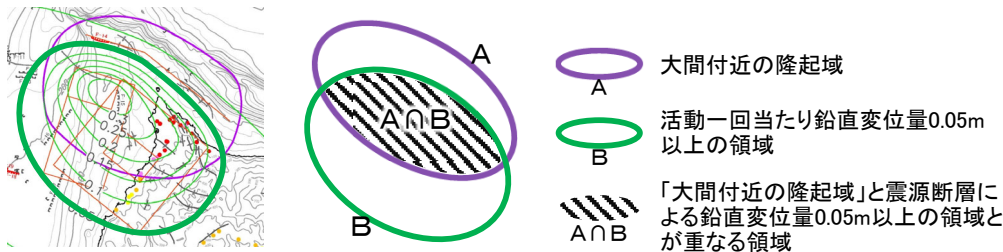


(4)「大間付近の隆起域」の再現性の評価(1/23) : 評価基準1「規模・配置の再現性」

- 隆起シミュレーションによって再現される隆起域の「規模・配置の再現性」(平面的な再現性)は、下記に示す2つの指標により評価する。
- 再現性の評価基準は、2割の不一致までを「○再現性良い」、3割の不一致までを「△再現性有り」として許容するものとし、これを超える不一致がある場合は、再現性のない震源モデルと評価する。

(規模・配置の再現性の「指標」の設定)

- 後期更新世以降の累積的な変位が生じていると見なす「大間付近の隆起域」について、先に設定した震源モデルの隆起シミュレーションによって生じる隆起域が、①規模として妥当であるか、②配置として妥当であるかを確認し、再現性の無い(以下に示す指標で70%以下)ものを除外することとする。
- 「食い違い弾性論」に基づく「Okada(1992)の方法」※1による隆起域は無限に広がってしまうため、一回の活動で0.05m以上の鉛直変位量となる領域を、「大間付近の隆起域」との比較に用いることとする。なお、鉛直変位量0.05mは、コンタ間隔が疎から密へと変わる境界となっている。
- ①規模及び②配置の再現性は、次の二つの指標によって判断する。



指標 1-1: $S(A \cap B) / S(A)$, $S(\cdot)$: 領域の面積

「大間付近の隆起域」と震源断層による鉛直変位量0.05m以上の領域とが重なる部分が、「大間付近の隆起域」に占める割合。(再現率)

指標 1-2: $S(A \cap B) / S(B)$

「大間付近の隆起域」と震源断層による鉛直変位量0.05m以上の領域とが重なる部分が、鉛直変位量0.05m以上の領域に占める割合。(寄与率)

(規模・配置の再現性の「指標」の評価基準)

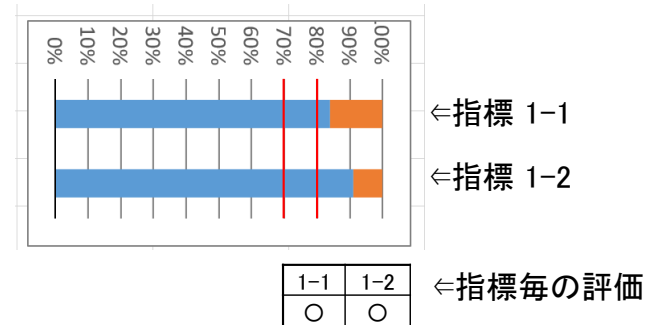
指標 1-1: 大間付近の隆起域の「再現率」

- 再現性良い ○: 「大間付近の隆起域」において、活動一回当たり鉛直変位量0.05m以上の領域と重なる部分が80%を超える。
- 再現性有り △: (同上) 70%を超える。
- 再現性無し ×: (同上) 70%以下。

指標 1-2: 隆起シミュレーションの「寄与率」

- 再現性良い ○: 活動一回当たり鉛直変位量0.05m以上の領域において、「大間付近の隆起域」と重なる部分が80%を超える。
- 再現性有り △: (同上) 70%を超える。
- 再現性無し ×: (同上) 70%以下。

(評価結果の表示形式)



※1 : 隆起シミュレーションの方法「Okada(1992)の方法」については、補足説明資料6章を参照。

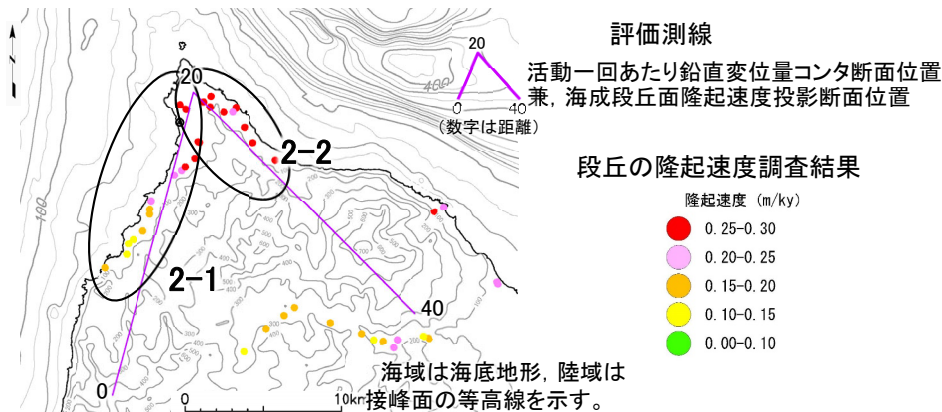


(4)「大間付近の隆起域」の再現性の評価(2/23) : 評価基準2「隆起速度分布の再現性」

- 隆起シミュレーションによって再現される隆起域の「隆起速度分布の再現性」(断面形状の再現性)は、下記に示す2つの指標により評価する。
- 再現性の評価基準は、おおむね2割の不一致までを「○再現性良い」、3割の不一致までを「△再現性有り」として許容するものとし、これを超える不一致がある場合は、再現性のない震源モデルと評価する。

(隆起速度分布の再現性の「指標」の設定)

- 後期更新世以降の地殻変動により形成された海成段丘面は海岸に沿って離散的に分布するため、図に示す西側海岸測線(2-1)の20kmと東側海岸測線(2-2)の20kmを合わせた海岸沿いの評価測線に、海成段丘面の隆起速度を投影して示し、そこへ隆起シミュレーションによる活動一回あたり鉛直変位量を重ね合わせ、両者の整合性を確認する。
- 両者は異なる次元を持ち直接的な比較ができないため、それぞれの最大値で割った無次元化した値で比較することとする。
- 海成段丘面の隆起速度分布には、西側沿岸において南部では直線状、北部では「上に凸」となり、東側海岸においては、北端部にかけて隆起速度がおおむね一定となる傾向が認められることから、下記の点に着目して両者の整合性を確認する。

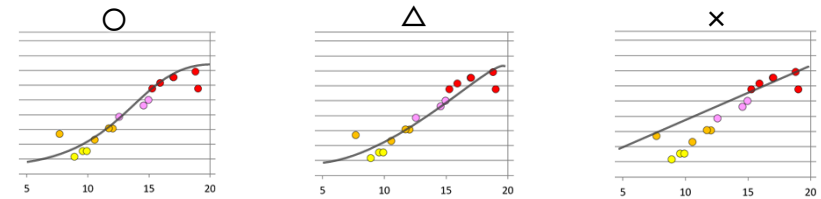


- 指標 2-1: 西側海岸における隆起速度分布
南部で直線状、北部で「上に凸」となる隆起速度カーブの類似性
- 指標 2-2: 東側海岸～北端部における隆起速度分布
おおむね一定となる隆起速度分布の再現性

(隆起速度分布の再現性の「指標」の評価基準)

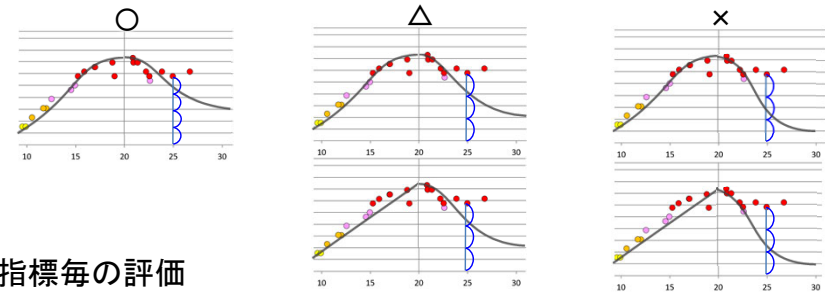
指標 2-1: 西側海岸における隆起速度分布

- 再現性良い○: 南部で直線状、北部で「上に凸」となる隆起速度カーブが再現され、ラインがおおむね一致する。
- 再現性有り△: 隆起速度カーブの直線状から「上に凸」への変化は明瞭ではないが、ラインがおおむね一致する。
- 再現性無し×: 隆起速度カーブが「下に凸」。または、ラインの乖離が大きい。



指標 2-2: 東側海岸～北端部における隆起速度分布

- 再現性良い○: 広く起伏の少ない頂部が再現され、東側海岸における乖離が1/4未満。(2割強の不一致まで許容)
- 再現性有り△: 広く起伏の少ない頂部が再現される、または尖った頂部となるものの、東側海岸における乖離が1/3未満。(3割強の不一致まで許容)
- 再現性無し×: 頂部の形状に関わらず、東側海岸における乖離が1/3以上。

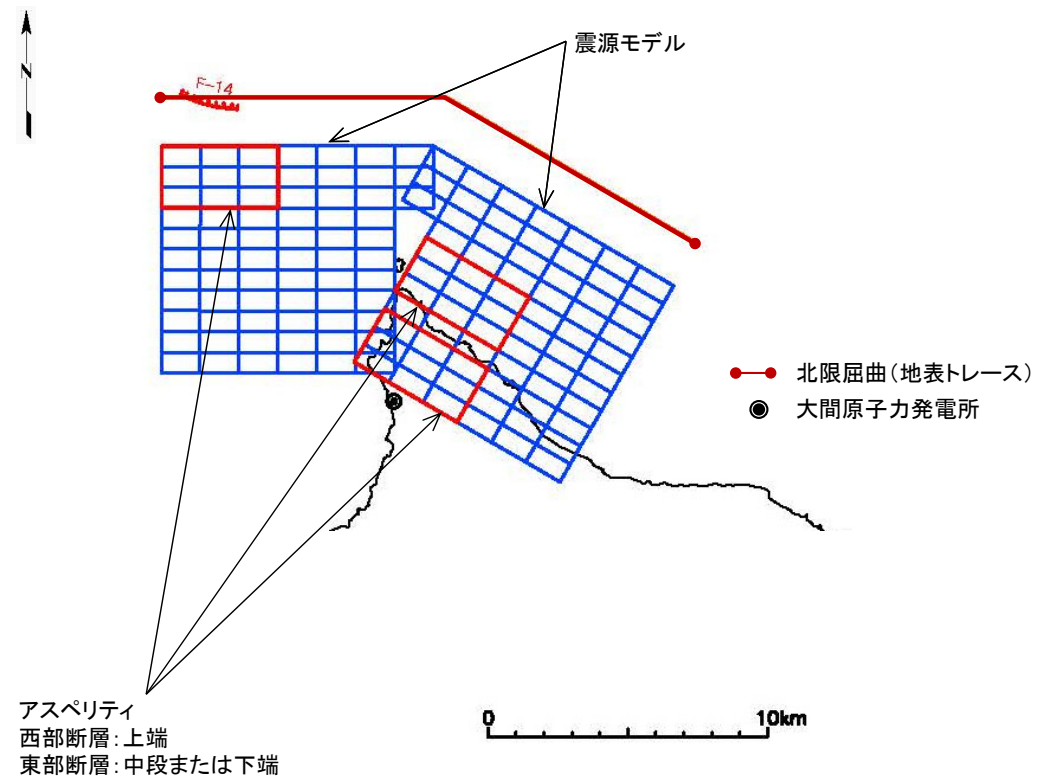


(4) 「大間付近の隆起域」の再現性の評価(3/23) : 北限屈曲60° 断層諸元

- 「北限屈曲60°」について、断層諸元(断層形状等/震源特性パラメータ)を示す。

震源特性パラメータ

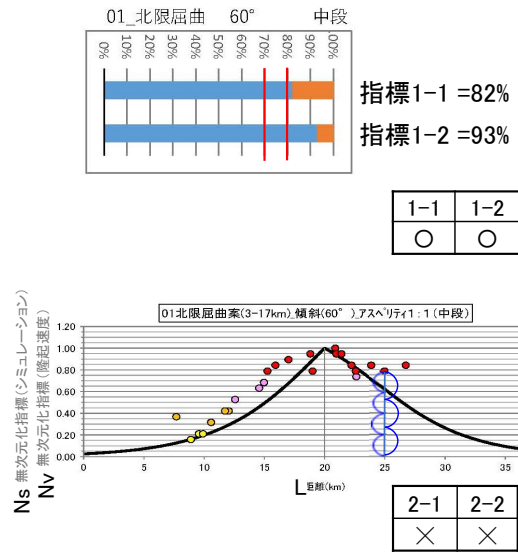
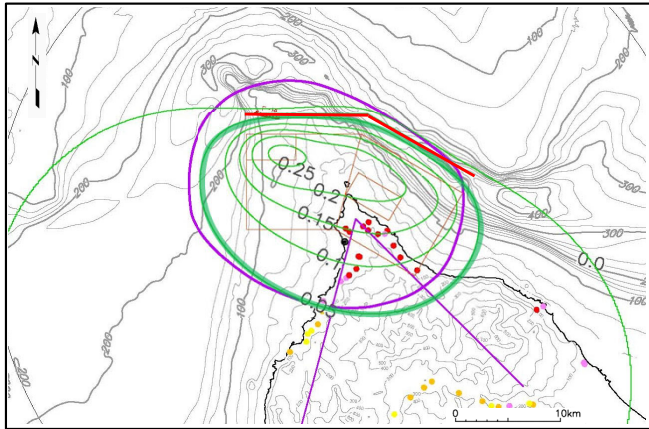
パラメータ項目		設定値
上端深さ		3km
走向		(西部断層)N90° E (东部断層)N120° E
傾斜角		60°
すべり角		90°
断層長さ	地表	(西部断層)10.2km (东部断層)10.4km
	断層上端	(西部断層)9.7km (东部断層)9.9km
	断層下端	(西部断層)7.6km (东部断層)7.8km
断層幅		16.2km
断層面積		283km ²
平均すべり量		0.5m
アスペリティ	面積	38km ²
	すべり量	1.0m
モーメントマグニチュード		6.4



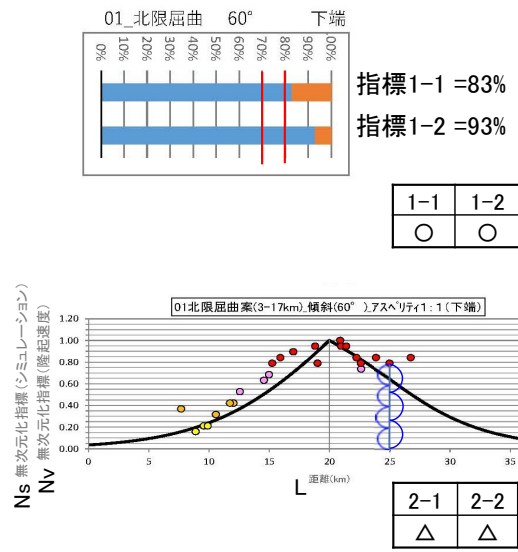
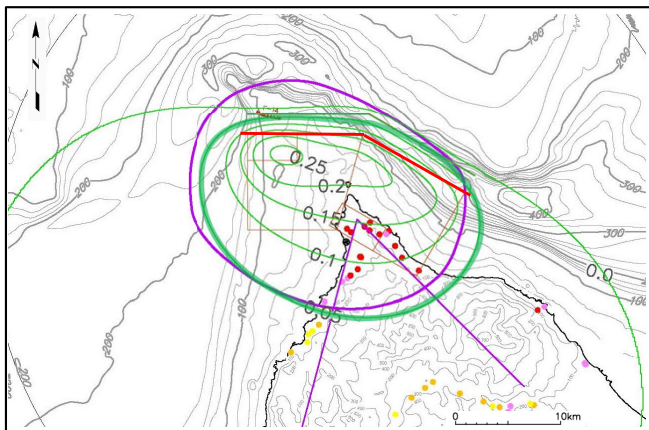
震源モデルの地表面投影図

(4)「大間付近の隆起域」の再現性の評価(4/23) : 北限屈曲60° 評価結果

アスペリティ位置(西部:上端, 東部:中段)

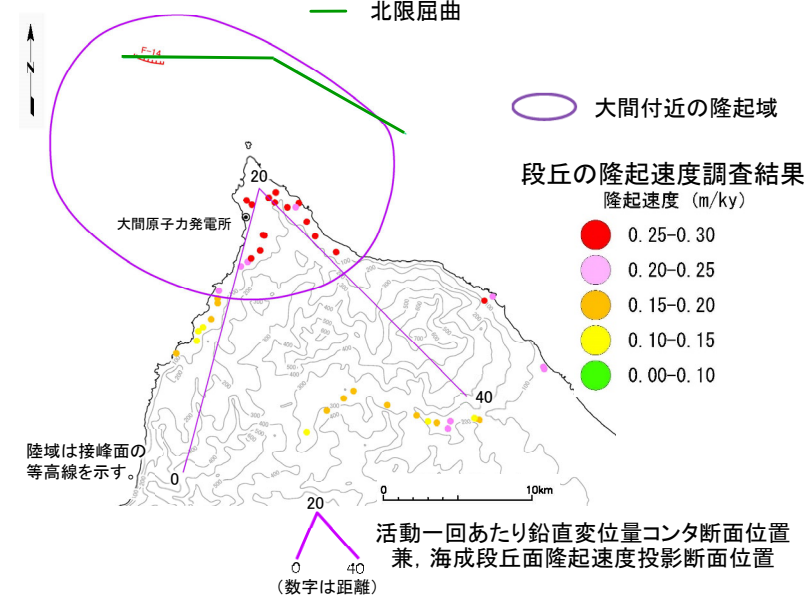


アスペリティ位置(西部:上端, 東部:下端)



隆起シミュレーション凡例

- 隆起再現断層案の地表トレース
- 計算モデル
- 活動一回あたり鉛直変位量(m) (0.05m毎コンタ)



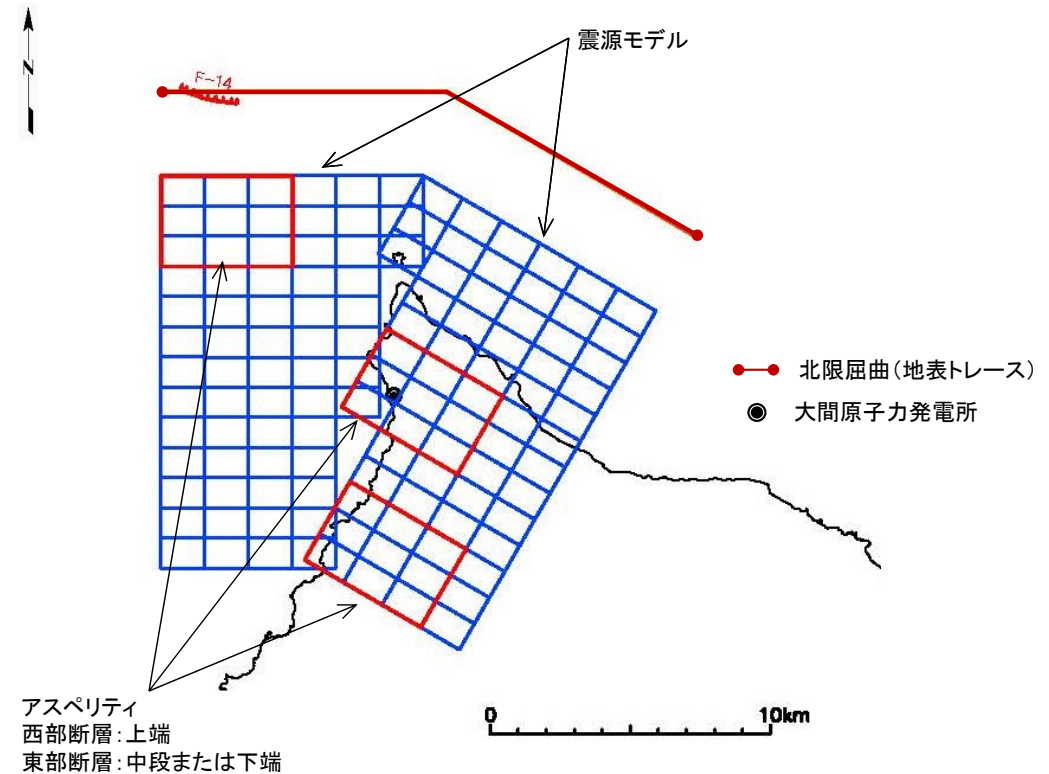
- 規模・配置の再現性(1-1及び1-2)は、おおむね良好。
- 隆起速度分布の再現性(2-1及び2-2)では、北端部の尖った頂部が顕著である。
- 東部断層のアスペリティ中段のケースでは、隆起速度分布との乖離が大きいため、「不可」とする。

(4)「大間付近の隆起域」の再現性の評価(5/23) : 北限屈曲45° 断層諸元

- 「北限屈曲45°」について、断層諸元(断層形状等/震源特性パラメータ)を示す。

震源特性パラメータ

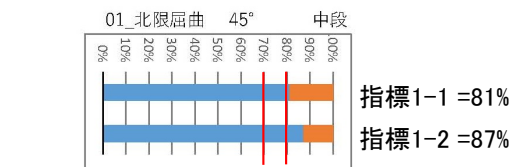
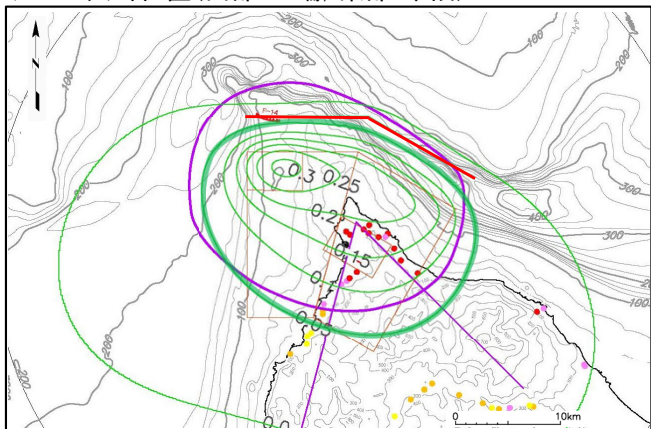
パラメータ項目		設定値
上端深さ		3km
走向		(西部断層)N90° E (东部断層)N120° E
傾斜角		45°
すべり角		90°
断層長さ	地表	(西部断層)10.2km (东部断層)10.4km
	断層上端	(西部断層)9.4km (东部断層)9.6km
	断層下端	(西部断層)5.6km (东部断層)5.8km
断層幅		19.8km
断層面積		301km ²
平均すべり量		0.5m
アスペリティ	面積	40km ²
	すべり量	1.1m
モーメントマグニチュード ^o		6.4



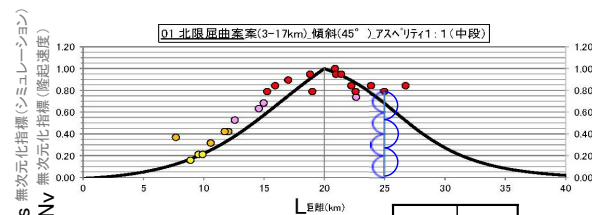
震源モデルの地表面投影図

(4) 「大間付近の隆起域」の再現性の評価(6/23) : 北限屈曲45° 評価結果

アスペリティ位置(西部:上端, 東部:中段)

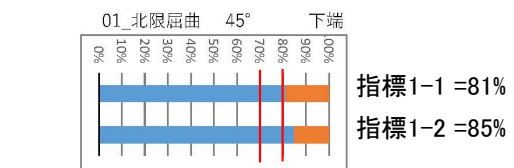
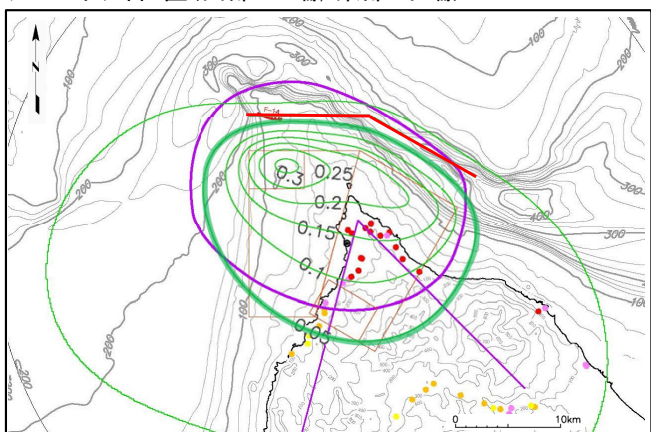


1-1	1-2
○	○

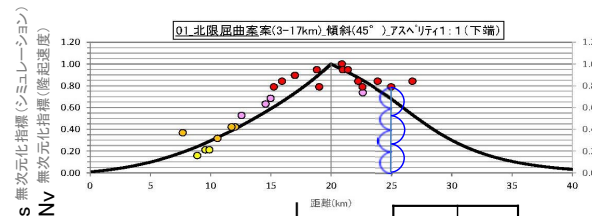


2-1	2-2
△	△

アスペリティ位置(西部:上端, 東部:下端)



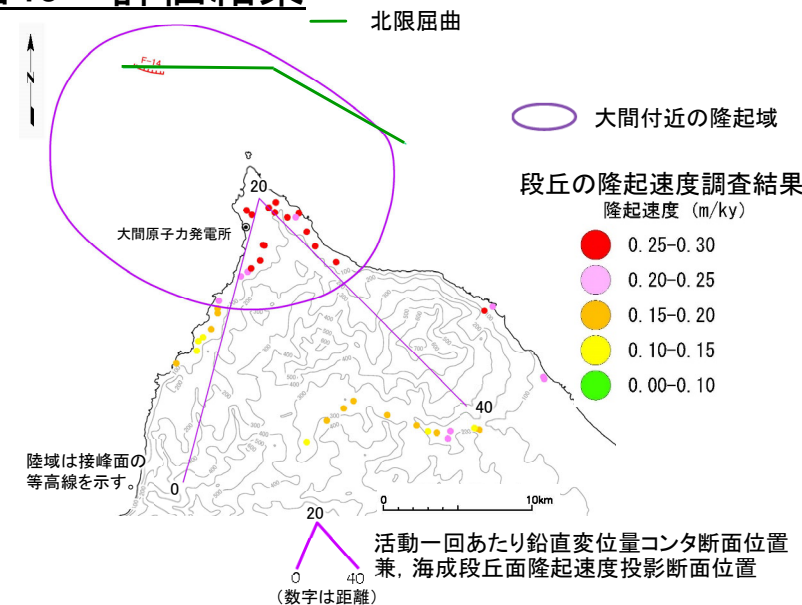
1-1	1-2
○	○



2-1	2-2
△	△

隆起シミュレーション凡例

- 隆起再現断層案の地表トレース
- 計算モデル
- 活動一回あたり鉛直変位量(m) (0.05m毎コンタ)



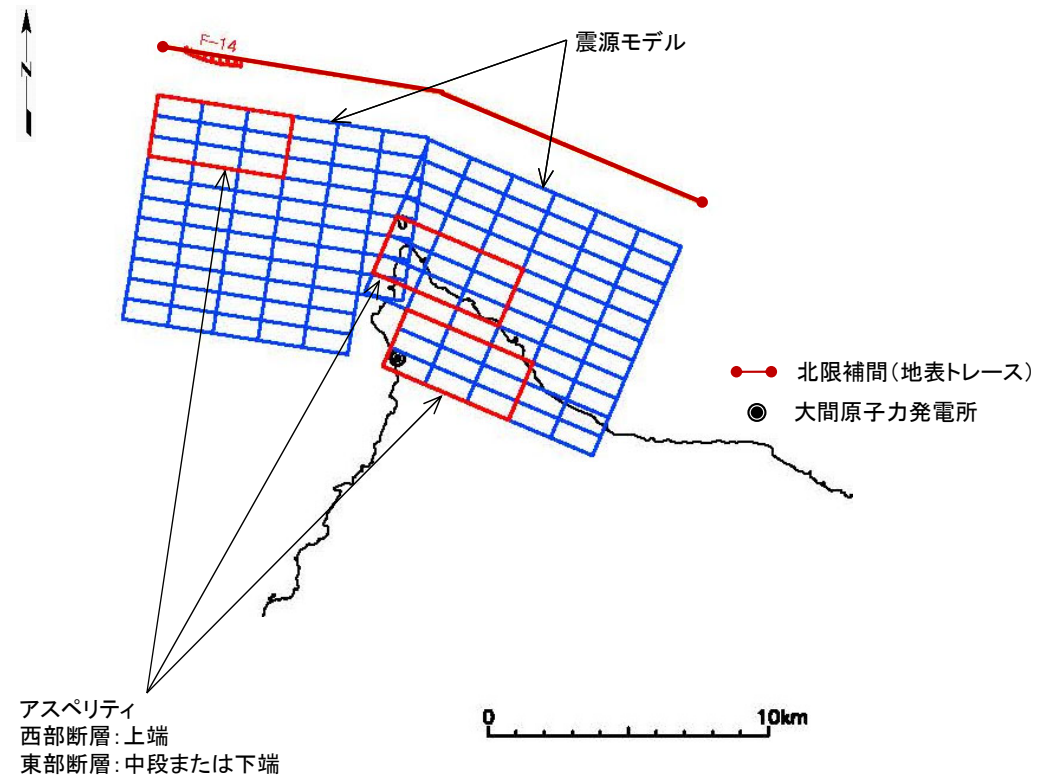
- 規模・配置の再現性(1-1及び1-2)は、おおむね良好。
- 隆起速度分布の再現性(2-1及び2-2)では、北端部の尖った頂部が認められる。
- 実態との乖離が小さいため、「可」とする。

(4) 「大間付近の隆起域」の再現性の評価(7/23) : 北限補間60° 断層諸元

- 「北限補間60°」について、断層諸元(断層形状等/震源特性パラメータ)を示す。

震源特性パラメータ

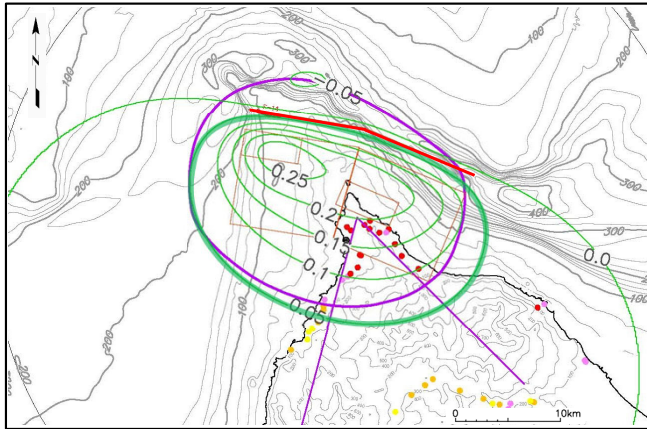
パラメータ項目		設定値
上端深さ		3km
走向		(西部断層)N99° E (東部断層)N113° E
傾斜角		60°
すべり角		90°
断層長さ	地表	(西部断層)10.0km (東部断層)10.0km
	断層上端	(西部断層)9.8km (東部断層)9.8km
	断層下端	(西部断層)8.8km (東部断層)8.8km
断層幅		16.2km
断層面積		301km ²
平均すべり量		0.5m
アスペリティ	面積	40km ²
	すべり量	1.1m
モーメントマグニチュード [*]		6.4



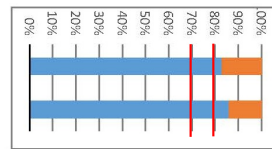
震源モデルの地表面投影図

(4) 「大間付近の隆起域」の再現性の評価(8/23) : 北限補間60° 評価結果

アスペリティ位置(西部:上端, 東部:中段)



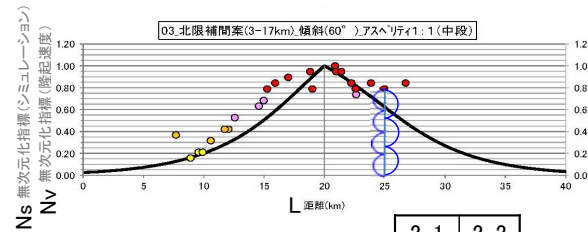
03北限補間 60° 中段



指標1-1 = 83%

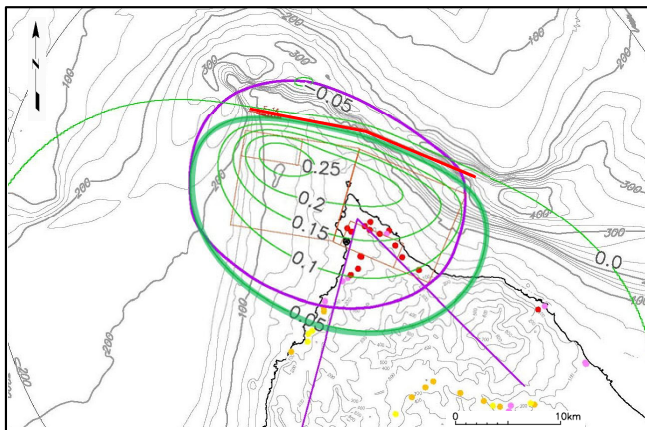
指標1-2 = 86%

1-1	1-2
○	○

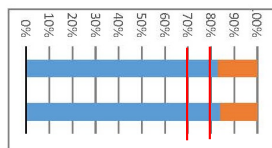


2-1	2-2
×	△

アスペリティ位置(西部:上端, 東部:下端)



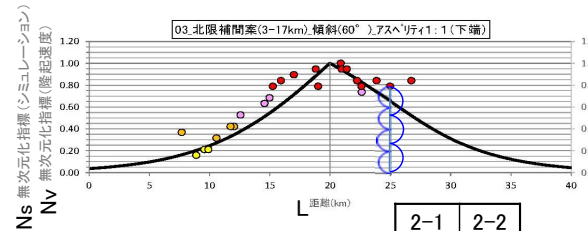
03北限補間 60° 下端



指標1-1 = 83%

指標1-2 = 84%

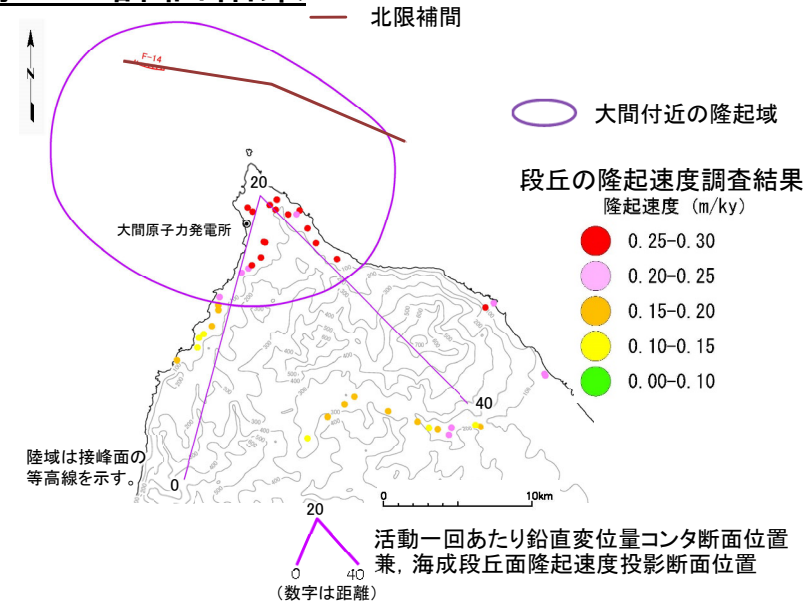
1-1	1-2
○	○



2-1	2-2
△	△

隆起シミュレーション凡例

- 隆起再現断層案の地表トレース
- 計算モデル
- 活動一回あたり鉛直変位量(m) (0.05m毎コンタ)



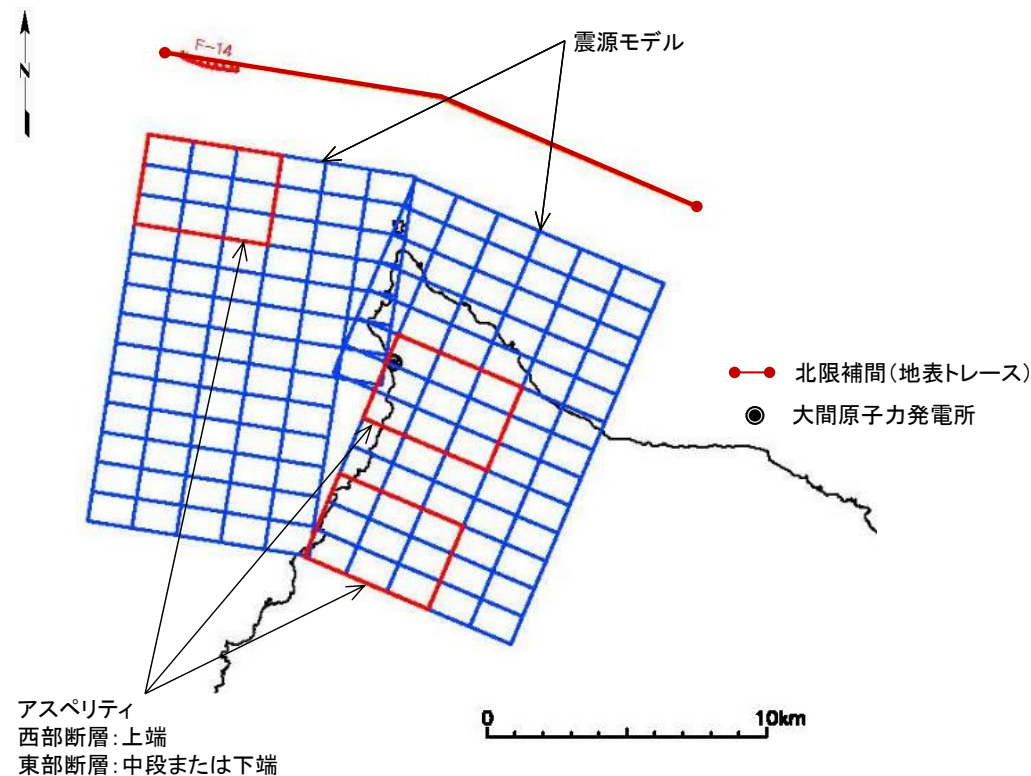
- 規模・配置の再現性(1-1及び1-2)は、おおむね良好。
- 隆起速度分布の再現性(2-1及び2-2)では、北端部の尖った頂部が顕著である。
- 東部断層アスペリティ中段のケースでは、実態との乖離が大きいため、「不可」とする。

(4) 「大間付近の隆起域」の再現性の評価(9/23) : 北限補間45° 断層諸元

- 「北限補間45°」について、断層諸元(断層形状等/震源特性パラメータ)を示す。

震源特性パラメータ

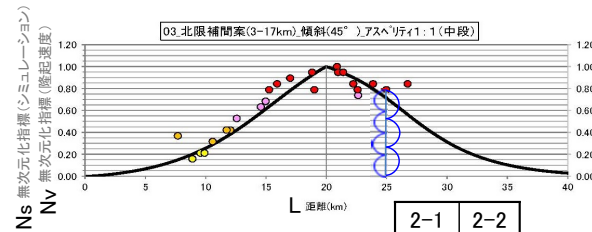
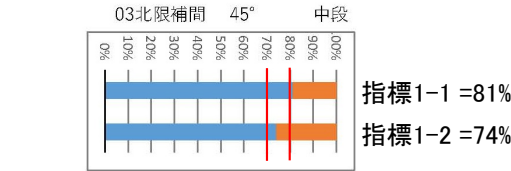
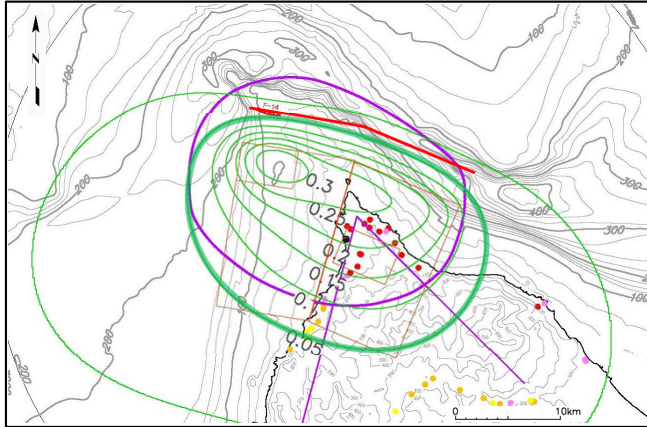
パラメータ項目		設定値
上端深さ		3km
走向		(西部断層)N99° E (东部断層)N113° E
傾斜角		45°
すべり角		90°
断層長さ	地表	(西部断層)10.0km (东部断層)10.0km
	断層上端	(西部断層)9.6km (东部断層)9.6km
	断層下端	(西部断層)7.9km (东部断層)7.9km
断層幅		19.8km
断層面積		347km ²
平均すべり量		0.6m
アスペリティ	面積	46km ²
	すべり量	1.1m
モーメントマグニチュード [*]		6.5



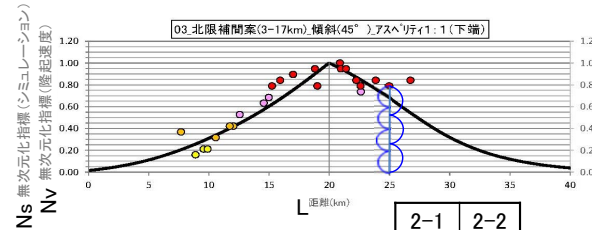
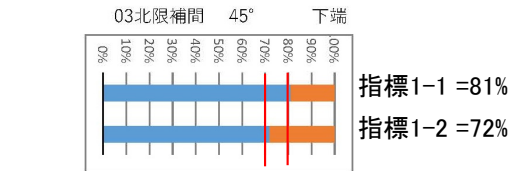
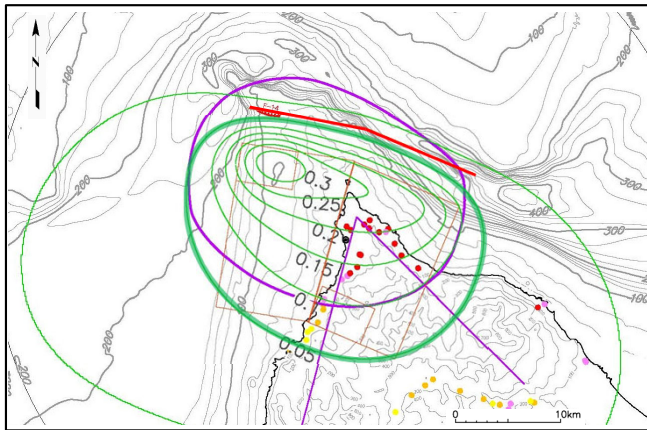
震源モデルの地表面投影図

(4)「大間付近の隆起域」の再現性の評価(10/23) : 北限補間45° 評価結果

アスペリティ位置(西部:上端, 東部:中段)

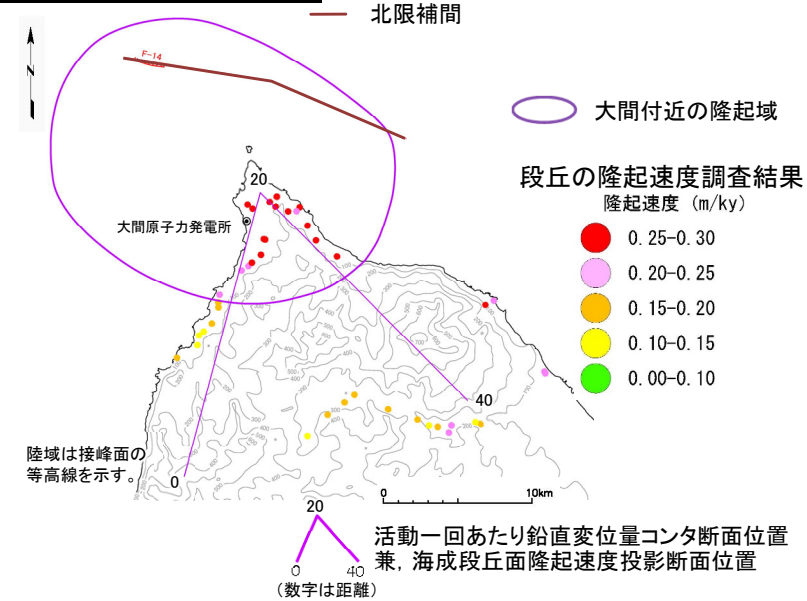


アスペリティ位置(西部:上端, 東部:下端)



隆起シミュレーション凡例

- 隆起再現断層の地表トレース
- 計算モデル
- 活動一回あたり鉛直変位量(m) (0.05m毎コンタ)



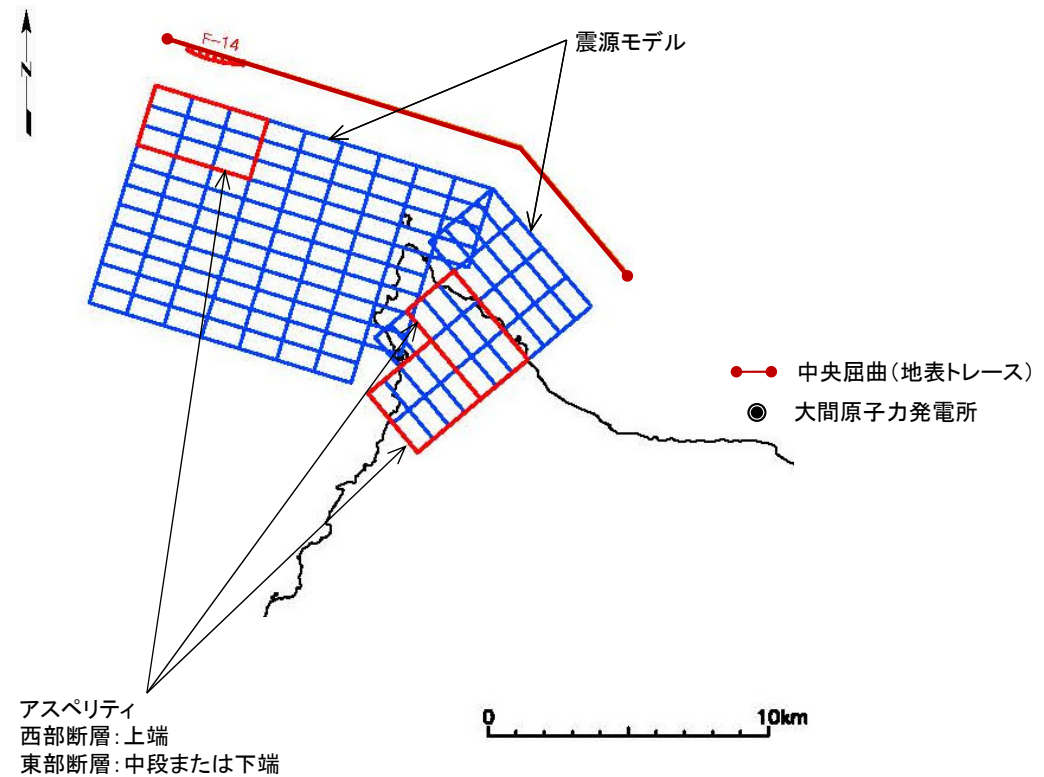
- 規模・配置の再現性(1-1及び1-2)は、やや南側に張り出し過ぎてている。
- 隆起速度分布の再現性(2-1及び2-2)では、北端部の尖った頂部が認められる。
- 実態との乖離が小さいため、「可」とする。

(4) 「大間付近の隆起域」の再現性の評価(11/23) : 中央屈曲60° 断層諸元

- 「中央屈曲60°」について、断層諸元(断層形状等/震源特性パラメータ)を示す。

震源特性パラメータ

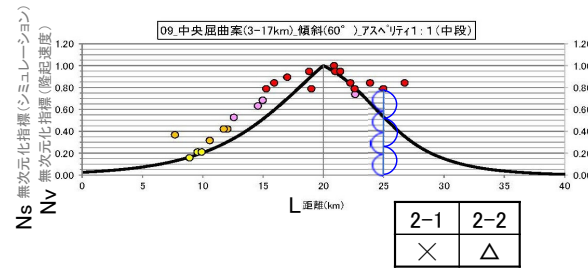
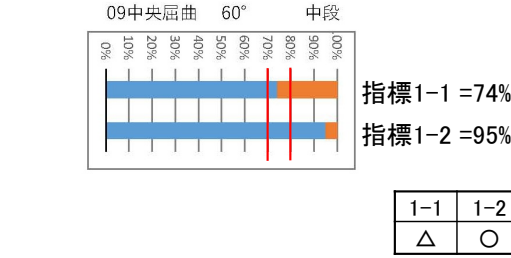
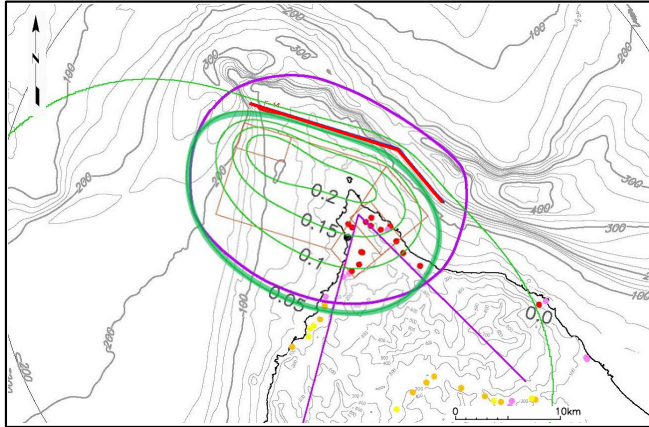
パラメータ項目		設定値
上端深さ		3km
走向		(西部断層) N107° E (東部断層) N140° E
傾斜角		60°
すべり角		90°
断層長さ	地表	(西部断層) 13.1km (東部断層) 6.0km
	断層上端	(西部断層) 12.6km (東部断層) 5.5km
	断層下端	(西部断層) 10.2km (東部断層) 3.1km
断層幅		16.2km
断層面積		254km ²
平均すべり量		0.5m
アスペリティ	面積	34km ²
	すべり量	1.0m
モーメントマグニチュード [*]		6.3



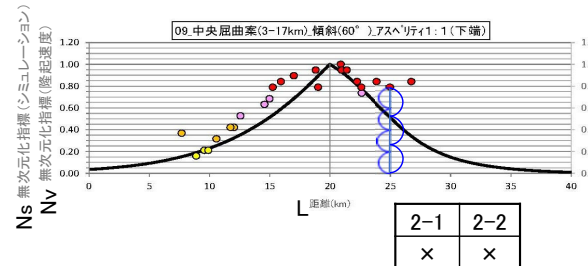
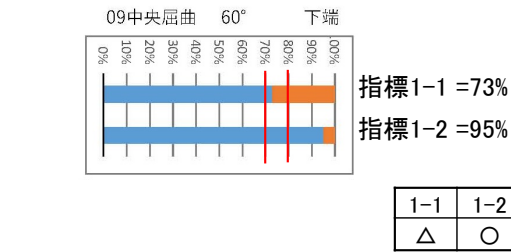
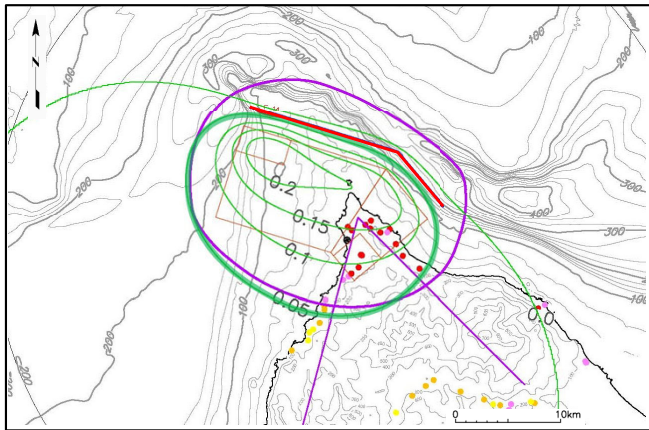
震源モデルの地表面投影図

(4)「大間付近の隆起域」の再現性の評価(12/23) : 中央屈曲60° 評価結果

アスペリティ位置(西部:上端, 東部:中段)

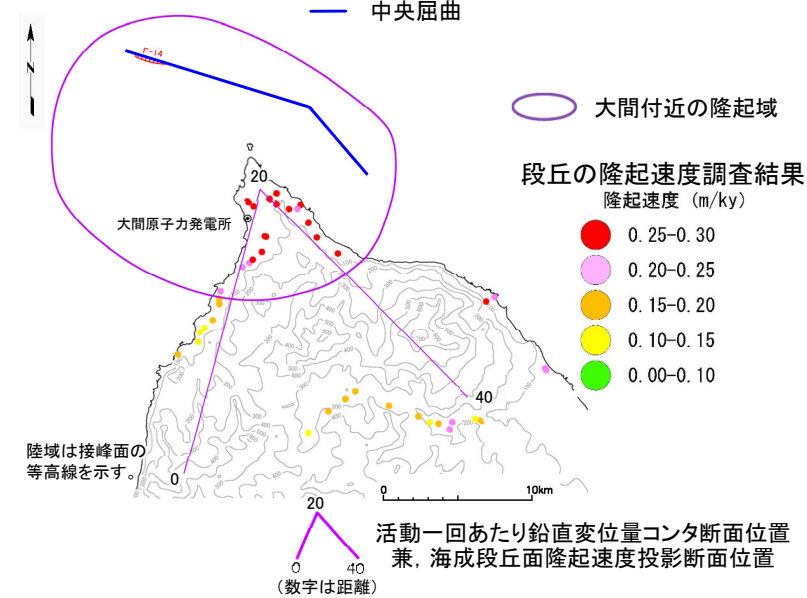


アスペリティ位置(西部:上端, 東部:下端)



隆起シミュレーション凡例

- 隆起再現断層案の地表トレース
- 計算モデル
- 活動一回あたり鉛直変位量(m) (0.05m毎コンタ)



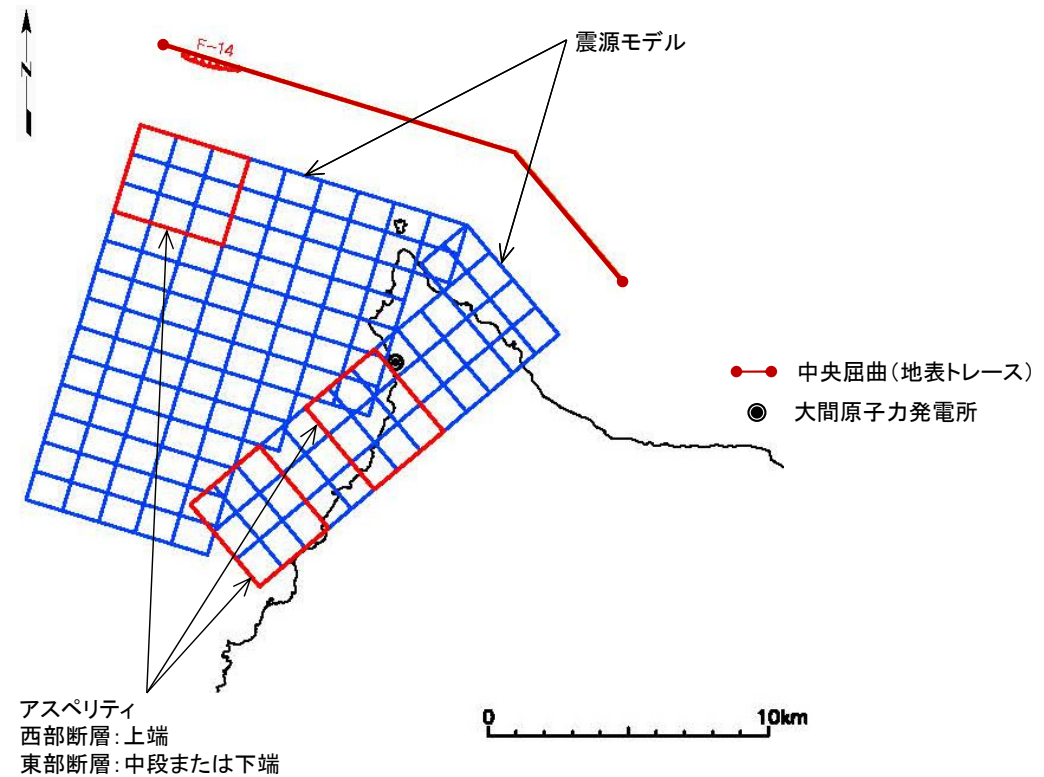
- 規模・配置の再現性(1-1及び1-2)は、北部の再現がやや不足している。
- 隆起速度分布の再現性(2-1及び2-2)では、北端部の尖った頂部が顕著である。
- 実態との乖離が大きいため、「不可」とする。

(4)「大間付近の隆起域」の再現性の評価(13/23) : 中央屈曲45° 断層諸元

- 「中央屈曲45°」について、断層諸元(断層形状等/震源特性パラメータ)を示す。

震源特性パラメータ

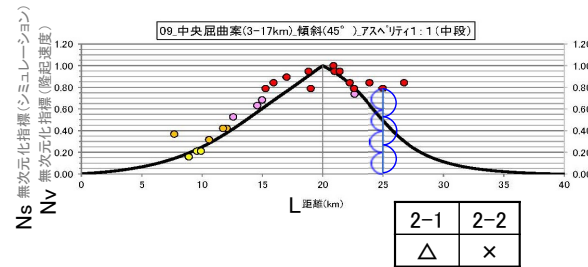
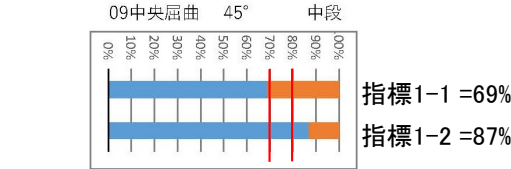
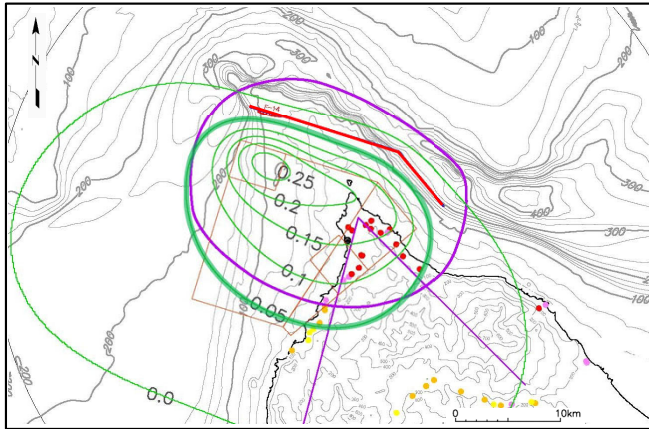
パラメータ項目		設定値
上端深さ		3km
走向		(西部断層)N107° E (東部断層)N140° E
傾斜角		45°
すべり角		90°
断層長さ	地表	(西部断層)13.1km (東部断層)6.0km
	断層上端	(西部断層)12.2km (東部断層)5.1km
	断層下端	(西部断層)8.1km (東部断層)1.0km
断層幅		19.8km
断層面積		261km ²
平均すべり量		0.5m
アスペリティ	面積	35km ²
	すべり量	1.0m
モーメントマグニチュード [*]		6.3



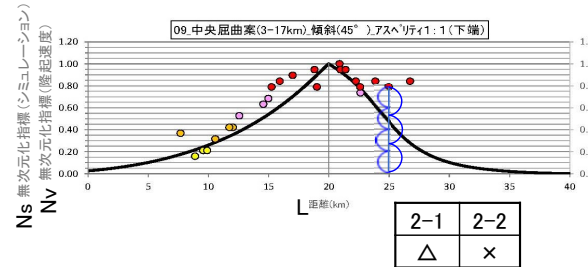
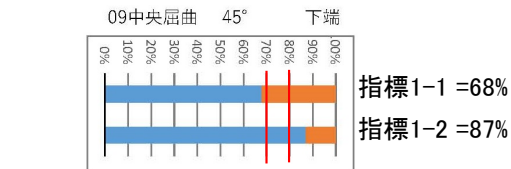
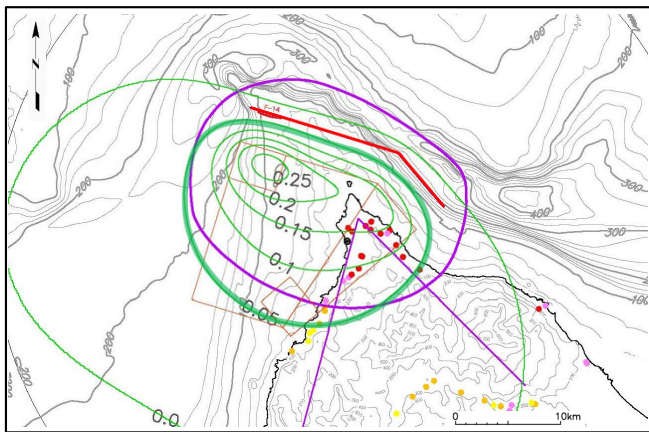
震源モデルの地表面投影図

(4) 「大間付近の隆起域」の再現性の評価(14/23) : 中央屈曲45° 評価結果

アスペリティ位置(西部:上端, 東部:中段)

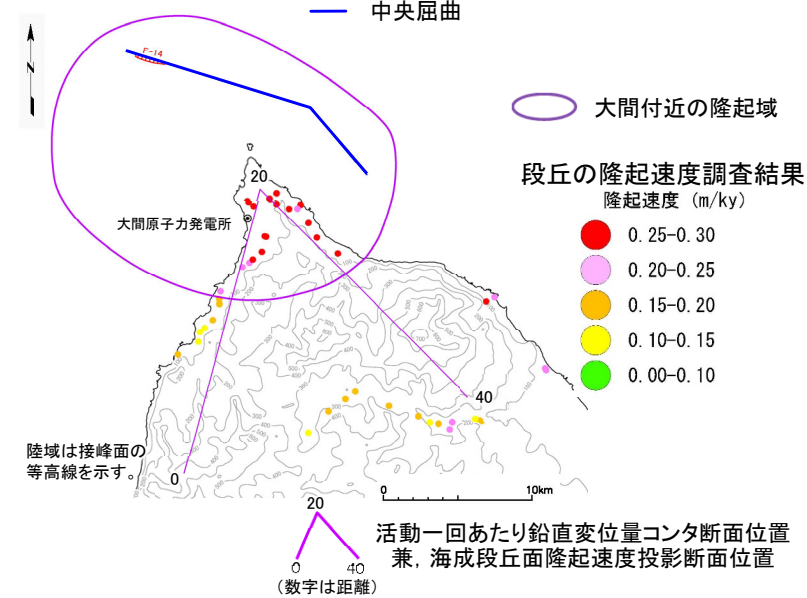


アスペリティ位置(西部:上端, 東部:下端)



隆起シミュレーション凡例

- 隆起再現断層面の地表トレース
- 計算モデル
- 活動一回あたり鉛直変位量(m) (0.05m毎コンタ)



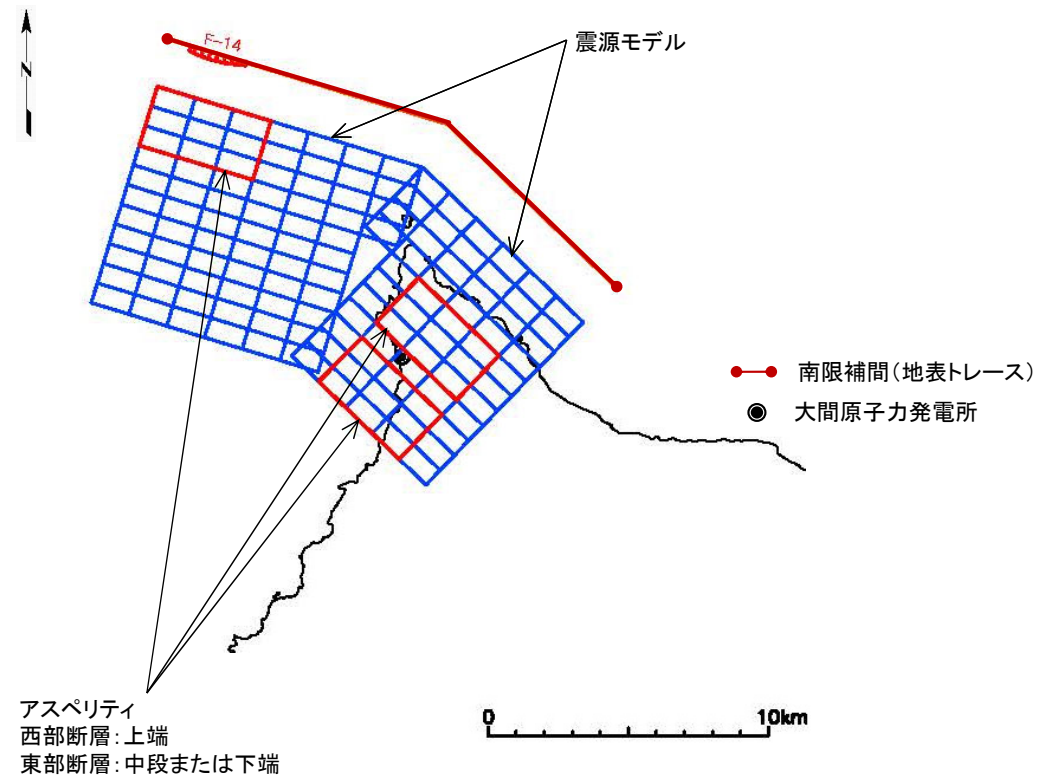
- 規模・配置の再現性(1-1及び1-2)は、北部の再現が不足している。
- 隆起速度分布の再現性(2-1及び2-2)では、北端部の尖った頂部が顕著である。
- 実態との乖離が大きいため、「不可」とする。

(4)「大間付近の隆起域」の再現性の評価(15/23) : 南限補間60° 断層諸元

- 「南限補間60°」について、断層諸元(断層形状等/震源特性パラメータ)を示す。

震源特性パラメータ

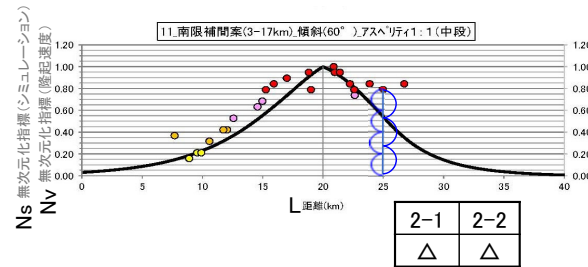
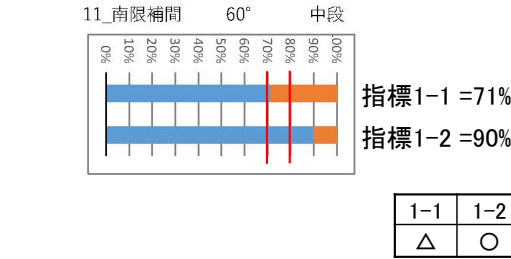
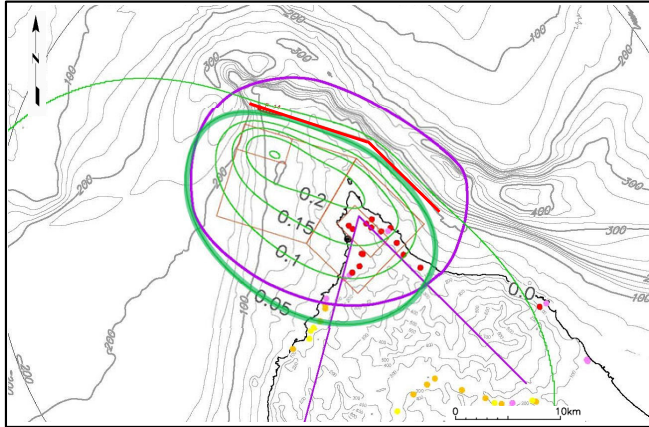
パラメータ項目		設定値
上端深さ		3km
走向		(西部断層)N107° E (東部断層)N134° E
傾斜角		60°
すべり角		90°
断層長さ	地表	(西部断層)10.3km (東部断層)8.4km
	断層上端	(西部断層)9.9km (東部断層)8.0km
	断層下端	(西部断層)7.9km (東部断層)6.0km
断層幅		16.2km
断層面積		258km ²
平均すべり量		0.5m
アスペリティ	面積	34km ²
	すべり量	1.0m
モーメントマグニチュード [*]		6.3



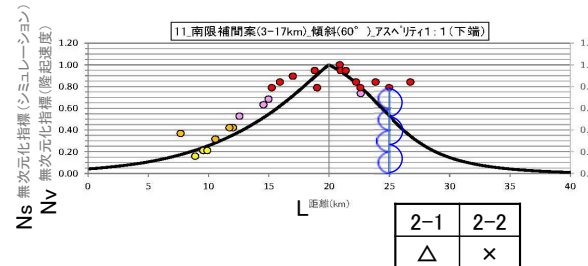
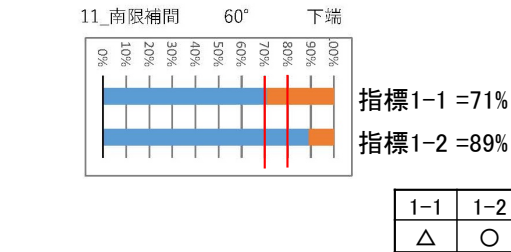
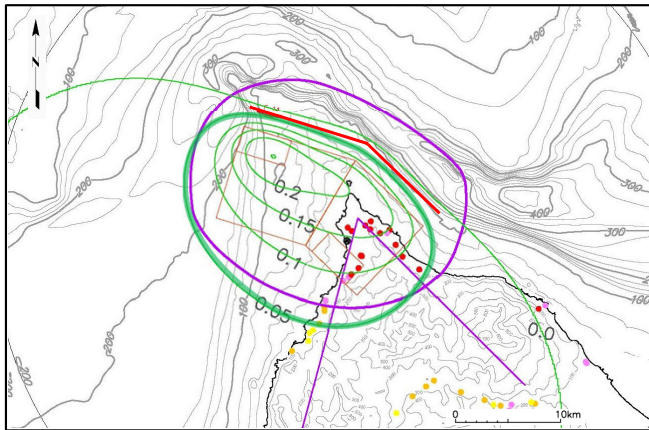
震源モデルの地表面投影図

(4)「大間付近の隆起域」の再現性の評価(16/23) : 南限補間60° 評価結果

アスペリティ位置(西部:上端, 東部:中段)

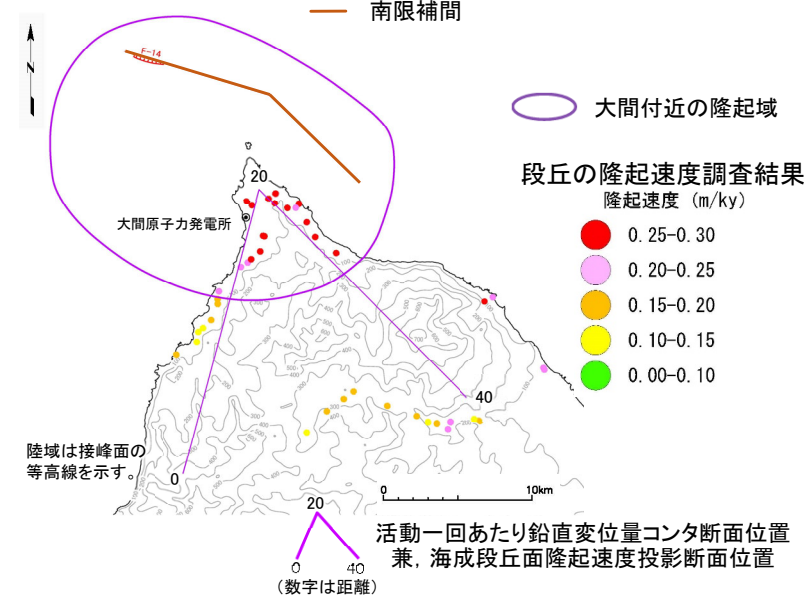


アスペリティ位置(西部:上端, 東部:下端)



隆起シミュレーション凡例

- 隆起再現断層案の地表トレース
- 計算モデル
- 活動一回あたり鉛直変位量(m) (0.05m毎コンタ)



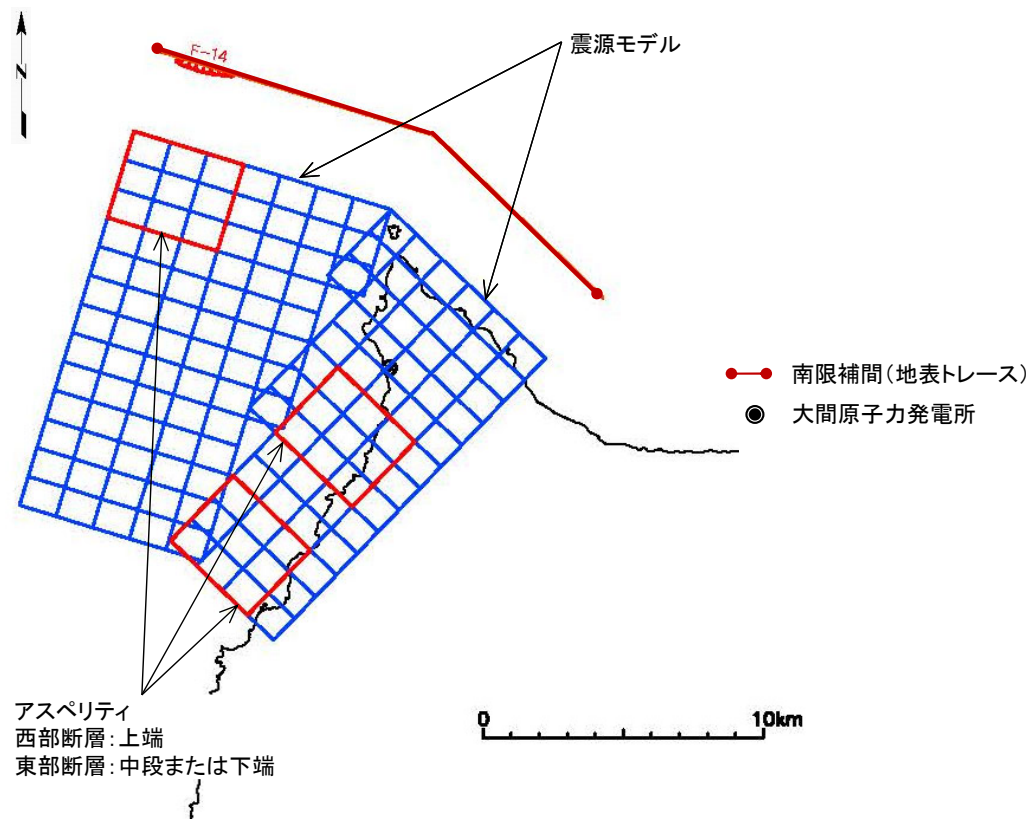
- 規模・配置の再現性(1-1及び1-2)は、北部の再現がやや不足している。
- 隆起速度分布の再現性(2-1及び2-2)では、北端部の尖った頂部が認められる。
- 東部断層アスペリティ下端ケースでは、実態との乖離が大きいため、「不可」とする。

(4) 「大間付近の隆起域」の再現性の評価(17/23) : 南限補間45° 断層諸元

- 「南限補間45°」について、断層諸元(断層形状等/震源特性パラメータ)を示す。

震源特性パラメータ

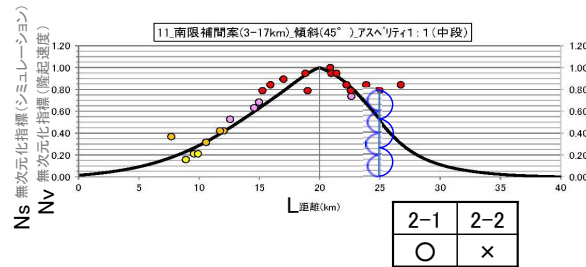
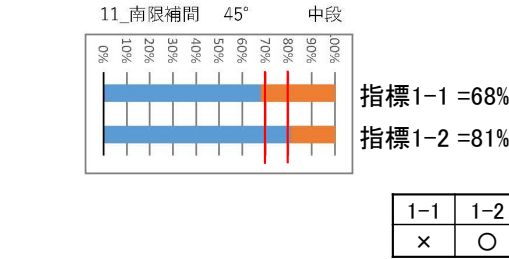
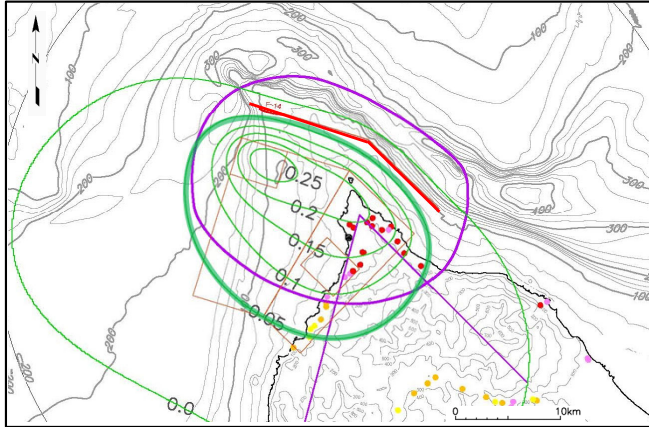
パラメータ項目		設定値
上端深さ		3km
走向		(西部断層)N107° E (東部断層)N134° E
傾斜角		45°
すべり角		90°
断層長さ	地表	(西部断層)10.3km (東部断層)8.4km
	断層上端	(西部断層)9.6km (東部断層)7.7km
	断層下端	(西部断層)6.2km (東部断層)4.3km
断層幅		19.8km
断層面積		275km ²
平均すべり量		0.5m
アスペリティ	面積	36km ²
	すべり量	1.0m
モーメントマグニチュード		6.4



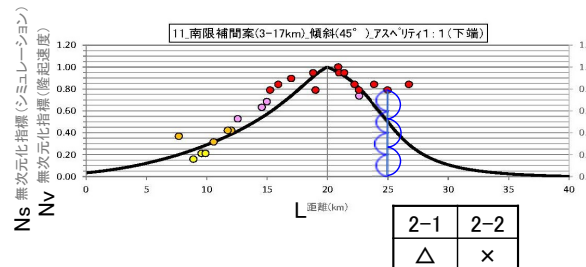
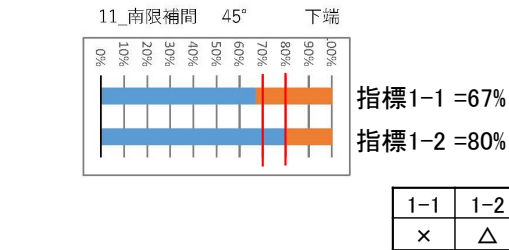
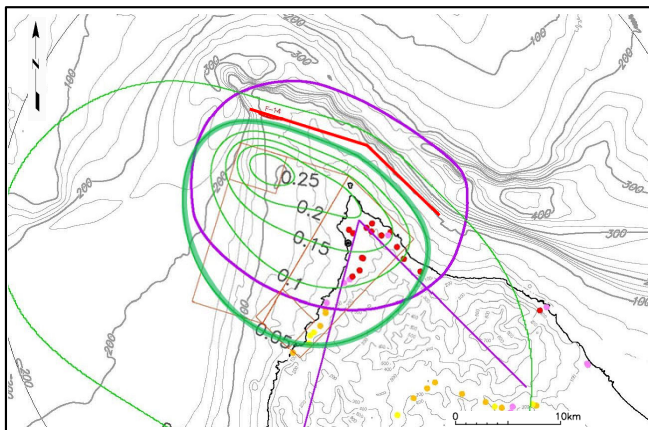
震源モデルの地表面投影図

(4)「大間付近の隆起域」の再現性の評価(18/23) : 南限補間45° 評価結果

アスペリティ位置(西部:上端, 東部:中段)

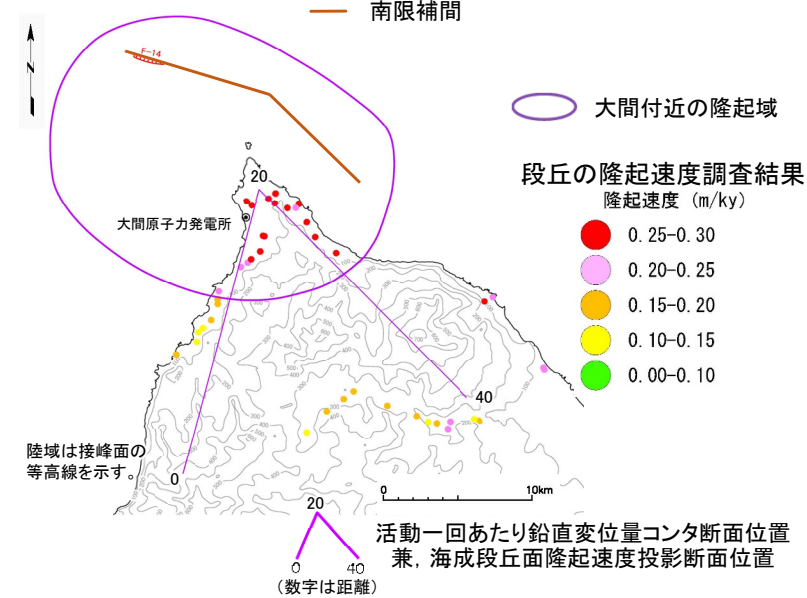


アスペリティ位置(西部:上端, 東部:下端)



隆起シミュレーション凡例

- 隆起再現断層の地表トレース
- 計算モデル
- 活動一回あたり鉛直変位量(m) (0.05m毎コンタ)



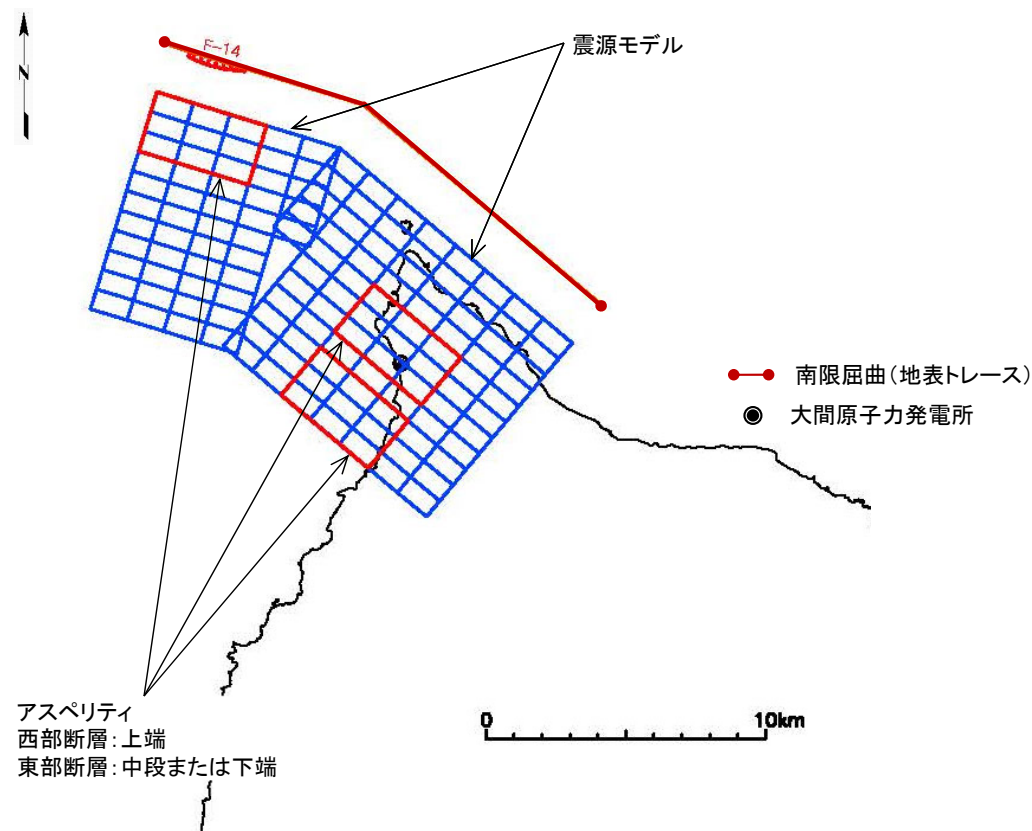
- 規模・配置の再現性(1-1及び1-2)は、北部の再現が不足し、南方にやや張り出している。
- 隆起速度分布の再現性(2-1及び2-2)では、東海岸での再現が悪い。
- 実態との乖離が大きいため、「不可」とする。

(4)「大間付近の隆起域」の再現性の評価(19/23) : 南限屈曲60° 断層諸元

- 「南限屈曲60°」について、断層諸元(断層形状等/震源特性パラメータ)を示す。

震源特性パラメータ

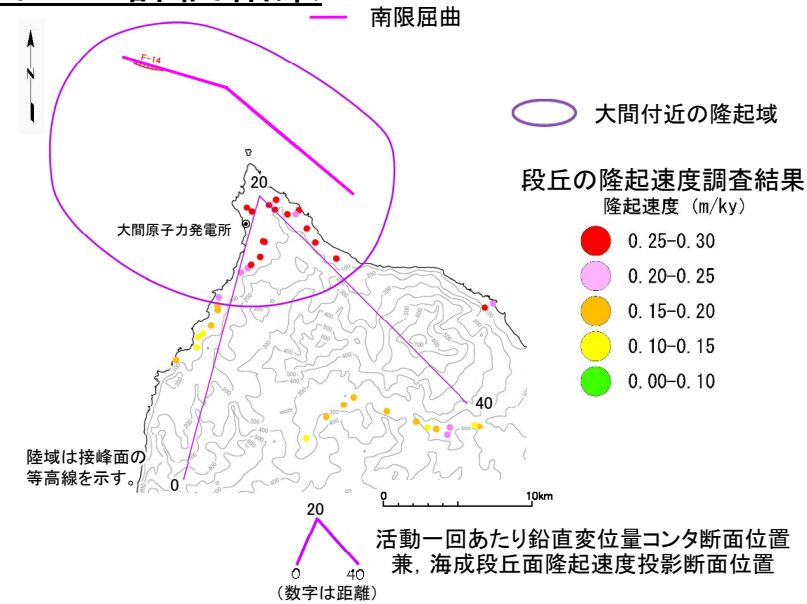
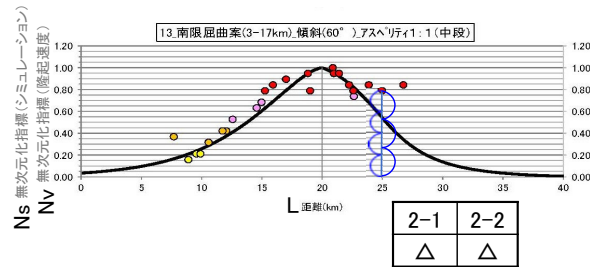
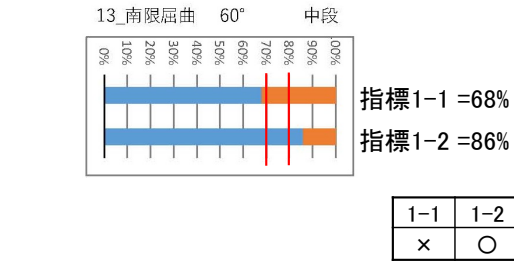
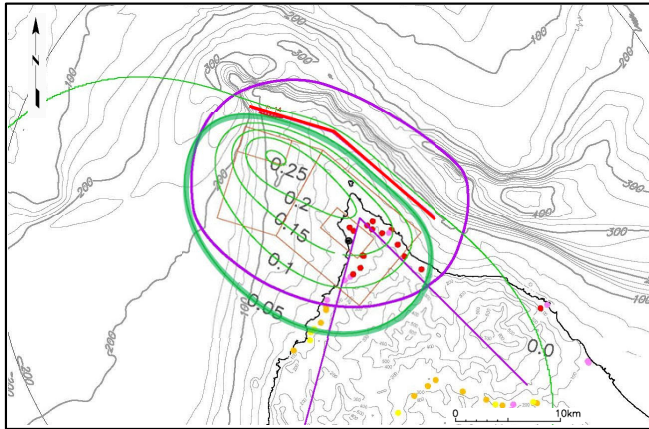
パラメータ項目		設定値
上端深さ		3km
走向		(西部断層)N107° E (東部断層)N130° E
傾斜角		60°
すべり角		90°
断層長さ	地表	(西部断層)7.2km (東部断層)11.2km
	断層上端	(西部断層)6.8km (東部断層)10.8km
	断層下端	(西部断層)5.2km (東部断層)9.2km
断層幅		16.2km
断層面積		260km ²
平均すべり量		0.5m
アスペリティ	面積	34km ²
	すべり量	1.0m
モーメントマグニチュード [*]		6.3



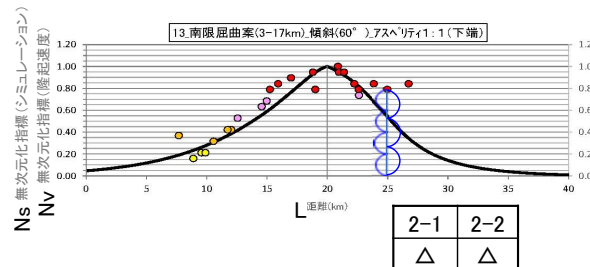
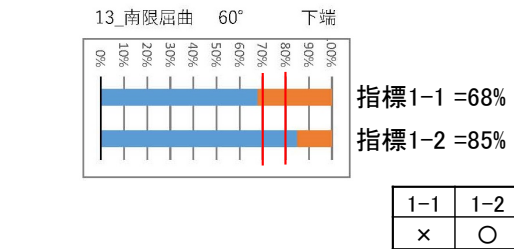
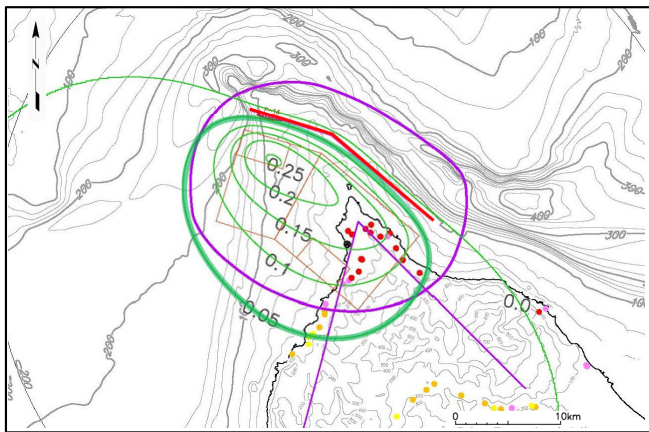
震源モデルの地表面投影図

(4)「大間付近の隆起域」の再現性の評価(20/23) : 南限屈曲60° 評価結果

アスペリティ位置(西部:上端, 東部:中段)



アスペリティ位置(西部:上端, 東部:下端)



隆起シミュレーション凡例

- 隆起再現断層の地表トレース
- 計算モデル
- 活動一回あたり鉛直変位量(m) (0.05m毎コンタ)

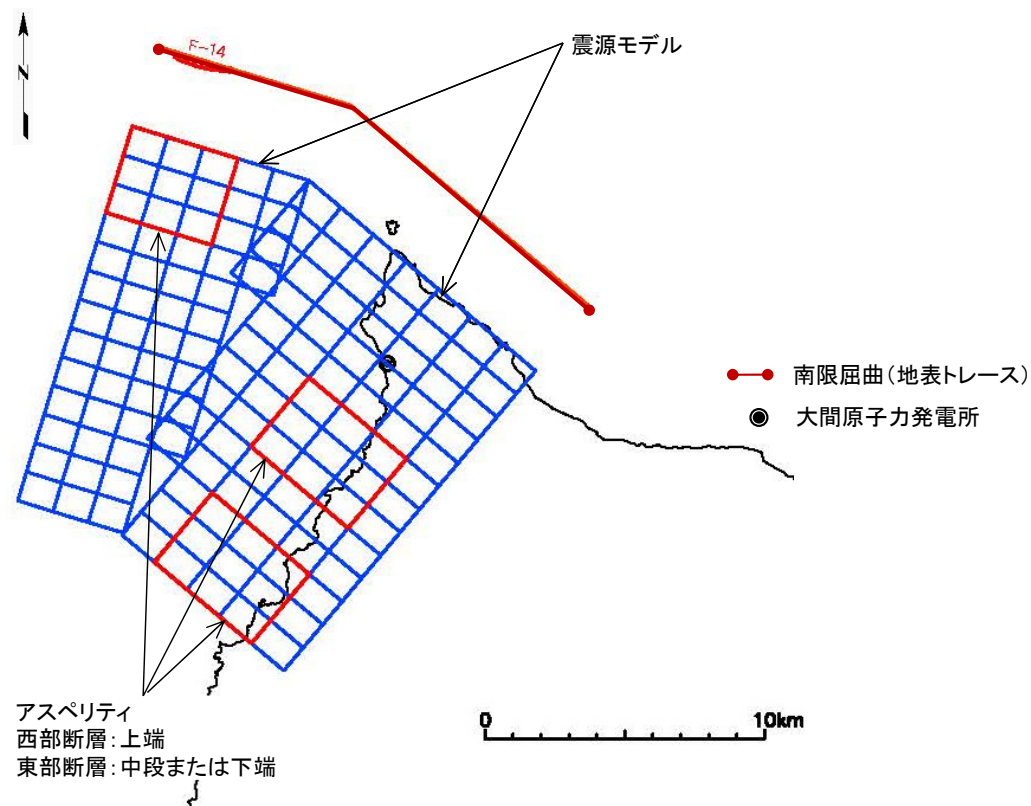
- 規模・配置の再現性(1-1及び1-2)は、北部の再現が不足している。
- 隆起速度分布の再現性(2-1及び2-2)では、東海岸での再現がやや悪い。
- 実態との乖離が大きいため、「不可」とする。

(4)「大間付近の隆起域」の再現性の評価(21/23) : 南限屈曲45° 断層諸元

- 「南限屈曲45°」について、断層諸元(断層形状等/震源特性パラメータ)を示す。

震源特性パラメータ

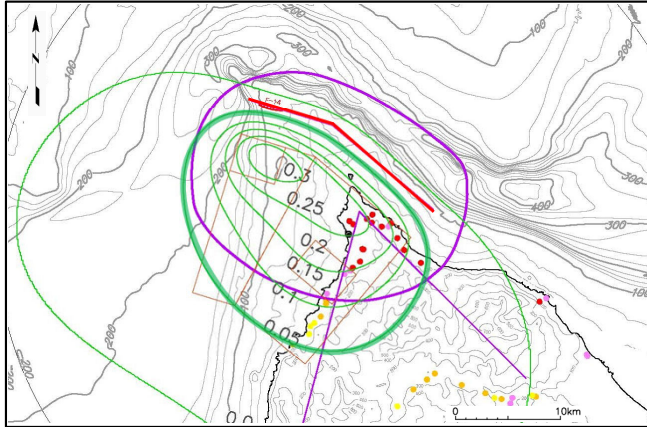
パラメータ項目		設定値
上端深さ		3km
走向		(西部断層)N107° E (東部断層)N130° E
傾斜角		45°
すべり角		90°
断層長さ	地表	(西部断層)7.2km (東部断層)11.2km
	断層上端	(西部断層)6.6km (東部断層)10.6km
	断層下端	(西部断層)3.7km (東部断層)7.7km
断層幅		19.8km
断層面積		284km ²
平均すべり量		0.5m
アスペリティ	面積	38km ²
	すべり量	1.0m
モーメントマグニチュード		6.4



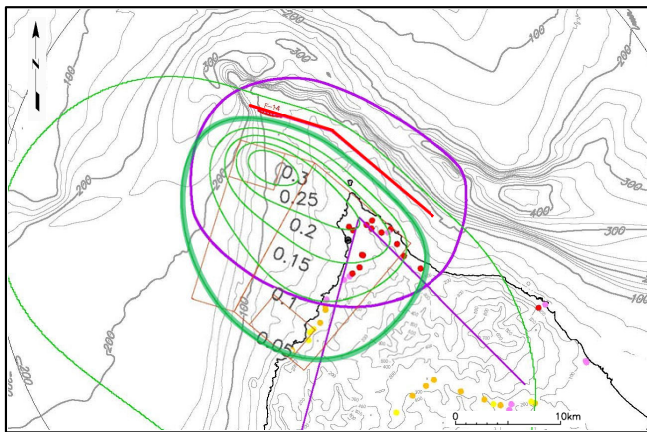
震源モデルの地表面投影図

(4)「大間付近の隆起域」の再現性の評価(22/23) : 南限屈曲45° 評価結果

アスペリティ位置(西部:上端, 東部:中段)



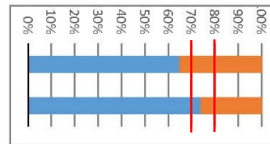
アスペリティ位置(西部:上端, 東部:下端)



隆起シミュレーション凡例

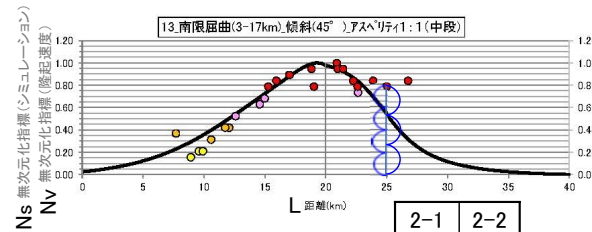
- 隆起再現断層案の地表トレース
- 計算モデル
- 活動一回あたり鉛直変位量(m) (0.05m毎コンタ)

13_南限屈曲 45° 中段



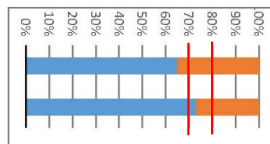
指標1-1 = 65%
指標1-2 = 74%

1-1	1-2
×	△



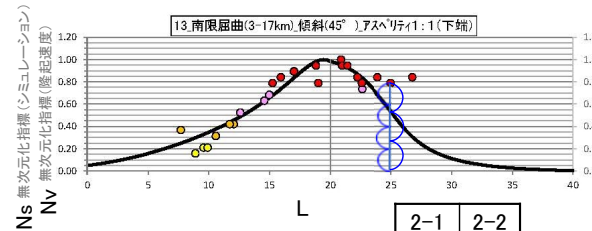
2-1	2-2
○	△

13_南限屈曲 45° 下端

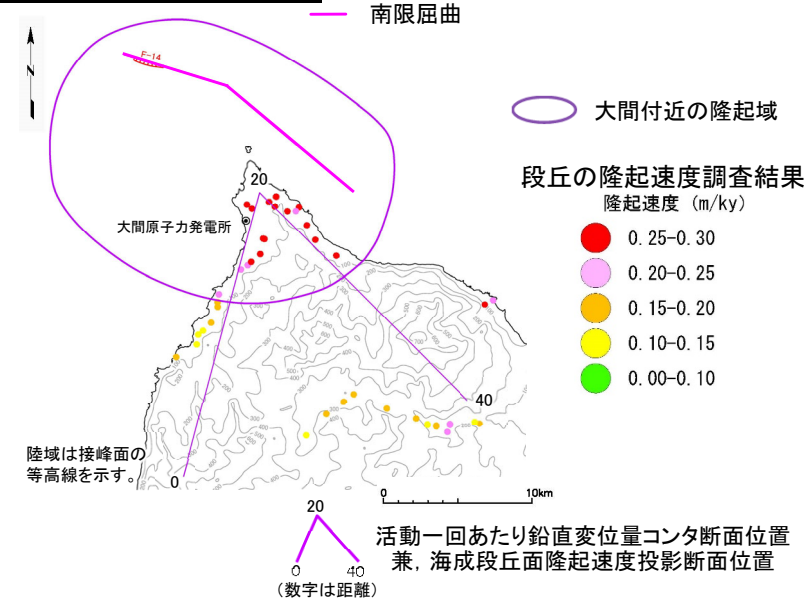


指標1-1 = 65%
指標1-2 = 73%

1-1	1-2
×	△

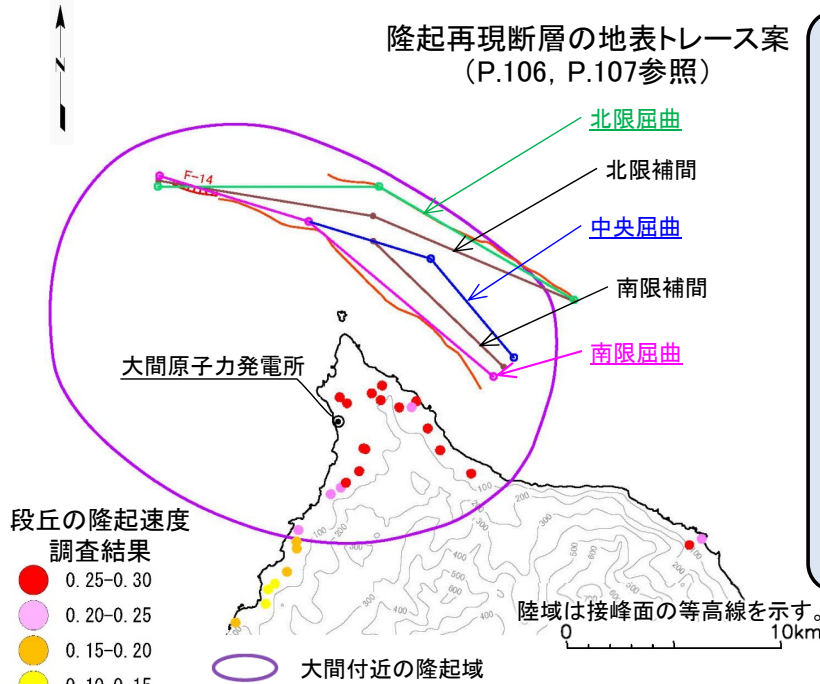


2-1	2-2
○	△



- 規模・配置の再現性(1-1及び1-2)は、北部の再現が不足し、南方にやや張り出し過ぎている。
- 隆起速度分布の再現性(2-1及び2-2)では、東海岸での再現がやや悪い。
- 実態との乖離が大きいため、「不可」とする。

(4)「大間付近の隆起域」の再現性の評価(23/23) : 評価結果



- 基本となる地表トレース3条, 補間的な地表トレース2条について, 傾斜(60°, 45°)とアスペリティ位置(東部: 中段, 下端)を変えた震源モデルによる, 「大間付近の隆起域」における「規模・配置の再現性」及び「隆起速度分布の再現性」を評価した結果を示す。
- 全指標で「○(2割の不一致)」となる震源モデルが無いため, 「△(3割の不一致)」まで許容することとし, △に達しない指標「×」がある震源モデルは, 「大間付近の隆起域」の再現性が無いものと評価(不可)する。
- 再現性があると評価(可)する震源モデルは, 以下の7モデルとなる。
 (東部断層のアスペリティ: 中段) (東部断層のアスペリティ: 下端)
 断層傾斜角60° : 南限補間 断層傾斜角60° : 北限屈曲, 北限補間
 断層傾斜角45° : 北限屈曲, 北限補間 断層傾斜角45° : 北限屈曲, 北限補間
- 指標毎の評価結果では, 「北限屈曲」の再現性が全体的に良い。
- 地質構造に基づく基本的な震源モデル候補の中で再現性があるのは, 「北限屈曲, 傾斜角60°, 東部アスペリティ下端」のみとなる。

指標毎の評価結果

傾斜	アスペリティ位置 (西部: 上端)	北限屈曲				北限補間				中央屈曲				南限補間				南限屈曲			
		1-1	1-2	2-1	2-2	1-1	1-2	2-1	2-2	1-1	1-2	2-1	2-2	1-1	1-2	2-1	2-2	1-1	1-2	2-1	2-2
60°	(東部: 中段)	○	○	×	×	○	○	×	△	△	○	×	△	△	○	△	△	×	○	△	△
	(東部: 下端)	○	○	△	△	○	○	△	△	△	○	×	×	△	○	△	×	×	○	△	△
45°	(東部: 中段)	○	○	△	△	○	△	△	△	×	○	△	×	×	○	○	×	×	△	○	△
	(東部: 下端)	○	○	△	△	○	△	△	△	×	○	△	×	×	△	△	×	×	△	○	△

再現性の評価まとめ

傾斜	アスペリティ位置 (西部: 上端)	地表トレース				
		北限屈曲	北限補間	中央屈曲	南限補間	南限屈曲
60°	(東部: 中段)	不可	不可	不可	可	不可
	(東部: 下端)	可	可	不可	不可	不可
45°	(東部: 中段)	可	可	不可	不可	不可
	(東部: 下端)	可	可	不可	不可	不可

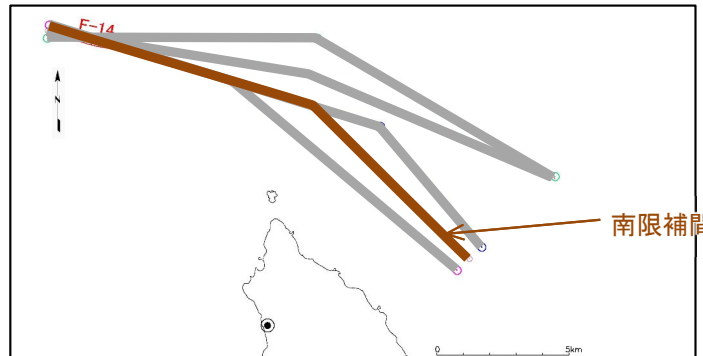
: 地質構造に基づく基本的な震源モデル候補
 : 認識論的不確かさとして設定する震源モデル候補

(5) 隆起再現断層の選定(1/3): 平面

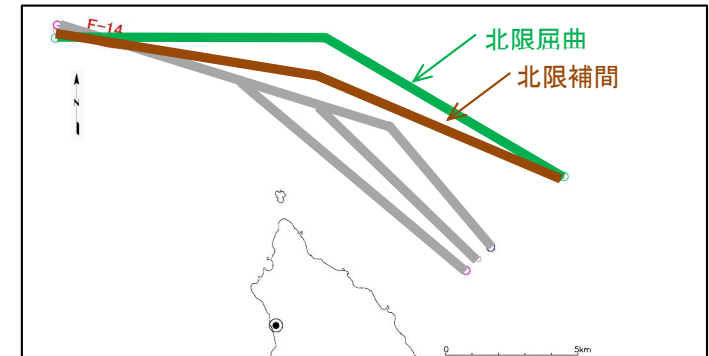
隆起再現断層の地表トレース計5案について、傾斜やアスペリティ位置を変えた震源モデルを設定した。「大間付近の隆起域」における地形発達過程の再現性が担保されるものを隆起再現断層として選定し、下記7震源モデルとなった。

- ▶ 東部断層のアスペリティを中段に配置した場合
南限補間60°，
北限屈曲45°，北限補間45°
- ▶ 東部断層のアスペリティを下端に配置した場合
北限屈曲60°，北限補間60°，
北限屈曲45°，北限補間45°
- 45°傾斜の震源モデルは、東部のアスペリティの中段配置及び下端配置共に、隆起域が南方に大きく広がり平面的な再現性が悪くなるため、隆起再現断層は北寄りに選定される。
- 60°傾斜の震源モデルは、東部アスペリティの中段配置では、隆起域の中心が尖った頂部となり断面形状の再現性が悪くなるため、南限補間のみが選定される。下端配置では、45°傾斜と似た傾向となり、隆起再現断層は北寄りに選定される。

隆起再現断層の地表トレース
 「大間付近の隆起域」の再現性がある震源モデルの設定が不可能な地表トレース

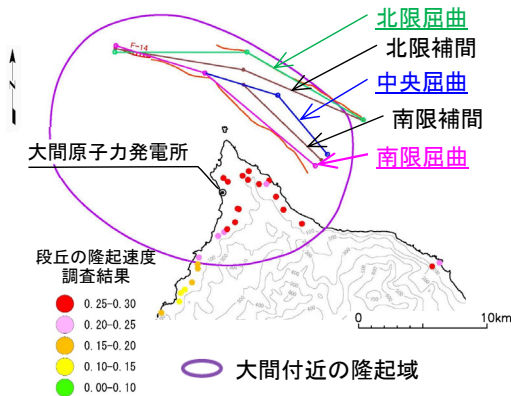


断層傾斜角60°の隆起再現断層

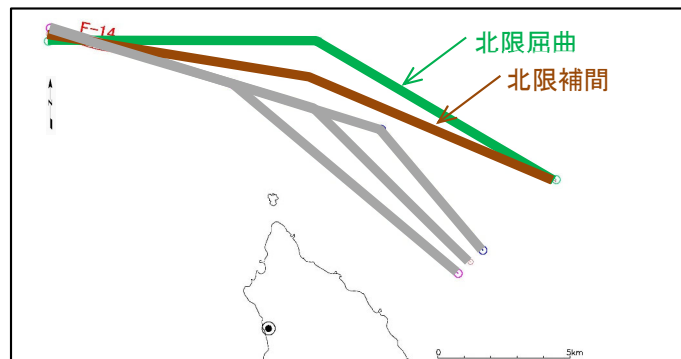


断層傾斜角45°の隆起再現断層

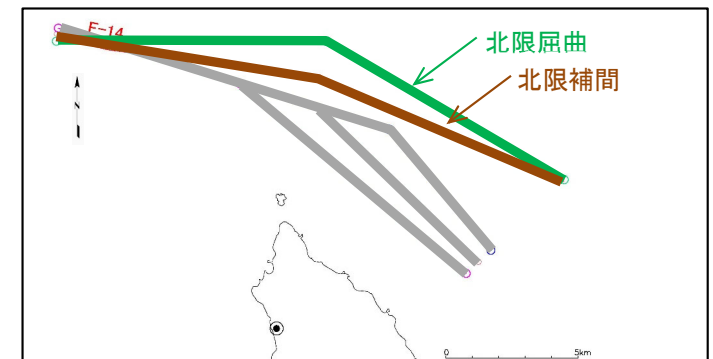
東部断層のアスペリティを中段に配置した場合の隆起再現断層の選定結果



隆起再現断層の地表トレース案
(P.106, P.107参照)



断層傾斜角60°の隆起再現断層



断層傾斜角45°の隆起再現断層

東部断層のアスペリティを下端に配置した場合の隆起再現断層の選定結果

(5) 隆起再現断層の選定(2/3): 走向(位置)及び断層諸元一覧

再現性の指標で「△(3割の不一致)」にさえ達しない指標がある震源モデルを除外し、残りを「大間付近の隆起域」における地形発達過程の再現性が担保される震源モデルとして、下記7つの震源モデルを隆起再現断層として選定する。

- 地質構造に基づく基本的な震源モデル候補(基本となる地表トレース(P.106参照)の走向(位置)及び断層諸元(P.108参照)の震源モデル)のうち、再現性が認められるものは、「北限屈曲、傾斜角60°・東部アスペリティ下端」のみとなる。
- 他の震源モデルは、走向(位置)の不確かさ、アスペリティ深さの不確かさ、傾斜角の不確かさを少なくとも1つ考慮した震源モデルとなっている。

隆起再現断層の走向(位置)及び断層諸元

震源モデルの種類	地表トレースの走向(位置)	モデル番号	西部断層				東部断層				アスペリティ面積比 西部:東部	地表長さ合計(km)	幅(km)	傾斜角(角度°:向き)	交差角(°)
			地表長さ(km)	走向(位置)	アスペリティ位置		地表長さ(km)	走向(位置)	アスペリティ位置						
					水平	深さ			水平	深さ					
地質構造に基づく基本的な震源モデル	北限屈曲	1	10.2	N90°E	F-14断層直下	上端	10.4	N120°E	敷地直下	下端	1:1	20.6	16.2	60:S・SW	30
認識論的不確かさとして設定する震源モデル	北限屈曲	2	10.2	N90°E	F-14断層直下	上端	10.4	N120°E	敷地直下	下端	1:1	20.6	19.8	45:S・SW	30
		3	10.2	N90°E	F-14断層直下	上端	10.4	N120°E	敷地直下	中段	1:1	20.6	19.8	45:S・SW	30
	北限補間	4	10.0	N99°E	F-14断層直下	上端	10.0	N113°E	敷地直下	下端	1:1	20.0	16.2	60:SW	14
		5	10.0	N99°E	F-14断層直下	上端	10.0	N113°E	敷地直下	下端	1:1	20.0	19.8	45:SW	14
		6	10.0	N99°E	F-14断層直下	上端	10.0	N113°E	敷地直下	中段	1:1	20.0	19.8	45:SW	14
	南限補間	7	10.3	N107°E	F-14断層直下	上端	8.4	N134°E	敷地直下	中段	1:1	18.7	16.2	60:SW	27

 : 認識論的不確かさとして考慮するパラメータ※1

※1 : 隆起シミュレーションの際に不確かさの候補として設定した走向(位置)及び断層諸元(P.109参照)のパラメータのうち、「大間付近の隆起域」における地形発達過程の再現性が確認された組合せを、震源モデルの認識論的不確かさとして考慮することとする。

5. 隆起再現断層による地震の地震動評価

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(34/34)

(5) 隆起再現断層の選定(3/3): 選定のまとめ

- 隆起再現断層は、敷地周辺の累積的な変位への対応として、地形・地質構造の調査では認められない活断層を仮想的に設定するものである。
- 隆起再現断層を震源として考慮する活断層として設定するために実施した調査や設定の方法について、以下に示す。

○前提(地質・地質構造調査の審査ガイドへの対応)

- 下北半島西部には、北端部付近を中心に海岸隆起によって累積的な変位が認められることから、「敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド」に基づき、累積的な変位(隆起)を説明する適切な地殻変動を検討することとした。^{*1}

○追加調査

調査内容	隆起の起因となる震源断層を想定し、文献調査、変動地形学的調査、地表地質調査、弾性波探査、海上音波探査及び重力異常(ブーゲー異常)の調査を行った。また、隆起の実態を把握するため、陸域においては、海成段丘調査、河成段丘調査及び海岸浸食地形調査を実施し、中期から後期更新世以降の隆起傾向を把握した。海域については、堆積層の地盤変動判読を実施し、中新世末期以降の隆起傾向を把握した。さらに、東北地方の広域的な隆起傾向及び地震活動に伴うローカルな隆起傾向との比較を行った。
調査結果	下北半島西部を隆起させるような活断層は認められず、また、下北半島西部周辺には海域の沈降域から陸域の隆起域に至る広域的で緩やかな地殻変動が認められ、活断層を示唆するローカルな隆起は認められなかった。広域的で緩やかな地殻変動は、断層を伴わない非弾性的な変形による変動と判断される。

○保守性の考慮

- 耐震設計上の保守性を考慮し、広域的で緩やかな地殻変動の一部に仮想的な隆起域(以下「大間付近の隆起域」という。)を設定し、その隆起域を説明しうる仮想的な断層(以下「隆起再現断層」という。)を、震源として考慮する活断層として想定し、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動の対象とすることとした。

○「大間付近の隆起域」の設定方法

- 陸域では火山フロント前弧側の隆起速度を超える領域を、海域では後期更新統相当層(B₁層)に堆積時の傾動が認められる領域を、それぞれ相対的に隆起が速い(傾動が大きい)領域と評価し、これを仮想的な隆起域として「大間付近の隆起域」を設定した。

○「隆起再現断層の想定領域」の設定方法

- 「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」(以降、「審査ガイド」という。)による「震源として考慮する活断層」の条件を満たすため、地表付近の破壊の痕跡としてF-14断層を選定し、これを起点として隆起再現断層を設定することとした。
- 審査ガイドによる「震源として想定する断層の形状等の評価」の条件に準じるため、F-14断層の東方延長に分布する後期更新世以降の活動が認められない古い地質構造を、隆起再現断層に関連する構造とみなして、その分布領域で隆起再現断層を想定することとした。この領域を「隆起再現断層の想定領域」とした。

<これまで(第983回審査会合まで)のご説明>

○「隆起再現断層」の選定

- 「隆起再現断層の想定領域」の東部には断層が分布せず、また想定領域内で唯一認められるF-14断層の断層諸元は隆起再現断層に求められる断層諸元とは調和しないことから、地質調査結果によって隆起再現断層の走向(位置)及び断層諸元を確定することができない。そこで、走向(位置)の不確かさ、断層諸元の不確かさをあらかじめ考慮して複数の震源モデルを設定し、隆起シミュレーションによって「大間付近の隆起域」における地形発達過程の再現性を確認し、隆起再現断層を選定する。

○選定結果

- 走向(位置)及び断層諸元の不確かさにより20の震源モデルを設定し、地形発達過程の再現性を確認した結果、「地質構造に基づく基本的な震源モデル」が1つ、「認識論的不確かさとして設定する震源モデル」が6つの、合計7つの震源モデルが、「大間付近の隆起域」を説明しうる仮想的な隆起再現断層となる。

<本日のご説明>

※1:「審査ガイド」2.2解説(5):“顕著な海岸隆起によって累積的な変位が認められる地域では、弾性波探査によって断層が確認されない場合でも、これをもって直ちに活断層の存在を否定せず、累積的な変位を説明する適切な地殻変動を検討する必要がある。”

5.4 地震動評価の震源モデルの設定(1/12)



実施手順詳細

実施手順

5.1 隆起再現断層の想定領域の設定

- 震源モデルの制約条件の検討

5.2 地震発生層の設定

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

- 隆起シミュレーション

5.4 地震動評価の震源モデルの設定

- 基本ケースの震源モデルの選定
- 不確かさの考慮

5.5 地震動評価手法, 5.6 地震動評価結果

- 応答スペクトルに基づく地震動評価
- 震源モデルを用いた地震動評価

地震動評価の震源モデルの設定の手順

(1) 敷地に及ぼす影響が大きい震源モデルの選定

隆起再現断層として選定した7つの震源モデルのうち、敷地に及ぼす影響が大きい震源モデルを基本ケースに選定する。

(2) 基本ケースの震源モデルの設定

基本ケースの震源モデルの各パラメータの考え方を整理する。

(3) 考慮する不確かさの整理に基づく検討ケースの設定

不確かさケースは、短周期レベルの不確かさを考慮する。

(4) 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パラメータを示す。

5.4 地震動評価の震源モデルの設定(2/12)

(1) 敷地に及ぼす影響が大きい震源モデルの選定(1/5)

基本方針

- 隆起再現断層として選定した7つの震源モデル(P.135参照)は、地質構造に基づく基本的な震源モデルと、走向(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少なくとも1つ考慮した震源モデルで構成される。
- 地震動評価においては、7つの震源モデルのうち敷地に及ぼす影響が大きい震源モデルを、あらかじめ不確かさを織り込んだ基本ケースとして選定する。
- 基本ケースは、震源モデルによる相違が大きい「東部断層のアスペリティの短周期レベル A_{asp} 」(以下「 A_{asp} 」という。)&「東部断層のアスペリティの中心から敷地までの距離 X_{asp} 」(以下「 X_{asp} 」という。)を用いて選定する。

基本ケースの選定の指標 A_{asp} 、 X_{asp} の考え方

震源モデルの相違

- 隆起シミュレーションに用いた震源モデルは、アスペリティモデルであるため、アスペリティの位置に着目して、震源モデルの相違を検討する。
- 西部断層は、F-14断層の痕跡に合わせてアスペリティを配置しているため、震源モデルによらずアスペリティの位置はおおむね同じである。
- 一方、東部断層は、敷地に近く位置し、震源モデルによってアスペリティの位置が異なるため、敷地への影響が異なる。



➤ したがって、基本ケースの選定に当たっては、東部断層のアスペリティの震源モデルによる相違を比較する。



敷地に及ぼす影響の評価

地震基盤における地震動は、震源特性と伝播経路特性の積で評価される。

ここでは、両者の代表的なパラメータに着目し、各震源モデルの敷地に及ぼす影響を相対的に比較する。

- 震源特性は、主要な原子力施設の固有周期域に影響を与える、加速度震源スペクトルのフラットレベルである短周期レベル(A_{asp})で代表させる。 A_{asp} は、強震動予測レシピによれば、アスペリティの面積 S_{asp} 、等価半径 r 、アスペリティの応力降下量 $\Delta\sigma_a$ 、S波速度 V_s を用いて下式で表わされる。

$$A_{asp} = 4\pi r \Delta\sigma_a V_s^2, r = (S_{asp}/\pi)^{0.5}, \Delta\sigma_a = 17.5\text{MPa}, V_s = 3.4\text{km/s} \quad (\text{P.147参照})$$
- 伝播経路特性は、幾何減衰と非弾性減衰のうち、距離に対する影響が大きい幾何減衰($1/X_{asp}$)で代表させる。

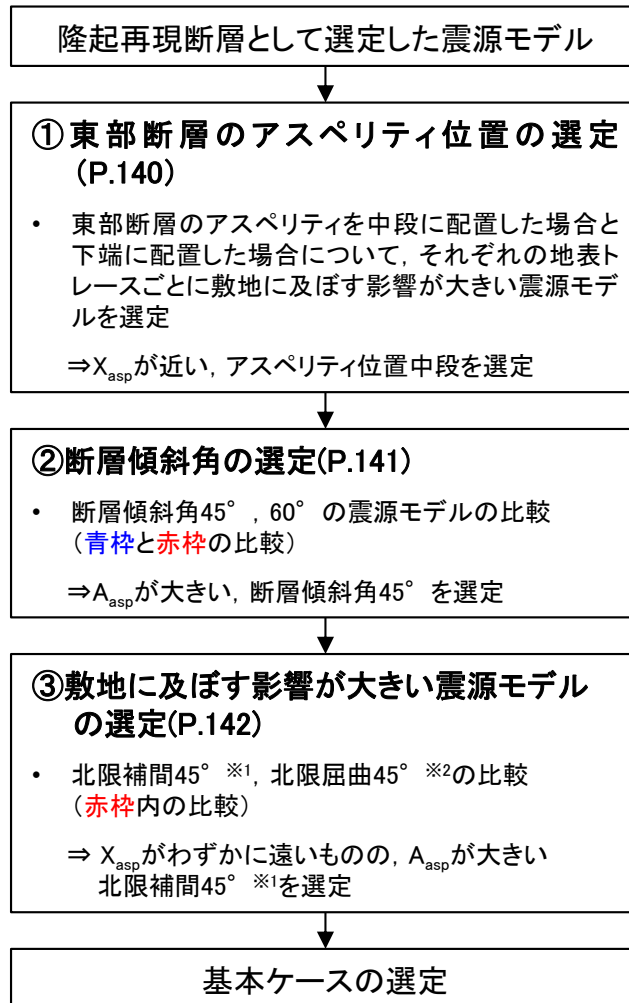


➤ 各震源モデルの敷地に及ぼす影響の相対的な比較は、東部断層のアスペリティの加速度震源スペクトルの短周期レベル A_{asp} 、敷地までの幾何減衰 $1/X_{asp}$ 、及びこれら乗じた A_{asp}/X_{asp} によりできると考え、これらの指標を目安として用いて敷地に及ぼす影響が大きい震源モデルを選定し、これを基本ケースとする。

(1) 敷地に及ぼす影響が大きい震源モデルの選定(2/5)

選定手順

- 地震動評価の基本ケースは、隆起再現断層として選定した7つの震源モデルに対し、以下のフローで選定する。



隆起再現性がある震源モデルの地表トレース、東部断層のアスペリティ位置、断層傾斜角を踏まえた整理 (表中の【】内の数字はP.135のモデル番号を示す。)

	南限補間	北限補間	北限屈曲
東部断層のアスペリティ位置 中段	<p>断層傾斜角 60°</p> <p>【7】</p>	<p>断層傾斜角 45°</p> <p>【6】</p>	<p>断層傾斜角 45°</p> <p>【3】</p>
東部断層のアスペリティ位置 下端		<p>断層傾斜角 45°</p> <p>【5】</p>	<p>断層傾斜角 45°</p> <p>【2】</p>
		<p>断層傾斜角 60°</p> <p>【4】</p>	<p>断層傾斜角 60°</p> <p>【1】</p>

※1 : 北限補間 45° は断層傾斜角 45° 、アスペリティ位置が中段、地表トレースが北限補間の震源モデル。
 ※2 : 北限屈曲 45° は断層傾斜角 45° 、アスペリティ位置が中段、地表トレースが北限屈曲の震源モデル。

(1) 敷地に及ぼす影響が大きい震源モデルの選定(3/5)

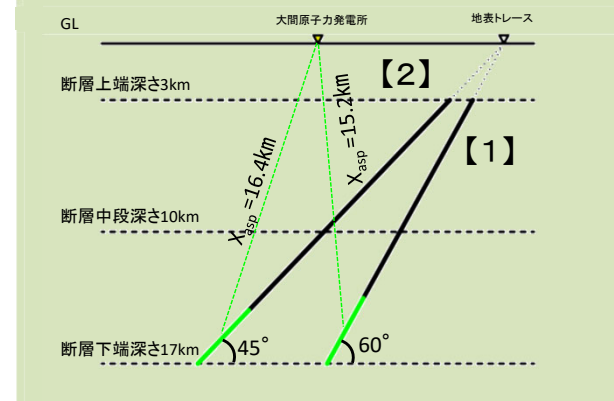
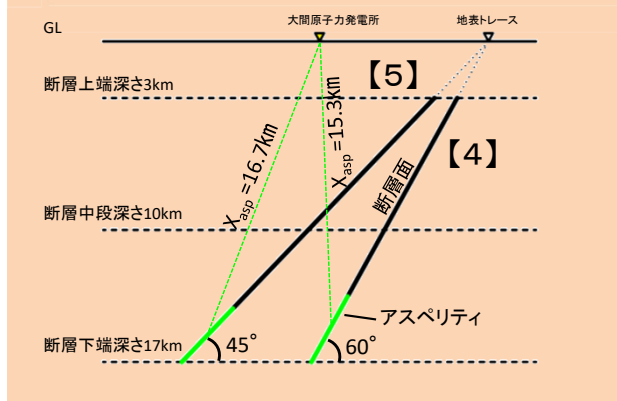
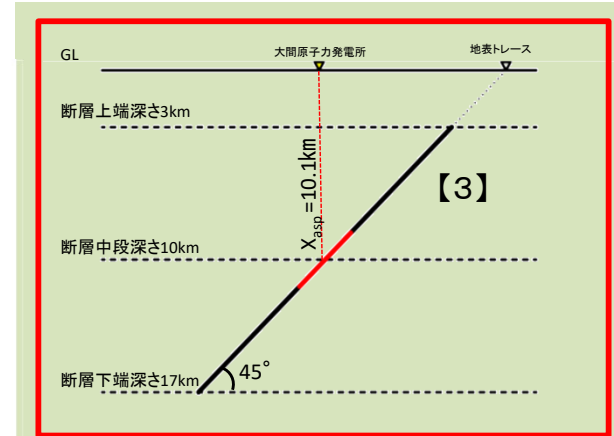
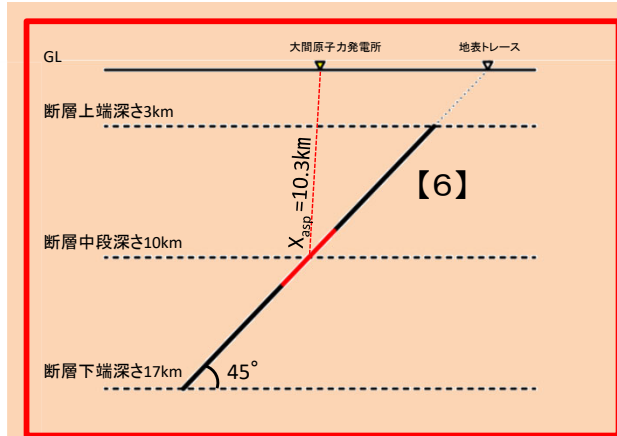
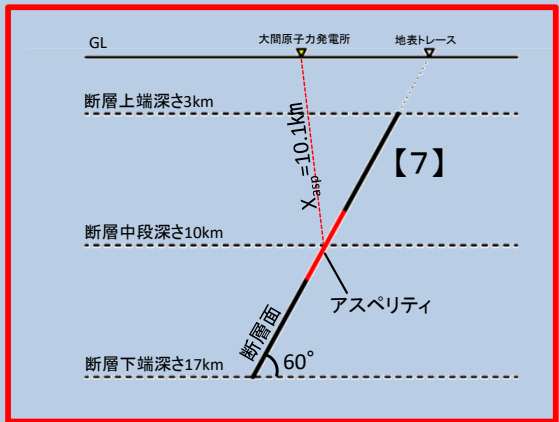
① 東部断層のアスペリティ位置の選定

- 南限補間, 北限補間, 北限屈曲の各震源モデルについて, 東部断層のアスペリティ位置が中段の震源モデルと下端の震源モデルを比較する。
- 北限補間及び北限屈曲の震源モデルのうち, 東部断層のアスペリティ位置を中段に配置した場合の震源モデルは, 下端に配置した場合の震源モデルに比して, X_{asp} が近い。
- 南限補間の震源モデルは, 東部断層のアスペリティ位置を中段に配置したモデルのみである。
- したがって, 敷地に及ぼす影響が大きいと考えられる東部断層のアスペリティ位置は, 中段を選定する。

東部断層の
アスペリティ位置
中段

東部断層の
アスペリティ位置
下端

隆起再現性がないため,
検討対象外



南限補間の震源モデル

北限補間の震源モデル

北限屈曲の震源モデル

敷地を通り東部断層に直交する断面図の比較(図中の【】内の数字はP.135のモデル番号を示す。)

5.4 地震動評価の震源モデルの設定(5/12)

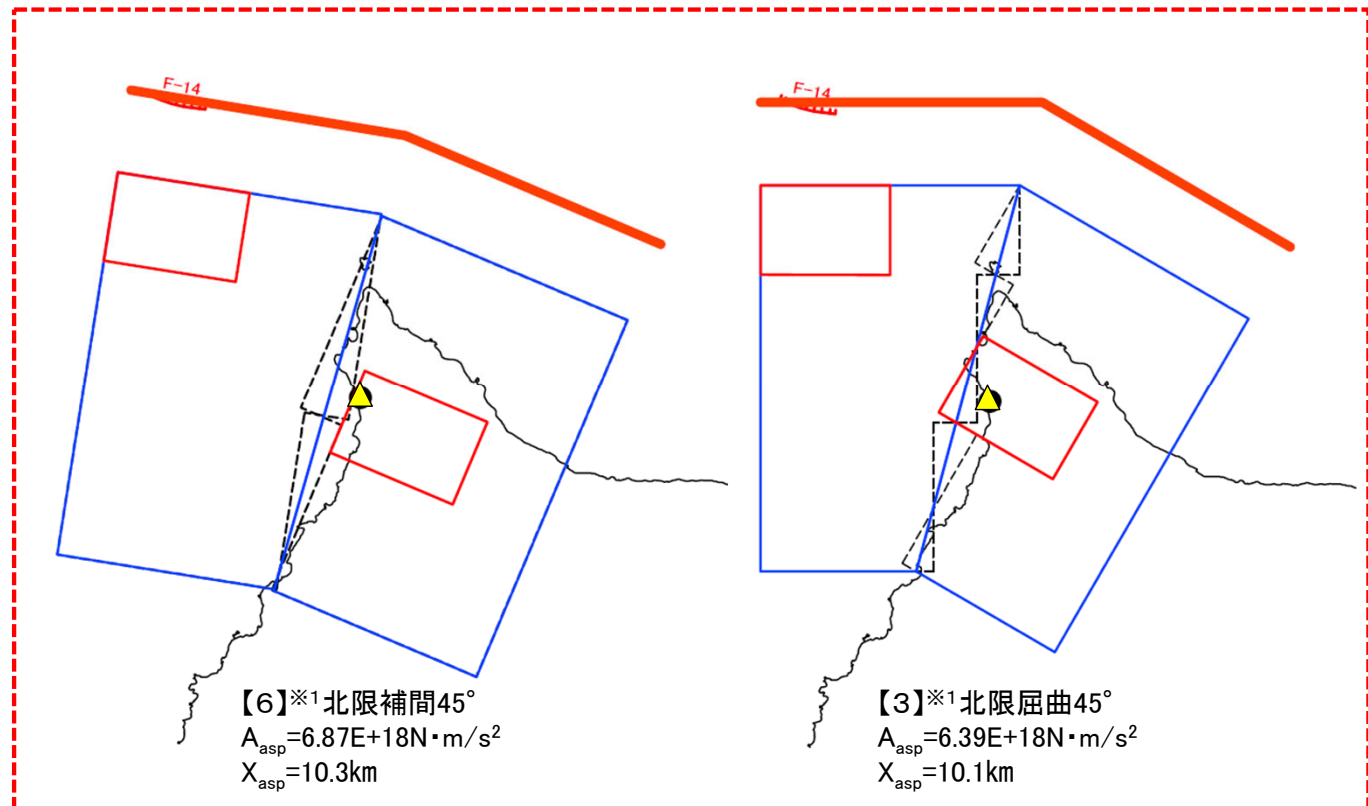
(1) 敷地に及ぼす影響が大きい震源モデルの選定(4/5)

②断層傾斜角の選定

- 断層傾斜角45° の北限屈曲は、断層傾斜角が60° の南限補間に比して、 X_{asp} が等しく、かつ、 A_{asp} が大きい。
- したがって、断層傾斜角45° の震源モデルの敷地に及ぼす影響は、断層傾斜角60° の震源モデルより大きい。
- なお、断層傾斜角45° の震源モデルである北限補間45° と北限屈曲45° の敷地に及ぼす影響は、 X_{asp} 、及び A_{asp} の関係からは判断できないため、基準化しP.142で比較する。



断層傾斜角60° の震源モデル



断層傾斜角45° の震源モデル

→断層傾斜角45° の震源モデルの敷地に及ぼす影響は、断層傾斜角60° の震源モデルより大きい。

※1：【】内の数字はP.135のモデル番号を示す。
 ※2：南限補間60° は断層傾斜角60°、アスペリティ位置が中段、地表トレースが南限補間の震源モデル。

5.4 地震動評価の震源モデルの設定(6/12)



(1) 敷地に及ぼす影響が大きい震源モデルの選定(5/5)

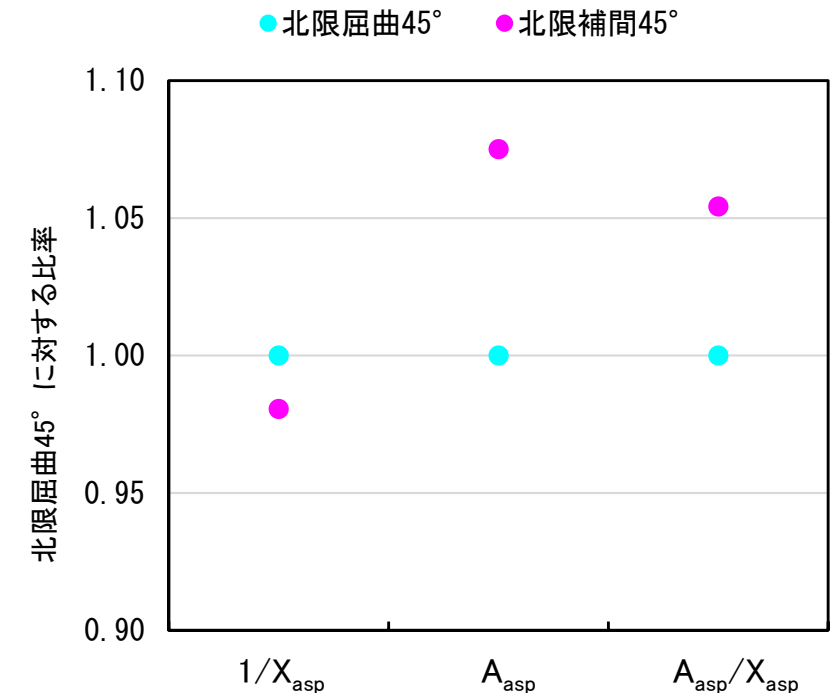
③敷地に及ぼす影響が大きい震源モデルの選定

- 北限補間45° , 北限屈曲45° について, X_{asp} , 及び A_{asp} を基準化して比較し, 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に選定する。
- 北限補間45° は, 北限屈曲45° に比して, X_{asp} がわずかに遠いものの, A_{asp} が大きいいため, 敷地に及ぼす影響が大きいと考えられる。 A_{asp} を X_{asp} で除した指標でも北限補間45° が大きくなる。
- 以上より, 地震動評価の基本ケースとして, 敷地に及ぼす影響が大きいと考えられる北限補間45° を選定する。

震源モデルの諸元

震源モデル	X_{asp} (km)	A_{asp} (N・m/s ²)	A_{asp} を X_{asp} で除した指標 A_{asp}/X_{asp}
北限屈曲45°	10.1 (1.00)	6.39E+18 (1.00)	6.33E+17 (1.00)
北限補間45°	10.3 (0.98)	6.87E+18 (1.08)	6.67E+17 (1.05)

表中の()内は北限屈曲45° に対する比率を示す。
ただし, X_{asp} については北限屈曲45° に対する比率の逆数を示す。



X_{asp} , A_{asp} , 及び A_{asp} を X_{asp} で除した指標の
北限屈曲45° に対する比率の比較

5.4 地震動評価の震源モデルの設定(7/12)

(2) 基本ケースの震源モデルの設定

- 隆起再現断層は、敷地周辺の累積的な変位への対応として、地形・地質構造の調査では認められない活断層を仮想的に設定するため、断層位置、断層傾斜角、アスペリティ位置の不確かさをあらかじめ織り込んだ基本ケースを設定する。
- 隆起再現断層による地震の地震動評価の基本ケースの震源モデルは、隆起再現断層として選定した7つの震源モデルのうち、保守的に敷地に及ぼす影響が大きい北限補間45°の震源モデルを設定する。

基本ケースの震源モデルの考え方

パラメータ		設定の考え方	基本ケースの震源モデル
巨視的パラメータ	断層面	断層位置	断層位置、断層傾斜角、アスペリティ位置の不確かさを考慮した震源モデルである、北限補間45°を基本ケースの震源モデルに設定。
		断層傾斜角	
微視的パラメータ	アスペリティ	位置	北限補間45° 断層位置 : 北限補間 断層傾斜角 : 45° アスペリティ位置 : 中段(東部)
		短周期レベル(応力降下量)	強震動予測レシピに基づき設定。
その他	破壊開始点	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。	敷地に対して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。

5.4 地震動評価の震源モデルの設定(8/12)



(3) 考慮する不確かさの整理に基づく検討ケースの設定(1/2)

- 隆起再現断層による地震について、考慮する不確かさを示す。
- 基本ケースに対して、認識論的不確かさとして短周期レベルの不確かさを考慮する。

不確かさの重畳について、考え方は以下のとおり。

- ▶ 「認識論的不確かさ」については、それぞれ独立で不確かさを考慮する。
- ▶ 「偶然的な不確かさ」については、事前の把握が困難であるため、「認識論的不確かさ」と重畳させて考慮する。

基本ケースの震源モデルに対する不確かさの整理

不確かさの種類	パラメータ	基本ケースの震源モデルの考え方	不確かさの考慮
認識論的不確かさ	断層位置	P.142に示すとおり、北限屈曲45° 及び北限補間45°のうち、保守的にあらかじめ不確かさを織り込み、敷地に及ぼす影響の大きい震源モデルを設定。	基本ケースの震源モデルは、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織り込み、保守的に敷地に及ぼす影響が大きい震源モデルを設定しているため、更なる不確かさは考慮しない。
	断層傾斜角	隆起再現断層として選定した震源モデルの断層傾斜角である45° 及び60°のうち、保守的にあらかじめ不確かさを織り込み、敷地に及ぼす影響の大きい断層傾斜角45° を設定。	
	アスペリティ位置※	<u>東部断層</u> ： 隆起再現断層として選定した震源モデルのアスペリティ位置である下端及び中段のうち、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アスペリティ位置中段を設定。 <u>西部断層</u> ： 震源モデル上端に想定し、F-14断層直下に配置。	
	アスペリティの短周期レベル(応力降下量)	強震動予測レシピに基づき設定。	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。
偶然的な不確かさ	破壊開始点	敷地に破壊が向かうように、複数の破壊開始点を設定。	同左

※：隆起シミュレーションによって震源モデルの隆起再現性を確認しており、アスペリティ位置が特定されることから、認識論的不確かさとして整理する。

：認識論的不確かさとして考慮するパラメータ

5.4 地震動評価の震源モデルの設定(9/12)

(3) 考慮する不確かさの整理に基づく検討ケースの設定(2/2)

- 隆起再現断層による地震の検討ケースを以下に示す。

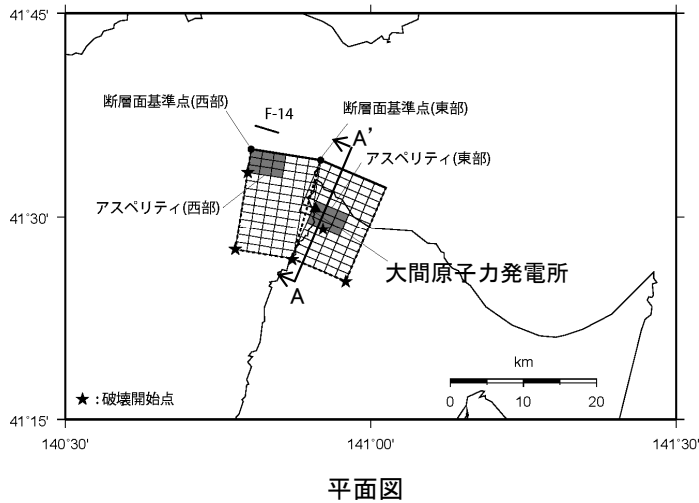
検討ケース一覧

検討ケース	断層位置※	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
基本ケース	北限補間	M6.9	45	強震動予測レシポ	西部断層:F-14断層の痕跡直下の断層上端位置 東部断層:断層中段に設定	複数設定
短周期レベルの不確かさケース	北限補間	M6.9	45	強震動予測レシポ×1.5倍	西部断層:F-14断層の痕跡直下の断層上端位置 東部断層:断層中段に設定	複数設定

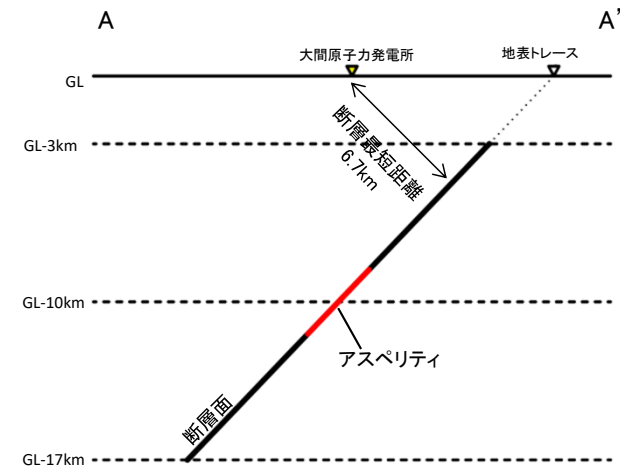
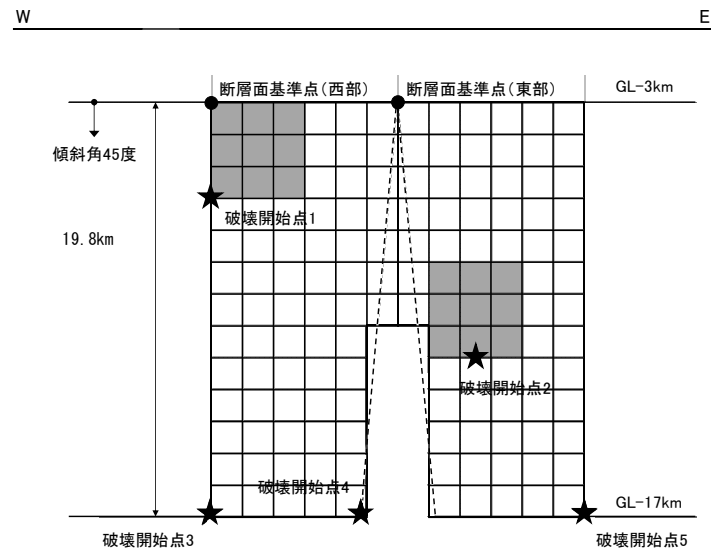
※ 隆起シミュレーションに基づき設定。
地震規模Mは武村(1990)により算定。

: 認識論的不確かさとして考慮するパラメータ

: 偶然的不確かさとして考慮するパラメータ



地震規模	等価震源距離	断層最短距離
M6.9	10.3km	6.7km



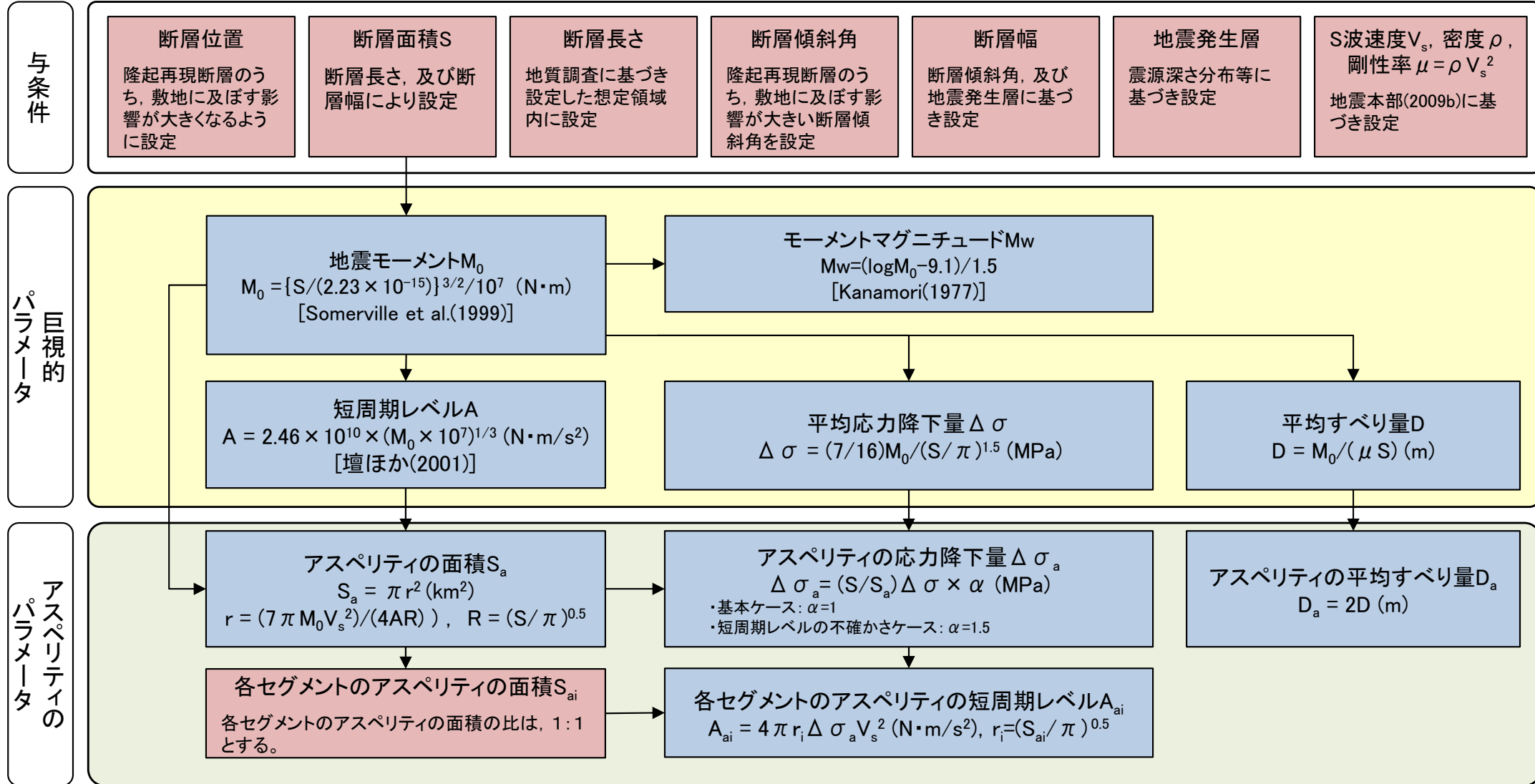
A-A' 断面模式図

震源モデル(基本ケース,短周期レベルの不確かさケース)

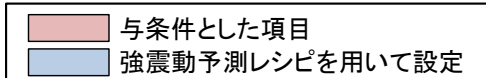
5.4 地震動評価の震源モデルの設定(10/12)

(4) 断層パラメータの設定(1/3): 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。



断層パラメータ設定フロー



5.4 地震動評価の震源モデルの設定(11/12)



(4) 断層パラメータの設定(2/3): 基本ケース

隆起再現断層による地震 基本ケースの断層パラメータ

項目	記号(単位)	設定値		設定根拠		
		西部	東部			
巨視的パラメータ	断層全体	走向	$\theta_i(^{\circ})$	99	113	隆起シミュレーションモデルに基づき設定
		傾斜角	$\delta_i(^{\circ})$	45	45	同上
		上端深さ	$h_i(\text{km})$	3	3	地震発生層の検討結果による
		下端深さ	$b_i(\text{km})$	17	17	同上
		上端長さ	$L_i(\text{km})$	9.6	9.6	隆起シミュレーションモデルに基づき設定
		下端長さ	$L_b(\text{km})$	7.9	7.9	同上
		幅	$W_i(\text{km})$	19.8	19.8	$W=(b_i-h_i)/\sin \delta_i$, $i=1$:西部, 2 :東部
		断層面積(各部)	$S_i(\text{km}^2)$	174	174	$S_i=0.5 \times (L_i+L_{bi}) \times W_i$
		断層面積(全体)	$S(\text{km}^2)$	347		$S=\sum S_i$
		地震モーメント	$M_0(\text{N}\cdot\text{m})$	6.1E+18		$M_0=(S/(2.23 \times 10^{-15}))^{3/2}/10^7$ (Somerville et al.(1999))
		モーメントマグニチュード	Mw	6.5		$Mw=(\log M_0-9.1)/1.5$ (Kanamori(1977))
		S波速度	$V_s(\text{km/s})$	3.4		地震本部(2009b)
		剛性率	$\mu(\text{N/m}^2)$	3.12E+10		$\mu=\rho V_s^2$, $\rho=2.7\text{t/m}^3$
		平均すべり量	D(m)	0.6		$D=M_0/(\mu S)$
		平均応力降下量	$\Delta \sigma(\text{MPa})$	2.31		$\Delta \sigma=(7/16)M_0/(S/\pi)^{1.5}$
		短周期レベル	$A(\text{N}\cdot\text{m/s}^2)$	9.71E+18		$A=2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$ (壇ほか(2001))
		破壊伝播速度	$V_r(\text{km/s})$	2.4		$V_r=0.72V_s$ (Geller(1976))
高周波遮断振動数	fmax(Hz)	8.3		香川ほか(2003)		
微視的パラメータ	アスペリティ全体	面積	$S_a(\text{km}^2)$	46		$S_a=\pi r^2$, $r=(7\pi M_0 V_s^2)/(4AR)$, $R=(S/\pi)^{0.5}$
		地震モーメント	$M_{0a}(\text{N}\cdot\text{m})$	1.6E+18		$M_{0a}=\mu S_a D_a$
		平均すべり量	$D_a(\text{m})$	1.1		$D_a=2 \times D$
		応力降下量	$\Delta \sigma_a(\text{MPa})$	17.5		$\Delta \sigma_a=(S/S_a) \times \Delta \sigma$
		短周期レベル	$A_a(\text{N}\cdot\text{m/s}^2)$	9.71E+18		$A_a=4\pi r \Delta \sigma_a V_s^2$
	各アスペリティ	面積	$S_{ai}(\text{km}^2)$	23	23	$S_{a1}:S_{a2}=1:1$
		地震モーメント	$M_{0ai}(\text{N}\cdot\text{m})$	8.1E+17	8.1E+17	$M_{0ai}=M_{0a} \times S_{ai}^{3/2}/\sum S_{aj}^{3/2}$
		平均すべり量	$D_{ai}(\text{m})$	1.1	1.1	$D_{ai}=M_{0ai}/(\mu S_{ai})$
		応力降下量	$\Delta \sigma_{ai}(\text{MPa})$	17.5	17.5	$\Delta \sigma_{ai}=\Delta \sigma_a$
		短周期レベル	$A_{ai}(\text{N}\cdot\text{m/s}^2)$	6.87E+18	6.87E+18	$A_{ai}=4\pi r_i \Delta \sigma_{ai} V_s^2$, $r_i=(S_{ai}/\pi)^{0.5}$
	背景領域	面積	$S_b(\text{km}^2)$	301		$S_b=S-S_a$
		地震モーメント	$M_{0b}(\text{N}\cdot\text{m})$	4.5E+18		$M_{0b}=M_0-M_{0a}$
		平均すべり量	$D_b(\text{m})$	0.5		$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$
実効応力		$\sigma_b(\text{MPa})$	1.8		$\sigma_b=(D_b/W_b)(\pi^{0.5}/D_a) r \sum (r_i/r)^3 \Delta \sigma_a$, $r=(S_a/\pi)^{0.5}$, $r_i=(S_{ai}/\pi)^{0.5}$, $W_b=W$	
Q値		-	100f ^{1.0}		Takehi and Irikura (1997)	

5.4 地震動評価の震源モデルの設定(12/12)



(4) 断層パラメータの設定(3/3): 短周期レベルの不確かさケース

隆起再現断層による地震 短周期レベルの不確かさケースの断層パラメータ

項目		記号(単位)	設定値		設定根拠	
			西部	東部		
巨視的 パラメータ	断層全体	走向	$\theta_i(^{\circ})$	99	113	隆起シミュレーションモデルに基づき設定
		傾斜角	$\delta_i(^{\circ})$	45	45	同上
		上端深さ	$h_i(\text{km})$	3	3	地震発生層の検討結果による
		下端深さ	$b_i(\text{km})$	17	17	同上
		上端長さ	$L_{ti}(\text{km})$	9.6	9.6	隆起シミュレーションモデルに基づき設定
		下端長さ	$L_{bi}(\text{km})$	7.9	7.9	同上
		幅	$W_i(\text{km})$	19.8	19.8	$W=(b_i-h_i)/\sin \delta_i$, $i=1$:西部, 2 :東部
		断層面積(各部)	$S_i(\text{km}^2)$	174	174	$S_i=0.5 \times (L_{ti}+L_{bi}) \times W_i$
		断層面積(全体)	$S(\text{km}^2)$	347		$S=\sum S_i$
		地震モーメント	$M_0(\text{N}\cdot\text{m})$	6.1E+18		$M_0=(S/(2.23 \times 10^{-15}))^{3/2}/10^7$ (Somerville et al.(1999))
		モーメントマグニチュード	Mw	6.5		$Mw=(\log M_0-9.1)/1.5$ (Kanamori(1977))
		S波速度	$V_s(\text{km/s})$	3.4		地震本部(2009b)
		剛性率	$\mu(\text{N/m}^2)$	3.12E+10		$\mu=\rho V_s^2$, $\rho=2.7\text{t/m}^3$
		平均すべり量	D(m)	0.6		$D=M_0/(\mu S)$
		平均応力降下量	$\Delta \sigma(\text{MPa})$	2.31		$\Delta \sigma=(7/16)M_0/(S/\pi)^{1.5}$
		短周期レベル	$A(\text{N}\cdot\text{m/s}^2)$	9.71E+18		$A=2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$ (壇ほか(2001))
破壊伝播速度	$V_r(\text{km/s})$	2.4		$V_r=0.72V_s$ (Geller(1976))		
高周波遮断振動数	fmax(Hz)	8.3		香川ほか(2003)		
微視的 パラメータ	全体	面積	$S_a(\text{km}^2)$	46		$S_a=\pi r^2$, $r=(7\pi M_0 V_s^2)/(4AR)$, $R=(S/\pi)^{0.5}$
		地震モーメント	$M_{0a}(\text{N}\cdot\text{m})$	1.6E+18		$M_{0a}=\mu S_a D_a$
		平均すべり量	$D_a(\text{m})$	1.1		$D_a=2 \times D$
		応力降下量	$\Delta \sigma_a(\text{MPa})$	26.2		$\Delta \sigma_a=(S/S_a) \times \Delta \sigma \times 1.5$
		短周期レベル	$A_a(\text{N}\cdot\text{m/s}^2)$	1.46E+19		$A_a=4\pi r \Delta \sigma_a V_s^2$
	各アスペリテ	面積	$S_{ai}(\text{km}^2)$	23	23	$S_{a1}:S_{a2}=1:1$
		地震モーメント	$M_{0ai}(\text{N}\cdot\text{m})$	8.1E+17	8.1E+17	$M_{0ai}=M_{0a} \times S_{ai}^{3/2}/\sum S_{ai}^{3/2}$
		平均すべり量	$D_{ai}(\text{m})$	1.1	1.1	$D_{ai}=M_{0ai}/(\mu S_{ai})$
		応力降下量	$\Delta \sigma_{ai}(\text{MPa})$	26.2	26.2	$\Delta \sigma_{ai}=\Delta \sigma_a$
		短周期レベル	$A_{ai}(\text{N}\cdot\text{m/s}^2)$	1.03E+19	1.03E+19	$A_{ai}=4\pi r_i \Delta \sigma_{ai} V_s^2$, $r_i=(S_{ai}/\pi)^{0.5}$
	背景領域	面積	$S_b(\text{km}^2)$	301		$S_b=S-S_a$
		地震モーメント	$M_{0b}(\text{N}\cdot\text{m})$	4.5E+18		$M_{0b}=M_0-M_{0a}$
		平均すべり量	$D_b(\text{m})$	0.5		$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$
		実効応力	$\sigma_b(\text{MPa})$	2.7		$\sigma_b=(D_b/W_b)(\pi^{0.5}/D_a) r \sum (r_i/r)^3 \Delta \sigma_a$, $r=(S_a/\pi)^{0.5}$, $r_i=(S_{ai}/\pi)^{0.5}$, $W_b=W$
	Q値		-	100 ^{r1.0}		Takehi and Irikura (1997)

地震動評価の方針

■ 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動及び鉛直動を予測することが可能なNoda et al.(2002)による方法の地震動評価※¹を行う。ただし、保守的な評価となるようにNoda et al.(2002)に基づく内陸地震に対する補正は考慮しない。
- 観測記録による補正は、想定震源周辺に適切な地震が発生していないことから行わない。

■ 断層モデルを用いた手法による地震動評価

- 敷地において要素地震に適した観測記録※²が得られていないことから、統計的グリーン関数法及び理論的手法によるハイブリッド合成法※³による地震動評価を行う。
- 統計的グリーン関数法に用いる深部地下構造モデル、及び理論的手法に用いる深部地下構造モデルは、F-14断層による地震と同様の深部地下構造モデルを用いる。(それぞれP.45, P.46を参照)

※¹ : Noda et al.(2002)による方法とそれ以外の距離減衰式による方法の地震動評価の比較を参考として、P.162～165に示す。

※² : 想定した断層面付近で発生した、規模の差がM2程度以内の、地震のタイプ・メカニズムが想定地震と類似している地震の観測記録。

※³ : ハイブリッド合成法については、補足説明資料2章を参照。

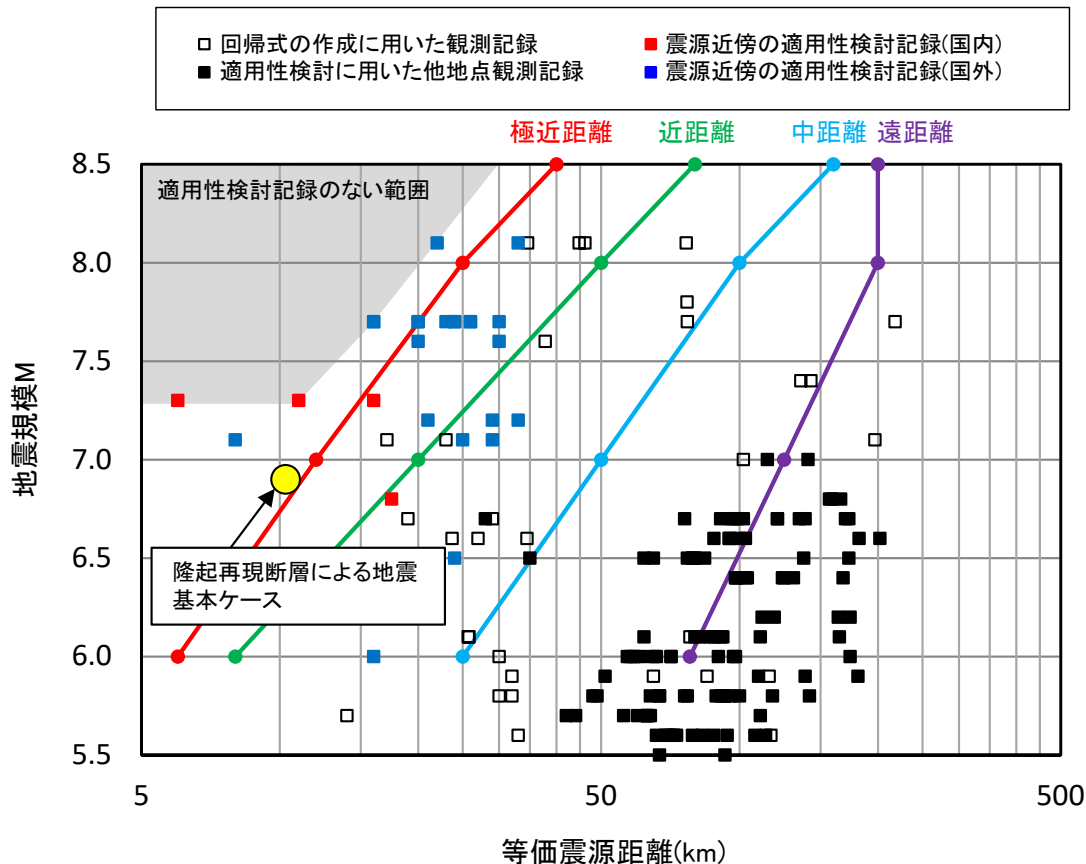
5.5 地震動評価手法(2/2)



応答スペクトルに基づく地震動評価

Noda et al.(2002)による方法の適用性の確認

- 隆起再現断層による地震のNoda et al.(2002)による方法の適用性について確認した。
- 隆起再現断層による地震の基本ケースの震源モデルは、極近距离から若干離れているものの、適用性検討記録がある範囲であることから、適用範囲内であると判断した。
- 以上より、応答スペクトルに基づく地震動評価は、Noda et al.(2002)による方法が適用可能であることを確認した。



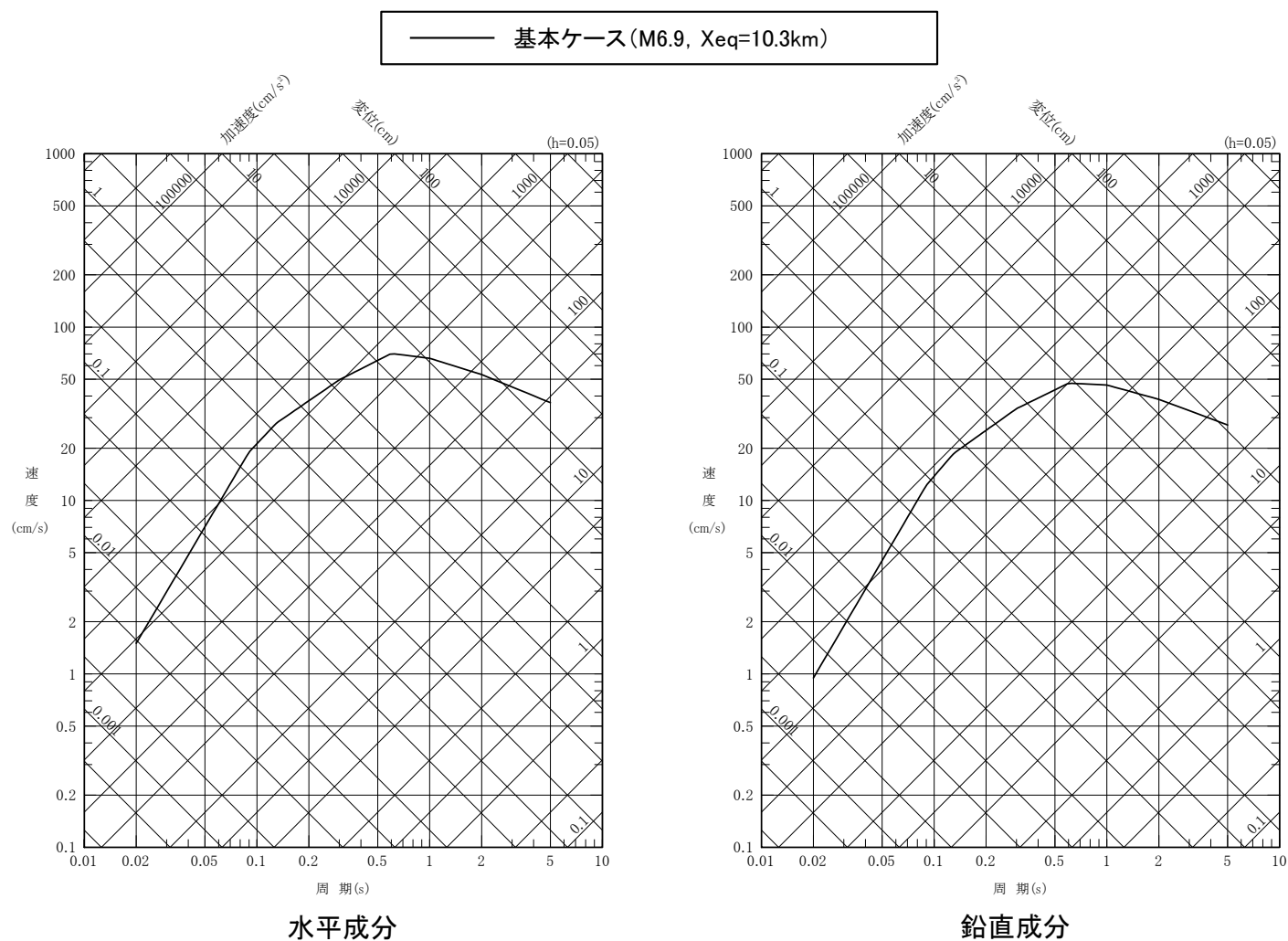
隆起再現断層による地震の諸元

ケース	地震規模	等価震源距離
基本ケース	M6.9	10.3km

Noda et al.(2002)の適用性の確認

応答スペクトルに基づく地震動評価結果

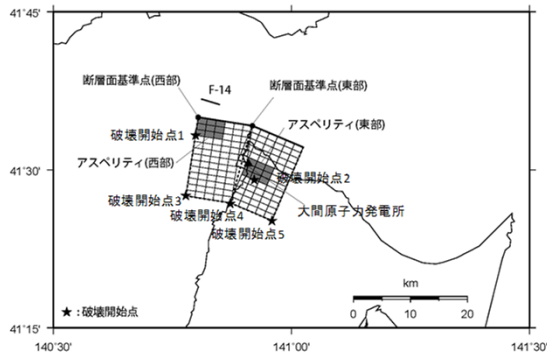
- 応答スペクトルに基づく地震動評価結果を示す。
- 応答スペクトルに基づく手法として、Noda et al.(2002)による方法(内陸補正なし)を用いた。



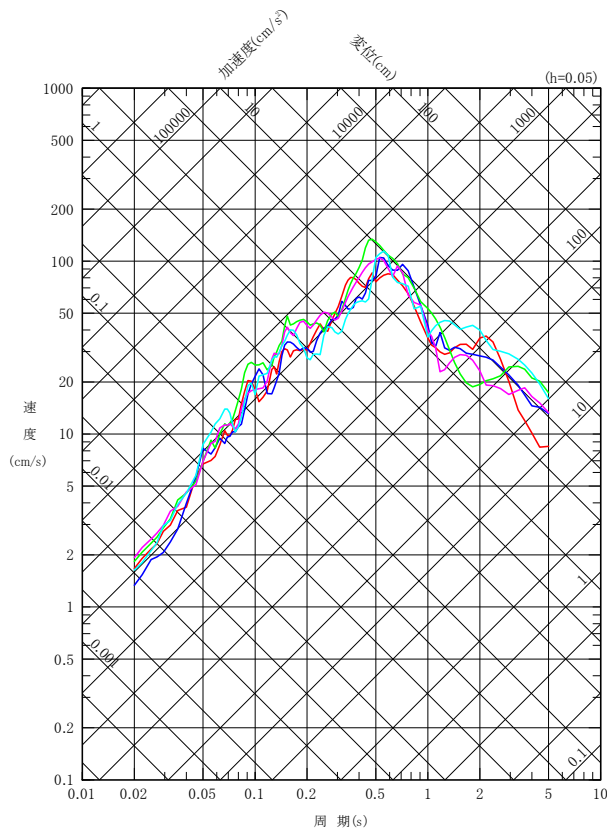
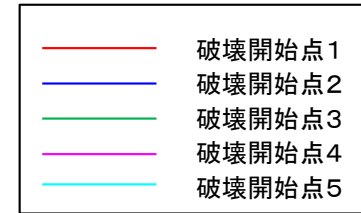
5.6 地震動評価結果(2/8)



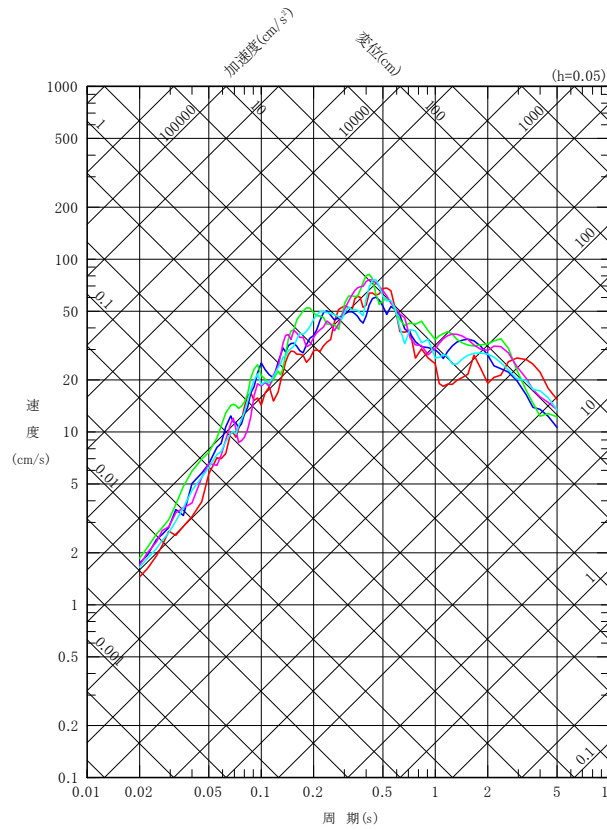
断層モデルを用いた手法による地震動評価 【基本ケース 応答スペクトル】



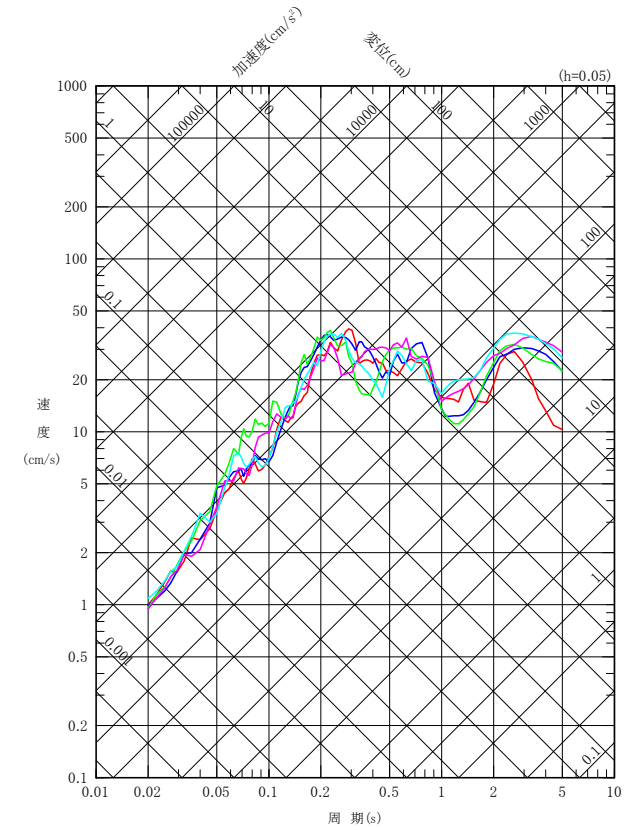
基本ケース



NS成分



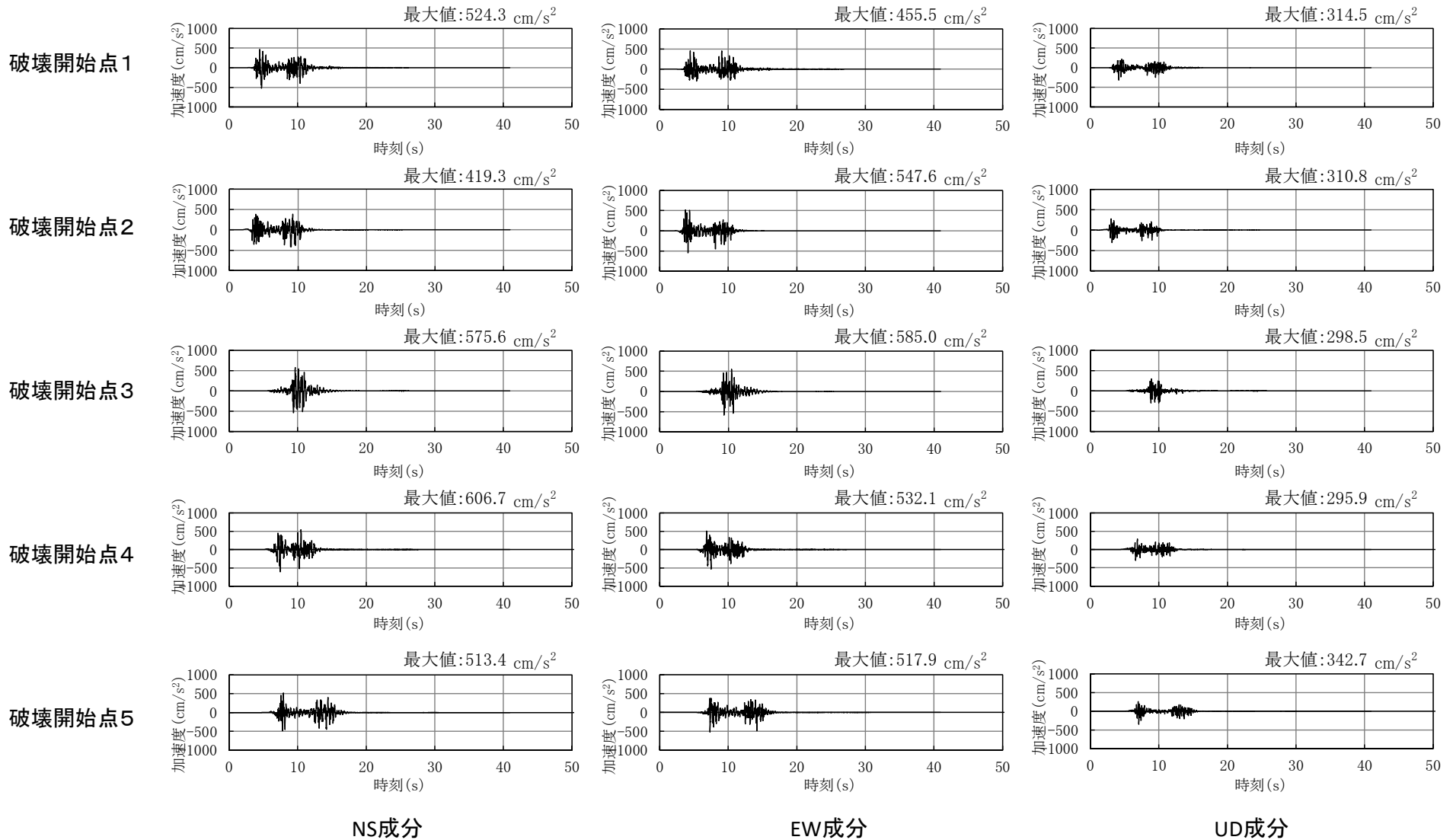
EW成分



UD成分

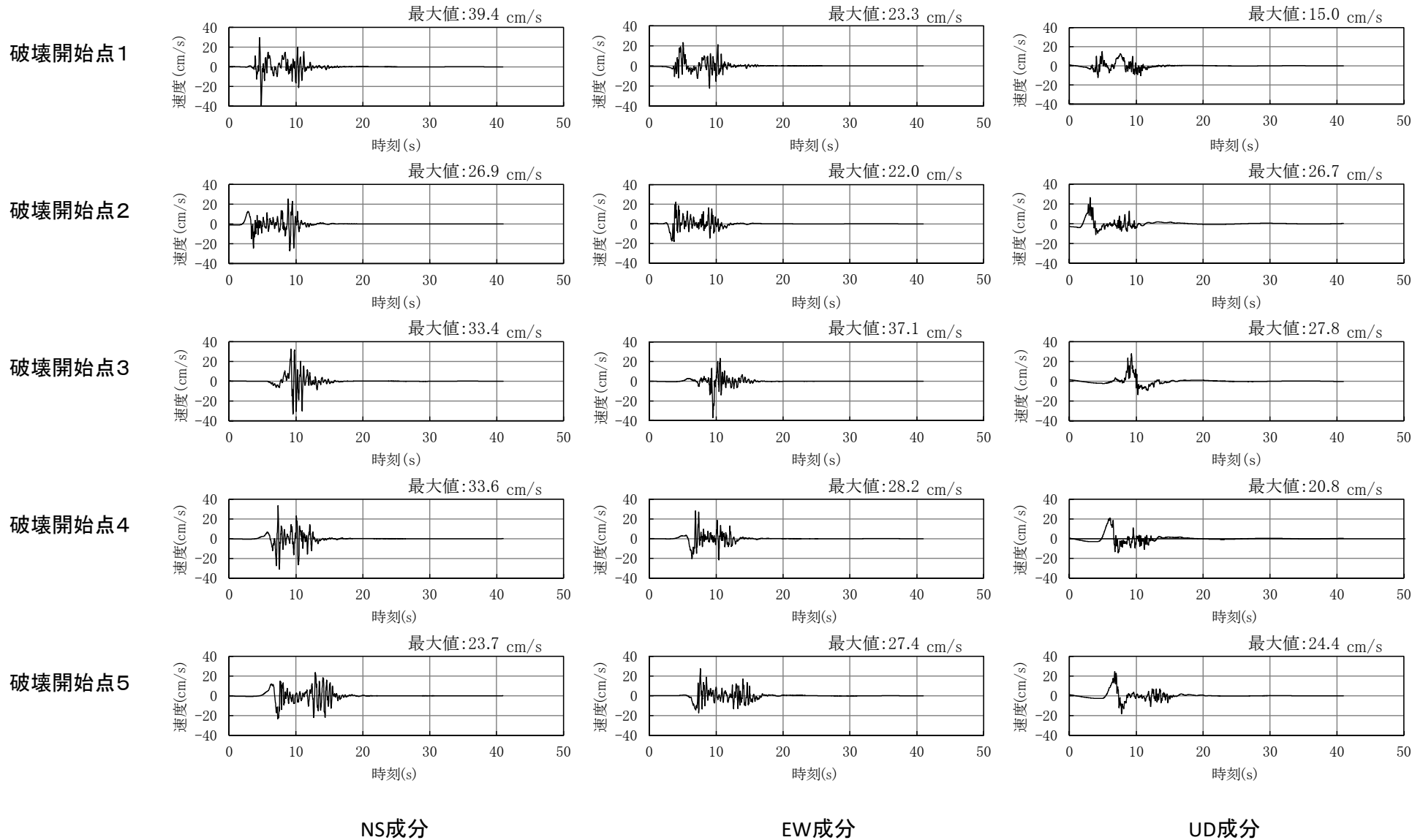


断層モデルを用いた手法による地震動評価 【基本ケース 加速度時刻歴波形】





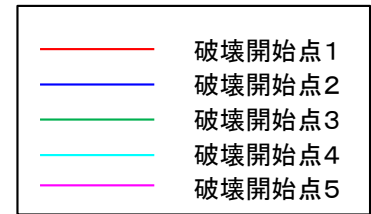
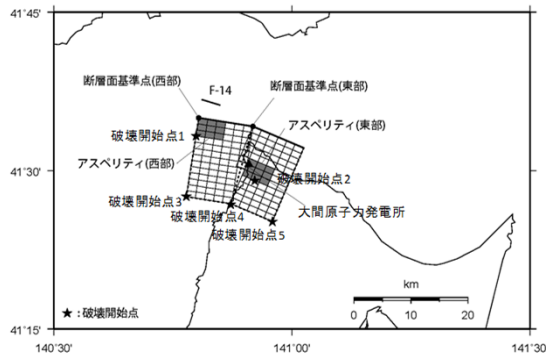
断層モデルを用いた手法による地震動評価 【基本ケース 速度時刻歴波形】



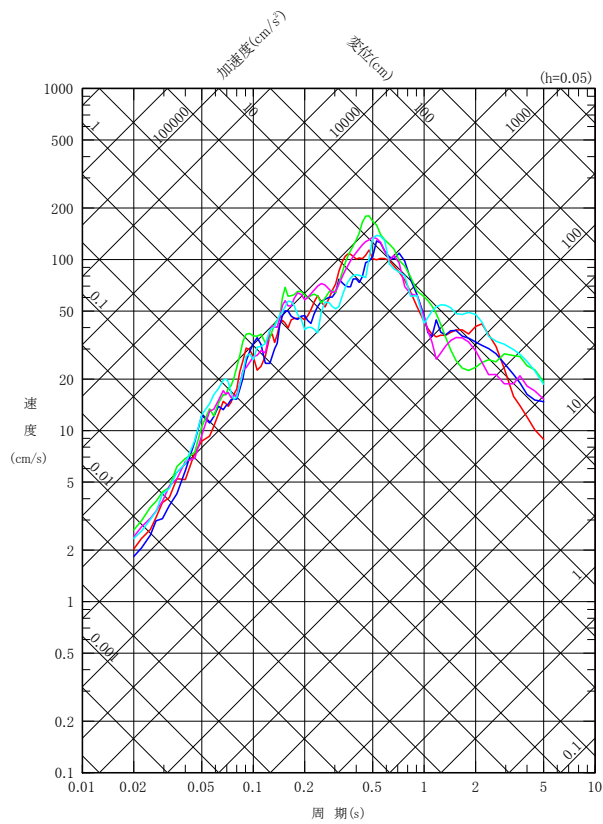
5.6 地震動評価結果(5/8)



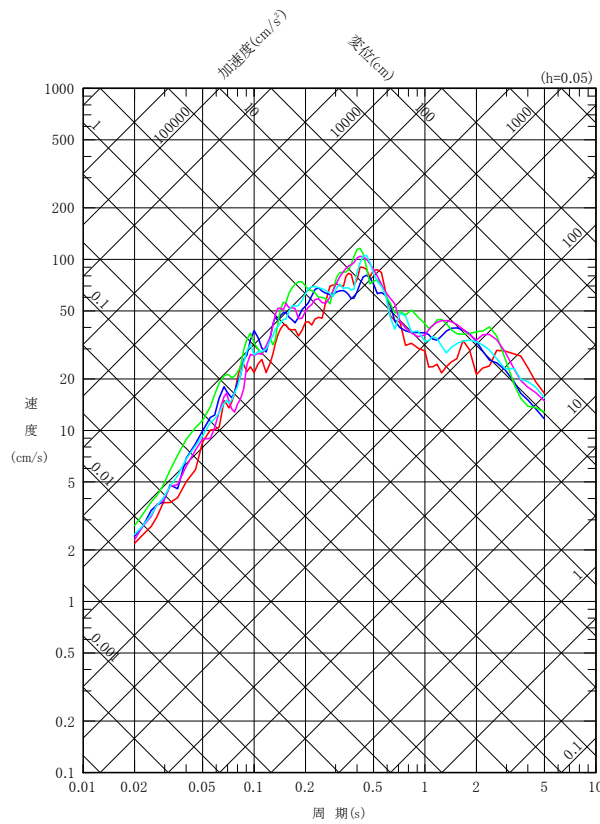
断層モデルを用いた手法による地震動評価 【短周期レベルの不確かさケース 応答スペクトル】



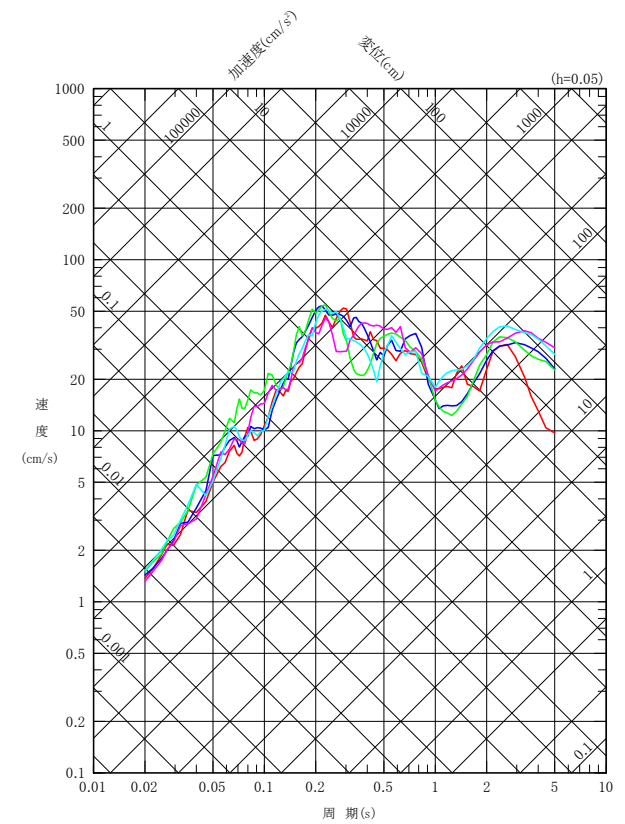
短周期レベルの不確かさケース



NS成分



EW成分

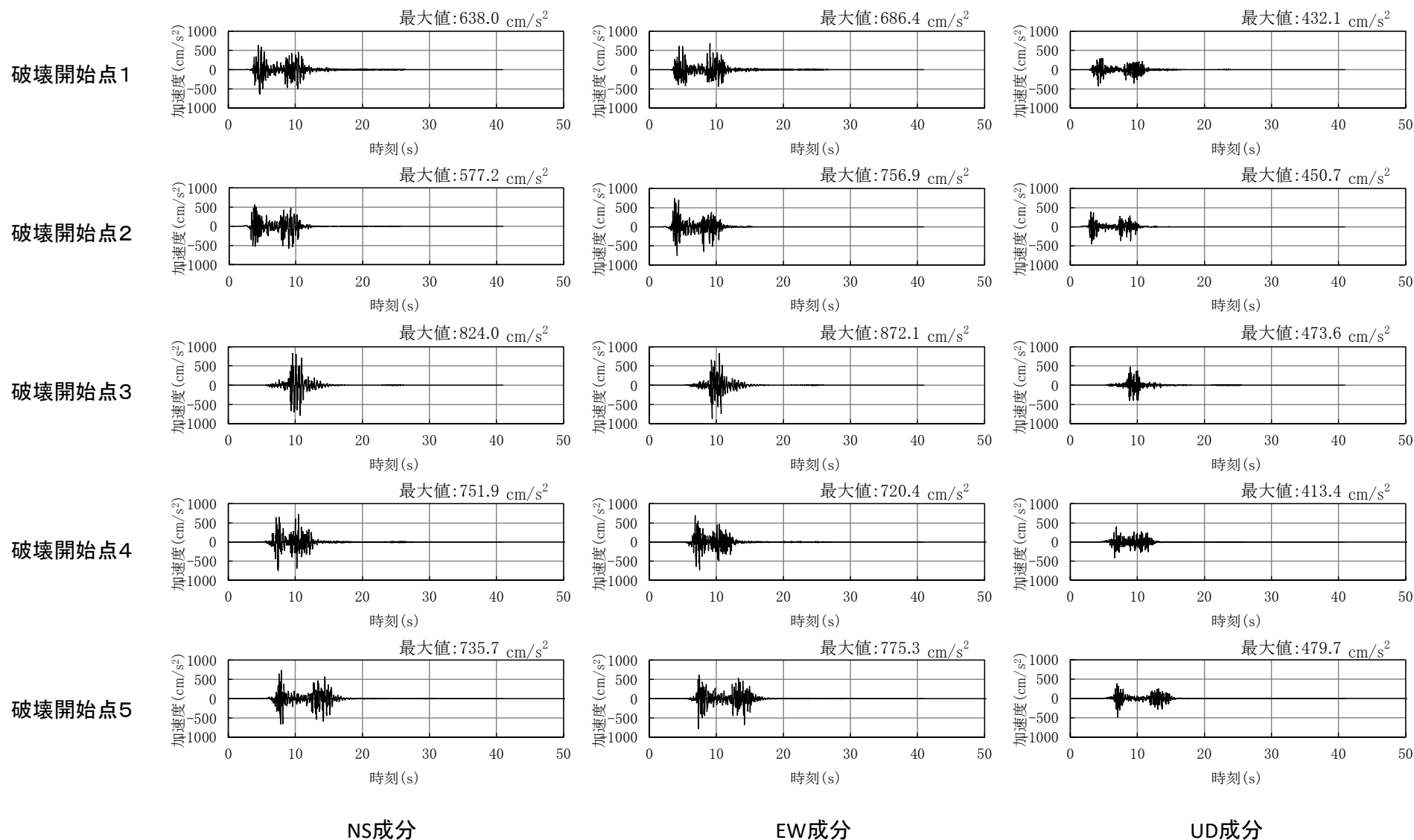


UD成分

5.6 地震動評価結果(6/8)



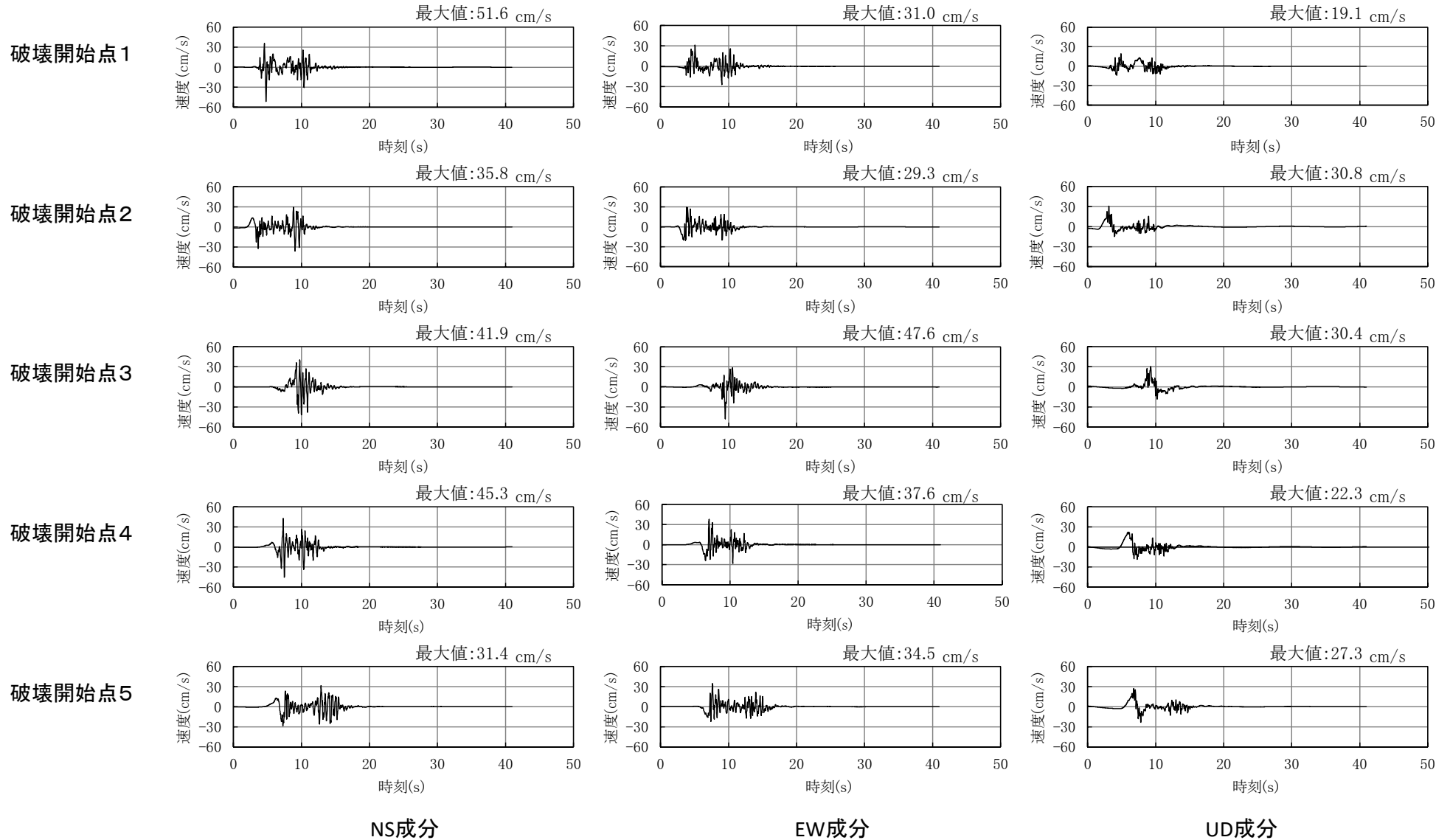
断層モデルを用いた手法による地震動評価 【短周期レベルの不確かさケース 加速度時刻歴波形】



5.6 地震動評価結果(7/8)



断層モデルを用いた手法による地震動評価 【短周期レベルの不確かさケース 速度時刻歴波形】

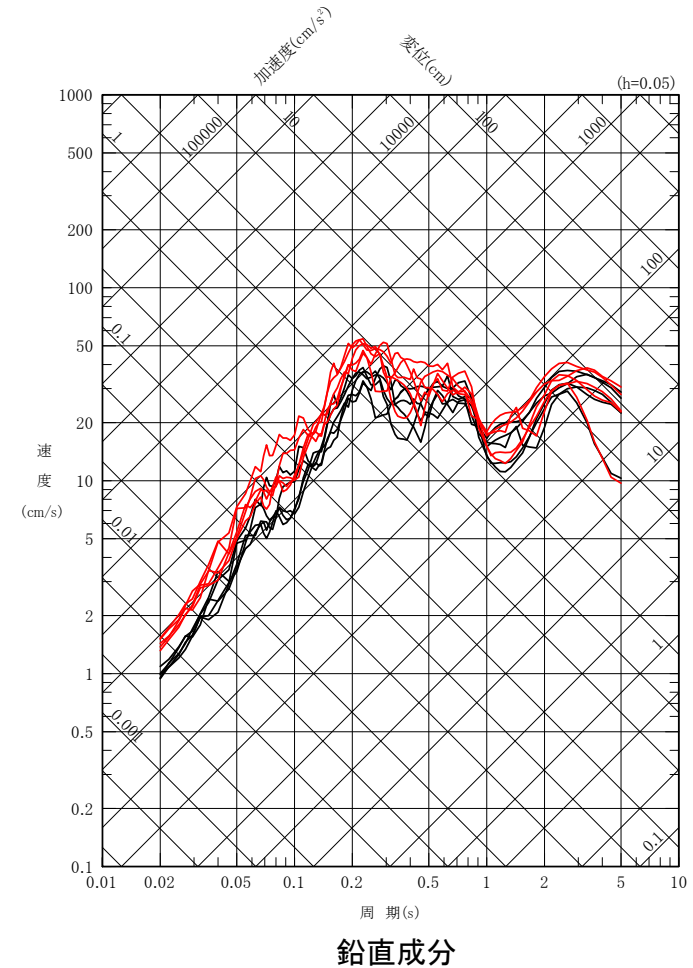
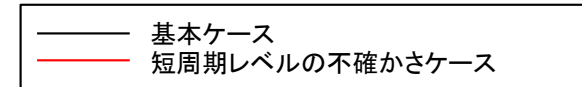
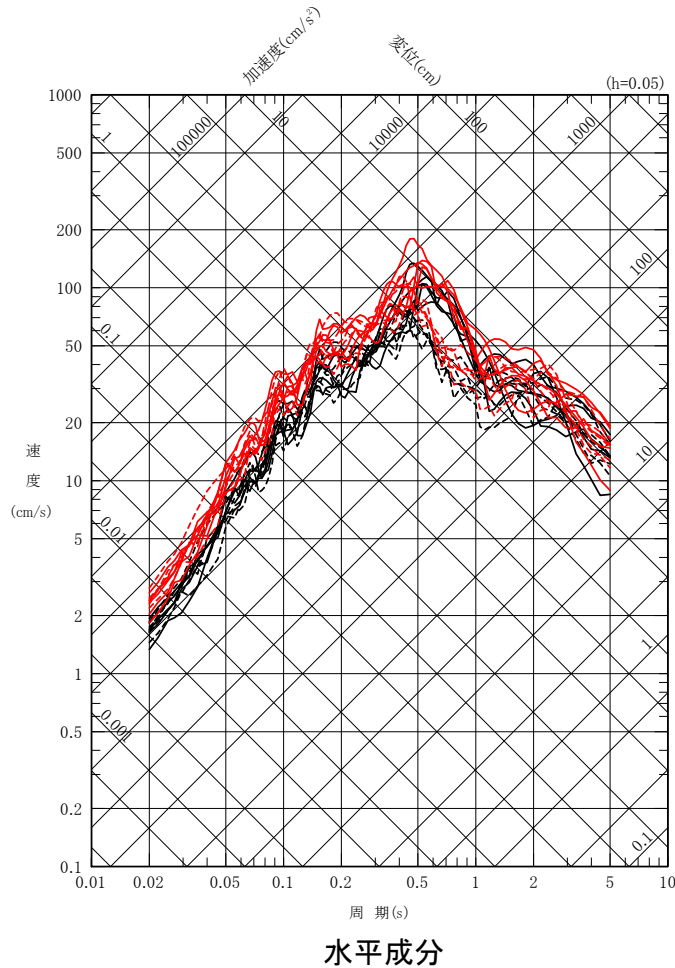
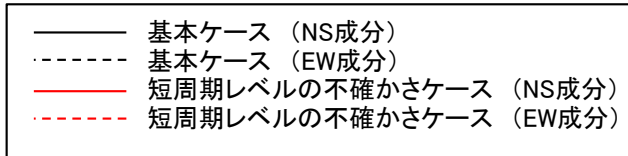


5.6 地震動評価結果(8/8)



断層モデルを用いた手法による地震動評価結果のまとめ

- 断層モデルを用いた手法による地震動評価結果を示す。



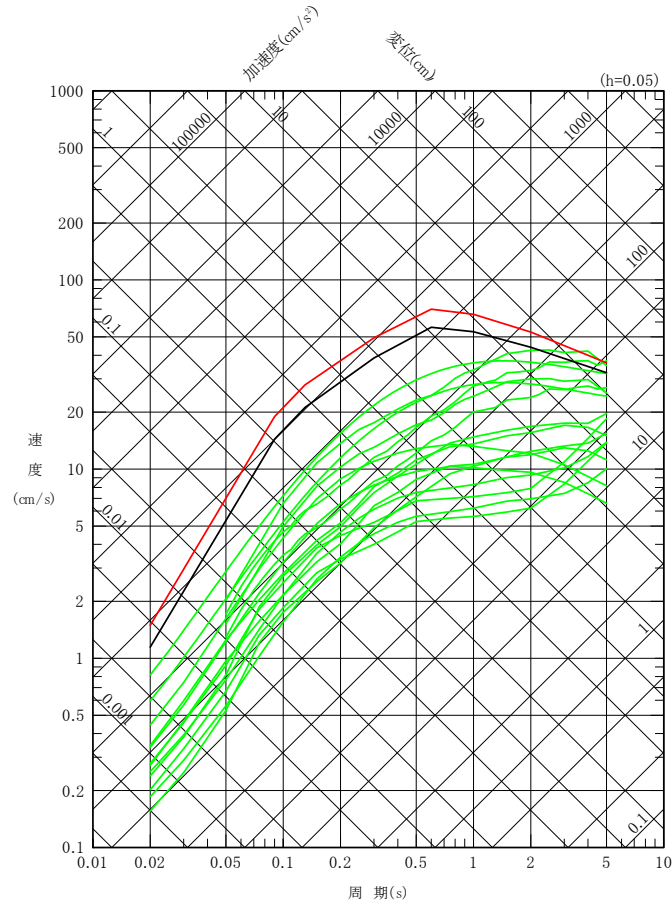
1. 敷地周辺の地震発生状況
2. 検討用地震の選定
 - 2.1 敷地周辺の震源として考慮する活断層による地震から選定される地震
 - 2.2 大間付近の隆起域を説明する仮想的な活断層から想定される地震
 - 2.3 検討用地震の選定のまとめ
3. F-14断層による地震の地震動評価
 - 3.1 地震発生層の設定
 - 3.2 震源モデルの設定
 - 3.3 地震動評価手法
 - 3.4 地震動評価結果
4. 奥尻海盆北東縁断層～奥尻海盆東縁断層～西津軽海盆東縁断層の連動を考慮した地震の地震動評価
 - 4.1 地震発生層の設定
 - 4.2 震源モデルの設定
 - 4.3 地震動評価手法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

6. 地震動評価のまとめ(1/2)

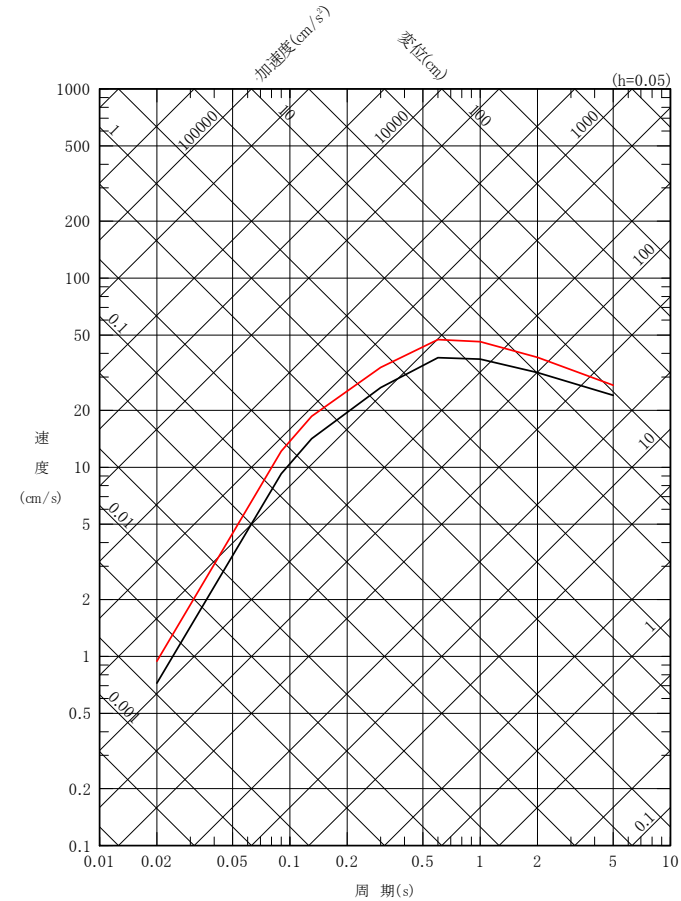
応答スペクトルに基づく地震動評価結果のまとめ

- 内陸地殻内地震の応答スペクトルに基づく地震動評価結果を比較する。
- 水平動において、周期4秒付近を除き、隆起再現断層による地震が最も大きい。周期4秒付近は、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が最も大きい。
- 鉛直動において、隆起再現断層による地震が最も大きい。

— F-14断層による地震
 — 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
 — 隆起再現断層による地震



水平成分



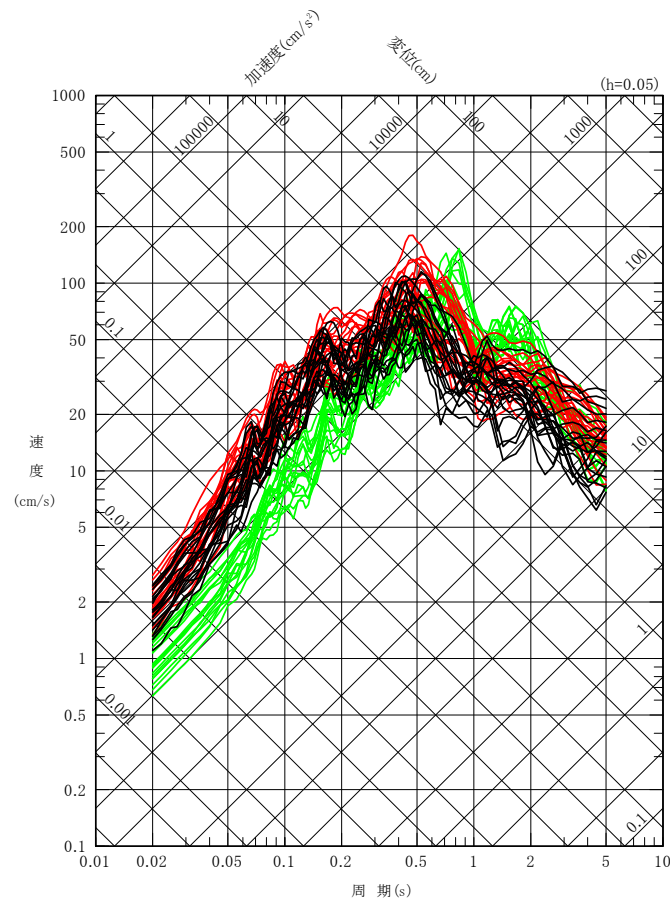
鉛直成分

6. 地震動評価のまとめ(2/2)

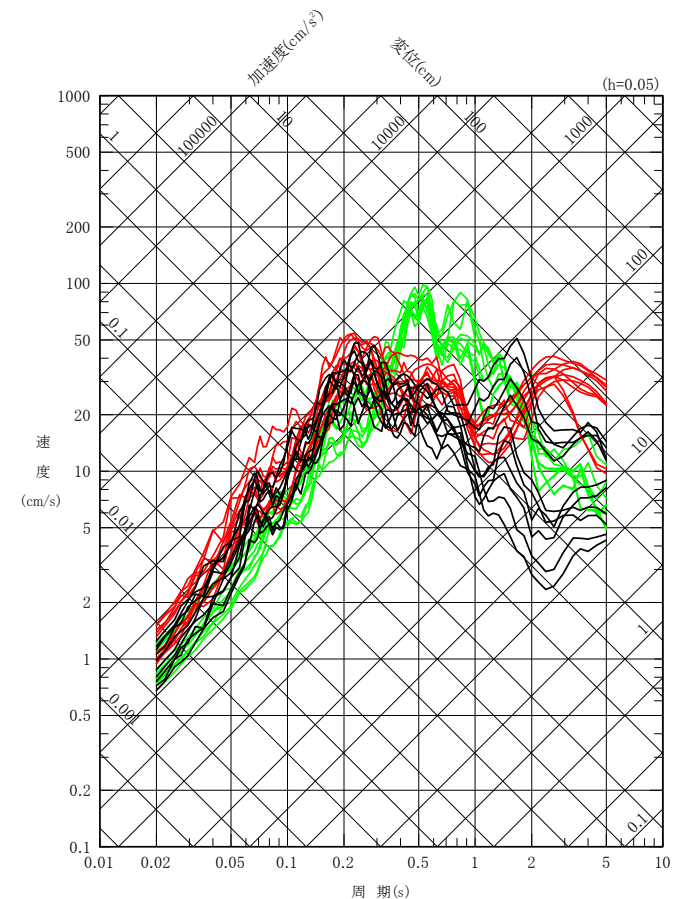
断層モデルを用いた手法による地震動評価結果のまとめ

- 内陸地殻内地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果を比較する。
- 水平動において、周期約0.6秒より短周期側では隆起再現断層による地震が最も大きく、周期約0.6秒から2秒では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が最も大きい。
- 鉛直動において、周期約0.3秒より短周期側では隆起再現断層による地震が最も大きく、周期約0.3秒から1秒では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が最も大きい。

— F-14断層による地震
 — 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
 — 隆起再現断層による地震



水平成分



鉛直成分

検討方針

- F-14断層による地震, 及び隆起再現断層による地震の応答スペクトルに基づく地震動評価は, Noda et al.(2002)による方法で実施している。
- 上記の検討用地震は, 敷地の近くに位置しており, 観測記録による補正をしていないことから, Noda et al.(2002)による方法とそれ以外の複数の距離減衰式の地震動評価を比較し, 結果を確認する。

(参考)Noda et al.(2002)による方法とそれ以外の距離減衰式による地震動評価の比較(2/4)

Noda et al.(2002)による方法以外の距離減衰式の適用性の確認

- F-14断層による地震, 隆起再現断層による地震に対する, Noda et al.(2002)による方法以外の距離減衰式の適用性を確認した。応答スペクトルに基づく地震動評価の比較は, Noda et al.(2002)による方法に加え, 以下の適用可能な距離減衰式による方法を用いて行う。
大野ほか(2001), 内山・翠川(2006), 片岡ほか(2006), Zhao et al.(2006), Kanno et al.(2006), Abrahamson et al.(2014), Boore et al.(2014), Campbell and Bozorgnia(2014), Chiou and Youngs(2014), Idriss(2014)

F-14断層による地震, 及び隆起再現断層による地震の地震規模, 断層最短距離

ケース	地震規模	断層最短距離
F-14断層による地震(基本ケース)	Mw6.5	9.0km
隆起再現断層による地震(基本ケース)	Mw6.5	6.7km

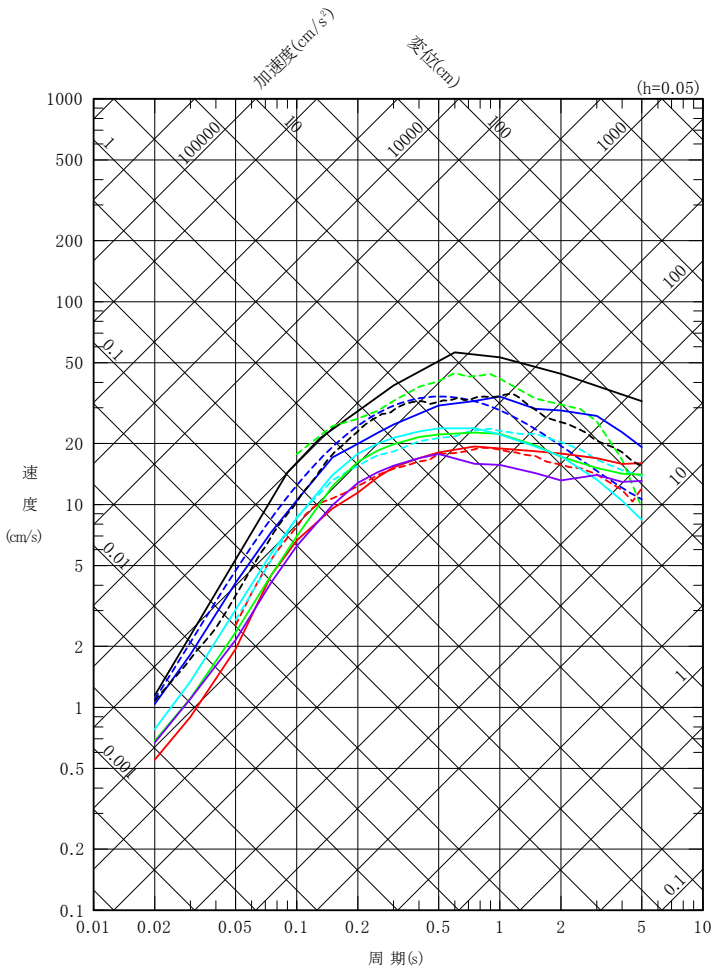
Noda et al.(2002)による方法以外の距離減衰式の適用性

距離減衰式	Mwの範囲	距離の範囲	地盤条件・種別	適用性	
				F-14断層による地震 (基本ケース)	隆起再現断層による地震 (基本ケース)
大野ほか(2001)	Mw4.9~7.5	4~174km(等価震源距離) 0~174km(断層最短距離)	第三紀以前, 更新世, 完新世	○	○
内山・翠川(2006)	Mw5.5~8.3	300km以内	$150 \leq V_{S30} \leq 750\text{m/s}$	○	○
片岡ほか(2006)	内陸:Mw4.9~6.9	250km以内	I種地盤, II種地盤, III種地盤, 工学的基盤	○	○
Zhao et al.(2006)	Mw5.0~8.3	0~300km	Soft soil~Hard rock	○	○
Kanno et al.(2006)	Mw5.5~8.2	1~500km	$100 \leq V_{S30} \leq 1400\text{m/s}$	○	○
Abrahamson et al.(2014)	Mw3.0~8.5	0~300km	$180 \leq V_{S30} \leq 1000\text{m/s}$	○	○
Boore et al.(2014)	Mw3.0~8.5(横ずれ断層・逆断層) Mw3.0~7.0(正断層)	0~400km	$150 \leq V_{S30} \leq 1500\text{m/s}$	○	○
Campbell and Bozorgnia(2014)	Mw3.3~8.5(横ずれ断層) Mw3.3~8.0(逆断層) Mw3.3~7.5(正断層)	0~300km	$150 \leq V_{S30} \leq 1500\text{m/s}$	○	○
Chiou and Youngs(2014)	Mw3.5~8.5(横ずれ断層) Mw3.5~8.0(正・逆断層)	0~300km	$180 \leq V_{S30} \leq 1500\text{m/s}$	○	○
Idriss(2014)	Mw5.0以上	150km以内	$450\text{m/s} \leq V_{S30}$	○	○

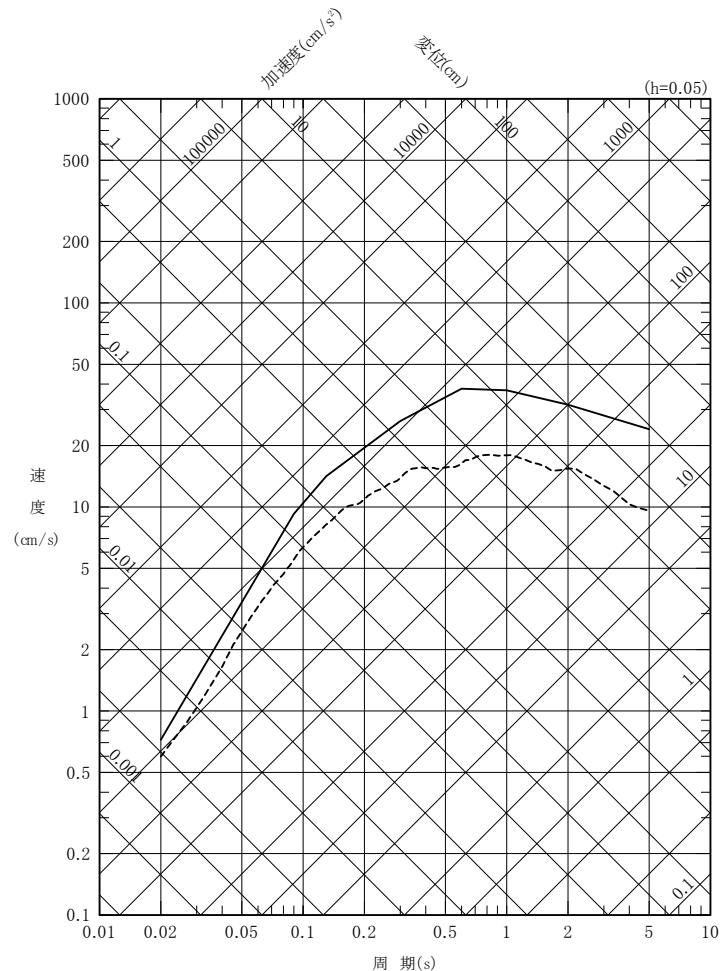
(参考) Noda et al.(2002)による方法とそれ以外の距離減衰式による地震動評価の比較(3/4)

F-14断層による地震の地震動評価の比較

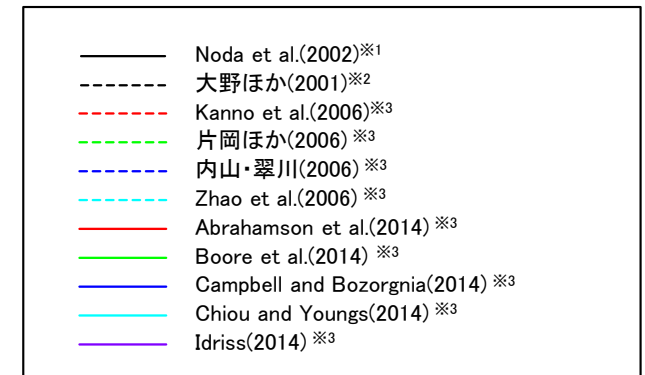
- F-14断層による地震のNoda et al.(2002)による方法とそれ以外の距離減衰式による地震動評価の比較を示す。
- 応答スペクトルに基づく地震動評価の比較は、Noda et al.(2002)による方法に加え、以下の距離減衰式による方法を用いて行う。
大野ほか(2001), 内山・翠川(2006), 片岡ほか(2006), Zhao et al.(2006), Kanno et al.(2006), Abrahamson et al.(2014), Boore et al.(2014), Campbell and Bozorgnia(2014), Chiou and Youngs(2014), Idriss(2014)
- Noda et al.(2002)による方法の地震動評価が、それ以外の距離減衰式による評価のおおむね同程度以上となることを確認した。



水平成分



鉛直成分



※1 : M7.0, 等価震源距離14.3km

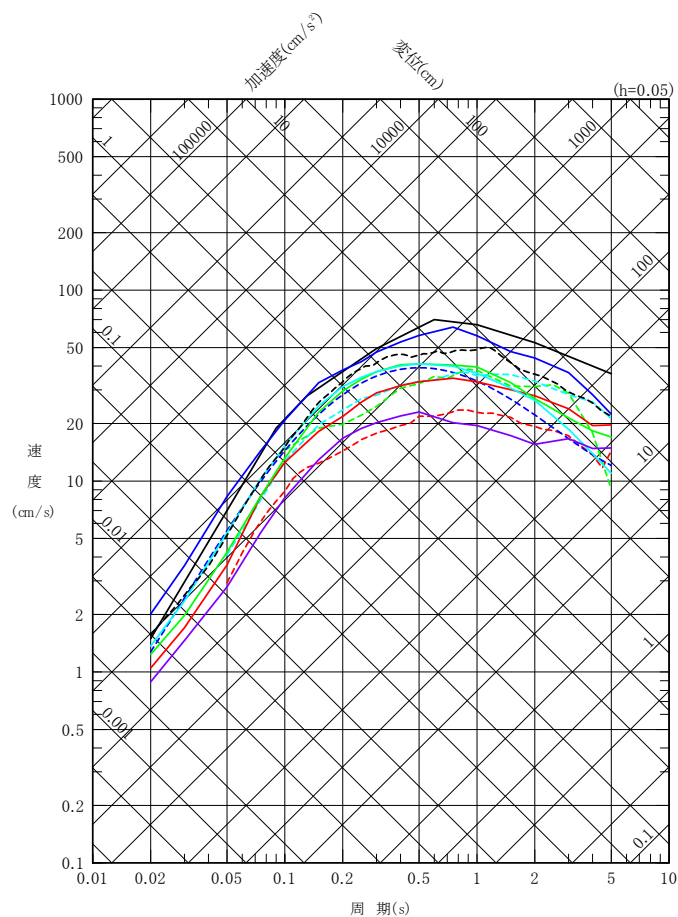
※2 : Mw6.5, 断層最短距離9.0km

※3 : Mw6.5, 断層最短距離9.0km, 水平成分のみ評価

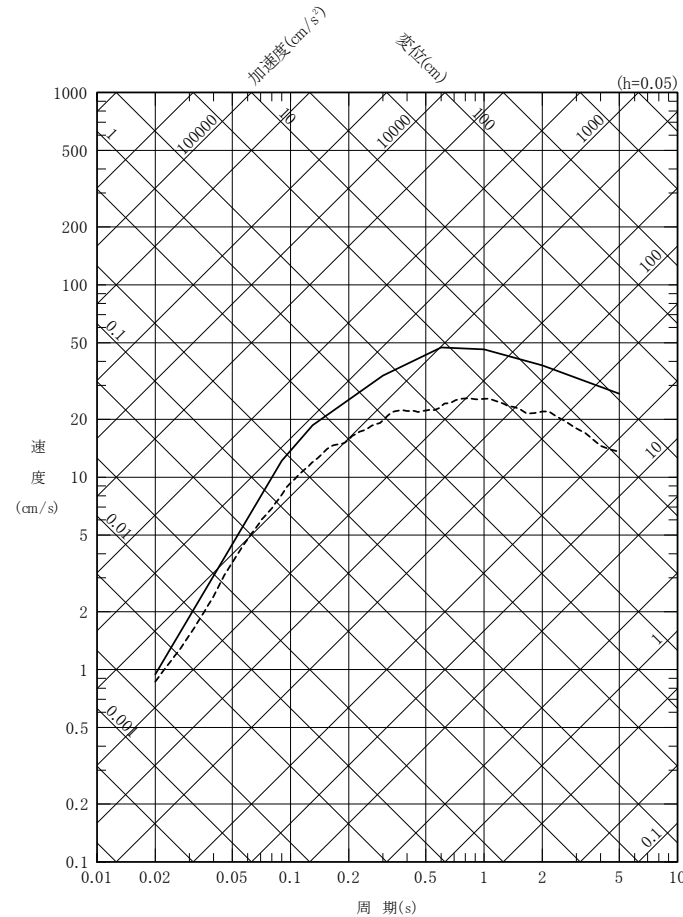
(参考) Noda et al.(2002)による方法とそれ以外の距離減衰式による地震動評価の比較(4/4)

隆起再現断層による地震の比較

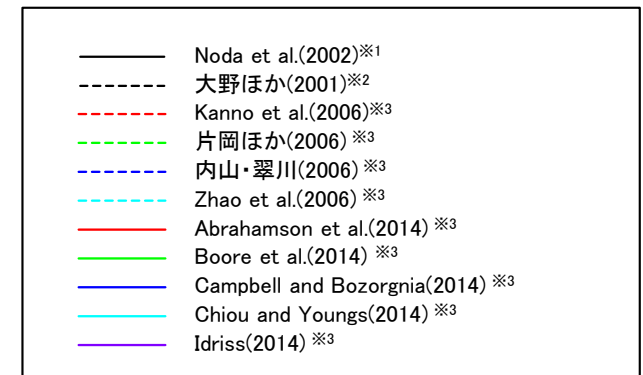
- 隆起再現断層による地震のNoda et al.(2002)による方法とそれ以外の距離減衰式による地震動評価の比較を示す。
- 応答スペクトルに基づく地震動評価の比較は、Noda et al.(2002)による方法に加え、以下の距離減衰式による方法を用いて行う。
大野ほか(2001), 内山・翠川(2006), 片岡ほか(2006), Zhao et al.(2006), Kanno et al.(2006), Abrahamson et al.(2014), Boore et al.(2014), Campbell and Bozorgnia(2014), Chiou and Youngs(2014), Idriss(2014)
- Noda et al.(2002)による方法の地震動評価が、それ以外の距離減衰式による評価のおおむね同程度以上となることを確認した。



水平成分



鉛直成分



※1 : M6.9, 等価震源距離10.3km

※2 : Mw6.5, 断層最短距離6.7km

※3 : Mw6.5, 断層最短距離6.7km, 水平成分のみ評価

参考文献

はじめに

- 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
- Noda, S., K.Yashiro, K.Takahashi, M.Takemura, S.Ohno, M.Tohdo and 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 Analysis. Oct. 16-18, Istanbul
- Stirling, M., D.Rhoades and K.Berryman(2002) : Comparison of Earthquake Scaling Relations Derived from Data of the Instrumental and Preinstrumental Era, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.92, No.2
- 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, No.2, B25
- 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
- ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究プロジェクト(2013) : ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究 総括成果報告書, 独立行政法人防災科学技術研究所

1. 敷地周辺の地震発生状況

- 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
- 気象庁 : <<http://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>>
- 気象庁・消防庁(2009) : 震度に関する検討会報告書, 平成21年3月, <<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/study-panel/shindo-kentokai/>>
- 気象庁地震カタログ: 地震月報(カタログ編)(1919~2019), 2020年11月13日時点, <<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/bulletin/index.html>>
- 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
- 地震調査研究推進本部(2009a) : 日本の地震活動ー被害地震から見た地域別の特徴ー<第2版>, <https://www.jishin.go.jp/resource/seismicity_japan/>
- 長谷川昭・海野徳仁・高木章雄・鈴木貞臣・本谷義信・亀谷悟・田中和夫・澤田義博(1983) : 北海道および東北地方における微小地震の震源分布ー広域の験震データの併合処理ー, 地震第2輯, 第36巻
- 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

2. 検討用地震の選定

- Kanamori, H.(1977) : The Energy Release in Great Earthquakes, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL.82, No.20
- 国土交通省・内閣府・文部科学省(2014) : 日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書, 日本海における大規模地震に関する調査検討会
- 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
- 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

3. F-14断層による地震の地震動評価

- Geller, R. J.(1976) : Scaling relations for earthquake source parameters and magnitudes, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.66, No.5
- Kakehi, Y. and K. Irikura(1997) : High-Frequency Radiation Process during Earthquake Faulting-Envelope Inversion of Acceleration Seismograms from the 1993 Hokkaido-Nansei-Oki, Japan, Earthquake, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.87, No.4
- Katsumata, A.(2010) : "Depth of the Moho discontinuity beneath the Japanese islands estimated by travelttime analysis", JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL.115, B04303
- Noguchi, S., S. Sekine, Y. Sawada, K. Kasahara, S. Sasaki, Y. Tazawa and H. Yajima(2017) : Earthquake monitoring using dense local seismic network, AS-net, in northern Tohoku, Japan, 16th World Conference on Earthquake, 16WCEE 2017
- Tanaka, A., Y. Ishikawa(2005) : Crustal thermal regime inferred from magnetic anomaly data and its relationship to seismogenic layer thickness: The Japanese islands case study, Physics of the Earth and Planetary Interiors, Vol.152
- Zhao, D., A.Hasegawa, H.Kanamori(1994) : Deep structure of Japan subduction zone as derived from local, regional, and teleseismic events, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL.99, NO.B11

参考文献

3. F-14断層による地震の地震動評価

- 伊藤潔(2002):地殻内地震発生層, 月刊地球 号外 No.38
- 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
- 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, 第27回地震工学研究発表会, 2003, No.315
- 河野芳輝・島谷理香・寺島秀樹(2009):重力異常から推定される日本列島周辺の三次元地殻構造, 地震第2輯, 第61巻特集号(2009)
- 木下繁夫・大竹政和(2000):強震動の基礎, < <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/gk/publication/> >
- 国立研究開発法人 産業技術総合研究所:地下構造可視化システム—活断層の地下構造—HP「用語解説」, < https://gbank.gsj.jp/subsurface/tec_term.html >
- 地震調査研究推進本部(2009b):全国地震動予測地図, 平成21年7月
- 田中明子(2009):地球浅部の温度構造—地震発生層との関連—, 地震第2輯, 第61巻特集号(2009)
- 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66巻, 第545号
- 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
- 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
- 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

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

- Abrahamson, N. A., W. J. Silva and R. Kamai (2014): Summary of the ASK14 Ground Motion Relation for Active Crustal Regions, Earthquake Spectra, Vol.30, No.3
- Boore, D. M., J. P. Stewart, E. Seyhan and 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
- Campbell, K. W. and 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
- Chiou, B. S.-J. and 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
- Cho, H.-M., C.-E. Baag, J.M. Lee, W.M. Moon, H. Jung, K.Y. Kim, and I. Asudeh (2006): Crustal velocity structure across the southern Korean Peninsula from seismic refraction survey, Geophysical Research Letters, Vol.33
- Eshelby, J. D. (1957): The determination of the elastic field of an ellipsoidal inclusion, and related problems, Proceedings of the Royal Society, A241
- Fujii, Y., and M. Matsu'ura (2000): Regional Difference in Scaling Laws for Large Earthquakes and its Tectonic Implication, Pure and Applied Geophysics, Vol.157
- 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
- Iwasaki, T., W. Kato, T. Moriya, A. Hasemi, N. Umino, T. Okada, K. Miyashita, T. Mizogami, T. Takeda, S. Sekine, T. Matsushima, K. Tashiro, and H. Miyamachi (2001): Extensional structure in northern Honshu Arc as inferred from seismic refraction/wide-angle reflection profiling, Geophysical Research Letters, Vol.28
- Kanno, T., A. Narita, N. Morikawa, H. Fujiwara and 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
- Madariaga, R. (1979): On the relation between seismic moment and stress drop in the presence of stress and strength heterogeneity, Journal of Geophysical Research, 84
- No, T., T. Sato, S. Kodaira, T. Ishiyama, H. Sato, N. Takahashi, and Y. Kaneda (2014): The source fault of the 1983 Nihonkai-Chubu earthquake revealed by seismic imaging, Earth and Planetary Science Letters, 400
- 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
- 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 and 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

参考文献

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

- 明田川保・岡本國徳・佐藤馨・森滋男(1994):地震活動(余震分布と時間変化), 月刊 海洋, 号外No.7
- 伊藤潔(2002):地殻内地震発生層, 月刊地球 号外 No.38
- 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
- 大野晋・高橋克也・源栄正人(2001):カリフォルニア強震記録に基づく水平動・上下動の距離減衰式と日本の内陸地震への適用, 日本建築学会構造系論文集, 第544号
- 奥田義久・盛谷智之・細野武男(1987):西津軽海盆海底地質図(20万分の1)及び同説明書, 海洋地質図30号, 地質調査所
- 海上保安庁水路部(1975):大陸棚の海の基本図(20万分の1)「奥尻海盆」, 海底地質構造図
- 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
- 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
- 木下繁夫・大竹政和(2000):強震動の基礎, < <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/gk/publication/> >
- 地震調査研究推進本部(2003):日本海東縁部の地震活動の長期評価について, 平成15年6月
- 田中明子(2009):地球浅部の温度構造—地震発生層との関連—, 地震第2輯, 第61巻特集号(2009)
- 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
- 壇一男・入江紀嘉・具典淑・島津奈緒未・鳥田晴彦(2015):長大な逆断層による内陸地震の断層モデルのパラメータの設定方法の提案, 日本建築学会構造系論文集, 第80巻 第707号
- 徳山英一・本座栄一・木村政昭・倉本真一・芦寿一郎・岡村行信・荒戸裕之・伊藤康人・徐垣・日野亮太・野原壯・阿部寛信・坂井眞一・向山建二郎(2001):日本周辺海域中新世最末期以降の構造発達史, 海洋調査技術, Vol.13
- 日本海地震・津波調査プロジェクト(2019):日本海地震・津波調査プロジェクト 平成30年度成果報告書, 文部科学省研究開発局・国立大学法人東京大学地震研究所
- 長谷川昭(2002):日本海東縁の活断層と地震テクトニクス, 東京大学出版会
- 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

5. 隆起再現断層による地震の地震動評価

- 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
- Steketee, J. A.(1958):Some geophysical applications of the elasticity theory of dislocations, Canadian Journal of Physics, vol.36, No.9