

大間原子力発電所審査資料	
資料番号	OM1-CA164-R00
提出年月日	2022年2月7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2)

(隆起再現断層の評価方針について)

2022年2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2)

(隆起再現断層の評価方針について)

2022年2月7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

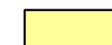
・左下の注記

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

- 本資料は、内陸地殻内地震のうち隆起再現断層の評価方針を説明するものであり、下表の指摘事項について回答するものである。各震源のモデル候補に対する隆起シミュレーション結果及び最終的な地震動評価結果については、今後ご説明する。

 本資料でご説明

No.	項目	指摘時期	コメント内容	該当箇所
S4-9	地形発達過程の評価	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。	補足説明資料 P.17～P.30
S4-10	地形発達過程の評価	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。	(評価方針をご説明) 本編資料 P.25～P.33 P.39～P.55
S4-11	地形発達過程の評価	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。	(評価方針をご説明) 本編資料 P.22～P.25 P.39～P.55
S4-12	地震動評価	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。	地震動評価結果の説明と合わせてご説明予定。

第1013回審査会合からの主な変更点

隆起再現断層による地震に係る主な変更点

地震発生層下限深さの設定

- 第1013回審査会合(2021.11.5開催)では、F-14断層による地震と同様に、地震発生層下限深さを17kmとして、震源モデルを設定したことを説明した。
- 今回は、F-14断層による地震の地震発生層下限深さの見直しに伴い、地震発生層下限深さを15kmとして、震源モデルを設定することを説明する。

地形発達過程の説明性に基づく隆起再現断層の選定

コメントNo.S4-10

コメントNo.S4-11

- 第1013回審査会合(2021.11.5開催)では、「隆起再現断層の想定領域」の東部領域を代表する古い地質構造に沿った3条の走向に加え、地質構造に整合的な2条の補間的な走向を想定した20震源モデル候補を設定し、そのうちの地形発達過程の説明性のある震源モデルについて説明した。
- 今回は、代表性・網羅性の観点から、前回説明した5条の走向に、更に地質構造に整合的な2条の補間的な走向を想定した28震源モデル候補を設定し、評価基準の重みづけや閾値の考え方を説明するとともに、そのうちの地形発達過程の説明性のある震源モデル、及び「震源モデルの設定範囲」について説明する。

地震動レベルの傾向分析

- 参考として、隆起再現断層の28震源モデル候補について、地形発達過程の説明性の有無を考慮せずに断層パラメータが地震動評価に及ぼす影響の傾向を分析し、敷地における地震動レベルが上限となる震源モデル候補について説明する。

Okada(1992)以外の隆起シミュレーション手法の事例

コメントNo.S4-9

- Okada(1985,1992)の方法、Mansinha and Smylie(1971)の方法及びWang et al.(2003)の方法による地殻変動を比較した結果、各手法を用いた地殻変動の検討事例等を説明する。

はじめに

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のうち本資料の説明範囲

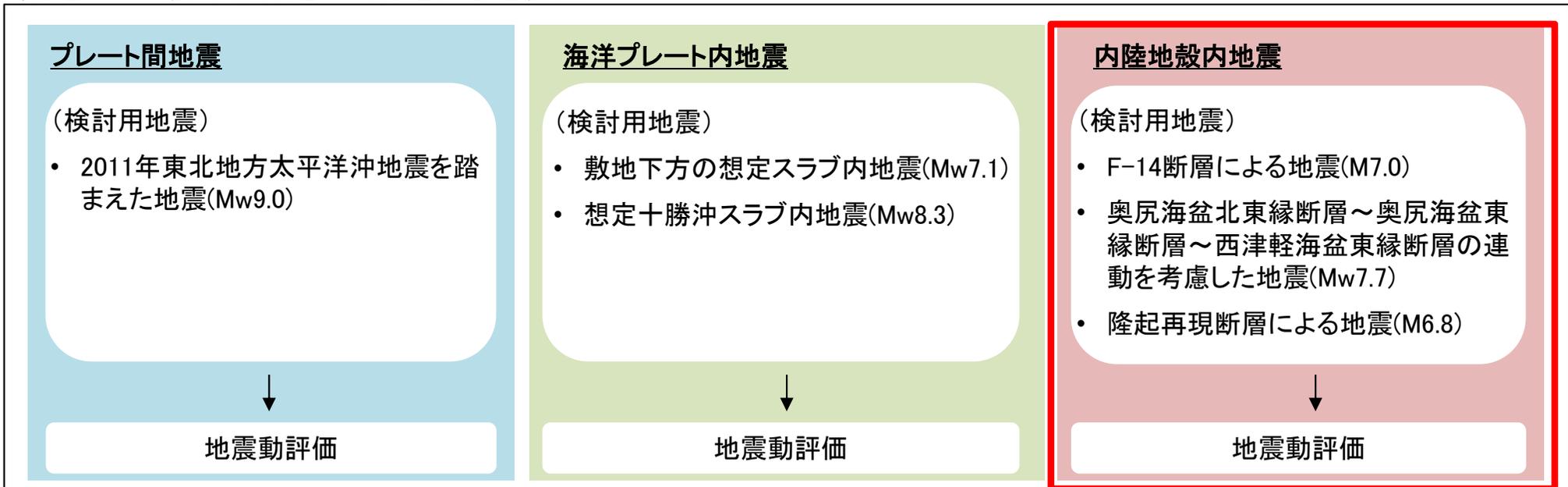
- 本資料では、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のうち、内陸地殻内地震について説明する。

敷地周辺の地震発生状況

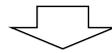
- 敷地周辺のプレートテクトニクス
- 敷地周辺の地震活動
- 敷地周辺における主な被害地震
- 敷地における揺れが震度5弱程度以上であると推定される地震



敷地ごとに震源を特定して策定する地震動



本資料の説明範囲
(隆起再現断層による地震のみ)



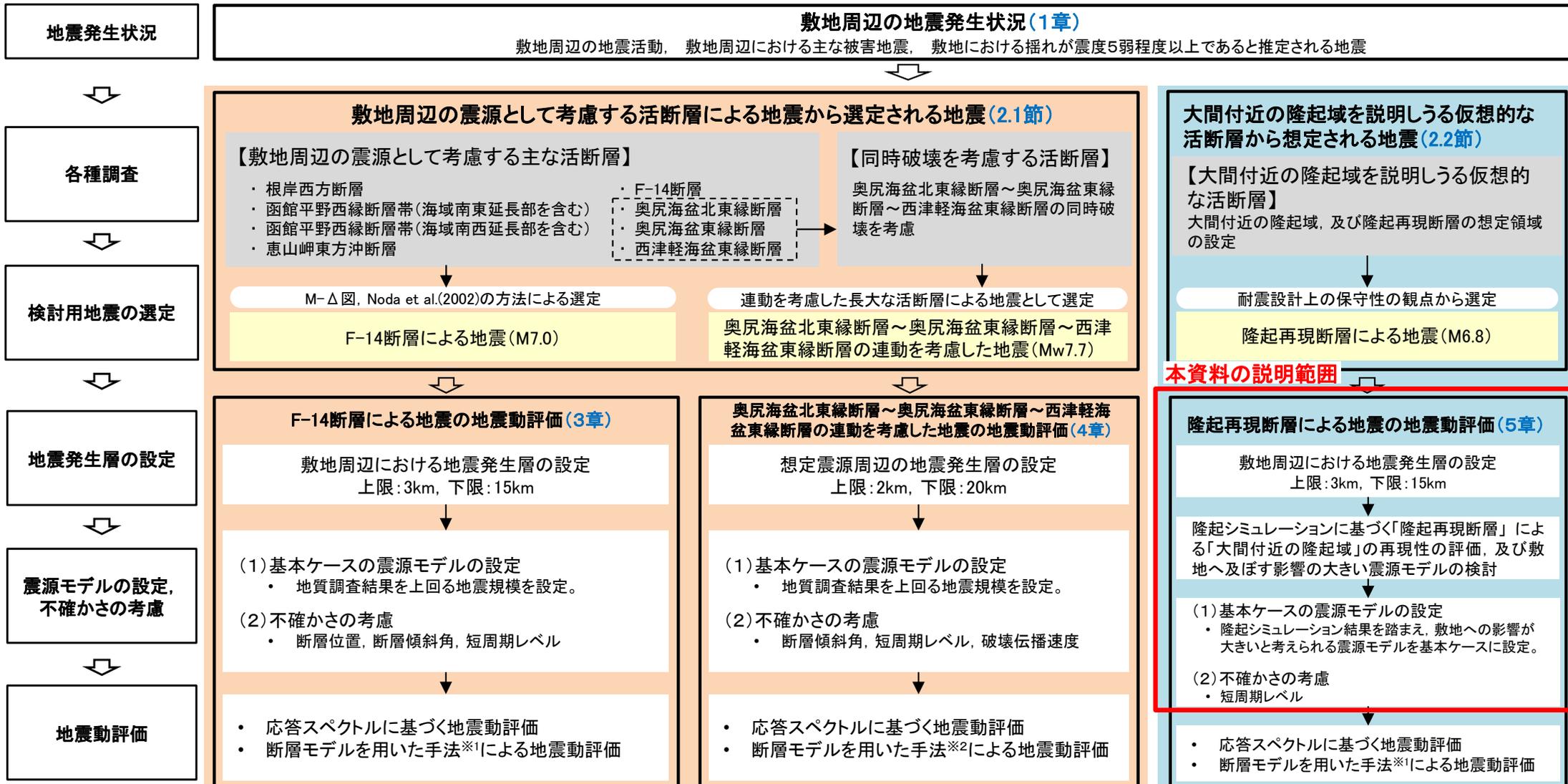
まとめ

- 検討用地震の地震動評価結果一覧



検討用地震の選定及び地震動評価の流れ

- ・ 内陸地殻内地震の地震動評価フローを示す。
- ・ 検討用地震として、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に加え、大間付近の隆起域を説明しうる仮想的な活断層から想定される地震を選定する。
- ・ 大間付近の隆起域を説明しうる仮想的な活断層から想定される地震は、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を設定し、その隆起域を説明しうる仮想的な活断層を、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して耐震設計上の保守性を考慮するものである。



※1:統計的グリーン関数法と理論的手法のハイブリッド合成法による。統計的グリーン関数法の波形合成は、入倉ほか(1997)、理論的手法はHisada(1994)を用いる。
※2:経験的グリーン関数法による。波形合成は入倉ほか(1997)を用いる。

第922回までの敷地周辺及び敷地近傍の地質・地質構造に係る審査会合において審議済みであり、地震動の審査に引き継ぐ事項。

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

本資料の説明範囲

- | | |
|-----------------------------|------|
| 5. 隆起再現断層による地震の地震動評価 | P.3 |
| 5.1 評価方針 | P.4 |
| 5.2 隆起再現断層の想定領域の設定 | P.12 |
| 5.3 地震発生層の設定 | P.13 |
| 5.4 地形発達過程の説明性に基づく隆起再現断層の選定 | P.14 |
| 5.5 地震動評価の震源モデルの設定 | P.34 |
| 5.6 地震動評価手法 | |
| 5.7 地震動評価結果 | |

6. 地震動評価のまとめ

本資料の説明範囲

- | | |
|--------------------|------|
| 【参考1】地形発達過程の説明性の傾向 | P.39 |
| 【参考2】地震動レベルの傾向分析 | P.56 |

地震動評価における基本方針

<地震動評価における基本方針>

隆起再現断層の想定領域は、地質調査及び地球物理学的調査による古い地質構造から設定したものであるため、地震動評価を実施するにあたって必要となる地形発達過程の検討を行い、改めて「震源モデルの設定範囲」を設定した上で地震動評価を行う。

(1) 地形発達過程の検討

- 地形発達過程の検討は、複数の震源モデル候補を設定した隆起シミュレーションにより行う。隆起シミュレーションに用いた震源モデル候補のうち、大間付近の隆起領域を説明できる震源モデルを選定するとともに、「震源モデルの設定範囲」を設定する。

(2) 隆起再現断層による地震の地震動評価

- 選定された震源モデルから、敷地へ及ぼす影響の大きい震源モデルを地震動評価の基本ケースとして設定し、さらに不確かさを考慮して地震動評価を行う。

5.1 評価方針(2/8)



隆起再現断層の位置付け

・ 下北半島西部に認められる累積的な変位は、奥羽脊梁山地の火山帯に認められる上部地殻の非弾性変形による広域的な地殻変動によるものと判断されるが、耐震設計上の保守性を考慮し、広域的な地殻変動の隆起域の中心に相対的に隆起が速い領域を設定し、この領域が仮想的な活断層によって生じているものと仮定し、この領域を「大間付近の隆起域」、説明する活断層を「隆起再現断層」として評価することとしている。

下北半島西部の隆起に関する調査のまとめ (第983回審査会合資料2-4-1「第7章 下北半島西部の隆起」を参照。)

調査	対象領域	海域: 鮮新世末以降の変動, 陸域: 後期更新世以降の変動	まとめ
海域 (堆積構造の解析)	<ul style="list-style-type: none"> 津軽海盆 汐首海脚東方海域 	→ 沈降	陸の隆起と沖合の沈降とを繋ぐ陸棚斜面全域の傾動が認められる。 変形は陸棚斜面の全域に分散されており、局所的な変位・変形は認められない。 (落差700m以上)
	<ul style="list-style-type: none"> 陸棚 陸棚斜面 	→ 傾動	
陸域 (海成段丘調査) (河成段丘調査)	→ <ul style="list-style-type: none"> 北東側海岸 西側海岸 南側海岸 大畑川流域 	→ 隆起 →	海岸では、北端部を隆起の中心とし、南西方向に緩やかに隆起速度が低下する。 内陸では、北東方の低地から中央の山地にかけて一定速度で隆起する。 海岸、内陸共に、隆起速度の急変部は認められない。

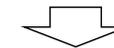
※1: 補足説明資料1章を参照。
 ※2: 長谷川ほか(2004)

隆起の成因となる活断層の調査のまとめ (第983回審査会合資料2-4-1「第7章 下北半島西部の隆起」を参照。)

調査	まとめ
海域の地質構造調査 活断層は、北西方沖合のF-14断層及び西方沖合の敷地西方沖断層のみが認められ、これら断層の位置、規模、変位センスは、下北半島西部の隆起の成因として整合しない。	地表付近から地下深部において、下北半島西部の隆起の成因となる活断層及び活断層を示唆する地質構造は認められない。
陸域の地質構造調査 陸域の変動地形の可能性のある地形(断層変位地形)は、小規模であり、少なくとも後期更新世以降の活動が無く、下北半島西部の隆起の成因として整合しない。	
その他の活断層に関連する調査 海岸侵食地形調査(地震性隆起ベンチ)、海成段丘調査(褶曲構造の活動性)、重力探査及び陸海連続弾性波探査(深部地質構造)において、活断層を示唆する地質構造は認められない。	



隆起域から沈降域まで含む広域の地殻変動は、上部地殻の非弾性変形による地殻変動と判断され、活断層で説明できる地殻変動ではない。



対応方針

耐震設計上の保守性を考慮し、広域的な地殻変動のうち、隆起域の中心に相対的に隆起が速い領域※1を設定し、この領域が仮想的な活断層によって生じているものと仮定し、この領域を「大間付近の隆起域」、隆起を説明する活断層を「隆起再現断層」として評価する。

5.1 評価方針(3/8)



隆起再現断層の設定における保守性の考慮

- 隆起再現断層の設定においては、海域及び陸域の地質構造調査によって活断層が認められないため、下記2点の仮定により2重の保守性を考慮し、仮想的な活断層を評価することとしている。
 - 後期更新世より前に形成された断層以外の古い地質構造を、断層を示唆する構造として扱い、これらの一部に活動が生じるものとする。
 - 隆起を説明するため、現在の応力場では活動しないE-W走向の逆断層として活動するものとする。
- ここで、地質調査・地球物理学的調査では、隆起の成因となる活断層が認められないため、変動地形学的調査で得られた広域的な地殻変動が唯一の拠り所となる。したがって、地殻変動に起因する地形発達過程の検討は、隆起再現断層の設定において不可欠である。

	調査結果	耐震設計上の保守性 (敷地周辺の審査)	現在の議論 (地震動の審査)
地質調査	隆起の成因となる 活断層は認められない。	①断層以外の古い地質構造を、 活断層を示唆する構造として 扱う。 ②現在の応力場で活動しないE -W走向の逆断層を想定する。	古い地質構造に基づき、 隆起再現断層を 想定しうる領域 「隆起再現断層の想定領域」
地球物理学的調査	隆起の成因となる 活断層は認められない。		
変動地形学的調査	非弾性変形による 広域的な地殻変動が 認められる。 (大間のある北端部が 隆起域の中心)	隆起域の中心に、仮想的な活 断層(隆起再現断層)による隆起 域(「大間付近の隆起域」)を想 定する。	 「大間付近の隆起域」の説明性のある 震源モデルが設定できる範囲 「震源モデルの設定範囲」

本資料にて審議

5. 隆起再現断層による地震の地震動評価

5.1 評価方針(4/8)

隆起再現断層による地震の位置付け

- 隆起再現断層は仮想的な断層であり、地表付近の破壊が存在しないため、地質・地質構造の審査ガイド※1による「震源として考慮する活断層」として断層を位置付けられない。そこで、地震動・設計方針の審査ガイド※2において「震源を特定せず策定する地震動」が定義されていることから、この定義に倣い、『震源の「位置」及び「規模」が推定できる』ことを条件として、隆起再現断層による地震を「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」として位置付けることとする。
- 地質・地質構造の審査ガイド※1によれば、伏在する活断層を想定する場合、変動地形学的調査・地質調査・地球物理学的調査によって、伏在する活断層の「位置・形状」が推定され、根拠を明らかにする必要があるとされている。隆起再現断層については、地質調査・地球物理学的調査では活断層を示唆する地質構造が認められず根拠を示すことができないため、変動地形学的調査に基づく地形発達過程の検討によって、隆起再現断層の「位置・形状」を設定することとする。
- なお、「位置・形状」を設定することにより、『震源の「位置」及び「規模」が推定できる』地震動の条件を満足するものとする。

審査ガイド※3等に基づく内陸地殻内地震の分類

地震の区分		震源を特定せず策定する地震動		敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 (震源として考慮する活断層)	
		全国共通に考慮すべき地震動	地域性を考慮する地震動	広域的な地形面の変位・変形から想定される震源断層による地震	孤立した短い活断層、活断層、長大な活断層による地震
予見性		事前に震源の「位置」「規模」が推定できない。	事前に震源の「規模」が推定できない。	事前に震源断層の「位置・形状」が推定される。	事前に震源の「位置」「規模」が推定される。
地表痕跡	地震発生前	認められない。		認められない。	地表付近の破壊が認められる。
	地震発生後	認められない。	全容を表すまでには至らない。		
累積的な変位				広域的な地形面の変位・変形が認められる。	

審査ガイド※3に示される地震動の分類

- 「地質・地質構造の審査ガイド」※1によれば、震源として考慮する活断層は、地下深部の地震発生層から地表付近まで破壊しているとされ、また、孤立した短い活断層は、震源断層の長さを示さない活断層が地表で認められるとされている。
- 「地震動・設計方針の審査ガイド」※2によれば、「震源を特定せず策定する地震動」は、震源の「位置」及び「規模」が推定できない地震、又は地表地震断層としてその全貌を表すまでには至っておらず「規模」が推定できない地震とされている。
- 「地質・地質構造の審査ガイド」※1によれば、広域的な地形面の変位・変形から伏在する活断層が想定される場合には、変動地形学的調査・地質調査・地球物理学的調査によって、その「位置・形状」が推定され、根拠を明らかにする必要があるとされている。

※1:「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」以下同様。
(補足説明資料1章を参照)

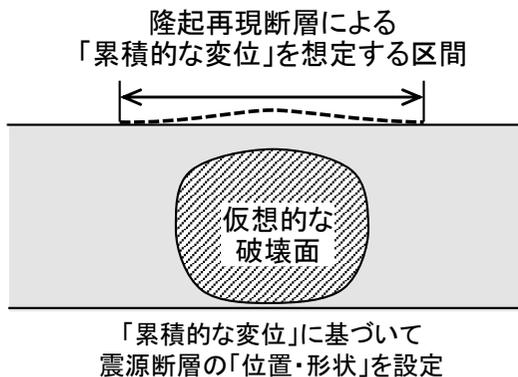
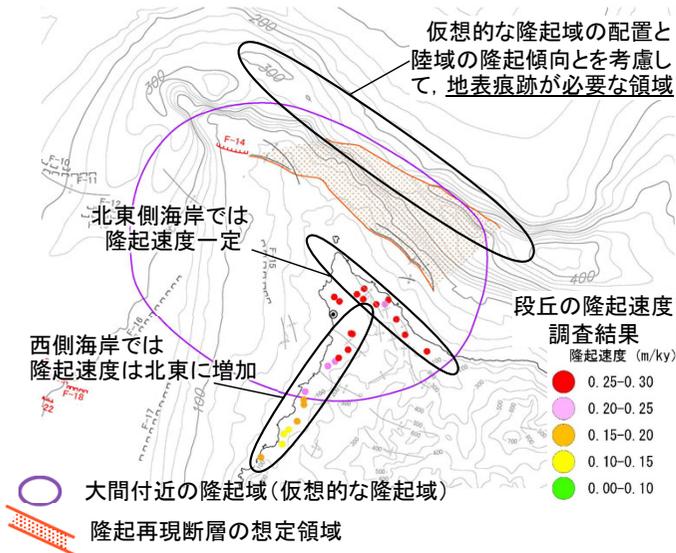
※2:「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」以下同様。
(補足説明資料1章を参照)

※3:「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」及び「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」、以下同様。

↑
隆起再現断層を想定する
地震動区分

隆起再現断層の「位置・形状」から「規模」を設定する方法(1/3): 基本方針

- 隆起再現断層を「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価対象とするため、その「位置・形状」を推定し根拠を明らかにする必要がある。
- 隆起再現断層には地表の痕跡が無く、「位置」の固定ができないため、仮想的な隆起域の西端付近に位置するF-14断層を、隆起再現断層の西端の「起点」として扱うこととする。
- また、地表の痕跡から震源規模を推定する方法が適用できないため、「大間付近の隆起域」において隆起再現断層による累積的な変位を想定し、これに基づいて「規模」を設定する方法を検討する。



隆起再現断層の「位置」

- 仮想的な隆起域の配置と陸域の隆起傾向とを考慮すると、北東方海域にWNW-ESE走向で南傾斜逆断層の地表痕跡が必要となる。
- 当該海域に適切な地質構造が分布せず、その海域付近に認められる唯一の断層であるF-14断層が、仮想的な隆起域の西端付近に位置することから、F-14断層を隆起再現断層の西端の「起点」として扱うこととする。^{※1}
- なお、海域の地質構造調査により確認されたF-14断層の諸元(鉛直または高角北傾斜、左横ズレのセンスが想定される)は、隆起再現断層に想定される諸元(南傾斜の逆断層センス)とは整合しない。

※1: 第983回審査会合資料2-4-1 P.9-4を参照。

隆起再現断層の「規模」

- 地質調査及び地球物理学的調査(重力探査、陸海連続弾性波探査)では、隆起再現断層による地表付近の破壊の痕跡として扱う適切な地質構造が認められないため、当該海域において地表の痕跡に基づいて震源の「規模」を設定することができない。

そこで、「大間付近の隆起域」における地形発達過程のうち、隆起再現断層による累積的な変位を想定し、これに基づいて震源断層の「位置・形状」を設定することとし、「位置・形状」に基づいて震源断層の面積が定まり、「規模」が設定されるものとする。

隆起再現断層の「位置・形状」から「規模」を設定する方法(2/3): 設定の方法

前提となる条件

- 米国San Andreas Faultのsouth-centralセグメントでは、特定区間が繰り返し活動し、それらの累積がセグメント全体の変位を構成すると考えられている※1。これを単独の震源断層に適用し、特定のアスペリティ区間が繰り返し活動するものとするれば、累積的な変位と地震発生時の地表変位とは、地殻変動パターンとして類似することになる。
- 東北日本の逆断層で発生した2008年岩手・宮城内陸地震において、伏在する活断層による累積的な変位と地震発生時の地表変位とが地殻変動パターンとして類似する事例※2が知られていることから、同じ東北日本において逆断層を想定する本件においても、累積的な変位と地震発生時の地表変位とが地殻変動パターンとして類似することを仮定し、隆起再現断層の「位置・形状」を設定することとする。

※1: D.P.Schwartz et al.(1984)。補足説明資料1章を参照。 ※2: 後藤・佐々木(2019)。補足説明資料1章を参照。

方法 累積的な変位による地殻変動パターンの確認

- 本件における累積的な変位は、陸域においては段丘面の高度分布によって把握されるが、形成年代の異なる段丘面が混在することから、隆起速度分布に置き換えて検討することとする。
- 海域においては、堆積層中の“growth strata”の発達状況により、累積的な変位を検討することとする。
- なお、更新世以降の累積的な変位は、落差700m以上、東西約60kmに渡る広域的な地殻変動となる※3ため、隆起域の中心に相対的に隆起が速い領域を設定し、これを隆起再現断層による隆起域(大間付近の隆起域)とし、この領域内で累積的な変位による地殻変動パターンを確認することとする。

※3: 下北半島西部の隆起については、補足説明資料1章を参照。

地震発生時の地表変位による地殻変動パターンの確認

- 本件における地震は仮想的なものであるため、地震発生時の地表変位は、震源モデルを用いた隆起シミュレーションによる予測解析が唯一の設定方法であり、算出される地表変位を検討に用いることとする。
- 隆起再現断層の地質構造の不確かさを考慮して、走向(位置)・傾斜・アスペリティ位置を変えた複数の組合せによる震源モデル候補を設定し、断層諸元の違いによる、地震発生時の地表変位の地殻変動パターンを確認することとする。
- なお、隆起シミュレーションは、活断層による地表変位の解析事例の多い、Steketee(1958)の「食い違い弾性論」に基づくOkada(1992)の方法※4を用いることとする。

地殻変動パターンの比較による隆起再現断層の「位置・形状」及び「規模」の評価

※4: 「Okada(1992)の方法」については、補足説明資料3章を参照。

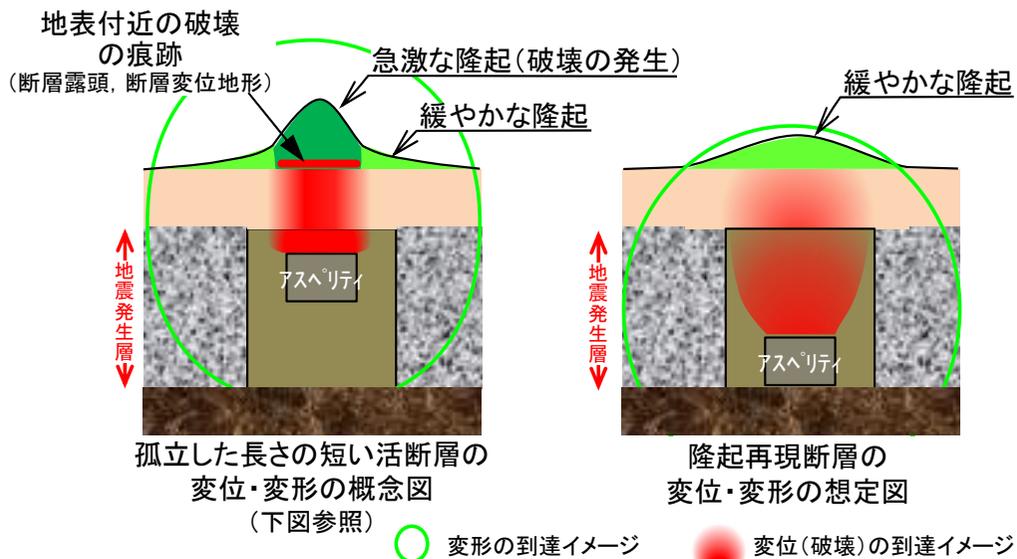
- 累積的な変位と地震発生時の地表変位との類似性の検討は、地殻変動パターンの比較であることから、それぞれ基準化した形状で比較することとする。
- 累積的な変位も地震発生時の地表変位も共に立体的な現象であるため、水平面方向と鉛直断面方向の地殻変動パターンとして評価し、それぞれ定量的な評価指標を設定して、地表変位により地殻変動パターンを比較することとする。
- 累積的な変位と地震発生時の地表変位との地殻変動パターンに類似性が認められない場合、その震源モデルの断層諸元は地形発達過程の説明性が無いものとして除外し、残る震源モデルにより確定する断層諸元の許容範囲において、隆起再現断層の「位置・形状」を設定することとし、「位置・形状」に基づいて震源断層の面積が定まり、「規模」が設定されるものとする。

5.1 評価方針(7/8)

隆起再現断層の「位置・形状」から「規模」を設定する方法(3/3):アスペリティ位置の考え方

- 「地震動・設計方針の審査ガイド」では、“アスペリティの位置が活断層調査等によって設定できる場合には、その根拠が示されていること”，“根拠が無い場合は、敷地への影響を考慮して安全側に設定されている必要がある。”とされている。^{※1}
- 隆起再現断層は、地表の累積的な変位が緩やかな形状であること(P.5参照)及び震源断層のせん断変位が地表に達していないこと(P.5参照)が条件となるため、アスペリティ位置は、地震発生層の下端が適切と判断され、少なくとも上端には想定されない。

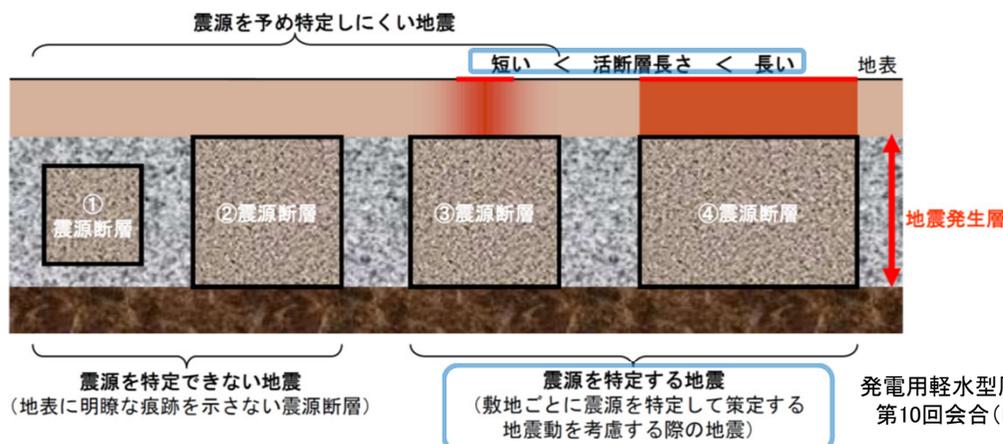
※1:補足説明資料1章を参照。



隆起再現断層のアスペリティ位置の考え方

- 隆起再現断層は、地表付近に破壊の痕跡が認められないものの、その震源断層は、地震発生層を深度方向に飽和して設定することとする。
- アスペリティ位置を地震発生層の上端に設定した場合、地表に急激な隆起区間が生じると考えられ、確認される「累積的な変位」が緩やかな隆起であることと矛盾することから、少なくともアスペリティ位置を上端には設定できない。また、地表付近に破壊の痕跡(断層露頭及び断層変位地形)が認められず、仮に震源断層が存在しても、せん断変位が上位の地盤中で収束していることから、アスペリティ位置(大すべり域)は、地震発生層の下端に配置することが適切であると判断される。

【参考】地震動, (地表)活断層, 震源断層の概念図



- 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」は、基本的には地表に活断層が認められ、位置と走向が設定される。
- 活断層が「短い」場合は、活断層の長さが震源断層規模を反映していないものと考え、震源断層の諸元を推定する。
- 活断層が「長い」場合は、活断層の長さを震源断層の長さとして震源断層の諸元を推定する。



5.1 評価方針(8/8)

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

5.2 隆起再現断層の想定領域の設定

- 地質的な制約条件の検討

5.3 地震発生層の設定

5.4 地形発達過程の説明性に基づく隆起再現断層の選定

- 隆起シミュレーション

5.5 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
- 基本ケースの震源モデルの断層パラメータの設定
- 考慮する不確かさの整理に基づく検討ケースの設定

5.6 地震動評価手法, 5.7 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983回審査会合資料2-4-1「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.8-48)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、地質構造等に関する各種不確かさを考慮した断層諸元による複数の震源モデル候補を設定する。
- 隆起シミュレーションにより「大間付近の隆起域」における地形発達過程の説明性を検討し、説明性のある震源モデルが設定できる範囲を評価する。
- 地形発達過程の説明性がある震源モデルを、地震動評価における震源モデルの候補とする。

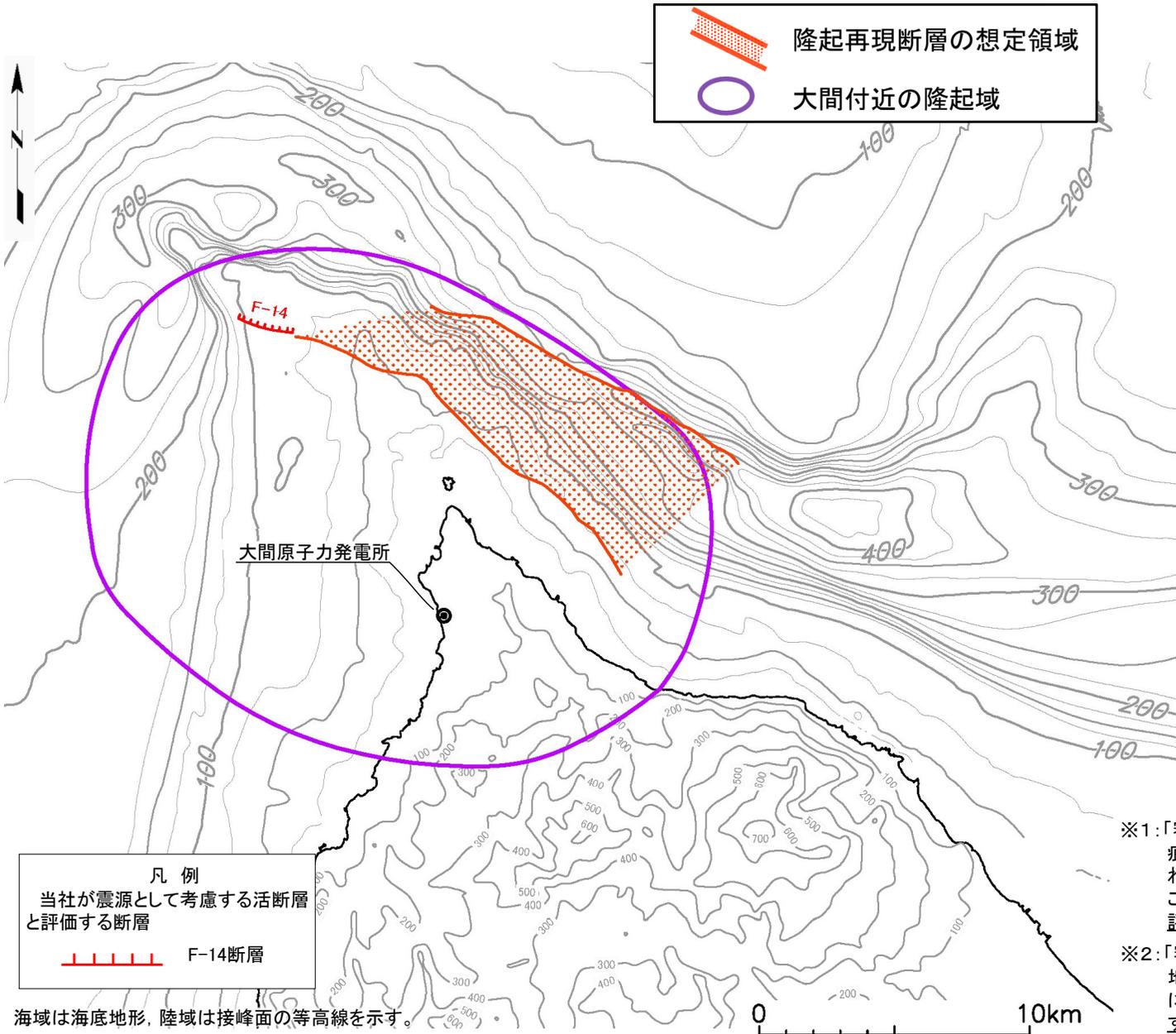
- 地形発達過程の説明性がある震源モデルの中で、敷地に及ぼす影響が大きい震源モデルを、「基本ケース」の震源モデルに選定する。
- 「不確かさケース」として、「基本ケース」に短周期レベルの不確かさを考慮する。

- 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。

5.2 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」における地形発達過程を説明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、「大間付近の隆起域」における地形発達過程の説明性により、隆起再現断層の「位置・形状」を評価し、震源モデルを設定することが不可欠である。

※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。…”

5.3 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

- 隆起再現断層は、F-14断層を西端の「起点」としているためF-14断層とおおむね同位置に設定されることから、その地震発生層は、F-14断層による地震の地震発生層と同様に、上限を3km、下限を15kmに設定する。

5.4 地形発達過程の説明性に基づく隆起再現断層の選定(1/20)



実施手順詳細

実施手順

5.2 隆起再現断層の想定領域の設定

- ・ 地質的な制約条件の検討

5.3 地震発生層の設定

5.4 地形発達過程の説明性に基づく隆起再現断層の選定

- ・ 隆起シミュレーション

5.5 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
- ・ 基本ケースの震源モデルの断層パラメータの設定
- ・ 考慮する不確かさの整理に基づく検討ケースの設定

5.6 地震動評価手法, 5.7 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

地形発達過程の説明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

仮想的な隆起域(大間付近の隆起域)の西端付近に位置するF-14断層を西端の起点として扱い、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うことにより、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一意的に定まらないため、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、さらに地質構造の各種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し、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」の説明性の検討

・ 評価指標の検討

隆起は立体的な現象であるため、水平面方向と鉛直断面方向の地殻変動パターンとして、それぞれ評価指標を設定する。

・ 隆起シミュレーションの実施

地質構造の各種不確かさを考慮した断層諸元による複数の震源モデル候補を設定し、それらの隆起シミュレーションにより算出される地表変位と、「大間付近の隆起域」における累積的な変位との地殻変動パターンの類似性により、地形発達過程の説明性を検討する。

(5) 震源モデルの設定範囲の評価

「隆起再現断層の想定領域」のうち、地形発達過程の説明性がある震源モデルを設定できる範囲(「震源モデルの設定範囲」)を評価する。

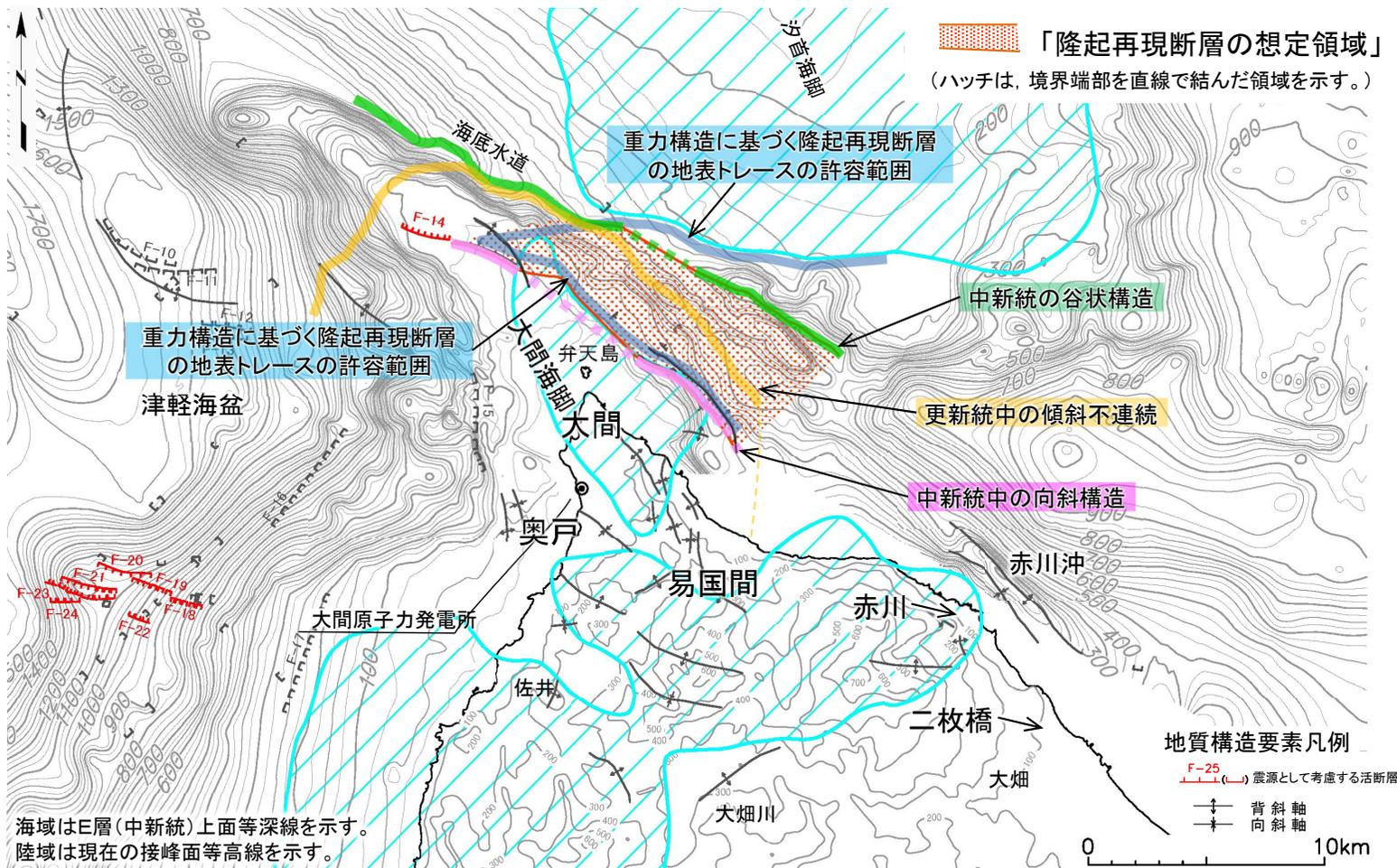


5.4 地形発達過程の説明性に基づく隆起再現断層の選定(2/20)

(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 「大間付近の隆起域」の西端付近に位置するF-14断層を、隆起再現断層の西端の起点として扱い、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)

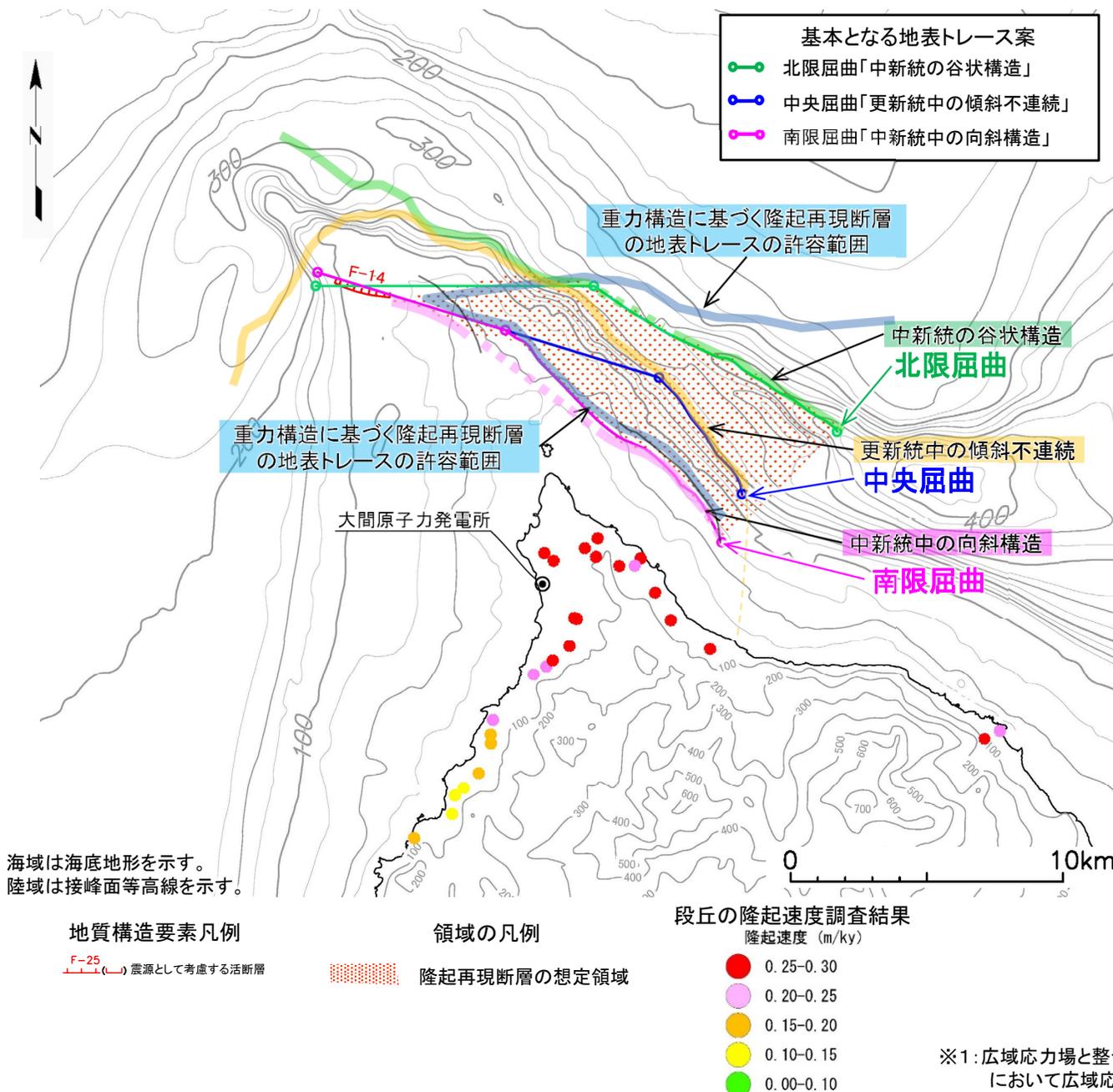
ブーゲー重力異常

- 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2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



- 隆起再現断層の地表トレース案は、「大間付近の隆起域」の西端付近に位置するF-14断層を、西端の起点として扱う。
- 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」を活断層を示唆する構造として扱い、これらの東部区間に活動が生じるものとしてトレースを設定する。
- 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)。

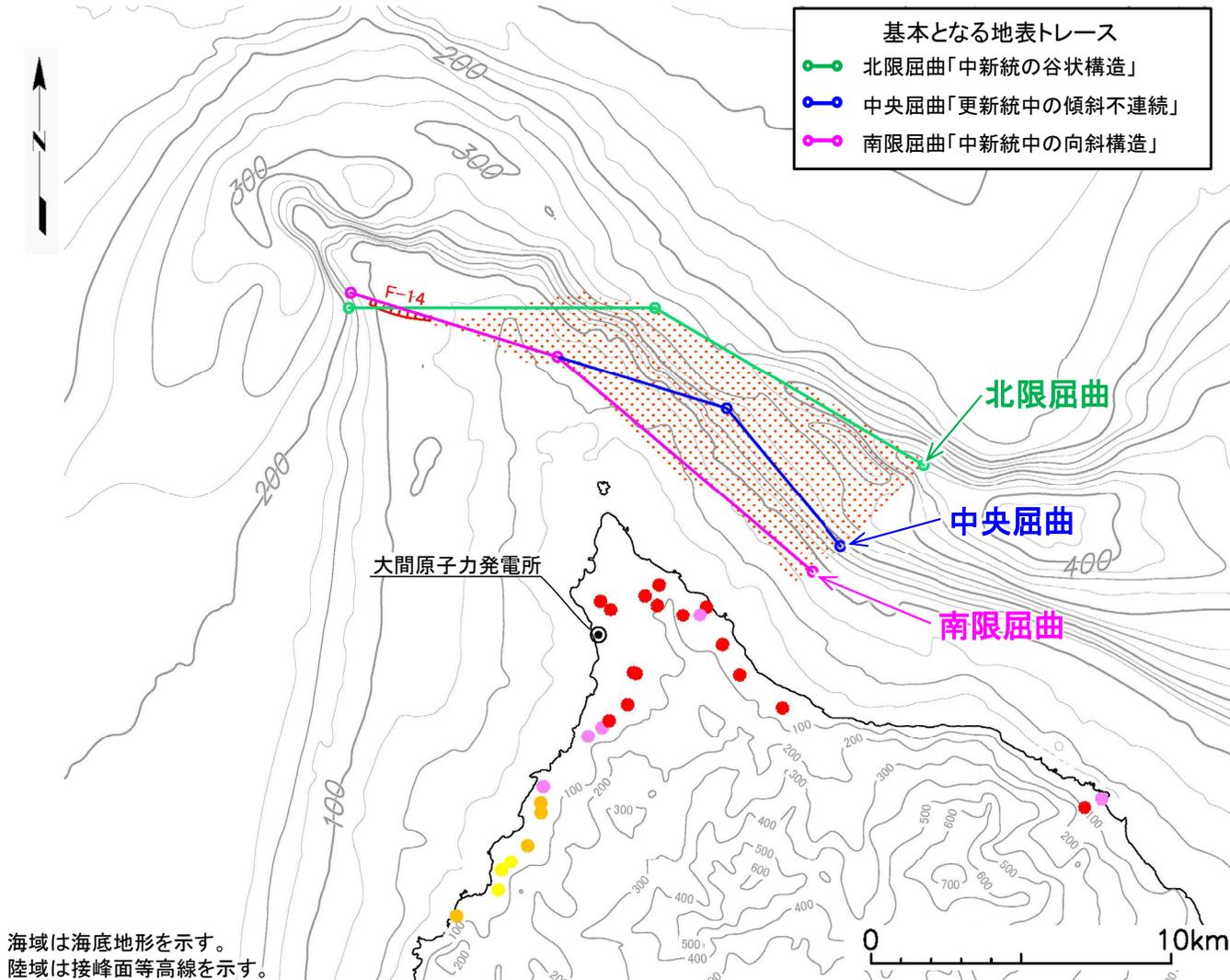
- **北限屈曲←「中新統の谷状構造」**
 - 西部は、F-14断層を起点として、「重力構造に基づく隆起再現断層の地表トレースの許容範囲」の北限に沿ってトレースを設定する。
 - 東部は、「中新統の谷状構造」が断層を示唆するものと仮定し、東部区間に活動が生じるものとしてトレースを設定する。
- **中央屈曲←「更新統中の傾斜不連続」**
 - 西部は、F-14断層を延長してトレースを設定する。
 - 東部は、「更新統中の傾斜不連続」が断層を示唆するものと仮定し、東部区間に活動が生じるものとしてトレースを設定する。
- **南限屈曲←「中新統中の向斜構造」**
 - 西部は、F-14断層を延長してトレースを設定する。
 - 東部は、「中新統中の向斜構造」が断層を示唆するものと仮定し、東部区間に活動が生じるものとしてトレースを設定する。

※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。)



5.4 地形発達過程の説明性に基づく隆起再現断層の選定(4/20)

(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」

- 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。
- 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。

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

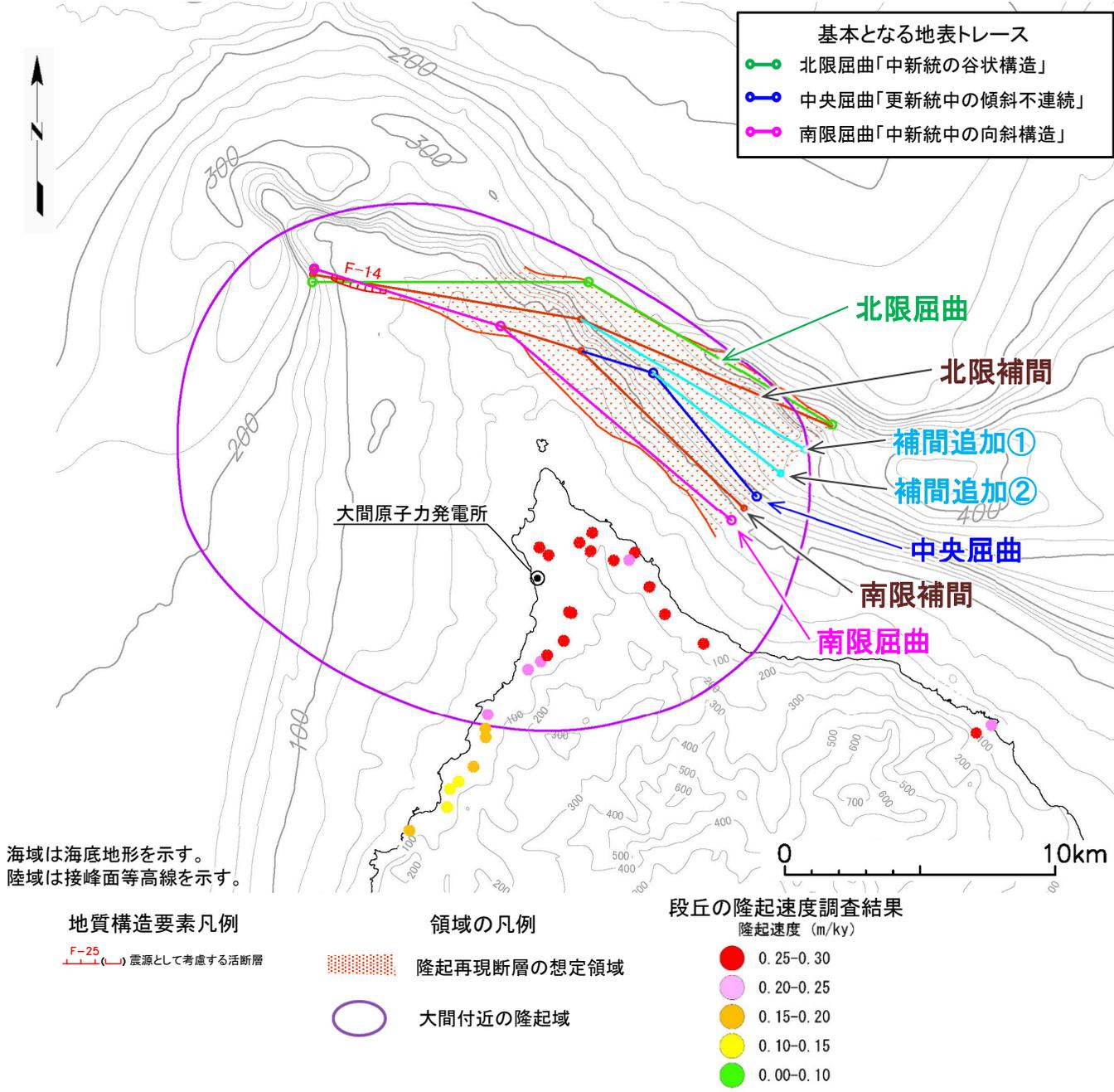
隆起再現断層の想定領域

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



(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)には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、東端が1~2kmピッチ程度となる様に、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 補間的な地表トレースは、基本トレースに挟まれる領域を等分する様に配置する。
- 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、北限屈曲と中央屈曲に挟まれる領域を2等分する位置とする。
 - ・ 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、中央屈曲と南限屈曲に挟まれる領域を2等分する位置とする。
- **補間追加①, 補間追加②**
 - ・ 補間追加①及び補間追加②は、北限補間と中央屈曲に挟まれる領域を3等分する位置とする。
 - ・ 東部断層の起点は、補間追加①は北限補間と、補間追加②は中央屈曲と同じ位置として、東部領域における走向の不確かさを考慮することとする。

※1：北限補間の設定は、補足説明資料2章を参照。

(3) 断層諸元の設定(1/3): 設定方針

- 隆起再現断層は仮想的な断層であるため、調査結果に基づく断層諸元の一意的な設定ができない。しかしながら、「大間付近の隆起域」※¹及び「隆起再現断層の想定領域」※¹の設定の際に仮定した地質条件によって、断層諸元が限られることとなる。隆起再現断層の断層諸元については、仮定した地質条件との整合性に配慮しながら、可能な限り不確かさを考慮することとする。
- また、隆起再現断層を想定する東北日本の活断層の特徴との整合性も考慮して断層諸元を設定することとする。

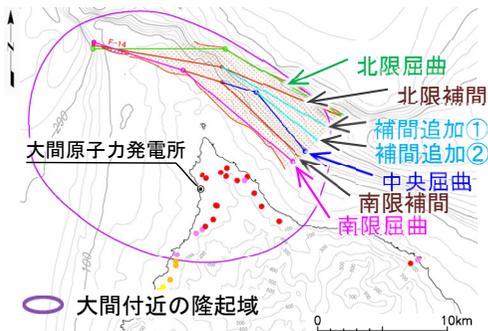
	「大間付近の隆起域」※ ¹ 及び「隆起再現断層の想定領域」※ ¹ の設定の際に仮定した地質条件による断層諸元の考え方	仮定した地質条件により確定する断層諸元	仮定した地質条件による不確かさの扱い
① 隆起再現断層の設定	<ul style="list-style-type: none"> 西部は、仮想的な隆起域(大間付近の隆起域)の西端付近に位置するF-14断層を西端の「起点」として扱い、東部は、古い地質構造である中新統の谷状構造、更新統の傾斜不連続、中新統中の褶曲を、活断層を示唆する構造として扱っており、根拠とする地質構造が、形成メカニズム及び形成時期において明らかに異なっており、単一の震源断層にはならない。 	西部断層と東部断層とは、単一の震源断層にはならない。	<p>予め不確かさを取り込む。 (震源規模の評価において、西部断層と東部断層の面積を合わせて評価することにより、より大きな震源規模を想定する。)</p>
② 地表トレースの走向(位置)	<ul style="list-style-type: none"> 西部断層は、F-14断層を西端の「起点」として扱い、重力構造に基づく地表トレースの許容範囲内で走向が設定される。 東部断層は、東部領域の地質構造を代表する古い地質構造の走向に沿わせることが基本となる。ただし、破壊の痕跡ではないため、ある程度の走向の不確かさは想定される。 	西端をF-14断層とし、東部領域では、領域を代表する地質構造に沿った走向(基本トレース3条)とする。	<p>走向の不確かさを考慮する。 (基本トレース間が離れていることから、地質構造に整合的な補間トレース(4条)を想定する。)</p>
③ 震源モデルの長さ	<ul style="list-style-type: none"> 西部断層と東部断層は独立して活動しうが、地震動を最大とするため、連動した活動を想定する。したがって、震源断層において断層交差部から変位が乗り移ることとなる。 「隆起再現断層の想定領域」は重力構造から推定される地下構造との整合性も考慮して設定しており、震源断層を「隆起再現断層の想定領域」を超えて想定することはできない。 	<p>西部断層と東部断層の交差部で切欠いた長さ(形状)となる。</p> <p>最長でも走向ごとに「隆起再現断層の想定領域」内で最大となる長さとなる。</p>	<p>予め不確かさを取り込む。 (走向の変化に合わせ、「隆起再現断層の想定領域」内で最大となる長さを想定する。)</p>
④ 震源モデルの傾斜角※ ²	<ul style="list-style-type: none"> F-14断層の諸元(鉛直または高角北傾斜、左横ズレのセンスが想定される)は、隆起再現断層に期待される諸元(南傾斜の逆断層センス)とは整合しない。また、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。 そこで、東北日本の活断層の特徴に合わせて中新世の正断層のインバージョンと見なし、標準的な正断層の傾斜角である60°傾斜を基本とする。活動センスは、広域応力場とは整合しないものの、隆起を生じる南傾斜逆断層を想定する。なお、東西走向の震源断層であるため、東西方向の地殻の拡大による低角化は想定されない。 	<p>傾斜の向き: 南傾斜 変位センス: 逆断層 傾斜角: 60°</p> <p>(地質構造が隆起と整合しないため、東北日本の活断層の特徴に合わせて設定する。)</p>	<p>傾斜の不確かさを考慮する。 (断層形成後に南北方向の地殻の拡大が継続したものと仮定し、低角化した45°まで想定する。東西方向を超える拡大は考え難いため、45°より低角は想定されない。)</p>
⑤ 震源モデルのアスペリティ位置	<ul style="list-style-type: none"> 西部断層は、せん断変位が地表のF-14断層まで達しているものと考え、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、地震発生層でのせん断変位が上位の地盤中で収束し破壊が地表付近に達していないことから、アスペリティ位置は地震発生層の下端が適切であると判断され、少なくとも上端には想定されない。走向方向のアスペリティの水平位置は、保守的に敷地に最も近づく配置とする。 東部断層は断層以外の古い地質構造を根拠としており、西部断層と比べて根拠が不明瞭なため、より小さなアスペリティが期待されるが、ここでは規模の優劣が無いと仮定し、アスペリティ規模を同等として設定する。 	<p>西部: <水平>F-14断層下方 <深さ>上端</p> <p>東部: <水平>敷地下方 <深さ>下端 アスペリティ面積比: 1:1</p>	<p>アスペリティ深さの不確かさを考慮する。 (アスペリティ深さについて、断層露頭が出現しない明確な基準が無いため、東部アスペリティは中段まで不確かさを考慮する。)</p> <p>予め不確かさを取り込む。 (アスペリティ水平位置について、東部断層は位置の根拠が無いため、敷地に近い位置に設定する。) (アスペリティ面積比について、東部断層の方により小さなアスペリティが期待されるが、同等として設定する。)</p>

※¹: 「大間付近の隆起域」及び「隆起再現断層の想定領域」については、P.12を参照。※²: 震源モデルの傾斜角の設定は、補足説明資料2章を参照。



5.4 地形発達過程の説明性にに基づく隆起再現断層の選定(7/20)

(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



- 前頁に示す「仮定した地質条件により確定する断層諸元」による震源モデルを、「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説明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、前頁に示す設定方針に従い下表の通りとし、震源モデル候補は次頁に示す28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※1に基づいて設定する。

※1: 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)。

隆起再現断層の地表トレース案

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(°)※2	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	深度						
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	13.9	60:S・SW	30	震源モデル候補の数 ○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 補間追加① 補間追加② ○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° ◎7条×2種×2種 合計28モデル
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	13.9	60:SW	14	
補間追加①	F-14断層	10.0	N99°E	F-14断層直下	上端	(補間)	9.6	N120°E	敷地直下	中段	1:1	19.6	13.9	60:SW	21	
補間追加②	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	N128°E	敷地直下	中段	1:1	19.1	13.9	60:SW	21	
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	13.9	60:SW	33	
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	13.9	60:SW	27	
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	13.9	60:SW	23	
										下端			17.0	45:SW		

※2:「交差角」は、西部断層の走向と東部断層の走向との差とする。

□:「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



(3) 断層諸元の設定(3/3): 震源モデル候補一覧

- 1つの地表トレースにつき、傾斜の不確かさ及びアスペリティ位置の不確かさを考慮し、4種の震源モデル候補を設定する。
- 地震発生源は3km~15kmとし、西部断層と東部断層の同時破壊を想定するため、交差する位置で切欠いた震源モデルとなっている。

		北限屈曲	北限補間	補間追加①	補間追加②	中央屈曲	南限補間	南限屈曲
傾斜(60°)	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°)	東部断層アスペリティ 中段							
	東部断層アスペリティ 下端							

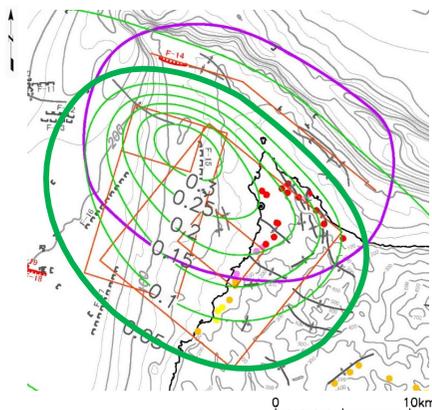
: 地質構造に基づく基本的な震源モデル候補

: 認識論的不確かさとして設定する震源モデル候補



(4) 評価指標の設定(1/3) : 評価指標1「水平面方向の指標」

- 水平面方向の説明性は、隆起再現断層による隆起範囲を仮定した「大間付近の隆起域」と、震源モデルの隆起シミュレーションにより一回の活動で隆起する範囲との重なり合いの程度によって評価する。
- 隆起シミュレーションは「食い違い弾性論」に基づく「Okada(1992)の方法」※1を用いる。この計算方法では隆起域は微小な隆起を含めると解析範囲全域に及ぶため、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、今回計算した震源モデルにおいて、コンタ間隔が疎から密へと変わる境界となっているため、震源モデルにより再現される隆起域の境界として扱うこととする。



指標 1-1: 大間付近の隆起域の再現率

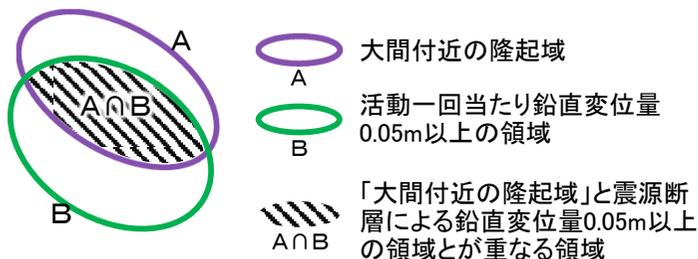
$$\text{指標値}(\%) = S(A \cap B) / S(A) \quad : S(\quad) : \text{領域の面積}$$

「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: 大間付近の隆起域への寄与率

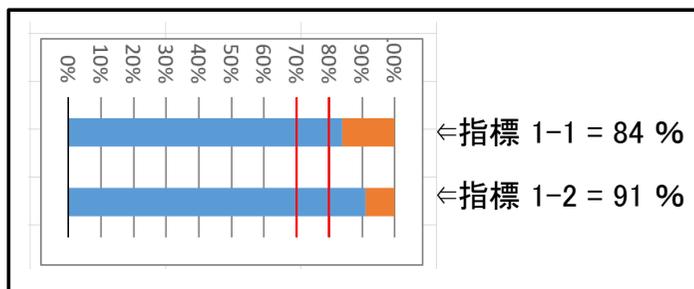
$$\text{指標値}(\%) = S(A \cap B) / S(B) \quad : S(\quad) : \text{領域の面積}$$

「大間付近の隆起域」と震源モデルによる鉛直変位量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)



水平面方向の評価に用いる事象

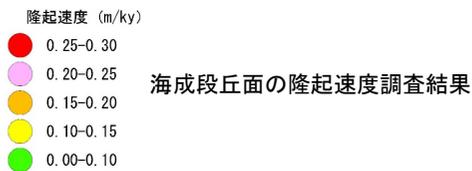
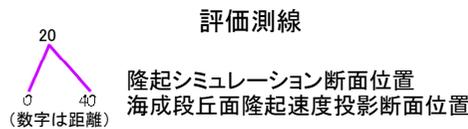
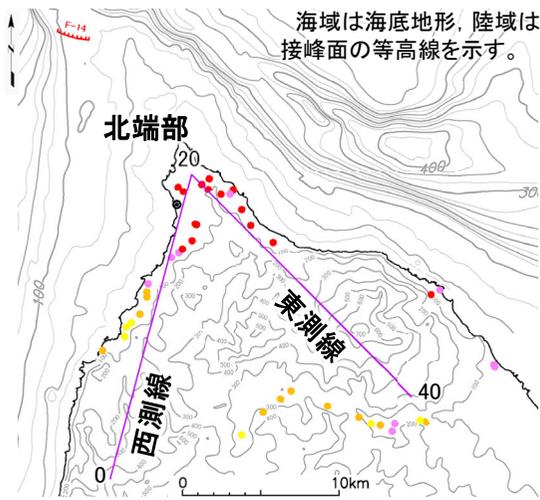
評価基準1の表示様式



※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3章を参照。

(4) 評価指標の設定(2/3) : 隆起速度分布の特徴

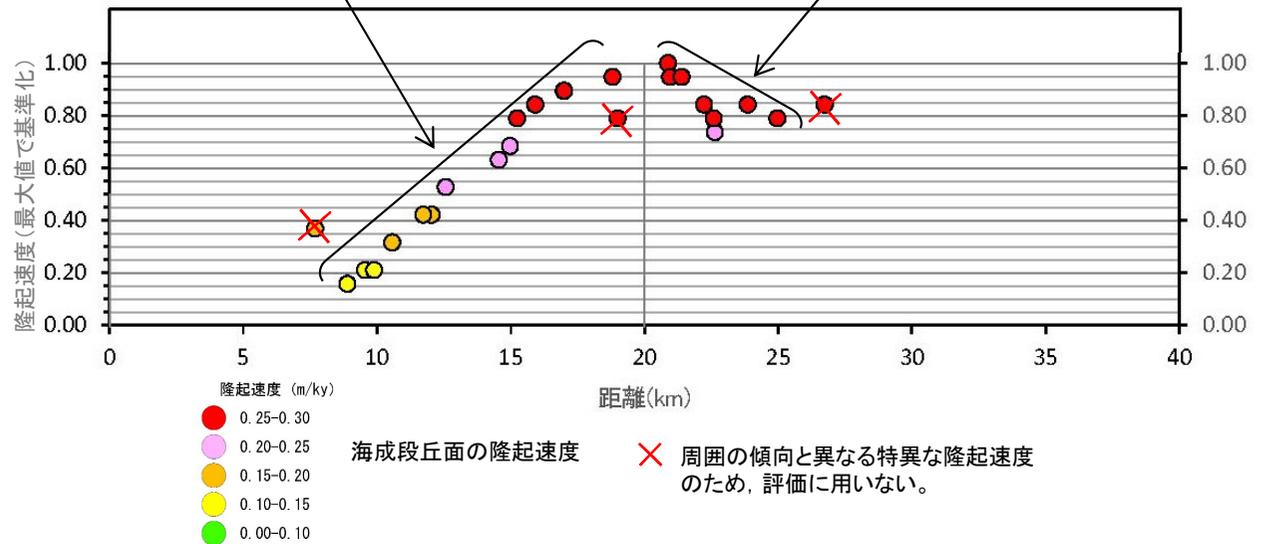
- 隆起速度の最大値(0.29m/ky)で基準化した隆起速度の投影断面図によれば、西測線では隆起速度が北端に向かい滑らかに増加し、北端部で平坦な形状となる。東測線では北端部より南東に向かい隆起速度が直線状に低下する傾向がある。



隆起速度確認位図

西測線での隆起速度分布は、南西端及び北端の特異な隆起速度を除き、南東端から中央にかけて直線状に上昇し、北端付近で上に凸の曲線となり、北端部で平坦へと変化する。

東測線での隆起量分布は、南東端の特異な隆起速度を除けば、北端部の平坦な形状から、南東方に向かって直線状に低下する傾向にある。

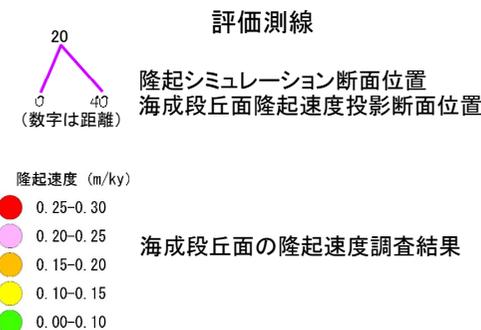
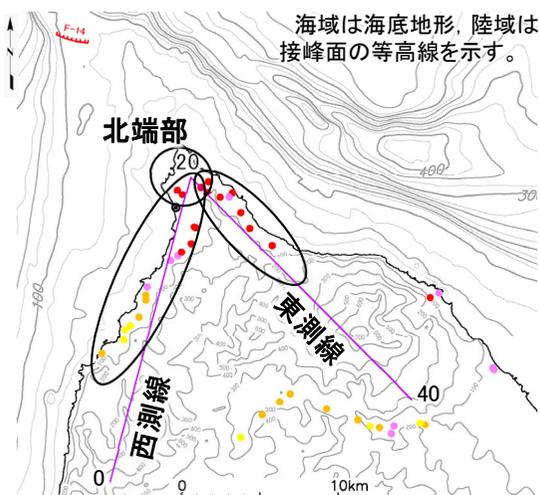


旧汀線標高に基づく隆起速度分布(最大値で基準化)の評価側線への投影断面図



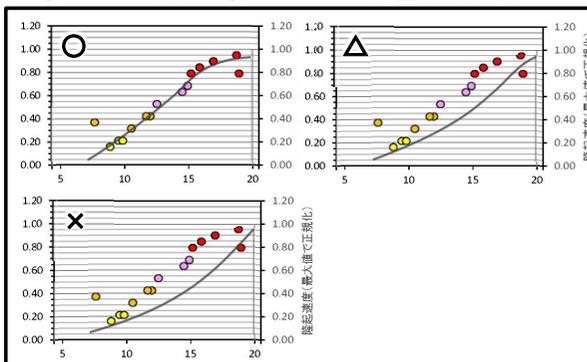
(4) 評価指標の設定(3/3) : 評価指標2「鉛直断面方向の指標」

- 鉛直断面方向の説明性は、図に示す西測線の20kmと東測線の20kmを合わせた海岸沿いの評価断面に、海成段丘面の「隆起速度分布」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「鉛直変位量断面」を重ね合わせ、地殻変動パターンの類似性を評価する。
- 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基準化し、無次元化した数値で比較することとする。
- 「隆起速度分布」と「鉛直変位量断面」との整合性は、西測線、東測線でそれぞれ評価することとする。



隆起速度確認位図

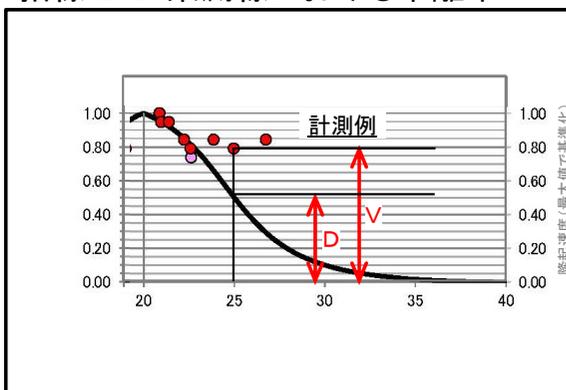
指標 2-1: 西測線における隆起形状



半定量的な手法により、下記の3ランクに分類する。

- 類似性良い○： 南東端から中央にかけて直線状に上昇し、北端付近で上に凸の曲線となり、北端部で平坦へと変化する隆起速度分布が再現される。
- 類似性有り△： 隆起速度分布から外れるものの、北端部で平坦へと変化する傾向が、やや認められる。
- 類似性無し×： 隆起速度分布から大きく外れ、また北端部で平坦へと変化する傾向が認められない。

指標 2-2: 東測線における乖離率



$$\text{指標値} = (V(i) - D(i)) / V(i) ; i=25(\text{km})$$

V=最大値で基準化された調査による隆起速度
D=最大値で基準化された隆起シミュレーションによる変位量

隆起速度分布が、北端部の平坦な形状から南東方に向かって直線状に低下する傾向にあるため、南東端付近の隆起速度と隆起シミュレーションの鉛直変位量との差分によって、全体の類似性を代表して評価することとする。南東端の特異な隆起速度を除くため、評価する位置は、南東端から2点目(25km地点)とする。

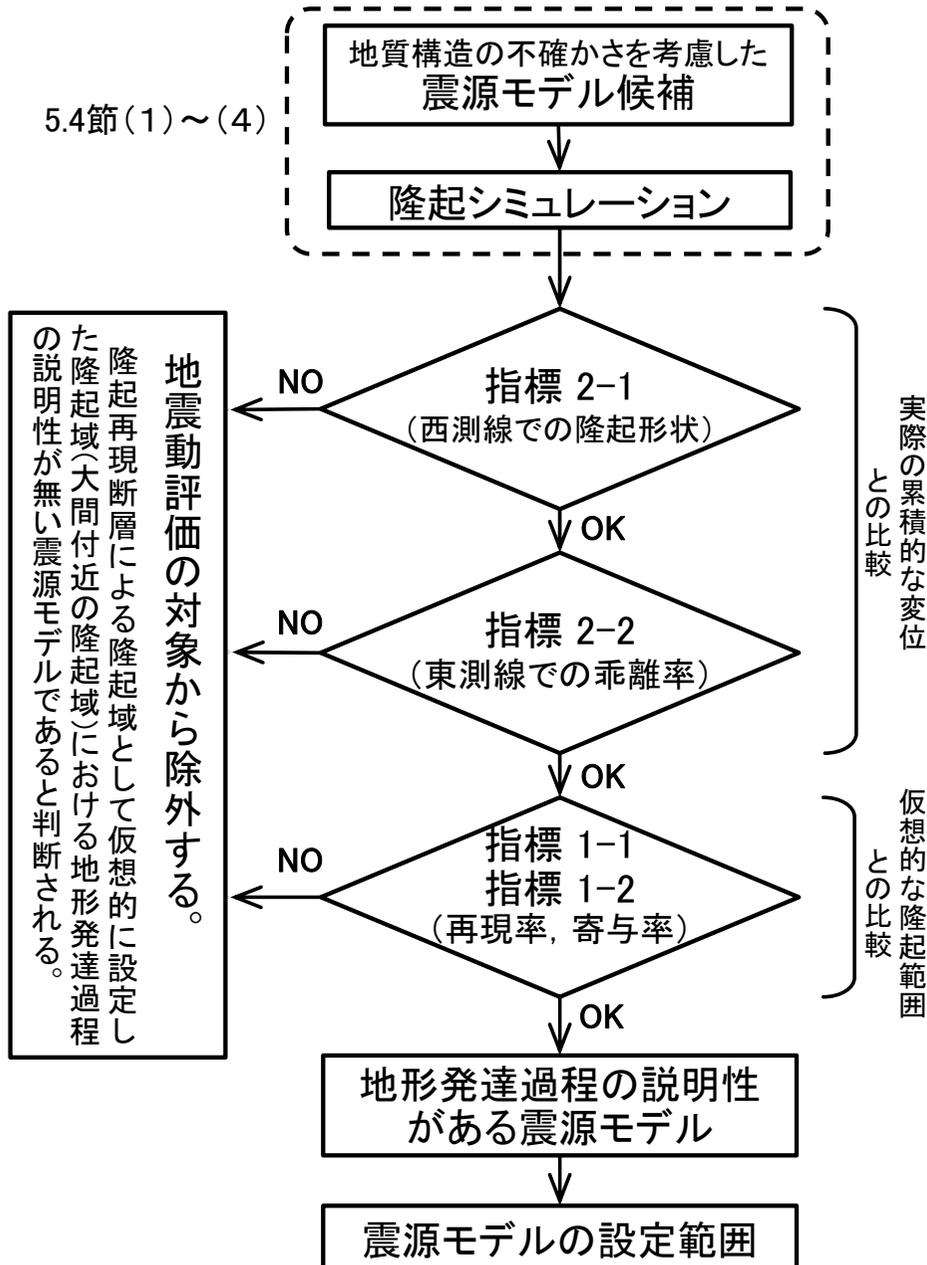
評価基準2の表示様式

指標値2-1: ○, △, ×
指標値2-2: 0.00





(5)震源モデルの設定範囲の評価(1/9) : 評価フロー



指標2-1(西測線)及び指標2-2(東測線)は、変動地形学的調査に基づく実際の累積的な変位(旧汀線に基づく隆起速度分布)との合致の程度を示す指標であることから、地殻変動パターンの類似性による評価を基本とする。

指標1-1(再現率)及び指標1-2(寄与率)は、仮想的に設定した隆起範囲(大間付近の隆起域の平面的な広がり)との合致の程度を示す指標であることから、任意性が存在するため、指標値の相対比較による評価を基本とする。

これらの指標に対して重み付けは行わないが、その位置づけを踏まえ、左記の手順で地形発達過程の説明性の無い震源モデル候補を除外していくこととする。

- 指標2-1(西測線)は、累積的な変位の地殻変動パターンが明瞭に現れているため、最初に着目して評価する。
- 指標2-2(東測線)は、累積的な変位の地殻変動パターンがやや不明瞭であるが、実際の変位を反映していることから、次いで着目して評価する。
- 最後に、指標1-1(再現率)及び指標1-2(寄与率)により、想定する地震の発生時に地表変位が生じる範囲が、仮想的に設定した隆起範囲と位置・規模として大きく外れていないかを確認する。
- 指標2-1, 指標2-2, 指標1-1及び指標1-2のいずれかで基準に満たない震源モデルは、地震動評価の対象から除外し、残る震源モデルによって「震源モデルの設定範囲」を定めることとする。



(5)震源モデルの設定範囲の評価(2/9) : 評価2-1の結果(全体)

- 不確かさを考慮した28種の震源モデル候補について、指標2-1(西測線における隆起形状)の評価結果を、P.24に示す基準に基づき色分けして示す。
- 南西端から中央にかけて直線状に上昇し、北端付近で上に凸の曲線となり、北端部で平坦へと変化する隆起速度分布に対し、(○)類似性の良い曲線となる震源モデルが少ないため、(△)類似性ありと評価する震源モデルについては、裕度をもって認定している。

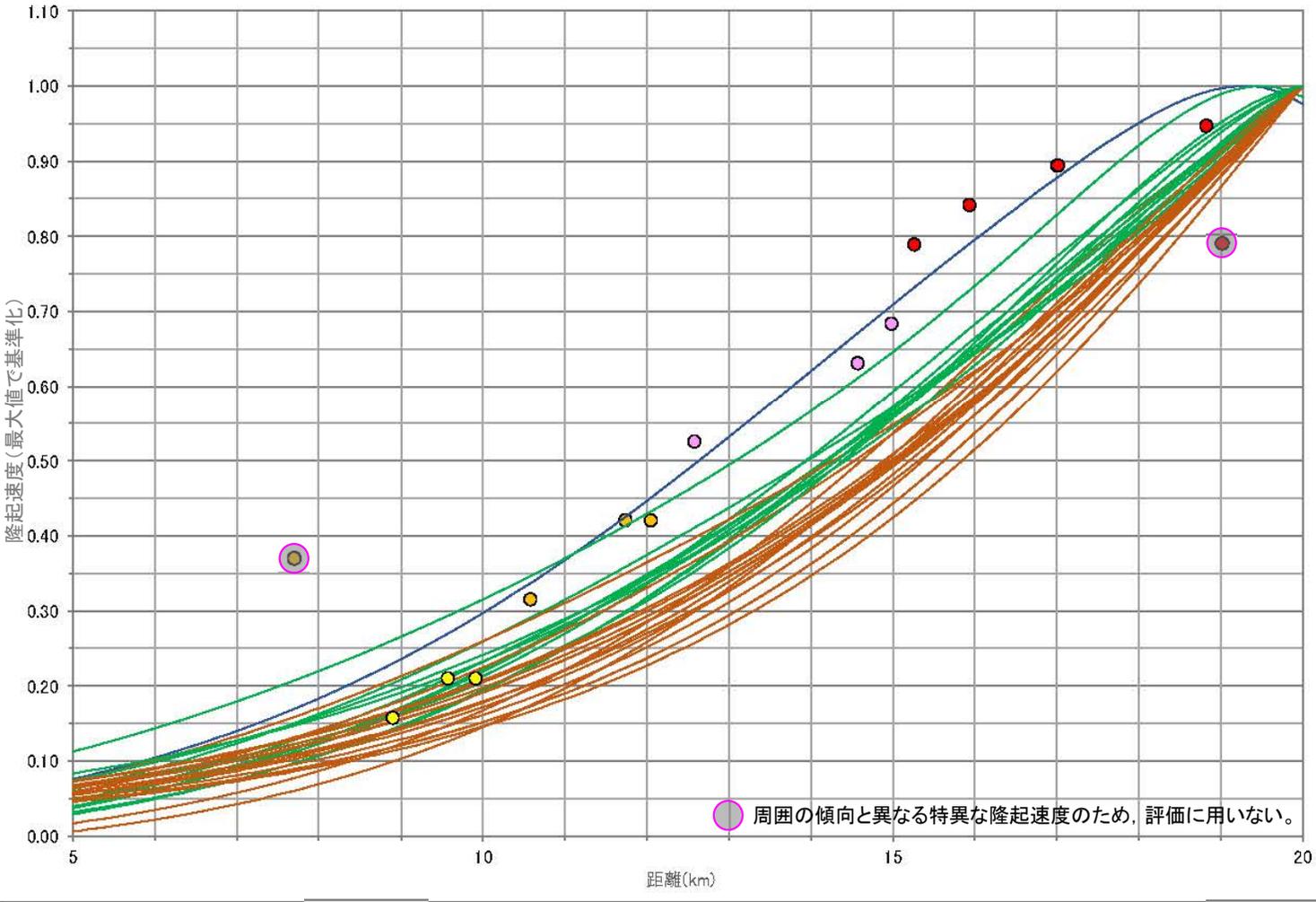
指標 2-1: 西測線における隆起形状

- : ○類似性良い
- : △類似性有り
- : ×類似性無し

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
- 海成段丘面の隆起速度分布

傾斜60° + 傾斜45°, 東部アスペリティ 中段+下端



- 0.10-0.15(m/ky)
- 0.15-0.20(m/ky)
- 0.20-0.25(m/ky)
- 0.25-0.30(m/ky)
- 北限 屈曲45中段
- 北限 補間45中段
- 補間追加①45中段
- 補間追加②45中段
- 中央 屈曲45中段
- 南限 補間45中段
- 南限 屈曲45中段
- 北限 屈曲45下端
- 北限 補間45下端
- 補間追加①45下端
- 補間追加②45下端
- 中央 屈曲45下端
- 南限 補間45下端
- 南限 屈曲45下端
- 北限 屈曲60中段
- 北限 補間60中段
- 補間追加①60中段
- 補間追加②60中段
- 中央 屈曲60中段
- 南限 補間60中段
- 南限 屈曲60中段
- 北限 屈曲60下端
- 北限 補間60下端
- 補間追加①60下端
- 補間追加②60下端
- 中央 屈曲60下端
- 南限 補間60下端
- 南限 屈曲60下端

南西部

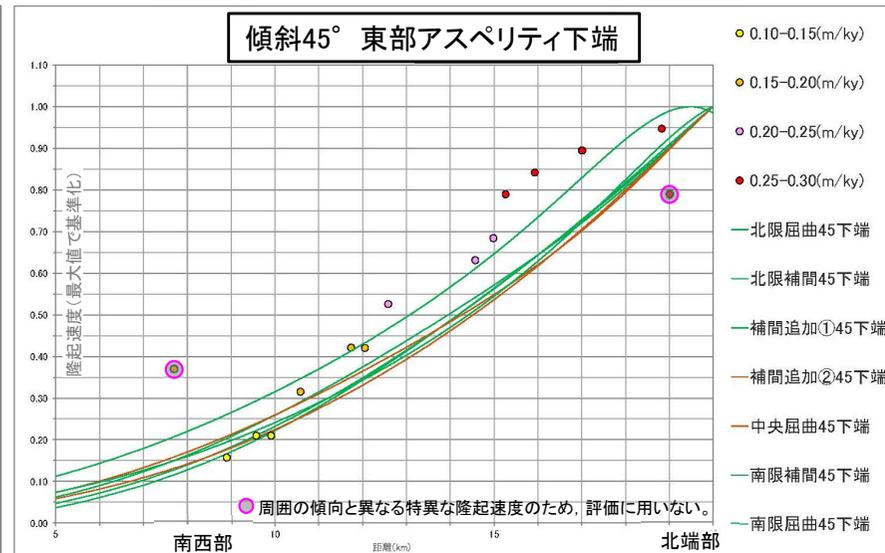
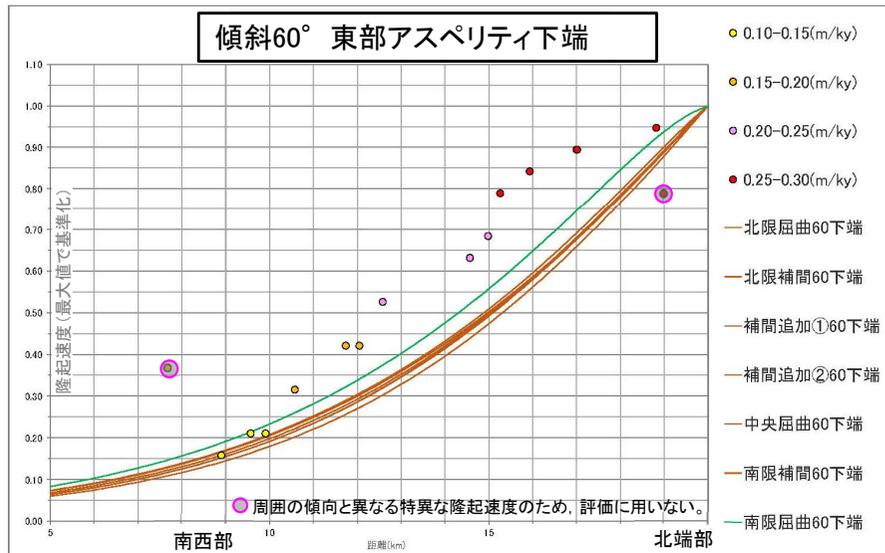
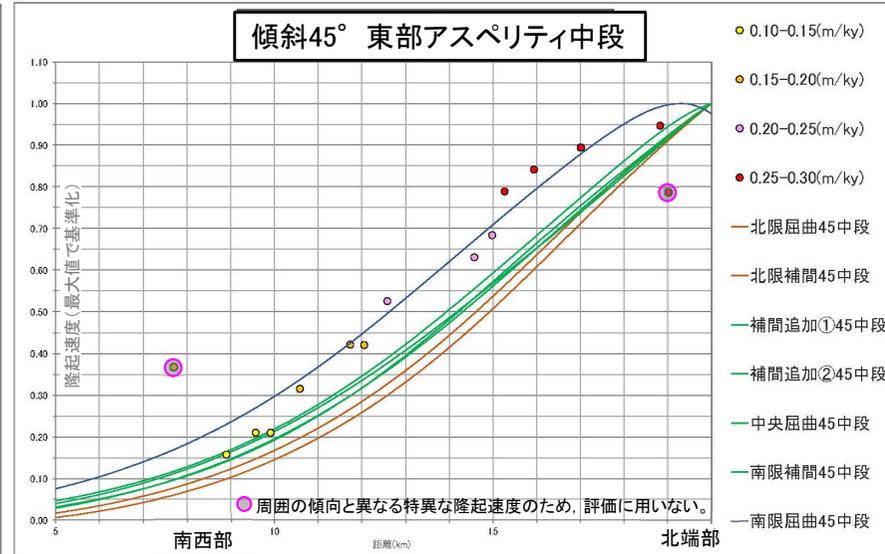
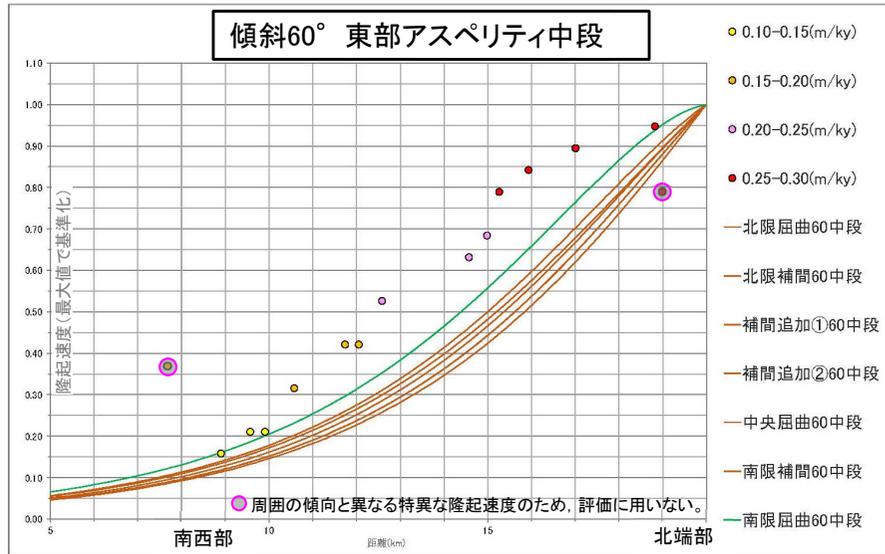
北端部

距離(km)

周囲の傾向と異なる特異な隆起速度のため、評価に用いない。



(5)震源モデルの設定範囲の評価(3/9) : 指標2-1の結果(条件毎)



- 指標2-1について、傾斜及び東部断層のアスペリティ深さの不確かさの組合せ条件毎の評価結果を色分けして示す。
- 隆起速度分布が北端部で平坦な形状となる地殻変動パターンに対し、傾斜60°の震源モデルの場合、北端に向かって傾斜が大きくなる傾向があり、全体に類似性が悪い。
- 傾斜45°の震源モデルにおいては、北端部で平坦になる傾向がやや認められるものについて、(△)類似性ありと評価している。

指標 2-1: 西測線における隆起形状

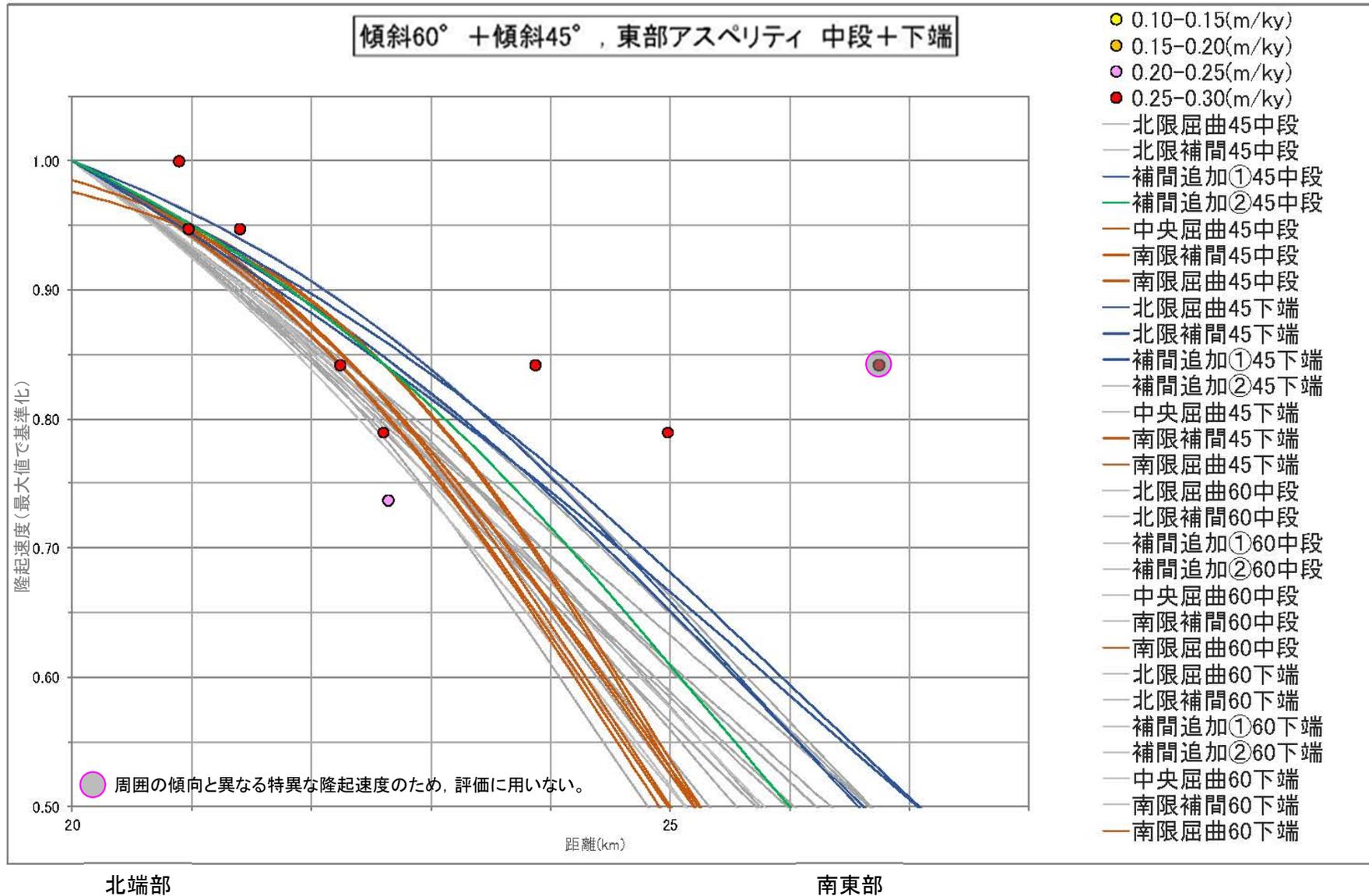
- : ○ 類似性良い
- : △ 類似性有り
- : × 類似性無し



海成段丘面の隆起速度分布



(5)震源モデルの設定範囲の評価(4/9) : 指標2-2の結果(全体)



- 指標2-1で, (×)類似性無しとなる震源モデルを除外し, 残りの12種の震源モデル候補について, 指標2-2(東測線における乖離率)の評価結果を色分けして示す。
- 隆起速度分布の上限ラインを基準とし, これがほぼ直線状となることから, 25km地点を代表として評価している。
- 類似性良い又は有りとする震源モデルでは, 再現される曲線が隆起速度分布の上限ラインと下限ラインの中間以上にある。
- 類似性無しとする震源モデルの場合, 南東部に向かい急速に落下し, 乖離が大きく進行する傾向が認められる。

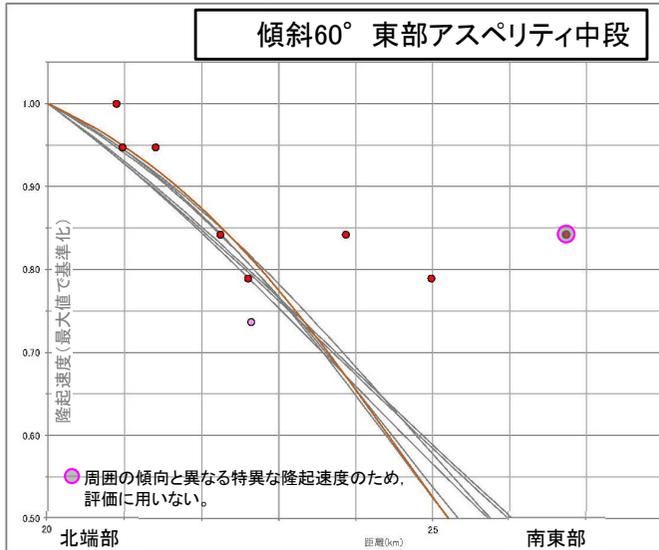
指標 2-2: 東測線における乖離率

- 類似性良い (20%以下)
- 類似性有り (20%超30%以下)
- 類似性無し (30%超)
- 指標2-1で除外

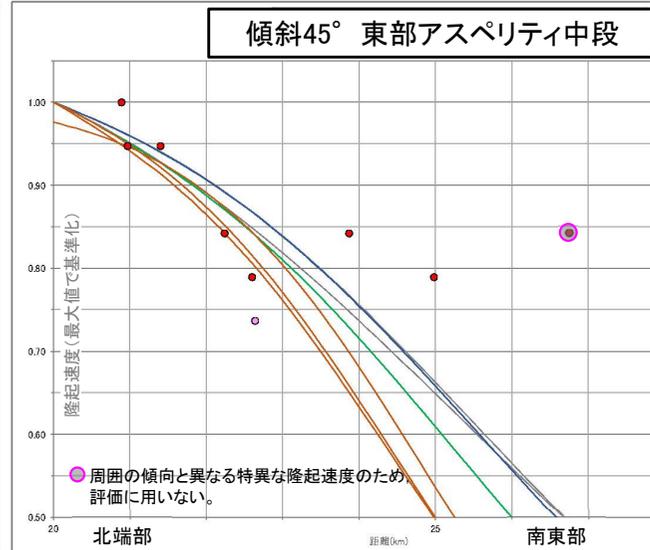




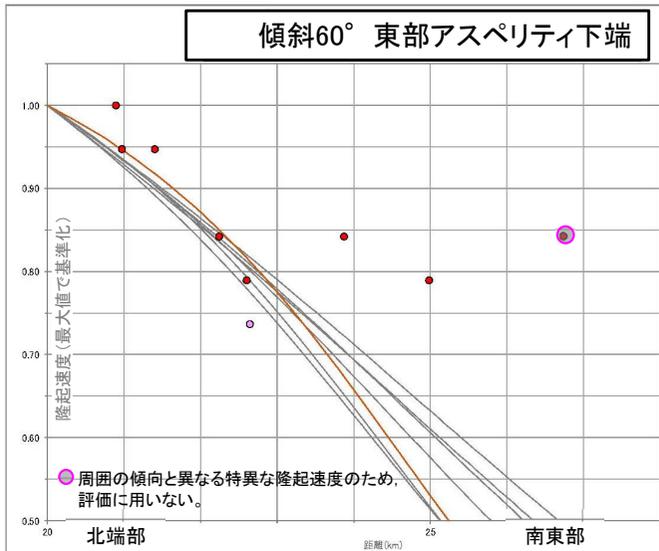
(5)震源モデルの設定範囲の評価(5/9) : 指標2-2の結果(条件毎)



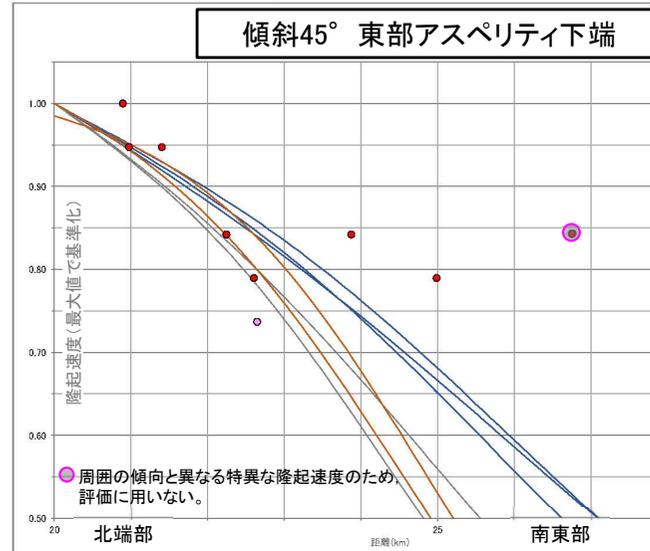
- 0.10-0.15(m/ky)
- 0.15-0.20(m/ky)
- 0.20-0.25(m/ky)
- 0.25-0.30(m/ky)
- 北限屈曲60中段
- 北限補間60中段
- 補間追加①60中段
- 補間追加②60中段
- 中央屈曲60中段
- 南限補間60中段
- 南限屈曲60中段



- 0.10-0.15(m/ky)
- 0.15-0.20(m/ky)
- 0.20-0.25(m/ky)
- 0.25-0.30(m/ky)
- 北限屈曲45中段
- 北限補間45中段
- 補間追加①45中段
- 補間追加②45中段
- 中央屈曲45中段
- 南限補間45中段
- 南限屈曲45中段



- 0.10-0.15(m/ky)
- 0.15-0.20(m/ky)
- 0.20-0.25(m/ky)
- 0.25-0.30(m/ky)
- 北限屈曲60下端
- 北限補間60下端
- 補間追加①60下端
- 補間追加②60下端
- 中央屈曲60下端
- 南限補間60下端
- 南限屈曲60下端



- 0.10-0.15(m/ky)
- 0.15-0.20(m/ky)
- 0.20-0.25(m/ky)
- 0.25-0.30(m/ky)
- 北限屈曲45下端
- 北限補間45下端
- 補間追加①45下端
- 補間追加②45下端
- 中央屈曲45下端
- 南限補間45下端
- 南限屈曲45下端

- 指標2-2について、傾斜及び東部断層のアスペリティ深さの不確かさの組合せ条件毎の評価結果を色分けして示す。
- 傾斜60°の震源モデルの場合、南東部に向かい急速に落下し、東方において乖離が大きくなる傾向が認められる。
- 傾斜45°の震源モデルにおいても、走向が南側の場合に、南東部に向かい急速に落下し、東方において乖離が大きくなる傾向が認められる。

指標 2-2: 東測線における乖離率

- 類似性良い (20%以下)
- 類似性有り (20%超30%以下)
- 類似性無し (30%超)
- 指標2-1で除外

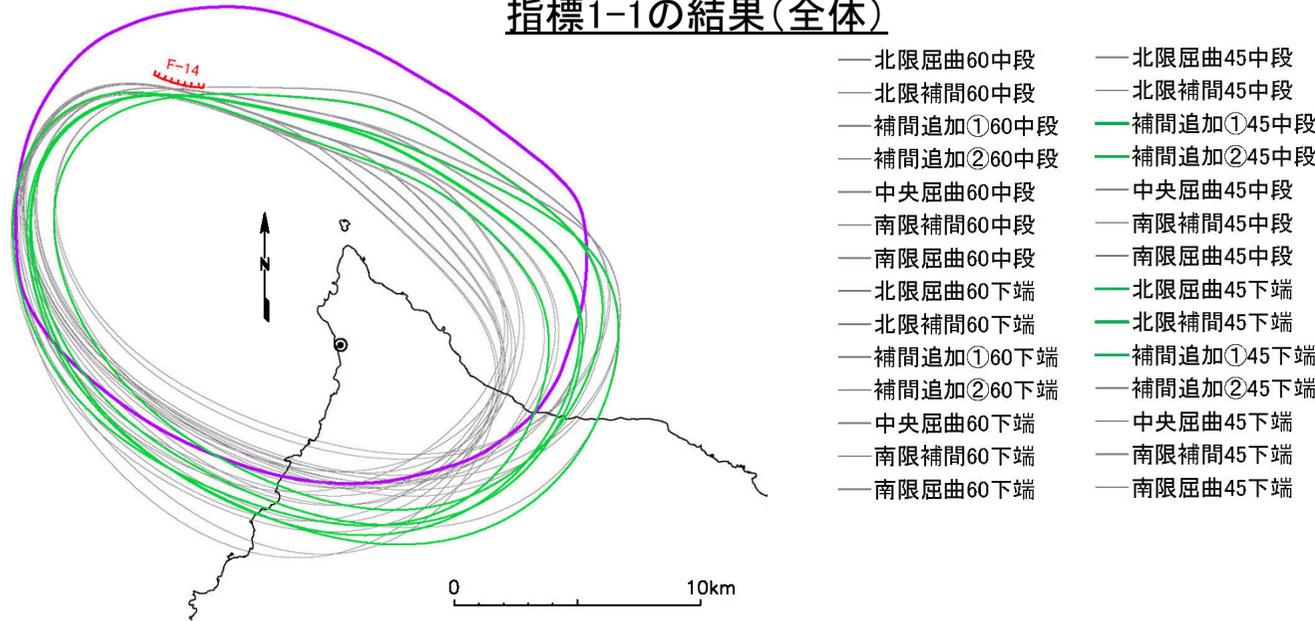
隆起速度 (m/ky)

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

海成段丘面の隆起速度分布

(5)震源モデルの設定範囲の評価(6/9) : 指標1-1及び1-2の結果(全体)

指標1-1の結果(全体)

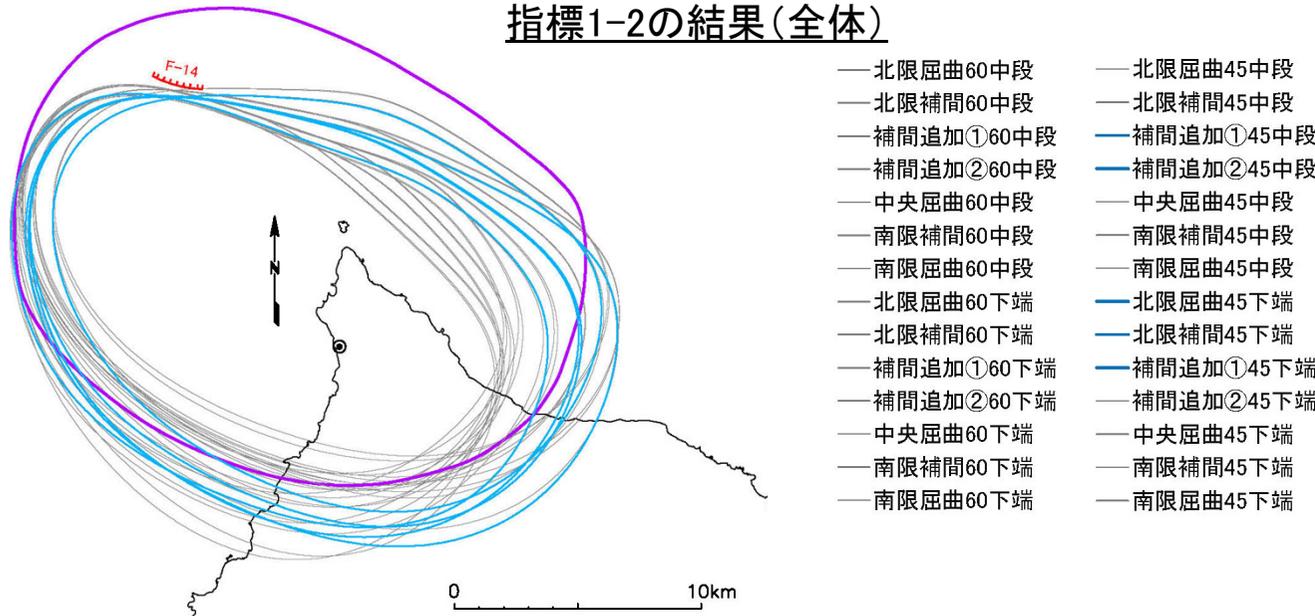


- 指標2-1又は指標2-2において類似性無しとなる震源モデルを除外し、残る5種の震源モデル候補について、指標1-1(大間付近の隆起域の再現率)の評価結果を色分けして示す。
- 本指標では、大間付近の隆起域を大きく外れて地表変位を生じさせる震源モデル候補は無いと評価される。

指標 1-1: 大間付近の隆起域の再現率

- : 類似性良い (80%超)
- : 類似性有り (70%超80%以下)
- : 類似性無し (70%以下)
- : 指標 2-1, 2-2で除外

指標1-2の結果(全体)



- 指標2-1, 指標2-2又は指標1-1において類似性無しとなる震源モデルを除外し、残る5種の震源モデル候補について、指標1-2(大間付近の隆起域への寄与率)の評価結果を色分けして示す。
- 本指標では、大間付近の隆起域を大きく外れて地表変位を生じさせる震源モデル候補は無いと評価される。

指標 1-2: 大間付近の隆起域への寄与率

- : 類似性良い (80%超)
- : 類似性有り (70%超80%以下)
- : 類似性無し (70%以下)
- : 指標 2-1, 2-2, 1-1で除外

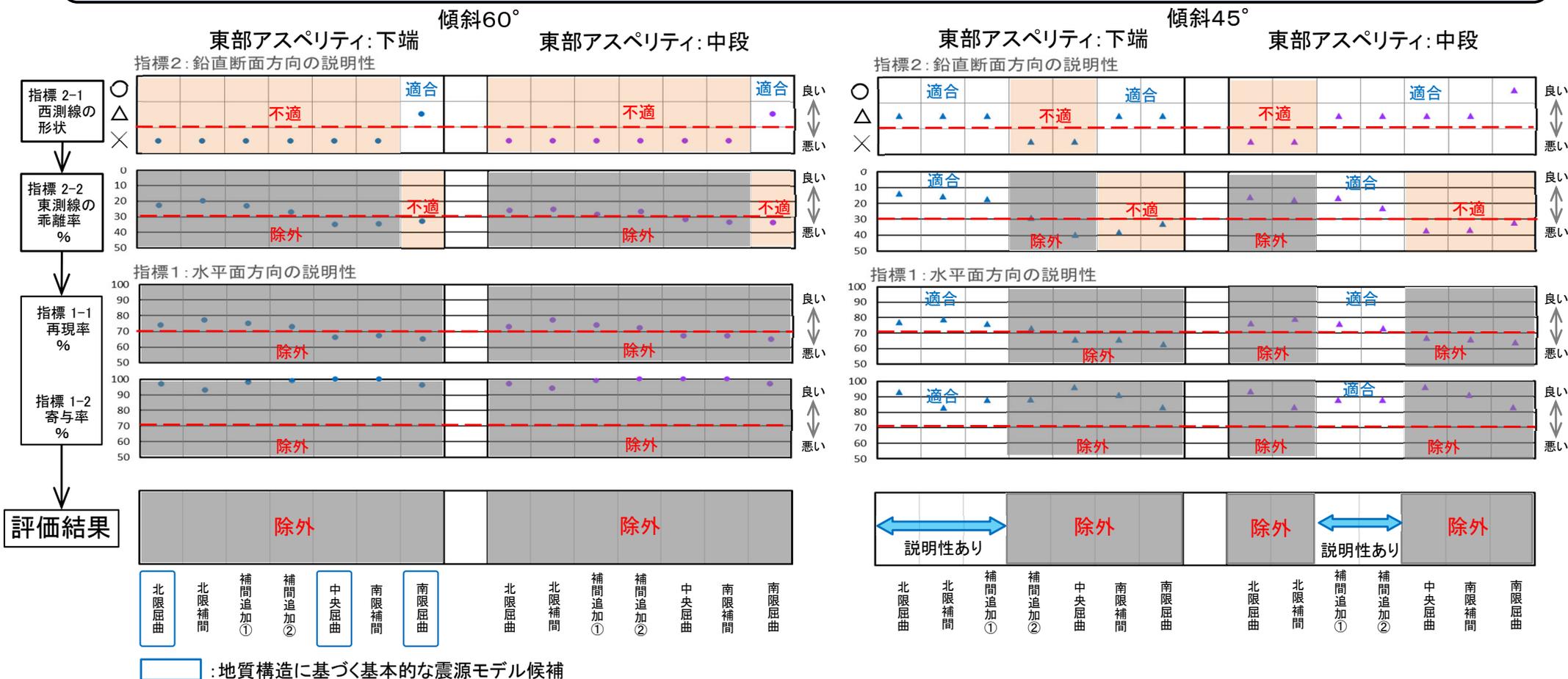


(5)震源モデルの設定範囲の評価(7/9) : 地形発達過程の説明性の評価結果

- 指標2-1(西測線)は、地殻変動パターンが明瞭に現れているため、変化パターンの類似性が認められない(×)震源モデル候補は不可とする。
- 指標2-2(東測線)及び指標1-1(隆起域の再現率)は、率で評価可能である。100%が完全な一致であり、50%では殆ど類似性がないことから、中間の75%が閾値の候補となるが、南側の「中央屈曲」、「南限補間」及び「南限屈曲」において、70%(乖離率で30%)を挟んで不連続に指標が悪くなる傾向があることから、裕度を見て、率で評価する閾値を70%(30%)とし、これより指標値が悪い震源モデル候補は不可とする。
- 指標1-2(隆起域への寄与率)については、何れの震源モデルも類似性が認められる。便宜上の閾値としては、指標1-1の70%を準用することとする。
- 評価の結果、説明性がある震源モデルは下記5種となる。

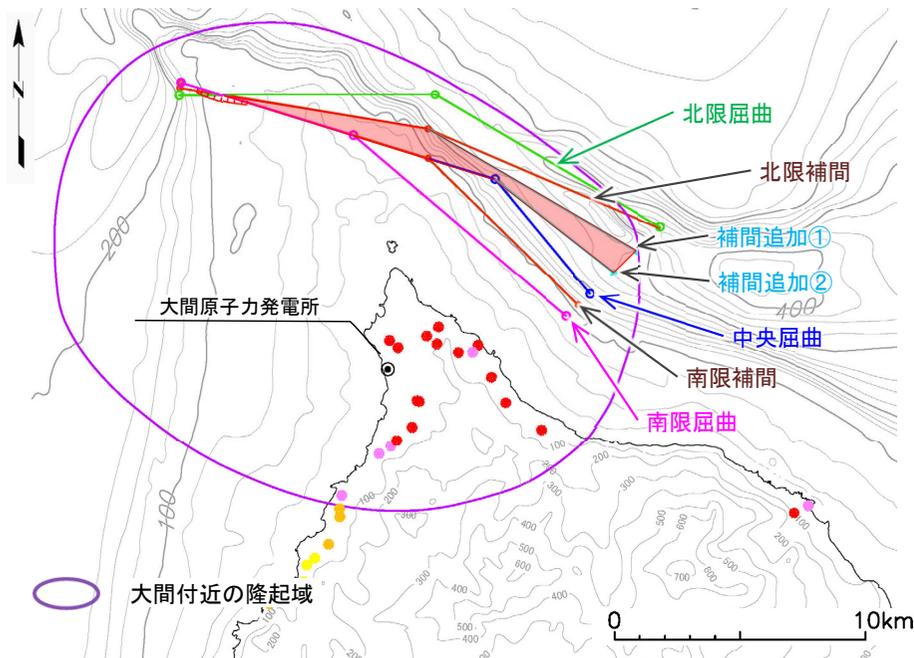
「傾斜」45°，東部断層の「アスペリティ深さ」下端 ⇒ 「走向」北限屈曲，北限補間，補間追加①

「傾斜」45°，東部断層の「アスペリティ深さ」中段 ⇒ 「走向」補間追加①，補間追加②



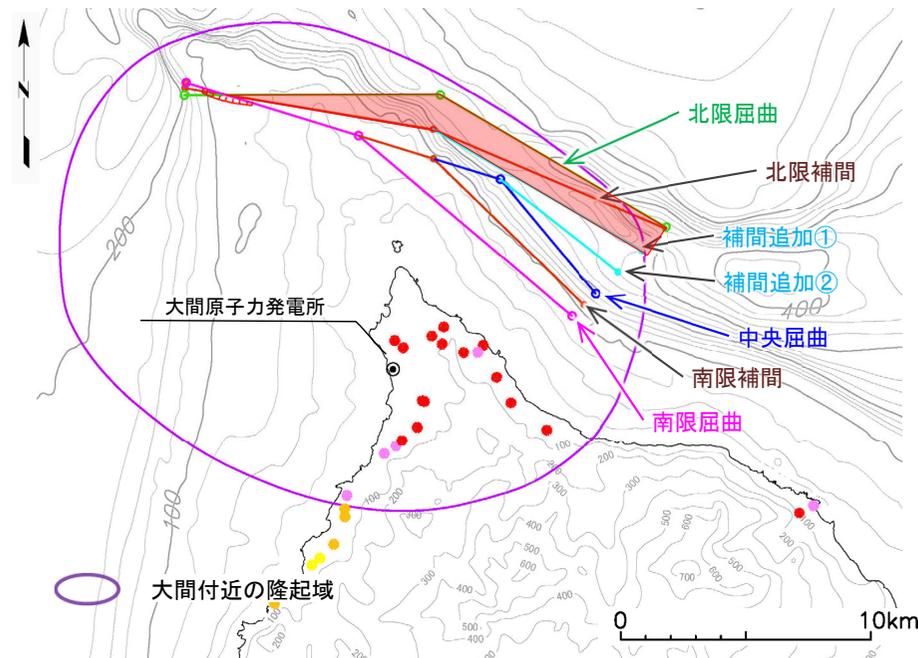
(5)震源モデルの設定範囲の評価(8/9)

- 評価の結果、「地質構造に基づく基本的な震源モデル候補(基本トレース, 傾斜 60° , 東部アスペリティ下端)」は, 全て説明性が認められず, また, 傾斜 60° では説明性のある震源モデルが設定できない結果となった。
- 傾斜の不確かさを考慮して 45° 傾斜とした場合, 東部断層のアスペリティ位置を中段にした場合は, 「補間追加①」と「補間追加②」に説明性が認められ, アスペリティ深さが下端の場合には, 「北限屈曲」, 「北限補間」及び「補間追加①」に説明性が認められた。
- このように, 「大間付近の隆起域」を説明できる地表トレースは, 「隆起再現断層の想定領域」のうち北部寄りの領域に限定されることとなり, 南側の「南限屈曲」から「中央屈曲」にかけての領域では説明性のある震源モデルが設定できないこととなった。
- 以上より, 地形発達過程の検討の結果, 「大間付近の隆起域」を説明できる震源モデルは, 傾斜 45° で地表トレースが下図の「震源モデルの設定範囲」に分布するものに限られることとなる。



大間付近の隆起域における地形発達過程が説明できる「震源モデルの設定範囲」

(45° 傾斜, 東部アスペリティ中段の場合)



大間付近の隆起域における地形発達過程が説明できる「震源モデルの設定範囲」

(45° 傾斜, 東部アスペリティ下段の場合)

(5)震源モデルの設定範囲の評価(9/9) : 地形発達過程の説明性がある震源モデル

・ 前頁に示す「震源モデルの設定範囲」に地表トレースを持つ震源モデルを、「大間付近の隆起域」における地形発達過程の説明性がある震源モデルと評価する。これらの代表として、下図に着色して示す震源モデルを、地震動評価に用いる震源モデルの候補とする。

		北限屈曲	北限補間	補間追加①	補間追加②	中央屈曲	南限補間	南限屈曲
傾斜(60°)	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°)	東部断層アスペリティ 中段							
	東部断層アスペリティ 下端							

: 「大間付近の隆起域」における地形発達過程の説明性がある震源モデル⇒地震動評価に用いる震源モデルの候補

5.5 地震動評価の震源モデルの設定(1/5)



基本方針

- 隆起再現断層は、耐震設計上の保守性を考慮し、広域的な地殻変動の隆起域の中心に相対的に隆起が速い領域(「大間付近の隆起域」)を設定し、この領域が仮想的な活断層によって生じているものと仮定し、この領域を説明する活断層として評価するものである。
- 隆起再現断層が仮想的な活断層であり、調査結果に基づき震源の位置及び規模の諸元を一意的に設定できないため、断層諸元(地表トレースの走向、断層傾斜角、及びアスペリティ深さ)の不確かさ(P.19参照)を考慮した複数の震源モデル候補を設定のうえ、その中から「大間付近の隆起域」における地形発達過程の説明性がある震源モデルを選定した。
- 地震動評価の震源モデルの設定においては、地形発達過程の説明性がある震源モデルのうち、敷地に及ぼす影響が大きい震源モデルを地震動評価の基本ケースに選定し、さらに不確かさを考慮する。

実施手順

地震動評価の震源モデルの設定の手順

5.2 隆起再現断層の想定領域の設定

- 地質的な制約条件の検討

5.3 地震発生層の設定

5.4 地形発達過程の説明性に基づく隆起再現断層の選定

- 隆起シミュレーション

5.5 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
- 基本ケースの震源モデルの断層パラメータの設定
- 考慮する不確かさの整理に基づく検討ケースの設定

5.6 地震動評価手法, 5.7 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

(1) 基本ケースの震源モデルの選定

- アスペリティ位置等の震源の拡がりを考慮できるNoda et al.(2002)の方法による地震動評価に基づき、地形発達過程の説明性がある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確認し、これを地震動評価の基本ケースに選定する。

(2) 基本ケースの震源モデルの断層パラメータの設定

- 基本ケースの震源モデルの各パラメータを設定する。

(3) 考慮する不確かさの整理に基づく検討ケースの設定

- 不確かさとしては、短周期レベルの不確かさを考慮する。

5.5 地震動評価の震源モデルの設定(2/5)

(1) 基本ケースの震源モデルの選定

- アスペリティ位置等の震源の拡がりを考慮できるNoda et al.(2002)の方法による地震動評価に基づき、地形発達過程の説明性がある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確認する。
 - 東部断層のアスペリティ深さが断層中段の震源モデルは、東部断層のアスペリティ深さが断層下端の震源モデルに比して、明らかに敷地に及ぼす影響が大きい。
 - 東部断層のアスペリティ深さが断層中段の震源モデルである、補間追加①45° ※1と補間追加②45° ※2では、応答スペクトルに大きな差はないものの、補間追加①45° ※1の方が敷地に及ぼす影響がやや大きい。
- 以上より、敷地に及ぼす影響が大きい震源モデルは補間追加①45° ※1であると考えられる。

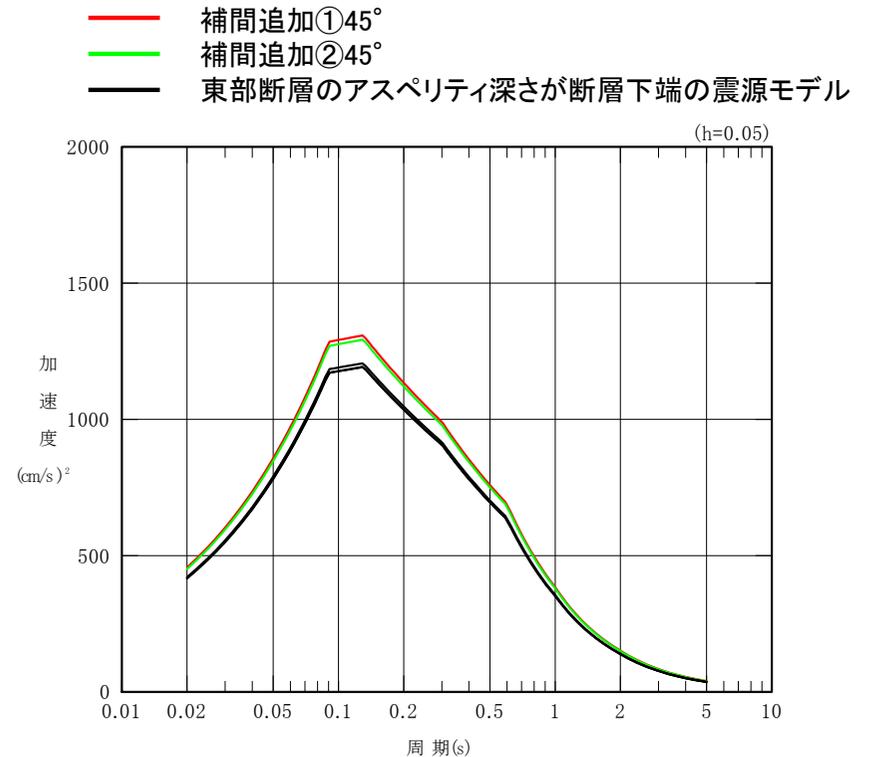
※1：地表トレースの走向が補間追加①、断層傾斜角45°，東部断層のアスペリティ深さが断層中段の震源モデルは、以下「補間追加①45°」という。
 ※2：地表トレースの走向が補間追加②、断層傾斜角45°，東部断層のアスペリティ深さが断層中段の震源モデルは、以下「補間追加②45°」という。

- 上記を踏まえ、敷地に及ぼす影響が大きい震源モデルである補間追加①45° を、地震動評価の基本ケースに選定する。

地形発達過程の説明性がある
震源モデル諸元

地表トレースの走向	断層傾斜角(°)	東部断層のアスペリティ深さ	M※3	断層全体のXeq(km)
北限屈曲	45	断層下端	6.8	10.4
北限補間	45	断層下端	6.8	10.4
補間追加①	45	断層下端	6.8	10.3
補間追加①	45	断層中段	6.8	9.6
補間追加②	45	断層中段	6.8	9.7

※3：武村(1990)に基づき算定。



Noda et al.(2002)の方法による地震動評価結果(水平成分)

5.5 地震動評価の震源モデルの設定(3/5)



(2) 基本ケースの震源モデルの断層パラメータの設定

- 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したものであり、調査結果に基づき震源の位置及び規模の諸元を一意的に設定できないため、断層諸元(地表トレースの走向、断層傾斜角、アスペリティ深さ)の不確かさ(P.19参照)を考慮した複数の震源モデル候補のうち、「大間付近の隆起域」における地形発達過程の説明性がある震源モデルを選定した。
- 地震動評価の基本ケースは、地形発達過程の説明性がある震源モデルのうち、敷地に及ぼす影響が大きい震源モデルを選定した。
- 基本ケースの震源モデルにおける断層パラメータの設定の考え方を以下に示す。

基本ケースの震源モデルにおける断層パラメータの設定の考え方

パラメータ		設定の考え方	基本ケースの震源モデルの設定
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、補間追加①45°を基本ケースの震源モデルに設定。
		断層長さ(地震規模)	
		断層傾斜角	
微視的パラメータ	アスペリティ	位置	同左
		短周期レベル(応力降下量)	
その他のパラメータ	破壊開始点	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。	同左

5. 隆起再現断層による地震の地震動評価

5.5 地震動評価の震源モデルの設定(4/5)

(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)

- 地震動評価の基本ケースは、断層諸元(地表トレースの走向、断層傾斜角、アスペリティ深さ)の不確かさ※1を考慮した複数の震源モデル候補より選定した地形発達過程の説明性がある震源モデルのうち、敷地に及ぼす影響が大きい震源モデルを設定しており、断層諸元の不確かさをすでに考慮している。
- 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」とともに考慮する。

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	地表トレースの走向(断層位置)	「隆起再現断層の想定領域」の東部を代表する地質構造に沿った走向として3条、不確かさとしてさらに地質構造に整合的な補間トレース4条の地表トレースの走向を想定して複数の震源モデル候補を作成し、地形発達過程の説明性、及び敷地に及ぼす影響度の観点から、補間追加①を設定。	基本ケースは、断層諸元(地表トレースの走向、断層傾斜角、アスペリティ深さ)の不確かさ※1を考慮した上で設定しており、考慮済み。
	断層長さ(地震規模)	敷地に及ぼす影響が大きくなるように、地表トレースの走向(補間追加①)に対して、「隆起再現断層の想定領域内」で最大となる断層長さを設定。	基本ケースは、地表トレースの走向(補間追加①)に対して「隆起再現断層の想定領域」内で最大となる断層長さを設定しており、考慮済み。
	断層傾斜角	東北日本の活断層の特徴※1に合わせて60°、不確かさとしてさらに低角化した45°の断層傾斜角を想定して複数の震源モデル候補を作成し、地形発達過程の説明性、及び敷地に及ぼす影響度の観点から、断層傾斜角45°を設定。	基本ケースは、断層諸元(地表トレースの走向、断層傾斜角、アスペリティ深さ)の不確かさ※1を考慮した上で設定しており、考慮済み。
	アスペリティ位置※2	東部断層: 走向方向の水平位置は保守的に敷地に最も近づく位置に、深さ方向の位置はせん断変位が地表付近に達していないことを踏まえ断層下端に、不確かさとしてさらに断層露頭の出現有無の明確な基準がないことを踏まえ断層中段に想定して複数の震源モデル候補を作成し、地形発達過程の説明性、及び敷地に及ぼす影響度の観点から、断層中段にアスペリティを設定。 西部断層: せん断変位が地表のF-14断層まで達しているものと考え、アスペリティをF-14断層直下の断層上端に配置。	基本ケースは、断層諸元(地表トレースの走向、断層傾斜角、アスペリティ深さ)の不確かさ※1を考慮した上で設定しており、考慮済み。
	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。
偶然的不確かさ	破壊開始点	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。	同左

※1 : P.19参照。

※2 : 隆起シミュレーションによって震源モデルの「大間付近の隆起域」の説明性を確認しており、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

5.5 地震動評価の震源モデルの設定(5/5)

(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

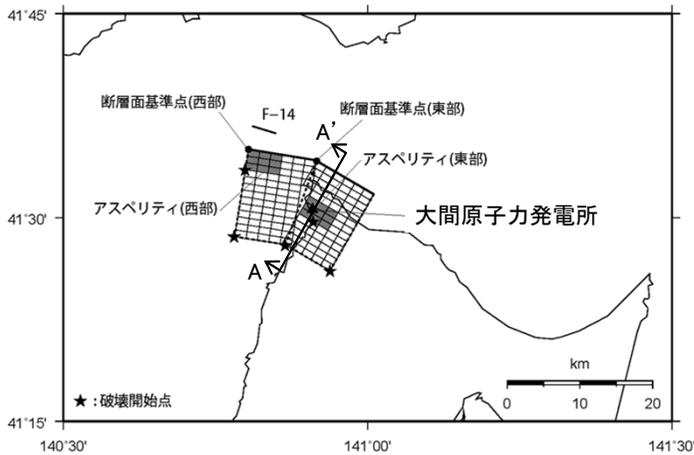
検討ケース	断層位置※1	地震規模※2	断層傾斜角※1 (°)	アスペリティの短周期レベル (応力降下量)	アスペリティ位置※1	破壊開始点
基本ケース	補間追加①	M6.8	45	強震動予測レシピ	西部断層:F-14断層の直下の断層上端位置 東部断層:断層中段位置	複数設定
短周期レベルの不確かさケース	補間追加①	M6.8	45	強震動予測レシピ×1.5倍	西部断層:F-14断層の直下の断層上端位置 東部断層:断層中段に設定	複数設定

※1:隆起シミュレーションに基づき設定。

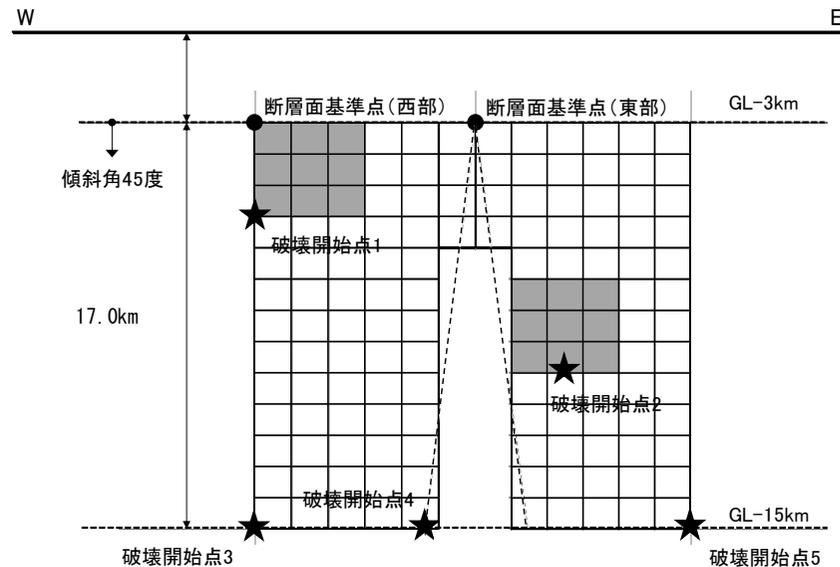
※2:地震規模は武村(1990)により算定。

 :認識論的不確かさとして考慮するパラメータ

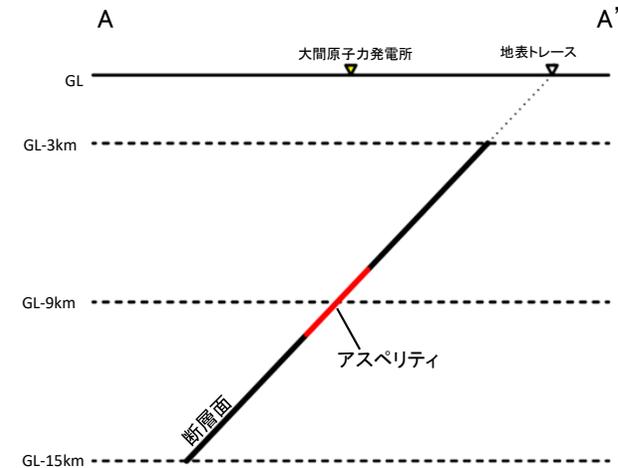
 :偶然的な不確かさとして考慮するパラメータ



平面図



展開図



A-A'断面模式図

地震規模	等価震源距離
M6.8	9.6km

震源モデル(基本ケース, 短周期レベルの不確かさケース)

(1)検討内容

目的

- 地形発達過程の説明性がある震源モデルは、指標1-1, 指標1-2, 指標2-1及び指標2-2の全てにおいて説明性があることが前提となる。ここでは、不確かさとして考慮する、地表トレースの走向, 断層傾斜角, 東部アスペリティ深さの3つの断層パラメータと、地形発達過程の説明性を示すこれら4つの指標との相関を把握する。

方法

- 4つの指標に対して、断層傾斜角及び東部アスペリティ深さの組合せ毎に、地表トレースの走向が異なる解析結果をまとめて図示し、それぞれ説明性のある震源モデルが設定できる範囲を確認する。その結果を、4つの指標と3つのパラメータの相関としてまとめ、その背景を考察する。



(2)鉛直断面方向の傾向(1/7) : 指標 2-1(全体) : 西測線における隆起形状

傾斜60° + 傾斜45°, 東部アスペリティ 中段+下端

- 0.10-0.15(m/ky)
- 0.15-0.20(m/ky)
- 0.20-0.25(m/ky)
- 0.25-0.30(m/ky)
- 北限 屈曲45中段
- 北限 補間45中段
- 補間追加①45中段
- 補間追加②45中段
- 中央 屈曲45中段
- 南限 補間45中段
- 南限 屈曲45中段
- 北限 屈曲45下端
- 北限 補間45下端
- 補間追加①45下端
- 補間追加②45下端
- 中央 屈曲45下端
- 南限 補間45下端
- 南限 屈曲45下端
- 北限 屈曲60中段
- 北限 補間60中段
- 補間追加①60中段
- 補間追加②60中段
- 中央 屈曲60中段
- 南限 補間60中段
- 南限 屈曲60中段
- 北限 屈曲60下端
- 北限 補間60下端
- 補間追加①60下端
- 補間追加②60下端
- 中央 屈曲60下端
- 南限 補間60下端
- 南限 屈曲60下端

・ 不確かさを考慮した28種の震源モデル候補について、指標毎に評価結果を示す。(次頁以降も同様)

・ 指標2-1(西測線における隆起形状)の評価結果を色分けして示す。

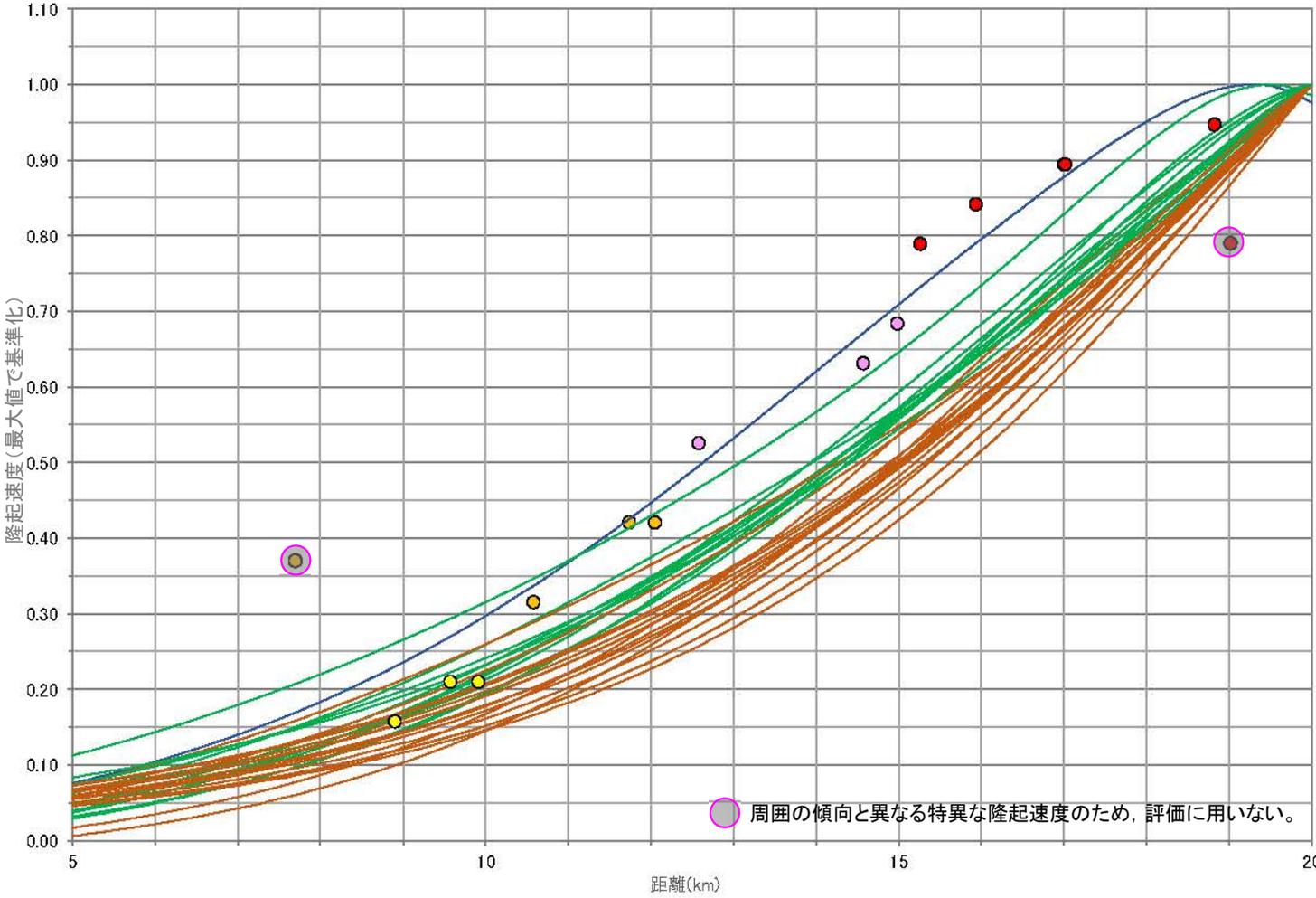
・ 隆起速度分布に認められる、距離15kmから19kmにかけて上に凸の分布となり北端部(20km)で平坦となる地殻変動パターンは、類似した地殻変動パターンを再現できる震源モデルが極端に少ない。そこで、類似性の評価においては、裕度のある区分としている。

指標 2-1: 西測線における隆起形状

- : ○ 類似性良い
- : △ 類似性有り
- : × 類似性無し

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
- 海成段丘面の隆起速度分布



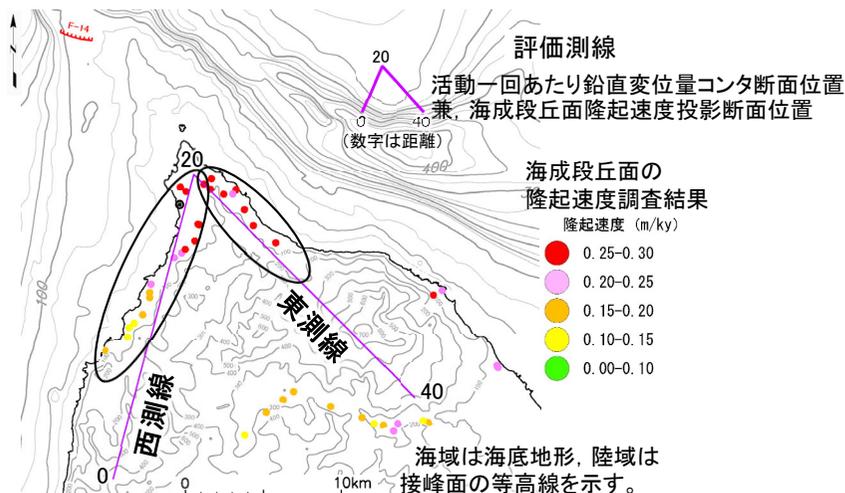
● 周囲の傾向と異なる特異な隆起速度のため、評価に用いない。

南西部

北端部



(2)鉛直断面方向の傾向(2/7) : 指標 2-1(全体) : 西測線における評価結果の分布(1/2)



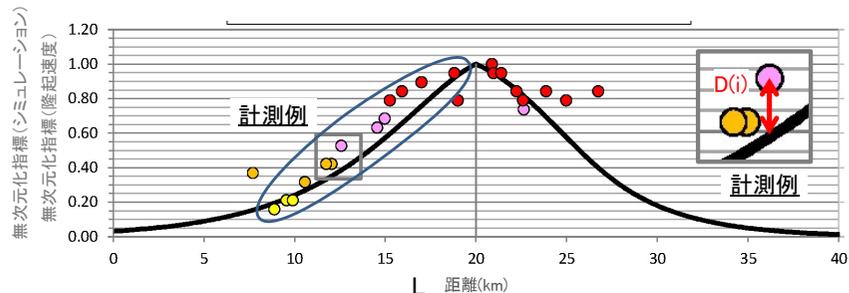
測線位置図

前頁に示す指標2-1(西測線における隆起形状)の判定は、定性的な表現となっている。ここでは、2つの補助指標を用いることにより定量的な評価を示す。

- 補助指標2-1-1(西測線の平均誤差)は、基準化された隆起速度と隆起シミュレーションによる基準化された変位量との誤差の絶対値を平均したものである。指標値が小さいほど類似性があるものと評価する。
- 補助指標2-1-2(西測線北端部傾斜)は、隆起シミュレーションによる基準化された変位量曲線の北端部での傾斜を求めたものである。指標値が小さい(水平に近い)ほど類似性があるものと評価する。
- これら2つの補助指標を参考として、指標2-1の評価を行うこととしている。
- なお、ここでの閾値は、目視による定性的な評価(P.24参照)の過程で経験的に定めたものである。

指標2-1の補助指標(指標2-1-1, 指標2-1-2)

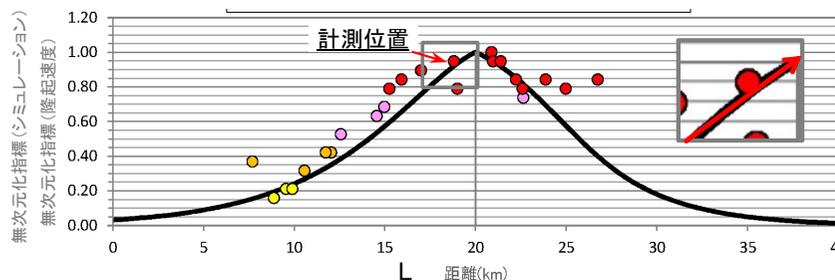
補助指標 2-1-1: 西測線の平均誤差 指標 $d = \{1/n * \sum_{i=1}^n \sqrt{D(i)^2}\}$



- 最大値で基準化したグラフで、「隆起速度分布」と「鉛直変位量断面」との平均誤差を求める。
- 目視による評価に余裕を持たせ、平均誤差が0.12を超える場合は類似性が無いものとする。

類似性有り ○ : $d \leq 0.08$
 やや有り △ : $0.08 < d \leq 0.12$
 類似性無し × : $0.12 < d$

補助指標 2-1-2: 西側線北端部傾斜 指標 $g = dNs/dL ; L=19(\text{km})$



- 最大値で基準化したグラフで、「鉛直変位量断面」の北端部(19km地点)での傾きを求める。
- 目視による評価に余裕を持たせ、傾きが0.10を超える場合は類似性が無いものとする。

類似性有り ○ : $g \leq 0.05$
 やや有り △ : $0.05 < g \leq 0.10$
 類似性無し × : $0.10 < g$

海成段丘面の「隆起速度分布」

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

隆起シミュレーションによる活動一回あたり「鉛直変位量断面」

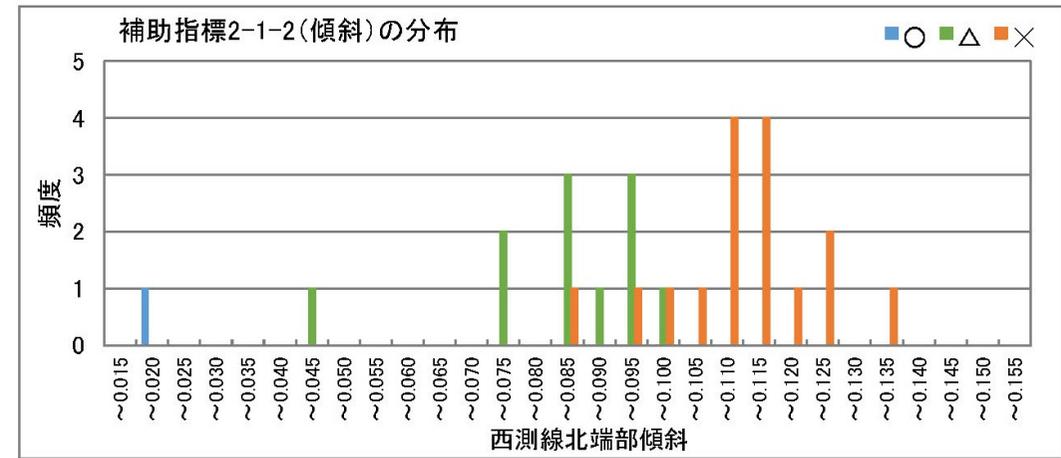
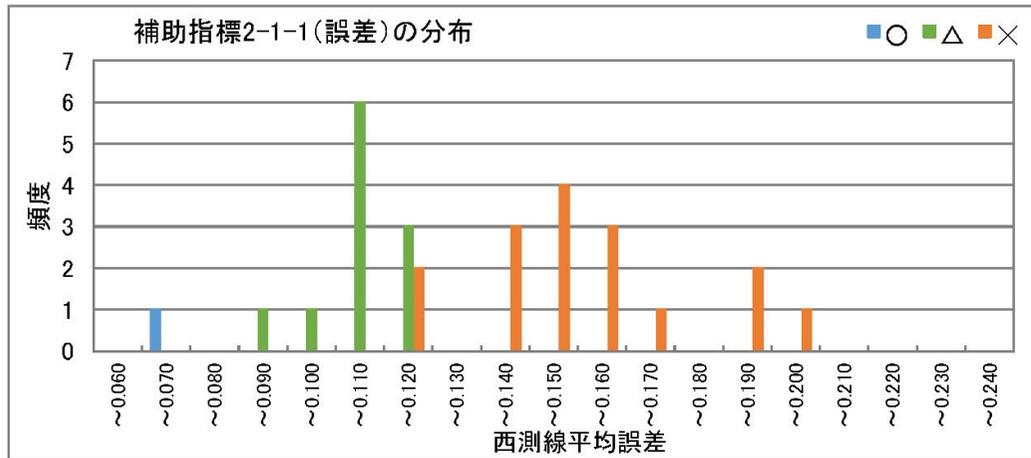


(2)鉛直断面方向の傾向(3/7) : 指標 2-1(全体) : 西測線における評価結果の分布(2/2)

補助指標2-1-1及び補助指標2-1-2の値の頻度分布を、それらを統合した指標2-1の評価結果による色分けで示す。

- 補助指標の閾値は、目視により類似性があると判断する曲線と比較し、さらに余裕を持たせた値を設定している。
- この分類によって、△(類似性あり)評価と×(類似性なし)に分けたグループに、それぞれピークをもつ頻度分布となっており、結果的に相対的な区分にもなっている。

補助指標(指標2-1-1, 指標2-1-2)の頻度分布



類似性良い ← → 類似性悪い

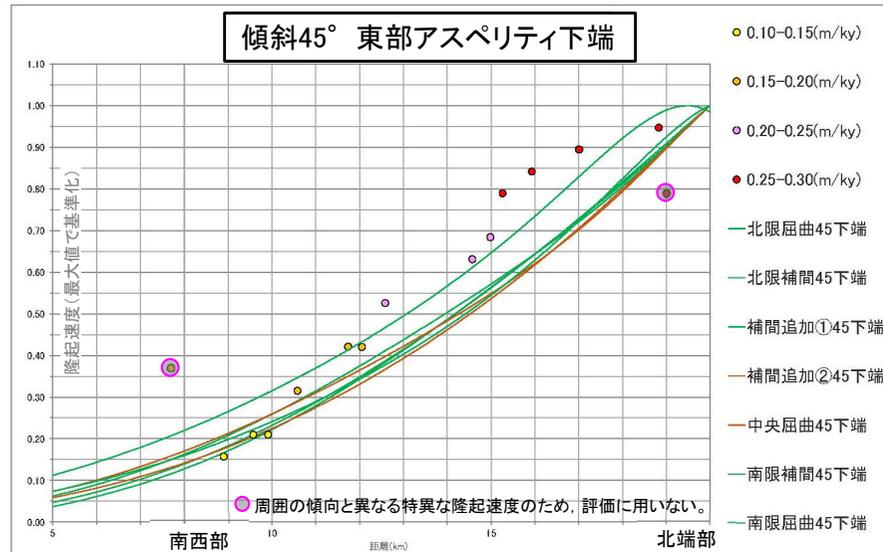
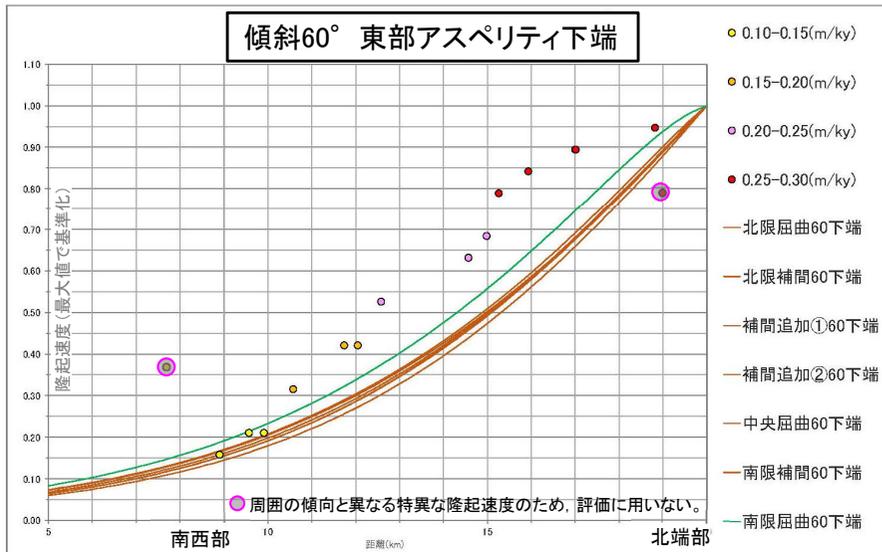
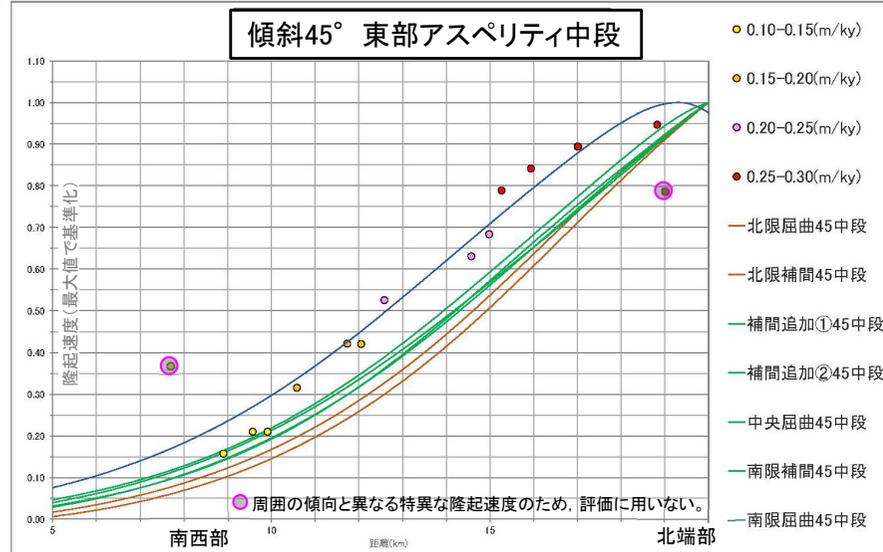
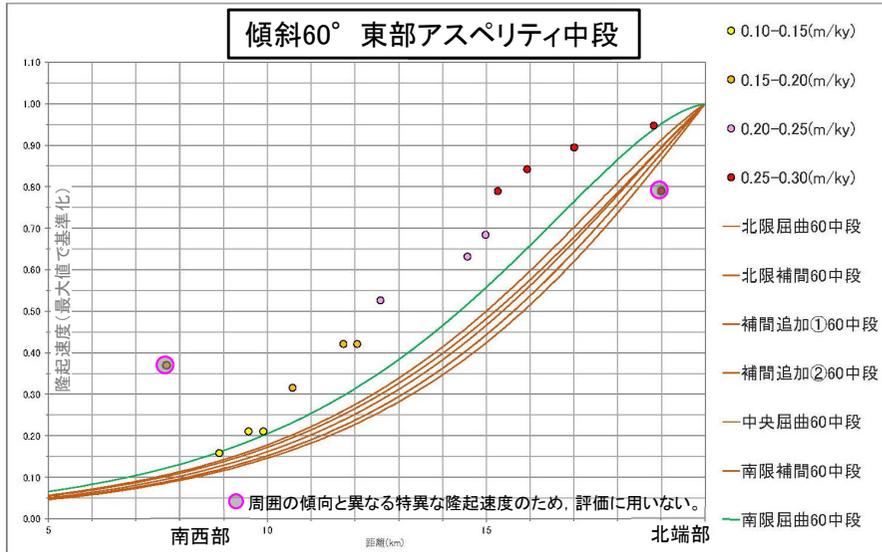
類似性良い ← → 類似性悪い

指標 2-1: 西測線における隆起形状

- : ○類似性良い
- : △類似性有り
- : ×類似性無し



(2)鉛直断面方向の傾向(4/7) : 指標 2-1(条件毎) : 西測線における隆起形状



「地表トレースの走向」による変化

- 全体に、南側の走向で説明性が良くなる。

「断層傾斜角」による変化

- 傾斜60°での説明性は、南限屈曲を除き非常に悪い。

「東部アスペリティ深さ」による変化

- 傾斜45°では深度の変化により説明性の無い走向が変化している。

指標 2-1 : 西測線における隆起形状

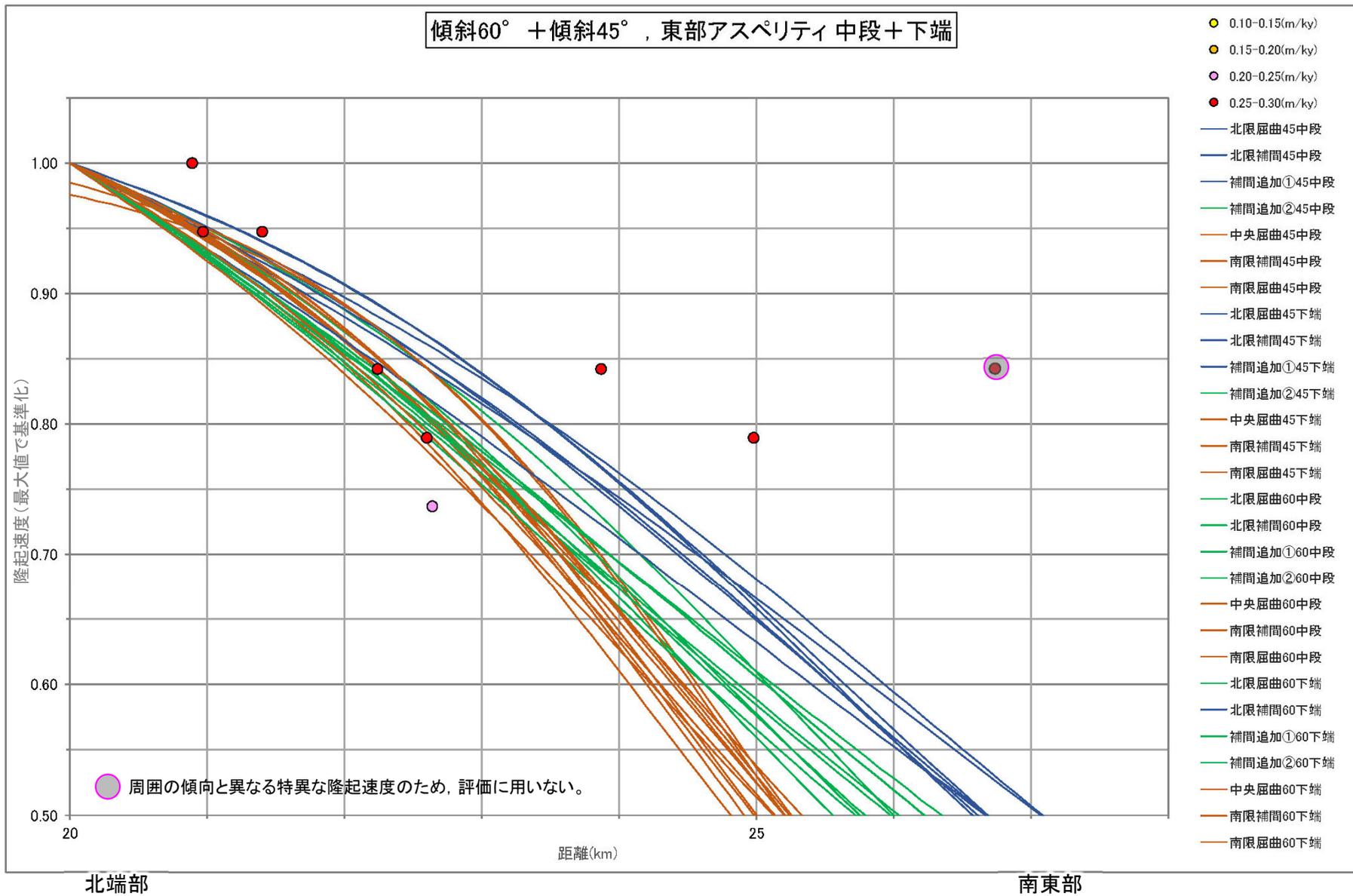
- : ○ 類似性良い
- : △ 類似性有り
- : × 類似性無し



海成段丘面の隆起速度分布



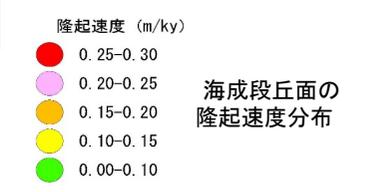
(2)鉛直断面方向の傾向(5/7) : 指標 2-2(全体) : 東測線における乖離率



- 指標2-2(東測線における乖離率)の評価結果を色分けして示す。
- 隆起速度分布が上下に分かれているため、分布の上限ラインを基準とし、これがほぼ直線状となることから、25 km地点を代表として乖離率を評価している。
- 類似性良い又は有りとする震源モデルでは、再現される曲線が隆起速度分布の上限ラインと下限ラインの中間以上にある。
- 類似性無しとする震源モデルの場合、南東部に向かい急速に落下し、乖離が大きく進行する傾向が認められる。

指標 2-2: 東測線における乖離率

- 類似性良い (20%以下)
- 類似性有り (20%超30%以下)
- 類似性無し (30%超)



● 周囲の傾向と異なる特異な隆起速度のため、評価に用いない。

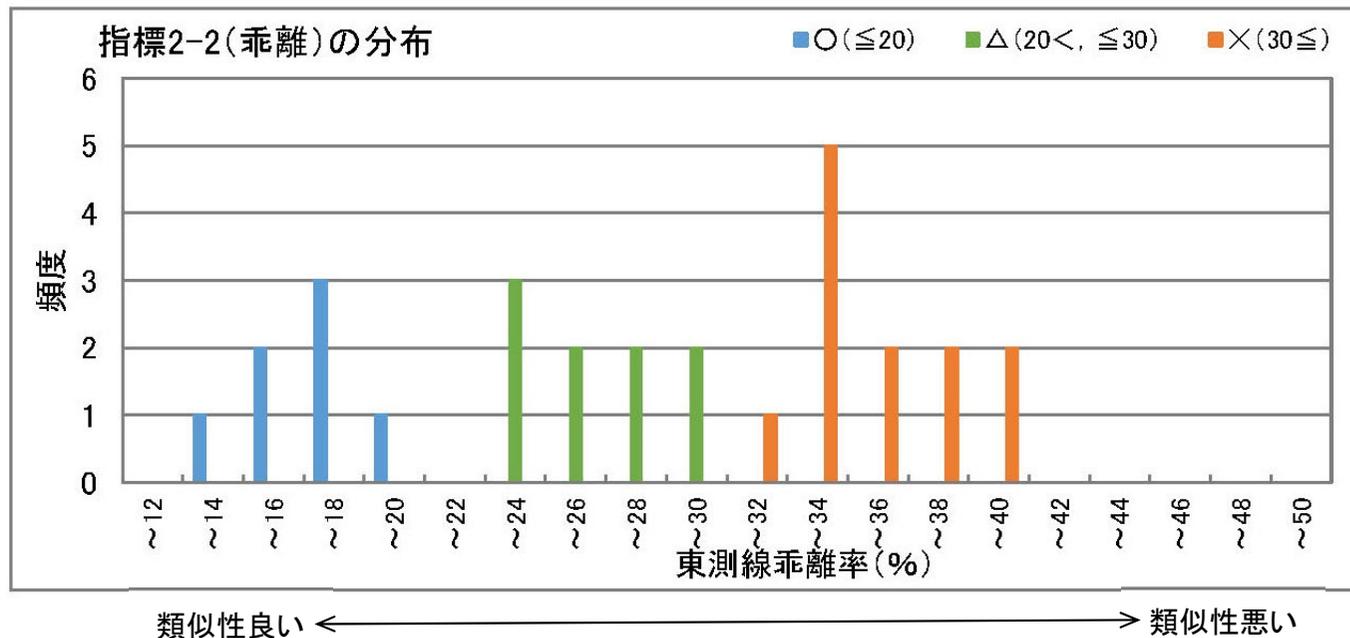


(2)鉛直断面方向の傾向(6/7) : 指標 2-2(全体) : 西測線における評価結果の分布

指標2-2の値の頻度分布を、評価結果による色分けで示す。

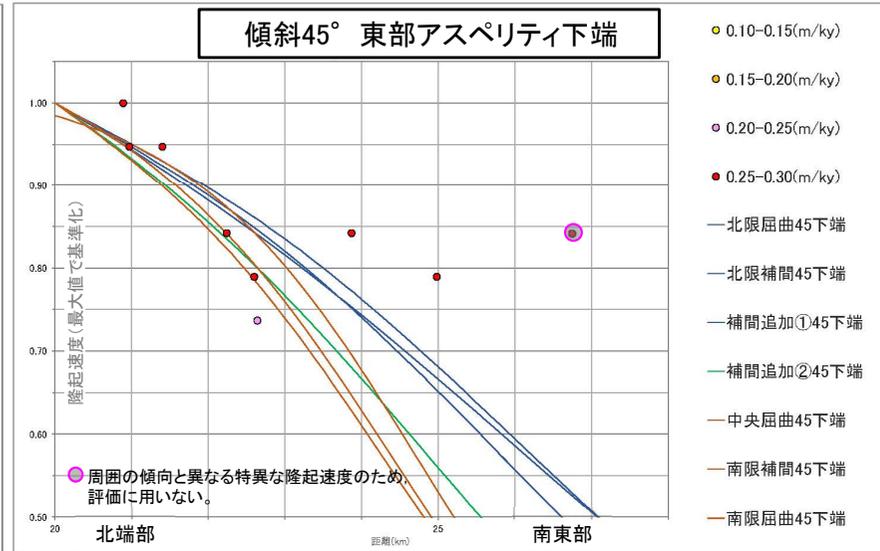
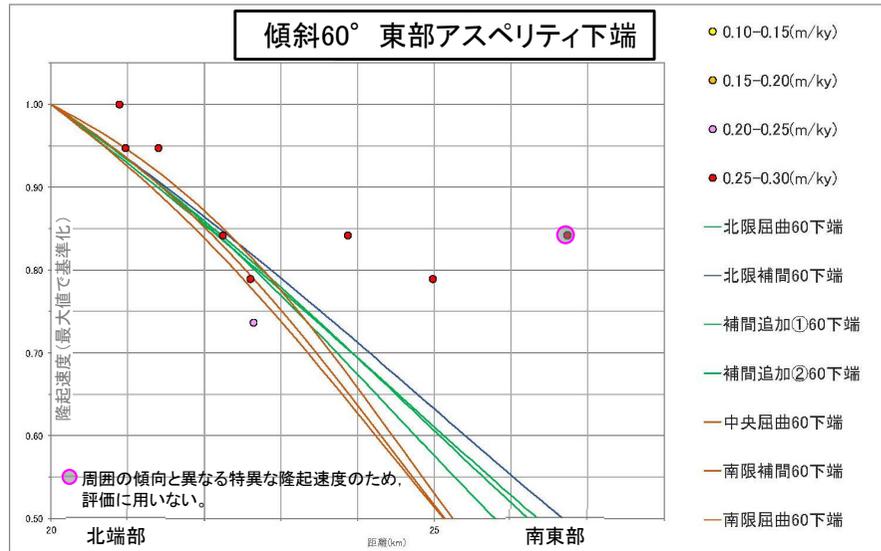
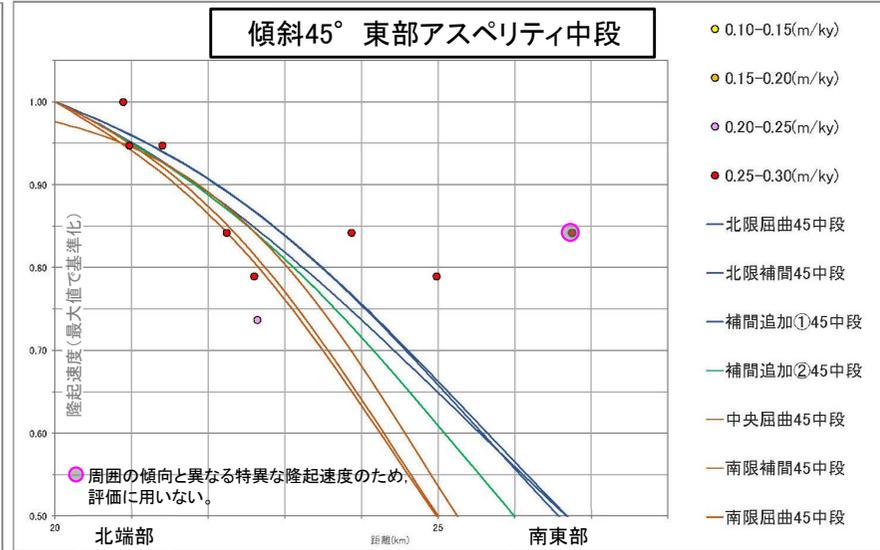
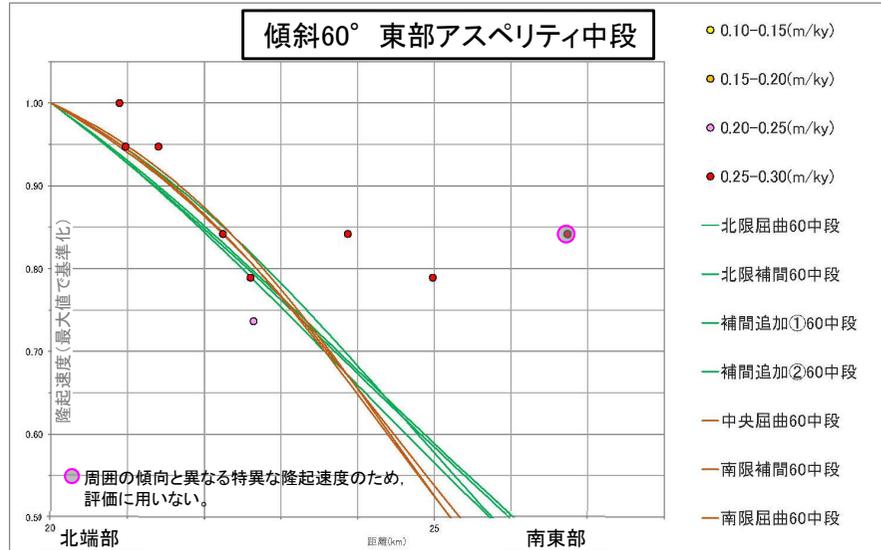
- 指標2-2の閾値は、南側の「中央屈曲」、「南限補間」及び「南限屈曲」において、乖離率30%を挟んで不連続に指標が悪くなる傾向があることから、「類似性有り」と「類似性無し」の境界を30%とし、「類似性良い」との境界は30%の半分にやや裕度を持たせ、20%としている。(P.31及びP.52を参照。)
- この分類によって、「類似性良い」「類似性有り」「類似性無し」に分けたグループに、それぞれピークをもつ頻度分布となっており、結果的に相対的な区分にもなっている。

指標2-2の頻度分布





(2)鉛直断面方向の傾向(7/7) : 指標 2-2(条件毎) : 東測線における乖離率



「地表トレースの走向」による変化

- 全体に、北側の走向で説明性が良くなる。

「断層傾斜角」による変化

- 傾斜45°では、60°と比べて北側の走向での説明性が更に良くなる。

「東部アスペリティ深さ」による変化

- 下端の配置では、中段と比べて北側の走向での説明性が若干良くなる。

指標 2-2: 東測線における乖離率

- : 類似性良い (20%以下)
- : 類似性有り (20%超30%以下)
- : 類似性無し (30%超)

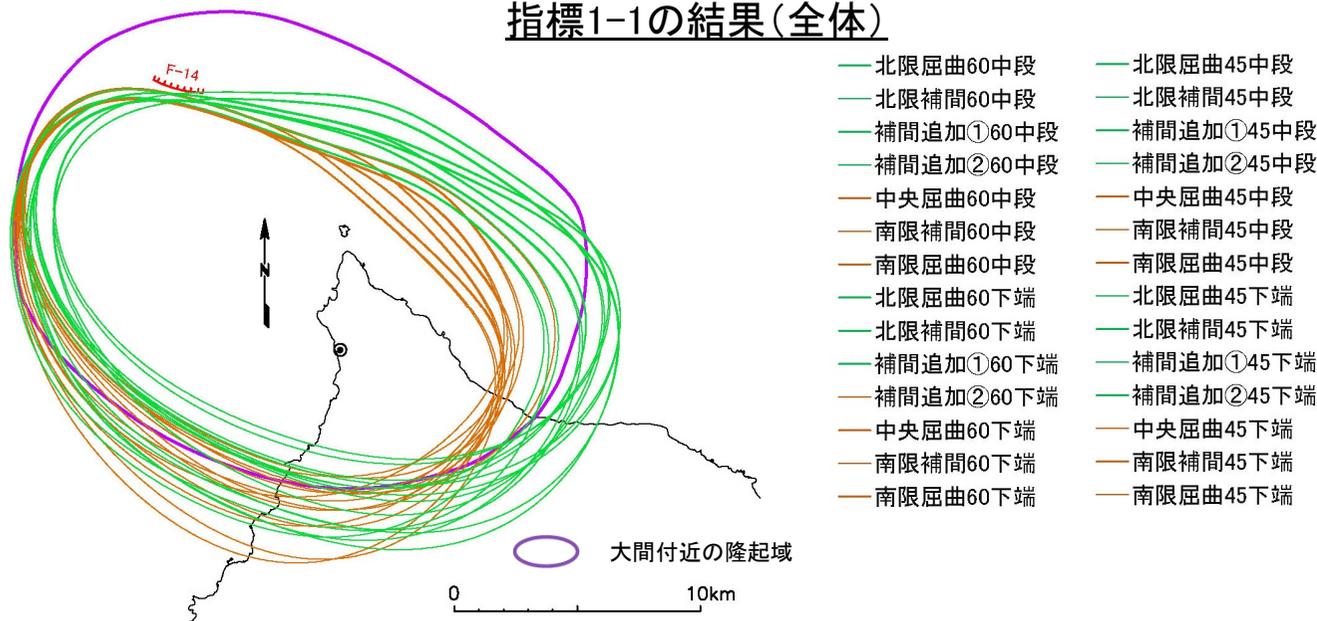


海成段丘面の隆起速度分布



(3)水平面方向の傾向(1/4):指標1-1及び1-2の結果(全体)

指標1-1の結果(全体)

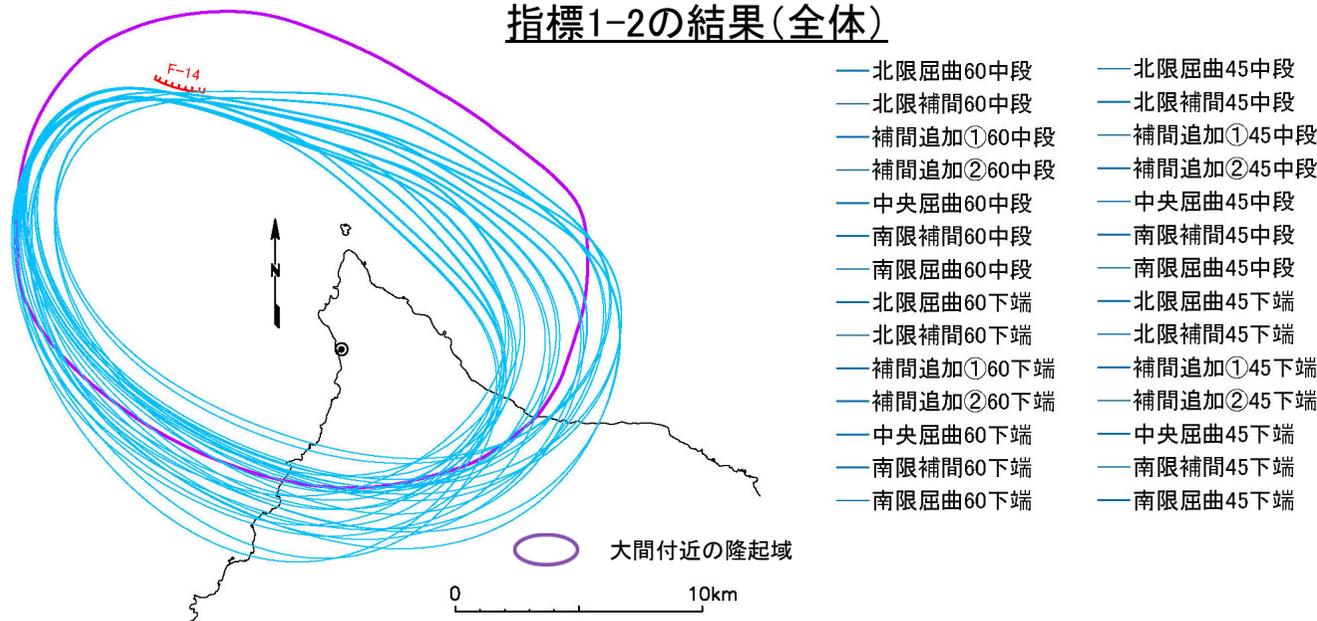


- 指標 1-1(大間付近の隆起域の再現率)の評価結果を色分けして示す。
- 再現率が70%以下の震源モデルの場合,南東部の広がり小さく,地表変位を生じる範囲が狭くなる傾向が認められる。

指標 1-1:大間付近の隆起域の再現率

- : 類似性良い (80%超)
- : 類似性有り (70%超80%以下)
- : 類似性無し (70%以下)

指標1-2の結果(全体)



- 指標 1-2(大間付近の隆起域への寄与率)の評価結果を色分けして示す。
- 全般に地表変位を生じる範囲のほとんどが大間付近の隆起域に収まっており,寄与率が良い。

指標 1-2:大間付近の隆起域への寄与率

- : 類似性良い (80%超)
- : 類似性有り (70%超80%以下)
- : 類似性無し (70%以下)

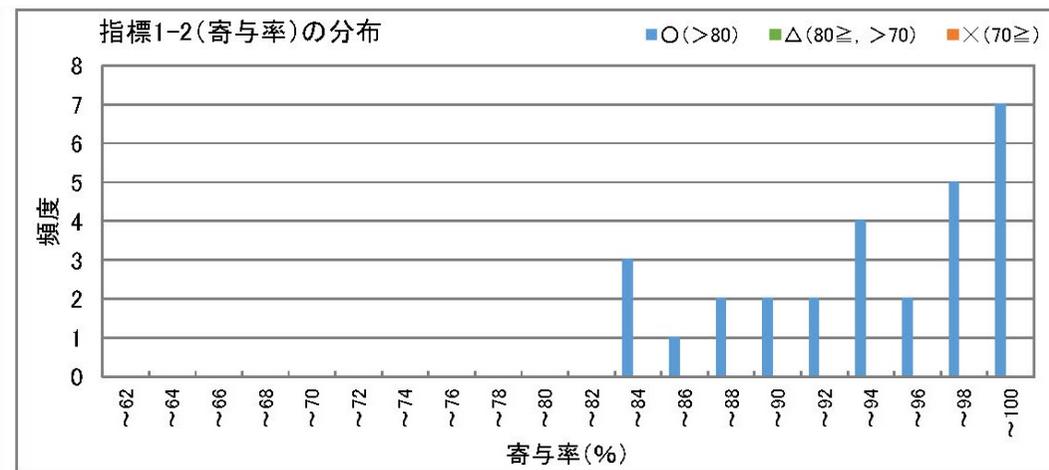
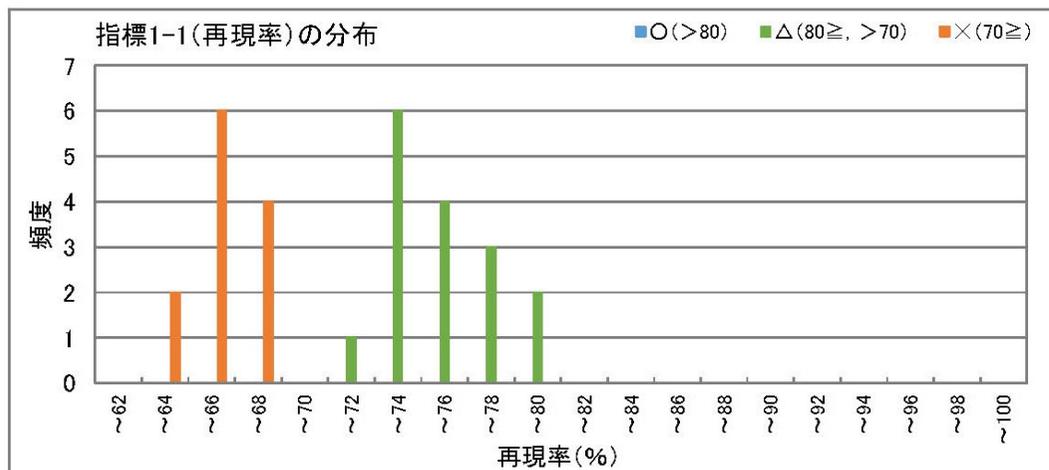


(3)水平面方向の傾向(2/4): 指標1-1及び1-2における評価結果の分布

指標1-1及び指標1-2の値の頻度分布を、評価結果による色分けで示す。

- 指標1-1の閾値は、南側の「中央屈曲」、「南限補間」及び「南限屈曲」において、再現率70%を挟んで不連続に指標が悪くなる傾向があることから、「類似性有り」と「類似性無し」の境界を70%とし、「類似性良い」との境界は70%と100%との中間にやや裕度を持たせ、80%としている。(P.31及びP.52を参照。)
- 指標1-2の閾値は、指標1-1と同様に率による評価が可能であることから、統一して同じ基準としている。
- 指標1-1(再現率)において、「類似性良い」と「類似性有り」に分けたグループに、それぞれピークをもつ頻度分布となっており、相対的な区分になっている。指標1-2(寄与率)は、全てが「類似性良い」に分類される。

指標1-1, 指標1-2の頻度分布



類似性悪い ← → 類似性良い

類似性悪い ← → 類似性良い

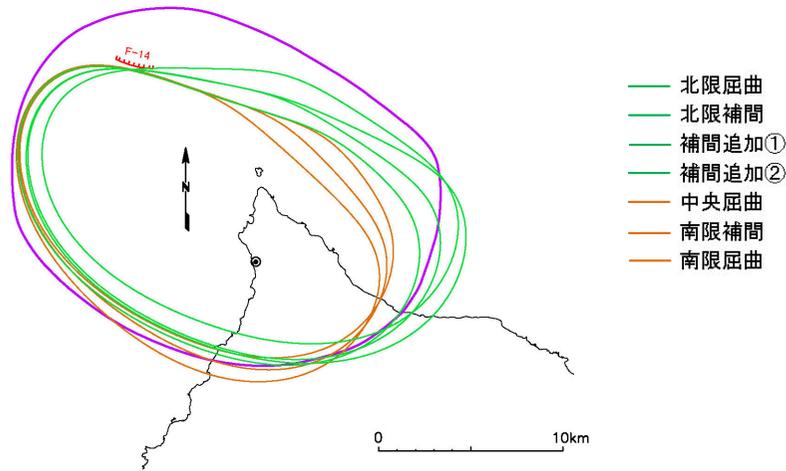
指標 1-1: 大間付近の隆起域の再現率
 指標 1-2: 大間付近の隆起域への寄与率

- : 類似性良い (80%超)
- : 類似性有り (70%超80%以下)
- : 類似性無し (70%以下)

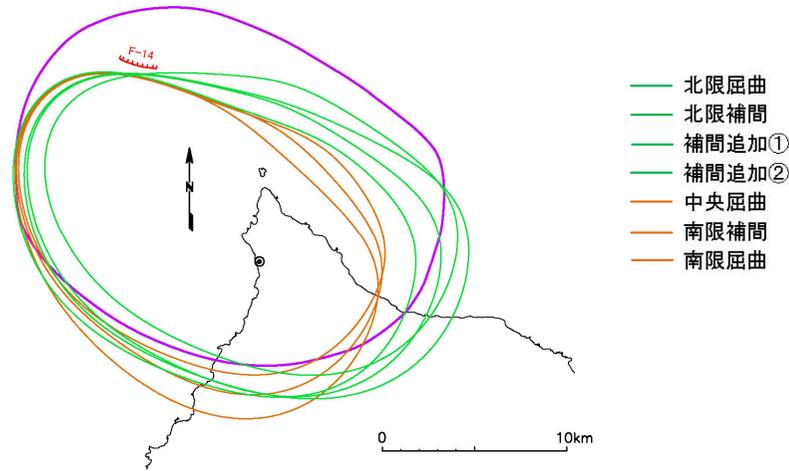


(3)水平面方向の傾向(3/4):指標 1-1(条件毎):大間付近の隆起域の再現率

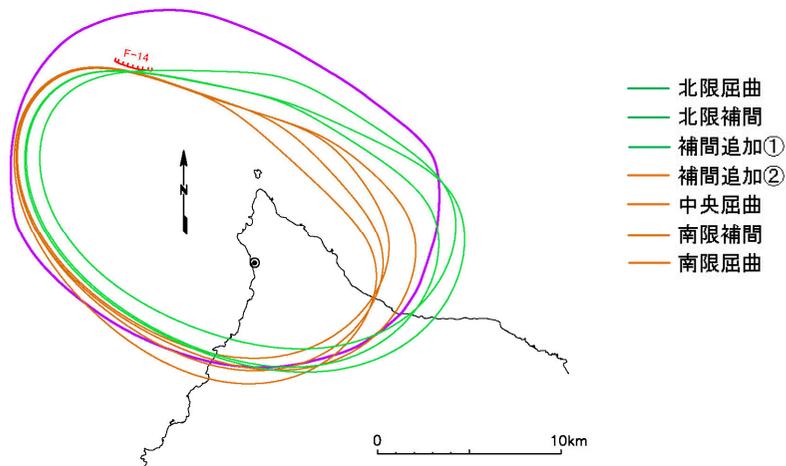
傾斜60° 東部アスペリティ中段



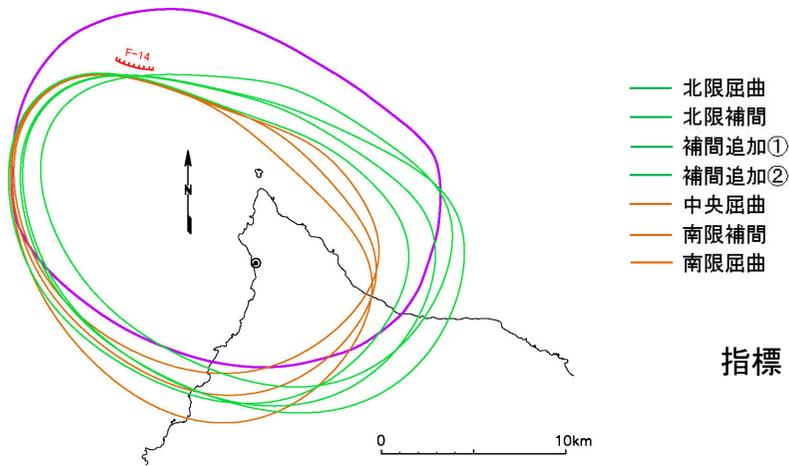
傾斜45° 東部アスペリティ中段



傾斜60° 東部アスペリティ下端



傾斜45° 東部アスペリティ下端



「地表トレースの走向」による変化

- 全体に、北側の走向で説明性が良くなる。

「断層傾斜角」による変化

- 傾斜45°では60°と比べて隆起が大間付近の隆起域の南方から南東方にかけての外側に広がるが、隆起域の内側の再現率に対しては、ほとんど違いはない。

「東部アスペリティ深さ」による変化

- ほとんど違いはない。

指標 1-1:大間付近の隆起域の再現率

- : 類似性良い (80%超)
- : 類似性有り (70%超80%以下)
- : 類似性無し (70%以下)

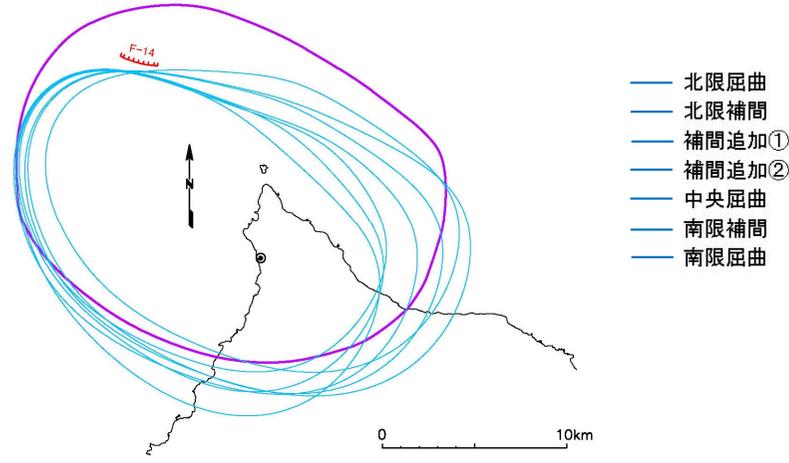
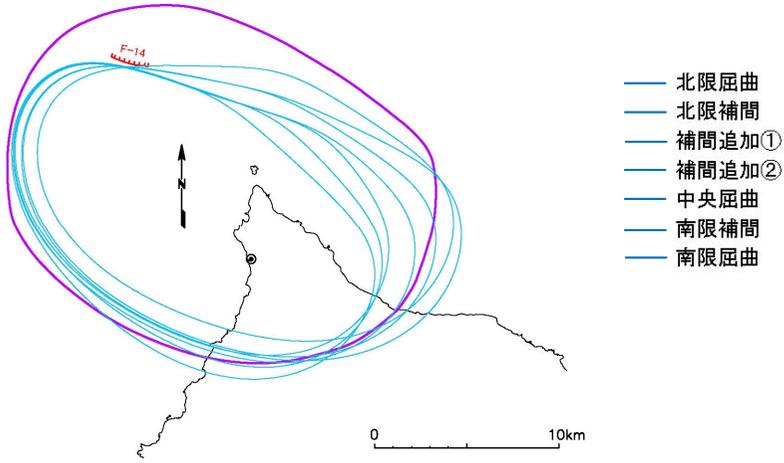
○ 大間付近の隆起域



(3)水平面方向の傾向(4/4):指標 1-2(条件毎):震源モデルによる隆起域への寄与率

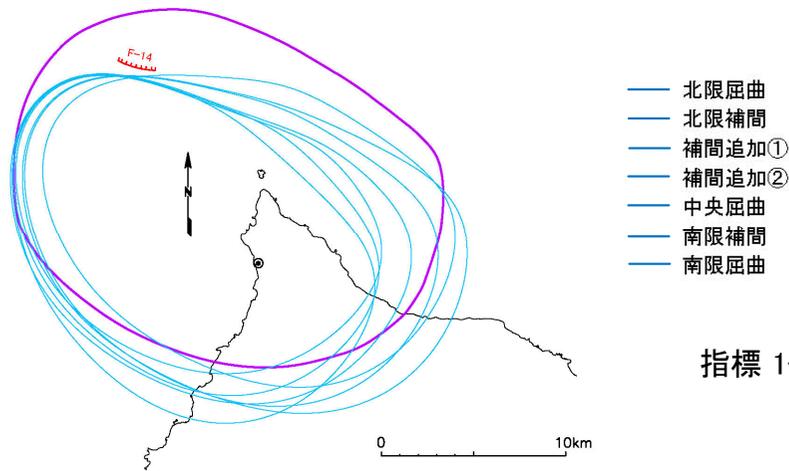
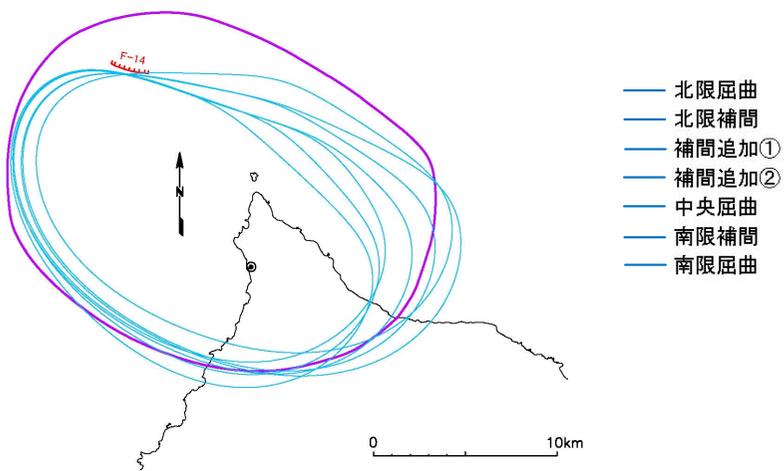
傾斜60° 東部アスペリティ中段

傾斜45° 東部アスペリティ中段



傾斜60° 東部アスペリティ下端

傾斜45° 東部アスペリティ下端



「地表トレースの走向」による変化

- 南側の走向では大間付近の隆起域の外に出る部分が少ないため寄与率が良い。

「断層傾斜角」による変化

- 傾斜45°では60°と比べて隆起が大間付近の隆起域の外側に広がるため、寄与率にやや劣るものの、十分説明性のある範囲内である。

「東部アスペリティ深さ」による変化

- ほとんど違いはない。

指標 1-2:大間付近の隆起域への寄与率

- : 類似性良い (80%超)
- : 類似性有り (70%超80%以下)
- : 類似性無し (70%以下)

○ 大間付近の隆起域



(4)地形発達過程の説明性の評価結果(1/5):断層諸元と評価指標との相関(1/2)

震源モデルのパラメータが評価指標に与える影響をまとめて示す。

- ・ 指標2-1(西測線における隆起形状)については、基本となる「傾斜」60° の場合は「アスペリティ深さ」によらず中央から北側の「走向」での説明性が悪く、不確かさとして考慮する「傾斜」45° の場合は「アスペリティ深さ」によって説明性の良い「走向」が変化する。
- ・ 指標2-2(東測線における乖離率)及び指標1-1(大間付近の隆起域の再現率)については、「傾斜」及び「アスペリティ深さ」によらず、「走向」として南側の震源モデルでの説明性が悪い。
- ・ 指標1-2(震源モデルによる隆起域の寄与率)については、全般に説明性が良く、「傾斜」が60° の方がより再現性が良い。

	評価対象	大局的な傾向	解釈	「走向」による変化	「傾斜」による変化	「アスペリティ深さ」による変化
指標2-1	西測線における隆起形状	・60° 傾斜の震源モデルでの説明性が悪い。 影響のあるパラメータ: 「傾斜」 影響の小さいパラメータ: 「走向」「アスペリティ位置」	60° 傾斜の震源モデルでは、断層変位がダイレクトに地表に表れやすく、隆起域の中心付近に尖ったピークが形成され、頂部の平坦な隆起速度分布が再現されない。 北側の震源モデルでは、震源規模が大きいため、隆起域が広く、頂部が平坦になり易い。	北限屈曲 北限補間 … 中央屈曲 … 南限屈曲	悪い側 ↑↓ 良い側	傾斜60° での説明性が非常に悪い。 傾斜60° では際立つ変化は認められないが、傾斜45° では深度の変化により説明性のある走向が変化している。
指標2-2	東測線における乖離率	・南部の震源モデルでの説明性が悪い。 影響のあるパラメータ: 「走向」 影響の小さいパラメータ: 「傾斜」「アスペリティ位置」	南側の震源モデルでは、震源規模が小さいために隆起域が狭く、南東部での隆起量が小さくなり乖離率が大きくなる。 傾斜が低角(45°)なモデルの方が震源規模の変化が大きいため、寄与率の変化がより強調される。	北限屈曲 北限補間 … 中央屈曲 … 南限屈曲	良い側 ↑↓ 最良	傾斜45° では、60° と比べて北側の走向での説明性が更に良くなる。 下端の配置では、中段と比べて北側の走向での説明性が若干良くなる。
指標1-1	大間付近の隆起域の再現率	・南部の震源モデルでの説明性が悪い。 影響のあるパラメータ: 「走向」 影響の小さいパラメータ: 「傾斜」「アスペリティ位置」	地表トレスの傾斜側(南側)にのみ隆起が生じるため、南部の震源モデルでは、北部がカバーされない。	北限屈曲 北限補間 … 中央屈曲 … 南限屈曲	良い側 ↑↓ 悪い側	傾斜45° では60° と比べて隆起が大間付近の隆起域の外側に広がるが、隆起域の内側の再現率に対しては際立つ違いはない。 ほとんど違いはない。
指標1-2	震源モデルによる隆起域の寄与率	・全ての震源モデルで説明性が良い。 影響のあるパラメータ: 「走向」「傾斜」 影響の小さいパラメータ: 「アスペリティ位置」	震源モデルによる隆起範囲が大間付近の隆起域よりやや小さいため、大間付近の隆起域をみ出す部分が小さく、寄与率が良くなっている。 傾斜45° の震源モデルでは、震源規模が大きいため、南にはみ出す部分が多少増える。	北限屈曲 北限補間 … 中央屈曲 … 南限屈曲	(良い側) ↑↓ (悪い側) ↑↓ (良い側) ↑↓ (悪い側)	傾斜45° では60° と比べて隆起が大間付近の隆起域の外側に広がるため、寄与率にやや劣るものの、十分説明性のある範囲内である。 ほとんど違いはない。



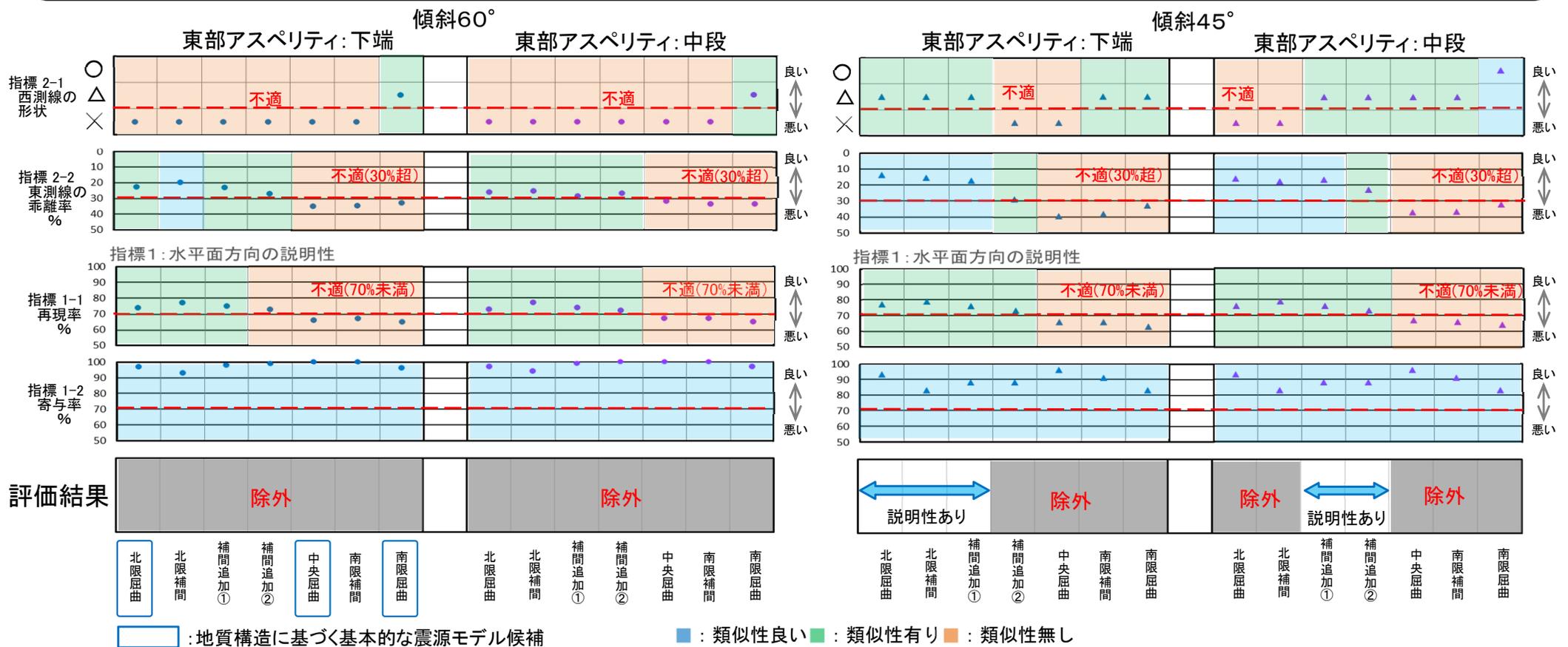
(4)地形発達過程の説明性の評価結果(2/5):断層諸元と評価指標との相関(2/2)

不確かさを考慮した28種の震源モデル候補について、「傾斜」と「アスペリティ深さ」の組合せ毎に、それぞれの指標の値をグラフにまとめ、「走向」の違いに伴う説明性の変化を確認した。その結果、下記①～⑤に示す傾向が認められる。

- ①傾斜60° の場合、指標2-1では「南限屈曲」のみ説明性が認められ、それ以外の走向では説明性は認められない。
- ②一方、傾斜60° の場合の指標2-2及び1-1については、南側から中央付近の「南限屈曲」から「中央屈曲」或いは「補間追加②」までの説明性がない。
- ③傾斜45° の場合、指標2-1では南側の「南限屈曲」、「南限補間」等に加えて、アスペリティ中段の場合は中央付近、下段の場合は北側の説明性がある。
- ④一方、傾斜45° の場合の指標2-2及び1-1については、南側から中央付近の「南限屈曲」から「中央屈曲」までの説明性がない。
- ⑤なお、指標1-2については、何れの傾斜、走向でも説明性がある。

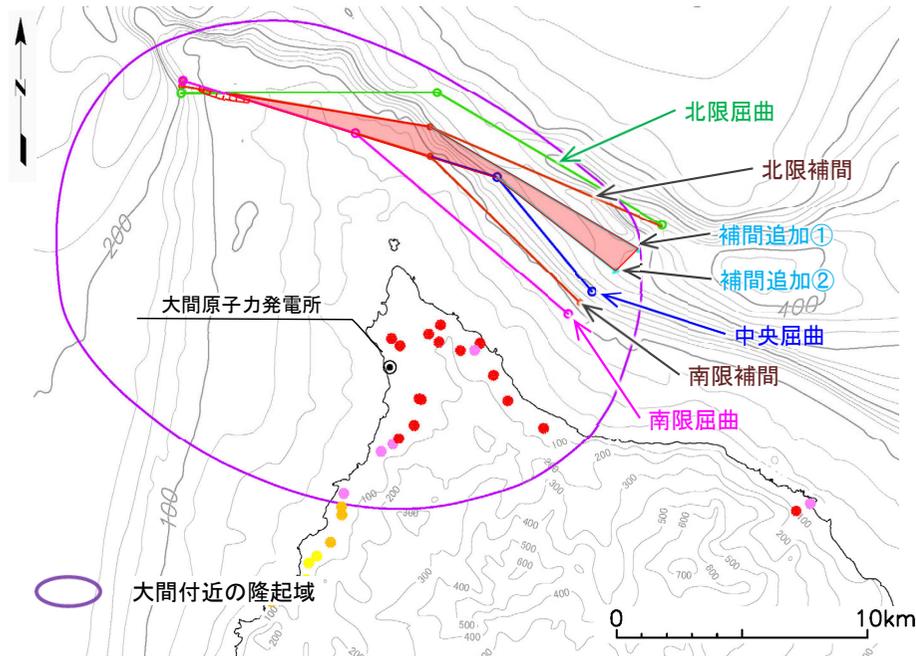
上記を総合すると以下の通りとなる。

- ・傾斜45° の場合、アスペリティ中段の震源モデルでは中央付近、下段の震源モデルでは北側の領域で説明性があり、南側の領域の震源モデルには説明性がない結果となった。
- ・なお、傾斜60° の場合は、何れのケースでも説明性がない結果となった。



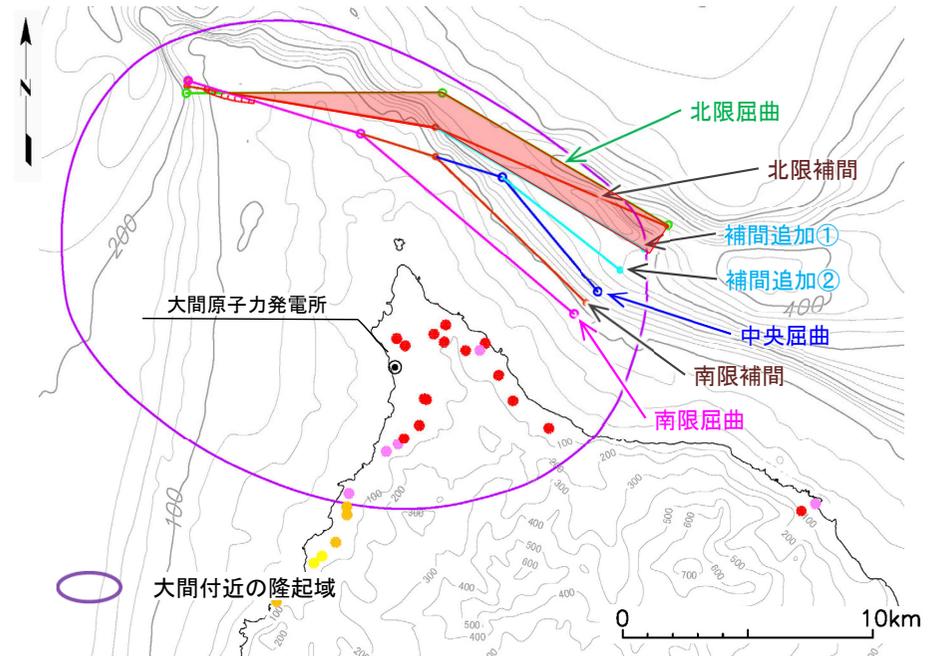
(4)地形発達過程の説明性の評価結果(3/5):震源モデルの設定範囲

- 前頁に示す通り、「大間付近の隆起域」における地形発達過程の説明性がある震源モデルは、傾斜 45° の場合、アスペリティ中段のケースで中央付近、下段のケースで北側の領域で説明性があり、南側のケースは説明性がない結果が得られた。なお、傾斜 60° の場合は、何れのケースでも説明性がない結果となった。
- 評価の結果、説明性がある震源モデルは下記5種となる。これらの分布範囲を「震源モデルの設定範囲」とする。
 - 「傾斜」 45° ，東部断層の「アスペリティ深さ」中段 ⇒ 「走向」補間追加①，補間追加②
 - 「傾斜」 45° ，東部断層の「アスペリティ深さ」下端 ⇒ 「走向」北限屈曲，北限補間，補間追加①



大間付近の隆起域における地形発達過程が説明できる「震源モデルの設定範囲」

(45° 傾斜, 東部アスペリティ中段の場合)



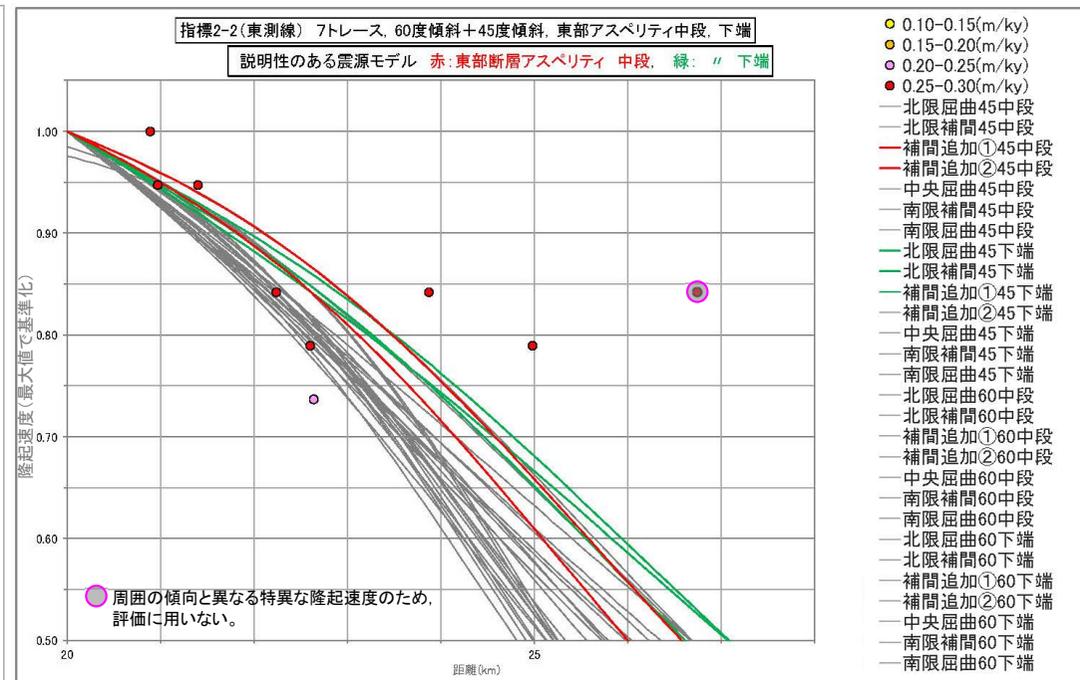
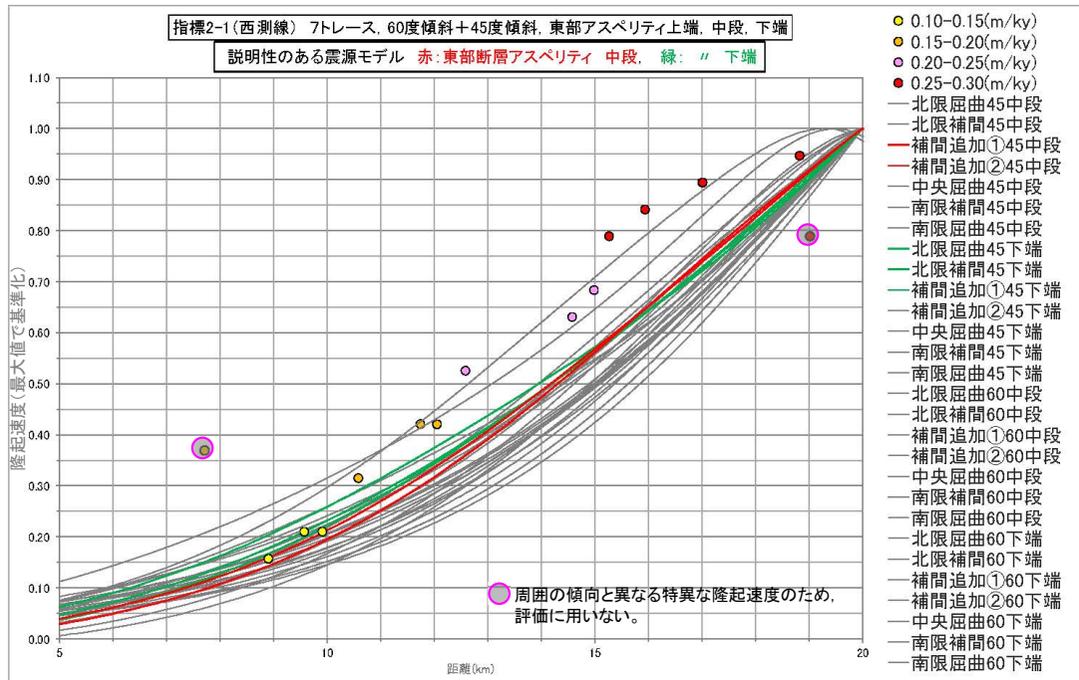
大間付近の隆起域における地形発達過程が説明できる「震源モデルの設定範囲」

(45° 傾斜, 東部アスペリティ下段の場合)



(4)地形発達過程の説明性の評価結果(4/5):説明性のある震源モデルによる断面形状

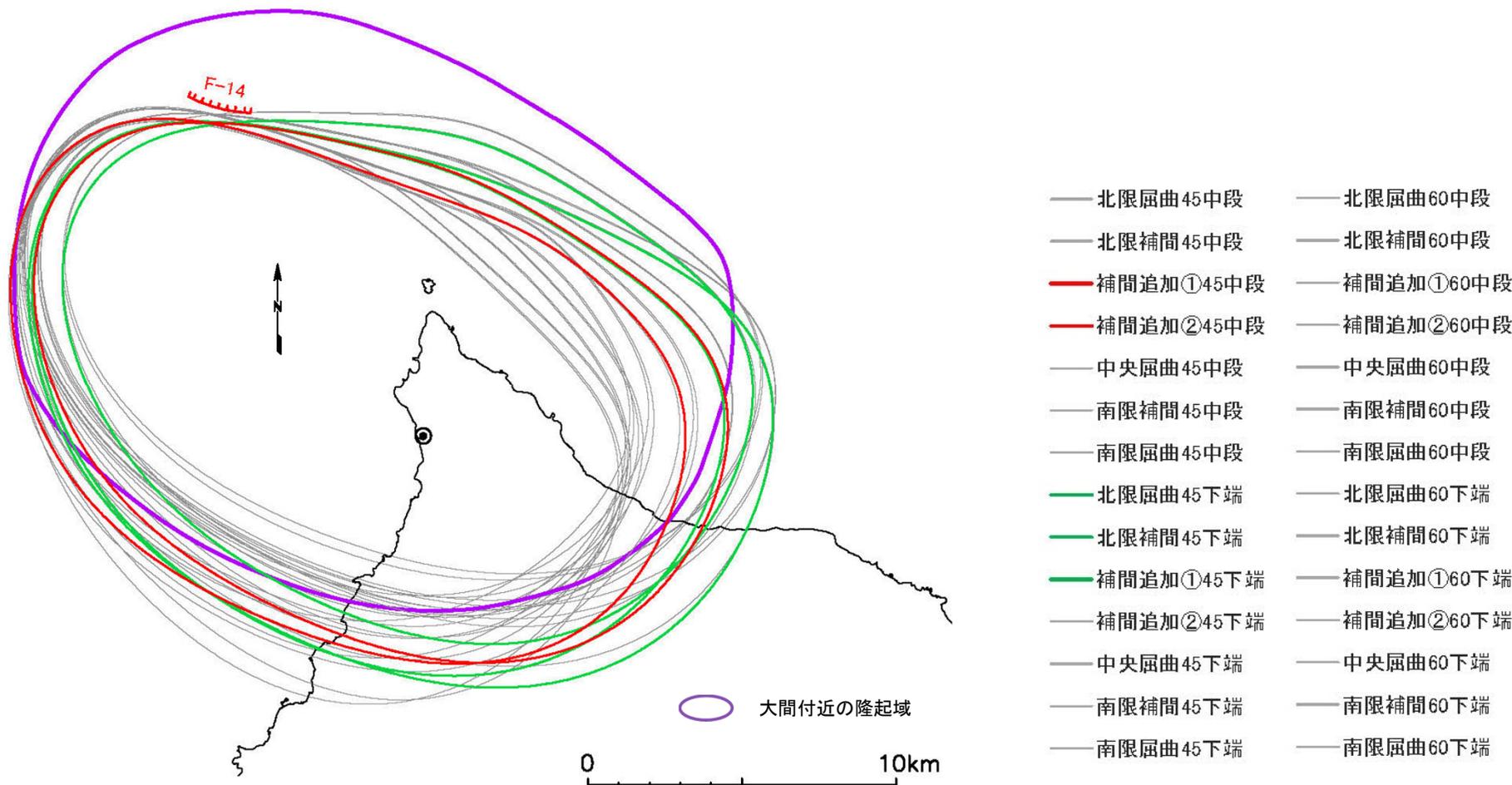
- ・「大間付近の隆起域」における地形発達過程の説明性がある震源モデルによる変位形状を、「アスペリティ深さ」毎に着色して示す。
- ・西測線では、実際の隆起速度分布にやや寄った配置であるが、震源モデル全体の中では際立った類似性のあるものではない。
- ・東測線では、震源モデル全体の中では、類似性の高いものとなっている。





(4)地形発達過程の説明性の評価結果(5/5):説明性のある震源モデルによる平面形状

- ・「大間付近の隆起域」における地形発達過程の説明性がある震源断層モデルによる地表変位を生じる範囲を、「アスペリティ深さ」毎に着色して示す。
- ・震源モデル全体の中では、大間付近の隆起域の北部及び東部の両方をカバーするものとなっている。



【参考2】地震動レベルの傾向分析(1/7)



(1)検討内容

目的

- 隆起再現断層は地形発達過程の説明性があることが前提となるものの、ここでは説明性の有無を考慮せずに断層パラメータが地震動評価に及ぼす影響の傾向分析として、あらかじめ不確かさとして考慮した地表トレースの走向、断層傾斜角、東部アスペリティ位置の違いが敷地における地震動に及ぼす影響を確認するために、想定した全ての震源モデル候補(P.20, P.21に示す28モデル)について、敷地における地震動レベルの分析を行い、敷地における地震動レベルが上限となる震源モデル候補を把握する。

方法

- 「隆起再現断層の想定領域」に想定される震源モデル候補(P.20, P.21に示す28モデル)について、アスペリティ位置等の震源の拡がりを考慮できるNoda et al.(2002)の方法による地震動評価に基づき、地表トレースの走向、断層傾斜角、東部断層のアスペリティ位置の違いによる影響を確認する。

【参考2】地震動レベルの傾向分析(2/7)



(2) 敷地に及ぼす影響の傾向分析(1/5)

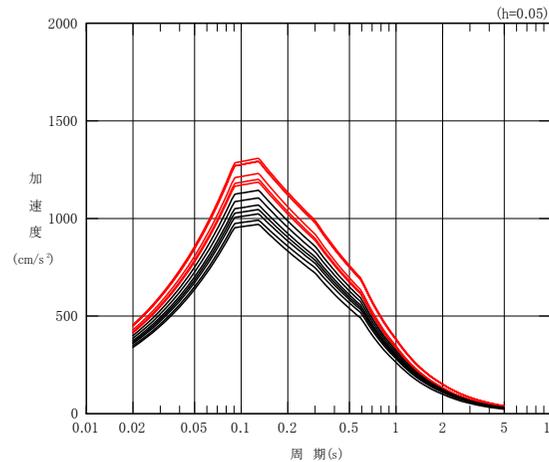
① 断層傾斜角による影響

- 断層傾斜角45° の震源モデルは、断層傾斜角60° の震源モデルに比して、敷地における地震動に及ぼす影響が大きい。
- これは、地表トレースの走向と東部断層のアスペリティ位置が同じ場合、断層傾斜角45° の震源モデルは、断層傾斜角60° の震源モデルに比して断層幅が大きくなり、より大きな震源断層面積となること、及び等価震源距離 X_{eq} が小さくなる傾向であるためである。

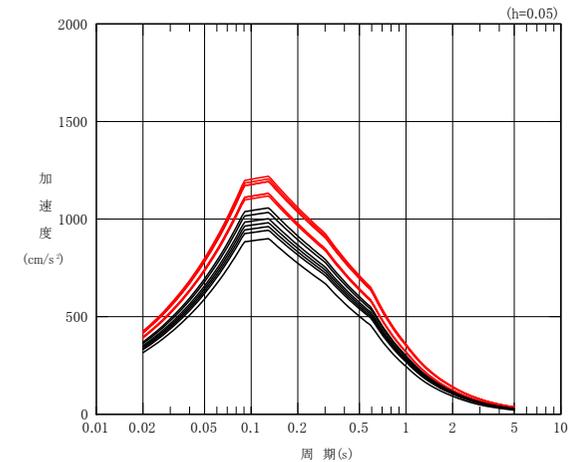
震源モデル諸元 (表中の文字色は、右図凡例と対応。)

地表トレースの走向	断層傾斜角(°)	走向の交差角※1(°)	震源断層の上端長さ(km)	震源断層面積(km ²)	M※2	断層全体の X_{eq} (km)	
						中段※3	下端※3
北限屈曲	60	30	19.7	247	6.7	11.1	11.6
北限補間		14	19.6	260	6.7	10.8	11.4
補間追加①		21	19.0	246	6.7	10.6	11.2
補間追加②		21	18.5	239	6.7	10.4	11.0
中央屈曲		33	18.1	223	6.6	10.3	11.0
南限補間		27	17.9	225	6.7	10.1	10.7
南限屈曲		23	17.7	226	6.7	9.8	10.5
北限屈曲	45	30	19.0	268	6.8	9.7	10.4
北限補間		14	19.3	302	6.8	9.7	10.4
補間追加①		21	18.5	276	6.8	9.6	10.3
補間追加②		21	18.0	268	6.8	9.7	10.2
中央屈曲		33	17.3	234	6.7	9.5	10.0
南限補間		27	17.3	244	6.7	9.4	9.9
南限屈曲		23	17.2	251	6.7	9.2	9.9

— 断層傾斜角45° の震源モデル
— 断層傾斜角60° の震源モデル



東部断層のアスペリティ位置が断層中段の震源モデル (水平成分)



東部断層のアスペリティ位置が断層下端の震源モデル (水平成分)

※1 : 「交差角」は、西部断層の走向と東部断層の走向との差とする。
 ※2 : 武村(1990)に基づき算定。
 ※3 : 東部断層のアスペリティ位置。

【参考2】地震動レベルの傾向分析(3/7)

(2) 敷地に及ぼす影響の傾向分析(2/5)

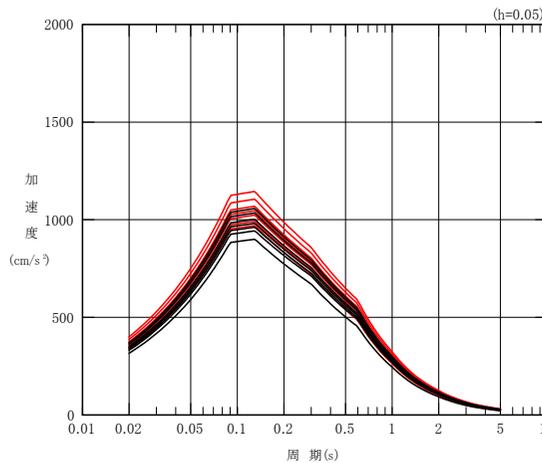
② 東部断層のアスペリティ位置の影響

- 東部断層のアスペリティ位置を断層中段とした震源モデルは、断層傾斜角 60° 、及び断層傾斜角 45° のいずれにおいても、東部断層のアスペリティ位置を断層下端とした震源モデルに比して、敷地における地震動に及ぼす影響が大きい。
- これは、アスペリティ位置を断層中段に設定することで、断層下端に設定する場合に比して、敷地からアスペリティまでの距離が近く、等価震源距離が小さくなる傾向にあるためである。

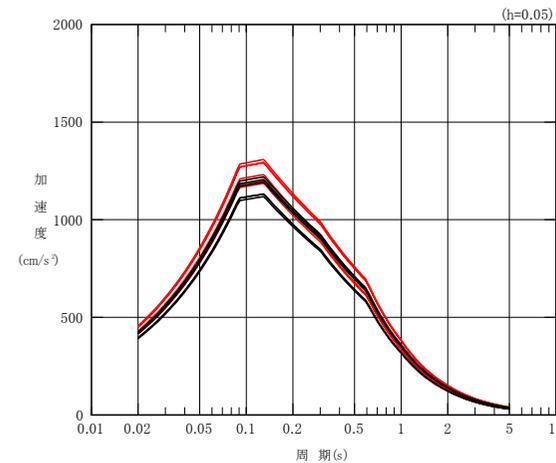
震源モデル諸元 (表中の文字色は、右図凡例と対応。)

地表トレースの走向	断層傾斜角(°)	走向の交差角※1(°)	震源断層の上端長さ(km)	震源断層面積(km ²)	M※2	断層全体のX _{eq} (km)	
						中段※3	下端※3
北限屈曲	60	30	19.7	247	6.7	11.1	11.6
北限補間		14	19.6	260	6.7	10.8	11.4
補間追加①		21	19.0	246	6.7	10.6	11.2
補間追加②		21	18.5	239	6.7	10.4	11.0
中央屈曲		33	18.1	223	6.6	10.3	11.0
南限補間		27	17.9	225	6.7	10.1	10.7
南限屈曲		23	17.7	226	6.7	9.8	10.5
北限屈曲	45	30	19.0	268	6.8	9.7	10.4
北限補間		14	19.3	302	6.8	9.7	10.4
補間追加①		21	18.5	276	6.8	9.6	10.3
補間追加②		21	18.0	268	6.8	9.7	10.2
中央屈曲		33	17.3	234	6.7	9.5	10.0
南限補間		27	17.3	244	6.7	9.4	9.9
南限屈曲		23	17.2	251	6.7	9.2	9.9

— 東部断層のアスペリティ位置:断層中段
— 東部断層のアスペリティ位置:断層下端



断層傾斜角 60° の震源モデル (水平成分)



断層傾斜角 45° の震源モデル (水平成分)

※1: 「交差角」は、西部断層の走向と東部断層の走向との差とする。

※2: 武村(1990)に基づき算定。

※3: 東部断層のアスペリティ位置。

【参考2】地震動レベルの傾向分析(4/7)



(2) 敷地に及ぼす影響の傾向分析(3/5)

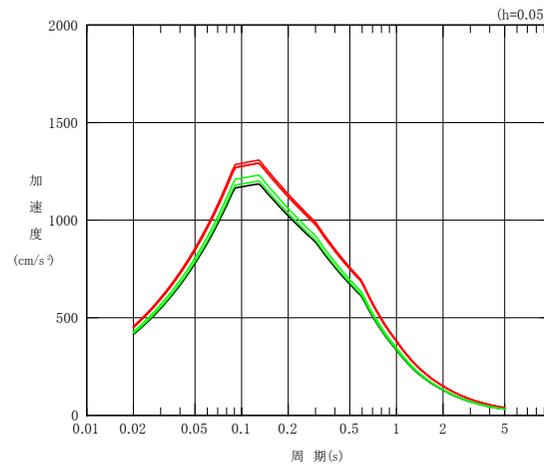
③-1 地表トレースの走向の影響(断層傾斜角45° のケース)

- 断層傾斜角45° の震源モデルでは、地表トレースの走向が北限屈曲～補間追加②となる震源モデルの敷地における地震動に及ぼす影響が大きい。
- これは、等価震源距離は地表トレースの走向を「隆起再現断層の想定領域」において南部寄りに設定するほど近くなる傾向にあるものの、地震規模Mは地表トレースの走向を「隆起再現断層の想定領域」において北部寄りに設定した震源モデルが大きくなっており、等価震源距離に比して地震規模の影響がより顕著に表れているためである。
- 地表トレースの走向を「隆起再現断層の想定領域」において北部寄りに設定した震源モデルの地震規模が大きくなる理由は、北側に設定した震源モデルが比較的震源断層の上端長さが長く、交差角(東部断層と西部断層の走向の差)が小さいことから、断層面積が大きくなっているためである。

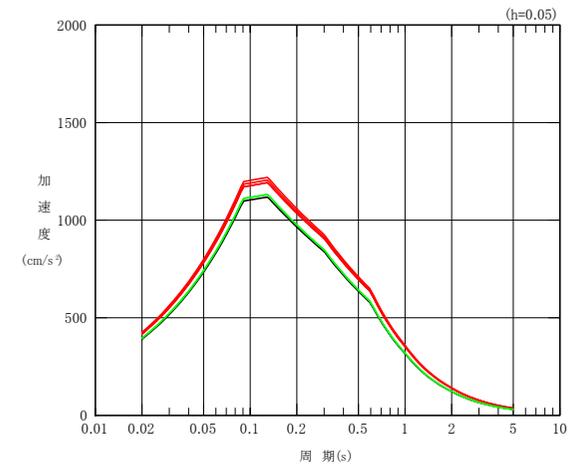
震源モデル諸元 (表中の文字色は、右図凡例と対応。灰色は、評価対象外。)

地表トレースの走向	断層傾斜角(°)	走向の交差角※1(°)	震源断層の上端長さ(km)	震源断層面積(km ²)	M※2	断層全体のX _{eq} (km)	
						中段※3	下端※3
北限屈曲	60	30	19.7	247	6.7	11.1	11.6
北限補間		14	19.6	260	6.7	10.8	11.4
補間追加①		21	19.0	246	6.7	10.6	11.2
補間追加②		21	18.5	239	6.7	10.4	11.0
中央屈曲		33	18.1	223	6.6	10.3	11.0
南限補間		27	17.9	225	6.7	10.1	10.7
南限屈曲		23	17.7	226	6.7	9.8	10.5
北限屈曲		45	30	19.0	268	6.8	9.7
北限補間	14		19.3	302	6.8	9.7	10.4
補間追加①	21		18.5	276	6.8	9.6	10.3
補間追加②	21		18.0	268	6.8	9.7	10.2
中央屈曲	33		17.3	234	6.7	9.5	10.0
南限補間	27		17.3	244	6.7	9.4	9.9
南限屈曲	23		17.2	251	6.7	9.2	9.9

- 北限屈曲～補間追加②の震源モデル
- 中央屈曲の震源モデル
- 南限補間～南限屈曲の震源モデル



東部断層のアスペリティ位置が断層中段の震源モデル (断層傾斜角45°, 水平成分)



東部断層のアスペリティ位置が断層下端の震源モデル (断層傾斜角45°, 水平成分)

※1: 「交差角」は、西部断層の走向と東部断層の走向との差とする。

※2: 武村(1990)に基づき算定。

※3: 東部断層のアスペリティ位置。

【参考2】地震動レベルの傾向分析(5/7)



(2) 敷地に及ぼす影響の傾向分析(4/5)

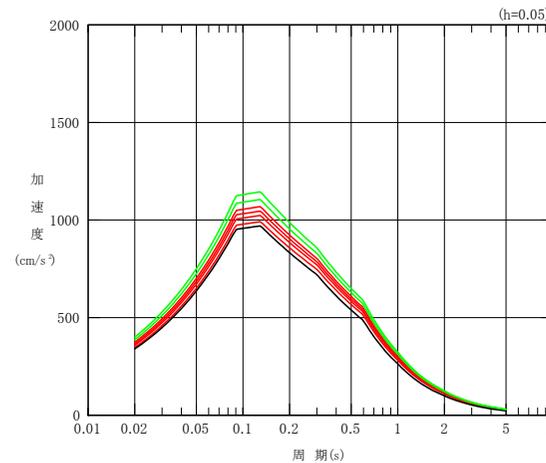
③-2 地表トレースの走向の影響(断層傾斜角60° のケース)

- 断層傾斜角60° の震源モデルでは、地表トレースの走向が南限補間～南限屈曲となる震源モデルの敷地における地震動に及ぼす影響が大きく、中央屈曲の震源モデルは敷地における地震動に及ぼす影響は小さい。
- これは、地震規模は中央屈曲を除くすべての震源モデルで同じであり、等価震源距離は地表トレースの走向を「隆起再現断層の想定領域」において南部寄りに設定するほど近くなる傾向にあるためである。
- 中央屈曲の震源モデルの地震規模が小さく評価されている理由は、他の地表トレースの走向に比べ、特に交差角(東部断層と西部断層の走向の差)が大きく、断層面積が小さくなっているためである。

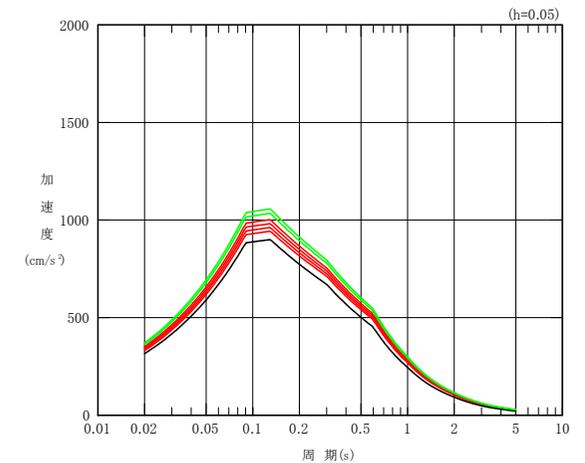
震源モデル諸元 (表中の文字色は、右図凡例と対応。灰色は、評価対象外。)

地表トレースの走向	断層傾斜角(°)	走向の交差角※1(°)	震源断層の上端長さ(km)	震源断層面積(km ²)	M※2	断層全体のX _{eq} (km)	
						中段※3	下端※3
北限屈曲	60	30	19.7	247	6.7	11.1	11.6
北限補間		14	19.6	260	6.7	10.8	11.4
補間追加①		21	19.0	246	6.7	10.6	11.2
補間追加②		21	18.5	239	6.7	10.4	11.0
中央屈曲		33	18.1	223	6.6	10.3	11.0
南限補間		27	17.9	225	6.7	10.1	10.7
南限屈曲		23	17.7	226	6.7	9.8	10.5
北限屈曲	45	30	19.0	268	6.8	9.7	10.4
北限補間		14	19.3	302	6.8	9.7	10.4
補間追加①		21	18.5	276	6.8	9.6	10.3
補間追加②		21	18.0	268	6.8	9.7	10.2
中央屈曲		33	17.3	234	6.7	9.5	10.0
南限補間		27	17.3	244	6.7	9.4	9.9
南限屈曲		23	17.2	251	6.7	9.2	9.9

- 北限屈曲～補間追加②の震源モデル
- 中央屈曲の震源モデル
- 南限補間～南限屈曲の震源モデル



東部断層のアスペリティ位置が断層中段の震源モデル (断層傾斜角60°, 水平成分)



東部断層のアスペリティ位置が断層下端の震源モデル (断層傾斜角60°, 水平成分)

※1:「交差角」は、西部断層の走向と東部断層の走向との差とする。

※2:武村(1990)に基づき算定。

※3:東部断層のアスペリティ位置。

【参考2】地震動レベルの傾向分析(6/7)



(2)敷地に及ぼす影響の傾向分析(5/5)

④ 傾向分析のまとめ

- 震源モデル候補(P.20, P.21に示す28モデル)の断層傾斜角, 東部断層のアスペリティ位置, 地表トレースの走向の違いが敷地における地震動に及ぼす影響について, アスペリティ位置等の震源の拡がりを考慮できるNoda et al.(2002)による方法を用いて, その傾向分析を検討した。
 - 断層傾斜角(45°, 60°):断層傾斜角45°の震源モデルは, 断層傾斜角60°の震源モデルに比して敷地における地震動に及ぼす影響が大きい。
 - 東部断層のアスペリティ位置(断層中段, 断層下端):アスペリティ位置を断層中段とした震源モデルは, 断層下端とした震源モデルに比して敷地における地震動に及ぼす影響が大きい。
 - 地表トレースの走向(7ケース):断層傾斜角45°の震源モデルでは, 地表トレースの走向が北限屈曲~補間追加②となる震源モデルの敷地における地震動に及ぼす影響が大きい。一方, 断層傾斜角60°の震源モデルでは, 地表トレースの走向が南限補間~南限屈曲となる震源モデルの敷地における地震動に及ぼす影響が大きい。
- 敷地における地震動に及ぼす影響が大きい震源モデルは, 断層傾斜角45°, 東部断層のアスペリティ位置は中段, 地表トレースの走向は, 北限屈曲~補間追加②であり, これらが「隆起再現断層の想定領域」に設定される震源モデル候補の「地震動レベルの上限となる震源モデル」となる。

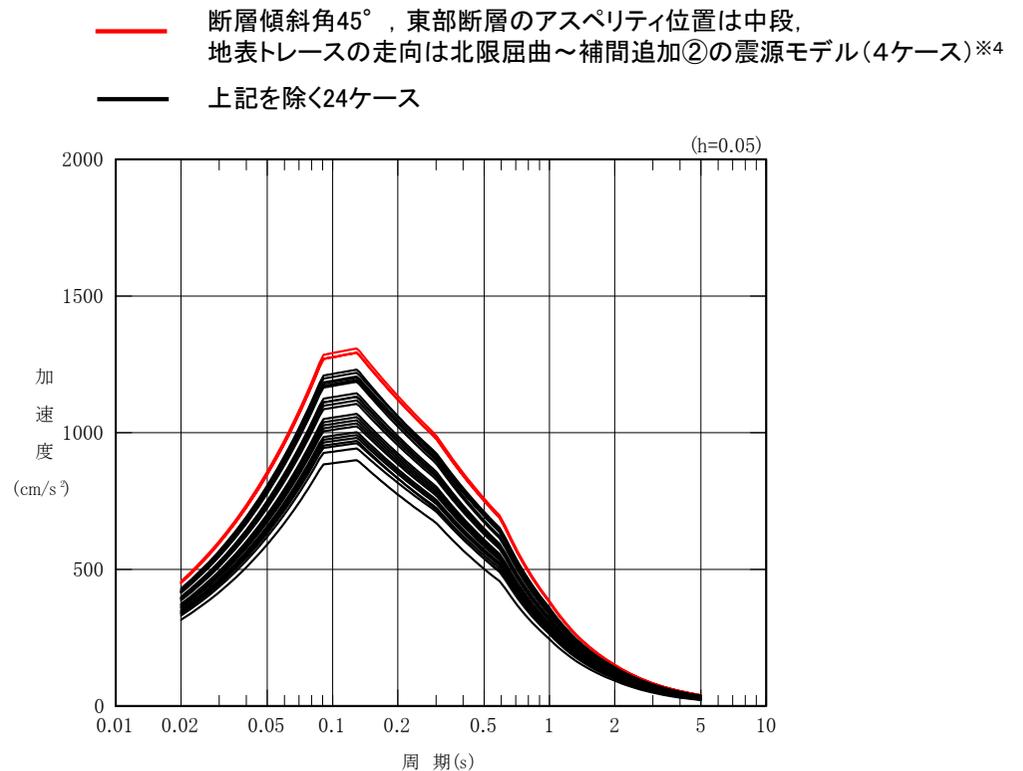
震源モデル諸元 (表中の文字色は, 右図凡例と対応。)

地表トレースの走向	断層傾斜角(°)	走向の交差角※1(°)	震源断層の上端長さ(km)	震源断層面積(km ²)	M※2	断層全体のX _{eq} (km)	
						中段※3	下端※3
北限屈曲	60	30	19.7	247	6.7	11.1	11.6
北限補間		14	19.6	260	6.7	10.8	11.4
補間追加①		21	19.0	246	6.7	10.6	11.2
補間追加②		21	18.5	239	6.7	10.4	11.0
中央屈曲		33	18.1	223	6.6	10.3	11.0
南限補間		27	17.9	225	6.7	10.1	10.7
南限屈曲		23	17.7	226	6.7	9.8	10.5
北限屈曲	45	30	19.0	268	6.8	9.7	10.4
北限補間		14	19.3	302	6.8	9.7	10.4
補間追加①		21	18.5	276	6.8	9.6	10.3
補間追加②		21	18.0	268	6.8	9.7	10.2
中央屈曲		33	17.3	234	6.7	9.5	10.0
南限補間		27	17.3	244	6.7	9.4	9.9
南限屈曲		23	17.2	251	6.7	9.2	9.9

※1:「交差角」は, 西部断層の走向と東部断層の走向との差とする。

※2:武村(1990)に基づき算定。

※3:東部断層のアスペリティ位置。



震源モデル候補(28ケース)の比較(水平成分)

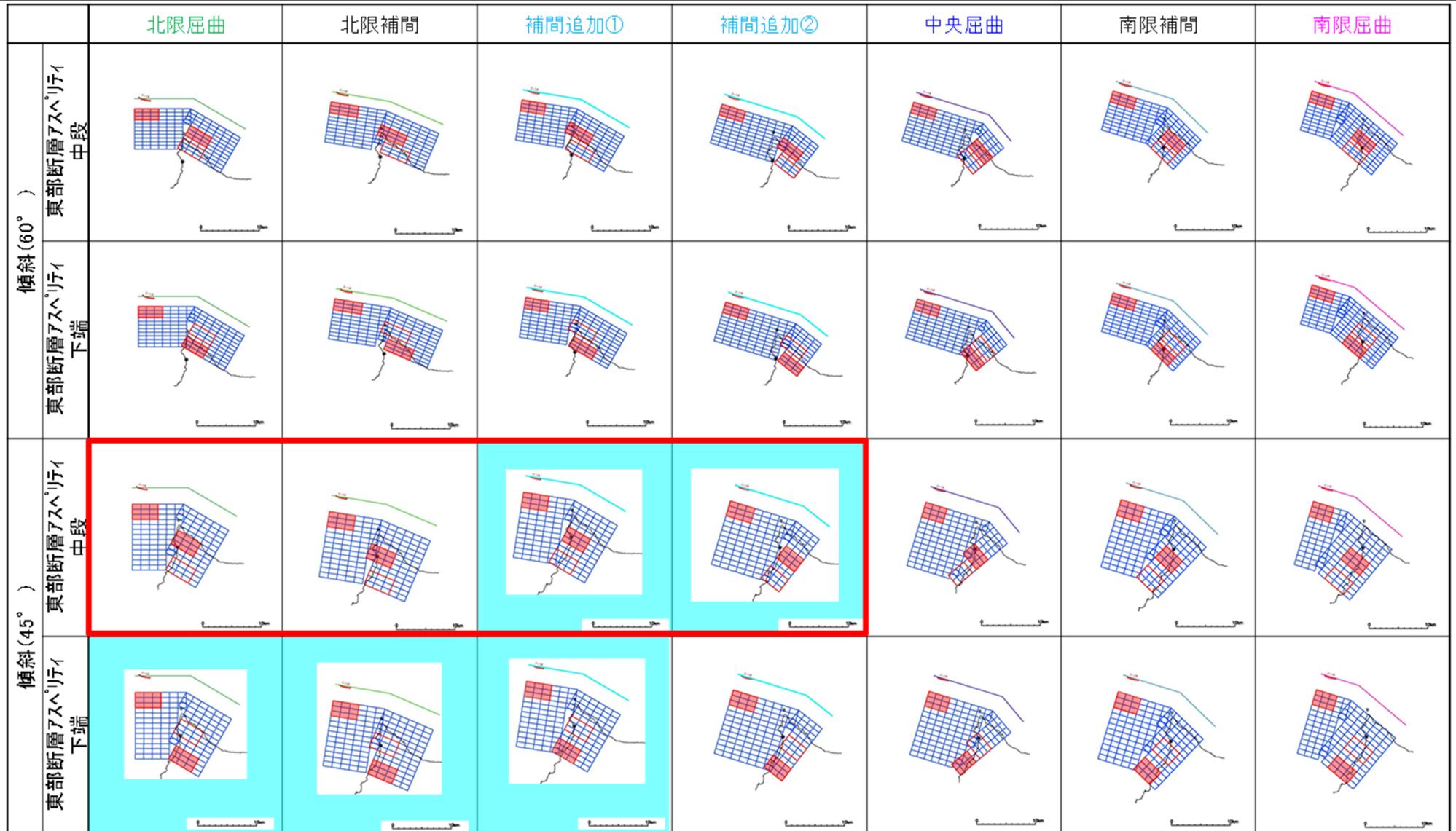
※4:4ケースのうち, 3ケースは同じM, X_{eq}のため, 同一の評価結果となる。

【参考2】地震動レベルの傾向分析(7/7)



(3) 「地震動レベルの上限となる震源モデル」と「大間付近の隆起域」を説明できる震源モデルとの関係

- P.61に示した「地震動レベルの上限となる震源モデル」、及びP.33に示した「大間付近の隆起域」における地形発達過程の説明性がある震源モデルとの関係を以下に示す。
- 「地震動レベルの上限となる震源モデル」及び「大間付近の隆起域」における地形発達過程の説明性がある震源モデルは、おおむね一致して「隆起再現断層の想定領域」の北部寄りにあり、P.38に示す隆起再現断層による地震の基本ケースの震源モデルである補間追加①45°（地表トレースの走向が補間追加①、断層傾斜角45°、東部断層アスペリティ深さが断層中段位置の震源モデル）はこれに含まれる。よって、補間追加①45°を基本ケースとして扱うことは妥当である。



: 傾向分析による地震動レベルの上限となる震源モデル

: 「大間付近の隆起域」における地形発達過程の説明性がある震源モデル

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, Bull. Seism. Soc. Am., 84
- 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
- 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

5. 隆起再現断層による地震の地震動評価

- D. P. Schwartz and K. J. Coppersmith(1984) : Fault behavior and characteristic earthquakes examples from the Wasatch and San Andreas Fault Zones, J. Geophys. Res. , 89
- Okada, Y.(1992) : Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, Bull. Seism. Soc. Am., 82
- Steketee, J. A.(1958) : Some geophysical applications of the elasticity theory of dislocations, Can. J. Phys., 36
- 後藤憲央・佐々木俊法(2019) : 河成段丘面の比高分布から推定される伏在断層の活動性—2008年岩手・宮城内陸地震震源域直上の磐井川を例に—, 第四紀研究, 58
- 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
- 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, 43
- 長谷川昭・中島淳一・海野徳仁・三浦哲・諏訪謡子(2004) : 東北日本弧における地殻の変形と内陸地震の発生様式, 地震第2輯, 56
- 発電用軽水型原子炉施設の地震・津波に関わる新安全設計基準に関する検討チーム(2013) : 震源を特定せず策定する地震動について, 第10回会合, 震基10-3