

大間原子力発電所
敷地ごとに震源を特定して
策定する地震動について
(内陸地殻内地震)
(補足説明資料)

2021年11月5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。

1. フルウェーブインバージョン解析について
2. ハイブリッド合成法について
3. 日本海東縁部の地震活動の長期評価の評価対象領域について
4. 統計的グリーン関数法による地震動評価との比較
5. 震源モデルの設定
6. 隆起シミュレーションの方法「Okadaの方法」について
7. 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に係る確認について

フルウェーブインバージョン解析について
〔本編資料3.1節の補足説明資料〕

- 敷地周辺のP波速度構造を評価したフルウェーブインバージョン解析について説明する。

1. フルウェーブインバージョン解析について(2/3)

フルウェーブインバージョン解析の概要と手法

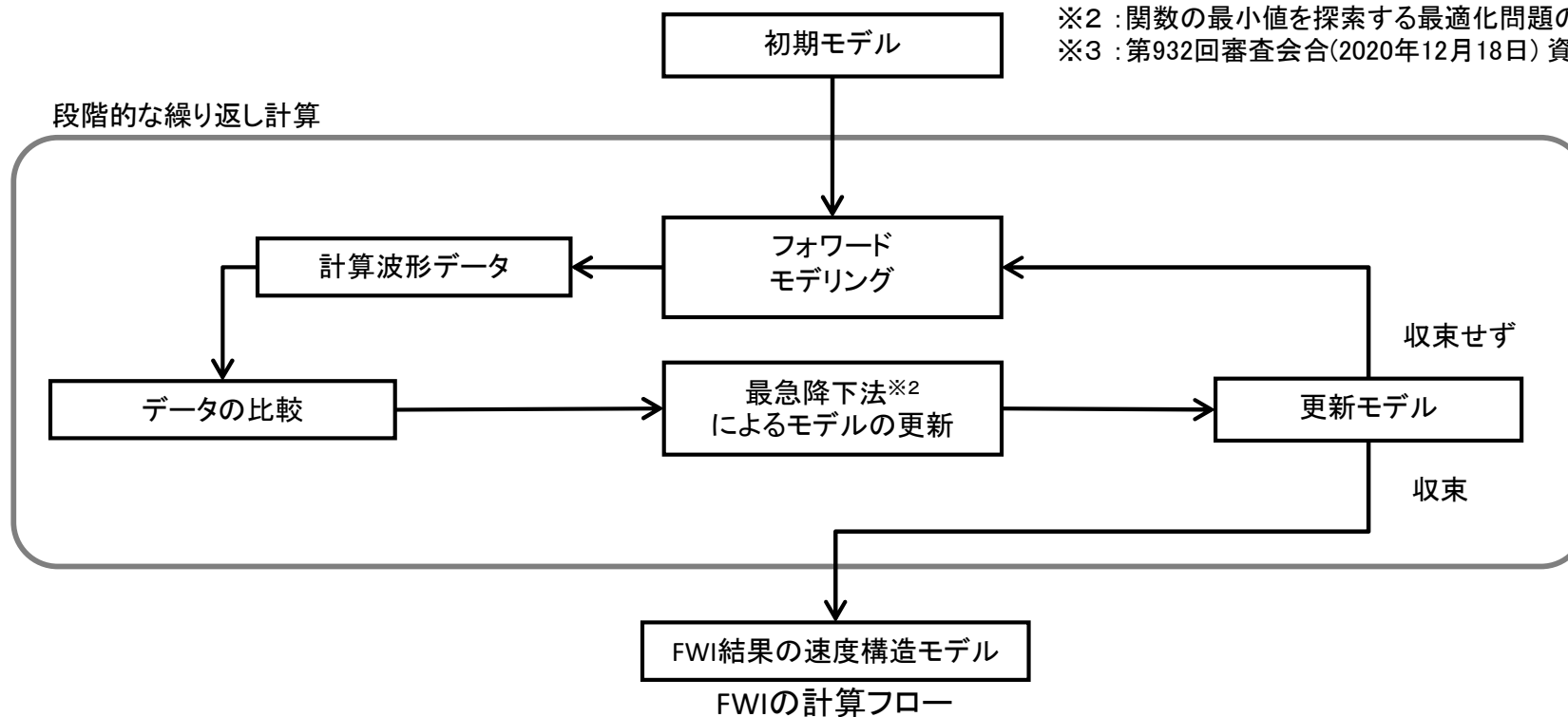
解析概要

- 「敷地周辺陸域の屈折法地震探査の記録」※1に対し、地震基盤よりも深部の速度構造を把握することを目的に、深部を通過した反射波が含まれる後続波も対象に解析が可能な、フルウェーブインバージョン解析(以下「FWI」という。)を実施した。
- FWIは、後続波を含んだ波形情報自体を用いてインバージョンを実施し、地下の物性値分布を高分解能に求める手法である。

解析手法

- FWIでは、初期モデルに対しフォワードモデリングを行って得られた計算波形と、観測波形記録を比較し、最急降下法※2によりモデルの更新を繰り返す行うことで、速度構造モデルの推定を行う。
- FWIにおける初期モデルは、「敷地周辺陸域の屈折法地震探査による速度構造」※3を基に作成した。
- 解析は、初動近傍のデータから後続波を含むデータまで、段階的に繰り返し計算することにより局所解の回避と高分解能化を行った。
- また、低い周波数から高い周波数まで、段階的に繰り返し計算することにより高分解能化を行った。
- 計算グリッドは、解析精度を確保するため、速度範囲及び周波数範囲を考慮し水平方向25m、鉛直方向25mとした。

※1 : 第932回審査会合(2020年12月18日) 資料1-1 P.2-14参照。
 ※2 : 関数の最小値を探索する最適化問題のアルゴリズムの一つ。
 ※3 : 第932回審査会合(2020年12月18日) 資料1-1 P.2-15参照。

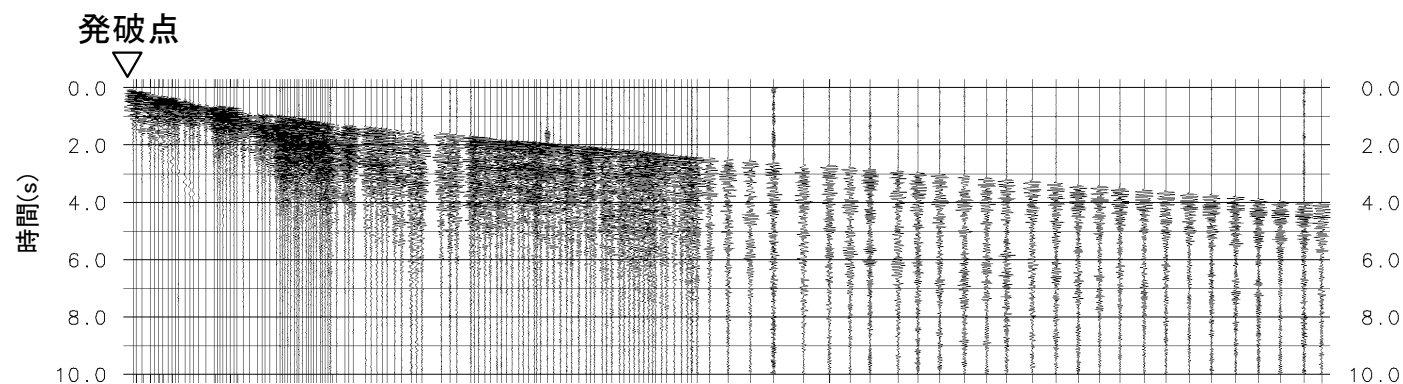


1. フルウェーブインバージョン解析について(3/3)

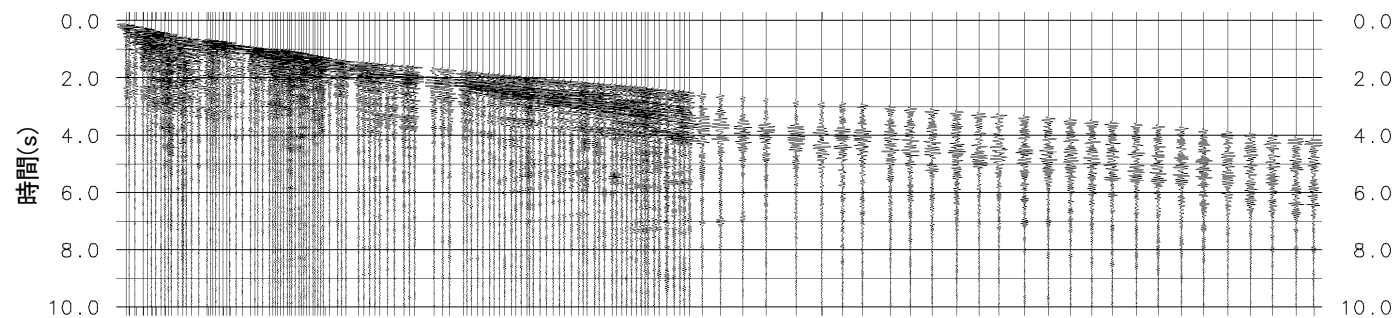
観測波形記録と計算波形の比較

- 敷地周辺陸域の屈折法地震探査の記録と、FWI結果に基づく計算波形を比較する。
- FWI結果は、敷地周辺陸域の屈折法地震探査の初動及び後続波の記録をおおむね再現している。

「敷地周辺陸域の屈折法地震探査の記録」



計算波形
(FWI結果)



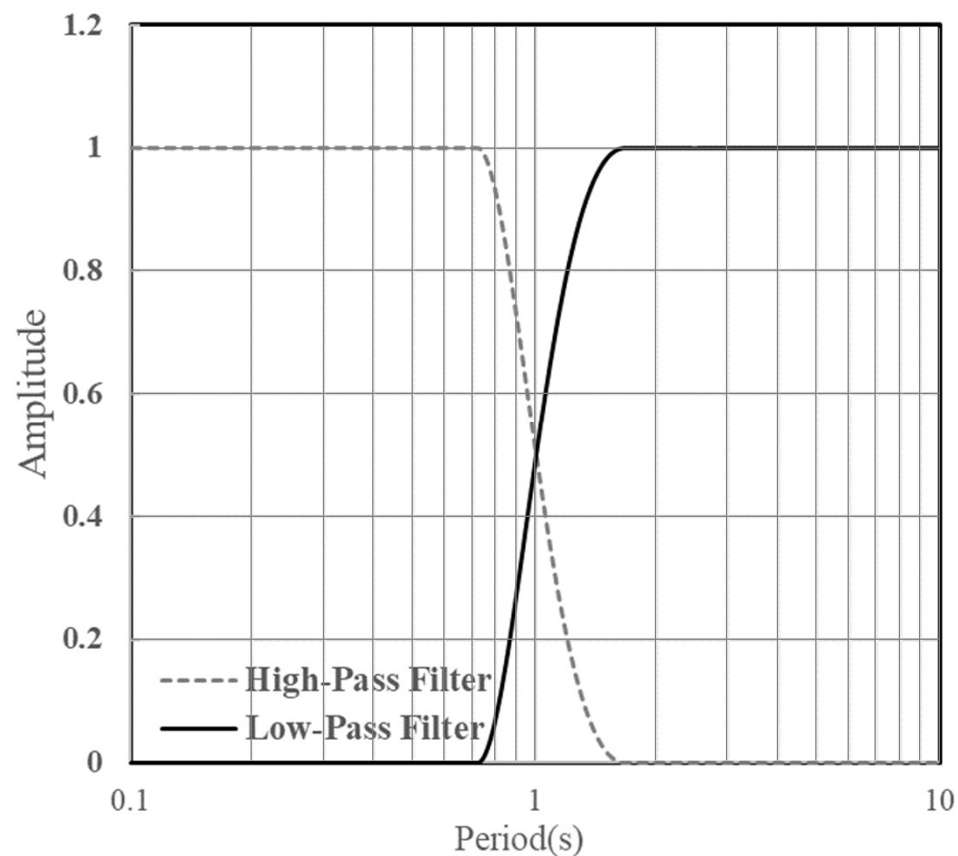
ハイブリッド合成法について
〔本編資料3.3節及び5.5節の補足説明資料〕

- ハイブリッド合成法について説明する。

2. ハイブリッド合成法について(2/4)

ハイブリッド合成法に用いるマッチングフィルタ

- ハイブリッド合成法に用いたマッチングフィルタを以下に示す。
- ハイブリッド合成法の接続周期は、周期1秒とした。
- P.7, P.8において、接続周期が適切に設定されていることを、ハイブリッド合成法による地震動評価と統計的グリーン関数法による地震動評価の応答スペクトルを比較し、確認する。



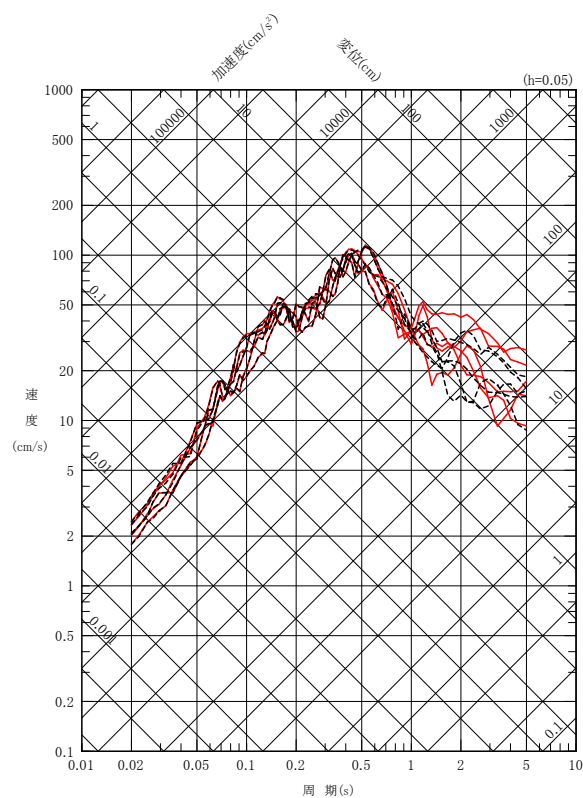
ハイブリッド合成法に用いるマッチングフィルタ(接続周期1秒)

2. ハイブリッド合成法について(3/4)

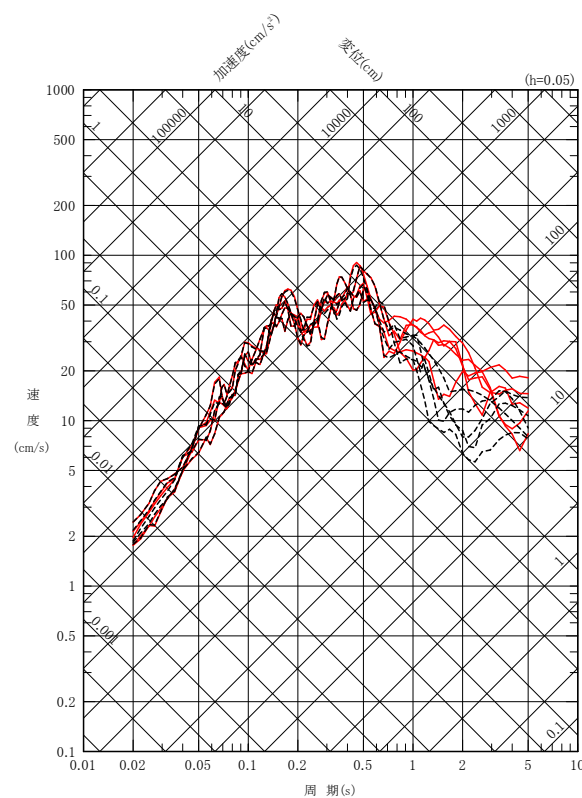
ハイブリッド合成法と統計的グリーン関数法の比較(F-14断層による地震)

- F-14断層による地震のうち、敷地への影響が最も大きい短周期レベルの不確かさケースについて、ハイブリッド合成法による地震動評価と統計的グリーン関数法による地震動評価を示す。
- 周期約1秒より長周期側では、ハイブリッド合成法による地震動評価が、統計的グリーン関数法と比べておおむね同等以上であることを確認した。

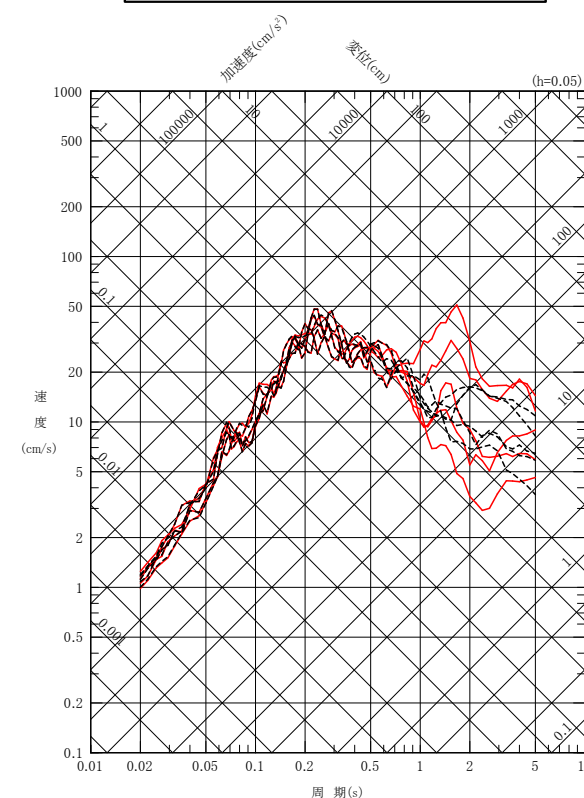
----- 統計的グリーン関数法
 ———— ハイブリッド合成法



NS成分



EW成分



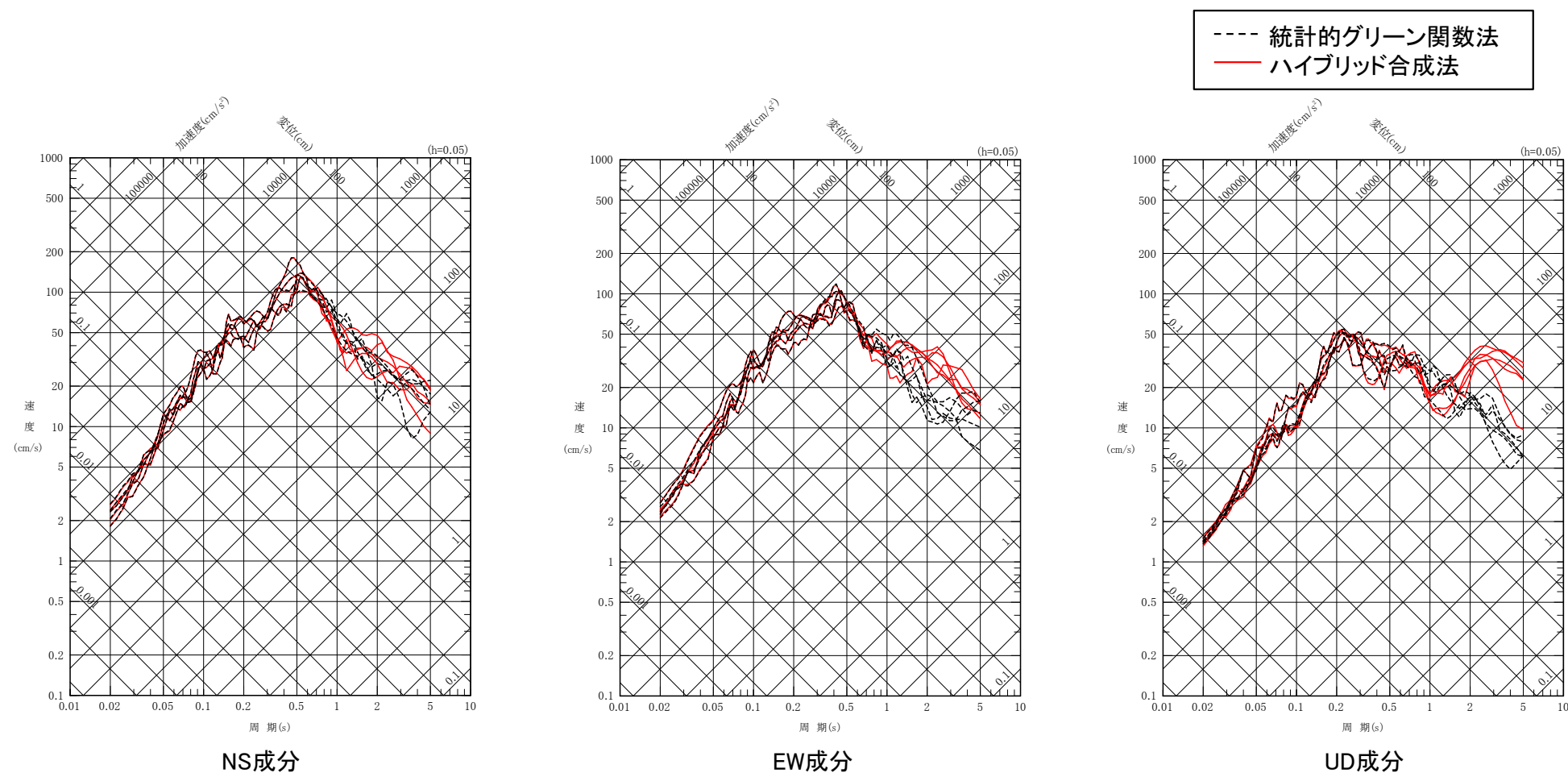
UD成分

ハイブリッド合成法と統計的グリーン関数法による地震動評価の比較
 F-14断層による地震 短周期レベルの不確かさケースの応答スペクトル

2. ハイブリッド合成法について(4/4)

ハイブリッド合成法と統計的グリーン関数法の比較(隆起再現断層による地震)

- 隆起再現断層による地震のうち、敷地への影響が最も大きい短周期レベルの不確かさケースについて、ハイブリッド合成法による地震動評価と統計的グリーン関数法による地震動評価を示す。
- 周期約1秒より長周期側では、ハイブリッド合成法による地震動評価が、統計的グリーン関数法と比べておおむね同等以上であることを確認した。



ハイブリッド合成法と統計的グリーン関数法による地震動評価の比較
 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応答スペクトル

日本海東縁部の地震活動の長期評価の評価対象領域について
〔本編資料4.1節の補足説明資料〕

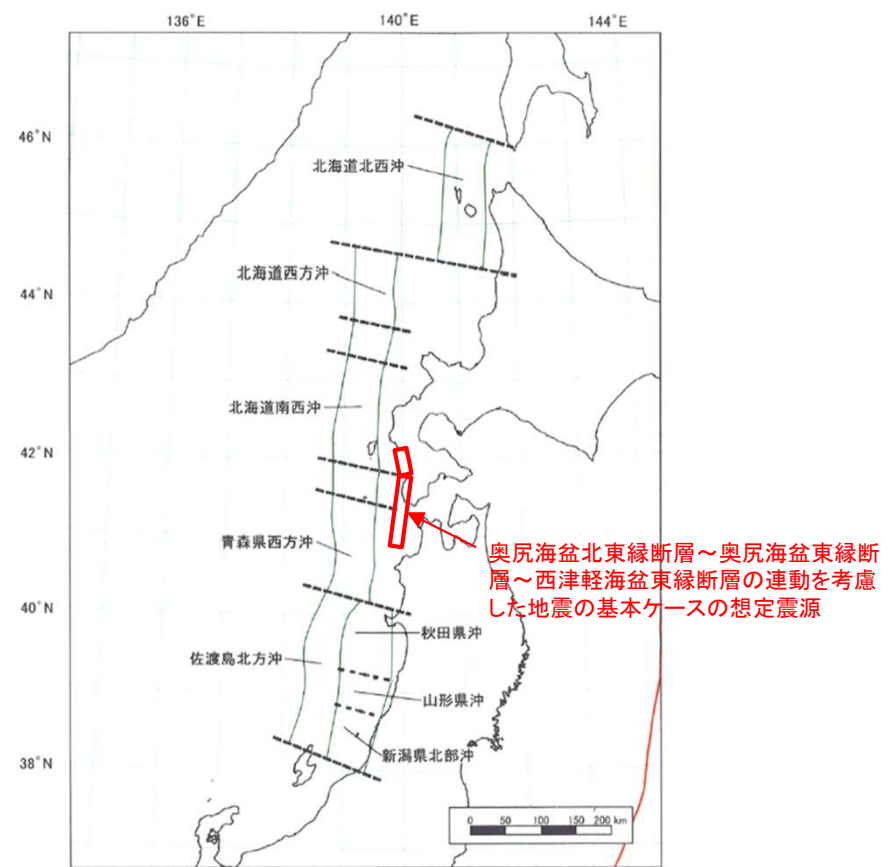
- 地震調査研究推進本部※(2003)による日本海東縁部の地震活動の長期評価の評価対象領域と奥尻海盆北東縁断層～奥尻海盆東縁断層～西津軽海盆東縁断層の連動を考慮した地震の想定震源の位置を比較する。

※：以下「地震本部」という。

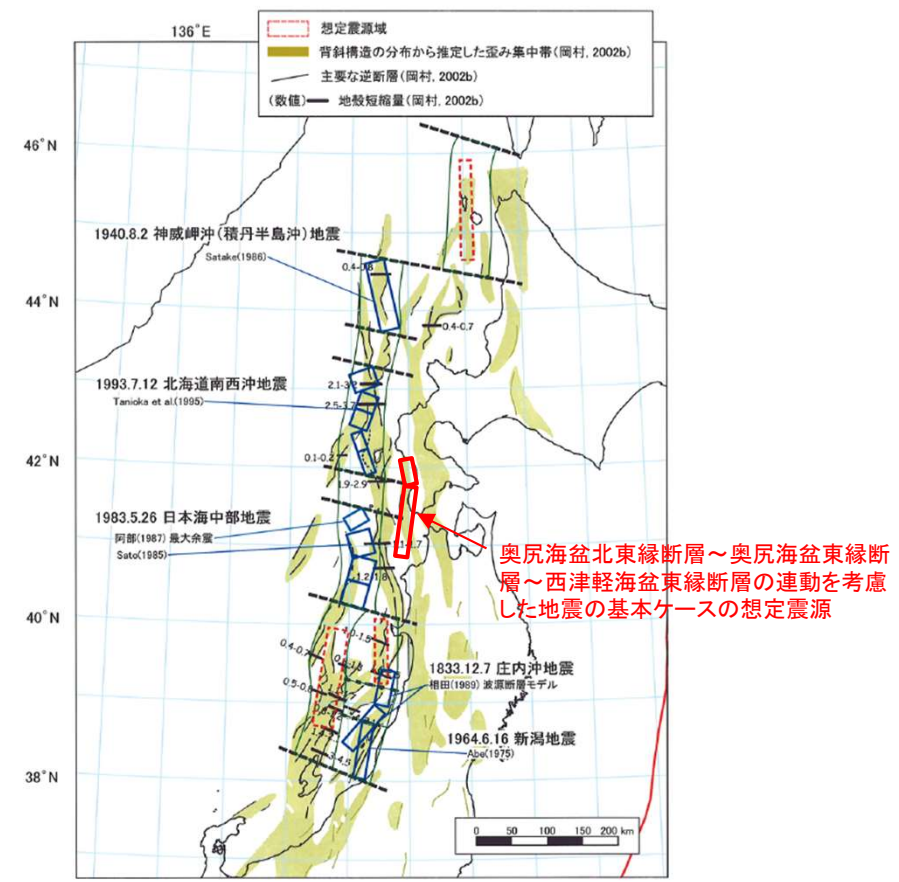
3. 日本海東縁部の地震活動の長期評価の評価対象領域について(2/2)

日本海東縁部の地震活動の長期評価の評価対象領域との比較

- 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は、地震本部(2003)による日本海東縁部の地震活動の長期評価の評価対象領域とは異なる領域に想定した海域活断層による地震である。
- 当該想定震源は地震本部(2003)の評価対象領域とは異なり、想定する地殻も異なるが、いずれも歪み集中帯に位置していることから、地震動評価における地震発生層の設定においては、保守的に地震本部(2003)の評価を参照する。
- なお、第994回の基準津波策定に係る審査会合においては、当該地震は、「日本海東縁部に想定される地震」に伴う津波ではなく、「海域活断層に想定される地震」に伴う津波にて評価している。



地震本部(2003)による日本海東縁部の長期評価の評価対象領域



過去の地震の震源モデル, 想定震源域, 及び歪み集中帯の分布

地震本部(2003)に加筆

統計的グリーン関数法による地震動評価との比較

- 経験的グリーン関数法で地震動評価を実施した「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」について、統計的グリーン関数法による地震動評価結果と比較する。

4. 統計的グリーン関数法による地震動評価との比較(2/5)

統計的グリーン関数法による計算条件

第932回審査会合
資料1-1 P.5-39 一部修正

- 検討用地震の地震動は、経験的グリーン関数法により評価している。統計的グリーン関数法により地震動評価を行い、経験的グリーン関数法による地震動評価結果との比較を行った。
- なお、統計的グリーン関数法の計算にあたり、以下の「統計的グリーン関数法に用いる深部地下構造モデル」を用い、Q値はTakehi and Irikura(1997)より、 $Q=100f^{1.0}$ とし、 f_{max} は香川ほか(2003)より8.3Hzとした。

統計的グリーン関数法に用いる深部地下構造モデル

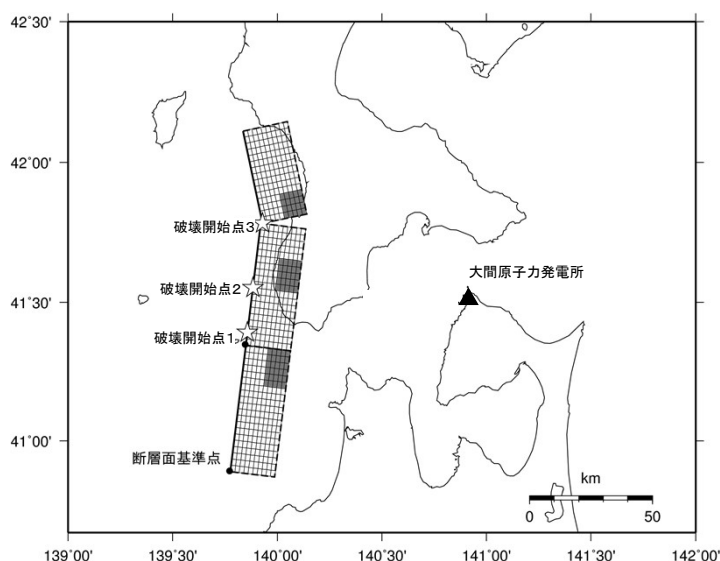
	層No.	下端標高 T.P. (m)	層厚 (m)	ρ (t/m^3)	V_s (m/s)	Q_s	V_p (m/s)	Q_p
▼ 基盤の地震動を 評価する位置※	1	-330	100	1.6	860	50	2070	60
	2	-820	490	2.3	1700	80	3500	60
	3	-1770	950	2.5	2200	290	4400	150
▼ 地震基盤	4	-2210	440	2.7	2700		5200	
	5	-	-	2.7	3200	550	5400	210

※：鉛直アレイ地震観測地点において解放基盤表面の地震動を適切に評価できる位置として、T.P.-230m位置を基盤の地震動を評価する位置に設定している。

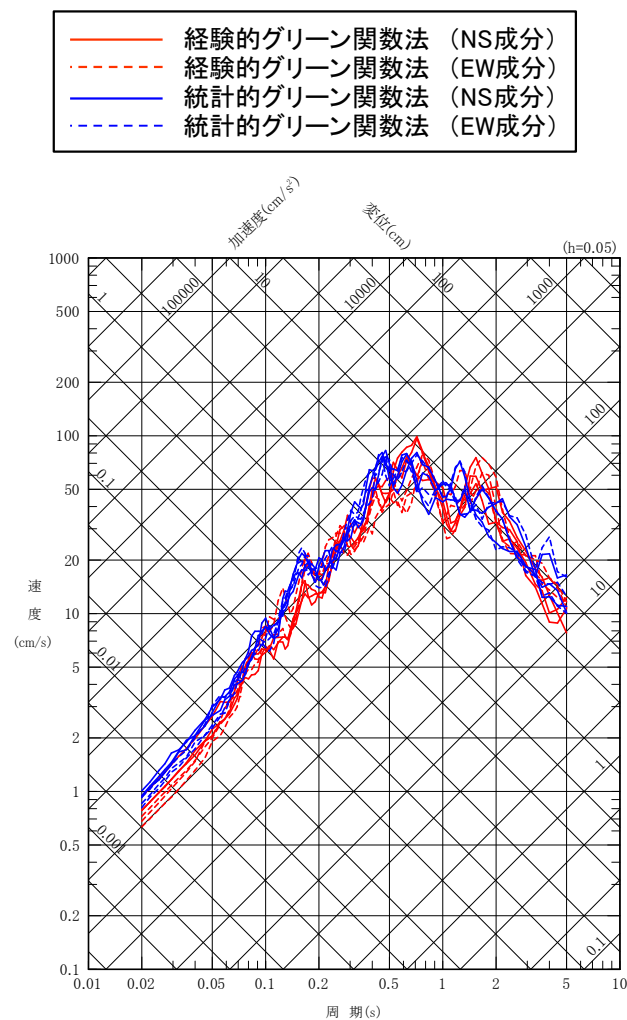
4. 統計的グリーン関数法による地震動評価との比較(3/5)

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

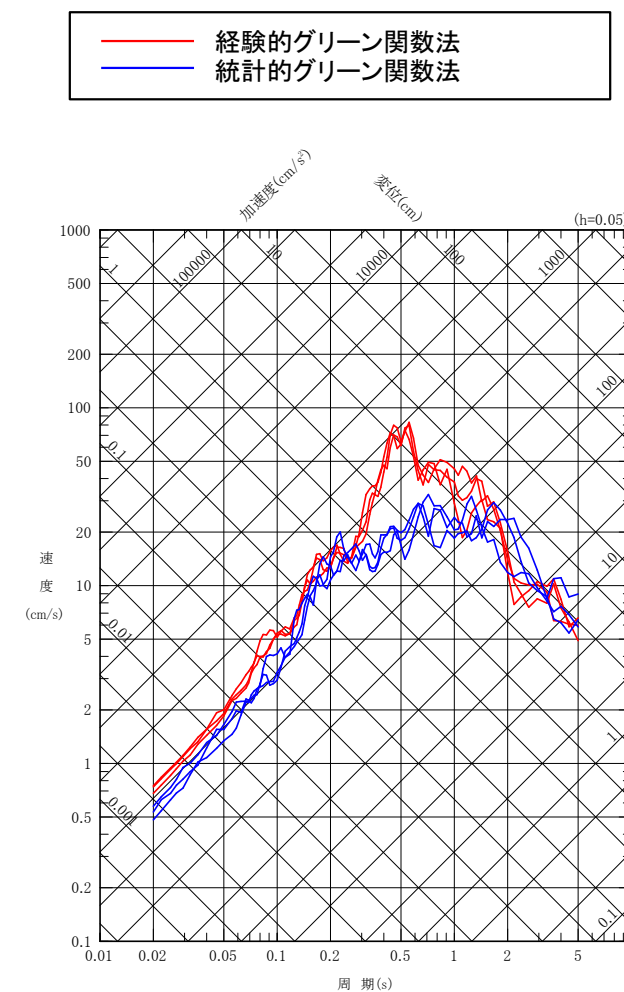
- 奥尻海盆北東縁断層～奥尻海盆東縁断層～西津軽海盆東縁断層の連動を考慮した地震の基本ケースについて、経験的グリーン関数法及び統計的グリーン関数法による地震動評価結果を比較した。
- 経験的グリーン関数法による結果は、統計的グリーン関数法による結果と比べて水平成分ではおおむね同程度、鉛直成分では0.5秒付近を除きおおむね同程度以上となっている。
- なお、鉛直成分の周期0.5秒付近の相違は、後述のP.14～P.15に示すとおり、要素地震には周期0.5秒付近にピークが現れていることに加え、経験的グリーン関数法による鉛直動の周期0.5秒付近の値が要素地震の観測記録のはざとり解析によって増幅したために生じたと考えられる。



断層位置図



水平成分

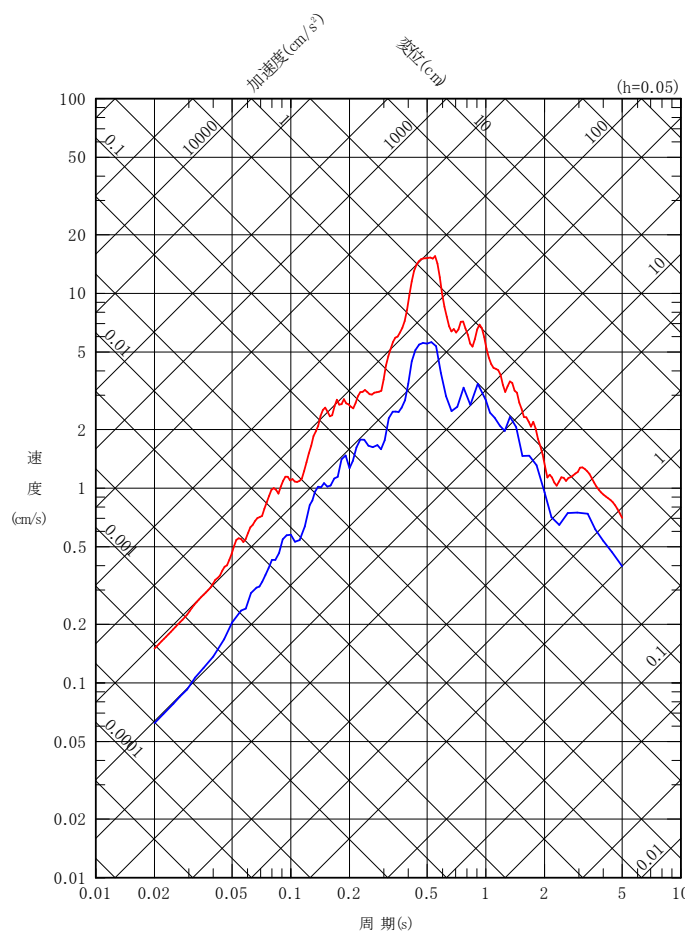


鉛直成分

4. 統計的グリーン関数法による地震動評価との比較(4/5)

鉛直成分の周期0.5秒付近の相違について(1/2)

- 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経験的グリーン関数法による鉛直動と統計的グリーン関数法による鉛直動では、周期0.5秒付近の応答に相違が生じていることから、その要因を考察する。
- 経験的グリーン関数法に使用した要素地震の応答スペクトルを確認すると、観測記録の周期0.5秒付近にピークが現れている。
- はぎとり波ではこのピークがさらに顕著になっていることから、はぎとり解析の伝達関数に着目する。



— はぎとり波の応答スペクトル(UD成分)
— 観測記録の応答スペクトル(UD成分)

要素地震の観測記録とはぎとり波の応答スペクトル(UD成分)

4. 統計的グリーン関数法による地震動評価との比較(5/5)

鉛直成分の周期0.5秒付近の相違について(2/2)

はぎとり解析の伝達関数の確認

- はぎとり解析では、浅部地下構造モデルを用いて、地震観測点であるT.P.-207.5mの観測記録(E+F)に対し、基盤の地震動を評価する位置であるT.P.-230mの2Eを算出している。
- はぎとり解析の伝達関数を確認すると、周期0.5秒付近にピークがみられる。

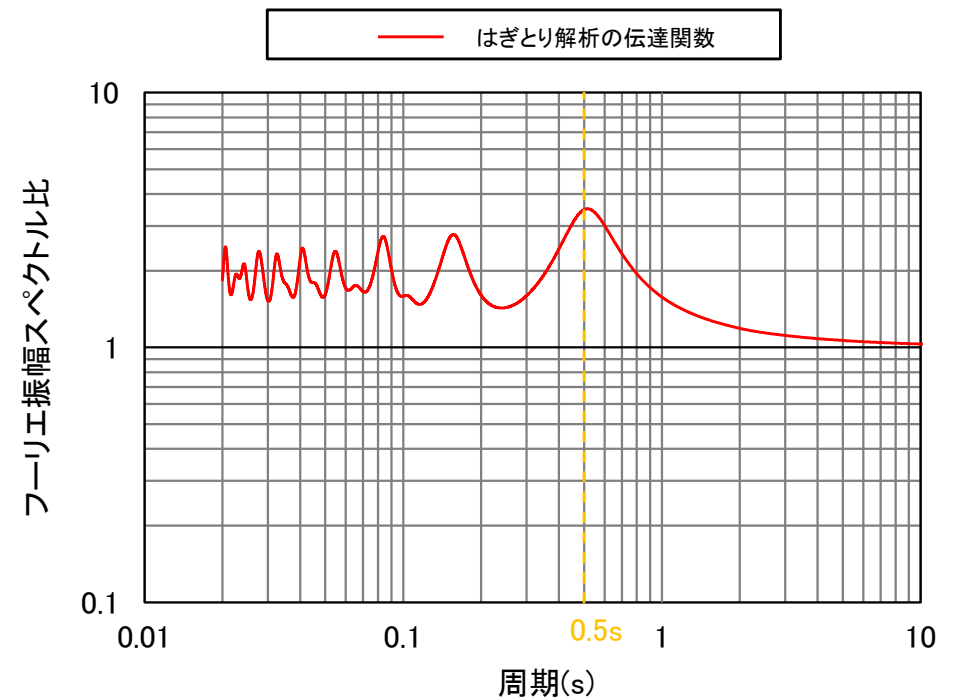
経験的グリーン関数法による鉛直動の周期0.5秒のピークの要因

- P.14に示す要素地震の観測記録には周期0.5秒付近にピークが現れており、はぎとり解析の伝達関数にも周期0.5秒付近にピークが現れている。
- つまり、要素地震のはぎとり波は、はぎとり解析によって観測記録の周期0.5秒付近のピークがさらに増幅されている。
- その結果、経験的グリーン関数法による鉛直動は、統計的グリーン関数法による鉛直動に比して、周期0.5秒付近の値が増幅し、両者に相違が生じたと考えられる。

	層No.	層厚 (m)	ρ (t/m ³)	V _p (m/s)	Q _p	
					Q ₀	n
T.P.+32.5m (GL±0)	1	1	1.47	180	1.18	0.350
	2	1				
	3	2				
	4	2	1.63	340	3.07	0.997
	5	6.5		700		
	6	20	1.95	1700	0.630	0.641
	7	64	2.14	2760	0.500	0.750
	8	68	1.60	1730	0.503	1.000
9	98	1.54	1730	1.12	1.000	
10	∞	1.60	2070	1.12	1.000	

T.P.-207.5m
 基盤の地震動を評価する位置
 T.P.-230m

$Q(f) = Q_0 \cdot f^n$
 f: 振動数



はぎとり解析に用いる浅部地下構造モデル
(第932回審査会合 資料1-1 P.5-19より)

はぎとり解析の伝達関数
(T.P.-230m(2E)/T.P.-207.5m(E+F))

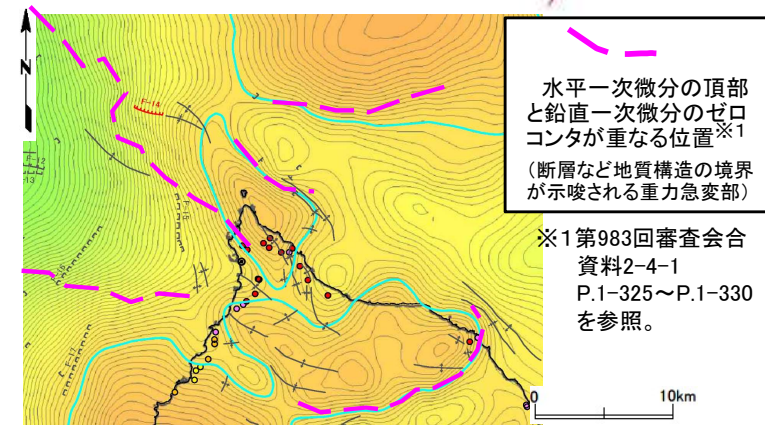
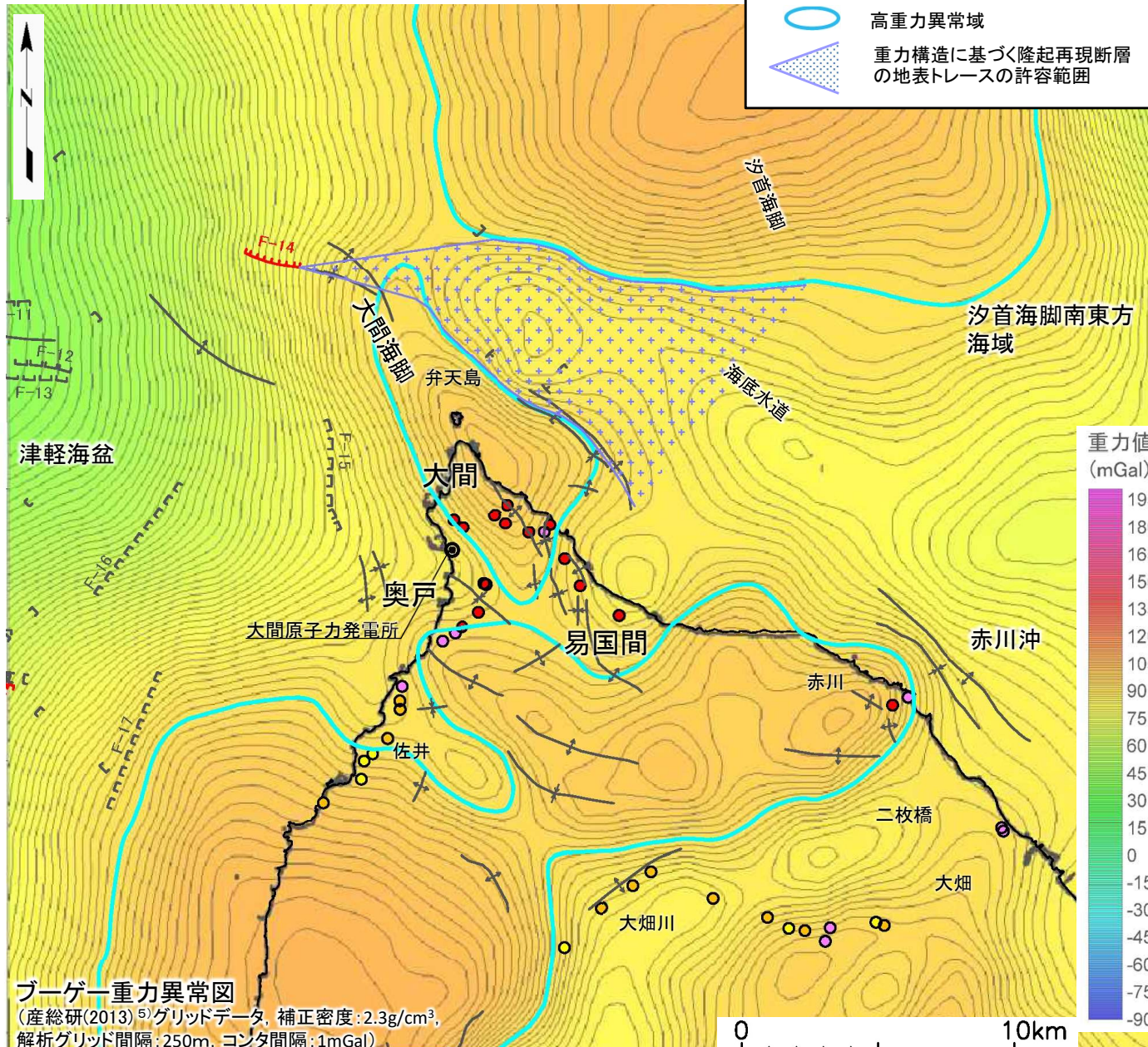
震源モデルの設定
〔本編資料5.3節の補足説明資料〕

- 北限補間の設定根拠を示す。
- 断層諸元の設定根拠を示す。

5. 震源モデルの設定(2/7)



東部断層の根拠(1/3):ブーゲー重力異常



- 地質構造要素凡例
- F-31 (---) 断層 (伏在断層)
 - } 連続性のない断層
 - F-25 (---) 震源として考慮する活断層
 - ↑ 背斜軸
 - ↓ 向斜軸

- 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

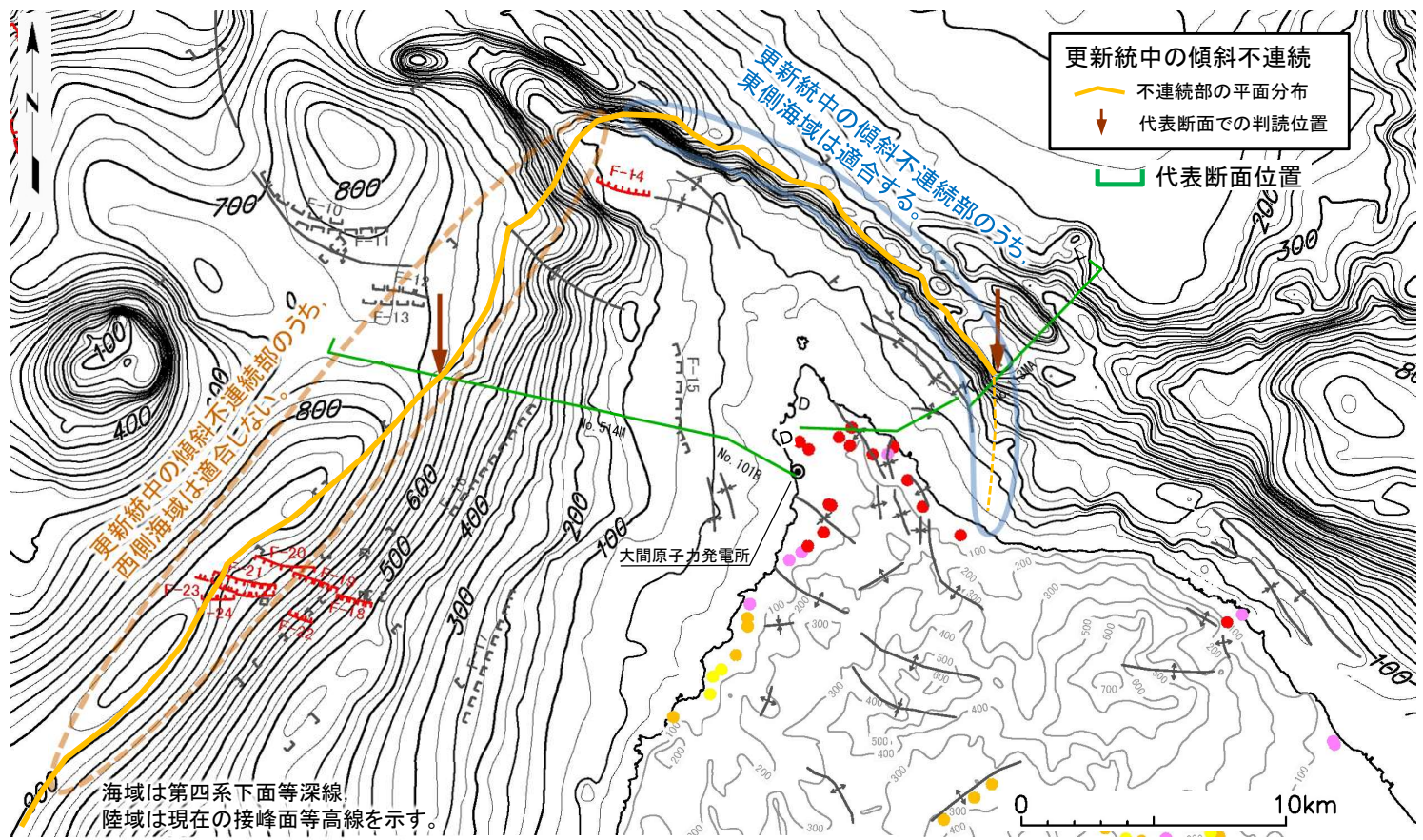
- 大間から赤川、二枚橋にかけて複雑に入り組んだ重力構造が認められ、連続性の良い直線状の重力急変部は認められず、断層は想定できない。
- なお、大間海脚の高重力異常域は浅部の地層の変形を示唆し、地震発生層での断層を示唆するものではない※1。



- 高重力異常域を全て基盤の隆起域と仮定し、直線状の重力急変部を挟んだ低重力異常域を、隆起再現断層の地表トレースが連続する許容範囲と仮定する。
- F-14断層の東方延長が、大間海脚の高重力異常域と汐首海脚の高重力異常域とに挟まれる低重力異常域に連続することから、この低重力異常域を、隆起再現断層の許容範囲として設定する。

5. 震源モデルの設定 (3/7)

東部断層の根拠(2/3): 更新統中の断層類似事象の評価(海域)



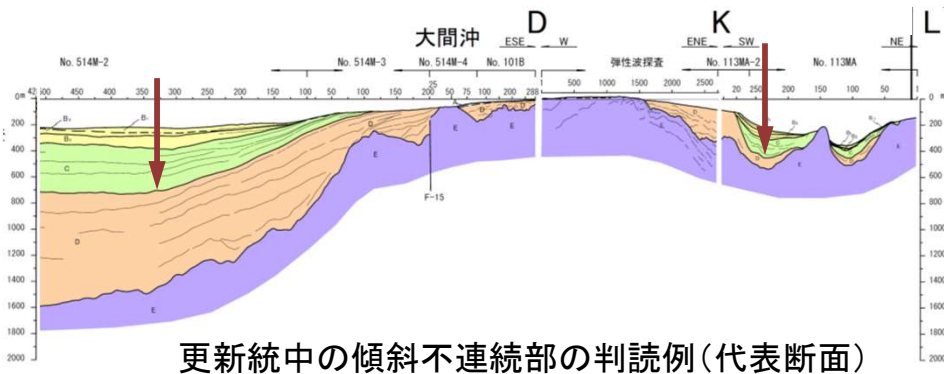
海域における更新世の活動を示唆する、「更新統中の傾斜不連続部」の分布範囲について、F-14断層と関連する構造として扱う地形・地質構造としての適合性を評価する。



- 西側海域での傾斜不連続部の走向は、F-14断層と90°以上ずれており、F-14断層の雁行を考慮しても一連の構造とはならない。
- 東側海域での傾斜不連続部は、F-14断層の位置・走向と調和的であり、F-14断層を起点とした隆起再現断層に適合する。
- 更新統中の傾斜不連続部のうち東側海域を、F-14断層と関連する地質構造として扱う。



更新統中の傾斜不連続部の平面分布



更新統中の傾斜不連続部の判読例(代表断面)

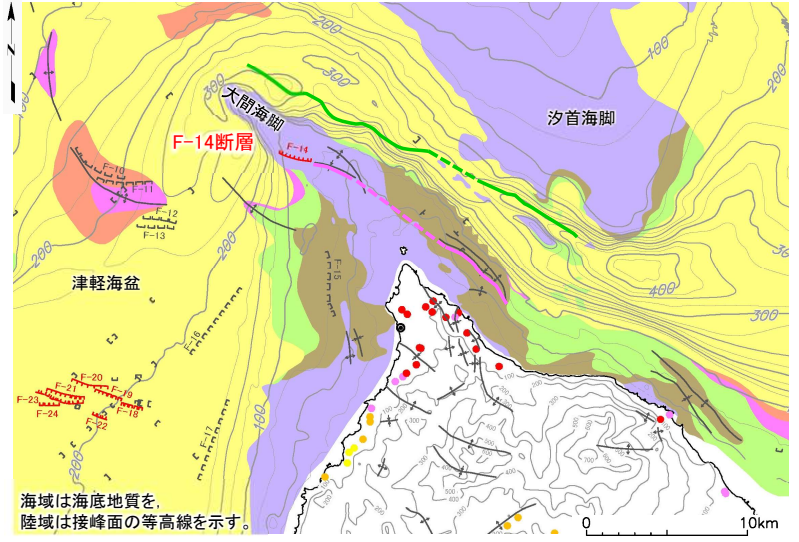
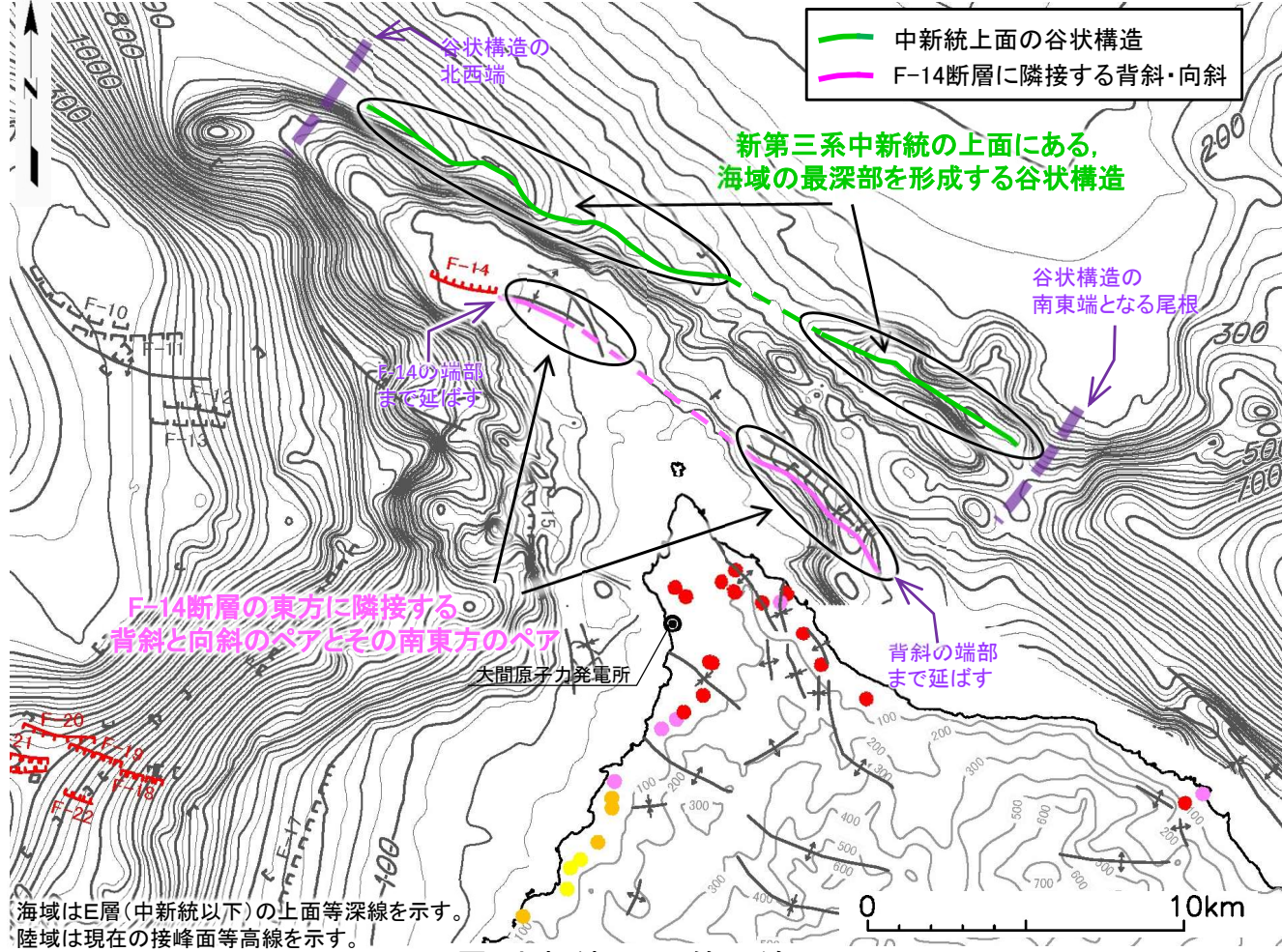
海域地質凡例

地質時代	敷地前面海域	
完新世	A層	
第四紀	後期	B ₁ 層
	中期	B ₂ 層
	前期	B ₃ 層
鮮新世	C層	
中新世	D層	
先新第三紀	E層	



5. 震源モデルの設定(4/7)

東部断層の根拠(3/3): 中新統中の断層類似事象(海域)



地質平面図

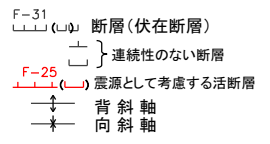
段丘の隆起速度調査結果



海域地質凡例

地質時代	数地前面海域
第四紀	完新世 A層
	後期 B層
	中期 B層
更新世	前期 C層
	鮮新世 D層
中新世 E層	
先新第三紀	

地質構造要素凡例



E層(中新統)上面等深線図

海域の中新統中に認められる、
1) 中新統上面の谷状構造
2) F-14断層に隣接する背斜・向斜
について、F-14断層と関連する構造として扱う地形・地質構造としての適合性を評価する。



- 1) 中新統上面等深線図には海域の最深部を形成する谷状構造が認められる。F-14断層の東方延長部よりもやや北寄りに認められるものの、隆起域の縁辺に位置し、F-14断層の走向と調和的である。
- 2) F-14断層に隣接して背斜と向斜の対が分布しており、さらに南東延長部にも背斜と向斜の対が分布している。これら向斜・背斜は陸棚上にあり隆起域の縁辺からやや離れているものの、F-14断層の走向と調和的である。

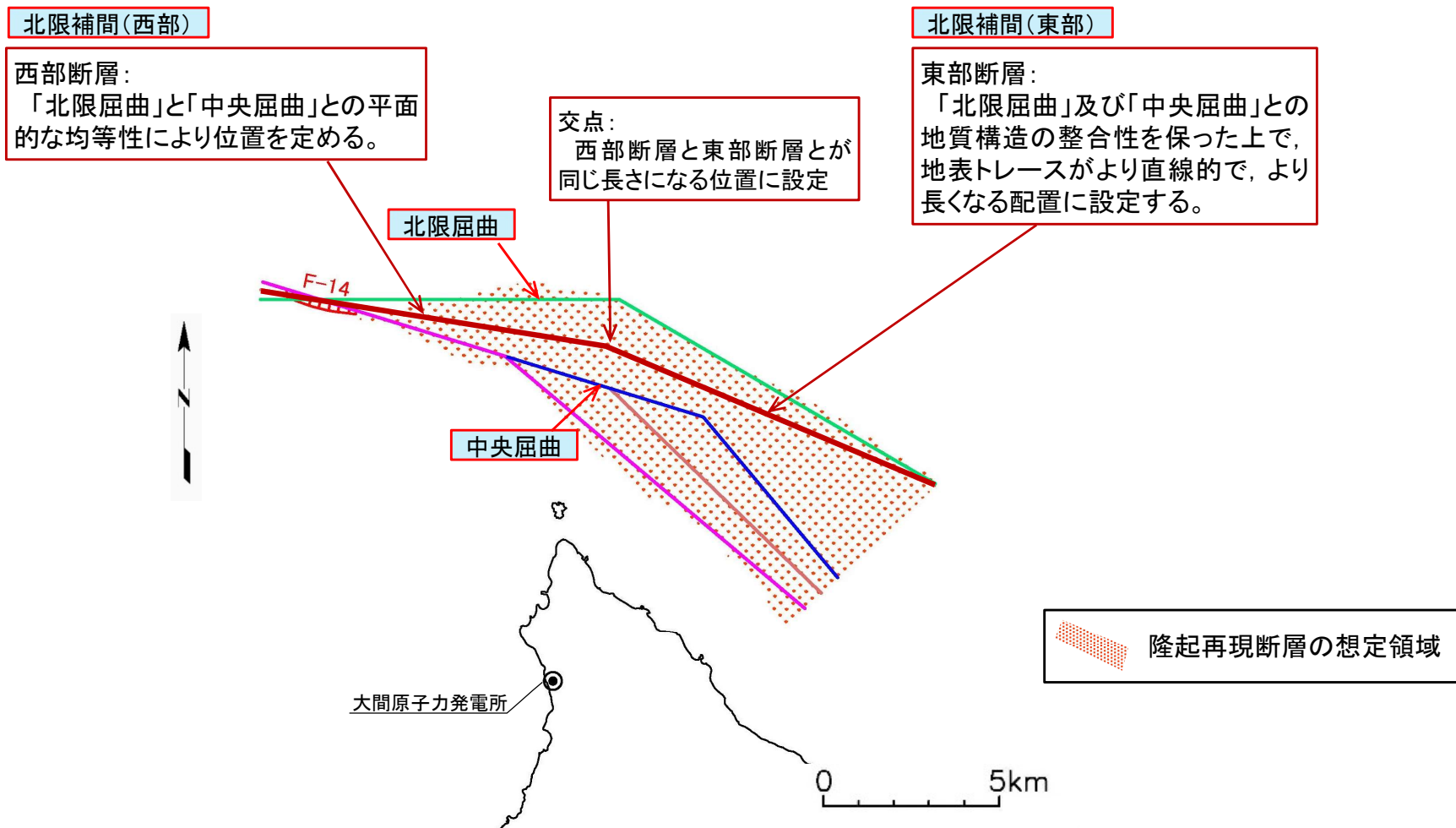


中新統中の谷状構造及び背斜・向斜の対を、F-14断層と関連する地質構造として扱う。

5. 震源モデルの設定(5/7)

北限補間の設定

- 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のうち、平面的な均等性を優先して位置を定める。(本編資料 5.3節 P.107 参照)
- 「北限補間」の東部断層においては、配置の自由度が大きいことから、「北限屈曲」及び「中央屈曲」との地質構造の整合性を保った上で、下図に示すとおり、領域の中で地表トレースがより直線的で、より長くなる配置に設定する。

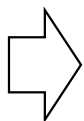
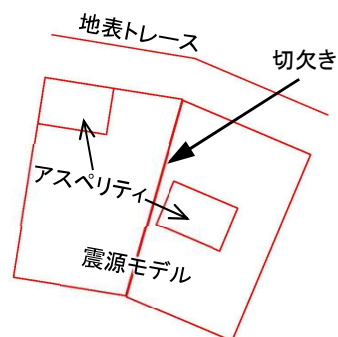


5. 震源モデルの設定(6/7)

震源規模が大きくなる配置

- 第732回審査会合及び第817回審査会合において、当社が提示したF-14断層の走向で延長する直線状の仮想断層及びそれを時計回りに回転させた仮想断層は、ここでいう隆起再現断層として認められていない。両会合における議論を踏まえ、隆起再現断層は、「隆起再現断層の想定領域」内に地表トレースを持つ、地質構造に基づく断層として設定することとする。また、本編5.3節に示すとおり、隆起再現断層は西部断層と東部断層の隣接する2条の断層として扱う。
- 地震規模が大きくなるのは、西部断層と東部断層とが連動して破壊する場合であり、震源モデルは交差部を切欠く形状となる。
- 交差部を切欠いた震源モデルにおいて、同じ端点を持つ断層を比較すると、より直線に近い方がより大きな震源規模となる。
- 「隆起再現断層の想定領域」の中で端点間の長さが最大となる配置は、「北限屈曲」及び「北限補間」である。また、地表トレースの中で最も直線に近いのは、「北限補間」である。
- したがって「北限補間」は、「隆起再現断層の想定領域」内に想定可能な地表トレースの中で、最大規模の地震を設定可能な地表トレース位置であると判断される。

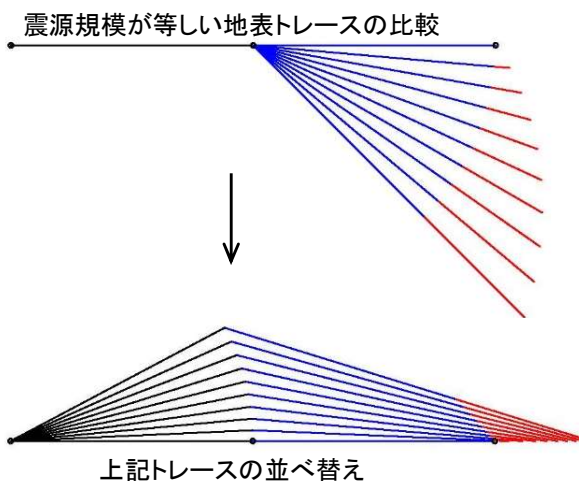
西部断層と東部断層とが連動する破壊を考慮するため、交差部を切欠いた震源モデルを設定する。



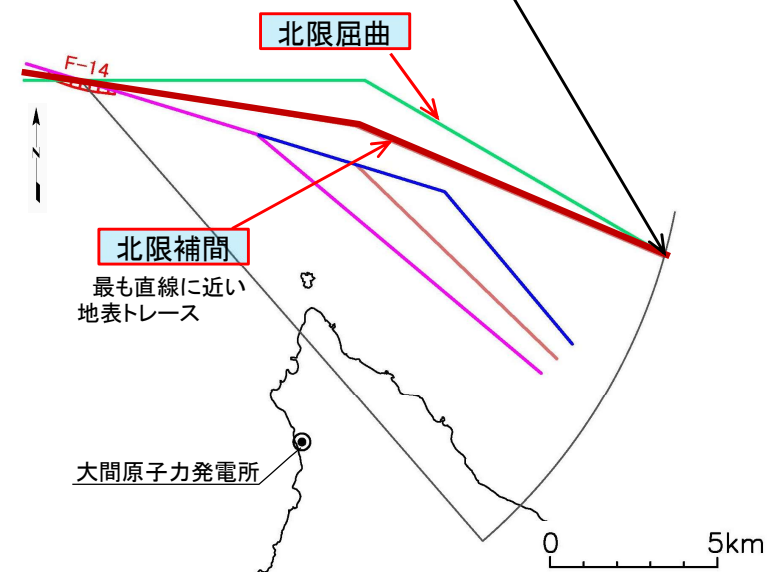
交差部を切欠いた震源モデルにおいて、屈曲した断層で直線状の断層と同じ断層面積とするためには、地表トレースを赤線部まで延長する必要がある。

(図は、地震発生層3-17km:45°傾斜の場合)

⇒端点が決まっている場合、より直線に近い方が、より大きな震源規模となる。



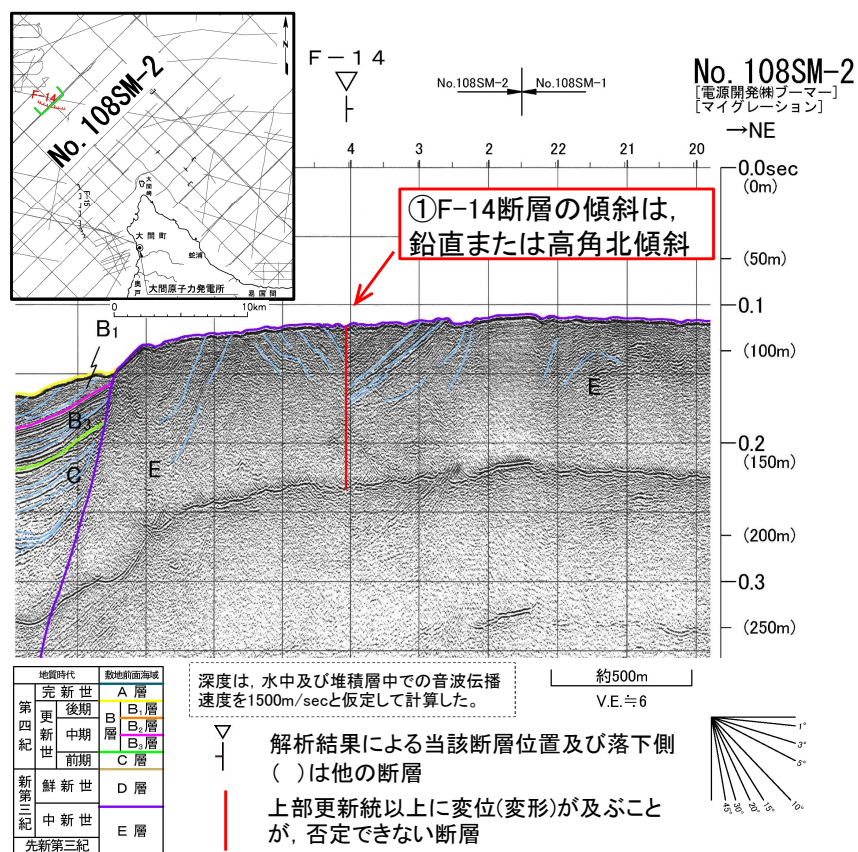
「隆起再現断層の想定領域」内で、西端点から最も離れた位置。⇒最大の震源規模が得られる端点



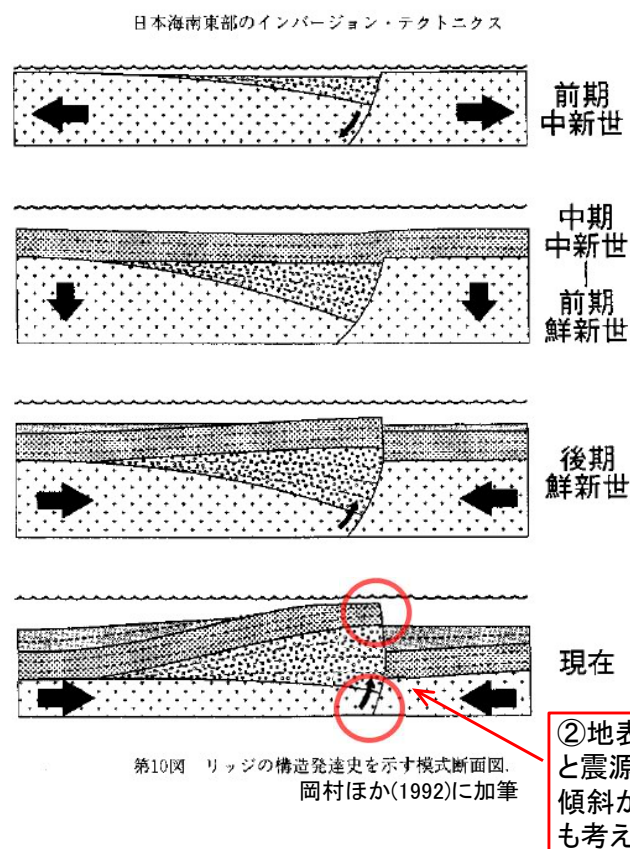
5. 震源モデルの設定(7/7)

傾斜の設定

- 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、東北地方の逆断層の一般的な傾向に従って、中新世の正断層のインバージョンとして設定する。
- 初生的に正断層として形成される必要があるため、高角の代表として60°、低角の代表として45°とする。



F-14断層の音波探査断面図



正断層の再活動(インバージョン)の模式図

③東北日本の活断層は、中新世の正断層のインバージョンが一般的。

東北日本では、高角の正断層の再活動として、現在の内陸地震が起こっており、それを可能としているのは、震源断層に沿って、例えば $\lambda > 0.8$ などという過剰間隙流体圧の状態になっていることがあげられる。言い換えると、30°程度の傾斜角で新しい断層面をつくって破壊する場合の強度より、過剰間隙流体圧のため低下した既存断層の強度の方が小さいということである。地殻流体が既存の断層に沿って浸透して過剰間隙流体圧となり、既存断層の強度を弱める効果が、現在のインバージョンテクトニクスを可能としていると考えられる。

長谷川ほか(2012)より抜粋

④新たな低角断層が発生するより先に、固着した正断層が破壊する必要がある。

6. 隆起シミュレーションの方法「Okadaの方法」について(1 / 2)

隆起シミュレーションの方法「Okadaの方法」について
〔本編資料5.3節の補足説明資料〕

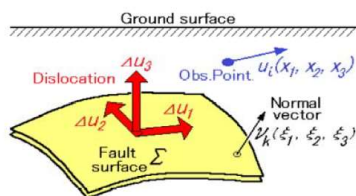
- 隆起再現性評価の際に用いているOkada(1992)のプログラムについて説明する。

6. 隆起シミュレーションの方法「Okadaの方法」について(2/2)

隆起シミュレーションの方法「Okadaの方法」

地震や火山の源として、地中のある面を境とする変位の食い違いを考える「食い違いの弾性論」はSteketee (1958) により提唱され、その基本式は以下の通りです。

$$u_i = \frac{1}{F} \iint_{\Sigma} \Delta u_j \left[\lambda \delta_{jk} \frac{\partial u_i^n}{\partial \xi_n} + \mu \left(\frac{\partial u_i^j}{\partial \xi_k} + \frac{\partial u_i^k}{\partial \xi_j} \right) \right] v_k d\Sigma$$



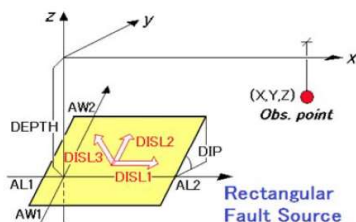
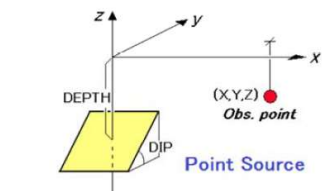
ここで、 $u_i(x_1, x_2, x_3)$ は観測点 (x_1, x_2, x_3) における変位ベクトル、 $\Delta u_j(\xi_1, \xi_2, \xi_3)$ は面 Σ 上での変位食い違いベクトル、 $v_k(\xi_1, \xi_2, \xi_3)$ は面 Σ の法線ベクトル、 $u_i^j(x_1, x_2, x_3; \xi_1, \xi_2, \xi_3)$ は面 Σ 上の点 (ξ_1, ξ_2, ξ_3) に置かれた j 方向の力 F による媒質中の点 (x_1, x_2, x_3) における変位の i 成分であり、 λ, μ は媒質の弾性定数です。

DC3D0 / DC3D は、Okada (1992) [Bull. Seism. Soc. Am., 82, 1018-1040] の定式化に基づいて、半無限弾性体中の点震源(DC3D0)または有限矩形断層震源(DC3D)により生じる、媒質内部および地表面の任意の点における変位 u_i および変位微分 $\partial u_i / \partial x_j$ を求めるサブルーチン・パッケージです。

この変位微分値から、媒質中の歪み及び応力は、次式により計算することができます。

$$\text{歪み } \varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$$

$$\text{応力 } \tau_{ij} = \lambda \varepsilon_{kk} \delta_{ij} + 2\mu \varepsilon_{ij} \quad (\lambda, \mu \text{ は Lamé 定数})$$



- 隆起シミュレーションは、国立研究開発法人防災科学技術研究所が公開する「断層モデルによる地殻変動計算プログラムDC3D0/DC3D」を使用する。
- DC3D0/DC3Dは、Okada (1992) の定式化に基づいて、半無限弾性体中の点震源(DC3D0)または有限矩形断層震源(DC3D)により生じる、媒質内部および地表面の任意の点における変位および変位微分を求めるサブルーチン・パッケージとされる。
- Okada (1992) は、Steketee (1958) により提唱された「食い違いの弾性論(地中のある面を境とする変位の食い違い)」の基本式を、もっとも一般的かつ表現の簡潔な理論式を導出したものとされる。
- 従来の表現式と比べ、Okada (1985)およびOkada (1992)によって、断層面の向き・断層運動の型・媒質を選ばず、かつすべての物理量を計算できる一般的な理論式のセットが導出されたとされる。

		Condition						Presented Formula													
		Orientation			Fault type			Medium		Displacement			Strain			Tilt					
		Vert.	Horiz.	Inclined	Strike	Dip	Tensile	$\lambda = \mu$	$\lambda \neq \mu$	u_x	u_y	u_z	$\frac{\partial u_x}{\partial x}$	$\frac{\partial u_x}{\partial y}$	$\frac{\partial u_x}{\partial z}$	$\frac{\partial u_y}{\partial x}$	$\frac{\partial u_y}{\partial y}$	$\frac{\partial u_y}{\partial z}$	$\frac{\partial u_z}{\partial x}$	$\frac{\partial u_z}{\partial y}$	
Surface Deformation	Point	○	-	-	○	-	-	○	-	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Point	○	○	○	○	○	○	○	-	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Point	○	○	○	○	○	○	○	-	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Point	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Point	○	-	-	○	-	-	○	-	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Finite Fault	Point	○	○	○	○	○	○	○	-	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Point	○	○	○	○	○	○	○	-	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Point	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Point	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Point	○	○	○	○	○	○	○	-	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Point	○	○	○	○	○	○	○	-	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Point	○	○	○	○	○	○	○	-	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Point	○	○	○	○	○	○	○	-	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Point	○	○	○	○	○	○	○	-	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Point	○	○	○	○	○	○	○	-	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Internal Deformation	Point	○	-	-	○	-	-	○	-	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Point	○	○	○	○	○	○	○	-	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Point	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Point	○	○	○	○	○	○	○	-	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Point	○	○	○	○	○	○	○	-	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Point	○	○	○	○	○	○	○	-	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Point	○	○	○	○	○	○	○	-	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Point	○	○	○	○	○	○	○	-	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Point	○	○	○	○	○	○	○	-	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Point	○	○	○	○	○	○	○	-	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Finite Fault	Point	○	○	○	○	○	○	○	-	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Point	○	○	○	○	○	○	○	-	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Point	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Point	○	○	○	○	○	○	○	-	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Point	○	○	○	○	○	○	○	-	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Point	○	○	○	○	○	○	○	-	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Point	○	○	○	○	○	○	○	-	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Point	○	○	○	○	○	○	○	-	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Point	○	○	○	○	○	○	○	-	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Point	○	○	○	○	○	○	○	-	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-

設置変更許可申請書添付書類六「5. 地震」における
記載の誤りに係る確認について

- 「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関し、内陸地殻内地震の地震動評価に係る記載が適切に設定されていることを確認する。

7. 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に係る確認について(2/4)



変更申請書 添付書類六 5. 地震		地震の分類	今回検討
表番号	誤りの項目		掲載ページ
第5.5-2表	誤り③ 断層パラメータ表「上端深さ」※1の誤り	プレート間地震 想定三陸沖北部の地震	—※2
第5.5-4表	誤り① 断層パラメータ表「Q値」の誤り	海洋プレート内地震 想定浦河沖スラブ内地震	第998回審査会合 資料1-2 P.39
第5.5-5表	誤り① 断層パラメータ表「Q値」の誤り	海洋プレート内地震 想定浦河沖スラブ内地震	第998回審査会合 資料1-2 P.39
第5.5-6表	誤り① 断層パラメータ表「Q値」の誤り	海洋プレート内地震 想定十勝沖スラブ内地震	第998回審査会合 資料1-2 P.38
	誤り② 断層パラメータ表「アスペリティの短周期レベル」の誤り	海洋プレート内地震 想定十勝沖スラブ内地震	第998回審査会合 資料1-2 P.40
第5.5-13表	誤り④ 断層パラメータ表「断層全体の応力降下量」の誤り	内陸地殻内地震 F-14断層による地震	P.27~P.28※3
第5.5-14表	誤り⑤ 断層パラメータ表「アスペリティの応力降下量」の誤り	内陸地殻内地震 F-14断層による地震	

※1 : 第5.5-2表のうち、震源位置の不確かさを考慮したケースの設定値。

※2 : 想定三陸沖北部の地震は、今回検討の対象外。

※3 : 変更申請時より検討ケースを変更しており、第5.5-13表、第5.5-14表に該当する震源モデルはない。このため、今回検討においては、同じ検討用地震であるF-14断層による地震の基本ケース、及び不確かさケースの断層パラメータ表について確認した結果を示す。



7. 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に係る確認について(3/4)

断層全体の応力降下量, アスペリティの応力降下量の確認:F-14断層による地震(1/2)

・ 有効数字桁数及び数字の丸めについて、誤りがないことを確認した。

F-14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
巨視的パラメータ	断層全体	走向	$\theta(^{\circ})$	107	地質調査結果による
		傾斜角	$\delta(^{\circ})$	90	同上
		上端深さ	$h(\text{km})$	3	地震発生層の検討結果による
		下端深さ	$b(\text{km})$	17	同上
		長さ	$L(\text{km})$	26.3	地震規模を踏まえ設定
		幅	$W(\text{km})$	14.0	$W=(b-h)/\sin \delta$
		断層面積	$S(\text{km}^2)$	368	$S=L \times W$
		地震モーメント	$M_0(\text{N}\cdot\text{m})$	$7.5\text{E}+18$	$M_0=(S/(4.24 \times 10^{-11}))^2/10^7$ (入倉・三宅(2001))
		モーメントマグニチュード	M_w	6.5	$M_w=(\log M_0-9.1)/1.5$ (Kanamori(1977))
		S波速度	$V_s(\text{km/s})$	3.4	地震本部(2009b)
		剛性率	$\mu(\text{N/m}^2)$	$3.12\text{E}+10$	$\mu = \rho V_s^2, \rho = 2.7\text{t/m}^3$
		平均すべり量	$D(\text{m})$	0.7	$D=M_0/(\mu S)$
		平均応力降下量	$\Delta \sigma(\text{MPa})$	2.60	$\Delta \sigma=(7/16)M_0/(S/\pi)^{1.5}$
		短周期レベル	$A(\text{N}\cdot\text{m/s}^2)$	$1.04\text{E}+19$	$A=2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$ (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	$f_{\text{max}}(\text{Hz})$	8.3	香川ほか(2003)		
微視的パラメータ	アスペリティ	面積	$S_a(\text{km}^2)$	57	$S_a = \pi r^2, r = (7 \pi M_0 V_s^2) / (4AR), R = (S/\pi)^{0.5}$
		地震モーメント	$M_{0a}(\text{N}\cdot\text{m})$	$2.3\text{E}+18$	$M_{0a} = \mu S_a D_a$
		平均すべり量	$D_a(\text{m})$	1.3	$D_a = 2 \times D$
		応力降下量	$\Delta \sigma_a(\text{MPa})$	16.8	$\Delta \sigma_a = (S/S_a) \times \Delta \sigma$
		短周期レベル	$A_a(\text{N}\cdot\text{m/s}^2)$	$1.04\text{E}+19$	$A_a = 4 \pi r \Delta \sigma_a V_s^2$
背景領域		面積	$S_b(\text{km}^2)$	311	$S_b = S - S_a$
		地震モーメント	$M_{0b}(\text{N}\cdot\text{m})$	$5.2\text{E}+18$	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$
		平均すべり量	$D_b(\text{m})$	0.5	$D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$
		実効応力	$\sigma_b(\text{MPa})$	3.7	$\sigma_b = (D_b/W_b)/(D_a/W_a) \Delta \sigma_a, W_b=W, W_a=S_a^{0.5}$
		Q値	—	$100f^{1.0}$	Kakehi and Irikura (1997)

第983回審査会合 資料2-1
誤り④:断層全体の
応力降下量の誤り

第983回審査会合 資料2-1
誤り⑤:アスペリティの
応力降下量の誤り



7. 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に係る確認について(4/4)

断層全体の応力降下量, アスペリティの応力降下量の確認:F-14断層による地震(2/2)

・ 有効数字桁数及び数字の丸めについて、誤りがないことを確認した。

F-14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
巨視的パラメータ	断層全体	走向	$\theta(^{\circ})$	107	地質調査結果による
		傾斜角	$\delta(^{\circ})$	90	同上
		上端深さ	h(km)	3	地震発生層の検討結果による
		下端深さ	b(km)	17	同上
		長さ	L(km)	26.3	地震規模を踏まえ設定
		幅	W(km)	14.0	$W=(b-h)/\sin \delta$
		断層面積	S(km ²)	368	$S=L \times W$
		地震モーメント	$M_0(N \cdot m)$	7.5E+18	$M_0=(S/(4.24 \times 10^{-11}))^2/10^7$ (入倉・三宅(2001))
		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	$V_s(km/s)$	3.4	地震本部(2009b)
		剛性率	$\mu(N/m^2)$	3.12E+10	$\mu=\rho V_s^2, \rho=2.7t/m^3$
		平均すべり量	D(m)	0.7	$D=M_0/(\mu S)$
		平均応力降下量	$\Delta \sigma(MPa)$	2.60	$\Delta \sigma=(7/16)M_0/(S/\pi)^{1.5}$
		短周期レベル	$A(N \cdot m/s^2)$	1.04E+19	$A=2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$ (壇ほか(2001))
		破壊伝播速度	$V_r(km/s)$	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	面積	$S_a(km^2)$	57	$S_a=\pi r^2, r=(7\pi M_0 V_s^2)/(4AR), R=(S/\pi)^{0.5}$
		地震モーメント	$M_{0a}(N \cdot m)$	2.3E+18	$M_{0a}=\mu S_a D_a$
		平均すべり量	$D_a(m)$	1.3	$D_a=2 \times D$
		応力降下量	$\Delta \sigma_a(MPa)$	25.2	$\Delta \sigma_a=(S/S_a) \times \Delta \sigma \times 1.5$
	短周期レベル	$A_a(N \cdot m/s^2)$	1.56E+19	$A_a=4\pi r \Delta \sigma_a V_s^2$	
	背景領域	面積	$S_b(km^2)$	311	$S_b=S-S_a$
		地震モーメント	$M_{0b}(N \cdot m)$	5.2E+18	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$
平均すべり量		$D_b(m)$	0.5	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$	
		実効応力	$\sigma_b(MPa)$	5.5	$\sigma_b=(D_b/W_b)/(D_a/W_a) \Delta \sigma_a, W_b=W, W_a=S_a^{0.5}$
		Q値	-	100 ^{f1.0}	Takehi and Irikura (1997)

第983回審査会合 資料2-1
誤り④:断層全体の
応力降下量の誤り

第983回審査会合 資料2-1
誤り⑤:アスペリティの
応力降下量の誤り

参考 第922回審査会合(2020年11月20日) 資料1-1 巻末参考
資料からの隆起再現断層の震源モデルの考え方の変更点

- 第922回審査会合(2020年11月20日) 資料1-1 巻末参考資料からの隆起再現断層の震源モデルの考え方の変更点について説明する。



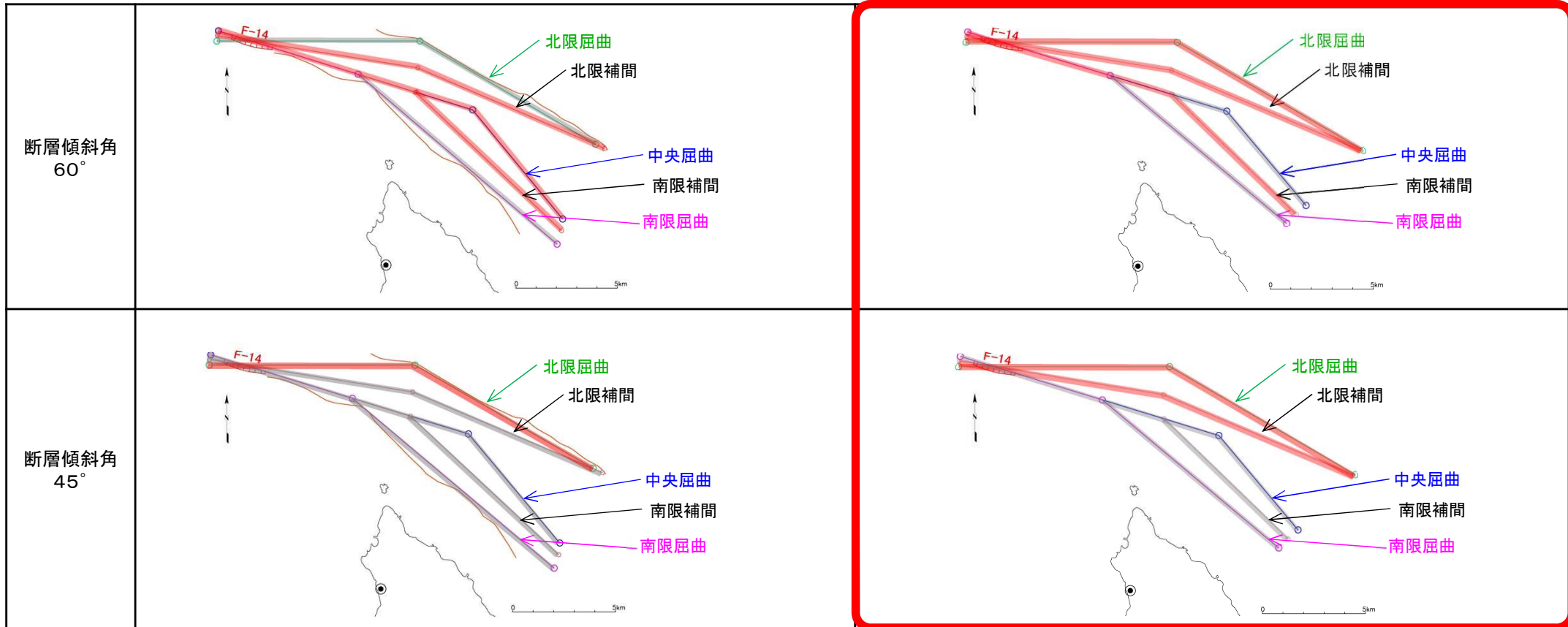
- 周辺地質から、地震動評価へとフェーズが移ることに伴い、第922回の敷地周辺及び敷地近傍の地質・地質構造の審査会合(2020年11月20日) 資料1-1巻末参考資料では、東西2条の断層による隆起再現性の変化を比較するため震源規模を揃えていたが、地震動評価においては、東西の断層が同時に破壊する際の地震動を、震源断層を想定領域内に想定し、評価することとする。
- 評価にあたっての断層上端深さ、断層形状、断層長さ及び地表出現領域の変更の考え方について、以下に示す。

	第922回審査会合(2020年11月20日) 資料1-1 巻末参考資料における考え	今回説明
断層上端深さ	設置変更許可申請時点の評価(4km)を用いた。	F-14断層周辺の地震発生層は、2014年から公益財団法人地震予知総合研究振興会にて実施した下北半島における高密度地震観測網(As-net)による震源データを踏まえると、気象庁一元化震源データによる評価よりも浅くなる傾向が見られたことから、保守性の観点から地震発生層上端を3kmと評価。併せて、地下構造の評価に係る知見の拡充を目的とした追加調査により得られた速度構造も考慮。
断層形状	走向の異なる東西で別の断層の合成と想定するため及び地表トレース位置の違いによる隆起傾向の変化を確認するため、震源規模を揃えることのできる矩形断層面としていた。	地震動の震源モデルを想定するにあたり、走向の異なる東西の断層面が連動して同時破壊する場合を評価することとし、断層の交差線から変位が移行するものとして、断層面の形状を設定した。
断層長さ	地表トレース位置の違いによる隆起傾向の変化を確認するため、震源規模が等しくなるように断層長さを20kmに揃えていた。	「隆起再現断層の想定領域」に地表トレースを想定するとの基本的な考え方に基づき、地震動の震源モデルを想定するにあたり、想定領域の境界に端部を設定した。
地表出現領域	隆起再現断層の選定において、隆起の再現性にのみ着目し、再現性が担保される震源モデルの設定が可能な地表トレースの分布範囲を、「隆起再現断層の地表出現領域」として評価していた。	隆起再現断層の選定において、隆起の再現性に加え、地震動評価の観点も同時に考慮することとし、隆起再現性が担保され、かつ敷地への影響が最も大きな震源モデルを、「基本ケース」として選定することとした。

第922回の敷地周辺及び敷地近傍の地質・地質構造の審査会合(2020年11月20日) 資料1-1巻末参考資料の評価に対して今回評価は、 60° 傾斜では再現性のある地表トレースが北方に増え、 45° 傾斜では再現性のある地表トレースが南方に増えることとなった。

第922回審査会合(2020年11月20日)
資料1-1 巻末参考資料における評価

今回の評価



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

参考文献

- Okada, Y. (1985) : Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space, Bull. Seism. Soc. Am., 75
- Okada, Y. (1992) : Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, Bull. Seism. Soc. Am., 82
- 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
- Steketee, J. A. (1958) : On Volterra's dislocation in a semi-infinite elastic medium, Can. J. Phys., 36
- 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
- 岡村行信・佐藤幹夫・渡辺真人・山本博文 (1992) : 日本海南東部のインバージョン・テクトニクス, 構造地質, 38
- 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
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター (2013) : 数値地質図P-2 日本重力データベース DVD版, 独立行政法人産業技術総合研究所
- 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
- 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
- 長谷川昭・中島淳一・内田直希・梁田高広・岡田知己・趙大鵬・松澤暢・海野徳仁 (2012) : 沈み込み帯の地震発生機構-地殻流体に規定されて発生する沈み込み帯の地震-, 地学雑誌, 121(1)