

大間原子力発電所審査資料	
資料番号	OM1-CA162-R01
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1)

(補足説明資料)

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1)

(補足説明資料)

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

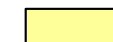
- 本資料では、内陸地殻内地震の評価に係る下表の指摘事項について回答する。

本資料でご説明

No.	項目	指摘時期	コメント内容	該当箇所
S4-5	F-14断層による地震	第1013回会合 (2021.11.5)	地震発生層の下端深さを設定するにあたり、微小地震の発生状況や他の検討項目について、近隣サイトの審査知見と比較しても大間付近に地域性があるとは考えられないため再度検討すること。	本編資料3.1節 P.13～P.20
S4-6	F-14断層による地震	第1013回会合 (2021.11.5)	F-14断層について、敷地における地震動評価に大きな影響を与える支配的なパラメータについて分析した上で、基本ケース及び不確かさケースを再整理し説明すること。 具体的には、地表断層を中心に均等配置した震源モデルを基本ケースとし、認識論的不確かさとして断層位置、断層傾斜角、短周期レベル、偶然的不確かさとしてアスペリティ位置を考慮するとともに、各々の不確かさの影響を分析した上で、認識論的不確かさの短周期レベルと偶然的不確かさのアスペリティ位置の重畳が考えられる。	本編資料3.2節 P.24～P.38 本編資料3.3節 P.40 本編資料3.4節 P.43～P.63
S4-7	奥尻三連動による地震	第1013回会合 (2021.11.5)	奥尻三連動の震源断層を設定するにあたり、地震モーメントの設定に用いている国交省ほか(2014)は津波評価のため作成されたスケーリング則であり地震動評価に適用できるか疑問であり、また微視的パラメータとの整合が取れていない。国交省ほか(2014)を用いるのであれば、長大な活断層に適用できるスケーリング則に関する知見を整理のうえ、その妥当性を説明すること。	本編資料4.2節 P.79, P.81～P.83, P.90～P.94 補足説明資料 4章 P.10～P.12 補足説明資料 5章 P.13～P.15
S4-8	奥尻三連動による地震	第1013回会合 (2021.11.5)	奥尻三連動の不確かさに関して、アスペリティ位置と敷地における地震動評価との影響分析を行うこと。また、断層上端に破壊開始点を設定している理由を記載すると共に、破壊開始点を複数設定したケースも検討すること。更に、長大断層であることを踏まえ、破壊伝播速度について宮腰ほか(2003)の知見を踏まえた検討も行うこと。	本編資料4.2節 P.84～P.89, P.94 本編資料4.4節 P.101～P.113 補足説明資料 6章 P.16～P.20
S4-9	隆起再現断層による地震	第1013回会合 (2021.11.5)	隆起再現断層の隆起域再現性評価の地殻変動計算に、Okada(1992)の方法を用いているが、Mansinha and Smylie等の知見を用いた事例もある。手法の違いによる地殻変動量の差異の有無、及び地震に伴う地殻変動を説明するために行われた数値シミュレーションの事例を説明すること。	次回以降ご説明

指摘事項

- 本資料では、内陸地殻内地震の評価に係る下表の指摘事項について回答する。

 本資料でご説明

No.	項目	指摘時期	コメント内容	該当箇所
S4-10	隆起再現断層による地震	第1013回会合 (2021.11.5)	隆起再現断層の震源モデルの設定について、地質的に設定した地表トレース3条、補間的に設定した地表トレース2条に対して、例えば断層位置、傾斜角、アスペリティ位置といったパラメータが隆起再現性に及ぼす影響度や傾向を分析して図示するなど、隆起が説明できる領域について、代表性・網羅性の観点から妥当性を説明すること。	次回以降ご説明
S4-11	隆起再現断層による地震	第1013回会合 (2021.11.5)	隆起再現断層の隆起域再現性の評価基準に関して、「規模・配置の再現性」の評価基準1と、「隆起速度分布の再現性」の評価基準2に対する重み付けの考え方、評価基準の閾値の考え方を説明すること。	次回以降ご説明
S4-12	隆起再現断層による地震	第1013回会合 (2021.11.5)	今回提示された隆起再現断層の地震動評価結果に関して、西部断層のアスペリティと東部断層のアスペリティの敷地における地震動評価に対する寄与率を提示すること。	次回以降ご説明
S4-13	標準応答スペクトル	第1013回会合 (2021.11.5)	標準応答スペクトルに基づく地震動について、内陸地殻内地震とともに審議するので説明すること。	「震源を特定せず策定する地震動のうち標準応答スペクトルを考慮した地震動の評価について」でご説明

目次



1. フルウェーブインバージョン解析について.....	P.2
2. ハイブリッド合成法について.....	P.5
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.....	P.8
4. 壇ほか(2015)の概要.....	P.10
5. 奥尻3連動による地震の断層パラメータの設定方法について.....	P.13
6. 破壊開始点の設定の確認.....	P.16
7. 統計的グリーン関数法による地震動評価との比較.....	P.21
8. 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.....	P.26

1. フルウェーブインバージョン解析について(1/3)



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

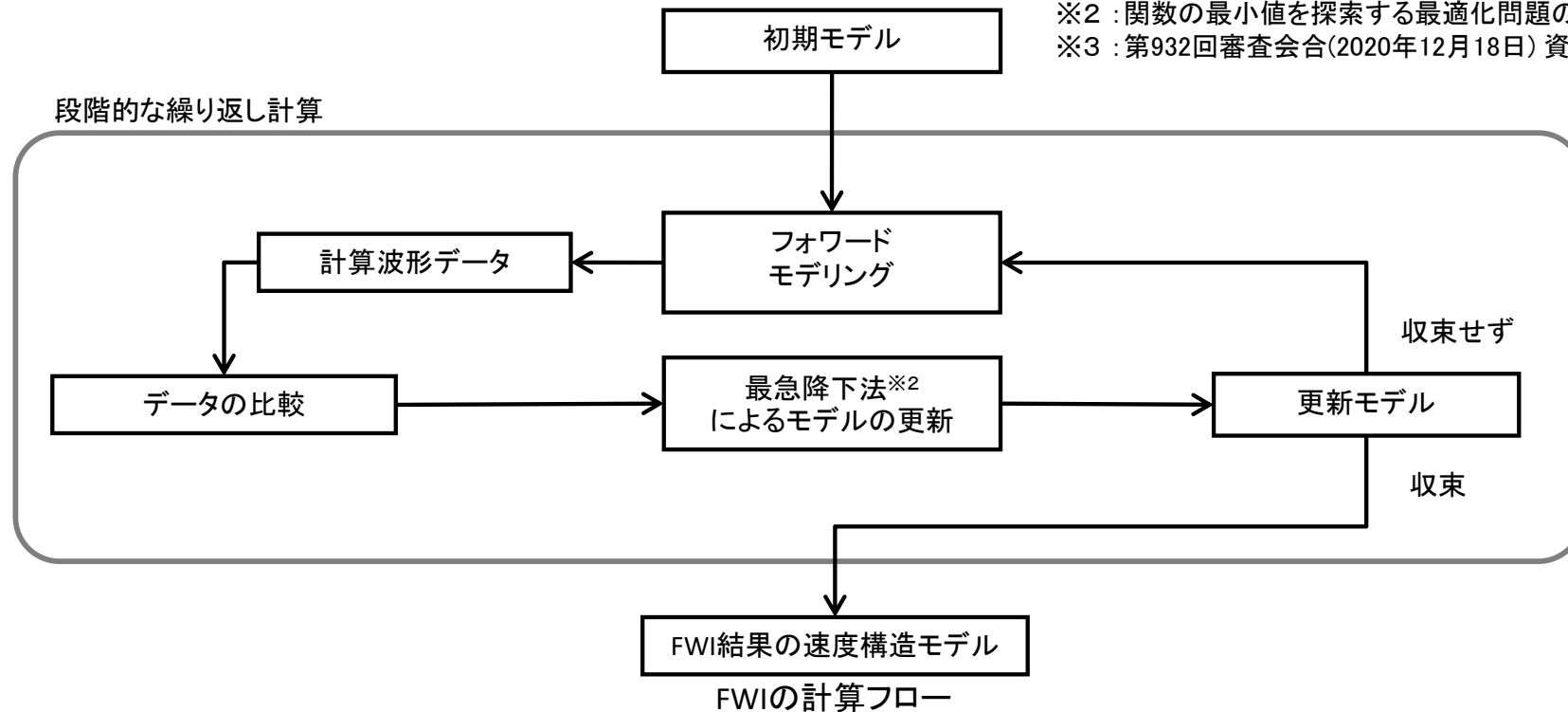
解析概要

- 「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。



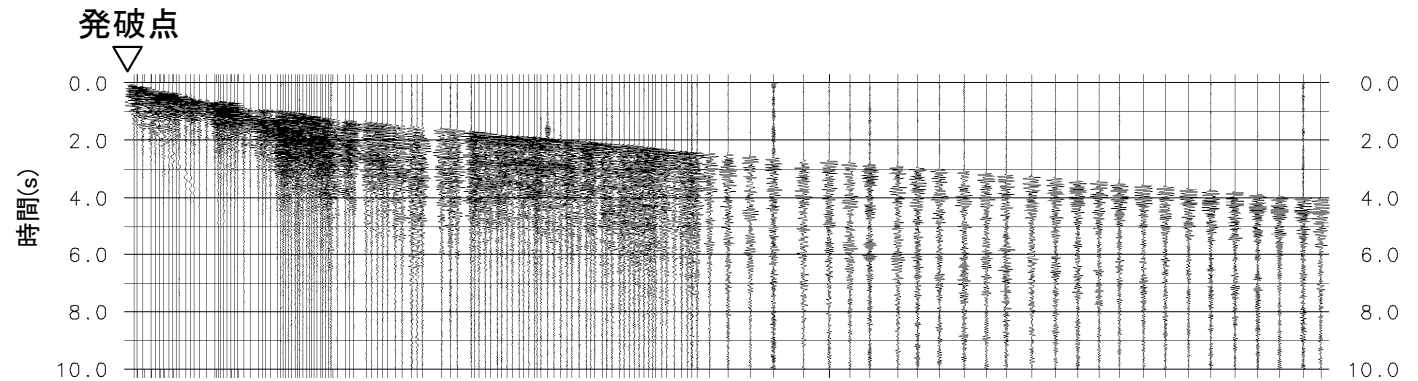


1. フルウェーブインバージョン解析について(3/3)

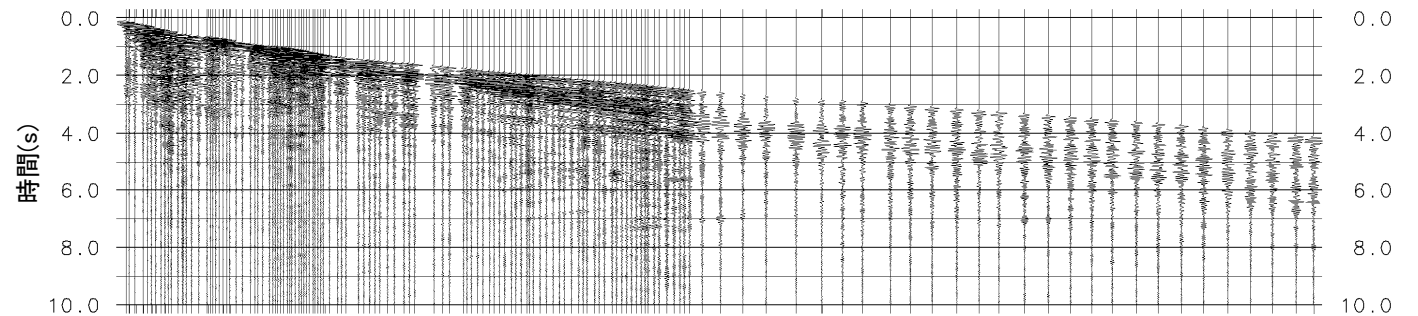
観測波形記録と計算波形の比較

- 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)



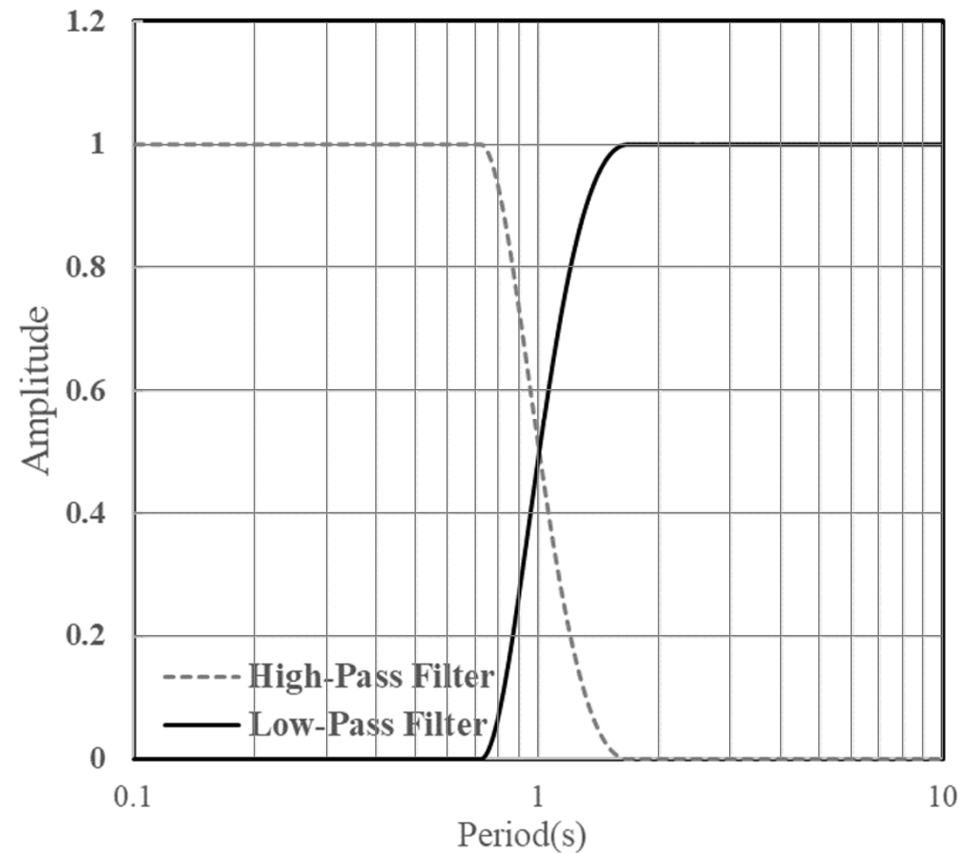
ハイブリッド合成法について
〔本編資料3.3節の補足説明資料〕

- 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(2/3)

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。

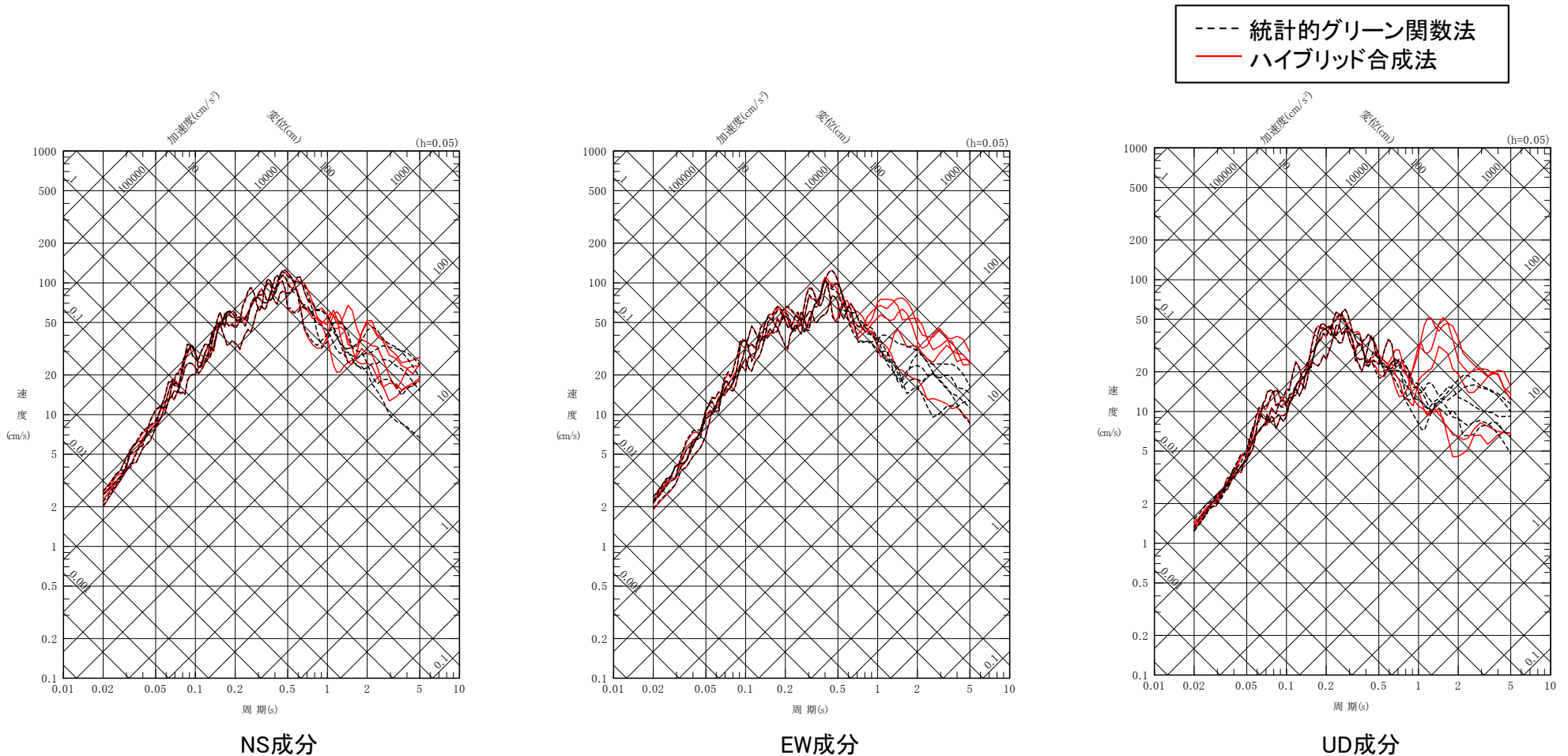


ハイブリッド合成法に用いるマッチングフィルタ(接続周期1秒)

2. ハイブリッド合成法について(3/3)

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
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

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)



第1013回審査会合
資料1-2 P.10 再掲

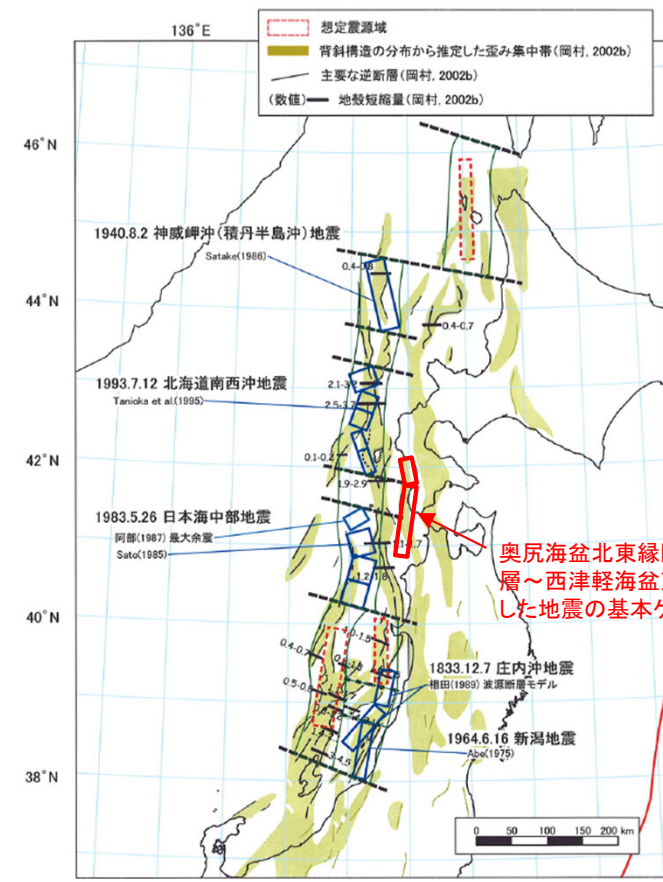
日本海東縁部の地震活動の長期評価の評価対象領域との比較

- 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

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の想定震源



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

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の想定震源

壇ほか(2015)の概要
〔本編資料4.2節の補足説明資料〕

- 壇ほか(2015)の知見について, 概要を説明する。

4. 壇ほか(2015)の概要(2/3)

コメントNo.S4-7

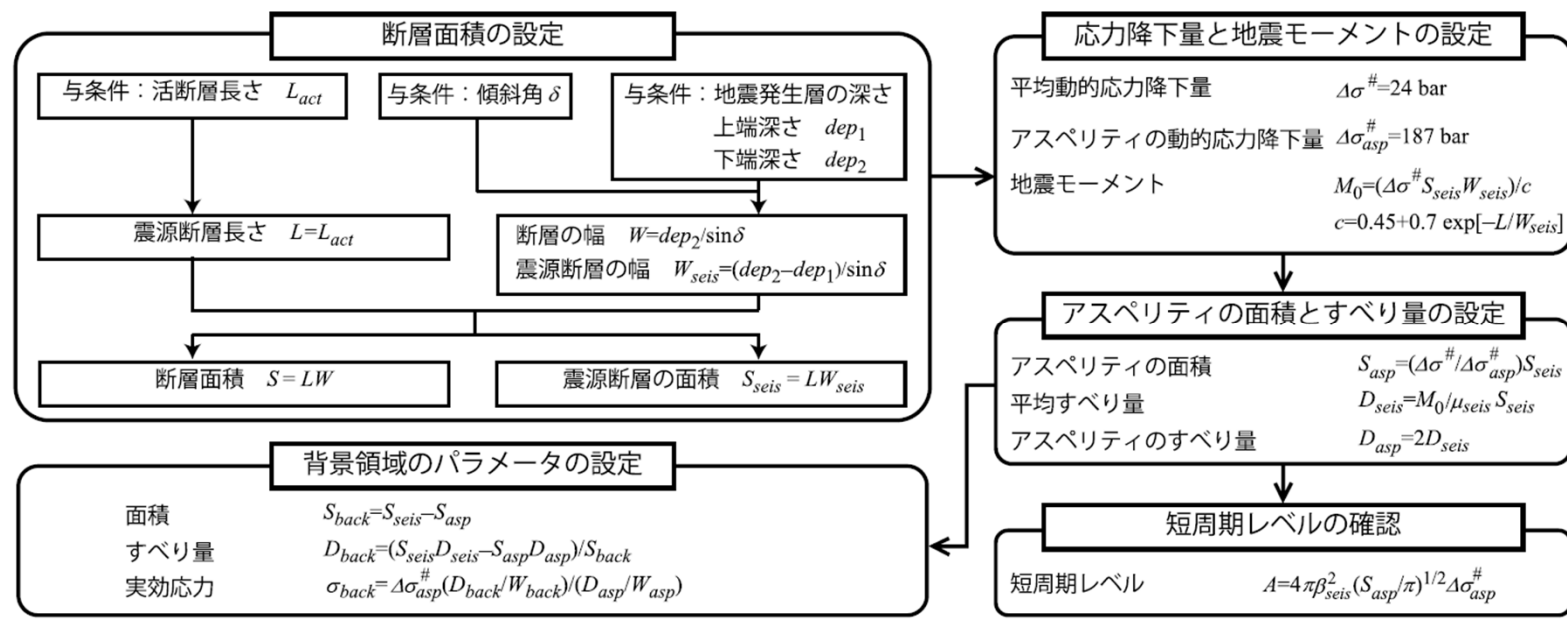


概要

➤ 壇ほか(2015)では、長大な逆断層による内陸地殻内地震を対象に、巨視的パラメータから微視的パラメータまで一連のパラメータの設定方法が提案されている。次に、強震動を試算し、過去の地震の観測記録や既往の距離減衰式と比較し、結果の整合性が確認されていることから、その科学的な根拠を確認している。

パラメータの設定方法

- 壇ほか(2015)は、長大な逆断層による内陸地殻内地震の強震動予測用の断層パラメータの設定について、以下のとおり示している。
 - 入江ほか(2013)で得られた平均動的応力降下量の近似式を用いて、実際の地震のデータに基づき、平均動的応力降下量とアスペリティの動的応力降下量を求めている。さらに、これらの経験的關係式に基づき、アスペリティモデルの各パラメータの設定方法を提案している。(下図参照)
 - 提案した断層パラメータの設定方法によるアスペリティモデルを用いて、統計的グリーン関数法により強震動を試算し、距離減衰式、過去の観測記録の最大加速度や最大速度と整合する結果が得られている。(P.12参照)
 - 以上より、長大な逆断層のパラメータが設定できるようになった。しかし、本論文で用いた短周期レベルのデータは3地震(1983年日本海中部地震(M7.7), 2008年岩手・宮城内陸地震(M7.2), 2008年中国四川地震(Mw7.9))と少なかった。したがって、今後、強震動予測の精度をさらに向上させるには、マグニチュード8クラスの内陸地殻内地震の短周期レベルの蓄積を行う必要があるとされている。



4. 壇ほか(2015)の概要(3/3)

コメントNo.S4-7

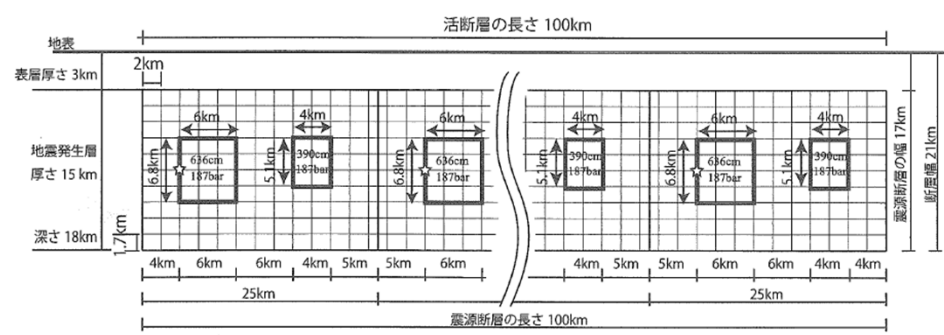


強震動の試算, 及び既往の知見との整合性の確認

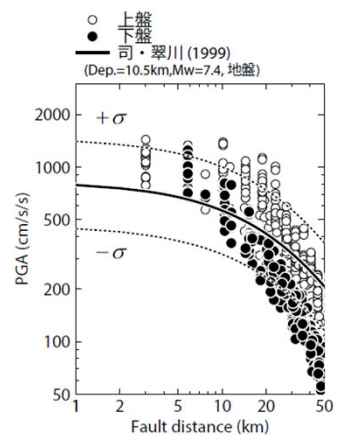
- ▶ 壇ほか(2015)では, 提案した断層パラメータの設定方法によるアスペリティモデルを用いて, 活断層長さが50km, 100km, 400kmの場合の強震動を試算している。
- ▶ その結果, 司・翠川(1999)による最大加速度と最大速度の距離減衰式や, 2004年新潟県中越地震(M6.8), 2008年中国四川地震(Mw7.9)の観測記録と比較し, それらと整合する結果が得られたとされている。
- ▶ 活断層長さ100kmの場合において, アスペリティの配置や個数, 深さを変えた場合, 及び破壊開始点や破壊伝播速度を変えた場合の強震動を試算しており, その結果, 全体として見た場合, 司・翠川(1999)の距離減衰式との関係は大きく変わらなかったとされている。

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への適用について

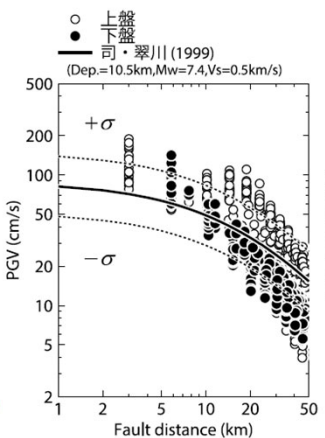
- ▶ 壇ほか(2015)では, 想定震源と同様の長大な逆断層による内陸地殻内地震を対象に, 断層パラメータの設定方法を提案している。
- ▶ 想定震源の地震規模(Mw7.7)と比較的近い規模の地震が, 壇ほか(2015)によるアスペリティの応力降下量の算定に参照した短周期レベルのデータとして取り入れられている。
- ▶ 想定震源と同程度の断層長さ100kmの試算において, 既往の距離減衰式と整合的な結果が得られている。
- ▶ 以上を踏まえ, 奥尻海盆北東縁断層～奥尻海盆東縁断層～西津軽海盆東縁断層の連動を考慮した地震(断層長さ137km, Mw7.7)に壇ほか(2015)は適用可能であると考えられる。



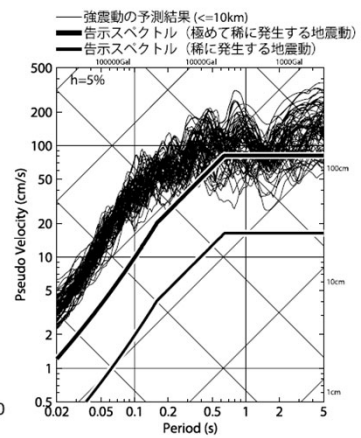
(a) アスペリティモデル (セグメントは4つあり, ☆は各セグメントの破壊開始点で, 全体の破壊開始点は最も左の☆である。)



(d) 最大加速度の距離減衰



(e) 最大速度の距離減衰



(f) 擬似速度応答スペクトル (減衰定数 5%)

活断層長さが100kmのときのアスペリティモデル

活断層長さが100kmのときの強震動の計算結果 壇ほか(2015)

奥尻3連動※による地震の断層パラメータの設定方法について 〔本編資料4.2節の補足説明資料〕

- 奥尻3連動による地震の断層パラメータの設定について、第1013回審査会合における考え方に対する今回の考え方と変更理由を示す。

※：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（本章では、以下「奥尻3連動による地震」という。）

第1013回審査会合の断層パラメータ設定の考え方

- 奥尻3連動による地震の断層パラメータの設定にあたり、地震モーメントは、国交省ほか(2014)が提案する日本海東縁部の知見を踏まえた「地震モーメントと断層面積のスケーリング則」(以下「スケーリング則」という。)に基づき設定した。微視的パラメータは、壇ほか(2015)に基づき設定した。断層パラメータ設定の考えについて、以下の①、②に整理する。
 - ① 奥尻3連動による地震の震源断層モデルの断層位置、断層長さは、国交省ほか(2014)によるF18断層を基本としたことから、津波断層モデルに関する知見であるものの、地震モーメントに関しても国交省ほか(2014)のスケーリング則を参照した。
 - ② 強震動の評価に必要な微視的パラメータは、津波断層モデルに関する知見である国交省ほか(2014)では提案されていないため、強震動評価のための複数の知見により断層パラメータを試算し、壇ほか(2015)に基づき設定した。地震モーメントと微視的パラメータは、異なる知見を用いているが、壇ほか(2015)の応力降下量、アスペリティ面積比は、地震モーメントによらず設定されることを確認している。



5. 奥尻3連動による地震の断層パラメータの設定方法について(3/3)

今回の断層パラメータ設定の考え方と変更理由

① 国交省ほか(2014)の知見の強震動評価への適用性

- 先述のとおり、奥尻3連動の震源断層モデルの断層位置、断層長さは、国交省ほか(2014)によるF18断層を基本としたことから、第1013回審査会合においては、地震モーメントに関しても国交省ほか(2014)を用いて設定した。しかしながら、国交省ほか(2014)のスケーリング則は、1983年日本海中部地震、1993年北海道南西沖地震等の日本海東縁部における既往地震の津波断層モデルから得られた平均すべり量を参考に設定されている。
- 国交省ほか(2014)の断層モデルの妥当性は、過去の地震の津波痕跡等との比較により検証されているが、強震動の観点の妥当性は、検証されていない。
- 以上を踏まえ、強震動評価における地震モーメントは、強震動の観点から検証されている壇ほか(2015)を用いることが適切であると考えた。

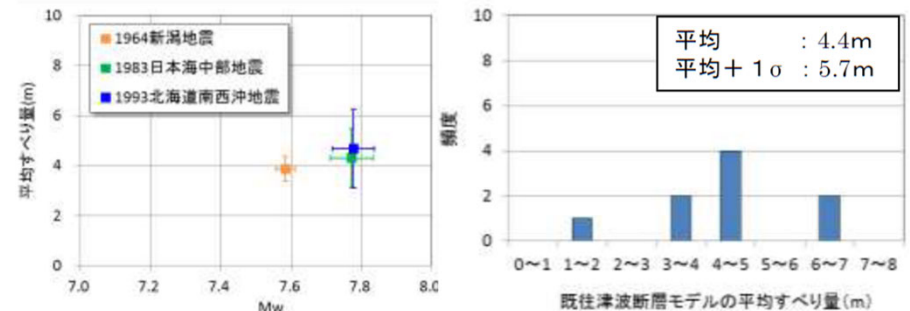
② 地震モーメントと微視的パラメータの設定に関する整合性

- ①のとおり、地震モーメントに壇ほか(2015)を用いることで、地震モーメントと微視的パラメータは、壇ほか(2015)に基づき一貫して設定する。(微視的パラメータは、第1013回審査会合と同一。)
- 壇ほか(2015)は、地震モーメント等の巨視的パラメータから微視的パラメータまでの各断層パラメータが互いに関連付けられた一連の地震動評価手法であり、この手法による評価結果が、観測記録等とも整合することが確認されている。
- 上記設定とすることで、巨視的パラメータ及び微視的パラメータの設定が整合し、一貫性が確保されるため適切であると考えた。

既往地震の津波断層モデルのパラメータ(国交省ほか(2014))

地震名	文献	緯度	経度	深さ (km)	走向 (度)	傾斜 (度)	すべり角 (度)	長さ (km)	幅 (km)	すべり量 (m)	合計長さ (km)	合計面積 (km ²)	平均すべり量 (m)	合計Mo ⁰ (Nm)	Mw
		(度)	(度)												
1704年岩館地震	福渡ほか(2002)	40.47	139.83	1.0	334	45	90	31	14	3.50	31	434	3.50	5.2E+19	7.1
1793年鯉ヶ沢地震	福渡ほか(2002)	40.70	139.89	1.0	25	45	90	50	25	4.50	50	1250	4.50	1.9E+20	7.5
1804年象潟地震	福渡ほか(2002)	38.95	139.63	1.0	22	80	90	56	28	3.50	56	1568	3.50	1.9E+20	7.4
1833年庄内沖地震	相田(1989)	39.39	139.76	2.0	190	60	90	50	40	7.95	120	4800	7.95	1.3E+21	8.0
1940年神威岬地震	Fukao&Furumoto(1975)	42.82	139.03	-	0	46	90	170	50	1.10	170	8500	1.10	3.2E+20	7.6
	佐竹(1986)	43.73	139.53	0.0	347	40	90	100	35	1.50	100	3500	1.50	1.8E+20	7.4
	Aki(1966)	38.78	139.49	0.0	200	70	90	100	20	4.00	100	2000	4.00	2.7E+20	7.6
1964年新潟地震	Hirasawa(1965)	38.69	139.38	0.0	190	59	89	88	20	4.75	88	1760	4.75	2.9E+20	7.8
	Abe(1975)	38.74	139.42	0.0	189	56	90	80	30	3.30	80	2400	3.30	2.7E+20	7.8
	Satake & Abe(1983)	38.06	139.00	1.0	9	34	90	80	30	3.30	100	2680	3.64	3.4E+20	7.6
	Satake & Abe(1983)	38.37	139.25	4.0	9	80	90	20	14	6.60	100	2680	3.64	3.4E+20	7.6
	松橋ほか(1987)	38.32	139.23	-	189	60	90	30	30	3.00	80	2650	3.66	3.3E+20	7.6
	松橋ほか(1987)	38.74	139.43	-	200	80	115	50	35	4.00	100	3000	4.87	5.0E+20	7.7
	相田(1984)	40.21	138.84	2.0	22	40	90	40	30	7.60	100	3000	4.87	5.0E+20	7.7
	相田(1984)	40.54	139.02	3.0	355	25	80	60	30	3.05	100	3000	4.87	5.0E+20	7.7
	多田(1984)	40.20	138.80	0.0	13	20	90	60	40	3.50	120	4200	3.50	5.0E+20	7.7
	多田(1984)	40.73	139.96	0.0	335	20	90	60	30	3.50	100	3000	4.87	5.0E+20	7.7
	田中ほか(1984)	40.37	138.87	0.0	15	20	120	30	35	6.00	90	3450	4.61	5.5E+20	7.8
	田中ほか(1984)	40.61	139.06	0.0	350	20	90	60	40	4.00	100	3000	4.87	5.0E+20	7.7
1983年日本海中部地震	Satake(1985)	40.21	138.80	1.0	20	30	90	60	40	5.00	120	4800	4.50	7.4E+20	7.8
	Satake(1985)	40.67	139.18	1.0	340	30	90	60	40	4.00	100	3000	4.87	5.0E+20	7.7
	kanamori & Astiz(1985)	40.10	138.70	-	21	30	115	150	40	2.00	150	6000	2.00	4.1E+20	7.7
	kanamori & Astiz(1985)	40.27	138.86	0.0	15	20	90	35	35	6.80	105	3675	6.07	7.6E+20	7.9
	Sato(1985)	40.58	138.97	0.0	15	20	90	35	35	4.60	105	3675	6.07	7.6E+20	7.9
	Sato(1985)	40.84	139.06	0.0	345	20	90	35	35	6.80	105	3675	6.07	7.6E+20	7.9
	小菅ほか(1986)	40.79	139.09	0.0	345	25	90	40	40	4.00	100	4000	4.60	6.3E+20	7.8
	小菅ほか(1986)	40.65	139.03	0.0	20	25	90	30	40	5.00	100	4000	4.60	6.3E+20	7.8
	小菅ほか(1986)	40.39	138.91	0.0	20	25	90	30	40	5.00	100	4000	4.60	6.3E+20	7.8
1993年北海道南西沖地震	高橋ほか(1995)	43.14	139.40	10.0	188	35	80	90	25	5.71	147	3358	6.24	7.2E+20	7.8
	高橋ほか(1995)	42.35	139.24	5.0	175	60	105	26	25	4.00	147	3358	6.24	7.2E+20	7.8
	高橋ほか(1995)	42.14	139.21	5.0	150	60	105	31	15	12.00	147	3358	6.24	7.2E+20	7.8
	谷岡ほか(1995)	42.943	139.089	0.0	340	30	90	27	40	2.26	139	4440	3.12	4.9E+20	7.7
	谷岡ほか(1995)	42.882	139.470	0.0	200	30	90	25	30	0.52	139	4440	3.12	4.9E+20	7.7
	谷岡ほか(1995)	42.669	139.363	0.0	200	30	90	25	30	6.07	139	4440	3.12	4.9E+20	7.7
	谷岡ほか(1995)	42.480	139.173	0.0	160	60	90	27	30	3.10	139	4440	3.12	4.9E+20	7.7
	谷岡ほか(1995)	42.254	139.291	0.0	160	60	90	35	30	3.79	139	4440	3.12	4.9E+20	7.7

※剛性率は $\mu = 3.4 \times 10^{10}$ として計算した



既往地震の津波断層モデルの平均すべり量(国交省ほか(2014))

破壊開始点の設定の確認 〔本編資料4.2節の補足説明資料〕

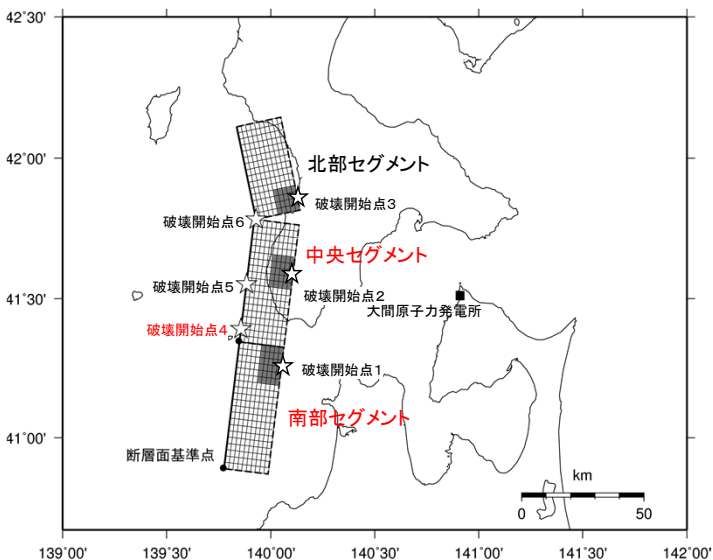
- 奥尻海盆北東縁断層～奥尻海盆東縁断層～西津軽海盆東縁断層の連動を考慮した地震について、敷地に及ぼす影響が大きくなるように工学的な観点から設定した破壊開始点4, 5, 6の地震動評価結果を確認する。
 - 2つのアスペリティから敷地に地震波が同時到達することを確認する。
 - 破壊開始点4, 5, 6の地震動評価結果を、強震動予測レシピに基づく破壊開始点1, 2, 3の場合と比較し、その影響を確認する。

6. 破壊開始点の設定の確認(2/5)

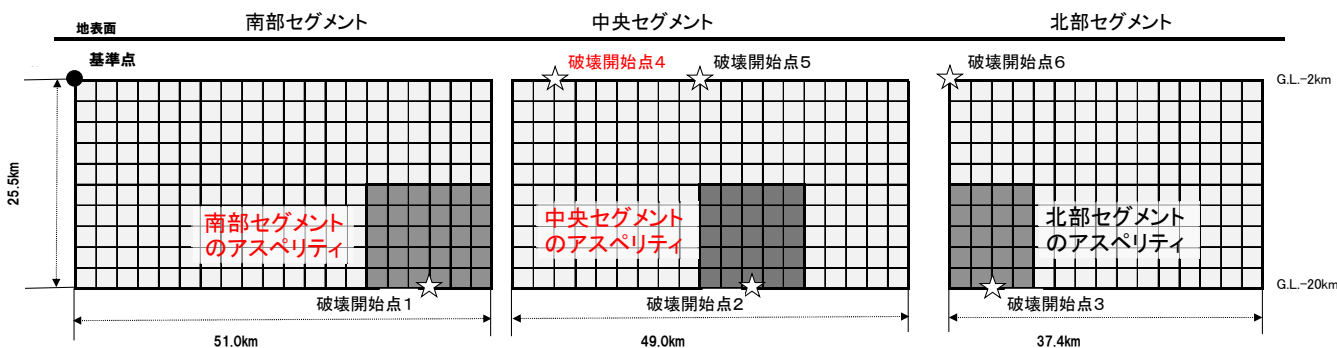


2つのアスペリティから敷地に同時到達する破壊開始点の確認(破壊開始点4)

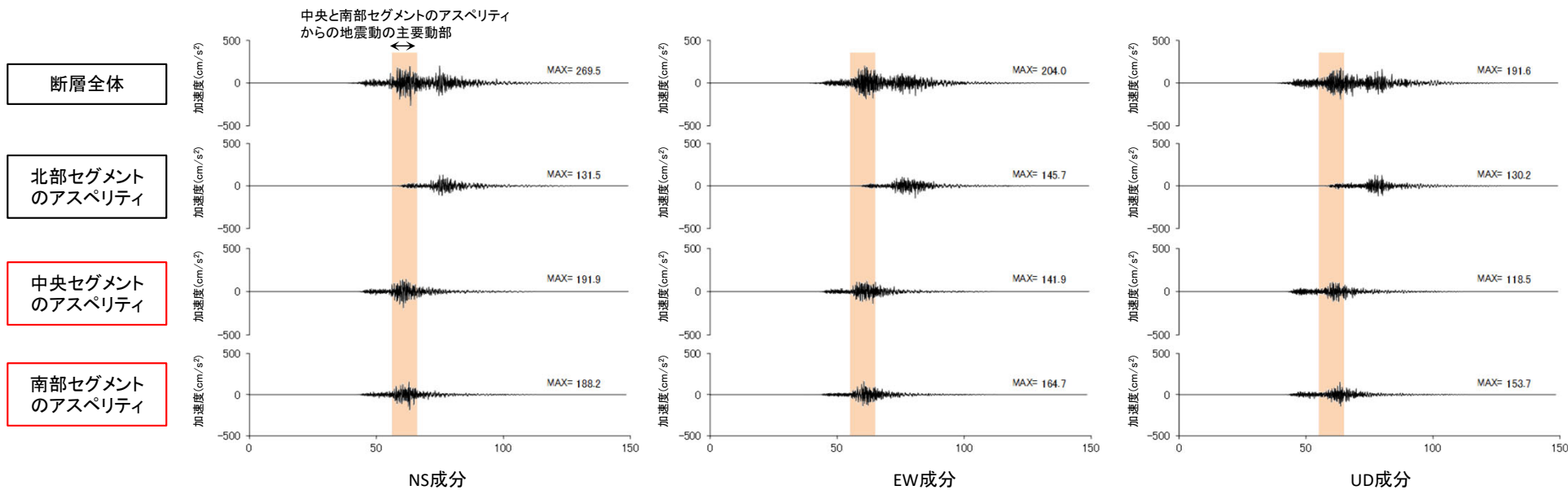
• 基本ケースの破壊開始点4について、加速度時刻歴波形に示すとおり、中央セグメントと南部セグメントのアスペリティからの地震動の主要動部が、ほぼ同時に敷地に到達することを確認した。



断層モデルの地表面投影図



展開図



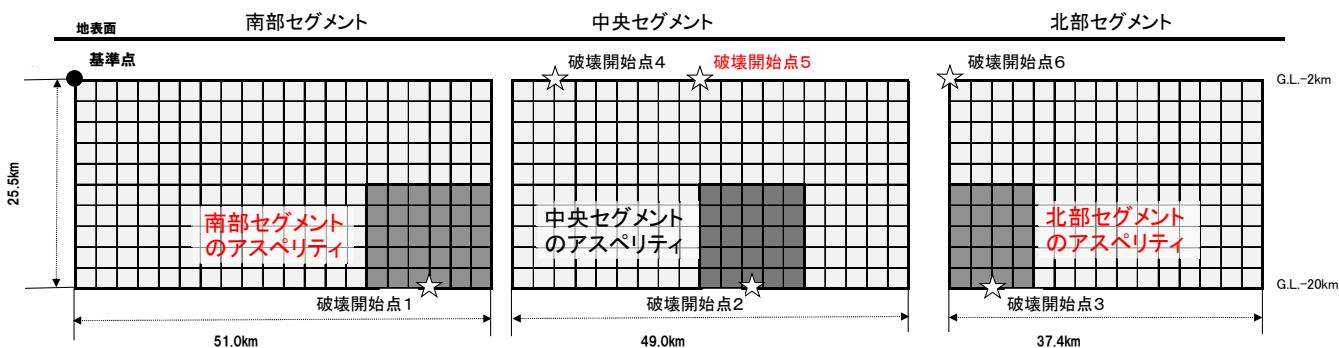
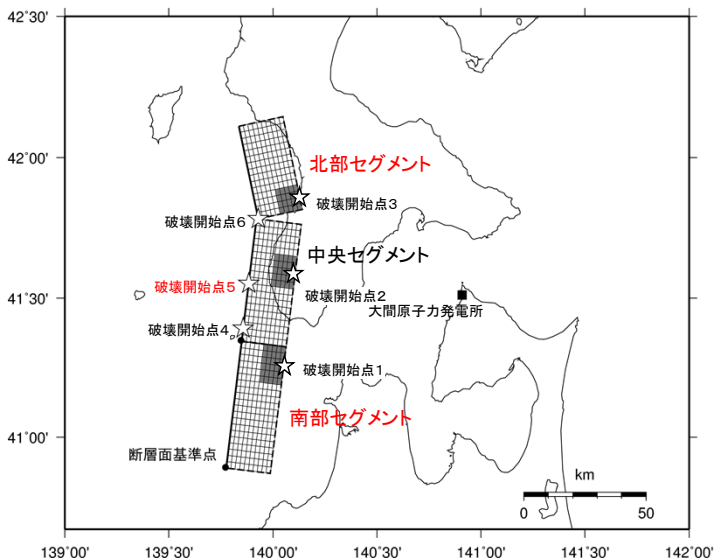
基本ケースの地震動評価結果の加速度時刻歴波形(破壊開始点4)

6. 破壊開始点の設定の確認(3/5)



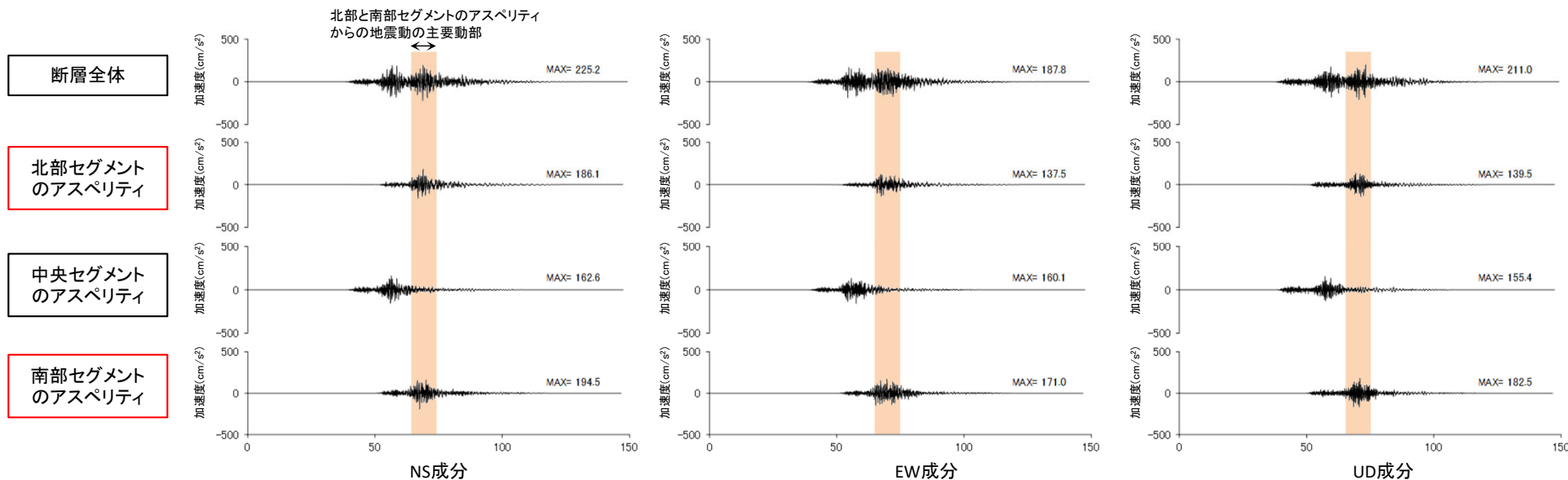
2つのアスペリティから敷地に同時到達する破壊開始点の確認(破壊開始点5)

- 基本ケースの破壊開始点5について、加速度時刻歴波形に示すとおり、北部セグメントと南部セグメントのアスペリティからの地震動の主要動部が、ほぼ同時に敷地に到達することを確認した。



断層モデルの地表面投影図

展開図

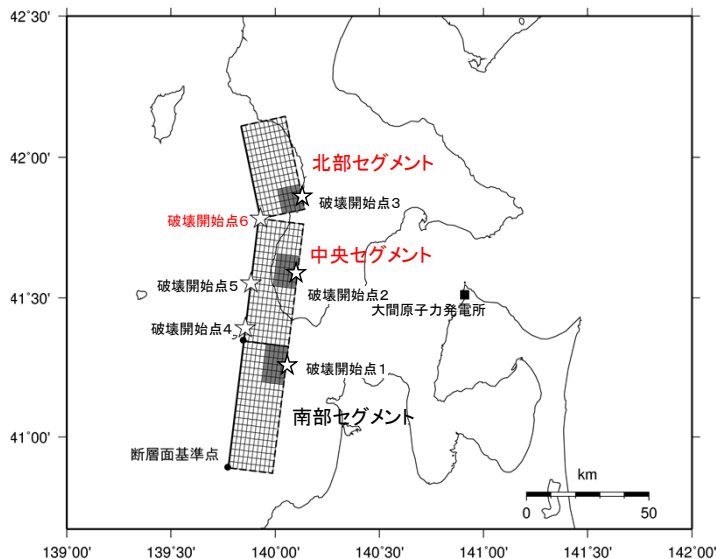


基本ケースの地震動評価結果の加速度時刻歴波形(破壊開始点5)

6. 破壊開始点の設定の確認(4/5)

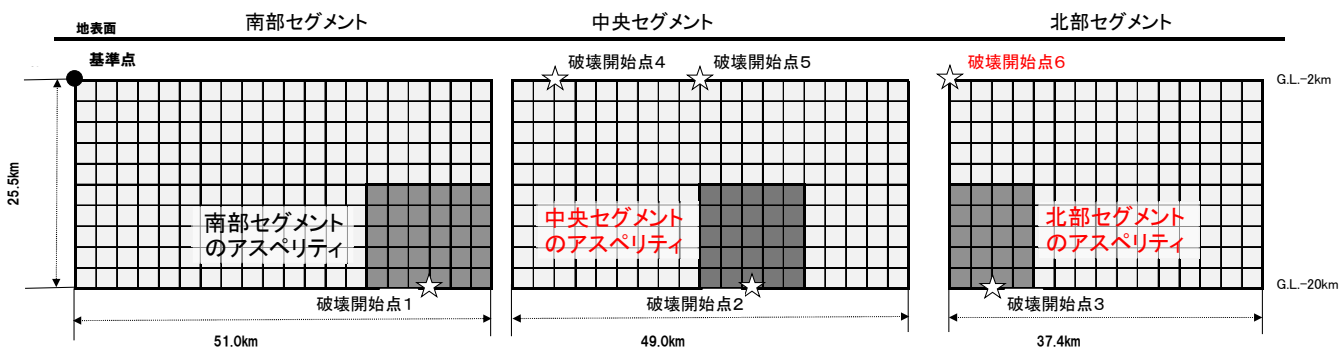


2つのアスペリティから敷地に同時到達する破壊開始点の確認(破壊開始点6)

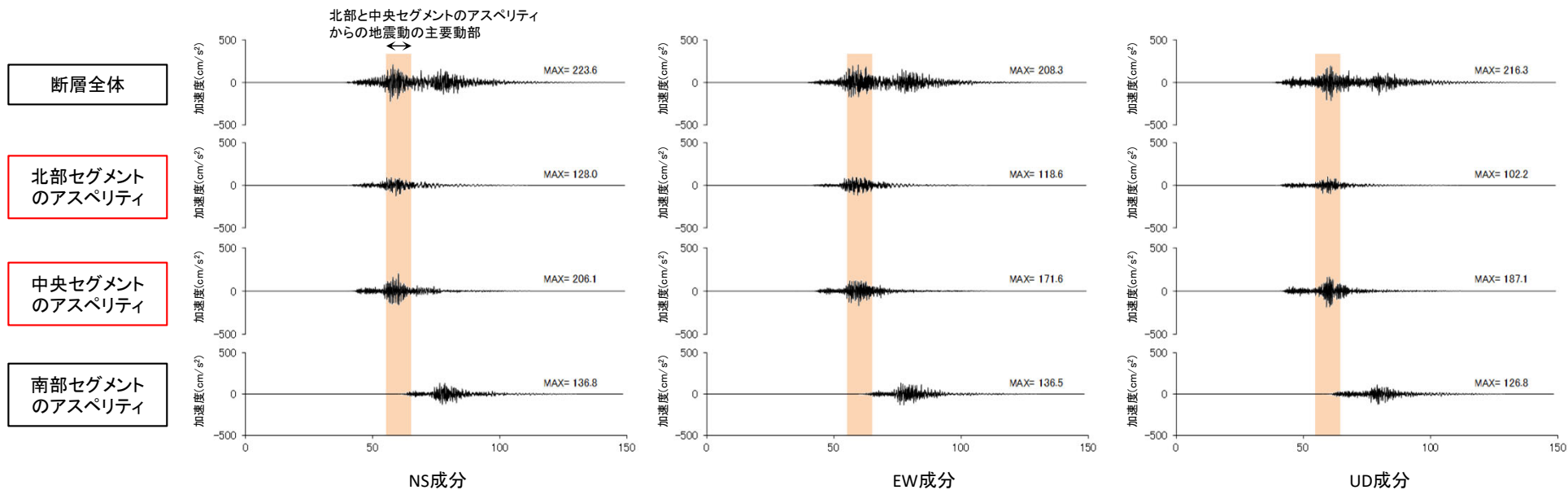


断層モデルの地表面投影図

基本ケースの破壊開始点6について、加速度時刻歴波形に示すとおり、北部セグメントと中央セグメントのアスペリティからの地震動の主要動部が、ほぼ同時に敷地に到達することを確認した。



展開図



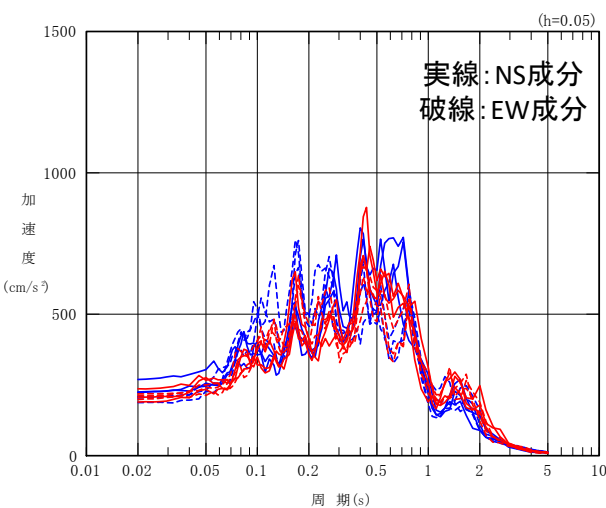
基本ケースの地震動評価結果の加速度時刻歴波形(破壊開始点6)



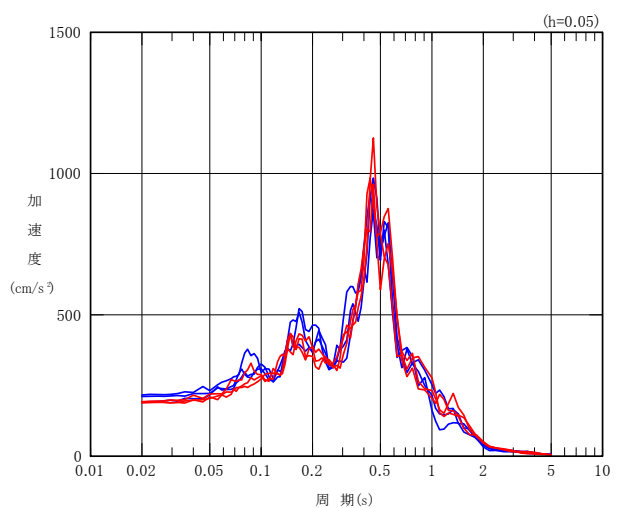
破壊開始点の違いによる地震動評価への影響

- 破壊開始点の違いによる地震動評価への影響について以下に示す。
- 基本ケースの地震動評価について、水平動、鉛直動ともに破壊開始点4, 5, 6の周期約0.4秒より短周期側の応答スペクトルは、破壊開始点1, 2, 3に比して、やや大きい。
- 各破壊開始点の最大加速度を整理すると、水平動の最大加速度の最も大きくなる破壊開始点は破壊開始点4であり、鉛直動では破壊開始点6である。

— 破壊開始点1, 2, 3
 — 破壊開始点4, 5, 6



水平成分



鉛直成分

基本ケースの各破壊開始点の最大加速度の整理 (cm/s²)

	NS成分	EW成分	水平成分	鉛直成分
破壊開始点1	189.5	198.6	198.6	189.2
破壊開始点2	205.0	211.3	211.3	192.5
破壊開始点3	236.1	218.0	236.1	189.5
破壊開始点1~3の 最大値	236.1	218.0	236.1	192.5
破壊開始点4	269.5	204.0	269.5	191.6
破壊開始点5	225.2	187.8	225.2	211.0
破壊開始点6	223.6	208.3	223.6	216.3
破壊開始点4~6の 最大値	269.5	208.3	269.5	216.3

基本ケースの地震動評価結果

7. 統計的グリーン関数法による地震動評価との比較(1/5)



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。



7. 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

- 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)	Vs (m/s)	Qs	Vp (m/s)	Qp
▼ 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
	4	-2210	440	2.7	2700		5200	
▼ 地震基盤	5	-	-	2.7	3200	550	5400	210

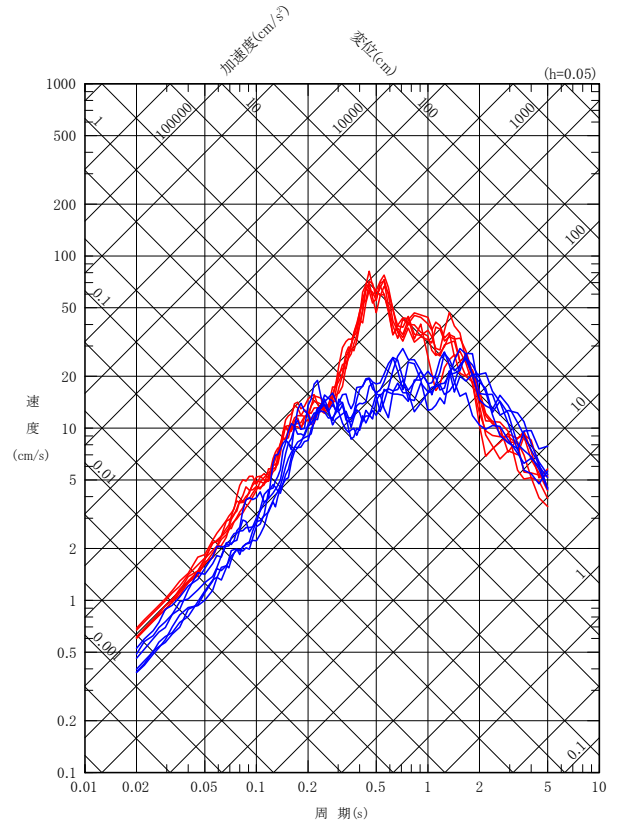
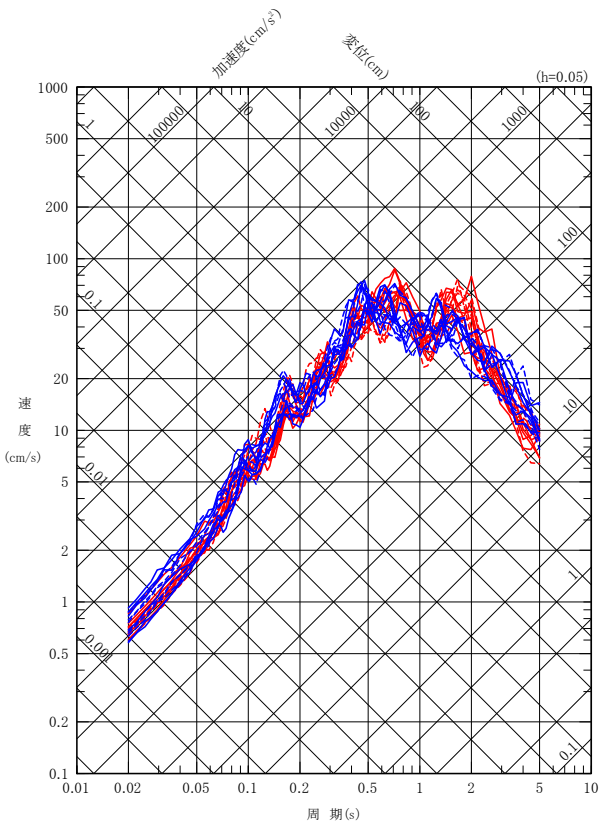
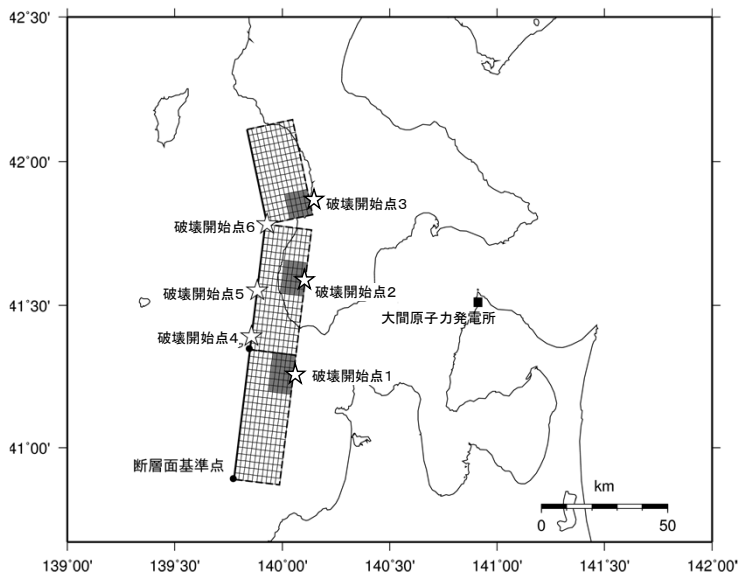
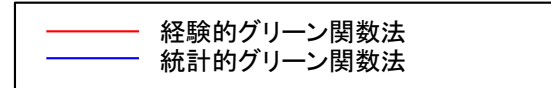
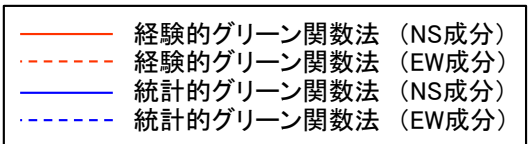
※：鉛直アレイ地震観測地点において解放基盤表面の地震動を適切に評価できる位置として、T.P.-230m位置を基盤の地震動を評価する位置に設定している。



7. 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

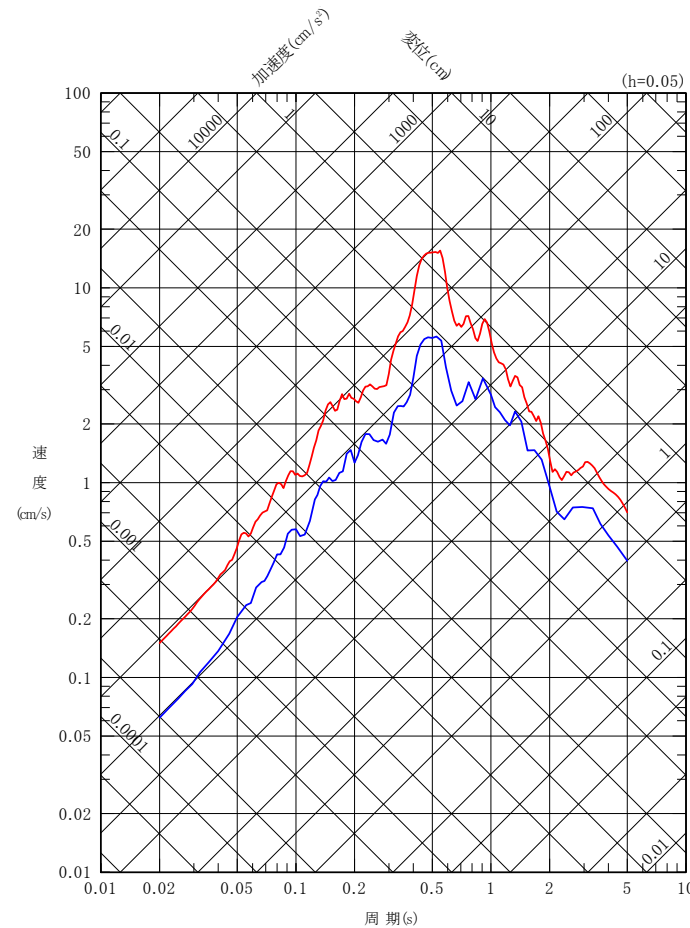
- ・ 奥尻海盆北東縁断層～奥尻海盆東縁断層～西津軽海盆東縁断層の連動を考慮した地震の基本ケースについて、経験的グリーン関数法及び統計的グリーン関数法による地震動評価結果を比較した。
- ・ 経験的グリーン関数法による結果は、統計的グリーン関数法による結果と比べて水平成分ではおおむね同程度、鉛直成分では0.5秒付近を除きおおむね同程度以上となっている。
- ・ なお、鉛直成分の周期0.5秒付近の相違は、後述のP.24,25に示すとおり、要素地震には周期0.5秒付近にピークが現れていることに加え、経験的グリーン関数法による鉛直動の周期0.5秒付近の値が要素地震の観測記録のはざとり解析によって増幅したために生じたと考えられる。



7. 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)



7. 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

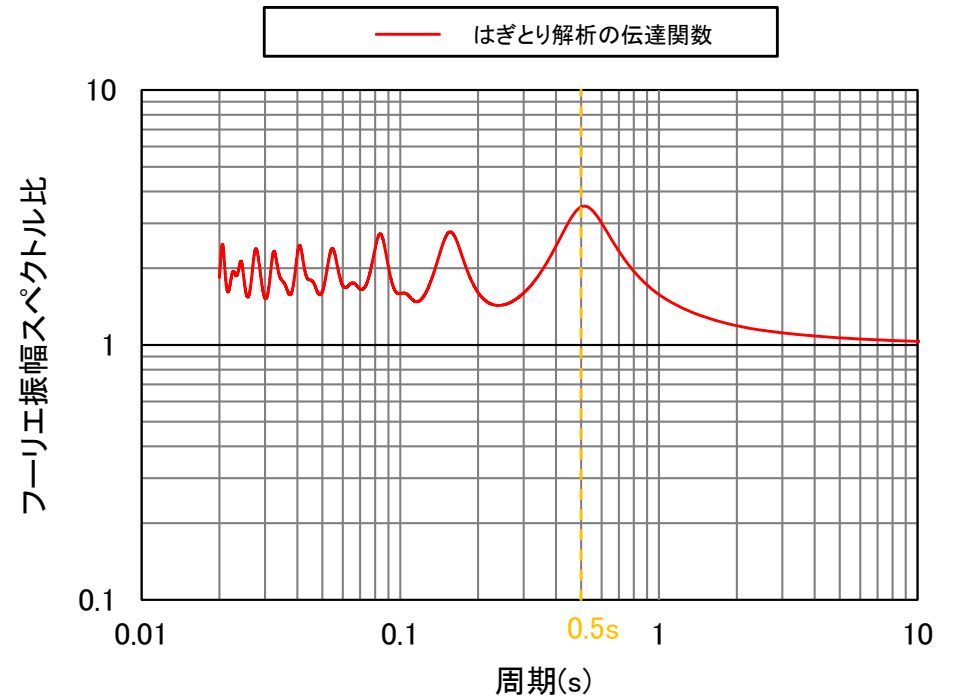
- はぎとり解析では、浅部地下構造モデルを用いて、地震観測点であるT.P.-207.5mの観測記録(E+F)に対し、基盤の地震動を評価する位置であるT.P.-230mの2Eを算出している。
- はぎとり解析の伝達関数を確認すると、周期0.5秒付近にピークがみられる。

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.24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	

$Q(f) = Q_0 \cdot f^n$
 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))

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。

8. 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(2/5)



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.28~30※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断層による地震の各検討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。

8. 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(3/5)

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(1/3)

- 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(アスペリティを断層中央均等に配置), 基本ケース(アスペリティを断層西端基準に配置), 断層位置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	$h(\text{km})$	3	地震発生層の検討結果による
		下端深さ	$b(\text{km})$	15	同上
		長さ	$L(\text{km})$	30.7	地震規模を踏まえ設定
		幅	$W(\text{km})$	12.0	$W=(b-h)/\sin\delta$
		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	$V_s(\text{km}/\text{s})$	3.4	地震本部(2009)
		剛性率	$\mu(\text{N}/\text{m}^2)$	$3.12\text{E}+10$	$\mu=\rho V_s^2, \rho=2.7\text{t}/\text{m}^3$
		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	$A(\text{N}\cdot\text{m}/\text{s}^2)$	$1.04\text{E}+19$	$A=2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$ (壇ほか(2001))
		破壊伝播速度	$V_r(\text{km}/\text{s})$	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	$A_a(\text{N}\cdot\text{m}/\text{s}^2)$	$1.04\text{E}+19$	$A_a=4\pi r \Delta\sigma_a V_s^2$
背景領域	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	$\sigma_b(\text{MPa})$	4.3	$\sigma_b=(D_b/W_b)/(D_a/W_a)\Delta\sigma_a, W_b=W, W_a=S_a^{0.5}$
		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



8. 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(4/5)

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(2/3)

・ 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 断層傾斜角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	$\delta(^{\circ})$	75	傾斜角の不確かさを考慮
		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)	15	同上
		長さ	L(km)	30.7	地震規模を踏まえ設定
		幅	W(km)	12.4	$W=(b-h)/\sin \delta$
		断層面積	S(km ²)	381	$S=L \times W$
		地震モーメント	M ₀ (N・m)	8.1E+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(2009)
		剛性率	μ (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)	2.64	$\Delta \sigma=(7/16)M_0/(S/\pi)^{1.5}$
		短周期レベル	A(N・m/s ²)	1.06E+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)	60	$S_a=\pi r^2, r=(7\pi M_0 V_s^2)/(4AR), R=(S/\pi)^{0.5}$
		地震モーメント	M _{0a} (N・m)	2.6E+18	$M_{0a}=\mu S_a D_a$
		平均すべり量	D _a (m)	1.4	$D_a=2 \times D$
		応力降下量	$\Delta \sigma_a$ (MPa)	16.7	$\Delta \sigma_a=(S/S_a) \times \Delta \sigma$
	短周期レベル	A _a (N・m/s ²)	1.06E+19	$A_a=4\pi r \Delta \sigma_a V_s^2$	
	背景領域	面積	S _b (km ²)	320	$S_b=S-S_a$
		地震モーメント	M _{0b} (N・m)	5.5E+18	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$
平均すべり量		D _b (m)	0.6	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$	
		実効応力	σ_b (MPa)	4.2	$\sigma_b=(D_b/W_b)/(D_a/W_a) \Delta \sigma_a, W_b=W, W_a=S_a^{0.5}$
		Q値	—	100f ^{1.0}	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

8. 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(5/5)

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(3/3)

- 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)	15	同上
		長さ	L(km)	30.7	地震規模を踏まえ設定
		幅	W(km)	12.0	$W=(b-h)/\sin \delta$
		断層面積	S(km ²)	368	$S=L \times W$
		地震モーメント	M ₀ (N・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(2009)
		剛性率	μ (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・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・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・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・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	σ_b (MPa)	6.5	$\sigma_b = (D_b/W_b)/(D_a/W_a) \Delta \sigma_a, W_b=W, W_a=S_a^{0.5}$
		Q値	—	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

参考文献

- Geller, R. J.(1976) : Scaling relations for earthquake source parameters and magnitudes, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.66, No.5
- Kanamori, H.(1977) :The Energy Release in Great Earthquakes, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL.82, No.20
- 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
- 入江紀嘉・壇一男・鳥田晴彦・加瀬祐子(2013):長大断層を対象とした逆断層型内陸地震の動的応力降下量の算定式の検討, 日本地震工学会第10回年次大会梗概集, 2013年11月
- 入倉孝次郎・三宅弘恵(2001):シナリオ地震の強震動予測, 地学雑誌, 110
- 香川敬生・鶴来雅人・佐藤信光(2003):硬質サイトの強震観測記録に見られる高周波低減特性の検討, 第27回地震工学研究発表会, 2003, No.315
- 国土交通省・内閣府・文部科学省(2014):日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書, 日本海における大規模地震に関する調査検討会
- 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(2009):全国地震動予測地図, 平成21年7月
- 司宏俊・翠川三郎(1999):断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式, 日本建築学会構造系論文集, 第523号
- 壇一男・渡辺基史・佐藤俊明・石井透(2001):断層の非一様すべり破壊モデルから算定される短周期レベルと半経験的波形合成法による強震動予測のための震源断層のモデル化, 日本建築学会構造系論文集, 第545号
- 壇一男・入江紀嘉・具典淑・島津奈緒未・鳥田晴彦(2015):長大な逆断層による内陸地震の断層モデルのパラメータの設定方法の提案, 日本建築学会構造系論文集, 第707号