

柏崎刈羽原子力発電所 6号炉及び7号炉

基準地震動の策定について

平成29年2月27日

東京電力ホールディングス株式会社

目次

1. 概要	P. 2
2. 敷地周辺の地震発生状況	P. 6
3. 活断層の分布状況	P. 12
4. 地震の分類	P. 15
5. 敷地における地震波の増幅特性	P. 21
6. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動	P. 57
7. 震源を特定せず策定する地震動	P.136
8. 基準地震動の策定	P.144
9. 基準地震動の超過確率参照	P.156

※安田層下部層のMIS10～MIS7とMIS6の境界付近の堆積物については、本資料では『古安田層』と仮称する。

※七谷層の下位に広く分布している、玄武岩質～安山岩質～流紋岩質の火山岩及び火山砕屑岩を主体とする地層については、天然ガス鉱業会ほか編(1992)による『グリーンタフ』の名称を使用する。

※平成28年4月以前に実施した地質調査に関する図においては、一部、旧社名（「東京電力（株）」）で表記。

1. 概要

2. 敷地周辺の地震発生状況

3. 活断層の分布状況

4. 地震の分類

5. 敷地における地震波の増幅特性

6. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

7. 震源を特定せず策定する地震動

8. 基準地震動の策定

9. 基準地震動の超過確率参照

概要

これまでの審査会合での検討・議論を踏まえ、2013年9月の当初申請時の基準地震動Ss-1～7からの変更点は以下の通り。

- ① F-B断層による地震の断層モデルを用いた評価
→ 荒浜側の基準地震動Ss-2のNS方向及びUD方向について見直し。
- ② 震源を特定せず策定する地震動の評価
→ 大湊側については、基準地震動Ss-8として新たに追加。

基準地震動の最大加速度値 (cm/s²)

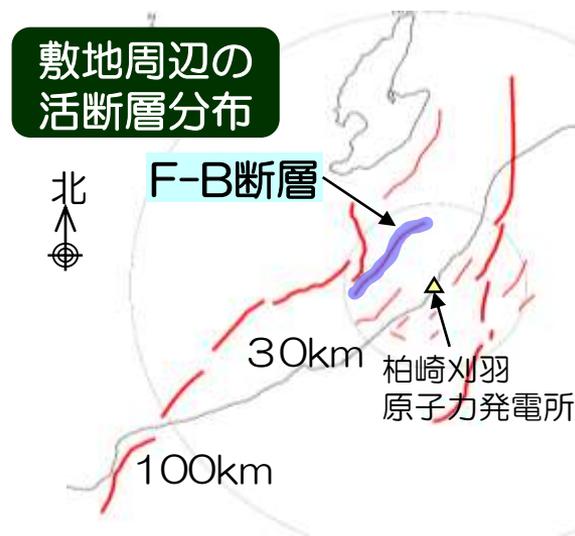
 … 変更・追加箇所

基準地震動	検討用地震		評価手法	荒浜側 (1～4号機側)			大湊側 (5～7号機側)		
				NS方向	EW方向	UD方向	NS方向	EW方向	UD方向
Ss-1	F-B断層による地震		応答スペクトル	2300		1050	1050		650
Ss-2			断層モデル	847 →1240	1703 (変更なし)	510 →711	848	1209	466
Ss-3	震源を特定して策定する地震動	長岡平野西縁断層帯による地震	応答スペクトル	600		400	600		400
Ss-4			断層モデル	589	574	314	428	826	332
Ss-5			断層モデル	553	554	266	426	664	346
Ss-6			断層モデル	510	583	313	434	864	361
Ss-7			断層モデル	570	557	319	389	780	349
Ss-8	震源を特定せず策定する地震動 (2004年北海道留萌支庁南部地震)		—	—	—	—	650	330	

※Ss-4～Ss-7において、荒浜側と大湊側で、要素地震の影響により最大加速度値の違いはあるものの、全体的な地震動レベルは整合的であり、荒浜側が過小評価となっていないことを確認

① F-B断層による地震の断層モデルを用いた評価

- F-B断層を対象とした荒浜側の評価の過程で用いる補正係数に関して、説明性を向上させるための検討を実施。
- 検討の結果を反映し、NS方向とUD方向の補正係数を見直したことにより、荒浜側のSs-2のNS方向・UD方向を変更。



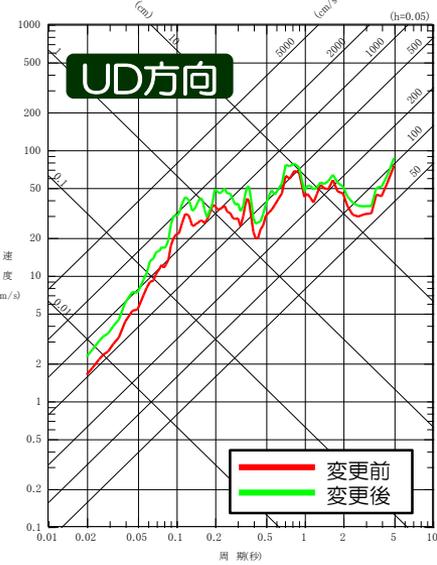
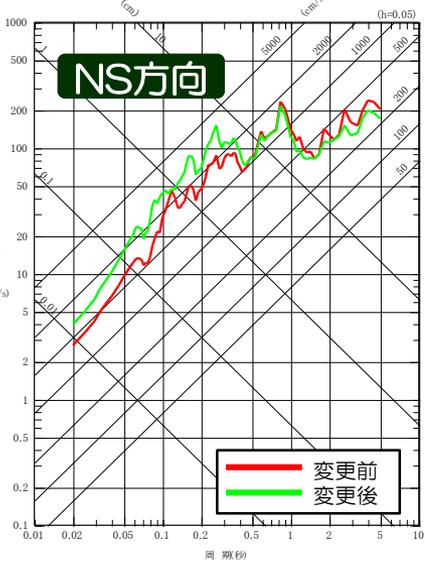
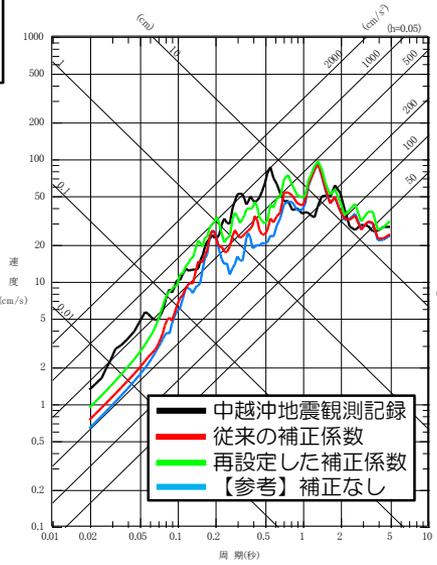
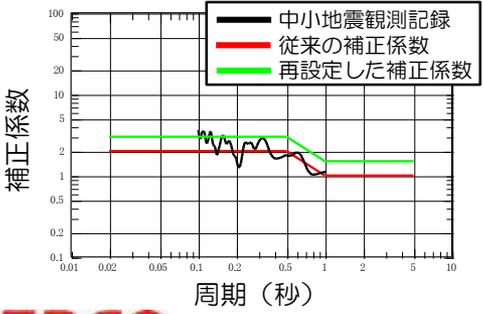
説明性を向上させるための検討内容 (UD方向の例)

- 中小地震の観測記録から算定される荒浜側と大湊側の伝播特性の比と整合するよう補正係数を再設定し、中越沖地震のシミュレーション解析により観測記録の再現性が向上することを確認。

中越沖地震のシミュレーション解析結果 (原子炉建屋基礎版上)

基準地震動 Ss-2の再評価

中小地震の観測記録による伝播特性の比と補正係数



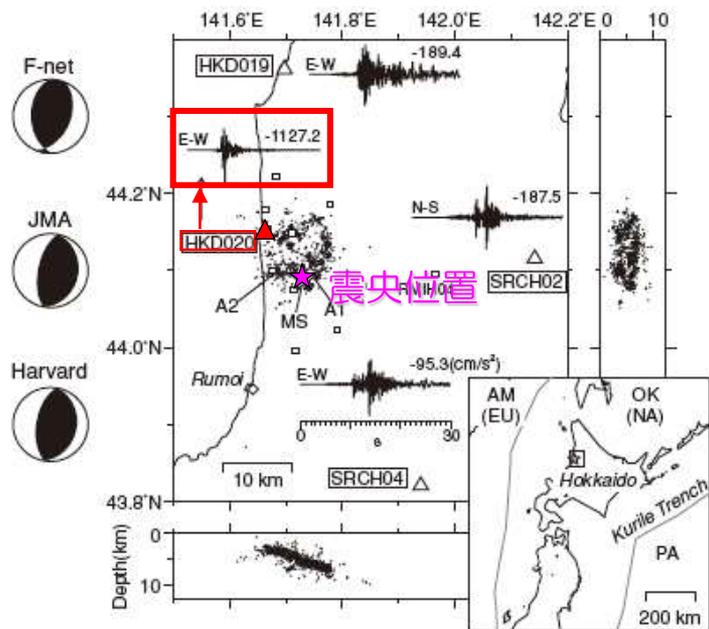
② 震源を特定せず策定する地震動の評価

- 活断層との関連づけが難しい地震の内、2004年北海道留萌支庁南部地震のHKD020港町観測点の記録について、先行プラントの審査状況及び敷地の地盤物性を踏まえた検討を実施した結果、大湊側において従来の基準地震動Ss-1~7を一部の周期帯で上回ったため、基準地震動Ss-8を新たに設定。

2004年北海道留萌支庁南部地震

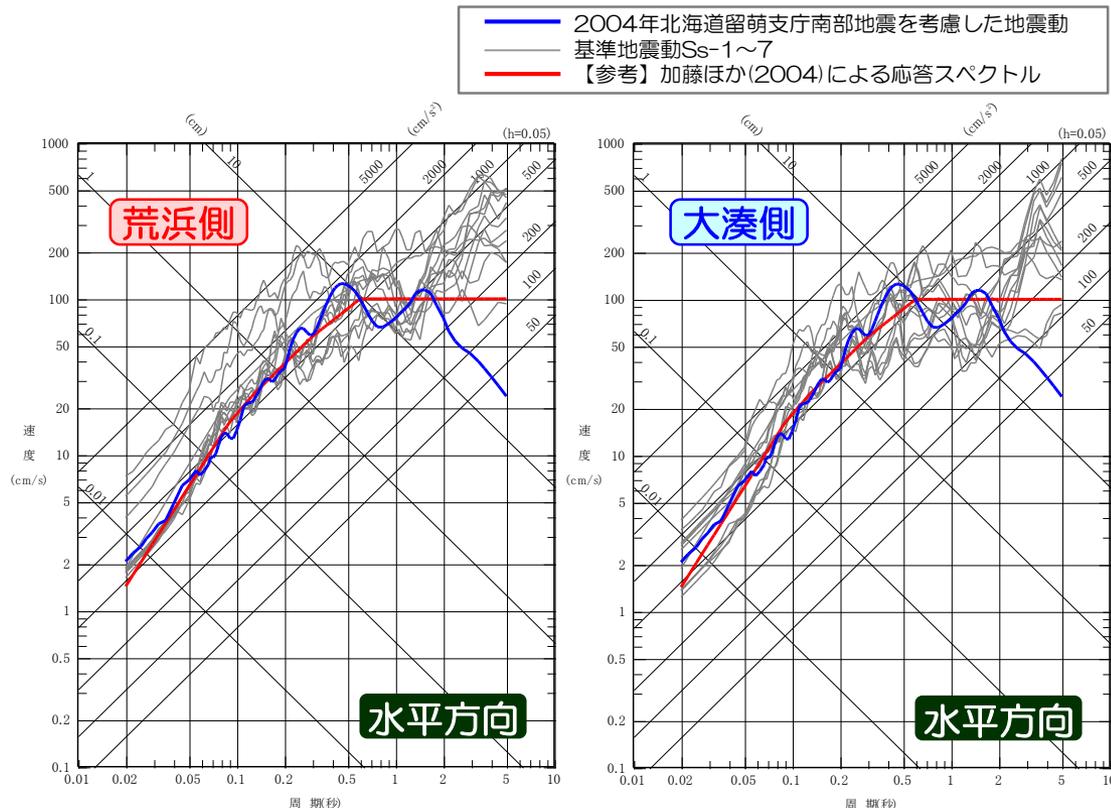
【地震諸元（気象庁）】

- 発生日時：2004/12/14 14:56
- 規模：マグニチュード 6.1
- 震源深さ：9km



Maeda and Sasatani(2009)より
抜粋（一部加筆・修正）

- 荒浜側は、全ての周期帯において基準地震動Ss-1~7に包絡される。
- 大湊側は、水平方向の周期0.5秒付近において基準地震動Ss-1~7をわずかに上回る。



1. 概要
2. 敷地周辺の地震発生状況
3. 活断層の分布状況
4. 地震の分類
5. 敷地における地震波の増幅特性
6. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
7. 震源を特定せず策定する地震動
8. 基準地震動の策定
9. 基準地震動の超過確率参照

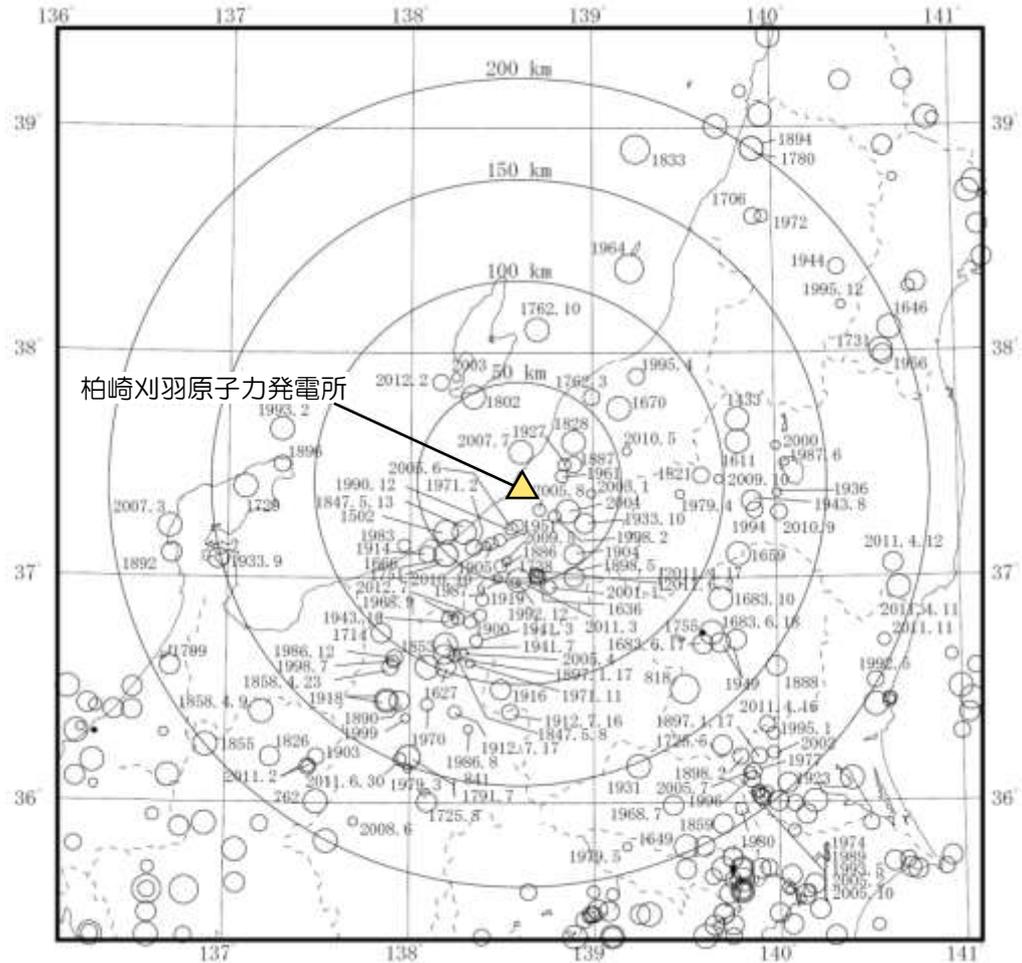
2. 敷地周辺の地震発生状況

2.1 被害地震

2.2 敷地周辺の地震活動

2.1 被害地震

- 過去に敷地周辺に影響を与えたと考えられる被害地震を敷地からの震央距離200km程度以内の地震を対象に調査。
- 調査は、信頼性が高いと考えられる以下の文献を使用。
 - 宇佐美ほか(2013)
 - 気象庁地震カタログ



柏崎刈羽原子力発電所

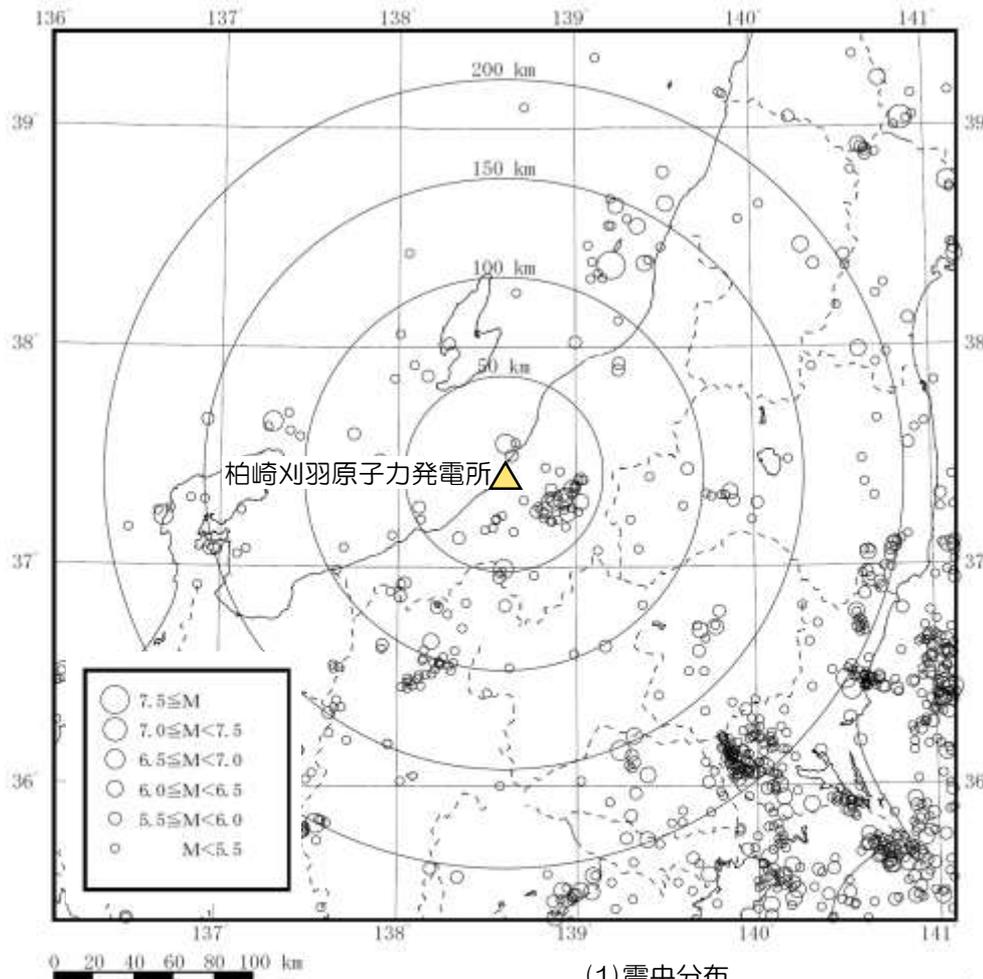
凡例	
○	7.5 ≤ M
○	7.0 ≤ M < 7.5
○	6.5 ≤ M < 7.0
○	6.0 ≤ M < 6.5
○	5.5 ≤ M < 6.0
○	M < 5.5
●	M未定

※地震諸元が幅をもって示されている場合は、その中央値を採用

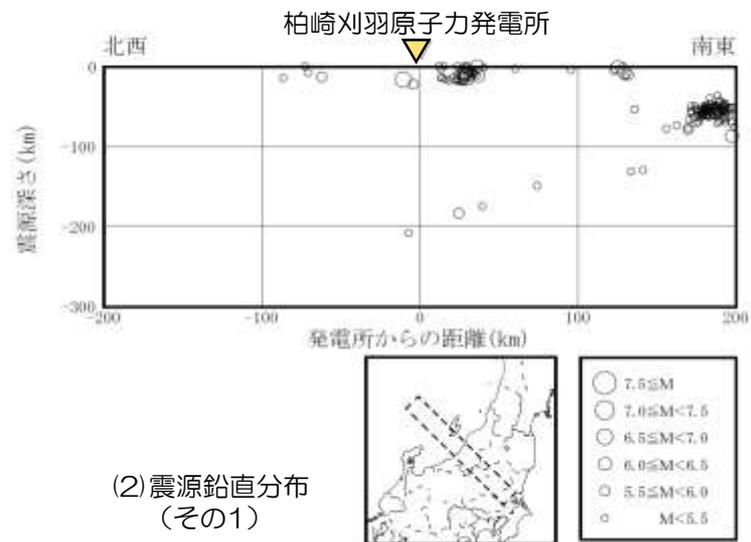
敷地周辺における主な被害地震の震央分布

2.2 敷地周辺の地震活動 M5以上の地震

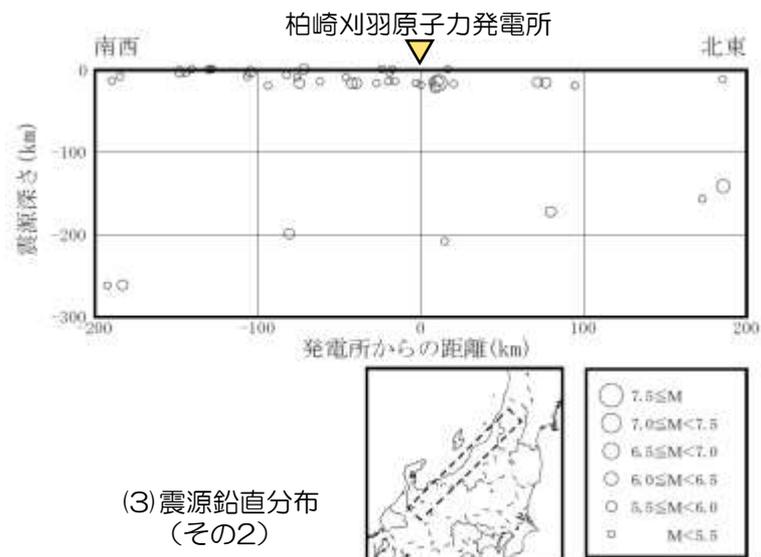
- 気象庁地震カタログに記載されている1923年～2012年までの敷地周辺で発生したM5以上の地震を整理。
- 敷地周辺においてM5以上の地震は、約30km程度以浅の位置で発生。



(1) 震央分布



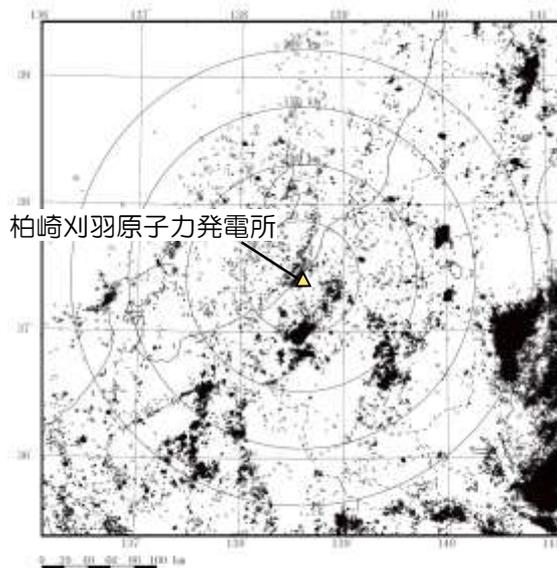
(2) 震源鉛直分布 (その1)



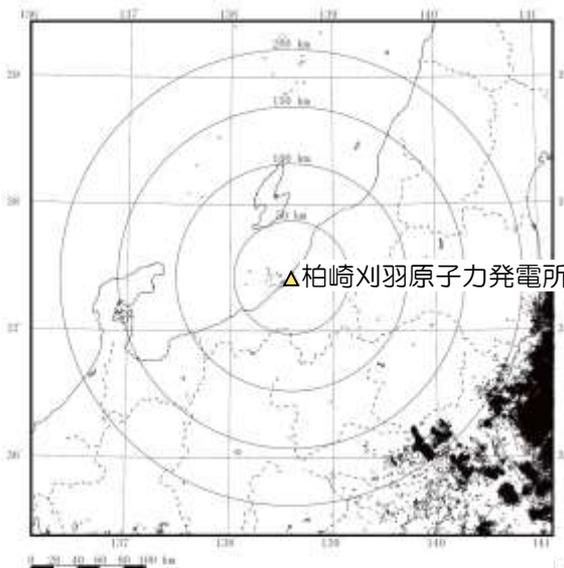
(3) 震源鉛直分布 (その2)

2.2 敷地周辺の地震活動 M5以下の地震（震央分布）

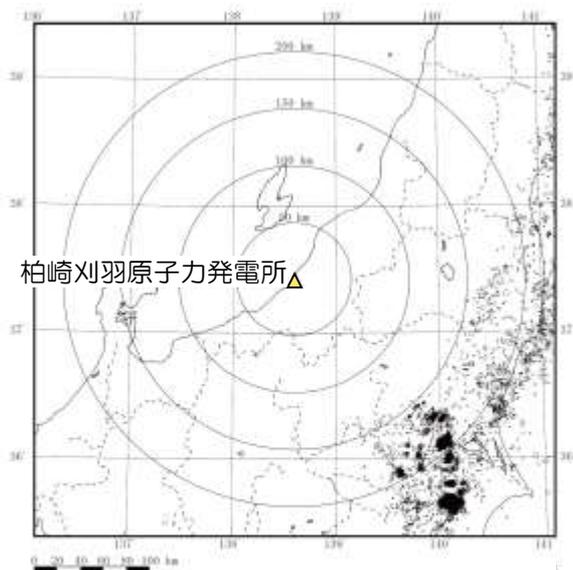
- 気象庁地震カタログに記載されている2010年～2012年までの敷地周辺で発生したM5以下の地震を整理。
- 敷地周辺においては、主に震源深さ0km～30kmで地震が発生している。



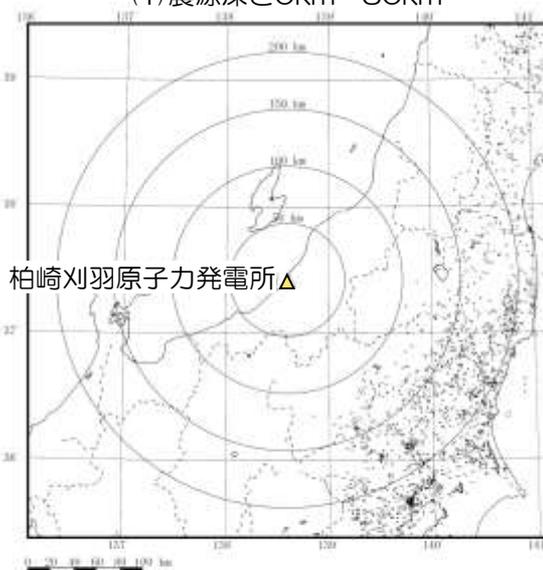
(1) 震源深さ0km～30km



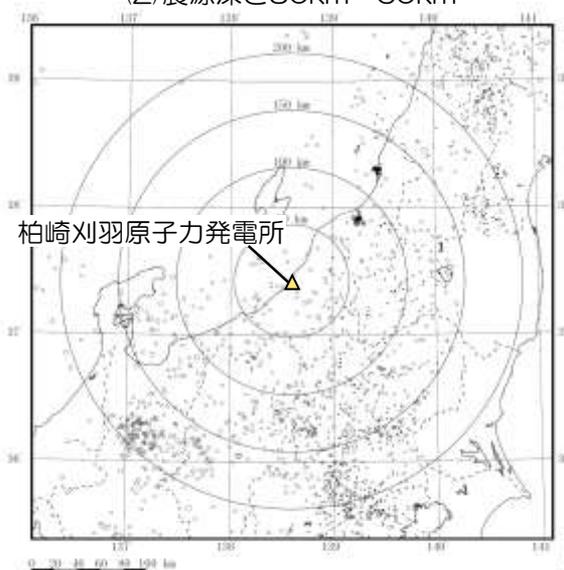
(2) 震源深さ30km～60km



(3) 震源深さ60km～90km



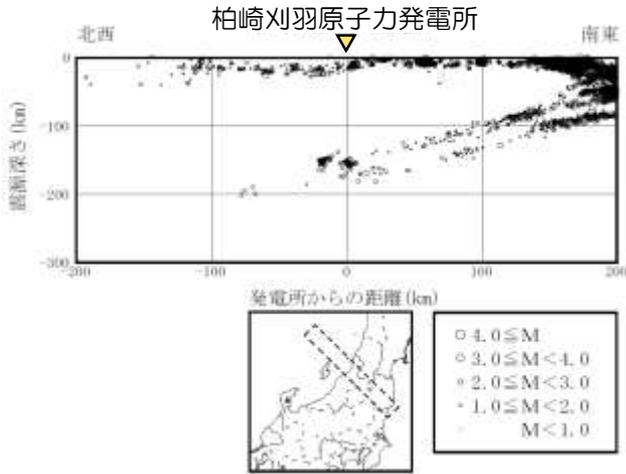
(4) 震源深さ90km～120km



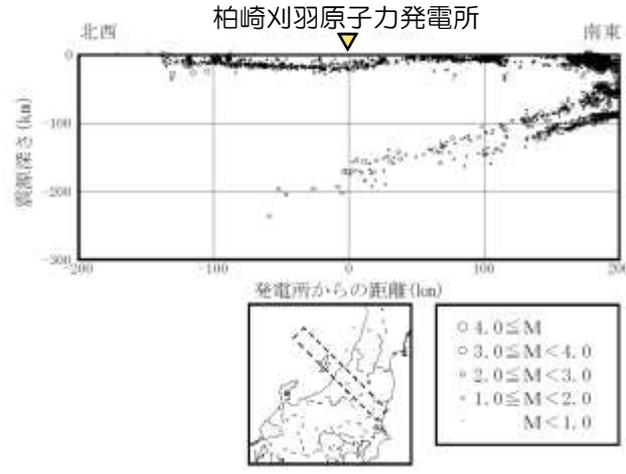
(5) 震源深さ120km以深

2.2 敷地周辺の地震活動 M5以下の地震（震源鉛直分布）

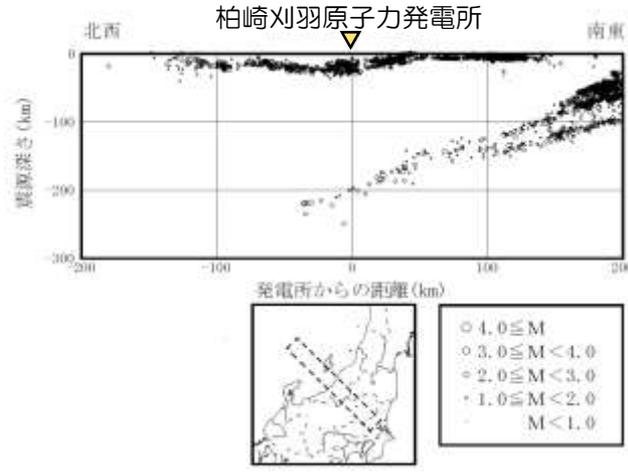
- 気象庁地震カタログに記載されている2010年～2012年までの敷地周辺で発生したM5以下の地震を整理。
- 敷地周辺においては、主に震源深さ0km～30kmで地震が発生している。



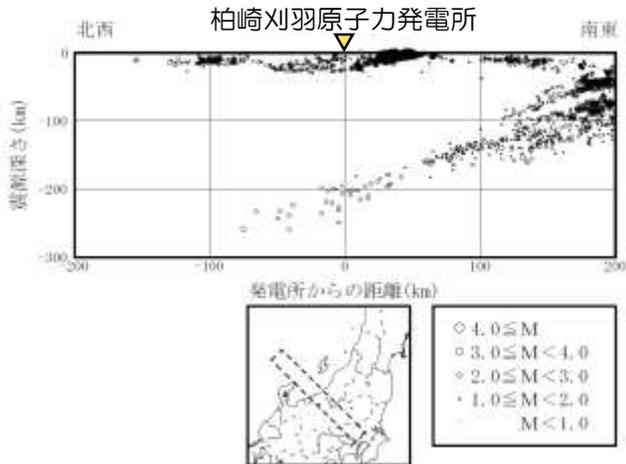
(1) その1



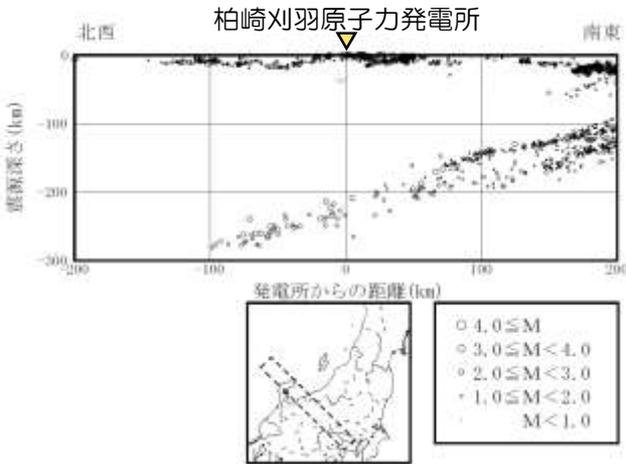
(2) その2



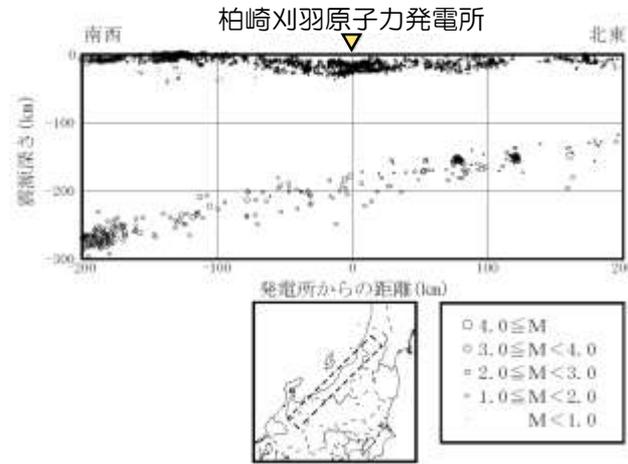
(3) その3



(4) その4



(5) その5



(6) その6

1. 概要
2. 敷地周辺の地震発生状況
3. 活断層の分布状況
4. 地震の分類
5. 敷地における地震波の増幅特性
6. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
7. 震源を特定せず策定する地震動
8. 基準地震動の策定
9. 基準地震動の超過確率参照

敷地周辺の震源として考慮する活断層の分布

■ 地質調査結果及び地震調査研究推進本部（以下、「地震本部」）（2009）の検討状況を踏まえ、敷地周辺の震源として考慮する活断層を表に示す。

表. 敷地周辺の震源として考慮する活断層の諸元

	No.	活断層の名称	断層長さ (km)	備考
海域	1	佐渡島棚東縁断層	37	佐渡島棚東縁撓曲に対応
	2	F-B断層	36	F-B褶曲群に対応 地質調査結果における断層長さの不確かさを考慮
	3	佐渡島南方断層	29	
	4	F-D断層	30	F-D褶曲群に対応
	5	高田冲断層	25	高田冲褶曲群に対応
	6	米山冲断層	21	
陸域	7	長岡平野西縁断層帯	91	地震本部(2009)等を踏まえ、 角田・弥彦～気比ノ宮～片貝断層の同時活動を考慮
	8	十日町断層帯西部	33	

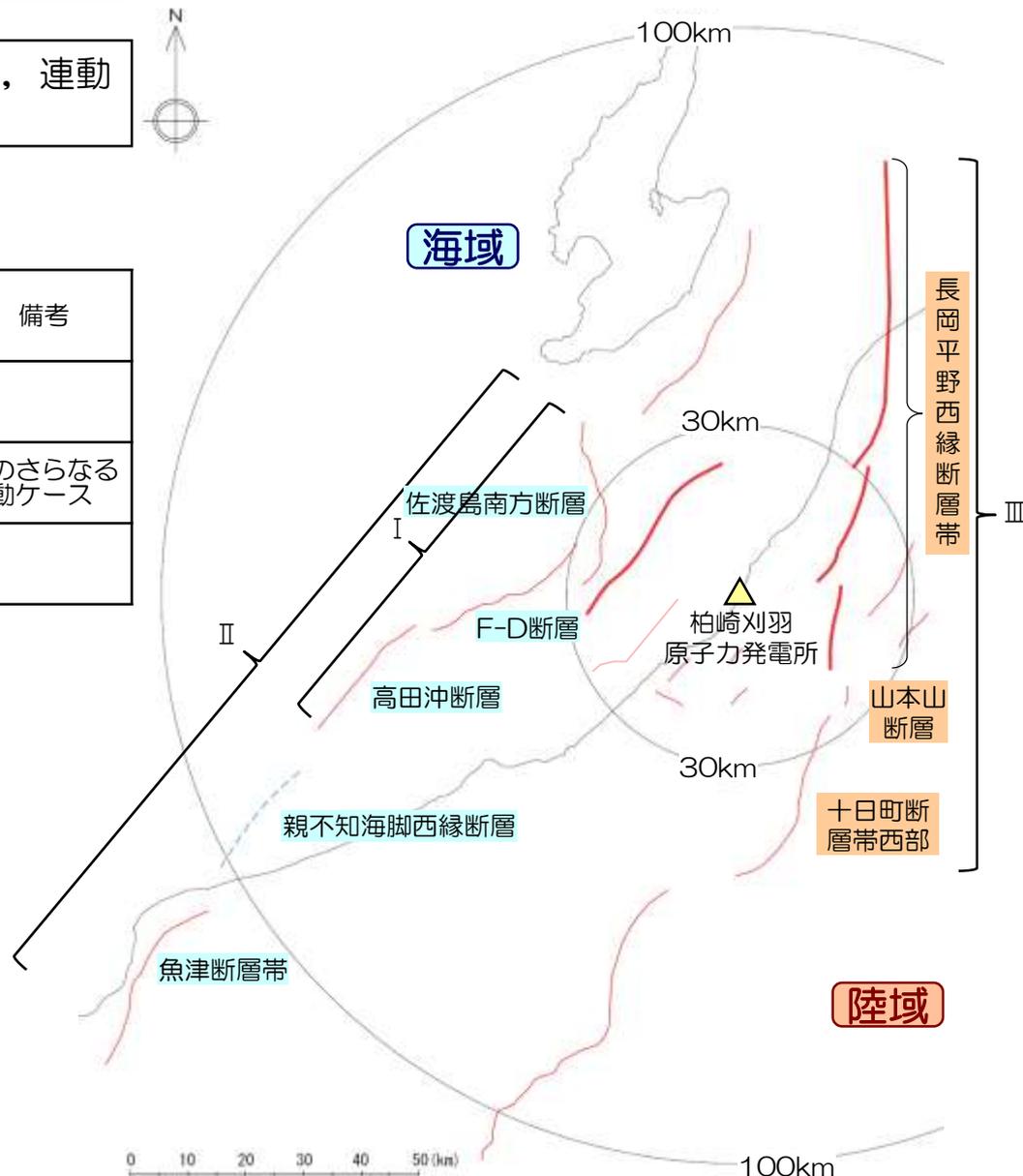


敷地周辺の連動を考慮する活断層の範囲

■ 敷地周辺の震源として考慮する活断層のうち、連動を考慮する範囲を示す。

表. 敷地周辺の連動を考慮する活断層の諸元

	No.	活断層の名称	断層長さ (km)	備考
海域	I	佐渡島南方断層～F-D断層～高田沖断層	84	
	II	佐渡島南方断層～F-D断層～高田沖断層～親不知海脚西縁断層～魚津断層帯	156	Iのさらなる連動ケース
陸域	III	長岡平野西縁断層帯～十日町断層帯西部	132	



1. 概要
2. 敷地周辺の地震発生状況
3. 活断層の分布状況
4. 地震の分類
5. 敷地における地震波の増幅特性
6. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
7. 震源を特定せず策定する地震動
8. 基準地震動の策定
9. 基準地震動の超過確率参照

4. 地震の分類

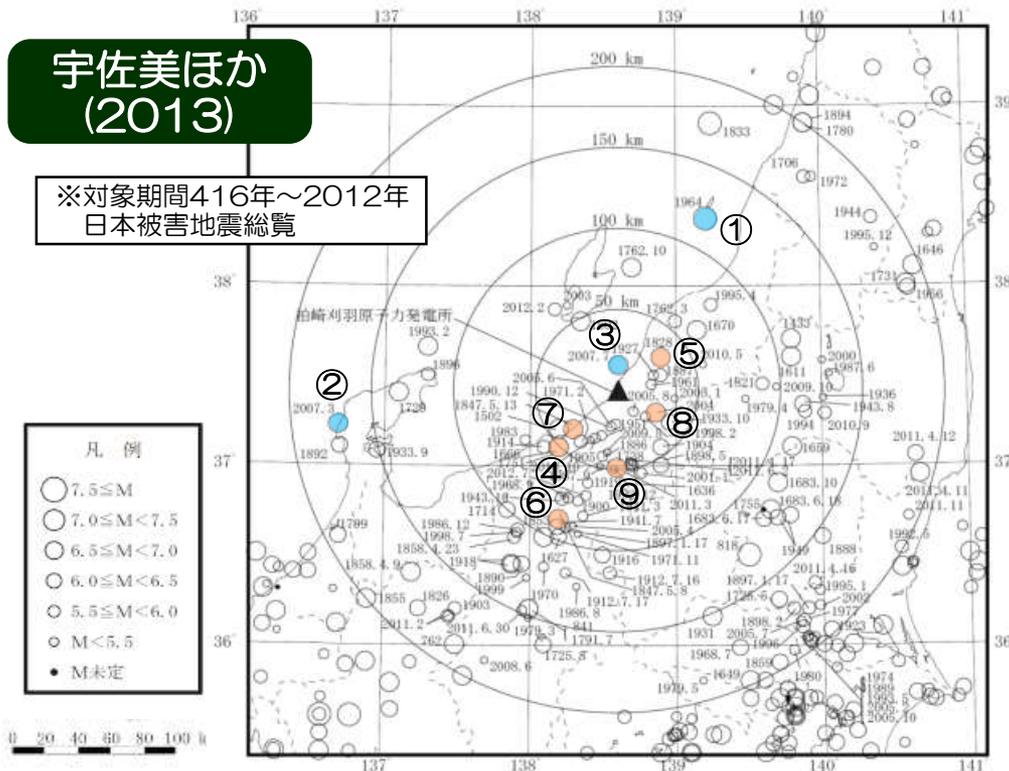
4.1 内陸地殻内地震

4.2 プレート間地震及び海洋プレート内地震

4. 地震の分類

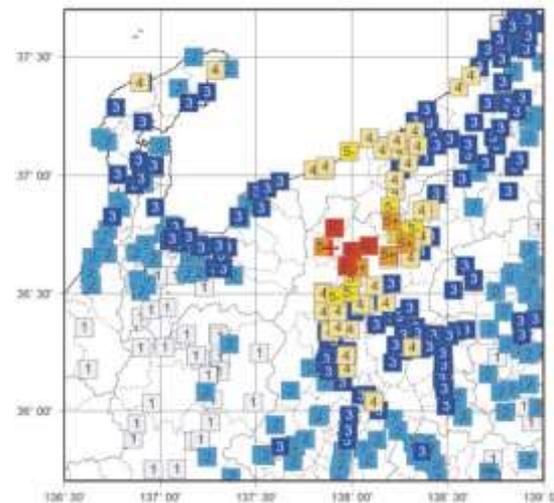
敷地周辺における揺れが震度5弱程度以上であったと推定される地震の選定

- 気象庁震度階級関連解説表を参考に、「2.1 被害地震」の地震から、敷地に大きな影響を与える地震として、敷地周辺における揺れが震度5弱程度以上のものを選定。
- 宇佐美ほか(2013)より敷地における揺れが震度5弱（震度V）程度以上と推定される地震として、9地震を抽出。



		地震名	地震規模
海 域	①	1964年 新潟地震	7.5
	②	2007年 能登半島地震	6.9
	③	2007年 新潟県中越沖地震	6.8
陸 域	④	1751年 越後の地震	7.2
	⑤	1828年 越後の地震	6.9
	⑥	1847年 善光寺地震	7.4
	⑦	1847年 越後頸城郡の地震	6.5
	⑧	2004年 新潟県中越地震	6.8
	⑨	2011年 長野県北部の地震	6.7

- なお、宇佐美ほか(2013)に収録されている2012年以降、新潟県において5弱以上の震度をもたらした地震は2014年11月22日の長野県北部の地震(M6.7)のみであり、その際の敷地周辺での震度は3～4であったため、選定結果に追加すべき地震は無いと考えられる。



2014年長野県北部の地震(M6.7)の震度分布(気象庁)

4.1 内陸地殻内地震

- 敷地における揺れが震度5弱（震度V）程度以上と推定される地震として抽出した9地震のうち、①1964年新潟地震(M7.5)以外の地震は、内陸地殻内地震と考えられる。
- ①1964年新潟地震(M7.5)は、地震本部(2003)によると日本海東縁部の地震として分類されている。
- 内陸地殻内地震と日本海東縁部の地震は、いずれも活断層・褶曲帯との関連性があり、震源深さが浅く、また、独立行政法人 防災科学技術研究所（現 国立研究開発法人 防災科学技術研究所，以下、「防災科研」）が中心となって行われたひずみ集中帯の重点的調査観測・研究プロジェクト（以下、「ひずみ集中帯プロジェクト」）及び染井ほか(2010)において震源特性についても類似性が指摘されていることから、ここでは、これらの地震をまとめ、内陸地殻内地震として扱う。

2007年新潟県 中越沖地震

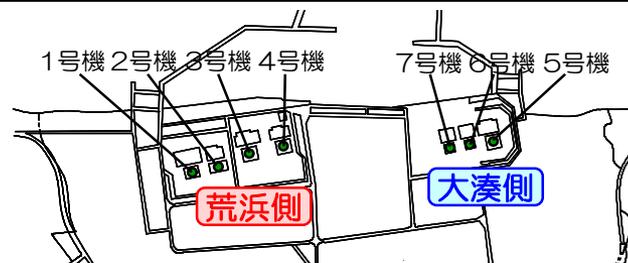


【地震諸元（気象庁）】

- 発生日時：2007/7/16 10:13
- 規模：マグニチュード 6.8
- 震央：北緯 37° 33.4′
東経 138° 36.5′
- 震源深さ 17 km

- 2007年新潟県中越沖地震(M6.8)（以下、「中越沖地震」）では、柏崎刈羽原子力発電所の各号機の原子炉建屋基礎版上で観測された最大加速度値が、設計で考慮した地震動による最大応答加速度値を上回った。

- 1～4号機が位置する荒浜側と5～7号機が位置する大湊側で最大加速度値に著しい差が認められた。



原子炉建屋基礎版上で観測された最大加速度値（単位：cm/s²）

	荒浜側				大湊側		
	1号機	2号機	3号機	4号機	5号機	6号機	7号機
NS方向	311 (274)	304 (167)	308 (192)	310 (193)	277 (249)	271 (263)	267 (263)
EW方向	680 (273)	606 (167)	384 (193)	492 (194)	442 (254)	322 (263)	356 (263)
UD方向	408	282	311	337	205	488	355

※（ ）内は設計時の基準地震動S2（1号機についてはEL CENTRO等）による応答値。

4.1 内陸地殻内地震 2007年新潟県中越沖地震

■ 検討の結果、要因を以下のとおり整理。

【要因1】 震源の影響

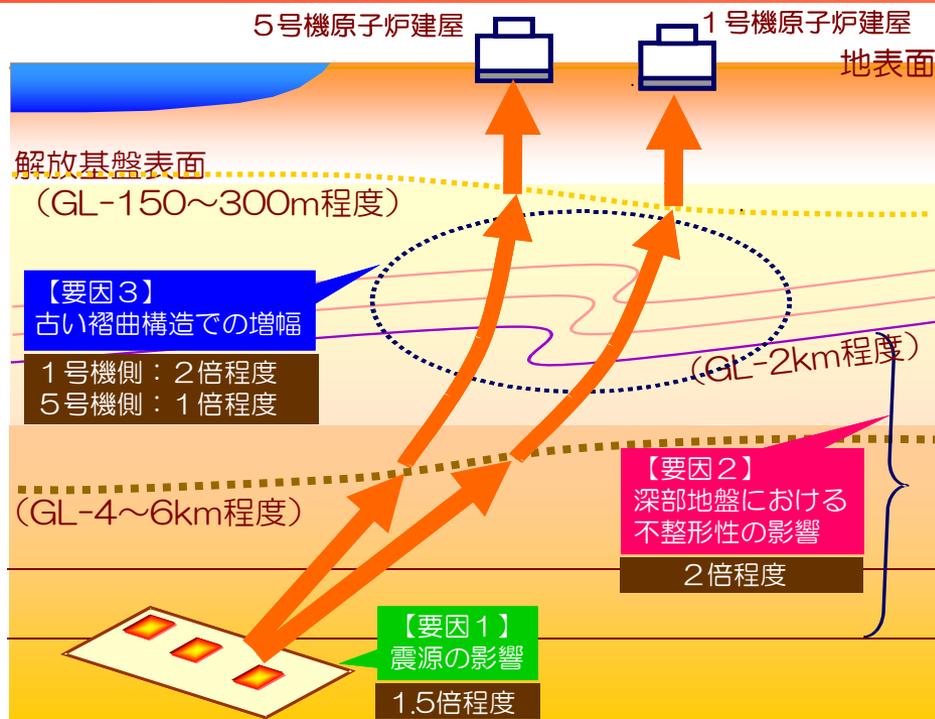
中越沖地震の短周期レベルは、平均的な地震と比較して大きい。

【要因2】 深部地盤における不整形性の影響

海域の地震による地震動特性は、陸域の地震のそれと異なる。

【要因3】 古い褶曲構造での増幅

海域の地震において、荒浜側（1～4号機）の地震動レベルは大湊側（5～7号機）と比較して大きい。



■ 反映事項として、『敷地における観測記録に基づき、基準地震動を策定する』こととした。

■ 具体的には、以下のとおりとした。

● 海域の活断層と陸域の活断層に分類して評価を実施。

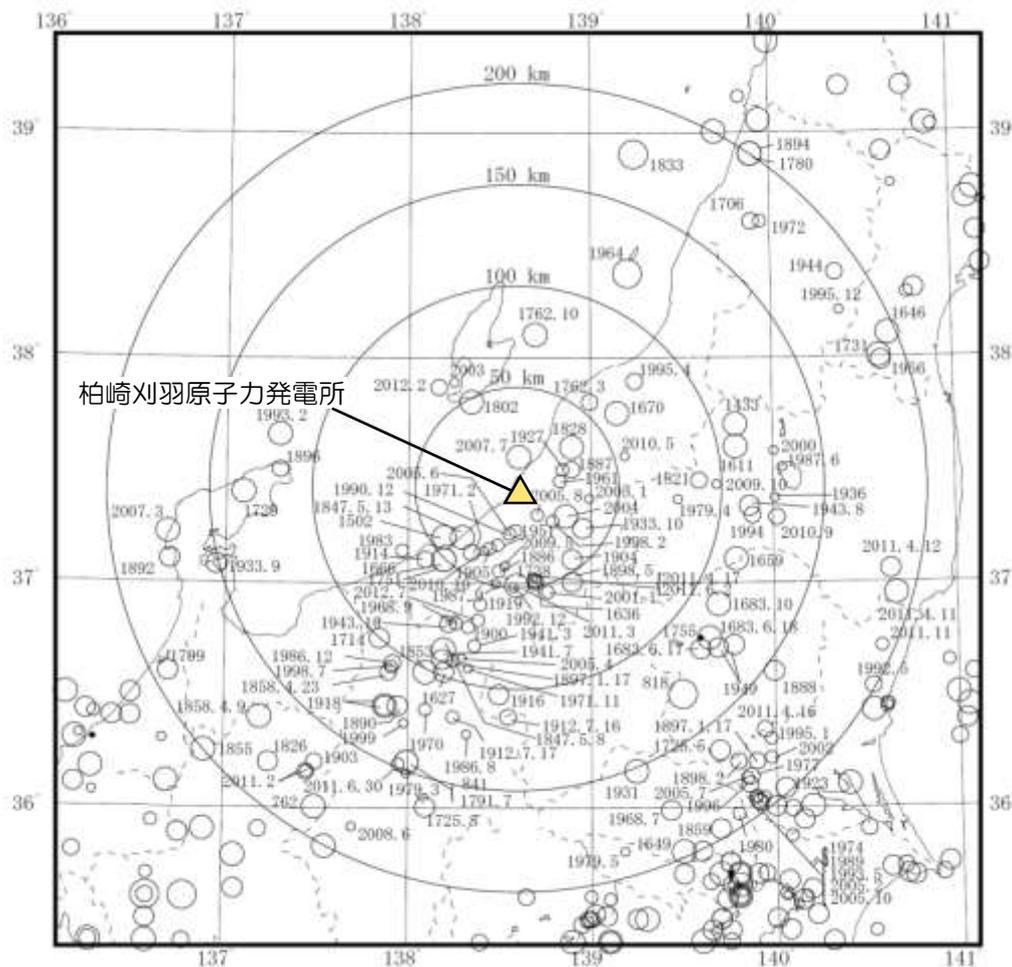
● 海域の活断層による地震については、荒浜側（1～4号機）と大湊側（5～7号機）でそれぞれ基準地震動を策定。

○ Noda et al. (2002) による応答スペクトルに基づく地震動評価において、海域の地震と陸域の地震に分類して、それぞれ観測記録に基づく補正係数を考慮。

○ 断層モデルを用いた手法による地震動評価は、短周期レベルとして標準的な値の1.5倍を考慮するとともに、海域と陸域の地震動特性を反映した適切な要素地震による経験的グリーン関数法で実施。

4.2 プレート間地震及び海洋プレート内地震

- 「2.1 被害地震」で抽出した地震において、敷地周辺において震度5弱（震度V）程度以上の揺れをもたらしたプレート間地震及び海洋プレート内地震は認められず、敷地に大きな影響を与えるような地震ではないと考えられる。



柏崎刈羽原子力発電所

凡 例	
○	7.5 ≤ M
○	7.0 ≤ M < 7.5
○	6.5 ≤ M < 7.0
○	6.0 ≤ M < 6.5
○	5.5 ≤ M < 6.0
○	M < 5.5
●	M未定

※地震諸元が幅をもって示されている場合は、その中央値を採用

敷地周辺における主な被害地震の震央分布

1. 概要
2. 敷地周辺の地震発生状況
3. 活断層の分布状況
4. 地震の分類
5. 敷地における地震波の増幅特性
6. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
7. 震源を特定せず策定する地震動
8. 基準地震動の策定
9. 基準地震動の超過確率参照

5. 敷地における地震波の増幅特性

5.1 地震観測

5.2 解放基盤表面の設定

5.3 地震波の増幅特性

5.3.1 地震観測記録の分析

(1) 中越沖地震の地震観測記録

(2) 鉛直アレイ観測記録

(3) 原子炉建屋基礎版上の観測記録

(4) 水平アレイ観測記録

5.3.2 地下構造モデルを用いた解析的検討

(1) 広域の地下構造モデルを用いた検討

(2) 敷地近傍の地下構造モデルを用いた検討

5.3.3 地震動評価への反映事項

5.1 地震観測



■ 水平アレイ (図中●点)

中越沖地震を踏まえ、敷地内における地震動特性をより詳細に把握することを目的に、2010年より敷地内のほぼ全域にわたり、地表に地震計を稠密に配置して観測を実施。



■ 原子炉建屋基礎版上 (図中●点)

2007年より全号機の原子炉建屋基礎版上において観測を実施。

■ 鉛直アレイ (図中●点)

1980年代より、荒浜側と大湊側で観測を実施。

標高 T.M.S.L.(m) ※1	1号機地盤系		5号機地盤系	
	地震計	地層	地震計	地層
+12.0m			▽G.L.	
+9.3m			● ※2	
+5.0m	▽G.L. ● ※2	古安田層		古安田層
-24.0m			●	
-40.0m	●			西山層
-100m		西山層	●	
-122m	●			
-180m			●	椎谷層
-250m	● ※3			
-300m			●	
-400m	● ※4			

※1：T.M.S.L.：東京湾平均海面。Tokyo bay Mean Sea Levelの略で、東京湾での検潮に基づき設定された陸地の高さの基準（以下同様）

※2：地中に設置

※3：2007年11月観測終了

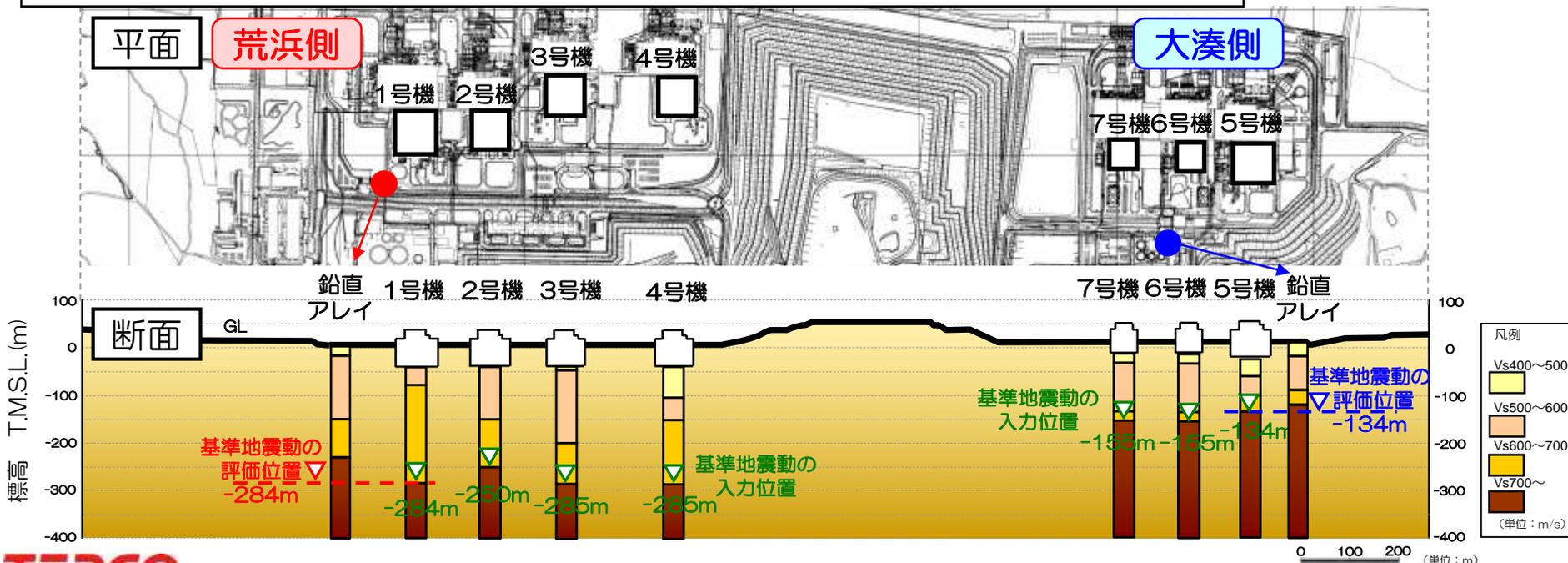
※4：2009年3月観測開始

5.2 解放基盤表面の設定

- ボーリング調査等の結果より、S波速度が700m/s以上の地層が概ね水平に分布していることを確認した上で、以下の通り解放基盤表面を設定。
- 地震動評価においては、解放基盤表面以深の地下構造による増幅特性を適切に反映するため、鉛直アレイ観測点付近の号機を代表して、荒浜側では1号機のT.M.S.L.-284m、大湊側では5号機のT.M.S.L.-134mとそれぞれ設定して基準地震動を策定（図中▽、▽）。
- 施設の耐震安全性評価においては、各地点の解放基盤表面以浅の地下構造による増幅特性を適切に反映するため、それぞれの施設直下で実施されたPS検層結果等を重視し、基準地震動を入力するにあたり、S波速度が700m/s以上となる深度に解放基盤表面を設定（図中▽）。
- なお、中越沖地震の各号機で推定された解放基盤表面の地震動は、荒浜側および大湊側それぞれで概ね等しいことを確認している。（P.29）

各号機の解放基盤表面
設定位置

施設	標高 T.M.S.L.(m)
1号機	-284m
2号機	-250m
3号機	-285m
4号機	-285m
5号機	-134m
6号機	-155m
7号機	-155m



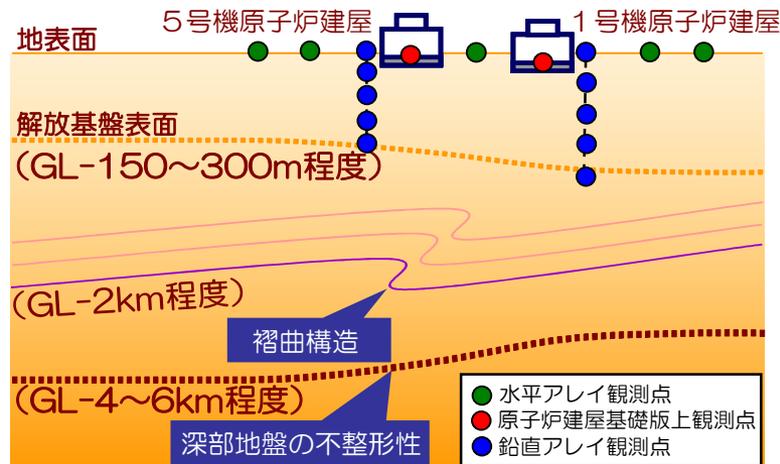
5.3 地震波の増幅特性

■ 中越沖地震では、敷地の増幅特性に関して、地震観測記録の分析、解析的検討により、古い褶曲構造及び深部地盤における不整形性の影響が確認されている。

5.3.1(1), 5.3.1(2)a 及び 5.3.2(1), 5.3.2(2)

■ これらに加え、解放基盤表面以浅の影響に関する検討及び、原子炉建屋基礎版上の観測記録・水平アレイ観測記録の分析を実施することにより、敷地内全体の増幅特性を把握することができているものと考えられる。

5.3.1(2)b, 5.3.1(3), 5.3.1(4)



解放基盤表面以浅の影響

5.3.1(2)b.鉛直アレイ観測記録 (小規模地震)

地表観測点/地中観測点のスペクトル比を到来方向別に分析し、解放基盤以浅の影響を確認

5.3.1(3)原子炉建屋基礎版上の観測記録

5号機を基準としてスペクトル比を算定

大湊側はばらつきが小さい

荒浜側は大湊側とばらつきの傾向が異なる

5.3.1(4)水平アレイ観測記録

5号機周辺の観測点を基準としてスペクトル比を到来方向別にとり、地震動特性の差異を確認

荒浜側は、敷地の南西側で発生した地震で、特に1号機周辺の顕著な増幅を確認。その他の方向では特異な増幅は認められない

大湊側では全ての方向で特異な増幅はみられない

古い褶曲構造の影響

5.3.1(1)中越沖地震の地震観測記録

耐専スペクトル*との比率に違いがあり荒浜側の方が大きい

5.3.1(2)a.鉛直アレイ観測記録 (中規模地震)

【海域】耐専スペクトル*との比率に違いがあり荒浜側の方が大きい (中越沖地震と同じ傾向)
【陸域】耐専スペクトル*との比率は荒浜側と大湊側で同程度

5.3.1(2)b.鉛直アレイ観測記録 (小規模地震)

荒浜側、大湊側の解放基盤波をそれぞれ推定し、スペクトル比を到来方向別に分析

5.3.2(2)敷地近傍の地下構造モデルを用いた解析的検討

敷地の褶曲構造を反映した2次元地下構造モデルを用いた検討により、敷地の南西方向からの地震に対して荒浜側が大湊側と比較して大きな増幅となることを確認

深部地盤における不整形性の影響

5.3.1(1)中越沖地震の地震観測記録

耐専スペクトル*との比率が荒浜側、大湊側ともに1を上回る

5.3.1(2)a.鉛直アレイ観測記録 (中規模地震)

【海域】耐専スペクトル*との比率が荒浜側、大湊側ともに1を上回る
【陸域】耐専スペクトル*との比率が荒浜側、大湊側ともに1秒より短い周期帯で1を下回る

敷地の南西側で発生した地震で著しい違いを示すことを確認

5.3.2(1)広域の地下構造モデルを用いた解析的検討

3次元地下構造モデルを用いた有限差分法により、南西方向で発生した地震においては、敷地より西側の領域より敷地近傍において増幅傾向にあることを確認

*耐専スペクトル : Noda et al.(2002)による応答スペクトル

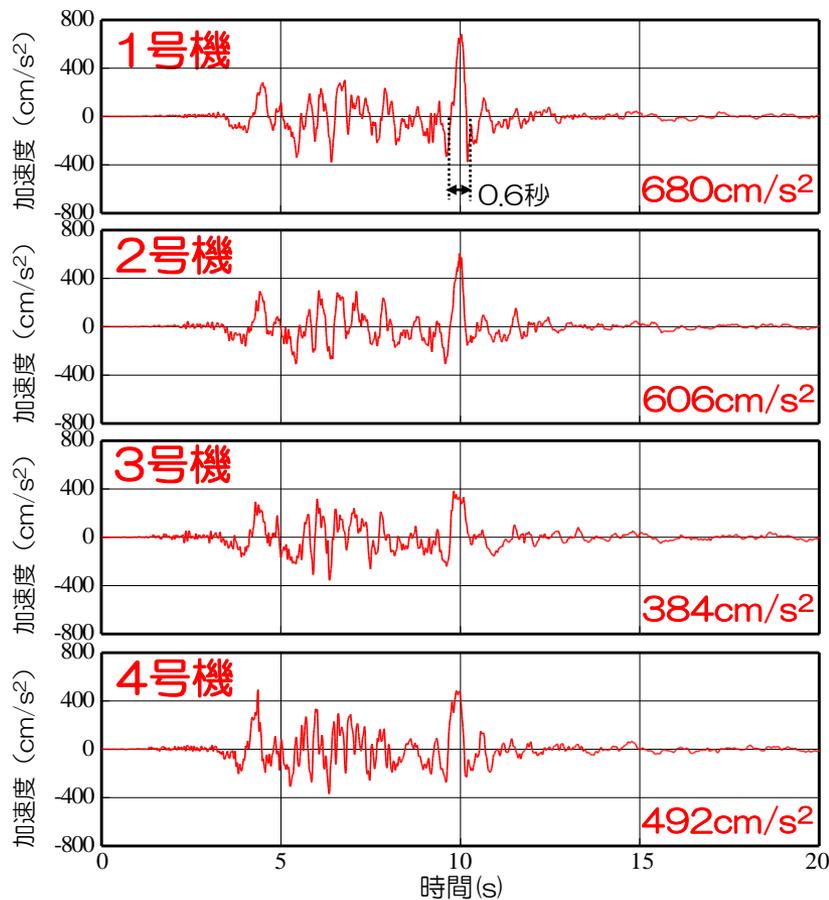
□ : 新規制基準への適合審査にて追加検討した事項

5.3 地震波の増幅特性

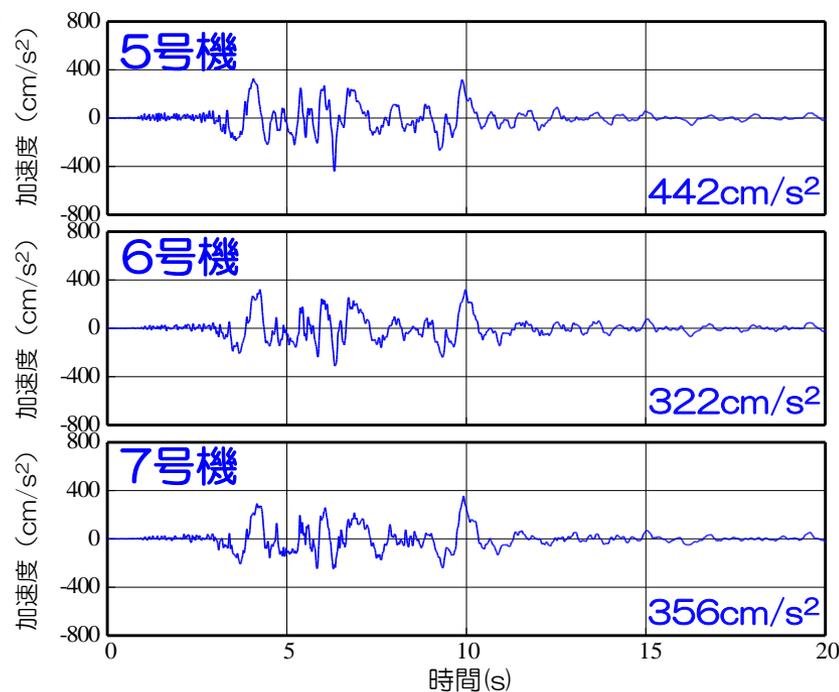
5.3.1 地震観測記録の分析 (1)中越沖地震の地震観測記録

- 敷地において最も大きな最大加速度値が観測された中越沖地震の観測記録について、観測記録の特徴を分析するとともに、解放基盤表面での地震動（以下、「解放基盤波」）を評価し、Noda et al.(2002)による応答スペクトルとの大きさの比較や荒浜側と大湊側の地震動特性の比較を実施。

荒浜側



大湊側



- 波形の後半部分に見られる3番目のおよそ周期0.6秒の波群において、荒浜側と大湊側で顕著な差が見られ、荒浜側の方が最大加速度値が大きくなっている。

中越沖地震の観測記録のうち、荒浜側と大湊側で特徴的な差異が確認された原子炉建屋基礎版上における加速度波形の例（EW方向）

5.3 地震波の増幅特性

5.3.1 地震観測記録の分析 (1)中越沖地震の地震観測記録

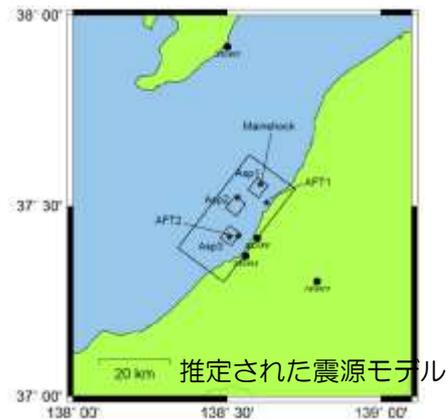
■ 中越沖地震の観測記録の分析にあたり、震源特性について知見を整理。

芝(2008)

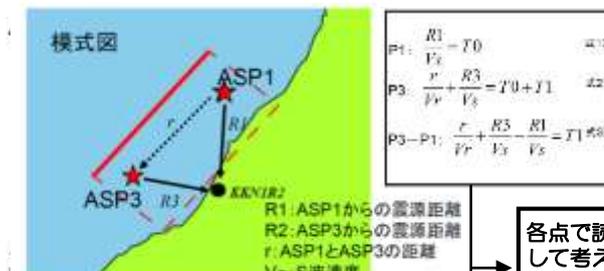
- 震源域近傍の強震記録から、震源断層面上でのすべり量の分布を震源インバージョン解析により推定し、空間的に明瞭に分離した3箇所のアスペリティを確認。
- 荒浜側と大湊側で顕著な差が見られた3番目の波群は、敷地の南西側に位置する第3アスペリティより到来した波であると考えられる。

入倉ほか(2008)

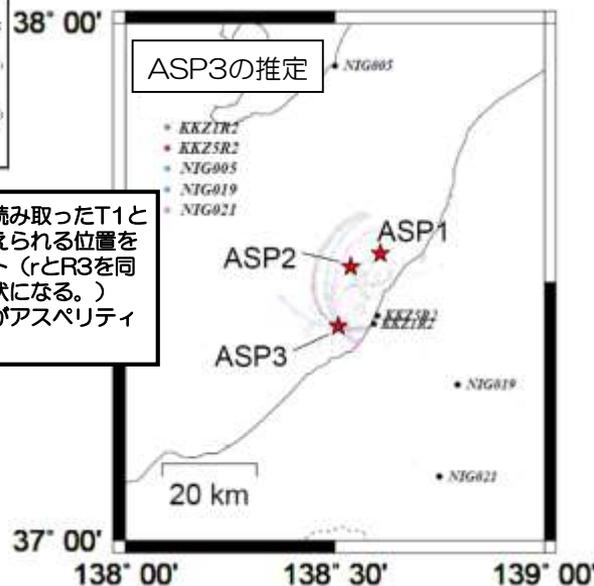
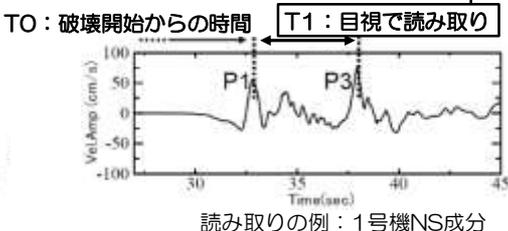
- 経験的グリーン関数法を用いた震源断層のモデル化。
- 観測されているパルスの時間差から各アスペリティの位置を推定。
- 5つの観測点から推定されるASP3の位置はASP2よりほぼ南方向で深い場所に推定されたとしている。



①破壊開始からパルス1 (P1) が到達する時間は式1) で示される。
 ②パルス3 (P3) は、破壊開始点 (ASP1) からASP3に破壊速度 V_r で破壊が進行し、ASP3からS波速度 V_s でS波が伝播し観測点に到達する(式2)。
 したがって、T1と r とR3の関係により、ASP3の破壊開始点が推定できる。



各点で読み取ったT1として考えられる位置をプロット (rとR3を同定。円状になる。) →交点がアスペリティ位置



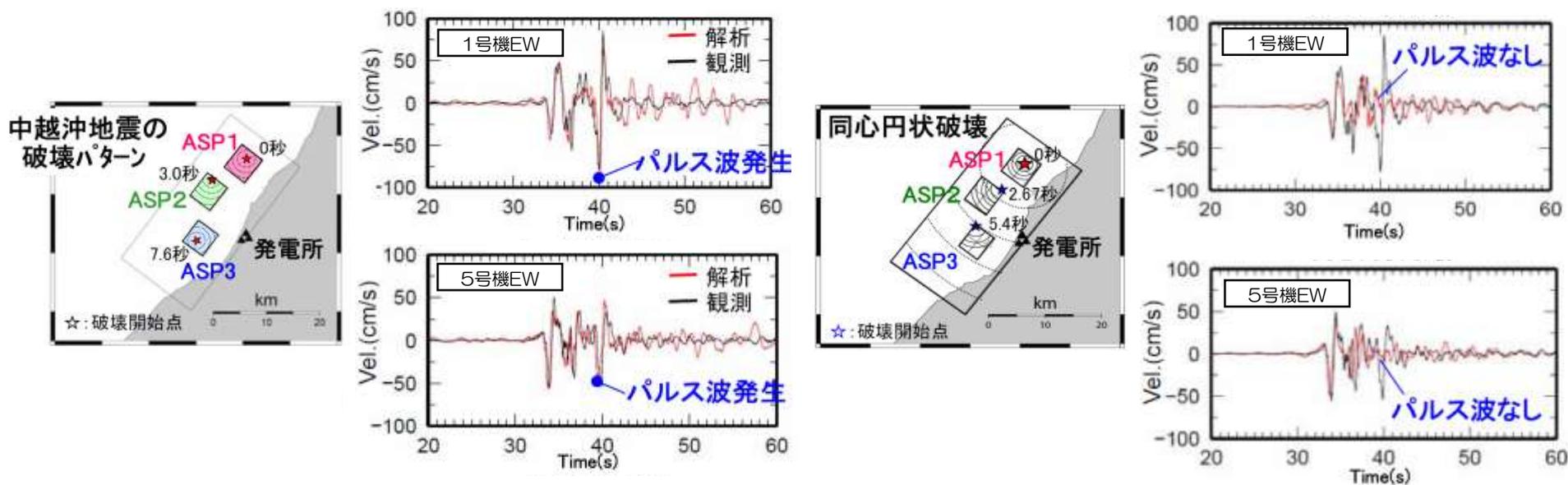
入倉ほか(2008)より抜粋 (一部加筆・修正)

5.3 地震波の増幅特性

5.3.1 地震観測記録の分析 (1)中越沖地震の地震観測記録

JNES(2008)

- JNES(2008)においては、中越沖地震における周期0.6秒の第3パルスの発生について、断層の破壊過程による影響が確認されている。



JNES(2008)より抜粋 (一部加筆・修正)

- 中越沖地震における周期0.6秒の第3パルスは、主に震源の破壊過程により生成され、褶曲構造により増幅することで荒浜側と大湊側の差が強調されているものと考えられる。
- なお、P.31以降に示す中小地震の分析では、中小地震は点震源とみなされ、震源の破壊過程による影響が含まれていないため、周期0.6秒付近において中越沖地震ほどの荒浜側と大湊側の差異は生じていないものと考えられる。

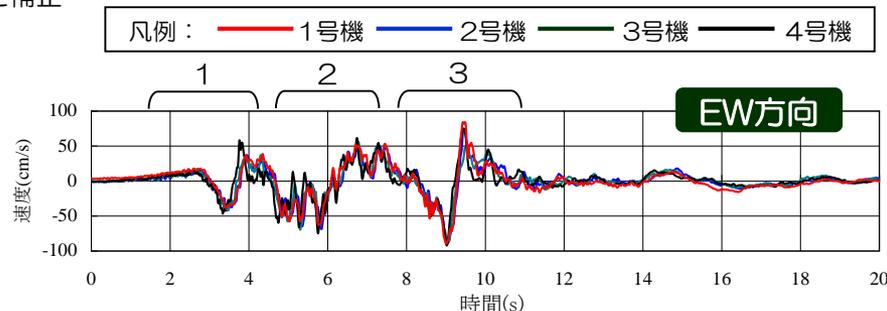
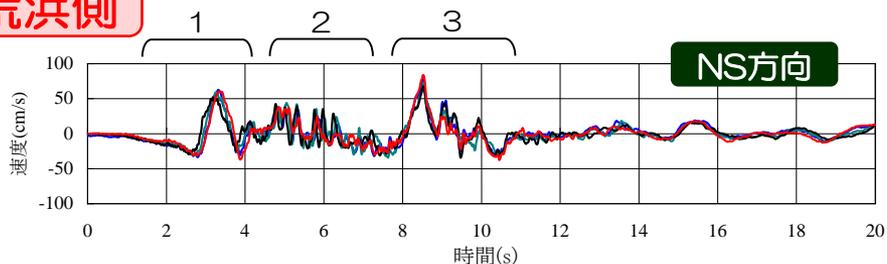
5.3 地震波の増幅特性

5.3.1 地震観測記録の分析 (1)中越沖地震の地震観測記録

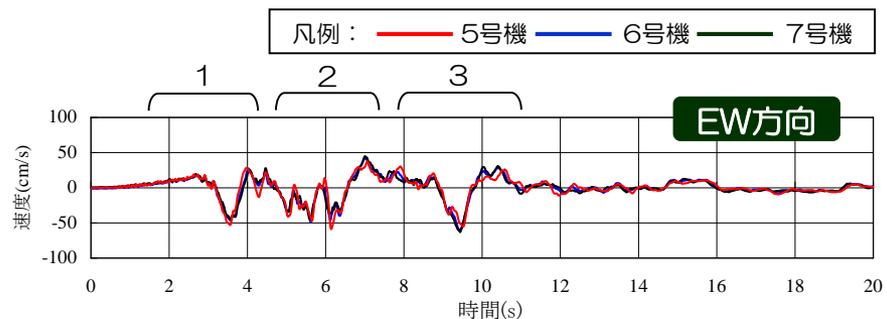
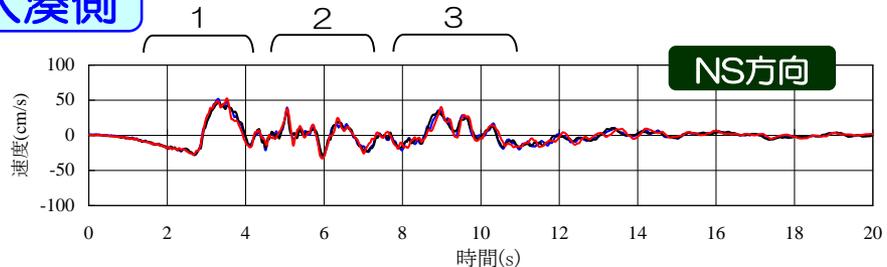
- 各号機ごとに、原子炉建屋基礎版上の観測記録から、解放基盤波を推定。
- Noda et al.(2002)による応答スペクトル（内陸補正※1なし）と比較し、地震動の大きさを検討。
- 荒浜側と大湊側での地点間の比較を行い、地震動特性の違いを検討。

※1 内陸補正：Noda et al.(2002)で提案されている内陸地震を対象とした補正

荒浜側



大湊側



原子炉建屋基礎版上の観測記録から推定した解放基盤波（速度波形）

- 芝(2008)に対応する3つのフェーズが明瞭に認められ、時刻8～10秒の3番目の波群に着目すると、荒浜側が大湊側に比べ顕著に大きくなっており、地震動レベルの差は、ほぼこのフェーズによって支配されている。
- 推定された解放基盤波は、荒浜側の1～4号機、大湊側の5～7号機でそれぞれ傾向が一致。
- 各号機で設定された解放基盤表面の深度においては、荒浜側および大湊側それぞれで地震動特性が概ね等しく、工学的に設定する解放基盤表面としての性質を十分有しているものと考えられる。

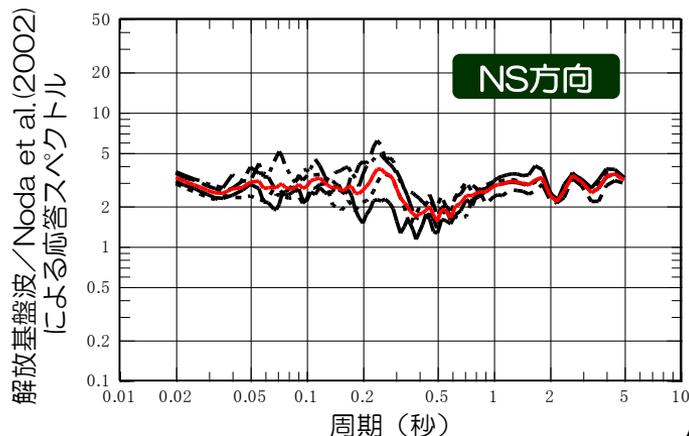
5.3 地震波の増幅特性

5.3.1 地震観測記録の分析 (1)中越沖地震の地震観測記録

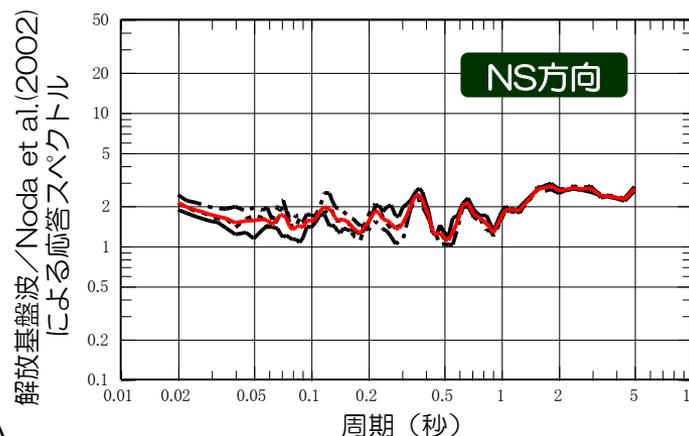
- 解放基盤波とNoda et al.(2002)による応答スペクトル（内陸補正※1なし）を比較し、以下を確認。
 - ①荒浜側，大湊側とも，Noda et al.(2002)による応答スペクトルとの比率が1を上回る。
 - ②荒浜側と大湊側で，比率に違いがあり，荒浜側は大湊側よりも2倍程度大きい。

※1内陸補正：Noda et al.(2002)で提案されている内陸地震を対象とした補正

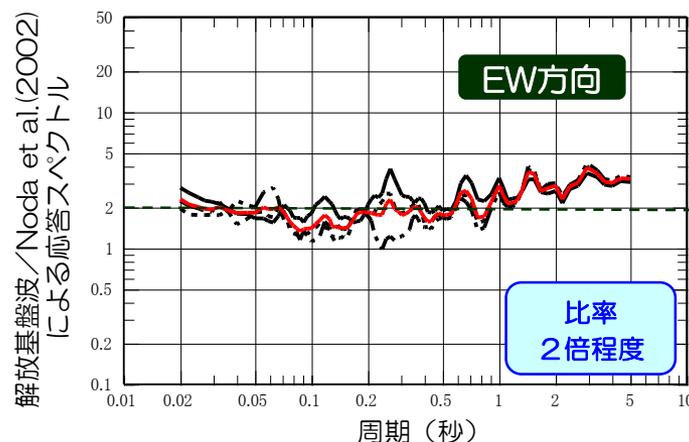
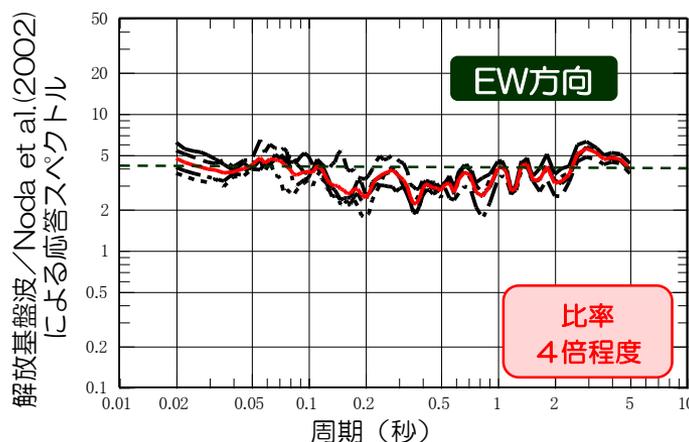
荒浜側



大湊側



差あり



原子炉建屋基礎版上の観測記録から推定した解放基盤波とNoda et al.(2002)による応答スペクトルの比

5.3 地震波の増幅特性

5.3.1 地震観測記録の分析 (2)鉛直アレイ観測記録 a.中規模地震

- 敷地周辺で発生した中規模地震を対象として分析。検討対象地震は、Noda et al.(2002)による手法を念頭に、右の条件で選定。
- 敷地地盤で得られた鉛直アレイ地震観測記録をもとに、解放基盤波を推定し、Noda et al.(2002)による応答スペクトルとの比を評価することで、荒浜側と大湊側の敷地周辺の海域で発生した地震、陸域で発生した地震の地震動特性の比較を実施。

- 【対象地震】
- M5.5以上
 - 震源距離200km以内
 - 解放基盤に近い地盤系観測点で観測されており、最大加速度値が1cm/s²程度以上
 - 1号機地盤系及び5号機地盤系で共通に記録が得られている地震

抽出した検討対象地震の諸元（海域）

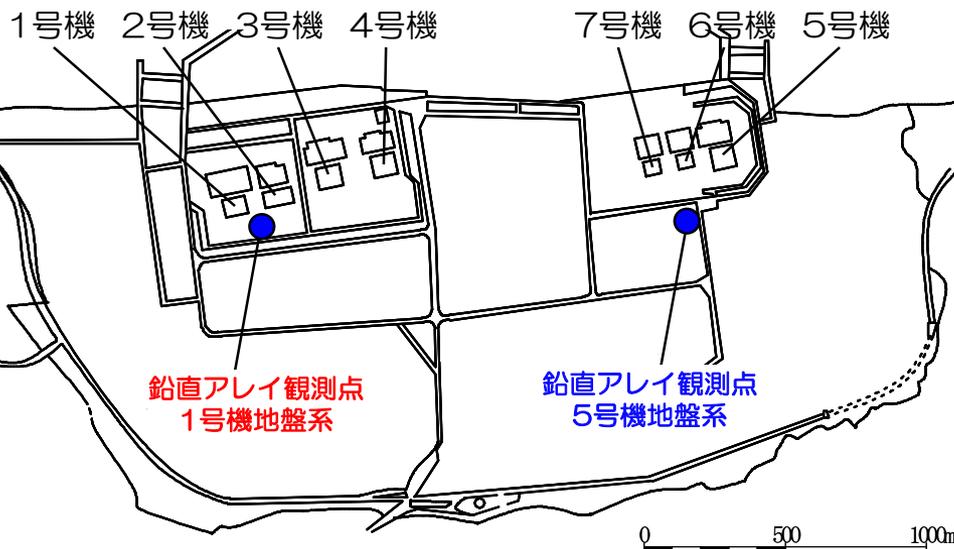
No.	年月日	時間	地震名・震央地名	震源位置		地震規模	震源深さ(km)
				経度(°)	緯度(°)		
1	1987.03.24	21:49	OFF S NIIGATA PREF	137° 54.20′	37° 28.90′	5.9	21.6
2	1993.02.07	22:27	OFF NOTO PENINSULA	137° 17.80′	37° 39.40′	6.6	24.8
3	2007.03.25	09:41	能登半島沖地震 OFF NOTO PENINSULA	139° 41.10′	37° 13.20′	6.9	11
4	2007.07.16	15:37	OFF S NIIGATA PREF	138° 38.60′	37° 30.20′	5.8	11

抽出した検討対象地震の諸元（陸域）

No.	年月日	時間	地震名・震央地名	震源位置		地震規模	震源深さ(km)
				経度(°)	緯度(°)		
1	1986.12.30	09:38	NORTHERN NAGANO PREF	137° 33.18′	36° 23.04′	5.9	3.3
2	1995.04.01	12:49	NE NIIGATA PREF	139° 14.88′	37° 53.47′	5.6	16.16
3	2004.10.23	18:07	MID NIIGATA PREF	138° 51.90′	37° 20.90′	5.7	14.9
4	2004.10.25	06:04	MID NIIGATA PREF	138° 56.81′	37° 19.80′	5.8	15.2
5	2004.10.27	10:40	MID NIIGATA PREF	139° 02.00′	37° 17.51′	6.1	11.6
6	2004.11.08	11:15	MID NIIGATA PREF	139° 01.92′	37° 23.76′	5.9	0
7	2011.03.12	03:59	MID NIIGATA PREF	138° 21.52′	36° 35.45′	6.7	8.38
8	2014.11.22	22:08	NORTHERN NAGANO PREF	137° 32.08′	36° 24.94′	6.7	4.59

荒浜側

大湊側



5.3 地震波の増幅特性

5.3.1 地震観測記録の分析 (2) 鉛直アレイ観測記録 a.中規模地震

■ 観測記録をもとに解放基盤波を推定し、Noda et al.(2002)による応答スペクトルとの比を海域・陸域で発生した地震，荒浜側・大湊側のそれぞれについて比較。

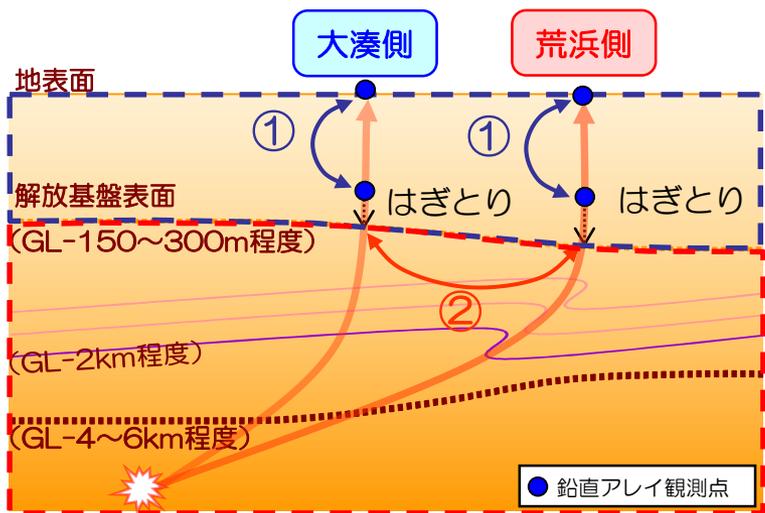
	震央分布	荒浜側	大湊側	結果・反映事項
海域				<ul style="list-style-type: none"> ■ 荒浜側，大湊側とも，Noda et al.(2002)による応答スペクトルとの比率が1を上回る傾向。 ■ 荒浜側と大湊側で比率に違いがあり，荒浜側の方が大きい。(2倍程度) <p>→ 荒浜側と大湊側で比率に著しい違いがあるため分けて評価</p>
陸域	<p>注) 平均はNo.1～No.6地震を用いて算定</p>			<ul style="list-style-type: none"> ■ 荒浜側，大湊側とも，Noda et al.(2002)による応答スペクトルとの比率が1秒より短い周期帯で1を下回る傾向。 ■ 荒浜側と大湊側で比率に違いが見られない。 <p>→ 荒浜側と大湊側で比率に違いがみられないため共通に評価</p>

5.3 地震波の増幅特性

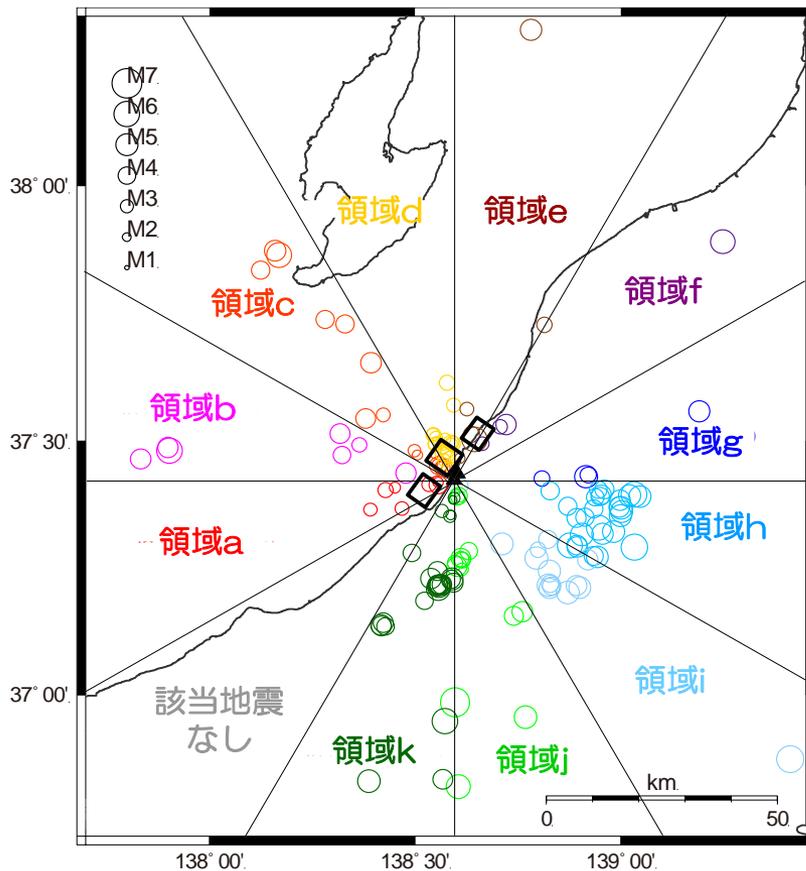
5.3.1 地震観測記録の分析 (2)鉛直アレイ観測記録 b.小規模地震

- 敷地地盤で得られた鉛直アレイ地震観測記録を用いて、地震波の到来方向別に分析を実施し、解放基盤表面以浅の浅部地下構造及び解放基盤表面以深の深部地下構造が地震動特性に与える影響を分析。
- なお、到来方向別の分析については、30°刻みの領域区分毎に整理して実施。

- 【対象地震】
- 震源距離100km以内
 - 解放基盤に近い地盤系観測点で観測されており、最大加速度値が1cm/s²程度以上
 - 1号機地盤系及び5号機地盤系で共通に記録が得られている地震



- ①浅部地下構造による増幅特性の把握
→各地点の地表と地中のフーリエスペクトル比を分析。
- ②深部地下構造による増幅特性の把握
→各地点の解放基盤波を求め、地点間のフーリエスペクトル比を分析。



対象地震の震央位置

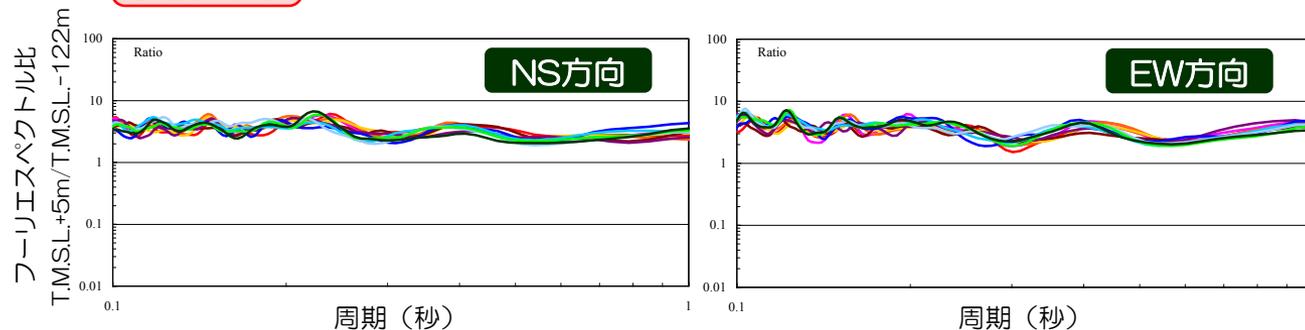
5.3 地震波の増幅特性

5.3.1 地震観測記録の分析 (2) 鉛直アレイ観測記録 b.小規模地震

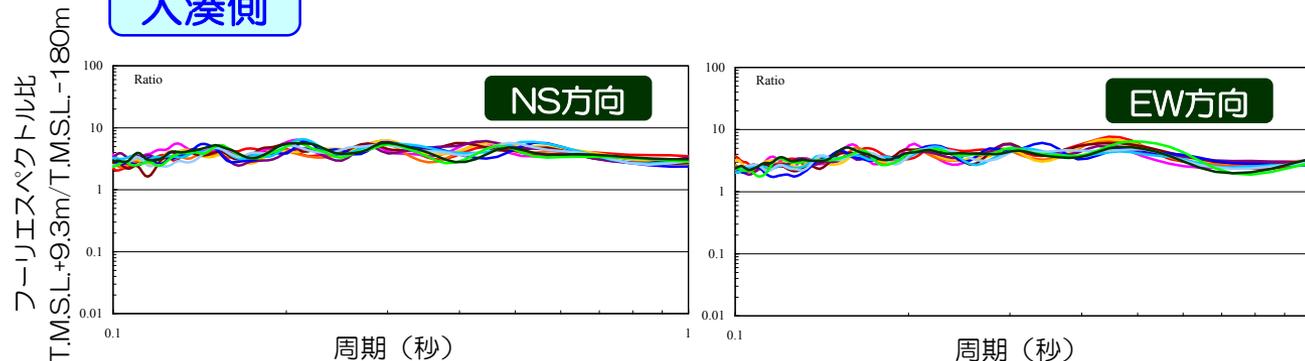
■ 解放基盤表面以浅の浅部地下構造による増幅特性を把握するため、荒浜側と大湊側のそれぞれの鉛直アレイ観測点について、フーリエスペクトル比（地表観測点/地中観測点）を評価し、到来方向別に分析。

① 浅部地下構造

荒浜側



大湊側



到来方向別の地表観測点の地中観測点に対するフーリエスペクトル比

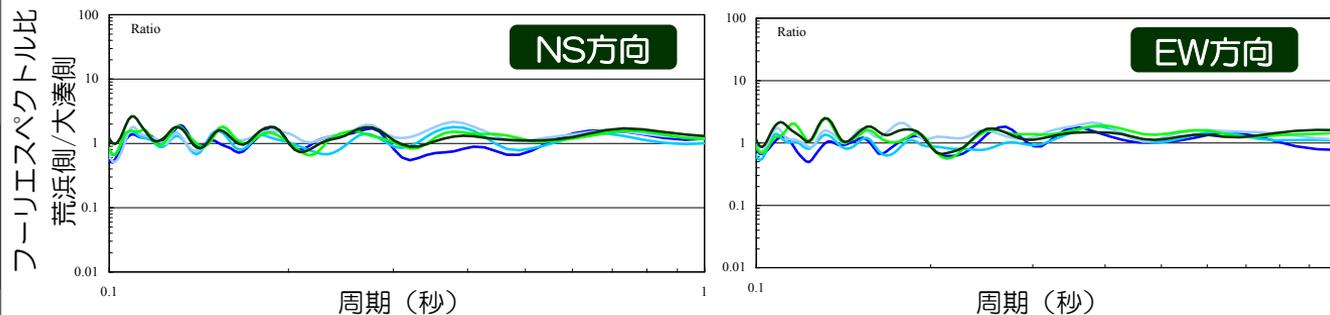
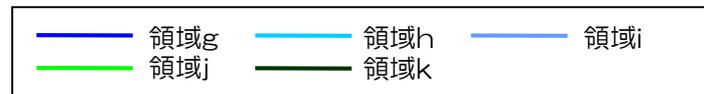
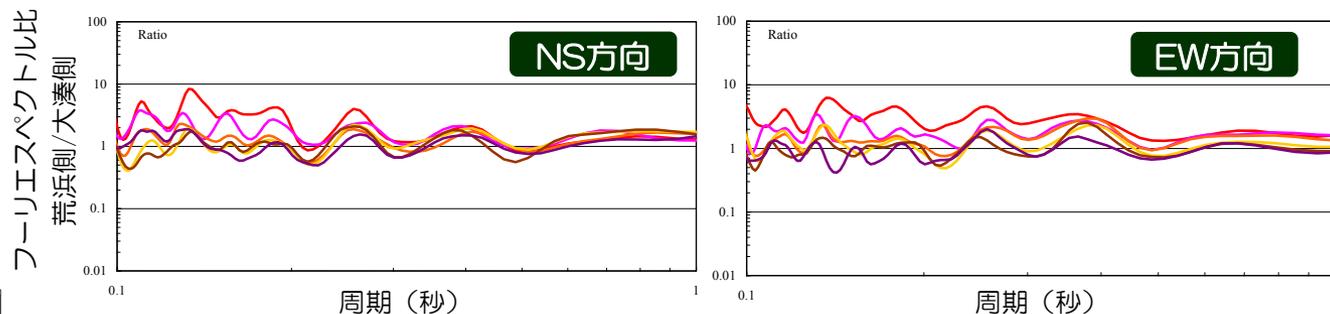
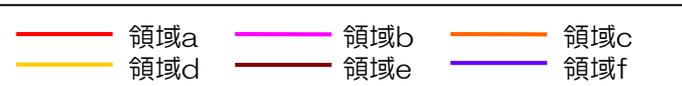
■ 解放基盤表面以浅においては、到来方向による顕著な差異は確認されない。

5.3 地震波の増幅特性

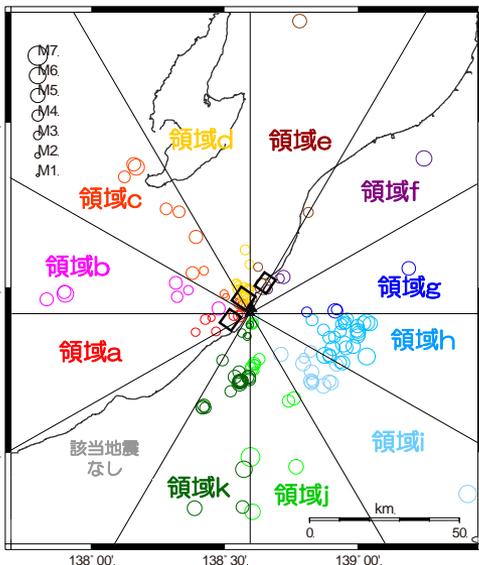
5.3.1 地震観測記録の分析 (2) 鉛直アレイ観測記録 b.小規模地震

■ 解放基盤表面以深の深部地下構造による増幅特性を把握するため、荒浜側と大湊側の解放基盤波を求め、地点間のフーリエスペクトル比（荒浜側／大湊側）を評価し、到来方向別に分析。

② 深部地下構造



到来方向別の解放基盤波のフーリエスペクトル比（荒浜側/大湊側）



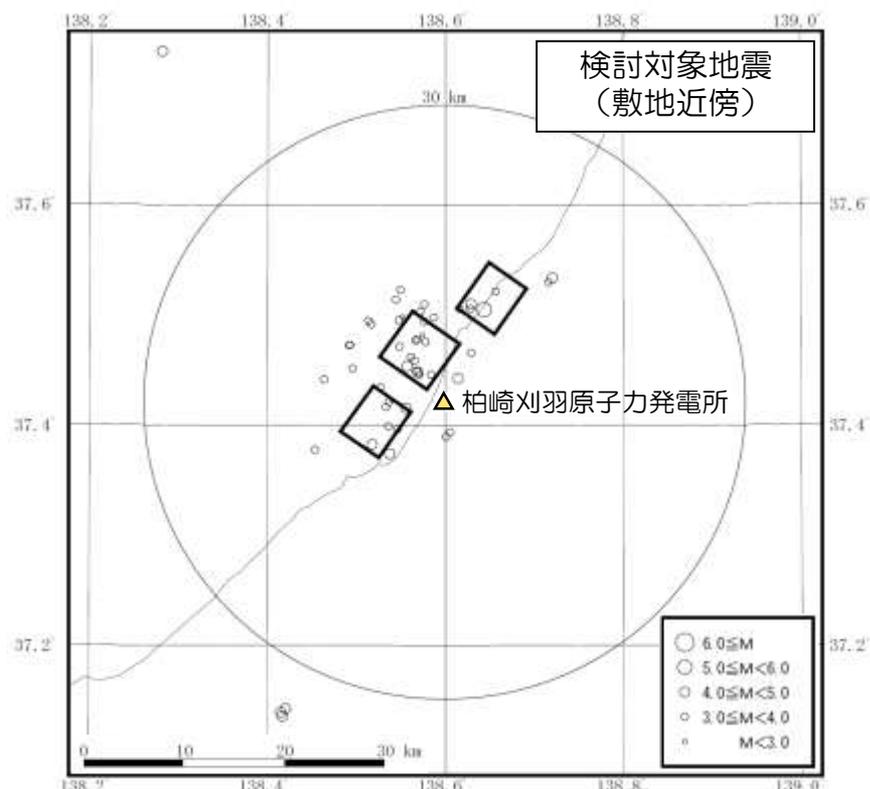
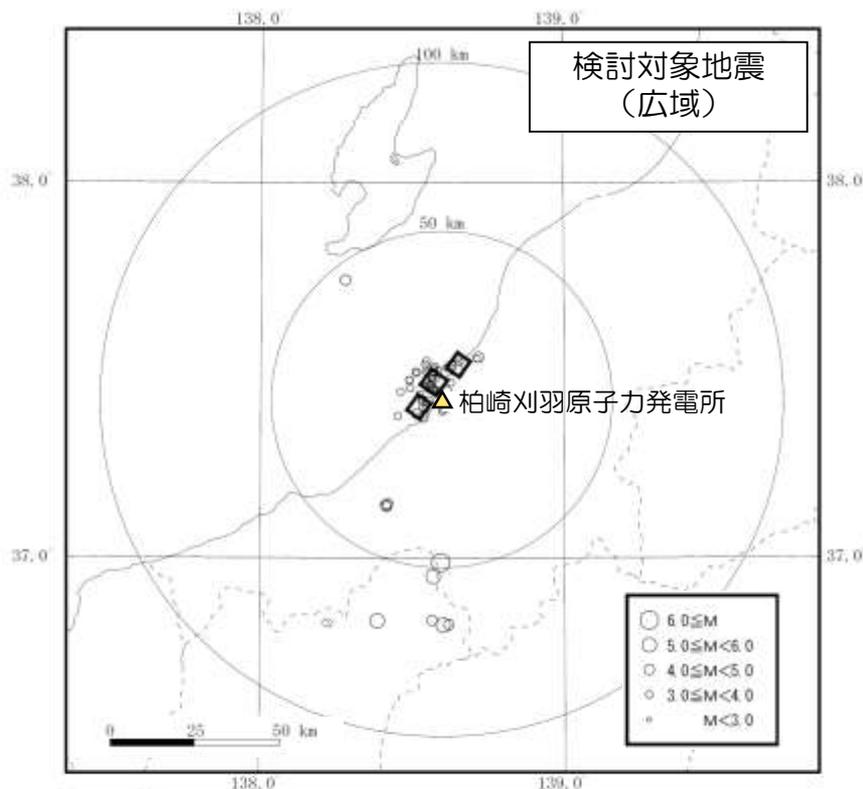
- 敷地南西側の領域aから領域bにかけて、荒浜側が大湊側に比べ有意に大きくなる傾向。
- その他の領域区分においては、特異な増幅傾向は確認されない。

5.3 地震波の増幅特性

5.3.1 地震観測記録の分析 (3) 原子炉建屋基礎版上の観測記録

- 各号機の原子炉建屋基礎版上の観測記録について、5号機を基準として応答スペクトル比をとることで、各号機間の振動特性の違いについて検討。

- 【対象地震】
- 震源距離100km以内
 - 最大加速度値が 1cm/s^2 程度以上
 - 全号機で記録が得られている地震



対象地震の震央位置

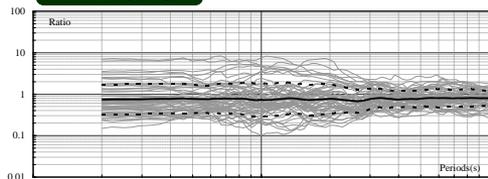
5.3 地震波の増幅特性

5.3.1 地震観測記録の分析

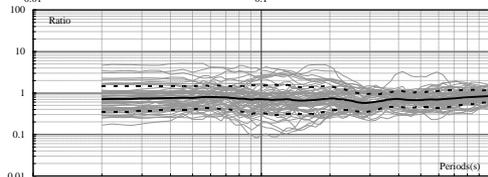
(3) 原子炉建屋基礎版上の観測記録

荒浜側

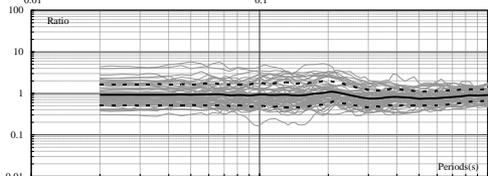
応答スペクトル比
1号機/5号機



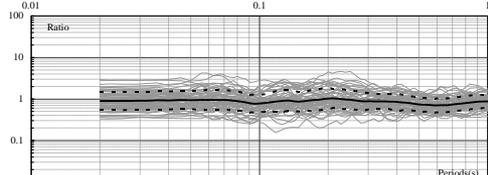
応答スペクトル比
2号機/5号機



応答スペクトル比
3号機/5号機

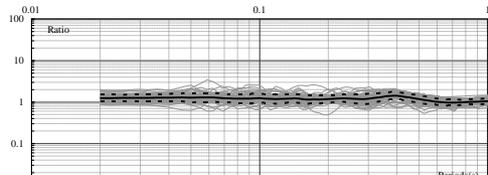


応答スペクトル比
4号機/5号機

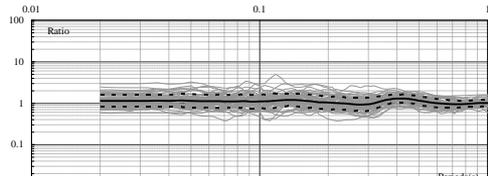


大湊側

応答スペクトル比
6号機/5号機

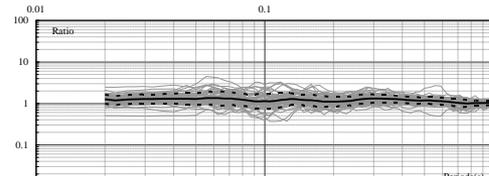
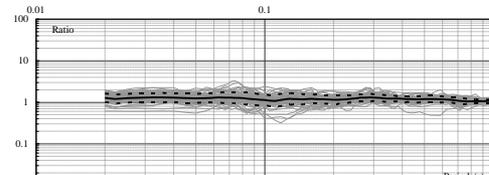
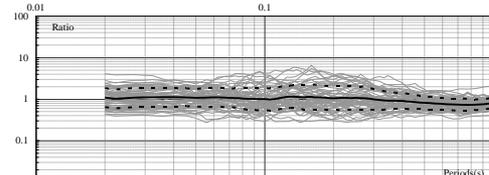
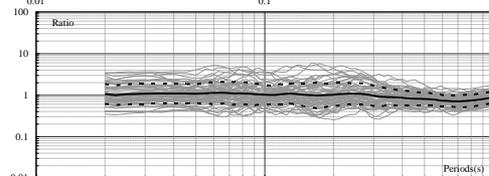
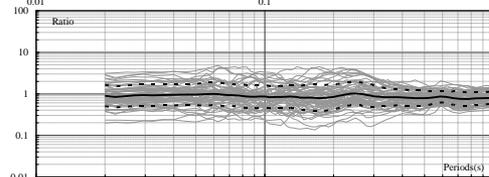
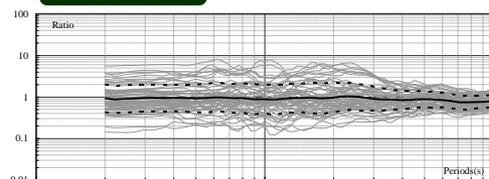


応答スペクトル比
7号機/5号機



周期(秒)

EW方向



周期(秒)

- 各号機と5号機の原子炉建屋基礎版上での観測記録の応答スペクトル比は、以下の傾向にあることを確認。
 - 大湊側（5号機～7号機側）は、ばらつきが小さく、号機間の差はわずか。
 - 荒浜側（1号機～4号機側）は、大湊側（5号機～7号機側）と傾向が異なる。

原子炉建屋基礎版上の観測記録の
応答スペクトル比（各号機/5号機）

5.3 地震波の増幅特性

5.3.1 地震観測記録の分析 (4) 水平アレイ観測記録

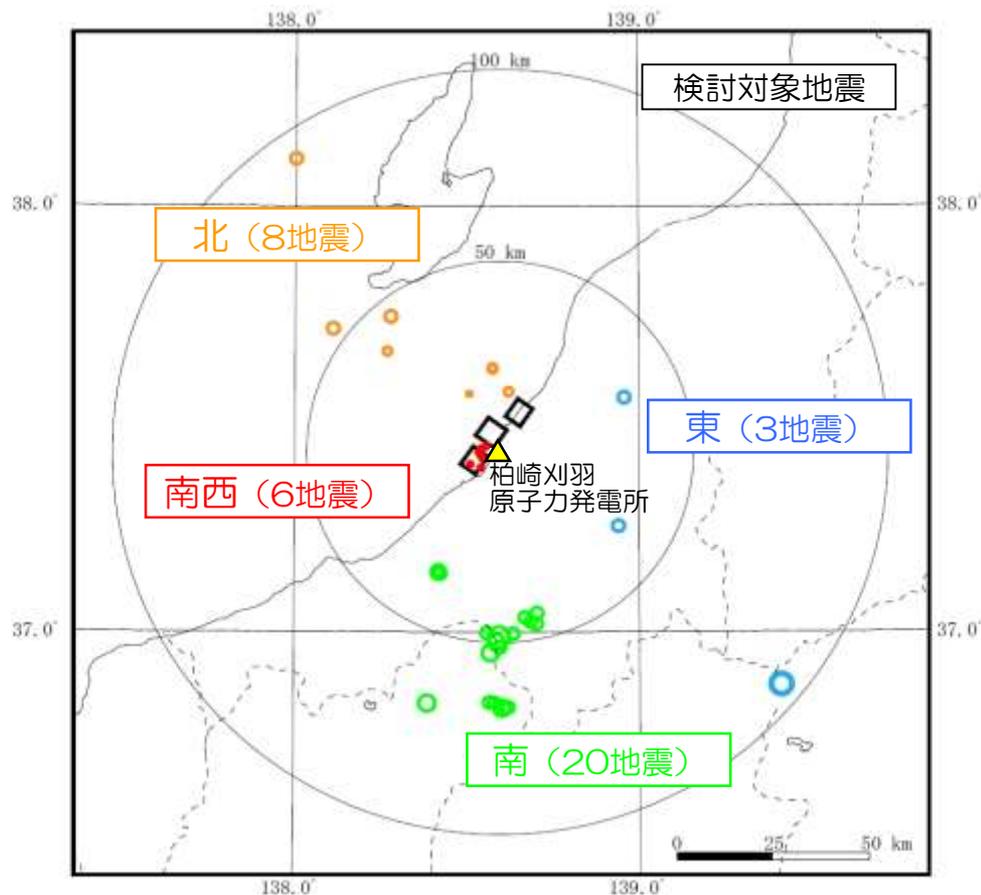
- 地震の発生した領域を到来方向別に区分し，5号機周辺の観測点（D71観測点）を基準としてフーリエスペクトル比をとり，敷地内の各観測点間の地震動特性の差異を検討。



水平アレイ観測点（●：30地点）の配置図と基準点位置

- 【対象地震】
- M4.0以上
 - 震源距離100km以内
 - 基準とした観測点（D71観測点）での最大加速度値が 1cm/s^2 程度以上

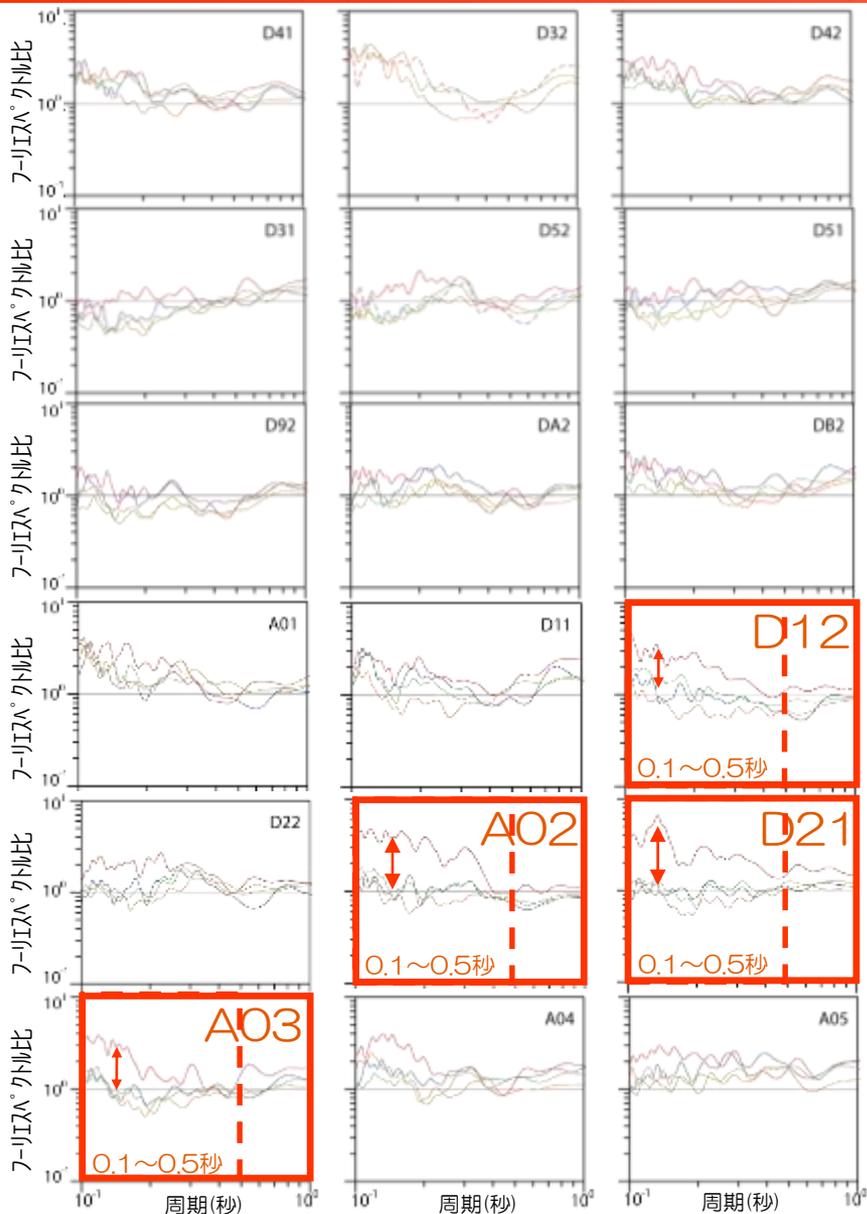
※但し，新潟県上中越沖においては，M4.0以上の地震が発生していないが，中越沖地震の震源域であることから，マグニチュードの小さい地震についても検討に加えている。



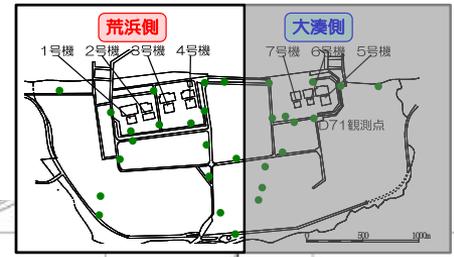
対象地震の震央位置

5.3 地震波の増幅特性

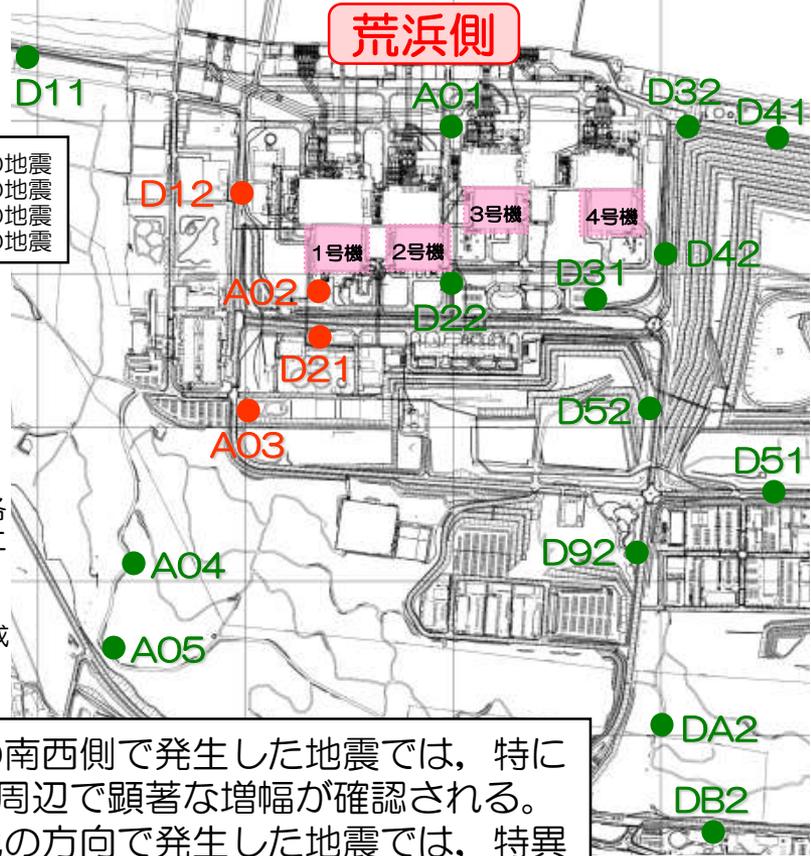
5.3.1 地震観測記録の分析 (4) 水平アレイ観測記録



到来方向別の フーリエスペクトル比



- 南西の地震 (Red line)
- 北の地震 (Orange line)
- 東の地震 (Blue line)
- 南の地震 (Green line)



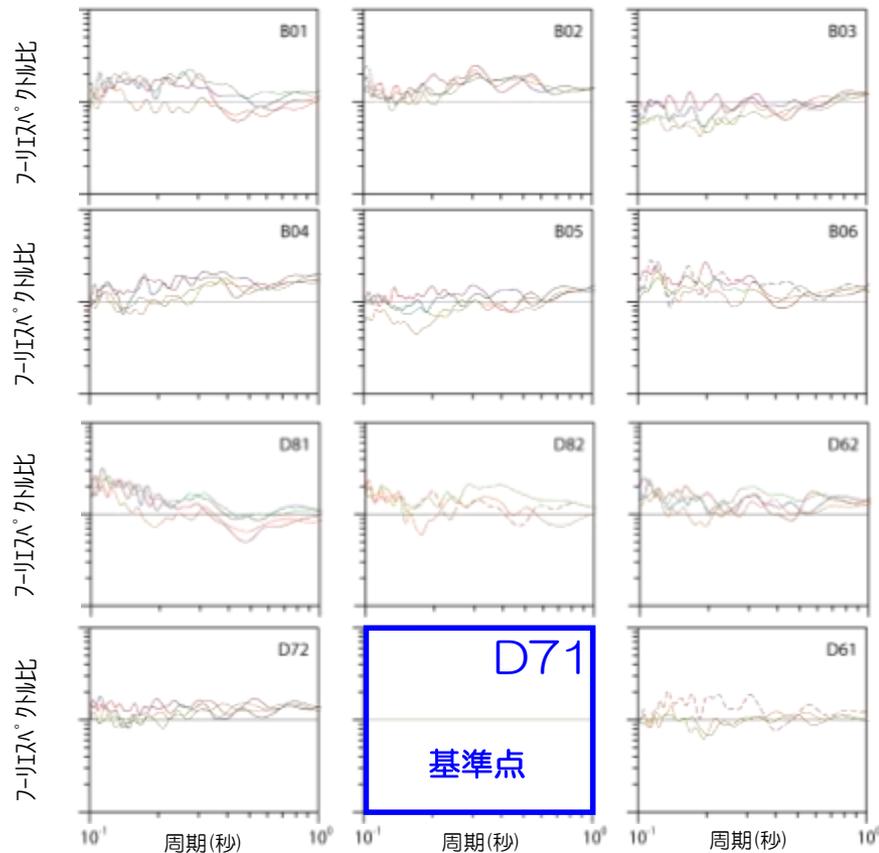
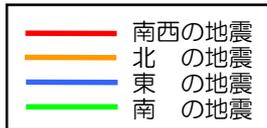
基準点に対する各観測点のフーリエスペクトル比 (荒浜側) (NS成分とEW成分の幾何平均)

- 敷地の南西側で発生した地震では、特に1号機周辺で顕著な増幅が確認される。
- その他の方向で発生した地震では、特異な増幅は見られない。

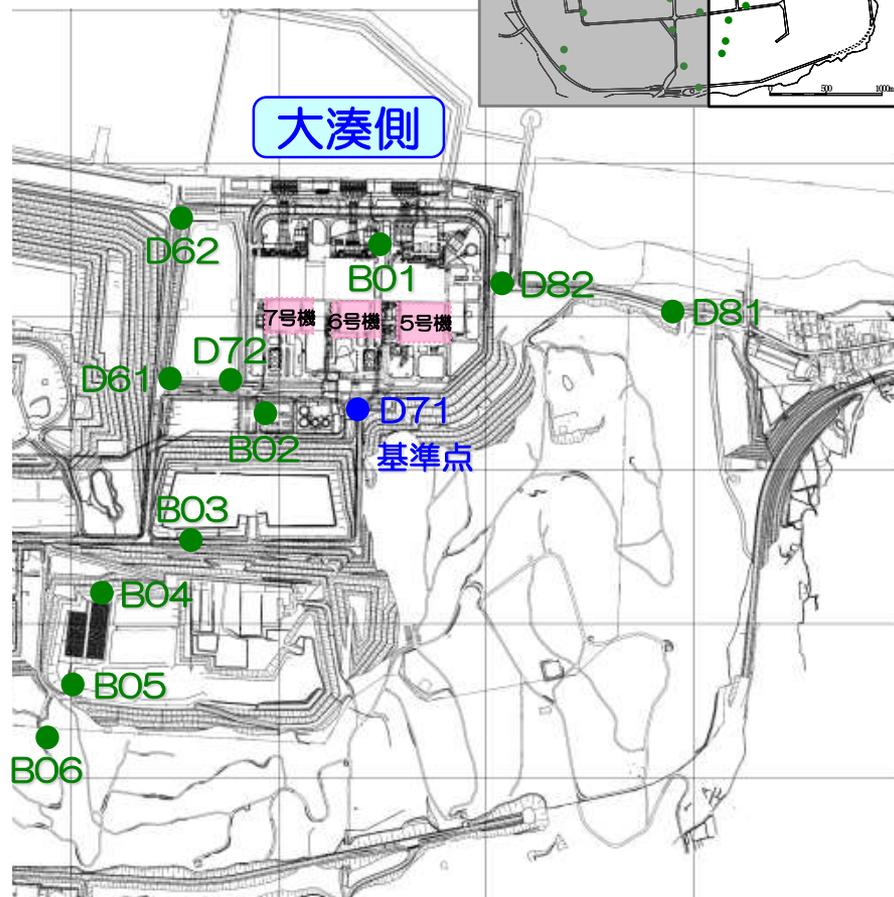
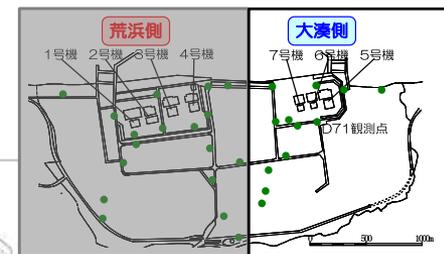
5.3 地震波の増幅特性

5.3.1 地震観測記録の分析 (4) 水平アレイ観測記録

到来方向別の フーリエスペクトル比



基準点に対する各観測点のフーリエスペクトル比
(大湊側)
(NS成分とEW成分の幾何平均)



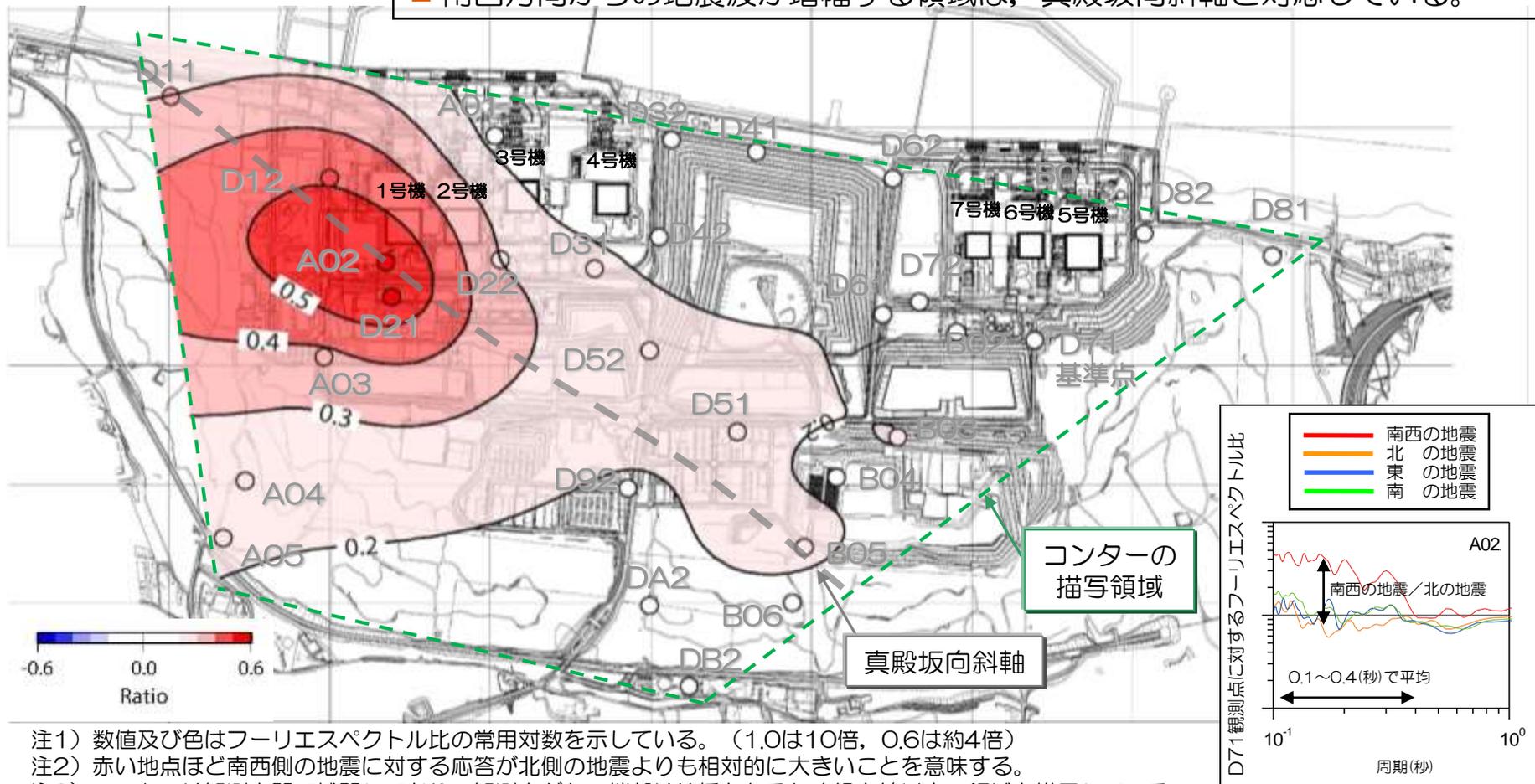
■ 全ての方向で発生した地震について、特異な増幅は見られない。

5.3 地震波の増幅特性

5.3.1 地震観測記録の分析 (4) 水平アレイ観測記録

南西から到来する地震波が顕著に増幅する領域

- 各地点における地下構造の不整形性の影響を抽出するため、顕著な影響がない北側の地震に対する、南西側の地震の比を算定。
- 南西方向からの地震波が増幅する領域は1号機周辺で確認されるが、その他の領域については、顕著な増幅が確認されない。
- 南西方向からの地震波が増幅する領域は、真殿坂向斜軸と対応している。



注1) 数値及び色はフーリエスペクトル比の常用対数を示している。(1.0は10倍, 0.6は約4倍)

注2) 赤い地点ほど南西側の地震に対する応答が北側の地震よりも相対的に大きいことを意味する。

注3) コンターは観測点間で補間しており、観測点がない端部は外挿となるため緑点線以内の領域を描写している。

5.3 地震波の増幅特性

5.3.1 地震観測記録の分析 まとめ

- 中越沖地震の観測記録及び鉛直アレイ観測記録より、以下を確認。
 - 中越沖地震など海域で発生した地震については、Noda et al.(2002)による応答スペクトルと比較して大きくなり、荒浜側と大湊側で地震動特性が異なること。特に敷地南西で発生した地震については、その差が顕著となること。
 - 陸域で発生した地震については、Noda et al.(2002)による応答スペクトルと比較して小さく、荒浜側と大湊側で地震動特性に特異な差は確認されないこと。

- 中越沖地震の観測記録及び原子炉建屋基礎版上の観測記録より、以下を確認。
 - 敷地内の地震動特性は荒浜側と大湊側にグルーピングできること。

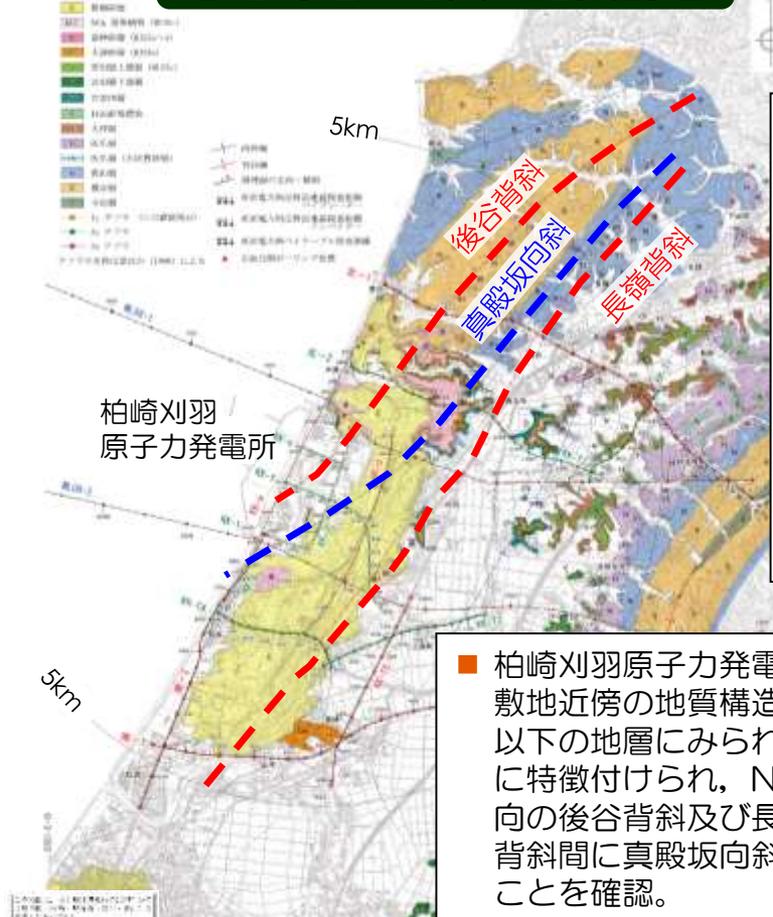
- 水平アレイ地震観測記録より、以下を確認。
 - 荒浜側は、南西から到来する地震動のみ、大湊側よりも大きくなり、その傾向は特に1号機周辺において顕著であること。
 - その他の到来方向については、敷地内において顕著な地震動特性の差は生じていないこと。

5.3 地震波の増幅特性

5.3.2 地下構造モデルを用いた解析的検討

- 地下構造モデルを用いた解析的検討を実施するにあたり、柏崎刈羽原子力発電所周辺における反射法地震探査やボーリング等の調査結果により広域の地下構造を把握。
- 背斜・向斜構造の特徴を踏まえたうえで、解析的検討を実施。

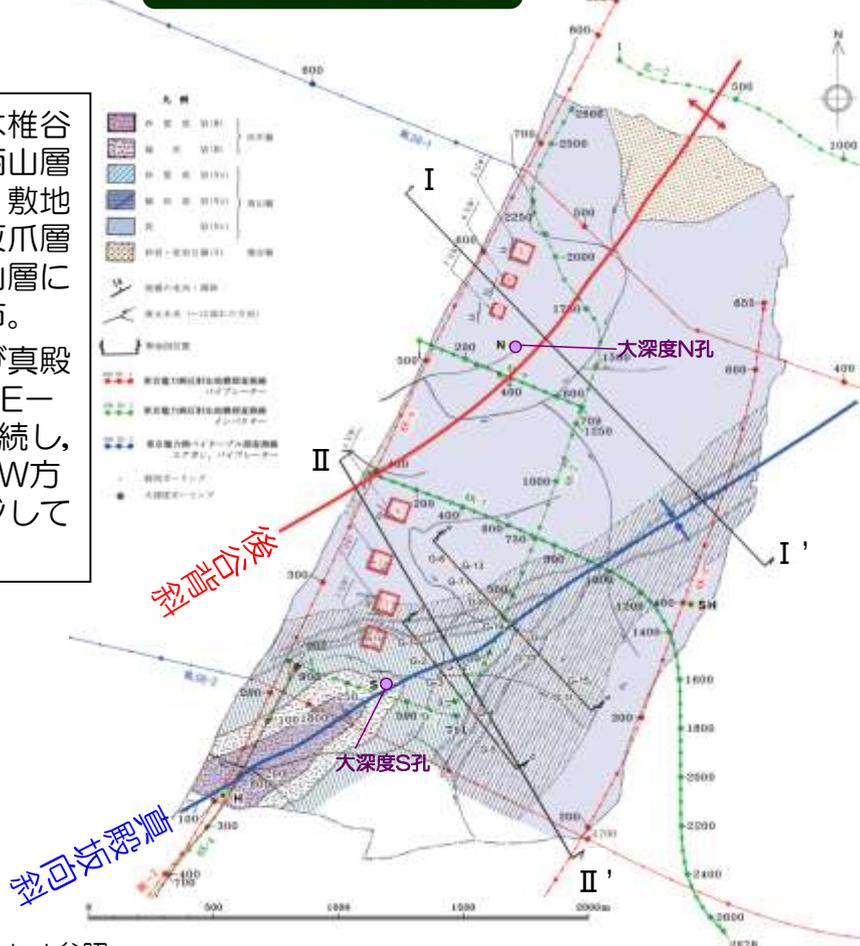
敷地周辺の地質・地質構造



- 敷地北部では椎谷層が上位の西山層に囲まれて、敷地南西部では灰爪層が下位の西山層に囲まれて分布。
- 後谷背斜及び真殿坂向斜は、NE-SW方向に連続し、全体としてSW方向にプランジしている。

- 柏崎刈羽原子力発電所敷地及び敷地近傍の地質構造は、西山層以下の地層にみられる褶曲構造に特徴付けられ、NE-SW方向の後谷背斜及び長嶺背斜、両背斜間に真殿坂向斜が分布することを確認。

敷地の地質構造



※第72回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合 資料1-1参照

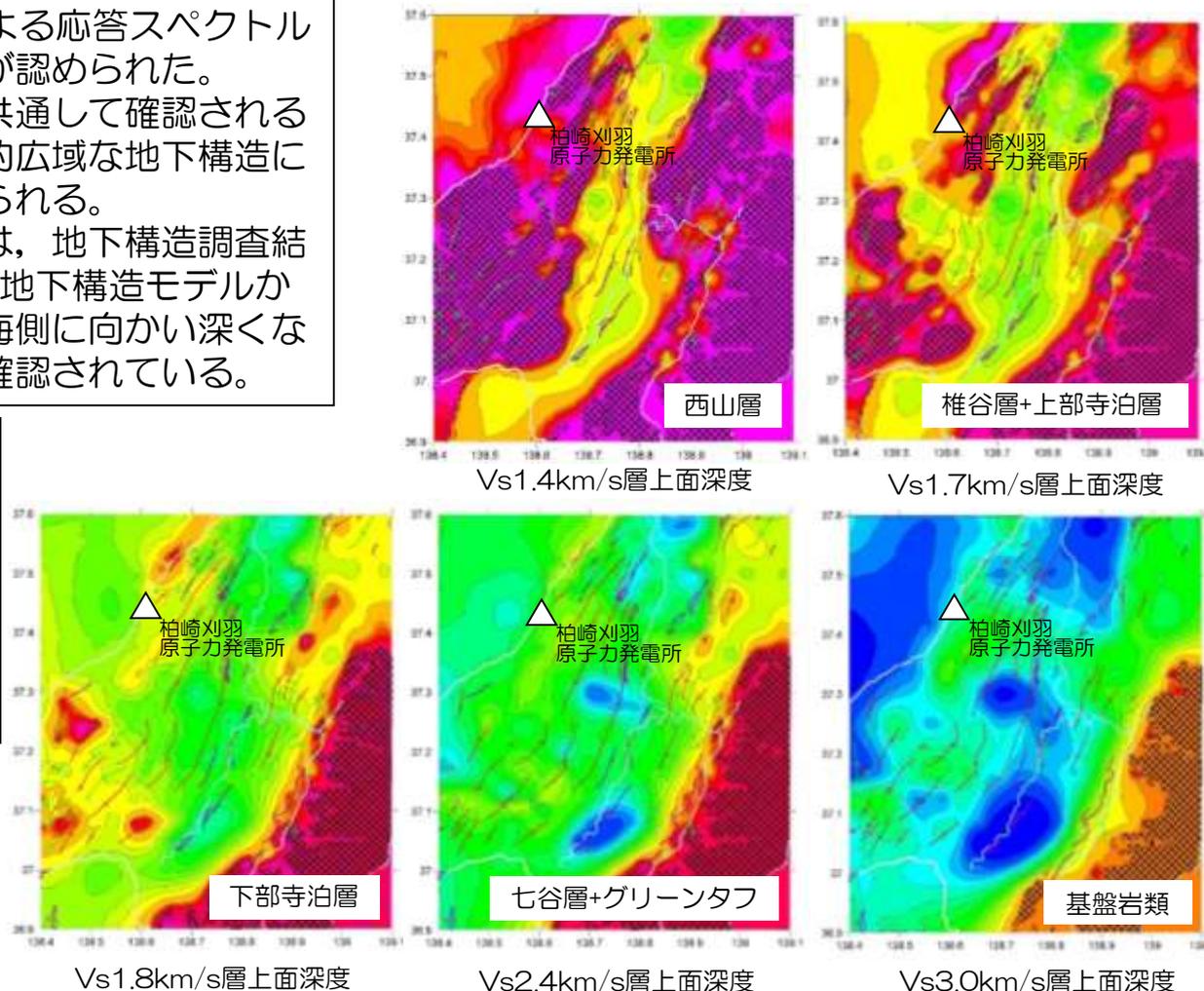
5.3 地震波の増幅特性

5.3.2 地下構造モデルを用いた解析的検討 (1) 広域

- 観測記録を分析した結果、中越沖地震など海域で発生した地震については、荒浜側、大湊側ともにNoda et al.(2002)による応答スペクトルと比較して大きくなる傾向が認められた。
- 敷地内の荒浜側、大湊側に共通して確認される傾向であることから、比較的広域な地下構造に影響されているものと考えられる。
- 敷地周辺の広域な地下構造は、地下構造調査結果及びJNES(2005)による地下構造モデルから、深部の層境界が陸から海側に向かい深くなる傾向が認められることが確認されている。

- そのため、敷地周辺の広域における深部の地下構造の不整形性が、地震動の増幅特性に与える影響を検討するため、3次元地下構造モデルによる解析検討を実施する。

地下構造モデル JNES(2005)

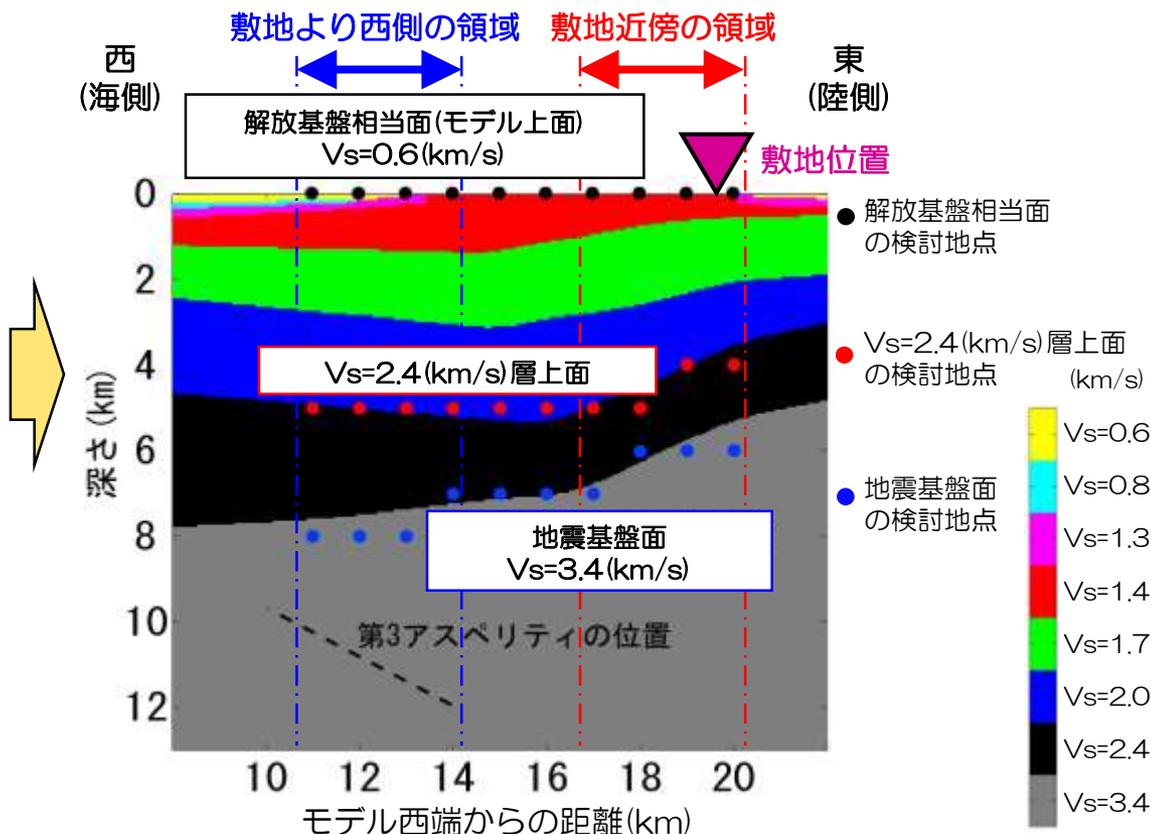
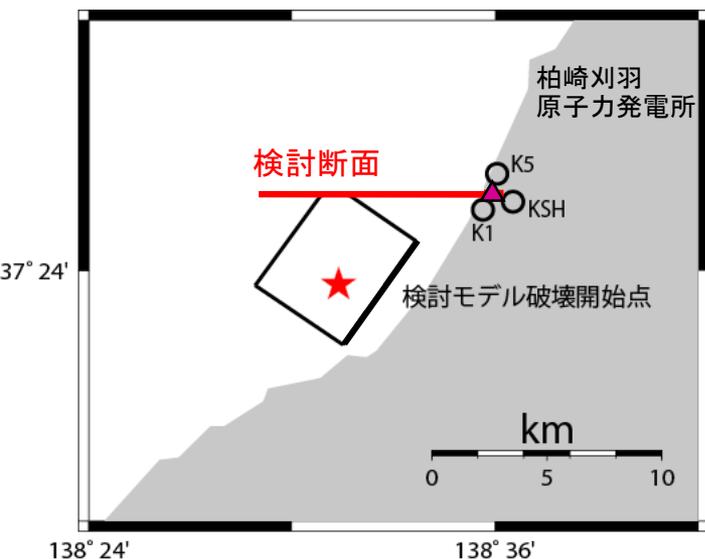


JNES(2005)より抜粋 (一部加筆・修正)

5.3 地震波の増幅特性

5.3.2 地下構造モデルを用いた解析的検討 (1) 広域

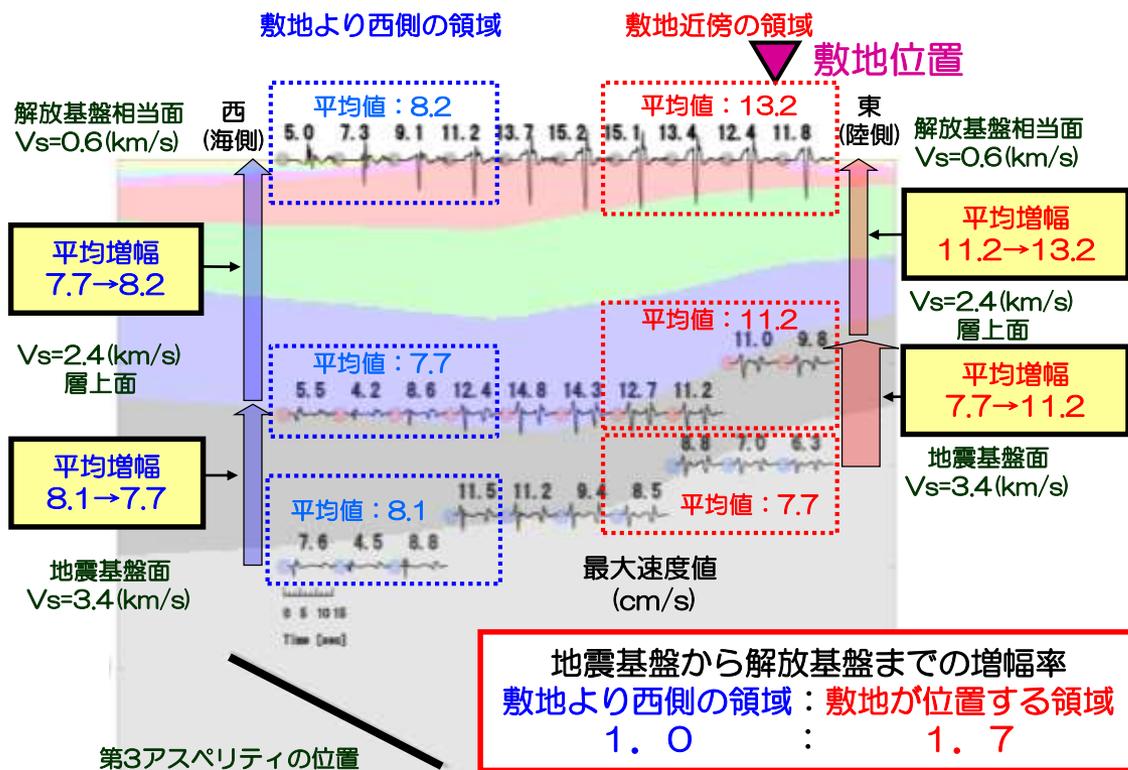
- 地下構造の変化は南北方向に比べて東西方向に大きいいため、東西方向に波形を出力する断面を設定し、その断面上での地下構造の増幅特性の検討を行う。
- 解放基盤相当面、 $V_s=2.4$ (km/s)層上面、地震基盤上面近傍の3つの深度で速度波形を抽出する。
- 地下構造の水平方向の変化が大きい敷地近傍の領域と、水平方向の変化が小さい敷地より西側の領域で、地震基盤から解放基盤までの増幅率を比較する。
- 本検討では、中越沖地震の際に観測された記録の中で最も振幅の大きかった第3アスペリティのEW成分を計算対象とする。



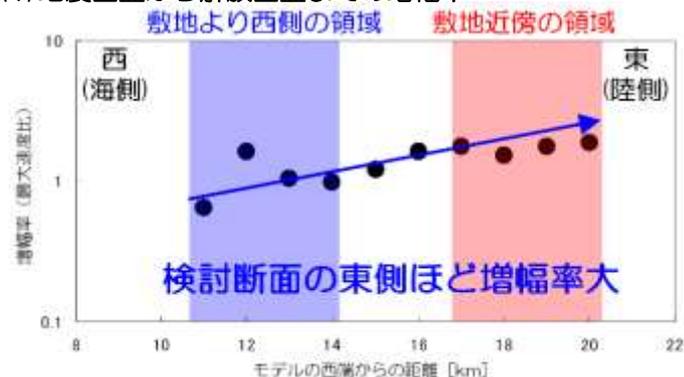
5.3 地震波の増幅特性

5.3.2 地下構造モデルを用いた解析的検討 (1) 広域

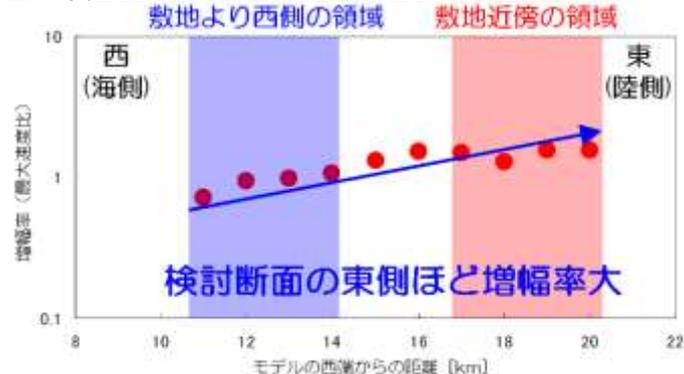
- 波形出力断面における解放基盤相当面, $V_s=2.4\text{km/s}$ 層上面, 地震基盤上面近傍における各地点での速度波形(左下図), 各層間における各地点での増幅率(右下図)を算定。
- 各出力波形上の数値はそれぞれの最大値を示す。
- 解放基盤面では自由表面の効果があるため, 波形の最大振幅を1/2にして最大速度値を求めている。
- 2つの領域(敷地より西側の領域, 敷地近傍の領域)で増幅率を比較すると, 敷地近傍での増幅の方が敷地より西側の領域での増幅より大きくなっている。
- 2つの領域における増幅率の違いの原因の一つとして, 敷地近傍の領域の方が地下構造の水平方向の変化が大きいことが影響していると考えられる。



(1)地震基盤から解放基盤までの増幅率



(2)地震基盤から $V_s=2.4(\text{km/s})$ 層までの増幅率



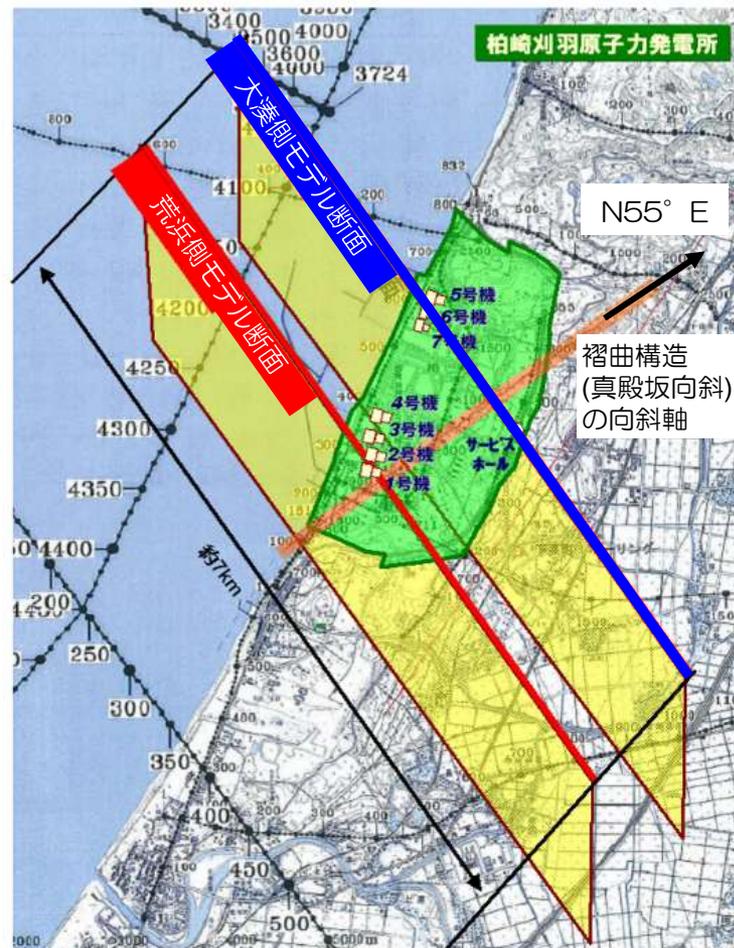
5.3 地震波の増幅特性

5.3.2 地下構造モデルを用いた解析的検討 (2) 敷地近傍

- 観測記録を分析した結果、中越沖地震など海域で発生した地震については、荒浜側が大湊側よりも大きくなる傾向が認められ、その傾向は敷地南西で発生する地震ほど顕著であることが確認された。
- 敷地内の荒浜側と大湊側の領域間で確認される差異であることから、比較的敷地近傍の地下構造に影響されているものと考えられる。
- 敷地近傍の地下構造は、地下構造調査結果から、西山層以下の褶曲構造により特徴付けられることが確認されている。
- そのため、敷地近傍に存在する褶曲構造が荒浜側と大湊側の増幅特性に与える影響を定性的に把握するため、褶曲軸に直交する2次元モデルを作成し、解析検討を実施する。

地下構造モデルの設定

- 敷地及び敷地周辺の地下構造に関する情報を用い、荒浜側と大湊側の地震動特性を検討することを目的として、荒浜側と大湊側でそれぞれ2次元地下構造をモデル化。
- 敷地周辺の地盤はN55° Eの方向（北から時計回りに55度東の方向）に連続する、概ね2次元的な形状を呈しているため、断面はN55° Eの方向（真殿坂向斜の向斜軸）にほぼ直交する方向に設定。



2次元地下構造モデルのイメージ図

5.3 地震波の増幅特性

5.3.2 地下構造モデルを用いた解析的検討 (2) 敷地近傍

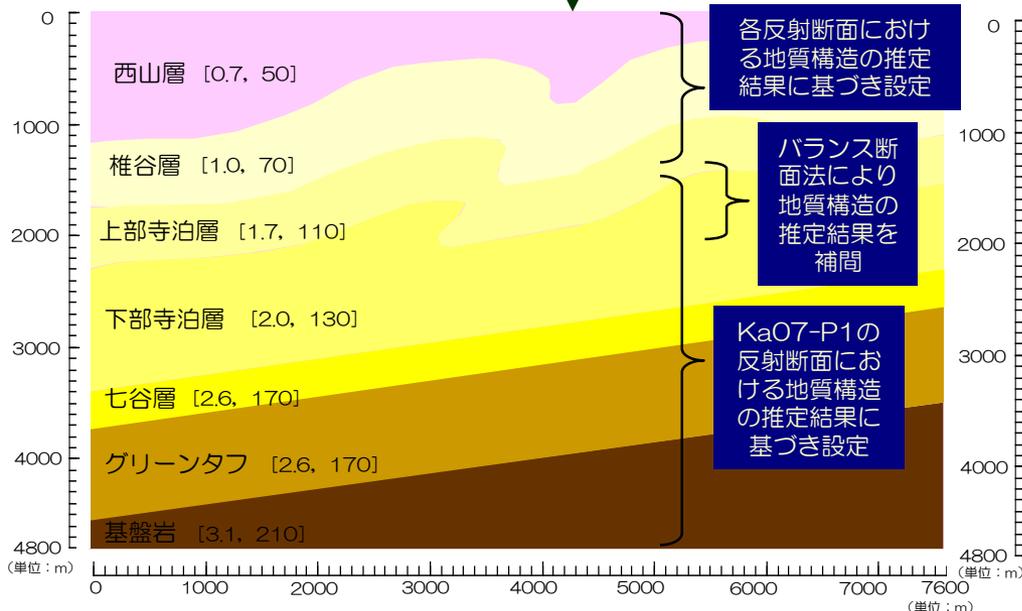
設定した地下構造モデル

- 推定された地下構造を、解析断面に投影し、地下構造モデルを作成。
- なお、速度構造は、水平／上下スペクトル振幅比とレシーバー関数を用いた逆解析により設定。また減衰（Q値）は算定式（ $Q=V_s/15$ ）より設定。

凡例：[Vs(km/s), Q値]
対象周波数：0～5Hz

荒浜側

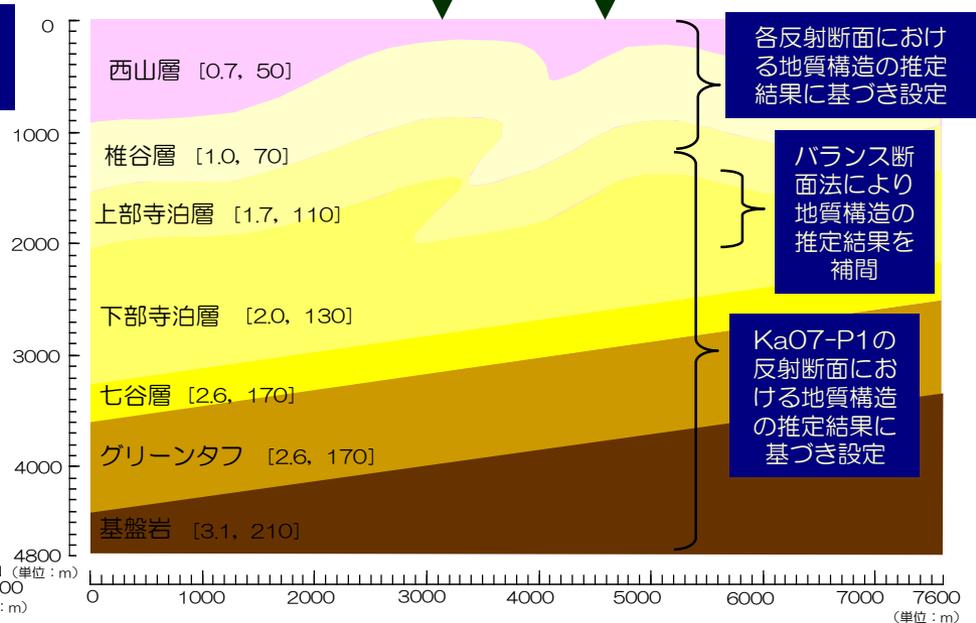
1号機



大湊側

5号機

サービスホール

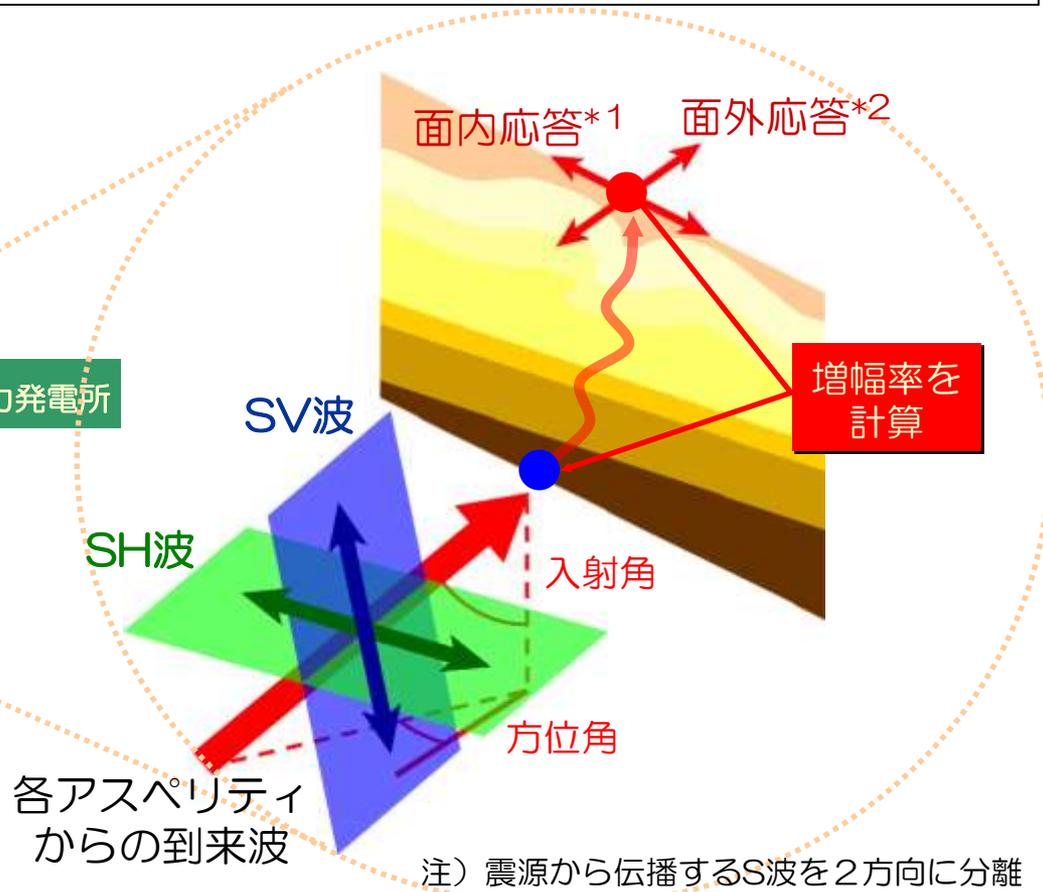
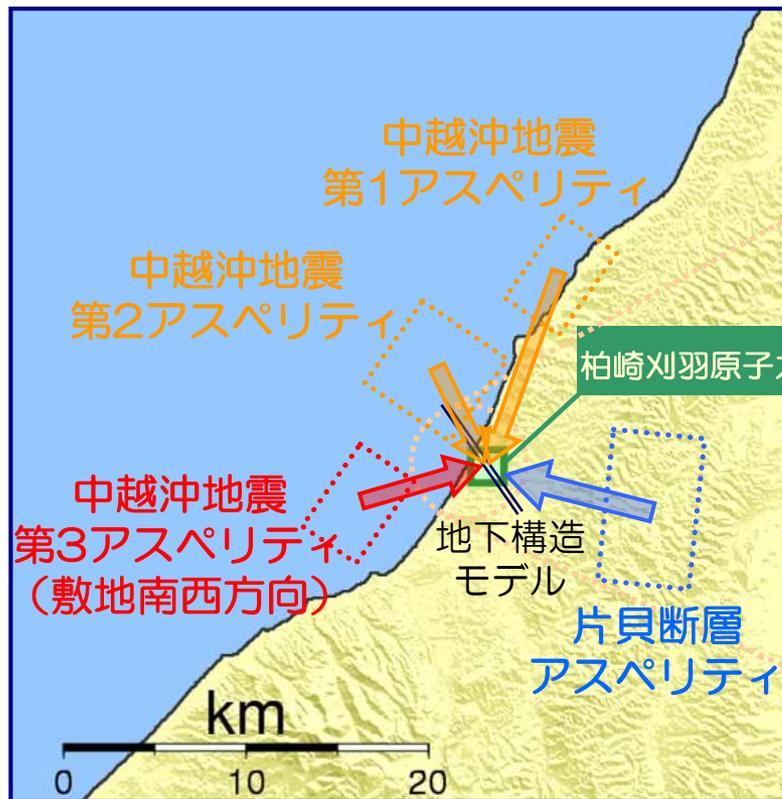


5.3 地震波の増幅特性

5.3.2 地下構造モデルを用いた解析的検討 (2) 敷地近傍

【目的と概要】

到来方向による荒浜側と大湊側の増幅特性の違いについて検討するため、中越沖地震の各アスペリティからの入射に対する増幅率と陸域（長岡平野西縁断層帯を構成する片貝断層のアスペリティ）から入射した場合の増幅率を比較する。



注) 震源から伝播するS波を2方向に分離

※1 面内応答: 地下構造モデル断面と平行方向の応答

※2 面外応答: 地下構造モデル断面と直交方向の応答

5.3 地震波の増幅特性

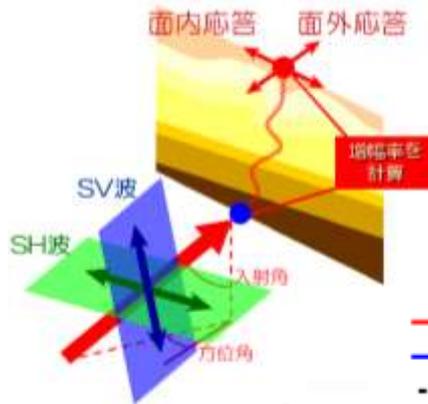
5.3.2 地下構造モデルを用いた解析的検討 (2) 敷地近傍

中越沖地震 第1アスペリティ

中越沖地震 第2アスペリティ

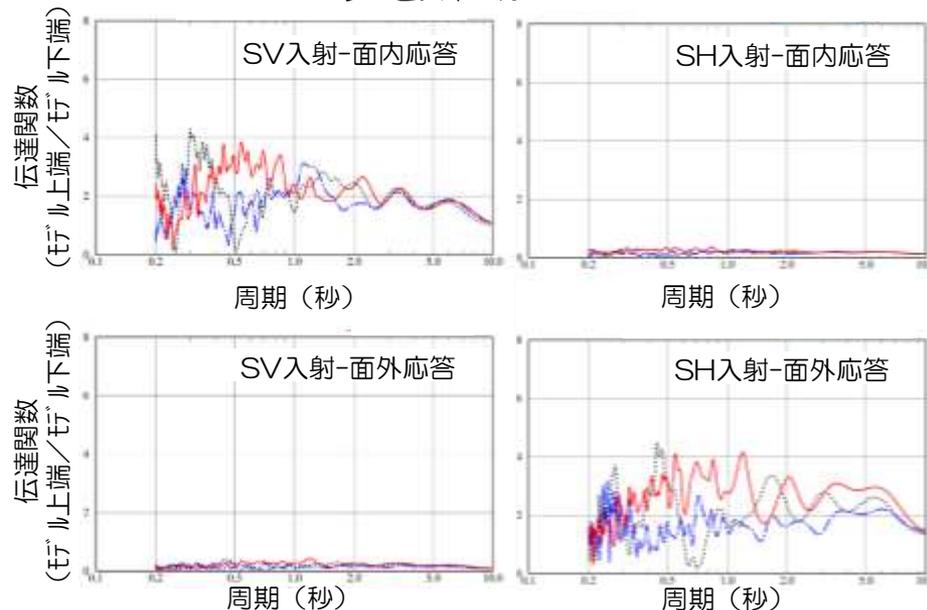
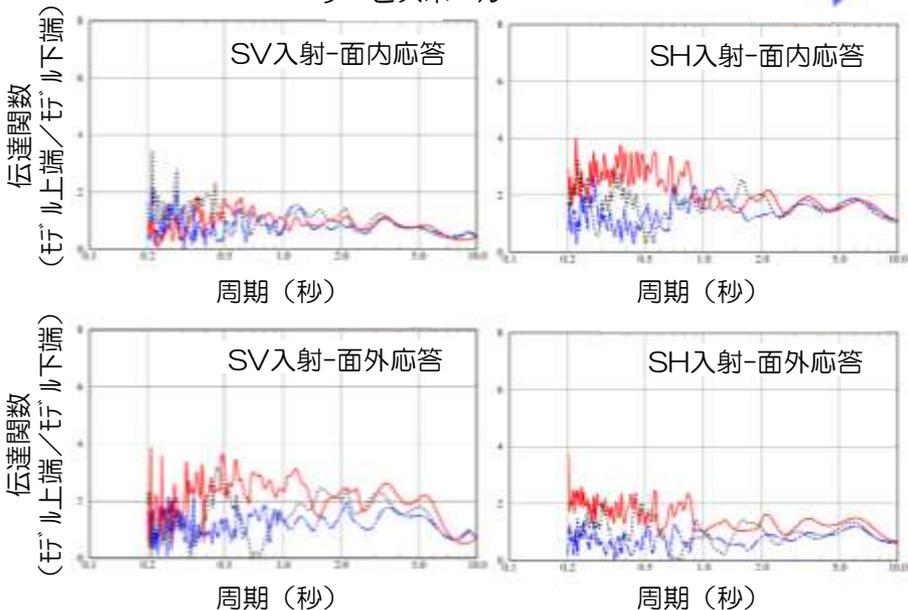
入射角：46°
方位角：150°

入射角：28°
方位角：95°



— 1号機(荒浜側)
- - - 5号機(大湊側)
⋯⋯ サービスホール

— 1号機(荒浜側)
- - - 5号機(大湊側)
⋯⋯ サービスホール



■ 荒浜側と大湊側の増幅率に大きな差はみられないことを確認。

■ 荒浜側と大湊側の増幅率に大きな差はみられないことを確認。

5.3 地震波の増幅特性

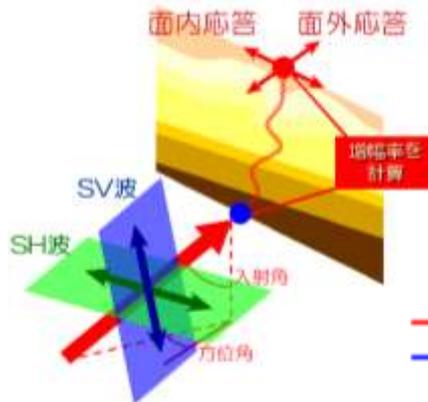
5.3.2 地下構造モデルを用いた解析的検討 (2) 敷地近傍

中越沖地震 第3アスペリティ

片貝断層 アスペリティ

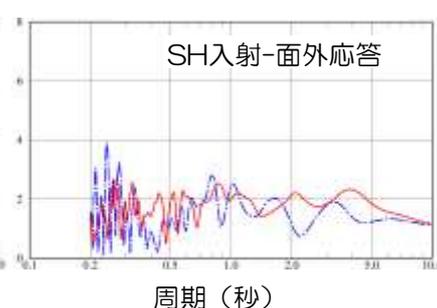
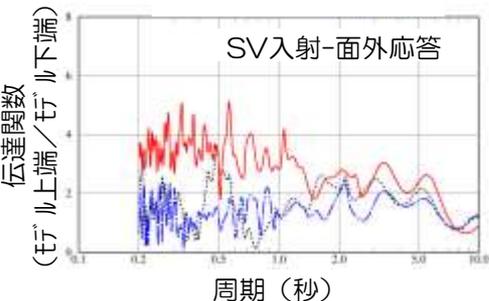
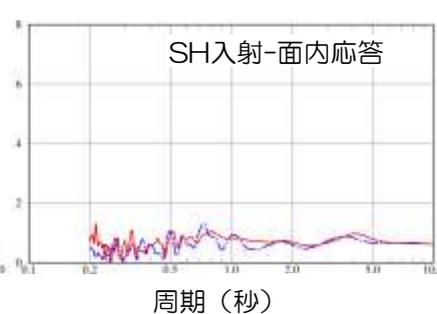
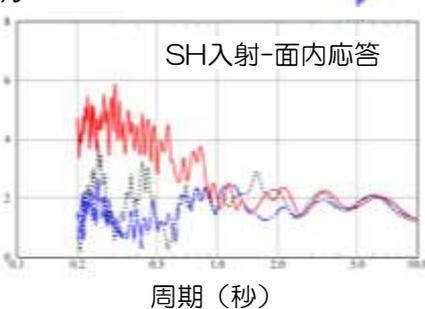
入射角：45°
方位角：15°

入射角：60°
方位角：242°



— 1号機(荒浜側)
- - - 5号機(大湊側)
..... サービスホール

— 1号機(荒浜側)
- - - 5号機(大湊側)



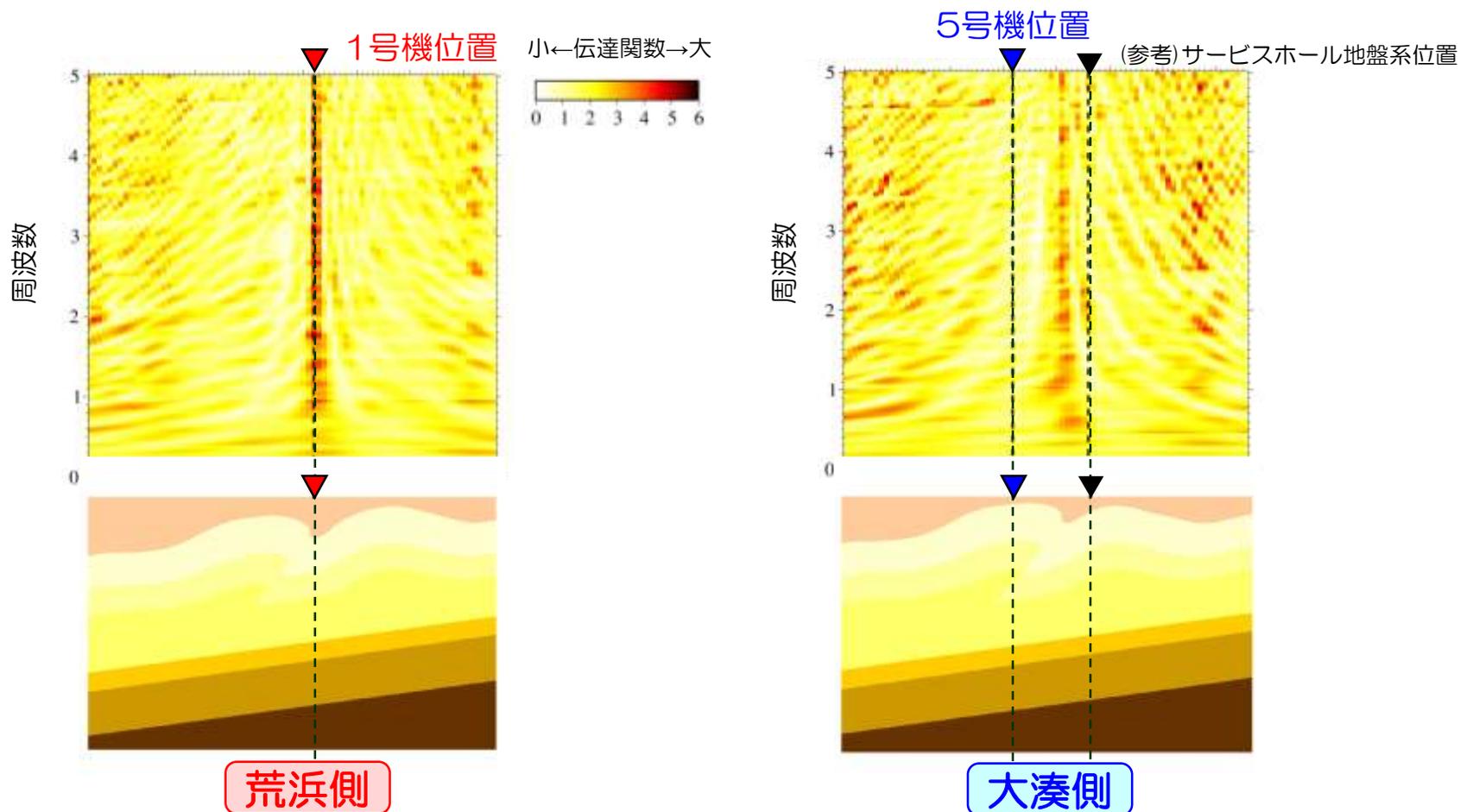
■ 荒浜側と大湊側の増幅率には大きな差があり、荒浜側は大湊側の2~4倍程度となることを確認。

■ 荒浜側と大湊側の増幅率に大きな差はみられないことを確認。

5.3 地震波の増幅特性

5.3.2 地下構造モデルを用いた解析的検討 (2) 敷地近傍

- 荒浜側で顕著な増幅特性が見られた第3アスペリティについて、伝達関数（モデル上端／モデル下端）の面的な分布を確認。



- 向斜の直上において地震波が局所的に集中し、1号機で増幅が大きくなることを確認。

5.3 地震波の増幅特性

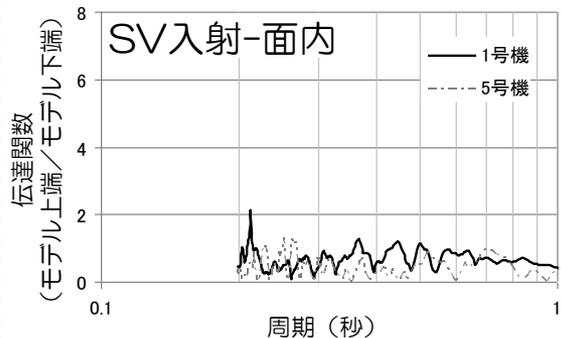
5.3.2 地下構造モデルを用いた解析的検討 (2) 敷地近傍

観測記録との整合

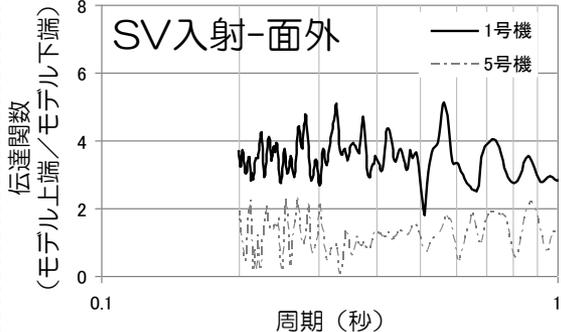
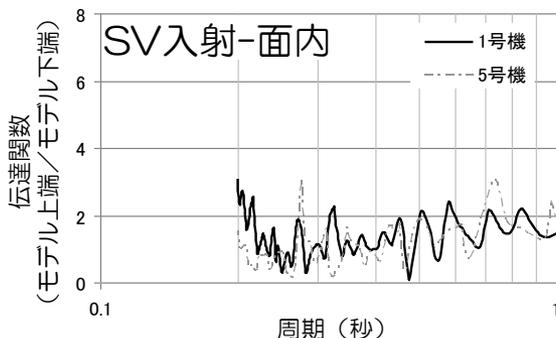
解析による検討結果

※P.51参照

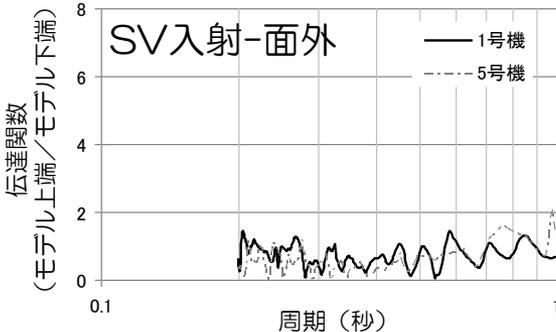
中越沖地震 第3アスペリティ (南西) からの入射



片貝断層のアスペリティ (東) からの入射



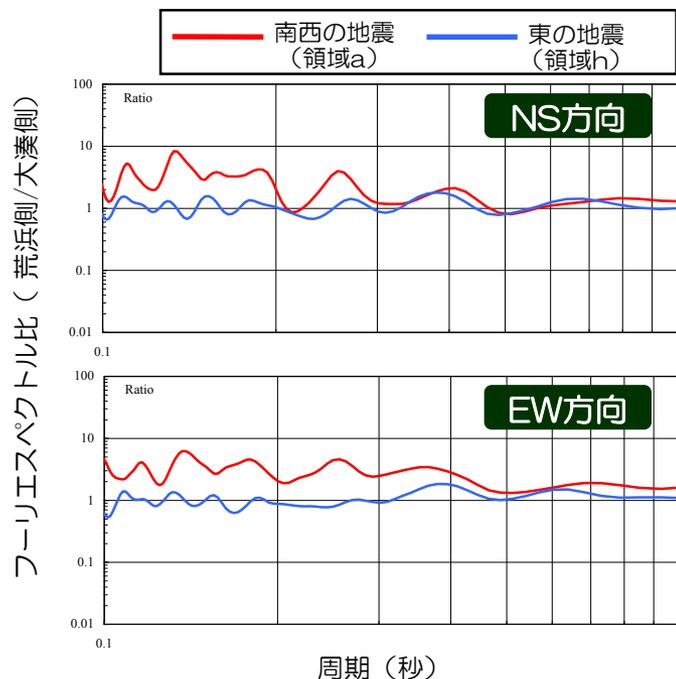
荒浜側と大湊側の
増幅率に差がある



荒浜側と大湊側の
増幅率に差はない

観測記録の分析結果

※P.35参照



- 南西の地震では、荒浜側と大湊側で増幅特性が異なる
- 東の地震では、荒浜側と大湊側で増幅特性に差はない

■ 解析結果と観測記録の分析結果が整合していることを確認。

5.3 地震波の増幅特性

5.3.2 地下構造モデルを用いた解析的検討 まとめ

- 敷地および敷地周辺の地下構造を反映した地下構造モデルを用いた解析的検討より、以下を確認。
 - 海域より到来する地震波は、広域の3次元的な地下構造により、増幅する傾向にあること。
 - 敷地の南西方向より到来する地震波は、敷地近傍の褶曲構造により、荒浜側と大湊側で差異が発生すること。
その他の方向から到来する地震波については、荒浜側と大湊側で概ね等しい増幅特性となること。
 - なお、上記の分析結果は、JNES(2008)、川辺・釜江(2010)、佐口ほか(2010)、新田ほか(2011)、早川ほか(2011)の研究成果とも整合すること。

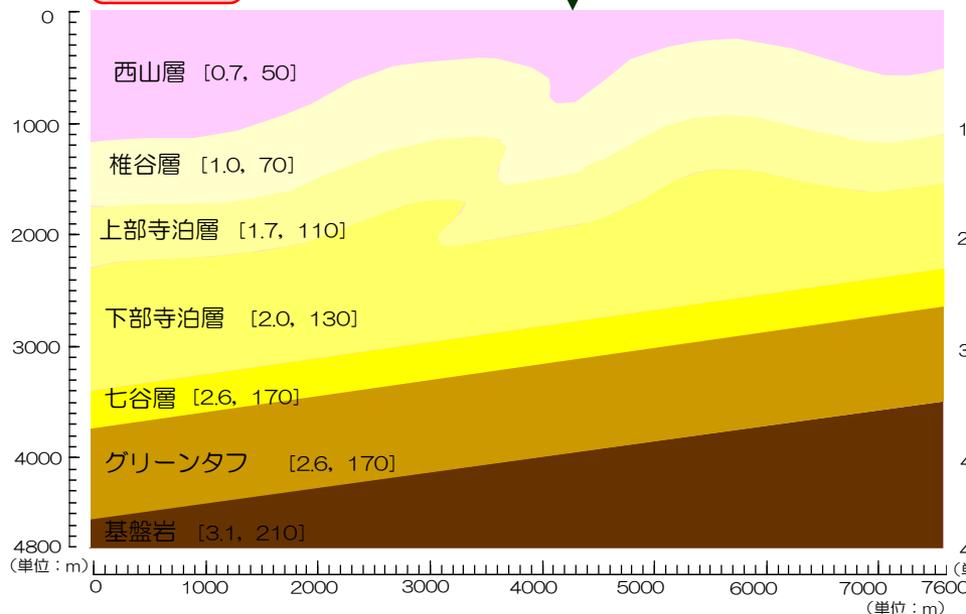
5.3 地震波の増幅特性

5.3.2 地下構造モデルを用いた解析的検討 まとめ

- 敷地における地下構造の特徴を踏まえ以下の検討を実施した結果、2次元地下構造モデルにより敷地における地震波の増幅特性を概ね再現できることを確認した。
 - 地下構造調査から敷地における地下構造の特徴を分析し、2次元地下構造モデルを作成。
 - パラメータスタディ、中越沖地震のシミュレーション解析及び水平アレイ等による1次元地下構造モデルとの比較により、作成した2次元地下構造モデルの妥当性を検証。
 - 到来方向別の増幅特性について解析的検討を実施したところ、南西から到来する地震波については、真殿坂向斜軸上で増幅する傾向があり、観測記録に見られる傾向を再現できることを確認。
- 上記のとおり、地震観測記録の分析・解析的検討から敷地における地震波の増幅特性を把握したうえで、敷地においては地震動評価に適用可能な地震観測記録が得られていることを踏まえ、経験的グリーン関数法を用いて地震動評価を実施する。

荒浜側

1号機

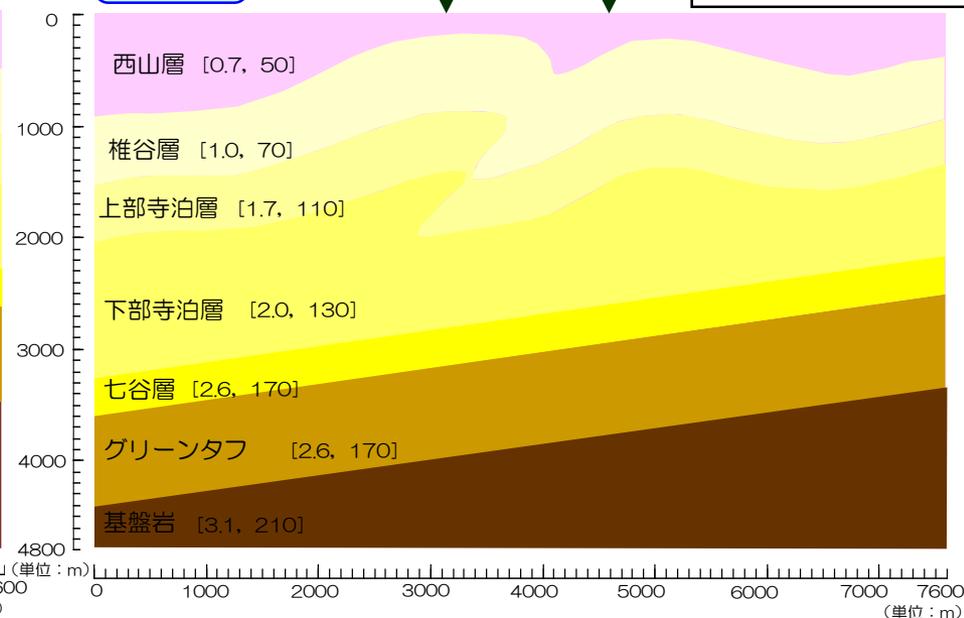


大湊側

5号機

サービスホール

凡例: [Vs(km/s), Q値]
対象周波数: 0~5Hz



敷地における2次元地下構造モデル

5.3 地震波の増幅特性

5.3.3 地震動評価への反映事項

5.3.1 地震観測記録の分析

- ① 海域で発生した地震は、Noda et al.(2002)による応答スペクトルと比較して大きく、一方、陸域で発生した地震は、小さい。
- ② 敷地の南西で発生した地震については、1号機周辺において顕著に増幅する傾向が認められる。

【補足説明資料】

地下構造の把握

- ① 敷地周辺の地下構造は、深部に傾斜が認められる。
- ② 敷地近傍の地下構造は、西山層以下の褶曲構造により特徴付けられる。

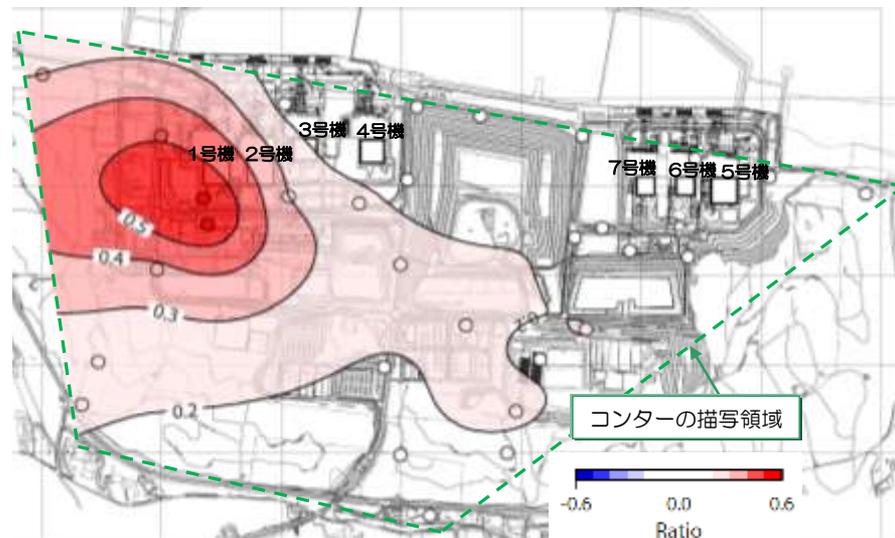
5.3.2 解析的検討

- ① 海域から到来する地震波は深部構造の影響により増幅される傾向にある。
- ② 敷地の南西から到来する地震波は、敷地近傍の褶曲構造の影響により、荒浜側は大湊側より大きな増幅特性を示す。

5.3.3 地震動評価への反映事項

観測記録に基づき地震動評価を実施

- ・ 海域と陸域の活断層に分類して評価を実施。
- ・ 海域の活断層による地震については、荒浜側（1～4号機）と大湊側（5～7号機）でそれぞれ基準地震動を策定。なお、荒浜側では顕著な増幅が確認される1号機地点において基準地震動を策定する。
- ・ 応答スペクトルに基づく地震動評価では、海域の地震と陸域の地震に分類して、それぞれ観測記録に基づく補正係数を考慮。
- ・ 断層モデルを用いた手法による地震動評価では、経験的グリーン関数法を用い、海域と陸域の地震動特性を反映した適切な要素地震を採用。
- ・ なお、施設の耐震安全性評価においては、右図等による各施設の設置位置における地震波の増幅特性を参照し、荒浜側または大湊側で策定した適切な基準地震動を採用する。



水平アレイ観測記録に基づく

敷地南西側から到来する地震波が増幅する領域

注) コンターは観測点間で補間しており、観測点がない端部は外挿となるため緑点線以内の領域を描写している。

1. 概要
2. 敷地周辺の地震発生状況
3. 活断層の分布状況
4. 地震の分類
5. 敷地における地震波の増幅特性
6. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
7. 震源を特定せず策定する地震動
8. 基準地震動の策定
9. 基準地震動の超過確率参照

6. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

6.1 地震発生層の設定

6.2 検討用地震の選定

6.3 F-B断層による地震の地震動評価

6.3.1 震源モデルの設定

6.3.2 応答スペクトルに基づく地震動評価

6.3.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価

6.4 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

6.4.1 震源モデルの設定

6.4.2 応答スペクトルに基づく地震動評価

6.4.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価

6.5 佐渡島南方断層～魚津断層帯による地震の地震動評価

6.5.1 震源モデルの設定

6.5.2 断層モデルを用いた手法による地震動評価

6.1 地震発生層の設定

- 地震発生層の設定にあたっては、中越沖地震の余震の震源分布、速度構造、コンラッド面深さ等を総合的に判断して設定。
- 上端深さは、速度構造を重視し、下端深さは、中越沖地震の余震の震源分布、ひずみ集中帯プロジェクトにおける海域における自然地震観測による知見を重視して設定。

上端深さ：6km ， 下端深さ：17km

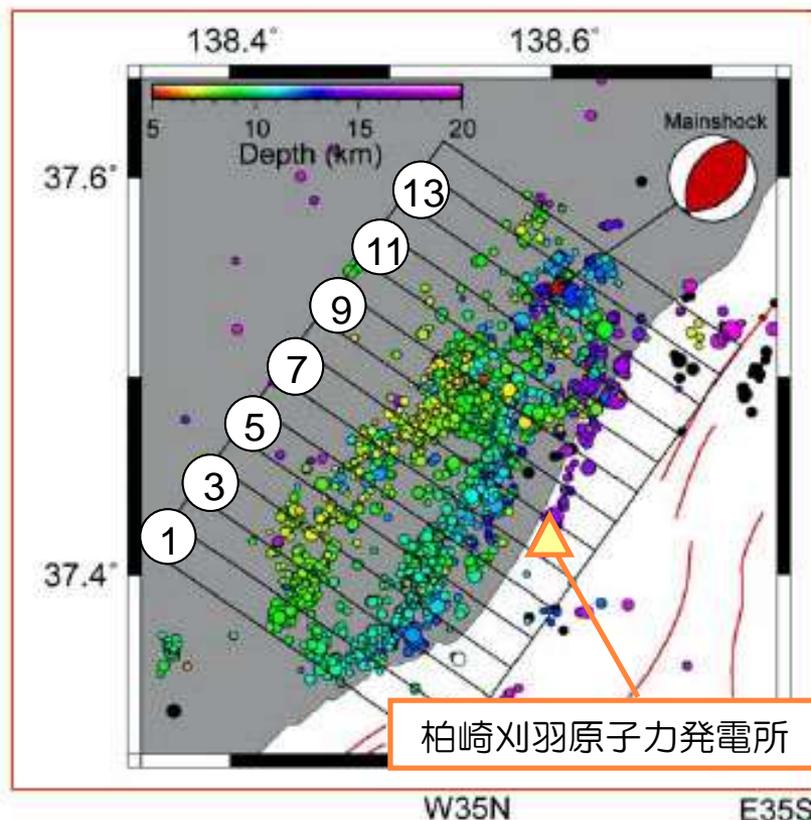
- なお、防災科研J-SHIS地震ハザードステーションの地震基盤深さのコンター図によると、敷地周辺で想定される断層面が位置する領域では、地震基盤深さが一様であることから一律の上端深さ、下端深さを仮定する。一方、敷地からやや遠い一部の領域では、浅くなる箇所も認められるものの、敷地への地震動評価に与える影響が小さいことを踏まえて、敷地周辺と同様一律の上端深さ、下端深さを仮定して評価を行う。

No.	項 目	上端深さ (km)	下端深さ (km)
1	海域・陸域臨時地震計観測網に基づく中越沖地震の精密余震分布	6	17
2	ひずみ集中帯プロジェクト	1.屈折法地震探査結果	6~9
		2.海域における自然地震観測	6
3	Kato et al.(2009)によるP波速度構造	6~	—
4	水平／上下スペクトル振幅比の逆解析による敷地地盤の速度構造モデル	5.9	—
5	コンラッド面深さ	—	15~16

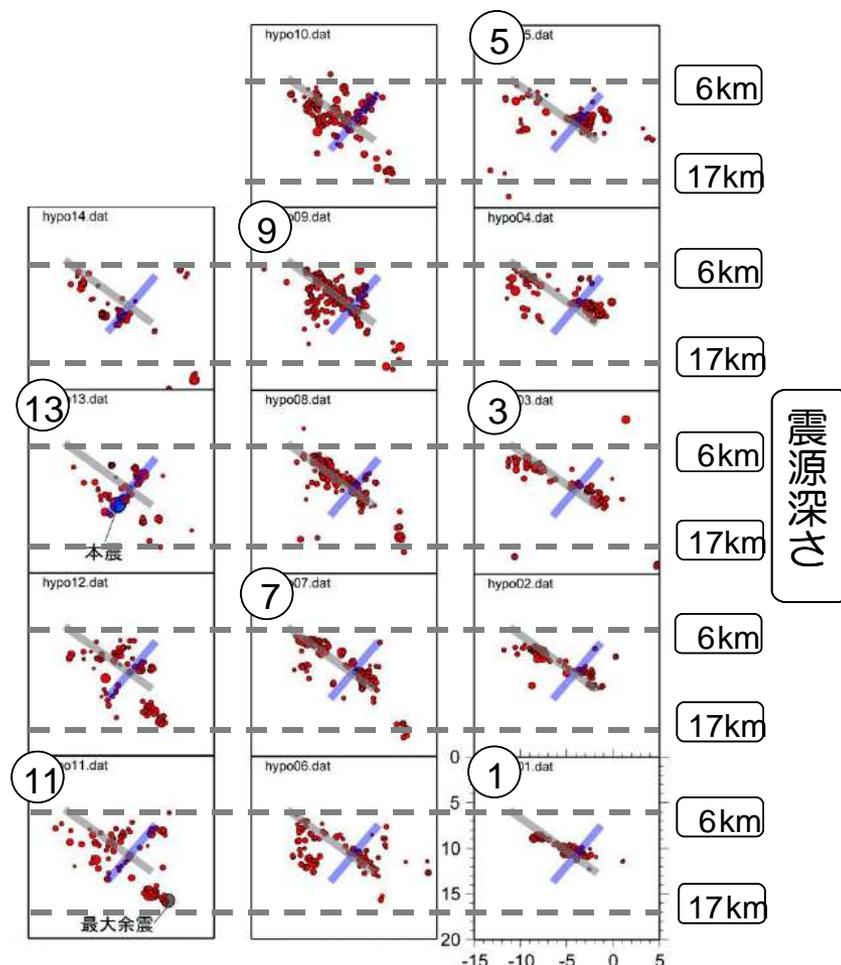
6.1 地震発生層の設定

No.1 海域・陸域臨時地震計観測網に基づく中越沖地震の精密余震分布

■ 中越沖地震の本震以降に海底に設置されたOBS(Ocean Bottom Seismograph)の記録に基づいて再決定された精密余震分布によると震源深さは約6km~17kmに求められている。



東京大学地震研究所資料（平成20年1月11日地震調査委員会）に加筆
 中越沖地震の余震
 (2007/7/16~2007/8/29)

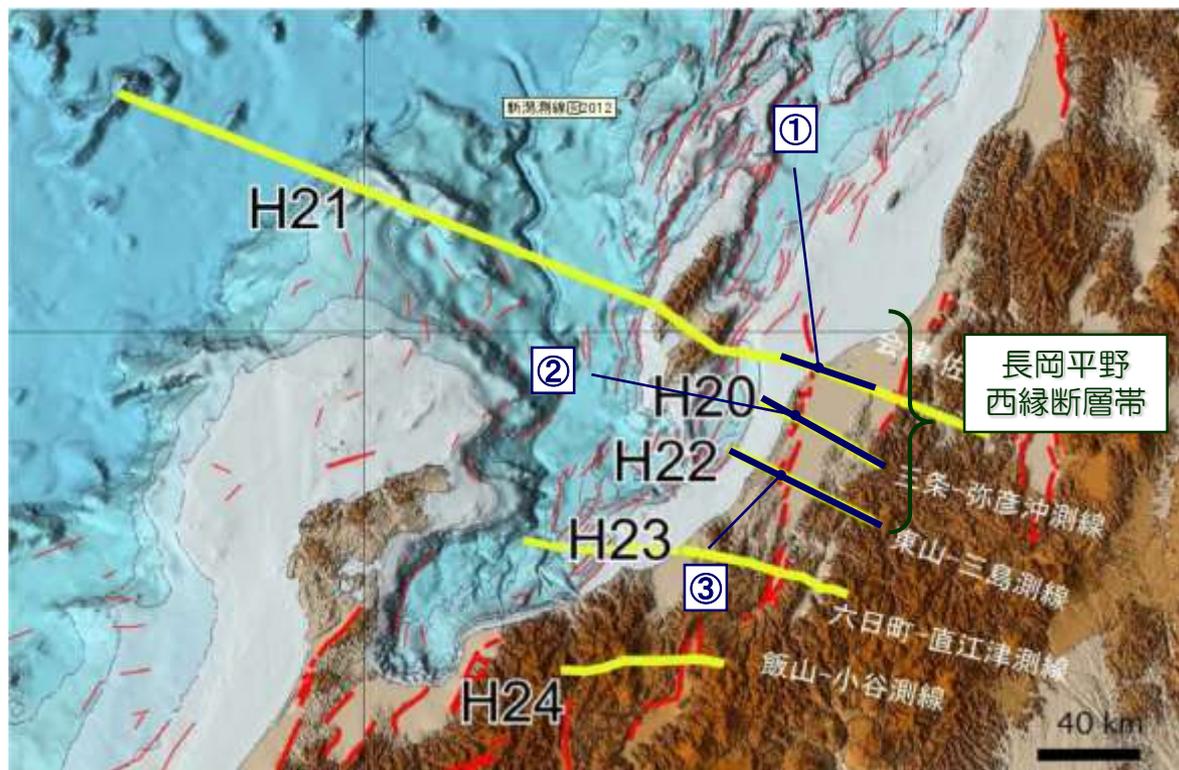


地震本部(2008)より抜粋（一部加筆・修正）

6.1 地震発生層の設定

No.2 ひずみ集中帯プロジェクト 1. 屈折法地震探査結果

- ひずみ集中帯プロジェクトにおいて、陸域及び海域の反射法・屈折法地震探査等が実施されている。
- 平成20～22年度には、長岡平野西縁断層帯を横断する測線で探査が実施されている。



防災科研(2013)より抜粋 (一部加筆・修正)

	防災科研(2009～2011)による、屈折法地震探査結果に関する記載
①	<ul style="list-style-type: none">■ 越後平野西部区間では、越後平野下にはほぼ平行構造を示す厚い堆積物が分布■ P波速度5.4km/s層の上面は地表下8km
②	<ul style="list-style-type: none">■ 調査地域は層厚6kmを超える厚い新第三系 (P波速度<5.4km/s) の堆積層が分布
③	<ul style="list-style-type: none">■ 先新第三系上面と推定しているP波速度5.3km/sの等速度線は西側に向かって、深度を増大させている。■ P波速度5.3km/sの等速度線は西山丘陵下で、8-9kmに分布

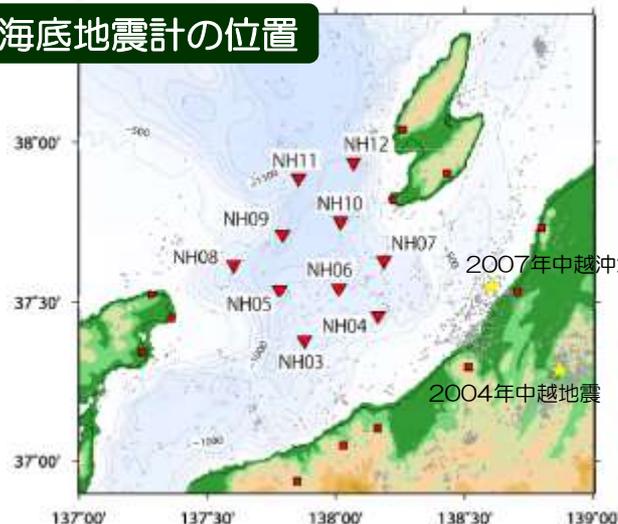
6.1 地震発生層の設定

No.2 ひずみ集中帯プロジェクト

2. 海域における自然地震観測

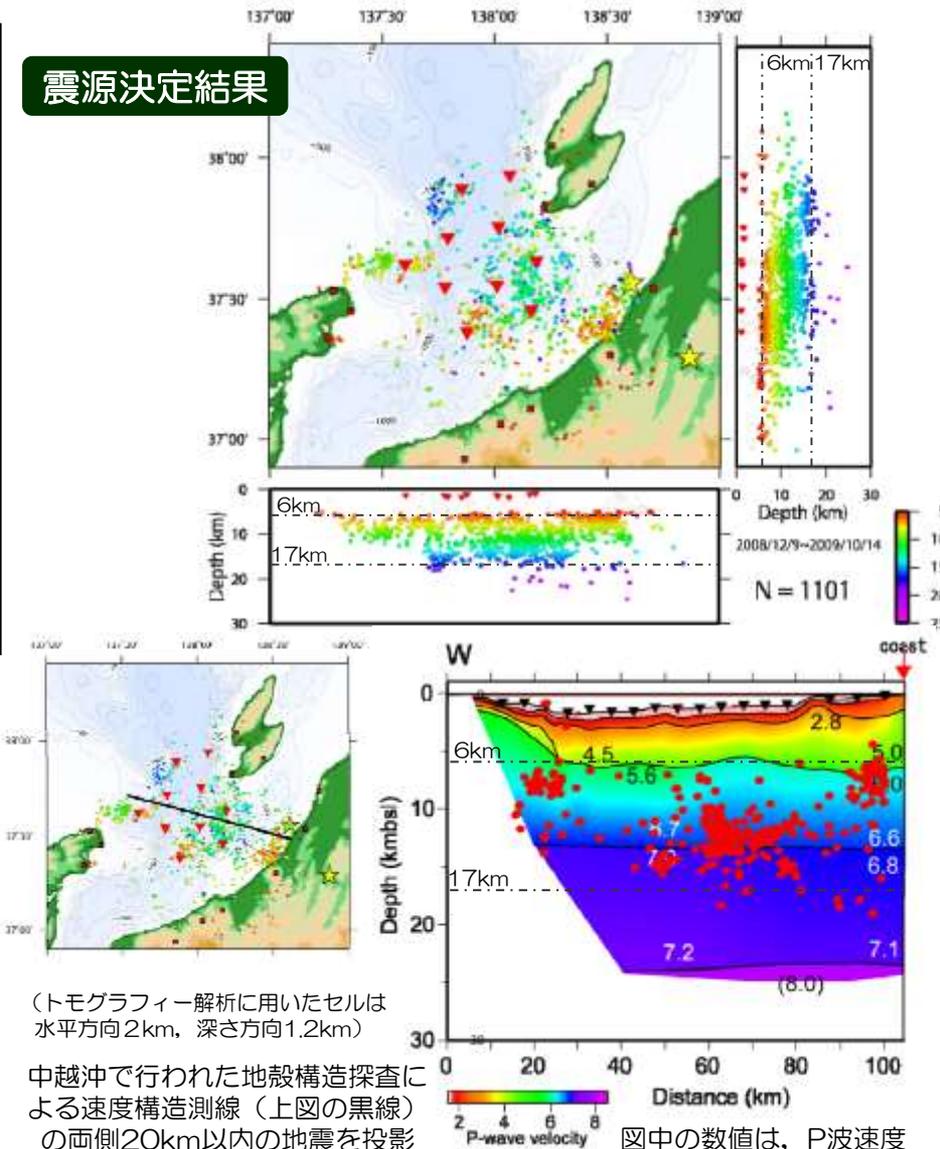
- ひずみ集中帯プロジェクトにおいて、海域における自然地震観測が実施されている。
- この中で、海域における詳細な震源分布などを明らかとする目的で、上越沖において長期観測型海底地震計（10台）による観測を実施。
（期間：平成20年12月～平成21年10月）
- 海底地震計で得られたデータ及び同期間に陸域観測点で得られたデータを併せて処理し、正確な震源分布を求めている。
- 得られた微小地震分布によると、多くの地震は深さ6km以深で発生。
- 速度構造においても、 $V_p=5.6\sim 6\text{km/s}$ 層の深さは6kmとほぼ一様。

海底地震計の位置



- ▼ : 長期観測型海底地震計設置位置
- : 観測期間と同じ期間に気象庁が決定した地震

震源決定結果



(トモグラフィー解析に用いたセルは水平方向2km, 深さ方向1.2km)

中越沖で行われた地殻構造探査による速度構造測線（上図の黒線）の両側20km以内の地震を投影

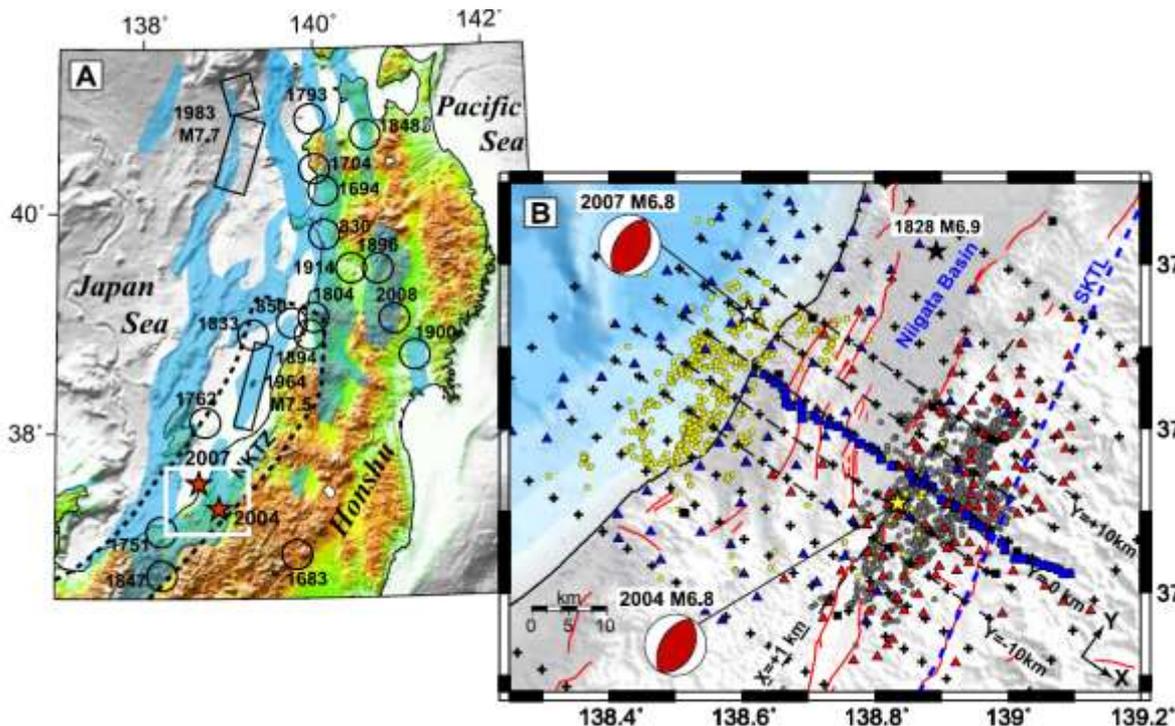
図中の数値は、P波速度

防災科研(2010, 2011)より抜粋（一部加筆・修正）

6.1 地震発生層の設定

No.3 Kato et al.(2009)によるP波速度構造

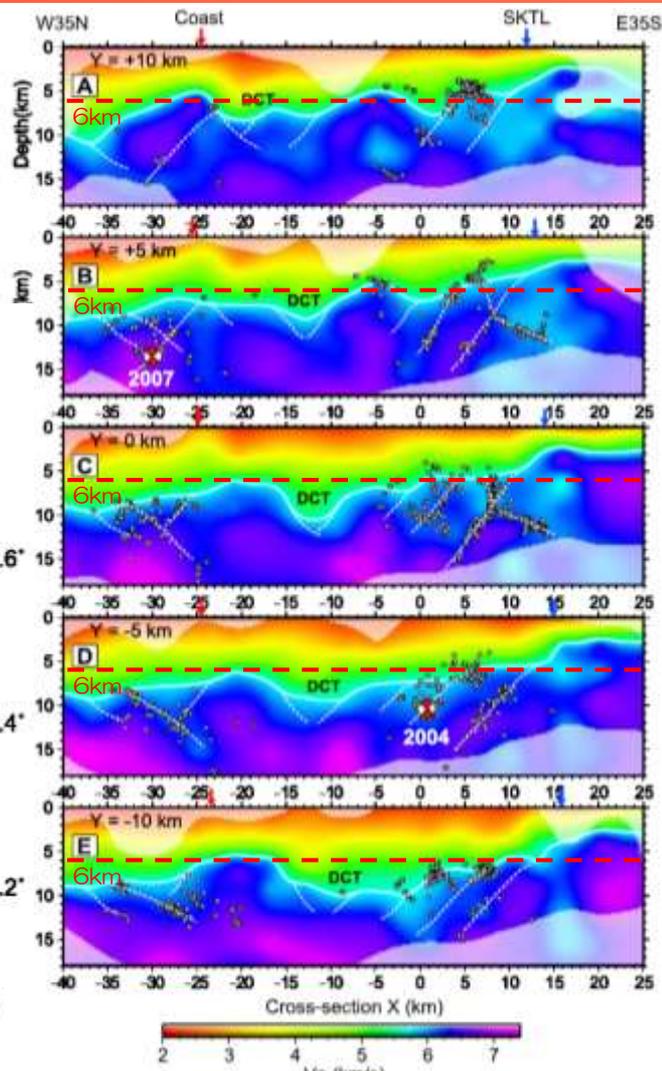
- 稠密観測データを用いたトモグラフィ解析を実施し、3次元地震波速度構造と震源分布の推定を実施している。
- 地震発生層の上端に概ね対応すると考えられる $V_p=5.7\text{km/s}$ 相当の等速度線は、西側に向かって深くなっており、概ね6kmを超える傾向にある。



- : 稠密アレイ観測点 (2007年), ■ : 定常観測点, ▲ : 中越地震余震観測点 (2004年)
- ▲ : 中越沖地震余震観測点 (2007年), ● : 2004年中越地震の余震の震央分布
- : 2007年中越沖地震の余震の震央分布
- +

地震観測点の分布と再決定された2004年中越地震・2007年中越沖地震の余震の震央分布

Kato et al. (2009)より抜粋 (一部加筆・修正)



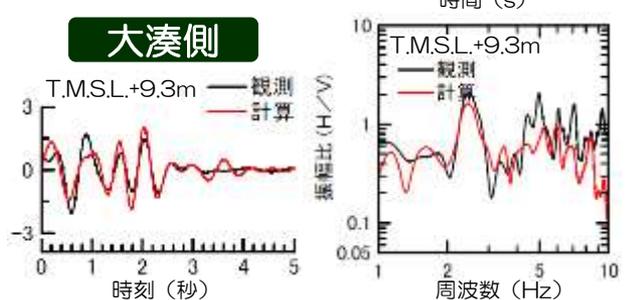
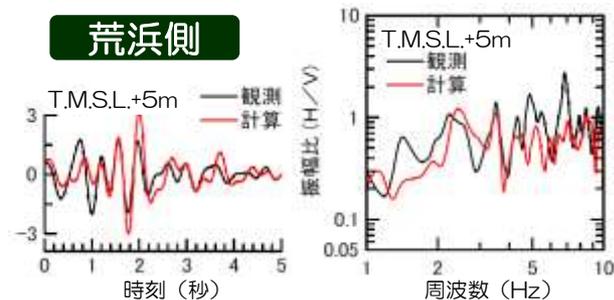
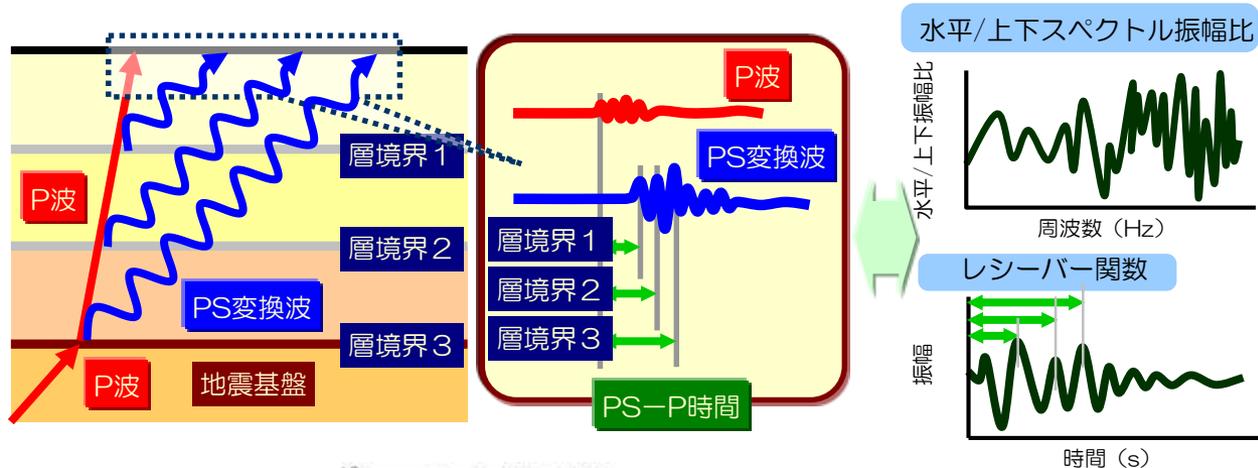
各断面から±2.5km以内の余震を重ねて表示
 白線の実線: $V_p=5.7\text{km/s}$ の等速度線
 白色の破線: 解釈された基盤内のブロック境界断層
 DCT(Deep Central Trough): 基盤上面の窪地

P波速度構造の深さ断面図

6.1 地震発生層の設定

No.4 水平/上下スペクトル振幅比の逆解析による敷地地盤の速度構造モデル

- P波部の水平/上下スペクトル振幅比には速度構造・減衰等の情報が含まれる。
- P波部の水平/上下スペクトル振幅比のフーリエ逆変換（レシーバー関数）には、地震基盤以浅の速度構造に関する量であるPS-P時間の情報等が含まれる。
- 小林ほか(2005)の方法は、水平/上下スペクトル振幅比、レシーバー関数を目的関数として、地盤の速度構造・減衰を推定する手法。
- 地盤系の観測記録を用いて算定した目的関数に対して遺伝的アルゴリズムによる逆解析を実施。
- なお、解放基盤表面以浅は、鉛直アレイ観測記録の伝達関数に対して別途同定した地下構造モデルで固定するとともに、T.M.S.L.-300m以深の速度構造は荒浜側と大湊側で等しいと仮定して同定。



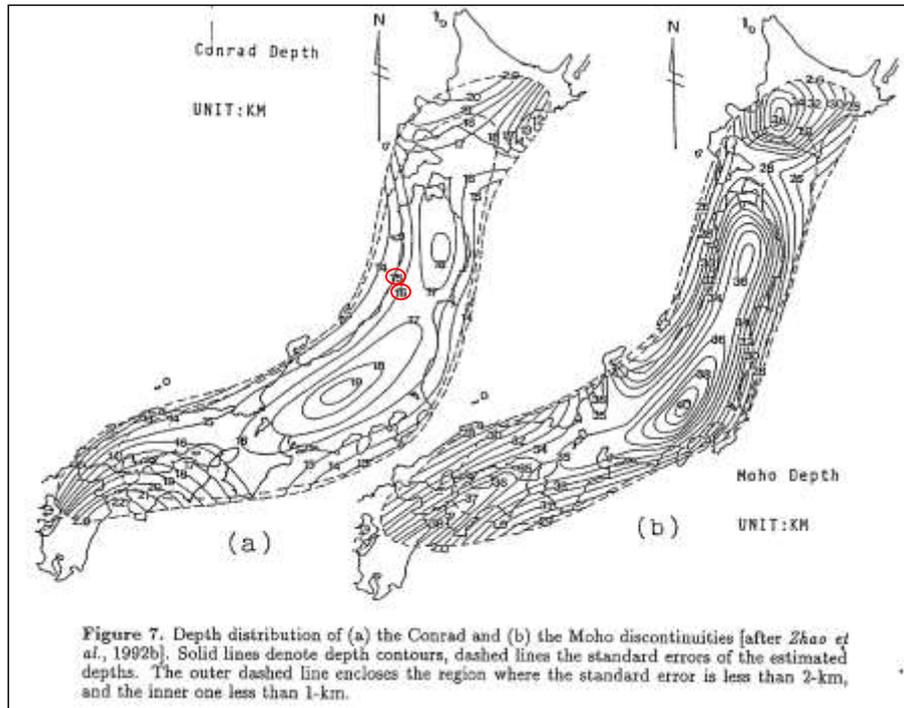
No.	探索範囲			同定結果			
	層厚 (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	T.M.S.L. (m)	層厚 (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)
1	16	1110	2280	-284	16	1110	2280
2	10~1500	1000~1200	2100~2500	-1360	1060	1160	2390
3	10~2500	1200~2000	2500~4100	-2410	1050	1620	3220
4	10~2500	1200~2500	2500~4900	-3700	1290	2050	4150
5	10~2500	1400~3200	2800~6000	-5880	2180	2760	4820
6		2800~3200	4900~6000		∞	3170	5230

No.	探索範囲			同定結果			
	層厚 (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	T.M.S.L. (m)	層厚 (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)
1	15	730	1800	-134	15	730	1800
2	31	890	1900	-180	31	890	1900
3	51	890	1900	-231	51	890	1900
4	35	960	1900	-266	35	960	1900
5	34	1000	2100	-300	34	1000	2100
6	10~1500	1000~1200	2100~2500	-1360	1060	1160	2390
7	10~2500	1200~2000	2500~4100	-2410	1050	1620	3220
8	10~2500	1200~2500	2500~4900	-3700	1290	2050	4150
9	10~2500	1400~3200	2800~6000	-5880	2180	2760	4820
10		2800~3200	4900~6000		∞	3170	5230

➡ Vp=6km/sを超える深さは約6km以深

6.1 地震発生層の設定

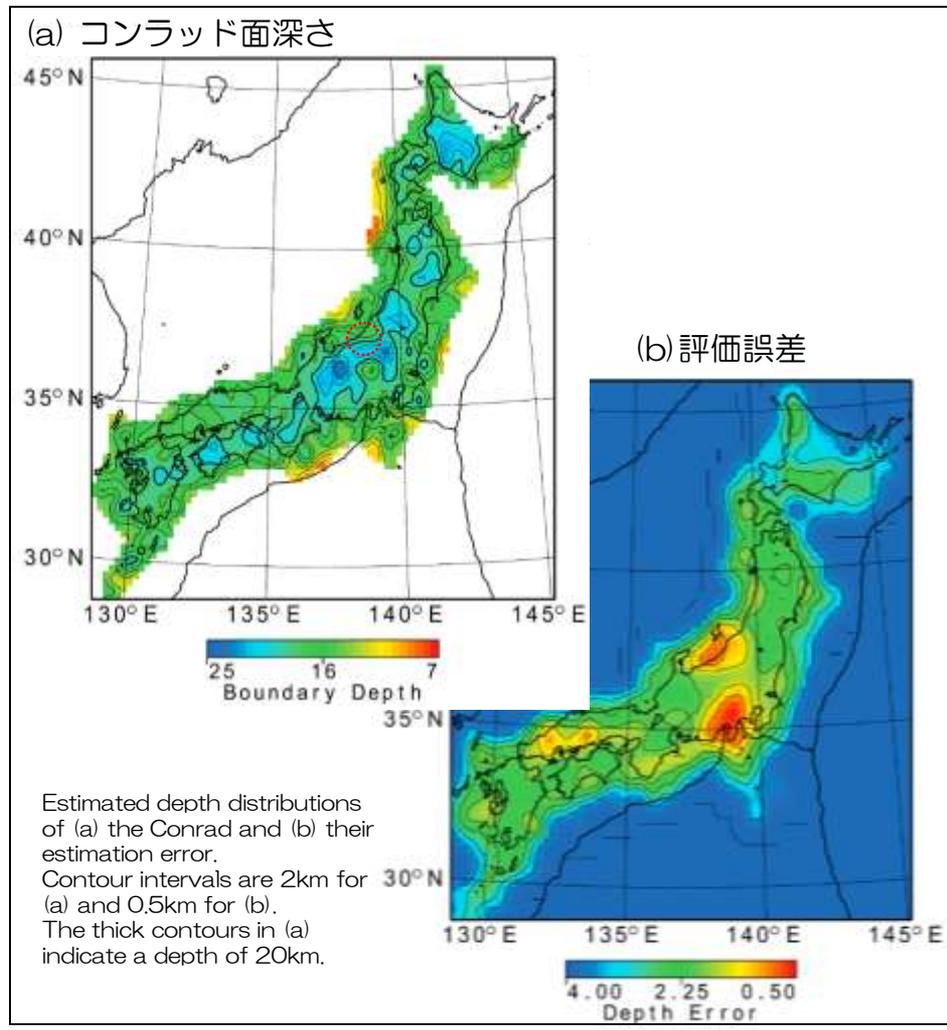
No.5 コンラッド面深さ



Zhao et al. (1994)より抜粋
(一部加筆・修正)

コンラッド面深さは地殻の上部と下部を分ける不連続面のことで、日本列島の陸域では概ね15km程度の深さに分布している。
産業技術総合研究所HPより抜粋

地殻内の地震は、ほぼ上部地殻の中でのみ起きている。
木下・大竹(2000)より抜粋

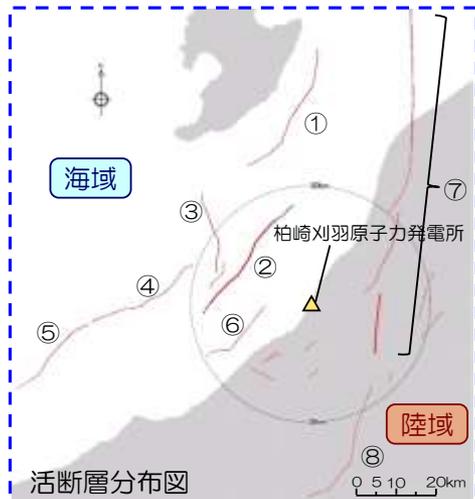


Katsumata (2010)より抜粋
(一部加筆・修正)

➡ 敷地周辺のコンラッド面深さ※は15~16km程度
※コンラッド面の深さは、上部地殻の下限深さに概ね対応

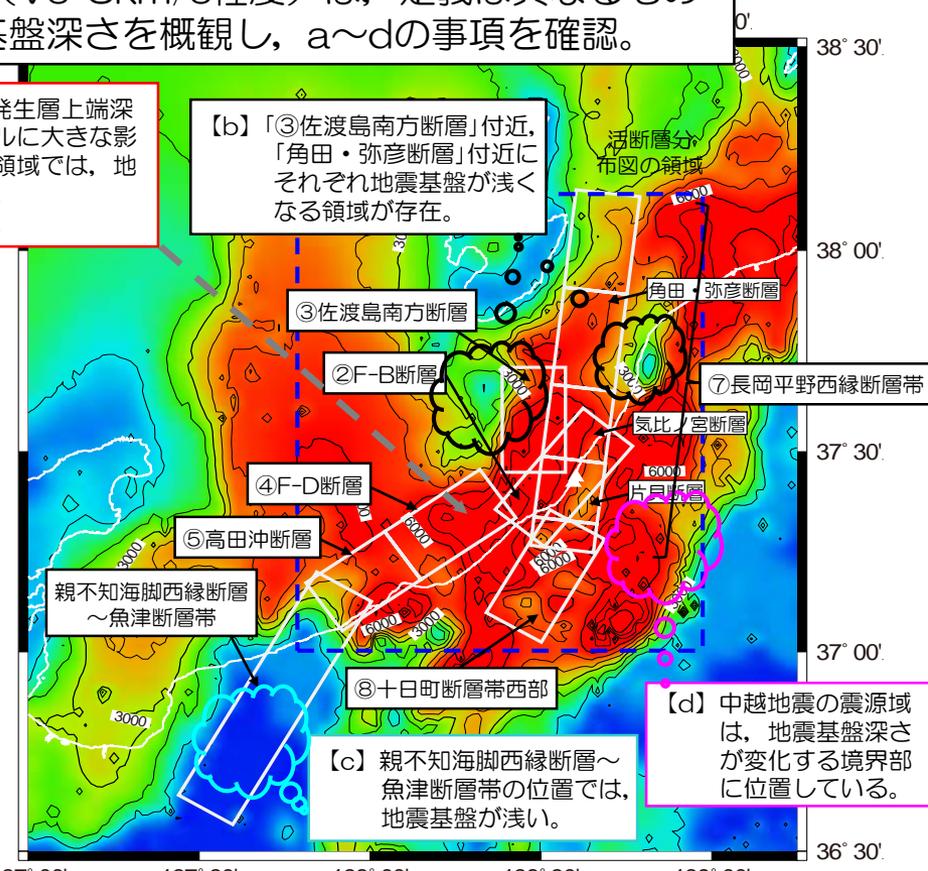
6.1 地震発生層の設定 敷地周辺の活断層分布と深部構造

■地震発生層上端（概ね $V_p=6\text{km/s}$ 程度）と地震基盤（ $V_s=3\text{km/s}$ 程度）は、定義は異なるものの深部構造の傾向を把握する目的で敷地周辺の地震基盤深さを概観し、a~dの事項を確認。



【a】敷地までの距離が短く、地震発生層上端深さの設定が敷地の地震動レベルに大きな影響を与える活断層が位置する領域では、地震基盤深さはほぼ一様である。前述のNo.1~5に基づき設定。

No.	活断層の名称
1	佐渡島棚東縁断層
2	F-B断層
3	佐渡島南方断層
4	F-D断層
5	高田冲断層
6	米山冲断層
7	長岡平野西縁断層帯
8	十日町断層帯西部



- 【b】③「佐渡島南方断層」付近の地震基盤が浅い領域は、地殻構造探査結果によると、 $V_p=2.8\text{km/s}$ 層の隆起は認められるものの、その深部においては $V_p=6\text{km/s}$ 層の深さはほぼ一様であり、ひずみ集中帯プロジェクトによる、海底地震計を用いた微小地震分布でも周辺と同様の傾向にあり、浅い位置で地震が発生する傾向は認められない。
- 【b】「角田・弥彦断層」及び【c】親不知海脚西縁断層～魚津断層帯の位置では、敷地からの位置関係（敷地からの距離が十分にあり、断層傾斜角と位置関係から浅くなる一方、水平距離が遠くなる）を踏まえると、敷地における地震動評価上、影響は無いものと考えられる。
- 【d】2004年新潟県中越地震（以下、「中越地震」）は、余震分布が複雑であったことから多様な震源モデルが提案され、上端深さは神原ほか(2006)等では浅く設定されているものの、すべり量が大きい領域の上端は約5kmである。また、敷地周辺に分布する主な活断層は震源域の西側であり、Kato et al.(2009)による西に深くなる傾向にある速度構造を踏まえると、地震発生層上端深さは一様に6kmと想定することは妥当であると考えられる。

防災科研J-SHIS地震ハザードステーションの地震基盤深さのコンター図に敷地周辺の主な活断層（傾斜角 35° を仮定）を重ね描き

主な活断層の想定断層面と地震基盤深さ

■敷地周辺と同様一律の上端深さ(6km)、下端深さ(17km)を仮定して評価を行う。

6.2 検討用地震の選定

選定フロー，考慮すべき地震の選定及び海域と陸域の分類

選定フロー

■ 地震波の伝播特性を考慮して下図フローに従い，検討用地震を選定。

考慮すべき地震の選定

- 以下を対象に考慮すべき地震を選定
- ・ 敷地周辺の活断層分布
 - ・ 被害地震
 - ・ 地震本部による長期評価

海域と陸域で分類

地震の発生域（海域と陸域）によって地震波の伝播特性が異なるため海域と陸域で分類

Noda et al.(2002)による応答スペクトルの比較

敷地に及ぼす影響度を比較することが目的であるため，観測記録に基づく補正係数は考慮しない

検討用地震の選定

地震の発生域（海域と陸域）ごとに敷地への影響が最も大きな地震を選定

震源として考慮する活断層の分布

- 地質調査結果，長岡平野西縁断層帯に関する地震本部(2009)の検討状況を踏まえ，敷地周辺の震源として考慮する活断層を表に示す。
- なお，F-B断層について，中越沖地震の知見を踏まえたうえで，断層傾斜角を 35° としたケースも考慮することとする。



表. 敷地周辺の震源として考慮する活断層の諸元

No.	活断層の名称	断層長さ(km)	地震規模※1	傾斜角(°)※2	断層幅(km)※3	Xeq(km)※4		備考
						荒浜	大湊	
1	佐渡島棚東縁断層	37	6.8	西55	15	55	53	
2	F-B断層	36	6.8 (7.0)	東45 (東35)	16 (20)	17 (13)	16 (13)	中越沖地震の余震分布(地震本部(2007,2008))を参考に 35° のケースを考慮
3	佐渡島南方断層	29	6.8	東45	16	26	25	
4	F-D断層	30	6.8	東45	16	38	39	
5	高田冲断層	25	6.8	東30	22	59	60	
6	米山冲断層	21	6.8	西50	15	25	26	
7	長岡平野西縁断層帯	91	7.5	西50	15	25	25	
8	十日町断層帯西部	33	6.8	西60	13	32	33	

※1：地震規模は，中越沖地震の知見を踏まえて設定。

※2：地質調査結果及び地震本部(2009)による長期評価を参考に設定。

※3：断層幅は，地震発生層厚さ11km及び断層傾斜角に基づき，地震発生層を飽和するように設定。

※4：等価震源距離(Xeq)は，地震本部(2016)による強震動予測レシビ(以下，「強震動予測レシビ」)に従い，断層の中点を基準として均等配置した断層面を用いて算定。

※：敷地周辺に認められる孤立した短い活断層は，長岡平野西縁断層帯を構成する片貝断層と比較して等価震源距離(Xeq)が遠いことを確認。

6.2 検討用地震の選定 考慮すべき地震の選定及び海域と陸域の分類

連動を考慮する活断層の範囲

敷地周辺における連動を考慮する活断層を整理。

表. 連動を考慮する活断層の震源モデルの諸元

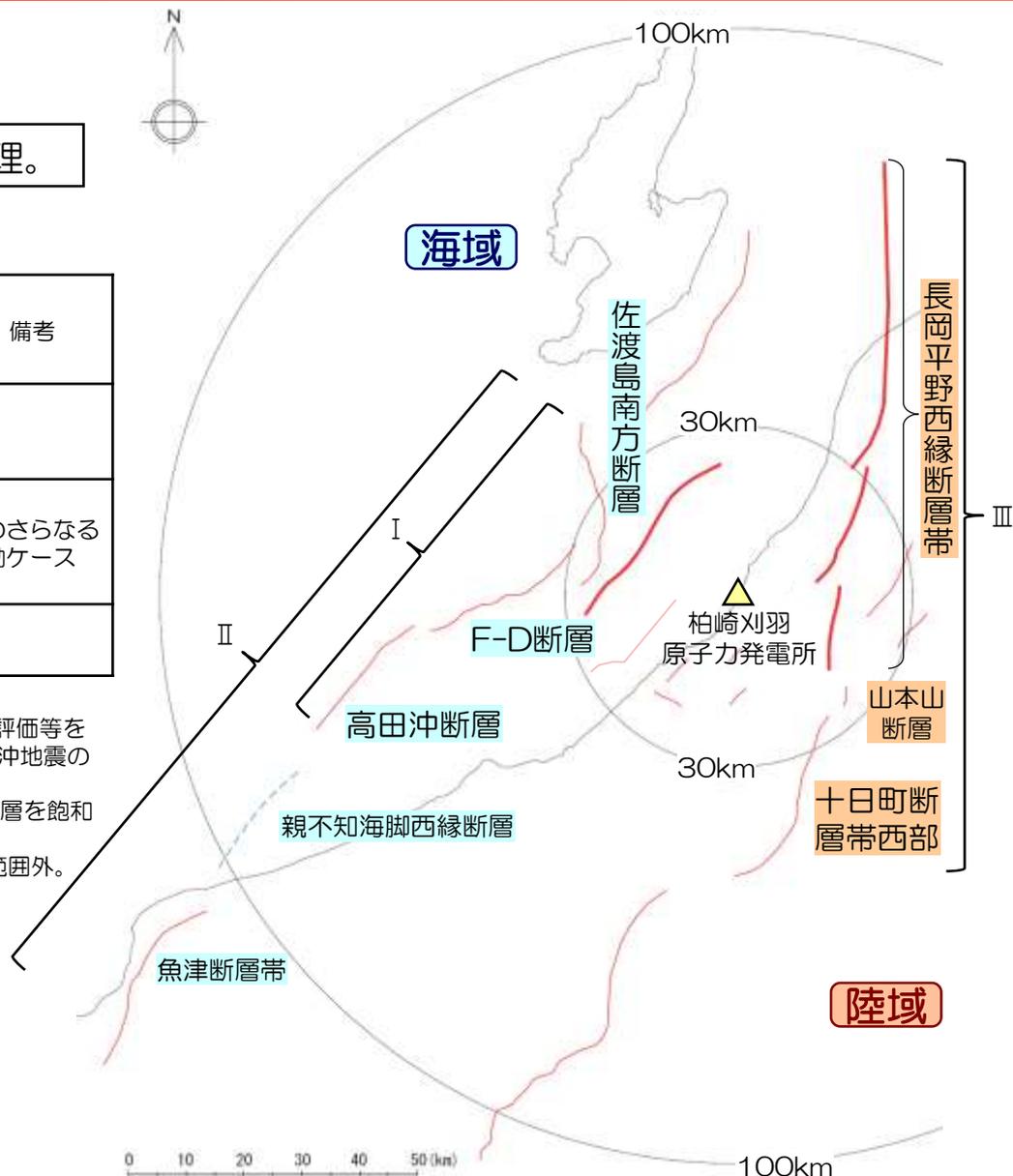
	No.	活断層の名称	断層長さ (km)	地震規模 ※1	傾斜角 (°) ※2	断層幅 (km) ※3	Xeq (km)		備考
							荒浜	大湊	
海域	I	佐渡島南方断層～F-D断層～高田沖断層	84	7.6	東30～45	20	31	31	
	II	佐渡島南方断層～F-D断層～高田沖断層～親不知海脚西縁断層～魚津断層帯	156	-※4	東30～45	20	-	-	Iのさらなる連動ケース
陸域	III	長岡平野西縁断層帯～十日町断層帯西部	132	7.7	西50	15	26	26	

※1：地震規模は、中越沖地震の知見を踏まえて設定。

※2：断層の傾斜角について、地質調査結果、地震本部(2009)による長期評価等を参考に設定。(断層傾斜角に幅があるI, IIについて、ここでは中越沖地震の余震分布を参考に35°として設定)

※3：断層幅は、地震発生層厚さ11km及び断層傾斜角に基づき、地震発生層を飽和するように設定。

※4：参照している地震規模(最大M7.8)を超えているため評価手法の適用範囲外。



6.2 検討用地震の選定

考慮すべき地震の選定及び海域と陸域の分類

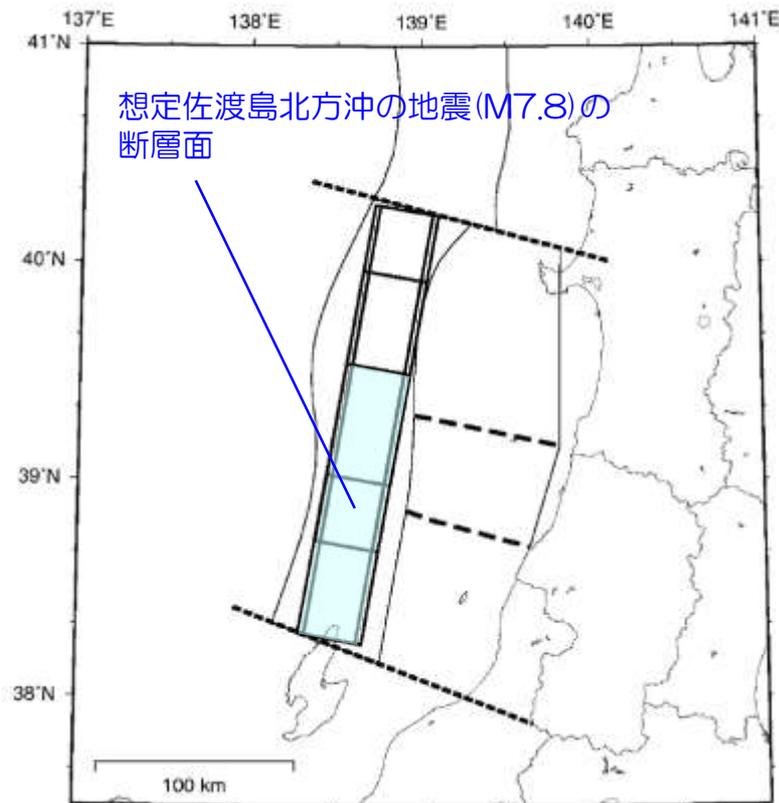
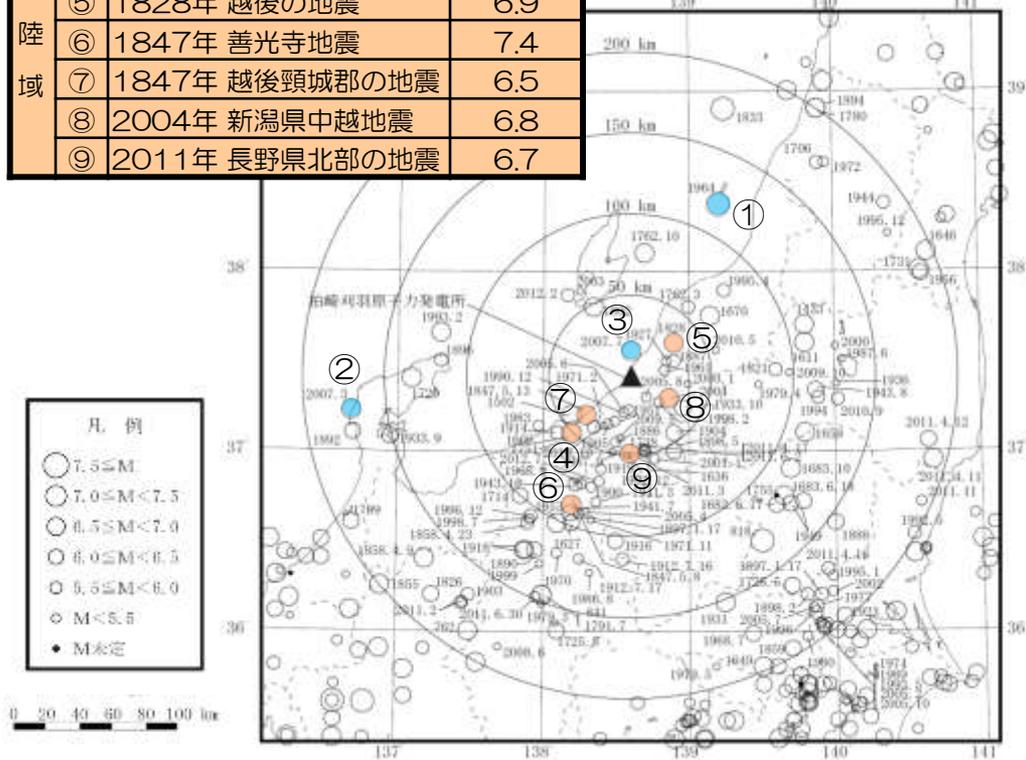
被害地震

■ 敷地における揺れが震度5弱（震度V）程度以上と推定される地震を選定。

地震本部による長期評価

■ 地震本部による日本海東縁部の地震活動の長期評価を踏まえ、「想定佐渡島北方沖の地震」(M7.8)を想定。

	地震名	地震規模
海域	① 1964年 新潟地震	7.5
	② 2007年 能登半島地震	6.9
	③ 2007年 新潟県中越沖地震	6.8
陸域	④ 1751年 越後の地震	7.2
	⑤ 1828年 越後の地震	6.9
	⑥ 1847年 善光寺地震	7.4
	⑦ 1847年 越後頸城郡の地震	6.5
	⑧ 2004年 新潟県中越地震	6.8
	⑨ 2011年 長野県北部の地震	6.7



地震本部(2009)より抜粋
(一部加筆・修正)

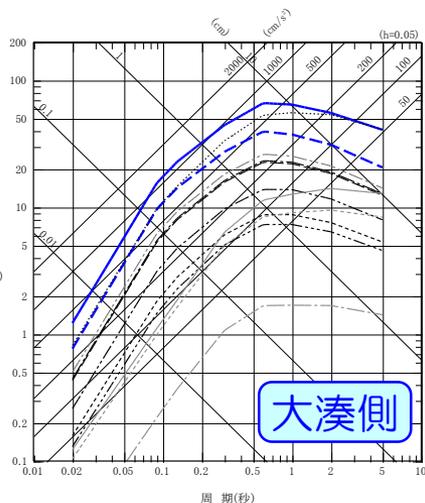
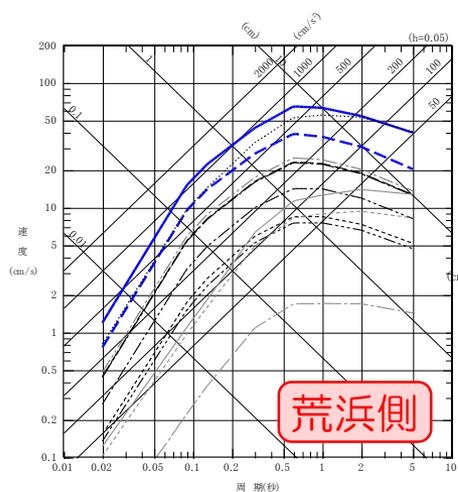
6.2 検討用地震の選定 応答スペクトルの比較・検討用地震の選定

- Noda et al.(2002)による応答スペクトルの比較から検討用地震を選定。
 海域の地震：**F-B断層による地震**
 陸域の地震：**長岡平野西縁断層帯による地震**

- なお、長岡平野西縁断層帯～十日町断層帯西部の連動は、長岡平野西縁断層帯による地震の評価のなかで考慮。
- また、海域の佐渡島南方断層～F-D断層～高田冲断層～親不知海脚西縁断層～魚津断層帯（以下、「佐渡島南方断層～魚津断層帯」）の連動については、断層モデルを用いた手法による地震動評価により地震動レベルを確認。

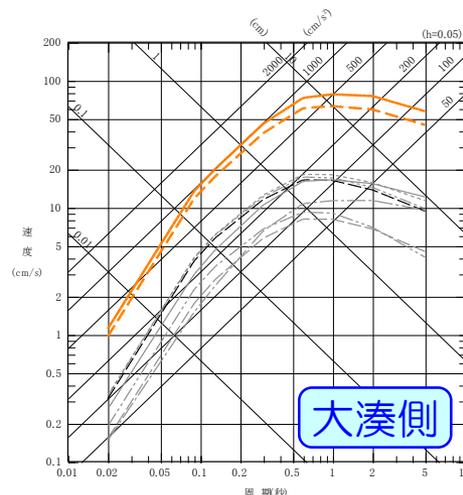
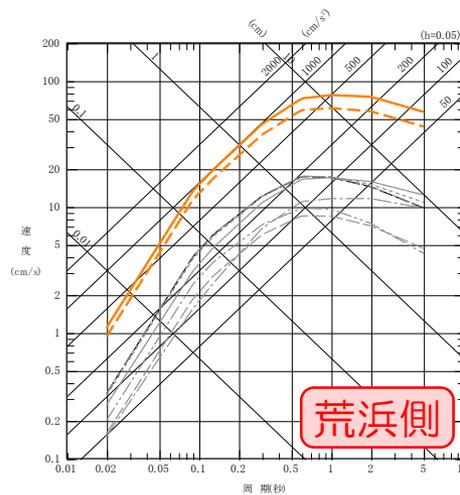
海域の地震

- 佐渡島棚東縁断層による地震(M6.8, Xeq=55km, 53km)
- F-B断層による地震(M6.8, Xeq=17km, 16km) (傾斜角45°)
- F-B断層による地震(M7.0, Xeq=13km, 13km) (傾斜角35°)
- 佐渡島南方断層による地震(M6.8, Xeq=26km, 25km)
- F-D断層による地震(M6.8, Xeq=38km, 39km)
- 高田冲断層による地震(M6.8, Xeq=59km, 60km)
- 米山冲断層による地震(M6.8, Xeq=25km, 26km)
- 佐渡島南方断層～F-D断層～高田冲断層による地震(M7.6, Xeq=31km, 31km)
- 想定佐渡島北方沖の地震(M7.8, Xeq=148km, 147km)
- 1964年新潟地震(M7.5, Xeq=124km, 123km)
- 2007年能登半島地震(M6.9, Xeq=171km, 172km)
- 2007年新潟県中越沖地震(M6.8, Xeq=24km, 23km)



陸域の地震

- 長岡平野西縁断層帯による地震(M7.5, Xeq=25km, 25km)
- 十日町断層帯西部による地震(M6.8, Xeq=32km, 33km)
- 1751年越後の地震(M7.2, Xeq=53km, 55km)
- 1828年越後の地震(M6.9, Xeq=36km, 34km)
- 1847年善光寺地震(M7.4, Xeq=90km, 92km)
- 1847年越後頸城郡の地震(M6.5, Xeq=37km, 38km)
- 2004年新潟県中越地震(M6.8, Xeq=32km, 32km)
- 2011年長野県北部の地震(M6.7, Xeq=49km, 51km)
- 長岡平野西縁断層帯～十日町断層帯西部による地震(M7.7, Xeq=26km, 26km)



※凡例の等価震源距離(Xeq)は赤字が荒浜側、青字が大湊側
 地震規模については、中越沖地震の知見を踏まえて算定。

6.2 検討用地震の選定

中越沖地震を踏まえた地震規模の設定

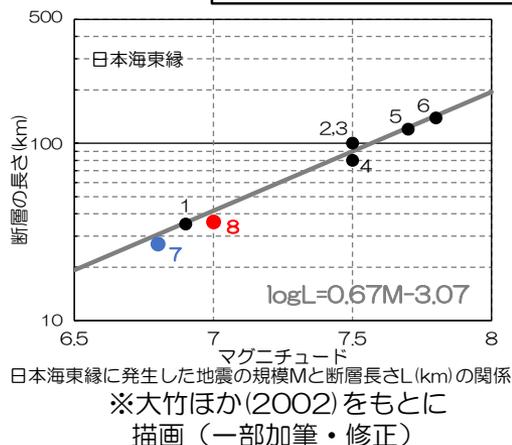
- 中越沖地震が既に発生している地震であることを踏まえ、中越沖地震の物理量を保持するよう、スケーリング則に従いマグニチュードを評価する。
- 具体的には、断層幅が飽和した場合の「地震モーメント(M_0)と断層面積(S)に関するスケーリング則」(①式)、及び「地震モーメントと M_j の関係を与える武村(1998)式」(②式)に基づき、マグニチュードを評価する。

$$M_0 \propto S^2 \dots \text{①式}$$

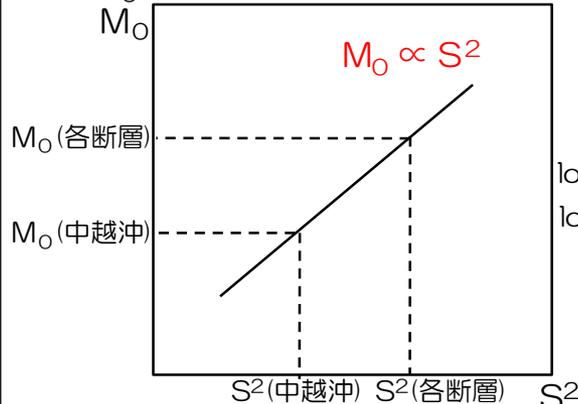
$$\log M_0 = 1.2 M_j + 10.7 \dots \text{②式}$$

- 中越沖地震の面積は以下とする。
 $27\text{km} \times 20\text{km} = 540\text{km}^2$

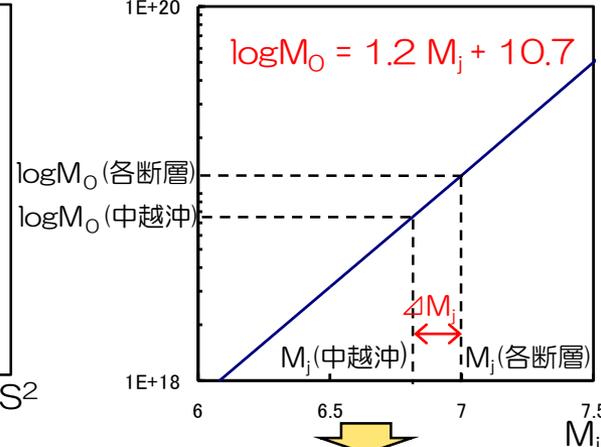
- 既往の文献における、 M_j と断層長さの関係に着目。
- 中越沖地震の周辺で発生した地震のマグニチュード M_j と断層長さの関係には相関性が認められ、中越沖地震の「断層長さ27km：マグニチュード M_j 6.8」は、既往地震の傾向とよく整合。



M_0 とSのスケリング(断層幅飽和の場合)



$\log M_0$ 武村(1998)



$$\frac{M_0(\text{各断層})}{M_0(\text{中越沖})} = \left\{ \frac{S(\text{各断層})}{S(\text{中越沖})} \right\}^2$$

$$\Delta M_j = \left[\frac{1}{1.2} \right] \left\{ \text{Log} \left[\frac{M_0(\text{各断層})}{M_0(\text{中越沖})} \right] \right\}$$

$$\Delta M_j = \left[\frac{2}{1.2} \right] \left\{ \text{Log} \left[\frac{S(\text{各断層})}{S(\text{中越沖})} \right] \right\}$$

各断層による地震の M_j
 $= M_j(\text{中越沖: } 6.8) + \Delta M_j$
 ※例 F-B断層(36km)の時
 $M_j = 6.8 + 0.2 = 7.0$

No.	地震	M	L(km)	出典
1	1828年越後三条地震	6.9	約35	宇佐美(1996)
2	1833年庄内沖地震	7.5	100	相田(1989)
3	1940年積丹半島沖地震	7.5	100	Satake(1986)
4	1964年新潟地震	7.5	80	Abe(1975)
5	1983年日本海中部地震	7.7	120	Sato(1985)
6	1993年北海道南西沖地震	7.8	139	Tanioka et al. (1995)
7	2007年新潟県中越沖地震	6.8	27	各機関公表値
8	F-B断層による地震	7.0	36	設定値

6.3 F-B断層による地震の地震動評価

地震動評価の方針

- 検討用地震の地震動評価は、「応答スペクトルに基づく地震動評価」および「断層モデルを用いた手法による地震動評価」の双方を実施。
- 応答スペクトルに基づく地震動評価は、以下の特徴を踏まえ、Noda et al.(2002)の方法を用いる。
 - ・解放基盤表面における水平および鉛直方向の地震動評価が可能であること。
 - ・震源の拡がりを考慮できること。
 - ・観測記録に基づく補正係数を考慮することにより、震源特性および地震波の伝播特性を的確に反映可能であること。なお、観測記録に基づく補正係数は、検討用地震と発生様式等が同じ地震の観測記録から推定した解放基盤波とNoda et al.(2002)による応答スペクトルの比を用いて設定。
- 断層モデルを用いた手法による地震動評価は、要素地震として適切な地震の観測記録が敷地において得られていることから、震源特性および地震波の伝播特性を的確に反映することが可能である、経験的グリーン関数法により行う。
- また、地震動評価における不確かさの考慮については、評価結果に与える影響が大きいと考えられる断層パラメータを選定し、その度合いを評価する。
 - ・ 不確かさを考慮するパラメータの分類
 - 断層長さ及び連動
 - 断層傾斜角
 - 応力降下量
 - 破壊伝播速度
 - アスペリティの位置※） 認識論的不確かさ（不確かさ）に分類されるもので、事前の詳細な調査や経験式などにに基づき設定できるもの
※アスペリティ位置については、平均変位速度等のデータをもとに、ここでは認識論的不確かさ（不確かさ）として扱う。
 - 破壊開始点） 偶然的な不確かさ（不確かさ）に分類されるもので、事前の詳細な調査や経験式からは特定が困難なもの
- ・ 不確かさの組み合わせに関する基本的な考え方
 - 敷地における地震動評価に大きな影響を与えると考えられる支配的なパラメータについて分析した上で、必要に応じて不確かさを組み合わせで考慮する。

6.3 F-B断層による地震の地震動評価

6.3.1 震源モデルの設定

- F-B断層による地震に関しては、「強震動予測レシピモデル」, 「中越沖地震アスペリティモデル」及び「中越沖地震拡張モデル」を設定し検討を実施。
- それぞれのモデルの拠り所とするデータ, 設定の考え方及びパラメータの概要は以下のとおり。

モデル名	目的・概要	根拠データ
強震動予測レシピモデル	<ul style="list-style-type: none">• 地質調査結果, 強震動予測レシピから標準的に想定される地震動レベルの評価• 中越沖地震で得られた知見等による各不確かさの影響を把握	地質調査結果 <ul style="list-style-type: none">• 断層長さ36km• 明瞭に反射記録を解釈できる範囲では, 中～高角度
中越沖地震アスペリティモデル	<ul style="list-style-type: none">• 中越沖地震で得られた知見を最大限に活用• 中越沖地震の震源インバージョン結果をもとに設定した特性化震源モデル。(中越沖地震と同程度の規模の地震を想定)	中越沖地震の知見・震源モデル <ul style="list-style-type: none">• 断層長さ27km• 断層傾斜角35°• 震源インバージョン結果 (アスペリティ位置, 破壊伝播速度, 応力降下量)
中越沖地震拡張モデル	<ul style="list-style-type: none">• 地質調査結果で得られた断層長さ36kmの情報をもとに中越沖地震アスペリティモデルを拡張して設定。• 中越沖地震で得られた知見を最大限に活用したうえで, 断層長さの不確かさを考慮することで中越沖地震の規模を超える地震を想定。	地質調査結果 <ul style="list-style-type: none">• 断層長さ36km 中越沖地震の知見・震源モデル <ul style="list-style-type: none">• 断層傾斜角35°• 震源インバージョン結果 (アスペリティ位置, 破壊伝播速度, 応力降下量)

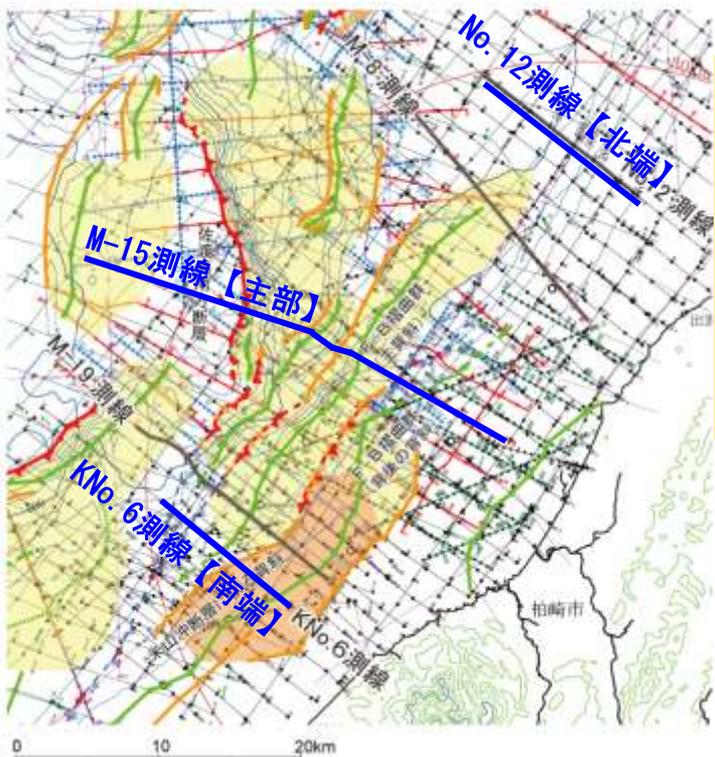
6.3 F-B断層による地震の地震動評価

6.3.1 震源モデルの設定 a. 強震動予測レシピモデル

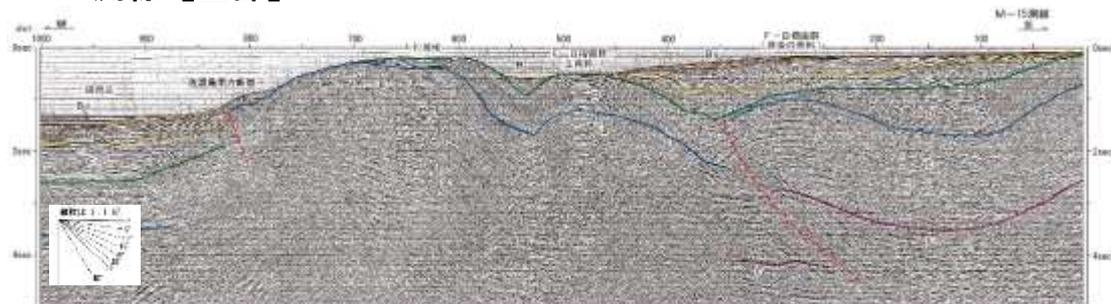
【地質調査結果】断層長さに関する情報

【評価】

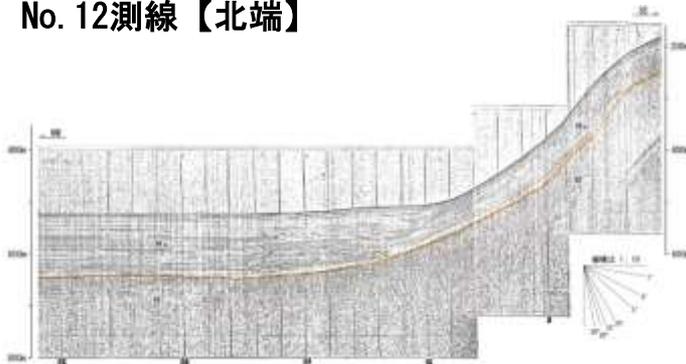
- F-B褶曲群の主背斜については、その西翼に南東傾斜の逆断層が推定され、また、最終氷期の侵食面にも変形が認められ、後期更新世以降の活動が認められることから、活褶曲と判断される。
- その活動的な区間は、M-8測線区間からM-19測線までの約27kmであるが、微小な変形範囲も考慮して、Bu層の基底面の高まりが認められなくなるNo.12測線から大陸棚の海底地形と伏在背斜との対応が認められなくなるKNo.6測線までの約36kmと評価する。



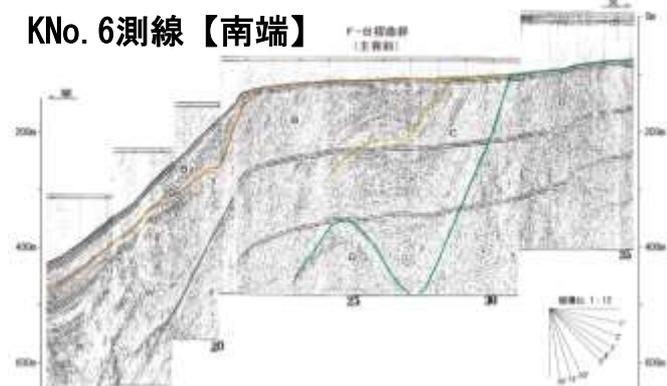
M-15測線【主部】



No. 12測線【北端】



KNo. 6測線【南端】

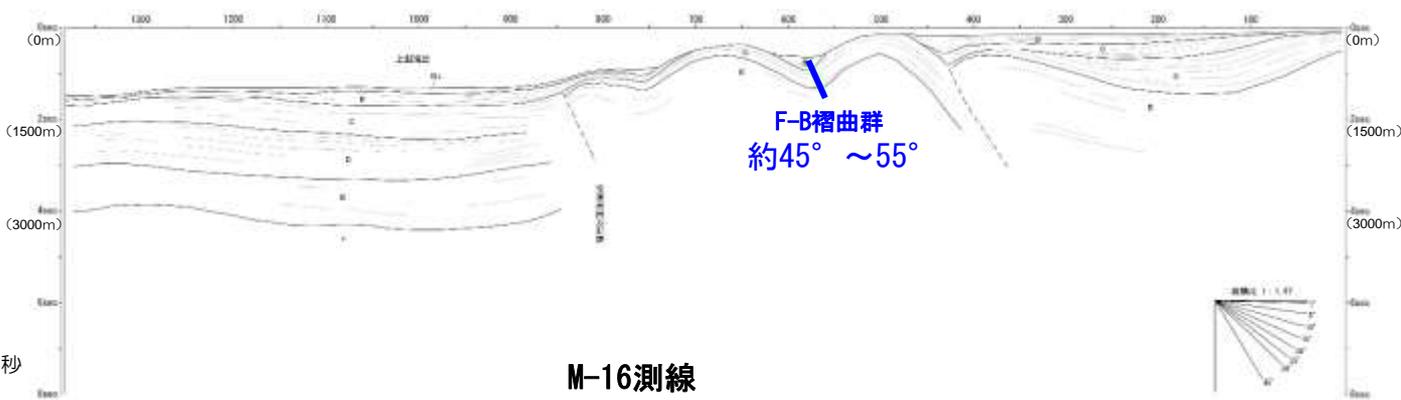
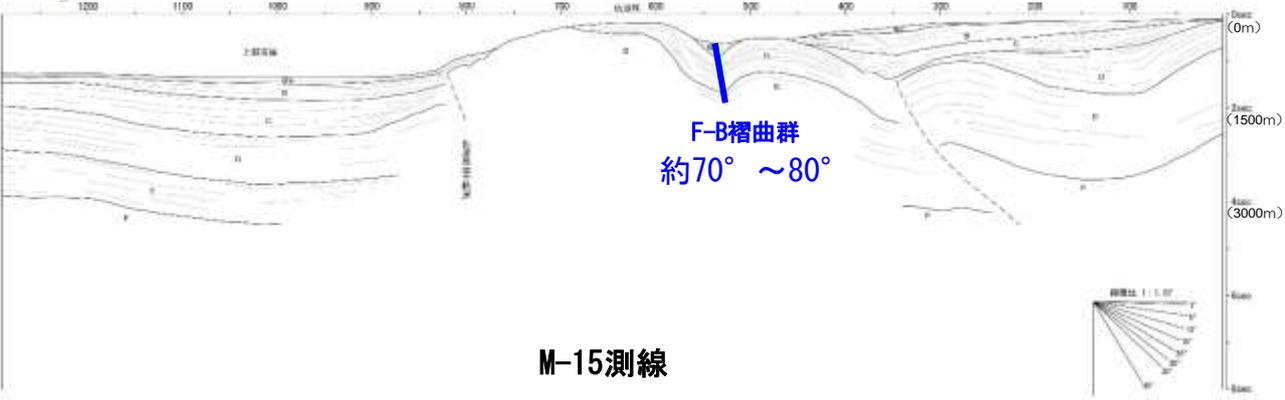
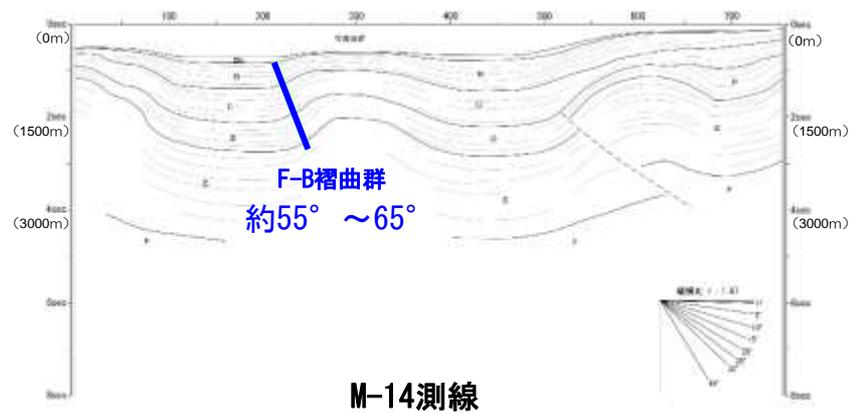
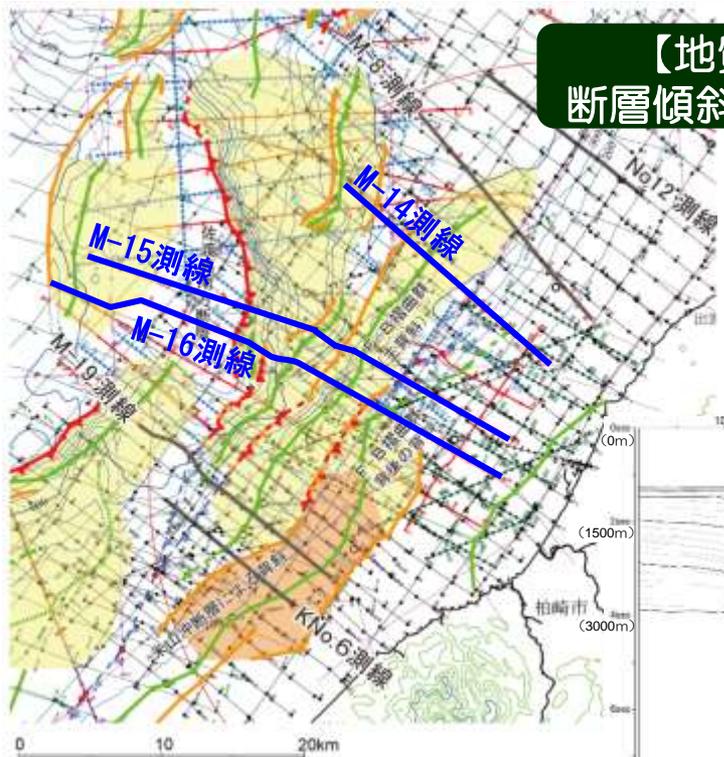


第248回審査会合
資料2-3 P27一部修正

6.3 F-B断層による地震の地震動評価

6.3.1 震源モデルの設定 a. 強震動予測レシピモデル

【地質調査結果】
断層傾斜角に関する情報



■ 海上音波探査結果によると、明瞭に反射記録を解釈できる範囲では、F-B褶曲群の傾斜角は中～高角度と判断される。

(注) 深度はP波速度を1500m/秒(一定)とした場合の値

6.3 F-B断層による地震の地震動評価

6.3.1 震源モデルの設定 a. 強震動予測レシピモデル

不確かさを考慮する断層パラメータの設定根拠

- 地質調査結果に基づき強震動予測レシピを用いて設定した強震動予測レシピモデルにおいて、下表の不確かさを考慮し、その影響を把握する。
- したがって、中越沖地震で得られた知見等による各不確かさは重畳させず、個々に考慮する。

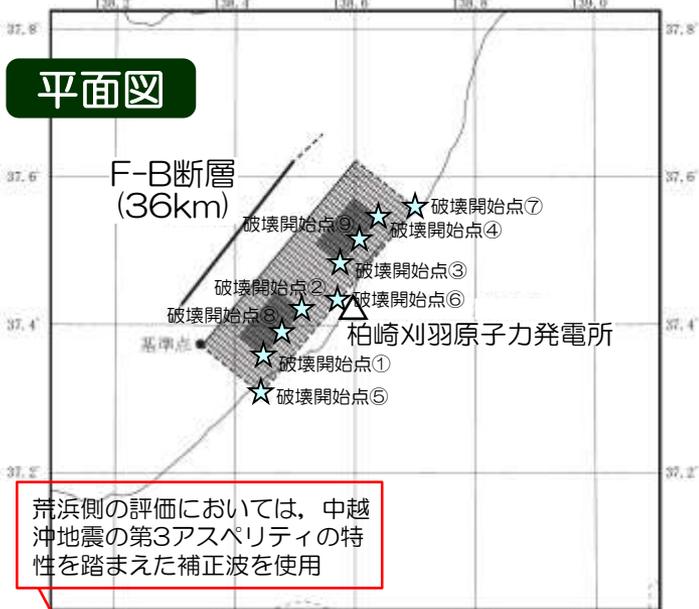
パラメータ	基本ケース (No.1)	不確かさの考え方
①断層長さ及び連動	地質調査結果における地層の累積変形が認められる範囲である長さ36kmとして設定。	地質調査結果等から、さらに長さを延長あるいは連動を考慮する必要性はないものと考えられる。
②アスペリティの位置	強震動予測レシピを参考に、断層中央に均等配置。	断層中央に集約して配置。(No.2)
③破壊伝播速度	強震動予測レシピに基づきGeller(1976)より設定。 $(0.72 \times V_s)$ (震源のS波速度: 3.4km/s)=2.4km/s)	中越沖地震の震源インバージョン結果によると一部のアスペリティで最大3.1km/sの破壊伝播速度が求められていることから、一部のアスペリティに3.1km/sを設定。(No.3)
④応力降下量	強震動予測レシピに基づき設定。(15.6MPa)	中越沖地震の知見を反映し、強震動予測レシピに基づく値の1.5倍(23.4MPa)を南西側・北西側両方のアスペリティに設定。(No.4)
⑤断層傾斜角	海上音波探査結果、強震動予測レシピを参考に、逆断層において一般的に想定される45°と設定。	地震本部(2008)による中越沖地震の余震分布を参考に35°と設定。(No.5)

※()内はそれぞれの不確かさを考慮して設定したモデルNo.を示す。

6.3 F-B断層による地震の地震動評価

6.3.1 震源モデルの設定 a. 強震動予測レシピモデル

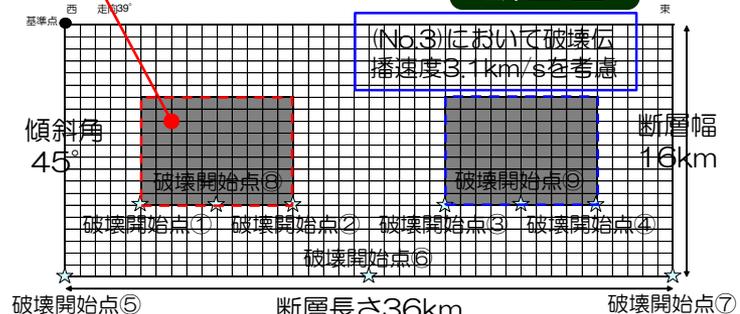
強震動予測レシピモデル(No.1),
破壊伝播速度(No.3), 応力降下量
(No.4)の不確かさ考慮



平面図

荒浜側の評価においては、中越沖地震の第3アスペリティの特性を踏まえた補正波を使用

断面図



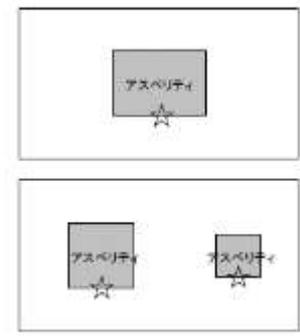
※破壊開始点⑤～⑨についてはNo.1で影響を確認した上で以降の評価では省略

項目		設定値
基準点	東経(°)	138.34
	北緯(°)	37.37
断層上端深さ(km)		6
断層長さ(km)		36.0
断層幅(km)		16.0
断層面積(km ²)		576
走向(°)		39
傾斜角(°)		45
S波速度(Vs)(km/s)		3.4
破壊伝播速度(km/s)	レシピ	2.4
	不確かさ	3.1
地震モーメント(N・m)		1.9×10 ¹⁹
面積(km ²)		60
地震モーメント(N・m)		3.9×10 ¹⁸
平均すべり量(cm)		205
応力降下量(MPa)	レシピ	15.6
	1.5倍	23.4
地震モーメント(N・m)		1.9×10 ¹⁹
面積(km ²)		60
地震モーメント(N・m)		3.9×10 ¹⁸
平均すべり量(cm)		205
応力降下量(MPa)	レシピ	15.6
	1.5倍	23.4
面積(km ²)		456
地震モーメント(N・m)		1.1×10 ¹⁹
平均すべり量(cm)		76
実効応力(MPa)	レシピ	2.8
	1.5倍	4.2

- : 地質調査結果等に基づく
- : 強震動予測レシピに基づく
- : 中越沖地震の知見を反映し、一部のアスペリティに3.1km/sを考慮 (No.3で考慮)
- : 中越沖地震の知見を反映し、設定した応力降下量の1.5倍を考慮 (No.4で考慮)

■ 破壊開始点は、強震動予測レシピにおける記載等を踏まえ複数設定し、No.1において影響を確認したうえで、以降の評価ではアスペリティ下端の両端で代表させる。

破壊開始点については、平均的な地震動を推定することを目的とする場合で、活断層の形状等から破壊開始点を特定できない場合には、やや簡便化したパラメータ設定として、縦ずれ成分が卓越する場合には、アスペリティ中央下端を基本ケースとする。



縦ずれ成分が卓越

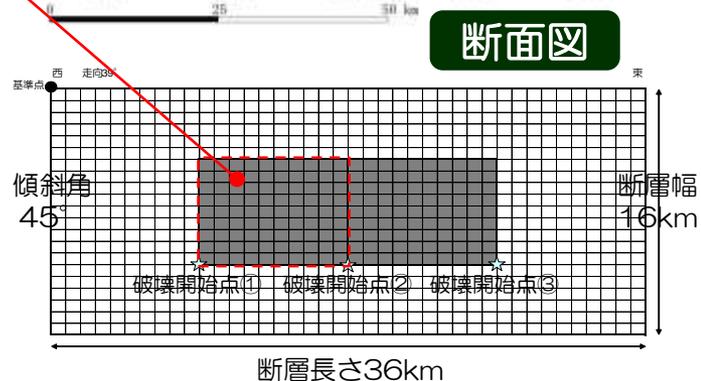
破壊開始点(☆)とアスペリティ位置の一例
地震本部(2016)より抜粋

■ 破壊伝播速度の不確かさについては、中越沖地震の震源インバージョン結果を参考に、ここでは北部のアスペリティに3.1km/sを仮定。

6.3 F-B断層による地震の地震動評価

6.3.1 震源モデルの設定 a. 強震動予測レシピモデル

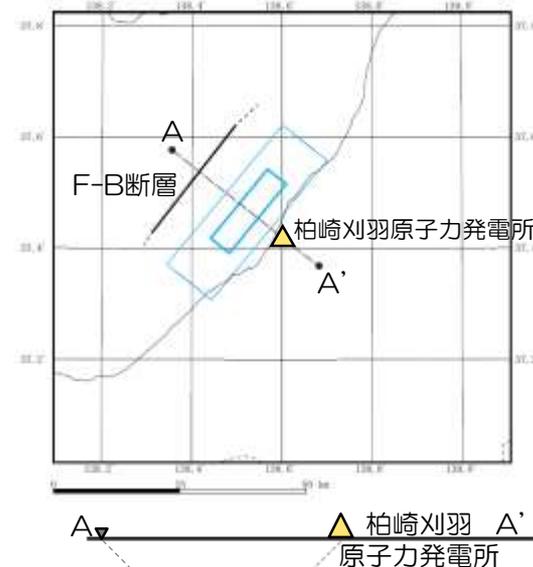
アスペリティ位置の不確かさ考慮(No.2)



項目		設定値
基準点	東経(°)	138.34
	北緯(°)	37.37
巨視的断層面	断層上端深さ(km)	6
	断層長さ(km)	36.0
	断層幅(km)	16.0
	断層面積(km ²)	576
	走向(°)	39
	傾斜角(°)	45
	S波速度(Vs)(km/s)	3.4
アスペリティ1	破壊伝播速度(km/s)	2.4
	地震モーメント(N・m)	1.9×10 ¹⁹
	面積(km ²)	60
アスペリティ2	地震モーメント(N・m)	3.9×10 ¹⁸
	平均すべり量(cm)	205
	応力降下量(MPa)	15.6
背景領域	地震モーメント(N・m)	1.1×10 ¹⁹
	平均すべり量(cm)	76
	応力降下量(MPa)	2.8
	実効応力(MPa)	2.8

□ : 地質調査結果等に基づく
 □ : 強震動予測レシピに基づく

- 敷地からの距離が短くなる巨視的断層面への垂線は、断層幅方向において概ね中央となる。したがって、断層幅方向におけるアスペリティ位置は、敷地に最も近い位置となる中央と設定。
- 断層長さ方向においては、中越沖地震の際の知見を念頭に敷地の南西側、北西側の2つを基本とし、不確かさとして中央に集約したケースを設定。

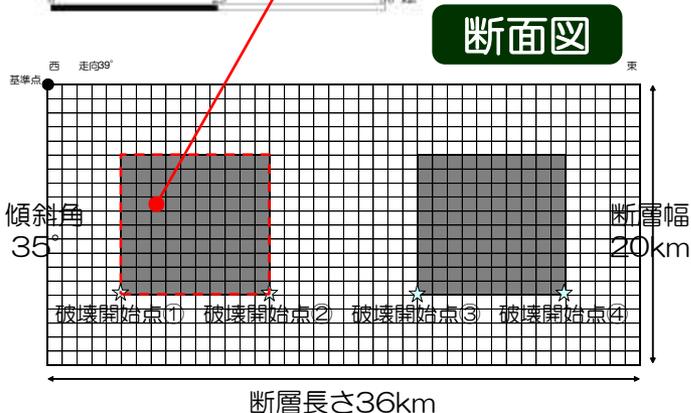
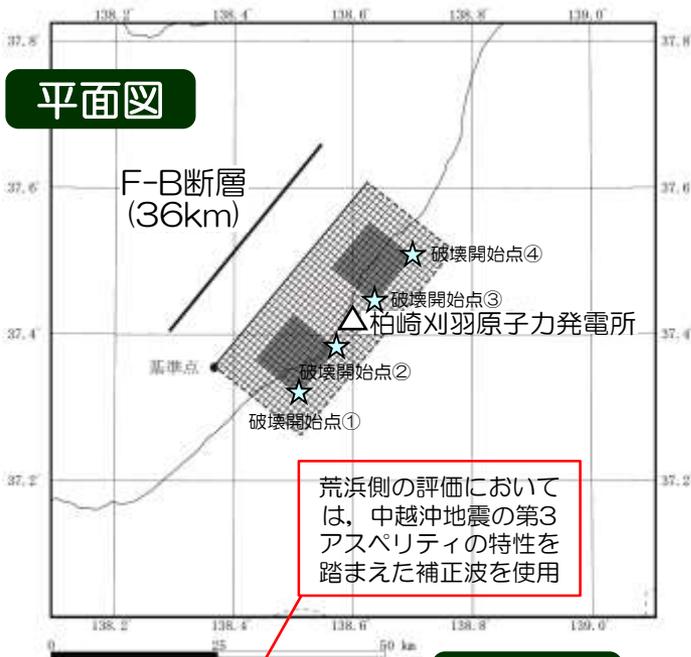


強震動予測レシピモデル
 7A' 7A 7B 7C 7D 7E 7F 7G 7H 7I 7J 7K 7L 7M 7N 7O 7P 7Q 7R 7S 7T 7U 7V 7W 7X 7Y 7Z 7AA 7AB 7AC 7AD 7AE 7AF 7AG 7AH 7AI 7AJ 7AK 7AL 7AM 7AN 7AO 7AP 7AQ 7AR 7AS 7AT 7AU 7AV 7AW 7AX 7AY 7AZ 7BA 7BB 7BC 7BD 7BE 7BF 7BG 7BH 7BI 7BJ 7BK 7BL 7BM 7BN 7BO 7BP 7BQ 7BR 7BS 7BT 7BU 7BV 7BW 7BX 7BY 7BZ 7CA 7CB 7CC 7CD 7CE 7CF 7CG 7CH 7CI 7CJ 7CK 7CL 7CM 7CN 7CO 7CP 7CQ 7CR 7CS 7CT 7CU 7CV 7CW 7CX 7CY 7CZ 7DA 7DB 7DC 7DD 7DE 7DF 7DG 7DH 7DI 7DJ 7DK 7DL 7DM 7DN 7DO 7DP 7DQ 7DR 7DS 7DT 7DU 7DV 7DW 7DX 7DY 7DZ 7EA 7EB 7EC 7ED 7EE 7EF 7EG 7EH 7EI 7EJ 7EK 7EL 7EM 7EN 7EO 7EP 7EQ 7ER 7ES 7ET 7EU 7EV 7EW 7EX 7EY 7EZ 7FA 7FB 7FC 7FD 7FE 7FF 7FG 7FH 7FI 7FJ 7FK 7FL 7FM 7FN 7FO 7FP 7FQ 7FR 7FS 7FT 7FU 7FV 7FW 7FX 7FY 7FZ 7GA 7GB 7GC 7GD 7GE 7GF 7GG 7GH 7GI 7GJ 7GK 7GL 7GM 7GN 7GO 7GP 7GQ 7GR 7GS 7GT 7GU 7GV 7GW 7GX 7GY 7GZ 7HA 7HB 7HC 7HD 7HE 7HF 7HG 7HH 7HI 7HJ 7HK 7HL 7HM 7HN 7HO 7HP 7HQ 7HR 7HS 7HT 7HU 7HV 7HW 7HX 7HY 7HZ 7IA 7IB 7IC 7ID 7IE 7IF 7IG 7IH 7II 7IJ 7IK 7IL 7IM 7IN 7IO 7IP 7IQ 7IR 7IS 7IT 7IU 7IV 7IW 7IX 7IY 7IZ 7JA 7JB 7JC 7JD 7JE 7JF 7JG 7JH 7JI 7JJ 7JK 7JL 7JM 7JN 7JO 7JP 7JQ 7JR 7JS 7JT 7JU 7JV 7JW 7JX 7JY 7JZ 7KA 7KB 7KC 7KD 7KE 7KF 7KG 7KH 7KI 7KJ 7KK 7KL 7KM 7KN 7KO 7KP 7KQ 7KR 7KS 7KT 7KU 7KV 7KW 7KX 7KY 7KZ 7LA 7LB 7LC 7LD 7LE 7LF 7LG 7LH 7LI 7LJ 7LK 7LL 7LM 7LN 7LO 7LP 7LQ 7LR 7LS 7LT 7LU 7LV 7LW 7LX 7LY 7LZ 7MA 7MB 7MC 7MD 7ME 7MF 7MG 7MH 7MI 7MJ 7MK 7ML 7MM 7MN 7MO 7MP 7MQ 7MR 7MS 7MT 7MU 7MV 7MW 7MX 7MY 7MZ 7NA 7NB 7NC 7ND 7NE 7NF 7NG 7NH 7NI 7NJ 7NK 7NL 7NM 7NN 7NO 7NP 7NQ 7NR 7NS 7NT 7NU 7NV 7NW 7NX 7NY 7NZ 7OA 7OB 7OC 7OD 7OE 7OF 7OG 7OH 7OI 7OJ 7OK 7OL 7OM 7ON 7OO 7OP 7OQ 7OR 7OS 7OT 7OU 7OV 7OW 7OX 7OY 7OZ 7PA 7PB 7PC 7PD 7PE 7PF 7PG 7PH 7PI 7PJ 7PK 7PL 7PM 7PN 7PO 7PP 7PQ 7PR 7PS 7PT 7PU 7PV 7PW 7PX 7PY 7PZ 7QA 7QB 7QC 7QD 7QE 7QF 7QG 7QH 7QI 7QJ 7QK 7QL 7QM 7QN 7QO 7QP 7QQ 7QR 7QS 7QT 7QU 7QV 7QW 7QX 7QY 7QZ 7RA 7RB 7RC 7RD 7RE 7RF 7RG 7RH 7RI 7RJ 7RK 7RL 7RM 7RN 7RO 7RP 7RQ 7RR 7RS 7RT 7RU 7RV 7RW 7RX 7RY 7RZ 7SA 7SB 7SC 7SD 7SE 7SF 7SG 7SH 7SI 7SJ 7SK 7SL 7SM 7SN 7SO 7SP 7SQ 7SR 7SS 7ST 7SU 7SV 7SW 7SX 7SY 7SZ 7TA 7TB 7TC 7TD 7TE 7TF 7TG 7TH 7TI 7TJ 7TK 7TL 7TM 7TN 7TO 7TP 7TQ 7TR 7TS 7TT 7TU 7TV 7TW 7TX 7TY 7TZ 7UA 7UB 7UC 7UD 7UE 7UF 7UG 7UH 7UI 7UJ 7UK 7UL 7UM 7UN 7UO 7UP 7UQ 7UR 7US 7UT 7UU 7UV 7UW 7UX 7UY 7UZ 7VA 7VB 7VC 7VD 7VE 7VF 7VG 7VH 7VI 7VJ 7VK 7VL 7VM 7VN 7VO 7VP 7VQ 7VR 7VS 7VT 7VU 7VV 7VW 7VX 7VY 7VZ 7WA 7WB 7WC 7WD 7WE 7WF 7WG 7WH 7WI 7WJ 7WK 7WL 7WM 7WN 7WO 7WP 7WQ 7WR 7WS 7WT 7WU 7WV 7WW 7WX 7WY 7WZ 7XA 7XB 7XC 7XD 7XE 7XF 7XG 7XH 7XI 7XJ 7XK 7XL 7XM 7XN 7XO 7XP 7XQ 7XR 7XS 7XT 7XU 7XV 7XW 7XX 7XY 7XZ 7YA 7YB 7YC 7YD 7YE 7YF 7YG 7YH 7YI 7YJ 7YK 7YL 7YM 7YN 7YO 7YP 7YQ 7YR 7YS 7YT 7YU 7YV 7YW 7YX 7YY 7YZ 7ZA 7ZB 7ZC 7ZD 7ZE 7ZF 7ZG 7ZH 7ZI 7ZJ 7ZK 7ZL 7ZM 7ZN 7ZO 7ZP 7ZQ 7ZR 7ZS 7ZT 7ZU 7ZV 7ZW 7ZX 7ZY 7ZZ 7AA 7AB 7AC 7AD 7AE 7AF 7AG 7AH 7AI 7AJ 7AK 7AL 7AM 7AN 7AO 7AP 7AQ 7AR 7AS 7AT 7AU 7AV 7AW 7AX 7AY 7AZ 7BA 7BB 7BC 7BD 7BE 7BF 7BG 7BH 7BI 7BJ 7BK 7BL 7BM 7BN 7BO 7BP 7BQ 7BR 7BS 7BT 7BU 7BV 7BW 7BX 7BY 7BZ 7CA 7CB 7CC 7CD 7CE 7CF 7CG 7CH 7CI 7CJ 7CK 7CL 7CM 7CN 7CO 7CP 7CQ 7CR 7CS 7CT 7CU 7CV 7CW 7CX 7CY 7CZ 7DA 7DB 7DC 7DD 7DE 7DF 7DG 7DH 7DI 7DJ 7DK 7DL 7DM 7DN 7DO 7DP 7DQ 7DR 7DS 7DT 7DU 7DV 7DW 7DX 7DY 7DZ 7EA 7EB 7EC 7ED 7EE 7EF 7EG 7EH 7EI 7EJ 7EK 7EL 7EM 7EN 7EO 7EP 7EQ 7ER 7ES 7ET 7EU 7EV 7EW 7EX 7EY 7EZ 7FA 7FB 7FC 7FD 7FE 7FF 7FG 7FH 7FI 7FJ 7FK 7FL 7FM 7FN 7FO 7FP 7FQ 7FR 7FS 7FT 7FU 7FV 7FW 7FX 7FY 7FZ 7GA 7GB 7GC 7GD 7GE 7GF 7GG 7GH 7GI 7GJ 7GK 7GL 7GM 7GN 7GO 7GP 7GQ 7GR 7GS 7GT 7GU 7GV 7GW 7GX 7GY 7GZ 7HA 7HB 7HC 7HD 7HE 7HF 7HG 7HH 7HI 7HJ 7HK 7HL 7HM 7HN 7HO 7HP 7HQ 7HR 7HS 7HT 7HU 7HV 7HW 7HX 7HY 7HZ 7IA 7IB 7IC 7ID 7IE 7IF 7IG 7IH 7II 7IJ 7IK 7IL 7IM 7IN 7IO 7IP 7IQ 7IR 7IS 7IT 7IU 7IV 7IW 7IX 7IY 7IZ 7JA 7JB 7JC 7JD 7JE 7JF 7JG 7JH 7JI 7JJ 7JK 7JL 7JM 7JN 7JO 7JP 7JQ 7JR 7JS 7JT 7JU 7JV 7JW 7JX 7JY 7JZ 7KA 7KB 7KC 7KD 7KE 7KF 7KG 7KH 7KI 7KJ 7KK 7KL 7KM 7KN 7KO 7KP 7KQ 7KR 7KS 7KT 7KU 7KV 7KW 7KX 7KY 7KZ 7LA 7LB 7LC 7LD 7LE 7LF 7LG 7LH 7LI 7LJ 7LK 7LM 7LN 7LO 7LP 7LQ 7LR 7LS 7LT 7LU 7LV 7LW 7LX 7LY 7LZ 7MA 7MB 7MC 7MD 7ME 7MF 7MG 7MH 7MI 7MJ 7MK 7ML 7MM 7MN 7MO 7MP 7MQ 7MR 7MS 7MT 7MU 7MV 7MW 7MX 7MY 7MZ 7NA 7NB 7NC 7ND 7NE 7NF 7NG 7NH 7NI 7NJ 7NK 7NL 7NM 7NN 7NO 7NP 7NQ 7NR 7NS 7NT 7NU 7NV 7NW 7NX 7NY 7NZ 7OA 7OB 7OC 7OD 7OE 7OF 7OG 7OH 7OI 7OJ 7OK 7OL 7OM 7ON 7OO 7OP 7OQ 7OR 7OS 7OT 7OU 7OV 7OW 7OX 7OY 7OZ 7PA 7PB 7PC 7PD 7PE 7PF 7PG 7PH 7PI 7PJ 7PK 7PL 7PM 7PN 7PO 7PP 7PQ 7PR 7PS 7PT 7PU 7PV 7PW 7PX 7PY 7PZ 7QA 7QB 7QC 7QD 7QE 7QF 7QG 7QH 7QI 7QJ 7QK 7QL 7QM 7QN 7QO 7QP 7QQ 7QR 7QS 7QT 7QU 7QV 7QW 7QX 7QY 7QZ 7RA 7RB 7RC 7RD 7RE 7RF 7RG 7RH 7RI 7RJ 7RK 7RL 7RM 7RN 7RO 7RP 7RQ 7RR 7RS 7RT 7RU 7RV 7RW 7RX 7RY 7RZ 7SA 7SB 7SC 7SD 7SE 7SF 7SG 7SH 7SI 7SJ 7SK 7SL 7SM 7SN 7SO 7SP 7SQ 7SR 7SS 7ST 7SU 7SV 7SW 7SX 7SY 7SZ 7TA 7TB 7TC 7TD 7TE 7TF 7TG 7TH 7TI 7TJ 7TK 7TL 7TM 7TN 7TO 7TP 7TQ 7TR 7TS 7TT 7TU 7TV 7TW 7TX 7TY 7TZ 7UA 7UB 7UC 7UD 7UE 7UF 7UG 7UH 7UI 7UJ 7UK 7UL 7UM 7UN 7UO 7UP 7UQ 7UR 7US 7UT 7UU 7UV 7UW 7UX 7UY 7UZ 7VA 7VB 7VC 7VD 7VE 7VF 7VG 7VH 7VI 7VJ 7VK 7VL 7VM 7VN 7VO 7VP 7VQ 7VR 7VS 7VT 7VU 7VV 7VW 7VX 7VY 7VZ 7WA 7WB 7WC 7WD 7WE 7WF 7WG 7WH 7WI 7WJ 7WK 7WL 7WM 7WN 7WO 7WP 7WQ 7WR 7WS 7WT 7WU 7WV 7WW 7WX 7WY 7WZ 7XA 7XB 7XC 7XD 7XE 7XF 7XG 7XH 7XI 7XJ 7XK 7XL 7XM 7XN 7XO 7XP 7XQ 7XR 7XS 7XT 7XU 7XV 7XW 7XX 7XY 7XZ 7YA 7YB 7YC 7YD 7YE 7YF 7YG 7YH 7YI 7YJ 7YK 7YL 7YM 7YN 7YO 7YP 7YQ 7YR 7YS 7YT 7YU 7YV 7YW 7YX 7YY 7YZ 7ZA 7ZB 7ZC 7ZD 7ZE 7ZF 7ZG 7ZH 7ZI 7ZJ 7ZK 7ZL 7ZM 7ZN 7ZO 7ZP 7ZQ 7ZR 7ZS 7ZT 7ZU 7ZV 7ZW 7ZX 7ZY 7ZZ

6.3 F-B断層による地震の地震動評価

6.3.1 震源モデルの設定 a. 強震動予測レシピモデル

断層傾斜角の不確かさ考慮(No.5)



項目		設定値
基準点	東経(°)	138.37
	北緯(°)	37.36
巨視的断層面	断層上端深さ(km)	6
	断層長さ(km)	36.0
	断層幅(km)	20.0
	断層面積(km ²)	720
	走向(°)	39
	傾斜角(°)	35
	S波速度(Vs)(km/s)	3.4
	破壊伝播速度(km/s)	2.4
	地震E-μJ(N·m)	2.9×10 ¹⁹
	アスペリティ1	面積(km ²)
地震E-μJ(N·m)		7.0×10 ¹⁸
平均すべり量(cm)		257
応力降下量(MPa)		15.0
アスペリティ2	面積(km ²)	87
	地震E-μJ(N·m)	7.0×10 ¹⁸
	平均すべり量(cm)	257
背景領域	応力降下量(MPa)	15.0
	面積(km ²)	546
	地震E-μJ(N·m)	1.5×10 ¹⁹
	平均すべり量(cm)	87
実効応力(MPa)		2.4

: 地質調査結果等に基づく
 : 強震動予測レシピに基づく
 : 中越沖地震の余震分布を参考に設定

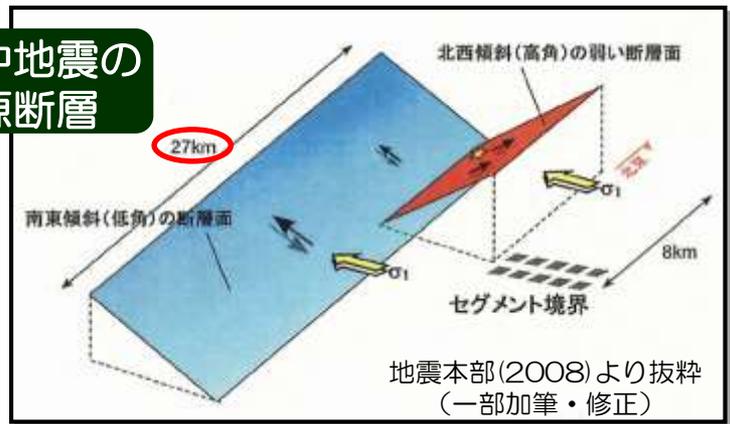
6.3 F-B断層による地震の地震動評価

6.3.1 震源モデルの設定 b. 中越沖地震アパリティモデル・中越沖地震拡張モデル

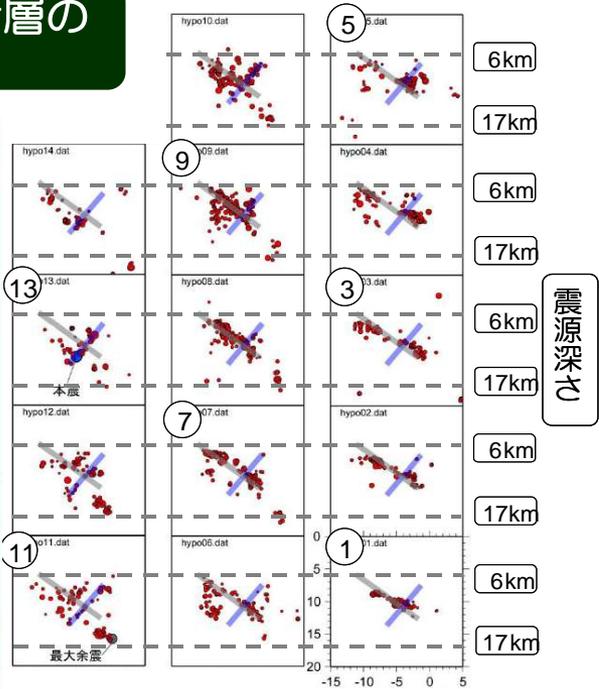
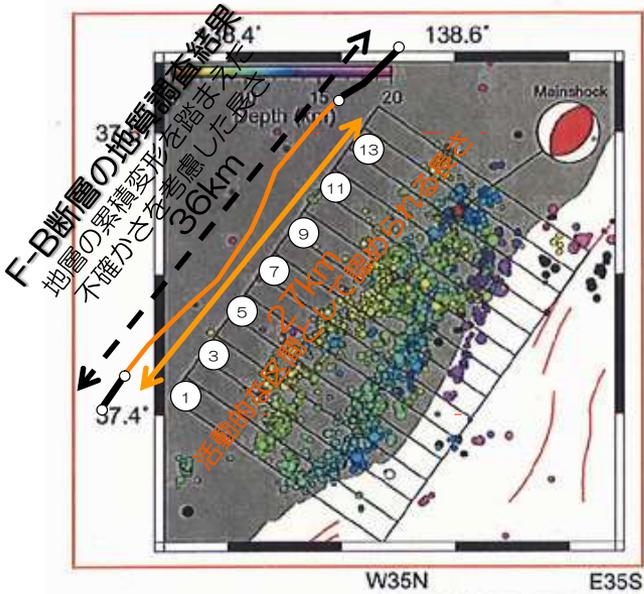
【中越沖地震の知見】 中越沖地震の震源断層と余震分布

■ 地震本部(2008)による中越沖地震の震源断層は、断層長さ27kmの南東傾斜の断層面である。

中越沖地震の震源断層



中越沖地震の余震分布とF-B断層の地質調査結果との関係



地震本部(2008)より抜粋 (一部加筆・修正)

■ 海域・陸域臨時地震観測に基づく精密余震分布(7月16日10時13分~8月29日)と、地質調査結果において、F-B断層の活動的な区間として認められたM-8測線からM-19測線までの約27kmは、よく対応している。

■ 中越沖地震の余震分布を参考に、震源インバージョンで設定された断層傾斜角は35°。

6.3 F-B断層による地震の地震動評価

6.3.1 震源モデルの設定 b. 中越沖地震Aspリティモデル・中越沖地震拡張モデル

【中越沖地震の知見】中越沖地震の震源モデルの整理

■ 中越沖地震に関して提案されている主な震源モデルを整理。

	文献	手法	モデル	傾斜	検討に用いた観測点数	a.破壊伝播速度(km/s)	b.震源S波速度(km/s)	比 a/b
①	入倉ほか(2008)	経験的G関数法	特性化モデル	南東	6(3)	2.7	3.4	0.79
②	Kamae and Kawabe(2008)	経験的G関数法	特性化モデル	南東	22(12)	2.7	3.5	0.77
③	芝(2008)	全体	地震モーメント密度分布特性化モデル	南東	18(2)	2.3	3.4	0.68
		Asp			8(8)	3.1,2.8,2.5	3.4	0.91,0.82,0.74
④	山本・竹中(2009)	経験的G関数法	特性化モデル	南東+北西	10(2)	2.7,2.8,2.8	3.4	0.79,0.82,0.82
⑤	野津(2010)	経験的サト増幅・位相特性を考慮した強震波形計算手法	特性化モデル	南東	10(8)	3	3.5	0.86
⑥	Aoi et al.(2008)	波形インバージョン法	すべり分布	南東	14	2.1	3.4	0.62
⑦	引間・瀬瀬(2008)	ジョイントインバージョン法	すべり分布	南東	近地11(2) 遠地29 測地41	-	-	-
⑧	Honda and Aoi(2009)	リアルタイム逆解析法	すべり分布	南東	12(10)	2.45	3.4	0.72
⑨	Nakamura et al.(2009)	波形インバージョン法	すべり分布	南東+北西	約50	-	-	-
⑩	Miyake et al.(2010)	波形インバージョン法	すべり分布	南東	34	2.6	3.4	0.76

() 内は敷地内の観測点数

- 海底地震計の記録を用いて再決定された余震分布から、主断層面が南東傾斜であることが明らかとなった以降、主に南東傾斜とする特性化震源モデルが提案されている。
- 南東傾斜の主断層面に加え、震源域北東部の北西傾斜の断層面を考慮し、モデル化したものも存在するが、わずかである。これは、地震動評価上、北西傾斜の断層面の寄与が小さいためと考えられる。
- 地震動評価に用いる特性化震源モデルは、波形インバージョン法等によるすべり分布と比較的整合し、パラメータが明確となっている①、②及び③の特性化震源モデルにおいて、アスペリティ位置などに大きな相違が無いことを確認のうえ、ここでは③芝(2008)のモデルを用いて評価を行うこととした。

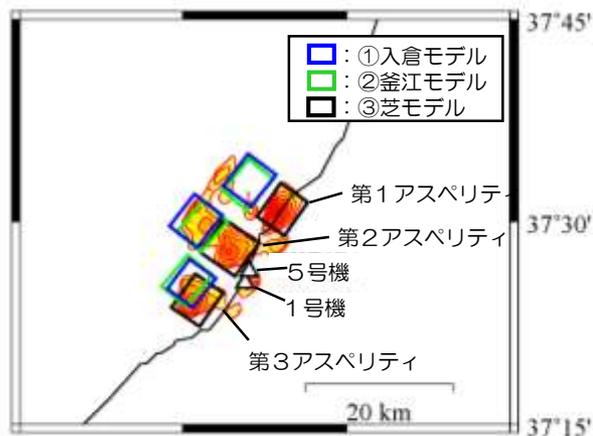
6.3 F-B断層による地震の地震動評価

6.3.1 震源モデルの設定 b. 中越沖地震アスペリティモデル・中越沖地震拡張モデル

【中越沖地震の知見】①,②及び③モデルの比較

各モデルの概要と主な特性化震源パラメータ

モデル名	各モデルの特徴	走向, 傾斜角	アスペリティ		応力降下量 (MPa)	地震モーメント ($\times 10^{18} \text{N}\cdot\text{m}$)	破壊伝播速度 (km/s)
			アスペリティ名	面積 (km ²)			
①入倉ほか (2008) 入倉モデル	<ul style="list-style-type: none"> 各観測点におけるパルス波の到達時間差からアスペリティ位置を推定 破壊伝播速度は一定 	37度, 30度	Asp1	5.5×5.5	23.7	1.69	2.7
			Asp2	5.5×5.5	23.7	1.69	
			Asp3	5.04×5.04	19.8	1.02	
②Kamae and Kawabe (2008) 釜江モデル	<ul style="list-style-type: none"> フォワードモデリングによりアスペリティ位置を推定 深さの異なる2枚断層モデルを仮定 破壊伝播速度は一定 	40度, 40度	Asp1	5.6×5.6	18.4	1.33	2.7
			Asp2	5.6×5.6	27.6	2.00	
			Asp3	5.6×5.6	23.0	1.67	
③芝 (2008) 芝モデル	<ul style="list-style-type: none"> 震源インバージョン解析により求められたすべり分布を基準にアスペリティ位置を設定 破壊伝播速度もインバージョン結果を参考にアスペリティごとに設定 	35度, 35度	第1	5.6×5.6	25.5	1.83	3.1
			第2	5.6×7.0	20.8	2.11	2.8
			第3	5.6×5.6	19.9	1.43	2.5



アスペリティから各号機までの最短距離(km)

	1号機まで			5号機まで		
	第1アスペリティ	第2アスペリティ	第3アスペリティ	第1アスペリティ	第2アスペリティ	第3アスペリティ
①入倉モデル	15	13	13	14	13	13
②釜江モデル	16	14	12	15	14	12
③芝モデル	16	12	13	15	12	13

■ 芝モデルのアスペリティ位置は、入倉モデル、釜江モデルに比べてやや南東側に分布するが、主要なパラメータは概ねよく一致。また、アスペリティから敷地までの最短距離は、モデル間の差異はほとんどないことがわかる。



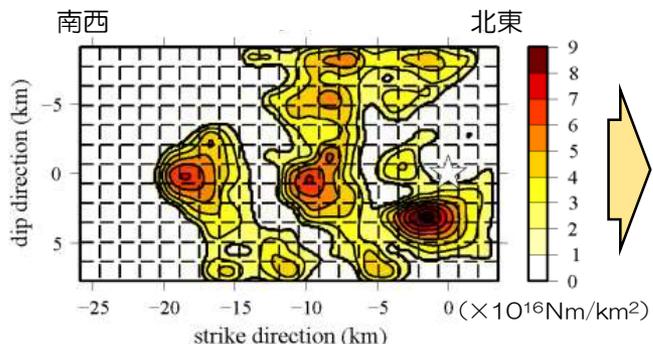
以上の整理結果を踏まえ、中越沖地震については、芝(2008)による震源モデルを用いることとした。

□: 各モデルのアスペリティ
 コンターは震源インバージョンで推定されたすべり分布を表す

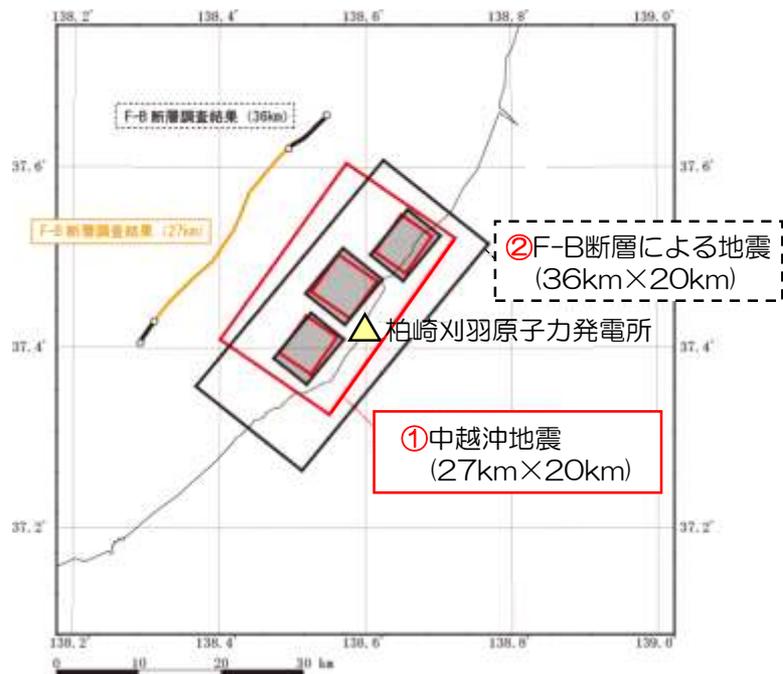
6.3 F-B断層による地震の地震動評価

6.3.1 震源モデルの設定 b. 中越沖地震アスペリティモデル・中越沖地震拡張モデル

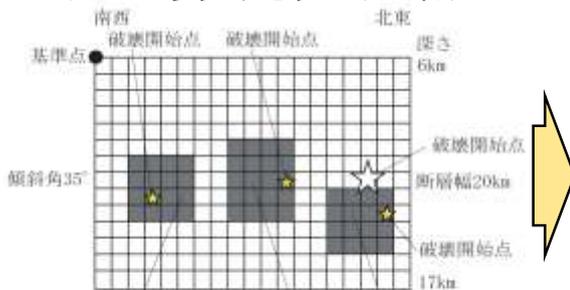
設定の考え方



中越沖地震(M6.8)
震源インバージョン結果

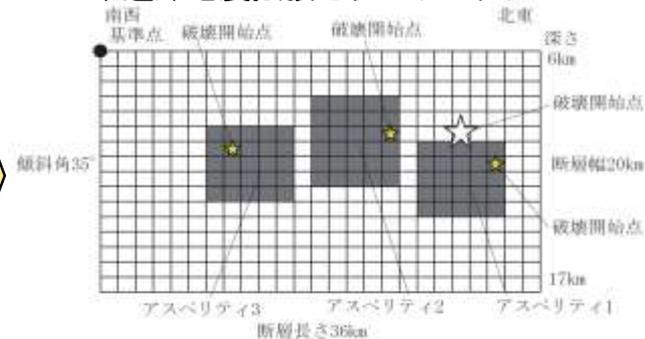


①中越沖地震
アスペリティモデル(M6.8)



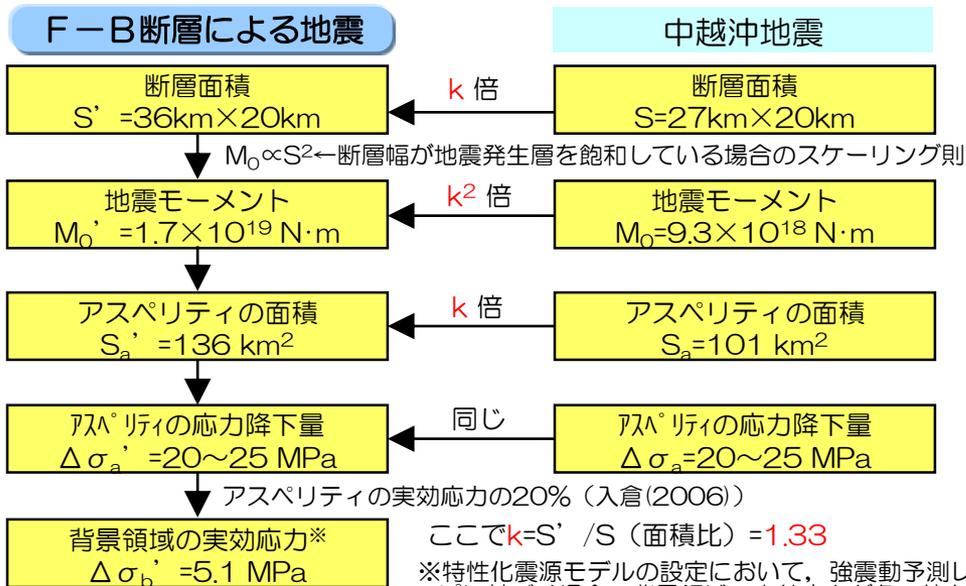
第3アスペリティ 第2アスペリティ 第1アスペリティ
断層長さ27km
中越沖地震の震源インバージョン結果等を参考に、アスペリティモデルを構築。
(断層長さ27km×断層幅20km)

②F-B断層による地震
中越沖地震拡張モデル(M7.0)



アスペリティ3 アスペリティ2 アスペリティ1
断層長さ36km
中越沖地震のアスペリティモデルを、地質調査結果を基に36km(M7.0)に拡張し、F-B断層の断層モデルを設定。

断層パラメータの設定手順



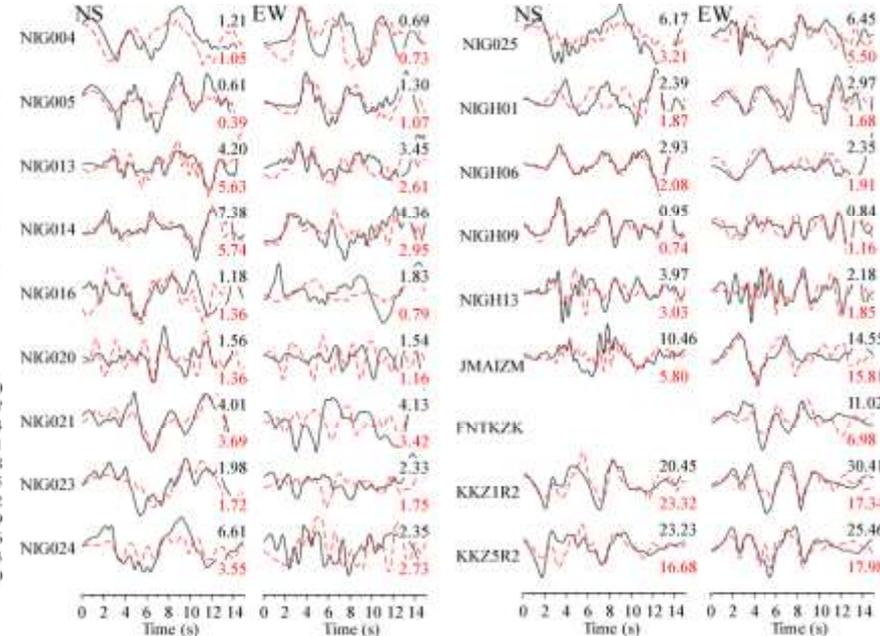
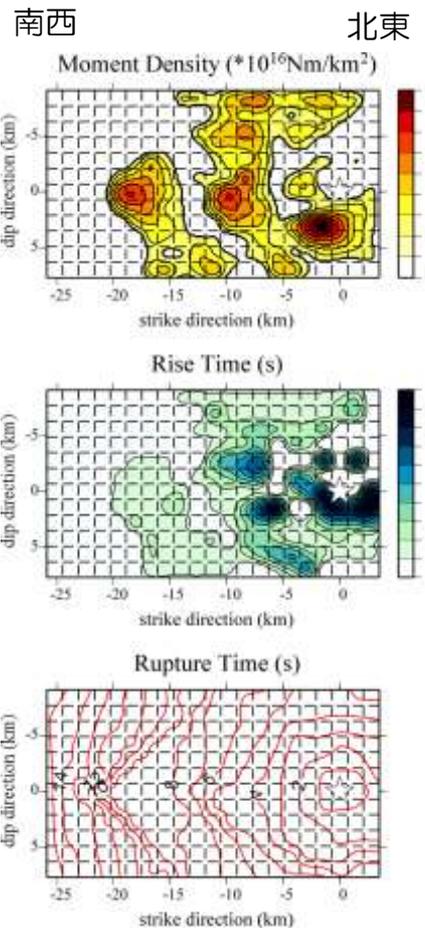
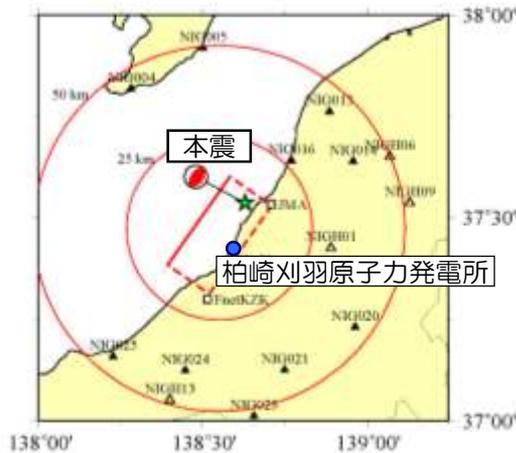
※特性化震源モデルの設定において、強震動予測レジビに基づく場合、背景領域の実効応力が負の値となることから、ここでは入倉(2006)を参考に設定

6.3 F-B断層による地震の地震動評価

6.3.1 震源モデルの設定 b. 中越沖地震アパリティモデル・中越沖地震拡張モデル

**中越沖地震
震源イメージ
芝(2008)**

- 震源インバージョンでは、経験的グリーン関数法を用いた手法により、本震断層面上での地震モーメント密度分布、立ち上がり時間分布および破壊時刻の時空間分布を推定。
- インバージョンの計算波形は、各観測点の観測波形の再現性が高いことを確認。



- 初期断層面
南東傾斜, 1枚断層
走向35度, 傾斜角35度*
- 解析に用いた観測点
○柏崎サイト: 2地点
(1・5号機の基礎版上)
OK-NET: 10地点
KiK-net: 4地点
OJMA, F-net: 各1地点
- 対象波形
○解析周波数帯域0.1~2Hz
○変位波形
○水平2成分

※地震本部(2007, 2008)により公開された本震と余震の震源分布を参考に設定された値。

推定された震源モデルに基づく計算波形(赤線)と観測記録(黒線)の比較(解析周波数帯域0.1~2Hz, 変位波形)

- 【参考: イメージ時の要素地震の選定理由】
- ①中越沖地震ではM4程度以上の余震の発生頻度が低かった中で、本余震はM4.4である。
 - ②複数の観測点で良好な記録が得られている。

芝(2008)より抜粋(一部加筆・修正)

6.3 F-B断層による地震の地震動評価

6.3.1 震源モデルの設定 b. 中越沖地震アスペリティモデル・中越沖地震拡張モデル

中越沖地震アスペリティモデル(M6.8)の震源モデルの設定

■ 中越沖地震の震源インバージョン結果等を参考に、アスペリティモデルを構築。(断層長さ27km×断層幅20km)

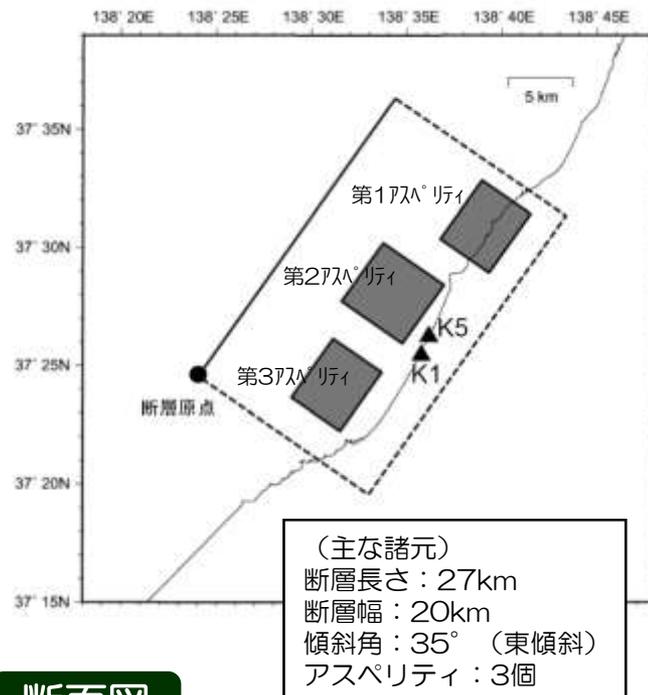
断層パラメータ

項目		設定値	項目		設定値	
巨視的断層面	基準点	東経(°)	138.40	第2アスペリティ	面積(km ²)	39
		北緯(°)	37.41		地震モーメント(N·m)	2.1×10 ¹⁸
	断層上端深さ(km)	6	平均すべり量(cm)		173	
	断層長さ(km)	27.0	応力降下量(MPa)		21	
	断層幅(km)	20.0	破壊伝播速度(km/s)		2.8	
	断層面積(km ²)	540	破壊時間遅れ(s)		1.8	
	走向(°)	35	第3アスペリティ		面積(km ²)	31
	傾斜角(°)	35			地震モーメント(N·m)	1.4×10 ¹⁸
	破壊伝播形式	マルチバベルセンター			平均すべり量(cm)	146
	S波速度(Vs)(km/s)	3.4			応力降下量(MPa)	20
第1アスペリティ	地震モーメント(N·m)	9.3×10 ¹⁸	破壊伝播速度(km/s)	2.5		
	面積(km ²)	31	破壊時間遅れ(s)	0.0		
	地震モーメント(N·m)	1.8×10 ¹⁸	背景領域	面積(km ²)	419	
	平均すべり量(cm)	187		地震モーメント(N·m)	3.9×10 ¹⁸	
	応力降下量(MPa)	25		平均すべり量(cm)	30	
	破壊伝播速度(km/s)	3.1		実効応力(MPa)	5.1	
破壊時間遅れ(s)	0.2	破壊伝播速度(km/s)	2.3			

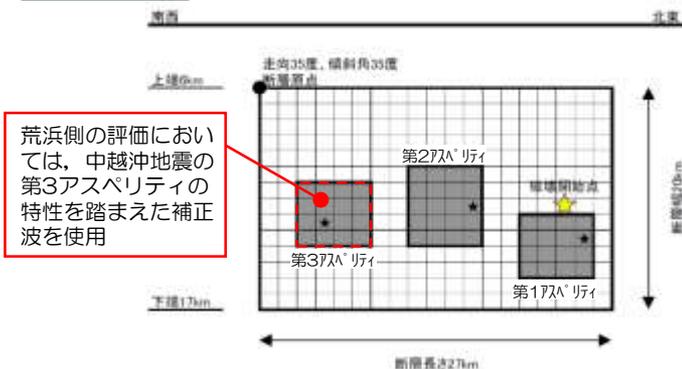
■ : 地質調査結果等に基づく

■ : 中越沖地震の震源インバージョン結果に基づく

平面図



断面図



6.3 F-B断層による地震の地震動評価

6.3.1 震源モデルの設定 b. 中越沖地震アスペリティモデル・中越沖地震拡張モデル

中越沖地震拡張モデル(M7.0)の震源モデルの設定

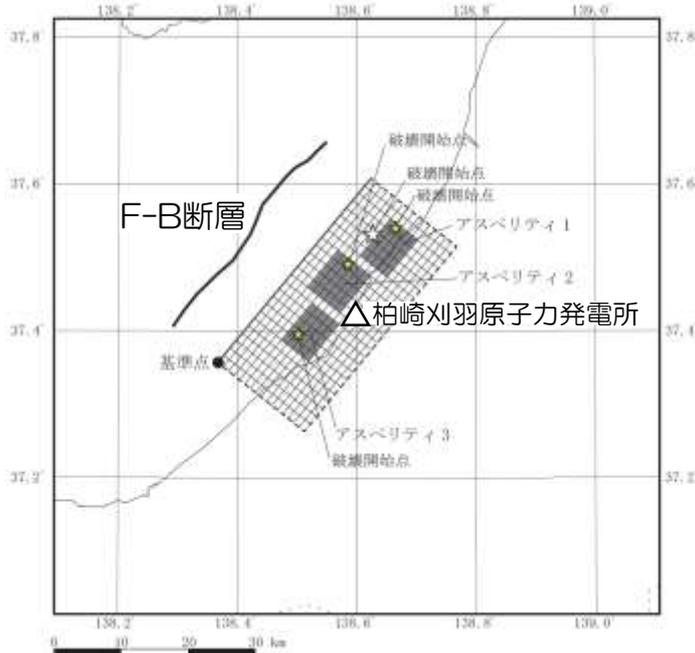
■ 中越沖地震のアスペリティモデルを地質調査結果を基に36km(M7.0)に拡張して設定。

断層パラメータ

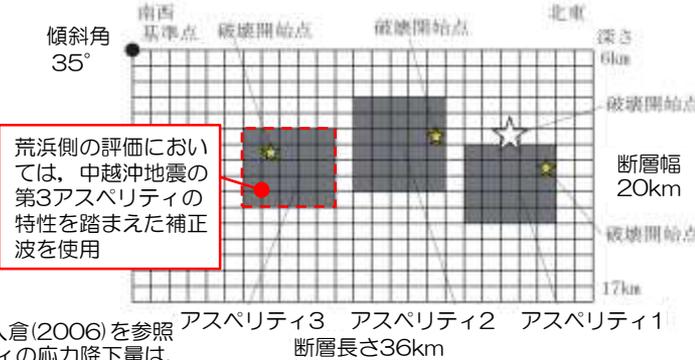
項目		設定値	
巨視的断層面	基準点	東経(°)	138.37
		北緯(°)	37.36
	断層上端深さ(km)	6	
	断層長さ(km)	36.0	
	断層幅(km)	20.0	
	断層面積(km ²)	720	
	走向(°)	39	
	傾斜角(°)	35	
	破壊伝播形式	マルチバ体 センター	
	S波速度(Vs) (km/s)	3.4	
地震モーメント(N・m)	1.7×10 ¹⁹		
アスペリティ1	面積(km ²)	42	
	地震モーメント(N・m)	3.3×10 ¹⁸	
	平均すべり量(cm)	249	
	応力降下量(MPa)	25	
	破壊伝播速度(km/s)	3.1	
破壊時間遅れ(s)	0.2		

項目		設定値
アスペリティ2	面積(km ²)	52
	地震モーメント(N・m)	3.8×10 ¹⁸
	平均すべり量(cm)	230
	応力降下量(MPa)	21
	破壊伝播速度(km/s)	2.8
破壊時間遅れ(s)	1.8	
アスペリティ3	面積(km ²)	42
	地震モーメント(N・m)	2.5×10 ¹⁸
	平均すべり量(cm)	195
	応力降下量(MPa)	20
	破壊伝播速度(km/s)	2.5
破壊時間遅れ(s)	0.0	
背景領域	面積(km ²)	584
	地震モーメント(N・m)	7.0×10 ¹⁸
	平均すべり量(cm)	38
	実効応力(MPa)	5.1
	破壊伝播速度(km/s)	2.3

平面図



断面図



■ : 地質調査結果等に基づく
 ■ : 中越沖地震の震源インバージョン結果に基づく

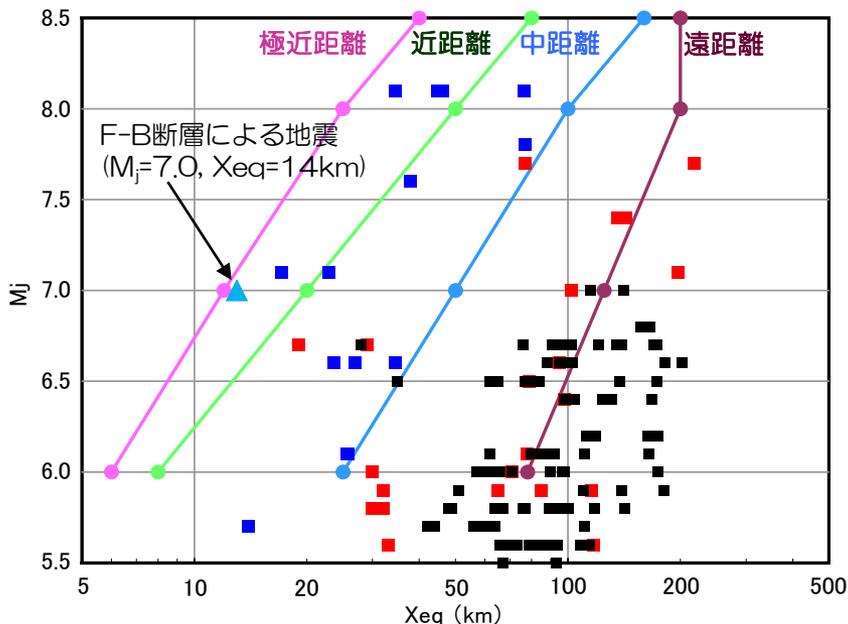
※中越沖地震拡張モデルにおいては、背景領域の実効応力は入倉(2006)を参照し、アスペリティの応力降下量の20%と仮定。アスペリティの応力降下量は、同じ値を設定していることから、背景領域の値も拡張前後で同じ値を設定。

6.3 F-B断層による地震の地震動評価

6.3.2 応答スペクトルに基づく地震動評価

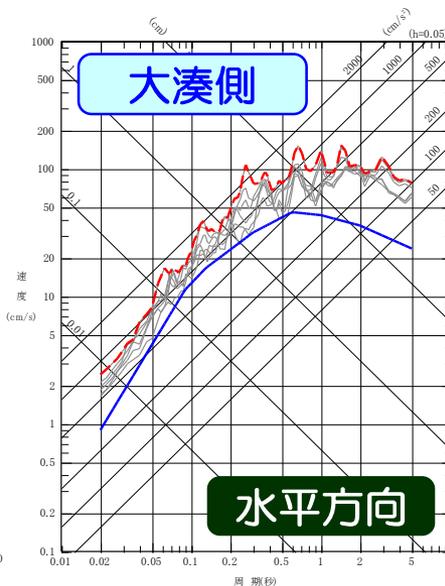
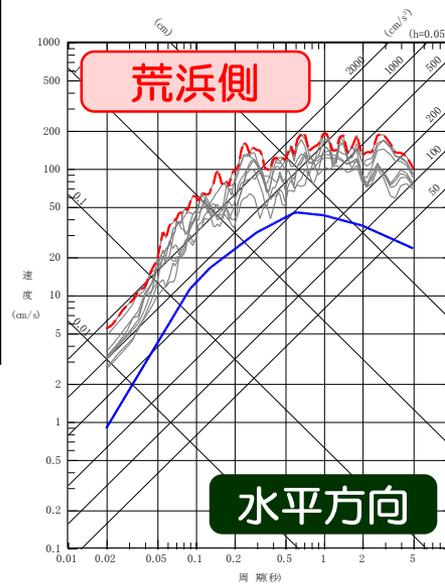
- 評価手法は、Noda et al.(2002)による手法を採用。
- 地震規模は、中越沖地震の知見を踏まえて設定。
- 中越沖地震の地震動特性を反映するために用いる観測記録に基づく補正係数は、中越沖地震における荒浜側（1～4号機側）と大湊側（5～7号機側）の原子炉建屋基礎版上の観測記録から推定した解放基盤波（灰色線）をそれぞれ保守的に包絡した応答スペクトル（赤線）とNoda et al.(2002)による応答スペクトル（青線）の比として設定。

- : 回帰式の作成に用いた観測記録
- : 適用性検討に用いた他地点観測記録（国内の地震）
- : 適用性検討に用いた他地点観測記録（海外の地震）



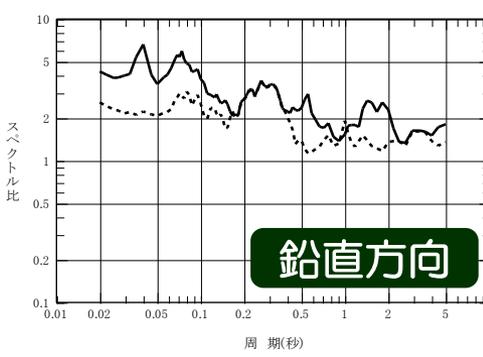
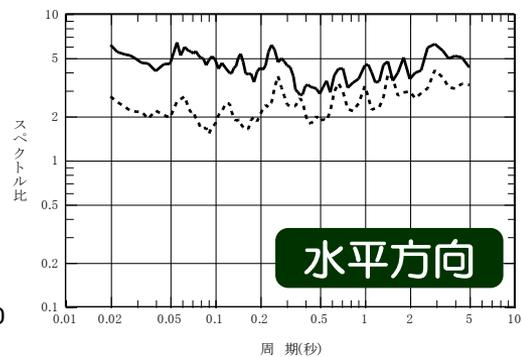
原子力安全委員会(2009)「応答スペクトルに基づく地震動評価」に関する専門家との意見交換会，資料第1-1号より抜粋（一部加筆・修正）

評価手法と観測記録に基づく補正係数



赤線
青線

— 荒浜側（1～4号機側）
- - - 大湊側（5～7号機側）

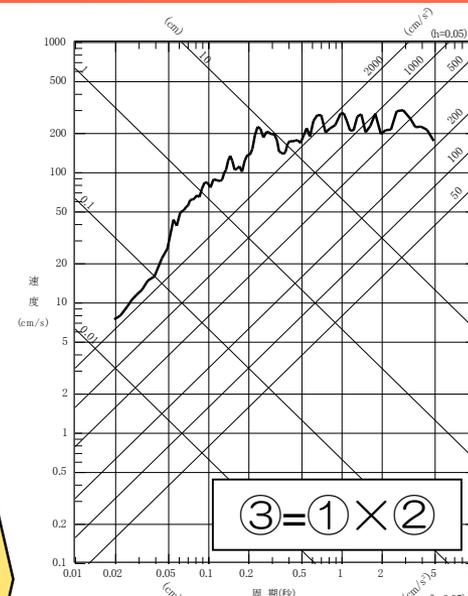
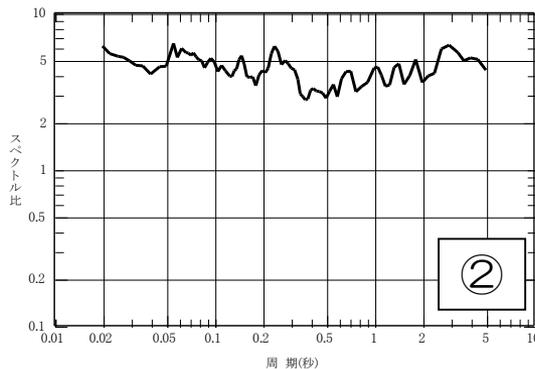
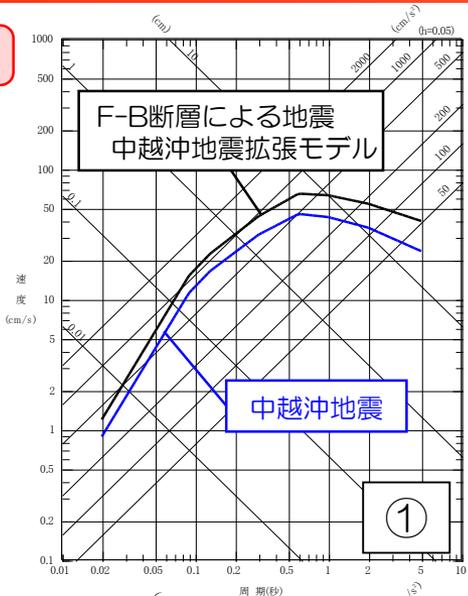


観測記録に基づく補正係数

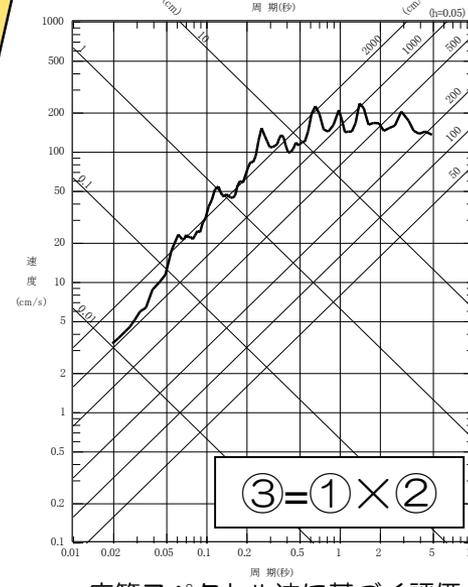
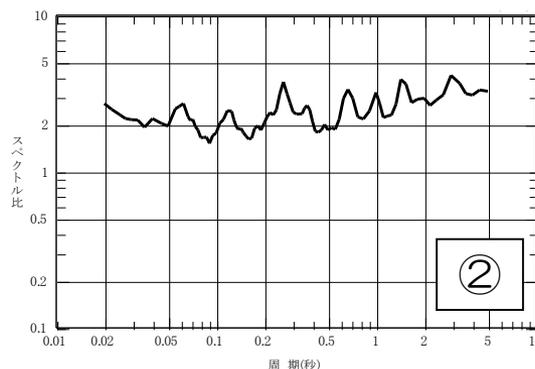
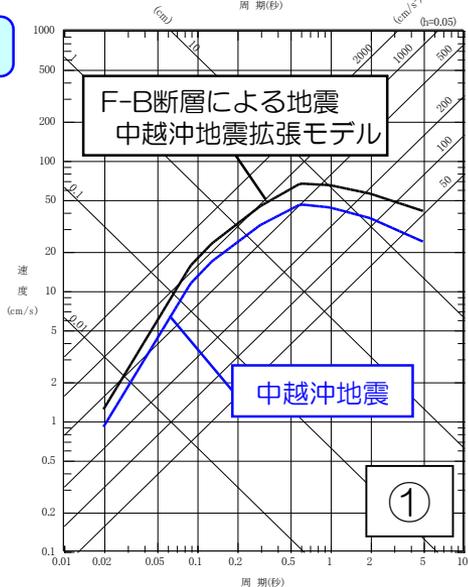
6.3 F-B断層による地震の地震動評価

6.3.2 応答スペクトルに基づく地震動評価 補正係数を用いた評価

荒浜側



大湊側



観測記録に基づく補正係数

注) 水平動の結果。鉛直動も同様の方法で算定。

※F-B断層による地震については、中越沖地震の知見を踏まえたうえで、36kmに拡張したモデル（中越沖地震拡張モデル）で代表させる。

Noda et al.(2002)による評価

応答スペクトル法に基づく評価
F-B断層による地震 (M7.0, Xeq=13km)

6.3 F-B断層による地震の地震動評価

6.3.2 応答スペクトルに基づく地震動評価

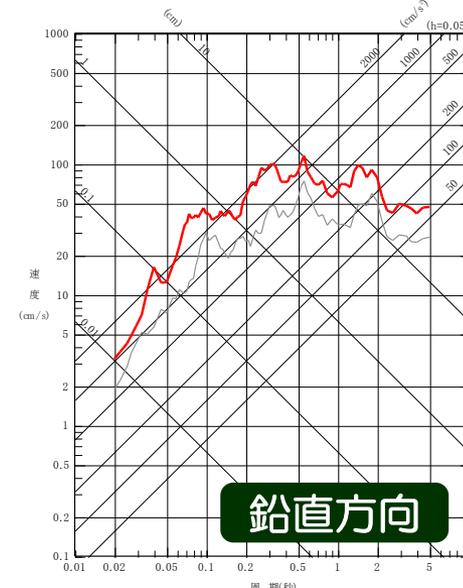
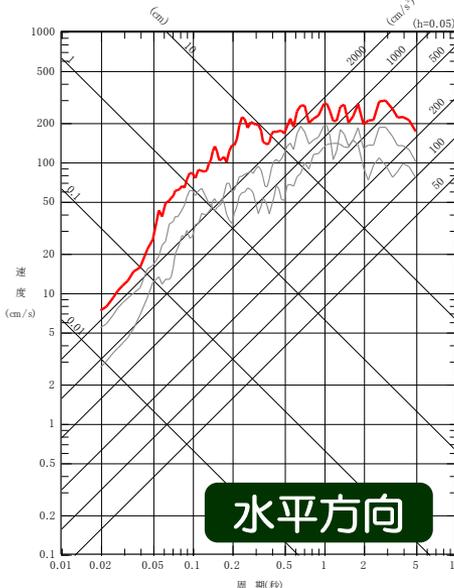
地震動評価結果

荒浜側

— F-B断層による地震(M7.0, Xeq=13km)
— 【参考】中越沖地震解放基盤波(1号機)



F-B断層による地震の評価結果を
基準地震動Ss-1として策定

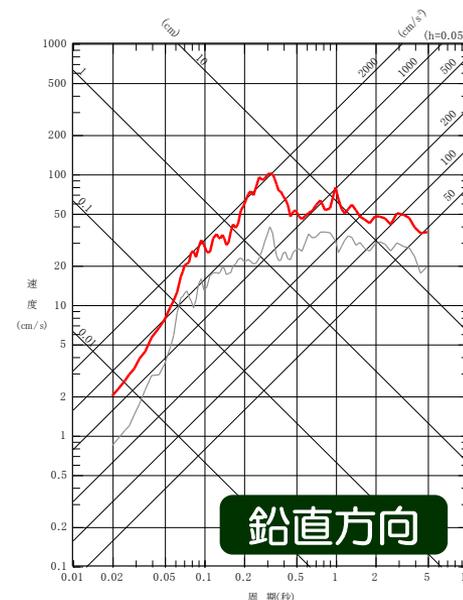
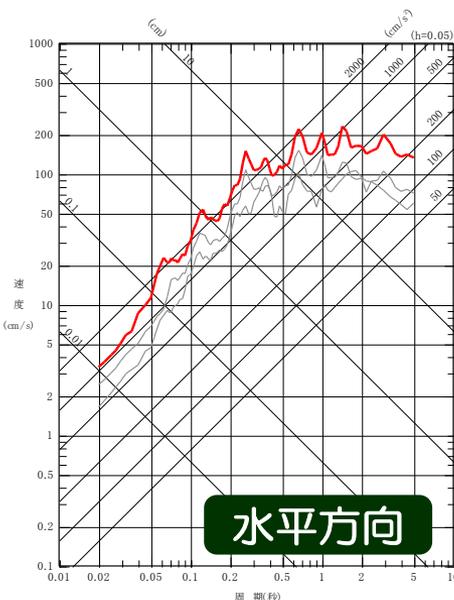


大湊側

— F-B断層による地震(M7.0, Xeq=13km)
— 【参考】中越沖地震解放基盤波(5号機)



F-B断層による地震の評価結果を
基準地震動Ss-1として策定

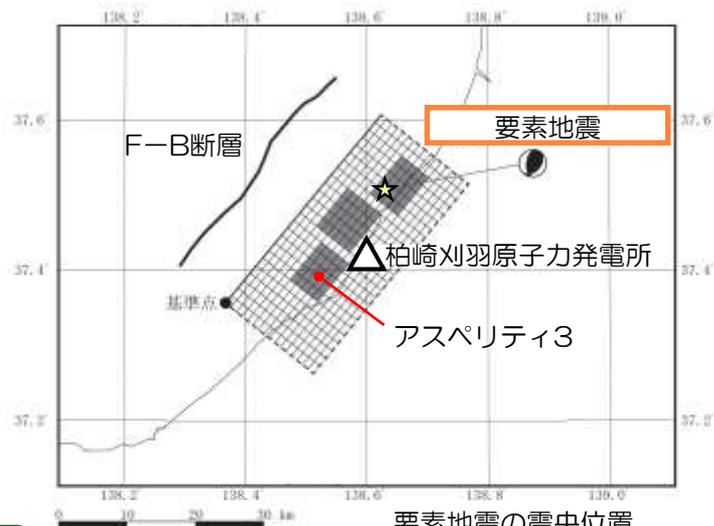


6.3 F-B断層による地震の地震動評価

6.3.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価

評価手法と要素地震

- 想定した震源域で発生した中小地震を要素地震として経験的グリーン関数法で評価することにより、地震波の伝播特性（サイト特性を含む）を適切に反映する。
- 経験的グリーン関数法に用いる要素地震は、想定する地震の震源域で発生した中越沖地震の余震を採用。
- なお、荒浜側の評価において、強震動予測レシピモデルの南西側アスペリティ及び中越沖地震拡張モデルのアスペリティ3に用いる要素地震は、中越沖地震における第3アスペリティの特性を踏まえて設定した補正波とする。

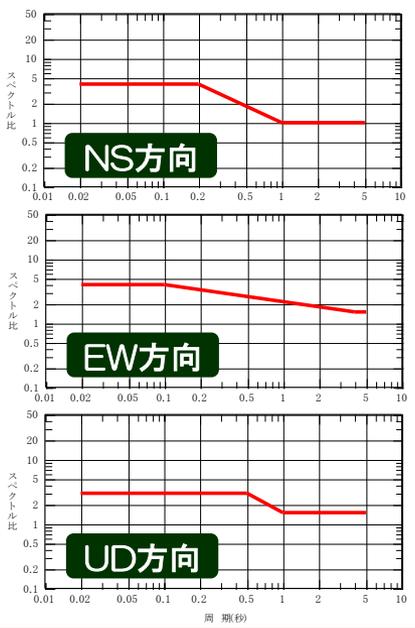


要素地震の震央位置
(中越沖地震拡張モデルの断層モデル図にプロット)

要素地震の震源パラメータ

発生日時		2007/7/16 21:08	備考
マグニチュード	M _j	4.4	気象庁
	M _w	4.4	F-net
震源位置	東経(°)	138.63	気象庁
	北緯(°)	37.51	気象庁
震源深さ(km)		13.6	余震分布を踏まえ設定
走向(°)		187 ; 39	F-net
傾斜(°)		54 ; 41	F-net
すべり角(°)		70 ; 115	F-net
地震モーメント(N・m)		5.21 × 10 ¹⁵	F-net
J-ナ周波数(Hz)		1.65	Brune(1970)式
実効応力(MPa)		4.6	芝(2008)
Q値		76 f ^{0.74}	岩田ほか(2005)

補正係数



f_{max}の補正

- 中越沖地震のシミュレーション解析と同様、大地震と小地震（要素地震）の地震モーメントM₀の違いに基づくf_{max}(Faccioli(1986))の補正を実施。

$$f_{max} = 7.31 \times 10^3 \times M_0^{-0.12} : \text{Faccioli(1986)}$$

$$Corr(f) = \left(1 + \left(\frac{f}{f_{max_s}}\right)^2\right) / \left(1 + \left(\frac{f}{f_{max_l}}\right)^2\right)$$

ここでf_{max}値については、
大地震：f_{max_l}=5.53Hz
要素地震：f_{max_s}=13.74Hzとした。

6.3 F-B断層による地震の地震動評価

6.3.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価 要素地震の見積もり

- 要素地震の見積もりは、芝(2008)の検討結果をもとに実施しているが、敷地及び周辺KiK-net観測点の記録を用いて、妥当性を再確認する。
- 理論スペクトルと観測記録は概ね整合する傾向にあり、適切に設定されていることが確認できる。

芝(2008)により設定されているコーナー周波数を代入して求めた理論スペクトルと観測記録から求めた加速度フーリエスペクトル振幅を比較し適合状況を確認 (M₀はF-net, Q値は岩田ほか(2005)の値を採用)

理論スペクトルの算定式 (Boore(1983))

加速度フーリエスペクトル振幅 A(f)

$$A(f) = S(f) \cdot P(f) \cdot \sqrt{\frac{\rho\beta}{\rho_s\beta_s}}$$

震源スペクトル S(f)

$$S(f) = \frac{F}{4\pi\rho\beta^3} \cdot M_0 \cdot \frac{(2\pi f)^2}{1+(f/f_c)^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+(f/f_{max})^{2s}}} \cdot FS$$

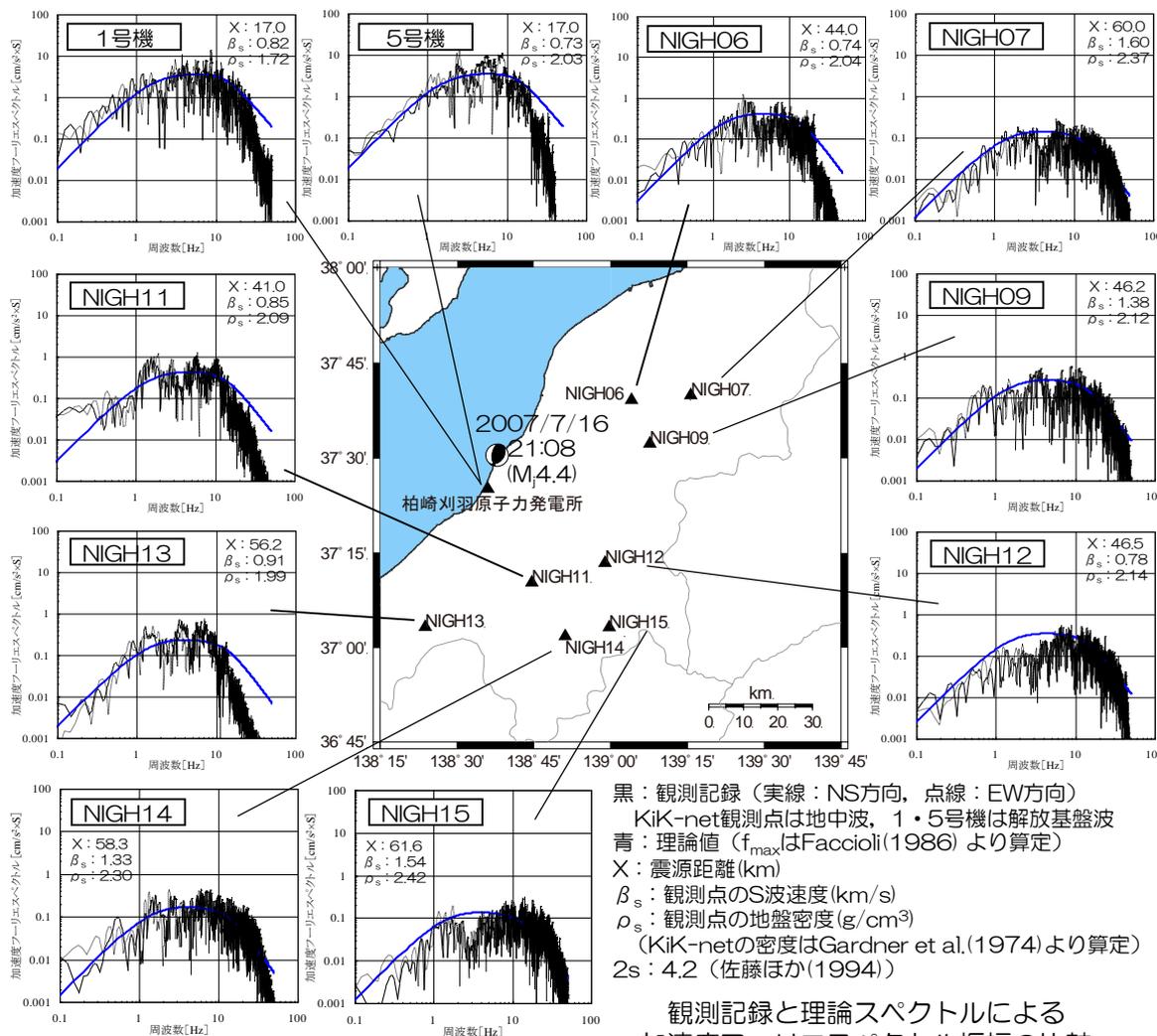
伝播特性 P(f)

$$P(f) = \frac{\exp\{-\pi f X / (Q\beta)\}}{X}$$

コーナー周波数 f_c

$$f_c = 4.9 \times 10^6 \beta \left(\frac{\Delta\sigma}{M_0} \right)^{1/3}$$

ここで、 f:周波数 F:放射特性(0.63/√2)
 FS:自由表面での増幅を表す係数(地表:2, 地中:1)
 f_{max}:高周波遮断周波数 Q:Q値 X:震源距離
 β, ρ:震源におけるS波速度(km/s)と地盤密度
 β_s, ρ_s:観測点におけるS波速度(km/s)と地盤密度
 Δσ:応力降下量
 M₀:地震モーメント(dyne·cm)



黒: 観測記録 (実線: NS方向, 点線: EW方向)
 KiK-net観測点は地中波, 1・5号機は解放基盤波
 青: 理論値 (f_{max}はFaccioli(1986)より算定)
 X: 震源距離(km)
 β_s: 観測点のS波速度(km/s)
 ρ_s: 観測点の地盤密度(g/cm³)
 (KiK-netの密度はGardner et al.(1974)より算定)
 2s: 4.2 (佐藤ほか(1994))

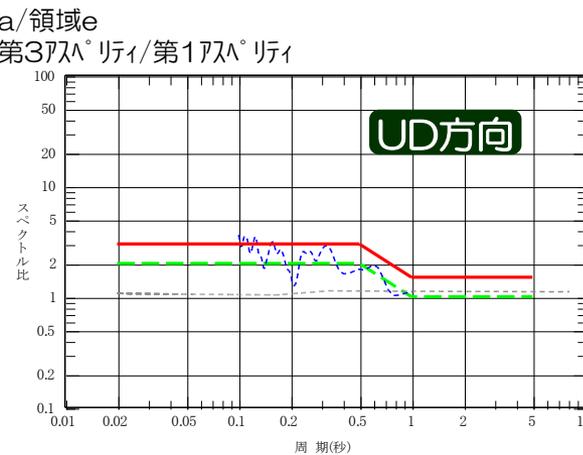
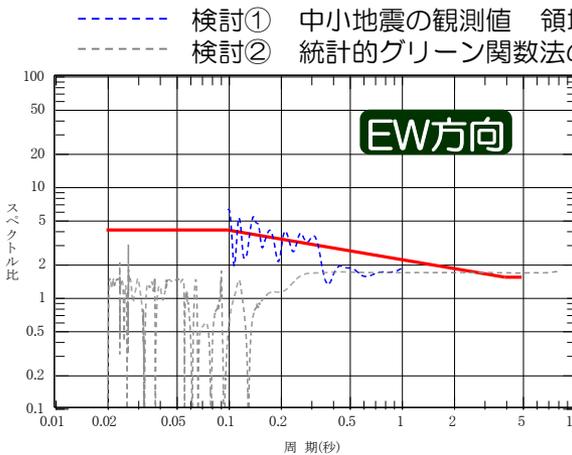
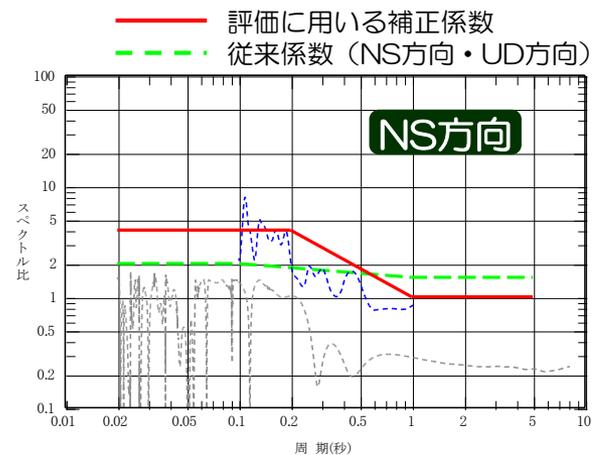
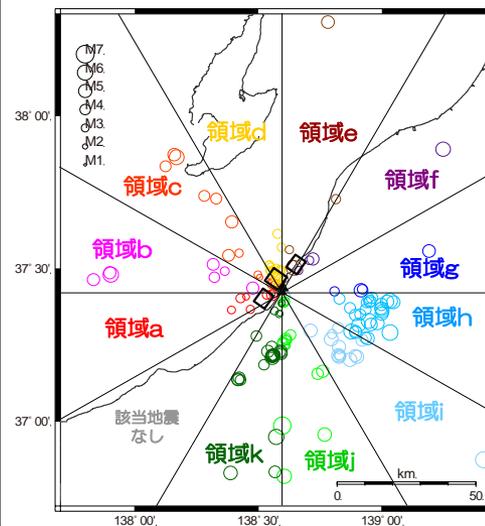
観測記録と理論スペクトルによる
 加速度フーリエスペクトル振幅の比較

6.3 F-B断層による地震の地震動評価

6.3.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価 要素地震の補正係数

■ F-B断層による地震の断層モデルを用いた地震動評価のうち、荒浜側の評価では、敷地より南西側に位置するアスペリティに用いる要素地震は、中越沖地震における第3アスペリティの特性を踏まえ、補正係数を考慮した補正波を使用。

- 補正係数の物理的な意味合いについて中小地震の観測記録を用い、第3アスペリティと要素地震の震源域である第1アスペリティの領域（領域aと領域e）で起きる地震のサイト特性の比と解釈できることを検討（検討①）。
- さらに、放射特性の影響が顕著に評価される統計的グリーン関数法の第3アスペリティ・第1アスペリティのそれぞれの要素断層について、地震モーメント M_0 、応力降下量で基準化し、敷地における波形合成を行い、フーリエスペクトル比を求めることで放射特性の影響の確認を試みた（検討②）。
- 上記の検討結果を踏まえ、NS方向・UD方向について、従来考慮していた補正係数（以下、「従来係数」）を以下のとおり見直し、中越沖地震のシミュレーション解析を実施したところ、記録の再現性がより向上したことから、地震動評価に反映することとした。



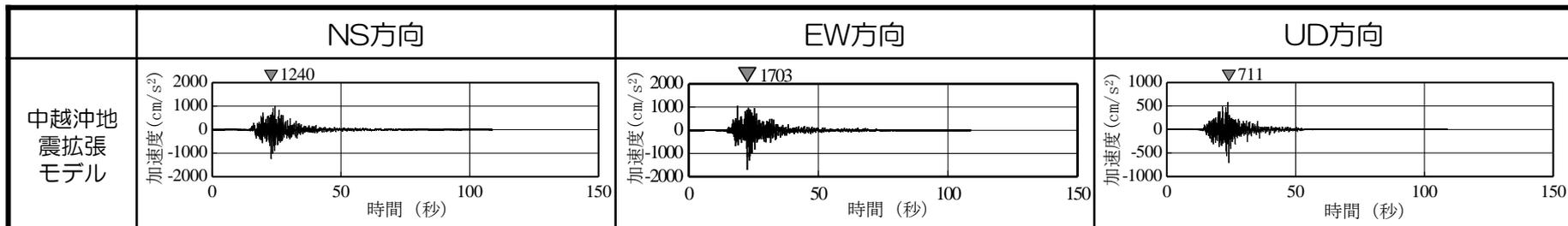
各検討結果と改めて設定した補正係数

6.3 F-B断層による地震の地震動評価

6.3.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価 地震動評価結果

荒浜側

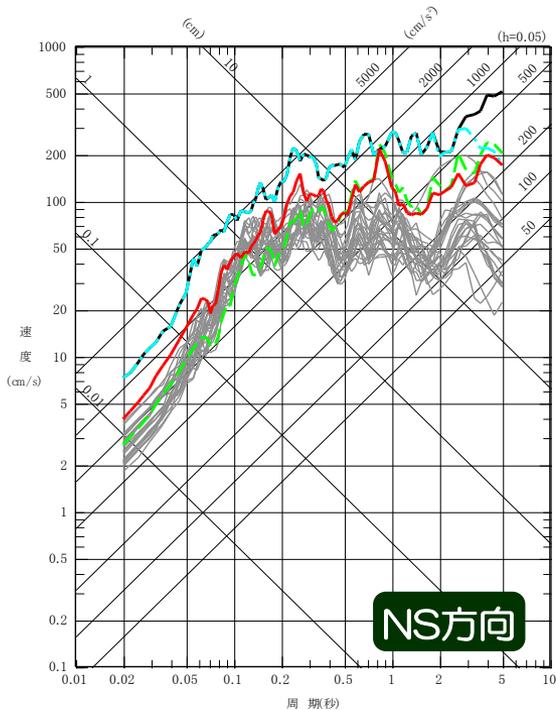
加速度時刻歴波形



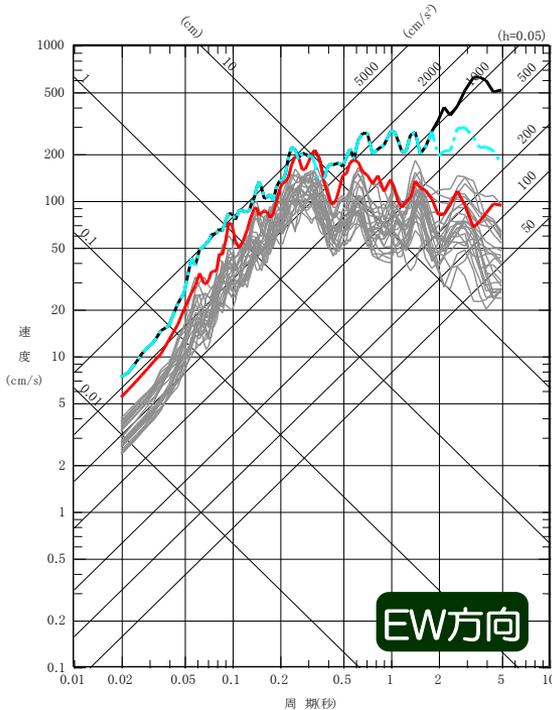
擬似速度応答スペクトル

断層モデルを用いた手法による地震動評価

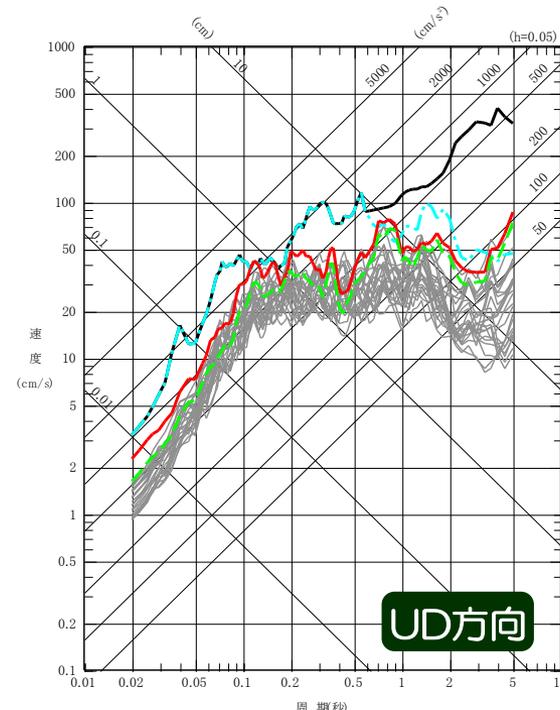
- F-B断層による地震 中越沖地震拡張モデル (補正係数)
- - - F-B断層による地震 (従来係数)
- F-B断層による地震 強震動予測レシピモデル (補正係数)
- F-B断層による地震 応答スペクトルに基づく評価
- 【参考】基準地震動Ssの包絡スペクトル*



NS方向



EW方向



UD方向

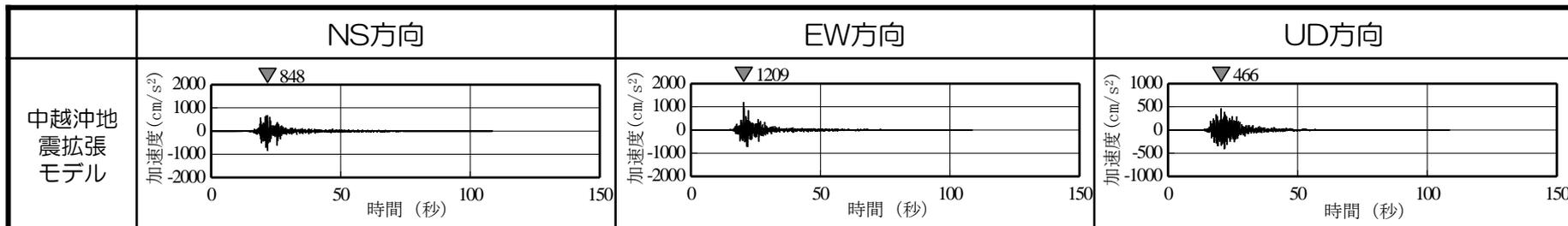
*基準地震動Ssの包絡スペクトル：基準地震動Ssの各周期の最大値をとった応答スペクトル (以下同様)

6.3 F-B断層による地震の地震動評価

6.3.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価 地震動評価結果

大湊側

加速度時刻歴波形

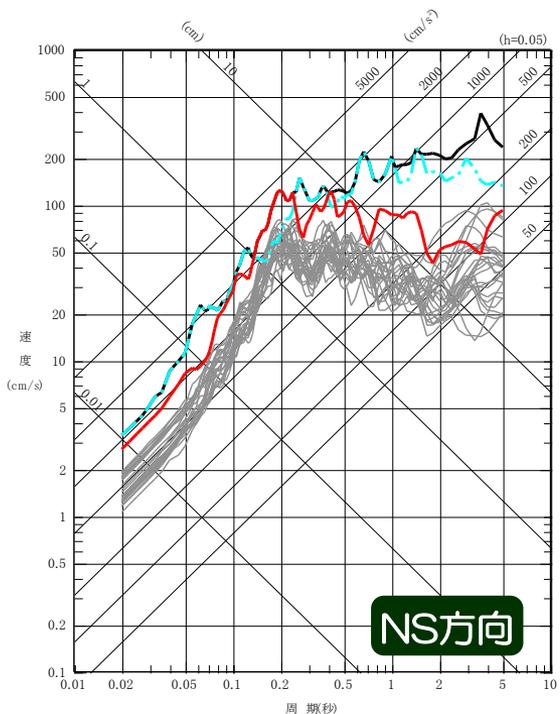


擬似速度応答スペクトル

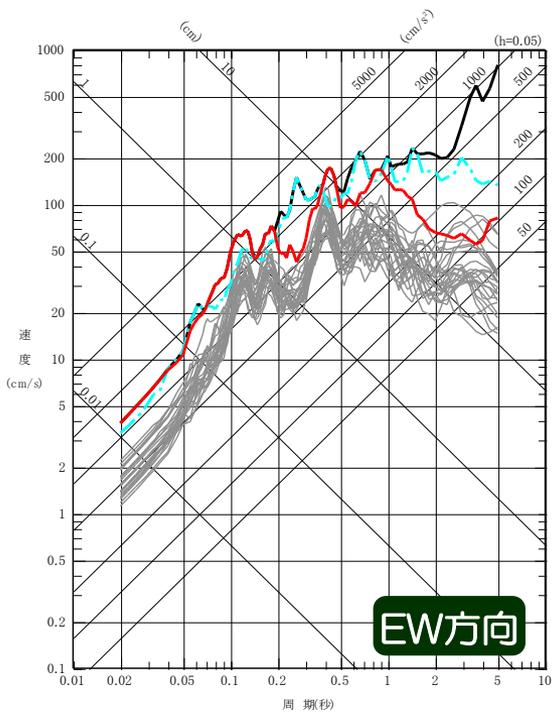
断層モデルを用いた手法による地震動評価

- F-B断層による地震 中越沖地震拡張モデル
- F-B断層による地震 強震動予測レシピモデル

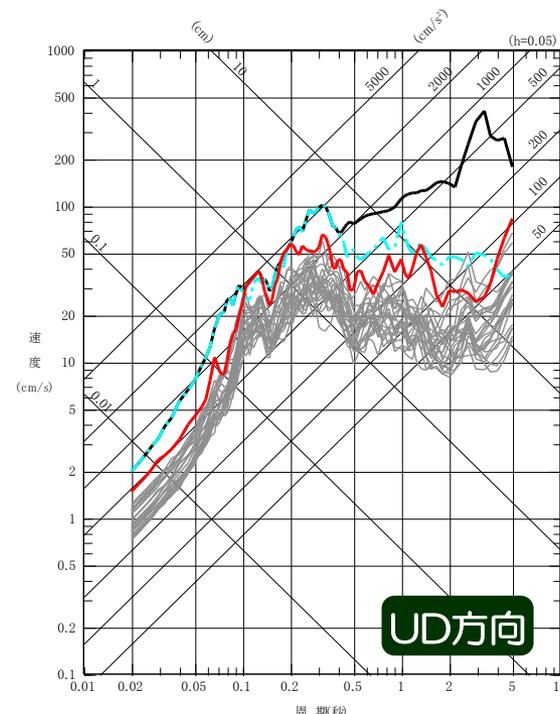
- F-B断層による地震 応答スペクトルに基づく評価
- 【参考】基準地震動Ssの包絡スペクトル*



NS方向



EW方向



UD方向

*基準地震動Ssの包絡スペクトル：基準地震動Ssの各周期の最大値をとった応答スペクトル（以下同様）

6.3 F-B断層による地震の地震動評価

6.3.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価 地震動評価結果のまとめ

- 中越沖地震の震源断層面は断層長さ27km、断層傾斜角35°であり、震源特性としては、強震動予測レシピに基づき設定した値に不確かさを考慮した場合と同程度の特徴を有していたものと考えられる。
(中越沖地震 $\Delta\theta$ モデル)
- 一方、地質調査結果によると、F-B断層は、長さは活動的な区間が約27km、微小な変形も考慮すると約36kmと評価され、明瞭に反射記録を解釈できる範囲では、傾斜角は中～高角度と判断される。
- 以上を踏まえF-B断層については、中越沖地震 $\Delta\theta$ モデルを地質調査結果に基づき36kmに拡張した震源モデル(中越沖地震拡張モデル)を用い、中越沖地震の規模を超える地震を考慮して評価を実施している。
- 併せて、地質調査結果及び強震動予測 $\Delta\theta$ をもとに震源モデルを設定し(強震動予測 $\Delta\theta$ モデル)、中越沖地震の知見等を踏まえ、震源パラメータの不確かさの影響を把握するための地震動評価を実施し、中越沖地震拡張モデルによる評価結果と比較を実施。
- その結果、中越沖地震拡張モデルによる評価結果が保守的となっていること、実地震の知見を最大限に活用し信頼性が高いものとなっていることから、F-B断層による地震の地震動評価は、中越沖地震拡張モデルによる評価で代表させ基準地震動 S_s-2 とする。

No.	検討ケース	断層長さ	断層傾斜角	破壊開始点	$\Delta\theta$ 位置	破壊伝播速度*	応力降下量	【参考】短周期 $\Delta\theta$
1	強震動予測レシピモデル	36km	45°	複数	2個 中央均等配置	0.72Vs	15.6MPa(強震動予測 $\Delta\theta$)	$1.5 \times 10^{19} \text{N} \cdot \text{m/s}^2$
2	強震動予測レシピモデル ($\Delta\theta$ 位置の不確かさ)	36km	45°	複数	1個 中央集約配置	0.72Vs	15.6MPa(強震動予測 $\Delta\theta$)	$1.5 \times 10^{19} \text{N} \cdot \text{m/s}^2$
3	強震動予測レシピモデル (破壊伝播速度の不確かさ)	36km	45°	複数	2個 中央均等配置	3.1km/s	15.6MPa(強震動予測 $\Delta\theta$)	$1.5 \times 10^{19} \text{N} \cdot \text{m/s}^2$
4	強震動予測レシピモデル (応力降下量の不確かさ)	36km	45°	複数	2個 中央均等配置	0.72Vs	23.4MPa(強震動予測 $\Delta\theta \times 1.5$ 倍)	$2.2 \times 10^{19} \text{N} \cdot \text{m/s}^2$
5	強震動予測レシピモデル (断層傾斜角の不確かさ)	36km	35°	複数	2個 中央均等配置	0.72Vs	15.0MPa(強震動予測 $\Delta\theta$)	$1.7 \times 10^{19} \text{N} \cdot \text{m/s}^2$
6	中越沖地震拡張モデル	36km	35°	中越沖 反映	敷地至近	2.5~ 3.1km/s	20~25MPa (強震動予測 $\Delta\theta \times 1.5$ 倍相当)	$2.3 \times 10^{19} \text{N} \cdot \text{m/s}^2$

■ : 不確かさを考慮するパラメータ

■ : 中越沖地震により得られた情報を重視。そのうち、赤字は強震動予測 $\Delta\theta$ による一般的な設定に対して既に保守的となっているパラメータ

※ : Vsは震源のS波速度(3.4km/s)

6.4 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

地震動評価の方針

- 検討用地震の地震動評価は、「応答スペクトルに基づく地震動評価」および「断層モデルを用いた手法による地震動評価」の双方を実施。
- 応答スペクトルに基づく地震動評価は、以下の特徴を踏まえ、Noda et al.(2002)の方法を用いる。
 - ・解放基盤表面における水平および鉛直方向の地震動評価が可能であること。
 - ・震源の拡がりを考慮できること。
 - ・観測記録に基づく補正係数を考慮することにより、震源特性および地震波の伝播特性を的確に反映可能であること。なお、観測記録に基づく補正係数は、検討用地震と発生様式等が同じ地震の観測記録から推定した解放基盤波とNoda et al.(2002)による応答スペクトルの比を用いて設定。
- 断層モデルを用いた手法による地震動評価は、要素地震として適切な地震の観測記録が敷地において得られていることから、震源特性および地震波の伝播特性を的確に反映することが可能である、経験的グリーン関数法により行う。
- また、地震動評価における不確かさの考慮については、評価結果に与える影響が大きいと考えられる断層パラメータを選定し、その度合いを評価する。
 - ・ 不確かさを考慮するパラメータの分類
 - 断層長さ及び連動
 - 断層傾斜角
 - 応力降下量
 - 破壊伝播速度
 - アスペリティの位置※
 - 破壊開始点

認識論的不確かさ（不確かさ）に分類されるもので、事前の詳細な調査や経験式などにに基づき設定できるもの
※アスペリティ位置については、平均変位速度等のデータをもとに、ここでは認識論的不確かさ（不確かさ）として扱う。

偶然的な不確かさ（不確かさ）に分類されるもので、事前の詳細な調査や経験式からは特定が困難なもの
 - ・ 不確かさの組み合わせに関する基本的な考え方
 - 敷地における地震動評価に大きな影響を与えると考えられる支配的なパラメータについて分析した上で、必要に応じて不確かさを組み合わせで考慮する。

6.4 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

6.4.1 震源モデルの設定 基本震源モデル

■ 地質調査結果によると、角田・弥彦断層、気比ノ宮断層及び片貝断層は、重力異常との対応性、主活動時期、活動開始時期、平均変位速度などがそれぞれ異なることから、長岡平野西縁断層帯は、基本的にはそれぞれが単独で活動する分割放出型の断層帯と判断される。

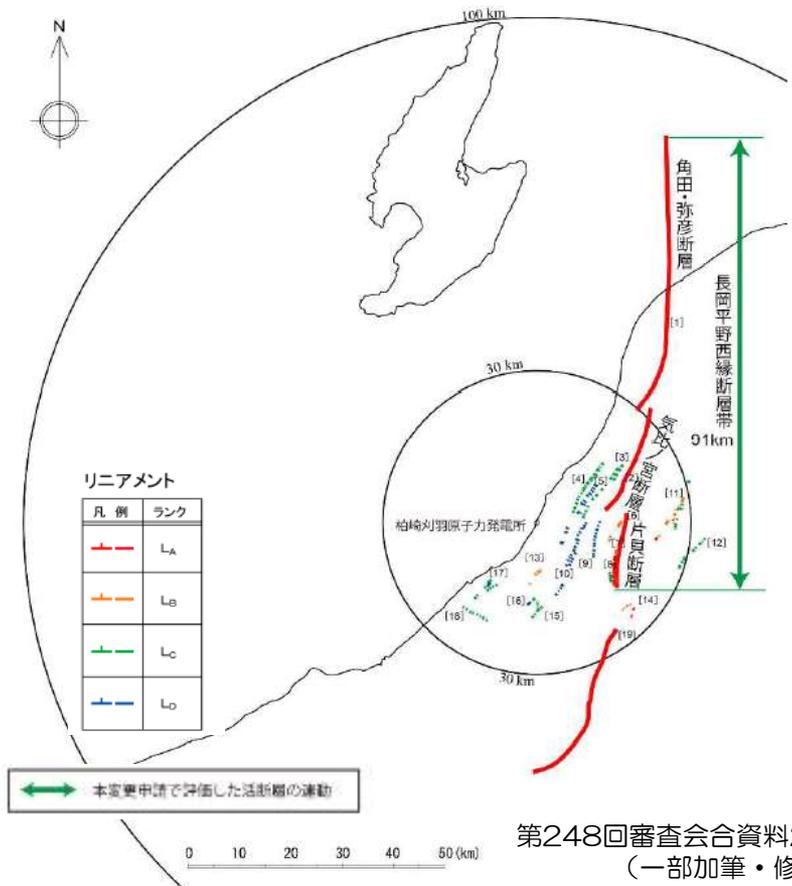


■ 一方、地震本部(2004)によると、長岡平野西縁断層帯は、北から、新潟市沖合と日本海沿岸付近の断層及び角田山東縁断層（角田・弥彦断層）、鳥越断層（気比ノ宮断層）、逆谷断層、関原断層（上富岡断層）、親沢断層及び片貝断層から構成され、その長さは約83kmとされている。

図2 長岡平野西縁断層帯の位置と主な調査地点

1: 鳥越地点 2: 宮本町地点
 A-J: 反射弾性波探査測線
 A-C: 文献5 D, E: 文献6 F-J: 文献7
 ※: 断層帯の北端と南端
 断層帯の位置は文献1, 3及び4に基づく
 ただし、文献6, 7により断層の延長が確かめられるa, b, cの部分、
 反射弾性波探査で明らかになった断層の位置を総括するように追加した
 基図は国土院発行数値地図250000「相川」「真岡」「高田」を使用

地震本部(2004)より抜粋



第248回審査会合資料2-1より抜粋
 (一部加筆・修正)

■ 地震動評価においては、保守的に、長さ約91kmの長岡平野西縁断層帯を基本震源モデルと考え、評価を行う。

6.4 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

6.4.1 震源モデルの設定

不確かさを考慮する断層パラメータの設定根拠 長岡平野西縁断層帯による地震

パラメータ	基本ケース	不確かさの考え方
①断層長さ及び連動	地震本部(2004)では、鳥越断層(気比ノ宮断層)以外は、活動履歴に関する詳しい資料が得られていないことが指摘されているものの長岡平野西縁断層帯として考慮していることから、保守的に、長岡平野西縁断層帯として設定。	長岡平野西縁断層帯と十日町断層帯西部の間にはリニアメントが判読されない区間が約10kmあり、この区間では背斜構造の形態が異なること、また、中間付近に位置する山本山断層が中越地震の震源断層に関連する断層であり、両断層帯との関連性が無いと考えられることから連動する可能性は低いと考えられるが、保守的に、長岡平野西縁断層帯と十日町断層帯西部の同時活動についても考慮して設定。
②破壊開始点	断層面及びアスペリティの下端に複数設定。	基本ケースの傾向を踏まえて、敷地に破壊が向かう方向であり、長周期側の地震動が大きくなる断層面北端に設定。
③アスペリティの位置	地質調査結果による平均変位量を参考に各断層中央上端に設定。	各断層内において、敷地に寄せて設定。
④破壊伝播速度	強震動予測レシピに基づきGeller(1976)より設定。 ($0.72 \times V_s$ (震源のS波速度: 3.4km/s)= 2.4km/s)	中越沖地震の震源インバージョン結果によると一部のアスペリティで最大 3.1km/s の破壊伝播速度が求められていることから、敷地に近い片貝断層に 3.1km/s を設定。
⑤応力降下量	強震動予測レシピに基づき設定。(15.7MPa)	中越沖地震の知見を反映し、強震動予測レシピに基づく値の約1.5倍(23.6MPa)を設定。
⑥断層傾斜角	地質調査結果及び地震本部(2004)を参考に 50° として設定。	地震本部(2008)による中越沖地震の余震分布を参考に 35° と設定。

6.4 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

6.4.1 震源モデルの設定

不確かさを考慮する断層パラメータの設定根拠 長岡平野西縁断層帯～十日町断層帯西部による地震

パラメータ	基本ケース	不確かさの考え方
①断層長さ及び連動	長岡平野西縁断層帯と十日町断層帯西部が連動する可能性は低いと考えられるが、保守的に、長岡平野西縁断層帯による地震との連動を考慮して設定。	長岡平野西縁断層帯～十日町断層帯西部に加えて連動を考慮すべき断層はないものと考えられる。
②破壊開始点	断層面及びアスペリティの下端に複数設定。	長岡平野西縁断層帯による地震の評価結果の傾向を踏まえて、敷地に破壊が向かう方向であり、長周期側の地震動が大きくなる断層面北端に設定。
③アスペリティの位置	地質調査結果による平均変位量を参考に各断層中央上端に設定。	長岡平野西縁断層帯による地震の評価において、⑤応力降下量、⑥断層傾斜角の不確かさと比較して、敷地の地震動評価に与える影響が小さいことを確認しており⑤、⑥で代表させる。
④破壊伝播速度	強震動予測レシピに基づきGeller(1976)より設定。 ($0.72 \times V_s$ (震源のS波速度: 3.4km/s) = 2.4km/s)	同上
⑤応力降下量	強震動予測レシピに基づき設定。(16.7MPa)	長岡平野西縁断層帯による地震の評価において敷地の地震動評価に与える影響が大きい応力降下量の不確かさを考慮して設定。 中越沖地震の知見を反映し、強震動予測レシピに基づく値の約1.5倍(25.0MPa)を設定。
⑥断層傾斜角	地質調査結果及び地震本部(2004)を参考に 50° として設定。	長岡平野西縁断層帯による地震の評価において敷地の地震動評価に与える影響が大きい断層傾斜角の不確かさを考慮して設定。 地震本部(2008)による中越沖地震の余震分布を参考に 35° と設定。

6.4 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

6.4.1 震源モデルの設定

- 陸域の地震の検討用地震である長岡平野西縁断層帯による地震の検討ケースは次のとおり。
- 断層の傾斜角は、地質調査結果及び地震本部の評価結果を参考に50°を基本として設定し、不確かさとして35°を考慮。
- 地震発生層は、速度構造や精密余震分布等に基づき、上端深さ6km、下端深さ17kmと設定。
- 断層モデルの破壊開始点は、巨視的断層面端部、アスペリティ端部を複数設定し、影響を確認したうえで、原則、巨視面北端部に設定。
- アスペリティの位置は、断層中央上端を基本とし、不確かさとして切欠毎に敷地に寄せたケースを考慮。
- 破壊伝播速度は、震源のS波速度(V_s)の0.72倍を基本とし、中越沖地震の知見を踏まえ、敷地に近い片貝断層の部分を3.1km/sとしたケースを考慮。
- 応力降下量の不確かさは、中越沖地震の知見を踏まえ、強震動予測レシピの1.5倍の値を考慮。
- また、十日町断層帯西部との連動を考慮したケース(全長132km)を設定し、さらに、長岡平野西縁断層帯の評価において大きな影響があった応力降下量、断層傾斜角の不確かさをそれぞれ考慮。

No.	検討ケース	断層長さ	断層傾斜角	破壊開始点	アスペリティ位置	破壊伝播速度*	応力降下量
0	(地質調査結果)片貝断層	16km	50°	—	—	—	—
1	長岡平野西縁断層帯	91km	50°	巨視面端部	中央上端	0.72Vs	強震動予測レシピ°
2	破壊開始点の不確かさ考慮	91km	50°	複数設定	中央上端	0.72Vs	強震動予測レシピ°
3	アスペリティ位置の不確かさ考慮	91km	50°	巨視面端部	切欠毎敷地寄せ	0.72Vs	強震動予測レシピ°
4	破壊伝播速度の不確かさ考慮	91km	50°	巨視面端部	中央上端	3.1km/s (片貝断層部)	強震動予測レシピ°
5	応力降下量の不確かさ考慮	91km	50°	巨視面端部	中央上端	0.72Vs	強震動予測レシピ° ×1.5倍
6	断層傾斜角の不確かさ考慮	91km	35°	巨視面端部	中央上端	0.72Vs	強震動予測レシピ°
7	十日町断層帯西部との連動考慮	132km	50°	巨視面端部	中央上端	0.72Vs	強震動予測レシピ°
8	十日町断層帯西部との連動考慮及び 応力降下量の不確かさ考慮	132km	50°	巨視面端部	中央上端	0.72Vs	強震動予測レシピ° ×1.5倍
9	十日町断層帯西部との連動考慮及び 断層傾斜角の不確かさ考慮	132km	35°	巨視面端部	中央上端	0.72Vs	強震動予測レシピ°

: 不確かさを考慮するパラメータ

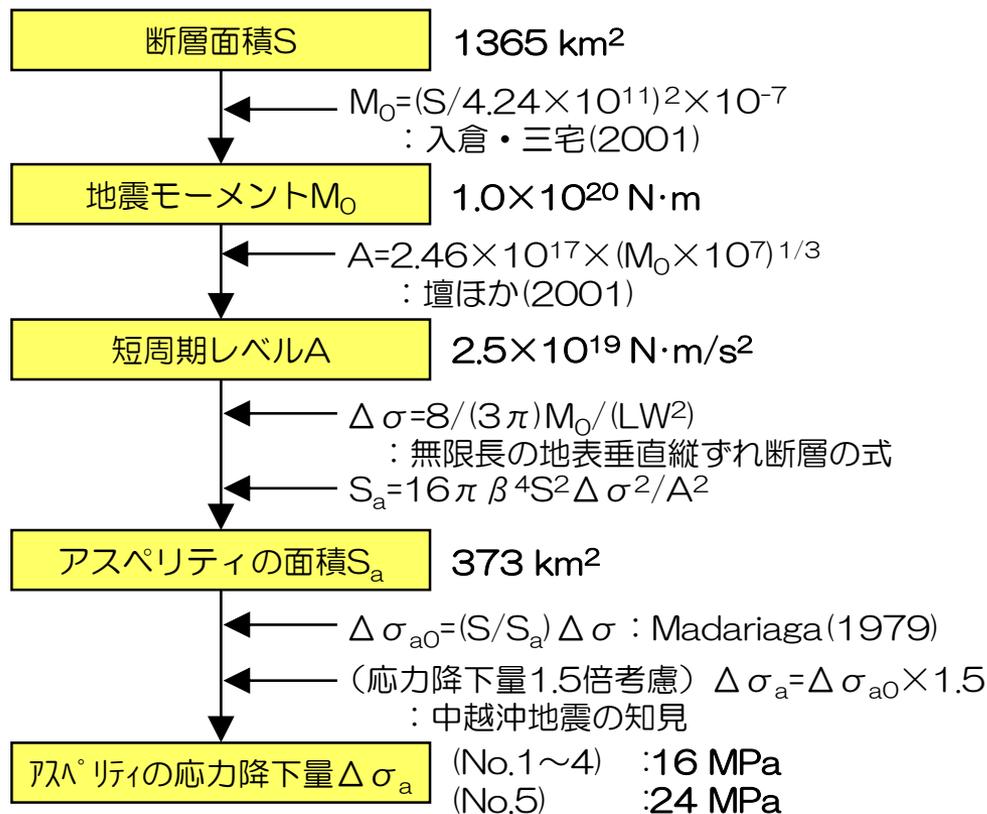
※ : Vsは震源のS波速度 (3.4km/s)

6.4 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

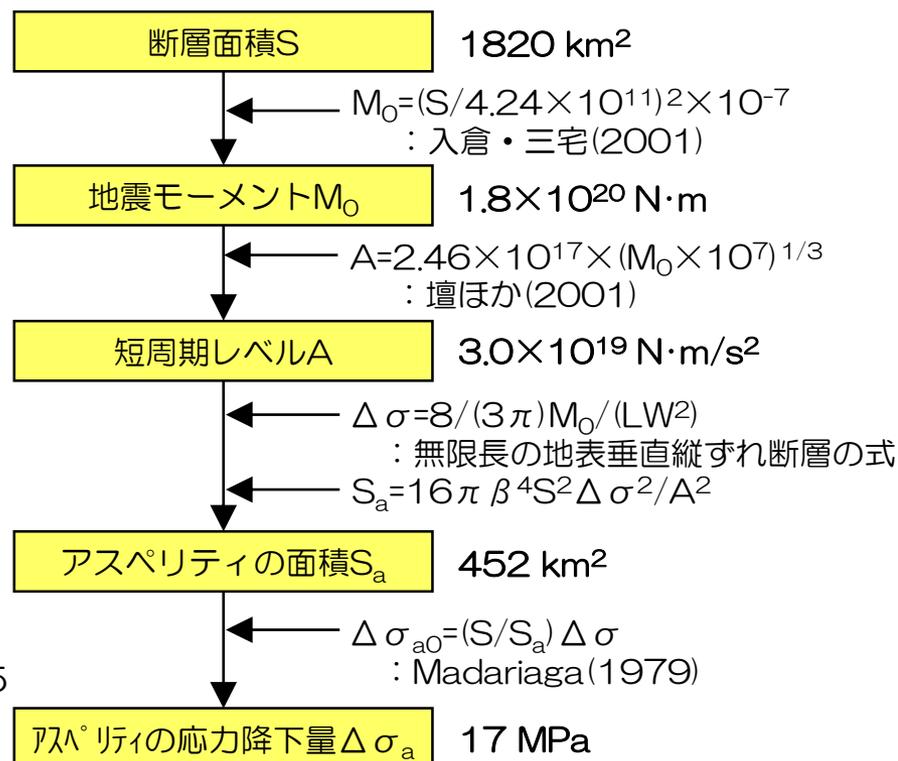
6.4.1 震源モデルの設定 断層パラメータの設定70- 長岡平野西縁断層帯

- 微視的断層パラメータは、地質調査結果、強震動予測レシピおよび以下の考え方にに基づき設定。
 - ① 佐藤ほか(1989)による無限長の地表垂直縦ずれ断層の式により平均応力降下量を算定。
 - ② 応力降下量の不確かさを考慮したケースでは、中越沖地震の知見を踏まえ、強震動予測レシピから求められた値の1.5倍を考慮。

長岡平野西縁断層帯 (No.1), 破壊開始点(No.2), アスペリティ位置(No.3), 破壊伝播速度(No.4)及び応力降下量(No.5)の不確かさ考慮



断層傾斜角の不確かさ考慮 (No.6)



6.4 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

6.4.1 震源モデルの設定 断層パラメータの設定手法 長岡平野西縁断層帯

- 長岡平野西縁断層帯は、断層長さが91kmであり、強震動予測レシピでは、このような長大断層においては断層パラメータの設定に注意が必要であることが指摘されている。
- したがって、ここでは、複数の方法で主要なパラメータを設定し、モデルの妥当性・過小評価になっていないことを確認する。
 - ①アスペリティ面積比が既往の知見として知られる15%~27%を著しく超えないこと。
 - ②アスペリティの応力降下量が、他の方法と比較して著しく低い値となっていないこと。
- 設定方法を表1に示す。なお、方法1~方法4において、 $S-M_0$ の関係式は適用範囲に応じて入倉・三宅(2001)あるいはMurotani et al.(2015)を選択。

表1. 長大断層の断層パラメータの設定手法

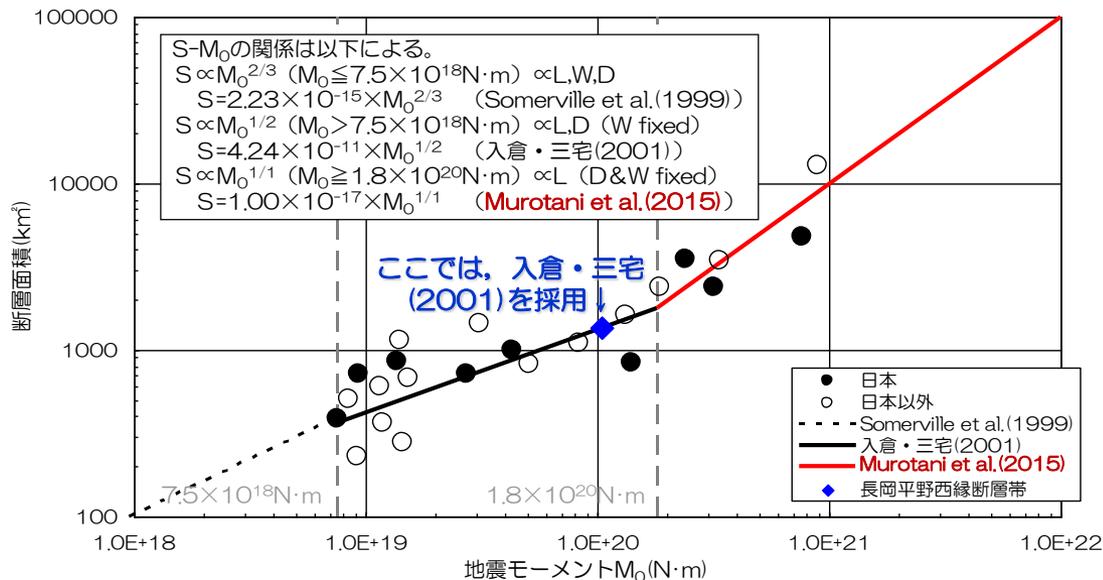
方法	方法1	方法1'	方法2	方法3	方法4	方法5
概要	無限長の地表垂直ずれ断層の式を用いた方法	平均応力降下量を一定値と仮定+長岡平野西縁断層帯で採用した値 (無限長の地表垂直ずれ断層の式より算定)	円形クラックの式(Eshelby(1957))を用いた方法	地震本部(2005)が山崎断層(横ずれ)の評価で用いた方法	中越沖地震の拡張	壇ほか(2015)による方法
備考				• 長大な横ずれ断層の知見を用いた方法	• 中越沖地震は、海域で発生した地震であることを踏まえ、海域の地震が対象 • 中越沖地震の知見である応力降下量1.5倍の効果を取り込んで設定するもの	• 動力学的断層破壊シミュレーションによる平均動的応力降下量の近似式(入江ほか(2013))を用いた設定方法

6.4 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

6.4.1 震源モデルの設定 断層パラメータの設定手法 長岡平野西縁断層帯

■ 次のパラメータを設定し、その妥当性について検討。

- ①断層面積S
- ②地震モーメントM₀
- ③短周期レベルA
- ④断層全体の応力降下量Δσ
- ⑤アスペリティの面積S_a
- ⑥アスペリティの応力降下量Δσ_a



用いる関係式は以下のとおり。

入倉・三宅(2001)：

$$M_0 = (S / 4.24 \times 10^{11})^2 \times 10^{-7} \quad \dots (1) \text{式}$$

壇ほか(2001)：

$$A = 2.46 \times 10^{17} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3} \quad \dots (2) \text{式}$$

Somerville et al.(1999)：

$$S_a = 0.22 S \quad \dots (3) \text{式}$$

無限長の地表垂直縦ずれ断層の式：

$$\Delta \sigma = 8 / (3\pi) M_0 / (LW^2) \quad \dots (4) \text{式}$$

円形クラックの式 (Eshelby(1957))：

$$\Delta \sigma = 7 / 16 \times M_0 / (S / \pi)^{1.5} \quad \dots (5) \text{式}$$

Fujii and Matsu'ura(2000)：

$$\Delta \sigma = 3.1 \text{MPa} \quad \dots (6) \text{式}$$

$S_a = 16\pi \beta^4 S^2 \Delta \sigma^2 / A^2 \quad \dots (7) \text{式}$

Madariaga(1979)：

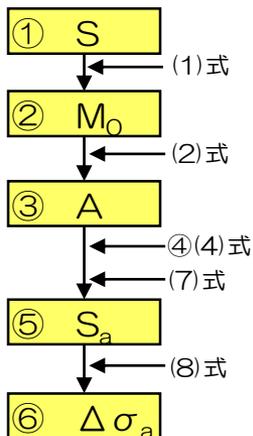
$$\Delta \sigma_a = (S / S_a) \Delta \sigma \quad \dots (8) \text{式}$$

壇ほか(2002)：

$$A = 4\pi (S_a / \pi)^{0.5} \Delta \sigma_a \beta^2 \quad \dots (9) \text{式}$$

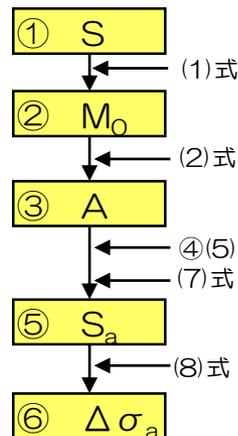
方法1

無限長の地表垂直縦ずれ断層の式を用いた方法



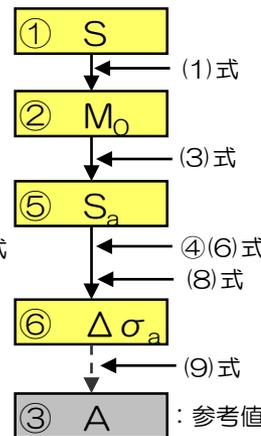
方法2

円形クラックの式を用いた方法



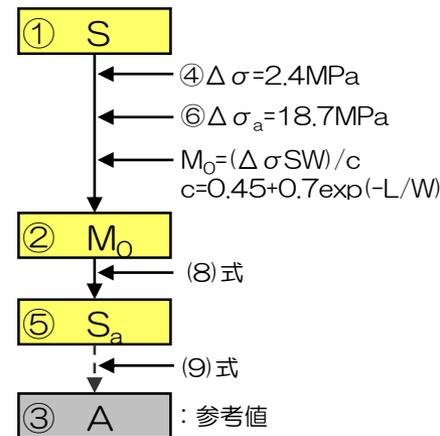
方法3

地震本部(2005)が山崎断層(横ずれ)の評価で用いた方法



方法5

壇ほか(2015)による方法



6.4 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

6.4.1 震源モデルの設定 断層パラメータの設定手法 長岡平野西縁断層帯

- 断層傾斜角50°を仮定し、それぞれの方法で設定したパラメータを下表に示す。
- アスペリティの応力降下量（他の方法と比較し、やや大きめあるいは同程度であること）及びアスペリティ面積比（15%～27%程度）から方法1を採用。

パラメータ	単位	採用			
		方法1	方法2	方法3	方法5
断層長さ L	km	91	91	91	91
断層幅 W	km	15	15	15	15
断層面積 S	km ²	1365	1365	1365	1365
地震モーメント M ₀	N・m	1.04×10 ²⁰	1.04×10 ²⁰	1.04×10 ²⁰	1.09×10 ²⁰
短周期レベル A	N・m/s ²	2.49×10 ¹⁹	2.49×10 ¹⁹	2.00×10 ¹⁹	2.03×10 ¹⁹
断層全体の応力降下量 Δσ	MPa	4.3	5.0	3.1	2.4
アスペリティの面積 S _a	km ²	373	506	300	175
アスペリティの応力降下量 Δσ _a	MPa	15.7	13.5	14.1	18.7
アスペリティ面積比 S _a /S		0.27	0.37	0.22	0.13

方法3の, Fujii and Matsu'ura(2000)による値は, 横ずれ断層を対象にいくつかの条件下で導出された $\Delta\sigma=3.1\text{MPa}$ を用いた結果であり, 縦ずれ断層である長岡平野西縁断層帯には適さないものと考えられる。念のために, 右の関係式から M_0 を求めると $1.69\times 10^{20}(\text{N}\cdot\text{m})$ となる。しかしながら, Fujii and Matsu'ura(2000)で使用されているデータは, 長岡平野西縁断層帯と同様の縦ずれの内陸地殻内地震のデータは含まれておらず, 適用することは妥当ではないものと考えられる。

※方法3と方法5の短周期レベルはアスペリティの値

$$M_0 = \{WL^2/(aL+b)\} \cdot \Delta\sigma$$

W: 断層幅 (km)

L: 断層長さ (km)

a, b: 構造依存のパラメータ (数値計算により与えられる)

内陸の長大な横ずれ断層に対する関係式としては, $W=15\text{km}$, $a=1.4\times 10^{-2}$, $b=1.0$ を仮定した上で, 収集した観測データに基づく回帰計算により, $\Delta\sigma=3.1(\text{MPa})$ を導出している。

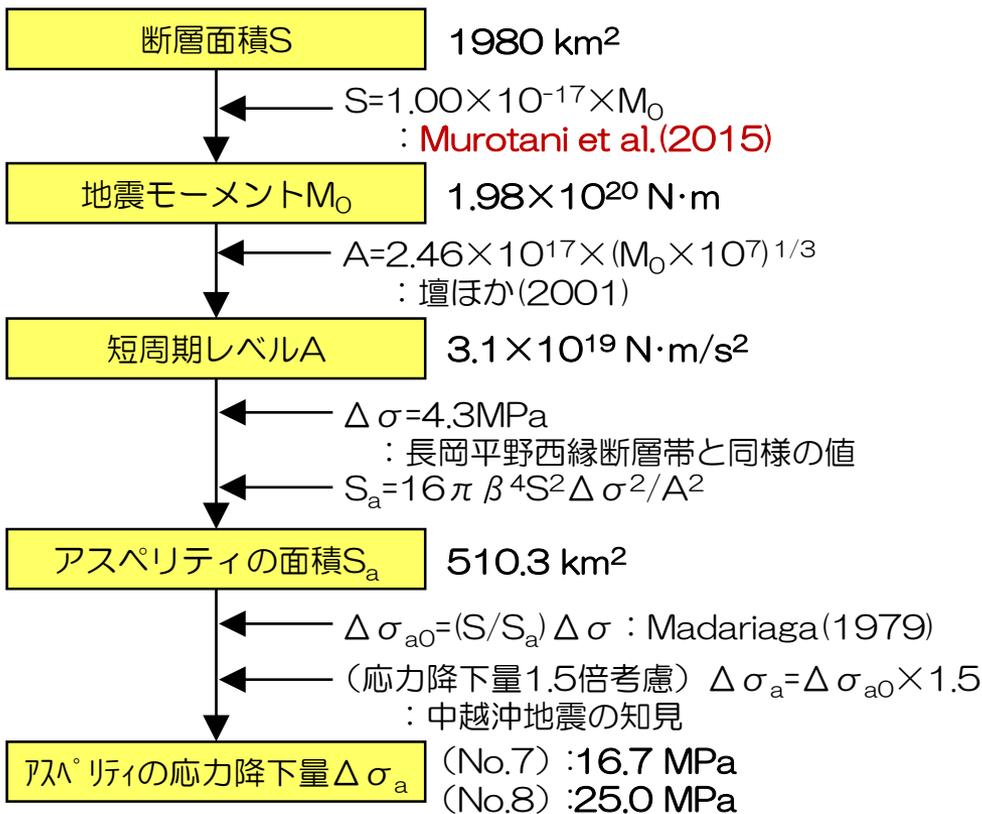
地震本部(2016)より抜粋 (一部加筆・修正)

6.4 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

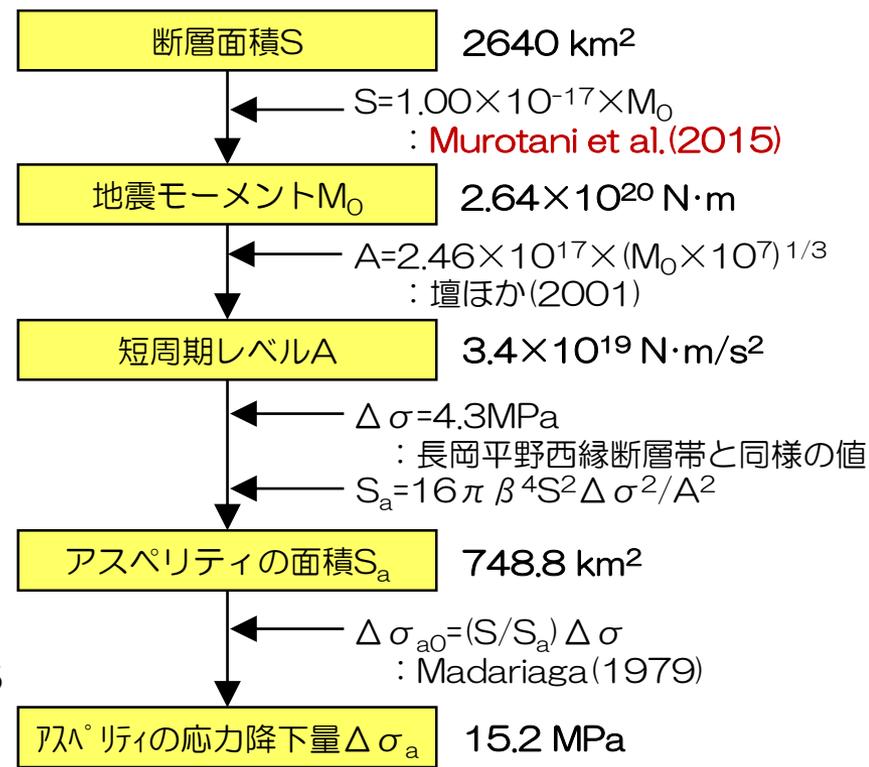
6.4.1 震源モデルの設定 断層パラメータの設定7- 連動考慮

■ 微視的断層パラメータは、強震動予測レシピおよび以下の考え方にに基づき設定。
①地震本部の長大断層の評価と同様、平均応力降下量を一定値と仮定。長岡平野西縁断層帯の評価で採用した4.3MPaと設定。

連動(No.7), 連動及び応力降下量(No.8)の不確かさ考慮



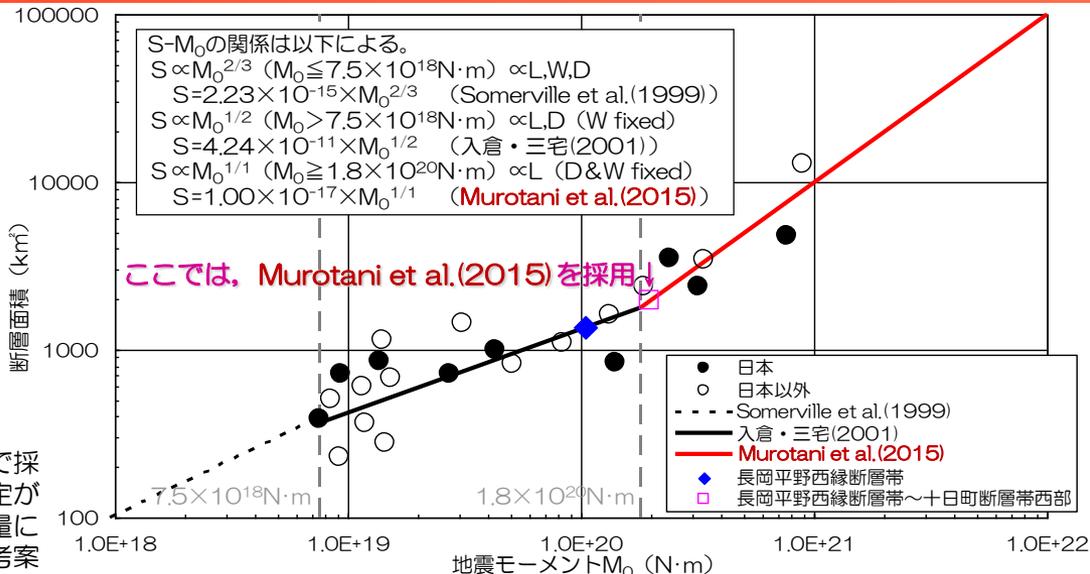
連動及び断層傾斜角の不確かさ考慮(No.9)



6.4 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

6.4.1 震源モデルの設定 断層パラメータの設定手法 連動考慮

■ 長岡平野西縁断層帯～十日町断層帯西部は、断層長さが132kmの長大断層となるため、長岡平野西縁断層帯と同様、複数の方法で次のパラメータを設定し、その妥当性について検討。①断層面積S、②地震モーメントM₀、③短周期レベルA、④断層全体の応力降下量Δσ、⑤アスペリティの面積S_a、⑥アスペリティの応力降下量Δσ_a



長岡平野西縁断層帯の評価で採用した方法1'ではモデル設定が困難なため、平均応力降下量に④'式を用いる方法1'を考案

用いる関係式は以下のとおり。
入倉・三宅(2001):

$$M_0 = (S / 4.24 \times 10^{11})^2 \times 10^{-7} \quad \dots (1) \text{式}$$

壇ほか(2001):
 $A = 2.46 \times 10^{17} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3} \quad \dots (2) \text{式}$

Somerville et al.(1999):
 $S_a = 0.22 S \quad \dots (3) \text{式}$

無限長の地表垂直縦ずれ断層の式:
 $\Delta \sigma = 8 / (3\pi) M_0 / (LW^2) \quad \dots (4) \text{式}$

円形クラックの式 (Eshelby(1957)):
 $\Delta \sigma = 7 / 16 \times M_0 / (S / \pi)^{1.5} \quad \dots (5) \text{式}$

Fujii and Matsu'ura(2000):
 $\Delta \sigma = 3.1 \text{MPa} \quad \dots (6) \text{式}$

$S_a = 16\pi \beta^4 S^2 \Delta \sigma^2 / A^2 \quad \dots (7) \text{式}$
 Madariaga(1979):

$\Delta \sigma_a = (S / S_a) \Delta \sigma \quad \dots (8) \text{式}$

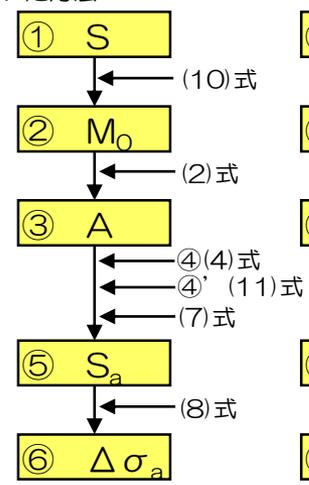
壇ほか(2002):
 $A = 4\pi (S_a / \pi)^{0.5} \Delta \sigma_a \beta^2 \quad \dots (9) \text{式}$

Murotani et al.(2015)
 $S = 1.00 \times 10^{-17} \times M_0^{1/1} \quad \dots (10) \text{式}$

長岡平野西縁断層帯と同様の値
 $\Delta \sigma = 4.3 \text{MPa} \quad \dots (11) \text{式}$

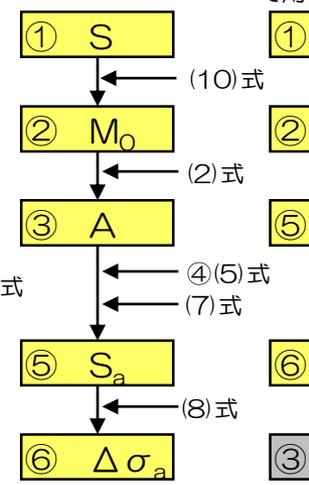
方法1,1'

長岡平野西縁断層帯と同様の平均応力降下量を用いた方法



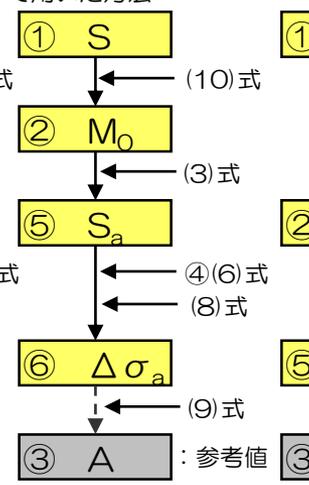
方法2

円形クラックの式を用いた方法



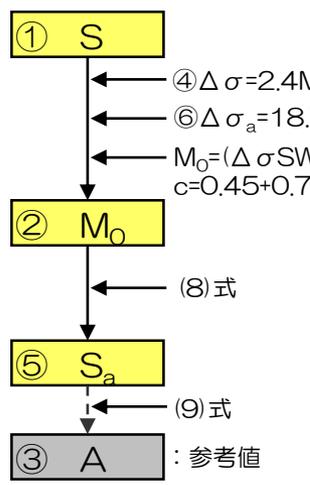
方法3

地震本部(2005)が山崎断層(横ずれ)の評価で用いた方法



方法5

壇ほか(2015)による方法



6.4 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

6.4.1 震源モデルの設定 断層パラメータの設定手法 連動考慮

- 断層傾斜角50°を仮定し、それぞれの方法で設定したパラメータを下表に示す。
- アスペリティの応力降下量（他の方法と比較し、やや大きめあるいは同程度であること）及びアスペリティ面積比（15%～27%程度）から方法1'を採用。

パラメータ	単位	方法1	方法1'	方法2	方法3	方法5
断層長さ L	km	132	132	132	132	132
断層幅 W	km	15	15	15	15	15
断層面積 S	km ²	1980	1980	1980	1980	1980
地震モーメント M ₀	N・m	1.98×10 ²⁰	1.98×10 ²⁰	1.98×10 ²⁰	1.98×10 ²⁰	1.58×10 ²⁰
短周期レベル A	N・m/s ²	3.09×10 ¹⁹	3.09×10 ¹⁹	3.09×10 ¹⁹	2.41×10 ¹⁹	2.44×10 ¹⁹
断層全体の応力降下量 Δσ	MPa	5.7	4.3	5.5	3.1	2.4
アスペリティの面積 S _a	km ²	884	510	827	436	254
アスペリティの応力降下量 Δσ _a	MPa	12.7	16.7	13.1	14.1	18.7
アスペリティ面積比 S _a /S		0.45	0.26	0.42	0.22	0.13

採用

方法3の, Fujii and Matsu'ura(2000)による値は, 横ずれ断層を対象にいくつかの条件下で導出された $\Delta\sigma=3.1\text{MPa}$ を用いた結果であり, 縦ずれ断層である長岡平野西縁断層帯～十日町断層帯西部には適さないものであると考えられる。

念のために, 右の関係式から M_0 を求めると $2.84 \times 10^{20}(\text{N}\cdot\text{m})$ となる。しかしながら, Fujii and Matsu'ura(2000)で使用されているデータは, 長岡平野西縁断層帯～十日町断層帯西部と同様の縦ずれの内陸地殻内地震のデータは含まれておらず, 適用することは妥当ではないものと考えられる。

※方法3と方法5の短周期レベルはアスペリティの値

$$M_0 = \{WL^2/(aL + b)\} \cdot \Delta\sigma$$

W: 断層幅 (km)

L: 断層長さ (km)

a, b: 構造依存のパラメータ (数値計算により与えられる)

内陸の長大な横ずれ断層に対する関係式としては, $W=15\text{km}$, $a=1.4 \times 10^{-2}$, $b=1.0$ を仮定した上で, 収集した観測データに基づく回帰計算により, $\Delta\sigma=3.1(\text{MPa})$ を導出している。

地震本部(2016)より抜粋 (一部加筆・修正)

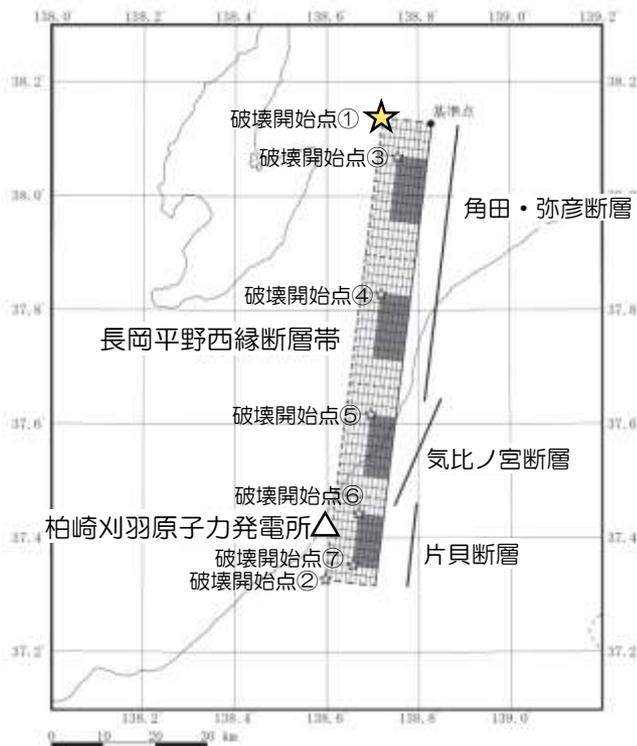
6.4 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

6.4.1 震源モデルの設定 長岡平野西縁断層帯

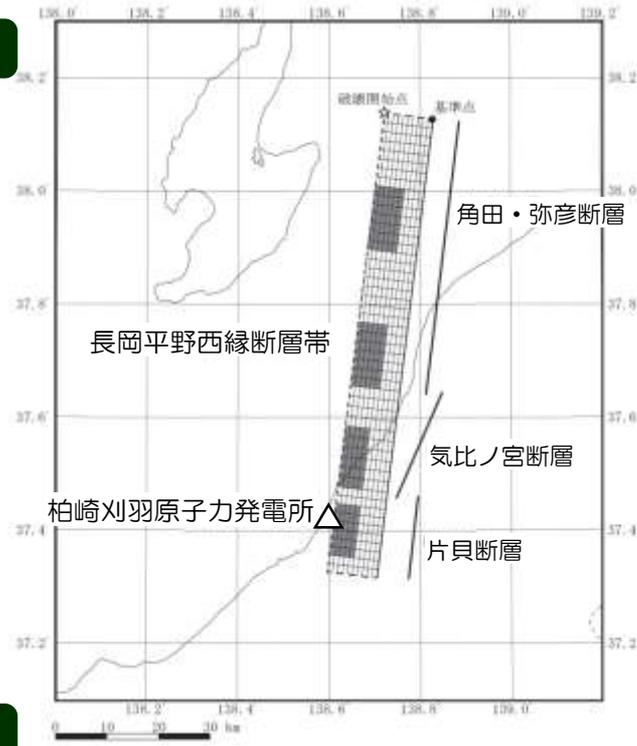
長岡平野西縁断層帯(No.1), 破壊開始点(No.2), 破壊伝播速度(No.4), 応力降下量(No.5)の不確かさ考慮

アスペリティ位置の不確かさ考慮(No.3)

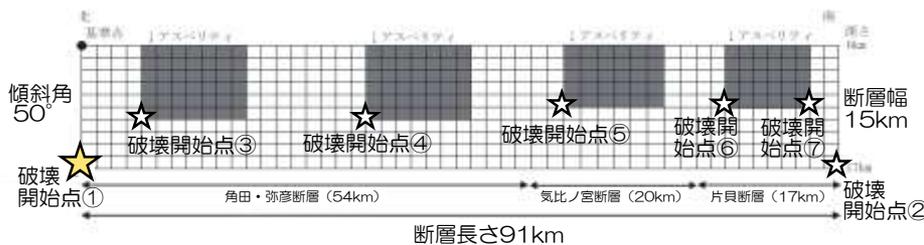
平面図



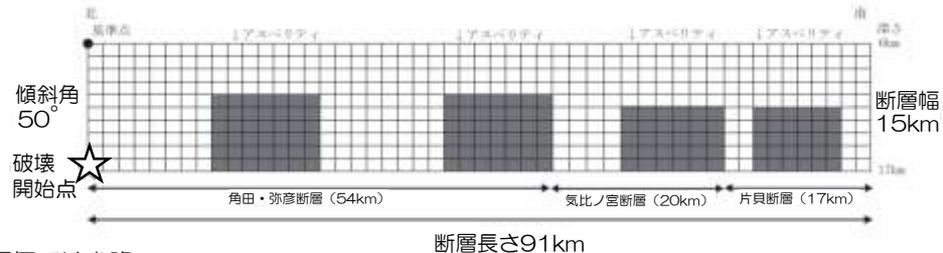
平面図



断面図



断面図



※破壊開始点②～⑦についてはNo.2で影響を確認した上で以降の評価では省略

6.4 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

6.4.1 震源モデルの設定 断層パラメータ 長岡平野西縁断層帯

長岡平野西縁断層帯 (No.1), 破壊開始点 (No.2), アスペリティ位置 (No.3), 破壊伝播速度 (No.4) 及び応力降下量 (No.5) の不確かさ考慮

項目			設定値				
			長岡平野西縁断層帯(全体)	角田・弥彦断層(北部)	角田・弥彦断層(南部)	気比ノ宮断層	片貝断層
基準点	東経(°)		138.83	138.83	138.79	138.76	138.73
	北緯(°)		38.13	38.13	37.89	37.65	37.47
巨視的断層面	断層上端深さ(km)		6				
	断層長さ(km)		91	27	27	20	17
	断層幅(km)		15				
	断層面積(km ²)		1365	405	405	300	255
	走向(°)		187				
	傾斜角(°)		50				
	S波速度(Vs)(km/s)		3.4				
	破壊伝播速度(km/s)	0.72Vs	2.4				
		不確かさ	—	2.4	2.4	2.4	3.1
	地震モーメント(N・m)		1.0×10 ²⁰	3.1×10 ¹⁹	3.1×10 ¹⁹	2.3×10 ¹⁹	1.9×10 ¹⁹
アスペリティ	面積(km ²)		373	111	111	82	70
	地震モーメント(N・m)		5.7×10 ¹⁹	1.7×10 ¹⁹	1.7×10 ¹⁹	1.2×10 ¹⁹	1.1×10 ¹⁹
	平均すべり量(cm)		487				
	応力降下量(MPa)	レシピ	15.7				
1.5倍		23.6					
背景領域	面積(km ²)		992	294	294	218	185
	地震モーメント(N・m)		4.7×10 ¹⁹	1.4×10 ¹⁹	1.4×10 ¹⁹	1.0×10 ¹⁹	8.8×10 ¹⁸
	平均すべり量(cm)		152				
	実効応力(MPa)	レシピ	3.2	3.4	3.4	3.0	2.7
1.5倍		4.9	5.2	5.2	4.4	4.1	

■ : 地質調査結果等に基づく

■ : 強震動予測レシピに基づく

■ : 中越沖地震の知見を反映し, 破壊伝播速度3.1km/sを考慮 (No.4で考慮)

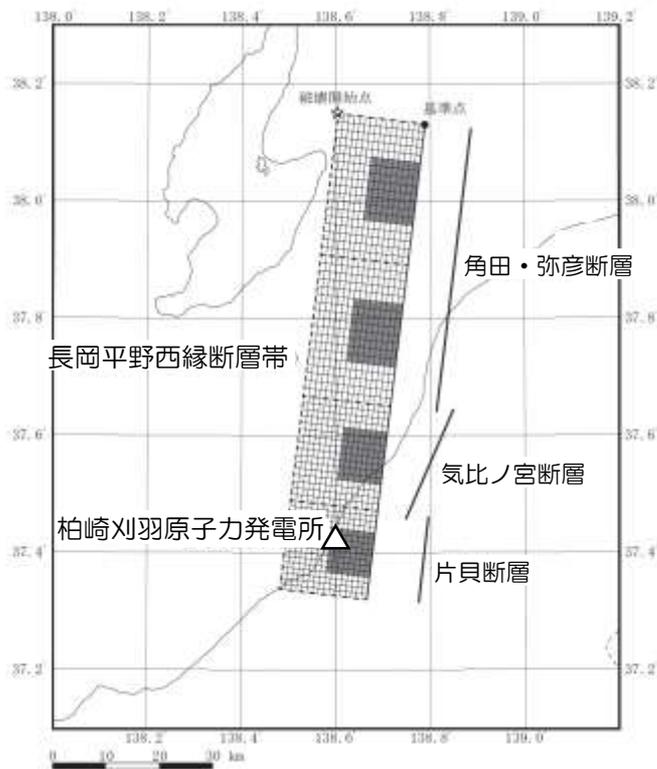
■ : 中越沖地震の知見を反映し, 設定した応力降下量の1.5倍を考慮 (No.5で考慮)

6.4 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

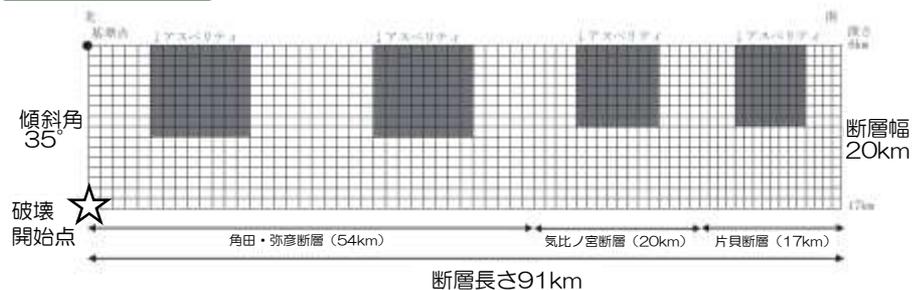
6.4.1 震源モデルの設定 長岡平野西縁断層帯

断層傾斜角の不確かさ考慮 (No.6)

平面図



断面図



6.4 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

6.4.1 震源モデルの設定 断層パラメータ 長岡平野西縁断層帯

断層傾斜角の不確かさ考慮 (No.6)

項目			設定値				
			長岡平野西縁断層帯(全体)	角田・弥彦断層(北部)	角田・弥彦断層(南部)	気比ノ宮断層	片貝断層
巨視的断層面	基準点	東経(°)	138.79	138.79	138.75	138.72	138.69
		北緯(°)	38.13	38.13	37.89	37.65	37.47
	断層上端深さ(km)		6				
	断層長さ(km)		91	27	27	20	17
	断層幅(km)		20				
	断層面積(km ²)		1820	540	540	400	340
	走向(°)		187				
	傾斜角(°)		35				
	S波速度(Vs)(km/s)		3.4				
	破壊伝播速度(km/s)		2.4				
地震モーメント(N・m)		1.8×10 ²⁰	5.5×10 ¹⁹	5.5×10 ¹⁹	4.1×10 ¹⁹	3.4×10 ¹⁹	
アスペリティ	面積(km ²)		452	134	134	99	84
	地震モーメント(N・m)		9.1×10 ¹⁹	2.7×10 ¹⁹	2.7×10 ¹⁹	2.0×10 ¹⁹	1.7×10 ¹⁹
	平均すべり量(cm)		649				
	応力降下量(MPa)		17.3				
背景領域	面積(km ²)		1368	406	406	301	256
	地震モーメント(N・m)		9.3×10 ¹⁹	2.8×10 ¹⁹	2.8×10 ¹⁹	2.0×10 ¹⁹	1.7×10 ¹⁹
	平均すべり量(cm)		217				
	実効応力(MPa)		3.1	3.4	3.4	2.9	2.7

- : 地質調査結果等に基づく
- : 強震動予測レシビに基づく
- : 中越沖地震の余震分布を参考に設定

6.4 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

6.4.1 震源モデルの設定 連動考慮

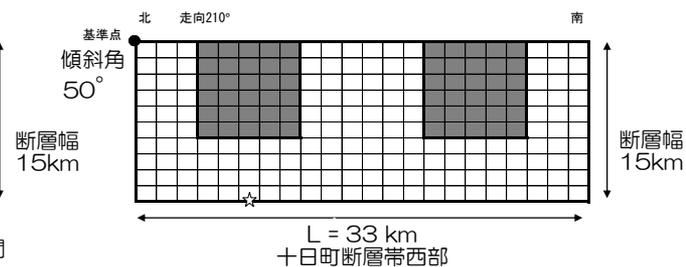
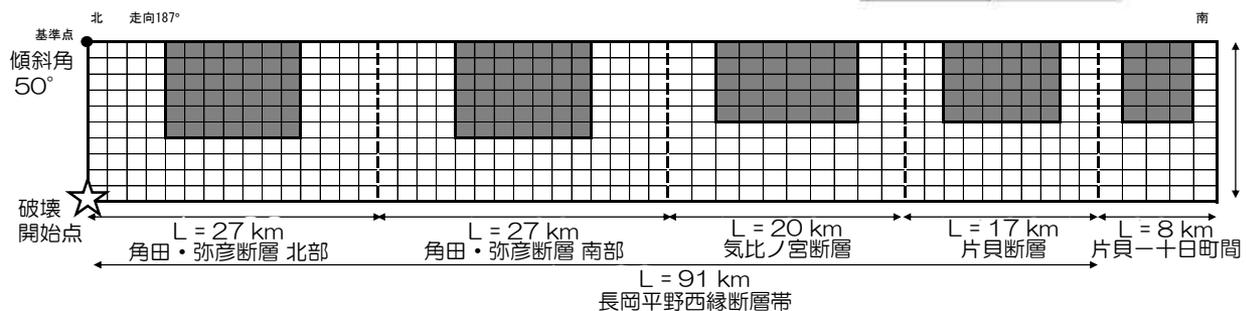
断層モデル

連動(No.7), 連動及び応力降下量(No.8)の不確かさ考慮



平面図

断面図



6.4 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

6.4.1 震源モデルの設定 断層パラメータ 連動考慮

連動(No.7), 連動及び応力降下量(No.8)の不確かさ考慮

項目			設定値						
			全体	長岡平野西縁断層帯 (断層長さ91km)				長岡～十日町間 (山本山断層)	十日町断層帯西部
				角田・弥彦断層(北部)	角田・弥彦断層(南部)	気比ノ宮断層	片貝断層		
巨視的断層面	基準点	東経(°)	—	138.83				138.72	
		北緯(°)	—	38.13				37.27	
	断層上端深さ(km)		6						
	断層長さ(km)		132	27	27	20	17	8	33
	断層幅(km)		15						
	断層面積(km ²)		1980	405	405	300	255	120	495
	走向(°)		—	187				210	
	傾斜角(°)		50						
	S波速度(Vs)(km/s)		3.4						
	破壊伝播速度(km/s)		2.4						
地震モーメント (×10 ¹⁹ N·m)		19.8	4.05	4.05	3.00	2.55	1.20	4.95	
アスペリティ	面積(km ²)		510.3	104.4	104.4	77.3	65.7	30.9	127.6
	地震モーメント (×10 ¹⁹ N·m)		10.2	2.09	2.09	1.55	1.31	0.619	2.55
	平均すべり量(cm)		641						
	応力降下量(MPa)	連動	16.7						
連動+1.5倍		25.0							
背景領域	面積(km ²)		1469.7	300.6	300.6	222.7	189.3	89.1	367.4
	地震モーメント (×10 ¹⁹ N·m)		9.59	1.96	1.96	1.45	1.24	0.581	2.40
	平均すべり量(cm)		209						
	実効応力(MPa)	連動	3.4	3.7	3.7	3.2	2.9	2.0	4.1
連動+1.5倍		5.1	5.6	5.6	4.8	4.4	3.0	6.2	

■ : 地質調査結果等に基づく

■ : 強震動予測レシピに基づく

■ : 中越沖地震の知見を反映し、設定した応力降下量の1.5倍を考慮 (No.8で考慮)

6.4 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

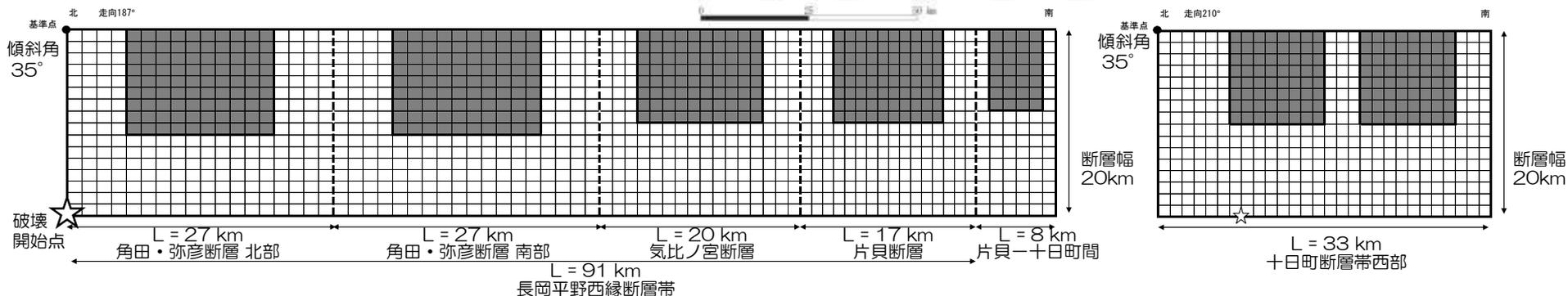
6.4.1 震源モデルの設定 連動考慮

断層モデル

連動及び断層傾斜角の不確かさ考慮(No.9)



断面図



6.4 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

6.4.1 震源モデルの設定 断層パラメータ 連動考慮

連動及び断層傾斜角の不確かさ考慮(No.9)

項目			設定値						
			全体	長岡平野西縁断層帯 (断層長さ91km)				長岡～十日町間 (山本山断層)	十日町断層帯西部
				角田・弥彦断層(北部)	角田・弥彦断層(南部)	気比ノ宮断層	片貝断層		
巨視的断層面	基準点	東経(°)	—	138.79				138.69	
		北緯(°)	—	38.13				37.28	
	断層上端深さ(km)		6						
	断層長さ(km)		132	27	27	20	17	8	33
	断層幅(km)		20						
	断層面積(km ²)		2640	540	540	400	340	160	660
	走向(°)		—	187				210	
	傾斜角(°)		35						
	S波速度(Vs)(km/s)		3.4						
	破壊伝播速度(km/s)		2.4						
	アスペリティ	地震モーメント (×10 ¹⁹ N·m)		26.4	5.40	5.40	4.00	3.40	1.60
面積(km ²)		748.8	153.2	153.2	113.5	96.4	45.4	187.2	
平均すべり量(cm)		641							
応力降下量(MPa)		15.2							
背景領域	地震モーメント (×10 ¹⁹ N·m)		11.4	2.34	2.34	1.73	1.47	0.692	2.86
	面積(km ²)		1891.2	386.8	386.8	286.5	243.6	114.6	472.8
	平均すべり量(cm)		194						
	実効応力(MPa)		2.6	2.8	2.8	2.4	2.3	1.5	3.1

■ : 地質調査結果等に基づく

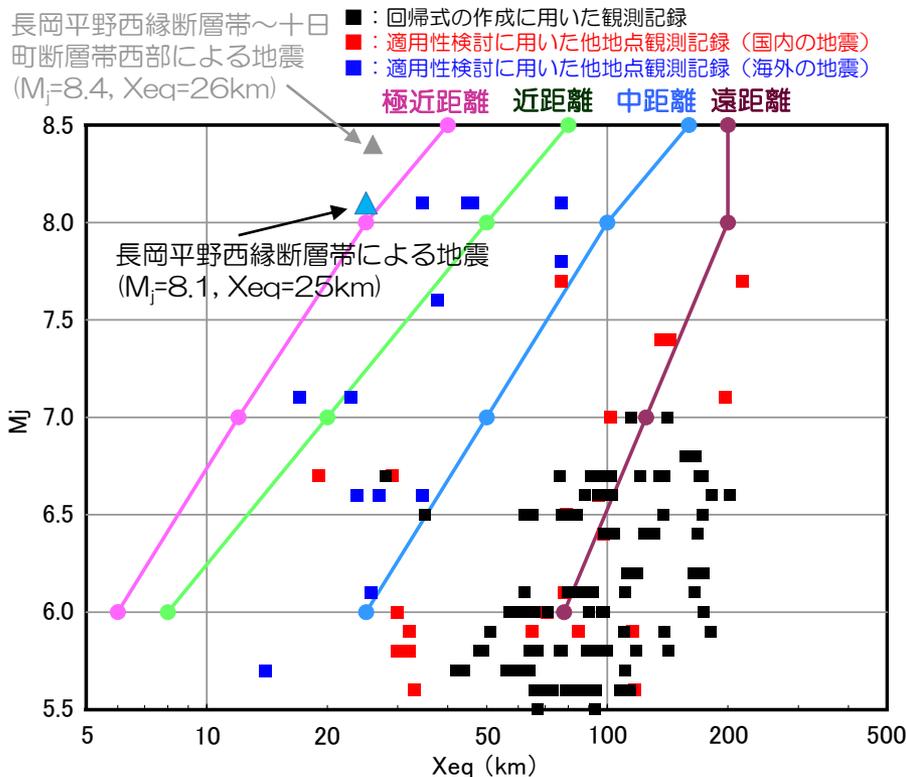
■ : 強震動予測レシピに基づく

■ : 中越沖地震の余震分布を参考に設定

6.4 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

6.4.2 応答スペクトルに基づく地震動評価

- 評価手法は、Noda et al.(2002)による手法を採用。
- 未だ発生していない長岡平野西縁断層帯による地震の地震規模については、保守的な評価となるように松田式から算定。

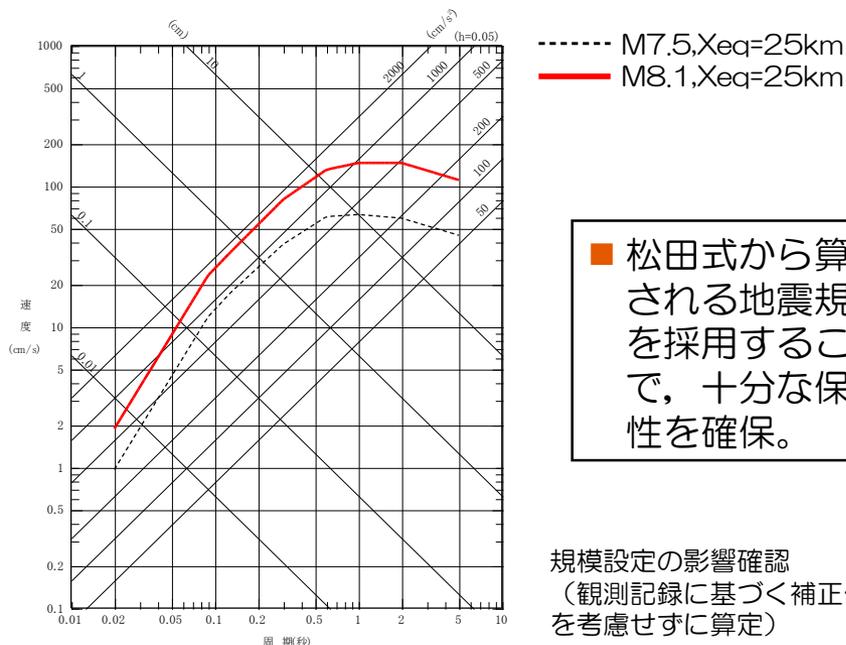


原子力安全委員会(2009)「応答スペクトルに基づく地震動評価」に関する専門家との意見交換会、資料第1-1号より抜粋(一部加筆・修正)

評価手法と地震規模

長岡平野西縁断層帯 断層長さ L : 91km
 断層幅 W : 15km
 断層面積 S : 1,365km²

手法	内容	適用した際の規模M
大竹ほか(2002)	$\log L = 0.67M - 3.07$	7.5
中越沖地震を踏まえた地震規模	$M = 6.8 + (2/1.2)(\log(S/540))$	7.5
松田(1975)	$\log L = 0.6M - 2.9$	8.1



■ 松田式から算定される地震規模を採用することで、十分な保守性を確保。

規模設定の影響確認
 (観測記録に基づく補正係数を考慮せずに算定)

6.4 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

6.4.2 応答スペクトルに基づく地震動評価

観測記録に基づく補正係数

- 陸側の地震における地震動特性を反映するために、観測記録に基づく補正係数を考慮する。想定する地震と同一方向の陸域（中越地域）で発生した地震の解放基盤波とNoda et al.(2002)による応答スペクトルの比として補正係数を設定。
- 地震波の伝播特性に関する検討において、共通に得られている地震観測記録によると、陸域から到来する地震波については、荒浜側と大湊側で増幅特性に違いがみられないため、荒浜側・大湊側で得られた記録を用いて共通の補正係数を評価。
- 海域の地震と比較して、陸域の地震に対しては、敷地において地震観測記録が複数得られていることから、日本電気協会(2008)を参考に、平均的な諸特性を考慮することを基本と考える。

- なお、補正係数の下限を1とし、短周期側の地震動レベルを嵩上げすることにより、応力降下量の不確かさに相当するケースを考慮。

1.2.3.2 経験的な方法

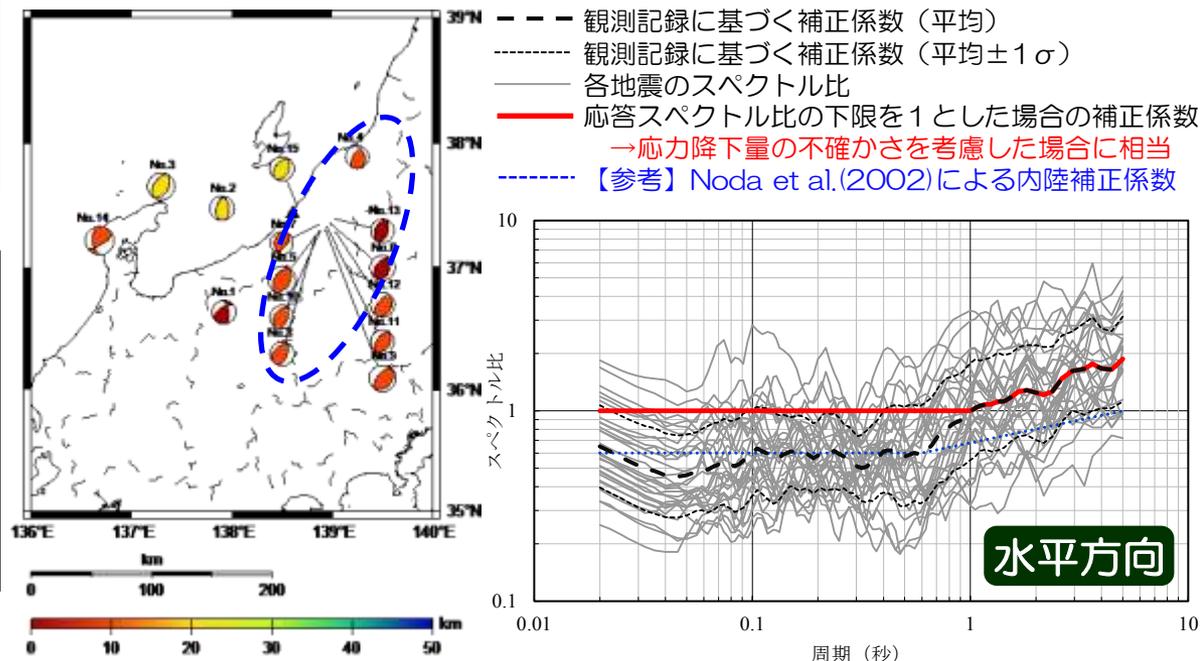
距離減衰式に基づいた経験的な方法により地震動を評価する場合は、用いる距離減衰式の特徴や適用性を考慮しなければならない。特に、敷地において地震観測記録が多数得られている場合には、その平均的な諸特性を考慮することとする。

以下に示す手法は、原子力発電所の立地に近している解放基盤相当における地震動特性が明らかな観測点のデータを回帰分析した距離減衰式に基づいており、地盤の特性に応じた地震動の応答スペクトルをより精度良く算定することができる。

(1) 解放基盤表面における周期0.02秒から5秒の地震動の応答スペクトル

水平・鉛直地震動の応答スペクトルは、マグニチュード M と等距離距離 X_{eq} 、解放基盤表面の弾性波速度、地盤基盤から表層の卓越周期を用いて以下のように得られる。水平地震動応答スペクトルの考え方を図1.2.3.2-1に示す。

日本電気協会(2008)より抜粋
(一部加筆・修正)



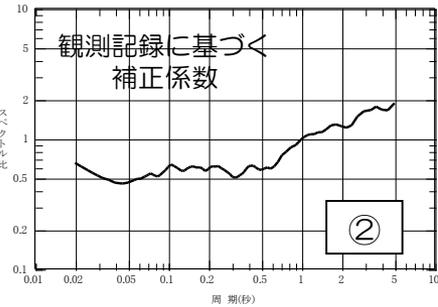
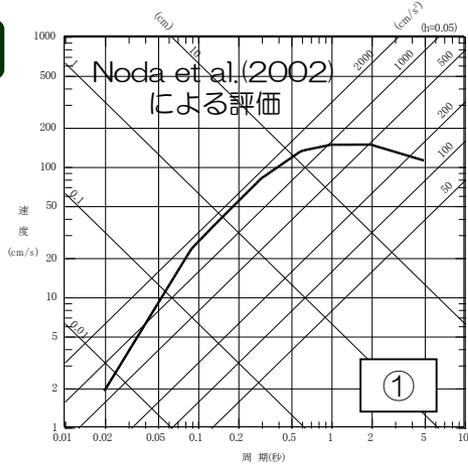
補正係数の算定に用いた地震の震央分布

観測記録に基づく補正係数 (荒浜側, 大湊側で共通)

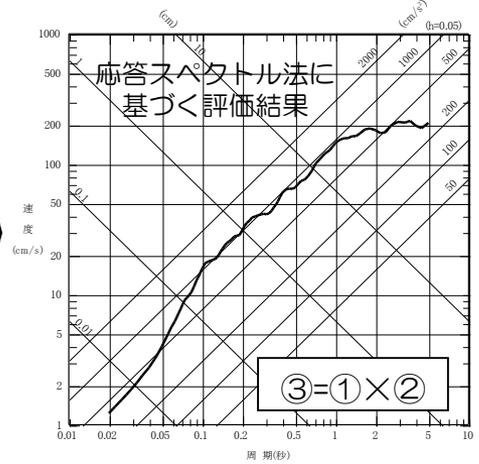
6.4 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

6.4.2 応答スペクトルに基づく地震動評価 地震動評価結果

算定フロー



※基本震源モデルの例。
その他のモデルも同様に算定。

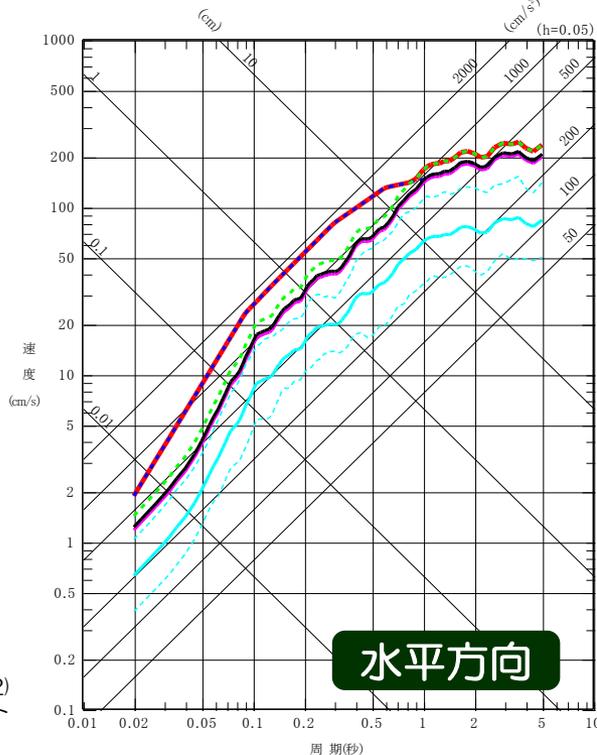


地震動評価結果

- No.1: 長岡平野西縁断層帯
- No.3: アスペリティ位置の不確かさ考慮
- - - No.5: 応力降下量の不確かさ考慮
- · - · No.6: 断層傾斜角の不確かさ考慮
- 基準地震動Ss-3H
- 中越沖地震を踏まえた地震規模及び観測記録に基づく補正係数(平均)を考慮したケース
- · - · 中越沖地震を踏まえた地震規模及び観測記録に基づく補正係数(平均±1σ)を考慮したケース

※凡例のNo.は検討ケースの一覧表による。
なお、破壊開始点(No.2)、破壊伝播速度(No.4)の不確かさについては、応答スペクトルに基づく手法で評価することができないため断層モデルによる評価で影響を把握する。また、連動を考慮したケース(No.7~9)は、Noda et al.(2002)の適用範囲外であるため断層モデルによる評価を行う。

鉛直方向は、補正係数の傾角を確認のうえ、Noda et al.(2002)による鉛直方向と水平方向の比を参考に水平方向の応答スペクトルの2/3倍としている。



■ 観測記録に基づく補正係数のばらつきに対しては、地震規模の設定、さらには短周期レベルを嵩上げすることにより保守性を確保している。

■ 短周期側では、応力降下量の不確かさ、長周期側では、断層傾斜角の不確かさの影響が大きい。

⇒ No.5及びNo.6を包絡して設定した応答スペクトルを基準地震動Ss-3として策定

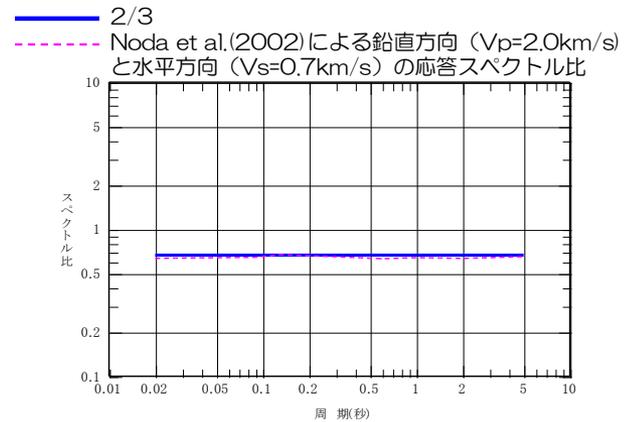
6.4 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

6.4.2 応答スペクトルに基づく地震動評価

【参考】

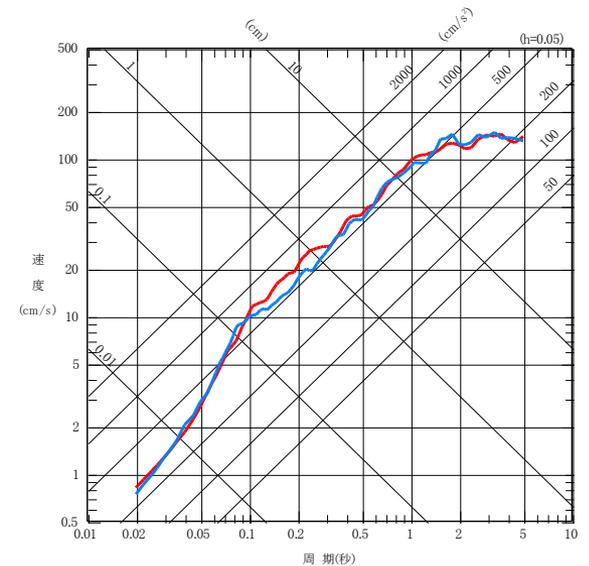
鉛直方向の評価について

- 従来の評価においては、Noda et al.(2002)による鉛直方向と水平方向の比を参考に、水平方向の応答スペクトルの2/3として評価を実施。（水平方向と鉛直方向において観測記録に基づく補正係数に顕著な相違がないことが前提であった。）
- 得られた観測記録を用い、水平方向及び鉛直方向の観測記録に基づく補正係数を評価した結果、以下の事項を確認し、従来の評価が妥当であることを確認。
 - ① 水平方向と鉛直方向において観測記録に基づく補正係数に顕著な相違がないこと。
 - ② 鉛直方向の観測記録に基づく補正係数を用いた評価結果は、従来の水平方向の2/3とした場合とほぼ同じ地震動レベルであること。



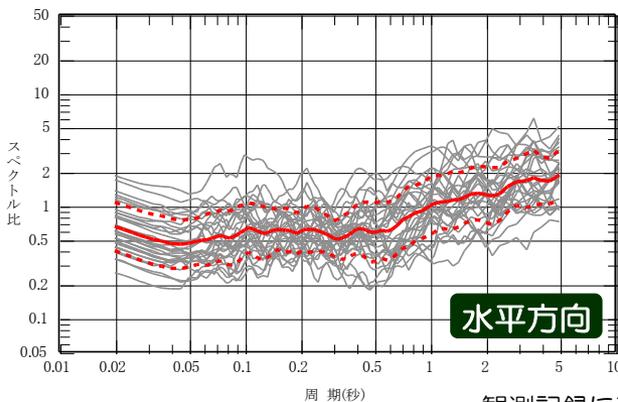
Noda et al.(2002)による鉛直方向と水平方向の応答スペクトル比

— 水平方向の2/3とした評価結果（従来評価）
— 鉛直方向の補正係数を用いた評価結果

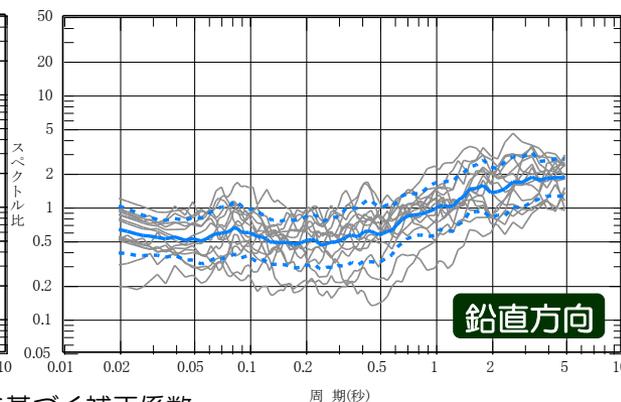


水平方向の2/3とした場合と鉛直方向の補正係数を用いた評価結果の比較
(長岡平野西縁断層帯による地震, M8.1, Xeq=25km)

— 水平方向の観測記録に基づく補正係数（平均）
- - 水平方向の観測記録に基づく補正係数（平均±1σ）
— 各地震の応答スペクトル比



— 鉛直方向の観測記録に基づく補正係数（平均）
- - 鉛直方向の観測記録に基づく補正係数（平均±1σ）
— 各地震の応答スペクトル比



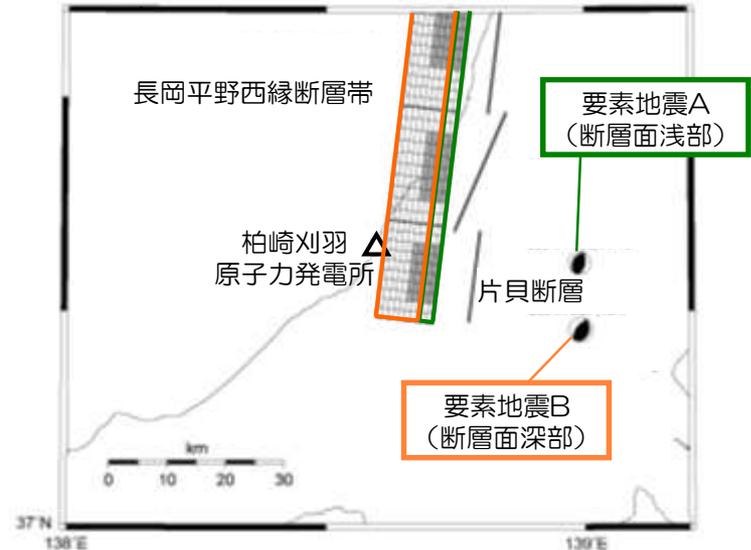
観測記録に基づく補正係数

6.4 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

6.4.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価

評価手法と要素地震

- 想定した震源域で発生した中小地震を要素地震とした経験的グリーン関数法で評価することにより，地震波の伝播特性を適切に反映。
- 要素地震は，中越地震の余震を採用。
- 中越地震の本震のシミュレーション結果をもとに，断層面の浅部と深部で適切な要素地震を採用。



要素地震の震源パラメータ

		要素地震A	要素地震B	備考
発生日時		2004/11/8 11:15	2004/10/27 10:40	気象庁
マグニチュード	M_j	5.9	6.1	気象庁
	M_w	5.5	5.8	F-net
震源位置	東経(°)	138.99	138.99	神原ほか(2006)*
	北緯(°)	37.41	37.31	神原ほか(2006)*
震源深さ(km)		0	11.60	気象庁
		5	11	F-net
走向(°)		13 ; 209	218 ; 18	F-net
傾斜(°)		53 ; 38	60 ; 32	F-net
すべり角(°)		80 ; 103	100 ; 73	F-net
地震モーメント(N·m)		2.24×10^{17}	6.34×10^{17}	F-net
コーナー周波数(Hz)		0.6	0.4	神原ほか(2006)
実効応力(MPa)		10.4	8.7	神原ほか(2006)
Q値		$76 f^{0.74}$	$76 f^{0.74}$	岩田ほか(2005)

注)長岡平野西縁断層帯の傾斜角50°の断層モデル図にプロット

*日本測地系の座標を世界測地系に変換

6.4 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

6.4.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価 要素地震A(浅部)

- 要素地震の見積もりは、神原ほか(2006)の検討結果をもとに実施しているが、敷地及び周辺KiK-net観測点の記録を用いて、妥当性を再確認する。
- 理論スペクトルと観測記録は概ね整合する傾向にあり、適切に設定されていることが確認できる。

理論スペクトルの算定式 (Boore(1983))

加速度フーリエスペクトル振幅 $A(f)$

$$A(f) = S(f) \cdot P(f) \cdot \sqrt{\frac{\rho\beta}{\rho_s\beta_s}}$$

震源スペクトル $S(f)$

$$S(f) = \frac{F}{4\pi\rho\beta^3} \cdot M_0 \cdot \frac{(2\pi f)^2}{1+(f/f_c)^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+(f/f_{max})^{2s}}} \cdot FS$$

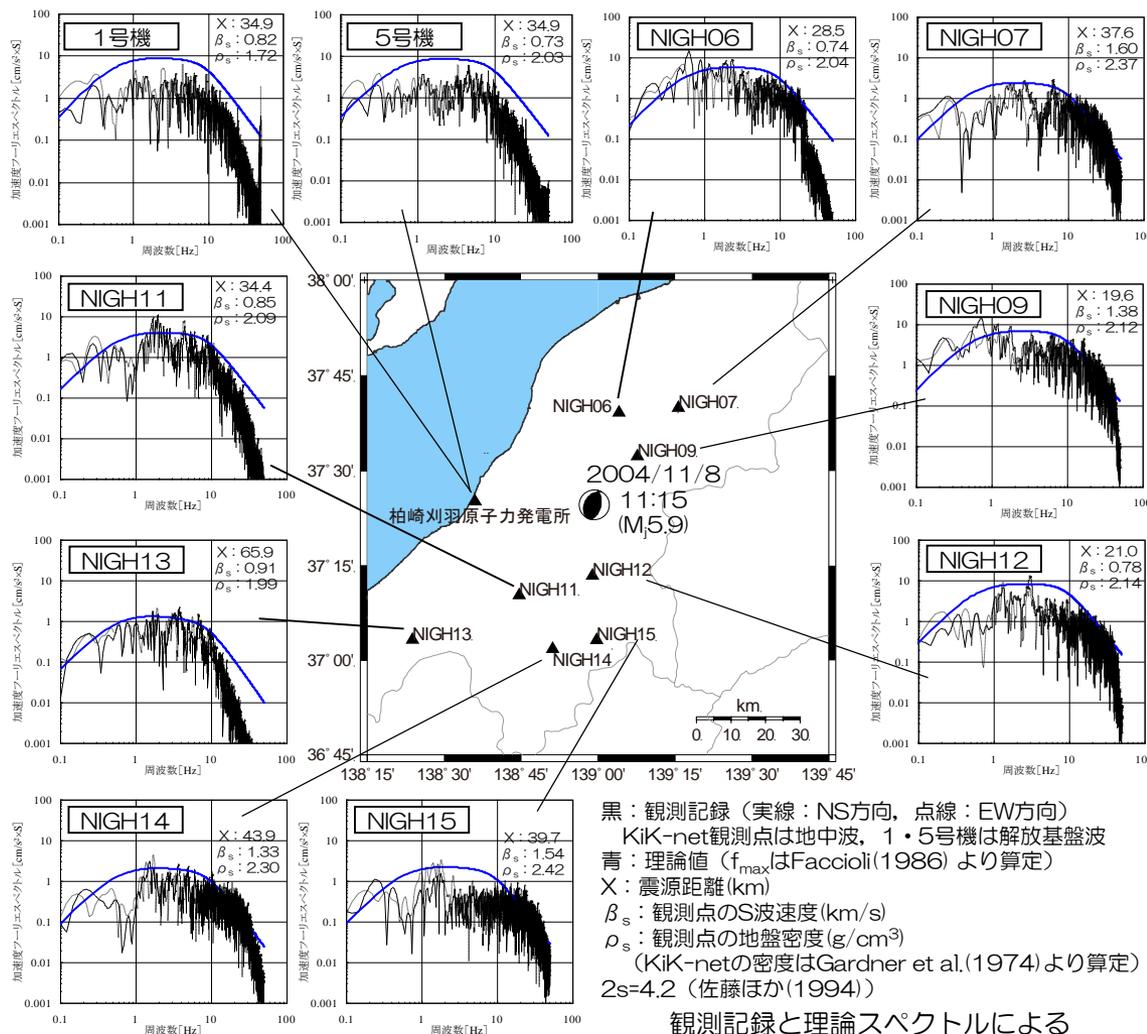
伝播特性 $P(f)$

$$P(f) = \frac{\exp\{-\pi f X / (Q\beta)\}}{X}$$

コーナー周波数 f_c $f_c = 4.9 \times 10^6 \beta \left(\frac{\Delta\sigma}{M_0} \right)^{1/3}$

ここで、 f :周波数 F :放射特性(0.63/√2)
 FS :自由表面での増幅を表す係数(地表:2, 地中:1)
 f_{max} :高周波遮断周波数 Q : Q 値 X :震源距離
 β , ρ :震源におけるS波速度(km/s)と地盤密度
 β_s , ρ_s :観測点におけるS波速度(km/s)と地盤密度
 $\Delta\sigma$:応力降下量
 M_0 :地震モーメント(dyne·cm)

神原ほか(2006)により設定されているコーナー周波数を代入して求めた理論スペクトルと観測記録から求めた加速度フーリエスペクトル振幅を比較し適合状況を確認 (M_0 はF-net, Q 値は岩田ほか(2005)の値を採用)



観測記録と理論スペクトルによる
 加速度フーリエスペクトル振幅の比較

6.4 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

6.4.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価 要素地震B(深部)

- 要素地震の見積もりは、神原ほか(2006)の検討結果をもとに実施しているが、敷地及び周辺KiK-net観測点の記録を用いて、妥当性を再確認する。
- 理論スペクトルと観測記録は概ね整合する傾向にあり、適切に設定されていることが確認できる。

理論スペクトルの算定式 (Boore(1983))

加速度フーリエスペクトル振幅 $A(f)$

$$A(f) = S(f) \cdot P(f) \cdot \sqrt{\frac{\rho\beta}{\rho_s\beta_s}}$$

震源スペクトル $S(f)$

$$S(f) = \frac{F}{4\pi\rho\beta^3} \cdot M_0 \cdot \frac{(2\pi f)^2}{1+(f/f_c)^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+(f/f_{max})^{2s}}} \cdot FS$$

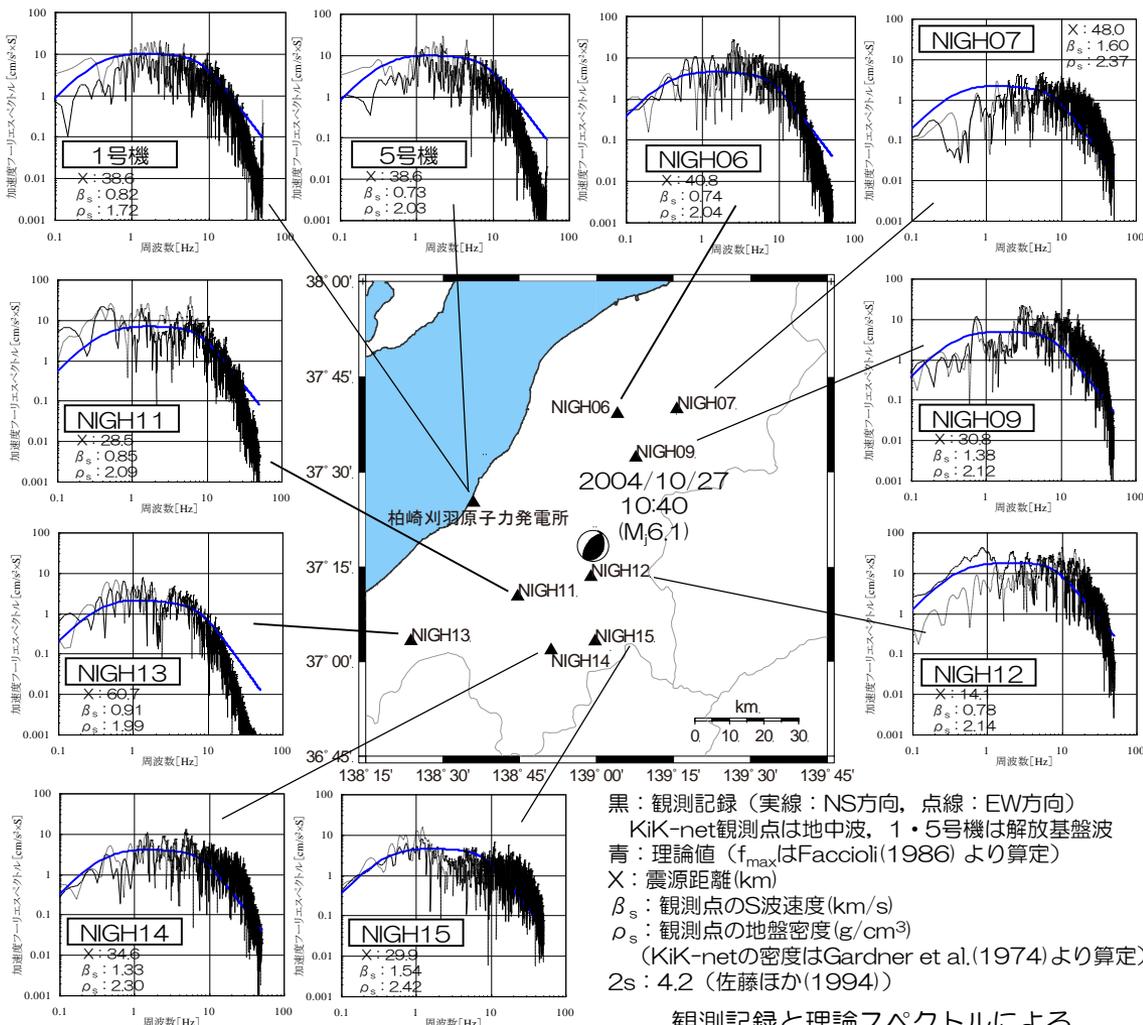
伝播特性 $P(f)$

$$P(f) = \frac{\exp\{-\pi f X / (Q\beta)\}}{X}$$

コーナー周波数 f_c $f_c = 4.9 \times 10^6 \beta \left(\frac{\Delta\sigma}{M_0} \right)^{1/3}$

ここで、 f :周波数 F :放射特性(0.63/√2)
 FS :自由表面での増幅を表す係数(地表:2, 地中:1)
 f_{max} :高周波遮断周波数 Q : Q 値 X :震源距離
 β, ρ :震源におけるS波速度(km/s)と地盤密度
 β_s, ρ_s :観測点におけるS波速度(km/s)と地盤密度
 $\Delta\sigma$:応力降下量
 M_0 :地震モーメント(dyne·cm)

神原ほか(2006)により設定されているコーナー周波数を代入して求めた理論スペクトルと観測記録から求めた加速度フーリエスペクトル振幅を比較し適合状況を確認 (M_0 はF-net, Q 値は岩田ほか(2005)の値を採用)



黒: 観測記録 (実線: NS方向, 点線: EW方向)
 KiK-net観測点は地中波, 1・5号機は解放基盤波
 青: 理論値 (f_{max} はFaccioli(1986)より算定)
 X : 震源距離(km)
 β_s : 観測点のS波速度(km/s)
 ρ_s : 観測点の地盤密度(g/cm^3)
 (KiK-netの密度はGardner et al.(1974)より算定)
 $2s$: 4.2 (佐藤ほか(1994))

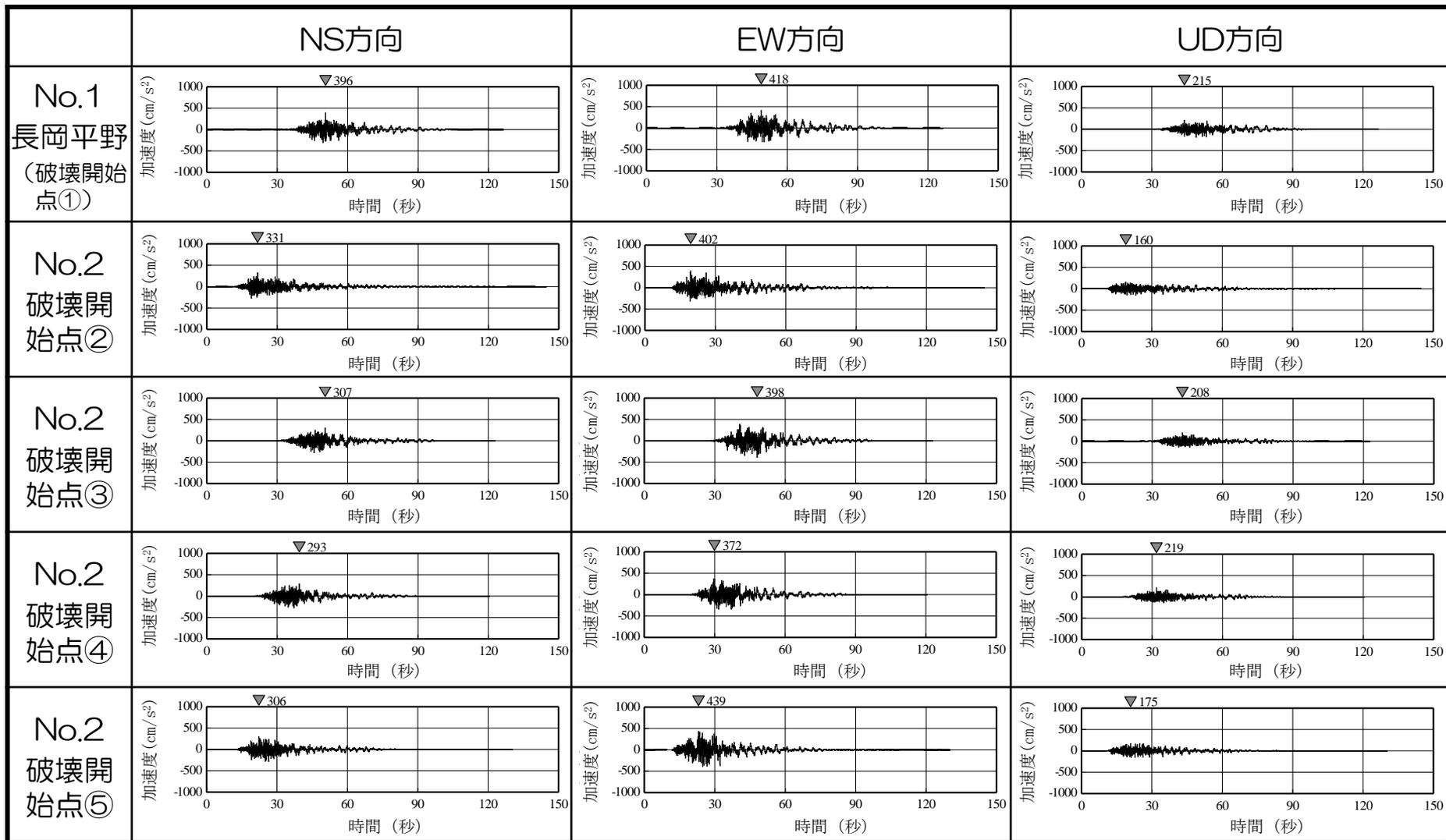
観測記録と理論スペクトルによる
 加速度フーリエスペクトル振幅の比較

6.4 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

6.4.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価 地震動評価結果

加速度時刻歴波形（その1）

荒浜側

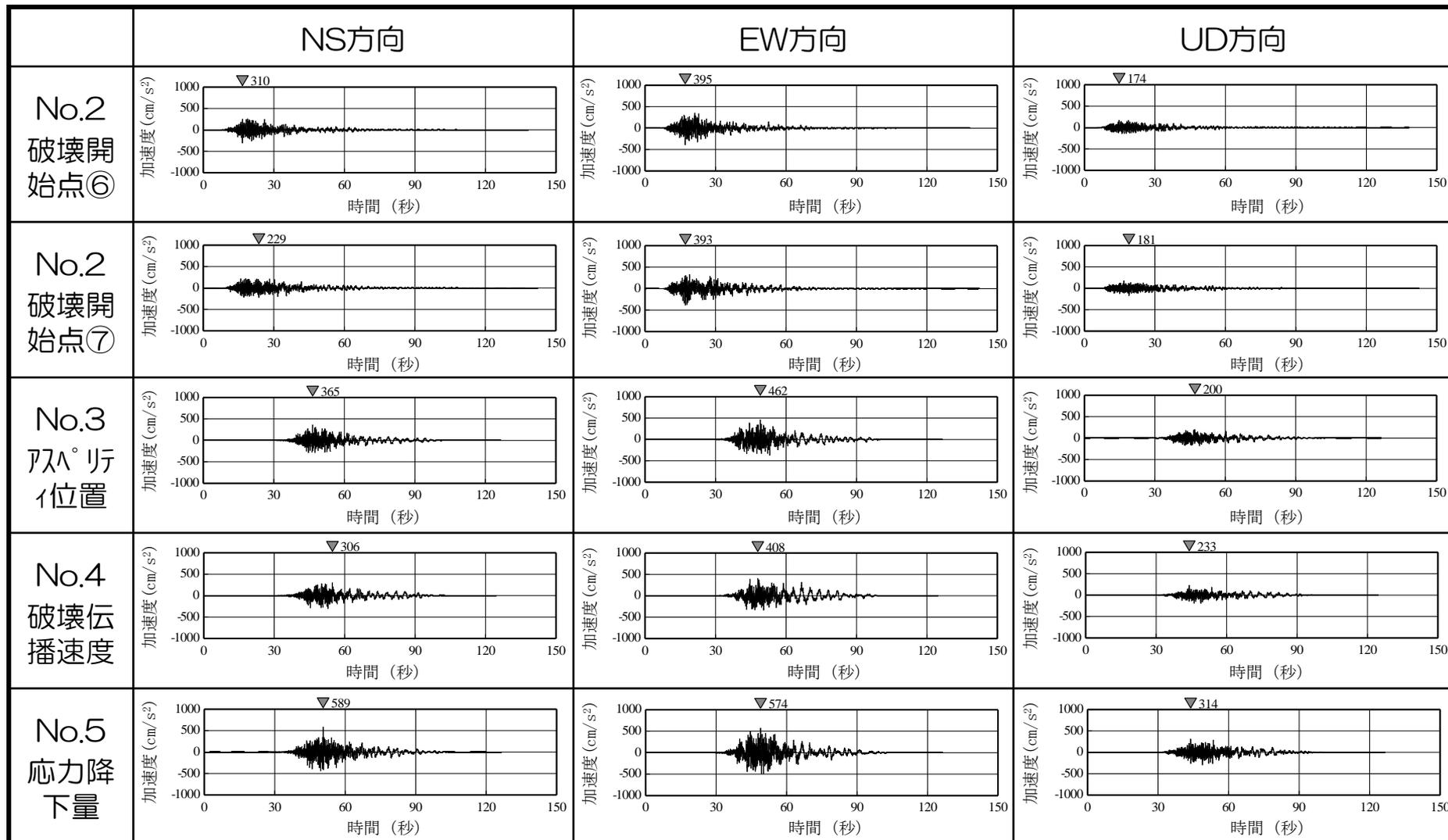


6.4 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

6.4.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価 地震動評価結果

加速度時刻歴波形 (その2)

荒浜側

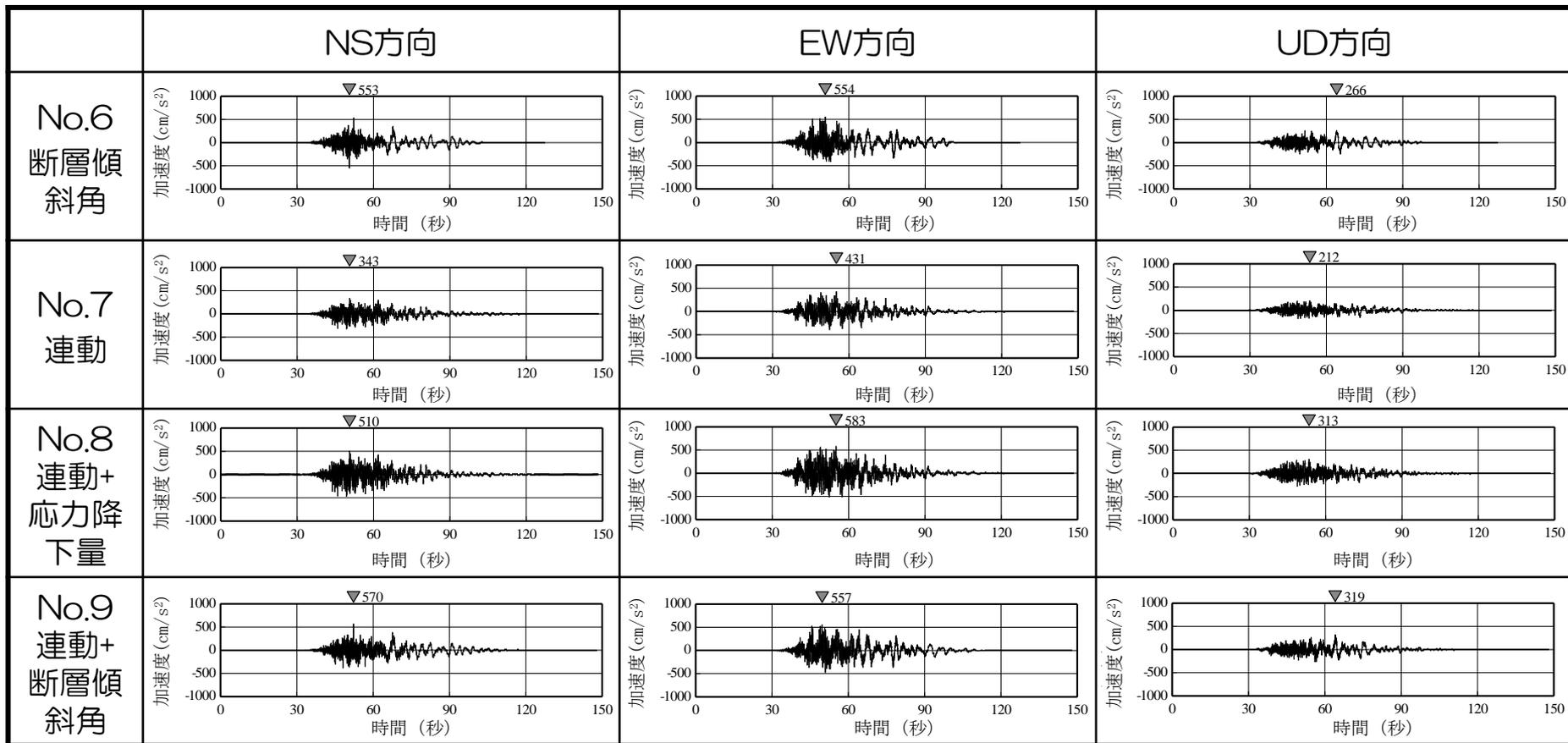


6.4 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

6.4.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価 地震動評価結果

加速度時刻歴波形 (その3)

荒浜側

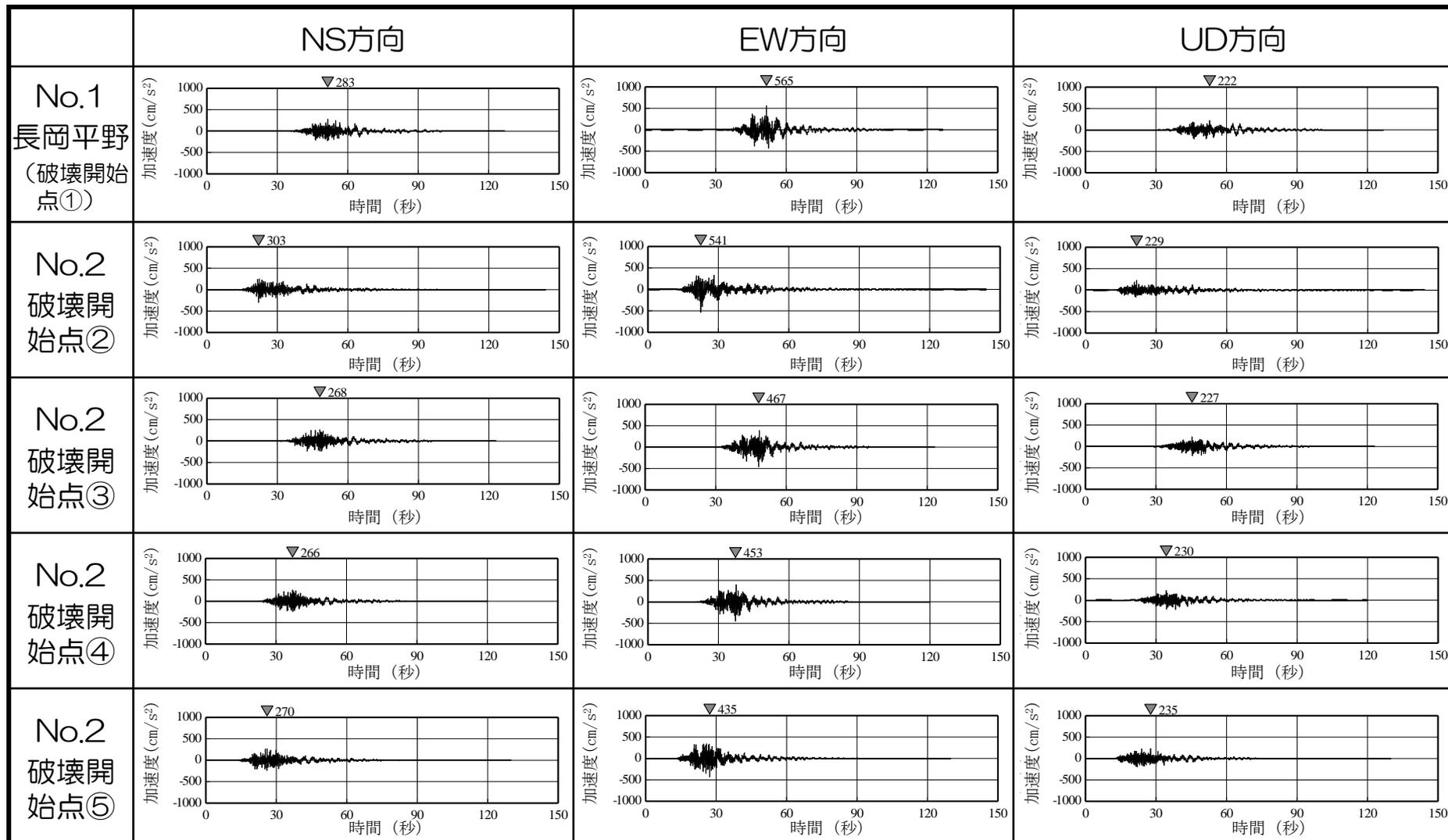


6.4 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

6.4.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価 地震動評価結果

加速度時刻歴波形（その4）

大湊側

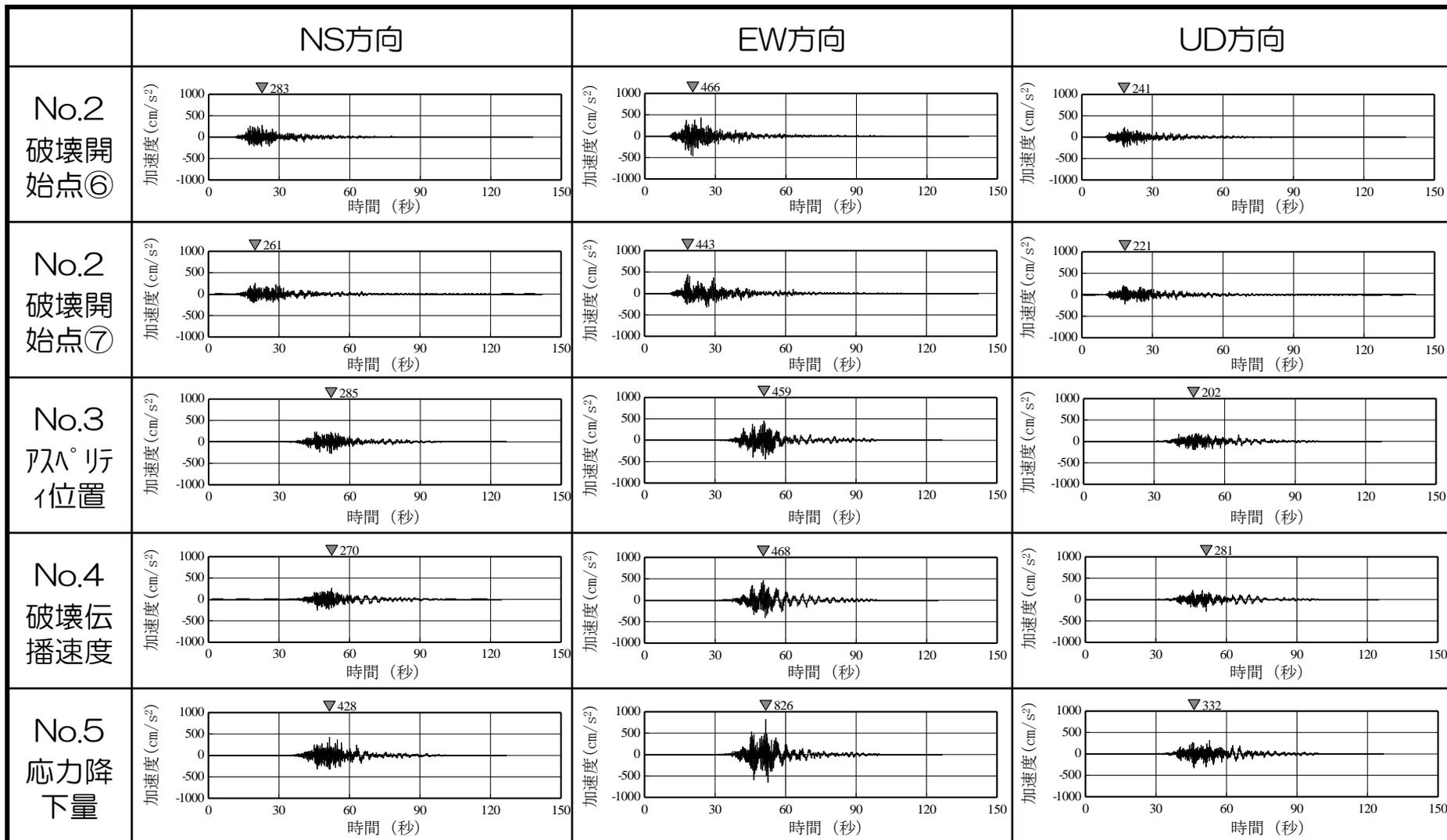


6.4 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

6.4.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価 地震動評価結果

加速度時刻歴波形 (その5)

大湊側

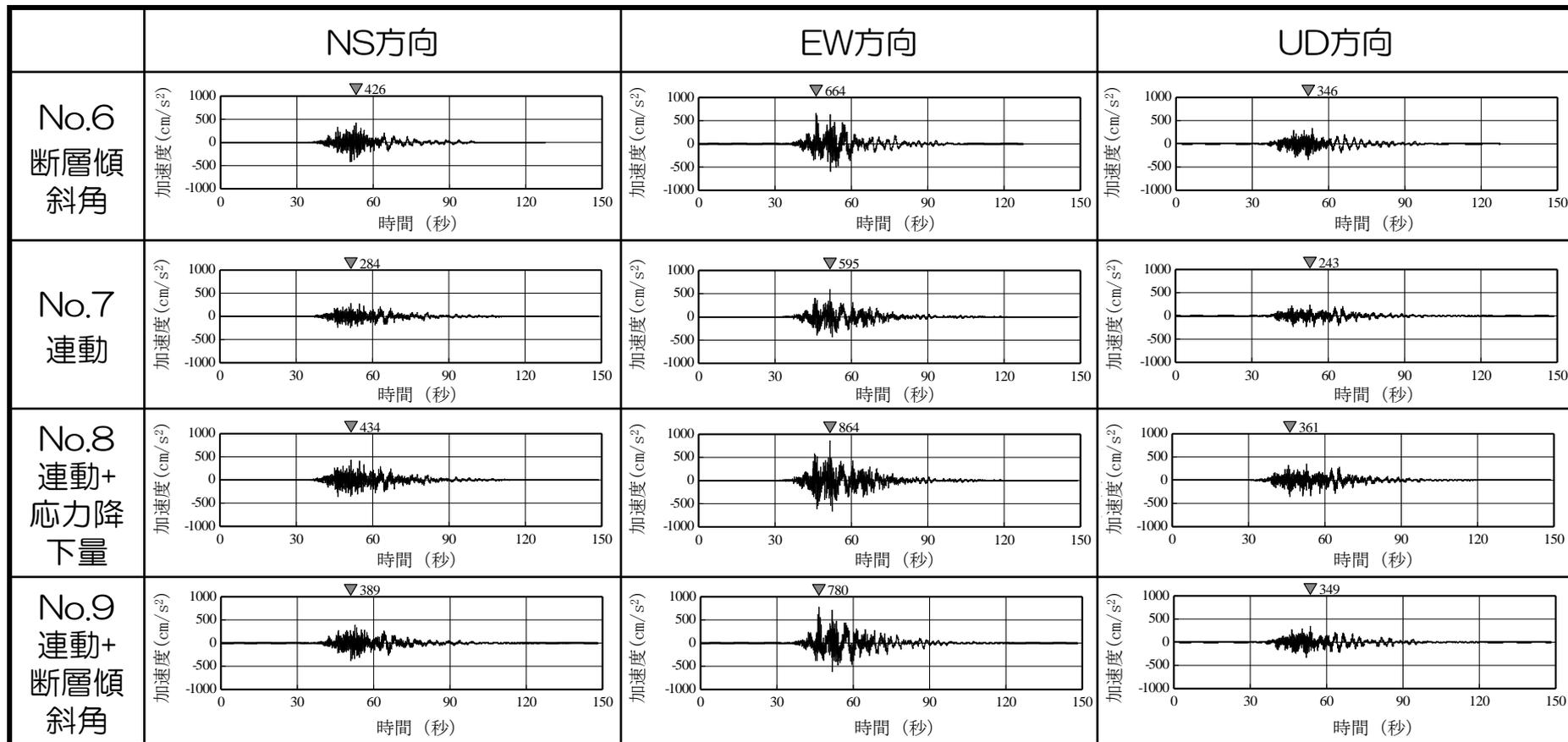


6.4 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

6.4.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価 地震動評価結果

加速度時刻歴波形（その6）

大湊側



6.4 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

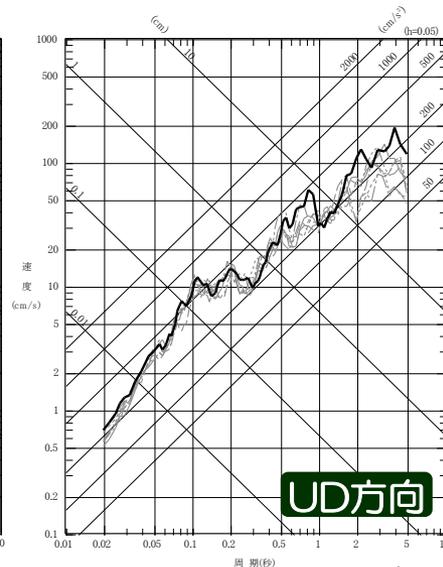
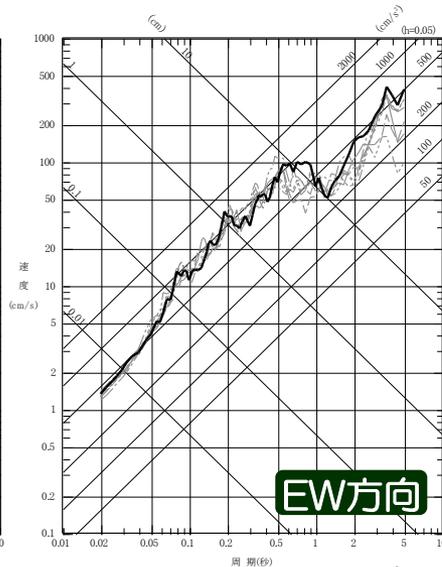
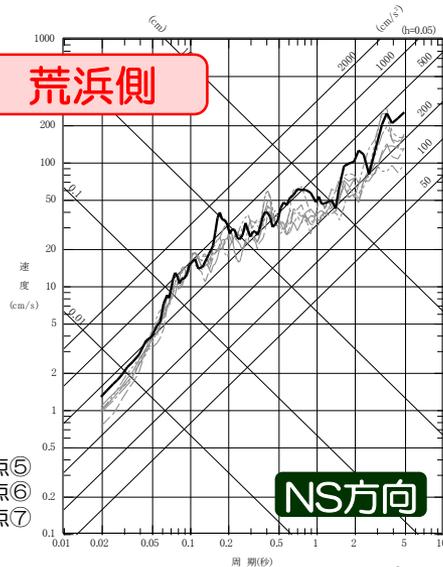
6.4.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価 地震動評価結果

擬似速度応答スペクトル (破壊開始点の影響)

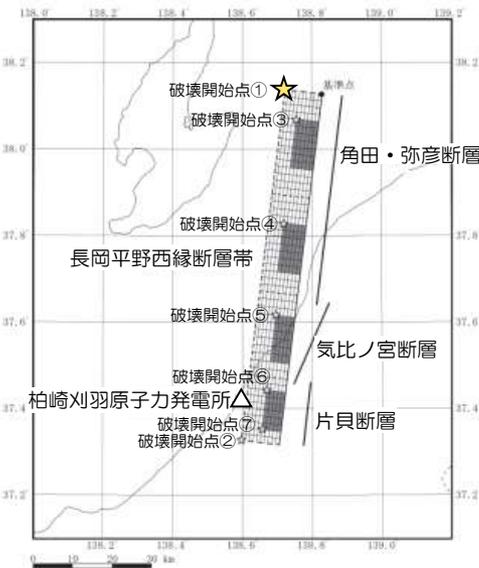
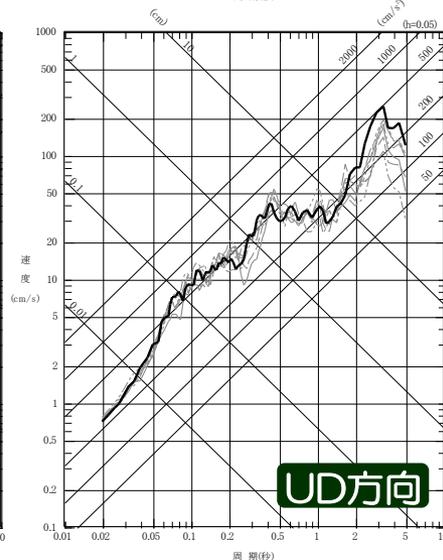
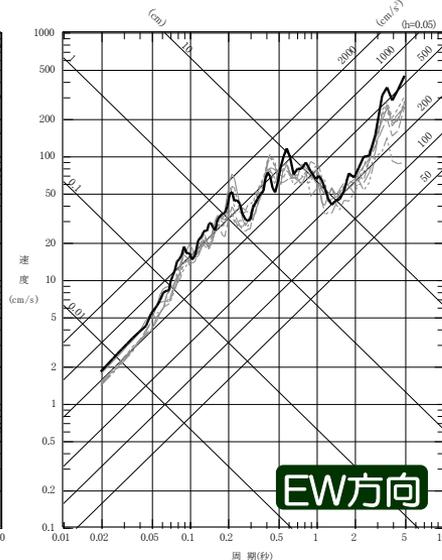
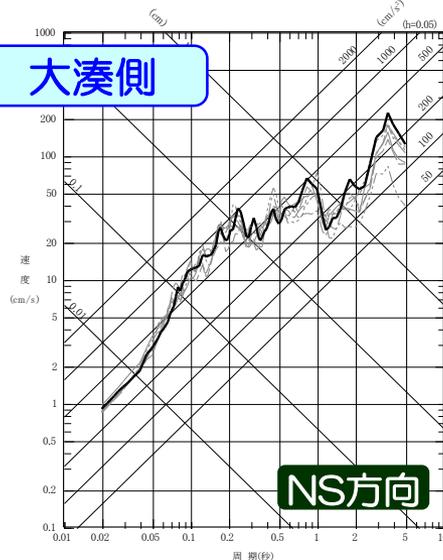
- 破壊開始点の不確かさの影響は短周期側で小さいことを確認。
- その他の不確かさケースでは、敷地への影響が長周期側で比較的大きい傾向にある巨視的断層面の北端部(①)に設定して評価を実施。

- No.1: 破壊開始点①
- No.2: 破壊開始点②
- No.2: 破壊開始点③
- No.2: 破壊開始点④
- No.2: 破壊開始点⑤
- No.2: 破壊開始点⑥
- No.2: 破壊開始点⑦

荒浜側



大湊側



6.4 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

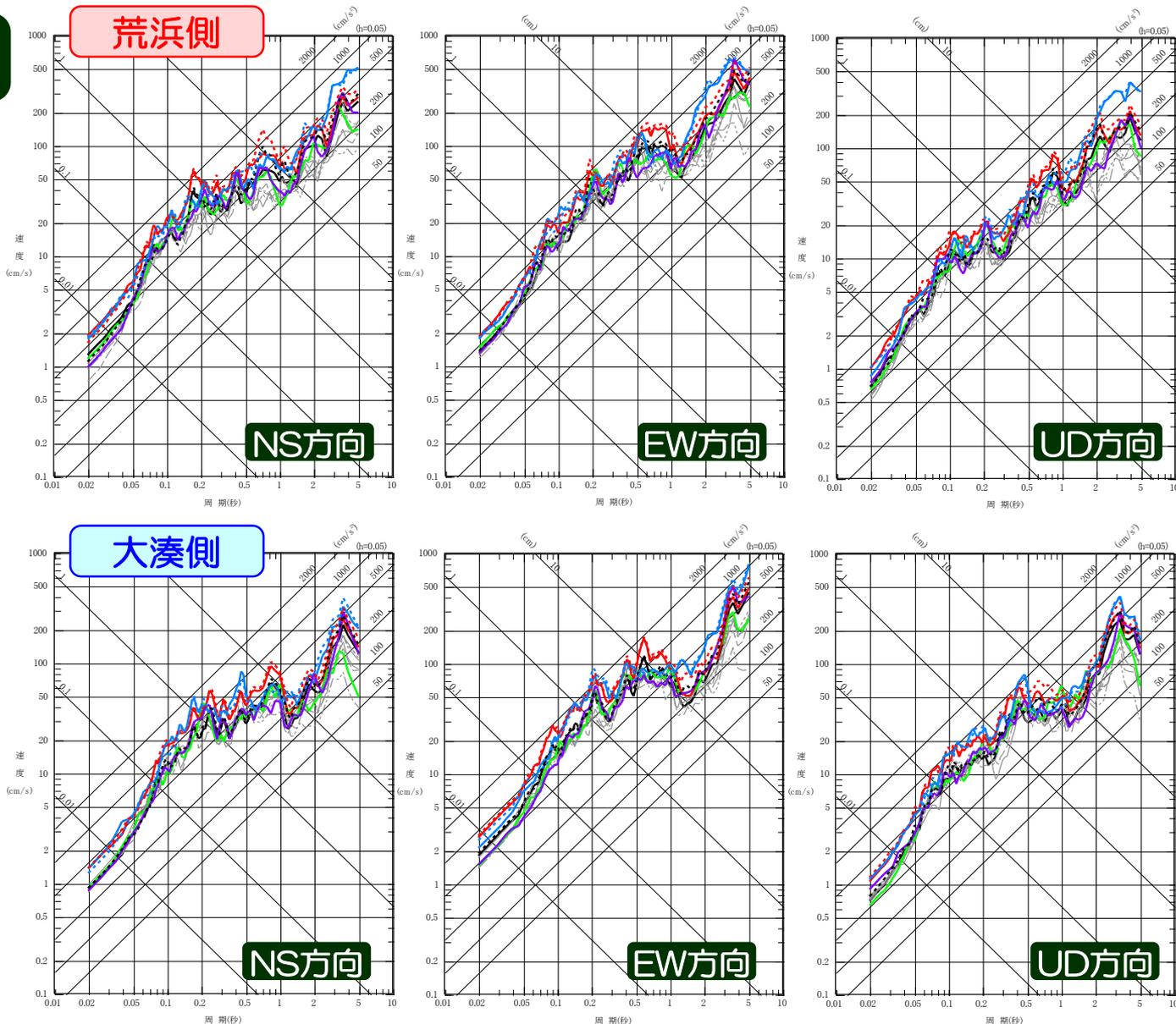
6.4.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価 地震動評価結果

擬似速度応答スペクトル (不確かさの影響)

- 連動及び応力降下量の不確かさ考慮、連動及び断層傾斜角の不確かさ考慮のケースの影響が大きいことを確認。
- 全体的な地震動レベルとしては荒浜側と大湊側で整合的であり最大加速度値の違いはあるものの、荒浜側が過小評価となっていないものと考えられる。

- No.1 : 長岡平野西縁断層帯
- No.2 : 破壊開始点②~⑦
- No.3 : ｽﾗｯﾌﾟ位置
- No.4 : 破壊伝播速度
- No.5 : 応力降下量
- No.6 : 断層傾斜角
- - - No.7 : 連動
- - - No.8 : 連動+応力降下量
- - - No.9 : 連動+断層傾斜角

- ⇒ No.5を基準地震動Ss-4
- ⇒ No.6を基準地震動Ss-5
- ⇒ No.8を基準地震動Ss-6
- ⇒ No.9を基準地震動Ss-7として策定



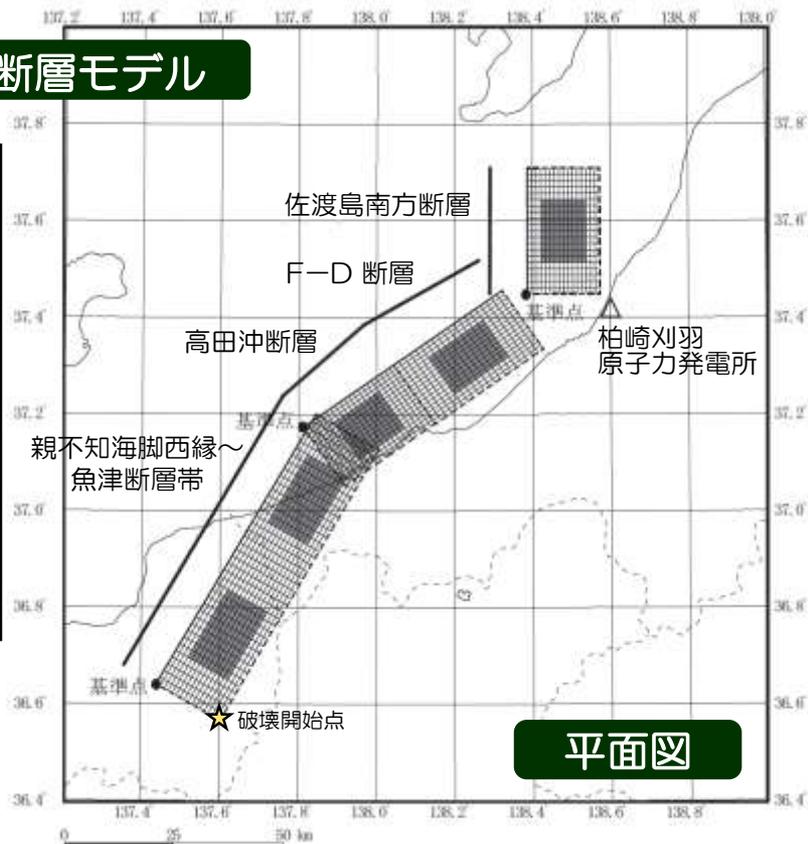
6.5 佐渡島南方断層～魚津断層帯による地震の地震動評価

6.5.1 震源モデルの設定

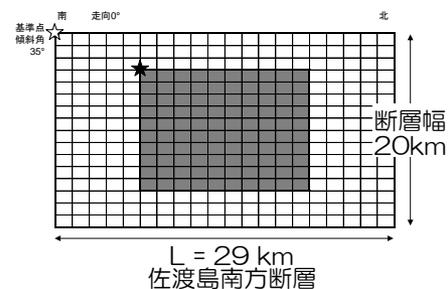
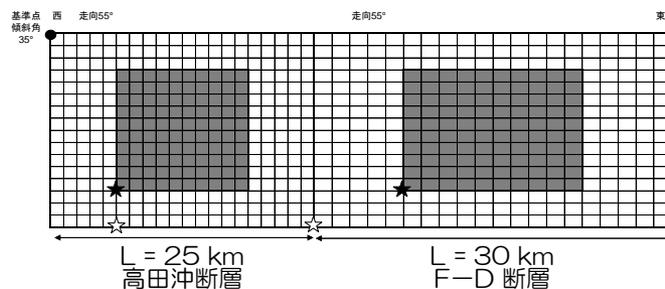
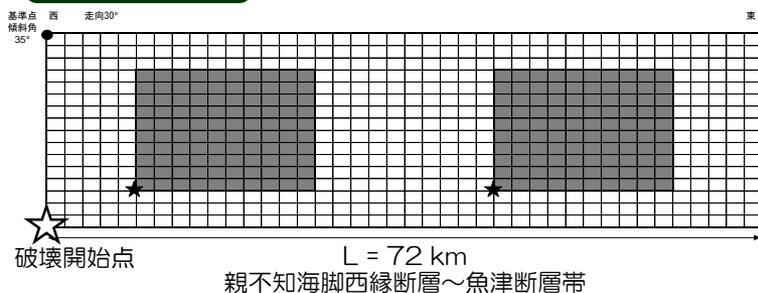
震源モデルの設定方針

- 佐渡島南方断層～魚津断層帯までの連動を考慮したケース（断層長さ156km）を評価。
- 長大な断層であることから、パラメータについては長岡平野西縁断層帯～十日町断層帯西部と同様の手法により設定。
- 地震発生層は、速度構造や精密余震分布等に基づき、上端深さを6km、下端深さを17kmと設定。
- 断層傾斜角は、中越沖地震の余震分布を参考に一律35°と設定。
- 破壊開始点については、破壊が敷地に向かうよう巨視面南端に設定。

断層モデル



断面図

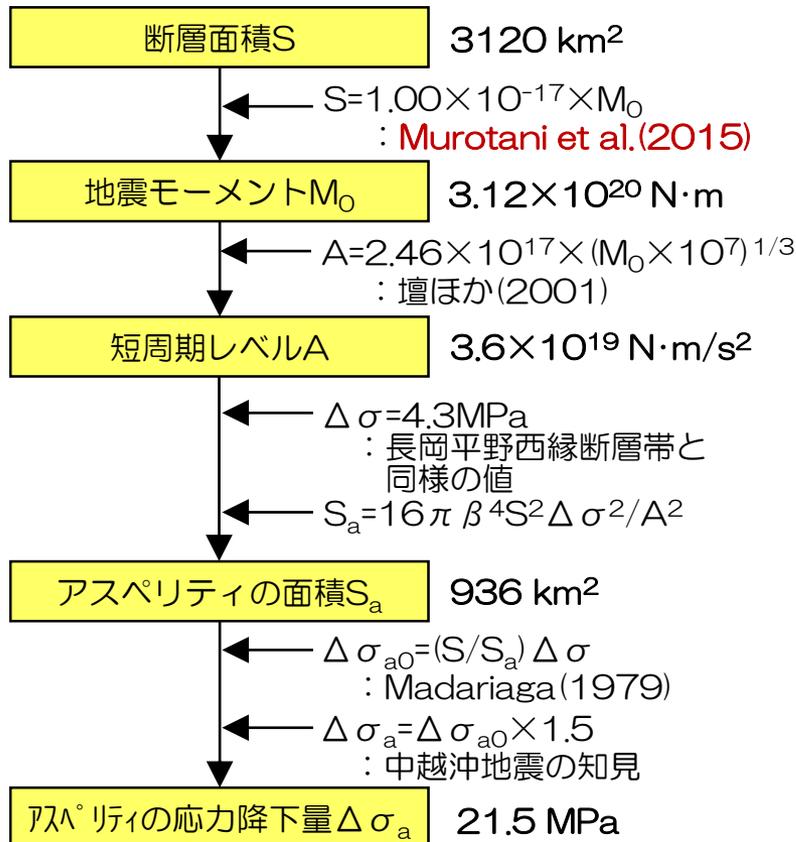


6.5 佐渡島南方断層～魚津断層帯による地震の地震動評価

6.5.1 震源モデルの設定 設定した断層パラメータ

■ 微視的断層パラメータは、著しく長大となることから、陸域の地震動評価で採用した方法と同様の考え方で設定した上で、応力降下量1.5倍を考慮。

設定フロー



断層パラメータ

項目		設定値				
		全体	佐渡島南方断層	F-D断層	高田冲断層	親不知～魚津断層帯
巨視的断層面	基準点	東経(°)	—	138.39	137.81	137.44
		北緯(°)	—	37.45	37.17	36.64
	断層上端深さ(km)	6				
	断層長さ(km)	156	29	30	25	72
	断層幅(km)	20				
	断層面積(km²)	3120	580	600	500	1440
	走向(°)	—	0	55		30
	傾斜角(°)	35				
	S波速度(Vs)(km/s)	3.4				
	破壊伝播速度(km/s)	2.4				
地震モーメント(×10¹⁹N·m)	31.2	5.80	6.00	5.00	14.4	
アスペリティ	面積(km²)	936	174	180	150	432
	地震モーメント(×10¹⁹N·m)	18.7	3.48	3.60	3.00	8.64
	平均すべり量(cm)	641				
	応力降下量(MPa)	1.5倍	21.5			
背景領域	面積(km²)	2184	406	420	350	1008
	地震モーメント(×10¹⁹N·m)	12.5	2.32	2.40	2.00	5.76
	平均すべり量(cm)	183				
	実効応力(MPa)	1.5倍	5.1	4.1	4.1	3.8

: 地質調査結果等に基づく
 : 中越沖地震の余震分布を参考に設定

: 強震動予測レシビに基づく

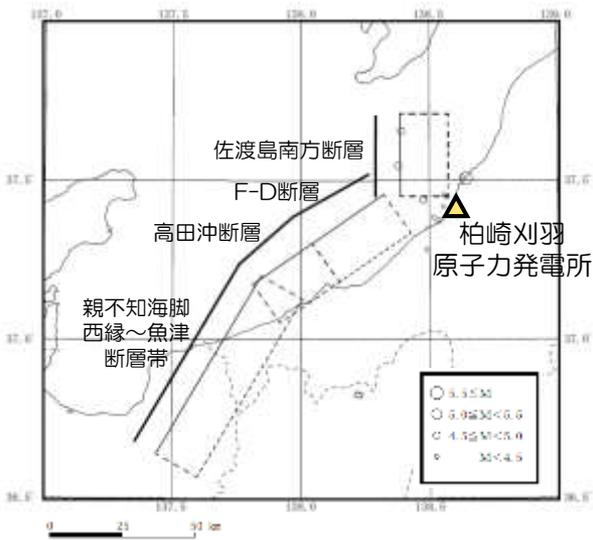
: 中越沖地震の知見を反映し、設定した応力降下量の1.5倍を考慮

6.5 佐渡島南方断層～魚津断層帯による地震の地震動評価

6.5.2 断層モデルを用いた手法による地震動評価

評価手法と要素地震

- 想定した震源域で発生した中小地震を要素地震として経験的グリーン関数法で評価することにより、地震波の伝播特性を適切に反映する。
- 経験的グリーン関数法に用いる要素地震は、佐渡島南方断層の想定断層面周辺で発生した中越沖地震の余震を採用。F-D断層、高田沖断層、親不知海脚西縁～魚津断層帯の想定断層面上で発生した地震の記録が得られていないことから、佐渡島南方断層と同様の要素地震を採用。
- なお、荒浜側の評価では、F-D断層、高田沖断層、親不知海脚西縁～魚津断層帯に設定するアスペリティに割り当てる要素地震は、中越沖地震の第3アスペリティの特性を踏まえた補正波を用いる。



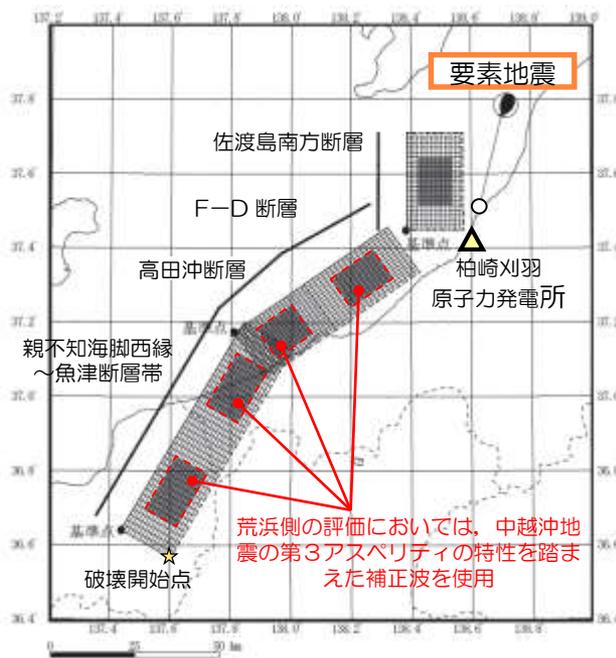
【整理条件】

- 地震規模M4以上
- F-netでメカニズム解が求められているもの。
- 震源の深さ0～30km
- 荒浜側、大湊側で記録が得られているもの
- 震源の見積もりを適切に行うために周辺観測点で記録が取得されているもの
- 断層面の想定位置で生じているもの

想定断層面と地震の発生状況

要素地震の震源パラメータ

発生日時	2007/7/16 21:08	備考
マグニチュード	M _j	4.4 気象庁
	M _w	4.4 F-net
震源位置	東経(°)	138.63 気象庁
	北緯(°)	37.51 気象庁
震源深さ(km)	13.6	余震分布を踏まえ設定
走向(°)	187; 39	F-net
傾斜(°)	54; 41	F-net
すべり角(°)	70; 115	F-net
地震モーメント(N・m)	5.21 × 10 ¹⁵	F-net
コーナー周波数(Hz)	1.65	Brune(1970)式
実効応力(MPa)	4.6	芝(2008)
Q値	76 f ^{0.74}	岩田ほか(2005)



要素地震の震央位置

6.5 佐渡島南方断層～魚津断層帯による地震の地震動評価

6.5.2 断層モデルを用いた手法による地震動評価

要素地震の補正係数

■ 佐渡島南方断層～魚津断層帯による地震の荒浜側に対する地震動評価において、中越沖地震の第3アスペリティの特性を踏まえた補正係数を考慮して行うことの妥当性について検討。

■ これまで、中越沖地震の第3アスペリティの特性を解釈するため以下の検討を実施。

- ① 荒浜側（1号機）における第1アスペリティ(Asp1)部で起きる地震によるサイト特性(1K1)に対する第3アスペリティ(Asp3)部で起きる地震によるサイト特性(3K1)の比を補正係数(1)式として仮定。
- ② 大湊側（5号機）では、到来方向によるサイト特性の差異が小さいことから $3K5 \approx 1K5$ と考え(1)式は(2)式となる。
- ③ Asp1部、Asp3部のそれぞれの方位（領域e、領域a）から到来する中小地震の観測記録を用い、(2)式を(3)式に変形したうえで観測値を算定し、補正係数との対応を確認。

$$\frac{3K1}{1K1} = \frac{3K1}{3K5} \times \frac{3K5}{1K1} \quad \dots (1) \text{式}$$

ここで、左添え字はアスペリティ番号
K5は大湊側（5号機）を示す。

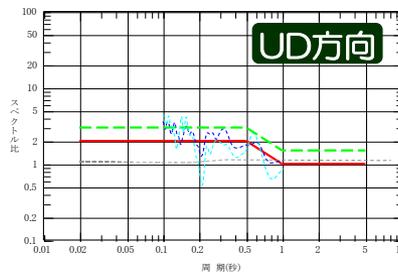
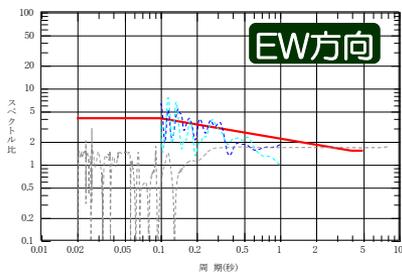
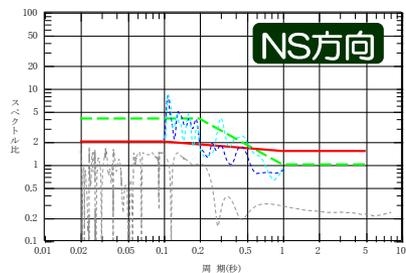
$$\frac{3K1}{1K1} = \frac{3K1}{3K5} \times \frac{1K5}{1K1} \quad \dots (2) \text{式}$$

$$\frac{3K1}{1K1} = \frac{\text{領域a}}{\text{領域e}} \frac{K1/K5}{K1/K5} \quad \dots (3) \text{式}$$

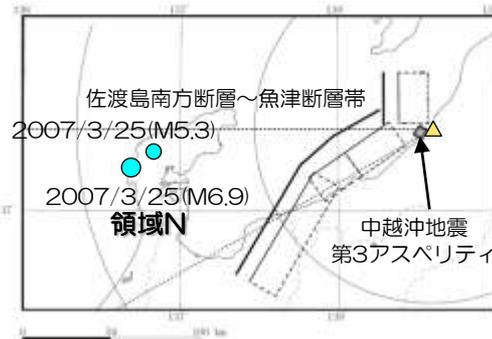
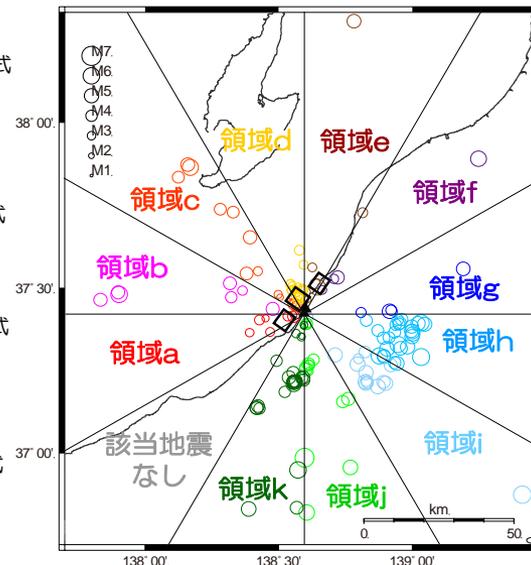
※フーリエスペクトル振幅比により算定

$$\frac{\text{領域N}}{\text{領域e}} \frac{K1/K5}{K1/K5} \quad \dots (4) \text{式}$$

■ 想定する地震の断層面においては、検討可能な地震記録が観測されていないが、敷地の西～南西方向から到来する能登半島で発生した2地震（領域N）を対象に、(4)式で観測値を算定し、(3)式によるAsp3部（領域a）を対象とした観測値と比較。



- 改めて設定した補正係数
- 従来係数
- 観測値 領域a/領域e
- 観測値 領域N/領域e
- SGFのAsp3/Asp1

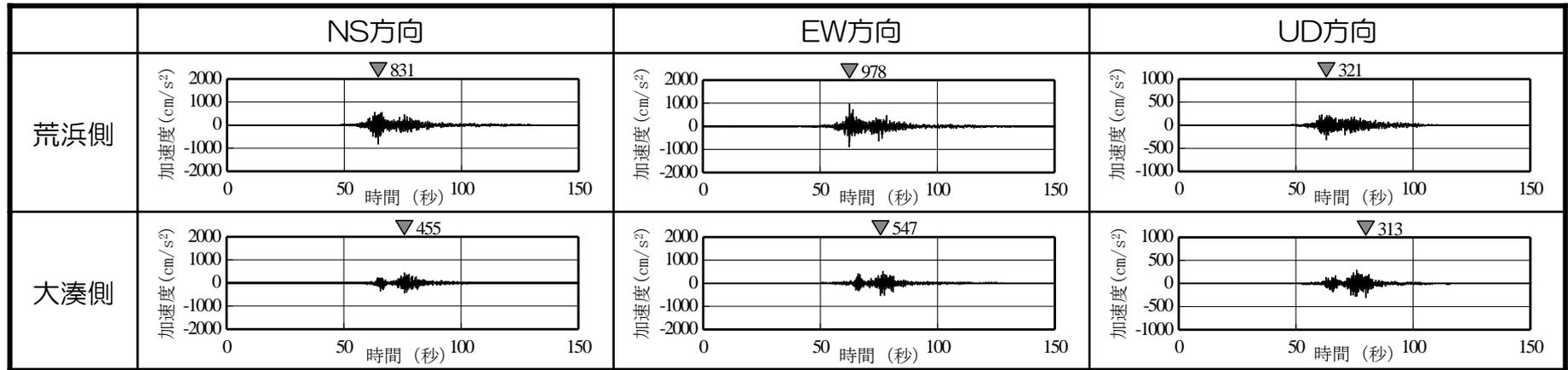


■ 観測値は概ね同程度であり、設定した補正係数は、佐渡島南方断層～魚津断層帯による地震の評価に対しても適切なものと考えられる。

6.5 佐渡島南方断層～魚津断層帯による地震の地震動評価

6.5.2 断層モデルを用いた手法による地震動評価 地震動評価結果

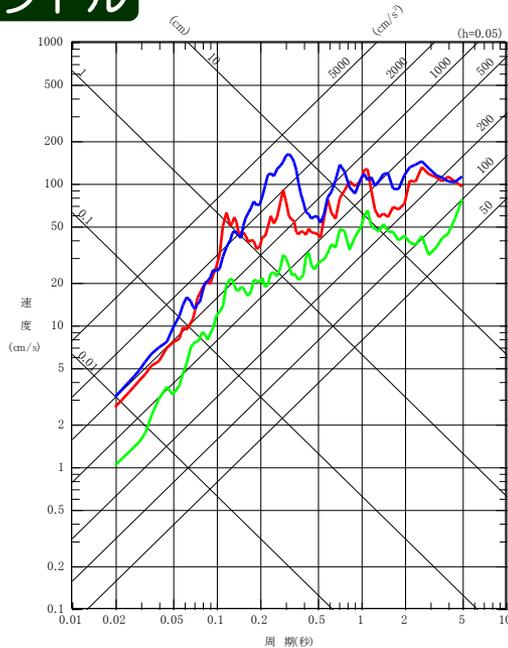
加速度時刻歴波形



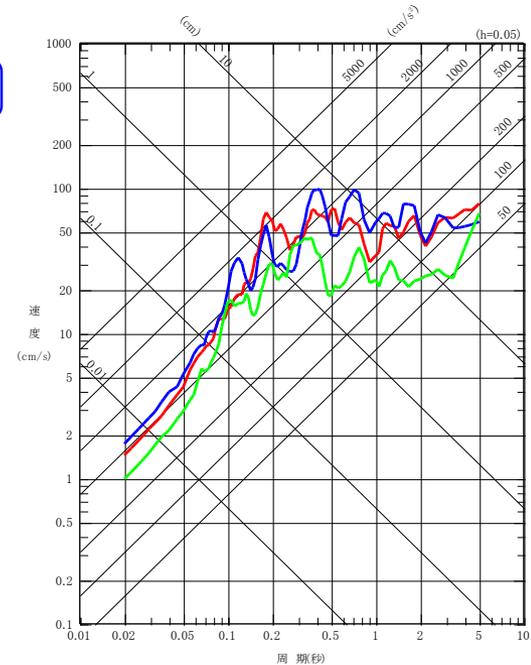
擬似速度応答スペクトル

荒浜側

— NS方向
— EW方向
— UD方向



大湊側



1. 概要
2. 敷地周辺の地震発生状況
3. 活断層の分布状況
4. 地震の分類
5. 敷地における地震波の増幅特性
6. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
7. 震源を特定せず策定する地震動
8. 基準地震動の策定
9. 基準地震動の超過確率参照

7. 震源を特定せず策定する地震動 検討の概要

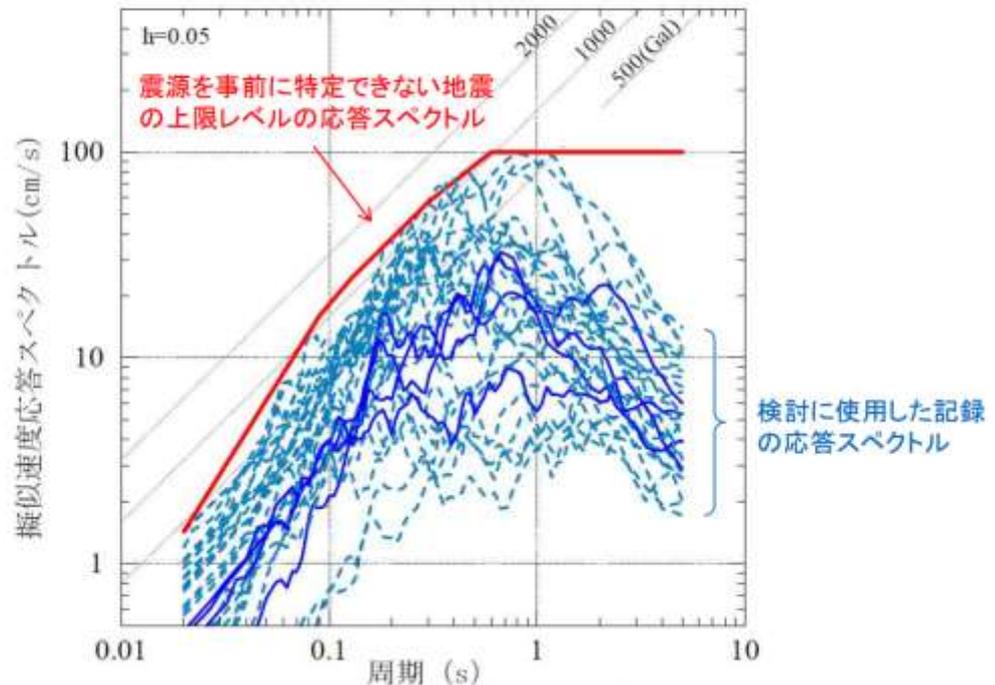
- 敷地周辺の状況等を十分考慮した詳細な調査を実施しても、なお敷地近傍において発生する可能性のある内陸地殻内地震のすべてを事前に評価しうるとは言い切れないとの観点から、「震源を特定せず策定する地震動」を考慮する。

評価方法

- 震源と活断層を関連づけることが困難な過去の内陸地殻内地震を検討対象地震として選定し、それらの地震時に得られた震源近傍における観測記録を収集し、敷地の地盤物性を加味した応答スペクトルを設定する。

既往の知見

- 加藤ほか(2004)は、内陸地殻内地震を対象として、詳細な地質学的調査によっても震源位置と地震規模を予め特定できない地震による震源近傍の硬質地盤上の強震記録を用いて、震源を事前に特定できない地震による地震動の上限スペクトルを設定している。
- 加藤ほか(2004)による水平方向の応答スペクトルに対し、日本電気協会(2008)に基づき、Noda et al.(2002)の方法により求められる地盤増幅特性を用いて評価した、水平方向及び鉛直方向の応答スペクトルを、震源を特定せず策定する地震動の評価において参考とする。



加藤ほか(2004)より抜粋(一部加筆・修正)

7. 震源を特定せず策定する地震動 検討の概要

審査ガイド例示16地震に関する検討

① M_w 6.5以上の地震

- 2008年岩手・宮城内陸地震(M_w 6.9)
敷地周辺は、火山岩が厚く分布する地域ではなく該当しない。
- 2000年鳥取県西部地震(M_w 6.6)
敷地周辺は、活断層の密度が少なく活動度が低い地域ではなく該当しない。

② M_w 6.5未満の地震（特定できる地震の余震除く）

- 下記の流れに従い、震源を特定せず策定する地震動として反映すべき記録であるか検討を実施。
- 検討の結果、2004年北海道留萌支庁南部地震の観測記録を反映。

Step1 記録収集

- ①防災科研KiK-net及びK-NET観測点
- ②地盤条件
KiK-net：地盤情報有り
K-NET：岩盤+
 $AVS_{30} \geq 500\text{m/s}$
- ③震央距離30km以内

Step2 応答 μ ・ ω の比較

- 加藤ほか(2004)と暫定的に比較し、重点的に検討すべき観測記録の抽出
- KiK-net：地中観測記録と加藤ほか(2004)の1/2
 - K-NET：地表観測記録と加藤ほか(2004)

Step3 記録の分析

- 震源を特定せず策定する地震動として反映すべき記録であるかの検討
- はざとり解析を行い、解放基盤表面相当の地震動が推定可能であるか。
 - 観測点固有のサイト特性の影響が含まれていないか。等

まとめ

- 2004年北海道留萌支庁南部地震の観測記録を踏まえた地震動を震源を特定せず策定する地震動として考慮する。

表-1 収集対象となる内陸地殻内の地震の例

No	地震名	日時	規模
1	2008年岩手・宮城内陸地震	2008/06/14, 08:43	Mw6.9
2	2000年鳥取県西部地震	2000/10/06, 13:30	Mw6.6
3	2011年長野県北部地震	2011/03/12, 03:59	Mw6.2
4	1997年3月鹿児島県北西部地震	1997/03/26, 17:31	Mw6.1
5	2003年宮城県北部地震	2003/07/26, 07:13	Mw6.1
6	1996年宮城県北部(鬼首)地震	1996/08/11, 03:12	Mw6.0
7	1997年5月鹿児島県北西部地震	1997/05/13, 14:38	Mw6.0
8	1998年岩手県内陸北部地震	1998/09/03, 16:58	Mw5.9
9	2011年静岡県東部地震	2011/03/15, 22:31	Mw5.9
10	1997年山口県北部地震	1997/06/25, 18:50	Mw5.8
11	2011年茨城県北部地震	2011/03/19, 18:56	Mw5.8
12	2013年栃木県北部地震	2013/02/25, 16:23	Mw5.8
13	2004年北海道留萌支庁南部地震	2004/12/14, 14:56	Mw5.7
14	2005年福岡県西方沖地震の最大余震	2005/04/20, 06:11	Mw5.4
15	2012年茨城県北部地震	2012/03/10, 02:25	Mw5.2
16	2011年和歌山県北部地震	2011/07/05, 19:18	Mw5.0

原子力規制委員会(2013)より抜粋

7. 震源を特定せず策定する地震動

①M_w6.5以上の地震

- M_w6.5以上の地震である2008年岩手・宮城内陸地震及び2000年鳥取県西部地震の2地震については、震源域の地域性について整理・分析を実施。

	柏崎刈羽原子力発電所 敷地周辺	2008年 岩手・宮城内陸地震	2000年 鳥取県西部地震
活断層の密度・ 活動度・変位センス	詳細な調査により多数の活断層を認定 ひずみ集中帯 (日本海東縁部) 逆断層が卓越	多数の活断層が発達 ひずみ集中帯 (東北脊梁歪集中帯) 逆断層が卓越	活断層が非常に少なく活動度も低い 活断層の未成熟な地域 横ずれ断層が卓越
火山	火山フロントより隔離あり 地殻熱流量が低い	火山フロントに近接 地殻熱流量が高い 後期新生代にカルデラが形成	火山フロントに近接
地質	新第三紀～第四紀堆積岩類	新第三紀堆積岩類 第四紀火山噴出物	白亜紀～古第三紀の花崗岩類
地震地体構造区分 垣見ほか(2003)	13 日本海東縁変動帯	8C 東北日本弧内帯	10C5 中国山地・瀬戸内海
地震発生層	6～17km	1～10km程度	2～12km程度

- 敷地周辺は、**カルデラや厚い火山噴出物が分布する地域ではなく**、2008年岩手・宮城内陸地震震源域と異なる。
- 敷地周辺は、**活断層の密度が少なく活動度が低い地域でなく**、2000年鳥取県西部地震と異なる。
- 敷地周辺は、**地震発生層の上端が6kmと深く**、上記2地震と異なる。

地震発生層の上端が深いことにより震源が遠くなるため地震動レベルは小さくなると考えられる。一方、活断層の認定の観点については、敷地周辺は断層関連褶曲が発達していることから、中越地震や中越沖地震のように、調査によって活断層を認定しやすい環境にあると考えられる。

- 以上より、M_w6.5以上の2地震については、地域差が認められ考慮する必要はないものと考えられる。

7. 震源を特定せず策定する地震動

②M_w6.5未満の地震

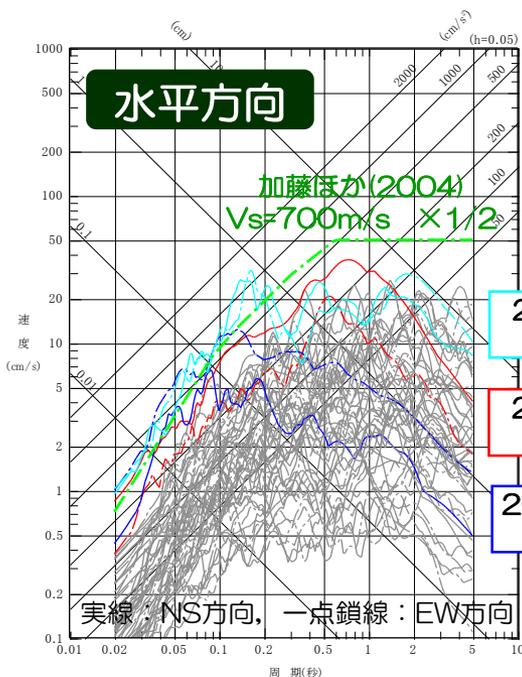
Step1 記録収集

- 防災科研KiK-net及びK-NET観測点のうち以下の条件を満たす観測点を整理。
 - ①地盤条件：KiK-net・・・地盤情報有り　：K-NET・・・岩盤+ AVS₃₀≥500m/s
 - ②震央距離：30km以内

Step2 応答スペクトルの比較

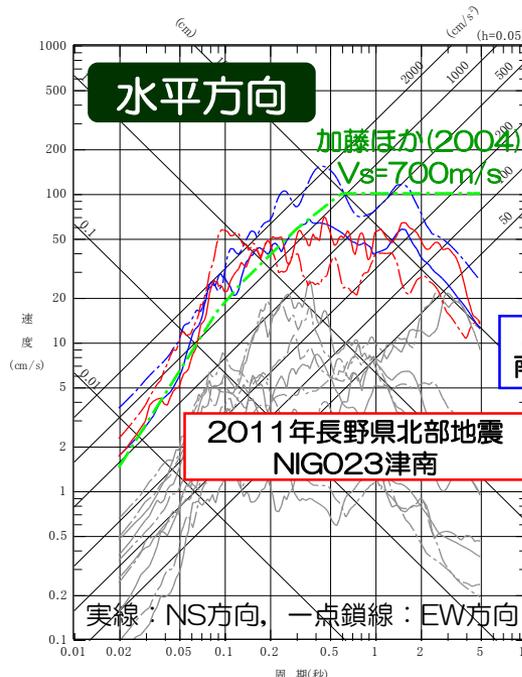
- 加藤ほか(2004)による応答スペクトルと暫定的に比較することで、重点的に検討すべき観測記録を抽出。
- 比較の結果、KiK-net観測点の3つの記録、K-NET観測点の2つの記録を抽出。

KiK-net観測記録



はざとり解析を実施し、地表の影響を除いた後に比較すべきであるが、暫定的に地中記録による擬似速度応答スペクトルと加藤ほか(2004)によるスペクトルの1/2倍を比較。

K-NET観測記録



はざとり解析を実施し、地表の影響を除いた後に比較すべきであるが、暫定的に地表面の観測記録による擬似速度応答スペクトルと加藤ほか(2004)によるスペクトルを比較。

7. 震源を特定せず策定する地震動

②M_w6.5未満の地震

Step3 記録の分析

- 2004年北海道留萌支庁南部地震のHKD020港町観測点で得られた記録については、信頼性の高いはざとり波を評価できたと考えられるため、震源を特定せず策定する地震動として考慮する。
- 上記以外の地震の観測記録については、現状の知見では解放基盤波の信頼性に課題があるため、今後も継続的に知見の収集とはざとり解析等の検討を進め、信頼性の高い解放基盤波の算定を試みる。

地震名	2011年 長野県北部地震	2011年 茨城県北部地震	2013年 栃木県北部地震	2004年 北海道留萌支庁南部地震	2011年 和歌山県北部地震
発震日時	2011.03.12 03:59	2011.03.19 18:56	2013.02.25 16:23	2004.12.14 14:56	2011.07.05 19:18
観測点 赤: KiK-net 青: K-NET	NIG023津南	IBRH13高萩	TCGH07栗山西	HKD020港町	WKYHO1広川
地盤モデル	使用モデル	・地盤情報が乏しくモデルが構築できない	・地表及び地中観測記録に基づく地盤同定モデル	・佐藤ほか(2013)のボーリング結果に基づく地盤モデル	・地表及び地中観測記録に基づく地盤同定モデル
	既往の知見との整合性	・地盤モデルに係る既往の知見が無い。	・KiK-net地盤データと整合しない ・知見で指摘されている減衰の影響が不明	・KiK-net地盤データと整合しない ・知見で指摘されている減衰・方位依存性の影響が不明	・KiK-net地盤データと整合しない ・知見で指摘されている減衰の影響が不明
	更なる知見収集・検討事項	・地質調査、微動探査等による地盤情報の取得	・地盤モデルの改良 ・知見で指摘されている特性に係るデータの取得と影響度合いの評価	・地盤モデルの改良 ・知見で指摘されている特性に係るデータの取得と影響度合いの評価	・地盤モデルの改良 ・知見で指摘されている特性に係るデータの取得と影響度合いの評価
はざとり解析	解析手法	・地盤モデルが構築できないため、解析できない	・線形解析	・線形解析	・非線形性を考慮した等価線形解析
	精度	・はざとり解析手法の適用性が不明	・はざとり解析手法の適用性が不明	・はざとり解析手法の適用性が不明	・観測事実（非線形性によるサイト増幅の低下）と整合
	更なる知見収集・検討事項	・地表面観測記録の再現解析	・地表面及び地中観測記録の再現解析	・地表面及び地中観測記録の再現解析	・地表面及び地中観測記録の再現解析
結果の信頼性	×	×	×	○	×

7. 震源を特定せず策定する地震動

②M_w6.5未満の地震 2004年北海道留萌支庁南部地震に関する検討

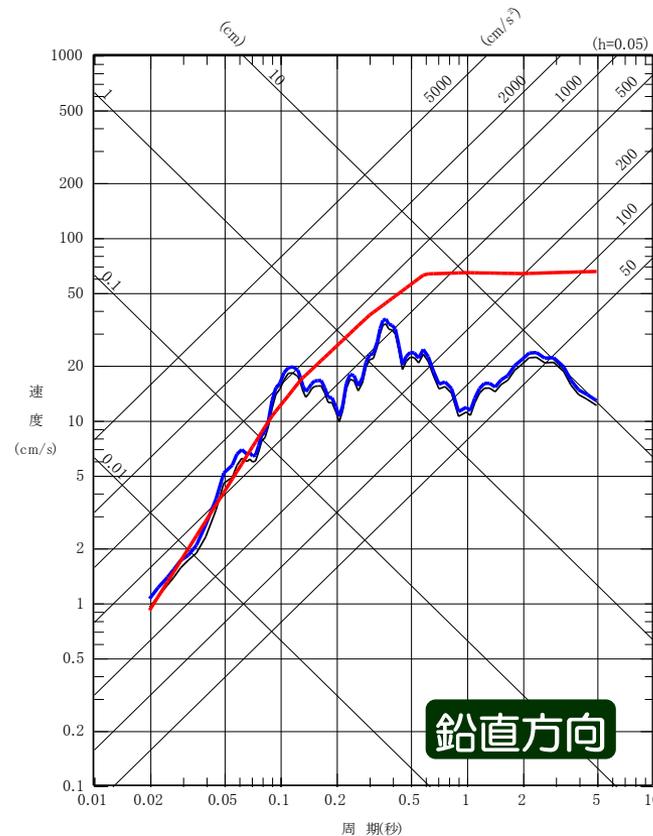
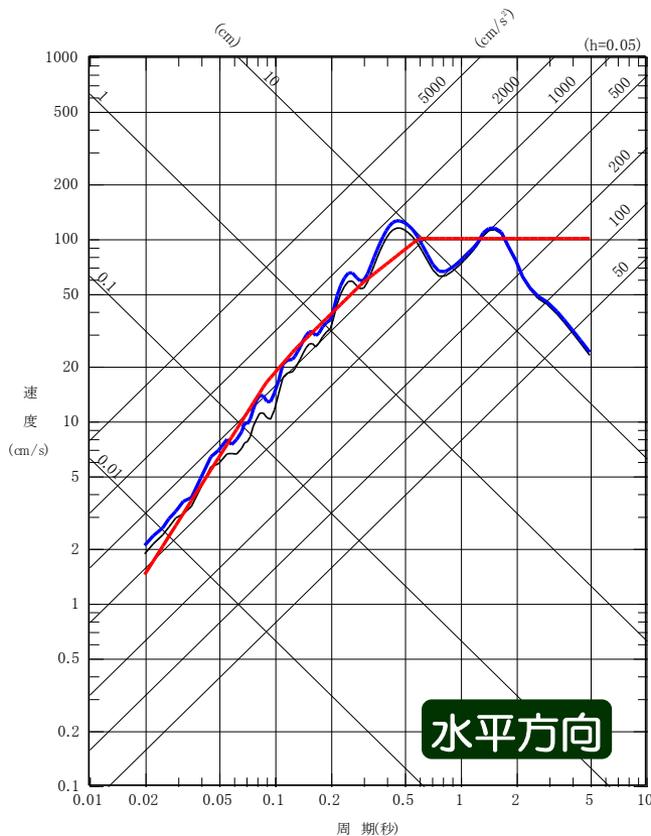
- 佐藤ほか(2013)では、K-NET観測点のHKDO20 港町について、GL-6mまでの室内試験結果を考慮した非線形解析を行い、GL-41mの基盤面における基盤地震動を評価している（GL-6m以深は線形解析を仮定、減衰定数は1%に設定）。【水平方向：585cm/s²，鉛直方向：296cm/s²】
- 上記の基盤地震動の評価結果について検証するため、以下の検討を実施。
 - ① 佐藤ほか(2013)の報告時点以降に得られた、GL-6mからGL-41mまでの室内試験結果を用い、GL-41mまで非線形性を考慮して基盤地震動（水平方向）を評価。【水平方向：561cm/s²】
 - ② 不確かさを考慮した基盤地震動の評価として、GL-6mまで非線形、GL-6m以深は減衰定数を3%として基盤地震動（水平方向）を評価。【水平方向：609cm/s²】
 - ③ 佐藤ほか(2013)の報告時点以降に得られたPS検層の再測定結果から、地盤モデルを変更して基盤地震動（鉛直方向）を評価（解析方法は佐藤ほか(2013)と同様）。【鉛直方向：306cm/s²】
 - ④ HKDO20 港町における地下水位の状況を踏まえ、GL-6mまではポアソン比一定、GL-6m以深は体積弾性率一定として基盤地震動（鉛直方向）を評価。【鉛直方向：262cm/s²】
- 上記検討に加え、基盤相当位置の地盤物性の相違（HKDO20港町観測点：Vs=938m/sと敷地（5号機側）：Vs=730m/s程度）による影響等を考慮して基盤地震動を評価。水平方向609cm/s²，鉛直方向306cm/s²の基盤地震動を用いて評価した結果、水平方向は643cm/s²，鉛直方向は310cm/s²となった。
- 一方、地震基盤から解放基盤表面までの増幅特性に関しては、柏崎刈羽原子力発電所の敷地周辺及び敷地内の地下構造の影響により地震波の到来方向により異なることが明らかとなっているが、HKDO20港町観測点のやや深部の増幅特性に関しては十分に明らかとなっていないものと考えられる。「震源を特定せず策定する地震動」の候補としては、HKDO20港町観測点の増幅特性が含まれたままの佐藤ほか(2013)による基盤地震動を重視し、これに対する不確かさを考慮した検討結果を参照し、さらには、敷地の地盤物性等を考慮して保守的に設定することとした。
なお、柏崎刈羽原子力発電所の敷地周辺及び敷地内の地下構造の影響については、「震源を特定して策定する地震動」の評価において適切に反映している。

7. 震源を特定せず策定する地震動

■ 2004年北海道留萌支庁南部地震HKD020港町観測点の基盤地震動に基づき震源を特定せず策定する地震動を策定する。はざとり解析の不確かさ及び敷地の地盤物性の影響を考慮した結果、水平方向：643cm/s²、鉛直方向：310cm/s²と評価され、これに対して保守性を考慮して、水平方向：650cm/s²、鉛直方向：330cm/s²の地震動を震源を特定せず策定する地震動として設定する。

擬似速度応答スペクトル

— 佐藤ほか(2013)の推計結果 (水平方向:585cm/s², 鉛直方向:296cm/s²)
 — 震源を特定せず策定する地震動 (水平方向:650cm/s², 鉛直方向:330cm/s²)
 — 【参考】加藤ほか(2004)による応答スペクトル (水平方向：S波速度=700m/s, 鉛直方向：P波速度=2,000m/s)



1. 概要
2. 敷地周辺の地震発生状況
3. 活断層の分布状況
4. 地震の分類
5. 敷地における地震波の増幅特性
6. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
7. 震源を特定せず策定する地震動
8. 基準地震動の策定
9. 基準地震動の超過確率参照

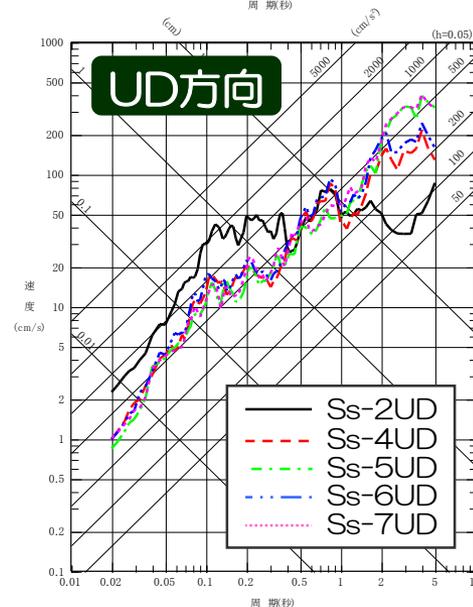
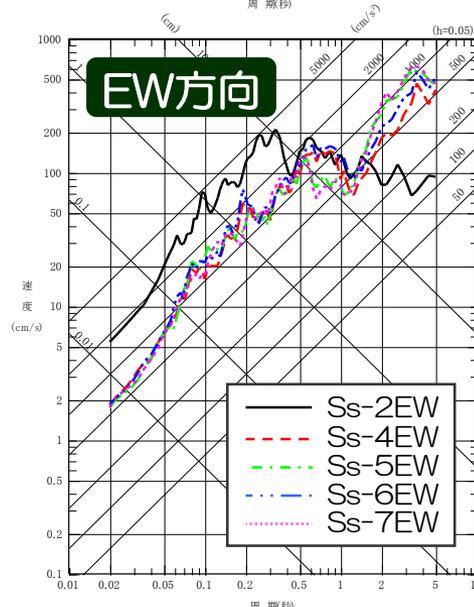
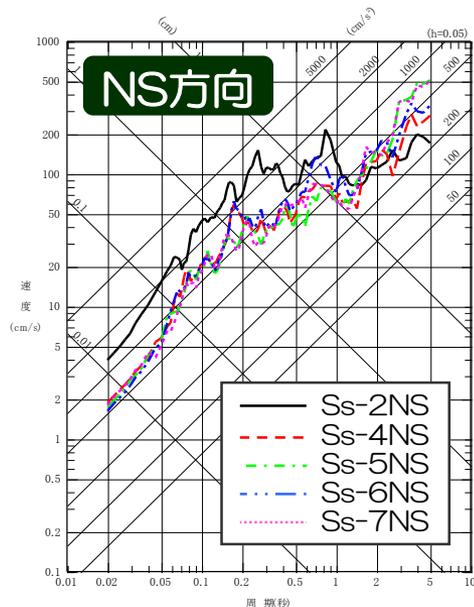
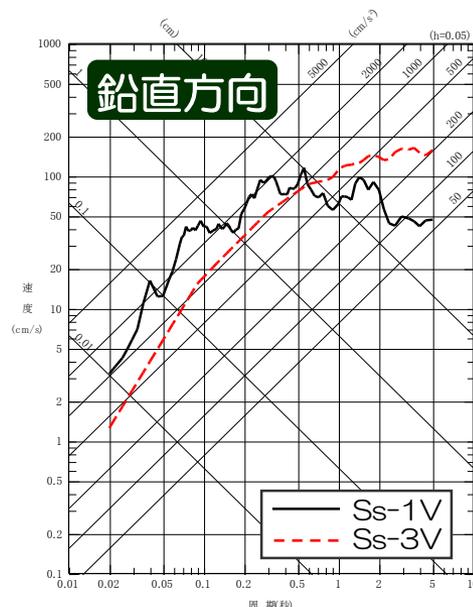
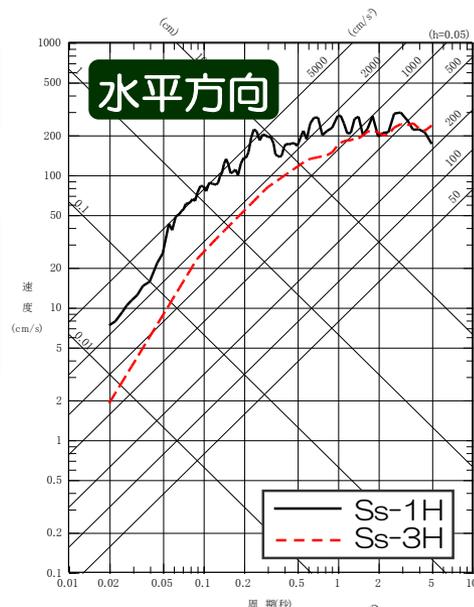
8. 基準地震動の策定

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動 荒浜側

- 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動として「F-B断層による地震」, 「長岡平野西縁断層帯による地震」の応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた手法による地震動評価の結果を踏まえて基準地震動Ss-1~7を策定。
- 設計用応答スペクトル, 模擬地震波を設定。

設計用応答スペクトル

応答スペクトルに基づく地震動評価による基準地震動



断層モデルを用いた手法による地震動評価による基準地震動

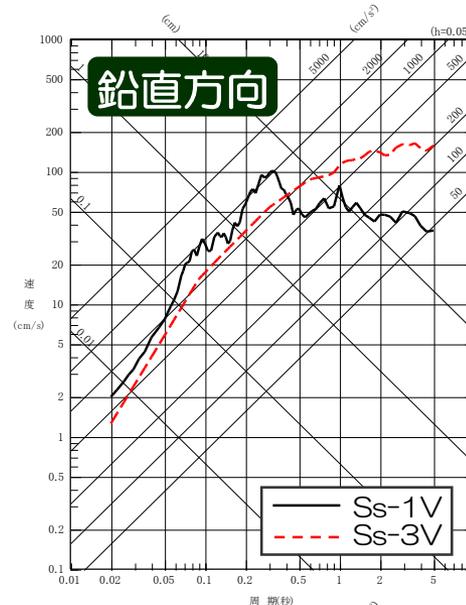
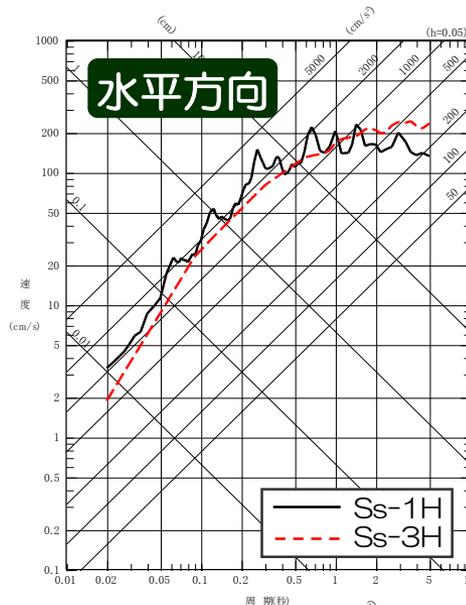
8. 基準地震動の策定

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動 大湊側

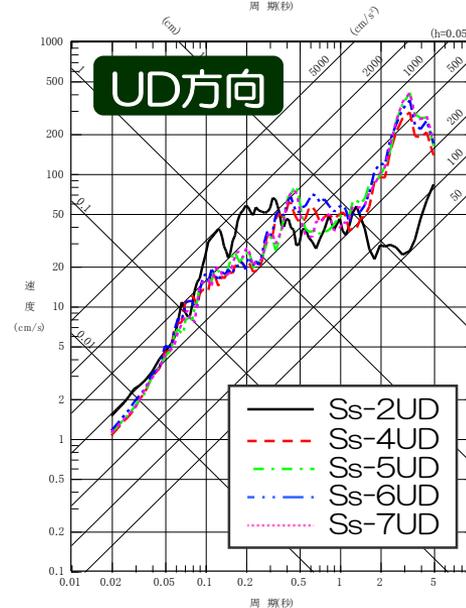
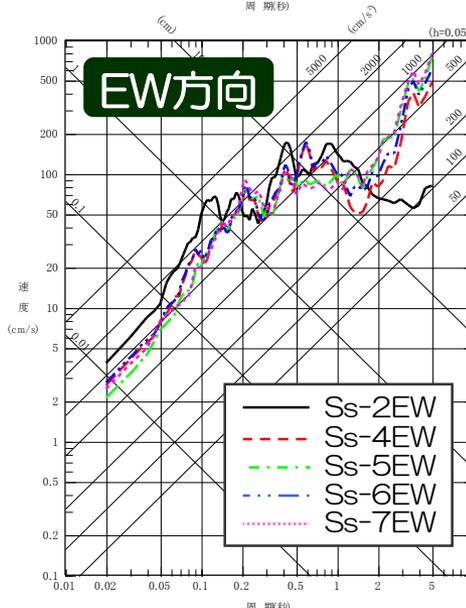
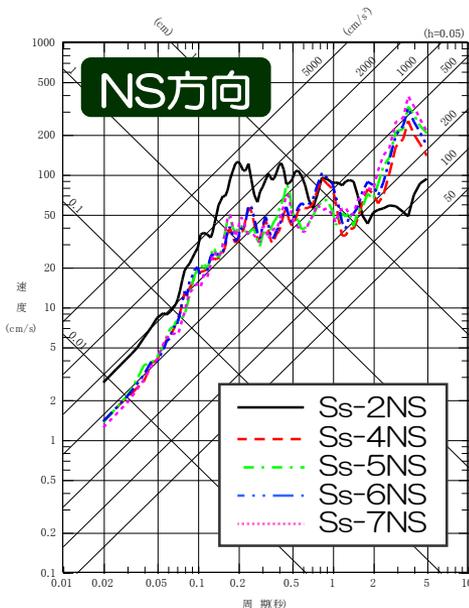
- 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動として「F-B断層による地震」, 「長岡平野西縁断層帯による地震」の応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた手法による地震動評価の結果を踏まえて基準地震動Ss-1~7を策定。
- 設計用応答スペクトル, 模擬地震波を設定。

設計用応答スペクトル

応答スペクトルに基づく地震動評価による基準地震動



断層モデルを用いた手法による地震動評価による基準地震動

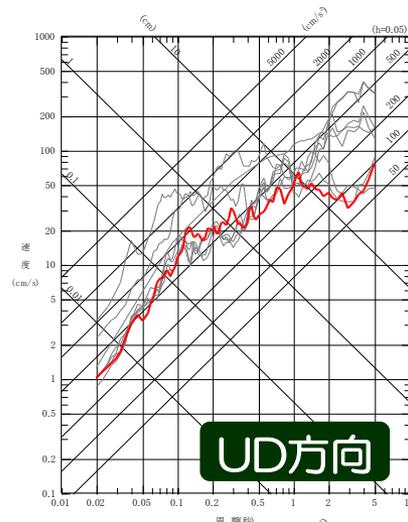
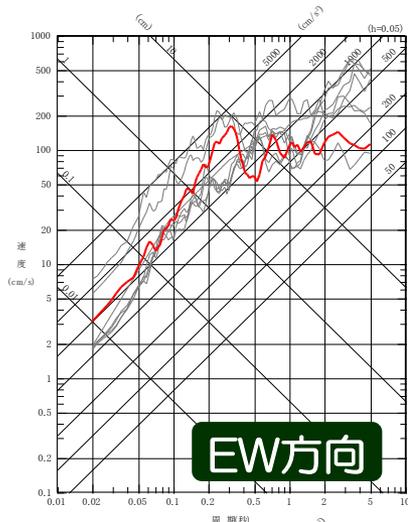
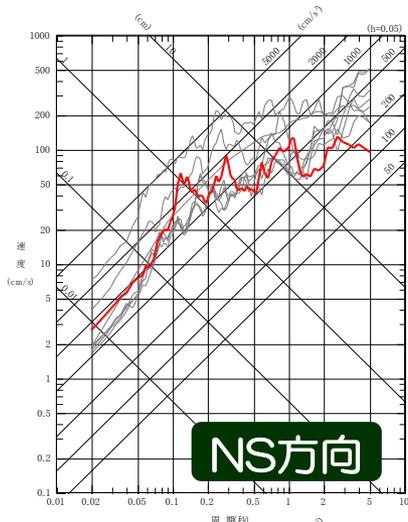


8. 基準地震動の策定

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 海域の連動

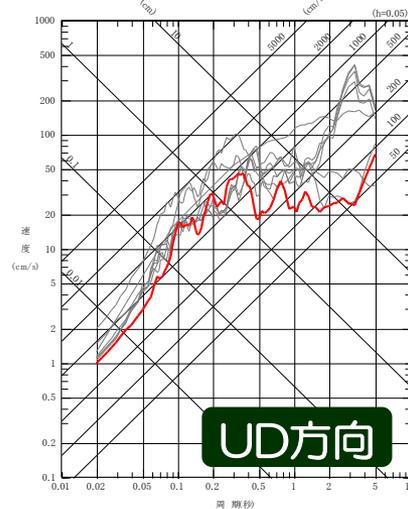
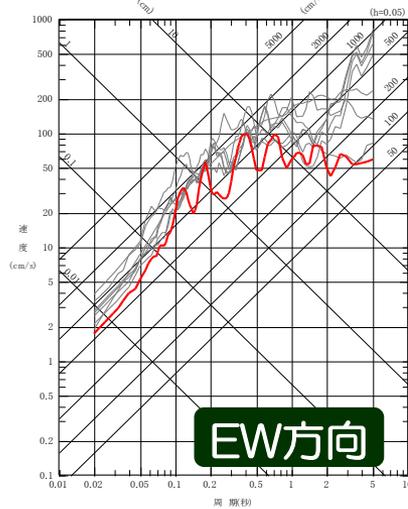
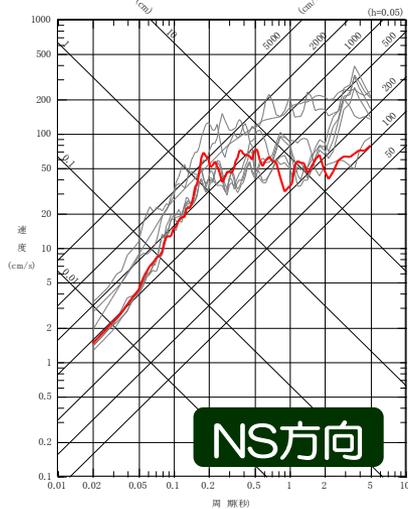
■ 佐渡島南方断層～魚津断層帯による地震の地震動評価結果は、基準地震動Ss-1～Ss-7を著しく超過する地震動レベルではなく、敷地における基準地震動の策定に大きな影響を与えるものではないと考えられる。

荒浜側



— 佐渡島南方断層～魚津断層帯による地震の地震動評価結果
— 基準地震動Ss-1～7

大湊側



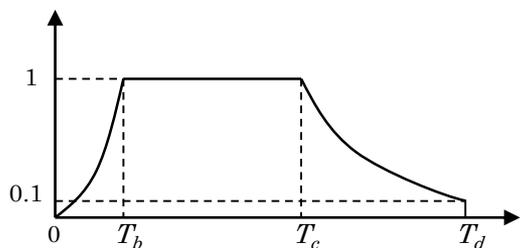
8. 基準地震動の策定

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動 模擬地震波

- 応答スペクトルに基づく地震動評価による基準地震動（Ss-1及びSs-3）の模擬地震波は、位相角を一様乱数とした正弦波を重ね合わせて、目標とする応答スペクトルに適合するように補正して作成する。
- 振幅包絡線の経時的変化については、Noda et al.(2002)に基づくものとする。
- 作成した模擬地震波は、日本電気協会(2008)による、以下の適合度の条件を満足していることを確認。
 - ① 目標とする応答スペクトル値に対する模擬地震波の応答スペクトル値の比が0.85以上
 - ② 応答スペクトル強さの比（SI比）が1.0以上

模擬地震波の振幅包絡線の経時的変化

基準地震動	地震規模 (M)	等価震源距離 (Xeq) (km)	振幅包絡線の経時的変化 (秒)		
			Tb	Tc	Td
Ss-1	7.0	13	3.72	16.30	31.85
Ss-3	8.1	25	13.18	40.10	74.13

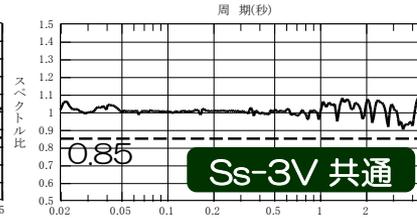
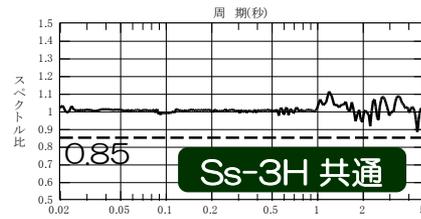
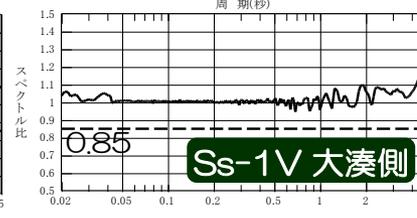
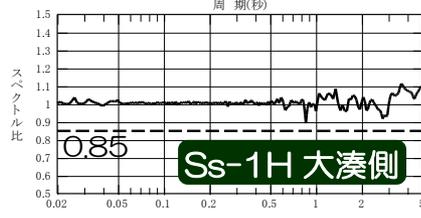
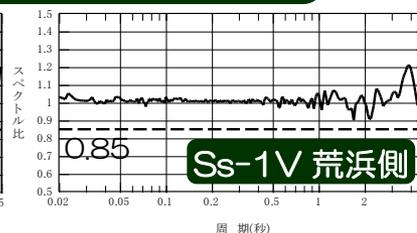
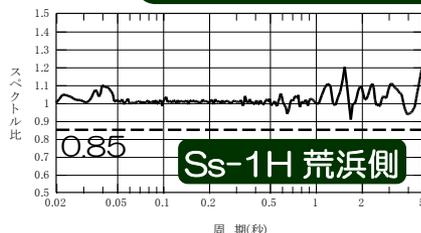


$$T_b = 10^{0.5M - 2.93}$$

$$T_c - T_b = 10^{0.3M - 1.0}$$

$$T_d - T_c = 10^{0.17M + 0.54 \log X_{eq} - 0.6}$$

目標とする応答スペクトル値に対する
模擬地震波の応答スペクトル値の比



応答スペクトル強さの比 (SI比)

模擬地震波	作成結果	
	最大加速度 (cm/s ²)	SI比
Ss-1H 荒浜側	2300	1.03
Ss-1V 荒浜側	1050	1.00
Ss-1H 大湊側	1050	1.01
Ss-1V 大湊側	650	1.02
Ss-3H 共通	600	1.01
Ss-3V 共通	400	1.02

$$SI比 = \frac{\int_{0.1}^{2.5} S_v(T) dt}{\int_{0.1}^{2.5} \bar{S}_v(T) dt} : \text{応答スペクトル強さの比}$$

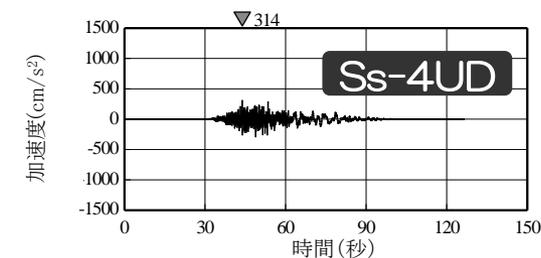
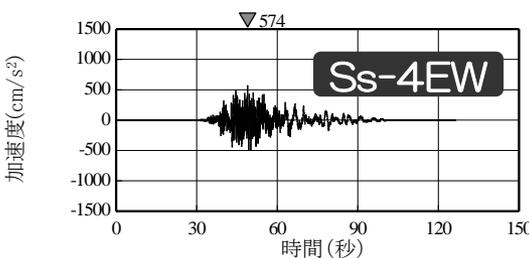
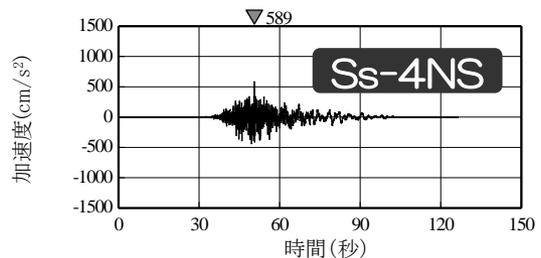
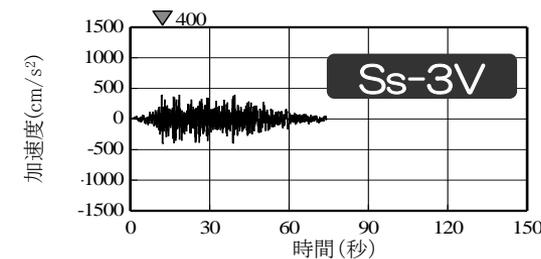
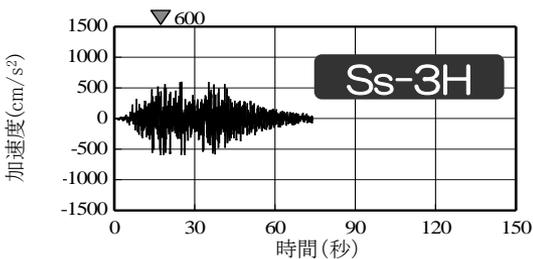
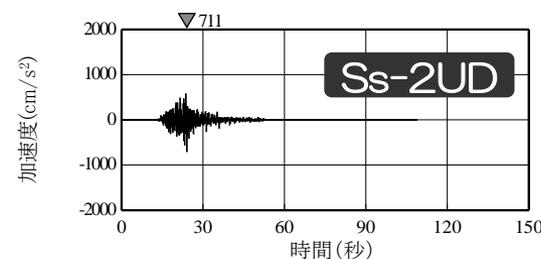
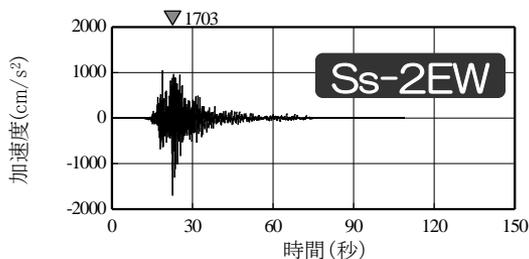
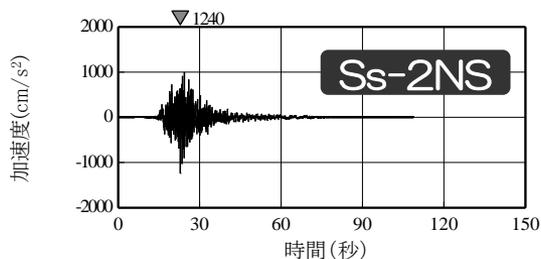
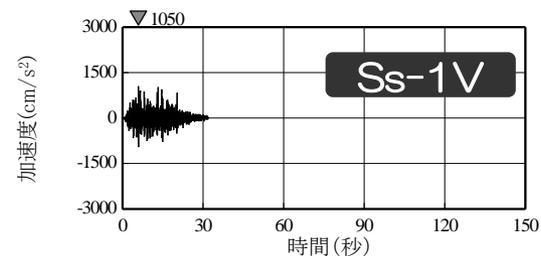
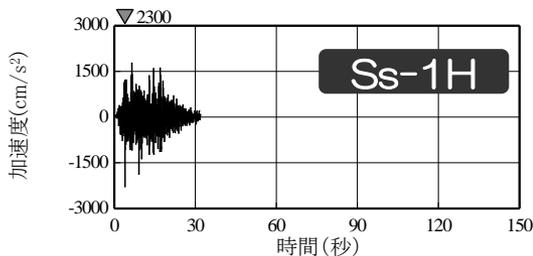
$S_v(T)$: 模擬地震波の応答スペクトル (cm/s)
 $\bar{S}_v(T)$: 目標とする応答スペクトル (cm/s)
 T : 固有周期 (s)

- 断層モデルを用いた手法による地震動評価による基準地震動については、波形合成結果を採用。

8. 基準地震動の策定

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動 模擬地震波

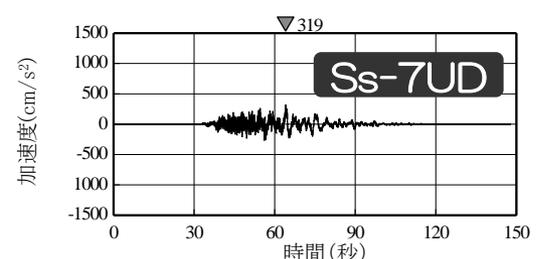
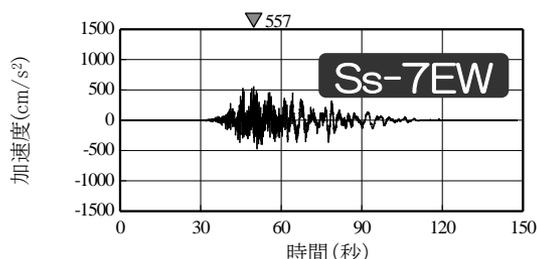
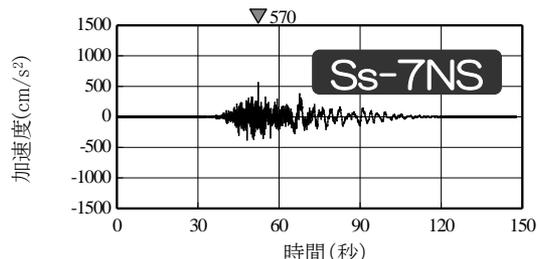
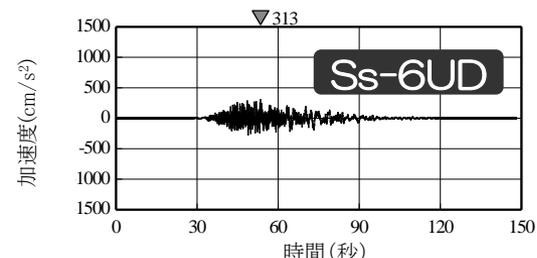
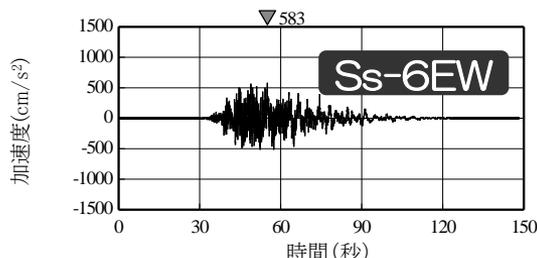
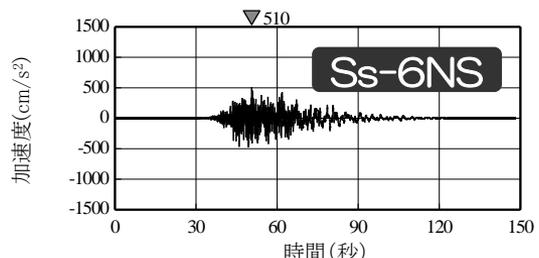
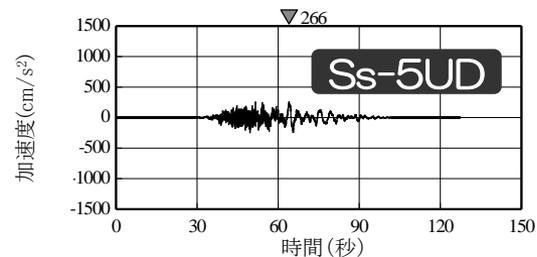
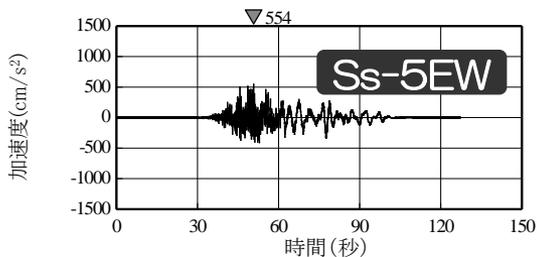
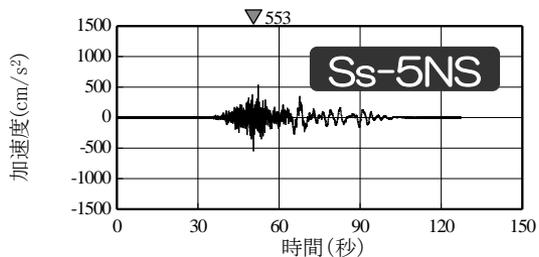
荒浜側



8. 基準地震動の策定

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動 模擬地震波

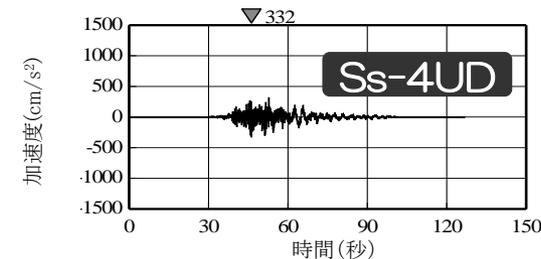
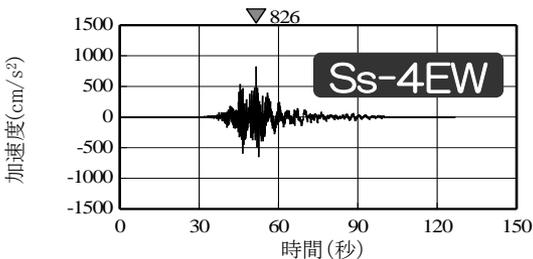
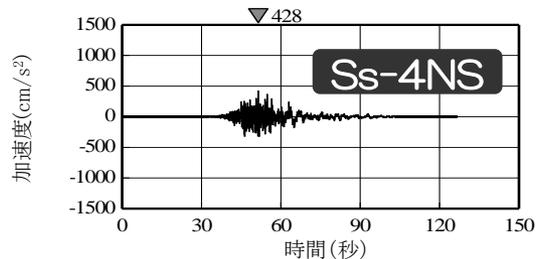
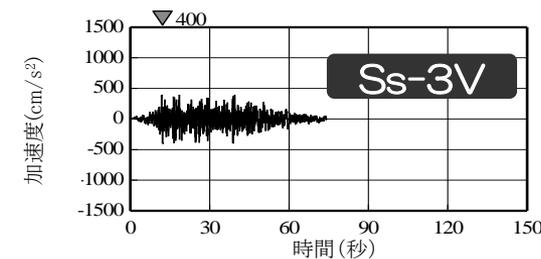
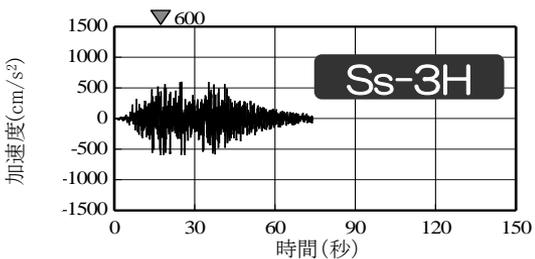
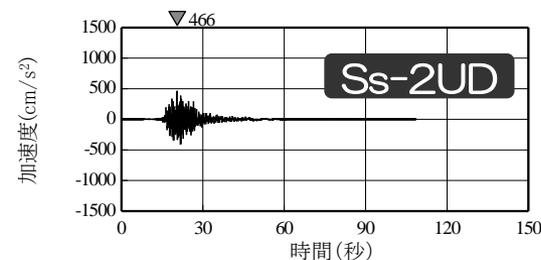
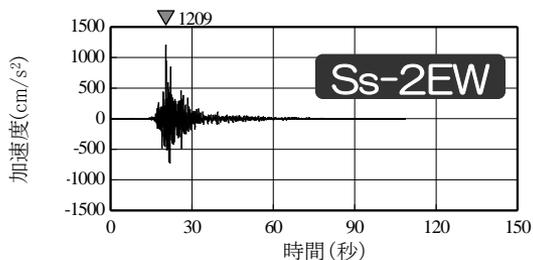
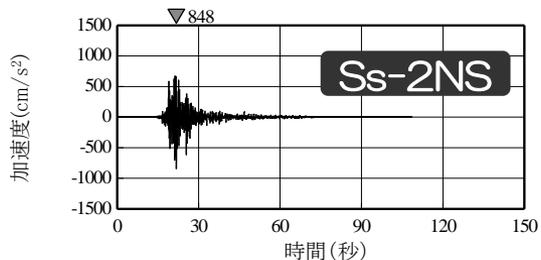
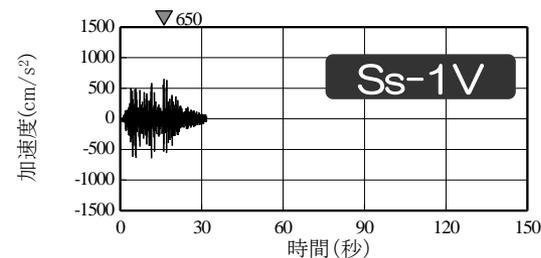
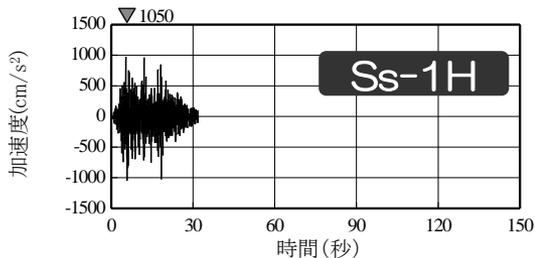
荒浜側



8. 基準地震動の策定

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動 模擬地震波

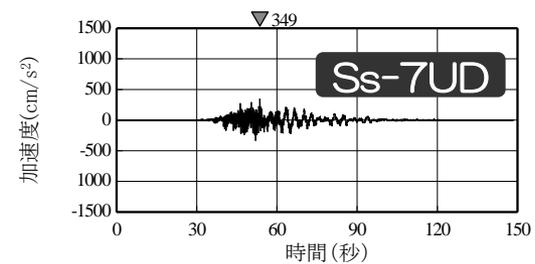
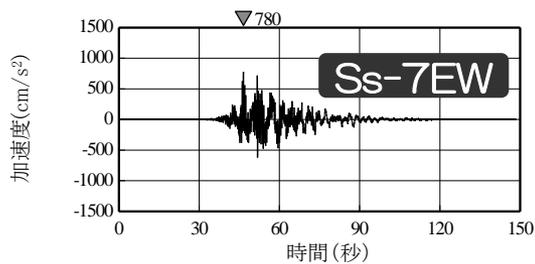
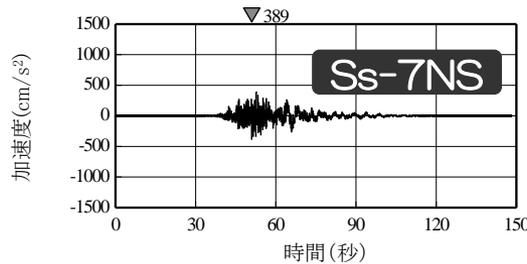
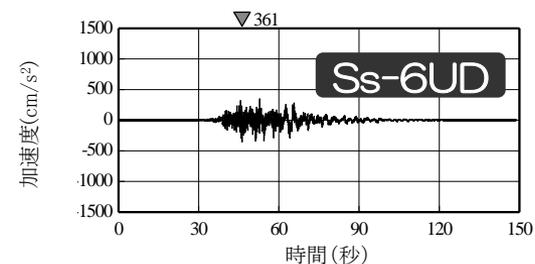
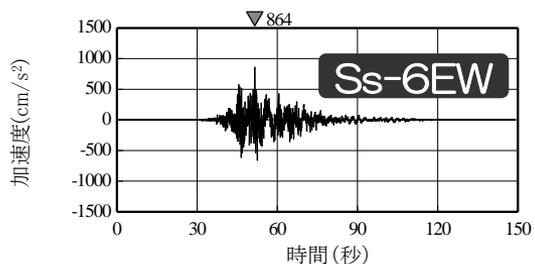
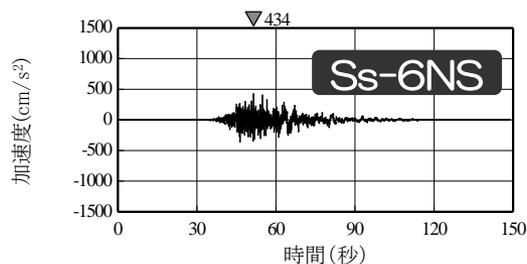
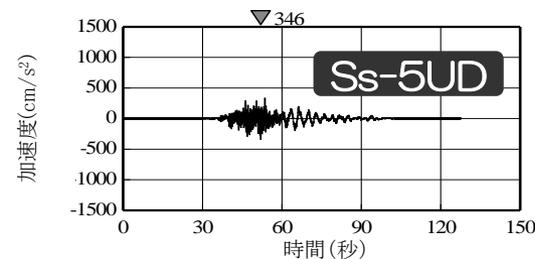
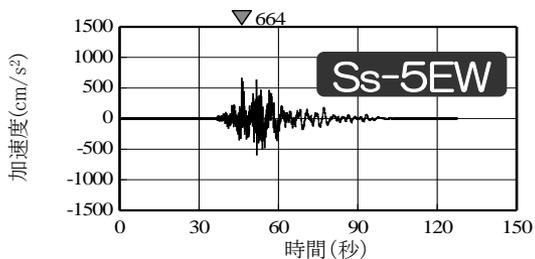
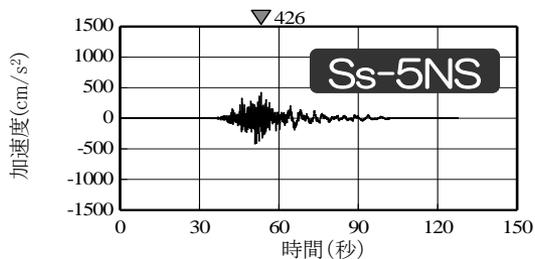
大湊側



8. 基準地震動の策定

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動 模擬地震波

大湊側



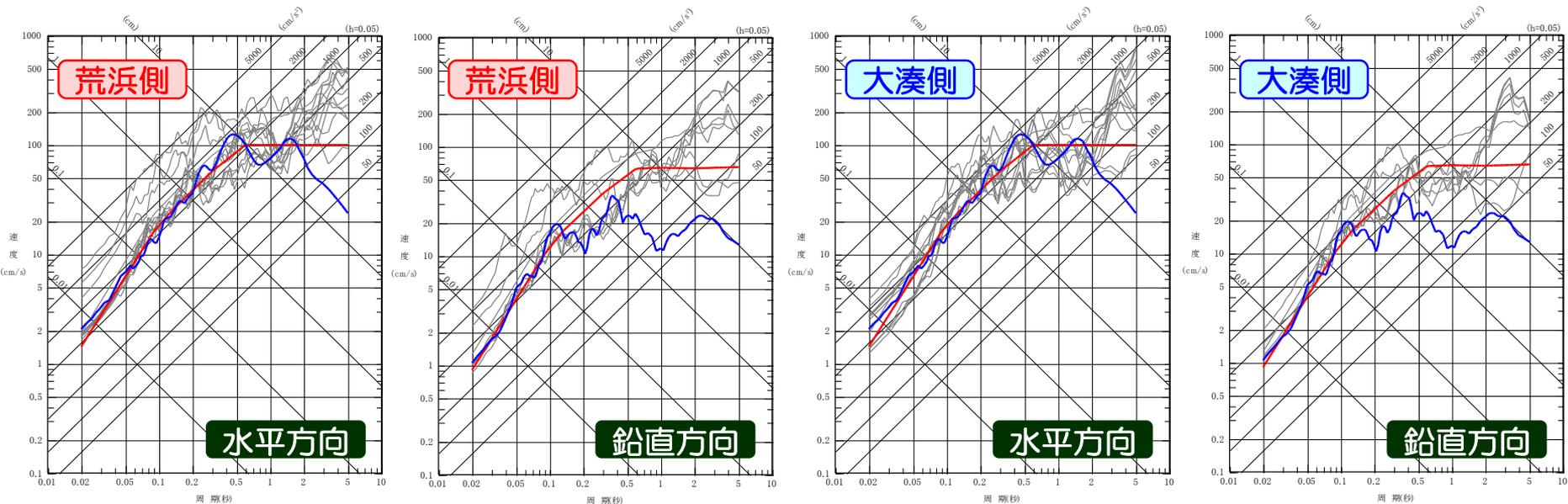
8. 基準地震動の策定

震源を特定せず策定する地震動による基準地震動

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動との比較によると、大湊側では、一部の周期帯で上回ることから、震源を特定せず策定する地震動を基準地震動Ss-8として大湊側を対象に策定する。

擬似速度応答スペクトル

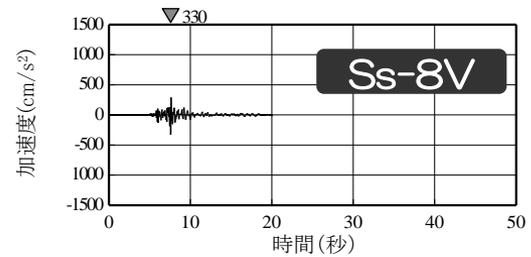
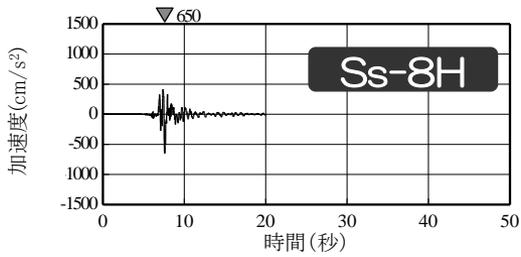
- 震源を特定せず策定する地震動 (水平方向:650cm/s², 鉛直方向:330cm/s²)
- 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動Ss-1~7
- 【参考】加藤ほか(2004)による応答スペクトル (水平方向: S波速度=700m/s, 鉛直方向: P波速度=2,000m/s)



敷地ごとに震源を特定して策定する地震動と震源を特定せず策定する地震動の比較

加速度時刻歴波形

大湊側



8. 基準地震動の策定 基準地震動の一覧

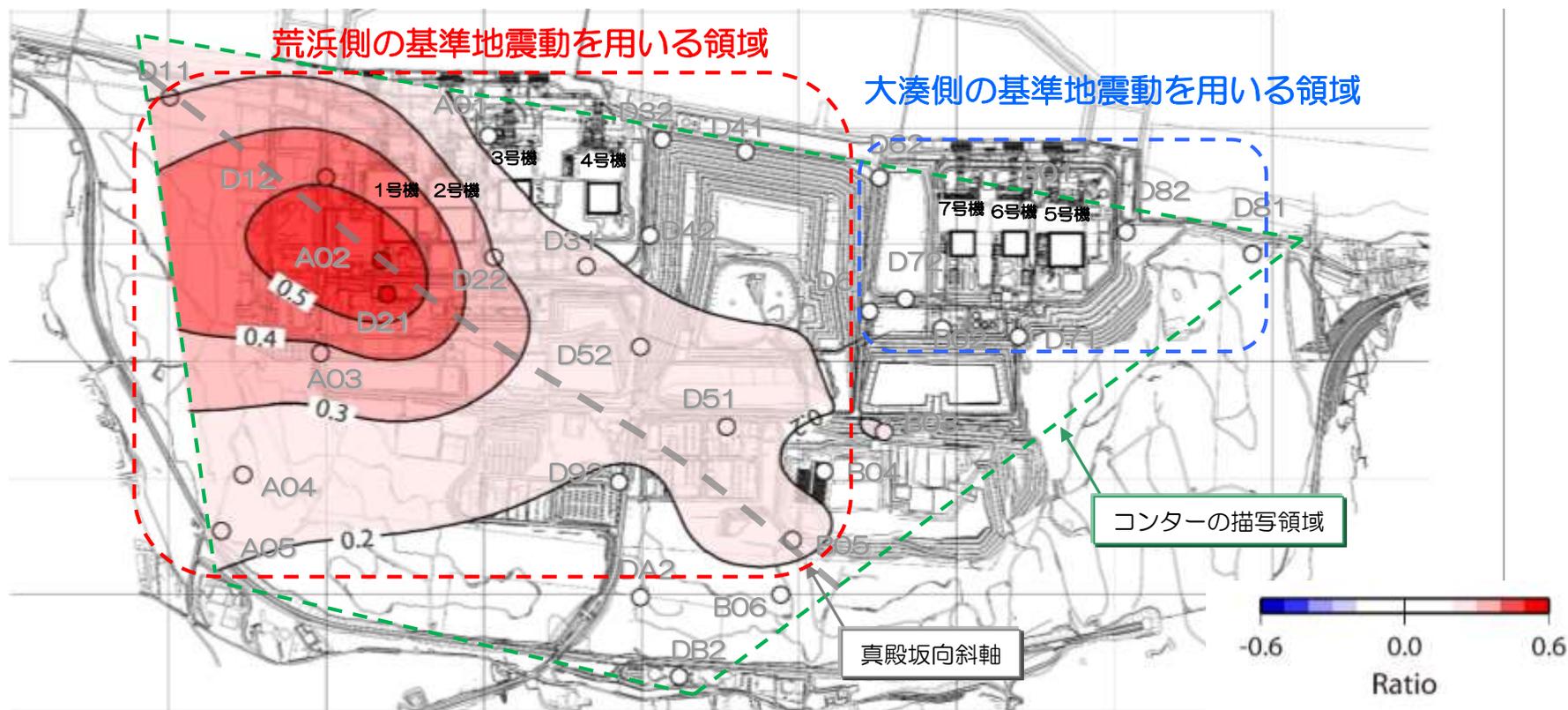
- 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動として「F-B断層による地震」, 「長岡平野西縁断層帯による地震」の応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた手法による地震動評価の結果を踏まえて基準地震動Ss-1~7を策定。
- 震源を特定せず策定する地震動として, 2004年北海道留萌支庁南部地震を考慮した地震動を踏まえて, 大湊側において基準地震動Ss-8を策定。
- なお, 長岡平野西縁断層帯による地震のSs-4~Ss-7において, 荒浜側と大湊側で, 要素地震の影響により最大加速度値の違いはあるものの, 全体的な地震動レベルは整合的であり, 荒浜側が過小評価となっていないことを確認。

基準地震動	策定内容		最大加速度値 (cm/s ²)								
			荒浜側			大湊側					
			NS方向	EW方向	UD方向	NS方向	EW方向	UD方向			
Ss-1	F-B断層による地震	応答スペクトルに基づく地震動評価		2300		1050	1050		650		
Ss-2		断層モデルを用いた手法による地震動評価		1240	1703	711	848	1209	466		
Ss-3	敷地ごとに震源を特定して策定する地震動	長岡平野西縁断層帯による地震	応答スペクトルに基づく地震動評価	応力降下量1.5倍及び断層傾斜角35° ケースを包絡		600		400	600		400
Ss-4			断層モデルを用いた手法による地震動評価	応力降下量1.5倍		589	574	314	428	826	332
Ss-5				断層傾斜角35°		553	554	266	426	664	346
Ss-6				連動+応力降下量1.5倍		510	583	313	434	864	361
Ss-7				連動+断層傾斜角35°		570	557	319	389	780	349
Ss-8	震源を特定せず策定する地震動	2004年北海道留萌支庁南部地震を考慮した地震動		-	-	-	650		330		

8. 基準地震動の策定

施設の耐震安全性評価に用いる基準地震動について

- 水平アレイ観測記録から、南西から到来する地震波の増幅特性は敷地内において異なることが確認される。
- そのため、施設の耐震安全性評価に用いる基準地震動は、原則として以下の方針とする。
 - 地震波の著しい増幅が認められた領域を含む赤点線部は、荒浜側の基準地震動を用いる。
 - その他の青点線部の領域は、大湊側の基準地震動を用いる。
 - なお、現状、判断にあたり十分なデータが得られていない領域については、周辺の地盤調査結果や地震観測記録等を参照し、必要に応じて追加で地震観測を実施するなど検討したうえで、適切な基準地震動を用いる。



第266回審査会合 資料1より抜粋（一部加筆・修正）

1. 概要
2. 敷地周辺の地震発生状況
3. 活断層の分布状況
4. 地震の分類
5. 敷地における地震波の増幅特性
6. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
7. 震源を特定せず策定する地震動
8. 基準地震動の策定
9. 基準地震動の超過確率参照

9. 基準地震動の超過確率参照 評価方針

- 社団法人日本原子力学会「原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施基準：2007」に基づき、評価を実施。
- 特定震源モデルの設定
 - ・ 特定震源については、以下の5種類に分類してモデル化する。
 - ① サイトから30km程度の範囲内の震源モデル
 - ② サイトから30km程度以遠の震源モデル
 - ③ 日本海東縁部に想定される震源モデル
 - ④ 確率論的津波ハザード評価で考慮している震源モデル
 - ⑤ 敷地への影響が大きい活断層の連動を考慮した震源モデル
- 領域震源モデルの設定
 - ・ 垣見ほか(2003)の領域区分を参照し、敷地から半径150km以内の領域を対象とする。
 - ・ 地震規模と地震発生頻度はグーテンベルグ・リヒター式を用いて設定し、各領域の最大Mは領域内の過去の地震の最大値だけでなく、島崎(2009)の知見も考慮する。
- 地震動伝播モデルの設定
 - ・ Noda et al.(2002)による距離減衰式を用いる。
 - ・ 海域の地震と陸域の地震に対してそれぞれ補正係数を考慮し、ロジックツリーにおいて観測記録に基づく補正の有無を考慮する。
- ロジックツリーの作成
 - ・ 確率論的地震ハザードに大きな影響を及ぼす認識論的不確かさを選定しロジックツリーを作成する。
 - ・ 敷地への影響が大きい活断層の連動を考慮した震源モデルについては、詳細なロジックツリーにより評価する。

9. 基準地震動の超過確率参照 震源モデルの設定 特定震源モデル

①サイトから
30km程度
の範囲内の
震源モデル

- 断層の諸元は地質調査結果に基づき設定。
- 平均活動間隔は地震本部(2009)の知見に基づき設定。F-B断層については、地震本部(2003)における日本海東縁部の長期評価を参考に設定。平均活動間隔が不明なものについては、断層変位量と平均変位速度から算定。
断層変位量： $D=10^{0.6M-4.0}$ 平均変位速度：0.5mm/年（活動度はB級と仮定）
- 発生確率モデルは地震本部(2009)の知見に基づき設定。また、調査等により最新活動時期が推定されたものはBPT分布を用い、不明なものは、ポアソン分布を用いる。

■ 海域の補正係数を用いる震源 ■ 地震本部の知見により推定した値
■ 陸域の補正係数を用いる震源 ■ 地震規模と活動度から算定した値



地質調査結果に基づく敷地周辺の活断層分布

No.	特定震源の名称	分類	地震規模※1	等価震源距離(km)		平均活動間隔(年)	発生確率モデル
				荒浜	大湊		
①	佐渡島棚東縁部断層	海域 (調査結果)	6.8	55	53	5500	ポアソン
②	F-B断層		7.0	13	13	1000	BPT
③	佐渡島南方断層		6.9	23	22	4700	ポアソン
④	F-D断層		6.9	35	36	4700	ポアソン
⑤	高田冲断層		6.8	61	63	4100	ポアソン
⑥	米山冲断層		6.8	25	26	31600	ポアソン
⑦	親不知海脚西縁断層帯～魚津断層帯		7.5	94	96	8000	ポアソン
⑧	角田・弥彦断層	陸域 (調査結果)	7.7	51	49	2450	ポアソン
⑨	気比ノ宮断層		7.1	21	20	2450	ポアソン
⑩	片貝断層		6.8	14	14	2450	ポアソン
⑪	悠久山断層		6.8	27	26	5800	ポアソン
⑫	半蔵金付近のリニアメント		6.8	25	25	2300	ポアソン
⑬	柏崎平野南東縁のリニアメント		6.8	15	16	2300	ポアソン
⑭	山本山断層		6.8	21	21	2300	ポアソン
⑮	水上断層		6.8	15	16	2300	ポアソン
⑯	上米山断層		6.8	17	18	2300	ポアソン
⑰	雁海断層		6.8	17	18	2300	ポアソン
⑱	十日町断層帯西部		7.4	30	32	3300	ポアソン

※1：海域の断層による地震の地震規模は、中越沖地震の知見を踏まえて設定した値を記載。

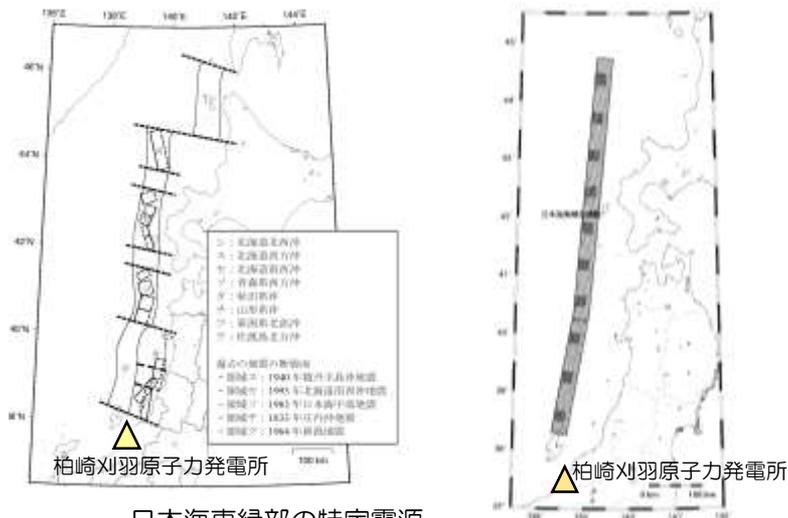
陸域の断層による地震の地震規模は、松田(1975)に基づき設定。ただし、いずれも下限値は6.8としている。

※：海域の断層による地震の地震規模・等価震源距離の算定にあたり、運動を考慮する②～⑥及び⑦は断層傾斜角35°として設定。

9. 基準地震動の超過確率参照 震源モデルの設定 特定震源モデル

③日本海東縁部に想定される震源モデル

- 断層の諸元、平均活動間隔及び発生確率モデルは地震本部(2009)の知見に基づき設定。



日本海東縁部の特定震源

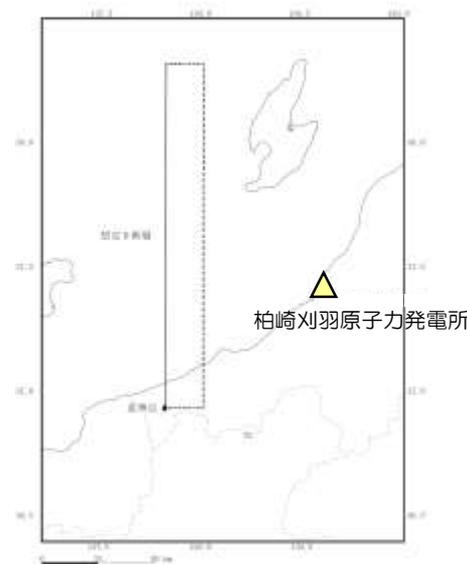
海域の補正係数を用いる震源

地震本部の知見により推定した値

特定震源の名称	分類	地震規模※1	等価震源距離(km)		平均活動間隔(年)	発生確率モデル
			荒浜	大湊		
秋田県沖	東傾斜	7.5	258	257	1000	ポアソン
	西傾斜	7.5	259	257	1000	ポアソン
山形県沖		7.7	169	167	1000	BPT
新潟県北部沖		7.5	117	116	1000	BPT
佐渡島北方沖	東傾斜	7.8	235	233	750	ポアソン
		7.8	199	197	750	ポアソン
		7.8	148	147	750	ポアソン
	西傾斜	7.8	235	234	750	ポアソン
		7.8	199	198	750	ポアソン
		7.8	149	147	750	ポアソン
佐渡島北方沖～北海道西方沖(連動)		8.4	280	278	3900	ポアソン

④確率論的津波ハザード評価で考慮している震源モデル

- 断層の諸元、平均活動間隔及び発生確率モデルは確率論的津波ハザード評価より引用。



確率論的津波ハザード評価で考慮している断層面(想定D断層)

海域の補正係数を用いる震源

地震規模と活動度から算定した値

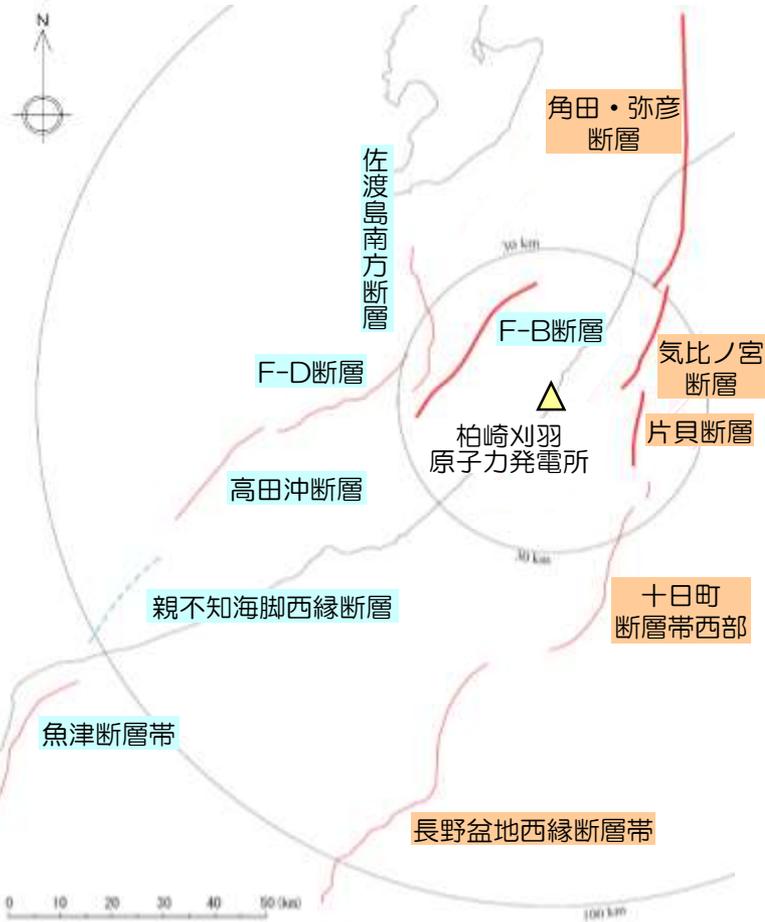
特定震源の名称	分類	地震規模※1	等価震源距離(km)		平均活動間隔(年)	発生確率モデル
			荒浜	大湊		
想定D断層による地震	想定D	8.0	74	75	25000	ポアソン

※1: 佐渡島北方沖～北海道西方沖(連動)及び想定D断層による地震のMは M_w の値を使用。その他の地震のMは地震本部に基づき設定。

9. 基準地震動の超過確率参照 震源モデルの設定 特定震源モデル

⑤敷地への影響が大きい活断層の連動を考慮した震源モデル

- 断層の諸元は地質調査結果に基づき設定。
- 平均活動間隔は、長い断層に合わせる。ただし、長野盆地西縁断層帯及びF-B断層との連動を考慮する場合は、それぞれ両者の活動間隔及び発生確率モデルに従うこととする。



連動を考慮する断層

■ 海域の補正係数を用いる震源 ■ 陸域の補正係数を用いる震源

震源の組み合わせ	分類	地震規模※1	等価震源距離(km)		平均活動間隔(年)	発生確率モデル
			荒浜	大湊		
角田・弥彦～気比ノ宮	陸域連動	7.9	34	32	2450	ポアソン
気比ノ宮～片貝		7.4	16	15	2450	ポアソン
角田・弥彦～片貝 (長岡平野西縁断層帯)		8.1	25	25	2450	ポアソン
長岡平野～十日町断層帯西部		8.4	26	26	2450	ポアソン
長岡平野～長野盆地		8.6	31	31	1650※2	BPT
F-D～高田冲	海域連動	7.3	42	43	4700	ポアソン
佐渡海盆※3～F-B		7.2	15	15	1000	BPT
F-B～佐渡島南方		7.4	16	16	1000	BPT
F-B～F-D～高田冲		7.7	20	20	1000	BPT
佐渡島南方～F-D～高田冲		7.6	31	31	4700	ポアソン
F-D～高田冲～親不知～魚津		7.9	57	58	8000	ポアソン
F-B～佐渡島南方～F-D～高田冲		7.9	21	20	1000	BPT
佐渡海盆※3～F-B～佐渡島南方～ F-D～高田冲		7.9	21	21	1000	BPT
F-B～F-D～高田冲～親不知～魚津		8.0	26	26	1000	BPT
佐渡島南方～F-D～高田冲～親不知～魚津		8.0	41	40	8000	ポアソン
F-B～佐渡島南方～F-D～高田冲～ 親不知～魚津		8.0	26	25	1000	BPT
佐渡海盆※3～F-B～佐渡島南方～ F-D～高田冲～親不知～魚津		8.1	26	25	1000	BPT

※1：陸域の断層による地震のMは、松田(1975)に基づき設定した値を記載。

海域の断層による地震のMは、中越沖地震の知見を踏まえて設定。

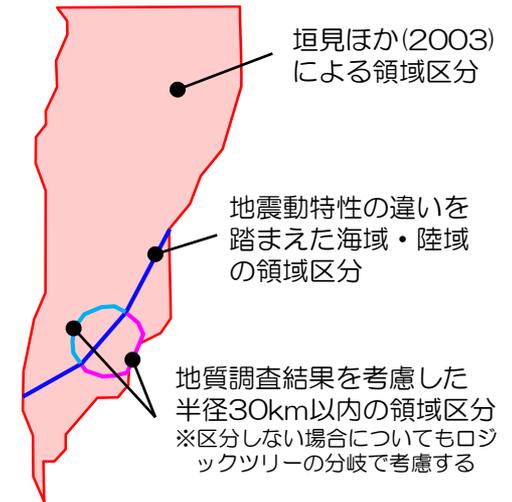
※2：長野盆地西縁断層帯の平均活動間隔は地震本部の知見に基づき設定。

※3：佐渡海盆東縁断層は、地質調査結果からは活断層とは認められないものの、ハザード評価上は考慮することとする。

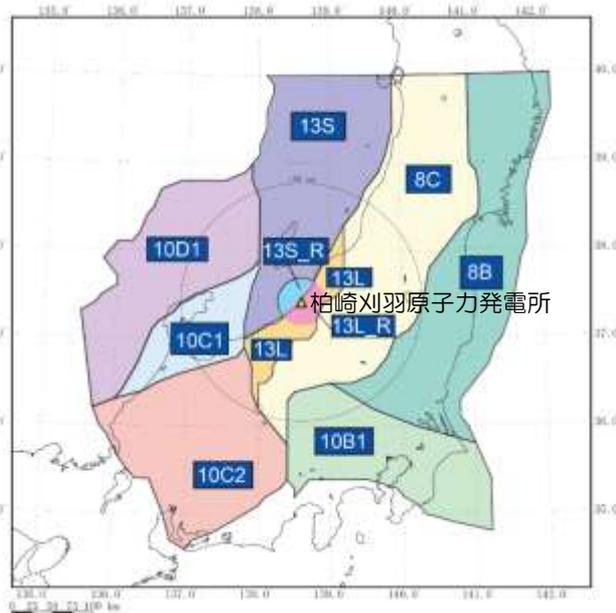
9. 基準地震動の超過確率参照 震源モデルの設定 領域震源モデル

領域震源モデル

- 敷地が位置する日本海東縁変動帯(領域13)については、地震動レベルの要因分析結果及び地質調査の内容を考慮した領域区分を設定。
- 地震発生頻度は宇津カタログ及び気象庁地震カタログのデータに基づき、グーテンベルグ・リヒター式を用いて設定。
- 最大Mは、各領域で過去に発生した地震のうち、特定震源として考慮している地震を除いた地震の最大規模とし、その値に幅がある場合は、中央値、上限値、下限値をロジックツリーの分岐として考慮する。また、島崎(2009)によれば、M7.0~7.1以下の範囲で活断層として表現されない地震が存在すること、短い活断層で発生する地震のMの上限が7.4程度であるとされていることから、これらの知見についてもロジックツリーの分岐として考慮する。



日本海東縁変動帯の領域区分の考え方

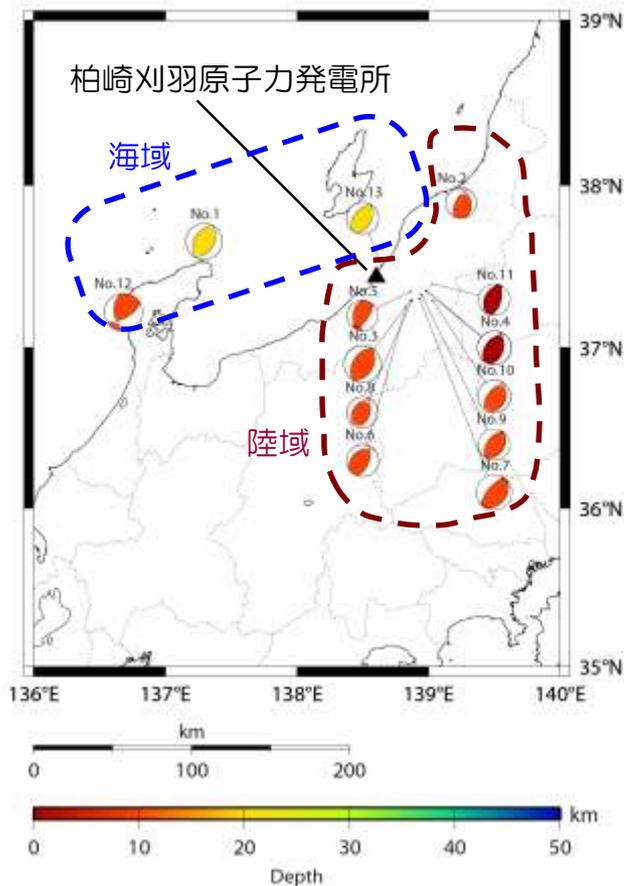


垣見ほか(2003)を参考に設定した領域区分

地震地体構造区分 垣見ほか(2003)		年発生頻度 (M5以上)	b値	最大M 歴史地震	最大M 島崎 (2009)	備考
領域	領域名					
8B	東北日本弧外帯	0.4799	0.8525	6.8	7.1,7.4	
8C	東北日本弧内帯	0.7496	0.8146	7.2	7.1,7.4	
10B1	関東主部	0.6428	0.8147	7.0,7.3	7.1,7.4	
10C1	能登	0.1180	0.7061	6.9,7.0	7.1,7.4	
10C2	中部山岳	0.6305	0.8665	7.0,7.3	7.1,7.4	
10D1	能登・若狭冲海域	0.1281	1.0901	6.8	7.1,7.4	
13L	日本海東縁 変動帯	0.0545	0.9341	7.0,7.2, 7.4	7.1,7.4	陸側-外
13L_R		0.0476	0.9341	6.7	—	陸側-内
13S		0.3412	0.9341	7.0	7.1,7.4	海側-外
13S_R		0.0343	0.9341	6.7	—	海側-内

※13Lと13L_R、及び13Sと13S_Rについては、それぞれ区分しない分岐も考慮する。

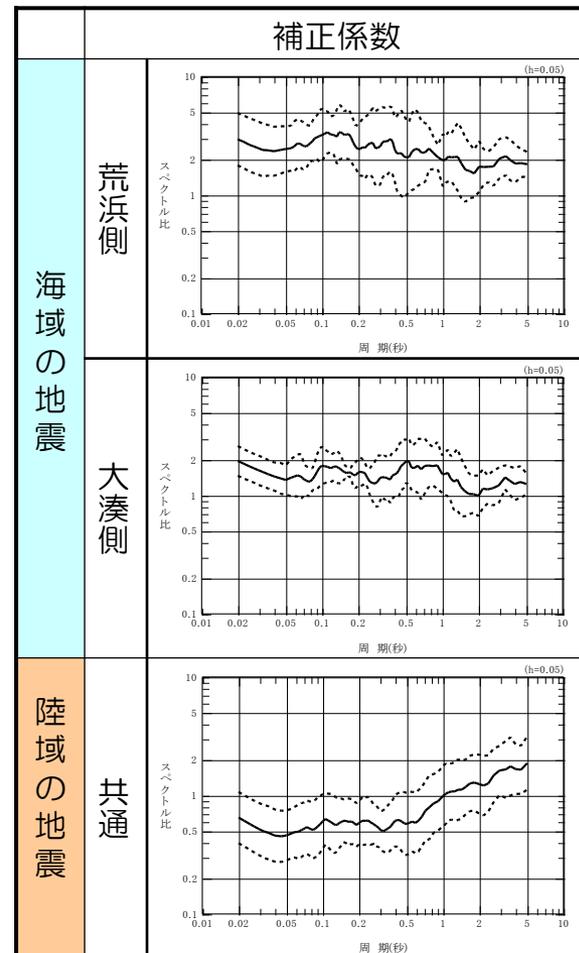
9. 基準地震動の超過確率参照 地震動伝播モデルの設定 陸域・海域の補正係数



No.	発震月日	地震規模	最大加速度 (cm/s ²)	
			荒浜側	大湊側
1	1993. 02. 07 22: 27	6.6	20.6 26.0	13.5 17.3
2	1995. 04. 01 12: 49	5.6	4.8 3.7	5.8 5.4
3	2004. 10. 23 17: 56	6.8	—	52.8 84.7
4	2004. 10. 23 18: 03	6.3	—	30.6 41.1
5	2004. 10. 23 18: 07	5.7	—	16.7 16.4
6	2004. 10. 23 18: 11	6.0	—	28.8 60.3
7	2004. 10. 23 18: 34	6.5	—	62.0 123.5
8	2004. 10. 23 19: 45	5.7	13.7 19.8	17.1 16.8
9	2004. 10. 25 06: 04	5.8	25.1 36.2	21.6 43.3
10	2004. 10. 27 10: 40	6.1	28.8 39.2	28.7 56.0
11	2004. 11. 08 11: 15	5.9	8.0 10.7	10.8 15.0
12	2007. 03. 25 09: 41	6.9	51.5 34.4	19.4 13.9
13	2007. 07. 16 15: 37	5.8	190.1 241.0	265.4 251.0

- 注 1) 最大加速度は上段がNS成分, 下段がEW成分 (解放基盤表面)
 注 2) 最大加速度の数値の右側の記号は, ○は海域の補正係数の算定に用いた地震 □は陸域の補正係数の算定に用いた地震
 注 3) 陸域の補正係数は, 荒浜側 (5地震) と大湊側 (10地震) の平均

—— 平均値
 - - - - 標準偏差 (±1σ)



9. 基準地震動の超過確率参照 ロジックツリーの作成

- 震源モデルおよび地震動伝播モデルの設定における認識論的不確かさのうち、地震ハザード評価へ及ぼす影響が大きい要因を選定。
- 特に、敷地に影響を及ぼすと考えられる活断層の連動については、詳細なロジックツリーにより評価。
- なお、地震規模については、松田(1975)の式を用いることとし、海域の断層においては、中越沖地震の知見を踏まえた地震規模の設定方法を分岐として考慮する。また、断層面積から地震規模を設定する場合の影響について感度解析にて確認する。

特定震源の不確かさ

①陸域の断層の連動活動

連動の考慮

- 長岡平野西縁断層帯
 - ・片貝断層
 - ・気比ノ宮断層
 - ・角田・弥彦断層
- 十日町断層帯西部
- 長野盆地西縁断層帯

傾斜角の設定

- 50°
- 35°

アスペリティ位置の設定

- 中央
- 至近
- 遠方

②海域の断層の連動活動

連動の考慮

- F-B断層
- 佐渡島南方断層
- F-D断層
- 高田沖断層
- 親不知海脚西縁断層帯～魚津断層帯

地震規模

- 中越沖
- 松田式

アスペリティ位置の設定

- 中央
- 至近
- 遠方

領域震源の不確かさ

発生最大規模の設定

- 歴史地震の最大規模を参照
 - ・誤差範囲の最小値
 - ・誤差範囲の中央値
 - ・誤差範囲の最大値
- 島崎(2009)の知見を参照
 - ・M7.1
 - ・M7.4

発生頻度の設定

- グーテンベルグ・リヒター式より設定
- 日本全国の平均的な値 (b=0.9)

距離減衰式の不確かさ

観測記録による補正係数の考慮の有無

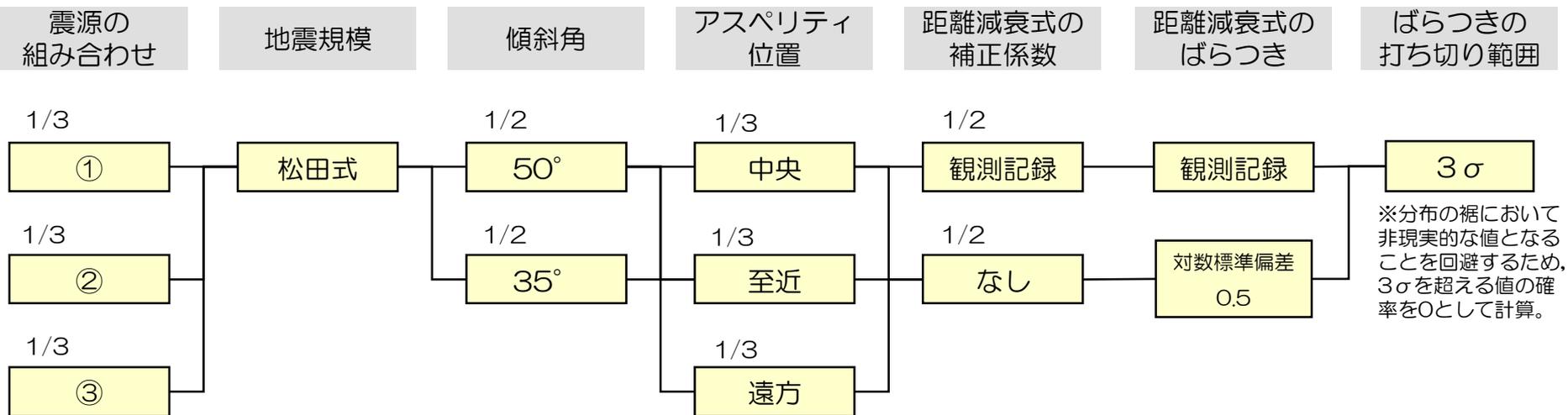
- 考慮
- なし

ばらつき

- 観測記録に基づくばらつき
- 対数標準偏差 = 0.5

9. 基準地震動の超過確率参照 ロジックツリー【陸域連動】

■ 陸域の連動については、震源の組み合わせを考慮したロジックツリーを作成して評価する。



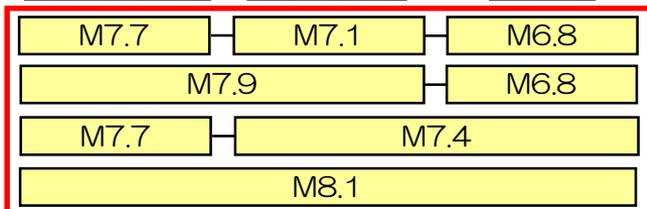
連動に関する分岐

注1) 十日町・長野盆地はモデル②、③に対して連動する場合 (W=1/2) を考える。

- ①各セグメントが常に個別に活動
- ②角田・弥彦断層+気比ノ宮断層+片貝断層は常に連動
- ③角田・弥彦断層+気比ノ宮断層+片貝断層は連動

震源の組み合わせごとの出現確率を考慮

角田・弥彦断層 気比ノ宮断層 片貝断層



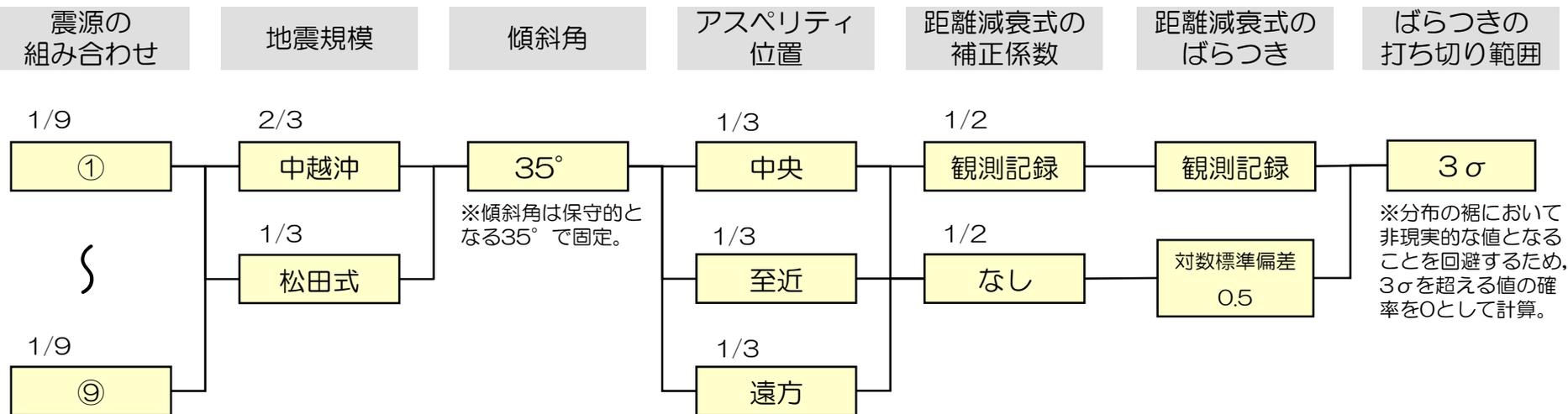
特定震源名称	平均活動間隔 (年)	根拠
角田・弥彦断層	2450	地震調査研究推進本部 (2009)
気比ノ宮断層		
片貝断層		

※いずれのセグメントも、平均活動間隔に1回は活動するように設定。(海域の連動ケースも同様の考え方で設定)

組み合わせ	発生比率	平均活動間隔 (年)
角田・弥彦断層 (単独)	2/4	4900
気比ノ宮断層 (単独)	1/4	9800
片貝断層 (単独)	2/4	4900
角田・弥彦+気比ノ宮	1/4	9800
気比ノ宮+片貝	1/4	9800
角田・弥彦+気比ノ宮+片貝	1/4	9800

9. 基準地震動の超過確率参照 ロジックツリー【海域連動】

■ 海域の連動については、震源の組み合わせを考慮したロジックツリーを作成して評価する。



連動に関する分岐

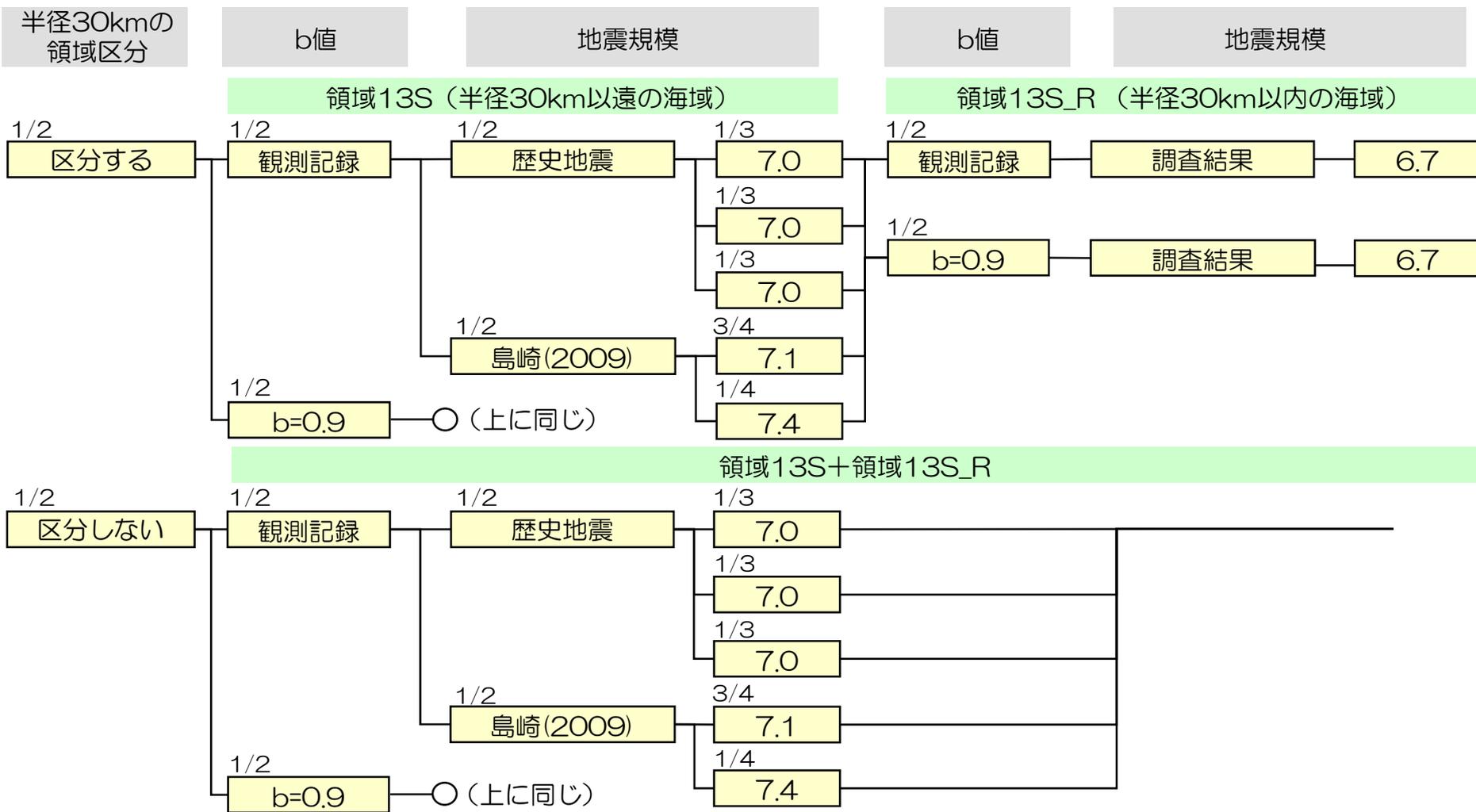
- ①各セグメントが常に個別に活動
- ②F-D断層、高田冲断層は常に個別、F-B断層+佐渡島南方断層は連動
- ③F-D断層+高田冲断層は常に連動、F-B断層、佐渡島南方断層は常に個別に活動
- ④F-D断層+高田冲断層は常に連動、F-B断層+佐渡島南方断層は連動
- ⑤F-D断層+高田冲断層は連動、その他は常に個別に活動
- ⑥F-D断層+高田冲断層は連動、F-B断層+佐渡島南方断層は連動
- ⑦高田冲断層+F-D断層+F-B断層は連動、佐渡島南方断層は常に個別に活動
- ⑧高田冲断層+F-D断層+佐渡島南方断層は連動、F-B断層は常に個別に活動
- ⑨高田冲断層+F-D断層+F-B断層+佐渡島南方断層は連動

注1) 親不知海脚西縁断層帯～魚津断層帯はモデル⑦～⑨に対して連動する場合 (W=1/2) を考える。

注2) 佐渡海盆東縁断層については、活動を考慮するケース (W=1/10) と活動を考慮しないケース (W=9/10) を分岐として設定し、活動を考慮する場合には、周辺の断層と連動するケース (W=1/2) と連動しないケース (W=1/2) を分岐として設定する

9. 基準地震動の超過確率参照 ロジックツリー【領域震源の例】

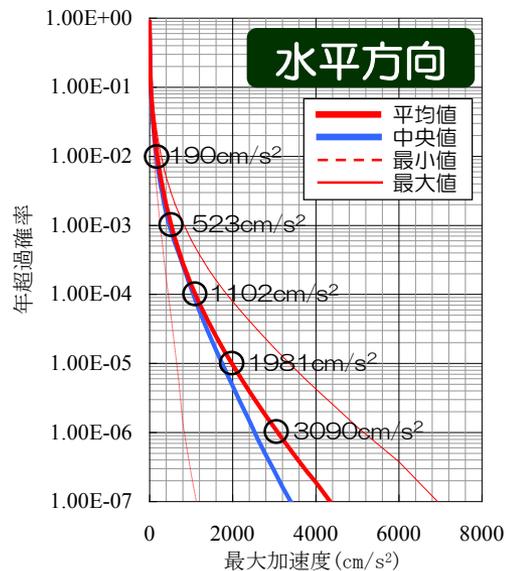
■ 敷地至近の領域震源においては、半径30kmの領域を区分する場合としない場合の分岐を設定して評価。



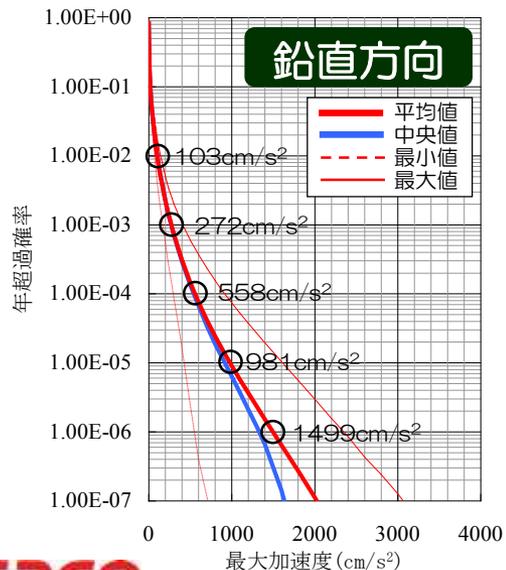
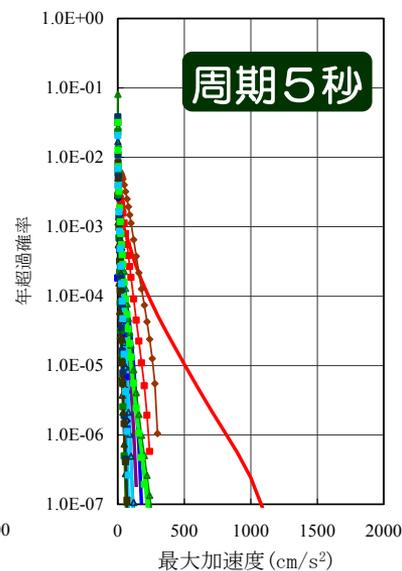
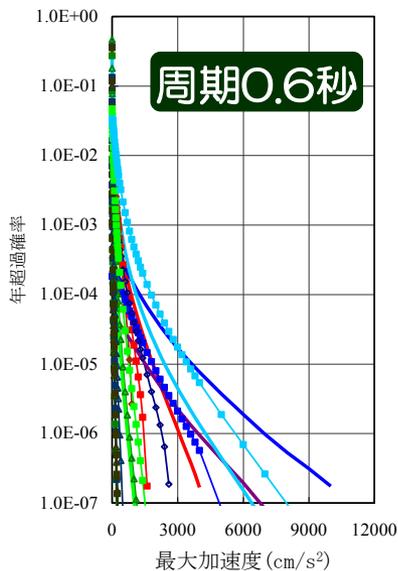
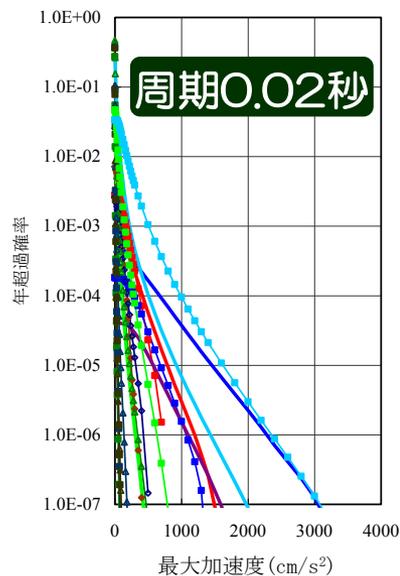
注) この領域では歴史地震の最小値, 中央値, 最大値が同じ値。また, 距離減衰式及びばらつきに関する分岐は特定震源と同様

9. 基準地震動の超過確率参照 平均ハザード曲線・震源ごとの寄与率 荒浜側

平均ハザード曲線(周期0.02秒)



震源ごとのハザード曲線

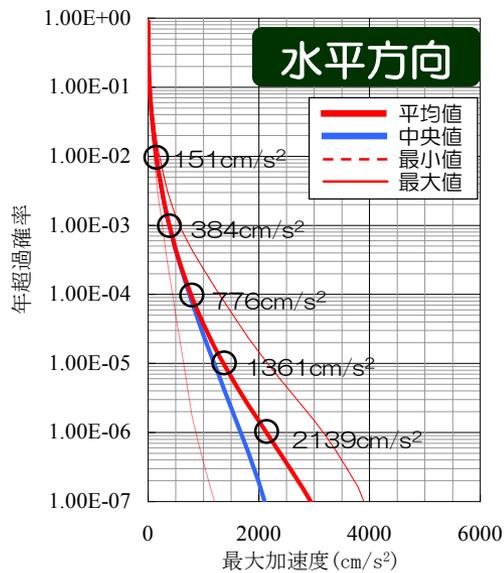


- 長岡平野西縁断層帯を含む陸域連動
- 陸域(調査結果)
- 地震本部
- F-B断層を含む海域連動
- 海域(調査結果)
- 日本海東縁部
- 想定D
- 8B
- 8C
- 10B1
- 10C1
- 10C2
- 10D1
- 13L
- 13L_R
- 13S
- 13S R

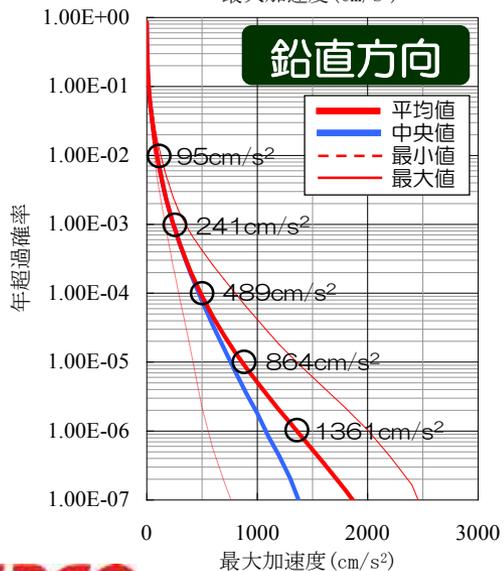
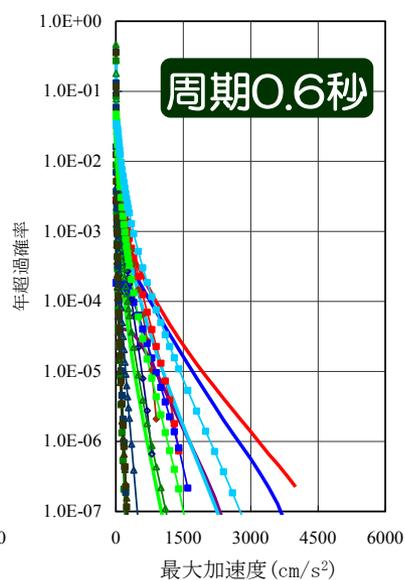
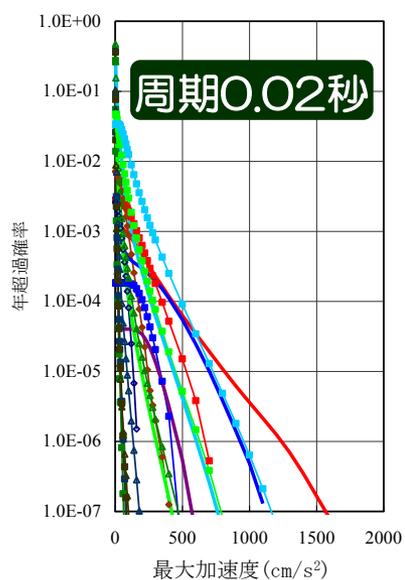
■ 年超過確率が小さい領域において、短周期側ではF-B断層を含む海域連動と領域震源が、長周期側では長岡平野西縁断層帯を含む陸域連動が支配的となっている。

9. 基準地震動の超過確率参照 平均ハザード曲線・震源ごとの寄与率 大湊側

平均ハザード曲線(周期0.02秒)



震源ごとのハザード曲線



- 長岡平野西縁断層帯を含む陸域連動
- 陸域 (調査結果)
- 地震本部
- F-B断層を含む海域連動
- 海域 (調査結果)
- 日本海東縁部
- 想定D
- 8B
- 8C
- 10B1
- 10C1
- 10C2
- 10D1
- 13L
- 13L_R
- 13S
- 13S R

■ 年超過確率が小さい領域において、全周期帯にわたって長岡平野西縁断層帯を含む陸域連動が支配的となっている。

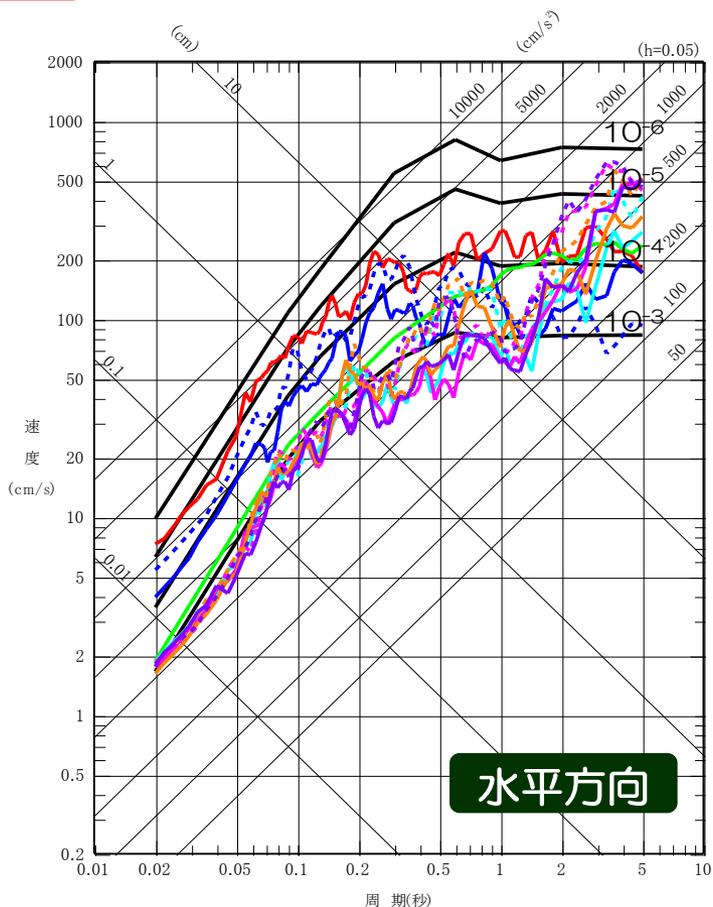
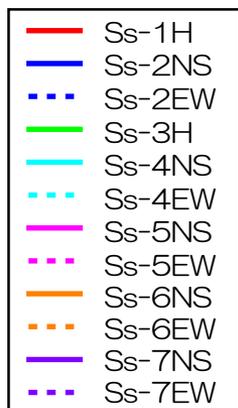
9. 基準地震動の超過確率参照 一様ハザードスペクトル 荒浜側

基準地震動Ss-1~7 との比較

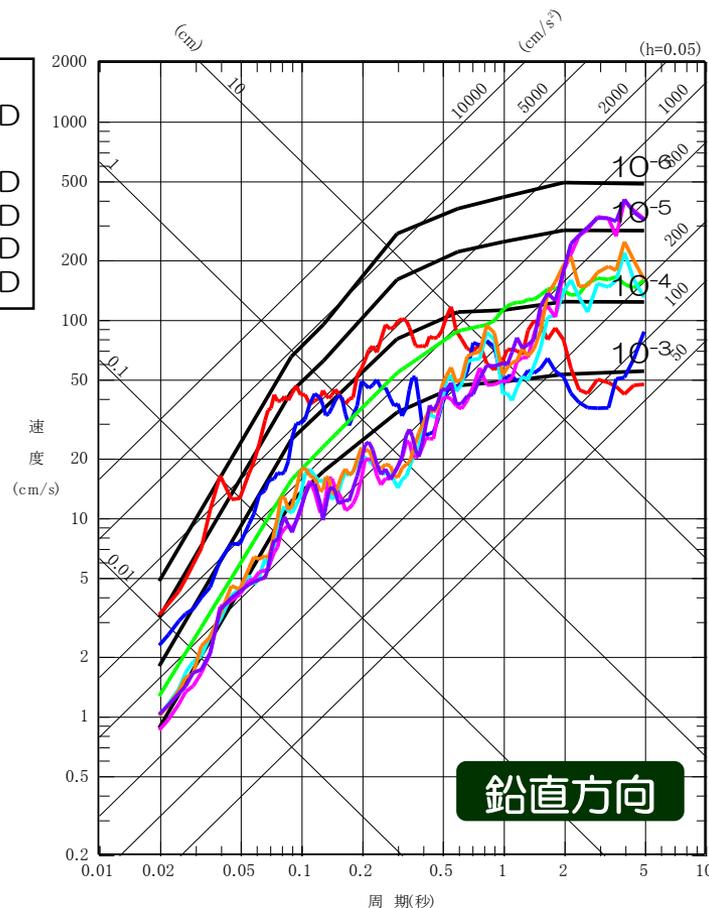
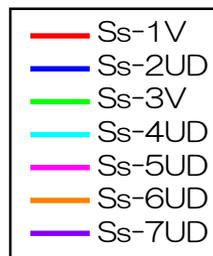
■ 基準地震動Ss-1~7の応答スペクトルと一様ハザードスペクトルとを比較すると、基準地震動の上限レベルの年超過確率は、水平方向・鉛直方向ともに 10^{-4} ~ 10^{-5} 程度となっている。

荒浜側

(一様ハザードスペクトルは平均フラクタルハザードに基づいた評価)



水平方向



鉛直方向

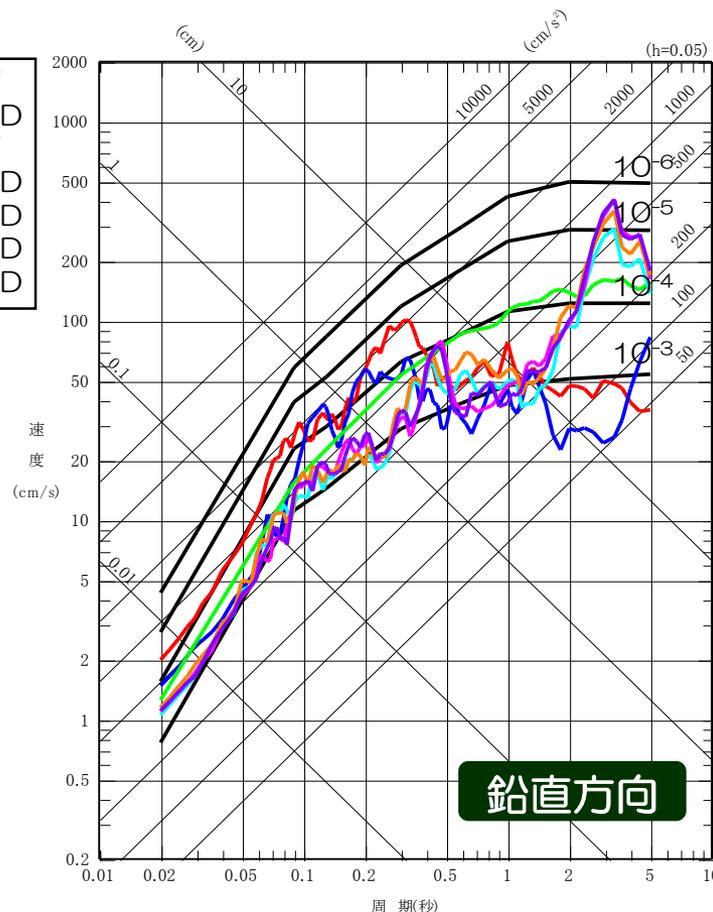
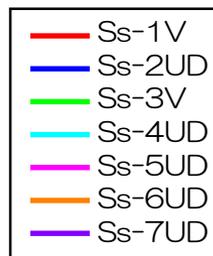
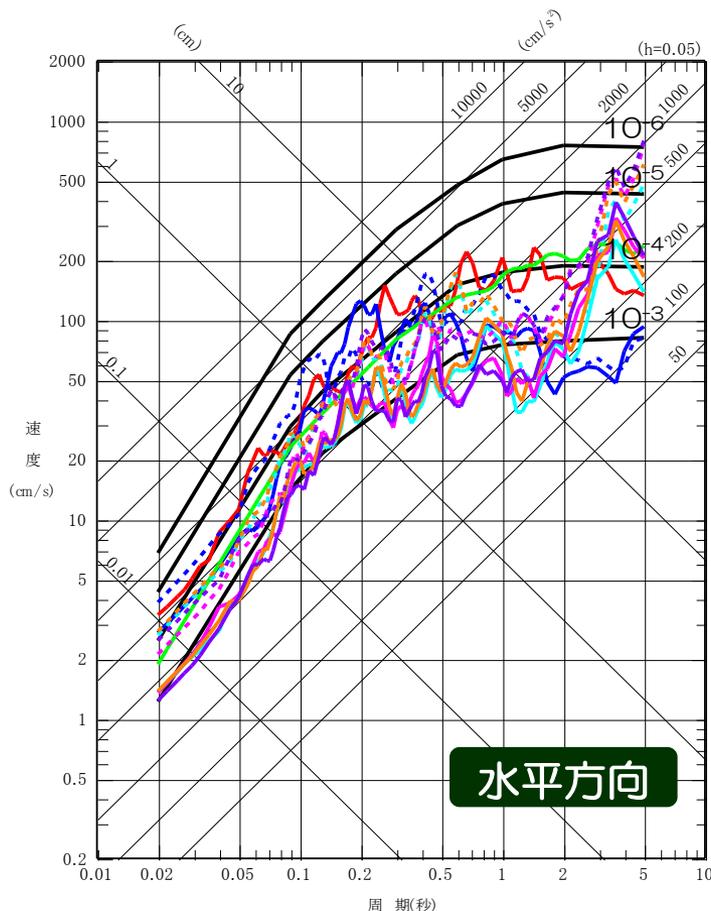
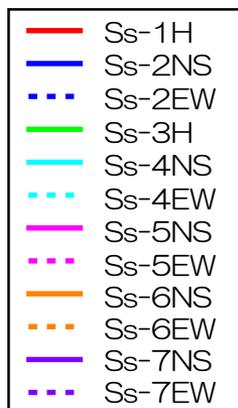
9. 基準地震動の超過確率参照 一様ハザードスペクトル 大湊側

基準地震動Ss-1~7 との比較

■ 基準地震動Ss-1~7の応答スペクトルと一様ハザードスペクトルとを比較すると、基準地震動の上限レベルの年超過確率は、水平方向・鉛直方向ともに 10^{-4} ~ 10^{-5} 程度となっている。

大湊側

(一様ハザードスペクトルは平均フラクタルハザードに基づいた評価)

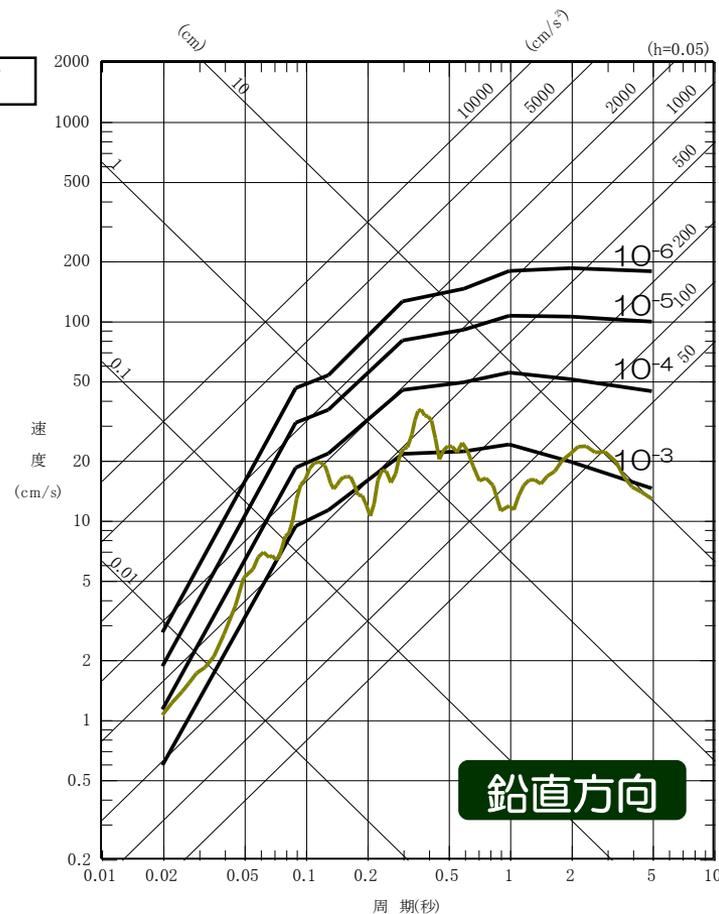
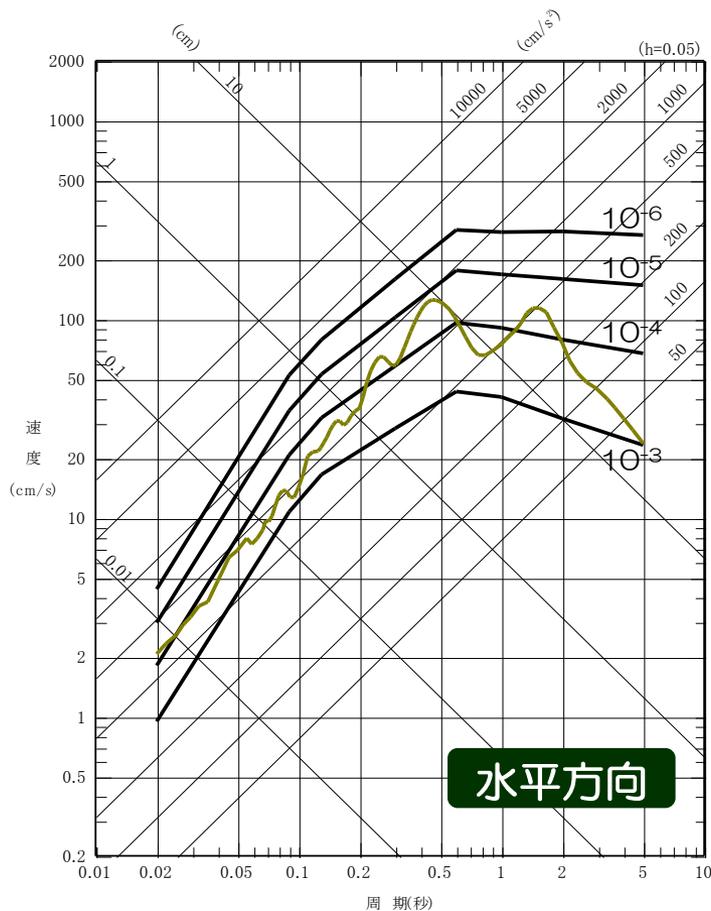


9. 基準地震動の超過確率参照 一様ハザードスペクトル

基準地震動Ss-8 との比較

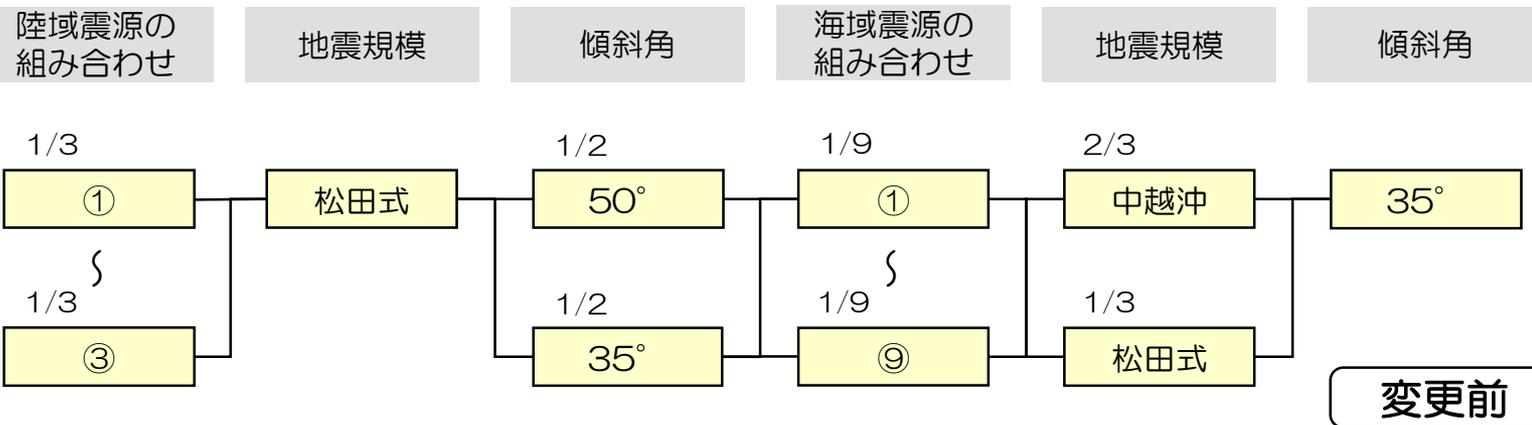
■ 基準地震動Ss-8の応答スペクトルと、敷地が位置する領域震源（領域13）の一様ハザードスペクトルとを比較すると、震源を特定せず策定する基準地震動Ss-8の年超過確率は、水平方向・鉛直方向ともに、 10^{-3} ~ 10^{-5} 程度となっている。

大湊側

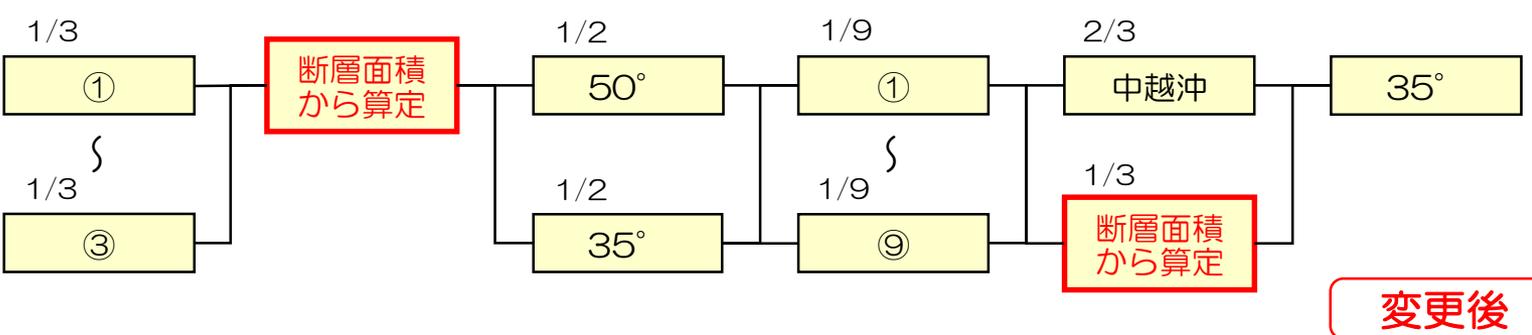


9. 基準地震動の超過確率参照 地震規模の設定に関する感度解析

- 一様ハザードスペクトルへの寄与率が高い陸域及び海域の活断層の連動を考慮した震源モデルを対象に、断層面積から地震規模を算出した場合の分岐を取り入れ、評価結果へ与える影響について検討する。
- 松田式により地震規模を算出する方法を、断層面積から算出する方法に変更する。
- 断層面積から地震規模を算出する式は入倉・三宅(2001)及び武村(1990)を用いる。ただし、一部の長大断層の地震モーメントの算出には、スケーリング則を考慮し、Murotani et al.(2015)を用いる。



※傾斜角、アスペリティ位置、距離減衰式の補正係数、距離減衰式のばらつき、ばらつきの打ち切り範囲については、現状の評価から変更しない。



9. 基準地震動の超過確率参照 地震規模の設定に関する感度解析 解析結果

- 地震規模の算出方法に関する分岐を見直した結果、一様ハザード空間は現状の評価よりも小さくなることを確認した。また、地震規模の算出方法が一様ハザード空間へ与える影響は小さいことを確認した。
- 評価結果が小さくなった要因としては、断層面積から地震規模を算出した場合、現状評価で用いている松田式によって算出した値に比べて、地震規模が概ね小さく算出されるためだと考えられる。

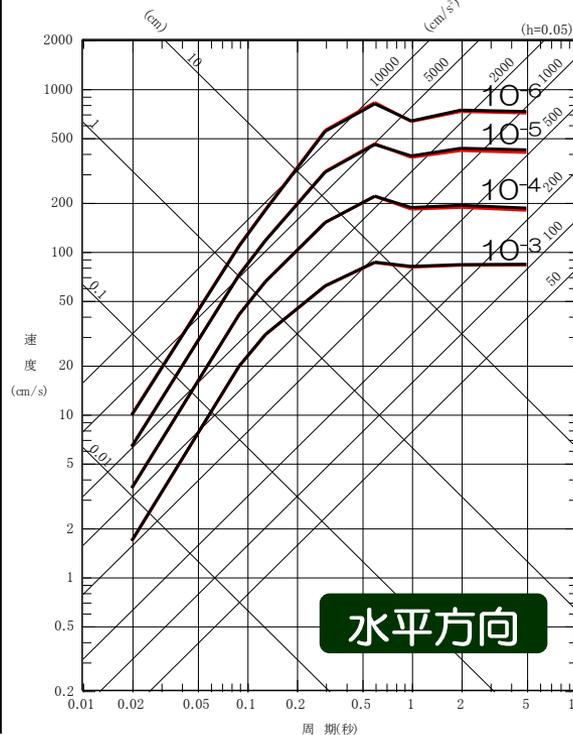
■ 松田式により算出した値 ■ 断層面積から算出した値

震源の組み合わせ	分類	地震規模	
		変更前	変更後※1
角田・弥彦～気比ノ宮	陸域連動	7.9	7.8
気比ノ宮～片貝		7.4	7.3
角田・弥彦～気比ノ宮 (長岡平野西縁断層帯)		8.1	7.9
長岡平野～十日町断層帯西部		8.4	8.2
長岡平野～長野盆地		8.6	8.3
F-D～高田沖	海域連動	7.7	7.8
佐渡海盆※2～F-B		7.7	7.7
F-B～佐渡島南方		7.9	7.9
F-B～F-D～高田沖		8.1	8.2
佐渡島南方～F-D～高田沖		8.0	8.1
F-D～高田沖～親不知～魚津		8.3	8.3
F-B～佐渡島南方～F-D～高田沖		8.3	8.3
佐渡海盆※2～F-B～佐渡島南方～ F-D～高田沖		8.4	8.3
F-B～F-D～高田沖～親不知～魚津		8.5	8.4
佐渡島南方～F-D～高田沖～ 親不知～魚津		8.5	8.4
F-B～佐渡島南方～F-D～ 高田沖～親不知～魚津		8.6	8.4
佐渡海盆※2～F-B～佐渡島南方～ F-D～高田沖～親不知～魚津		8.7	8.5

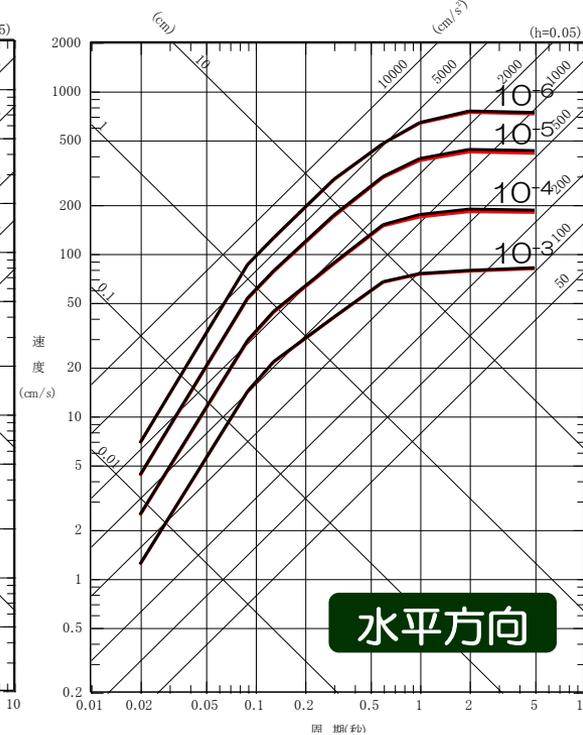
※1：陸域連動の地震規模は傾斜角50°とした場合の値。単独活動時の値は省略。

※2：佐渡海盆東縁断層は、地質調査結果からは活断層とは認められないものの、ハザード評価上は考慮することとする。

— 松田式から地震規模を算出した場合のUHS (現状の評価結果)
— 断層面積から地震規模を算出した場合のUHS (感度解析結果)



荒浜側



大湊側

- Abe, K. (1975) : Re-examination of the fault model for the Niigata earthquake of 1964, JPE, 23
- Aoi, S., H. Sekiguchi, N. Morikawa, and T. Kunugi(2008) : Source process of the 2007 Niigata-ken Chuetsu-oki earthquake derived from near-fault strong motion data, Earth, Planets and Space, Vol.60
- Boore, D. M. (1983) : Stochastic Simulation of High-Frequency Ground Motions based on Seismological Models of the Radiated Spectra, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.73
- Brune (1970) : Tectonic Stress and Spectra of Seismic Shear Waves from Earthquakes, Journal of Geophysical Research, Vol.75
- Eshelby, J. D. (1957) : The determination of the elastic field of an ellipsoidal inclusion, and related problems, Proceedings of the Royal Society, A241
- Faccioli, E. (1986) : A study of strong motions from Italy and Yugoslavia in terms of gross source properties, Geophys. Monograph,37, Maurice Ewing, AGU, 6
- Fujii, Y., and M. Matsu'ura (2000) : Regional Difference in Scaling Laws for Large Earthquakes and its Tectonic Implication, Pure and Applied Geophysics, 157
- Gardner, G. H. F., L. W. Gardner, and A. R. Gregory (1974) : Formation Velocity and Density –The Diagnostic Basics for Stratigraphic Traps, Geophysics, Vol.39
- Geller, R.J. (1976) : Scaling relations for earthquake source parameters and magnitudes, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.66
- Honda, R., and S. Aoi (2009) : Array Back-Projection Imaging of the 2007 Niigataken Chuetsu-oki Earthquake Striking the World's Largest Nuclear Power Plant, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.99
- Kamae, K., and H. Kawabe (2008) : SOURCE MODELING AND STRONG GROUND MOTION SIMULATION OF THE 2007 NIIGATAKEN CHUETSU-OKI EARTHQUAKE (Mj=6.8) IN JAPAN, The 14th World Conference on Earthquake Engineering
- Kato, A., E. Kurashimo, T. Igarashi, S. Sakai, T. Iidaka, M. Shinohara, T. Kanazawa, T. Yamada, N. Hirata, and T. Iwasaki (2009) : Reactivation of ancient rift systems triggers devastating intraplate earthquakes, GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL.36
- Katsumata (2010) : Depth of the Moho discontinuity beneath the Japanese islands estimated by travelttime analysis, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 115, B04303
- Madariaga (1979) : On the relation between seismic moment and stress drop in the presence of stress and strength heterogeneity, Journal of Geophysical Research, Vol.84
- Miyake, H., K. Koketsu, K. Hikima, M. Shinohara, and T. Kanazawa (2010) : Source Fault of the 2007 Chuetsu-oki, Japan, Earthquake, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.100
- **Murotani, S., S. Matsushima, T. Azuma, K. Irikura, S. Kitagawa (2015) : Scaling Relations of Source Parameter of Earthquakes Occurring on Inland Crustal Mega-Fault Systems, Pure and Applied Geophysics**
- Nakamura, T., Y. Ishihara, Y. Yamanaka, and Y. Kaneda (2009) : Source process for complex fault system of the 2007 Chuetsu-oki, Niigata, Japan, earthquake, Earth, Planets and Space, Vol.61
- 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, Oct.16-18, Istanbul
- Satake, K. (1986) : Re-examination of the 1940 Shakotan-Oki earthquake and the fault parameters of the earthquakes along the eastern margin of the Japan Sea, PEPI, 43
- Sato, T. (1985) : Rupture characteristics of the 1983 Nihonkai-Chubu (Japan Sea) earthquake as inferred from strong motion accelerograms, JPE, 33
- Somerville, P. G., K. Irikura, R. Graves, S. Sawada, D. Wald, N. Abrahamson, Y. Iwasaki, T. Kagawa, N. Smith, and A. Kowada(1999) : Characterizing crustal earthquake slip models for the prediction of strong ground motion, Seismological Research Letters, 70.
- Tanioka, Y., K. Satake, and L. Ruff (1995) : Total analysis of the 1993 Hokkaido Nansei-oki earthquake using seismic wave, tsunami, and geodetic data, GRL, 22
- The Global CMT Project, <http://www.globalcmt.org/>

参考文献

- Zhao, D., A. Hasegawa, and H. Kanamori (1994) : Deep structure of Japan subduction zone as derived from local, regional, and teleseismic events, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL.99, NO.B11
- 相田勇(1989) : 天保四年の庄内地震による津波に関する数値実験, 「続古地震—実像と虚像」萩原尊禮編, 東京大学出版会
- 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
- 入倉孝次郎(2006) : 強震動地震学の発展の歴史とレシピアへの展開, 第34回地盤震動シンポジウム, 日本建築学会
- 入倉孝次郎, 香川敬生, 宮腰研, 倉橋奨(2008) : 2007年新潟県中越沖地震の強震動—なぜ柏崎刈羽原子力発電所は想定以上の破壊的強震動に襲われたのか?—2008年03月19日再修正版, http://www.kojiro-irikura.jp/pdf/cyuetsu_080319.pdf
- 入倉孝次郎, 三宅弘恵(2001) : シナリオ地震の強震動評価, 地学雑誌, 110
- 岩田知孝, 森勇人, 川瀬博(2005) : スペクトルインバージョンによる強震観測点サイトの非線形性の抽出, 平成16年(2004年)新潟県中越地震に関する緊急調査研究報告書
- 宇佐美龍夫(1996) : 新編日本被害地震総覧 [増補改訂版], 東京大学出版会
- 宇佐美龍夫, 石井寿, 今村隆正, 今村雅之, 松浦律子(2013) : 日本被害地震総覧 599-2012, 東京大学出版会
- 宇津徳治(1982) : 日本付近のM6.0以上の地震および被害地震の表: 1885年~1980年, 東京大学地震研究所彙報, 第57巻
- 宇津徳治(1985) : 日本付近のM6.0以上の地震および被害地震の表: 1885年~1980年(訂正と追加), 東京大学地震研究所彙報, 第60巻
- 大竹政和, 平朝彦, 太田陽子(2002) : 日本海東縁の活断層と地震テクトニクス, 東京大学出版会
- 垣見俊弘, 松田時彦, 相田勇, 衣笠善博(2003) : 日本列島と周辺海域の地震地体構造区分, 地震 第2輯 第55巻
- 加藤研一, 宮腰勝義, 武村雅之, 井上大栄, 上田圭一, 壇一男(2004) : 震源を事前に特定できない内陸地殻内地震による地震動レベル—地質学的調査による地震の分類と強震観測記録に基づく上限レベルの検討—, 日本地震工学会論文集, 第4巻, 第4号
- 神原浩, 松島信一, 早川崇, 福喜多輝(2006) : 2004年新潟県中越地震の余震観測記録に基づく本震時の震源域の強震動推定, 清水建設研究報告 第83号
- 川辺秀憲, 釜江克宏(2010) : 2007年新潟県中越沖地震(Mj6.8)の震源のモデル化および3次元地震動シミュレーション, 第13回日本地震工学シンポジウム論文集
- 気象庁 : 地震年報2012年版, 地震・火山月報ほか
- 気象庁, 消防庁(2009) : 震度に関する検討会報告書
- 木下繁夫, 大竹政和, 監修(2000) : 強震動の基礎, <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/gk/publication/>
- 原子力安全委員会(2009) : 「応答スペクトルに基づく地震動評価」に関する専門家との意見交換会, 資料第1-1号 耐専スペクトルの概要(1999年時点での内容), <http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/senmon/shidai/ohyoiken/1/siryo-1.pdf>
- 原子力規制委員会(2013) : 基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド
- 小林喜久二, 植竹富一, 土方勝一郎(2005) : 地震動の水平/上下スペクトル振幅比の逆解析による地下構造推定法の標準化に関する検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, 構造II
- 佐口浩一郎, 鈴木結理, 正木和明, 倉橋奨, 入倉孝次郎(2010) : 深層および浅層の3次元構造を考慮した柏崎刈羽原子力発電所における2007年新潟県中越沖地震の強震動シミュレーション, 第13回日本地震工学シンポジウム論文集
- 佐藤智美, 川瀬博, 佐藤俊明(1994) : ポアホール観測記録を用いた表層地盤同定手法による工学的基盤波の推定及びその統計的経時特性, 日本建築学会構造系論文集, 461
- 佐藤浩章, 芝良昭, 東貞成, 功刀卓, 前田宜浩, 藤原広行(2013) : 物理探査・室内試験に基づく2004年留萌支庁南部の地震によるK-NET港町観測点(HKD020)の基盤地震動とサイト特性評価, 電力中央研究所報告, 研究報告 : N13007
- 佐藤良輔 編著(1989) : 日本の地震断層パラメーター・ハンドブック, 鹿島出版会
- 地震調査研究推進本部(2003) : 日本海東縁部の長期評価について, 地震調査委員会資料
- 地震調査研究推進本部(2004) : 長岡平野西縁断層帯の長期評価について, 地震調査委員会資料
- 地震調査研究推進本部(2005) : 山崎断層帯の地震を想定した強震動評価について, 地震調査委員会資料
- 地震調査研究推進本部(2007) : 2007年10月の地震活動の評価
- 地震調査研究推進本部(2008) : 平成19年(2007年)新潟県中越沖地震の評価, 地震調査委員会資料
- 地震調査研究推進本部(2009) : 全国地震動予測地図
- 地震調査研究推進本部(2012) : 今後の地震動ハザード評価に関する検討 ~2011年・2012年における検討結果~
- **地震調査研究推進本部(2016) : 全国地震動予測地図2016年版**

参考文献

- ・芝良昭(2008)：2007年新潟県中越沖地震の震源過程の解明と広帯域強震動評価，電力中央研究所報告，研究報告：N08007
- ・社団法人 日本原子力学会(2007)：原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施基準，日本原子力学会標準，AESJ-SC-P006
- ・社団法人 日本電気協会 原子力規格委員会(2008)：原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601-2008)
- ・島崎邦彦(2009)：地震と活断層：その関係を捉え直す，科学，Vol19，No.2
- ・染井一寛，浅野公之，岩田知孝(2010)：ひずみ集中帯内外で発生した地殻内地震系列間の震源特性の比較，第13回日本地震工学シンポジウム
- ・第72回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合 資料1-1 柏崎刈羽原子力発電所 敷地近傍及び敷地の地質・地質構造(概要)，
<http://www.nsr.go.jp/data/000035152.pdf>
- ・第248回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合 資料2-1 柏崎刈羽原子力発電所6号炉及び7号炉 敷地周辺陸域の地質・地質構造について
<http://www.nsr.go.jp/data/000114308.pdf>
- ・第248回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合 資料2-3 柏崎刈羽原子力発電所6号炉及び7号炉 敷地周辺海域の地質・地質構造について
<http://www.nsr.go.jp/data/000114306.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 第43巻
- ・武村雅之(1998)：日本列島における地殻内地震のスケーリング則—地震断層の影響および地震被害との関連—，地震 第2輯 第51巻
- ・壇一男，入江紀嘉，具典淑，島津奈緒未，鳥田晴彦(2015)：長大な逆断層による内陸地震の断層モデルのパラメータの設定方法の提案，日本建築学会構造系論文集，第80巻，第707号
- ・壇一男，佐藤俊明，入倉孝次郎(2002)： Λ パリティルに基づく強震動予測のための震源モデルの特性化手法，第11回日本地震工学シンポジウム
- ・壇一男，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
- ・天然ガス鉱業会，大陸棚石油開発協会(1992)：日本の石油・天然ガス資源(改訂版)
- ・独立行政法人 原子力安全基盤機構(2005)：地震に係る確率論的安全評価手法の整備=深部地盤速度構造同定に基づく地震動特性評価に関する検討=に関する報告書，JNES/SAE05-048，平成17年12月
- ・独立行政法人 原子力安全基盤機構(2008)：2007年新潟県中越沖地震により柏崎刈羽原子力発電所で発生した地震動の分析，合同W9-2-1，総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会耐震・構造設計小委員会地震・津波，地質・地盤合同ワーキンググループ 第9回，2008年5月22日
- ・独立行政法人 産業技術総合研究所(2012) 活断層データベース 2012年2月28日版，産業技術総合研究所研究情報公開データベースDB095，産業技術総合研究所，https://gbank.gsi.jp/activefault/index_gmap.html
- ・**国立開発研究**法人 防災科学技術研究所：J-SHIS地震ハザードステーション，<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>
- ・**国立開発研究**法人 防災科学技術研究所：強震観測網(K-NET, KiK-net)，<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/>
- ・**国立開発研究**法人 防災科学技術研究所：広帯域地震観測網(F-net)，<http://www.fnet.bosai.go.jp/>
- ・新田祐平，松島信一，川瀬 博(2011)：柏崎刈羽原子力発電所における微細な褶曲構造を考慮した2007年新潟県中越沖地震の本震観測波形の再現，日本建築学会大会学術講演梗概集(関東) 2011年8月
- ・早川崇，津田健一，植竹富一，引間和人，徳光亮一，南雲秀樹(2011)：2007年新潟県中越沖地震震源域の3次元速度構造モデルの検討—柏崎刈羽原子力発電所直下の褶曲モデルの取り込み—，日本地球惑星科学連合大会，SSS023-P14
- ・引間和人，瀧本一起(2008)：波形記録と測地データを用いた2007年新潟県中越沖地震の震源過程解析，日本地球惑星科学連合大会予稿集
- ・松田時彦(1975)：活断層から発生する地震の規模と周期について，地震 第2輯 第28巻
- ・文部科学省 研究開発局，独立行政法人 防災科学技術研究所(2009~2013)：科学技術振興費 ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究 成果報告書
- ・野津厚(2010)：非破壊伝播方向におけるやや短周期パルスへの特性化震源モデルの適用に関する研究—2007年新潟県中越沖地震を例に—，土木学会論文集A1(構造・地震工学)，Vol.66
- ・山本容維，竹中博士(2009)：経験的グリーン関数法を用いた2007年新潟県中越沖地震の震源のモデル化，地震 第2輯 第62巻