

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27年4月24日

東京電力株式会社



東京電力

目次

- | | |
|-------------------------|------|
| 1. はじめに | P. 2 |
| 2. 既往評価からの変更概要 | P. 4 |
| 3. 敷地周辺の地震発生状況 | P.12 |
| 4. 敷地における地震波の伝播特性 | P.21 |
| 5. 基準地震動 | |
| (1) 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 | P.24 |
| (2) 活断層の連動を考慮した地震動 | P.85 |

1. はじめに

2. 既往評価からの変更概要

3. 敷地周辺の地震発生状況

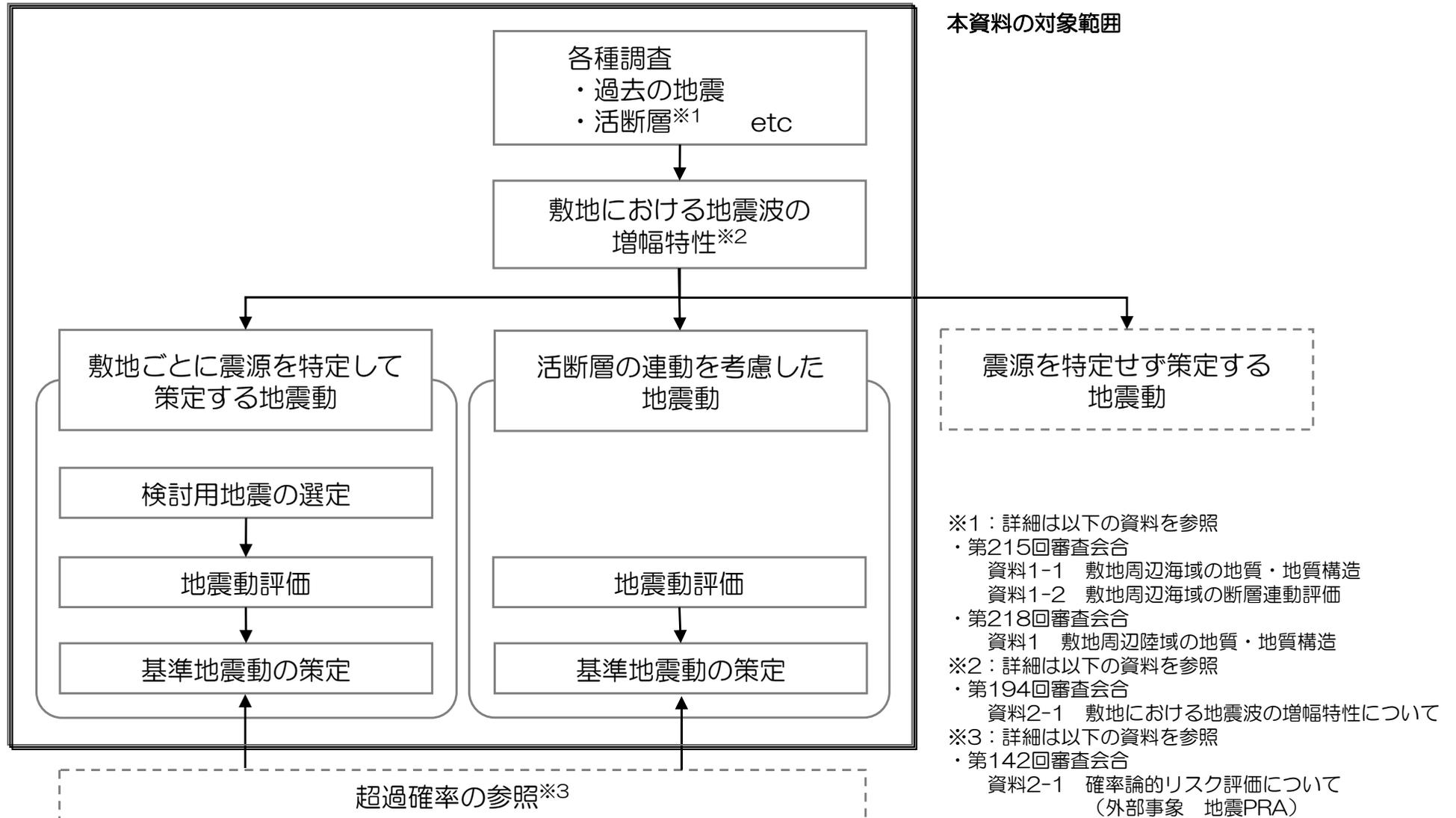
4. 敷地における地震波の伝播特性

5. 基準地震動

(1) 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

(2) 活断層の連動を考慮した地震動

■ 本資料は、柏崎刈羽原子力発電所（6号炉及び7号炉）申請の基準地震動の策定について、既往評価からの変更点の概要を示したのち、震源を特定せず策定する地震動を除いた箇所についてとりまとめ、お示しするものである。



-
1. はじめに
 2. 既往評価からの変更概要
 3. 敷地周辺の地震発生状況
 4. 敷地における地震波の伝播特性
 5. 基準地震動
 - (1) 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
 - (2) 活断層の連動を考慮した地震動

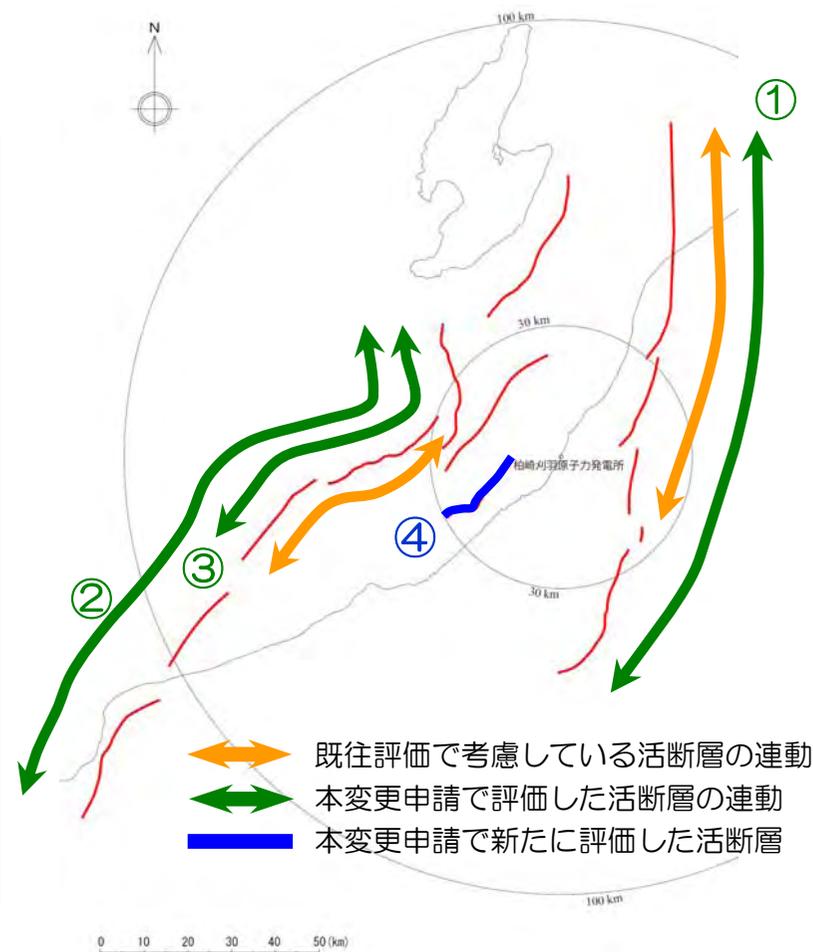
既往評価からの変更点について（活断層の評価）

■ 以下の観点から、活断層を評価

- (1) 敷地周辺の活断層については、断層間の離隔や地質構造から連動する可能性は低いものと判断されるが、より幅の広い専門家の意見も踏まえ、安全評価上、同時活動について考慮した断層長さを設定し、評価を実施
- (2) 後期更新世の地層が分布しない場合、40万年前の地層等の状況に基づき評価を実施

【耐震安全性評価において考慮する断層】

規制基準に基づく評価			既往評価
断層名	評価観点	断層長さ	断層長さ
① 長岡平野西縁断層帯 ～十日町断層帯西部	(1)	132 km	← 91 km (長岡平野西縁断層帯)
② 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	(1)	156 km	← 55 km (F-D, 高田冲褶曲群)
③ 佐渡島南方断層～F-D断層 ～高田冲断層	(1)	84 km	← 55 km (F-D, 高田冲褶曲群)
④ 米山冲断層	(2)	21 km	—



既往評価からの変更点について（基準地震動Ss）

■ 既往の評価においては、2007年新潟県中越沖地震を踏まえて、敷地及び敷地周辺の地下構造が地震波の伝播特性に与える影響の検討を行い、1号機～4号機が位置する荒浜側と5号機～7号機が位置する大湊側に分けて、基準地震動Ss-1～5を策定

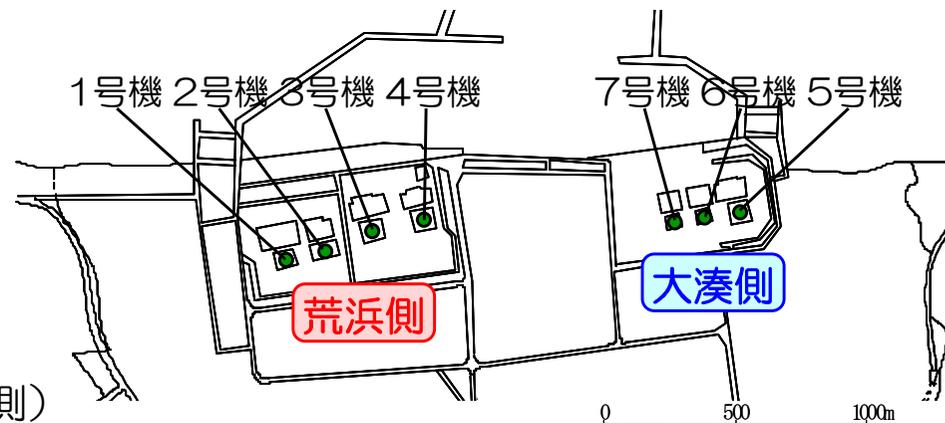
■ それらに加え、「活断層の連動を考慮した地震動」の評価結果を踏まえて、陸域の活断層の連動を考慮した場合を、基準地震動Ss-6, Ss-7として策定

なお、海域の活断層の連動を考慮した場合には、基準地震動を下回ることを確認

➢ 基準地震動Ssの最大加速度値：

水平2,300 Gal, 鉛直1,050 Gal（荒浜側）

水平1,209 Gal, 鉛直 650 Gal（大湊側）

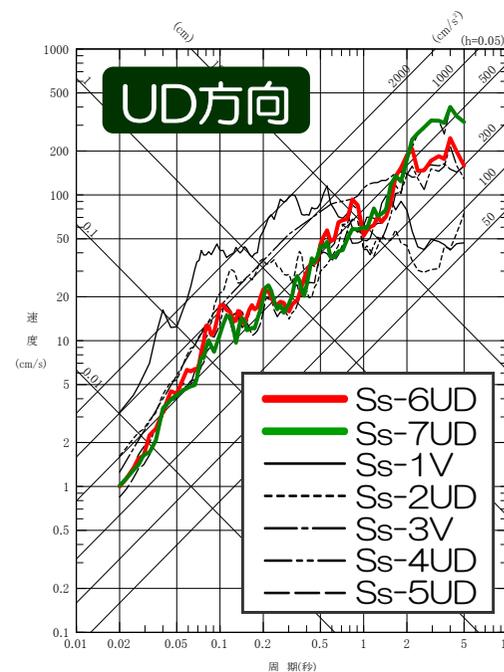
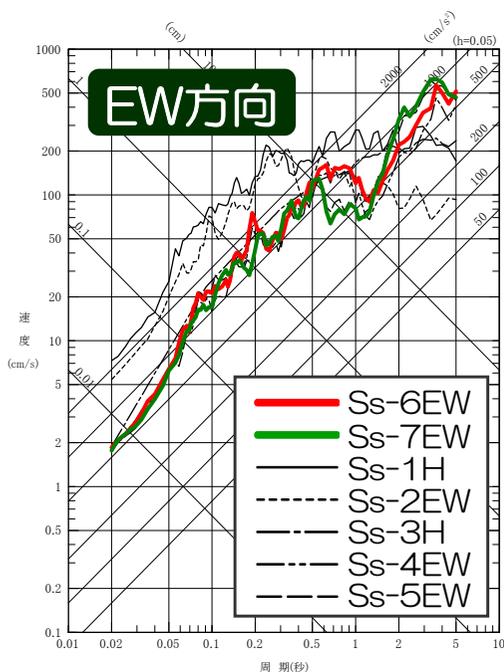
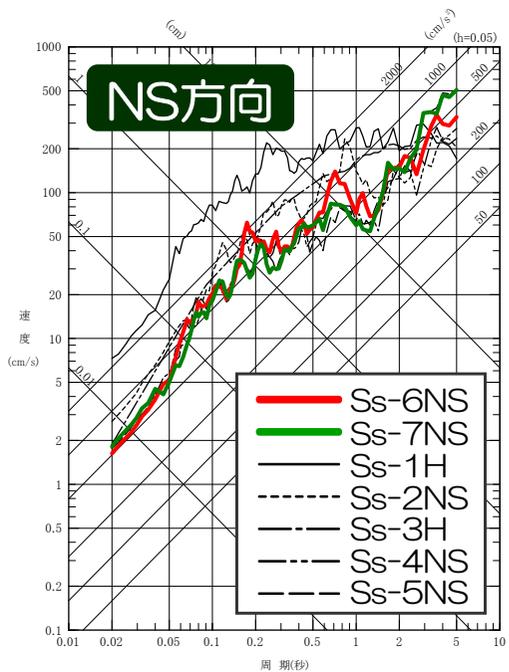


【基準地震動の最大加速度値】

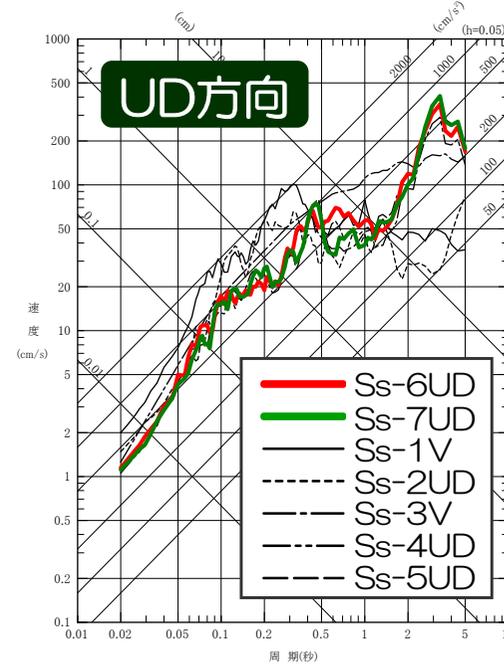
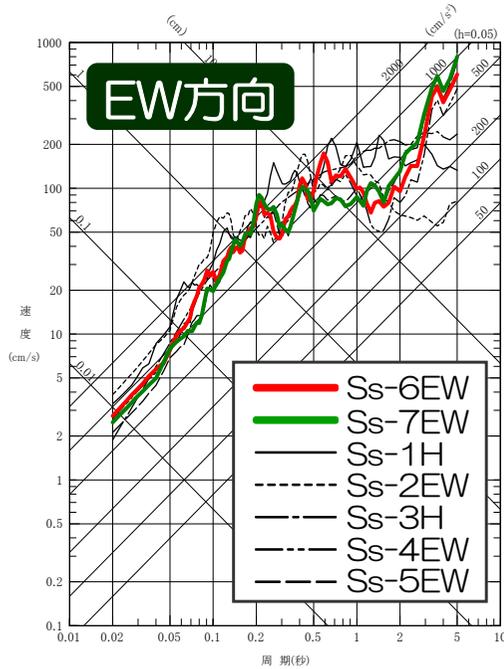
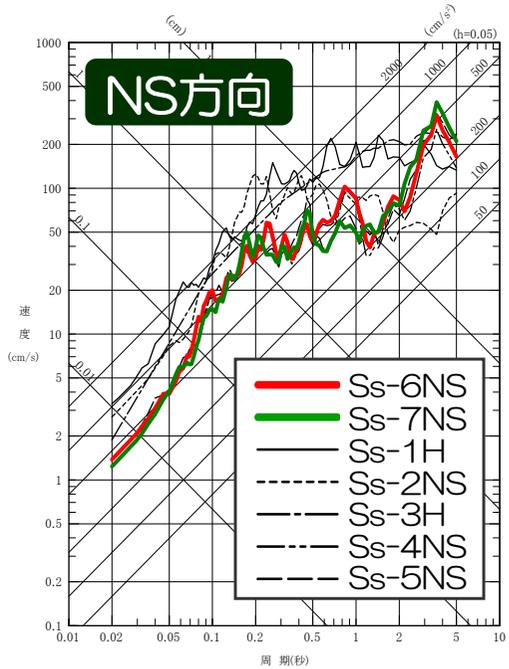
基準地震動	検討用地震		最大加速度値 (Gal)						
			荒浜側			大湊側			
			NS方向	EW方向	UD方向	NS方向	EW方向	UD方向	
Ss-1	F-B断層による地震		2300			1050	1050		650
Ss-2			847	1703	510	848	1209	466	
Ss-3	片貝断層 (長岡平野西縁断層帯)による地震	下記の2つのケースを包絡	600			400	600		400
Ss-4		応力降下量1.5倍	589	574	314	428	826	332	
Ss-5		断層傾斜角35°	553	554	266	426	664	346	
Ss-6	陸域の活断層の連動	応力降下量1.5倍	510	583	313	434	864	361	
Ss-7		断層傾斜角35°	570	557	319	389	780	349	

既往評価からの変更点について（基準地震動Ss） 【擬似速度応答スペクトル】

荒浜側

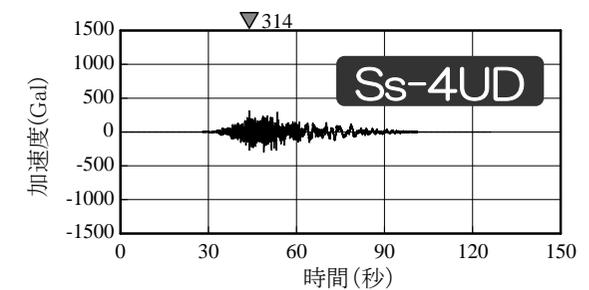
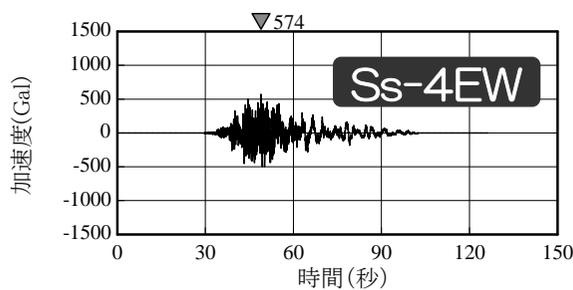
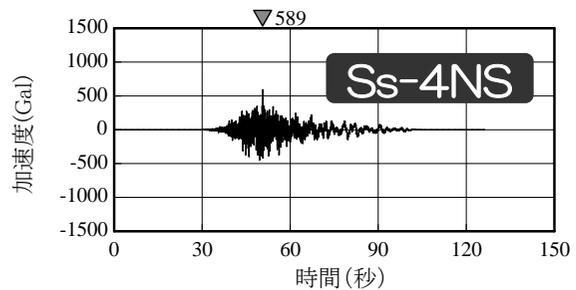
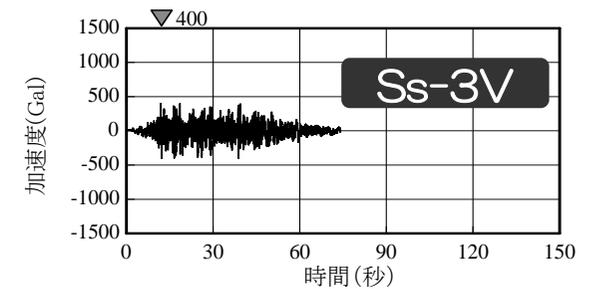
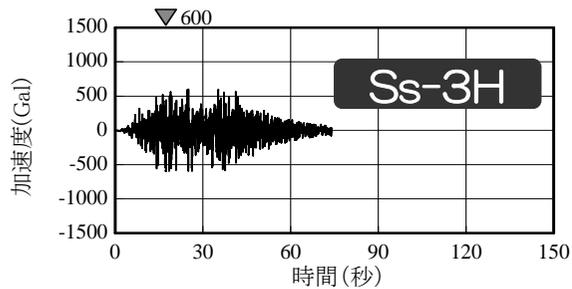
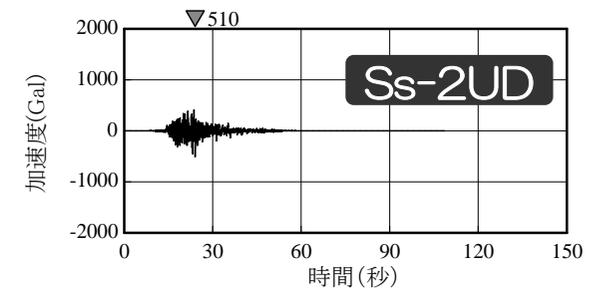
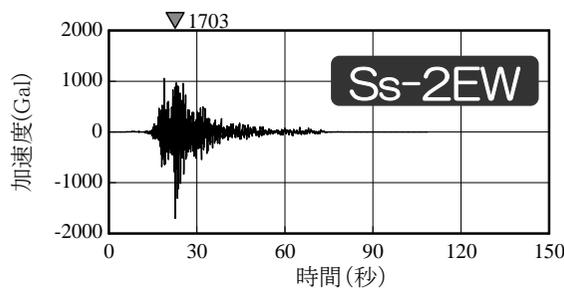
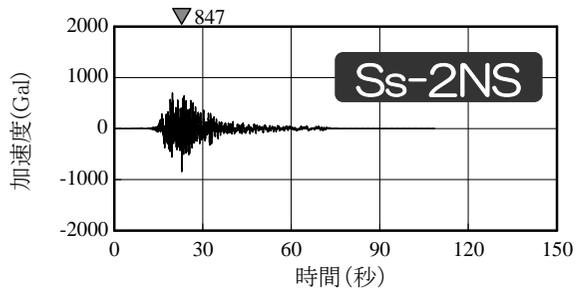
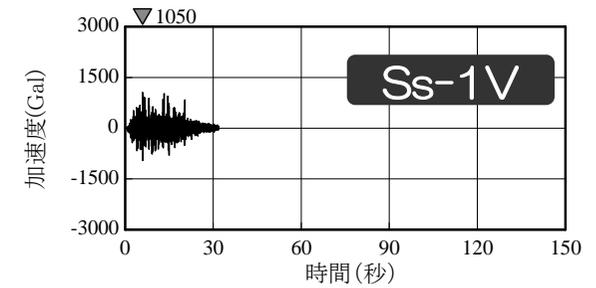
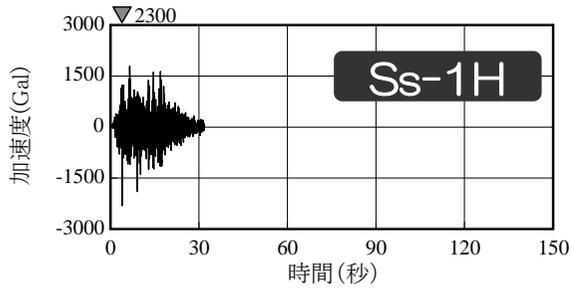


大湊側



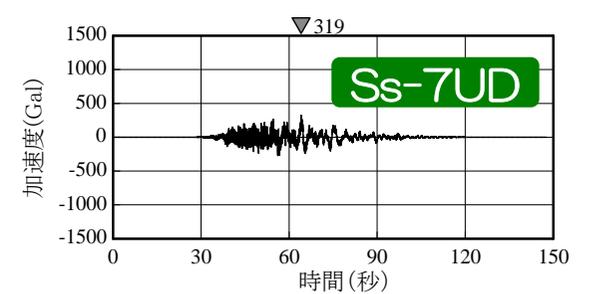
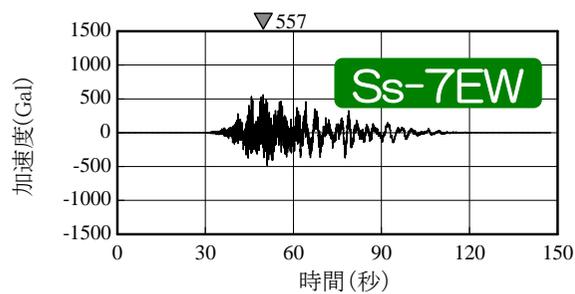
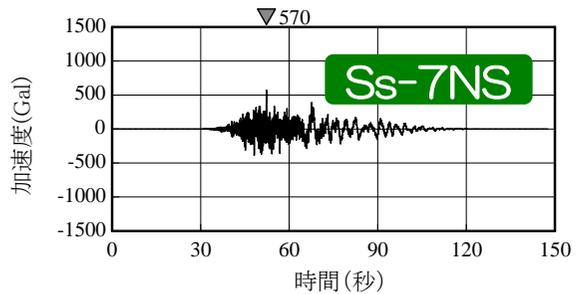
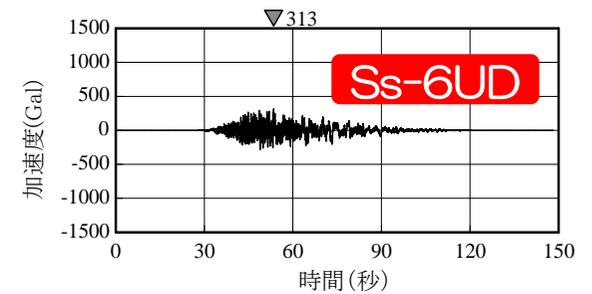
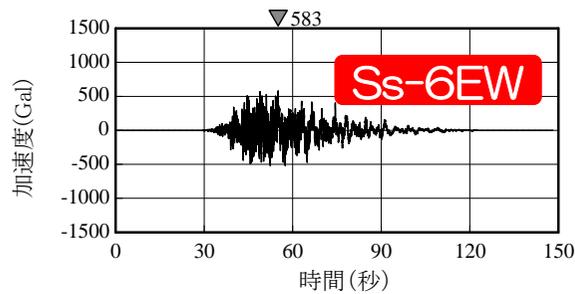
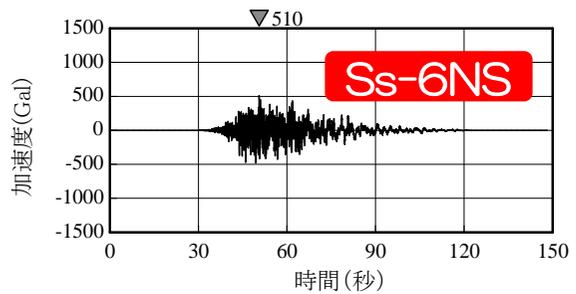
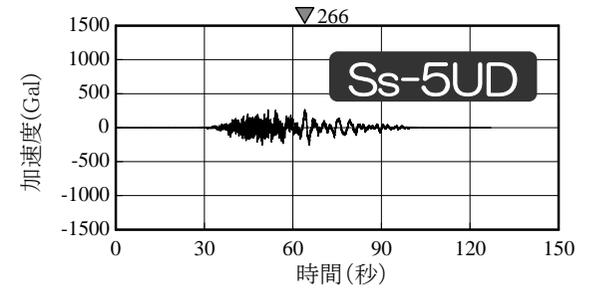
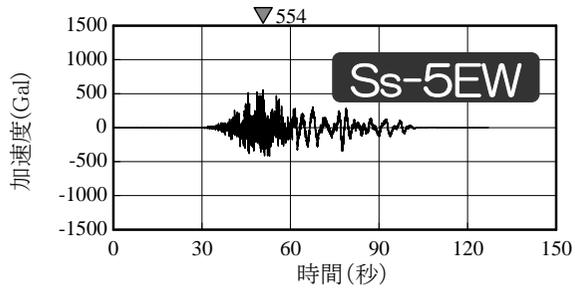
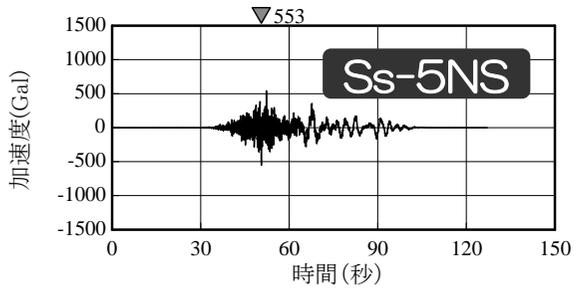
既往評価からの変更点について（基準地震動Ss） 【加速度時刻歴波形】（その1）

荒浜側



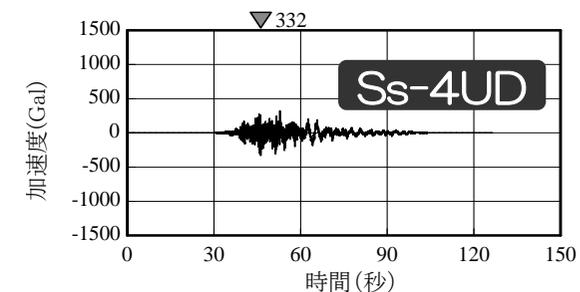
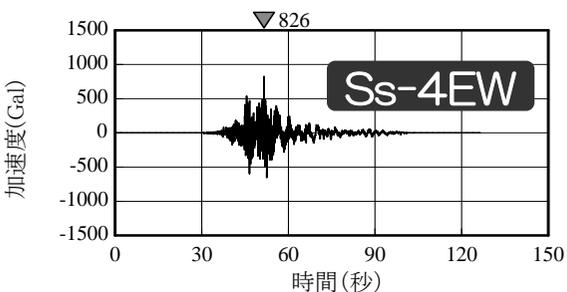
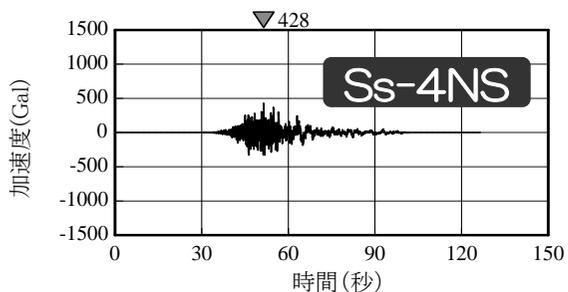
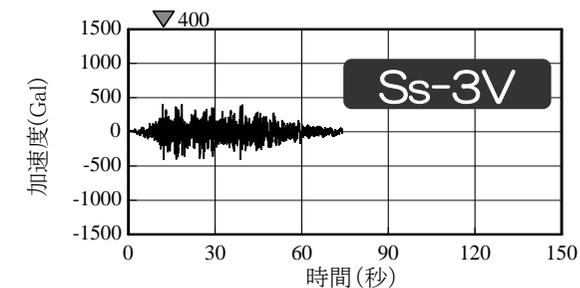
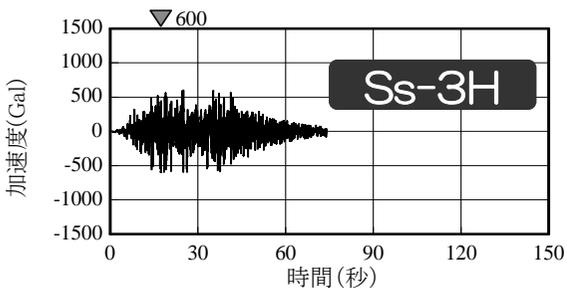
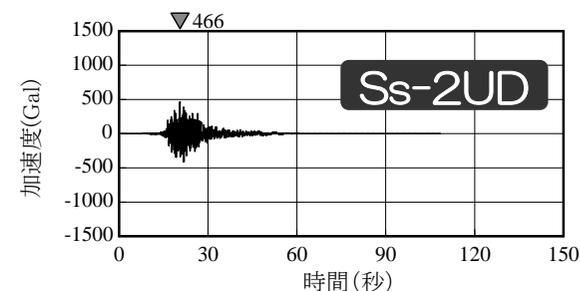
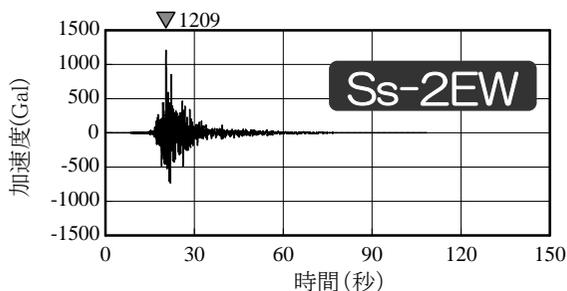
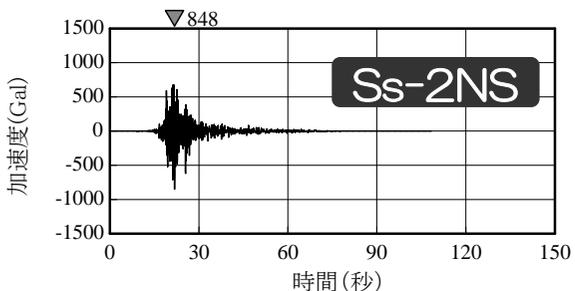
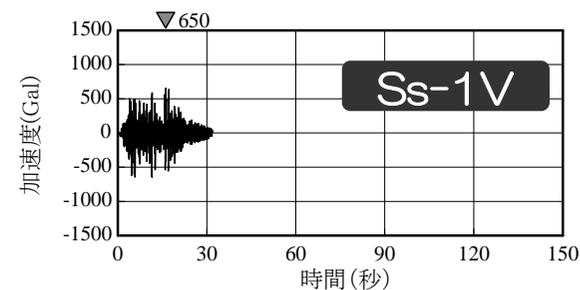
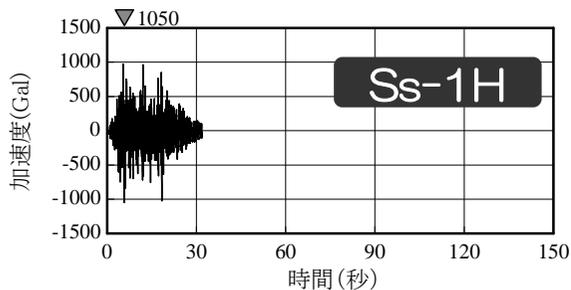
既往評価からの変更点について（基準地震動Ss） 【加速度時刻歴波形】（その2）

荒浜側



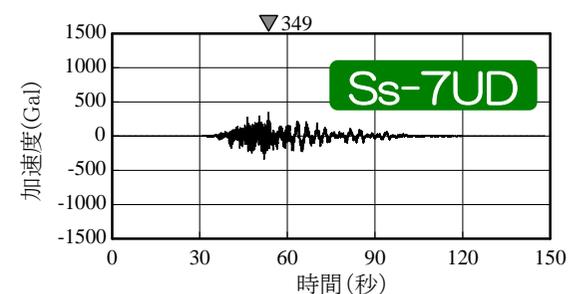
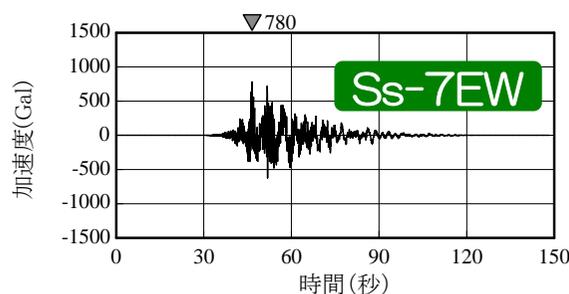
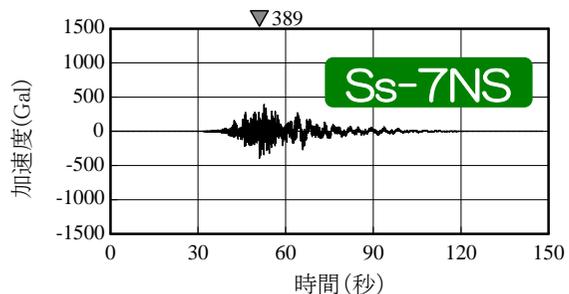
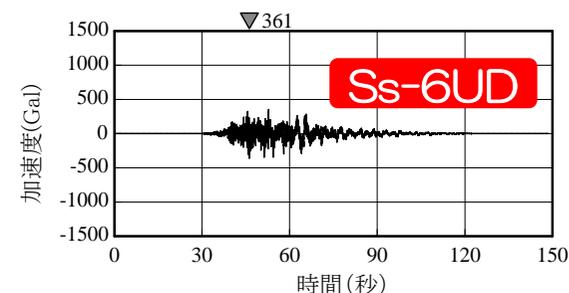
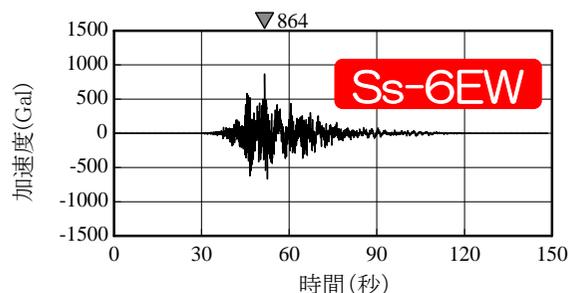
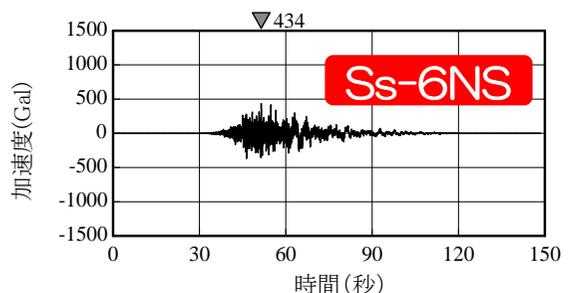
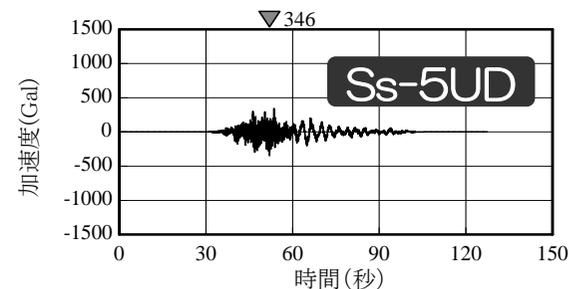
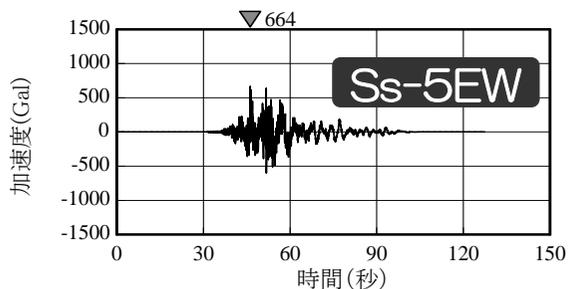
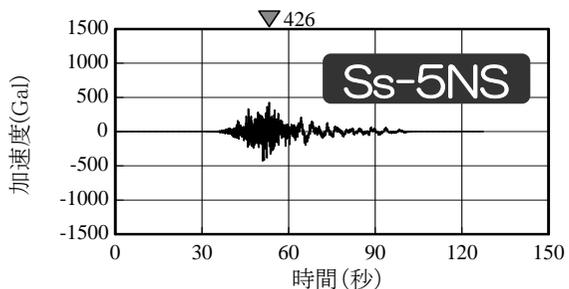
既往評価からの変更点について（基準地震動Ss） 【加速度時刻歴波形】（その3）

大湊側



既往評価からの変更点について（基準地震動Ss） 【加速度時刻歴波形】（その4）

大湊側



-
1. はじめに
 2. 既往評価からの変更概要
 3. 敷地周辺の地震発生状況
 4. 敷地における地震波の伝播特性
 5. 基準地震動
 - (1) 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
 - (2) 活断層の連動を考慮した地震動

3. 敷地周辺の地震発生状況

a. 被害地震

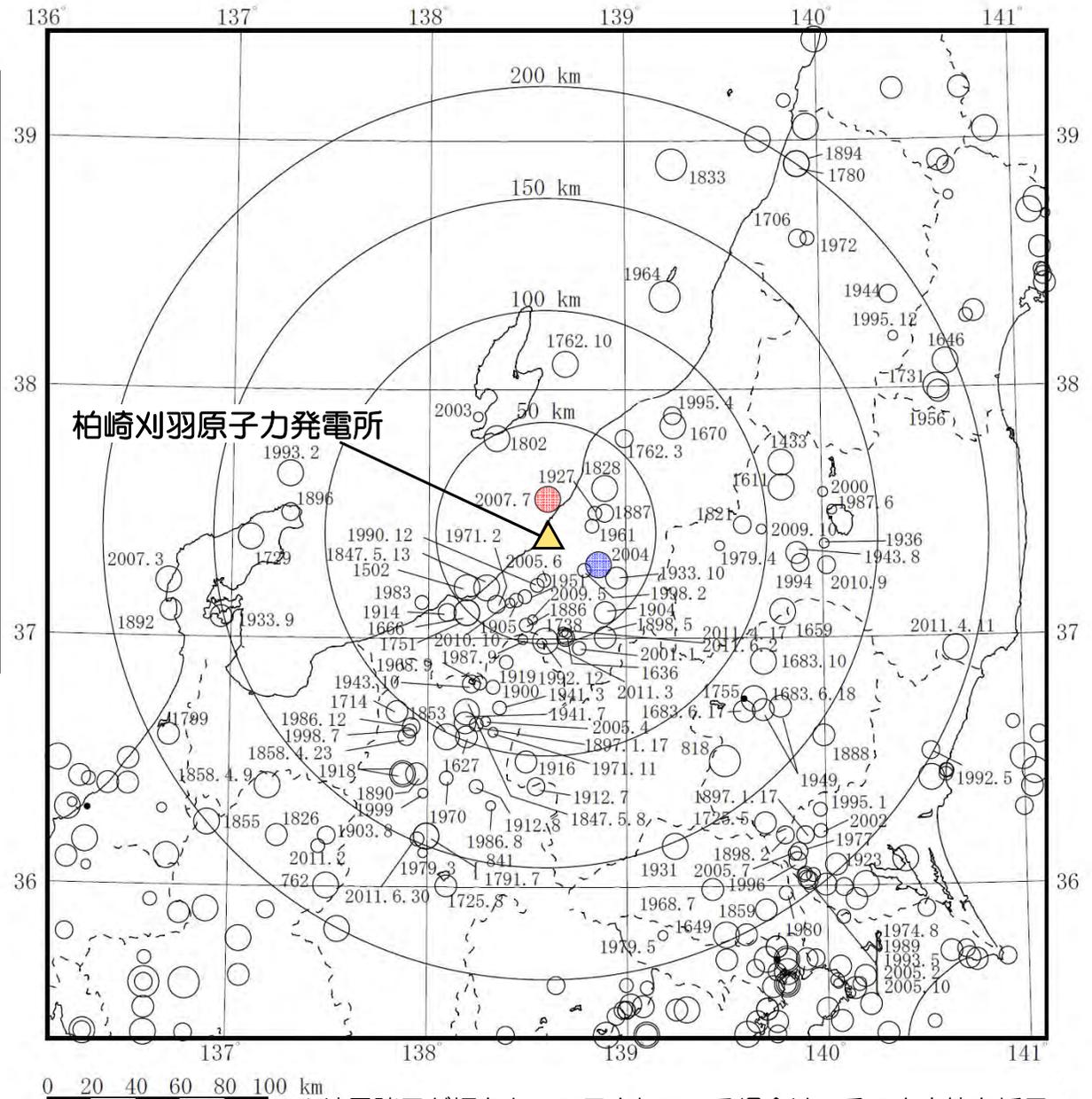
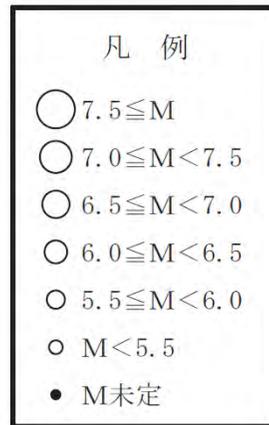
b. 敷地周辺の地震活動

c. 2004年新潟県中越地震

d. 2007年新潟県中越沖地震

被害地震

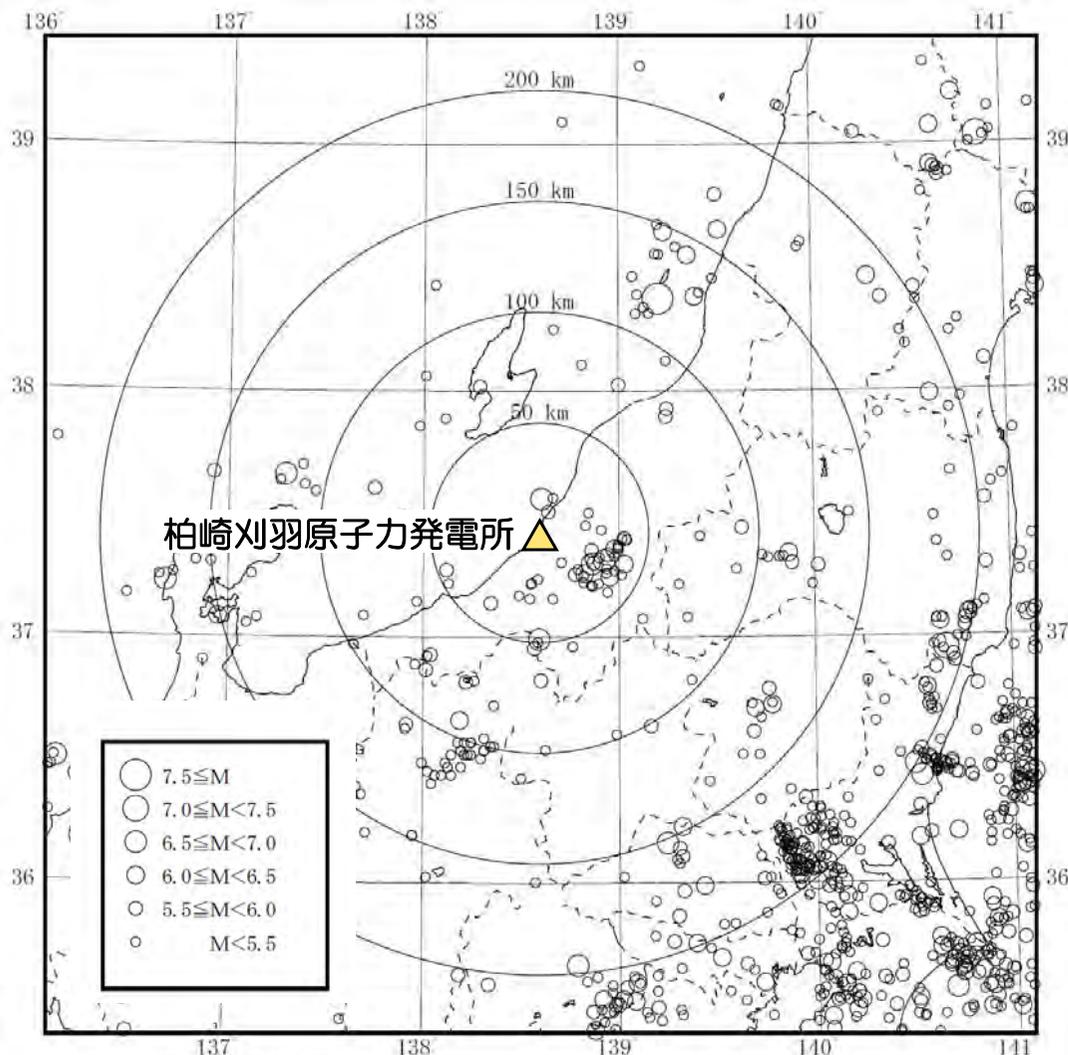
- 過去に敷地周辺に影響を与えたと考えられる被害地震を敷地からの震央距離200km程度以内の地震を対象に調査。
- 調査は、信頼性が高いと考えられる以下の文献を使用。
 - ・最新版 日本被害地震総覧
 - ・気象庁地震カタログ
- 敷地からの震央距離が約28kmの位置で2004年新潟県中越地震（以下、「中越地震」）が、約15kmの位置で2007年新潟県中越沖地震（以下、「中越沖地震」）が発生している。



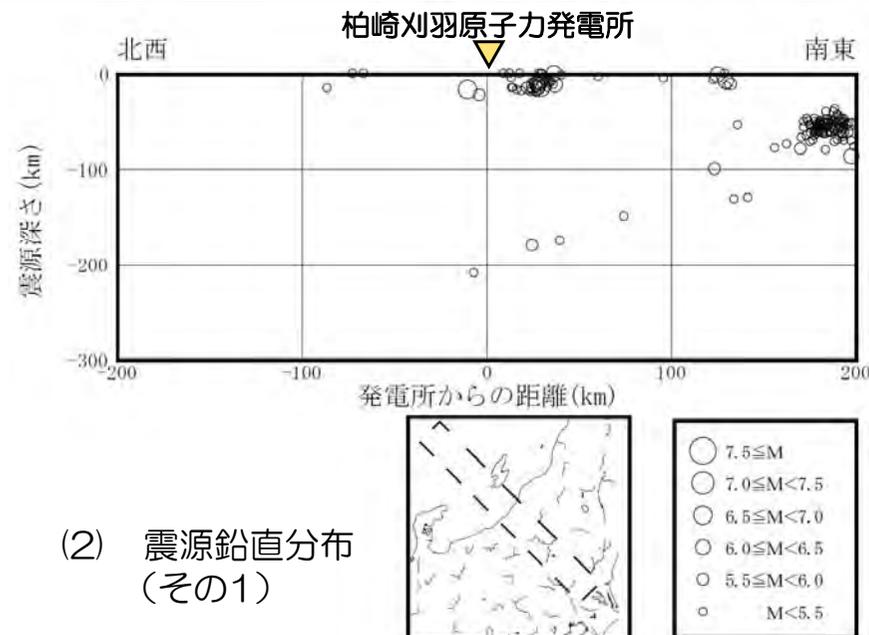
※地震諸元が幅をもって示されている場合は、その中央値を採用
敷地周辺における主な被害地震の震央分布

敷地周辺の地震活動 M5以上の地震

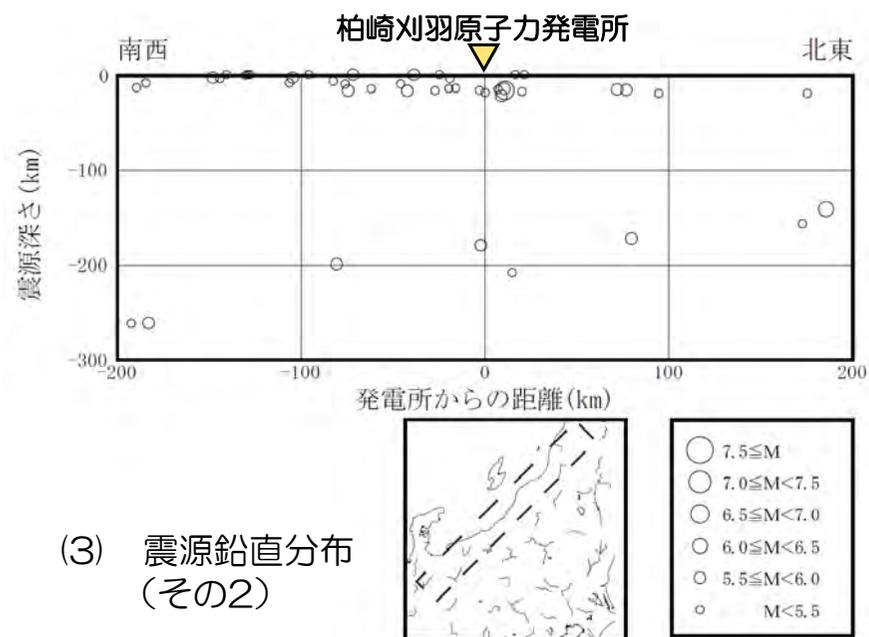
- 気象庁地震カタログに記載されている1923年～2011年までの敷地周辺で発生したM5以上の地震を整理。
- 敷地周辺においてM5以上の地震は、約30km程度以浅の位置で発生。



(1) 震央分布



(2) 震源鉛直分布 (その1)



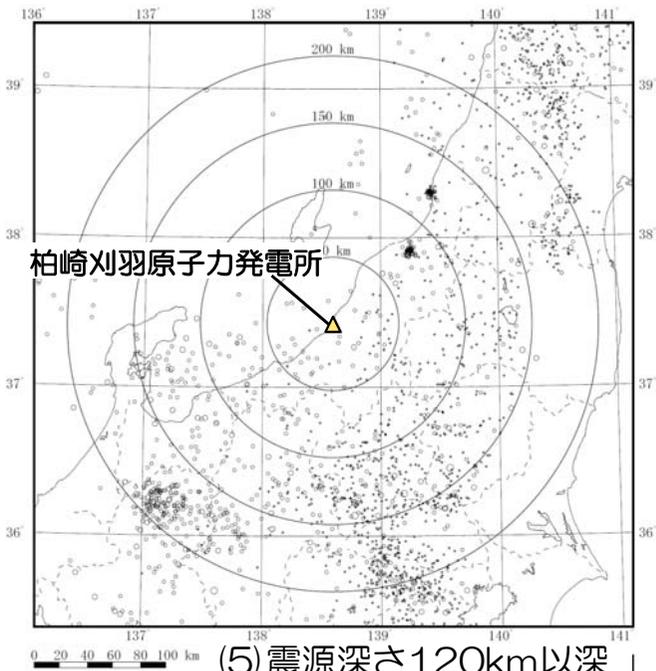
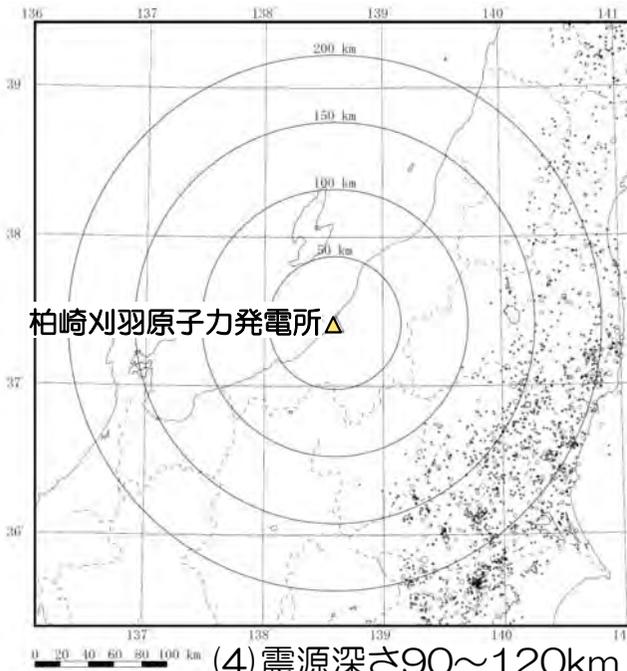
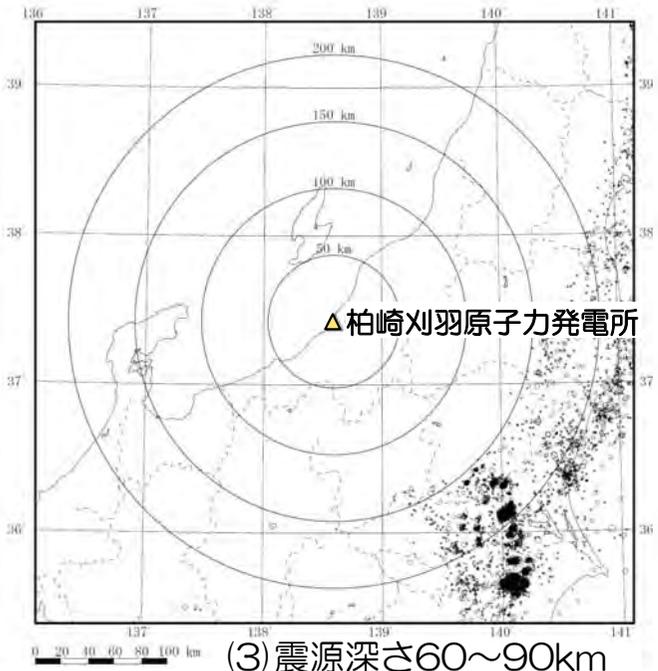
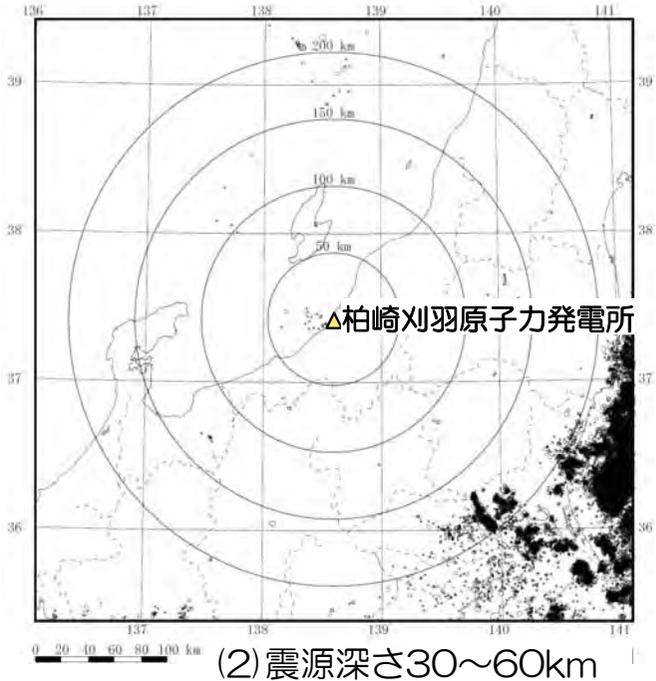
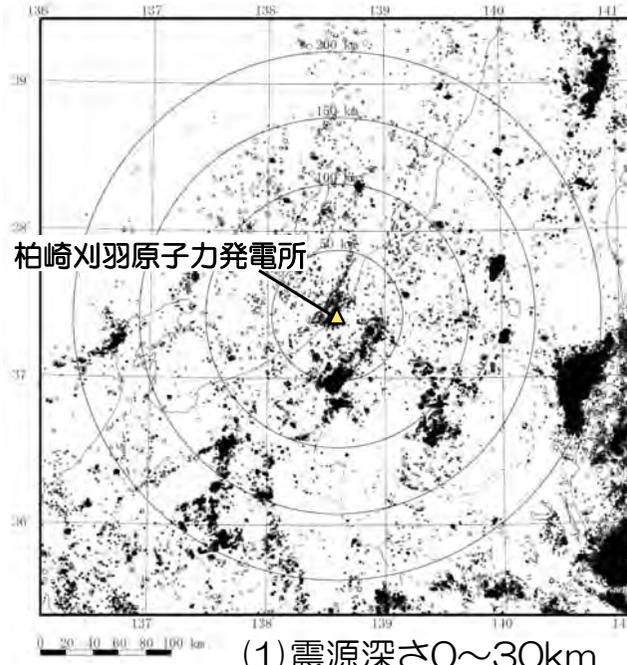
(3) 震源鉛直分布 (その2)

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2009年～2011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0～30kmで地震が発生している。

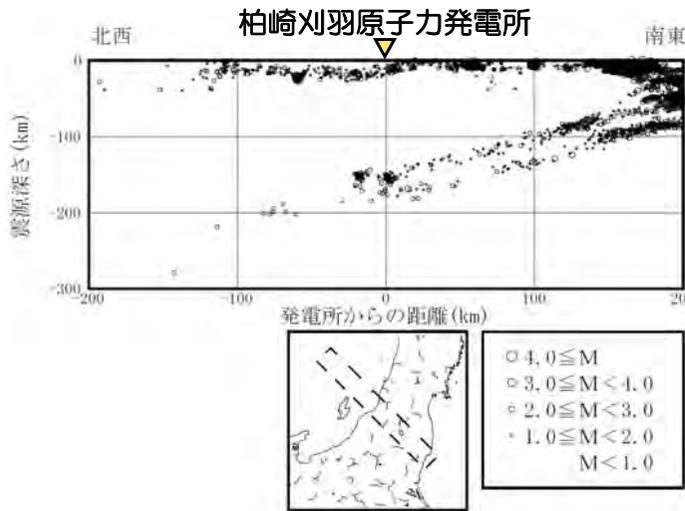
凡例

○	4.0 ≤ M
○	3.0 ≤ M < 4.0
○	2.0 ≤ M < 3.0
○	1.0 ≤ M < 2.0
○	M < 1.0

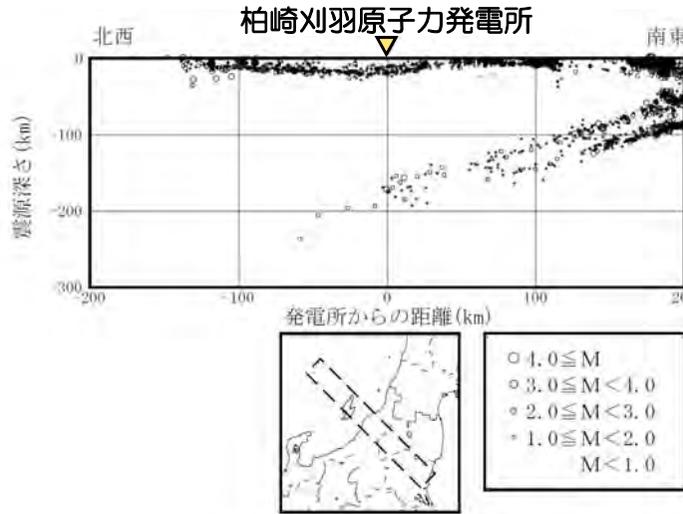


敷地周辺の地震活動 M5以下の地震（震源鉛直分布）

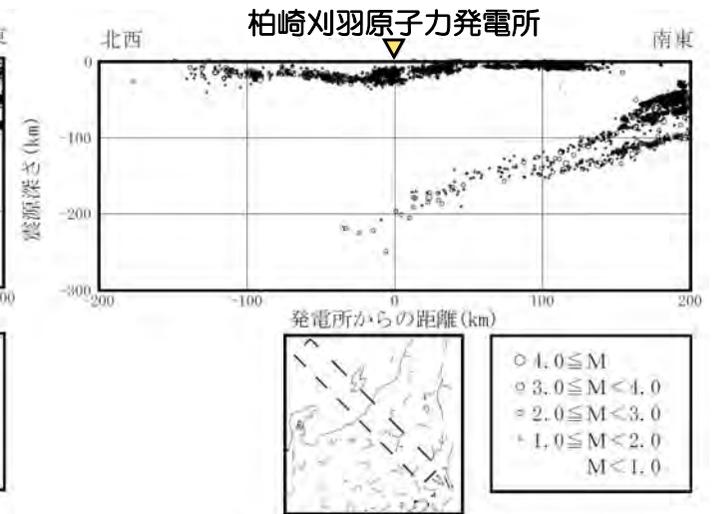
- 気象庁地震カタログに記載されている2009年～2011年までの敷地周辺で発生したM5以下の地震を整理。
- 敷地周辺においては、主に震源深さ0～30kmで地震が発生している。



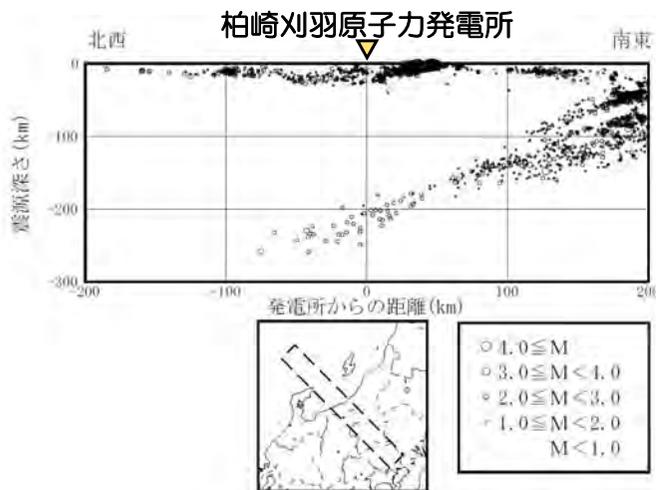
(1) その1



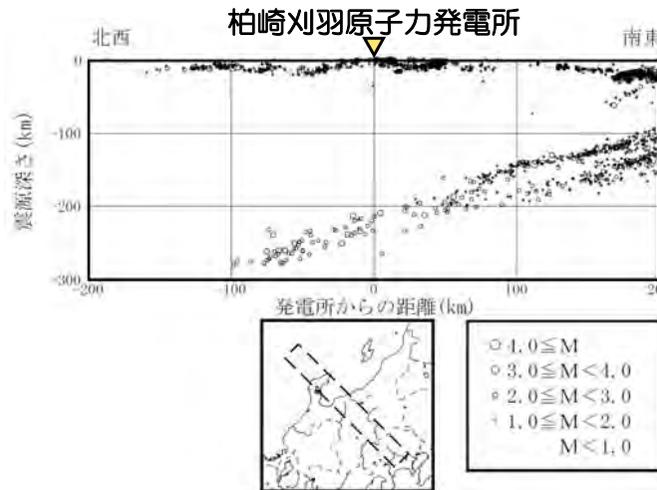
(2) その2



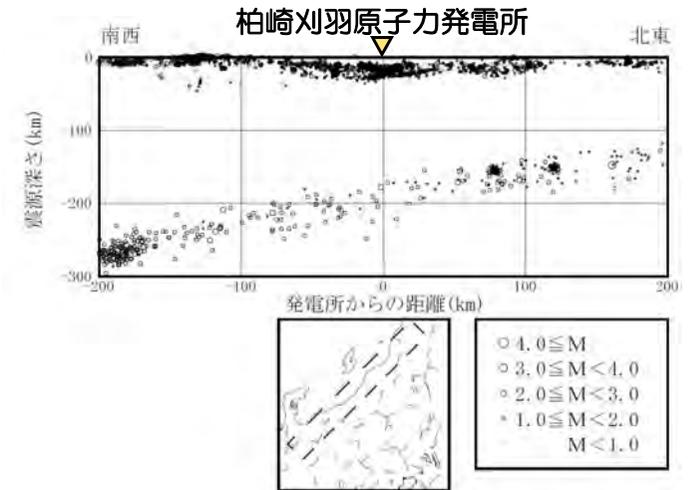
(3) その3



(4) その4



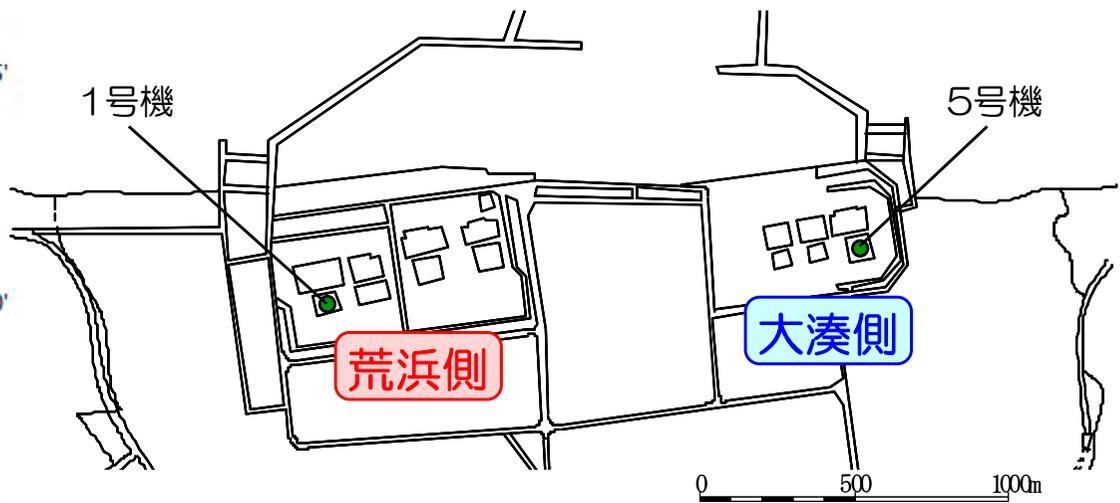
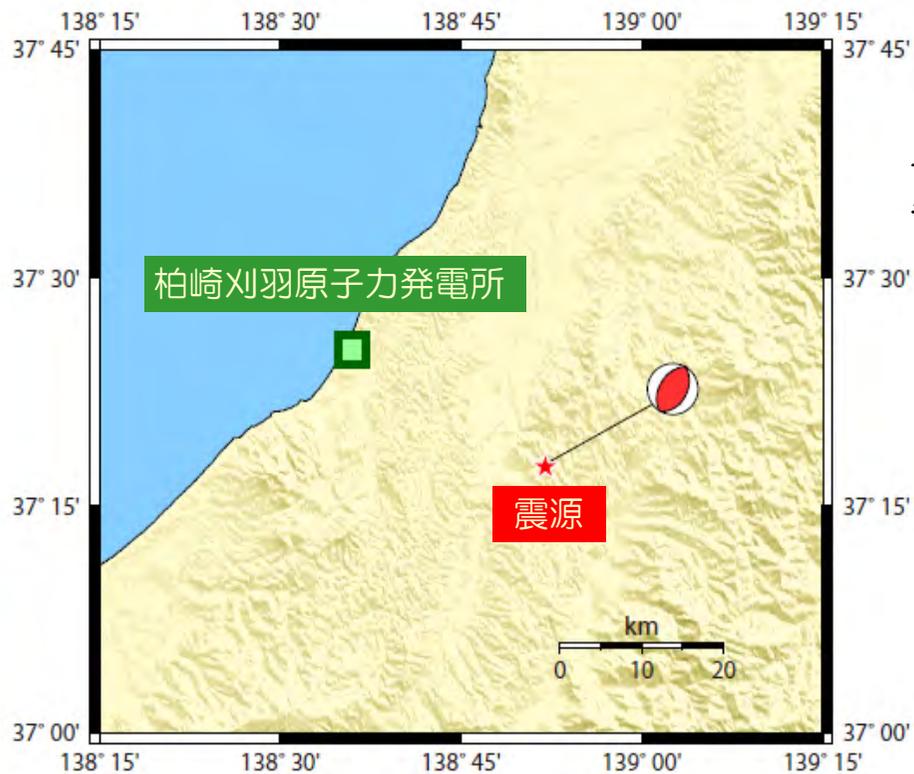
(5) その5



(6) その6

2004年新潟県中越地震

■ 中越地震では、5号機原子炉建屋基礎版上で観測記録が得られている。



原子炉建屋基礎版上で観測された最大加速度値 (単位: Gal)

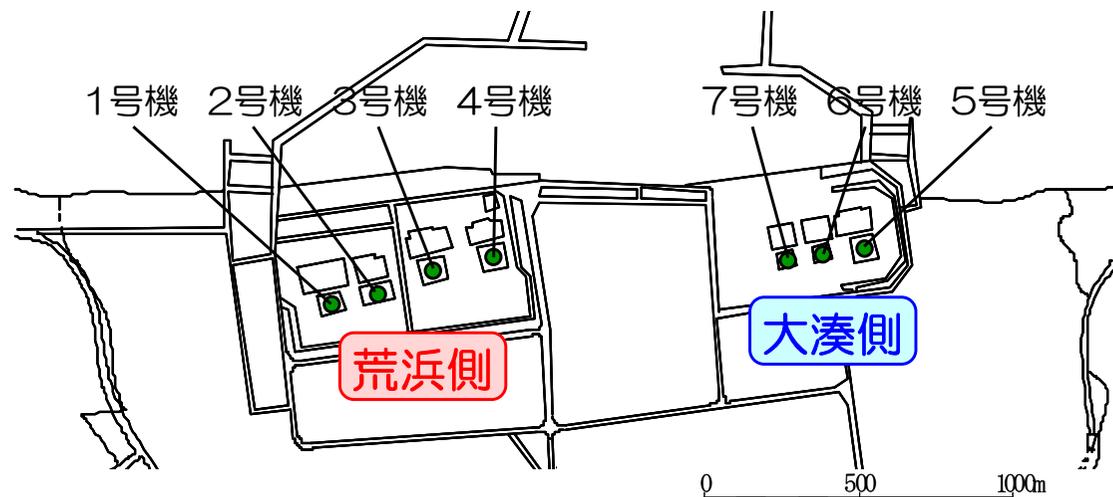
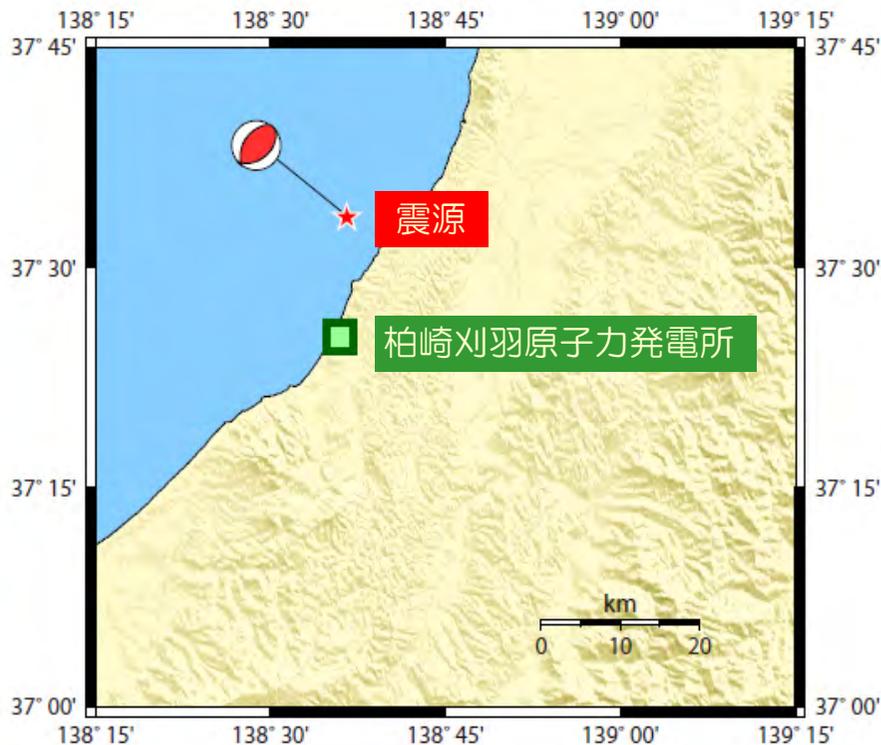
	荒浜側	大湊側
	1号機	5号機
NS方向	—※1 (274)※2	27 (249)※2
EW方向	—※1 (273)※2	54 (254)※2
UD方向	—※1	57

※1 荒浜側は、落雷の影響のため記録が得られていない。
 ※2 () 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。

- 【地震諸元 (気象庁)】
- ・発生日時: 2004/10/23 17:56
 - ・規模: マグニチュード 6.8
 - ・震央: 北緯 37° 17.6'
東経 138° 52.0'
 - ・震源深さ 13 km

2007年新潟県中越沖地震

- 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：Gal）

	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。

【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

- 検討の結果、要因を以下のとおり整理。

【要因1】 震源の影響

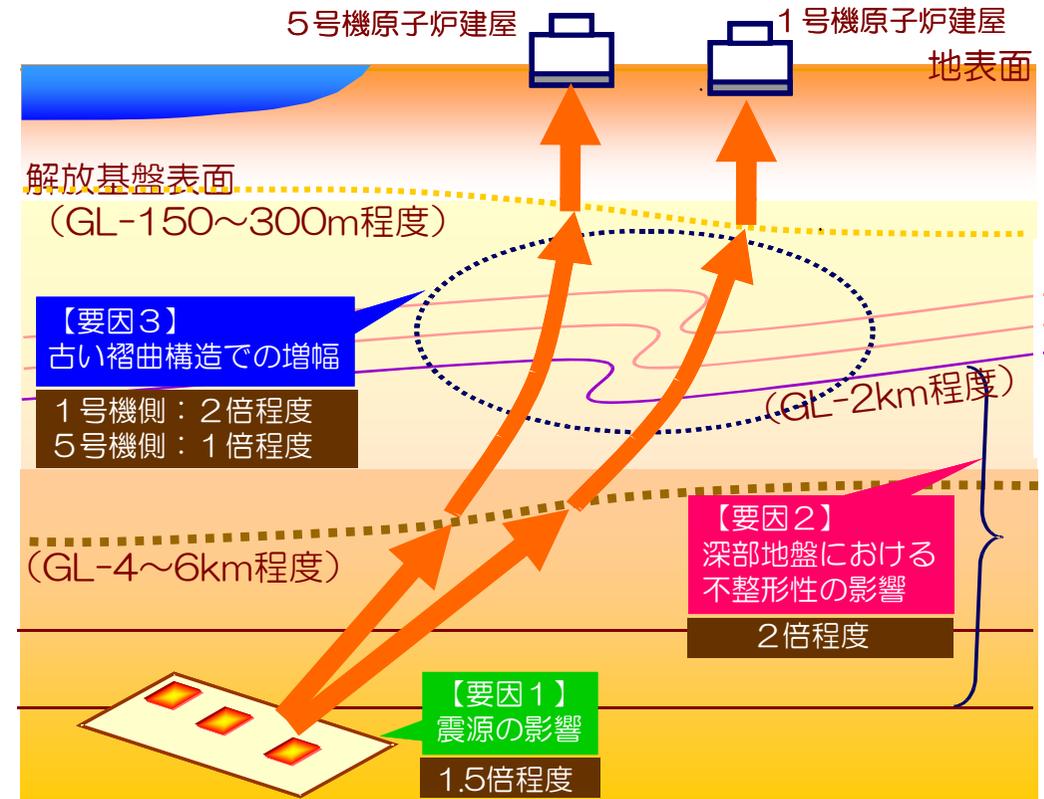
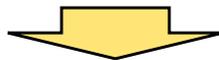
中越沖地震の短周期レベルは、平均的な地震と比較して大きい

【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



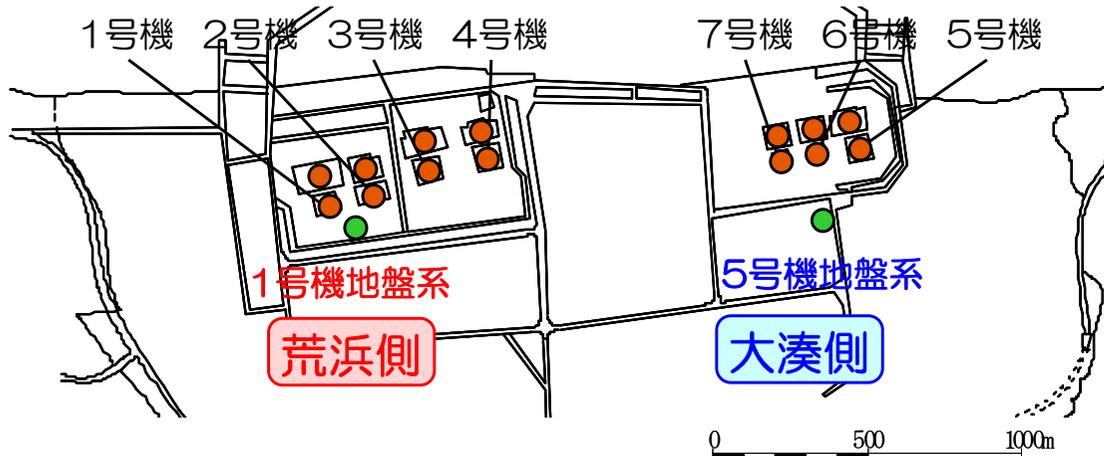
- 反映事項として、『敷地における観測記録に基づき、基準地震動を策定する』こととした。
- 具体的には、以下のとおりとした。
 - 海域の活断層と陸域の活断層に分類して評価を実施
 - 海域の活断層による地震については、荒浜側（1～4号機）と大湊側（5～7号機）でそれぞれ基準地震動を策定
- Noda et al. (2002) による応答スペクトルにおいて、海域の地震と陸域の地震に分類して、それぞれ観測記録に基づく補正係数を考慮
- 断層モデルによる地震動評価では、短周期レベルとして標準的な値の1.5倍を考慮するとともに、経験的グリーン関数法では、海域と陸域の地震動特性を反映した適切な要素地震を採用

-
1. はじめに
 2. 既往評価からの変更概要
 3. 敷地周辺の地震発生状況
 4. 敷地における地震波の伝播特性
 5. 基準地震動
 - (1) 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
 - (2) 活断層の連動を考慮した地震動

敷地における地震波の伝播特性

地震観測

- 敷地地盤では、荒浜側に1号機地盤系、大湊側に5号機地盤系において鉛直アレイ地震観測を実施。（●印）
- 各号機の原子炉建屋、タービン建屋基礎版上においても地震観測を実施。（○印）



鉛直アレイ地震観測点の概要

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

※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

※2：2007年11月観測終了 ※3：2009年3月観測開始

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以上の地層が分布している標高に解放基盤表面を設定。
- 6号機及び7号機の解放基盤表面を以下のように設定。
標高：-155m
整地面からの深さ：167m

設定した解放基盤表面の位置

号機	標高	T.M.S.L.※1 (m)	整地面からの深さ(m)
1		-284m	289m
2		-250m	255m
3		-285m	290m
4		-285m	290m
5		-134m	146m
6		-155m	167m
7		-155m	167m

※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

地震波の伝播特性と地震動評価への反映方法

■ 三次元地下構造を把握し、地震観測記録の分析・解析的検討を行い中越沖地震の要因分析を実施したうえで、敷地での観測記録を用いた地震動評価を実施することで敷地地盤の地震波の伝播特性を適切に反映。

中越沖地震の要因分析

詳細は第194回審査会合資料2-1参照

地下構造の把握

敷地及び敷地周辺における反射法探査やボーリング等の調査結果により三次元地下構造を把握

- ・ 反射法地震探査 7測線 延長約18km*
- ・ ボーリング調査 約830孔 延長約71,500m
- ・ 試掘坑調査 (5, 6, 7号炉) 延長約1,085m
- ・ 立坑調査 3箇所 (荒浜側含む) (※ 広域調査を目的とした測線を除く)

- ・ 凡例
- ・ ボーリング (平成19年度以降に実施)
- ・ ボーリング (既往調査)
- ・ 試掘坑調査
- ・ 立坑調査
- ・ 東京電力高度反射法地層調査線
- ・ 敷地境界



【伝播特性1】

海域・陸域からの到来方向で伝播特性が異なる。(深部構造)

【伝播特性2】

海域の地震のうち南西側からの地震動は荒浜側が大湊側より2倍程度大きい。(褶曲構造)

敷地での観測記録を用いた地震動評価を実施している

具体的な反映方法

- ① 検討用地震の選定を海側・陸側で分ける
- ② Noda et al. (2002) の応答スペクトルによる評価では、海域の地震と陸域の地震に分類して、観測記録に基づく補正係数を考慮
- ③ 断層モデル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
- ④ 海域の地震については荒浜側と大湊側でそれぞれ基準地震動を策定
- ⑤ Noda et al. (2002) の応答スペクトルによる評価では、荒浜側と大湊側に分類して、中越沖地震時の観測記録に基づく補正係数を考慮
- ⑥ 断層モデルによる地震動評価では、経験的グリーン関数法を用い、地震動特性を反映した適切な要素地震を採用 (必要に応じて補正を行い使用)

地震観測記録の分析

解析的検討



荒浜側モデル断面

- 西山層
- 稚谷層
- 上部寺泊層
- 下部寺泊層
- 七谷層
- グリーンタフ
- 基盤岩

大湊側モデル断面

- 西山層
- 稚谷層
- 上部寺泊層
- 下部寺泊層
- 七谷層
- グリーンタフ
- 基盤岩

伝播特性1,2を適切に反映可能

-
1. はじめに
 2. 既往評価からの変更概要
 3. 敷地周辺の地震発生状況
 4. 敷地における地震波の伝播特性
 5. **基準地震動**
 - (1) **敷地ごとに震源を特定して策定する地震動**
 - (2) 活断層の連動を考慮した地震動

5. 基準地震動

(1) 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

a.地震発生層の設定

b.検討用地震の選定

c.検討用地震の地震動評価

①F-B断層による地震

②片貝断層による地震（長岡平野西縁断層帯による地震）

d.基準地震動の策定

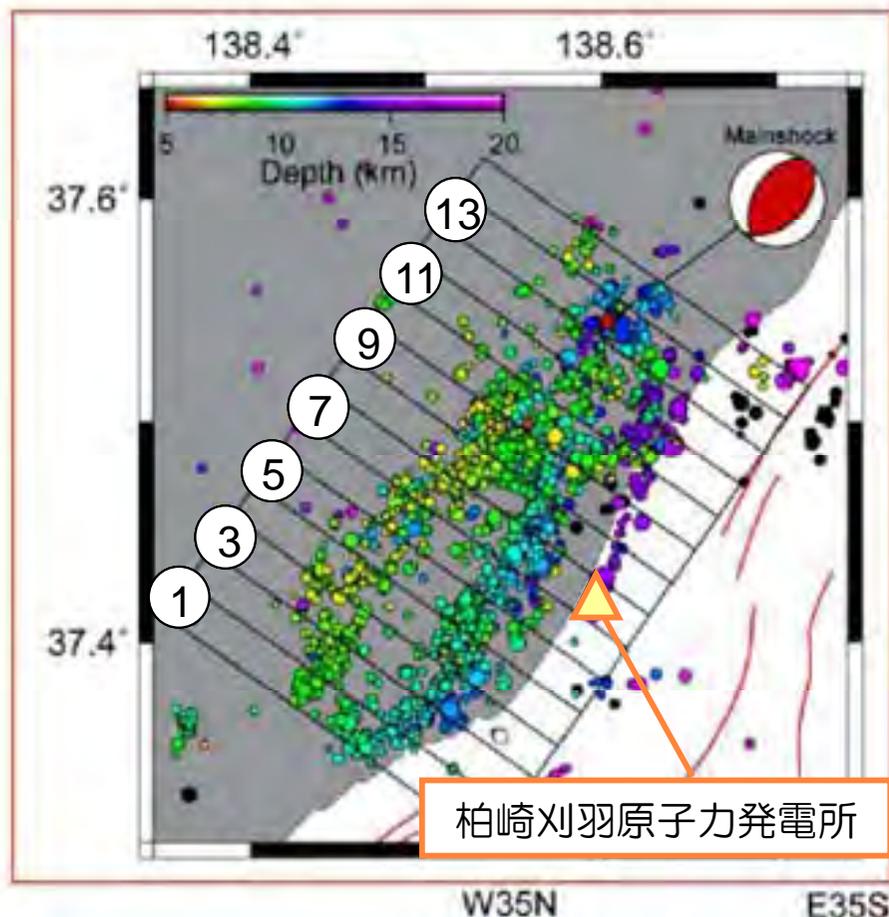
地震発生層の設定について

- 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。
- なお、上端深さにおいては、速度構造を重視し、下端深さにおいては、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。
- 地震発生層上端深さ：**6km**
地震発生層下端深さ：**17km** と設定。

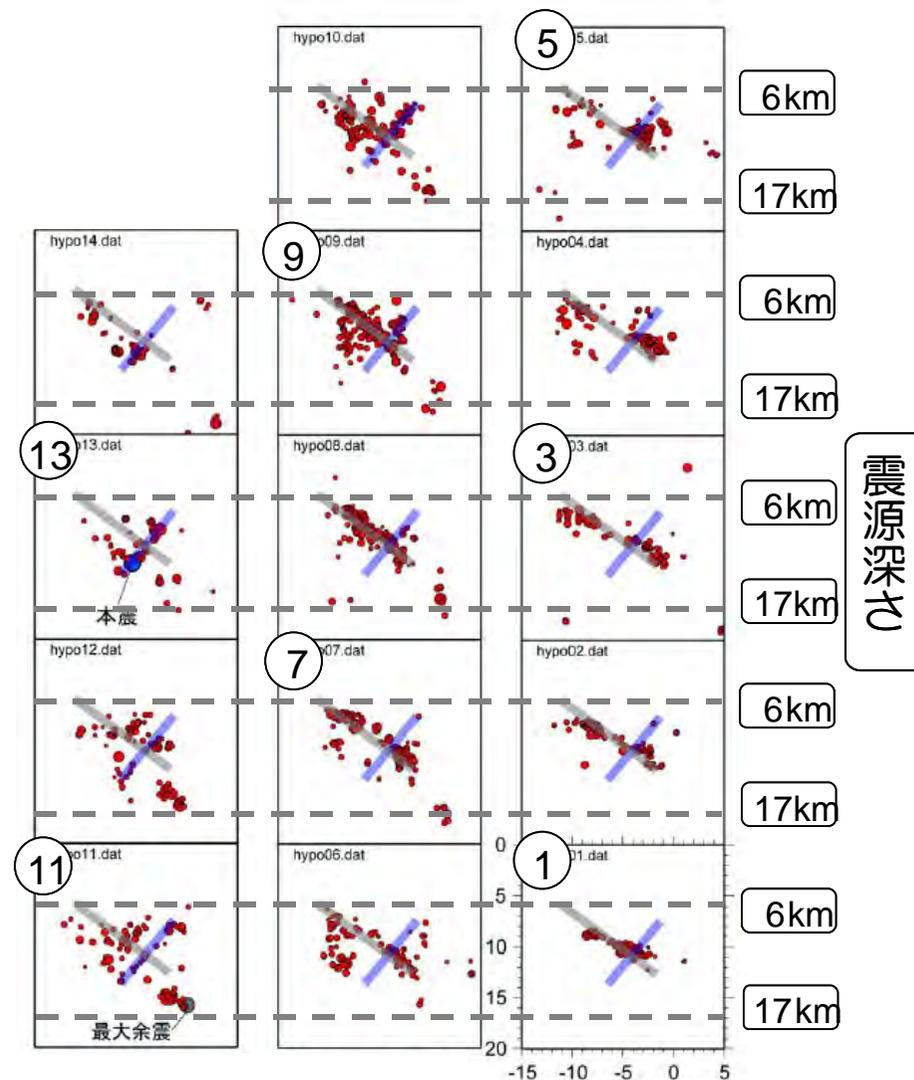
		上端深さ(km)	下端深さ(km)
①海域・陸域臨時地震計観測網に基づく中越沖地震の精密余震分布		6	17
②ひずみ集中帯プロジェクト	1.屈折法地震探査結果	6~9	—
	2.海域における自然地震観測	6	17
③Kato et al.(2009)によるP波速度構造		6~	—
④水平／上下スペクトル振幅比の逆解析による敷地地盤の速度構造モデル		5.9	—
⑤コンラッド面深さ		—	15~16

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。



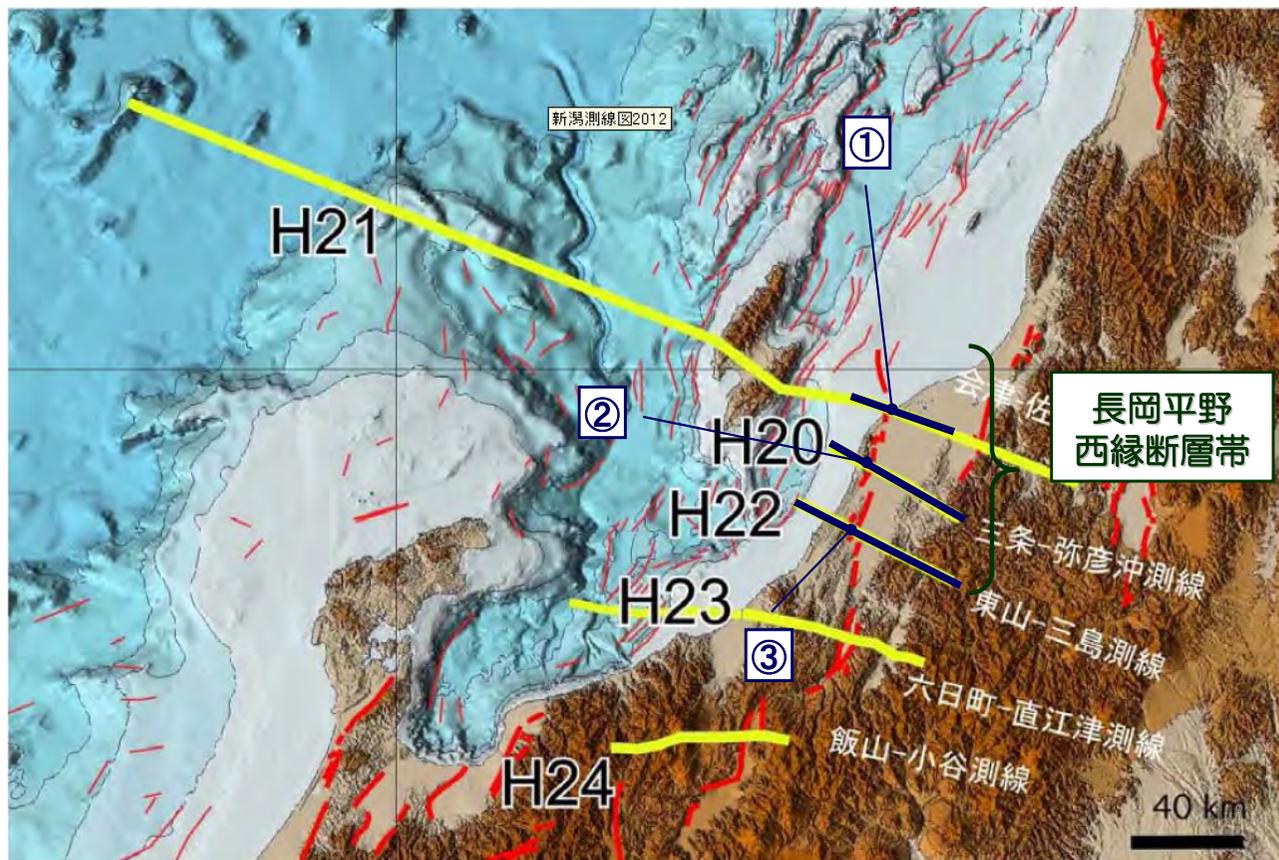
東京大学地震研究所資料（平成20年1月11日地震調査委員会）に加筆
 中越沖地震の余震
 （2007/7/16～2007/8/29）



地震調査研究推進本部（以下、「地震本部」）（2008）より抜粋（一部加筆・修正）

②ひずみ集中帯プロジェクト 1. 屈折法地震探査結果

- 文部科学省の科学技術試験研究委託事業による『ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究』（以下、「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。



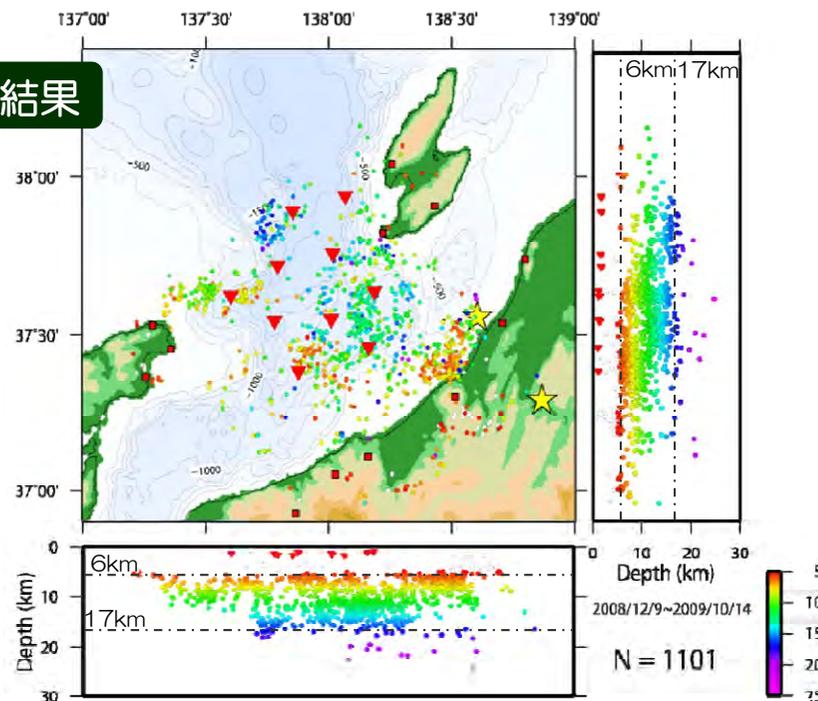
防災科学技術研究所(2013)より抜粋（一部加筆・修正）

	防災科学技術研究所（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

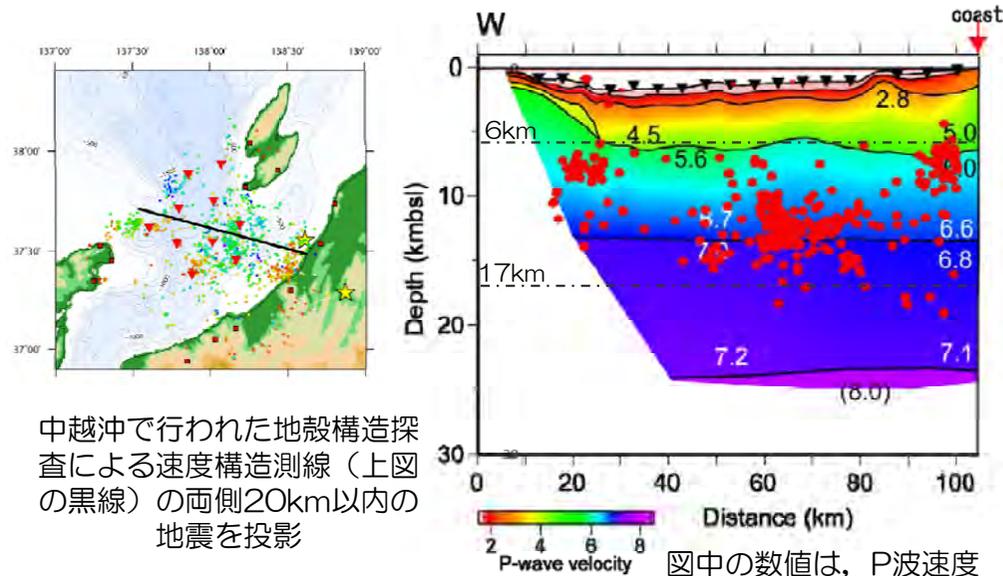
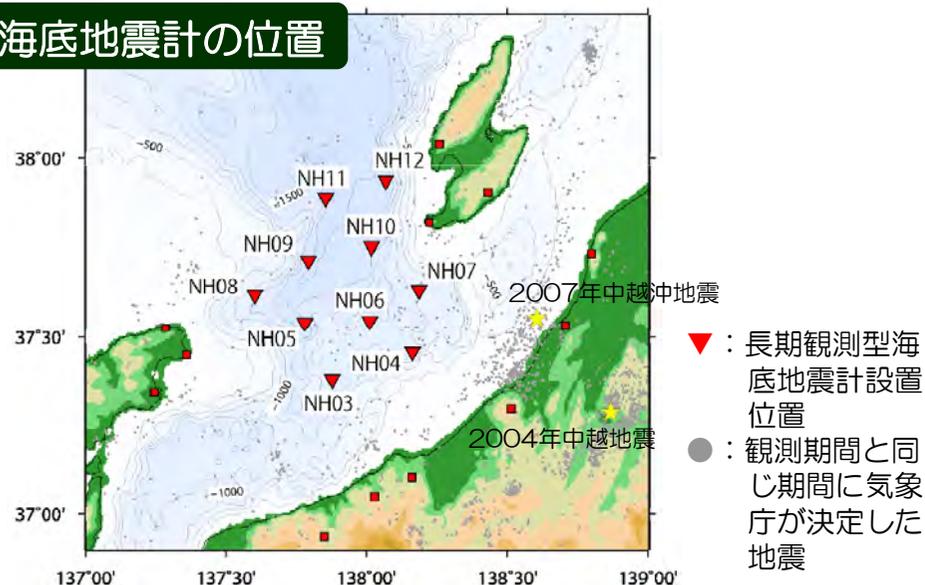
②ひずみ集中帯プロジェクト 2. 海域における自然地震観測

- 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にする目的で、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。

震源決定結果



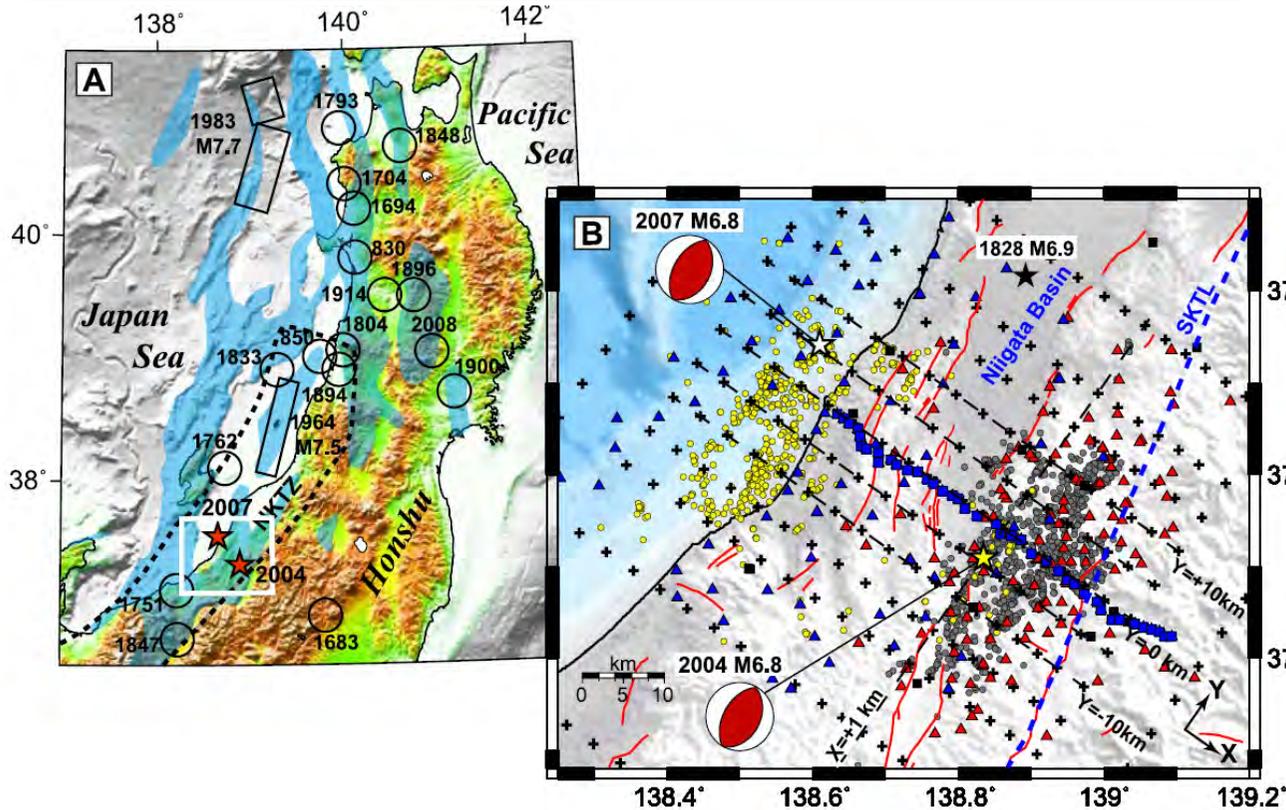
海底地震計の位置



防災科学技術研究所(2010,2011)より抜粋（一部加筆・修正）

③Kato et al.(2009)によるP波速度構造

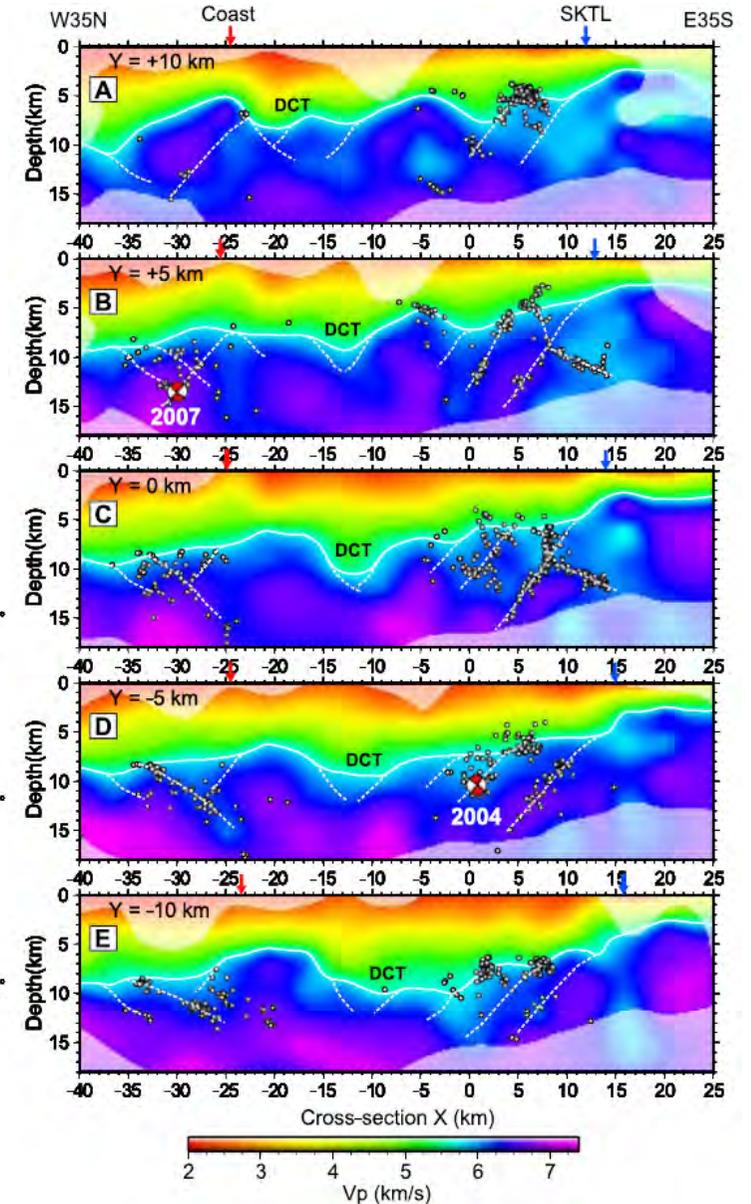
- 稠密観測データを用いたトモグラフィ解析を実施し、3次元地震波速度構造と震源分布の推定を実施している。
- 地震発生層の上端に概ね対応すると考えられる $V_p=5.7\text{km/s}$ 相当の等速度線は、西側に向かって深くなっており、概ね6kmを超える傾向にある。



- : 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
 - +
- トモグラフィ解析に使用したグリッド配置 (水平方向3~5km, 深さ方向3km)

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)

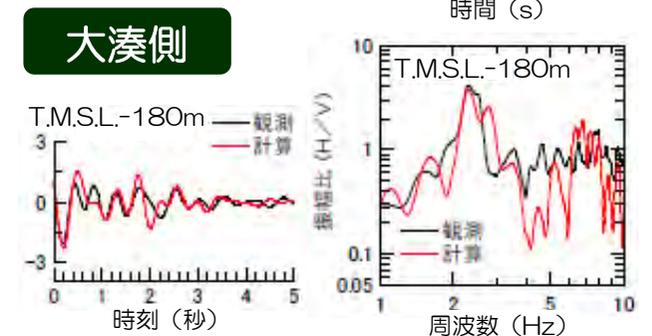
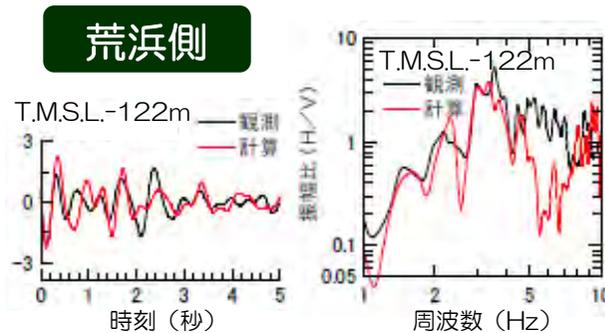
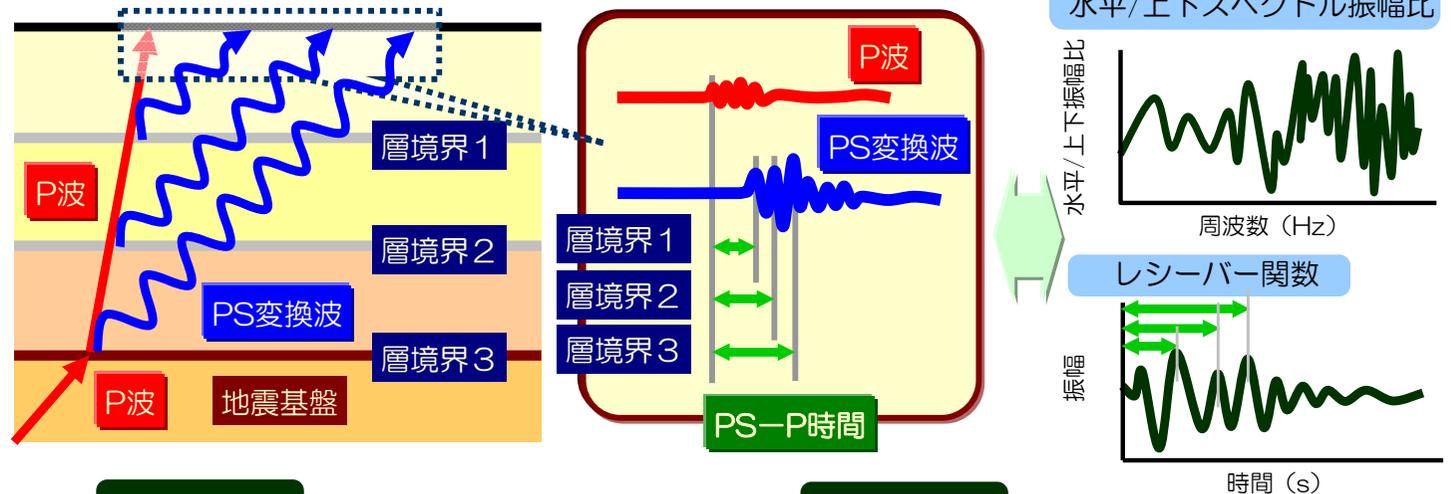


各断面から $\pm 2.5\text{km}$ 以内の余震を重ねて表示
 白線の実線: $V_p=5.7\text{km/s}$ の等速度線
 白色の破線: 解釈された基盤内のブロック境界断面
 DCT (Deep Central Trough): 基盤上面の窪地

P波速度構造の深さ断面図

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係する量である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。
- 地盤系の記録（2004年中越地震の余震）の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、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。

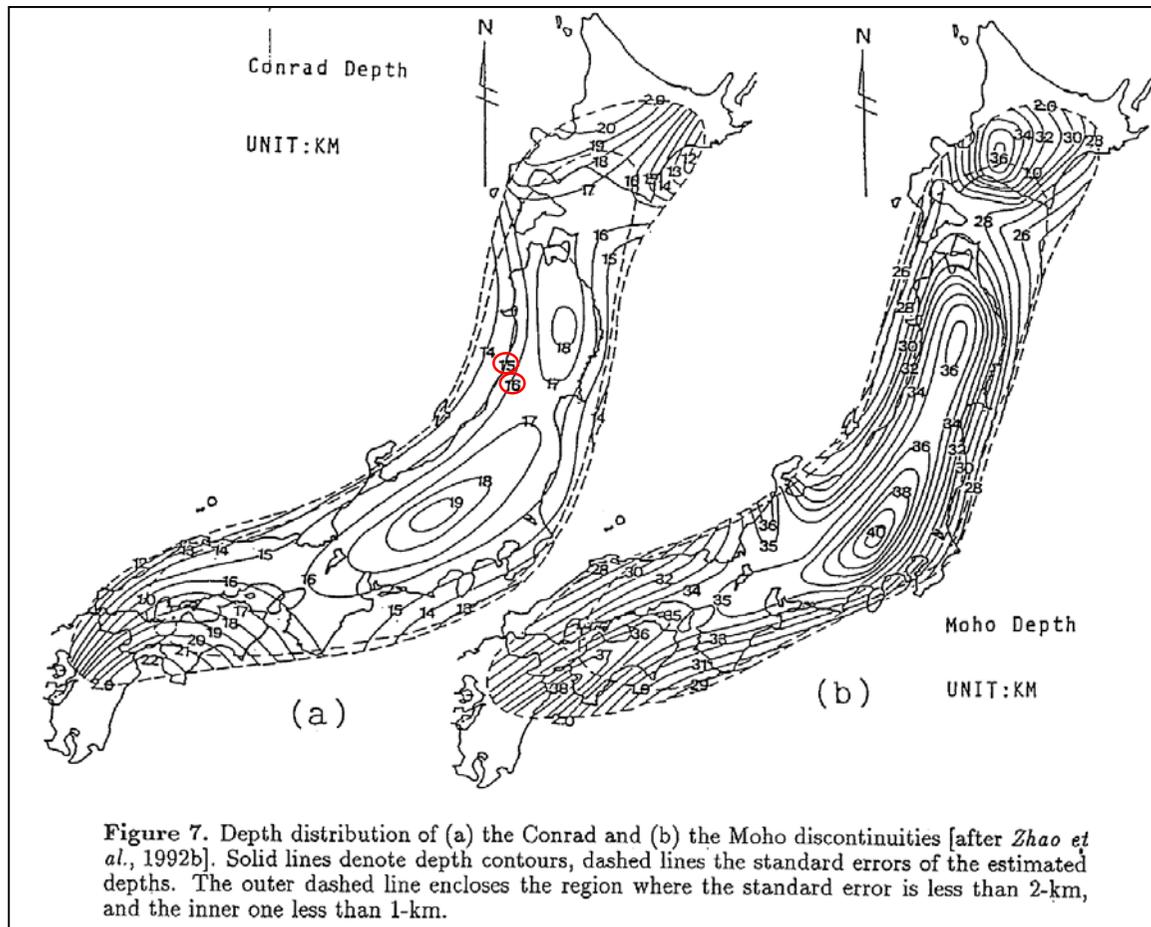


No.	探索範囲			同定結果			
	層厚 (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	T.M.S.L. (m)	層厚 (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)
				-284			
1	16	1110	2280	-300	16	1110	2280
2	10~1500	1000~1200	2100~2500	-1360	1060	1160	2390
3	10~2500	1200~2000	2500~4100	-2410	1050	1620	3220
4	10~2500	1200~2500	2500~4900	-3700	1290	2050	4150
5	10~2500	1400~3200	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)
				-134			
1	15	730	1800	-149	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

地震基盤面相当の深さは約6km
(地震発生層上端深さに対応)

⑤コンラッド面深さ



地殻は、コンラッド面と呼ばれる境界を境に、カコウ岩質の上部地殻とゲンブ岩質の下部地殻に分けられる。

地殻内の地震は、ほぼ上部地殻の中でのみ起きている。

下部地殻は流動性に富んでいて、地震を起こすほど歪みエネルギーを蓄積することができない。

木下ほか（2000）より抜粋

Zhao *et al.*(1994)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

5. 基準地震動

(1) 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

a.地震発生層の設定

b.検討用地震の選定

c.検討用地震の地震動評価

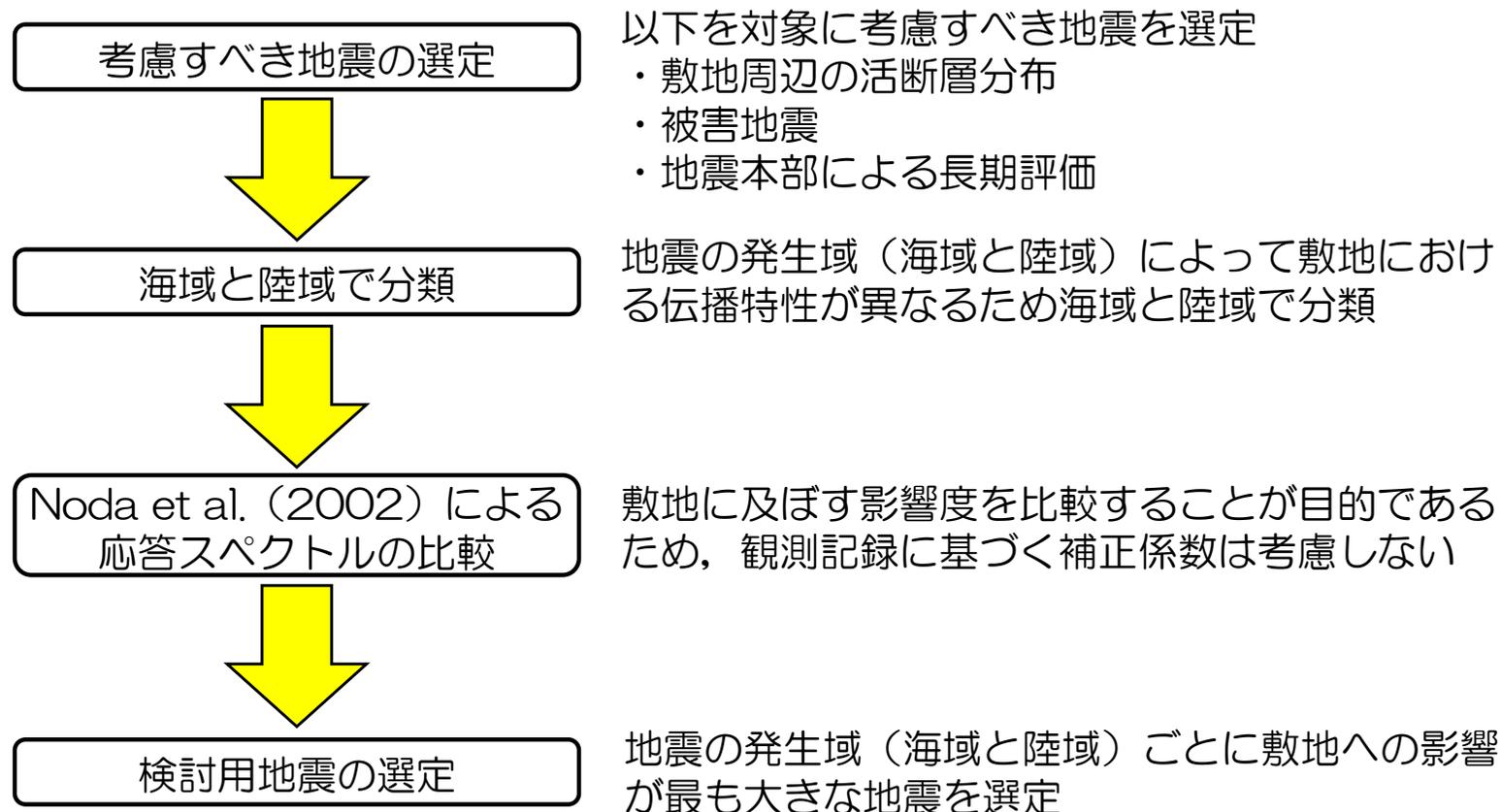
①F-B断層による地震

②片貝断層による地震（長岡平野西縁断層帯による地震）

d.基準地震動の策定

選定フロー

- 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及び海域と陸域の分類

【敷地周辺の活断層分布】

■地質調査結果及び〔新編〕日本の活断層をもとに敷地周辺の主な活断層の分布を整理。



敷地周辺の活断層の諸元（柏崎刈羽原子力発電所6号炉及び7号炉の設置変更許可申請書より）

	No.	活断層の名称	断層長さ (km)	地震 規模※1	傾斜角 ※2(°)	断層幅 ※3(km)	Xeq※4(km)		備考
							荒浜	大湊	
海域	1	佐渡島棚東縁断層	37	6.8	西55	15	55	53	佐渡島棚東縁撓曲に対応
	2	F-B断層	27	6.8	東35	20	14	14	F-B褶曲群に対応
	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	F-D褶曲群に対応
	5	高田沖断層	25	6.8	東30	22	59	60	高田沖褶曲群に対応
	6	米山沖断層	21	6.8	西50	15	25	26	
陸域	7	角田・弥彦断層	54	7.1	西50	15	51	49	
	8	気比ノ宮断層	22	6.8	西50	15	21	20	
	9	片貝断層	16	6.8	西50	15	14	14	
	10	中央丘陵西縁部断層	—	—	—	—	—	—	No.8の副次的な断層※5
	11	上富岡断層	—	—	—	—	—	—	No.9の副次的な断層※5
	12	親沢断層	—	—	—	—	—	—	No.9の副次的な断層※5
	13	渋海川向斜部のリニアメント	—	—	—	—	—	—	No.9の副次的な断層※5
	14	悠久山断層	13	6.8	東80	12	27	26	孤立した短い活断層※6
	15	半蔵金付近のリニアメント	9	6.8	西50	15	25	25	孤立した短い活断層※6
	16	柏崎平野南東縁のリニアメント	4	6.8	東80	12	15	16	孤立した短い活断層※6
	17	山本山断層	4	6.8	西50	15	21	21	孤立した短い活断層※6
	18	水上断層	4	6.8	西50	15	15	16	孤立した短い活断層※6
	19	上米山断層	6	6.8	西50	15	17	18	孤立した短い活断層※6
	20	雁海断層	7	6.8	北50	15	17	18	孤立した短い活断層※6
	21	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：断層の傾斜角について、F-B断層は、中越沖地震の余震分布に基づき設定。その他は、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：F-B断層の等価震源距離(Xeq)は、中越沖地震の震源インバージョンによる震源モデルに基づき算定。その他は、地震本部(2009)による強震動予測レシピ(以下、「強震動予測レシピ」)に従い、断層の中心を基準として均等配置した断層面を用いて算定。なお、断層面積が地震モーメント $M_0=7.5 \times 10^{18}(\text{N} \cdot \text{m})$ に相当する 368km^2 を下回る断層(No.6, 8, 9及びNo.14~20)については、 368km^2 を上回る断層面を想定。

- ※5：気比ノ宮断層または片貝断層の副次的な断層はそれぞれ気比ノ宮断層、片貝断層にて代表させる。
 ※6：地表付近の断層長さが短く、震源断層が地表付近の長さ以上に広がっている可能性も考えられる断層(孤立した短い活断層)であるNo.14~20については、安全評価上M6.8を考慮するが、地震規模が等しく等価震源距離(Xeq)がより短い片貝断層にて代表させる。

考慮すべき地震の選定及び海域と陸域の分類

【被害地震】，【地震本部による長期評価】

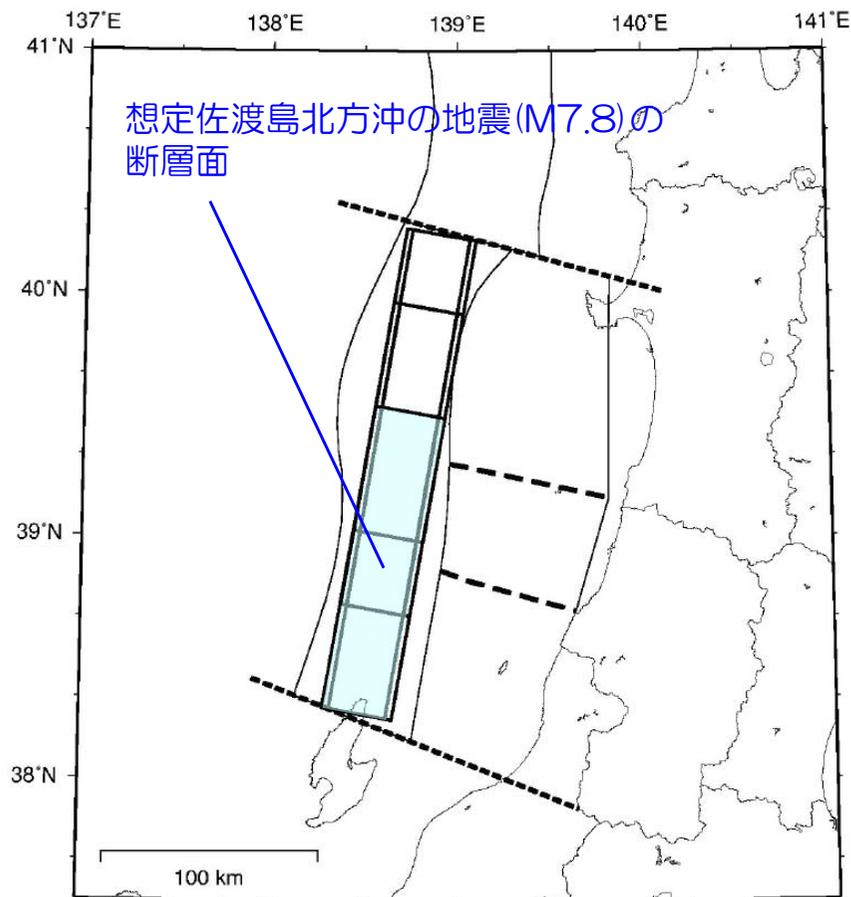
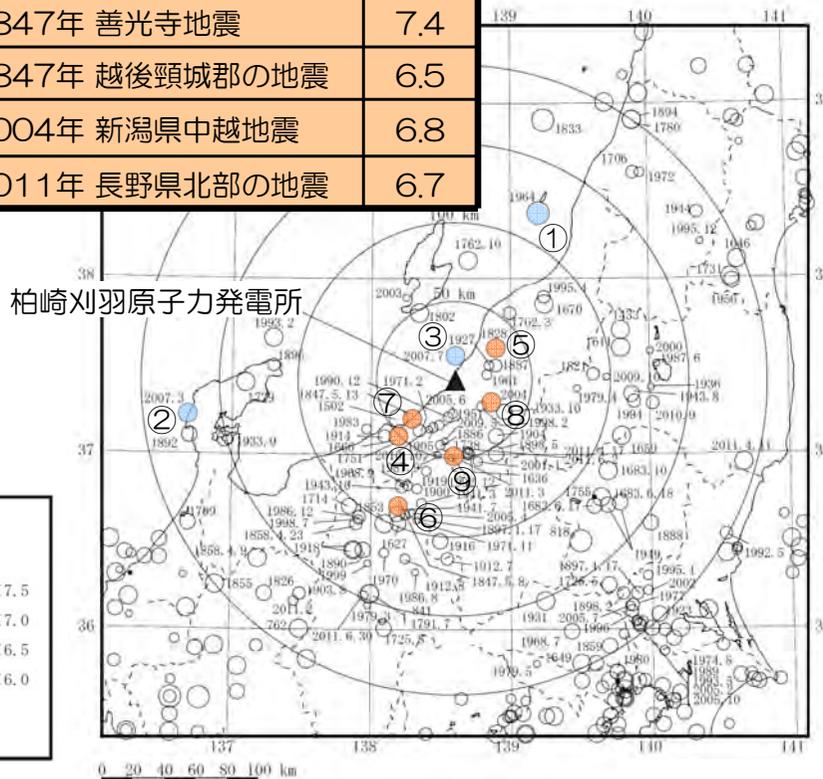
被害地震

- 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)

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。
- 海域の地震による検討用地震として『F-B断層による地震』を選定。
- 陸域の地震による検討用地震として『片貝断層による地震』を選定。

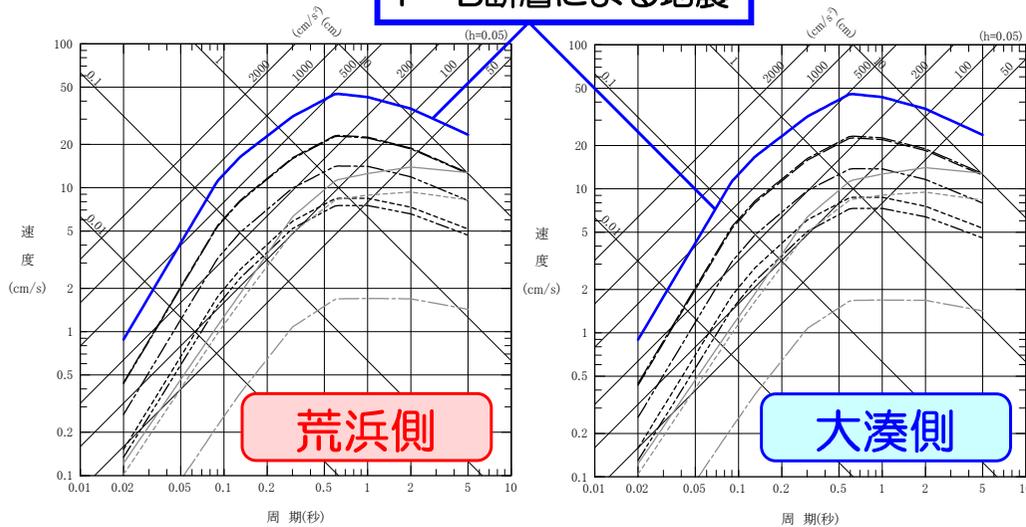
海域の地震

- 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=14km, 14km)
- 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)
- 高田沖断層による地震(M6.8, Xeq=59km, 60km)
- 米山沖断層による地震(M6.8, Xeq=25km, 26km)
- 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)

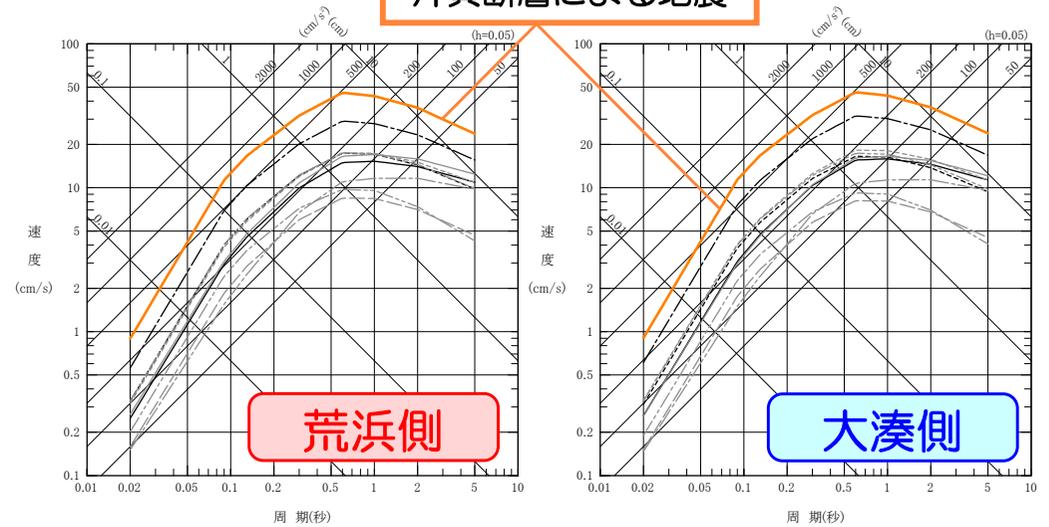
陸域の地震

- 角田・弥彦断層による地震(M7.1, Xeq=51km, 49km)
- 気比ノ宮断層による地震(M6.8, Xeq=21km, 20km)
- 片貝断層による地震(M6.8, Xeq=14km, 14km)
- 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)

F-B断層による地震



片貝断層による地震



※地震規模については、中越沖地震の知見を踏まえて算定
 凡例の等価震源距離 (Xeq) は赤字が荒浜側、青字が大湊側
 2007年新潟県中越沖地震(M6.8)はF-B断層による地震として考慮。

中越沖地震を踏まえた地震規模の設定

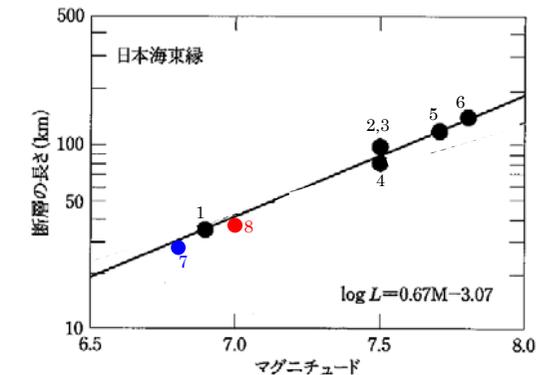
- 中越沖地震が既に発生している地震であることを踏まえ、中越沖地震の物理量を保持するよう、スケーリング則に従いマグニチュードを評価する。
- 具体的には、断層幅が飽和した場合の「地震モーメント(M_0)と断層面積(S)に関するスケーリング則」(①式)、及び「地震モーメントと M_j の関係を与える武村(1998)式」(②式)に基づき、マグニチュードを評価する。

$$M_0 \propto S^2 \dots \text{①式}$$

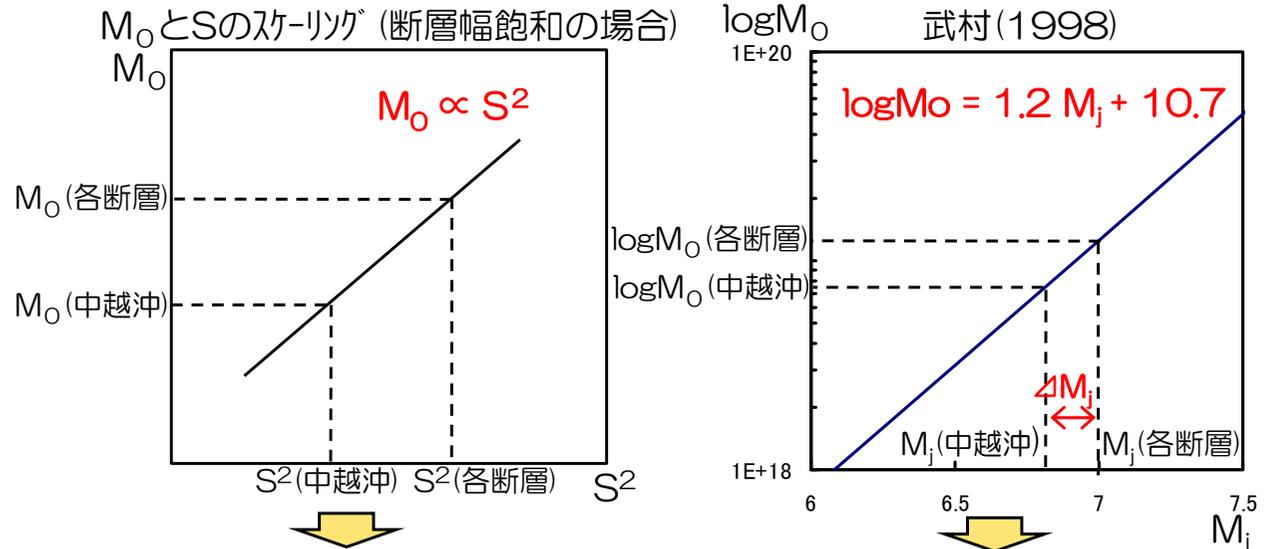
$$\log M_0 = 1.2 M_j + 10.7 \dots \text{②式}$$

- 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。



日本海東縁に発生した地震の規模 M と断層長さ L (km)の関係
※大竹ほか(2002)より抜粋 (一部加筆・修正)



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

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

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

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

5. 基準地震動

(1) 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

a.地震発生層の設定

b.検討用地震の選定

c.検討用地震の地震動評価

①F-B断層による地震

②片貝断層による地震（長岡平野西縁断層帯による地震）

d.基準地震動の策定

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表面における地震動（以下、「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。

5. 基準地震動

(1) 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

a.地震発生層の設定

b.検討用地震の選定

c.検討用地震の地震動評価

①F-B断層による地震

②片貝断層による地震（長岡平野西縁断層帯による地震）

d.基準地震動の策定

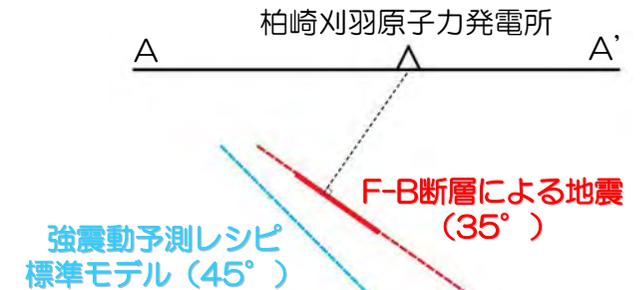
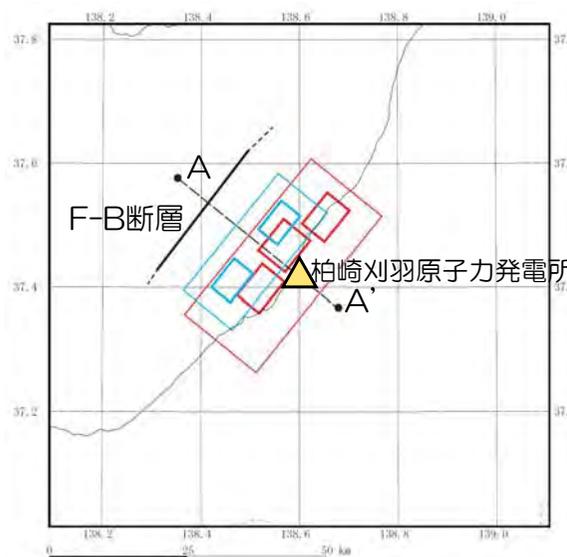
震源モデルの設定方針

- 巨視的断層パラメータのうち、断層の位置・断層長さについては地質調査結果に基づき設定。断層長さは、不確かさを考慮して36kmと設定。
- 断層の傾斜角は、中越沖地震の余震分布に基づき、震源インバージョン結果と同様に35°と設定。
- 地震発生層は、速度構造や微小地震分布等に基づき、上端深さを6km、下端深さを17kmと設定。
- 断層幅は、地震発生層を飽和するように、傾斜角と地震発生層厚さに基づき20kmと設定。
- アスペリティの位置、応力降下量、断層モデルの破壊開始点は、中越沖地震において得られた知見を反映し、中越沖地震の震源インバージョン結果に基づき設定。応力降下量は、1.5倍の効果を取り込み設定。

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	応力降下量
—	(地質調査結果)	27km	—	—	—	—
0	【参考】強震動予測レシピ標準モデル	27km	45°	アスペリティ端部	情報が無い場合はバランス良く配置	強震動予測レシピ
1	中越沖地震アスペリティモデル(基本震源モデル)	27km	中越沖反映(35°)	中越沖反映	中越沖反映(敷地至近)	中越沖反映(強震動予測レシピ×1.5倍)
2	F-B断層による地震(断層長さの不確かさを考慮)	36km	中越沖反映(35°)	中越沖反映	中越沖反映(敷地至近)	中越沖反映(強震動予測レシピ×1.5倍)

■ : 不確かさを考慮するパラメータ

■ : 2007年新潟県中越沖地震により得られた情報を重視。不確かさは断層長さの不確かさで代表させる。



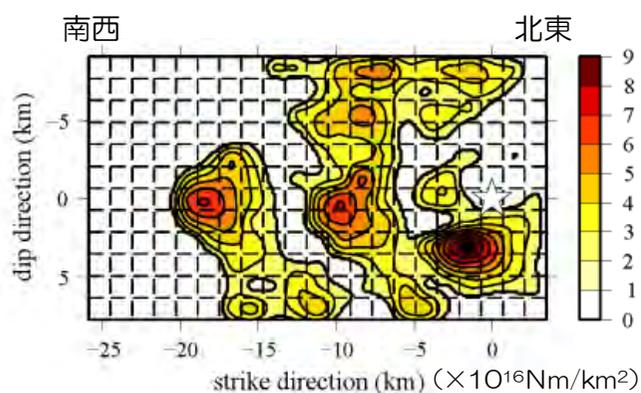
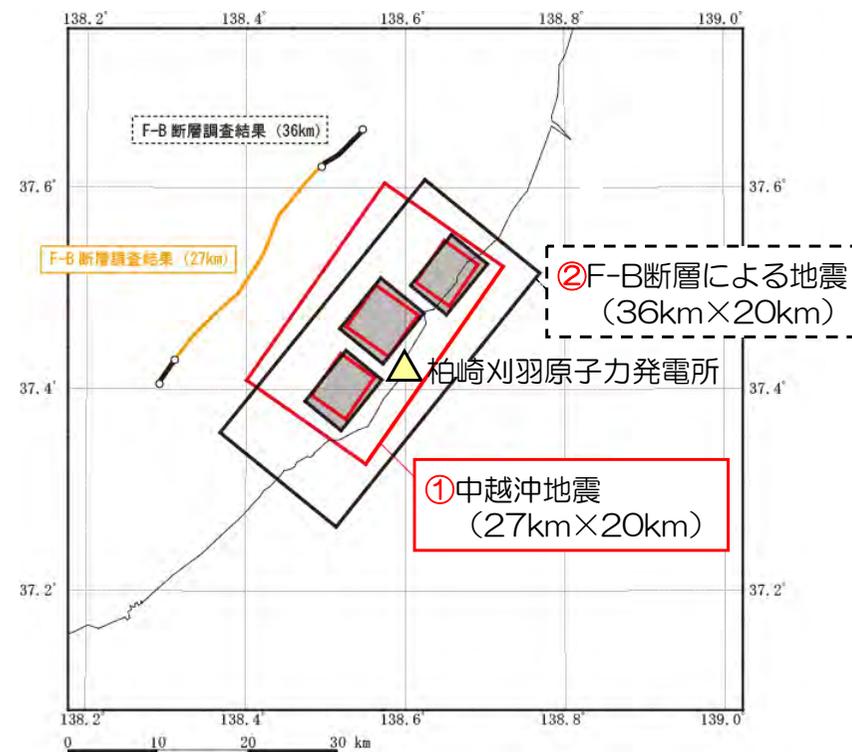
傾斜角35°※の場合、中越沖地震の反映として設定したアスペリティ位置は、敷地に最も近い位置となっている。

※芝(2008)において地震本部(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。

中越沖地震アスペリティモデル, F-B断層による地震

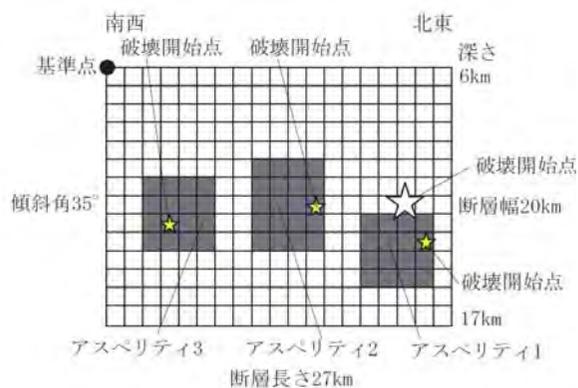
震源モデルの構築

- ① 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)
- ② ①で構築した中越沖地震のアスペリティモデルを基本震源モデルとし, 断層長さの不確かさを考慮して36km (M7.0) に拡張することにより, F-B断層の断層モデルを設定。



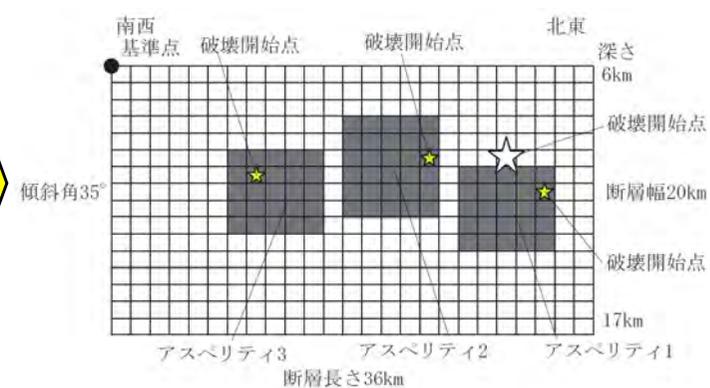
中越沖地震

震源インバージョン結果 (M6.8)



① 中越沖地震

アスペリティモデル (M6.8)



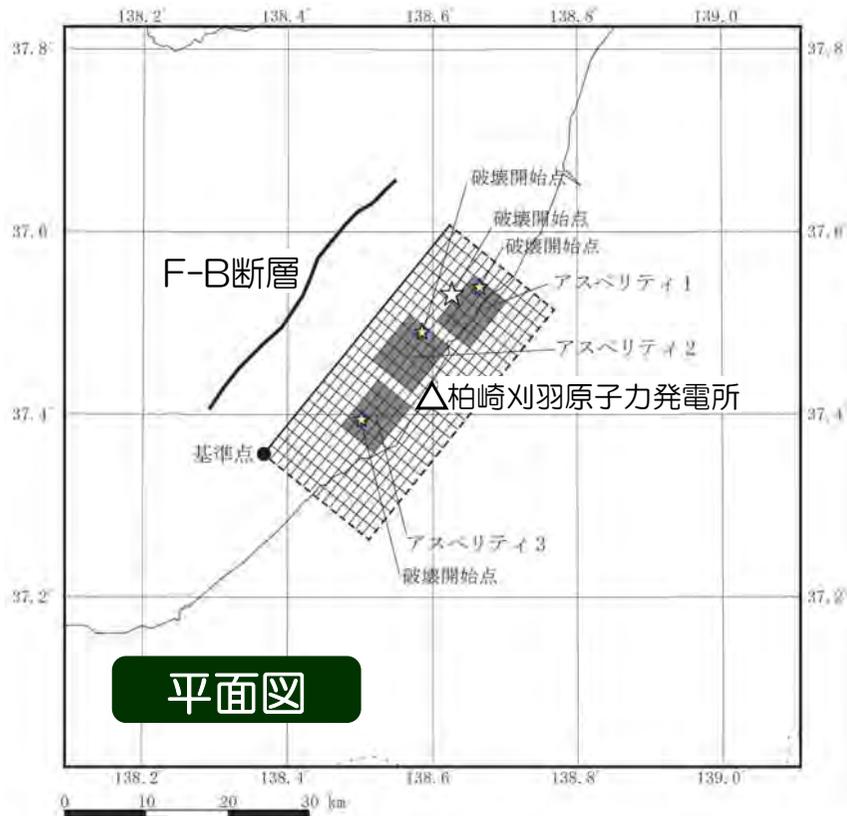
② F-B断層による地震の

断層モデル (M7.0)

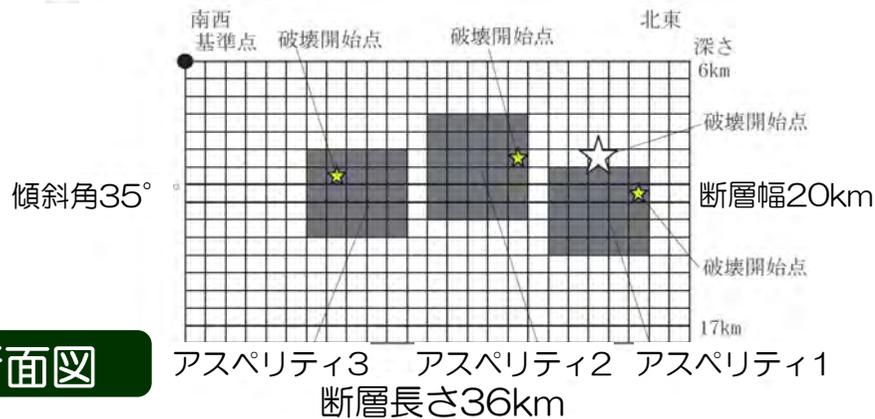
F-B断層による地震

断層モデル・断層パラメータの設定フロー

断層モデル



平面図

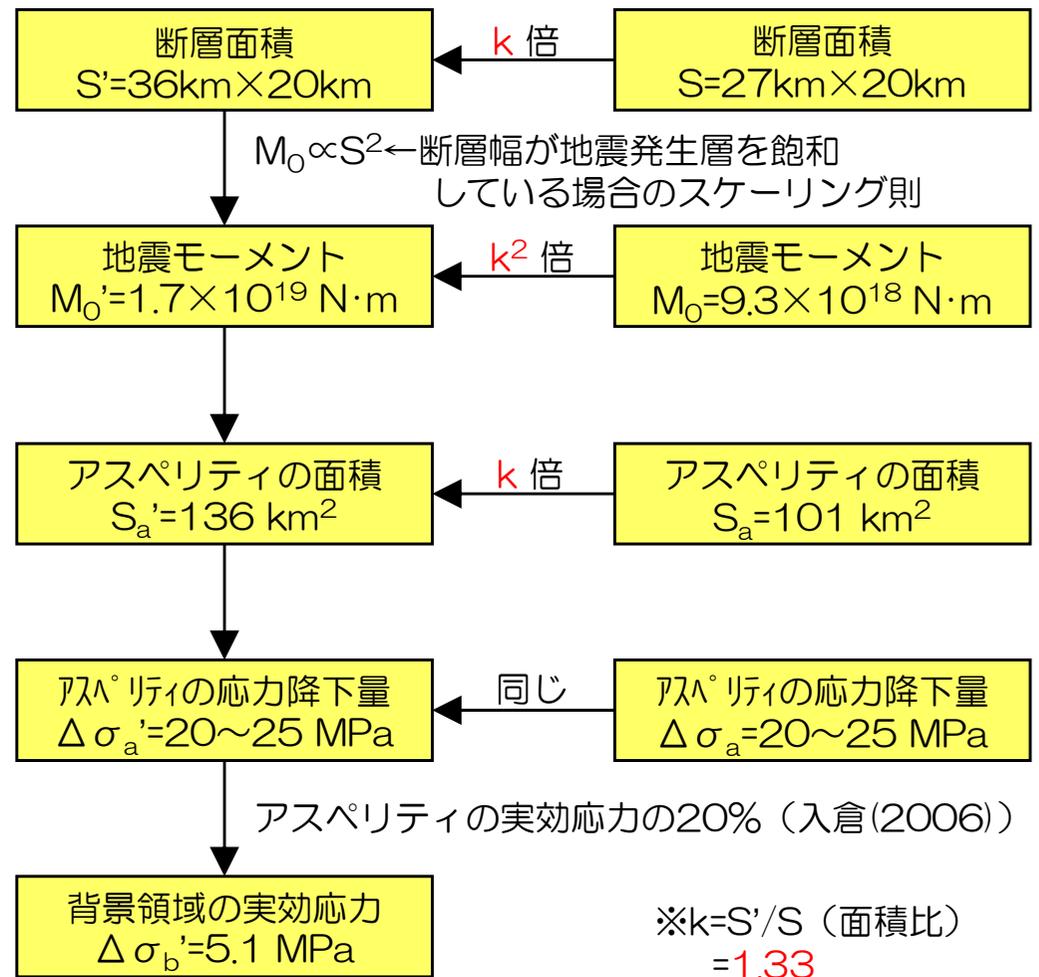


断面図

断層パラメータの設定手順

F-B断層による地震

中越沖地震



F-B断層による地震 設定した断層パラメータ

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	
	断層幅 (km)	20	
	断層面積 (km ²)	720	
	走向 (°)	39	
	傾斜角 (°)	35	
	破壊伝播形式	マルチハイポセンター	
	S波速度 (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	

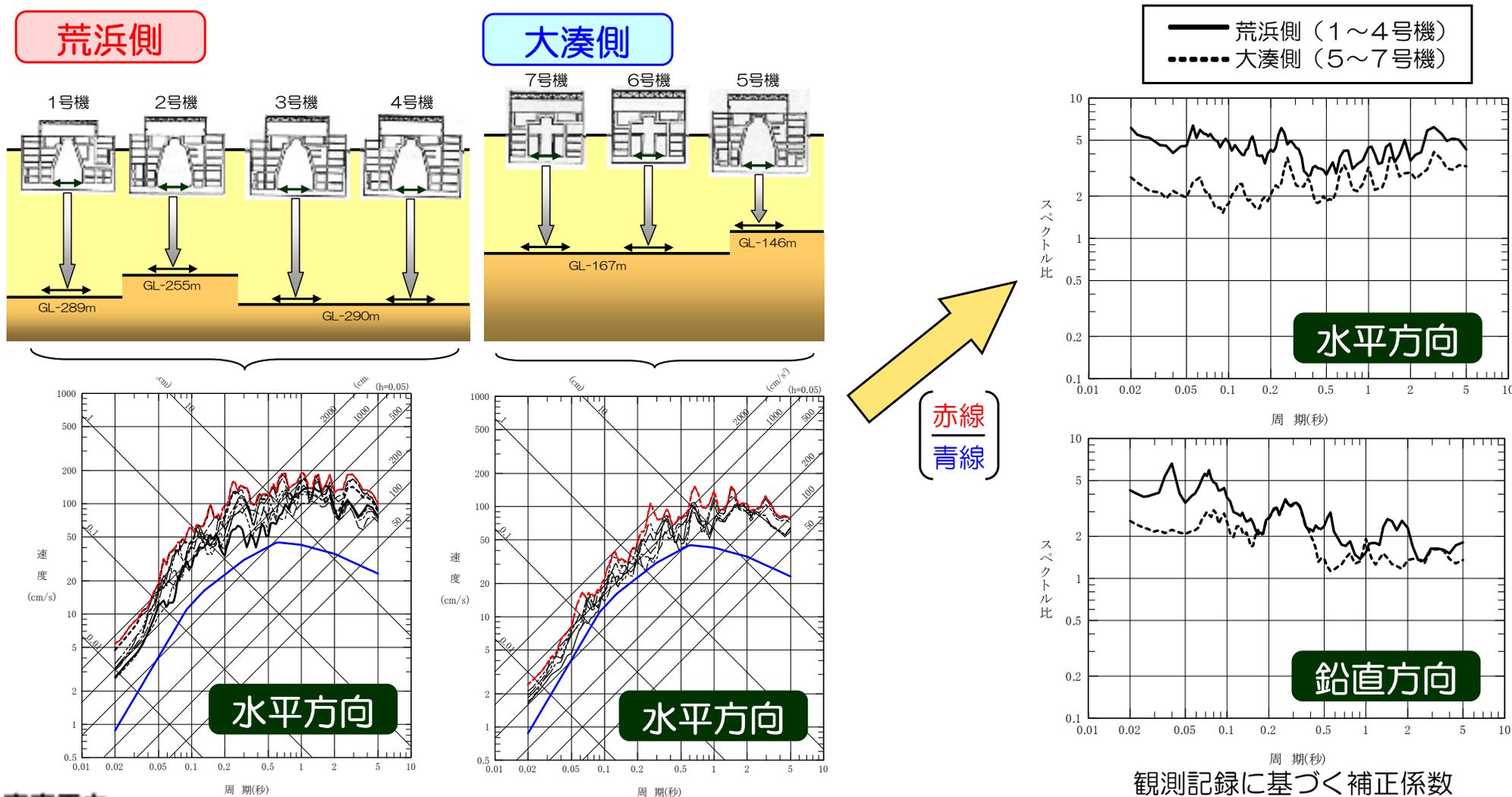
項目		設定値
アスペリティ2	面積 (km ²)	52
	地震モーメント (N·m)	3.8×10 ¹⁸
	平均すべり量 (cm)	230
	応力降下量 (MPa)	21
	破壊伝播速度 (km/s)	2.8
	破壊時間遅れ (s)	1.8
アスペリティ3	面積 (km ²)	42
	地震モーメント (N·m)	2.5×10 ¹⁸
	平均すべり量 (cm)	195
	応力降下量 (MPa)	20
	破壊伝播速度 (km/s)	2.5
	破壊時間遅れ (s)	0.0
背景領域	面積 (km ²)	584
	地震モーメント (N·m)	7.0×10 ¹⁸
	平均すべり量 (cm)	38
	実効応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

■ : 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

応答スペクトルに基づく地震動評価 評価手法と観測記録に基づく補正係数

- 評価手法は、Noda et al. (2002) による手法を採用。
- 地震波の伝播特性を反映するため、観測記録に基づく補正係数を考慮。
- 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）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（黒線）をそれぞれ安全側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。

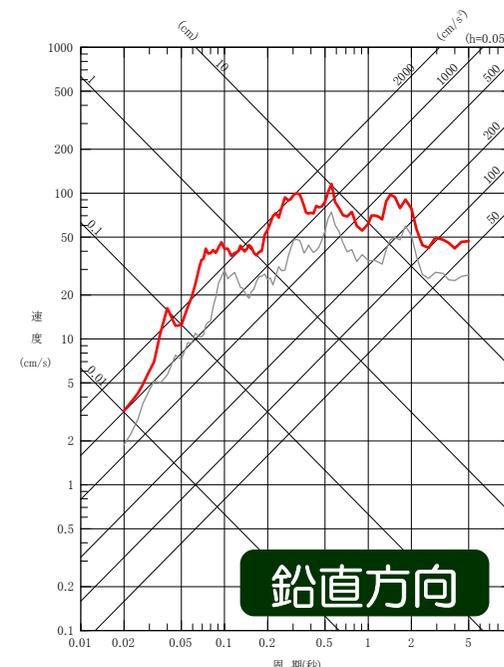
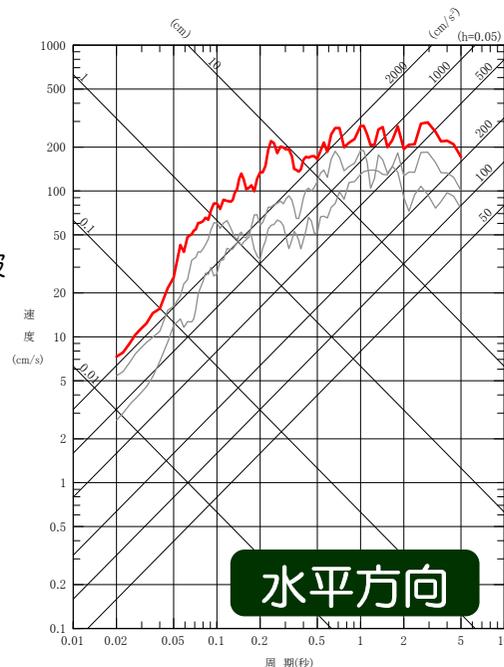


F-B断層による地震 応答スペクトルに基づく地震動評価

地震動評価結果

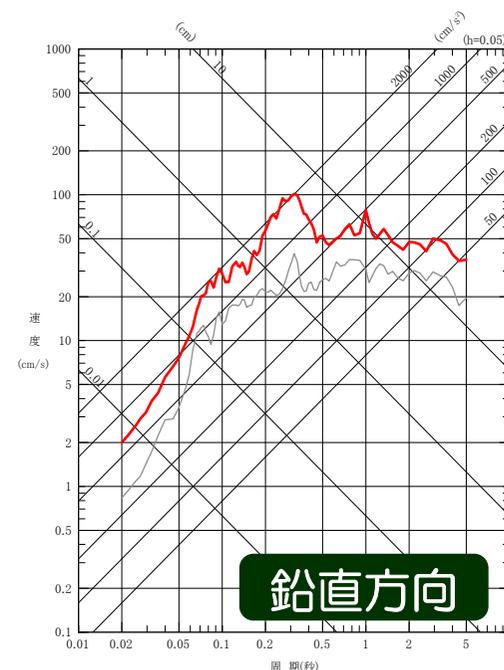
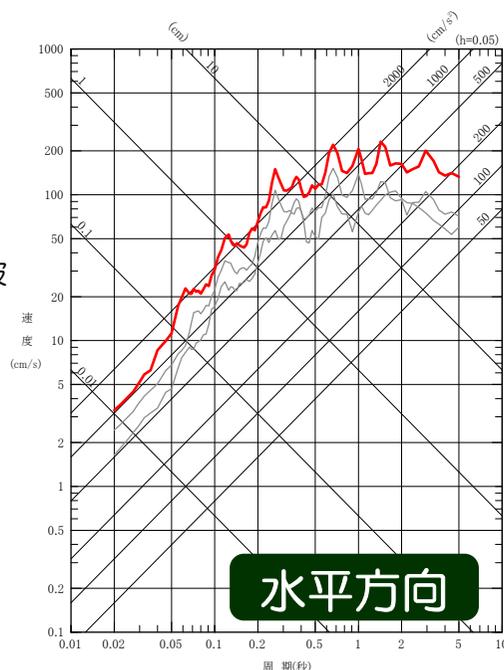
荒浜側

- F-B断層による地震 (M7.0, $X_{eq}=13\text{km}$)
- 【参考】中越沖地震解放基盤波 (1号機)



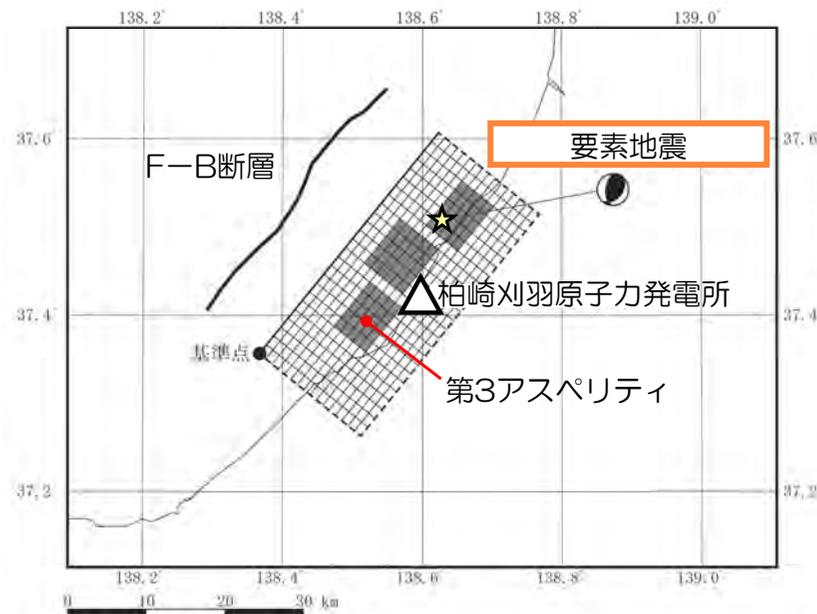
大湊側

- F-B断層による地震 (M7.0, $X_{eq}=13\text{km}$)
- 【参考】中越沖地震解放基盤波 (5号機)



断層モデルを用いた手法による地震動評価

- 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、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、第3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て設定した補正波とする。



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	Mj	4.4	気象庁
	Mw	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)

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。

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 $S(f)$

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

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

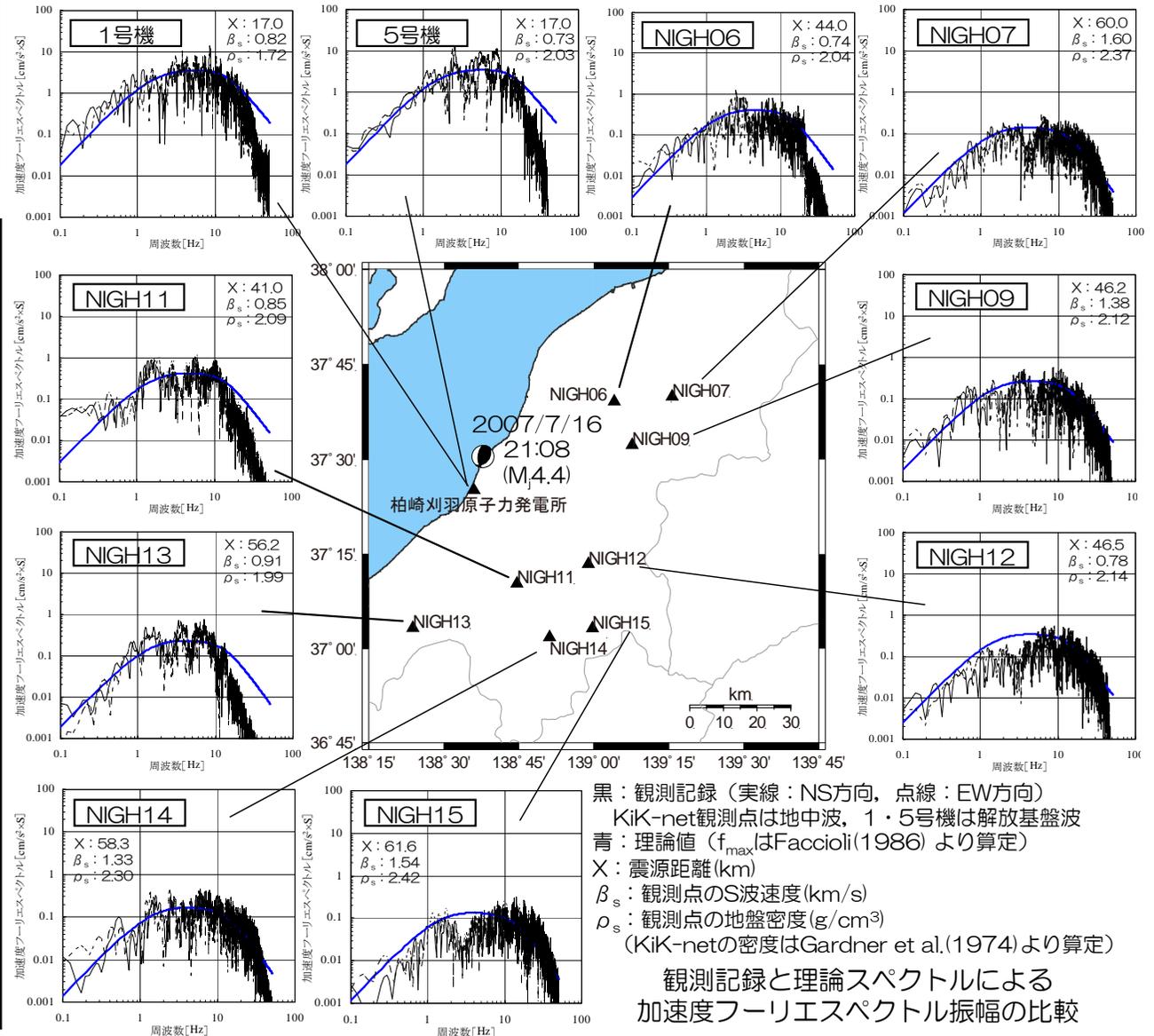
β, ρ :震源におけるS波速度(km/s)と地盤密度

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)

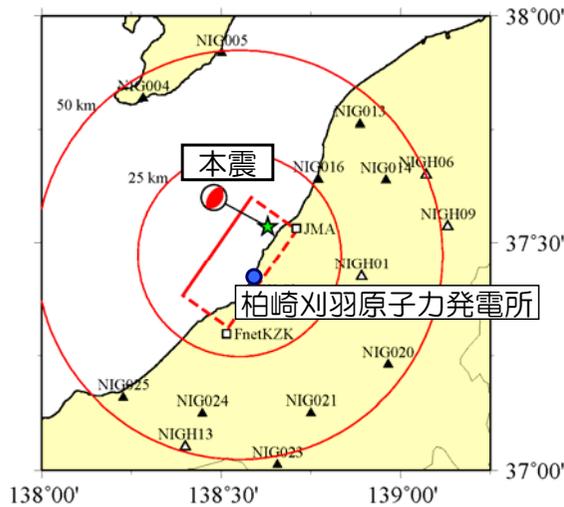
芝(2008)により設定されているコーナー周波数を代入して求めた理論スペクトルと観測記録から求めた加速度フーリエスペクトル振幅を比較し適合状況を確認 (M_0 はF-net, Q 値は岩田ほか(2005)の値を採用)



【参考】断層モデルを用いた手法による地震動評価

要素地震の妥当性 震源インバージョン

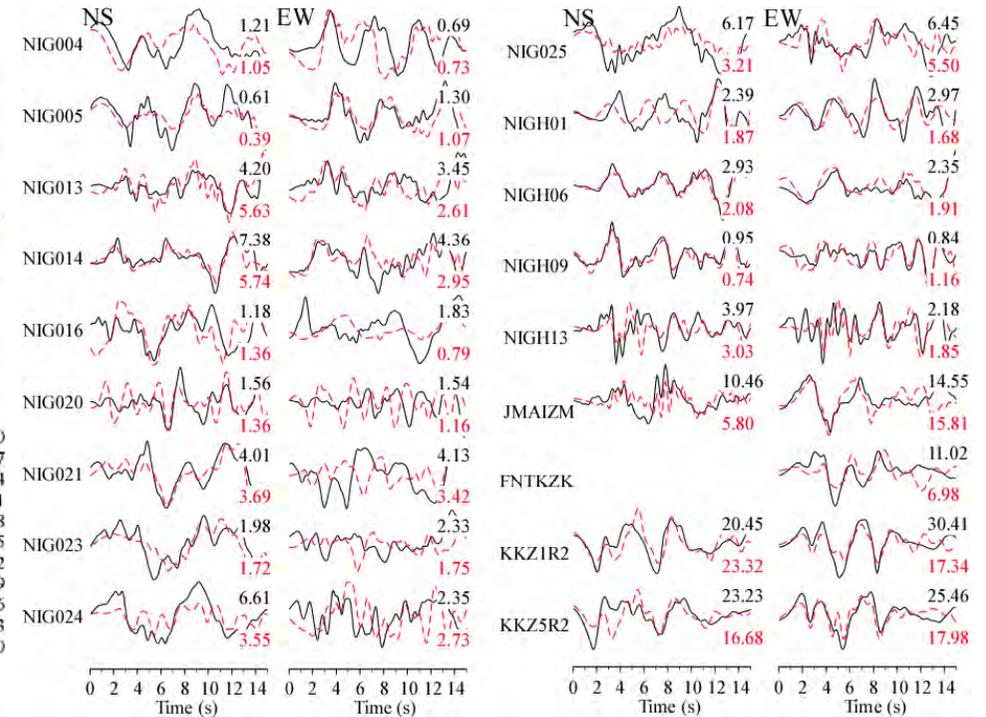
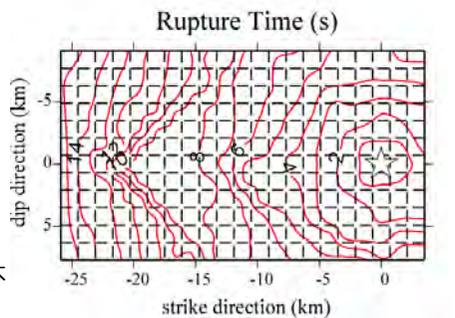
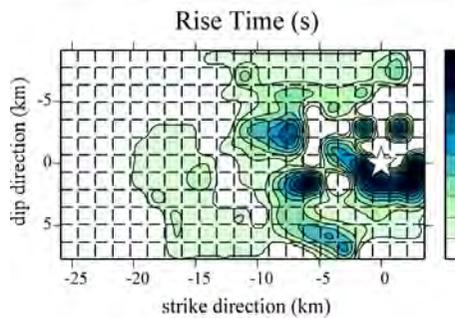
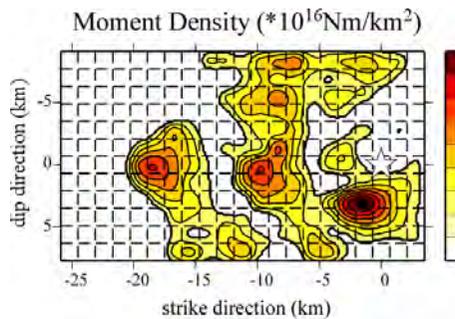
- この要素地震は、中越沖地震の震源インバージョンに用いられたものと同一のもの。
- 震源インバージョンでは、経験的グリーン関数法を用いた手法により、本震断層面上での地震モーメント密度分布、立ち上がり時間分布および破壊時刻の時空間分布を推定。
- インバージョンの計算波形は、各観測点の観測波形の再現性が高いことを確認。



- 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
○ JMA、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。

南西 北東



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：インバージョン時の要素地震の選定理由】

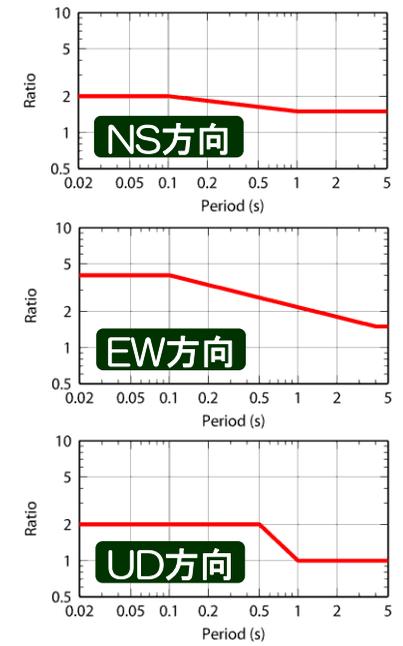
- ① 中越沖地震ではM4程度以上の余震の発生頻度が低かった中で，本余震はM4.4である。
- ② 複数の観測点で良好な記録が得られている。

芝(2008)より抜粋（一部修正・加筆）

【参考】断層モデルを用いた手法による地震動評価 要素地震の妥当性 中越沖地震アスペリティモデルによるシミュレーション解析

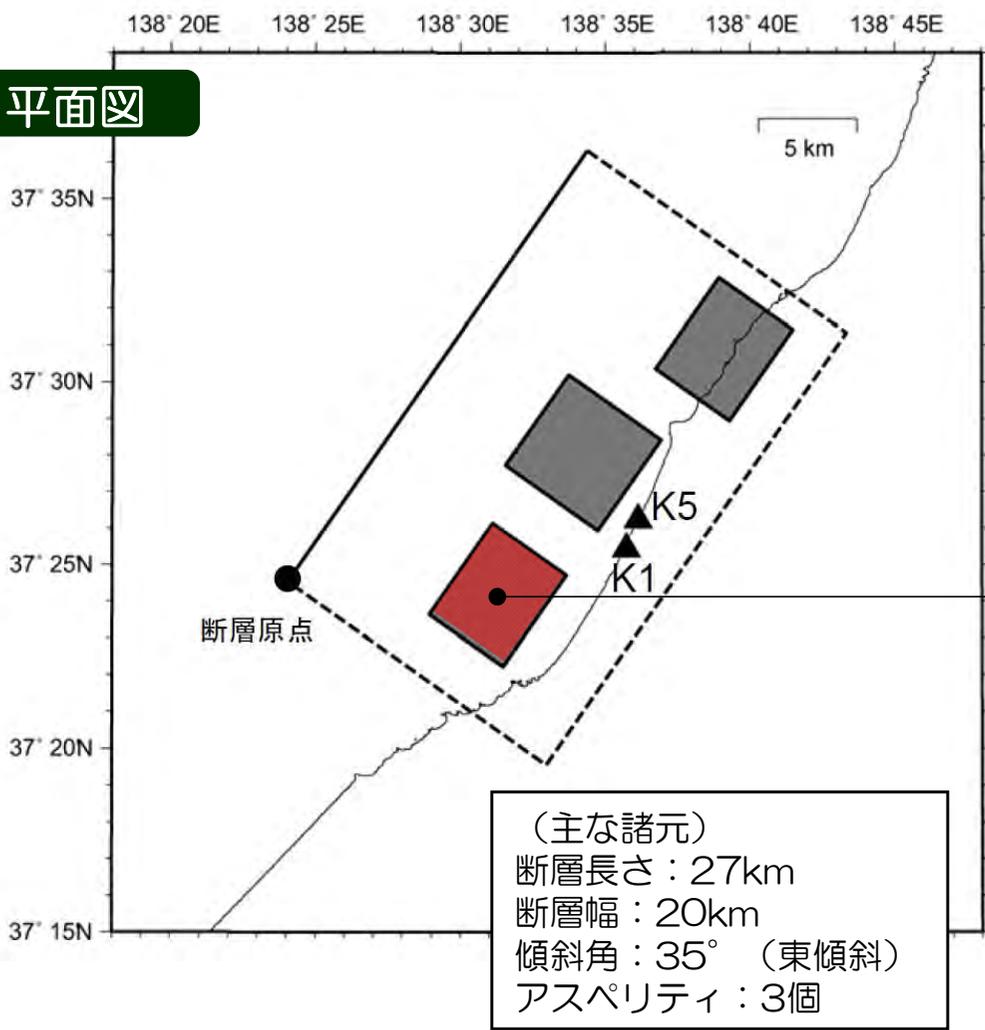
- 中越沖地震アスペリティモデルを用いたシミュレーション解析を実施。
- 評価点は、原子炉建屋基礎版上とし、中越沖地震で得られた記録とシミュレーション解析結果を比較し、荒浜側の地震動評価で用いる補正係数をはじめ、地震動評価の妥当性を確認する。

補正係数



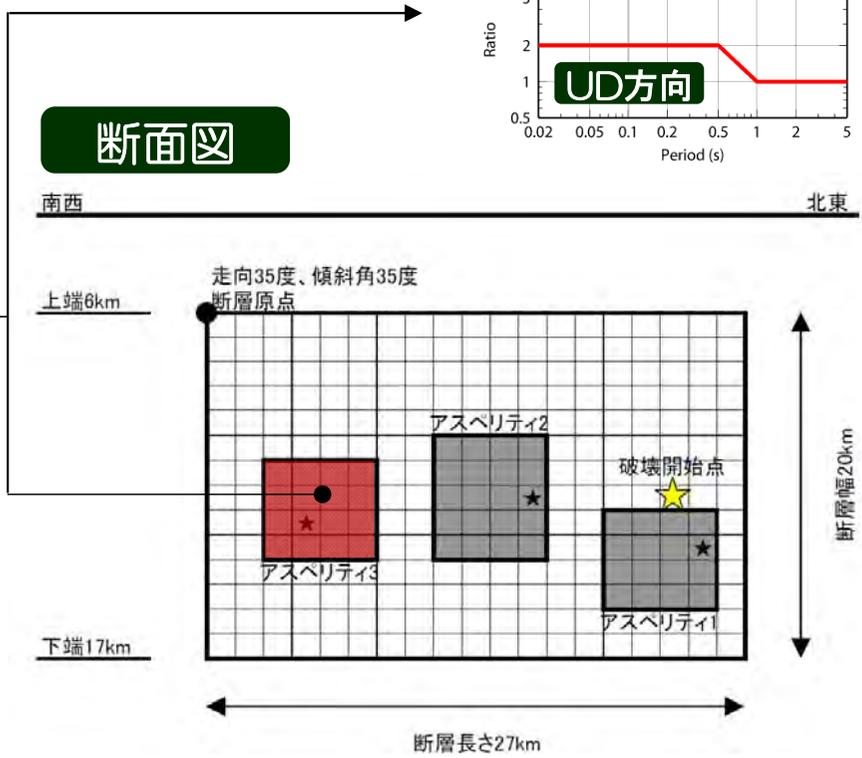
シミュレーション結果が観測記録を再現するように、荒浜側の評価では第3アスペリティに割り当てる要素地震記録を補正。

平面図



(主な諸元)
断層長さ：27km
断層幅：20km
傾斜角：35° (東傾斜)
アスペリティ：3個

断面図



【参考】断層モデルを用いた手法による地震動評価 要素地震の妥当性

中越沖地震アスペリティモデルの断層パラメータ

項目		設定値	
巨視的断層面	基準点	東経 (°)	138.40
		北緯 (°)	37.41
	断層上端深さ (km)	6	
	断層長さ (km)	27.0	
	断層幅 (km)	20.0	
	断層面積 (km ²)	540	
	走向 (°)	35	
	傾斜角 (°)	35	
	破壊伝播形式	マルチハイポセンター	
	S波速度 (km/s)	3.4	
	地震モーメント (N·m)	9.3×10 ¹⁸	
アスペリティ1	面積 (km ²)	31	
	地震モーメント (N·m)	1.8×10 ¹⁸	
	平均すべり量 (cm)	187	
	応力降下量 (MPa)	25	
	破壊伝播速度 (km/s)	3.1	

□ : 地質調査結果等に基づく

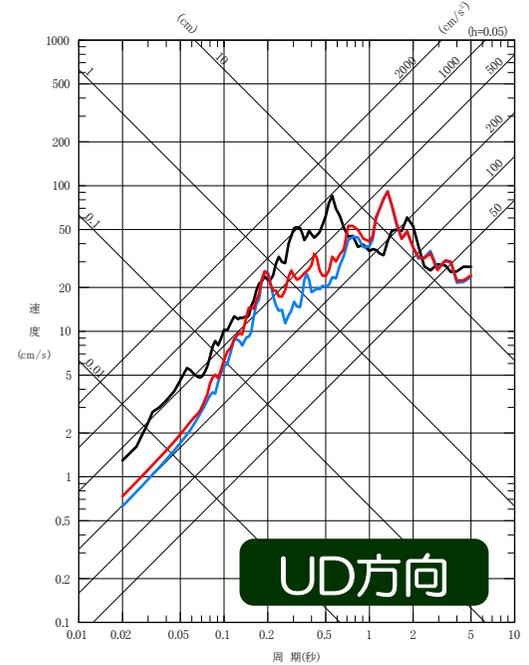
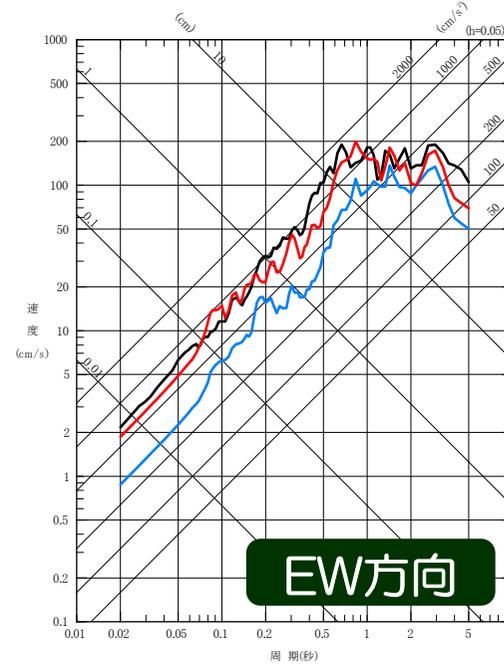
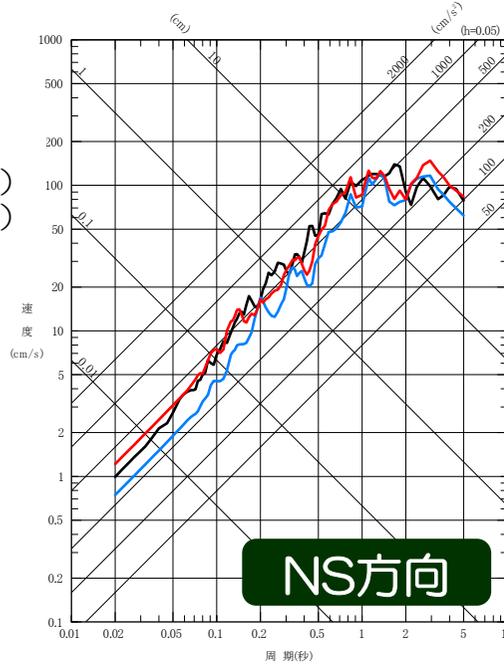
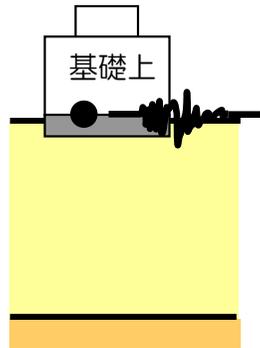
□ : 中越沖地震の震源インバージョン結果に基づく

項目		設定値
アスペリティ2	面積 (km ²)	39
	地震モーメント (N·m)	2.1×10 ¹⁸
	平均すべり量 (cm)	173
	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)
地震モーメント (N·m)		1.4×10 ¹⁸
平均すべり量 (cm)		146
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)	419
	地震モーメント (N·m)	3.9×10 ¹⁸
	平均すべり量 (cm)	30
	実効応力 (MPa)	5.1
	破壊伝播速度 (km/s)	2.3

【参考】断層モデルを用いた手法による地震動評価 要素地震の妥当性 中越沖地震M^{7.1}リテイデルによる解析結果【擬似速度応答スペクトル】

1号機

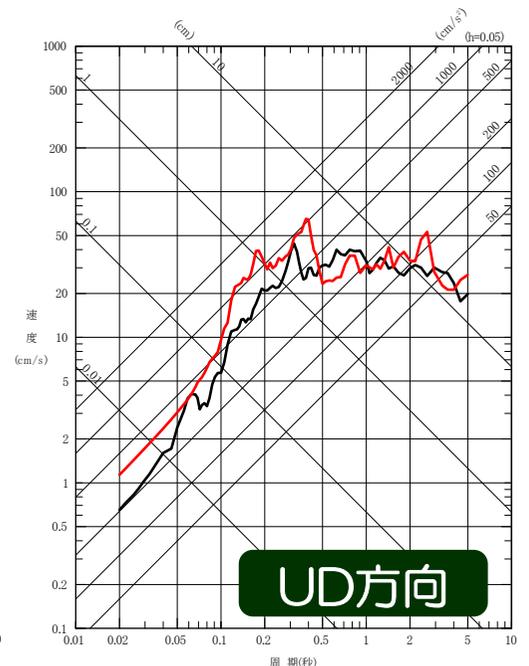
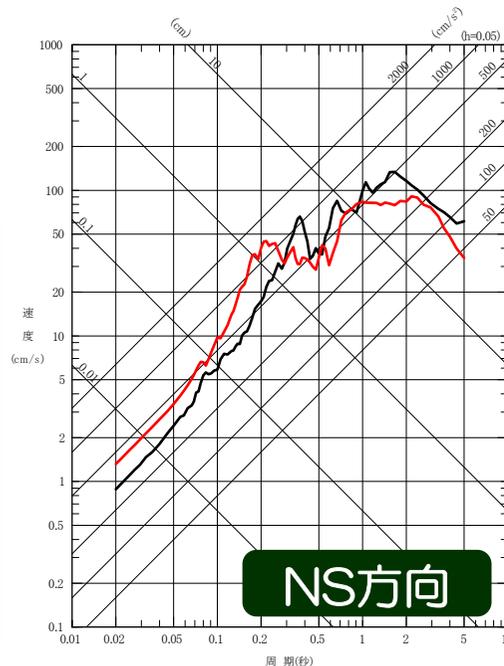
- 観測記録
- 断層モデルによる評価（補正なし）
- 断層モデルによる評価（補正あり）



5号機

- 観測記録
- 断層モデルによる評価

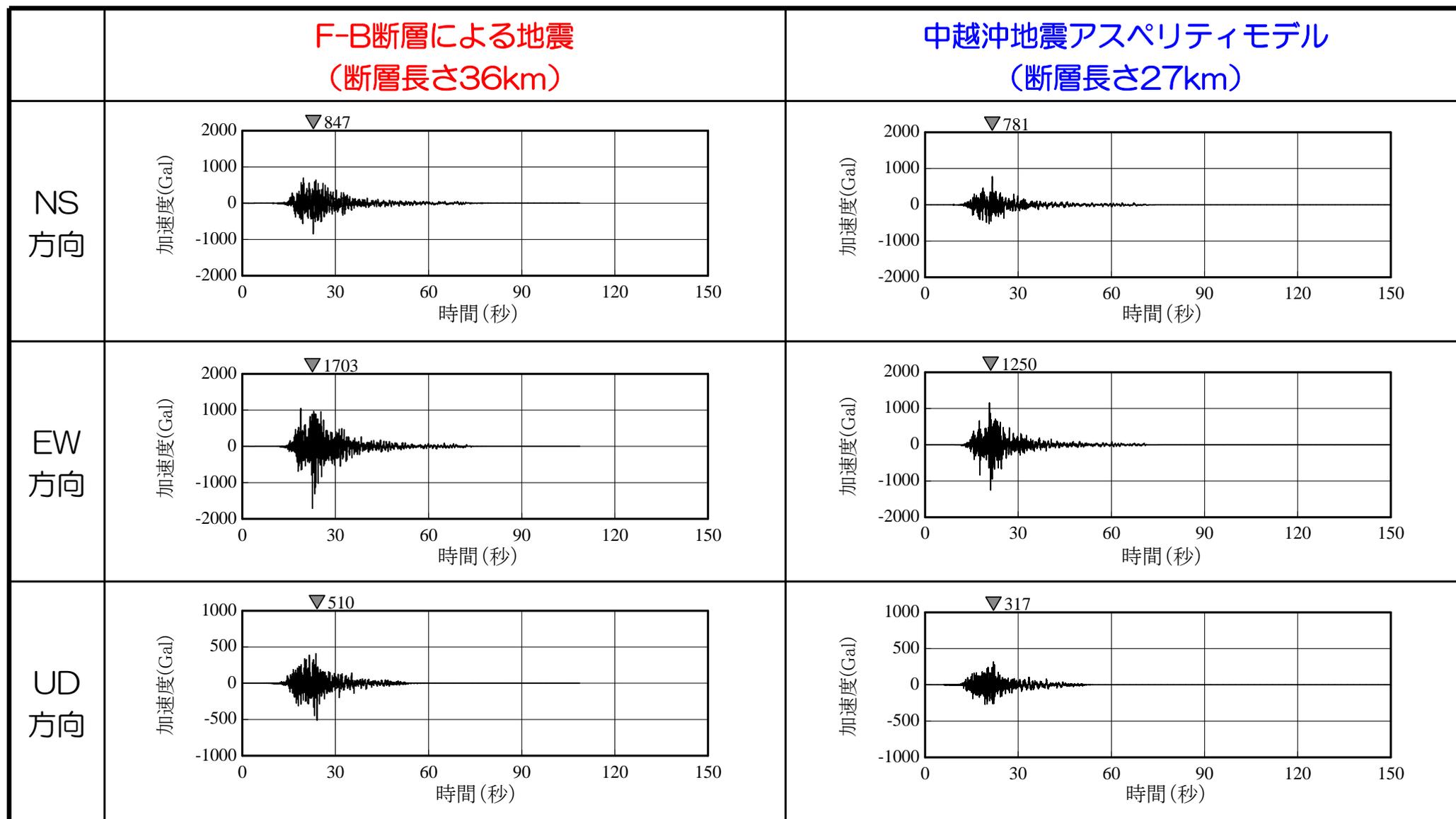
■ 要素地震の補正を行った1号機の評価結果は、5号機と同様に観測記録を精度良く再現できており、地震動評価の妥当性を確認。



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】

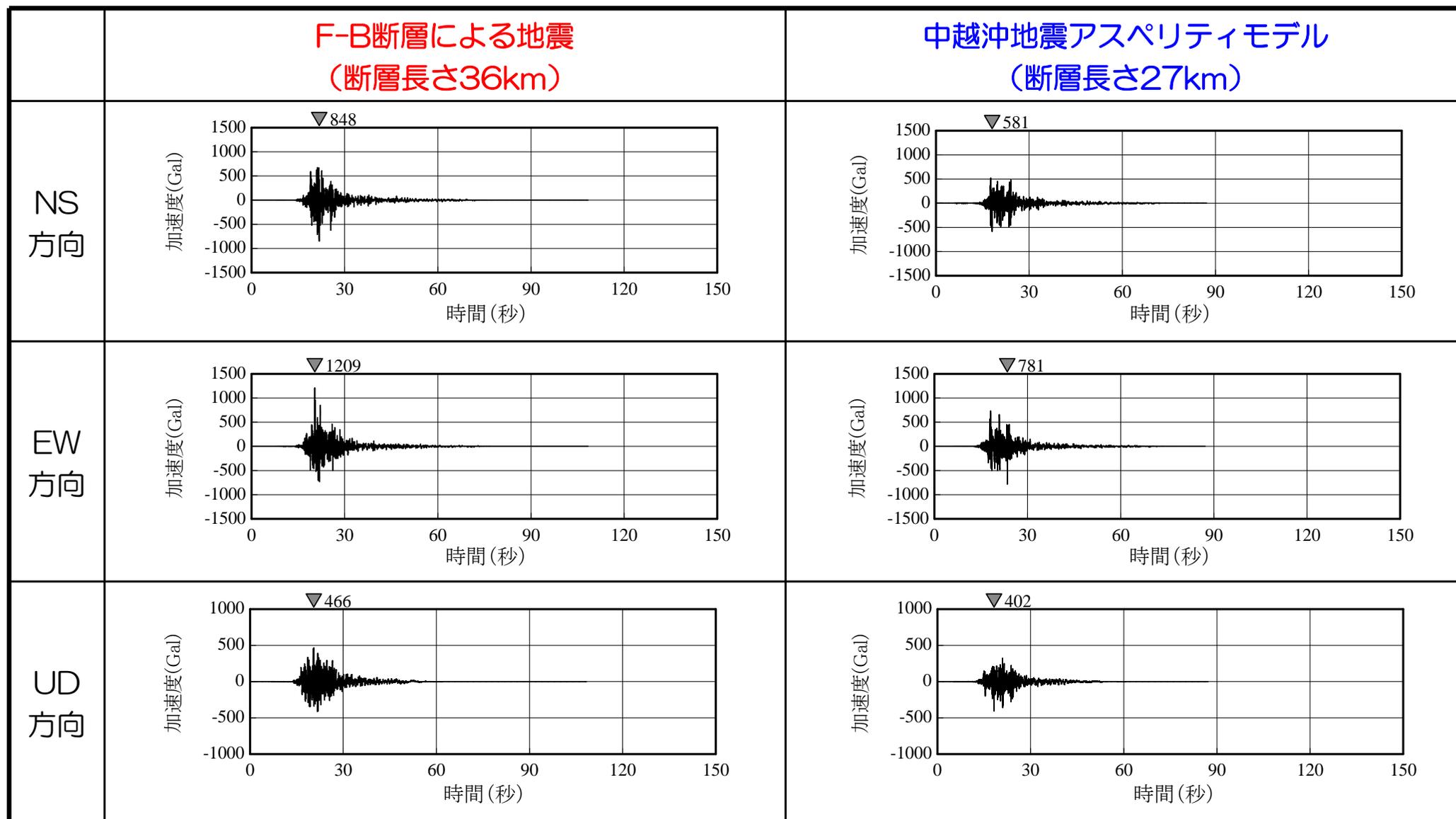
荒浜側



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】

大湊側

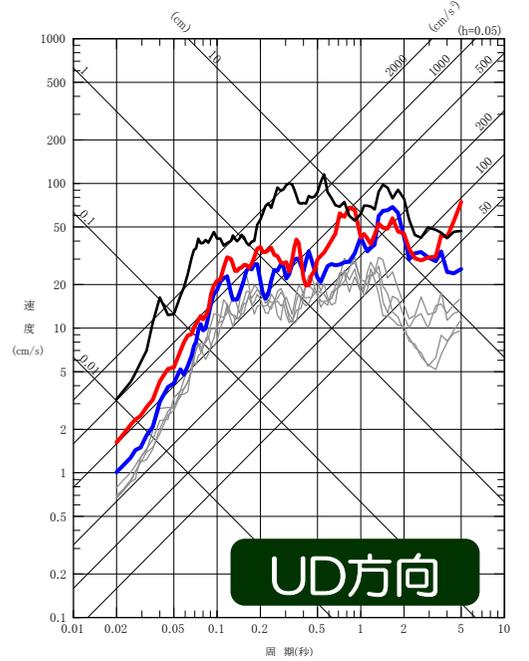
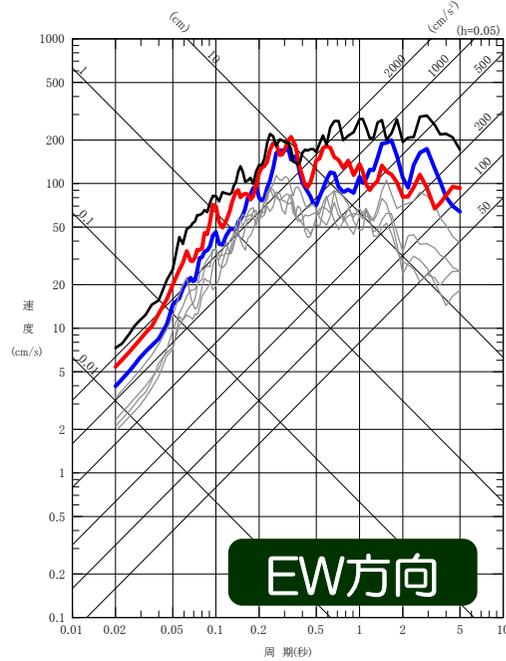
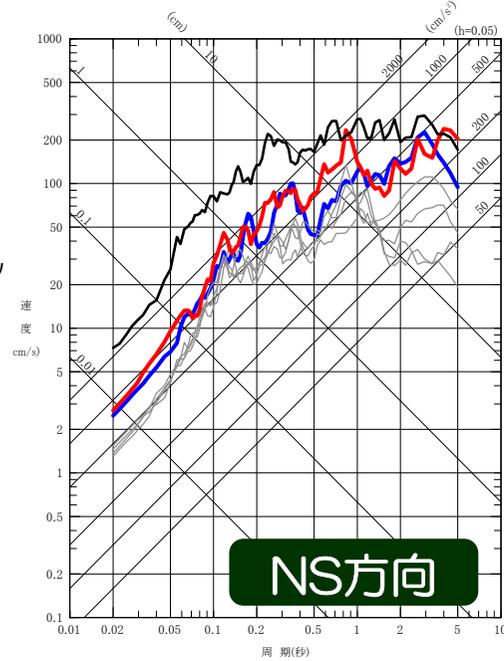


断層モデルを用いた手法による地震動評価

地震動評価結果【擬似速度応答スペクトル】

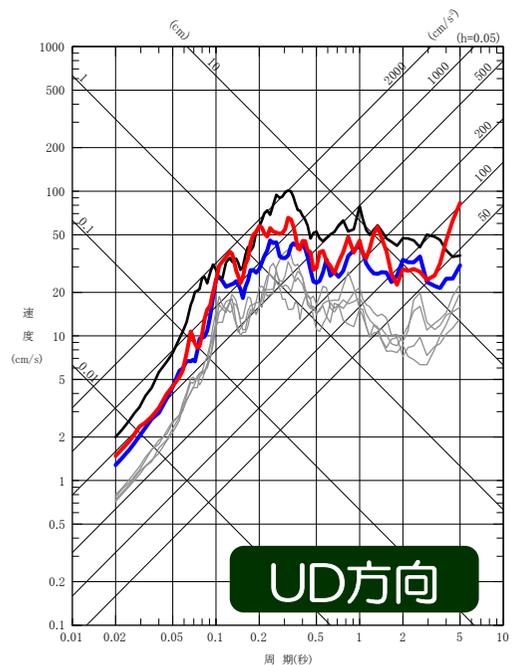
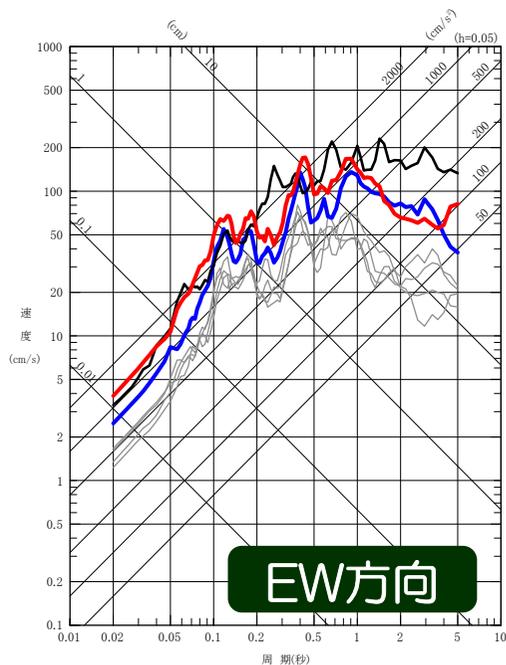
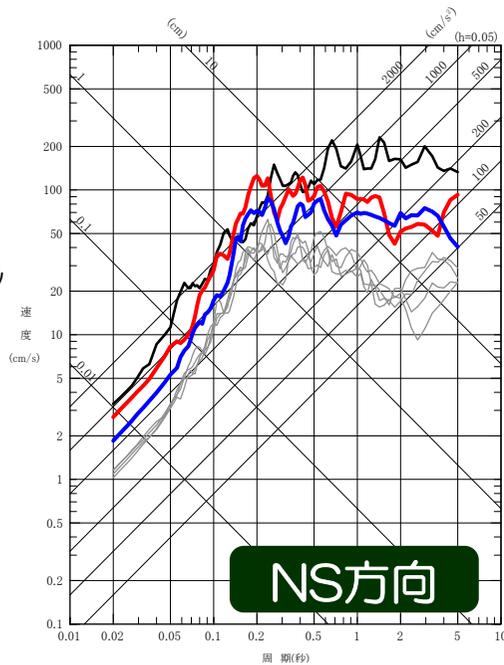
荒浜側

- F-B断層による地震断層モデルによる評価
- 中越沖地震アスペリティモデル
- 【参考】強震動予測の標準モデル
- F-B断層による地震応答スペクトルに基づく評価



大湊側

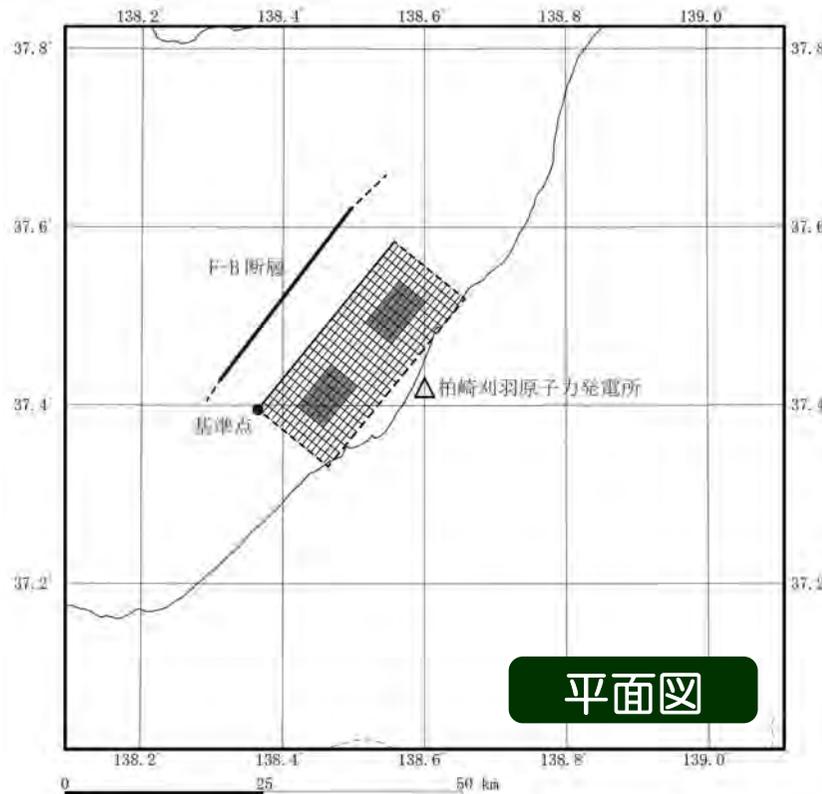
- F-B断層による地震断層モデルによる評価
- 中越沖地震アスペリティモデル
- 【参考】強震動予測の標準モデル
- F-B断層による地震応答スペクトルに基づく評価



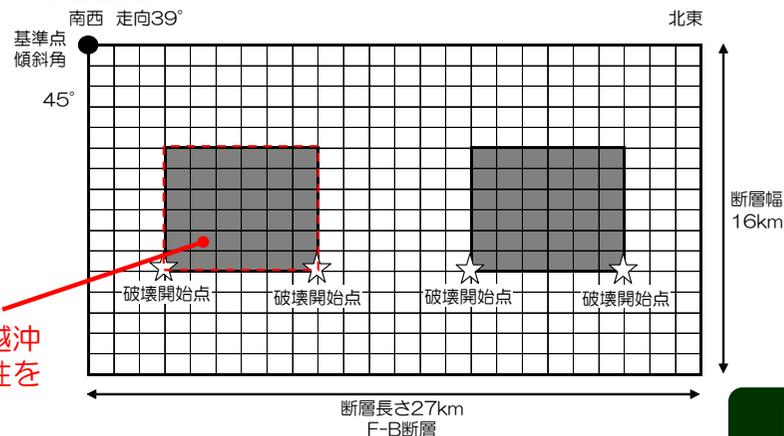
【参考】強震動予測レシピ標準モデル

- 地質調査結果で明らかとなっているF-B断層の位置に、長さ27kmの断層を想定した場合の標準的な地震動レベルを把握。
- 断層パラメータは、強震動予測レシピに基づき設定。
- なお、断層傾斜角は、逆断層において一般的に想定される45°を仮定して設定。

断層モデル



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

断層パラメータ

項目		設定値	
巨視的断層面	基準点	東経 (°)	138.36
		北緯 (°)	37.40
	断層上端深さ (km)	6	
	断層長さ (km)	27	
	断層幅 (km)	16	
	断層面積 (km ²)	432	
	走向 (°)	39	
	傾斜角 (°)	45	
	破壊伝播形式	同心円状	
	S波速度 (km/s)	3.4	
地震モーメント (N·m)	1.0×10 ¹⁹		
アスペリティ※	面積 (km ²)	37.2	
	地震モーメント (N·m)	1.8×10 ¹⁸	
	平均すべり量 (cm)	154	
	応力低下量 (MPa)	16.4	
背景領域	面積 (km ²)	357.6	
	地震モーメント (N·m)	6.8×10 ¹⁸	
	平均すべり量 (cm)	61	
	応力低下量 (MPa)	2.5	

■: 地質調査結果等に基づく

※アスペリティについては、1個あたりの値

断面図

5. 基準地震動

(1) 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

a.地震発生層の設定

b.検討用地震の選定

c.検討用地震の地震動評価

①F-B断層による地震

②片貝断層による地震（長岡平野西縁断層帯による地震）

d.基準地震動の策定

震源モデルの設定方針

- 巨視的断層パラメータのうち、断層の位置・断層長さについては地質調査結果に基づき設定。片貝断層単独を基本とし、不確かさとして長岡平野西縁断層帯として一連で活動する場合の断層長さ91kmを考慮。
- 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、上端深さを6km、下端深さを17kmと設定。
- アスペリティの位置は、断層中央上端を基本とし、不確かさとして断層中央下端を考慮。
- 応力降下量は、不確かさとして強震動予測レシピの1.5倍の値を考慮。
- 断層モデルの破壊開始点は、巨視的断層面端部で破壊が敷地に向かうような位置を基本とし、不確かさとしてアスペリティ端部も考慮。

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	応力降下量
0	(地質調査結果)	16km	50°	巨視的断層面端部	断層中央上端	強震動予測レシピ
1	基本震源モデル(スケリング考慮)	25km	50°	巨視的断層面端部	断層中央上端	強震動予測レシピ
2	破壊開始点の不確かさ考慮	25km	50°	アスペリティ端部	断層中央上端	強震動予測レシピ
3	アスペリティ位置の不確かさ考慮	25km	50°	巨視的断層面端部	断層中央下端	強震動予測レシピ
4	断層傾斜角の不確かさ考慮	20km	35°	巨視的断層面端部	断層中央上端	強震動予測レシピ
5	応力降下量の不確かさ考慮	25km	50°	巨視的断層面端部	断層中央上端	強震動予測レシピ×1.5
6	断層長さの不確かさ考慮	91km	50°	巨視的断層面端部	断層中央上端	強震動予測レシピ
7	断層長さ及び応力降下量の不確かさ考慮	91km	50°	巨視的断層面端部	断層中央上端	強震動予測レシピ×1.5
8	断層長さ及び断層傾斜角の不確かさ考慮	91km	35°	巨視的断層面端部	断層中央上端	強震動予測レシピ

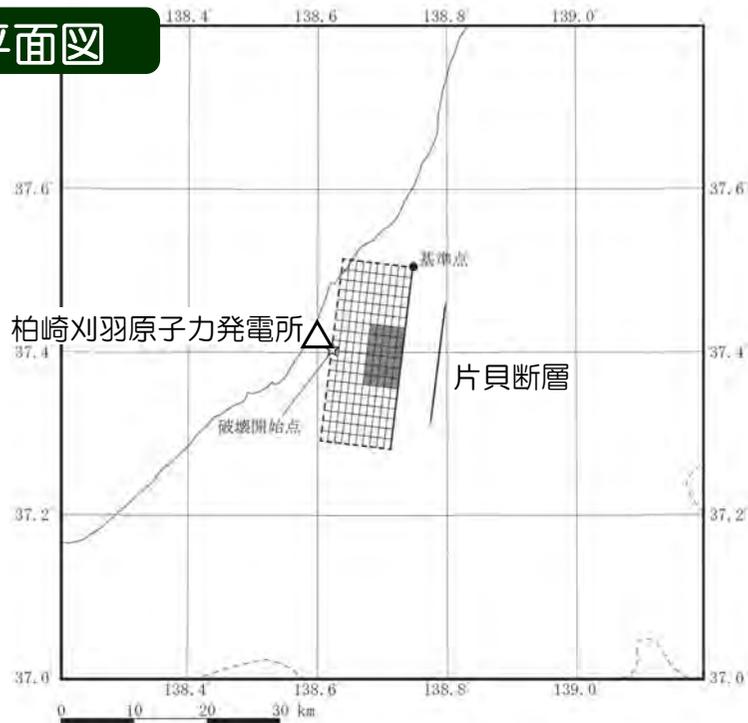
■ : 不確かさを考慮するパラメータ

■ : 強震動予測レシピを参考に、スケリングの観点から、地震発生層を飽和する地震規模 ($M_0 \geq 7.5 \times 10^{18} \text{ N}\cdot\text{m}$) を与える断層面積及び断層幅より断層長さを設定。

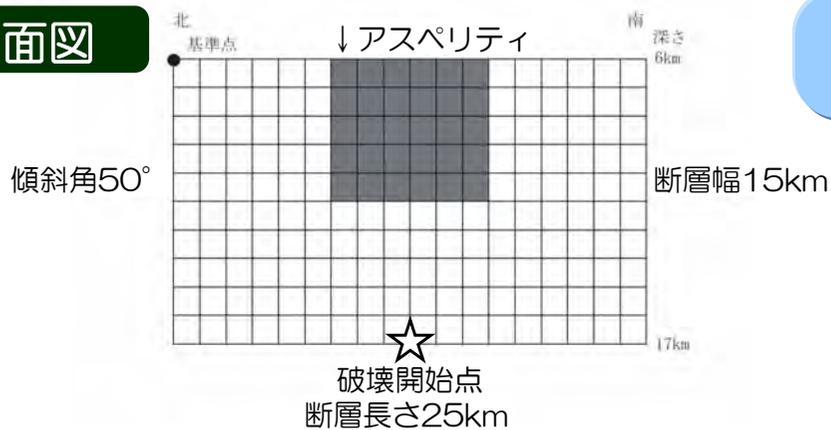
断層モデル

基本震源モデル(No.1),
応力降下量の不確かさ考慮(No.5)

平面図

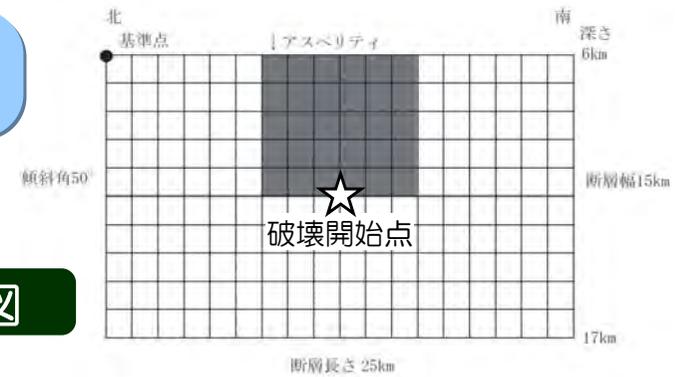


断面図



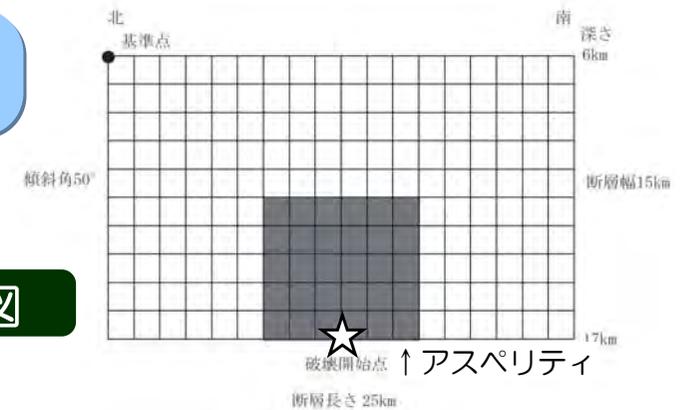
破壊開始点の
不確かさ考慮(No.2)

断面図



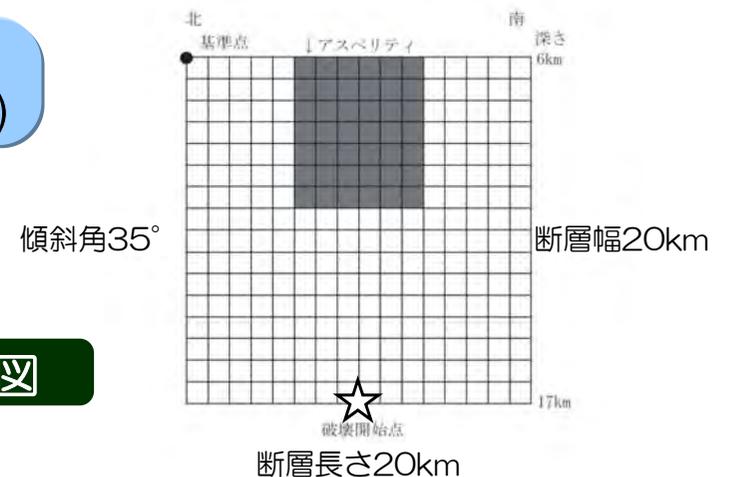
アスペリティ位置の
不確かさ考慮(No.3)

断面図



断層傾斜角の
不確かさ考慮(No.4)

断面図

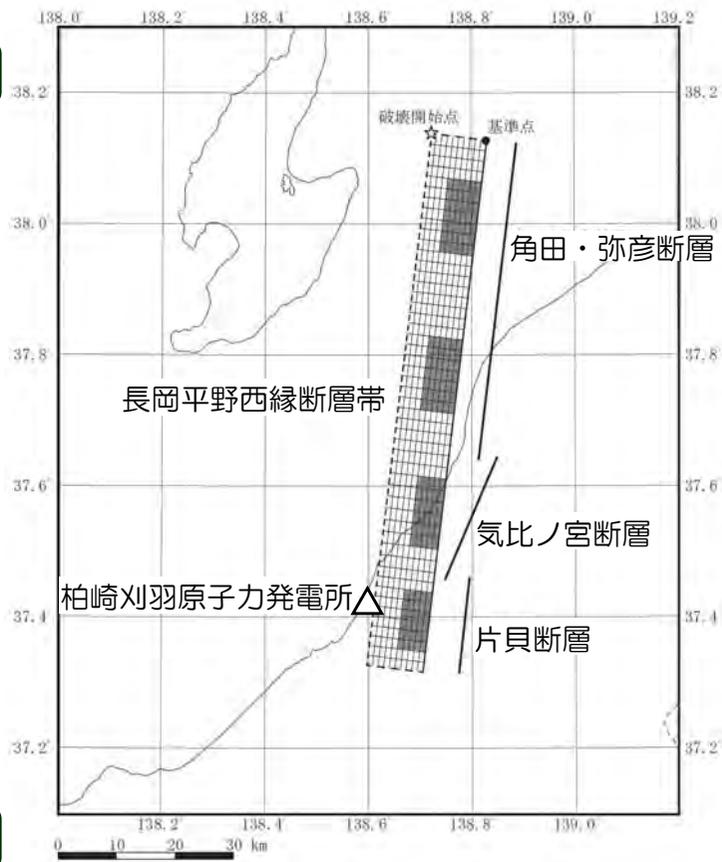


断層モデル

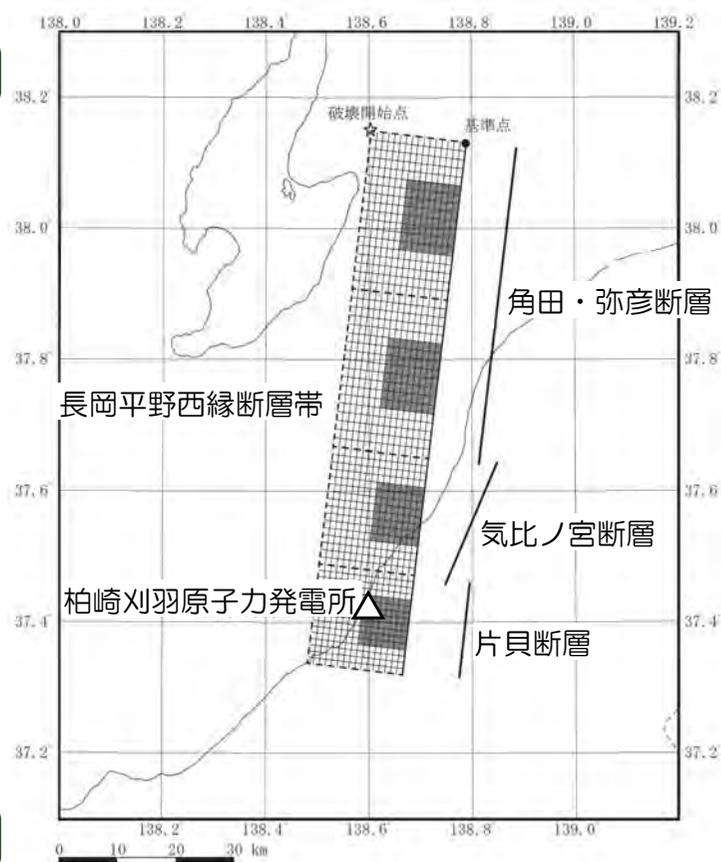
断層長さの不確かさ考慮(No.6),
断層長さ及び応力降下量の不確かさ考慮(No.7)

断層長さ及び断層傾斜角の
不確かさ考慮(No.8)

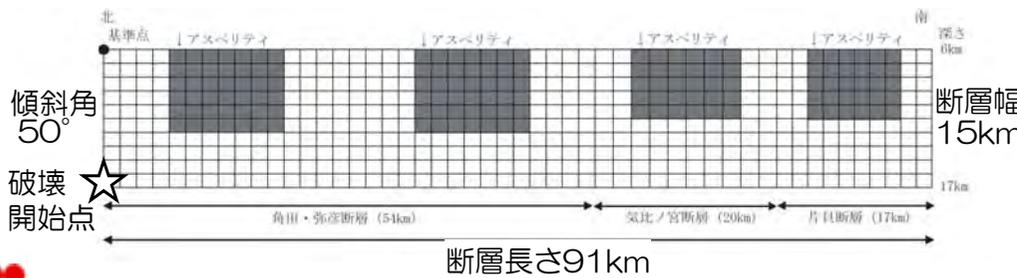
平面図



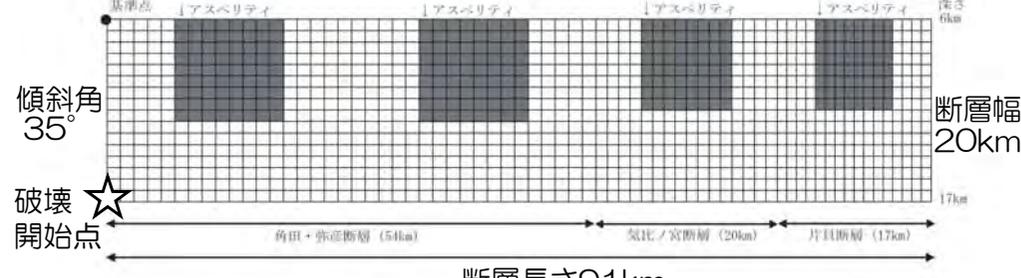
平面図



断面図



断面図



設定した断層パラメータ

■ 片貝断層による地震の断層パラメータは、地質調査結果、強震動予測レシピに基づき設定。

項目		基本震源モデル(No.1) 破壊開始点の不確かさ考慮(No.2) アスぺリティ位置の不確かさ考慮(No.3)	断層傾斜角の不確かさ 考慮(No.4)	応力降下量の不確かさ 考慮(No.5)	
巨視的 断層面	基準点	東経(°)	138.75	138.70	138.75
		北緯(°)	37.50	37.49	37.50
	断層上端深さ(km)	6	6	6	
	断層長さ(km)	25	20	25	
	断層幅(km)	15	20	15	
	断層面積(km ²)	375	400	375	
	走向(°)	187	187	187	
	傾斜角(°)	50	35	50	
	S波速度(km/s)	3.4	3.4	3.4	
	破壊伝播速度(km/s)	2.4	2.4	2.4	
地震モーメント(N・m)	7.8×10 ¹⁸	8.9×10 ¹⁸	7.8×10 ¹⁸		
アス ペリ ティ	面積(km ²)	59	65	59	
	地震モーメント(N・m)	2.5×10 ¹⁸	2.9×10 ¹⁸	2.5×10 ¹⁸	
	平均すべり量(cm)	134	143	134	
	応力降下量(MPa)	17	17	25	
背景 領域	面積(km ²)	316	335	316	
	地震モーメント(N・m)	5.4×10 ¹⁸	6.0×10 ¹⁸	5.4×10 ¹⁸	
	平均すべり量(cm)	54	57	54	
	実効応力(MPa)	3.5	2.7	5.2	

■ : 地質調査結果等に基づく

■ : 強震動予測レシピに基づく

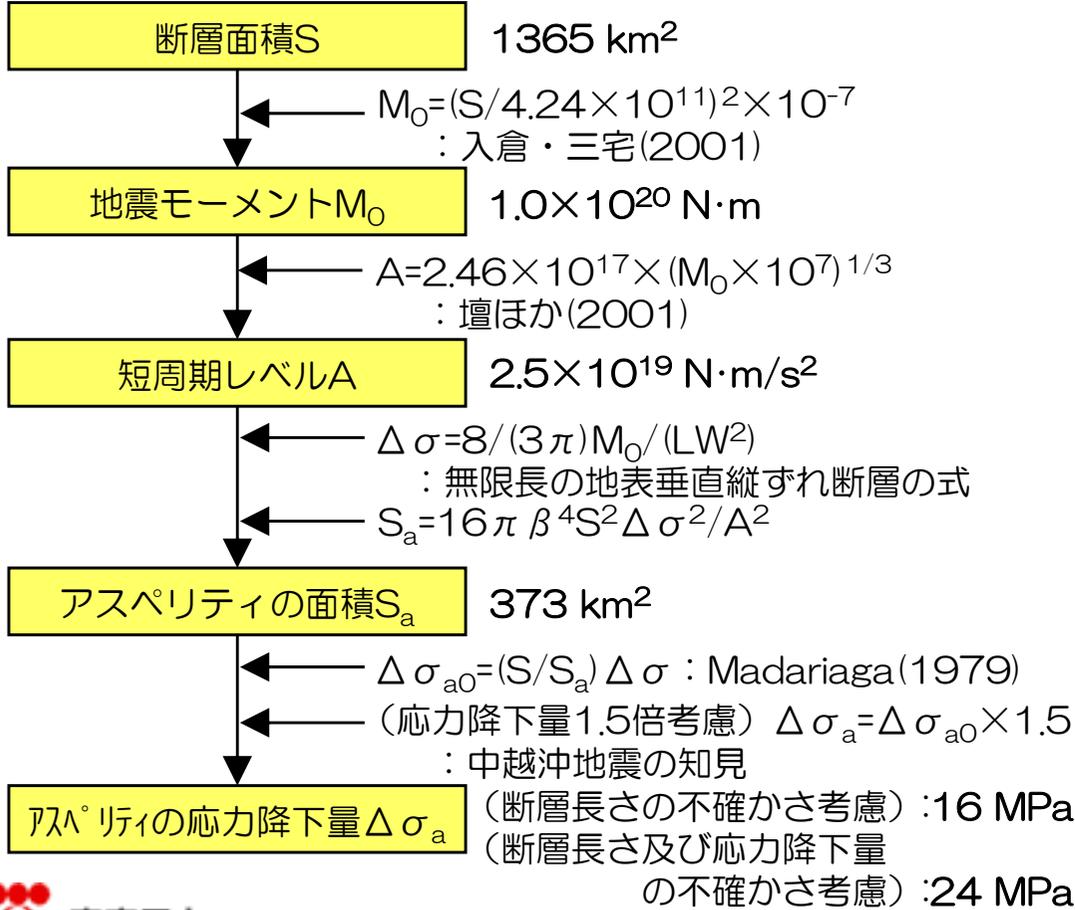
■ : 中越沖地震の知見を反映し、設定した応力降下量の1.5倍を考慮



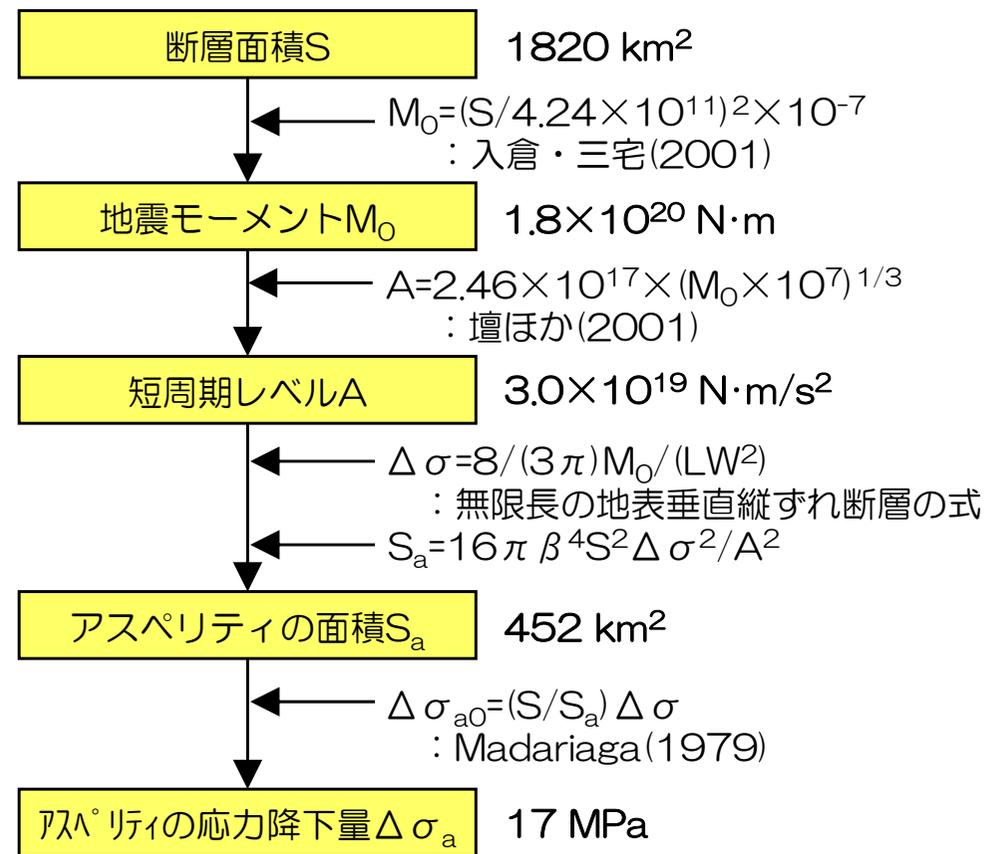
断層パラメータの設定フロー

- 断層長さの不確かさを考慮したケース（長岡平野西縁断層帯による地震）の断層パラメータは、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。

断層長さの不確かさ考慮 (No.6), 断層長さ及び応力降下量の不確かさ考慮 (No.7)



断層長さ及び断層傾斜角の不確かさ考慮 (No.8)



設定した断層パラメータ

断層長さの不確かさ考慮 (No.6), 断層長さ及び応力降下量の不確かさ考慮 (No.7)

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 (°)	138.83	138.83	138.79	138.76	138.73
		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)		15				
	断層面積 (km ²)		1365	405	405	300	255
	走向 (°)		187				
	傾斜角 (°)		50				
	S波速度 (km/s)		3.4				
	破壊伝播速度 (km/s)		2.4				
	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	16				
1.5倍		24					
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, 設定した応力降下量の1.5倍を考慮

設定した断層パラメータ

断層長さ及び断層傾斜角の不確かさ考慮 (No.8)

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 (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 (N・m)	1.8×10 ²⁰	5.5×10 ¹⁹	5.5×10 ¹⁹	4.1×10 ¹⁹	3.4×10 ¹⁹	
	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					
背景領域	断層面積 (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	

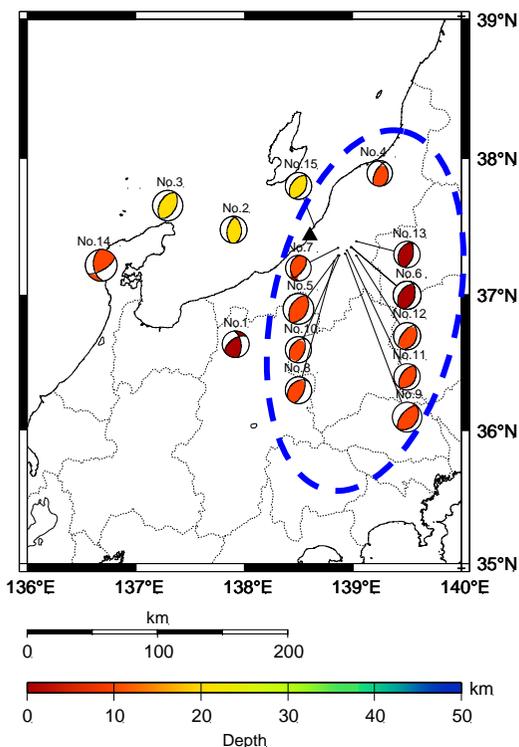
: 地質調査結果等に基づく
 : 強震動予測レシピに基づく

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、安全側の評価となるように松田式から算定。
- 地震波の伝播特性を反映するため、観測記録に基づく補正係数を考慮し、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設定。
- 応力降下量の不確かさは、補正係数の下限を1として、短周期側の地震動レベルを嵩上げすることにより考慮。

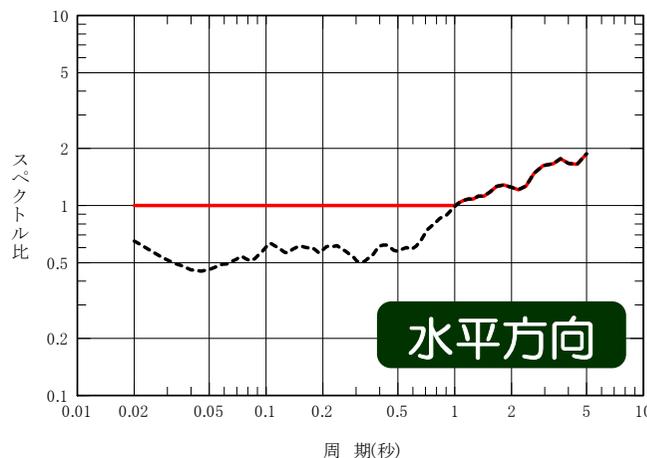
地震動評価結果

- No.1：基本震源モデル（スケールリング考慮）
- No.3：アスペリティ位置の不確かさ考慮
- No.4：断層傾斜角の不確かさ考慮
- - - No.5：応力降下量の不確かさ考慮
- No.6：断層長さの不確かさ考慮
- No.7：断層長さ及び応力降下量の不確かさ考慮
- No.8：断層長さ及び断層傾斜角の不確かさ考慮

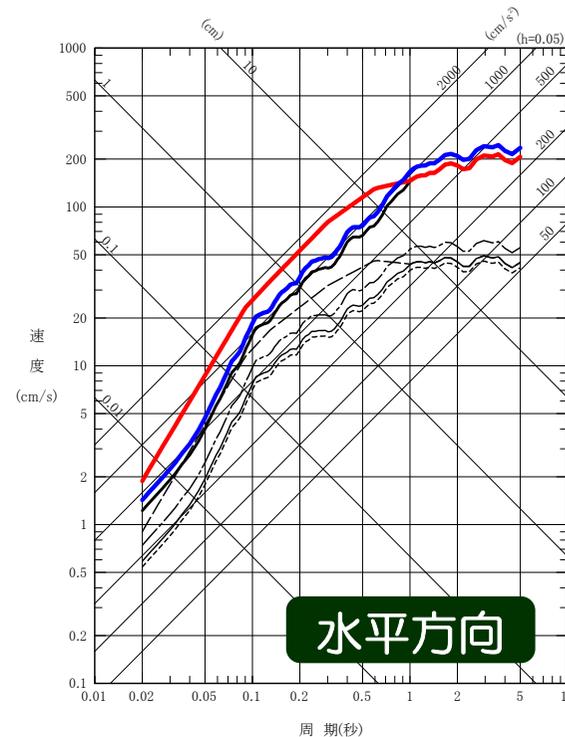


補正係数の算定に用いた地震の震央分布

- 観測記録に基づく補正係数
- 応答スペクトル比の下限を1とした場合の補正係数
→ 応力降下量の不確かさを考慮した場合に相当



観測記録に基づく補正係数
(荒浜側、大湊側で共通)

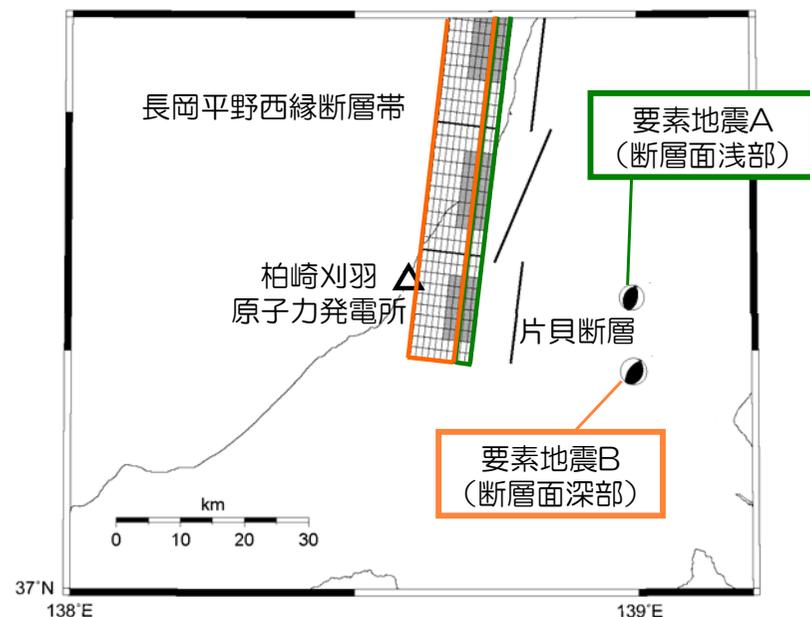


※破壊開始点の不確かさによる影響については、応答スペクトルに基づく手法で評価することができないため、断層モデルによる評価で把握する。

- 全周期帯において、断層長さの不確かさを考慮したケース（長岡平野西縁断層帯による地震）の影響が最も大きく、短周期側では、応力降下量の不確かさを考慮したケースの影響が同程度大きい。

断層モデルを用いた手法による地震動評価

- 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、片貝断層と同一方向の陸域で発生した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	Mj	5.9	6.1	気象庁
	Mw	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	神原ほか (2006), 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

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）の見積もり

- 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 $S(f)$

$$S(f) = \frac{F}{4\pi\rho\beta^3} \cdot M_0 \cdot \frac{(2\pi f)^2}{1+(f/f_c)^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+(f/f_{\max})^{4.2}}} \cdot FS$$

伝播特性 $P(f)$

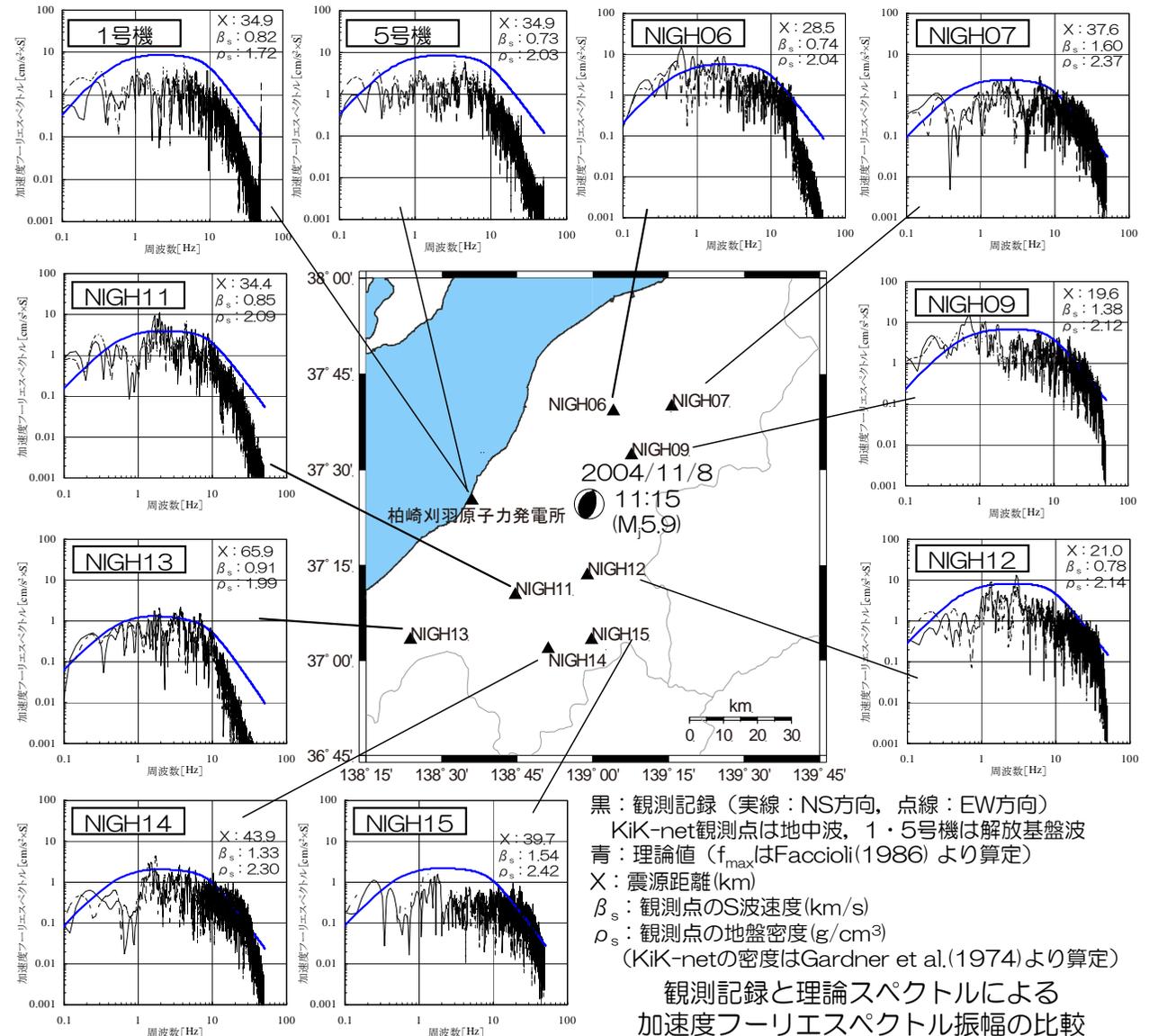
$$P(f) = \frac{\exp\{-\pi f X / (Q\beta)\}}{X}$$

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 ($0.63/\sqrt{2}$)
 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)



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）の見積もり

- 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 $S(f)$

$$S(f) = \frac{F}{4\pi\rho\beta^3} \cdot M_0 \cdot \frac{(2\pi f)^2}{1+(f/f_c)^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+(f/f_{max})^{4.2}}} \cdot FS$$

伝播特性 $P(f)$

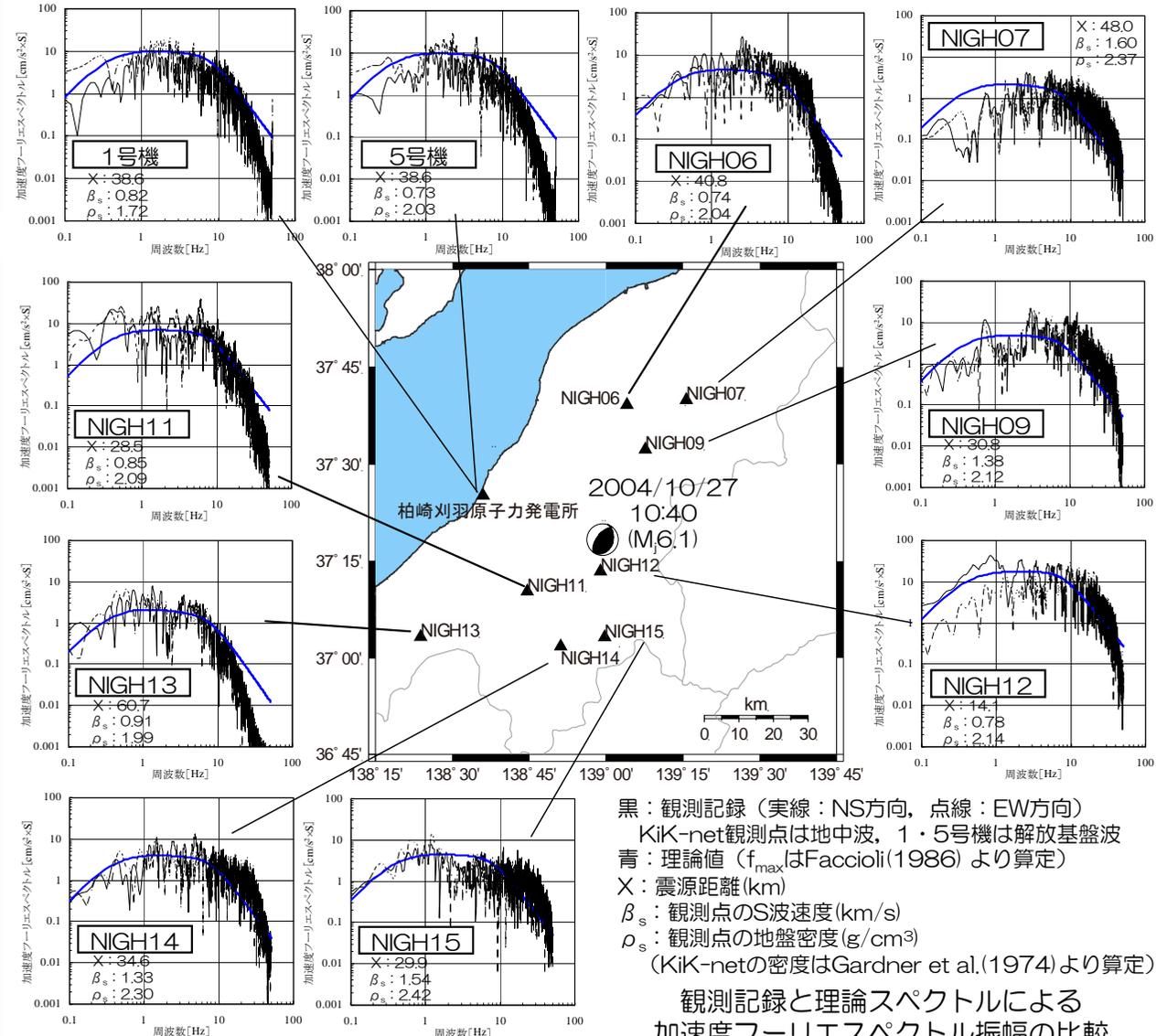
$$P(f) = \frac{\exp\{-\pi f X / (Q\beta)\}}{X}$$

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 ($0.63/\sqrt{2}$)
 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)

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

【参考】断層モデルを用いた手法による地震動評価

要素地震の選定

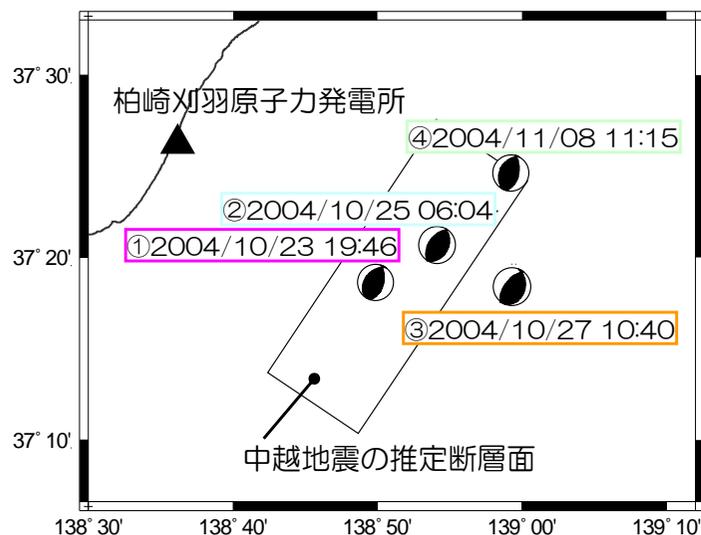
- 中越地震は、片貝断層（長岡平野西縁断層帯）による地震と同様、敷地東方から地震動が到来していると考えられる。
- 中越地震の震源モデルを用いたシミュレーション解析により地震動評価に用いる要素地震を選定。（対象は、中越地震の記録が得られている大湊側）
- 選定のプロセスとしては以下のとおり。
 Step1：要素地震の候補選定
 Step2：中越地震の強震動シミュレーション
 Step3：採用する要素地震，適用方法の決定

Step1：要素地震の候補選定

以下の条件により要素地震の候補を選定

- ・ 荒浜側(1～4号機側)，大湊側(5～7号機側)の両方で記録を取得。
- ・ 想定地震の震源域やその近傍で発生し，評価地点までの伝播特性が類似。
- ・ 十分な規模の地震であること。
 （ここでは，長岡平野西縁断層帯（Mw7.3）の評価に用いることを念頭にMw5.3以上。）
- ・ 震源特性が明らかであること。
 （ここでは，防災科研F-netのデータベース，神原ほか(2006)を参照）

➡ 要素地震として以下の4地震を抽出



抽出した要素地震の候補

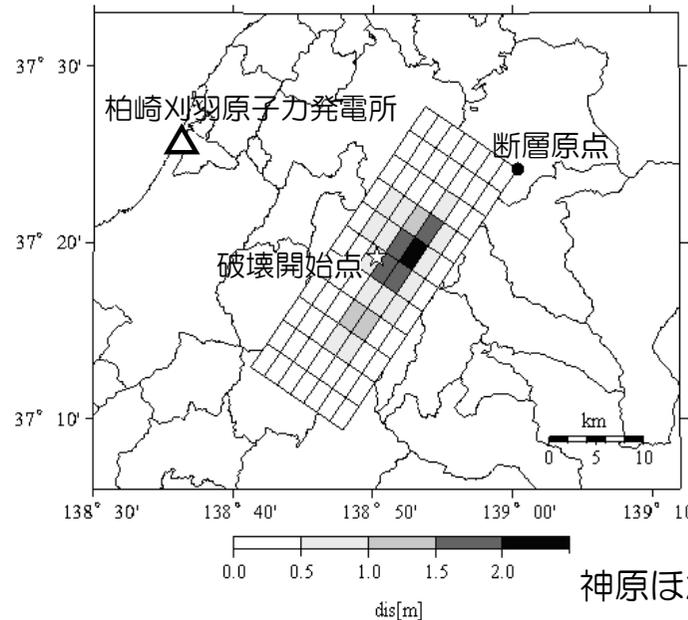
No.	①	②	③	④	備考
発生日時	2004/10/23 19:46	2004/10/25 06:04	2004/10/27 10:40	2004/11/8 11:15	気象庁
マグニチュード	Mj	5.7	5.8	6.1	気象庁
	Mw	5.5	5.6	5.8	F-net
震源位置	東経(°)	138.83	138.90	138.99	神原ほか(2006)※
	北緯(°)	37.31	37.34	37.31	神原ほか(2006)※
震源深さ(km)		12.35	15.20	11.60	気象庁
		8	14	11	神原ほか(2006)
走向(°)	16; 217	215; 29	218; 18	13; 209	F-net
傾斜(°)	52; 40	53; 37	60; 32	53; 38	F-net
すべり角(°)	76; 107	94; 85	100; 73	80; 103	F-net
地震モーメント(N・m)	1.8×10^{17}	2.5×10^{17}	6.3×10^{17}	2.2×10^{17}	F-net
コーナー周波数(Hz)	0.6	0.6	0.4	0.6	神原ほか(2006)
実効応力(MPa)	8.2	11.4	8.7	10.4	神原ほか(2006)

※ただし，日本測地系の座標を世界測地系に変換

【参考】断層モデルを用いた手法による地震動評価 要素地震の選定

Step2: 中越地震の強震動シミュレーション

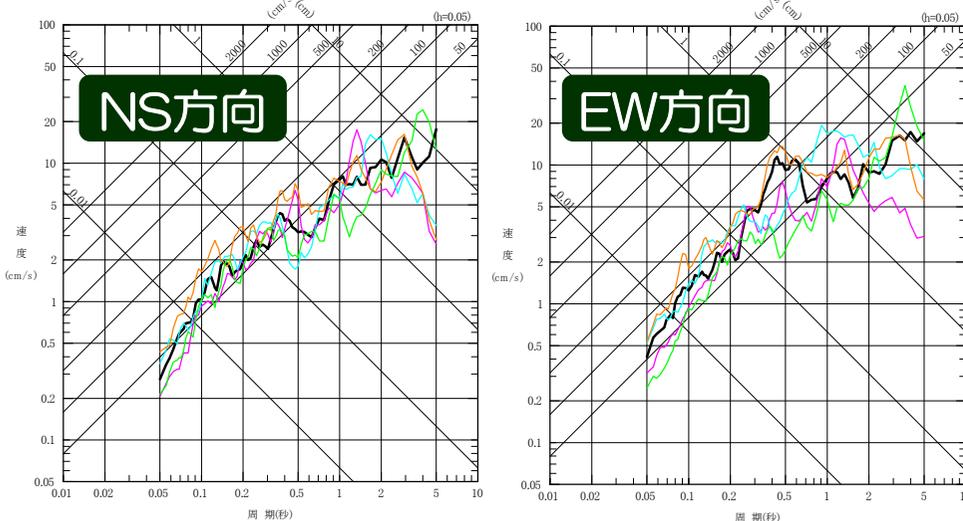
- ・ 神原ほか(2006)で提案されている中越地震の震源モデルにより強震動シミュレーションを実施。
- ・ 要素地震を1つとした場合のシミュレーション結果を踏まえ、さらに敷地で得られた観測記録の再現性を向上させる目的で、要素地震を2つとした場合についても検討。



パラメータ		設定値
断層原点	東経 (°)	139° 0' 23"
	北緯 (°)	37° 24' 12"
断層上端深さ (km)		0.2
断層長さ (km)		31
断層幅 (km)		20
断層面積 (km ²)		620
走向 (°)		214
傾斜角 (°)		56
S波速度 (km/s)		3.4
破壊伝播速度 (km/s)		2.45
地震モーメント (N·m)		8.17×10 ¹⁸
平均すべり量 (cm)		43.8
平均応力降下量 (MPa)		1.29

神原ほか(2006)による中越地震の震源モデル
(コンターはすべり量分布)

1つの要素地震による強震動シミュレーション



	要素地震	シミュレーション結果の特徴
①	2004/10/23	長周期側の地震動レベルが不足
②	2004/10/25	長周期側の地震動レベルが不足 EW成分の周期0.5~1秒付近のピークがずれている
③	2004/10/27	長周期側の地震動レベルが不足 ただし、 ピーク位置は概ね整合
④	2004/11/08	短周期側の地震動レベルが不足しているものの、 長周期側は同程度あるいは大きめの評価

- 中越地震 観測記録
- ① 2004/10/23
- ② 2004/10/25
- ③ 2004/10/27
- ④ 2004/11/08

➡ 2つの要素地震を用いる場合として、③、④の組み合わせで検討

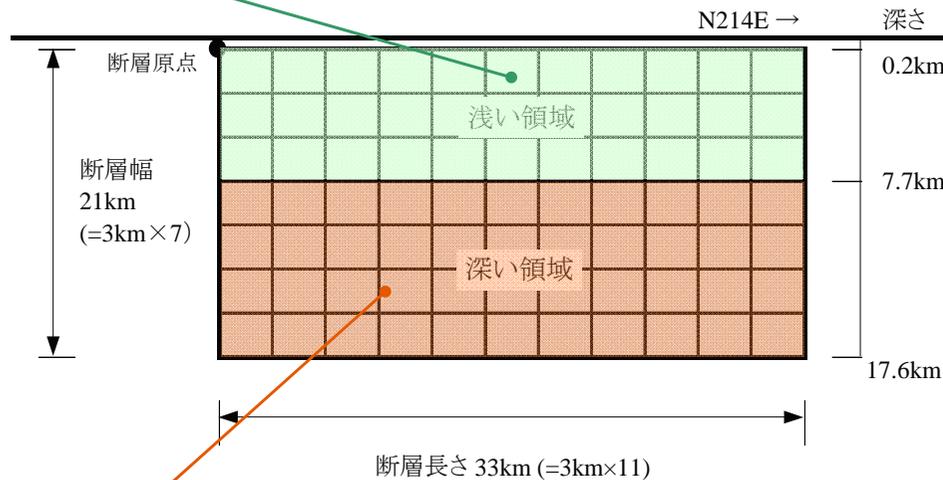
地中の観測点における比較 (5号機地盤系-300m)

【参考】断層モデルを用いた手法による地震動評価 要素地震の選定

2つの要素地震による強震動シミュレーション

- ・1つの要素地震を用いたケースと比較して、再現性が高いことを確認。

【浅い領域】④2004年11月08日 11:15の地震



【深い領域】③2004年10月27日 10:40の地震

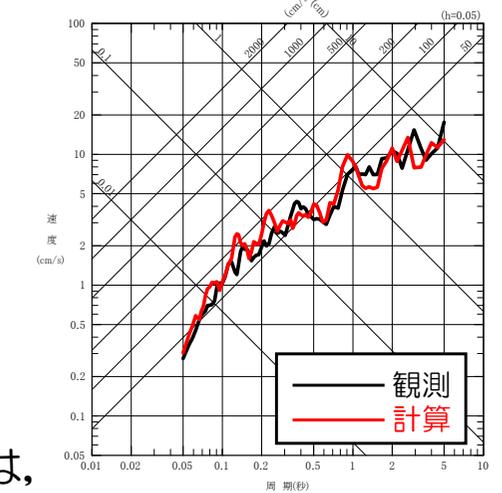
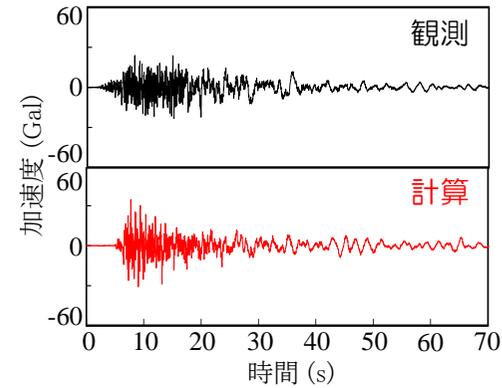
Step3 : 採用する要素地震, 適用方法の決定

- ・片貝断層（長岡平野西縁断層帯）に用いる要素地震は、同一方向の陸域で発生した中越地震のシミュレーション解析から再現性の良い要素地震を選定。
- ・シミュレーション解析においては、浅い領域と深い領域で異なる要素地震を用いることによって、記録の再現性が改善できたことから、片貝断層（長岡平野西縁断層帯）の地震動評価においても、同様に2つの要素地震を用いる。

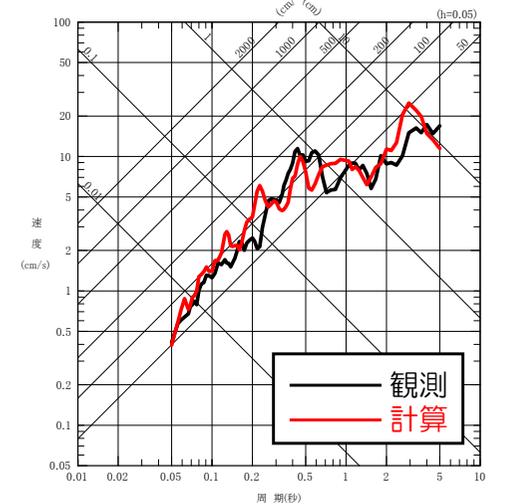
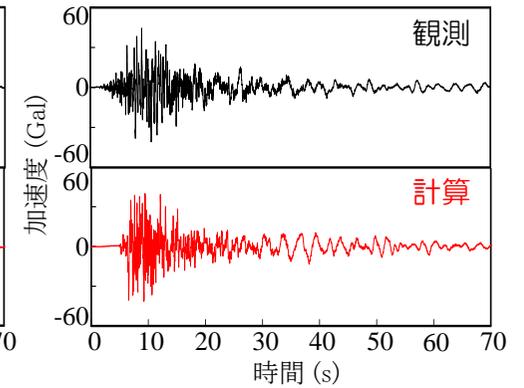
【断層面浅部】 2004年11月08日 11時15分の地震 (Mw5.5)

【断層面深部】 2004年10月27日 10時40分の地震 (Mw5.8)

NS方向



EW方向

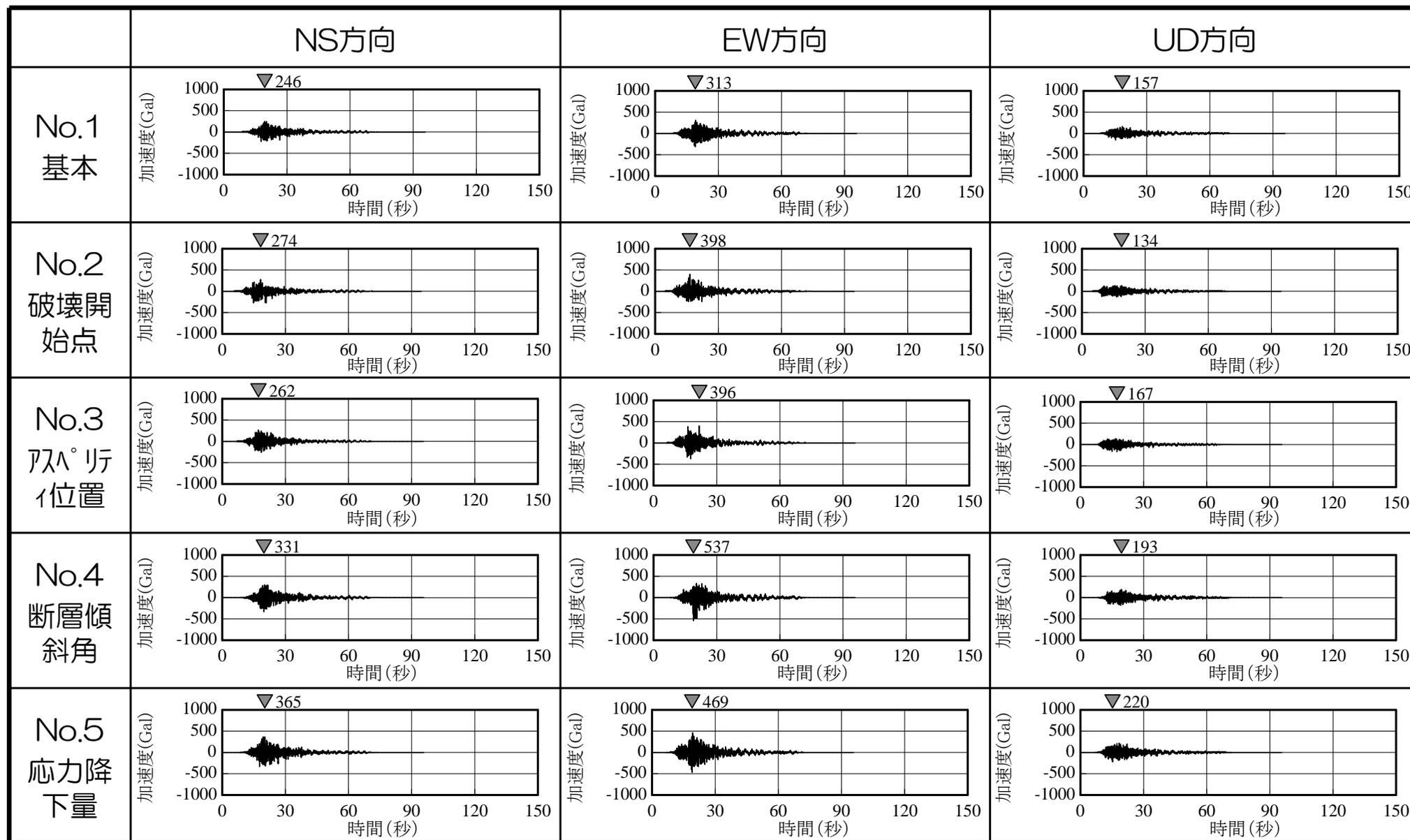


地中の観測点における比較 (5号機地盤系-300m)

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果

【加速度時刻歴波形】

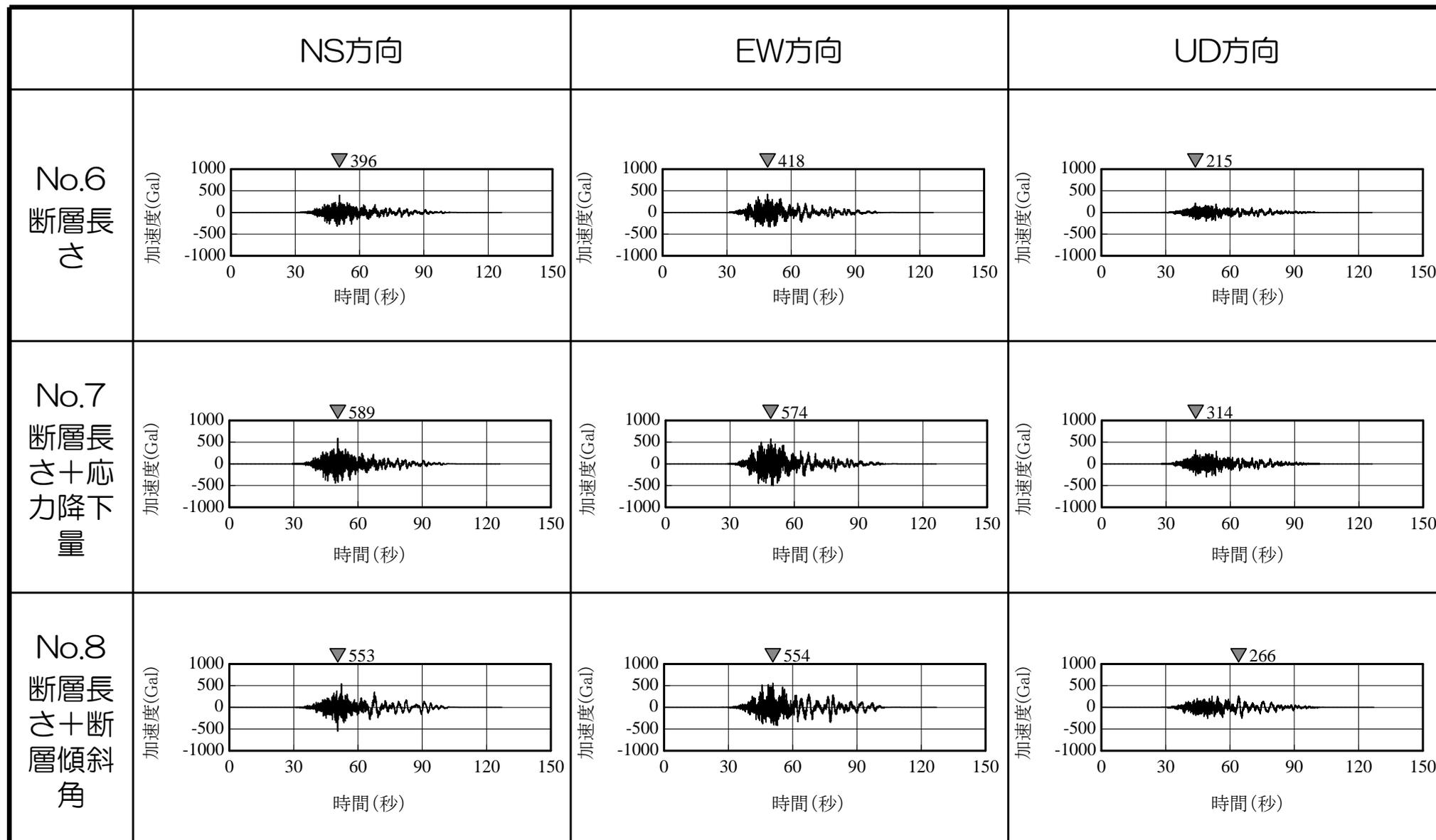
荒浜側



断層モデルを用いた手法による地震動評価結果

【加速度時刻歴波形】

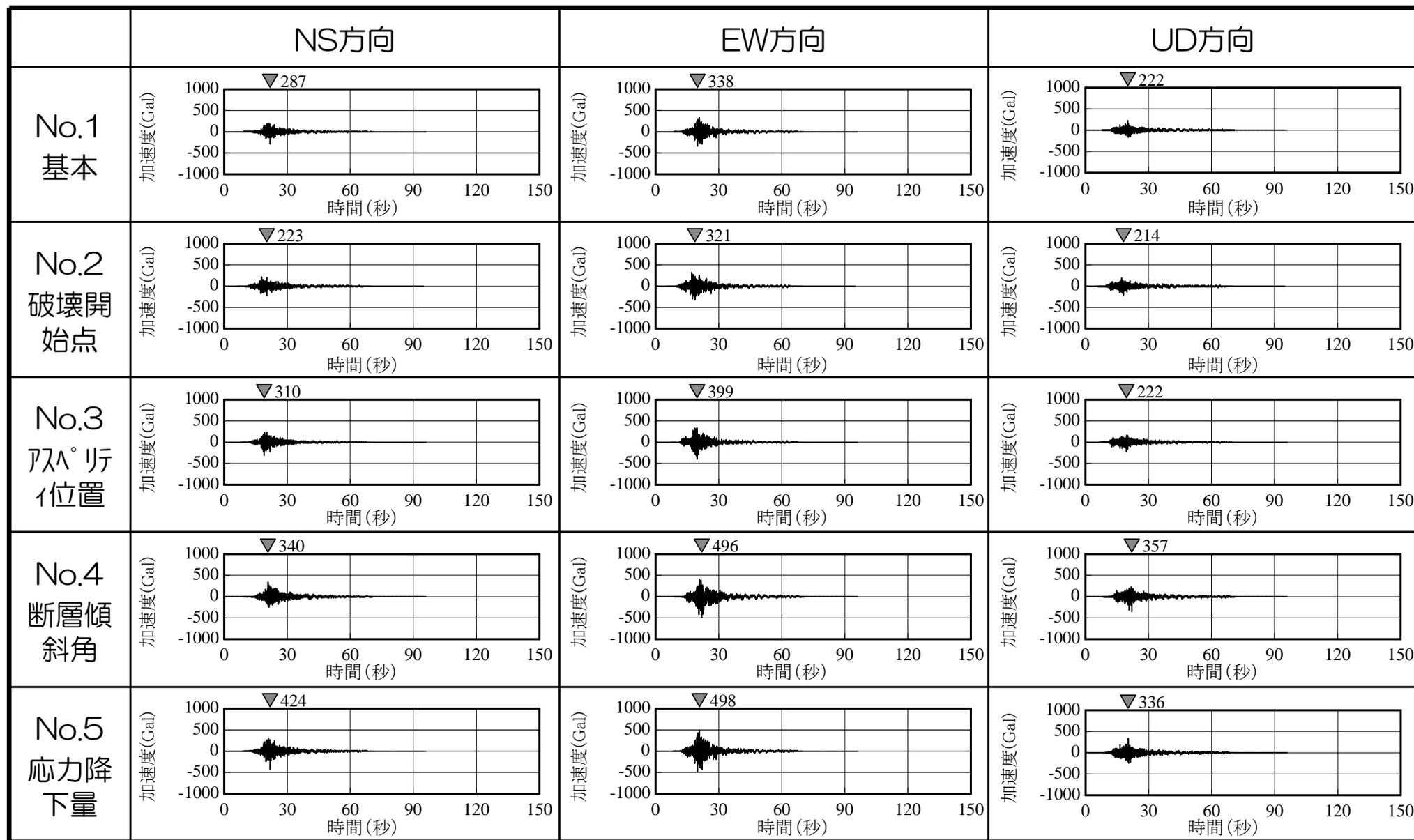
荒浜側



断層モデルを用いた手法による地震動評価結果

【加速度時刻歴波形】

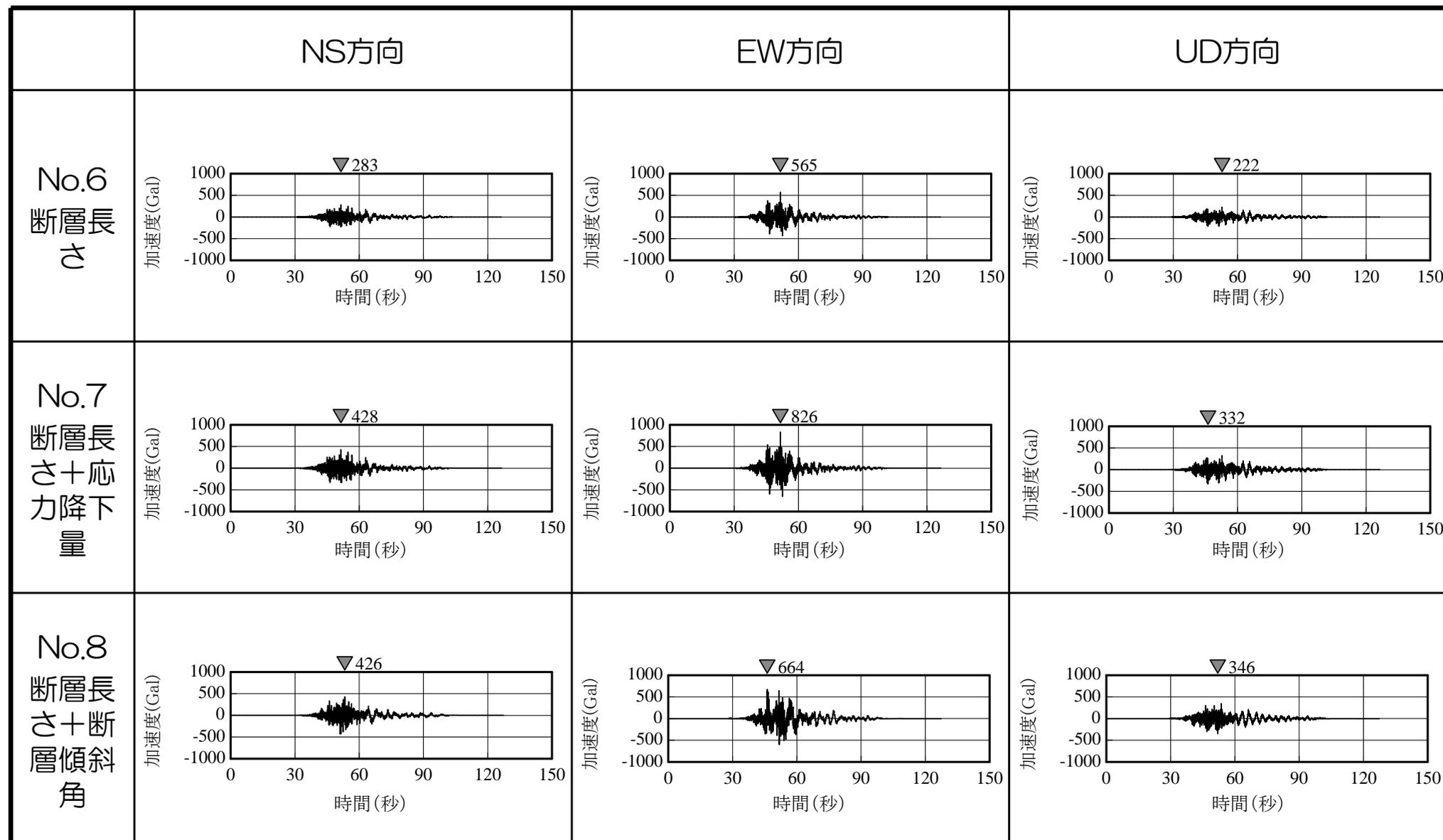
大湊側



断層モデルを用いた手法による地震動評価結果

【加速度時刻歴波形】

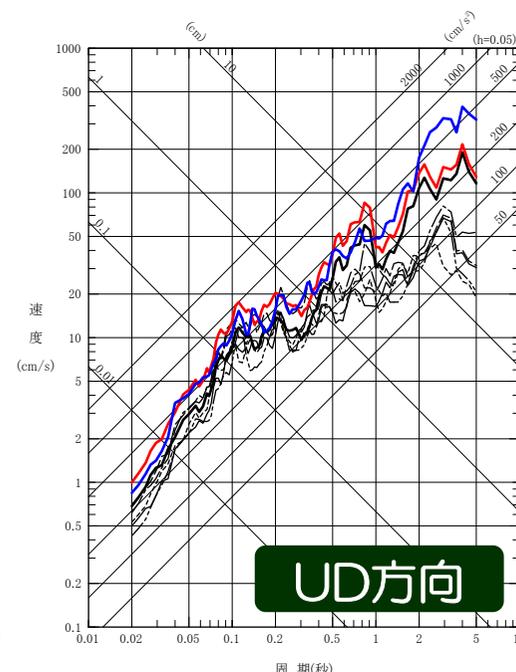
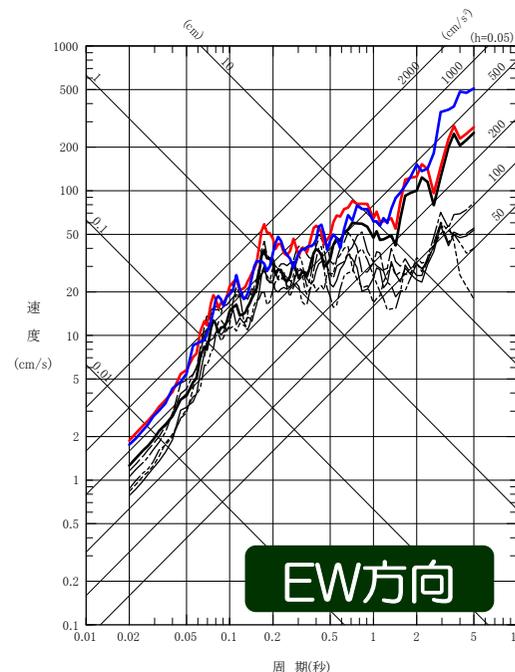
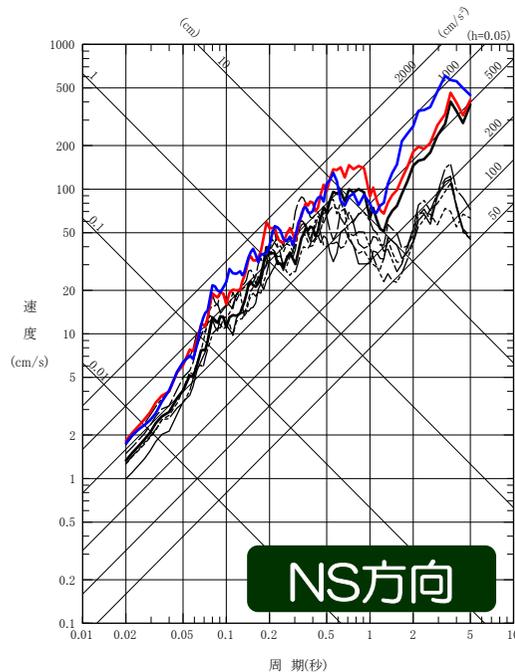
大湊側



断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 【擬似速度応答スペクトル】

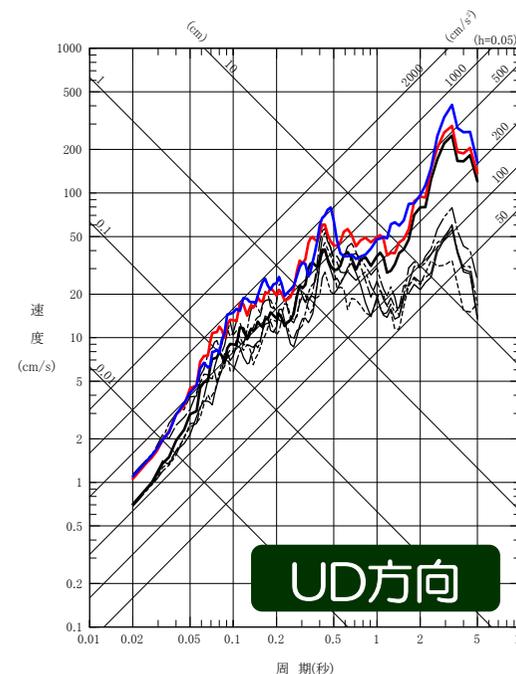
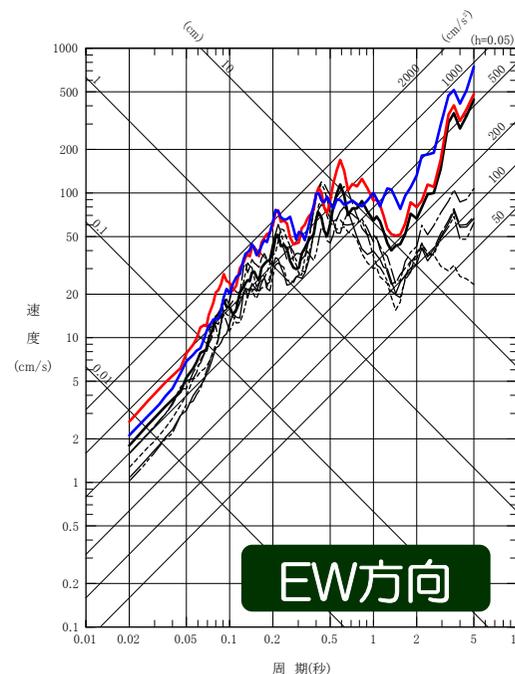
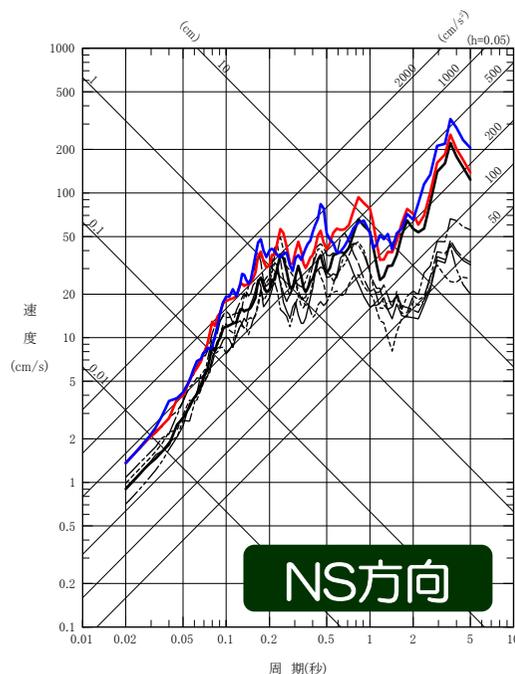
荒浜側

- 不確かさの影響は、応答スペクトルに基づく評価結果と概ね同様の傾向。
- 破壊開始点の不確かさの影響は、断層長さの不確かさの影響に比べて小さい。



大湊側

- No.1 : 基本
- - - No.2 : 破壊開始点
- · - No.3 : 断層傾斜角
- · - No.4 : 断層傾斜角
- - - No.5 : 応力降下量
- No.6 : 断層長さ
- No.7 : 断層長さ+
応力降下量
- No.8 : 断層長さ+
断層傾斜角



5. 基準地震動

(1) 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

a.地震発生層の設定

b.検討用地震の選定

c.検討用地震の地震動評価

①F-B断層による地震

②片貝断層による地震（長岡平野西縁断層帯による地震）

d.基準地震動の策定

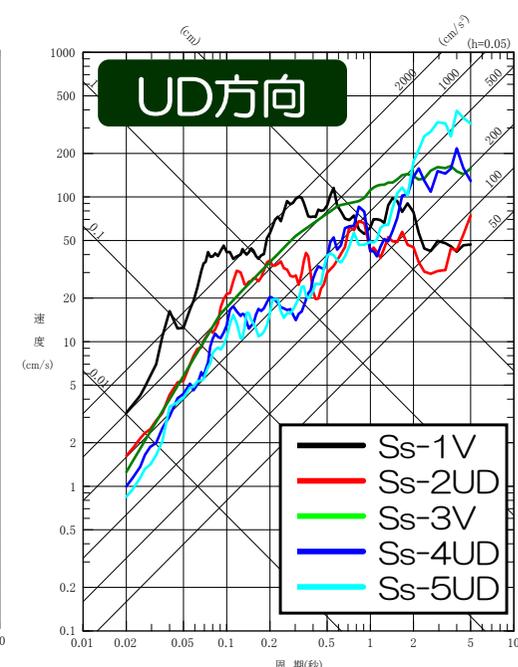
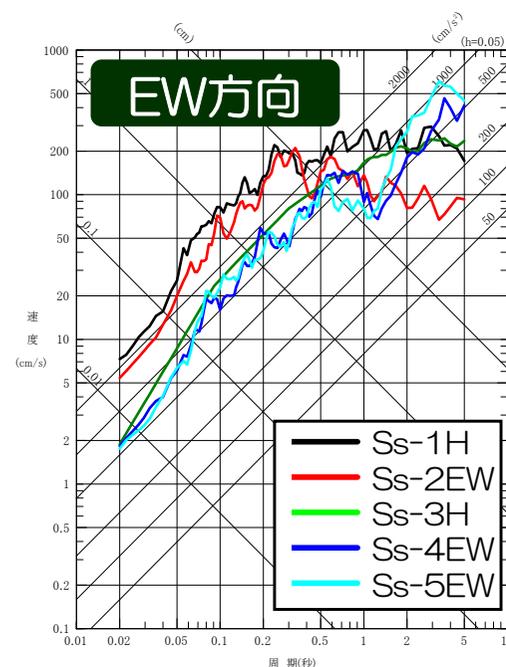
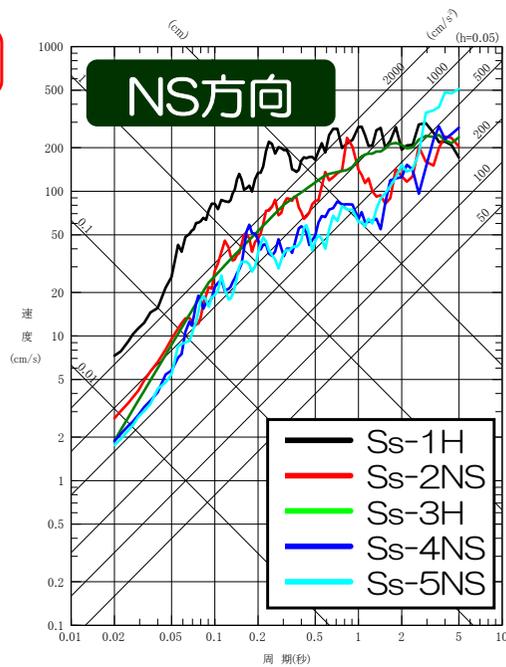
基準地震動の策定

- 検討用地震の応答スペクトルに基づく地震動評価結果および断層モデルを用いた手法による地震動評価結果に基づき基準地震動を策定。

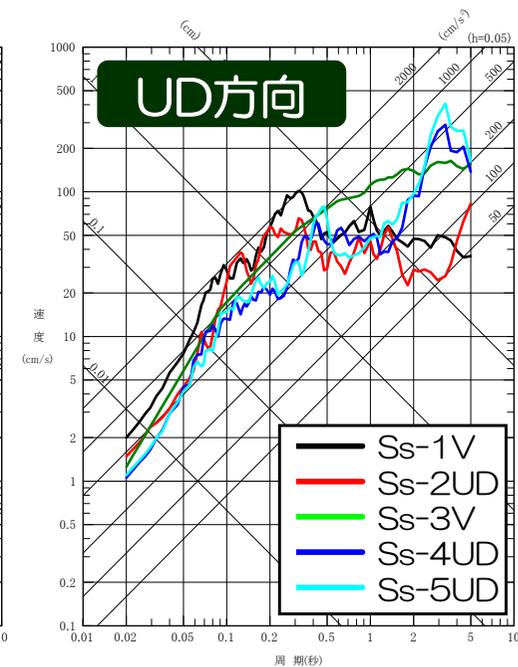
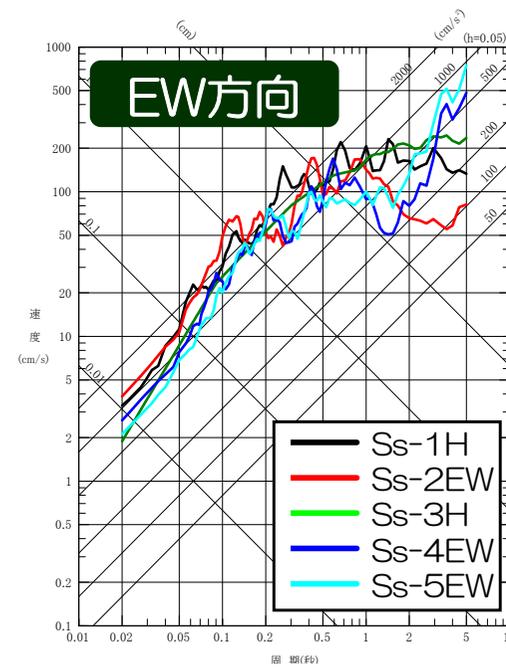
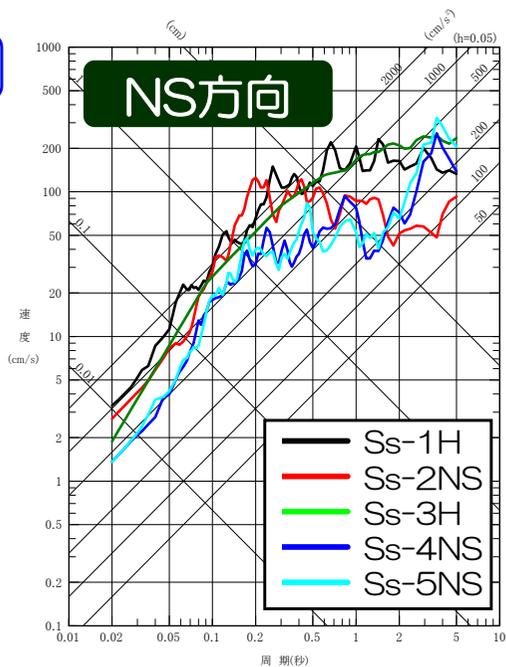
基準地震動	検討用地震及び評価ケース		地震動評価手法
Ss-1	F-B断層による地震 (M7.0)		応答スペクトルに基づく 地震動評価 [Noda et al. (2002)]
Ss-2			断層モデルを用いた手法による 地震動評価 [経験的グリーン関数法]
Ss-3	片貝断層 (長岡平野西縁断層 帯)による地震 (M8.1)	下記の2つのケースを 包絡	応答スペクトルに基づく 地震動評価 [Noda et al. (2002)]
Ss-4		応力降下量1.5倍	断層モデルを用いた手法による 地震動評価 [経験的グリーン関数法]
Ss-5		断層傾斜角35°	

基準地震動の策定 【擬似速度応答スペクトル】

荒浜側

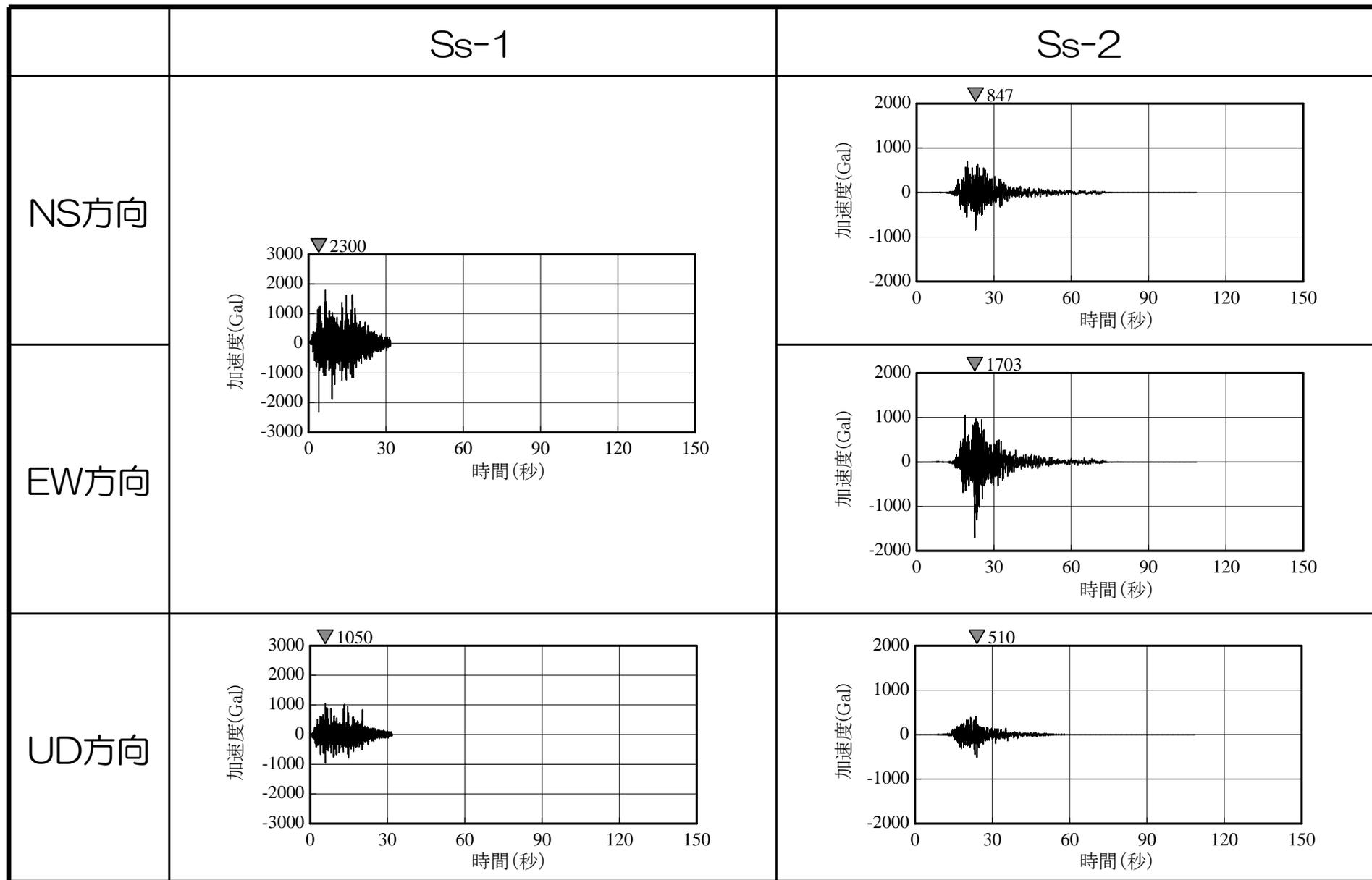


大湊側



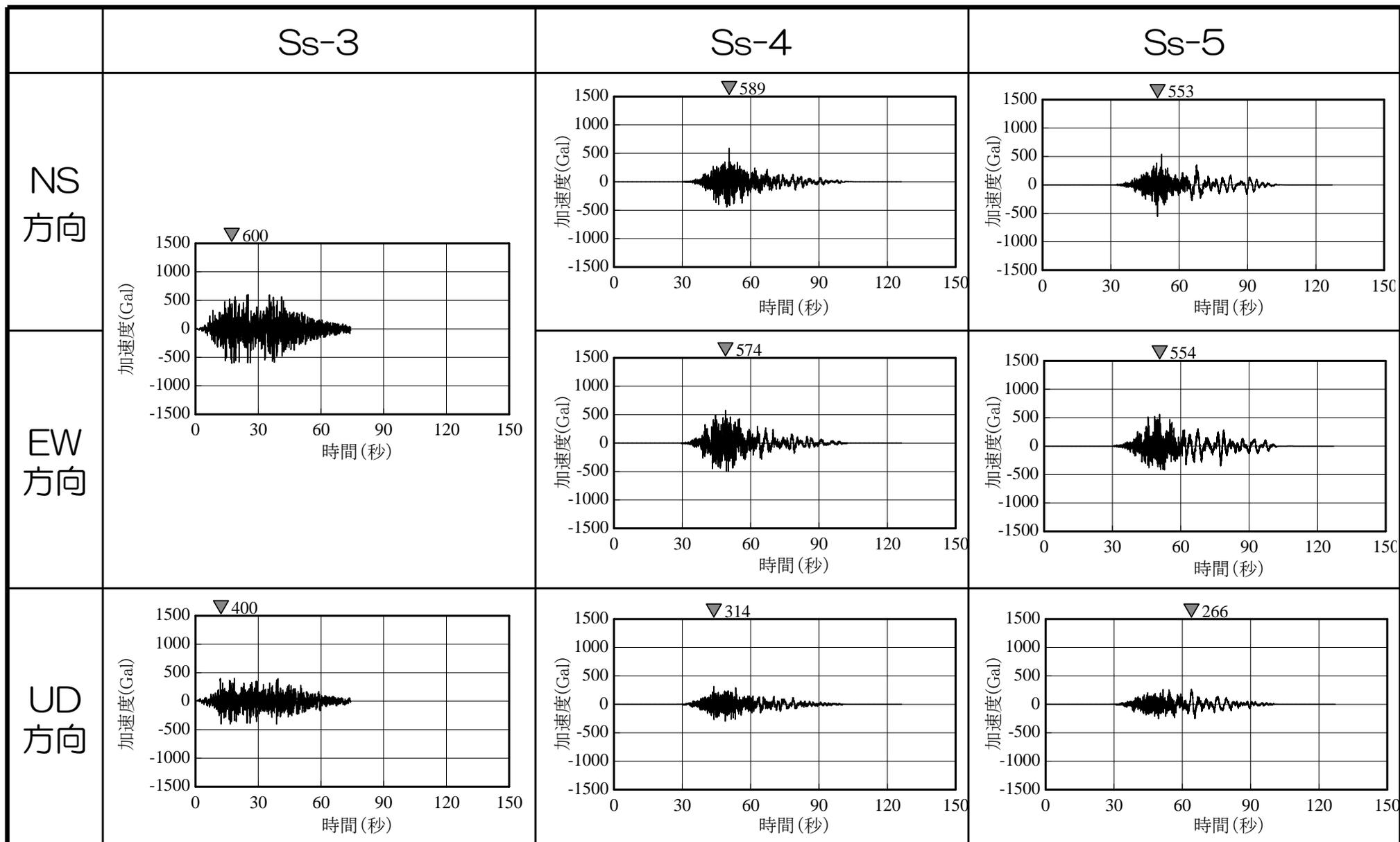
荒浜側

基準地震動Ss-1, 2の加速度時刻歴波形



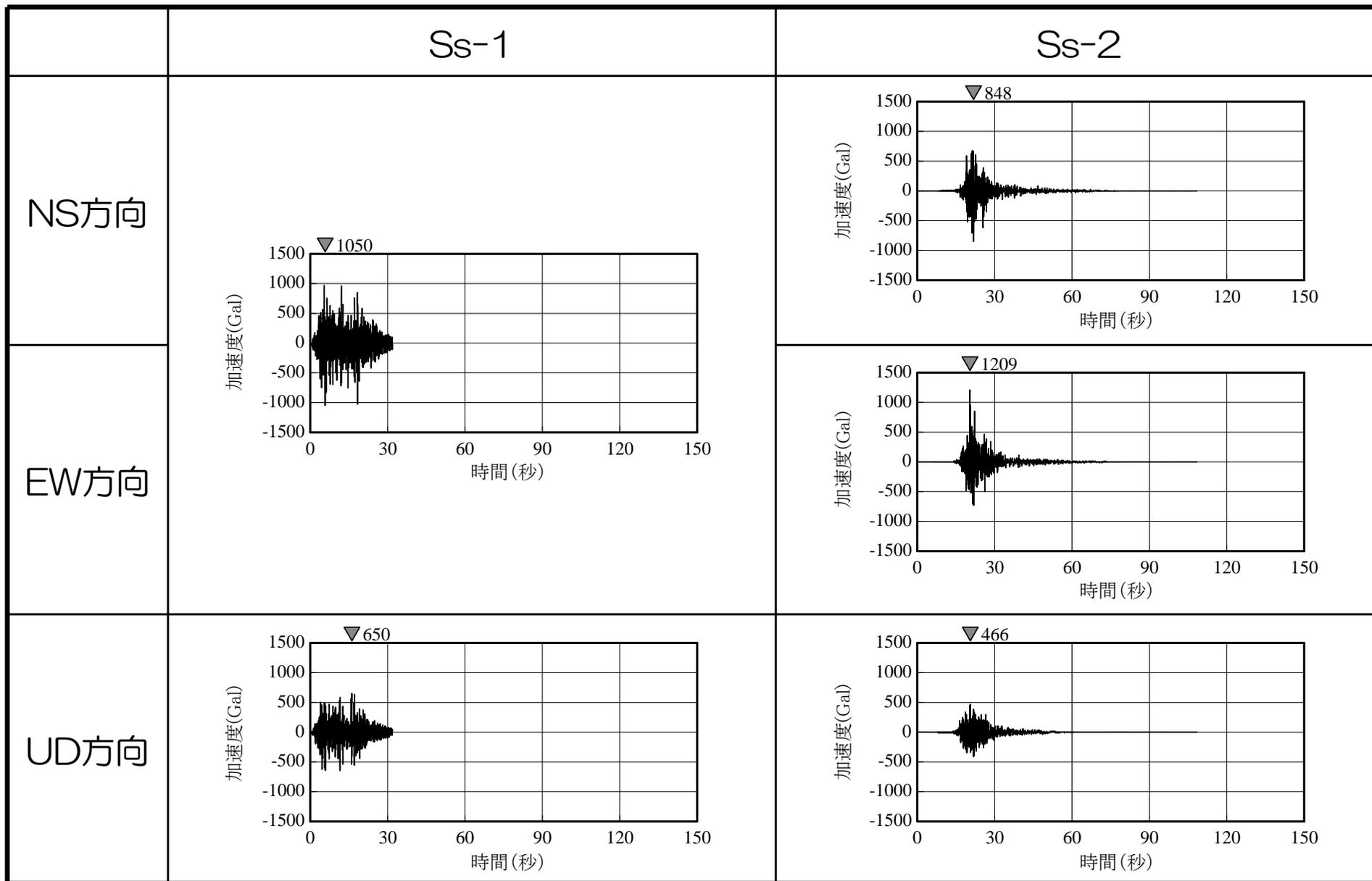
荒浜側

基準地震動Ss-3, 4, 5の加速度時刻歴波形



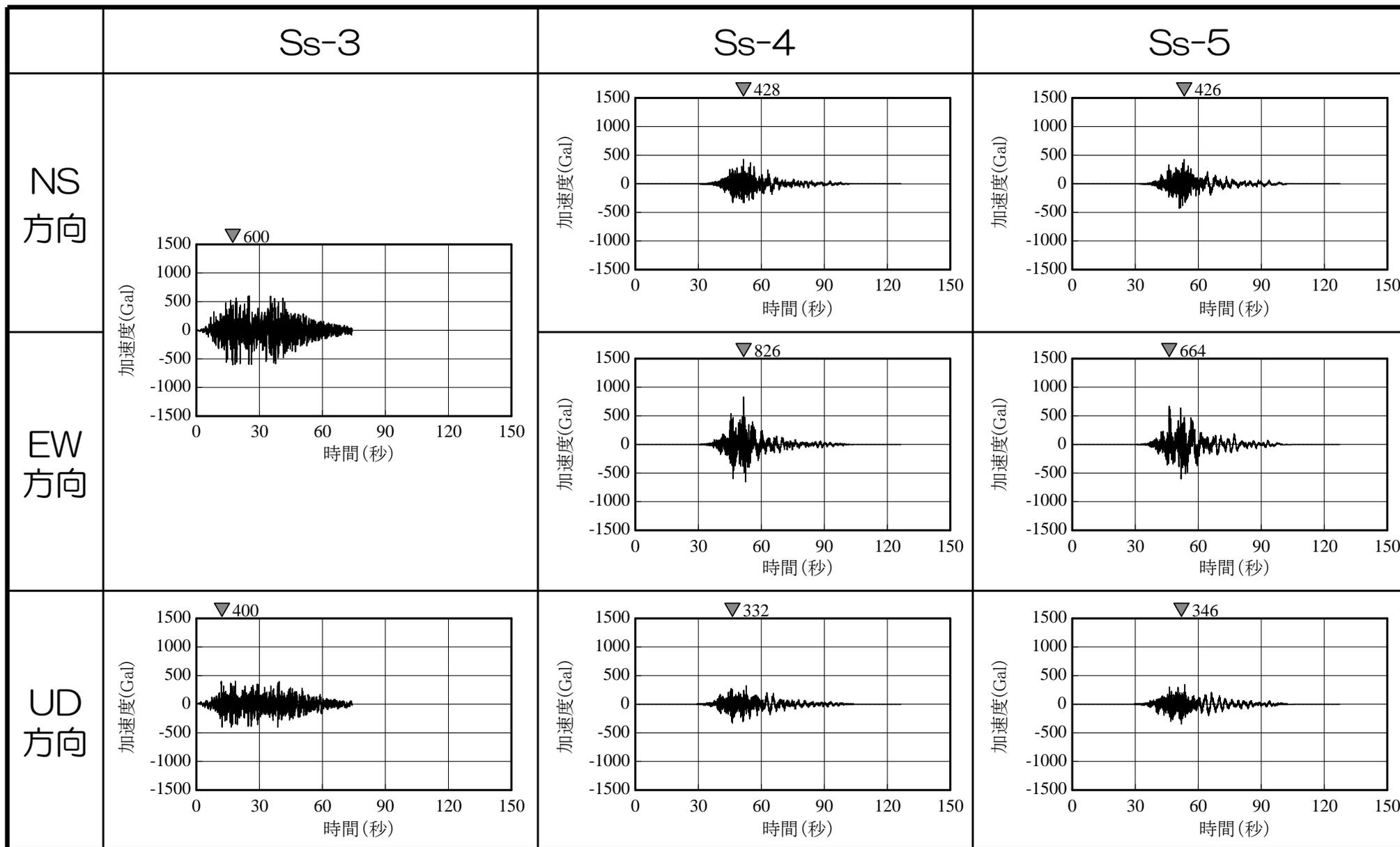
大湊側

基準地震動Ss-1, 2の加速度時刻歴波形



大湊側

基準地震動Ss-3, 4, 5の加速度時刻歴波形



-
1. はじめに
 2. 既往評価からの変更概要
 3. 敷地周辺の地震発生状況
 4. 敷地における地震波の伝播特性
 5. **基準地震動**
 - (1) 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
 - (2) **活断層の連動を考慮した地震動**

5. 基準地震動

(2) 活断層の連動を考慮した地震動

a.活断層の連動を考慮した地震動について

b.陸域の活断層の連動

c.海域の活断層の連動

d.基準地震動の策定

活断層の連動を考慮した地震動について 地質調査結果

②『佐渡島棚東縁撓曲』と『F-B褶曲群』，『佐渡島棚東縁撓曲』と『佐渡島南方断層』の連動の可能性は低いと考えられる。

- ・日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書においてこれらの同時破壊は選定されていない。
- ・それぞれの断層面の傾斜方向が異なる。
- ・佐渡島棚東縁撓曲，F-B褶曲群は重力異常との対応関係が異なる。
- ・平均変位速度が異なる。
- ・F-B褶曲群は，中越沖地震の震源断層であり，中越沖地震によりひずみが解消されていると考えられる。

①『佐渡島棚東縁撓曲』と『その北方に分布する断層』の連動の可能性は低いと考えられる。

- ・間に連続する活構造が存在しない。
- ・重力異常との対応関係が異なる。
- ・平均変位速度が異なる。

⑥『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，平均変位速度等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。ただし，**安全評価上，3断層の同時活動についても考慮。**

④『佐渡島南方断層』+『F-D褶曲群+高田沖褶曲群』と『親不知海脚西縁断層』及び『魚津断層帯』の連動の可能性は低いと考えられる。

- ・日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書においてこれらの同時破壊は選定されていない。
- ・F-D褶曲群+高田沖褶曲群と親不知海脚西縁断層との間には連続する活褶曲が存在しない。
- ・F-D褶曲群+高田沖褶曲群と親不知海脚西縁断層は重力異常との対応関係が異なる。
- ・F-D褶曲群+高田沖褶曲群と魚津断層帯の平均変位速度が異なる。

⇒ただし，旧原子力安全・保安院の意見聴取会における専門家の意見も踏まえ，**安全評価上，連動を考慮した地震動評価を実施。**

⑦『長岡平野西縁断層帯』と『十日町断層帯西部』とが連動する可能性は低いと考えられる。

- ・間にリニアメントの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も異なる。
- ・中間付近に位置する山本山断層が新潟県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ないと考えられる。ただし，**安全評価上，両断層の同時活動についても考慮。**

③『F-B褶曲群』と『F-D褶曲群+高田沖褶曲群』の連動の可能性は低いと考えられる。

- ・日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書においてこれらの同時破壊は選定されていない。
- ・褶曲構造の形態が異なる。
- ・重力異常との対応関係が異なる。
- ・平均変位速度が異なる。
- ・F-B褶曲群は，中越沖地震の震源断層であり，中越沖地震によりひずみが解消されていると考えられる。

※評価の詳細については，以下の資料を参照

- ・第218回審査会合 資料1
敷地周辺陸域の地質・地質構造
- ・第215回審査会合 資料1-2
敷地周辺海域の断層連動評価

活断層の連動を考慮した地震動について

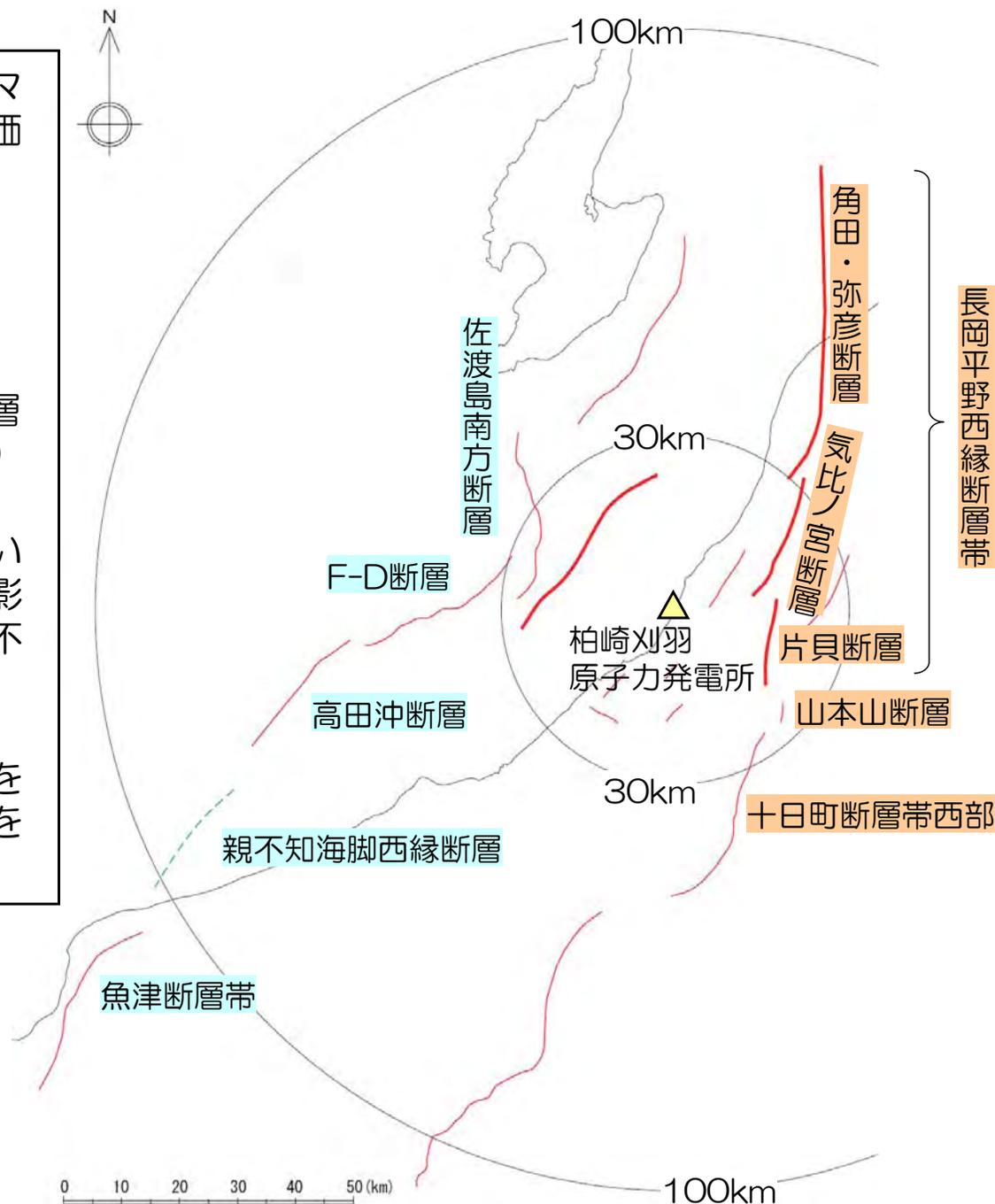
■ 敷地周辺の活断層の連動の可能性について様々な指摘を踏まえて検討を行った結果、安全評価上、以下の連動を考慮した地震動評価を実施。

陸域：長岡平野西縁断層帯～山本山断層
～十日町断層帯西部

海域：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)

■ 連動を考慮した上で、さらに陸域の連動については、断層傾斜角、応力降下量の不確かさの影響を、海域の連動については、応力降下量の不確かさの影響を確認。

■ なお、評価にあたっては、長大な連動の効果を適切に評価できると考えられる「断層モデルを用いた手法」により実施。



5. 基準地震動

(2) 活断層の連動を考慮した地震動

a.活断層の連動を考慮した地震動について

b.陸域の活断層の連動

c.海域の活断層の連動

d.基準地震動の策定

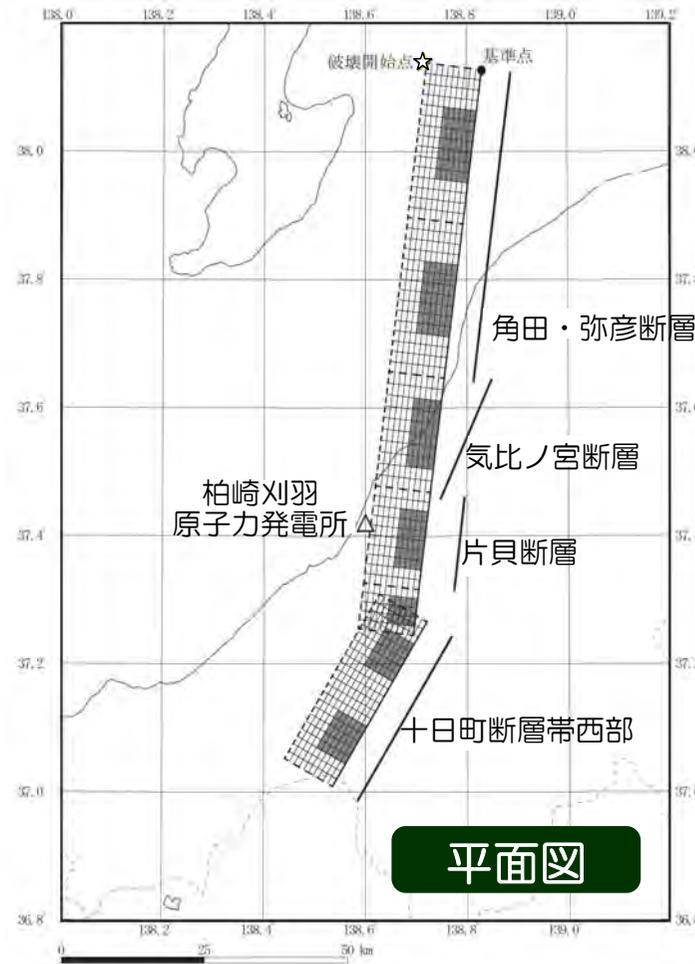
震源モデルの設定・断層モデル

震源モデルの設定方針

- 巨視的断層パラメータのうち、断層の位置・断層長さ（132km）については地質調査結果等に基づき設定。
- 断層の傾斜角は、地質調査結果及び地震本部による長岡平野西縁断層帯の評価結果を参考に 50° と設定。
- 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。
- 連動の考慮に加え、長岡平野西縁断層帯の評価と同様、応力降下量1.5倍、断層傾斜角 35° の不確かさをそれぞれ考慮したケースを評価。

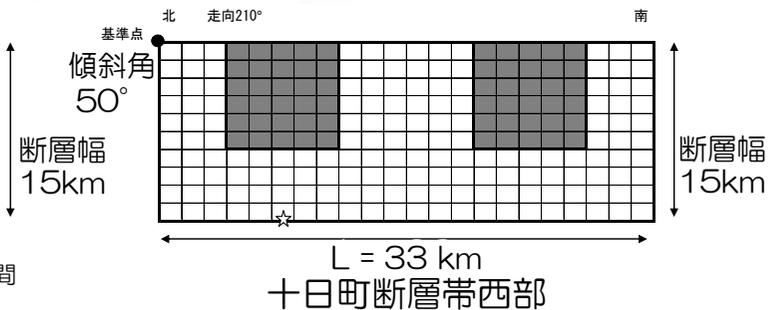
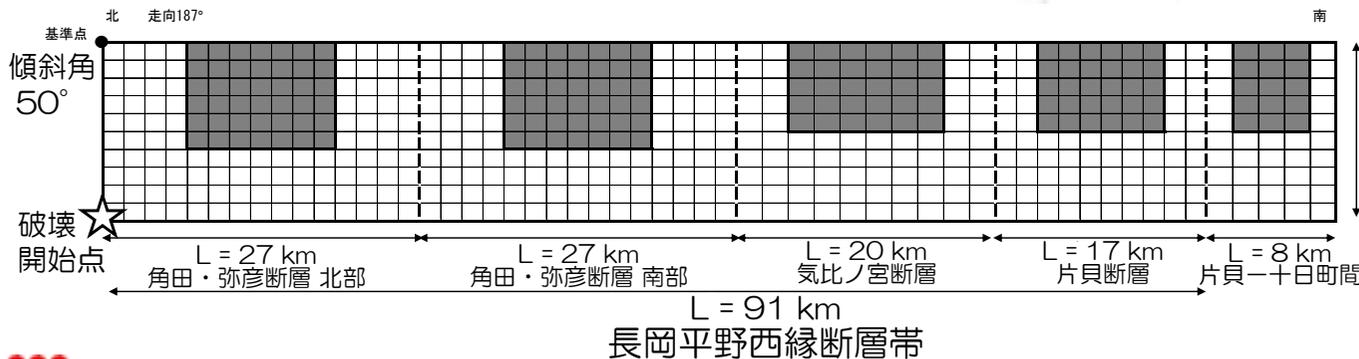
断層モデル

連動考慮、
連動及び応力
降下量の不確
かさ考慮



平面図

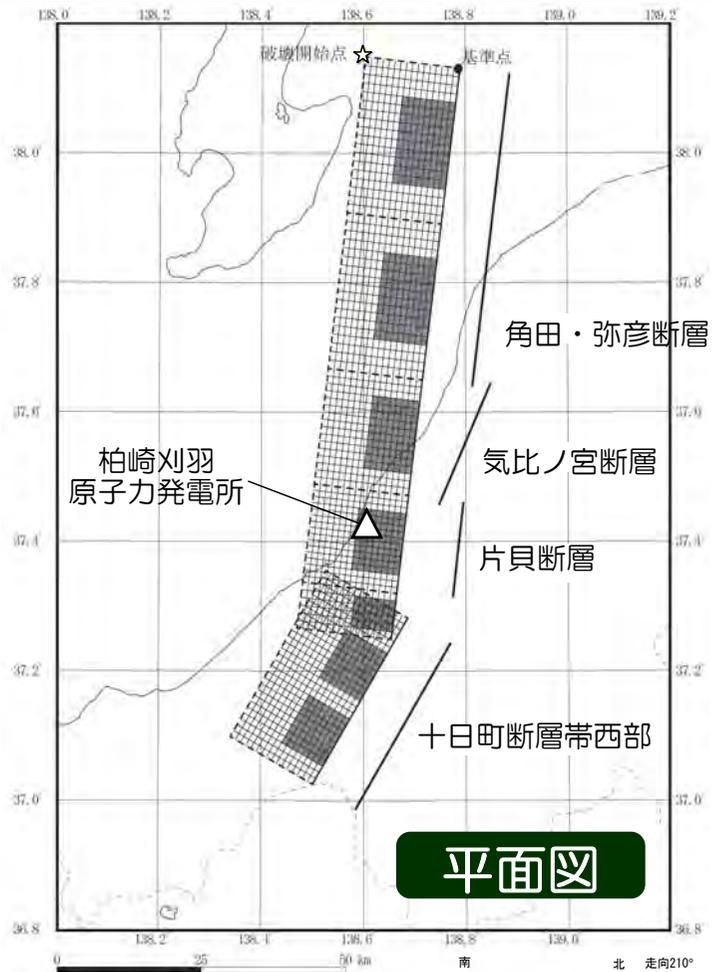
断面図



断層モデル

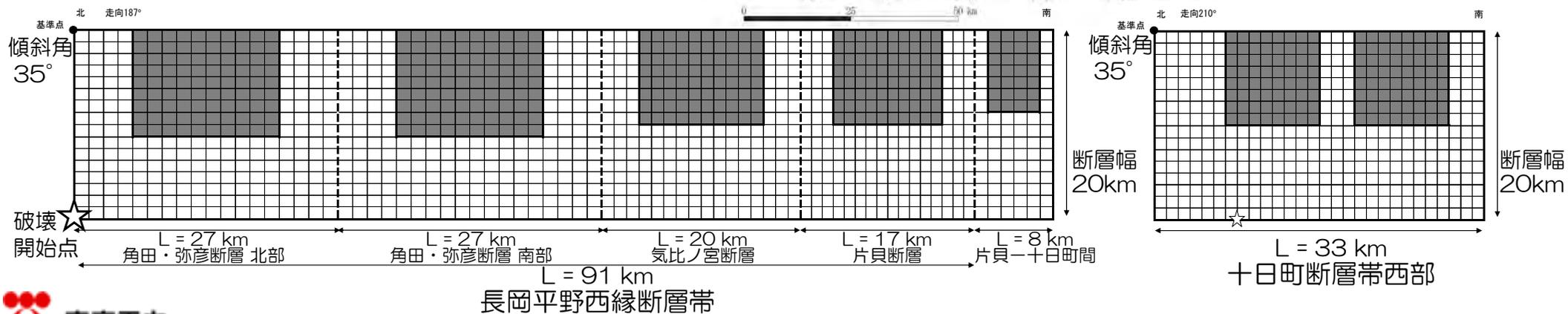
断層モデル

連動及び断層傾斜角の不確かさ考慮



平面図

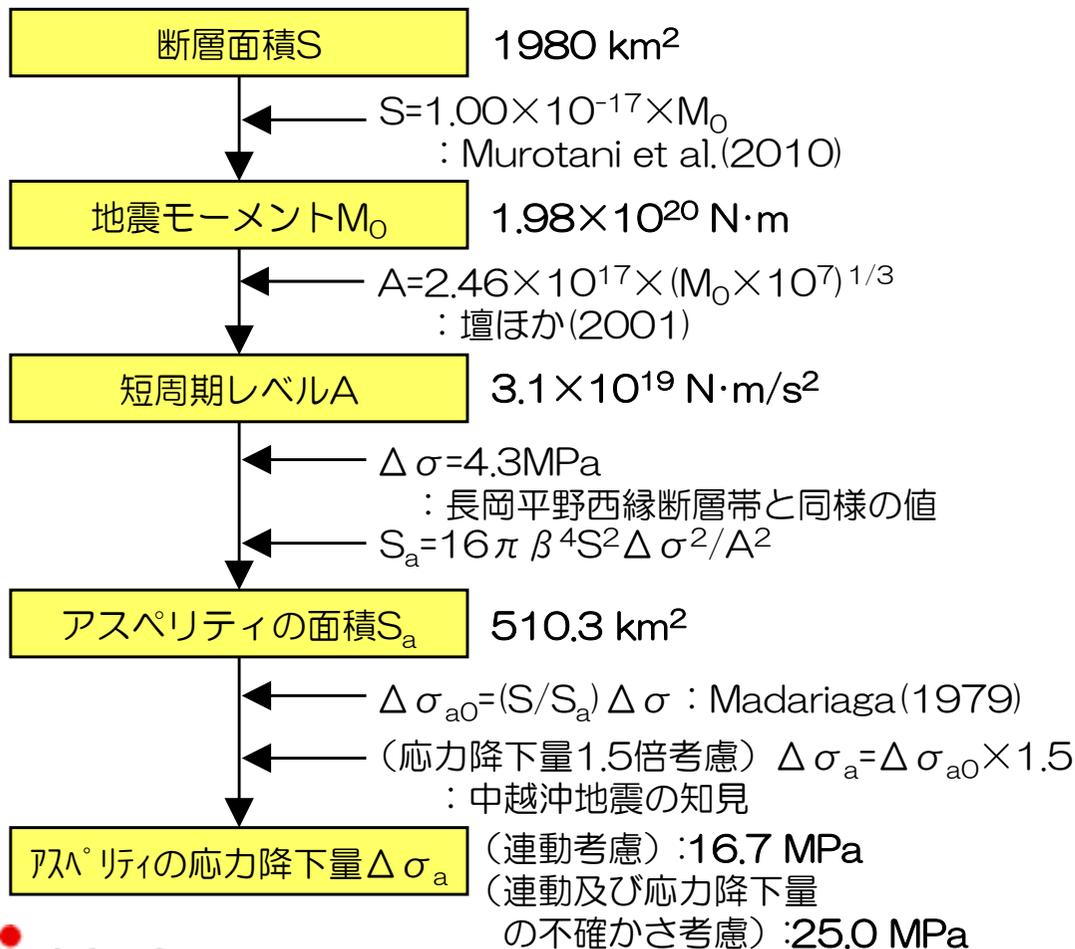
断面図



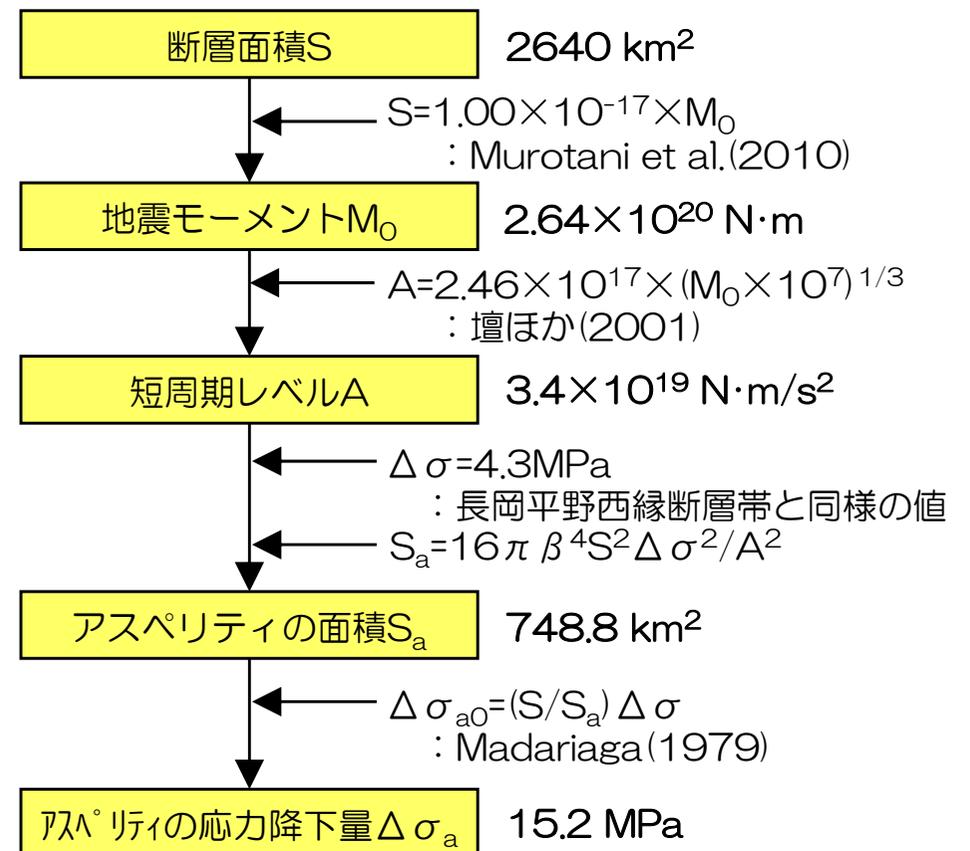
断層パラメータの設定フロー

- 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 長大断層を対象としているMurotani et al.(2010)のスケーリングを採用。
 - ② 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。

連動考慮、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



設定した断層パラメータ

連動考慮、連動及び応力降下量の不確かさ考慮

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(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
 : Murotani et al.(2010)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

設定した断層パラメータ

連動及び断層傾斜角の不確かさ考慮

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(°)	138.79					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(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
		地震モーメント (×10 ¹⁹ N・m)	15.0	3.06	3.06	2.27	1.93	0.908	3.74
		平均すべり量(cm)	641						
背景領域		応力降下量(MPa)	15.2						
		面積(km ²)	1891.2	386.8	386.8	286.5	243.6	114.6	472.8
		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
		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
 : Murotani et al.(2010)に基づく

: 強震動予測レシピに基づく

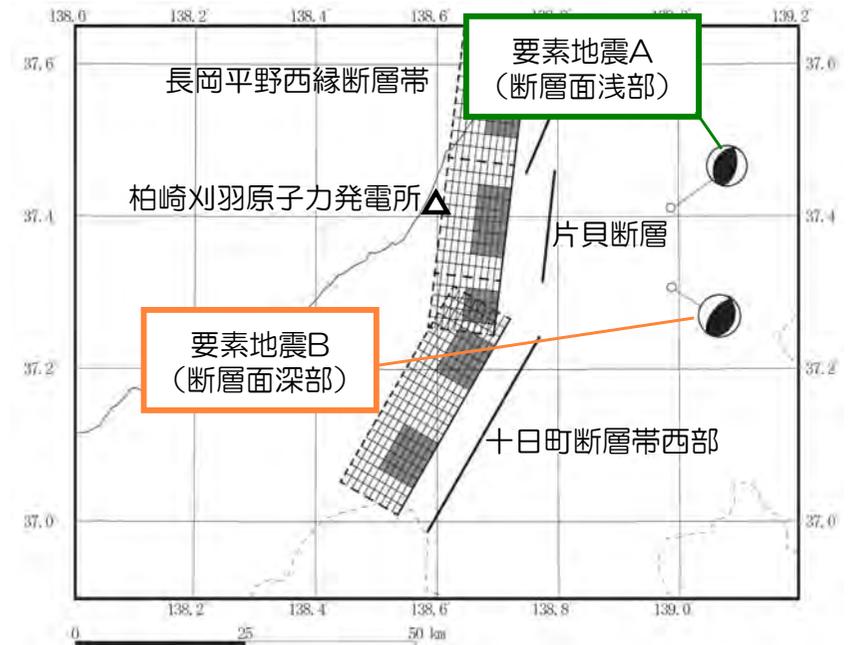
断層モデルを用いた手法による地震動評価

- 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、片貝断層（長岡平野西縁断層帯）による地震の地震動評価で用いたものと同じのものを使用。

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	Mj	5.9	6.1	気象庁
	Mw	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	神原ほか(2006)
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)

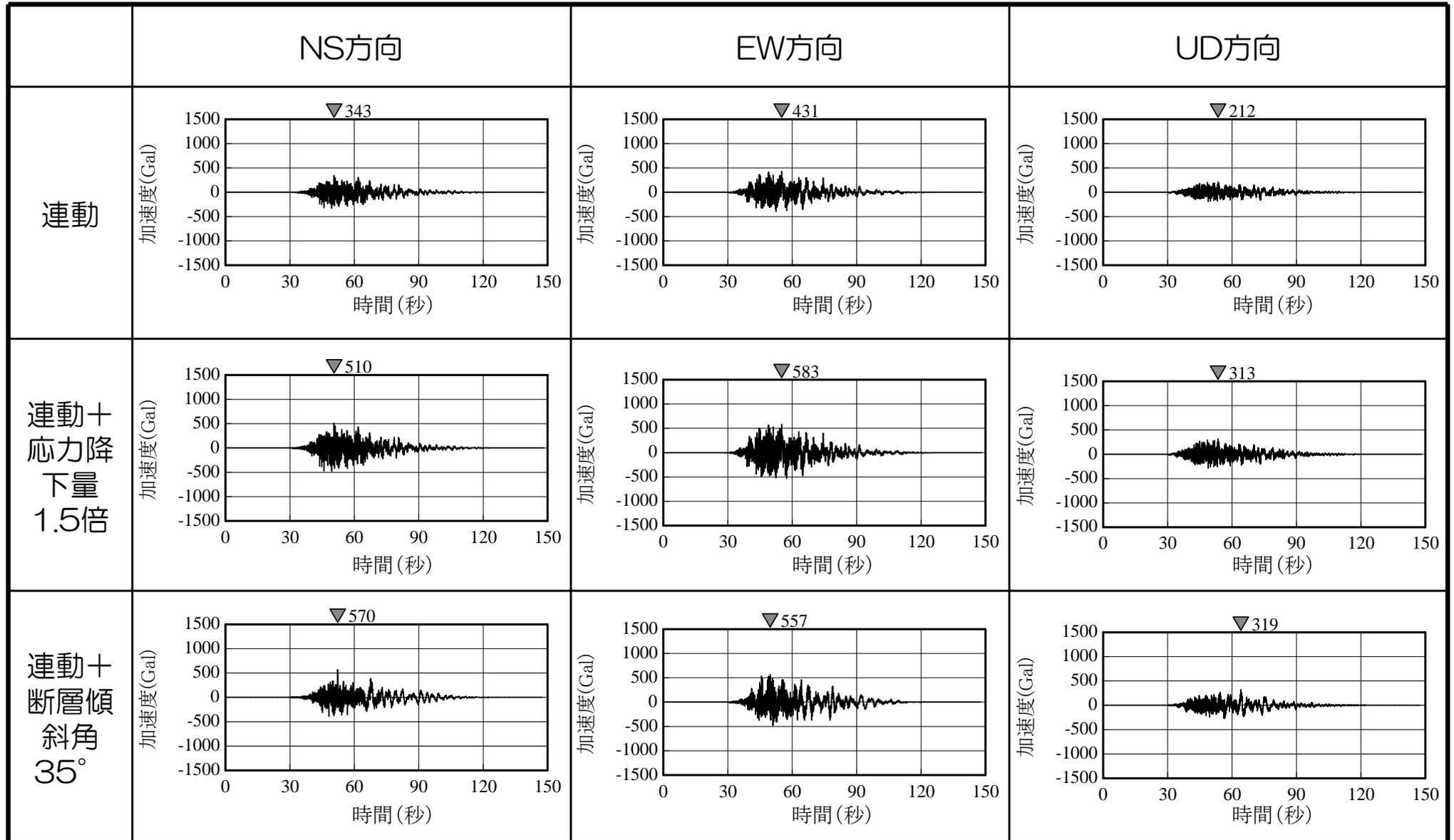
*日本測地系の座標を世界測地系に変換



注) 傾斜角50°の断層モデル図にプロット

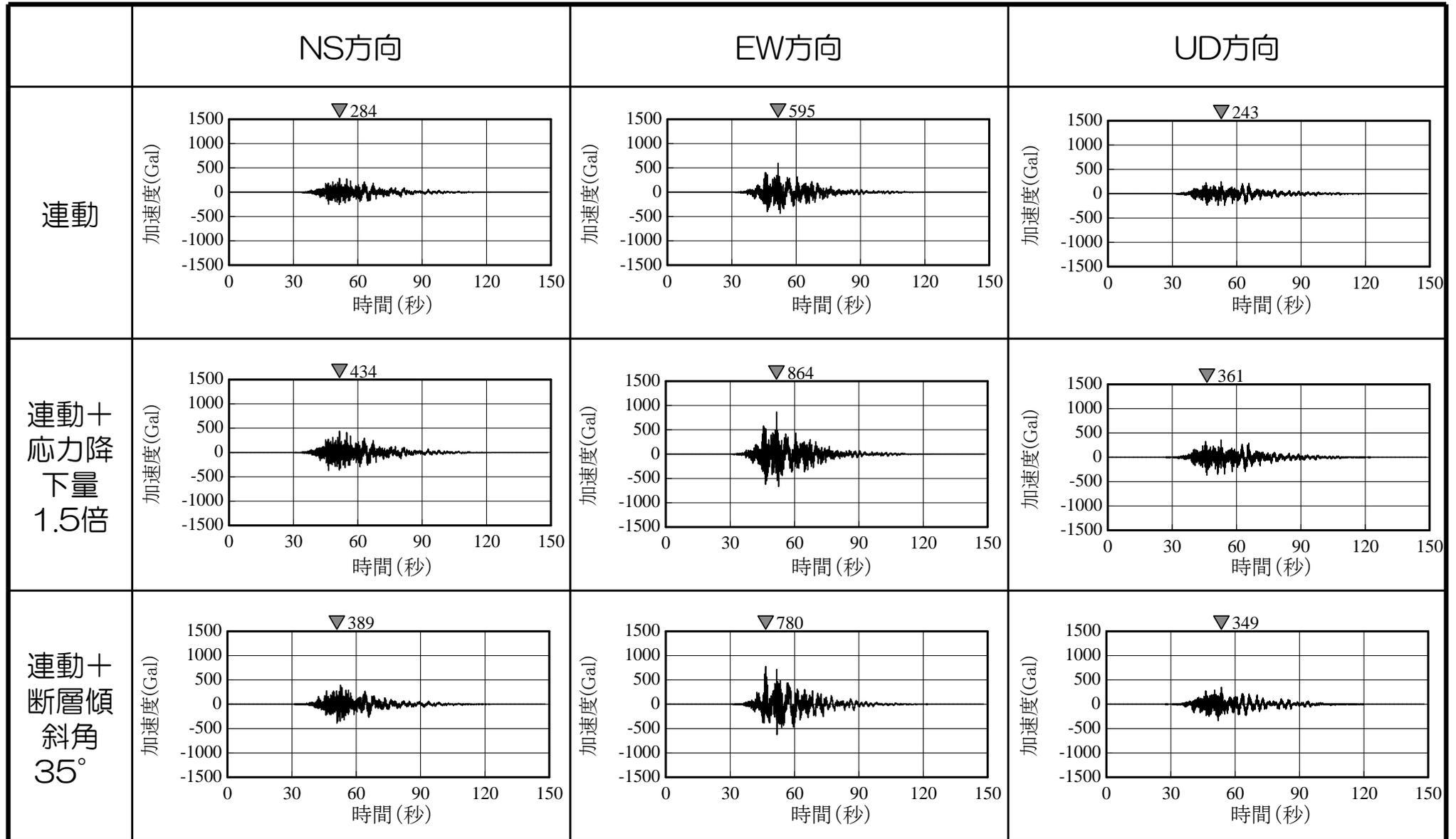
【加速度時刻歴波形】

荒浜側



【加速度時刻歴波形】

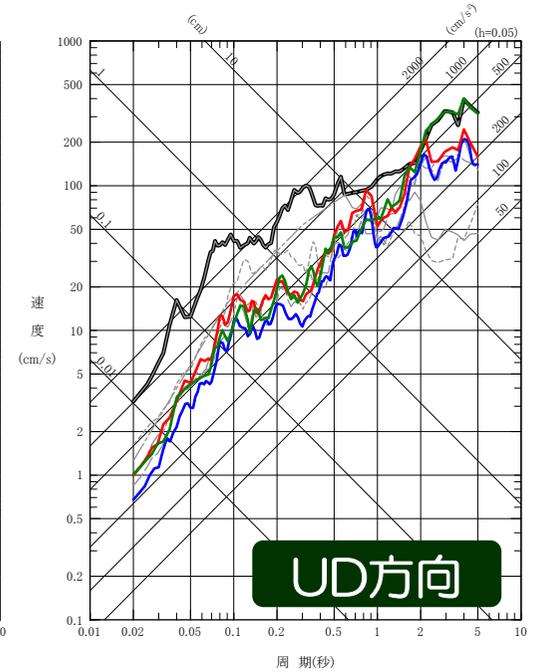
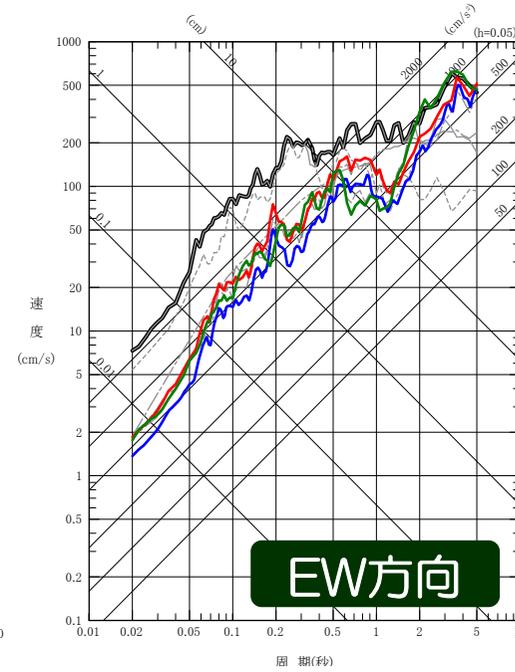
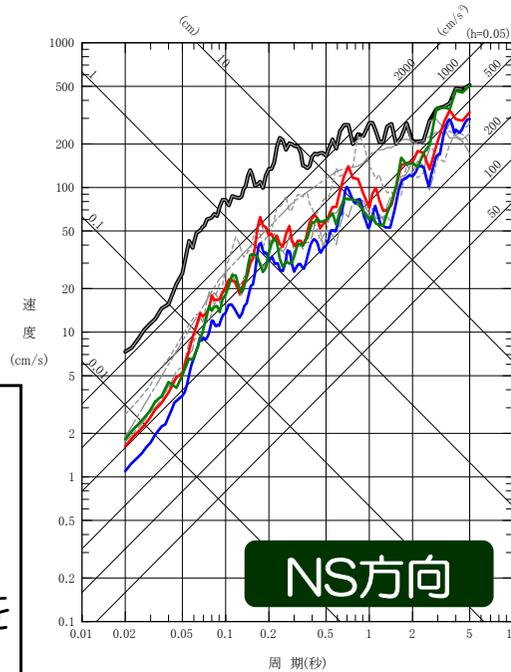
大湊側



【擬似速度応答スペクトル】

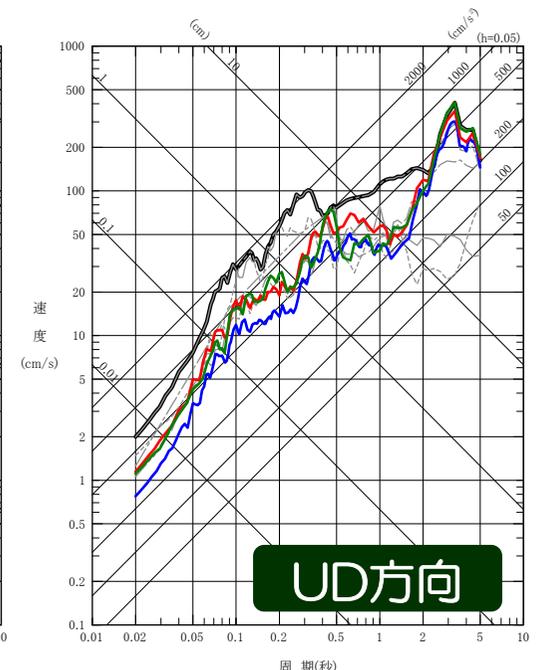
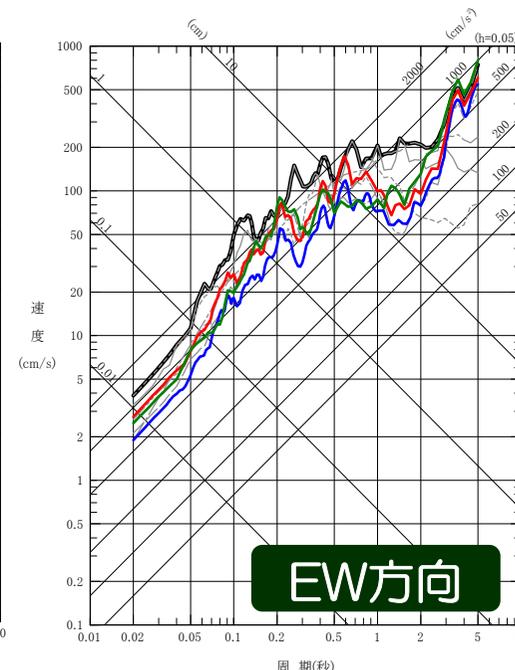
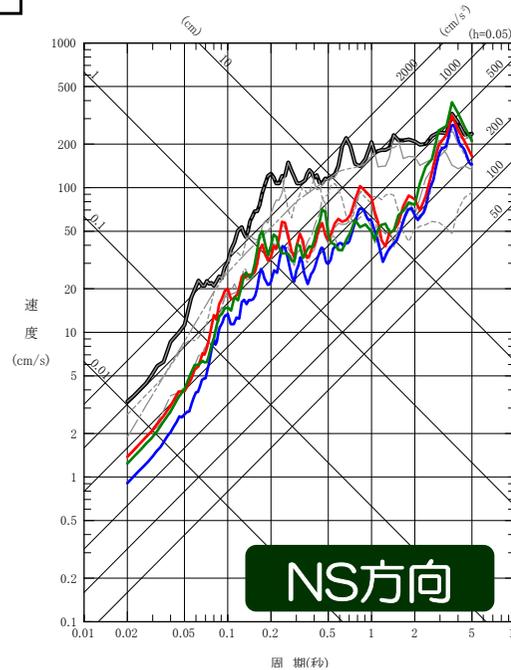
荒浜側

■ 連動+応力降下量1.5倍，連動+断層傾斜角35° のケースにおいて，一部の周期帯で，基準地震動Ss-1~5を上回る。



大湊側

- 連動
- 連動+応力降下量1.5倍
- 連動+断層傾斜角35°
- 基準地震動Ss-1~5の包絡
- 基準地震動Ss-1
- 基準地震動Ss-2
- 基準地震動Ss-3
- 基準地震動Ss-4
- 基準地震動Ss-5



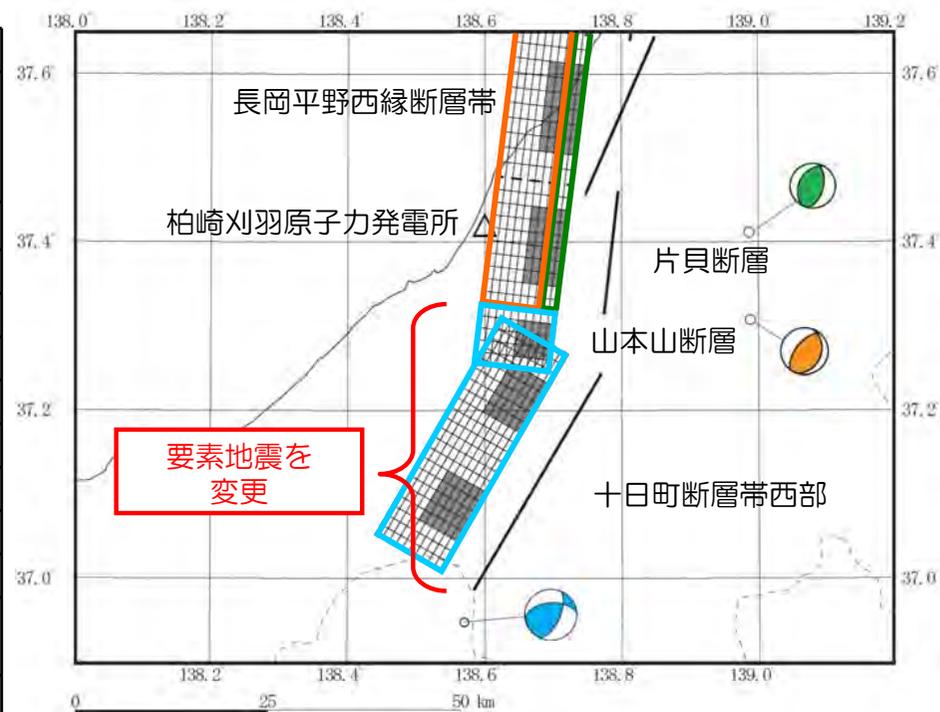
【参考】断層モデルを用いた手法による地震動評価

要素地震の影響

- 長岡平野西縁断層帯との連動を考慮する十日町断層帯西部の南端付近においては、2011年長野県北部の地震が発生しており、余震を含めた観測記録が得られている。
- そこで、十日町断層帯西部及び山本山断層に対して用いる要素地震を、想定する震源域と同一方向の陸域で発生した2011年長野県北部の地震の余震に変更した検討を行い、地震動評価に与える影響を確認。
- 要素地震を変更した地震動評価結果は、従来の評価結果とほぼ変わらず、陸域の活断層の連動を考慮した地震動評価において要素地震を変更することによる影響は小さいことを確認。

要素地震の震源パラメータ

		要素地震A	要素地震B	要素地震C	備考
発生日時		2004 11/8 11:15	2004 10/27 10:40	2011 3/12 4:31	気象庁
マグニチュード	Mj	5.9	6.1	5.9	気象庁
	Mw	5.5	5.8	5.6	F-net
震源位置	東経(°)	138.99	138.99	138.57	気象庁
	北緯(°)	37.41	37.31	36.95	気象庁
震源深さ(km)		0	11.60	0.78	気象庁
		5	11	5	F-net
走向(°)		13;209	218;18	23;266	F-net
傾斜(°)		53;38	60;32	61;51	F-net
すべり角(°)		80;103	100;73	46;141	F-net
地震モーメント ($\times 10^{17}$ N·m)		2.24	6.34	2.63	F-net
コーナー周波数(Hz)		0.6	0.4	0.5	南雲・植竹(2012)
実効応力(MPa)		10.4	8.7	5.5	Brune(1970)式

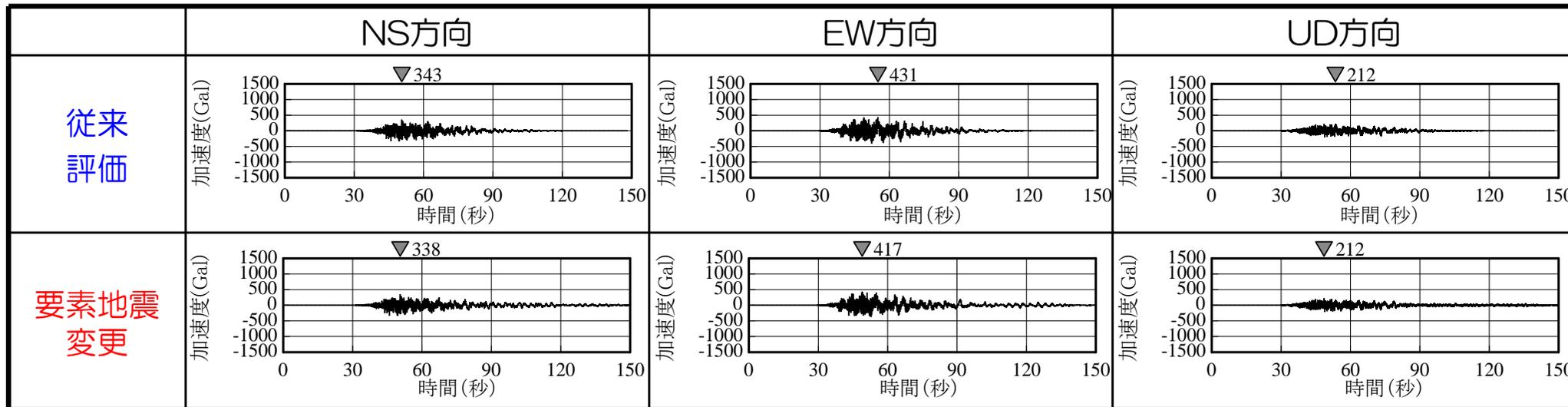


注) 傾斜角50°の断層モデル図にプロット

【参考】断層モデルを用いた手法による地震動評価

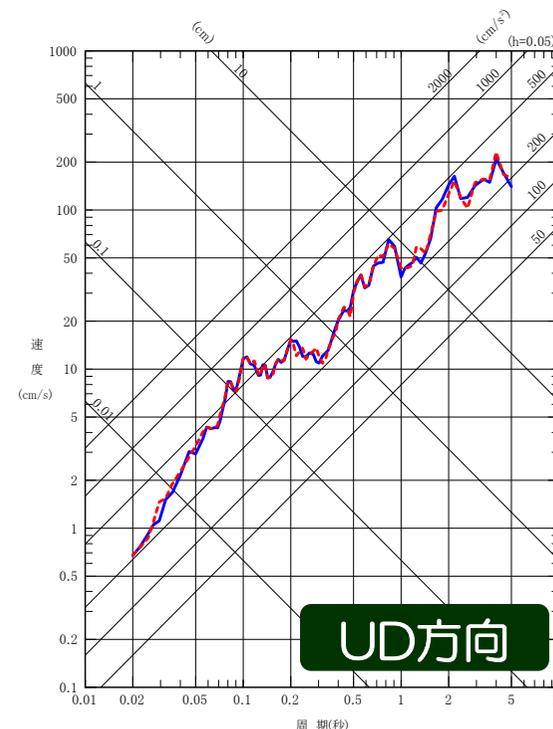
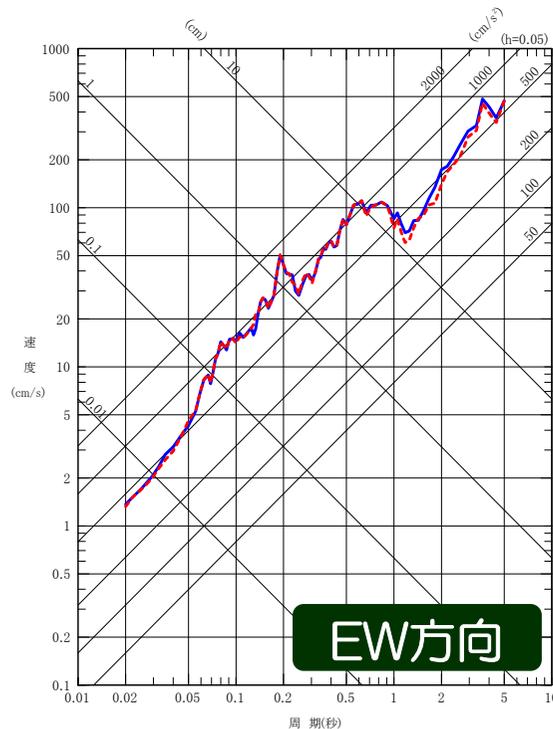
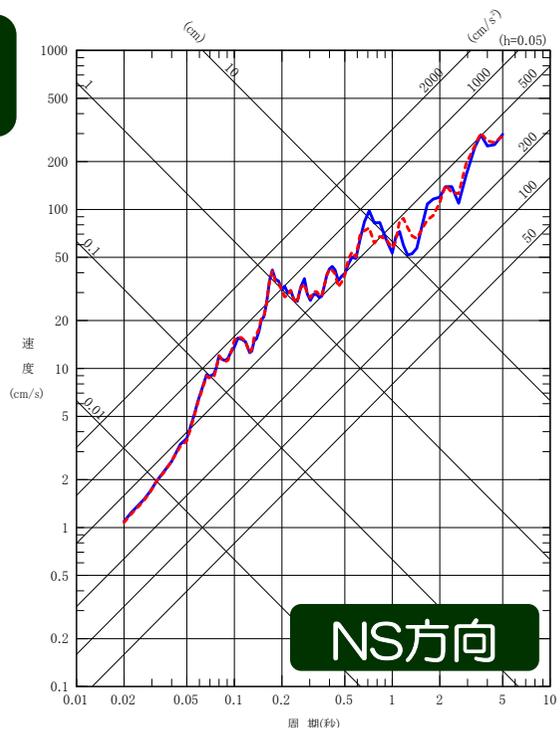
要素地震の影響 要素地震を変更した場合の波形合成結果の比較 荒浜側

加速度時刻歴波形



疑似速度応答スペクトル

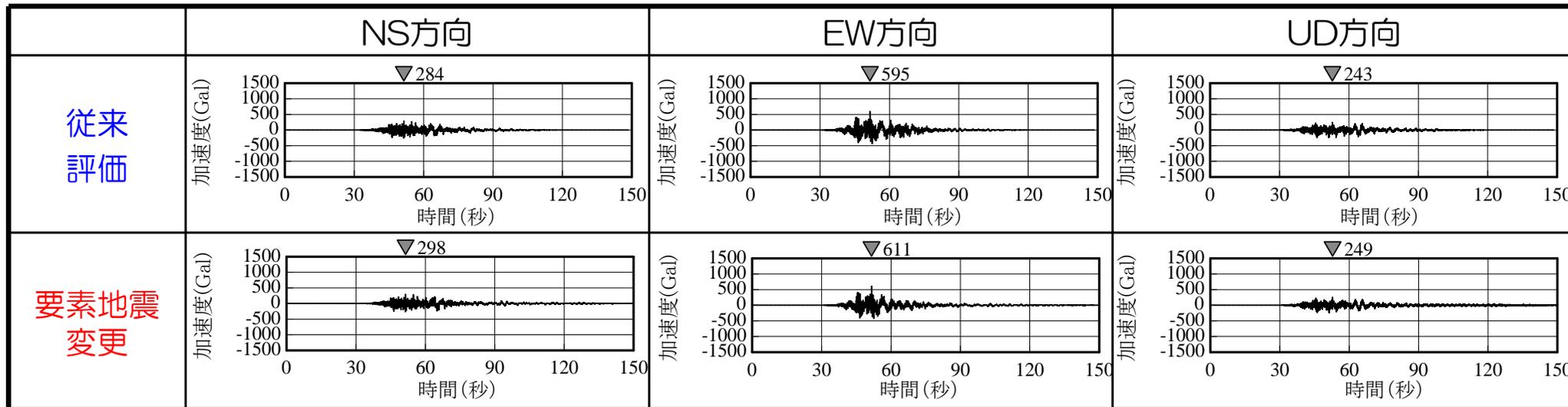
— 従来の評価結果
 - - - 要素地震を変更した評価結果



【参考】断層モデルを用いた手法による地震動評価

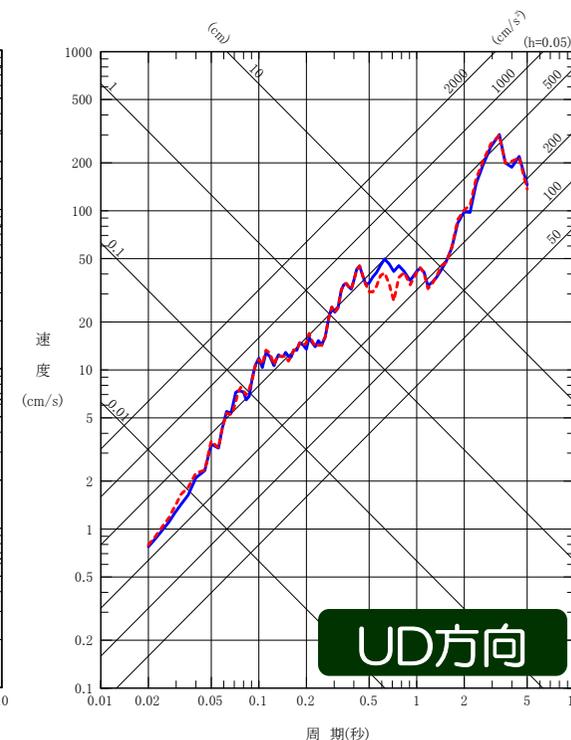
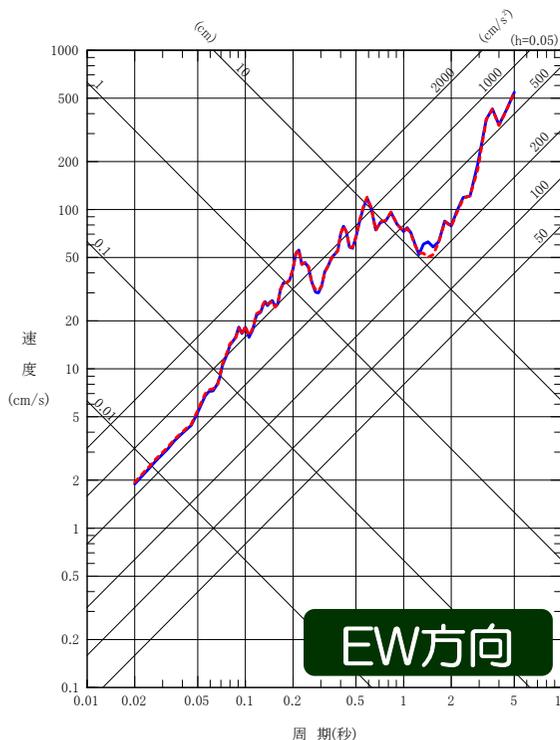
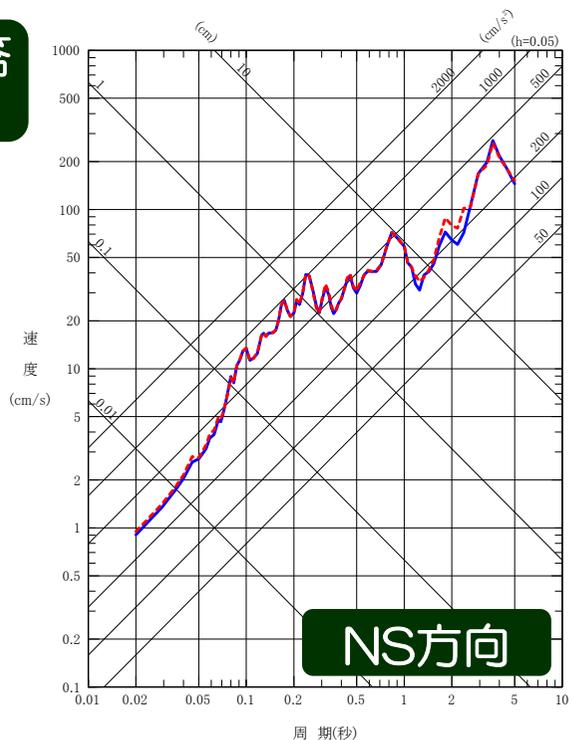
要素地震の影響 要素地震を変更した場合の波形合成結果の比較 大湊側

加速度時刻歴波形



疑似速度応答スペクトル

- 従来の評価結果
- - - 要素地震を変更した評価結果



5. 基準地震動

(2) 活断層の連動を考慮した地震動

a.活断層の連動を考慮した地震動について

b.陸域の活断層の連動

c.海域の活断層の連動

d.基準地震動の策定

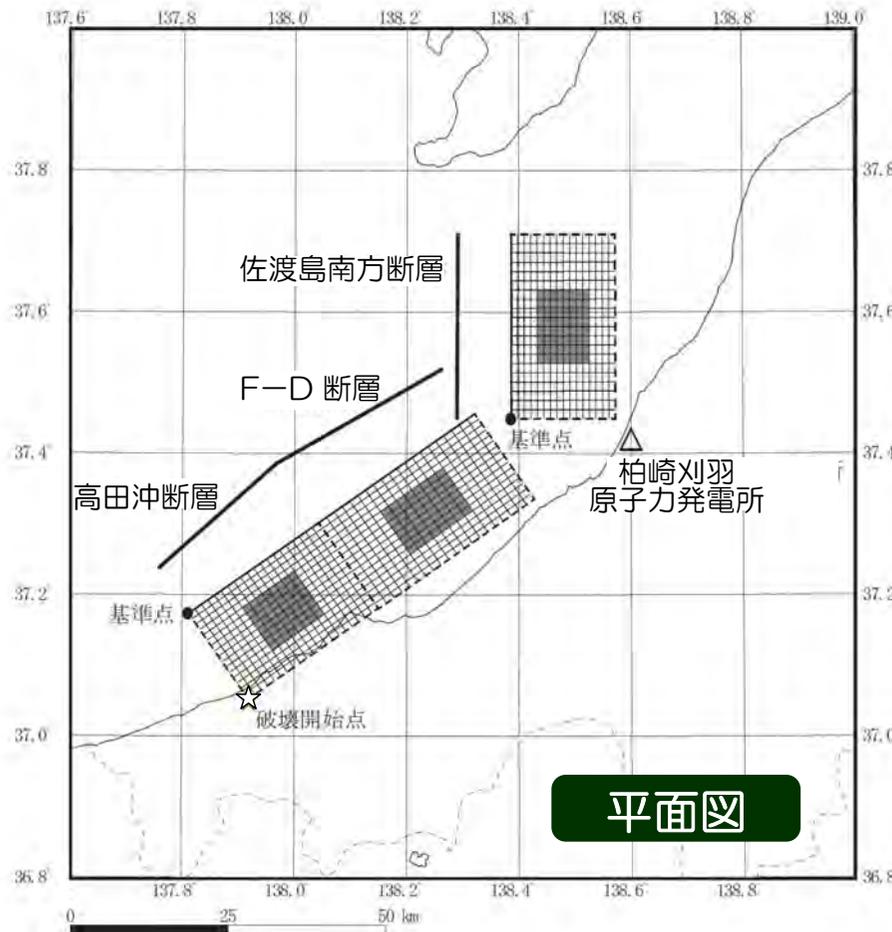
震源モデルの設定・断層モデル

震源モデルの設定方針

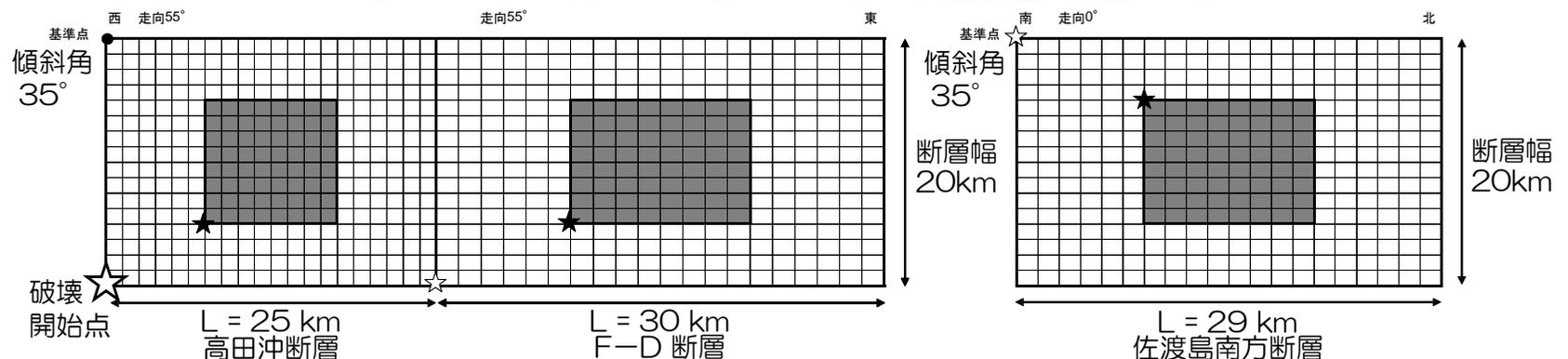
- 佐渡島南方断層～高田沖断層（断層長さ84km）の連動を考慮。
- 巨視的断層パラメータのうち，断層の位置・断層長さ（84km）については地質調査結果等に基づき設定。
- 断層の傾斜角は，F-D断層，高田沖断層の地質調査結果及び中越沖地震の断層傾斜角を参考に 35° と設定。
- 地震発生層は，速度構造や精密余震分布等に基づき，上端深さを6km，下端深さを17kmと設定。

断層モデル

佐渡島南方断層～高田沖断層の連動考慮



断面図



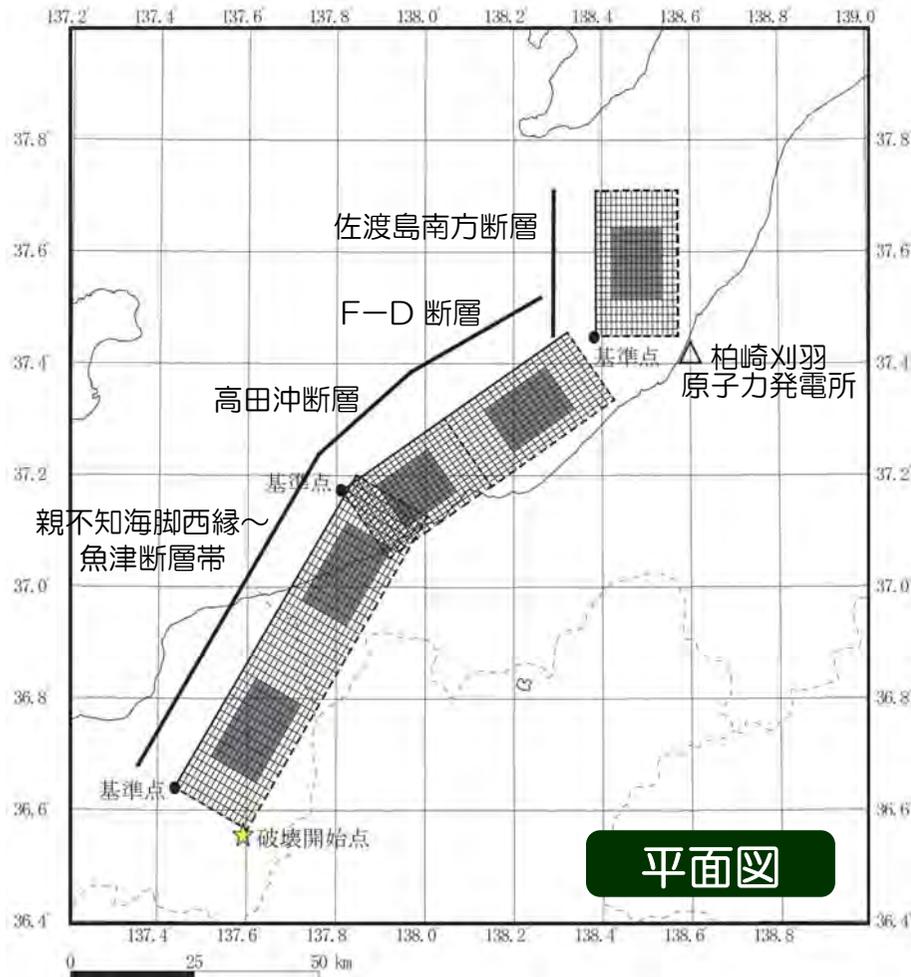
震源モデルの設定・断層モデル

震源モデルの設定方針

- 佐渡島南方断層～高田沖断層の連動に加え，さらに親不知海脚西縁断層，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。
- 断層の傾斜角は，F-D断層，高田沖断層の地質調査結果及び中越沖地震の断層傾斜角を参考に 35° と設定。
- 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。

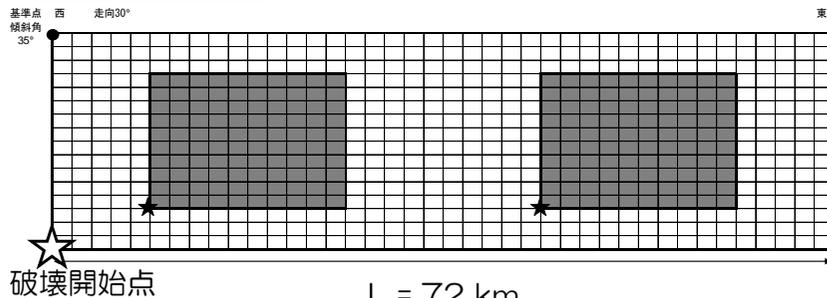
断層モデル

佐渡島南方断層～魚津断層帯の連動考慮

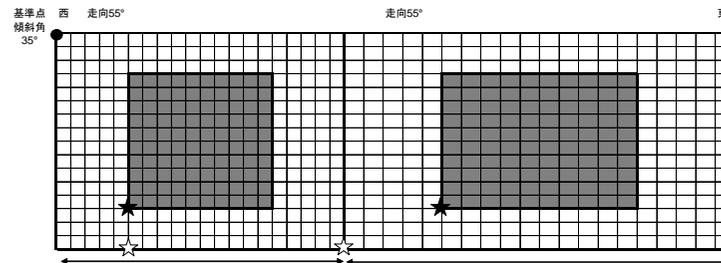


平面図

断面図

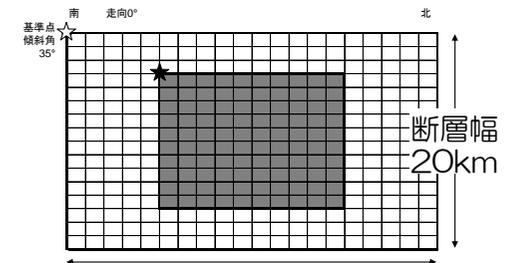


L = 72 km
親不知海脚西縁断層～魚津断層帯



L = 25 km
高田沖断層

L = 30 km
F-D断層

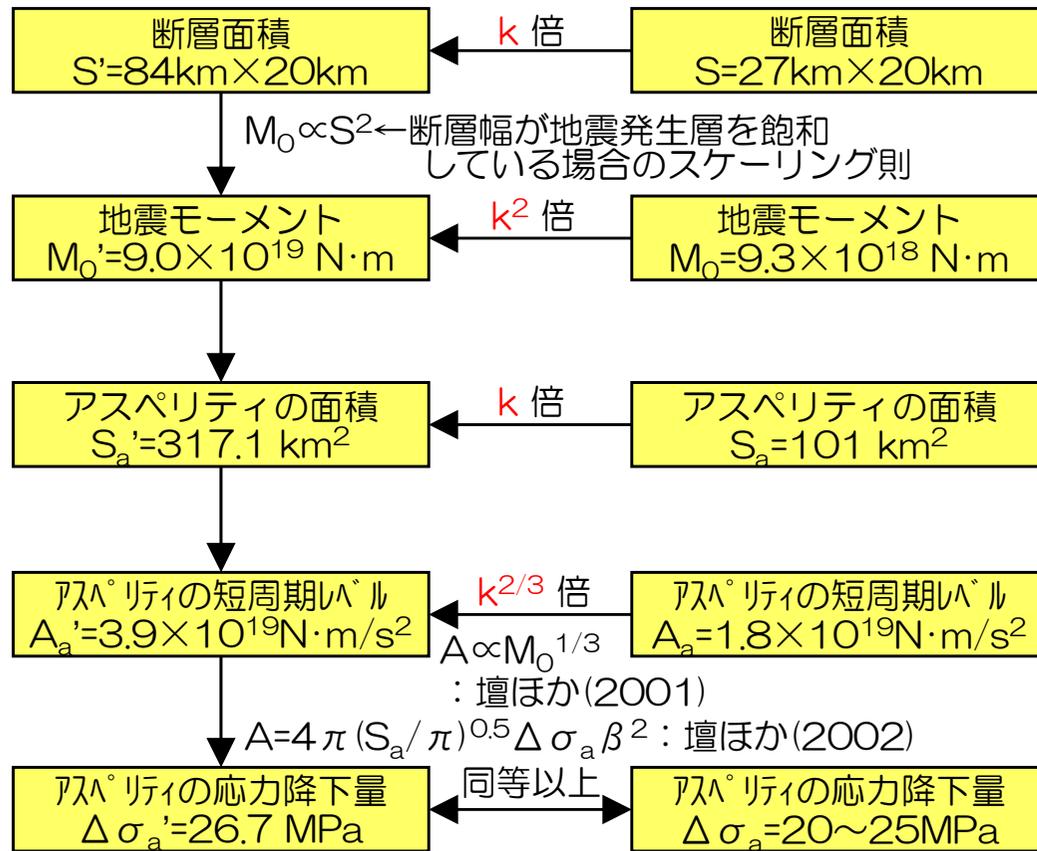


L = 29 km
佐渡島南方断層

断層パラメータの設定フロー

- 佐渡島南方断層～高田沖断層（断層長さ84km）の連動ケースの微視的断層パラメータは、中越沖地震の震源インバージョン結果に基づき、中越沖地震のモデルを拡張し、応力降下量1.5倍の効果を取り込み設定。
- 佐渡島南方断層～魚津断層帯（断層長さ156km）の連動ケースの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。

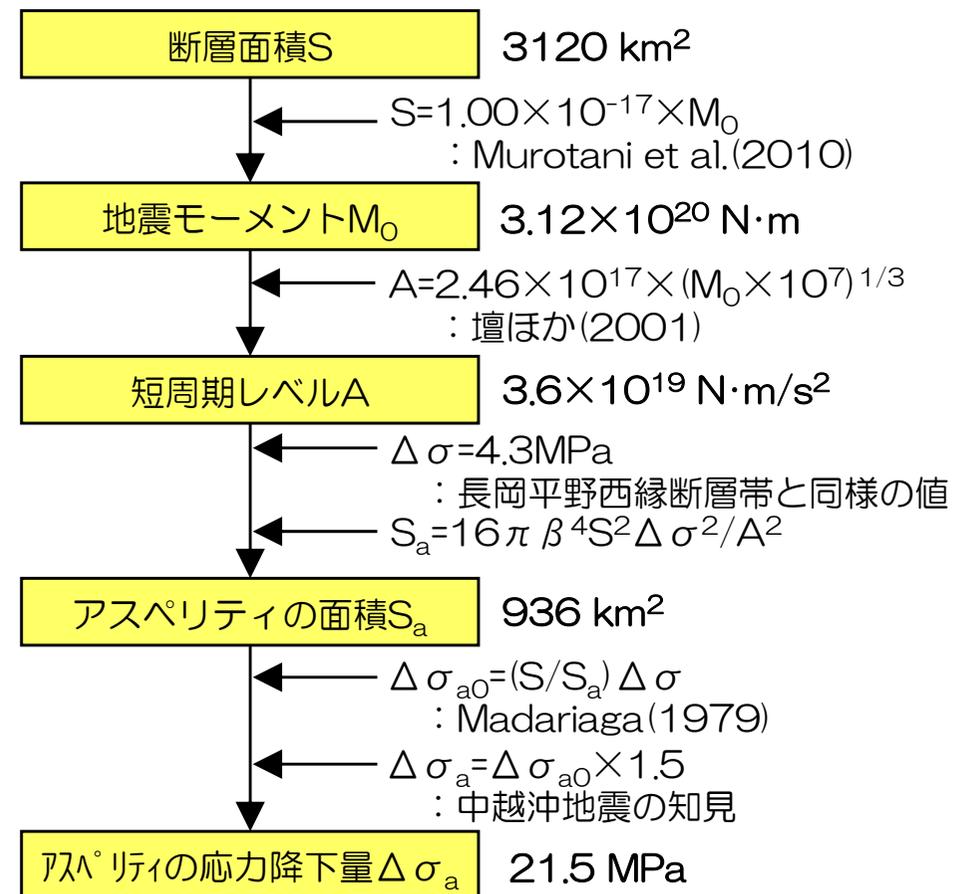
佐渡島南方断層～高田沖断層の連動考慮



※ $k=S'/S$ (面積比) = 3.11

中越沖地震

佐渡島南方断層～魚津断層帯の連動考慮



設定した断層パラメータ

佐渡島南方断層～高田沖断層の連動考慮

項目		設定値			
		全体	佐渡島南方断層	F-D断層	高田沖断層
基準点	東経 (°)	—	138.39	137.81	
	北緯 (°)	—	37.45	37.17	
巨視的断層面	断層上端深さ (km)	6			
	断層長さ (km)	84	29	30	25
	断層幅 (km)	20			
	断層面積 (km ²)	1680	580	600	500
	走向 (°)	—	0	55	
	傾斜角 (°)	35			
	S波速度 (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)	9.00	3.11	3.21	2.68
	アスペリティ	面積 (km ²)	317.1	109.5	113.2
地震モーメント (×10 ¹⁹ N·m)		5.20	1.79	1.86	1.55
平均すべり量 (cm)		525			
応力降下量 (MPa)		26.7			
背景領域	面積 (km ²)	1362.9	470.5	486.8	405.6
	地震モーメント (×10 ¹⁹ N·m)	3.80	1.31	1.36	1.13
	平均すべり量 (cm)	89			
	実効応力 (MPa)	5.3			

■: 地質調査結果等に基づく

■: 強震動予測レシピに基づく

■: 中越沖地震の震源インバージョン結果に基づく

設定した断層パラメータ

佐渡島南方断層～魚津断層帯の連動考慮

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	
基準点	東経 (°)	—	138.39	137.81		137.44	
	北緯 (°)	—	37.45	37.17		36.64	
巨視的断層面	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 (km ²)		3120	580	600	500	1440
	走向 (°)		—	0	55		30
	傾斜角 (°)		35				
	S波速度 (km/s)		3.4				
	破壊伝播速度 (km/s)		2.4				
	地震E-外 (×10 ¹⁹ N·m)		31.2	5.80	6.00	5.00	14.4
	アスペリティ	面積 (km ²)		936	174	180	150
地震E-外 (×10 ¹⁹ N·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 (km ²)		2184	406	420	350	1008
	地震E-外 (×10 ¹⁹ N·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	6.4

■: 地質調査結果等に基づく

■: 強震動予測レシビに基づく

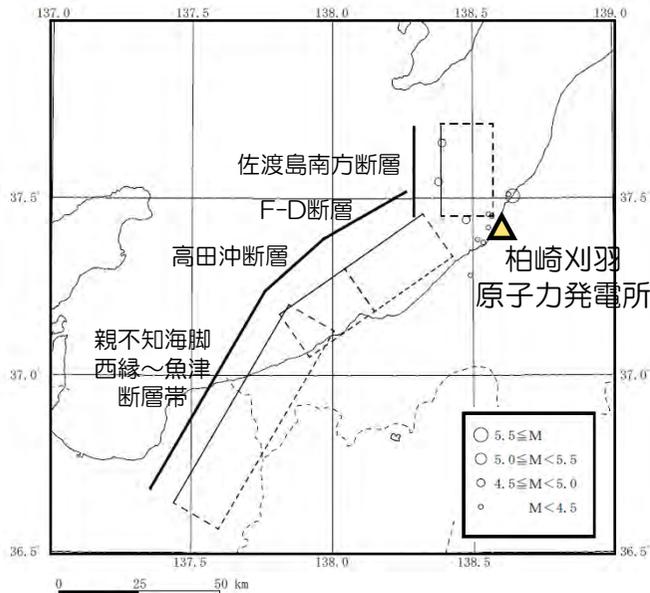
■: Murotani et al.(2010)に基づく

■: 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



断層モデルを用いた手法による地震動評価

- 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。



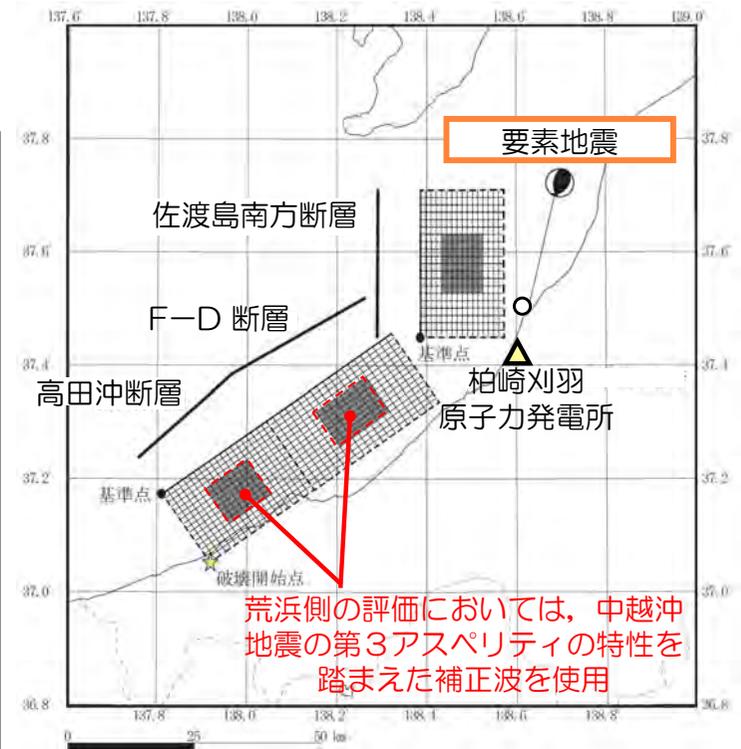
【整理条件】

- ・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

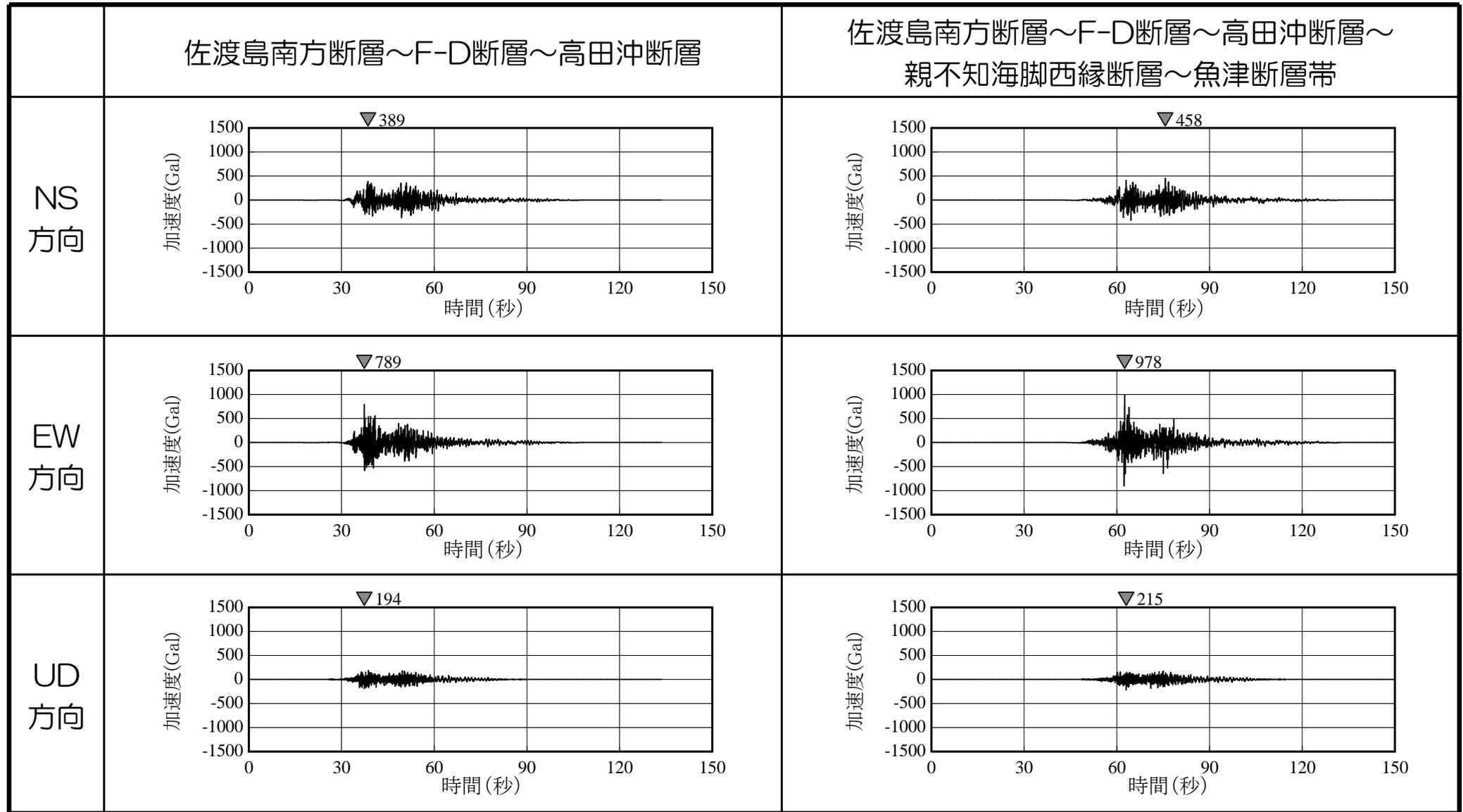
発生日時	2007/7/16 21:08	備考
マグニチュード	Mj	4.4 気象庁
	Mw	4.4 F-net
震源位置	東経(°)	138.63 気象庁
	北緯(°)	37.51 気象庁
震源深さ(km)	13.6	余震分布を踏まえ設定
走向(°)	187;39	F-net
傾斜(°)	54;41	F-net
すべり角(°)	70;115	F-net
地震モーメント(N・m)	5.21×10^{15}	F-net
3-ナ周波数(Hz)	1.65	Brune(1970)式
実効応力(MPa)	4.6	芝(2008)
Q値	$76 f^{-0.74}$	岩田ほか(2005)



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】

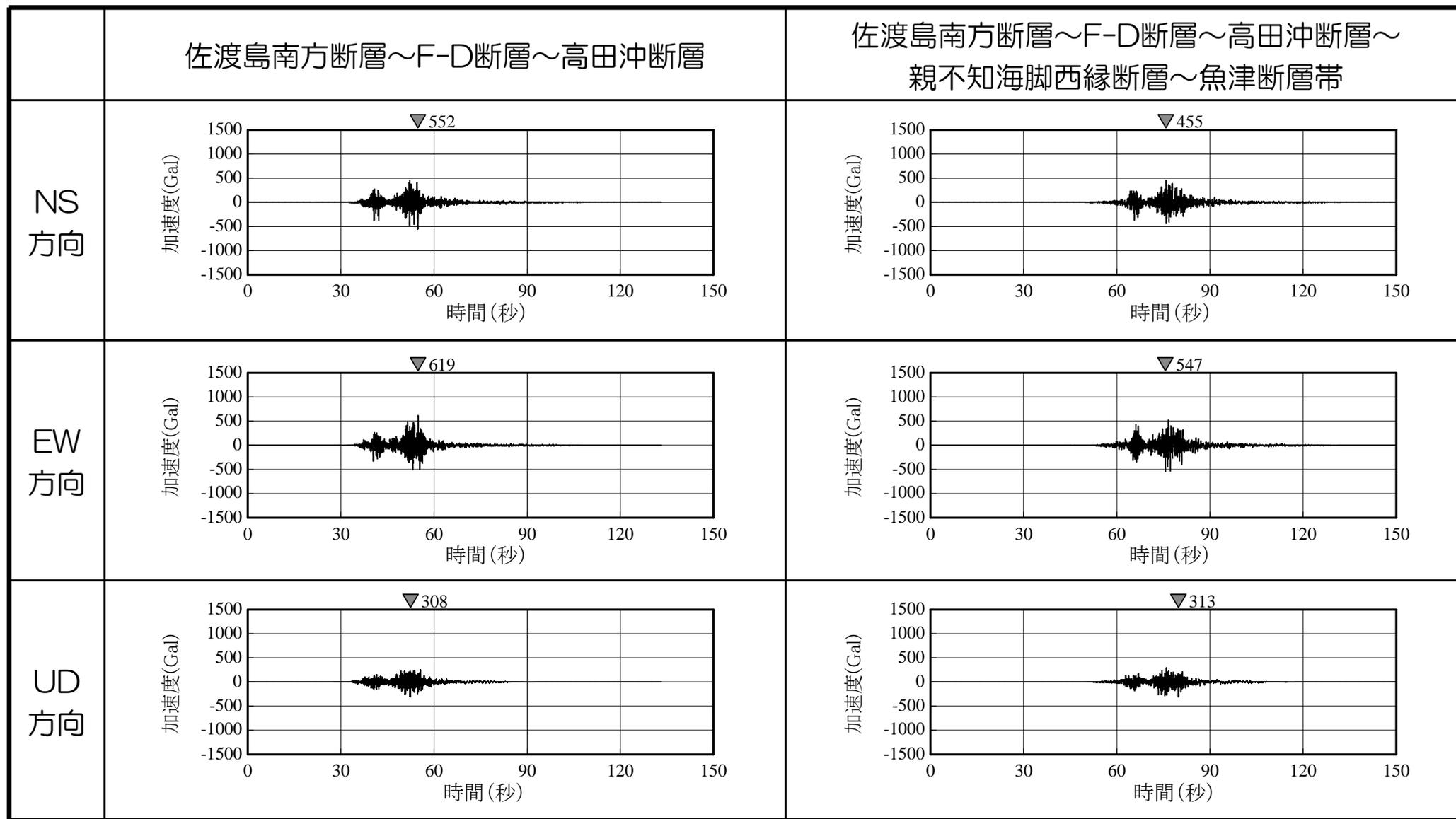
荒浜側



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】

大湊側

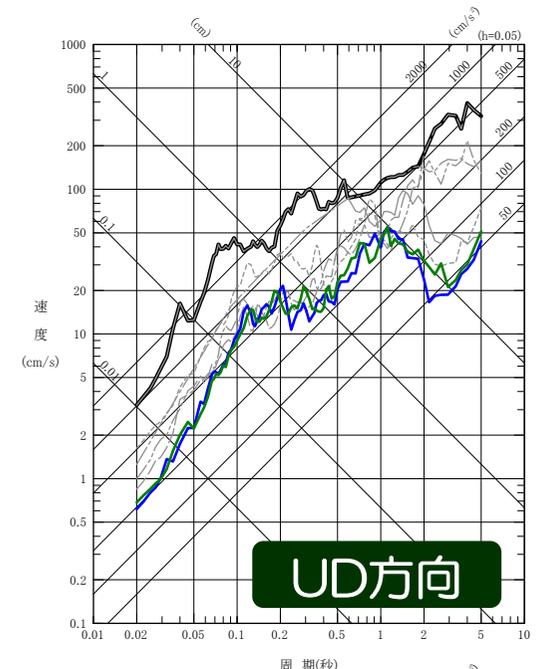
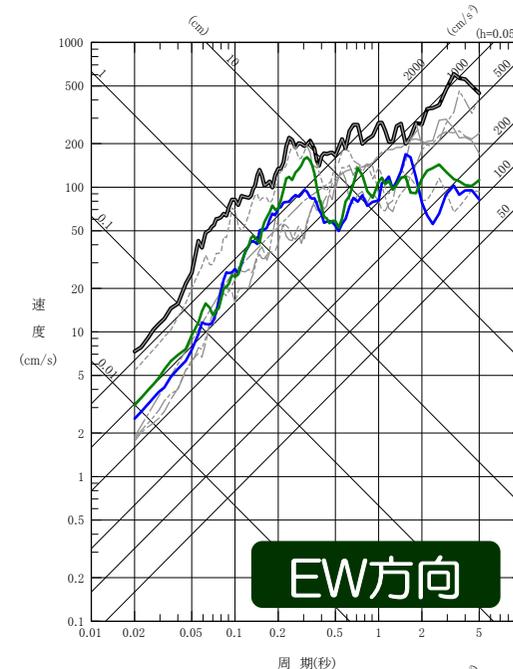
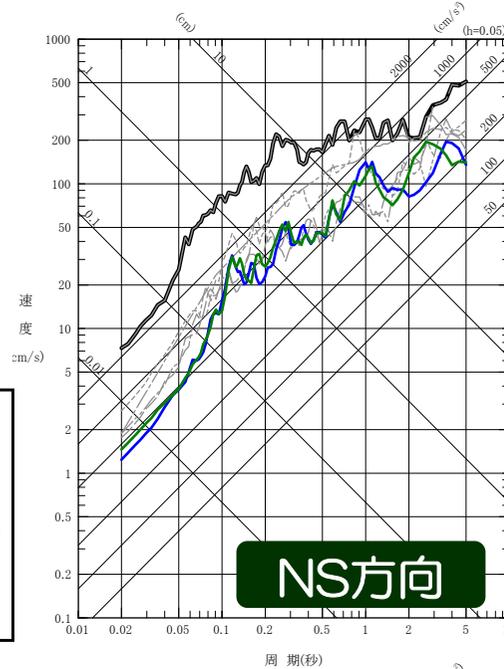


断層モデルを用いた手法による地震動評価 地震動評価結果

【擬似速度応答スペクトル】

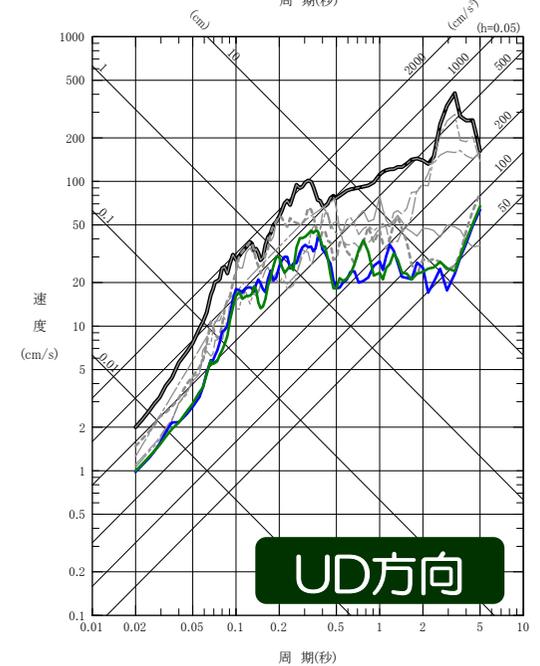
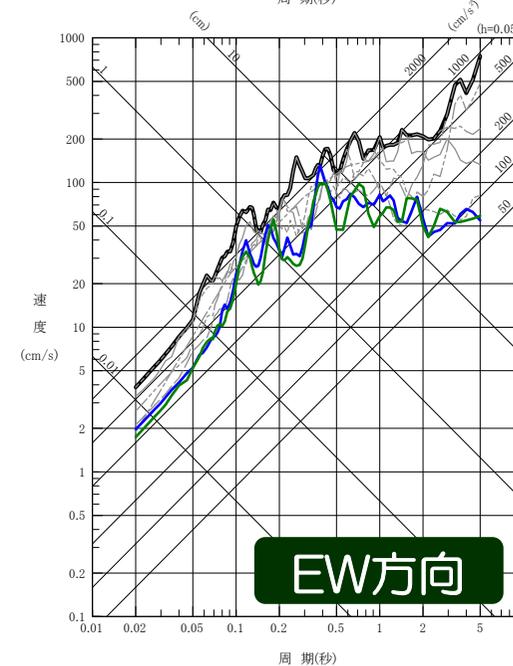
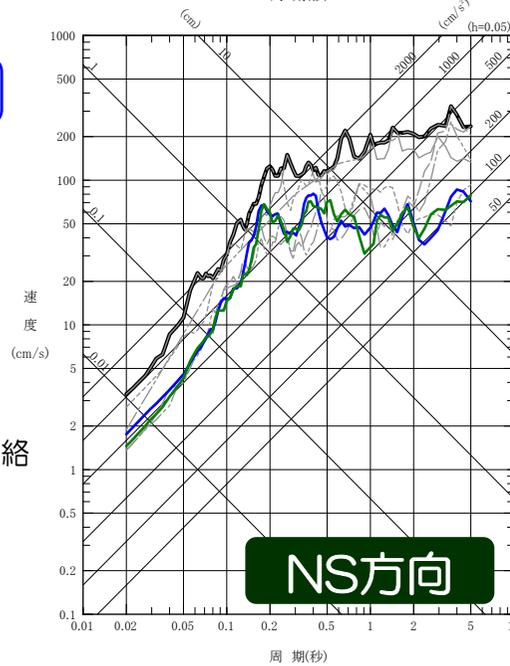
荒浜側

■ 海域の活断層の連動を考慮した評価結果は、全ての周期帯で、基準地震動Ss-1~5を下回る。



大湊側

- 佐渡島南方断層～高田沖断層の連動
- 佐渡島南方断層～魚津断層帯の連動
- 基準地震動Ss-1~5の包絡
- 基準地震動Ss-1
- 基準地震動Ss-2
- 基準地震動Ss-3
- 基準地震動Ss-4
- 基準地震動Ss-5



5. 基準地震動

(2) 活断層の連動を考慮した地震動

- a.活断層の連動を考慮した地震動について
- b.陸域の活断層の連動
- c.海域の活断層の連動
- d.基準地震動の策定

基準地震動の策定

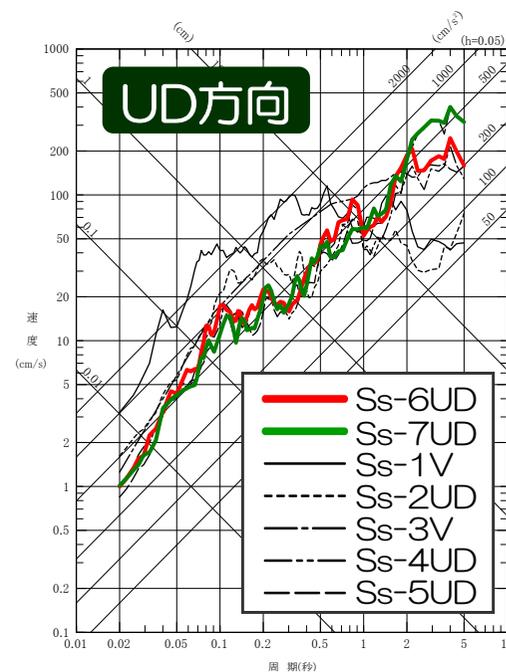
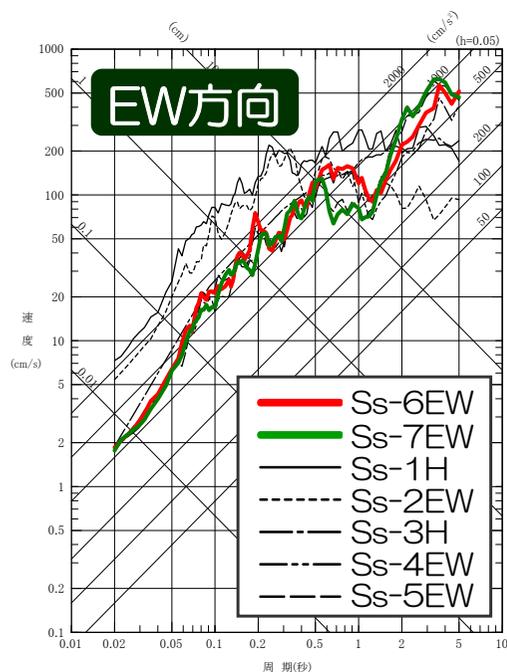
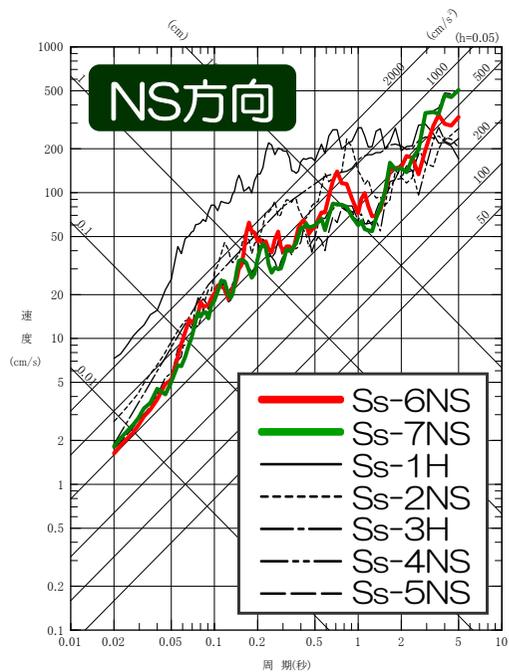
- 陸域の『長岡平野西縁断層帯～山本山断層～十日町断層帯西部』の連動を考慮した地震動は、一部の周期帯で、基準地震動Ss-1～5を上回る。
- 海域の『佐渡島南方断層～F-D断層～高田沖断層』及び『佐渡島南方断層～F-D断層～高田沖断層～親不知海脚西縁断層～魚津断層帯』の連動を考慮した地震動は、基準地震動Ss-1～5を下回る。
- 以上より、陸域の『長岡平野西縁断層帯～山本山断層～十日町断層帯西部』の連動を考慮した地震動評価結果のうち、以下のケースを基準地震動として設定。
 - ・連動+応力降下量1.5倍を考慮したケース：基準地震動Ss-6
 - ・連動+断層傾斜角 35° を考慮したケース：基準地震動Ss-7

【基準地震動の最大加速度値】

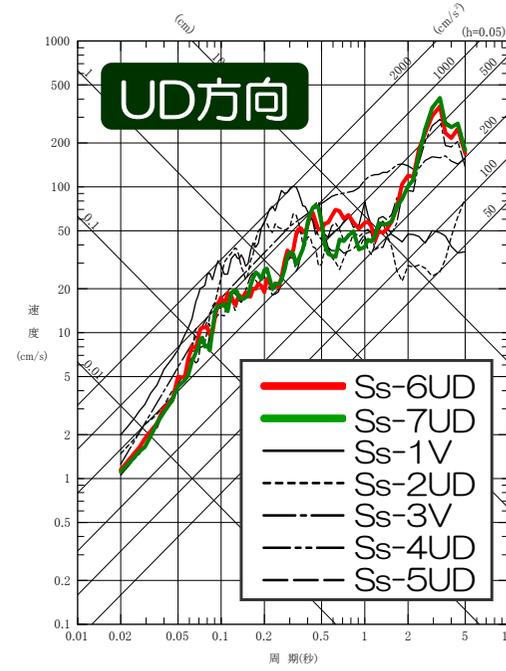
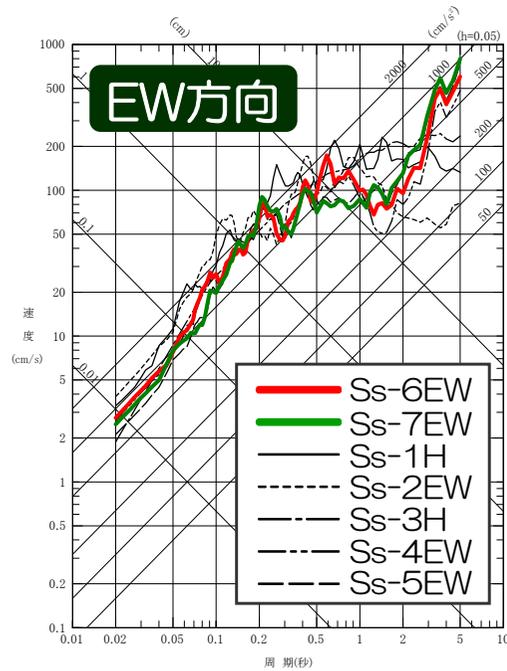
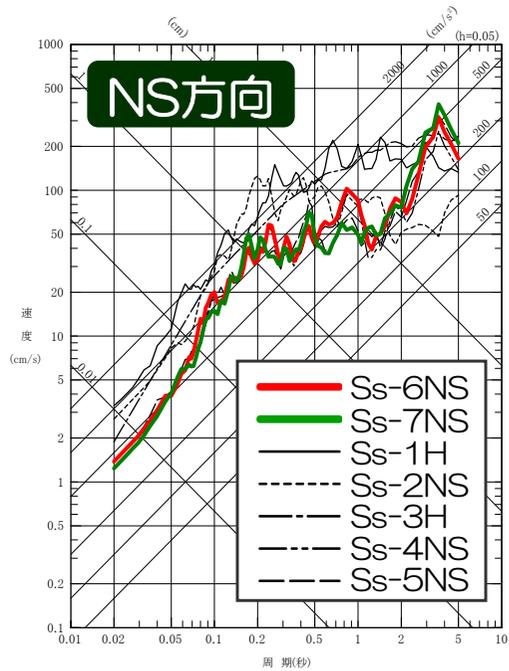
基準地震動	検討用地震		最大加速度値 (Gal)						
			荒浜側			大湊側			
			NS方向	EW方向	UD方向	NS方向	EW方向	UD方向	
Ss-1	F-B断層による地震		2300			1050	1050		650
Ss-2			847	1703	510	848	1209	466	
Ss-3	片貝断層 (長岡平野西縁断層帯)による地震	下記の2つのケースを包絡	600			400	600		400
Ss-4		応力降下量1.5倍	589	574	314	428	826	332	
Ss-5		断層傾斜角35°	553	554	266	426	664	346	
Ss-6	陸域の活断層の連動	応力降下量1.5倍	510	583	313	434	864	361	
Ss-7		断層傾斜角35°	570	557	319	389	780	349	

基準地震動の策定 擬似速度応答スペクトル

荒浜側



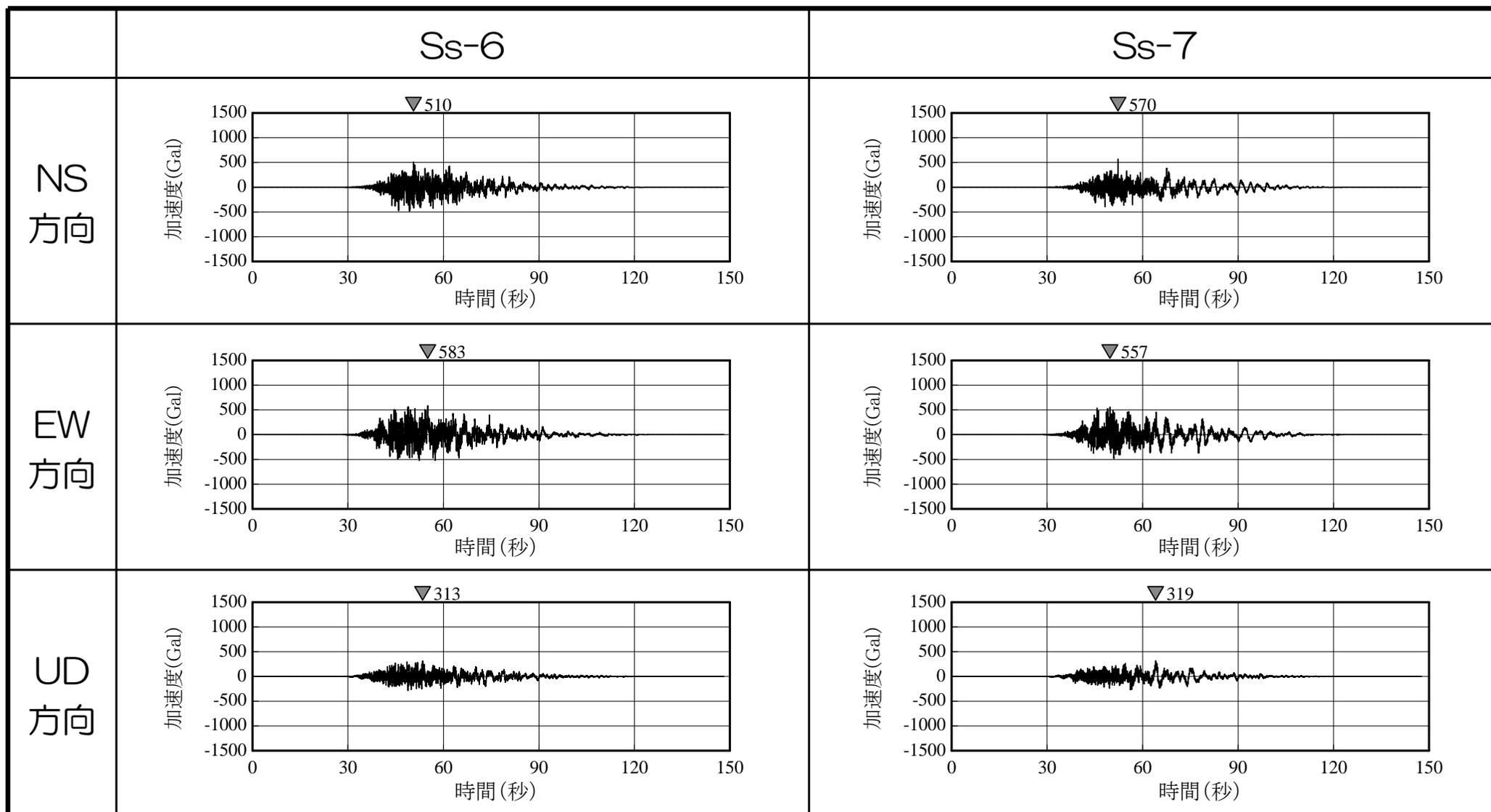
大湊側



基準地震動の策定 加速度時刻歴波形

荒浜側

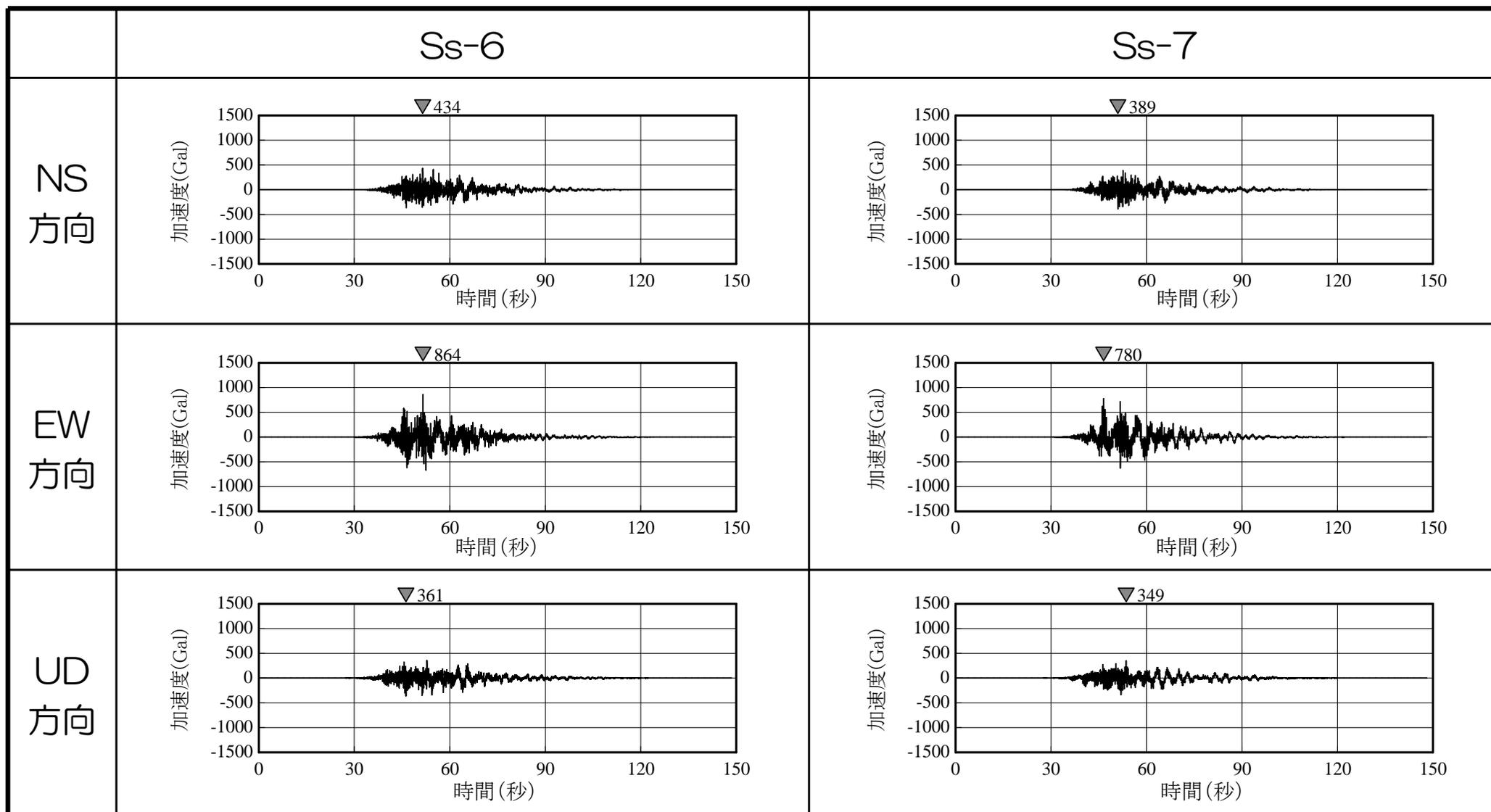
基準地震動Ss-6, 7の加速度時刻歴波形



基準地震動の策定 加速度時刻歴波形

大湊側

基準地震動Ss-6, 7の加速度時刻歴波形



参考文献

【はじめに】

- ・第215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6号炉及び7号炉 敷地周辺海域の地質・地質構造, <http://www.nsr.go.jp/data/000102632.pdf>
- ・第215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1-2 柏崎刈羽原子力発電所6号炉及び7号炉 敷地周辺海域の断層連動評価, <http://www.nsr.go.jp/data/000102633.pdf>
- ・第218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 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, <http://www.nsr.go.jp/data/000103418.pdf>
- ・第194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）申請 敷地における地震波の増幅特性について, <http://www.nsr.go.jp/data/000096264.pdf>
- ・第142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 確率論的リスク評価について（外部事象 地震PRA）, <http://www.nsr.go.jp/data/000035994.pdf>

【既往評価からの変更概要】

- ・原子力安全・保安院（2012）：「活断層の連動を考慮した地震動評価」に関する意見聴取会における指摘及び原子力安全・保安院の対応方針について、地震・津波に関する意見聴取会（第23回）配付資料

【敷地周辺の地震発生状況】

- ・宇佐美龍夫（2003）：最新版 日本被害地震総覧 [416] -2001, 東京大学出版会
- ・気象庁：地震年報2011年版, 地震・火山月報ほか
- ・東京電力株式会社（2008）：柏崎刈羽原子力発電所における平成19年新潟県中越沖地震時に取得された地震観測データの分析及び基準地震動に係る報告書
- ・土方勝一郎, 西村功, 水谷浩之, 徳光亮一, 真下貢, 田中信也（2010）：2007年新潟県中越沖地震の地震動特性, 日本建築学会構造系論文集 第75巻 第653号
- ・渡辺哲史, 諸井孝文, 徳光亮一, 西村功, 土方勝一郎（2011）：褶曲構造を考慮した解析によるアスペリティ位置と地震動増幅特性の関連性の検討 - 柏崎刈羽原子力発電所における新潟県中越沖地震の観測記録に基づく評価 -, 日本建築学会構造系論文集 第76巻 第659号
- ・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
- ・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

【敷地における地震波の伝播特性】

- ・第194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）申請 敷地における地震波の増幅特性について, <http://www.nsr.go.jp/data/000096264.pdf>
- ・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

参考文献

【敷地ごとに震源を特定して策定する地震動】

- ・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
- ・独立行政法人 防災科学技術研究所：ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究プロジェクト
- ・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
- ・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
- ・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/>
- ・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
- ・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
- ・活断層研究会編 (1991) : [新編] 日本の活断層 分布図と資料, 東京大学出版会
- ・地震調査研究推進本部 (2009) : 「全国地震動予測地図」報告書
- ・地震調査研究推進本部 (2003) : 日本海東縁部の地震活動の長期評価について, 地震調査委員会資料
- ・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
- ・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
- ・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
- ・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
- ・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
- ・Abe, K. (1975) : Re-examination of the fault model for the Niigata earthquake of 1964, JPE, 23
- ・Sato, T. (1985) : Rupture characteristics of the 1983 Nihonkai-Chubu (Japan Sea) earthquake as inferred from strong motion accelerograms, JPE, 33
- ・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
- ・DAN, K., T. WATANABE, and T. TANAKA (1989) : A SEMI-EMPIRICAL METHOD TO SYNTHESIZE EARTHQUAKE GROUND MOTIONS BASED ON APPROXIMATE FAR-FIELD SHEAR-WAVE DISPLACEMENT, 日本建築学会構造系論文報告集, 第396号
- ・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
- ・地震調査研究推進本部 (2007) : 2007年10月の地震活動の評価
- ・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
- ・気象庁: 地震年報2011年版, 地震・火山月報ほか
- ・独立行政法人 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/>
- ・Brune (1970) : Tectonic Stress and Spectra of Seismic Shear Waves from Earthquakes, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL.75, No.26
- ・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

参考文献

- ・独立行政法人 防災科学技術研究所：強震観測網（K-NET, KiK-net），<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/>
- ・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
- ・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
- ・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
- ・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
- ・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
- ・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
- ・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
- ・Madariaga (1979) : On the relation between seismic moment and stress drop in the presence of stress and strength heterogeneity, Journal of Geophysical Research, 84
- ・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
- ・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

【活断層の連動を考慮した地震動】

- ・第218回原子力発電所の新規規制基準適合性に係る審査会合 資料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 <http://www.nsr.go.jp/data/000103418.pdf>
- ・第215回原子力発電所の新規規制基準適合性に係る審査会合 資料1-2 柏崎刈羽原子力発電所6号炉及び7号炉 敷地周辺海域の断層連動評価 <http://www.nsr.go.jp/data/000102633.pdf>
- ・原子力安全・保安院（2012）：「活断層の連動を考慮した地震動評価」に関する意見聴取会における指摘及び原子力安全・保安院の対応方針について，地震・津波に関する意見聴取会（第23回）配付資料
- ・地震調査研究推進本部（2009）：「全国地震動予測地図」報告書
- ・Murotani, S., S. Matsushima, T. Azuma, K. Irikura, S. Kitagawa (2010) : Scaling relations of earthquakes on inland active mega-fault systems, 2010 AGU Fall Meeting, S51A-1911.
- ・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
- ・Madariaga (1979) : On the relation between seismic moment and stress drop in the presence of stress and strength heterogeneity, Journal of Geophysical Research, 84
- ・気象庁：地震年報2011年版，地震・火山月報ほか
- ・独立行政法人 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/>
- ・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
- ・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

参考文献

- ・南雲秀樹, 植竹富一 (2012) : 2011年3月12日長野県北部の地震(MJ6.7)の短周期レベルの推定, 日本地震学会講演予稿集, 2012年度秋季大会
- ・Brune (1970) : Tectonic Stress and Spectra of Seismic Shear Waves from Earthquakes, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL.75, No.26
- ・壇 一男, 佐藤俊明, 入倉孝次郎 (2002) : 双パリティモデルに基づく強震動予測のための震源モデルの特性化手法, 第11回日本地震工学シンポジウム
- ・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