

柏崎刈羽原子力発電所における
基準地震動の策定に関する補足説明（その2）

平成20年6月27日
東京電力株式会社



東京電力

【本日のご説明内容】

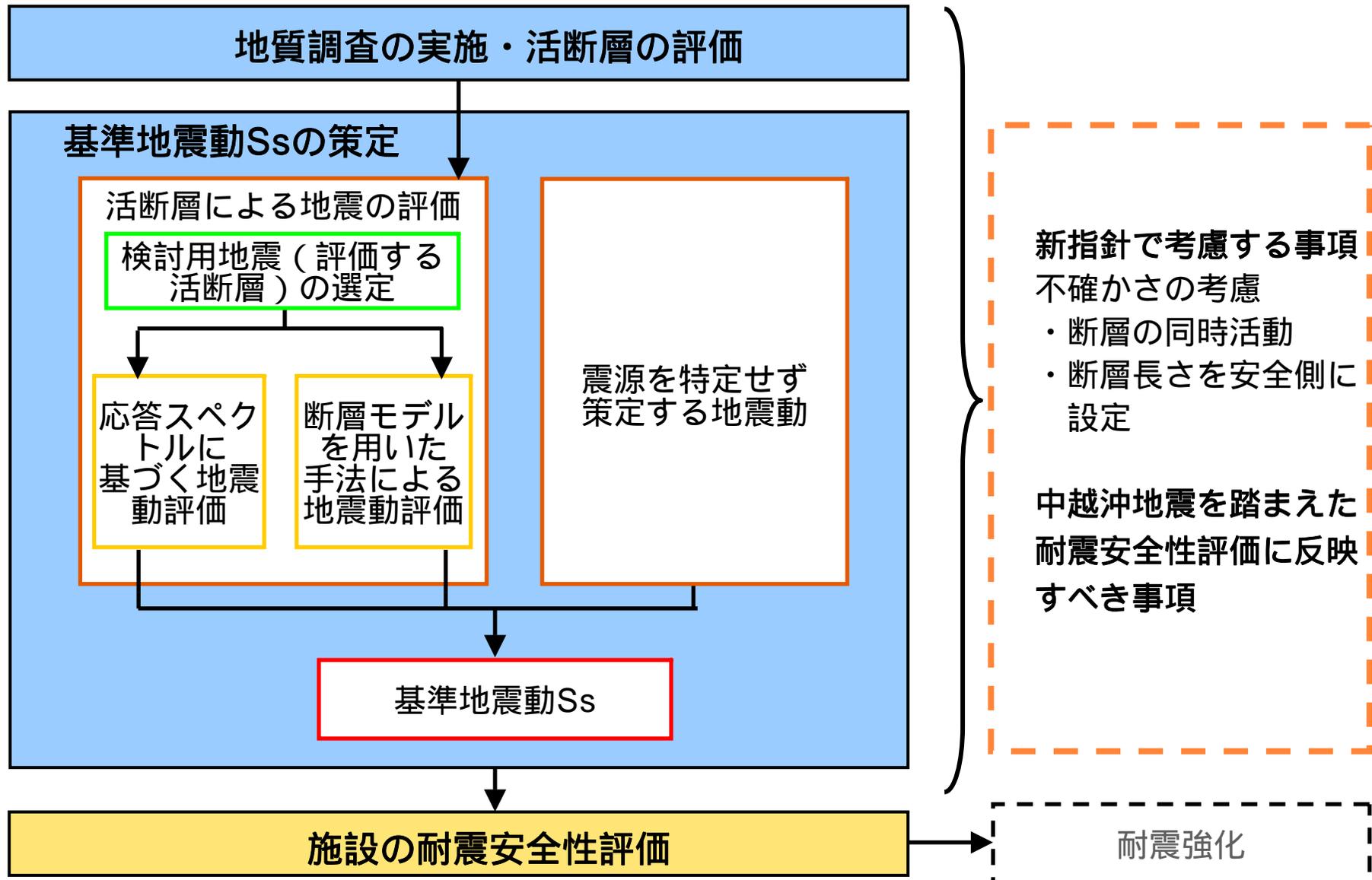
前回資料（合同W11-2-3）の構成を見直し

- 1．基準地震動Ssの策定方針
- 2．中越沖地震から得られた知見の反映
- 3．考慮すべき活断層の選定
- 4．検討用地震の選定
- 5．検討用地震の地震動評価
 - (1) F - B断層による地震
 - (2) 気比ノ宮断層による地震
 - (3) 片貝断層による地震
 - (4) 長岡平野西縁断層帯による地震
- 6．基準地震動Ssの策定結果
- 7．原子炉建屋基礎版における応答の比較
- 8．まとめ

【参考1】地震発生層の設定

【参考2】気比ノ宮断層・片貝断層による影響

1 . 基準地震動Ssの策定方針



2 . 中越沖地震から得られた知見の反映

【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】敷地における観測記録に基づき，基準地震動Ssを策定

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

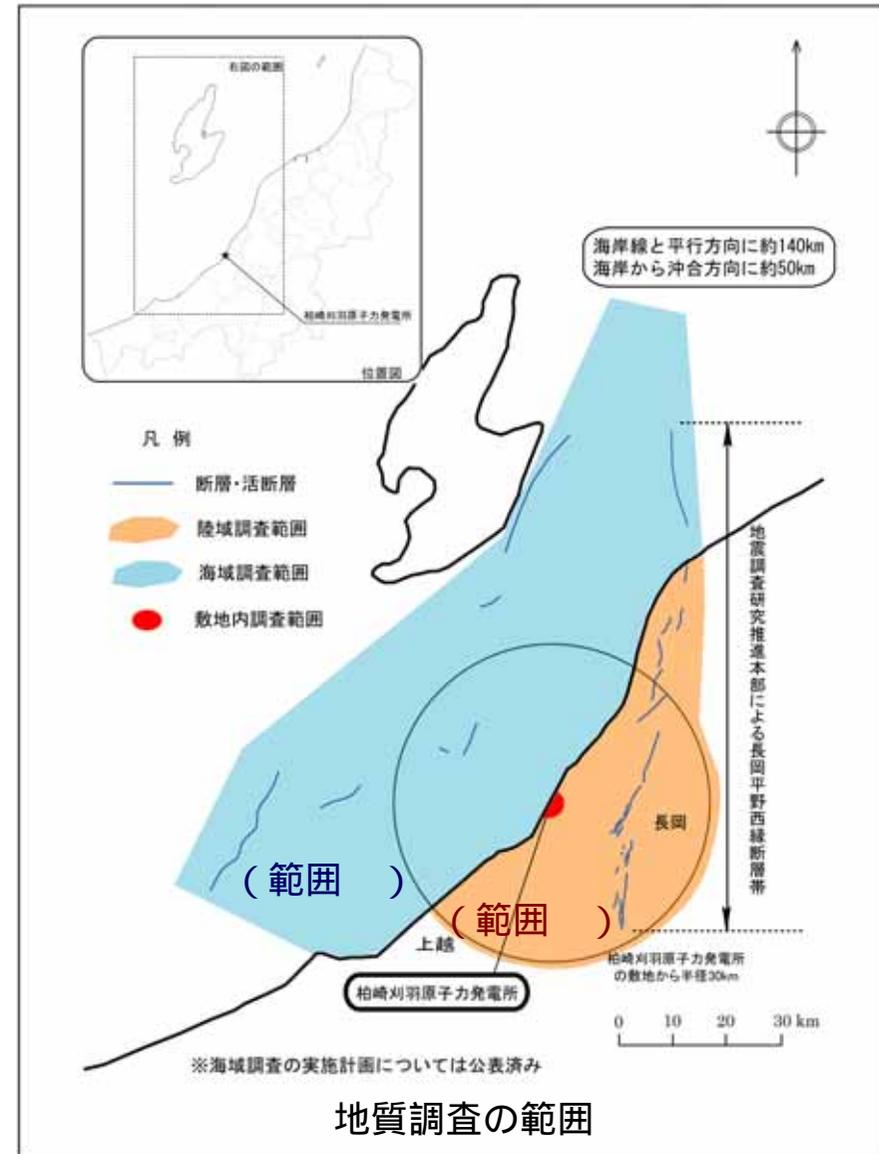
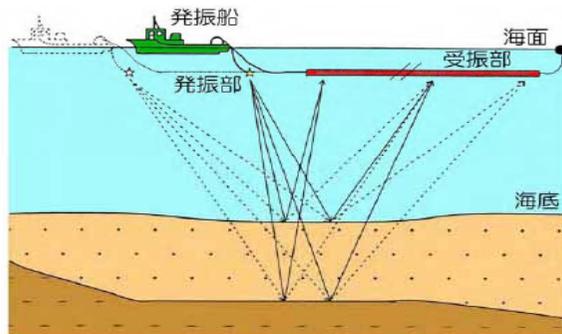
3 . 考慮すべき活断層の選定

地質調査の概要

変動地形学的調査（範囲）
地表地質調査（範囲）
地下探査（反射法地震探査）（範囲）
ボーリング調査（範囲）
 敷地を中心とする半径約30kmの範囲の陸域について変動地形学的調査、地表地質調査、地下探査およびボーリング調査等を、さらに、同範囲以遠に分布する主要断層沿いについて同様の調査を実施した。

海上音波探査・記録解析（範囲）
海底地形調査（範囲）
 敷地を中心として、海岸線と平行方向に約140km、海岸から沖合方向に約50kmの範囲の海域について海上音波探査および海底地形調査等を実施した。

また、他機関の海上音波探査記録についても解析を行った。



地質調査の範囲

3 . 考慮すべき活断層の選定

敷地周辺の主な活断層

- 地質調査の結果，敷地周辺において考慮すべき主な活断層は以下に示すとおり。

敷地周辺の活断層分布

主な活断層の諸元



	断層名	断層長さ (km)	地震規模 M
海域	佐渡島棚東縁断層	約37	7.4
	F - B断層	約27	6.8
	佐渡島南方断層	約29	7.3
	F - D断層	約30	7.3
	高田沖断層	約25	7.2
陸域	角田・弥彦断層	約54	7.7
	気比ノ宮断層	約22	7.1
	片貝断層	約16	6.8
	十日町盆地西縁断層	約33	7.4

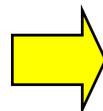
3 . 考慮すべき活断層の選定

安全評価上の考慮

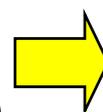
海域の活断層

基本ケース

■ F - B断層 (断層長さ27km)



■ F - D断層 (断層長さ30km)



■ 高田沖断層 (断層長さ25km)

基本ケース

■ 角田・弥彦断層 (断層長さ54km)

■ 気比ノ宮断層 (断層長さ22km)



■ 片貝断層 (断層長さ16km)

陸域の活断層

安全評価上の不確かさとして、断層長さ34kmに対応する (M7.0) を考慮

安全評価上の不確かさとして、一連の断層として評価した「F - D断層及び高田沖断層」 (断層長さ55km, M7.7) を考慮

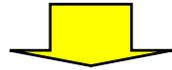
安全評価上の不確かさとして、一連の断層として評価した「長岡平野西縁断層帯」 (断層長さ91km, M8.1) を考慮

F - B断層は中越沖地震の震源断層から、入倉・三宅 (2001) 及び武村 (1998) のスケーリングに基づき断層長さ34kmの震源断層に相当する地震規模Mを設定
その他の断層は、松田 (1975) に基づき設定

4 . 検討用地震の選定

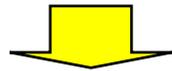
検討用地震の選定フロー

考慮すべき活断層の選定



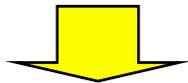
海域と陸域で分類

地震の発生域（海域と陸域）によって敷地における地震動特性が異なるため



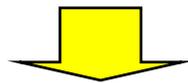
Noda et al. (2002) による
応答スペクトルの比較

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



検討用地震の選定

地震の発生域（海域と陸域）ごとに敷地への影響が最も大きな活断層による地震を選定



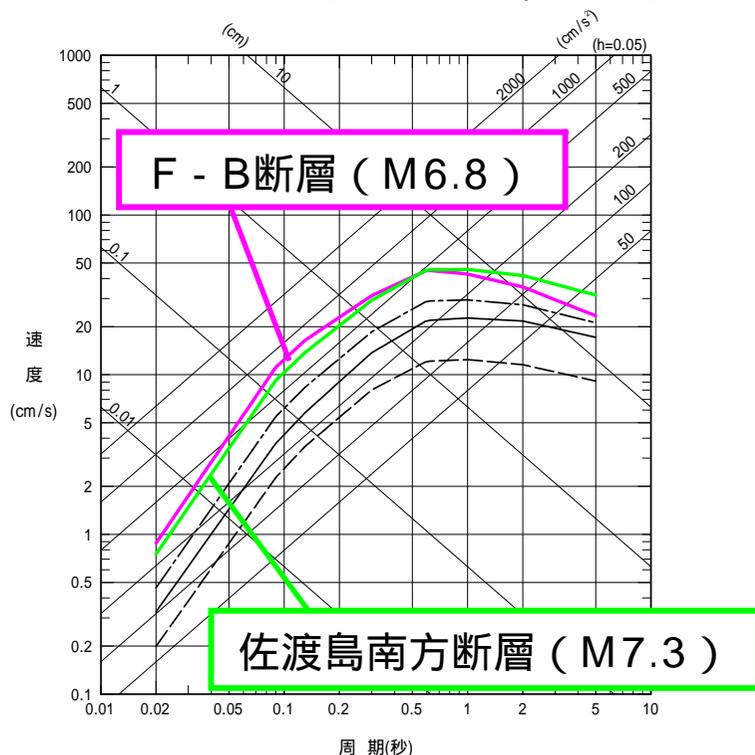
地震動評価

4 . 検討用地震の選定

海域の活断層

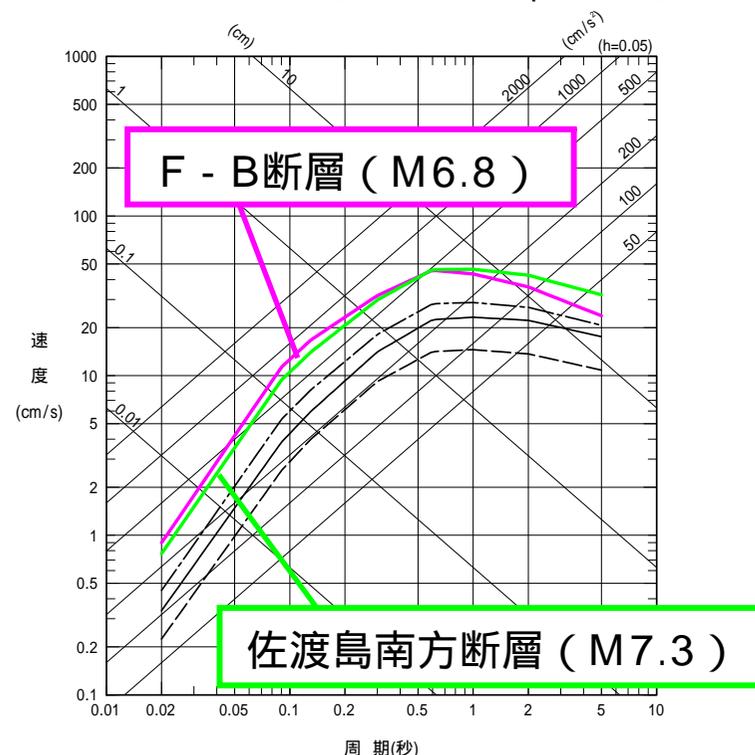
基本ケース

- 佐渡島棚東縁断層 (M7.4 , Xeq=55km)
- F - B断層 (M6.8 , Xeq=14km)
- 佐渡島南方断層 (M7.3 , Xeq=26km)
- F - D断層 (M7.3 , Xeq=38km)
- - - 高田冲断層 (M7.2 , Xeq=59km)



荒浜側 (1 ~ 4号機)

- 佐渡島棚東縁断層 (M7.4 , Xeq=53km)
- F - B断層 (M6.8 , Xeq=14km)
- 佐渡島南方断層 (M7.0 , Xeq=25km)
- F - D断層 (M7.3 , Xeq=39km)
- - - 高田冲断層 (M7.2 , Xeq=60km)



大湊側 (5 ~ 7号機)

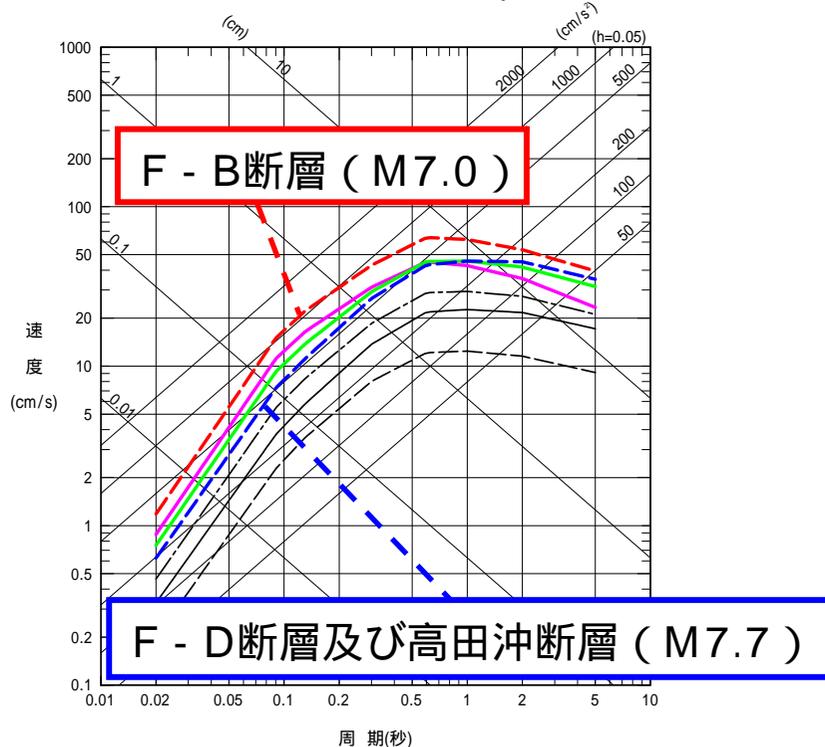
F - B断層 (M6.8) , 佐渡島南方断層 (M7.3) の影響大

4 . 検討用地震の選定 海域の活断層

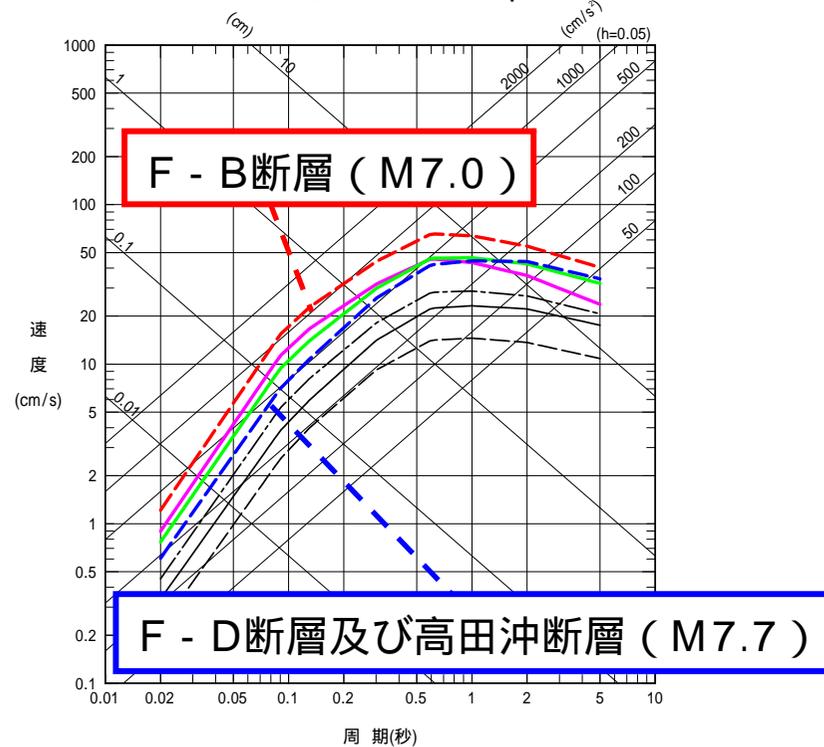
断層長さ（地震規模）の不確かさを考慮したケース

- 佐渡島棚東縁断層 (M7.4, Xeq=55km)
- F - B断層 (M6.8, Xeq=14km)
- 佐渡島南方断層 (M7.3, Xeq=26km)
- F - D断層 (M7.3, Xeq=38km)
- 高田冲断層 (M7.2, Xeq=59km)
- - - F - D断層 + 高田冲断層 (M7.7, Xeq=41km)
- - - F - B断層 (M7.0, Xeq=13km)

- 佐渡島棚東縁断層 (M7.4, Xeq=53km)
- F - B断層 (M6.8, Xeq=14km)
- 佐渡島南方断層 (M7.0, Xeq=25km)
- F - D断層 (M7.3, Xeq=39km)
- 高田冲断層 (M7.2, Xeq=60km)
- - - F - D断層 + 高田冲断層 (M7.7, Xeq=43km)
- - - F - B断層 (M7.0, Xeq=13km)



荒浜側 (1 ~ 4号機)



大湊側 (5 ~ 7号機)

不確かさを考慮したF - B断層 (M7.0) の影響が最も大きい

4 . 検討用地震の選定

検討用地震の選定結果（海域）

基本ケース

F - B断層（M6.8）

- ・地質調査結果に基づく断層長さ27kmに相当する震源断層

➡ 【中越沖地震本震の観測記録に基づく地震動に相当】

不確かさを考慮したF - B断層（M7.0）による影響を下回る

佐渡島南方断層（M7.3）

- ・地質調査結果に基づく断層長さ29kmに相当する震源断層

➡ 不確かさを考慮したF - B断層（M7.0）による影響を下回ることから
詳細な評価は、不確かさを考慮したF - B断層（M7.0）で代表させる

不確かさ考慮

F - B断層（M7.0）

- ・安全評価上の不確かさとして、断層長さ34kmに相当する震源断層を考慮

➡ 検討用地震（不確かさ考慮）として詳細に評価を実施

F - D断層及び高田沖断層（M7.7）

- ・安全評価上の不確かさとして、両断層が一連で活動する断層長さ55kmの震源断層を考慮

➡ 不確かさを考慮したF - B断層（M7.0）による影響を下回ることから
詳細な評価は、不確かさを考慮したF - B断層（M7.0）で代表させる

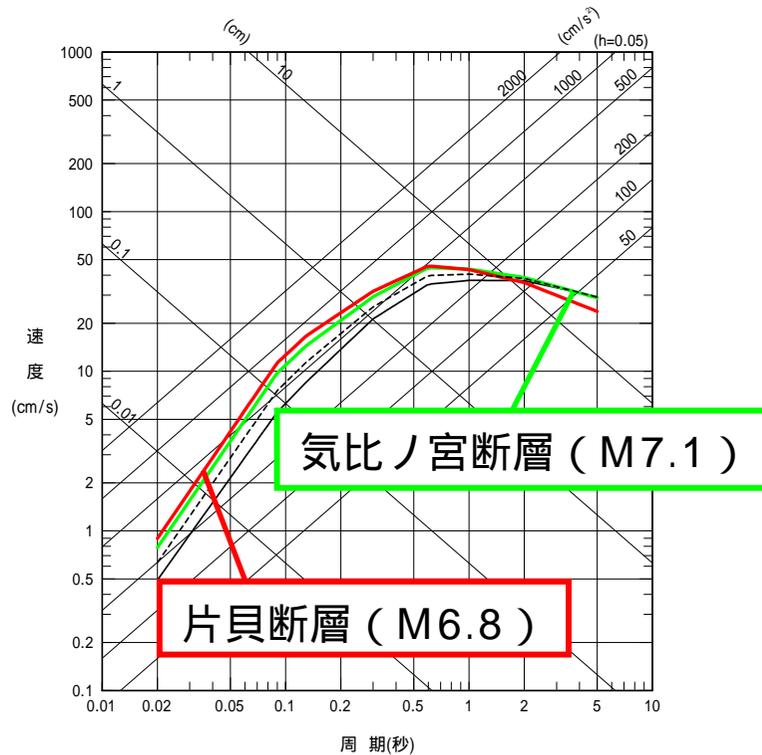
4 . 検討用地震の選定

陸域の活断層

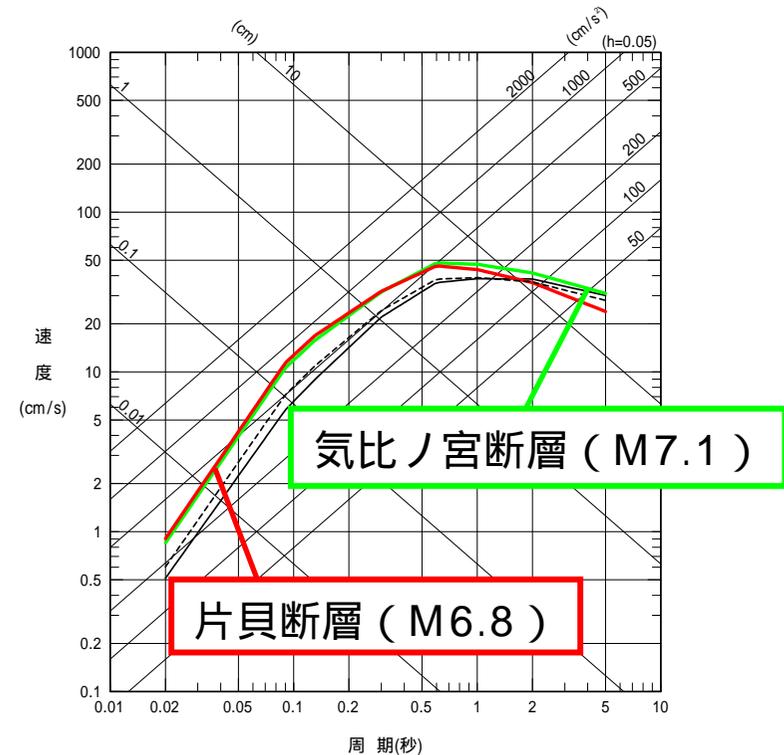
基本ケース

- 角田・弥彦断層 (M7.7 , Xeq=51km)
- 気比ノ宮断層 (M7.1 , Xeq=21km)
- 片貝断層 (M6.8 , Xeq=14km)
- - - - 十日町盆地西縁断層 (M7.4 , Xeq=32km)

- 角田・弥彦断層 (M7.7 , Xeq=49km)
- 気比ノ宮断層 (M7.1 , Xeq=20km)
- 片貝断層 (M6.8 , Xeq=14km)
- - - - 十日町盆地西縁断層 (M7.4 , Xeq=33km)



荒浜側 (1 ~ 4号機)



大湊側 (5 ~ 7号機)

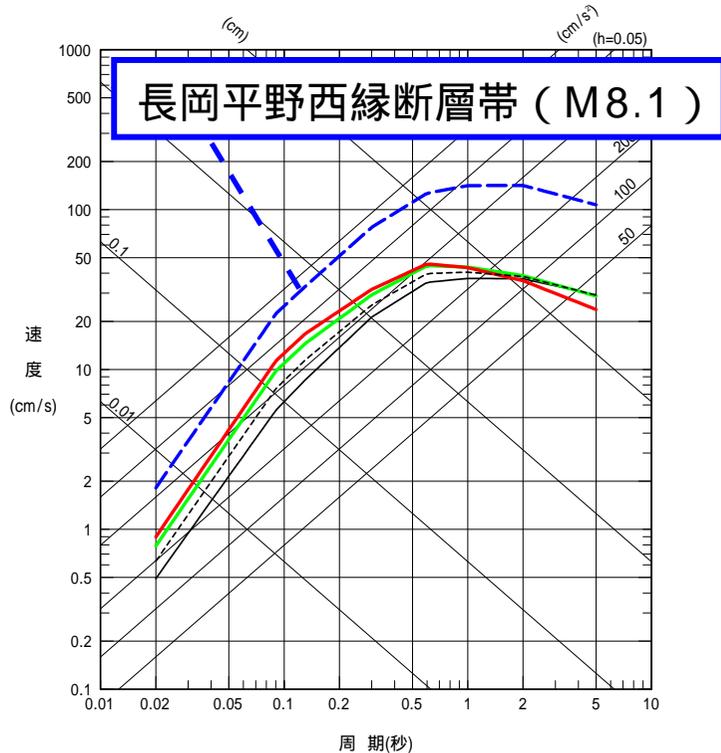
気比ノ宮断層 (M7.1) , 片貝断層 (M6.8) の影響大

4 . 検討用地震の選定 陸域の活断層

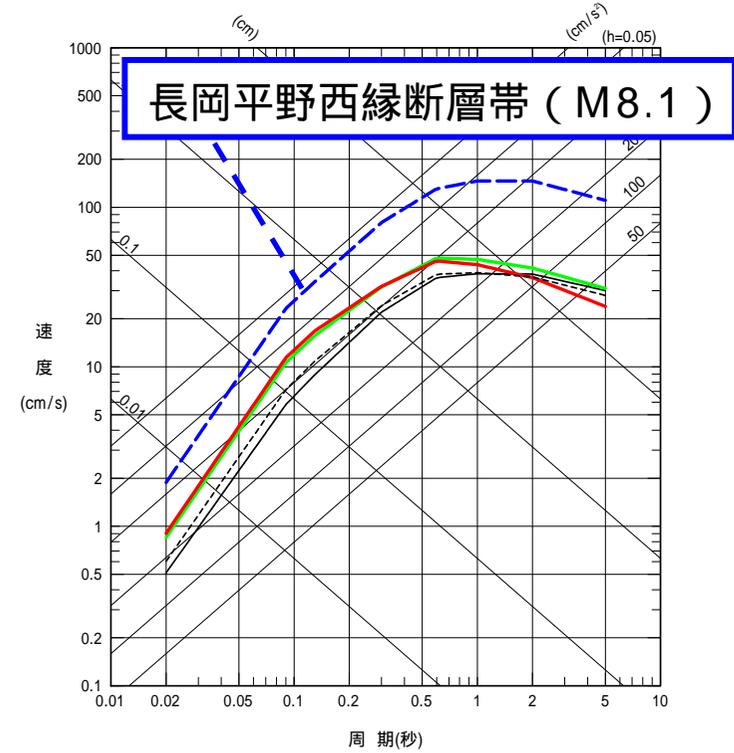
断層長さ（地震規模）の不確かさを考慮したケース

- 角田・弥彦断層 (M7.7, $X_{eq}=51\text{km}$)
- 気比ノ宮断層 (M7.1, $X_{eq}=21\text{km}$)
- 片貝断層 (M6.8, $X_{eq}=14\text{km}$)
- - - 十日町盆地西縁断層 (M7.4, $X_{eq}=32\text{km}$)
- - - 長岡平野西縁断層帯 (M8.1, $X_{eq}=25\text{km}$)

- 角田・弥彦断層 (M7.7, $X_{eq}=49\text{km}$)
- 気比ノ宮断層 (M7.1, $X_{eq}=20\text{km}$)
- 片貝断層 (M6.8, $X_{eq}=14\text{km}$)
- - - 十日町盆地西縁断層 (M7.4, $X_{eq}=33\text{km}$)
- - - 長岡平野西縁断層帯 (M8.1, $X_{eq}=25\text{km}$)



荒浜側 (1 ~ 4号機)



大湊側 (5 ~ 7号機)

不確かさを考慮した長岡平野西縁断層帯 (M8.1) の影響が最も大きい

4 . 検討用地震の選定

検討用地震の選定結果（陸域）

基本ケース

気比ノ宮断層（M7.1）

- ・地質調査結果に基づく断層長さ22kmに相当する震源断層

➡ 検討用地震（基本ケース）として詳細に評価を実施

片貝断層（M6.8）

- ・地質調査結果に基づく断層長さ16kmに相当する震源断層

➡ 検討用地震（基本ケース）として詳細に評価を実施

不確かさ考慮

長岡平野西縁断層帯（M8.1）

- ・安全評価上の不確かさとして，角田・弥彦断層，気比ノ宮断層及び片貝断層が一連で活動する断層長さ91kmの震源断層を考慮

➡ 検討用地震（不確かさ考慮）として詳細に評価を実施

5 . 検討用地震の地震動評価

平成18年9月に改訂された新耐震指針にしたがい、以下に示す2通りの地震動評価を実施し、基準地震動 S_s を策定。

(a)応答スペクトルに基づく地震動評価

Noda et al. (2002) による応答スペクトル評価に用いる補正係数を
海域で発生した地震と陸域で発生した地震で分けて評価

(b)断層モデルを用いた手法による地震動評価

想定する震源域で発生した中小地震を要素地震として用いることにより、
伝播特性等を反映することが可能な経験的グリーン関数法で評価

(1) 海域の検討用地震：F - B断層

検討用地震の地震動評価にあたっては、断層長さ（地震規模）の不確かさを考慮したケースで代表させた。

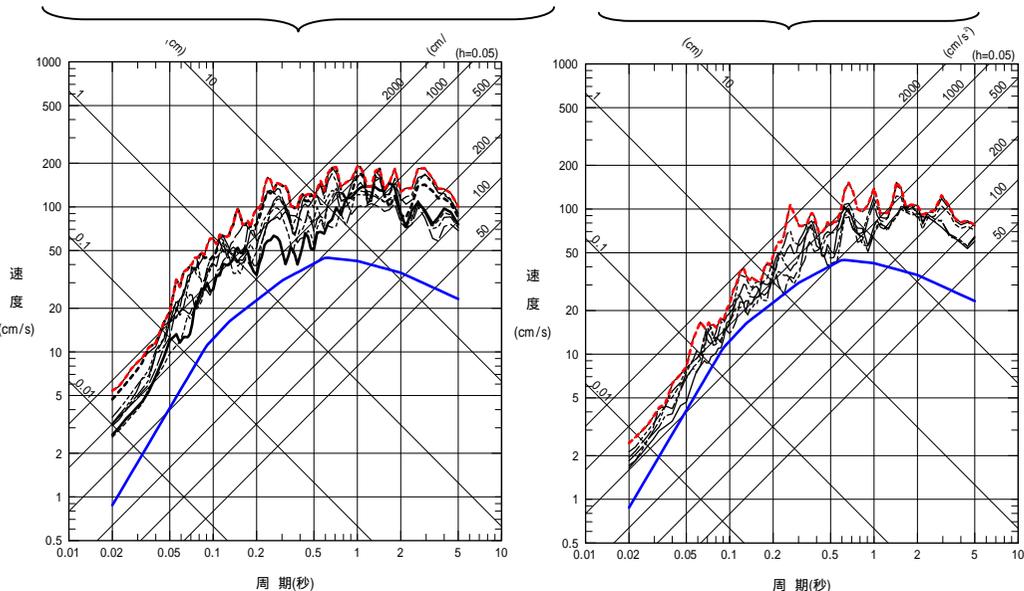
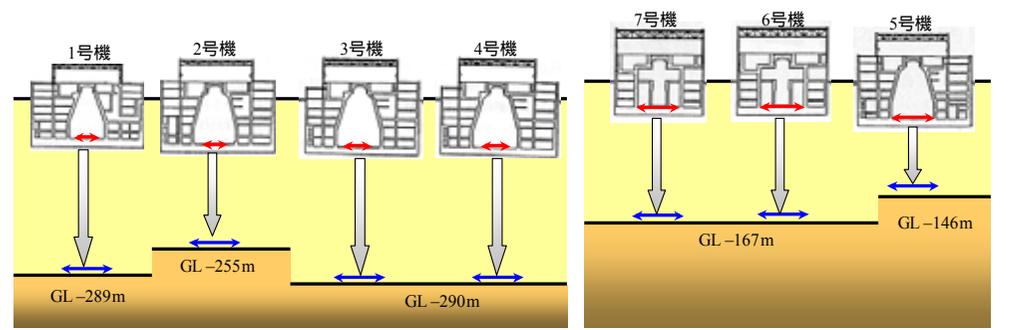
他の震源要素の不確かさについては、中越沖地震により十分な情報が得られていることから、それらを反映したモデルによる評価を実施。

震源要素 (断層パラメータ)	基本ケース 〔中越沖地震本震の観測記録に 基づく地震動に相当〕	不確かさの考慮
断層長さ (地震規模)	27km (M6.8)	34km (M7.0)
破壊開始点	中越沖地震から得られた知見を 反映 〔震源インバージョン結果 余震分布〕	左記により十分な情報が得られて いるため考慮せず
アスペリティ位置		
断層傾斜角		
短周期レベル 応力降下量		

 : 基準地震動Ssの策定において支配的な検討ケース

(1)F - B断層 応答スペクトルのサイト補正係数

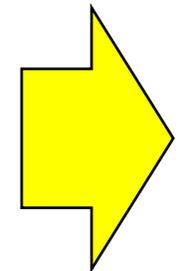
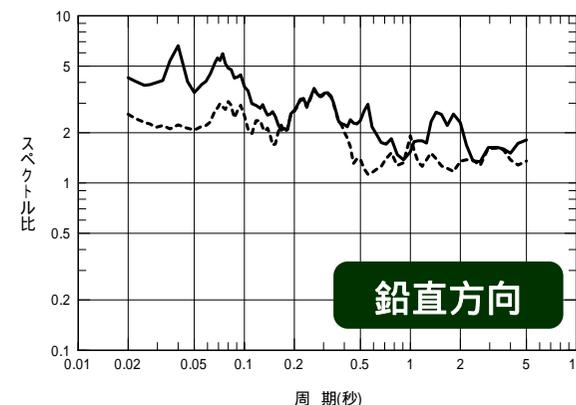
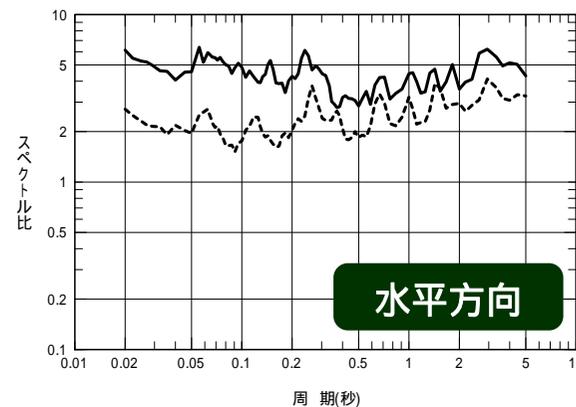
- 評価手法：Noda et al. (2002) による手法
- サイト補正係数：中越沖地震の各号機原子炉建屋基礎版上の観測記録から推定した解放基盤波とNoda et al. (2002) による応答スペクトルの比を、安全側に包絡して設定 (下図の赤線：水平方向の場合)



荒浜側 (1 ~ 4号機)

大湊側 (5 ~ 7号機)

— 荒浜側 (1 ~ 4号機)
 - - - 大湊側 (5 ~ 7号機)

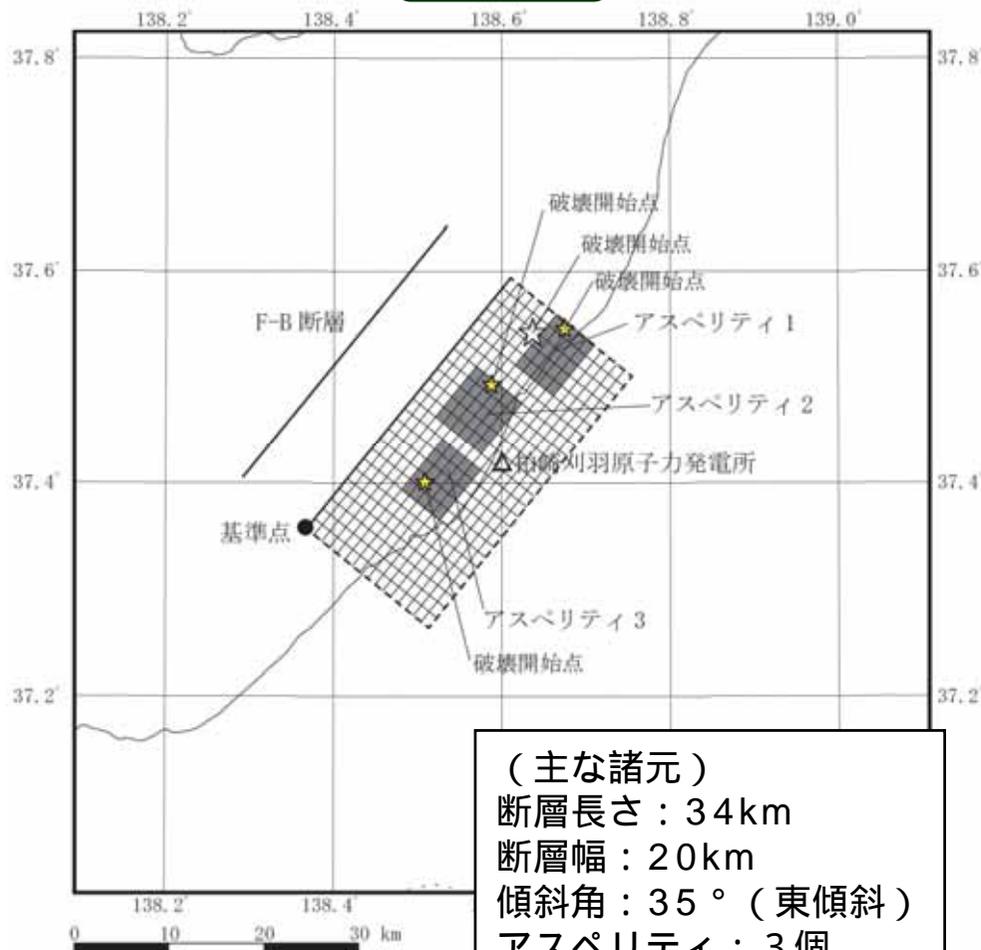


赤線
 青線

(1) F - B断層 断層モデル

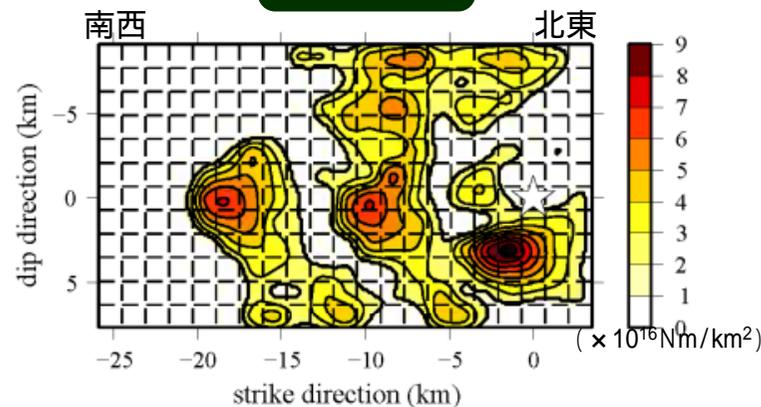
中越沖地震 (M6.8) の震源インバージョン結果を参考に , M7.0 に相当する断層モデルを設定。

平面図

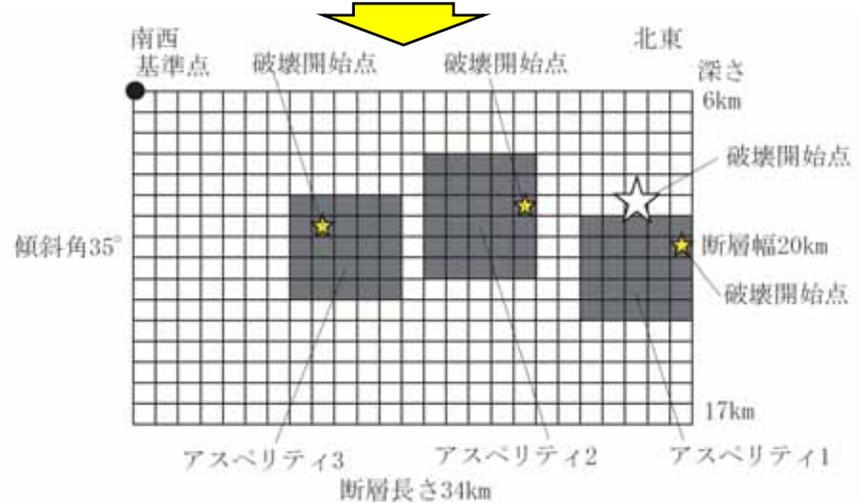


(主な諸元)
 断層長さ : 34km
 断層幅 : 20km
 傾斜角 : 35° (東傾斜)
 アスペリティ : 3個

断面図



中越沖地震震源インバージョン結果 (M6.8)



F-B断層 (M7.0)

(1)F - B断層 断層パラメータの設定

断層パラメータの設定方針

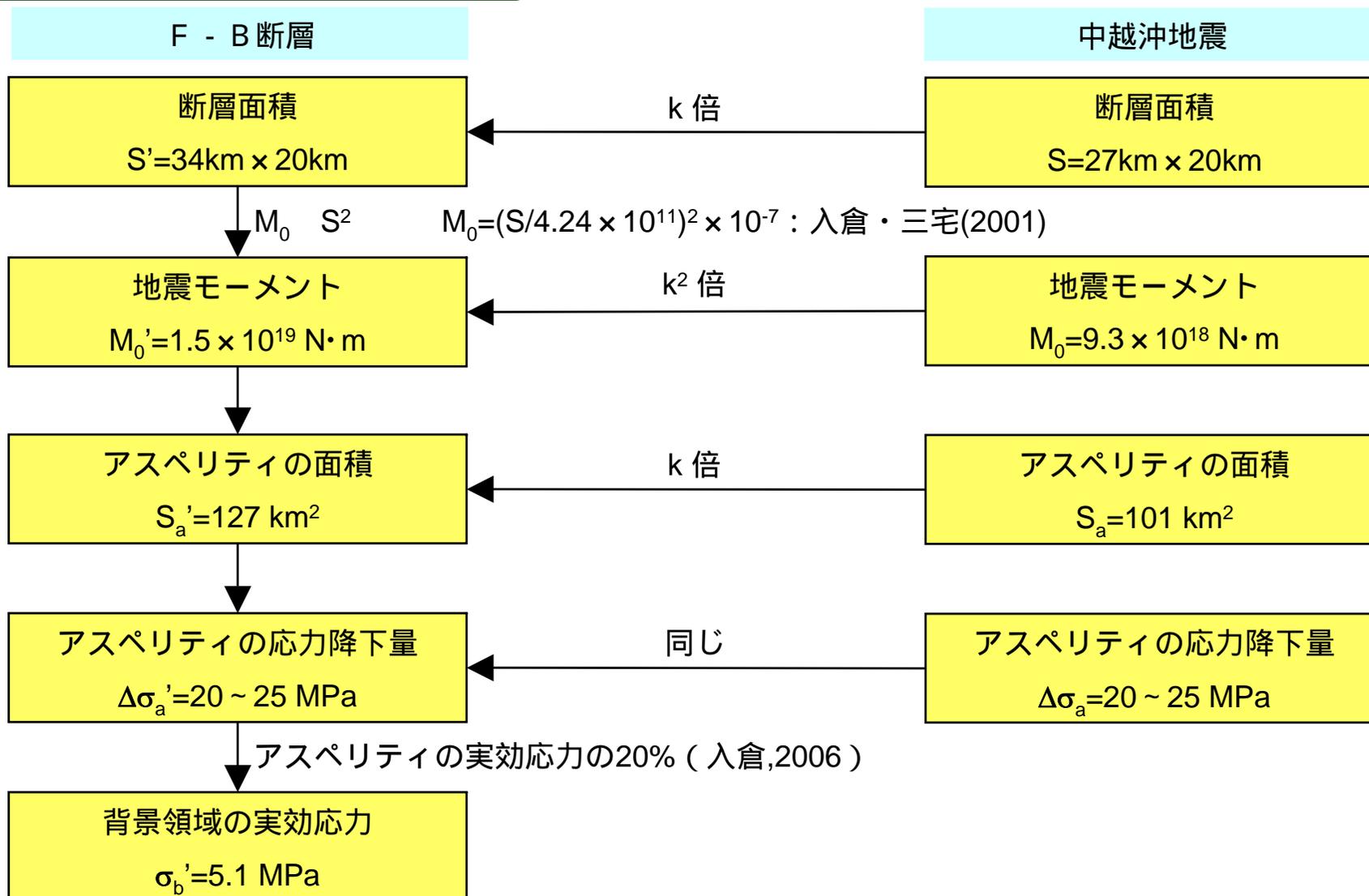
巨視的断層パラメータのうち，断層の位置・断層長さについては地質調査結果に基づき設定。

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設定し，断層幅は，中越沖地震の余震分布等から求めた地震発生層を飽和するように設定。

(1) F - B断層 断層パラメータの設定

断層パラメータの設定手順

$k=S'/S$ (面積比)



(1)F - B断層 断層パラメータの設定

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)		34.0	
	断層幅 (km)		20.0	
	断層面積 (km ²)		680	
	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)		1.5 × 10 ¹⁹	
	アスペリティ1	基準点	東経 (°)	138.62
			北緯 (°)	37.51
面積 (km ²)		39		
地震モーメント (N・m)		2.9 × 10 ¹⁸		
平均すべり量 (cm)		235		
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		

: 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	基準点	東経 (°)	138.52
		北緯 (°)	37.46
	面積 (km ²)		49
	地震モーメント (N・m)		3.3 × 10 ¹⁸
	平均すべり量 (cm)		217
	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	基準点	東経 (°)
北緯 (°)			37.39
面積 (km ²)		39	
地震モーメント (N・m)		2.3 × 10 ¹⁸	
平均すべり量 (cm)		184	
応力降下量 (MPa)		20	
背景領域	面積 (km ²)		552
	地震モーメント (N・m)		6.2 × 10 ¹⁸
	平均すべり量 (cm)		36
	実効応力 (MPa)		5.1
	破壊伝播速度 (km/s)		2.3

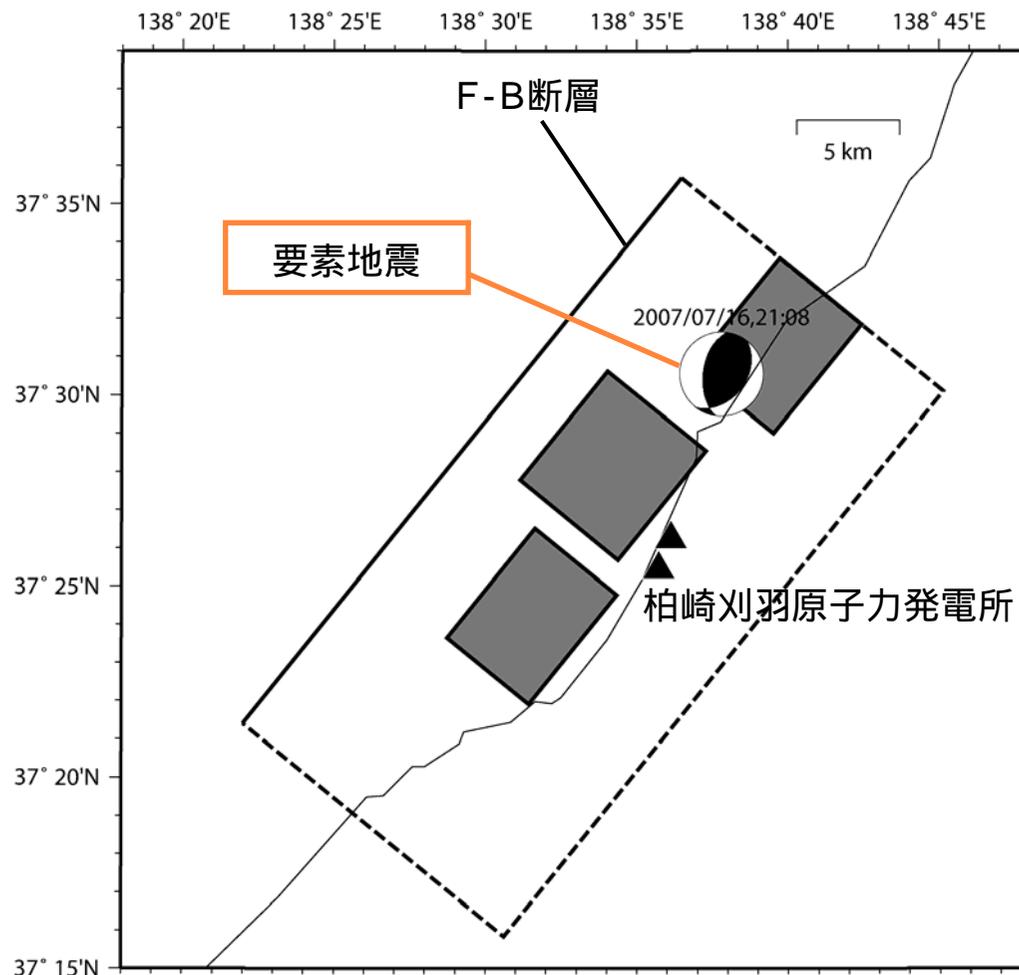
(1)F - B断層 要素地震の諸元

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。

【要素地震】2007年7月16日21時08分の地震（M4.4）

震源パラメータ

発震時	[年月日]	2007/7/16, 21:08
マグニチュード		4.4
震源位置	北緯 [°N]	37.509
	東経 [°E]	138.630
	深さ [km]	13.6
	走向 [°]	187;39
	傾斜 [°]	54;41
	すべり角 [°]	70;115
地震モーメント	[N・m]	5.21×10^{15}
臨界振動数	[Hz]	1.65
断層長さ	[km]	1.40
断層幅	[km]	1.40
平均すべり量	[cm]	8.0
実効応力	[Mpa]	4.6
剛性率	[N/m ²]	3.31×10^{10}
せん断波速度	[km/s]	3.5
単位体積重量	[g/cm ³]	2.7



(1)F - B断層 荒浜側要素地震記録の補正

中越沖地震のシミュレーション

震源インバージョン結果に基づく中越沖地震の特性化震源モデルによるシミュレーション結果は、大湊側で観測記録を良く再現しているものの、荒浜側では過小評価。

〔 第1アスペリティ付近の要素地震を採用しており、第3アスペリティからの伝播特性を表現できていない。 〕

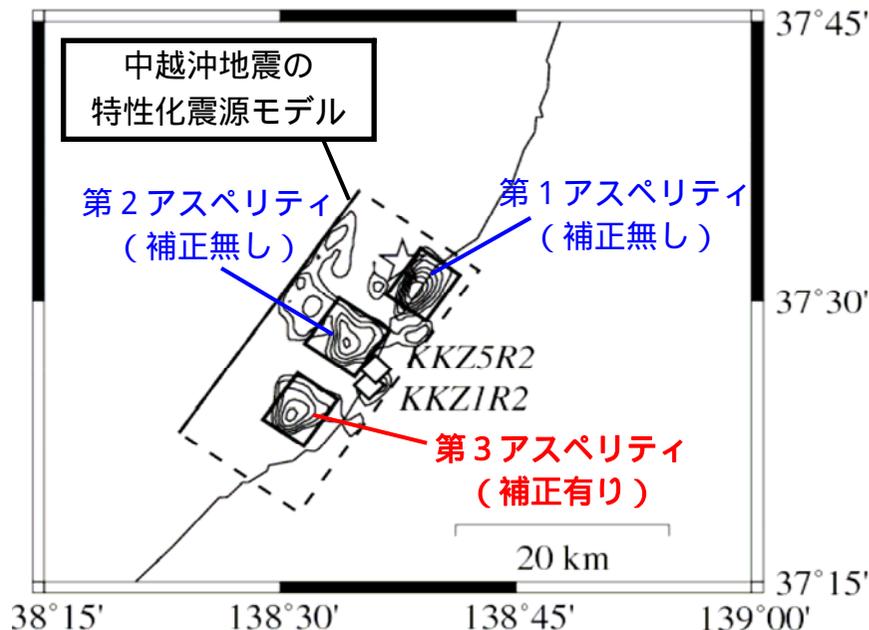


シミュレーション結果が観測記録を再現するように、荒浜側の評価では第3アスペリティに割り当てる要素地震記録を補正。



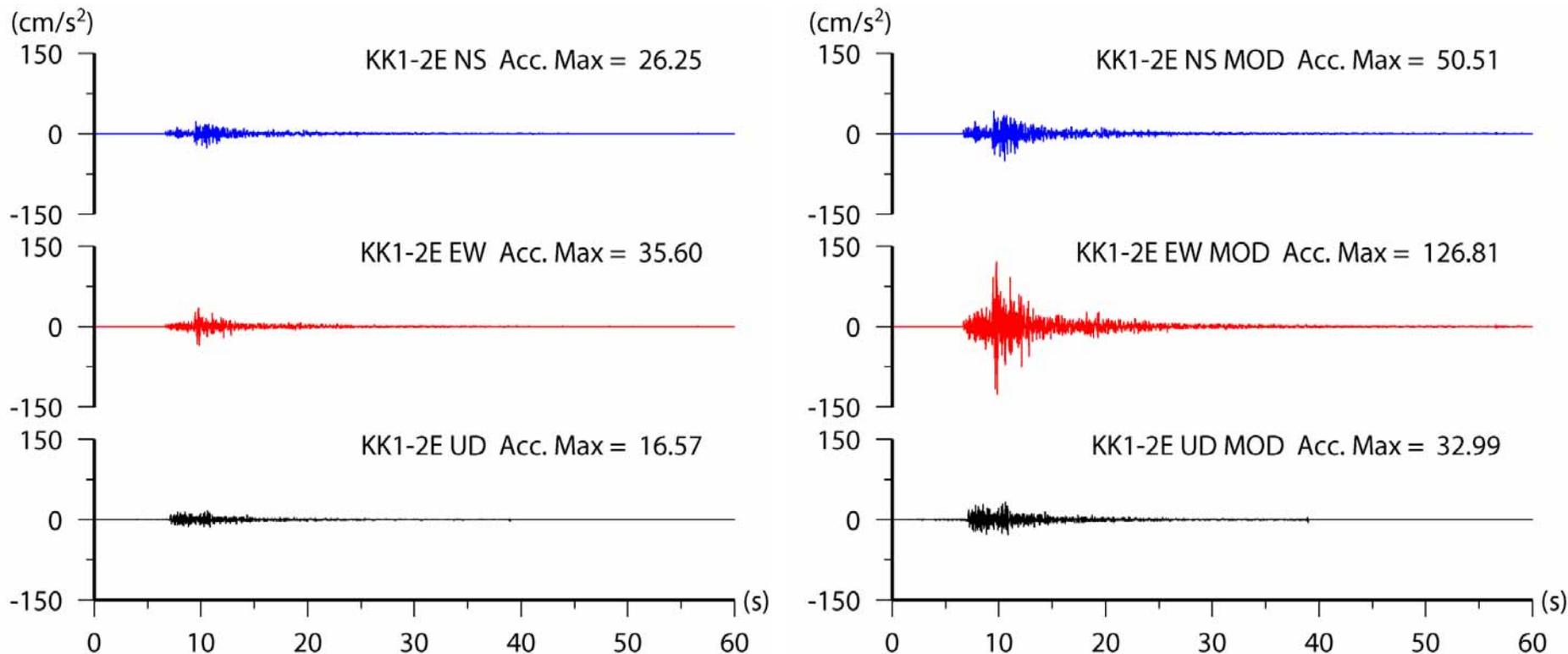
同様の考え方を「F - B断層による地震」の荒浜側における評価に反映。

中越沖地震のシミュレーションで荒浜側の評価に用いる要素地震の考え方



(1)F - B断層 荒浜側要素地震記録の補正

補正前後における要素地震の解放基盤波（加速度時刻歴波形）



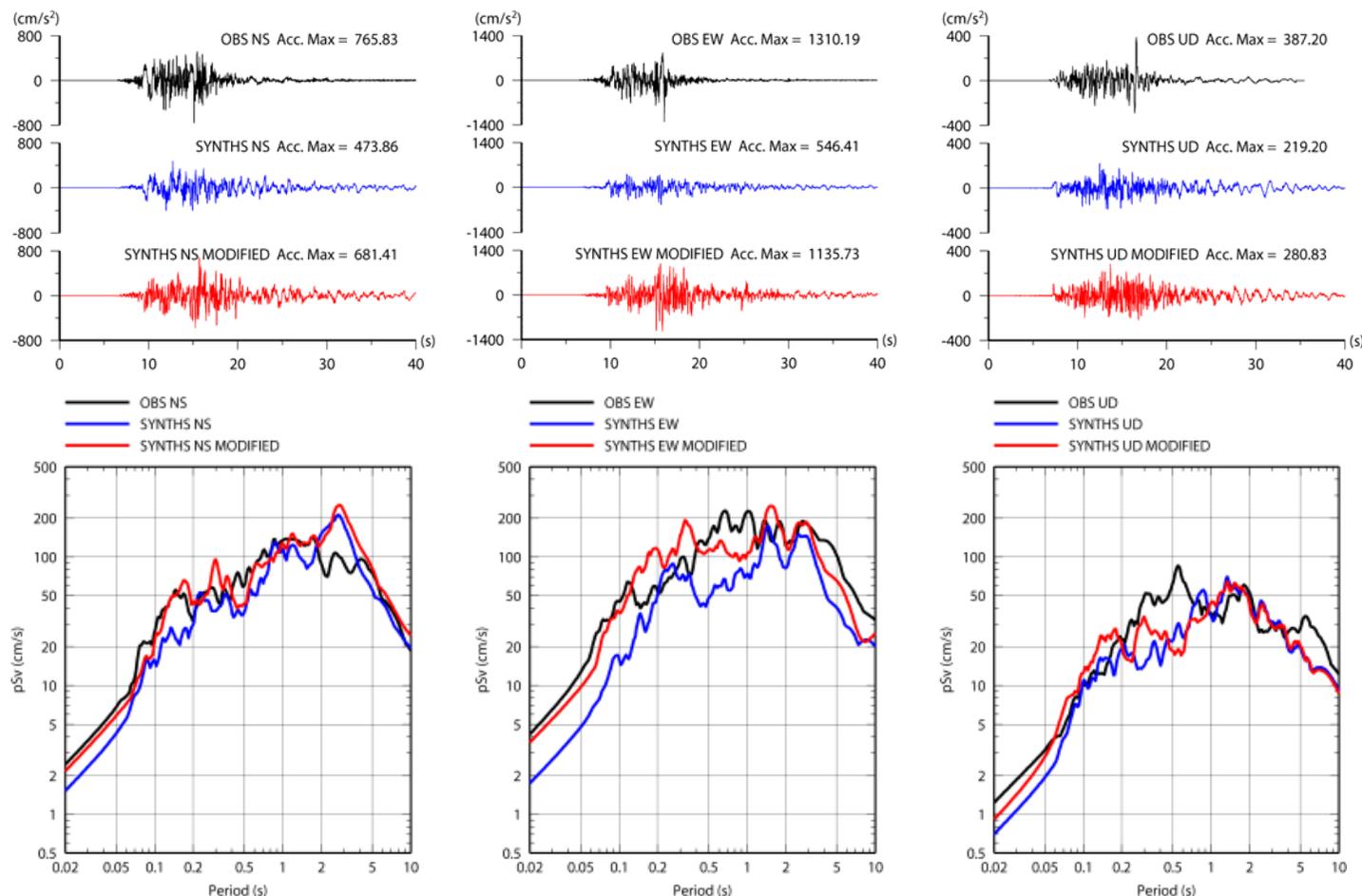
補正前

青線：NS方向
赤線：EW方向
黒線：UD方向

補正後

(1)F - B断層 荒浜側要素地震記録の補正

中越沖地震の特性化震源モデルによるシミュレーション結果と、1号機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の比較



NS方向

EW方向

UD方向

黒線：観測記録から推定した解放基盤波 青線：シミュレーション結果（補正無し）

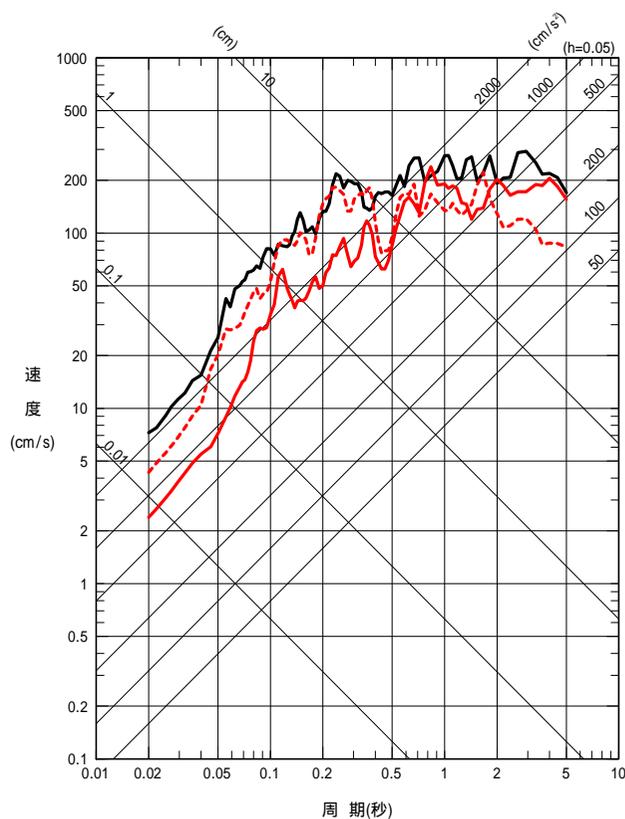
赤線：シミュレーション結果（補正有り）

(1)F - B断層 地震動評価結果

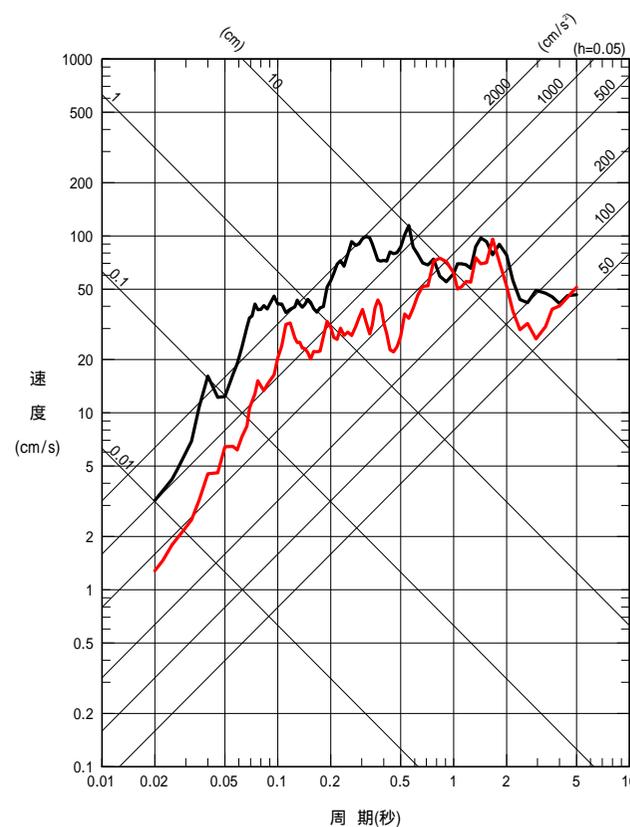
荒浜側 (1 ~ 4号機)

- 応答スペクトル
- 断層モデル (NS方向)
- - - 断層モデル (EW方向)

- 応答スペクトル
- 断層モデル



水平方向



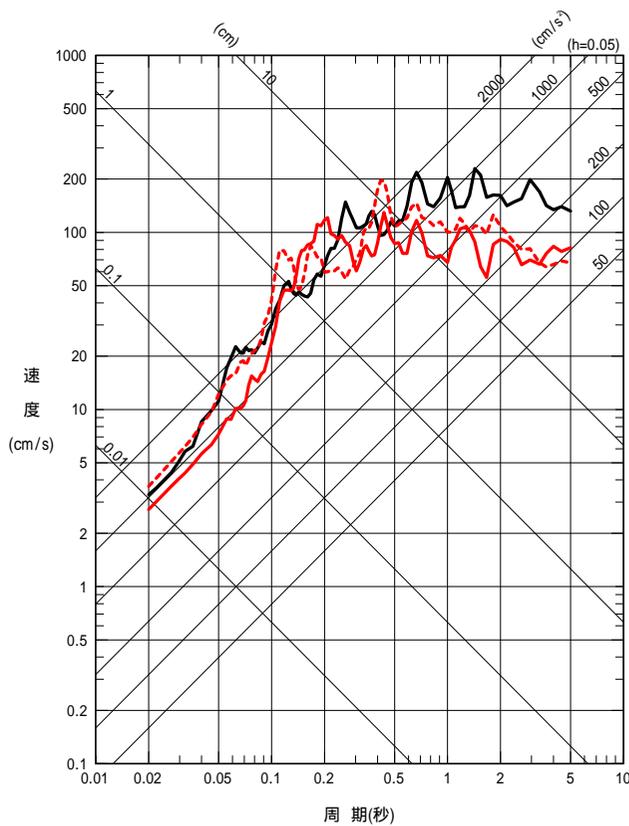
鉛直方向

(1)F - B断層 地震動評価結果

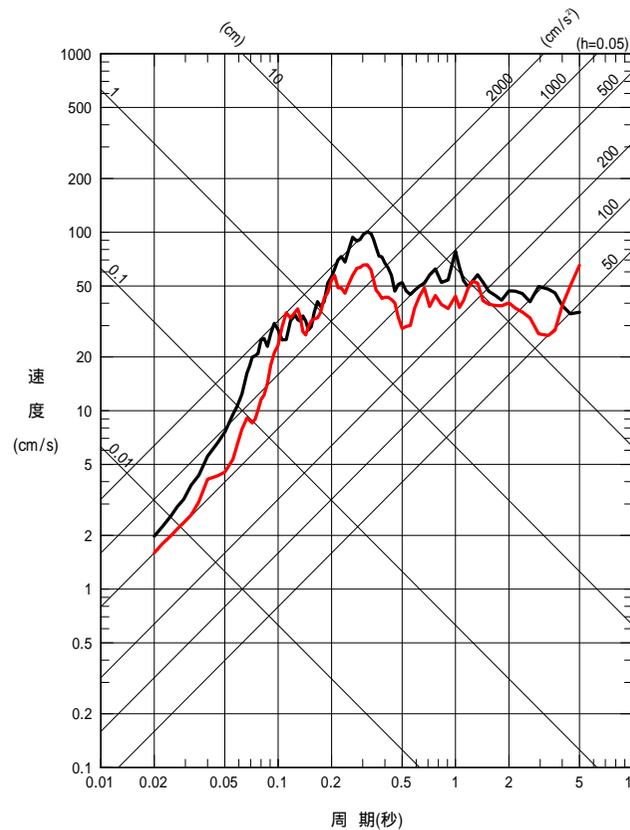
大湊側 (5 ~ 7号機)

- 応答スペクトル
- 断層モデル (NS方向)
- - - 断層モデル (EW方向)

- 応答スペクトル
- 断層モデル



水平方向



鉛直方向

(2)陸域の検討用地震：気比ノ宮断層

不確かさの考慮にあたっては，断層長さ（地震規模）の不確かさによる影響が最も大きいと考え，検討ケースを設定。

ただし，中越沖地震の知見を反映し，アスペリティの応力降下量及び背景領域の実効応力に関する不確かさについても考慮。

震源要素 (断層パラメータ)	基本ケース	不確かさの考慮
断層長さ (地震規模)	22km (M7.1)	長岡平野西縁断層帯：91km (M8.1)
破壊開始点	破壊が敷地に向かうように巨視的断層面の端部に設定	アスペリティの端部 など
アスペリティ位置	地震調査研究推進本部（2008）による強震動予測レシピにしたがい設定	断層面上における敷地至近の位置 など
断層傾斜角	地質調査結果及び地震調査研究推進本部（2004）による評価結果を参考に設定	左記により十分な情報が得られているため考慮せず
アスペリティの 応力降下量	地震調査研究推進本部（2008）による強震動予測レシピにしたがい設定	中越沖地震から得られた知見を反映し左記の1.5倍の値を設定

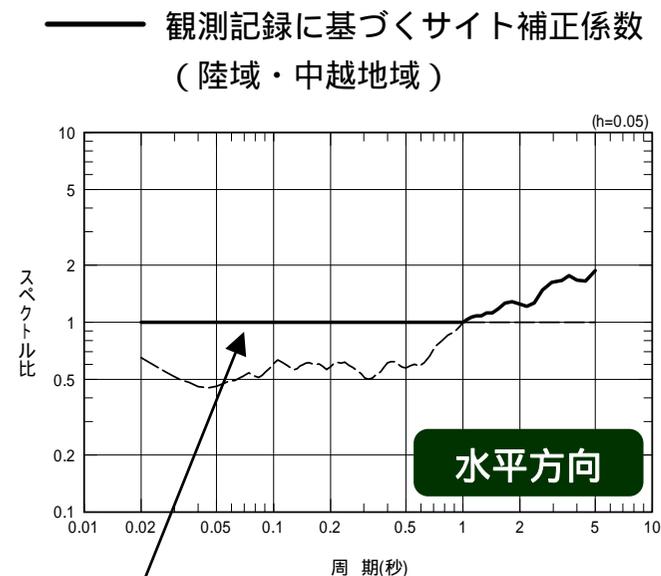
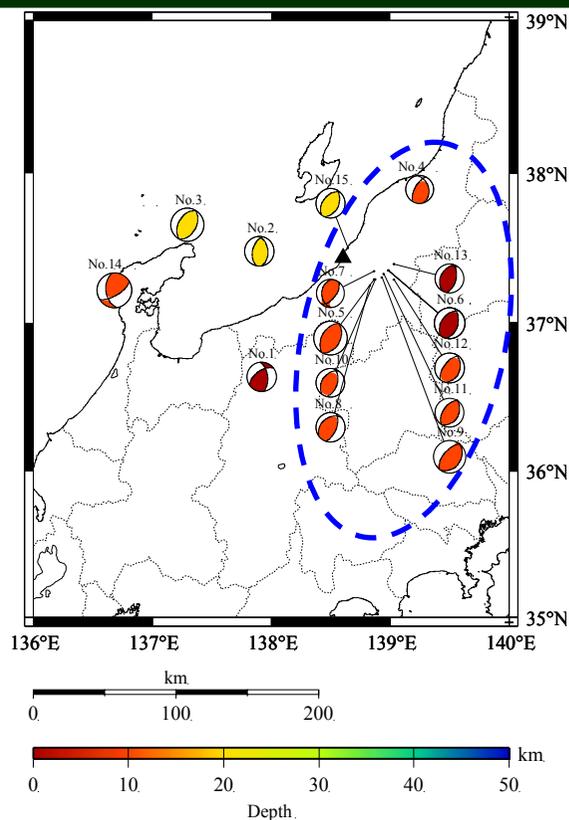
：基準地震動Ssの策定において支配的な検討ケース

(2) 気比ノ宮断層 応答スペクトルのサイト補正係数

【片貝断層・長岡平野西縁断層帯についても共通】

- 評価手法：Noda et al. (2002) による手法
- サイト補正係数：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
【荒浜側と大湊側（1～7号機）で共通】

補正係数の算定に用いた地震の震央分布



安全評価上、応答スペクトル比の下限を1としたサイト補正係数を設定

(2) 気比ノ宮断層 要素地震の諸元

【片貝断層・長岡平野西縁断層帯についても共通】

経験的グリーン関数法に用いる要素地震は、想定する地震と同一方向の陸域で発生した2004年新潟県中越地震の余震を採用。

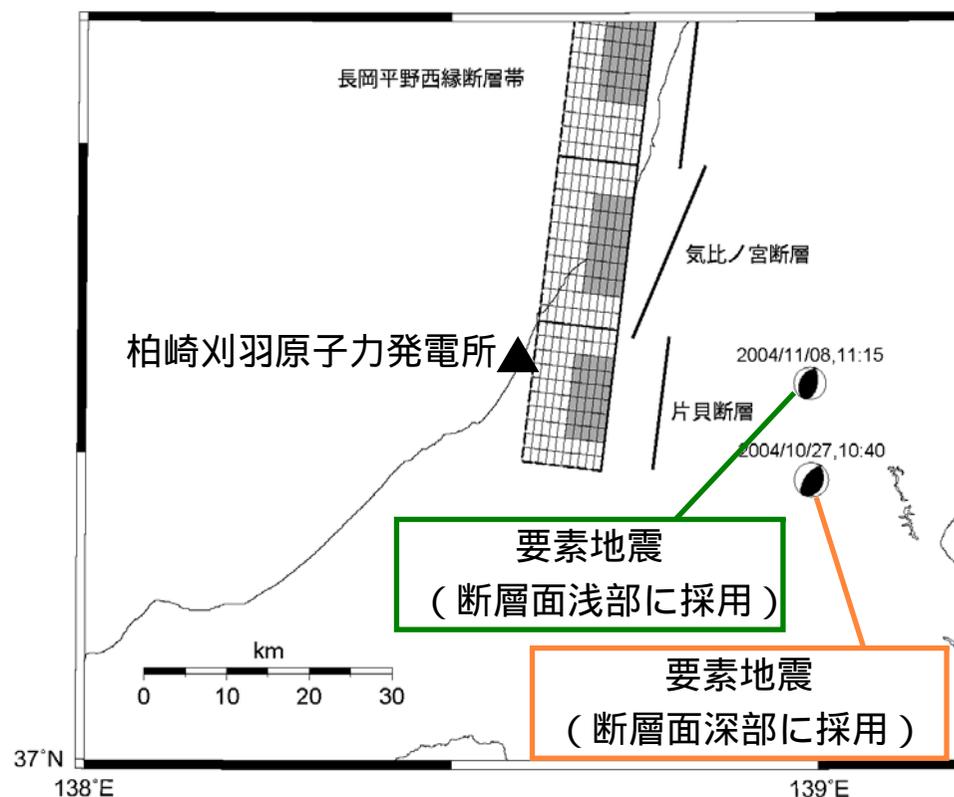
2004年新潟県中越地震の分析結果を反映して、断層面の浅部と深部で異なる要素地震を採用。

【断層面浅部】2004年11月08日11時15分の地震 (M5.5)

【断層面深部】2004年10月27日10時40分の地震 (M5.8)

震源パラメータ

パラメータ	[単位]	2004/11/08, 11:15	2004/10/27, 10:40
発震時	[年月日]	2004/11/8	2004/10/27
マグニチュード		5.5	5.8
震源位置	北緯 [°N]	37.4108	37.3066
	東経 [°E]	138.9871	138.9885
	深さ [km]	5	11
	走向 [°]	13;209	218;18
	傾斜 [°]	53;38	60;32
	すべり角 [°]	80;103	100;73
地震モーメント	[N・m]	2.24×10^{17}	6.34×10^{17}
臨界振動数	[Hz]	0.6	0.4
断層長さ	[km]	3.7	5.6
断層幅	[km]	3.7	5.6
平均すべり量	[cm]	53	66.7
実効応力	[Mpa]	10.36	8.69
剛性率	[N/m ²]	3.01×10^{10}	3.01×10^{10}
せん断波速度	[km/s]	3.4	3.4
単位体積重量	[g/cm ³]	2.6	2.6



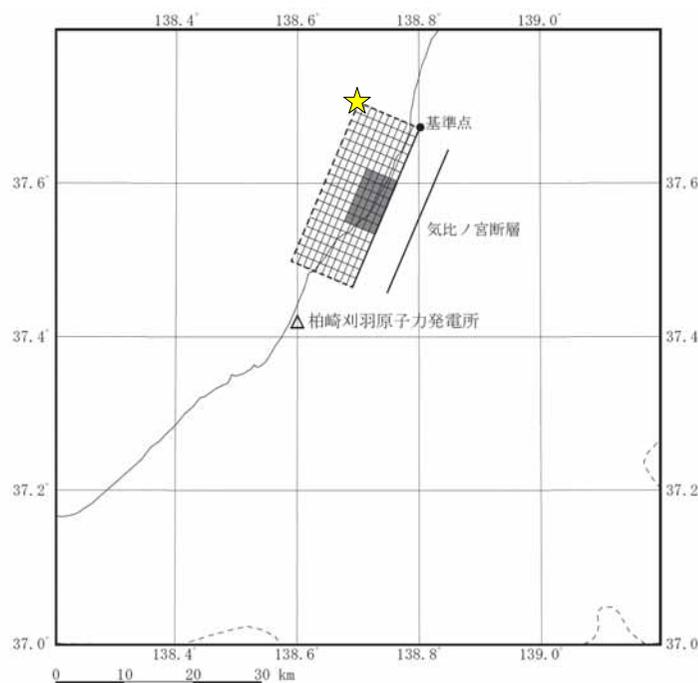
要素地震
(断層面浅部に採用)

要素地震
(断層面深部に採用)

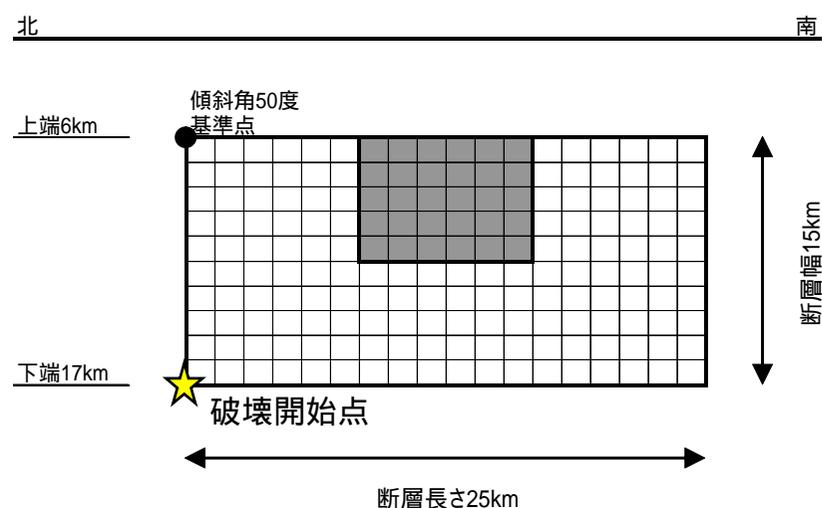
(2) 気比ノ宮断層 断層モデル

地質調査結果及び地震調査研究推進本部（2008）による強震動予測レシピに基づき，断層モデルを設定。

平面図



断面図



(主な諸元)
断層長さ：25km
断層幅：15km
傾斜角：50° (西傾斜)
アスペリティ：1個

破壊開始点は，破壊が敷地へ向かうように設定

(2) 気比ノ宮断層 断層パラメータの設定

断層パラメータの設定方針

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を参考とするが，安全評価上，地震発生層を飽和するように地震モーメント $M_0 = 7.5 \times 10^{18} \text{N}\cdot\text{m}$ の震源断層を考慮し，断層長さを地質調査結果による22kmから25kmに延長。

断層の傾斜角は，地質調査結果及び地震調査研究推進本部（2004）による長岡平野西縁断層帯の評価結果を参考に設定し，断層幅は，F - B断層と同様に地震発生層を飽和するように設定。

微視的断層パラメータは，原則として地震調査研究推進本部（2008）による強震動予測レシピに基づき設定。

ただし，アスペリティの応力降下量及び背景領域の実効応力については，中越沖地震の知見を反映し，強震動予測レシピにより求まる値の1.5倍の値を採用。

(2) 気比ノ宮断層 断層パラメータの設定

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 (°)	138.80
		北緯 (°)	37.67
	断層上端深さ (km)		6
	断層長さ (km)		25.0
	断層幅 (km)		15.0
	断層面積 (km ²)		375
	走向 (°)		203
	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)		7.8×10^{18}

項目		設定値	
アスペリティ	基準点	東経 (°)	138.76
		北緯 (°)	37.60
	面積 (km ²)		59
	地震モーメント (N・m)		2.5×10^{18}
	平均すべり量 (cm)		134
	応力降下量 (MPa)		25
背景領域	面積 (km ²)		316
	地震モーメント (N・m)		5.4×10^{18}
	平均すべり量 (cm)		54
	実効応力 (MPa)		5.2

 : 地質調査結果等に基づく

 : 地震調査研究推進本部 (2008) による強震動予測レシピに基づく

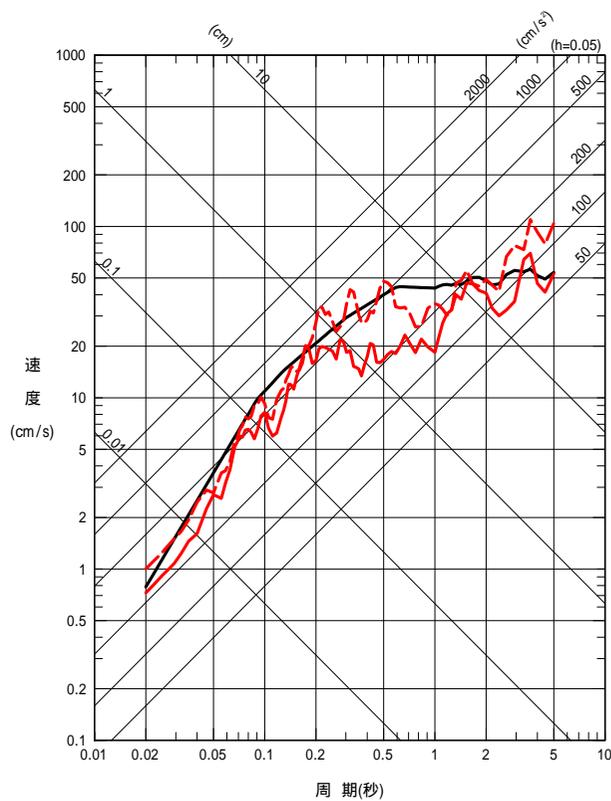
 : 中越沖地震の知見を反映し、強震動予測レシピにより求まる値の1.5倍の値を採用

(2) 気比ノ宮断層

地震動評価結果（基本ケース）

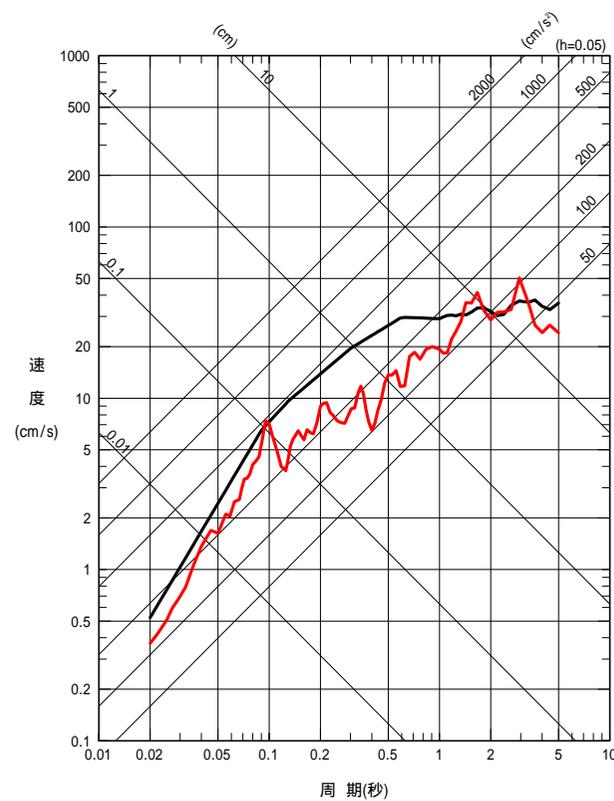
荒浜側（1～4号機）

— 応答スペクトル
— 断層モデル（NS方向）
- - 断層モデル（EW方向）



水平方向

— 応答スペクトル
— 断層モデル



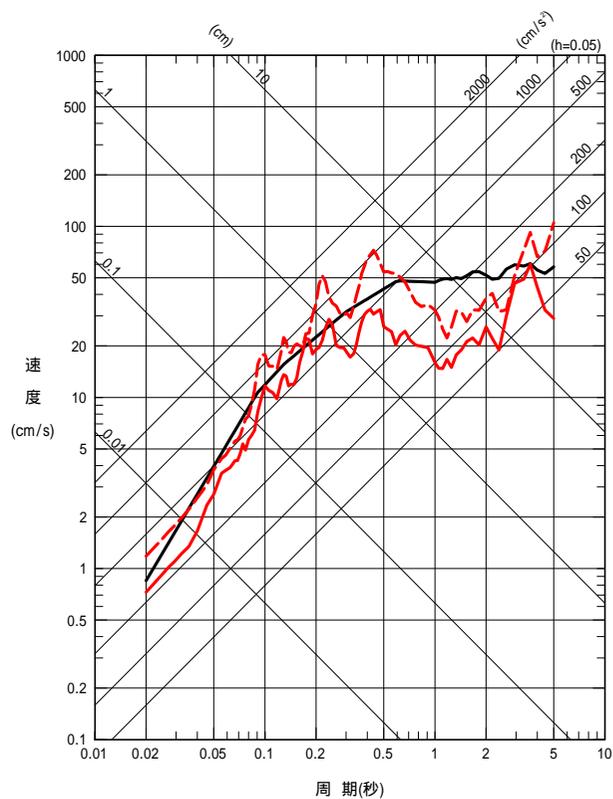
鉛直方向

(2) 気比ノ宮断層

地震動評価結果 (基本ケース)

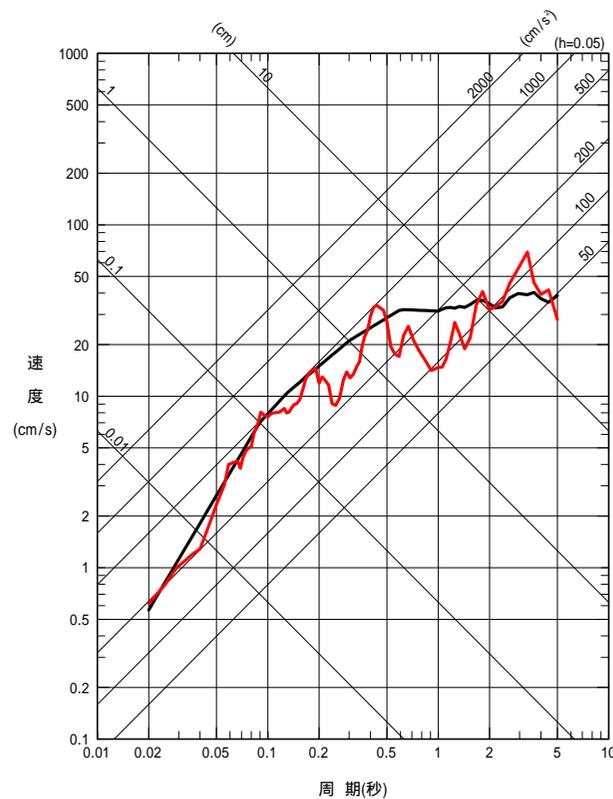
大湊側 (5 ~ 7号機)

— 応答スペクトル
— 断層モデル (NS方向)
- - 断層モデル (EW方向)



水平方向

— 応答スペクトル
— 断層モデル

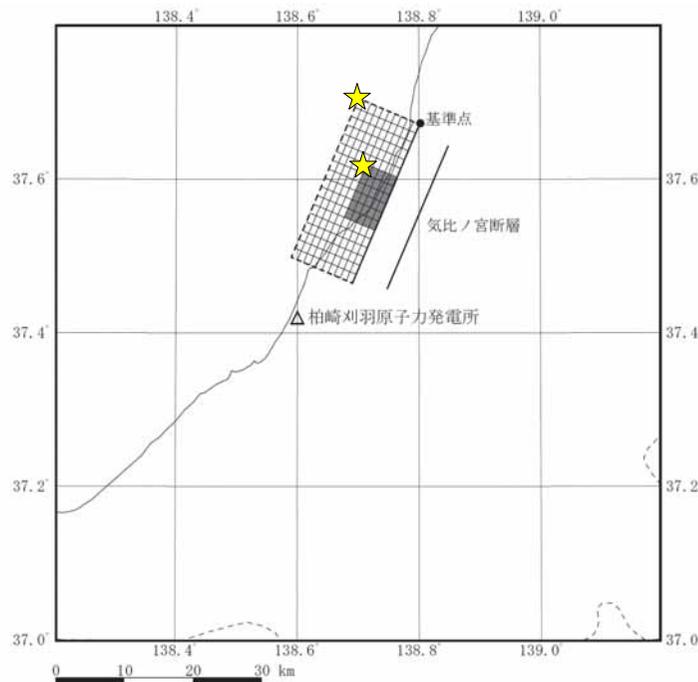


鉛直方向

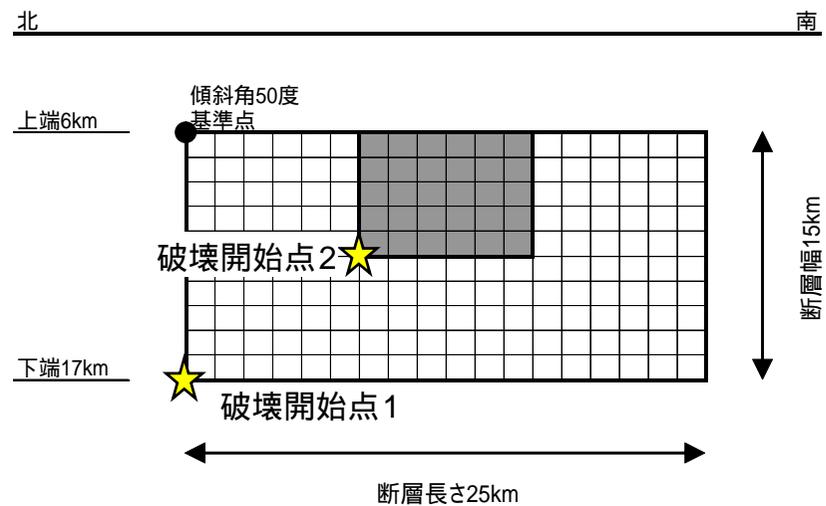
(2) 気比ノ宮断層 破壊開始点の不確かさ

破壊開始点の不確かさに関する検討ケース

平面図



断面図

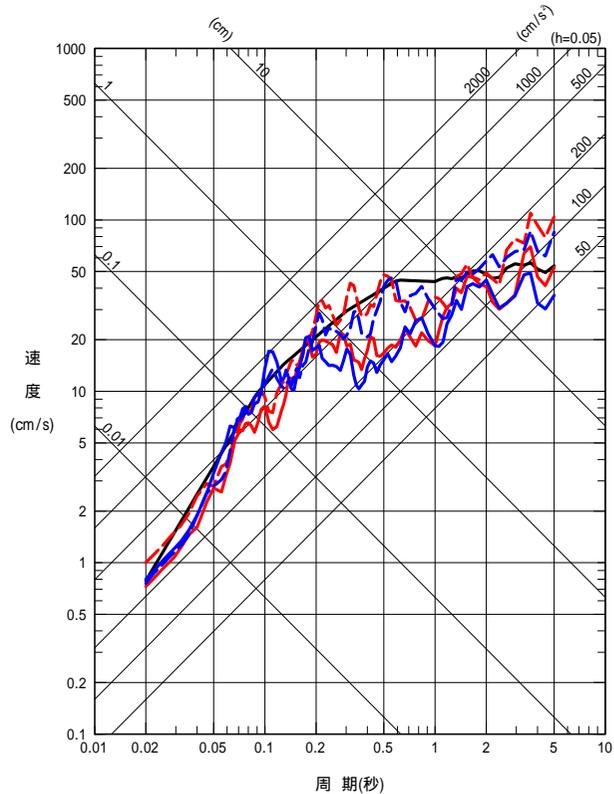


破壊開始点は、敷地への影響が大きいと考えられる2箇所を設定

(2) 気比ノ宮断層 破壊開始点の不確かさ

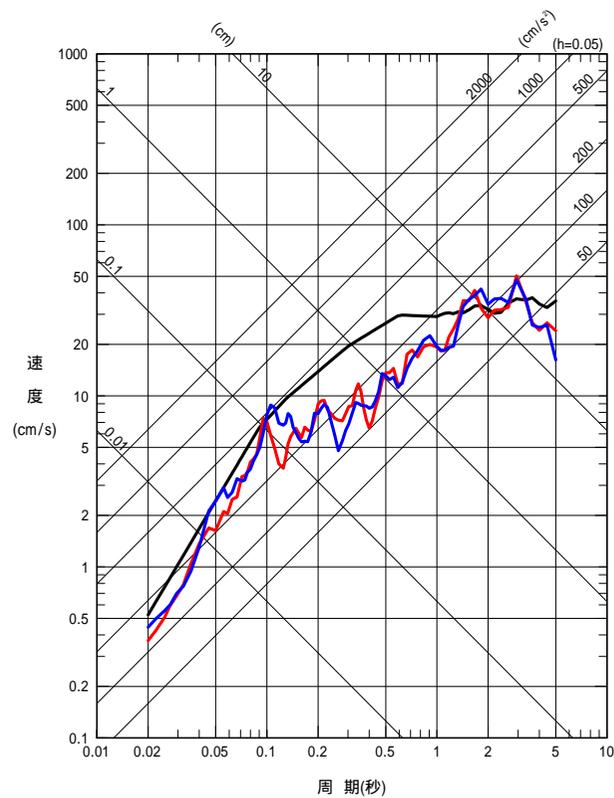
荒浜側 (1 ~ 4 号機)

- 応答スペクトル
- 断層モデルNS(破壊開始点 1)
- - 断層モデルEW(破壊開始点 1)
- 断層モデルNS(破壊開始点 2)
- - 断層モデルEW(破壊開始点 2)



水平方向

- 応答スペクトル
- 断層モデルUD(破壊開始点 1)
- 断層モデルUD(破壊開始点 2)



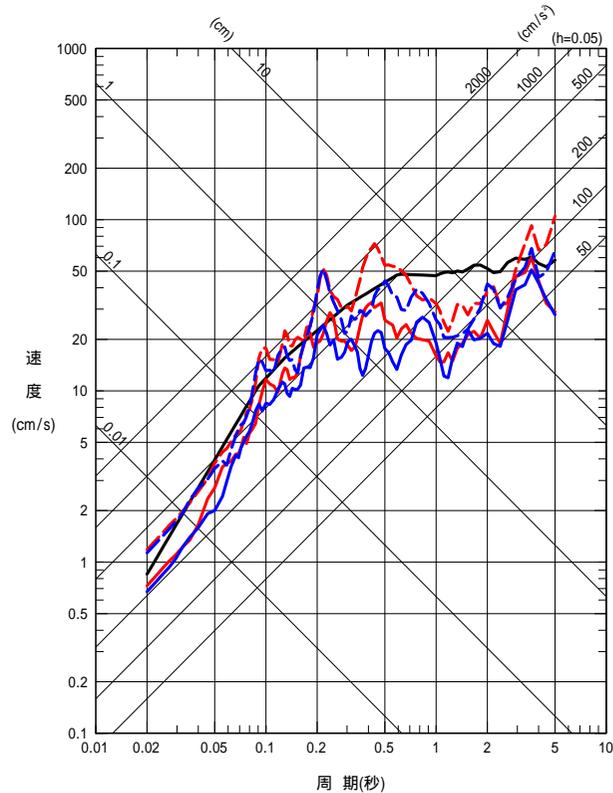
鉛直方向

(2) 気比ノ宮断層

破壊開始点の不確かさ

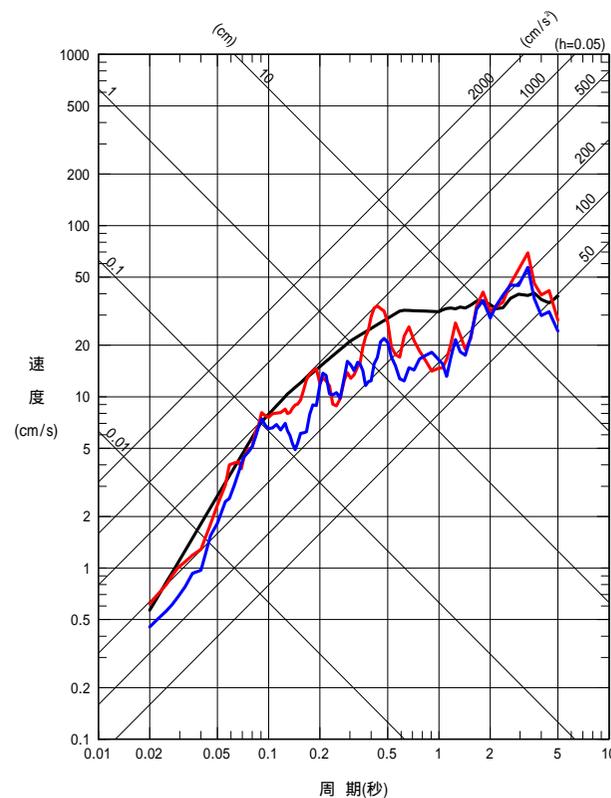
大湊側 (5 ~ 7号機)

- 応答スペクトル
- 断層モデルNS(破壊開始点1)
- - 断層モデルEW(破壊開始点1)
- 断層モデルNS(破壊開始点2)
- - 断層モデルEW(破壊開始点2)



水平方向

- 応答スペクトル
- 断層モデルUD(破壊開始点1)
- 断層モデルUD(破壊開始点2)

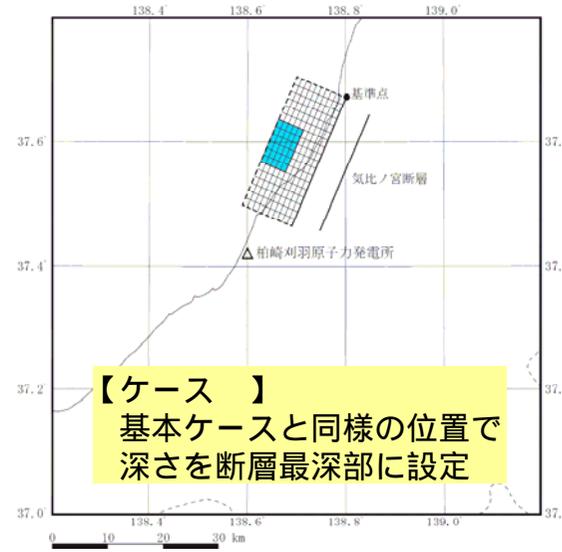
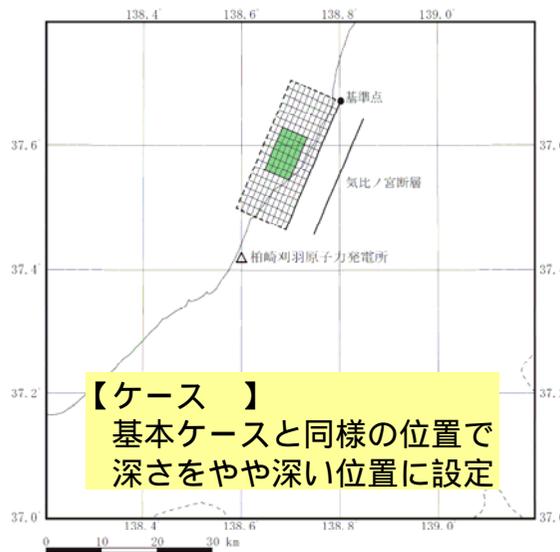
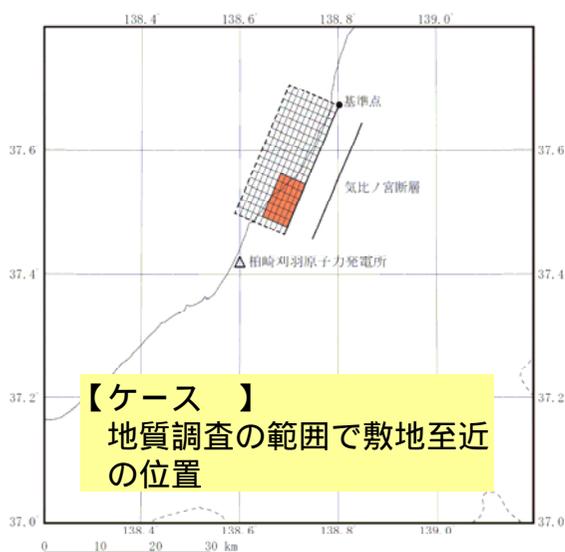


鉛直方向

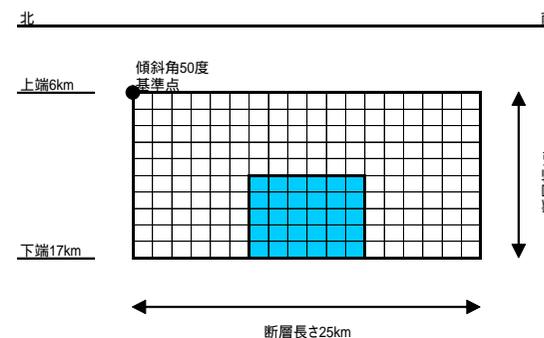
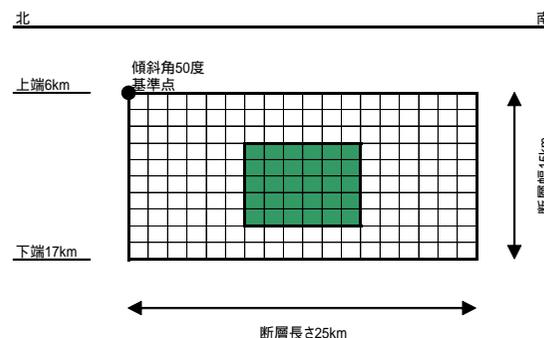
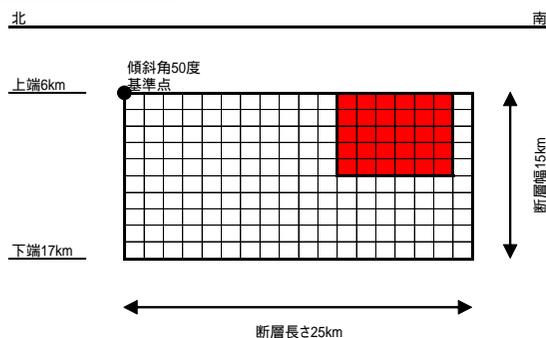
(2) 気比ノ宮断層 アスペリティ位置の不確かさ

アスペリティ位置の不確かさに関する検討ケース

平面図



断面図

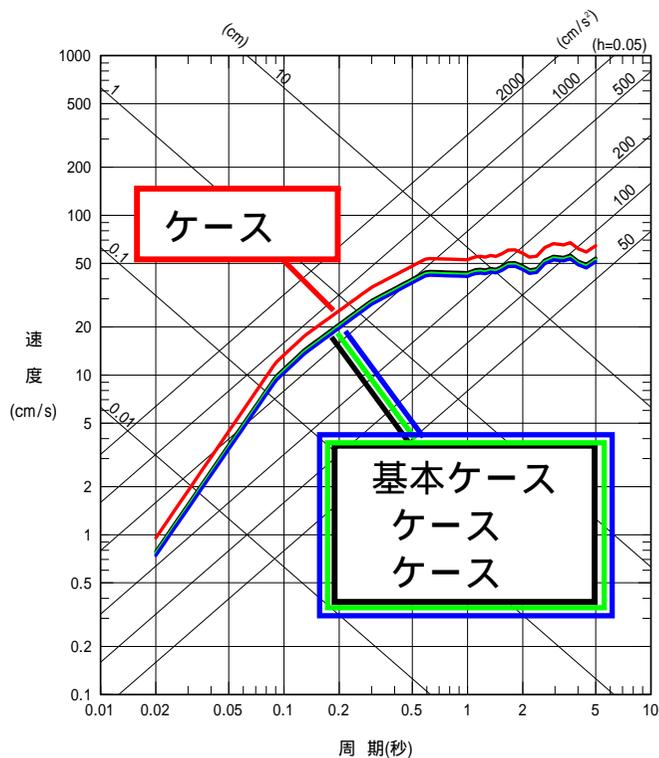


(2) 気比ノ宮断層 アスぺリティ位置の不確かさ

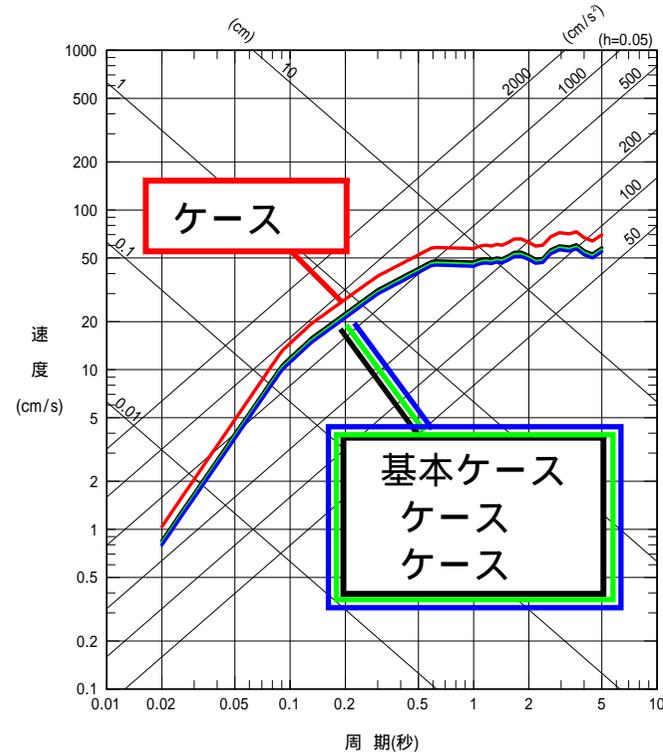
応答スペクトルに基づく地震動評価結果の比較

- 基本ケース (M7.1 , Xeq=21km)
- ケース (M7.1 , Xeq=18km)
- ケース (M7.1 , Xeq=22km)
- ケース (M7.1 , Xeq=22km)

- 基本ケース (M7.1 , Xeq=20km)
- ケース (M7.1 , Xeq=16km)
- ケース (M7.1 , Xeq=20km)
- ケース (M7.1 , Xeq=21km)



荒浜側 (1 ~ 4号機)



大湊側 (5 ~ 7号機)

(3)陸域の検討用地震：片貝断層

不確かさの考慮にあたっては，断層長さ（地震規模）の不確かさによる影響が最も大きいと考え，検討ケースを設定。

ただし，中越沖地震の知見を反映し，アスペリティの応力降下量及び背景領域の実効応力に関する不確かさについても考慮。

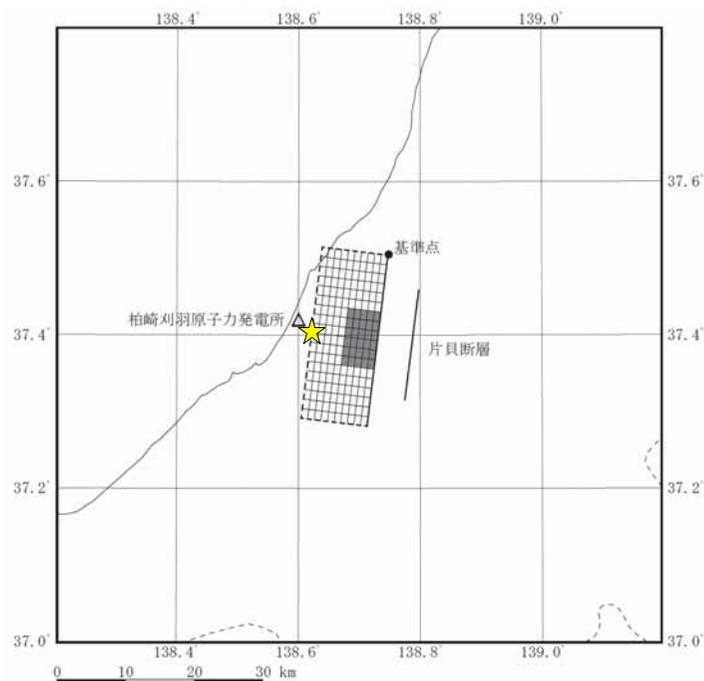
震源要素 (断層パラメータ)	基本ケース	不確かさの考慮
断層長さ (地震規模)	16km (M6.8)	長岡平野西縁断層帯：91km (M8.1)
破壊開始点	破壊が敷地に向かうように巨視的断層面の端部に設定	アスペリティの端部 など
アスペリティ位置	地震調査研究推進本部（2008）による強震動予測レシピにしたがい設定	断層面上における敷地至近の位置 など
断層傾斜角	地質調査結果及び地震調査研究推進本部（2004）による評価結果を参考に設定	左記により十分な情報が得られているため考慮せず
アスペリティの 応力降下量	地震調査研究推進本部（2008）による強震動予測レシピにしたがい設定	中越沖地震から得られた知見を反映し左記の1.5倍の値を設定

：基準地震動Ssの策定において支配的な検討ケース

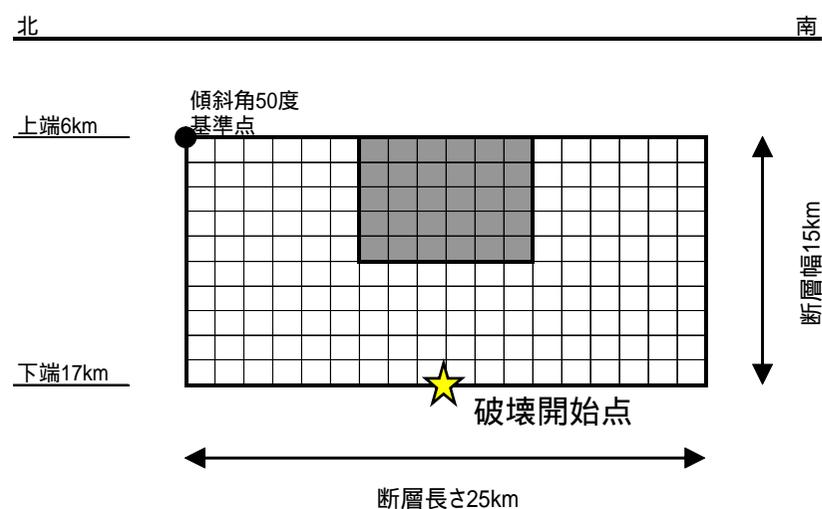
(3) 片貝断層 断層モデル

地質調査結果及び地震調査研究推進本部（2008）による強震動予測レシピに基づき，断層モデルを設定。

平面図



断面図



(主な諸元)
断層長さ：25km
断層幅：15km
傾斜角：50° (西傾斜)
アスペリティ：1個

破壊開始点は，破壊が敷地へ向かうように設定

(3)片貝断層 断層パラメータの設定

断層パラメータの設定方針

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を参考とするが，安全評価上，地震発生層を飽和するように地震モーメント $M_0 = 7.5 \times 10^{18} \text{N}\cdot\text{m}$ の震源断層を考慮し，断層長さを地質調査結果による16kmから25kmに延長。

断層の傾斜角は，地質調査結果及び地震調査研究推進本部（2004）による長岡平野西縁断層帯の評価結果を参考に設定し，断層幅は，F - B断層と同様に地震発生層を飽和するように設定。

微視的断層パラメータは，原則として地震調査研究推進本部（2008）による強震動予測レシピに基づき設定。

ただし，アスペリティの応力降下量及び背景領域の実効応力については，中越沖地震の知見を反映し，強震動予測レシピにより求まる値の1.5倍の値を採用。

(3)片貝断層 断層パラメータの設定

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 (°)	138.75
		北緯 (°)	37.50
	断層上端深さ (km)		6
	断層長さ (km)		25.0
	断層幅 (km)		15.0
	断層面積 (km ²)		375
	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)		7.8×10^{18}

項目		設定値	
アスペリティ	基準点	東経 (°)	138.74
		北緯 (°)	37.43
	面積 (km ²)		59
	地震モーメント (N・m)		2.5×10^{18}
	平均すべり量 (cm)		134
	応力降下量 (MPa)		25
背景領域	面積 (km ²)		316
	地震モーメント (N・m)		5.4×10^{18}
	平均すべり量 (cm)		54
	実効応力 (MPa)		5.2

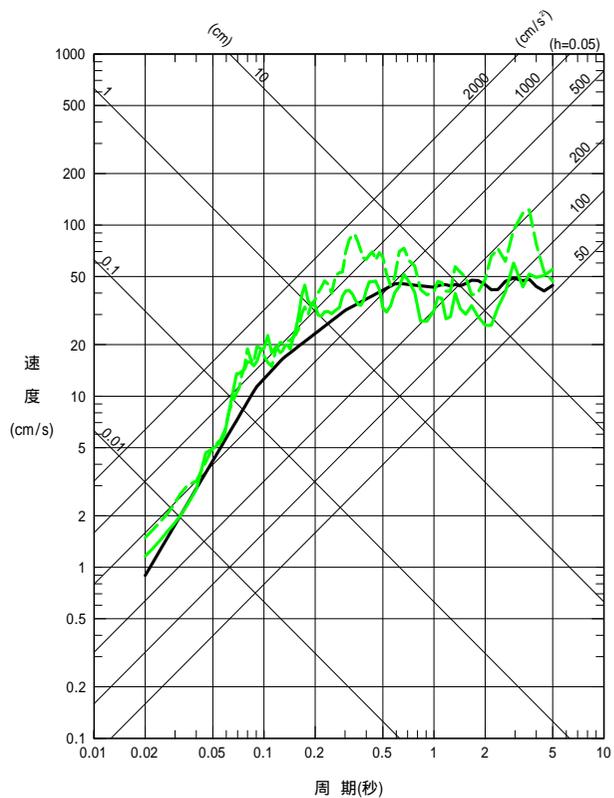
- : 地質調査結果等に基づく
- : 地震調査研究推進本部 (2008) による強震動予測レシピに基づく
- : 中越沖地震の知見を反映し, 強震動予測レシピにより求まる値の1.5倍の値を採用

(3)片貝断層 地震動評価結果（基本ケース）

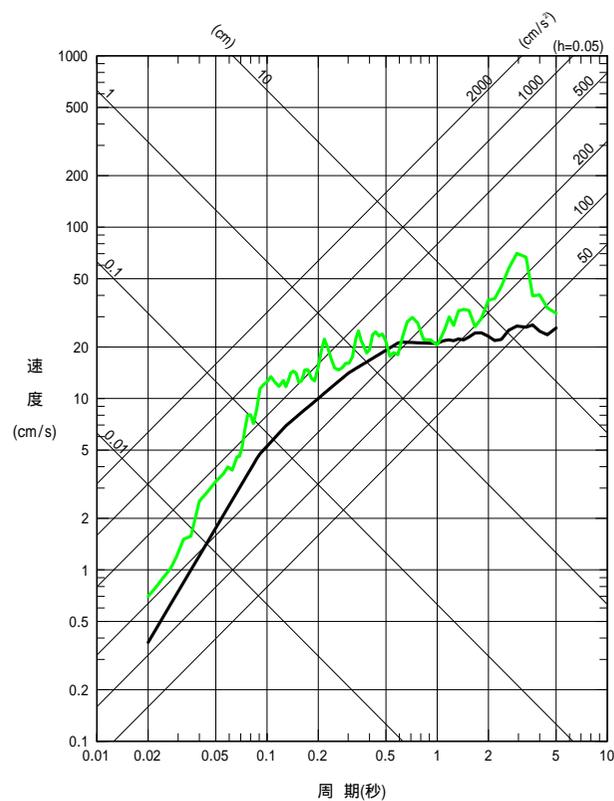
荒浜側（1～4号機）

- 応答スペクトル
- 断層モデル（NS方向）
- - 断層モデル（EW方向）

- 応答スペクトル
- 断層モデル



水平方向

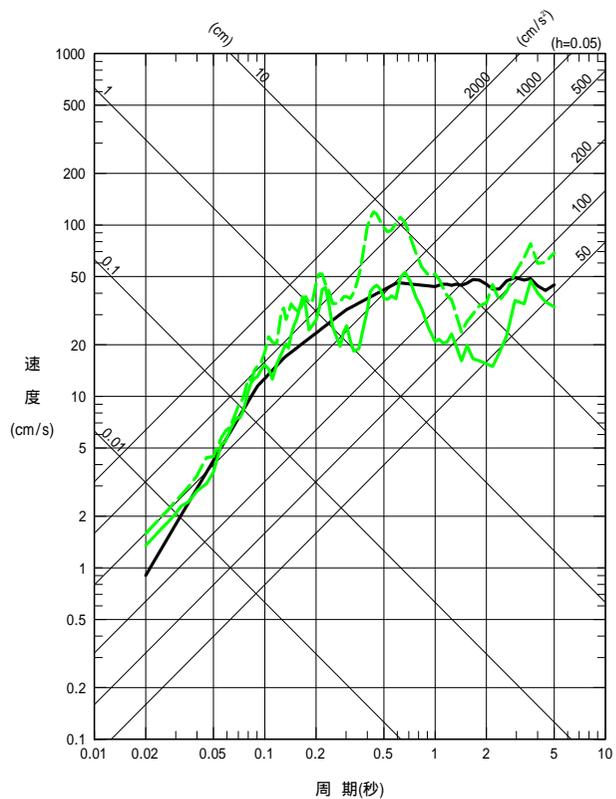


鉛直方向

(3)片貝断層 地震動評価結果 (基本ケース)

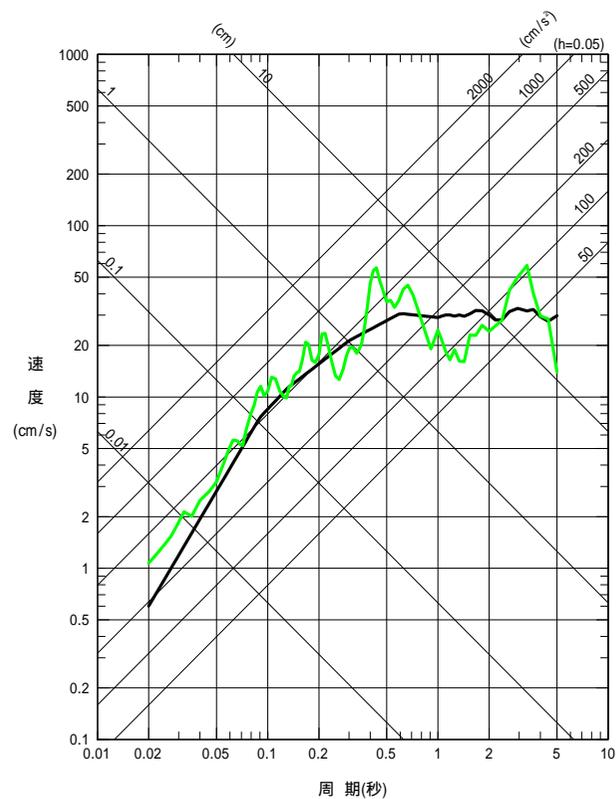
大湊側 (5 ~ 7号機)

- 応答スペクトル
- 断層モデル (NS方向)
- - 断層モデル (EW方向)



水平方向

- 応答スペクトル
- 断層モデル

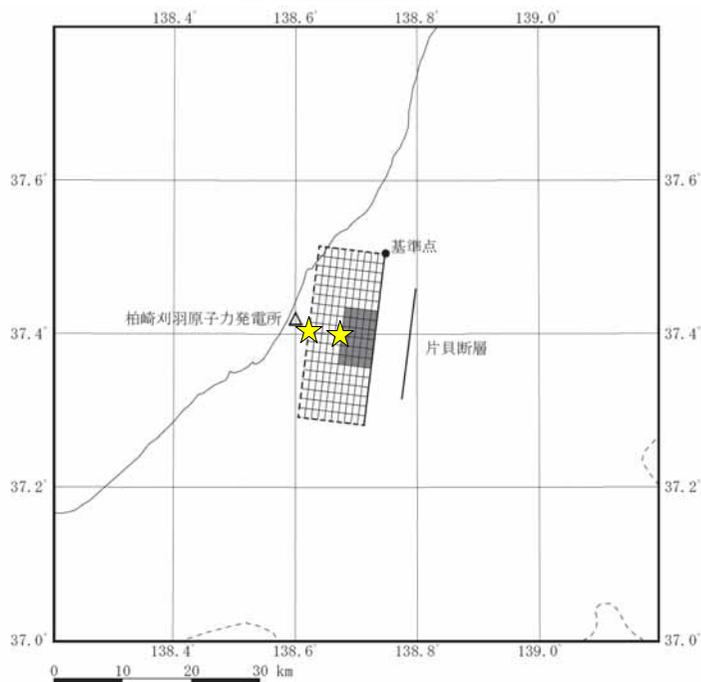


鉛直方向

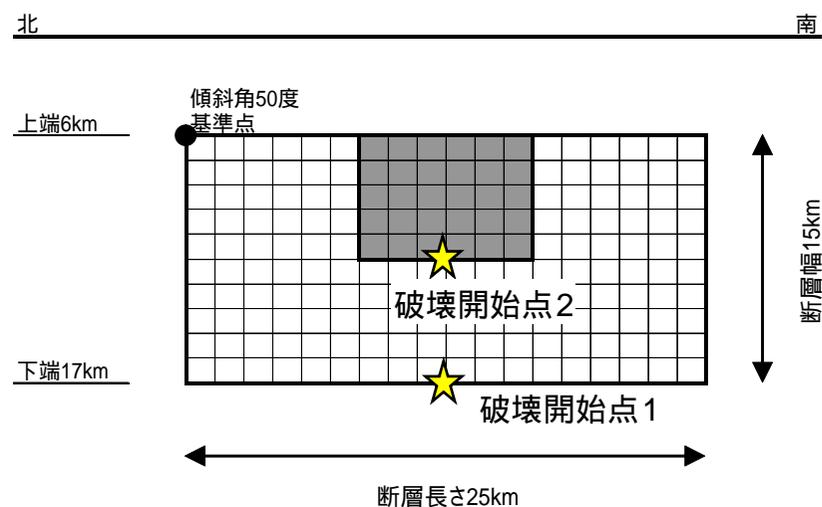
(3)片貝断層 破壊開始点の不確かさ

破壊開始点の不確かさに関する検討ケース

平面図



断面図



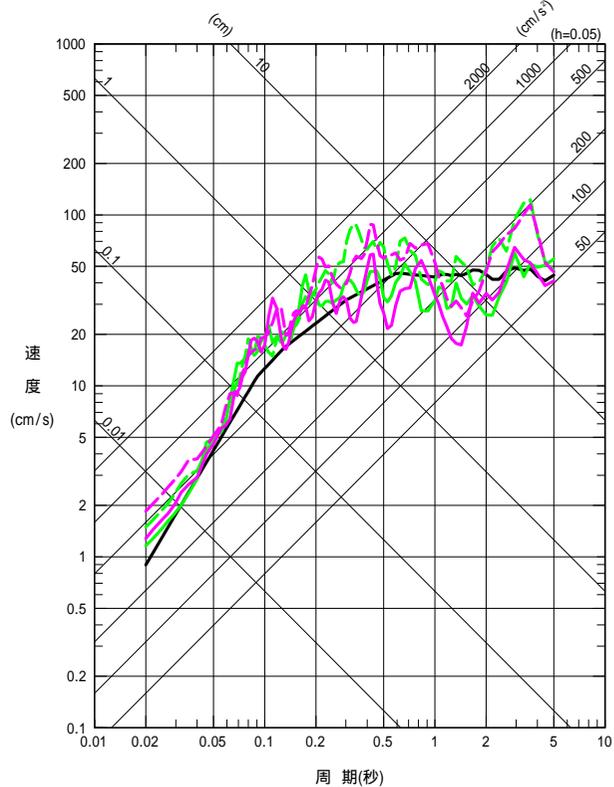
(主な諸元)
断層長さ：25km
断層幅：15km
傾斜角：50° (西傾斜)
アスペリティ：1個

破壊開始点は、敷地への影響が大きいと考えられる2箇所を設定

(3)片貝断層 破壊開始点の不確かさ

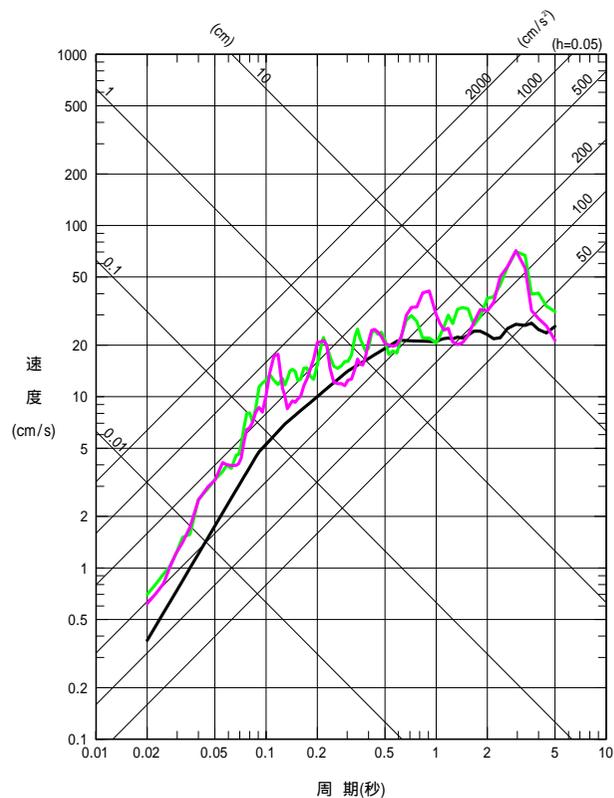
荒浜側 (1 ~ 4号機)

- 応答スペクトル
- 断層モデルNS(破壊開始点 1)
- - 断層モデルEW(破壊開始点 1)
- 断層モデルNS(破壊開始点 2)
- - 断層モデルEW(破壊開始点 2)



水平方向

- 応答スペクトル
- 断層モデルUD(破壊開始点 1)
- 断層モデルUD(破壊開始点 2)

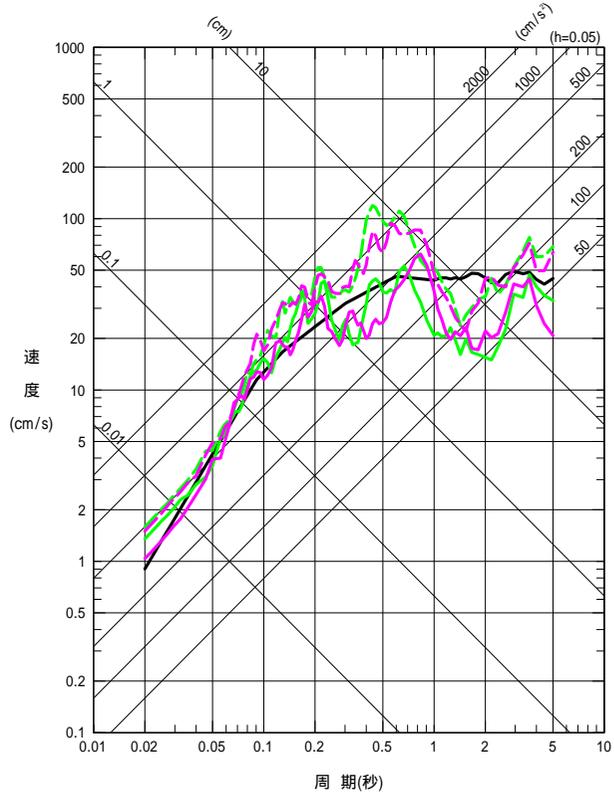


鉛直方向

(3)片貝断層 破壊開始点の不確かさ

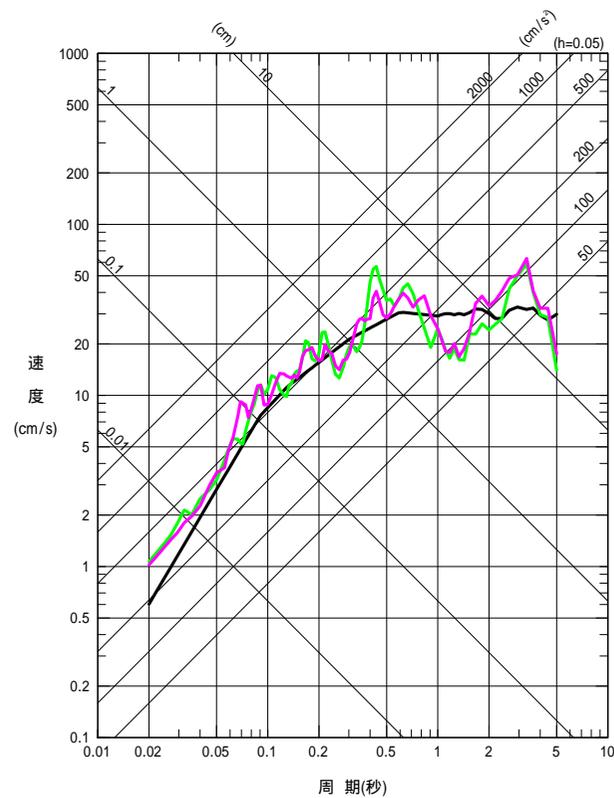
大湊側 (5 ~ 7号機)

- 応答スペクトル
- 断層モデルNS(破壊開始点 1)
- - 断層モデルEW(破壊開始点 1)
- 断層モデルNS(破壊開始点 2)
- - 断層モデルEW(破壊開始点 2)



水平方向

- 応答スペクトル
- 断層モデルUD(破壊開始点 1)
- 断層モデルUD(破壊開始点 2)

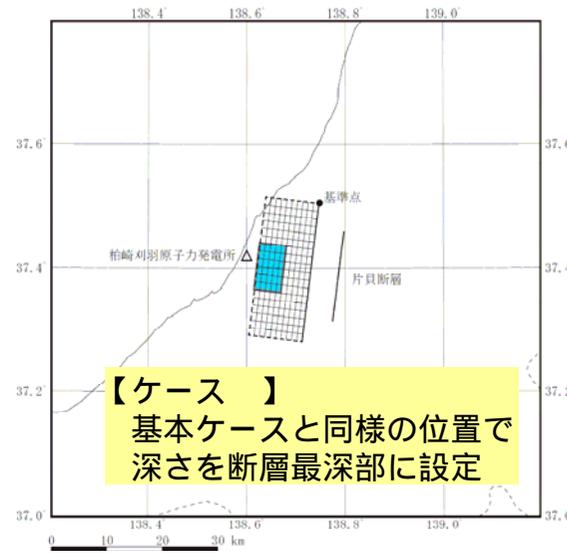
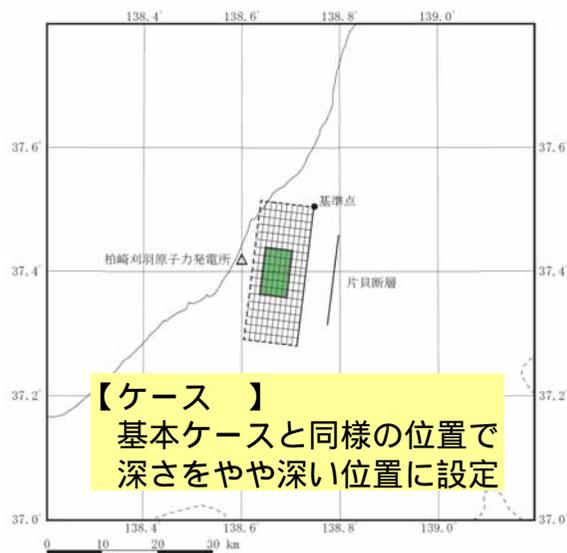
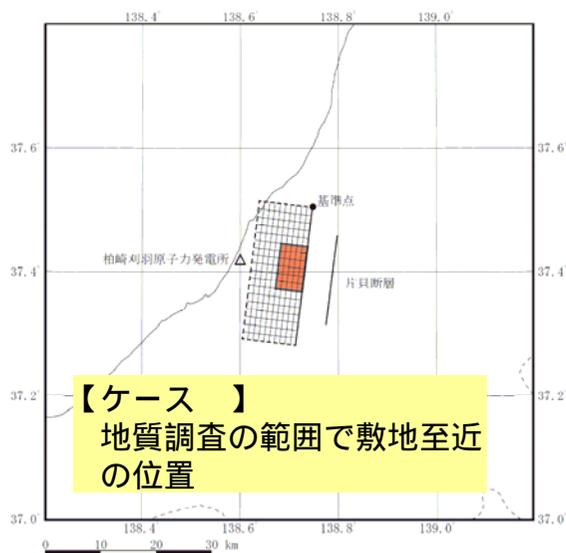


鉛直方向

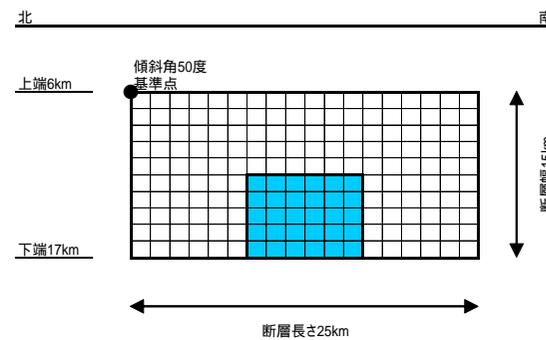
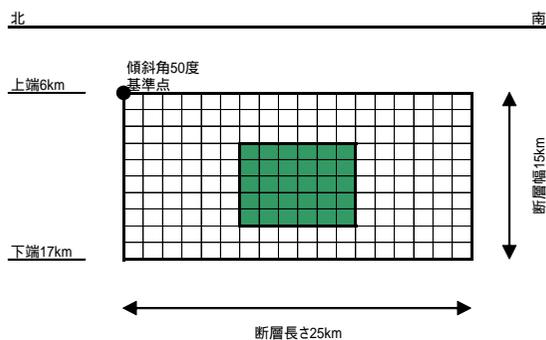
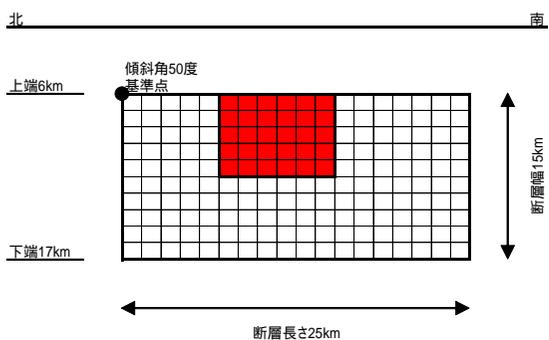
(3)片貝断層 アスペリティ位置の不確かさ

アスペリティ位置の不確かさに関する検討ケース

平面図



断面図

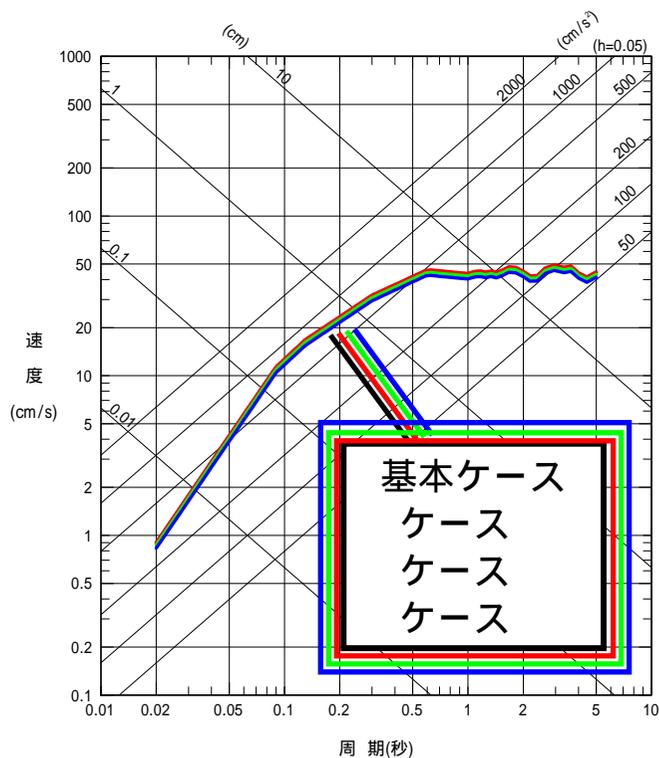


(3)片貝断層 アスペリティ位置の不確かさ

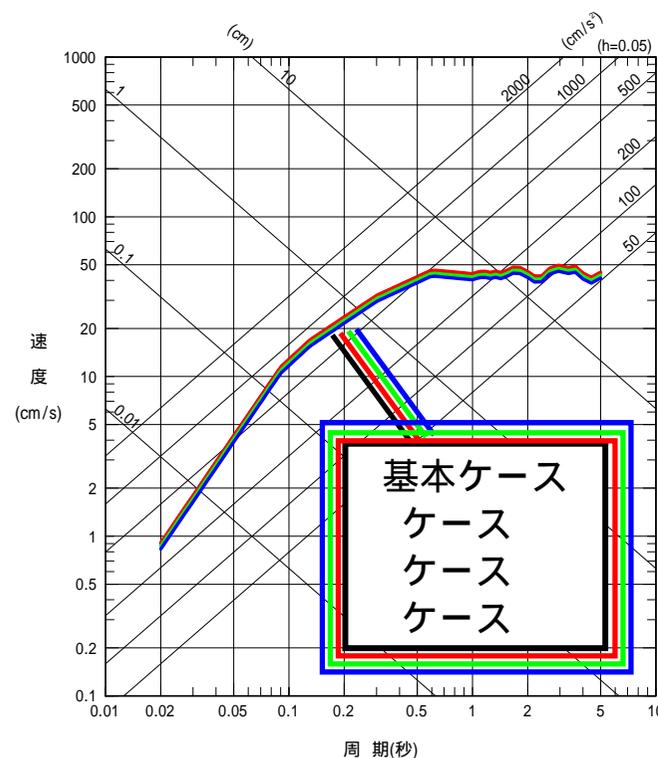
応答スペクトルに基づく地震動評価結果の比較

- 基本ケース (M7.1 , Xeq=14km)
- ケース (M7.1 , Xeq=14km)
- ケース (M7.1 , Xeq=15km)
- ケース (M7.1 , Xeq=15km)

- 基本ケース (M7.1 , Xeq=14km)
- ケース (M7.1 , Xeq=14km)
- ケース (M7.1 , Xeq=15km)
- ケース (M7.1 , Xeq=15km)



荒浜側 (1 ~ 4号機)

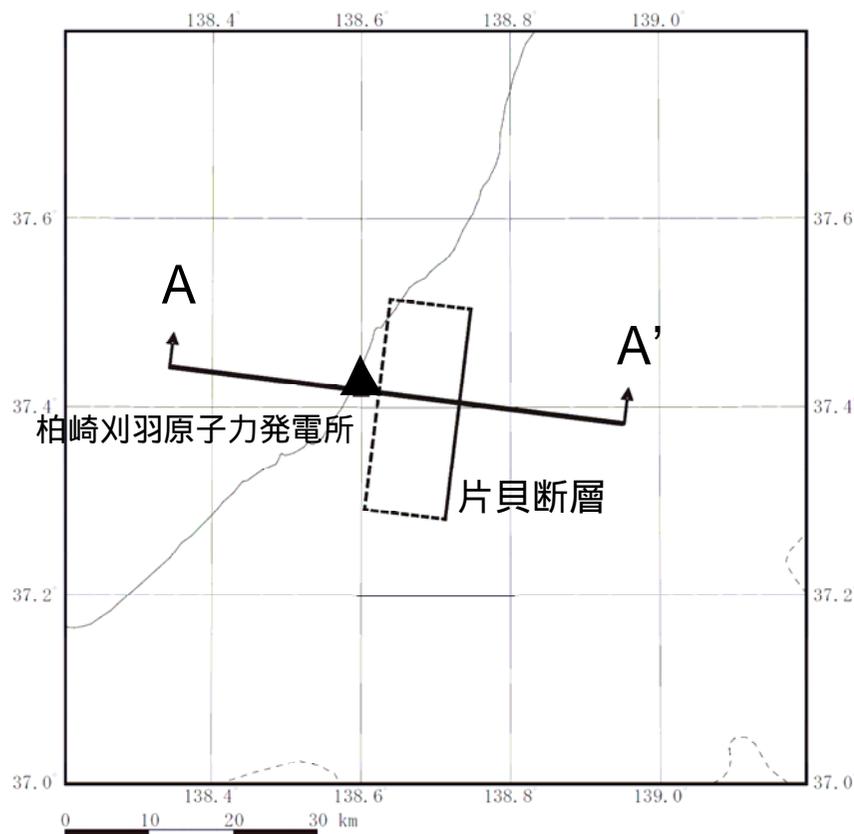


大湊側 (5 ~ 7号機)

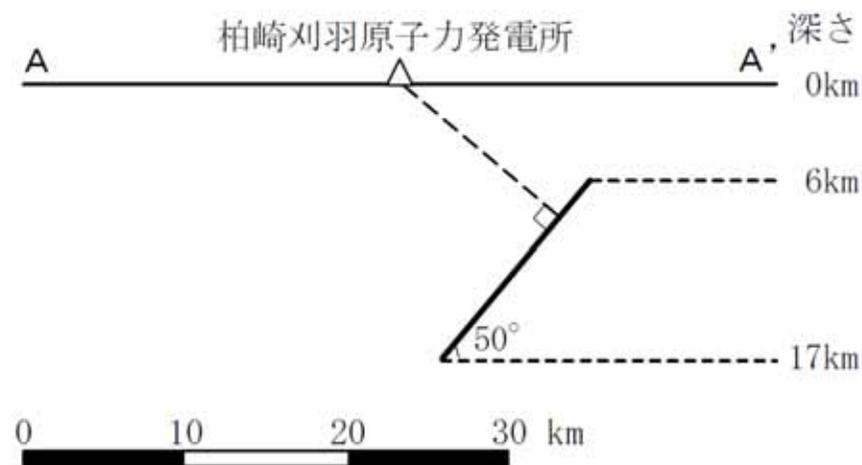
(3)片貝断層 アスペリティ位置の不確かさ

アスペリティ位置を深くしても敷地への影響が大きくなる理由

平面図



断面図



敷地から断層面までの距離が最短となる位置が、断層面の浅部



基本ケースで考慮している断層中央上端にアスペリティを設定した方が敷地への影響大

(4)陸域の検討用地震：長岡平野西縁断層帯

陸域の検討用地震（基本ケース）である気比ノ宮断層・片貝断層に対し、断層長さ（地震規模）の不確かさを考慮したケースとして長岡平野西縁断層帯（断層長さ91km，M8.1）の評価を実施。

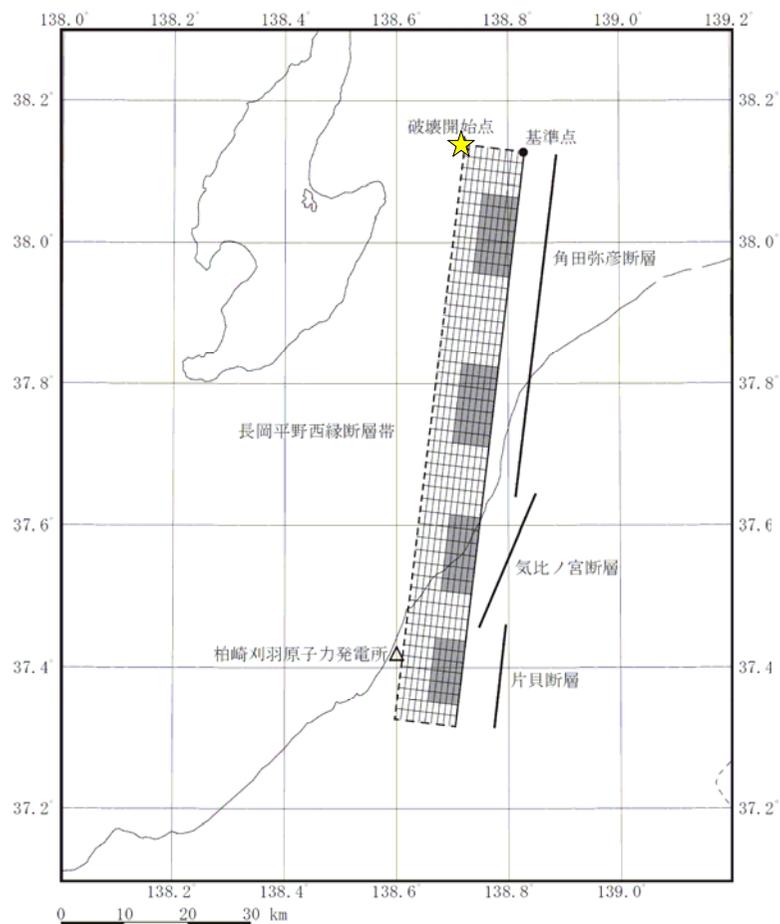
震源要素 (断層パラメータ)	基本ケース	不確かさの考慮
断層長さ (地震規模)	気比ノ宮断層：22km (M7.1) 片貝断層：16km (M6.8)	長岡平野西縁断層帯：91km (M8.1)
破壊開始点	破壊が敷地に向かうように巨視的断層面の端部に設定	アスペリティの端部 など
アスペリティ位置	地震調査研究推進本部（2008）による強震動予測レシピにしたがい設定	断層面上における敷地至近の位置 など
断層傾斜角	地質調査結果及び地震調査研究推進本部（2004）による評価結果を参考に設定	左記により十分な情報が得られているため考慮せず
アスペリティの 応力降下量	地震調査研究推進本部（2008）による強震動予測レシピにしたがい設定	中越沖地震から得られた知見を反映し左記の1.5倍の値を設定

：基準地震動Ssの策定において支配的な検討ケース（本検討）

(4)長岡平野西縁断層帯 断層モデル

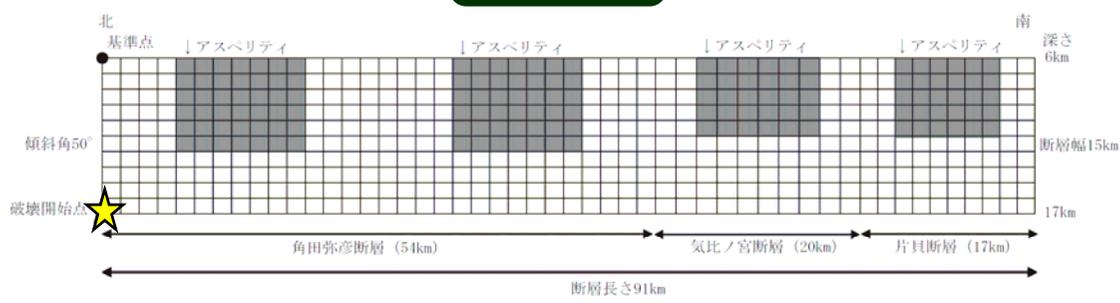
地質調査結果及び地震調査研究推進本部（2008）による強震動予測レシピに基づき，断層モデルを設定。

平面図



(主な諸元)
 断層長さ：91km
 断層幅：15km
 傾斜角：50°（西傾斜）
 アスペリティ：4個

断面図



破壊開始点は，破壊が敷地へ向かうように設定

断層パラメータの設定方針

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。

断層の傾斜角は，地質調査結果及び地震調査研究推進本部（2004）による長岡平野西縁断層帯の評価結果を参考に設定し，断層幅は，F - B断層と同様に地震発生層を飽和するように設定。

微視的断層パラメータは，原則として地震調査研究推進本部（2008）による強震動予測レシピに基づき設定するが，長大な断層であるため，断層全体の応力降下量は，無限長の地表垂直縦ずれ断層の式を用いて算定。

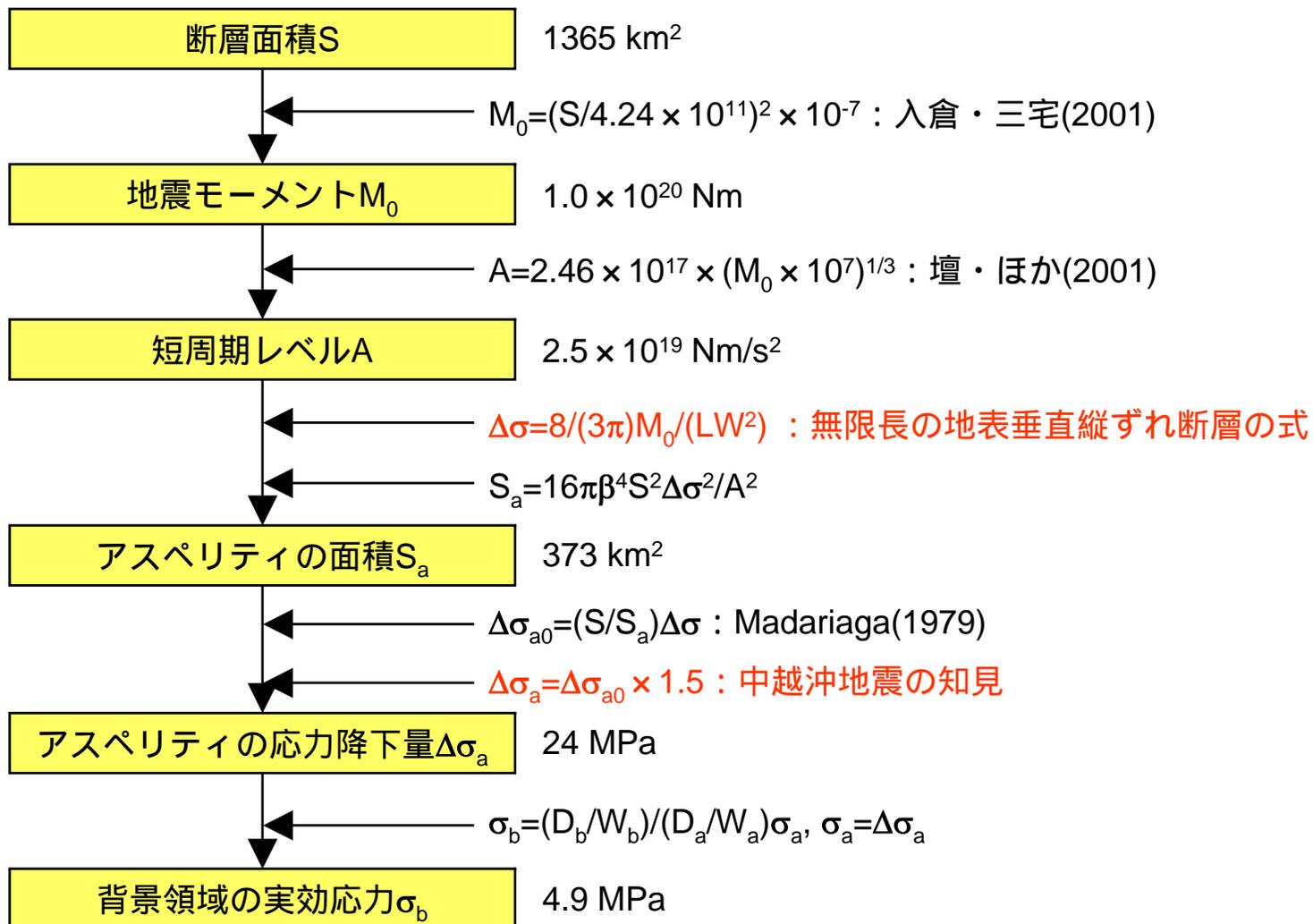
また，アスペリティの応力降下量及び背景領域の実効応力については，中越沖地震の知見を反映し，強震動予測レシピにより求まる値の1.5倍の値を採用。

(4) 長岡平野西縁断層帯

断層パラメータの設定

断層パラメータの設定手順

赤字以外は，地震調査研究推進本部(2008)による強震動予測レシピに基づく



(4) 長岡平野西縁断層帯

断層パラメータの設定

設定した断層パラメータ

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}

: 地質調査結果等に基づく

: 地震調査研究推進本部(2008)による強震動予測レシピに基づく

(4) 長岡平野西縁断層帯 断層パラメータの設定

設定した断層パラメータ（つづき）

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
アスペリティ	基準点	東経(°)	-	138.82	138.78	138.75	138.72
		北緯(°)	-	38.06	37.82	37.61	37.44
	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)		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)		4.9	5.2	5.2	4.4	4.1

: 地震調査研究推進本部(2008)による強震動予測レシピに基づく

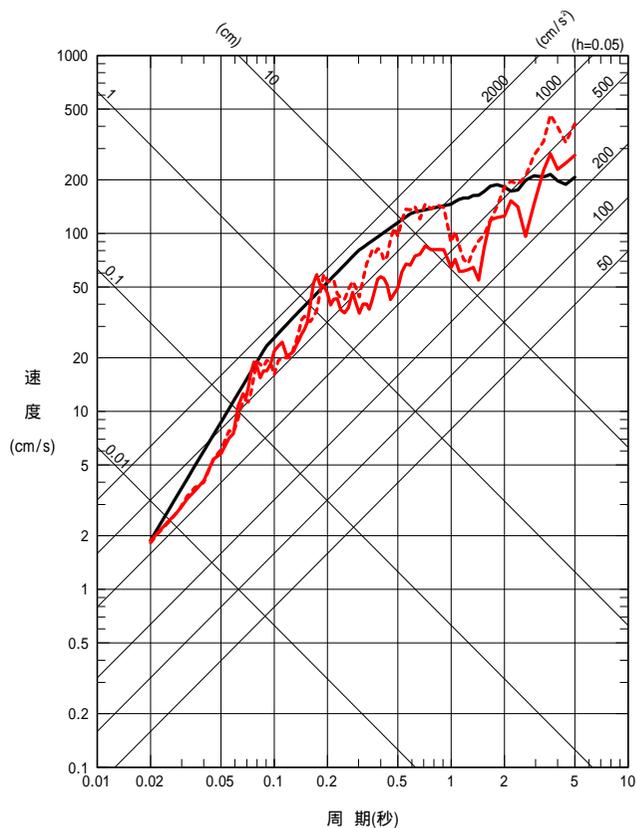
: 中越沖地震の知見を反映し, 強震動予測レシピにより求まる値の1.5倍の値を採用

(4) 長岡平野西縁断層帯

地震動評価結果

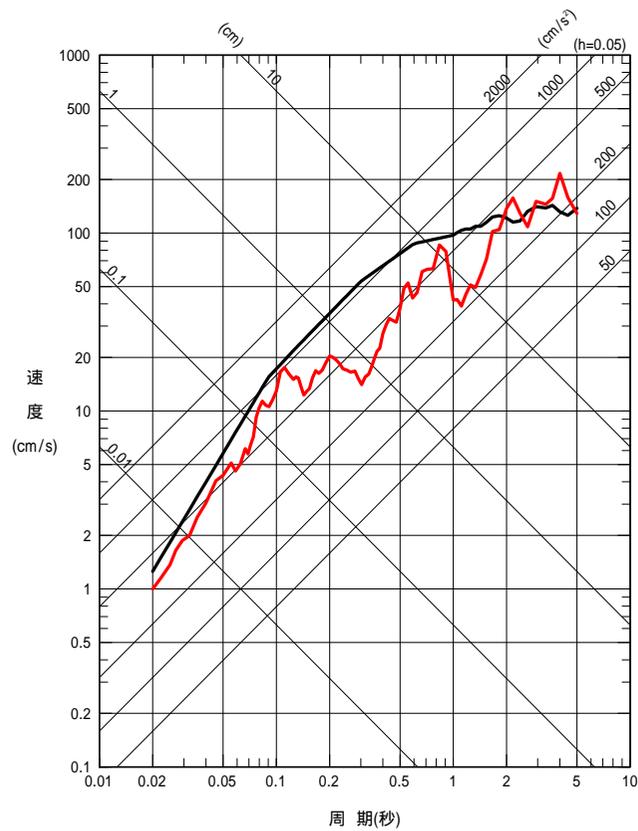
荒浜側 (1 ~ 4号機)

- 応答スペクトル
- 断層モデル (NS方向)
- - - 断層モデル (EW方向)



水平方向

- 応答スペクトル
- 断層モデル



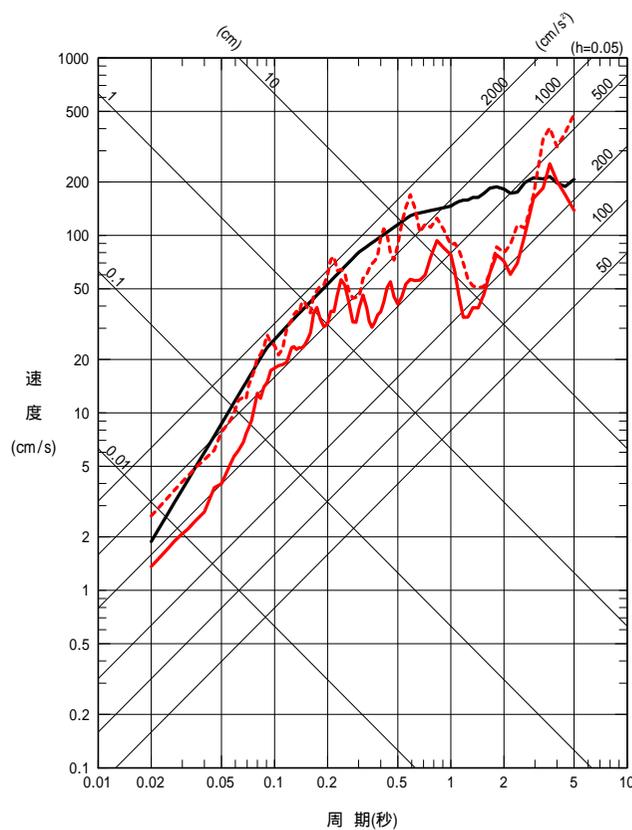
鉛直方向

(4) 長岡平野西縁断層帯

地震動評価結果

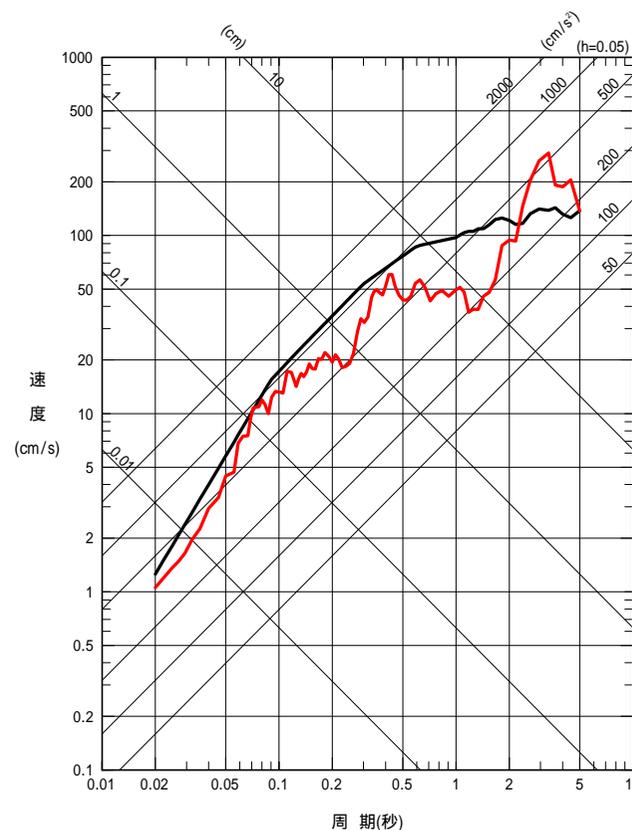
大湊側 (5 ~ 7号機)

- 応答スペクトル
- 断層モデル (NS方向)
- - - 断層モデル (EW方向)



水平方向

- 応答スペクトル
- 断層モデル



鉛直方向

6 . 基準地震動Ssの策定結果

検討用地震の応答スペクトル・断層モデルによる地震動評価結果を踏まえ、基準地震動Ssを4波策定。

基準地震動	検討用地震	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 〔Noda et al. (2002)〕
Ss - 2		断層モデル 〔経験的グリーン関数法〕
Ss - 3	長岡平野西縁断層帯 による地震 (M8.1)	応答スペクトル 〔Noda et al. (2002)〕
Ss - 4		断層モデル 〔経験的グリーン関数法〕

6 . 基準地震動Ssの策定結果

最大加速度値

(単位 : Gal)

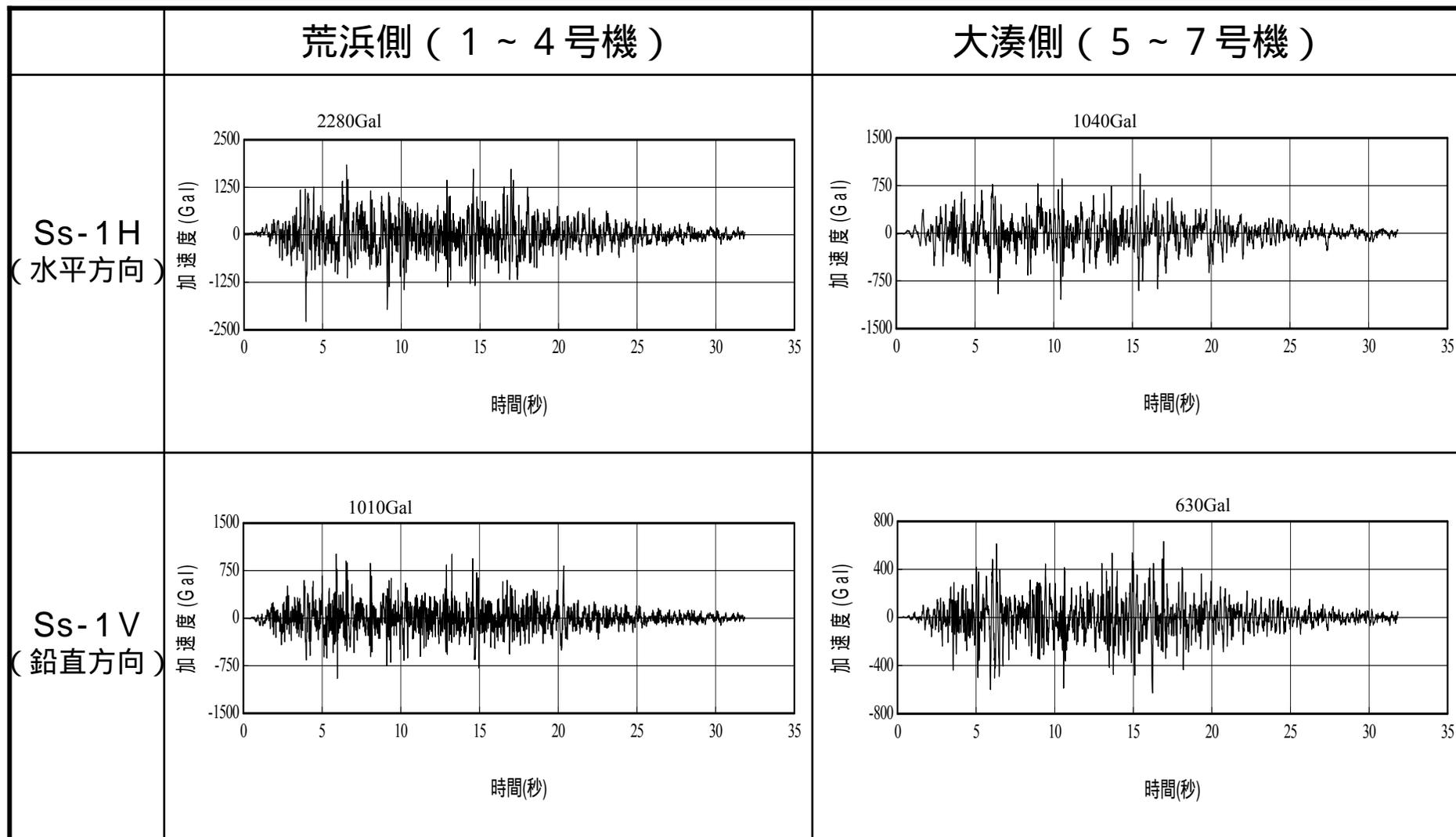
基準地震動	1号機	2号機	3号機	4号機	5号機	6号機	7号機
Ss - 1 (F-B断層・応答スペクトル)	水平 : 2280 鉛直 : 1010				水平 : 1040 鉛直 : 630		
Ss - 2 (F-B断層・断層モデル)	水平 : 1354 鉛直 : 402				水平 : 1156 鉛直 : 501		
Ss - 3 (長岡平野西縁断層帯・応答スペクトル)	水平 : 600 鉛直 : 400						
Ss - 4 (長岡平野西縁断層帯・断層モデル)	水平 : 589 鉛直 : 314				水平 : 826 鉛直 : 332		

(水平方向の値はN S , E W方向のうち大きな方の値を記載)

6 . 基準地震動Ssの策定結果

設計用模擬地震波

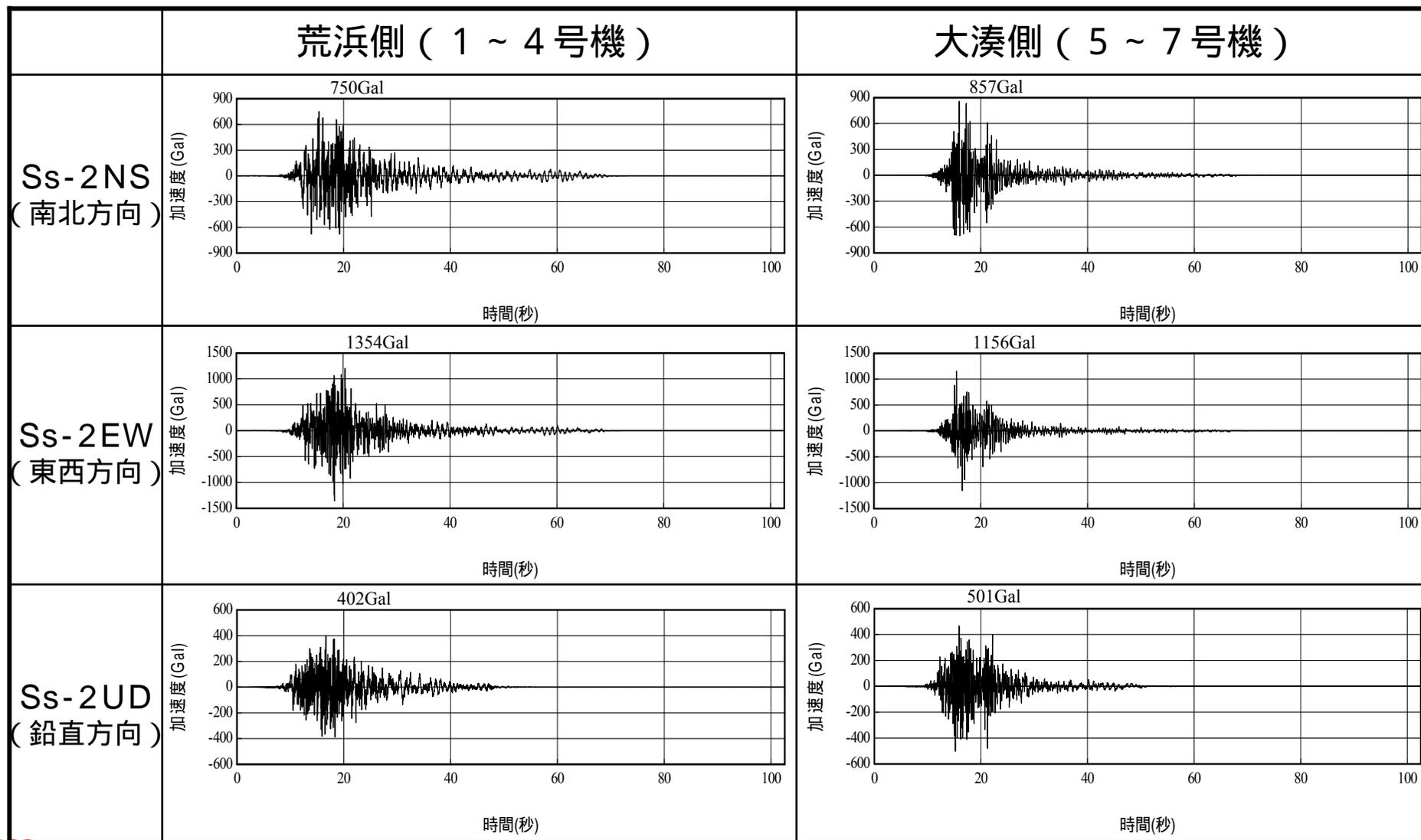
基準地震動Ss - 1 (F - B断層・応答スペクトル)の加速度時刻歴波形



6 . 基準地震動Ssの策定結果

設計用模擬地震波

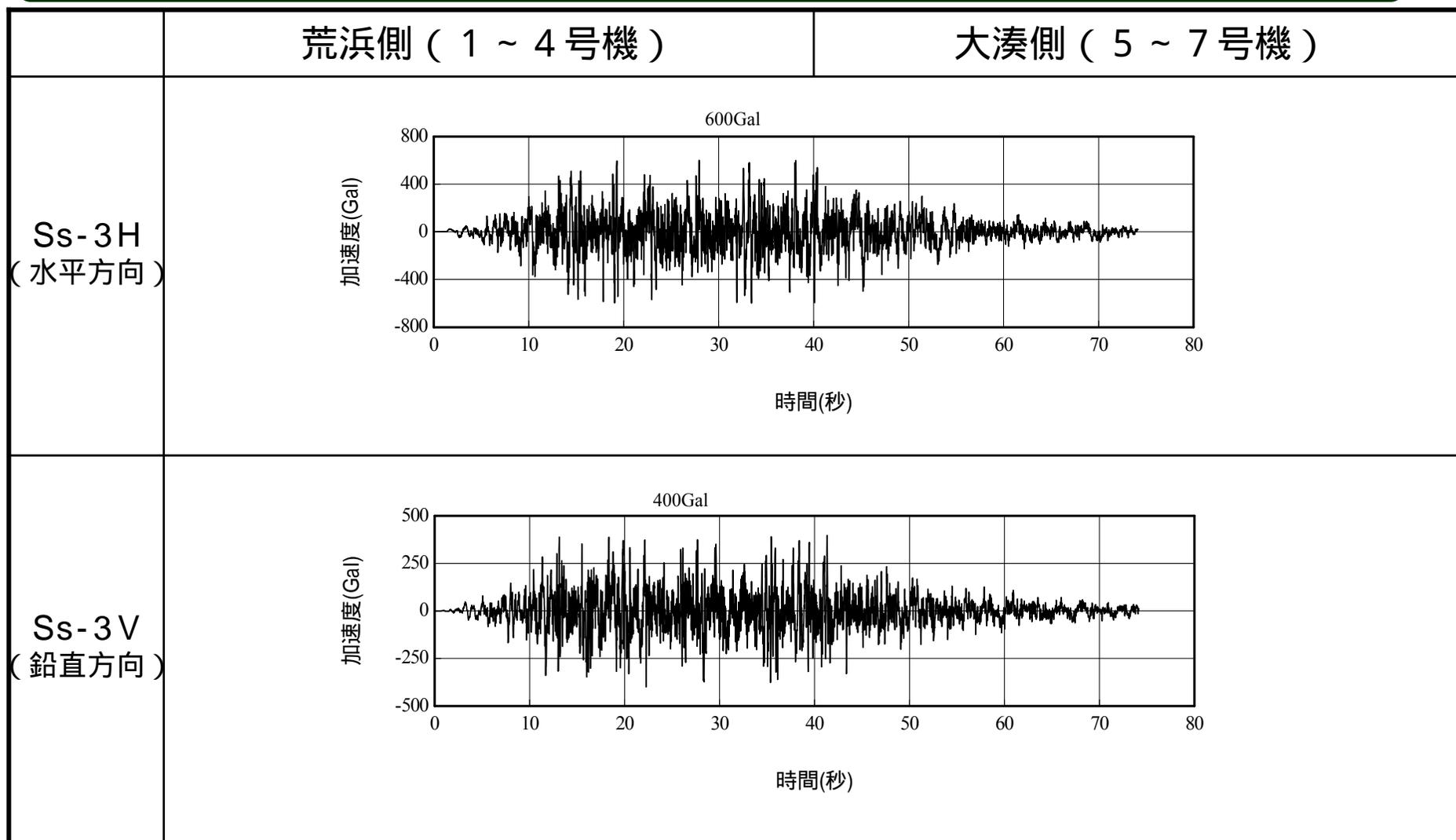
基準地震動Ss - 2 (F - B断層・断層モデル) の加速度時刻歴波形



6 . 基準地震動Ssの策定結果

設計用模擬地震波

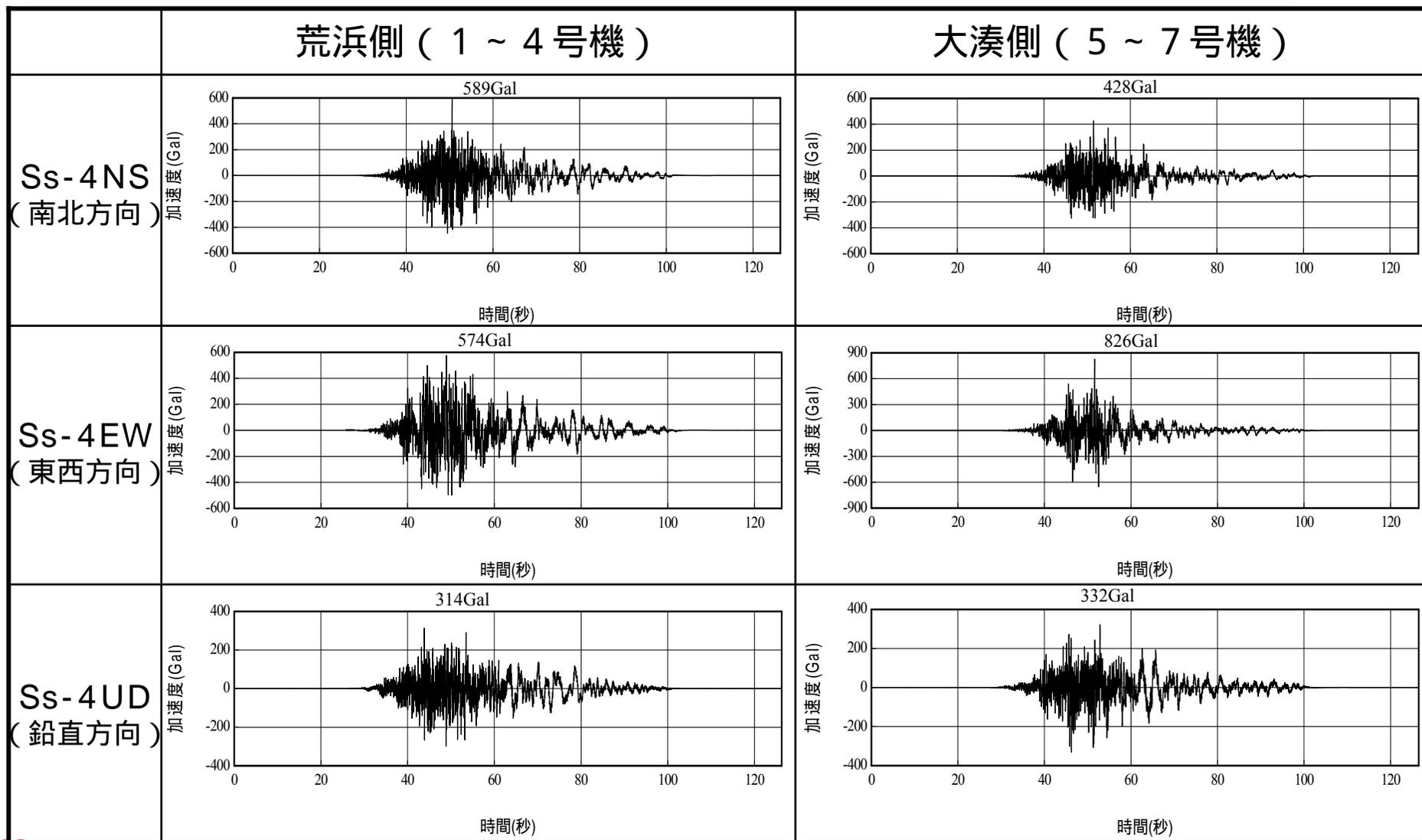
基準地震動Ss - 3 (長岡平野西縁断層帯・応答スペクトル)の加速度時刻歴波形



6 . 基準地震動Ssの策定結果

設計用模擬地震波

基準地震動Ss - 4 (長岡平野西縁断層帯・断層モデル) の加速度時刻歴波形

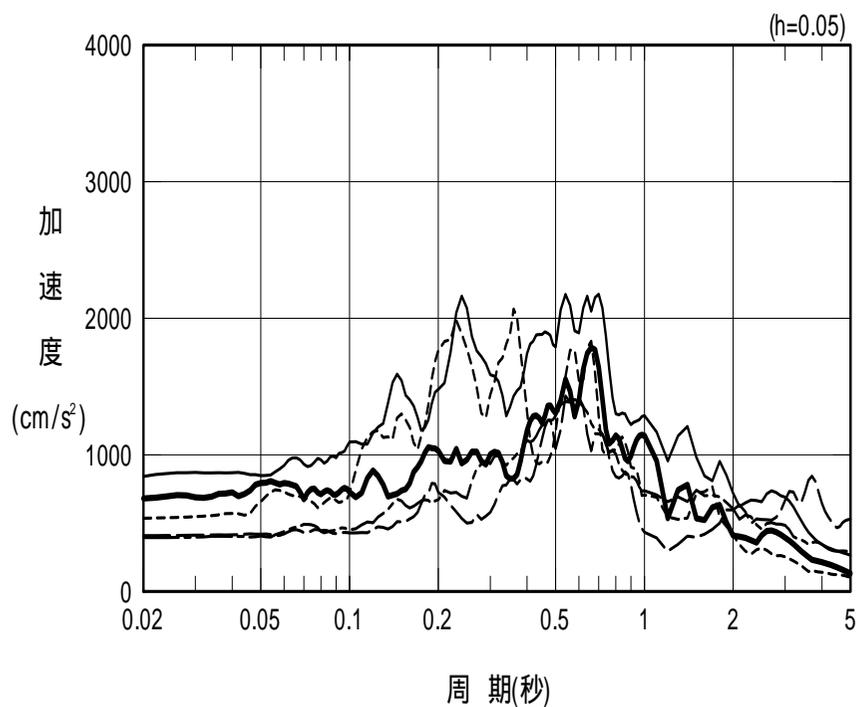


7 . 原子炉建屋基礎版における応答の比較

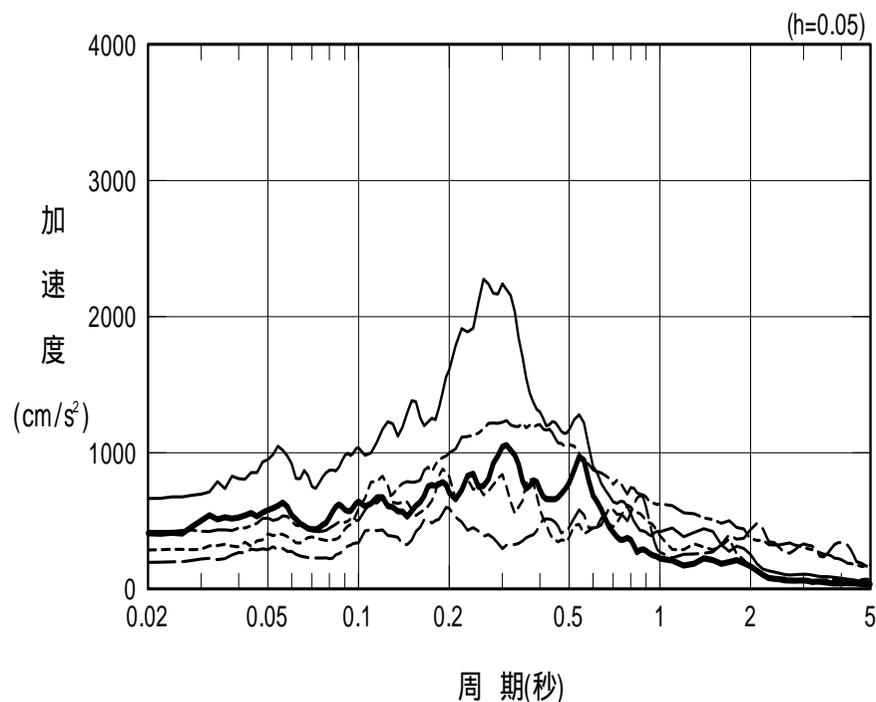
基準地震動Ssによる応答と中越沖地震観測記録の比較 (1号機)

- 中越沖地震観測記録
- Ss - 1 H
- - - Ss - 2 EW
- · - Ss - 3 H
- - - Ss - 4 EW

- 中越沖地震観測記録
- Ss - 1 V
- - - Ss - 2 UD
- · - Ss - 3 V
- - - Ss - 4 UD



(a) EW方向



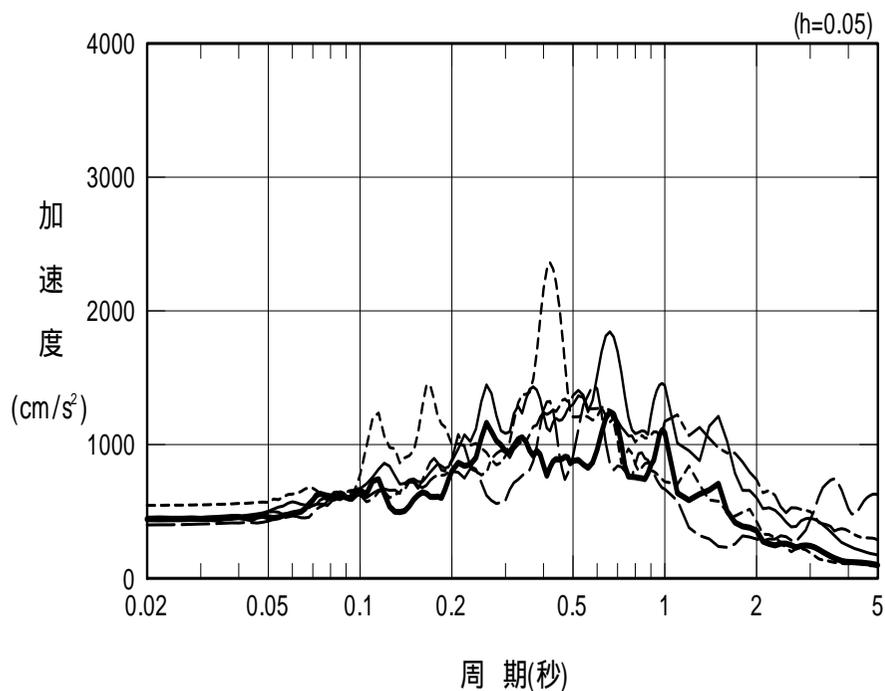
(b) UD方向

7 . 原子炉建屋基礎版における応答の比較

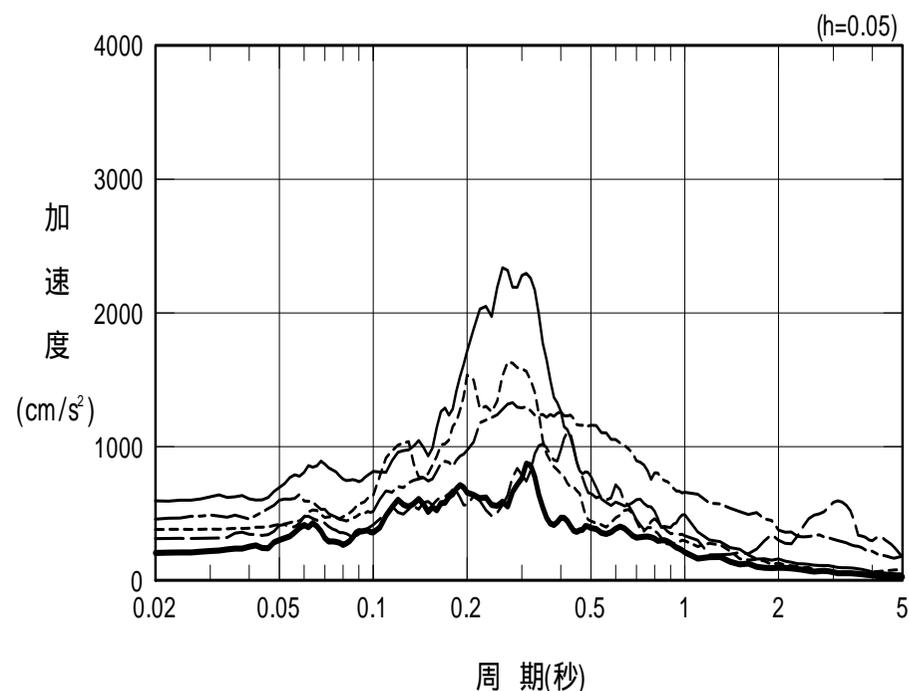
基準地震動Ssによる応答と中越沖地震観測記録の比較 (5号機)

- 中越沖地震観測記録
- Ss - 1H
- - - Ss - 2EW
- · - Ss - 3H
- - - Ss - 4EW

- 中越沖地震観測記録
- Ss - 1V
- - - Ss - 2UD
- · - Ss - 3V
- - - Ss - 4UD



(a) EW方向



(b) UD方向

8 . まとめ

中越沖地震の知見を反映し，柏崎刈羽原子力発電所における基準地震動Ssの策定を実施。

海域の活断層と陸域の活断層に分類した上で，敷地に及ぼす影響の比較を行い，検討用地震を選定。

検討用地震の「不確かさの考慮」について整理を行った上で，応答スペクトル・断層モデルによる地震動評価を実施し，

地震規模の不確かさを考慮した「F - B断層による地震（M7.0）」

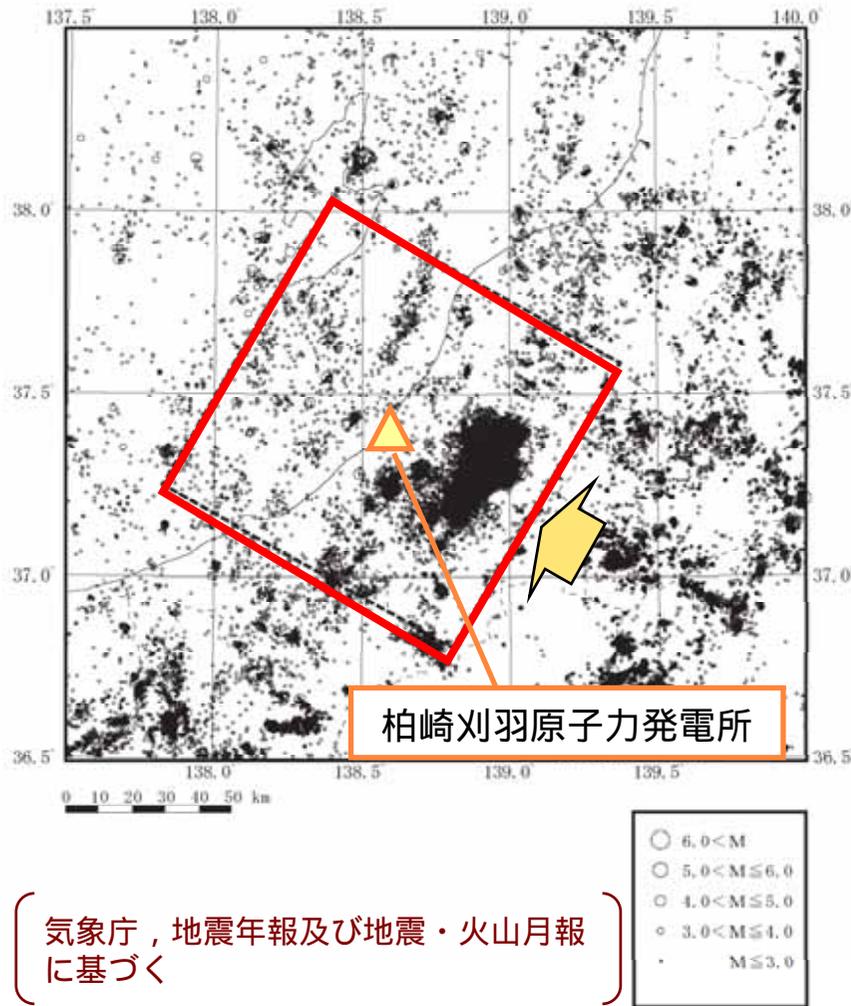
気比ノ宮断層及び片貝断層について地震規模の不確かさを考慮した
「長岡平野西縁断層帯による地震（M8.1）」

の評価結果に基づく4種類の基準地震動Ssを策定。

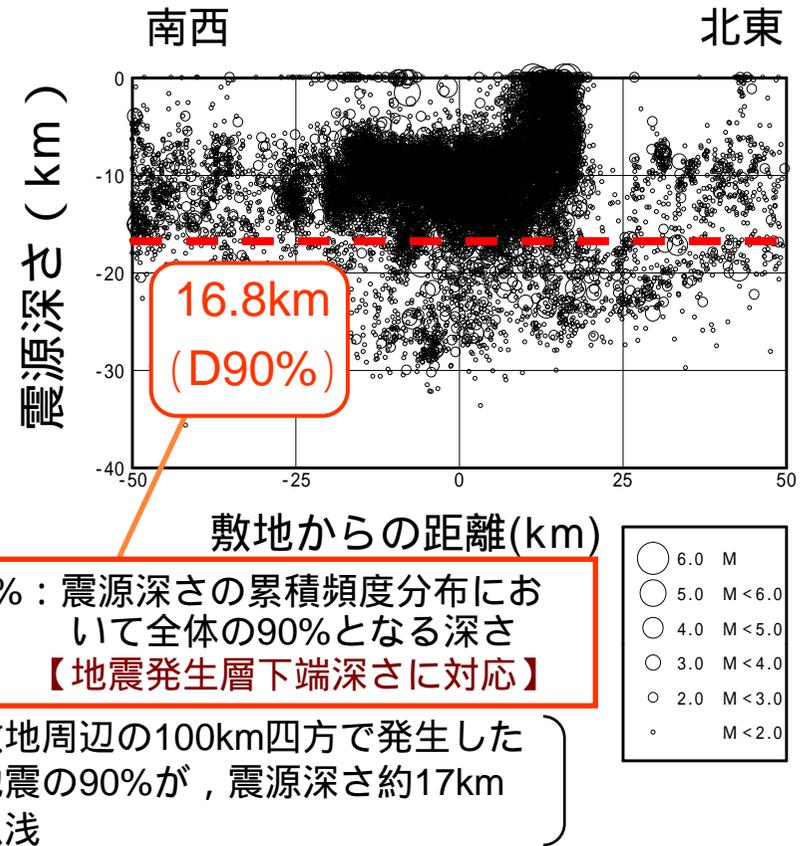
【参考1】地震発生層の設定

敷地周辺の微小地震分布等に基づき，地震発生層を設定。

微小地震の震央分布



微小地震の震源鉛直分布



地震発生層上端深さ：6km
地震発生層下端深さ：17km

【参考1】地震発生層の設定

地震発生層の設定にあたっては，以下に示す既往の知見も考慮。

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

荒浜側

層 No.	T.M.S.L. (m)	層厚 (m)	密度 (t/m ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)
	-284				
1	-300	16	2.11	1110	2280
2	-1360	1060	2.12	1160	2390
3	-2410	1050	2.25	1620	3220
4	-3700	1290	2.36	2050	4150
5	-5880	2180	2.51	2760	4820
6		∞	2.59	3170	5230

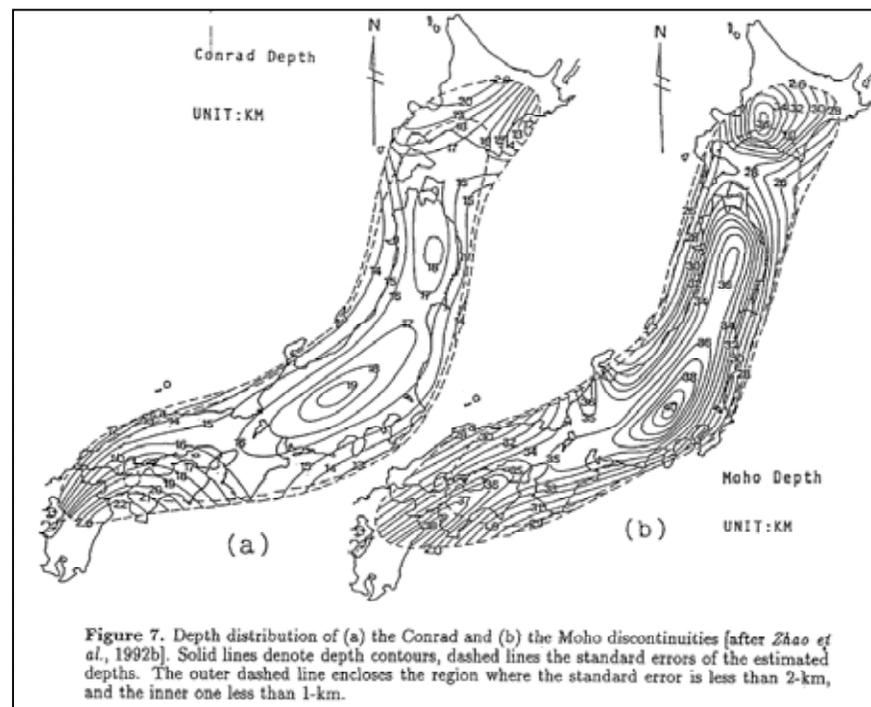
大湊側

層 No.	T.M.S.L. (m)	層厚 (m)	密度 (t/m ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)
	-134				
1	-149	15	2.03	730	1800
2	-180	31	2.03	890	1900
3	-231	51	2.03	890	1900
4	-266	35	2.03	960	1900
5	-300	34	2.03	1000	2100
6	-1360	1060	2.12	1160	2390
7	-2410	1050	2.25	1630	3220
8	-3700	1290	2.36	2050	4150
9	-5880	2180	2.51	2760	4820
10		∞	2.59	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)

コンラッド面深さに関する既往の知見



↓ [Zhao et al.(1994)に加筆]

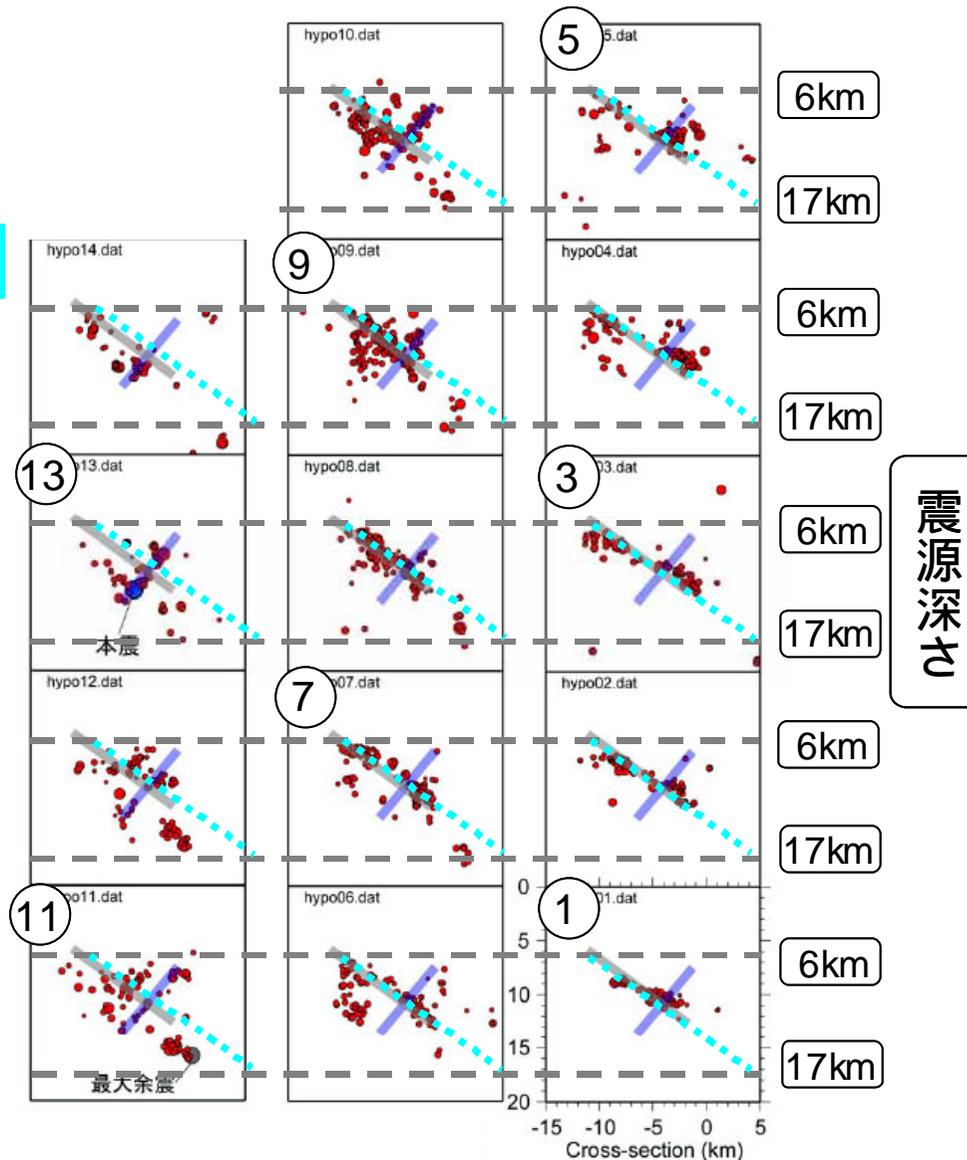
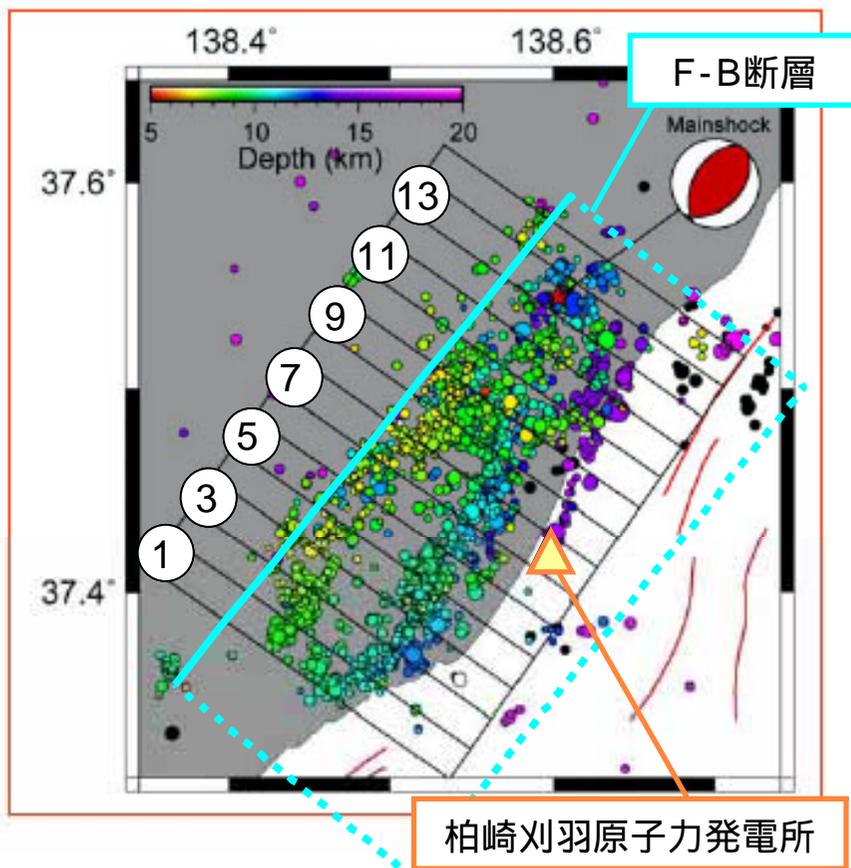
敷地周辺のコンラッド面深さは
15 ~ 16km程度

コンラッド面の深さは，上部地殻の下限深さに概ね対応

【参考1】地震発生層の設定

設定した地震発生層は，本震・最大余震を含む中越沖地震の余震分布と対応。

中越沖地震の余震分布

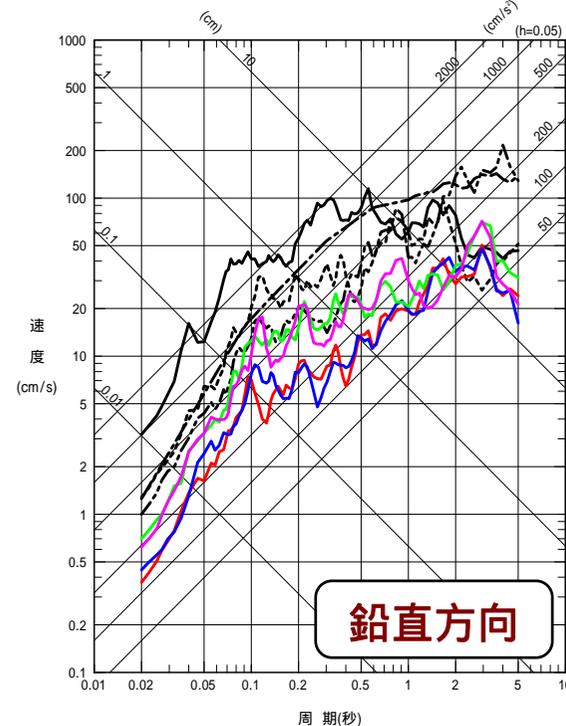
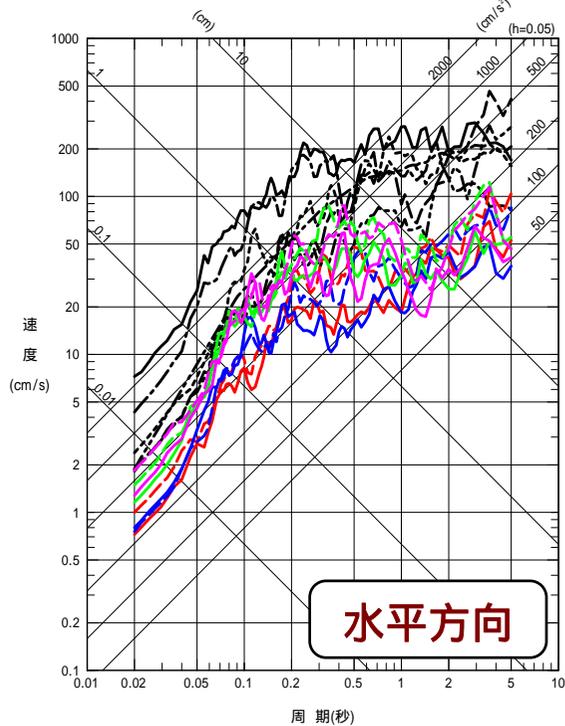


東京大学地震研究所資料
(平成20年1月11日地震調査委員会)に加筆

【参考2】 気比ノ宮断層・片貝断層による影響

断層モデルによる地震動評価結果と基準地震動Ssの比較（荒浜側）

- | | | |
|----------------|------------------------|--------------------|
| — Ss - 1H | — 気比ノ宮断層NS(破壊開始点1) | — Ss - 1V |
| - - - Ss - 2NS | - - - 気比ノ宮断層EW(破壊開始点1) | - - - Ss - 2UD |
| - - - Ss - 2EW | — 気比ノ宮断層NS(破壊開始点2) | - - - Ss - 3V |
| - - - Ss - 3H | - - - 気比ノ宮断層EW(破壊開始点2) | - - - Ss - 4UD |
| - - - Ss - 4NS | — 片貝断層NS(破壊開始点1) | — 気比ノ宮断層UD(破壊開始点1) |
| - - - Ss - 4EW | - - - 片貝断層EW(破壊開始点1) | — 気比ノ宮断層UD(破壊開始点2) |
| | — 片貝断層NS(破壊開始点2) | — 片貝断層UD(破壊開始点1) |
| | - - - 片貝断層EW(破壊開始点2) | — 片貝断層UD(破壊開始点2) |

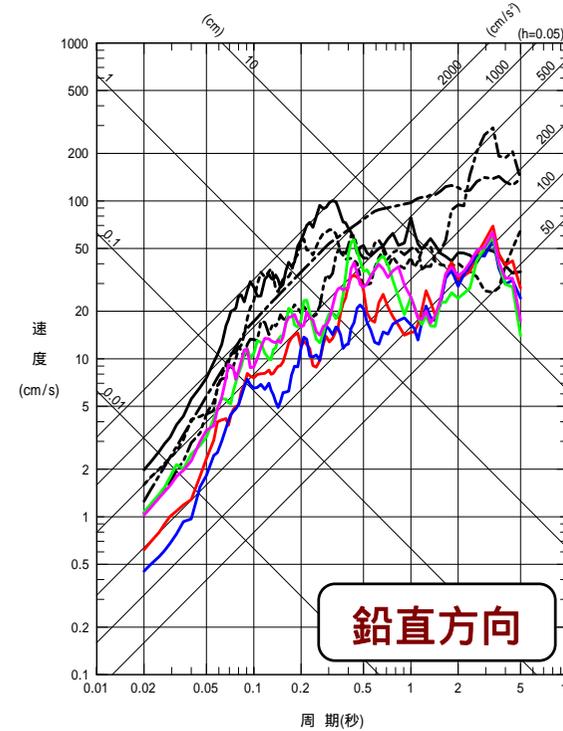
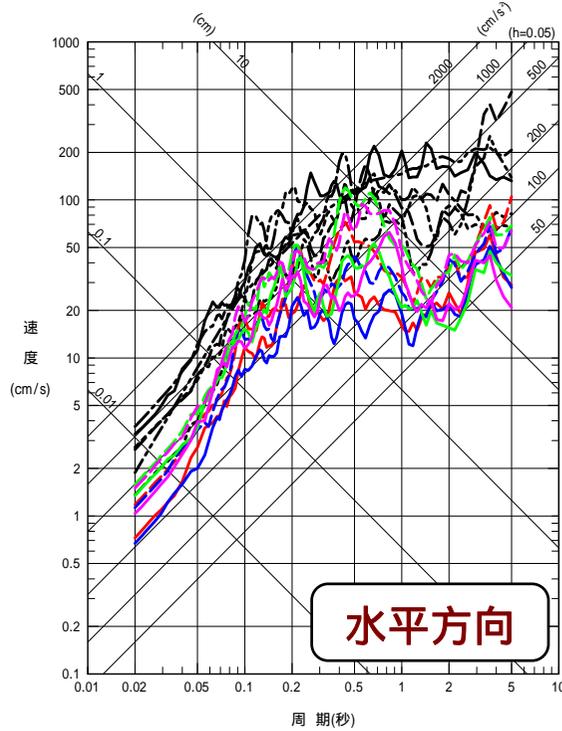


策定した基準地震動Ssに包絡される

【参考2】 気比ノ宮断層・片貝断層による影響

断層モデルによる地震動評価結果と基準地震動Ssの比較（大湊側）

- | | | |
|----------------|------------------------|--------------------|
| — Ss - 1H | — 気比ノ宮断層NS(破壊開始点1) | — Ss - 1V |
| - - - Ss - 2NS | - - - 気比ノ宮断層EW(破壊開始点1) | - - - Ss - 2UD |
| - - - Ss - 2EW | — 気比ノ宮断層NS(破壊開始点2) | - - - Ss - 3V |
| - - - Ss - 3H | - - - 気比ノ宮断層EW(破壊開始点2) | - - - Ss - 4UD |
| - - - Ss - 4NS | — 片貝断層NS(破壊開始点1) | — 気比ノ宮断層UD(破壊開始点1) |
| - - - Ss - 4EW | - - - 片貝断層EW(破壊開始点1) | — 気比ノ宮断層UD(破壊開始点2) |
| | — 片貝断層NS(破壊開始点2) | — 片貝断層UD(破壊開始点1) |
| | - - - 片貝断層EW(破壊開始点2) | — 片貝断層UD(破壊開始点2) |



策定した基準地震動Ssに包絡される