

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ついて

平成20年11月4日
東京電力株式会社



東京電力

本日のご説明内容

(1) 観測記録の概要

(2) 地震動の要因分析

- 1) 敷地内の観測記録に基づく検討
- 2) 解析手法を用いた検討

(3) 中越沖地震の知見を踏まえた基準地震動の策定

- 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
- 6) 基準地震動Ssの概要

(1) 観測記録の概要

観測地点の概要

原子炉建屋

原子炉建屋基礎版上・中間階

タービン建屋

基礎マット・中間階

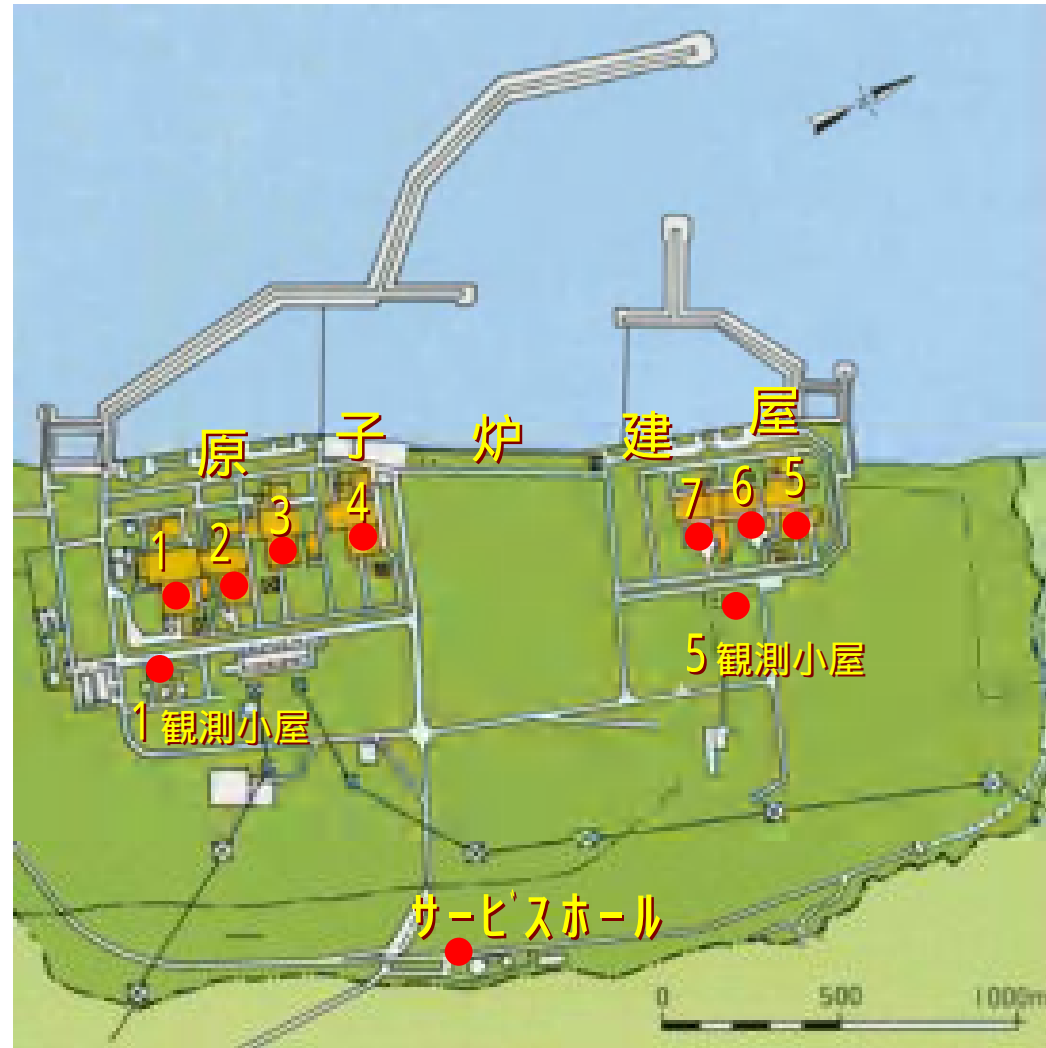
地震観測小屋

1号機・5号機付近
(地表のみ)

サービスホール

地表および地中
(計4箇所)

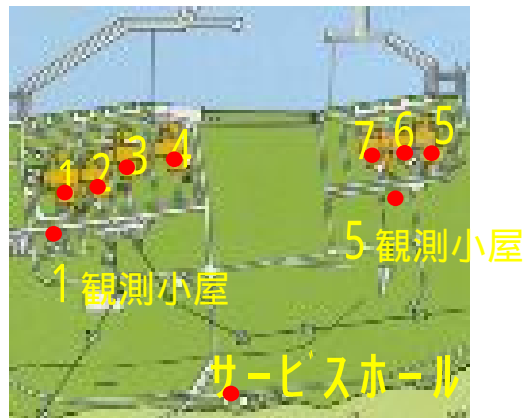
赤字部分の観測波を次項に示す



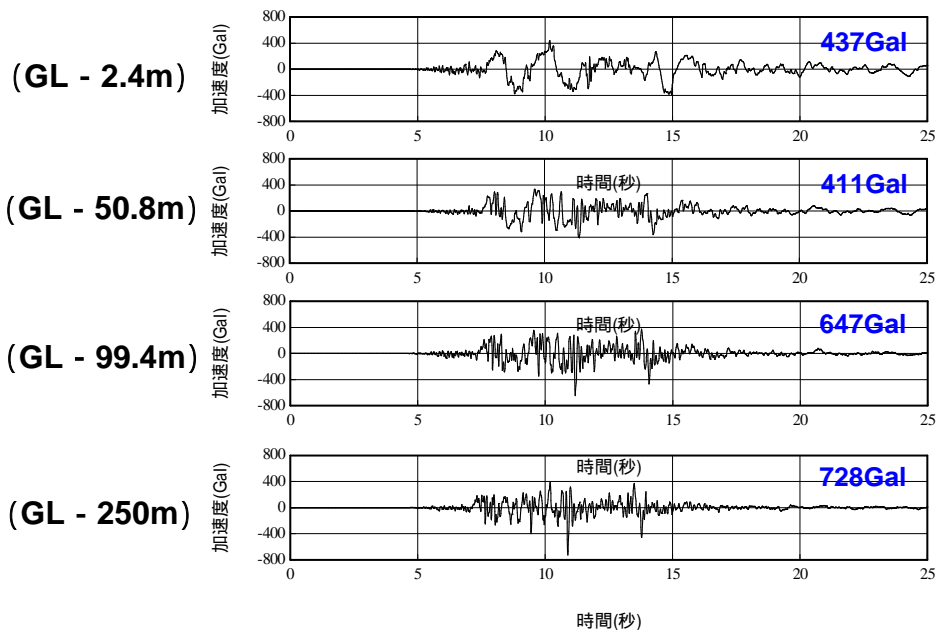
発電所内の観測地点

観測波形 (EW方向)

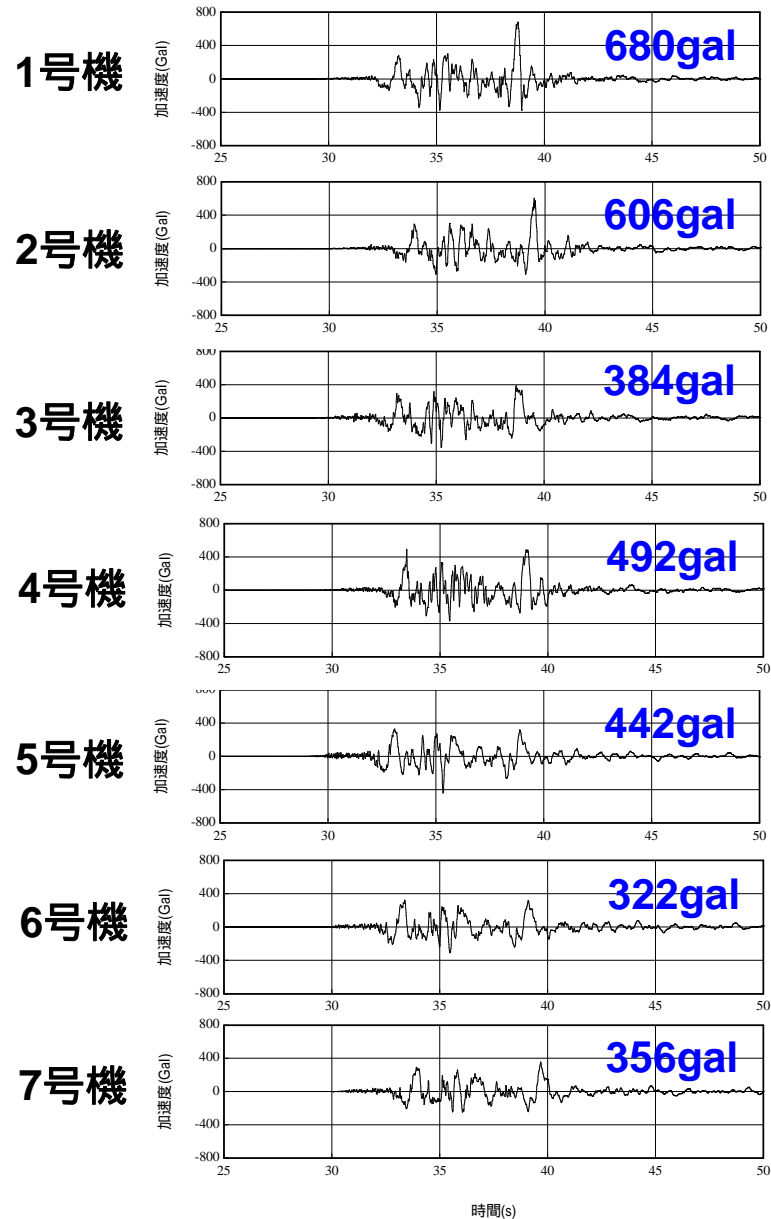
加速度記録



サービスホール地盤系

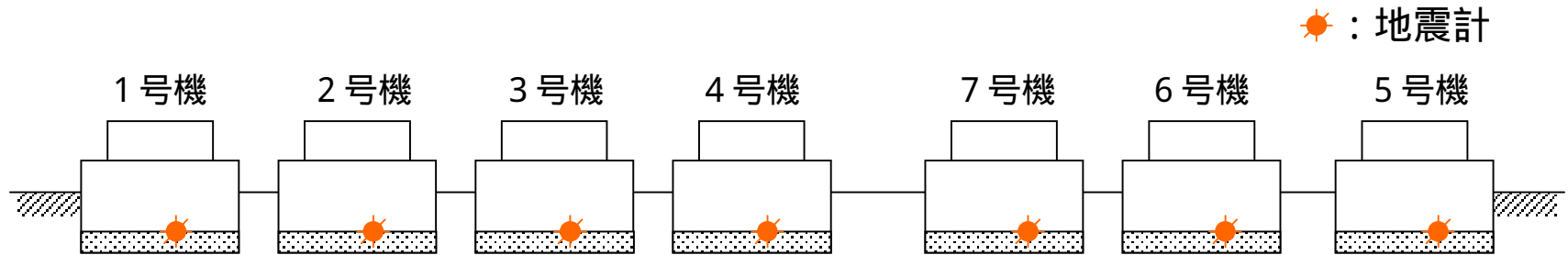


原子炉建屋基礎版上



現象の整理 (原子炉建屋基礎版上における加速度最大値の比較)

1～4号機側と5～7号機側で最大加速度値の傾向が異なる

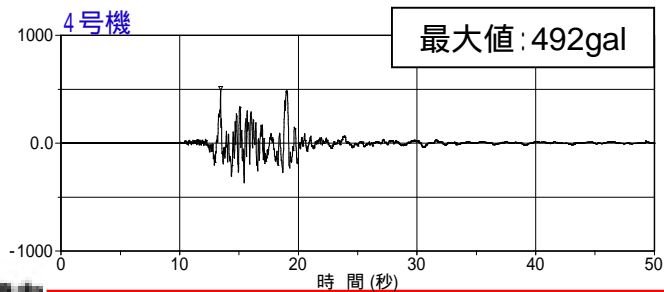
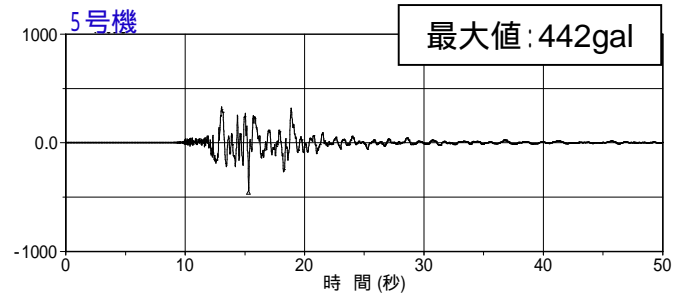
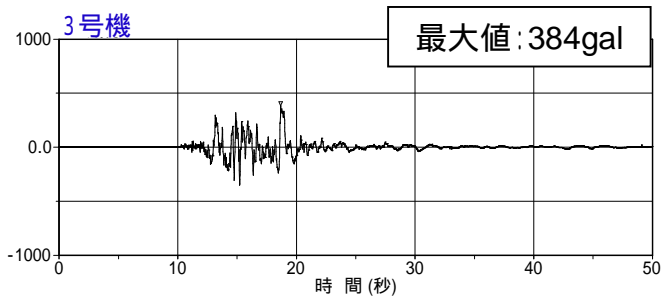
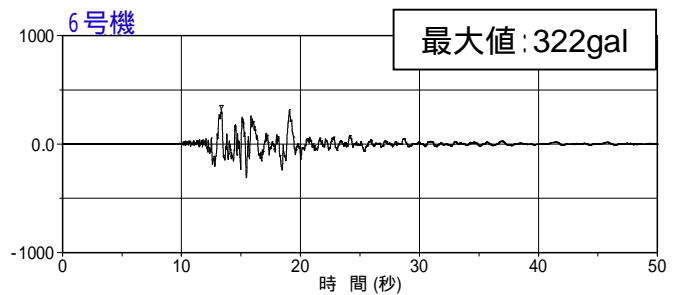
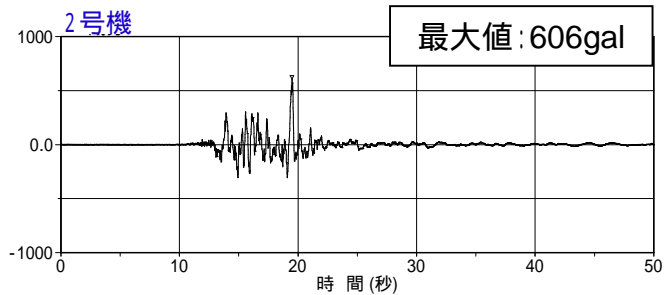
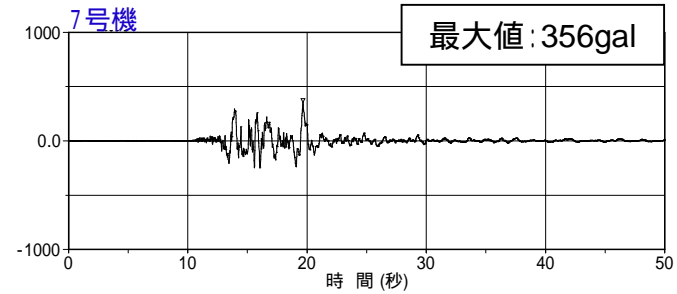
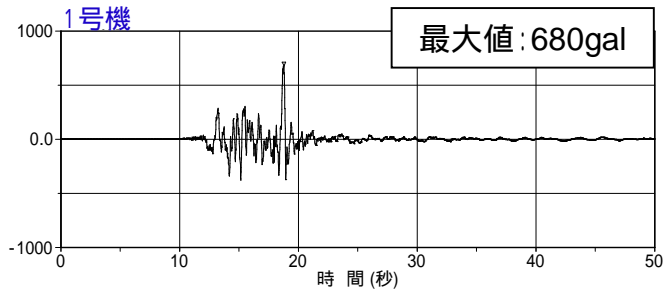


観測された最大加速度 (単位:ガル)

観測値		南北方向	東西方向	上下方向
1号機	最下階 (B5F)	311	680	408
2号機	最下階 (B5F)	304	606	282
3号機	最下階 (B5F)	308	384	311
4号機	最下階 (B5F)	310	492	337
5号機	最下階 (B4F)	277	442	205
6号機	最下階 (B3F)	271	322	488
7号機	最下階 (B3F)	267	356	355

各号機とも、南北方向より東西方向が大きい
 1～4号機と5～7号機の東西方向を比較すると、1～4号機が有意に大きい

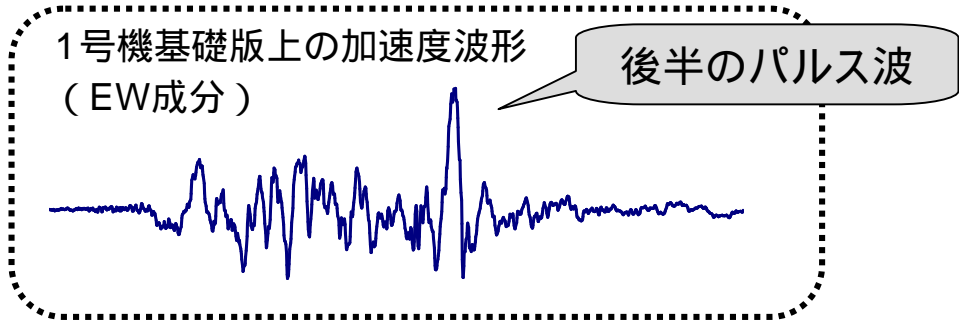
現象の整理 (号機間の揺れの比較)



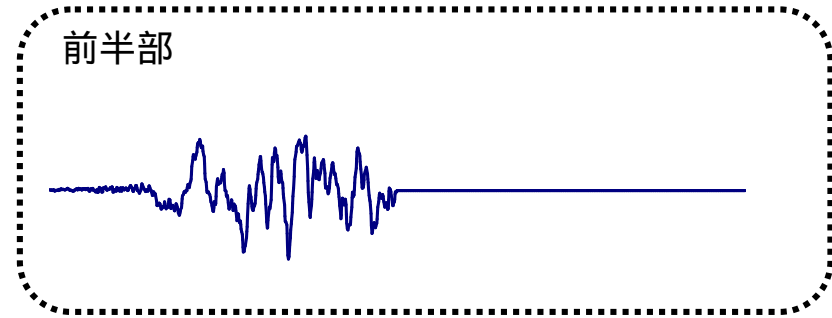
原子炉建屋基礎版上における加速度時刻歴波形 (東西方向)

1 ~ 4号機側と5 ~ 7号機側の加速度最大値の差異は後半のパルス波の振幅によって決まっている

現象の整理 (後半のパルス波の特徴)



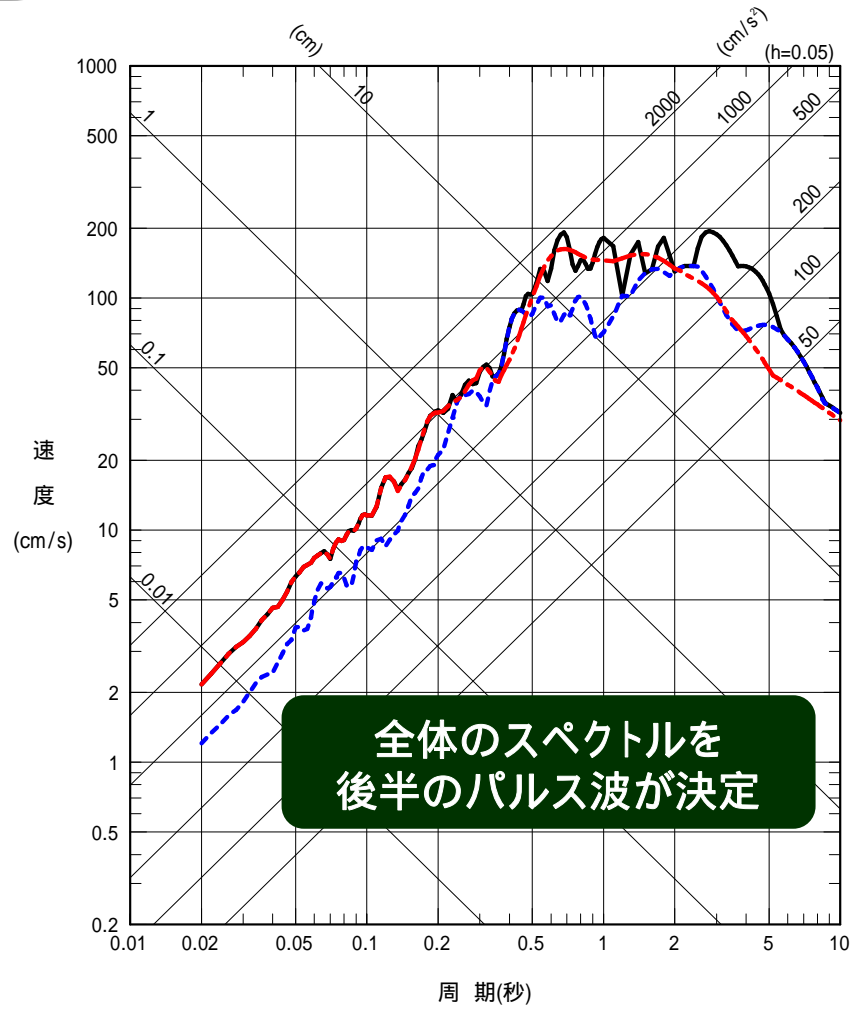
||



+



- 1号機原子炉建屋基礎版上 (東西方向) ・全波形
- - - 1号機原子炉建屋基礎版上 (東西方向) ・前半部
- . - 1号機原子炉建屋基礎版上 (東西方向) ・後半部



観測記録の概要（まとめ）

- 原子炉建屋基礎版上の1～4号機側と5～7号機側の東西方向観測波形を比較すると，1～4号機側が有意に大きい

敷地内における加速度応答値に違いがある

- 1号機の基礎版上で得られた波形を，前半部分と後半部分に分けて応答スペクトルを比較した結果，後半部分の応答スペクトルが全波形のスペクトルと対応している。

5～7号機側に比べ1～4号機側の基礎版上の最大加速度値に差があるのは，後半のパルス波の影響と考えられる。

以上を踏まえ，中越沖地震で地震動が大きくなった要因分析を行う

(2) 地震動の要因分析

1) 敷地内の観測記録に基づく検討

解放基盤表面における地震動の推定

- 中越沖地震の地震動の大きさを検討するため、耐専スペクトル¹を用いて比較を行う。
- 耐専スペクトル¹は解放基盤表面で定義されるため、敷地内の観測記録に基づいて地震動を推定する。



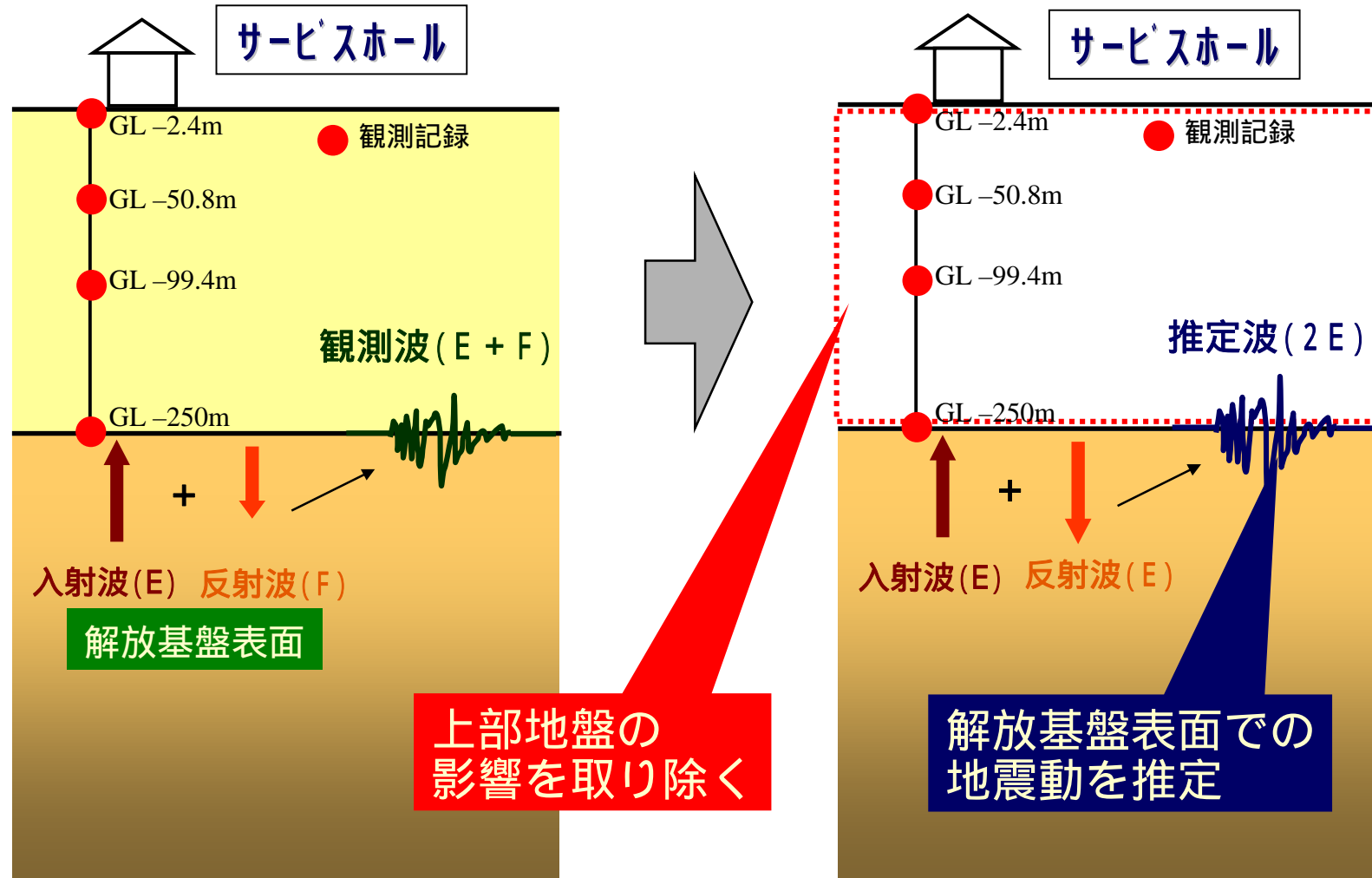
観測記録があるサービスホールの地盤系を用いて、解放基盤表面に相当する地震動を推定する。

次に、各号機の原子炉建屋基礎版上の観測記録に基づいて、解放基盤表面の地震動を推定する。

¹耐専スペクトル：Noda et al(2002)に基づく応答スペクトル手法

1) 敷地内の観測記録に基づく検討

解放基盤表面における地震動の推定方法 (サービスホール)



推定方法の概念

1) 敷地内の観測記録に基づく検討

解放基盤表面における地震動の推定方法 (サービソール)

地盤モデル同定

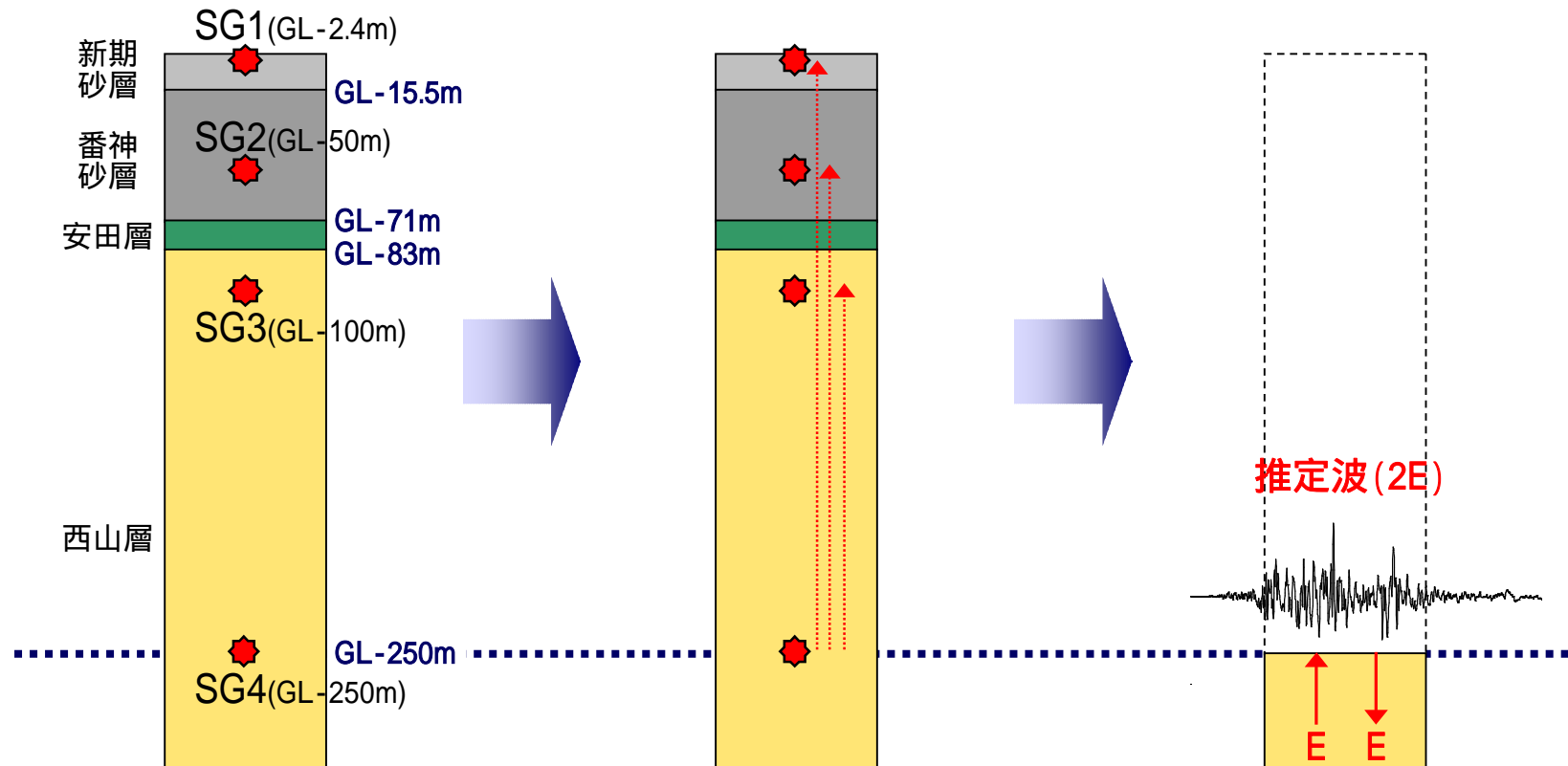
各区間の伝達関数と各深度の観測最大加速度値を同時逆解析して同定

妥当性確認

GL-250m記録を入力とした観測波形のシミュレーション解析により確認

解放基盤波推定

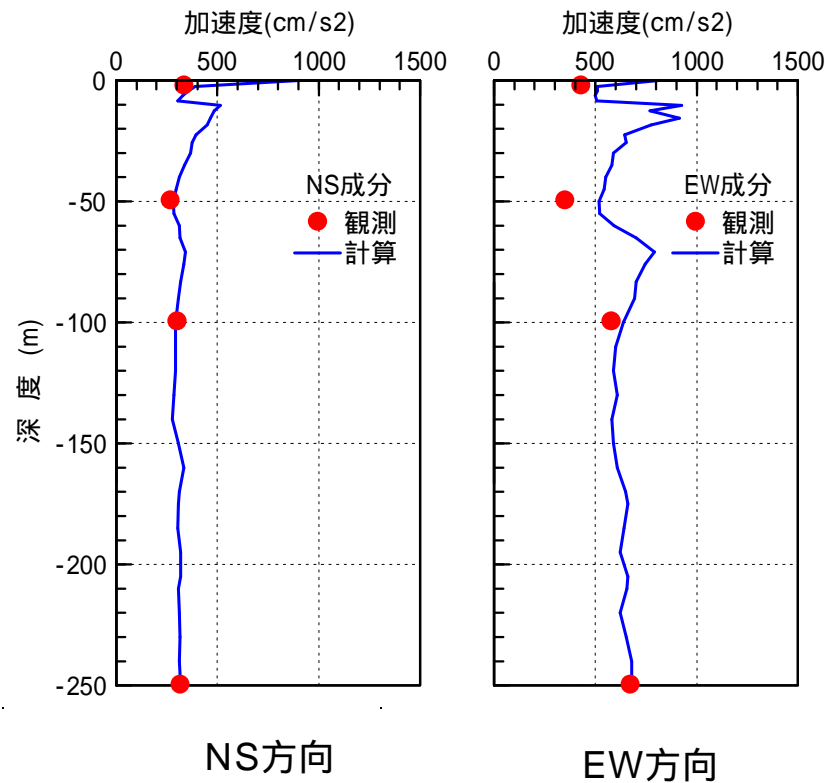
解析によりGL-250m位置の解放基盤波を推定(推定にはGL-250m記録を使用)



1) 敷地内の観測記録に基づく検討

最大加速度のシミュレーション結果

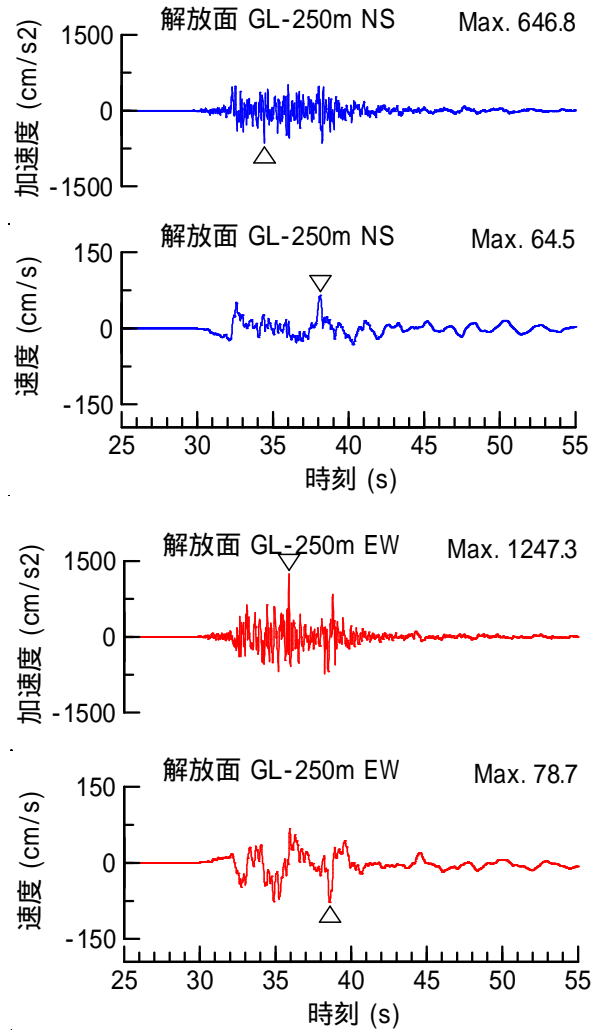
最大加速度



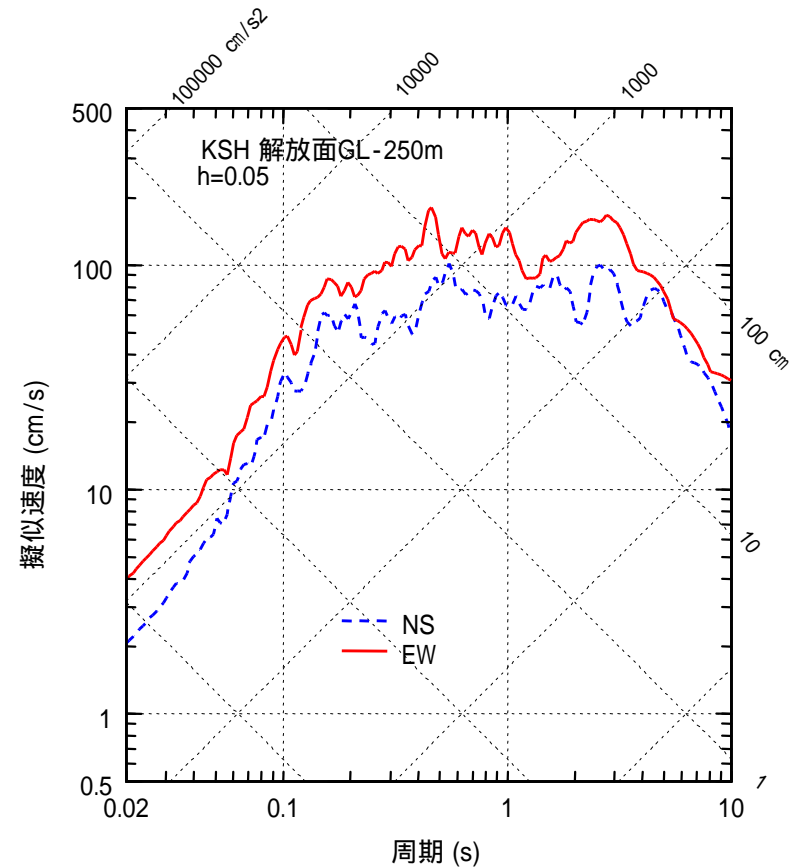
* 入力波 = GL-250m記録

1) 敷地内の観測記録に基づく検討

解放基盤表面における地震動の推定 (サービソール)

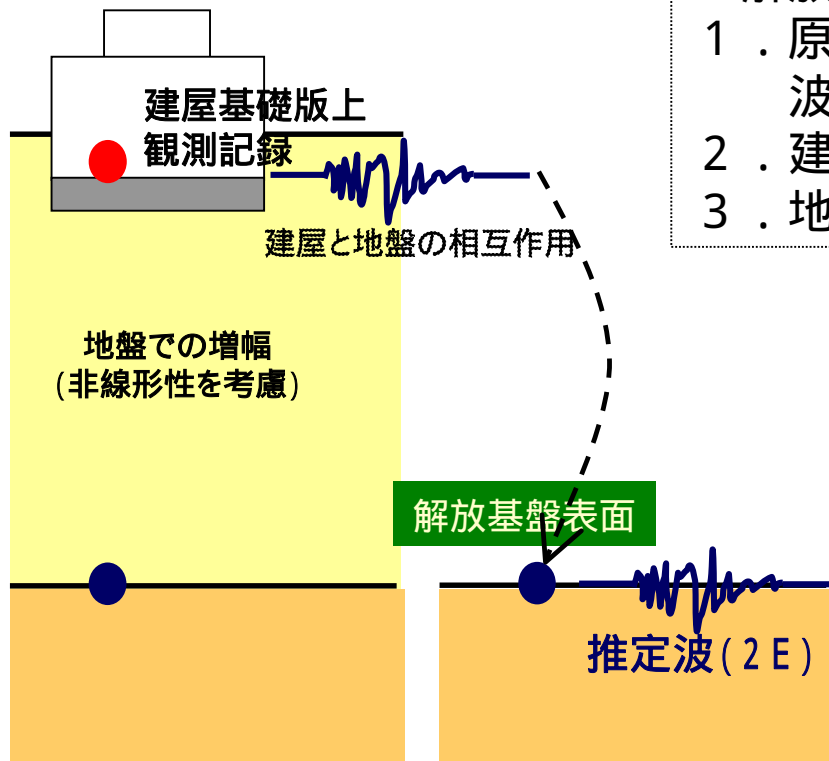


GL-250m位置における解放基盤表面の推定波



1) 敷地内の観測記録に基づく検討

中越沖地震本震時の解放基盤表面における地震動の推定



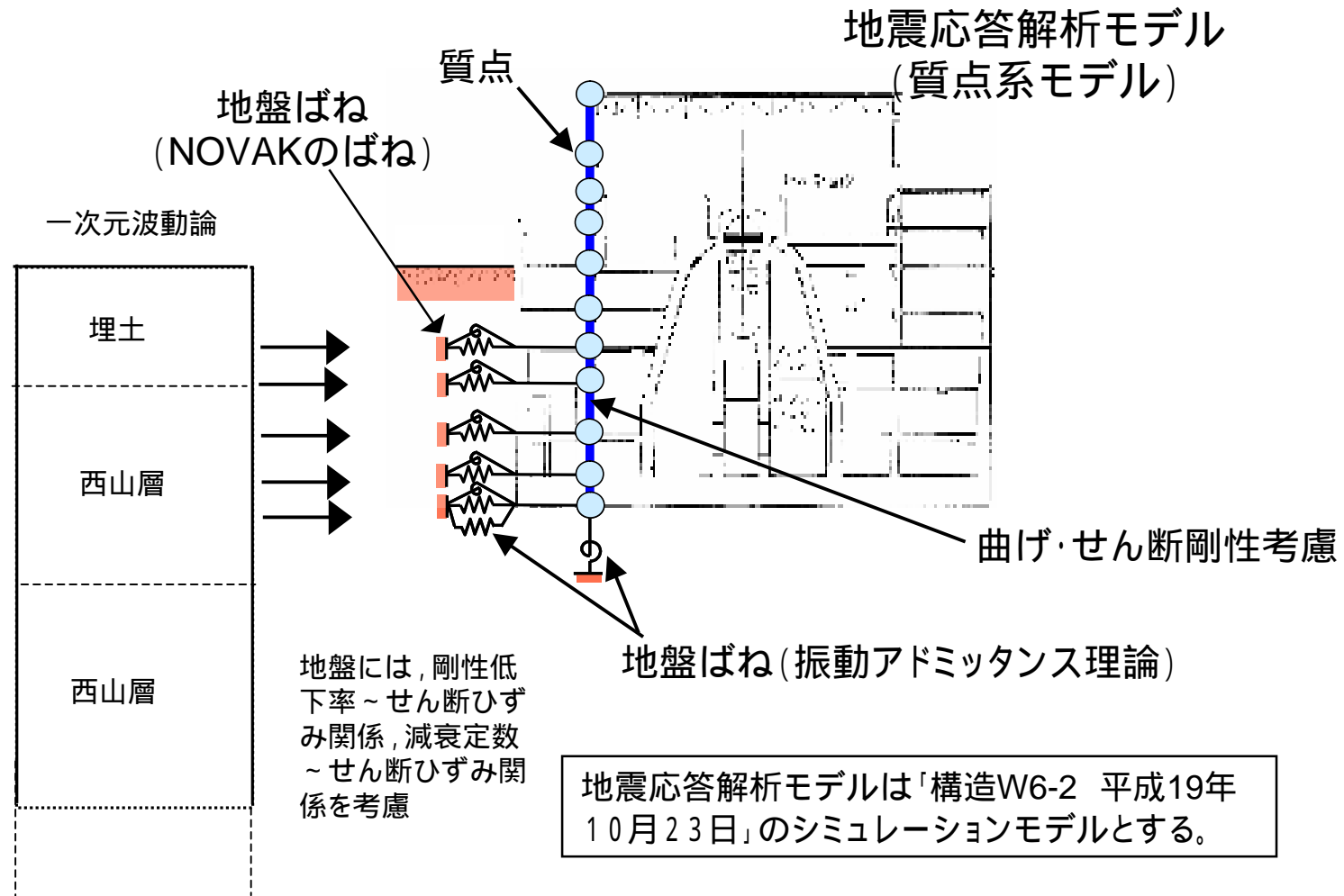
解放基盤波推定の基本方針

1. 原子炉建屋基礎版上の観測記録から解放基盤波を推定する。
2. 建屋と地盤の相互作用を考慮する。
3. 地盤の非線形性(等価線形)を考慮する。

原子炉建屋基礎版上の観測記録に基づく解放基盤波推定の概念

1) 敷地内の観測記録に基づく検討

解放基盤波の推定に用いる地震応答解析モデル

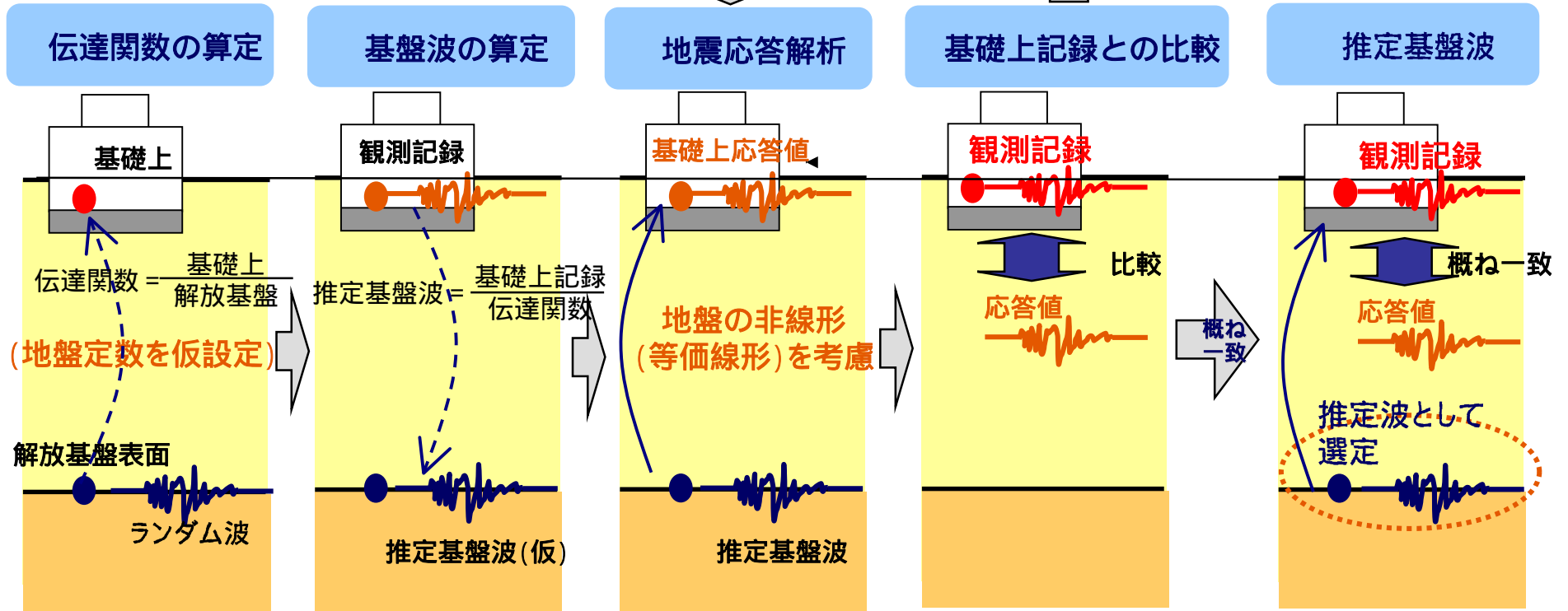


1) 敷地内の観測記録に基づく検討

解放基盤波の推定フロー

地盤の非線形を考慮した反復計算により、解放基盤波を推定する。

‘基盤波の補正’
 基礎上の観測記録と応答波形の比を推定基盤波に乗じることにより、推定基盤波を補正する。



ランダム波を解放基盤面に入力し基礎上と解放基盤面の伝達関数を算定する。

基礎上記録を伝達関数で除し推定基盤波(仮)を算定する。

推定基盤波を入力し地盤の非線形を考慮して基礎上の応答を算定する。

基礎上の応答を観測記録と比較する。応答と観測に差がある場合は、推定基盤波を補正する。

観測記録と概ね整合するまで繰り返し、整合した状態の入力波を最終的な推定基盤波として選定する。

1) 敷地内の観測記録に基づく検討

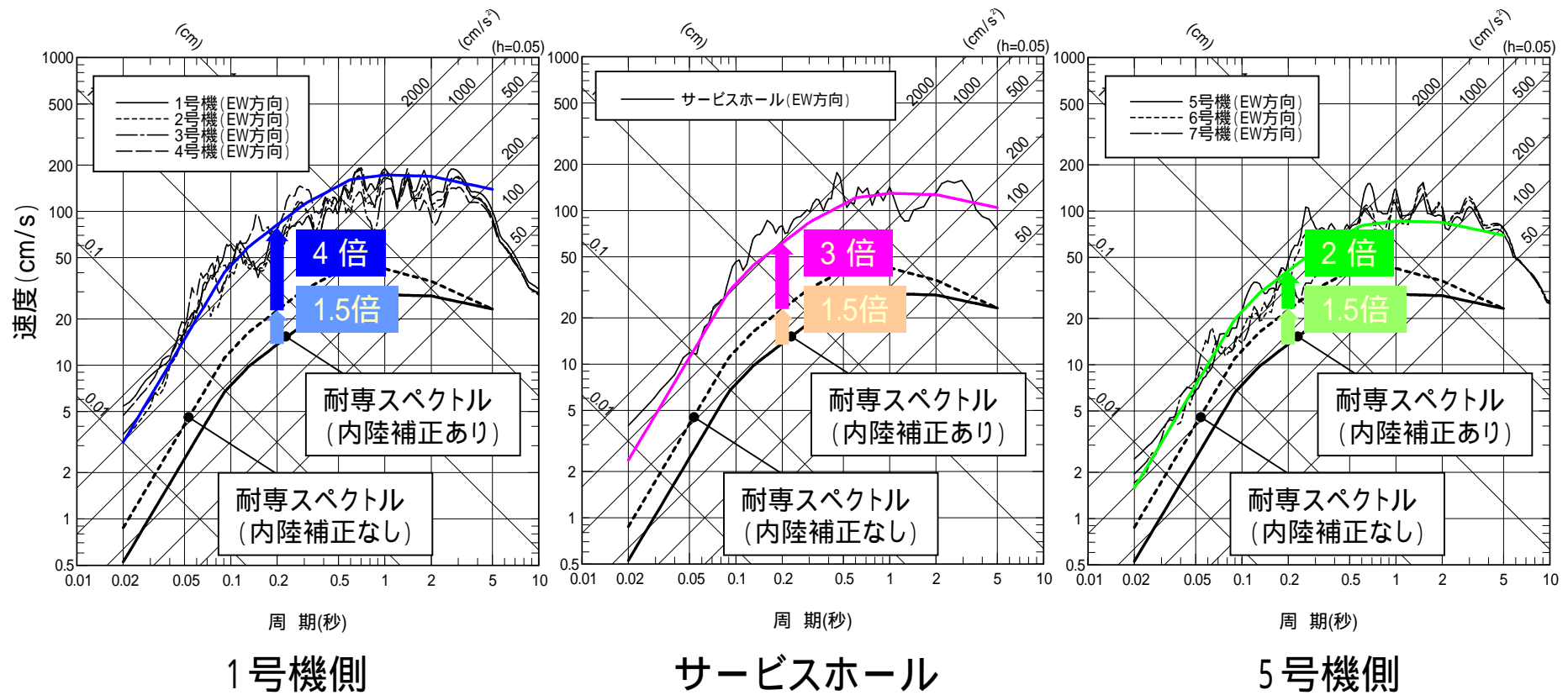
原子炉建屋基礎版上での観測記録と推定された解放基盤表面での加速度の比較

< EW方向 >

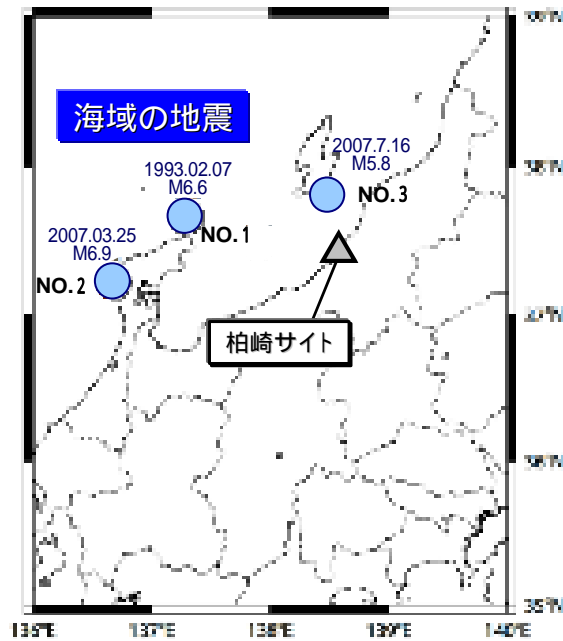
	1号機	2号機	3号機	4号機	5号機	6号機	7号機
原子炉建屋基礎版上での 観測記録 (Gal)	680	606	384	492	442	322	356
推定された解放基盤 表面での加速度 (Gal)	1699	1011	1113	1478	766	539	613

1) 敷地内の観測記録に基づく検討

推定波の応答スペクトル (EW方向)

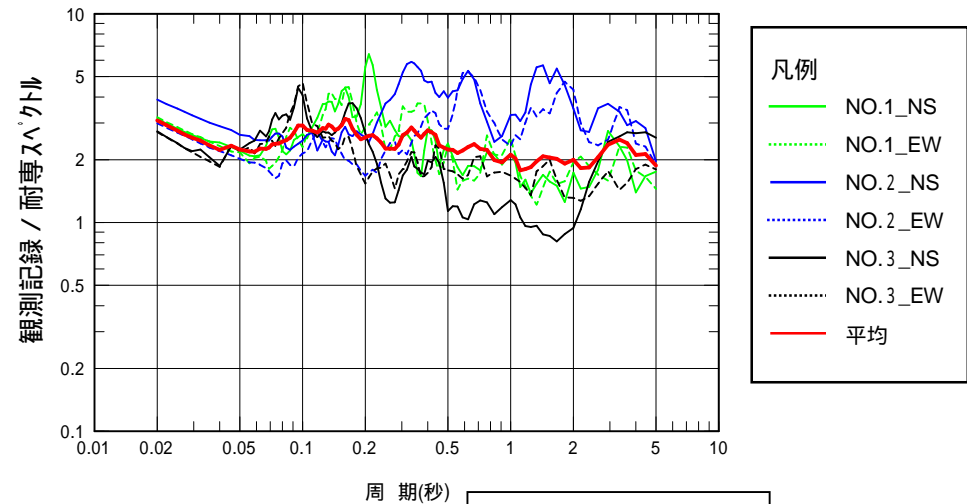


1) 敷地内の観測記録に基づく検討 海域を震源とする地震における検討

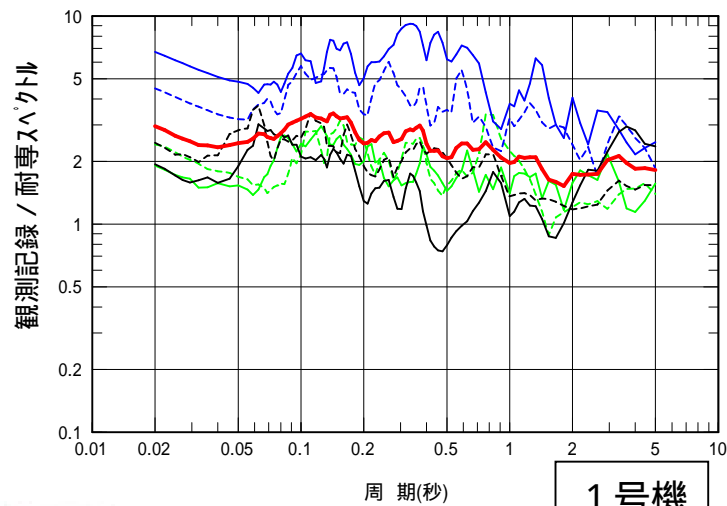


検討に用いた地震の震央分布

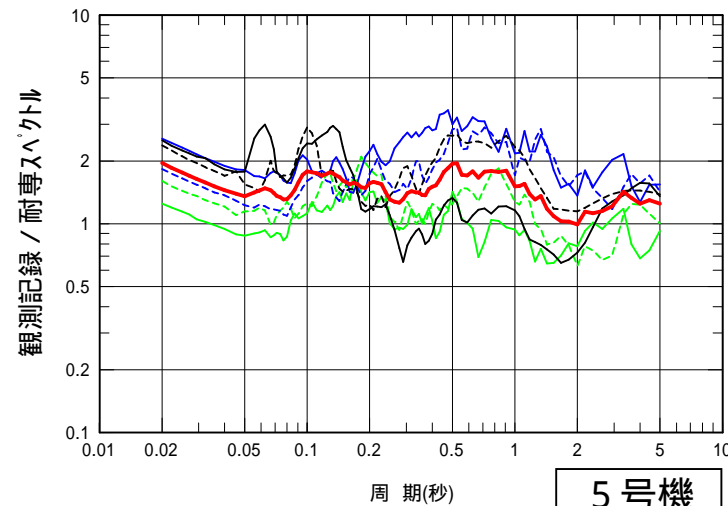
残差 (観測記録 (推定波) / 耐専スペクトル <内陸補正なし>)



サービスホール



1号機



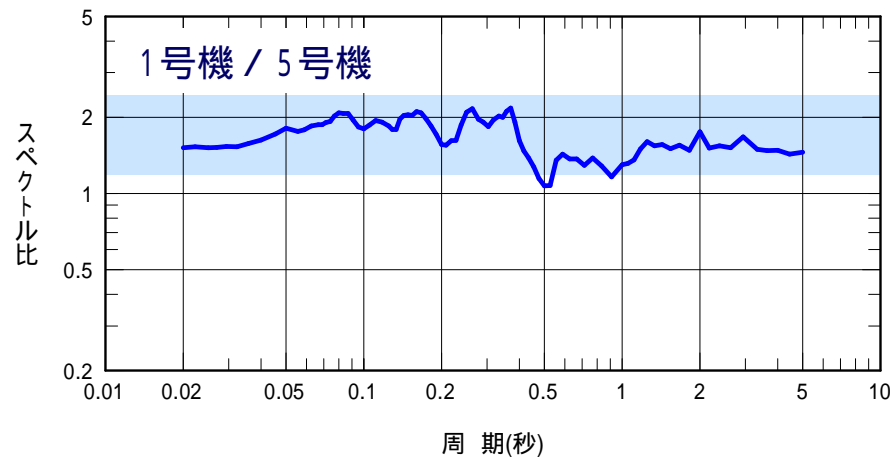
5号機

1) 敷地内の観測記録に基づく検討

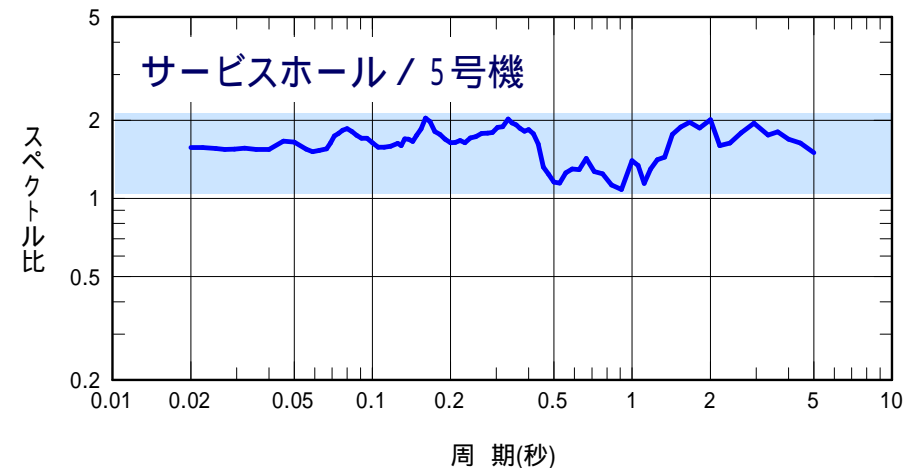
海域を震源とする地震における検討

海域を震源とする地震における比較

1号機平均 / 5号機平均, サービスホール平均 / 5号機平均を比較



1号機平均 / 5号機平均
= 2倍程度

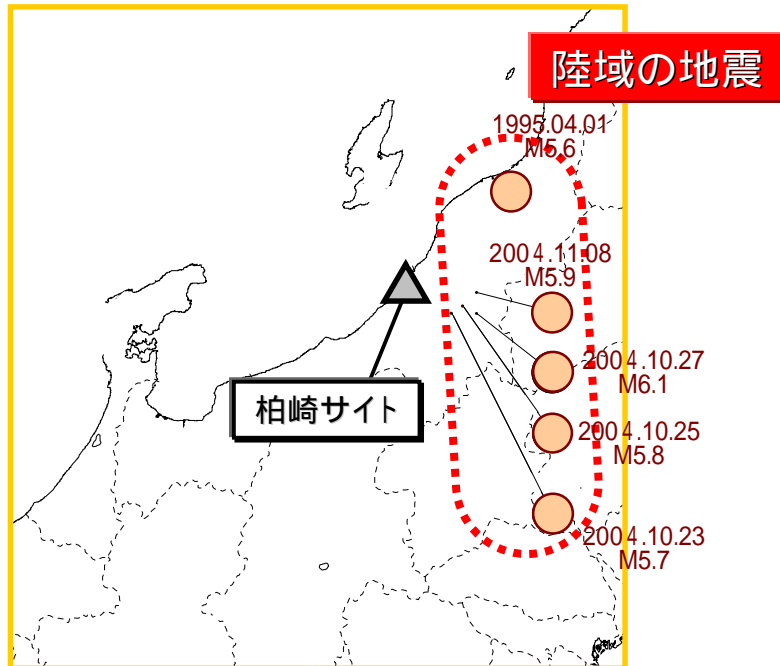


サービスホール平均 / 5号機平均
= 1.5 ~ 2倍

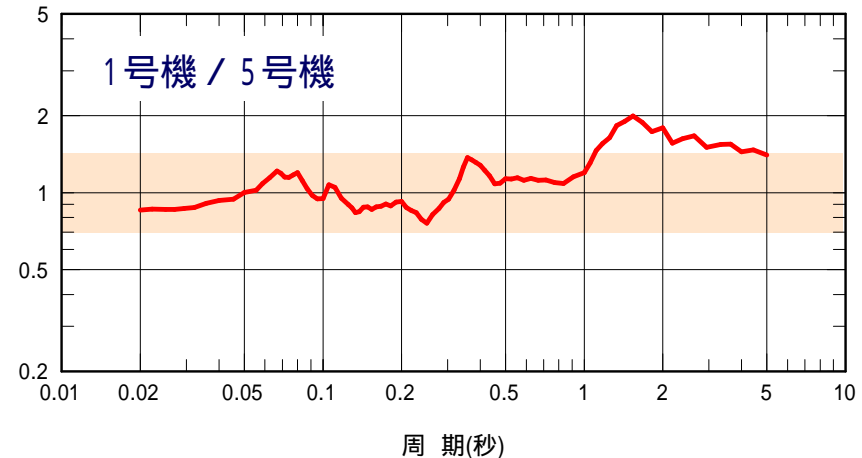
1) 敷地内の観測記録に基づく検討

陸域を震源とする地震における検討

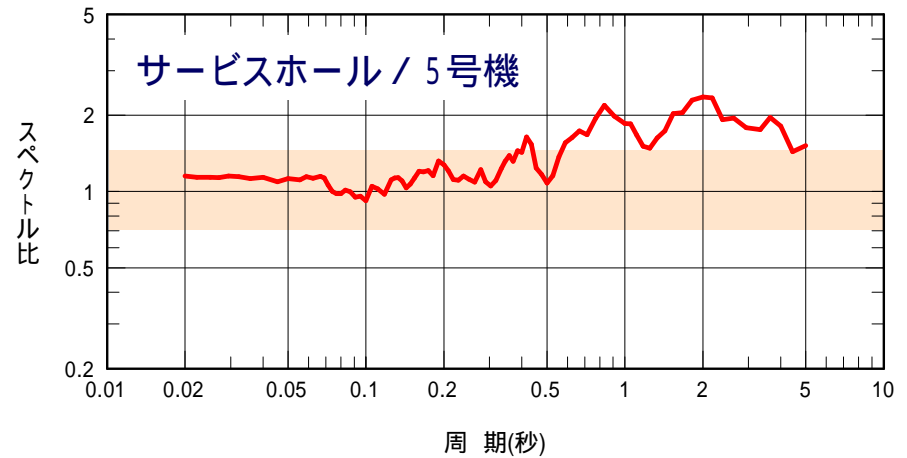
1号機平均 / 5号機平均, サービスホール平均 / 5号機平均を比較



検討に用いた地震の震央分布



1号機 5号機



(参考) サービスホール 5号機

1) 敷地内の観測記録に基づく検討 (まとめ)

中越沖地震の観測記録に基づく検討 まとめ

- 推定波の応答スペクトルは、NS方向とEW方向ともに耐専スペクトル¹より大きい
- 推定波の応答スペクトル (EW方向) と内陸補正しない²耐専スペクトル¹を比較すると、1～4号機側で4倍程度、サービスホールで3倍程度、5～7号機側で2倍程度の差がある

中越沖地震以外の観測記録に基づく検討 まとめ

- 海域と陸域で発生する地震で敷地内の地震動の増幅率の傾向が異なる
- 1号機と5号機を比較すると、海域で発生する地震は、2 : 1程度であるのに対し、陸域で発生する地震は、差がみられない

¹耐専スペクトル：Noda et al(2002)に基づく応答スペクトル手法

²内陸補正：内陸地震を対象とした補正

2) 解析手法を用いた検討

震源インバージョンに基づく検討

- 観測記録に基づく検討から，解放基盤表面の地震動は，耐専スペクトル（Noda et al.（2002）による応答スペクトル）より大きいことが分かったので，震源特性の影響を震源インバージョンに基づき検討する

検討内容

敷地内および震源域周辺の強震動記録を用いて震源インバージョン手法を適用し，**中越沖地震の震源を推定する**

推定された震源に基づき，観測された地震動を再現するための**特性化震源モデルを構築する**

経験的グリーン関数法により原子炉建屋基礎版等の地震動シミュレーションを実施し，**観測記録の再現性を検証する**

震源インバージョンに基づく検討

震源インバージョンの条件

解析手法

経験的グリーン関数法を用いた
震源インバージョン

経験的グリーン関数

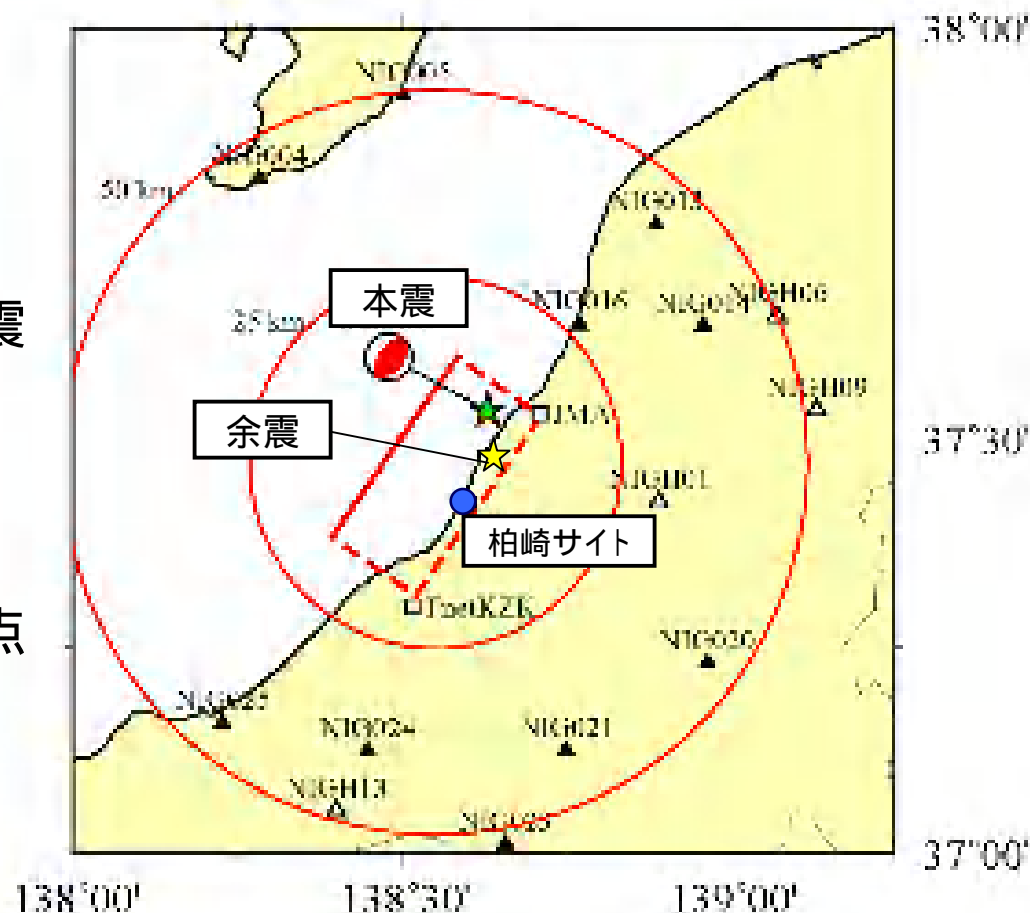
2007年7月16日21:08 M4.4の余震

解析に用いた観測点

柏崎サイト: 2地点
(1号機と5号機の基礎版上)
K-NET: 10地点, KiK-net: 4地点
JMA, F-net: 各1地点

目的関数

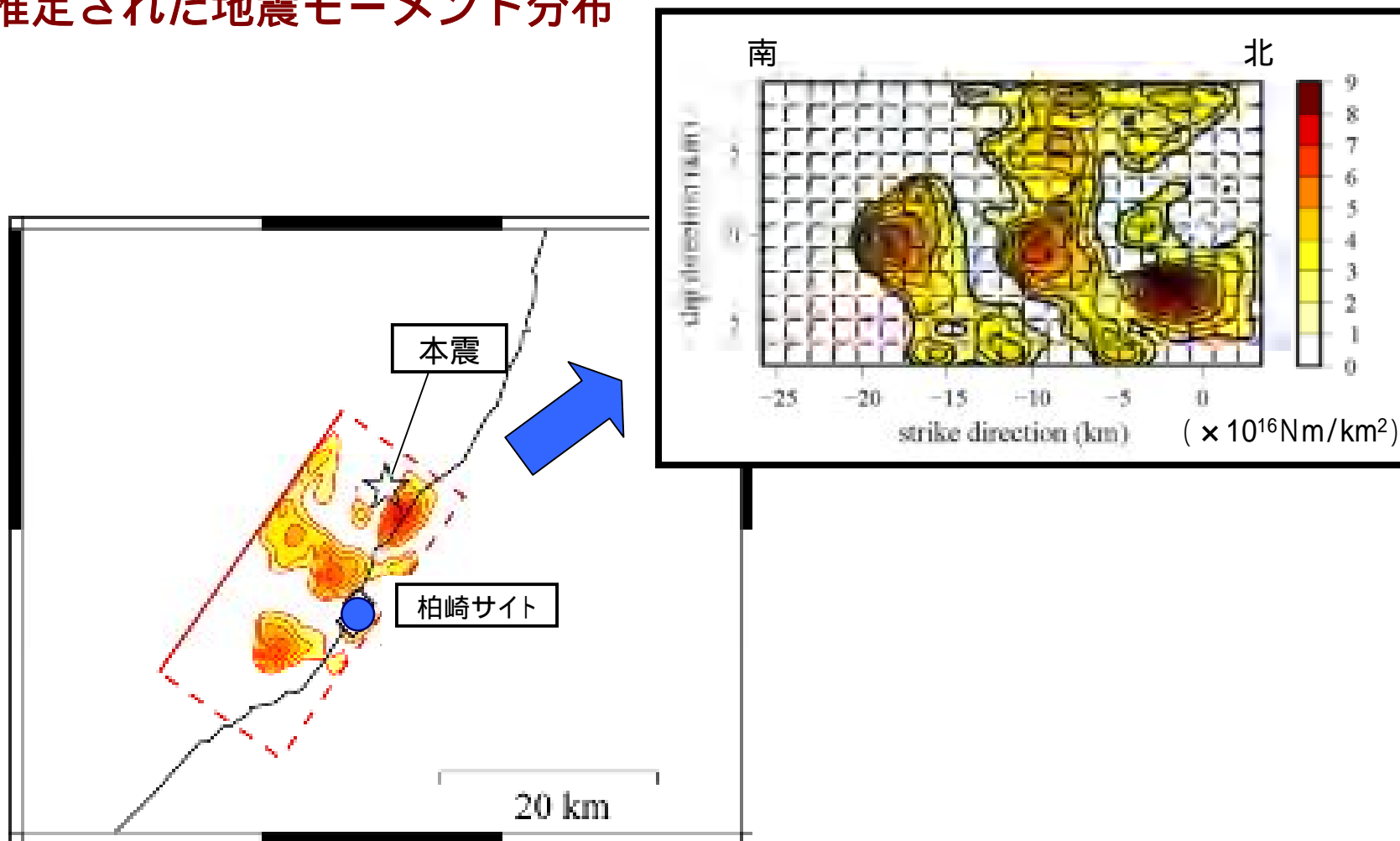
解析周波数帯域0.1 ~ 2 Hz
変位波形



解析に用いた観測点の分布

震源インバージョンに基づく検討

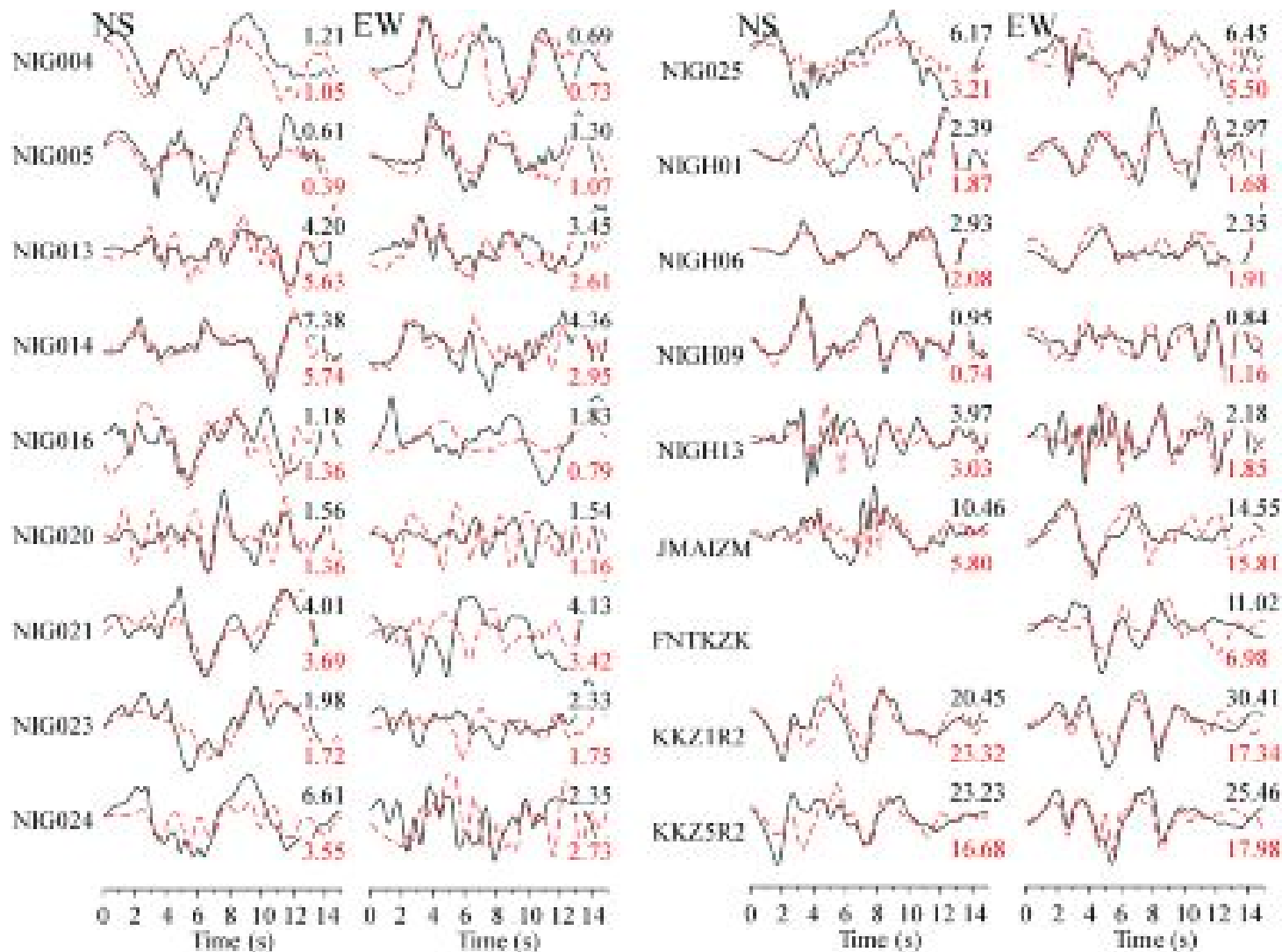
推定された地震モーメント分布



モーメント分布の地図上投影

震源インバージョンに基づく検討

推定された地震モーメント分布に基づく変位波形と観測記録の比較

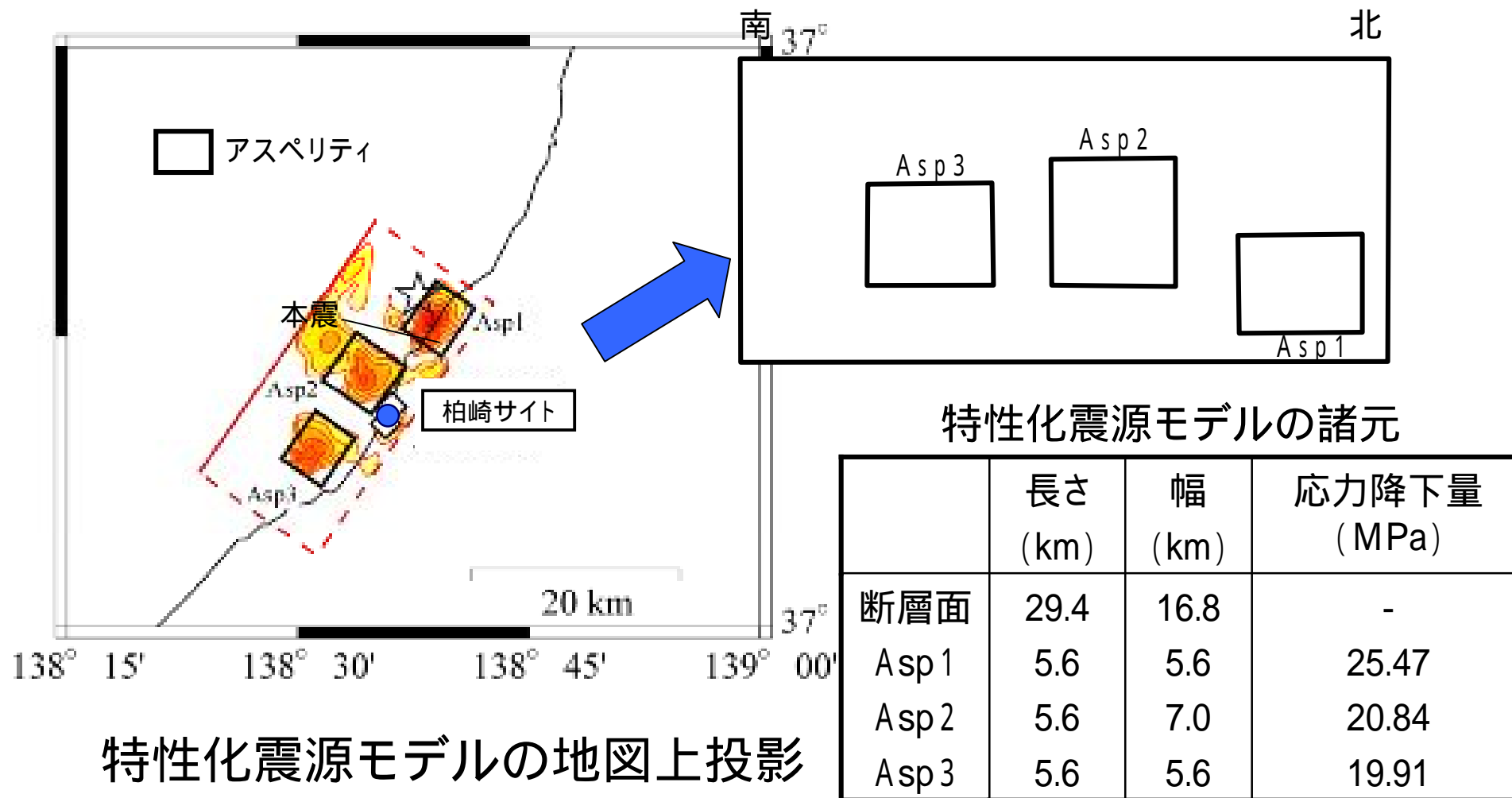


計算値は観測記録と概ね対応している

— 観測波形
- - 計算波形

震源インバージョンに基づく検討

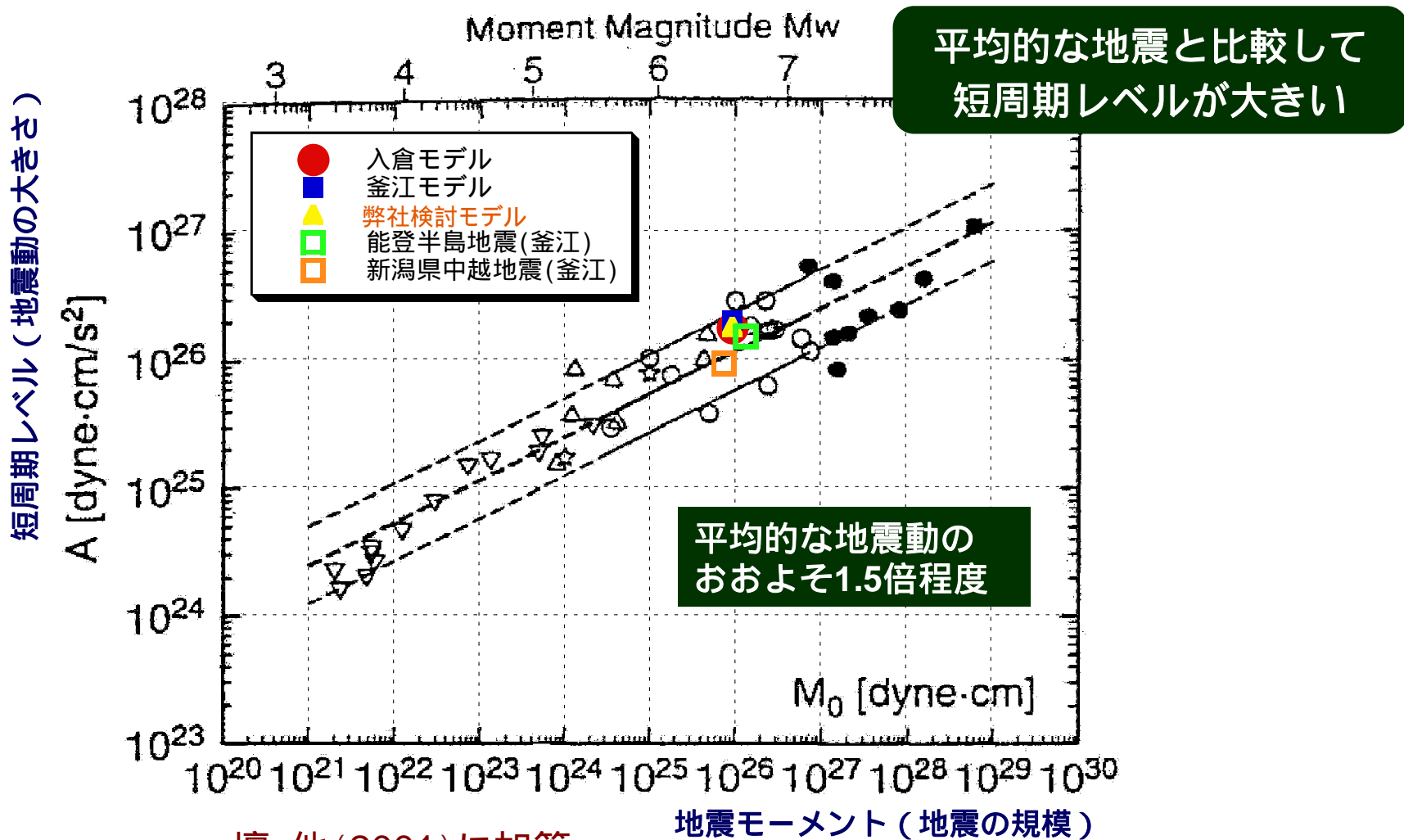
震源インバージョン結果から特性化震源モデルを構築



特性化震源モデルの地図上投影

震源インバージョンに基づく検討

断層モデルに基づく中越沖地震の短周期レベル

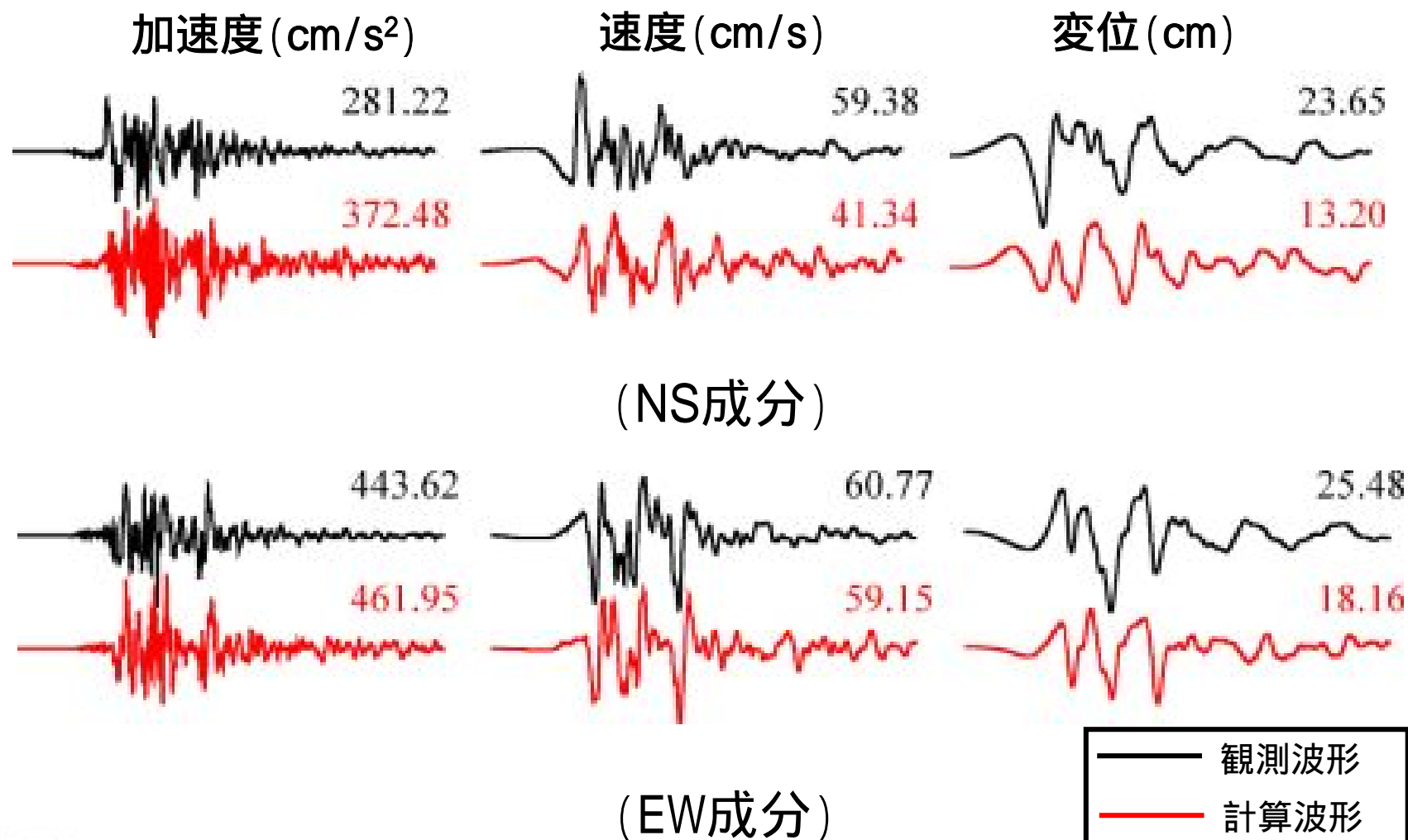


壇・他(2001)に加筆

震源インバージョンに基づく検討

特性化した震源モデルを用いた強振動予測

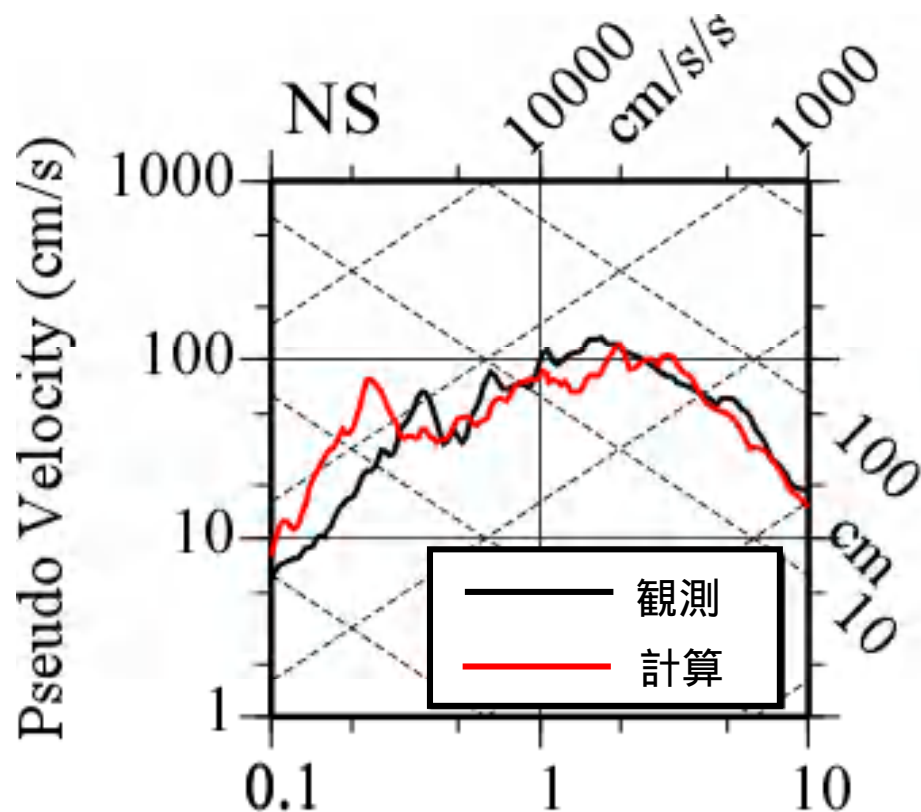
5号機（基礎版上）のシミュレーション結果



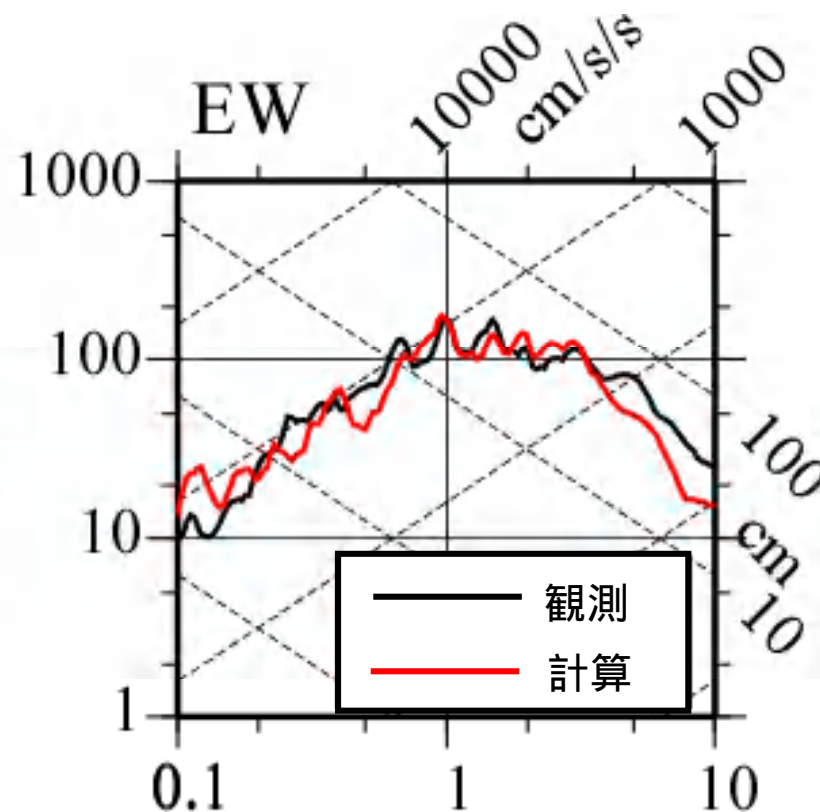
震源インバージョンに基づく検討

特性化した震源モデルを用いた強振動予測

5号機（基礎版上）のシミュレーション結果



Period (s)
(NS成分)



Period (s)
(EW成分)

震源インバージョンに基づく検討（まとめ）

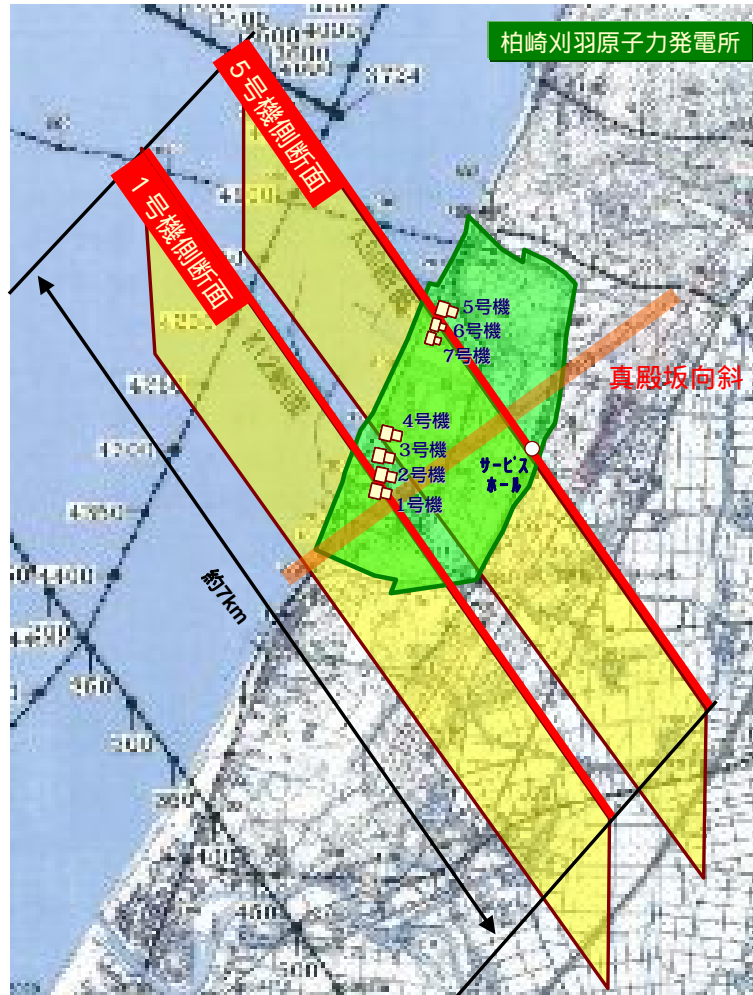
- 特性化した震源モデルの応力降下量は、平均的地震に比べて大きい
- 特性化した震源モデルにおける強振動予測は、概ね観測記録と対応している

褶曲構造を考慮した 2 次元不整形モデルによる検討

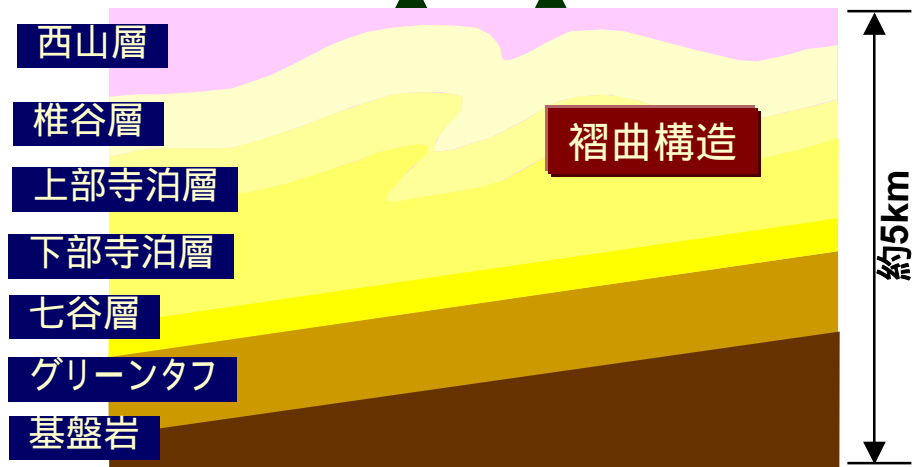
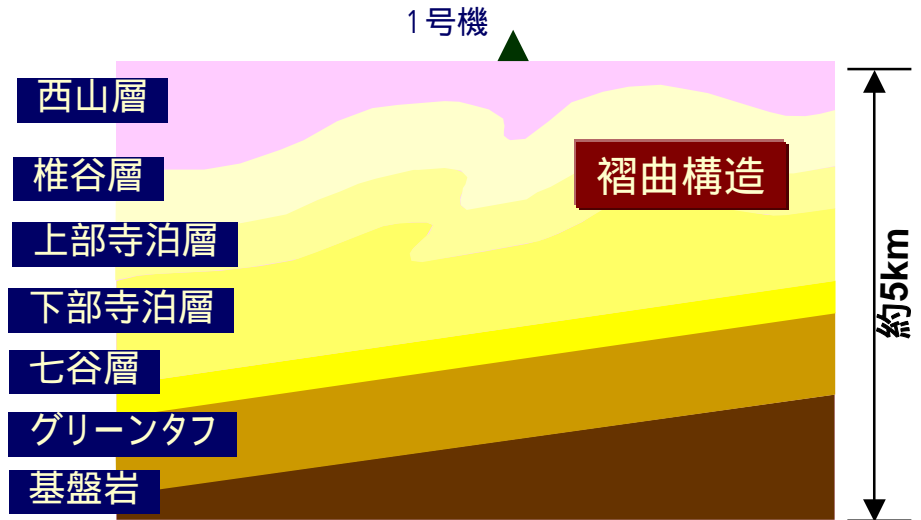
- 観測記録の検討から，敷地内における増幅率の差がみられる
- 地盤調査の結果に基づいた不整形性を考慮した地盤モデルによって，地震動シミュレーションを実施し，地盤の増幅特性を検討する

褶曲構造を考慮した2次元不整形モデルによる検討

真殿坂向斜に直交する断面で
2次元FEM地盤モデルを作成



地盤モデルのイメージ図

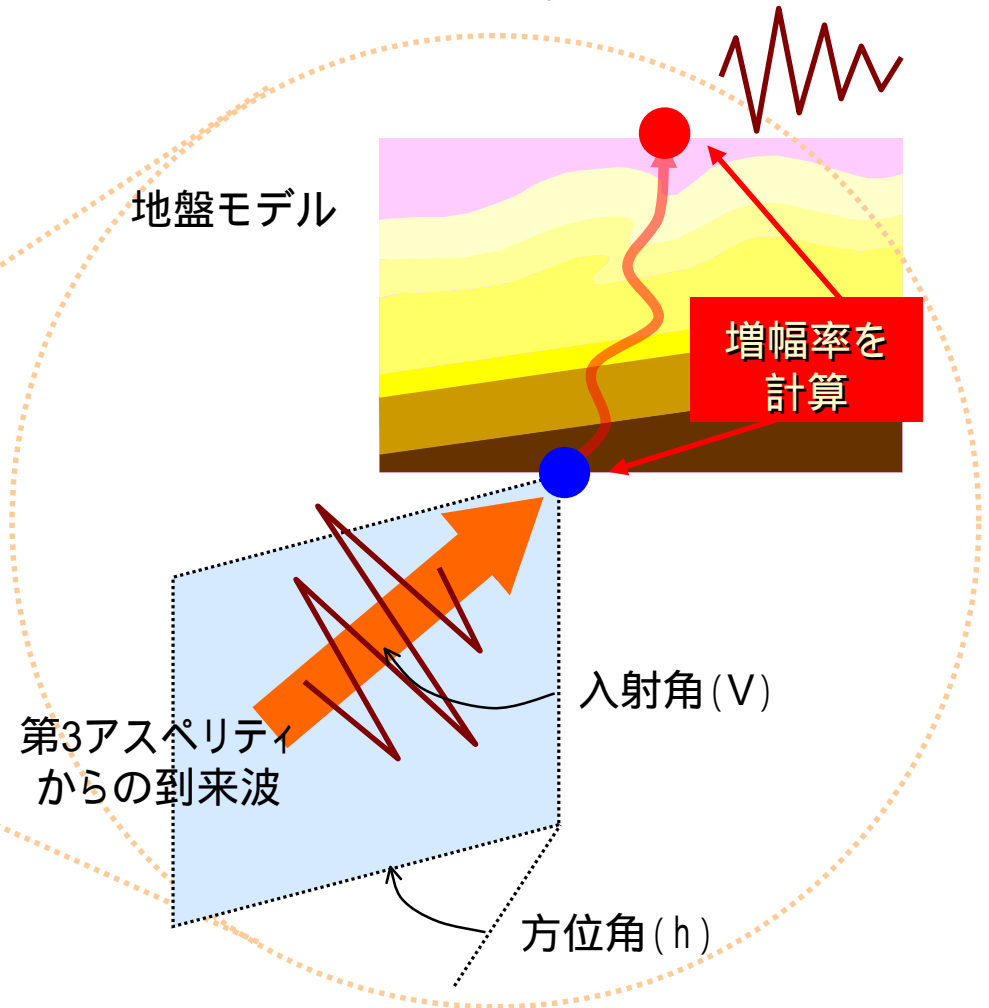


5号機断面

褶曲構造を考慮した2次元不整形モデルによる検討

入力地震動の入射角・放射角について

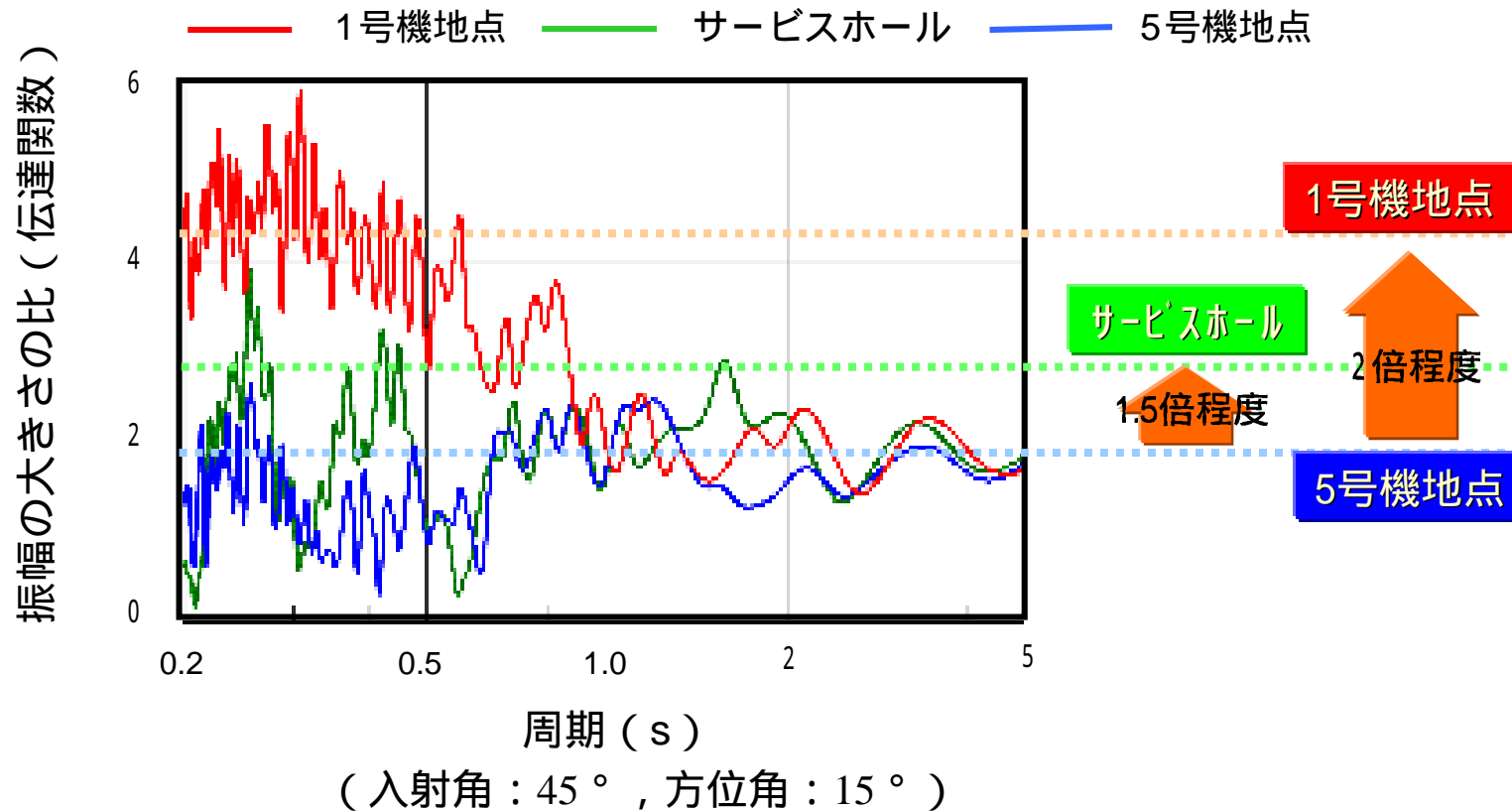
中越沖地震の第3アスペリティ位置から到来する地震波を想定し、斜め入射角及び方位入射角を設定



褶曲構造を考慮した2次元不整形モデルによる検討

地震基盤からの地盤増幅特性

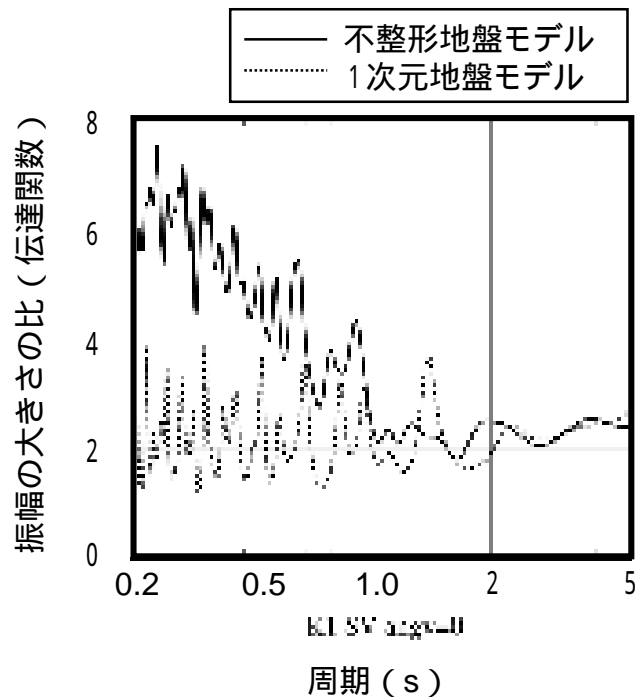
第3アスペリティから入射する地震動の地盤増幅特性



地盤モデル底部から入力した地震波がモデル上端に到達したときの増幅率

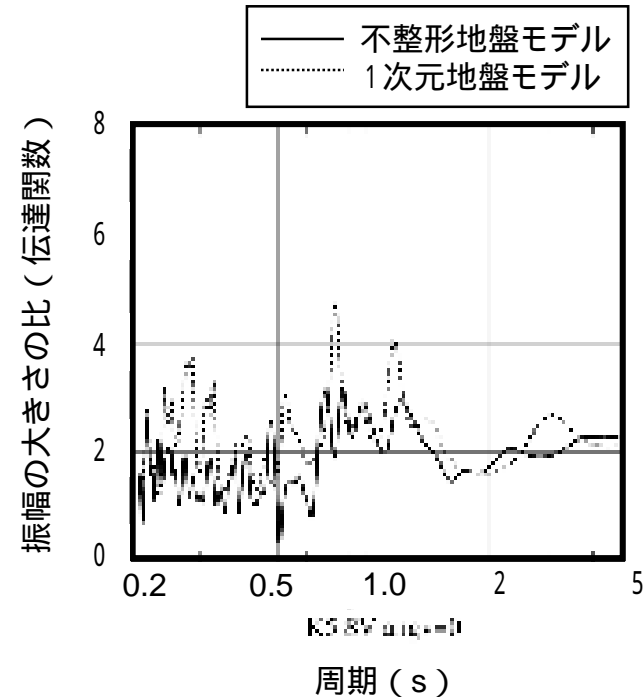
褶曲構造を考慮した2次元不整形モデルによる検討

地震基盤からの地盤増幅特性



1次元地盤モデル < 不整形地盤モデル

1号機地点



1次元地盤モデル < 不整形地盤モデル

5号機地点

1号機地点は不整形の影響が大きい

褶曲構造を考慮した2次元不整形モデルによる検討（まとめ）

- 1号機地点の増幅は，5号機地点の増幅と比較して有意に大きい
- 5号機地点は1次元地盤の増幅特性と差異が少ないが，1号機地点は，不整形の効果が大きい
- 局所的な領域に地震波が集中する傾向を確認でき，1号機は，地震波が集中する場所に位置することが確認できた。

深部地盤の不整形性が地震動に及ぼす影響の検討

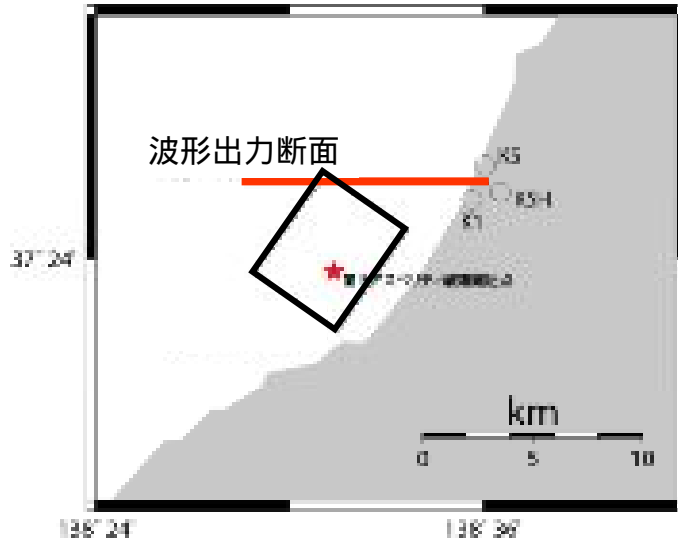
- 震源から敷地までの伝播経路において，地震動が増幅する傾向が見られるか，3次元地下構造モデルを用いて検討する
- 震源は震源インバージョン手法で求めた第3アスペリティからの地震波を求める。また，3次元地下構造モデルの設定は，JNES（2005）による速度構造モデルを基本とする

JNES（2005）の地盤モデルと今回解析に用いた地盤モデルとの相違点

- ・ 震源の端部が，JNES（2005）による地盤モデルの境界に近い場合，平行成層を仮定してモデル境界を拡張した
- ・ 震源インバージョン手法で使用した地震基盤のS波速度とJNESモデルが異なるため，震源インバージョン手法によるS波速度に置き換えた。

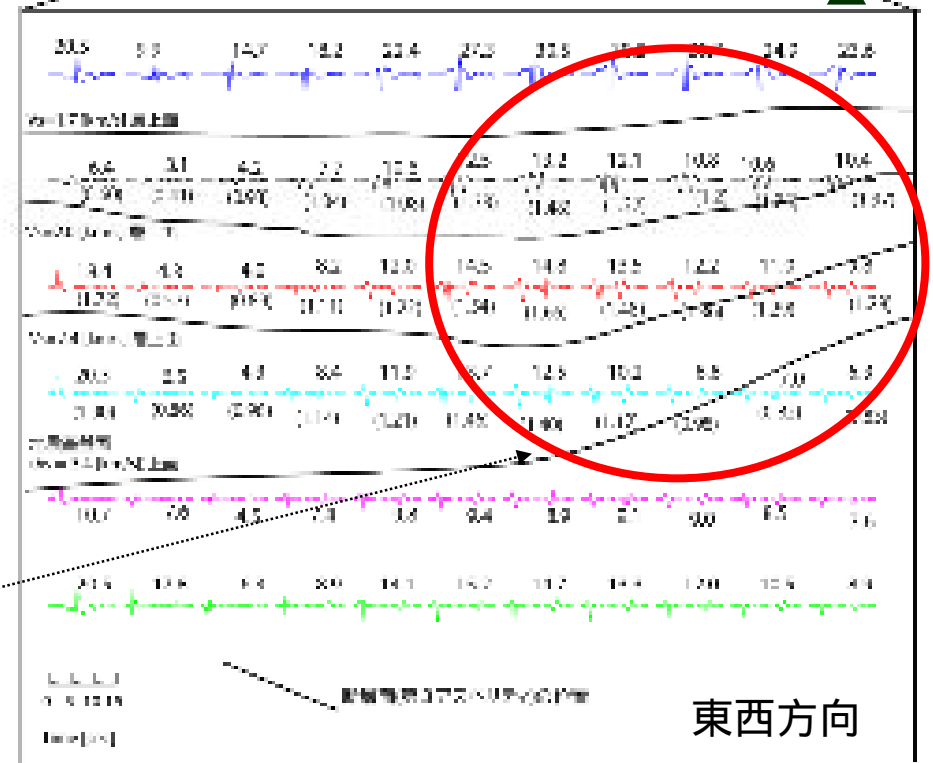
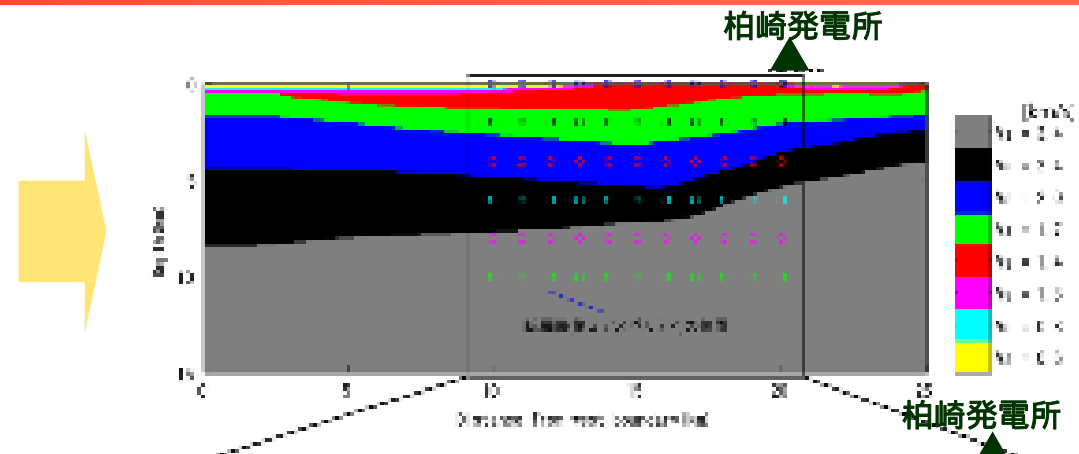
深部地盤の不整形性が地震動に及ぼす影響の検討

解析の結果



上段の数値は速度波形の値の最大値を示す
 ()内の数値は、地震基盤面における
 最大速度波形(ピンク色)に対する比率を示す

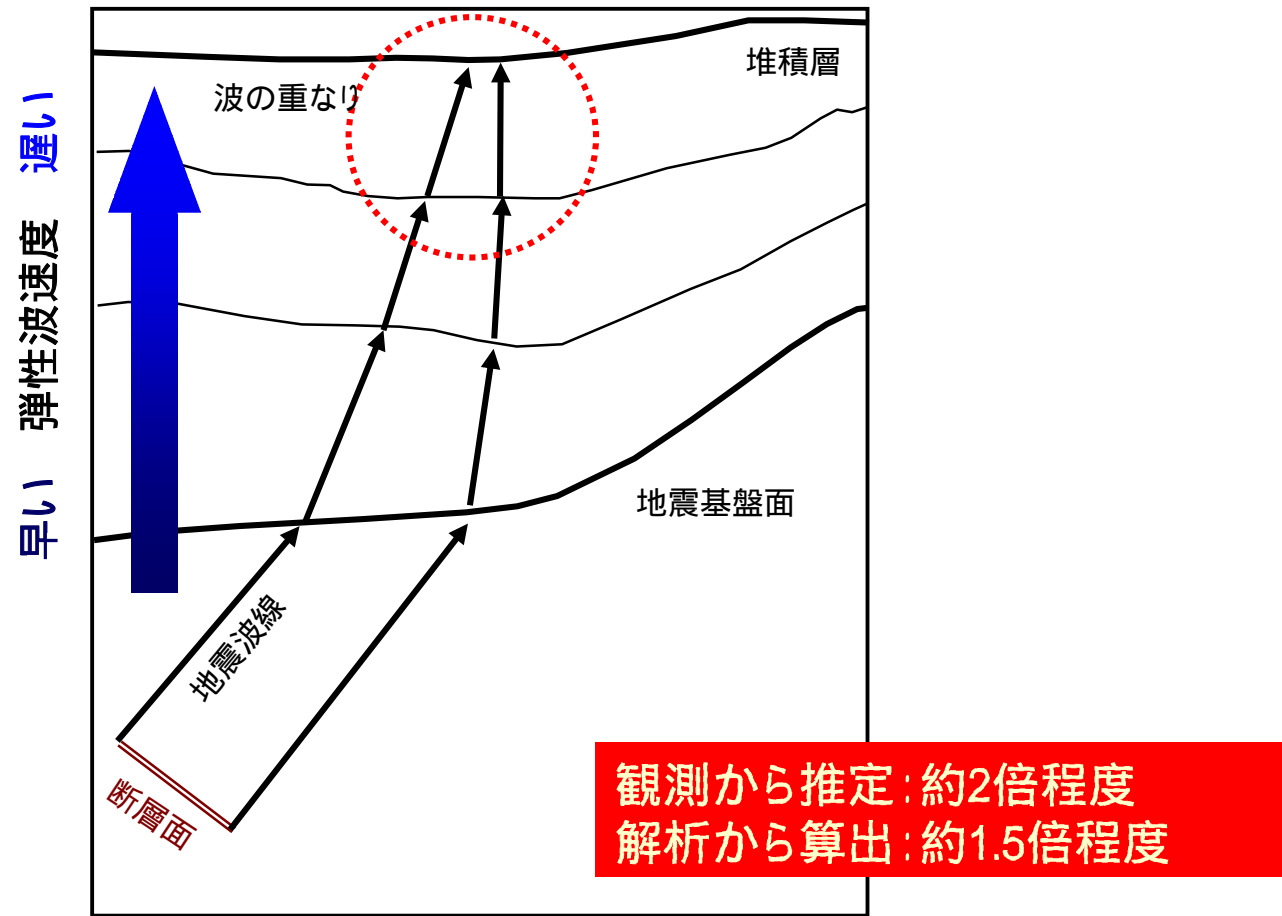
第3アスペリティからの地震動
 を入力した解析結果から、
 増幅する傾向がみられる



深部地盤の不整形性が地震動に及ぼす影響の検討

深部地盤の不整形性による増幅の解釈

深部地盤の不整形性によって、波が屈折して集まる



概念図

地震動の要因分析（まとめ）

中越沖地震の現象

敷地における観測記録は，中越沖地震の地震規模に相当する耐専スペクトル（内陸補正なし）より大きかった

（推定）1～4号機地点：4倍程度 5～7号機側：2倍程度

要因の推定

- 地震の規模から推定される地震動が，既往の地震の平均値より大きい

震源の要因 1.5倍程度

- 深部地盤の3次元的構造が複雑な形状をしているため，地震動が増幅した（フォーカシング等）

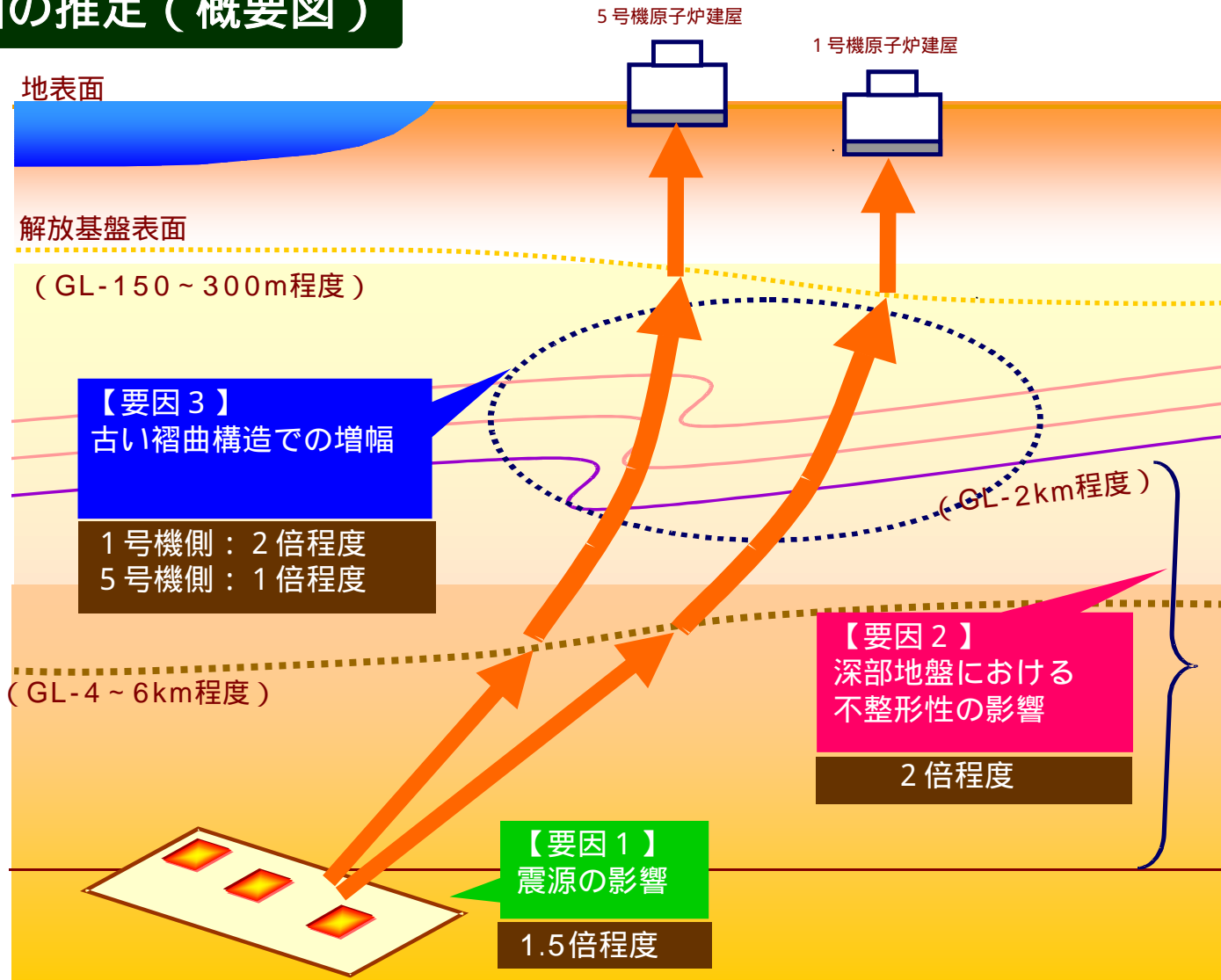
深部地盤の要因 2倍程度

- 敷地下にある古い褶曲構造により，地震動が屈折し，重なり合う現象が起こり，向斜部の上部に立つ1～4号機地点の地震動が増幅した

敷地の地下にある褶曲構造の要因
1～4号機：2倍程度
5～7号機地点：1倍程度

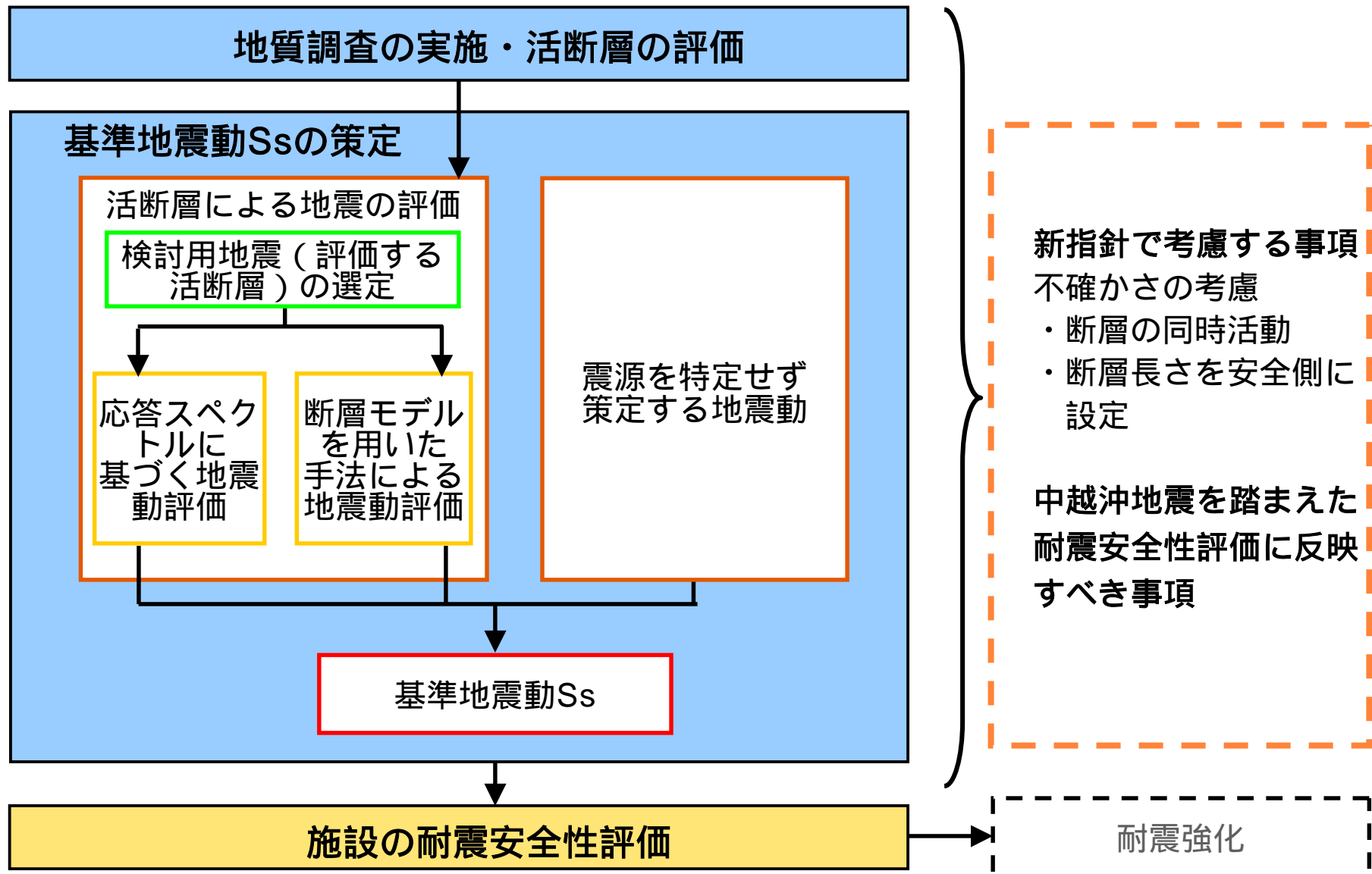
地震動の要因分析（まとめ）

要因の推定（概要図）



(3) 中越沖地震の知見を踏まえた基準地震動の策定

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)

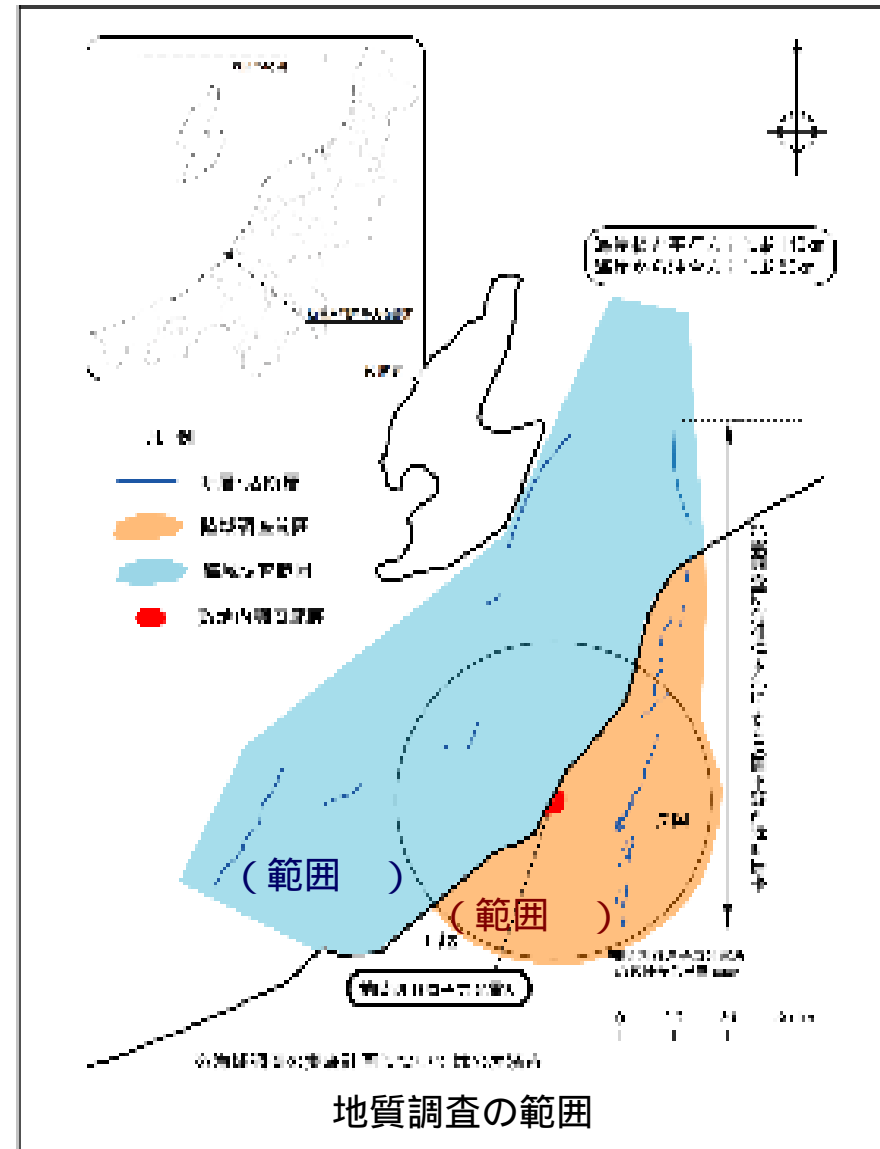
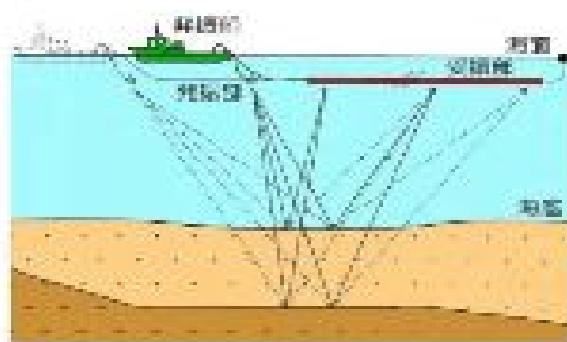
- 変動地形学的調査 (範囲)
- 地表地質調査 (範囲)
- 地下探査 (反射法地震探査) (範囲)
- ボーリング調査 (範囲)

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)

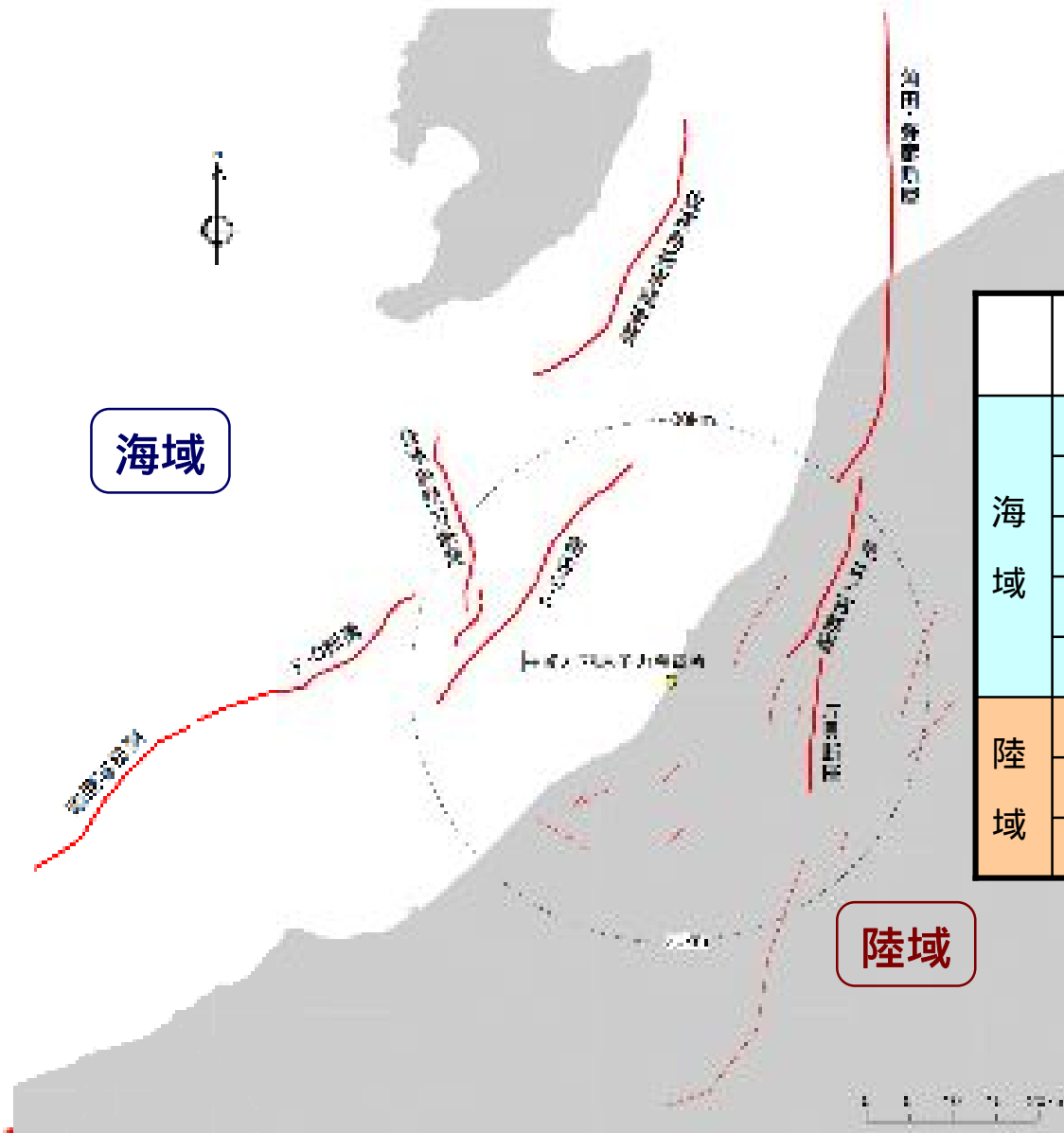
敷地を中心として，海岸線と平行方向に約140km，海岸から沖合方向に約50kmの範囲の海域について海上音波探査および海底地形調査等を実施した。

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。



3) 考慮すべき活断層の選定 (敷地周辺の活断層評価結果)

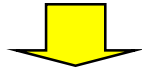
- 地質調査結果及び合同WGでの審議結果を踏まえ、柏崎刈羽原子力発電所周辺海域及び陸域において、基準地震動を策定する上で考慮すべき主な活断層を評価



	断層名	断層長さ	安全評価上の考慮
海域	佐渡島棚東縁断層	約37km	
	F - B断層	約27km	36km
	佐渡島南方断層	約29km	
	F - D断層	約30km	55kmの同時活動
	高田沖断層	約25km	
陸域	角田・弥彦断層	約54km	91kmの同時活動
	気比ノ宮断層	約22km	
	片貝断層	約16km	

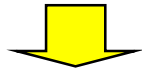
4) 検討用地震の選定 (検討用地震の選定フロー)

考慮すべき活断層の選定



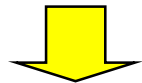
海域と陸域で分類

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



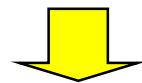
Noda et al. (2002) による
応答スペクトルの比較

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

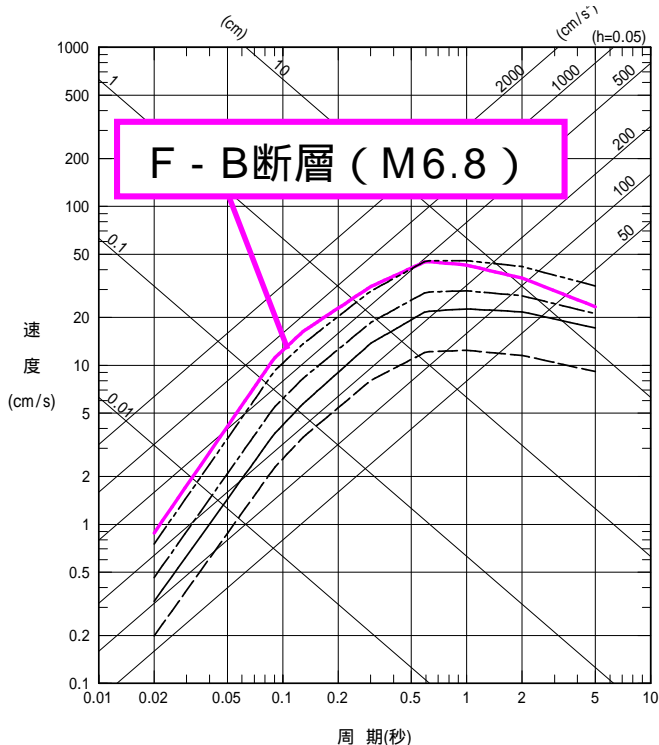


地震動評価

4) 検討用地震の選定 (海域の活断層)

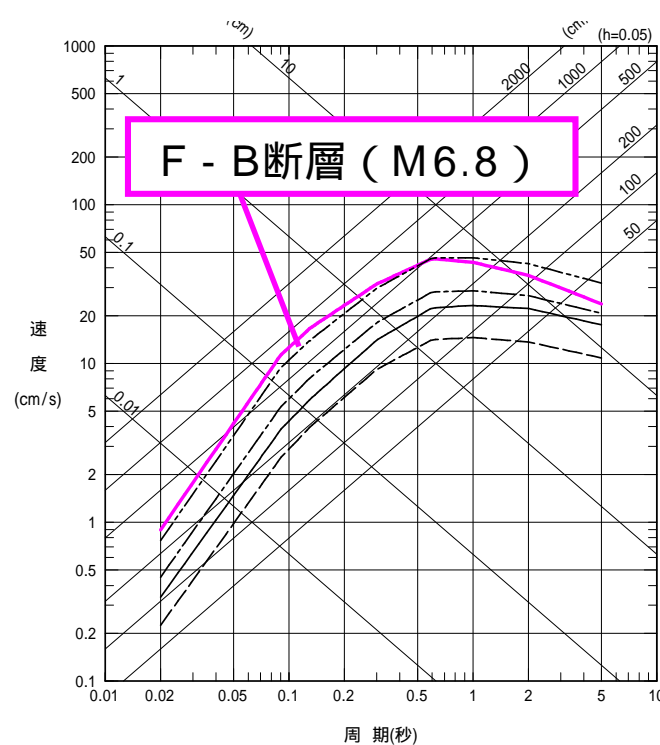
基本ケース

- 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)

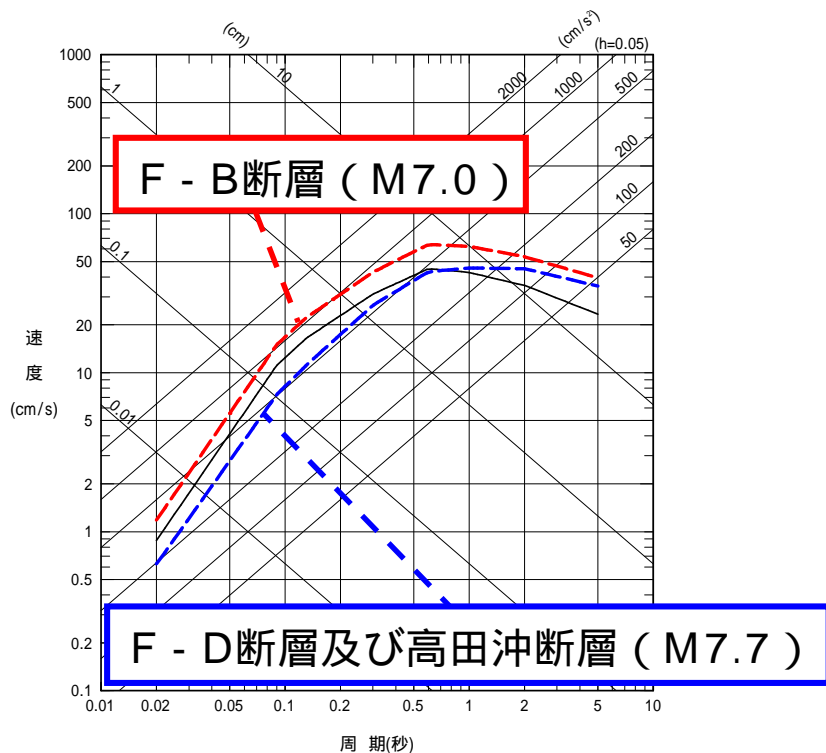
主要周期帯では , F - B断層 (M6.8) の影響大

4) 検討用地震の選定 (海域の活断層)

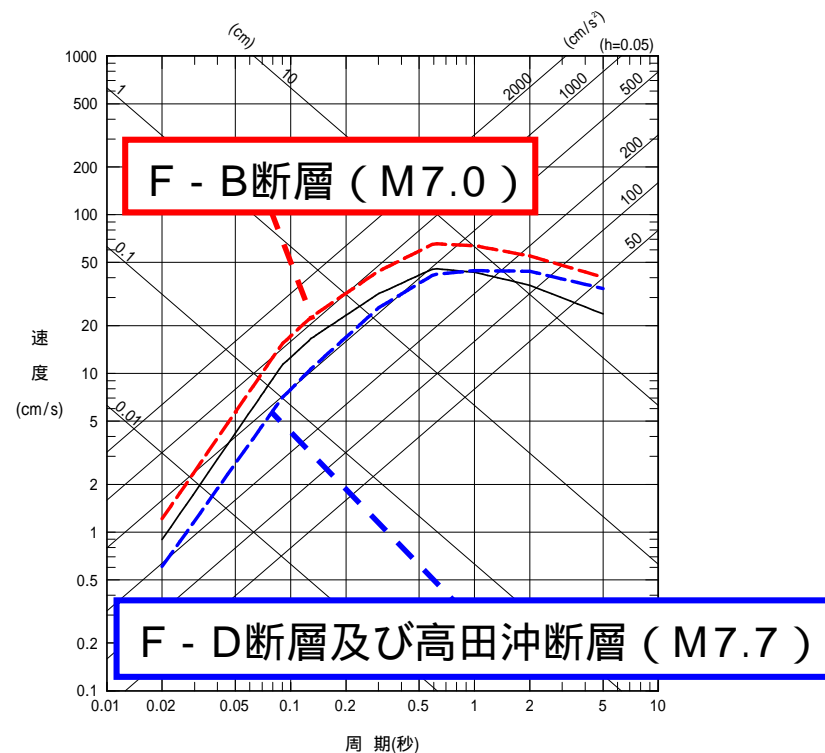
断層長さ (地震規模) の不確かさを考慮したケース

- F - B断層・基本ケース (M6.8 , Xeq=14km)
- - - F - D断層 + 高田沖断層 (M7.7 , Xeq=41km)
- - - F - B断層 (M7.0 , Xeq=13km)

- F - B断層・基本ケース (M6.8 , Xeq=14km)
- - - F - D断層 + 高田沖断層 (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)

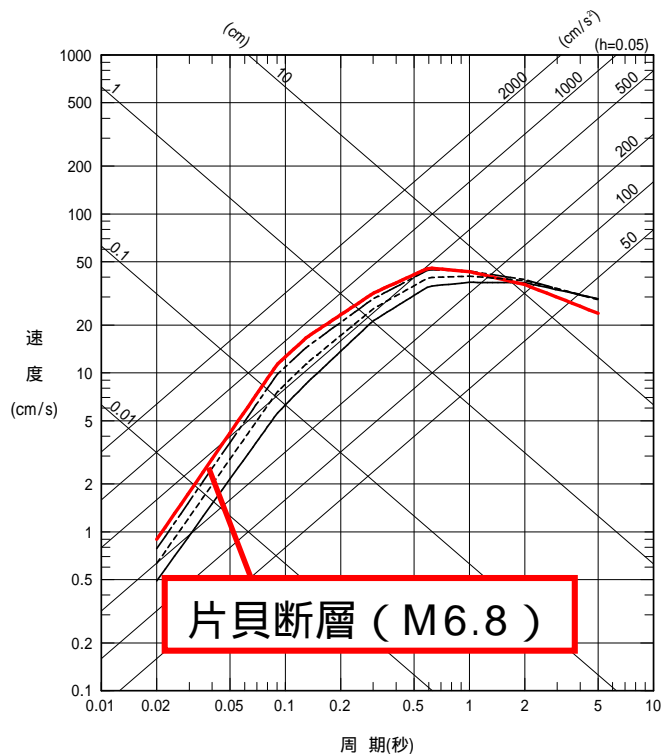
不確かさを考慮したF - B断層 (M7.0) の影響が最も大きい

4) 検討用地震の選定 (陸域の活断層)

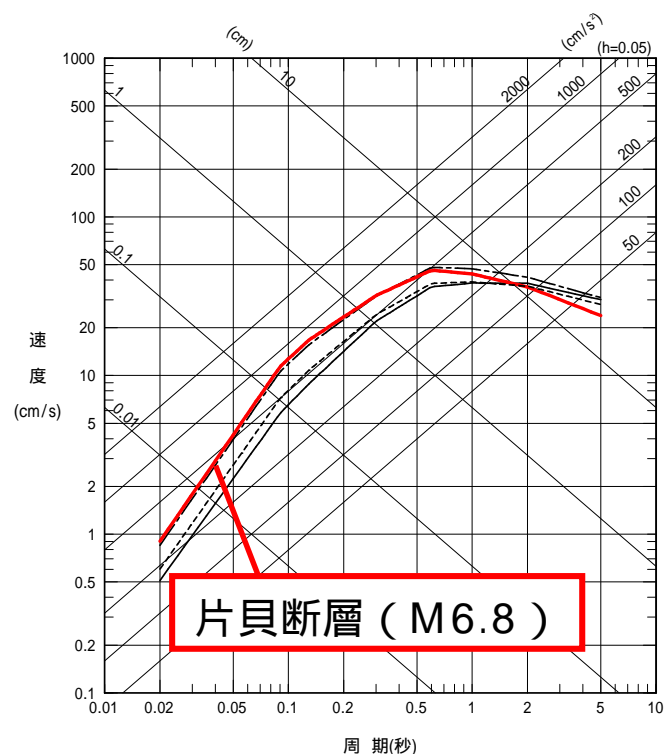
基本ケース

- 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)

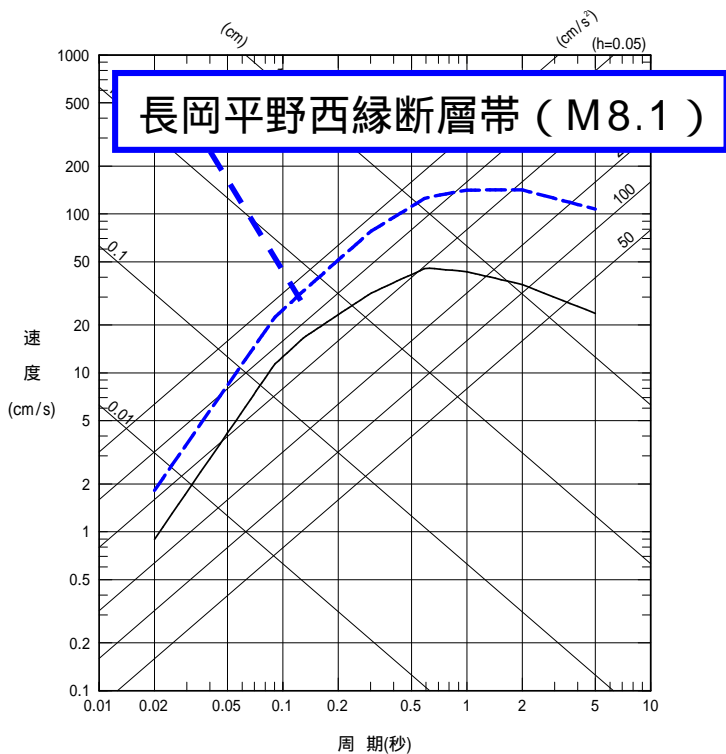
主要周期帯では, 片貝断層 (M6.8) の影響大

4) 検討用地震の選定 (陸域の活断層)

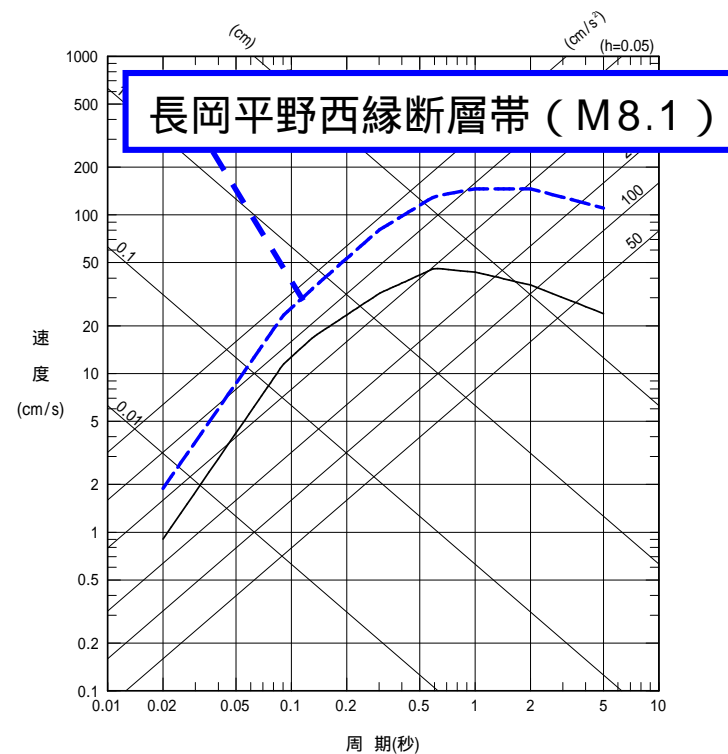
断層長さ (地震規模) の不確かさを考慮したケース

—— 片貝断層・基本ケース (M6.8, $X_{eq}=14\text{km}$)
 - - - 長岡平野西縁断層帯 (M8.1, $X_{eq}=25\text{km}$)

—— 片貝断層・基本ケース (M6.8, $X_{eq}=14\text{km}$)
 - - - 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

5) 検討用地震の地震動評価

検討用地震

■ 海域の活断層 ■ F-B断層による地震

■ 陸域の活断層 ■ 片貝断層による地震
(長岡平野西縁断層帯による地震)

地震動評価

■ 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

■ 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

F - B断層（断層モデルの構築）

断層モデルの設定方針

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36km）。

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。

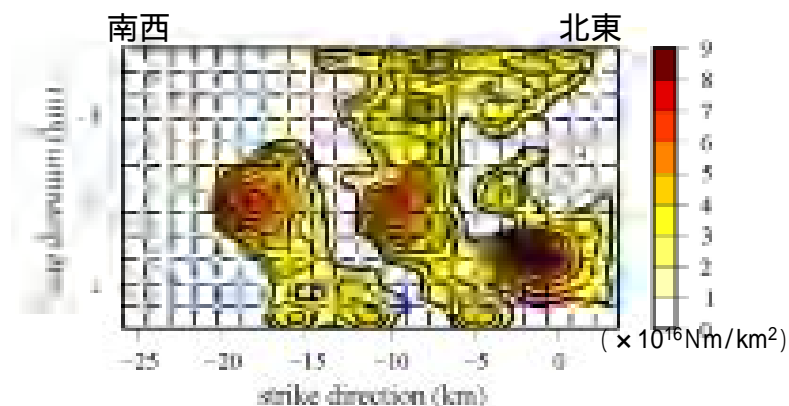
地震発生層は，敷地周辺の微小地震分布等に基づき，上端深さを6km，下端深さを17kmと設定。

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。

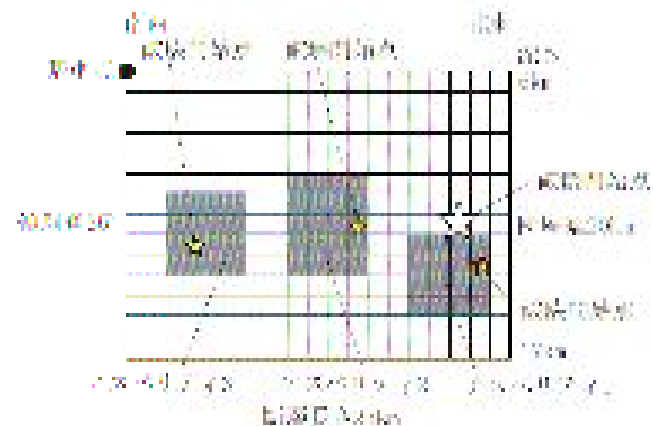
微視的断層パラメータは，中越沖地震の震源インバージョン結果に基づき，断層長さを中越沖地震の27kmから36kmに拡張することを前提として設定。

F - B断層（断層モデルの構築）

中越沖地震（M6.8）の震源インバージョン結果等を参考に，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，アスペリティモデルを構築。（断層長さ27km × 断層幅20km）

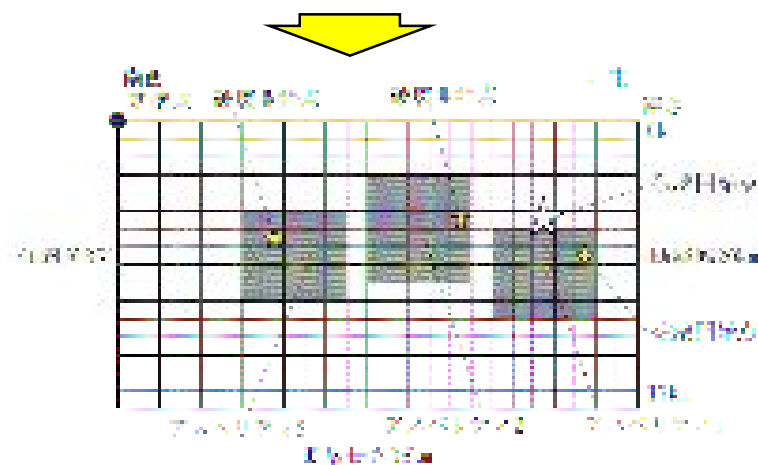


中越沖地震震源インバージョン結果（M6.8）



中越沖地震アスペリティモデル（M6.8）

で構築した中越沖地震のアスペリティモデルを地質調査結果に基づく断層長さ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。

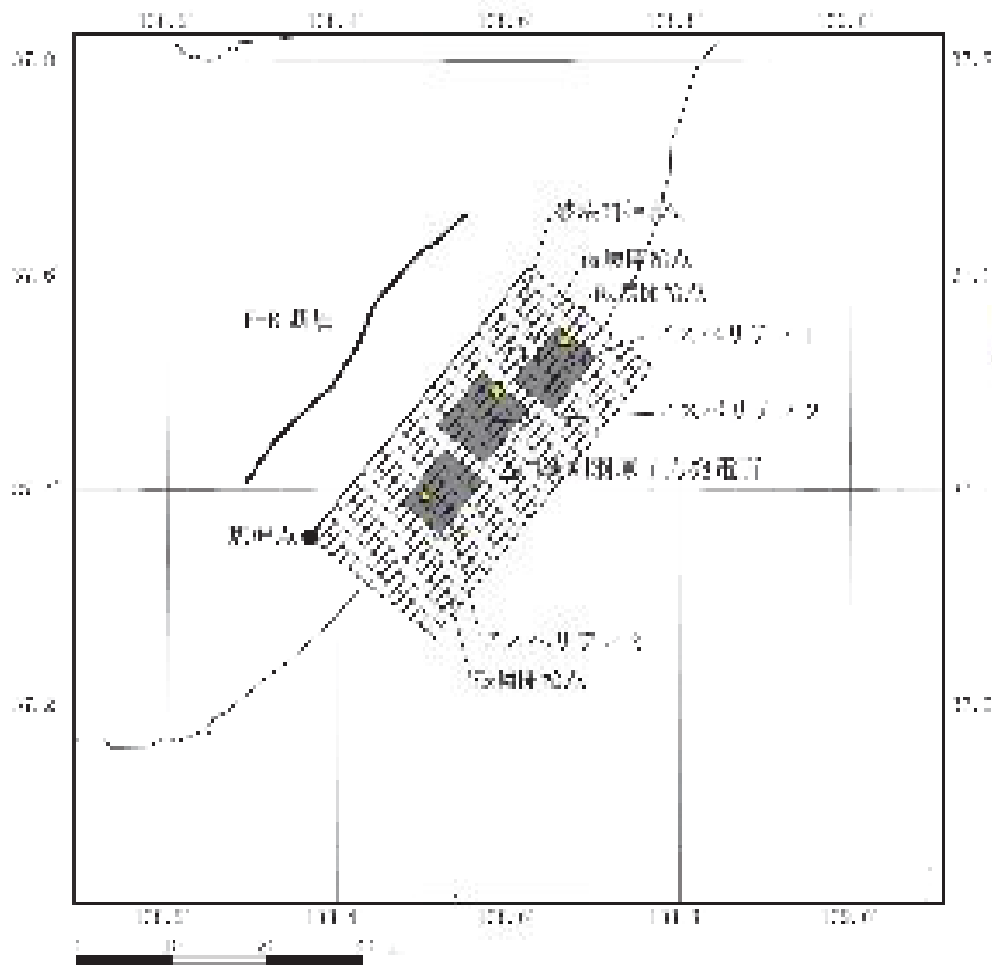


F - B断層の断層モデル（M7.0）

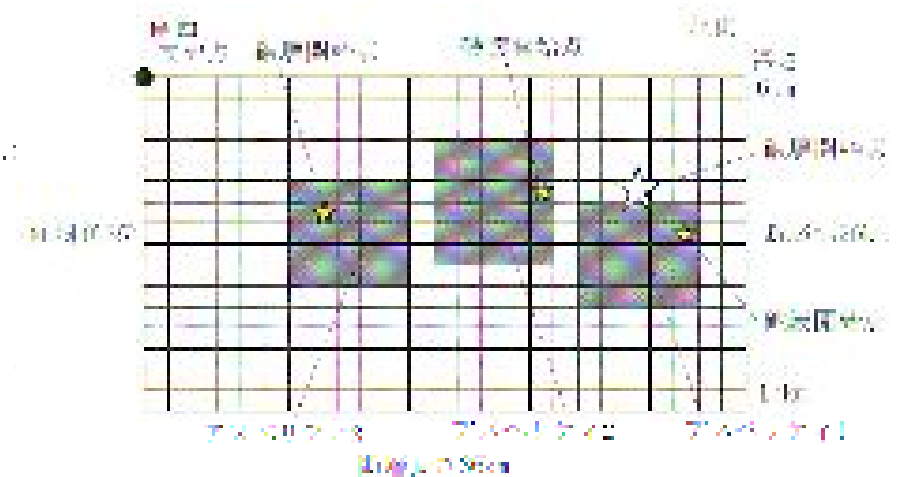
F - B断層（断層モデルの構築）

断層モデル（合同WG審議反映：断層長さ36km）

平面図



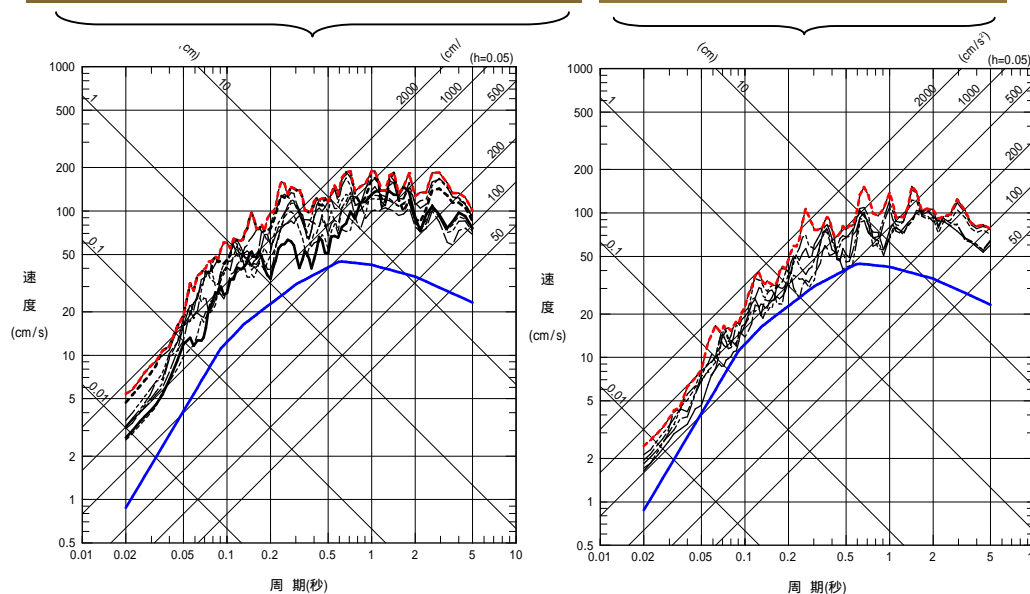
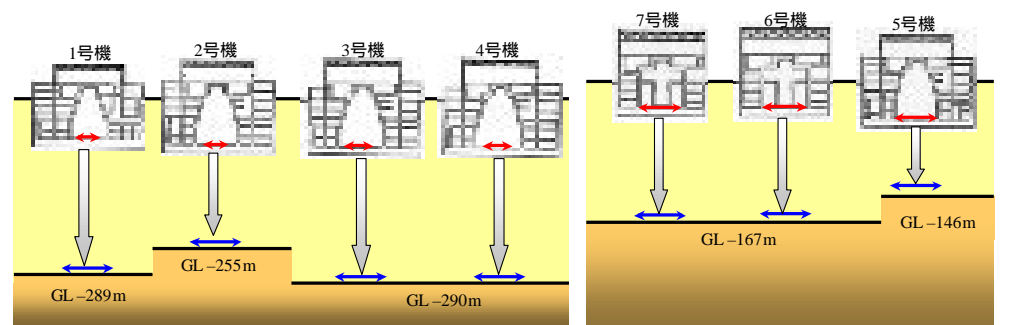
断面図



（主な諸元）
断層長さ：36km
断層幅：20km
傾斜角：35°（東傾斜）
アスペリティ：3個

F - B断層（応答スペクトル法に用いるサイト補正係数）

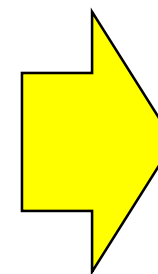
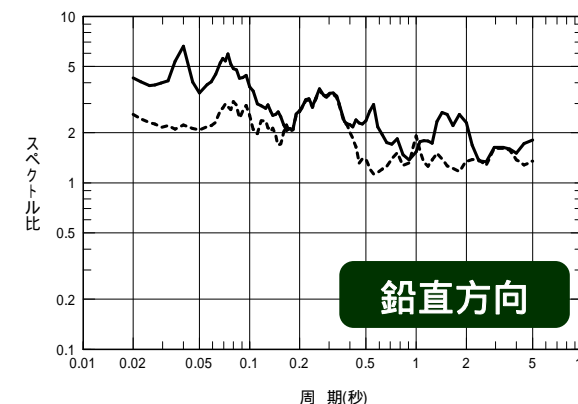
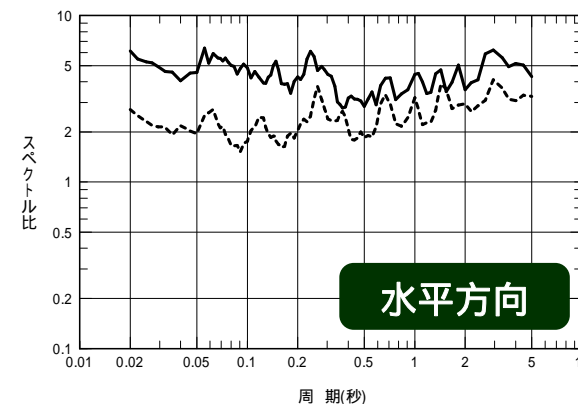
- 評価手法：Noda et al. (2002) による手法
- サイト補正係数：中越沖地震の各号機原子炉建屋基礎版上の観測記録から推定した解放基盤波とNoda et al. (2002) による応答スペクトルの比を、安全側に包絡して設定（下図の赤線：水平方向の場合）



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）

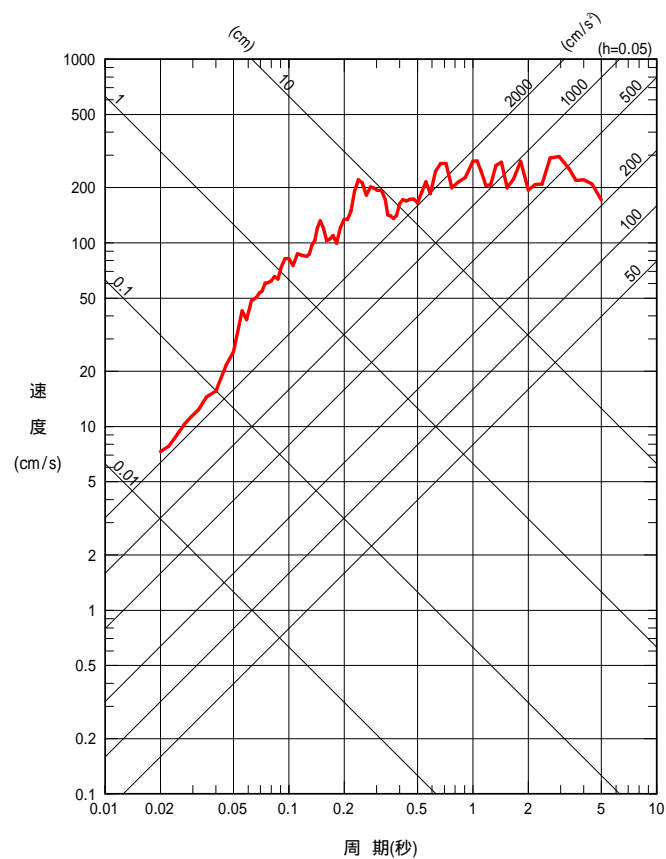


〔 赤線 〕
 〔 青線 〕

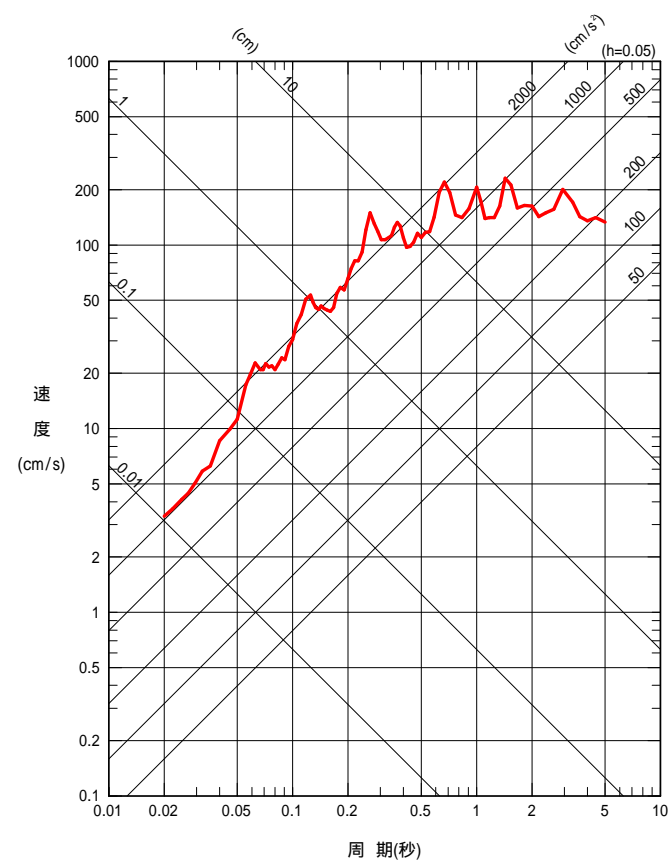
F - B断層（応答スペクトル法による地震動評価）

水平方向

— Noda et al. (2002) に基づく評価



荒浜側（1～4号機）

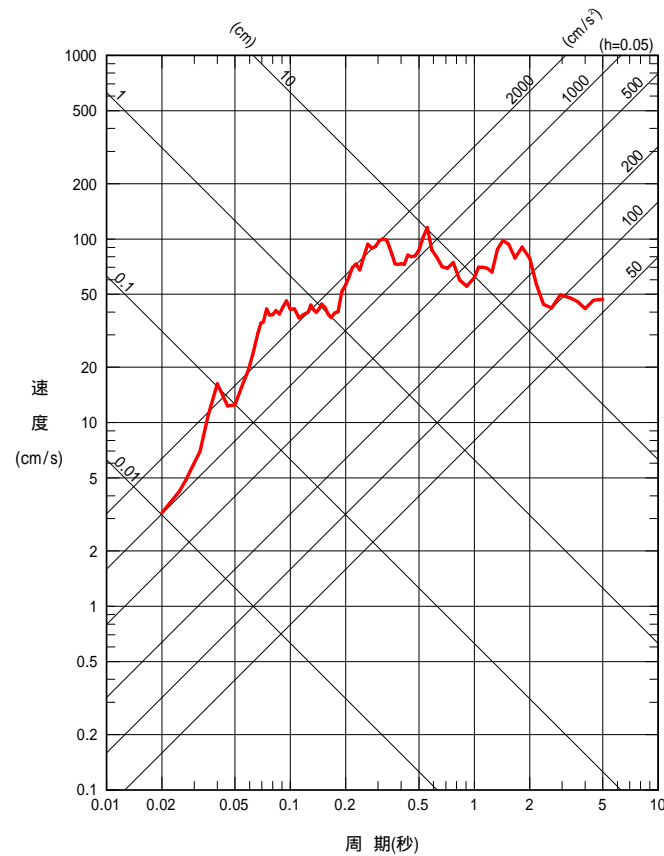


大湊側（5～7号機）

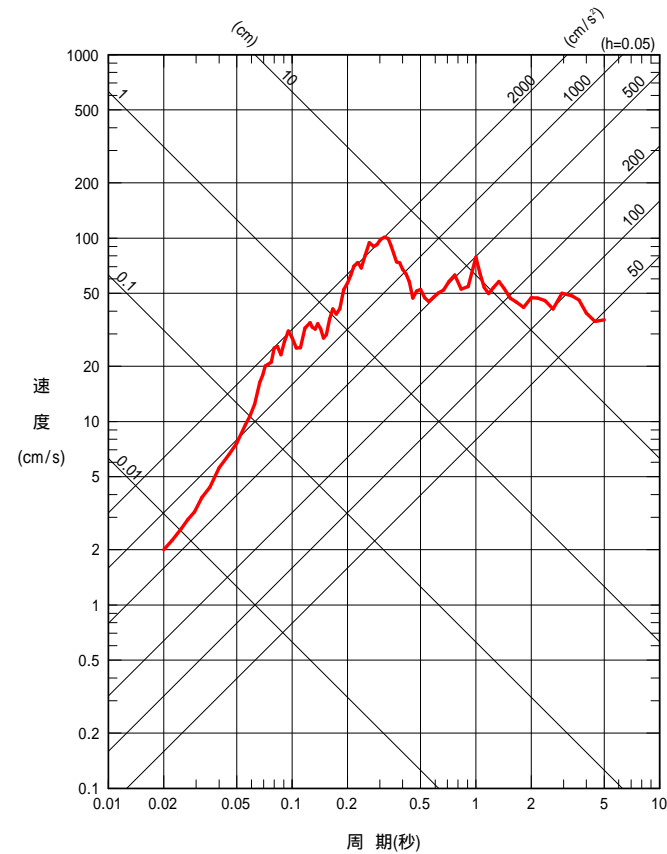
F - B断層（応答スペクトル法による地震動評価）

鉛直方向

— Noda et al. (2002) に基づく評価



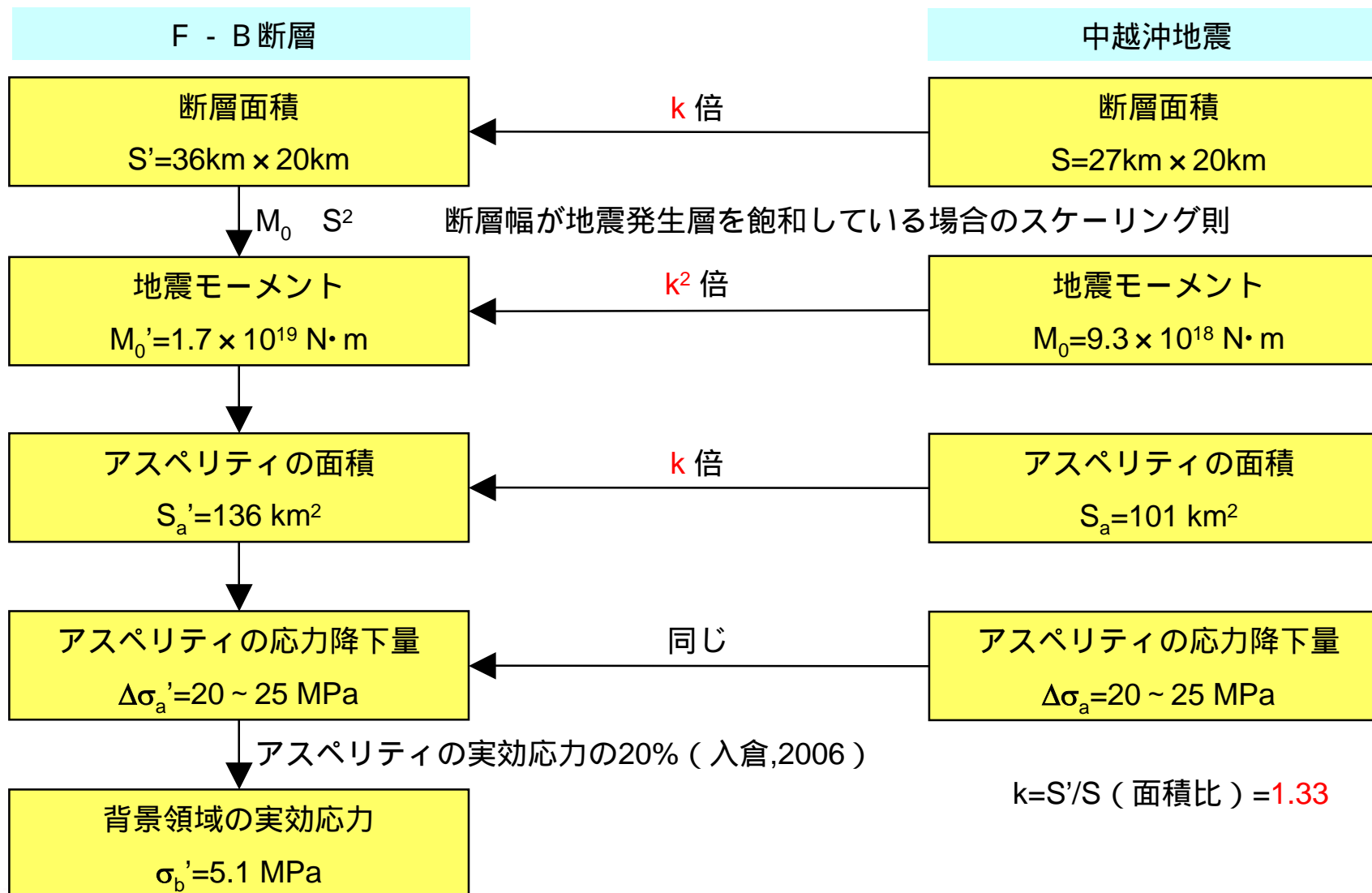
荒浜側（1～4号機）



大湊側（5～7号機）

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（合同WG審議反映：断層長さ36km）



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)		36.0
	断層幅 (km)		20.0
	断層面積 (km ²)		720
	走向 (°)		39
	傾斜角 (°)		35
	破壊伝播形式		マルチハイポセンター
	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	基準点	東経 (°)	138.61
		北緯 (°)	37.50
	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

■ : 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)		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	基準点	東経 (°)	138.47
		北緯 (°)	37.39
	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
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

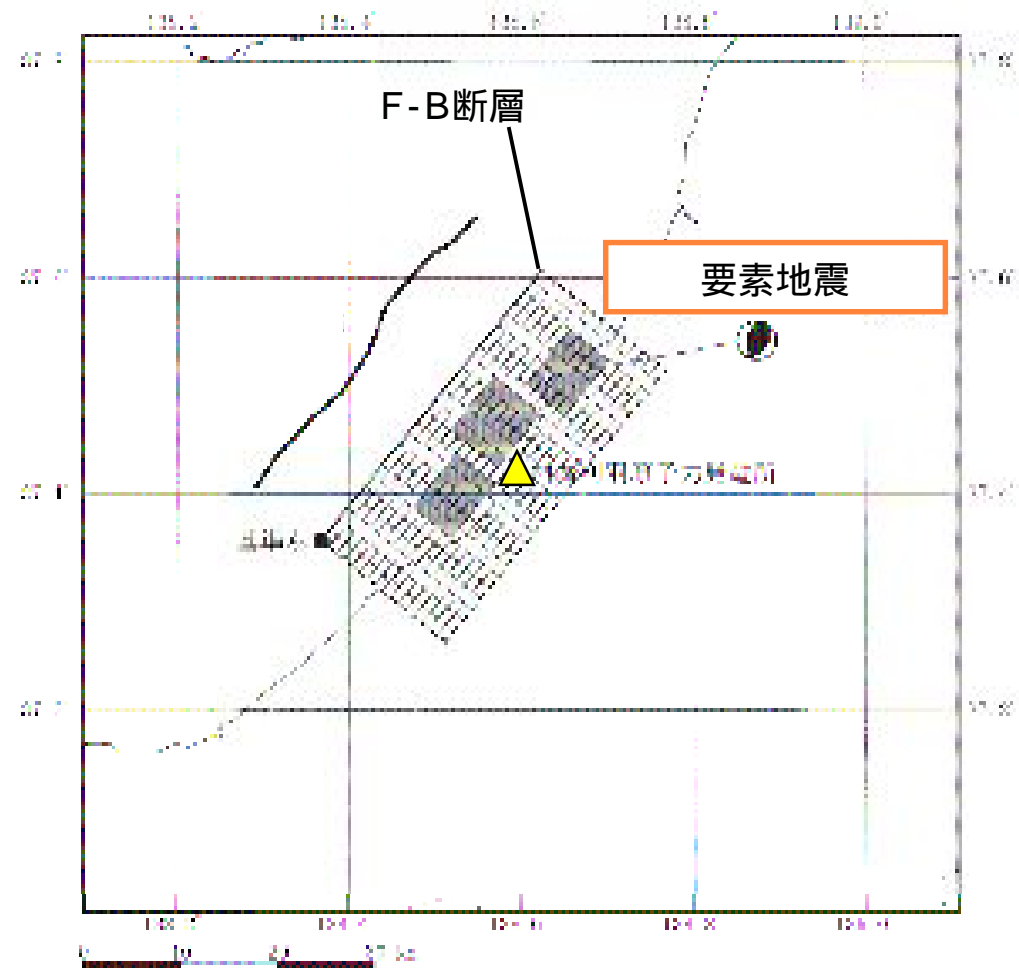
F - B断層（要素地震の諸元）

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



F - B断層（要素地震波の補正）

中越沖地震のシミュレーション

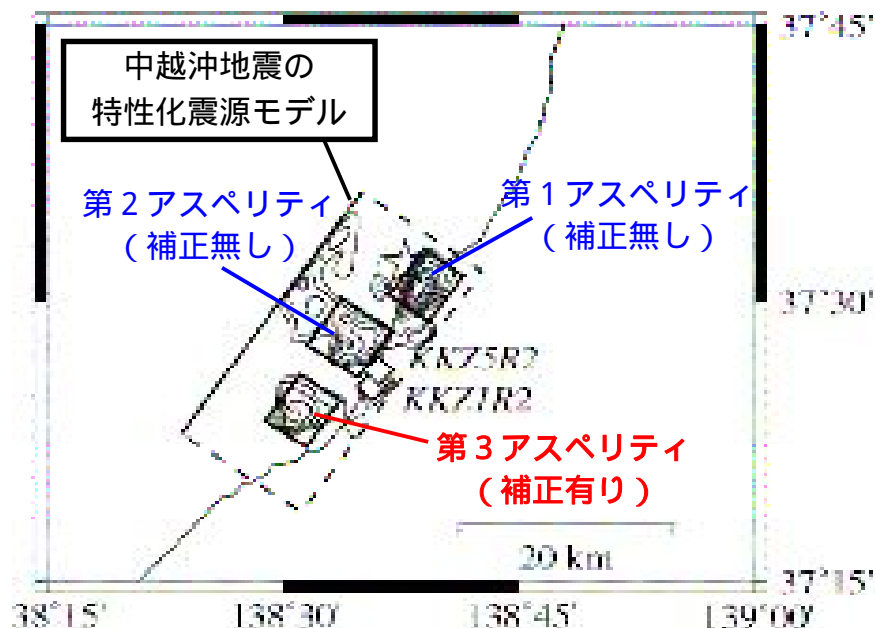
震源インバージョン結果に基づく中越沖地震の特性化震源モデルによるシミュレーション結果は、大湊側で観測記録を良く再現しているものの、荒浜側では過小評価。

〔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。

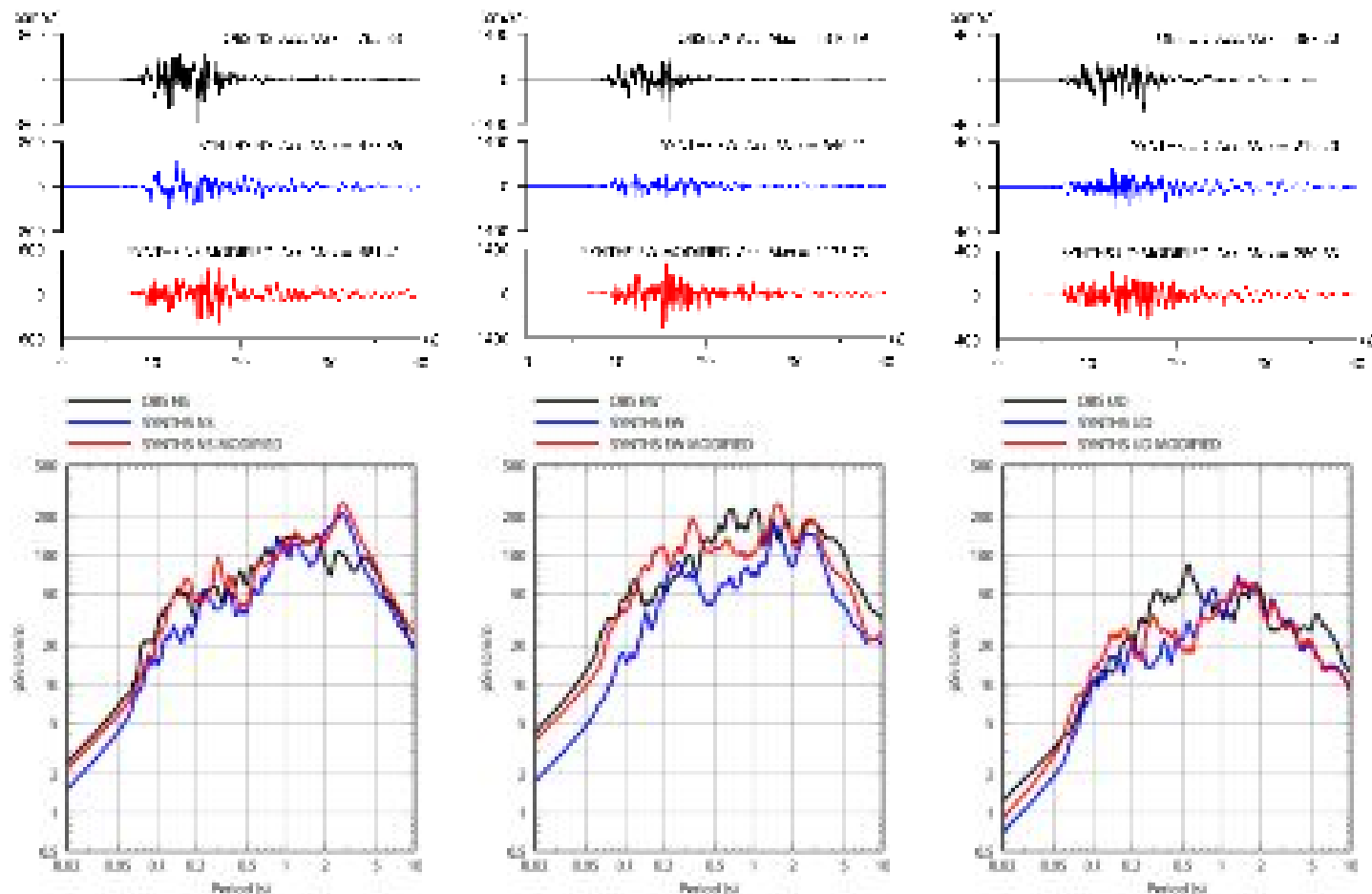
同様の考え方を「F - B断層による地震」の荒浜側における評価に反映。

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



F - B断層（要素地震波の補正）

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

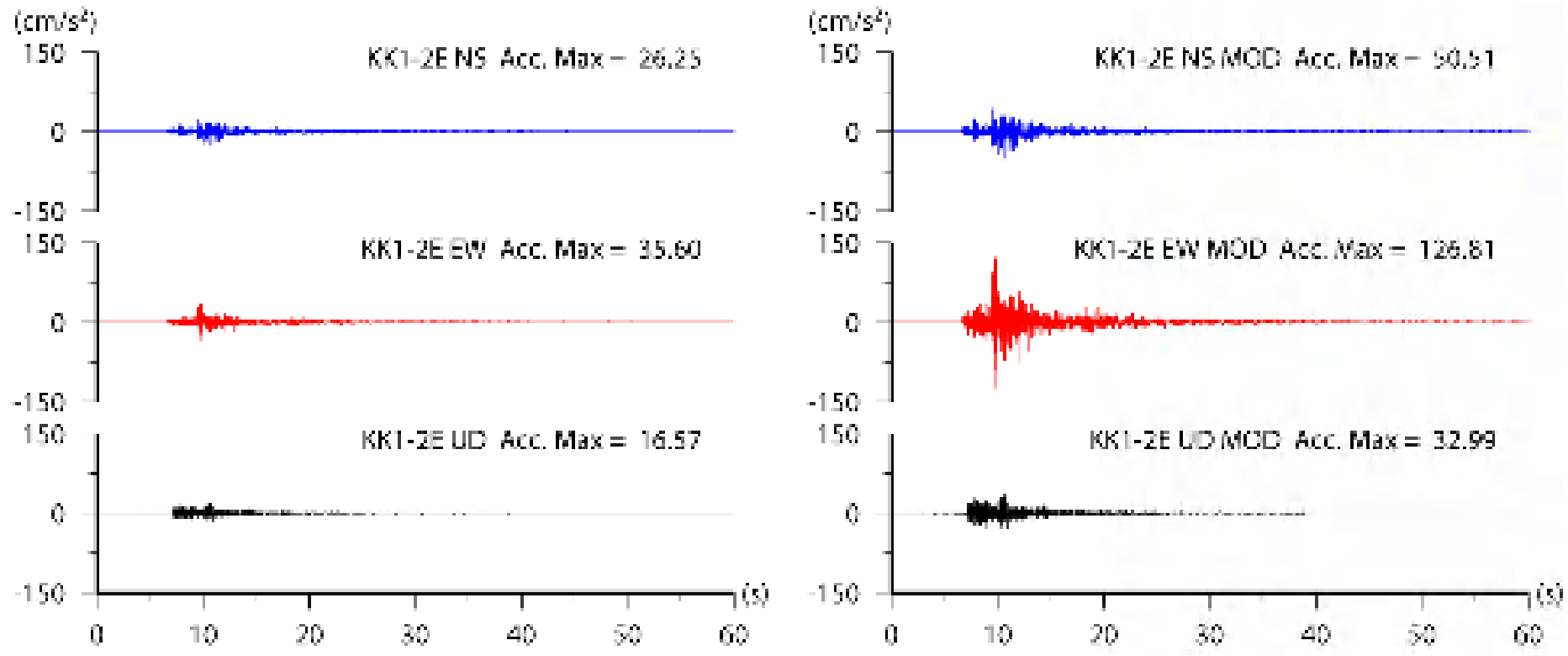
UD方向

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）

F - B断層（要素地震波の補正）

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

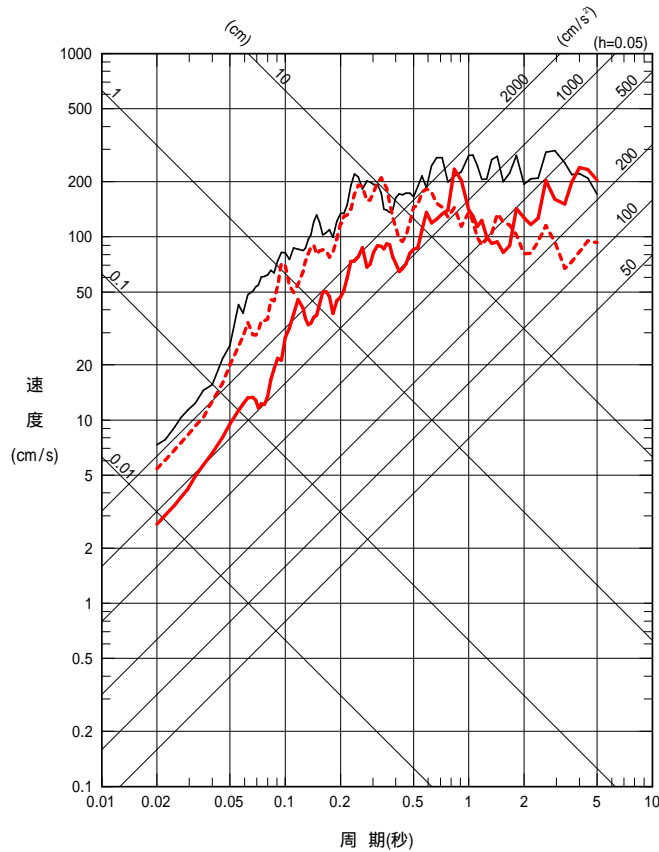
青線：NS方向
赤線：EW方向
黒線：UD方向

補正後

F - B断層（断層モデルによる地震動評価）

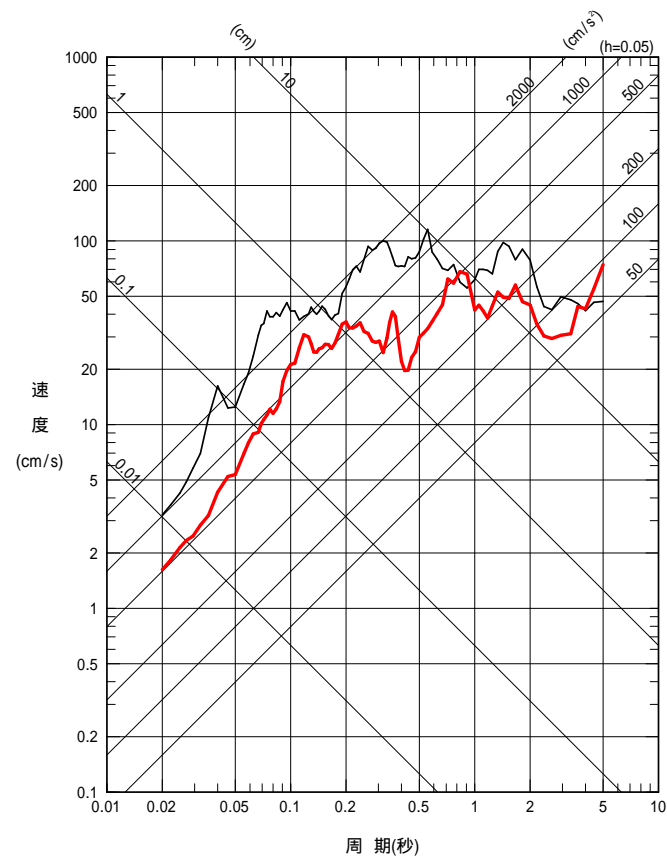
荒浜側（1～4号機）

—— Noda et al. (2002) に基づく評価【参考】
—— 断層モデル (NS方向)
- - - 断層モデル (EW方向)



水平方向

—— Noda et al. (2002) に基づく評価【参考】
—— 断層モデル

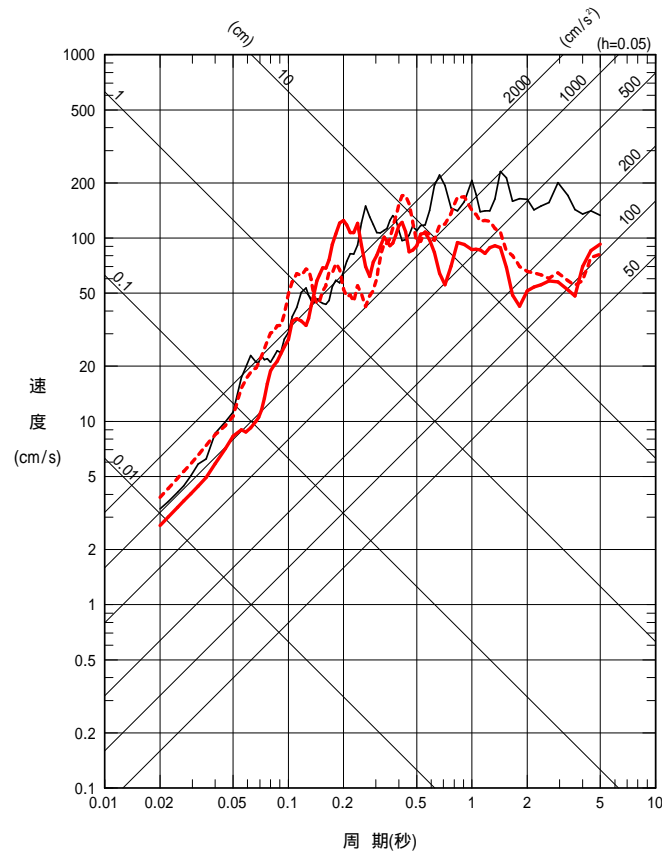


鉛直方向

F - B断層（断層モデルによる地震動評価）

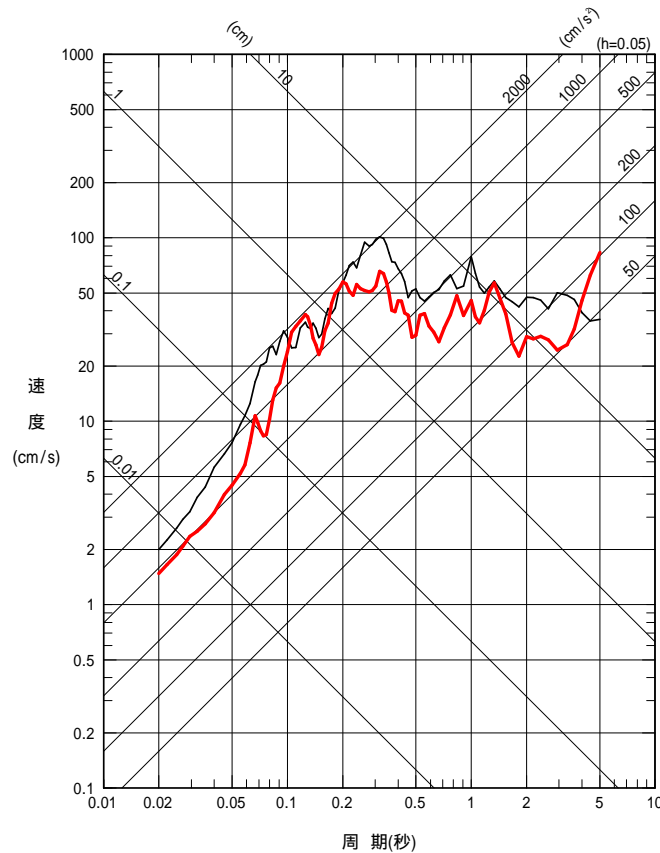
大湊側（5～7号機）

- Noda et al. (2002) に基づく評価【参考】
- 断層モデル (NS方向)
- - - 断層モデル (EW方向)



水平方向

- Noda et al. (2002) に基づく評価【参考】
- 断層モデル



鉛直方向

片貝断層（基本震源モデルと不確かさの考慮）

不確かさを考慮するパラメータ

● 断層長さ

片貝断層単独を基本とし，周辺の断層（気比ノ宮断層，角田・弥彦断層）が一連で活動することを考慮

● 断層傾斜角

地震調査研究推進本部の長期評価による 50° を基本とし，不確かさとして 35° を考慮

● アスペリティの位置・数

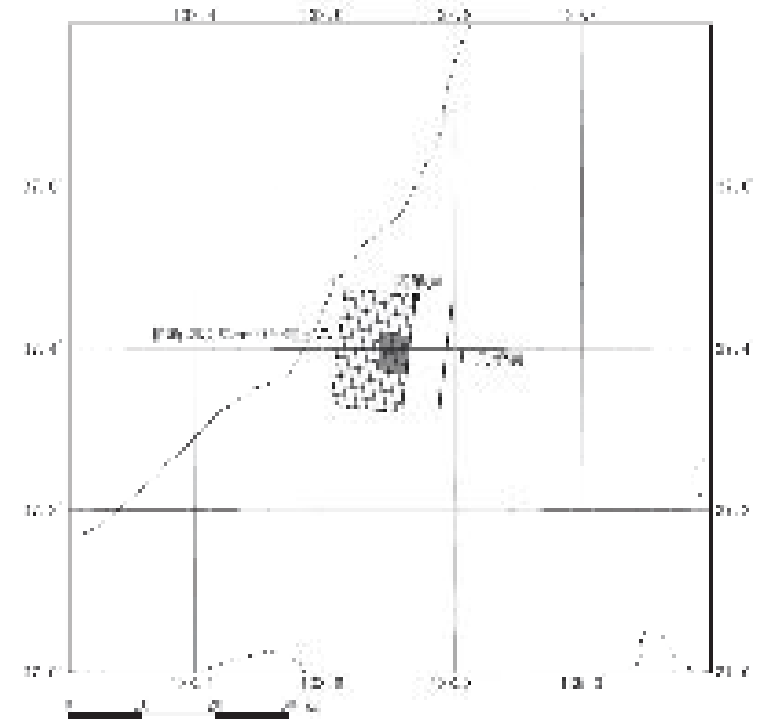
断層中央上端を基本とし，不確かさとして断層中央下端を考慮

● 応力降下量・平均すべり量

強震動予測レシピによる値の1.5倍を考慮

● 破壊開始点

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についても同様に考慮



片貝断層（基本震源モデルと不確かさの考慮）

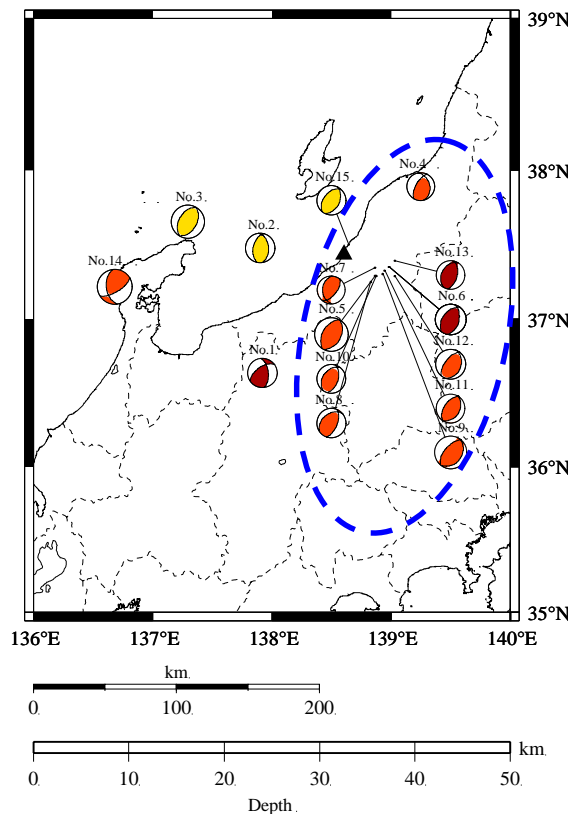
基本震源モデルに対し，各パラメータの影響を個別に把握するための検討ケースを選定。

No.	検討ケース	断層長さ L	断層幅 W	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	15km	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 （スケーリング 考慮）	25km	15km	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	15km	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	15km	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	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	15km	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	15km	50°	巨視的断層面 端部	断層中央上端	強震動予測 レシピ

片貝断層（応答スペクトル法に用いるサイト補正係数）

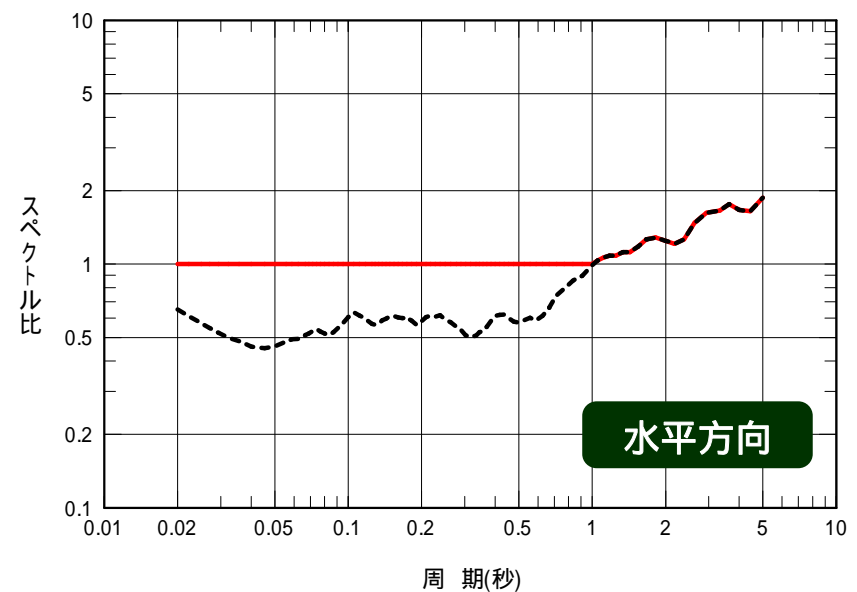
- 評価手法：Noda et al.（2002）による手法
- サイト補正係数：想定する地震と同一方向の陸域（中越地域）で発生した地震の解放基盤波とNoda et al.（2002）による応答スペクトルの比
【荒浜側と大湊側（1～7号機）で共通】

補正係数の算定に用いた地震の震央分布



----- 観測記録に基づくサイト補正係数

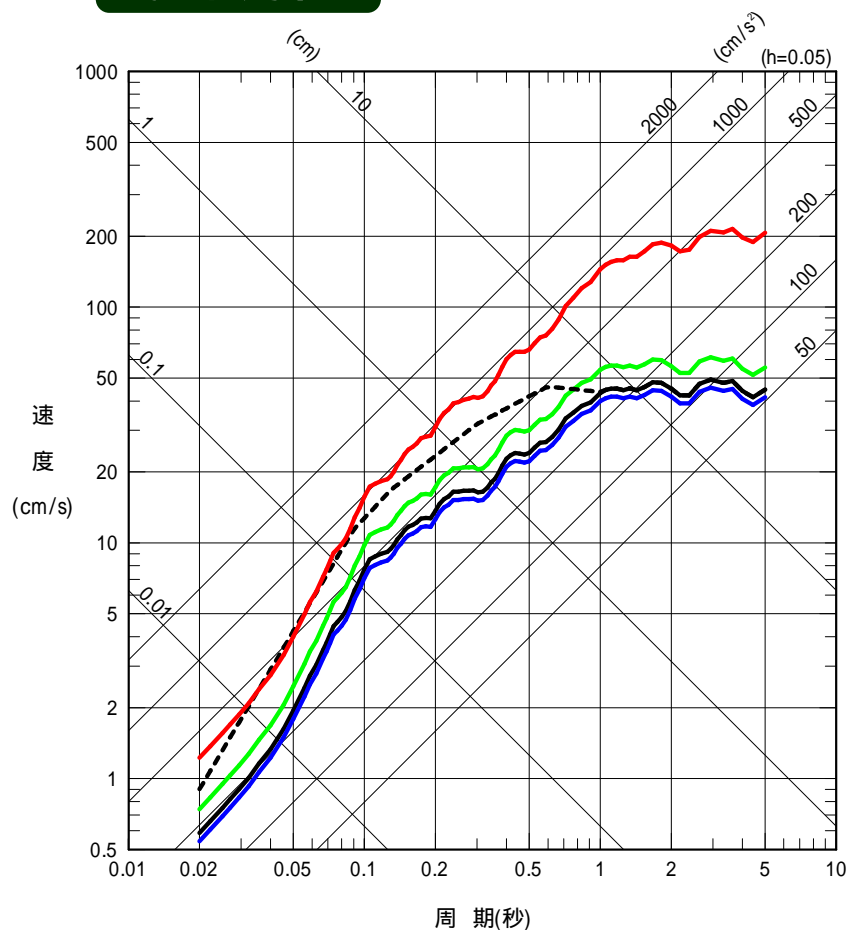
——— 応答スペクトル比の下限を1とした場合のサイト補正係数
応力降下量の不確かさを考慮した場合に相当



片貝断層（基本震源モデルと不確かさの考慮）

応答スペクトル法による地震動評価

水平方向



- 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を考慮したケース
- No.4：断層傾斜角の不確かさを考慮したケース
- - - No.5：応力降下量の不確かさを考慮したケース
- No.6：断層長さの不確かさを考慮したケース

破壊開始点の不確かさによる影響については、応答スペクトル法で評価することができないため、後述の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）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も大きい。

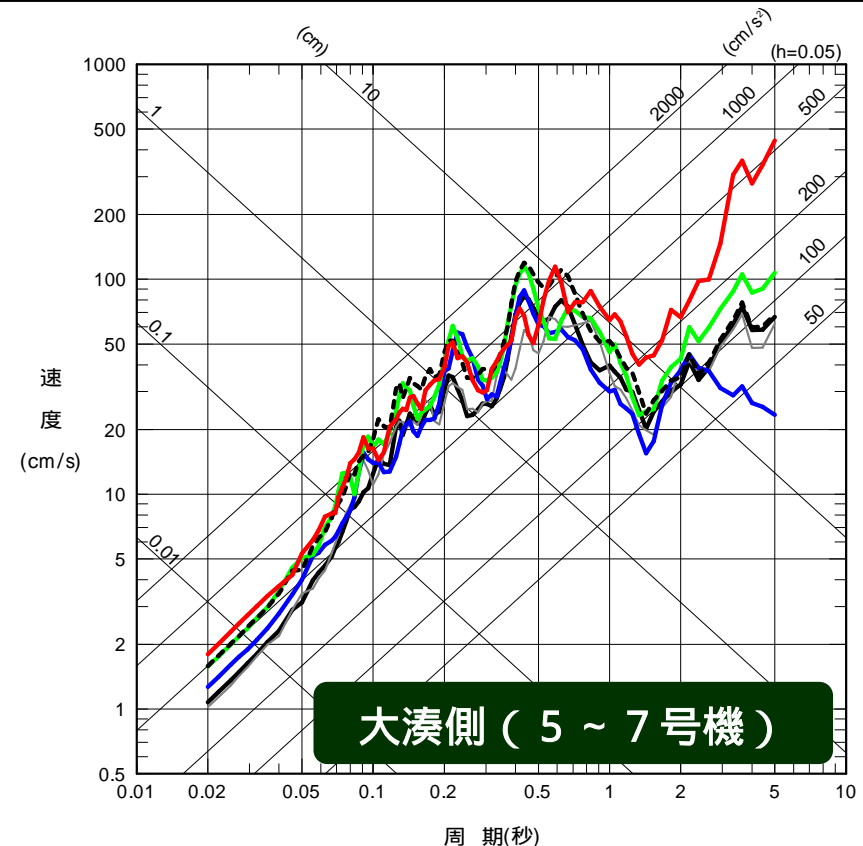
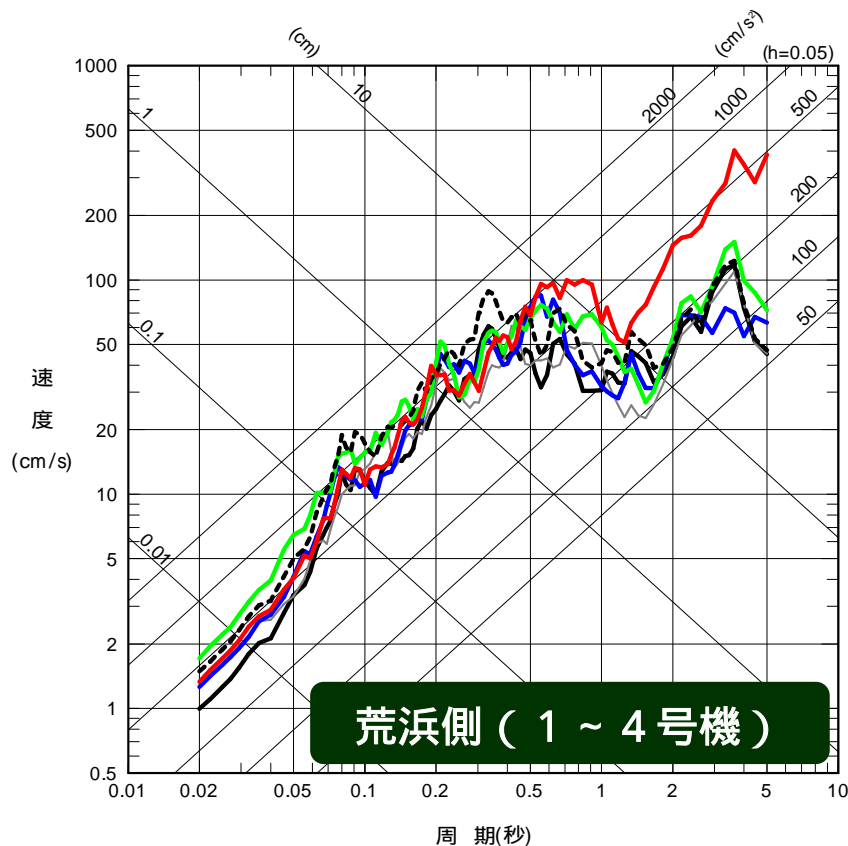
大湊側（5～7号機） 荒浜側も同様

片貝断層（基本震源モデルと不確かさの考慮）

断層モデルによる地震動評価

EW方向

- No.1 : 基本震源モデル（スケーリング考慮）
- No.2 : 破壊開始点の不確かさを考慮したケース
- No.3 : アスペリティ位置の不確かさを考慮したケース
- No.4 : 断層傾斜角の不確かさを考慮したケース
- No.5 : 応力降下量の不確かさを考慮したケース
- No.6 : 断層長さの不確かさを考慮したケース



大局的な傾向は，応答スペクトル法による評価結果と同様。
破壊開始点の不確かさによる影響は小さい。

片貝断層（基本震源モデルと不確かさの考慮）

より安全側の評価として、影響度の大きな断層長さ及び応力降下量の不確かさを同時に考慮した地震動評価を実施。



No.7 長岡平野西縁断層帯で応力降下量を1.5倍としたケース

また、合同WGにおける審議を踏まえ、断層長さ及び断層傾斜角の不確かさを同時に考慮した地震動評価を実施。



No.8 長岡平野西縁断層帯で断層傾斜角を35°としたケース

No.	検討ケース	断層長さ L	断層幅 W	断層傾斜角	破壊開始点	アスペリティ 位置	応力降下量
7	断層長さ及び 応力降下量の 不確かさ考慮	91km	15km	50°	巨視的断層面 端部	断層中央上端	強震動予測 レシビ ×1.5
8	断層長さ及び 断層傾斜角の 不確かさ考慮	91km	20km	35°	巨視的断層面 端部	断層中央上端	強震動予測 レシビ

長岡平野西縁断層帯・No.7（断層モデルの構築）

断層モデルの設定方針

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。

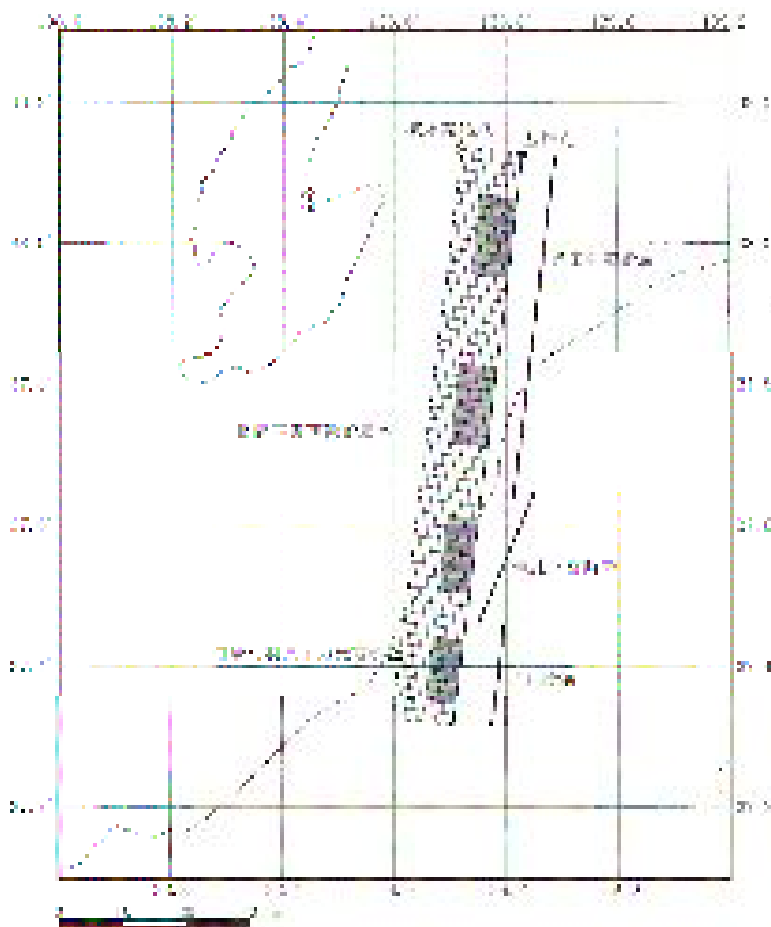
断層の傾斜角は，地質調査結果及び地震調査研究推進本部（2004）による長岡平野西縁断層帯の評価結果を参考に設定し，断層幅は，F - B断層と同様に地震発生層を飽和するように設定。

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。

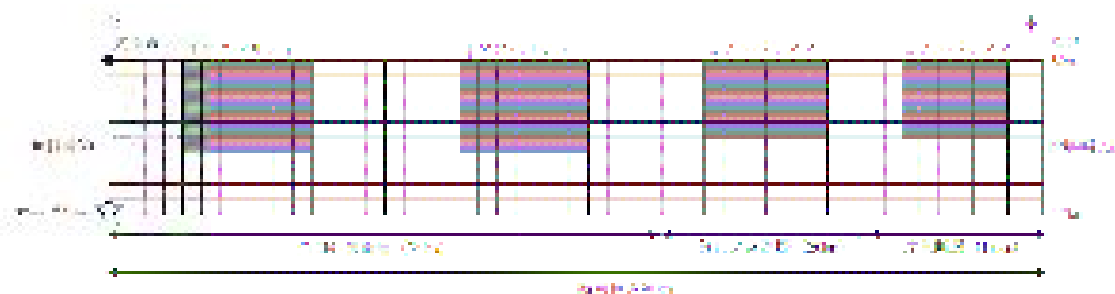
また，アスペリティの応力降下量及び背景領域の実効応力については，中越沖地震の知見を反映し，強震動予測レシピにより求まる値の1.5倍の値を採用。

長岡平野西縁断層帯・No.7（断層モデルの構築）

平面図



断面図

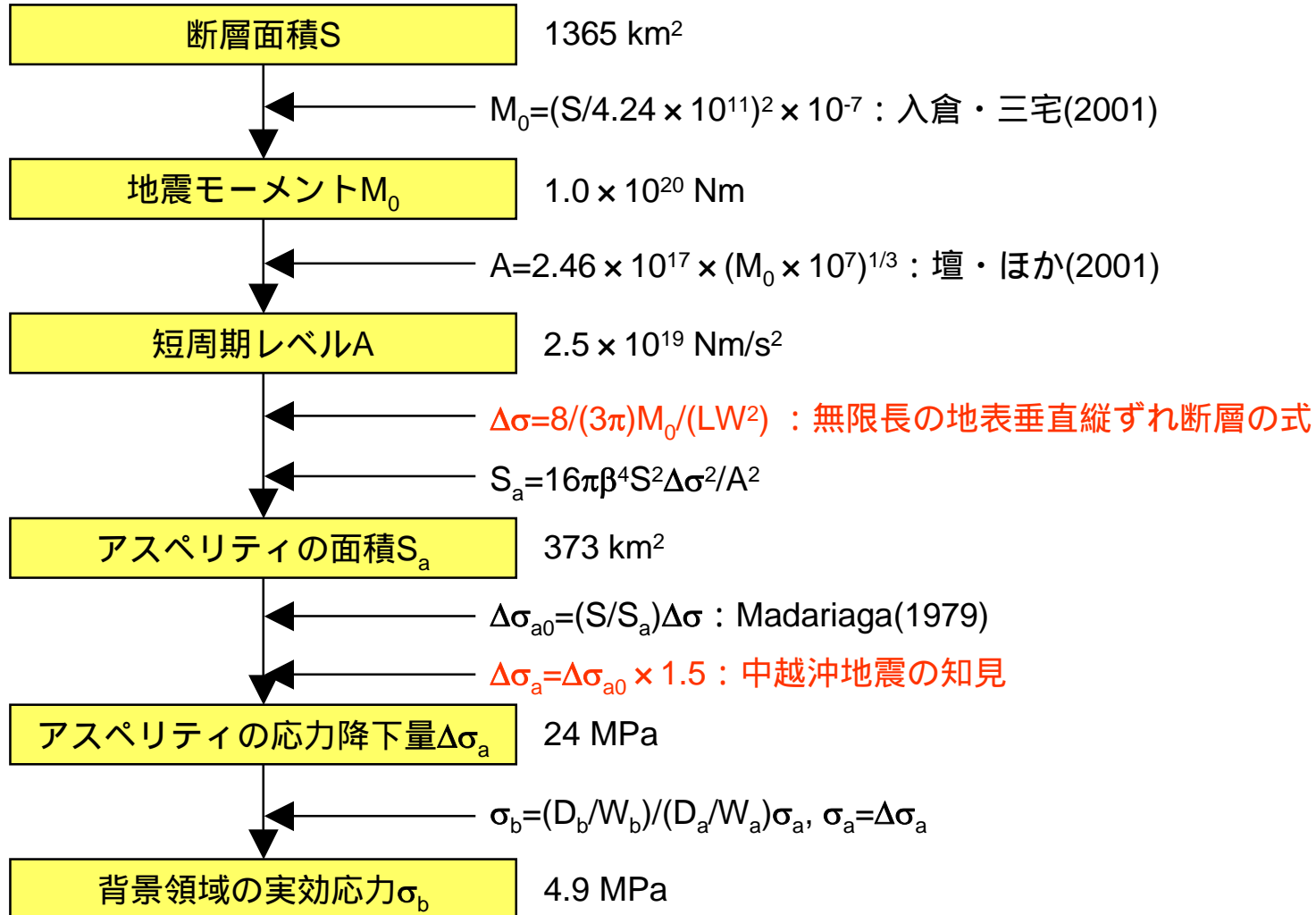


（主な諸元）
断層長さ：91km
断層幅：15km
傾斜角：50°（西傾斜）
アスペリティ：4個

長岡平野西縁断層帯・No.7 (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



長岡平野西縁断層帯・No.7（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

長岡平野西縁断層帯・No.7（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

長岡平野西縁断層帯・No.8（断層モデルの構築）

断層モデルの設定方針

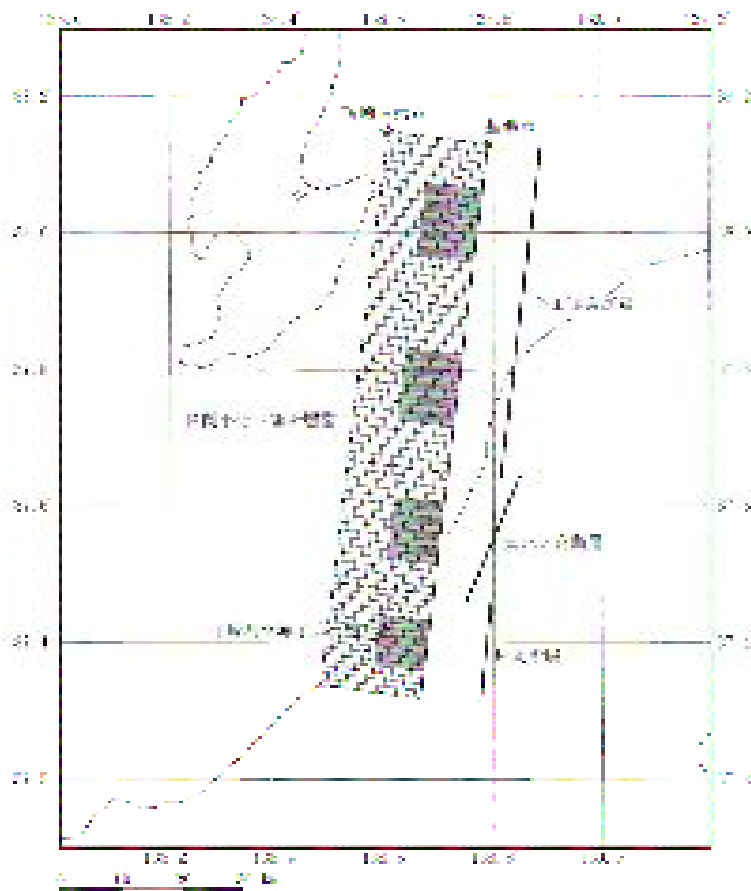
巨視的断層パラメータのうち，断層の位置・断層長さについては地質調査結果に基づき設定。

断層の傾斜角は，中越沖地震の余震分布を参考に 35° と設定し，断層幅は，地震発生層を飽和するように設定。

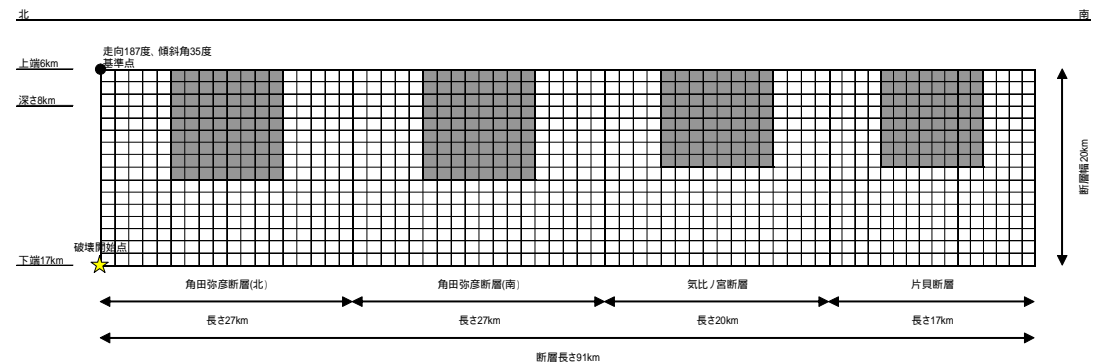
微視的断層パラメータは，原則として地震調査研究推進本部（2008）による強震動予測レシピに基づき設定するが，長大な断層であるため，断層全体の応力降下量は，無限長の地表垂直縦ずれ断層の式を用いて算定。

長岡平野西縁断層帯・No.8（断層モデルの構築）

平面図



断面図

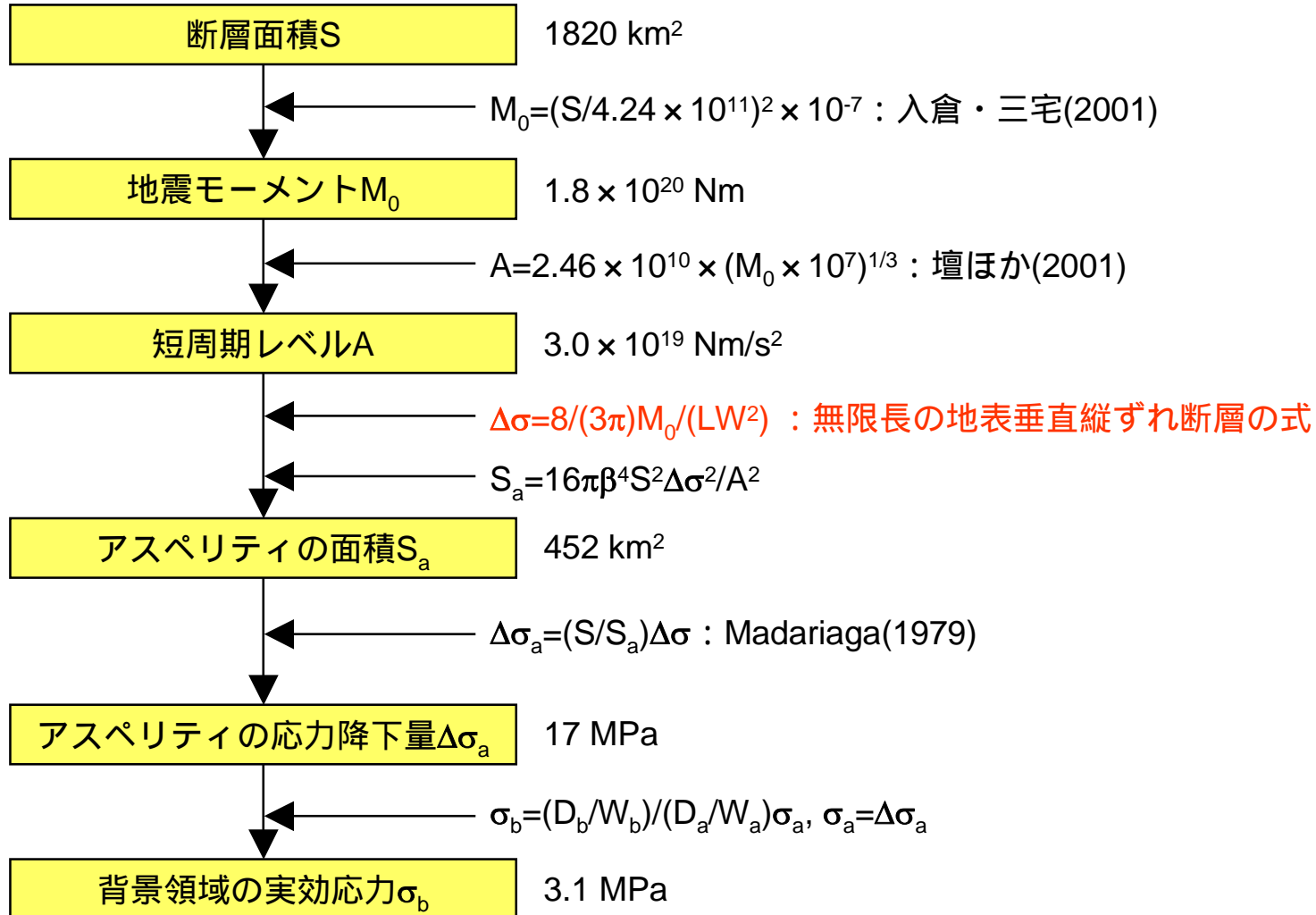


（主な諸元）
 断層長さ：91km
 断層幅：20km
 傾斜角：35°（西傾斜）
 アスペリティ：4個

長岡平野西縁断層帯・No.8 (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



長岡平野西縁断層帯・No.8（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(°)	138.79	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				
	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}


: 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

長岡平野西縁断層帯・No.8（断層パラメータの設定）

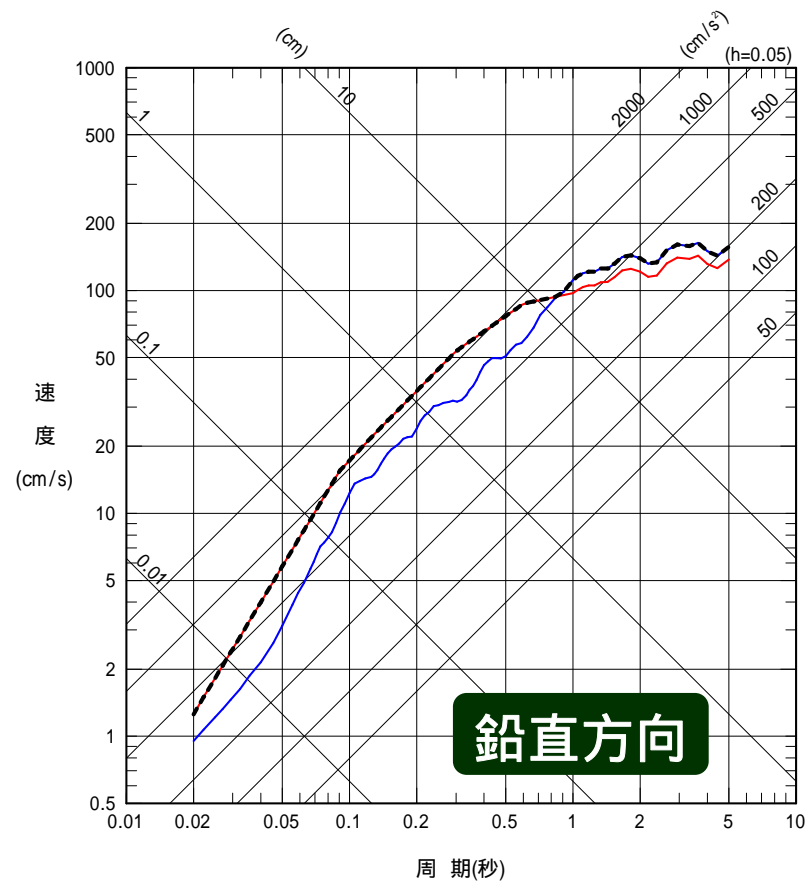
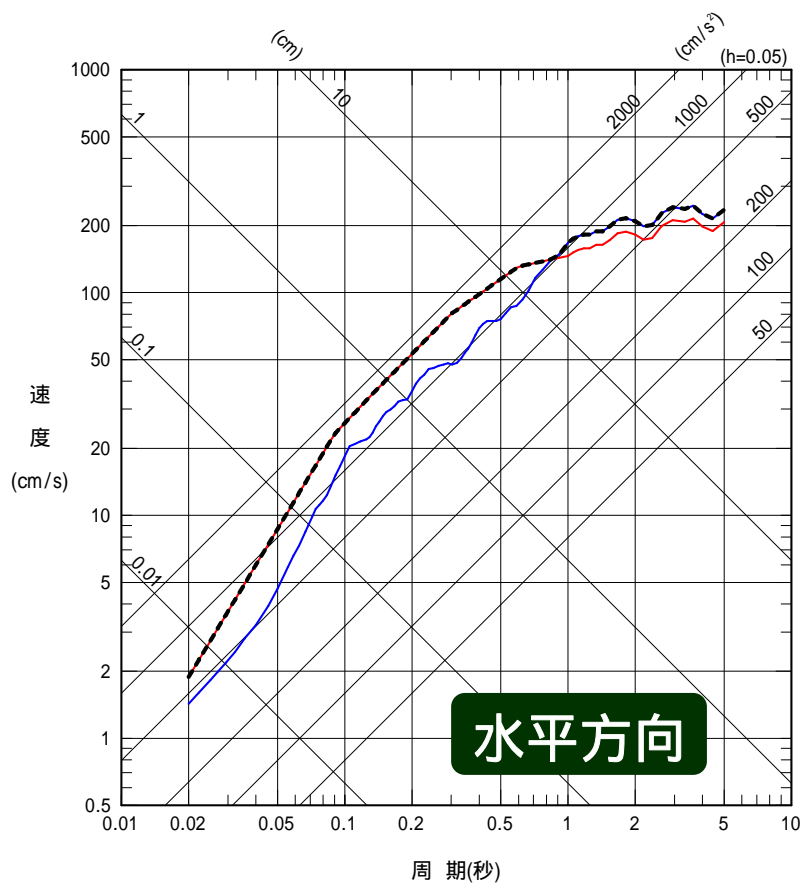
設定した断層パラメータ（つづき）

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(°)	-	138.78	138.74	138.71	138.68
		北緯(°)	-	38.06	37.82	37.60	37.43
	面積(km ²)		452	134	134	99	84
	地震モーメント(N・m)		9.1 × 10 ¹⁹	2.7 × 10 ¹⁹	2.7 × 10 ¹⁹	2.0 × 10 ¹⁹	1.7 × 10 ¹⁹
	平均すべり量(cm)		649				
	応力降下量(MPa)		17				
背景領域	面積(km ²)		1368	406	406	301	256
	地震モーメント(N・m)		9.3 × 10 ¹⁹	2.8 × 10 ¹⁹	2.8 × 10 ¹⁹	2.0 × 10 ¹⁹	1.7 × 10 ¹⁹
	平均すべり量(cm)		217				
	実効応力(MPa)		3.1	3.4	3.4	2.9	2.7

 : 地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

長岡平野西縁断層帯（応答スペクトル法による地震動評価）

- No.7：断層長さ及び応力降下量の不確かさを考慮したケース
- No.8：断層長さ及び断層傾斜角の不確かさを考慮したケース
- ⋯ No.7・No.8を包絡 基準地震動Ss-3として策定

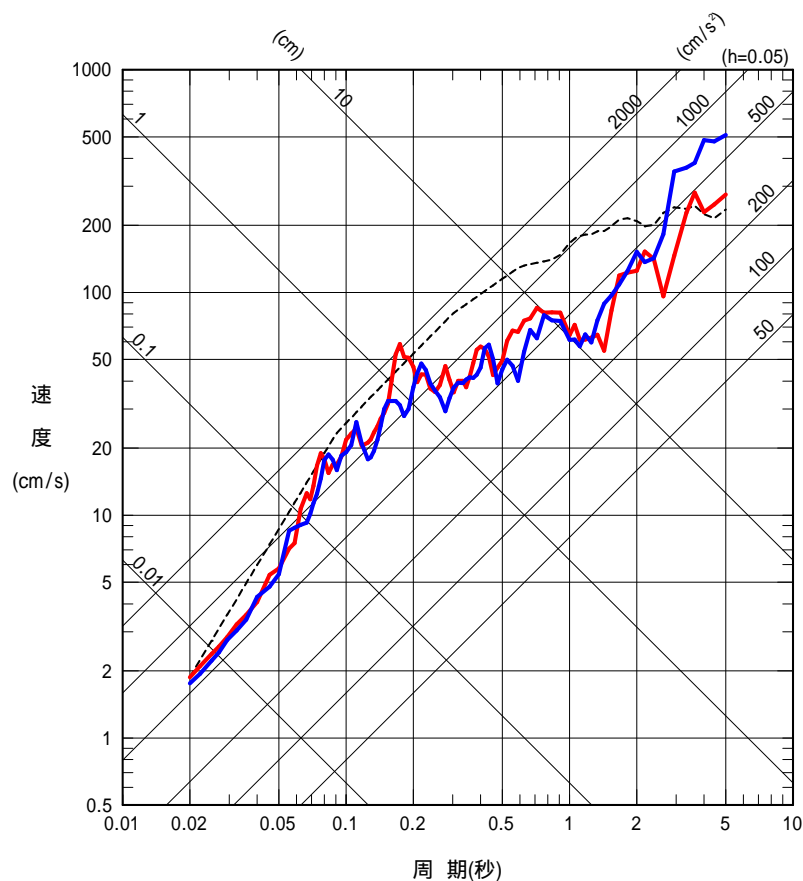


荒浜側（1～4号機）・大湊側（5～7号機）共通

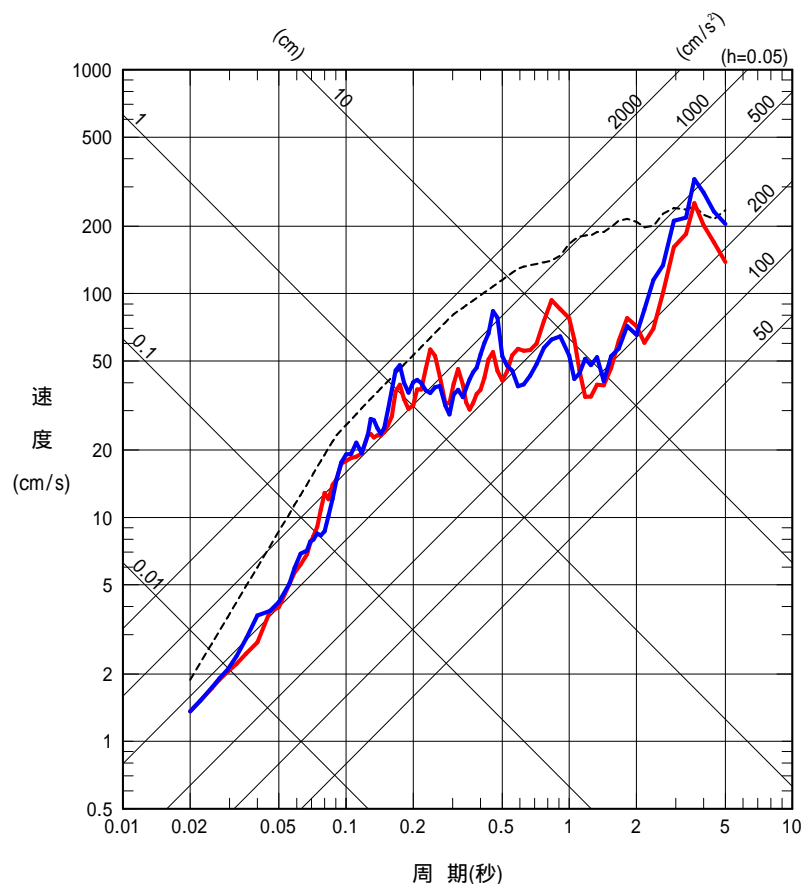
長岡平野西縁断層帯（断層モデルによる地震動評価）

NS方向

- No.7：断層長さ及び応力降下量の不確かさを考慮したケース
- No.8：断層長さ及び断層傾斜角の不確かさを考慮したケース
- - - Noda et al.(2002)による地震動評価【基準地震動Ss-3・参考】



荒浜側（1～4号機）

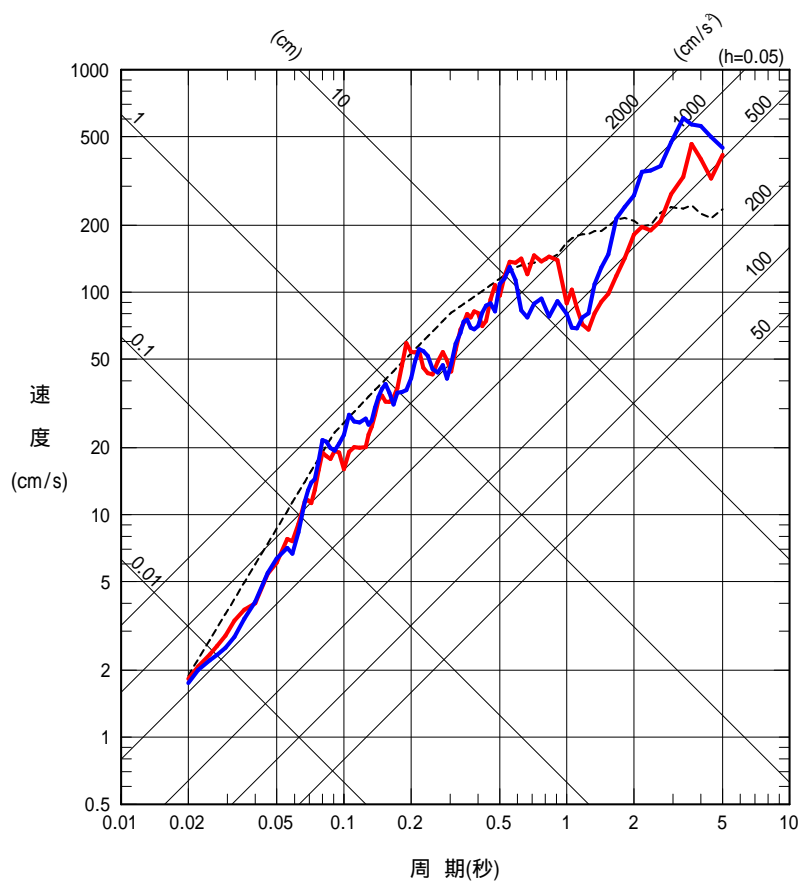


大湊側（5～7号機）

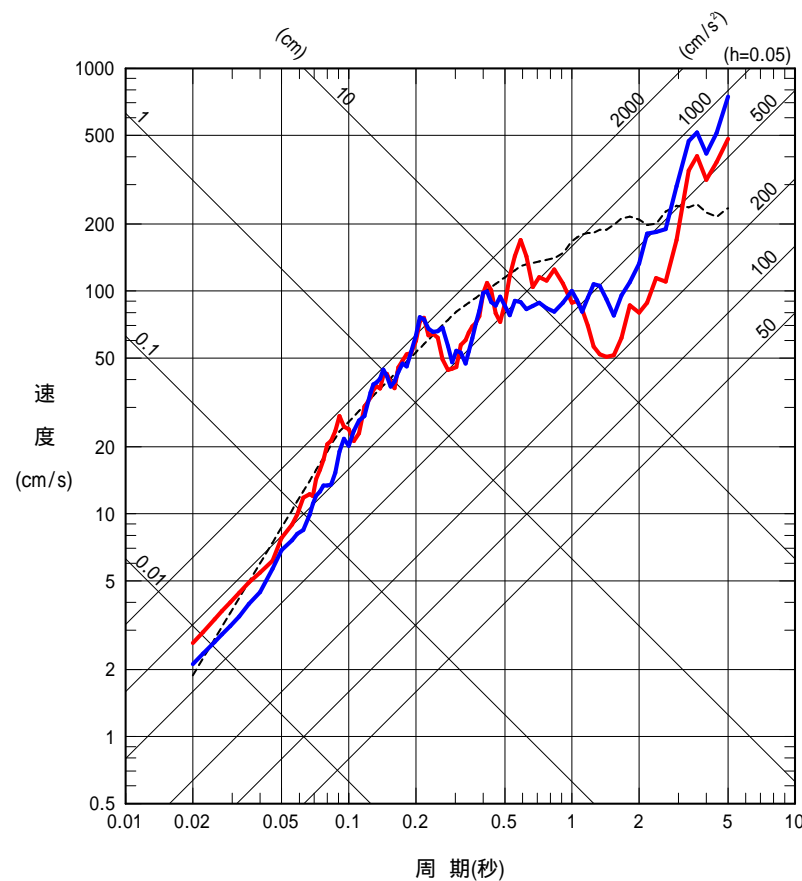
長岡平野西縁断層帯（断層モデルによる地震動評価）

EW方向

- No.7：断層長さ及び応力降下量の不確かさを考慮したケース
- No.8：断層長さ及び断層傾斜角の不確かさを考慮したケース
- - - Noda et al.(2002)による地震動評価【基準地震動Ss-3・参考】



荒浜側（1～4号機）

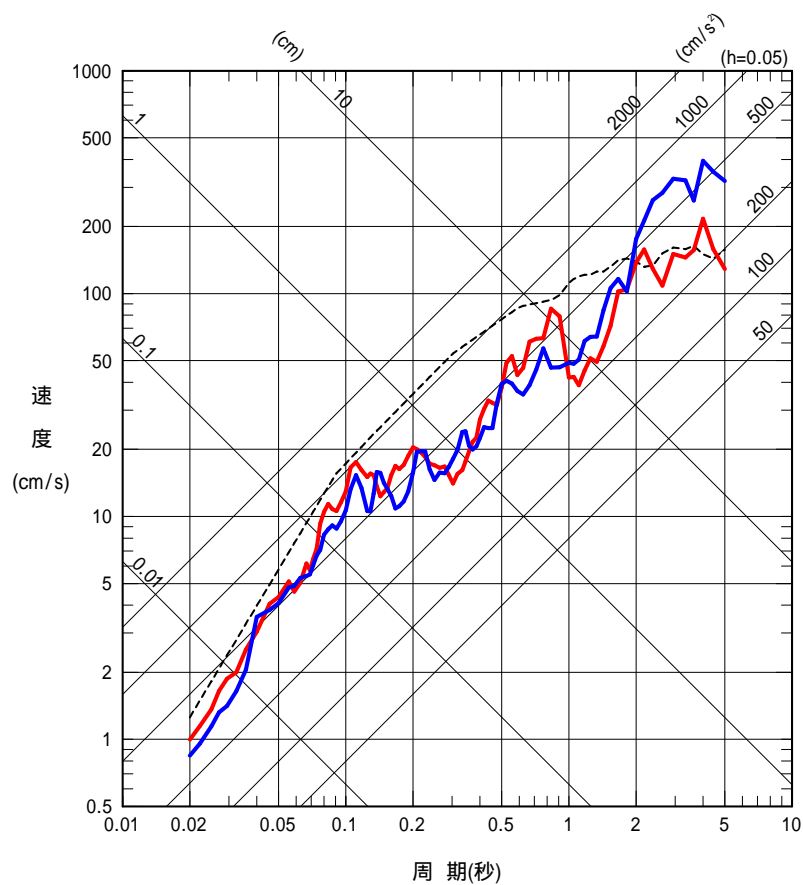


大湊側（5～7号機）

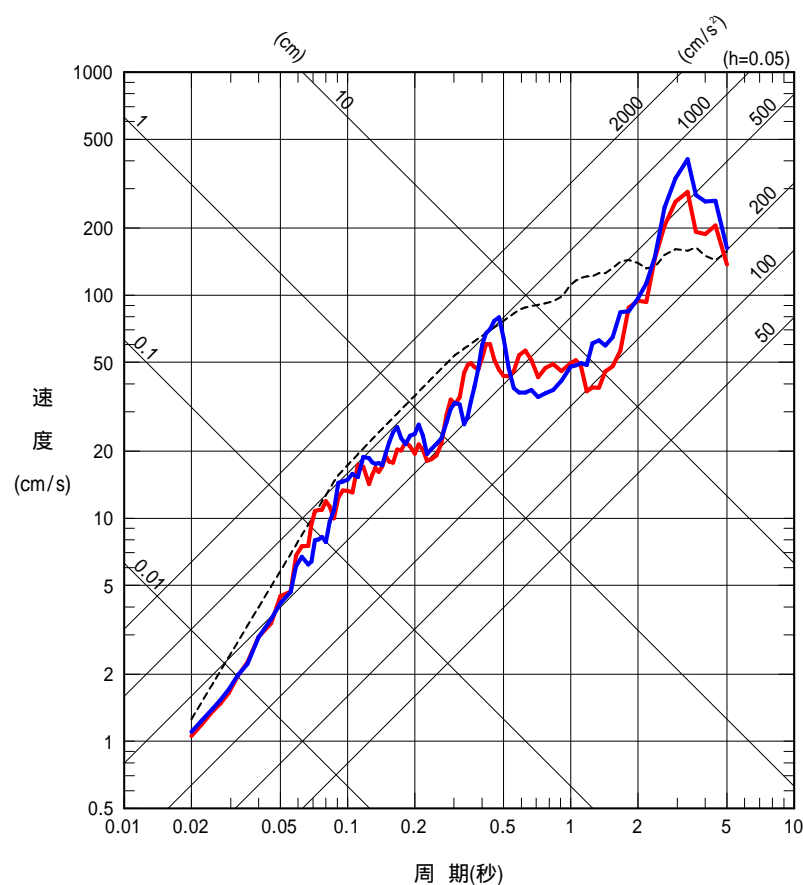
長岡平野西縁断層帯（断層モデルによる地震動評価）

UD方向

- No.7：断層長さ及び応力降下量の不確かさを考慮したケース
- No.8：断層長さ及び断層傾斜角の不確かさを考慮したケース
- - - Noda et al.(2002)による地震動評価【基準地震動Ss-3・参考】



荒浜側（1～4号機）



大湊側（5～7号機）

6) 基準地震動Ssの概要

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それぞれ基準地震動Ssとして設定。

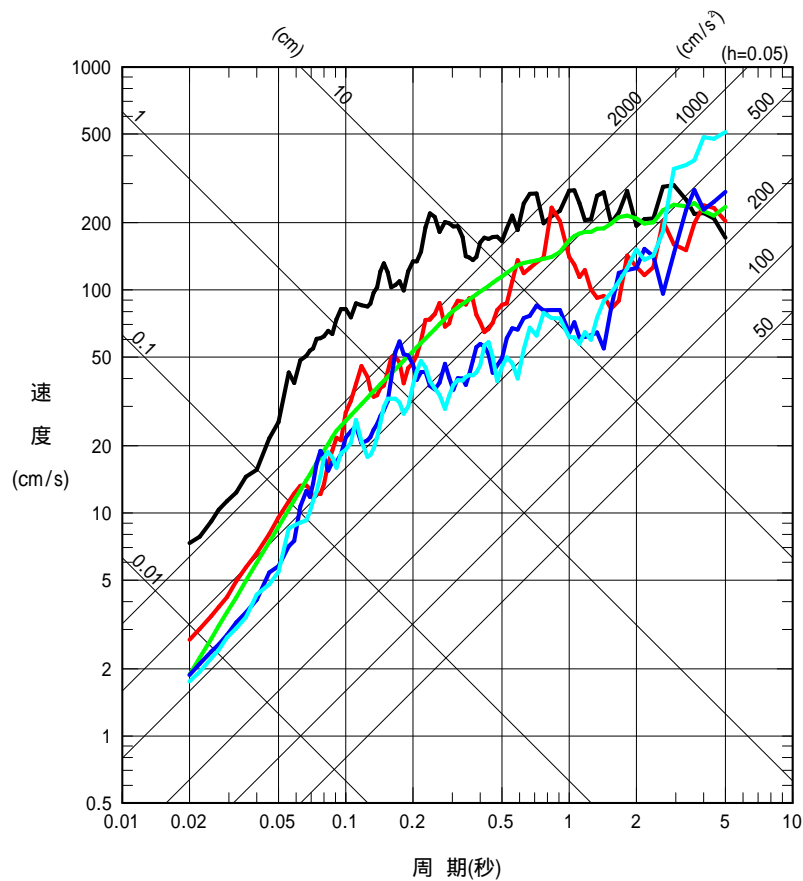
基準地震動	検討用地震		地震動評価手法
Ss - 1	F - B断層による地震 (M7.0)		応答スペクトル法 〔Noda et al. (2002)〕
Ss - 2			断層モデル 〔経験的グリーン関数法〕
Ss - 3	長岡平野 西縁断層帯 による地震 (M8.1)	下記の2つの ケースを包絡	応答スペクトル法 〔Noda et al. (2002)〕
Ss - 4		断層傾斜角50° 応力降下量1.5倍	断層モデル 〔経験的グリーン関数法〕
Ss - 5		断層傾斜角35° 応力降下量1.0倍	

地震調査研究推進本部(2008)による強震動レシピに基づく値に対する倍率

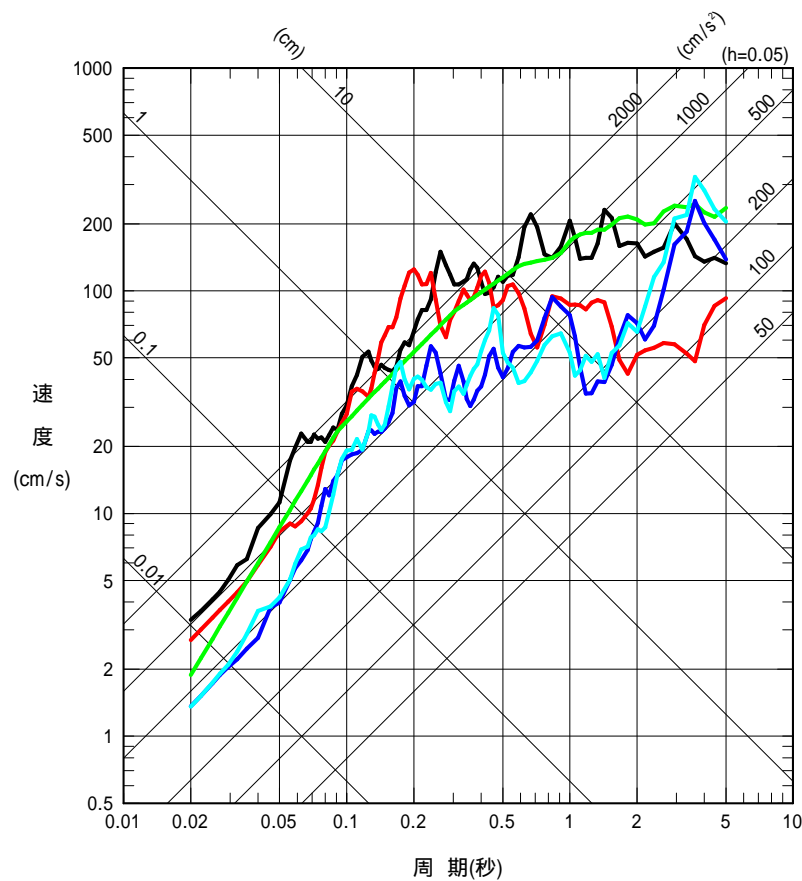
6) 基準地震動Ssの概要 (擬似速度応答スペクトル)

NS方向

- 基準地震動Ss-1H
- 基準地震動Ss-2NS
- 基準地震動Ss-3H
- 基準地震動Ss-4NS
- 基準地震動Ss-5NS



荒浜側 (1 ~ 4号機)

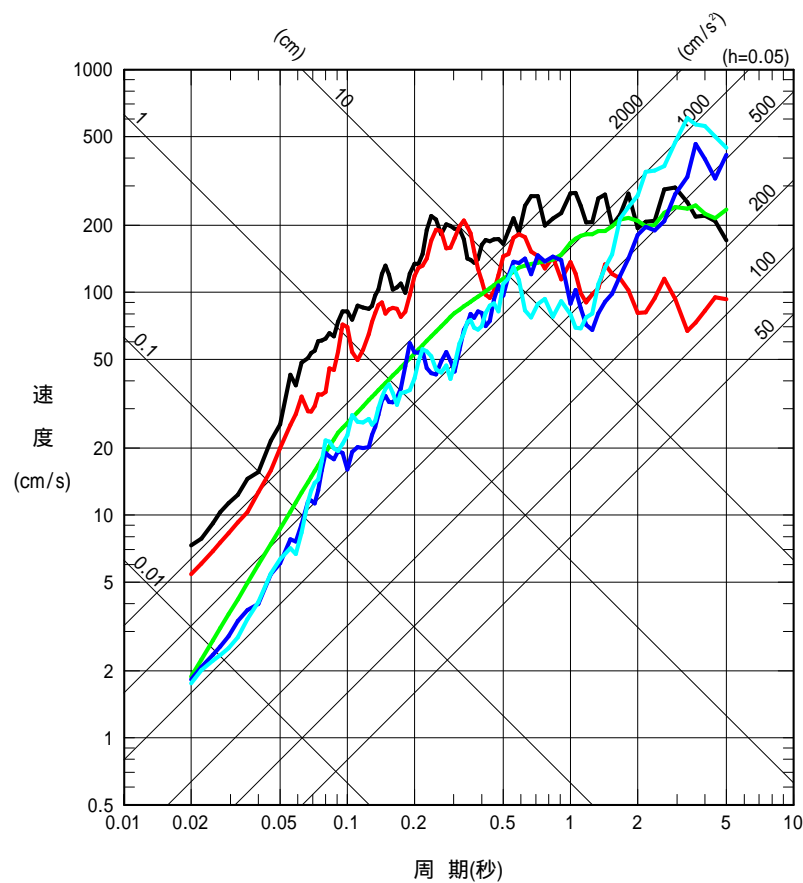


大湊側 (5 ~ 7号機)

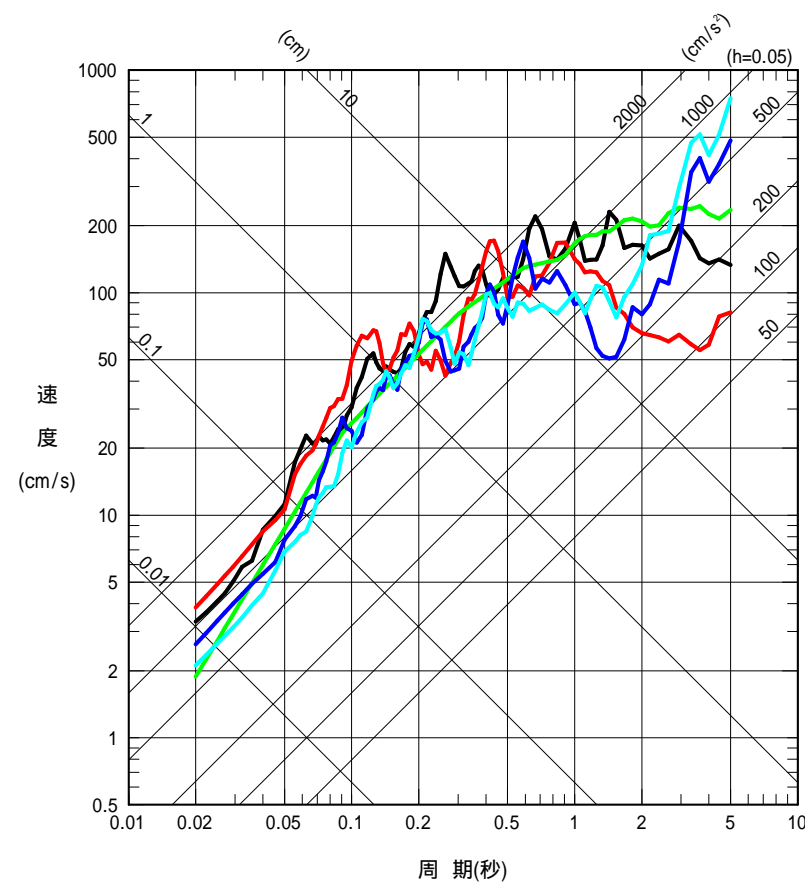
6) 基準地震動Ssの概要 (擬似速度応答スペクトル)

EW方向

- 基準地震動Ss-1H
- 基準地震動Ss-2EW
- 基準地震動Ss-3H
- 基準地震動Ss-4EW
- 基準地震動Ss-5EW



荒浜側 (1 ~ 4号機)

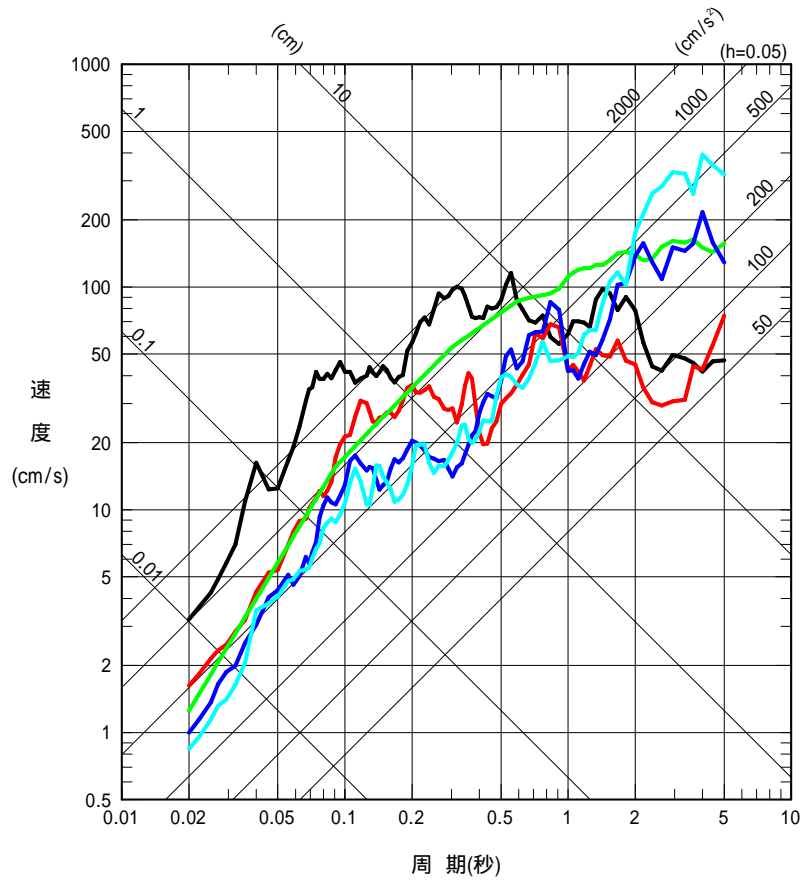


大湊側 (5 ~ 7号機)

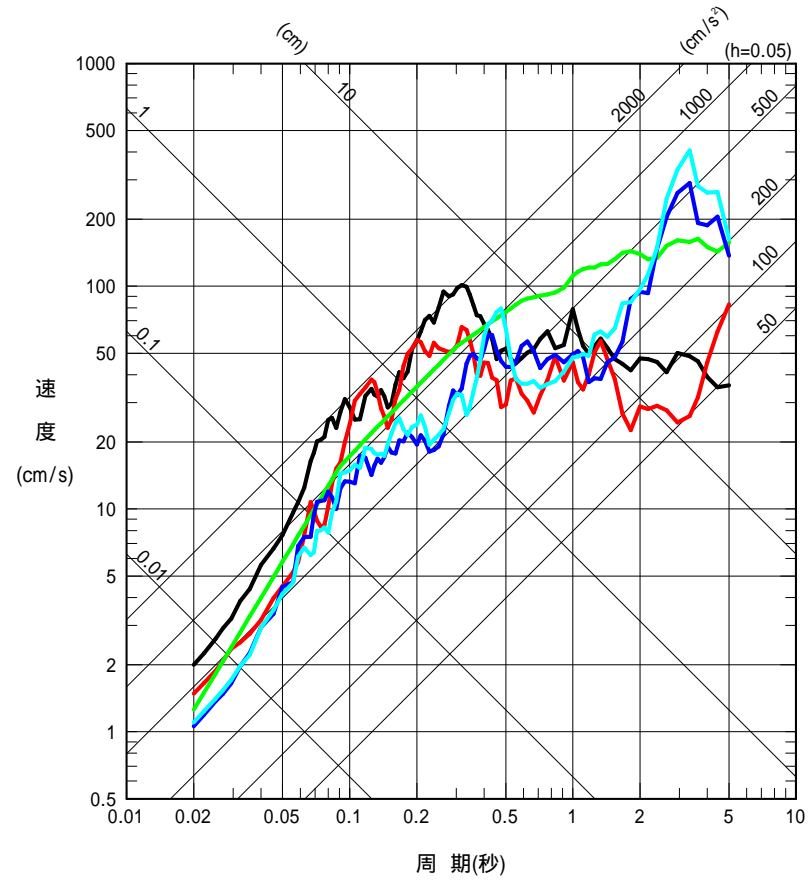
6) 基準地震動Ssの概要 (擬似速度応答スペクトル)

UD方向

- 基準地震動Ss-1 V
- 基準地震動Ss-2 UD
- 基準地震動Ss-3 V
- 基準地震動Ss-4 UD
- 基準地震動Ss-5 UD



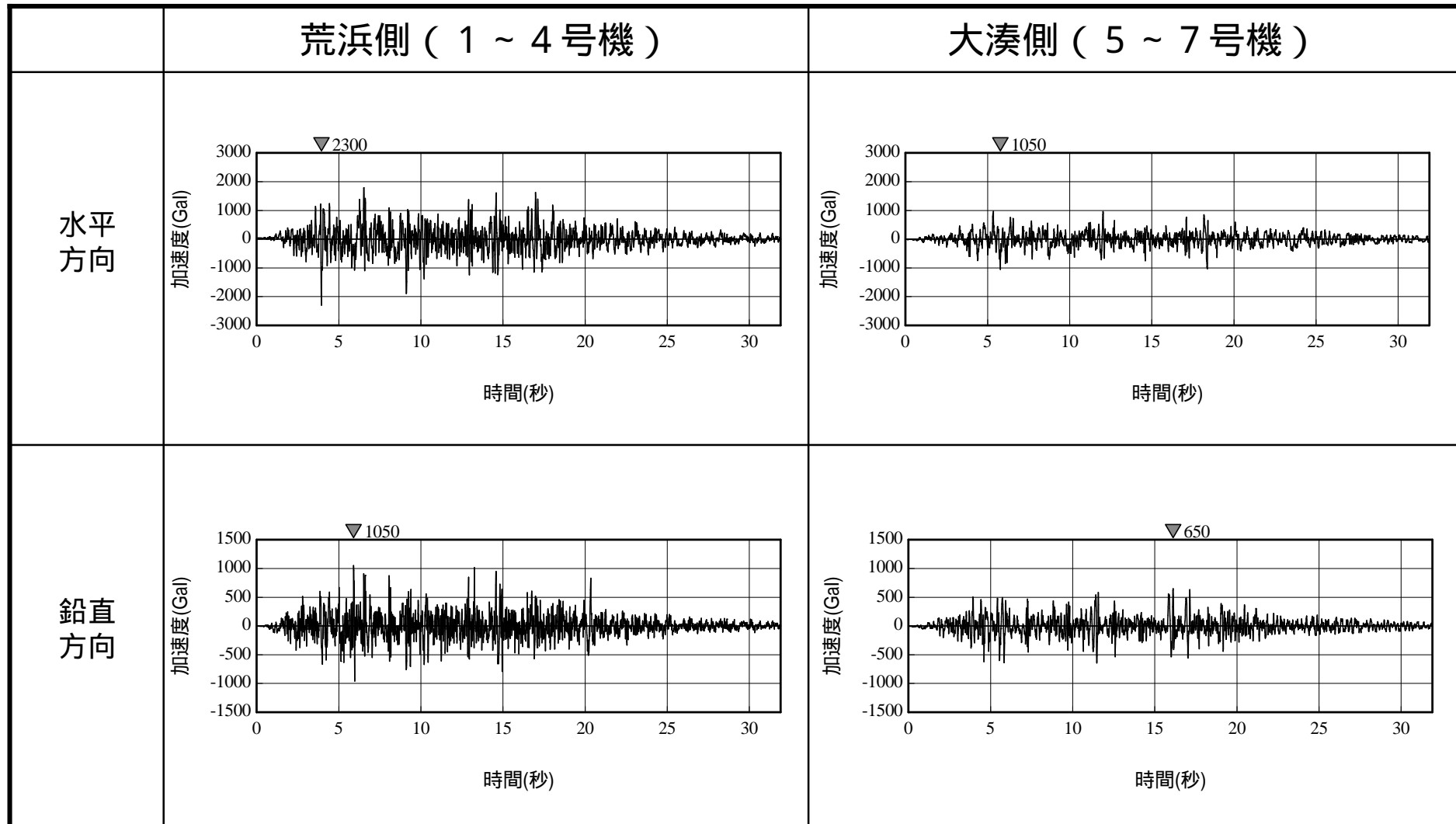
荒浜側 (1 ~ 4号機)



大湊側 (5 ~ 7号機)

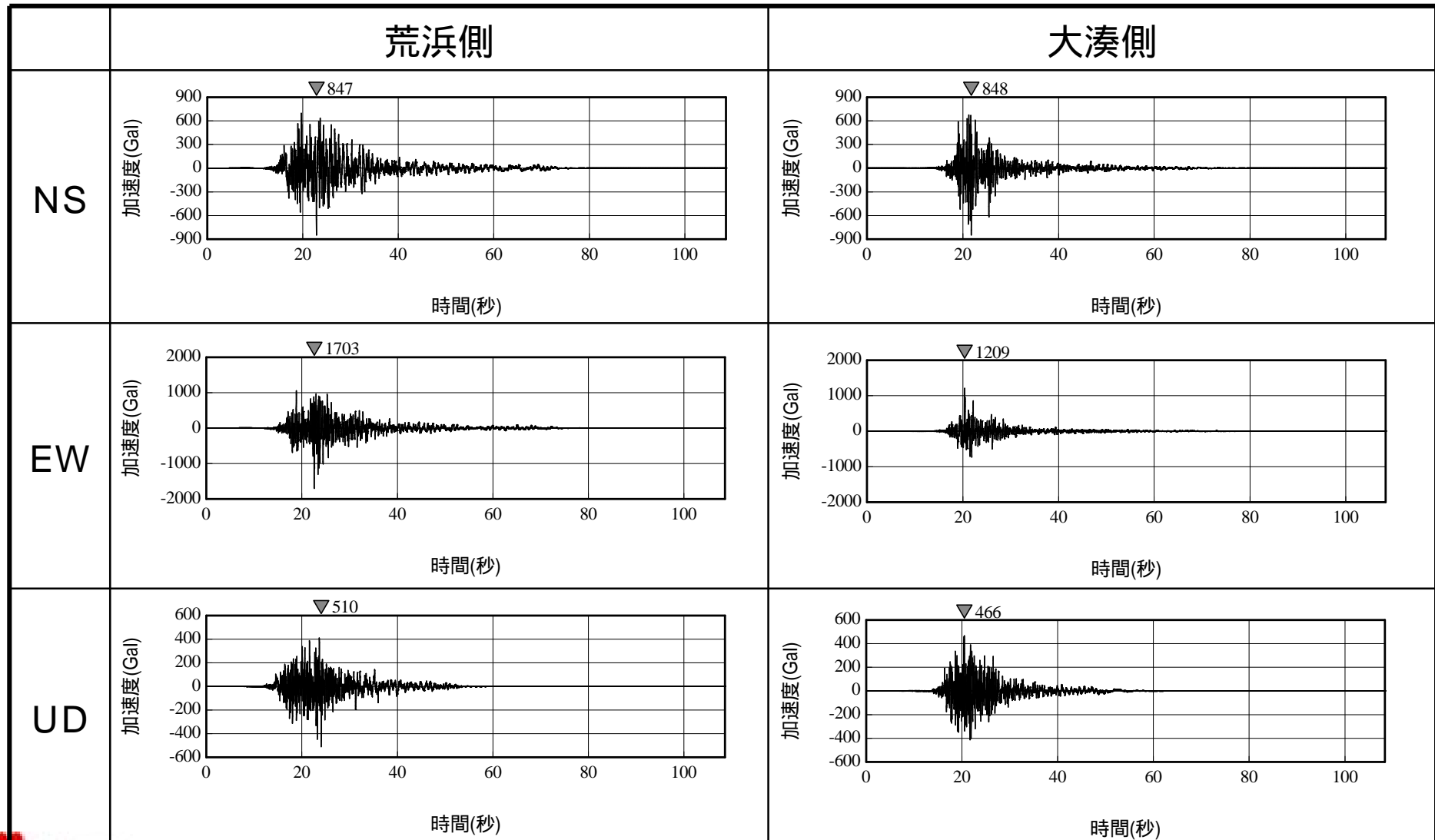
6) 基準地震動Ssの概要 (加速度時刻歴波形)

基準地震動Ss - 1の加速度時刻歴波形



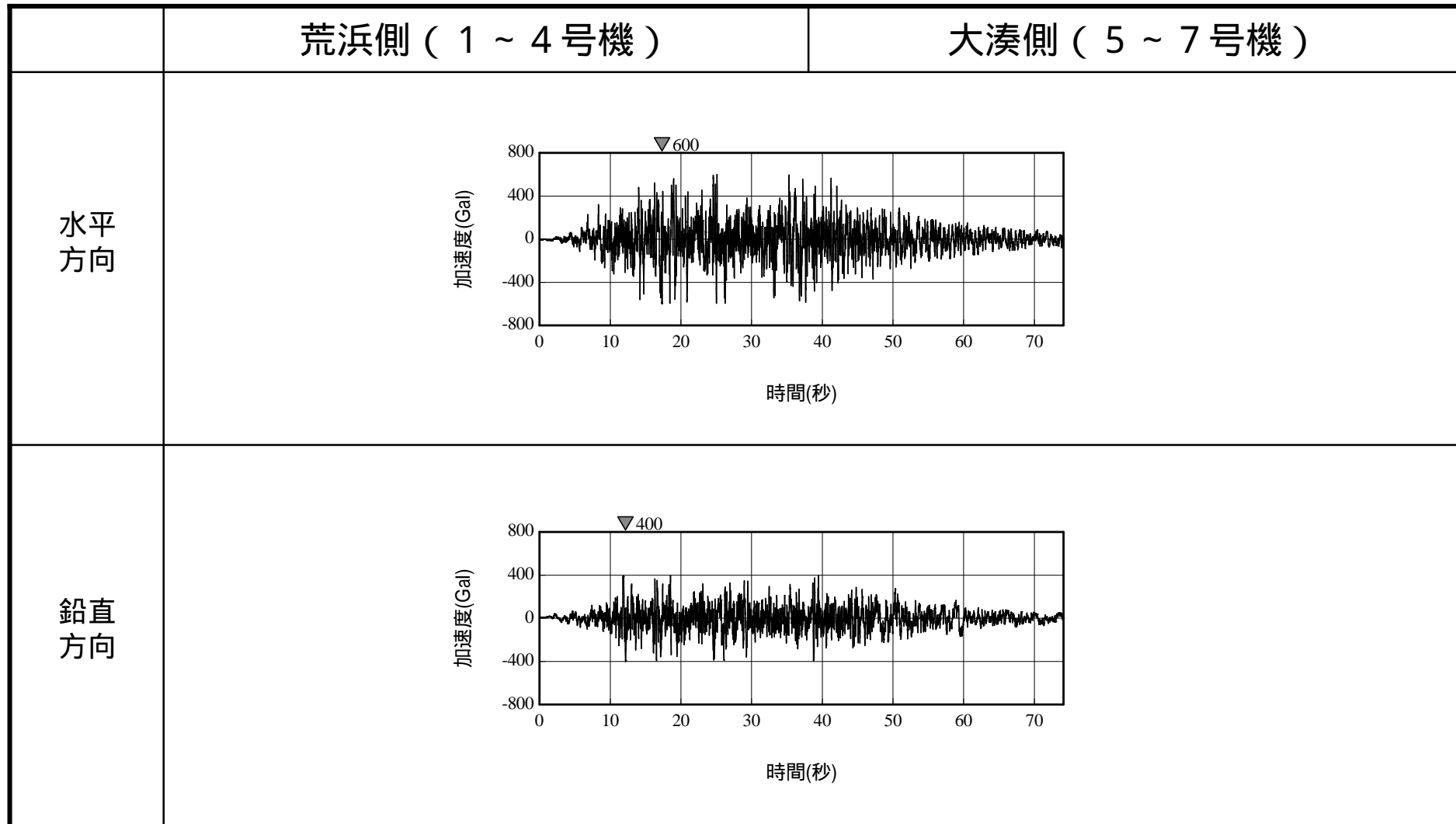
6) 基準地震動Ssの概要 (加速度時刻歴波形)

基準地震動Ss - 2の加速度時刻歴波形



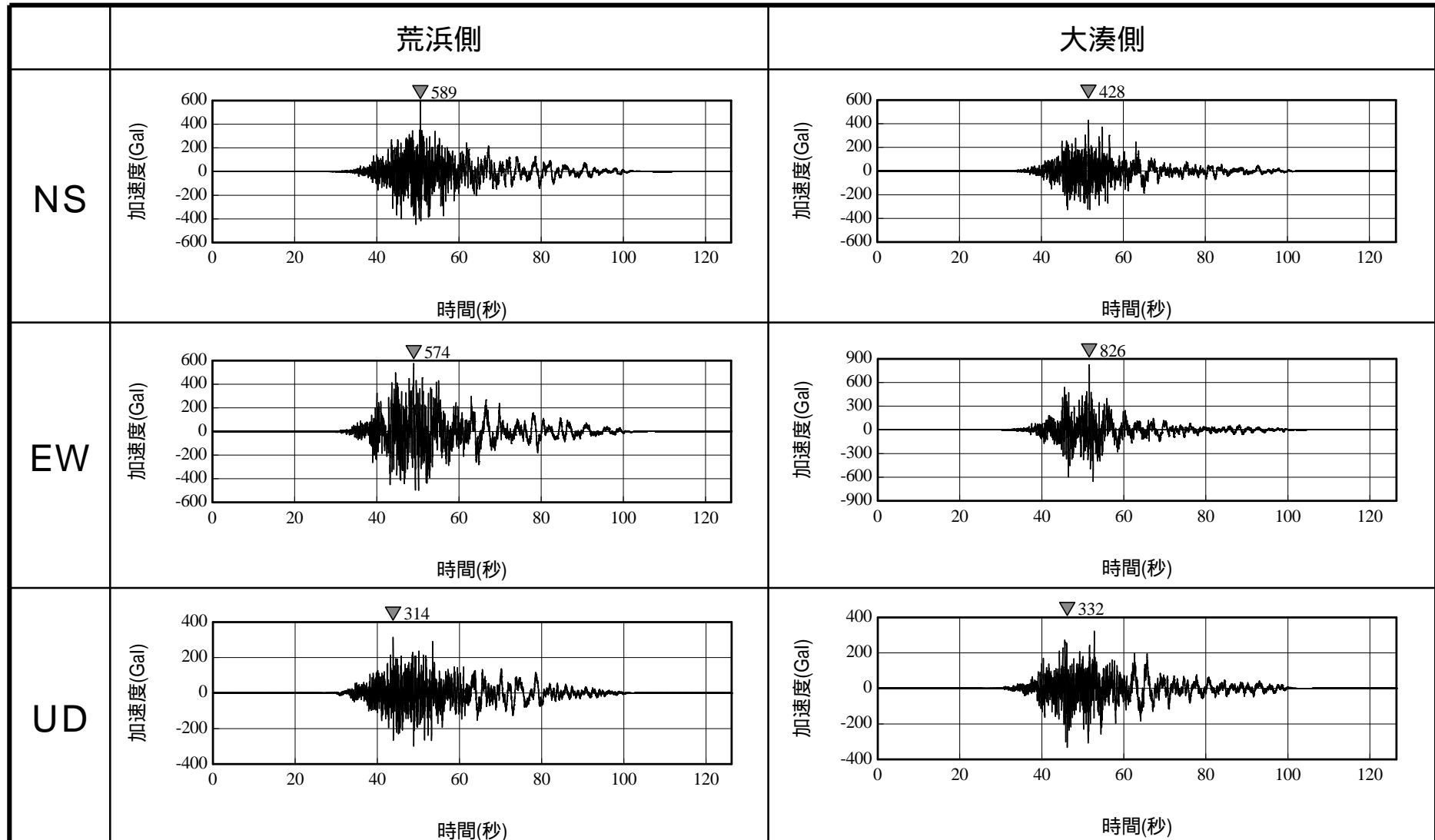
6) 基準地震動Ssの概要 (加速度時刻歴波形)

基準地震動Ss - 3の加速度時刻歴波形



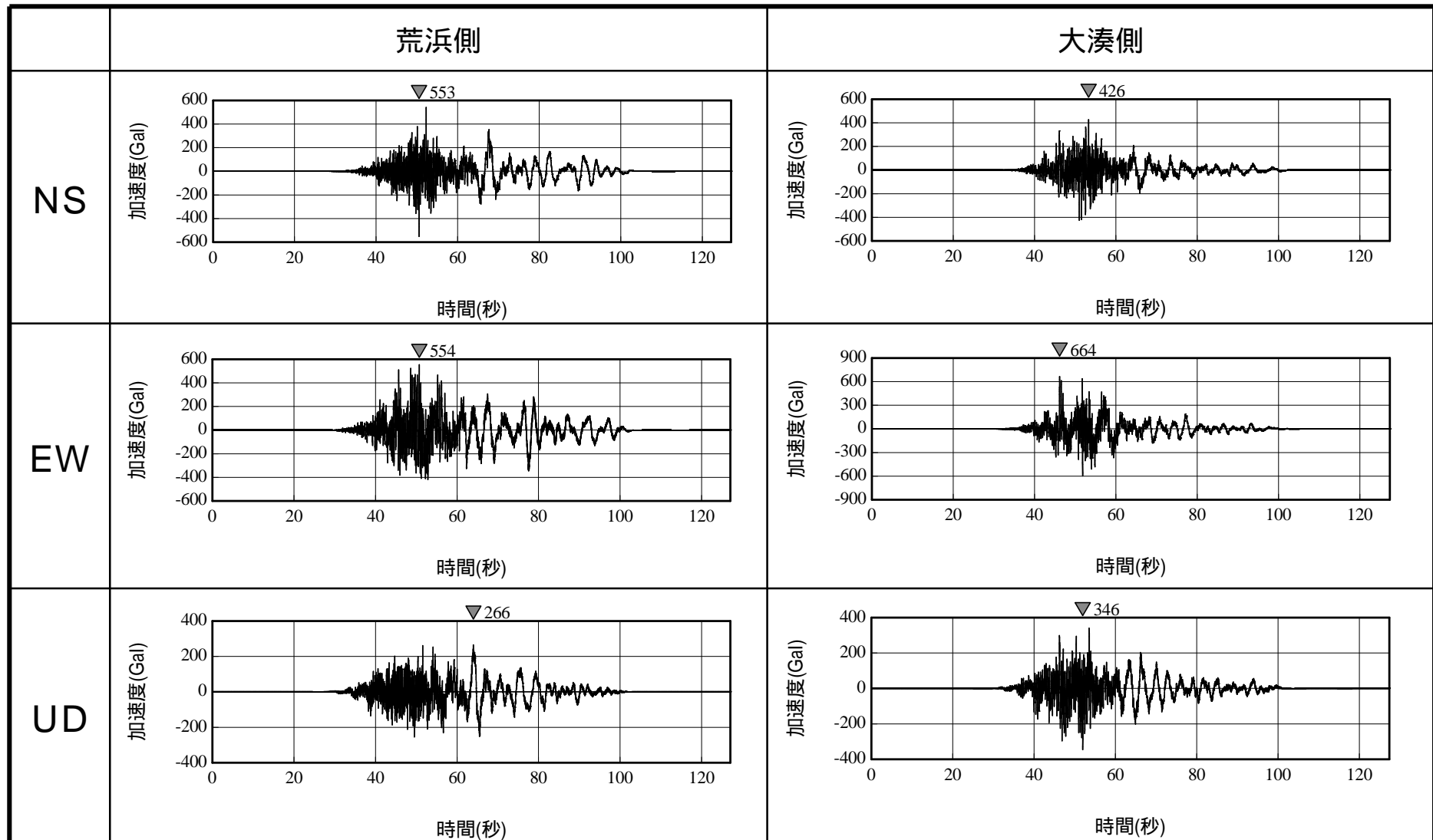
6) 基準地震動Ssの概要 (加速度時刻歴波形)

基準地震動Ss - 4の加速度時刻歴波形



6) 基準地震動Ssの概要 (加速度時刻歴波形)

基準地震動Ss - 5の加速度時刻歴波形



6) 基準地震動Ssの概要 (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: 2300 鉛直: 1050				水平: 1050 鉛直: 650		
Ss - 2 (F-B断層・断層モデル)	NS: 847 EW: 1703 UD: 510				NS: 848 EW: 1209 UD: 466		
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)	NS: 589 EW: 574 UD: 314				NS: 428 EW: 826 UD: 332		
Ss - 5 (長岡平野西縁断層帯・断層モデル)	NS: 553 EW: 554 UD: 266				NS: 426 EW: 664 UD: 346		

基準地震動の策定（まとめ）

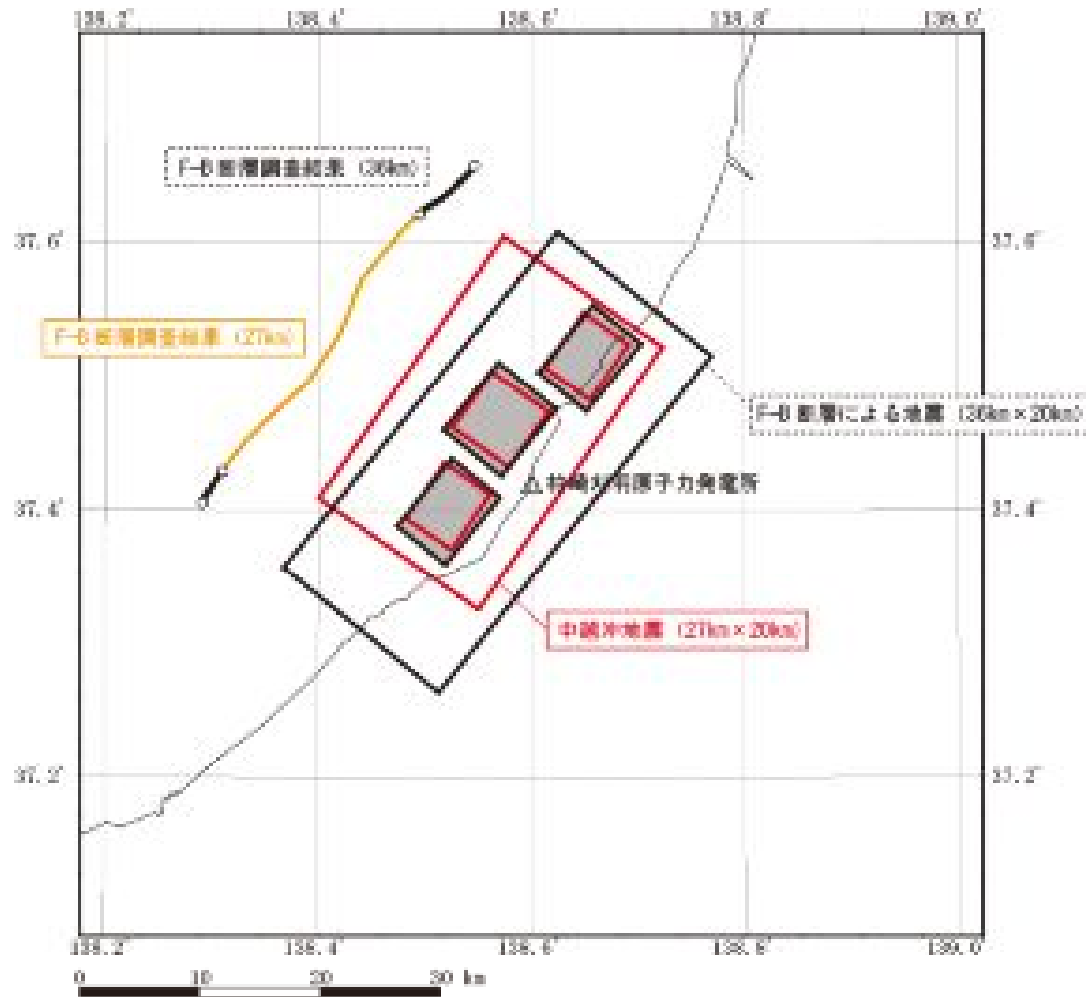
中越沖地震の知見を反映し，海域の活断層と陸域の活断層に分類したうえで，敷地に及ぼす影響の比較を行い，検討用地震を選定。

（検討用地震）F-B断層による地震

片貝断層（長岡平野西縁断層帯）による地震

検討用地震の「基本震源モデルと不確かさの考慮」について整理したうえで，応答スペクトル法・断層モデルによる地震動評価を実施し，5種類の基準地震動Ssを策定。

【参考】F - B断層・地震諸元の根拠

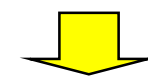


(中越沖地震)

$M_j = 6.8$

断層長さ = 27km

断層幅 = 20km



安全評価上断層長さを
36kmと評価

(F-B断層)

$M_j = 7.0$

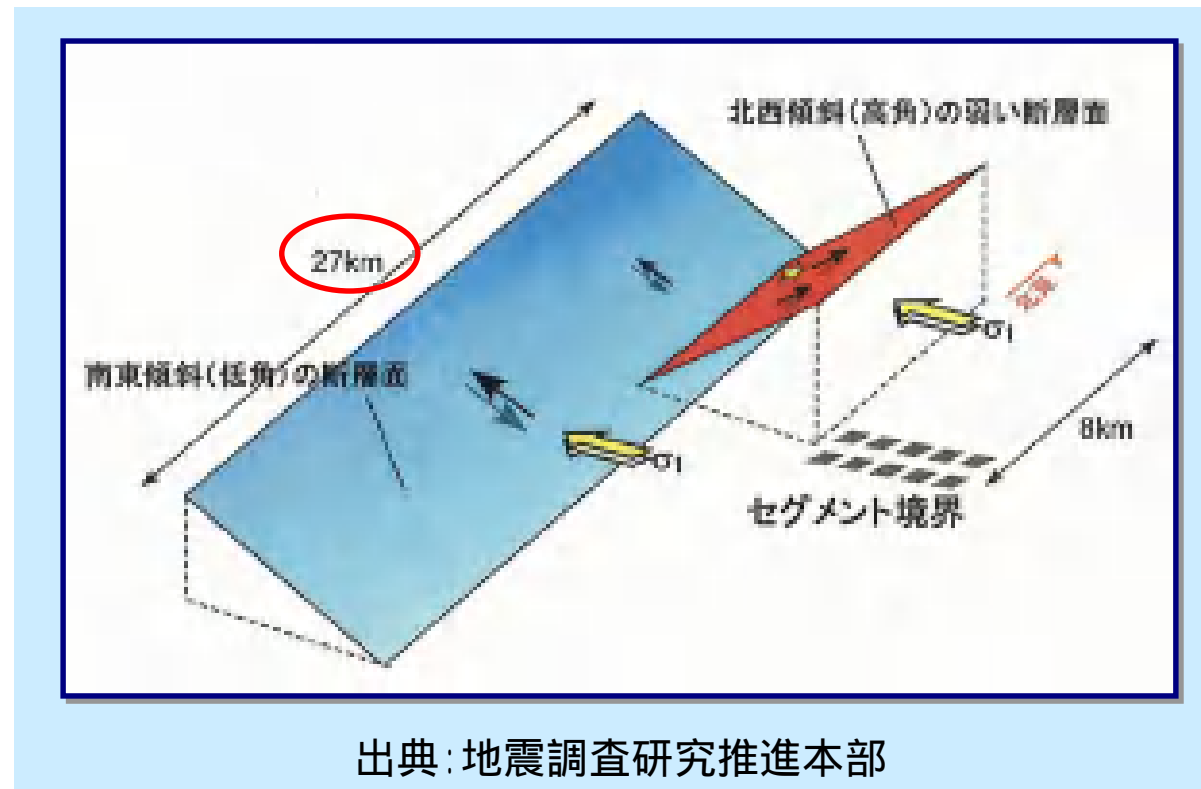
断層長さ = 36km

断層幅 = 20km

【参考】F - B断層・地震諸元の根拠（断層長さ）

中越沖地震の諸元

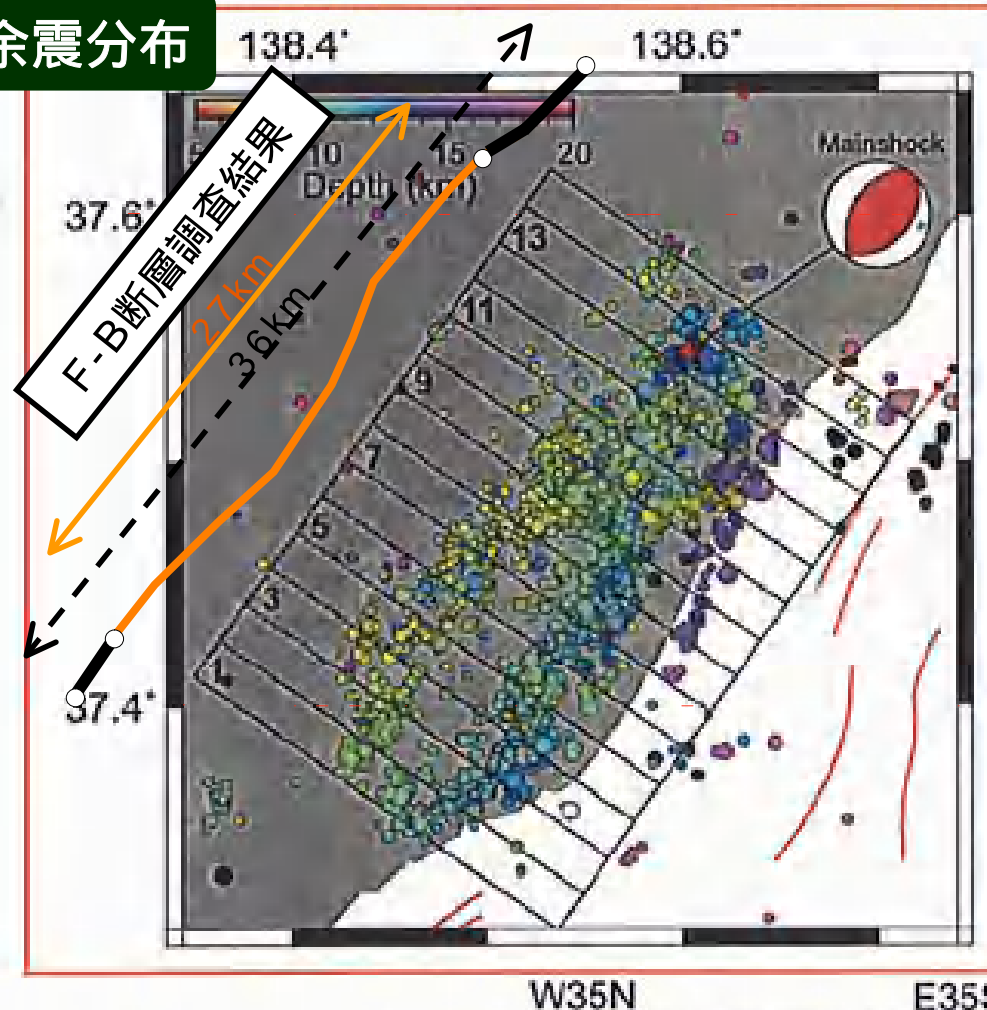
- マグニチュード（ M_j ）：6.8
- 断層長さ：27km



【参考】F - B断層・地震諸元の根拠（断層長さ）

海域・陸域臨時地震観測網に基づく精密余震分布（7月16日10時13分～8月29日）と，F-B断層調査結果はよく対応している。

中越沖地震の余震分布

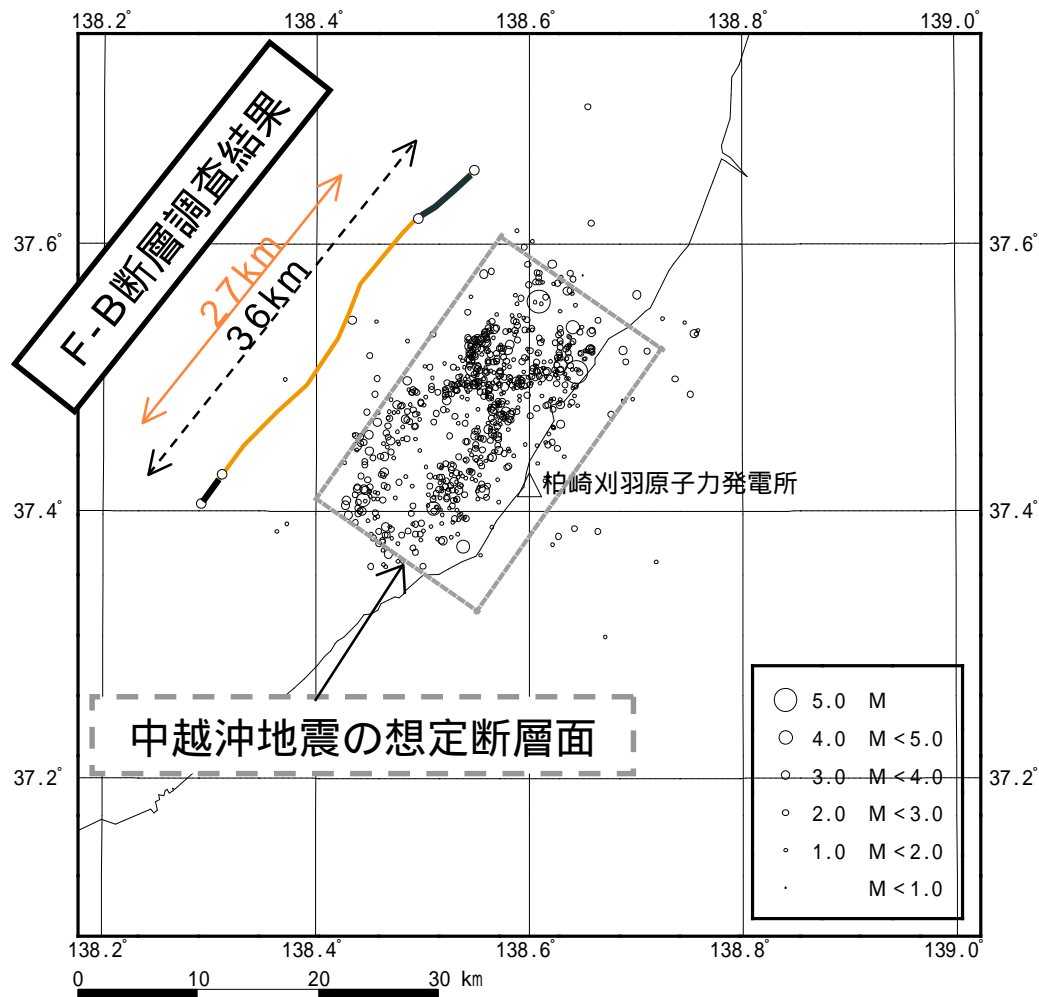


東京大学地震研究所資料（平成20年1月11日地震調査委員会）に加筆

【参考】F - B断層・地震諸元の根拠（断層長さ）

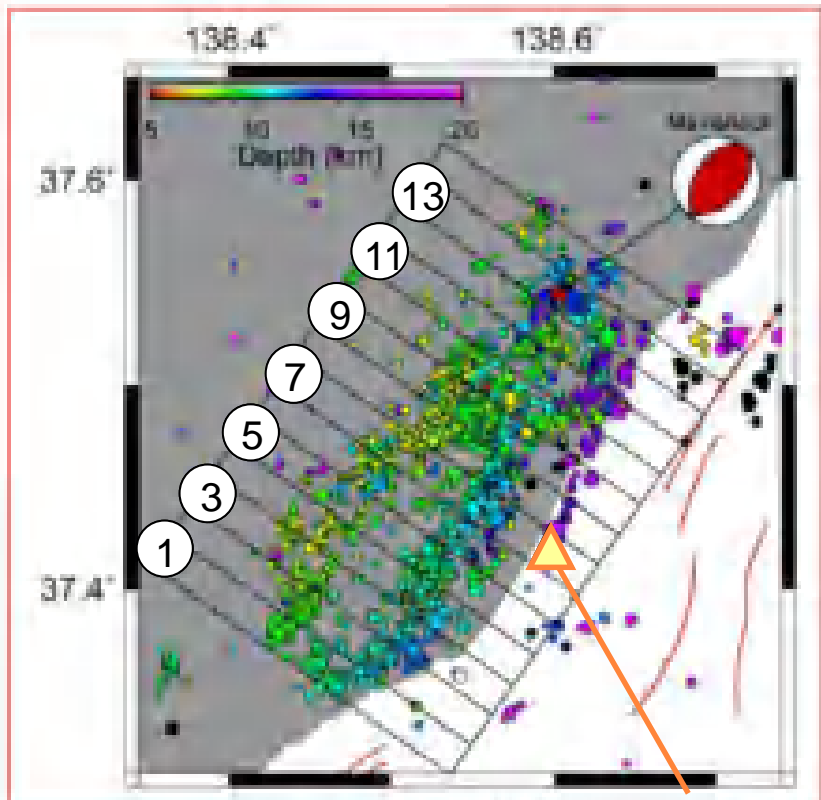
中越沖地震の余震分布
(本震発生後24時間)

中越沖地震の断層面と余震分布
(気象庁一元化震源)の比較



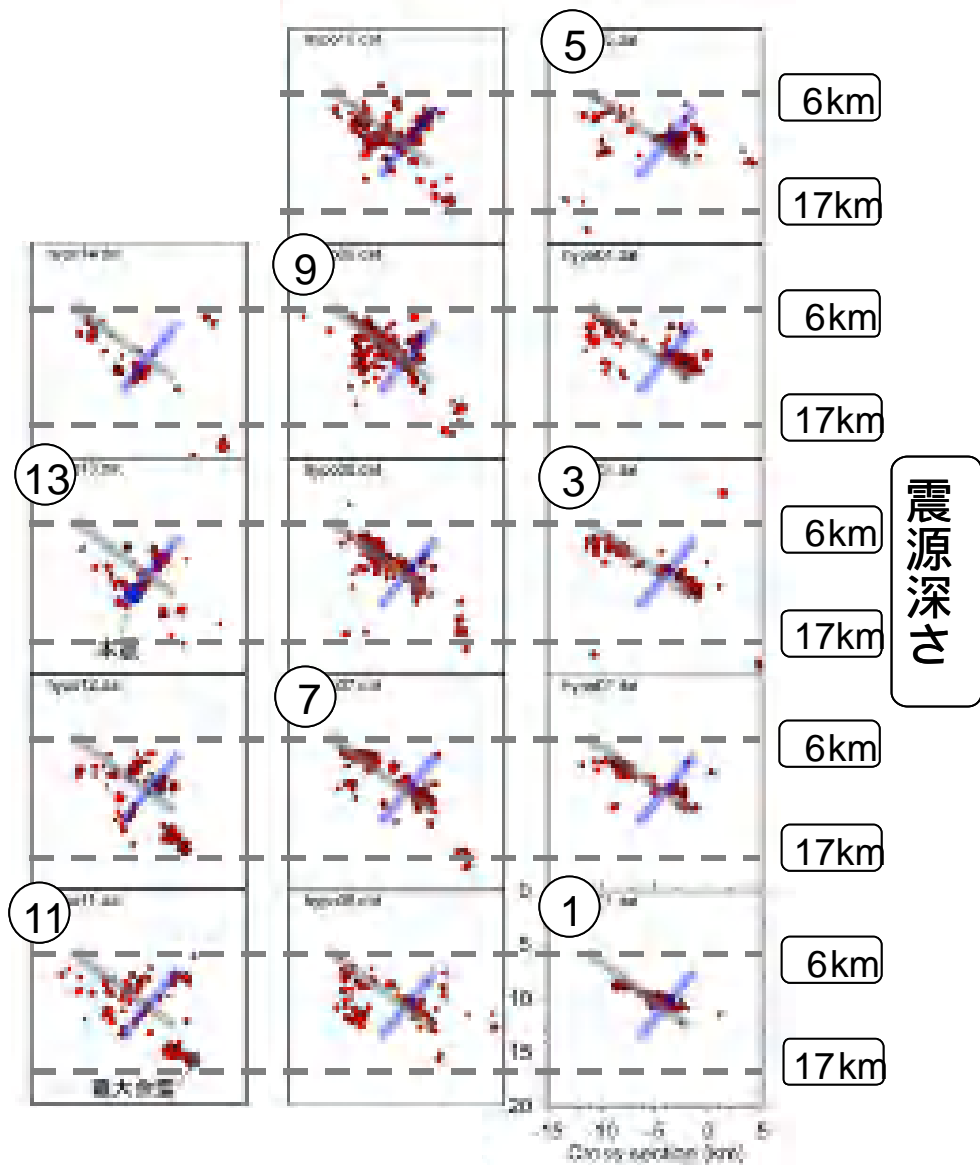
【参考】F - B断層・地震諸元の根拠（断層幅）

中越沖地震の余震分布



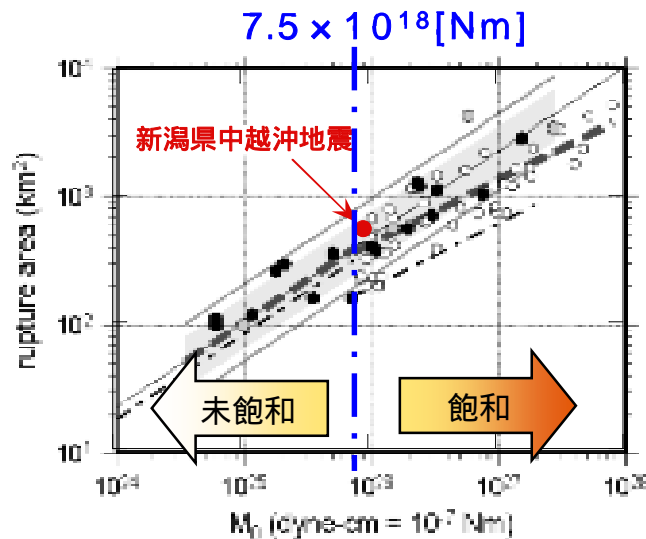
柏崎刈羽原子力発電所

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

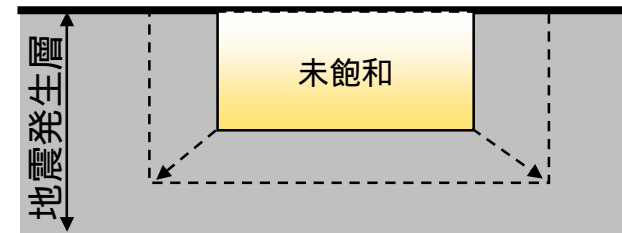


【参考】F - B断層・地震諸元の根拠（断層幅）

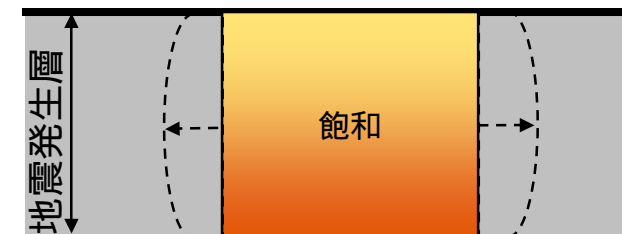
地震規模（地震モーメント M_0 ）と震源断層の面積 S の関係（スケーリング則）は断層幅が飽和することによって変化することが知られており，その目安は地震モーメント 7.5×10^{18} [Nm] であるとされている。中越沖地震の地震モーメントは 9.3×10^{18} [Nm]（F-net）であり，断層幅が飽和した地震であると考えられる。そこで，微小地震や余震分布を調査することにより地震発生層の厚さを推定し，断層幅設定の根拠とした。



地震モーメントと断層面積の関係
【入倉・三宅（2001）に加筆】



$$M_0 = (S / 2.23 \times 10^{15})^{3/2} \times 10^{-7}$$



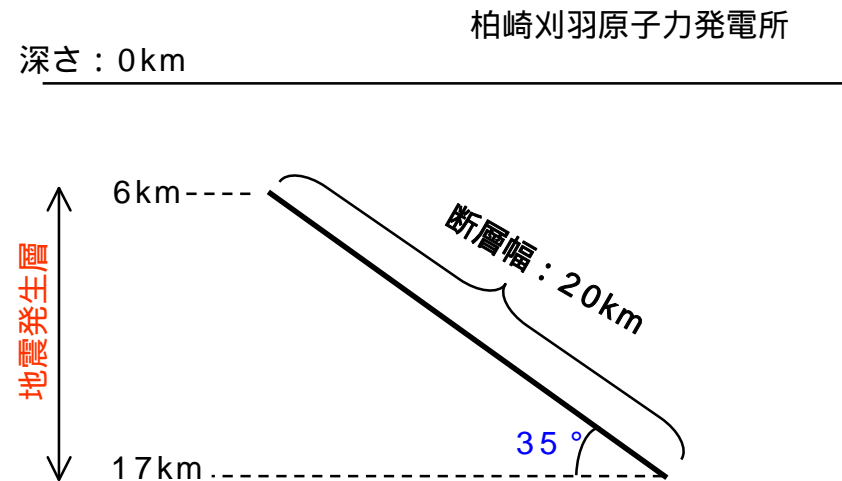
$$M_0 = (S / 4.24 \times 10^{11})^2 \times 10^{-7}$$

【参考】F - B断層・地震諸元の根拠（断層幅）

断層幅は地震発生層厚さと傾斜角より評価し，20kmとした。

地震発生層

微小地震の発生状況と，
中越沖地震の余震分布等
から設定



傾斜角：35°

中越沖地震の余震分布から設定

【参考】F - B断層・地震諸元の根拠（マグニチュード）

（基本的考え方）

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に，スケーリング則に従ってF-B断層（断層長さ36km）のマグニチュードを評価する。

具体的には，断層幅が地震発生層を飽和した場合の「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」（式）及び「 M_0 と M_j の関係を与える武村（1998）式，武村（1990）式」（式，'式）に基づき，F-B断層（断層長さ36km）のマグニチュードを評価する。

$$M_0 \propto S^2 \dots\dots\dots \text{式}$$

$$\log M_0 = 1.2 M_j + 17.7 \text{ [dyne} \cdot \text{cm]} \dots\dots \text{式：武村（1998）}$$

$$\log M_0 = 1.17 M_j + 17.72 \text{ [dyne} \cdot \text{cm]} \dots\dots \text{'式：武村（1990）}$$

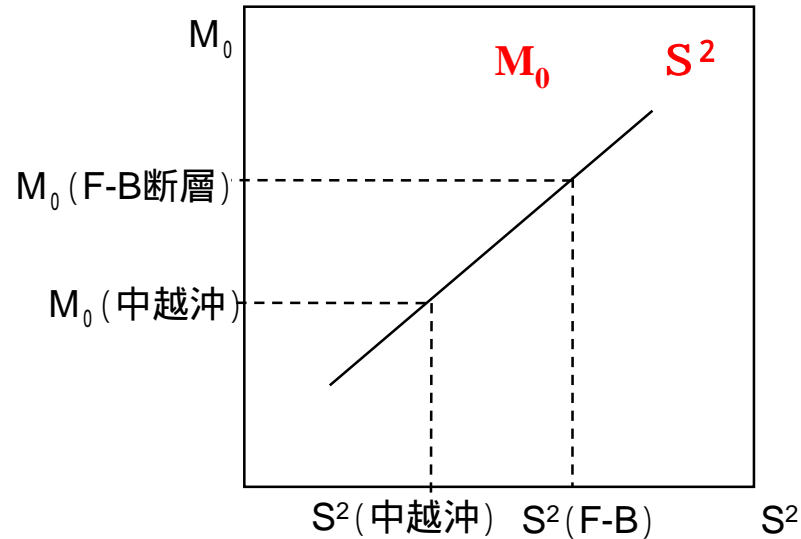
中越沖地震及びF-B断層の面積は以下とする。

$$\text{中越沖地震の断層面積：} 27\text{km} \times 20\text{km} = 540\text{km}^2$$

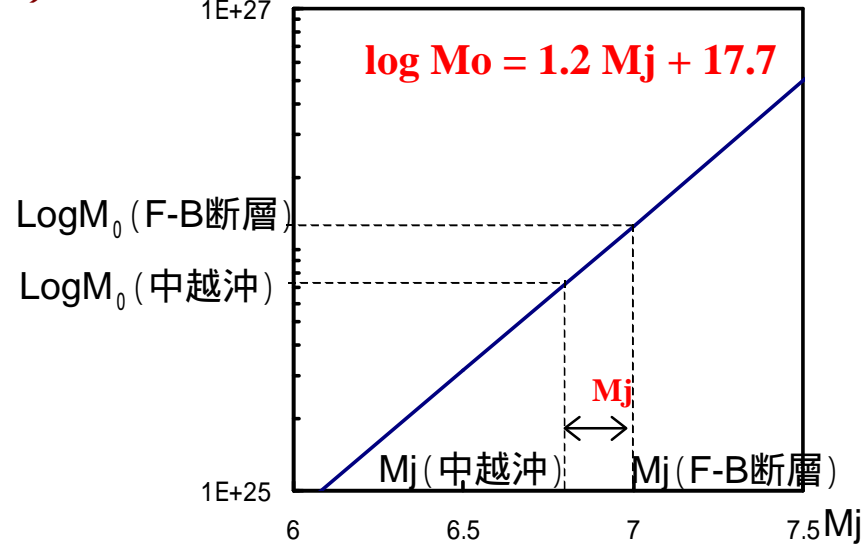
$$\text{F-B断層の断層面積} \quad : 36\text{km} \times 20\text{km} = 720\text{km}^2$$

【参考】F - B断層・地震諸元の根拠（マグニチュード）

【 M_0 と S のスケーリング（断層幅飽和の場合）】



Log M_0 1E+27 【武村（1998）】



$$\frac{M_0(F-B断層)}{M_0(中越沖)} = \left\{ \frac{S(F-B断層)}{S(中越沖)} \right\}^2$$

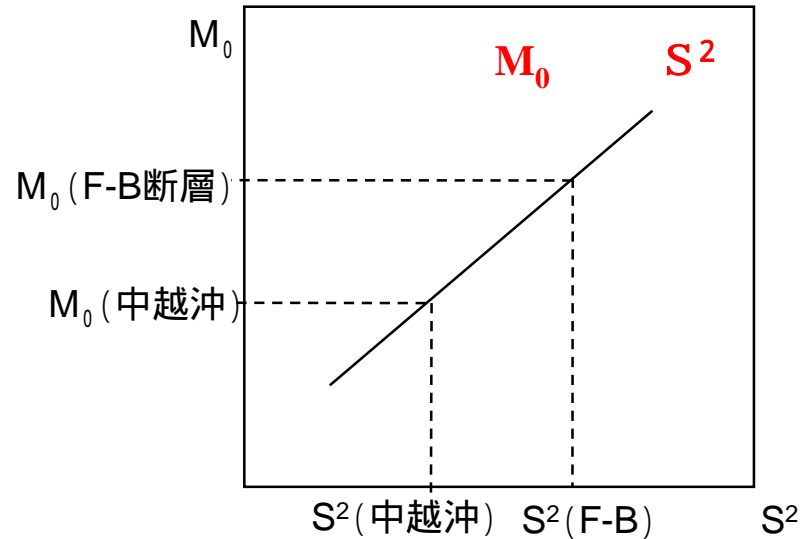
$$\Delta M_j = \left(\frac{1}{1.2} \right) \left\{ \text{Log} \left(\frac{M_0(F-B断層)}{M_0(中越沖)} \right) \right\}$$

$$\Delta M_j = \left(\frac{2}{1.2} \right) \left\{ \text{Log} \left(\frac{S(F-B断層)}{S(中越沖)} \right) \right\} = 0.208$$

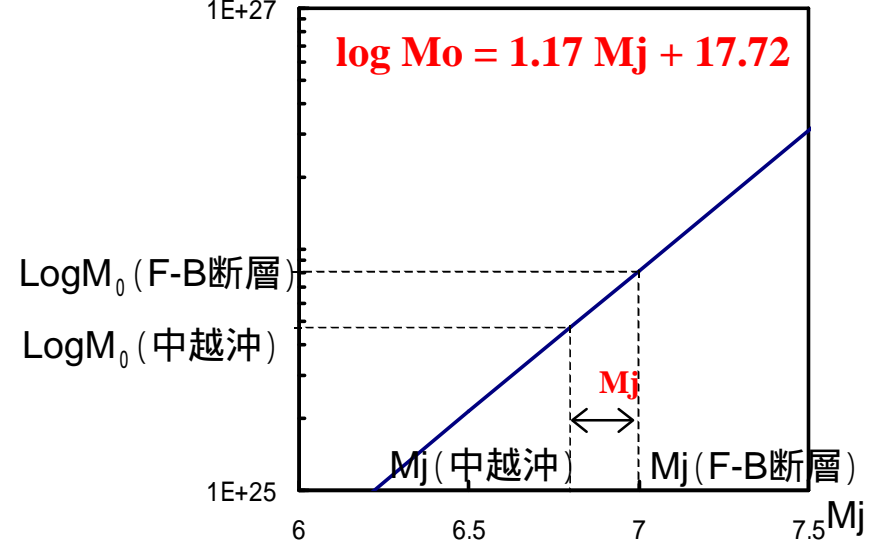
36km に対する
 $M_j = 6.8 + 0.2 = 7.0$

【参考】F - B断層・地震諸元の根拠（マグニチュード）

【 M_0 と S のスケーリング（断層幅飽和の場合）】



Log M_0 【武村（1990）】



$$\frac{M_0(F-B断層)}{M_0(中越沖)} = \left\{ \frac{S(F-B断層)}{S(中越沖)} \right\}^2$$

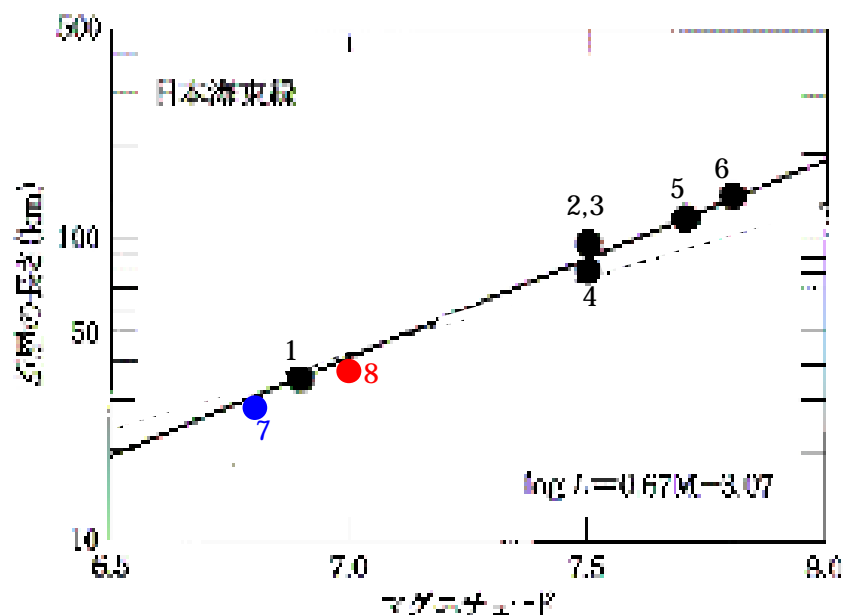
$$\Delta Mj = \left(\frac{1}{1.17} \right) \left\{ \text{Log} \left(\frac{M_0(F-B断層)}{M_0(中越沖)} \right) \right\}$$

$$\Delta Mj = \left(\frac{2}{1.17} \right) \left\{ \text{Log} \left(\frac{S(F-B断層)}{S(中越沖)} \right) \right\} = 0.214$$

36kmに対する
 $Mj = 6.8 + 0.2 = 7.0$

【参考】F - B断層・地震諸元の根拠（マグニチュード）

「日本海東縁の活断層と地震テクトニクス」（大竹・他2002）に示される， M_j と断層長さの関係に着目した。
 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 と断層長さの間には相関が認められ，中越沖地震の「断層長さ27km： M_j 6.8」は，既往地震の傾向とよく整合している。



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	今回の設定値

図 12.4 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

「日本海東縁の活断層と地震テクトニクス」p.182 図12.4に加筆・修正

(「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，平成 20 年 9 月 22 日，東京電力株式会社」より抜粋)

表 7.2 - 8 片貝断層による地震に関する震源パラメータの設定根拠

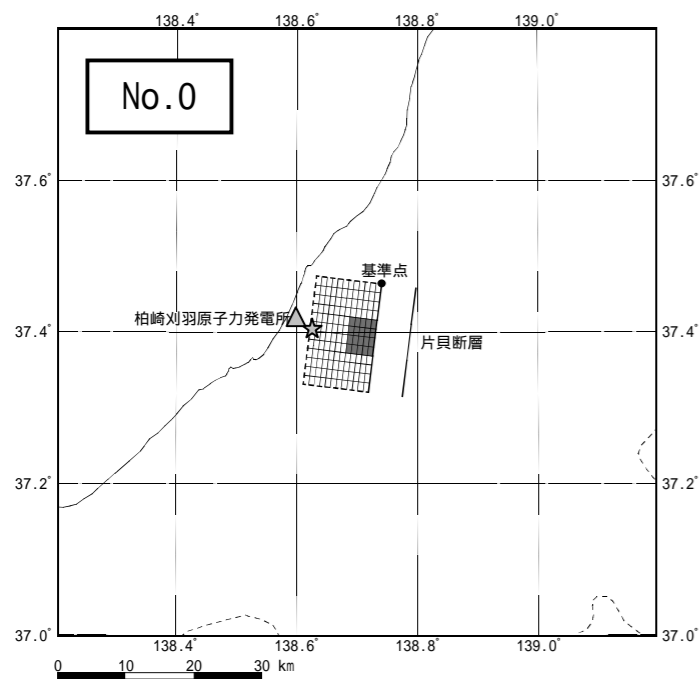
パラメータ		基本震源モデルのパラメータ設定根拠	不確かさ考慮の有無・根拠(有の場合，考慮する不確かさの範囲・根拠)		備考
巨視的 パラメータ	断層長さ	地質調査結果に基づき断層長さ 16km と設定。 ただし，地震動評価における基本震源モデルでは，安全評価上，強震動予測レシビ ⁽¹⁵⁾ を参考に，地震発生層を飽和する地震規模(M ₀ 7.5 × 10 ¹⁸ N・m)を与える断層面積及び断層幅より断層長さ 25km を考慮。	有	地質調査結果より，片貝断層が単独で活動すると考えられるが，地震調査研究推進本部(2004) ⁽¹⁴⁾ による長岡平野西縁断層帯の長期評価を参考に，安全評価上，角田・弥彦断層及び気比ノ宮断層を含めた 3 断層が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。	
	マグニチュード	地質調査結果に基づく断層長さ 16km から，松田(1975) ⁽¹²⁾ による経験式に基づき M6.8 と設定。	有	断層長さの不確かさを考慮することに伴い，長岡平野西縁断層帯の断層長さから，松田(1975) ⁽¹²⁾ による経験式に基づく M8.1 を考慮。	に従属するパラメータ
	地震モーメント	安全評価上，強震動予測レシビ ⁽¹⁵⁾ を参考に，地震発生層を飽和する地震モーメント M ₀ 7.5 × 10 ¹⁸ N・m となるように設定。	有	断層長さあるいは断層傾斜角の不確かさを考慮することに伴い，長岡平野西縁断層帯の断層面積から，入倉・三宅(2001) ⁽²²⁾ による経験式に基づき設定。	及び に従属するパラメータ
	平均すべり量	強震動予測レシビ ⁽¹⁵⁾ に従い，片貝断層の地震モーメント，断層面積に基づき設定。	有	断層長さあるいは断層傾斜角の不確かさを考慮することに伴い，長岡平野西縁断層帯の地震モーメント，断層面積に基づき設定。	及び に従属するパラメータ
	地震発生層上下端深さ	敷地周辺の微小地震分布，2004 年新潟県中越地震の余震分布，地震調査研究推進本部(2008) ⁽¹⁷⁾ による中越沖地震の余震分布，地震観測記録に基づく敷地の地震基盤深さ等を総合的に勘案して設定。	無	敷地周辺では多くの情報が得られていることから，不確かさの考慮は行わない。	
	断層傾斜角	地質調査結果及び地震調査研究推進本部(2004) ⁽¹⁴⁾ による長岡平野西縁断層帯の長期評価等を参考に 50° と設定。	有	安全評価上，周辺で発生した中越沖地震の余震分布を参考に傾斜角 35° を考慮。	
	断層幅	地震発生層上下端深さ及び断層傾斜角の値に基づき，地震発生層を飽和するように断層幅 15km と設定。	有	断層傾斜角の不確かさを考慮することに伴い，地震発生層を飽和する断層幅 20km を考慮。	に従属するパラメータ
微視的 パラメータ	アスペリティの位置，数	強震動予測レシビ ⁽¹⁵⁾ に従い，断層中央上端に配置。	有	基本震源モデルにおける設定が，ほぼ敷地至近となる配置であるが，念のため断層中央下端に配置。	
	アスペリティの総面積，各アスペリティの面積	強震動予測レシビ ⁽¹⁵⁾ に従い，片貝断層の地震モーメント，断層面積に基づき設定。	有	断層長さあるいは断層傾斜角の不確かさを考慮することに伴い，長岡平野西縁断層帯の地震モーメント，断層面積に基づき設定。	及び に従属するパラメータ
	各アスペリティの応力降下量，平均すべり量	強震動予測レシビ ⁽¹⁵⁾ に従い設定。	有 有	アスペリティの応力降下量については，安全評価上，中越沖地震の知見を踏まえ，強震動予測レシビ ⁽¹⁵⁾ による値の 1.5 倍の値を考慮。 アスペリティの平均すべり量については，断層長さあるいは断層傾斜角の不確かさを考慮することに伴い，長岡平野西縁断層帯の地震モーメント，断層面積に基づき設定。	及び に従属するパラメータ
	背景領域の実効応力，平均すべり量	強震動予測レシビ ⁽¹⁵⁾ に従い設定。	有 有	背景領域の実効応力については，アスペリティの応力降下量の不確かさを考慮することに伴い，強震動予測レシビ ⁽¹⁵⁾ による値の 1.5 倍の値を考慮。 背景領域の平均すべり量については，断層長さあるいは断層傾斜角の不確かさを考慮することに伴い，長岡平野西縁断層帯の地震モーメント，断層面積に基づき設定。	に従属するパラメータ 及び に従属するパラメータ
	すべり速度時間関数	Dan et al.(1989) ⁽¹⁶⁾ による波形合成法を適用しているため，すべり時間関数を用いていない。	無	すべり時間関数を評価に用いていないため，不確かさの考慮は行わない。	
高周波遮断特性	要素地震記録を用いた 2004 年新潟県中越地震のシミュレーション結果(添付 12 参照)における適合度合いを確認の上，f _{max} を考慮していない。	無	シミュレーション結果に基づき f _{max} を評価に用いていないため，不確かさの考慮は行わない。		
その 他の 震源 パラメータ	破壊伝播速度	強震動予測レシビ ⁽¹⁵⁾ に従い設定。	無	破壊伝播速度を変化させた場合，主に地震動の長周期側における影響が考えられるものの，断層長さの不確かさを考慮した長岡平野西縁断層帯による地震動の影響を下回ると判断し，不確かさの考慮は行わない。	
	破壊開始点	安全評価上，巨視的断層面の端部で破壊が敷地に向かうような位置に設定。	有	基本震源モデルにおける設定以外で敷地に与える影響が大きいと考えられるアスペリティの端部で破壊が敷地に向かうような位置に設定。	
	破壊伝播様式	強震動予測レシビ ⁽¹⁵⁾ に従い，放射状の伝播を仮定。	無	破壊が敷地に向かうように破壊開始点を設定しており，基本震源モデルで仮定した放射状の伝播による影響が大きいと判断し，不確かさの考慮は行わない。	

表7.2 - 9 片貝断層による地震の基本震源モデルに対する各パラメータの影響を把握するための検討ケース

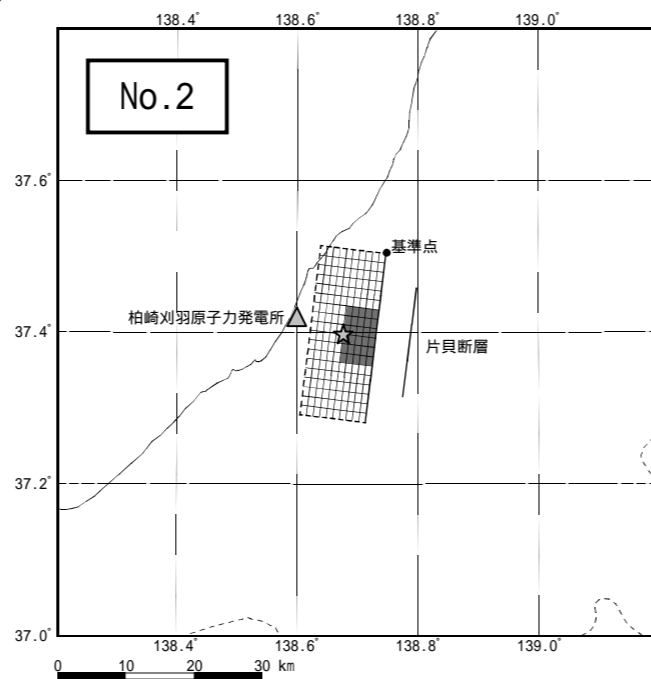
地質調査結果を踏まえ、片貝断層単独で活動する場合を基本震源モデルとして設定。
基本震源モデルに対し、各パラメータの影響を個別に把握するための地震動評価を実施。

No.	検討ケース	断層長さ L	断層幅 W	断層 傾斜角	破壊開始点	アスペリティ 位置	応力降下量 ¹	備考
0	(地質調査結果)	16km	15km	50°	巨視的断層面 端部	断層中央上端	強震動予測 レシビ ^{°(15)}	地質調査結果に基づく断層長さ16kmのモデル。 地震動評価はスケーリングを考慮した基本震源モデル(No.1)にて代表。
1	基本震源モデル (スケーリング考慮)	25km ²	15km	50°	巨視的断層面 端部	断層中央上端	強震動予測 レシビ ^{°(15)}	強震動予測レシビ ^{°(15)} を参考に、スケーリングの観点から地震発生層を飽和 する地震規模(Mo 7.5×10 ¹⁸ N・m)を与える断層面積及び断層幅より断層 長さ25kmを考慮したモデル。
2	破壊開始点の 不確かさ考慮	25km ²	15km	50°	アスペリティ 端部 ³	断層中央上端	強震動予測 レシビ ^{°(15)}	基本震源モデルにおける設定以外で敷地に与える影響が大きいと考えられる アスペリティの端部で破壊が敷地に向かうような位置に破壊開始点を設定し たモデル。
3	アスペリティ位置の 不確かさ考慮	25km ²	15km	50°	巨視的断層面 端部	断層中央下端 ³	強震動予測 レシビ ^{°(15)}	基本震源モデルにおける断層中央上端の配置が、ほぼ敷地に至近の位置とな るものの、念のため断層中央下端に配置したモデル。
4	断層傾斜角の 不確かさ考慮	20km ²	20km ³	35° ³	巨視的断層面 端部	断層中央上端	強震動予測 レシビ ^{°(15)}	周辺で発生した2007年新潟県中越沖地震の余震分布を参考に傾斜角35°を考 慮したモデル。 相関のある地震モーメント、平均すべり量、断層幅、アスペリティ面積、ア スペリティの平均すべり量及び背景領域の平均すべり量に関する不確かさにつ いても考慮したモデル。 安全評価上、強震動予測レシビ ^{°(15)} を参考に、スケーリングの観点から地震 発生層を飽和する地震規模(Mo 7.5×10 ¹⁸ N・m)を与える断層面積及び断 層幅より断層長さ19kmを考慮。なお、モデル化においては断層幅と等しい断 層長さ20kmと設定。
5	応力降下量の 不確かさ考慮	25km ²	15km	50°	巨視的断層面 端部	断層中央上端	強震動予測 レシビ ^{°(15)} ×1.5 ³	2008年新潟県中越沖地震の知見を踏まえ、アスペリティの応力降下量として 強震動予測レシビ ^{°(15)} による値の1.5倍の値を考慮したモデル。 相関のある背景領域の実効応力の不確かさについても考慮したモデル。
6	断層長さの 不確かさ考慮	91km ³	15km	50°	巨視的断層面 端部	断層中央上端	強震動予測 レシビ ^{°(15)}	角田・弥彦断層及び気比ノ宮断層を含めた3断層が長岡平野西縁断層帯とし て一連で活動する断層長さ91kmを考慮。 相関のあるマグニチュード、地震モーメント、平均すべり量、アスペリティ 面積、アスペリティの平均すべり量及び背景領域の平均すべり量に関する不 確かさについても考慮したモデル。

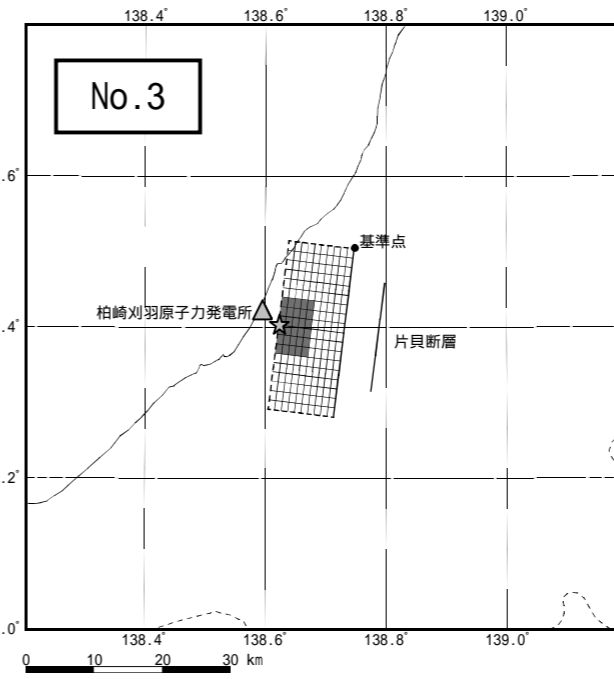
- 1：応答スペクトルによる地震動評価では、応力降下量の不確かさを図7.2 - 19に示すサイト補正係数の下限を1として、短周期側における地震動レベルを嵩上げすることにより考慮する。
2：強震動予測レシビ^{°(15)}を参考に、スケーリングの観点から、地震発生層を飽和する地震規模(Mo 7.5×10¹⁸N・m)を与える断層面積より設定している。
3：影響を評価するパラメータ。



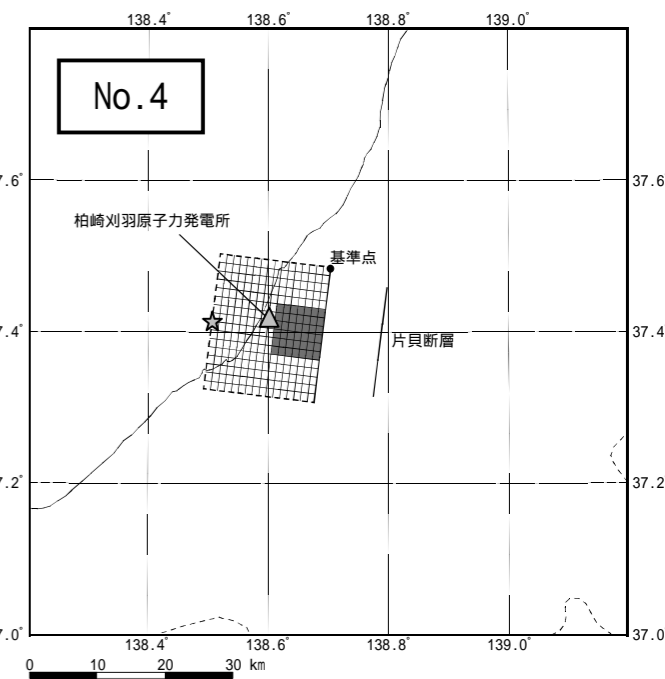
地質調査結果に基づくモデル
(断層長さ 16km × 断層幅 15km)



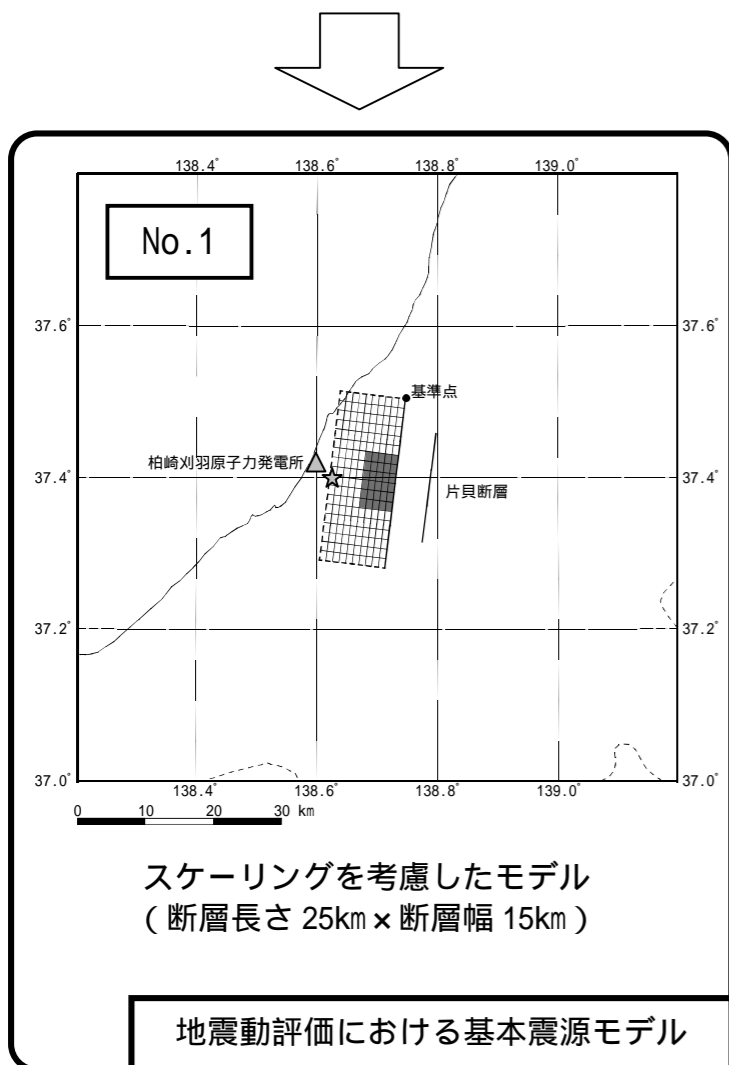
破壊開始点の不確かさを考慮したモデル
(断層長さ 25km × 断層幅 15km)



アスペリティ位置の不確かさを考慮したモデル
(断層長さ 25km × 断層幅 15km)

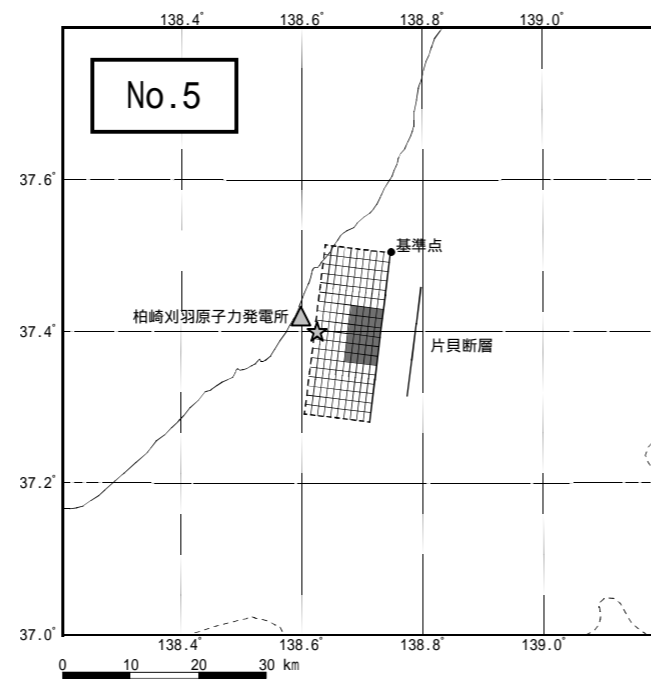


断層傾斜角の不確かさを考慮したモデル
(断層長さ 20km × 断層幅 20km)

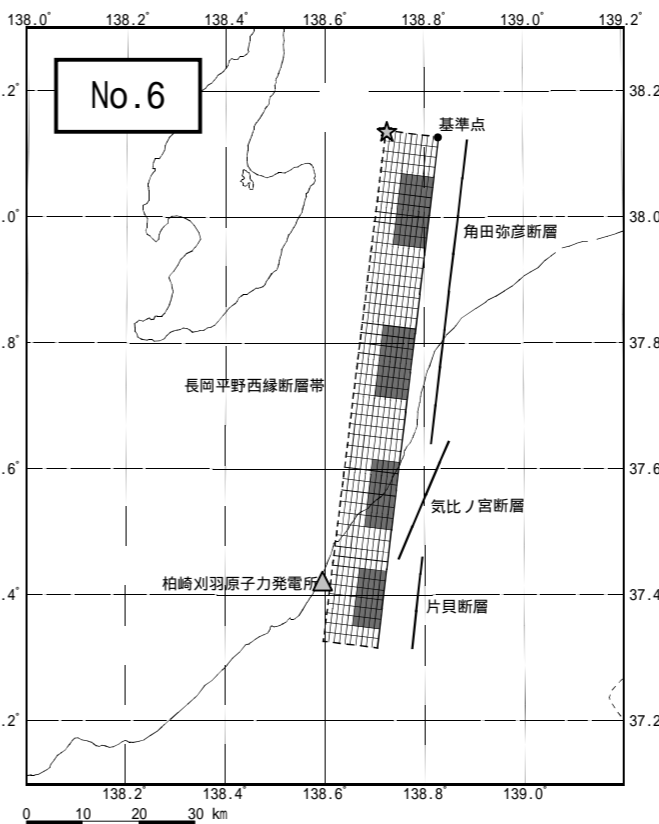


スケーリングを考慮したモデル
(断層長さ 25km × 断層幅 15km)

地震動評価における基本震源モデル



応力降下量の不確かさを考慮したモデル
〔強震動予測レシビ⁽¹⁵⁾による
値の 1.5 倍の値を考慮〕



断層長さの不確かさを考慮したモデル
(断層長さ 91km × 断層幅 15km)

凡例 : 破壊開始点
: 柏崎刈羽原子力発電所

各検討ケースの番号 (No.) は、
表 7.2 - 9 に対応。

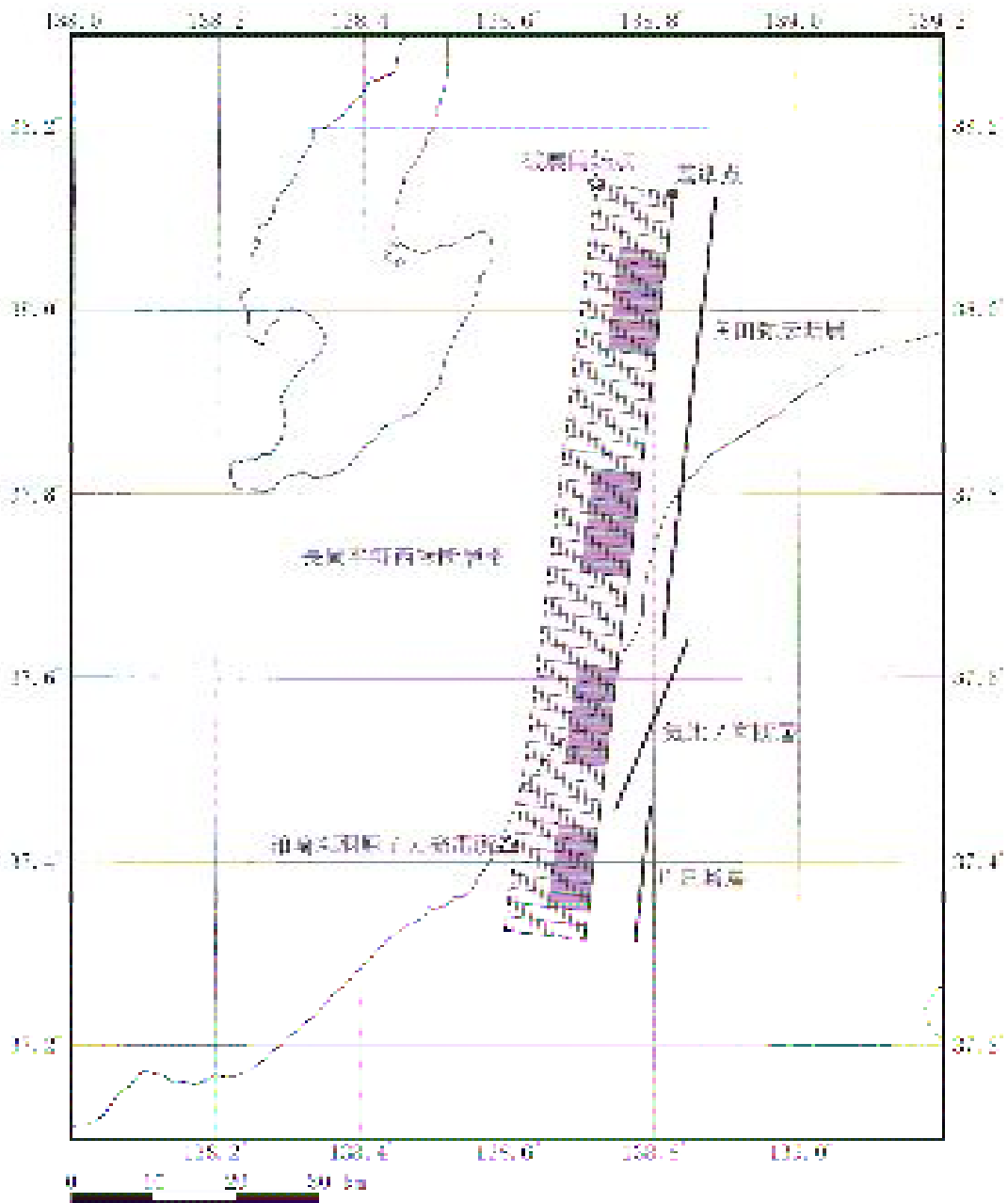
基本震源モデルに対する各パラメータの影響を把握するための検討ケース

図 7.2 - 18 片貝断層による地震における各パラメータの影響評価に用いる各検討ケースの断層モデル

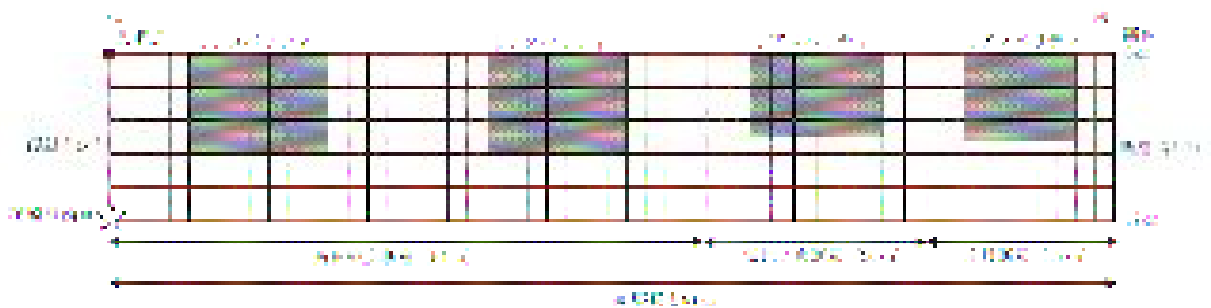
表7.2 - 16 片貝断層による地震の基準地震動Ss策定にあたり考慮する検討ケース

No.	検討ケース	断層長さ L	断層幅 W	断層 傾斜角	破壊 開始点	アスペリティ 位置	応力降下量 ¹
7	断層長さ及び 応力降下量の 不確かさを考慮	91km ²	15km	50°	巨視的 断層面 端部	断層中央 上端	強震動予測 レシビ ⁽¹⁵⁾ ×1.5 ²
8	断層長さ及び 断層傾斜角の 不確かさを考慮	91km ²	20km ²	35° ²	巨視的 断層面 端部	断層中央 上端	強震動予測 レシビ ⁽¹⁵⁾

- 1：応答スペクトルによる地震動評価では，応力降下量の不確かさを図7.2 - 19に示すサイト補正係数の下限を1として，短周期側における地震動レベルを嵩上げすることにより考慮する。
- 2：不確かさを考慮して設定するパラメータ。

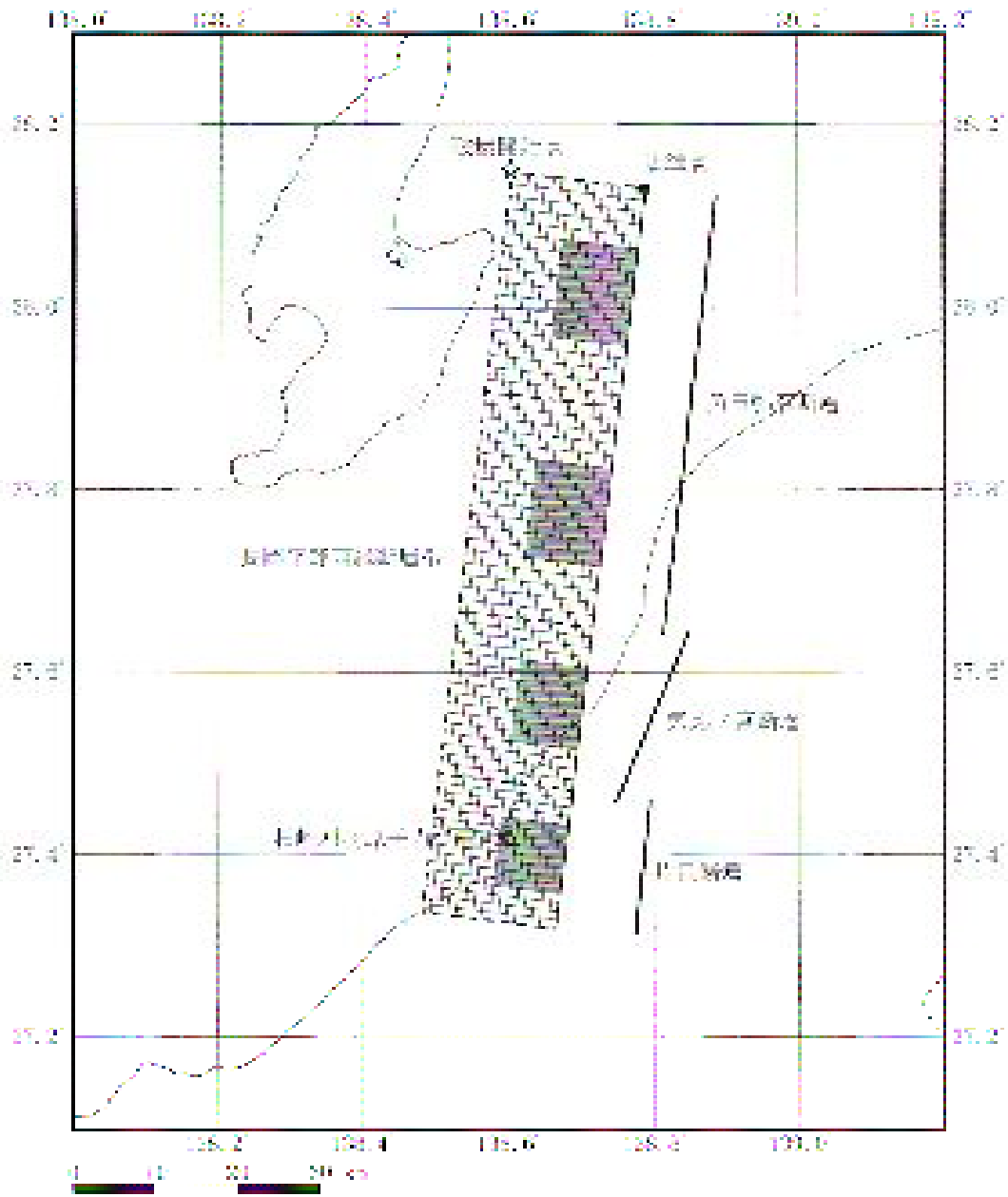


(1) 断層面配置図

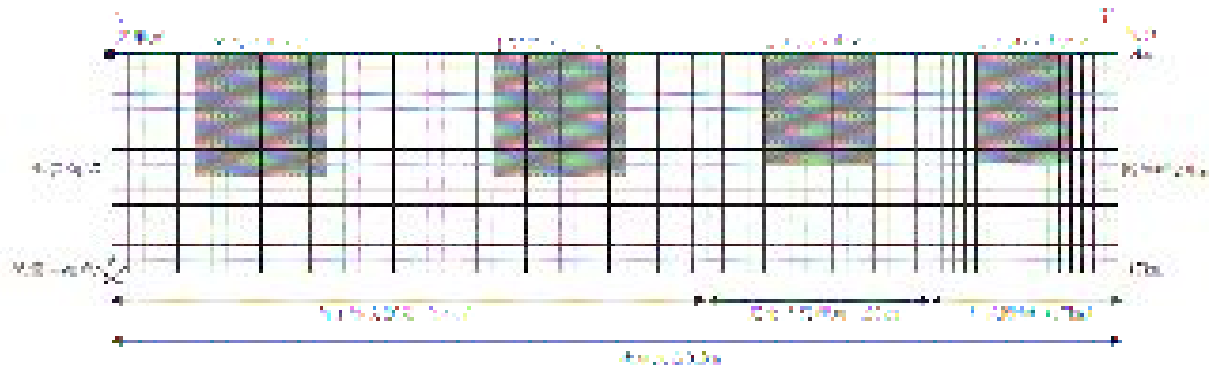


(2) 断面図

図 7.2 - 23 片貝断層による地震の断層長さ及び応力降下量の不確かさを同時に考慮した検討ケース（ケース No.7）の断層モデル



(1) 断層面配置図



(2) 断面図

図 7.2 - 24 片貝断層による地震の断層長さ及び断層傾斜角の不確かさを同時に考慮した検討ケース (ケース No.8) の断層モデル