

片貝断層（長岡平野西縁断層帯）の不確かさを
考慮した地震動評価

平成20年9月11日
東京電力株式会社



東京電力

【ご説明内容】

- 「片貝断層による地震の基本震源モデルと不確かさの考慮に関する整理」（平成20年8月26日，合同W16-4-7）において示した，断層長さ及び断層傾斜角の不確かさを同時に考慮した場合の地震動評価に関する説明を行う。

- 断層モデル及び断層パラメータの設定について

- Noda et al. (2002) に基づく応答スペクトルによる地震動評価

- 経験的グリーン関数法を用いた断層モデルによる地震動評価

1. 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

➡ 基本震源モデルと不確かさの考慮については別表参照

● 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

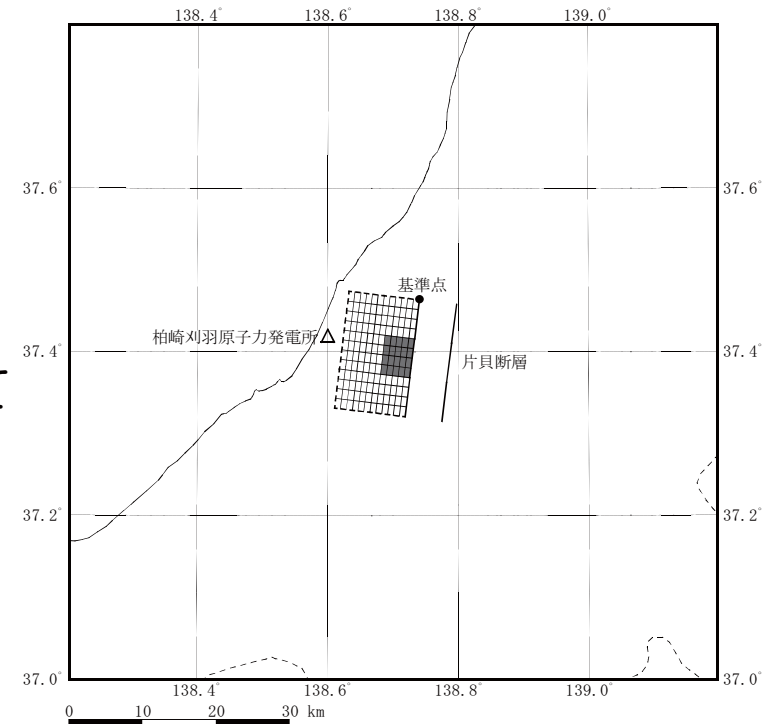
断層中央上端を基本とし、不確かさとして断層中央下端を考慮

● 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



1. 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。➡ 各ケースの断層モデルは添付図参照

No.	検討ケース	断層長さ L	断層幅 W	断層傾斜角 δ	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

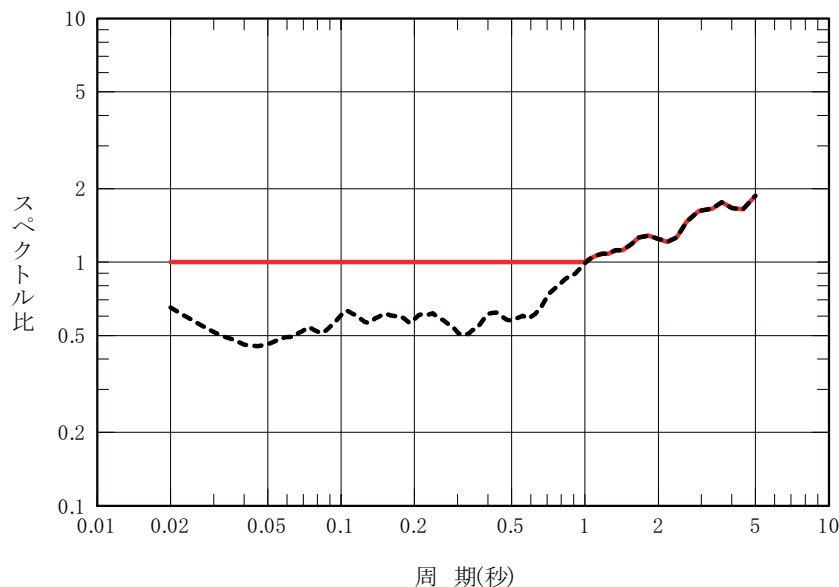
1. 基本震源モデルと不確かさの考慮

応答スペクトルによる地震動評価

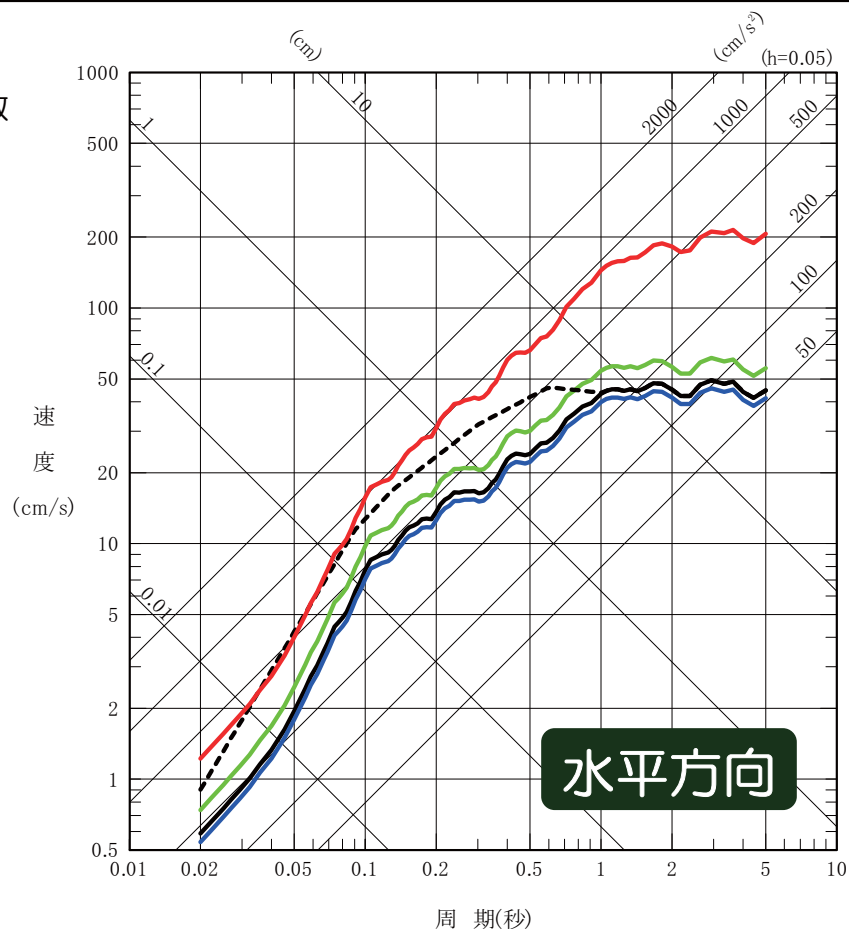
- No.1 : 基本震源モデル (スケーリング考慮)
- No.3 : アスペリティ位置の不確かさを考慮したケース
- No.4 : 断層傾斜角の不確かさを考慮したケース
- - - No.5 : 応力降下量の不確かさを考慮したケース
- No.6 : 断層長さの不確かさを考慮したケース

- - - 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



観測記録に基づくNoda et al. (2002)による応答スペクトルのサイト補正係数



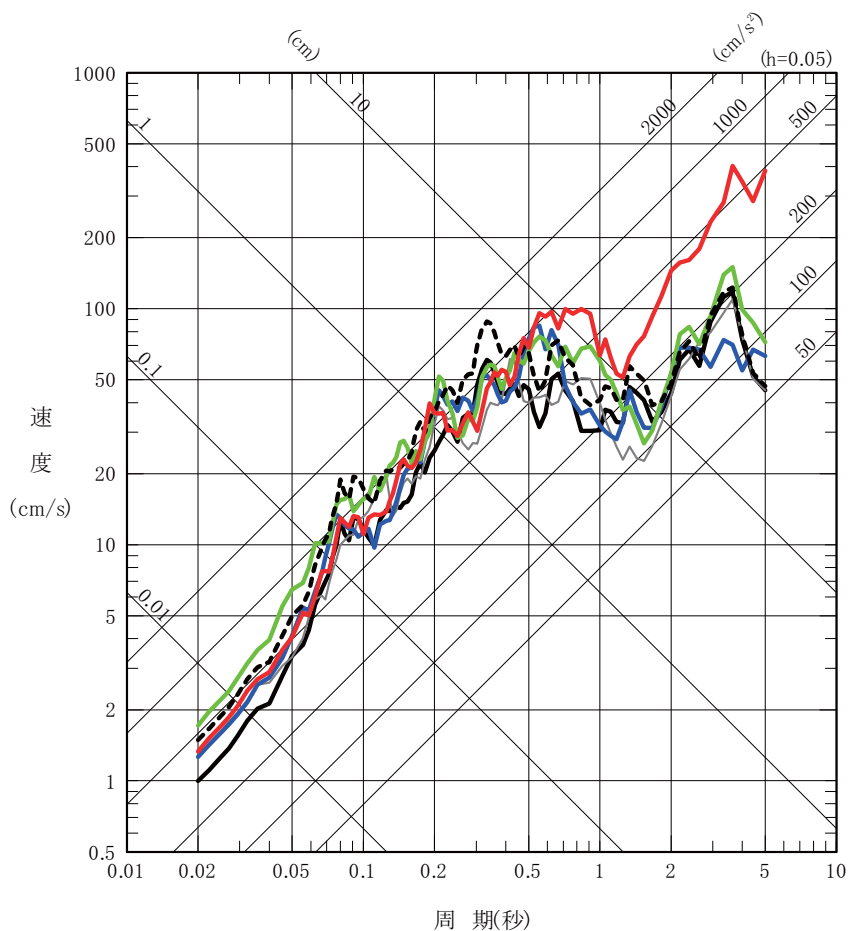
大湊側 (5~7号機) 荒浜側も同様

1. 基本震源モデルと不確かさの考慮

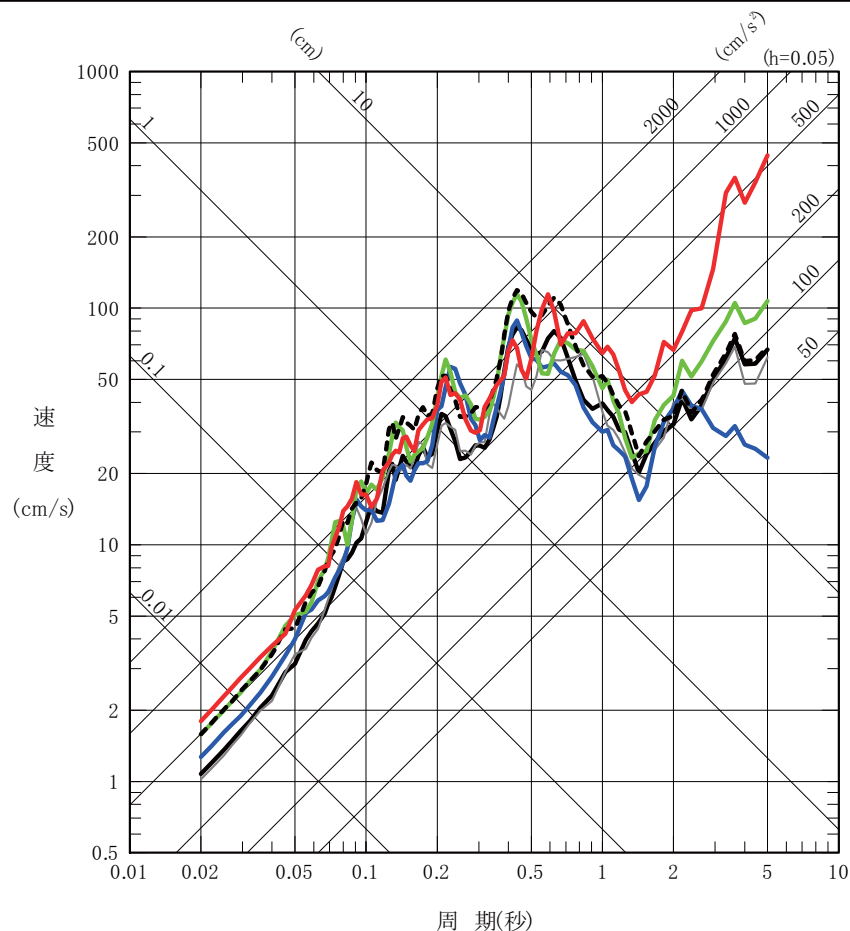
断層モデルによる地震動評価

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



荒浜側 (1~4号機)



大湊側 (5~7号機)

1. 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.7：5/22報告時の基準地震動Ss-3，Ss-4に対応する検討ケース

- 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について，今回新たに実施。

↳ No.8：長岡平野西縁断層帯の断層傾斜角を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 δ	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

2. 断層モデルの構築（No.8のケース）

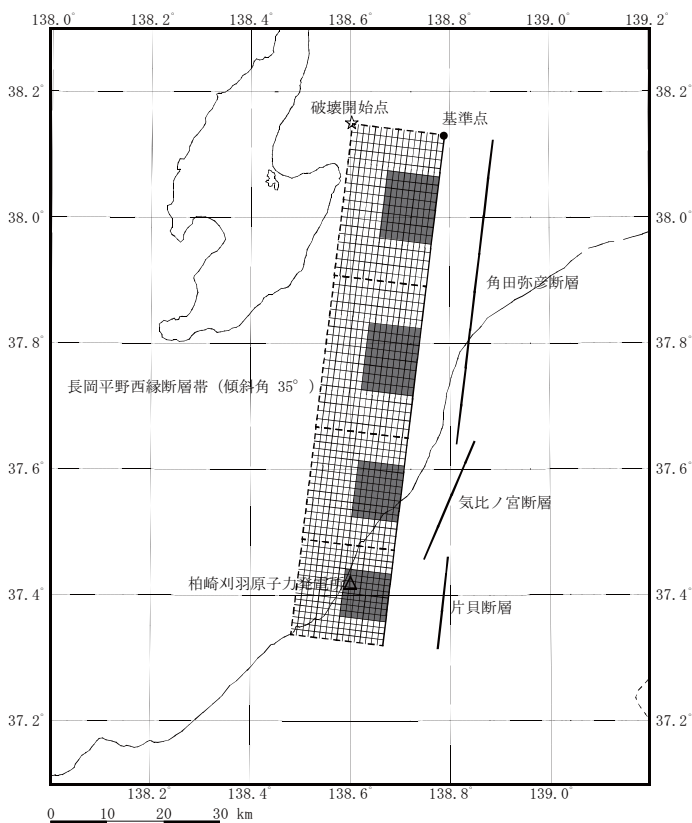
断層モデルの設定方針

- 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。

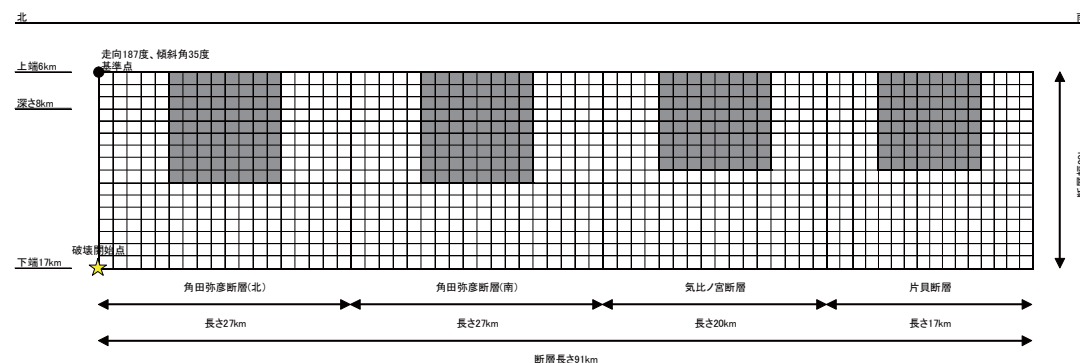
2. 断層モデルの構築 (No.8のケース)

長岡平野西縁断層帯の断層モデル (NO.8のケース)

平面図



断面図

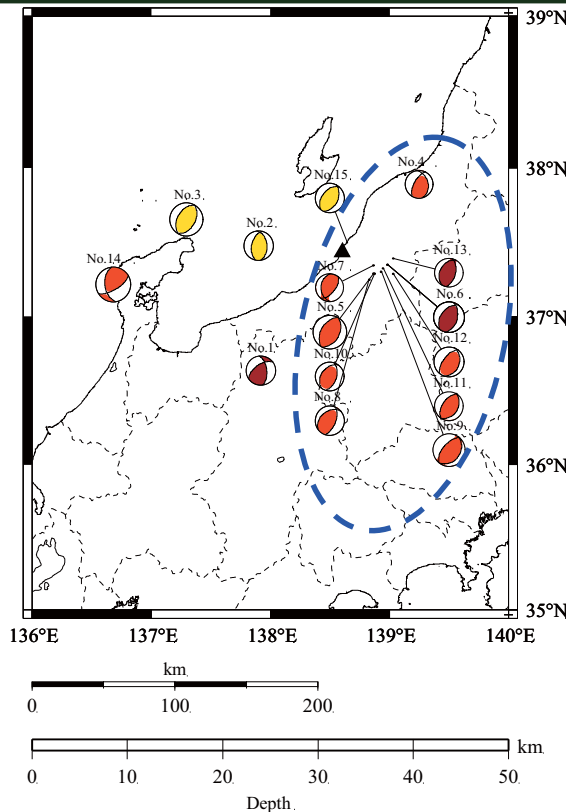


(主な諸元)
断層長さ：91km
断層幅：20km
傾斜角：35° (西傾斜)
アスペリティ：4個

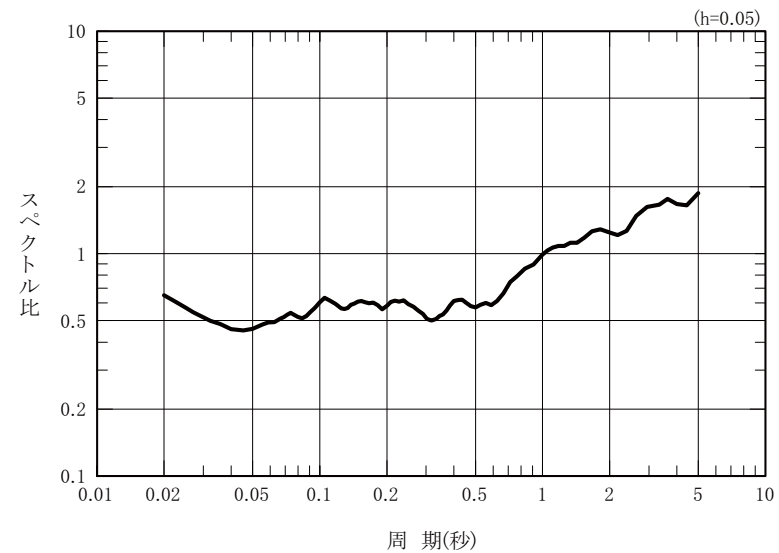
3. 応答スペクトルによる地震動評価 (No.8のケース)

- 評価手法：Noda et al. (2002) による手法
- 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・大湊側（1～7号機）共通】

補正係数の算定に用いた地震の震央分布

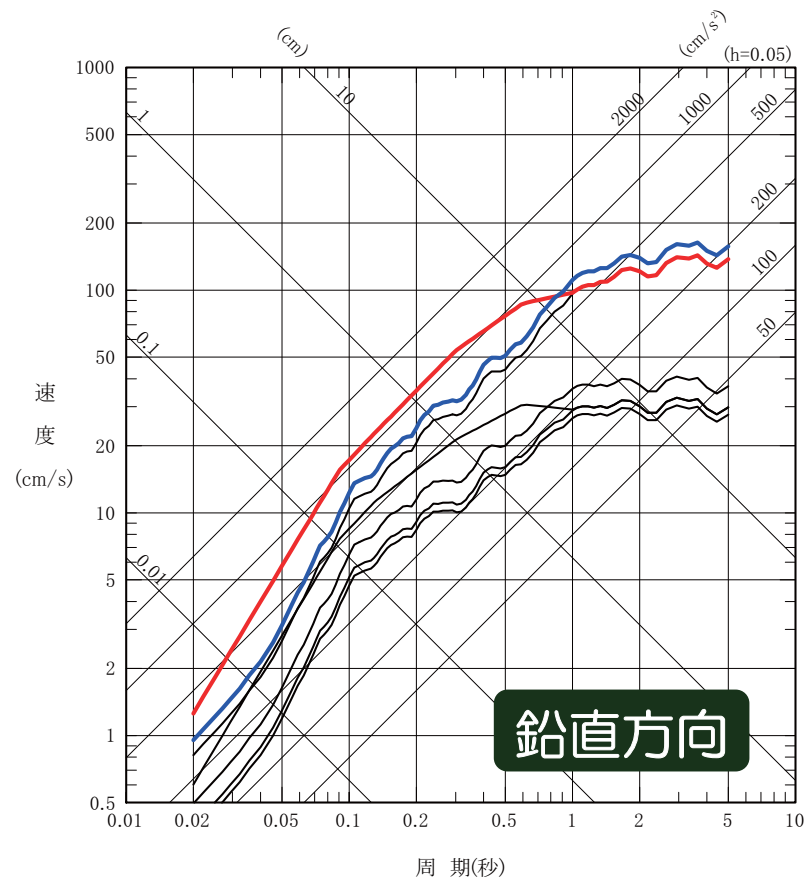
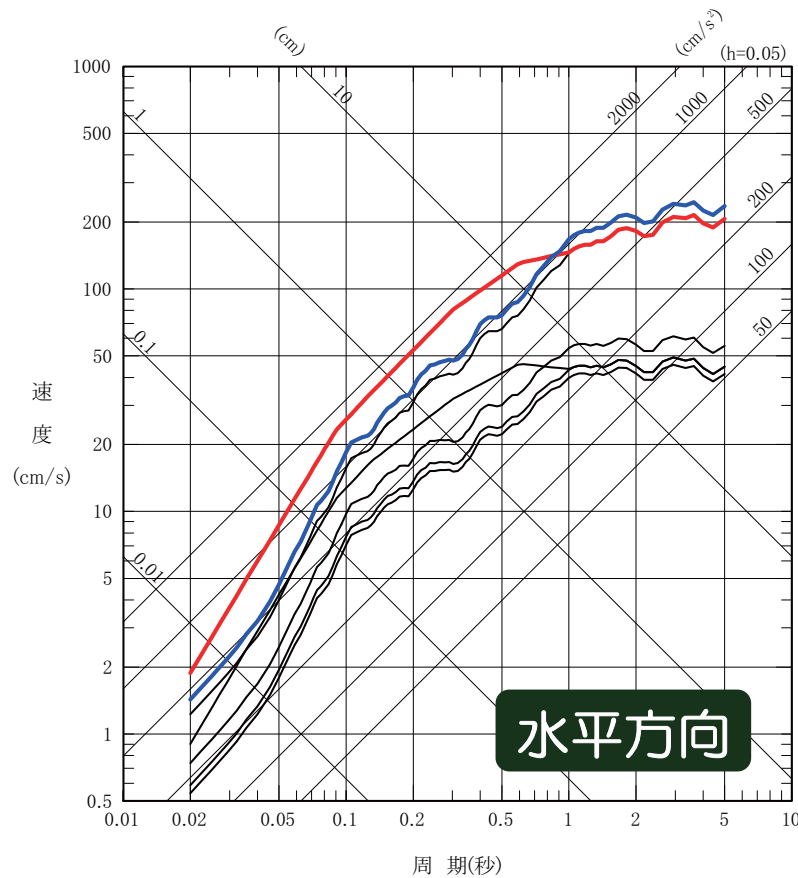


— 観測記録に基づくサイト補正係数



3. 応答スペクトルによる地震動評価 (No.8のケース)

- No.1~No.6: 本資料の3頁目に示す各検討ケース
- 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【5/22報告時のSs-3】
- 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【合同WG審議反映】

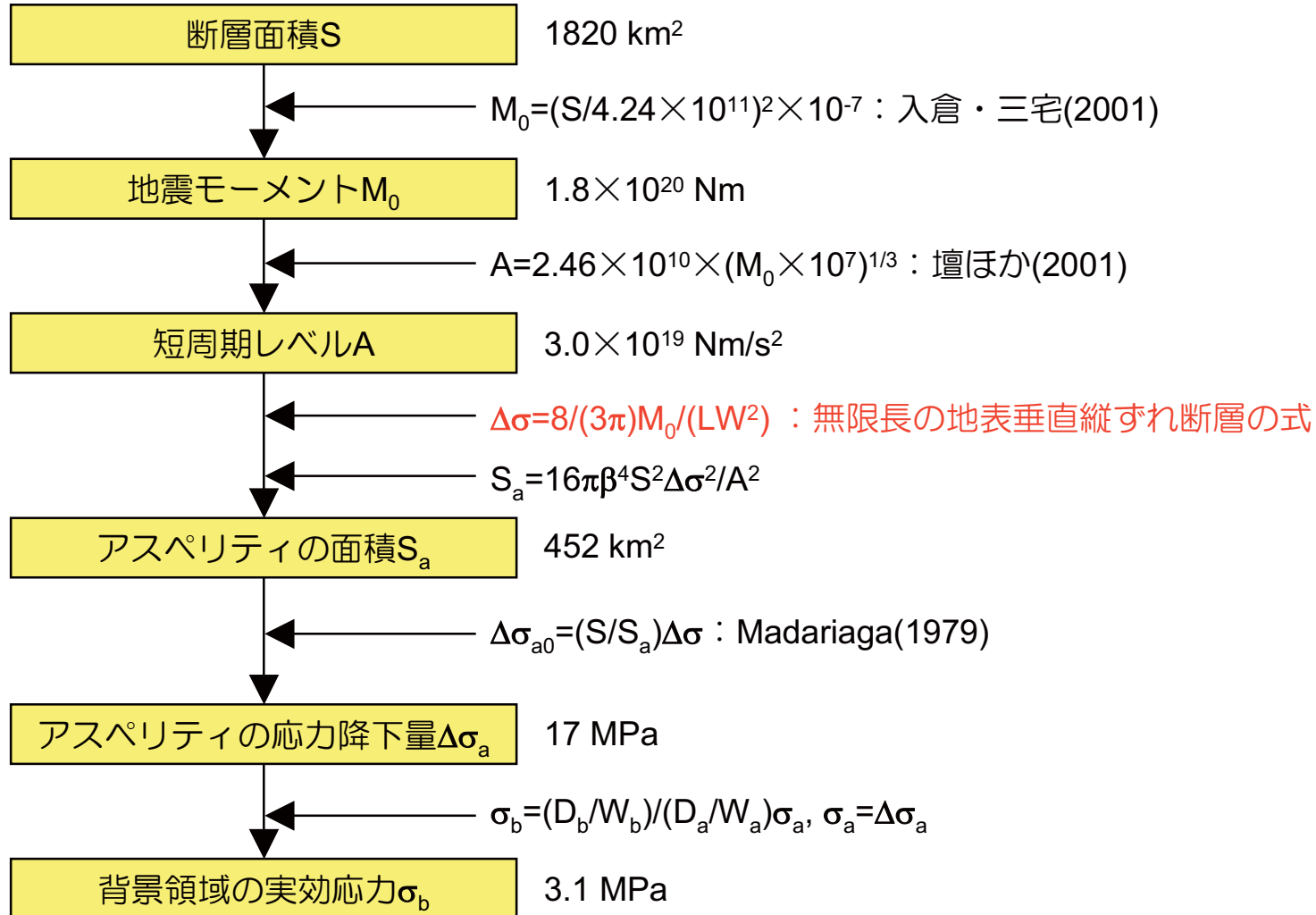


荒浜側 (1~4号機) ・ 大湊側 (5~7号機) 共通

4. 断層モデルによる地震動評価 (No.8のケース)

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. 断層モデルによる地震動評価 (No.8のケース)

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

4. 断層モデルによる地震動評価 (No.8のケース)

設定した断層パラメータ (つづき)

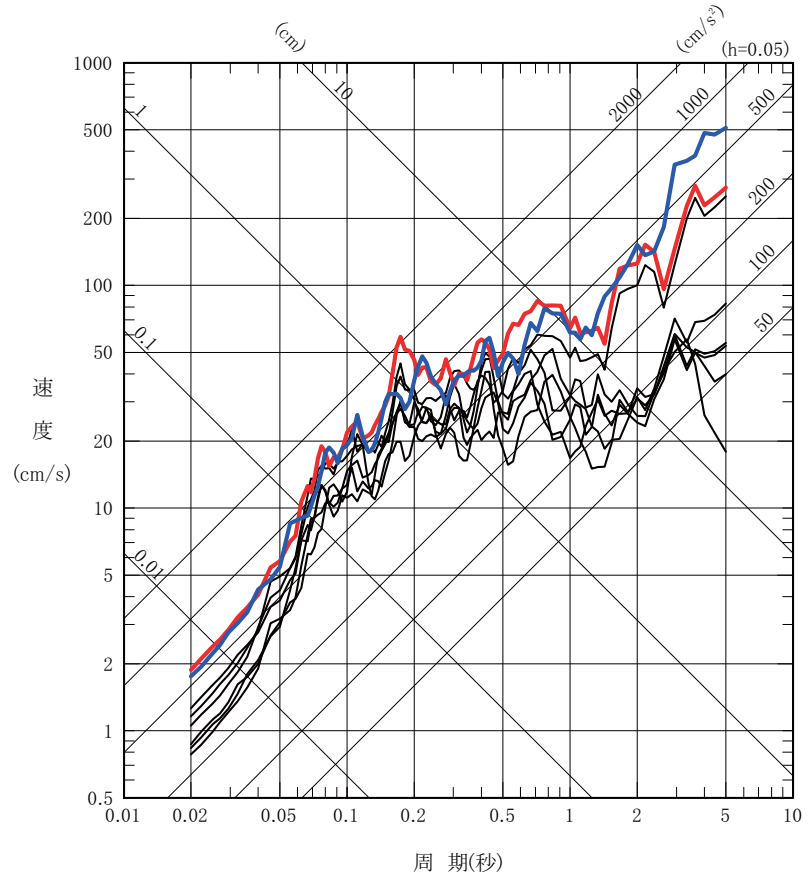
項目			設定値				
			長岡平野西縁断層帯(全体)	角田・弥彦断層(北部)	角田・弥彦断層(南部)	気比ノ宮断層	片貝断層
アスペリティ	基準点	東経(°)	—	138.78	138.74	138.71	138.68
		北緯(°)	—	38.06	37.82	37.60	37.43
	面積(km ²)		452	134	134	99	84
	地震モーメント(N·m)		9.1×10 ¹⁹	2.7×10 ¹⁹	2.7×10 ¹⁹	2.0×10 ¹⁹	1.7×10 ¹⁹
	平均すべり量(cm)		649				
	応力降下量(MPa)		17				
背景領域	面積(km ²)		1368	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

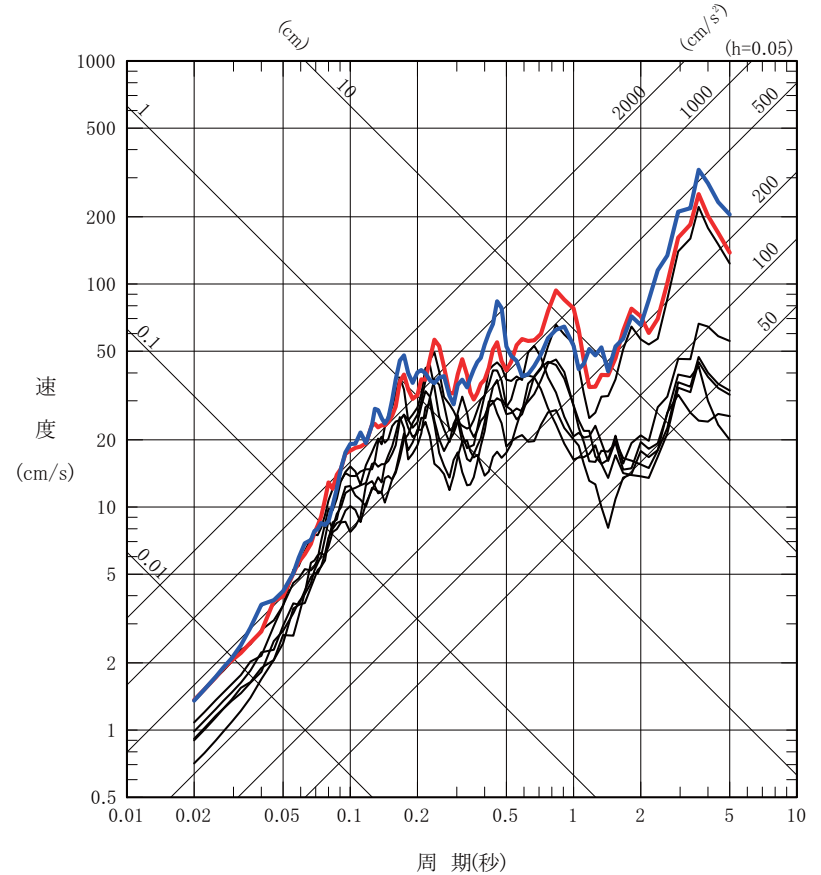
4. 断層モデルによる地震動評価 (No.8のケース)

NS方向

- No.1~No.6: 本資料の3頁目に示す各検討ケース
- 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【5/22報告時のSs-4】
- 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【合同WG審議反映】



荒浜側 (1~4号機)

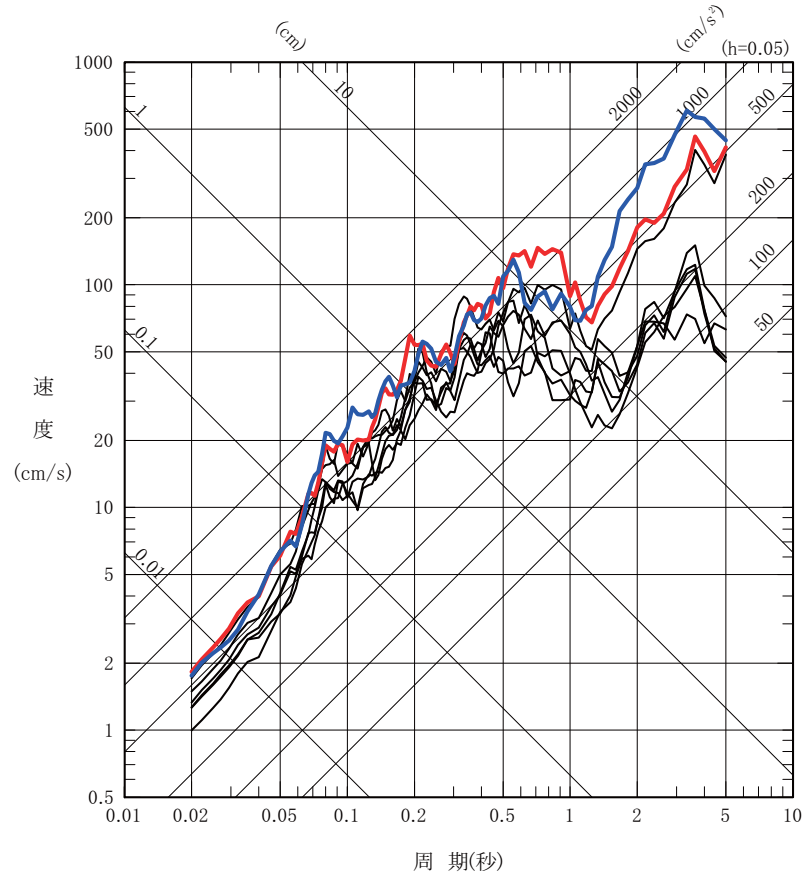


大湊側 (5~7号機)

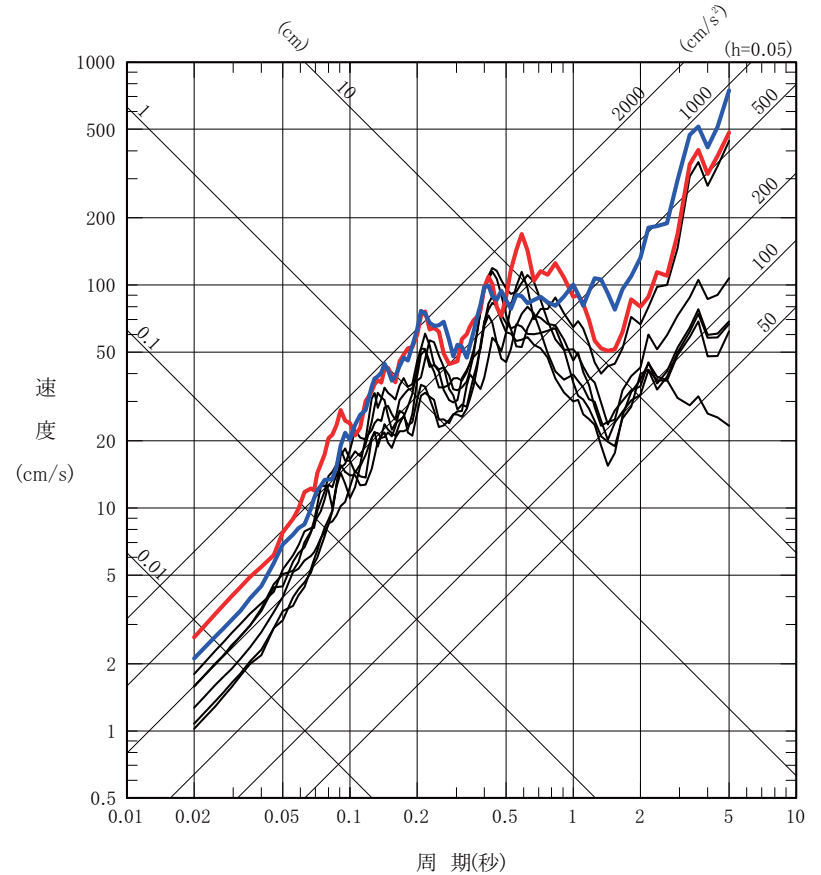
4. 断層モデルによる地震動評価 (No.8のケース)

EW方向

- No.1~No.6: 本資料の3頁目に示す各検討ケース
- 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【5/22報告時のSs-4】
- 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【合同WG審議反映】



荒浜側 (1~4号機)

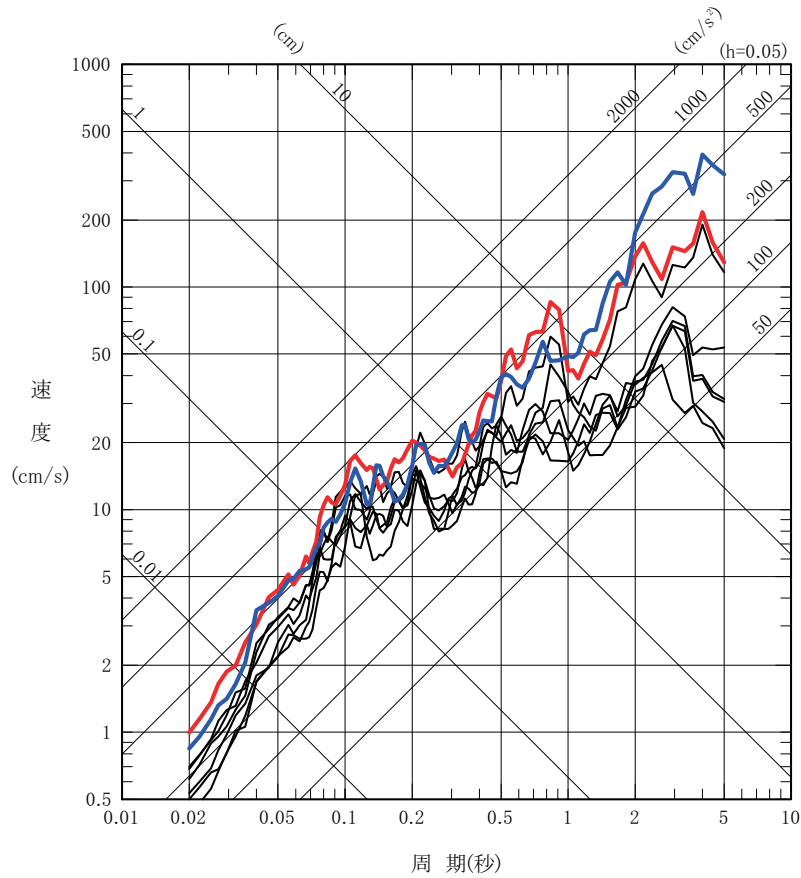


大湊側 (5~7号機)

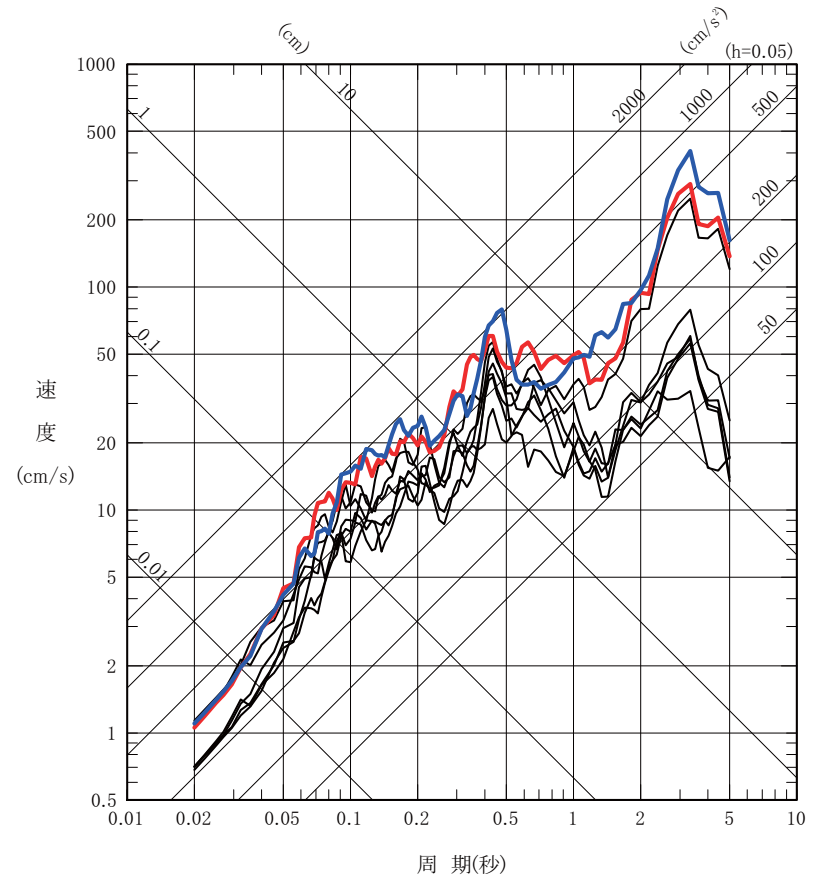
4. 断層モデルによる地震動評価 (No.8のケース)

UD方向

- No.1~No.6：本資料の3頁目に示す各検討ケース
- 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【5/22報告時のSs-4】
- 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【合同WG審議反映】



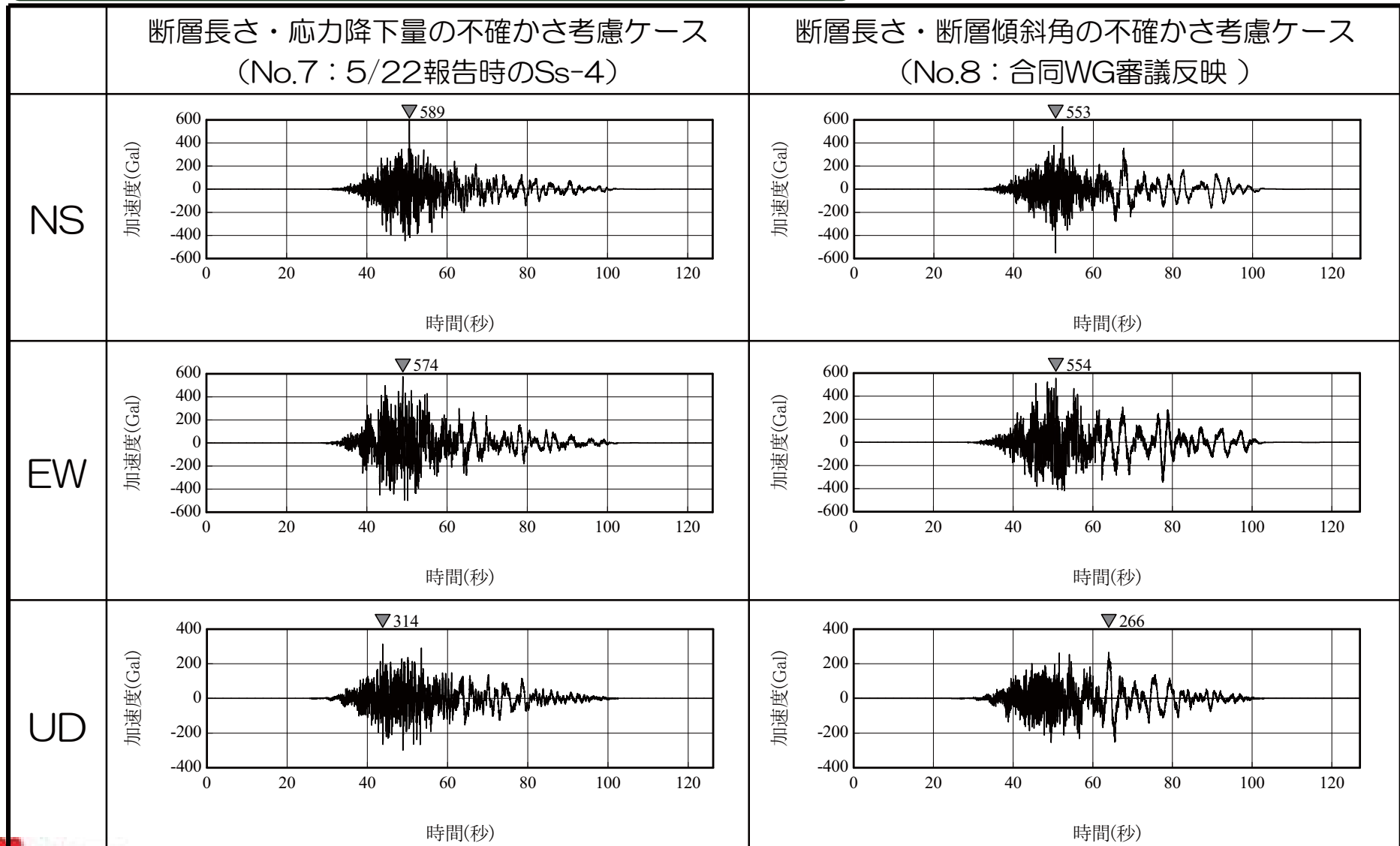
荒浜側 (1~4号機)



大湊側 (5~7号機)

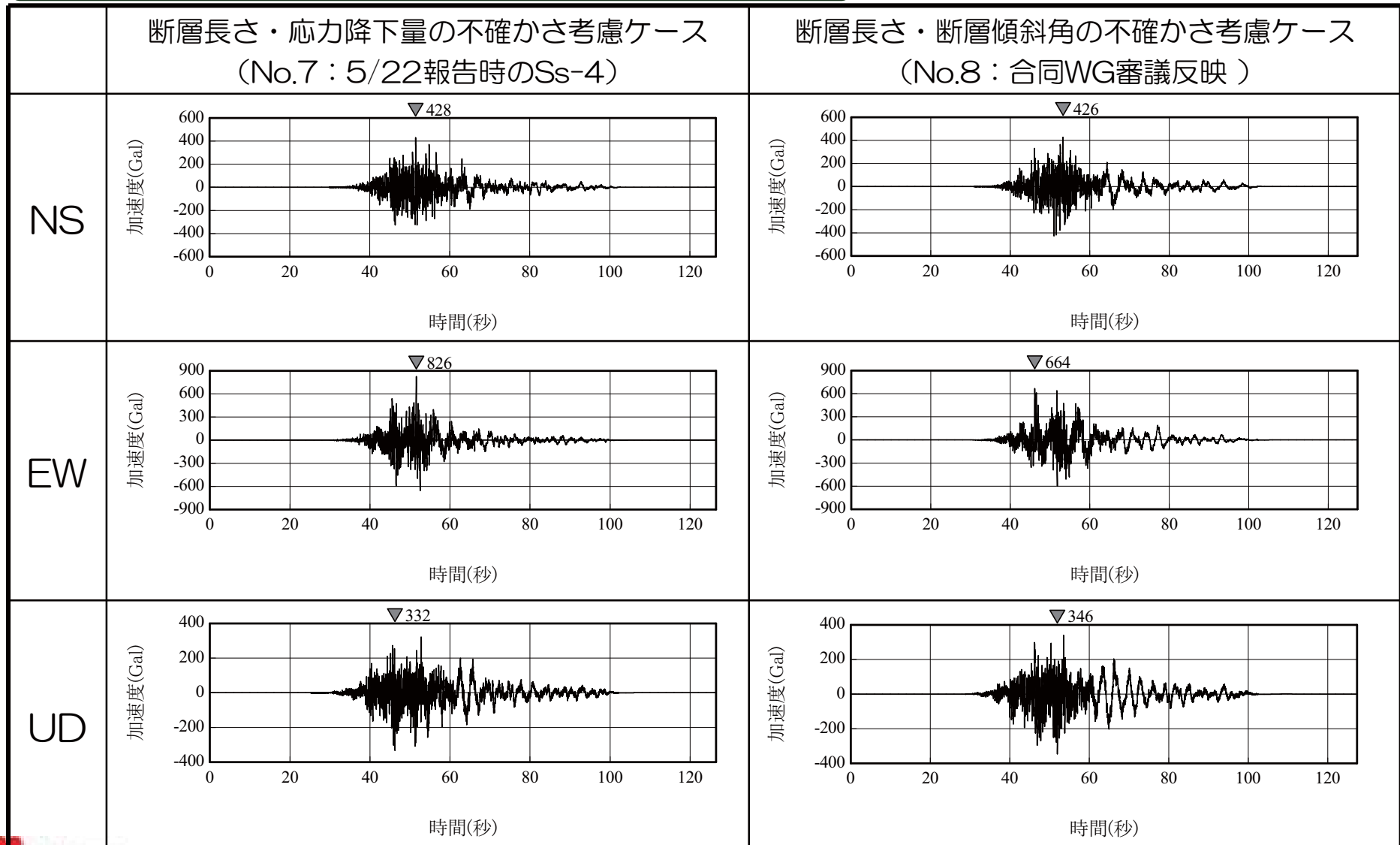
4. 断層モデルによる地震動評価 (No.8のケース)

加速度時刻歴波形【荒浜側 (1~4号機)】



4. 断層モデルによる地震動評価 (No.8のケース)

加速度時刻歴波形【大湊側 (5~7号機)】



5. まとめ

- 合同WG審議を踏まえ，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場合の断層モデルを構築。

- 上記の断層モデルを用いて，
 - ① Noda et al. (2002) に基づく応答スペクトルによる地震動評価
 - ② 経験的グリーン関数法を用いた断層モデルによる地震動評価を実施した結果，断層長さ及び応力降下量の不確かさを同時に考慮した場合と比較して，主要な周期帯（短周期側）では概ね同程度かやや小さめ，長周期側でやや大きめの地震動レベルとなった。

【参考】断層全体の応力降下量算定方法

方法① 無限長の地表垂直縦ずれ断層の式を使用する場合

▲ 応力降下量
$$\Delta\sigma = \frac{8}{3\pi} \times \frac{M_0}{LW^2}$$

▲ アスペリティ面積
$$S_a = \pi \times \left(\frac{4\beta^2 S \Delta\sigma}{A} \right)^2$$

方法② アスペリティを面積が等価な円形で仮定する場合

▲ 応力降下量
$$\Delta\sigma = \frac{7}{16} \times \frac{M_0}{(S/\pi)^{1.5}}$$

▲ アスペリティ面積
$$S_a = \pi \times \left(\frac{4\beta^2 S \Delta\sigma}{A} \right)^2$$

方法③ 地震調査研究推進本部（2008）の強震動予測レシピに紹介されている長大断層に対する関係式を使用する場合

▲ 応力降下量
$$\Delta\sigma = 3.1(\text{MPa})^* \text{ (Fujii \& Matsu'ura(2002))}$$

▲ アスペリティ面積
$$S_a/S = 0.22 \quad \text{(Somerville et al.(1999))}$$

*横ずれ断層を対象

【参考】断層全体の応力降下量算定方法

断層長さの不確かさを考慮したケース (No.6のケース)

	方法①	方法②	方法③
断層面積 (km^2)	1365 (長さ: 91 km・幅: 15 km)		
地震モーメント M_0 ($\text{N}\cdot\text{m}$)	1.04×10^{20} (入倉・三宅 (2001))		
短周期レベル A ($\text{N}\cdot\text{m}/\text{s}^2$)	2.49×10^{19} (壇ほか (2001))		2.00×10^{19} (壇ほか (2002))
応力降下量 $\Delta\sigma$ (MPa)	4.3	5.0	3.1
アスペリティ面積 S_a (km^2)	373	506	300
アスペリティの応力降下量 $\Delta\sigma_a$ (MPa)	15.7	13.5	14.1
アスペリティ面積比 S_a/S	0.27	0.37	0.22

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

※合同 W16-4-7 の表 1 を一部修正。

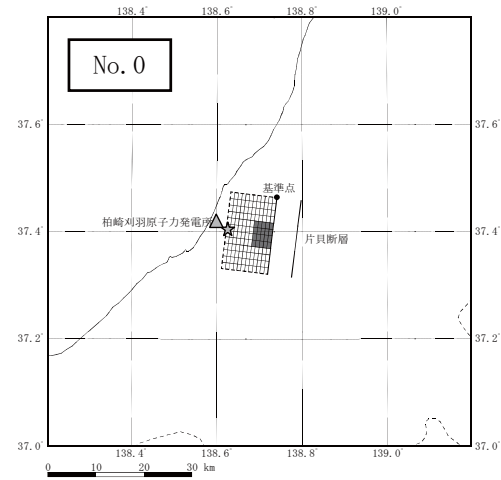
パラメータ	基本震源モデルのパラメータ設定根拠	不確かさ考慮の有無・根拠（有の場合、考慮する不確かさの範囲・根拠）	備考	
巨視的パラメータ	① 断層長さ	地質調査結果に基づき断層長さ 16km と設定。 ただし、地震動評価における基本震源モデルでは、安全評価上、強震動予測レシピ ⁽¹⁾ を参考に、地震発生層を飽和する地震規模 ($M_0 \geq 7.5 \times 10^{18} \text{Nm}$) を与える断層面積及び断層幅より断層長さ 25km を考慮。	有 地質調査結果より、片貝断層が単独で活動すると考えられるが、地震調査研究推進本部 (2004) ⁽²⁾ による長岡平野西縁断層帯の長期評価結果を参考に、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。	
	② マグニチュード	地質調査結果に基づき断層長さ 16km から、松田 (1975) ⁽³⁾ 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) ⁽³⁾ による経験式に基づく M8.1 を考慮。	①に從属するパラメータ
	③ 地震モーメント	安全評価上、強震動予測レシピ ⁽¹⁾ を参考に、地震発生層を飽和する地震モーメント $M_0 \geq 7.5 \times 10^{18} \text{Nm}$ となるように設定。	有 断層長さ或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) ⁽⁴⁾ による経験式に基づき設定。	①及び⑥に從属するパラメータ
	④ 平均すべり量	強震動予測レシピ ⁽¹⁾ にしたがい、片貝断層の地震モーメント、断層面積に基づき設定。	有 断層長さ或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。	①及び⑥に從属するパラメータ
	⑤ 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) ⁽⁵⁾ による 2007 年新潟県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。	
	⑥ 断層傾斜角	地質調査結果及び地震調査研究推進本部 (2004) ⁽²⁾ による長岡平野西縁断層帯の長期評価結果を参考に 50° と設定。	有 安全評価上、周辺で発生した 2007 年新潟県中越沖地震の余震分布に基づく傾斜角 35° と同様の傾斜角を考慮。	
	⑦ 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。	⑥に從属するパラメータ
微視的パラメータ	⑧ アスペリティの位置、数	強震動予測レシピ ⁽¹⁾ にしたがい、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、合同WGにおける審議を踏まえ、念のため断層中央下端に配置。	
	⑨ アスペリティの総面積、各アスペリティの面積	強震動予測レシピ ⁽¹⁾ にしたがい、片貝断層の地震モーメント、断層面積に基づき設定。	有 断層長さ或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。	①及び⑥に從属するパラメータ
	⑩ 各アスペリティの応力降下量、平均すべり量	強震動予測レシピ ⁽¹⁾ にしたがい設定。	有 アスペリティの応力降下量については、安全評価上、2007 年新潟県中越沖地震の知見を踏まえ、強震動予測レシピ ⁽¹⁾ による値の 1.5 倍の値を考慮。	
			有 アスペリティの平均すべり量については、断層長さ或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。	①及び⑥に從属するパラメータ
	⑪ 背景領域の実効応力、平均すべり量	強震動予測レシピ ⁽¹⁾ にしたがい設定。	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、強震動予測レシピ ⁽¹⁾ による値の 1.5 倍の値を考慮。 有 背景領域の平均すべり量については、断層長さ或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。	⑩に從属するパラメータ ①及び⑥に從属するパラメータ
	⑫ すべり速度時間関数	Dan et al. (1989) ⁽⁶⁾ 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。	
⑬ 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における適合度合いを確認の上、fmax を考慮していない。	無 シミュレーション結果に基づき fmax 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	⑭ 破壊伝播速度	強震動予測レシピ ⁽¹⁾ にしたがい、Geller (1976) ⁽⁷⁾ による経験式に基づき設定。	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。	
	⑮ 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。	
	⑯ 破壊伝播様式	強震動予測レシピ ⁽¹⁾ にしたがい、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。	

〔参考文献〕

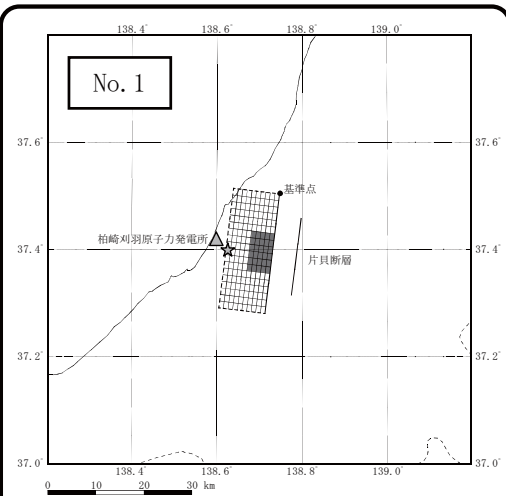
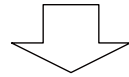
- (1) 地震調査研究推進本部 (2008) : 震源断層を特定した地震の強震動予測手法 (「レシピ」), 平成 20 年 4 月 11 日, 地震調査委員会資料
- (2) 地震調査研究推進本部 (2004) : 長岡平野西縁断層帯の長期評価について
- (3) 松田時彦 (1975) : 活断層から発生する地震の規模と周期について, 地震 第 2 輯, 第 28 巻, pp. 269-283
- (4) 入倉孝次郎・三宅弘恵 (2001) : シナリオ地震の強震動予測, 地学雑誌, vol. 110, No. 6, pp. 849-875
- (5) 地震調査研究推進本部 (2008) : 平成 19 年 (2007 年) 新潟県中越沖地震の評価, 平成 20 年 1 月 11 日, 地震調査委員会資料
- (6) KAZUO DAN, TAKAHIDE WATANABE and TEIJI TANAKA (1989) : A SEMI-EMPIRICAL METHOD TO SYNTHESIZE EARTHQUAKE GROUND MOTIONS BASED ON APPROXIMATE FAR-FIELD SHEAR-WAVE DISPLACEMENT, 日本建築学会構造系論文報告集, 第 396 号, pp. 27-36
- (7) Geller, R. (1976) : Scaling relations for earthquake source parameters and magnitudes, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 66, No. 5, pp. 1501-1523

※合同 W16-4-7 の図1 を一部修正。

添付図

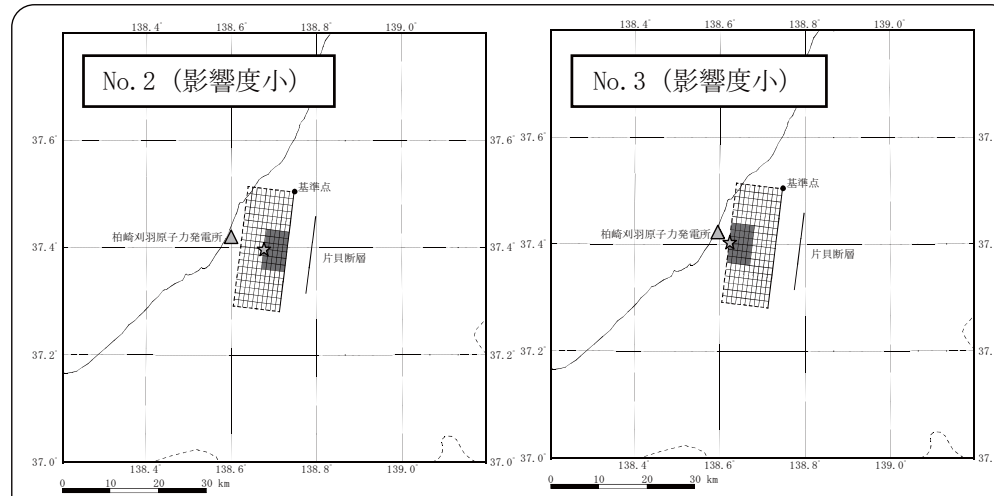


地質調査結果に基づくモデル
(断層長さ 16km×断層幅 15km)



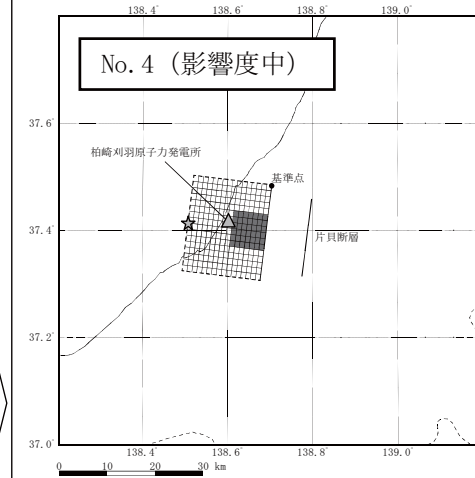
スケーリングを考慮したモデル
(断層長さ 25km×断層幅 15km)

地震動評価における基本震源モデル



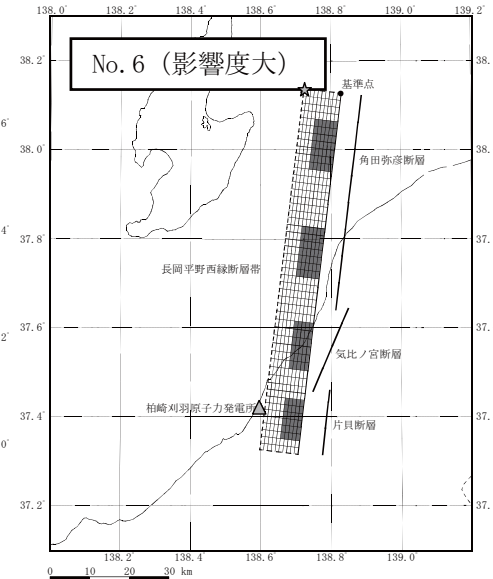
破壊開始点の不確かさを考慮したモデル
(断層長さ 25km×断層幅 15km)

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)

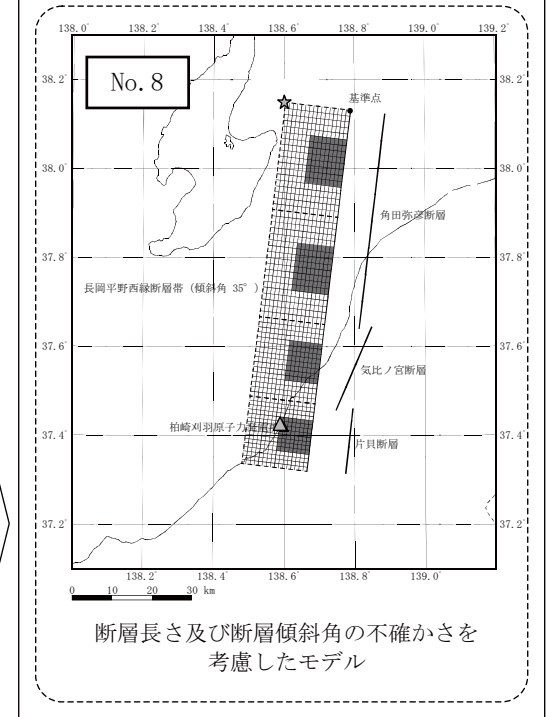
No. 5 (影響大)
断層モデル図は No. 1 と同様
応力降下量の不確かさを考慮したモデル



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)

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

No. 7
断層モデル図は No. 6 と同様
断層長さ及び応力降下量の不確かさを考慮したモデル
基準地震動 Ss-3, Ss-4 に対応



断層長さ及び断層傾斜角の不確かさを考慮したモデル

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、合同 W17-2-3 の 3 頁目及び 6 頁目に示す表と対応。