

F-B断層の断層長さ見直しに伴う地震動評価

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】

- 「柏崎刈羽原子力発電所敷地周辺海域及び陸域の活断層に対する耐震・構造設計小委員会合同WGの検討状況の整理（案）」（平成20年8月26日，合同W16-4-1）を踏まえ，活断層評価における不確かさを考慮したF-B断層の断層長さ36kmと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
（従来の断層長さ34kmとの変更点）

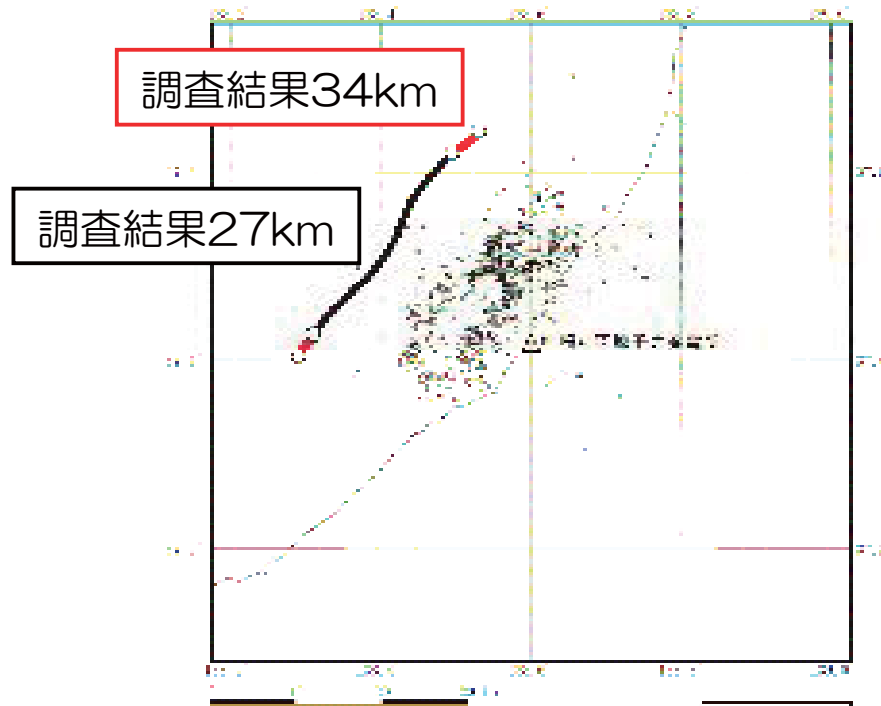
- Noda et al.（2002）に基づく応答スペクトルによる地震動評価

- 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

- 基本震源モデルの断層長さ27kmに相当する中越沖地震本震における解放基盤波との比較

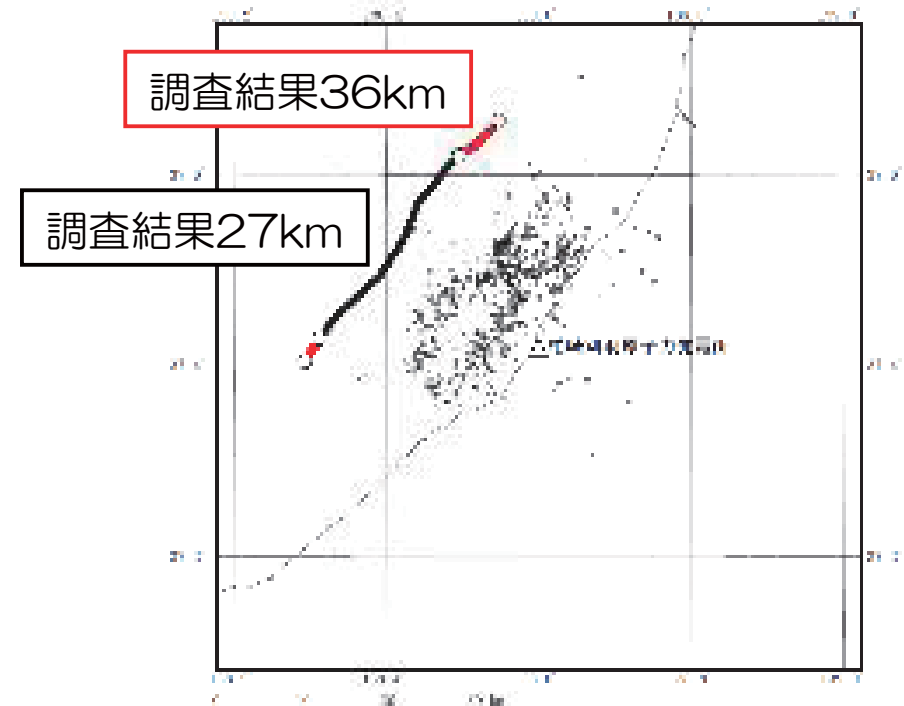
1. 断層モデルの構築

- 基本的な断層長さ：27km【5/22報告時から変更無し】
- 活断層評価の不確かさを考慮した断層長さ：
 - 【5/22報告時】 断層北端をNo.11測線とした34km
 - 【合同WG審議反映】 断層北端をNo.12測線とした36km



本震後24時間の余震分布(気象庁一元化震源)

従来の評価区間



本震後24時間の余震分布(気象庁一元化震源)

今回の評価区間

1. 断層モデルの構築

断層モデルの設定方針

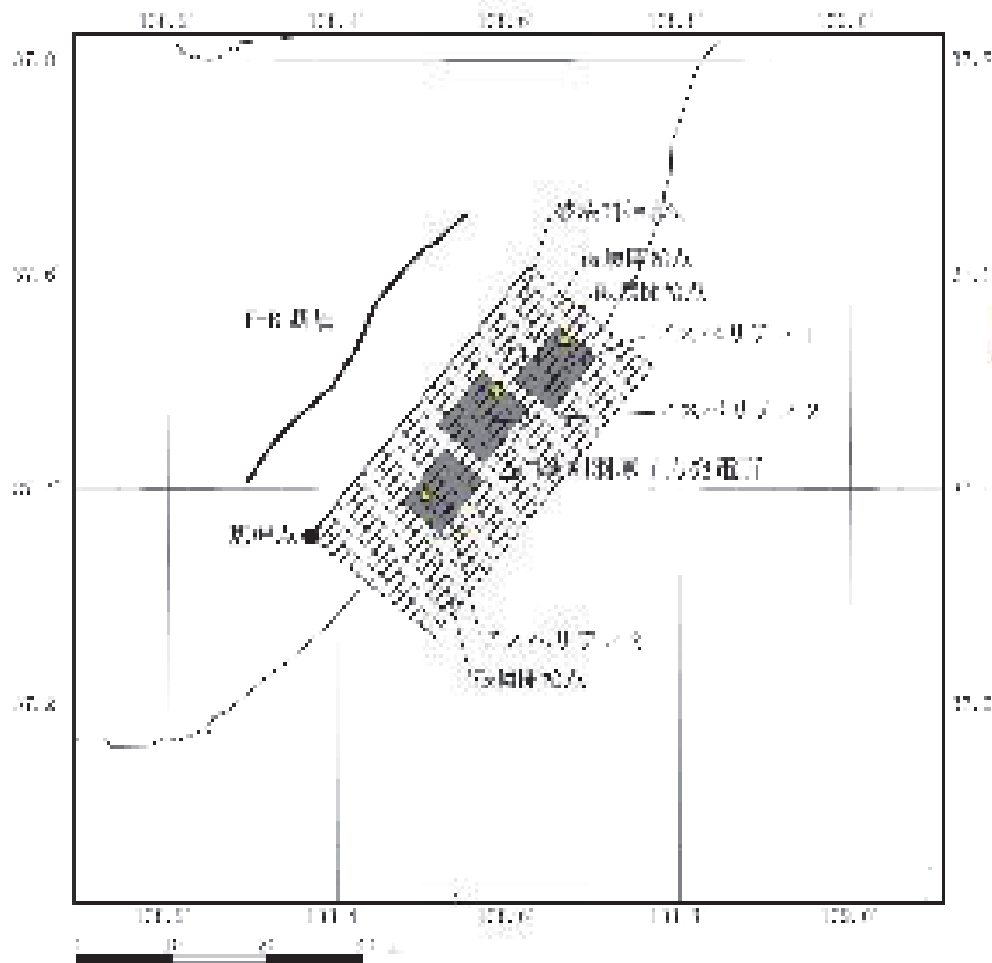
- 巨視的断層パラメータのうち，断層の位置・断層長さについては地質調査結果に基づき設定（断層長さ36km）。
- 断層の傾斜角は，中越沖地震の余震分布に基づき震源インバージョン結果と同様に 35° と設定。
- 地震発生層は，敷地周辺の微小地震分布等に基づき，上端深さを6km，下端深さを17kmと設定。
- 断層幅は，地震発生層を飽和するように，傾斜角と地震発生層厚さに基づき20kmと設定。
- 微視的断層パラメータは，中越沖地震の震源インバージョン結果に基づき，断層長さを中越沖地震の27kmから36kmに拡張することを前提として設定。

➡ 基本震源モデルと不確かさの考慮については別表参照

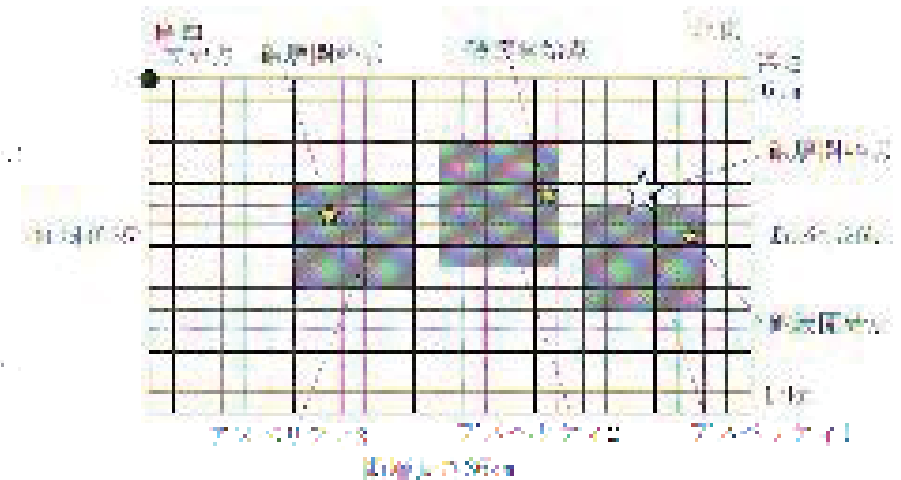
1. 断層モデルの構築

断層モデル（合同WG審議反映：断層長さ36km）

平面図



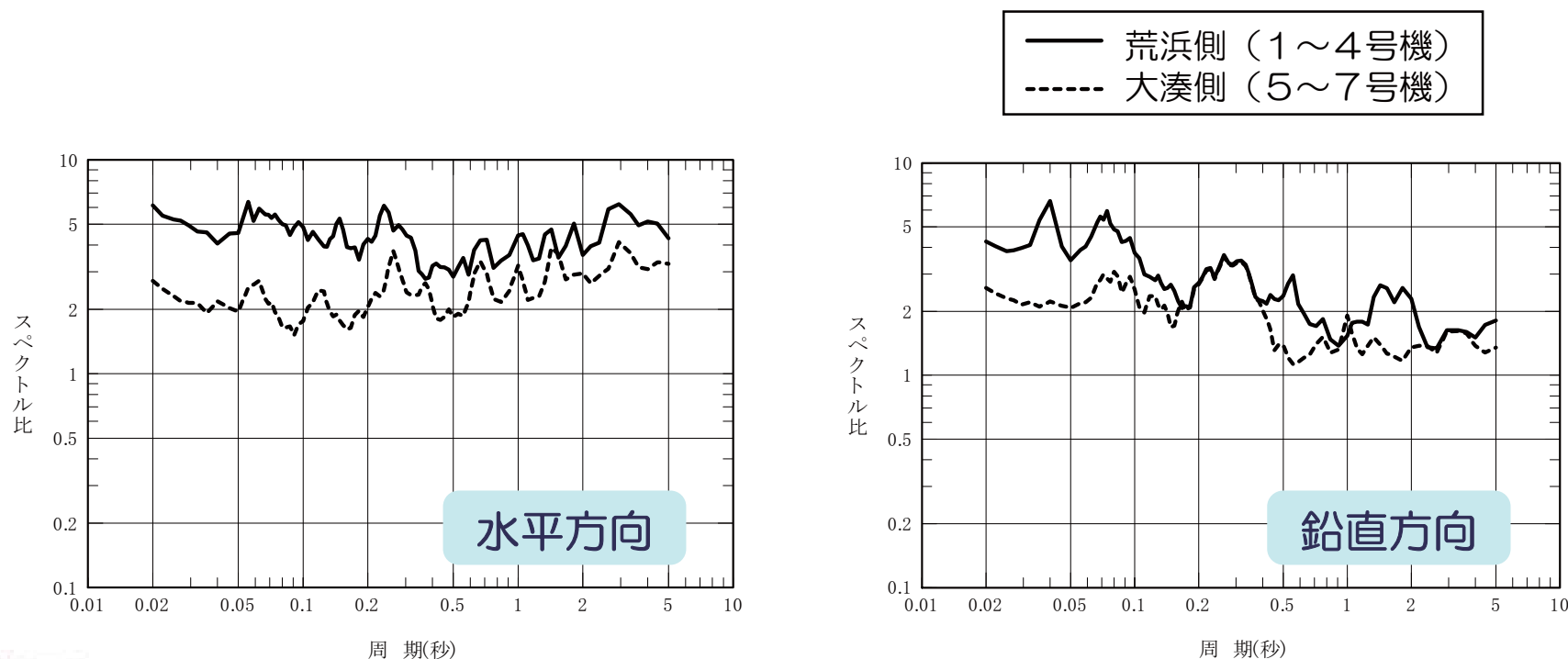
断面図



(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

2. 応答スペクトルによる地震動評価

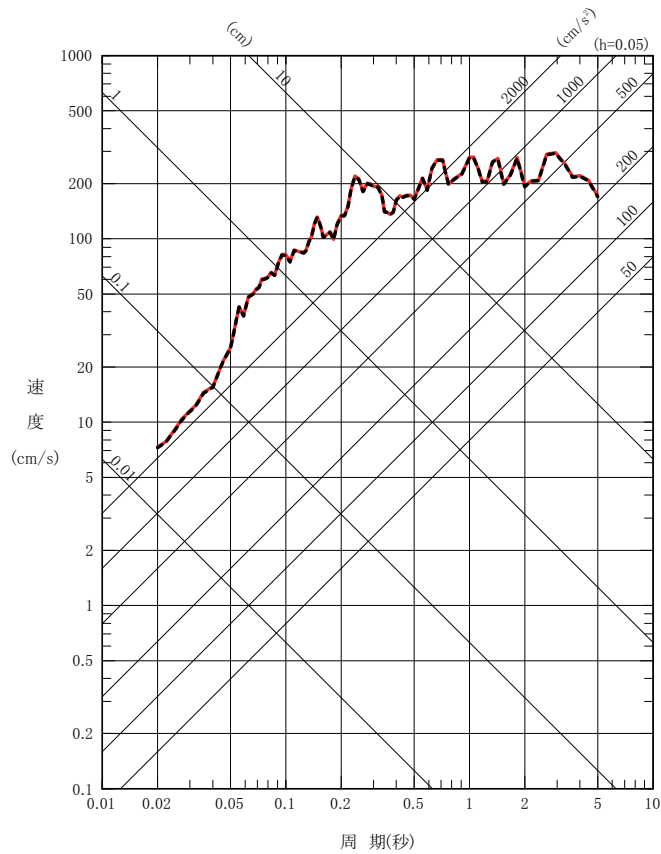
- 評価手法：Noda et al. (2002) による手法
- 補正係数：中越沖地震の各号機原子炉建屋基礎版上の観測記録から推定した解放基盤波とNoda et al. (2002) による応答スペクトルの比を、安全側に包絡するように設定
【5/22報告時から変更無し】



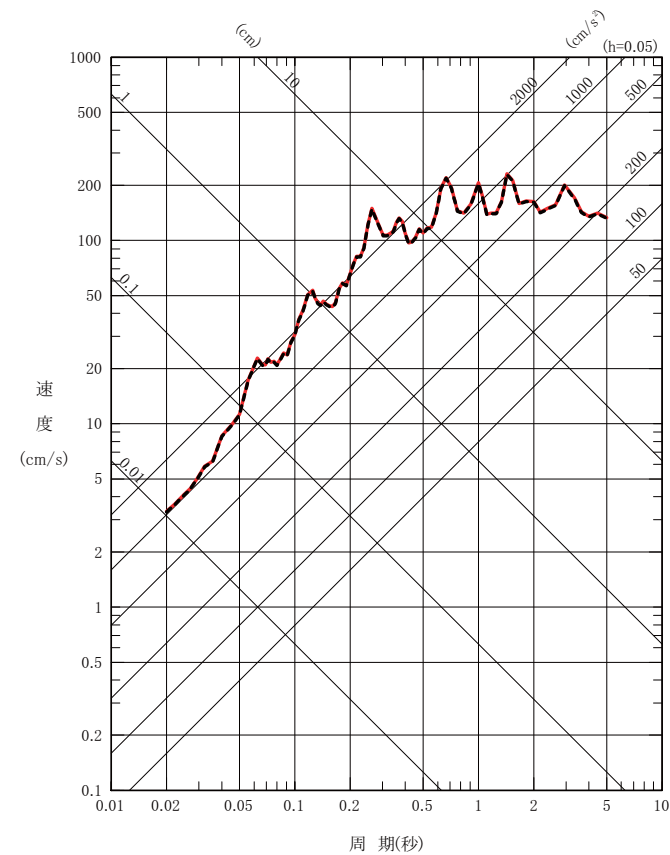
2. 応答スペクトルによる地震動評価

水平方向

--- 断層長さ34km (5/22報告時)
— 断層長さ36km (合同WG審議反映)



荒浜側 (1~4号機)

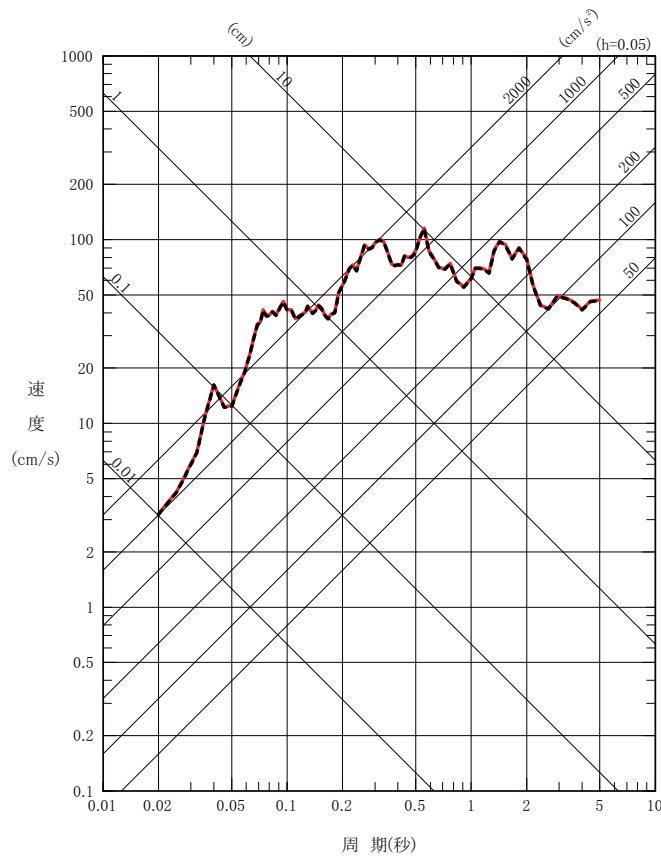


大湊側 (5~7号機)

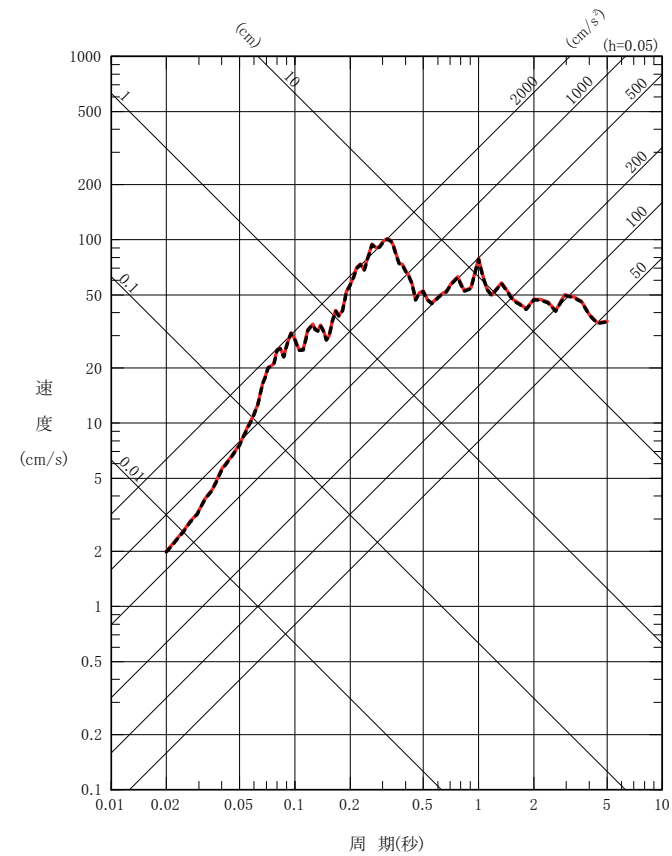
2. 応答スペクトルによる地震動評価

鉛直方向

--- 断層長さ34km (5/22報告時)
— 断層長さ36km (合同WG審議反映)



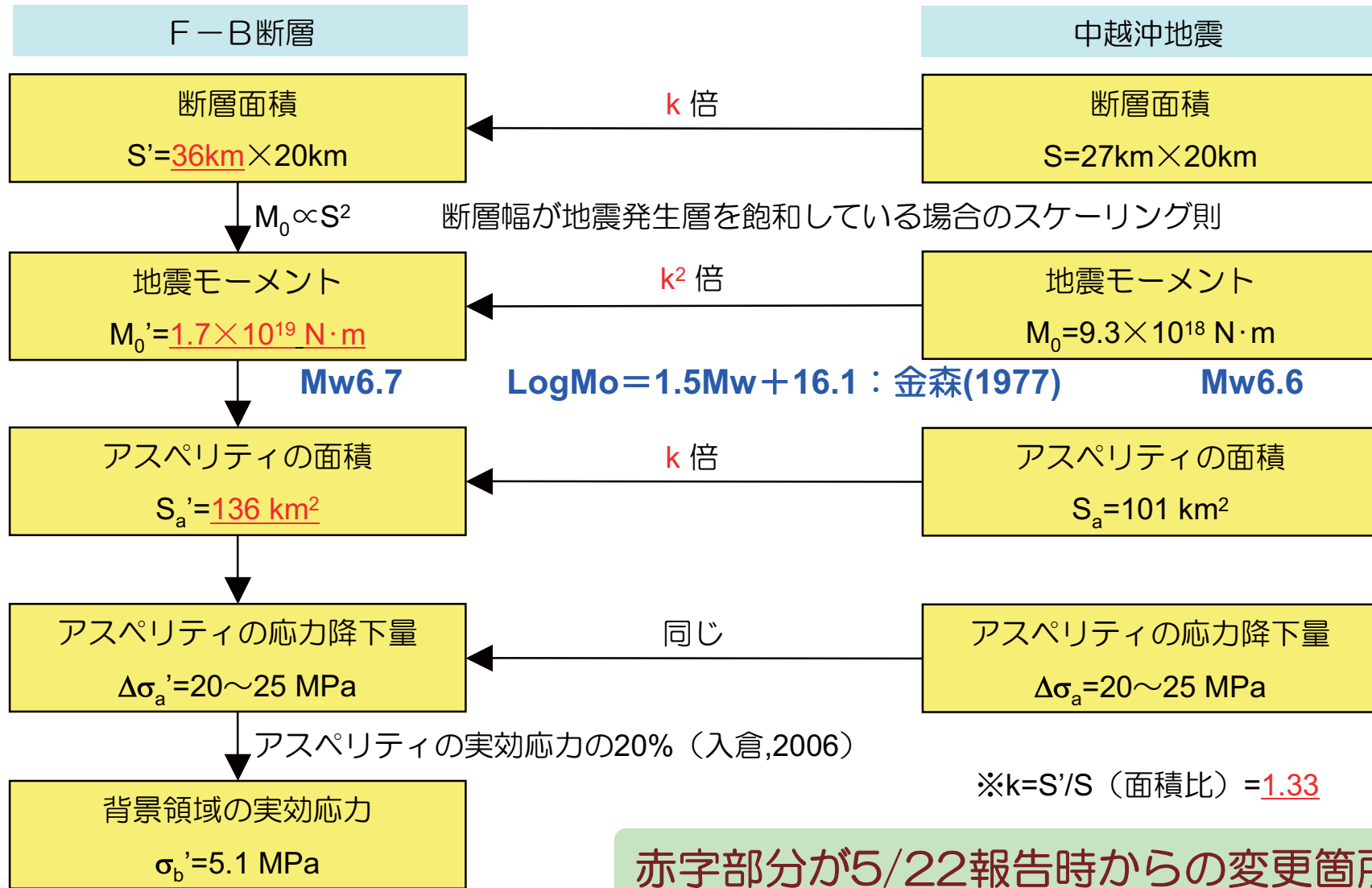
荒浜側 (1~4号機)



大湊側 (5~7号機)

3. 断層モデルによる地震動評価

断層パラメータの設定手順（合同WG審議反映：断層長さ36km）



赤字部分が5/22報告時からの変更箇所

3. 断層モデルによる地震動評価

断層パラメータの比較（その1）

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

項目		5/22報告時（断層長さ34km）	合同WG審議反映（断層長さ36km）
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	<u>36.0</u>
	断層幅（km）	20.0	20.0
	断層面積（km ² ）	680	<u>720</u>
	走向（°）	39	39
	傾斜角（°）	35	35
	破壊伝播形式	マルチハイポセンター	マルチハイポセンター
	S波速度（km/s）	3.4	3.4
	地震モーメント（N・m）	1.5×10 ¹⁹	<u>1.7×10¹⁹</u>
アスペリティ	基準点	東経（°）	138.62
		北緯（°）	37.51
	面積（km ² ）	39	<u>42</u>
	地震モーメント（N・m）	2.9×10 ¹⁸	<u>3.3×10¹⁸</u>
	平均すべり量（cm）	235	<u>249</u>
	応力降下量（MPa）	25	25
	破壊伝播速度（km/s）	3.1	3.1
破壊時間遅れ（s）	0.2	0.2	

3. 断層モデルによる地震動評価

断層パラメータの比較（その2）

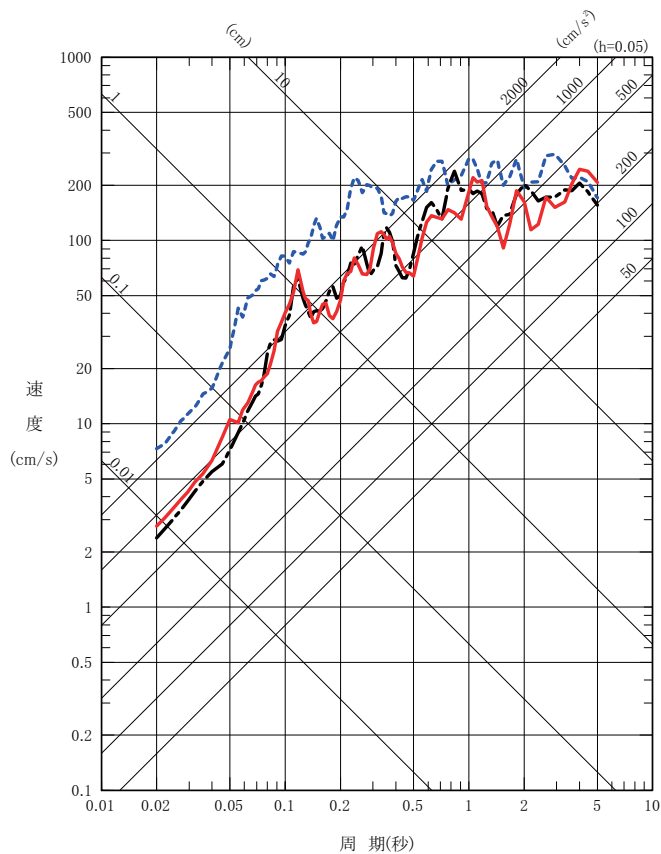
■: 中越沖地震の震源インバージョン結果に基づく

項目		5/22報告時（断層長さ34km）	合同WG審議反映（断層長さ36km）	
アスペリティ2	基準点	東経（°）	138.52	
		北緯（°）	37.46	
	面積（km ² ）		49	52
	地震モーメント（N・m）		3.3×10 ¹⁸	3.8×10 ¹⁸
	平均すべり量（cm）		217	230
	応力降下量（MPa）		21	21
	破壊伝播速度（km/s）		2.8	2.8
	破壊時間遅れ（s）		1.8	1.8
アスペリティ3	基準点	東経（°）	138.48	138.47
		北緯（°）	37.39	37.39
	面積（km ² ）		39	42
	地震モーメント（N・m）		2.3×10 ¹⁸	2.5×10 ¹⁸
	平均すべり量（cm）		184	195
	応力降下量（MPa）		20	20
	破壊伝播速度（km/s）		2.5	2.5
	破壊時間遅れ（s）		0.0	0.0
背景領域	面積（km ² ）		552	584
	地震モーメント（N・m）		6.2×10 ¹⁸	7.0×10 ¹⁸
	平均すべり量（cm）		36	38
	実効応力（MPa）		5.1	5.1
	破壊伝播速度（km/s）		2.3	2.3

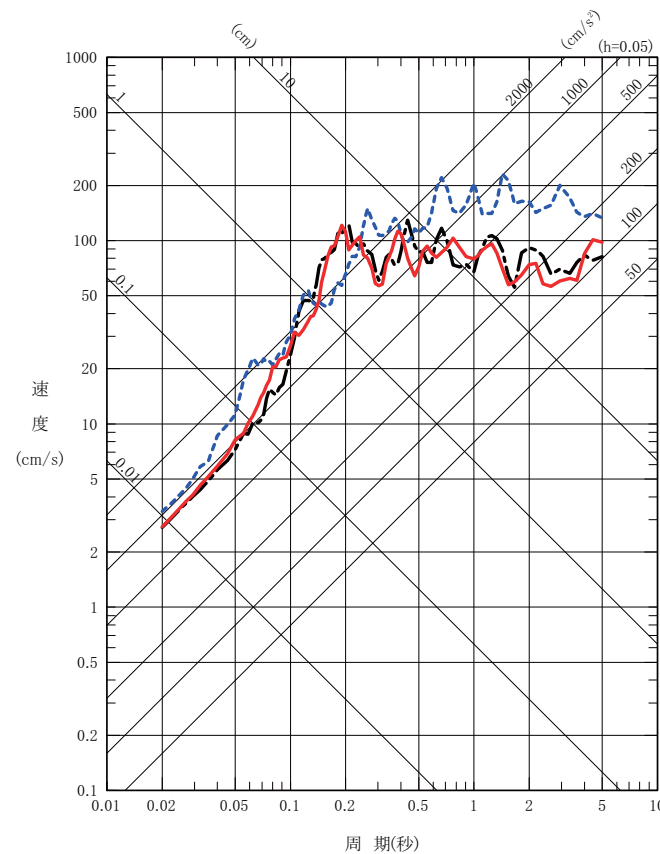
3. 断層モデルによる地震動評価

NS方向

- 断層長さ34km (5/22報告時)
- 断層長さ36km (合同WG審議反映)
- - - Noda et al. (2002) に基づく評価【参考】



荒浜側 (1~4号機)

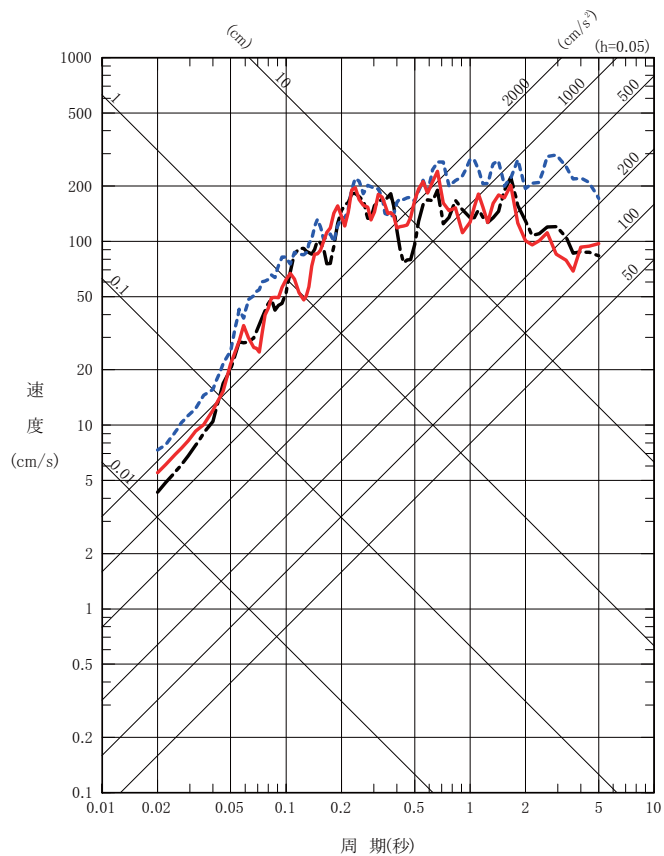


大湊側 (5~7号機)

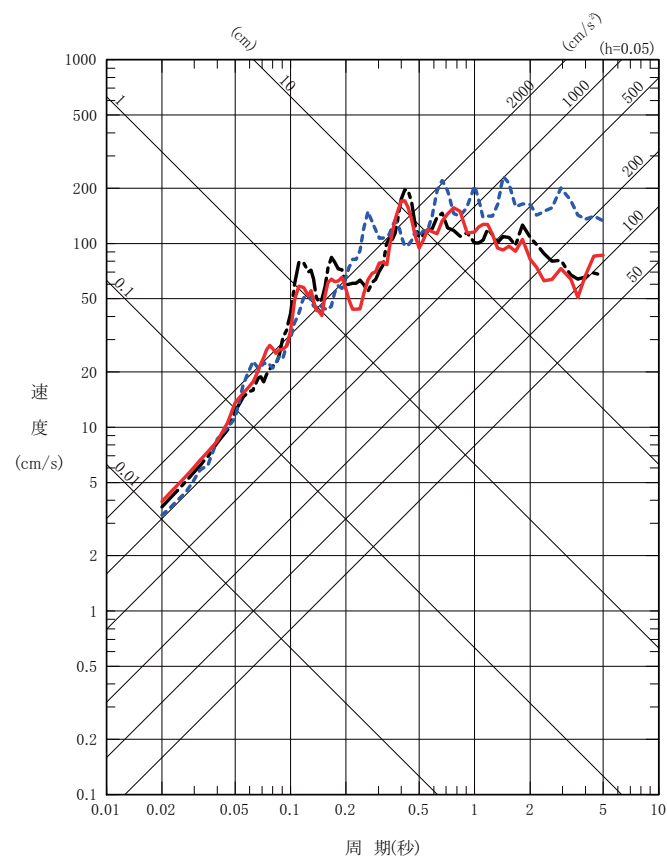
3. 断層モデルによる地震動評価

EW方向

- 断層長さ34km (5/22報告時)
- 断層長さ36km (合同WG審議反映)
- - - Noda et al. (2002) に基づく評価【参考】



荒浜側 (1~4号機)

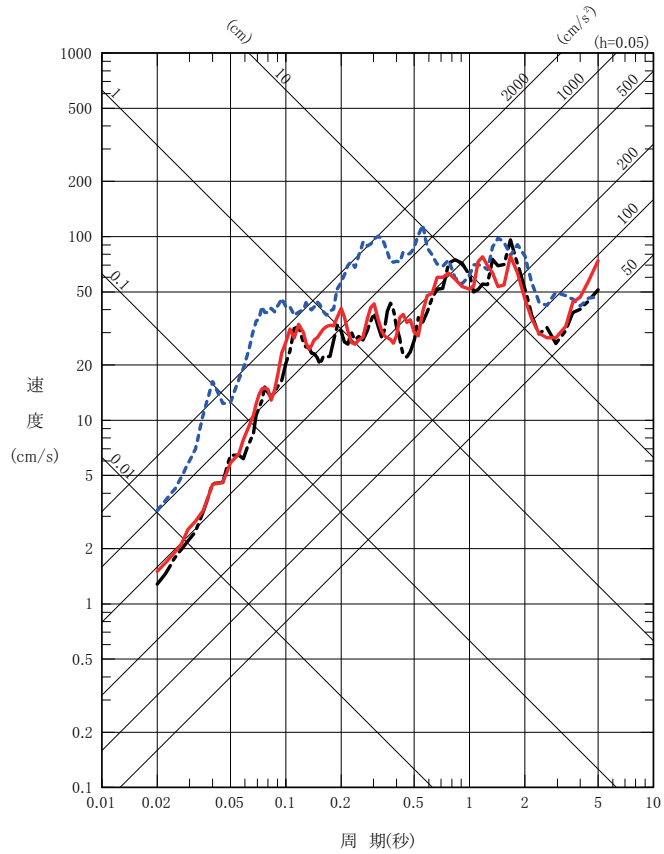


大湊側 (5~7号機)

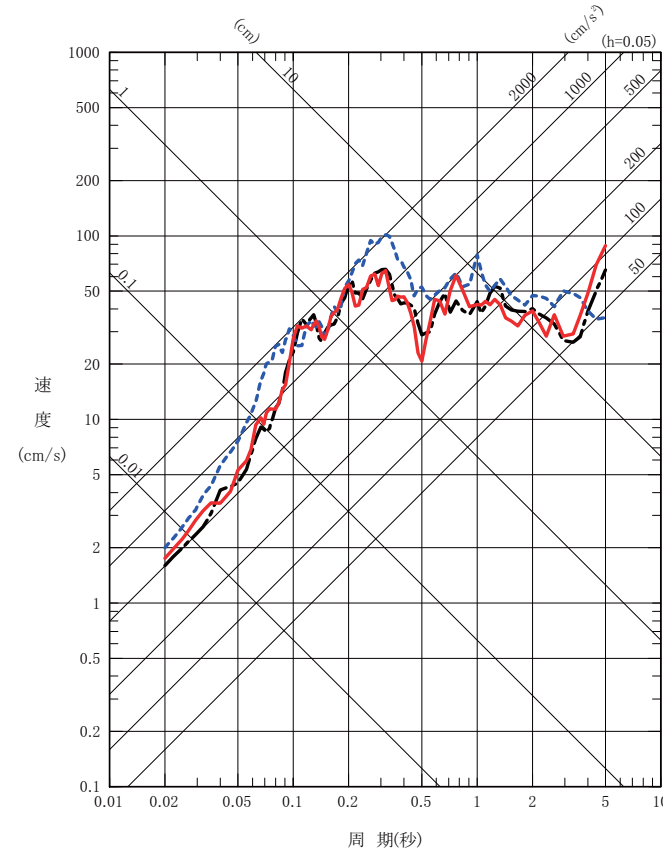
3. 断層モデルによる地震動評価

UD方向

- 断層長さ34km (5/22報告時)
- 断層長さ36km (合同WG審議反映)
- - - Noda et al. (2002) に基づく評価【参考】



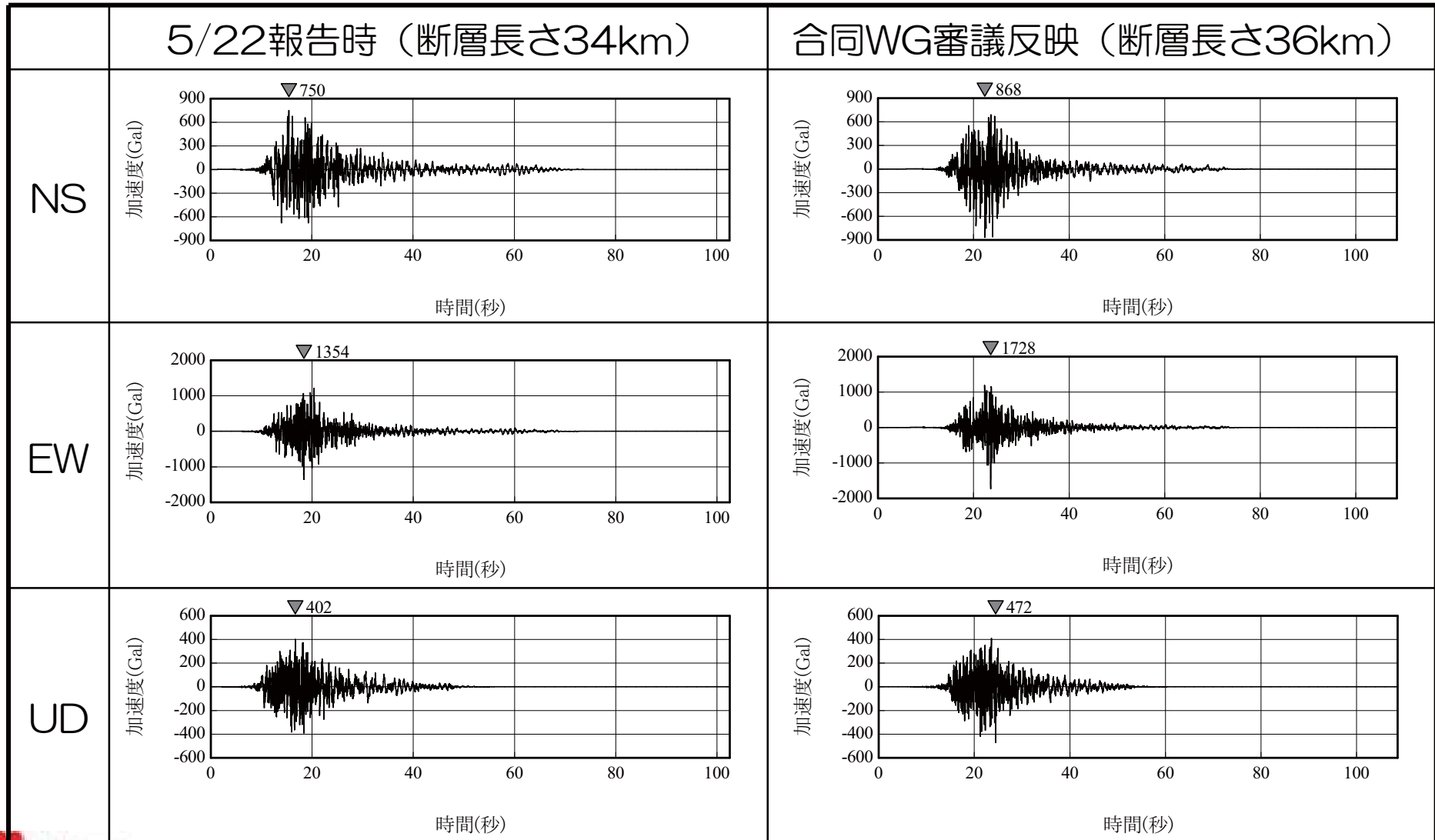
荒浜側 (1~4号機)



大湊側 (5~7号機)

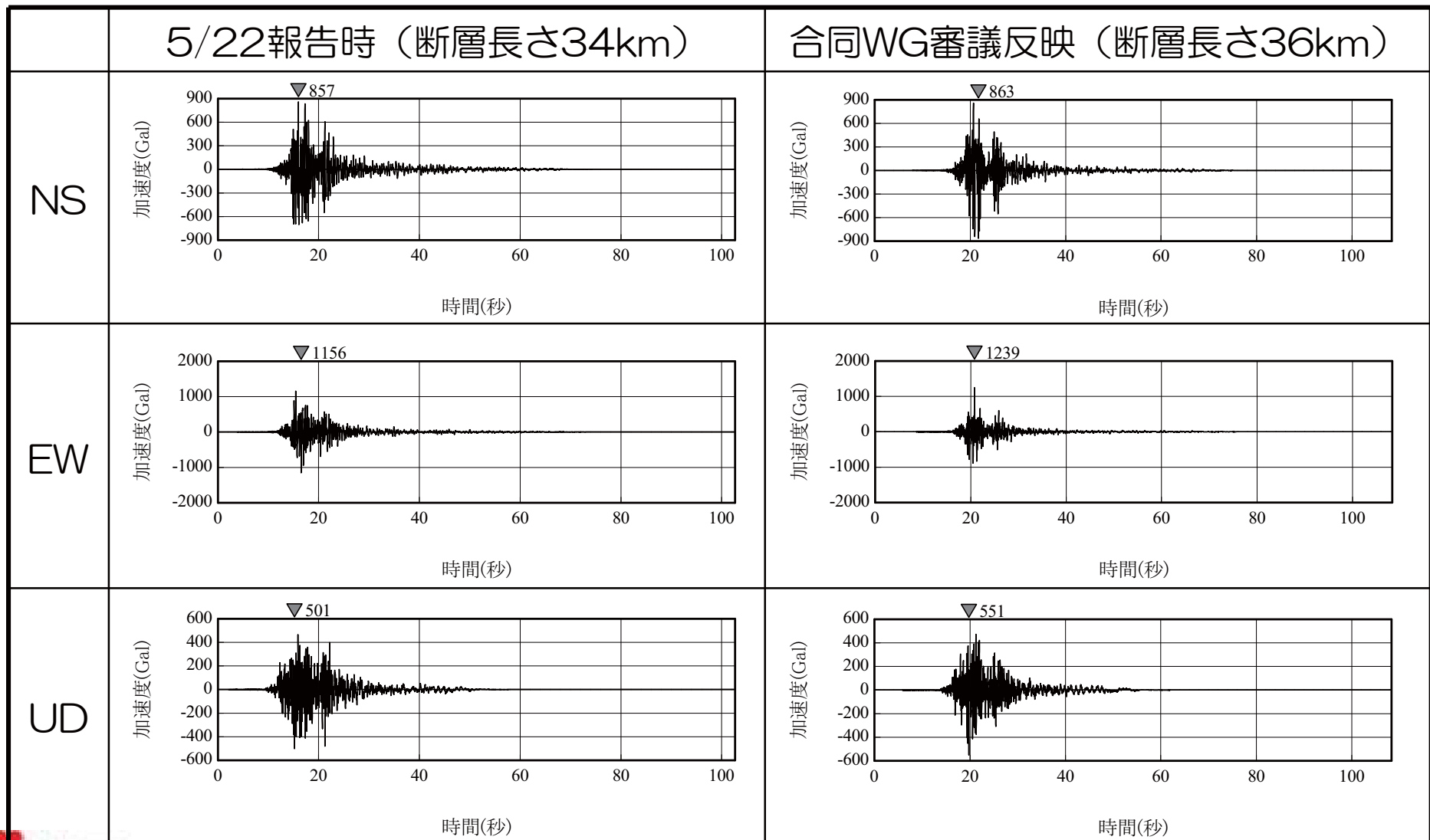
3. 断層モデルによる地震動評価

加速度時刻歴波形【荒浜側（1～4号機）】



3. 断層モデルによる地震動評価

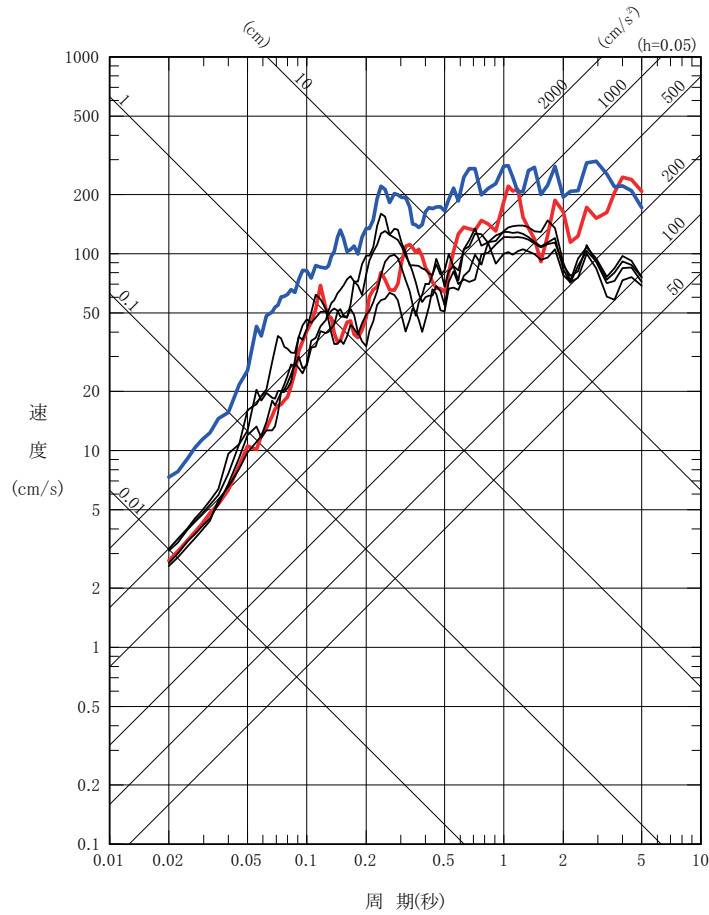
加速度時刻歴波形【大湊側（5～7号機）】



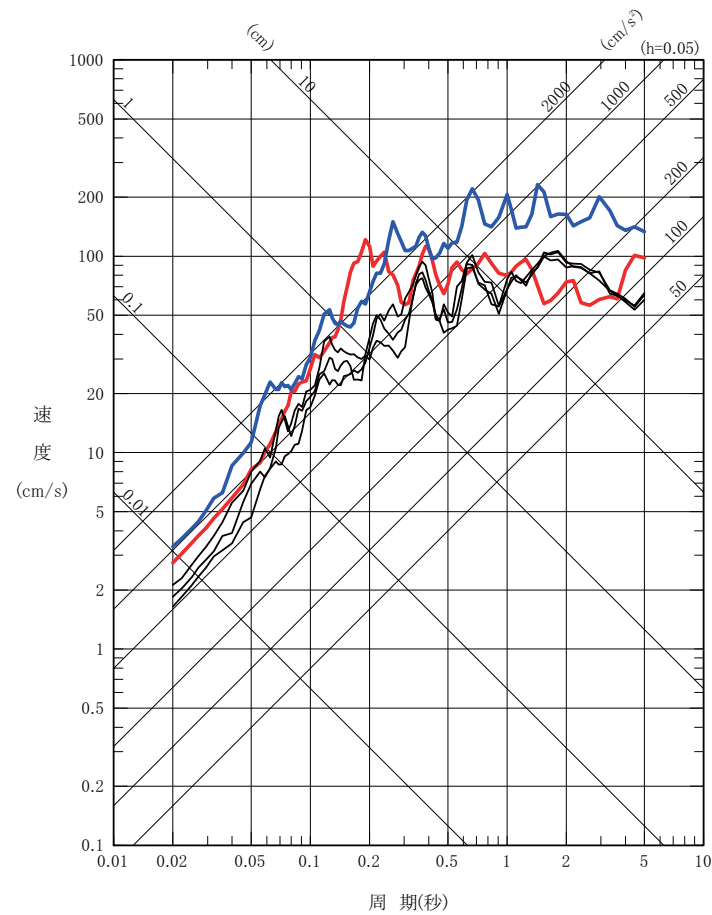
4. 中越沖地震の解放基盤波との比較

NS方向

- 断層長さ36km・Noda et al. (2002) に基づく評価
- 断層長さ36km・断層モデルによる評価
- 中越沖地震の各号機原子炉建屋基礎版上観測記録から推定した解放基盤波



荒浜側 (1~4号機)

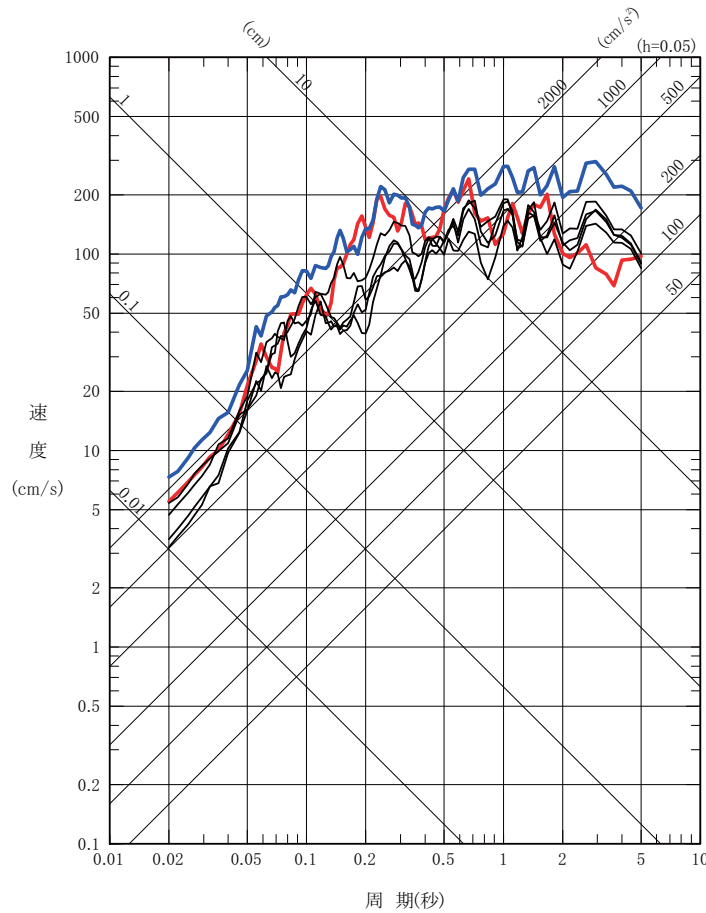


大湊側 (5~7号機)

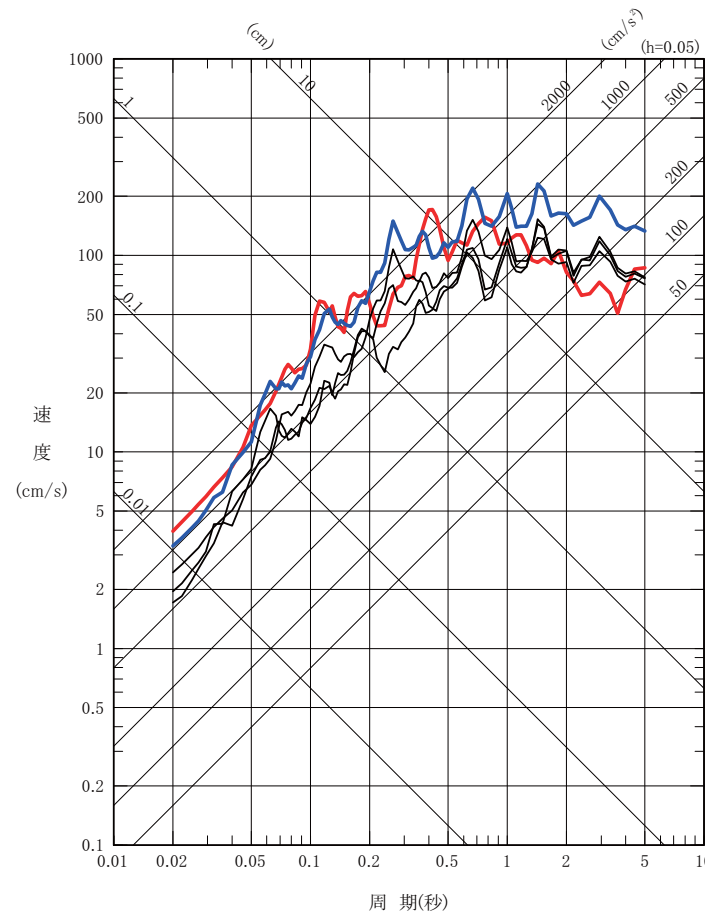
4. 中越沖地震の解放基盤波との比較

EW方向

- 断層長さ36km・Noda et al. (2002) に基づく評価
- 断層長さ36km・断層モデルによる評価
- 中越沖地震の各号機原子炉建屋基礎版上観測記録から推定した解放基盤波



荒浜側 (1~4号機)

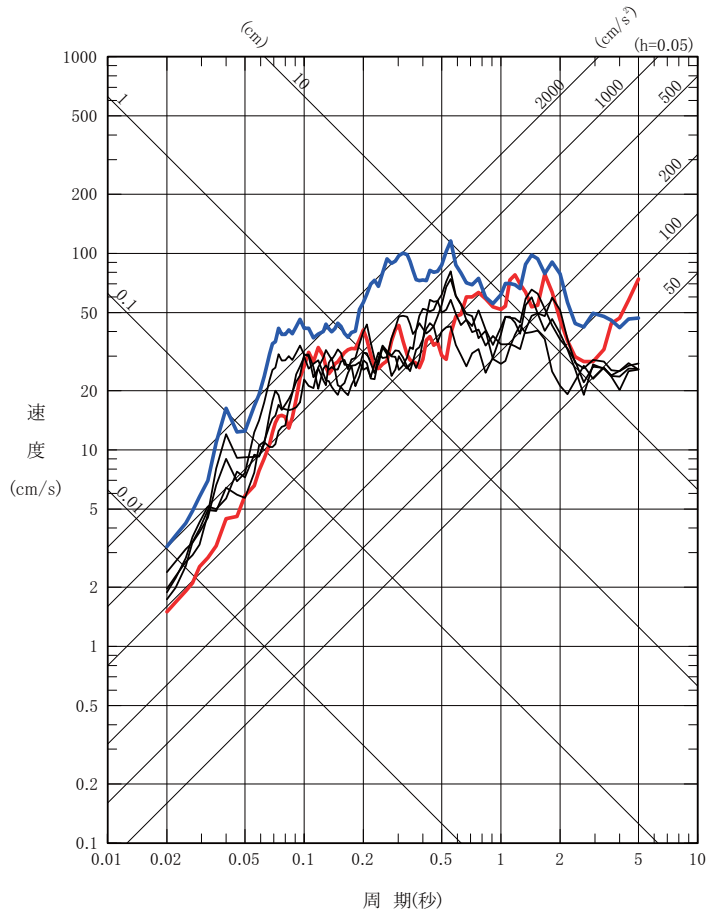


大湊側 (5~7号機)

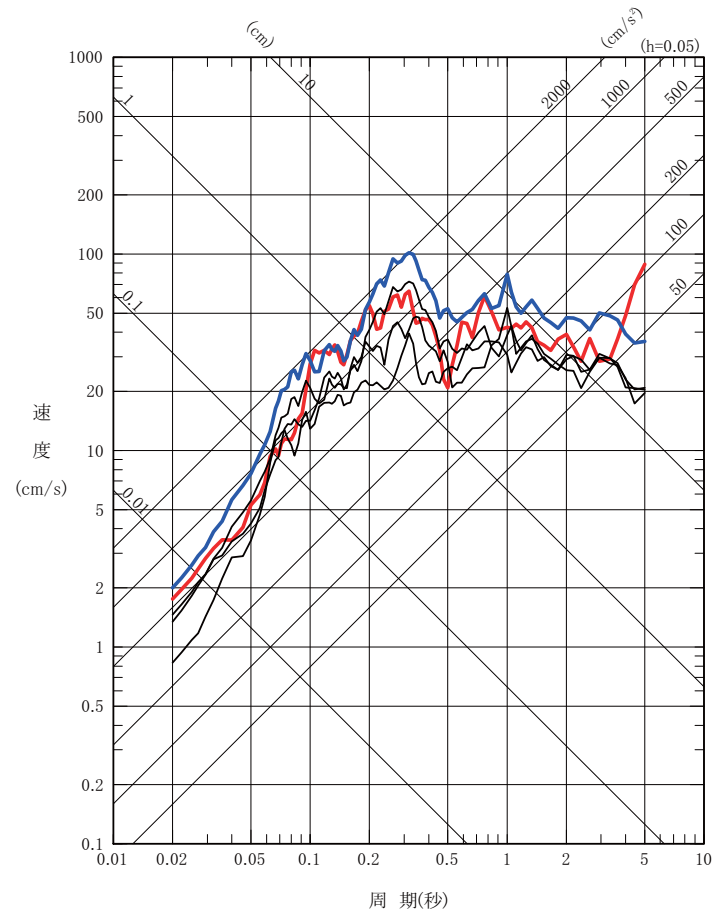
4. 中越沖地震の解放基盤波との比較

UD方向

- 断層長さ36km・Noda et al. (2002) に基づく評価
- 断層長さ36km・断層モデルによる評価
- 中越沖地震の各号機原子炉建屋基礎版上観測記録から推定した解放基盤波



荒浜側 (1~4号機)

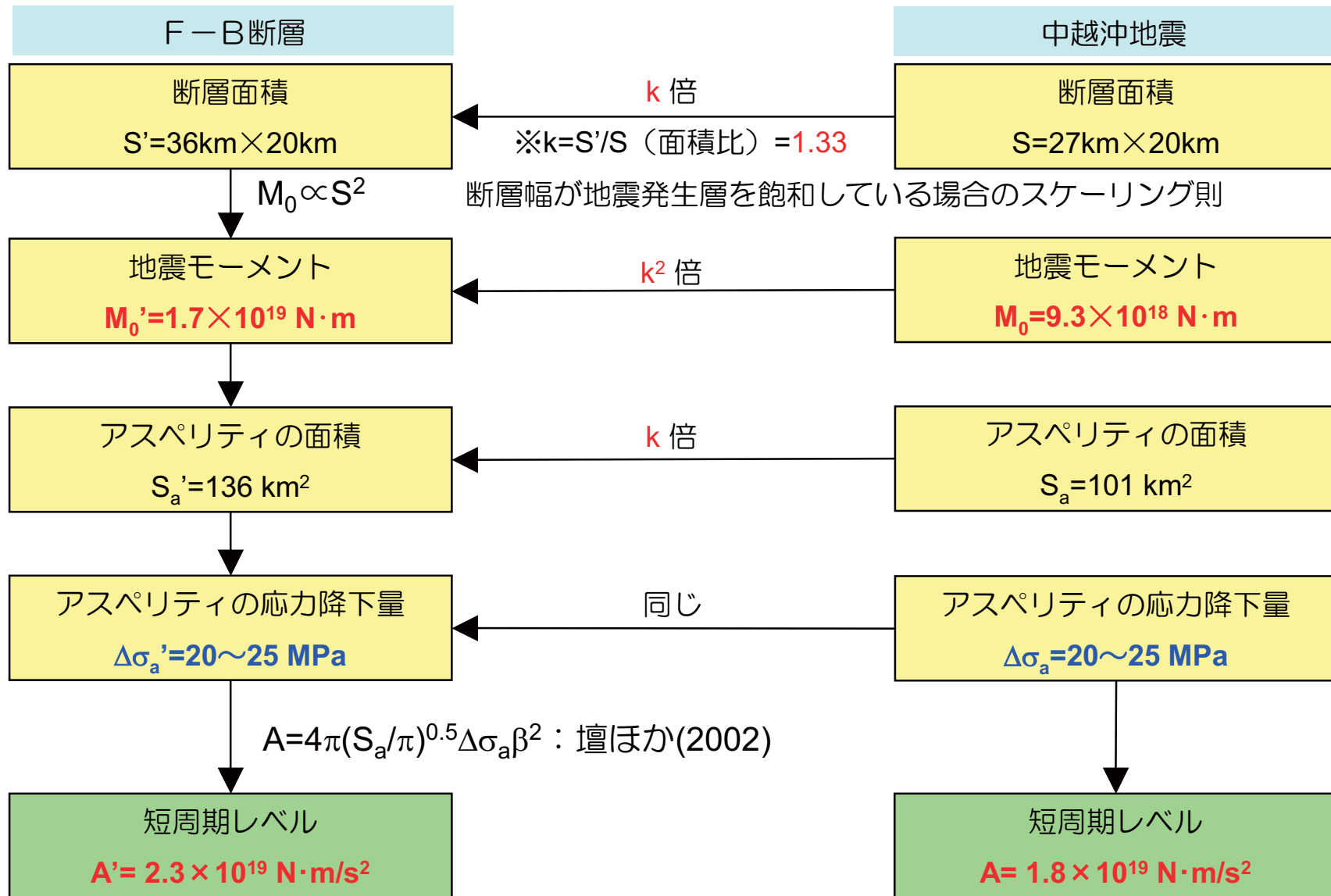


大湊側 (5~7号機)

5. まとめ

- 活断層評価における不確かさを考慮したF-B断層の断層長さ36kmと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、今回の断層長さの変更 (34km 36km) が地震動レベルに与える影響は小さいことを確認。

【参考】アスペリティの応力降下量設定について



【参考】アスペリティの応力降下量設定について

基本的な設定の考え方

- F-B断層のアスペリティの応力降下量については、実際に発生した中越沖地震の震源インバージョン結果に基づく値（20～25MPa）と同じ値を採用する。



このとき、

- 今回の評価におけるF-B断層と中越沖地震の短周期レベルの比は、

$$A'/A = 2.3 \times 10^{19} / 1.8 \times 10^{19} = 1.28 \text{倍}$$

- F-B断層と中越沖地震の地震モーメントの1/3乗の比は、

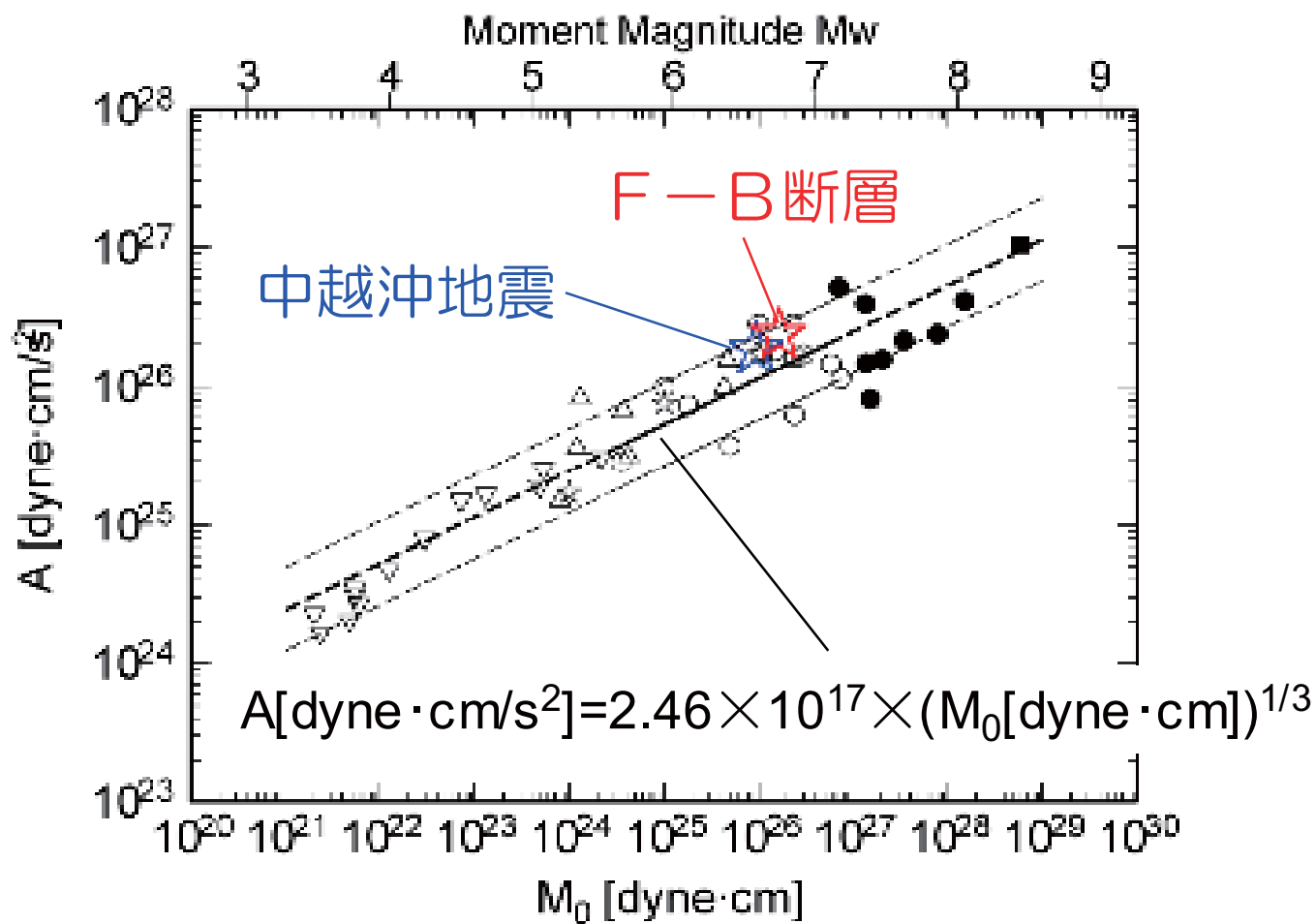
$$(Mo'/Mo)^{1/3} = (1.7 \times 10^{19} / 9.3 \times 10^{18})^{1/3} = 1.22 \text{倍}$$



壇ほか(2001)によると、短周期レベルAは地震モーメント M_0 の1/3乗に比例するとされているが、上記より $A'/A > (Mo'/Mo)^{1/3}$ となることから、F-B断層の短周期レベルA'を与えるアスペリティの応力降下量 $\Delta\sigma_a'$ は、短周期レベルの比較からも適切な設定と考えられる。

【参考】アスペリティの応力降下量設定について

中越沖地震とF-B断層の短周期レベル



〔壇ほか(2001)に加筆〕

F-B断層による地震に関する震源パラメータの設定根拠

別表

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、断層北端をM-8 測線と評価した場合の断層長さ27kmと設定。（地震調査研究推進本部（2008） ⁽¹⁾ による2007年新潟県中越沖地震の震源断層に対応。）	有 合同WG審議において断層長さの解釈に幅があることから、資料合同W16-4-1（平成20年8月26日原子力安全・保安院）を踏まえ、断層北端をNo12 測線と評価した場合の36kmを考慮。	
	② マグニチュード	気象庁による2007年新潟県中越沖地震の地震規模に基づき、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、中越沖地震の物理量（断層長さ27km, M6.8）を保持するように、地震モーメントMoと断層面積Sに関するスケールリング則及び武村（1998） ⁽²⁾ によるMoとMjの関係式に基づき、断層長さ36kmからM7.0を設定。	①に従属するパラメータ
	③ 地震モーメント	F-netによる2007年新潟県中越沖地震の地震モーメントに基づき、Mo=9.3×10 ¹⁸ Nmと設定。	有 断層長さの不確かさを考慮することに伴い、断層面積に関するスケールリング則に基づき、中越沖地震の地震モーメント（Mo=9.3×10 ¹⁸ Nm）を拡張して設定。	①に従属するパラメータ
	④ 平均すべり量	強震動予測レシビ ⁽³⁾ にしたがい、基本震源モデルの地震モーメント、断層面積に基づき設定。	有 断層長さの不確かさを考慮することに伴い、断層長さ36kmの場合の地震モーメント、断層面積に基づき設定。	①に従属するパラメータ
	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） ⁽¹⁾ 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	地震調査研究推進本部（2008） ⁽¹⁾ による2007年新潟県中越沖地震の余震分布を参考に35°と設定。	無 2007年新潟県中越沖地震により情報が得られていること、及び基本震源モデルの断層傾斜角が敷地に対して安全側の設定になっていることから、不確かさの考慮は行わない。	
	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20kmと設定。	無 地震発生層上下端深さ及び断層傾斜角に関する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。	
微視的パラメータ	⑧ アスペリティの位置、数	2007年新潟県中越沖地震の震源インバージョン結果に基づき、3つのアスペリティを配置。	無 2007年新潟県中越沖地震により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。	
	⑨ アスペリティの総面積、各アスペリティの面積	2007年新潟県中越沖地震の震源インバージョン結果に基づき設定。	有 断層長さの不確かさを考慮することに伴い、基本震源モデルにおけるアスペリティと巨視的断層面の面積比を保持するように拡張して設定。	①に従属するパラメータ
	⑩ 各アスペリティの応力降下量、平均すべり量	2007年新潟県中越沖地震の震源インバージョン結果に基づき設定。	無 アスペリティの応力降下量については、2007年新潟県中越沖地震により情報が得られていること、及び基本震源モデルにおける設定が強震動予測レシビ ⁽³⁾ に基づく値の約1.5倍に相当し、安全側の設定であると考えられることから、不確かさの考慮は行わない。 有 アスペリティの平均すべり量については、断層長さの不確かさを考慮することに伴い、断層長さ36kmの場合の地震モーメント、断層面積に基づき設定。	①に従属するパラメータ
	⑪ 背景領域の実効応力、平均すべり量	2007年新潟県中越沖地震の震源インバージョン結果及び入倉（2006） ⁽⁴⁾ に基づき、アスペリティの実効応力の20%と設定。	無 背景領域の実効応力については、2007年新潟県中越沖地震により情報が得られていること、及び基本震源モデルにおける設定が強震動予測レシビ ⁽³⁾ に基づく値の約1.5倍に相当し、安全側の設定であると考えられることから、不確かさの考慮は行わない。 有 背景領域の平均すべり量は、断層長さの不確かさを考慮することに伴い、断層長さ36kmの場合の地震モーメント、断層面積に基づき設定。	①に従属するパラメータ
	⑫ すべり速度時間関数	Dan et al.（1989） ⁽⁵⁾ 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	2007年新潟県中越沖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、Faccioli（1986） ⁽⁶⁾ に基づくfmaxを設定。	無 シミュレーション結果に基づき基本震源モデルにおける設定値の妥当性を確認していることから、不確かさの考慮は行わない。	
その他の震源	⑭ 破壊伝播速度	2007年新潟県中越沖地震の震源インバージョン結果を参考に設定。	無 2007年新潟県中越沖地震により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。	
	⑮ 破壊開始点	地震調査研究推進本部（2008） ⁽¹⁾ による2007年新潟県中越沖地震の震源位置及び2007年新潟県中越沖地震の震源インバージョン結果に基づき設定。	無 2007年新潟県中越沖地震により情報が得られていること、及び基本震源モデルの破壊開始点が敷地に対して安全側の設定であると考えられることから、不確かさの考慮は行わない。	
	⑯ 破壊伝播様式	2007年新潟県中越沖地震の震源インバージョン結果に基づき、マルチハイポセンターによる破壊を仮定。	無 2007年新潟県中越沖地震により情報が得られていること、及び基本震源モデルの破壊伝播様式が敷地に対して安全側の設定であると考えられることから、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）：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
- (2) 武村雅之（1998）：日本列島における地殻内地震のスケールリング則—地震断層の影響および地震被害との関連—、地震、第2輯、第51巻、pp.211-228
- (3) 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（「レシビ」）、平成20年4月11日、地震調査委員会資料
- (4) 入倉孝次郎（2006）：強震動地震学の発展の歴史とレシビへの展開、第34回地盤震動シンポジウム、日本建築学会、pp.63-72
- (5) 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
- (6) Faccioli, E.（1986）：A study of strong motions from Italy and Yugoslavia in terms of gross source properties、Geophys. Monograph, 37, Maurice Ewing, AGU, 6, pp.297-309