## 柏崎刈羽原子力発電所 敷地周辺の活断層の連動を考慮した地震動評価について

# 平成24年4月25日東京電力株式会社



## ご説明内容

■「地震・津波15-2-1」の見解のうち、以下の事項をご説明する。

保安院の見解	ご説明事項
・長岡平野西縁断層帯と山本山断層と十日町盆地断層帯西部については,学識経験者へのヒアリング結果も踏まえ連動するものとし,地震動評価が必要。	・長岡平野西縁断層帯〜山本 山断層〜十日町盆地断層帯西 部の連動を考慮した地震動評 価結果について
・F-B褶曲群,佐渡島南方断層,F-D断層及び高田沖褶曲群については,海上音波探査の結果から,連動するものとし,地震動評価が必要。	・佐渡島南方断層〜F-D断層 〜高田沖断層の連動を考慮し た地震動評価結果について
(要検討事項:F-B褶曲群については, 2007新潟県中越沖地震の発生により応 力解放されたとの考えもあり,連動の対 象に含めるか否か検討が必要。)	

## 連動を考慮した地震動評価結果について

■連動を考慮した地震動評価を実施。

陸域:長岡平野西縁断層帯,

十日町断層帯西部

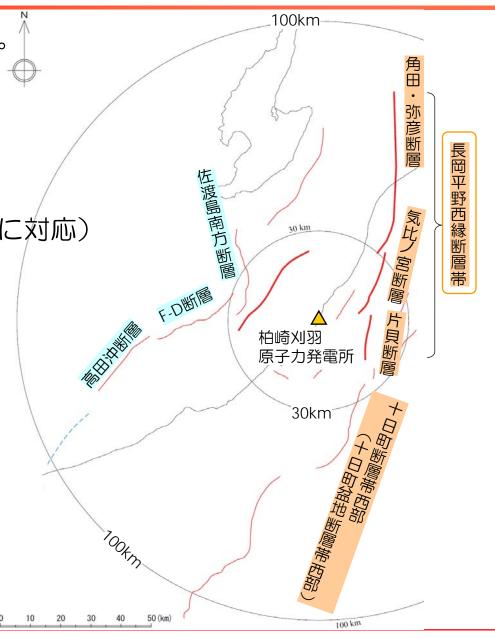
海域: 佐渡島南方断層,

F-D断層,

高田沖断層(高田沖褶曲群に対応)

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

■一方、応答スペクトルに基づく 手法による評価も併せて実施し、 断層モデルを用いた手法による評価結果の妥当性を確認。

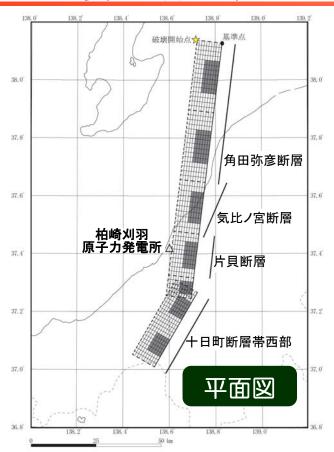


#### 断層モデルの設定方針

- ■断層の連動活動を考慮してスケーリングモデルで評価。
- ■巨視的断層パラメータのうち、断層の位置・断層長さ(132km)については地質調査結果等に基づき設定。(参考1)
- ■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による長岡平野西縁断層帯の評価結果を参考に50°と設定。(参考1)
- ■地震発生層(厚さ11km)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。(参考2)
- ■微視的断層パラメータは、地震調査研究推進本部(2009)による強震動予測レシピおよび以下の考え方に基づき設定。(参考3)
  - ①長大断層を対象としているMurotani et al.(2010)のスケーリングを採用。
  - ②地震調査研究推進本部の長大断層の評価と同様,平均応力降下量を一定値と仮定。長岡平野西縁断層帯の評価で採用した4.3MPaと設定。
- ■連動の考慮に加え、長岡平野西縁断層帯の評価と同様、応力降下量1.5倍、 断層傾斜角35°の不確かさをそれぞれ考慮したケースを評価。
- 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。



## 断層モデル

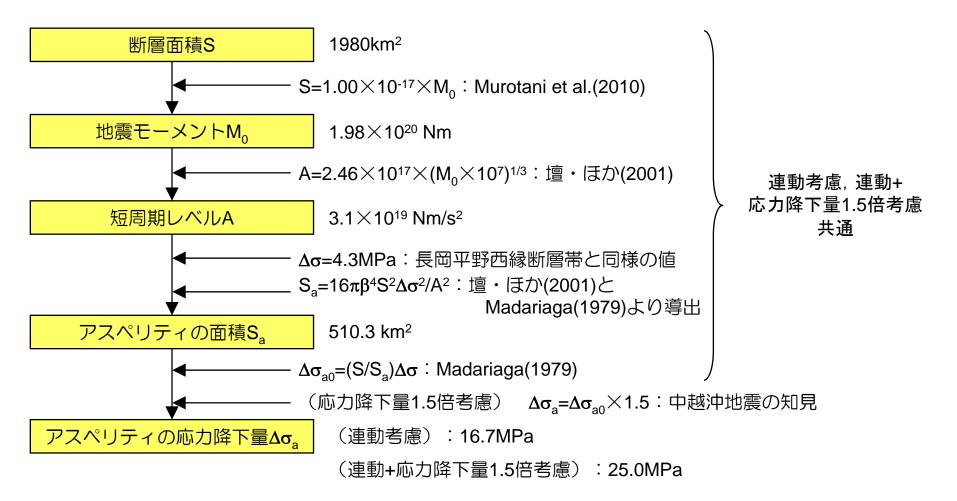


#### 断面図



## 陸域の活断層に関する地震動評価(断層モデル)(連動考慮,連動+応力降下量1.5倍考慮)

#### 断層パラメータの設定手順



## 陸域の活断層に関する地震動評価(断層モデル) (連動考慮,連動+応力降下量1.5倍考慮)

## 設定した断層パラメータ

				設定値						
項目				Æ	長岡平野西縁断層帯	が(断層長さ91km)		長岡~十日町間	十日町断層帯	
			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	(山本山断層)	西部	
担視的	基準点	東経(゜)	_			138.83			138.72	
的新	<b>埜</b> 华从	北緯(°)	_			38.13			37.27	
断層面		上端深さ (km)				6				
	断層長	長さ(km)	132	27	27	20	17	8	33	
	断層	幅(km)								
	断層面	i積(km²)	1980	405	405	300	255	120	495	
	走问	<b>句(°)</b>	_	187					210	
	傾斜	角(°)				50				
	S波速度 (km/s)									
	破壞伝播速度 (km/s) 2.4									
		Eーメント N·m)	1.98×10 <sup>20</sup>	4.05×10 <sup>19</sup>	4.05×10 <sup>19</sup>	3.00×10 <sup>19</sup>	2.55×10 <sup>19</sup>	1.20×10 <sup>19</sup>	4.95×10 <sup>19</sup>	

: 地質調査結果等に基づく

: 地震調査研究推進本部(2009)による強震動予測レシピに基づく

]: Murotani et al.(2010)に基づく



## 陸域の活断層に関する地震動評価(断層モデル)(連動考慮,連動+応力降下量1.5倍考慮)

## 設定した断層パラメータ(つづき)

				設定値					
	項目			長岡平野西縁断層帯(断層長さ91km)					
			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	(山本山断層)	十日町断層帯 西部
アス	面積(k	(m <sup>2</sup> )	510.3	104.4	104.4	77.3	65.7	30.9	127.6
ペリ	地震モー (N·r		1.02×10 <sup>20</sup>	2.09×10 <sup>19</sup>	2.09×10 <sup>19</sup>	1.55×10 <sup>19</sup>	1.31×10 <sup>19</sup>	6.19×10 <sup>18</sup>	2.55×10 <sup>19</sup>
ティ	平均す/ (cm		641						
	施力 第二号	連動	16.7						
	降下量 (MPa)	連動+ 1.5倍	25.0						
背景	面積(k	(m <sup>2</sup> )	1469.7	300.6	300.6	222.7	189.3	89.1	367.4
領域	領   地震モーメント		9.59×10 <sup>19</sup>	1.96×10 <sup>19</sup>	1.96×10 <sup>19</sup>	1.45×10 <sup>19</sup>	1.24×10 <sup>19</sup>	5.81×10 <sup>18</sup>	2.40×10 <sup>19</sup>
	平均すべり量 (cm)		209						
	実効応力	連動	3.4	3.7	3.7	3.2	2.9	2.0	4.1
	(MPa)	連動十 1.5倍	5.1	5.6	5.6	4.8	4.4	3.0	6.2

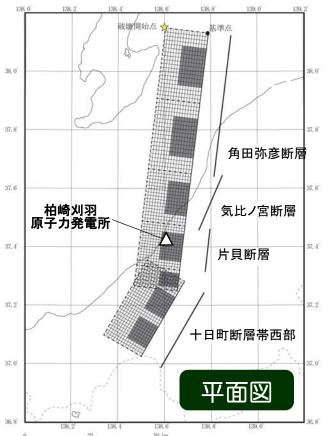
: 地震調査研究推進本部(2009)による強震動予測レシピに基づく

:中越沖地震の知見を反映し、設定した応力降下量の1.5倍を考慮

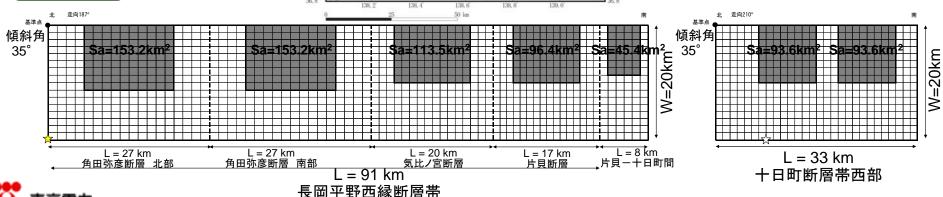


## 陸域の活断層に関する地震動評価(連動+断層傾斜角35°モデル)



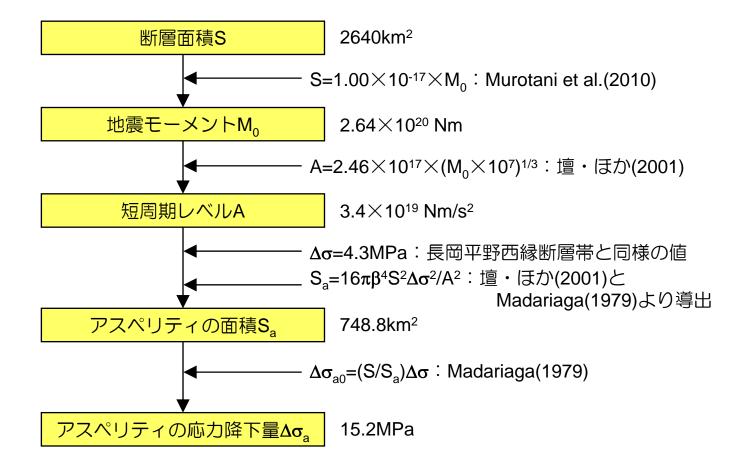


#### 断面図



#### 陸域の活断層に関する地震動評価 (断層モデル) (連動+断層傾斜角35° 考慮)

#### 断層パラメータの設定手順



## 陸域の活断層に関する地震動評価(断層モデル)(連動+断層傾斜角35°考慮)

## 設定した断層パラメータ

			設定値							
	項目			£	長岡平野西縁断層帯(断層長さ91km)				十日町断層帯	
			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	長岡〜十日町間   (山本山断層)	中日 田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田	
巨視	基準点	東経(゜)	1			138.79			138.69	
的断	<b>左</b> 华川	北緯(°)	l		38.13					
層面		上端深さ (km)		6						
	断層長	き(km)	132	27	27	20	17	8	33	
	断層	湢(km)	20							
	断層面	積(km²)	2640	540	540	400	340	160	660	
	走向	j (°)	-			187			210	
	傾斜	角(°)				35				
		波速度 km/s)		3.4						
	破壊伝播速度 (km/s) 2.4									
		∃ーメント N·m)	2.64×10 <sup>20</sup>	5.40×10 <sup>19</sup>	5.40×10 <sup>19</sup>	4.00×10 <sup>19</sup>	3.40×10 <sup>19</sup>	1.60×10 <sup>19</sup>	6.60×10 <sup>19</sup>	

・地質調査結果等に基づく

| : 地震調査研究推進本部(2009)による強震動予測レシピに基づく

]: Murotani et al.(2010)に基づく

## 陸域の活断層に関する地震動評価(断層モデル) (連動+断層傾斜角35°考慮)

## 設定した断層パラメータ(つづき)

		設定値							
項 目			£	長岡平野西縁断層帯(断層長さ91km)					
		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	長岡〜十日町間 (山本山断層)	十日町断層帯 西部	
アス	面積(km²)	748.8	153.2	153.2	113.5	96.4	45.4	187.2	
ペリテ	地震モーメント (N·m)	1.50×10 <sup>20</sup>	3.06×10 <sup>19</sup>	3.06×10 <sup>19</sup>	2.27×10 <sup>19</sup>	1.93×10 <sup>19</sup>	9.08×10 <sup>18</sup>	3.74×10 <sup>19</sup>	
7	平均すべり量 (cm)	641							
	応力降下量 (MPa)	15.2							
背景	面積(km²)	1891.2	386.8	386.8	286.5	243.6	114.6	472.8	
領域	地震モーメント (N·m)	1.14×10 <sup>20</sup>	2.34×10 <sup>19</sup>	2.34×10 <sup>19</sup>	1.73×10 <sup>19</sup>	1.47×10 <sup>19</sup>	6.92×10 <sup>18</sup>	2.86×10 <sup>19</sup>	
	平均すべり量 (cm) 194								
	実効応力(MPa)	2.6	2.8	2.8	2.4	2.3	1.5	3.1	

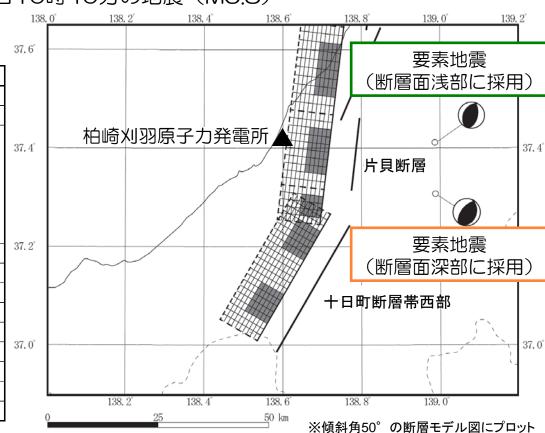
: 地震調査研究推進本部(2009)による強震動予測レシピに基づく

- ■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もとに、断層面の浅部と深部で適切な 要素地震を採用。

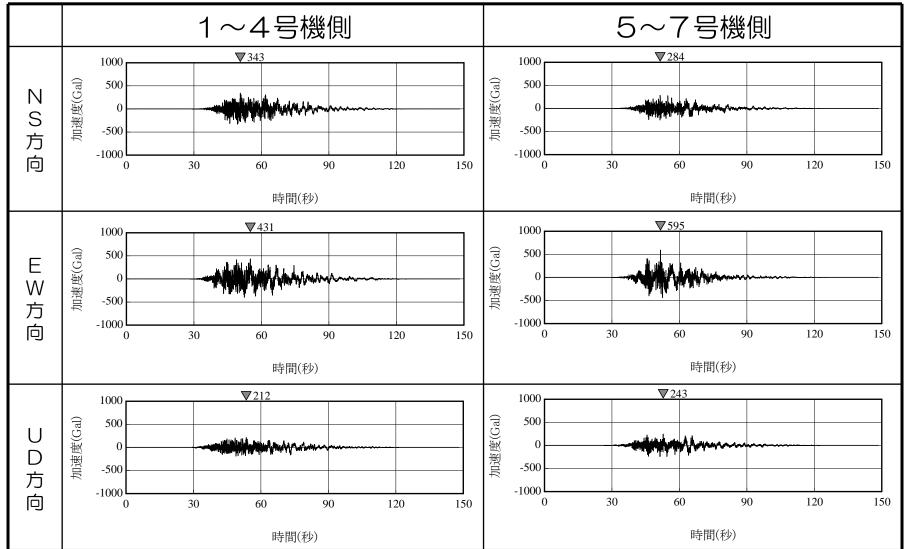
【断層面浅部】2004年11月08日11時15分の地震(M5.5) 【断層面深部】2004年10月27日10時40分の地震(M5.8)

#### 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]	$2.24 \times 10^{17}$	6. $34 \times 10^{17}$
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		$[N/m^2]$	$3.01 \times 10^{10}$	$3.01 \times 10^{10}$
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

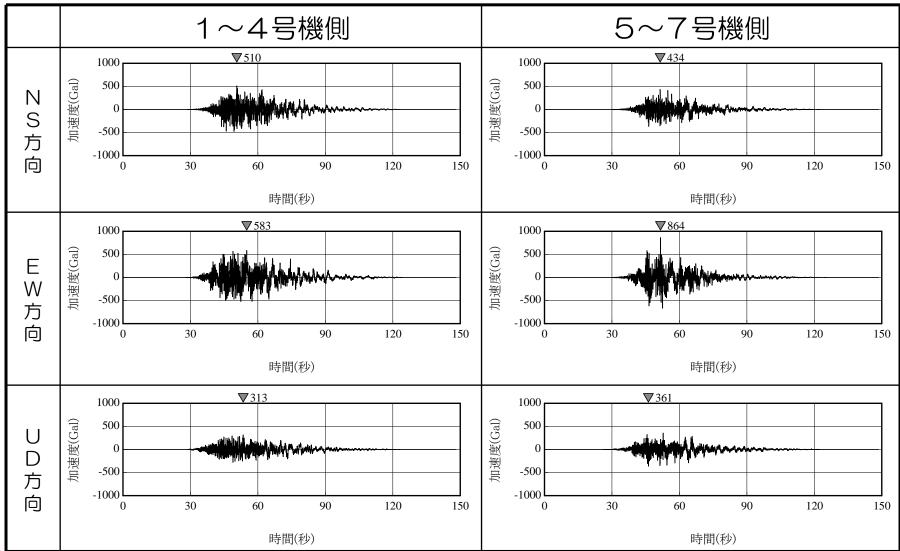


#### 地震動評価結果 加速度時刻歷波形 連動考慮

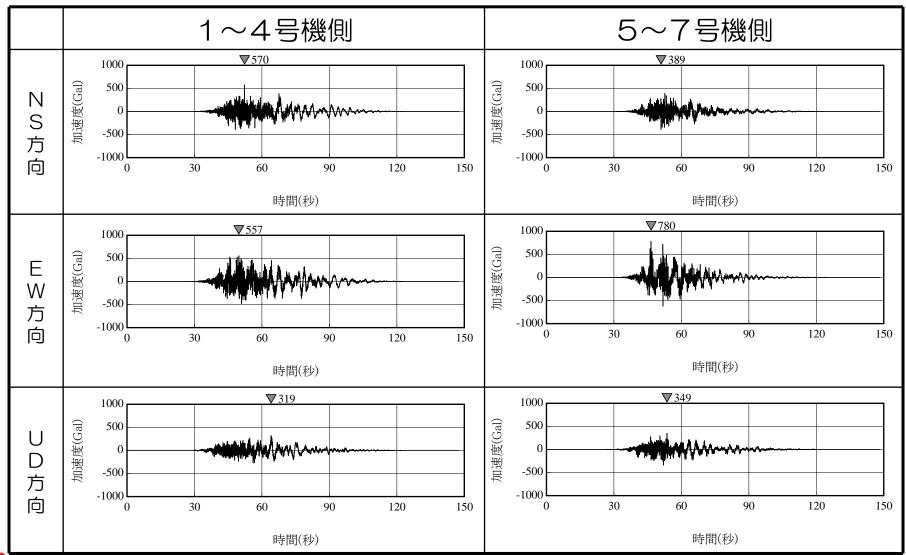




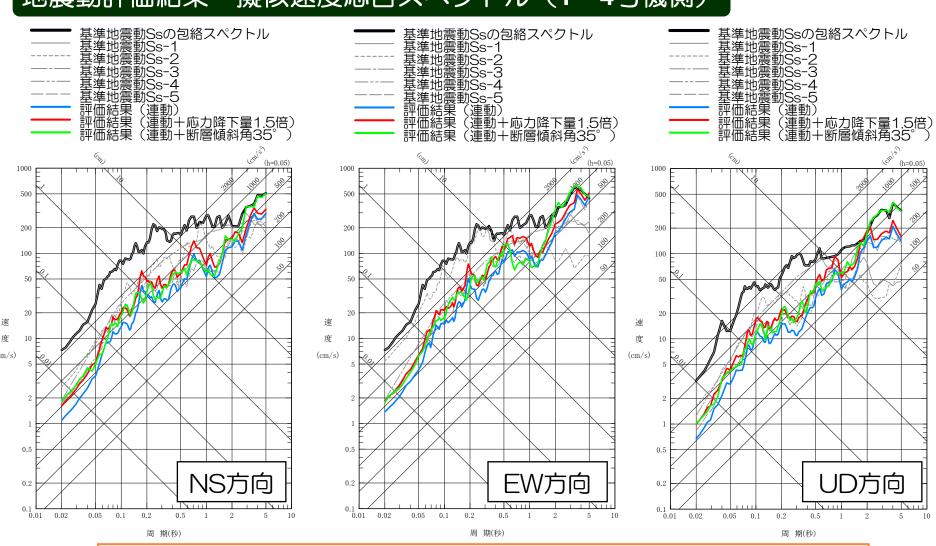
#### 地震動評価結果 加速度時刻歷波形 連動十応力降下量1.5倍考慮



#### 地震動評価結果 加速度時刻歷波形 連動十断層傾斜角35° 考慮



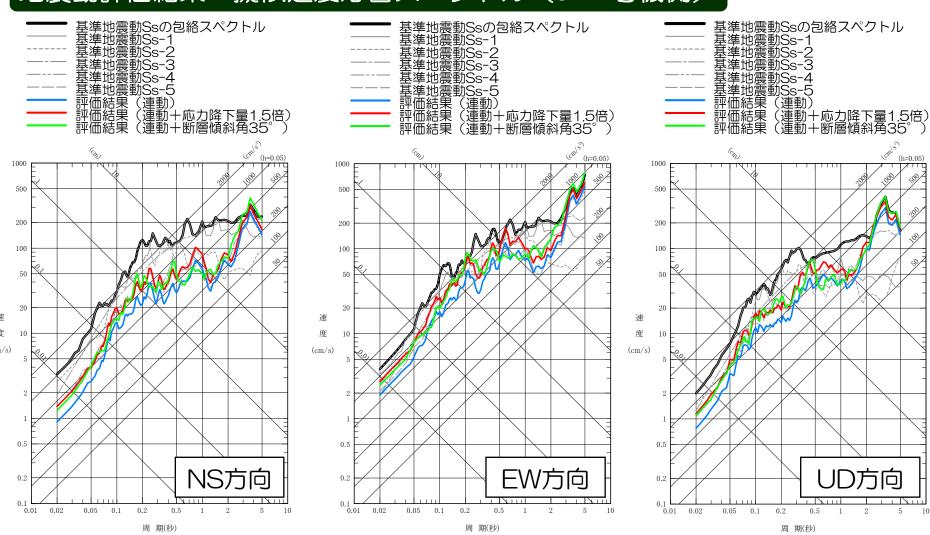
## 地震動評価結果 擬似速度応答スペクトル(1~4号機側)





断層モデルを用いた手法による地震動評価の結果,連動を考慮した場合において,一部の周期帯で,基準地震動Ssを上回ることを確認。

## 地震動評価結果 擬似速度応答スペクトル(5~7号機側)



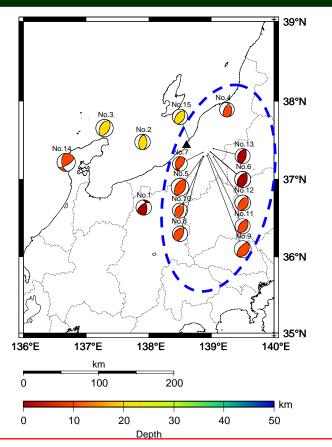


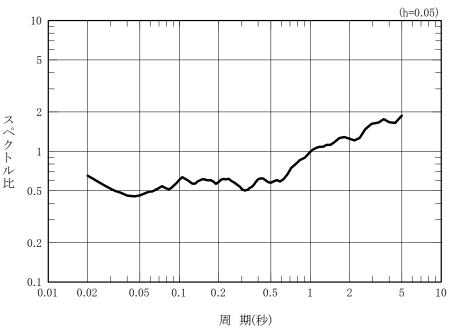
断層モデルを用いた手法による地震動評価の結果、連動を考慮した場合におい 一部の周期帯で、基準地震動Ssを上回ることを確認。

## 陸域の活断層に関する地震動評価(応答スペクトル)

- ■評価手法: Noda et al. (2002) による手法
- ■観測記録による補正係数: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(1~7号機共通)

#### 補正係数の算定に用いた地震の震央分布





Noda et al.(2002)の手法で用いる 観測記録による補正係数

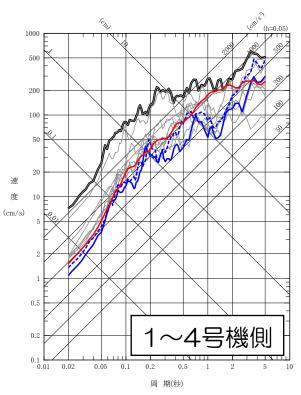


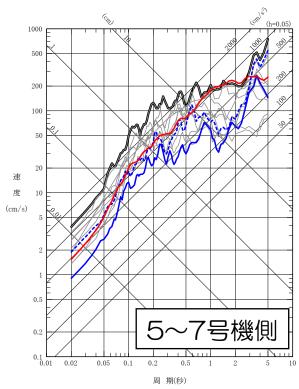
## 陸域の活断層に関する地震動評価(応答スペクトル)

- ■応答スペクトルに基づく手法により、連動を考慮したケース、連動にさら に断層傾斜角35°を考慮したケースについて評価を実施。
- ■評価結果は,断層モデルを用いた手法による地震動評価と調和的である。

#### 連動を考慮したケース

基準地震動Ssの包絡スペクトル 基準地震動Ss-1~Ss-5 断層モデル(NS方向) - - - 断層モデル(EW方向) Noda et al.(2002)(M8.4,Xeq=26km)



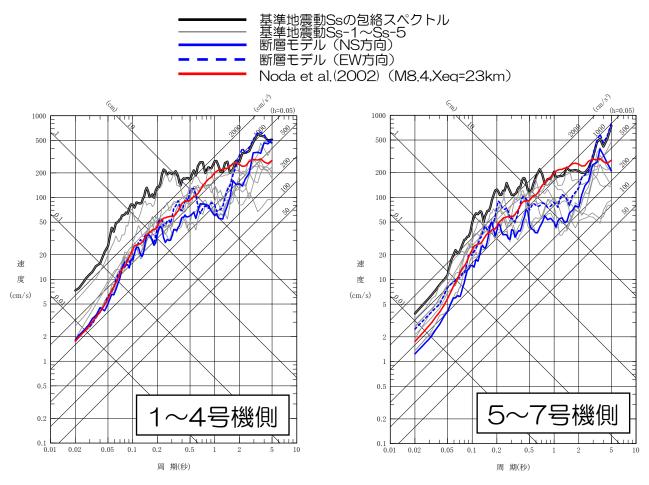




応答スペクトルによる手法と断層モデルを用いた手法による地震動評価結果の比較(水平方向)

## 陸域の活断層に関する地震動評価(応答スペクトル)

## 連動+断層傾斜角35°を考慮したケース



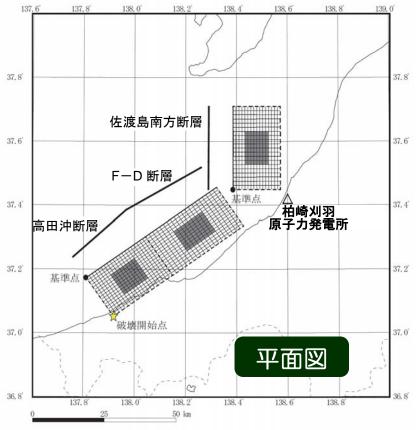
応答スペクトルによる手法と断層モデルを用いた手法による地震動評価結果の比較(水平方向)

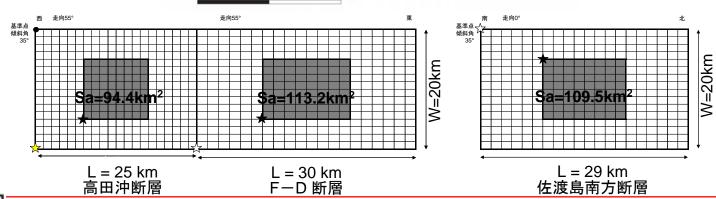
## 海域の活断層に関する地震動評価

#### 断層モデルの設定方針

- ■断層の連動活動を考慮してスケーリングモデルで評価。
- ■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 調査結果等に基づき設定。(参考1)
- ■断層の傾斜角は、地質調査結果等に基づき35°と設定。(参考1)
- ■地震発生層(厚さ11km)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。(参考2)
- ■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、中越沖地震の際のモデルを拡張し、応力降下量1.5倍の効果を取り込んで設定。
- ■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。

## 断層モデル

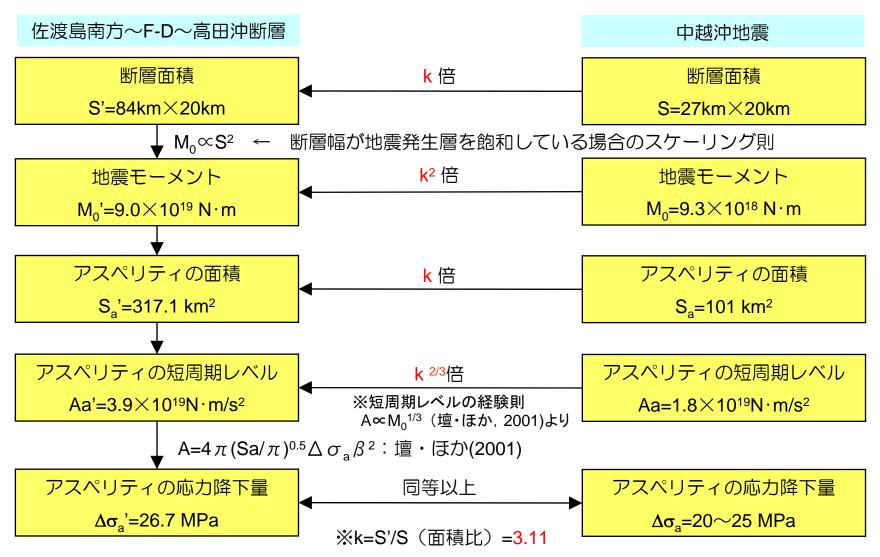








#### 断層パラメータの設定手順



## 設定した断層パラメータ

	_	_		設定	<b></b> 定值		
項目		全体	佐渡島南方断層	F-D断層	高田沖断層		
巨 視 的	基準点	東経(°)	-	138.39	137	7.81	
的断	茶年川 	北緯(°)	_	37.45	37.	.17	
断 層 面	断原	層上端深さ (km)		6	5		
	断層長さ (km)		84	29	30	25	
	断層	雪幅(km)	20				
	断層面積(km <sup>2</sup> )		1680	580	600	500	
	走	向(°)	_	0	55		
	傾急	斜角(°)	35				
S波速度 (km/s)		3.4					
破壊伝播速度 (km/s)			2.4				
		モーメント (N·m)	9.00×10 <sup>19</sup>	3.11×10 <sup>19</sup>	3.21×10 <sup>19</sup>	2.68×10 <sup>19</sup>	

・地質調査結果等に基づく

| : 地震調査研究推進本部(2009)による強震動予測レシピに基づく

- : 中越沖地震の震源インバージョン結果に基づく



## 設定した断層パラメータ(つづき)

			設定値				
	項目	全体	佐渡島南方断層	F-D断層	高田沖断層		
アス	面積(km²)	317.1	109.5	113.2	94.4		
ペリテ	地震モーメント (N·m)	5.20×10 <sup>20</sup>	1.79×10 <sup>19</sup>	1.86×10 <sup>19</sup>	1.55×10 <sup>19</sup>		
イ	平均すべり量(cm)	525					
	応力降下量(MPa)	26.7					
背景	面積(km²)	1362.9	470.5	486.8	405.6		
背景領域	地震モーメント(N·m)	3.80×10 <sup>19</sup>	1.31×10 <sup>19</sup>	1.36×10 <sup>19</sup>	1.13×10 <sup>19</sup>		
	平均すべり量(cm)	89					
実効応力 (MPa) 5.3							

: 地震調査研究推進本部(2009)による強震動予測レシピに基づく

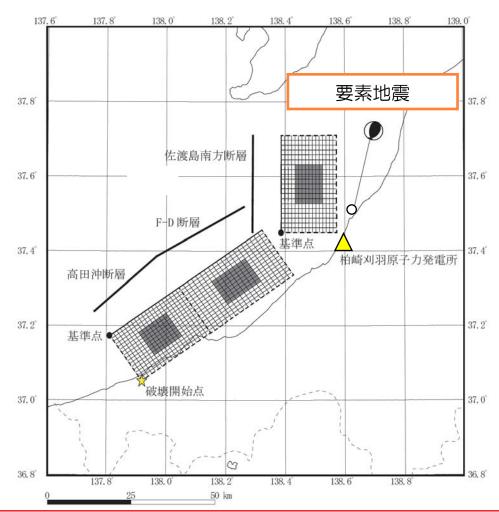
:中越沖地震の震源インバージョン結果に基づく

■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。

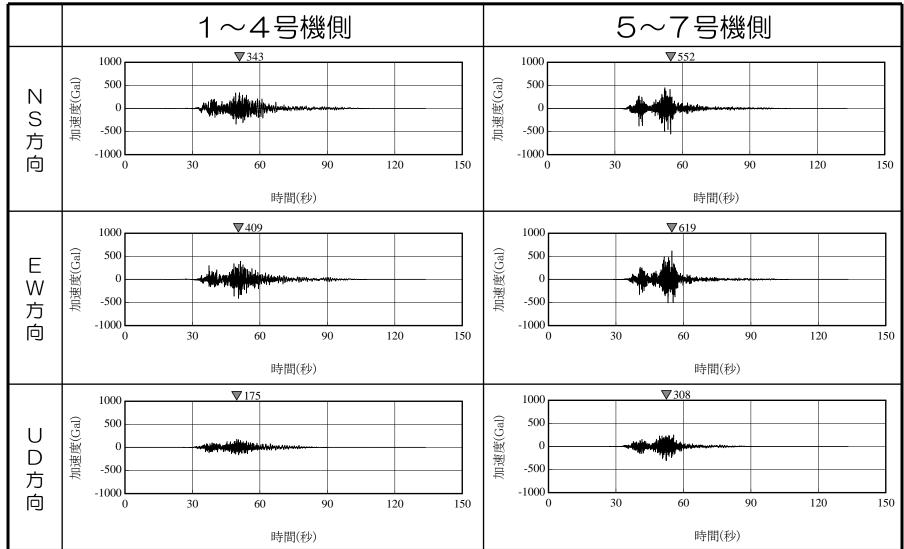
【要素地震】2007年7月16日21時08分の地震(M4.4)

#### 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]	$5.21 \times 10^{15}$
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		$[N/m^2]$	$3.31 \times 10^{10}$
せん断波速	度	[km/s]	3. 5
単位体積重	量	$[g/cm^3]$	2. 7

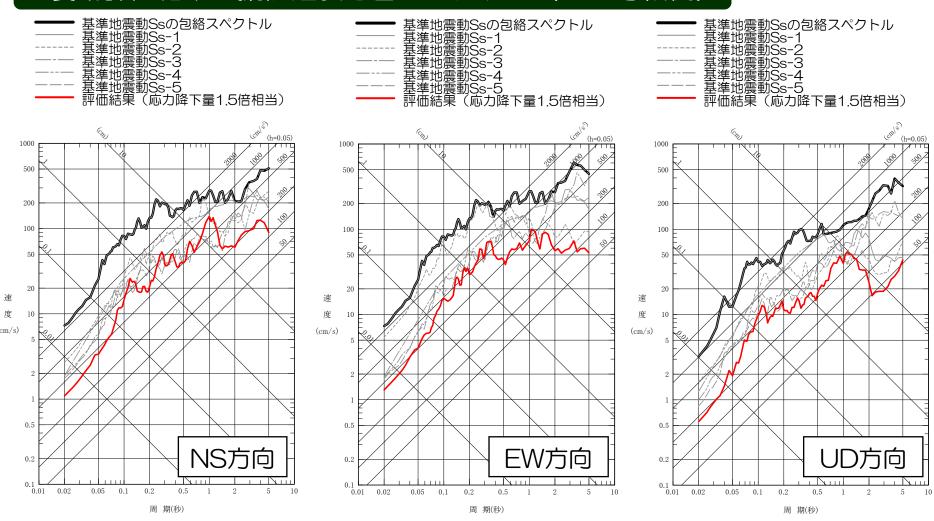


#### 地震動評価結果 加速度時刻歷波形 連動考慮





## 地震動評価結果 擬似速度応答スペクトル(1~4号機側)

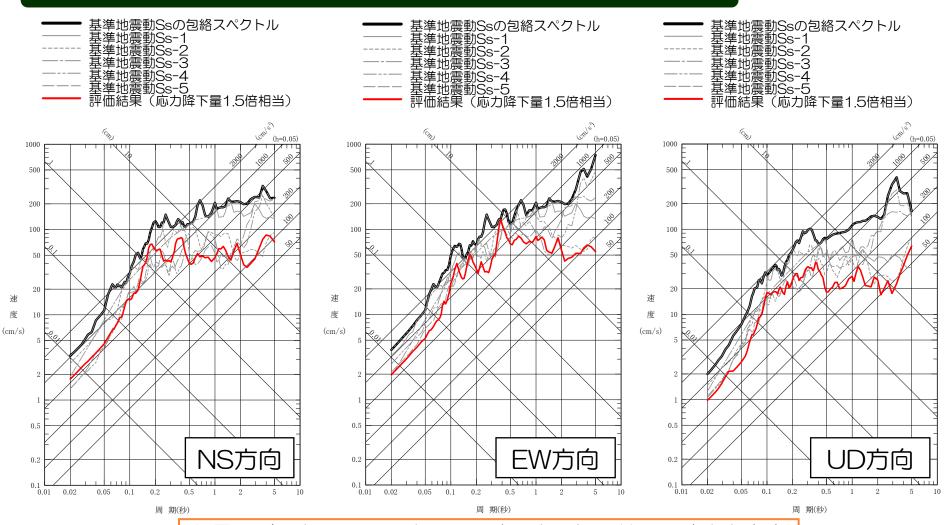


断層モデルを用いた手法による地震動評価の結果,連動を考慮した場合においても,基準地震動Ssを下回ることを確認。



東京電力

## 地震動評価結果 擬似速度応答スペクトル(5~7号機側)



断層モデルを用いた手法による地震動評価の結果,連動を考慮した場合においても,基準地震動Ssを下回ることを確認。

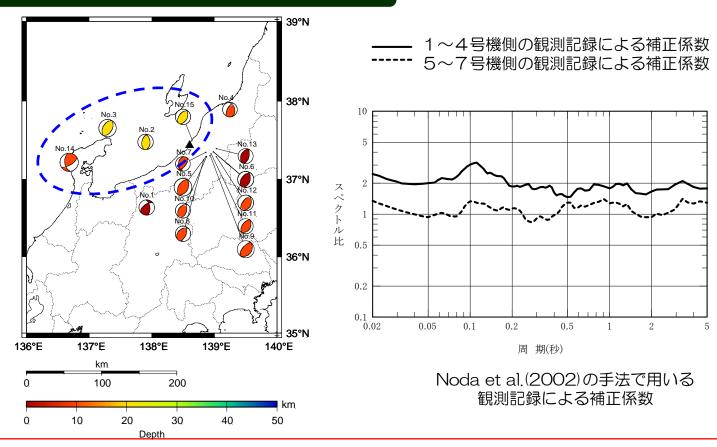


東京電力

## 海域の活断層に関する地震動評価(応答スペクトル)

- ■評価手法: Noda et al. (2002) による手法
- ■観測記録による補正係数:想定する地震と同一方向の海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(1~4号機側,5~7号機側で評価)

#### 補正係数の算定に用いた地震の震央分布



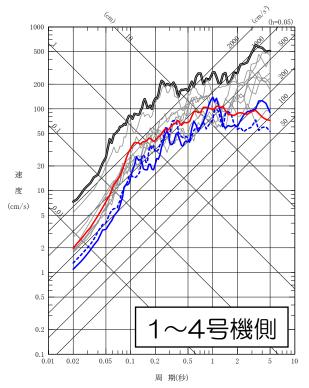


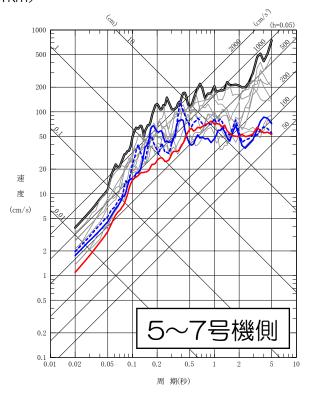
## 海域の活断層に関する地震動評価(応答スペクトル)

■応答スペクトルに基づく手法により、連動を考慮したケースについて評価を実施。

■評価結果は、断層モデルを用いた手法による地震動評価結果と調和的であ

る。





応答スペクトルによる手法と断層モデルを用いた手法による地震動評価結果の比較(水平方向)



## まとめ

- ■『長岡平野西縁断層帯〜十日町断層帯西部』及び『佐渡島南方断層〜 F-D断層〜高田沖断層』について、連動を考慮した地震動評価を実施 した。
- ■『長岡平野西縁断層帯〜十日町断層帯西部』の連動活動を考慮した地震動は、一部の周期帯で、基準地震動Ssを上回ることを確認した。
- ■『佐渡島南方断層~F-D断層~高田沖断層』の連動活動を考慮した地震動は、基準地震動Ssを下回ることを確認した。



## 参考資料

- 【参考1】地震動評価の際に参考とした地質調査結果等について
- 【参考2】 地震発生層の設定根拠について
- 【参考3】長岡平野西縁断層帯に関連する断層パラメータ設定法について
- 【参考4】佐渡島南方断層~F-D断層~高田沖断層による地震の 地震規模について
- 【参考5】基準地震動Ssの概要について



## 参考文献

- (1)東京電力(2008): 柏崎刈羽原子力発電所における平成19年新潟県中越沖地震時に取得された地震観測データの分析及び基準地震動に係る報告書
- (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) 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
- (4) 地震調査研究推進本部(2009):「全国地震動予測地図」報告書(強震動予測レシピ)
- (5) Murotani, S, S. Matsushima, T. Azuma, K. Irikura, S. Kitagawa (2010): Scaling relations of earthquakes on inland active mega-fault systems, 2010 AGU Fall Meeting, S51A-1911.
- (6) 地震調査研究推進本部(2005): 山崎断層帯の地震を想定した強震動評価について
- (7) 壇一男,渡辺基史,佐藤俊明,石井透(2001):断層の非一様すべり破壊モデルから算定される短周期レベルと半経験的 波形合成法による強震動予測のための震源断層のモデル化,日本建築学会構造系論文集,第545号
- (8) Madariaga, R. (1979): On the relation between seismic moment and stress drop in the presence of stress and strength heterogeneity, Journal of Geophysical Research, 84.
- (9)神原浩・松島信一・早川崇・福喜多輝(2006):2004年新潟県中越地震の余震観測記録に基づく本震時の震源域の強震動推定,清水建設研究報告,第83号,
- (10) KAZUO DAN, TAKAHIDE WATANABE and TEIJI TANAKA(1989): A SEMI-EMPILICAL 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
- (11) Noda, S., K.Yashiro, K.Takahashi, M.Takemura, S.Ohno, M.Tohdo and T.Watanabe (2002): RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES, OECD—NEA Workshop on the Relations between Seismological DATA and Seismic Engineering, Oct.16—18, Istanbul.
- (12)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
- (13)芝良昭(2008):2007年新潟県中越沖地震の震源過程の解明と広帯域強震動評価,電力中央研究所報告,研究報告 NO8007



## 参考文献

- (14)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
- (15)佐藤良輔 編著(1989)日本の地震断層パラメター・ハンドブック、鹿島出版会
- (16)入倉孝次郎、倉橋奨(2010): 長大な活断層に発生する地震に対する強震動予測のためのレシピの高度化,第13回日本地震工学シンポジウム,講演資料,http://www.kojiro-irikura.jp/pdf/jishinkougaku2010.pdf
- (17) Somerville, P.G., K. Irikura, R. Graves, S. Sawada, D. Wald, N. Abrahamson, Y. Iwasaki, T. Kagawa, N. Smith, and A. Kowada (1999): Characterizing crustal earthquake slip models for the prediction of strong ground motion, Seismological Research Letters, 70.
- (18) Kurahashi, S., K. Masaki, and K. Irikura (2008): Source model of the 2007 Noto-Hanto earthquake (Mw6.7) for estimating broad-band strong ground motion, Earth Planets Space, 60.
- (19)釜江克宏,川辺秀憲(2008):2007年新潟県中越沖地震(Mj6.8)の震源のモデル化と強震動シミュレーション, http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/jishin/eq/niigata\_chuetsuoki\_5/chuuetsuoki\_20080307.pdf
- (20) Kurahashi, S., and K. Irikura (2010): Characterized source model for simulating strong ground motion during the 2008 Wenchuan Earthquake, Bull, Seism, Soc. Am., 100.
- (21) 武村雅之(1998):日本列島における地殻内地震のスケーリング則-地震断層の影響および地震被害との関連-,地震 2,51
- (22)大竹政和・平朝彦・太田陽子(2002):日本海東縁の活断層と地震テクトニクス,東京大学出版会



## 【参考1】

地震動評価の際に参考とした地質調査結果等について

## 連動を考慮した活断層の端点

端点位置	設定根拠	
①長岡平野西縁断層帯(角 田・弥彦断層)の北端	海上音波探査結果	
②十日町断層帯西部の南端	地震調査研究推進 本部(2010)	
③佐渡島南方断層の北端	海上音波探査結果	
④佐渡島南方断層の南端	海上音波探査結果	
⑤F一D断層の北東端	海上音波探査結果	
⑥高田沖断層の南西端	海上音波探査結果	



## 長岡平野西縁断層帯の傾斜①(地震調査研究推進本部)

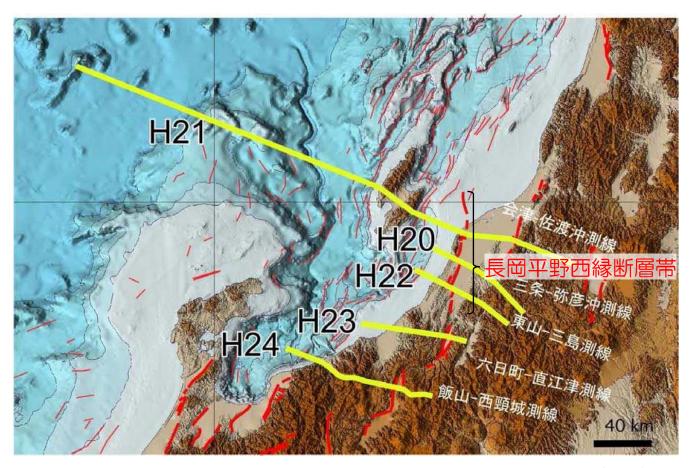
地震調査研究推進本部 (2004)によると、長岡 平野西縁断層帯の傾斜角 は50~60度程度の西傾斜 とされている。

表 1 長岡平野西縁断層帯の特性

項目	特 性	信頼度	根拠			
		(注3)	(注 4)			
1. 断層帯の位置・形態						
(1) 断層帯を構成す る断層	新潟市沖合と日本海沿岸付近の断層、角 田山(かくだやま)東縁断層、鳥越断層、 関原断層、片貝断層、逆谷(さかしだに) 断層及び親沢断層*等		文献1、3による。 構成する断層のう ち、*印を付けたもの は副次的な断層。			
(2) 断層帯の位置・ 形状	地表における断層帯の位置・形状		文献1、3、4、5、 6、7による。			
	断層帯の位置 (北端) 北緯 38° 03′東経 138° 52′ (南端) 北緯 37° 19′東経 138° 47′ 長さ 約 83km	Δ Ο Δ	位置及び長さは図2 から計測。			
	地下における断層面の位置・形状 長さ及び上端の位置 地表での長さ・位置と同じ	Δ	上端の深さが 0km で あることから推定。			
	上端の深さ 0km	0	地形の特徴から推定。			
	一般走向 N 10°E	©	一般走向は、断層帯 の両端を直線で結ん だ方向。			
	傾斜50-60° 程度西傾斜(深さ概ね1-2km 以浅)	0	傾斜は文献7に示された反射法弾性波探 査結果から推定。			
•	地震調査研究推進本部(200	04)	こり抜粋・一部加筆			

## 長岡平野西縁断層帯の傾斜②(ひずみ集中帯プロジェクト)

- ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究プロジェクトでは、ひずみ集中帯の活構造、断層の深部形状、地震波速度の絶対値等を明らかにするために、平成20~24年度の5カ年計画で陸域及び海域の反射法・屈折法地震探査等を行っている。
- 平成20~22年度には、長岡平野西縁断層帯を横断する測線が対象となっている。



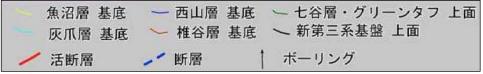


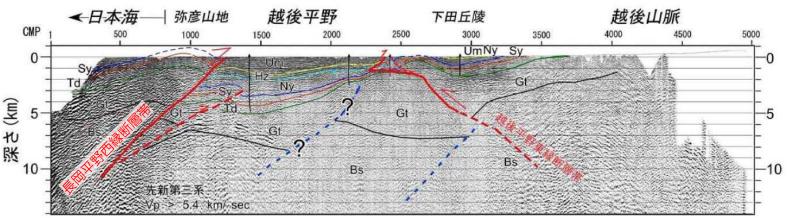
## 長岡平野西縁断層帯の傾斜③ (三条一弥彦沖測線)



■防災科学技術研究所(2009)によると、 三条一弥彦沖測線における地殻構造探査 の結果から、長岡平野西縁断層帯(角 田・弥彦断層)に相当する断層の傾斜角 度は、4km以深で50度、これ以浅で約 40度であるとしている。

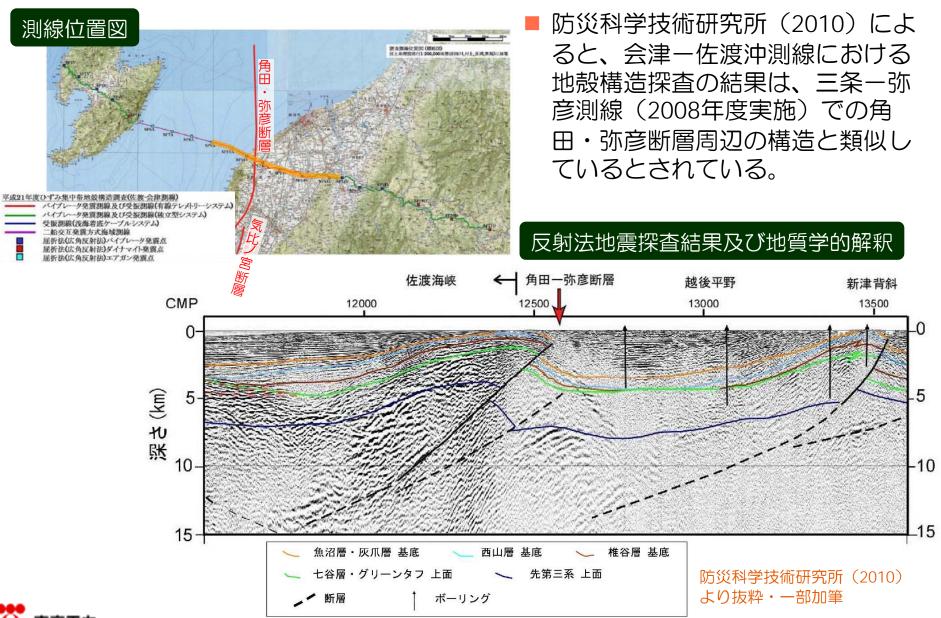
#### 反射法地震探査結果及び地質学的解釈





防災科学技術研究所(2009)より抜粋・一部加筆

## 長岡平野西縁断層帯の傾斜④(会津ー佐渡沖測線)

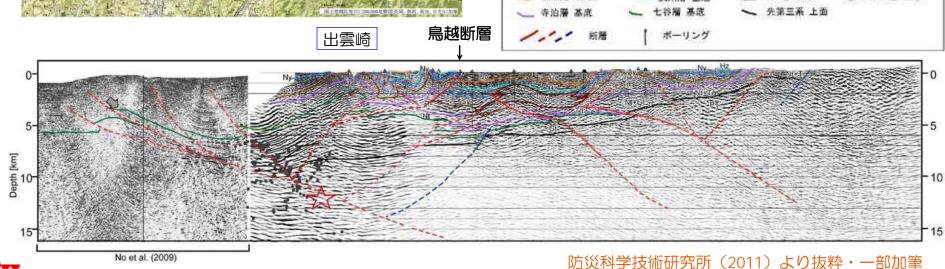


## 長岡平野西縁断層帯の傾斜⑤ (東山一三島測線)



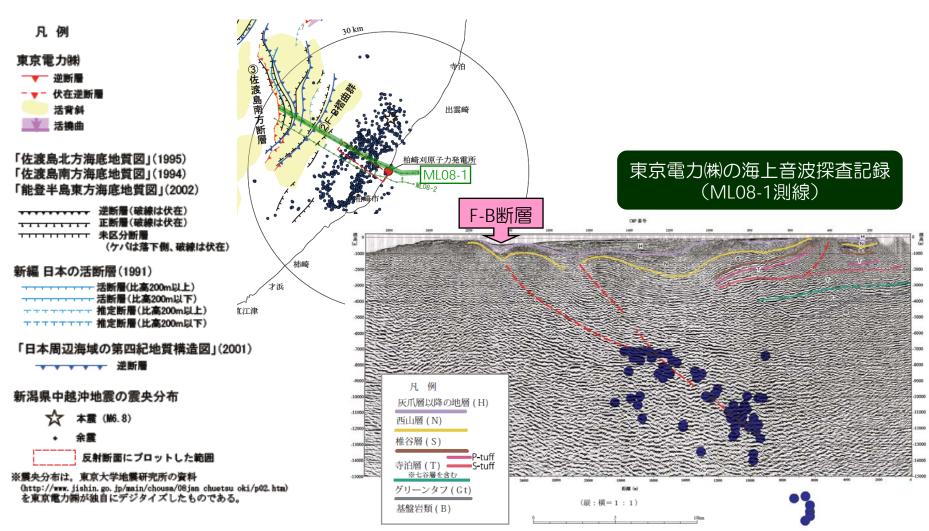
防災科学技術研究所(2011)によると、東山一三島測線における地殻構造探査の結果から、鳥越断層(気比ノ宮断層)は低角度のデタッチメントを経て、出雲崎で中角度となる西傾斜の断層であるとしている。

#### 反射法地震探査結果及び地質学的解釈



### 新潟県中越沖地震の震源断層(F-B断層)の傾斜

■ 中越沖地震の震源断層(F-B断層)の傾斜角度は、海域・陸域臨時地震観測網に 基づく精密余震分布によると約35度である。





# 【参考2】 地震発生層の設定根拠について

## 地震発生層の設定根拠について

- ■地震発生層の設定にあたっては、速度構造、2007年新潟県中越沖地震と 2004年新潟県中越地震の余震の震源分布、コンラッド面深さを総合的に 判断して設定。
- ■なお、上端深さにおいては、速度構造を重視し、下端深さにおいては、 2007年新潟県中越沖地震と2004年新潟県中越地震の余震の震源分布を 重視して設定。

	上端深さ(km)	下端深さ(km)
水平/上下スペクトル振幅比の逆解析によ る敷地地盤の速度構造モデル	5.9	_
海域・陸域臨時地震計観測網に基づく 2007年新潟県中越沖地震の精密余震分布	6	17
2004年新潟県中越地震後の微小地震分布	7.7	16.9
コンラッド面深さ	_	15~16
ひずみ集中帯プロジェクト 屈折法地震探査結果	6~9	_

地震発生層上端深さ:6km, 地震発生層下端深さ:17km



#### 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

#### 1~4号機側

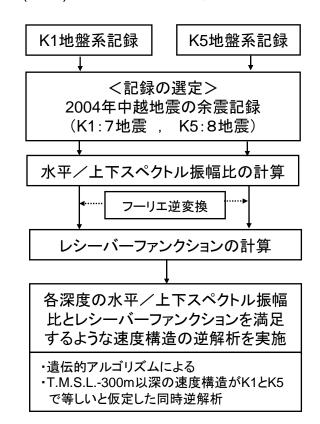
層 No.	T.M.S.L.	層厚 (m)	密度 (t/m <sup>3</sup> )	Vs (m/s)	Vp (m/s)
	-284				
1	-300	16	2.11	1110	2280
2	-1360	1060	2.12	1160	2390
3	-2410	1050	2.25	1620	3220
4	-3700	1290	2.36	2050	4150
5	-5880	2180	2.51	2760	4820
6		œ	2.59	3170	5230

#### 5~7号機側

層 No.	T.M.S.L. (m)	層厚 (m)	密度 (t/m³)	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



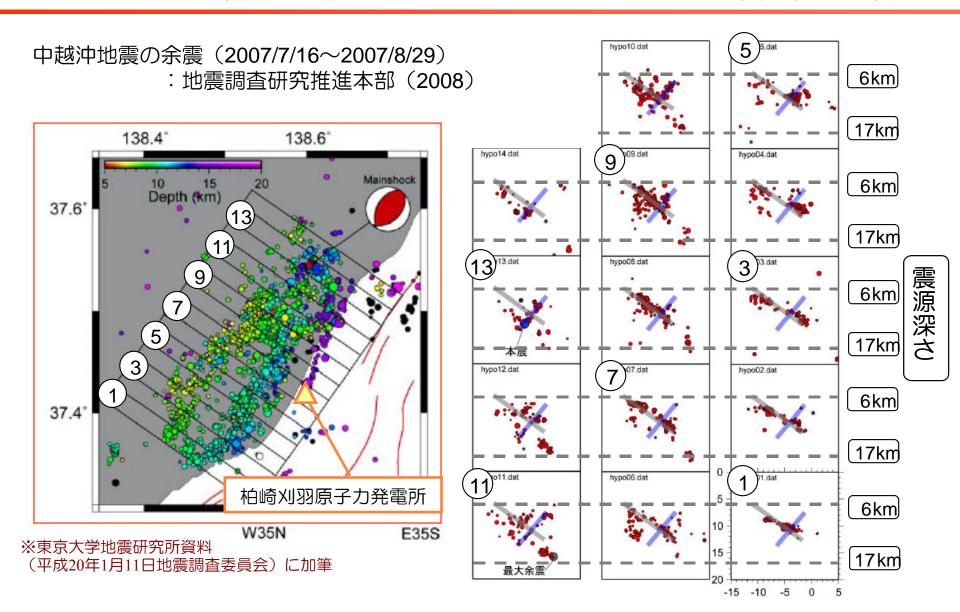
地震基盤面相当の深さは約6km (地震発生層上端深さに対応) ●地盤系の地震観測記録を用いて、Kobayashi K. et al.(2000)の方法により、地下構造モデルを評価した。



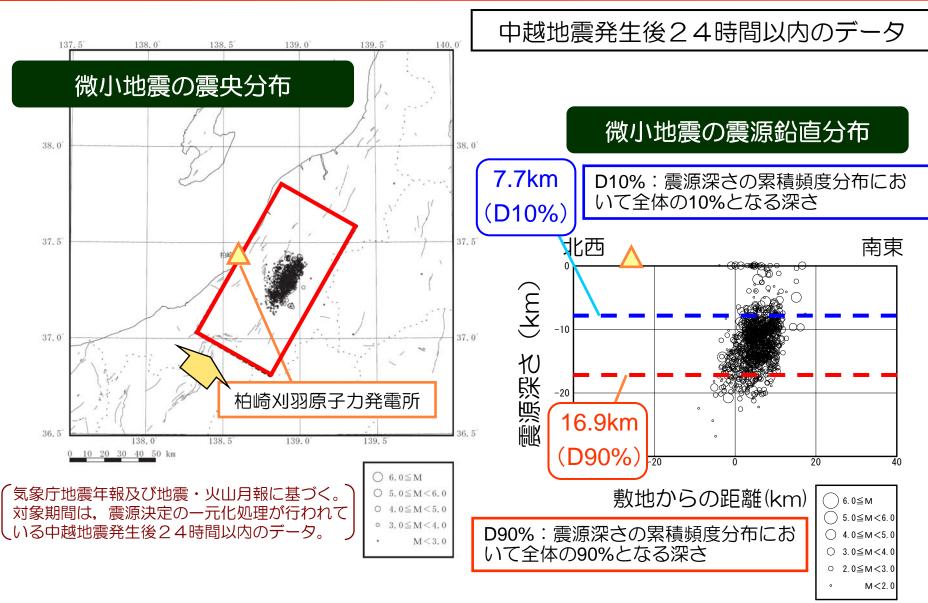
#### 参考文献

Kobayashi K. et al.(2000):Estimation of deep underground velocity structures by inversion of spectral ratio of horizontal to vertical component in p-wave part of earthquake ground motion, 12th World Conf.Earthq.Eng. No.2658, 2000

### 海域・陸域臨時地震計観測網に基づく2007年新潟県中越沖地震の精密余震分布



### 2004年新潟県中越地震後の微小地震分布



### コンラッド面深さ

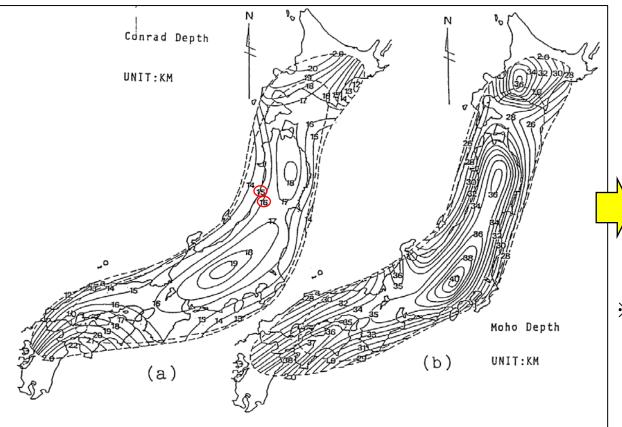


Figure 7. Depth distribution of (a) the Conrad and (b) the Moho discontinuities [after Zhao et al., 1992b]. Solid lines denote depth contours, dashed lines the standard errors of the estimated depths. The outer dashed line encloses the region where the standard error is less than 2-km, and the inner one less than 1-km.

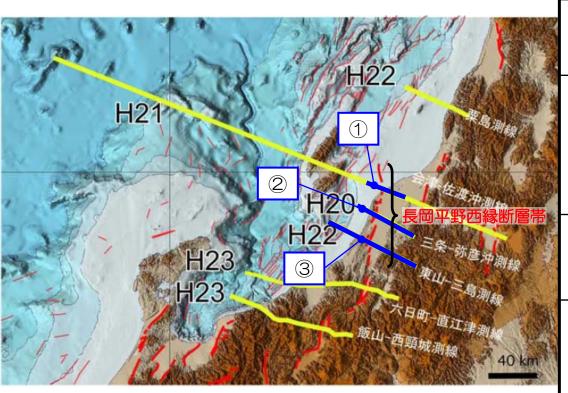
敷地周辺のコンラッド面深さ\*は15~16km程度

※コンラッド面の深さは、上部 地殻の下限深さに概ね対応

〔Zhao et al.(1994)に加筆〕

### ひずみ集中帯プロジェクト

- ■ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究プロジェクトでは、ひずみ集中帯の活構造、断層の深部形状、地震波速度の絶対値等を明らかにするために、平成20~24年度の5カ年計画で陸域及び海域の反射法・屈折法地震探査等を行っている。
- ■平成20~22年度には、長岡平野西縁断層帯を横断する測線が対象となっている。



防災科学技術研究所(2011)より抜粋・一部加筆

防災科学技術研究所(2009~2011) による, 屈折法地震探査結果に関する 記載

- ■越後平野西部区間では,越後平野下 にはほぼ平行構造を示す厚い堆積物 ① が分布
  - ■P波速度5.4km/s層の上面は地表下 8km
- ■調査地域は層厚6kmを超える厚い新 ② 第三系(P波速度5.4km/sより大き いもの)の堆積層が分布
  - ■先新第三系上面と推定しているP波速度5.3km/sの等速度線は西側に向かって、深度を増大させている。
  - ■P波速度5.3km/sの等速度線は西山丘 陵下で、8-9kmに分布



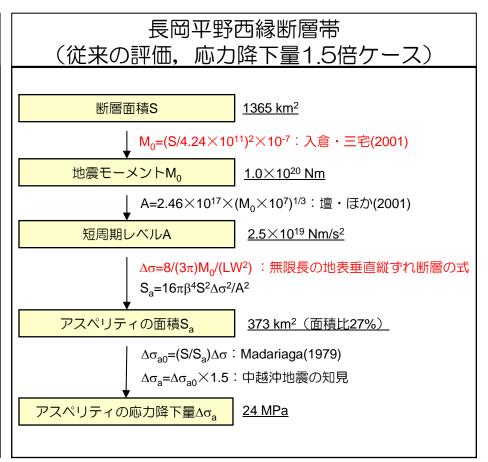
東京電力

## 【参考3】

長岡平野西縁断層帯に関連する断層パラメータ設定法について

### パラメータ設定法の比較

長岡平野西縁断層帯十十日町断層帯西部 (今回の評価,応力降下量1.5倍ケース) 断層面積S 1980 km<sup>2</sup> S=1.00 $\times$ 10<sup>-17</sup> $\times$ M<sub>0</sub>: Murotani et al.(2010) 地震モーメントMo 1.98×10<sup>20</sup> Nm  $A=2.46\times10^{17}\times(M_0\times10^7)^{1/3}$ : 壇・ほか(2001) 短周期レベルA  $3.1 \times 10^{19} \text{ Nm/s}^2$ Δσ=4.3MPa:長岡平野西縁断層帯と同様の値  $S_a = 16\pi \beta^4 S^2 \Delta \sigma^2 / A^2$ アスペリティの面積S。 510 km<sup>2</sup>(面積比26%)  $\Delta \sigma_{a0} = (S/S_a) \Delta \sigma$ : Madariaga (1979)  $\Delta \sigma_a = \Delta \sigma_{a0} \times 1.5$ : 中越沖地震の知見 アスペリティの応力降下量Δσ。 25 MPa

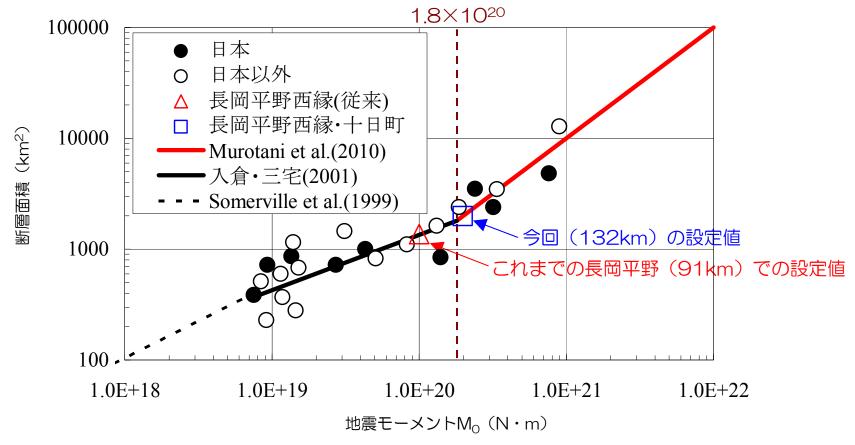


### S-Moの関係について

- ■S-Moについては、以下の関係式が提案されている。 長岡平野西縁断層帯〜十日町断層帯のMoは1.98×10<sup>20</sup>N·mであることから、Murotani et al.(2010)を用いる。
  - $S \propto M_0^{2/3}$  ( $M_0 \le 7.5 \times 10^{18} \text{N} \cdot \text{m}$ )  $\propto \text{L,W,D}$ S=2.23×10<sup>-15</sup>× $M_0^{2/3}$  (Somerville et al,1999)
  - S  $\propto$  M<sub>0</sub><sup>1/2</sup> (M<sub>0</sub>>7.5×10<sup>18</sup>N·m)  $\propto$ L,D (W fixed) S=4.24×10<sup>-11</sup>×M<sub>0</sub><sup>1/2</sup> (Irikura and Miyake,2001))
  - $S \propto M_0^{1/1}$  ( $M_0 \ge 1.8 \times 10^{20} \text{N} \cdot \text{m}$ )  $\propto L$  (D&W fixed) S=1.00×10<sup>-17</sup>× $M_0^{1/1}$  (Murotani et al,2010))

※第13回日本地震工学シンポジウム 『長大な活断層に発生する地震に対する強震動予測のためのレシピの高度化』(入倉孝次郎, 倉橋奨:愛知工業大学地域防災研究センター) より引用

■今回対象とする断層面の大きさから考えると、Murotani et al.(2010)の経験式で設定した値は、入倉・三宅(2001)で設定した地震モーメントと大きく乖離するものではない。また、既往の地震の傾向とも調和的。



■平均応力降下量4.3MPaについて

これまで評価で用いていた無限長の地表垂直縦ずれ断層の評価式(1)を 用いるとアスペリティの総面積が既往の調査・研究と比較して過大となる。

※断層面積とアスペリティ総面積の比が既往の調査・研究で概ね15~27%程度であるのに対し、50%程度となる。

$$\Delta \sigma = \frac{8}{3\pi} \cdot \mu \cdot \frac{U}{W} \qquad \cdot \cdot \cdot (1)$$

以下の点を踏まえ、平均応力降下量を4.3MPaと設定。

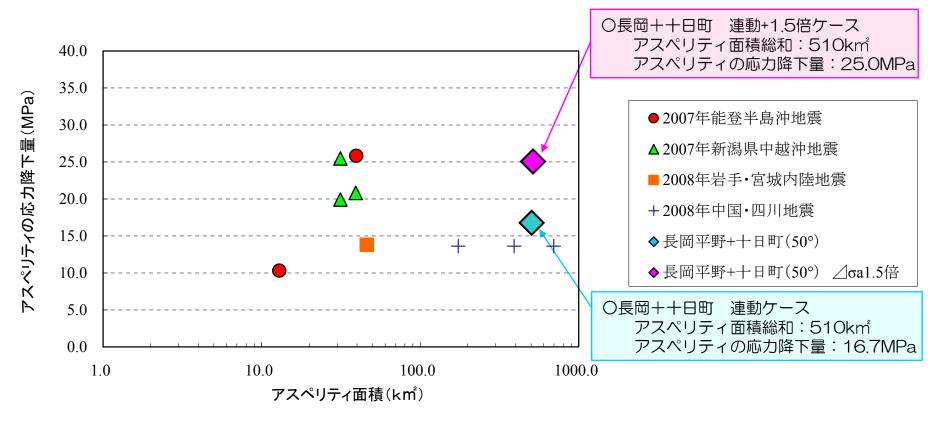
- ①これまでの、長岡平野西縁断層帯の評価では4.3MPaと設定。
- ②地震調査研究推進本部による, 山崎断層帯(断層長さ80km)の評価では, 断層全体の応力降下量はFujii and Matsu'ura(2002)により3.1MPaを設定。これに, 佐藤(1989)による無限長の縦ずれと横ずれの比((1)式/(2)式)を仮に考慮した値(4.1MPa)とほぼ同程度。

無限長の地表垂直横ずれ断層 
$$\Delta \sigma' = \frac{2}{\pi} \cdot \mu \cdot U_W$$
 ・・・(2)

上記式において、 $\Delta \sigma$ : 平均応力降下量、 $\mu$ : 剛性率, U: 食い違い量, W: 断層幅

さらに、アスペリティの応力降下量の不確かさ1.5倍を考慮した評価も実施。

■平均応力降下量を4.3MPaとした場合の,アスペリティの応力降下量と,既往 のモデルの値と比較した結果を以下に示す。



注)2007年能登半島地震: Kurahashi et al. (2008), 2007年新潟県中越沖地震: 芝(2008),

2008年岩手·宮城内陸地震: 釜江(2008), 2008年中国·四川地震: Kurahashi and Irikura (2010)

東京電力

## 【参考4】

佐渡島南方断層~F-D断層~高田沖断層による 地震の地震規模について

### 佐渡島南方断層~F-D断層~高田沖断層による 地震の地震規模について

### (基本的考え方)

- ○これまでのF-B断層の評価と同様,中越沖地震の物理量を保持するように,スケーリング則に則って佐渡島南方断層~F-D断層~高田沖断層(以下,「連動ケース」)のマグニチュードを評価する。
- ○具体的には、断層幅が飽和した場合の「地震モーメント(M₀)と断層面積(S)に関するスケーリング則」(①式)、及び「地震モーメントとMjの関係を与える武村(1998)式」(②式)に基づき連動ケース(断層長さ84Km)のマグニチュードを評価する。

$$M_0 \propto S^2$$
 ·······①式 logMo = 1.2 Mi + 10.7 ·······②式

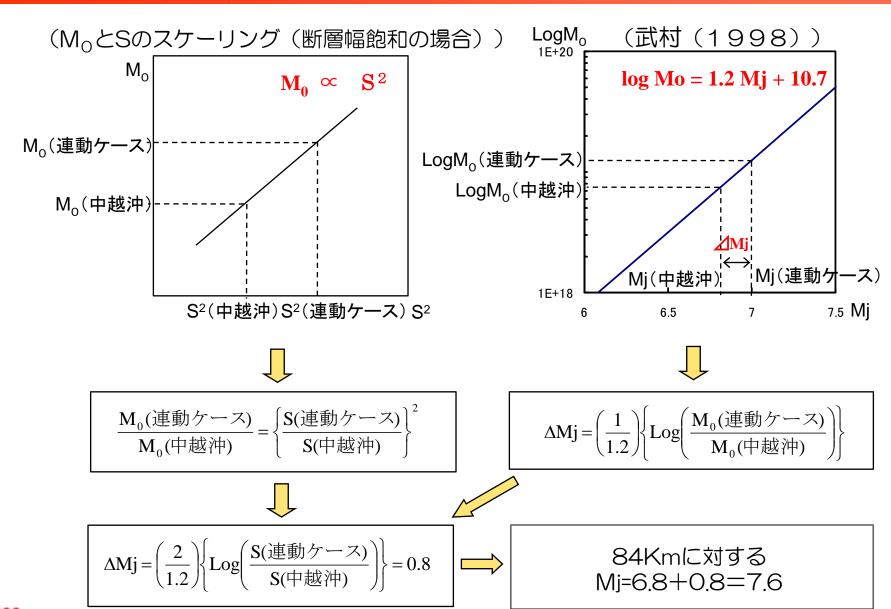
〇中越沖地震及び連動ケースの面積は以下とする。

中越沖地震の断層面積:27km×20km= 540km<sup>2</sup>

連動ケースの断層面積:84km×20km=1680km<sup>2</sup>



## 佐渡島南方断層~F-D断層~高田沖断層による 地震の地震規模について



## 佐渡島南方断層~F-D断層~高田沖断層による 地震の地震規模について

- ■「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、Mi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Mjと断層長さの 関係には相関性が認められ、中越沖地震の「断層長さ27km:マグニ チュードMj6.8」は、既往地震の傾向とよく整合している。

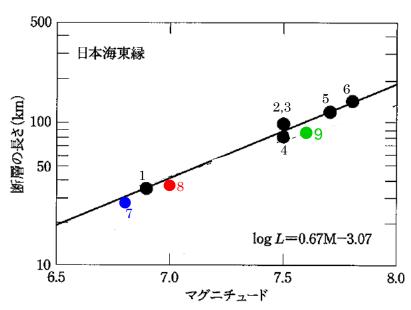


図 12.4 日本海東縁に発生した地震の規模 M と断層長 L (km) の関係

No.	地震	М	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)
Э	1940年積丹半島沖地震	7.5	100	Satake(1986)
4	1964年新潟地震	7.5	80	Abe(1975)
5	1983年日本海中部地震	7.7	120	Sato (1985)
6	1993年北海道南西沖地震	7.8	139	Tanioka et al. (1995)
7	2007年新潟県中越沖地震	6.8	27	各機関公表値
8	F-B断層による地震	7.0	36	設定値
9	佐渡島南方断層〜F-D断層 〜高田沖断層による地震	7.6	84	設定値

※「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

## 【参考5】 基準地震動Ssの概要について

### 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等 (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

■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。

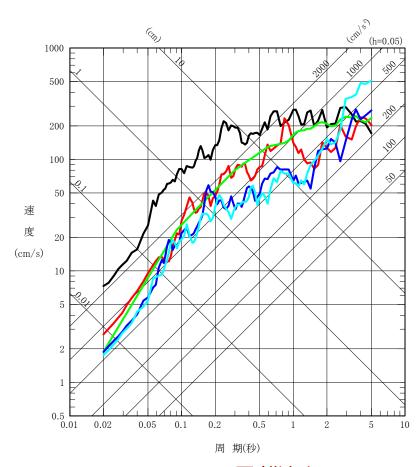
基準地震動	検記	討用地震	地震動評価手法
Ss-1	F—B断	層による地震	応答スペクトル法 〔Noda et al. (2002) 〕
Ss-2	(1	M7.0)	断層モデル 〔経験的グリーン関数法〕
Ss-3	長岡平野	下記の2つの ケースを包絡	応答スペクトル法 〔Noda et al. (2002) 〕
Ss-4	西縁断層帯 による地震	断層傾斜角50° 応力降下量1.5倍※	断層モデル
Ss-5	(M8.1)	断層傾斜角35° 応力降下量1.0倍%	〔経験的グリーン関数法〕

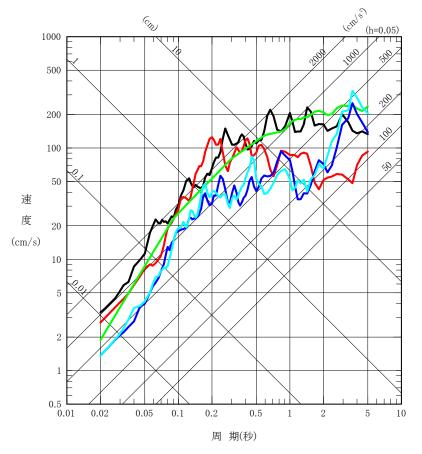
※地震調査研究推進本部(2008)による強震動レシピに基づく値に対する倍率

## NS方向

基準地震動Ss-1 基準地震動Ss-2 基準地震動Ss-3 基準地震動Ss-4

基準地震動Ss-5





1~4号機側

5~7号機側



## EW方向

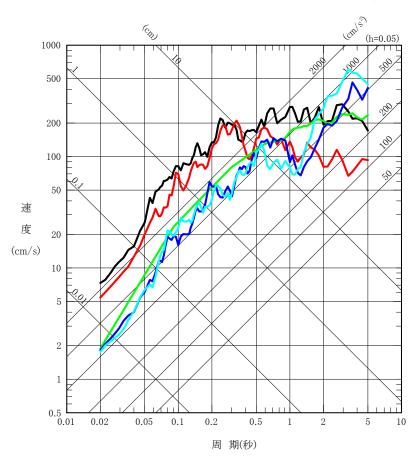
基準地震動Ss-1

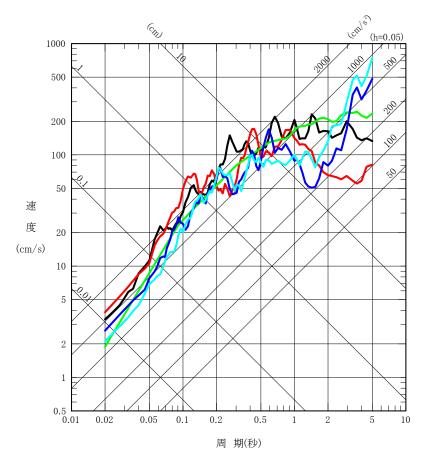
基準地震動Ss-2

基準地震動Ss-3

基準地震動Ss-4

基準地震動Ss-5





1~4号機側

5~7号機側

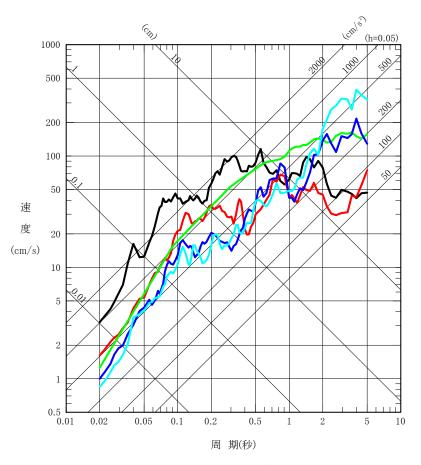
## UD方向

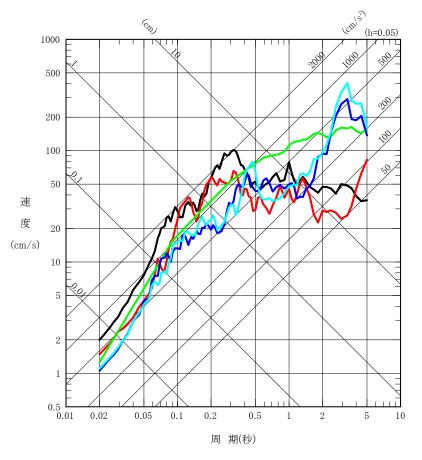
基準地震動Ss-1 基準地震動Ss-2

基準地震動Ss-3

基準地震動Ss-4

基準地震動Ss-5



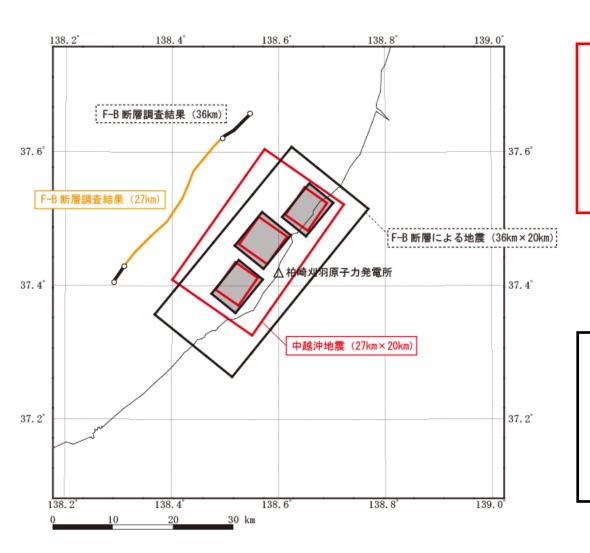


1~4号機側

5~7号機側



## 基準地震動Ssの裕度 断層長さの設定



### (中越沖地震)

- 1Mj = 6.8
- ②断層長さ=27km
- ③断層幅 =20km



安全評価上断層長さを 36kmと評価

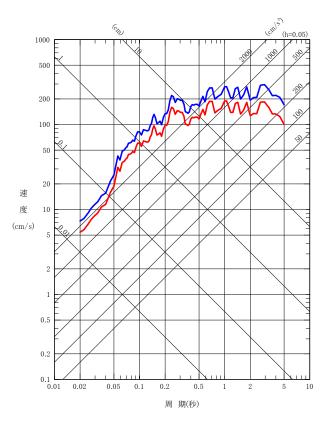
### (F-B断層)

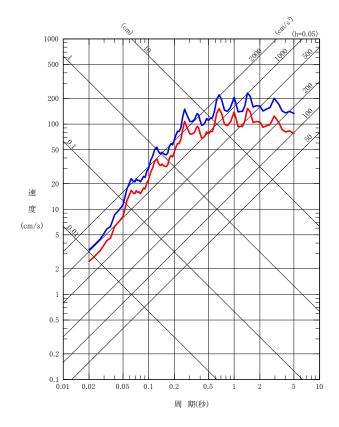
- 1Mj = 7.0
- ②断層長さ=36km
- ③断層幅 =20km

## 基準地震動Ssの裕度 地震規模と距離の補正

■安全評価上断層長さを36kmと設定することにより、本来の断層長さである 27kmに対して1.5倍程度の余裕を見ている。

---- 応答スペクトル法による評価 中越沖地震 (断層長さ27km) ---- 応答スペクトル法による評価 F-B断層による地震(断層長さ36km)基準地震動Ss-1H



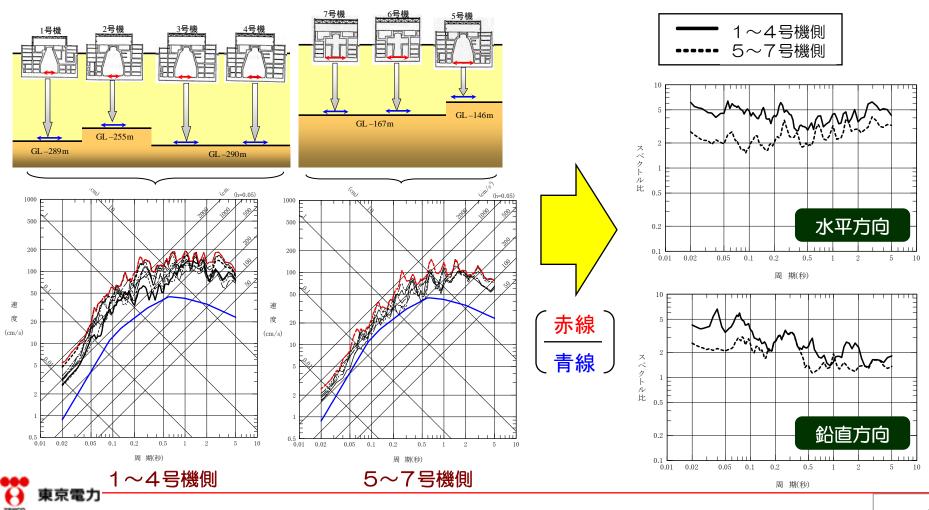


1~4号機側

5~7号機側

## 基準地震動Ssの裕度 観測記録による補正係数

- ■評価対象:中越沖地震及びF-B断層による地震
- ■観測記録による補正係数: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)



## 基準地震動Ssの裕度 中越沖地震との比較

- ■基準地震動Ssの応答スペクトルと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の応答スペクトルを比較。
- ■基準地震動Ssは、中越沖地震の記録に対し、裕度を持って設定。

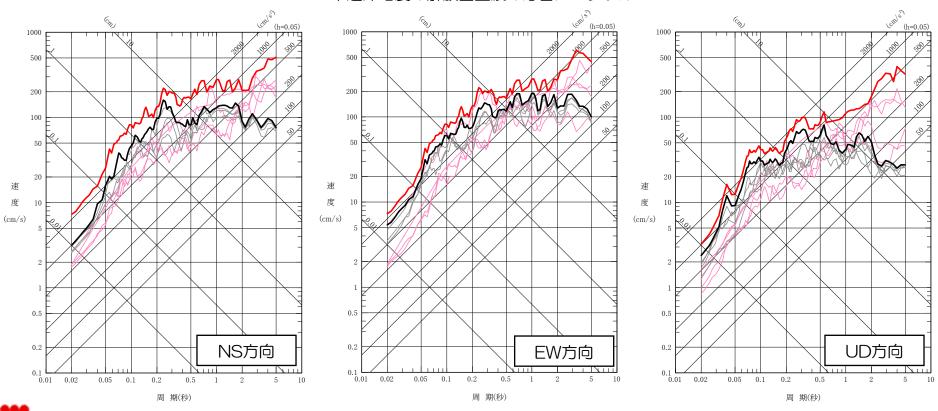
### 1~4号機側

- 基準地震動Ssの包絡スペクトル

- 基準地震動Ss1~5

中越沖地震の解放基盤波の応答スペクトルの包絡スペクトル

- 中越沖地震の解放基盤波の応答スペクトル



## 基準地震動Ssの裕度 中越沖地震との比較

## 5~7号機側

-- 基準地震動Ssの包絡スペクトル

基準地震動Ss1~5

── 中越沖地震の解放基盤波の応答スペクトルの包絡スペクトル

中越沖地震の解放基盤波の応答スペクトル

