

柏崎刈羽原子力発電所 6号及び7号炉

基準地震動の策定について

平成29年8月
東京電力ホールディングス株式会社

まとめ資料

目次

1. 概要	P. 2
2. 敷地周辺の地震発生状況	P. 6
3. 活断層の分布状況	P. 12
4. 地震の分類	P. 15
5. 敷地における地震波の増幅特性	P. 21
6. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動	P. 57
7. 震源を特定せず策定する地震動	P.136
8. 基準地震動の策定	P.144
9. 基準地震動の超過確率参照	P.159

※敷地における解放基盤表面以深の地震波の伝播特性は差異が認められるため、地震波の著しい増幅が認められる1号炉を含む領域を『荒浜側』とし、地震波の顕著な増幅が認められない5号炉を含む領域を『大湊側』とする。なお、荒浜側においては特に顕著な増幅が著しいことを確認の上で1号炉を、大湊側においては5号炉～7号炉で差異が認められないことを確認の上で5号炉を代表させて地震動評価を行うこととしている。

※安田層下部層のMIS10～MIS7とMIS6の境界付近の堆積物については、本資料では『古安田層』と仮称する。

※七谷層の下位に広く分布している、玄武岩質～安山岩質～流紋岩質の火山岩及び火山砕屑岩を主体とする地層については、天然ガス鉱業会ほか編（1992）による『グリーンタフ』の名称を使用する。

※平成28年4月以前に実施した地質調査に関する図においては、一部、旧社名（「東京電力（株）」）で表記。

概要

これまでの審査会合での検討・議論を踏まえ、2015年4月の第223回審査会合で示した基準地震動Ss-1～Ss-7からの変更点は以下のとおり。

- ① F-B断層による地震の断層モデルを用いた評価
→ 荒浜側の基準地震動Ss-2のNS方向及びUD方向について見直し。
- ② 震源を特定せず策定する地震動の評価
→ 大湊側については、基準地震動Ss-8として新たに追加。

基準地震動の最大加速度値 (cm/s²)

 … 変更・追加箇所

基準地震動	対象とする地震		評価手法	荒浜側			大湊側		
				NS方向	EW方向	UD方向	NS方向	EW方向	UD方向
Ss-1	F-B断層による地震		応答スペクトル	2300		1050	1050		650
Ss-2			断層モデル	847 →1240	1703 (変更なし)	510 →711	848	1209	466
Ss-3	敷地ごとに震源を特定して策定する地震動	長岡平野西縁断層帯による地震	応答スペクトル	600		400	600		400
Ss-4			断層モデル	589	574	314	428	826	332
Ss-5			断層モデル	553	554	266	426	664	346
Ss-6			断層モデル	510	583	313	434	864	361
Ss-7			断層モデル	570	557	319	389	780	349
Ss-8	震源を特定せず策定する地震動 (2004年北海道留萌支庁南部地震)		—	—	—	—	650		330

※Ss-4～Ss-7において、荒浜側と大湊側で、要素地震の影響により最大加速度値の違いはあるものの、全体的な地震動レベルは同程度であり、荒浜側が過小評価となっていないことを確認

6.2 検討用地震の選定

選定フロー，考慮すべき地震の選定及び海域と陸域の分類

選定フロー

■ 地震波の伝播特性を考慮して下図フローに従い，検討用地震を選定。

考慮すべき地震の選定

- 以下を対象に考慮すべき地震を選定
- ・ 敷地周辺の活断層分布
 - ・ 被害地震
 - ・ 地震本部による長期評価

海域と陸域で分類

地震の発生域（海域と陸域）によって地震波の伝播特性が異なるため海域と陸域で分類

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地震を選定

震源として考慮する活断層の分布

- 地質調査結果，長岡平野西縁断層帯に関する地震本部(2009)の検討状況を踏まえ，敷地周辺の震源として考慮する活断層を表に示す。
- なお，F-B断層について，中越沖地震の知見を踏まえた上で，断層傾斜角を 35° としたケースも考慮することとする。

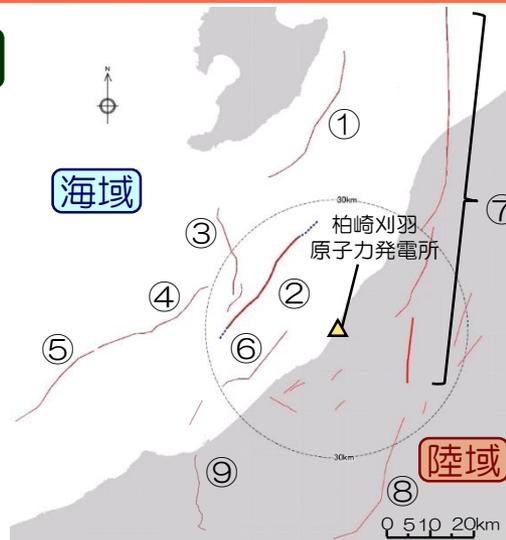


表. 敷地周辺の震源として考慮する活断層の諸元

	No.	活断層の名称	断層長さ(km)	地震規模*1	傾斜角(°)*2	断層幅(km)*3	Xeq(km)*4		備考
							荒浜	大湊	
海域	①	佐渡島棚東縁断層	37	6.8	西55	15	55	53	
	②	F-B断層	36	6.8 (7.0)	東45 (東35)	16 (20)	17 (13)	16 (13)	中越沖地震の余震分布（地震本部(2007,2008)）を参考に 35° のケースを考慮
	③	佐渡島南方断層	29	6.8	東45	16	26	25	
	④	F-D断層	30	6.8	東45	16	38	39	
	⑤	高田冲断層	25	6.8	東30	22	59	60	
	⑥	米山冲断層	21	6.8	西50	15	25	26	
陸域	⑦	長岡平野西縁断層帯	91	7.5	西50	15	25	25	
	⑧	十日町断層帯西部	33	6.8	西60	13	32	33	
	⑨	高田平野西縁断層帯	30	6.8	西45	16	51	52	

※1：地震規模は，中越沖地震の知見を踏まえて設定。

※2：地質調査結果及び地震本部(2009)による長期評価を参考に設定。

※3：断層幅は，地震発生層厚さ11km及び断層傾斜角に基づき，地震発生層を飽和するように設定。

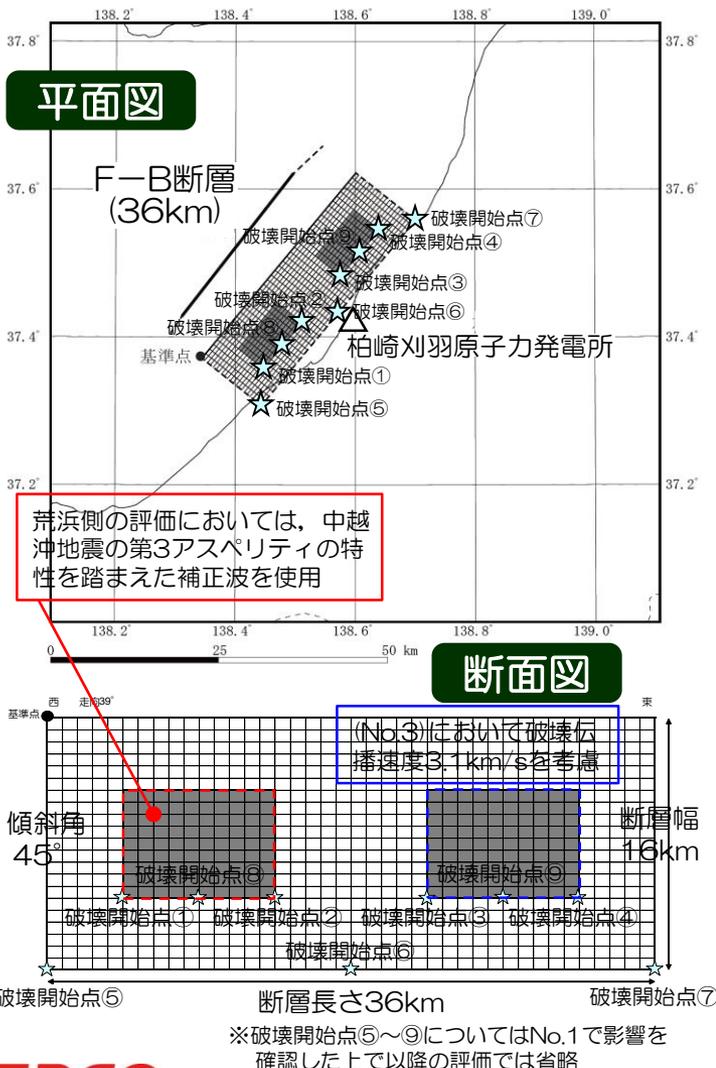
※4：等価震源距離(Xeq)は，地震本部(2017)による強震動予測レシビ（以下「強震動予測レシビ」という。）に従い，断層の中心を基準として均等配置した断層面を用いて算定。

※：敷地周辺に認められる孤立した短い活断層（P.13の⑩～⑬）は，長岡平野西縁断層帯を構成する片貝断層と比較して等価震源距離(Xeq)が遠いことを確認。

6.3 F-B断層による地震の地震動評価

6.3.1 震源モデルの設定 a. 強震動予測レシピモデル

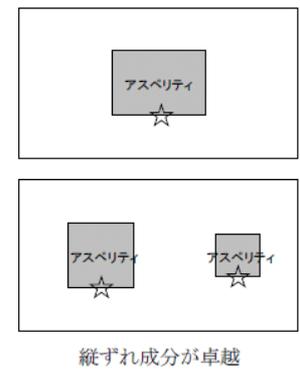
強震動予測レシピモデル(No.1),
破壊伝播速度(No.3), 応力降下量
(No.4)の不確かさ考慮



項目		設定値
基準点	東経(°)	138.34
	北緯(°)	37.37
断層上端深さ(km)		6
断層長さ(km)		36.0
断層幅(km)		16.0
断層面積(km ²)		576
走向(°)		39
傾斜角(°)		45
S波速度(Vs)(km/s)		3.4
破壊伝播速度(km/s)	レシピ	2.4
	不確かさ	3.1
地震E-λ(N・m)		1.9×10 ¹⁹
アスペリティ1	面積(km ²)	60
	地震E-λ(N・m)	3.9×10 ¹⁸
	平均すべり量(cm)	205
	応力降下量(MPa)	レシピ 15.6 1.5倍 23.4
アスペリティ2	面積(km ²)	60
	地震E-λ(N・m)	3.9×10 ¹⁸
	平均すべり量(cm)	205
	応力降下量(MPa)	レシピ 15.6 1.5倍 23.4
背景領域	面積(km ²)	456
	地震E-λ(N・m)	1.1×10 ¹⁹
	平均すべり量(cm)	76
	実効応力(MPa)	レシピ 2.8 1.5倍 4.2

■ 破壊開始点は、強震動予測レシピにおける記載等を踏まえ複数設定し、No.1において影響を確認した上で、以降の評価ではアスペリティ下端の両端で代表させる。

破壊開始点については、平均的な地震動を推定することを目的とする場合で、活断層の形状等から破壊開始点を特定できない場合には、やや簡便化したパラメータ設定として、縦ずれ成分が卓越する場合には、アスペリティ中央下端を基本ケースとする。



破壊開始点(☆)とアスペリティ位置の一例
地震本部(2017)より抜粋

■ 破壊伝播速度の不確かさについては、中越沖地震の震源インバージョン結果を参考に、ここでは北部のアスペリティに3.1km/sを仮定。

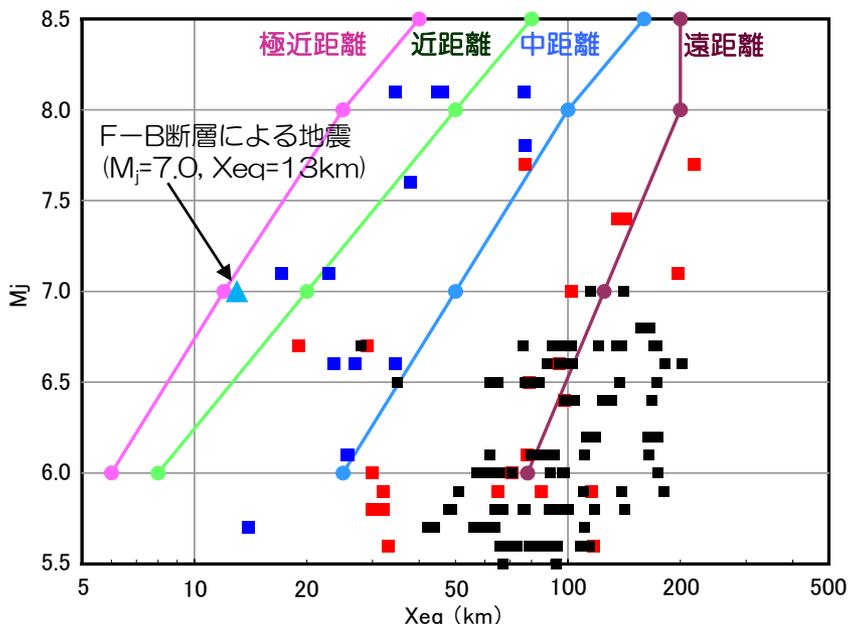
- : 地質調査結果等に基づく
- : 強震動予測レシピに基づく
- : 中越沖地震の知見を反映し、一部のアスペリティに3.1km/sを考慮 (No.3で考慮)
- : 中越沖地震の知見を反映し、設定した応力降下量の1.5倍を考慮 (No.4で考慮)

6.3 F-B断層による地震の地震動評価

6.3.2 応答スペクトルに基づく地震動評価

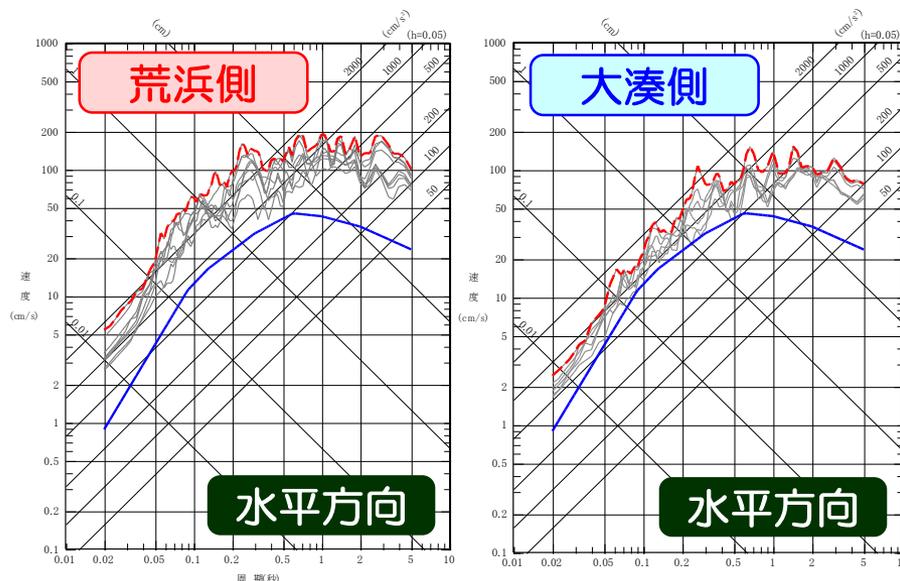
- 評価手法は、Noda et al.(2002)による手法を採用。
- 地震規模は、中越沖地震の知見を踏まえて設定。
- 中越沖地震の地震動特性を反映するために用いる観測記録に基づく補正係数は、中越沖地震における荒浜側（1号炉～4号炉側）と大湊側（5号炉～7号炉側）の原子炉建屋基礎版上の観測記録から推定した解放基盤波（灰色線）をそれぞれ保守的に包絡した応答スペクトル（赤線）とNoda et al.(2002)による応答スペクトル（青線）の比として設定。

- : 回帰式の作成に用いた観測記録
- : 適用性検討に用いた他地点観測記録（国内の地震）
- : 適用性検討に用いた他地点観測記録（海外の地震）



原子力安全委員会(2009)「応答スペクトルに基づく地震動評価」に関する専門家との意見交換会、資料第1-1号より抜粋（一部加筆・修正）

評価手法と観測記録に基づく補正係数

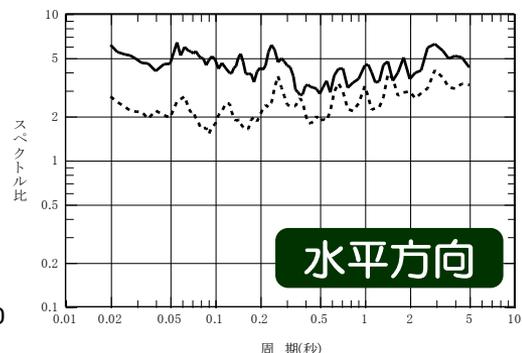


水平方向

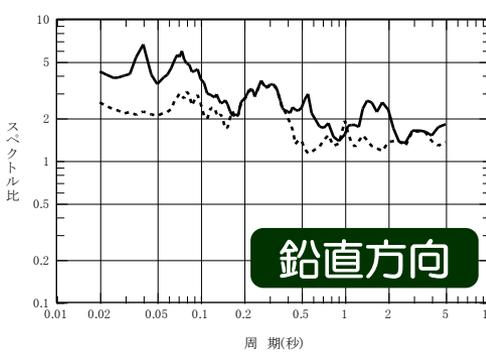
水平方向

赤線
青線

— 荒浜側（1号炉～4号炉側）
 大湊側（5号炉～7号炉側）



水平方向



鉛直方向

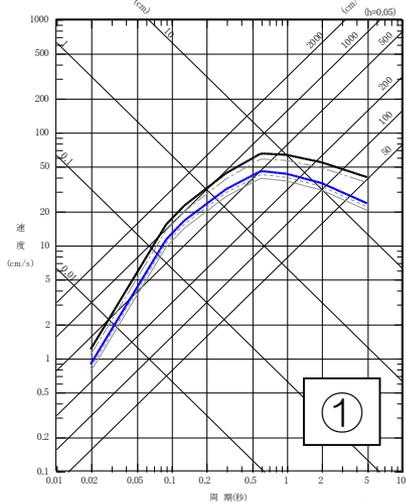
観測記録に基づく補正係数

6.3 F-B断層による地震の地震動評価

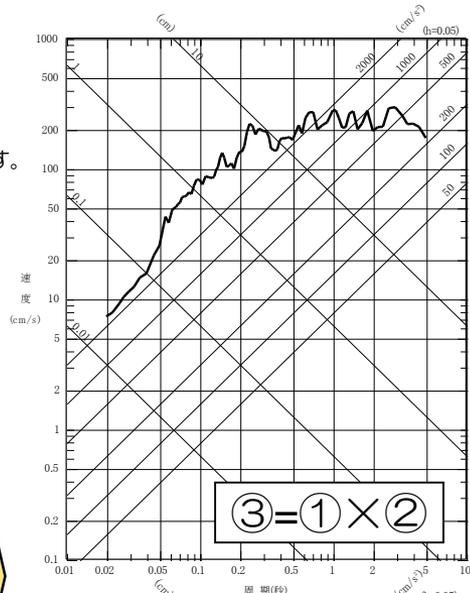
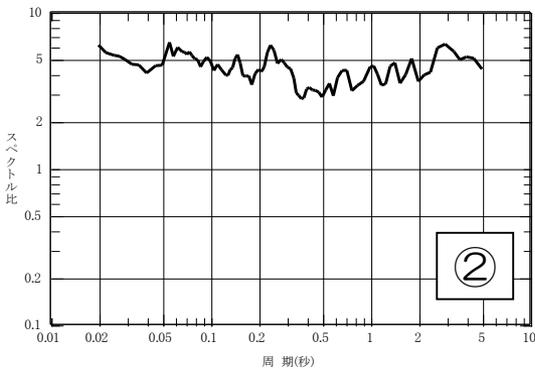
6.3.2 応答スペクトルに基づく地震動評価 補正係数を用いた評価

- 中越沖地震(M6.8, Xeq=14km, 14km)
- F-B断層による地震 中越沖地震拡張モデル(M7.0, Xeq=13km, 13km)
- F-B断層による地震 強震動予測モデル 基本ケース(M6.8, Xeq=17km, 16km)
- - - F-B断層による地震 強震動予測モデル アスリ位置の不確かさ(M6.8, Xeq=15km, 15km)
- - - F-B断層による地震 強震動予測モデル 傾斜角の不確かさ(35°) (M7.0, Xeq=15km, 15km)

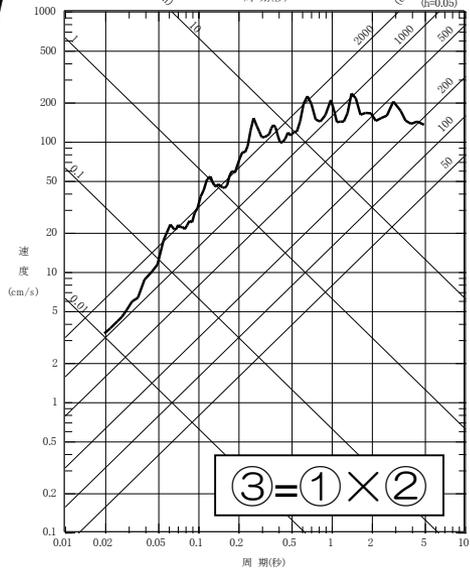
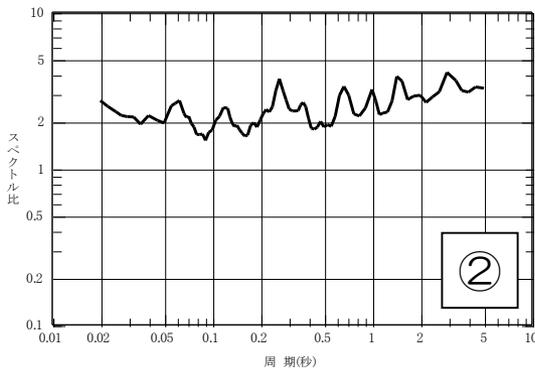
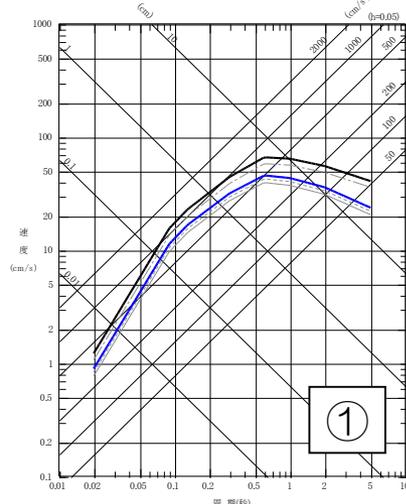
荒浜側



※凡例の等価震源距離(Xeq)は赤字が荒浜側、青字が大湊側を示す。



大湊側



観測記録に基づく補正係数

注) 水平動の結果。鉛直動も同様の方法で算定。

※F-B断層による地震については、中越沖地震の知見を踏まえた上で、36kmに拡張したモデル(中越沖地震拡張モデル)で代表させる。

応答スペクトル法に基づく評価
F-B断層による地震 (M7.0, Xeq=13km)

Noda et al.(2002)による評価

6.4 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

6.4.1 震源モデルの設定 基本震源モデル

■ 地質調査結果によると、角田・弥彦断層、気比ノ宮断層及び片貝断層は、重力異常との対応性、主活動時期、活動開始時期、平均変位速度等がそれぞれ異なることから、長岡平野西縁断層帯は、基本的にはそれぞれが単独で活動する分割放出型の断層帯と判断される。



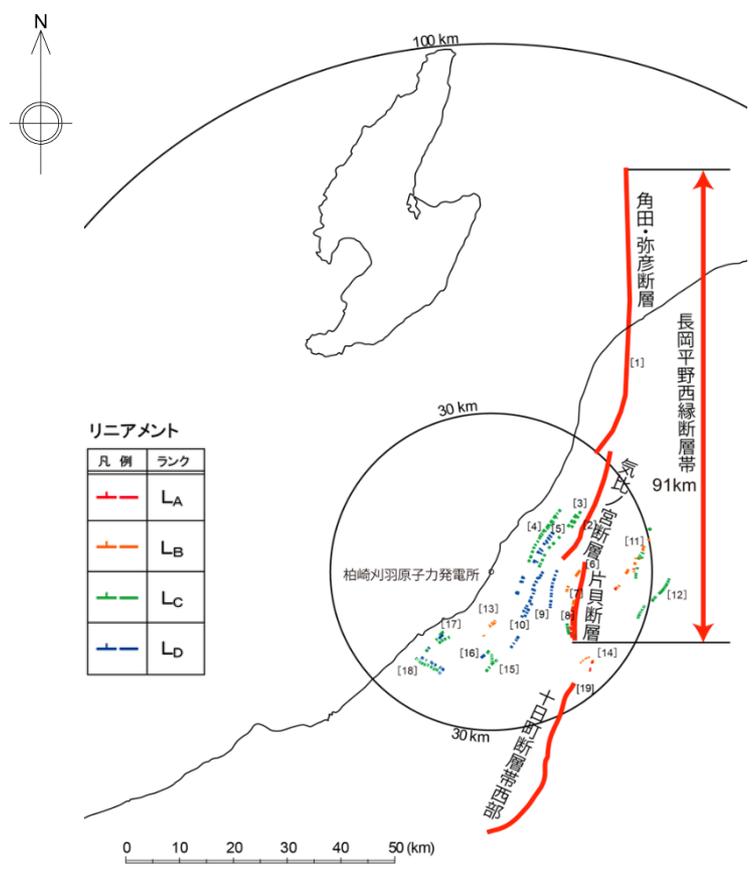
■ 一方、地震本部(2004)によると、長岡平野西縁断層帯は、北から、新潟市沖合と日本海沿岸付近の断層及び角田山東縁断層（角田・弥彦断層）、鳥越断層（気比ノ宮断層）、逆谷断層、関原断層（上富岡断層）、親沢断層及び片貝断層から構成され、その長さは約83kmとされている。

図2 長岡平野西縁断層帯の位置と主な調査地点

1：鳥越地点 2：宮本町地点
 A-J：反射法弾性波探査測線
 A-C：文献5 D, E：文献6 F-J：文献7
 ●：断層帯の北端と南端
 断層の位置は文献1, 3及び4に基づく。
 ただし、文献6, 7により断層の延長が確かめられるa, b, cの部分。反射法弾性波探査で明らかになった断層の位置を緑ぶようして追加した。
 基図は国土地理院発行数値地図200000「相川」「長岡」「高田」を使用。

地震本部(2004)より抜粋

■ 地震動評価においては、保守的に3断層の同時活動を考慮し、長さ約91kmの長岡平野西縁断層帯を基本震源モデルと考え、評価を行う。



6.4 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

6.4.1 震源モデルの設定 断層パラメータの設定手法 長岡平野西縁断層帯

- 断層傾斜角 50° を仮定し、それぞれの方法で設定したパラメータを下表に示す。
- アスペリティの応力降下量（他の方法と比較し、やや大きめあるいは同程度であること）及びアスペリティ面積比（15%～27%程度）から方法1を採用。

パラメータ	単位	採用			
		方法1	方法2	方法3	方法5
断層長さ L	km	91	91	91	91
断層幅 W	km	15	15	15	15
断層面積 S	km ²	1365	1365	1365	1365
地震モーメント M ₀	N・m	1.04×10 ²⁰	1.04×10 ²⁰	1.04×10 ²⁰	1.09×10 ²⁰
短周期レベル A	N・m/s ²	2.49×10 ¹⁹	2.49×10 ¹⁹	2.00×10 ¹⁹	2.03×10 ¹⁹
断層全体の応力降下量 Δσ	MPa	4.3	5.0	3.1	2.4
アスペリティの面積 S _a	km ²	373	506	300	175
アスペリティの応力降下量 Δσ _a	MPa	15.7	13.5	14.1	18.7
アスペリティ面積比 S _a /S		0.27	0.37	0.22	0.13

方法3の, Fujii and Matsu'ura(2000)による値は、横ずれ断層を対象にいくつかの条件下で導出された $\Delta\sigma=3.1\text{MPa}$ を用いた結果であり、縦ずれ断層である長岡平野西縁断層帯には適さないものと考えられる。念のために、右の関係式から M_0 を求めると $1.69\times 10^{20}(\text{N}\cdot\text{m})$ となる。しかしながら、Fujii and Matsu'ura(2000)で使用されているデータは、長岡平野西縁断層帯と同様の縦ずれの内陸地殻内地震のデータは含まれておらず、適用することは妥当ではないものと考えられる。

※方法3と方法5の短周期レベルはアスペリティの値

$$M_0 = \{WL^2/(aL+b)\} \cdot \Delta\sigma$$

W: 断層幅 (km)

L: 断層長さ (km)

a, b: 構造依存のパラメータ (数値計算により与えられる)

内陸の長大な横ずれ断層に対する関係式としては、 $W=15\text{km}$ 、 $a=1.4\times 10^{-2}$ 、 $b=1.0$ を仮定した上で、収集した観測データに基づく回帰計算により、 $\Delta\sigma=3.1(\text{MPa})$ を導出している。

地震本部(2017)より抜粋 (一部加筆・修正)

6.4 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

6.4.1 震源モデルの設定 断層パラメータの設定手法 連動考慮

- 断層傾斜角50°を仮定し、それぞれの方法で設定したパラメータを下表に示す。
- アスペリティの応力降下量（他の方法と比較し、やや大きめあるいは同程度であること）及びアスペリティ面積比（15%～27%程度）から方法1'を採用。

パラメータ	単位	方法1	方法1'	方法2	方法3	方法5
断層長さ L	km	132	132	132	132	132
断層幅 W	km	15	15	15	15	15
断層面積 S	km ²	1980	1980	1980	1980	1980
地震モーメント M ₀	N・m	1.98×10 ²⁰	1.98×10 ²⁰	1.98×10 ²⁰	1.98×10 ²⁰	1.58×10 ²⁰
短周期レベル A	N・m/s ²	3.09×10 ¹⁹	3.09×10 ¹⁹	3.09×10 ¹⁹	2.41×10 ¹⁹	2.44×10 ¹⁹
断層全体の応力降下量 Δσ	MPa	5.7	4.3	5.5	3.1	2.4
アスペリティの面積 S _a	km ²	884	510	827	436	254
アスペリティの応力降下量 Δσ _a	MPa	12.7	16.7	13.1	14.1	18.7
アスペリティ面積比 S _a /S		0.45	0.26	0.42	0.22	0.13

採用

方法3の, Fujii and Matsu'ura(2000)による値は, 横ずれ断層を対象にいくつかの条件下で導出された $\Delta\sigma=3.1\text{MPa}$ を用いた結果であり, 縦ずれ断層である長岡平野西縁断層帯～十日町断層帯西部には適さないものであると考えられる。

念のために, 右の関係式から M_0 を求めると $2.84\times 10^{20}(\text{N}\cdot\text{m})$ となる。しかしながら, Fujii and Matsu'ura(2000)で使用されているデータは, 長岡平野西縁断層帯～十日町断層帯西部と同様の縦ずれの内陸地殻内地震のデータは含まれておらず, 適用することは妥当ではないものと考えられる。

※方法3と方法5の短周期レベルはアスペリティの値

$$M_0 = \{WL^2/(aL + b)\} \cdot \Delta\sigma$$

W: 断層幅 (km)

L: 断層長さ (km)

a, b: 構造依存のパラメータ (数値計算により与えられる)

内陸の長大な横ずれ断層に対する関係式としては, $W=15\text{km}$, $a=1.4\times 10^{-2}$, $b=1.0$ を仮定した上で, 収集した観測データに基づく帰帰計算により, $\Delta\sigma=3.1(\text{MPa})$ を導出している。

地震本部(2017)より抜粋 (一部加筆・修正)

6.4 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

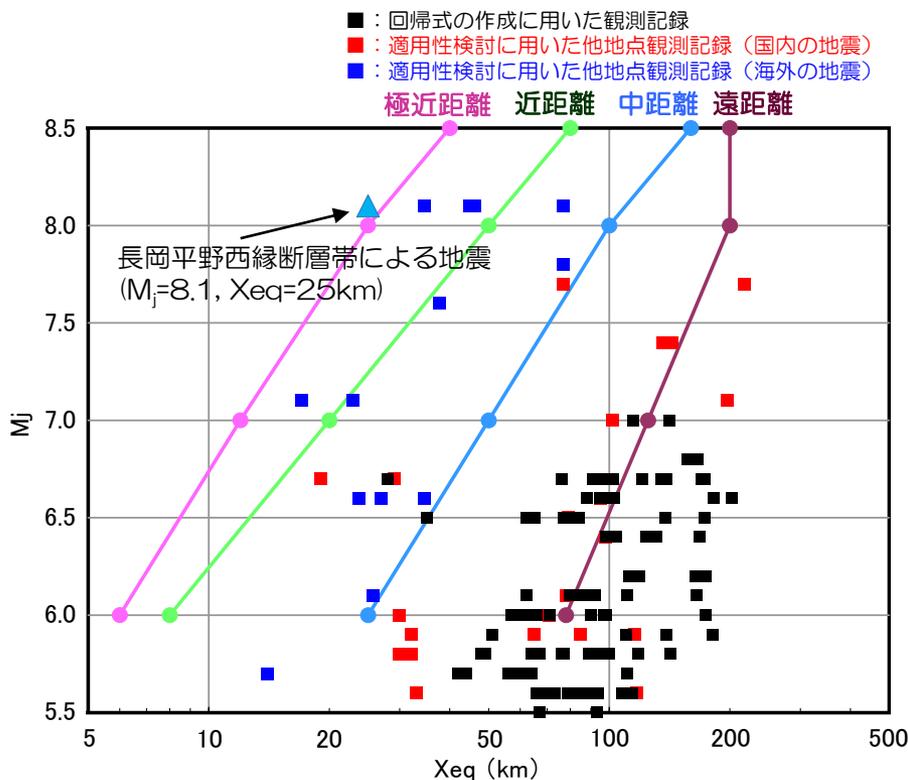
6.4.2 応答スペクトルに基づく地震動評価

- 評価手法は、Noda et al.(2002)による手法を採用。
- いまだ発生していない長岡平野西縁断層帯による地震の地震規模については、保守的な評価となるように松田式から算定。

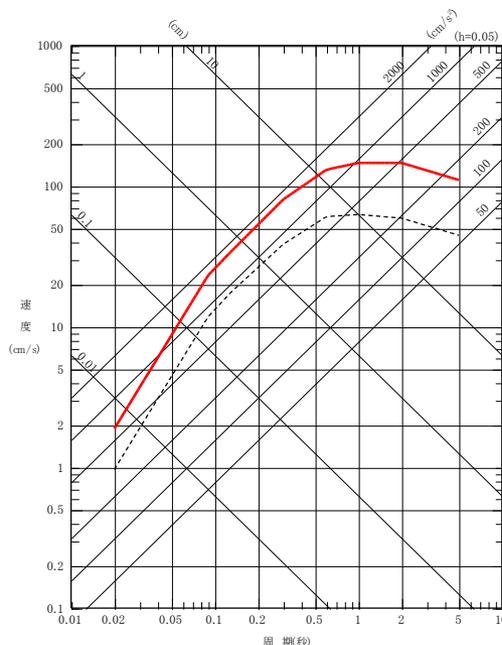
評価手法と地震規模

長岡平野西縁断層帯 断層長さ L : 91km
 断層幅 W : 15km
 断層面積 S : 1,365km²

手法	内容	適用した際の規模M
大竹ほか(2002)	$\log L = 0.67M - 3.07$	7.5
中越沖地震を踏まえた地震規模	$M = 6.8 + (2/1.2)(\log(S/540))$	7.5
松田(1975)	$\log L = 0.6M - 2.9$	8.1



原子力安全委員会(2009)「応答スペクトルに基づく地震動評価」に関する専門家との意見交換会、資料第1-1号より抜粋(一部加筆・修正)



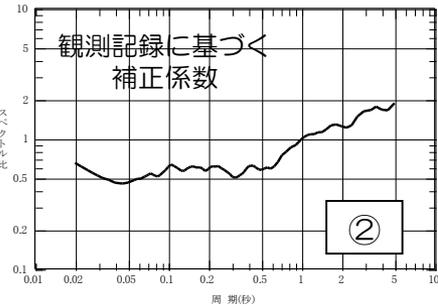
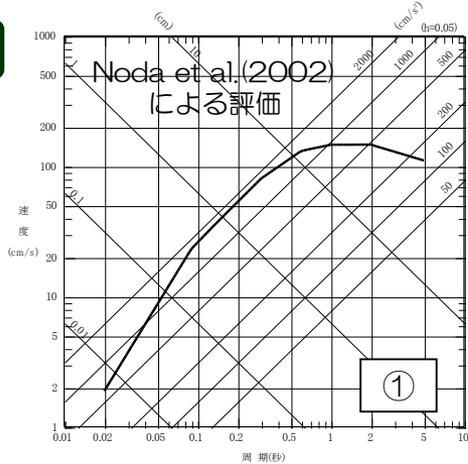
■ 松田式から算定される地震規模を採用することで、十分な保守性を確保。

規模設定の影響確認
 (観測記録に基づく補正係数を考慮せずに算定)

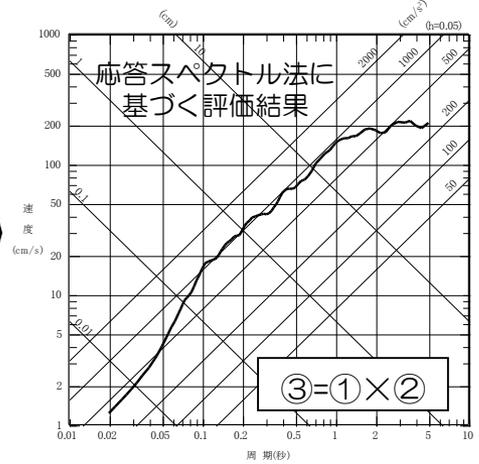
6.4 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

6.4.2 応答スペクトルに基づく地震動評価 地震動評価結果

算定フロー



※基本震源モデルの例。
その他のモデルも同様に算定。

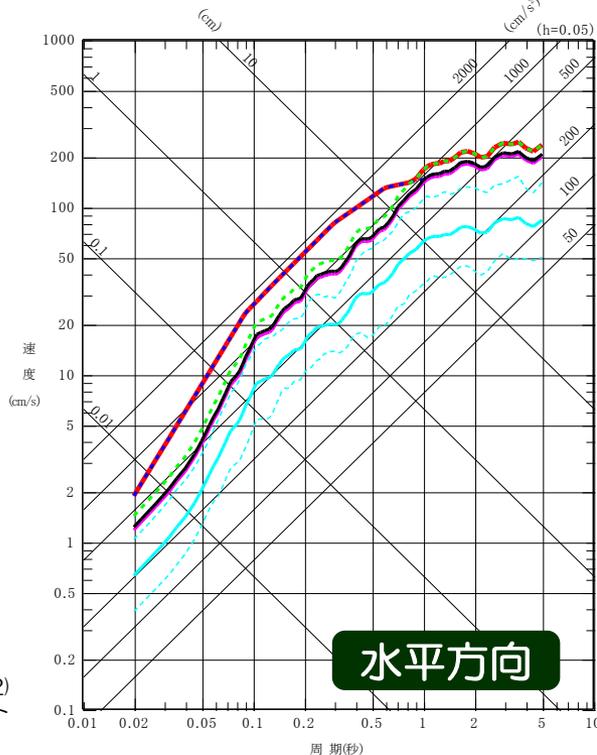


地震動評価結果

- No.1: 長岡平野西縁断層帯
- No.3: アスペリティ位置の不確かさ考慮
- - - No.5: 応力降下量の不確かさ考慮
- - - No.6: 断層傾斜角の不確かさ考慮
- 基準地震動Ss-3H
- 中越沖地震を踏まえた地震規模及び観測記録に基づく補正係数(平均)を考慮したケース
- - - 中越沖地震を踏まえた地震規模及び観測記録に基づく補正係数(平均±1σ)を考慮したケース

※凡例のNo.は検討ケースの一覧表による。
なお、破壊開始点(No.2)、破壊伝播速度(No.4)の不確かさについては、応答スペクトルに基づく手法で評価することができないため断層モデルによる評価で影響を把握する。また、連動を考慮したケース(No.7~No.9)は、著しく長大な断層のため、松田(1975)による式の適用範囲外であることから、断層モデルを用いた手法により地震動評価を行う。

鉛直方向は、補正係数の傾角を確認のうえ、Noda et al.(2002)による鉛直方向と水平方向の比を参考に水平方向の応答スペクトルの2/3倍としている。



- 観測記録に基づく補正係数のばらつきに対しては、地震規模の設定、さらには短周期レベルを嵩上げすることにより保守性を確保している。
- 短周期側では、応力降下量の不確かさ、長周期側では、断層傾斜角の不確かさの影響が大きい。

⇒ No.5及びNo.6を包絡して設定した応答スペクトルを基準地震動Ss-3として策定

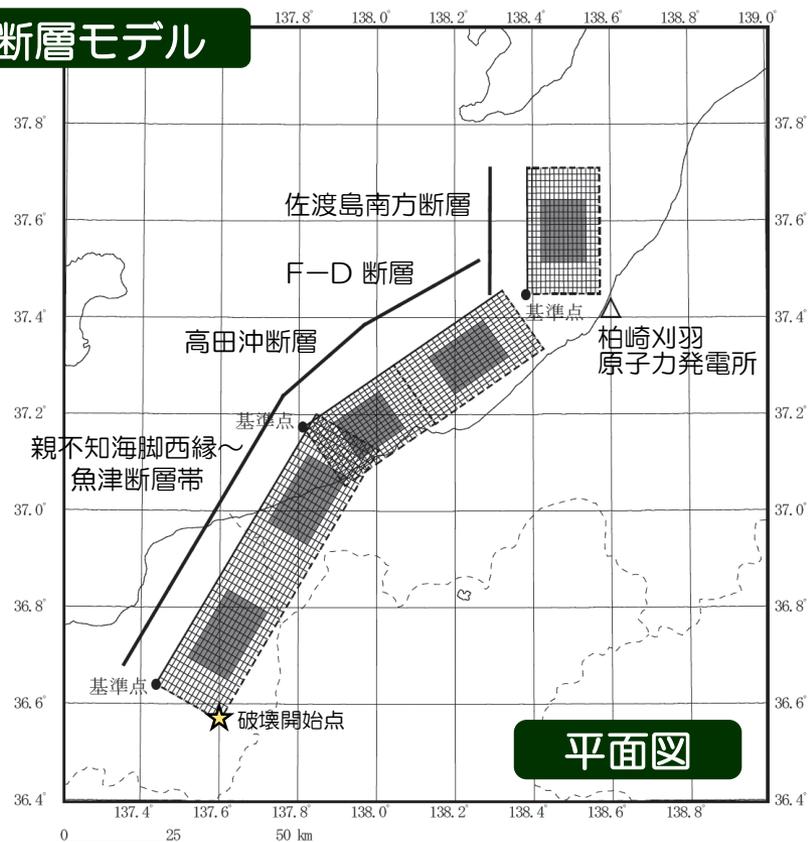
6.5 佐渡島南方断層～魚津断層帯による地震の地震動評価

6.5.1 震源モデルの設定

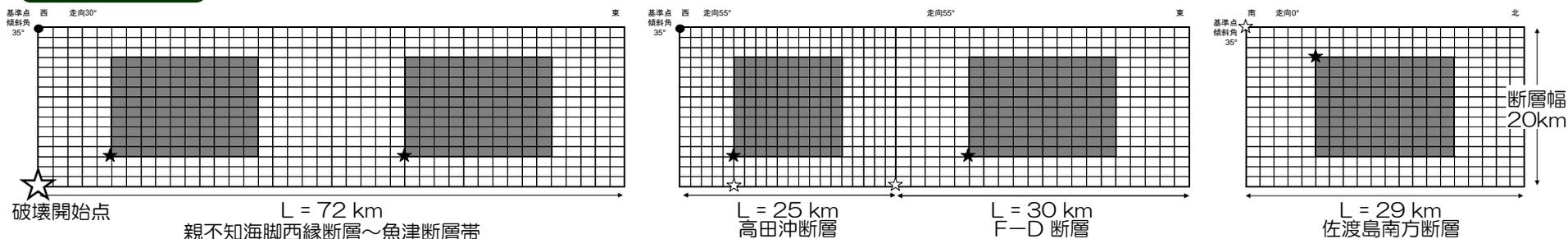
震源モデルの設定方針

- 褶曲の連続性、離隔等から佐渡島南方断層～魚津断層帯（断層長さ156km）が連動する可能性は低いと考えられるものの、保守的に最大規模の連動を考慮する観点で地震動評価を行い、敷地に与える影響を確認する。
- なお、地震動評価は、著しく長大な断層のため、松田(1975)による式の適用範囲外であることから、断層モデルを用いた手法により地震動評価を行う。
- 長大な断層であることから、パラメータについては長岡平野西縁断層帯～十日町断層帯西部と同様の手法により設定。
- 地震発生層は、速度構造や精密余震分布等に基づき、上端深さを6km、下端深さを17kmと設定。
- 断層傾斜角は、中越沖地震の余震分布を参考に一律 35° と設定。
- 破壊開始点については、破壊が敷地に向かうよう巨視面南端に設定。

断層モデル



断面図



8. 基準地震動の策定

基準地震動の策定結果（最大加速度値）

- 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動として「F-B断層による地震」, 「長岡平野西縁断層帯による地震」の応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた手法による地震動評価の結果を踏まえて基準地震動Ss-1~Ss-7を策定。
- 震源を特定せず策定する地震動として, 2004年北海道留萌支庁南部地震を考慮した地震動を踏まえて, 大湊側において基準地震動Ss-8を策定。
- なお, 長岡平野西縁断層帯による地震のSs-4~Ss-7において, 荒浜側と大湊側で, 要素地震の影響により最大加速度値の違いはあるものの, 全体的な地震動レベルは同程度であり, 荒浜側が過小評価となっていないことを確認。

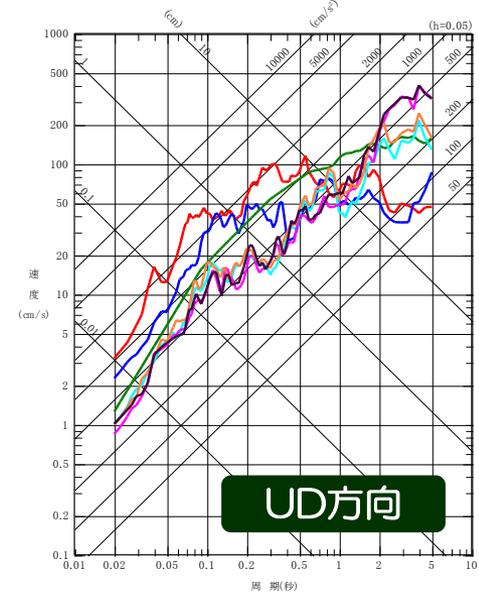
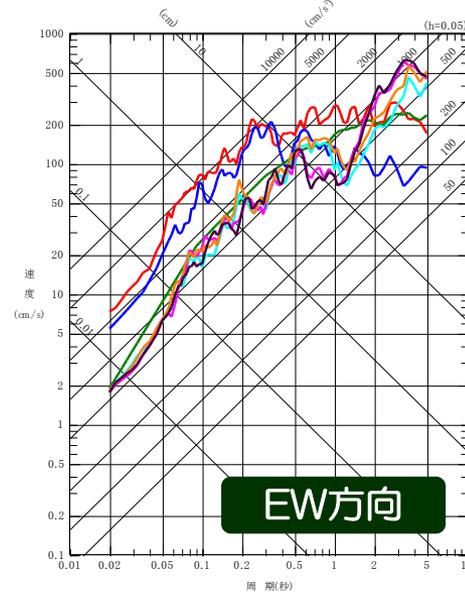
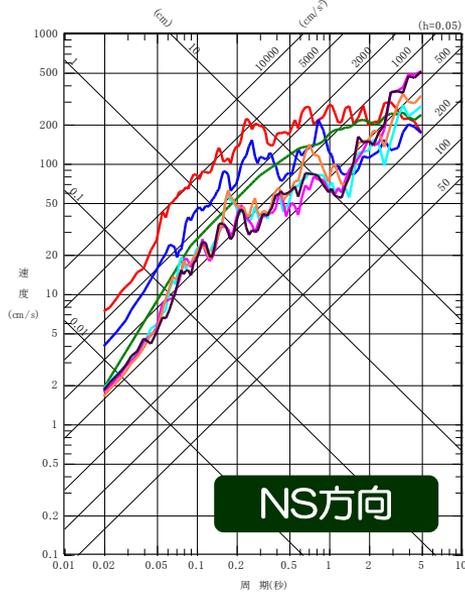
基準地震動	策定内容		最大加速度値 (cm/s ²)								
			荒浜側			大湊側					
			NS方向	EW方向	UD方向	NS方向	EW方向	UD方向			
Ss-1	F-B断層による地震	応答スペクトルに基づく地震動評価		2300		1050	1050		650		
Ss-2		断層モデルを用いた手法による地震動評価		1240	1703	711	848	1209	466		
Ss-3	敷地ごとに震源を特定して策定する地震動	長岡平野西縁断層帯による地震	応答スペクトルに基づく地震動評価	応力降下量1.5倍及び断層傾斜角35° ケースを包絡		600		400	600		400
Ss-4			断層モデルを用いた手法による地震動評価	応力降下量1.5倍		589	574	314	428	826	332
Ss-5				断層傾斜角35°		553	554	266	426	664	346
Ss-6				連動+応力降下量1.5倍		510	583	313	434	864	361
Ss-7				連動+断層傾斜角35°		570	557	319	389	780	349
Ss-8	震源を特定せず策定する地震動	2004年北海道留萌支庁南部地震を考慮した地震動		-	-	-	650		330		

8. 基準地震動の策定

基準地震動の策定結果（擬似速度応答スペクトル）

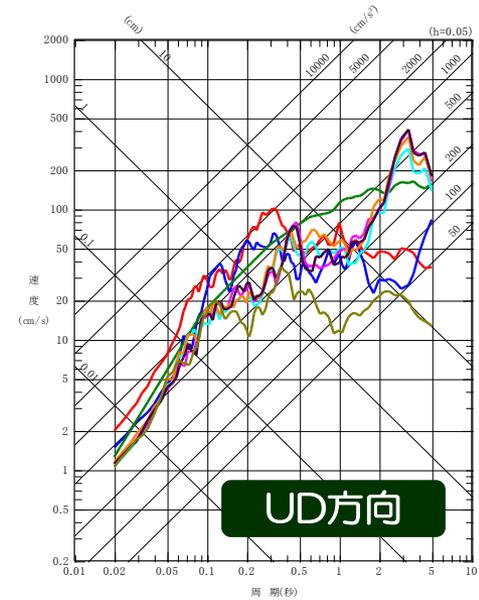
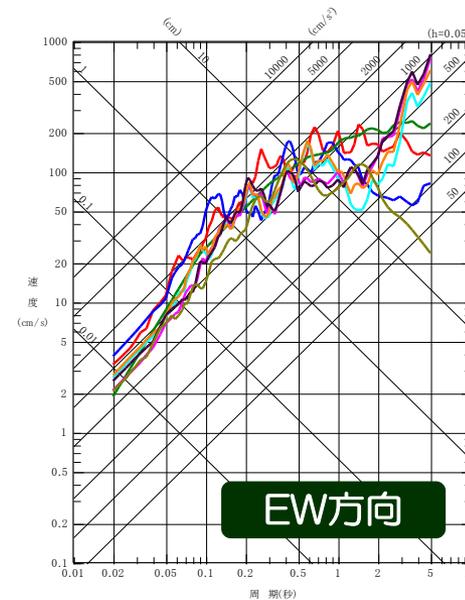
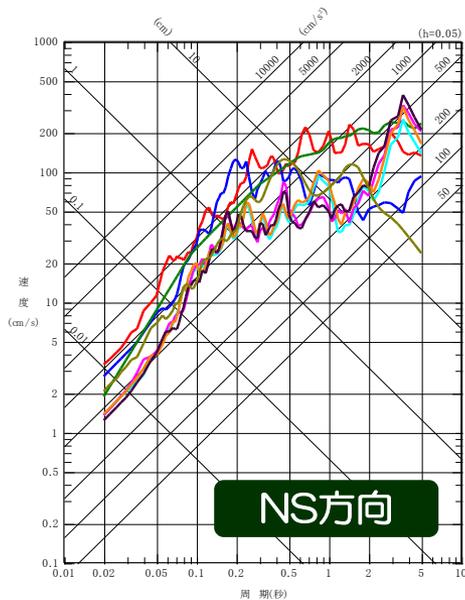
荒浜側

- SS-1
- SS-2
- SS-3
- SS-4
- SS-5
- SS-6
- SS-7



大湊側

- SS-1
- SS-2
- SS-3
- SS-4
- SS-5
- SS-6
- SS-7
- SS-8



参考文献

- 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，地震調査委員会資料
- 地震調査研究推進本部(2007)：2007年10月の地震活動の評価
- 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，地震調査委員会資料・地震調査研究推進本部(2009)：全国地震動予測地図
- 地震調査研究推進本部(2012)：今後の地震動ハザード評価に関する検討 ～2011年・2012年における検討結果～
- 地震調査研究推進本部(2017)：全国地震動予測地図2017年版
- 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：N08007
- 社団法人 日本原子力学会(2007)：原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施基準，日本原子力学会標準，AESJ-SC-P006
- 社団法人 日本電気協会 原子力規格委員会(2008)：原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601-2008)
- 島崎邦彦(2009)：地震と活断層：その関係を捉え直す，科学，Vol.79，No.2
- 染井一寛，浅野公之，岩田知孝(2010)：ひずみ集中帯内外で発生した地殻内地震系列間の震源特性の比較，第13回日本地震工学シンポジウム論文集
- 武村雅之(1990)：日本列島およびその周辺地域に起こる浅発地震のマグニチュードと地震モーメントの関係，地震 第2輯 第43巻
- 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 第2輯 第51巻
- 壇一男，入江紀嘉，具典淑，島津奈緒未，島田晴彦(2015)：長大な逆断層による内陸地震の断層モデルのパラメータの設定方法の提案，日本建築学会構造系論文集，第80巻
- 壇一男，佐藤俊明，入倉孝次郎(2002)： $\Delta\sigma$ リテラルに基づく強震動予測のための震源モデルの特性化手法，第11回日本地震工学シンポジウム論文集
- 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
- 天然ガス鉱業会，大陸棚石油開発協会(1992)：日本の石油・天然ガス資源(改訂版)
- 独立行政法人 原子力安全基盤機構(2005)：地震に係る確率論的安全評価手法の整備=深部地盤速度構造同定に基づく地震動特性評価に関する検討=に関する報告書，JNES/SAE05-048，平成17年12月
- 独立行政法人 原子力安全基盤機構(2008)：2007年新潟県中越沖地震により柏崎刈羽原子力発電所で発生した地震動の分析，合同W9-2-1，総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会耐震・構造設計小委員会地震・津波，地質・地盤合同ワーキンググループ 第9回，2008年5月22日
- 独立行政法人 産業技術総合研究所(2012) 活断層データベース 2012年2月28日版，産業技術総合研究所研究情報公開データベースDB095，産業技術総合研究所，https://gbank.gsi.jp/activefault/index_gmap.html
- 新田祐平，松島信一，川瀬博(2011)：柏崎刈羽原子力発電所における微細な褶曲構造を考慮した2007年新潟県中越沖地震の本震観測波形の再現，日本建築学会大会学術講演梗概集
- 早川崇，津田健一，植竹富一，引間和人，徳光亮一，南雲秀樹(2011)：2007年新潟県中越沖地震震源域の3次元速度構造モデルの検討—柏崎刈羽原子力発電所直下の褶曲モデルの取り込み—，日本地球惑星科学連合大会
- 引間和人，瀬藤一起(2008)：波形記録と測地データを用いた2007年新潟県中越沖地震の震源過程解析，日本地球惑星科学連合大会予稿集
- 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
- 文部科学省 研究開発局，独立行政法人 防災科学技術研究所(2009～2013)：科学技術振興費 ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究 成果報告書
- 野津厚(2010)：非破壊伝播方向におけるやや短周期パルスへの特性化震源モデルの適用に関する研究—2007年新潟県中越沖地震を例に—，土木学会論文集A1(構造・地震工学)，Vol.66
- 山本容維，竹中博士(2009)：経験的グリーン関数法を用いた2007年新潟県中越沖地震の震源のモデル化，地震 第2輯 第62巻

まとめ資料 補足説明資料

目次

1. 敷地における地震波の増幅特性に関連する補足	P. 2
2. 検討用地震の選定に関連する補足	P.104
3. 震源モデル設定に関連する補足	P.125
4. F-B断層による地震の地震動評価に関連する補足	P.156
5. 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価に関連する補足	P.177
6. 震源を特定せず策定する地震動に関連する補足	P.202
7. 基準地震動Ssに関連する補足	P.257

※敷地における解放基盤表面以深の地震波の伝播特性は差異が認められるため、地震波の著しい増幅が認められる1号炉を含む領域を『荒浜側』とし、地震波の顕著な増幅が認められない5号炉を含む領域を『大湊側』とする。なお、荒浜側においては特に顕著な増幅が著しいことを確認の上で1号炉を、大湊側においては5号炉～7号炉で差異が認められないことを確認の上で5号炉を代表させて地震動評価を行うこととしている。

※安田層下部層のMIS10～MIS7とMIS6の境界付近の堆積物については、本資料では『古安田層』と仮称する。

※七谷層の下位に広く分布している、玄武岩質～安山岩質～流紋岩質の火山岩及び火山砕屑岩を主体とする地層については、天然ガス鉱業会ほか編(1992)による『グリーンタフ』の名称を使用する。

※平成28年4月以前に実施した地質調査に関する図においては、一部、旧社名（『東京電力（株）』）で表記。

※『中越地震』は2004年新潟県中越地震を、『中越沖地震』は2007年新潟県中越沖地震を示す。

※『強震動予測レシピ』は、地震調査研究推進本部（以下『地震本部』という。）(2017)による強震動予測レシピを示す。

※『ひずみ集中帯プロジェクト』は、独立行政法人 防災科学技術研究所が中心となって行われたひずみ集中帯の重点的調査観測・研究プロジェクトを示す。

2.2 副次的な断層等

②現状の地震動評価の枠組み（強震動予測レシピ）

- 1995年兵庫県南部地震では、震度7の震災の帯ができ、その原因が周期1秒の強震動パルスであったこと [川瀬(1998)]、その強震動パルスは断層面全体ではなく、アスペリティと呼ばれる狭い領域から放出され、破壊が進行する方向に重なったことが解明されている。 [松島・川瀬(2000), 松島・川瀬(2006)]



- アスペリティモデルの設定方法の確立
 - 修正入倉レシピ [入倉・三宅(2001)]



- 地震本部では、「震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」）」を策定し強震動評価を実施。ここで、断層モデルの幅は、断層モデル上端深さから地震発生層下端深さの地震発生層の厚さを用いて設定することとしている。

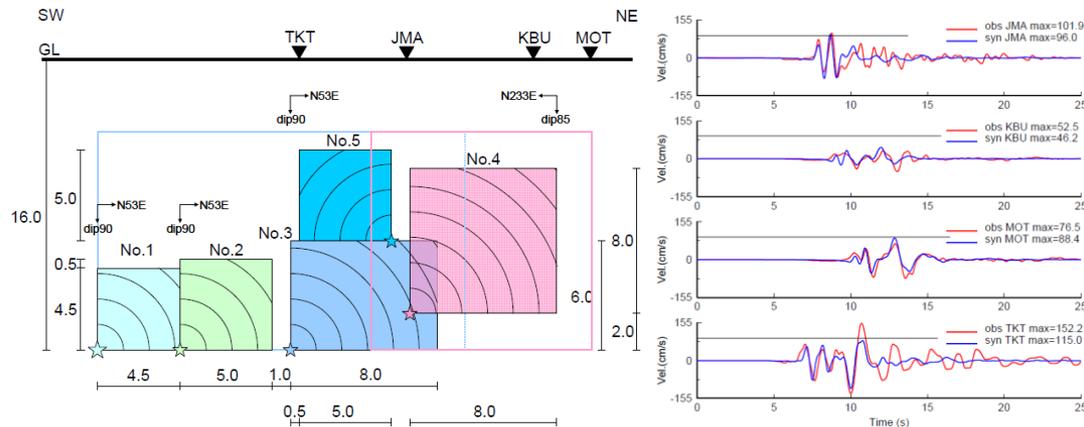
$$\text{地震発生層の厚さ } T_s = H_d - H_s$$

H_d , H_s : それぞれ地震発生層下限及び断層モデル上端の深さ (km)
(微小地震の深さ分布から決めることができる)

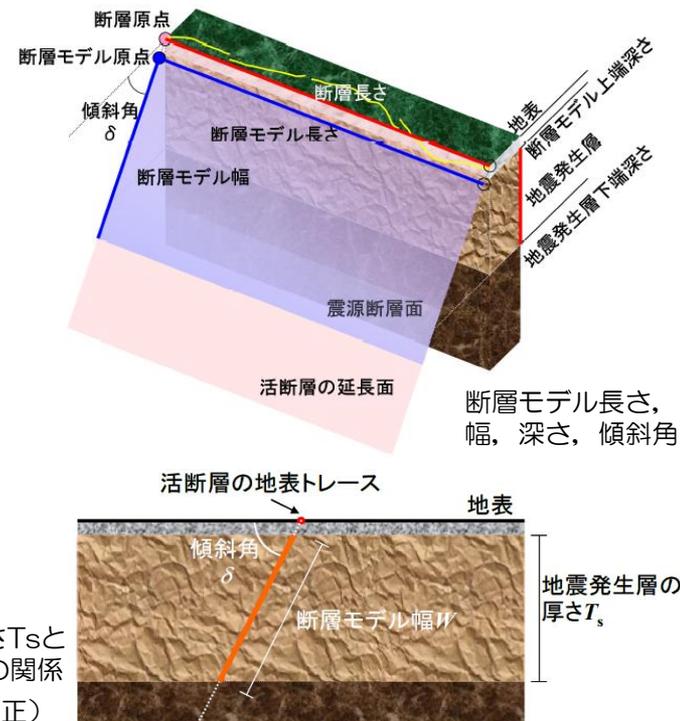
また、以下の3地震について手法の検証が行われている。

- 2005年福岡県西方沖の地震
- 2003年十勝沖地震
- 2000年鳥取県西部地震

地震本部(2017)より抜粋（一部加筆・修正）



松島・川瀬(2006)による1995年兵庫県南部地震の震源モデルと震源近傍強震動の評価



3. 震源モデル設定に関連する補足

ここでは、震源モデルの設定に関連して検討した内容を示す。

まず、震源モデルの設定・不確かさの考え方に反映することを目的に、敷地に比較的近い位置で発生した、2004年新潟県中越地震及び2007年新潟県中越沖地震について、提唱されている震源モデルを整理した結果を示す。

⇒3.1 中越地震・中越沖地震の震源モデル

次に、2016年及び2017年に改訂された地震本部の強震動予測レシピアの影響について整理した結果を示す。

⇒3.2 強震動予測レシピア

また、中越地震・中越沖地震で得られた知見等を踏まえ、地震動評価において考慮する不確かさの考え方について整理した結果を示す。

⇒3.3 不確かさの考え方

3.2 強震動予測レシビ

震源断層を特定した地震の強震動予測手法の見直しについて

- 平成28年6月に地震調査研究推進本部の「震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシビ」）」に対して、以下の2点の見直しが行われている。
 - ① 断層長さがおおむね80kmを超え断層幅と平均すべり量とが飽和する活断層
 - ② スラブ内地震（沈み込んだ海のプレート内で発生する海溝型地震）
- ここでは、これらの見直しが、柏崎刈羽原子力発電所における地震動評価に影響を与えないことを確認する。

① 断層長さがおおむね80kmを超える活断層

- 震源断層の面積 S と地震モーメント M_0 の関係を変更前後で比較すると以下のとおり。
- (2)式の適用範囲の変更，Murotani et al.(2015)による(3)式の追加が主な変更点。

変更前

$$M_0 = \left(\frac{S}{2.23} \times 10^{15} \right)^{3/2} \times 10^{-7} \dots\dots\dots (1)式$$

$$M_0 = \left(\frac{S}{4.24} \times 10^{11} \right)^2 \times 10^{-7} \quad M_0 \geq 7.5 \times 10^{18} (N \cdot m) \quad (2)式$$

$M_0 = 1.0 \times 10^{21} (N \cdot m)$ を上限とする必要がある。

変更後

$$M_0 = \left(\frac{S}{2.23} \times 10^{15} \right)^{3/2} \times 10^{-7} \dots\dots\dots (1)式$$

$$M_0 = \left(\frac{S}{4.24} \times 10^{11} \right)^2 \times 10^{-7} \quad 7.5 \times 10^{18} \leq M_0 \leq 1.8 \times 10^{20} (N \cdot m) \quad (2)式$$

$$M_0 = S \times 10^{17} \quad 1.8 \times 10^{20} < M_0 (N \cdot m) \quad (3)式$$

データ分布の上限値 $M_0 = 1.1 \times 10^{21} (N \cdot m)$ に留意する必要がある。

- 長岡平野西縁断層帯による地震，長岡平野西縁断層帯と十日町断層帯西部の連動を考慮した地震の震源モデルの設定においては、既にMurotani et al.(2015)によるスケーリングを考慮して設定しており、今回のレシビの見直しによる影響はない。

3.2 強震動予測レシピ

震源断層を特定した地震の強震動予測手法の見直しについて

② スラブ内地震

- これまで「海溝型地震の特性化震源モデル」のみとしていたが、「プレート境界地震の特性化震源モデル」、「スラブ内地震の特性化震源モデル」のそれぞれに分離。
- スラブ内地震の特性化震源モデルは、笹谷ほか(2006)、壇ほか(2006)及び新井ほか(2015)の方法を踏まえて巨視的・微視的震源特性に関するパラメータを設定する方法を提案。

変更前

1. 特性化震源モデルの設定
 1. 1 活断層で発生する地震の特性化震源モデル
 1. 2 海溝型地震の特性化震源モデル
2. 地下構造モデルの作成
3. 強震動計算
4. 予測結果の検証

変更後

1. 特性化震源モデルの設定
 1. 1 活断層で発生する地震の特性化震源モデル
 1. 2 プレート境界地震の特性化震源モデル
 1. 3 スラブ内地震の特性化震源モデル
2. 地下構造モデルの作成
3. 強震動計算
4. 予測結果の検証

- 一方、海洋プレート内地震（スラブ内地震）は、柏崎刈羽原子力発電所の敷地周辺において震度5弱（震度V）程度以上の揺れをもたらした地震は認められておらず、敷地に大きな影響を与えるような地震ではない。
- したがって、今回のレシピの見直しによる影響はない。

3.2 強震動予測レシビ

震源断層を特定した地震の強震動予測手法の見直しについて

- 2017年4月に地震調査研究推進本部の「震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシビ」）」に対して、以下の見直しが行われている。
 - 関東地方を対象に新たに検討した浅部・深部統合地盤構造モデルにも対応出来るように、第2章「地下構造モデルの作成」の内容を見直し。
- なお、震源モデルの設定において引用している第1章「特性化震源モデルの設定」では、一部用語の修正（プレート境界地震⇒プレート間地震）のみ。

構成（主な変更箇所）

変更前

1. 特性化震源モデルの設定
2. 地下構造モデルの作成
 2. 1 「地震基盤以深の地殻構造」
 2. 2 「深い地盤構造」
 2. 3 「浅い地盤構造」
3. 強震動計算
4. 予測結果の検証

変更後

1. 特性化震源モデルの設定
2. 地下構造モデルの作成
 2. 1 地震基盤以深の地殻構造
 2. 2 深部地盤構造
 2. 3 浅部地盤構造
 2. 4 浅部・深部統合地盤構造モデル
3. 強震動計算
4. 予測結果の検証

広帯域地震動の評価を目的とし、浅部地盤構造モデルと深部地盤構造モデルを統合した浅部・深部統合地盤構造モデルを作成。

浅部地盤構造をモデル化する場合、工学的基盤面上面（S波速度で300～400m/s）を最下面として設定することができる。

深部地盤構造はさまざまな情報からS波速度500～700m/sの地層として最上面が設定されることが多い

二つの地盤構造モデルを人為的な不連続なく接続し、地震・微動観測などを用いて調整を行うことで統合地盤構造モデルを作成する手順を説明

- 今回の改訂では、震源モデルの設定において引用している第1章の変更は用語の修正のみであること、地震動評価においては敷地で得られている観測記録を用いて地震波の伝播特性を適切に反映していることから、柏崎刈羽原子力発電所の基準地震動Ssの策定に与える影響はない。
- 第2章の変更に関して、地震波の伝播特性に関する解析的検討に用いた解放基盤表面相当までの地下構造モデルは、調査結果を適切に反映して設定し、シミュレーション解析等により妥当性を確認していること、レシビで示す深部地盤構造に該当し、今回加えられた浅部・深部統合地盤構造モデルの作成手順の対象とならないことから影響はない。

3.2 強震動予測レシビ

【参考】平成28年12月の修正内容

- 平成28年12月に地震調査研究推進本部の「震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシビ」）」が修正されている。主な修正内容は以下のとおり。
 - ・ 震源断層モデルの位置・構造を設定する手法について表現の見直し

震源断層モデルの設定

- 「項タイトルを微修正」とされており、具体的な評価方法については修正されていない。

変更前

- (a) 震源断層モデルの位置・構造
 - (ア) 過去の地震記録などに基づき震源断層を推定する場合や詳細な調査に基づき震源断層を推定する場合
 - (イ) 地表の活断層の情報をもとに簡便化した方法で震源断層を推定する場合

変更後

- (a) 震源断層モデルの位置・構造
 - (ア) 過去の地震記録や調査結果などの諸知見を吟味・判断して震源断層モデルを設定する場合
 - (イ) 長期評価された地表の活断層長さ等から地震規模を設定し震源断層モデルを設定する場合

- 検討用地震であるF-B断層による地震及び長岡平野西縁断層帯による地震の評価においては、過去の地震記録や調査結果等に基づき(ア)の方法に準拠して震源断層モデルを設定している。
- 震源断層モデルの設定にあたっては、敷地周辺で発生している2004年新潟県中越地震及び2007年新潟県中越沖地震の震源モデルや精密な余震分布等に関する知見を収集し、適切に評価に反映している。
- その上で、地震動評価においては、破壊伝播速度、応力降下量、断層傾斜角等の不確かさを考慮し、さらに長岡平野西縁断層帯については連動を考慮する等、保守的に評価し、基準地震動を策定している。
- したがって、今回のレシビの見直しによる影響はない。

3.2 強震動予測レシピ

【参考】平成28年12月の修正内容 長大な横ずれ断層に対する評価方法について

- 長大な横ずれ断層に対し、アスペリティ面積比を22%、静的応力降下量を3.1MPaとする取扱いについては、以下のように見直されている。
 - 平成28年6月の改訂では、「断層幅と平均すべり量とが飽和する目安となる $M_0 = 1.8 \times 10^{20}$ (N·m)を上回る断層」を対象としていたが、平成28年12月の修正では、「 $M_0 = 1.8 \times 10^{20}$ (N·m)を上回らない場合でも、アスペリティ面積比が大きくなったり背景領域の応力降下量が負になるなど、非現実的なパラメータ設定になり、円形クラックの式を用いてアスペリティの大きさを決めることが困難な断層等」も対象としている。
- 柏崎刈羽原子力発電所の敷地周辺では逆断層が卓越しており、上記の取り扱いを評価に採用していないことから、今回のレシピの見直しによる影響はない。

参考文献

- ・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
- ・岸清, 宮脇理一郎(1996): 新潟県柏崎平野周辺における鮮新世~更新世の褶曲形成史, 地学雑誌, 105
- ・気象庁: 地震年報2012年版, 地震・火山月報ほか
- ・気象庁, 消防庁(2009): 震度に関する検討会報告書
- ・狐崎長琅, 後藤典俊, 小林芳正, 井川猛, 堀家正則, 斉藤徳美, 黒田徹, 山根一修, 奥住宏一(1990): 地震動予測のための深層地盤P・S波速度の推定, 日本自然災害学会, 自然災害科学, 9-3
- ・原子力安全委員会(2009): 「震源を予め特定しにくい地震」に関する地震調査推進本部における検討状況, 原子力安全委員会 地震動解析技術等作業会合平成21年9月18日 資料第1号
- ・原子力規制庁(2013): 震源を予め特定しにくい地震について, 平成25年4月2日 発電用軽水型原子炉施設の地震・津波に関わる規制基準に関する検討チーム会議資料, 震基11-2-2
- ・原子力規制委員会(2013): 敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド
- ・原子力規制庁(2015): (D05) 福島第一事故を踏まえた震源近傍の地震動評価の高度化, 平成26年度 事後評価調査票
- ・構造計画研究所(2010): 内陸地殻内地震における短周期レベルの地域的な整理・分析業務, 原子力安全委員会平成21年度業務委託報告書
- ・国立研究開発法人 防災科学技術研究所: 強震観測網(K-NET, KiK-net), <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/>
- ・国立研究開発法人 防災科学技術研究所: 広帯域地震観測網(F-net), <http://www.fnet.bosai.go.jp/>
- ・国立研究開発法人 産業技術総合研究所/地質調査総合センター: 20万分の1日本シームレス地質図, <https://gbank.gsj.jp/seamless/seamless2015/2d/>
- ・小林喜久二, 植竹富一, 土方勝一郎(2005): 地震動の水平/上下スペクトル振幅比の逆解析による地下構造推定法の標準化に関する検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集
- ・小林巖雄, 立石雅昭, 吉村尚久, 上田哲郎, 加藤碩一(1995): 柏崎地域の地質, 地質調査所, 平成7年12月
- ・坂井公俊, 野津厚(2011): 2004年新潟県中越地震の特性化震源モデルと経験的サイト増幅・位相特性を考慮した強震動シミュレーション, 日本地震工学会論文集, 第11巻
- ・佐口浩一郎, 鈴木結理, 正木和明, 倉橋奨, 入倉孝次郎(2010): 深層および浅層の3次元構造を考慮した柏崎刈羽原子力発電所における2007年新潟県中越沖地震の強震動シミュレーション, 第13回日本地震工学シンポジウム論文集
- ・笹谷努, 前田宜浩, 高井伸雄, 重藤迪子, 堀田淳, 関克郎, 野本真吾(2008): Mj6.1内陸地殻内地震によって大加速度を観測したK-NET(HKDO20)地点でのS波速度構造の推定, 物理探査学会 第119回学術講演会講演論文集
- ・佐藤智美(2000): 観測記録に基づく地震波放射特性の周波数依存性の分析とモデル化に関する検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集
- ・佐藤智美(2010): 逆断層と横ずれ断層の違いを考慮した日本の地殻内地震の短周期レベルのスケールリング則, 日本建築学会構造系論文集, 第651号
- ・佐藤智美, 川瀬博, 佐藤俊明(1994): ポアホール観測記録を用いた表層地盤同定手法による工学的基盤波の推定及びその統計的経時特性, 日本建築学会構造系論文集, 第461号
- ・佐藤智美, 土方勝一郎, 植竹富一, 徳光亮一, 壇一男(2007): 広帯域震源インバージョンによる2004年新潟県中越地震の大加速度に関する研究(その2)中・短周期震源インバージョン, 日本建築学会大会学術講演梗概集
- ・佐藤浩章, 芝良昭, 東貞成, 功刀卓, 前田宜浩, 藤原広行(2013): 物理探査・室内試験に基づく2004年留萌支庁南部の地震によるK-NET港町観測点(HKDO20)の基盤地震動とサイト特性評価, 電力中央研究所報告, 研究報告:N13007
- ・佐藤浩章, 東貞成, 植竹富一, 徳光亮一(2010): 微動・地震観測に基づく深部地盤のモデル化ー柏崎刈羽原子力発電所を対象とした微動アレイ観測の適用性ー, 電力中央研究所報告, 研究報告N09013
- ・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, 地震調査委員会資料
- ・地震調査研究推進本部(2008): 2005年福岡県西方沖の地震の観測記録に基づく強震動評価手法の検証
- ・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, 地震調査委員会資料
- ・地震調査研究推進本部(2010): 全国地震動予測地図2010年版
- ・地震調査研究推進本部(2010): 活断層の長期評価手法(暫定版)
- ・地震調査研究推進本部(2016): 全国地震動予測地図2016年版
- ・地震調査研究推進本部(2017): 全国地震動予測地図2017年版
- ・芝良昭(2006): 2004年新潟県中越地震の震源過程の解明ー広帯域震源インバージョンの適用ー, 電力中央研究所報告, 研究報告:N05023
- ・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:N08007