基準地震動Ssの見直しについて

平成21年8月31日

独立行政法人 日本原子力研究開発機構

1. 検討用地震

2. 地震動評価手法

3. 地震動評価結果

4. 短周期レベル1.5倍の検証

5. 基準地震動Ssの見直し

1. 検討用地震



基準地震動の妥当性を確認する観点から、念のため同時活動を考慮する。

1. 検討用地震

■以下の断層を検討用地震として選定

検討用地震

検討用地震	長さ	地震規模
C断層	18km	6.9
白木-丹生断層※	15km	6.9
浦底−内池見断層	18km	6.9
和布−干飯崎沖~甲楽城断層	60km	7.8
大陸棚外縁~B~野坂断層	49km	7.7

合同Cサブグループ会合第12回及び第13回にて提示

※:白木-丹生断層については、長さ17.3kmで地震規模を評価

- 〇応答スペクトルに基づく地震動評価
- ▶解放基盤表面の地震動として評価できること、震源の拡がりが考慮できること、 敷地における地震観測記録等を用いて諸特性が考慮できること、更に水平方 向及び鉛直方向の地震動が評価できることから、Noda et al.(2002)(以下、耐専 式という)を基本的に採用
- ▶検討用地震毎に、耐専式の適用性を検討し、適用が難しいと判断した場合は、 断層モデルの結果を重視
- ▶地震規模は松田式より算定

〇断層モデルを用いた地震動評価

- ▶評価地点の震源近傍で発生した地震の適切な観測記録が得られていないため、 短周期側を統計的グリーン関数法、長周期側を理論的方法を適用したハイブ リッド合成法により評価
- ▶これまでの合同Cサブグループ会合における審議を踏まえ再評価した地盤モデ ルを用いて評価
- ▶新潟県中越沖地震の反映事項及び「耐震バックチェックにおいて地震動評価を 行う際の応力降下量の取扱いについて(平成21年4月24日:原子力安全・保安 院)」を踏まえて、短周期レベルを1.5倍したケースを精査して再計算

合同C13-4-2に加筆

■耐専式は、以下の表に示すとおり国内で観測された地震記録を、遠距離~中距離、 中距離~近距離、近距離~極近距離のエリアに分類し、それぞれのエリア毎にマ グニチュードMと等価震源距離Xeqに応じてコントロールポイントを定め、応答スペ クトルを求める方法である。同表に直接該当しないM、Xeqの地震については内挿 して求めることとされている。

			コントロールポイントの座標 _p S _v (cm/s)							
			А	В	С	D	Е	F	G	Н
	Μ	X _{eq}	T _A (s)	T _B (s)	T _C (s)	T _D (s)	T _E (s)	T _F (s)	T _G (s)	T _H (s)
		(km)	0.02	0.09	0.13	0.30	0.60	1.00	2.00	5.00
	8.5	40	1.62	18.44	27.32	47.87	68.05	64.66	53.52	40.06
标行时解	8	25	1.69	20.05	28.96	48.22	67.80	65.25	52.51	38.35
们型人工正已内田	7	12	1.40	17.20	24.84	33.86	43.42	36.42	25.15	17.85
	6	6	1.04	12.82	18.51	21.84	23.17	17.41	9.64	3.88
	8.5	80	0.73	7.36	11.43	22.92	34.79	32.58	27.60	21.96
宁尼尼南任	8	50	0.67	7.45	11.17	20.05	28.65	27.06	22.70	17.19
<u></u> 卫 正 西 田	7	20	0.78	9.44	13.64	19.10	24.83	20.69	14.46	10.37
	6	8	0.77	9.45	13.65	16.23	17.18	12.73	7.16	2.89
	8.5	160	0.26	2.22	3.67	9.45	15.17	14.83	13.64	12.26
市防海維	8	100	0.32	3.08	4.86	10.27	16.04	14.96	12.73	10.37
〒 402 内田	7	50	0.23	2.65	4.01	6.02	7.64	6.68	4.87	3.64
	6	25	0.21	2.49	3.60	4.54	4.84	3.98	2.07	0.86
	8.5	200	0.18	1.44	2.43	6.87	11.17	11.17	10.67	10.04
造职解	8	200	0.10	0.80	1.35	3.82	6.21	6.21	5.93	5.58
地吧西田	7	125	0.046	0.43	0.70	1.34	1.81	1.59	1.26	1.05
	6	78	0.041	0.45	0.65	0.95	1.03	0.80	0.49	0.22

_nS_vの値は、減衰定数5%の擬似速度応答スペクトルの絶対値

■検討用地震の等価震源距離と耐専式での地震の諸元との比較

回帰分析に用いた地震の諸元

 5.5≦Mj≦7.0(Mj:気象庁マグニチュード)
 h≦60km(h:震源深さ)
 28km≦Xeq≦202km(Xeq:等価震源距離)
 観測記録を用いて距離減衰式の適用性について検討した際に用いた地震の諸元
 5.4≦Mj≦8.1(Mj:気象庁マグニチュード)
 h≦60km(h:震源深さ)
 14km≦Xeq≦218km(Xeq:等価震源距離)

- data used for the regression analysis
- + data inside Japan, used for checking applicability
- X data outside Japan, ditto



検討用地震	Mj	Xeq (km)
C断層	6.9	7.6
白木−丹生断層	6.9	7.5
浦底−内池見断層	6.9	8.7
和布−干飯崎沖~甲楽城断層	7.8	21.9
大陸棚外縁~B~野坂断層	7.7	13.2

500.0

- ■等価震源距離と極近距離との乖離が大きく、回帰式を策定する上で用いた等価震 源距離の最小値との差が大きい断層の評価については、大きく外挿をして評価す ることになる。
- ■大陸棚外縁~B~野坂断層については、規模が大きく、等価震源距離と極近距離 の乖離が大きいため、適用範囲外とする。
- ■適用範囲外とした断層による地震動評価については、断層モデルを重視することと し、その妥当性を検証するため、耐専式以外の距離減衰式を用いて、応答スペクト ルに基づく地震動評価を行う。



(福島・田中(1992))との比較(Fukushima & Irikura, 1999)

■耐専式以外の距離減衰式 国内の地震を含むデータベースにより作成された距離減衰式のうち、大陸棚外縁~B~野坂 断層のマグニチュードと断層最短距離(9.5km)が当該データベースに含まれているものは以 下のとおり。

	データベース緒元						
距離減衰式	対象地震	地震種別	Mの範囲	断層最短距離 の範囲	地盤種別	備考	
Kanno et al.(2006)	主に国内	内陸 プレート間 プレート内	5.5~8.2	1~500km	100≦Vs30≦1400m/s (原論文の図から読取)		
Zhao et al.(2006)	主に国内	内陸 プレート間 プレート内	5.0~8.3	0.3~300km	・Vs30>1100m/s ・Vs30>600m/s 等で整理		
内山·翠川(2006)	日本周辺	内陸 プレート間 プレート内	5.5~8.3	300km以内	Vs30=500m/s程度の工学 的基盤		
片岡他(2006)	日本周辺	内陸 海溝性	4.9~8.2	250km以内	工学的基盤(31測点)の Vs30の平均値は720m/s		
Abrahamson and Silva(2008)			4.27~7.9	200km以内	100≦Vs30≦2000m/s		
Boore and Atkinson(2008)			4.27~7.9	400km以内	NEHRP分類A~E		
Campbell and Bozorgnia(2008)	国内外	内陸	4.27~7.9	200km以内	150≦Vs30≦1300m/s		
Chiou and Youngs(2008)			4.27~7.9	70km以内	100≦Vs30≦2000m/s		
Idriss(2008)			4.27~7.9	200km以内	450≦Vs30≦900m/s		

各種距離減衰式のデータベース諸元

■評価手法

検討用地震の地震動評価に用いる手法は以下の通り。

検討用地震	耐専式の適用性	評価手法
C断層	適用	耐専式
白木−丹生断層	適用	耐専式
浦底−内池見断層	適用	耐専式
和布−干飯崎沖~甲楽城断層	適用	耐専式
大陸棚外縁~B~野坂断層	適用外	各種距離減衰式で 断層モデルの妥当性を検証

■再設定した地盤モデルの適用

〇前回までの合同Cサブ会合における審議を踏まえ、以下により再設定。

- ▶ 速度構造は、敷地内外で実施された調査結果により得られたものを基本として、 減衰定数を再評価した経験的サイト増幅特性に対して幅広い周波数帯域において 適合するように設定。
- ▶ 表層部の減衰定数について、PS検層データの検討から示される範囲(深さ0~ 200m)はその値を用いて、以深は合同Cサブ会合の審議を踏まえて設定。

〇再設定した地盤モデルを適用して、断層モデルを用いた地震動評価を実施。

深さ (m)	EL (m)	層	層厚 (m)	密度	S波速度 Vs (m/s)	P波速度 Vp (m/s)	Qs	減衰定数 (%)
22	-29	1	33	2.5	1900	4300	16.7	3.0
200	-105	2	167	2.6	2200	4600	16.7	3.0
200	-195	2'	430	2.6	2200	4600	100.0	0.5
1400	-020	3	770	2.6	2800	5130	100.0	0.5
1400	-1395	4	2600	2.6	3100	5310	100.0	0.5
4000	-3995	5	_	2.7	3600	6270	100.0	0.5

再設定した地盤モデル諸元

[※]断層上端深さの不確かさ(3km)を考慮する場合は、第4層の層厚を1600mとする。 ※Qp=2/3×Qs

■各パラメータについて、地震動への影響の程度を検討し、敷地に大きな 影響を与えると考えられるパラメータに対して不確かさを考慮

OC断層	の地震動	評価に考	き慮す	る不確	かさ
• · · · · –					

	断層長さ	断層 傾斜角	断層 上端深さ	アスペリティ	破壊 開始点	短周期 レベル	備考
基本ケース		60°	4km	敷地近傍に 配置	複数設定	レシピ平均	
断層上端深さの 不確かさを考慮		60°	3km	敷地近傍に 配置	複数設定	レシピ平均	
短周期レベル1.5倍	18km	60°	4km	敷地近傍に 配置	複数設定	1.5倍	中越沖地震 知見反映
傾斜角の 不確かさを考慮		55°	4km	敷地近傍に 配置	複数設定	レシピ平均	委員コメント 反映

※応答スペクトルに基づく評価は基本ケース、断層上端深さの不確かさを考慮 したケース及び傾斜角の不確かさを考慮したケースについて実施し、地震の 規模は松田式より算定

不確かさを考慮したパラメータ

※頂いたコメント

C断層の傾斜角は、基本ケースとしては60°としてよいが、55°程度まで傾斜させたケースについても、影響の程度を確認すべき。(第14回)

合同C12-4-3に加筆

12

■C断層のモデル図



i) 断層配置図

※モデル図は基本ケースを代表して示す

■C断層の断層パラメータ:上端4km

断層パラメータ	パラメータ	設定方法
断層長さL(km)	18	断層位置から計算
断層傾斜角(°)	60	調査結果に基づき設定
断層上端深さ(km) 断層下端深さ(km)	4 18	微小地震の発生及び地下 構造を参考に設定
断層幅W(km)	16.2	地震発生層と傾斜角から 設定
断層面積S(km ²)	335.34	断層面より算定
破壊伝播様式	同心円状	-
地震モーメントM ₀ (Nm)	6.26 × 10 ¹⁸	$M_0 = \{S/(4.24 \times 10^{-11})\}^{2.0}$
剛性率(N/m ²)	3.5 × 10 ¹⁰	$\mu = \rho \beta^2$, $\rho = 2.7$ g/cm ³ , $\beta = 3.6$ km/s
平均すべり量D(cm)	53.3	D=M ₀ /(μS)
平均応力降下量Δσ (MPa)	2.5	$\Delta \sigma = (7 \pi^{1.5}/16)(M_0/S^{1.5})$
破壊伝播速度Vr(km/s)	2.59	Vr=0.72β
立ち上がり時間Tr(sec)	0.81	Tr=2.03×10 ⁻⁹ M ₀ ^{1/3}
高周波限界遮断周波数 fmax(Hz)	8.3	香川他(2003)
短周期レベルA (Nm/s ²)	9.77 × 10 ¹⁸	$A=2.46 \times 10^{17} \times M_0^{1/3}$
Q值	50f ^{1.1}	佐藤他(2007)

※パラメータは基本ケースを代表して示す

	断層パラメータ	パラメータ	設定方法
全 ア	面積S _a (km²)	61.31	Sa= π r ² r=(7 π M ₀ β ²)/(4AaR),R=(S/ π) ^{0.5}
スペ	平均すべり量D _a (cm)	107.1	$D_a = \gamma_D D, \gamma_D = 2.01$
リテ	地震モーメントM _{0a} (Nm)	2.30 × 10 ¹⁸	$M_{0a} = \mu S_a D_a$
イ	応力降下量 $\Delta \sigma_{a}^{}$ (MPa)	13.6	$\Delta \sigma_{a} = (S/S_{a}) \Delta \sigma$
	面積S _b (km²)	274.03	S _b =S-S _a
背景	平均すべり量D _b (cm)	41.3	$D_{b} = M_{0b} / (\mu S_{b})$
領 域	地震モーメントM _{ob} (Nm)	3.96 × 10 ¹⁸	M _{0b} =M ₀ -M _{0a}
~~~	実効応力 $\Delta \sigma_{\rm b}$ (MPa)	2.7	$\Delta \sigma_{\rm b}$ =0.2 $\Delta \sigma_{\rm a}$

#### ■耐専式による地震動評価結果(C断層)











■各パラメータについて、地震動への影響の程度を検討し、敷地に大きな 影響を与えると考えられるパラメータに対して不確かさを考慮

〇白木-丹生断層の地震動評価に考慮する不確かさ

	断層長さ	断層 傾斜角	断層 上端深さ	アスペリティ	破壊 開始点	短周期 レベル	備考
基本ケース		60°	4km	敷地近傍に 配置	複数設定	レシピ平均	
断層上端深さの 不確かさを考慮	17.3km	60°	3km	敷地近傍に 配置	複数設定	レシピ平均	
短周期レベル1.5倍		60°	4km	敷地近傍に 配置	複数設定	1.5倍	中越沖地震 知見反映

※応答スペクトルに基づく評価は基本ケース及び断層上端深さの不確かさを考慮したケースについて実施し、地震の規模は松田式より算定

不確かさを考慮したパラメータ

合同C12-4-3に加筆

#### ■白木-丹生断層のモデル図



※モデル図は基本ケースを代表して示す

#### ■白木ー丹生断層の断層パラメータ:上端4km

断層パラメータ	パラメータ	設定方法
断層長さL(km)	20	断層位置を延長
断層傾斜角(°)	60	調査結果に基づき設定
断層上端深さ(km) 断層下端深さ(km)	4 18	微小地震の発生及び地下 構造を参考に設定
断層幅W(km)	16.2	地震発生層と傾斜角から 設定
断層面積S(km ² )	324	断層面より算定
破壊伝播様式	同心円状	-
地震モーメントM ₀ (Nm)	5.84 × 10 ¹⁸	$M_0 = \{S/(4.24 \times 10^{-11})\}^{2.0}$
剛性率(N/m ² )	3.5 × 10 ¹⁰	$\mu = \rho \beta^2$ , $\rho = 2.7$ g/cm ³ , $\beta = 3.6$ km/s
平均すべり量D(cm)	51.5	D=M ₀ /(μS)
平均応力降下量Δσ (MPa)	2.4	$\Delta \sigma = (7 \pi^{1.5}/16)(M_0/S^{1.5})$
破壊伝播速度Vr(km/s)	2.59	Vr=0.72β
立ち上がり時間Tr(sec)	0.79	$Tr=2.03 \times 10^{-9} M_0^{1/3}$
高周波限界遮断周波数 fmax(Hz)	8.3	香川他(2003)
短周期レベルA (Nm/s ² )	9.54 × 10 ¹⁸	A=2.46 × $10^{17}$ × M ₀ ^{1/3}
Q值	50f ^{1.1}	佐藤他(2007)

※パラメータは基本ケースを代表して示す

	断層パラメータ	パラメータ	設定方法
全 ア	面積S _a (km ² )	57.89	Sa= $\pi$ r ² r=(7 $\pi$ M ₀ $\beta$ ² )/(4AaR),R=(S/ $\pi$ ) ^{0.5}
へペ	平均すべり量D _a (cm)	103.5	$D_a = \gamma_D D, \gamma_D = 2.01$
ノ テ イ	地震モーメントM _{0a} (Nm)	2.10 × 10 ¹⁸	$M_{0a} = \mu S_a D_a$
	応力降下量 $\Delta \sigma_{a}$ (MPa)	13.7	$\Delta \sigma_{a} = (S/S_{a}) \Delta \sigma$
	面積S _b (km²)	266.11	S _b =S-S _a
背景	平均すべり量D _b (cm)	40.2	$D_{b} = M_{0b} / (\mu S_{b})$
· 領 域	地震モーメントM _{0b} (Nm)	3.74 × 10 ¹⁸	M _{0b} =M ₀ -M _{0a}
	実効応力 $\Delta \sigma_{\rm b}^{}({ m MPa})$	2.7	$\Delta \sigma_{\rm b}$ =0.2 $\Delta \sigma_{\rm a}$

#### ■耐専式による地震動評価結果(白木-丹生断層)









■各パラメータについて、地震動への影響の程度を検討し、敷地に大きな 影響を与えると考えられるパラメータに対して不確かさを考慮

〇浦底ー内池見断層の地震動評価に考慮する不確かさ

	断層長さ	断層 傾斜角	断層 上端深さ	アスペリティ	破壊 開始点	短周期 レベル	備考
基本ケース		90°	4km	敷地近傍に 配置	複数設定	レシピ平均	
断層上端深さの 不確かさを考慮	18km	90°	3km	敷地近傍に 配置	複数設定	レシピ平均	
短周期レベル1.5倍		90°	4km	敷地近傍に 配置	複数設定	1.5倍	中越沖地震 知見反映
断層長さの 不確かさを考慮 (浦底ー池河内断層)		90°	4km	敷地近傍に 配置	複数設定	レシピ平均	
断層長さの 不確かさと 短周期レベル1.5倍 (浦底ー池河内断層)	25km	90°	4km	敷地近傍に 配置	複数設定	1.5倍	中越沖地震 知見反映

 ※浦底一内池見断層については、断層長さの不確かさとして浦底一 池河内断層までのケースも考慮
 ※応答スペクトルに基づく評価は基本ケース、断層上端深さの不確か さを考慮したケース及び断層長さの不確かさを考慮したケースに ついて実施し、地震の規模は松田式より算定



合同C12-4-3に加筆

#### ■浦底-内池見断層のモデル図



i)断層配置図

※モデル図は基本ケースを代表して示す

#### ■浦底-内池見断層の断層パラメータ:上端4km

断層パラメータ	パラメータ	設定方法
断層長さL(km)	20	断層位置から計算
断層傾斜角(°)	90	調査結果に基づき設定
断層上端深さ(km) 断層下端深さ(km)	4 20	微小地震の発生及び地下 構造を参考に設定
断層幅W(km)	16	地震発生層と傾斜角から 設定
断層面積S(km ² )	320	断層面より算定
破壊伝播様式	同心円状	-
地震モーメントM ₀ (Nm)	5.70 × 10 ¹⁸	$M_0 = \{S/(4.24 \times 10^{-11})\}^{2.0}$
剛性率(N/m ² )	3.5 × 10 ¹⁰	$\mu = \rho \beta^2$ , $\rho = 2.7$ g/cm ³ , $\beta = 3.6$ km/s
平均すべり量D(cm)	50.9	D=M ₀ /(μS)
平均応力降下量Δσ (MPa)	2.4	$\Delta \sigma = (7 \pi^{1.5}/16)(M_0/S^{1.5})$
破壊伝播速度Vr(km/s)	2.59	Vr=0.72β
立ち上がり時間Tr(sec)	0.78	$Tr=2.03 \times 10^{-9} M_0^{1/3}$
高周波限界遮断周波数 fmax(Hz)	8.3	香川他(2003)
短周期レベルA (Nm/s ² )	9.47 × 10 ¹⁸	$A=2.46 \times 10^{17} \times M_0^{1/3}$
Q值	50f ^{1.1}	佐藤他(2007)

※パラメータは基本ケースを代表して示す

	断層パラメータ	パラメータ	設定方法
全 ア	面積S _a (km ² )	56.71	Sa= $\pi$ r ² r=(7 $\pi$ M ₀ $\beta$ ² )/(4AaR),R=(S/ $\pi$ ) ^{0.5}
へペ	平均すべり量D _a (cm)	102.2	$D_a = \gamma_D D, \gamma_D = 2.01$
ノテ	地震モーメントM _{0a} (Nm)	2.03 × 10 ¹⁸	$M_{0a} = \mu S_a D_a$
1	応力降下量 $\Delta \sigma_{a}$ (MPa)	13.7	$\Delta \sigma_{a} = (S/S_{a}) \Delta \sigma$
	面積S _b (km²)	263.29	S _b =S-S _a
背景	平均すべり量D _b (cm)	39.8	$D_{b} = M_{0b} / (\mu S_{b})$
~ 領 域	地震モーメントM _{0b} (Nm)	3.67 × 10 ¹⁸	M _{0b} =M ₀ -M _{0a}
~	実効応力Δ σ _b (MPa)	2.7	$\Delta \sigma_{\rm b}$ =0.2 $\Delta \sigma_{\rm a}$

合同C12-4-3に加筆

#### ■浦底-池河内断層のモデル図



i)断層配置図

#### ■浦底-池河内断層の断層パラメータ:上端4km

断層パラメータ	パラメータ	設定方法
断層長さL(km)	25	断層位置から計算
断層傾斜角(°)	90	調査結果に基づき設定
断層上端深さ(km) 断層下端深さ(km)	4 18	微小地震の発生及び地下 構造を参考に設定
断層幅W(km)	14	地震発生層と傾斜角から 設定
断層面積S(km ² )	341.6	断層面より算定
破壊伝播様式	同心円状	-
地震モーメントM ₀ (Nm)	6.49 × 10 ¹⁸	$M_0 = \{S/(4.24 \times 10^{-11})\}^{2.0}$
剛性率(N/m²)	3.5 × 10 ¹⁰	$\mu = \rho \beta^2, \rho = 2.7 \text{g/cm}^3,$ $\beta = 3.6 \text{km/s}$
平均すべり量D(cm)	54.3	D=M ₀ /(μS)
平均応力降下量Δσ (MPa)	2.5	$\Delta \sigma = (7 \pi^{1.5}/16)(M_0/S^{1.5})$
破壊伝播速度Vr(km/s)	2.59	Vr=0.72 β
立ち上がり時間Tr(sec)	0.82	Tr=2.03×10 ⁻⁹ M ₀ ^{1/3}
高周波限界遮断周波数 fmax(Hz)	8.3	香川他(2003)
短周期レベルA (Nm/s ² )	9.89×10 ¹⁸	A=2.46 × $10^{17}$ × M ₀ ^{1/3}
Q值	50f ^{1.1}	佐藤他(2007)

	断層パラメータ	パラメータ	設定方法
全 ア	面積S _a (km²)	63.23	Sa= $\pi$ r ² r=(7 $\pi$ M ₀ $\beta$ ² )/(4AaR),R=(S/ $\pi$ ) ^{0.5}
へペ	平均すべり量D _a (cm)	109.1	$D_a = \gamma_D D, \gamma_D = 2.01$
リテ	地震モーメントM _{0a} (Nm)	2.41 × 10 ¹⁸	$M_{0a} = \mu S_a D_a$
1	応力降下量 $\Delta \sigma_{a}$ (MPa)	13.5	$\Delta \sigma_{a} = (S/S_{a}) \Delta \sigma$
	面積S _b (km²)	278.37	S _b =S-S _a
背景	平均すべり量D _b (cm)	41.8	$D_{b} = M_{0b} / (\mu S_{b})$
領域	地震モーメントM _{0b} (Nm)	4.08 × 10 ¹⁸	M _{0b} =M ₀ -M _{0a}
~~~	実効応力 $\Delta \sigma_{\rm b}^{\rm (MPa)}$	2.7	$\Delta \sigma_{\rm b}$ =0.2 $\Delta \sigma_{\rm a}$

■耐専式による地震動評価結果(浦底-内池見断層)













■各パラメータについて、地震動への影響の程度を検討し、敷地に大きな 影響を与えると考えられるパラメータに対して不確かさを考慮

〇和布-干飯崎沖~甲楽城断層の地震動評価に考慮する不確かさ

	断層長さ	断層 傾斜角	断層 上端深さ	アスペリティ	破壊 開始点	短周期 レベル	備考
基本ケース		北部 : 45° 南部 : 90°	4km	敷地近傍に 配置	複数設定	レシピ平均	
断層上端深さの 不確かさを考慮	60km	北部 : 45° 南部 : 90°	3km	敷地近傍に 配置	複数設定	レシピ平均	
短周期レベル1.5倍		北部 : 45° 南部 : 90°	4km	敷地近傍に 配置	複数設定	1.5倍	中越沖地震 知見反映

※応答スペクトルに基づく評価は基本ケース及び断層上端深さの不確かさを考慮したケースについて実施し、地震の規模は松田式より算定

_ 不確かさを考慮したパラメータ

■和布-干飯崎沖~甲楽城断層のモデル図

合同C13-4-2に加筆



i)断層配置図

※モデル図は基本ケースを代表して示す

■和布-干飯崎沖~甲楽城断層の断層パラメータ:上端4km

※ 戻 パニューク		パラメータ		設定方法	
町唐ハフメータ	全体	北部	南部		
断層長さL(km)	60	35.1	24.9	断層位置から計算	
断層傾斜角(°)	—	45	90	調査結果に基づき設定	
断層上端深さ(km) 断層下端深さ(km)	-	4 18	4 18	微小地震の発生及び地下構造を参考に設定	
断層幅W(km)	_	19.8	14.0	地震発生層と傾斜角から設定	
断層面積S(km ²)	1043.58	694.98	348.60	断層面より算定	
破壊伝播様式	同心円状	<i>~</i>	<i>←</i>	_	
地震モーメントM ₀ (Nm)	6.06 × 10 ¹⁹	4.47 × 10 ¹⁹	1.59×10 ¹⁹	$M_0 = \{S/(4.24 \times 10^{-11})\}^{2.0}$	
剛性率(N/m ²)	3.5 × 10 ¹⁰	<i>~</i>	<i>←</i>	$\mu = \rho \beta^2$, $\rho = 2.7$ g/cm ³ , $\beta = 3.6$ km/s	
平均すべり量D(cm)	165.9	183.8	130.2	D=M ₀ /(μS)	
平均応力降下量Δσ (MPa)	3.1	←	←	Fujii and Matsu'ura(2000)	
破壊伝播速度Vr(km/s)	2.59	<i>←</i>	<i>←</i>	Vr=0.72 β	
立ち上がり時間Tr(sec)	1.72	<i>←</i>	<i>←</i>	$Tr=2.03 \times 10^{-9} M_0^{-1/3}$	
高周波限界遮断周波数 fmax(Hz)	8.3	←	←	香川他(2003)	
短周期レベルA (Nm/s ²)	2.08 × 10 ¹⁹	←	←	$A=2.46 \times 10^{17} \times M_0^{1/3}$	
Q值	50f ^{1.1}	<i>←</i>	<i>←</i>	佐藤他(2007)	

※パラメータは基本ケースを代表して示す

■和布-干飯崎沖~甲楽城断層の断層パラメータ:上端4km

(つづき)

断層パラメータ			パラメータ		
		全体北部		南部	設定方法
全 ア	面積S _a (km ²)	229.59	152.90	76.69	Sa= γ asp × S γ asp=0.22
スペ	平均すべり量D _a (cm)	333.4	369.5	261.7	$D_a = \gamma_D D, \gamma_D = 2.01$
リテ	地震モーメントM _{0a} (Nm)	2.68 × 10 ¹⁹	1.98 × 10 ¹⁹	7.02 × 10 ¹⁸	$M_{0a} = \mu S_a D_a$
イ	応力降下量 $\Delta \sigma_{a}$ (MPa)	14.1	Ļ	Ļ	$\Delta \sigma_a = (S/S_a) \Delta \sigma$
	面積S _b (km²)	813.99	542.08	271.91	S _b =S-S _a
背景領域	平均すべり量D _b (cm)	118.6	131.4	93.1	$D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$
	地震モーメントM _{0b} (Nm)	3.38×10 ¹⁹	2.49×10 ¹⁹	8.86 × 10 ¹⁸	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$
	実効応力 $\Delta \sigma_{\rm b}$ (MPa)	2.8	4	↓	$\Delta \sigma_{\rm b}$ =0.2 $\Delta \sigma_{\rm a}$

※パラメータは基本ケースを代表して示す

■耐専式による地震動評価結果(和布-干飯崎沖~甲楽城断層)









■各パラメータについて、地震動への影響の程度を検討し、敷地に大きな 影響を与えると考えられるパラメータに対して不確かさを考慮

〇大陸棚外縁~B~野坂断層の地震動評価に考慮する不確かさ

	断層長さ	断層 傾斜角	断層 上端深さ	アスペリティ	破壊 開始点	短周期 レベル	備考
基本ケース		北部:60° 南部:90°	4km	敷地近傍に 配置	複数設定	レシピ平均	
断層上端深さの 不確かさを考慮	49km	北部 : 60° 南部 : 90°	3km	敷地近傍に 配置	複数設定	レシピ平均	
短周期レベル1.5倍		北部:60° 南部:90°	4km	敷地近傍に 配置	複数設定	1.5倍	中越沖地震 知見反映

※応答スペクトルに基づく評価は基本ケース及び断層上端深さの不確かさを考

不確かさを考慮したパラメータ

慮したケースについて実施 ※耐専式の適用範囲外とした断層に該当するため、地震動評価については、断 層モデルを重視することとし、その妥当性を検証するため、耐専式以外の距 離減衰式を用いて、応答スペクトルに基づく地震動評価を行う。

合同C12-4-3に加筆

■大陸棚外縁~B~野坂断層のモデル図



※モデル図は基本ケースを代表して示す

合同C12-4-3に加筆

■大陸棚外縁~B~野坂断層の断層パラメータ:上端4km

			_				
断層パラメータ	パラメータ	設定方法			断層パラメータ	パラメータ	設定方法
断層長さL(km)	49	断層位置から計算		全	面積S ₋ (km ²)	161.13	$Sa = \pi r^2$
新屋(石) 名 (°)	北部:60	調本は用に其べき設守		ア			$r = (7 \pi M_0 \beta^2) / (4AaR), R = (S / \pi)^{0.5}$
	南部:90	前且加木に至って設た		~	平均すべり量D _a (cm)	191.3	$D_a = \gamma_D D, \gamma_D = 2.01$
断層上端深さ(km)	4	微小地震の発生及び地下		リテレ	地震モーメントM _{0a} (Nm)	1.08×10 ¹⁹	$M_{0a} = \mu S_a D_a$
断層下端深さ(km)	18	構造を参考に設定	/	1	応力降下量 $\Delta \sigma_{a}$ (MPa)	12.3	$\Delta \sigma_{a} = (S/S_{a}) \Delta \sigma$
断層幅W(km)	北部:16.2 南部:14	地震発生層と傾斜角から		칫	面積S _{a1} (km ²)	80.56	S _{a1} =1/2S _a
				ス	平均すべり量D _{a1} (cm)	224.2	$D_{a1} = M_{0a1} / (\mu S_{a1})$
町眉山禎S(KIII ²)	598.79 国心田地	断層面より昇正		ペ「	地震モーメントM _{0a1} (Nm)	6.32 × 10 ¹⁸	$M_{0a1} = M_{0a}S_{a1}^{1.5} / (S_{a1}^{1.5} + S_{a2}^{1.5} + S_{a3}^{1.5})$
	向心円状	- -		,	応力降下量Δ σ _{а1} (MPa)	12.3	$\Delta \sigma_{a1} = \Delta \sigma_{a}$
地震モーメントM ₀ (NM)	1.99 × 10 ¹³	$M_0 = \{5/(4.24 \times 10^{-11})\}^{2.0}$		- /\	西巷S (km ²)	40.28	S _1/4S
剛性率(N/m ²)	3.5×10^{10}	$\mu = \rho \beta^2, \rho = 2.7 \text{g/cm}^3,$		アト		40.20	$S_{a2} = 1/4S_a$
· · ·		β=3.6Km/s		ス	平均すべり量D _{a2} (cm)	158.5	$D_{a2} = M_{0a2} / (\mu S_{a2})$
平均すべり量D(cm)	95.2	$D=M_0/(\mu S)$		リ	地震モーメントM _{0a2} (Nm)	2.23 × 10 ¹⁸	$M_{0a2} = M_{0a} S_{a2}^{1.5} / (S_{a1}^{1.5} + S_{a2}^{1.5} + S_{a3}^{1.5})$
平均応力降下量Δ <i>σ</i> (MPa)	3.3	$\Delta \sigma = (7 \pi^{1.5}/16)(M_0/S^{1.5})$		テ イ	応力降下量Δσ _{a2} (MPa)	12.3	$\Delta \sigma_{a2} = \Delta \sigma_{a}$
	2.50	Vr=0.72 R		小	面積S _{a3} (km²)	40.28	S _{a3} =1/4S _a
	2.09	$V_1 = 0.72 \beta$		アトス	平均すべり量D _{a3} (cm)	158.5	$D_{a3} = M_{0a3} / (\mu S_{a3})$
立ち上かり時間 I r(sec)	1.19	$1r=2.03 \times 10^{-9}M_0^{-1/3}$		~	地震モーメントM。。(Nm)	2.23×10^{18}	$M_{002} = M_{00}S_{02}^{1.5}/(S_{01}^{1.5} + S_{02}^{1.5} + S_{02}^{1.5})$
高周波限界遮断周波数 fmax(Hz)	8.3	香川他(2003)		リティ	応力降下量Δσ _{a3} (MPa)	12.3	$\Delta \sigma_{a3} = \Delta \sigma_{a}$
短周期レベルA	1.44×10^{19}	$A = 2.46 \times 1017 \times M^{-1/3}$		1		437.66	S.=S-S
(Nm/s ²)	1.44 × 1010	A=2.46 × 10 ¹¹ × M ₀ ¹¹⁰		背		50.0	$D_{\rm b}$
Q值	50f ^{1.1}	佐藤他(2007)		景	平均9个9重D _b (CM)	59.8	$D_{\rm b} = {\rm ivi}_{\rm 0b}/(\mu S_{\rm b})$
▶ ※パラメ―々け其木	<u></u> ケースを代表	- て示す	' ;	_限 域	地震モーメントM _{0b} (Nm)	9.16 × 10 ¹⁸	M _{0b} =M ₀ -M _{0a}
小小ノノーノは坐中					実効応力Δ σ _b (MPa)	2.5	$\Delta \sigma_{\rm b} = 0.2 \Delta \sigma_{\rm a}$









▶「新潟県中越沖地震を踏まえた原子力発電所等の耐震安全性評価に反映すべき事項について(平成20年9月4日)」の指示により、新潟県中越沖地震による知見の反映として、震源特性における短周期レベルを平均的なものよりおよそ1.5倍程度大きくし、震源モデルのパラメータの不確かさの考慮として地震動評価を実施している。
 ▶その地震動評価結果について、「耐震バックチェックにおいて地震動評価を行う際の応力降下量の取扱いについて(平成21年4月24日)」の指示に従い精査した。

耐震バックチェックにおいて地震動評価を行う際の応力降下量の取扱いについて (21原審第6号 平成21年4月24日)の内容

4月23日に開催された原子力安全委員会地震動解析技術等作業会合では、 断層パラメータの不確かさを考慮する際、評価の仕方によっては、基本震源モ デルに対して応力降下量を大きくした割合と短周期レベルが大きくなる割合が 異なる場合があることが確認された。

これを踏まえ、地震動評価を行う際の震源モデルのパラメータの不確かさの考慮における応力降下量の取扱いについて、改めて精査すること。

■原子力安全委員会 地震動解析技術等作業会合(H21年4月23日)で確認された内容

手法	手法の概要	評価結果	備考
A法	基本モデルと同じ要素地震波を用い, 応力降下量補正係数Cと重ね合わせ 数nを新たに設定する。経験的グリー ン関数法と統計的グリーン関数法のい ずれにも適用できる。	応力降下量1.5倍 短周期レベル1.5倍	
B法	要素地震の応力降下量Δσeを基本 モデルから変更し,基本モデルと同じ Cとnを用いる。要素地震波を人工的に 作成する統計的グリーン関数にのみ 適用できる。	応力降下量1.5倍 短周期レベル1.5 ^{2/3} 倍(約1.3倍)	従来適用してい た方法





「原子力安全委員会 地震動解析技術等作業会合(H21年4月23日) 資料1-1」より抜粋・加筆

■基本モデルに対し応力降下量Δσを変更する手法(2)



「原子力安全委員会 地震動解析技術等作業会合(H21年4月23日) 資料1-1」より抜粋・加筆

- ▶精査の結果、これまでの新潟県中越沖地震の知見を反映した評価ケースは、前述の B法を適用した評価手法によるものであった。このため、A法を適用する評価手法により地震動評価を実施した。
- ▶基本ケースと短周期レベル1.5倍としたケースの評価結果のフーリエスペクトル比から、 地震動評価結果に適切に反映されていることを確認した。



フーリエスペクトル比 (短周期レベル1.5倍ケース/基本ケース) ※代表例として白木-丹生断層のケースを実施



- 5. 基準地震動Ssの見直し
- ■前ページで策定した基準地震動Ssの設計用応答スペクトルに対し、断層モデルを用いた地震動評価結果の NS/EW/UD方向それぞれの成分にて超過するケースより、基準地震動Ssを選定する。



5. 基準地震動Ssの見直し

■基準地震動Ssの設計用応答スペクトルを超過するケースから、下図に示すケースを断層モデルによる基準地震動Ssとして選定する。



※凡例の()内の数値は順にNS, EW, UD成分の最大加速度値(ガル)



■参考文献

- Shizuo Noda, Kazuhiko Yashiro, Katsuya Takahashi, Masayuki Takemura, Susumu Ohno, Masanobu Tohdo, Takahide 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 Analysis, Oct. 16-18, Istanbul
- ・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
- Yoshihiro Fujii and Mitsuhiro Matsu'ura (2000) : Regional Difference in Scaling laws for Large Earthquakes and its Tectonic Implication, Pure and Applied Geophysics, 157, 2283-2302
- Geller, R.J. (1976) : Scaling relations for earthquake source parameters and magnitudes, Bulletin of the Seismological Society of America, 66, 1501-1523.
- Paul Somerville, Kojiro Irikura, Robert Graves, Sumio Sawada, David Wald, Norman Abrahamson, Yoshinori Iwasaki, Takao Kagawa, Nancy Smith, Akira Kowada (1999) : Characterizing Crustal Earthquake Slip Models for the Prediction of Strong Ground Motion, Seismological Research Letters, Vol.70, pp.59-80
- ・香川敬生,鶴来雅人,佐藤信光:硬質サイトの強震観測記録に見られる高周波低減特性の検討,土木学会地震 工学論文集,2003
- ・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出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,545,51-62.
- ・佐藤智美・壇一男・岡崎敦・羽田浩二(2007):若狭湾周辺の地殻内地震の記録を用いたスペクトルイン バージョン解析,日本地震学会講演予稿集,P3-66
- ・原子力安全委員会 地震動解析技術等作業会合(H21年4月23日)資料1-1

- ▶和布一干飯崎沖断層・甲楽城断層、柳ヶ瀬断層及び鍛冶屋断層(~関ヶ原断層)については、念のため同時活動を考慮するが、敷地近傍の長大断層であることから、断層面上における破壊の進行方向による影響(破壊伝播効果)を適切に評価するという観点から、断層モデルを用いた手法により基準地震動Ssの妥当性を確認する。
- ▶平成21年7月21日に地震調査研究推進本部から公表された「全国地震動予測地図」 において示されている「断層モデル作成の基本方針」には、次の様に記されており、 詳細な設定方法についてはまだ公開されていない。

長さが概ね80kmを超える断層帯については、レシピに基づいて設定するが、 観測された地表変位と整合するように地震モーメントを調整するなど、長大断 層のモデル作成を個別検討している。

▶このため、地震調査研究推進本部が従来採用している強震動予測レシピに基づき、 断層パラメータを設定して評価した。 ■和布-干飯崎沖断層・甲楽城断層、柳ヶ瀬断層及び鍛冶屋断層(~関ヶ原断層)の モデル図



【参考】活断層の念のための同時活動に関する検討

■和布-干飯崎沖断層・甲楽城断層、柳ヶ瀬断層及び鍛冶屋断層(~関ヶ原断層)の 断層パラメータ

断層パラメータ	全体	和布- 干飯崎沖	甲楽城	柳ヶ瀬	鍛冶屋 (~関ヶ原)	設定方法	
断層長さL(km)	119.2	35.1	24.9	30.2	29.0	断層位置から計算	
断層傾斜角(°)	—	45	90	90	90	調査結果に基づき設定	
断層上端深さ(km) 断層下端深さ(km)	_	4 18	4 18	4 18	4 18	微小地震の発生及び地下構造を参考に 設定	
断層幅W(km)	_	19.8	14.0	14.0	14.0	地震発生層と傾斜角から設定	
断層面積S(km ²)	1872.38	694.98	348.60	422.80	406.00	断層面より算定	
破壊伝播様式	同心円状	→	←	→	→	_	
地震モーメントM ₀ (Nm)	1.95×10 ²⁰	8.57 × 10 ¹⁹	3.04 × 10 ¹⁹	4.07 × 10 ¹⁹	3.83×10 ¹⁹	$M_0 = \{S/(4.24 \times 10^{-11})\}^{2.0}$	
剛性率(N/m²)	3.5×10 ¹⁰	→	→		→	$\mu = \rho \beta^2$, $\rho = 2.7$ g/cm ³ , $\beta = 3.6$ km/s	
平均すべり量D(cm)	297.6	352.3	249.5	274.8	269.3	D=M ₀ /(μS)	
平均応力降下量 Δ <i>σ</i> (MPa)	3.1	←	←	→	←	Fujii and Matsu'ura(2000)	
破壊伝播速度Vr(km/s)	2.59	→	<i>←</i>	→	→	Vr=0.72β	
立ち上がり時間Tr(sec)	2.54	\rightarrow	<i>←</i>		←	$Tr=2.03 \times 10^{-9} M_0^{-1/3}$	
高周波限界遮断周波数 fmax(Hz)	8.3	←	←	→	←	香川他(2003)	
短周期レベルA (Nm/s ²)	3.07 × 10 ¹⁹	←	←	←	←	A=2.46 × 10^{17} × M ₀ ^{1/3}	
Q値	50f ^{1.1}	Ļ	←	Ļ	\rightarrow	佐藤他(2007)	

【参考】活断層の念のための同時活動に関する検討

■和布-干飯崎沖断層・甲楽城断層、柳ヶ瀬断層及び鍛冶屋断層(~関ヶ原断層)の 断層パラメータ(つづき)

断層パラメータ								
		全体	和布- 干飯崎沖	甲楽城	柳ヶ瀬	鍛冶屋 (~関ヶ原)	設定方法	
全アスペリティ	面積S _a (km²)	411.92	152.90	76.69	93.02	89.32	Sa= γ asp × S γ asp=0.22	
	平均すべり量D _a (cm)	598.3	708.1	501.5	552.3	541.2	$D_a = \gamma_D D, \gamma_D = 2.01$	
	地震モーメントM _{0a} (Nm)	8.62 × 10 ¹⁹	3.79 × 10 ¹⁹	1.35 × 10 ¹⁹	1.80×10 ¹⁹	1.69 × 10 ¹⁹	$M_{0a} = \mu S_a D_a$	
	応力降下量Δσ _a (MPa)	14.1	←	<i>←</i>	←	←	$\Delta \sigma_{a} = (S/S_{a}) \Delta \sigma$	
背景領域	面積S _b (km²)	1460.46	542.08	271.91	329.78	316.68	S _b =S-S _a	
	平均すべり量D _b (cm)	212.9	251.9	178.4	196.5	192.6	$D_b = M_{0b}/(\mu S_b)$	
	地震モーメントM _{ob} (Nm)	1.09×10 ²⁰	4.78 × 10 ¹⁹	1.70×10 ¹⁹	2.27 × 10 ¹⁹	2.13 × 10 ¹⁹	M _{0b} =M ₀ -M _{0a}	
	実効応力 $\Delta \sigma_{\rm b}$ (MPa)	2.8	<i>←</i>	<i>←</i>	\leftarrow	<i>←</i>	$\Delta \sigma_{\rm b} = 0.2 \Delta \sigma_{\rm a}$	



■確認の結果、水平方向の長周期帯(周期4秒前後)において、基準地震動Ssの設計用応答スペクトルをわずかに超過しているが、安全上重要な施設の固有周期帯である短周期帯においては、設計用応答スペクトルを下回っており、策定した基準地震動Ssは妥当と考える。

基準地震動Ssに対する主要施設の検討状況(参考)

Ss(応答スペクトル波:760ガル、今回選定した断層モデル波)に対する評価結果

施設	評価部位	評価内容 (単位)	発生値 ^{※1}	評価基準値
原子炉建物·原子炉補助建物	耐震壁	せん断ひずみ	0.98 × 10⁻³	2.0 × 10⁻³
制御棒	挿入性	相対変位(mm)	34	55
炉内構造物	支持構造物	応力(MPa)	152	178
1次主冷却系主配管	配管	応力(MPa)	228	272
	2次出ロノズル	応力(MPa)	126	223
1次主冷却系中間熱交換器	伝熱管	応力(MPa)	176	231
	基礎ボルト	応力(MPa)	115	361
	吸込口	応力(MPa)	168	257
1次主冷却循環ポンプ	オーバフローノズル	応力(MPa)	47	257
	基礎ボルト	応力(MPa)	45	341
2次主冷却系主配管	配管	応力(MPa)	218 ^{※2}	260
	吸込口	応力(MPa)	164	231
2次主冷系循環ポンプ	オーバフローノズル	応力(MPa)	57	231
	取付ボルト	応力(MPa)	14	341
補助冷却設備主配管	配管	応力(MPa)	214	275
補助冷却設備空気冷却器	ダクト	モーメント(kN・mm)	5.34 × 10 ^{5 %2}	6.04 × 10 ⁵
百之后故幼家贸	クレーン荷重発生部	応力(MPa)	288 ^{%2}	348
原于炉恰梢谷岙	下端部	応力(MPa)	84 **2	232
	上部フランジ	応力(MPa)	120	436
原子炉容器	炉内構造取付部	応力(MPa)	164	240
	下部サポート	応力(MPa)	309	361

※1:応答スペクトル波(760ガル)および断層モデル波の中から最大値を記載。

※2:断層モデル波による発生値。(応答倍率評価法)