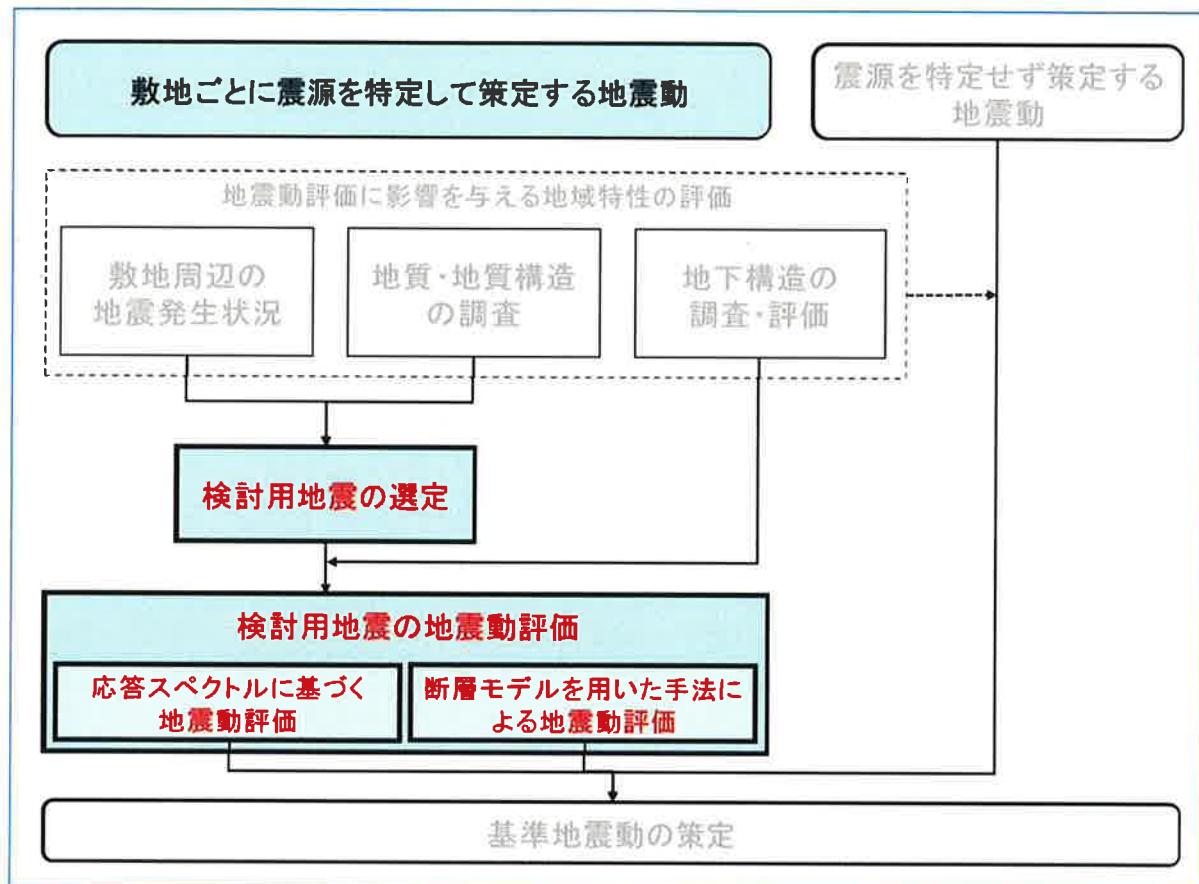


第2 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価



債務者は、上記第1で述べた本件発電所周辺の地域特性を踏まえ、検討用地震（FO-A～FO-B～熊川断層による地震及び上林川断層による地震）を選定し、各検討用地震が発生した場合に本件発電所敷地で想定される地震動を評価するため、「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」を行った。

「応答スペクトルに基づく地震動評価」は、実際には広がりをもった震源断層面から放出される地震波を、ある1点の震源から放出されるものと仮定し（点震源）、距離減衰式を用いて、地震の規模、評価地点までの距離等の諸元から地震動の応答スペクトル⁹⁰を求めて、地震動を評価するものである。

一方、「断層モデルを用いた手法による地震動評価」は、震源となる断層

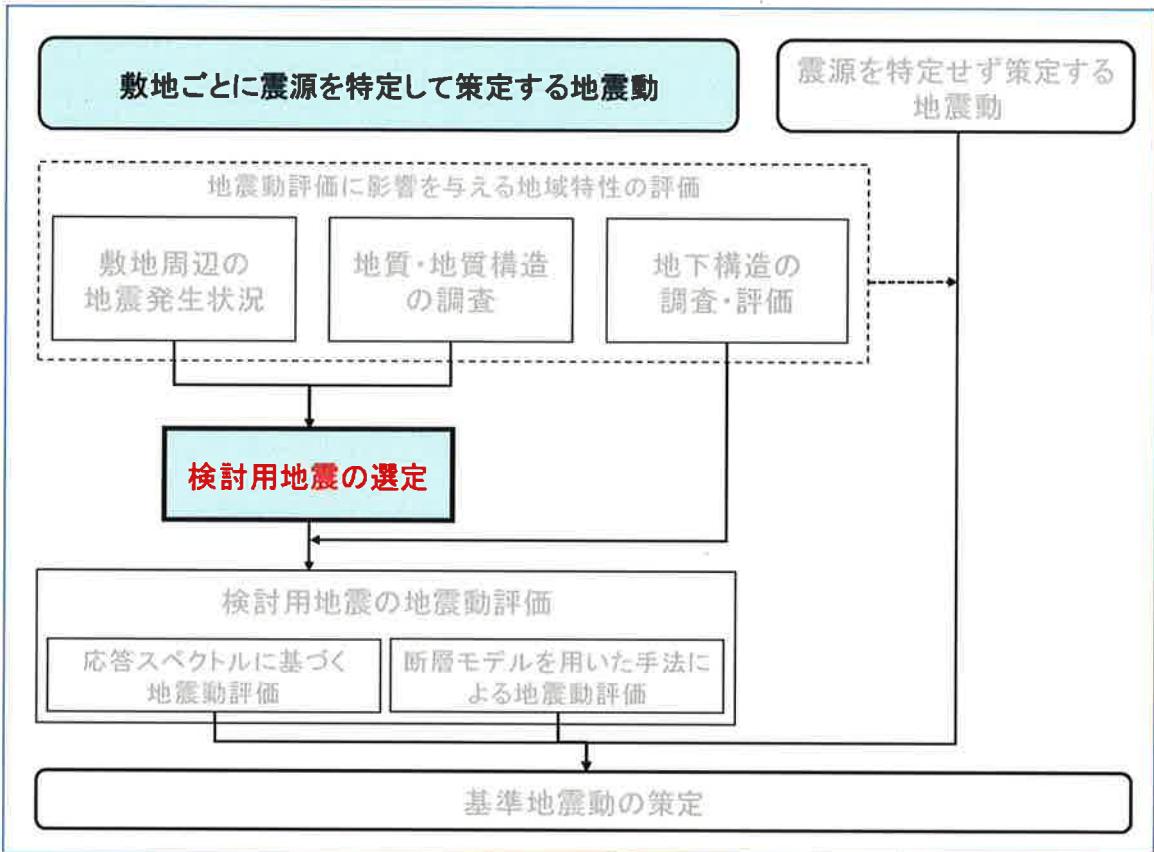
⁹⁰ 応答スペクトルの基本的事項については、別紙1の5を参照。

(震源断層) をモデル化し、震源から本件発電所敷地までの地震波の伝播特性、本件発電所敷地の地盤における地震波の増幅特性（サイト特性）を考慮して行う地震動評価である。

「応答スペクトルに基づく地震動評価」と「断層モデルを用いた手法による地震動評価」とを組み合わせることで、それぞれの手法の特徴を活かした地震動評価を行うことができる。

以下では、検討用地震の選定（下記1）並びに各検討用地震に係る「応答スペクトルに基づく地震動評価」（下記2）及び「断層モデルを用いた手法による地震動評価」（下記3）についてそれぞれ説明した上で、両評価においては十分に不確かさを考慮して保守的に評価を行っていることを述べる（下記4）。

1 検討用地震の選定



(1) 設置許可基準規則等

設置許可基準規則解釈は、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価（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）にあたって、「内陸地殻内地震・・・について、敷地に大きな影響を与えると予想される地震・・・を複数選定」することを求めている（同規則解釈別記2第4条5項2号、乙9、128頁）。

(2) 本件発電所における検討用地震の選定

債務者は、上記第1の1（敷地周辺の地震発生状況の調査・評価）において検討用地震の候補として抽出された9個の地震及び上記第1の2（活断層の分布状況の調査・評価）において検討用地震の候補として抽出された18個の地震を対象に、地震の規模及び敷地までの距離に基づいて敷地に与える影

響を詳細に検討した。

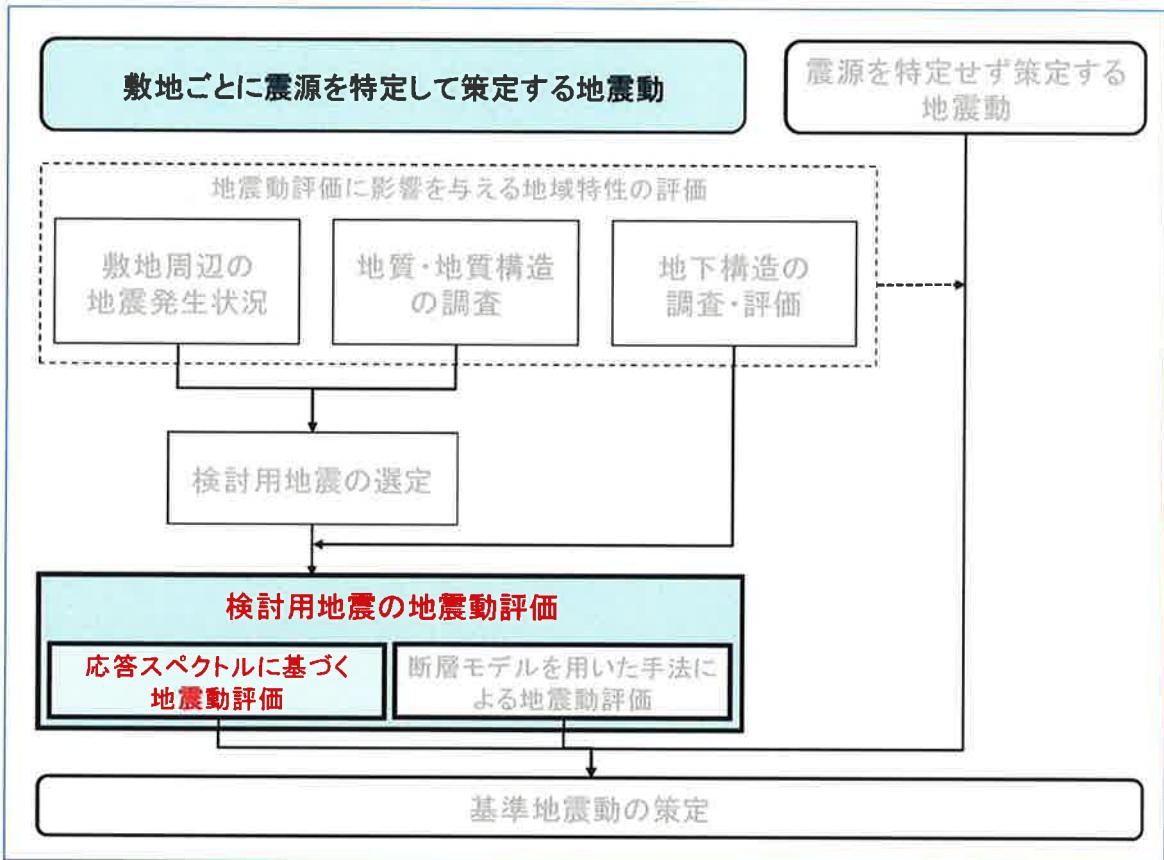
その結果、本件発電所敷地への影響が大きいと考えられる地震として、「FO-A～FO-B～熊川断層による地震」（上記第1の2（4）イの図表33の16番）及び「上林川断層による地震」（同図表の11番）の2つを、検討用地震として選定した。

（以上について、乙5、添付書類六、6-5-9頁、乙57、9頁）

（3）原子力規制委員会による審査

原子力規制委員会は、債務者が行った本件発電所の検討用地震の選定に係る評価について、活断層の性質や地震発生状況を精査し、既往の研究成果等を総合的に検討することにより検討用地震を複数選定するとともに、評価にあたっては複数の活断層の運動も考慮していることから、設置許可基準規則解釈別記2に適合していることを確認したとしている（乙38の2、14～16頁）。

2 応答スペクトルに基づく地震動評価



「応答スペクトルに基づく地震動評価」は、距離減衰式に代表される、地震のマグニチュード（M）⁹¹と震源（又は震源断層）からの距離の関係で地震動特性を評価する手法である。ここで、「距離減衰」とは、地震の揺れ（震度の大きさ）と震源からの距離との関係を示したもので、地震が発生した場所から遠くなればなるほど、地震の揺れが弱くなることをいう。

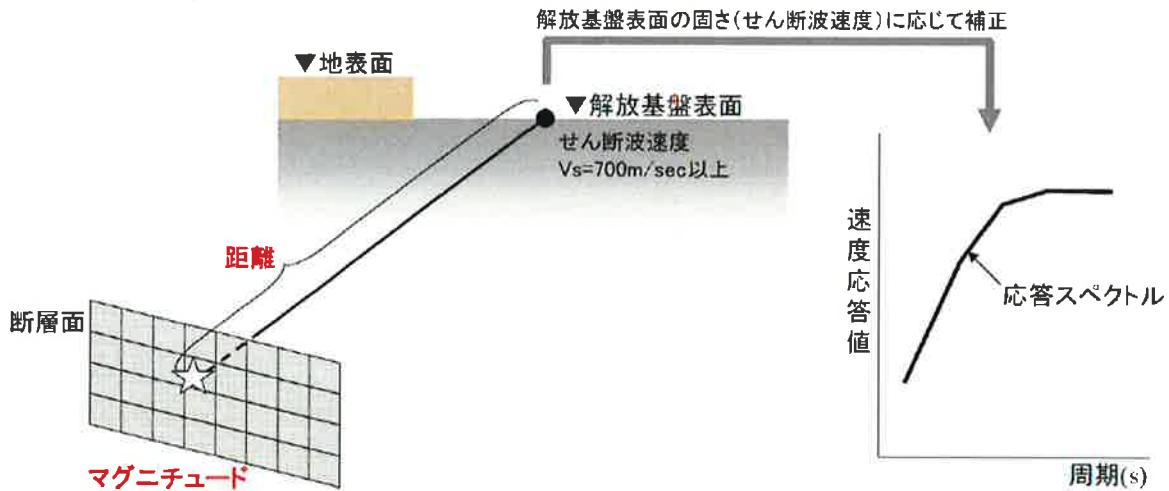
「距離減衰式」とは、地震の規模及び震源からの距離と、地震動の大きさとの関係を式に表したもので、過去の多くの地震データの統計的処理によって経験的に得られるものである。地震の規模（マグニチュード）や、震源距離等を距離減衰式に入力すると、これらの入力に対応する地震動を計算することができる。

「応答スペクトルに基づく地震動評価」においては、地震の規模を表すマグ

⁹¹ 脚注36を参照。

ニチュード、震源距離を用いて応答スペクトルを求め、地域性を考慮した補正をすることで、応答スペクトルが求められる（図表5-4）。

（乙1、244～246頁）



※距離減衰式の種類によって、「距離」は、「断層最短距離」、「等価震源距離」などが用いられる。

（乙1、245頁より）

【図表5-4 応答スペクトルに基づく地震動評価の例】

本項では、各検討用地震に係る「応答スペクトルに基づく地震動評価」について説明する。

（1）設置許可基準規則等

設置許可基準規則解釈は、「検討用地震ごとに、適切な手法を用いて応答スペクトルを評価のうえ、それらを基に設計用応答スペクトルを設定し、これに対して、地震の規模及び震源距離等に基づき地震動の継続時間及び振幅包絡線の経時的変化等の地震動特性を適切に考慮して地震動評価を行うこと」を求めている（同規則解釈別記2第4条5項2号④i）、乙9、129～130頁）。

これを受けて、地震ガイドは、①経験式（距離減衰式）の選定について、「用いられている地震記録の地震規模、震源距離等から、適用条件、適用範

囲について検討した上で、経験式（距離減衰式）が適切に選定されていること」、及び「参照する距離減衰式に応じて適切なパラメータを設定する必要があり、併せて震源断層の拡がりや不均質性・・・が適切に考慮されていること」を確認するとともに、②伝播特性及び地盤の增幅特性（サイト特性）の評価について、「参照する距離減衰式の特徴を踏まえ、敷地周辺の地下構造に基づく地震波の伝播特性（サイト特性）の影響を考慮して適切に評価されていること」等を確認するとしている（乙10、4頁、I 3.3.1(1)）。

なお、下記（2）で述べるとおり、債務者は、応答スペクトルに基づく地震動評価にあたって、松田（1975）⁹²（乙73）で提案されている、活断層長さと地震の規模（M）との関係を表す経験式（以下、「松田式」という）を用いて地震の規模を設定しているところ、この点に関して、地震ガイドは、「震源モデルの長さ又は面積、あるいは1回の活動による変位量と地震規模を関連づける経験式を用いて地震規模を設定する場合には、経験式の適用範囲が十分に検討されていることを確認する。その際、経験式は平均値としての地震規模を与えるものであることから、経験式が有するばらつきも考慮されている必要がある」としている（乙10、3頁、I 3.2.3(2)）。

（2）本件発電所の「応答スペクトルに基づく地震動評価」

ア 距離減衰式の選定

（ア）耐専式の選定

a 上記の要求事項を踏まえ、債務者は、応答スペクトルに基づく地震動評価において必要となる距離減衰式について、耐専式（乙44）を用いることとした。

b 耐専式は、地震の規模（M）、等価震源距離（X_{eq}）（下記d）及び評価地点の地盤のP波速度・S波速度から、評価地点の水平方向及び

⁹² 松田時彦「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、269-283頁

鉛直方向の地震動の応答スペクトルを評価するものである。すなわち、耐専式では、地震の規模（M）と等価震源距離（ X_{eq} ）が与えられると、特定の8つの周期（図表5-5の「 T_A 」から「 T_H 」まで）に対する応答値（コントロールポイント。同表の「A」から「H」まで）が算定される。この8つのコントロールポイントを、横軸に周期をとったグラフ上に書き出し（図表5-6内の「A」から「H」までの8つの点）、それらを線で結ぶことにより、応答スペクトルが求められる（同図）。

そして、この応答スペクトルに、評価地点の地盤のP波速度・S波速度を考慮して地盤増幅率を乗じることで、評価地点の岩盤の硬さに応じた応答スペクトルに補正される。つまり、耐専式で地震動を評価する際には、評価地点の地域性を踏まえて地震動評価を行うことが予定されている。

表 1.2.3.2-1 地震基盤における水平地震動のコントロールポイント

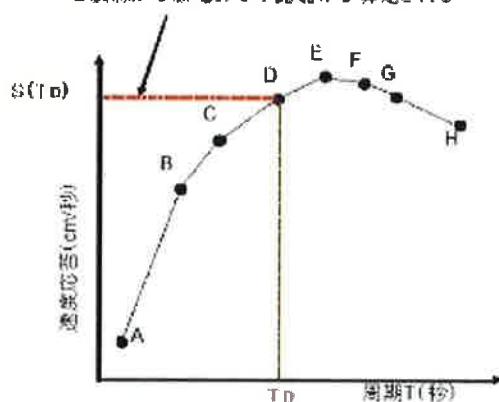
領域	M	X_{eq} (km)	コントロールポイントの座標 μS_V (cm/s)							
			A	B	C	D	E	F	G	H
			T_A (s)	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)	T_E (s)	T_F (s)	T_G (s)	T_H (s)
震源距離	8.5	0.02	0.09	0.13	0.30	0.60	1.00	2.00	5.00	
		40	1.62	18.44	27.32	47.87	68.05	64.66	59.52	40.06
		25	1.69	20.05	28.96	48.22	67.80	66.25	52.51	38.35
		12	1.40	17.20	24.84	33.86	43.42	36.42	25.15	17.85
近距離	6	6	1.04	12.82	18.51	21.84	23.17	17.41	9.64	3.88
		80	0.73	7.36	11.43	22.92	34.79	32.58	27.60	21.96
		50	0.67	7.45	11.17	20.05	28.65	27.06	22.70	17.19
		20	0.78	9.44	13.64	19.10	24.83	20.69	14.46	10.37
中距離	8.5	8	0.77	9.45	13.65	16.23	17.18	12.73	7.16	2.89
		160	0.26	2.22	3.67	9.45	15.17	14.83	13.84	12.26
		100	0.32	3.08	4.86	10.27	16.04	14.96	12.73	10.37
		50	0.23	2.65	4.01	6.02	7.64	6.68	4.87	3.64
遠距離	6	25	0.21	2.49	3.60	4.54	4.84	3.98	2.07	0.86
		200	0.18	1.44	2.43	6.87	11.17	11.17	10.67	10.04
		200	0.10	0.80	1.95	3.82	6.21	6.21	5.93	5.58
		125	0.046	0.43	0.70	1.34	1.81	1.59	1.26	1.05
	8	78	0.041	0.45	0.65	0.95	1.03	0.80	0.49	0.22

μS_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

【図表 5.5 耐専式における 8 つの周期に対する

応答値（コントロールポイント）】

周期 T_D に対する応答値 $S(T_D)$ が地震のマグニチュードと震源から敷地までの距離から算定される

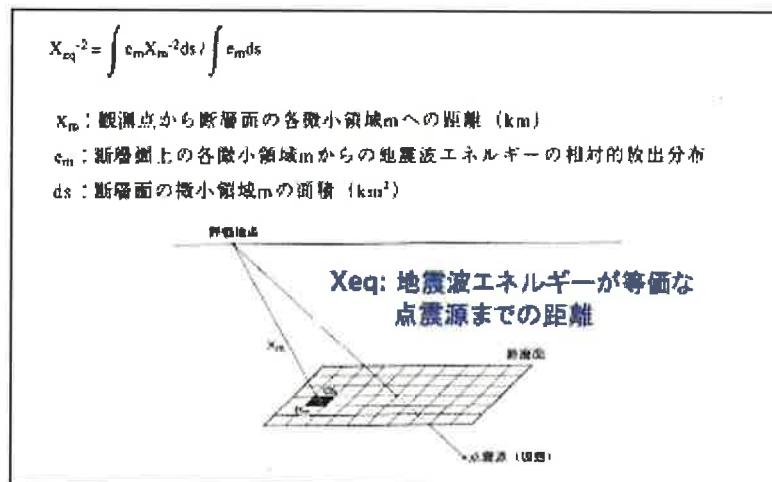


【図表 5.6 耐専式による応答スペクトルの作成】

c 耐専式に入力する地震の規模 (M) については、松田 (1975) (乙

73) で提案されている、活断層長さ (L) と地震の規模 (M) との関係を表す経験式 (松田式。 $\log L = 0.6M - 2.9$) (乙73, 271頁, (2) 式) を用いて、断層長さから求めた (乙57, 63頁)。

d また、耐専式では、震源から敷地までの距離として等価震源距離を用いている。等価震源距離とは、震源断層面の各部から放出され敷地に到達する地震波のエネルギーの総計が、特定の1点（点震源）から放出されたものと仮定した場合に到達するエネルギーと等しくなるときの点震源から敷地までの距離をいう (図表57)。実際は広がりをもった震源断層面から放出された地震波を、ある1つの震源（点震源）から放出されるものと仮想することにより、等価震源距離という1つの数値の中で、震源断層面の広がりやアスペリティ分布の効果を考慮することができる。



【図表57 等価震源距離】

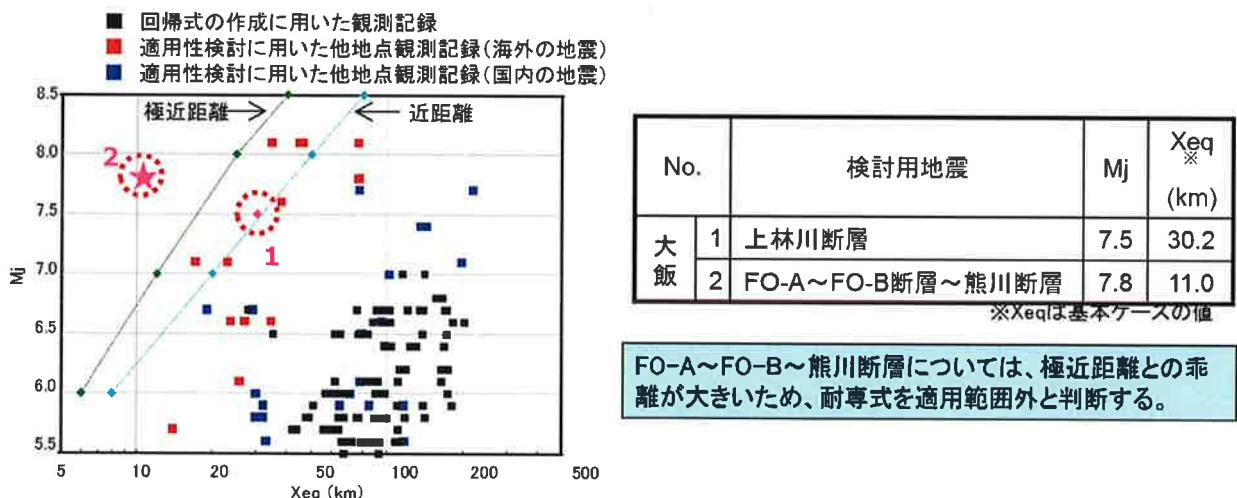
(イ) 耐専式の適用が不適当な場合の取扱い (各種の距離減衰式)

a 耐専式の適用性

距離減衰式は、様々な観測地点で得られた多くの地震観測記録を回

帰分析⁹³等によって統計的に処理するという経験的な手法によって作成されている。そのため、距離減衰式を用いる際には、その元となつた地震観測記録群の範囲（地震規模、震源からの距離等）を踏まえ、評価地点における地震動評価に用いることが適當かどうか（適用性）を確認した上で用いる必要がある（乙10、4頁、I 3.3.1(1)①1）。

耐専式については、その作成にあたって基礎とされた地震観測記録群のほか、作成後、同式の適用性の確認に用いられた地震観測記録群もあるが、これらの記録群には、等価震源距離が「極近距離」（マグニチュード8なら25km、マグニチュード7なら12km等）よりも著しく短い場合の地震観測記録は含まれていない（図表58、乙5、添付書類六、6-5-81頁、乙57、64頁、乙74、「耐専スペクトルの適用性検討（内陸地殻内地震を対象とした追加検討内容）」14頁）。



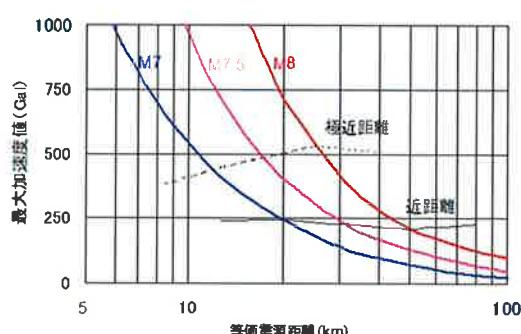
（乙57、64頁から抜粋）

※左側の図において、FO-A～FO-B～熊川断層を表す「2」の点が、「極近距離」の斜め線よりも大きく左側に位置しており、同断層の等価震源距離（Xeq）が「極近距離」よりも著しく短いことを示している。

【図表58 耐専式の適用可否の検討】

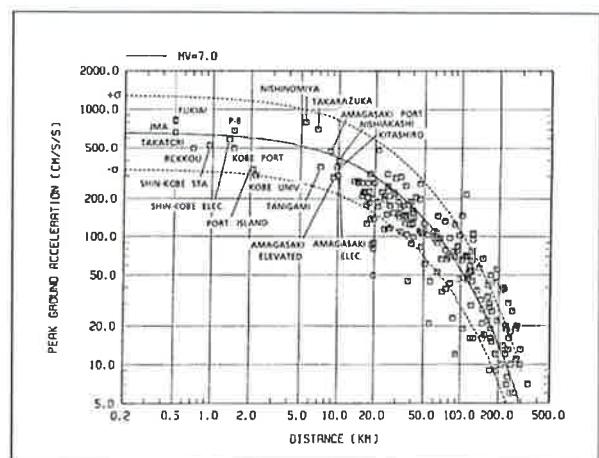
⁹³ 回帰分析とは、多数のデータをもとに統計的な分析を行い、複数のパラメータ間の最も確からしい関係式（回帰式）を導くことである。地震学・地震工学を含む自然科学においては、様々な自然現象から基本的な原理・法則・傾向を見出すにあたって、回帰分析が幅広く行われている。

また、等価震源距離が「極近距離」より著しく短い場合、耐専式では、等価震源距離が短くなるにつれて、実際の地震動に比べて大きな評価結果が得られる傾向があるとされている（図表59）。そのため、等価震源距離が著しく短い場合、耐専式を用いることが適当ではない場合がある。



耐専式における等価震源距離と最大加速度値の関係

極近距離とは
近距離(約200~250Galの加速度となる点)の1/2程度



兵庫県南部地震で観測された最大加速度値と既往の距離減衰式
(福島・田中(1992))との比較(Fukushima & Irikura, 1997)

（乙75、「大飯発電所 地震動評価について」40頁から抜粋）

* まず、右側のグラフは、実際の地震における、震源断層面からの最短距離と最大加速度値との関係を示したもので、距離が短くなればなるほど、最大加速度値の増加の度合いが低下する（頭打ちになる）という傾向が現れている。

一方、左側のグラフは、耐専式における等価震源距離と最大加速度の関係を示したもので、等価震源距離が短くなる（震源が敷地に近づく）につれて最大加速度の増加の度合いが増すという傾向が現れている。

すなわち、両グラフを比較すると、距離（等価震源距離）が短くなるにつれ、実際の地震動（右側グラフ）は最大加速度の増加の程度が緩やかに頭打ち傾向となるのに対し、耐専式による推定値（左側グラフ）は最大加速度の増加の程度が急激に伸びていく傾向となる。以上から、耐専式において「極近距離」より距離が短い場合に地震動を過大評価する傾向があることが分かる。

【図表59 耐専式における等価震源距離と最大加速度値の関係】

b 本件発電所における取扱い

本件発電所の検討用地震のうち、上林川断層による地震（マグニチ

マグニチュード7.5)は、等価震源距離が30.2kmであり、耐専式における「極近距離」に比べて十分長い一方、FO-A～FO-B～熊川断層による地震(マグニチュード7.8)は、等価震源距離が11.0kmと、「極近距離」に比べて著しく短い。

そこで、債務者は、上林川断層による地震の地震動評価には耐専式を用いることとしたが、FO-A～FO-B～熊川断層による地震の地震動評価については、耐専式を用いず、耐専式以外の各種の距離減衰式(内山・翠川(2006)⁹⁴の関係式、片岡ほか(2006)⁹⁵の関係式、Abrahamson and Silva(2008)⁹⁶の関係式等)により応答スペクトルを求めることとした(乙5、添付書類六、6-5-46頁、乙57、65頁等)。

なお、このように震源が近い地震について距離減衰式で求めた応答スペクトルについては、その取扱いに際して特別な留意を行っている。すなわち、「応答スペクトルに基づく地震動評価」は、多くの地震観測データに基づき、数少ないパラメータにより行うものである一方、「断層モデルを用いた手法による地震動評価」は、断層面積、傾斜角等の断層形状のみならず、破壊開始点、アスペリティ等の破壊のメカニズムも考慮する(具体的には、断層全体の形状や規模を示す巨視的震源特性、アスペリティ等の震源断層の不均質性を示す微視的震源特性、破壊過程等の他の震源特性を考慮した震源特性パラメータを設定する)ことにより、詳細な地震動評価が可能なものである。このことから、平成18年耐震設計審査指針では、震源が評価対象地点に近く、その破壊過程が地震動評価に大きな影響を与えると考えられる地

⁹⁴ 内山泰生、翠川三郎「震源深さの影響を考慮した工学的基盤における応答スペクトルの距離減衰式」日本建築学会構造系論文集、606号、81～88頁

⁹⁵ 片岡正次郎ほか「短周期レベルをパラメータとした地震動強さの距離減衰式」土木学会論文集A、62、740～757頁

⁹⁶ Abrahamson, N. and W. Silva 「Summary of the Abrahamson & Silva NGA Ground-Motion Relations」Earthquake Spectra, Vol. 24, 67-97頁

震については、「断層モデルを用いた手法による地震動評価」を重視すべきであるとされ（乙1, 253頁），新規制基準においても，この点が承継されている（乙10, 3頁，I 3.1(2)）。

債務者は，このことを踏まえ，FO-A～FO-B～熊川断層による地震の地震動評価については，下記3の「断層モデルを用いた手法による地震動評価」を重視することとし，各種の距離減衰式によって求めた応答スペクトルは，あくまで「断層モデルを用いた手法による地震動評価」の妥当性を検討するために用いるものとした。

（以上（イ）について，乙57, 63～65頁）

イ FO-A～FO-B～熊川断層の地震動の応答スペクトル

上記ア（イ）bのとおり，FO-A～FO-B～熊川断層の地震については，耐専式ではなく，各種の距離減衰式を用いて応答スペクトルを求めた。その際，各種の距離減衰式は，各提案者の考え方に基づき，断層のずれのタイプの違いや観測点と断層面の位置による影響もパラメータとして考慮できるもの等，それぞれ特徴を有していることから，債務者は，それらの特徴を踏まえた上で，各種の距離減衰式を用いた。また，各パラメータの設定においては，詳細な調査に基づき不確かさを考慮した保守的な値を入力し，起こりうる不確かさについても適切に考慮するなどした。

（乙5, 添付書類六, 6-5-11～6-5-12頁, 6-5-37頁, 6-5-84～6-5-85頁）

（ア）基本ケース

債務者は，9個の距離減衰式（乙57, 65頁）のそれぞれに，震源から敷地までの距離，地震の規模等，距離減衰式ごとに必要となるパラメータを入力して，応答スペクトルを求めた。

a 例えば、震源から敷地までの距離については、断層の上端（地震発生層の上端）の深さ等を保守的に条件設定することで、距離が短くなり、ひいては地震動が大きくなるように設定した。

断層の上端（地震発生層の上端）の深さについては、上記第1の3(2)イ(ウ)で述べたとおり、詳細な地下構造の調査結果から深さ4km程度であると評価していたが、原子力規制委員会における議論も踏まえ、より浅く（保守的に）深さ3kmと設定することで、震源断層面が本件発電所敷地により近づく設定とした（下端深さは18kmと設定し、これにより断層の幅は15kmとした）。

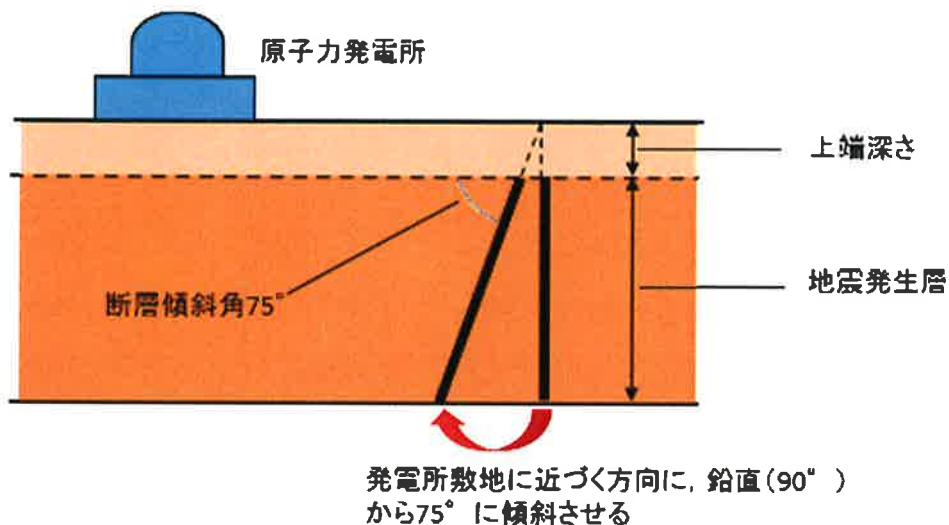
b また、地震の規模については、断層の長さ及び断層の幅（地震発生層の厚さ）の評価結果をもとに、断層面積から設定した。

債務者は、断層の長さ及び幅について、起こりうる不確かさを最大限に織り込んで保守的に評価したことから（上記第1の2(3)ウ、同3(2)イ）、それらをもとにした地震の規模も、保守的に大きな値を設定した（地震モーメント換算で言うと、FO-A～FO-B断層（2連動）の長さ35km、断層上端深さ4km（断層幅14km）で $1.36 \times 10^{19} N \cdot m$ であったところ、FO-A～FO-B～熊川断層（3連動）の長さ63.4km、断層上端深さ3km（断層幅15km）で $5.03 \times 10^{19} N \cdot m$ と、3倍を超える大きさとなった。地震モーメントについては下記3(2)ウ(ア)b(a)を参照）。

(イ) 不確かさを考慮したケース（傾斜角75° ケース）

また、FO-A～FO-B～熊川断層については、本件発電所敷地との位置関係等を踏まえ、各種の距離減衰式による応答スペクトルを求めるに際し、不確かさを考慮して、敷地での地震動が更に大きくなるケースを追加的に検討した。

すなわち、FO-A～FO-B～熊川断層は、上林川断層と同様、横ずれ断層であり、断層の傾きが 90° （断層面が鉛直）であると評価される（上記第1の3（2）イ（イ）b）。しかし、FO-A～FO-B～熊川断層は、上林川断層と異なり、本件発電所敷地のごく近傍にあり、想定される地震が敷地に与える影響が大きいため、断層の傾きの違いが地震動評価に少なからず影響を及ぼす可能性があると考えられる。そこで、不確かさの考慮として、念のため、周辺の逆断層の断層傾斜角を参考に震源断層面の傾斜角を 75° に変えることで、震源断層面と敷地との距離を近づける（地震動がより大きくなる）ケースを検討した（図表60）。



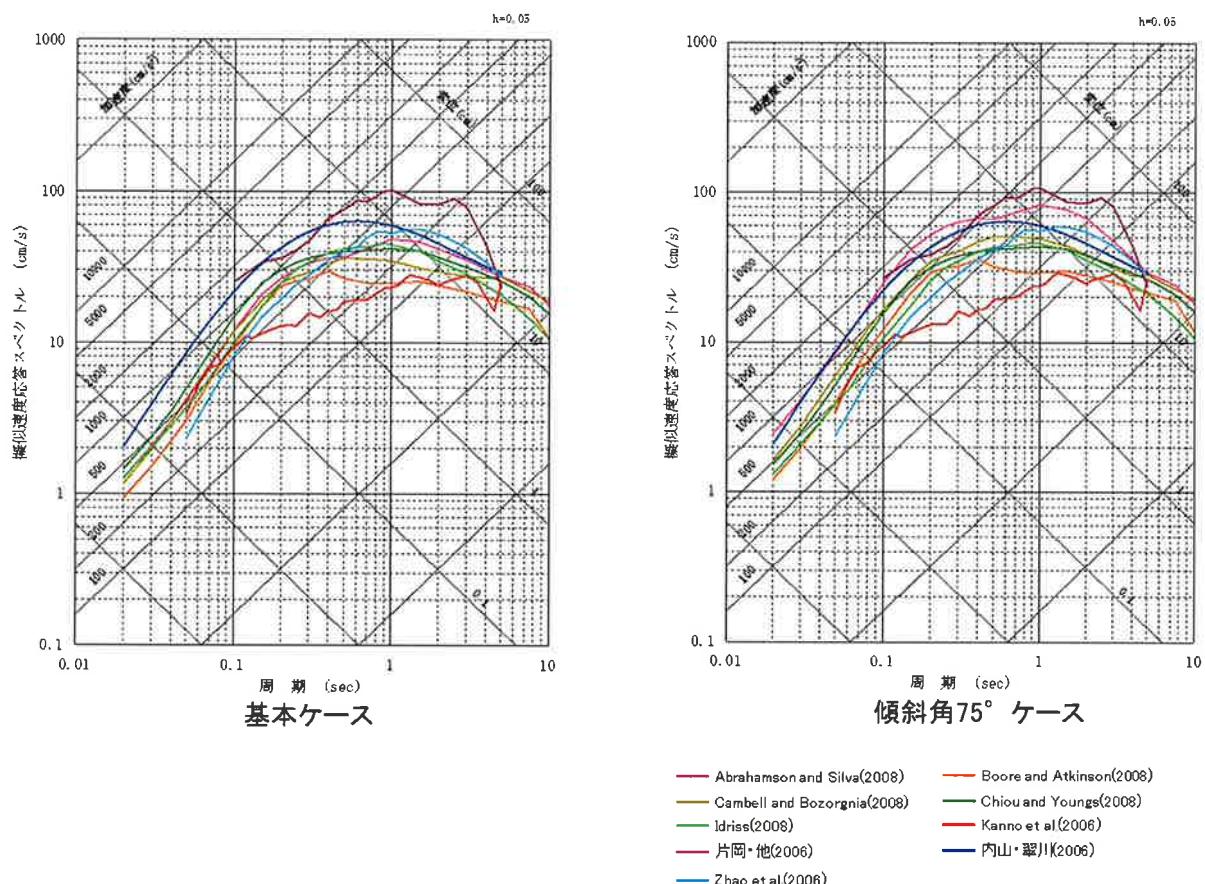
【図表60 断層傾斜角】

(ウ) その他のパラメータ等

債務者は、各種の距離減衰式が提案されている論文（乙57、65頁を参照）において、当該距離減衰式の基礎とされた観測記録から導出された補正式が提案されている場合は、それを用いて地盤の硬さを踏まえた補正を行うなどして、各種の距離減衰式の諸元となった地盤の硬さと本件発電所の地盤の硬さの差異を適切に考慮した。

(エ) 応答スペクトル

9個の距離減衰式により求めたFO-A～FO-B～熊川断層による地震の応答スペクトルは、図表6-1のとおりである（乙5、添付書類六、6-5-84～6-5-85頁、乙57、93頁）。債務者は、上記ア（イ）bで述べたように、これらの応答スペクトルを「断層モデルを用いた手法による地震動評価」の妥当性の検討に用いることとした（検討結果については下記第4の1（2）を参照）。

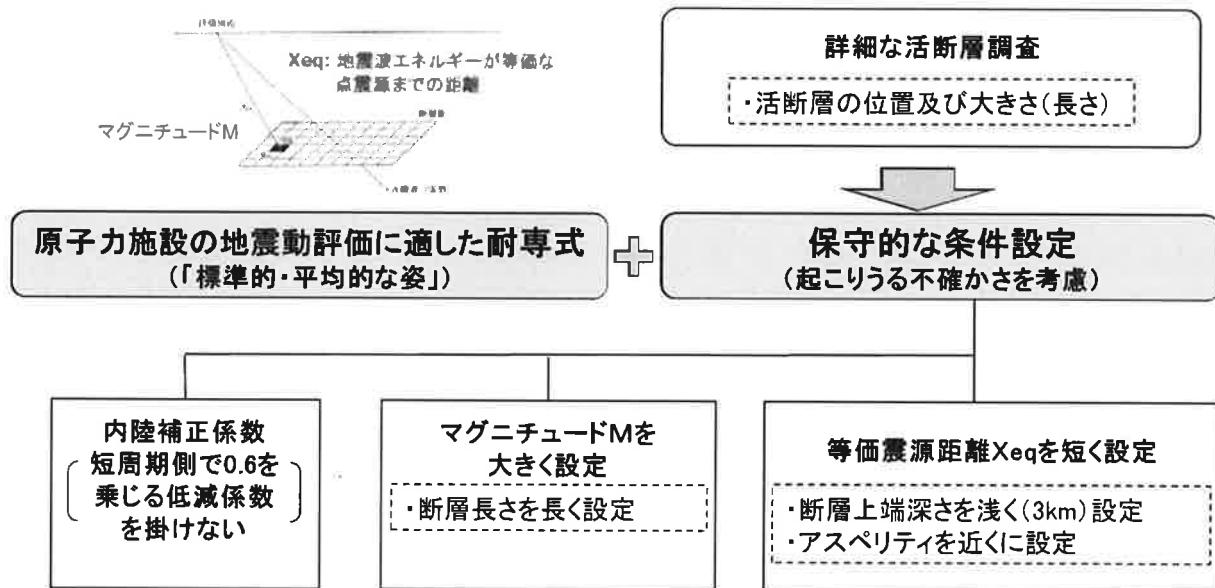


【図表6-1 FO-A～FO-B～熊川断層による地震（基本ケース・傾斜角75° ケース）の各種の距離減衰式による応答スペクトル】

ウ 上林川断層の地震動評価

債務者は、上林川断層による地震については、上記ア（イ）bのとおり

耐専式を用いることとし、保守的な条件により設定した地震の規模と等価震源距離等のパラメータを耐専式に入力して、応答スペクトルに基づく地震動評価を行った（図表6-2）。



【図表6-2 耐専式を用いる際の保守的な条件設定】

すなわち、耐専式を用いる際に必要となる、地震の規模（M）と等価震源距離（Xeq）については、詳細な調査に基づいて断層の位置や大きさを適切に把握し、起こりうる不確かさを最大限に織り込んで、保守的な条件設定を行った。また、耐専式において、内陸地殻内地震に適用できるとして用意されている低減係数である内陸補正係数について、債務者は、より保守的に地震動を評価する観点から、この係数を用いないこととした。そして、その他のパラメータ等についても条件設定した上で、地震動評価を行った。

（乙5、添付書類六、6-5-11～6-5-12頁、6-5-37頁、6-5-82～6-5-83頁）

以下、具体的に説明する。

(ア) 地震の規模

地震の規模（M）は、詳細な調査に基づいて断層の長さを把握した上で、断層の長さから地震の規模を導き出す関係式（上記ア（ア）cの松田式）に長さの値を入力して評価する。

債務者は、断層の長さについて、起こりうる不確かさを最大限に織り込んで保守的に評価した上で（上記第1の2（3）エ）、地震の規模を評価した。

その結果、上林川断層による地震の規模は、文献等で記載されている活断層の長さ約26kmの場合でマグニチュード7.2であったところ、その長さを約39.5kmと評価することによりマグニチュード7.5とした。

(イ) 等価震源距離

債務者は、等価震源距離について、断層の上端（地震発生層の上端）の深さ（下記a）やアスペリティの配置（下記b）、断層傾斜角（下記c）等を保守的に条件設定することで、等価震源距離が短くなり、ひいては地震動が大きくなるように評価している。

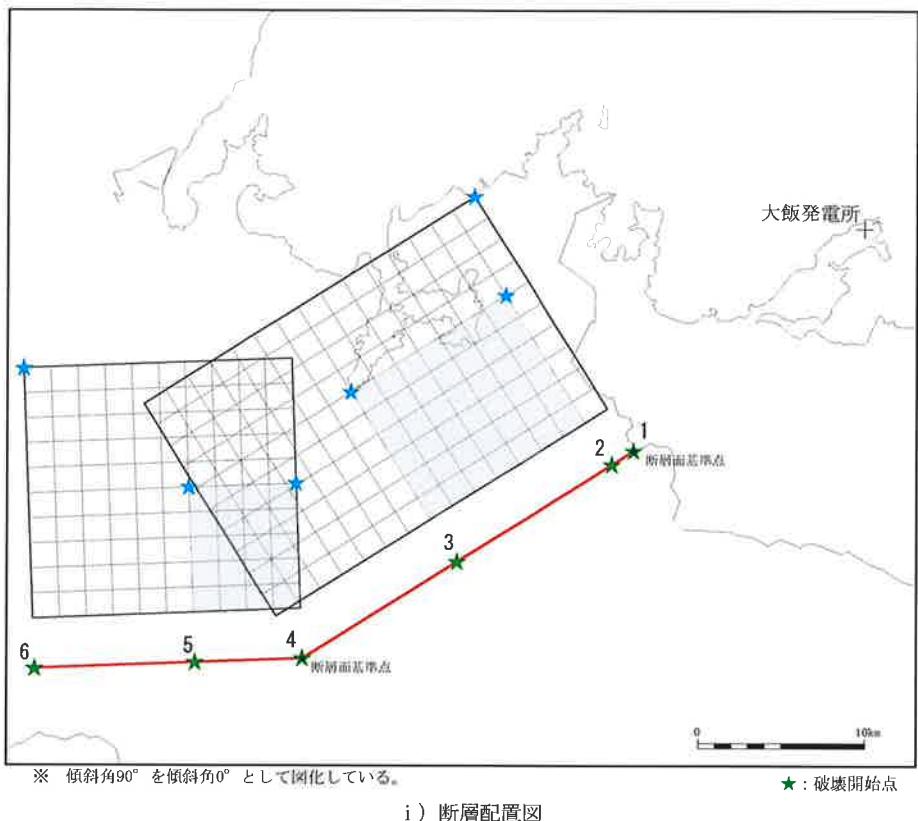
a 断層の上端（地震発生層の上端）の深さ

まず、断層の上端（地震発生層の上端）の深さについては、詳細な地下構造の調査結果から深さ4km程度であると評価していたが、原子力規制委員会における議論も踏まえ、より浅く（保守的に）深さ3kmと設定することで、震源断層面が本件発電所敷地により近づく設定とした（下端深さは18kmと設定し、これにより断層の幅は15kmとした）（上記第1の3（2）イ（ウ））。

b アスペリティの配置

震源断層面におけるアスペリティの配置については、断層面の中央付近に設定することが基本とされている⁹⁷。しかしながら、債務者は、上林川断層について、詳細な調査に基づいてその位置を把握し、断層の長さと幅（上端深さ及び下端深さ）を保守的に評価した上で、アスペリティ位置を地震の発生前に正確に特定するのは困難であることを考慮し、等価震源距離が短く（本件発電所敷地に近く）なるよう、断層面のうち本件発電所敷地に近い位置にアスペリティを配置した（図表63。乙5、添付書類六、6-5-80頁、乙57、112頁）。

⁹⁷ 債務者が断層モデルを用いた手法による地震動評価で参照するレシピ（甲8）においても、アスペリティが1個の場合の位置は、震源断層面の中央付近とすることが基本の設定であるとされている（甲8、9頁、(a)欄外）。



※ 図内の赤い線が、平面図上における震源断層の位置を示している。その赤い線に沿って置かれた格子状のものが震源断层面を表しており、赤い線の位置の地下にあることを示している。そして、格子状の震源断层面のうち、青色で塗りつぶされている区画がアスペリティである。

なお、断層傾斜角（下記c）が鉛直（水平面から90°下向き）の場合、平面図上では真上から見ると1本の線になってしまふため、鉛直である震源断层面を、便宜上、水平（横倒し）にして表示している。

また、図内に複数ある小さな星印は、破壊開始点（下記3（2）ウ（イ）bで述べる）の位置である（赤い線の上に打たれた緑色の星印は、平面図上の位置を示しており、格子状の区画上に打たれた水色の星印は、上記緑色の各星印の、震源断层面における位置を示している。

【図表6 3 上林川断層のモデル図（基本ケース）】

c 断層傾斜角

次に、断層傾斜角については、上林川断層は、断层面がほぼ鉛直で地震時のずれ方向は水平方向が主である「横ずれ断層」（上記第1の3（2）イ（イ）aの図表3 8、下の2つの図）であると評価し、断層

傾斜角は鉛直（水平面から90° 下向き）と評価した。

d 等価震源距離の評価

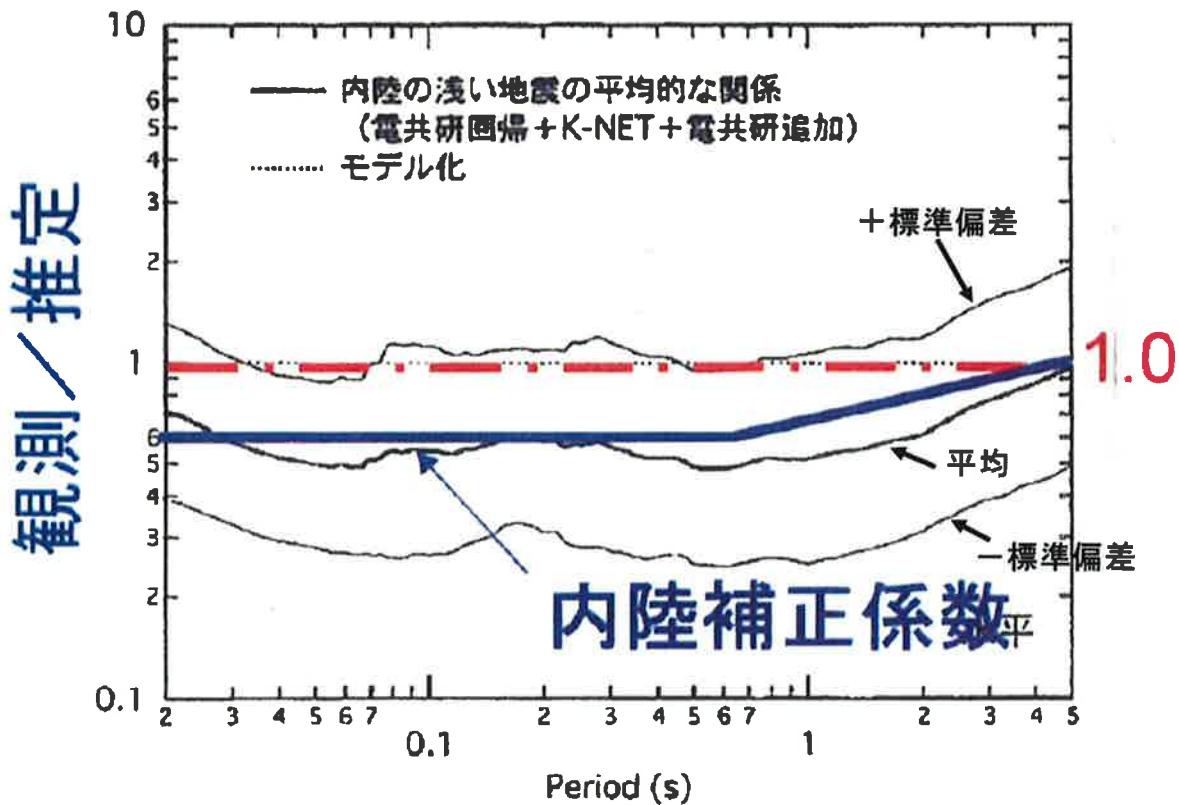
以上のような保守的な条件設定により、等価震源距離は30.2kmとなり、債務者は、これらを地震動評価に用いることとした。

(ウ) 内陸補正係数

耐専式において、内陸地殻内地震に適用できるとして用意されている低減係数である内陸補正係数について、債務者は、より保守的に地震動を評価する観点から、この係数を用いないこととした。

耐専式の元データとなった地震には、プレート間地震、海洋プレート内地震、内陸地殻内地震のデータが含まれているが、そのうち、本件発電所に影響するものとして債務者が対象としている内陸地殻内地震による地震動は、地震の規模の割に地震動、特に短周期側の揺れが小さめであることが分かっている。

そのため、耐専式をそのまま適用すると、図表6.4に示すように、実際の地震動の観測記録の方が小さく、耐専式による評価結果は過大評価となる。



※上記の図における、3本の黒色の曲線は、内陸地殻内地震（「内陸の浅い地震」）の観測記録と、当該各地震の耐専式による推定値との比（「観測／推定」）について、その平均値（「平均」の線）と標準偏差の範囲（「+標準偏差」「-標準偏差」）を示している。

（乙44、22頁の右下の図に一部加筆）

【図表 6.4 内陸補正係数】

そこで、内陸地殻内地震について耐専式を用いる場合には、同図表において青色の線で示すように、短周期側（グラフの横軸の左側）を0.6倍にする内陸補正係数を乗じて補正する（小さくする）こととされている（乙76、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-2015」47頁(5), 48頁附表1.1-1）⁹⁸。

⁹⁸ 具体的には、地震基盤における水平方向の地震動に対し、応答スペクトルの周期0.02秒から0.6秒にかけては補正係数0.6を、周期0.6秒から5秒にかけては周期に応じ、補正係数0.6から1.0に漸増させた補正係数を、それぞれ乗じることで、短周期領域の地震動を小さくすることができる。

本件発電所に影響を与える、若狭湾周辺地域で発生する地震は内陸地殻内地震であることから、本来この内陸補正係数を用いることができるところ、債務者は、あえてこの内陸補正係数を乗じないことで地震動を大きく見積もり、保守的な地震動評価を行った（乙5、添付書類六、6-5-11頁）。

(エ) その他のパラメータ等

また、耐専式は、評価地点の地盤のP波速度・S波速度を考慮して地盤増幅率を乗じることで、評価地点の岩盤の硬さに応じた応答スペクトルに補正されるようになっており（上記ア（ア）b）、評価地点の地域性を踏まえて地震動評価を行うことが予定されている。

そこで、債務者は、伝播特性及び地盤の増幅特性（サイト特性）の評価結果（上記第1の3（2）ウ及びエ）から、耐専式により得られる評価結果の補正の必要性の有無を確認した。

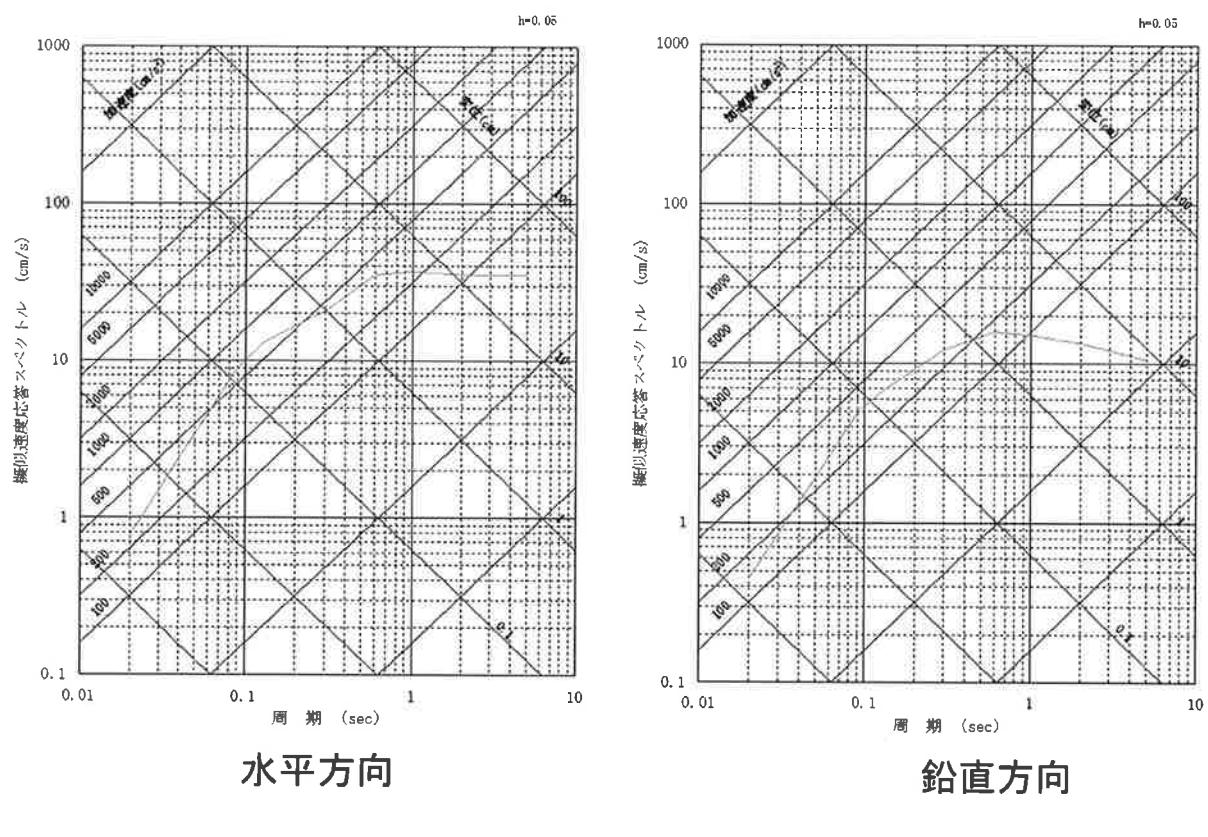
まず、伝播特性のうち、影響の大きい幾何減衰については地域性がないこと、また、内部減衰についても、Q値（岩石等の媒質に固有の値）は、本件発電所敷地周辺を含む若狭湾付近において、既往の研究成果から $50 f^{1.1}$ と、国内における平均的な値であったことから、耐専式で得られる評価結果を補正する必要がないことを確認した。

また、地盤の増幅特性（サイト特性）についても、詳細な調査に基づいて、本件発電所敷地の解放基盤表面のP波速度及びS波速度をそれぞれ約4.3km/s、約2.2km/sと評価するとともに、地震波の局所的な集中を生じさせるような特異な地下の速度構造がなく、耐専式で得られる評価結果を補正する必要がないことを確認した。

(才) 地震動評価結果

耐専式によって求められた、上林川断層による地震（基本ケース）の本件発電所敷地における地震動評価結果（応答スペクトル）は、図表65のとおりである（乙5、添付書類六、6-5-82～6-5-83頁、乙57、115頁）。

以上の評価結果をもとに策定した基準地震動については、下記第4の1（1）で述べる。



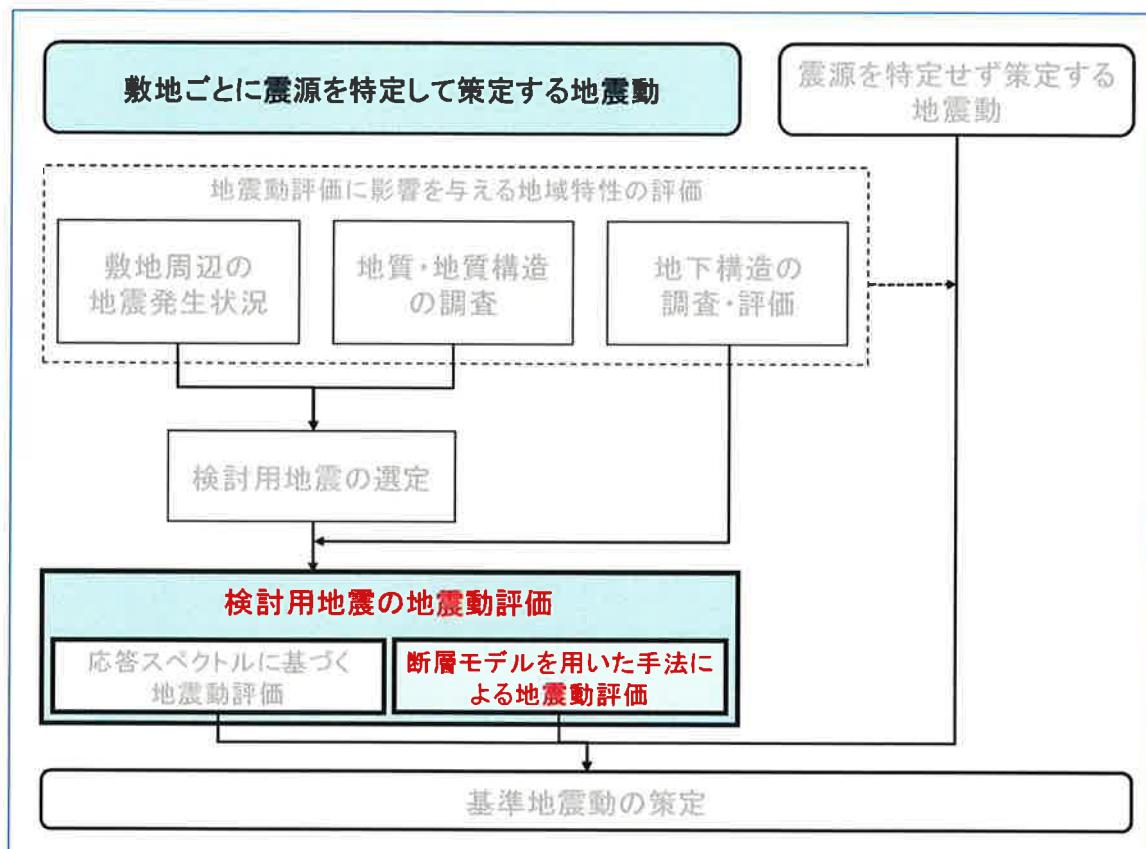
【図表65 上林川断層による地震（基本ケース）の
耐専式による地震動評価結果】

(3) 原子力規制委員会による審査

原子力規制委員会は、債務者が行った本件発電所の「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価（本項の「応答スペクトルに基づく地震動評

価」及び下記3の「断層モデルを用いた手法による地震動評価」)について、検討用地震として選定したFO-A～FO-B～熊川断層による地震及び上林川断層による地震に係る評価が、設置許可基準規則解釈別記2に適合していることを確認したとしている(乙38の2、16～18頁)。

3 断層モデルを用いた手法による地震動評価



「断層モデルを用いた手法による地震動評価」は、震源断層面を設定し、その震源断層面にアスペリティを配置し、ある一点の破壊開始点から、これが次第に破壊し、揺れが伝わっていく様子を解析することにより地震動を計算する評価手法である。

上記2の「応答スペクトルに基づく地震動評価」は、過去の多くの地震データを基にしたもので、少ないパラメータ（地震規模、震源距離等）で地震動を評価できる手法である。一方で、実際の断層は面であり、断層面は均質ではなく、また、地震のメカニズムも複雑である。

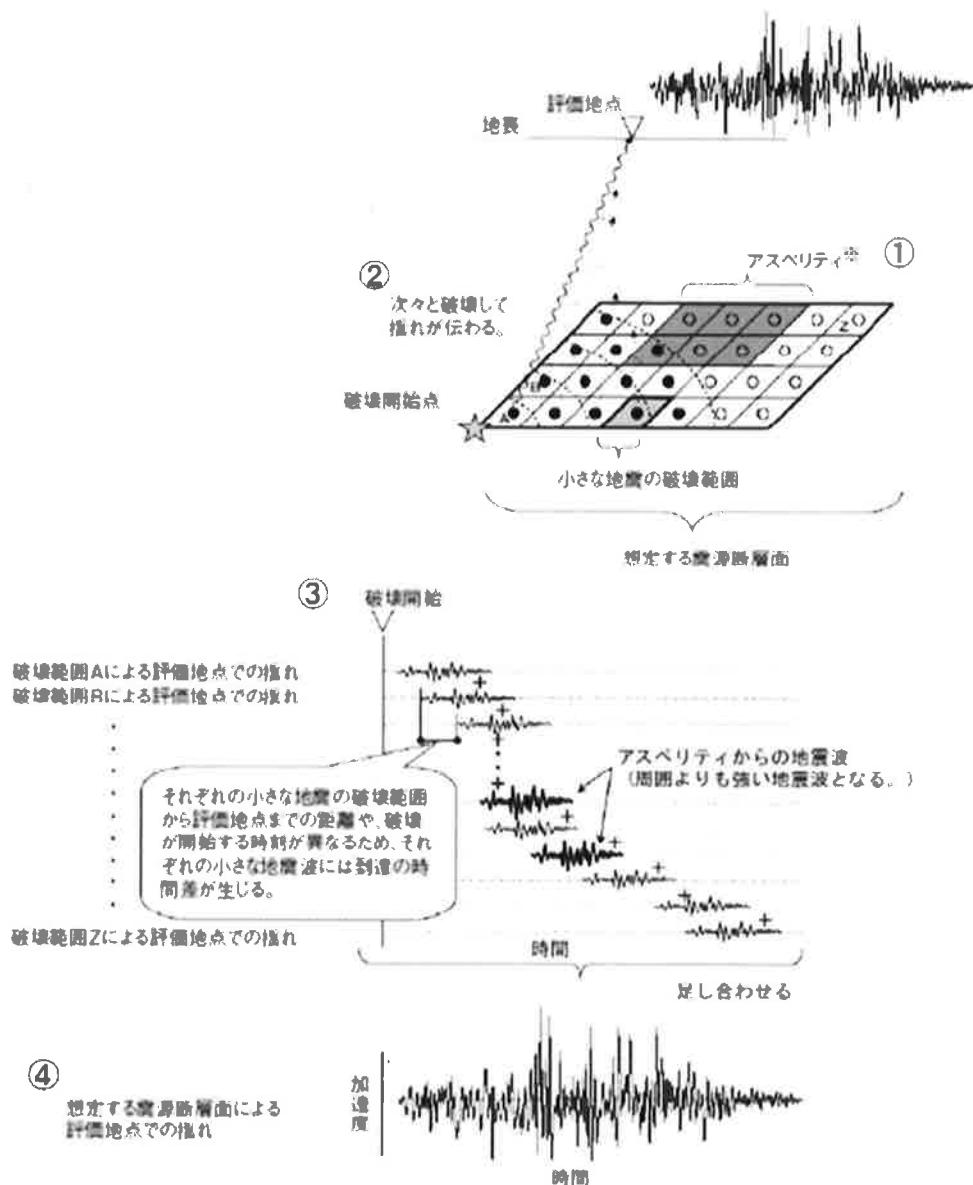
すなわち、地震とは、プレートの動きによって蓄積されたひずみが限界を超えたときに、断層がずれ動く現象である。ずれ動く面のことを震源断層面といい、震源断層面は均質ではなく、断層面上には通常は強く固着していて、ずれ動く際に周囲に比べて特にすべり量が大きく強い地震波を出す領域（アスペリ

ティ) が存在する。そして、震源断層は、同時に震源断層面の全範囲が破壊されるのではなく、破壊が始まった断層が地震波を発し、次第に破壊の範囲が広がっていくものである。地震動評価においては、大きな地震は、小さな地震が次々に発生してそれぞれの揺れが合わさったものと見なすことができる。

「断層モデルを用いた手法による地震動評価」は、このような地震の発生メカニズムを反映した手法であり、具体的には、①震源断層面を設定（アスペリティの配置を含む）し、細かい小断層（要素面）に分割する、②ある特定の要素面から破壊が始まるものとして破壊開始点を設定する、③破壊開始点から破壊が各要素面に伝播し、分割された各要素面からの地震波が次々に評価地点に伝わることにより評価地点に生じる地震動を足し合わせる（この時アスペリティからの地震波はアスペリティ以外の部分からの地震波よりも強いものとなる）、④足し合わせの結果、評価地点での地震動が求められる（以上①から④について、図表6-6）。

なお、「応答スペクトルに基づく地震動評価」と「断層モデルを用いた手法による地震動評価」との関係について、従来は「応答スペクトルに基づく地震動評価」が中心であったが、平成18年の耐震設計審査指針の改訂を踏まえて、近年技術的進歩が著しい強震動予測手法としての「断層モデルを用いた手法による地震動評価」を並列的に用いている。

（以上について、乙1、247～249頁、252～253頁）



(乙1, 249頁より)

【図表 6 6 断層モデルを用いた手法による地震動評価のイメージ】

本項では、各検討用地震に係る「断層モデルを用いた手法による地震動評価」について説明する。なお、本件仮処分において、債権者が島崎氏の証言を引用しつつ、問題視しているのは、「断層モデルを用いた手法による地震動評価」のうち、入倉・三宅式に関する箇所（下記（2）ウ（ア）b）である。

(1) 設置許可基準規則等

「断層モデルを用いた手法による地震動評価」について、設置許可基準規則解釈は、「検討用地震ごとに、適切な手法を用いて震源特性パラメータを設定し、地震動評価を行うこと」を求めている（同規則解釈別記2第4条5項2号④ ii），乙9，130頁）。

これを受け、地震ガイドは、まず、震源モデルの設定について、「震源断層のパラメータは、活断層調査結果等に基づき、地震調査研究推進本部による『震源断層を特定した地震の強震動予測手法』（引用者注：「レシピ」（甲8）のことである）等の最新の研究成果を考慮し設定されていること」、「アスペリティの位置が活断層調査等によって設定できる場合は、その根拠が示されていること」、「根拠がない場合は、敷地への影響を考慮して安全側に設定されていること」こと、「アスペリティの応力降下量（短周期レベル）については、新潟県中越沖地震を踏まえて設定されていること」を確認するとしている（乙10，4～5頁，I 3.3.2(4)①）。

また、地震動計算において統計的グリーン関数法（下記（2）ア③）等を用いる場合について、「震源から評価地点までの地震波の伝播特性、地震基盤からの增幅特性が地盤調査結果等に基づき評価されていること」を確認するとしている（乙10，5頁，I 3.3.2(4)③1）。

(2) 本件発電所の「断層モデルを用いた手法による地震動評価」

ア 債務者の評価手法の概要

上記の要求事項を踏まえ、債務者は、本件発電所について断層モデルを用いた手法による地震動評価を行った。その概要は以下のとおりである。
(乙1，250～254頁)

① 震源断層のモデル化（震源断層パラメータの設定）

債務者は、まず、地震ガイドに例示されている地震本部のレシピ（甲8）等を参照するなどして、検討用地震ごとに、十分に不確かさを考慮して、震源断層パラメータを設定し、震源断層をモデル化した（下記ウ）。なお、このレシピは、実際の地震動を精度よく再現できるものとして、その有効性・信頼性が確認されている（下記イ）。

② 地震波の伝播特性、地盤の增幅特性（サイト特性）の評価

上記のとおり、「断層モデルを用いた手法による地震動評価」では、震源断層面上の各要素面からの地震波が次々に評価地点に伝わることにより評価地点に生じる地震動を評価することから、震源（断層面）から敷地までの地域性（地震波の伝播特性及び地盤の増幅特性（サイト特性））を評価することが必要となる。

そこで、債務者は、次に、震源断層面から評価地点地下の地震基盤面（上記第1の3（2）エを参照）までの伝播特性と、地震基盤面から評価地点（の解放基盤表面）までの増幅特性（サイト特性）について評価した（下記エ）。

③ 地震動評価

「断層モデルを用いた手法による地震動評価」では、震源断層パラメータ（上記①）と、伝播特性及び地盤の増幅特性（サイト特性）の評価結果（上記②）を用いて、震源断層面上の各要素面からの地震波によって生じる評価地点での小さな地震動を、評価地点に次々到達することによる時間差を考慮して重ね合わせる作業（波形合成）が必要となる。

債務者は、この波形合成の方法（波形合成法）として、統計的グリー

ン関数法等⁹⁹¹⁰⁰を用いることとし、地震動評価を行った（下記才）。

イ レシピの信頼性

ここで、債務者が参照したレシピ（甲8）は、多数のパラメータが、パラメータ間の関係式を用いて設定されている、一連の地震動評価手法であるが、このレシピは、実際の地震動を精度よく再現できるものとして、その有効性・信頼性が確認されている。

このことは、地震ガイド（乙10）において、レシピが最新の研究成果として例示されている（乙10、4～5頁、I 3.3.2(4)①1）ことに加え、国の防災計画や地方公共団体の地域防災計画等の検討において実績の豊富な信頼性の高い手法として採用されていることからも裏付けられる。

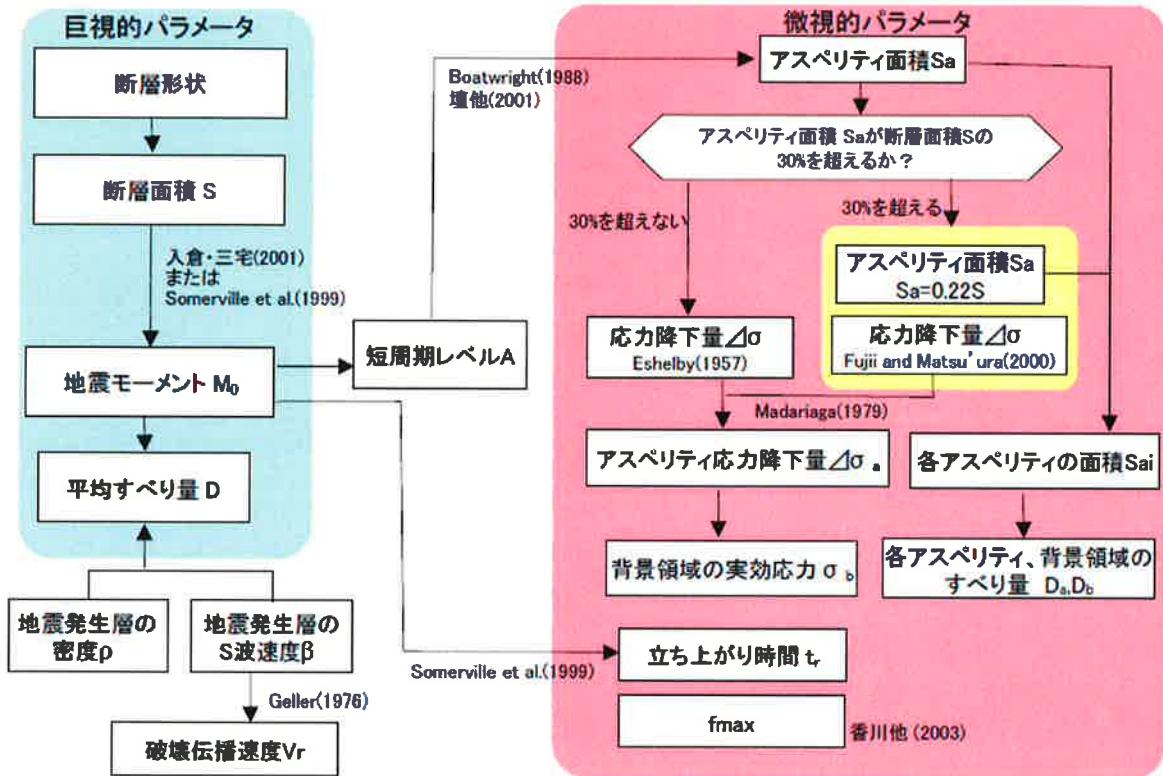
ウ 震源断層のモデル化（震源断層パラメータの設定）

債務者は、地震ガイドに例示された地震本部のレシピ等を参考するなどして、震源断層パラメータを設定した（図表6-7。乙5、添付書類六、6-5-75頁）。

⁹⁹ 債務者は、短周期側について統計的グリーン関数法を用いて計算した地震動と、長周期側について理論的方法を用いて計算した地震動とを組み合わせる、ハイブリッド合成法を用いて波形合成を行っている。

¹⁰⁰ 補足すると、統計的グリーン関数法は、要素地震による地震動として、既往の地震観測記録を統計処理して作成した人工的な時刻歴波形を採用している。また、評価地点の地盤をモデル化することで地盤の增幅特性（サイト特性）を反映している。

なお、グリーン関数とは、物理学等で微分方程式を解く際に頻繁に用いられる関数であり、イギリスの数学者ジョージ・グリーンに由来する。断層モデルにおいては、ある1点（震源）に力を作用させたときの任意点（観測点）の応答を表す関数をいう。



(乙5, 添付書類六, 6-5-75頁に一部加筆)

【図表 6.7 「断層モデルを用いた手法による地震動評価」における

震源断層パラメータの設定の流れ】

(ア) 各パラメータの設定

具体的には、以下のとおり、パラメータ間の関係式に基づいて震源断層パラメータを設定した。

a 震源断層面積 (S)

(a) 基本ケース

まず、保守的な条件により設定した、震源となる断層の長さ (L) 及び断層の幅 (W) (地震発生層の上端深さから下端深さまでの幅) から、震源断層面積 (S) を求めた ($S = L \times W$)。

断層の長さについては、FO-A～FO-B～熊川断層について

は63.4kmと設定し、上林川断層については39.5kmと設定した（上記第1の2（3））。また、断層の幅については、FO-A～FO-B～熊川断層及び上林川断層のいずれについても、地震発生層の上端深さを3km、下端深さを18kmと設定して地震発生層の厚さを15kmとし、断層傾斜角を90°（鉛直）としたことから、断層の幅を15kmと設定とした（上記第1の3（2）イ（イ）及び（ウ））。

この結果、震源断層面積は、FO-A～FO-B～熊川断層は951km²、上林川断層は592.5km²となった（乙5、添付書類六、6-5-35頁、6-5-39頁、6-5-44頁等、乙57、80頁、113頁等）。

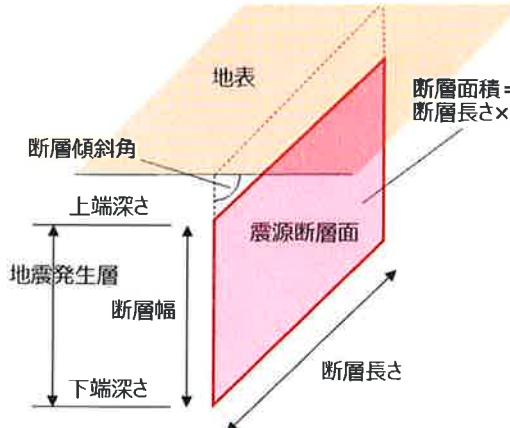
この面積は、保守的な条件設定をしない場合と比べて相当大きくなっています。例えば、FO-A～FO-B～熊川断層の面積は、FO-A～FO-B断層の2連動のみ、断層上端深さ4kmの場合の約2倍である¹⁰¹。

（b）不確かさの考慮

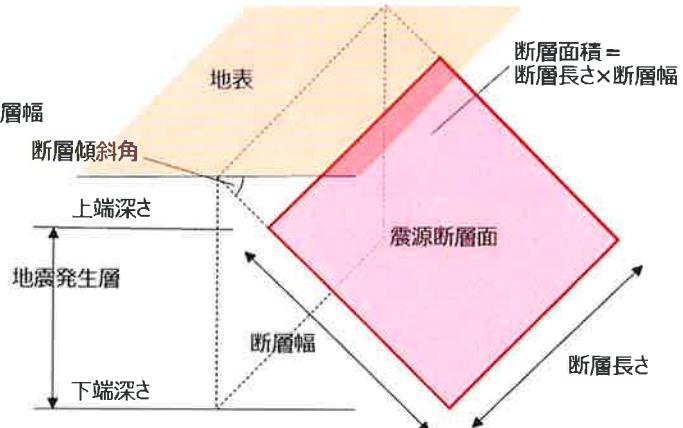
さらに、FO-A～FO-B～熊川断層については、下記（イ）c（b）で述べるとおり、不確かさを考慮し、断層傾斜角を75°にしたケースも設定しているところ、断層面を90°から75°に傾斜させると（上記2（2）イ（イ）の図表60を参照）、断層の幅が広くなることから面積も広くなる（図表68）。この場合の震源断層面積は、1002.85km²となった（乙5、添付書類六、6-5-40頁、乙57、87頁）。

¹⁰¹ FO-A～FO-B～熊川断層については、FO-A～FO-B断層の2連動（断層長さ35.3km）で断層上端深さ4km（断層幅14km）の場合で494.2km²であった。また、上林川断層については、断層長さ26kmで断層上端深さ4km（断層幅14km）の場合で364km²であった。

断層傾斜角が垂直（90°）の場合



断層傾斜角が垂直でない（傾斜がある）場合



【図表 6.8 断層傾斜角と震源断層面積との関係】

b 地震モーメント (M_0)

(a) 基本ケース

次に、上記 a の震源断層面積から地震モーメントを求めた。

地震モーメント (M_0) とは、地震の規模を表す指標の一つで、断層運動の大きさ（エネルギー）を表す値である（単位は $N \cdot m$ (N はニュートン) である)。

レシピでは、震源断層面積と地震モーメント (M_0) の関係式として、入倉・三宅式 ($M_0 \geq 7.5 \times 10^{25} \text{ dyne} \cdot \text{cm}$ の場合は $S = 4.24 \times 10^{-11} \times M_0^{1/2}$)¹⁰² が示されている。

この関係式は、地震動の観測記録等を用いた解析により求められた震源断層面積と地震モーメントのデータを主に用いて、他のパラメータを介さず、直接、震源断層面積と地震モーメントとの関係を導くものであり、断層モデルを用いた手法による地震動評価を行う

¹⁰² 乙39号証861頁、図8の「Step3」の式（レシピでは、甲8号証4頁、(3)の式）。なお、 $1 \text{ dyne} \cdot \text{cm} = 1 \times 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{m}$ であるので、「 $7.5 \times 10^{25} \text{ dyne} \cdot \text{cm}$ 」は「 $7.5 \times 10^{18} \text{ N} \cdot \text{m}$ 」と同じ値である。

ために、個々の活断層ごとに震源断層面の大きさ（長さ・幅）・深さ・傾斜を設定して震源断層面積を算定し、震源断層パラメータを設定する場合に適したものである。

債務者は、この関係式を用いて震源断層面積から地震モーメントを求めた。上記 a のとおり震源断層面積を保守的に大きく設定した結果、震源断層面積から求められる地震モーメントも、保守的な条件設定をしない場合と比べて大きな値となり、FO-A～FO-B～熊川断層については $5.03 \times 10^{19} \text{ N}\cdot\text{m}$ 、上林川断層については $1.95 \times 10^{19} \text{ N}\cdot\text{m}$ となった（乙5、添付書類六、6-5-35頁、6-5-39頁、6-5-44頁等、乙57、80頁、113頁等）。

この地震モーメントも、保守的な条件設定をしない場合と比べて大きな値となっており、例えば、FO-A～FO-B～熊川断層の地震モーメントは、FO-A～FO-B断層の2連動のみ、断層上端深さ4kmの場合の3倍を超える¹⁰³。

(b) 不確かさの考慮

さらに、FO-A～FO-B～熊川断層については、下記（イ）c（b）で述べるとおり、不確かさを考慮し、断層傾斜角を 75° にしたケースを設定しているところ、その場合の地震モーメントは、 $5.59 \times 10^{19} \text{ N}\cdot\text{m}$ となった（乙5、添付書類六、6-5-40頁、乙57、87頁）。

この値は、FO-A～FO-B断層の2連動のみ、断層上端深さ4kmの場合の4倍を超える。

¹⁰³ FO-A～FO-B～熊川断層については、断層面積が 494.2 km^2 の場合（FO-A～FO-B断層の2連動で断層上端深さ4kmの場合）で $1.36 \times 10^{19} \text{ N}\cdot\text{m}$ であった。また、上林川断層については、断層面積が 364 km^2 の場合（断層長さ26kmで断層上端深さ4kmの場合）で $0.66 \times 10^{19} \text{ N}\cdot\text{m}$ であった。

c 短周期レベル (A)

(a) 基本ケース

続いて、上記 b の地震モーメントから短周期レベルを求めた。

短周期レベル (A) とは、震源特性のうち、短周期領域における加速度震源スペクトルのレベルを表す値をいう。震源は、様々な周期の揺れを発生させるが、このうち短い周期の揺れを発生させる能力の大きさを表したものといえる。

レシピでは、壇ほか (2001)¹⁰⁴で提案されている、地震モーメントと短周期レベル (A) との関係式 ($A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$) が示されている。

債務者は、この関係式を用いて地震モーメントから短周期レベルを求めた。上記 b の地震モーメントが保守的に大きな値となった結果、地震モーメントから求められる短周期レベルも大きな値となり、FO-A～FO-B～熊川断層については $1.96 \times 10^{19} N \cdot m/s^2$ 、上林川断層については $1.43 \times 10^{19} N \cdot m/s^2$ となった (乙5、添付書類六、6-5-39頁、6-5-44頁等、乙57、80頁、113頁等)。

(b) 不確かさの考慮

さらに、FO-A～FO-B～熊川断層については、下記 (イ) c (b) で述べるとおり、不確かさを考慮し、断層傾斜角を 75° にしたケースも設定しているところ、この場合の短周期レベル (A) は、 $2.03 \times 10^{19} N \cdot m/s^2$ となった (乙5、添付書類六、6-5-40頁、乙57、87頁)。

なお、新潟県中越沖地震の短周期レベルが平均的な短周期レベル

¹⁰⁴ 壇一男ほか「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、545号、51～62頁

の1.5倍であったとの新たな知見¹⁰⁵については、このような現象がこれまで他の地震において一般的に見られたものではないこと、本件発電所敷地周辺では「標準的・平均的な姿」よりも大きくなる地域性が存する可能性を示すデータは特段得られていないことから、当該知見については、これを基本ケースとする必要はなく、別途不確かさとして考慮するのが適切であると判断し、短周期の地震動レベルを1.5倍とするケースも設定することとした¹⁰⁶（下記（ウ）の図表73及び74の「不確かさを考慮したケース」。乙5、添付書類六、6-5-36頁）。

加えて、下記4（2）エにおける不確かさの組合せに関する追加検討においては、破壊伝播速度を0.87βに上げるとともに短周期の地震動レベルを1.25倍とするケースも設定することとした（乙5、添付書類六、6-5-36頁、乙57、77～78頁）。

d アスペリティ面積（S_a）

（a）基本ケース

続いて、上記cの短周期レベル（A）からアスペリティ面積（S_a）を求めた。

活断層に起因する地震に関する研究の進展により、大地震のときには、震源断層面の全ての部分が一様に同じずれ幅・向きでずれる

¹⁰⁵ 新潟県中越沖地震時に、柏崎刈羽原子力発電所敷地において地震動の増幅が生じたのは、①同地震の震源特性の影響（同規模の地震と比べて1.5倍程度大きめの地震動を与える地震であったこと）、②深部地盤における不整形性の影響（同発電所敷地周辺地盤深部の堆積層の厚さと傾きの影響で地震動が2倍程度増幅したこと）、③古い褶曲構造による増幅（同発電所敷地の地下にある古い褶曲構造のために地震動が1～2倍程度増幅したこと）という3つの要因が重なったためであることが明らかにされている（乙48、乙49）。

¹⁰⁶ 前出の脚注105で述べた①ないし③の知見のうち、②及び③の要因については、柏崎刈羽原子力発電所敷地の地下構造特性によるものであり、本件発電所敷地においては同発電所と同様の地下構造による影響は認められず、これらを考慮する必要はない。

のではなく、震源断層面上のすべり分布は不均質であり、大きくずれる部分（アスペリティ）もあればそうでない部分もあることが明らかにされている（乙39、852頁）。

レシピでは、壇ほか（2001）等で提案されている関係式により、上記cの短周期レベルからアスペリティ面積（S_a）を求める方法が示されている。

もっとも、この方法では、断層が長大で面積が大きくなるほど、既往の調査・研究成果と比較してアスペリティ面積が過大評価となる傾向にあるとされている（甲8、10頁、(b)）。この点、アスペリティの総面積は断層総面積の20～30%に分布するとの知見が示されているところ（乙77、「中央防災会議『東南海、南海地震等に関する専門調査会』（第26回）中部圏・近畿圏の内陸地震の震度分布等の検討資料集」2-14頁），各検討用地震の断層のうちFO-A～FO-B～熊川断層については、関係式による算定の結果、アスペリティ面積比（震源断層全体に占めるアスペリティの面積）が30%を超えた。このため、債務者は、中央防災会議での知見及びレシピに示されたSomerville et al. (1999)¹⁰⁷で提案されている知見により、アスペリティ面積比を22%として、震源断層面積からアスペリティ面積を求めた。また、上林川断層については、上記の短周期レベルから求める方法を用いた。

以上の結果、各検討用地震の断層に係るアスペリティの総面積は、FO-A～FO-B～熊川断層で209.22km²、上林川断層で158.31km²となった（乙5、添付書類六、6-5-35頁、6-5-39頁、6-5-44頁等、乙57、81頁、113頁等）。

¹⁰⁷ Somerville, P. ほか「Characterizing crustal earthquake slip models for the prediction of strong ground motion」 Seismological Research Letters, 70, 59-80頁

(b) 不確かさの考慮

また、FO-A～FO-B～熊川断層については、下記（イ）c (b) で述べるとおり、不確かさを考慮して、断層傾斜角を75°にしたケースも設定しているところ、断層面を90°から75°に傾斜させると、断層の幅が広くなることから震源断層面積も広くなり（上記a (b) の図表68を参照）、それに伴ってアスペリティ面積も広くなる。この場合のアスペリティの総面積は、 220.63km^2 となった。（乙5、添付書類六、6-5-40頁、乙57、88頁等）。

e 震源断層全体の応力降下量 ($\Delta \sigma$)

地震は、地下の岩盤が震源断层面を境としてずれる（破壊する）ことにより発生する。すなわち、プレート同士が押し合うことが原因で年月とともに岩盤の内部にひずみが蓄積していき、震源断层面にかかるせん断応力（物体内でそれを生じさせる力）が増大していくが、せん断応力が限界に達したときに震源断層面上でずれ（破壊）が起こり、エネルギーを放出してひずみが解放されるとともにせん断応力も低下する。応力降下量とは、この地震発生直前と直後のせん断応力の差のことをいい、単位面積当たりの力として規定される数値（単位はMPa（メガパスカル））である。

レシピでは、Eshelby (1957)¹⁰⁸等で提案されている、震源断層面積 (S) 及び地震モーメント (M_0) から震源断層全体の応力降下量 ($\Delta \sigma$) を求める方法が示されている ($\Delta \sigma = (7\pi^{1.5}/16) (M_0/S^{1.5})$)

¹⁰⁸ Eshelby, J. D. 「The determination of the elastic field of an ellipsoidal inclusion, and related problems」 Proceedings of the Royal Society, 241, 376-396頁

(方法①)¹⁰⁹。

ただし、内陸の長大な横ずれ断層に係る震源断層全体の応力降下量については、Fujii&Matsu'ura (2000)¹¹⁰において、収集した観測データに基づく回帰計算により $\Delta \sigma = 3.1 \text{ MPa}$ が提案されており、レシピでは、長大な断層についてこの知見を用いることが示されている（甲8, 12頁, (d)）(方法②)。

以上を踏まえ、債務者は、FO-A～FO-B～熊川断層については、上記 d (a) で述べた検討を踏まえ、上記の方法②により、震源断層全体の応力降下量を 3.1 MPa とした。また、上林川断層については、上記の方法①により、3.3 MPa とした。

(以上 e について、乙5, 添付書類六, 6-5-35頁, 6-5-39頁, 6-5-44頁等, 乙57, 80頁, 113頁等)

f アスペリティの応力降下量 ($\Delta \sigma_a$)

震源断層面上に蓄積されるひずみは、震源断层面全体に一様に蓄積されているわけではなく、固着の強いアスペリティ部分では大きなひずみが蓄積される一方で、それ以外の背景領域ではあまり蓄積されない。このため、アスペリティ部分の応力降下量 ($\Delta \sigma_a$) は、震源断层面全体で平均した単位面積当たりの応力降下量（平均応力降下量： $\Delta \sigma$ ）よりも大きな値となる。

レシピでは、Madariaga (1979)¹¹¹で提案されている、震源断層面積

¹⁰⁹ 本文記載の方法は、震源断层面を円形のもの（円形破壊面）と仮定し、等価半径（震源断层面積 S と等価になる円の半径）R を求めた上で、等価半径及び地震モーメントと震源断層全体の応力降下量との関係式（甲8, 12頁, (22-2)式「 $\Delta \sigma = (7/16) \cdot M_0 / R^3$ 」）により求めるというものである。円の面積の公式 ($S = \pi R^2$) を R が左辺の式にした上で、上記(22-2)式に代入すると、本文記載の式となる。

¹¹⁰ Fujii, Y. and M. Matsu'ura 「Regional Difference in Scaling Laws for Large Earthquakes and its Tectonic Implication」 Pure and Applied Geophysics, 157, 2283–2302頁

¹¹¹ Madariaga, R. 「On the relation between seismic moment and stress drop in the presence of

(S) に占めるアスペリティ面積 (S_a) の割合 (アスペリティ面積比。 S_a / S) と、上記 e の震源断層全体の応力降下量 ($\Delta \sigma$) から、アスペリティの応力降下量 ($\Delta \sigma_a$) を求める関係式が示されている ($\Delta \sigma_a = (S/S_a) \times \Delta \sigma$) (甲8, 11頁, (21-1)式)¹¹²

債務者は、この方法により、アスペリティ面積比と震源断層全体の応力降下量からアスペリティの応力降下量を求めた (乙5, 添付書類六, 6-5-35頁, 6-5-39頁, 6-5-44頁等, 乙57, 81頁, 113頁等)。

なお、アスペリティが複数ある場合の各アスペリティの応力降下量は、レシピにおいて、「アスペリティが複数ある場合には、特にその震源域の詳しい情報がない限り、各アスペリティの応力降下量はアスペリティ全体の応力降下量に一致し、すべて等しいと仮定する」(甲8, 12頁, (d)) とされていることを踏まえ、各アスペリティとも同じ値に設定した (例えば、乙57号証81頁 (FO-A～FO-B～熊川断層による地震の基本ケースのパラメータ設定)において、アスペリティの応力降下量 ($\Delta \sigma_a$) は、「FO-A～FO-B断層」内の「大アスペリティ」、「小アスペリティ」と、「熊川断層」のアスペリティは、いずれも14.1MPaで同じ値とした)。

g 破壊伝播速度 (V_r)

(a) 基本ケース

破壊伝播速度 (V_r) は、断層の破壊開始点から始まったずれ

stress and strength heterogeneity」Journal of Geophysical Research, 84, 2243-2250頁

¹¹² なお、アスペリティの応力降下量については、震源断層全体の応力降下量の場合 (上記 e の方法①) と同様に、アスペリティを円形のものと仮定し、アスペリティの等価半径 r を甲8号証10頁の(13)式から求めた上で、アスペリティの等価半径 r, 震源断層面の等価半径 R, 地震モーメントと、アスペリティの応力降下量との関係式 (甲8, 11頁, (21-2)式) 「 $\Delta \sigma_a = (7/16) \cdot (M_0 / (r^2 \cdot R))$ 」から求める方法が提案されている。そして、この(21-2)式については、「(21-1)式と等価な式」(甲8, 11頁) とされている。つまり、アスペリティの応力降下量の設定は、上記の(21-2)式による方法でも、本文記載の方法でも、同じ計算をしたことになるということである。

(破壊) が震源断層面上を広がっていく速さのことをいう。既往の研究において、標準的には地震発生層における S 波速度 β の 0.72 倍 (0.72β) とされており、本件発電所の地震動評価においても 0.72 β としている（下記（ウ）の図表 7 3 及び 7 4 の「基本ケース」。乙 5, 添付書類六, 6-5-35 頁, 6-5-39 頁, 6-5-44 頁, 乙 57, 69 頁, 80 頁, 113 頁等）。

（b）不確かさの考慮

破壊伝播速度が大きくなると、断層の破壊が震源断層面上でより速く広がるため、より短い時間に多くの地震波が敷地に到達することとなり、敷地での地震動も一般的には大きくなる。そこで、債務者は、破壊伝播速度の不確かさも考慮することとし、既往の研究による、過去の地震における破壊伝播速度の不確かさも考慮して、 β の 0.87 倍 (0.87β) としたケースを設定した（下記（ウ）の図表 7 3 及び 7 4 の「不確かさを考慮したケース」。乙 5, 添付書類六, 6-5-36 頁, 6-5-42 頁, 6-5-45 頁, 乙 57, 84 頁, 114 頁）。

h すべり量 (D)

すべり量（「ずれ（の）量」、「食い違い（の）量」ともいう）とは、文字どおり、想定される 1 回の地震における震源断層のずれの大きさを表すパラメータであり、その値は、震源断層面の移動距離（単位は cm）で示される。すべり量は、地震モーメント (M_0), 震源断層面積 (S), 剛性率 (μ)（変形のしにくさを表し、地盤の密度と S 波速度から求められる）と相関関係があり、 $D = M_0 / (\mu \cdot S)$ の関係式（なお、この関係式は物理量に関する理論式であり、地震の観測記録等から導かれる経験式ではない）で示される。

債務者は、上記 a 及び b で求めた震源断層面積及び地震モーメントと、剛性率（本件発電所敷地周辺の地下構造調査により得られた地盤の密度及び S 波速度から求めた）から、上記関係式により、すべり量を求めた。例えば、FO-A～FO-B～熊川断層のすべり量は、151.2cm となつた（断層傾斜角を 75° にしたケースのみ、159.4cm となつた）。（乙5、添付書類六、6-5-39頁、6-5-40頁、6-5-44頁等、乙57、80頁、87頁、113頁等）

(イ) その他のパラメータ設定

債務者は、上記（ア）のとおり、パラメータ間の関係式に基づいて震源断層パラメータを設定したほか、以下に挙げる震源断層パラメータも設定した。

a アスペリティの配置

(a) 基本ケース

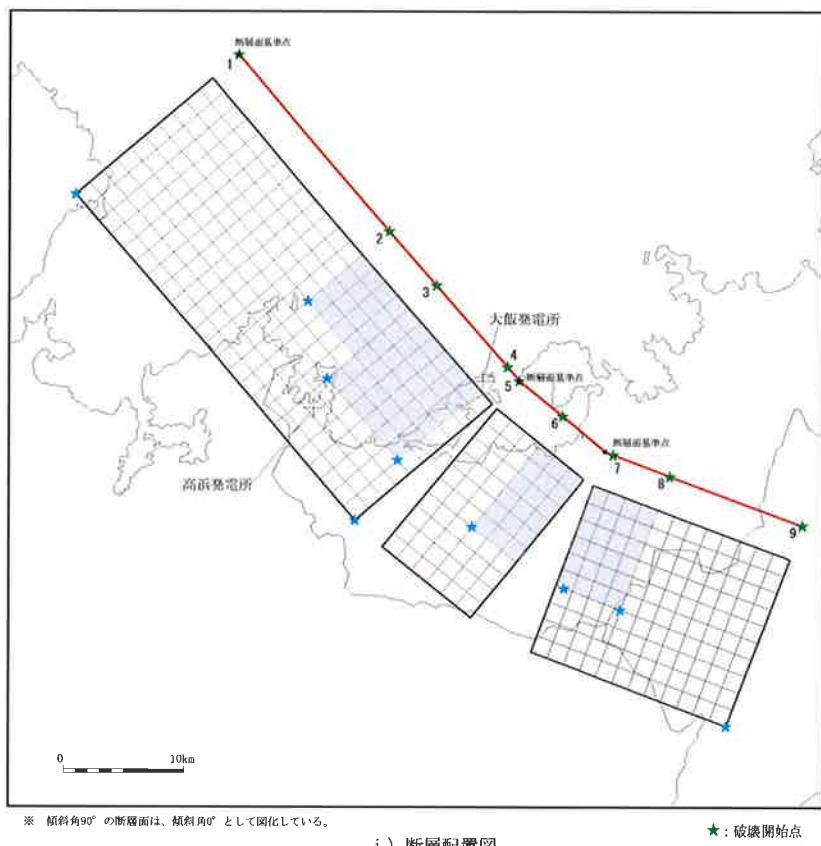
上記 2 (2) ウ (イ) b で述べたとおり、震源断层面におけるアスペリティの配置については、断层面の中央付近に設定することが基本とされている。

しかしながら、債務者は、FO-A～FO-B～熊川断層及び上林川断層のいずれについても、詳細な調査に基づいてその位置を把握し、断層の長さと幅（上端深さ及び下端深さ）を保守的に評価した上で、アスペリティ位置を地震の発生前に正確に特定するのは困難であることを踏まえ、保守的な観点から、断层面のうち本件発電所敷地に近い位置で、かつ断层面の上端にアスペリティを配置することで、より大きな地震動を想定することとした。

特に、本件発電所敷地に近い FO-A～FO-B～熊川断層につ

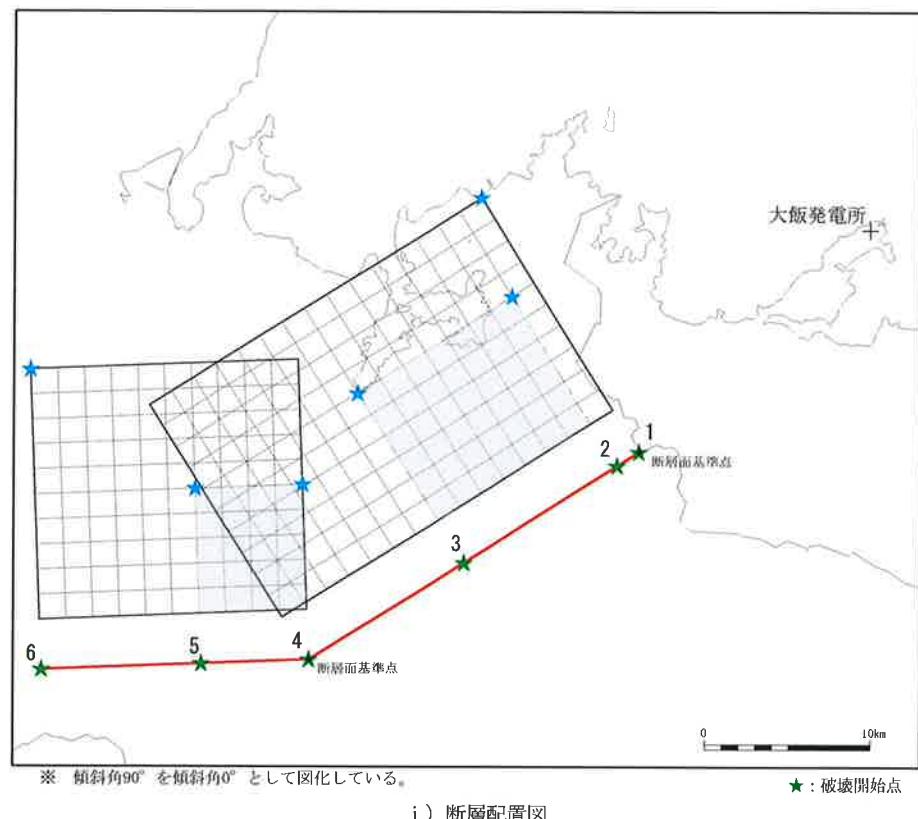
いては、FO-A～FO-B断層と熊川断層の間の断層の存在が確認されていない区間（約15km）についてもアスペリティを設定することとし、本件発電所敷地に最も近い位置¹¹³にアスペリティを配置した。

（図表69及び70。これを下記（ウ）の図表73及び74の「基本ケース」として設定した。乙5、添付書類六、6-5-35頁、6-5-76頁、6-5-80頁、乙57、79頁、112頁）



【図表69 FO-A～FO-B～熊川断層のモデル図（基本ケース）】

¹¹³ 小浜湾における極めて詳細な調査（上記第1の2（3）ウを参照）により、断層の存在が明確に否定できる区間を除いた区間の中で、本件発電所敷地に最も近い位置である。



【図表 7 0 上林川断層のモデル図（基本ケース）】

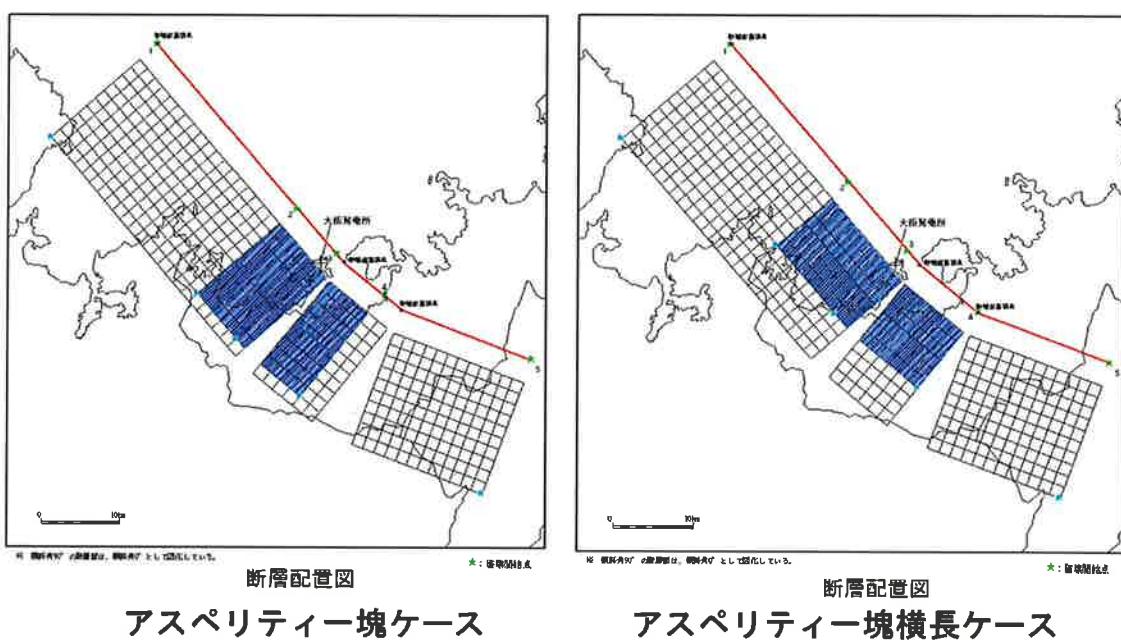
(b) 不確かさの考慮

上記 (a) における、FO-A～FO-B～熊川断層のアスペリティの配置は、以下で述べる点に照らしても、FO-A～FO-B断層と熊川断層が連動するとした場合に最も地震動が大きくなる配置であると考えられる。

まず、アスペリティは震源断層の中ですべり量が大きい部分であることを踏まえると、震源として考慮する活断層のうちFO-A～FO-B～熊川断層については、詳細な調査から断層を示す地質構造が確認されなかったFO-A～FO-B断層と熊川断層の間の区間にアスペリティが位置することは考えられない（この点、レシピでは、アスペリティの位置に関して、震源断層の浅部の変位量分布

と起震断層（アスペリティ）の変位量分布がよく対応することが明らかにされていると示されている（甲8, 9頁, (a)）。また、一方の断層のアスペリティが、断層を示す地質構造が確認されなかった区間をまたいでもう一方の断層のアスペリティに寄せ集まって1箇所に固まって存在することも想定し難い。したがって、地震動評価における基本ケースとしては、そのような制約の中で（想定し難い前提を排除した中で）、地震動が大きくなるように本件発電所敷地に最も近い位置にアスペリティを寄せた配置とした（これを下記（ウ）の図表73の「基本ケース」として設定した。）。

しかしながら、原子力規制委員会における議論も踏まえ、また十分に保守的な評価という観点から、念のため、現実に起こるとは想定し難いような配置も検討することとし、基本ケースを超えて、更に不確かさを考慮するケースとして、FO-A～FO-B断層と熊川断層の間の区間をまたいでアスペリティを一塊に寄せ集め、正方形又は長方形にして本件発電所敷地近傍に配置するケースを設定することとした（図表71。これを下記（ウ）の図表73の「不確かさを考慮したケース」として設定した。乙5, 添付書類六, 6-5-36頁, 6-5-78～6-5-79頁, 乙57, 89頁, 91頁）。



【図表 7 1 F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層のモデル図
(アスペリティー塊ケース・アスペリティー塊横長ケース)】

b 破壊開始点

震源断层面の破壊については、一度に全ての領域が破壊されるのではなく、ある点から時間の経過とともに、次第に破壊が断層面上を広がっていく。破壊開始点とは、この一連の破壊が始まる位置のことを行う。

破壊開始点については、地震の発生前に位置を予測することが難しいとされており、また、地震動の評価地点（発電所敷地）から見て、遠い方から近い方に破壊が進行していく場合に評価地点での地震動が大きくなるとされている。

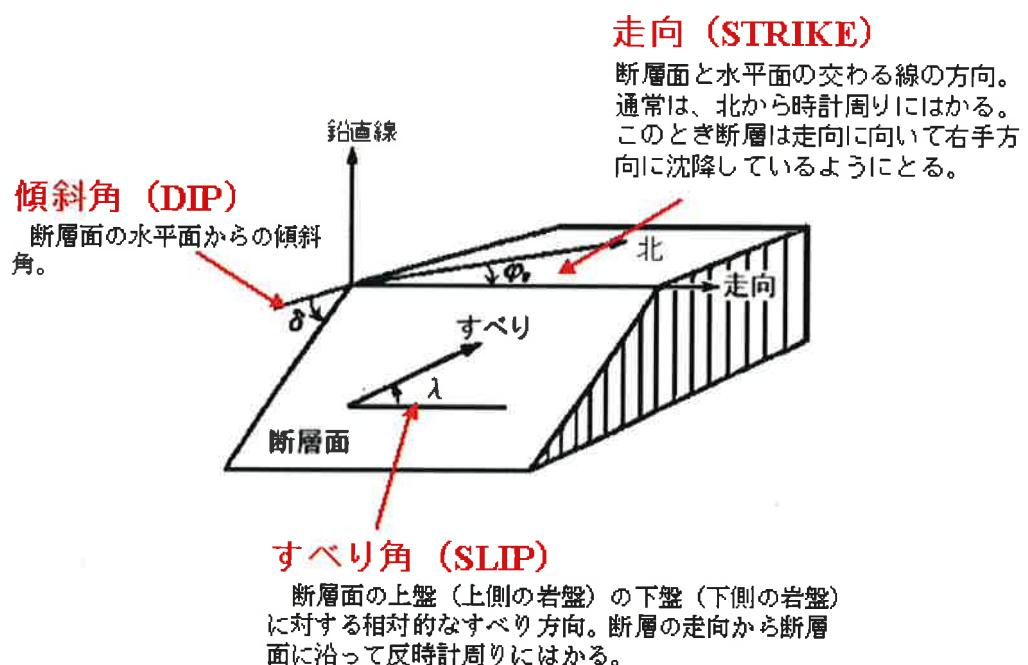
そこで、債務者は、破壊開始点を、断層の端やアスペリティの端といった本件発電所敷地から遠い位置に置くなど、複数の位置（F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層について5箇所ないし9箇所、上林川断層について6箇所）に設定した（乙5、添付書類六、6-5-35頁、6-5-76頁、6-

5-80頁等, 乙57, 79頁, 112頁等)。

c 断層傾斜角及びすべり角

(a) 基本ケース

断層傾斜角とは、震源断層面と水平面とのなす角度の小さい方をいう。また、すべり角とは、震源断層の上盤側の、下盤側に対する相対的なずれの方向をいう（断層の走向から断層面に沿って反時計回りの角度で示す）。（図表72）



【図表72 断層の模式図（断層傾斜角、すべり角等）】

上記のとおり、FO-A～FO-B～熊川断層及び上林川断層は、詳細な地質調査の結果、いずれも断層傾斜角は鉛直（水平面から90° 下向き）としており（上記第1の3（2）イ（イ）b）、すべり角（断層のずれの方向）は水平（FO-A～FO-B～熊川断層は0°、上林川断層は180°）としている（下記（ウ）の図表73及び

74の「基本ケース」。乙5、添付書類六、6-5-35頁、6-5-39頁、6-5-44頁等、乙57、78頁、80頁、110頁、113頁等)。

(b) 不確かさの考慮

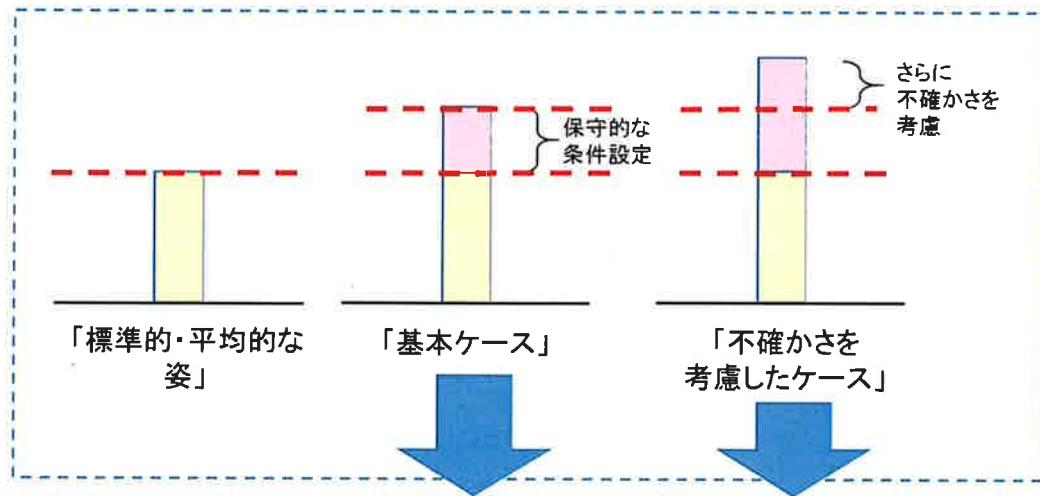
もっとも、断層傾斜角は鉛直から多少傾斜する可能性があり、また、すべり角(断層のずれの方向)についても断層面の傾きや広域応力場の向きによって水平から多少傾斜する可能性が考えられ、特に震源断層が発電所敷地に近い場合には、これらの不確かさが発電所敷地での地震動に影響する可能性がある。

このことから、債務者は、検討用地震に係る断層のうち本件発電所敷地に近く長大なFO-A～FO-B～熊川断層の断層傾斜角とすべり角について、合理的な不確かさを想定することとした。具体的には、FO-A～FO-B～熊川断層について、断層傾斜角を水平面から75°下向き(上記2(2)ウ(イ)と同様)にしたケース、すべり角を30°上向きにしたケースを設定した(下記(ウ)の図表73の「不確かさを考慮したケース」。乙5、添付書類六、6-5-36頁、6-5-40頁、6-5-41頁、乙57、82頁、87頁)。

(ウ) パラメータ設定のまとめ

債務者は、上記(ア)及び(イ)のとおり、震源断層パラメータを設定した。

図表73及び74は、主な震源断層パラメータの設定をまとめたものである(乙57、70頁も参照。なお、図表73の上部に記載の「標準的・平均的な姿」、「基本ケース」、「不確かさを考慮したケース」のグラフについては、下記4(2)ア(ウ)で説明する)。



断層パラメータ	標準的・平均的な姿	基本ケース	不確かさを考慮したケース
断層の長さ	35.3km(2連動を考慮)	63.4km(3連動を考慮)	
断層の幅	14km (上端深さ:4km, 下端深さ:18km)	15km (上端深さ:3km, 下端深さ:18km)	
短周期の地震動レベル	レシピ平均	レシピ平均	新潟県中越沖地震の知見を踏まえ, レシピ平均 × 1.5倍
断層傾斜角	調査結果に基づき, 90°	調査結果に基づき, 90°	横ずれ断層であるが, 縦ずれ成分もあることを考慮し, また, 周辺の断層も参照して, 75°
すべり角	調査結果に基づき, 0°	調査結果に基づき, 0°	横ずれ断層であるが, 縦ずれ成分もあることを考慮し, また, 周辺の断層も参照して, 30°
破壊伝播速度	レシピに基づき, 0.72β (β :地震発生層のS波速度)	レシピに基づき, 0.72β	既往の知見を参考にして, 0.87β
アスペリティ配置	敷地近傍に配置 (なお, レシピでは, 断層面の中央付近に配置するのが基本とされている)	敷地近傍に配置	<ul style="list-style-type: none"> ・敷地近傍に正方形に一塊にして配置 ・敷地近傍に長方形に一塊にして配置
破壊開始点	断層面およびアスペリティの下端に複数設定(6箇所)	断層面およびアスペリティの下端に複数設定(5~9箇所)	

【図表 7.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価における

震源断層パラメータの設定 (FO-A～FO-B～熊川断層による地震)】

断層パラメータ	標準的・平均的な姿	基本ケース	不確かさを考慮したケース
断層の長さ	26km(文献等に記載)	39.5km(断層の存在を確実に否定できるところまで大幅に延長)	
断層の幅	14km (上端深さ:4km, 下端深さ:18km)	15km (上端深さ:3km, 下端深さ:18km)	
短周期の地震動レベル	レシピ平均	レシピ平均	新潟県中越沖地震の知見を踏まえ, レシピ平均 × 1.5倍
断層傾斜角	調査結果に基づき, 90°	調査結果に基づき, 90°	
すべり角	調査結果に基づき, 180°	調査結果に基づき, 180°	
破壊伝播速度	レシピに基づき, 0.72β (β : 地震発生層のS波速度)	レシピに基づき, 0.72β	既往の知見を参考にして, 0.87β
アスペリティ配置	敷地近傍に配置 (レシピでは, 断層面の中央付近に配置するのが基本)	敷地近傍に配置	
破壊開始点	断層面およびアスペリティの下端に複数設定(6箇所)	断層面およびアスペリティの下端に複数設定(6箇所)	

【図表74 断層モデルを用いた手法による地震動評価における震源断層パラメータの設定（上林川断層による地震）】

エ 地震波の伝播特性, 地盤の增幅特性（サイト特性）の評価

債務者は、統計的グリーン関数法等を用いて地震動計算をするにあたって、地震波の伝播特性、地盤の增幅特性（サイト特性）を適切に評価した。

具体的には、まず、地震波の伝播特性には幾何減衰と内部減衰があり、幾何減衰が大きな部分を占める。債務者は、幾何減衰について、詳細な調査により評価した震源断層の位置に基づき敷地との距離から適切に評価するとともに、内部減衰について、既往の文献をもとにQ値を $50f^{1.1}$ と設定した。

また、地盤の增幅特性（サイト特性）については、詳細な調査結果から、本件発電所敷地及び敷地周辺の地盤の速度構造を精度良く把握するとともに、局所的に地震波の集中をもたらすような特異な構造が見られないこと

を確認した。

(上記第1の3(2)ウ及びエ)

才 地震動評価結果

(ア) 以上のとおり、震源断層をモデル化し(上記ウ)、地震波の伝播特性と地盤の增幅特性(サイト特性)を設定した上で(上記エ)、これらをもとに、債務者は、統計的グリーン関数法等を用いて「断層モデルを用いた手法による地震動評価」を行った。

震源断層パラメータについて様々な不確かさを考慮することとした結果、本件発電所敷地に近いFO-A～FO-B～熊川断層による地震については、図表75のとおり、64ものケースを設定して保守的に評価した。また、上林川断層による地震についても、図表76のとおり、18のケースを設定して評価した。

(乙5、添付書類六、6-5-38頁、乙57、78頁、111頁)

考慮した不確かさ	短周期の地震動レベル	断層傾斜角	すべり角	破壊伝播速度 V_r	アスペリティ配置	破壊開始点
基本ケース	レシピ平均	90°	0°	$V_r=0.72\beta$	①断層ごとに敷地近傍に配置	9箇所
短周期の地震動レベル	レシピ平均 × 1.5倍	90°	0°	$V_r=0.72\beta$	①断層ごとに敷地近傍に配置	9箇所
断層傾斜角	レシピ平均	75°	0°	$V_r=0.72\beta$	①断層ごとに敷地近傍に配置	9箇所
すべり角	レシピ平均	90°	30°	$V_r=0.72\beta$	①断層ごとに敷地近傍に配置	9箇所
破壊伝播速度 V_r	レシピ平均	90°	0°	② $V_r=0.87\beta$	①断層ごとに敷地近傍に配置	9箇所
アスペリティ配置	レシピ平均	90°	0°	$V_r=0.72\beta$	②敷地近傍に一塊(正方形)	5箇所
	レシピ平均	90°	0°	$V_r=0.72\beta$	③敷地近傍に一塊(長方形)	5箇所
短周期の地震動レベル 及び破壊伝播速度 V_r の 不確かさの組合せを考慮	レシピ平均 × 1.25倍	90°	0°	$V_r=0.87\beta$	①断層ごとに敷地近傍に配置	9箇所

※1 黄色部分は、不確かさを独立して考慮したパラメータであり、青色部分は、不確かさを重畠して考慮したパラメータである。図表76も同じ。

※2 「短周期の地震動レベル及び破壊伝播速度 V_r の不確かさの組合せを考慮」の「短周期の地震動レベル」を「レシピ平均 × 1.25倍」とするケースについては、下記4(2)エ(イ)のとおり。

(乙57, 78頁に一部加筆)

【図表75 F O-A～F O-B～熊川断層による地震の地震動評価ケース】

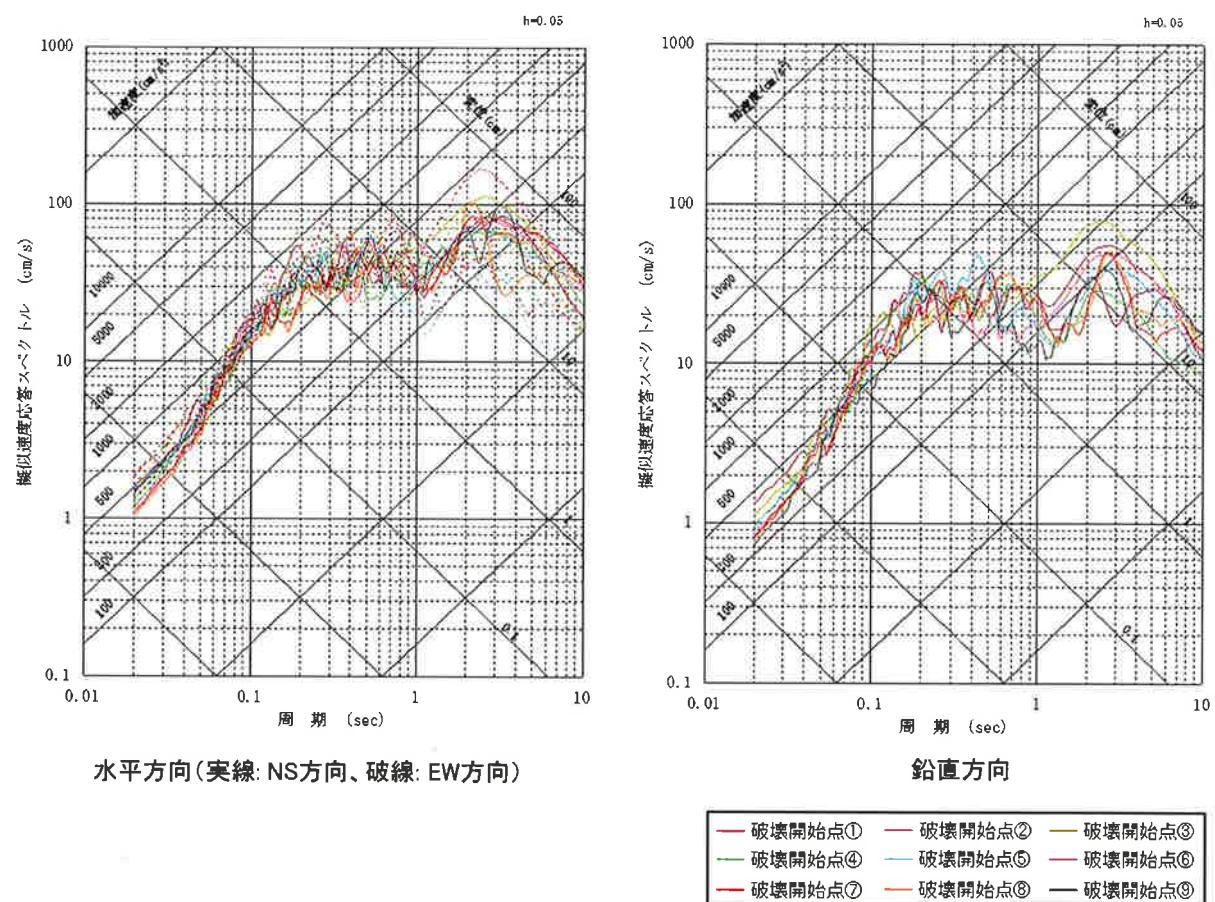
考慮した不確かさ	短周期の地震動レベル	破壊伝播速度 V_r	アスペリティ配置	破壊開始点
基本ケース	レシピ平均	$V_r=0.72\beta$	敷地近傍に配置	6箇所
短周期の地震動レベル	レシピ平均 × 1.5倍	$V_r=0.72\beta$	敷地近傍に配置	6箇所
破壊伝播速度 V_r	レシピ平均	② $V_r=0.87\beta$	敷地近傍に配置	6箇所

(乙57, 111頁に一部加筆)

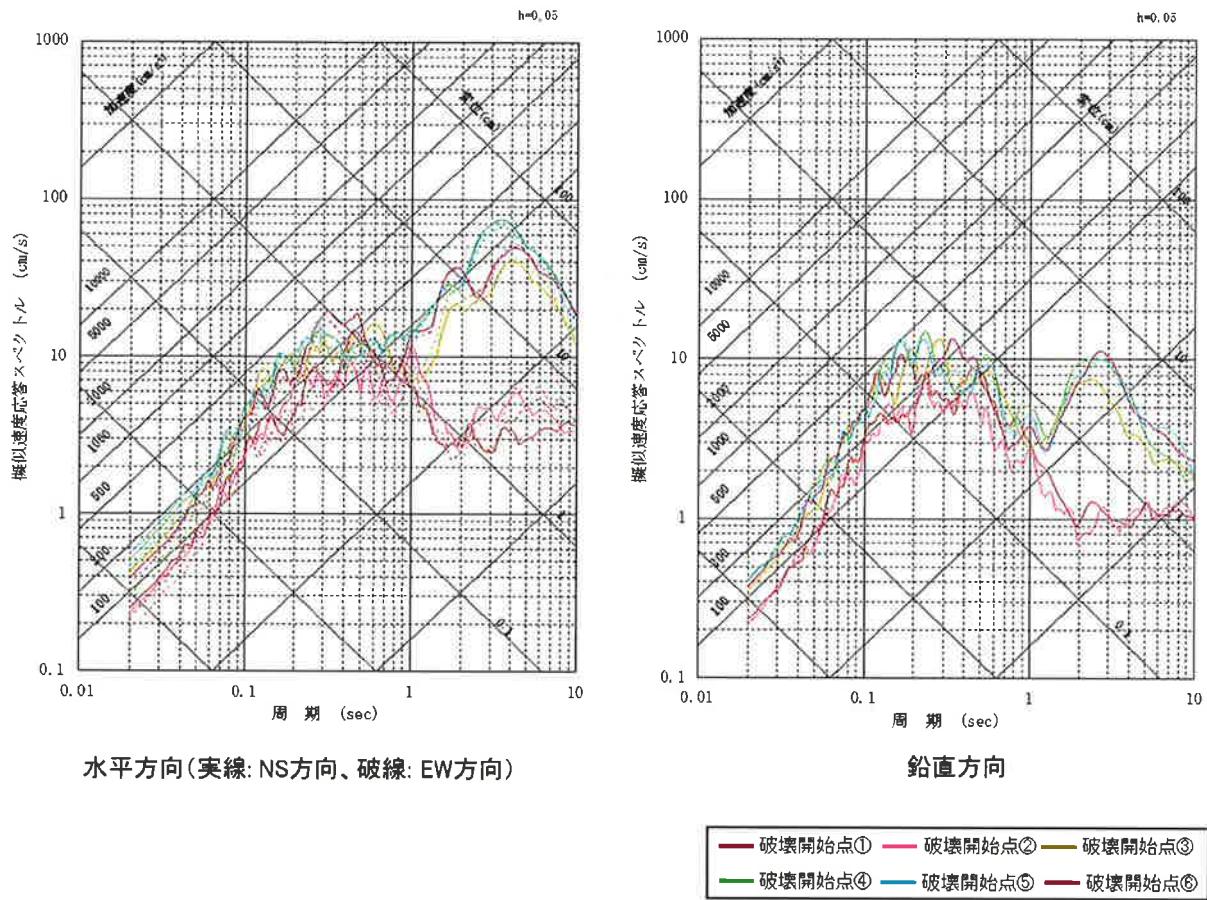
【図表76 上林川断層による地震の地震動評価ケース】

(イ) 以上の設定をもとにした地震動評価の結果（応答スペクトル）は、図表77（FO-A～FO-B～熊川断層による地震）及び図表78（上林川断層による地震）のとおりである（いずれも基本ケース。また、基本ケースを含む全ケースの結果について、乙5、添付書類六、6-5-87～6-5-119頁、乙57、94頁、116頁等）。

以上の評価結果をもとに策定した基準地震動については、下記第4の1(2)で述べる。



【図表77 FO-A～FO-B～熊川断層による地震（基本ケース）の
断層モデルを用いた手法による地震動評価結果】

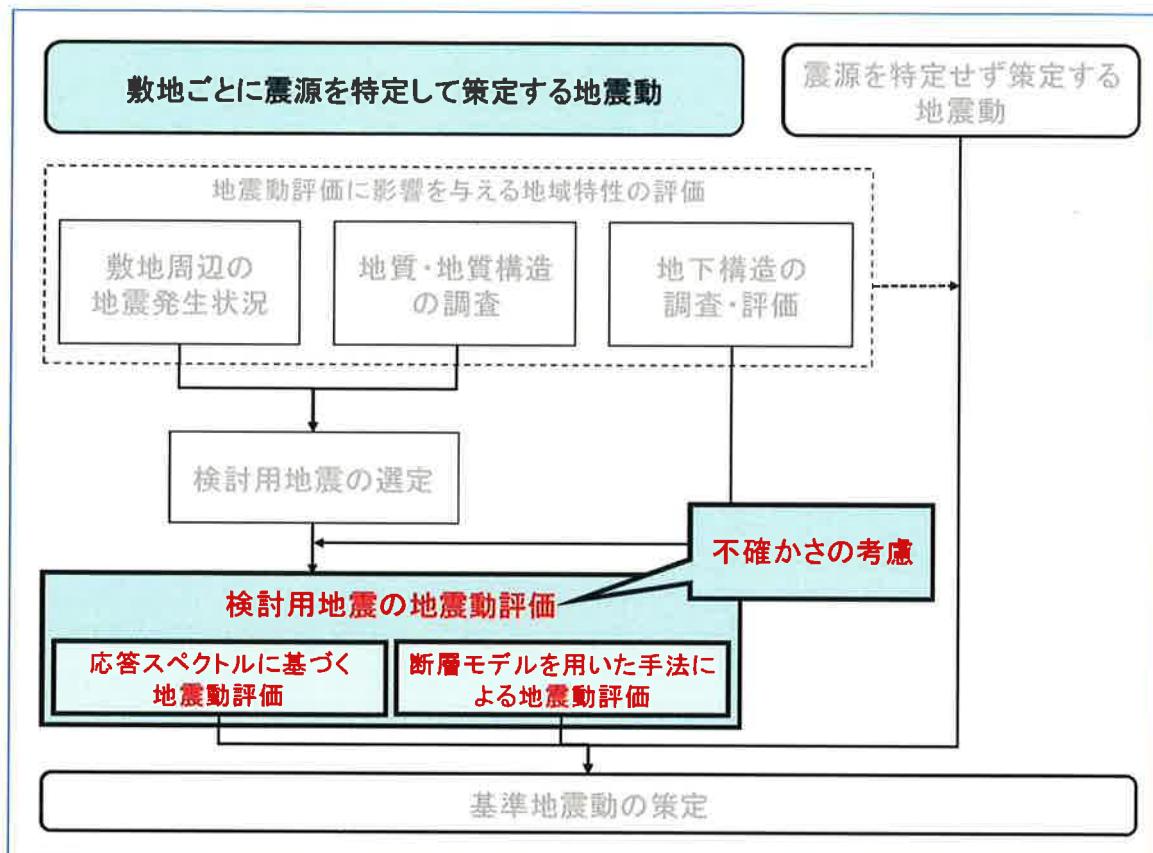


【図表 7-8 上林川断層による地震（基本ケース）の
断層モデルを用いた手法による地震動評価結果】

(3) 原子力規制委員会による審査

原子力規制委員会は、債務者が行った本件発電所の「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価（上記2の「応答スペクトルに基づく地震動評価」及び本項の「断層モデルを用いた手法による地震動評価」）について、検討用地震として選定したFO-A～FO-B～熊川断層による地震及び上林川断層による地震に係る評価が、設置許可基準規則解釈別記2に適合していることを確認したとしている（乙38の2、16～18頁）。

4 不確かさの考慮に関する補足説明



上記2及び3で述べたとおり、各検討用地震に係る「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」において、債務者は、十分に不確かさを考慮して保守的に評価を行っている。

本項では、両評価での不確かさの考慮について、改めて具体的に説明する。

(1) 設置許可基準規則等

設置許可基準規則解釈は、「基準地震動の策定過程に伴う各種の不確かさ（震源断層の長さ、地震発生層の上端深さ・下端深さ、断層傾斜角、アスペリティの位置・大きさ、応力降下量、破壊開始点等の不確かさ、並びにそれらに係る考え方及び解釈の違いによる不確かさ）については、敷地における地震動評価に大きな影響を与えると考えられる支配的なパラメータについて分析した上で、必要に応じて不確かさを組み合わせるなど適切な手法を用い

て考慮すること」を求めている（同規則解釈別記2第4条5項2号⑤、乙9、130頁）。

これを受けて、地震ガイドは、不確かさの考慮について、「アスペリティの位置・応力降下量や破壊開始点の設定等が重要であり、震源モデルの不確かさとして適切に評価されていること」、「震源特性（震源モデル）、伝播特性（地殻・上部マントル構造）、サイト特性（深部・浅部地下構造）における各種の不確かさが含まれるため、これらの不確実さ要因を偶然的不確実さと認識論的不確実さに分類して、分析が適切になされていること」等を確認している（乙10、6～7頁、I 3.3.3(2)）。

（2）本件発電所の地震動評価における不確かさの考慮

ア 不確かさの考慮の基本的な考え方

（ア）債務者は、基準地震動の策定にあたって、地震の「標準的・平均的な姿」の分析結果から構築された、信頼性のある関係式や手法を用いていっているところ、地震等の自然現象にはらつきがあることから、これを本件発電所敷地で適用するにあたっては、詳細な調査結果を踏まえ、敷地周辺の地域性を把握し、起こりうる不確かさを考慮した上で、十分に保守的な条件設定により基準地震動を策定しており、これにより自然現象のはらつきに対応している。

（イ）債務者は、上記の設置許可基準規則等における要求事項を踏まえ、応答スペクトルに基づく地震動評価で用いた耐専式及び各種の距離減衰式と、断層モデルを用いた手法による地震動評価で参照したレシピにおける、地震動評価に大きな影響を与えるパラメータについて不確かさを考慮し、それぞれ評価を行った¹¹⁴。

¹¹⁴ なお、不確かさを考慮するパラメータは、本件発電所敷地の地震動評価に与える影響の大きさから選択しており、FO-A～FO-B～熊川断層と上林川断層とでは、考慮したパラメータは全く同

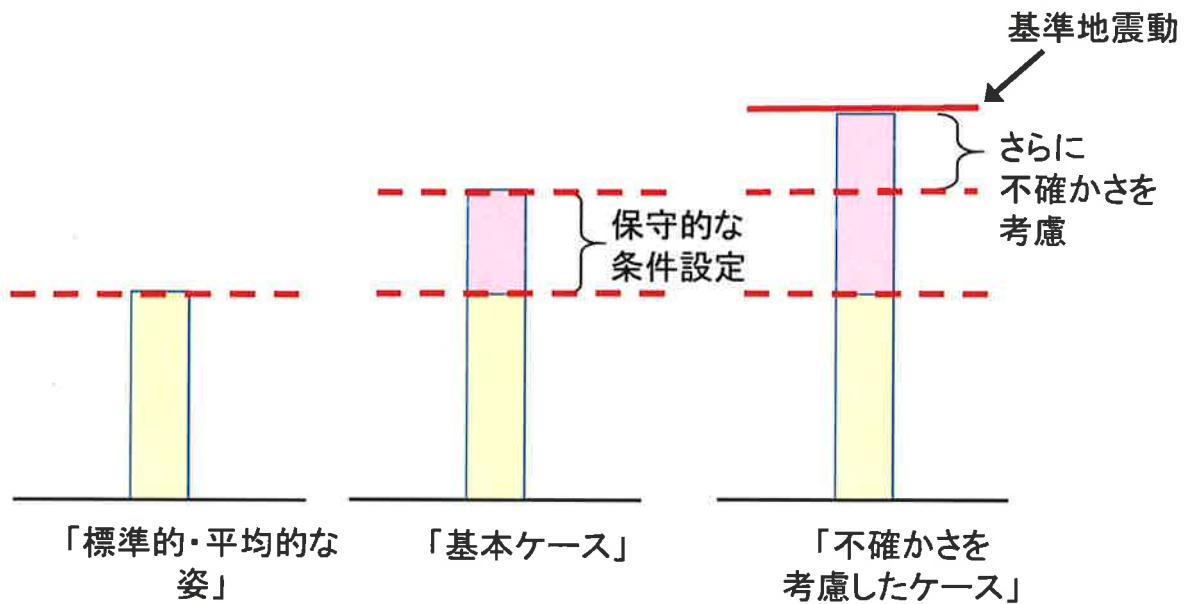
すなわち、応答スペクトルに基づく地震動評価では、地震規模と震源からの距離（等価震源距離等）を用いて地震動評価を行うところ、地震規模の設定に影響する断層の長さ（①）、震源からの距離に影響する地震発生層（震源断層面）の上端深さ（②）、アスペリティの位置（③）、断層傾斜角（④）が、地震動評価に大きな影響を与えるため、これらについて不確かさを考慮した評価を行った（下記イ）。

また、断層モデルを用いた手法による地震動評価では、地震モーメント（⑤）の設定に影響する断層の長さ、地震発生層の上端・下端深さ（断層の幅）、断層傾斜角（傾斜により断層の幅が広がる）や、応力降下量（短周期の地震動レベル）（⑥）、アスペリティの位置、破壊開始点の位置（⑦）、すべり角（⑧）、破壊伝播速度（⑨）等が、地震動評価に大きな影響を与えるため、これらについて不確かさを考慮した評価を行った（下記ウ）。

（ウ）なお、債務者は、基準地震動の策定にあたって、「基本ケース」を設定した上で、「不確かさを考慮したケース」も設定して地震動評価を行っている。

これらは、地震動評価において設定すべき各種パラメータについて、そもそも詳細な調査に基づき、不確かさを考慮して保守的な条件で基本ケースを設定しているところ、それらのパラメータについて、（場合によっては科学的・専門技術的知見から合理的に考慮できる範囲を超えて）更に不確かさを考慮して設定したものを「不確かさを考慮したケース」と呼び、これとの区別のため、前者を便宜上「基本ケース」と呼んでいる（図表7-9）。

じということではない。



「基本ケース」の設定の段階から、保守的な条件設定を行い、すでに不確かさを十分に考慮している。
「不確かさを考慮したケース」は、不確かさをさらに考慮したもの。

【図表 7 9 「基本ケース」と「不確かさを考慮したケース】

イ 応答スペクトルに基づく地震動評価における不確かさの考慮

(ア) 基本ケースの保守性

応答スペクトルに基づく地震動評価においては、まず、断層の長さ(①)について、それに基づいて設定される地震の規模がより大きくなるよう、詳細な調査に基づき、より長く評価した。また、震源から敷地までの距離がより短い(近い)設定となるよう、地震発生層の上端深さ(②)について、詳細な調査に基づき、より浅く評価するとともに、アスペリティの位置(③)については、詳細な調査によってもその位置を事前に特定することはできないことから、本件発電所敷地により近い位置に設定した。(いわゆる「基本ケース」)

(イ) 不確かさを考慮したケース

以上のような条件設定により、本件発電所の「応答スペクトルに基づく地震動評価」による地震動は、すでに保守的で大きなものとなっているが、債務者は、更に不確かさを考慮した条件設定も行った（いわゆる「不確かさを考慮したケース」）。

すなわち、震源として考慮する活断層のうちFO-A～FO-B～熊川断層については、震源から敷地までの距離の設定に影響する断層傾斜角（④）について、詳細な調査と既往の知見から鉛直（90°）と評価していたものを、本件発電所敷地に近づくよう、あえて75°に傾斜させるケースを設定した。

（以上イについて、上記2（2）イ及びウ、乙5、添付書類六、6-5-37頁）

ウ 断層モデルを用いた手法による地震動評価における不確かさの考慮

(ア) 基本ケースの保守性

断層モデルを用いた手法による地震動評価においては、まず、断層の長さ（①）、地震発生層の上端深さ（②）・下端深さ（断層の幅）については、各種の詳細な調査に基づき、保守的に評価して、震源断層をより広く、また本件発電所敷地により近い位置になるように設定した。一方、地震モーメント（⑤）、応力降下量（短周期の地震動レベル）（⑥）等については、各関係式や手法により算定した値を用いているところ、上記のとおり、断層の長さや幅を保守的に設定したことで震源断層の面積は大きくなり、断層の面積に基づいて算定される地震モーメント、応力降下量、短周期の地震動レベル等も、これに合わせて保守的な値となっている。また、アスペリティの位置（③）、破壊開始点の位置（⑦）については、詳細な調査によってもその位置を事前に把握することは困難であ

るため、アスペリティを本件発電所敷地により近い位置に設定するとともに、破壊開始点については、本件発電所敷地に地震波が短い時間でより多く重なり合うように、震源断層面又はアスペリティの下端に複数配置することとした。(いわゆる「基本ケース」)

(イ) 不確かさを考慮したケース

以上のような条件設定により、本件発電所の「断層モデルを用いた手法による地震動評価」による地震動は、すでに保守的で大きなものとなっているところ、債務者は、更に不確かさを考慮した条件設定も行った(いわゆる「不確かさを考慮したケース」)。

すなわち、短周期の地震動レベル(⑥)について、新潟県中越沖地震で得られた知見を踏まえ、1.5倍とする、断層傾斜角(④)について、詳細な調査と既往の知見から鉛直(90°)と評価していたものを、あえて 75° に傾斜させることで、震源断層を更に広く、かつ、本件発電所敷地に更に近い位置になるようする、アスペリティの位置(③)について、現実に起こるとは想定し難いような配置として、アスペリティを一塊に集めるケースを設定するなどした。

その上で、債務者は、「断層モデルを用いた手法による地震動評価」において大きな影響を与えるパラメータのうち、断層傾斜角(④)、短周期の地震動レベル(⑥)、すべり角(⑧)、破壊伝播速度(⑨)については、それぞれ独立して不確かさを考慮することとした。すなわち、それらのパラメータは、その性質上、事前の詳細な調査や、地震に関する過去のデータによる経験則等から地震発生前におおよそ把握できるもの(認識論的な不確かさ)であるが、上記のとおり、各パラメータについて相当な保守性を持たせた値、場合によっては科学的・専門技術的知見から合理的に考慮できる範囲を超えた値を設定して不確かさの考慮を行

っているため、これらの複数のパラメータが同時に基本ケースを超えて大きな値になることは考えにくいことから、それぞれ独立して考慮することとした。

これに対し、アスペリティの位置（③）、破壊開始点の位置（⑦）については、性質上、地震発生後の分析等により初めて把握できるものであり、地震発生前の把握が困難（事前の詳細な調査等からは特定が困難）なもの（偶然的な不確かさ）であることから、不確かさを重畠させて考慮することとした。（上記3（2）オ（ア）の図表75及び76）

（以上ウについて、上記3（2）ウ及びオ、乙5、添付書類六、6-5-35頁、6-5-36頁、6-5-38頁、乙57、70頁、78頁、110～111頁）

エ 不確かさの組合せに関する追加検討

（ア）債務者は、上記のとおり不確かさを考慮したが、検討用地震のうち、FO-A～FO-B～熊川断層による地震については、本件発電所敷地近傍における長い断層による地震であることに鑑み、「断層モデルを用いた手法による地震動評価」にあたっては、上記にとどまらず、更に不確かさを重畠させたケースを追加的に考慮することとした。具体的には、上記の各パラメータのうち、短周期の地震動レベルと破壊伝播速度について、不確かさを重畠させた場合の地震動評価を行うこととした。

これは、上記の各パラメータのうち、断層傾斜角とすべり角は、地質調査の結果等から相対的に不確かさは小さい（したがって重畠させる必要性は小さい）と考えられること、一方、破壊伝播速度については、短周期側の地震動への影響は断層傾斜角やすべり角と同程度であるものの、長周期側の地震動に最も大きな影響を及ぼすパラメータであることから、この破壊伝播速度を、短周期の地震動レベルと重畠させて考慮することとしたものである。（アスペリティの位置と破壊開始点については、上

記ウ（イ）の各ケースと同様に、ここでも重畠させて検討する。）

（イ）なお、短周期の地震動レベルについては、①FO-A～FO-B～熊川断層は横ずれ断層である一方、新潟県中越沖地震の震源断層は逆断層であること、②逆断層型の地震の短周期領域での地震動レベルは、横ずれ断層型の地震に比して1.2倍程度と評価されている等の知見があることから、新潟県中越沖地震を踏まえて考慮した「1.5倍」を1.2で除して、短周期の地震動レベルを1.25倍として再設定することとした。

（以上エについて、乙57、71～77頁）

オ 小括

本件発電所の「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価では、以上述べたとおり、保守的な地震動評価となるよう、不確かさを適切に考慮している。この不確かさの考慮が科学的合理性を有していることは、下記第4の4（2）ウで述べるとおり、本件発電所の基準地震動に対する年超過確率が $10^{-4} \sim 10^{-5}$ ／年程度（乙57、161頁）と極めて低いことにも表れている。

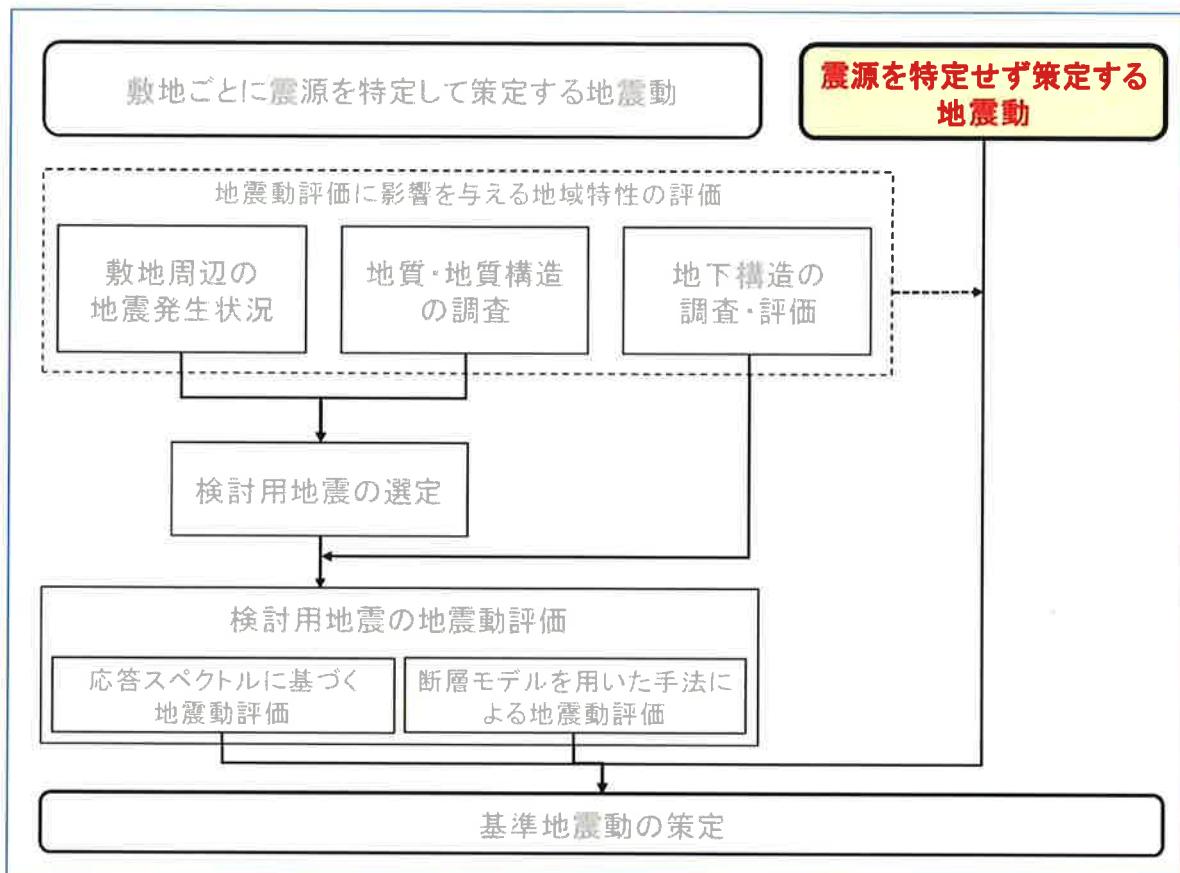
（3）原子力規制委員会による審査

原子力規制委員会では、平成29年4月26日の第6回会議において、平成28年（2016年）熊本地震が「断層モデルを用いた手法による地震動評価」の手法に与える影響の有無についての原子力規制庁の分析結果（乙78、「熊本地震の分析について」）について議論した際、本件発電所の地震動評価ケース（乙78、参考2）について、「この基本ケースというのは、そもそもFO-A～FO-Bプラス熊川ということで、長さを35キロメートルから63キロメートルに長くしているということと、プラス、そもそも基本ケースの中ではアスペリティ、いわゆる強震動領域を敷地により近づけてやるとか、こういう保守性を

考慮してございます。ですから、現状の評価としては、地震動については、現状でも十分な評価が行われているというのが実情でございます」（乙79、「平成29年度原子力規制委員会第6回会議議事録」14頁）として、本件発電所の地震動評価においては、基本ケース（上記（2）イ及びウのそれぞれ（ア））の設定の段階から保守性が考慮され、適切な地震動評価が行われているとしている。

そして、原子力規制委員会は、債務者が行った本件発電所の「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価（上記2の「応答スペクトルに基づく地震動評価」及び上記3の「断層モデルを用いた手法による地震動評価」）について、不確かさを考慮して地震動評価を行っていることから、設置許可基準規則解釈別記2に適合していることを確認したとしている（乙38の2、16～18頁）。

第3 「震源を特定せず策定する地震動」の評価



「震源を特定せず策定する地震動」は、本件発電所敷地周辺の状況等を十分考慮した詳細な調査を実施しても、なお敷地近傍において発生する可能性のある内陸地殻内地震の全てを事前に評価し得るとは言い切れないとの観点から策定するものである。

本項では、本件発電所に係る「震源を特定せず策定する地震動」の評価について説明する。

1 設置許可基準規則等

(1) 設置許可基準規則解釈は、「震源を特定せず策定する地震動」について、「震源と活断層を関連づけることが困難な過去の内陸地殻内の地震について得られた震源近傍における観測記録を収集し、これらを基に、各種の不確かさを考慮して敷地の地盤物性に応じた応答スペクトルを設定して策定するこ

と」、また、「策定された基準地震動の妥当性については、申請時における最新の科学的・技術的知見を踏まえて個別に確認すること」、「その際には、地表に明瞭な痕跡を示さない震源断層に起因する震源近傍の地震動について、確率論的な評価等、各種の不確かさを考慮した評価を参考とすること」等を求めている（同規則解釈別記2第4条5項3号、乙9、130～131頁）。

(2) これを受け、地震ガイドは、観測記録の収集に関して、「地表地震断層が出現しない可能性がある地震」と「事前に活断層の存在が指摘されていなかった地域において発生し、地表付近に一部の痕跡が確認された地震」を対象とすることとして、収集対象となる16の内陸地殻内地震を例示している（乙10、7～8頁、I 4.2.1）。

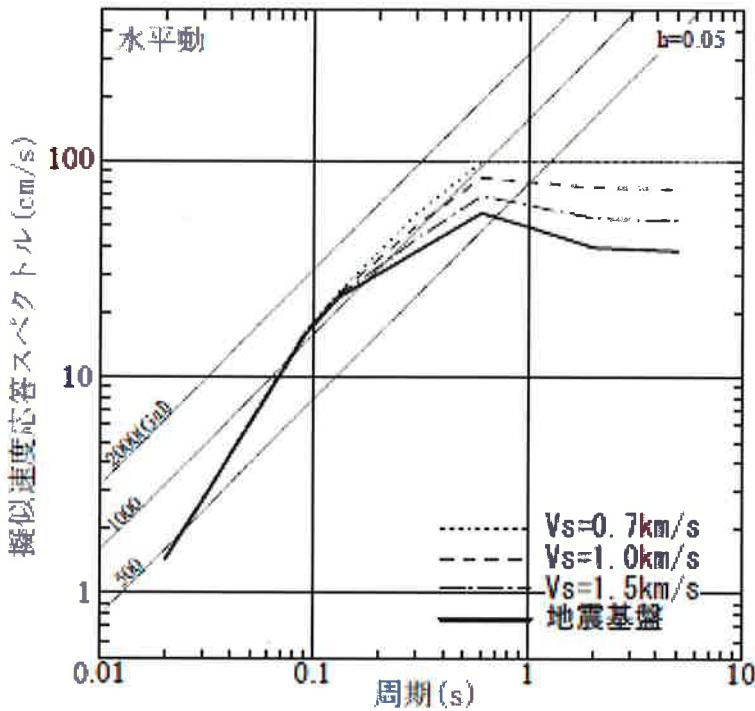
2 本件発電所の「震源を特定せず策定する地震動」の評価

債務者は、上記の要求事項を踏まえ、「震源を特定せず策定する地震動」について、以下のとおり評価を行った。

(1) 加藤ほか（2004）による応答スペクトル

まず、加藤ほか（2004）（乙45）で示されている応答スペクトルについて検討した。加藤ほか（2004）では、日本や米国のカリフォルニアで発生した内陸地殻内地震を対象¹¹⁵に、文献調査、空中写真判読によるリニアメント調査、地表踏査等の詳細な地質学的調査によってもなお、震源位置と地震規模を前もって特定できなかったと考えられる地震を選定し、選定された地震の震源近傍の観測記録等を概ね上回るような地震動の応答スペクトルが示されている（図表80。乙45、65頁）。

¹¹⁵ 加藤ほか（2004）は、地震カタログが整備された1885年以降に日本で観測された内陸地殻内地震、1940年以降に米国のカリフォルニアで発生した内陸地殻内地震を対象として検討を行ったとしている。



(乙45、65頁の図9)

【図表80 加藤ほか（2004）による水平方向の地震動の応答スペクトル】

本件発電所敷地の解放基盤表面はS波速度2.2km/sであるところ（上記第1の3（2）エ（ア）），加藤ほか（2004）では，S波速度2.2km/s以上の地盤について，図表80に示す「地震基盤」の応答スペクトルが設定されていることから，債務者は，この応答スペクトルを採用することとした。

（2）地震ガイドに例示されている地震についての検討

次に，地震ガイドに例示されている地震について検討した。

ア 地震ガイドに例示された16地震

（ア）地震ガイドに例示された16地震（図表81。乙10、8頁の表-1、乙5、添付書類六、6-5-47頁）は，「兵庫県南部地震以降，地震・地震動観測や

ネットワーク技術が進歩し、国内の観測点が大幅に増加しており、震源近傍の地震動や観測点周辺の地盤等の状況・性状も分かりつつある状況を踏まえ、震源近傍で強震動の記録がとれていて、規模が大きい検討対象となる、又はなることが想定される内陸地殻内の地震をリストアップし」たものとされており（乙1、257～258頁）、原子力規制委員会及び多数の専門家による検討の結果、最新の科学的・技術的知見に照らして、「震源を特定せず策定する地震動」において考慮すべき地震の例として選定されたものである。

表-1 収集対象となる内陸地殻内の地震の例

No	地震名	日時	規模
1	2008年岩手・宮城内陸地震	2008/06/14, 08:43	Mw6.9
2	2000年鳥取県西部地震	2000/10/06, 13:30	Mw6.6
3	2011年長野県北部地震	2011/03/12, 03:59	Mw6.2
4	1997年3月鹿児島県北西部地震	1997/03/26, 17:31	Mw6.1
5	2003年宮城県北部地震	2003/07/26, 07:13	Mw6.1
6	1996年宮城県北部(鬼首)地震	1996/08/11, 03:12	Mw6.0
7	1997年5月鹿児島県北西部地震	1997/05/13, 14:38	Mw6.0
8	1998年岩手県内陸北部地震	1998/09/03, 16:58	Mw5.9
9	2011年静岡県東部地震	2011/03/15, 22:31	Mw5.9
10	1997年山口県北部地震	1997/06/25, 18:50	Mw5.8
11	2011年茨城県北部地震	2011/03/19, 18:56	Mw5.8
12	2013年栃木県北部地震	2013/02/25, 16:23	Mw5.8
13	2004北海道留萌支庁南部地震	2004/12/14, 14:56	Mw5.7
14	2005年福岡県西方沖地震の最大余震	2005/04/20, 06:11	Mw5.4
15	2012年茨城県北部地震	2012/03/10, 02:25	Mw5.2
16	2011年和歌山县北部地震	2011/07/05, 19:18	Mw5.0

【図表8 1 地震ガイドで例示されている16地震】

(イ) ところで、新規制基準では、観測記録をもとに、「敷地の地盤物性に応じた応答スペクトルを設定」することが求められており（設置許可基準規則解釈別記2第4条5項3号、乙9、130頁）、「応答スペクトルの設定においては、解放基盤表面までの地震波の伝播特性が反映されている必要がある」とされている（乙10、7頁、I 4.1(2)）。

これは、観測記録から表層の軟らかい地盤の影響を取り除いた上で、原子力発電所敷地の解放基盤表面相当の岩盤での揺れに補正する作業等、観測記録が得られた地盤と原子力発電所敷地の地盤との間における增幅特性（サイト特性）の差異を踏まえた地震動の補正作業を行うことを要求するものと解される。

この点、原子力規制委員会は、「これらの地震の観測記録は、防災科学技術研究所が全国に設置するK-NET及びKiK-netをはじめとして各種機関が設置する強震計により観測されたものであるが、そのデータは地上で取られたもの、地中で取られたものが混在している。そこで、当該地震動を観測した強震計の位置（観測サイト）における地盤の增幅特性について、解放基盤面相当深さまでの速度構造をボーリング調査等によって把握して、観測サイトにおける解放基盤面において当該地震動（解放基盤波）を評価することが必要である。そのようにして算定された解放基盤波を原子力発電所の解放基盤面での地盤物性を必要に応じて考慮し、応答スペクトルが設定される」（乙1、258頁）としている。

(ウ) 債務者は、地震ガイドに示された「事前に活断層の存在が指摘されていなかった地域において発生し、地表付近に一部の痕跡が確認された地震」と「地表地震断層が出現しない可能性がある地震」の区別に従い、

Mw¹¹⁶以上の2地震（下記イ）とMw 6.5未満の14地震（下記ウ）とに分けて検討を行った。

イ Mw 6.5以上の2地震についての検討

地震ガイドは、Mw 6.5以上の地震として、平成20年（2008年）岩手・宮城内陸地震（以下、「岩手・宮城内陸地震」という）と鳥取県西部地震を示している。

債務者は、地震ガイドにおいて、「活断層や地表地震断層の出現要因の可能性として、地域によって活断層の成熟度が異なること、上部に軟岩や火山岩、堆積層が厚く分布する場合や地質体の違い等の地域差がある」ことを考慮して個別に検討する必要があるとされている（乙10、8頁、I 4.2.1解説(2)）ことを踏まえ、これらの地震の震源域周辺と本件発電所敷地周辺の地域性等を比較するなどした。

（ア）岩手・宮城内陸地震

岩手・宮城内陸地震の震源域近傍は、上部に軟岩や火山岩、堆積層が厚く分布する地域であり、地震ガイドにいう「上部に軟岩や火山岩、堆積層が厚く分布する地域で発生した地震」（乙10、8頁、I 4.2.1解説(2)(③)）にあたる。

そのような地域では、活断層を発見しづらくなるが、本件発電所敷地周辺はそのような（軟岩等が広く分布するような）地域ではない。

このように、岩手・宮城内陸地震の震源域近傍と本件発電所敷地周辺では地質学的背景が異なることから、債務者は、同地震の観測記録を収

¹¹⁶ 地震の規模を表すマグニチュード（M）には、気象庁マグニチュード、モーメントマグニチュード（M_w）等、いくつかの種類があり、同じ地震でも異なった値になることがある。モーメントマグニチュード（M_w）は、断層運動の大きさ（エネルギー）を表す地震モーメント（M₀）をもとに、 $M_w = 1/1.5 \times (\log M_0 - 9.1)$ という算式で計算される値である。

集対象外（本件発電所の「震源を特定せず策定する地震動」の評価においては採用しない）とした。

（以上（ア）について、乙5、添付書類六、6-5-13～6-5-14頁、乙80、「高浜発電所・大飯発電所 震源を特定せず策定する地震動について」6～17頁）

（イ）鳥取県西部地震

鳥取県西部地震は、事前に活断層の存在が指摘されていなかった地域で発生し、地表で地震断層が確認されたものの、確認された長さが、地震規模に相応の長さよりも短かった地震であり、地震ガイドにいう「活断層の密度が少なく活動度が低いと考えられる地域で発生した地震」

（乙10、8頁、I 4.2.1解説(2)②）に該当すると考えられる。

鳥取県西部地震の震源周辺は、活断層の分布密度が低く活動度も低い、活断層が未成熟な地域であって、過去に地震を発生させた断層の痕跡が地表面に残りにくいという、本件発電所敷地周辺では見られない特徴があった。このため、本件発電所敷地周辺において、鳥取県西部地震と同規模の地震を発生させる活断層を事前に見出せないことは考えにくくと評価できるところであった（乙60）。

しかしながら、原子力規制委員会における議論も踏まえ、債務者は、鳥取県西部地震の観測記録を採用することとした。鳥取県西部地震の観測記録は、複数の地点で観測されているが、債務者は、震源近傍に位置する賀祥ダムでの地震動の観測記録を用いることとした。

賀祥ダムが設置されている地盤は、S波速度が1.2～1.3km/sと速く十分な硬さがあるが、本件発電所敷地の解放基盤表面は、S波速度が2.2km/sと賀祥ダムよりも更に速く硬い地盤である。この点、地震波は、一般的に硬い地盤から軟らかい地盤に伝わるときに増幅して大きくなる

ことから（上記第1の3（2）ア及び同エの冒頭箇所），仮に本件発電所敷地近傍で同様の地震が発生した場合でも，地震波の増幅の程度は賀祥ダムの地盤よりも本件発電所敷地の地盤の方が小さくなり，その結果，本件発電所敷地の解放基盤表面で想定される揺れは，この賀祥ダムでの観測記録よりも小さい揺れになると考えられる。しかしながら，債務者は，保守的な観点から，地震動がより大きくなる条件とするために，賀祥ダムにおける観測記録について，上記ア（イ）で述べた地盤の特性による補正等をあえて行わず，観測記録をそのまま用いて応答スペクトルを設定した。

（以上（イ）について，乙5，添付書類六，6-5-13～6-5-14頁，乙57，124頁，乙80，18～27頁）

ウ Mw6.5未満の14地震についての検討

次に，地震ガイドに例示されたMw6.5未満の14地震については，これらの地震の震源近傍における観測記録のうち，地盤が著しく軟らかいと考えられる地盤上の記録を，表層の観測点を除外するためのはぎとり解析の精度の観点から除外し，95の観測記録を抽出した。そして，これらの観測記録のうち，加藤ほか（2004）（乙45）の応答スペクトルとの比較において特に影響が大きいと考えられ，かつ，はぎとり解析により，観測点において地下の岩盤面（基盤面）における地震動を推定するために必要な精度の高い地盤情報が得られている記録は，北海道留萌支庁南部地震のみであったことから，この記録を採用することとした。

北海道留萌支庁南部地震では，震源近傍の比較的軟弱な地盤の地表面上に地震計が設置されたHKD020（港町観測点）における観測記録があるが，

佐藤ほか（2013）（乙81）¹¹⁷では、同観測点におけるボーリング調査やP S 検層の結果をもとに、地表から解放基盤表面と評価できる硬さを有する岩盤面（基盤面）の深さ（地下41m）までの地下構造を検討・評価した上で、同観測点の基盤面（S波速度938m/s）における地震動の推定がなされていました（最大加速度は、水平方向585ガル、鉛直方向296ガル）。

評価にあたって、債務者は、佐藤ほか（2013）において、震源近傍の観測点における地下構造や地震動の推定について十分検討されていたことに鑑み、上記で推定された地震動を採用することとした。ここで、本件発電所敷地の解放基盤表面（S波速度2.2km/s）は、HKD020（港町観測点）の基盤面（S波速度938m/s）に比べて地震波の伝播速度が速く、硬い地盤であるため、仮に本件発電所敷地近傍で同様の地震が発生した場合でも、地震波の增幅の程度はHKD020（港町観測点）の地盤よりも本件発電所敷地の地盤の方が小さくなり、その結果、本件発電所敷地の解放基盤表面で想定される揺れは、このHKD020（港町観測点）での観測記録よりも小さい揺れになると考えられる。しかしながら、債務者は、より保守的に評価するため、HKD020（港町観測点）の基盤面において推定された地震動について、上記ア（イ）で述べた地盤の特性による補正等をあえて行わずに採用することとした。

その上で、債務者は、HKD020（港町観測点）の地下構造（地震波の減衰）についての不確かさを考慮して、基盤面から地表までの間の減衰をより大きく、すなわち基盤面における地震動をより大きく評価し（最大加速度は、水平方向609ガル、鉛直方向306ガルとした）、さらに、この地震動の評価結果を保守的により大きく（最大加速度を、水平方向を609ガルから620ガルに、鉛直方向306ガルから320ガルに）して、本件発電所の「震源

¹¹⁷ 佐藤浩章ほか「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（HKD020）の基盤地震動とサイト特性評価」電力中央研究所報告

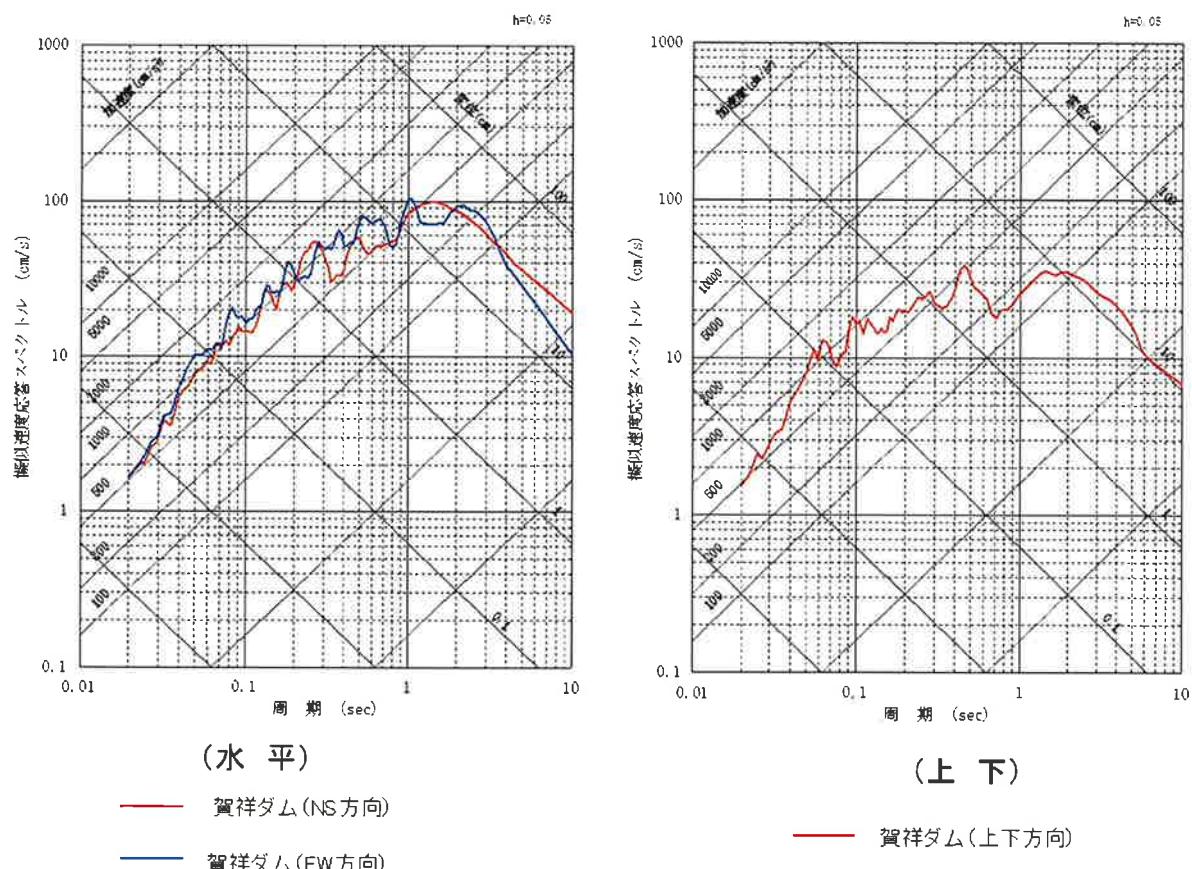
を特定せず策定する地震動」として評価し、応答スペクトルを設定した。

(以上ウについて、乙5、添付書類六、6-5-14～6-5-15頁、乙57、125～128頁、乙80、28～84頁)

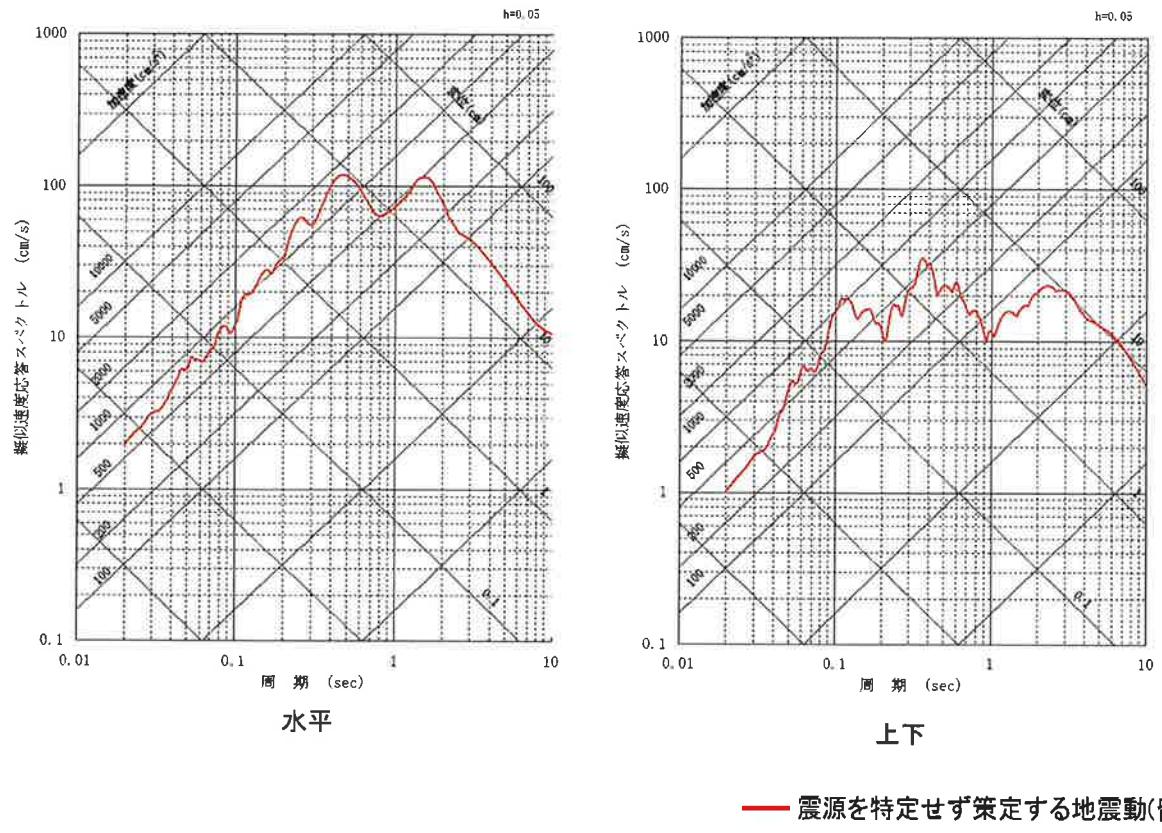
エ 地震動評価結果

以上より、鳥取県西部地震及び北海道留萌支庁南部地震の観測記録から設定した応答スペクトルは、それぞれ図表82及び83のとおりである(乙5、添付書類六、6-5-123～6-5-124頁、乙57、124頁、129頁)。

上記の評価結果をもとに策定した基準地震動については、下記第4の2で述べる。



【図表82 鳥取県西部地震の観測記録による応答スペクトル】

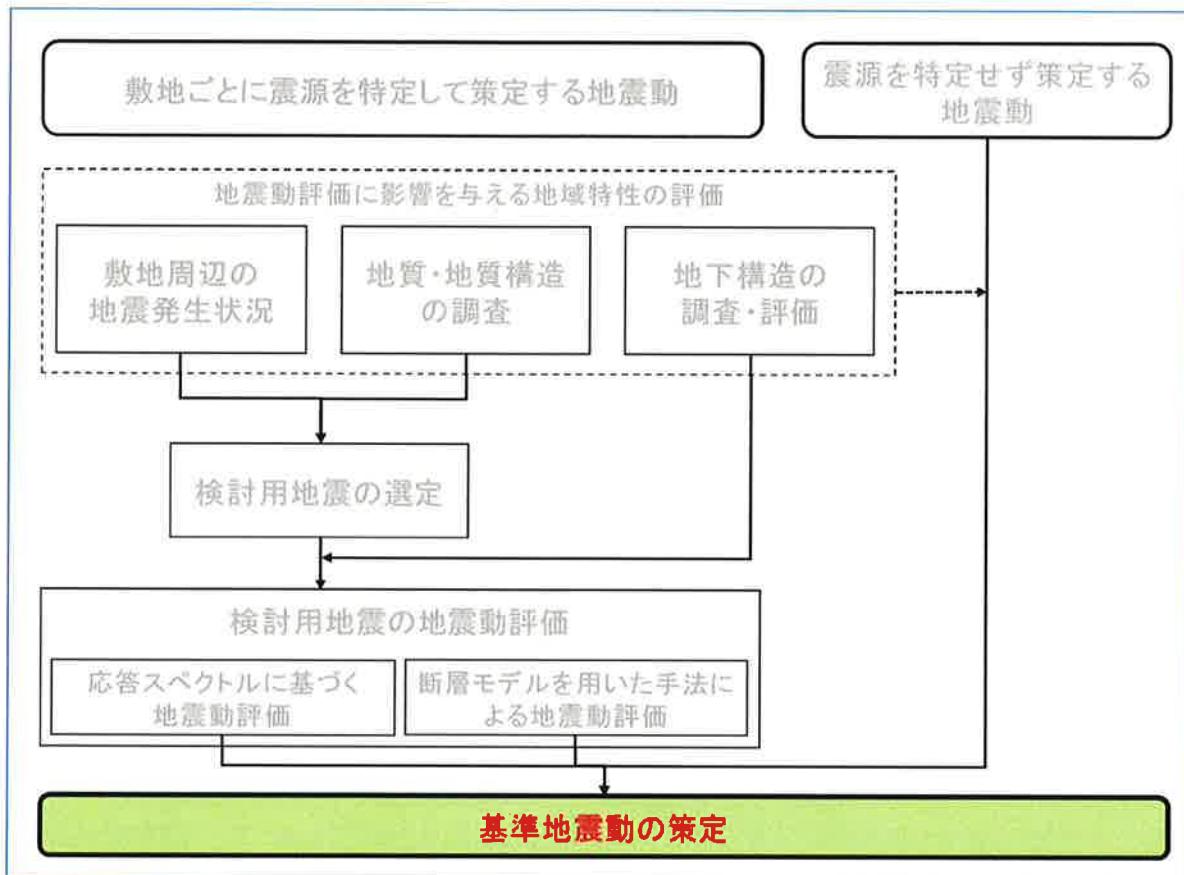


【図表 8 3 北海道留萌支庁南部地震の観測記録を考慮した応答スペクトル】

3 原子力規制委員会による審査

原子力規制委員会は、債務者による本件発電所の「震源を特定せず策定する地震動」の評価について、過去の内陸地殻内の地震について得られた震源近傍における観測記録を精査し、各種の不確かさ及び敷地の地盤物性を考慮して策定していることから、設置許可基準規則解釈別記2に適合していることを確認したとしている（乙38の2、19～20頁）。

第4 基準地震動の策定



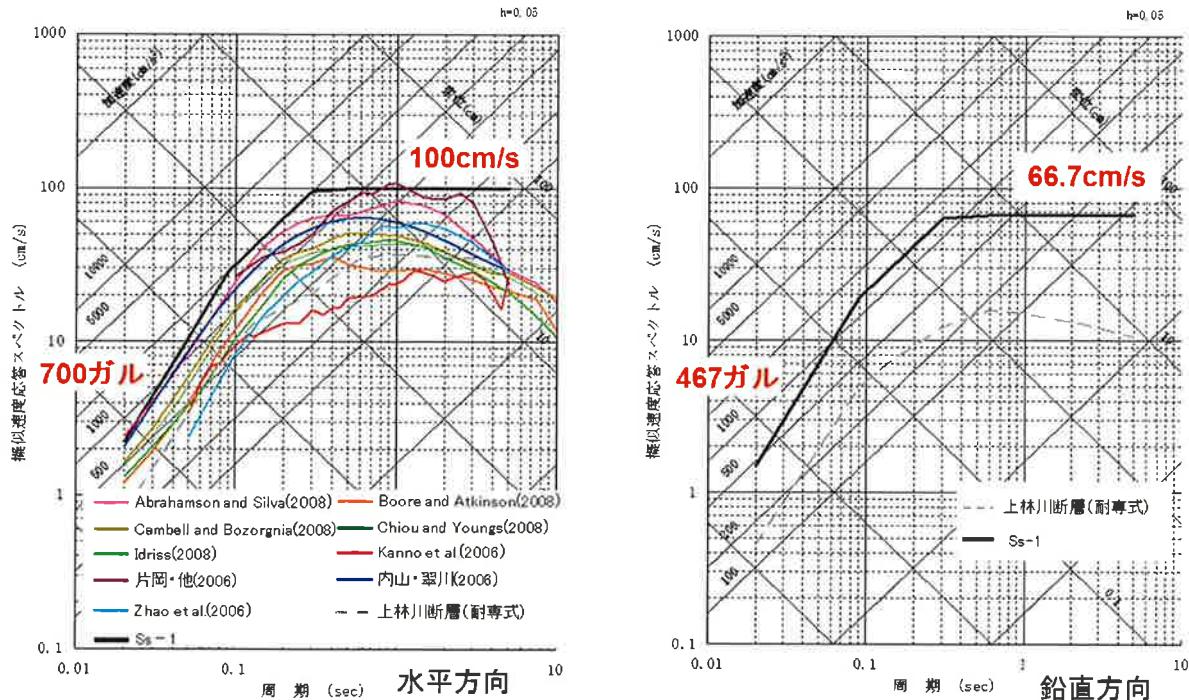
上記第2及び第3で説明してきた、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」の評価結果を踏まえて、本件発電所の基準地震動を策定した。

1 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価結果に基づく基準地震動

(1) 応答スペクトルに基づく地震動評価結果を踏まえた基準地震動の策定

ア 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価結果より、まず、応答スペクトルに基づく地震動評価の結果（上記第2の2）を踏まえて、本件発電所の基準地震動 S_{s-1} の応答スペクトルを、図表8-4の黒色線のとおり策定した（乙5、添付書類六、6-5-125～6-5-126頁、乙57、130頁）。最大加速度は700ガル（水平方向）である。（加速度時刻歴波形に

については、乙5号証の添付書類六の6-5-141頁、乙57号証の135頁を参照)



【図表8 4 基準地震動 $S_s - 1$ の応答スペクトル（黒色線）】

イ 基準地震動 $S_s - 1$ の応答スペクトルは、上林川断層による地震の耐専式による地震動評価結果（図表8 4の破線）を、水平方向・鉛直方向とともに、全ての周期帯で上回っている（乙5、添付書類六、6-5-127～6-5-128頁）。

ウ 一方、FO-A～FO-B～熊川断層による地震の各種の距離減衰式による応答スペクトル（上記第2の2（2）イ（エ）の図表6 1）と、基準地震動 $S_s - 1$ の応答スペクトル（水平方向）とを比較すると、①傾斜角 75° ケースのAbrahamson and Silva (2008) の関係式による応答スペクトル¹¹⁸が、短周期側（0.02秒付近）で700ガルを超えており、また、②傾斜角

¹¹⁸ 図表8 4の左側の図の「Abrahamson and Silva (2008)」（桃色線）で示されている応答スペクトルを指す。

75° ケースの片岡ほか（2006）の関係式による応答スペクトル¹¹⁹が、長周期側（1秒付近）で100cm/sをわずかに上回っている（図表8-4の左側の図を参照。乙5、添付書類六、6-5-129～6-5-130頁）。

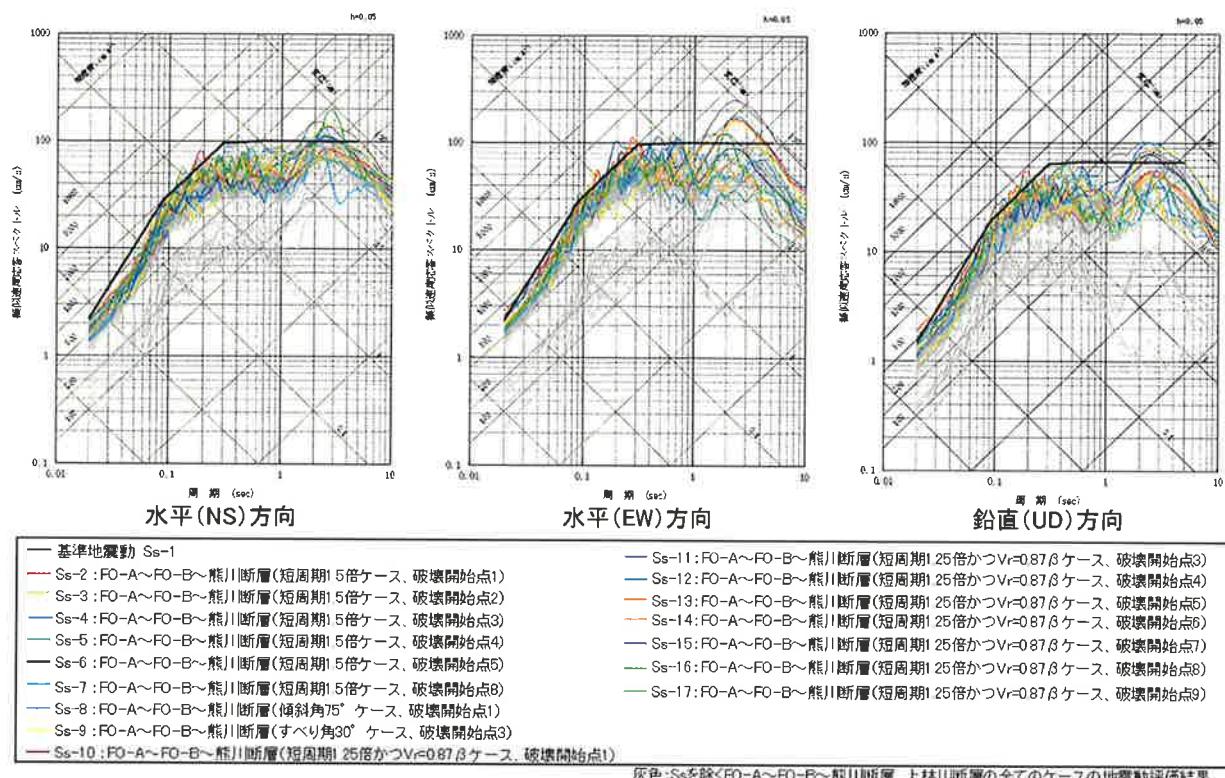
しかしながら、上記①については、「断層モデルを用いた手法による地震動評価」（上記第2の3）の結果に基づいて策定した基準地震動Ss-4の最大加速度856ガルは下回った。

また、上記②について、片岡ほか（2006）の関係式が基礎としている観測記録が得られた各観測点の表層地盤のS波速度の平均値は720m/sであり、S波速度2.2km/sである本件発電所の解放基盤表面の硬質な地盤特性とは乖離がある。そこで、複数の補正式を用いて補正したところ、いずれの補正式によっても、補正された応答スペクトルは、基準地震動Ss-1の応答スペクトルを下回る結果となった。

（2）断層モデルを用いた手法による地震動評価結果を踏まえた基準地震動の策定

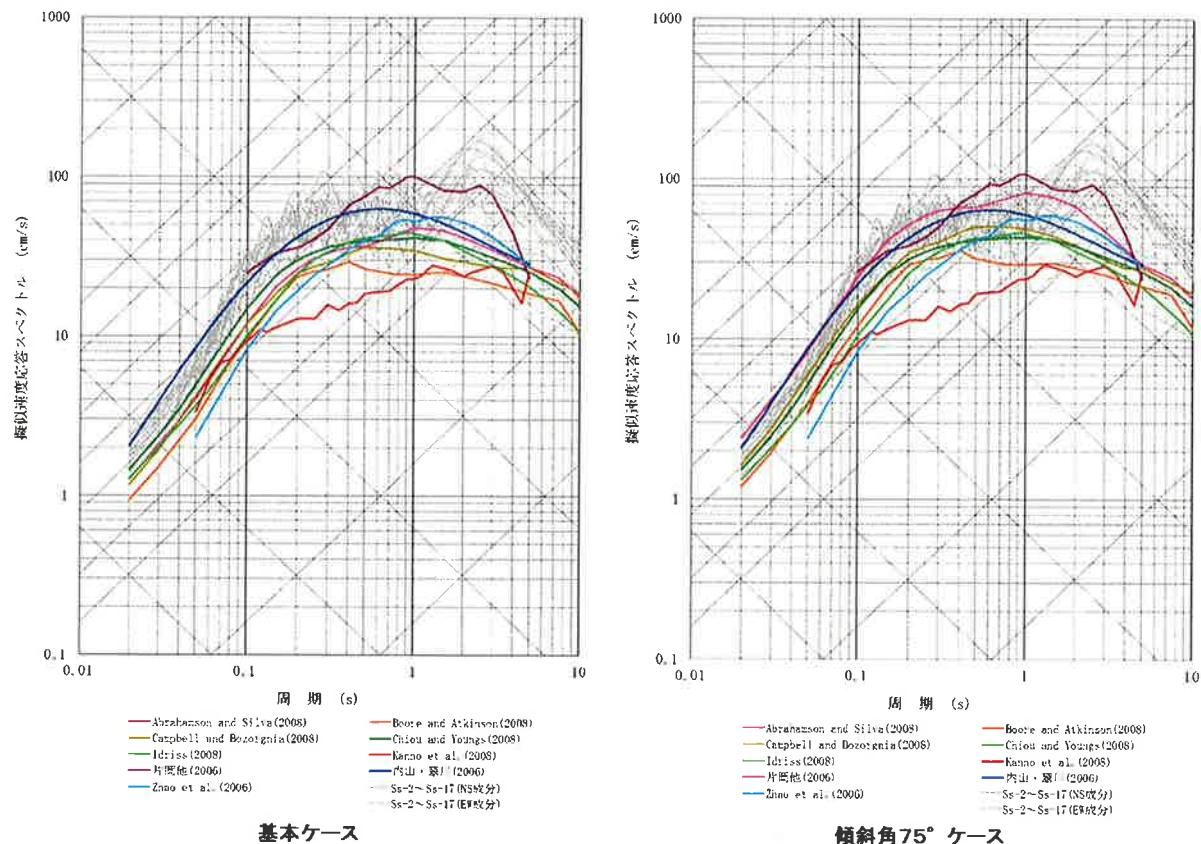
次に、FO-A～FO-B～熊川断層による地震（全64ケース）及び上林川断層による地震（全18ケース）に係る「断層モデルを用いた手法による地震動評価」の結果（上記第2の3）のうち、基準地震動Ss-1の応答スペクトルを上回るケースから16ケースを、それぞれ基準地震動Ss-2～Ss-17として策定した（図表8-5。乙5、添付書類六、6-5-134～6-5-136頁、乙57、131頁）。最大加速度は、水平方向が基準地震動Ss-4（EW方向）の856ガル、鉛直方向が基準地震動Ss-2の583ガルである。（基準地震動Ss-2～Ss-17の加速度時刻歴波形については、乙5号証の添付書類六の6-5-142～6-5-157頁、乙57号証の136～139頁を参照）

¹¹⁹ 図表8-4の左側の図の「片岡・他（2006）」（紫色線）で示されている応答スペクトルを指す。



【図表 8-5 基準地震動 Ss-2～Ss-17 の応答スペクトル】

なお、FO-A～FO-B～熊川断層による地震の各種の距離減衰式による応答スペクトル（上記第2の2(2)イ(エ)の図表6-1）と、基準地震動 Ss-2～Ss-17 の応答スペクトル（水平方向）とを重ね合わせて比較し、「断層モデルを用いた手法による地震動評価」の妥当性を検討したものが図表8-6である。「断層モデルを用いた手法による地震動評価」による基準地震動 Ss-2～Ss-17 の応答スペクトルは、各種の距離減衰式による応答スペクトルと概ね同等ないしはこれを上回る結果となっており、「断層モデルを用いた手法による地震動評価」の妥当性が示されているといえる。



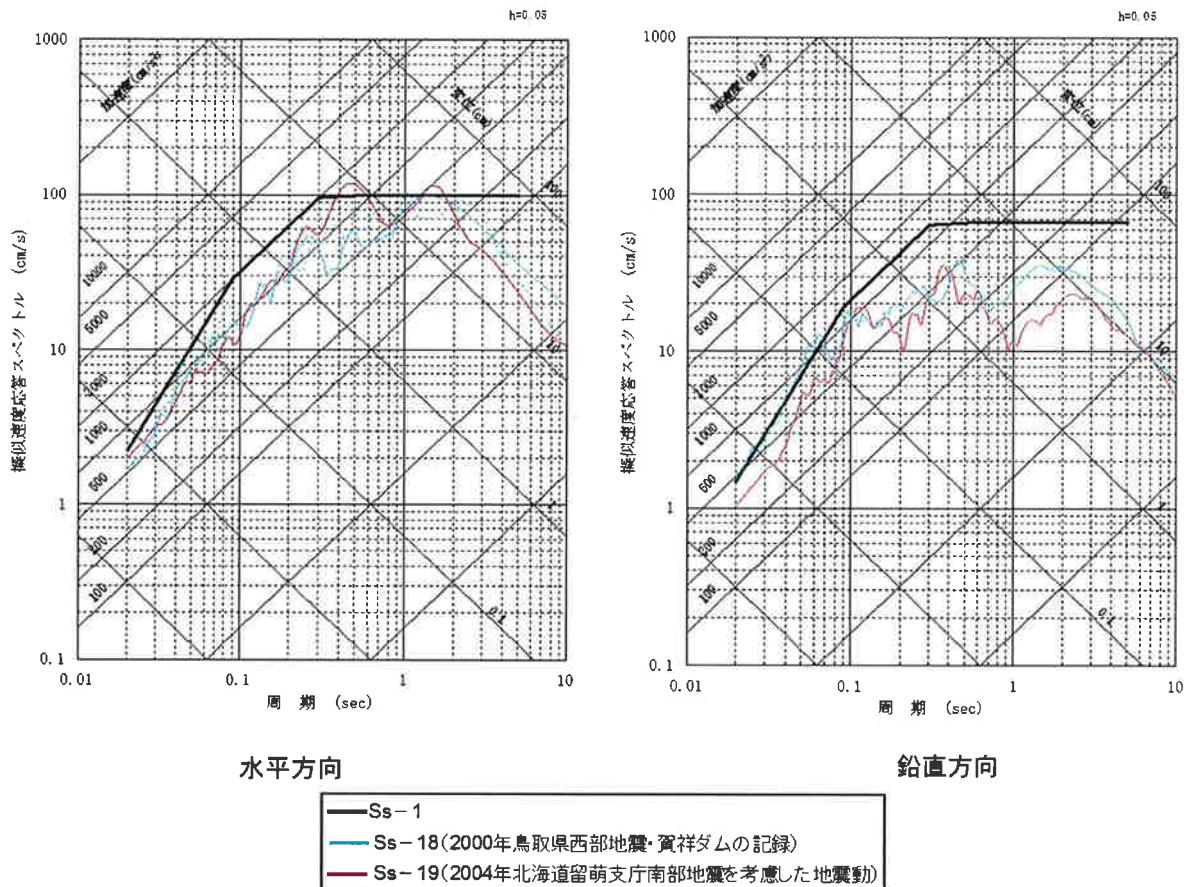
【図表 8-6 FO-A～FO-B～熊川断層による地震の各種の距離減衰式による応答スペクトルと基準地震動 Ss-2～Ss-17との比較】

2 「震源を特定せず策定する地震動」の評価結果に基づく基準地震動

上記第3で評価した「震源を特定せず策定する地震動」のうち、第3の2(1)で設定した加藤ほか（2004）（乙45）による応答スペクトルは、水平方向・鉛直方向ともに、全周期帯で基準地震動 Ss-1 の応答スペクトルを下回っていることから、基準地震動には採用しなかった。

一方、上記第3の2(2)で設定した、鳥取県西部地震の観測記録による応答スペクトル及び北海道留萌支庁南部地震の観測記録を考慮した応答スペクトルは、いずれも基準地震動 Ss-1 の応答スペクトルを一部周期で上回るため（図表8-7），これらを、それぞれ基準地震動 Ss-18, Ss-19として策定した。

基準地震動 $S_s - 18$ 及び $S_s - 19$ の応答スペクトルは、図表 8 7 のとおりである（乙5、添付書類六、6-5-137～6-5-139頁、乙57、132頁）。（加速度時刻歴波形については、乙5号証の添付書類六の6-5-158～6-5-159頁、乙57号証の140頁を参照）



【図表 8 7 基準地震動 $S_s - 18$ ， $S_s - 19$ の応答スペクトル】

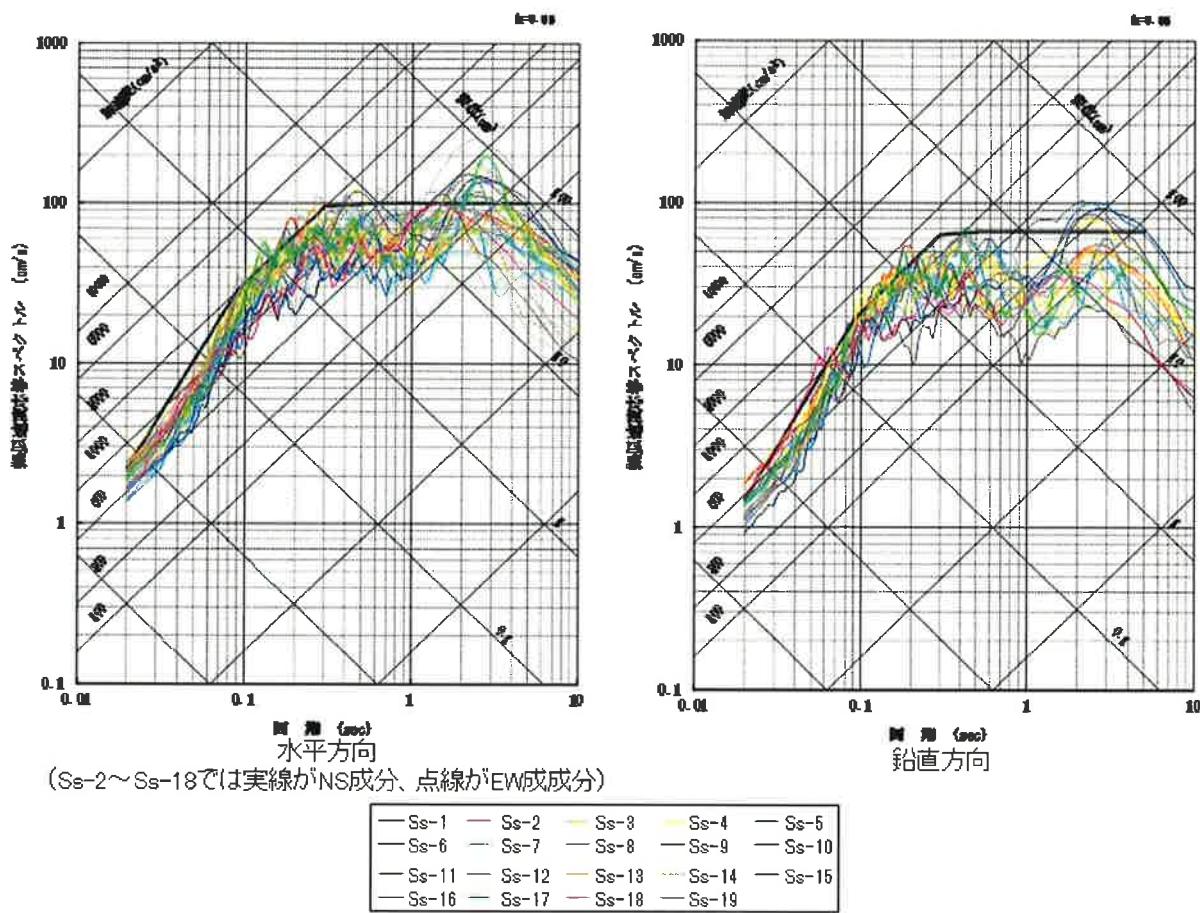
3 まとめ

以上より、本件発電所の基準地震動として、基準地震動 $S_s - 1$ ～ $S_s - 19$ を策定した。最大加速度は、水平方向が基準地震動 $S_s - 4$ (EW方向) の 856ガル、鉛直方向が基準地震動 $S_s - 14$ の 613ガルである（図表 8 8。乙5、添付書類六、6-5-51頁、乙57、141頁）。最終的な基準地震動 $S_s - 1$ ～ $S_s - 19$ の応答スペクトルを図表 8 9 に示す（乙57、134頁。加速度時刻歴波形

については、乙57号証の135～140頁を参照）。

基準地震動		(cm/s ²)		
		NS方向	EW方向	UD方向
Ss-1	設計用模擬地震波	700		468
Ss-2	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.5倍ケース・破壊開始点1)	690	776	583
Ss-3	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.5倍ケース・破壊開始点2)	496	826	383
Ss-4	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.5倍ケース・破壊開始点3)	546	856	518
Ss-5	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.5倍ケース・破壊開始点4)	511	653	451
Ss-6	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.5倍ケース・破壊開始点5)	680	578	450
Ss-7	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.5倍ケース・破壊開始点8)	442	745	373
Ss-8	FO-A～FO-B～熊川断層(傾斜角75° ケース・破壊開始点1)	434	555	349
Ss-9	FO-A～FO-B～熊川断層(すべり角30° ケース・破壊開始点3)	489	595	291
Ss-10	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.25倍かつ $V_r=0.87\beta$ ケース・破壊開始点1)	511	762	361
Ss-11	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.25倍かつ $V_r=0.87\beta$ ケース・破壊開始点3)	658	727	469
Ss-12	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.25倍かつ $V_r=0.87\beta$ ケース・破壊開始点4)	495	546	334
Ss-13	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.25倍かつ $V_r=0.87\beta$ ケース・破壊開始点5)	744	694	380
Ss-14	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.25倍かつ $V_r=0.87\beta$ ケース・破壊開始点6)	723	630	613
Ss-15	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.25倍かつ $V_r=0.87\beta$ ケース・破壊開始点7)	685	728	430
Ss-16	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.25倍かつ $V_r=0.87\beta$ ケース・破壊開始点8)	677	753	391
Ss-17	FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.25倍かつ $V_r=0.87\beta$ ケース・破壊開始点9)	594	607	436
Ss-18	2000年鳥取県西部地震・賀祥ダムの記録	528	531	485
Ss-19	2004年北海道留萌支庁南部地震を考慮した地震動	620		320

【図表88 基準地震動Ss-1～Ss-19の最大加速度】



【図表 8-9 基準地震動 Ss-1～Ss-19 の応答スペクトル】

4 基準地震動の年超過確率

これまで述べてきたとおり、債務者は、詳細な調査等に基づき、十分に不確かさを考慮した保守的な条件設定の下で地震動評価を行ったことから、策定された基準地震動は、本件発電所に到来し得る概ね最大の地震動を考慮できており、本件発電所に基準地震動を超える地震動が到来することはまず考えられない。しかるところ、債務者は、基準地震動を超える地震動が発生する可能性について、確率論的な観点から定量的に確認するため、本件発電所の基準地震動の年超過確率¹²⁰を参照した。

¹²⁰ 年超過確率とは、ある地点において将来の一定期間中に見舞われるであろう任意の地震動強さを超過する確率について、その期間を 1 年とした場合の確率をいう。

以下では、本件発電所の基準地震動の年超過確率について説明する。

(1) 設置許可基準規則等

設置許可基準規則解釈は、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」について、それぞれが対応する超過確率を参照し、それぞれ策定された地震動の応答スペクトルがどの程度の超過確率に相当するかを把握することとしている（同規則解釈別記2第4条5項4号、乙9、131頁）。

また、地震ガイドは、超過確率を参照する際には、基準地震動の応答スペクトルと地震ハザード¹²¹解析（これは「地震ハザード評価」と同義である）による一様ハザードスペクトル¹²²を比較するとともに、当該結果の妥当性を確認すること等として、一様ハザードスペクトルの作成について、一般社団法人日本原子力学会の「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：2007」（乙82。以下、「実施基準」という）を例示している（乙10、9～11頁、I 6.1及び6.2）。

(2) 本件発電所の基準地震動の年超過確率

ア 債務者は、本件発電所敷地周辺の詳細な調査・評価結果に基づき、本件発電所敷地に大きな影響を与えると予想される検討用地震を選定している。そして、それらの調査・評価結果も踏まえて、各種の震源断層パラメータについて保守的な条件設定により、地震動の地域特性を踏まえた最新の地震動評価手法を用いて、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」を評価し、さらに「震源を特定せず策定する地震動」も評価した上で、本件発

¹²¹ 地震ハザードとは、確率論的地震ハザードともいい、ある地点において将来の一定期間中に見舞われるであろう任意の地震動強さと、その強さを超過する確率との関係をいう。

¹²² 一様ハザードスペクトルとは、地震動の年超過確率をトリパタイト図（別紙1の5（2）を参照）上に示した応答スペクトルをいう。

電所の基準地震動 $S_s - 1 \sim S_s - 19$ を策定している。

よって、本件発電所の基準地震動は、本件発電所に到来し得る概ね最大の地震動を考慮できていることから、本件発電所に基準地震動を超える地震動が到来することはまず考えられないところ、債務者は、基準地震動を超える地震動が発生する可能性について、確率論的な観点から定量的に確認するため、本件発電所の基準地震動の年超過確率を参照した。

すなわち、上記のとおり保守的な条件設定に基づいて策定された基準地震動の大きさについて、確率論的な考え方（解析条件の不確かさや地震動のばらつきも考慮して、ある大きさの地震動がどのくらいの頻度で起こりうるかを評価するとの考え方）から一様ハザードスペクトルを作成し、基準地震動の応答スペクトルと比較することにより、基準地震動の策定とは異なる観点から評価するとの目的から、本件発電所の基準地震動の年超過確率を参照したものである。

この点、原子力規制委員会も、設置許可基準規則及び同規則解釈（乙9）についてのパブリックコメント（乙83、「原子力規制委員会設置法の一部の施行に伴う関係規則の整備等に関する規則（案）等に対する意見募集の結果について」）において、「本規則（引用者注：設置許可基準規則）及び解釈案では、『「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」については、それぞれが対応する超過確率を参照し、それぞれ策定された地震動の応答スペクトルがどの程度の超過確率に相当するかを把握すること。』としていますが、これにより策定されたそれぞれの地震動に必要な震源や不確かさが適切に考慮されていること等について、ハザード評価（引用者注：地震ハザード評価と同じ）の観点からも明確化することが可能となります」（乙83、65～66頁）としており、基準地震動の年超過確率は、策定された基準地震動を異なる観点から確認するために参考するものであることを明らかにしている。

イ 債務者は、上記（1）の要求事項を踏まえ、適宜、実施基準（乙82）を用いて、概要、以下の手順により、本件発電所の基準地震動の年超過確率を参照した（乙5、添付書類六、6-5-16～6-5-19頁、6-5-52～6-5-53頁、6-5-160～6-5-176頁、乙57、142～164頁）。

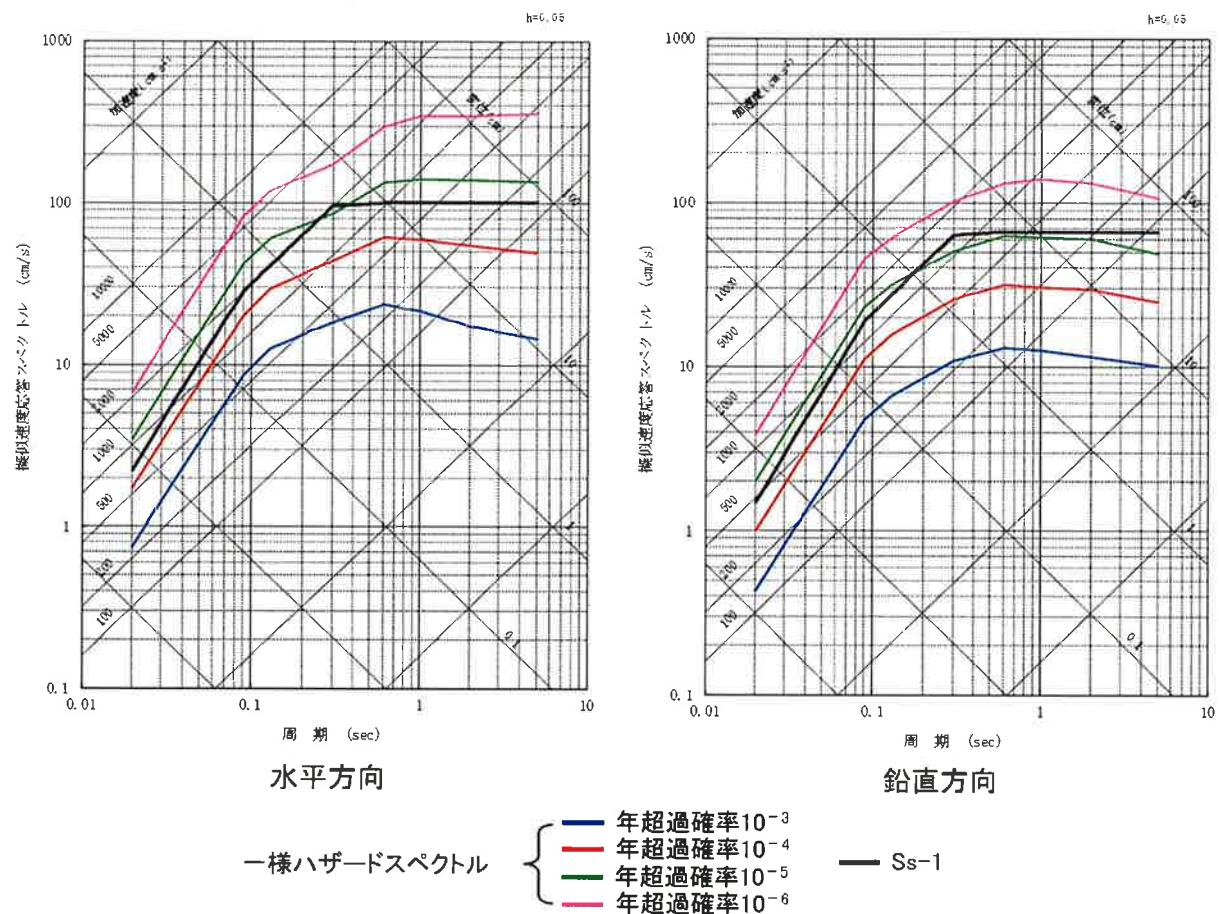
- ①本件発電所の敷地に将来影響を及ぼす可能性のある地震の発生について、地震発生様式を考慮し、対象とする地震の位置、規模、発生頻度が事前にどの程度特定して設定できるかに応じて特定震源モデルと領域震源モデルに分類し、各々の地震の規模、発生頻度等を設定することにより、震源モデルを設定する。
- ②本件発電所の周辺地域の震源特性や地震動の伝播特性を考慮して、特定の位置で特定の規模の地震が発生した場合に本件発電所で生じる地震動強さの確率分布を評価するための地震動評価モデルを設定する。
- ③これらのモデル設定において選定した本件発電所の地震ハザード評価に大きな影響を与える不確かさの要因によって分岐するロジックツリーを作成する。
- ④このロジックツリーを用いて地震ハザード曲線群を算出し、その結果をもとに一様ハザードスペクトルを作成する。
- ⑤この一様ハザードスペクトルを基準地震動の応答スペクトルと比較することによって、基準地震動の年超過確率を確認する。

ウ そして、本件発電所の一様ハザードスペクトルと、基準地震動 S_{s-1} 及び $S_{s-2} \sim S_{s-19}$ の応答スペクトルを比較したところ、それらの年超過確率は、 $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 程度¹²³ となった（図表90及び91。乙5、添付書

¹²³ この点に関して、「原子力施設の耐震設計指針における地震動評価に関する現状—I A E A および U S . N R C の動向—」（乙84）によると、国際原子力機関（I A E A）では、設計用地震動の策定方法について、米国の基準や技術を参考にしつつ（乙84、14頁）、原子力発電所の設計用地震動として2段階の耐震レベルを想定しており、より厳しい「S L - 2」は、国や地域にもよるもの、概ね

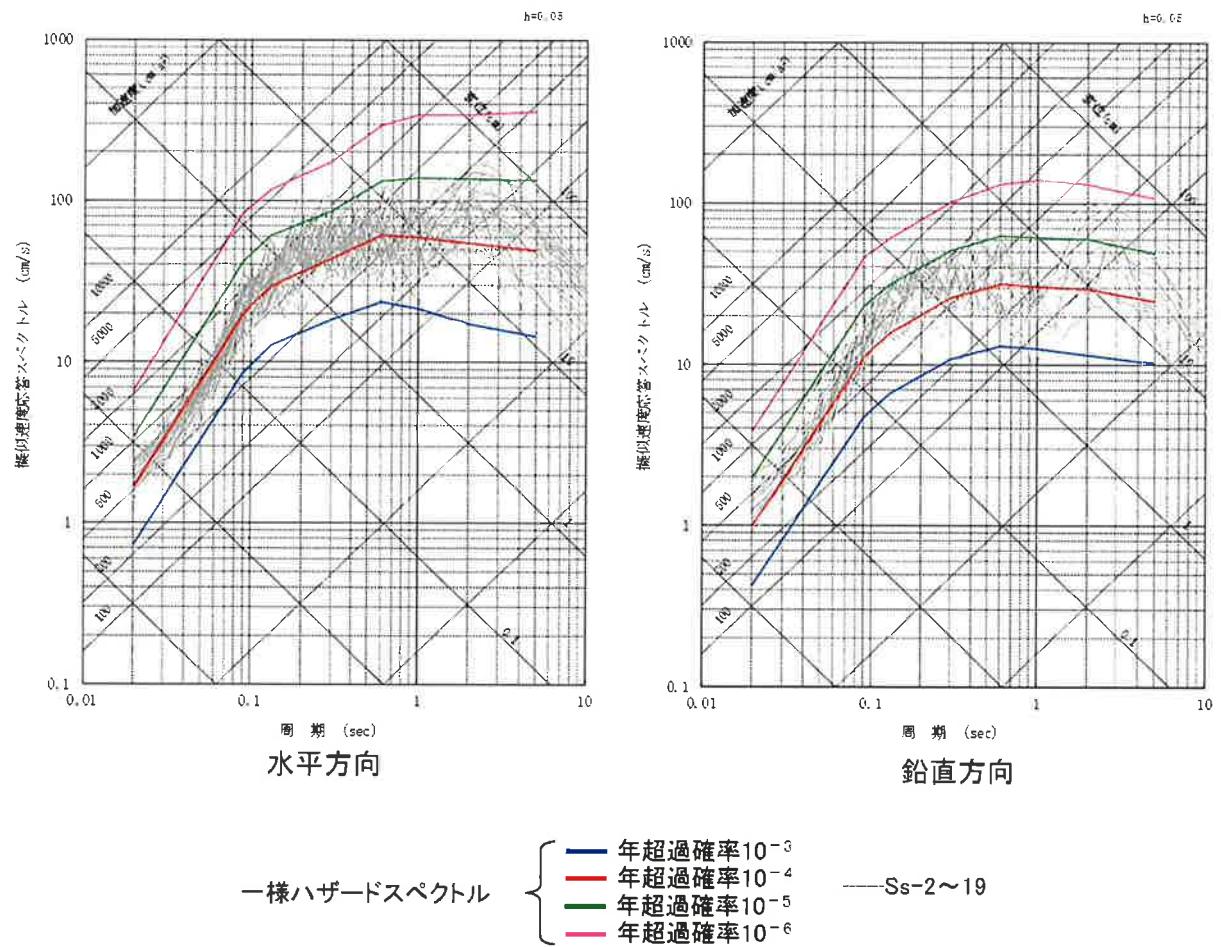
類六, 6-5-171~176頁, 乙57, 161~163頁)。

以上により, 本件発電所にこれらの基準地震動を超過する地震動が到来する可能性は極めて低く, 妥当なレベルであることを確認した。このことからも, 債務者が策定した本件発電所の基準地震動は十分な大きさであるといえる。



【図表9-0 一様ハザードスペクトルと基準地震動 S_s-1 との比較】

年超過確率 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ に対応するものとなっており(同2~3頁), これに照らしても, 本件発電所の基準地震動は十分に保守的なものといえる。



【図表9-1 一様ハザードスペクトルと
基準地震動Ss-2～Ss-19との比較】

(3) 原子力規制委員会による審査

以上に述べた地震ハザード評価に基づく一様ハザードスペクトルの作成、基準地震動の年超過確率の参考結果に関しては、原子力規制委員会の新規制基準の適合性審査において審議され、原子力規制委員会によりその内容が確認されている（乙38の2、21頁）。

第5章 本件発電所の耐震安全性

債務者は、詳細な調査等に基づき、十分に不確かさを考慮した保守的な条件設定の下で地震動評価を行い、基準地震動を策定した上で、耐震安全性評価を行い、耐震重要施設である「安全上重要な設備」の全てが基準地震動に対する耐震安全性を有することを確認した。この耐震安全性評価について、下記第1で述べる。

また、本件発電所の基準地震動は十分な大きさのものとして策定されていることから、本件発電所が基準地震動を超える地震動に襲われることはまず考えられないところ、本件発電所の耐震安全性評価に含まれる余裕により、仮に、基準地震動を超える地震動に襲われることがあったとしても、ただちに本件発電所の安全性が損なわれることはない。この耐震安全上の余裕について、下記第2で述べる。

第1 本件発電所の耐震安全性評価

1 設置許可基準規則等

- (1) 設置許可基準規則解釈別記2第4条2項は、設計基準対象施設¹²⁴について、耐震重要度に応じ、Sクラス、Bクラス又はCクラスの耐震重要度分類に分類することを求めている（乙9、124～125頁）。
- (2) そのうち、耐震重要度分類Sクラスの施設である耐震重要施設（設置許可

¹²⁴ 設置許可基準規則において、設計基準対象施設とは、「発電用原子炉施設のうち、運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故の発生を防止し、又はこれらの拡大を防止するために必要となるものをいう」とされている（同規則2条2項7号、乙9、4頁）。

ここで、運転時の異常な過渡変化とは、「通常運転時に予想される機械又は器具の单一の故障若しくはその誤作動又は運転員の单一の誤操作及びこれらと類似の頻度で発生すると予想される外乱によって発生する異常な状態であって、当該状態が継続した場合には発電用原子炉の炉心（・・・）又は原子炉冷却材圧力バウンダリの著しい損傷が生ずるおそれがあるものとして安全設計上想定すべきものをいう」（同規則2条2項3号、乙9、3頁）とされており、設計基準事故とは、「発生頻度が運転時の異常な過渡変化より低い異常な状態であって、当該状態が発生した場合には発電用原子炉施設から大量の放射性物質が放出するおそれがあるものとして安全設計上想定すべきものをいう」（同項4号、同3～4頁）とされている。

基準規則解釈別記1第3条1項、乙9、122頁)について、同規則4条3項は、「基準地震動による地震力」に対して安全機能が損なわれるおそれがないものであることを求めている(乙9、11頁)。

この「基準地震動による地震力」とは、「耐震重要施設・・・の供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力」のことをいう(同規則4条3項、乙9、11頁)。

また、同規則解釈は、「安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない」ことを満たすため、建物・構築物については、「常時作用している荷重(引用者注:「荷重」については下記4(1)で述べる)及び運転時に作用する荷重と基準地震動による地震力との組合せに対して、当該建物・構築物が構造物全体としての変形能力(終局耐力時の変形)について十分な余裕を有し、建物・構築物の終局耐力に対し妥当な安全余裕を有していること」を求め、また、機器・配管系については、「通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び事故時に生じるそれぞれの荷重と基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件に対して、その施設に要求される機能を保持すること。なお、上記により求められる荷重により塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、その施設に要求される機能に影響を及ぼさないこと」等を求めている(同規則解釈別記2第4条6項1号、乙9、131~132頁)。

(3) なお、設置許可基準規則及び同規則解釈は、上記のような基準地震動に対する耐震安全性評価に加えて、弾性設計用地震動及び静的地震力に対する耐震安全性評価を行うことも求めている(同規則4条1項及び2項、同規則解釈別記2第4条1項ないし3項、乙9、11頁、124~126頁、乙1、231~233頁)。

また、弾性設計用地震動及び静的地震力は、耐震重要施設以外の耐震安全性評価にも用いられている。具体的には、耐震重要度分類Bクラスの設計基

準対象施設であって共振¹²⁵のおそれのあるものについて、弾性設計用地震動に2分の1を乗じたもので評価することを求めており（同規則解釈別記2第4条3項2号、乙9、126頁）、また、耐震重要度分類Bクラス及びCクラスの設計基準対象施設についても、静的地震力に対する評価を求めている（同条3項2号及び3号、乙9、126頁）。

（以上1について、乙61、11～12頁）

2 耐震設計における基本的な考え方

債務者は、本件発電所の設計における基本方針として、建物・構築物は、原則として鉄筋コンクリート造等の剛構造（地震力等の外部から作用する力を受けても変形しにくい構造）とし、重要な建物・構築物は地震力に対し十分な支持性能を有する地盤に直接支持させることとして、原子炉建屋等の重要な建物・構築物については、堅固な岩盤に直接、鉄筋コンクリート造の基礎を構築した（図表9-2）。これは、表層地盤による地震動の増幅を回避し、地震時に重要な建物・構築物や機器・配管系の変形ができる限り抑え、かつ、地盤破壊や不等沈下による影響を避けるためである。

また、機器・配管系は、地震力に対して構造強度を有するように設計した。配置に自由度があるものは、できるだけ重心位置を低くして、安定性のある据付け状態となるよう配置し、大型の機器のように配置に自由度がないものは、十分な支持機能を有するように設計上配慮した。そして、地震動による揺れを小さくするために、機器については、これを支持するのに十分な基礎ボルトで構築物に取り付け、配管についても、十分なサポートにより構築物に支持させている。例えば、蒸気発生器については、複数の高さ位置に設置した、非常に大きく強固な支持構造物で支えることで、地震による変形を抑えることとして

¹²⁵ 共振とは、振動系（一体となって振動する部分の総称）の固有周期と外部からの振動の周期が一致したとき、その振動系の振幅が大きくなる現象をいう。

いる（図表9-3）。

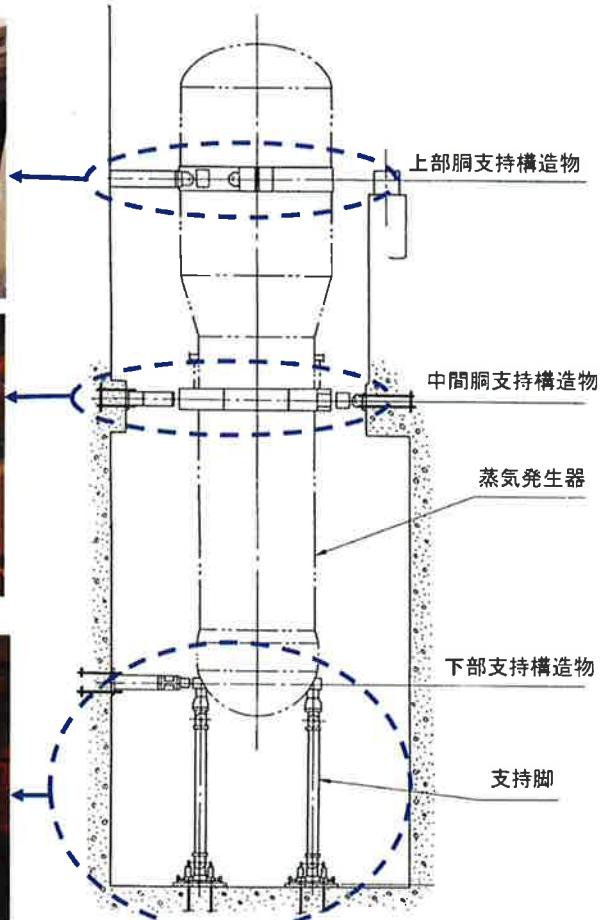
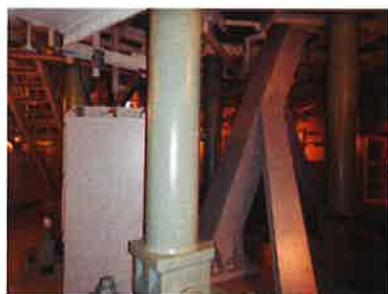


鉄筋の配置状況



基礎コンクリートの状況

【図表9-2 大飯発電所3号機 原子炉建屋 基礎工事状況】



蒸気発生器支持状況

【図表9-3 大飯発電所3号機 蒸気発生器支持構造物】

3 耐震重要度分類

(1) 債務者は、上記1の要求事項を踏まえ、本件発電所の建物・構築物及び機器・配管系について、地震により発生する可能性のある環境への放射線による影響の観点、すなわち、原子力発電所の安全を確保するまでの重要度に応じて、Sクラス、Bクラス又はCクラスに分類し、この分類に応じて耐震設計をしている。

(2) このように、原子力発電所の多様な設備について、その重要度に応じて、重要なものほどより厳格な基準を適用するということは、原子力発電所の基本設計において一般的に採用されている考え方によるものである。

原子力発電所のプラント全体としての安全性を確保するためには、重要度に応じて要求の程度を変化させる方法（グレーディッドアプローチ）が有効であり、このような安全規制の方法は、国際原子力機関（IAEA）の安全基準や米国の安全規制等、多くの国で広く採用されている。

国際原子力機関（IAEA）が定める安全基準類のうち原子力安全の要件を規定しているIAEA安全基準「原子力発電所の安全：設計」は、福島第一原子力発電所事故から得られた教訓・知見を基に、従前のものからの見直しが行われ、2016年2月に改訂版が発行されているところ（乙85、「IAEA安全基準『原子力発電所の安全：設計』について」本文、別紙2、1/3頁），この見直し後の安全基準においても、①すべての安全上重要な機器等は特定され、それらの機能と安全上の重要度に基づいて分類されなければならないこと（同2/3頁、要件22）、②安全上重要な機器等は、危険要因の影響に耐えるように設計され配置されなければならないこと（同頁、5.15A）等が求められている。すなわち、より重要な対象により厳しい基準を適用し、より厳密にこれを確認することで、より高い安全性を確保できるという一般的な経験則が、重要度に応じた分類を行う際の根底にある科学的理念となっており、

この理念は、福島第一原子力発電所事故の教訓・知見を踏まえてもなお変わらないものである。

(3) 各クラスの分類は、図表94のとおりであるが、これを敷衍すると以下のとおりである。

ア Sクラスの施設とは、地震により発生するおそれがある事象に対して、原子炉を停止し、炉心を冷却するために必要な機能を持つ施設、自ら放射性物質を内蔵している施設、当該施設に直接関係しておりその機能喪失により放射性物質を外部に拡散する可能性のある施設等であって、機能喪失による影響が大きい施設である。

つまり、これらの施設の安全性さえ維持できれば、本件発電所の原子炉を「止める」「冷やす」、放射性物質を「閉じ込める」という安全機能を確保できるというものであり、債務者は、制御棒駆動装置や非常用炉心冷却設備、原子炉格納容器等をSクラスに分類している。

また、使用済燃料ピット等の使用済燃料の貯蔵のための施設や、非常用ディーゼル発電機、補助給水ポンプ等の非常時の電源確保・冷却のための施設もSクラスに分類している。

イ Bクラスの施設とは、安全機能を有する施設のうち、機能喪失した場合の影響がSクラスの施設と比べて小さい施設をいい、債務者は、放射性廃棄物処理施設、使用済燃料ピットクレーン、使用済燃料ピットポンプ等をBクラスに分類している。

ウ Cクラスの施設とは、Sクラスの施設及びBクラスの施設以外の一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設をいい、債務者は、発電機、主給水ポンプ等の2次冷却設備、「外部電源」と送受電するための主変圧器等をCクラスに分類している。

	求められる機能	具体例
S クラス	【止める】 ・制御棒の挿入 ・ほう酸水の注入	・制御棒駆動装置 等 ・ほう酸タンク, ほう酸ポンプ 等
	【冷やす】 ・冷却材の注入	・非常用炉心冷却設備（蓄圧タンク, 高圧注入ポンプ, 余熱除去ポンプ等）
	【閉じ込める】 ・圧力障壁	・1次冷却材圧力バウンダリ（1次冷却材管等）, 原子炉格納容器, 原子炉格納容器スプレイ設備 等
	【その他】 ・使用済燃料の貯蔵 ・非常時の電源・冷却	・使用済燃料ピット 等 ・非常用ディーゼル発電機, 補助給水ポンプ 等
B クラス	機能喪失した場合の影響がS クラスと比べて小さいもの	・放射性廃棄物処理施設 ・使用済燃料ピットクレーン ・使用済燃料ピットポンプ 等
C クラス	S クラス及びB クラス以外のもの	・発電機 ・2次冷却設備（タービン, 主給水泵等） ・主変圧器, 開閉所 等

【図表 9.4 耐震重要度分類】

(4) なお、本件発電所の施設は、耐震重要度分類に応じた地震力に対する安全性が確保できるよう耐震設計を行っているが、これは、各々の施設がそれぞれの耐震重要度分類に応じた地震力を超える地震力に対してただちにその安全機能を失うことを意味するものではない。すなわち、各施設は、それぞれ上記の地震力に対して十分な余裕をもって設計を行うため、例えば、基準地震動を超える地震動に襲われることがあったとしても、当該施設がただちに安全機能を失うわけではないのである。（耐震安全上の余裕については、下記第2で述べる。）

4 基準地震動に対する耐震安全性評価

債務者は、上記のとおり耐震重要度分類Sクラスに分類したもの（耐震重要施設）について、基準地震動に対する耐震安全性評価を行い、基準地震動による地震力が各設備に作用した際の評価値（建物・構築物の耐震壁のせん断ひずみや機器・配管系に生じる応力の値など）を算出して、これが評価基準値¹²⁶を下回ることを確認した。

（1）耐震安全性評価における解析

債務者は、本件発電所の耐震重要施設について、基準地震動S_{s-1}～S_{s-19}に対する耐震安全性評価を行った。この評価においては、地震応答解析及び応力解析を行い、その結果得られた評価値が、基準・規格等に基づいて定められている評価基準値を超えないことを確認している¹²⁷。

地震応答解析とは、地震動に対して構造物がどのように揺れるかを評価するため、構造物を適切なモデル（解析モデル）に置き換え、このモデルに地震動を入力して、地震動によって構造物に作用する荷重を求める解析方法をいう。

¹²⁶ 評価基準値に相当する用語として「許容値」、「許容限界」、「許容応力」といった用語も用いられるが、本書面においては、引用部分を除き、全て「評価基準値」という。

¹²⁷ なお、耐震重要施設以外の設備でも、その設備が損傷すると耐震重要施設の機能に影響を及ぼすと考えられるものがあり、債務者は、各設備の位置関係・構造等を踏まえ、そのような影響を及ぼす設備については全て、基準地震動による評価を行っている。

例えば、設置許可基準規則解釈では、「耐震重要施設が、耐震重要度分類の下位のクラスに属するものの波及的影響によって、その安全機能を損なわないように設計すること」（同規則解釈別記2第4条6項、乙9、132頁）とされている。また、設置許可基準規則では、「安全施設は、発電用原子炉施設内における溢水が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない」（同規則9条1項、乙9、17頁）とされている。

上記の要求事項を踏まえ、債務者は、ある設備が地震によって損傷して設備に内包している水等が流出し、その水等が耐震重要施設にかかるなどして機能に影響を及ぼすと考えられる場合において、当該設備が基準地震動による地震力によって損傷し、水等が流出することがない（溢水源とならない）ことを確認している（乙38の2、101～102頁）。

ここで、荷重とは、物体の自重、内圧、地震力¹²⁸のように、物体に対して外部から作用する力をいう。一方、物体の内部では、このような荷重と釣り合いを保とうとする力が発生するところ、この物体内部で発生する力を応力といいう¹²⁹。

応力解析とは、地震応答解析により得られた構造物に作用する荷重によって、当該構造物を構成する各部位に発生する応力を求める解析方法をいう。

このような解析を各耐震重要施設について行い、評価値が評価基準値を超えないことをもって、耐震重要施設の耐震安全性を確認している。

(以上について、乙61、13~14頁)

以下では、債務者が本件発電所の耐震重要施設に対して実施している解析について、建物・構築物（下記（2））と機器・配管系（下記（3））に分けて述べる。

（2）建物・構築物の解析

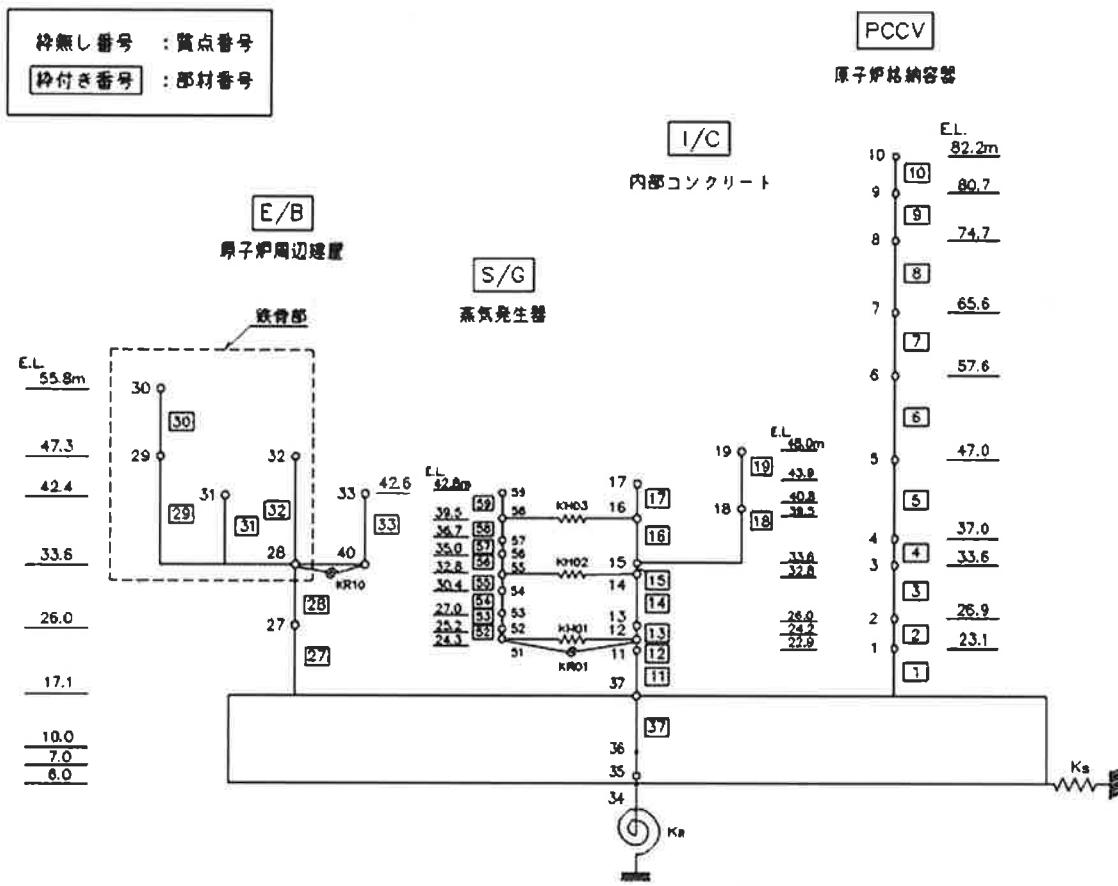
ア 建物・構築物については、日本電気協会が策定した民間規格である「原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601-1987）」（乙86。以下、「JEAG4601-1987」という）¹³⁰に定める手法を用いて解析を行う。

具体的には、構成部位ごとに質量・剛性・減衰を考慮して、水平2方向及び鉛直方向の方向ごとに適切な解析モデル（質点系モデル。図表9-5は原子炉建屋の例）を構築し、各モデルの方向に対応する基準地震動を入力するなどして解析を行い、算出された評価値が評価基準値を超えないことを確認する。

¹²⁸ 地震時には、物体が揺すことにより加速度（ α ）が生じ、物体の質量（M）に比例した地震力（ $F = M \times \alpha$ ）が荷重として作用する。

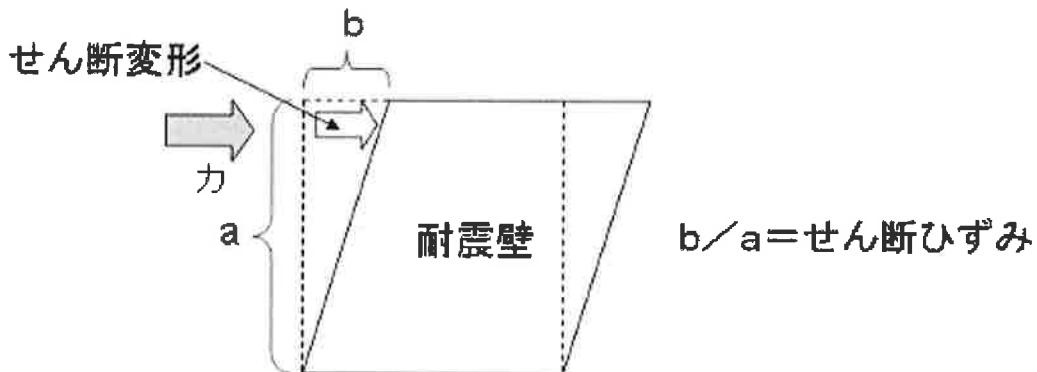
¹²⁹ なお、荷重は、作用する力の総量として示される（単位はkN（キロニュートン）である）のに対し、応力は、単位面積当たりの量として示される（単位はMPa（メガパスカル）である）。

¹³⁰ このJEAG4601-1987等は、工事計画認可に係る耐震設計に関する審査において技術基準規則及び技術基準規則解釈への適合性を確認するために参照される、原子力規制委員会の「耐震設計に係る工認審査ガイド」（乙87）において、適用可能な規格として示されている（乙87、2~3頁、1.3の⑥~⑧）。



【図表 9-5 原子炉建屋の地震応答解析モデル（質点系モデル）（水平方向）】

イ 債務者は、本件発電所の原子炉建屋及び制御建屋について、基準地震動による解析を行った。その結果得られた各建屋の耐震壁（鉄筋コンクリート造）の評価値（せん断ひずみの最大値）を示したものが図表 9-7 である。ここで、せん断ひずみとは、外力を受けて物体内部で生じる、それを生じさせる力（せん断力）によって変形（せん断変形）する際の変形の割合をいい、耐震壁の地震時に生じるせん断変形（長さ）を耐震壁の高さで除すこと求められる（図表 9-6、「 $b/a = \text{せん断ひずみ}$ 」）。例えば、高さ 10m の耐震壁でせん断変形が 1cm であれば、せん断ひずみは 1×10^{-3} となる。



【図表 9 6 せん断変形とせん断ひずみ】

各建屋のせん断ひずみの最大値（評価値）は、図表 9 7 に示すとおり、いずれも JEAG4601-1987 に定める評価基準値 2.0×10^{-3} を下回っており、各建屋が基準地震動に対して耐震安全性を有することが確認されている。

なお、このように評価値が評価基準値を下回っていることが、下記第 2 の 1 で述べる耐震安全上の余裕のうち、①の余裕にあたる。図表 9 7 の最上段の、大飯発電所 3 号機の原子炉建屋を例に説明すると、同建屋の耐震壁の評価値は 1.44×10^{-3} であるが、評価基準値は 2.0×10^{-3} であるから、 2.0×10^{-3} （評価基準値）を 1.44×10^{-3} （評価値）で除して、原子炉建屋の耐震壁の耐震性は、基準地震動による地震力に対して約 1.4 倍の余裕を有していることになる。

評価対象建屋		対象部位	評価値 (せん断ひずみの 最大値) ($\times 10^{-3}$)	評価基準値 ($\times 10^{-3}$)
3 号機	原子炉建屋	耐震壁	1.44	2.0
	制御建屋		1.04	
4 号機	原子炉建屋	耐震壁	1.44	
	制御建屋		3 号機と共に用	

【図表 9 7 原子炉建屋及び制御建屋の耐震安全性評価結果】

(3) 機器・配管系の解析

ア 機器・配管系については、各機器等の振動性状に応じて1次元又は3次元の解析モデルを構築し¹³¹、この解析モデルに水平2方向及び鉛直方向の方向ごとに基準地震動を入力するなどして解析を行い、算出された評価値が評価基準値を超えないことを確認する、構造強度評価を行う。このような評価手法は、JEAG4601-1987等に沿うものである。

また、上記の構造強度評価に加えて、ポンプ、制御棒等の動的機器については、地震により発生する加速度又は荷重に対して、当該設備が要求される機能を保持すること（動的機能維持）を確認する、動的機能維持評価も行う。例えば、ポンプであれば、所定の送水機能が確保されていることを確認する。

イ 債務者は、本件発電所の安全上重要な機器・配管系について、構造強度評価及び動的機能維持評価を行った。

その結果、発生応力値等の評価値は、いずれも評価基準値を下回っており、本件発電所の安全上重要な機器・配管系が、基準地震動に対して機能が損なわれない（耐震安全性を有する）ことを確認した¹³²。

その代表的な評価結果を示したものが図表9-8である。

そして、上記（2）イと同じく、このように評価値が評価基準値を下回っていることが、下記第2の1で述べる①の余裕にあたる。図表9-8の最上段の、大飯発電所3号機の炉内構造物（ラジアルサポート）を例に説明

¹³¹ 例えば、その構造上、左右方向等の一定の方向に揺れやすいことが明らかな機器については、地震動によるその一定の方向の振動を表現できればよいことから、その方向に対応する1次元の解析モデルを構築する。他方、配管のように、建屋内に3次元的に敷設され、その形状が対称ではない設備については、揺れやすい方向が必ずしも明らかではないため、これを適切に模擬するために3次元の解析モデルを構築する。

¹³² 動的機能維持評価の対象設備のうち、制御棒については、地震時においても原子炉内へ評価基準値以内の時間で挿入されることを確認した。なお、挿入時間に係る評価基準値は、安全設計評価（設置許可基準規則解釈13条1項、乙9、29頁、乙88）の条件を用いている。

すると、同設備の評価値は184MPaであるが、評価基準値は372MPaであるから、372MPa（評価基準値）を184MPa（評価値）で除して、同設備の耐震性は、基準地震動による地震力に対して約2.0倍の余裕を有していることになる。

区分	評価対象設備	評価項目	3号機		4号機	
			評価値	評価基準値	評価値	評価基準値
止める	炉内構造物	ラジアルサポートの構造強度（応力：MPa）	184	372	184	372
	制御棒	挿入性 (挿入時間：秒)	2.07	2.2	2.07	2.2
冷やす	余熱除去ポンプ	基礎ボルトの構造強度 (応力：MPa)	38	210	38	210
	余熱除去配管	配管本体の構造強度 (応力：MPa)	153	344	153	344
閉じ込める	原子炉容器	支持構造物埋込金物の構造強度 (荷重：kN)	29,335	41,530	29,335	41,530
	1次冷却材管	配管本体の構造強度 (応力：MPa)	77	86	77	86
	蒸気発生器	伝熱管の構造強度 (応力：MPa)	469	481	469	481
	原子炉格納容器※	耐震壁（せん断ひずみ） ($\times 10^{-3}$)	1.25	2.0	1.25	2.0

※本件発電所の原子炉格納容器はプレストレストコンクリート製となっているため、原子炉建屋の一部として耐震安全性評価を行っている。

【図表9.8 代表的な機器・配管系の耐震安全性評価結果】

(4) 小括

以上のとおり、債務者は、本件発電所の耐震重要施設について、基準地震動に対する耐震安全性評価を行い、基準地震動による地震力が各設備に作用した際の評価値が評価基準値を下回ることを確認した。

なお、上記1(3)で述べた弾性設計用地震動及び静的地震力についても、JEAG4601-1987等に定める手法を用いて耐震安全性評価を行い、対象となる全

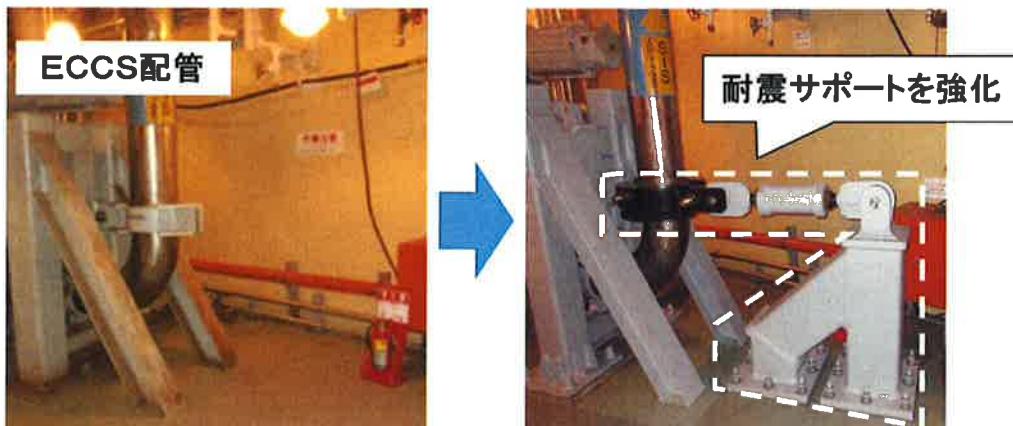
ての建物・構築物及び機器・配管系について、評価値が弾性設計用の評価基準値を下回ることを確認した。

5 耐震安全性評価結果を踏まえた耐震補強工事

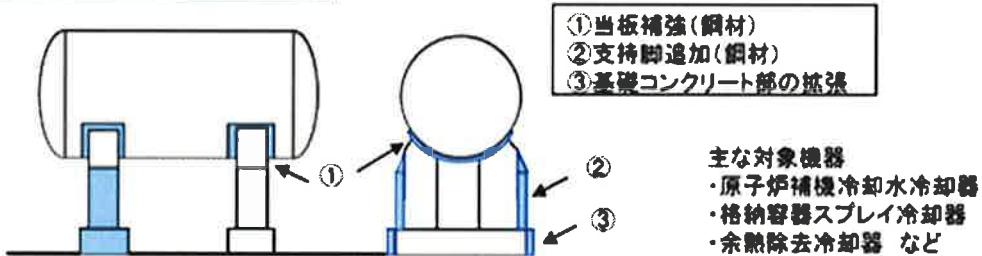
債務者は、基準地震動を見直した際には、必要に応じて耐震補強工事を行っており、工事後の設備状態を前提として上記4の耐震安全性評価を行うことで、耐震重要施設の安全性を確認している。

今般、新規制基準施行に伴い、債務者は、本件発電所の新たな基準地震動（最大加速度856ガル）を策定したが、その策定に伴って耐震補強が必要となるもの等について、平成25年から、本件発電所の配管サポート類、原子炉補機冷却水冷却器等、合計約1200箇所に及ぶ補強工事を実施しており、平成28年12月に全ての工事が完了している（図表99）。

配管サポートの耐震性補強(例)



冷却器支持脚の耐震性補強(例)



【図表 9 9 耐震補強工事の例】

なお、債務者は、耐震バックチェック（上記第2章第3の2（2））の実施に際して本件発電所の基準地震動 S s（最大加速度700ガル）を策定したときにも、平成20年から24年にかけて、本件発電所の配管サポート類など約250箇所について補強工事を実施している。

6 原子力規制委員会による審査

本件発電所の耐震設計方針に関しては、原子力規制委員会により、耐震重要度分類の方針（乙38の2、22頁）や地震応答解析による地震力の算定方針（同23～25頁）等が設置許可基準規則解釈別記2等に適合していることが認められ、詳細な耐震設計に関しては、工事計画認可申請に対する審査を経て、平成29年8月25日に工事計画の認可を受けたものである（乙54の1、2）。

第2 本件発電所の耐震安全上の余裕

本章の冒頭箇所で述べたとおり、本件発電所の耐震安全性評価に含まれる余裕（下記1）により、仮に、基準地震動を超える地震動に襲われることがあったとしても、ただちに本件発電所の安全性が損なわれることはない。そして、このような余裕の存在は、実験によって実証されるなどしている（下記2）。

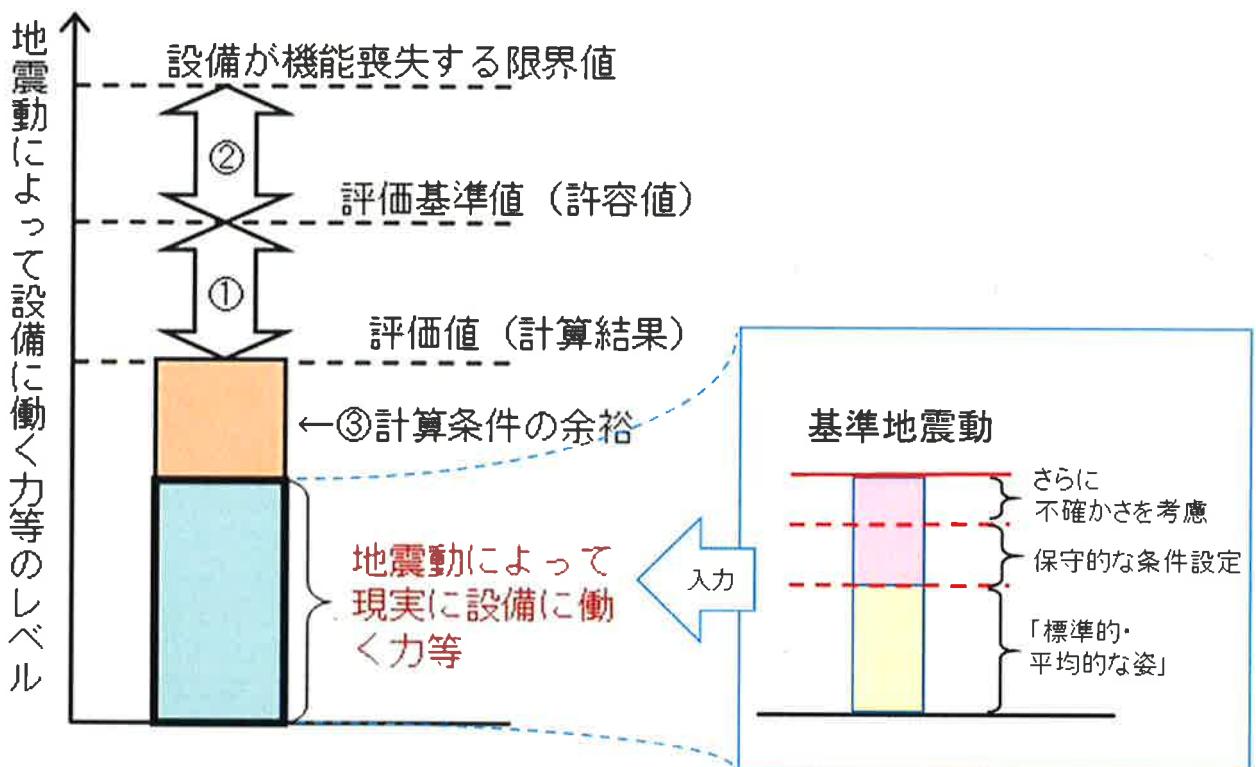
1 基準地震動による地震力に対して有する余裕

債務者は、本件発電所の各耐震重要施設について、耐震安全性評価を行い、これによって得られた評価値が評価基準値を下回ることを確認したものであるところ、この耐震安全性評価においては、耐震安全上の余裕として3つの余裕が存在する。

すなわち、評価値の評価基準値に対する余裕（①の余裕）に加えて、評価基準値自体が、実際に機器等が機能喪失する限界値に対して余裕を持った値に設定されており（②の余裕）、また、評価値を計算する過程においても、計算結果が保守的なものとなるよう、計算条件の設定等で余裕を持たせている（③の余裕）（図表100）。

したがって、万一、本件発電所において基準地震動を超える地震動が生じることがあったとしても、耐震重要施設がただちに安全機能を失うものではない。

以下、上記②及び③の余裕について述べる。



【図表100 耐震安全上の様々な余裕のイメージ】

(1) 評価基準値自体の持つ余裕（上記②の余裕）

本件発電所の耐震安全性評価では、評価基準値自体が、実際に機器等が機能喪失する限界値に対して余裕を持った値に設定されている。以下、説明する。

ア 債務者は、本件発電所の耐震安全性評価に用いている評価基準値を、日本電気協会が策定した民間規格であるJEAG4601-1987（乙86）及び「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（JEAG4601・補-1984）」（乙89。以下、「JEAG4601-1984」という）に基づいて設定している。

イ まず、建物・構築物の評価基準値は、JEAG4601-1987に定められているところ、同指針には、A_sクラス（新規制基準における耐震重要度分類Sクラスに相当）の施設に係る耐震設計の基本方針として、「基準地震動 S₂

(引用者注：新規制基準における基準地震動 S s に相当) に基づいた動的解析（同：地震応答解析のこと）から求められる地震力に対して、その安全機能が保持できるように設計する」と定められている（乙86, 265頁）。そして、評価基準値については、地震力と他の荷重とを組み合わせた状態に対し、「建物・構築物が構造物全体として十分変形能力（ねばり）の余裕を有し、終局耐力¹³³に対して安全余裕をもたせることとする」とされている（同275頁）。

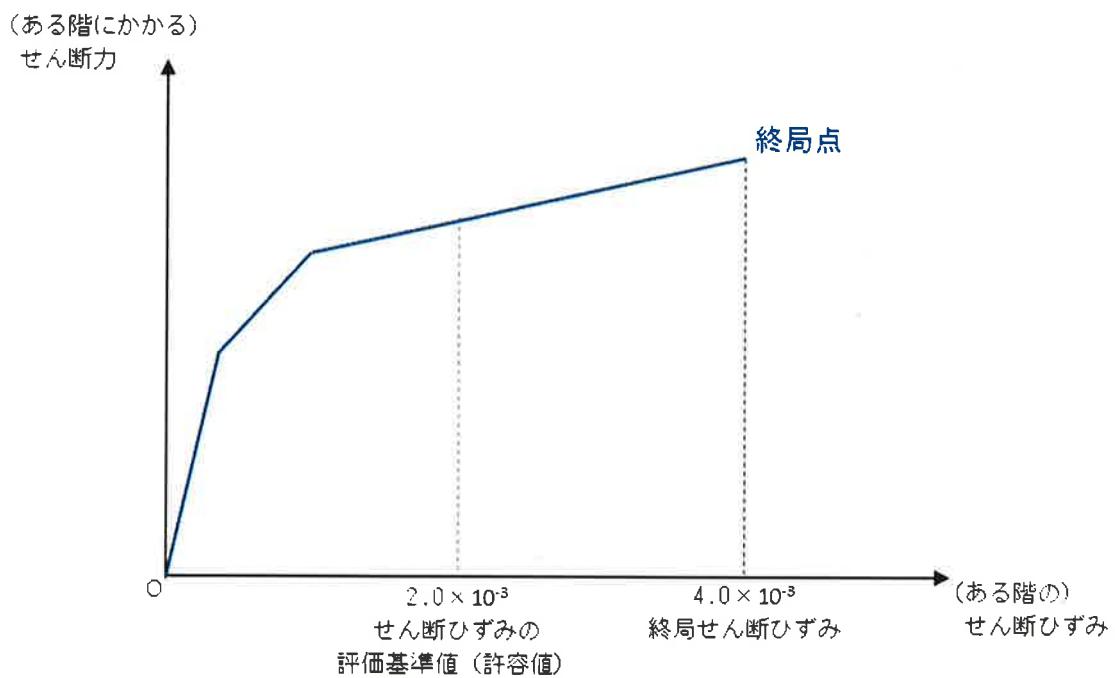
こうした方針や考え方を受けて、JEAG4601-1987では、例えば、鉄筋コンクリート造耐震壁のせん断ひずみの評価基準値について、既往の実験結果のばらつきも考慮して評価した鉄筋コンクリート造耐震壁の終局せん断ひずみ「 4.0×10^{-3} 」に余裕を持たせて「 2.0×10^{-3} 」と設定されている（図表101, 同392頁）¹³⁴。

すなわち、この評価基準値は余裕を持たせた値であり、仮に基準地震動による地震力が作用した際の評価値がこの評価基準値に等しくても、実際に耐震壁がせん断力により破壊に至るまでにはなお余裕が存在することとなる。

¹³³ 終局耐力とは、建物・構築物に対する荷重又は応力を漸次増大していくとき、その変形又はひずみが著しく増加するに至る限界の最大耐力をいう（乙86, 275頁）。

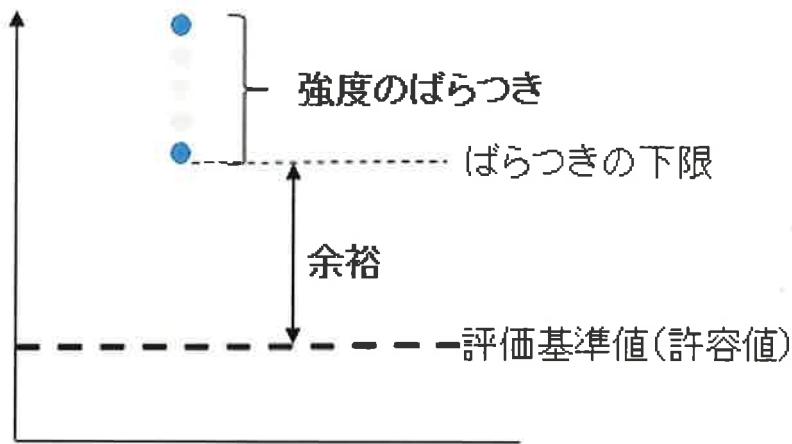
¹³⁴ 建物の、ある階の鉄筋コンクリート耐震壁に水平方向の力（地震力）が加わると、耐震壁にはせん断力がかかり、せん断変形する（上記第1の4 (2) イの図表96参照）。

図表101は、耐震壁にかかるせん断力を次第に増やしていくときのせん断ひずみの増加を概念的に示したものである。せん断ひずみが大きくなるに従って鉄筋コンクリートの力学的な性質は変わるので、（一本の直線ではなく）同図のように折れ線で表現される。図表中の終局点（終局耐力時の状態）におけるひずみを終局せん断ひずみといい、その値はJEAG4601-1987に示されている（乙86, 392頁）。



【図表101 せん断ひずみの評価基準値（許容値）と終局せん断ひずみ】

ウ また、機器・配管系の評価基準値は、JEAG4601-1987に原則的事項が記載され、その詳細はJEAG4601-1984に定められているが、機器・配管系に使われる材料の材質のばらつきについては、その材料の破壊実験結果をもとに、実験値のばらつきや実験値の下限値を考慮して、これに余裕を見込んだ保守的な値が評価基準値として設定されている（図表102）。



【図表102 評価基準値（許容値）の設定における考慮】

なお、債務者は、本件発電所の機器等に用いられる材料について、材料メーカーが発行する材料証明書により、適切に製造された材料であることや、その材料の品質が規格等により定められた範囲内であることを確認することによって、図表102の「ばらつきの下限」を上回るものであることを確認している。

(2) 評価値の計算条件における余裕（上記③の余裕）

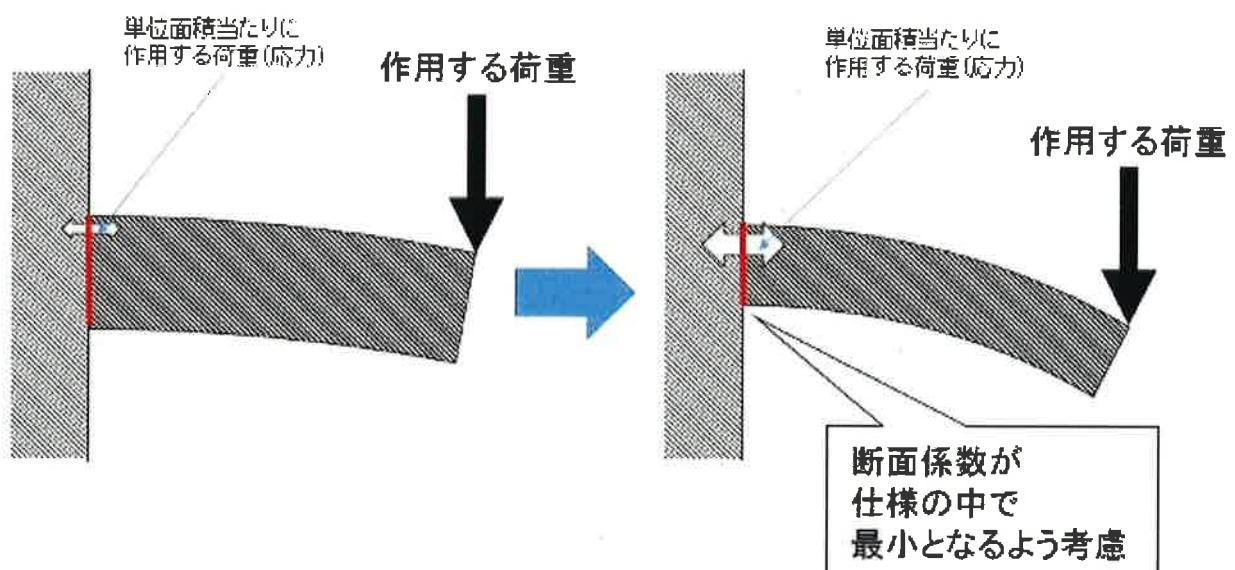
本件発電所の耐震安全性評価では、評価値を計算する過程、すなわち、地震応答解析及び応力解析を行う際にも、評価値の計算結果が保守的なものとなるよう、計算条件の設定等で様々な考慮を行っている。その結果、評価値にも余裕が存在している。

このような考慮の具体例を、解析モデルを構築する段階（下記ア）と、地震応答解析及び応力解析を行う段階（下記イ）とに分けて説明する。

ア 解析モデルを構築する段階での考慮

（ア）債務者は、原子炉容器等の重要な機器等をモデル化する際に、公称値

(材料の製品としての名目上の値)¹³⁵を用いず、製造上定められた仕様の中で最小となるような寸法を設定することで、応力解析で求める応力(単位面積当たりに作用する荷重)が大きくなるようにしている。すなわち、応力解析では、機器等に作用する荷重を断面係数(荷重を受ける断面の形状と面積により定まる値)で除して応力を求めるため、断面係数の値を小さく見積もることで応力は大きくなり、機器等にとって厳しい条件になる(図表103)。



【図表103 評価値の計算過程における機器等のモデル化に際しての考慮】

(イ) また、タンク等の機器の解析モデルを構築する際に、その重量について、最大重量(満水時重量)を用いることで重心を高くし、機器に作用する応力を大きく見積もることも行っている。

イ 地震応答解析及び応力解析を行う段階での考慮

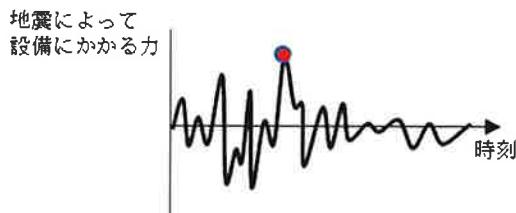
(ア) 債務者は、応力解析において、実際の地震動による地震力と異なり、

¹³⁵ 例えば、厚さ10mmの鋼板の場合、10mmが公称値であり、実際の製品にはその公差の範囲内での誤差が許容される。

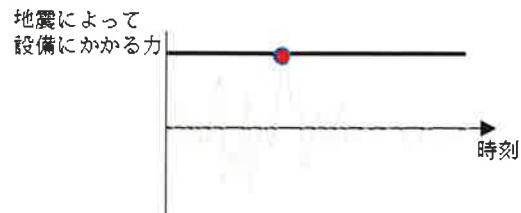
地震の揺れによって瞬間的に作用する最大の力（により設備に発生する応力）が、機器・配管系にとって厳しい方向に一定してかかり続けるとあえて仮定して評価を行っている。

すなわち、実際の地震の揺れによる力は、特定の方向にかかりるものではなく、また、瞬間的に大きな力がかかることがあっても、それで機器・配管系が破損に至るほどの大きな変形がただちに生じるわけではない。実際は、機器・配管系が破損するような大きな変形を起こす前に、別の方向に力がかかるようになるが、あえて、その地震の揺れによる最大の力が、機器・配管系にとって厳しい方向に一定してかかり続けると仮定して評価を行っているものであり、このような仮定は、評価値の計算において、保守的な取扱いとして余裕を生じさせることになる。

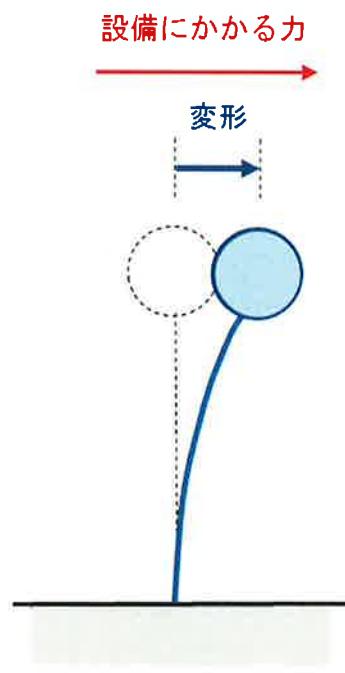
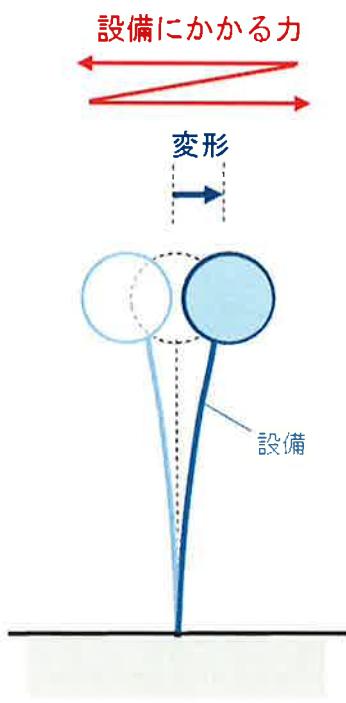
(図表104)



実際の現象：
最大の力がかかるのは一瞬
⇒ 大きく変形する前に力は弱まる



耐震安全性評価での想定：
最大の力がかかり続けると仮定
⇒ 大きく変形すると想定



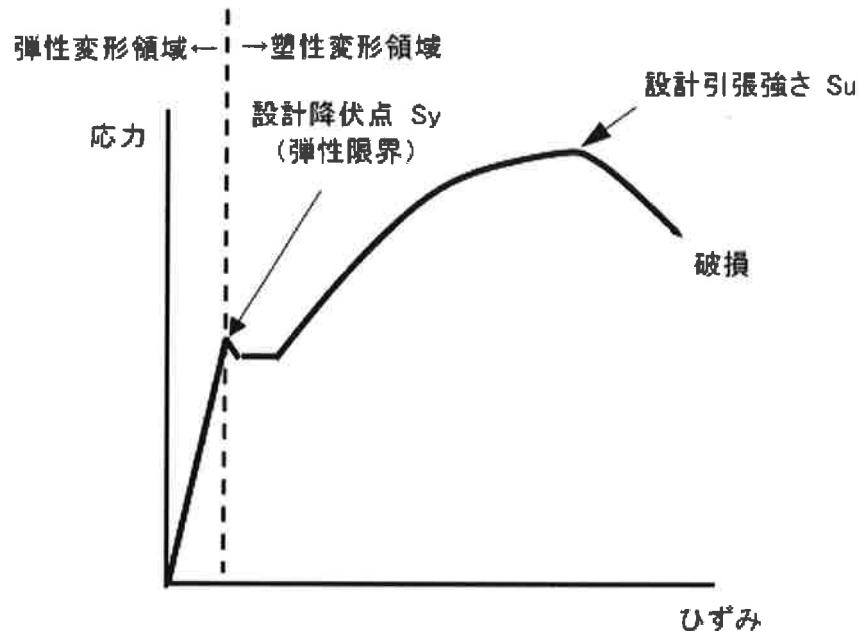
【図表 104 機器・配管系の評価における力の想定】

(イ) また、債務者は、機器・配管系の解析に際し、材料が塑性変形することによりエネルギーが吸収され、設備の揺れが抑制される効果（エネルギー吸収効果）を考慮していない。

機器・配管系に外部から力（荷重）を加えると、これらを構成する材料は変形（弾性変形¹³⁶⁾）し、降伏点（弾性限界）を越えると、その変形は、

¹³⁶ 物体に加わって変形を生じさせる外力が取り除かれると元に戻る変形のことを弾性変形という。

弾性変形から塑性変形¹³⁷に変わること（なお、機器・配管系は、塑性変形を始めてもただちに安全機能を失うわけではなく、さらに一定の荷重を加えて塑性変形が進むことではじめて機能を失うに至る）（図表105）¹³⁸。



【図表105 機器・配管系に関する応力ひずみ線図の一例】

そして、材料が塑性変形した場合、より大きなエネルギー吸収が期待でき、機器・配管系の揺れを抑制する効果が生じる。これをエネルギー吸収効果という。つまり、エネルギー吸収効果とは、地震動により機器・配管系が塑性変形した場合に、その結果として、地震動の振動エネルギーの一部が熱エネルギー等として消費される結果、振動エネルギー

¹³⁷ 物体に加わっている外力が取り除かれた後も元に戻らずに残る変形のことを塑性変形といふ。

¹³⁸ 原子力発電所の機器・配管系の設計における材料の応力とひずみとの関係を図示した一例が図表105である。機器・配管系に外部から荷重を加えていくと、降伏点（弹性限界。「設計降伏点 S_y 」）を超えて塑性変形領域に入り、そこからさらに荷重を加えていくと応力が最大値に達し、最終的には破損する。この応力の最大値を、引張強さ（「設計引張強さ S_u 」）といふ。

原子力発電所の機器・配管系の設計に用いる降伏点及び引張強さは、それぞれ設計降伏点 S_y 及び設計引張強さ S_u として規格（一般社団法人日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」及び「発電用原子力設備規格 材料規格」）に定められており、これらの値は、材料の破壊実験結果から導出されている。

の総量が減少し（吸収され）¹³⁹、機器・配管系の揺れが抑制される効果が生じるというものである。この効果は、建設省の「D_s及びF_e_sを算出する方法を定める件」（昭和55年建設省告示第1792号）において採用され、建築物では活用可能な知見として考慮されている。

エネルギー吸収効果の程度は、塑性エネルギー吸収係数¹⁴⁰として表されるところ、例えば、配管等を支える支持構造物で用いられる一般鋼材については、塑性エネルギー吸収係数は約2と評価される¹⁴¹。これは、塑性エネルギー吸収係数を考慮した場合には、考慮しない場合に比べて、応力は約2分の1と評価できることを示している。

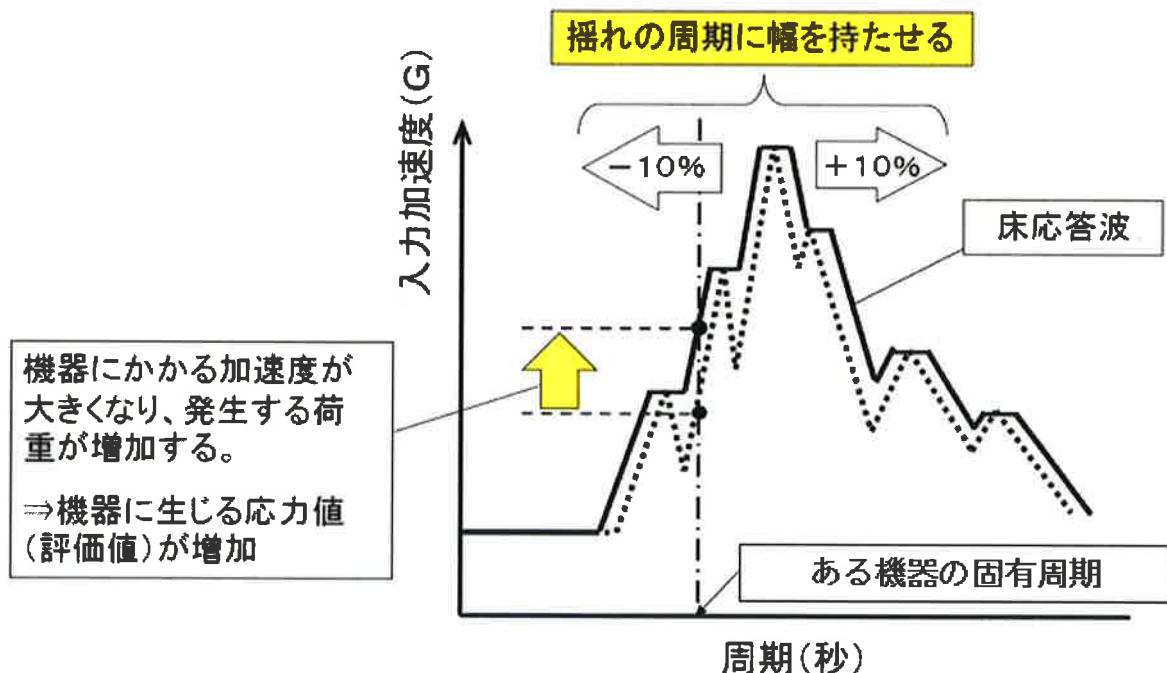
この点、日本電気協会が定める「原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC4601-2008）」（乙90）においても、この効果が見込めることが紹介されている（乙90、393頁）ところ、債務者は、本件発電所の機器・配管系の解析に際して、この効果を織り込んでいない。このような保守的な取扱いは、計算される評価値に余裕を生じさせることになる。

（ウ）さらに、債務者は、各階床に設置されている機器・配管系に生じる揺れ（床応答波）のスペクトル（床応答スペクトル）について、材質のばらつきを考慮し、全体的に拡幅して大きくすることで、機器等にかかる荷重を保守的に見積もるようにしている（図表106）。

¹³⁹ 例えば、針金を繰り返し手で曲げたり伸ばしたりしていると、次第に屈曲部が熱を帯びてくる。これは、針金に加わる力のエネルギーの一部が熱エネルギーに変わる（針金を変形させる力としては動かない）形で吸収されるからである。

¹⁴⁰ 建設省告示においては、建築物の塑性変形能力等に応じ、塑性エネルギー吸収係数の逆数に相当する構造特性係数（D_s）が定められている。

¹⁴¹ 塑性エネルギー吸収係数の評価方法は複数存在するが、ここではNewmarkが提案したエネルギー等価式により算出している。また、地震のように揺れが行ったり来たりすることで生じる塑性変形による破損形態は疲労破損であるとの知見があるが、そのような疲労破損は生じない程度の変形量での評価である。



【図表106 評価値の計算過程における床応答スペクトルの拡幅による考慮】

(3) 小括

以上のとおり、本件発電所においては、評価値の評価基準値に対する余裕に加えて、評価基準値自体が、実際に機器等が機能喪失する限界値に対して余裕を持った値に設定されており、評価値を計算する過程においても、計算結果が保守的なものとなるよう、計算条件の設定等で余裕を持たせていることから、万一、本件発電所において基準地震動を超える地震動が生じることがあったとしても、耐震重要施設がただちに安全機能を失うものではない。

このような余裕は、本件発電所に限らず、原子力施設の耐震設計体系において一般的に認められており、原子力安全・保安院が平成24年2月に作成した「関西電力（株）大飯発電所3号機及び4号機の安全性に関する総合的評価（一次評価）に関する審査書」（乙91）においても、「設備等の応答評価（引用者注：地震応答解析及び応力解析）の段階では、入力する地震動に対して応答を大きく算出するような評価方法、評価条件が採用されていること

に、また、許容限界（同：評価基準値）の設定の段階では、実際に機能喪失する限界に対して相当の裕度をもった限界が設定されていることに、保守性が存在する」（乙91、27頁）と明示されている。

2 耐震安全上の余裕の実証例等

上記1で述べた、原子力発電所における耐震安全上の余裕が現実に存在することについては、財団法人原子力発電技術機構（当時。以下、「原子力発電技術機構」という）の多度津工学試験センターにおける原子力発電施設耐震信頼性実証試験の結果（下記（1）），及び新潟県中越沖地震により当時の基準地震動を超える地震動を受けた柏崎刈羽原子力発電所において、「安全上重要な設備」の健全性に特段の問題が生じていない事実（下記（2））等からも明らかになっている。

（1）多度津工学試験センターでの原子力発電施設耐震信頼性実証試験

原子力発電技術機構の多度津工学試験センターにおいて1982年度から2004年度まで実施された実証試験（「原子力発電施設耐震信頼性実証試験」）により、「安全上重要な設備」の耐震安全性評価における余裕の存在が実証されている（乙61、20頁，乙92、「原子力発電施設信頼性実証試験の現状 昭和59年」2頁，乙93、「原子力発電施設耐震信頼性実証試験の概要」）。

ア 実証試験の概要

（ア）この実証試験では、耐震設計上の余裕の確認、巨大地震の際に所要の機能が発揮できることの実証、耐震設計手法の妥当性の確認のため、大型高性能振動台¹⁴²（以下、「振動台」という）に原子力発電所の実機に

¹⁴² この振動台は、最大積載質量1,000トン、振動台（テーブル）寸法縦15m×横15mであり、水平加振機7基と垂直加振機12基によって水平・鉛直の2方向を同時に加振できる（乙93、9～10頁）。

近い縮尺模型試験体を設置して、強度実証試験¹⁴³、設計手法確認試験¹⁴⁴、限界加振試験¹⁴⁵等が行われた（乙93、1～4頁）。

(イ) 大型の機器等を対象としたこのような実証試験では、一般に、実物大の試験体を用いることが試験施設の制約等から困難な場合には実物の挙動を模擬できるよう工夫された縮尺模型等を用いた実験が行われている。

この実証試験においても、学識者及び電力業界や重電機工業会、建設業界等の専門技術者等により、試験体の設計・製作・取付けや、試験方法、試験結果の評価方法等について、詳細な検討が行われている。試験体についても、実物大の試験が可能な場合は実物大の試験体を用いるが、振動台の制約から実物大の試験ができない場合には、実物大の試験と同様の試験結果が得られるよう、縮尺モデルの寸法や適用する地震力等の試験条件を適切に設定することで、実機を極力模擬した試験が実施されている。

イ 実証試験の方法

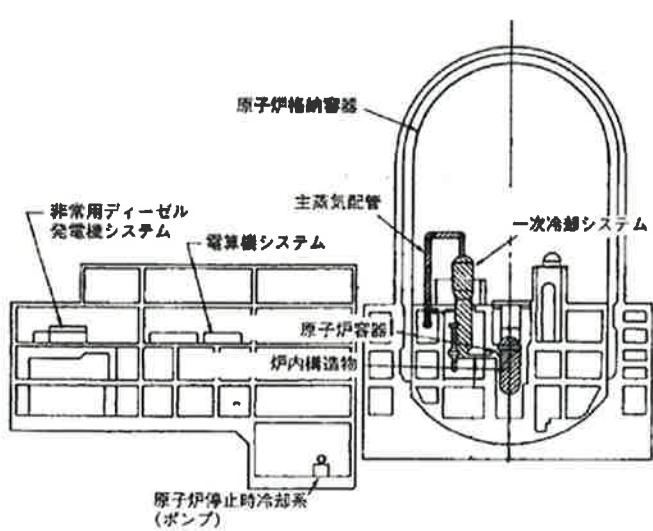
試験対象設備には、110万kW級の加圧水型原子炉（PWR）及び沸騰水型原子炉（BWR）¹⁴⁶における原子炉格納容器、一次冷却設備（蒸気発生器等）、原子炉容器、炉内構造物（燃料集合体等）、非常用ディーゼル発電機等が選定された（図表107を参照。乙93、5～6頁）。

¹⁴³ 実証試験用試験体を対象として、基準地震動S₁、S₂に対する強度、機能の健全性を確認する試験。

¹⁴⁴ 耐震設計手法や地震応答解析手法の妥当性を確認するための試験。

¹⁴⁵ 実証試験用試験体を対象として、基準地震動S₁、S₂を超える地震力で加振し、耐震裕度を確認する試験。

¹⁴⁶ PWR及びBWRについては、答弁書第5章第1の2を参照。



PWR 原子炉格納容器 鋼製
〔縮尺:1/3.7, 重量:350 t (実機:約 3,800 t)〕

【図表 107 PWR の試験対象設備の位置及び試験体の例】

また、試験用の揺れ（入力波）については、試験体に最も大きい応答を与える、より厳しい試験が期待できる地震波が選定された。例えば、加圧水型原子炉（PWR）の原子炉格納容器については、当時運転中の全原子力発電所の基準地震動 S_1 及び基準地震動 S_2 （上記第2章第2）を踏まえて設定された地震動による原子炉格納容器基礎における応答波とされた（乙93、25頁、27頁）。

以上をもとに、強度実証試験において、基準地震動 S_1 及び基準地震動 S_2 をもとにした揺れにより加振して、各機器の強度、機能の健全性を確認した上で、限界加振試験では、強度実証試験で用いた揺れから加速度を上げて加振し、基準地震動 S_2 を超える地震動に対する各機器の余裕について確認した。

ウ 実証試験の結果

加圧水型（PWR）原子力発電所の設備に関する強度実証試験及び限界

加振試験の主なものの結果は図表108のとおりである。

試験の結果、いずれの機器も地震時に強度及び機能が維持されていること、基準地震動 S_2 を超える地震動に対しても十分な余裕を持っていること、原子力発電所の設計手法の妥当性が確認できたとされている（乙93、157頁）。

対象設備	強度実証試験（注2）	限界加振試験（注2）
原子炉格納容器（鋼製） <1/3.7, 350t, 約3,800t>（注1）	591ガル	887ガル [1.5倍]（注3）
炉内構造物 <1/1, 555t, 約500t>	729ガル	1,094ガル [1.5倍]
1次冷却システム <1/2.5, 525t, 約1,000t>	1,433ガル	2,866ガル [2.0倍]
原子炉容器 <1/1.5, 700t, 約850t>	714ガル	961ガル [1.3倍]
非常用ディーゼル発電機システム ※クランク軸等の部分試験を実施	1,360ガル	1,770ガル [1.3倍]
電算機システム <1/1, 81t, 約300t>	526ガル	2,262ガル [4.3倍]
原子炉停止時冷却系 <1/1, 294t, 約300t>	1,800ガル	2,700ガル [1.5倍]
主蒸気系 <1/2.5, 190t, 約200t>	1,940ガル	4,850ガル [2.5倍]
プレストレスコンクリート製原子炉格納容器 <1/10, 757t, 約27,000t>	557ガル	3,398ガル（機能喪失） [6.1倍]

（注1）<>内は、縮尺、試験体重量（支持構造物の重量含む）、実機重量を示す。

（注2）記載値は、縮尺比や付加質量等に基づく相似則により試算した、実機相当の最大加速度を示す。

強度実証試験：試験用の揺れ（入力波）の最大加速度

限界加振試験：振動台加振性能限界時又は試験体機能喪失時における最大加速度

（注3）[]内は、強度実証試験の揺れ（入力波）の最大加速度に対する比率を示す。

【図表108 PWR試験対象設備に関する試験結果】

なお、図表108の「限界加振試験」の欄において「機能喪失」と記載していないものについては、試験体が機能喪失した際の最大加速度ではなく、振動台が加振性能限界に達した際の最大加速度であり、当該試験体がそれ以上の耐震安全上の余裕を有していることを示している。これは、できるだけ実機に近い大規模な試験体での試験が指向されたため、振動台の加振性能限界から、強度実証試験の揺れ（入力波）の最大4倍程度までの加振が限度となつたが、この程度の揺れでは試験体が機能喪失しなかつたの

である。

この試験において、プレストレストコンクリート製原子炉格納容器（実機重量：約27000トン）は、実機を1/10に縮尺した試験体（重量：757トン）の限界加振試験で試験体が機能喪失するまで加振したところ、3398ガルで機能喪失した。これは、強度実証試験における入力波の最大加速度557ガルの約6倍である。

エ 小括

以上のとおり、実証試験は、試験体、試験方法、試験結果の評価方法等について有識者による詳細な検討を経た上で実施・評価されたものである。そして、その結果は、原子力発電所の安全上重要な設備が、十分な耐震安全上の余裕を有していることを示しており、評価基準値（許容値）と算定された評価値の差による余裕だけでなく、評価基準値の設定や評価値の算定といった規格、基準自体に定められている方法の中にあらかじめ見込まれている余裕の中に、耐震安全上の余裕として期待できるものがあることが実証されたのである。

この点、原子力安全基盤機構の報告書（乙93）においても、「大型高性能振動台を用いて・・・実施した原子力発電施設耐震信頼性実証試験は、実機に近い縮尺模型試験体を用いて設備の耐震安全性及び耐震裕度を確認した試験として有意義である」（乙93、まえがき）とされている。

（2）新潟県中越沖地震における柏崎刈羽原子力発電所の原子炉機器の健全性

ア 有限責任中間法人日本原子力技術協会（現一般社団法人原子力安全推進協会。以下、「日本原子力技術協会」という）による原子炉機器の健全性評価

（ア）平成19年7月、新潟県中越沖で地震が発生し、北陸地方を中心に、東北

地方から近畿・中国地方にかけての広い範囲で地震動が観測された。震源距離約23kmに位置する柏崎刈羽原子力発電所（同地震の際、運転開始後約10～22年を経ていた）は、この地震発生により、当時の基準地震動を超える大きな地震動を受けた¹⁴⁷にもかかわらず、安全上の重要機器に外観上の大きな損傷は認められなかった。

しかし、設計基準を超える地震荷重を受けた重要機器の健全性を確認し、対策を着実に実施するとともに、災害から得られた教訓を関係者が広く共有するため、平成19年9月、構造強度・検査・耐震等を専門的分野とする学識経験者及び電力・メーカー等の関係者によって、日本原子力技術協会に「中越沖地震後の原子炉機器の健全性評価委員会」が発足し、地震荷重を受けた機器の健全性評価について、解析的評価と点検結果との両面から検討が行われた。

この検討のうち、平成20年度の検討成果を中間的な報告として取りまとめたのが「中越沖地震後の原子炉機器の健全性評価 平成20年度中間報告」（乙94）である。

(イ) この報告書では、東京電力が実施した地震応答解析に関して、解析の有する保守性の評価結果とともに、「新潟県中越沖地震により、柏崎刈羽原子力発電所は設計用地震動を超える地震動を受けたにも関わらず、重要設備に有意な損傷は認められなかった。この結果は、原子力発電設備の耐震設計の有する裕度が大きいことを示すものである」と述べられている（乙94、7-1頁）。

イ 国際原子力機関（IAEA）の調査報告書

柏崎刈羽原子力発電所については、国際原子力機関（IAEA）の調査

¹⁴⁷ 例えば、柏崎刈羽原子力発電所1号機では、設計時の基準地震動S₂による原子炉建屋基礎版上の最大応答加速度が273ガル（東西方向）であったのに対し、実際に観測された最大応答加速度は680ガル（東西方向）であった。

報告書においても、同発電所の安全上重要な施設に被害が見られなかつたことに関し、「安全に関連する構造、システム及び機器は大地震であつたにも関わらず、予想より非常に良い状態であり、目に見える損害はなかつた。この理由として、設計プロセスの様々な段階で設計余裕が加えられていることに起因していると考えられる」との見解が示されている。（乙95、「原子力安全白書（平成19・20年版）」13頁）

（3）まとめ

以上のとおり、原子力発電所において耐震安全上の余裕が現実に存在することは、実証試験の結果や、実際に大きな地震動を受けた発電所の事例等において明らかにされている。

第6章 結語

以上のとおり、債務者は、最新の科学的・専門技術的知見を基に様々な保守性を考慮して十分な大きさの基準地震動を策定し、耐震安全性評価を行っており、本件発電所の地震に対する安全性は確保されている。

以上

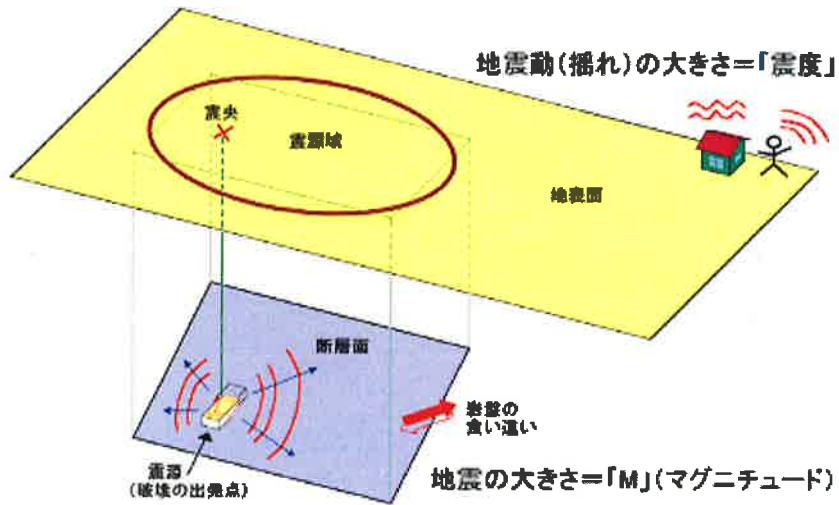
別紙1：地震及び地震動に関する基本的事項について

1 「地震」と「地震動」

「地震」とは、地下の岩盤が周囲から力を受けることによってある面を境としてずれる現象のことである。この「地震」の発生によって放出されたエネルギーは、地震波として震源から地殻内のあらゆる方向に伝わっていき、ある特定の地点に到達するとその地盤を揺らすことになるが、この特定の地点における地盤の揺れのことを「地震動」といい、「地震」と区別される。

「地震」そのものの規模を表す指標は「マグニチュード」である。これに対し、「地震動」（特定の地点における揺れ）の程度を表す指標は「震度¹⁴⁸」であり（別紙図表1－1），また、「地震動」を加速度で表す場合の単位は「ガル」である。1ガルは $1\text{cm}/\text{s}^2$ に相当する。つまり、ある地震について、「地震」の規模を表す「マグニチュード」は特定の（1つの）値が定められるのに対して、「地震動」（特定の地点における揺れ）の大きさに係る「震度」及び「加速度」については、観測する地点ごとに値が異なってくるのであり、観測する地点の数に応じていくつもの値が存在することになる。

¹⁴⁸ 気象庁の震度階級は平成8年（1996年）に改訂されており、それまで震度0～VII（ローマ数字）の8段階で表されていたものが、震度0～7で表されるようになり、さらに震度5と震度6が「弱」「強」の2段階に分けられたことで、合計10段階となった。



(国立研究開発法人防災科学技術研究所ウェブサイトより)

【別紙図表 1－1 「震度」と「マグニチュード】

2 地震発生様式による地震の分類

(1) 地球の表面は、十数枚のプレート（硬い岩盤）で覆われている。プレートは、その下にあるマントルの対流によって、年間数cm程度の速さで移動しているが、それぞれ移動方向が異なっているため、プレート同士が衝突したり、一方のプレートがもう一方のプレートの下に沈み込んだりすることで、プレート同士の間に押し合う力が働く。この押し合う力が、地震を引き起こす原動力となっている。

日本の周辺には、海のプレートである太平洋プレート及びフィリピン海プレート、並びに陸のプレートであるユーラシアプレート及び北米プレートがある（別紙図表 1－2）。

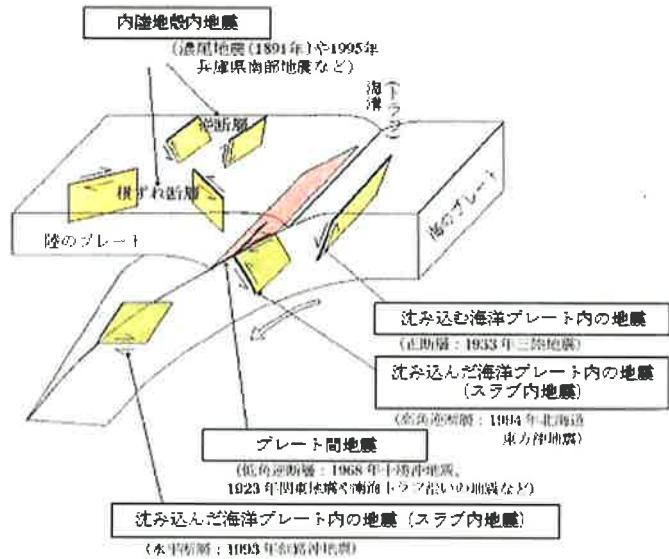


【別紙図表 1－2 日本列島周辺のプレート】

(2) 地震発生様式とは、地震が発生する場所やメカニズム（地震の起こり方）の違いによる地震の分類をいい、大きく、「内陸地殻内地震」、「プレート間地震」、「海洋プレート内地震」に分類される。

海岸のやや沖合いで起こるものも含め、陸のプレートの内部で発生する地震を「内陸地殻内地震」、陸のプレートと海のプレートの境界で発生する地震を「プレート間地震」、海のプレートの内部で発生する地震を「海洋プレート内地震¹⁴⁹」という（別紙図表 1－3）。

¹⁴⁹ 海洋プレート内地震については、海溝軸付近ないしその沖合いで発生する「沈み込む海洋プレート内の地震（アウターライズ地震）」と、海溝軸付近から陸側で発生する「沈み込んだ海洋プレート内の地震（スラブ内地震）」の2種類に分けられる。

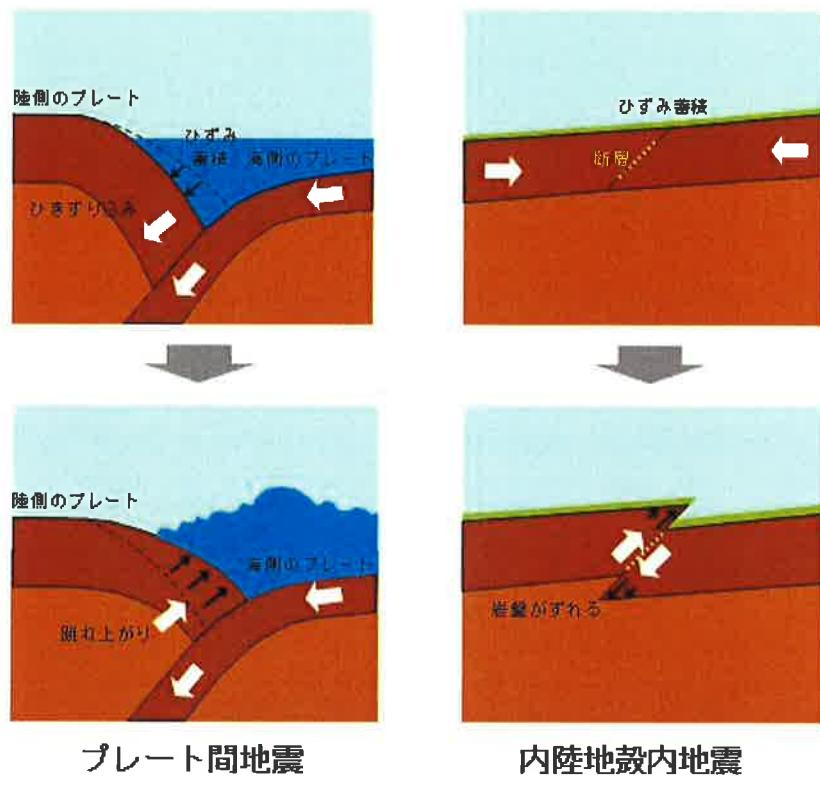


【別紙図表 1－3 地震発生様式による地震の分類】

3 地震（特に内陸地殻内地震）の発生のメカニズム

(1) プレートの動きによって蓄積されたひずみが限界を超えると、プレート境界部やプレート内の弱い場所（断層）がずれ動き、地震が発生する（別紙図表 1－4）。

地震発生のメカニズムについて、内陸地殻内地震を例に敷衍すると、①プレートの移動により、プレート同士の間に押し合う力が働く。②それを受け、プレートを構成する岩盤に力（プレート同士の圧縮又は引っ張りの力。これを応力という）が伝わり、岩盤内にひずみが生じる。③岩盤は変形するなどしてひずみを解消するが、変形することでは解消できず、一部ひずみとして力を溜め込む部分が生じる。④このひずみが限界に達すると、比較的弱い岩盤部（断層）が破壊されてずれ動き（断層運動）、内陸地殻内地震が発生する。



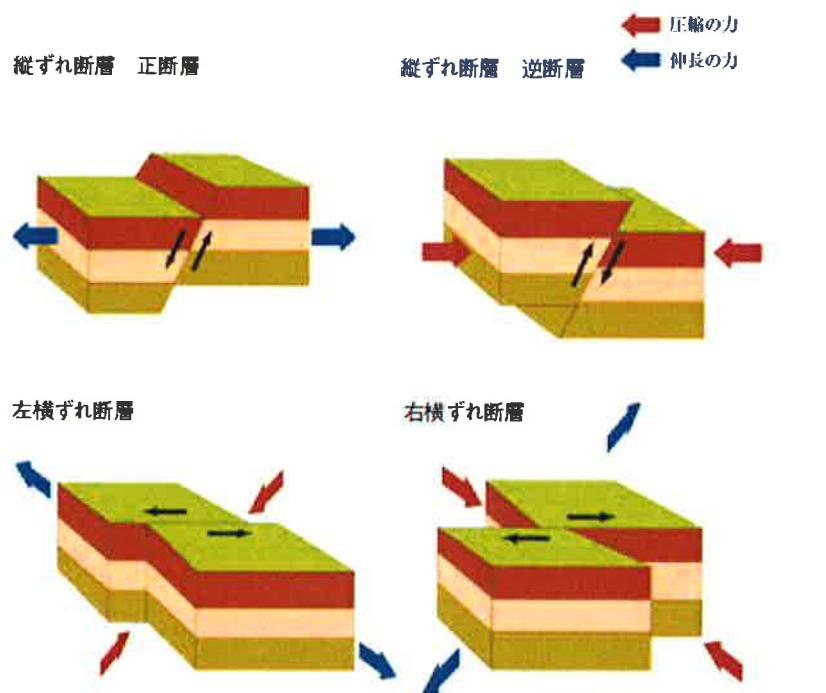
【別紙図表 1 - 4 地震発生のメカニズム】

(2) 内陸地殻内地震をもたらす断層運動には、岩盤が破壊されてそれが生じる面（震源断層面）に働く力の向きの組合せにより、様々なタイプが存在する（別紙図表 1 - 5）。

断層面を境として両側のブロックが上下方向に動く場合を「縦ずれ断層」といい、特に、傾斜している断層面上に乗っている岩盤（上盤）がずり下がる場合を「正断層¹⁵⁰」（別紙図表 1 - 5、左上）、上盤が乗り上がる場合を「逆断層」（同、右上）という。他方、両側のブロックが水平方向に動く場合を「横ずれ断層」といい、特に、断層面の手前から見て相手側のブロックが左に動く場合を「左横ずれ断層」（同、左下）、右に動く場合を「右横ずれ断層」（同、右

¹⁵⁰ 日本列島は、海のプレート（太平洋プレートやフィリピン海プレート）が陸のプレートを押す形で（陸のプレートの下に）沈みこんでいるため、列島全体に東西方向ないし北西－南東方向の圧縮の力（応力）が働いている。このため、日本の内陸地殻内地震は、多くが逆断層型あるいは横ずれ型の地震であり、正断層型の地震は、九州等の一部の地域を除いてあまり見られない。

下) という。



(地震本部ウェブサイトより)

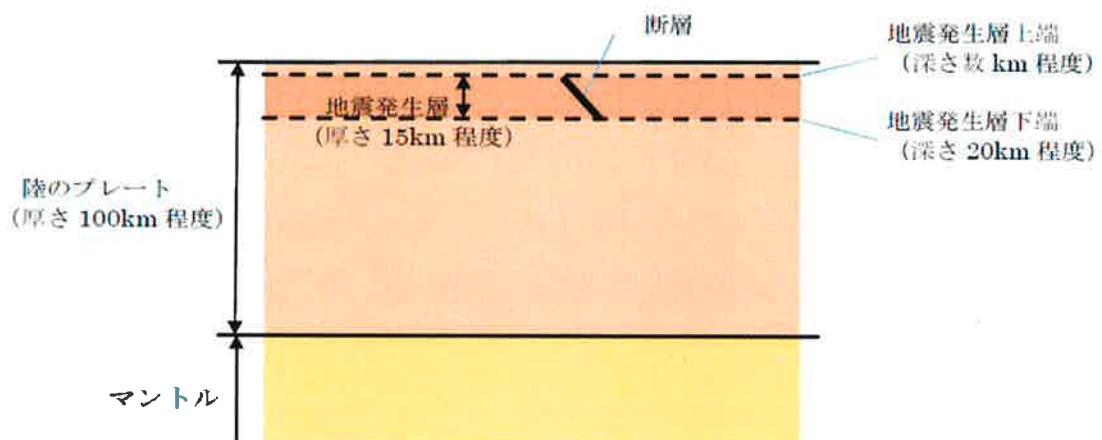
【別紙図表 1－5 断層運動のタイプ】

(3) なお、プレート間地震と内陸地殻内地震とでは、発生する地震の規模等にも差があるとされており、プレート間地震については、時としてマグニチュード8級に達する海溝型巨大地震が生起しているのに対し、内陸地殻内地震については通常マグニチュード7級どまりであるとされている（乙7）。

これは、プレート間地震が発生するプレートとプレートの境界では、ずれ動くことにより地震が発生する領域の面積が広く、大きなひずみが蓄積されるのに対して、内陸地殻内地震が発生するプレート内部では、ずれ動くことにより地震が発生する領域の面積が小さく、大きなひずみが蓄積されないことに起因すると考えられる。

すなわち、内陸地殻内地震は、岩盤がずれ動くことにより発生するものであるから、地震波を放出するためのエネルギー（ひずみ）が蓄えられる環境でな

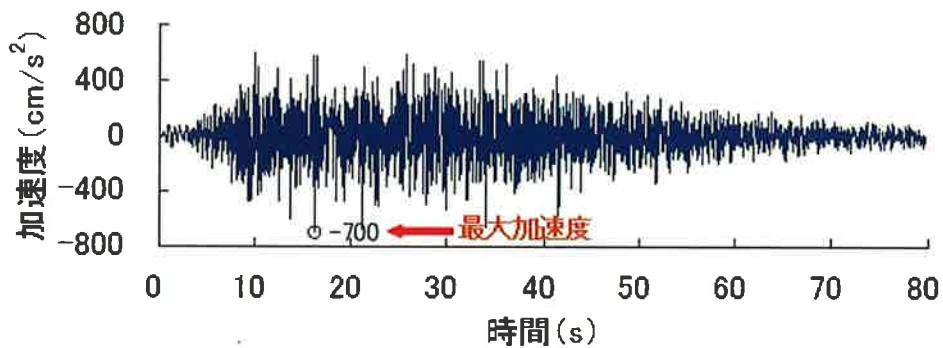
ければ発生しない。この点、「陸域では、地震を発生させるような硬さを持つ岩盤が存在するのは、せいぜい地下15～20km程度の深さまでで、それより深いところでは、岩盤に力がかからても急激な破壊は起こさず、ゆっくり変形してしまうと考えられて」おり、「陸域で発生する規模の大きな地震は、その震源が20km程度より浅くな」る（乙8、22頁右段、(2)第1段落）。他方、地表から深さ数km程度までの部分も、地震を発生させるような硬さの岩盤と比べて軟らかいため、ひずみを蓄えることができない。そのため、内陸地殻内地震が発生する深さは、プレート内部の厚さ15km程度の範囲に限られ、この範囲を地震発生層という（別紙図表1－6）。



【別紙図表1－6 内陸地殻内地震の地震発生層】

4 地震動と時刻歴波形

(1) ある地震によって放出された地震波が発電所敷地に達した際の時々刻々の地盤の揺れは、「時刻歴波形」によって表現される。時刻歴波形は、横軸に時間をとり、縦軸には加速度、速度又は変位をとる。債務者が用いているのは縦軸に加速度をとった「加速度時刻歴波形」である。（別紙図表1－7）



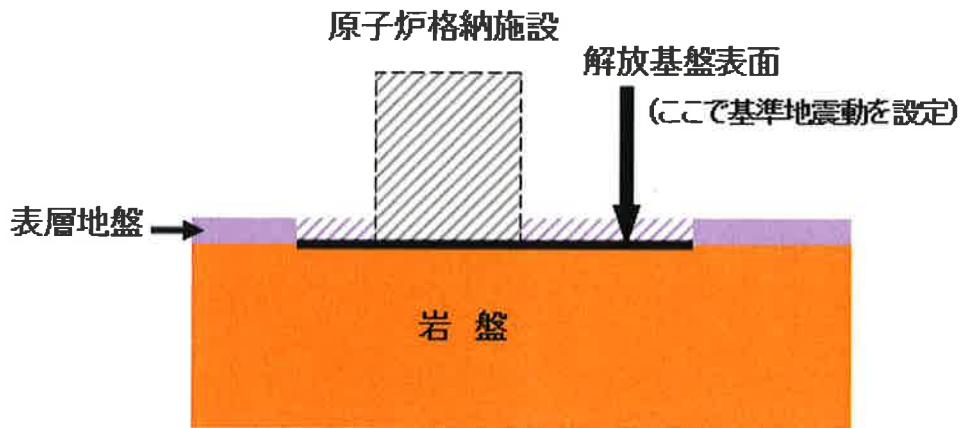
【別紙図表 1－7 加速度時刻歴波形の例】

(2) ここで、上記の「地盤の揺れ」とは、原子力発電所の基準地震動においては、解放基盤表面における揺れのことをいう。すなわち、基準地震動は、各々の原子力発電所ごとに、解放基盤表面における（水平方向及び鉛直方向の）地震動として策定される。

解放基盤表面とは、「基準地震動を策定するために、基盤面上の表層及び構造物が無いものとして仮想的に設定する自由表面であって、著しい高低差がなく、ほぼ水平で相当な拡がりを持って想定される基盤の表面」をいう。ここでいう上記の「基盤」とは、「おおむねせん断波速度 $V_s = 700\text{m/s}$ 以上の硬質地盤であって、著しい風化を受けていないもの」とされている（設置許可基準規則解釈別記2第4条5項1号、乙9、128頁）。

解放基盤表面の設定位置（深さ）は原子力発電所によって異なるが¹⁵¹、本件発電所においては、地表面付近に S 波速度 2.2km/s 程度の硬質な岩盤がほぼ均質に広がっていることから、原子炉格納施設直下に解放基盤表面を設定している（別紙図表 1－8）。

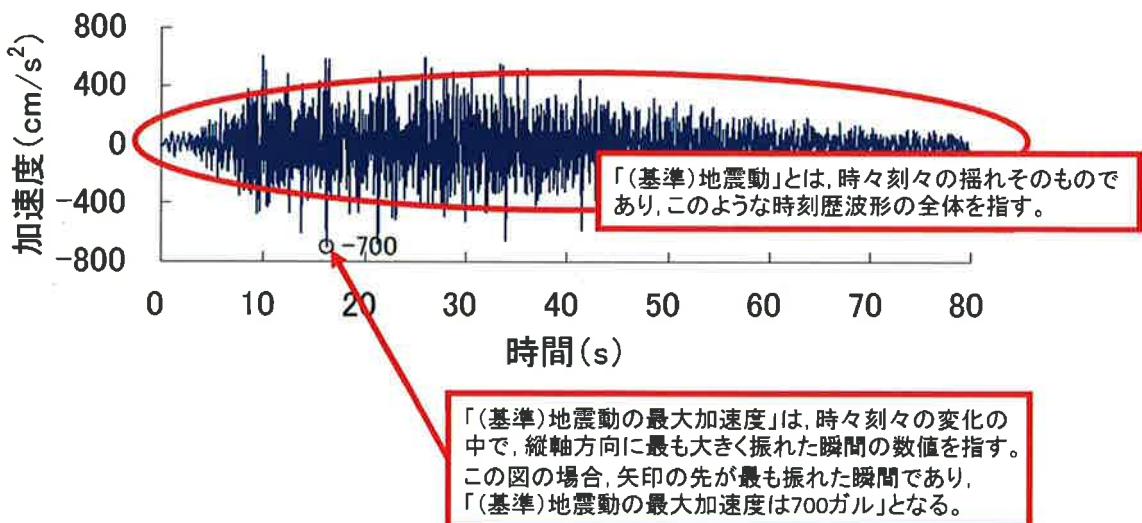
¹⁵¹ 例えば、柏崎刈羽原子力発電所では、地表面付近から深さ $150\sim300\text{m}$ 程度までは比較的軟らかい地盤が分布しており、解放基盤表面に該当する岩盤は、それ以深に存在している。なお、同発電所の解放基盤表面は、S 波速度 $700\text{m/s}\sim730\text{m/s}$ 程度の岩盤に設定されている。



【別紙図表 1－8 本件発電所の解放基盤表面の模式図】

(3) 上記(1)で述べた時刻歴波形において、基準地震動の最大加速度は、縦軸方向に最も大きく振れた瞬間の数値を指す。下記の別紙図表1－9の時刻歴波形（本件発電所の基準地震動Ss－1（水平方向）の時刻歴波形）では、揺れが始まってから15秒付近で瞬間に700ガルとなり、これがこの基準地震動における最大加速度となる。

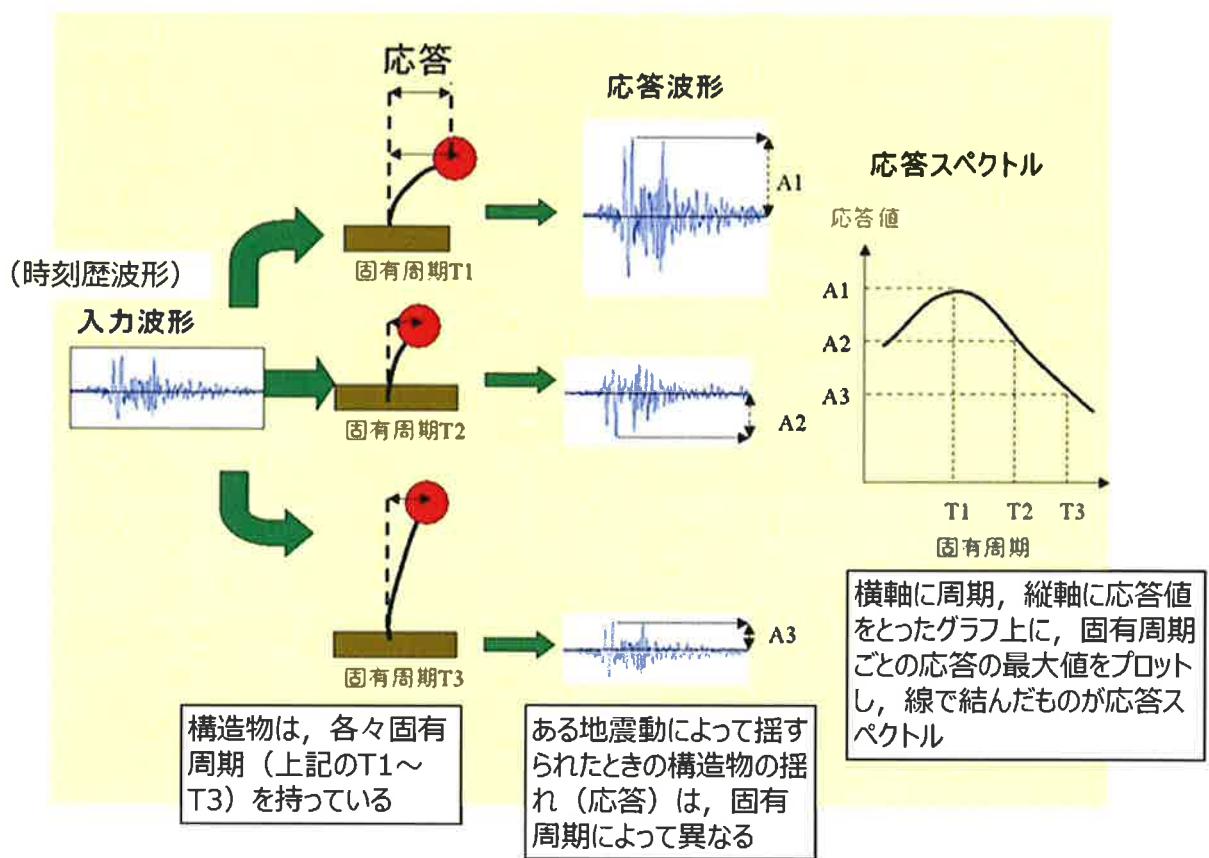
しかし、同図表から明らかなとおり、最大加速度を観測する時間の前後で数十秒間揺れが生じており、これらの揺れも原子力発電所に影響を与える。耐震安全性評価に用いる基準地震動は、この揺れ全体を指すのであり、「基準地震動の最大加速度」は、基準地震動の姿を評価するための数値の一つに過ぎない。



【別紙図表 1－9 基準地震動の時刻歴波形と最大加速度】

5 基準地震動と応答スペクトル

(1) 上記4で述べた時刻歴波形で表現される基準地震動は、短周期の波から長周期の波まで、様々な周期の波が含まれた複雑な波である。一方、建物等の構造物はそれぞれ特定の揺れやすい周期（固有周期）を持っている。そこで、原子力発電所の耐震安全性の評価にあたっては、ある一つの基準地震動の時刻歴波形が与えられた場合に、各々固有周期を持つ様々な構造物等が揺すられる際の加速度・速度・変位を、固有周期を横軸にとって並べた「応答スペクトル」（別紙図表1－10）を利用している。



（気象庁ウェブサイトに一部加筆）

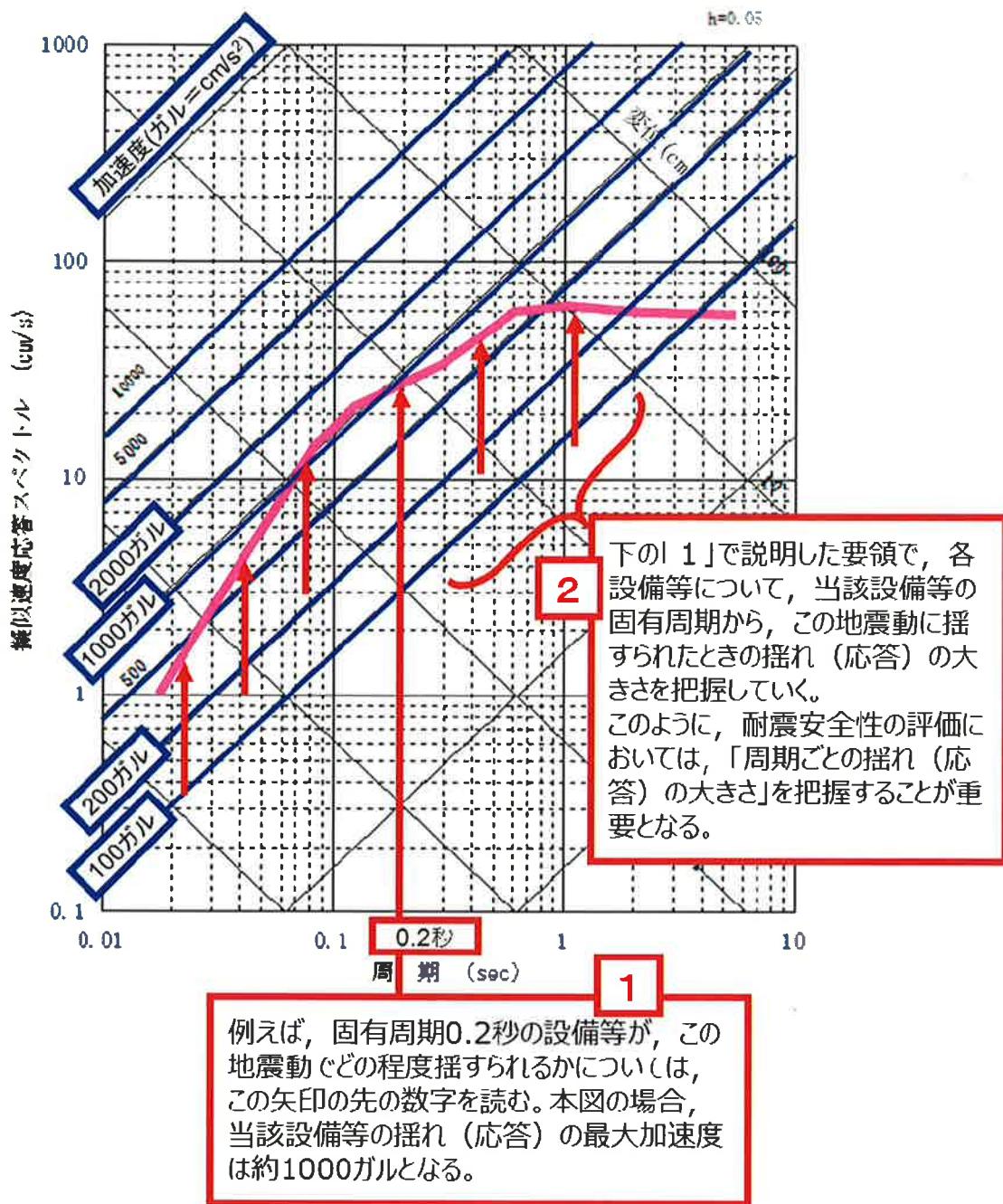
【別紙図表 1－10 応答スペクトル】

（2）応答スペクトルの一例を別紙図表 1－11 のとおり示す。横軸は構造物の固有周期（単位：秒(sec)）、縦軸は構造物の揺れの速度（単位：cm/s）、右上がりの斜線は構造物の揺れの加速度（単位：ガル=cm/s²）、右下がりの斜線は構造物の揺れの変位（揺れ幅、単位：cm）の目盛りである。同図のように、1枚の図で、構造物の揺れ（応答）の大きさとして、加速度、速度、変位それぞれの最大値が分かるようにしたグラフを「トリパタイト図」という。

例えば、固有周期0.2秒の設備等が、この地震動でどの程度揺すられるかについては、横軸の0.2秒のところから伸びる赤色の長い矢印の先の値を読む。この場合、当該設備等の揺れ（応答）の最大加速度は約1000ガルとなる。耐震安全性評価にあたっては、これと同じ要領で、各設備等について、当該設備等の固

有周期から、この地震動に揺すられたときの揺れ（応答）の大きさを把握していくことになる。

このように、原子力発電所の耐震安全性の確認にあたっては、各々固有周期を持つ建物等の構造物が、当該基準地震動によってどの程度揺すられるのかをこの「応答スペクトル」により把握すること、すなわち、応答スペクトル上の、周期ごとの揺れ（応答）の値の大小を読み取ることが重要となる。

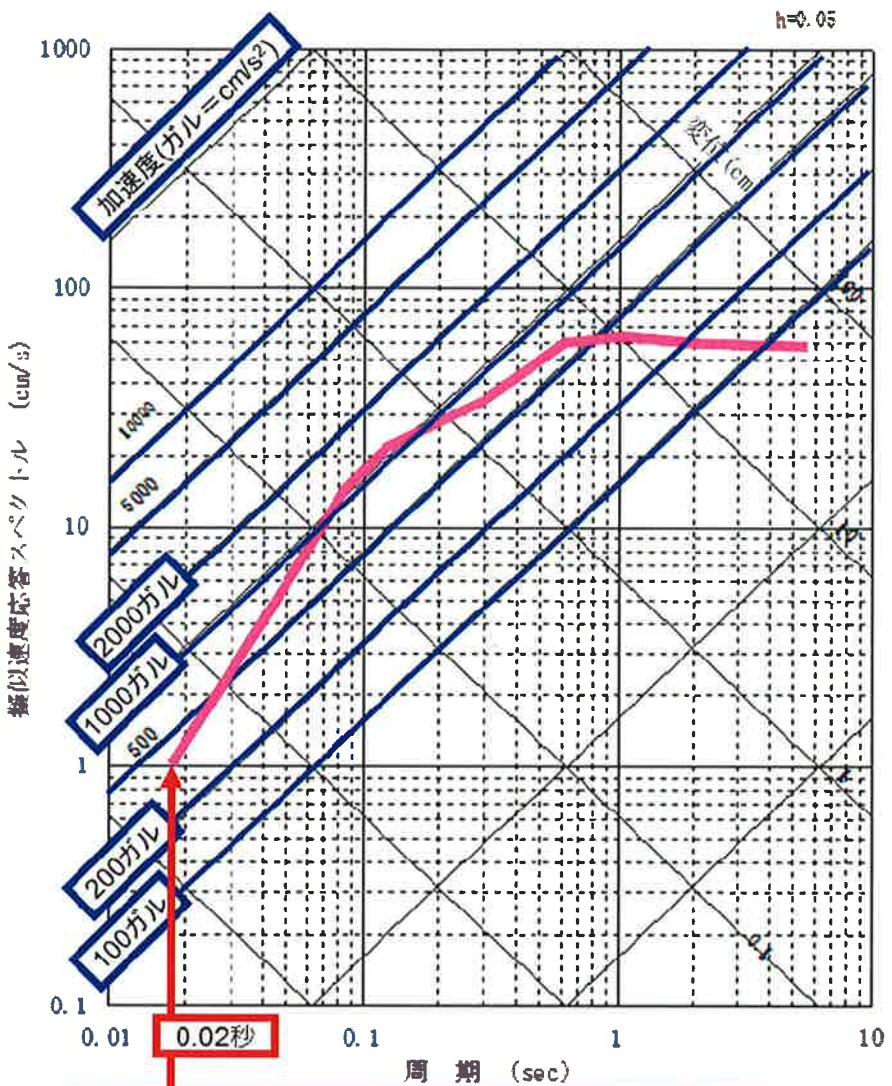


【別紙図表1－1－1 周期ごとの揺れ（応答）の値の読み取り】

(3) なお、上記のとおり、「基準地震動の最大加速度」は、評価対象となる発電所敷地における地盤（解放基盤表面）の揺れの最大加速度を意味し、別紙図表1－9の時刻歴波形においては縦軸方向に最も振れた瞬間として示されていたと

ころ、応答スペクトルにおいては、最も短い周期（別紙図表1－12の横軸の左端、周期0.02秒）での加速度の値とほぼ一致する。すなわち、応答スペクトルの一番短い周期（応答スペクトルの曲線の左端）での揺れは、極めて堅固な構造物の揺れを示しているところ、極めて堅固な構造物は、それが建っている地盤の揺れ（地震動）とほぼ一致した揺れを見せるため、この周期（一番短い周期）の加速度の最大値は、当該地震動の最大加速度とほぼ一致する。

基準地震動の最大加速度の値は、固有周期0.02秒の構造物等の最大応答加速度とほぼ一致するため、当該固有周期の構造物等の耐震安全性を評価するという点では意義を有しているが、原子力発電所全体の耐震安全性評価のためには、上記（2）で述べたとおり、応答スペクトル全体の、周期ごとの揺れ（応答）の値の大小を読み取ることが重要である。



地震動そのものの最大加速度は、この矢印の先、最も短周期側（周期0.02秒）の値を読む。本図の場合、この地震動の最大加速度は約400ガルとなる。例えば「基準地震動の最大加速度700ガル」「新潟県中越沖地震の1699ガル」といった値は、ここの値のことである。

【別紙図表1－12 基準地震動の最大加速度の読み取り】

別紙2：FO-A断層及びFO-B断層の調査・評価についての拡大図

別紙図表2-1 FO-B断層に関する調査結果（乙62、176頁の図）

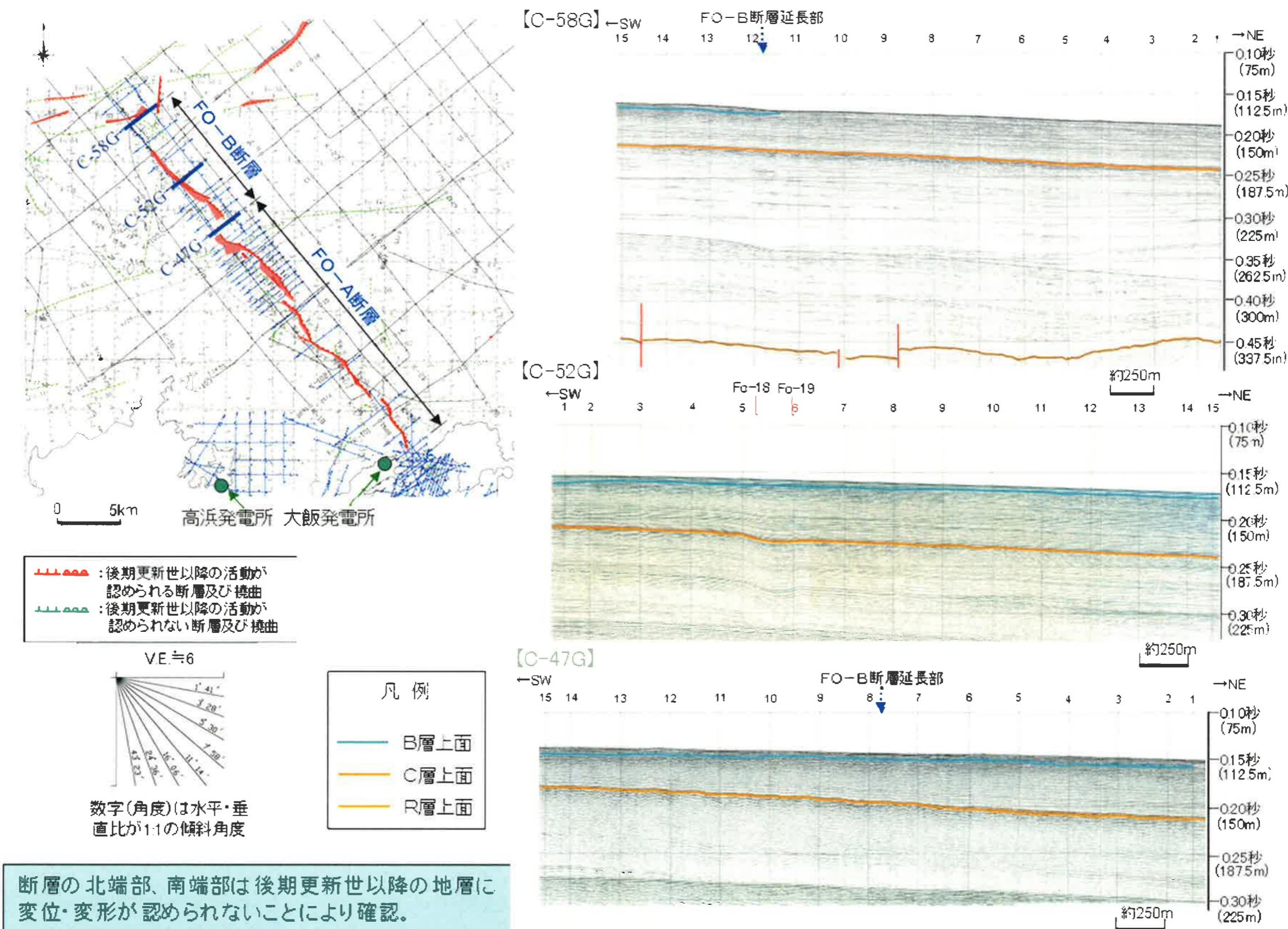
（第4章第1の2（3）アの図表19を拡大したもの）

別紙図表2-2 FO-A断層に関する調査結果（同172頁の図）

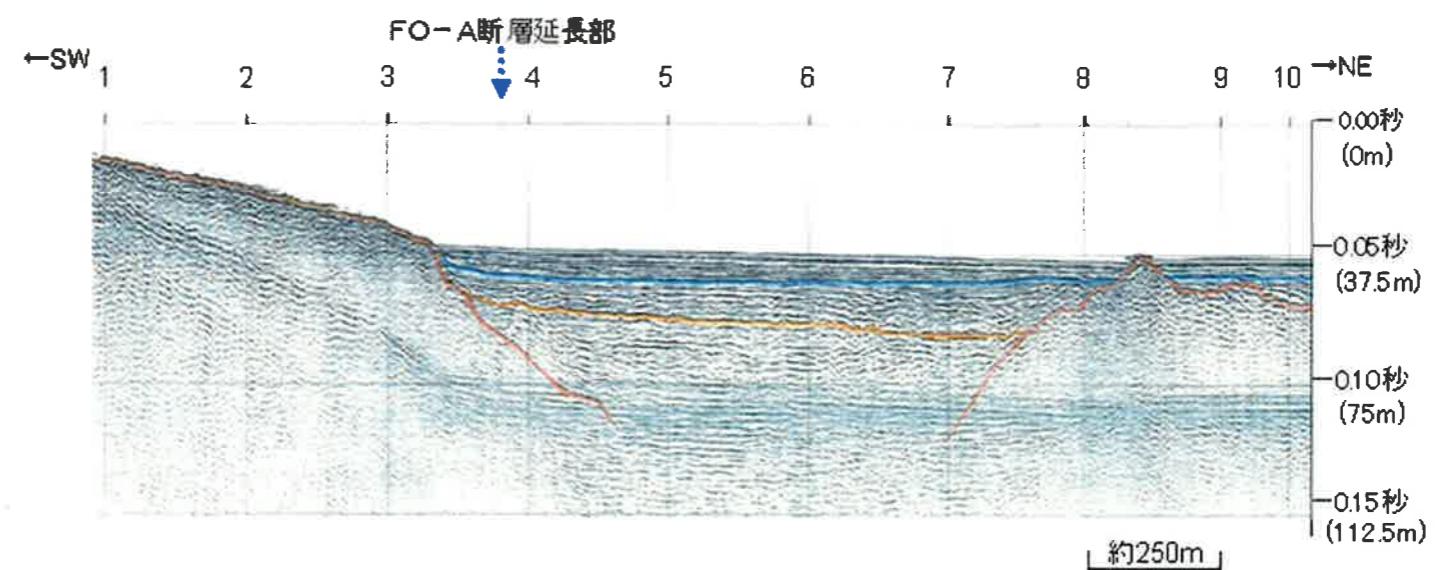
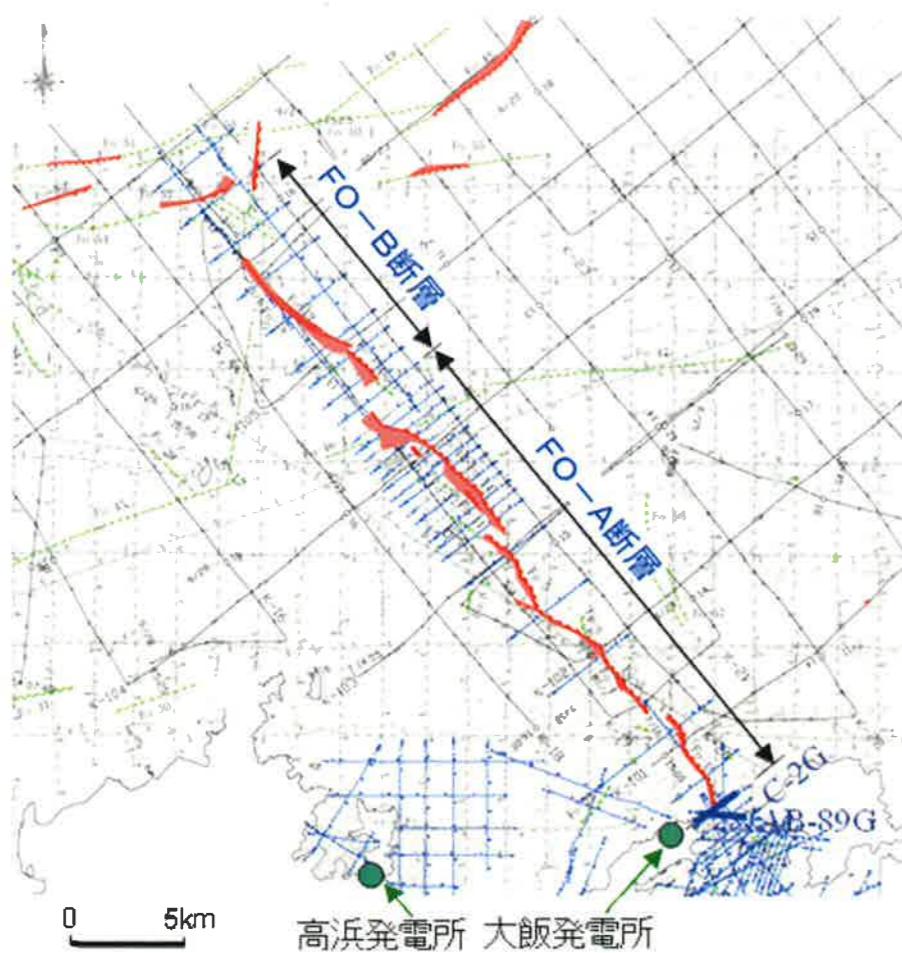
（同アの図表20を拡大したもの）

別紙図表2-3 FO-A断層及びFO-B断層の評価（同177頁の図）

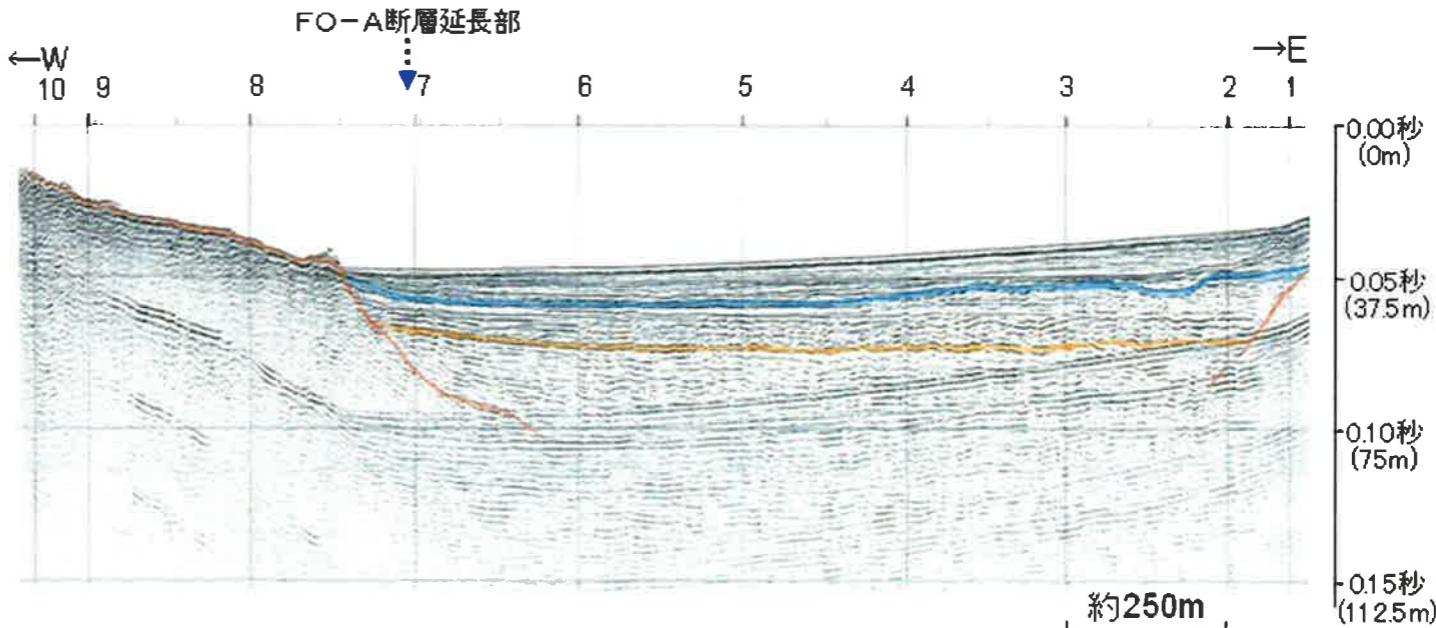
（同アの図表21を拡大したもの）



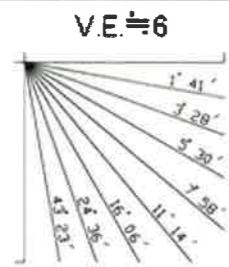
【別紙図表 2-1 FO-B断層に関する調査結果（乙62、176頁の図）】



【AB-89G (再処理後) Mig】



赤い線：後期更新世以降の活動が認められる断層及び摺曲
青い線：後期更新世以降の活動が認められない断層及び摺曲

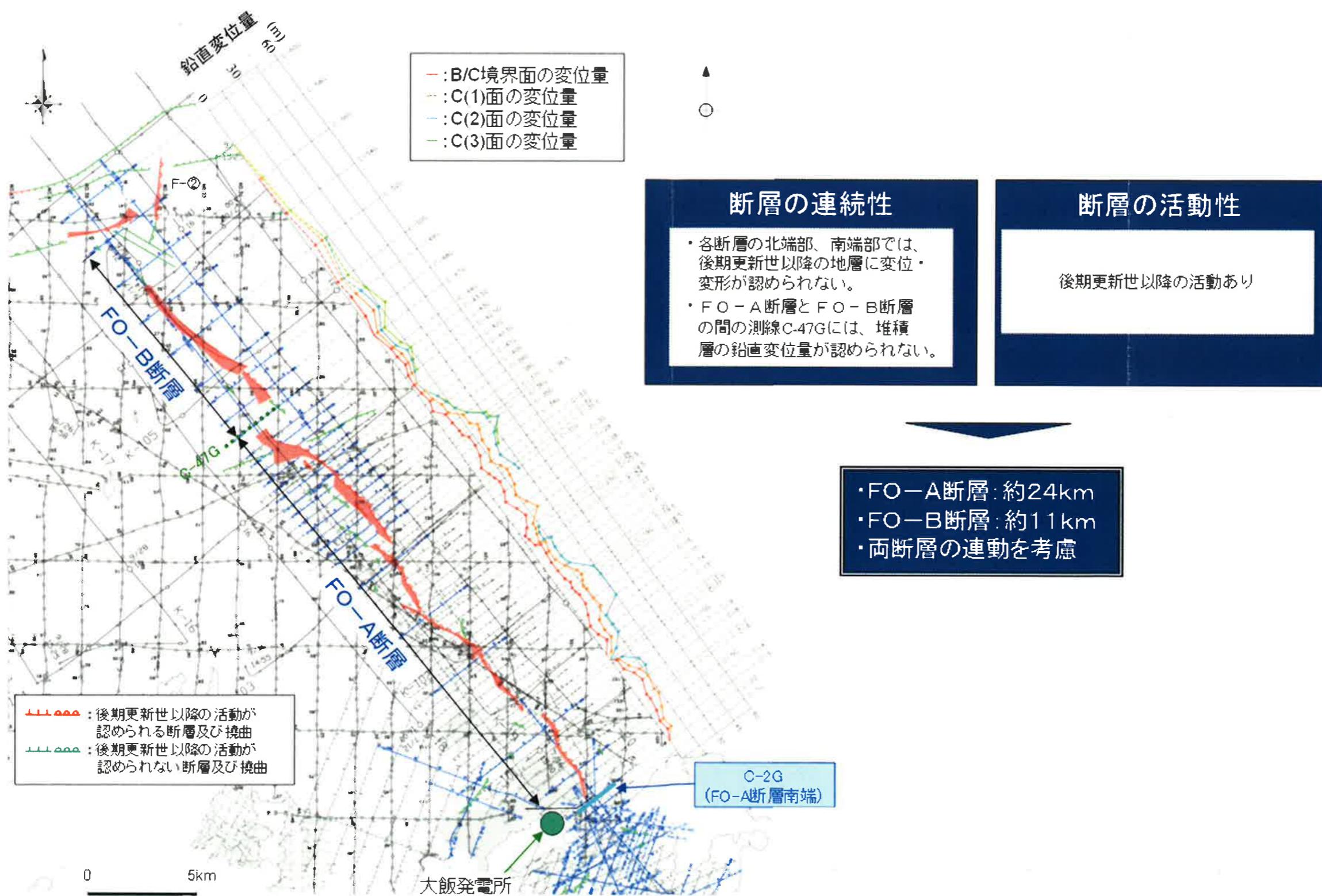


数字(角度)は水平・垂直比が1:1の傾斜角度

凡 例	
—	B層上面
—	C層上面
—	R層上面

断層の北端部、南端部は後期更新世以降の地層に変位・変形が認められることにより確認。

【別紙図表 2-2 F O - A 断層に関する調査結果 (乙62, 172頁の図)】



【別紙図表 2-3 FO-A断層及びFO-B断層の評価 (乙62, 177頁の図)】