

平成26年(ヨ)第31号

債権者 朴 羽衣子 外8名

債務者 関西電力株式会社

主張書面(1)

平成27年1月23日

福井地方裁判所民事第2部 御中

債務者代理人 弁護士 小 原 正 敏



弁護士 田 中 宏



弁護士 西 出 智 幸



弁護士 原 井 大 介



弁護士 森 拓 也



弁護士 辰 田 淳



弁護士 今 城 智 徳



弁護士 山 内 喜 明



弁護士 中 室 祐



目 次

第1章	はじめに	11
第1 序		11
第2 基本的事項・概念の説明		12
1 「地震」と「地震動」		12
2 地震発生様式による地震の分類		13
3 地震動に影響を与える特性		18
4 基準地震動と応答スペクトル		20
(1) 基準地震動.....		20
(2) 応答スペクトル.....		21
第2章	地震動評価手法の発展等と本件各発電所の基準地震動.....	26
第1	はじめに.....	26
第2	本件各発電所建設時の基準地震動 S_1 及び基準地震動 S_2 の策定	27
第3	地震動評価手法の発展と基準地震動の策定方法の高度化.....	28
1	兵庫県南部地震を契機とした知見の蓄積と地震動評価手法の著しい発展	28
2	基準地震動の策定方法の高度化と耐震バックチェックの実施.....	30
(1)	耐震設計審査指針の改訂	30
(2)	耐震バックチェックの実施に伴う本件各発電所の基準地震動 S_s の策定	33
(3)	兵庫県南部地震以降に発生した地震で得られた知見の反映.....	38
第4	東北地方太平洋沖地震及び福島第一原子力発電所事故を受けた「新規制基準」の施行とそれに伴う債務者の対応	41
1	「新規制基準」の施行	41
2	「新規制基準」に照らした大飯3, 4号機の「現状評価」の実施.....	43
3	本件各発電所の新たな基準地震動の策定	43

第3章 高浜3, 4号機の新たな基準地震動	44
第1 基準地震動の策定方針	44
第2 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動	45
1 敷地周辺の地震発生状況	45
2 敷地周辺の地質・地質構造調査	47
(1) 各種調査の実施	47
ア 文献調査	47
イ 変動地形学的な観点に基づく地形調査	47
ウ 地表地質調査等	48
エ 海上音波探査等	49
(2) 活断層の評価	50
3 検討用地震の選定	53
4 地下構造の調査・評価	53
(1) 地下構造の調査	54
(2) 若狭湾周辺地域の地震発生層の深さ（上端及び下端）の設定	56
(3) 地盤の速度構造（地盤モデル）の評価	58
5 検討用地震の地震動評価	59
(1) 応答スペクトルに基づく地震動評価	59
(2) 断層モデルを用いた手法による地震動評価	65
第3 震源を特定せず策定する地震動	77
1 「震源を特定せず策定する地震動」の位置付け	77
2 高浜発電所と「震源を特定せず策定する地震動」	78
3 「震源を特定せず策定する地震動」の評価	79
(1) はじめに	79
(2) 加藤ほか（2004）による応答スペクトル	79
(3) 審査ガイドに例示されている16地震	80

ア	Mw6.5 を基準とした区分	80
イ	Mw6.5 以上の 2 地震	82
ウ	Mw6.5 未満の 1 4 地震	83
第 4	基準地震動の策定	85
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	85
(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	85
(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	87
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	88
3	地震動評価における不確かさの考慮について	89
(1)	地震動評価を行う際に設定している「基本ケース」の保守性	89
(2)	保守性を持たせた「基本ケース」に加えての、不確かさの考慮	91
4	小括	92
5	基準地震動の年超過確率について	93
第 5	高浜 3, 4 号機の基準地震動に係る原子力規制委員会の審査	95
第 4 章	大飯 3, 4 号機の新たな基準地震動	97
第 1	基準地震動の策定方針	97
第 2	敷地ごとに震源を特定して策定する地震動	97
1	敷地周辺の地震発生状況	98
2	敷地周辺の地質・地質構造調査	99
(1)	各種調査の実施	99
ア	文献調査	99
イ	変動地形学的な観点に基づく地形調査	99
ウ	地表地質調査等	99
エ	海上音波探査等	100

(2) 活断層の評価.....	100
3 検討用地震の選定.....	103
4 地下構造の調査・評価	103
(1) 地下構造の調査.....	104
(2) 若狭湾周辺地域の地震発生層の深さ（上端及び下端）の設定.....	105
(3) 地盤の速度構造（地盤モデル）の評価	106
5 検討用地震の地震動評価	107
(1) 応答スペクトルに基づく地震動評価	107
(2) 断層モデルを用いた手法による地震動評価	111
第3 震源を特定せず策定する地震動	119
1 大飯発電所と「震源を特定せず策定する地震動」	119
2 「震源を特定せず策定する地震動」の評価	120
(1) はじめに.....	120
(2) 加藤ほか（2004）による応答スペクトル	120
(3) 審査ガイドに例示されている16地震	121
ア Mw6.5を基準とした区分.....	121
イ Mw6.5以上の2地震.....	121
ウ Mw6.5未満の14地震.....	122
第4 基準地震動の策定	123
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.....	123
(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	123
(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.....	125
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...	127

3	ここまでのまとめ	129
4	不確かさの組合せに関する追加検討	130
	(1) 地震動評価を行う際に設定している「基本ケース」の保守性	130
	(2) 不確かさの考慮に関する基本的な考え方	131
	(3) 不確かさの組合せに関する追加検討	132
5	小括	135
6	基準地震動の年超過確率について	138
第5	大飯3, 4号機の基準地震動に係る原子力規制委員会の審査	139
第5章	本件各発電所の「安全上重要な設備」の耐震安全性について	141
第1	はじめに	141
第2	「安全上重要な設備」の意義	141
第3	高浜3, 4号機の「安全上重要な設備」の耐震安全性評価	143
1	建物・構築物	143
	(1) 耐震安全性評価の方法	143
	(2) 地震応答解析モデルの構築	144
	(3) 耐震安全性評価結果	146
2	機器・配管系	147
	(1) 耐震安全性評価の方法	147
	(2) 耐震安全性評価結果	149
第4	大飯3, 4号機の「安全上重要な設備」の耐震安全性評価	150
1	建物・構築物	150
	(1) 耐震安全性評価の方法	150
	(2) 地震応答解析モデルの構築	151
	(3) 耐震安全性評価結果	151
2	機器・配管系	152
	(1) 耐震安全性評価の方法	152

(2) 耐震安全性評価結果	153
第5 本件各発電所の「安全上重要な設備」の耐震安全上の余裕	154
1 「安全上重要な設備」の耐震性が基準地震動による地震力に対して有する 余裕	154
2 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	157
3 ストレステスト	161
第6章 債権者らの主張の誤りについて	164
第1 地震ないし地震動の想定に係る科学の限界を強調する主張について...	164
1 過去のデータの少なさ等から、地震動の想定はおよそ不可能あるいは極めて 不確実なものであるかのように述べる債権者らの主張の誤り	164
2 本件各発電所敷地内の地震観測記録の有無を強調して、敷地及び敷地周辺 の地下構造の把握が困難になっているとする債権者らの主張の誤り	166
3 「震源を特定せず策定する地震動」に関する債権者らの主張は、本件各発 電所の事情を踏まえないものであること	167
第2 「既往最大」に関する主張について	169
1 岩手・宮城内陸地震における最大加速度 4022 ガルという観測値を本件各 発電所に援用することの誤り	169
(1) 地震動に影響を与える特性に係る地域性の違い、特に地盤の増幅特性 (サイト特性) の大きな差異を無視していること	169
(2) 岩手・宮城内陸地震における一関西観測点の観測記録は特異なものであ り、また、一般に、最大加速度の大きさが必ずしも構造物の被害に結びつ くものではないこと	171
2 新潟県中越沖地震時の柏崎刈羽原子力発電所における 1699 ガルという推 定値を本件各発電所に援用することの誤り	174
(1) 敷地の地盤特性に大きな差異があること	174
(2) 本件各発電所敷地深部の地下構造の把握は十分ではないとの債権者らの	

主張の誤り	176
第3 他の原子力発電所で基準地震動を超過した事例に関する主張について	177
1 基準地震動 S_s と基準地震動 $S_1 \cdot S_2$ の違い, 地震発生様式の違い, 地域性の違い等, 様々な相違を一切考慮せず同列に論じる債権者らの主張の誤り	177
2 基準地震動 S_s と基準地震動 $S_1 \cdot S_2$ とではその内実に大きな違いがあること	178
3 地震発生様式の違いや地域性の違いを無視して論じることの誤り	181
(1) 基準地震動の策定方針等において, 地震発生様式の違いによる別異の取扱いがなされていること	181
(2) 基準地震動を超過した事例において, 超過の原因として, 当該地点に固有の地域的な特性による影響が大きいと考えられていること	183
(3) 基準地震動の策定において地域性を考慮することはできないはずであるとの債権者らの主張の誤り	184
4 基準地震動を超過した事例において, 原子力発電所の安全上重要な施設の健全性に特段の問題が生じていないこと	186
第4 基準地震動は既往地震の「平均像」で策定されているものに過ぎないとの主張について	188
1 債権者らの主張内容	188
2 本件各発電所の基準地震動は, 過去の地震ないし地震動の単なる「平均像」で策定しているものではないこと	189
(1) 債務者が用いている地震動評価手法は, 過去の多数の地震ないし地震動の最も「標準的・平均的な姿」に関する知見をもとに, 当該地点の地震動に影響を与える特性に係る地域性を考慮する, 合理的なものであること	190
(2) 本件各発電所周辺においては, 地震動に影響を与える特性が過去の多数	

の地震の「標準的・平均的な姿」よりも大きくなるような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	192
(3) 債務者は、検討用地震の地震動評価において、保守的な条件で「基本ケース」を設定した上で、さらに様々な「不確かさの考慮」を適切に行っていること	192
(4) 各々の地震動評価手法に関する債権者らの理解の誤りについて	196
ア 応答スペクトルに基づく地震動評価について	196
イ 統計的グリーン関数法について	197
ウ 断層モデルを用いた手法による地震動評価について	198
第7章 結語	201

第1章 はじめに

第1 序

債務者の答弁書第5章第4の1で述べたとおり、原子力発電所の地震に係る安全確保対策においては、過去の記録の調査や詳細な現地調査等を適宜実施し、当該地点の地域的な特性を踏まえながら、原子力発電所敷地に到来し得る地震動の評価を適切に行うことが基礎となる。その上で、原子炉等の安全性を確保するために重要な役割を果たす「安全上重要な設備」が、全て、想定される地震動（による地震力）に対して耐震安全性を備える（機能喪失しない）ようにすることで、「安全上重要な設備」の地震による共通要因故障¹を防止し、もって、原子力発電所の地震に対する安全性を確保するのである。

このように、原子力発電所の耐震安全性を確保するためには、当該発電所敷地に到来し得る地震動の評価を適切に行うことが重要であるところ、かかる評価を行った上で、原子力発電所の耐震安全性を確保ないし確認するための基準として策定する地震動が「基準地震動」である。

債務者は、従来から、過去の記録の調査や詳細な現地調査等に基づいて高浜発電所3号機及び4号機（以下「高浜3，4号機」という）並びに大飯発電所3号機及び4号機（以下、「大飯3，4号機」といい、高浜3，4号機と大飯3，4号機を総称して「本件各発電所」という）の基準地震動を策定していたところ、今般、本件各発電所敷地及び敷地周辺の地下構造に係る追加調査結果等を踏まえ、債務者は、本件各発電所の基準地震動を、より保守的²で厳しいものとなるように見直し、不確かさの考慮についても新たなケー

¹ 共通要因故障とは、1つの原因で複数の機器が同時に故障することをいう。

² 安全性を高めるために厳しい評価を行う（例えば、本件各発電所敷地での地震動が大きくなる方向に評価する）ことを指して、しばしば「保守的（な評価）」「保守性（を持たせた評価）」等の表現が用いられる。本書面でもそのような意味で「保守的」「保守性」といった言葉を用いている。

スを追加するなどして、改めて基準地震動を策定した。

本書面は、この本件各発電所の新たな基準地震動について説明し、本件各発電所に到来し得る地震動の評価が十分に保守的で適切なものであることを述べるものである（第3章で高浜3，4号機について、第4章で大飯3，4号機について述べる）。その前提として、第2章で、地震動評価手法が発展してきた経緯等について述べる。さらに、第5章では、本件各発電所の「安全上重要な設備」の耐震安全性について説明し、「安全上重要な設備」の耐震性が、基準地震動による地震力に対して余裕を有することを述べる。その上で、第6章として、債権者らの主張の誤りを指摘する。

第2 基本的事項・概念の説明

本件各発電所の基準地震動について述べる前提として、必要な基本的事項・概念について、まず詳しく説明する。

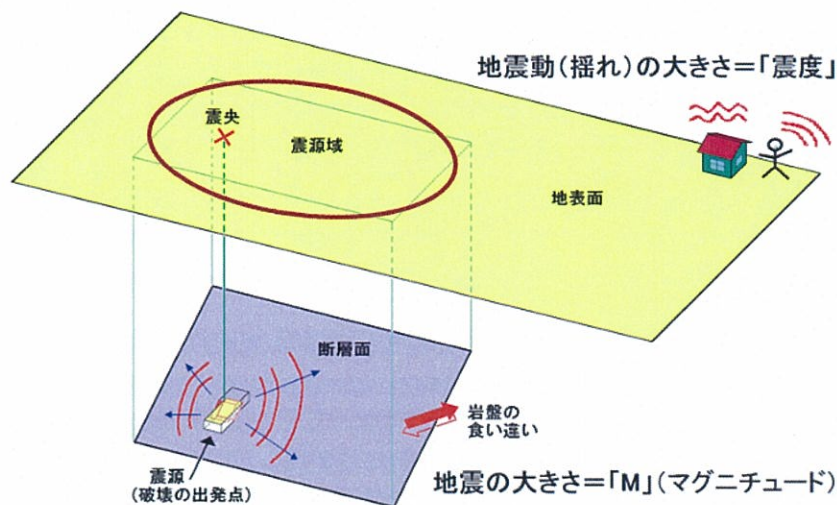
1 「地震」と「地震動」

「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³」であり（図表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

³ 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。

ガルは 1cm/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。



(独立行政法人防災科学技術研究所ホームページより)

【図表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

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。

地球の表面は、十数枚のプレートと呼ばれる岩盤の板で覆われており、その下にあるマントルの熱による対流が原因で年間数 cm～十数 cm 程度の速さで移動しているが、それぞれの動く方向が異なっているために、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しており、このプレートの運動により生み出される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とフィリピン海

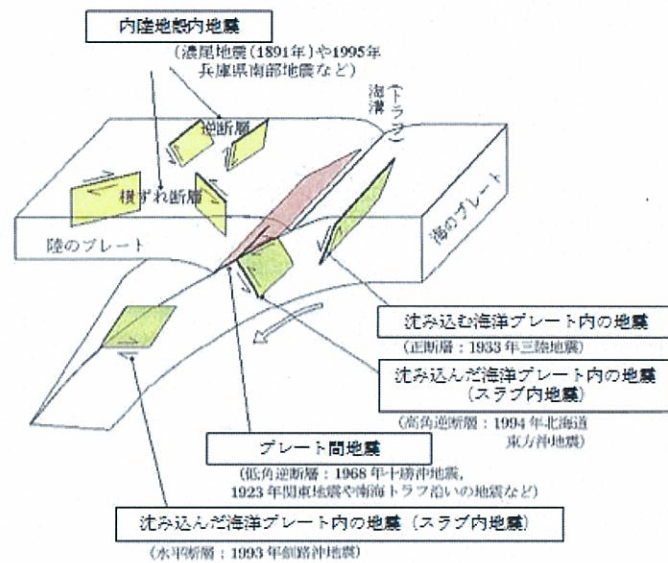
プレート及び陸のプレートであるユーラシアプレートと北米プレートがあるとされている（図表2）。

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⁴」という（図表3）。



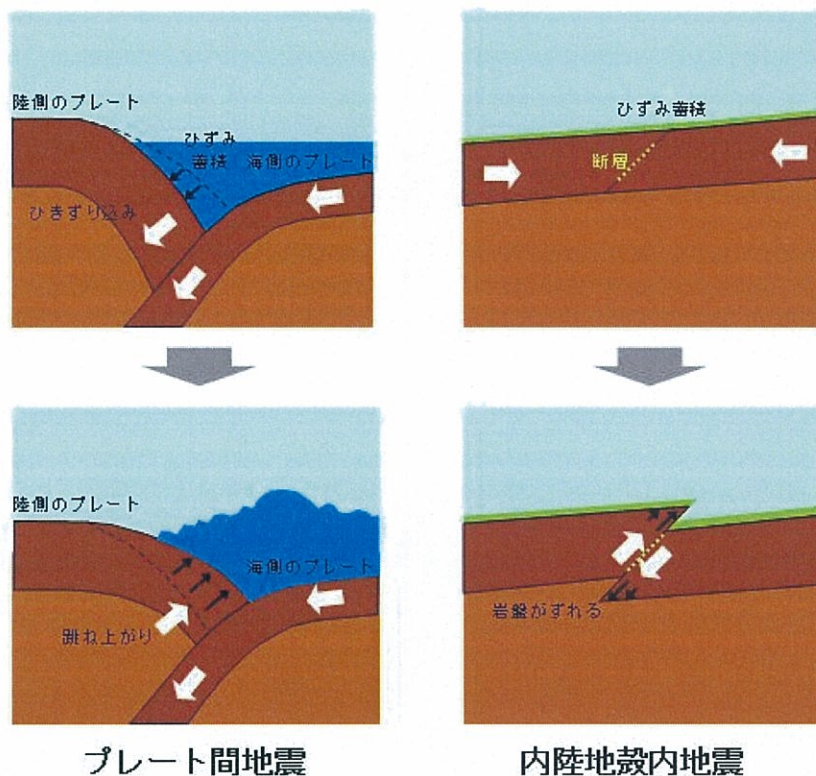
【図表2 日本列島周辺のプレート】

⁴ 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。



【図表 3 地震発生様式による地震の分類】

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(図表 4)。



プレート間地震

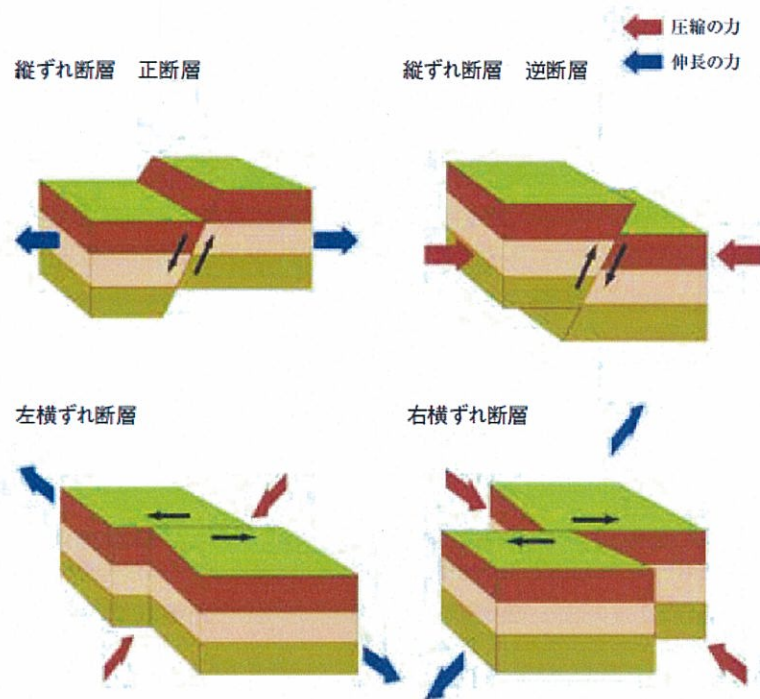
内陸地殻内地震

【図表 4 地震発生メカニズム】

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、内陸地殻内地震は、陸のプレートが周囲から力（プレート同士の圧縮力）を受けることによって岩盤内部にひずみが蓄積され、岩盤内でずれを生じさせる力が増大していくが、それが限界に達する（増大した力が岩盤の破壊強度を超える）ことで、ある面を境に岩盤がずれ動くこと（断層運動）により生じるものである。

この断層運動には、岩盤が破壊されてずれが生じる面（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（図表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の上に乗っている岩盤（上盤）がずり下がる場合を「正断層」（図表5，左上）⁵、上盤がのし上がる場合を「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、断層線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，右下）という。

⁵ 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、一部の地域を除いてあまり見られない。



【図表 5 断層運動のタイプ】

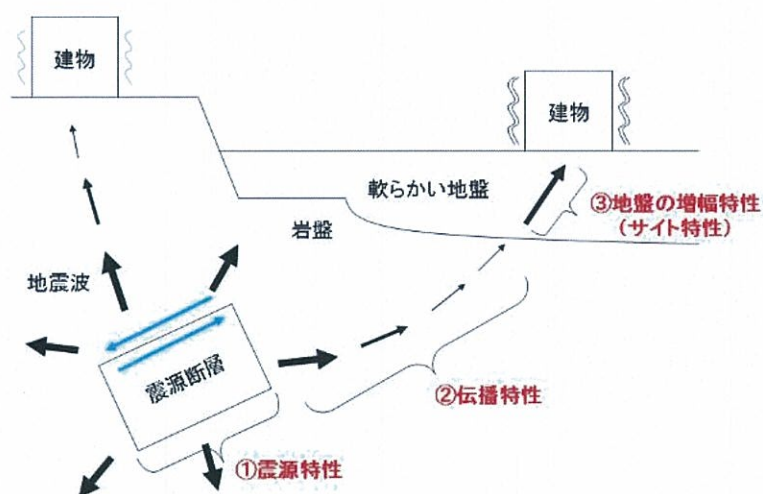
なお、独立行政法人防災科学技術研究所の説明によると、プレート間地震と内陸地殻内地震とでは、発生する地震の規模等にも差があるとされており、プレート間地震については、時としてマグニチュード8級に達する海溝型巨大地震が生起しているのに対し、内陸地殻内地震については通常マグニチュード7級どまりであるとされている（乙14、「地震の基礎知識とその観測」「第1部地震の基礎知識」「4.2 地震の発生様式と火山」）⁶。

これは、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大きいのに対して、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いことに起因すると考えられる。

⁶ 甲48号証11頁においても、プレート間地震は「震源の規模を示すマグニチュードMが八クラスとなることがよくあり、強い揺れをもたらすだけでなく、海底を大きく変動させるために、大津波を引き起こす」のに対し、内陸地殻内地震の規模は「M七クラスとプレート境界で発生する被害地震に比べ一段小さいのが普通である」とされている。

3 地震動に影響を与える特性

地震動とは、特定の地点における地盤の揺れのことであるが、特定の地点における地震動がどのようなものになるかは、①地震の震源特性、②地震波の伝播特性、及び③地盤の増幅特性（サイト特性）によって大きく影響を受ける（図表 6，甲 48，72 頁）。



【図表 6 地震動に影響を与える特性の模式図】

地震は、地下の岩盤が周囲から力を受けることによってある面（震源断層面）を境として破壊する（ずれる）現象であり、ある点（破壊開始点）からはじまった破壊が震源断層面を伝播していき、地震波（P 波、S 波⁷）が逐次放出される。この震源から放出される地震波の性質（振幅、周期特性等）は、震源断層面の大きさ、震源断層面の破壊の仕方（破壊伝播方向、破壊伝播速度⁸等）等によって決まる。このような震源に関する特性を、①震源特性という。

⁷ P 波、S 波とは、地震波の一種である。地盤中では、縦波（波の進行方向と振動方向が同じ波）と横波（波の進行方向と振動方向が直角になる波）の 2 種類の地震波が伝わる。縦波を P 波、横波を S 波と呼び、P 波は S 波よりも速い。また一般に、P 波、S 波の速度は地盤の固さに応じて変化し、地盤が固いほど速度は速くなる（本書面末尾の脚注図表 1 を参照）。

⁸ 破壊伝播速度とは、断層の破壊開始点から、破壊が震源断層面上を広がっていく速さのことをいう。破壊伝播速度が上がると、短い時間で震源断層上の破壊が完了するため、より短い時間に多くの地震波が評価地点に到達することとなり、当該地点により大きな地震動をもたらすことになる。

また、震源断層面から放出された地震波は、震源からの距離（伝播していく距離）とともにその振幅を減じながら地下の岩盤中を伝播していく。この伝播に関する特性を、②伝播特性⁹という。

さらに、建物等の構造物周辺の地盤まで伝播してきた地震波の振幅は、地盤の速度構造¹⁰の影響を受ける。例えば、固い地盤（地震波の伝播速度が速い）から軟らかい地盤（地震波の伝播速度が遅い）に伝わる際には、地震波の振幅が増加することから、軟らかい地盤上の地点では、固い岩盤上の地点に比べて大きな揺れ（地震動）になる（地震動の増幅）（甲 50, 135 頁）。岩盤上の観測地震波と軟弱地盤上の観測地震波とを比較すると、その大きさに数倍程度の差が生じる場合もある¹¹。このような建物等の構造物周辺の地盤での特性を、③地盤の増幅特性（サイト特性）という。

地震動の想定においては、以上のような、地震動に影響を与える特性である、①震源特性、②伝播特性、③地盤の増幅特性（サイト特性）が重要な考慮要素となる。そして、①震源特性は、地震発生様式、当該地域で地震が発生する領域（地震発生層）の深さや幅、岩盤の固さ等の性質、震源断層面の大きさや震源断層面の破壊の仕方（破壊伝播方向、破壊伝播速度¹²等）等、各々の地震によって異なり、また、地震により発生する地震波の伝わり方（②伝播特性、③地盤の増幅特性（サイト特性））は、各々の伝播経路や地表付近の地盤（の地下構造の性質等）の影響によって異なり、これらの特性には地域性が存在する。つまり、特定の地点における地震動を想定するには地域性の考慮が不可欠なのであり、原子力発電所敷地に到来し得る地震動についての検討、評価等を行う

⁹ ③地盤の増幅特性（サイト特性）のことも含めて、地震波の伝播特性と呼ばれることがある。

¹⁰ 地盤には固い地盤や軟らかい地盤があるが、一般的に深くなるほど固くなる。また、地震波（P 波、S 波）は固い地盤では速く、軟らかい地盤では遅く伝播する。速度構造とは、これらの地震波の伝播速度の、地盤における分布状況のことをいい、通常、地盤の地質・地質構造（脚注 45 を参照）等による影響を受ける。一般的に、地震波が地中深くの固い岩盤から地表の軟らかい地盤へ向かって伝わる時、地震波の振幅は大きくなっていく。

¹¹ 本書面末尾の脚注図表 2 を参照。

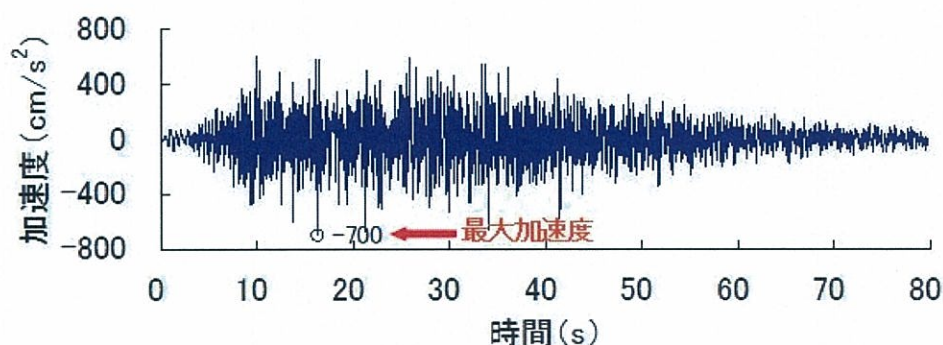
¹² 脚注 8 を参照。

に際しても、当該原子力発電所の敷地周辺における地震発生様式、地震発生層の深さや幅、震源断層の規模、伝播経路の減衰特性、敷地周辺の地盤の固さや地下構造等に関する調査や評価を実施し、地域性の違いを十分に考慮することが必要不可欠なのである。

4 基準地震動と応答スペクトル

(1) 基準地震動

原子力発電所の耐震安全性を確保ないし確認するための基準として策定する地震動が「基準地震動」である。基準地震動は、加速度等の大きさを単一の数値で表したものではなく、時々刻々の地盤の揺れ（動き）そのものをいう。図表7は、そのような地盤の揺れ（動き）を、時々刻々の加速度の変化に着目して表した「加速度時刻歴波形」である¹³。



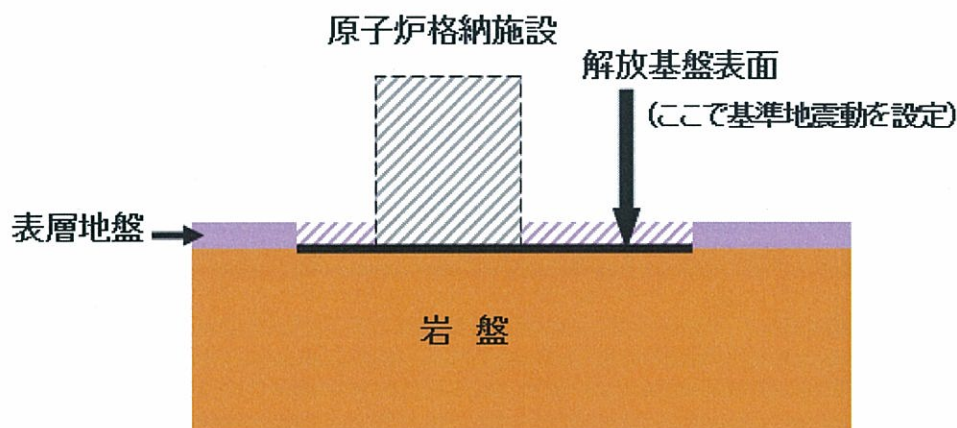
【図表7 基準地震動の加速度時刻歴波形の例】

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ものである。解放基盤表面を簡

¹³ 地震によって地盤が揺れる場合、地盤中の一点は時々刻々とその位置を変化（＝「変位」）させ、その変位する「速度」も時々刻々と変化する（すなわち、「加速度」（マイナスの加速度も含む）を生じている）。さらには、その「加速度」も時々刻々と変化している。加速度時刻歴波形は、地震動における、そのような時々刻々の「加速度」の変化を表すものである。なお、「加速度」「速度」「変位」の関係については、脚注18を参照。

単に説明すると、固い岩盤（基盤）が、一定の広がりをもって、その上部に地盤や建物がなくむき出しになっている状態のものとして仮想的に設定される表面のことである。すなわち、上部の地盤や建物の振動による影響を全く受けない状態を仮想的に設定した、一定の広がりを持つ岩盤の表面のことをいう。

解放基盤表面は、一般に、内部を伝わるS波速度が0.7km/sより速い、固い岩盤に設定される。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り、例えば、東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所では、地下100mを超える深さに設定されているが¹⁴、本件各発電所においては、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（図表8）。



【図表8 本件各発電所の解放基盤表面の模式図】

（2）応答スペクトル

地震動は、短周期の波から長周期の波まで、様々な周期¹⁵の波が含まれた

¹⁴ 柏崎刈羽原子力発電所では、地表面付近から深さ150～300m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700m/s～730m/s程度の岩盤に設定されている。

¹⁵ 振動（揺れ）の様子を波形で表した際、同一の状態が繰り返される間に経過する時間を、振動の周期

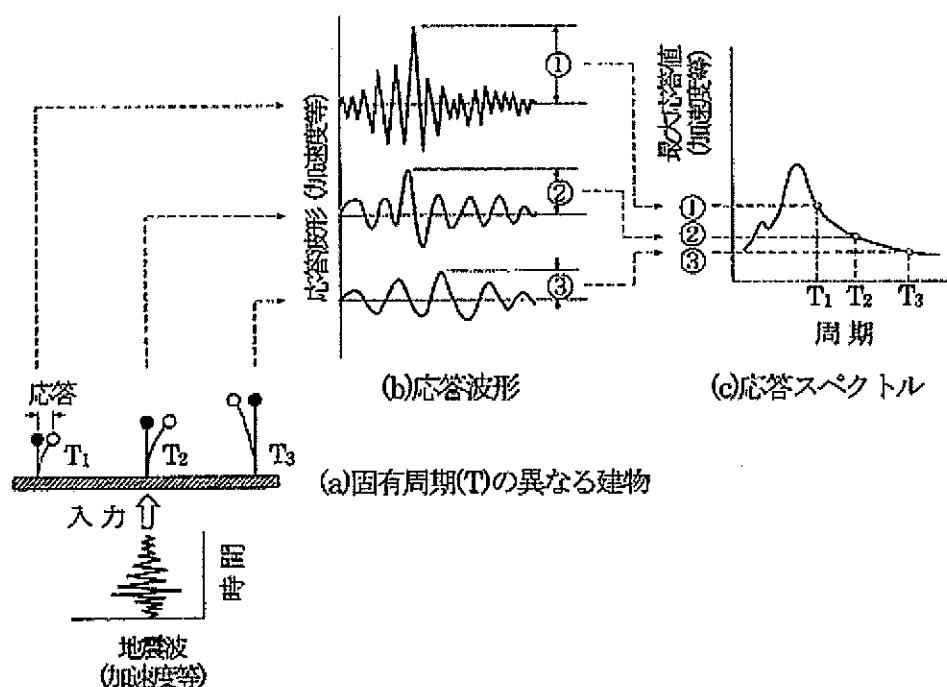
複雑な波である¹⁶。一方、建物等の構造物は、それぞれ特定の揺れやすい周期（固有周期）を持っている¹⁷。そこで、ある地震動に対する構造物の揺れを把握するために「応答スペクトル」が利用される。

「応答スペクトル」とは、ある地震動が、固有周期を異にする種々の構造物に対して、それぞれどの程度の大きさの揺れ（応答）を生じさせるかを、縦軸に加速度や速度等の最大応答値、横軸に固有周期をとって描いたものをいう（図表 9）。「応答スペクトル」により、構造物の固有周期が分かれば、その地震動によって当該構造物に生じる揺れ（応答）の大きさを把握できるのであり、地震動の特徴（その地震動がどの周期帯の構造物を大きく揺らすか）は、この「応答スペクトル」により分かりやすく示されるものである。

という（単振動の周期につき本書面末尾の脚注図表 3 を参照）。

¹⁶ 一見複雑な地震動（の時刻歴波形）も、実はいろいろな周期と振幅を持った単振動（単純な波形）が寄せ集まったものであり、多くの単振動（単純な波形）に分解できる（甲 50, 84 頁）。

¹⁷ 構造物には、それぞれの構造等によって決まる固有周期（当該構造物が一揺れするのに要する時間）があり、その構造物の固有周期と一致する周期の揺れが加わると当該構造物は共振により大きく揺れるが、固有周期以外の周期の揺れが加わっても構造物の揺れへの寄与は小さい（つまり、最大加速度の大きな地震動の方が必ずしも全ての構造物に対して大きな揺れをもたらすとは限らない）。一例として、平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震（以下、「東北地方太平洋沖地震」という）の際に、長周期地震動の影響を大きく受けた近畿地方では、固有周期が長周期である高層ビルは大きく揺れ、固有周期が短周期である低層建築物の揺れは小さかった。



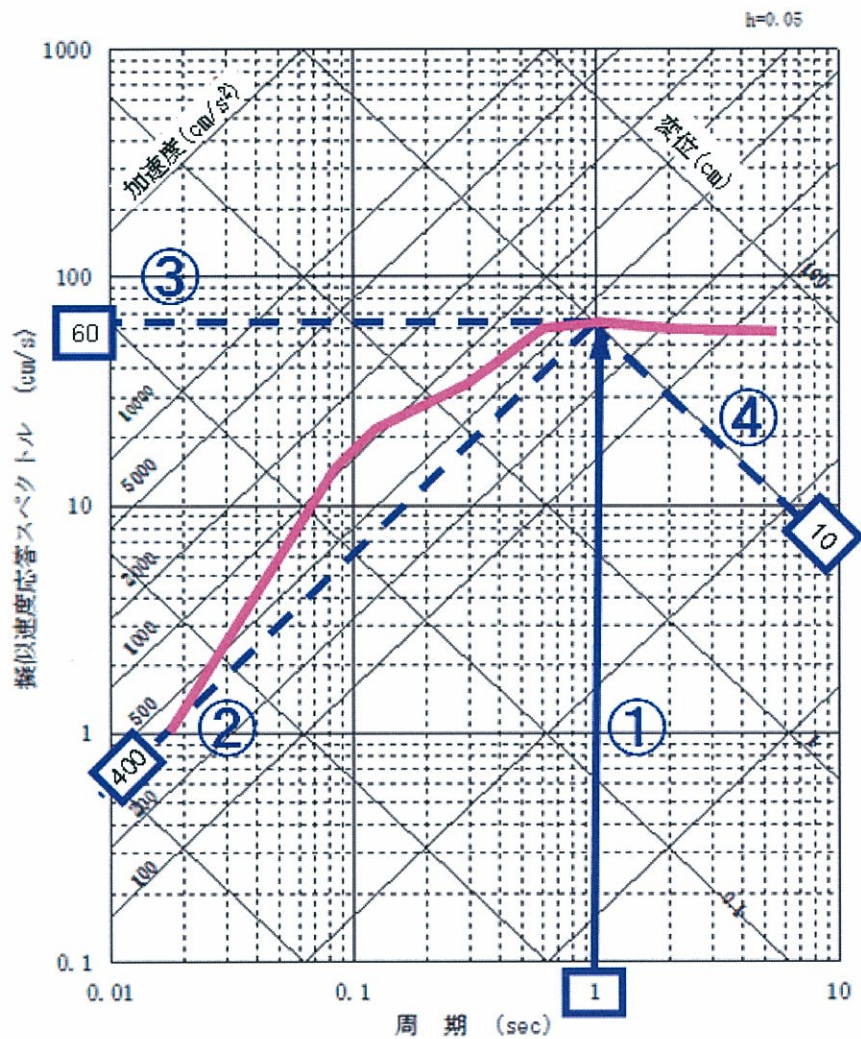
【図表 9 応答スペクトルの模式図】

上記のとおり、「応答スペクトル」は、地震動の特徴を示すグラフであり、建物等の構造物の固有周期が分かれば、その地震動によって当該構造物に生じる揺れ（応答）の大きさ（加速度、速度、変位¹⁸）を把握できるものである。

そして、実際には、図表 10 のように、1 枚の図で、構造物の揺れ（応

¹⁸ 「加速度」「速度」「変位」の関係を、車を例にとつて説明する。例えば、直線道路上に 100m 離れた A 点と B 点とがあり、車が A 点から B 点まで走行するのに 5 秒かかったとする。この場合、車は A 点から B 点へ位置を変えているが、このような位置の変化を「変位」という。ここでの変位は 100m である。また、この車は 5 秒で A 点から B 点へ 100m の変位をしているので、1 秒当たりの変位は毎秒 20m (20m/s) である。このように 1 秒ごとに変位する割合が「速度」である。次に、実際には、A 点から B 点まで走行する間に車が加速していて、A 点を通る際には毎秒 15m (15m/s) の速度であったのが、B 点を通るときには毎秒 25m (25m/s) の速度になっていたとする。この場合も平均すれば同じく毎秒 20m (20m/s) の速度である。しかし、A 点から B 点へ移動する 5 秒の間に、速度は毎秒 15m (15m/s) から毎秒 25m (25m/s) に、その差毎秒 10m (10m/s) だけ増加している。5 秒の間に毎秒 10m (10m/s) の速度の増加であるから、1 秒間に速度がどれだけ変化したかを計算すると、毎秒・毎秒 2m (2m/s²) の割合である。毎秒 0m という速度が毎秒変化するのであるから、毎秒・毎秒 Δm と「毎秒」が 2 つ重なることになる。このように毎秒の (1 秒当たりに) 速度が変化する割合を「加速度」という。毎秒・毎秒 1cm の加速度 (1cm/s²) が 1 ガルであり、上記の車の毎秒・毎秒 2m (2m/s²) は 200 ガルの加速度ということになる。(以上につき、甲 50、49～52 頁を参照)

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（「トリパタイト図」という）が利用されることが多い。この図表 10 の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/s^2 ），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。



【図表 10 トリパタイト図による応答スペクトルの例】

ここで、この図表 10 を用いて、一例として、固有周期が 1 秒の構造物に、図表 10 の紫色の曲線（応答スペクトル）で示される周期特性を有する地震

動が到来した場合の、構造物の揺れの加速度の最大値の読み方について説明する。

構造物に生じる揺れの加速度の最大値については、横軸の周期 1 秒（「1sec」）から、紫色の曲線との交点まで上がり（①）、その交点が右上がりの斜線が目盛りでいくつになるかを読むことになる（②）。この場合、200 ガル（ cm/s^2 ）の線と 500 ガルの線の間の、約 400 ガルとなることが分かる。すなわち、周期 1 秒の構造物は、この地震動に揺らされることで時々刻々に様々な揺れを見せるが、その揺れの加速度が最大で約 400 ガルになることを示している（参考までに、構造物に生じる揺れの速度及び変位についても、加速度の場合と同様に、交点から縦軸の数字を読むと（③）、速度の最大値は約 60 cm/s と分かり、右下がりの斜線が目盛りを読むと（④）、変位の最大値は約 10 cm と分かる）。

このようにして、応答スペクトルにより、ある地震動が与えられたときの、当該地震動に対する構造物ごとの揺れ（応答）の大きさを把握することができるのである。

なお、以上のような構造物の揺れではなく、地盤そのものの揺れ、すなわち地震動の最大加速度をこの応答スペクトルのグラフから読み取ることもしできる。具体的には、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。この図表 10 の場合、紫色の曲線の左端、周期 0.02 秒が一番短い周期である（横軸の左端「0.01」秒のすぐ右側の、縦の点線が周期 0.02 秒の線である）。前述の読み方で加速度を読むと、この周期の加速度の最大値は約 400 ガルと分かるため、この地震動の最大加速度は約 400 ガルということになる。

第2章 地震動評価手法の発展等と本件各発電所の基準地震動

第1 はじめに

地質学，地震学，地震工学等の分野における調査研究は従来から不断に行われており¹⁹，本件各発電所の建設時においても，既に，特定の地点に到来し得る地震動の評価，すなわち基準地震動の策定に関して，一定の方法が確立されていたところである。

さらに，本件各発電所の建設以降も，これらの研究分野において新たな知見が蓄積され，そのような新たな知見や技術の進歩等をもとに，震源となる活断層²⁰の調査手法や地震動評価²¹の手法等がより一層高度化されるなどしている。特に，平成7年（1995年）兵庫県南部地震（内陸地殻内地震・マグニチュード7.3）（以下，「兵庫県南部地震」という）は，原子炉施設に特段の影響を及ぼしたものではなかった²²が，関連する調査研究の成果等を通じて，断層の活動様式，地震動に影響を与える特性，構造物の耐震性等に係る知見が得られることとなり，同地震を契機として，地震動評価手法が，「震源特性」並びに地下構造による地震波の「伝播特性」及び「地盤の増幅特性（サイト特性）」を，詳細な調査に基づき，地域性を踏まえて詳細に考慮するよう発展した。

債務者は，本件各発電所の建設以降も，適宜，上記のような新たな知見，技術の進歩等を考慮した検討，評価等を行っており，本件各発電所の耐震安全性が確保されていることを確認しているところである。

¹⁹ 我が国では，明治24年（1891年）濃尾地震をはじめとして，100年以上の間，地震災害を記録し，被害を軽減するために研究が続けられている（甲48，ii頁）。

²⁰ 地震発生の際，岩盤が破壊される面を震源断層面といい，一旦破壊が生じて断層ができると，ひずみが蓄積される度に同じ場所で破壊が起こりやすくなる。過去に活動（破壊）を繰り返し，今後も活動する可能性がある断層（つまり，過去の地震の痕跡であり将来の地震の震源となり得るもの）を活断層と呼ぶ。

²¹ 地震動評価とは，震源の位置や規模等を設定して特定の地点の地震動を計算することをいう。

²² 兵庫県南部地震による若狭湾周辺の最大加速度観測値につき，本書面末尾の脚注図表4を参照。

本章においては、本件各発電所建設時の基準地震動の策定、及びその後の地震動評価手法の発展等と、それに伴う債務者の対応に関して説明する。

第2 本件各発電所建設時の基準地震動 S_1 及び基準地震動 S_2 の策定

債務者は、本件各発電所の建設時には、本件各発電所敷地周辺について、文献調査、空中写真判読²³、現地調査等による活断層調査を実施した上で、当時の「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」²⁴（以下、「耐震設計審査指針」という）に照らし、本件各発電所の耐震設計のための基準地震動として、設計用最強地震²⁵を考慮して基準地震動 S_1 （最大加速度は高浜3、4号機、大飯3、4号機ともに270ガル）を、設計用限界地震²⁶を考慮して²⁷基準地震動 S_2 （最大加速度は高浜3、4号機が370ガル、大飯3、4号機が405ガル）を策定した。

そして、本件各発電所の「安全上重要な設備」が、この基準地震動 S_1 に対して損傷や塑性変形²⁸せず、基準地震動 S_2 に対して機能喪失しないよう、これら基準地震動 S_1 及び基準地震動 S_2 をもとに、余裕を持たせた設計を行った。

²³ 脚注68を参照。

²⁴ 昭和53年9月に原子力委員会が策定し、昭和56年7月に原子力安全委員会が改訂している。

²⁵ 当時の耐震設計審査指針において、「設計用最強地震」については、「歴史的資料から過去において敷地又はその近傍に影響を与えたと考えられる地震が再び起こり、敷地及びその周辺に同様の影響を与えるおそれのある地震及び近い将来敷地に影響を与えるおそれのある活動度の高い活断層による地震のうちから最も影響の大きいものを想定する」と定義されていた。

²⁶ 当時の耐震設計審査指針において、「設計用限界地震」については、「地震学的見地に立脚し設計用最強地震を上回る地震について、過去の地震の発生状況、敷地周辺の活断層の性質及び地震地体構造に基づき工学的見地からの検討を加え、最も影響の大きいものを想定する」と定義されていた。

²⁷ 基準地震動 S_2 の策定にあたっては、設計用限界地震の1つとして、マグニチュード6.5・震源距離10kmの直下地震も考慮している。これは、マグニチュード6.5より小さい規模の地震では、断層が地表に現れない可能性もあり、詳細な調査を実施してもなお把握できない活断層が存在する可能性を否定しきれないことから、活断層が見つかっていない場所でもマグニチュード6.5程度の地震は起こり得るとの発想に立つての備えとして、考慮したものである。

²⁸ 塑性変形とは、物体に加わって変形を生じさせ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いう。これに対して、物体に加わってい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。

なお、本件各発電所の「安全上重要な設備」は、上記のような基準地震動による動的地震力²⁹のみならず、昭和 56 年改正後の建築基準法で一般の建築物に要求される基準値の 3 倍（建物）あるいは 3.6 倍（機器・配管）の静的地震力²⁹に対しても損傷や塑性変形しないよう設計を行っている。

第 3 地震動評価手法の発展と基準地震動の策定方法の高度化

1 兵庫県南部地震を契機とした知見の蓄積と地震動評価手法の著しい発展

本件各発電所が営業運転を開始した後、平成 7 年に兵庫県南部地震が発生した。同地震では、日本で初めて震源近傍で強震動³⁰が観測され、「震源特性」や地下構造による地震波の「伝播特性」及び「地盤の増幅特性（サイト特性）」が、強震動やそれによる被害に大きく影響していることが明らかになった。これによって、将来の地震における強震動を高精度で予測するためには、地域性の存在するそれらの特性を考慮した地震動評価を行う必要があることが広く認識され、地震に関し様々な調査観測が行われた。その結果、地震学や地震工学等の新たな知見が急速に蓄積された³¹。

具体的には、兵庫県南部地震では、震源となった断層の直上ではなく、やや離れた所に「震災の帯」と呼ばれる被害の集中域が現れたメカニズムが詳細に分析された。その結果、この現象は、震源における断層破壊の進行方向で地震動が大きくなる指向性と地下構造による地震波の増幅（平野と山地の境界からの地震波と平野直下の岩盤からの地震波の重なり合い等）との相乗効果によることが明らかになった（甲 48、90～92 頁）。この経験を契機に、

²⁹ 地震力とは、地震動により構造物に作用する力のことであり、時々刻々と変化する地震動に基づき求める動的地震力と、時間とともに変化しない一定の力を仮定する静的地震力とがある。

³⁰ 地震動（地盤の揺れ）のうち、特に構造物の被害に直接関与するような強い揺れのことを強震動という。

³¹ 甲 48 号証でも、「兵庫県南部地震で学んだことを生かして、日本全国での強震動の予測地図や、大規模な平野での地下構造調査などの大きなプロジェクトが推進されてきた。一〇年前とは格段に違う強い揺れについての理解が進んできている」と述べられている（甲 48、iii 頁）。

総理府に地震調査研究推進本部が設置され³²、全国の地震動の観測網が充実されるとともに、活断層調査、地下構造調査等が行われた。この地震動の観測網の充実により、大きな地震が起きると精度の良い地震動が記録され、その記録の解析により震源断層の破壊過程が断層モデルとして計算されること等により、「震源特性」に係る知見が蓄積された。その結果、「震源特性」のうち、原子力発電所の多くの設備に影響する短周期レベル³³について、壇ほか（2001）³⁴や佐藤（2010）³⁵等の検討により、日本海溝沿いの太平洋プレートで発生する宮城県沖のプレート間地震は、他の海域と比べて短周期レベルが大きいといった地域性や、内陸地殻内地震のうち横ずれ断層型・正断層型

³² その後の省庁再編により、地震調査研究推進本部は総理府から文部科学省に移管された。

³³ 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（単位：N・m/s²（Nはニュートン））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である。実際に発生した地震の短周期レベルは、地震観測記録（観測波）から、地震波の伝播特性及び地盤の増幅特性（サイト特性）の影響を取り除くことにより、知ることができる。

³⁴ 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第 545 号、51～62 頁。同研究は、地震観測記録に基づき推定された内陸地殻内地震の地震モーメント（ M_0 、脚注 105 を参照）と短周期レベル（A、脚注 33 を参照）のデータを用いて、回帰分析を行って求めた経験式（ $A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$ ）を検討した研究である。同研究は、この経験式は、フィリピン海プレートの和歌山県の地震や南関東の浅い地震の短周期レベルとほぼ対応していることから、プレート間地震に対しても妥当な関係式であるといえるが、福島県沖のプレート間地震についてはこの経験式よりも短周期レベルが大きいことが認められたことから、強震動予測においては、このような地域差を考慮する必要があるとしている。

³⁵ 佐藤智美「逆断層と横ずれ断層の違いを考慮した日本の地殻内地震の短周期レベルのスケージング則」日本建築学会構造系論文集第 651 号、923～932 頁。同研究は、日本の大規模内陸地殻内地震の震源近傍の強震記録を用いて解析を実施し、逆断層と横ずれ断層の違いを考慮して、地震モーメント（ M_0 ）と短周期レベル（A）の関係式を導出した結果、壇ほか（2001）の経験式と比較して、横ずれ断層では 0.64 倍となるなど、同じ内陸地殻内地震でも、短周期レベルは横ずれ断層型の地震の方が小さいことを指摘している。また、併せてこの佐藤（2010）は、内陸地殻内地震とプレート間地震の比較も行っており、地震観測記録に基づき推定された太平洋プレートのプレート間地震の地震モーメント（ M_0 ）と短周期レベル（A）のデータを用いて、回帰分析を行って求めた経験式（ $A = 4.02 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$ ）を提示している。この経験式が示す短周期レベルは、壇ほか（2001）の経験式の 1.63 倍となっており、太平洋プレートのプレート間地震は、内陸地殻内地震（逆断層型、横ずれ断層型とも）よりも短周期レベルが大きいという特徴があると指摘している。なお、佐藤（2010）は、そのように太平洋プレートのプレート間地震に関する経験式が示す短周期レベルの方が壇ほか（2001）の経験式よりも大きいことについて、自身の先行研究において、宮城県沖と福島県沖のプレート間地震の地震モーメントと短周期レベルのデータから求めた経験式の短周期レベルは、壇ほか（2001）の経験式の 1.7 倍であったところ、佐藤（2010）のデータセットにおいても宮城県沖と福島県沖のプレート間地震が多く含まれているため、概ね同程度の結果となったと考えられるとして、地域性の存在を指摘している。

の地震は逆断層型の地震に比べて短周期レベルが小さいといった断層運動のタイプによる違いが明らかになった。また、都市部の関東平野、濃尾平野及び大阪平野を中心に文部科学省「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」による大規模な地下構造調査が行われ（本件各発電所が位置する若狭湾周辺地域を含めて同プロジェクトによる地下構造調査が行われている）、各地域の「伝播特性」や「地盤の増幅特性（サイト特性）」による影響が検討された。さらには、南海トラフ沿いの海域についても詳細な地下構造調査が行われた。

これらの知見の蓄積に伴い、地震調査研究推進本部が中心となって強震動予測レシピ³⁶が整備されるなど、断層モデルを用いた手法³⁷等の地震動評価に関する研究が大きく進展し、地震動に影響を与える特性である「震源特性」や地下構造による地震波の「伝播特性」及び「地盤の増幅特性（サイト特性）」を、詳細な調査に基づき、地域性を踏まえて詳細に考慮する地震動評価手法が、実務においても一般的に用いられるようになった。

2 基準地震動の策定方法の高度化と耐震バックチェックの実施

（1）耐震設計審査指針の改訂

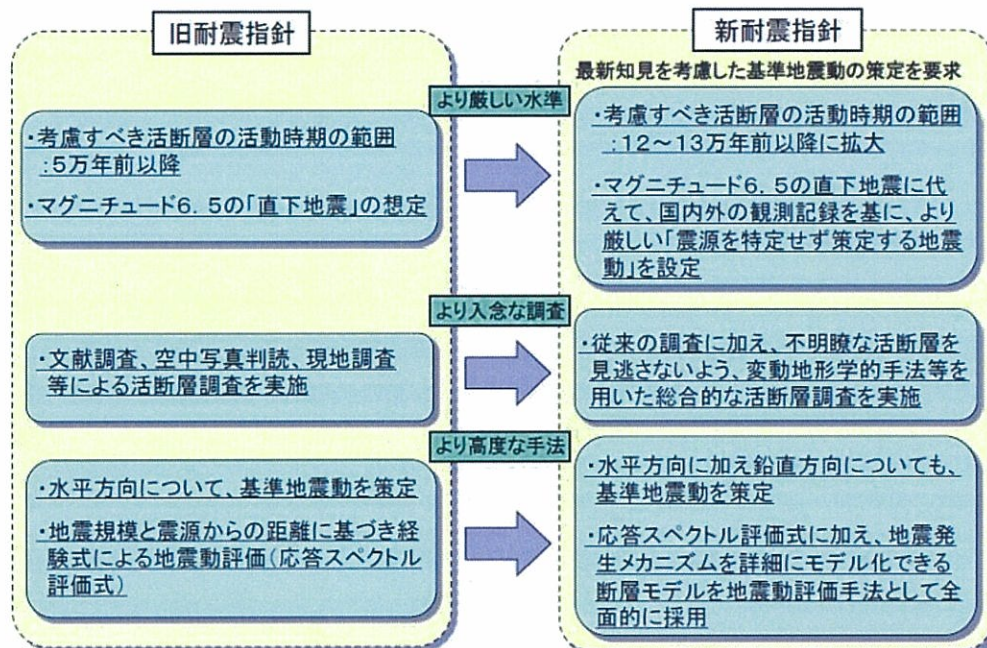
原子力発電所についても、原子力安全委員会が、平成8年度から、耐震設計審査指針に反映すべき新たな知見・技術の情報の収集と整理を実施し、平成13年には、原子力安全基準専門部会に、地質学、地震学、地震工学等の専門家により構成された耐震指針検討分科会を設置した。そして、同分科会での約5年間にわたる審議を経て、平成18年9月に、耐震設計審査指針が大きく改訂されるに至った。

この平成18年改訂後の耐震設計審査指針では、従来、「基準地震動 S_1 」

³⁶ 強震動予測レシピとは、強震動の予測を目的として、各種調査結果に基づき震源断層の各パラメータを設定する方法を系統的にまとめたものをいう。甲56号証及び甲202号証は、地震調査研究推進本部による最新の強震動予測レシピである（なお、甲56号証と甲202号証は全く同じものである）。

³⁷ 脚注43を参照。

と「基準地震動 S_2 」の2種類の基準地震動を策定することとなっていたものが「基準地震動 S_s 」に一本化され³⁸、基準地震動の策定にあたって震源として考慮する活断層の活動時期の範囲が拡張される³⁹とともに、基準地震動の策定方法も高度化された（図表 1 1，甲 121，「耐震設計審査指針の改訂」，甲 122，「新しい耐震設計審査指針」）。



原子力委員会「平成 21 年版 原子力白書」より

【図表 1 1 耐震設計審査指針改訂の要点】

基準地震動の策定方法の高度化について敷衍すると、「基準地震動 S_s 」は、震源を特定した「検討用地震⁴⁰」を選定して策定される「敷地ごとに震

³⁸ 改訂前の耐震設計審査指針では、原子力発電所の「安全上重要な設備」が、基準地震動 S_1 に対して損傷や塑性変形しないこと、基準地震動 S_2 に対して機能喪失しないことが要求されていたのに対して、改訂後の耐震設計審査指針では、「安全上重要な設備」が基準地震動 S_s に対して機能喪失しないこと、との要求に一本化された。

³⁹ 改訂前の耐震設計審査指針では 5 万年前以降に活動したもの等とされていたが、これが後期更新世以降（約 12～13 万年前以降）の活動が否定できないものにまで拡張された。なお、活断層の調査手法に関しても、これまでの文献調査、空中写真判読、現地調査等に加えて、変動地形学（脚注 70 を参照）的な視点に基づく地形調査や地球物理学的調査手法等を用いた、より詳細で入念な、総合的な活断層調査を実施することが求められるところとなった。

⁴⁰ 検討用地震とは、敷地周辺の地震発生状況や活断層の分布状況等を考慮し、地震発生様式による地震の分類（内陸地殻内地震、プレート間地震、海洋プレート内地震）を行った上で、敷地に大きな影響を与えると予想されるものとして選定される地震のことをいう。

源を特定して策定する地震動」と国内外の観測記録をもとに策定される「震源を特定せず策定する地震動⁴¹⁾」とに基づいて策定されることとされた(図表 1 2)。

そして、前者、すなわち、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の策定における、「検討用地震」の地震動評価⁴²⁾の手法も大幅に高度化され、震源断層の位置、長さ、幅及び傾斜角等を具体的に設定して、「応答スペクトルに基づく地震動評価」及び「断層モデルを用いた手法による地震動評価」の双方を実施すること⁴³⁾、「地震動評価に当たっては、地震発生様式、地震波伝播経路等に応じた諸特性（その地域における特性を含む。）を十分に考慮すること」、さらには「基準地震動 S_s の策定過程に伴う不確かさ（ばらつき）については、適切な手法を用いて考慮すること」が明記され（甲 120, 「『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』等の耐震安全性に係る安全審査指針類の改訂等について」、別添 1, 5 頁）、地震動に影響を与える特性である「震源特性」や地下構造による地震波の「伝播特性」及び「地盤の増幅特性（サイト特性）」を、詳細な調査に基づき、地域性を踏まえて詳細に考慮することとされた。

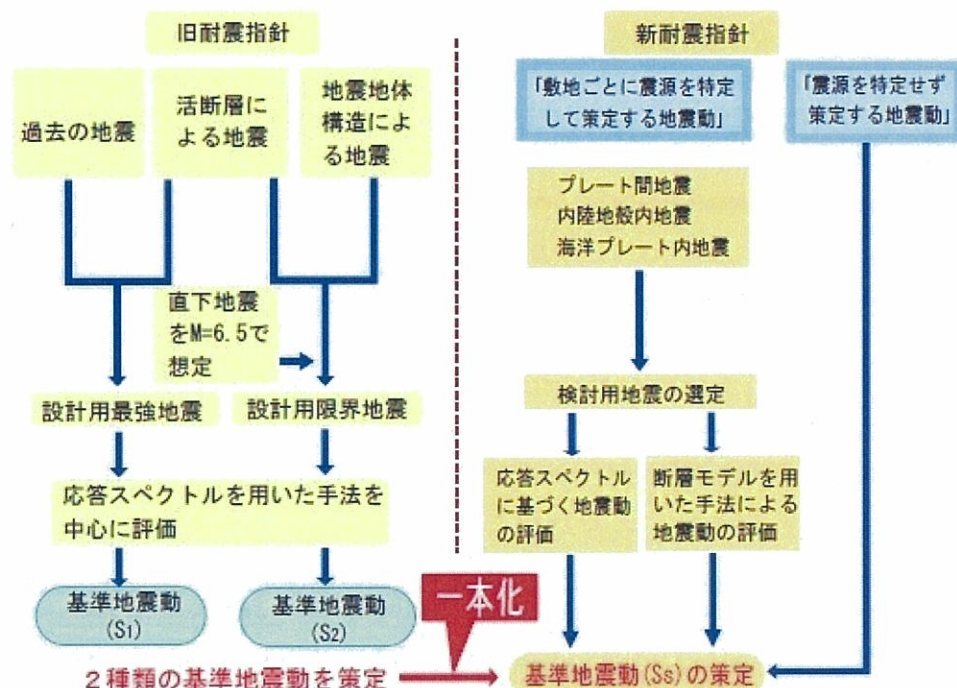
加えて、鉛直方向の地震動評価について、これまでは一律、水平方向の

⁴¹⁾ 活断層が見つからない場所でも地震は起こり得るとの発想に立つての備えとして、これまでは全ての原子力発電所敷地で一律にマグニチュード 6.5・震源距離 10km の直下地震を想定することとされていたが、これを改め、国内外で発生した、詳細な調査を行っても活断層の存在を事前に把握できなかったと考えられる地震の震源近傍における観測記録をもとに、より厳しい「震源を特定せず策定する地震動」を設定することとされたものである。詳細については、下記第 3 章第 3 の 1 を参照。

⁴²⁾ 脚注 21 を参照。

⁴³⁾ 応答スペクトルに基づく地震動評価手法とは、地震が発生した時の敷地での地震動の応答スペクトルを、地震の規模（マグニチュード）と震源から敷地までの距離により経験的に求める手法をいう（下記第 3 章第 2 の 5（1）を参照）。断層モデルとは、地震時の震源における断層運動をモデル化したものをいい、断層モデルを用いた手法とは、このようなモデル化された震源の特性に加えて、震源から敷地までの地震波の伝播特性と敷地地盤の増幅特性（サイト特性）についてもそれぞれ考慮して、数値的に地震動を評価する方法をいう（下記第 3 章第 2 の 5（2）を参照）。応答スペクトルに基づく地震動評価手法は、震源を「点」として設定するものであるのに対して、断層モデルを用いた手法は、震源断層を「面」的に捉え、震源断層面の面積や傾斜角、震源断層面における破壊開始点の位置等のパラメータを詳細にモデル化して設定することにより、敷地における地震動評価を行う手法である（本書面末尾の脚注図表 5 を参照）。

2 分の 1 を静的な力として考慮していたが、鉛直方向についても、水平方向と同様に時々刻々の地震動として評価することとされた。



【図表 1 2 基準地震動策定方法の比較】

(2) 耐震バックチェックの実施に伴う本件各発電所の基準地震動 S_s の策定

ア 耐震設計審査指針の改訂を受けて、平成 18 年 9 月 20 日付で、原子力安全・保安院から各原子力事業者に対し、既設の原子力発電所等についても、改訂後の耐震設計審査指針に照らした耐震安全性評価（いわゆる「耐震バックチェック」）を実施するよう指示がなされた。

かかる指示を受けて、債務者は、本件各発電所敷地周辺及び敷地の地質調査や地下構造の評価・検討等を行った上で、原子力安全委員会及び原子力安全・保安院における専門家による審議結果も踏まえながら、新たに本件各発電所の基準地震動 S_s を策定した（甲 116、「耐震設計審査指針の改訂に伴う 関西電力株式会社 高浜発電所 3, 4 号機 耐震安全性に係る評価について（基準地震動の策定及び主要な施設の耐震安全性評

価)」，甲 115，「耐震設計審査指針の改訂に伴う 関西電力株式会社 大飯発電所 3，4 号機 耐震安全性に係る評価について（基準地震動の策定及び主要な施設の耐震安全性評価）」）。以下，概略を説明する。

- イ 本件各発電所敷地に大きな影響を及ぼす可能性のある地震を想定するにあたって，まず，活断層評価年代の拡張に伴い，約 12～13 万年前以降の活動が否定できない，本件各発電所敷地周辺における震源として考慮する活断層⁴⁴の存在の有無や，その規模等の情報の取得のため，既存文献の調査，変動地形学的調査，地表地質調査，海上音波探査，地球物理学的調査等を入念に実施し，本件各発電所敷地周辺及び敷地の地質・地質構造⁴⁵の評価を行った。また，地震動評価において，「震源特性」や地下構造による地震波の「伝播特性」及び「地盤の増幅特性（サイト特性）」を，地域性を踏まえて考慮するため，若狭湾周辺地域を含めて実施された文部科学省「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」による大規模な地下構造調査や近隣での微動アレイ観測⁴⁶，地震波速度トモグラフィ解析⁴⁷等の現地調査結果，若狭湾周辺地域で発生した既往の地震（多数の小規模地震を含む）の震源データによる検討結果等から，本件各発電所を含む若狭湾周辺地域の地盤の速度構造及び地震発生層の評価を行った。
- ウ 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」については，検討用地震を選定して，その地震動評価を行った。

検討用地震の選定については，債務者は，本件各発電所敷地周辺の地震の発生様式や発生状況，敷地周辺の活断層の分布状況を踏まえ，過去の被害地震，活断層による地震等から，高浜 3，4 号機については上林^{かんぼやし}

⁴⁴ 平成 18 年改訂後の耐震設計審査指針においては，「耐震設計上考慮する活断層」との名称が用いられていた。

⁴⁵ 地質構造とは，プレート運動や断層活動等によって生じた地層・岩石等の変形や変位をいう。

⁴⁶ 脚注 87 を参照。

⁴⁷ 脚注 90 を参照。

がわ川断層による地震, 及びF O - A ~ F O - B断層による地震を, 大飯 3, 4 号機については熊川断層による地震, 上林川断層による地震, 及びF O - A ~ F O - B断層による地震をそれぞれ検討用地震として選定した。これらの地震はいずれも内陸地殻内地震である。

選定された検討用地震による地震動の評価においては, 活断層の長さや幅等の, 震源特性を表すパラメータについて, 活断層の調査結果等に基づいて設定し, さらに, 不確かさを考慮して地震動がより大きくなるパラメータを与えたケースも設定した上で, 応答スペクトルに基づく地震動評価手法及び断層モデルを用いた手法により地震動評価を行った。

債務者は, 応答スペクトルに基づく地震動評価手法に関して, 従来用いていた方法(いわゆる「大崎の方法」)に替えて, 最新の地震観測記録に基づいて開発された手法であり, 水平方向及び鉛直方向の地震動が評価でき, 震源距離の設定に際して後述のとおり「等価震源距離⁴⁸」を用いることで震源断層面の広がり等も考慮できる等の利点を有する Noda et al. (2002) の方法(耐専式)⁴⁹を用いることとした。

また, 債務者は, 改訂後の耐震設計審査指針で全面的に導入された, 断層モデルを用いた手法については, 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(『レシピ』)」(甲 56 及び甲 202)等を参照した。

エ 「震源を特定せず策定する地震動」については, 活断層に関する詳細な地質学的調査を行っても事前に評価することが困難と考えられる内陸地殻内地震による地震動のレベルについて, 加藤ほか(2004)⁵⁰(甲 204)

⁴⁸ 等価震源距離とは, 震源断層面の各部から放出される地震波のエネルギーが, 特定の 1 点(点震源)から放出されたものと等価となる距離をいう。

⁴⁹ 下記第 3 章第 2 の 5 (1) を参照。

⁵⁰ 加藤研一ほか「震源を事前に特定できない内陸地殻内地震による地震動レベルー地質学的調査による地震の分類と強震観測記録に基づく上限レベルの検討ー」日本地震工学会論文集第 4 巻第 4 号, 46~86 頁。この検討では, 国内外で発生した内陸地殻内地震を対象として, 詳細な地質学的調査を行

において検討が行われている。債務者は、本件各発電所敷地周辺で発生する地震の特性等の検討を行い、地域性を踏まえても、加藤ほか(2004)の検討に基づいて本件各発電所の「震源を特定せず策定する地震動」を評価することが妥当であることを確認した上で、これに基づき、本件各発電所の敷地の地盤特性を加味して応答スペクトルを設定した。

オ 上記の評価結果に基づき、本件各発電所の基準地震動 S_s を策定した。

まず、高浜 3, 4 号機の基準地震動 S_s は、図表 1 3 のとおり策定した。その結果、平成 18 年改訂前の耐震設計審査指針に照らして策定していた基準地震動 S_1 が最大加速度 270 ガル(水平方向)、基準地震動 S_2 が最大加速度 360 ガル(水平方向)及び 370 ガル(直下地震、水平方向)であったのに対し、耐震バックチェックの実施に伴い新たに策定した基準地震動 S_s の最大加速度は 550 ガル(水平方向)となった。

また、大飯 3, 4 号機の基準地震動 S_s は、 $S_{s-1} \sim S_{s-3}$ の 3 ケースを策定した(図表 1 4)⁵¹。その結果、平成 18 年改訂前の耐震設計審査指針に照らして策定していた基準地震動 S_1 は最大加速度 270 ガル(水平方向)、基準地震動 S_2 は最大加速度 405 ガル(水平方向)であったのに対し、耐震バックチェックの実施に伴い新たに策定した基準地震動 S_s の最大加速度は 700 ガル(S_{s-1} ・水平方向)となった。

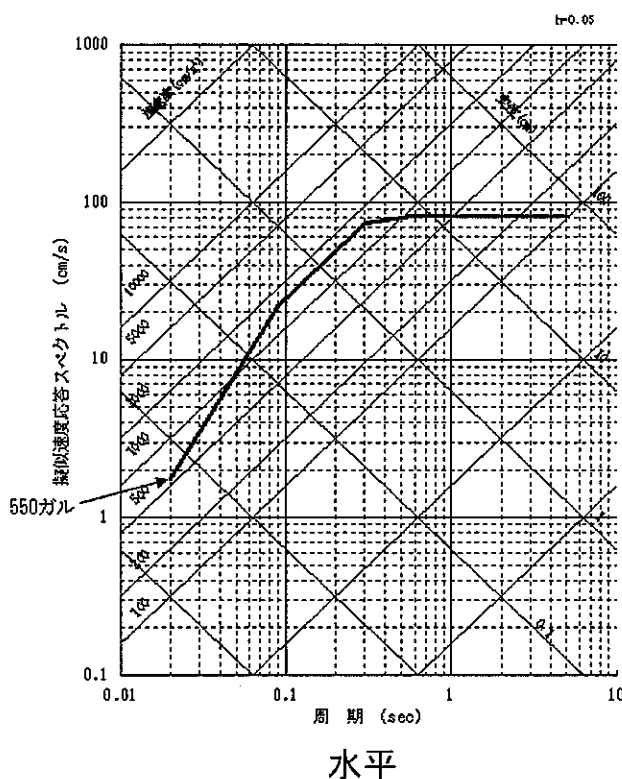
カ 以上のようにして債務者が改訂後の耐震設計審査指針に照らして新たに策定した本件各発電所の基準地震動 S_s については、平成 22 年 11 月 29 日付で原子力安全・保安院が取りまとめた評価書において妥当なものと評価され(甲 116, 22~23 頁, 38~39 頁, 甲 115, 25~26 頁, 41~42

っても事前に震源位置と地震規模を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。下記第 3 章第 3 の 3 (2) を参照。

⁵¹ 基準地震動 S_{s-2} 及び S_{s-3} は、最大加速度は基準地震動 S_{s-1} の 700 ガルを下回るが、ある周期で S_{s-1} の応答スペクトルを上回ることから、基準地震動として採用したものである。

頁), 原子力安全委員会もこの原子力安全・保安院による評価を適切なものとした⁵²。

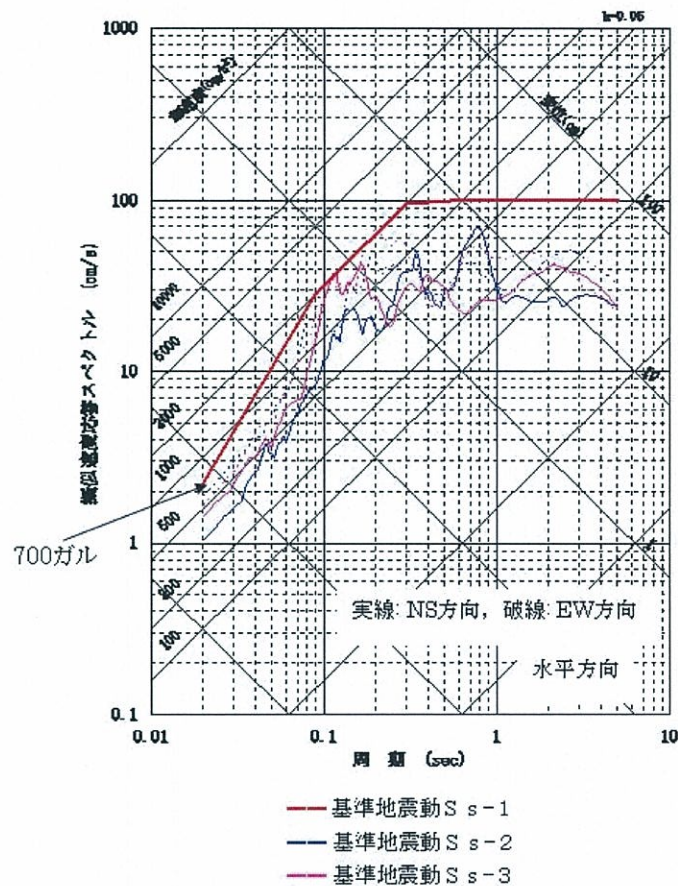
そして、債務者は、この新たに策定した基準地震動 S_s に対して、本件各発電所の「安全上重要な設備」がいずれも耐震安全性を有していることを確認済みである⁵³。



【図表 1 3 耐震バックチェックの実施に伴い策定した高浜 3, 4 号機の
基準地震動 S_s の応答スペクトル (水平方向)】

⁵² 平成 22 年 12 月 6 日付『耐震設計審査指針の改訂に伴う関西電力株式会社 美浜発電所 1 号機、高浜発電所 3, 4 号機、大飯発電所 3, 4 号機 耐震安全性に係る評価について (基準地震動の策定及び主要な施設の耐震安全性評価)』に対する見解」。

⁵³ なお、債務者は、本件各発電所の「安全上重要な設備」につき、単に基準地震動 S_s に対する耐震安全性を確認するにとどまらず、信頼性をより一層向上させる観点から、様々な耐震裕度向上工事を適宜実施している。



【図表 1-4 耐震バックチェックの実施に伴い策定した大飯 3, 4 号機の
基準地震動 $S_s-1 \sim S_s-3$ の応答スペクトル (水平方向)】

(3) 兵庫県南部地震以降に発生した地震で得られた知見の反映

ア 兵庫県南部地震を契機とした知見の蓄積により、地震動評価において、「震源特性」や地下構造による地震波の「伝播特性」及び「地盤の増幅特性 (サイト特性)」を、詳細な調査に基づき、地域性を踏まえて詳細に考慮するよう、地震動評価手法が著しく発展したのは前述のとおりである。

そして、兵庫県南部地震以降に発生した、平成 17 年 8 月 16 日の宮城県沖の地震 (プレート間地震・マグニチュード 7.2) (以下、「宮城県沖の地震」という)、平成 19 年 (2007 年) 能登半島地震 (内陸地殻内地

震・マグニチュード 6.9) (以下,「能登半島地震」という),及び平成 19 年(2007 年)新潟県中越沖地震(内陸地殻内地震・マグニチュード 6.8)

(以下,「新潟県中越沖地震」という)について,地震観測記録等の詳細な分析や地下構造調査等が行われ,「震源特性」や地下構造による地震波の「伝播特性」及び「地盤の増幅特性(サイト特性)」について,他の地域よりも大きい地震動をもたらす地域性に係る知見等が得られた。

イ 「震源特性」については,これらの地震のいずれにおいても,敷地の地震動の強さに直接影響する短周期レベル⁵⁴について,その地震発生様式の地震の平均より大きいという地域的な特徴が見られた(宮城県沖の地震について甲 125,「女川原子力発電所における宮城県沖の地震時に取得されたデータの分析・評価および耐震安全性評価に係る報告について」,甲 156,「東北電力株式会社女川原子力発電所において宮城県沖の地震時に取得されたデータの分析・評価及び同発電所の耐震安全性評価に関する検討結果について」,能登半島地震について甲 57,「志賀原子力発電所 新耐震指針に照らした耐震安全性評価(基準地震動 S_s の策定について)」31 頁,新潟県中越沖地震について甲 126,「柏崎刈羽原子力発電所における平成 19 年新潟県中越沖地震時に取得された地震観測データの分析及び基準地震動に係る報告書(概要)」,乙 15,「新潟県中越沖地震を踏まえ原子力発電所等の耐震安全性に反映すべき事項に関する原子力安全委員会への報告及び原子力事業者等への通知について」)。

ウ 地下構造による地震波の「伝播特性」及び「地盤の増幅特性(サイト特性)」については,その地域の地下構造の特性として,能登半島地震では敷地の増幅特性等により特定周期帯(周期 0.6 秒付近)の地震動の増幅が生じたと見られること,新潟県中越沖地震では深部地盤における

⁵⁴ 脚注 33 を参照。

不整形性（深部の堆積層の厚さと傾き）や浅部地盤における褶曲構造の存在により顕著な地震動の増幅が生じたこと（甲 126，乙 15）が、それぞれ分析された。

エ そして、これらの地震で得られた地域性に係る知見は、各原子力発電所の耐震バックチェック実施時に、上記で述べた地震動評価手法を用いた地震動評価を行うのに際し、当該発電所の実地性を考慮するにあたって活用され、それぞれ基準地震動 S_s が策定されることとなった。

例えば、宮城県沖の地震では、「震源特性」について、上記で述べたとおり、宮城県沖のプレート間地震の短周期レベルは他の地域と比べて大きいという地域的な特徴が明らかとなった。そこで、東北電力株式会社女川原子力発電所では、同地震の断層モデルを活用するなどして、その地域性を考慮した地震動評価が行われ、同発電所の基準地震動 S_s が策定された。そして、その後に発生した東北地方太平洋沖地震は極めて大規模な地震であったが、同地震の際に観測された同発電所敷地の地震動は、その基準地震動 S_s に対し、一部の周期帯でその応答スペクトルを上回ったものの全体としては「ほぼ同等」のレベルと評価されており（乙 16，「女川原子力発電所における平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震時に取得された地震観測記録の分析および津波の調査結果に係わる報告書（概要）」），東北電力株式会社が同地震後に行った施設の点検及び地震応答解析による詳細検討によっても同発電所の耐震安全性に影響を及ぼすものではないことが確認されている。

オ なお、本件各発電所に関しては、地震動に影響を与える特性である「震源特性」や地下構造による地震波の「伝播特性」及び「地盤の増幅特性（サイト特性）」について、他の地域よりも大きい地震動をもたらす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ところであるが、上記の地震で得られた地域的な特徴に係る知見のうち、他の地域につい

ても当てはまる可能性が否定しきれないものについては、必要に応じてその知見を反映している。

例えば、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要因のうち、同地震の震源特性が同規模の内陸地殻内地震と比べて1.5倍程度大きめの地震動を与える地震であったことは、他の地域の内陸地殻内地震についても当てはまる可能性が否定できないことから、原子力安全・保安院の指示（乙15）に基づき、耐震バックチェックの実施に伴う本件各発電所の基準地震動 S_s の策定においても、短周期の地震動レベルを基本ケースに対して1.5倍したケースも考慮するなど、その知見を反映しているところである。

第4 東北地方太平洋沖地震及び福島第一原子力発電所事故を受けた「新規制基準」の施行とそれに伴う債務者の対応

1 「新規制基準」の施行

前述のとおり、耐震設計審査指針の改訂を受けた耐震バックチェックの実施に伴い、債務者は、本件各発電所の基準地震動 S_s を新たに策定し、本件各発電所の「安全上重要な設備」がこの基準地震動 S_s に対して耐震安全性を有していることを確認したが、その後、平成23年3月11日に東北地方太平洋沖地震（プレート間地震・マグニチュード9.0⁵⁵）が発生した。

東北地方太平洋沖地震は、北米プレートとその下に沈み込む太平洋プレートの境界部において、地震調査研究推進本部が震源として想定していた複数の領域が、短時間のうちに連動して破壊が生じたものであるとされている⁵⁶。

⁵⁵ 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（脚注123を参照）。本書面で記載しているマグニチュードの値は、特に断らない限り、気象庁マグニチュードであるが、この東北地方太平洋沖地震のマグニチュード9.0という値は、モーメントマグニチュードである。

⁵⁶ もともと地質構造的には一連のものであるプレート境界を、各領域における過去の地震発生状況等の違いから、複数の領域に分けて、その領域ごとに震源として想定していたところ（本書面末尾の脚注

この東北地方太平洋沖地震、及び同地震による津波に起因した福島第一原子力発電所事故を受けて、新たに発足した原子力規制委員会により「新規制基準」が策定され、平成 25 年 7 月に施行された。

この新規制基準においては、兵庫県南部地震を契機に発展してきた、地震動に影響を与える「震源特性」や地下構造による地震波の「伝播特性」及び「地盤の増幅特性（サイト特性）」を、詳細な調査に基づき、地域性を踏まえて詳細に考慮する、という地震動評価の基本的な考え方は、平成 18 年改訂後の耐震設計審査指針から変更されていない⁵⁷。しかしながら、複数の想定震源領域が連動した東北地方太平洋沖地震を踏まえて、プレート間地震及び海洋プレート内地震に関して「国内のみならず世界で起きた大規模な地震を踏まえ・・・震源領域の設定を行うこと」と定められたり（乙 17, 「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」（以下、「設置許可基準規則解釈」という）127 頁、別記 2 第 4 条 5 項二③）、地震動評価における、地下構造による地震波の「伝播特性」及び「地盤の増幅特性（サイト特性）」の考慮に関わる記載が充実したり⁵⁸するなど、要求水準が高度化し、より詳細な調査や確認等が求められるところとなった。

図表 6 を参照)、東北地方太平洋沖地震では、岩手県沖から茨城県沖にまで至る、それら複数の領域が連動して破壊が生じたものとされている。

⁵⁷ 新規制基準においても、「基準地震動は、『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、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それぞれ策定すること」（乙 17, 「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」126 頁、別記 2 第 4 条 5 項一）、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」は、・・・敷地に大きな影響を与えると予想される地震（以下「検討用地震」という。）を複数選定し、選定した検討用地震ごとに、不確かさを考慮して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、解放基盤表面までの地震波の伝播特性を反映して策定すること」（同頁、5 項二）等とされている。

⁵⁸ 新規制基準では、「『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』の地震動評価においては、適用する評価手法に必要な特性データに留意の上、地震波の伝播特性に係る次に示す事項を考慮すること」と定められており、その内容として、「敷地及び敷地周辺の地下構造（深部・浅部地盤構造）が地震波の伝播特性に与える影響を検討するため、敷地及び敷地周辺における地層の傾斜、断層及び褶曲構造等の地質構造を評価するとともに、地震基盤の位置及び形状、岩相・岩質の不均一性並びに地震波速度構造等の地下構造及び地盤の減衰特性を評価すること」等が定められている（乙 17, 129 頁、別記 2 第 4 条 5 項四）。

2 「新規制基準」に照らした大飯3, 4号機の「現状評価」の実施

本件各発電所のうち大飯3, 4号機については、新規制基準の施行に先立って、平成25年4月から7月にかけて、原子力規制委員会により、大飯3, 4号機がその時点で新規制基準をどのくらい満たしているかについての「現状評価」が実施された。そして、同委員会がその評価結果を取りまとめた平成25年7月3日付の現状評価書（乙18, 「関西電力（株）大飯発電所3号機及び4号機の現状評価書（案）」）においては、債務者が行った、F O - A ~ F O - B断層と熊川断層の連動（3連動）を考慮した地震動評価結果も踏まえた上で、「耐震設計評価については、安全上重大な問題があるものではない」（乙18, 45頁）と結論付けられた。

しかしながら、同時に、「敷地の地下構造の把握については、現時点においては、新規制基準に照らして地下構造を詳細に把握できているとはいえない状況にある。本現状評価においては、敷地地下浅部に特異な構造があるようには見えないが、新規制基準で求められる地下構造の三次元的な把握を行うことが必要である」（乙18, 44頁）との課題も指摘された。

3 本件各発電所の新たな基準地震動の策定

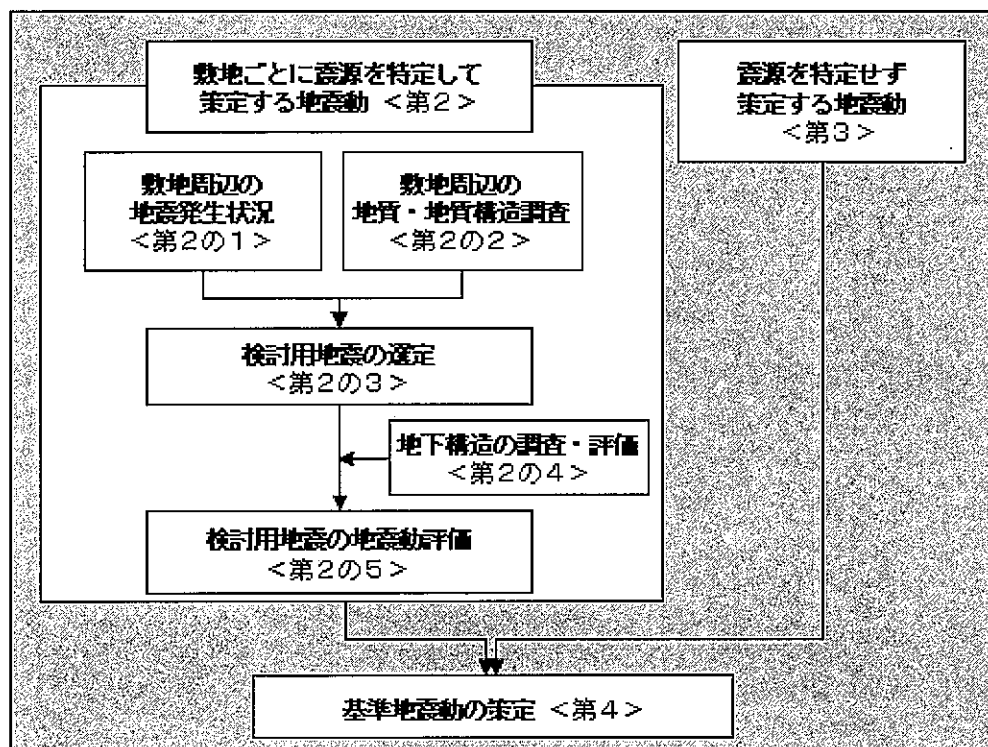
債務者は、平成25年7月8日、本件各発電所について、原子力規制委員会に対し、原子炉設置変更許可等の申請を行った。債務者は、本件各発電所敷地及び敷地周辺の地下構造に係る追加調査等を実施し、その調査結果や同委員会の審査における議論も踏まえ、今般、本件各発電所の基準地震動を、より保守的で厳しいものとなるように見直し、不確かさの考慮についても新たなケースを追加するなどして、改めて本件各発電所の基準地震動を策定した。

この本件各発電所の新たな基準地震動の策定について、高浜3, 4号機については第3章で、大飯3, 4号機については第4章で、それぞれ詳述する。

第3章 高浜3，4号機の新たな基準地震動

第1 基準地震動の策定方針

基準地震動の策定手順の概略は図表15のとおりであり，以下の方針により策定した。



【図表15 基準地震動の策定手順】

- ①まず，高浜発電所敷地周辺における地震発生状況，敷地周辺における活断層の分布状況等の地質・地質構造等を調査し，地震発生様式も考慮して，敷地に大きな影響を与えると予想される地震（検討用地震）を選定する。その後，高浜発電所敷地及び敷地周辺の地下構造の調査・評価結果を踏まえて，検討用地震について高浜発電所敷地での地震動評価を実施し，「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」を評価する。
- ②次に，高浜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、「震源を特定せず策定する地震動」を評価する。

③その上で、上記の「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」の評価結果に基づき、基準地震動を策定する。

以下、上記の策定方針に沿って詳述する。

第2 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価にあたっては、まず、高浜発電所敷地周辺の地震発生状況を把握する（下記1）とともに、敷地周辺における活断層の分布状況等の地質・地質構造を調査し（下記2）、これらをもとに検討用地震を選定した（下記3）。

次に、選定した検討用地震の地震動評価にあたり、地震動に影響を与える地盤の増幅特性（サイト特性）等を把握するため、敷地周辺の地下構造を調査、評価した（下記4）。そして、検討用地震の地震動評価を実施し、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」を評価した（下記5）。

なお、以下においては、（特に、地質・地質構造の調査（下記2）や地下構造の調査・評価（下記4）等に関して）今回新たに実施した調査のみならず、耐震バックチェック時など、従来から既に実施している調査・検討の内容等も含めて、総合的に述べる。

1 敷地周辺の地震発生状況

債務者は、過去の被害地震について、地震史料及び明治以降の地震観測記録をもとに主な地震の震央位置、地震規模等を取りまとめた資料である、日

本被害地震総覧⁵⁹，気象庁地震カタログ⁶⁰，宇津カタログ（1982）⁶¹等から，高浜発電所からの震央距離⁶²が 200km 程度以内の主な被害地震を確認している。そして，それらのうち，敷地で震度 V⁶³程度以上であったと考えられる 9 個の地震を，検討用地震の候補として抽出した（図表 1 6）。

年月日	規模 M	震央距離 (km)	地 名 (地震名)
745. 6. 5	7.9	106	美濃
1185. 8. 13	7.4	64	近江・山城・大和
1586. 1. 18	7.8	118	畿内・東海・東山・北陸諸道
1596. 9. 5	7.5	80	畿内および近隣
1662. 6. 16	7.5	44	山城・大和・河内・和泉・摂津・丹後・若狭・近江・美濃・伊勢・駿河・三河・信濃
1819. 8. 2	7.25	81	伊勢・美濃・近江
1891. 10. 28	8.0	100	愛知県・岐阜県 (濃尾地震)
1927. 3. 7	7.3	53	京都府北西部 (北丹後地震)
1963. 3. 27	6.9	42	福井県沖 (越前岬沖地震)

【図表 1 6 敷地に影響を及ぼしたと考えられる過去の被害地震】

上記で抽出された過去の被害地震は，活断層との関連や地震の発生深さから，いずれも内陸地殻内地震である。

その他の地震発生様式として，プレート間地震については，南海トラフに沿って有史以来マグニチュード 8 クラスの大地震が繰り返し発生しているが，その震央は高浜発電所から概ね 200km を超えて離れており，過去に高浜発電

⁵⁹ 宇佐美龍夫ほか『日本被害地震総覧 599-2012』東京大学出版会

⁶⁰ 気象庁「地震年報 2011 年版」

⁶¹ 宇津徳治「日本付近の M6.0 以上の地震および被害地震の表：1885 年～1980 年」東京大学地震研究所彙報 Vol. 57

⁶² 地震が発生した地下の場所を震源，震源の真上に当たる地表の地点を震央といい，地表上のある地点から震央までの距離を震央距離という（本書面末尾の脚注図表 7 を参照）。

⁶³ 地震によって建物等に被害が発生するのは震度 V 程度以上（現在の震度 5 弱程度以上）であると考えられる（気象庁震度階級関連解説表）ことから，敷地に大きな影響を及ぼすものとして，敷地で震度 V 程度以上であったものを抽出している。

所敷地で震度Ⅴ以上の揺れが想定される地震はなく、敷地に及ぼす影響は大きくない。また、海洋プレート内地震については、沈み込んだフィリピン海プレート内で発生した陸域のやや深い地震等のスラブ内地震の例がある⁶⁴ものの、それら地震の多くが近畿中南部で発生しており、敷地から離れた場所で発生しているため、やはり敷地へ及ぼす影響は大きくない。

2 敷地周辺の地質・地質構造調査

(1) 各種調査の実施

債務者は、高浜発電所敷地周辺の地形及び地質・地質構造⁶⁵を把握するため、各種調査を実施している。ここでは主に、震源として考慮する活断層の評価に必要なデータ（活断層の性状や長さ⁶⁶等のデータ）を得るために実施した調査について述べる⁶⁷。なお、債務者は、後期更新世以降（約 12～13 万年前以降）の活動が否定できない活断層をもって、震源として考慮する活断層としている。

ア 文献調査

陸域及び海域を対象に、『[新編]日本の活断層』等の文献に記載されている既往の調査結果から、敷地周辺の地形及び地質・地質構造の概要を把握するとともに、文献に記載されている活断層を抽出した。

イ 変動地形学的な観点に基づく地形調査

陸域を対象に、債務者及び国土地理院が撮影した空中写真を用いた空

⁶⁴ 他に、海溝軸付近で発生した地震として、平成 16 年（2004 年）9 月 5 日の紀伊半島南東沖地震があるが、高浜発電所敷地から 200km を超える範囲で発生しており、敷地へ及ぼす影響は大きくない。

⁶⁵ 脚注 45 を参照。

⁶⁶ 経験的に、活断層の長さは、活断層が起こす地震の規模と相関があるとされている。

⁶⁷ 特に、高浜発電所敷地から半径 30km 内については、より精度の高い詳細な調査を実施している。

中写真判読⁶⁸並びに航空レーザー測量⁶⁹及び現地での測量による対象地点の標高の詳細な調査に基づき、変動地形学⁷⁰的な観点から活断層の可能性のある地形を抽出した。

ウ 地表地質調査等

陸域を対象に、文献調査で抽出された活断層や変動地形学的な観点からの地形調査で抽出された活断層の可能性のある地形について、震源として考慮する活断層の有無、及び考慮すべき長さを明確にするため、現地において調査を実施した。

まず、地形や地質を地表から詳細に確認する地表調査を実施し、次に、地表調査だけでは判断が難しく、更に詳細なデータが必要な場合には、ボーリング調査⁷¹、トレンチ調査⁷²、反射法地震探査⁷³等を実施した。

これらの調査結果より、該当箇所における断層の有無、存在した場合は、堆積した年代を明確にした地層と断層面の関係等から後期更新世以降の活動の有無を明らかにするとともに、震源として考慮する活断層の存在が確認されれば、それ以上延長しない場所（断層の存在を明確に否定できる場所）を確認することにより、考慮すべき長さを決定した。

⁶⁸ 空中写真判読とは、約 60% ずつ重なるように撮影した空中写真（一定の高度から地上を撮影した写真）一対を実体視鏡と呼ばれる器具を用いて観察することで、地表を立体的に見て地形等を観察する方法をいう。断層が活動した痕跡を現す変動地形を抽出、分析することができる。

⁶⁹ 航空レーザー測量とは、航空機から下方にレーザーを照射しながら飛行し、同時に航空機の三次元的な位置及び機体の姿勢（傾き等）を把握することにより、地表面の詳細な三次元座標を計測する方法をいう。

⁷⁰ 変動地形学とは、長い地質時代の間に繰り返し発生した地震等に起因する痕跡の累積効果である特徴的な地形（変動地形）を研究対象として、地殻変動やその原因を研究する学問をいう。

⁷¹ ボーリング調査とは、地表から円柱状に抜き取った試料を詳細に観察することで地質分布を確認する調査をいう。

⁷² トレンチ調査とは、対象とする断層等を横切るように溝状に地面を掘削して地質の分布等を直接観察する調査をいう。

⁷³ 反射法地震探査とは、発振器で地表面から人工的に地震波を発し、受振器で地層からの反射地震波を観測し、解析して、地下の速度構造分布を把握する調査手法をいう（本書面末尾の脚注図表 8 を参照）。

また、震源として考慮する活断層が近接して分布する場合は、それらが同時に活動する（連動する）可能性を検討するため、より入念に、両断層の活動状況等の異同や、両断層間に分布する地層に断層運動の影響による変位や変形があるか等の地質の性状を確認することにより、両断層を結ぶような構造の有無を確認した。

なお、債務者以外にも、若狭湾周辺に原子力施設を有する日本原子力発電株式会社及び独立行政法人日本原子力研究開発機構、さらには地質調査所（現独立行政法人産業技術総合研究所）等の原子力事業者以外の機関も地質調査等を実施しており、これらの調査結果も含めた詳細な検討を実施した。

エ 海上音波探査等

海域を対象に、地質調査所、海上保安庁水路部等が実施した海上音波探査⁷⁴の記録の解析・評価を行うとともに、必要に応じて海域の地質・地質構造を把握するため、海上音波探査、海上ボーリング調査等を実施した。

これらの調査結果より、該当箇所における断層の有無、存在した場合は後期更新世以降の活動の有無を明らかにするとともに、震源として考慮する活断層の存在が確認されれば、それ以上延長しない場所（断層の存在を明確に否定できる場所）を確認することにより、考慮すべき長さを決定した。

また、震源として考慮する活断層が近接して分布する場合は、それら

⁷⁴ 海上音波探査とは、発振器で海面下から音波を発し、受振器で海底面や海底下の地層境界からの反射音波を観測して、海底の速度構造分布を把握する調査手法をいう（本書面末尾の脚注図表9を参照）。具体的には、計画した線（「測線」と呼ばれる）上を、発振器及び受振器を曳航する船を航行させて調査を行い、地質断面に関するデータを取得する。また、この測線を対象の海域において格子状等に複数配置することにより、詳細に海底地形や海底下の地層の分布を確認することができる。

敷地に震度Ⅴ程度以上の地震動が生じ得ると考えられる，FO-A～FO-B～熊川断層，上林川断層等，15個の活断層による地震を，敷地に影響を及ぼすと考えられる活断層による地震⁷⁵として抽出し（図表18），検討用地震の候補とした。

番号	断層名	長さ (km)	規模 M	震央 距離 (km)
1	和布-干飯崎沖断層～甲楽城断層	60	7.8	70
2	敦賀断層	23	7.1	50
3	大陸棚外縁～B～野坂断層	49	7.7	44
4	三方断層	27	7.2	37
5	花折断層	58	7.8	50
6	琵琶湖西岸断層系	60	7.8	53
7	濃尾地震断層系	80	8.0	110
8	上林川断層	39.5※	7.5	26
9	有馬-高槻構造線	45	7.6	77
10	山田断層	33	7.4	38
11	郷村断層	34	7.4	51
12	三峠断層	20	7.0	35
13	FGA3東部	29	7.3	60
14	FO-A～FO-B～熊川断層	63.4※	7.8	15
15	FO-C断層	20※	6.8	18

※ 地震動評価上の長さ

【図表18 敷地に影響を及ぼすと考えられる活断層による地震】

ここで、債務者は、活断層の長さや連動性に関して、詳細な調査結果を

⁷⁵ 地震発生様式としては、これらの地震はいずれも内陸地殻内地震に分類される。

踏まえた上で、更に保守的な評価を行っている。以下、主なものを挙げる。

ア F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層における、F O - A ~ F O - B 断層⁷⁶と熊川断層との関係については、①熊川断層の北西延長上の小浜湾に、後期更新世以降の活動による地質構造は認められなかったこと、また、②耐震バックチェックの際に、原子力安全・保安院が、熊川断層の北西延長上の小浜湾で海上音波探査を実施し、後期更新世以降の地層に断層運動による変形の可能性が否定できない反射面が認められたとしている箇所について、債務者が海上音波探査、柱状採泥⁷⁷、海上ボーリング調査等の詳細な地質・地質構造調査を行った結果、断層運動を示唆する構造は認められず、熊川断層が小浜湾内に延伸しているとの調査結果は認められなかった⁷⁸ことから、F O - A ~ F O - B 断層と熊川断層が連続していることを示す地質構造は確認されておらず、F O - A ~ F O - B 断層と熊川断層は約 15km の離隔を有しているので、債務者は、両断層は連動しないと判断している。

しかしながら、原子力規制委員会における議論も踏まえ、より安全側に（高浜発電所敷地での地震動がより大きくなる方向に）考えることとし、断層の存在が確認されていない区間（約 15km）を含めて、F

⁷⁶ F O - A 断層と F O - B 断層については、ひとつながりの活断層であるという調査結果は得られていないが、別々に活動すると完全に言い切れないことから、同時活動（連動）するものとして評価している。

⁷⁷ 柱状採泥とは、細長い採泥管によって、海洋・湖沼の底質（堆積物、岩盤等）を柱状に採取する調査をいう。

⁷⁸ 敷衍すると、原子力安全・保安院が断層運動による反射面の変形が存在する可能性を指摘した箇所を実施した海上音波探査、柱状採泥及びボーリング調査といった現地での詳細な調査の結果、反射面が有機物の微生物分解により生成されたメタンガスの影響を受けて乱れている場所であることを確認した上で、①反射面の変形は、砂礫層が堆積する際にできた構造であること、②断層運動の影響を受けていれば見られるはずの、古い堆積層の方が断層運動の影響を多く受けるため変位量が大きくなるという状況が認められなかったこと、③指摘の場所近辺における反射面においては、同様の反射面の変形が認められなかったこと、④海上ボーリング調査結果からは少なくとも後期更新世以降（約 12~13 万年前以降）の活動を示唆するような地層の段差が認められなかったこと、等から、熊川断層が小浜湾内に延伸しているとの結果は認められなかった。さらに、内外海（うちとみ）半島双児崎での現地調査、小浜湾周辺の陸域の文献調査、空中写真等を用いた地形調査、現地での反射法地震探査等の調査を実施したが、いずれの調査からも、熊川断層が小浜湾内に延伸しているとの結果は認められなかった。

○ーA～F ○ーB 断層（約 35km）と熊川断層（約 14km）との連動（3 連動）（63.4km）を考慮して、これを基本ケースとして地震動を評価することとした。

イ 上林川断層の長さについては、断層の存在が明確な範囲は約 26km であるが、西端部が不明瞭であることから、断層の存在を明確に否定できる福知山付近まで延長して、保守的に 39.5km と評価している。

ウ ^{めら}和布ー^{かれいざき}干飯崎沖断層と^{かぶらぎ}甲楽城断層、野坂断層とB断層と大陸棚外縁断層については、ひとつながりの活断層であるという調査結果は得られていないが、別々に活動すると完全に言い切れないことから、それぞれ同時活動（連動）するものとして評価している。

3 検討用地震の選定

上記 1（敷地周辺の地震発生状況）及び 2（敷地周辺の地質・地質構造調査）の調査結果により検討用地震の候補として抽出された地震を対象に、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結果、高浜発電所敷地への影響が大きいと考えられる地震として、同発電所敷地から近くにある F ○ーA～F ○ーB～熊川断層による地震及び上林川断層による地震を、検討用地震として選定した。

4 地下構造の調査・評価

選定した 2 つの検討用地震については、それが高浜発電所敷地に及ぼす地震動を評価すべきこととなるが、そのためには、地震動に影響を与える特性（地震波の伝播特性及び地盤の増幅特性（サイト特性））を考慮する必要がある。

そこで、債務者は、若狭湾周辺地域における地盤の伝播特性を踏まえて敷地周辺の地盤の伝播特性を評価するとともに、敷地周辺の地下構造を調査して、地盤の増幅特性（サイト特性）を示す、高浜発電所敷地地下の地盤の速度構造

⁷⁹（地盤モデル）を評価した（下記（１））。そして、敷地周辺を含む若狭湾周辺地域の地震発生層⁸⁰の深さを設定した上で（下記（２））、その結果を、敷地地下の地盤の速度構造（地盤モデル）の評価に反映した（下記（３））。

（１）地下構造の調査

債務者は、高浜発電所敷地周辺の地下構造を把握するため、各種調査を実施している（図表１９）。

具体的には、P S 検層⁸¹や試掘坑弾性波探査⁸²等により、敷地地下の浅部（地表面から地下 200m 程度）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（敷地内の浅部構造に特異な構造は見られない）ことを確認し、解放基盤表面を原子炉格納施設設置位置と同じ高さである EL. +2m⁸³に設定している⁸⁴。

また、反射法地震探査⁸⁵により、敷地地下 500m 位まで反射面が確認され、その範囲内で特異な構造が認められないことを確認している。加えて、屈

⁷⁹ 脚注 10 を参照。

⁸⁰ 地震発生層とは、内陸地殻内地震が発生する領域をいう。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を蓄えられる環境でなければ発生しない。地盤の表層部分は軟らかいためエネルギーを蓄えることができず、他方、ある程度以上の深さになると、地殻の温度が高く岩石が軟らかくなっているため急激にはずれ動かないことから、エネルギーが放出されない。そのため、内陸地殻内地震が発生する深さはある一定の範囲に限られる。

⁸¹ P S 検層とは、ボーリング孔を利用して、人工的に発生させた弾性波（P 波・S 波）が地盤内を伝播する状況を観測し、解析して、弾性波の深さ方向の速度構造を測定する調査手法をいう（本書面末尾の脚注図表 10 を参照）。

⁸² 試掘坑弾性波探査とは、岩盤に掘削した試掘坑内で人工的に発生させた弾性波（P 波・S 波）の伝播状況を測定装置で観測、解析し、速度構造を把握する調査手法をいう。高浜発電所では、原子炉格納施設設置位置付近に、延長約 670m の試掘坑を掘削し調査することで、弾性波（P 波）速度 4.0～5.0km/s の堅硬な岩盤が広く分布していることを確認している。

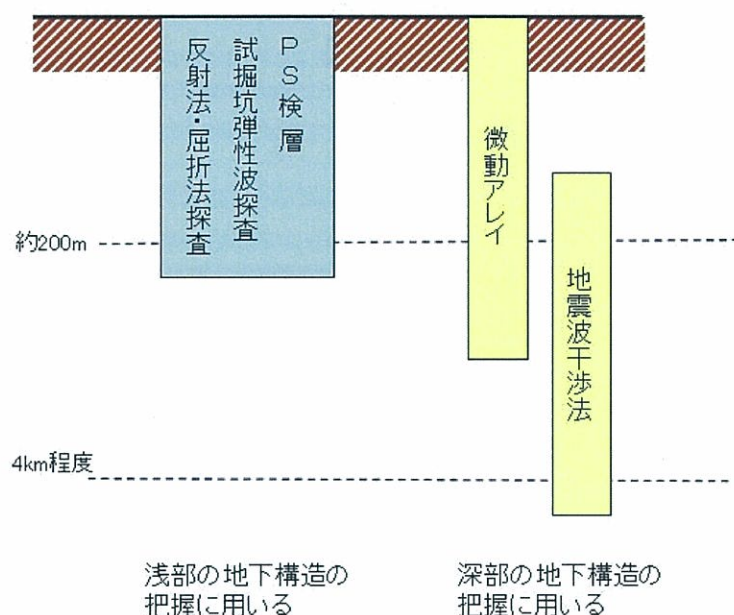
⁸³ EL. とは、Elevation の略で、標高のことであり、東京湾平均海面（T.P. = Tokyo Peil, 全国の標高の標準となる海水面の高さ）からの高さをいう。したがって、同一地点の T.P. と EL. は同じ数字となる。

⁸⁴ 高浜発電所の原子炉格納施設は、図表 8 のように解放基盤表面を設定している岩盤面上に直接設置されている。

⁸⁵ 反射法地震探査については脚注 73 を参照。高浜発電所敷地内で反射法地震探査を行った位置については本書面末尾の脚注図表 11 を参照。

折法地震探査⁸⁶の解析結果によっても、敷地の浅部地下構造において特異な構造は認められず、地下構造は水平方向に連続的であることを確認している。

さらに、敷地内での微動アレイ観測⁸⁷、大飯発電所・高浜発電所周辺で得られた常時微動記録を用いた地震波干渉法⁸⁸による深部地下構造評価等を実施し、高浜発電所敷地地下の地盤の速度構造（地盤モデル）を図表 20 のとおり評価した。

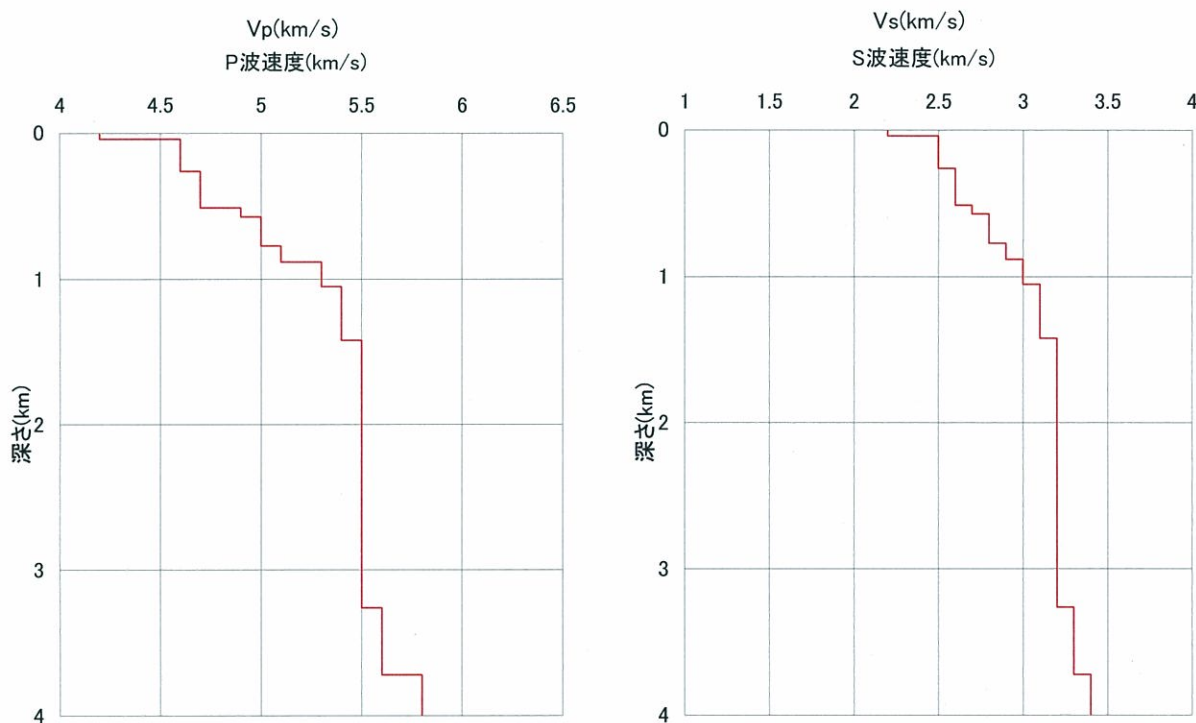


【図表 1 9 地下構造の把握に係る各種調査】

⁸⁶ 屈折法地震探査とは、地表付近での発破等によって人工的に弾性波（P波・S波）を発生させ、地下の速度の異なる地層境界で屈折して戻ってきた屈折波を地表に設置した測定装置で観測し、地下の速度構造を求める調査手法をいう。

⁸⁷ 微動アレイ観測とは、複数の微動計を地表に直線状・放射状等に連続して配置（アレイ配置）し、人が感じないほど微小で常に存在している地盤の振動（常時微動）を同時に観測して、データ解析により微動計を配置した付近の地盤の速度構造を求める調査手法をいう。高浜発電所敷地内で、半径約 450 m・225mの微動アレイ観測を行った（本書面末尾の脚注図表 1 2を参照）。

⁸⁸ 地震波干渉法とは、地表の離れた2点で常時微動を長期間観測してデータ解析を行い、2点間の地震波の伝わり方を求めることにより、2点間における地盤の速度構造を求める調査手法をいう。大飯発電所・高浜発電所周辺で、平成 25 年 7 月末より 12 月末まで実施した地表面での観測（本書面末尾の脚注図表 1 3を参照）で得られた常時微動記録を用いて、地震波干渉法による深部地下構造の評価を行った。



【図表 20 地盤の速度構造の評価結果（左：P波，右：S波）】

（２）若狭湾周辺地域の地震発生層の深さ（上端及び下端）の設定

ア 地震発生層の深さ（上端及び下端）は、震源断層の面積や震源断層面と高浜発電所敷地との距離に影響する条件であることから、債務者は、若狭湾周辺地域の地震発生層について、既往文献の調査、既存データの収集・分析を行った。

イ まず、地震発生層の上端の深さについて検討した。若狭湾周辺地域で想定される地震の地震発生様式は内陸地殻内地震であるところ、内陸地殻内地震はP波速度約 6.0km/s 以上の地層で発生するとされていることから、債務者は、若狭湾周辺地域のP波速度 6.0km/s 以上となる地層の上端（一般的に、地盤は深くなるほど固くなり、固い地盤ほどP波速度は速くなる。脚注 10 を参照）の深さを把握するため、地下の深さに応じたP波速度の分布等に関する調査・研究事例である、①文部科学省「大

都市大震災軽減化特別プロジェクト」における大規模な地下構造調査、
②川里ほか(2007)⁸⁹における地震波速度トモグラフィ解析⁹⁰等を参照し、
調査した。

その結果、①によると、若狭湾周辺地域における P 波速度 6.0～
6.2km/s の層は、上端が深さ約 6km であった。この深さは、①の調査に
おける計測線から幅 20km 以内の地域で発生した地震に関して気象庁一
元化震源⁹¹に記載された震源深さと概ね一致していた。また、②によると、
若狭湾周辺地域における P 波速度 6.0km/s の地盤は、上端が深さ約 4km
であった。

ウ 次に、地震発生層の下端の深さについて検討した。伊藤・中村(1998)
⁹²をもとに、気象庁一元化震源の震源データを利用して、半径 100km 以内
の地震の発生状況を統計的に評価した。その結果、地震発生層の下端よ
り 2～3km 浅いとされる D90 (その値より震源深さが浅い地震の数が全体
の 90%となる深さ) は約 15km であった (すなわち、地震発生層の下端
は、この約 15km より 2～3km 深い、約 17～18km の部分となる)。

エ これらの調査結果から、債務者は、若狭湾周辺地域の地震発生層の深
さについて、より安全側に立って評価するため、上端・下端ともできる
だけ幅広く評価することとし (その結果、敷地での地震動はより大きく
なると考えられる)、上端深さを約 4km、下端深さを約 18km と評価した。

⁸⁹ 川里健ほか「若狭湾地域における地震発生層の推定 その 2 -地震波速度トモグラフィ解析とまとめ-」地球惑星科学関連学会合同大会予稿集

⁹⁰ 地震波速度トモグラフィ解析とは、ボーリング孔を利用して、人工的に発生させた弾性波 (P 波・S 波) が地盤内を伝播するデータを多数観測し、それらを解析することで、地震波速度の三次元的分布を求める調査手法をいう。

⁹¹ 気象庁一元化震源とは、気象庁及び文部科学省が平成 9 年以降、複数の機関 (大学、防災科学技術研究所、気象庁等) によって観測された地震観測データを集約して解析を行うことにより、震源に関する情報 (マグニチュードや震源位置等) をデータベース化して公表しているものである。

⁹² 伊藤潔・中村修一「西南日本内帯における地震発生層の厚さ変化と内陸大地震」京都大学防災研究所年報第 41 号 B-1, 27～35 頁。同研究によると、D90 (その値より震源深さが浅い地震の数が全体の 90%となる深さ) は地震発生層の下限より 2～3km 浅いとされている。

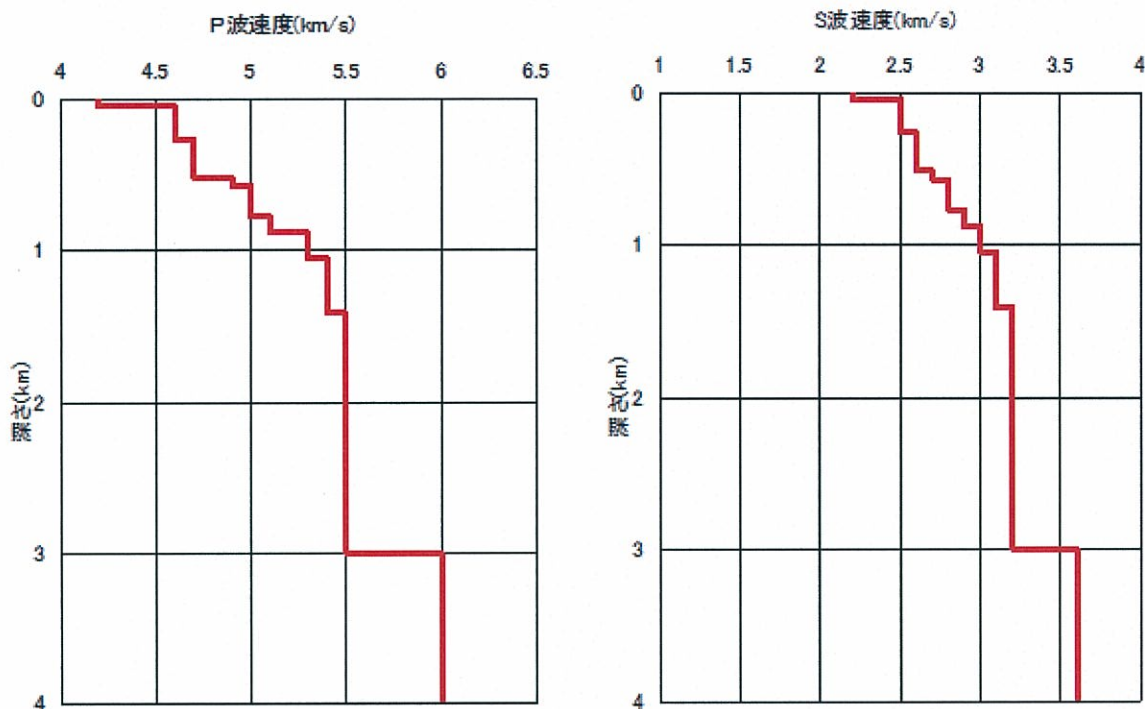
しかるところ、その後の原子力規制委員会における議論を踏まえ、若狭湾周辺地域における地震発生層に関する文献（廣瀬・伊藤（2006）⁹³等）に示されている地震発生層のP波速度のうち最も小さい値であるP波速度 5.8km/s の層の上端が、深さ 3.7km 程度であることに鑑み、より一層安全側に（より浅部で地震が発生し、かつ、地震発生層の幅が広くなる方に）考えて、最終的に、地震発生層の上端深さを 3km、下端深さを 18km と設定することとした。

（３）地盤の速度構造（地盤モデル）の評価

上記（２）により、若狭湾周辺地域における地震発生層の上端深さを 3km と評価するとの結論に至ったことを受けて、債務者は、当該評価を上記（１）で述べた、若狭湾周辺地域に包含される高浜発電所敷地の地下における地盤の速度構造（地盤モデル）の評価に反映することとした。

具体的には、速度構造について図表 20 のとおり評価していたところ、深さ 3km 以深のP波速度を 6.0km/s、S波速度を 3.6km/s として、改めて図表 21 のとおり評価した（例えば、P波速度について説明すると、図表 20 において、P波速度が 6.0km/s となるのは「深さ 4 km」以深であり、「深さ 3km」におけるP波速度は 5.5km/s であったところ、図表 21 においては、「深さ 3km」の所で赤い線が右に曲がって 6.0km/s となり、それ以深も同じ速度となっている。S波速度も同様である）。

⁹³ 廣瀬一聖・伊藤潔「広角反射法および屈折法解析による近畿地方の地殻構造の推定」京都大学防災研究所年報第 49 号 B, 307～321 頁。なお、同研究においても、「近畿地方北部では、内陸の浅い地震活動の深さは、4～5km から 17～18km である」との記載がある。



【図表 2 1 地盤の速度構造（地震発生層の評価反映後）

（左：P波，右：S波）】

5 検討用地震の地震動評価

検討用地震として選定したF O－A～F O－B～熊川断層による地震及び上林川断層による地震が高浜発電所敷地に及ぼす地震動の評価として、以下のとおり、「応答スペクトルに基づく地震動評価」（下記（1））及び「断層モデルを用いた手法による地震動評価」（下記（2））を実施した。

（1）応答スペクトルに基づく地震動評価

ア 「応答スペクトルに基づく地震動評価」は、地震が発生したときの敷地における地震動の応答スペクトルを、地震の規模と震源から敷地までの距離との関係から経験的に求める手法により行う。

イ 債務者は、本件各発電所の「応答スペクトルに基づく地震動評価」に

において、原則として Noda et al. (2002) の方法（以下、「耐専式」という）⁹⁴を用いている。耐専式は、岩盤における観測記録に基づいて策定された距離減衰式⁹⁵であり、地震の規模、等価震源距離⁹⁶及び評価地点の地盤の P 波・S 波速度から、評価地点の水平方向及び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。耐専式は、後述のとおり震源断層面の拡がりが考慮できることや水平方向及び鉛直方向の地震動が評価できること等の利点を有する。

耐専式では、地震のマグニチュードと震源からの距離（等価震源距離）が与えられると、特定の 8 つの周期に対する応答値が算定される。8 つの周期とその周期に対する応答値を、横軸を周期、縦軸を速度応答としたグラフ（第 1 章第 2 の 4（2）で説明したトリパタイト図等）上にプロットし、それら 8 つの点（コントロールポイント）を結ぶことにより応答スペクトルが求められることになる（図表 2 2）（その後、評価地点の地盤の P 波・S 波速度を考慮して地盤増幅率を乗じることで、評価地点の岩盤の固さに応じた応答スペクトルに補正される）。

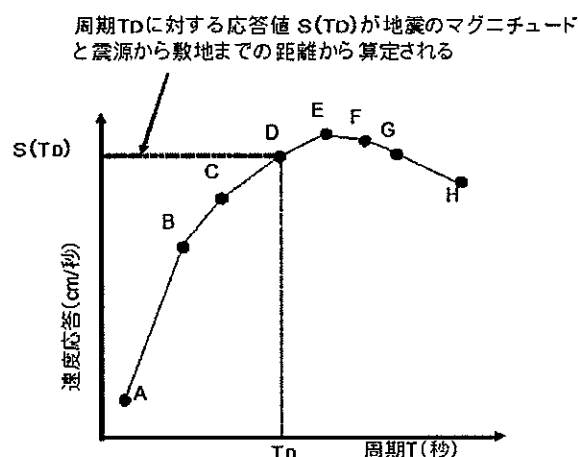
なお、耐専式には、これを内陸地殻内地震の地震動評価に用いる場合に適用する内陸補正係数（例えば周期 0.6 秒以下については 0.6 を乗じる）が用意されており、同補正係数を乗じると、求められる地震動の応

⁹⁴ Noda et al. (2002) 「Response Spectra for Design Purpose of Stiff Structures on Rock Sites」。社団法人日本電気協会の原子力発電耐震設計専門部会（耐専）において、最新の経験的地震動評価法について審議され、その結果、岩盤における合理的な設計用地震動評価手法として取りまとめられたものであることから、一般に「耐専式」と呼ばれ、同方法により求められる、敷地での地震動の応答スペクトルは「耐専スペクトル」等と呼ばれる。

⁹⁵ 地震動は、地震によって放出されるエネルギーが大きいほど、また、震源に近いほど大きくなる。距離減衰式とは、この性質を利用し、地震の規模と震源からの距離との関係により、想定される地震動の最大加速度や周期別の速度等を経験的に求める手法をいう。

⁹⁶ 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時の点震源から敷地までの距離をいう。実際は拡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 つの震源から放出されるものと仮想することで、等価震源距離という 1 つの数値の中に震源断層面の拡がりやアスペリティ（脚注 97 を参照）分布の効果を考慮することができる。

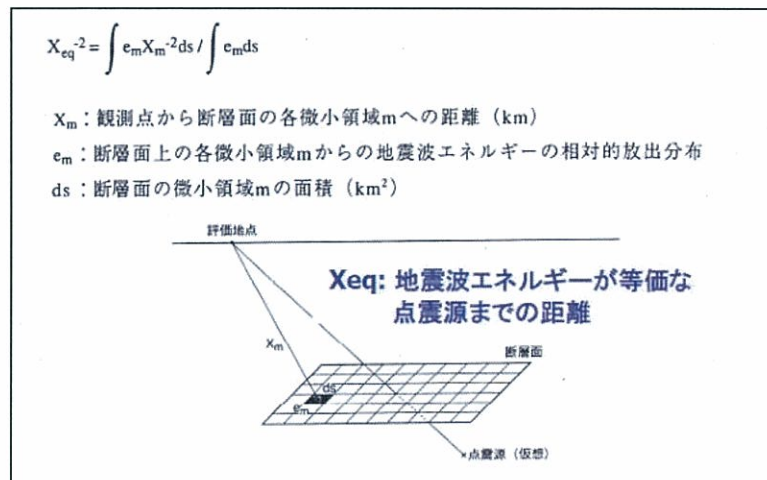
答スペクトルは全体的に小さくなるが、債務者はより保守的に地震動評価を行う観点から、高浜3，4号機の検討用地震の地震動評価に耐専式を用いるに際して、この内陸補正係数を乗じていない。



【図表 2 2 耐専式による応答スペクトルの作成】

ウ 耐専式では、震源から評価地点までの距離（震源距離）として、震源断層面の広がりや断層面の不均質性（アスペリティ⁹⁷分布）を考慮して設定する等価震源距離を用いることにより、断層面の面的な広がりや不均質性による効果を考慮することができる（図表 2 3）。

⁹⁷ アスペリティとは、震源断層面において固着の強さが周りに比べて特に大きい領域のことをいう。この領域における地震時のすべり量（地震により破壊された震源断層面のずれの量）は周りよりも相対的に大きくなり、強い揺れが生起される。なお、震源断層面においてアスペリティ以外の領域を背景領域という。



【図表 2 3 等価震源距離】

エ 債務者は、基本ケースにおいて、地震発生層すなわち断層の上端深さを安全側に考えて浅く (3km と) 設定することにより、かつ、評価対象となる断層のアスペリティを敷地に近い位置に設定することにより、等価震源距離を短くした (敷地での地震動がより大きくなる) 保守的な条件設定を行っている。

オ 具体的には、検討用地震のうち、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層による地震については、前述のとおり、債務者の調査によると F O - A ~ F O - B 断層と熊川断層との間の領域には、両断層が連続していることを示す地質構造は認められなかったが、より安全側に (高浜発電所敷地での地震動がより大きくなる方向に) 考えることとし、断層の存在が確認されていない区間 (約 15km) を含めて、F O - A ~ F O - B 断層 (約 35km) と熊川断層 (約 14km) との連動 (3 連動) を考慮して、これを基本ケースとすることにした。

その結果、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層 (63.4km) による地震 (マグニチュード 7.8) について、基本ケースとして、上記 4 (2) の地震発生層の検討結果から断層の上端深さ及び下端深さを 3km 及び 18km とし、かつ、アスペリティを敷地に近い位置に設定することにより、等価震源

距離を 18.6km として、地震動評価を行っている。

カ その上で、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層は、高浜発電所敷地の近くにあり、生じる地震が敷地に与える影響が大きいと考えられることから、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ている。

すなわち、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層は、横ずれの変位を主体とする横ずれ断層であるものの、縦ずれの変位も含まれることを勘案し、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⁹⁸を参考に震源断層面の傾斜角を変える⁹⁹ことで、震源断層面と敷地との距離を近付けるケースを検討した¹⁰⁰（「傾斜角 75° ケース」）。

なお、前述のとおり、債務者の調査によると F O - A ~ F O - B 断層と熊川断層の間の領域には、両断層が連続していることを示す地質構造が認められなかったが、両断層が連動する場合を考慮することとした上で、原子力規制委員会における議論を受け、更に念のために確認するケースとして、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層における、敷地により近い位置に、アスペリティを一塊にして配置する¹⁰¹ケース（「アスペリティー塊ケース」、「アスペリティー塊・横長ケース」）を検討した。

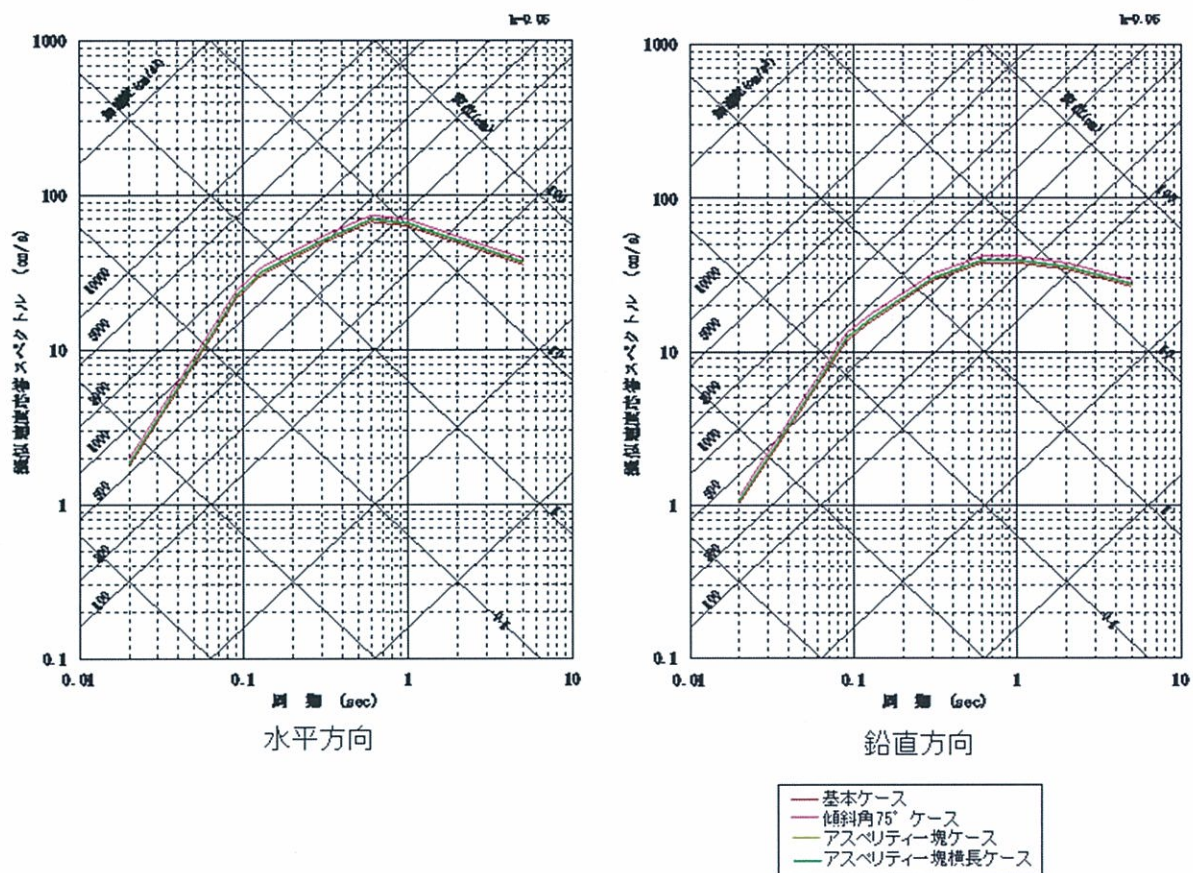
耐専式によって求められた、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層による地震の応答スペクトルは図表 2 4 のとおりである。

⁹⁸ 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（本書面末尾の脚注図表 1 4 を参照）。

⁹⁹ 基本ケースにおいて断層傾斜角を鉛直（90°）としているところ、断層面が鉛直の場合、水平方向の圧縮力に対して縦ずれ成分が生じにくい。そこで、縦ずれ成分もあることを考慮して、断層面を鉛直から傾斜させた場合を検討した。

¹⁰⁰ 高浜発電所敷地の東にある F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層の断層傾斜角を、断層西方向に傾ける（鉛直から 75° に傾ける）ことにより、発電所敷地と F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層の震源断層面との距離が近くなる（本書面末尾の脚注図表 1 5 を参照）ため、より大きな地震動となる。

¹⁰¹ F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層のアスペリティは、基本ケースでは 2 箇所に分散しているが、これを 1 箇所にまとめて震源断層面上で最も高浜発電所敷地に近い箇所に配置することで、より大きな地震動となる。



【図表 2 4 F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層による地震の

耐専式による地震動評価結果】

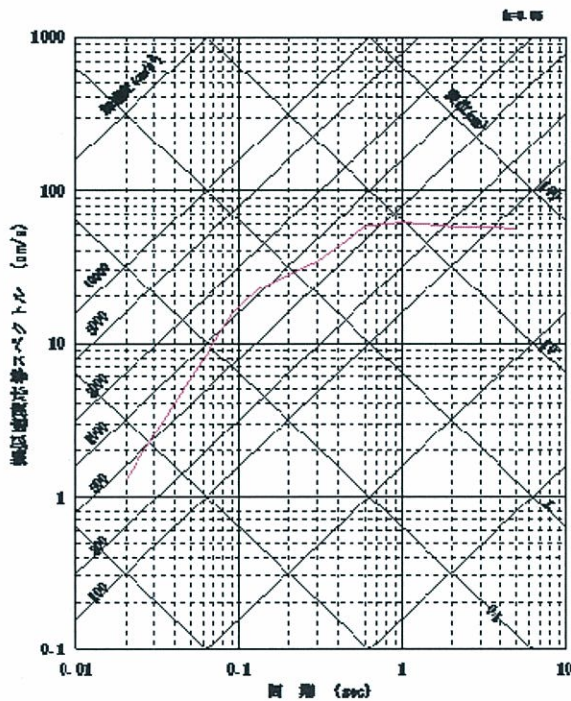
キ 検討用地震のうち、上林川断層（長さ 39.5km¹⁰²）による地震（マグニチュード 7.5）については、基本ケースとして、上記 4（2）の地震発生層の検討結果から断層の上端深さ及び下端深さを 3km 及び 18km とし、かつ、アスペリティを敷地に近い位置に設定¹⁰³することにより、等価震源距離を 19.9km とし、地震動評価を行っている。

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）の高浜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 2

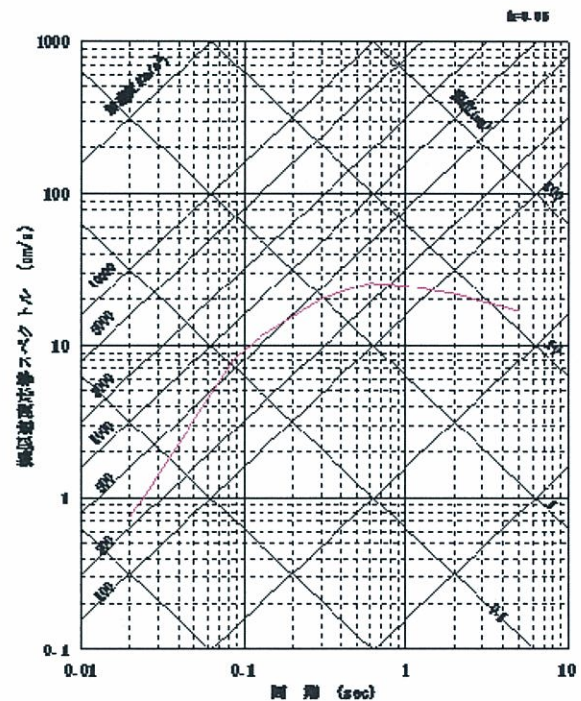
¹⁰² 前述のとおり、上林川断層の長さについては、断層の存在が明確な範囲は約 26km であるが、西端部が不明瞭であることから、断層の存在を明確に否定できる福知山付近まで延長して、保守的に 39.5km と評価している。

¹⁰³ 断層の存在が明確な範囲及びその西方延長部のそれぞれ敷地に近い位置に配置している。

5 のとおりである。



水平方向



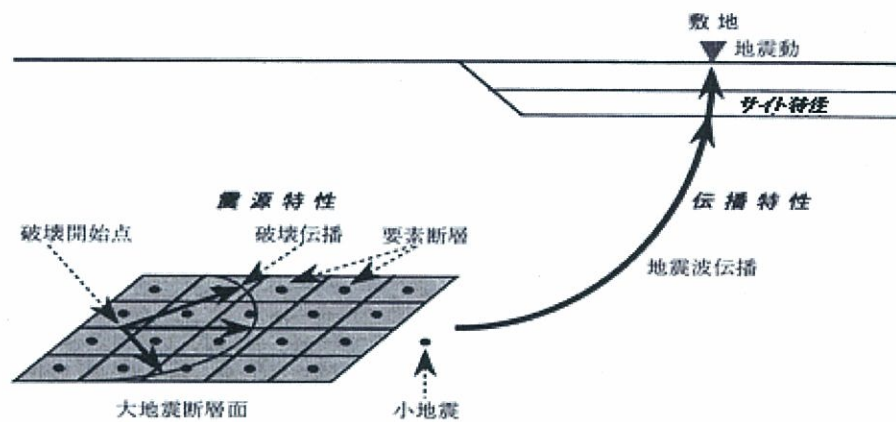
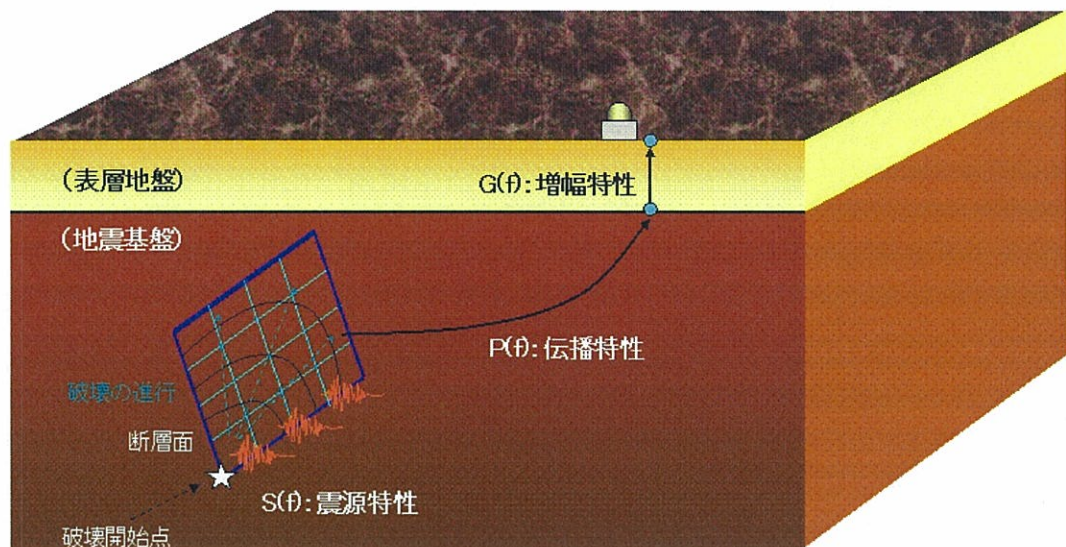
鉛直方向

【図表 2 5 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】

(2) 断層モデルを用いた手法による地震動評価

ア 断層モデルとは、地震時の震源における断層運動をモデル化したものをいい、断層モデルを用いた手法とは、このようなモデル化された震源の特性に加えて、震源から敷地までの地震波の伝播特性と、地盤の増幅特性（サイト特性）についてもそれぞれ考慮して数値的に地震動を評価する方法をいう（図表 2 6）。



【図表 2 6 断層モデルを用いた手法の模式図】

イ 債務者は、高浜 3，4 号機の検討用地震の震源断層をモデル化するにあたり、敷地周辺の地質・地質構造調査結果等を踏まえ、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(『レシピ』)」(甲 56 及び甲 202。以下、「レシピ」という)等の最新の研究成果に則って¹⁰⁴、断層長さ、断層傾斜角、断層上端・下端深さ、断層面積 (S)，

¹⁰⁴ 新規制基準においても、原子力規制委員会が定めた「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」(甲 47)で、「震源断層のパラメータは、・・・地震調査研究推進本部による『震源断層を特定した

地震モーメント (M_0)¹⁰⁵, 短周期レベル (A)¹⁰⁶, アスペリティ¹⁰⁷面積 (S_a), 平均応力降下量 ($\Delta \overset{\text{デルタシグマ}}{\sigma}$)¹⁰⁸, アスペリティの応力降下量 ($\Delta \sigma_a$)¹⁰⁹, 破壊伝播速度 (V_r)¹¹⁰等の震源特性に関する様々なパラメータ (震源断層パラメータ) を設定している。

その際、破壊過程やアスペリティの配置等の震源断層の特性の影響について、より安全側に立って評価するため、敷地での地震動がより大きくなり得る条件 (震源断層パラメータ) を設定し、前述した敷地周辺の地下構造の調査・評価結果等を反映して、震源断層のモデル化を行っている。

具体的には、基本ケースとして、活断層の調査結果等をもとに震源特性に関するパラメータをより安全側に立って設定した震源断層モデルを用いるとともに、さらに、この基本ケースに加えて、短周期の地震動レベル、断層傾斜角、すべり角¹¹¹、破壊伝播速度、アスペリティの配置、破

地震の強震動予測手法』等の最新の研究成果を考慮し設定されていることを確認する」(甲 47, 4~5 頁)とされているところである。

¹⁰⁵ 地震モーメント (M_0) とは、地震の規模を表す指標の 1 つで、断層運動の大きさ (エネルギー) を表す値であり (単位: $N \cdot m$ (N はニュートン)), 岩盤の剛性率、震源断層の平均すべり量及び震源断層の面積の積で計算される。

¹⁰⁶ 脚注 33 を参照。

¹⁰⁷ 脚注 97 を参照。

¹⁰⁸ 地震は、地下の岩盤が震源断層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、震源断層面にかかるせん断応力 (物体内でずれを生じさせる力) 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う。なお、応力降下量は単位面積当たりの力として規定される数値であり、単位は MPa (メガパスカル) である。

¹⁰⁹ 震源断層面上に蓄積されるひずみは、震源断層面全体に一樣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。したがって、地震発生により解放される応力も、アスペリティ部分で大きく、その他の背景領域では小さくなり、アスペリティ部分の単位面積当たりの応力降下量 ($\Delta \sigma_a$) は、震源断層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。平均応力降下量 ($\Delta \sigma$) とアスペリティの応力降下量 ($\Delta \sigma_a$) との関係は、 $\Delta \sigma_a = (S/S_a) \Delta \sigma$ という関係式で表される。

¹¹⁰ 破壊伝播速度 (V_r) とは、断層の破壊開始点 (脚注 112 を参照) から、破壊が震源断層面上を広がっていく速さのことをいう。破壊伝播速度が上がると、短い時間で震源断層面上の破壊が完了するため、より短い時間に多くの地震波が評価地点に到達することになり、より大きな地震動となる。

¹¹¹ 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い、断層の走向から

壊開始点¹¹²等の震源断層パラメータについて不確かさを考慮して、敷地での地震動が基本ケースより大きくなり得る震源断層モデルを用いた複数のケースを設定している。

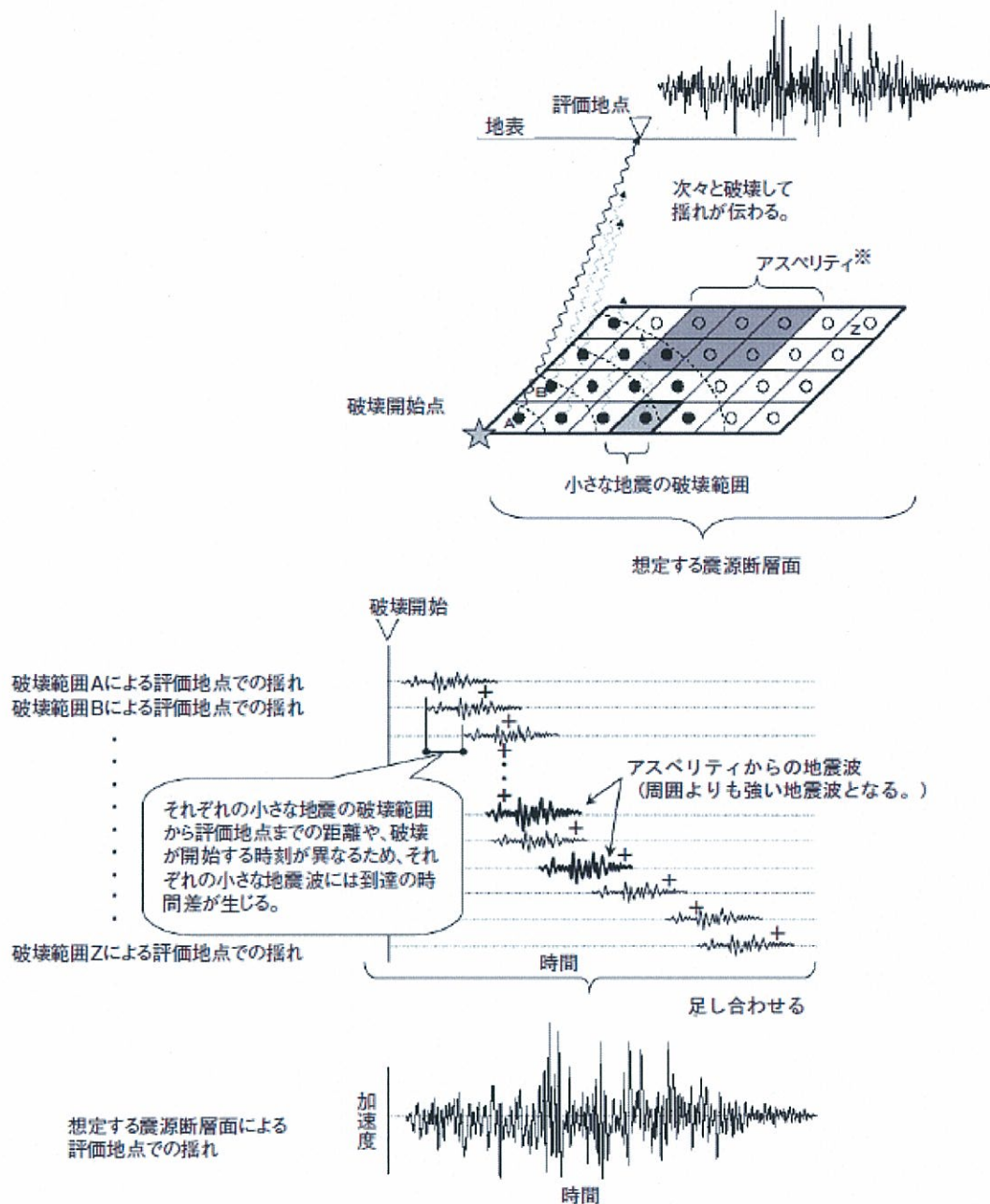
ウ その上で、各ケースにつき、そのように震源断層パラメータの設定により詳細にモデル化された震源断層面を細分化した各要素断層から放出される中小規模の地震波形を合成する手法（波形合成法¹¹³）を用いた計算を行い（図表 2 7）、高浜発電所敷地における地震動評価を行っている。

エ 以下、各検討用地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価について、具体的に説明する。

断層面に沿って反時計回りの角度で示す（本書面末尾の脚注図表 1 4 を参照）。

¹¹² 震源断層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いう。

¹¹³ 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。統計的グリーン関数法とは、震源断層面を細分化した小さな地震の破壊範囲（要素断層）に対応する評価地点の地震動として、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、これらの小さな地震波形を評価地点に到達する時間差等を考慮して足し合わせることで、震源断層面全体が破壊したときの地震動を評価する手法である。統計的グリーン関数法では、評価地点の地盤をモデル化することで地盤の増幅特性（サイト特性）を反映している。



【図表 2 7 波形合成法】

オ 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、まず、基本ケースとして、断層の上端深さを 3km 及び下端深さを 18km、左横ずれ断層傾斜角 90° 、すべり角 0° 、破壊伝播速度 0.72β (β

は地震発生層のS波速度)¹¹⁴とし、アスペリティを各断層の敷地に近い位置に配置した震源断層モデルを設定した。断層上端深さを安全側に(浅く)考えて3kmと設定し、かつ、強い揺れを生起するアスペリティの位置を各断層の敷地近傍に設定している点で、この基本ケース自体、保守的な条件設定を行っているものである。

その上で、不確かさを考慮したケースとして、①新潟県中越沖地震の知見¹¹⁵を踏まえて短周期の地震動レベルを1.5倍としたケース¹¹⁶、②断層傾斜角について、周辺の逆断層の傾斜角を参考に、震源断層面と敷地との距離が近くなり、かつ震源断層の面積が大きくなるように傾斜させた傾斜角75°のケース、③F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層は、横ずれの変位を主体とする横ずれ断層であるものの、縦ずれの変位も含まれることから、そのことを考慮してすべり角30°としたケース¹¹⁷、④破壊伝播速度につき、宮腰ほか(2003)¹¹⁸の知見を参考にして、平均的な破壊伝播

¹¹⁴ レシビにおいて、「平均破壊伝播速度 V_r (km/s) は、特にその震源域の詳しい情報がない限り、Geller (1976) による地震発生層のS波速度 β (km/s) との経験式 $V_r = 0.72 \cdot \beta$ により推定する」とされている(甲56及び甲202, 付録3-12頁)。

¹¹⁵ 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(甲126, 乙15)。このうち、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、高浜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。一方、①の要因については、高浜発電所においても当てはまる可能性が否定できないことから、原子力安全・保安院の指示(乙15)に基づき、短周期の地震動レベルを基本ケースに対して1.5倍としたケースも考慮するなどして、その知見を反映している。

¹¹⁶ なお、横ずれ断層と逆断層とでは、同じ規模の地震でも短周期レベルに差があると考えられ(佐藤(2010)など)、佐藤(2008)によると、横ずれ断層型の地震に比して、逆断層型の地震の短周期の地震動レベルは1.2倍程度とされている(下記第4章第4の4(3)を参照)。このような知見に照らせば、逆断層型の地震である新潟県中越沖地震の震源特性を、横ずれ断層であるF O - A ~ F O - B ~ 熊川断層による地震にそのまま当てはめる必要は必ずしもないこととなるが、ここでは安全側に考えて、新潟県中越沖地震と同様に短周期の地震動レベルを1.5倍としている。

¹¹⁷ すべり角が変わると、震源断層面から放射される地震波が主に向かう方向が変化するため、敷地での地震動が基本ケースとは変わってくる。

¹¹⁸ 宮腰研ほか「すべりの時空間的不均質性のモデル化」科学技術振興調整費成果報告書「地震災害軽減のための強震動予測マスターモデルに関する研究」18~23頁

速度に標準偏差 1σ を考慮して 0.87β とし、より短時間に多くの地震波が敷地に到達しやすい¹¹⁹条件としたケース、⑤アスペリティ位置について、基本ケースではそれぞれの断層ごとに敷地近傍に配置しているが、さらに全てのアスペリティを一塊として敷地近傍に配置したケース（アスペリティの形状を変えて2ケース）を考慮した。なお、②と③については、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層が敷地近くにあり、敷地に及ぼす影響が特に大きいと考えられることから、念のため考慮したものである。

そして、破壊開始点については、上記の全てのケースにおいて、断層面の下端及びアスペリティの下端に複数の場合（基本ケース及び①~④の各ケースにつきそれぞれ9箇所ずつ、⑤の2ケースにつきそれぞれ5箇所ないし6箇所）を設定した¹²⁰。その結果、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層による地震の、断層モデルを用いた手法による地震動評価については、全部で56ケースを評価した（図表28）。

¹¹⁹ 破壊伝播速度が上がると、短い時間で震源断層面上の破壊が完了するため、より短い時間に多くの地震波が評価地点に到達することとなり、より大きな地震動となる。

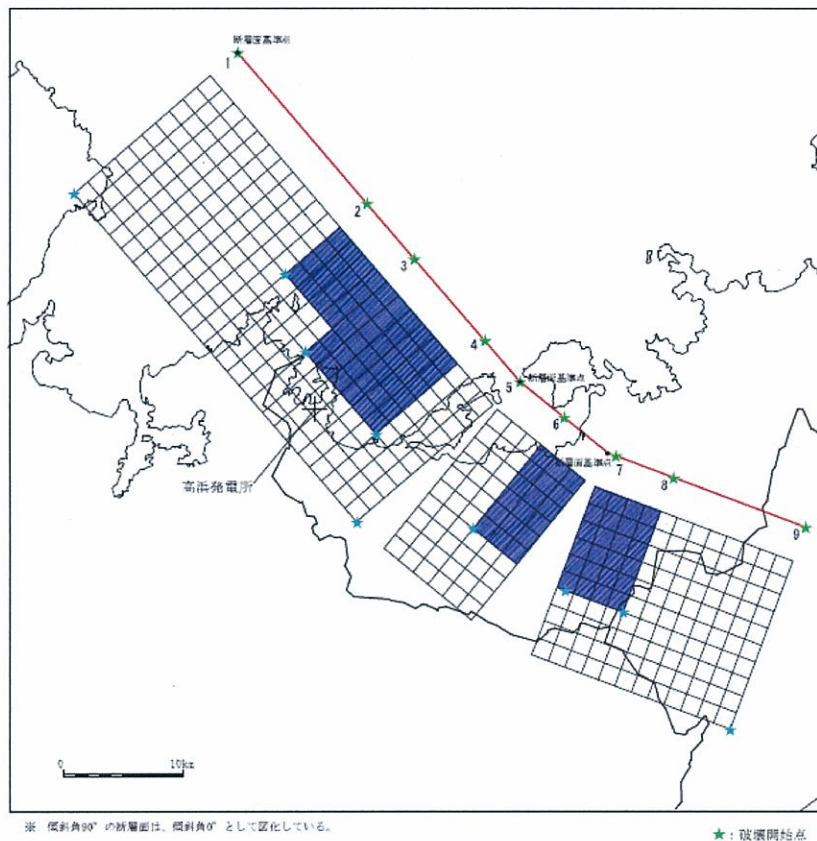
¹²⁰ 震源断層面の破壊が進んでくる方向の先に存在する観測点では、震源断層面から順次放出された地震波がほぼ同時に到達して重なり合うため、強い揺れが観測される。これを破壊伝播効果という。破壊開始点を様々な位置に設定して地震動評価を行うことで、このような破壊伝播効果による地震動の増幅も考慮しているのである。

	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	破壊開始点
基本ケース	レシピ平均	90°	0°	$V_r=0.72\beta$	敷地近傍に配置	複数設定
短周期の地震動レベルの 不確かさを考慮	レシピ平均×1.5倍	90°	0°	$V_r=0.72\beta$	敷地近傍に配置	複数設定
断層傾斜角の 不確かさを考慮	レシピ平均	75°	0°	$V_r=0.72\beta$	敷地近傍に配置	複数設定
すべり角の 不確かさを考慮	レシピ平均	90°	30°	$V_r=0.72\beta$	敷地近傍に配置	複数設定
破壊伝播速度 V_r の 不確かさを考慮	レシピ平均	90°	0°	$V_r=0.87\beta$	敷地近傍に配置	複数設定
アスペリティ配置の 不確かさを考慮	レシピ平均	90°	0°	$V_r=0.72\beta$	敷地近傍で一塊	複数設定
	レシピ平均	90°	0°	$V_r=0.72\beta$	敷地近傍で 一塊・横長	複数設定

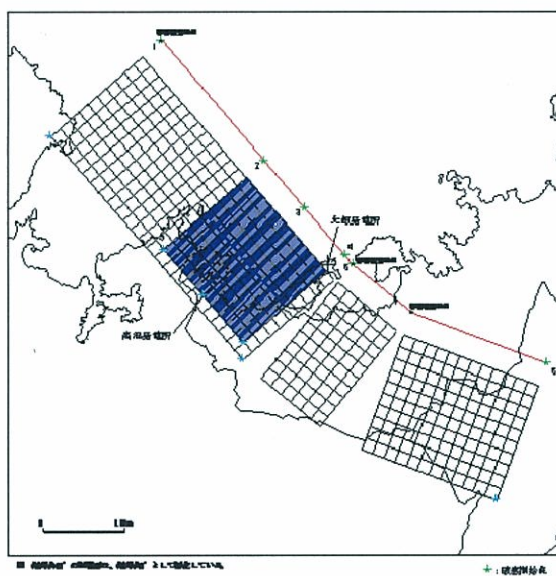
 : 不確かさを考慮したパラメータ

【図表 2 8 F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層による地震の地震動評価ケース】

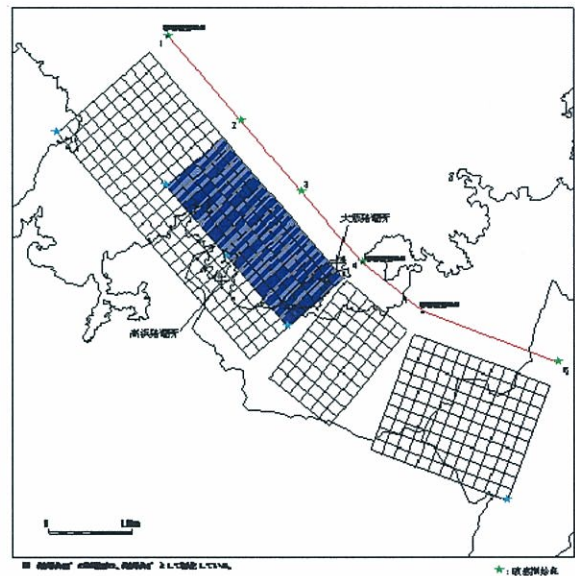
基本ケース、及び⑤のアスペリティを一塊として敷地近くに配置したケース（アスペリティの形状を変えて 2 ケース）の震源断層モデル図（断層配置図）は、それぞれ図表 2 9、図表 3 0 のとおりである。青色部分はアスペリティを、また、星印は破壊開始点の設定位置を表している（なお、この断層配置図は震源断層を真上から見たものだが、断層傾斜角が 90° の場合、真上から見ると断層面が単なる一本の線になってしまうため、便宜上、震源断層を横倒しした状態（断層傾斜角を 0° にした状態）で表示している）。



【図表29 FO-A～FO-B～熊川断層のモデル図（基本ケース）】



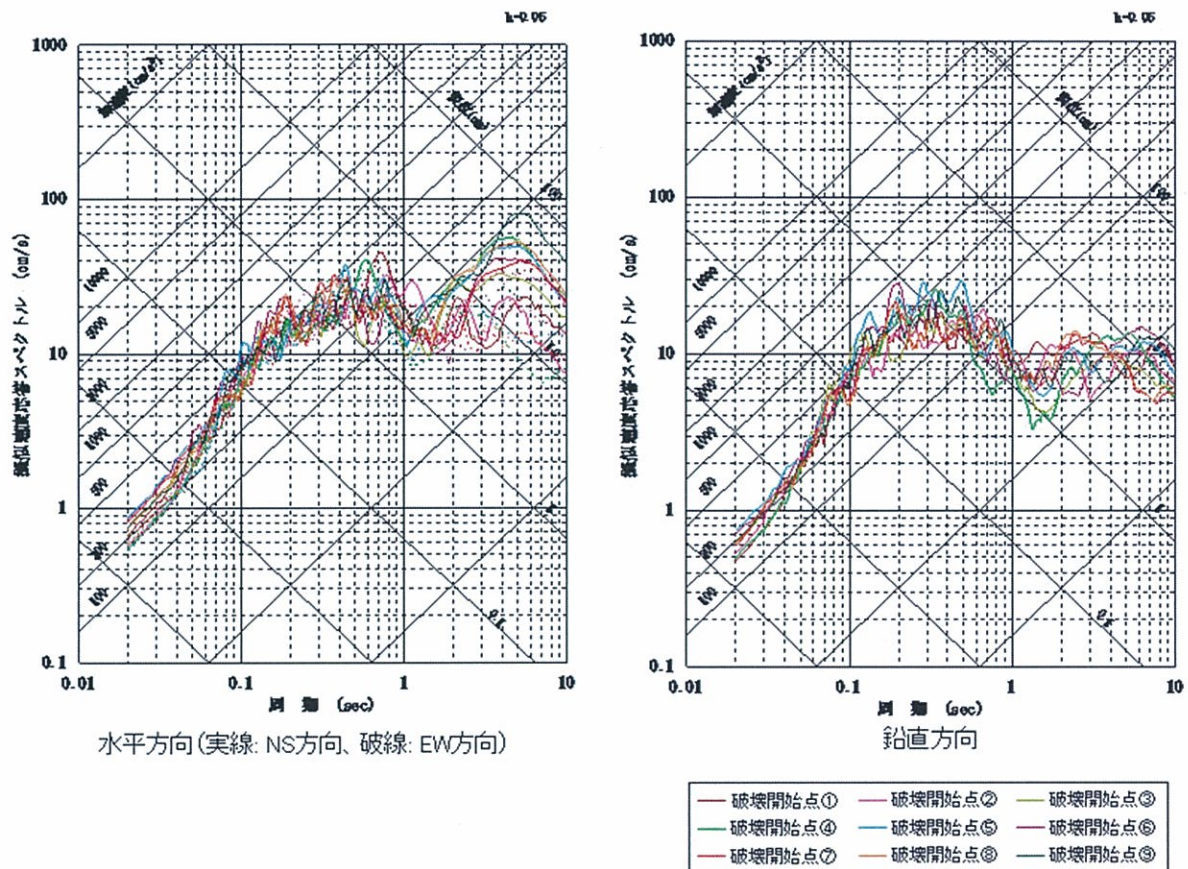
アスペリティ 一塊ケース



アスペリティ 一塊横長ケース

【図表30 FO-A～FO-B～熊川断層のモデル図(アスペリティ一塊ケース)】

基本ケース（破壊開始点の設定を変えて9ケース）の地震動評価結果（応答スペクトル）は図表31のとおりである（その他のケース（①～⑤のケース）の地震動評価結果については乙19号証の1、「高浜発電所の基準地震動について」スライド48～53を参照）。



【図表31 F O - A ～ F O - 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】

次に、検討用地震のうち、上林川断層による地震については、基本ケースとして、断層の上端深さを3km及び下端深さを18km、右横ずれ断層傾斜角 90° 、すべり角 0° 、破壊伝播速度 0.72β とし、アスペリティを敷地に近い位置に配置¹²¹した震源断層モデルを設定した。前述のF O -

¹²¹ 前述のとおり、上林川断層は、断層の存在が明確な範囲は約26kmであるが、西端部が不明瞭であることから、断層の存在を明確に否定できる福知山付近まで延長して、保守的に39.5kmと評価して

A～F O－B～熊川断層による地震の基本ケースと同様に、断層上端深さを安全側に（浅く）考えて 3km と設定し、かつ、強い揺れを生起するアスペリティの位置を敷地近傍に設定している点で、やはりこの基本ケース自体、保守的な条件設定を行っているものである。

その上で、不確かさを考慮したケースとして、①新潟県中越沖地震の知見を踏まえて短周期の地震動レベルを 1.5 倍としたケース、②破壊伝播速度を 0.87β とし、より短時間に多くの地震波が敷地に到達しやすい条件としたケースを考慮した。

そして、破壊開始点については、上記の全てのケースにおいて、断層面の下端及びアスペリティの下端に複数の場合（各ケースにつきそれぞれ 6箇所ずつ）を設定した。その結果、上林川断層による地震の、断層モデルを用いた手法による地震動評価については、全部で 18 ケースを評価した（図表 3 2）。

	短周期の 地震動レベル	破壊伝播速度 V_r	アスペリティ	破壊開始点
基本ケース	レシピ平均	$V_r=0.72\beta$	敷地に近い 位置に配置	複数設定
短周期の地震動レベルの 不確かさを考慮	レシピ平均 $\times 1.5$ 倍	$V_r=0.72\beta$	敷地に近い 位置に配置	複数設定
破壊伝播速度 V_r の 不確かさを考慮	レシピ平均	$V_r=0.87\beta$	敷地に近い 位置に配置	複数設定

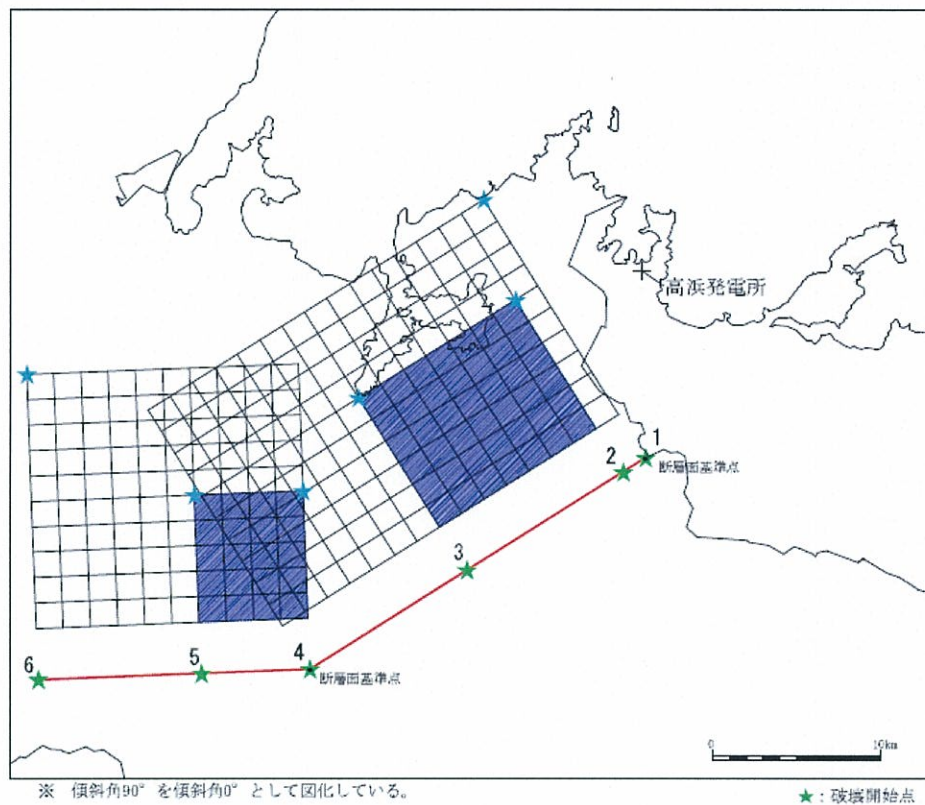
 :不確かさを考慮したパラメータ

【図表 3 2 上林川断層による地震の地震動評価ケース】

基本ケースの震源断層モデル図（断層配置図）は図表 3 3 のとおりで

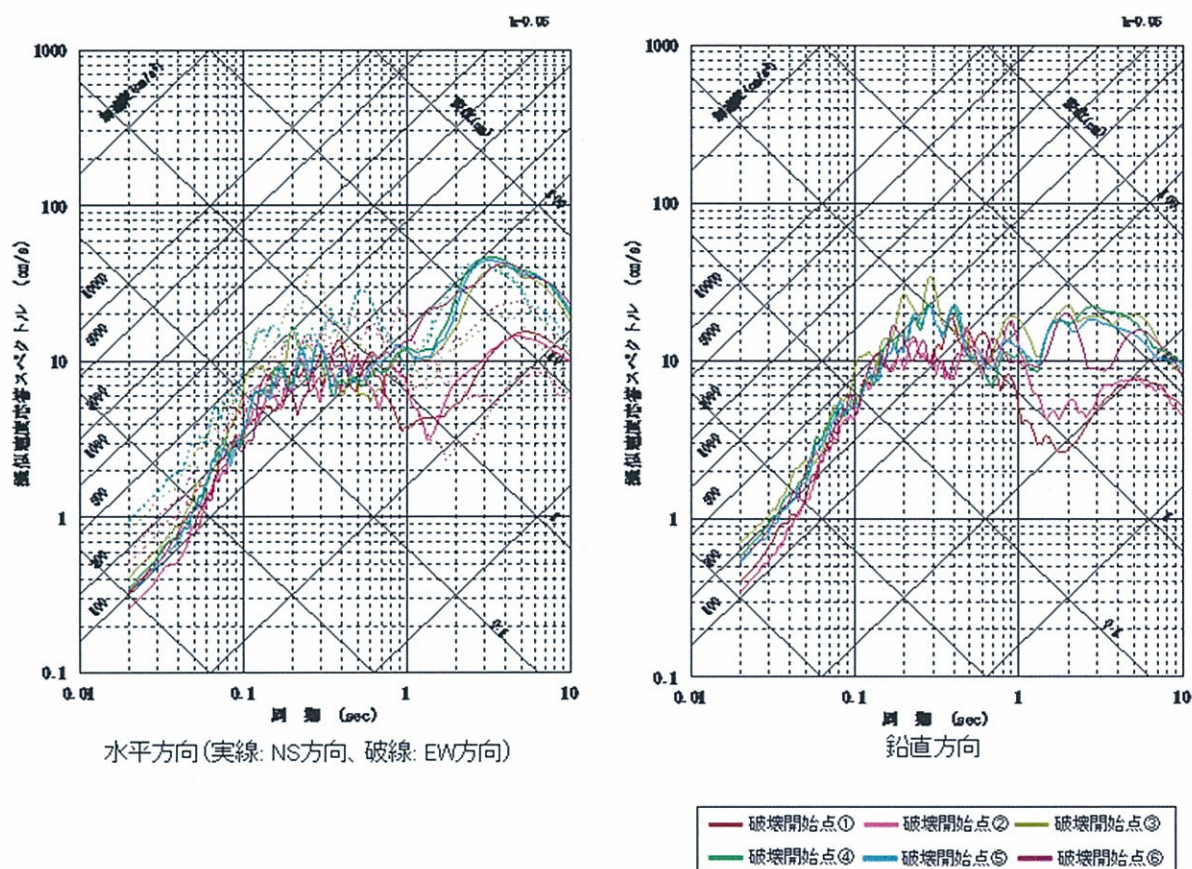
いる。アスペリティの配置については、断層の存在が明確な範囲及びその西方延長部に、それぞれ敷地に近い位置に配置している。

ある。



【図表 3 3 上林川断層のモデル図（基本ケース）】

また、基本ケース（破壊開始点の設定を変えて 6 ケース）の地震動評価結果（応答スペクトル）は図表 3 4 のとおりである（その他のケース（①及び②のケース）の地震動評価結果については乙 19 号証の 1，スライド 60～61 を参照）。



【図表 3-4 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】

第3 震源を特定せず策定する地震動

1 「震源を特定せず策定する地震動」の位置付け

(1) 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評価するのが「震源を特定せず策定する地震動」である。

(2) 平成 18 年改訂前の耐震設計審査指針においては、どの原子力発電所敷地においても一律にマグニチュード 6.5・震源距離 10km の直下地震を考慮することとされていた。これは、マグニチュード 6.5 より小さい規模の地震では、断層が地表に現れない可能性もあり、詳細な調査を実施してもなお把

握できない活断層が存在する可能性を否定しきれないことから、活断層が見つかっていない場所でもマグニチュード 6.5 程度の地震は起こり得るとの発想に立っての備えとして、敷地近傍に活断層の存在が確認されていない発電所を含めて、全ての原子力発電所で「ミニマム・リクワイアメント」として一律に考慮することとされていたものである。

- (3) その後、平成 18 年改訂後の耐震設計審査指針では、従来のように地震の規模（マグニチュード 6.5）を特定した直下地震を考慮する方法ではなく、国内外で発生した、詳細な調査を行っても活断層の存在を事前に把握できなかったと考えられる地震の震源近傍における地震動の観測記録をもとに、より厳しい「震源を特定せず策定する地震動」を策定することとされた。すなわち、「震源を特定せず策定する地震動」は、地震の規模（マグニチュード）や震源距離を定めて地震動を計算する方法によるのではなく、現実には得られた震源近傍の強震動観測記録に基づいて地震動を策定するものである。

平成 25 年 7 月に施行された新規制基準においても、「震源を特定せず策定する地震動」は、「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」とされているところである（乙 17, 128 頁, 別記 2 第 4 条 5 項三）。

2 高浜発電所と「震源を特定せず策定する地震動」

高浜発電所においては、敷地近く（震央距離 15km）に F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層という長い活断層（断層の存在が現実には確認されていない区間も含めて 63.4km）が存在する（活断層の長さから想定される地震の規模はマグニチュード 7.8）との前提で「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」を評価している。したがって、地震動の大きさから考えて、高浜発電所敷地

に到来し得る地震動の想定においては「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」が支配的な地位を占めており、高浜3，4号機の基準地震動に「震源を特定せず策定する地震動」が寄与する度合いは小さい。

しかしながら、「震源を特定せず策定する地震動」は「敷地近傍における詳細な調査の結果にかかわらず、全ての申請において共通的に考慮すべき地震動である」（甲120，7頁）との、平成18年改訂後の耐震設計審査指針に記載された趣旨に則り、債務者は、「震源を特定せず策定する地震動」を評価している。

3 「震源を特定せず策定する地震動」の評価

（1）はじめに

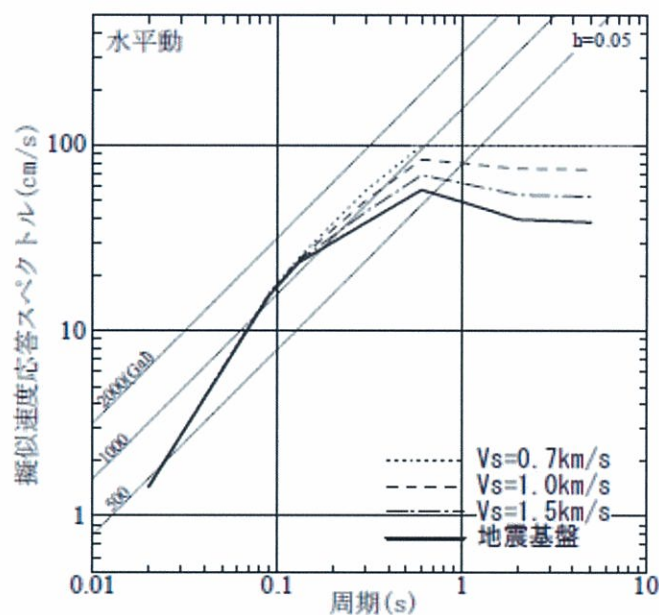
債務者は、「震源を特定せず策定する地震動」の評価にあたり、震源と活断層を関連づけることが困難な過去の内陸地殻内地震の震源近傍での観測記録に基づいて策定された応答スペクトル（加藤ほか（2004）¹²²（甲204）で示されている応答スペクトル）の、高浜3，4号機における評価への適用について検討するとともに（下記（2））、原子力規制委員会が新規制基準下の「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」（甲47，以下、「審査ガイド」という）において、観測記録の収集対象となる内陸地殻内地震（震源と活断層を関連づけることが困難な内陸地殻内地震）の例として示している16地震について、観測記録収集の要否や高浜3，4号機での考慮の要否等について検討した（下記（3））。

（2）加藤ほか（2004）による応答スペクトル

加藤ほか（2004）では、国内外で発生した内陸地殻内地震を対象として、

¹²² 脚注50を参照。

詳細な地質学的調査によっても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35)。債務者は、高浜発電所敷地周辺の地下構造調査により、敷地地下にS波速度2.2km/s以上の硬質な岩盤が広がっていることを確認していることから、図表35中の4つの応答スペクトルのうち、S波速度(V_s)2.2km/s以上の岩盤に適用される、「地震基盤」の応答スペクトル(図中の実線の応答スペクトル)を採用することとした。



【図表35 加藤ほか(2004)による水平方向の地震動の応答スペクトル】

(3) 審査ガイドに例示されている16地震

ア $M_w6.5$ を基準とした区分

(ア) 審査ガイドで、観測記録の収集対象となる内陸地殻内地震の例として示されている16地震は図表36のとおりである(甲47, 8頁)。

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年和歌山県北部地震	2011/07/05.19:18	Mw5.0

【図表 3 6 審査ガイドで例示されている 1 6 地震】

(イ) 審査ガイドでは、観測記録の収集対象となる地震を、①「地表地震断層が出現しない可能性がある地震」すなわち「断層破壊領域が地震発生層の内部に留まり、国内においてどこでも発生すると考えられる地震で、震源の位置も規模もわからない地震として地震学的検討から全国共通に考慮すべき地震(震源の位置も規模も推定できない地震(Mw6.5未満の地震))」と、②「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」すなわち「震源断層がほぼ地震発生層の厚さ全体に広がっているものの、地表地震断層としてその全容を表すまでには至っていない地震(震源の規模が推定できない地震(Mw6.5以上の地震))」の2種類に区分している(甲47, 7~8頁)。

かかる区分に従い、審査ガイドに例示されている16地震も、Mw6.5¹²³以上の2地震(下記イ)とMw6.5未満の14地震(下記ウ)と

¹²³ 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(Mw)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

に分けて検討することができる。以下、順に説明する。

イ Mw6.5 以上の 2 地震

(ア) 審査ガイドに例示されている 16 地震のうち、Mw6.5 以上の 2 地震については、その発生した地震の震源域周辺と高浜発電所敷地周辺の地域性等を比較するなどして、採用の可否を検討した。

(イ) 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）は、審査ガイドにいう「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」（甲 47，8 頁，（2）③）である。上部に軟岩や火山岩、堆積層が厚く分布する地域では、活断層を発見しづらくなるが、高浜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）地域ではないことから、観測記録の収集対象外（高浜 3，4 号機の「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。

(ウ) 平成 12 年（2000 年）鳥取県西部地震（以下、「鳥取県西部地震」という）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、審査ガイドにいう「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」（甲 47，8 頁，（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、高浜発電所敷地周辺では見られない特徴があり、高浜発電所敷地周辺では、鳥取県西部地震と同規模の地震を

ュード (Mw) は、断層運動の大きさ (エネルギー) を表す地震モーメント (M_0) をもとに、 $Mw = 1/1.5 \times (\log M_0 - 9.1)$ という算式で計算される値である。

発生させる活断層を事前に見出せないということは考えにくいと評価できるところである。しかしながら、原子力規制委員会における議論を踏まえ、債務者は、両地域の間には地質学的背景に差はあるものの、明瞭には差異は認められないと判断することとし、鳥取県西部地震の地震動の観測記録を高浜 3, 4 号機の「震源を特定せず策定する地震動」の評価に採用することとした。

評価にあたっては、鳥取県西部地震の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 と速く十分な固さがあり、賀祥ダムでの観測記録は、解放基盤表面と同等の固さを有する岩盤における記録とみることができる¹²⁴。高浜発電所の解放基盤表面（S 波速度 2.2km/s）は賀祥ダムよりも S 波速度が速く固い地盤であり、仮に高浜発電所敷地周辺で同様の地震が生じた場合は、この観測記録よりも小さい揺れになると考えられるものの、債務者は、地震動がより大きくなる条件となるように、地盤の特性による補正等を行わず、賀祥ダムにおける観測記録をそのまま用いて応答スペクトルを設定した（下記第 4 の 2 を参照）。

ウ Mw6.5 未満の 14 地震

（ア）審査ガイドに例示されている 16 地震のうち、Mw6.5 未満の 14 地震については、これらの地震の震源近傍（断層最短距離 30km 以内）における防災科学技術研究所の K-NET 及び KiK-net の観測記録のうち、地盤が著しく軟らかいと考えられる観測点を除外するため、AVS30（表層地盤（地表から約 30m 程度の深さまで）の平均 S 波速度）が 500m/s 以上の観測点における 95 の観測記録を抽出した。これらの観測記

¹²⁴ 一般に、解放基盤表面は、S 波速度が概ね 0.7km/s より速い、固い岩盤に設定される。

録のうち、加藤ほか（2004）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、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、平成 16 年（2004 年）12 月 14 日に北海道留萌支庁南部で発生した地震（審査ガイドにいう「2004 年北海道留萌支庁南部地震」。以下、「北海道留萌支庁南部地震」という）の HKD020（港町）観測点の記録のみであった。そこで、債務者は、高浜 3，4 号機の「震源を特定せず策定する地震動」の評価において、同観測点の観測記録を考慮することとした。

（イ）北海道留萌支庁南部地震は、地表に震源断層が出現しなかったものの、震源近傍で大きな加速度の地震動が観測された地震である。この地震では、上記のとおり、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ところ、佐藤ほか（2013）¹²⁵により、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固さを有する岩盤面（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、同基盤面（S 波速度 938m/s）における地震動の推定¹²⁶がなされていた（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¹²⁷が、さら

¹²⁵ 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

¹²⁶ 同基盤面を解放基盤表面とみなした場合（上部の地盤等の影響を受けないものと仮想した場合）の、同基盤面における地震動を推定したものである。

¹²⁷ 高浜発電所の解放基盤表面（S 波速度 2.2km/s）は、HKD020（港町）観測点の基盤面（S 波速度 938 m/s）に比べ、地震波の伝播速度が速く固い地盤であるが、債務者は、より安全側に立って評価するため、HKD020（港町）観測点の基盤面において推定された地震動を、地盤の特性により補正等することなく採用することとしたものである。

に、同観測点の地下構造についての不確かさを考慮して、基盤面の地震動を（最大加速度は、水平方向 609 ガル、鉛直方向 306 ガルと）評価した。その上で、原子力規制委員会における議論を踏まえ、債務者は、地震動の評価結果をより大きく（最大加速度を、水平方向 620 ガルに、鉛直方向 320 ガルに）して、高浜 3，4 号機の「震源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（下記第 4 の 2 を参照）。

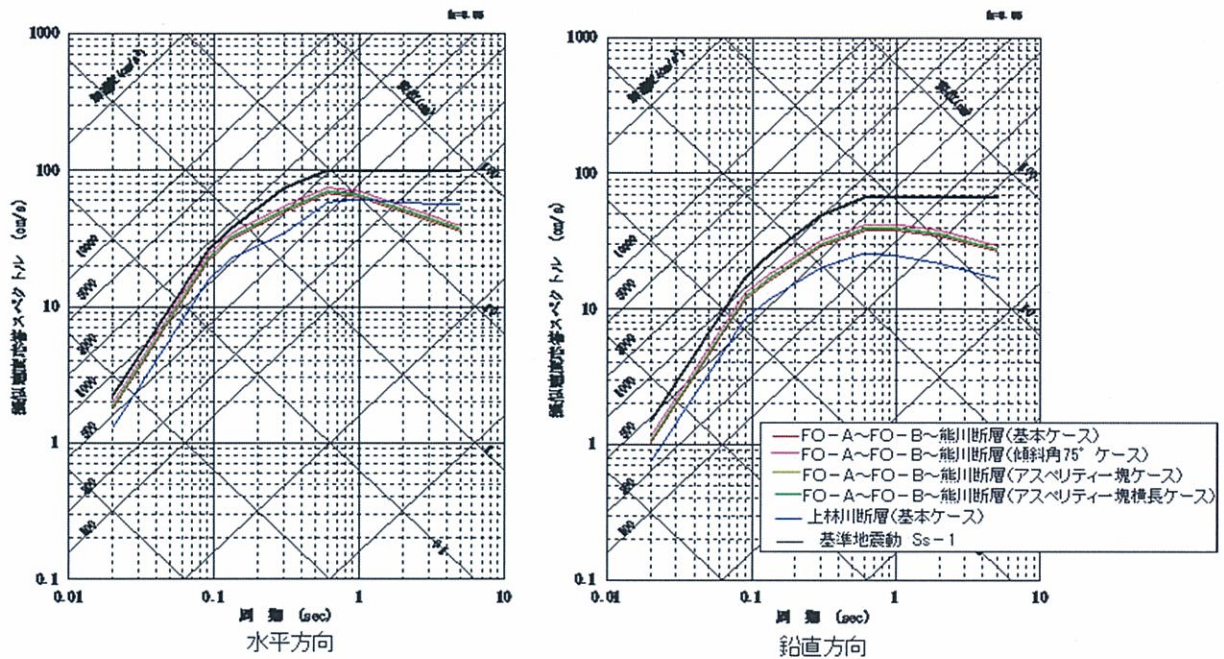
第 4 基準地震動の策定

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

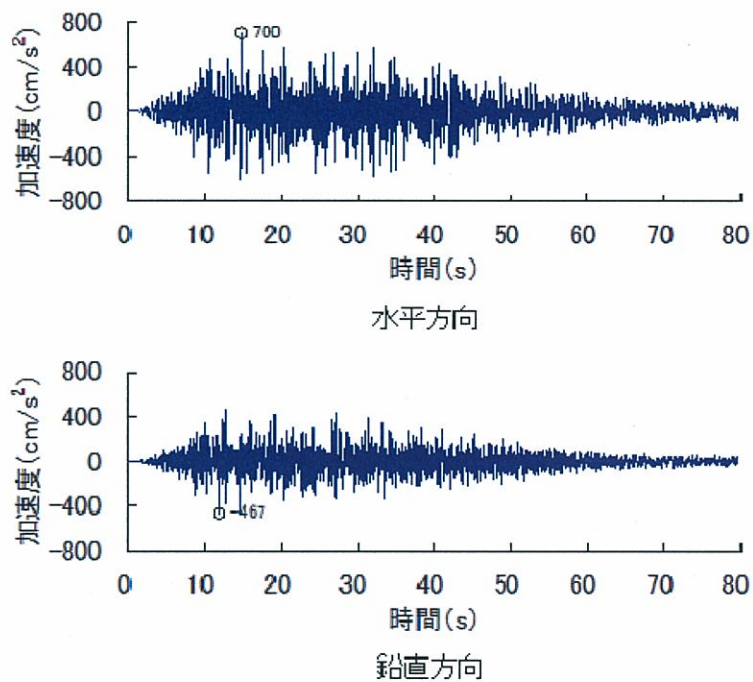
（1）応答スペクトルに基づく地震動評価結果を踏まえた基準地震動の策定

「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 5（1））を踏まえて、高浜 3，4 号機の基準地震動 $S_s - 1$ の応答スペクトルを、図表 37 の黒色線のとおり策定した。

この基準地震動 $S_s - 1$ の加速度時刻歴波形は、図表 38 のとおりであり、最大加速度は 700 ガル（水平方向）である。



【図表 3 7 基準地震動 S s - 1 の応答スペクトル】



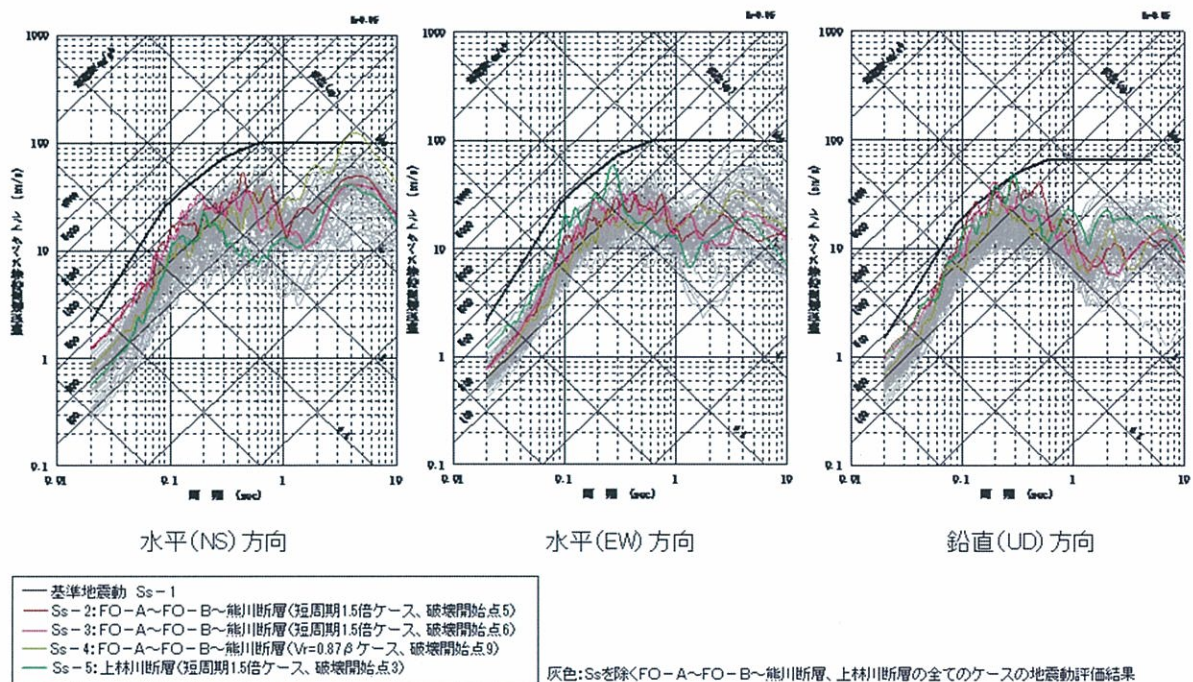
【図表 3 8 基準地震動 S s - 1 の加速度時刻歴波形】

基準地震動 S s - 1 の応答スペクトルは、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層による地震及び上林川断層による地震の、耐専式による地震動評価結果

(上記第2の5(1)カの図表24及び同キの図表25)を、水平方向・鉛直方向ともに、全ての周期帯で上回っている。

(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56ケース)及び上林川断層による地震(全18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(上記第2の5(2)オ及びカ)のうち、基準地震動 S_s-1 の応答スペクトルを上回る4つのケース(図表39)を、それぞれ基準地震動 $S_s-2 \sim S_s-5$ として策定した。最大加速度は、水平方向が基準地震動 S_s-3 (NS方向)の396ガル、鉛直方向が基準地震動 S_s-2 の334ガルである(基準地震動 $S_s-2 \sim S_s-5$ の加速度時刻歴波形については乙19号証の1, スライド82を参照)。



【図表39 基準地震動 $S_s-2 \sim S_s-5$ の応答スペクトル】

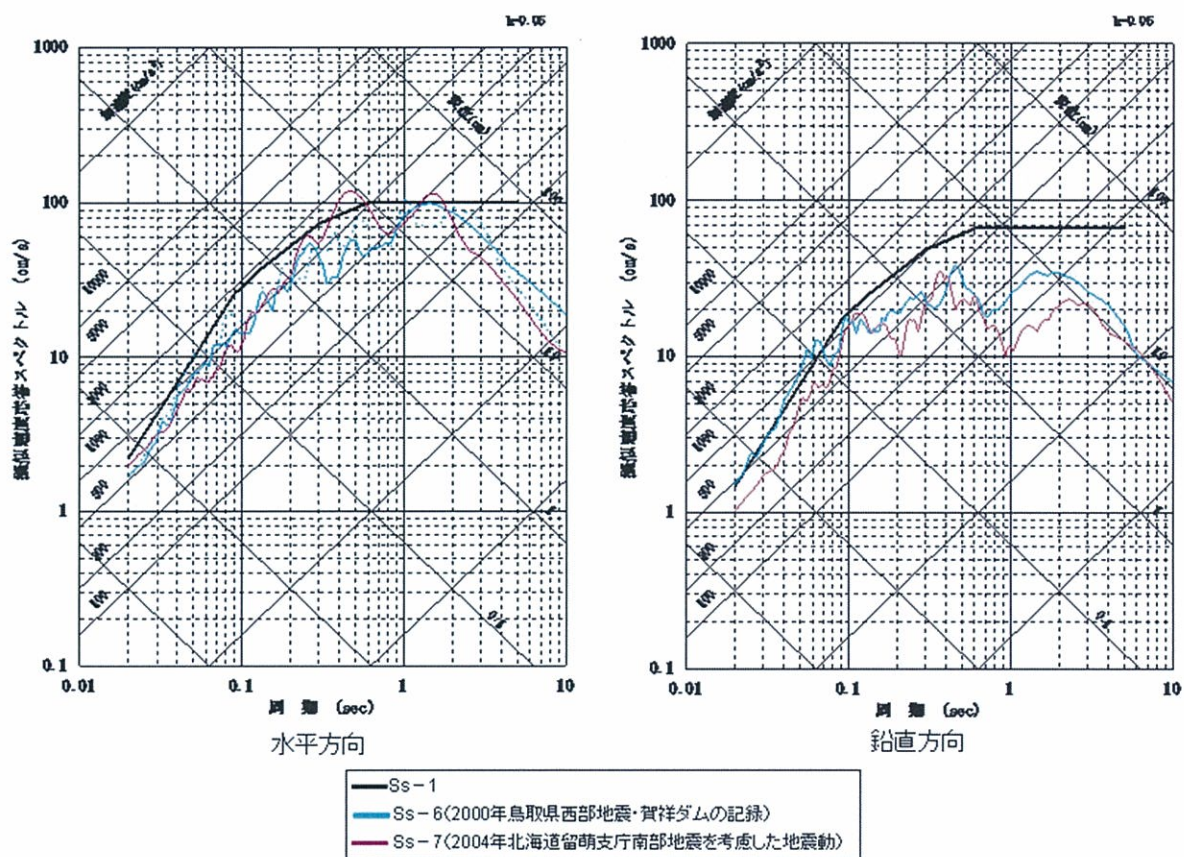
2 「震源を特定せず策定する地震動」の評価結果に基づく基準地震動

上記第3の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3(2)で設定した、加藤ほか(2004)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 $S_s - 1$ の応答スペクトルを下回っている。

一方、第3の3(3)で設定した、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及び鳥取県西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 $S_s - 1$ の応答スペクトルをある周期で上回る¹²⁸ため、これらを、それぞれ、基準地震動 $S_s - 6$ 、 $S_s - 7$ として策定した¹²⁹(図表40)。

¹²⁸ 前述のとおり、高浜発電所の解放基盤表面は、これらの応答スペクトルを設定している地盤よりも地震波の伝播速度が速く固い地盤であるが、債務者は、より安全側に立って(地震動が大きくなるよう)評価するため、地盤の特性による補正等を行っていない。

¹²⁹ 基準地震動 $S_s - 6$ 及び $S_s - 7$ の加速度時刻歴波形は、乙19号証の1、スライド83を参照。



【図表 4 0 基準地震動 S s - 6 , S s - 7 の応答スペクトル】

3 地震動評価における不確かさの考慮について

ここで、高浜 3, 4 号機の地震動評価における不確かさの考慮について、改めて述べる。

(1) 地震動評価を行う際に設定している「基本ケース」の保守性

ア 既に述べたとおり、債務者は、検討用地震の地震動評価を実施するにあたって、「基本ケース」を設定する段階で、複数の震源断層パラメータに関して保守的な条件設定を行っている。

イ まず、震源断層の長さに関して、第 2 の 2 (2) で述べたとおり、そもそも、F O - A ~ F O - B 断層と熊川断層が連続していることを示す地質構造は確認されておらず、F O - A ~ F O - B 断層と熊川断層は約 15km の離隔を有しているため、両断層は連動しないと判断される。しか

しながら、債務者は、より安全側に（高浜発電所敷地での地震動がより大きくなる方向に）考えることとし、断層の存在が確認されていない区間（約 15km）を含めて、F O－A～F O－B 断層（約 35km）と熊川断層（約 14km）との連動（3 連動）（63.4km）を考慮して、これを基本ケースとしている。また、上林川断層の長さに関しても、断層の存在が明確な範囲は約 26km であるが、西端部が不明瞭であることから、断層の存在を明確に否定できる福知山付近まで延長して、保守的に 39.5km と評価している。

ウ 次に、断層上端深さ（地震発生層の深さ）についても、第 2 の 4（2）で述べたとおり、内陸地殻内地震は P 波速度約 6.0km/s 以上の地層で発生するとされていることから、若狭湾周辺地域で P 波速度 6.0km/s 以上となる地層の上面深度に関する調査結果より、これまで断層上端深さを 4km と設定していた。しかしながら、今般、他の知見（廣瀬・伊藤（2006）等）も参考に、P 波速度 5.8km/s 以上となる層を地震発生層と評価することとし、敷地周辺での P 波速度 5.8km/s の層の上面深度は 3.7km であるとの調査結果を踏まえ、これに更なる余裕を見て、断層上端深さ 3km を地震動評価の基本ケースとして設定しているものである（断層上端深さが浅くなれば、震源断層面の面積がその分大きくなる上に、震源断層面と高浜発電所敷地との距離も近くなるため、敷地における地震動は大きくなる）。

エ 加えて、断層モデルを用いた手法による地震動評価にあたって震源断層モデルを設定する際にも、第 2 の 5（2）で述べたとおり、基本ケースの段階で、強震動を生起するアスペリティの位置を各断層について高浜発電所の敷地近傍に配置するとともに、破壊開始点を複数設定し、破

壊伝播効果¹³⁰による地震動の増幅も考慮するようにしている。

オ 以上のように、債務者は、検討用地震の地震動評価における「基本ケース」の設定段階において、「震源断層の長さ」、震源断層面積や震源距離に影響する「断層上端深さ」、震源断層面における「アスペリティ位置」、「破壊開始点の位置」といったパラメータについて、より安全側に立った保守的な条件設定を行っている。したがって、「基本ケース」の地震動評価結果自体が、保守性を有するものとなっているのである。

(2) 保守性を持たせた「基本ケース」に加えての、不確かさの考慮

ア 債務者は、断層モデルを用いた手法による地震動評価を行うにあたり、上記のように保守的な条件で設定した「基本ケース」に加えて、さらに、数多くの震源断層パラメータについて不確かさを考慮したケースを設定している。敷地近傍のF O - A ~ F O - B ~ 熊川断層による地震に関しては、第2の5(2)オで述べたとおり、①短周期の地震動レベル、②断層傾斜角、③すべり角、④破壊伝播速度、⑤アスペリティ配置、⑥破壊開始点について、不確かさを考慮した条件設定を行っている。

イ ここで、上記の不確かさを考慮するパラメータのうち、①短周期の地震動レベル、②断層傾斜角、③すべり角、④破壊伝播速度は、事前の詳細な調査や経験式（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）であり、それぞれ独立して不確かさを考慮すれば足りる。一方、⑤アスペリティ配置及び⑥破壊開始点については、地震発生後の分析等により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、これらについ

¹³⁰ 脚注 120 を参照。

ては、不確かさを重畳させて考慮している（図表 4 1）。

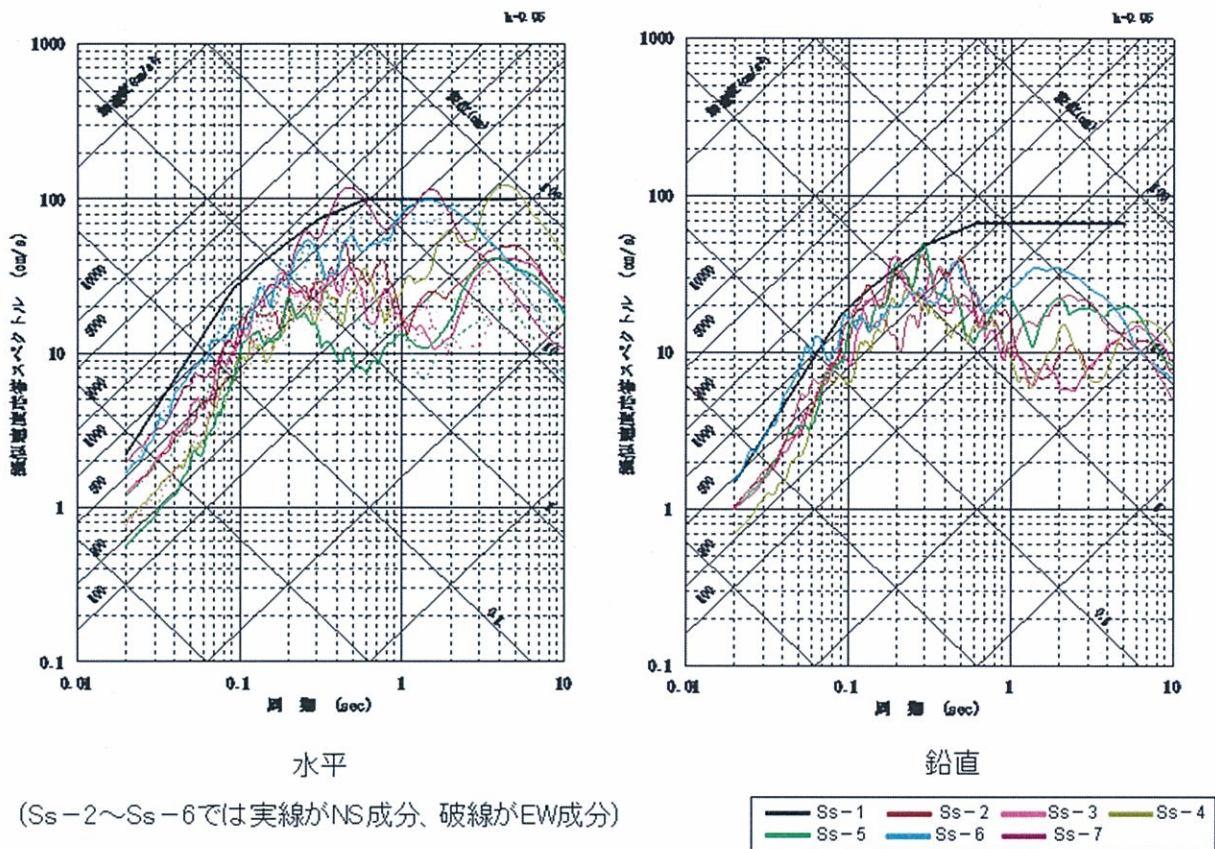
考慮した不確かさ	短周期の地震動レベル	断層傾斜角	すべり角	破壊伝播速度 V_r	アスペリティ配置	破壊開始点
基本ケース	レシピ平均	90°	0°	$V_r=0.72\beta$	①断層ごとに敷地近傍に配置	9箇所
短周期の地震動レベル (新潟県中越沖地震の知見を反映)	レシピ平均×1.5倍	90°	0°	$V_r=0.72\beta$	①断層ごとに敷地近傍に配置	9箇所
断層傾斜角	レシピ平均	75°	0°	$V_r=0.72\beta$	①断層ごとに敷地近傍に配置	9箇所
すべり角	レシピ平均	90°	30°	$V_r=0.72\beta$	①断層ごとに敷地近傍に配置	9箇所
破壊伝播速度 V_r	レシピ平均	90°	0°	$V_r=0.87\beta$	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)	6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

■ : 不確かさを独立して考慮するパラメータ ■ : 不確かさを重畳して考慮するパラメータ

【図表 4 1 F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層による地震に関する不確かさの考慮】

4 小括

以上により策定した、高浜 3, 4 号機の基準地震動 $S_s - 1 \sim S_s - 7$ の応答スペクトルは図表 4 2 のとおりである。最大加速度は、水平方向が基準地震動 $S_s - 1$ の 700 ガル、鉛直方向が基準地震動 $S_s - 6$ の 485 ガルである。



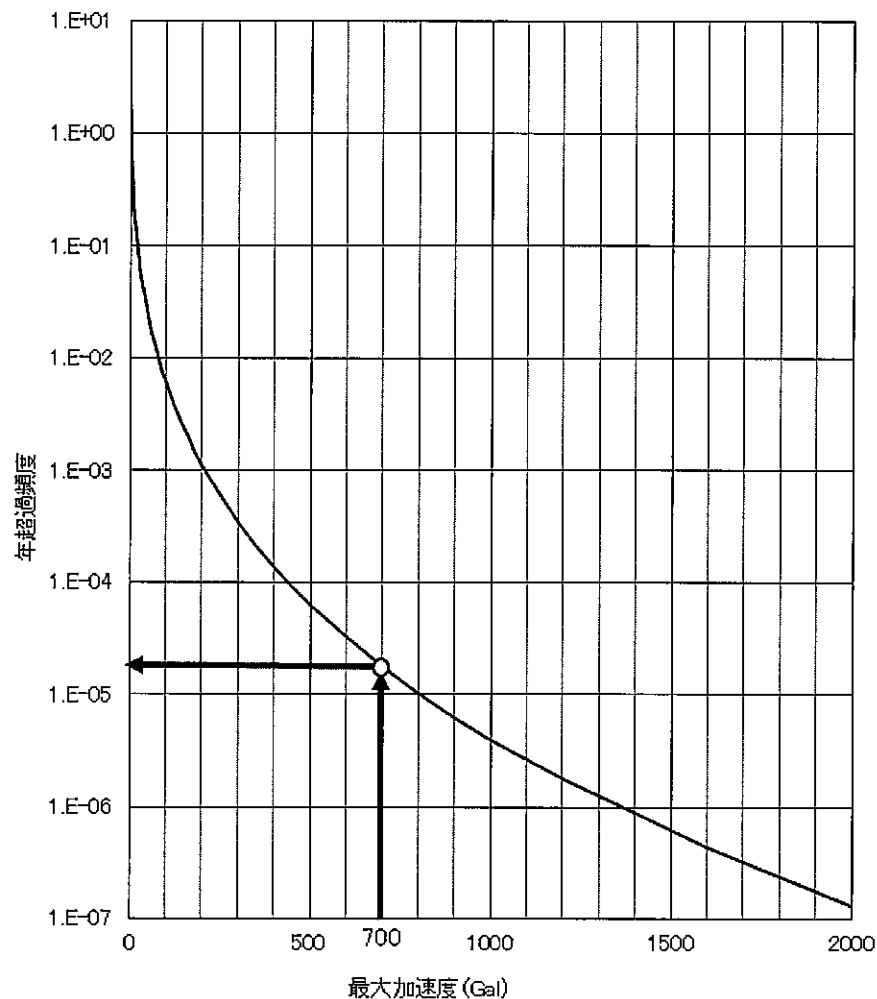
【図表 4 2 基準地震動 S s - 1 ～ S s - 7 の応答スペクトル】

5 基準地震動の年超過確率について

以上述べたとおり、債務者は、高浜発電所敷地周辺の地震発生状況、活断層の分布状況等の地質・地質構造に関して、詳細な調査・評価を実施した上で、それらの調査・評価結果に基づき、高浜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、敷地及び敷地周辺の地下構造の調査・評価結果も踏まえて、震源断層の大きさ等の震源断層パラメータについて、保守的な条件で「基本ケース」を設定するとともに、さらに様々な不確かさも適切に考慮した上で、兵庫県南部地震を契機に発展してきた最新の地震動評価手法（「震源特性」と地下構造による地震波の「伝播特性」及び「地盤の増幅特性（サイト特性）」を、地域性を踏まえて詳細に考慮する地震動評価手法）を用いて、検討用地震の地震動評価を行っている（「敷

地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価)。さらに「震源を特定せず策定する地震動」も評価した上で、高浜3, 4号機の基準地震動 $S_s - 1 \sim S_s - 7$ を策定しているところである。したがって、高浜3, 4号機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。

参考までに、審査ガイドに基づき、基準地震動の年超過確率（1年間にある値を超過する確率を表すもの）を算定した評価結果は図表4-3のとおりである。高浜3, 4号機の基準地震動（最大加速度 700 ガル）に対する年超過確率は白い丸印で示すところの縦軸の値であり、 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ / 年である。したがって、高浜3, 4号機の基準地震動の超過確率は、1万年～10万年に1回程度となり、基準地震動の最大加速度 700 ガルを超過する地震動が到来する可能性は極めて低いことが分かる。



【図表 4 3 基準地震動の年超過確率】

第 5 高浜 3, 4 号機の基準地震動に係る原子力規制委員会の審査

本章で述べたとおり、債務者は、高浜発電所敷地周辺の地震発生状況、活断層の分布状況等の地質・地質構造、地下構造等に関して、詳細な調査・評価を実施した上で、それらの調査・評価結果に基づき、検討用地震の震源断層の大きさ等の震源断層パラメータについて、保守的な条件で「基本ケース」を設定するとともに、さらに様々な不確かさも適切に考慮した上で、最新の地震動評価手法を用いて、検討用地震の地震動評価を行い（「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価）、加えて「震源を特定せず策定する

地震動」も評価して、高浜3，4号機の基準地震動を策定している。

この点、債務者は、平成25年7月8日、高浜3，4号機について、原子力規制委員会に対し、原子炉設置変更許可等の申請を行い、以降、同委員会の「原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合」（以下、「審査会合」という）において、債務者の策定した高浜3，4号機の基準地震動の、新規制基準への適合性について審査が行われてきた。その後、平成26年12月に、原子力規制委員会が、高浜3，4号機の原子炉設置変更許可申請に係る新規制基準への適合性を認めるに至り（乙12、「関西電力株式会社高浜発電所3号炉及び4号炉の発電用原子炉設置変更許可申請書に関する審査書案に対する意見募集等について（案）」），同委員会が取りまとめた審査書の案では、「規制委員会は、申請者（引用者注：債務者）が行った地震動評価の内容について審査した結果、本申請における基準地震動は、各種の不確かさを考慮して、最新の科学的・技術的知見を踏まえ、敷地及び敷地周辺の地質・地質構造、地盤構造並びに地震活動性等の地震学及び地震工学的見地から適切に策定していることから、解釈別記2（引用者注：設置許可基準規則解釈別記2）の規定に適合していることを確認した」（乙12号証の添付「関西電力株式会社高浜発電所の発電用原子炉設置変更許可申請書（3号及び4号発電用原子炉施設の変更）に関する審査書（案）」12頁）と評価されているところである。

第4章 大飯3，4号機の新たな基準地震動

第1 基準地震動の策定方針

基準地震動は，高浜3，4号機の場合と同様に，以下の方針により策定した。

- ①まず，大飯発電所敷地周辺における地震発生状況，地質・地質構造等を調査し，敷地に大きな影響を与えると予想される地震（検討用地震）を選定する。その後，地下構造の調査・評価結果を踏まえて，検討用地震について地震動評価を実施し，「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」を評価する。
- ②次に，大飯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，「震源を特定せず策定する地震動」を評価する。
- ③その上で，上記の「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」の評価結果に基づき，基準地震動を策定する。

以下，上記の策定方針に沿って詳述する。

第2 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価にあたっては，まず，大飯発電所敷地周辺の地震発生状況を把握する（下記1）とともに，活断層の分布状況等の地質・地質構造を調査し（下記2），これらをもとに検討用地震を選定した（下記3）。

次に，選定した検討用地震の地震動評価にあたり，地下構造を調査，評価した（下記4）。そして，検討用地震の地震動評価を実施し，「敷地ごとに震

源を特定して策定する地震動」を評価した（下記５）。

なお、以下においては、高浜３，４号機の場合と同様に、今回新たに実施した調査のみならず、従来から既に実施している調査・検討の内容等も含めて、総合的に述べる。

1 敷地周辺の地震発生状況

債務者は、高浜３，４号機の場合と同様に、過去の被害地震について、主な地震の震央位置、地震規模等を取りまとめた資料から、大飯発電所からの震央距離が 200km 程度以内の主な被害地震を確認している。そして、それらのうち、敷地で震度Ⅴ程度以上であったと考えられる 9 個の地震を、検討用地震の候補として抽出した（図表 4 4）。

年月日	規模 M	震央距離 (km)	地 名 (地震名)
745. 6. 5	7.9	94	美濃
1185. 8. 13	7.4	61	近江・山城・大和
1586. 1. 18	7.8	104	畿内・東海・東山・北陸諸道
1596. 9. 5	7.5	85	畿内および近隣
1662. 6. 16	7.5	35	山城・大和・河内・和泉・摂津・丹後・若狭・近江・美濃・伊勢・駿河・三河・信濃
1819. 8. 2	7.25	70	伊勢・美濃・近江
1891. 10. 28	8.0	86	愛知県・岐阜県 (濃尾地震)
1927. 3. 7	7.3	67	京都府北西部 (北丹後地震)
1963. 3. 27	6.9	33	福井県沖 (越前岬沖地震)

【図表 4 4 敷地に影響を及ぼしたと考えられる過去の被害地震】

上記で抽出された過去の被害地震は、活断層との関連や地震の発生深さから、いずれも内陸地殻内地震である。

その他の地震発生様式として、プレート間地震及び海洋プレート内地震があるが、高浜発電所と同様に、いずれも敷地へ及ぼす影響は大きくない。

2 敷地周辺の地質・地質構造調査

(1) 各種調査の実施

債務者は、高浜3、4号機の場合と同様に、大飯発電所敷地周辺の地形及び地質・地質構造を把握するため、各種調査を実施している。ここでは主に、震源として考慮する活断層の評価に必要なデータを得るために実施した調査について述べる¹³¹。

ア 文献調査

陸域及び海域を対象に、文献に記載の既往の調査結果から、敷地周辺の地形及び地質・地質構造の概要を把握するとともに、文献に記載されている活断層を抽出した。

イ 変動地形学的な観点に基づく地形調査

陸域を対象に、空中写真判読並びに航空レーザー測量及び現地での測量による対象地点の標高の詳細な調査に基づき、変動地形学的な観点から活断層の可能性のある地形を抽出した。

ウ 地表地質調査等

陸域を対象に、文献調査で抽出された活断層や地形調査で抽出された活断層の可能性のある地形について、震源として考慮する活断層の有無、及び考慮すべき長さを明確にするため、現地において調査を実施した。

まず、地表調査を実施し、次に、地表調査だけでは判断が難しく、更に詳細なデータが必要な場合には、ボーリング調査、トレンチ調査、反射法地震探査等を実施した。

¹³¹ 特に、大飯発電所敷地から半径30km内については、より精度の高い詳細な調査を実施している。

これらの調査結果より、該当箇所における断層の有無、存在した場合は、後期更新世以降の活動の有無を明らかにするとともに、震源として考慮する活断層の存在が確認されれば、それ以上延長しない場所を確認することにより、考慮すべき長さを決定した。

また、震源として考慮する活断層が近接して分布する場合は、それらが連動する可能性を検討するため、より入念に、両断層を結ぶような構造の有無を確認した。

なお、債務者以外の、日本原子力発電株式会社、独立行政法人日本原子力研究開発機構、地質調査所等による地質調査等の調査結果も含めた詳細な検討を実施した。

エ 海上音波探査等

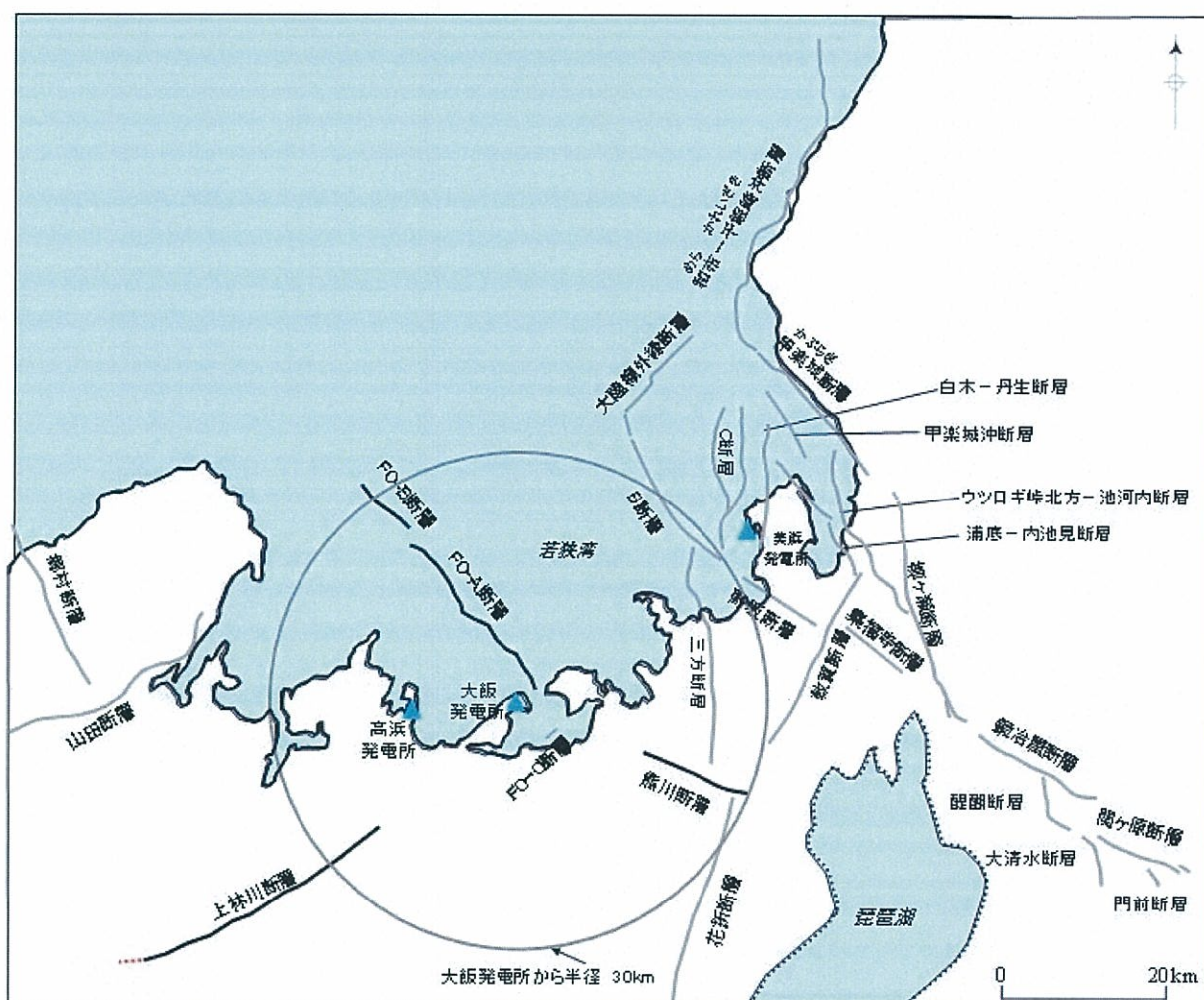
海域を対象に、地質調査所等が実施した海上音波探査の記録の解析・評価を行うとともに、必要に応じて海上音波探査、海上ボーリング調査等を実施した。

これらの調査結果より、該当箇所における断層の有無、存在した場合は後期更新世以降の活動の有無を明らかにするとともに、震源として考慮する活断層の存在が確認されれば、それ以上延長しない場所を確認することにより、考慮すべき長さを決定した。

また、震源として考慮する活断層が近接して分布する場合は、それらが連動する可能性を検討するため、陸域と同様に、より入念に調査した。

(2) 活断層の評価

以上の調査結果に基づいて、大飯発電所敷地周辺を含む若狭湾周辺で確認した、震源として考慮する活断層の主なものの分布は、図表45のとおりである。



債務者は、活断層の長さから想定される地震の規模及び震央距離から、敷地に震度Ⅴ程度以上の地震動が生じ得ると考えられる、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層、上林川断層等、16 個の活断層による地震を、敷地に影響を及ぼすと考えられる活断層による地震¹³²として抽出し（図表 4 6）、検討用地震の候補とした。

番号	断 層 名	長さ (km)	規模 M	震央 距離 (km)
1	和布-干飯崎沖～甲楽城断層	60	7.8	59
2	柳ヶ瀬断層	31	7.3	49
3	ウツロギ 峠北方-池河内断層	23	7.1	45
4	〇断層	18	6.9	36
5	敦賀断層	23	7.1	36
6	大陸棚外縁～B～野坂断層	49	7.7	32
7	三方断層	27	7.2	23
8	花折断層	58	7.8	44
9	琵琶湖西岸断層系	60	7.8	45
10	濃尾地震断層系	80	8.0	95
11	FO-A～FO-B断層～熊川断層	63.4※	7.8	3
12	上林川断層	39.5※	7.5	38
13	有馬-高槻構造線	45	7.6	81
14	山田断層	33	7.4	51
15	郷村断層	34	7.4	63
16	FGA3東部	29	7.3	54

※地震動評価上の長さ

【図表 4 6 敷地に影響を及ぼすと考えられる活断層による地震】

ここで、債務者は、活断層の長さや連動性に関して、詳細な調査結果を踏まえた上で、更に保守的な評価を行っている。以下、主なものを挙げる。

ア FO-A～FO-B～熊川断層における、FO-A～FO-B断層と熊川断層との関係については、第3章第2の2（2）アで述べたとおり、債務者の詳細な調査によると、FO-A～FO-B断層と熊川断層が連続していることを示す地質構造は確認されなかったことから、債務者は、両断層は連動しないと判断している。

しかしながら、原子力規制委員会における議論も踏まえ、より安全側に（大飯発電所敷地での地震動がより大きくなる方向に）考えるこ

ととし、断層の存在が確認されていない区間（約 15km）を含めて、F O－A～F O－B 断層（約 35km）と熊川断層（約 14km）との連動（3 連動）（63.4km）を考慮して、これを基本ケースとして地震動を評価することとした。

イ 上林川断層の長さについては、断層の存在が明確な範囲は約 26km であるが、西端部が不明瞭であることから、断層の存在を明確に否定できる福知山付近まで延長して、保守的に 39.5km と評価している。

ウ 和布－千飯崎沖断層と甲楽城断層、野坂断層と B 断層と大陸棚外縁断層については、ひとつながりの活断層であるという調査結果は得られていないが、別々に活動すると完全に言い切れないことから、それぞれ連動するものとして評価している。

3 検討用地震の選定

上記 1 及び 2 の調査結果により検討用地震の候補として抽出された地震を対象に、大飯発電所敷地に与える影響を詳細に検討した結果、敷地への影響が大きいと考えられる地震として、大飯発電所敷地近傍に存在する F O－A～F O－B～熊川断層による地震、及びその走向¹³³が大飯発電所敷地に向いている上林川断層による地震を、検討用地震として選定した。

4 地下構造の調査・評価

債務者は、高浜発電所の場合と同様に、大飯発電所敷地周辺の地盤の伝播特性を評価するとともに、敷地周辺の地下構造を調査して、大飯発電所敷地地下の地盤の速度構造（地盤モデル）を評価した（下記（1））。そして、敷地周辺を含む若狭湾周辺地域の地震発生層の深さを設定した上で（下記（2））、そ

¹³³ 走向とは、断層面と水平面とが交わってできる直線の方角をいう（本書面末尾の脚注図表 1 4 を参照）。

の結果を、敷地地下の地盤の速度構造（地盤モデル）の評価に反映した（下記（３））。

（１）地下構造の調査

債務者は、大飯発電所敷地周辺の地下構造を把握するため、各種調査を実施している。

具体的には、P S 検層や試掘坑弾性波探査等により、敷地地下の浅部（地表面から地下 200m 程度）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（敷地内の浅部構造に特異な構造は見られない）ことを確認し、解放基盤表面を原子炉格納施設設置位置と同じ高さである EL. 0 m に設定している¹³⁴。

また、反射法地震探査¹³⁵により、敷地地下 500m 位まで反射面が確認され、その範囲内で特異な構造が認められないことを確認している。加えて、屈折法地震探査の解析結果によっても、敷地の浅部地下構造において特異な構造は認められず、地下構造は水平方向に連続的であることを確認している。

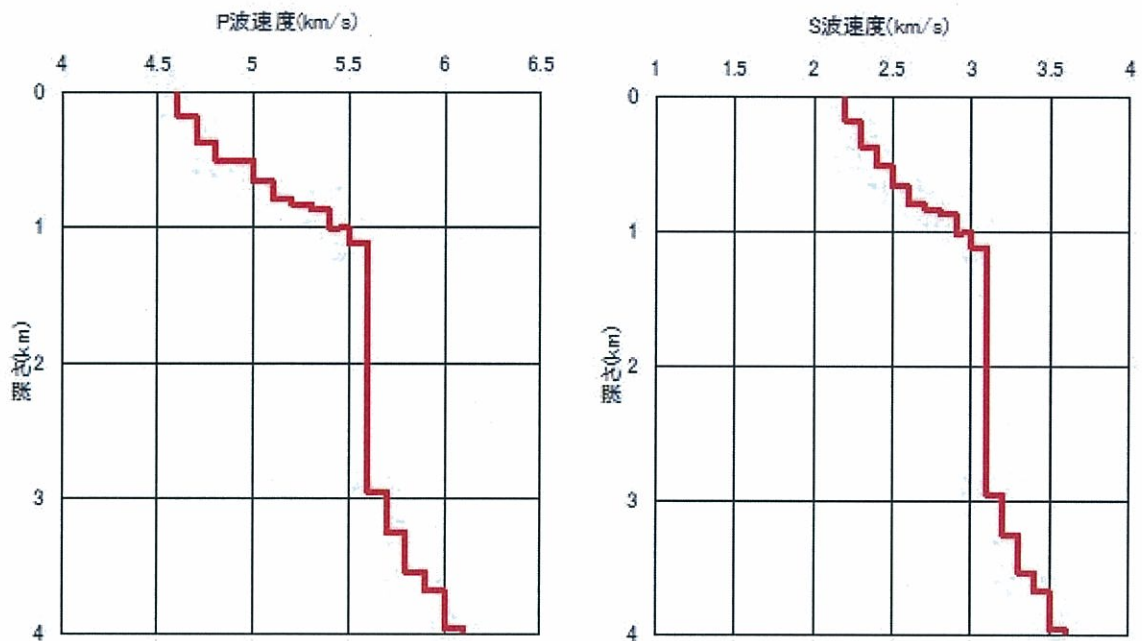
さらに、敷地内での微動アレイ観測¹³⁶、地震波干渉法¹³⁷による深部地下構造評価等を実施し、大飯発電所敷地地下の地盤の速度構造（地盤モデル）を図表 4 7 のとおり評価した。

¹³⁴ 大飯発電所の原子炉格納施設は、図表 8 のように解放基盤表面を設定している岩盤面上に直接設置されている。

¹³⁵ 大飯発電所敷地内で反射法地震探査を行った位置については本書面末尾の脚注図表 1 6 を参照。

¹³⁶ 大飯発電所敷地内で、半径約 600m・300m の微動アレイ観測を行った（本書面末尾の脚注図表 1 7 を参照）。

¹³⁷ 脚注 88 を参照。



【図表 4 7 地盤の速度構造の評価結果（左：P波，右：S波）】

(2) 若狭湾周辺地域の地震発生層の深さ（上端及び下端）の設定

ア 地震発生層の深さ（上端及び下端）は，震源断層の面積や震源断層面と大飯発電所敷地との距離に影響する条件であることから，債務者は，若狭湾周辺地域の地震発生層について，既往文献の調査，既存データの収集・分析を行った。詳細は，第3章第2の4（2）アからウで述べたとおりである。

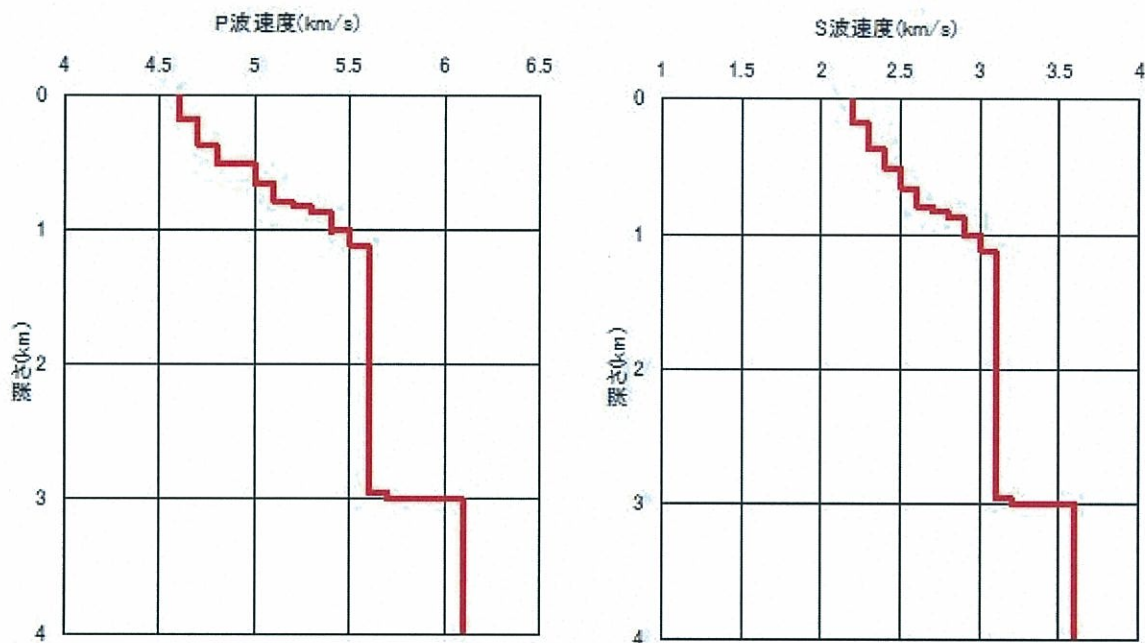
イ これらの調査結果から，債務者は，若狭湾周辺地域の地震発生層の深さについて，より安全側に立って評価するため，上端・下端ともできるだけ幅広く評価することとし，上端深さを約 4km，下端深さを約 18km と評価した。

しかるところ，その後の原子力規制委員会における議論を踏まえ，より一層安全側に考えて，最終的に，地震発生層の上端深さを 3km，下端深さを 18km と設定することとした。

(3) 地盤の速度構造（地盤モデル）の評価

上記(2)により、若狭湾周辺地域における地震発生層の上端深さを3kmと評価するとの結論に至ったことを受けて、債務者は、当該評価を上記(1)で述べた、大飯発電所敷地の地下における地盤の速度構造（地盤モデル）の評価に反映することとした。

具体的には、速度構造について図表47のとおり評価していたところ、深さ3km以深のP波速度を6.1km/s、S波速度を3.6km/sとして、改めて図表48のとおり評価した（例えば、P波速度について説明すると、図表47において、P波速度が6.1km/sとなるのは「深さ4km」以深であり、「深さ3km」におけるP波速度は5.7km/sであったところ、図表48においては、「深さ3km」の所で赤い線が右に曲がって6.1km/sとなり、それ以深も同じ速度となっている。S波速度も同様である）。



【図表4-8 地盤の速度構造（地震発生層の評価反映後）

（左：P波、右：S波）】

5 検討用地震の地震動評価

検討用地震として選定したF O - A ~ F O - B ~ 熊川断層による地震及び上林川断層による地震が大飯発電所敷地に及ぼす地震動の評価として、以下のとおり、「応答スペクトルに基づく地震動評価」（下記（1））及び「断層モデルを用いた手法による地震動評価」（下記（2））を実施した。

（1）応答スペクトルに基づく地震動評価

ア 第3章第2の5（1）アで述べたとおり、「応答スペクトルに基づく地震動評価」は、地震が発生したときの敷地における地震動の応答スペクトルを、地震の規模と震源から敷地までの距離との関係から経験的に求める手法により行う。

イ 債務者は、本件各発電所の「応答スペクトルに基づく地震動評価」において、原則として耐専式を用いている。

なお、第3章第2の5（1）イで述べたとおり、耐専式には、内陸補正係数が用意されているところ、債務者はより保守的に地震動評価を行う観点から、大飯3、4号機の検討用地震の地震動評価に耐専式を用いるに際して、この内陸補正係数を乗じていない。

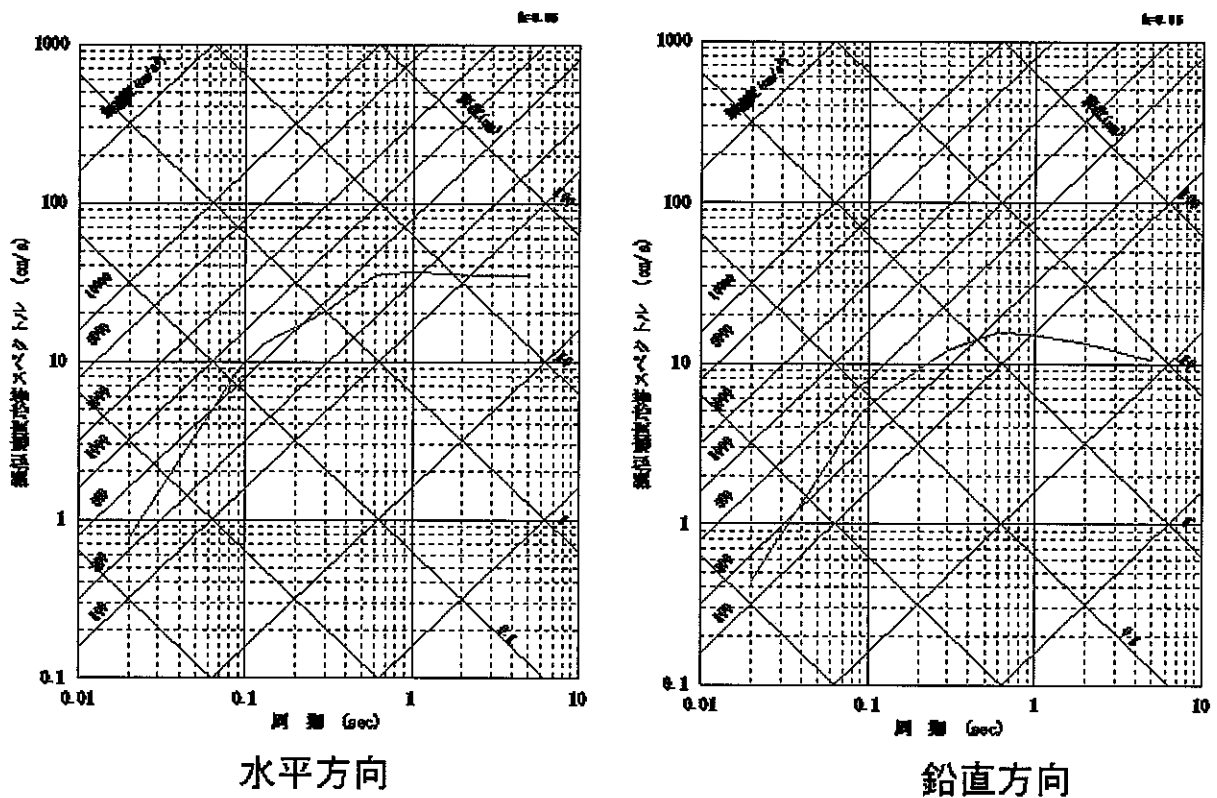
ウ 耐専式では、震源から評価地点までの距離（震源距離）として、震源断層面の広がりや断層面の不均質性（アスペリティ分布）を考慮して設定する等価震源距離を用いることにより、断層面の面的な広がりや不均質性による効果を考慮することができる。

エ 債務者は、基本ケースにおいて、地震発生層すなわち断層の上端深さを安全側に考えて浅く（3km と）設定し、かつ、評価対象となる断層のアスペリティを敷地に近い位置に設定することにより、等価震源距離を短くした条件設定（敷地での地震動がより大きくなる）を行っている。

具体的には、検討用地震のうち、上林川断層（長さ 39.5km）による地

震（マグニチュード7.5）について、基本ケースとして、上記4（2）の地震発生層の検討結果から断層の上端深さ及び下端深さを3km及び18kmとし、かつ、アスペリティを敷地に近い位置に設定することにより、等価震源距離を30.2kmとして、地震動評価を行っている。

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）の大飯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49のとおりである。



【図表49 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】

オ 一方、地震によっては耐専式による地震動評価を行うのが難しいケースも存在する。耐専式の開発にあたって基礎とされた地震観測記録群には、等価震源距離が「極近距離」（マグニチュード8の場合なら25km、マグニチュード7なら12km等）よりも更に著しく短い場合のデータは

含まれていないことから、そのようなケースに関しては耐専式による地震動評価の信頼性が高くない。したがって、地震の規模に対して等価震源距離が著しく短い場合、すなわち、長い活断層¹³⁸が敷地の近傍に存在するような場合などには、その活断層による地震の地震動評価にあたって、耐専式を用いるのは適当ではないことがある。

カ 大飯 3, 4 号機の検討用地震のうち、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層による地震については、前述のとおり、債務者の調査によると F O - A ~ F O - B 断層と熊川断層との間の領域には、両断層が連続していることを示す地質構造は認められなかったが、より安全側に考えることとし、断層の存在が確認されていない区間（約 15km）を含めて、F O - A ~ F O - B 断層（約 35km）と熊川断層（約 14km）との連動（3 連動）を考慮して、これを基本ケースとすることにしたものであった。

その結果、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層（63.4km）による地震（マグニチュード 7.8）は等価震源距離が 11.0km であり、耐専式における「極近距離」に比べて著しく短いため、その地震動評価に耐専式を用いるのは適当ではないと判断した。

そこで、債務者は、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層による地震の地震動評価については、下記（2）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¹³⁹、その評価結果の妥当性を検討するために、同地震について、耐専式以外の、国内の地震を含むデータベースにより作成された各種の距離減衰式による応答スペクトルを求めることとした。

¹³⁸ 経験的に、活断層の長さは、活断層が起こす地震の規模と相関があるとされているため、活断層が長くなれば、そこから生じる地震の規模（マグニチュード）も大きなものとなる。

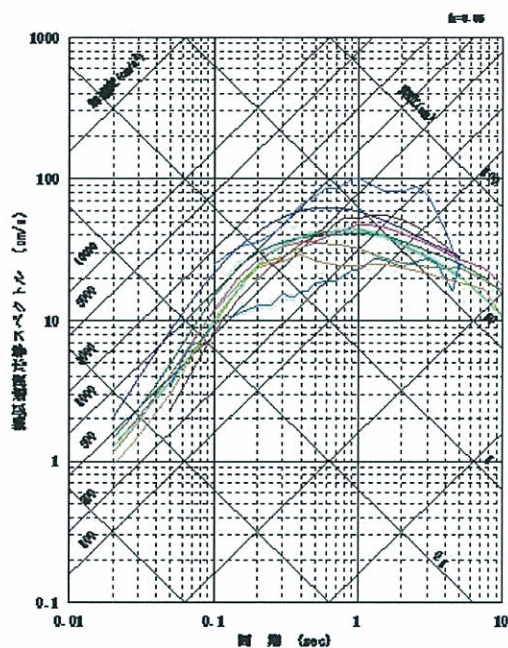
¹³⁹ 新規制基準においても、「震源が敷地に近く、その破壊過程が地震動評価に大きな影響を与えると考えられる地震については、断層モデルを用いた手法が重視されている必要がある」とされている（甲 47, 3 頁, 3.1（2））。

キ なお、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層については、特に、大飯発電所敷地の近くにあり、生じる地震が敷地に与える影響が大きいと考えられることから、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ている。

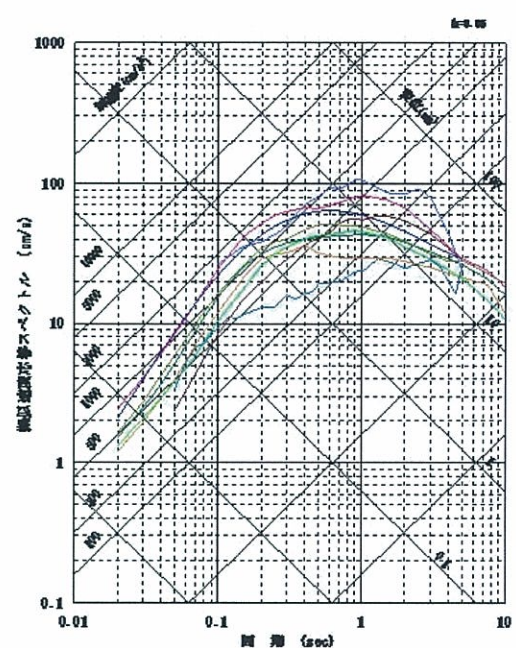
すなわち、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層は、横ずれの変位を主体とする横ずれ断層であるものの、縦ずれの変位も含まれることを勘案し、不確かさの考慮として、念のため、周辺の逆断層の断層傾斜角を参考に震源断層面の傾斜角を変えることで、震源断層面と敷地との距離を近づけるケースを検討した¹⁴⁰（「傾斜角 75° ケース」）。

各種の距離減衰式により求めた、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層による地震（基本ケース・傾斜角 75° ケース）の応答スペクトルは図表 5 0 のとおりである。

¹⁴⁰ 大飯発電所敷地の東にある F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層の断層傾斜角を、断層西方向に傾ける（鉛直から 75° に傾ける）ことにより、発電所敷地と F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層の震源断層面との距離が近くなる（本書面末尾の脚注図表 1 5 を参照）ため、より大きな地震動となる。



基本ケース



傾斜角75° ケース

Abrahamson and Silva (2008) Boore and Atkinson (2008)
 Campbell and Bozorgnia (2008) Chiou and Youngs (2008)
 Idriss (2008) Kanno et al. (2006)
 片岡・他 (2006) 内山・翠川 (2006)
 Zhao et al. (2006)

【図表 50 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）の各種距離減衰式による応答スペクトル】

(2) 断層モデルを用いた手法による地震動評価

ア 第3章第2の5 (2) アで述べたとおり、断層モデルとは、地震時の震源における断層運動をモデル化したものをいい、断層モデルを用いた手法とは、このようなモデル化された震源の特性に加えて、震源から敷地までの地震波の伝播特性と、地盤の増幅特性（サイト特性）についてもそれぞれ考慮して数値的に地震動を評価する方法をいう。

イ 債務者は、大飯3、4号機の検討用地震の震源断層をモデル化するにあたり、敷地周辺の地質・地質構造調査結果等を踏まえ、レシピ（甲56及び甲202）等の最新の研究成果に則って、震源特性に関する様々なパラメータ（震源断層パラメータ）を設定している。

その際、震源断層の特性の影響について、より安全側に立って評価するため、敷地での地震動がより大きくなり得る条件（震源断層パラメータ）を設定し、前述した敷地周辺の地下構造の調査・評価結果等を反映して、震源断層のモデル化を行っている。

具体的には、基本ケースとして、活断層の調査結果等をもとに震源特性に関するパラメータをより安全側に立って設定した震源断層モデルを用いるとともに、さらに、この基本ケースに加えて、震源断層パラメータについて不確かさを考慮して、敷地での地震動が基本ケースより大きくなり得る震源断層モデルを用いた複数のケースを設定している。

ウ その上で、各ケースにつき、波形合成法を用いた計算を行い、大飯発電所敷地における地震動評価を行っている。

エ 以下、各検討用地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価について、具体的に説明する。

オ 検討用地震のうち、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層による地震については、まず、基本ケースとして、断層の上端深さを 3km 及び下端深さを 18km、左横ずれ断層傾斜角 90° 、すべり角 0° 、破壊伝播速度 0.72β とし、アスペリティを各断層の敷地に近い位置に配置した震源断層モデルを設定した。断層上端深さを安全側に（浅く）考えて 3km と設定し、かつ、アスペリティの位置を各断層の敷地近傍に設定している点で、この基本ケース自体、保守的な条件設定を行っているものである。

その上で、不確かさを考慮したケースとして、①新潟県中越沖地震の知見を踏まえて短周期の地震動レベルを 1.5 倍としたケース、②断層傾斜角について、周辺の逆断層の傾斜角を参考に、震源断層面と敷地との距離が近くなり、かつ震源断層の面積が大きくなるように傾斜させた傾斜角 75° のケース、③F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層は、横ずれの変位を主体とする横ずれ断層であるものの、縦ずれの変位も含まれることか

ら、そのことを考慮してすべり角 30° としたケース、④破壊伝播速度につき、平均的な破壊伝播速度に標準偏差 1σ を考慮して 0.87β とし、より短時間に多くの地震波が敷地に到達しやすい条件としたケース、⑤アスペリティ位置について、基本ケースではそれぞれの断層ごとに敷地近傍に配置しているが、さらに全てのアスペリティを一塊として敷地近傍に配置したケース(アスペリティの形状を変えて2ケース)を考慮した。なお、②と③については、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層が敷地近傍にあり、敷地に及ぼす影響が特に大きいと考えられることから、念のため考慮したものである。

そして、破壊開始点については、上記の全てのケースにおいて、断層面の下端及びアスペリティの下端に複数の場合(基本ケース及び①~④の各ケースにつきそれぞれ9箇所ずつ、⑤の2ケースにつきそれぞれ5箇所ずつ)を設定した。その結果、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層による地震の、断層モデルを用いた手法による地震動評価については、全部で55ケースを評価した(図表5 1)¹⁴¹。

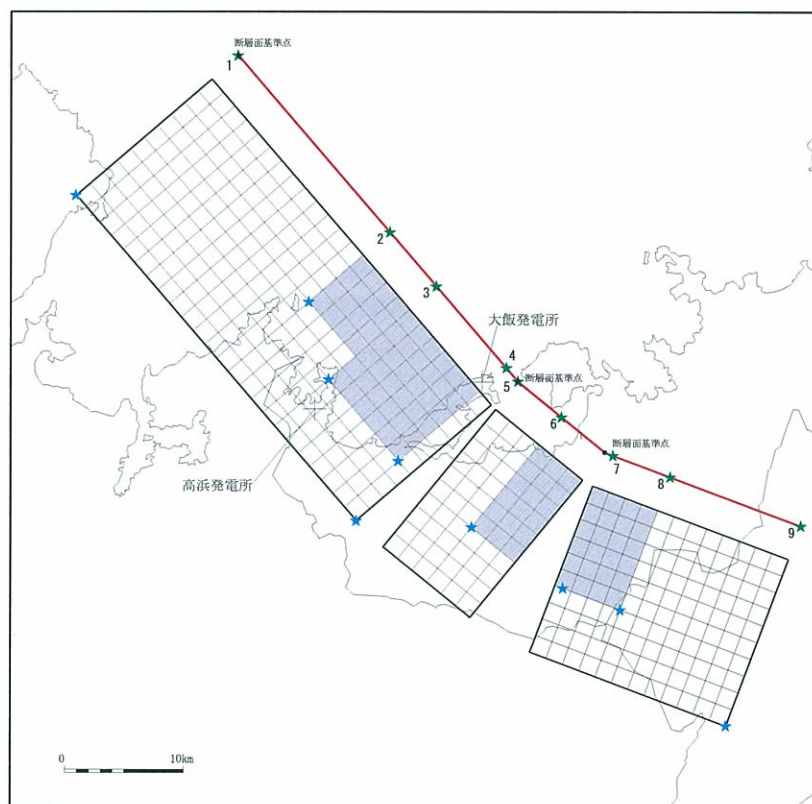
¹⁴¹ なお、不確かさの重量については下記第4の4を参照。

	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	破壊開始点
基本ケース	レシピ平均	90°	0°	$V_r=0.72\beta$	敷地近傍に配置	複数設定
短周期の地震動レベルの 不確かさを考慮	レシピ平均×1.5倍	90°	0°	$V_r=0.72\beta$	敷地近傍に配置	複数設定
断層傾斜角の 不確かさを考慮	レシピ平均	75°	0°	$V_r=0.72\beta$	敷地近傍に配置	複数設定
すべり角の 不確かさを考慮	レシピ平均	90°	30°	$V_r=0.72\beta$	敷地近傍に配置	複数設定
破壊伝播速度 V_r の 不確かさを考慮	レシピ平均	90°	0°	$V_r=0.87\beta$	敷地近傍に配置	複数設定
アスペリティ配置の 不確かさを考慮	レシピ平均	90°	0°	$V_r=0.72\beta$	敷地近傍で一塊	複数設定
	レシピ平均	90°	0°	$V_r=0.72\beta$	敷地近傍で 一塊・横長	複数設定

:不確かさを考慮したパラメータ

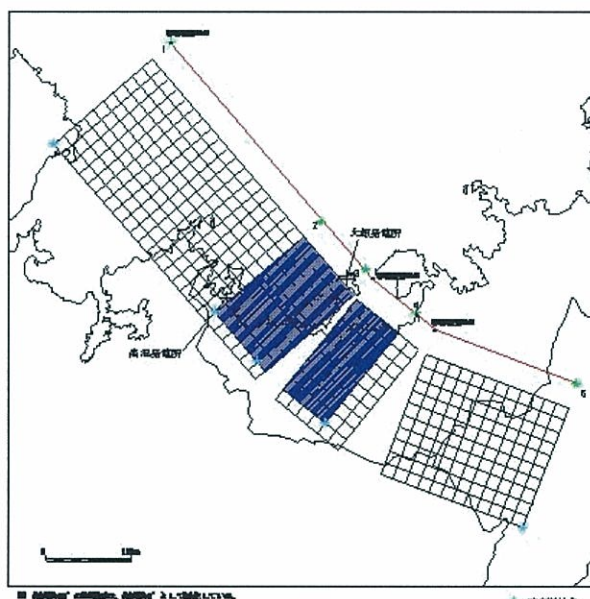
【図表 5 1 F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層による地震の地震動評価ケース】

基本ケース、及び⑤のアスペリティを一塊として敷地近傍に配置したケース（アスペリティの形状を変えて 2 ケース）の震源断層モデル図（断層配置図）は、それぞれ図表 5 2、図表 5 3 のとおりである。



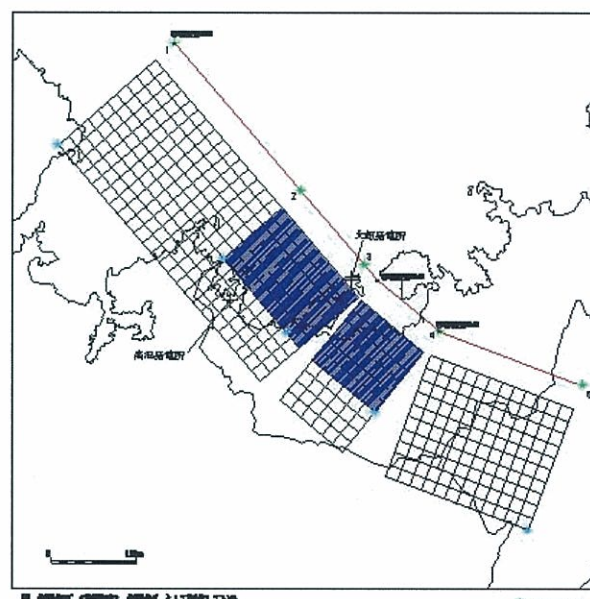
i) 断層配置図

【図表 5 2 FO-A~FO-B~熊川断層のモデル図（基本ケース）】



i) 断層配置図

アスペリティー塊ケース

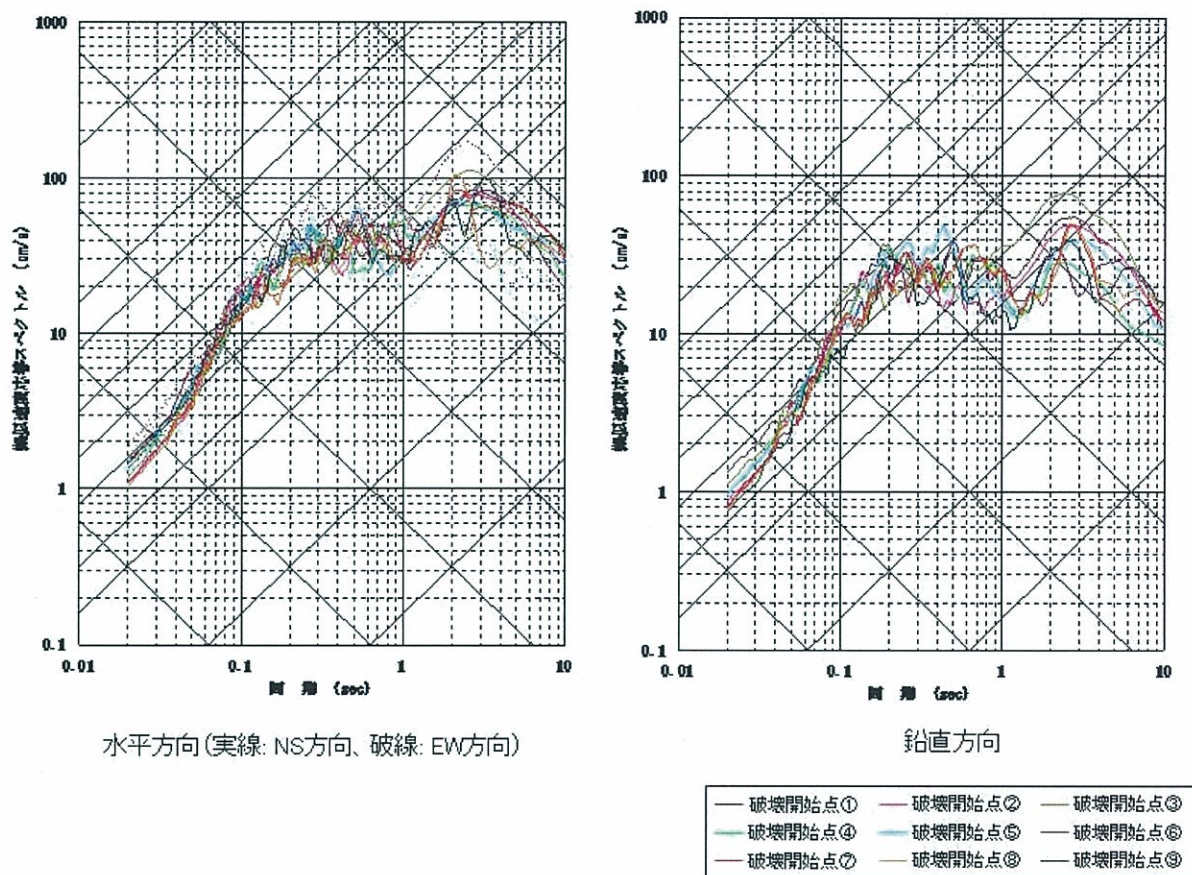


i) 断層配置図

アスペリティー塊横長ケース

【図表 5 3 FO-A~FO-B~熊川断層のモデル図(アスペリティー塊ケース)】

基本ケース（破壊開始点の設定を変えて 9 ケース）の地震動評価結果（応答スペクトル）は図表 5 4 のとおりである（その他のケース（①～⑤のケース）の地震動評価結果については乙 19 号証の 2, 「大飯発電所の基準地震動について」スライド 49～54 を参照）。



【図表 5 4 F O - A ～ F O - 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】

次に、検討用地震のうち、上林川断層による地震については、基本ケースとして、断層の上端深さを 3km 及び下端深さを 18km、右横ずれ断層傾斜角 90° 、すべり角 0° 、破壊伝播速度 0.72β とし、アスペリティを

敷地に近い位置に配置¹⁴²した震源断層モデルを設定した。前述のF O - A ~ F O - B ~ 熊川断層による地震の基本ケースと同様に、断層上端深さを安全側に（浅く）考えて 3km と設定し、かつ、アスペリティの位置を敷地近傍に設定している点で、やはりこの基本ケース自体、保守的な条件設定を行っているものである。

その上で、不確かさを考慮したケースとして、①新潟県中越沖地震の知見を踏まえて短周期の地震動レベルを 1.5 倍としたケース、②破壊伝播速度を 0.87β とし、より短時間に多くの地震波が敷地に到達しやすい条件としたケースを考慮した。

そして、破壊開始点については、上記の全てのケースにおいて、断層面の下端及びアスペリティの下端に複数の場合（各ケースにつきそれぞれ 6箇所ずつ）を設定した。その結果、上林川断層による地震の、断層モデルを用いた手法による地震動評価については、全部で 18 ケースを評価した（図表 5 5）。

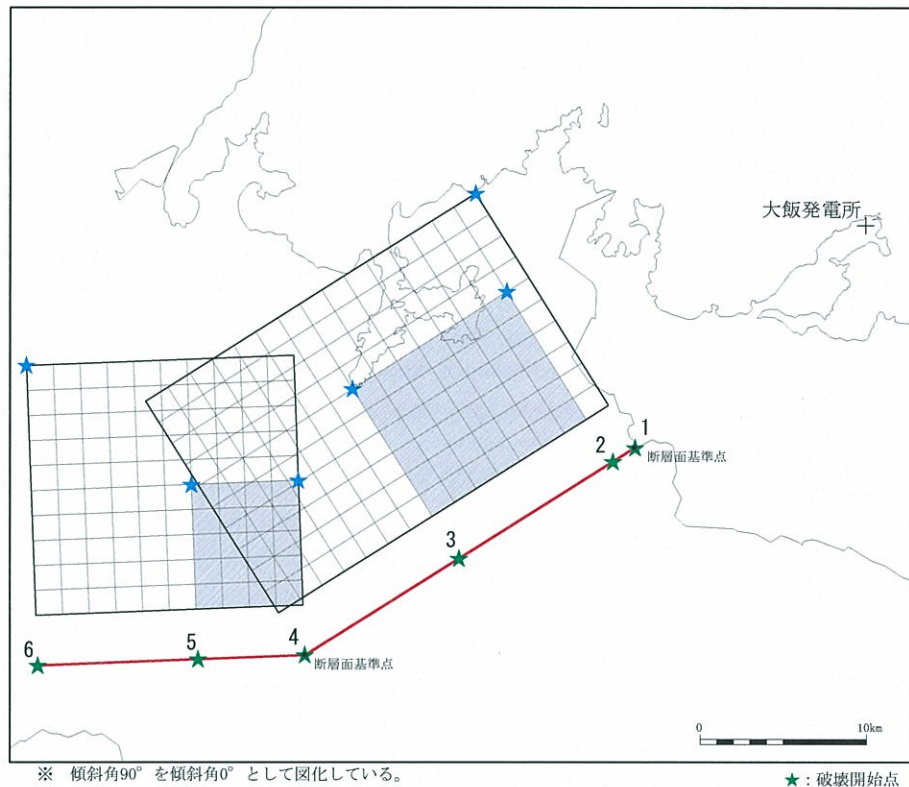
	短周期の 地震動レベル	破壊伝播速度 V_r	アスペリティ	破壊開始点
基本ケース	レシピ平均	$V_r=0.72\beta$	敷地に近い 位置に配置	複数設定
短周期の地震動レベルの 不確かさを考慮	レシピ平均 $\times 1.5$ 倍	$V_r=0.72\beta$	敷地に近い 位置に配置	複数設定
破壊伝播速度 V_r の 不確かさを考慮	レシピ平均	$V_r=0.87\beta$	敷地に近い 位置に配置	複数設定

: 不確かさを考慮したパラメータ

【図表 5 5 上林川断層による地震の地震動評価ケース】

¹⁴² 前述のとおり、上林川断層は、断層の存在が明確な範囲は約 26km であるが、西端部が不明瞭であることから、断層の存在を明確に否定できる福知山付近まで延長して、保守的に 39.5km と評価している。アスペリティの配置については、断層の存在が明確な範囲及びその西方延長部に、それぞれ敷地に近い位置に配置している。

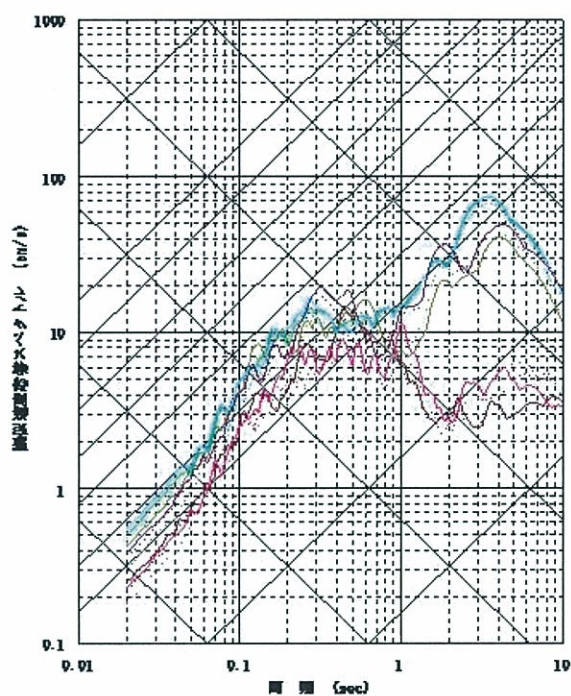
基本ケースの震源断層モデル図（断層配置図）は図表 5 6 のとおりである。



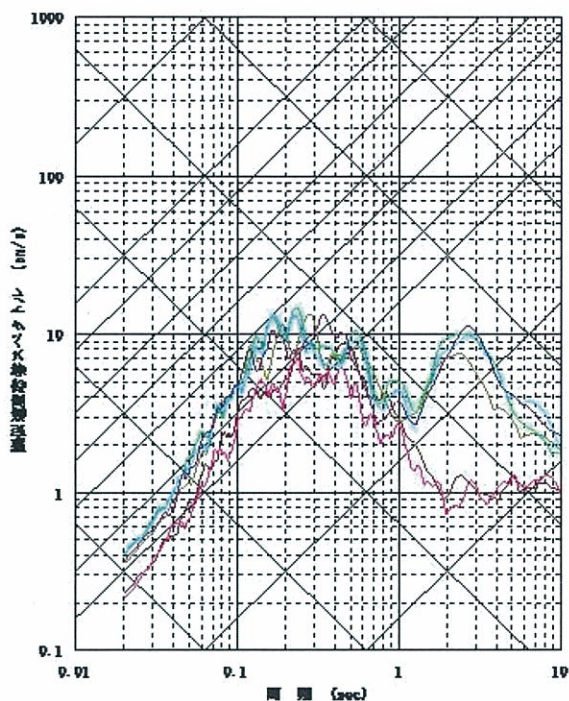
i) 断層配置図

【図表 5 6 上林川断層のモデル図（基本ケース）】

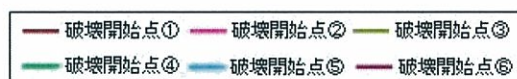
また、基本ケース（破壊開始点の設定を変えて 6 ケース）の地震動評価結果（応答スペクトル）は図表 5 7 のとおりである（その他のケース（①及び②のケース）の地震動評価結果については乙 19 号証の 2，スライド 61～62 を参照）。



水平方向(実線: NS方向、破線: EW方向)



鉛直方向



【図表 5 7 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】

第3 震源を特定せず策定する地震動

1 大飯発電所と「震源を特定せず策定する地震動」

第3章第3の1で述べたとおり、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評価するのが「震源を特定せず策定する地震動」である。

大飯発電所においては、敷地近傍（震央距離 3km）にF O - A ~ F O - B ~ 熊川断層という長い活断層が存在するとの前提で「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」を評価している。したがって、地震動の大きさから考え

て、大飯発電所敷地に到来し得る地震動の想定においては「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」が支配的な地位を占めており、大飯3、4号機の基準地震動に「震源を特定せず策定する地震動」が寄与する度合いは小さい。

しかしながら、第3章第3の2で述べたとおり、平成18年改訂後の耐震設計審査指針に記載された趣旨に則り、債務者は、「震源を特定せず策定する地震動」を評価している。

2 「震源を特定せず策定する地震動」の評価

(1) はじめに

債務者は、「震源を特定せず策定する地震動」の評価にあたり、高浜3、4号機の場合と同様に、加藤ほか(2004)(甲204)で示されている応答スペクトルの、大飯3、4号機における評価への適用について検討するとともに(下記(2))、原子力規制委員会が新規規制基準下の審査ガイド(甲47)において、観測記録の収集対象となる内陸地殻内地震(震源と活断層を関連づけることが困難な内陸地殻内地震)の例として示している16地震について、観測記録収集の要否や大飯3、4号機での考慮の要否等について検討した(下記(3))。

(2) 加藤ほか(2004)による応答スペクトル

債務者は、高浜発電所の場合と同様に、大飯発電所敷地周辺の地下構造調査により、敷地地下にS波速度2.2km/s以上の硬質な岩盤が広がっていることを確認していることから、加藤ほか(2004)で示されている図表35中の4つの応答スペクトルのうち、S波速度(V_s)2.2km/s以上の岩盤に適用される、「地震基盤」の応答スペクトル(図中の実線の応答スペクトル)を採用することとした。

(3) 審査ガイドに例示されている16地震

ア Mw6.5を基準とした区分

(ア) 審査ガイドで、観測記録の収集対象となる内陸地殻内地震の例として示されている16地震は図表36のとおりである(甲47, 8頁)。

(イ) 第3章第3の3(3)ア(イ)で述べたとおり、審査ガイドでは、観測記録の収集対象となる地震を、Mw6.5未満の地震と、Mw6.5以上の地震の2種類に区分している(甲47, 7~8頁)。

かかる区分に従い、審査ガイドに例示されている16地震も、Mw6.5以上の2地震(下記イ)とMw6.5未満の14地震(下記ウ)とに分けて検討することができる。以下、順に説明する。

イ Mw6.5以上の2地震

(ア) 審査ガイドに例示されている16地震のうち、Mw6.5以上の2地震については、その発生した地震の震源域周辺と大飯発電所敷地周辺の地域性等を比較するなどして、採用の可否を検討した。

(イ) 岩手・宮城内陸地震については、高浜発電所敷地周辺と同様に、大飯発電所敷地周辺もまた軟岩等が広く分布するような地域ではないことから、観測記録の収集対象外(大飯3, 4号機の「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。

(ウ) 鳥取県西部地震については、高浜発電所敷地周辺と同様に、大飯発電所敷地周辺もまた、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ということは考えにくいと評価できるところであったが、原子力規制委員会における議論を踏まえ、鳥取県西部地震の地震動の観測記録を大飯3, 4号機の「震源を特定せず策定する地震動」の評価に採用することとした。

評価にあたっては、高浜3, 4号機の場合と同様に、鳥取県西部地震

の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、債務者は、地震動がより大きくなる条件となるように、地盤の特性による補正等を行わず、賀祥ダムにおける観測記録をそのまま用いて応答スペクトルを設定した（下記図表 6 3 を参照）。

ウ Mw6.5 未満の 1 4 地震

（ア）審査ガイドに例示されている 1 6 地震のうち、Mw6.5 未満の 1 4 地震については、高浜発電所の場合と同様に、これらの地震に関する防災科学技術研究所の K-NET 及び KiK-net の観測記録から抽出を行い、それらのうち、北海道留萌支庁南部地震の HKD020（港町）観測点の観測記録を考慮することとした。

（イ）第 3 章第 3 の 3（3）ウ（イ）で述べたとおり、北海道留萌支庁南部地震では、佐藤ほか（2013）により、解放基盤表面と評価できる固さを有する岩盤面（S 波速度 938m/s）における地震動の推定がなされていたことに鑑み、債務者は、高浜 3，4 号機の場合と同様に、上記で推定された地震動を採用することとし¹⁴³、さらに、同観測点の地下構造についての不確かさを考慮して、基盤面の地震動を（最大加速度は、水平方向 609 ガル、鉛直方向 306 ガルと）評価した。その上で、原子力規制委員会における議論を踏まえ、債務者は、地震動の評価結果をより大きく（最大加速度を、水平方向 620 ガルに、鉛直方向 320 ガルに）して、大飯 3，4 号機の「震源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（下記図表 6 2 を参照）。

¹⁴³ 大飯発電所の解放基盤表面（S 波速度 2.2km/s）は、HKD020（港町）観測点の基盤面（S 波速度 938 m/s）に比べ、地震波の伝播速度が速く固い地盤であるが、債務者は、より安全側に立って評価するため、HKD020（港町）観測点の基盤面において推定された地震動を、地盤の特性により補正等することなく採用することとしたものである。

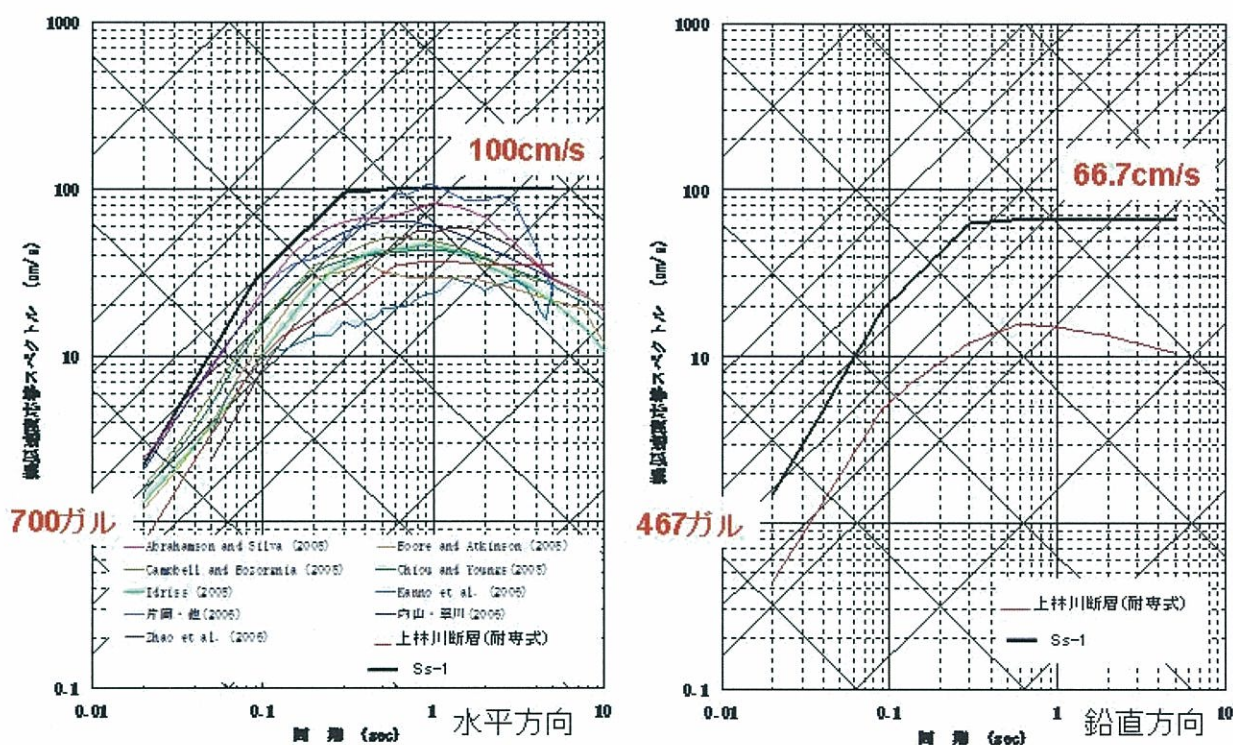
第4 基準地震動の策定

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

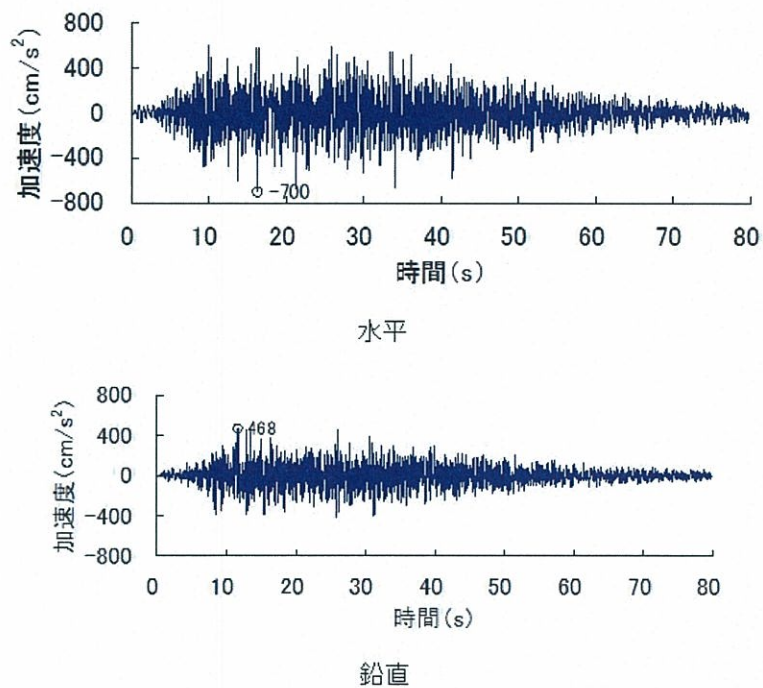
「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価結果より、まず、応答スペクトルに基づく地震動評価の結果（上記第2の5（1））を踏まえて、大飯3，4号機の基準地震動S_{s-1}の応答スペクトルを、図表58の黒色線のとおり策定した¹⁴⁴。

この基準地震動S_{s-1}の加速度時刻歴波形は、図表59のとおりであり、最大加速度は700ガル（水平方向）である。



【図表58 基準地震動S_{s-1}の応答スペクトル】

¹⁴⁴ この基準地震動S_{s-1}は、耐震バックチェックの実施に伴い策定した従来の基準地震動S_{s-1}と同じ地震動である。



【図表 5 9 基準地震動 S s - 1 の加速度時刻歴波形】

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（上記第 2 の 5（1）エの図表 4 9）を，水平方向・鉛直方向ともに，全ての周期帯で上回っている¹⁴⁵。

一方，F O - A ～ F O - B ～ 熊川断層による地震（基本ケース・傾斜角 75° ケース）の各種距離減衰式による応答スペクトル（上記第 2 の 5（1）キの図表 5 0）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 ほか（2008）による応答スペクトル¹⁴⁶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 75° ケースの片岡式による応答スペクトル¹⁴⁷が，長周期側（1

¹⁴⁵ 後述のとおり，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断層モデルを用いた手法による地震動評価結果の全て（基本ケース及び不確かさを考慮したケース全て）についても，全周期帯で上回っている。

¹⁴⁶ 図表 5 8 の左側の図の「Abrahamson and Silva（2008）」（紫色線）で示されている応答スペクトルを指す。

¹⁴⁷ 図表 5 8 の左側の図の「片岡・他（2006）」（青色線）で示されている応答スペクトルを指す。

秒付近)で 100cm/s をわずかに上回っている(図表 5 8 の左側の図を参照)。

しかしながら、上記①については、後述の、断層モデルを用いた手法による地震動評価結果に基づいて策定した基準地震動 $S_s - 4$ の最大加速度 856 ガルは下回っている。

また、上記②について、片岡式が基礎としている観測記録が得られた各観測点の AVS30 (表層地盤 (地表から約 30m 程度の深さまで) の平均 S 波速度) の平均値は 720m/s であり、S 波速度 2.2km/s である大飯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、片岡式自体には地盤補正係数が設けられていないため、他の複数の補正式を用いて、片岡式による応答スペクトルに補正係数を乗じたところ、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 $S_s - 1$ の応答スペクトルを下回る結果となっている。

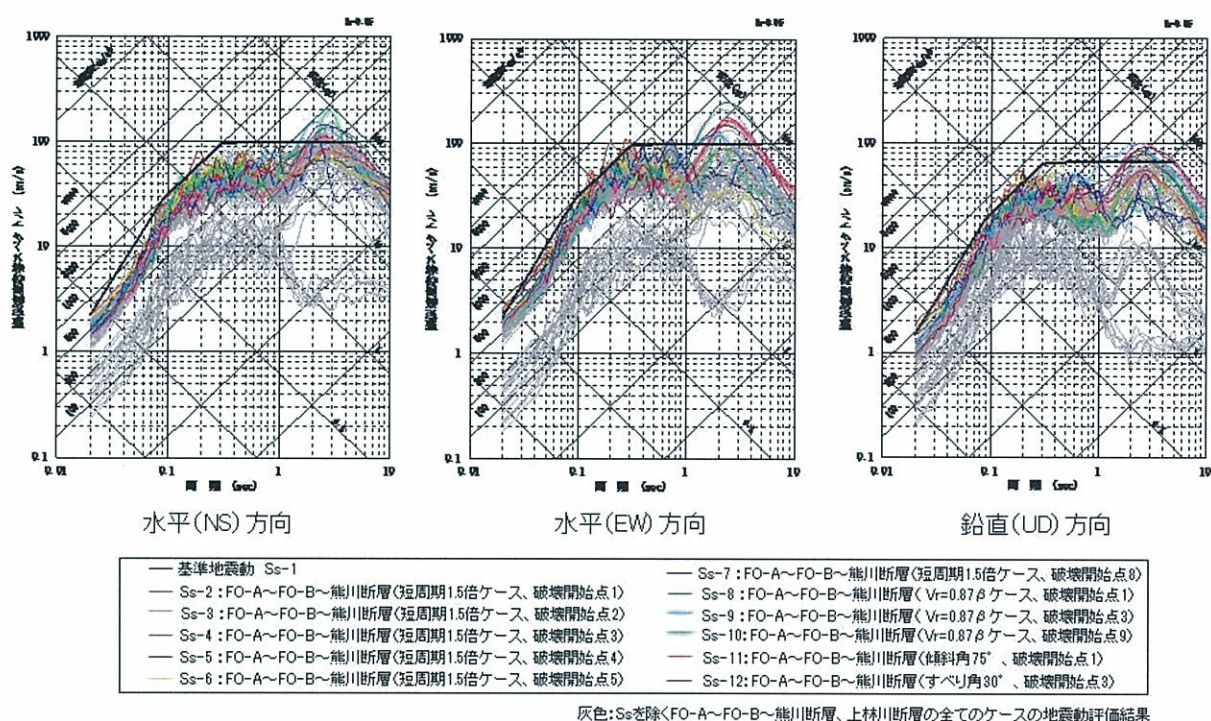
(2) 断層モデルを用いた手法による地震動評価結果を踏まえた基準地震動の策定

次に、FO-A～FO-B～熊川断層による地震 (全 55 ケース) 及び上林川断層による地震 (全 18 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 (上記第 2 の 5 (2) オ及びカ) のうち、基準地震動 $S_s - 1$ の応答スペクトルを上回るケースから、11 のケース (図表 6 0) を、それぞれ基準地震動 $S_s - 2 \sim S_s - 12$ として策定した¹⁴⁸。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 $S_s - 2$ の 583 ガルである (基準地震動 $S_s - 2 \sim S_s - 12$ の加速度時刻歴波形については乙 19 号証の 2、スライド 68～70 を参照)。

これら基準地震動 $S_s - 2 \sim S_s - 12$ は、いずれも、FO-A～FO

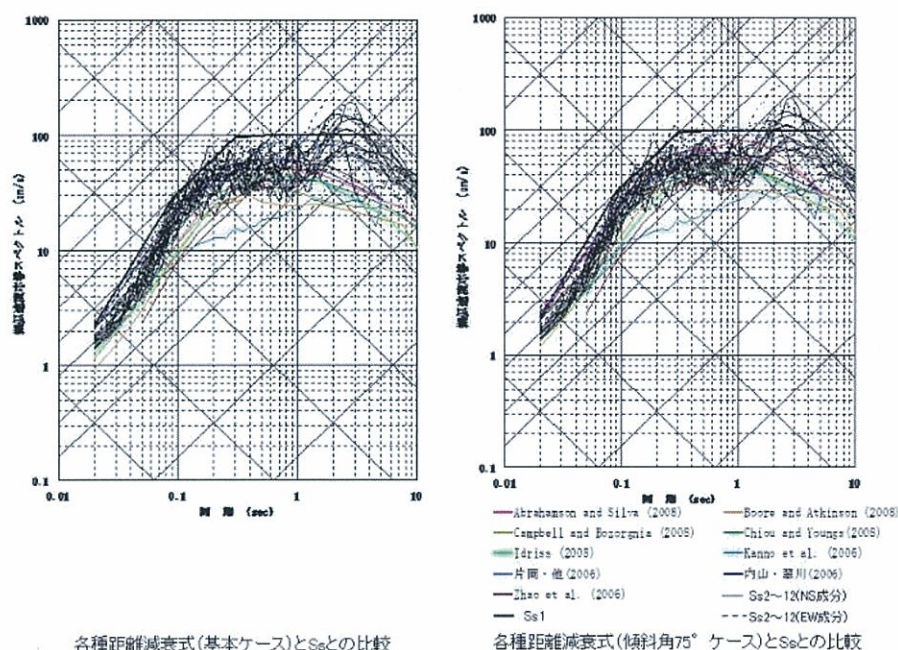
¹⁴⁸ ここで策定した基準地震動 $S_s - 2$ 及び $S_s - 3$ は、耐震バックチェックの実施に伴い策定した従来の基準地震動 $S_s - 2$ 及び $S_s - 3$ とは異なる地震動である。

ーB～熊川断層による地震について不確かさを考慮したケースの地震動評価結果である（図表60下部の四角枠内を参照）。上林川断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果は、基本ケース・不確かさを考慮したケースの全て（18 ケース全て）について、基準地震動 $S_s - 1$ の応答スペクトルを下回っている。



【図表60 基準地震動 $S_s - 2 \sim S_s - 12$ の応答スペクトル】

なお、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）の各種距離減衰式による応答スペクトル（上記第2の5（1）キの図表50）と、基準地震動 $S_s - 1 \sim S_s - 12$ の応答スペクトル（水平方向）とを重ね合わせて比較したものが図表61である。前者は後者と概ね同等ないしは後者を下回る結果となっている。



【図表 6 1 F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層による地震の各種距離減衰式による
応答スペクトルと基準地震動 $S_{s-1} \sim S_{s-12}$ との比較】

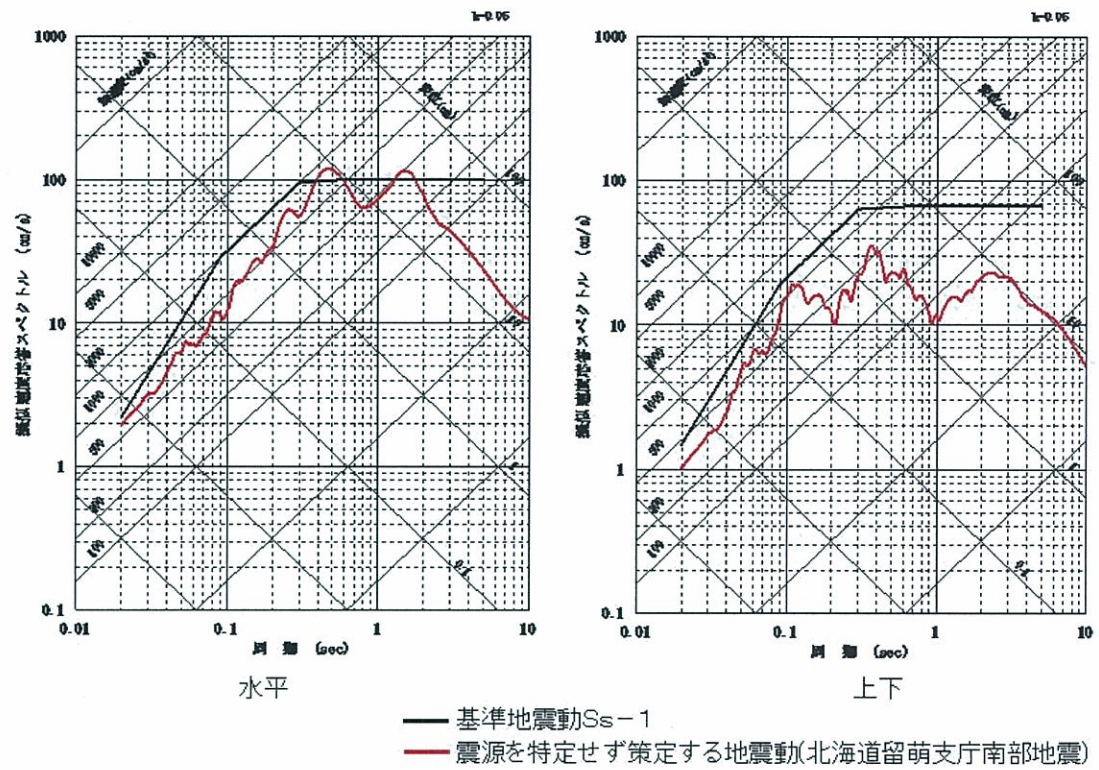
2 「震源を特定せず策定する地震動」の評価結果に基づく基準地震動

上記第 3 の 2 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 (2) で設定した、加藤ほか (2004) 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 S_{s-1} の応答スペクトルを下回っている。

一方、第 3 の 2 (3) で設定した、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及び鳥取県西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 S_{s-1} の応答スペクトルをある周期で上回る¹⁴⁹ため (図表 6 2, 図表 6 3), これらを, それぞれ, 基準地震動 S_{s-13} , S_{s-14} として策定した¹⁵⁰。

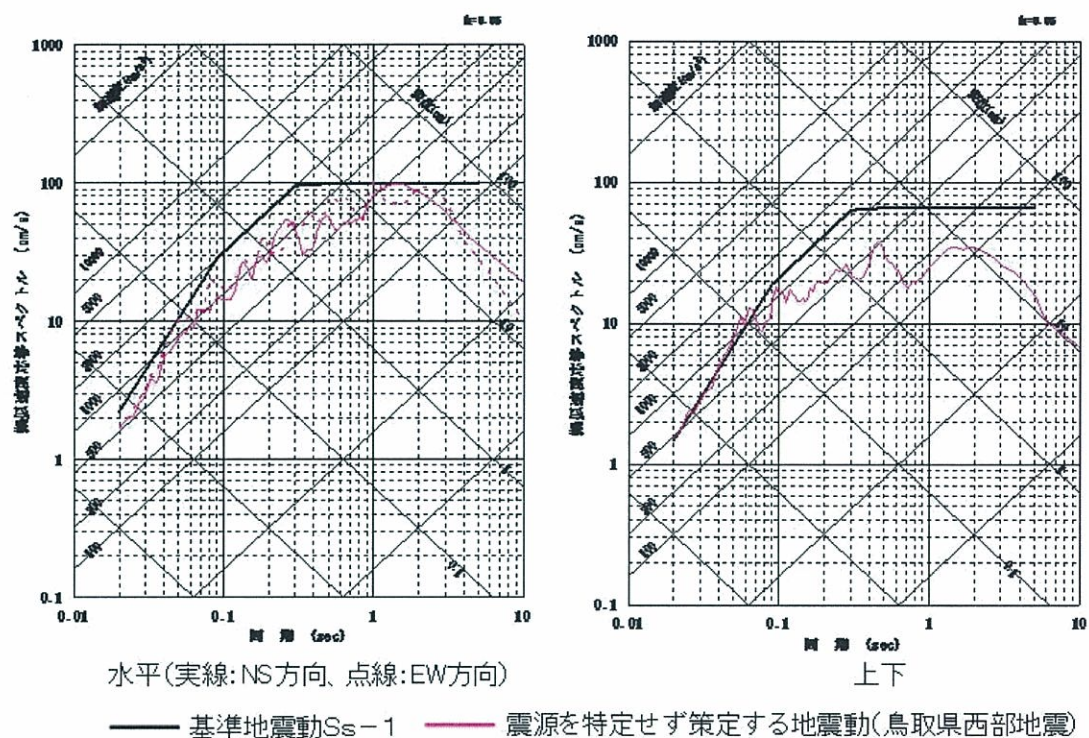
¹⁴⁹ 前述のとおり、大飯発電所の解放基盤表面は、これらの応答スペクトルを設定している地盤よりも地震波の伝播速度が速く固い地盤であるが、債務者は、より安全側に立って (地震動が大きくなるよう) 評価するため、地盤の特性による補正等を行っていない。

¹⁵⁰ 基準地震動 S_{s-13} 及び S_{s-14} の加速度時刻歴波形は、乙 19 号証の 2, スライド 75 及び 73



【図表 6 2 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】

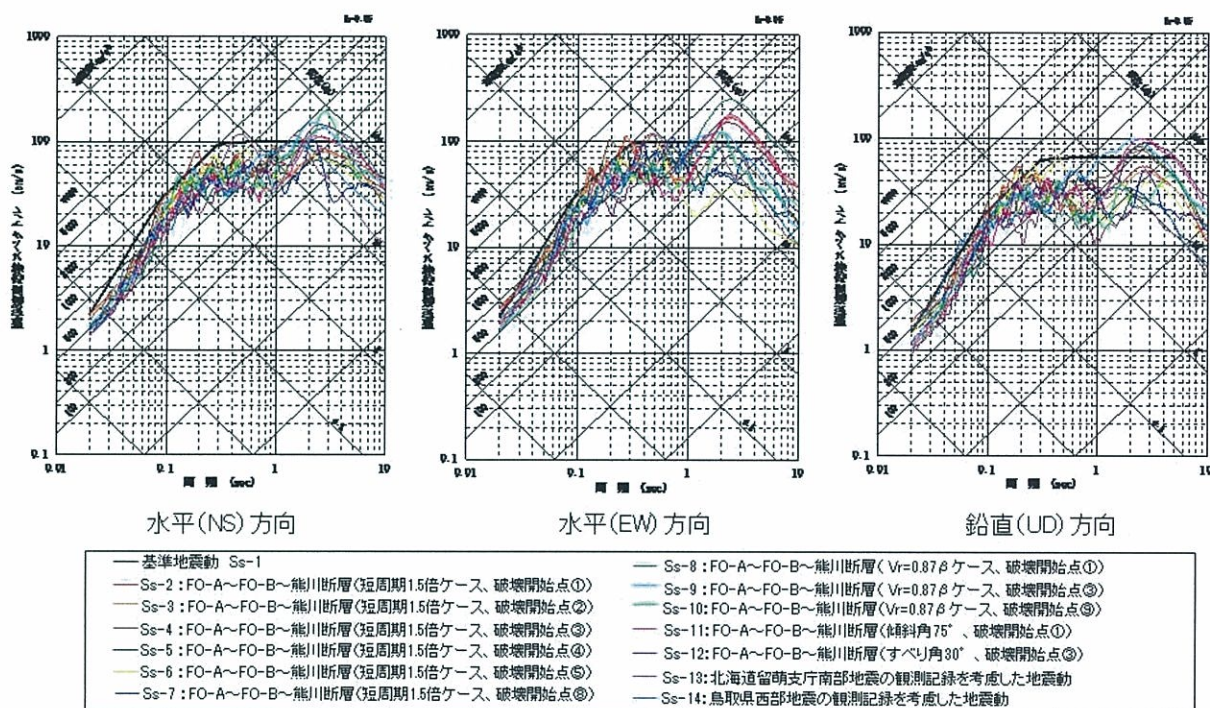
を参照。



【図表 6 3 鳥取県西部地震の観測記録を考慮した応答スペクトル】

3 ここまでのまとめ

以上により策定した、大飯 3, 4 号機の基準地震動 $S_s-1 \sim S_s-14$ の応答スペクトルは図表 6 4 のとおりである。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-2 の 583 ガルである。



【図表 6 4 基準地震動 S s - 1 ~ S s - 1 4 の応答スペクトル】

4 不確かさの組合せに関する追加検討

(1) 地震動評価を行う際に設定している「基本ケース」の保守性

ア 既に述べたとおり、債務者は、検討用地震の地震動評価を実施するにあたって、高浜3、4号機の場合と同様に、「基本ケース」を設定する段階で、複数の震源断層パラメータに関して保守的な条件設定を行っている。

イ すなわち、債務者は、検討用地震の地震動評価における「基本ケース」の設定段階において、「震源断層の長さ」、震源断層面積や震源距離に影響する「断層上端深さ」、震源断層面における「アスペリティ位置」、「破壊開始点の位置」といったパラメータについて、より安全側に立った保守的な条件設定を行っており、「基本ケース」の地震動評価結果自体が、保守性を有するものとなっているのである。

(2) 不確かさの考慮に関する基本的な考え方

ア 債務者は、高浜3、4号機の場合と同様に、断層モデルを用いた手法による地震動評価を行うにあたり、上記のように保守的な条件で設定した「基本ケース」に加えて、さらに、数多くの震源断層パラメータについて不確かさを考慮したケースを設定している。敷地近傍のF O - A ~ F O - B ~ 熊川断層による地震に関しては、第2の5(2)オで述べたとおり、①短周期の地震動レベル、②断層傾斜角、③すべり角、④破壊伝播速度、⑤アスペリティ配置、⑥破壊開始点について、不確かさを考慮した条件設定を行っている。

イ なお、高浜3、4号機の場合と同様に、上記の不確かさを考慮するパラメータのうち、①短周期の地震動レベル、②断層傾斜角、③すべり角、④破壊伝播速度は、それぞれ独立して不確かさを考慮している一方、⑤アスペリティ配置及び⑥破壊開始点については、不確かさを重畳させて考慮している(図表65)。

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°	$V_r=0.72\beta$	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 (新潟県中越沖地震の知見を反映)	レシピ平均×1.5倍	90°	0°	$V_r=0.72\beta$	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°	$V_r=0.72\beta$	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°	$V_r=0.72\beta$	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°	$V_r=0.87\beta$	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°	$V_r=0.72\beta$	敷地近傍に一塊(正方形)	5箇所
	レシピ平均	90°	0°	$V_r=0.72\beta$	敷地近傍に一塊(長方形)	5箇所

■ : 不確かさを独立して考慮するパラメータ ■ : 不確かさを重畳して考慮するパラメータ

【図表65 F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層による地震に関する不確かさの考慮】

(3) 不確かさの組合せに関する追加検討

ア 債務者は、上記(2)で述べた基本的な考え方に基づき、地震動評価において不確かさの考慮を行っているところであるが、検討用地震のうち、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層による地震については、大飯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、上記(2)の考え方にとどまらず、更に不確かさを重畳させたケースを追加的に考慮することとした。

イ 具体的には、上記の各パラメータのうち、①短周期の地震動レベルと④破壊伝播速度について、不確かさを重畳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、②断層傾斜角と③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(したがって重畳させる必要性は小さい)と考えられること、一方、④破壊伝播速度については、短周期側の地震動への影響は②断層傾斜角や③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④破壊伝播速度を、①短周期の地震動レベルと重畳させて考慮することとしたものである。

なお、⑤アスペリティ配置と⑥破壊開始点については、上記(2)の各ケースと同様に、ここでも重畳させて検討する。

ウ ここで、①短周期の地震動レベルについては、不確かさを重畳させて考慮するにあたっては、断層運動のタイプによる違いに着目して、再設定することとした。

すなわち、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層は横ずれ断層であり、新潟県中越沖地震の震源断層のような逆断層とは断層運動のタイプが異なる。

そして、佐藤(2010)¹⁵¹、構造計画研究所(2010)¹⁵²、構造計画研究所(2011)¹⁵³等の知見によると、同じ規模の地震でも、横ずれ断層型の地震と逆断層型の地震とでは短周期レベルに差があり、横ずれ断層型の地震の方が短周期レベルは小さいとされている。また、佐藤(2008)¹⁵⁴によると、横ずれ断層型の地震に比して、逆断層型の地震の短周期領域での地震動レベルは1.2倍程度と評価されている。そこで、これらの知見に基づき、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ものである(図表6.6)。

¹⁵¹ 脚注35を参照。同研究は、日本の大規模内陸地殻内地震の震源近傍の強震動記録を用いて解析を実施し、逆断層と横ずれ断層の違いを考慮して、地震モーメント(M_0)と短周期レベル(A)の関係式を導出した結果、壇ほか(2001)の経験式と比較して、横ずれ断層では0.64倍となるなど、同じ内陸地殻内地震でも、短周期レベルは横ずれ断層型の地震の方が小さいことを指摘している。

¹⁵² 構造計画研究所「内陸地殻内地震における短周期レベルの地域的な整理・分析業務」原子力安全委員会平成21年度業務委託報告書。同研究は、過去の内陸地殻内地震の短周期レベルを断層タイプ別に整理したところ、逆断層型の地震の短周期レベルが若干大きく、この傾向は佐藤(2010)による結果と調和的であることを指摘している。

¹⁵³ 構造計画研究所「内陸地殻内地震の観測記録に基づく短周期レベルの分析業務」原子力安全委員会平成22年度業務委託報告書。同研究は、横ずれ断層型の地震である鳥取県西部地震について震源断層モデルの再評価を行ったところ、得られた震源断層モデルによる短周期レベルは、佐藤(2010)よりは大きいものの、壇ほか(2001)と同じかやや小さいと評価している。さらに、耐震バックチェックにおいては、逆断層型の地震である新潟県中越沖地震の知見を踏まえて、短周期レベルを壇ほか(2001)の1.5倍として震源断層パラメータの不確かさを考慮することが求められたが、横ずれ断層型の地震は逆断層型の地震より短周期レベルが小さいという佐藤(2010)の検討結果と、今回の検討結果から、横ずれ断層では1.5倍を考慮する必要がない可能性がある」と指摘している。

¹⁵⁴ 佐藤智美「地殻内地震に対するP波部・S波部・全継続時間の水平・上下動の距離減衰式」日本建築学会構造系論文集第632号、1745～1754頁。同研究は、日本国内で観測された最近の内陸地殻内地震の強震記録を用いて、P波部・S波部・全継続時間の3成分それぞれの最大加速度、最大速度、加速度応答スペクトルの距離減衰式を提案するものであるが、断層運動のタイプに応じて、横ずれ断層による地震に比して、逆断層・斜めずれ断層による地震の短周期領域における地震動レベルは1.2倍程度と評価している。

	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
短周期の地震動レベルおよび破壊伝播速度 V_r の不確かさの組合せを考慮	レシピ平均×1.25倍	90°	0°	$V_r=0.87\beta$	断層ごとに敷地近傍に配置	9箇所

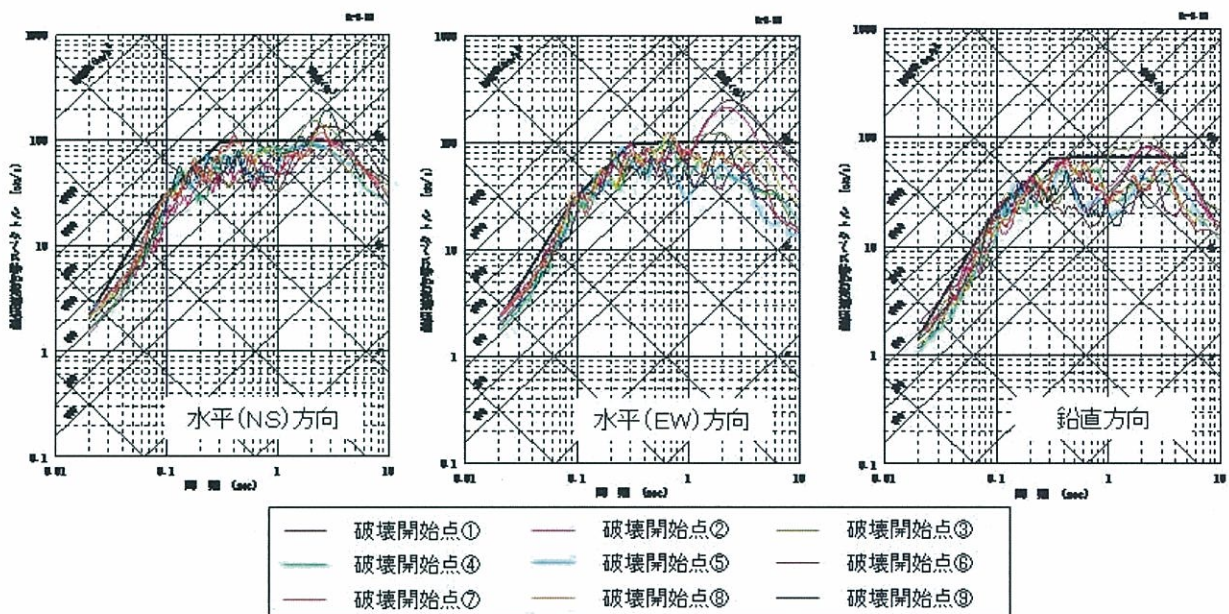
■ :今回組合わせて考慮するパラメータ

■ :不確かさを重畳して考慮するパラメータ

【図表 6 6 不確かさの重畳を考慮した地震動評価ケース】

エ 上記に基づき、「短周期の地震動レベル 1.25 倍」と「破壊伝播速度 0.87β 」とを組み合わせたケース(破壊開始点の設定を変えて 9 ケース)について地震動評価を行った。全 9 ケースの応答スペクトルは図表 6 7 のとおりである。

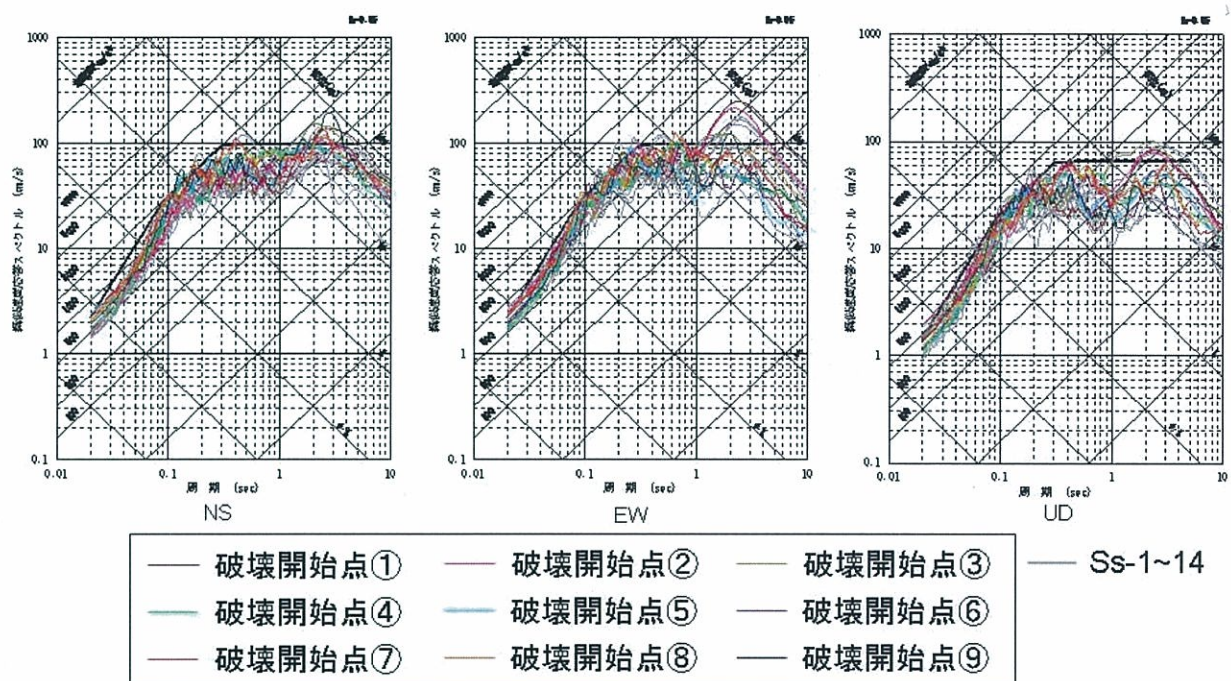
最大加速度について、水平方向では、基準地震動 $S_s - 1 \sim S_s - 14$ の最大値 ($S_s - 4$ (EW 方向) の 856 ガル) を上回るものはないが、鉛直方向では、破壊開始点⑥のケース (613 ガル) が、基準地震動 $S_s - 1 \sim S_s - 14$ の最大値 ($S_s - 2$ の 583 ガル) を上回っている。



【図表 6 7 不確かさの重畳を考慮したケースの地震動評価結果】

5 小括

上記 4 (3) で追加検討した不確かさの重畳を考慮したケース（破壊開始点の設定を変えて 9 ケース）の応答スペクトルを、先に策定した基準地震動 $S_s - 1 \sim S_s - 14$ の応答スペクトルに重ね合わせたものが図表 6 8 である。



【図表 6 8 不確かさの重畳を考慮したケースと

先に策定した基準地震動 $S_s - 1 \sim S_s - 14$ との重ね合わせ】

追加検討したケースの応答スペクトルは、全体として、先に策定した基準地震動 $S_s - 1 \sim S_s - 14$ と概ね同程度であり、基準地震動 $S_s - 1 \sim S_s - 14$ は保守性を有するものと考えられるが、追加検討したケース（全 9 ケース）のうち、破壊開始点②のケースを除いた 8 ケースは、一部の周期で先に策定した基準地震動 $S_s - 1 \sim S_s - 14$ の応答スペクトルを上回ることから、債務者は、これら 8 ケースを大飯 3, 4 号機の基準地震動として採用することとした。

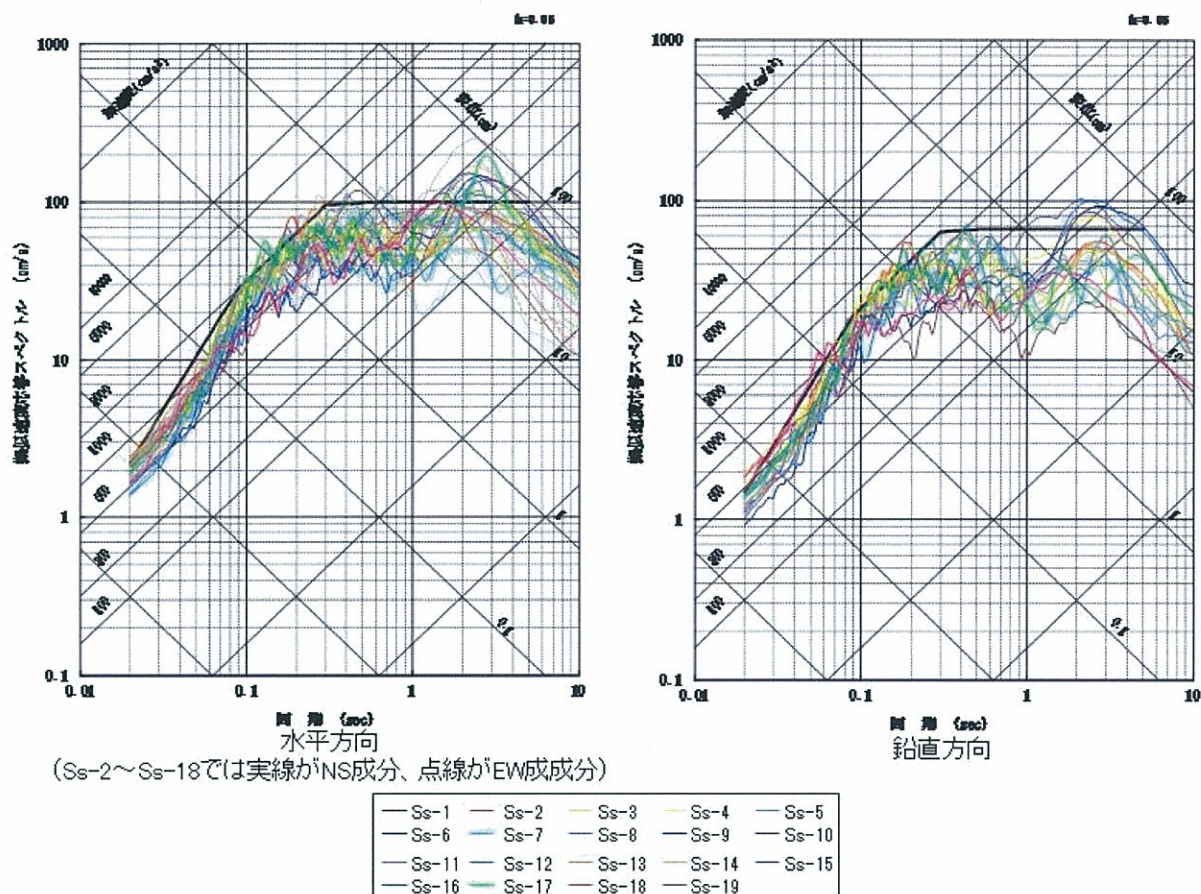
他方、これら 8 ケース（F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層による地震について「短周期の地震動レベル 1.25 倍」と「破壊伝播速度 0.87β 」とを組み合わせたケース）を基準地震動として採用することに伴い、先に策定した基準地震動 $S_s - 1 \sim S_s - 14$ のうち、 $S_s - 8 \sim S_s - 10$ （F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層による地震について（短周期の地震動レベルは基本ケースと同じまま）破壊伝播速度を 0.87β としたケース）は、大飯 3, 4 号機の基準地震動から除外することとした。

その結果、大飯 3, 4 号機の基準地震動は全部で 19 の地震動となった。

そして、除外した基準地震動 $S_s - 8 \sim S_s - 10$ の番号を繰り上げるとともに、「震源を特定せず策定する地震動」の評価結果に基づいて策定した先の基準地震動 $S_s - 13$ を $S_s - 19$ に、 $S_s - 14$ を $S_s - 18$ に変更するなどの順番の整理を行い、最終的に、大飯 3, 4 号機の基準地震動として、基準地震動 $S_s - 1 \sim S_s - 19$ を策定した。最大加速度は、水平方向が基準地震動 $S_s - 4$ （E W 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 6 9）。最終的な基準地震動 $S_s - 1 \sim S_s - 19$ の応答スペクトルを図表 7 0 に示す。

		(cm/s ²)		
基準地震動		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)	660	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・賀禰ダムの記録	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 6 9 基準地震動 S s - 1 ～ S s - 1 9 の最大加速度】



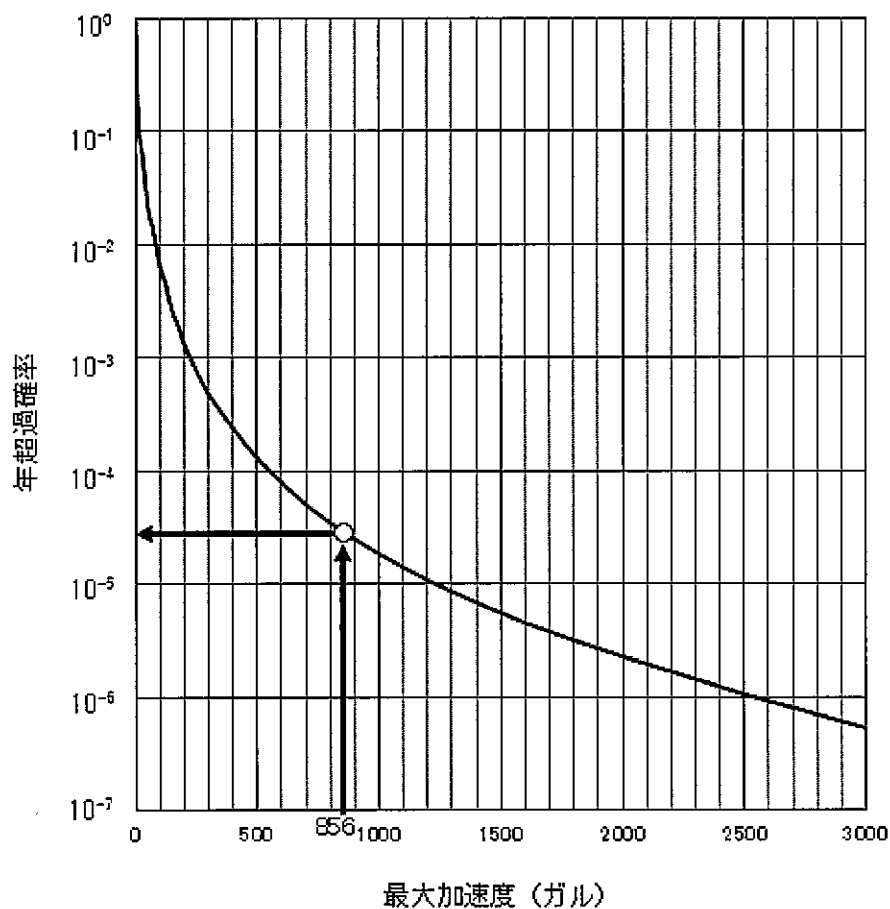
【図表 7 0 基準地震動 S s - 1 ~ S s - 1 9 の応答スペクトル】

6 基準地震動の年超過確率について

以上述べたとおり、債務者は、大飯発電所敷地周辺の地震発生状況、地質・地質構造に関して、詳細な調査・評価を実施した上で、それらの調査・評価結果に基づき、検討用地震を選定している。そして、敷地及び敷地周辺の地下構造の調査・評価結果も踏まえて、保守的な条件で「基本ケース」を設定するとともに、さらに様々な不確かさも適切に考慮した上で、最新の地震動評価手法を用いて検討用地震の地震動評価（「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価）を行っている。さらに「震源を特定せず策定する地震動」も評価した上で、大飯 3，4 号機の基準地震動 S s - 1 ~ S s - 1 9 を策定しているところである。したがって、大飯 3，4 号機に基準地震動を

超える地震動が到来することはまず考えられない。

参考までに、審査ガイドに基づき、基準地震動の年超過確率（1年間にある値を超過する確率を表すもの）を算定した評価結果は図表7-1のとおりである。大飯3、4号機の基準地震動（最大加速度856ガル）に対する年超過確率は白い丸印で示すところの縦軸の値であり、 10^{-4} ～ 10^{-5} /年である。したがって、大飯3、4号機の基準地震動の超過確率は、1万年～10万年に1回程度となり、基準地震動の最大加速度856ガルを超過する地震動が到来する可能性は極めて低いことが分かる。



【図表7-1 基準地震動の年超過確率】

第5 大飯3、4号機の基準地震動に係る原子力規制委員会の審査

本章で述べたとおり、債務者は、大飯発電所敷地周辺の地震発生状況、活

断層の分布状況等の地質・地質構造，地下構造等に関して，詳細な調査・評価を実施した上で，それらの調査・評価結果に基づき，検討用地震の震源断層の大きさ等の震源断層パラメータについて，保守的な条件で「基本ケース」を設定するとともに，さらに様々な不確かさも適切に考慮した上で，最新の地震動評価手法を用いて，検討用地震の地震動評価を行い（「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価），加えて「震源を特定せず策定する地震動」も評価して，大飯 3，4 号機の基準地震動を策定している。

この点，債務者は，平成 25 年 7 月 8 日，大飯 3，4 号機について，原子力規制委員会に対し，原子炉設置変更許可等の申請を行い，以降，同委員会の審査会合において，債務者の策定した大飯 3，4 号機の基準地震動の，新規制基準への適合性について審査が行われてきた。審査において，大飯 3，4 号機の基準地震動に関し，債務者が原子力規制委員会の委員等から受けたコメントに対する回答を行ったところ，平成 26 年 10 月 29 日の第 153 回審査会合において，石渡明委員から，「今日は大飯発電所の地震動評価ということでやってきたわけですが，今回のコメントの回答につきましては，一応，必要な検討がなされて回答はされているというふうに思います」との発言があり（乙 20，原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合 第 153 回 議事録，23 頁），大飯 3，4 号機の基準地震動が審査会合において概ね了承されているところである。

第5章 本件各発電所の「安全上重要な設備」の耐震安全性について

第1 はじめに

本書面の冒頭で述べたとおり、債務者は、本件各発電所の「安全上重要な設備」が、全て、想定される地震動（による地震力）に対して耐震安全性を備える（機能喪失しない）ようにすることで、本件各発電所の地震に対する安全性を確保することとしている。

債務者は、本件各発電所の「安全上重要な設備」について、第3章及び第4章で策定した本件各発電所の基準地震動に対する地震応答解析¹⁵⁵を行い、その結果得られた発生応力値¹⁵⁶等（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（許容値）を満たすことを確認するなどの耐震安全性評価を行うことにより、本件各発電所の「安全上重要な設備」がいずれも、基準地震動に対し、安全機能を維持できることを確認しているところである¹⁵⁷。

本章においては、上記のような本件各発電所の「安全上重要な設備」の耐震安全性評価に関して述べる（第3で高浜3、4号機について、第4で大飯3、4号機について述べる）。その前提として、原子力発電所における「安全上重要な設備」の意義について改めて説明する（第2）。加えて、本件各発電所の「安全上重要な設備」の耐震安全上の余裕についても述べる（第5）。

第2 「安全上重要な設備」の意義

答弁書第5章第4の冒頭の脚注29でも述べたとおり、原子力発電所の設計

¹⁵⁵ 地震応答解析とは、地震動に対して建物等の構造物がどのように揺れるかを評価するために、構造物を適切なモデルに置き換え、そのモデルに地震動を入力して、構造物の揺れ方や力の働き方等を求める解析方法をいう。

¹⁵⁶ 物体に対して外部から力（外力）が加えられると、その物体には外力に応じた変形と外力に対抗する内力（応力）が発生する。この内力の大きさを応力値という。

¹⁵⁷ 必要に応じて、耐震補強工事を実施している。

の考え方として、発電所の通常運転に必要な設備とは別に、原子炉の安全性を確保する（原子炉を「止める」「冷やす」、放射性物質を「閉じ込める」）ために重要な役割を果たす「安全上重要な設備」を設置し、この「安全上重要な設備」については、発電所の通常運転に必要な設備に比べて、格段に高い信頼性を持たせるようにしている。

耐震安全性に関しても、原子力発電所の各設備は、その重要度の違いに応じた耐震性を備えることとされており（乙 21, 「原子力発電所の耐震安全性」 11 頁, 乙 17, 甲 47, 13～19 頁）, 「安全上重要な設備」は、全て、耐震重要度最上位の S クラスの設備として、基準地震動に対して機能喪失しないことが求められているのである¹⁵⁸。

そして、そのように基準地震動に対して耐震安全性を有する「安全上重要な設備」のみで、原子炉を「止める」「冷やす」、放射性物質を「閉じこめる」という安全確保機能を十分に果たせることから、「安全上重要な設備」さえ機能の維持ができれば、それ以外の設備が機能喪失したとしても、原子炉を「止める」「冷やす」、放射性物質を「閉じこめる」ことは可能であり、原子炉が危険な状態となることはない。

一方、「安全上重要な設備」ではない、発電所の通常運転に必要な設備（例えば、主給水ポンプ、タービン、発電機等）については、仮にそれが機能喪失したとしても、原子炉を「止める」「冷やす」、放射性物質を「閉じこめる」機能に支障は生じないので、基準地震動に対する耐震安全性の確認は必要とされていないのである¹⁵⁹。

¹⁵⁸ 平成 18 年改訂前の耐震設計審査指針では、耐震重要度は A s, A, B, C の 4 クラスに分類されており、A s クラスの設備が、基準地震動 S₂ に対して機能喪失しないことが求められていた。平成 18 年の改訂により、A s クラスと A クラスが S クラスとして統合され、（従前は A クラスに分類されていた設備も含めて）S クラスの設備は全て、基準地震動 S_s に対して機能喪失しないことが要求されることとなった。

¹⁵⁹ 発電所の通常運転に必要な設備（「安全上重要な設備」ではないもの）は、必ずしも基準地震動に対する耐震安全性の確認を求められてない、というだけであり、実際には、これらの設備（耐震重要度 B クラスあるいは C クラスの設備）の中にも、基準地震動に対する耐震安全性を有しているものはある。

このように、原子力発電所の設備を、「安全上重要な設備」とそれ以外の設備に分けて考え、「安全上重要な設備」が原子炉の安全性確保に係る機能（例えば、原子炉の冷却や電源供給等）を担うこととし¹⁶⁰、この「安全上重要な設備」に格段に高い信頼性を持たせることで原子炉の安全性を担保する、という基本的枠組みは、本件各発電所を含む原子力発電所の設計において一般的に採用されているものである。

第3 高浜3，4号機の「安全上重要な設備」の耐震安全性評価

1 建物・構築物

(1) 耐震安全性評価の方法

建物・構築物の耐震安全性評価においては、評価対象である原子炉建屋等の各建屋について、後述のような地震応答解析モデルを構築し、基準地震動 $S_s - 1 \sim S_s - 7$ それぞれの加速度時刻歴波を、モデル化された建屋に入力して、各々の基準地震動に対し、そのモデルがどのように揺れるか、またどの箇所にどのような力が働くかを解析する。

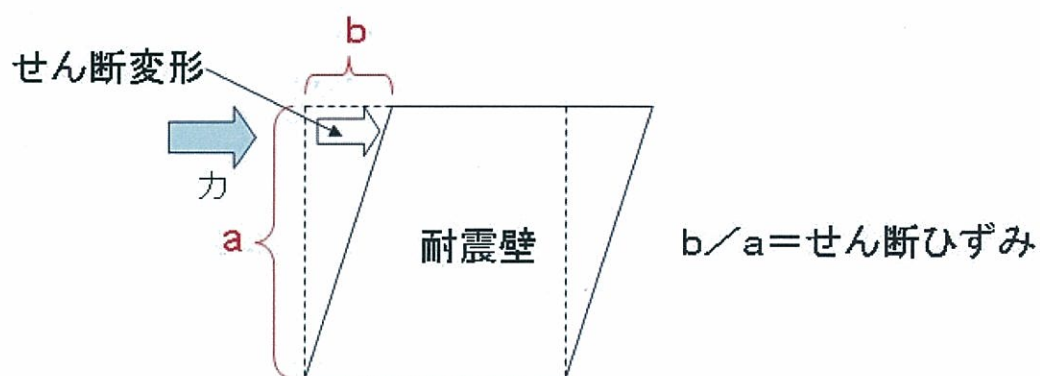
そして、上記解析により、モデルの各層の鉄筋コンクリート造耐震壁のせん断ひずみ（図表72）¹⁶¹の最大値を評価し、この最大値（評価値）が評価基準値（許容値）を超えないことをもって、基準地震動 $S_s - 1 \sim S_s - 7$ に対する各建屋の耐震安全性が確保されていることを確認する。

なお、評価基準値（許容値）は、社団法人日本電気協会による「原子力発

¹⁶⁰ 逆に言えば、「安全上重要な設備」ではない、それ以外の設備（例えば「主給水ポンプ」や「外部電源」）については、原子炉の安全性確保に必要な役割（原子炉の冷却や電源供給等）を担うことをそもそも期待していない。実際、1次冷却材喪失（LOCA）等の事故が発生した場合をあえて仮定して原子炉の安全性が確保できるかどうかを評価する安全解析においては、主給水ポンプや外部電源は機能喪失しているものとの前提で解析を行っている。

¹⁶¹ せん断ひずみとは、せん断力（外力を受けて物体内部で生じる、ずれを生じさせる力）によって変形（せん断変形）する際の変形の割合をいう。耐震壁の場合は、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で求められる。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。

電所耐震設計技術指針（JEAG4601-1987）」に基づき，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¹⁶²「 4.0×10^{-3} 」に，余裕をもたせて「 2.0×10^{-3} 」と設定されたものである。

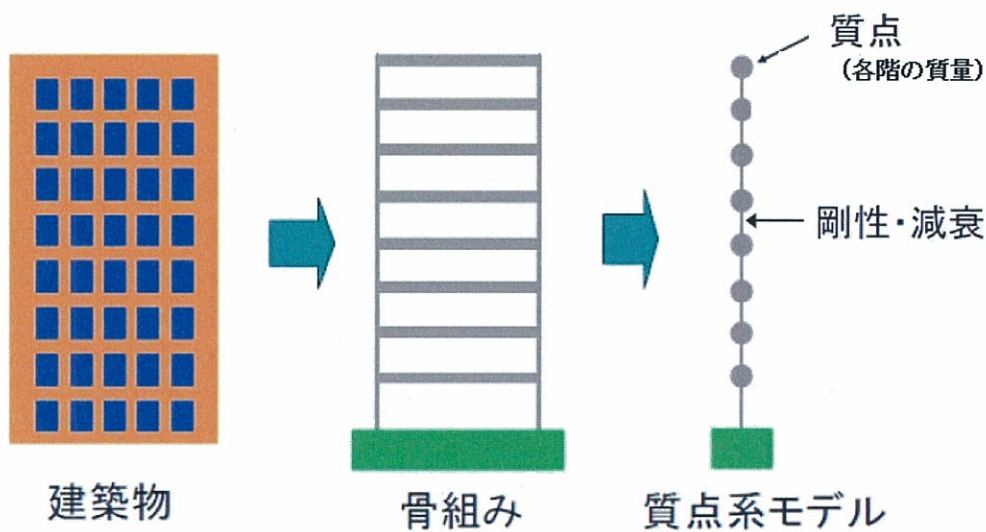


【図表 7 2 せん断変形とせん断ひずみ】

（２）地震応答解析モデルの構築

ここで，建屋の地震応答解析モデルの構築に関して敷衍すると，構造物の地震応答解析による耐震安全性評価を行うにあたっては，原子力発電所の建屋に関しても，それ以外の一般的な建築物でも，質点系モデル（串団子モデル）が広く利用されている。一般的な建築物を例にとると，質量を各階とも床面に集中させ，部材（壁や柱）の剛性や減衰を考慮して，各階床を各質点としたモデルを作成する（図表 7 3）。

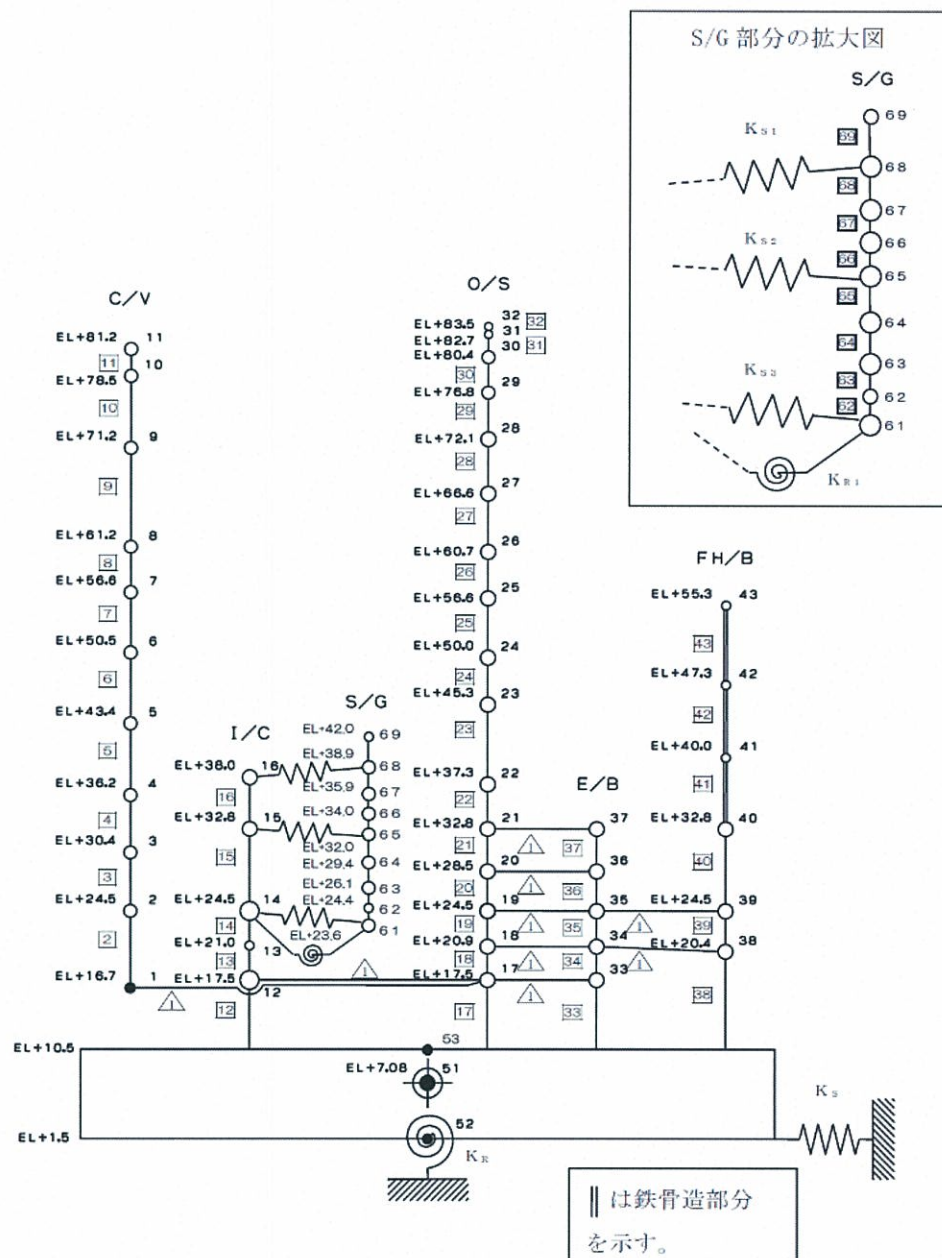
¹⁶² 終局せん断ひずみとは，部材がせん断力により破壊する時点のせん断ひずみをいう。



【図表 7 3 建築物の質点系モデル】

実際に高浜 3，4 号機の原子炉建屋のモデル化を行ったものが図表 7 4 である。これは，基礎版上に，構造的に一体である，外部遮へい建屋，原子炉格納容器，外周建屋，燃料取扱建屋，内部コンクリートを立ち上げ，さらに，質量の大きな蒸気発生器もモデルに組み入れているものであり，構成部位ごとに質量・剛性・減衰を考慮して適切なモデルを構築したものである。

このように構築した建屋の質点系モデルに基準地震動を入力し，モデルの各層に働く力等を解析して，建屋の部材（耐震壁）のせん断ひずみを評価するのである。



【図表 7 4 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）】

(3) 耐震安全性評価結果

高浜 3，4 号機の原子炉建屋，補助一般建屋，中間建屋，ディーゼル建屋及び燃料取替用水タンク建屋について，地震応答解析モデルを構築し，基準地震動 $S_s - 1 \sim S_s - 7$ による，各層の鉄筋コンクリート造耐震壁

のせん断ひずみの最大値を評価した結果が、図表 7 5 である。

各建屋のせん断ひずみの最大値（評価値）は、いずれも評価基準値 2.0×10^{-3} （高さ 10m の耐震壁であればせん断変形が 2cm までに抑えられるようにしなければならない）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。

評価対象建屋		対象部位	評価値 (せん断ひずみの最大値)	評価基準値
3 号機	原子炉建屋	耐震壁	0.934×10^{-3}	2.0×10^{-3}
	補助一般建屋		0.291×10^{-3}	
	中間建屋		0.429×10^{-3}	
	ディーゼル建屋		0.451×10^{-3}	
	燃料取替用水タンク建屋		0.0907×10^{-3}	
4 号機	原子炉建屋	耐震壁	0.934×10^{-3}	
	補助一般建屋		3 号機と共用	
	中間建屋		0.429×10^{-3}	
	ディーゼル建屋		0.451×10^{-3}	
	燃料取替用水タンク建屋		0.0907×10^{-3}	

【図表 7 5 原子炉建屋等の耐震安全性評価結果】

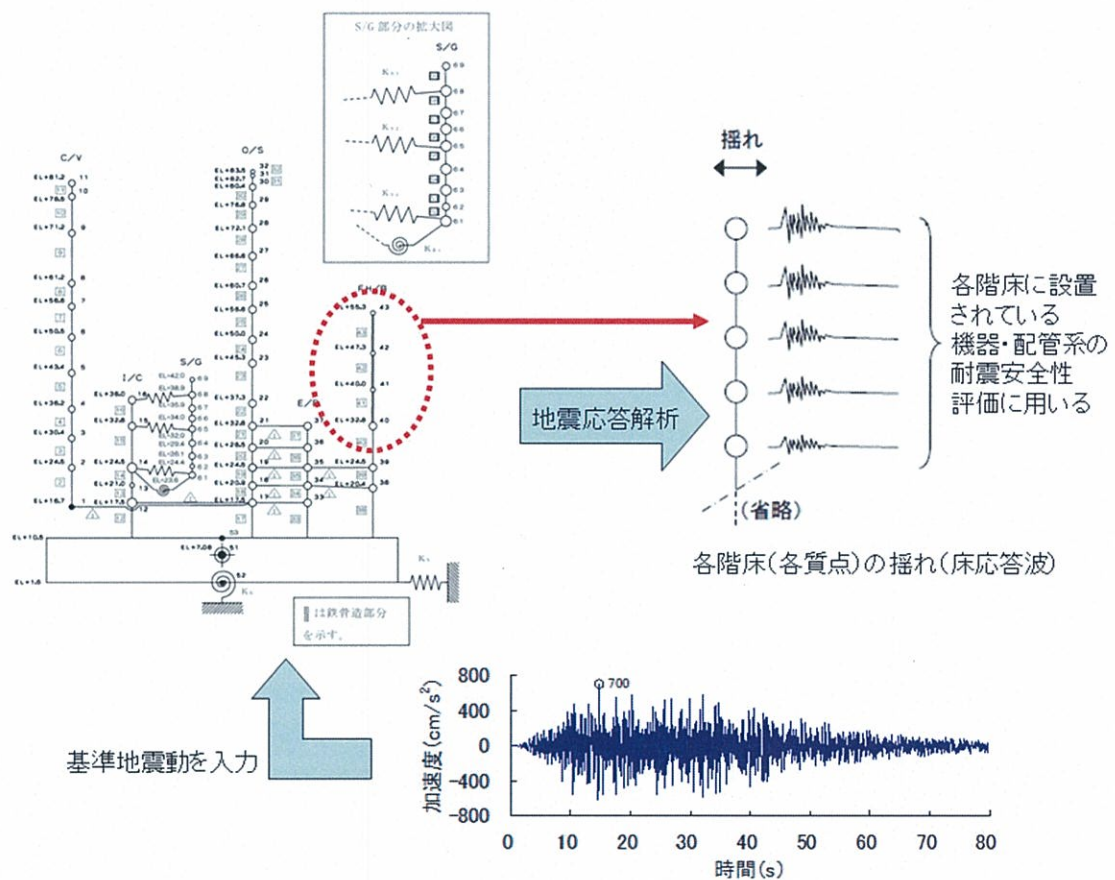
2 機器・配管系

(1) 耐震安全性評価の方法

機器・配管系の耐震安全性評価にあたっては、まず、上記 1 で構築した建物・構築物（建屋）の質点系モデルに基準地震動 $S_s - 1 \sim S_s - 7$ を入力し、それぞれの建屋の各階床の揺れ（床応答波）を求める。

次に、この各階床の揺れ（床応答波）をもとに、当該階床に設置している機器・配管系（の本体や床に固定するためのボルト等の支持構造物）に

生じる応力値等（評価値）を求め、これを、評価基準値（許容値）である、材料ごとに規格等で定められた許容応力等と比較し、評価値が評価基準値を超えないことをもって、機器・配管系の耐震安全性（基準地震動によって生じる応力等に耐えられること）を確認する（図表 7 6）。また、制御棒については、安全解析¹⁶³の際に条件として用いた原子炉内への挿入時間を評価基準値とし、地震時においてもそれ以内の時間で挿入されること（動的機能維持）を確認する。



【図表 7 6 機器・配管系の耐震安全性評価】

¹⁶³ 安全解析とは、1次冷却材喪失（LOCA）等の事故が発生した場合をあえて想定し、そのような場合であっても、原子炉の温度、圧力等に関する判断基準が満たされ、安全性が確保されることを確認するための解析評価のことをいう。

(2) 耐震安全性評価結果

高浜 3, 4 号機の安全上重要な機器・配管系について、運転時（異常や事故の発生時を含む）の荷重条件と基準地震動による地震力（基準地震動によって生じる建屋各階床の揺れ（床応答波）によって当該床に設置されている機器・配管系に加わる力）とを適切に組み合わせて構造強度評価を実施し、機器・配管系の各部位に発生する応力値等を求めている。また、基準地震動に対する、ポンプ、弁、制御棒等の動的機能維持評価を行っている。現時点における代表的な評価結果を示したものが図表 7 7 である¹⁶⁴。

発生応力値等（評価値）は、いずれも評価基準値（許容値）を下回っており¹⁶⁵、高浜 3, 4 号機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）ことが確認しているところである。

¹⁶⁴ 図表 7 7 に記載した評価値は、現時点での暫定値である。

¹⁶⁵ 使用済燃料ピット冷却設備は、耐震重要度は B クラスに分類されているが、基準地震動による地震力が作用した際の評価値は、いずれも評価基準値（許容値）を下回ることを確認している。なお、債権者ら第 2 準備書面 99 頁で言及されている使用済燃料ピットの計装設備も、基準地震動に対する耐震安全性を有していることを確認している。

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)	245	372	245	372
	制御棒	挿入性 (挿入時間: 秒)	1.75	2.2	1.75	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)	24	160	24	160
	余熱除去配管	配管本体の構造強度 (応力: MPa)	119	361	139	344
閉じ込める	原子炉容器	支持構造物の構造強度 (応力: MPa)	294	465	294	465
	1次冷却材管	配管本体の構造強度 (応力: MPa)	168	383	191	383
	蒸気発生器	伝熱管の構造強度 (応力: MPa)	376	447	376	447
	原子炉格納容器	本体の座屈強度 (応力: MN)	97	137	97	137

【図表 7 7 代表的な機器・配管系の耐震安全性評価結果】

第4 大飯3, 4号機の「安全上重要な設備」の耐震安全性評価

1 建物・構築物

(1) 耐震安全性評価の方法

高浜3, 4号機の場合と同様に, 評価対象の各建屋について, 後述のような地震応答解析モデルを構築し, 基準地震動 $S_s - 1 \sim S_s - 19$ それぞれの加速度時刻歴波を, モデル化された建屋に入力して, 各々の基準地震動に対し, そのモデルがどのように揺れるか, またどの箇所にどのような力が働くかを解析する。

そして, 上記解析により, モデルの各層の鉄筋コンクリート造耐震壁のせん断ひずみの最大値(評価値)が評価基準値(許容値)を超えないことをもって, 基準地震動に対する各建屋の耐震安全性が確保されていることを確認する。

なお, 第3の1(1)で述べたとおり, 評価基準値(許容値)は, 既往の



ルを構築し、基準地震動 $S_s - 1 \sim S_s - 19$ による、各層の鉄筋コンクリート造耐震壁のせん断ひずみの最大値を評価した結果が、図表 7 9 である。

各建屋のせん断ひずみの最大値（評価値）は、高浜 3，4 号機の場合と同様に、いずれも評価基準値 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。

評価対象建屋		対象部位	評価値 (せん断ひずみの最大値)	評価基準値
3 号機	原子炉建屋	耐震壁	1.39×10^{-3}	2.0×10^{-3}
	制御建屋		1.01×10^{-3}	
4 号機	原子炉建屋	耐震壁	1.39×10^{-3}	
	制御建屋		3 号機と共用	

【図表 7 9 原子炉建屋及び制御建屋の耐震安全性評価結果】

2 機器・配管系

(1) 耐震安全性評価の方法

高浜 3，4 号機の場合と同様に、機器・配管系の耐震安全性評価にあたっては、まず、上記 1 で構築した建物・構築物（建屋）の質点系モデルに基準地震動 $S_s - 1 \sim S_s - 19$ を入力し、それぞれの建屋の各階床の揺れ（床応答波）を求める。

次に、この各階床の揺れ（床応答波）をもとに、当該階床に設置している機器・配管系（の本体や床に固定するためのボルト等の支持構造物）に生じる応力値等（評価値）を求め、これを、評価基準値（許容値）と比較し、評価値が評価基準値を超えないことをもって、機器・配管系の耐震安全性（基準地震動によって生じる応力等に耐えられること）を確認する。また、制御棒については、安全解析の際に条件として用いた原子炉内への挿入時間を評価基準値とし、地震時においてもそれ以内の時間で挿入され

ることを確認する。

(2) 耐震安全性評価結果

高浜 3, 4 号機の場合と同様に, 大飯 3, 4 号機の安全上重要な機器・配管系について, 運転時(異常や事故の発生時を含む)の荷重条件と基準地震動による地震力とを適切に組み合わせて構造強度評価を実施し, 機器・配管系の各部位に発生する応力値等を求めている。また, 基準地震動に対する, ポンプ, 弁, 制御棒等の動的機能維持評価を行っている。現時点における代表的な評価結果を示したものが図表 80 である¹⁶⁶。

発生応力値等(評価値)は, いずれも評価基準値(許容値)を下回っており¹⁶⁷, 大飯 3, 4 号機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ことを確認しているところである。

¹⁶⁶ 図表 80 に記載した評価値は, 現時点での暫定値である。

¹⁶⁷ 使用済燃料ピット冷却設備は, 耐震重要度は B クラスに分類されているが, 基準地震動による地震力が作用した際の評価値は, いずれも評価基準値(許容値)を下回ることを確認している。なお, 脚注 165 で述べたとおり, 債権者ら第 2 準備書面 99 頁で言及されている使用済燃料ピットの計装設備も, 基準地震動に対する耐震安全性を有していることを確認している。

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)	253	361	253	361
閉じ込める	原子炉容器	本体の構造強度 (応力: MPa)	278	420	278	420
	1次冷却材管	配管本体の構造強度 (応力: MPa)	175	383	175	383
	蒸気発生器	支持構造物の構造強度 (応力: MPa)	434	582	434	582
	原子炉格納容器	耐震壁 (せん断ひずみ)	1.21 $\times 10^{-3}$	2.0 $\times 10^{-3}$	1.21 $\times 10^{-3}$	2.0 $\times 10^{-3}$

【図表 8 0 代表的な機器・配管系の耐震安全性評価結果】

第5 本件各発電所の「安全上重要な設備」の耐震安全上の余裕

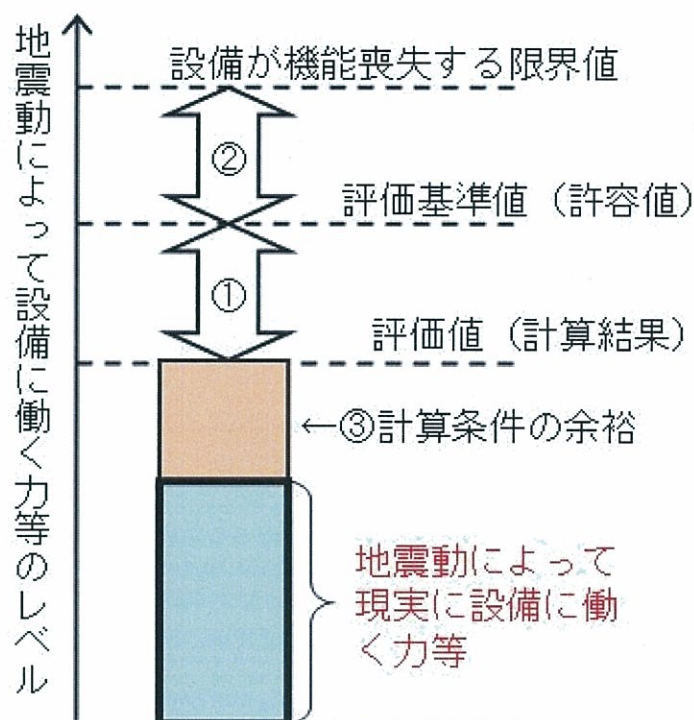
1 「安全上重要な設備」の耐震性が基準地震動による地震力に対して有する余裕

(1) 上記第3及び第4で述べた耐震安全性評価結果において、基準地震動による地震力が作用した際の各施設の評価値（建物・構築物（建屋）耐震壁のせん断ひずみや機器・配管系に生じる応力値等）は、いずれも評価基準値（許容値）を下回っており、評価基準値に対して余裕を有している。すなわち、本件各発電所の「安全上重要な設備」の耐震性は、基準地震動による地震力に対して余裕を有するものとなっている。

例えば、大飯発電所3号機における1次冷却材管の評価値は175MPaであるが、評価基準値（許容値）は383MPaであるから、383MPa（評価基準値）を175MPa（評価値）で除して、1次冷却材管の耐震性は、基準地震動によ

る地震力に対して約 2.1 倍の余裕を有していることになる。

- (2) さらに、上記のような①評価基準値（許容値）に対する評価値の余裕に加えて、②評価基準値（許容値）自体が、実際に機器等が機能喪失する（損壊する）限界値に対して（実験結果等により得られた値に、実験値のばらつきや下限値を参考にして）余裕を持った値が設定されている上に（評価基準値（許容値）の持つ余裕）、③評価値（基準地震動による地震力が作用した際の機器・配管系に生じる応力値等）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（計算条件の余裕）（図表 8 1）。



【図表 8 1 耐震安全上の様々な余裕】

- (3) ②について、鉄筋コンクリート造耐震壁を例にとると、せん断ひずみの評価基準値（許容値）は、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。したがって、仮に、基準地震動によ

る地震力が作用した際の評価値が評価基準値（許容値）に対して余裕がないとしても、実際に耐震壁がせん断力により破壊に至る限界値までにはまだ余裕が存在することになる。

- (4) ③について、機器・配管系の耐震安全性評価においては、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）をもとに、設備の耐震安全性を確認している。実際の地震の揺れによる力は、特定の方向にかかり続けるものではなく、また、瞬間的に大きな力がかかることがあっても、それで設備が破損に至るほどの大きな変形が直ちに生じるわけではない（実際は、設備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、設備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、このような仮定は安全側の取扱いとして余裕を生じさせることになる。

また、機器・配管系の耐震安全性評価においては、エネルギー吸収効果を考慮していない。すなわち、設備に力が加わることで設備を構成する材料が変形するが、材料に発生する応力が降伏点¹⁶⁸を越えると、変形は、弾性変形から塑性変形に変わる¹⁶⁹。そして、材料が塑性変形するとより大きなエネルギー吸収が期待でき¹⁷⁰、設備の揺れを抑制する効果が生じる。これがエネルギー吸収効果である。この効果は、建設省告示（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¹⁷¹として表されるところ

¹⁶⁸ 降伏点とは、物体に加える力を増していったときに、元に戻らなくなる（塑性変形する）ときの発生応力値のことをいう。

¹⁶⁹ 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い、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う。

¹⁷⁰ 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働かない）形で吸収（消費）されるからである。

¹⁷¹ 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

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¹⁷²¹⁷³。これは、かかる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。本件各発電所の設備の耐震安全性評価では、このようなエネルギー吸収効果を見込んでおらず¹⁷⁴、このことは安全側の取扱いとして余裕を生じさせることになる。

- (5) 以上のとおり、本件各発電所の「安全上重要な設備」の耐震性は、基準地震動による地震力に対して余裕を有している。

第 3 章及び第 4 章で詳述したとおり、債務者は、本件各発電所の基準地震動を、保守的な条件設定に基づき、様々な不確かさも適切に考慮した上で策定しており、そもそも本件各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。しかも、上記のとおり、本件各発電所の「安全上重要な設備」の耐震性は、基準地震動による地震力に対して余裕を有しているため、万一、本件各発電所が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、「安全上重要な設備」が直ちに機能喪失することにはならないのである。

2 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

- (1) 上記 1 で述べたとおり、原子力発電所の「安全上重要な設備」の耐震性は、基準地震動による地震力に対して余裕を有しているが、そのような「安全上重要な設備」の耐震安全上の余裕を現実の試験によって実証したのが、

る構造特性係数 (Ds) が定められている。

¹⁷² 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。

¹⁷³ 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。

¹⁷⁴ 「原子力発電所耐震設計技術規程 (JEAC4601-2008)」において、この効果が見込めることが紹介されている。

1982 年度から 2004 年度まで、財団法人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、大型高性能振動台（以下、「振動台」という）¹⁷⁵を用いて、原子力発電所の実機を模擬した試験体¹⁷⁶に対して実施された振動実験（「原子力発電施設耐震信頼性実証試験」）である（乙 21，20 頁）。

この実証試験は、原子力発電所の「安全上重要な設備」について、可能な限り実機に近い条件で加振を行い、地震に対する安全性、すなわち設備の耐震安全上の余裕や、耐震設計手法の妥当性、制御棒挿入性等の機能の信頼性等を実証するため、振動台に試験体を設置して、強度実証試験¹⁷⁷、設計手法確認試験¹⁷⁸、限界加振試験¹⁷⁹等を行ったものである。試験用の揺れ（入力波）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 を踏まえ、試験体に最も大きい応答を与え、より厳しい試験が期待できる揺れ（地震動に対する基礎又は床の応答波）とされた。試験対象設備には、110 万 kW 級の加圧水型（PWR）及び沸騰水型（BWR）原子力発電所における原子炉格納容器、原子炉容器、炉内構造物（燃料集合体、制御棒クラスタ、制御棒駆動装置等）、非常用ディーゼル発電機等が選定された（図表 8 2）。

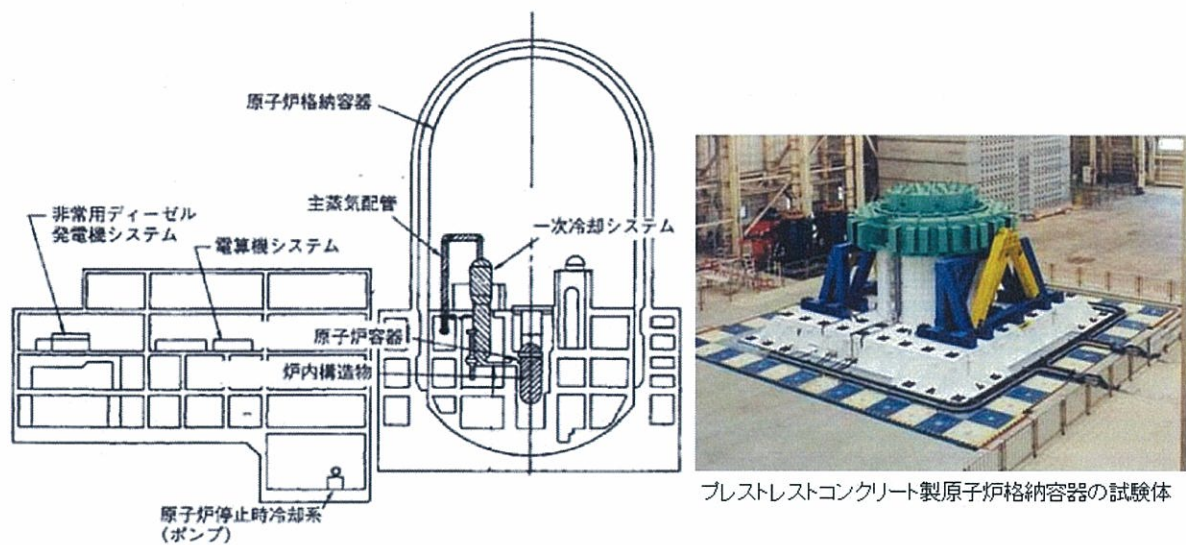
¹⁷⁵ 1982 年 11 月に、多度津工学試験所（香川県仲多度郡多度津町）に完成した、最大搭載質量 1,000 トン、振動台寸法縦 15m×横 15m、水平加振機 7 基と垂直加振機 12 基によって水平・上下の 2 方向を同時に加振できる装置である。

¹⁷⁶ 振動台の性能を考慮の上、適切な縮尺で形状及び材質等をできるだけ実機に近くモデル化した試験体である。

¹⁷⁷ 試験用の揺れ（入力波）に対する強度及び機能の信頼性を確認する試験。

¹⁷⁸ 耐震設計手法や地震応答解析手法の妥当性を確認する試験。

¹⁷⁹ 強度実証試験の揺れ（入力波）を超える地震波を入力して加振し、耐震安全上の余裕を確認する試験。



【図表 8 2 PWR の試験対象設備の位置及び試験体の例】

(2) 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 8 3 のとおりである。

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]
プレストレスト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 8 3 PWR 試験対象設備に関する試験結果】

強度実証試験では、全ての試験対象設備について、試験用の揺れ（入力波）に対する構造強度の確保、地震時（地震後）における原子炉格納容器の気密性や制御棒挿入性等の機能維持等が確認された。

また、限界加振試験においても、全ての試験対象設備について、強度実証試験の揺れ（入力波）を超える地震波に対して何ら異常は発生せず、各設備が十分な耐震安全上の余裕を有していることが実証された。例えば、プレストレストコンクリート製原子炉格納容器（実機（約 27000 トン）を 1/10 に縮尺した試験体（757 トン））の限界加振試験では、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。なお、試験開始当初は、できるだけ実機サイズ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 1.5～2 倍程度の加振が限度となり、試験体が機能喪失するまでの加振には至っていない。図表 8 3 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、当該試験体はそれ以上の耐震安全上の余裕を有していることになる。

- (3) 上記実証試験で用いられた試験体は、全ての原子力発電所で共通的に採用されている標準的な設計方法に依拠して、可能な限り実機を模擬して製作されたものであることから、かかる試験体と同様の設計を行っている本件各発電所の「安全上重要な設備」も、上記実証試験の結果と同等の耐震安全上の余裕を有すると考えられる。上記実証試験の結果により、本件各発電所を含めた原子力発電所の「安全上重要な設備」が一般的に有する耐震安全上の余裕が明らかになっていると言えるのである。

3 ストレステスト

(1) 本件各発電所の「安全上重要な設備」の耐震性が、各々、基準地震動による地震力に対して余裕を有することは上記のとおりであるが、本件各発電所に生じる地震動の大きさを、仮想的に基準地震動をも超過させて評価していった場合に、どの程度の大きさの地震動までなら本件各発電所の燃料の重大な損傷が生じないか、という観点から、基準地震動に対するプラントの総合的な余裕を、一定の前提の下で定量的に評価するために実施されたのが、ストレステスト¹⁸⁰である。

債務者は、本件各発電所のストレステストの結果について、原子力安全・保安院に報告書を提出している（高浜発電所 3 号機について甲 118、高浜発電所 4 号機について甲 119、大飯発電所 3 号機について乙 22（本文）及び甲 16¹⁸¹（添付資料）、大飯発電所 4 号機について甲 14（本文）及び甲 123（添付資料））。同報告書における評価内容は、平成 24 年 4 月 20 日（高浜発電所 3 号機）、同月 1 日（高浜発電所 4 号機）、平成 23 年 10 月 1 日（大飯 3、4 号機）の時点における本件各発電所の施設の状態を前提としており、また、高浜 3、4 号機の基準地震動 S s（550 ガル）、大飯 3、4 号機の基準地震動 S s（700 ガル）を基礎としたものであることから、現在のプラントの状況を踏まえて、今般新たに策定した基準地震動に対する評価を行っているものではないが、ストレステストにおいては、本件各発電所の地震に係るクリフエッジ¹⁸²について、高浜 3、4 号機で基準地震動 S

¹⁸⁰ 正式には、「東京電力株式会社福島第一原子力発電所における事故を踏まえた既設の発電用原子炉施設の安全性に関する総合評価」である。なお、ストレステストにおいては、地震以外の、津波等の事象に対する余裕についても評価を実施している。

¹⁸¹ 債権者らから、甲 16 号証の 1～82 が、大飯発電所 4 号機に関するストレステストの報告書（甲 14）の添付資料であるかのように提出されているが（仮処分申立書 16 頁、及び債権者らの平成 26 年 12 月 10 日付証拠説明書を参照）、甲 16 号証は、大飯発電所 3 号機に関するストレステストの報告書（乙 22）の添付資料であり、大飯発電所 4 号機に関するストレステストの報告書の添付資料（甲 123）とは内容の一部が異なっている。よって、上記の債権者らの証拠説明書における、甲 16 号証の 28、56、57、58、60、65～68、及び 71 の標目はいずれも誤りである。

¹⁸² クリフエッジとは、プラントの状況が急変する地震、津波等のストレス（負荷）のレベルのことを

s (550 ガル) の 1.77 倍、大飯 3, 4 号機で基準地震動 S s (700 ガル) の 1.80 倍と評価されている。すなわち、発生の蓋然性はさて置き、本件各発電所が基準地震動 S s を超える地震動に襲われることをあえて仮定しても、基準地震動 S s の 1.77 倍ないし 1.80 倍の地震動レベルまでは、燃料の重大な損傷は生じないと評価されていることになる。

(2) もっとも、このストレステストは、あくまでも一定の前提の下で、プラントの耐震安全上の余裕を評価したものにとどまり、例えば、各機器の耐震裕度を評価するに際しては、原則として評価基準値（許容値）を評価値で除した値がそのまま利用されているに過ぎない（前述の「評価基準値（許容値）の持つ余裕」や「計算条件の余裕」は含まれていない）など、全ての余裕が定量的に評価されて見込まれているわけではない。

(3) すなわち、ストレステストにおいては、以下の手順により、本件各発電所の地震に係るクリフエッジを評価している。

①起因事象（地震による機器の損傷に起因して生じ、有効な収束手段がとられなければ燃料の重大な損傷に至る可能性のある事象）を選定する。

②各起因事象に対して、燃料の重大な損傷に進展しないように収束させる手順（収束シナリオ）を確認し、その実現に必要な機器を整理する。

③収束シナリオの実現に必要な機器が、それぞれどの程度の地震動レベルまで正常に働くか（耐震裕度）を個々に評価し、それをもとに各起因事象に対する耐震裕度（どの程度までの地震動であれば当該起因事象に対する収束が可能か）を確認する。そして、それらのう

いう。地震を例にとると、そもそも基準地震動を超える地震動が本件各発電所に到来することはまず考えられないところであるが、そのことはあえて置き、仮想的に、本件各発電所に生じる地震動の大きさを基準地震動をも超過させて評価したときに、それを超えると、「安全上重要な設備」に損傷が生じるものがあり、その結果、燃料の重大な損傷に至る可能性が生じる地震動のレベルのことをいう。

ち最も耐震裕度が低いものをクリフエッジとして特定する。

- (4) ここで、前述の 1.77 倍ないし 1.80 倍というクリフエッジの数字は、起因事象に対する収束シナリオの実現に必要な機器のうちで最も耐震裕度が低いものの値から導かれている。大飯 3, 4 号機の 1.80 倍について述べると、具体的には「高電圧開閉装置」(メタクラ) がこれに該当するところ、この「高電圧開閉装置」の「1.80 倍」という耐震裕度の値は、同装置の動的機能維持に係る鉛直方向における評価基準値(許容値) $1.10G$ (G は重力加速度の単位) を、基準地震動 S_s (700 ガル) に対する評価値(基準地震動 S_s (700 ガル) により同装置に作用する鉛直方向の加速度値) $0.61G$ で除したものに過ぎないのである。

第6章 債権者らの主張の誤りについて

第1 地震ないし地震動の想定に係る科学の限界を強調する主張について

1 過去のデータの少なさ等から、地震動の想定はおよそ不可能あるいは極めて不確実なものであるかのように述べる債権者らの主張の誤り

(1) 債権者らは、御庁平成24年(ワ)第394号、平成25年(ワ)第63号大飯原発3,4号機運転差止請求事件の第一審判決(以下、「福井地裁判決」という)(甲127)が「我が国の地震学会においてこのような規模の地震の発生を一度も予知できていないことは公知の事実である」(44頁)とした上で、頼るべき過去のデータの少なさを根拠に「大飯原発には1260ガルを超える地震は来ないとの確実な科学的根拠に基づく想定は本来的に不可能である」(45頁)と判示していることを受けて、地震に関する科学の限界を繰り返し強調し、地震ないし地震動の想定などおよそ不可能あるいは極めて不確実なものであるかのように主張する(債権者ら第1準備書面2～5頁, 債権者ら第2準備書面34～42頁, 債権者ら第4準備書面140～141頁, 等)。

(2) しかしながら、かかる債権者らの主張は、近年、地震ないし地震動に関する調査研究が大きく進展していること、特に、兵庫県南部地震を契機として新たな知見が急速に蓄積され、地震動評価手法も著しく発展していること等をあまりにも軽視するものである上(下記(3))、債務者が「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価における検討用地震の地震動評価にあたって、複数の震源断層パラメータにつき保守的な条件で「基本ケース」を設定し、さらに様々な不確かさを考慮した複数のケースも検討するなどしている点を踏まえないものであり(下記(4))、失当である。

(3) 第2章で詳述したとおり、地質学、地震学、地震工学等の分野における

調査研究は従来から不断に進展しており、特に、兵庫県南部地震を契機とした、強震動予測に関する知見の急速な蓄積や、全国的な地震動の観測網の充実、活断層調査・地下構造調査の進展等は著しいものがある。

そして、同地震を契機としてその後発展してきた、地震動に影響を与える特性である「震源特性」や地下構造による地震波の「伝播特性」及び「地盤の増幅特性（サイト特性）」を、詳細な調査に基づき、地域性を踏まえて詳細に考慮する、という地震動評価の基本的な考え方は、マグニチュード9.0という極めて大規模な地震であった東北地方太平洋沖地震、及び同地震による津波に起因した福島第一原子力発電所事故を受けて原子力規制委員会により策定された新規制基準においても維持されており、このことは、かかる地震動評価手法が、東北地方太平洋沖地震を経てもなお有効なものと考えられているからに外ならない¹⁸³。

債権者らの上記主張は、このような、地震ないし地震動に関する近年の調査研究の進展、特に兵庫県南部地震を契機とした新たな知見の急速な蓄積や地震動評価手法の著しい発展等に関する理解を全く欠き、これをあまりにも軽視するものであって、失当である。

(4) もちろん、上記のように地震ないし地震動に関する調査研究等が著しく進展しても、自然現象である地震ないし地震動の想定に関して、一定の不確かさが存在することは、確かに否定できないところではある。

そこで、債務者は、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」を評価するにあたり、本件各発電所敷地周辺の地震発生状況及び活断層の分布状況等の地質・地質構造について詳細な調査を行った上で、敷地に大きな

¹⁸³ なお、東北地方太平洋沖地震時に福島第一原子力発電所及び女川原子力発電所で観測された地震動は、耐震バックチェックに伴い策定されたこれらの発電所の基準地震動 S_s （の応答スペクトル）を一部の周期で超過したものの、全体としては「概ね同程度」「ほぼ同等」であったと評価されている（乙23、「福島原子力事故調査報告書 添付資料」、乙16）。

影響を及ぼすと予想される検討用地震を選定している¹⁸⁴のは当然のこと、この検討用地震の地震動評価においては、第3章第4の3及び第4章第4の4で述べたとおり、「基本ケース」を設定する段階から保守的な条件設定を行い、さらに、かかる「基本ケース」に加えて、様々な震源断層パラメータについて、不確かさを考慮した複数のケースを設定し、さらには、複数の不確かさを組み合わせたケースをも考慮して、地震動評価を行っているところである。

地震動想定の不確かさを過度に強調する債権者らの主張は、このような点を踏まえずになされているものであり、失当である。

2 本件各発電所敷地内の地震観測記録の有無を強調して、敷地及び敷地周辺の地下構造の把握が困難になっているとする債権者らの主張の誤り

- (1) 債権者らは、頼るべき過去の地震のデータが限られているとの福井地裁判決の判示に対し、債務者が名古屋高等裁判所金沢支部平成26年（ネ）第126号大飯原発3，4号機運転差止請求控訴事件の平成26年7月11日付控訴理由書（甲128）で述べた、甚大な被害が生じるに至らない小規模な地震は相当な頻度で起こっており、地震発生層の特定や地震波の伝播特性等の検証にあたっては、そのような小規模な地震において得られたデータも数多く活用しているという主張（甲128，46頁）を引用して、原子力規制委員会の会議における島崎邦彦委員（当時）の発言¹⁸⁵を部分的に利用し、

¹⁸⁴ 債権者らは、「債務者は、原判決が『若狭地方の既知の活断層に限っても陸海問わず多数存在すること』と認定したことには敢えて沈黙している」（債権者ら第2準備書面48頁）と、あたかも債務者が本件各発電所敷地周辺の活断層の存在を無視しようとしているかのように述べるが、第3章第2の2及び第4章第2の2で説明したとおり、債務者は、敷地周辺の活断層の分布状況等について詳細な調査を行ってこれを把握した上で、そのうち後期更新世以降（約12～13万年前以降）の活動が否定できないものについては全て「震源として考慮する活断層」として（すなわち、それらの活断層が震源となる地震が起こり得ることを前提として）、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」を評価しているのであり、債権者らの主張は失当である。

¹⁸⁵ なお、債権者ら第2準備書面42頁下から9行目には「（甲105・8頁）」と記載されているが、「（甲109・8頁）」の誤りと思われる。

「本件原発では、通常サイトのよう敷地内に地震計を設置していなかったため、地震記録がなく、敷地及び敷地周辺の地下構造を把握することが通常サイトよりもさらに困難になっている」（債権者ら第2準備書面42頁）などと述べ、債務者の上記主張が根拠のないものであるかのように主張する。

- (2) しかしながら、かかる債権者らの主張は、地盤の速度構造や地震発生層の特定に関する正しい理解を欠いているものである。地盤の速度構造や地震発生層は、発電所敷地内での地震観測記録のみに基づいて評価・検討されるものではない。第3章第2の4及び第4章第2の4で詳述したとおり、債務者は、自ら、P S 検層、試掘坑弾性波探査、反射法・屈折法地震探査、微動アレイ観測、地震波干渉法による地下構造評価等を実施しているのはもとより、気象庁一元化震源に記載された若狭湾周辺地域の地震（多数の小規模な地震を含む）発生状況等の既往のデータや文部科学省「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」等による調査・検討結果の利用・参照等も含めて、本件各発電所敷地及び敷地周辺の地下構造に関して、種々の適切な調査を実施した上で、多角的な評価・検討をもとに地盤の速度構造や地震発生層を特定している。

債権者らの上記主張は、これらの内容を理解せず、本件各発電所敷地内の地震観測記録の有無のみをもって、あたかも本件各発電所敷地及び敷地周辺の地下構造に関する調査がほとんどなされていない、あるいは調査が困難であるかのように述べるものであり、明らかに誤りである。

3 「震源を特定せず策定する地震動」に関する債権者らの主張は、本件各発電所の事情を踏まえないものであること

- (1) 債権者らは、債権者ら第4準備書面92～127頁において、「震源を特定せず策定する地震動」に関する主張を縷々展開している。同書面における

債権者らの主張内容には趣旨が不明な点が多いが、債権者ら第2準備書面42～45頁の記載と併せて理解すると、債権者らの「震源を特定せず策定する地震動」に関する主張内容は、要するに、①どこで地震が発生するか分からないという現実を踏まえれば、「震源を特定せず策定する地震動」は「念のため」に検討するといったものではない、②加藤ほか（2004）の検討で示されている応答スペクトルは過小である上、債務者が「震源を特定せず策定する地震動」を策定する際に検討している個別の地震は16地震のみであり、「震源を特定せず策定する地震動」の評価については「対象地震の選定や最大規模の推定に関する多くの問題がある」（債権者ら第2準備書面45頁）、ということであろうと思われる。すなわち、ここでも債権者らは、地震ないし地震動の想定に関する科学の限界、あるいは、想定にあたって頼るべき過去のデータの少なさ等を強調しようとするものと推察される。

（2）しかしながら、債務者は、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価にあたって、本件各発電所敷地周辺の地震発生状況や敷地周辺の活断層の分布状況等の地質・地質構造について詳細な調査を実施した上で、検討用地震を選定しており、その結果、敷地近傍にF O - A ～ F O - B ～熊川断層という長い活断層（断層の存在が現実には確認されていない区間も含めて63.4km）が存在する（活断層の長さから想定される地震の規模はマグニチュード7.8）との前提で「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」を評価している。

したがって、第3章第3の2及び第4章第3の1で述べたとおり、地震動の大きさから考えて、本件各発電所敷地に到来し得る地震動の想定においては「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」が支配的な地位を占めており、本件各発電所の基準地震動に「震源を特定せず策定する地震動」が寄与する度合いは小さい。仮に、債権者らの「長さの短い活断層付近の

地下でも、さらには活断層が確認されていない場所でさえも、長大な震源断層面をもつマグニチュード7前後の大地震が起こって震源近傍に激しい地震動をもたらすことがある」（債権者ら第2準備書面43頁）との主張を前提としても、このことは何ら変わるものではない。

- (3) 債権者らの「震源を特定せず策定する地震動」に関する上記主張は、本件各発電所のこのような事情を踏まえずになされているものであり、失当である。

第2 「既往最大」に関する主張について

- 1 岩手・宮城内陸地震における最大加速度 4022 ガルという観測値を本件各発電所に援用することの誤り

- (1) 地震動に影響を与える特性に係る地域性の違い、特に地盤の増幅特性（サイト特性）の大きな差異を無視していること

ア 債権者らは、福井地裁判決（甲127）が「1260 ガルを超える地震は大飯原発に到来する危険がある」（45頁）と認定した根拠の1つとして「我が国において記録された既往最大の震度は岩手宮城内陸地震における4022 ガルであり（争いがない）、1260 ガルという数値はこれをはるかに下回るものであること」（45頁）を挙げている点について、「原判決は上記地震の存在をもってただちに大飯原発に4022 ガルが到来すると認定しているわけではなく、上述のような地震学の限界の一例として指摘しているに過ぎない」（債権者ら第2準備書面47頁）などとして福井地裁判決を擁護する。

イ しかしながら、福井地裁判決が、岩手・宮城内陸地震において観測された最大加速度値4022 ガルと、1260 ガル（大飯3、4号機の基準地震動S s - 1の最大加速度値700 ガルにストレステストのクリフエッジ1.80倍を乗じた値）とを、数値のみを単純に比較して「1260 ガルという

数値はこれをはるかに下回る」と結論付けているのは明らかである。

そして、かかる福井地裁判決の判示内容は、岩手・宮城内陸地震の際に 4022 ガルという地震動が観測された地点と大飯発電所敷地との地域性の違い、すなわち地震動に影響を与える特性の違い、特に地盤の増幅特性（サイト特性）に関する大きな差異を一切考慮しておらず、前提条件が異なり同列には論じられない数値同士を単純に比較しているものであって、明らかに誤りである。

ウ すなわち、第 1 章第 2 の 3 で説明したとおり、軟らかい地盤上の地点では、固い岩盤上の地点に比べて大きな揺れ（地震動）になり（地震動の増幅）、岩盤上の観測地震波と軟弱地盤上の観測地震波とを比較すると、その大きさに数倍程度の差が生じる場合もある。これが地盤の増幅特性（サイト特性）であり、地震動の大きさが、このような地盤の増幅特性（サイト特性）によって大きく左右されるというのは確立した科学的知見である。

そして、本件各発電所敷地の岩盤（基準地震動を策定している解放基盤表面）における S 波速度が 2.2km/s であるのに対して、岩手・宮城内陸地震の際に 4022 ガルという地震動が観測された地点（^{いちのせきにし}一関西観測点）は、S 波速度 0.7km/s 以下の地盤が地表から 60m 以上の深さまで厚く堆積しており（独立行政法人防災科学技術研究所によると同地点の地表面における S 波速度は 430m/s である）、両地点における地盤の状況には大きな差がある。

4022 ガルという地震動の加速度は、一関西観測点地表面におけるそのような地盤の増幅特性（サイト特性）の影響を強く受けたものであり、福井地裁判決は、かかる点を一切考慮せずに、ある地点でそのような数値を観測した以上他の地点でも生じ得ると単純に述べているものである。かかる福井地裁判決の誤った事実認定と同様に、4022 ガルという最大加

速度値の存在を、本件各発電所の地震動想定の不十分さの1つの根拠として援用しようとする債権者らの主張もまた、明らかに誤ったものである。

エ なお、本件各発電所の「震源を特定せず策定する地震動」の評価に、岩手・宮城内陸地震の観測記録を採用する必要があることは、第3章第3の3（3）イ及び第4章第3の2（3）イで述べたとおりである。

（2）岩手・宮城内陸地震における一関西観測点の観測記録は特異なものであり、また、一般に、最大加速度の大きさが必ずしも構造物の被害に結びつくものではないこと

ア （1）で述べた岩手・宮城内陸地震における一関西観測点の観測記録は、上下動が片方にのみ大きくぶれている（通常は上下の振幅が同程度であるところ、この記録では、上向きの振幅が下向きの2倍以上ある）など、通常地震で得られる観測記録に比して特異なものである。4022ガルという記録自体の特異性についても、地盤の増幅特性に関して、地震動によって表層地盤がトランポリン上で跳ねている物体の運動のように振る舞うという現象が生じた、との効果（トランポリン効果）¹⁸⁶の存在が指摘されており（乙24、「K-NET 及び KiK-net で記録された平成20年（2008年）岩手・宮城内陸地震の強震動」）、また、一部の専門家からは、地震動によって地震観測小屋が浮き上がり、地面と再接触した際の衝撃力の影響がかなり含まれており、「一ノ関西で観測された特異な強震記録は、実際の地震動を反映したものではない」との指摘もなさ

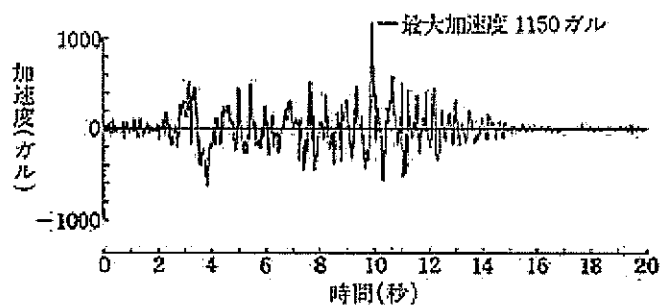
¹⁸⁶ なお、4022ガルという記録の特異性に関してその存在が指摘されているトランポリン効果については、軟らかい表層地盤が地震動の作用により内部で剥がれやすい状態となり、トランポリン上で跳ねている物体のように振る舞うという現象によるものであり、硬質な岩盤上に原子炉格納施設等を直接設置している本件各発電所に関しては、そのように表層地盤が跳ねる、といった現象を考慮する必要はない。

れている（乙 25、「2008 年岩手・宮城内陸地震で観測された特異な強震記録の解析」）。つまり、このような特異性から見て、また観測記録自体の信頼性という点においても、一関西観測点で得られた観測記録が、同地点で実際に生じた地震動を正確に反映したものかどうか、疑問の余地があり得るということである。

実際、4022 ガルという「既往最大」の加速度を記録したにもかかわらず、この加速度を記録した地震計が設置されている一関西観測点の地震観測小屋は特段の被害を受けていない。

イ そのような岩手・宮城内陸地震における観測記録の信頼性という問題は措くとしても、近年、地震計の精度向上に伴い、大きな最大加速度を記録する地震動が観測されるようになった。その場合、観測記録の波形（加速度時刻歴波形）において、鋭く尖って突出した「ひげ」のようなピークとして、大きな最大加速度が記録されることが少なくない。

ウ この点に関連して、昭和 46 年 2 月にアメリカ合衆国で発生したサンフェルナンド地震において、1000 ガルを超える最大加速度記録が得られたものの無被害であったパコイマ・ダムの観測記録（図表 8 4）について、大崎順彦東京大学名誉教授が著書（甲 50）で概要次の①から④のような趣旨のことを述べている。



【図表 8 4 パコイマ・ダムの観測記録】

①最大加速度が大きければ地震動は強い。だから最大加速度が大きい

地震動は破壊力が強く、大きい地震被害を引き起こす。これは確かに事実である¹⁸⁷。しかし、最大加速度の大小だけが、破壊力を決定する唯一の要因かという点、そうではない（甲 50, 91 頁）。

②パコイマ・ダムの観測記録（加速度時刻歴波形）の 10 秒付近に鋭い「ひげ」のように突起した部分があり、これが最大加速度 1150 ガルであるが、これ以外の部分の加速度はそれほど大きくはない（甲 50, 95～96 頁）。

③風には最大瞬間風速というものがあり、最大瞬間風速は、風が家屋を壊すきっかけとはなるかもしれないが、家屋を倒してしまうのはやはり吹き続ける風の力である。地震動の加速度記録上の「ひげ」も、最大瞬間風速に似たようなものとみることができる（甲 50, 96 頁）。

④最大加速度の値に象徴される地震力が、そのまま地震動の破壊力につながるものではない（甲 50, 95 頁）。地震動には、最大加速度のほかにも継続時間や周期特性等、様々な特性があり、地震動の破壊力は、こういった諸特性の総合効果なのである（甲 50, 100 頁）。こういった特性が総合された結果を表しているものが応答スペクトルである（甲 50, 112 頁）。

エ また、兵庫県南部地震後に蓄積された知見を踏まえて執筆された甲 48 号証においても、次の①及び②のような趣旨の内容が述べられている。

①地震被害への影響が大きい地震動は、加速度振幅と速度振幅の両方がともに大きく、・・・単に速度だけ、あるいは加速度だけが大きい地震動では地震被害との関連が小さい（甲 48, 104 頁）。

¹⁸⁷ 「加速度が大きければ、われわれは強い振動と感じるし、物体には強い地震力が作用する。だから地震動の最大加速度の値は、強さを表わす尺度としてはたいへんふさわしい」（甲 50, 57 頁）と述べられている。

②地震動（強震動波形）を特徴づける３要素は、「最大振幅値」（最大加速度、最大速度等）、「経時特性」（揺れの継続時間等）、「周期特性」（応答スペクトル等によりその特徴が示される、波形に含まれる周期ごとの振幅の大きさ）である（甲 48, 143 頁）。

オ 以上のように、地震動が建物等の構造物に及ぼす被害という観点から見て、最大加速度は確かに重要な指標ではあるが、最大加速度が大きい地震動であっても建物等の構造物に大きな被害を及ぼさない場合もあり得ることが一般に示唆されているところである。このような点からしても、単純に 4022 ガルという地震動の最大加速度値の大きさのみに着目して、本件各発電所の基準地震動の妥当性を論じるのは不適切なのである。

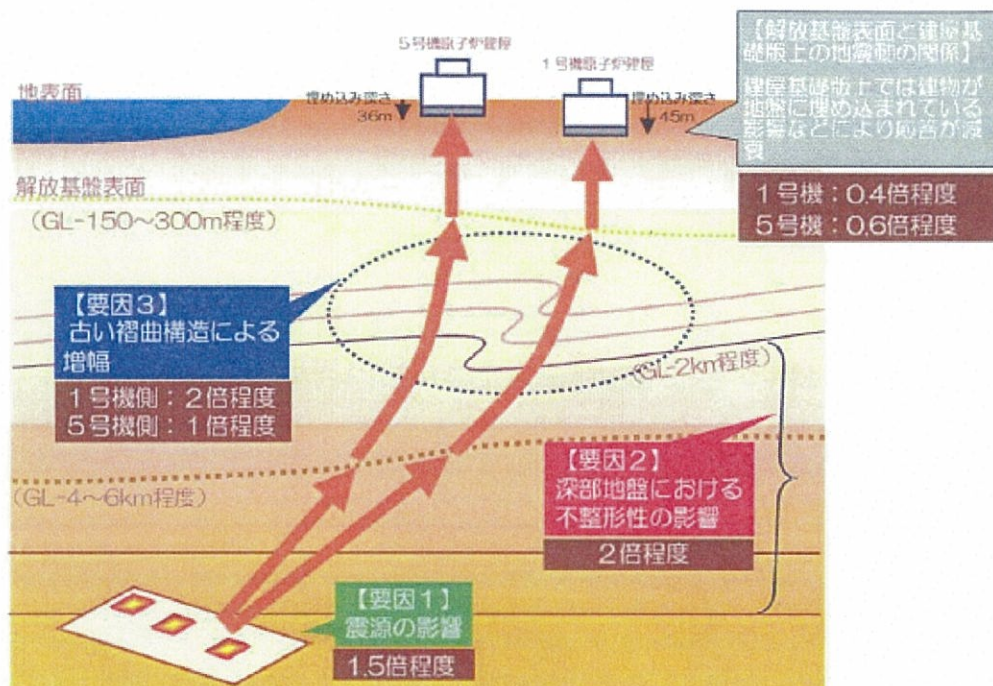
2 新潟県中越沖地震時の柏崎刈羽原子力発電所における 1699 ガルという推定値を本件各発電所に援用することの誤り

（１）敷地の地盤特性に大きな差異があること

ア 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おり（図表 8 5, 甲 126, 乙 15）、同地震時の 1699 ガルという柏崎刈羽原子力発電所解放基盤表面における地震動の最大加速度の推定値は、同発電所敷地固有の地盤特性（解放基盤表面より深部の地下構造特性）に負うところが多い。これに対し、本件各発電所敷地においては、同様の地下構造による影響は認められない。

イ また、「解放基盤表面」についても、柏崎刈羽原子力発電所の解放基盤表面は、地下 100m を超える深さの、S 波速度 700m/s～730m/s 程度の岩盤に設定されている¹⁸⁸のに対し、本件各発電所の解放基盤表面は、地表面直下の S 波速度 2.2km/s 程度の硬質な岩盤に設定されており、基準地震動が策定される解放基盤表面の固さにも大きな差異が見られる。

ウ したがって、柏崎刈羽原子力発電所の解放基盤表面における地震動の 1699 ガルという最大加速度値を、本件各発電所の基準地震動の妥当性に関する議論に援用し、単純に比較するのは誤りである。



【図表 8 5 柏崎刈羽原子力発電所敷地における地震動の増幅要因】

¹⁸⁸ 一般に、解放基盤表面は S 波速度 0.7km/s 以上の岩盤に設定されるところ、柏崎刈羽原子力発電所では、地表面付近から深さ 150～300m 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。

(2) 本件各発電所敷地深部の地下構造の把握は十分ではないとの債権者らの主張の誤り

ア 債権者らは、上記で示されている3つの要因について、「これはあくまでも地震発生後の分析結果に過ぎない」とし、「東京電力が分析している地盤特性とは、解放基盤表面より下の震源断層との間にある地盤の特性を指しているが、地震が発生してはじめて解放基盤表面下の地質構造による増幅が分析された」ものであるなどと述べた上で、本件各発電所敷地の地下構造の把握は十分でなく、新潟県中越沖地震時の柏崎刈羽原子力発電所と同様の増幅原因が存在するか否かについて明らかになっていないと主張する（債権者ら第2準備書面50～53頁）。

イ しかしながら、第3章第2の4（1）及び第4章第2の4（1）で述べたとおり、債務者は、本件各発電所敷地の地下構造を把握するために各種調査を実施しており、P S 検層や試掘坑弾性波探査により、敷地地下の浅部（地表面から地下200m程度）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（敷地内の浅部構造に特異な構造は見られない）ことを確認しているとともに、反射法地震探査等により、敷地地下500m位までの範囲内に特異な構造は認められないことも確認しているところである。本件各発電所の解放基盤表面は地表面直下（原子炉格納施設直下）の岩盤に設定していることから、これら地下浅部の調査結果も、全て解放基盤表面より下の地下構造に関するものということになる。

さらに、深部の地下構造の把握に関しても、敷地内での微動アレイ観測や、大飯発電所・高浜発電所周辺で得られた常時微動記録を用いた地震波干渉法による深部地下構造評価等を実施して、深部の地層も水平なものと捉えてよいと判断した上で、概ね地下4km程度まで、敷地地下の地盤の速度構造（地盤モデル）を評価しているところである。

ウ 債権者らは、「この深さ（引用者注：5～6kmまでの深さ）から10数km

までの数 km の情報が極めて乏しいのが実情である」として、本件各発電所について「地下構造を『詳細に調査』というのは誤りである」（債権者ら第 2 準備書面 53 頁）と述べる。

しかしながら、新潟県中越沖地震時に地震動の増幅をもたらしたとされる上記の柏崎刈羽原子力発電所における地盤特性は、地震発生層の上端（同発電所敷地地表面からの深さ約 6km）より上部の特性（地盤の増幅特性（サイト特性））であり、本件各発電所敷地周辺の地震発生層上端は深さ約 3～4km である（第 3 章第 2 の 4（2）及び第 4 章第 2 の 4（2））ことから、地盤の増幅特性（サイト特性）として地震動に大きな影響を与える、地震発生層の上端より敷地地表面までの地盤特性については、前述の調査により十分に把握できているのである。

エ したがって、本件各発電所敷地の地下構造の把握は十分ではないから柏崎刈羽原子力発電所と同様の増幅原因が存在しないかどうか不明である、との債権者らの主張は誤りである。

オ なお、上記（1）アで述べた 3 つの要因のうち、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）については、本件各発電所においても当てはまる可能性が否定できないことから、検討用地震の地震動評価における不確かさの考慮として、短周期の地震動レベルを 1.5 倍したケースも評価していることは、前述のとおりである。

第 3 他の原子力発電所で基準地震動を超過した事例に関する主張について

- 1 基準地震動 S_s と基準地震動 $S_1 \cdot S_2$ の違い、地震発生様式の違い、地域性の違い等、様々な相違を一切考慮せず同列に論じる債権者らの主張の誤り
(1) 債権者らは、基準地震動を超える地震動が到来した 5 事例を挙げ（申立書 24～25 頁）、本件各発電所の基準地震動の信頼性に関して、福井地裁判

決（甲 127）が「理論上の数値計算の正当性、正確性について論じるより、現に、下記のとおり（本件 5 例）、全国で 20 箇所にも満たない原発のうち 4 つの原発に 5 回にわたり想定した地震動を超える地震が平成 17 年以後 10 年足らずの間に到来しているという事実・・・を重視すべきは当然である」（50～51 頁）と判示していることを受けて、「10 年に 5 回も間違いを犯してきた客観的事実、そして、その中に福島原発事故という重大事故も含まれていることは、基準地震動の信頼性を判断する上で考慮すべき経験則の重要な内容となる事実というべきであり、こうした客観的事実に基づく経験則を適用した原判決の判断は、きわめて正当である」（債権者ら第 2 準備書面 65 頁）と、福井地裁判決の判示内容を支持している。

（2）しかしながら、福井地裁判決が、①基準地震動 S_s と基準地震動 $S_1 \cdot S_2$ の内実の大きな違い、②地震発生様式の違い、③地震動に影響を与える特性である「震源特性」や地下構造による地震波の「伝播特性」及び「地盤の増幅特性（サイト特性）」に係る地域性の違い、④超過の程度等の違い、等を一切考慮せず、単純に基準地震動を「超過した」事例が存在するという点のみを強調して、そのような事例の存在を根拠に本件各発電所の基準地震動の信頼性を否定しているのは明らかに失当であり、かかる判示に依拠して、やはり様々な相違を一切考慮せず単純に「地震動の想定を誤り続けてきたという事実を重視すべきである」旨強調する債権者らの主張（債権者ら第 2 準備書面 65～70 頁）も同様に失当である。

福井地裁判決に関して、以下、債務者の主張を述べる。

2 基準地震動 S_s と基準地震動 $S_1 \cdot S_2$ とではその内実に大きな違いがあること

（1）昭和 56 年に明文の規定として定められた平成 18 年改訂前の耐震設計審査指針においても、基準地震動（基準地震動 $S_1 \cdot S_2$ ）の策定に関して、

既に一定の方法が確立されていたところではあるが、その後、平成7年の兵庫県南部地震を契機に、地震学や地震工学等の新たな知見が急速に蓄積され、断層モデルを用いた手法等の地震動評価に関する研究が大きく進展し、地震動評価手法が著しく発展したこと、そして、平成18年に耐震設計審査指針が大きく改訂され、基準地震動の策定方法が高度化されたことは、第2章第1～第3で述べたとおりである。

すなわち、平成18年改訂前の耐震設計審査指針に照らして策定された基準地震動 $S_1 \cdot S_2$ と、同指針改訂後に策定された基準地震動 S_s とは、いずれも「基準地震動」ではあるが、その内実には大きな違いがある。

- (2) そして、基準地震動を超過したという5つの事例のうち、3事例（宮城県沖の地震（女川原子力発電所））、能登半島地震（志賀原子力発電所）、新潟県中越沖地震（柏崎刈羽原子力発電所））は、上記のような著しく発展した地震動評価手法が取り入れられる前に策定された、基準地震動 $S_1 \cdot S_2$ を超過したというものであり、これら3事例において各原子力発電所の敷地に発生した地震動は、平成18年改訂後の耐震設計審査指針に照らして策定された当該原子力発電所の基準地震動 S_s を超えるものではない。
- (3) また、残る2事例は、基準地震動 S_s を超過したものであるが、いずれも東北地方太平洋沖地震に係る事例である。同地震はプレート間地震であり、本件各発電所に大きな影響を与えると予想される内陸地殻内地震とは地震発生様式が全く異なるものであるが、その点は措くとして、同地震はマグニチュード9.0という極めて大規模な地震であったにもかかわらず、同地震の際に福島第一原子力発電所及び女川原子力発電所で観測された地震動は、これら各発電所の基準地震動 S_s （の応答スペクトル）を一部の周期で超過したものの、全体としては「概ね同程度」「ほぼ同等」であったと評価されているところである（乙23、乙16）。このことは、むしろ、平成18年改訂後の耐震設計審査指針で取り入れられた基準地震動 S_s の

策定手法が、保守性を有した、妥当なものであることを示すものといえる。

- (4) 福井地裁判決は、「本件原発の地震想定が基本的には上記4つの原発におけるのと同様、過去における地震の記録と周辺の活断層の調査分析という手法に基づきなされた」ものである(52頁)と判示している。また、これを受けて、債権者らも、福井地裁判決が「従来と同様の手法に基づいて基準地震動が策定されているにもかかわらず、本件原発の地震想定だけが信頼に値するとはいえないと結論づけている」ことは正当である旨の主張を述べる(債権者ら第2準備書面68頁)。

しかしながら、福井地裁判決の判示も債権者らの主張も、上記のように基準地震動 S_s と基準地震動 $S_1 \cdot S_2$ の内実には大きな違いがあること、そして、基準地震動 S_s は、東北地方太平洋沖地震という極めて大規模な地震に際して観測された地震動に対しても「概ね同程度」「ほぼ同等」と評価されているものであること等を一切無視して、単純にどの事例も「基準地震動」を「超過」したものであると全ての事例を一括りにして同列に論じている点で、明らかに失当である。

もとより、福井地裁判決のように、「過去における地震の記録と周辺の活断層の調査分析という手法に基づきなされた」想定である限り、その想定が信頼に値するという根拠は見いだせない、などと一括りに断じてしまうのであれば(52頁)、いかに地震に関する調査研究が進展し、将来の地震における強震動を高精度で予測することが可能になったとしても、その想定はやはり信頼できないということになり、かかる判示が不適切なものであることは明らかである。

3 地震発生様式の違いや地域性の違いを無視して論じることの誤り

(1) 基準地震動の策定方針等において、地震発生様式の違いによる別異の取扱いがなされていること

ア 債権者らは、「地震の発生様式の違いは判断を左右するものでない」と述べるとともに（債権者ら第2準備書面 66 頁）、地震発生様式の違いは「地震発生後に」判明したものであるかのように述べている（同 67 頁）。

イ しかしながら、第1章第2の2で説明したとおり、プレート間地震と内陸地殻内地震とは、発生する場所もメカニズムも全く異なるものである。すなわち、プレート間地震は、陸のプレートと海のプレートの境界において、沈み込んでいく海のプレートに陸のプレートがひきずり込まれ、蓄積されたひずみが限界を超えた（陸のプレートが元に戻ろうとする力が、海のプレートが陸のプレートを引きずり込もうとする力を超えた）ときに、陸のプレートがある面（プレート境界）を境に跳ね上がって発生するものである。一方、内陸地殻内地震は、陸のプレートの内部（の活断層）で発生するものであり、陸のプレートが周囲から力（プレート同士の圧縮力）を受けることによって岩盤内部にひずみが蓄積され、岩盤内でずれを生じさせる力が増大していくが、それが限界に達する（増大した力が岩盤の破壊強度を超える）ことで、ある面（震源断層面）を境に岩盤がずれ動くこと（断層運動）により生じるものである。

ウ このような明確な違いから、地震発生様式は、現実に地震が発生してみないと分からないというようなものではない。債権者らが挙げる5事例のうち、3事例（宮城県沖の地震（女川原子力発電所）、東北地方太平洋沖地震（福島第一原子力発電所）及び東北地方太平洋沖地震（女川原子力発電所））は、プレート間地震に関するものである一方、本件各発電所が位置する若狭湾周辺地域を含めた日本海側には、東北地方太平洋沖地震を惹起したような、海のプレートが陸のプレートの下に沈み込んでで

きる海溝型のプレート境界は存在せず、本件各発電所敷地に大きな影響を与えると予想されるものとして検討用地震に選定されているのは、いずれも内陸地殻内地震である。このように、地震発生様式が全く異なっていることから、本件各発電所の基準地震動策定においてプレート間地震の影響を考慮する必要はない。

エ ここで、東北地方太平洋沖地震に関する事例について敷衍すると、同地震は、北米プレートとその下に沈み込む太平洋プレートの境界部において、文部科学省の地震調査研究推進本部が震源として想定していた複数の領域が、短時間のうちに連動して破壊が生じたものであると推定されている¹⁸⁹。もともと地質構造的には一連のものであるプレート境界を、各領域における過去の地震発生状況等の違いから、複数の領域に分けて、その領域ごとに震源として想定していた（本書面末尾の脚注図表 6）ところ、東北地方太平洋沖地震では、岩手県沖から茨城県沖にまで至る、それら複数の領域が連動して破壊が生じたのである。

これに対し、本件各発電所が位置する若狭湾周辺地域を含めた日本海側には、上記のとおり、海溝型のプレート境界は存在しない。また、本件各発電所に大きな影響を与えると予想される内陸地殻内地震については、震源として考慮する活断層の両端を地質調査等により特定し、地質構造的に一連であるものはその全長にわたって一つの活断層として評価しており、プレート間地震の震源となるプレート境界のように、地質構造的には一連のものを複数の領域に分けて評価するようなことは行っていない。

以上のように、内陸地殻内地震に係る震源断層の長さ等の設定の仕方

¹⁸⁹ 地震調査研究推進本部地震調査委員会の平成 23 年 11 月 25 日付「三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価（第二版）について」によると、東北地方太平洋沖地震の震源域は、岩手県沖から茨城県沖までに及んでおり、その長さは約 400km 以上、幅は約 200km で、最大のすべり量は 50m 以上であったと推定されている。

と、プレート間地震に係るプレート境界の震源領域の設定の仕方とは全く異なるのであり、プレート間地震たる東北地方太平洋沖地震に係る事例の存在をもって本件各発電所の基準地震動の信頼性を論じることはできないのである。

オ このように、プレート間地震と内陸地殻内地震とは明確な違いがあることから、新規制基準における基準地震動の策定方針（乙 17，甲 47）、レシピにおける震源断層のモデル化の方法（甲 56 及び甲 202）、さらには地震に関する各種の論文等においても、別異に取り扱われている。したがって、地震動の想定（基準地震動）の妥当性について論じる際に、地震発生様式の違いを全く無視してこれらの事例を同列に論じ、本件各発電所の基準地震動が不十分であることの根拠とするのは、明らかに不適切である。

（2）基準地震動を超過した事例において、超過の原因として、当該地点に固有の地域的な特性による影響が大きいと考えられていること

ア 債権者らの挙げる 5 事例のうち、2 事例（①宮城県沖の地震（女川原子力発電所）及び②新潟県中越沖地震（柏崎刈羽原子力発電所））については、超過が生じた原因として、当該地点に固有の地域的な特性による影響が大きいと考えられている。

イ 事例①については、東北電力株式会社の分析・評価によると、観測波からはざっと解析を行って算出した、解放基盤表面における地震動（はざっと波）の応答スペクトルが、一部の周期で女川原子力発電所の基準地震動 S_2 の応答スペクトルを超えることとなった要因は、「宮城県沖近海のプレート境界に発生する地震の地域的な特性によるものと考えられる」と結論付けられている（甲 125）。

甲 125 号証によると、「敷地の観測記録を分析したところ、今回の地震による最大加速度値は、日本で観測された地震動のデータベースに基

づき策定されたプレート境界地震・・・よりも大きい傾向にあり、さらに、短周期成分の卓越が顕著である傾向が認められた」「敷地で観測された中小地震の記録を分析したところ、今回の地震が発生した宮城県沖近海のプレート境界地震による分析結果だけが、岩盤表面上の・・・平均的なスペクトル特性に対し、特に短周期が大きい傾向が認められた。このような傾向は、宮城県沖遠方のプレート境界地震や、地殻内の地震では見られない」「さらに、東通地点等において観測されたプレート境界地震の分析結果は、平均的なスペクトル特性に対し同等以下の傾向となっている」「以上のことから、今回の地震による敷地における地震動の特徴は、宮城県沖近海のプレート境界に発生する地震の地域特性によるものと考えられる」とされているのである。

そして、このような東北電力株式会社による分析・評価については、原子力安全・保安院によって妥当なものと判断されているところである（甲 156, 2～3 頁）。

ウ また、事例②について、新潟県中越沖地震時に柏崎刈羽原子力発電所において地震動の増幅が生じた要因は、同発電所敷地固有の地盤特性（地下構造特性）に負うところが大きいことは、前述したとおりである。

エ 以上のように、上記 2 事例は、当該地点に固有の地域的な特性による影響が大きい事例であり、そのまま本件各発電所に当てはめるべきものではない。

（3）基準地震動の策定において地域性を考慮することはできないはずであるとの債権者らの主張の誤り

ア 前述のとおり、兵庫県南部地震を契機に、地震動に影響を与える特性である「震源特性」や地下構造による地震波の「伝播特性」及び「地盤の増幅特性（サイト特性）」を、詳細な調査に基づき、地域性を踏まえ

て詳細に考慮する地震動評価手法が著しく発展してきており、地域性の違いを無視して、基準地震動の妥当性を論じるのは誤りである。逆に言えば、かかる高度化された手法を用いて精緻な地震動評価を行うためには、「震源特性」「伝播特性」「地盤の増幅特性（サイト特性）」を、地域性を踏まえて適切に把握し、考慮することが必要となる。

イ この点に関して、債権者らは、「実際に地震が到来しない限り、地震動に影響するような地域的特性の知見も得られないことも多い」のであるから、現行の「基準地震動の策定方法では地域的特性まで十分には考慮できない」はずである、と述べている（債権者ら第2準備書面69頁）。

この債権者らの主張は、第2章第3の2（3）で述べたように、兵庫県南部地震以降に発生した、宮城県沖の地震、能登半島地震、新潟県中越沖地震に関して、地震観測記録等の分析や地下構造調査等が行われ、「震源特性」や地下構造による地震波の「伝播特性」及び「地盤の増幅特性（サイト特性）」について、他の地域よりも大きい地震動をもたらす地域性に係る知見等が得られたこと、そして、そこで得られた知見等が、必要に応じて各原子力発電所の基準地震動 S_s の策定に反映されたことを念頭に置いたものと考えられる。

ウ もちろん、兵庫県南部地震を契機に、全国の地震動の観測網が充実され、大きな地震が起きる都度、記録された地震動の解析により震源断層の破壊過程が断層モデルとして計算されることで、「震源特性」に係る知見が蓄積されていることは第2章第3の1で述べたとおりであり、これらは実際に起こった地震から得た知見を活用しているものであることは事実である。

エ しかしながら、「震源特性」「伝播特性」「地盤の増幅特性（サイト特性）」についての地域性に係る知見は、何も実際に起こった地震の分析からのみ得られるものではない。兵庫県南部地震を契機に、全国的に

活断層調査や文部科学省「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」による大規模な地下構造調査¹⁹⁰等が活発に行われ、「震源特性」に関して、当該地域で地震が発生する場所（地震発生層）の深さや幅、岩盤の固さ¹⁹¹等の性質等に関する知見が蓄積されるとともに、各地域の「伝播特性」や「地盤の増幅特性（サイト特性）」による影響が検討されている。そして、各々の原子力発電所においても、敷地及び敷地周辺の地下構造に関する詳細な調査が実施され、当該地点における地震波の「伝播特性」「地盤の増幅特性（サイト特性）」の把握が進められているところである。

オ 債権者らの上記主張は、以上のような「震源特性」「伝播特性」「地盤の増幅特性（サイト特性）」に関する地域性に係る調査が様々になされている¹⁹²ことを何ら理解せずになされているものであり、基準地震動の策定において地域性を考慮することはできないはずであるとの債権者らの主張は誤りである。

4 基準地震動を超過した事例において、原子力発電所の安全上重要な施設の健全性に特段の問題が生じていないこと

ここまで述べてきた、債権者らの挙げる5つの事例においては、実際のところ、いずれも地震動によって原子力発電所の安全上重要な施設の健全性に特段の問題は生じていない。

東北地方太平洋沖地震の福島第一原子力発電所に関しても、国会事故調報

¹⁹⁰ 本件各発電所が位置する若狭湾周辺地域を含めて同プロジェクトによる地下構造調査が行われている。

¹⁹¹ 岩盤の固さは、断層運動の大きさ（エネルギー）を示す値である地震モーメント（ M_0 ）（脚注105を参照）を計算する際の「岩盤の剛性率」に関係してくる。

¹⁹² なお、「震源特性」のうち、震源断層面の破壊の仕方に関する「アスペリティ位置」や「破壊開始点」については、事前の詳細な調査によっても把握が困難なものであることから、債務者は、地震動評価における「基本ケース」設定の段階から、アスペリティを敷地近傍に配置し、破壊開始点も複数設定するなどして保守性を持たせていることは、前述のとおりである。

告書¹⁹³のみが「安全上重要な機器の地震による損傷はないとは確定的には言えない」としているに過ぎず、政府事故調¹⁹⁴の「最終報告」、民間事故調報告書¹⁹⁵及び東電事故調報告書¹⁹⁶は、東北地方太平洋沖地震による地震動によって福島第一原子力発電所の重要機器に機能を損なうような破損が生じたことを認めていない（甲 147, 「福島第一原発事故と 4 つの事故調査委員会」, 4 頁）¹⁹⁷。

この点については、平成 26 年 3 月に、一般社団法人日本原子力学会の「東京電力福島第一原子力発電所事故に関する調査委員会」が、上記の各事故調の検討結果も踏まえ、最新の情報に基づき、最終報告書を取りまとめたが、そこにおいても、東北地方太平洋沖地震の地震動による、福島第一原子力発電所の安全機能に深刻な影響を与える損傷はなかったと判断されている（甲 157, 『福島第一原子力発電所事故 その全貌と明日に向けた提言 一学会事故調 最終報告書一』184～187 頁）。

さらに、福島第一原子力発電所事故については、原子力規制委員会が継続的に分析を実施しており、まずは、「国会事故調報告書において未解明問題として、規制機関に対し実証的な調査が求められている事項」を対象に検討を進め、今般、同委員会としての見解を中間報告書として取りまとめた（乙 10, 「東京電力福島第一原子力発電所事故の分析 中間報告書」1 頁）。この中間報告書によると、「地震発生から津波到達までの間には、原子炉圧力バウンダリから漏えいが発生したことを示すプラントデータは見いだせない」（乙 10, 6 頁）, 「A 系非常用交流電源系統が機能喪失した原因は、津波に

¹⁹³ 正式には、東京電力福島原子力発電所事故調査委員会の「報告書」である。

¹⁹⁴ 正式には、「東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会」である。

¹⁹⁵ 正式には、『福島原発事故独立検証委員会 調査・検証報告書』である。

¹⁹⁶ 正式には、東京電力株式会社の「福島原子力事故調査報告書」である。

¹⁹⁷ なお、同じく東北地方太平洋沖地震の女川原子力発電所に関する東北電力株式会社の調査によれば、女川原子力発電所の、原子炉を「止める」「冷やす」、放射性物質を「閉じ込める」機能を有する耐震安全上重要な施設に被害がないことを確認しているとされている。

よる浸水であると考えられる」（乙 10, 16 頁）などとされており、福島第一原子力発電所 1 号機での、東北地方太平洋沖地震の地震動による非常用交流電源系統の機能喪失等は、津波の影響によるものであるとされている。

第 4 基準地震動は既往地震の「平均像」で策定されているものに過ぎないとの主張について

1 債権者らの主張内容

- (1) 債権者らは、本件各発電所の基準地震動が過小・不十分なものであることの根拠の 1 つとして、「基準地震動が基本的に既往地震の平均像で作られていること」を主張している（債権者ら第 2 準備書面 70～71 頁）。

債権者らの言う「平均像」の趣旨は、債権者ら第 4 準備書面で縷々述べられているが、その主張内容は、概ね以下のようなものであろう。

- ①「応答スペクトルに基づく地震動評価手法」として債務者が用いている「耐専式」は、過去に生じた実際の地震の記録から平均的な応答スペクトルを導くものであり、地震動の著しい過小評価をもたらすものである（債権者ら第 4 準備書面 53～62 頁）。にもかかわらず、本件各発電所を含め、どの原子力発電所でも不確かさを適切に考慮していない。
- ②「断層モデルを用いた手法による地震動評価」を行う際に、債務者が（モデル化された震源断層の）各要素断層から放出される中小規模の地震波形を合成するのに用いている「統計的グリーン関数法」には、極めて大きな誤差（不確かさ）があり、「経験的グリーン関数法」による評価結果と大きな乖離が存在する（債権者ら第 4 準備書面 63～65 頁）。
- ③「断層モデルを用いた手法による地震動評価」を行う際に参照されている強震動予測レシピでは、様々な震源断層パラメータを、各パラメ

一タ間の関係式から算出していくが、その関係式は、やはり過去に生じた多数の地震における平均的な関係を求めたものであり、実際のデータには相当なばらつきがある。このような不確かさ（誤差）を考慮し、各パラメータを何倍にも大きくすべきである（債権者ら第4準備書面 65～86 頁）。

（2）要するに、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」を評価するために、債務者が検討用地震の地震動評価に用いている手法（検討用地震が本件各発電所敷地にもたらす地震動を計算するために用いている手法）は、いずれも、実際に生じた地震の記録をもとに、その平均像ないし平均的な関係を求めた経験式に過ぎないのであるから、かかる手法（経験式）により導かれる地震動はやはり平均的なものに過ぎず、しかも債務者による「不確かさの考慮」が不十分である以上、本件各発電所の基準地震動は著しく過小・不十分なものである、というのが、債権者らの主張するところのようである。

2 本件各発電所の基準地震動は、過去の地震ないし地震動の単なる「平均像」で策定しているものではないこと

上記のような債権者らの主張に対して、以下では、債務者が用いている地震動評価手法は、過去の多数の地震ないし地震動の「標準的・平均的な姿」に関する知見をもとに、当該地点の地震動に影響を与える特性に係る地域性（地震動に影響を与えるいずれかの特性が「標準的・平均的な姿」よりも大きくなるような地域性の有無）を考慮する、合理的なものであること（下記（1））、本件各発電所周辺の「震源特性」あるいは地下構造による地震波の「伝播特性」や「地盤の増幅特性（サイト特性）」に関して、「標準的・平均的な姿」よりも大きくなるような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（下記（2））、債務者は、検討用地震の地震動評

価において、詳細な調査結果をもとに震源断層の大きさ等について保守的な条件で「基本ケース」を設定した上で、さらに様々な「不確かさの考慮」を適切に行って敷地での地震動が大きくなる複数のケースを評価していること（下記（３））、をそれぞれ述べた上で、上記１（１）①から③における、各々の地震動評価手法に関する債権者らの理解の誤りについて個別的に指摘する（下記（４））。

（１）債務者が用いている地震動評価手法は、過去の多数の地震ないし地震動の最も「標準的・平均的な姿」に関する知見をもとに、当該地点の地震動に影響を与える特性に係る地域性を考慮する、合理的なものであること

ア 兵庫県南部地震を契機に、原子力発電所に係る地震動評価手法は、「震源特性」や地下構造による地震波の「伝播特性」及び「地盤の増幅特性（サイト特性）」を、詳細な調査に基づき、地域性を踏まえて詳細に考慮するよう著しく発展してきている。

これは、「震源特性」「伝播特性」「地盤の増幅特性（サイト特性）」が、地震動（強震動）に大きく影響し、しかも、これらの特性には地域性が存在することが、同地震を契機とした知見の蓄積等により、広く認識されるようになってきたからである（第２章第３を参照）。

イ このように高度化された現在の地震動評価手法においては、過去に発生した地震ないし地震動を統計的に分析すること（回帰分析¹⁹⁸）により、多数の地震ないし地震動の最も「標準的・平均的な姿」をまず明らかにして、それを基礎に、当該地点の地域性を踏まえて地震動評価を行うことがそもそも予定されているところである。

¹⁹⁸ 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。

すなわち、過去に発生した地震ないし地震動の最も「標準的・平均的な姿」に関する知見をもとに、詳細な調査に基づき、当該地点の地震動に影響を与える特性である「震源特性」や地下構造による地震波の「伝播特性」及び「地盤の増幅特性（サイト特性）」に係る地域性を詳細に考慮して、当該地点の地震動を評価するのが、最新の地震動評価手法なのである。

ウ 換言すれば、ある地点の地震動が、過去の多数の地震動の「標準的・平均的な姿」よりも大きくなるのは、当該地点の「震源特性」「伝播特性」「地盤の増幅特性（サイト特性）」いずれかが、「標準的・平均的な姿」よりも大きいことによる。

そこで、当該地点に関してそのような（これら3つの特性につき「標準的・平均的な姿」よりも大きくなるような）地域性が存在しないか否かを詳細に調査・検討し、それを踏まえて当該地点の地震動を評価するのである。

エ 以上のように、債務者が用いている地震動評価手法は、決して、単純に過去の地震ないし地震動の平均像のみを内容とするものではなく、むしろ、当該地点の地域性を詳細に考慮した地震動評価を行う前提として必要となる、過去の地震ないし地震動の最も「標準的・平均的な姿」をまず基礎としているものである点で、極めて合理的なものである。

基準地震動は基本的に過去の地震の平均像で作られているとの債権者の主張は、上記のような、債務者が用いている最新の地震動評価手法に関する理解を欠いたものであり、失当である。

- (2) 本件各発電所周辺においては、地震動に影響を与える特性が過去の多数の地震の「標準的・平均的な姿」よりも大きくなるような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

上記(1)で述べたとおり、ある地点の地震動が過去の多数の地震動の「標準的・平均的な姿」よりも大きくなるのは、当該地点の「震源特性」あるいは地下構造による地震波の「伝播特性」や「地盤の増幅特性(サイト特性)」が、「標準的・平均的な姿」よりも大きいことによる。

この点、本件各発電所敷地周辺の地震発生状況、敷地周辺における活断層の分布状況等の地質・地質構造、敷地周辺の地下構造等に関する調査・評価結果からは、本件各発電所周辺の「震源特性」あるいは地下構造による地震波の「伝播特性」や「地盤の増幅特性(サイト特性)」に関して、過去の多数の地震の「標準的・平均的な姿」よりも大きくなるような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。

債権者らは、基準地震動が過去の地震の「平均像」をもとに作られており、不十分なものである旨の主張を繰り返すが、本件各発電所において、債権者らが言う「平均像」を超える地震動が到来する蓋然性や根拠については、何ら具体的に述べられていないのである。

- (3) 債務者は、検討用地震の地震動評価において、保守的な条件で「基本ケース」を設定した上で、さらに様々な「不確かさの考慮」を適切に行っていること

ア 債務者は、地震動評価を行う「基本ケース」を設定する段階から、検討用地震の震源断層の大きさ(断層長さ、断層上端・下端深さ)等の震源断層パラメータを保守的な条件で設定していることは前述のとおりである。

例えば断層長さについては、第3章第2の2(2)及び第4章第2の

2 (2) で述べたとおり、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層について、F O - A ~ F O - B 断層と熊川断層が連続していることを示す地質構造は確認されておらず、F O - A ~ F O - B 断層と熊川断層は約 15km の離隔を有しているので、両断層は連動しないと判断されるところであるが、債務者は、断層の存在が確認されていない区間（約 15km）を含めて、F O - A ~ F O - B 断層（約 35km）と熊川断層（約 14km）との連動（3 連動）（63.4km）を考慮して、これを基本ケースとしている。また、上林川断層の長さに関しても、断層の存在が明確な範囲は約 26km であるが、西端部が不明瞭であることから、断層の存在を明確に否定できる福知山付近まで延長して、保守的に 39.5km と評価している。

その結果、活断層の長さから想定される地震の規模（「応答スペクトルに基づく地震動評価」を行う際に用いる）は、F O - A ~ F O - B 断層 2 連動のみ（35km）ではマグニチュード 7.4 であるのに対し、3 連動を考慮した F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層（63.4km）ではマグニチュード 7.8 となり、また、上林川断層も、26km ではマグニチュード 7.2 であるのに対して、39.5km ではマグニチュード 7.5 と評価されるところとなっている。

イ また、「断層モデルを用いた手法による地震動評価」において、様々なパラメータを算定していく出発点となる断層面積（S）についても、F O - A ~ F O - B 断層 2 連動のみ（断層長さ 35.3km）で断層上端深さを 4km（断層幅 14km）とした場合は 494.2km² であるのに対し、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層の 3 連動を考慮して（断層長さ 63.4km）断層上端深さを 3km（断層幅 15km）と評価することにより、その断層面積は 951km² と約 2 倍近くに大きくなっている¹⁹⁹。

¹⁹⁹ 上林川断層についても、断層長さ 26km かつ断層上端深さ 4km（断層幅 14km）では断層面積 $S = 364\text{km}^2$ であるのに対し、断層長さ 39.5km かつ断層上端深さ 3km（断層幅 15km）では断層面積 $S = 592.5\text{km}^2$ と

その結果、地震モーメント (M_0) (地震の規模を表す指標の 1 つであり断層運動の大きさ (エネルギー) を表す値) ²⁰⁰についても、上記のように断層面積 (S) を保守的に大きく評価したことにより、 $FO-A \sim FO-B$ 断層 2 連動のみ (断層面積 $S = 494.2 \text{ km}^2$) の場合 $1.36 \times 10^{19} \text{ N} \cdot \text{m}$ であったのに対し、 $FO-A \sim FO-B \sim$ 熊川断層 (断層面積 $S = 951 \text{ km}^2$) の場合では $5.03 \times 10^{19} \text{ N} \cdot \text{m}$ と約 3.7 倍に大きくなっている。

ウ そして、かかる基本ケースの地震動評価を行うに際して、強震動を生起するアスペリティを各断層について敷地近傍に配置することにより、敷地での地震動が大きくなる条件設定を行っている (「応答スペクトルに基づく地震動評価」においても、アスペリティを敷地近傍に配置することで等価震源距離を短くし、敷地での地震動が大きくなるような評価を行っている)。

エ その上で、例えば、大飯 3, 4 号機の基準地震動 $S_s - 1$ (最大加速度は 700 ガル (水平方向)) の応答スペクトルは、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 (最大加速度は 241 ガル (水平方向)) ²⁰¹ 及び断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 (最大加速度は 175 ガル (水平方向)) を、全周期帯で上回るものとしている ²⁰²。また、 $FO-A \sim FO-B \sim$ 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 (水平方向の最大加速度 606 ガル) についても、ある周期帯で $S_s - 1$ の応答スペクトル

大きくなっている。

²⁰⁰ 地震モーメント (M_0) は、岩盤の剛性率、震源断層の平均すべり量及び震源断層の面積 (S) の積で計算される。

²⁰¹ なお、耐専式には、内陸地殻内地震の地震動評価に用いる場合に適用する内陸補正係数 (例えば周期 0.6 秒以下については 0.6 を乗じる) が用意されているが、より保守的に地震動評価を行う観点から、債務者がこの補正を行っていないことは、第 3 章第 2 の 5 (1) 及び第 4 章第 2 の 5 (1) で述べたとおりである。

²⁰² なお、上林川断層による地震については、不確かさを考慮した場合でも、全てのケースで、全周期帯で基準地震動 $S_s - 1$ の応答スペクトルを下回る地震動評価結果となっている。

を超えるものの、概ね基準地震動 $S_s - 1$ の応答スペクトルを下回るものとなっている。

オ 加えて、債務者は、上記のように震源断層の大きさ等の震源断層パラメータを保守的な条件で設定した「基本ケース」を基礎として、さらに、「震源特性」に係る不確かさの考慮として、①短周期の地震動レベル、②断層傾斜角、③すべり角、④破壊伝播速度、⑤アスペリティ配置、⑥破壊開始点について（②及び③はF O - A ~ F O - B ~ 熊川断層による地震のみ）、本件各発電所敷地での地震動が大きくなるような条件を設定し、地震動評価を行っている。

その結果、例えば、F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層の断層面積（S）及び地震モーメント（ M_0 ）については、傾斜角 75° ケースでそれぞれ 1002.85km^2 、 $5.59 \times 10^{19}\text{N} \cdot \text{m}$ と最大になり、これは、F O - A ~ F O - B 断層 2 連動のみ（断層上端深さ 4km）の場合（断層面積 $S = 494.2\text{km}^2$ 、地震モーメント $M_0 = 1.36 \times 10^{19}\text{N} \cdot \text{m}$ ）に比べて、断層面積（S）は約 2 倍、地震モーメント（ M_0 ）は約 4.1 倍にまで大きくなっている。

また、最大加速度（水平方向）が一番大きくなるのは、例えば、大飯 3、4 号機の基準地震動の評価における F O - A ~ F O - B ~ 熊川断層による地震について、短周期の地震動レベルを 1.5 倍したケース（破壊開始点の設定を変えて 9 ケース）のうちの 1 つで、その最大加速度は 856 ガルであるが、これは F O - A ~ F O - B 断層 2 連動のみ（断層上端深さ 4km）による地震について、不確かさを考慮しない場合の最大加速度 396 ガルの約 2.2 倍となっている。

さらに、債務者は、第 4 章第 4 の 4（3）で述べたとおり、①短周期の地震動レベルと④破壊伝播速度の不確かさを重畳させたケースをも評価しているところである。

カ 以上のように、債務者は、検討用地震の地震動評価において、震源断

層の大きさ等の震源断層パラメータについて、保守的な条件で「基本ケース」を設定し、さらに、様々な「不確かさの考慮」を適切に行って敷地での地震動が大きくなる複数のケースを評価した上で、基準地震動を策定している。

本件各発電所において、債権者らが言う「平均像」を超える地震動が到来する蓋然性や根拠が何ら示されていないことは上記（２）で述べたとおりであるが、さらに、このように厳しい条件のもとで策定された本件各発電所の基準地震動を超過する地震動が到来する蓋然性や根拠は、より一層見出せないところである。

（４）各々の地震動評価手法に関する債権者らの理解の誤りについて

基準地震動は過去の地震の「平均像」で策定されているに過ぎず、しかも「不確かさの考慮」も不十分であるから、本件各発電所の基準地震動は著しく過小なものとなっている、との債権者らの主張が根本的に誤りであることは、以上述べたとおりである。加えて、債権者ら第４準備書面における債権者らの主張には、各々の地震動評価手法に関して基本的な理解を誤っている点が散見されることから、以下、その誤りを個別的に指摘する。

ア 応答スペクトルに基づく地震動評価について

債権者らは、応答スペクトルに基づく地震動評価手法について、「耐専スペクトルも、野田他（2002）の応答スペクトルも、『実現象の平均像を忠実に再現』しようとしたもの」（債権者ら第４準備書面 54 頁）とし、平均像を用いたとしても不確かさを十分に考慮しなければならないところ、「電力会社は、この平均からのかい離を一切顧慮せず、地震動を想定している」（同 62 頁）などと主張する。

まず、債権者らは、耐専式と Noda et al. (2002) の方法とを異なる手

法であると認識しているようであるが、これらは同一のものである。

また、耐専式は、震源から評価地点までの距離（震源距離）に関して、震源断層面の広がりや断層面の不均質性（アスペリティ分布）を考慮して補正する等価震源距離を用いることで、断層面の面的な広がりや不均質性による効果を考慮することができる（図表 2 3）。債務者は、耐専式を用いて検討用地震の地震動評価を行う際には、不確かさの考慮として、評価対象となる断層のアスペリティを敷地近傍に設定することによって等価震源距離を近くし、敷地に厳しい地震動を与えるよう評価を行っている（第 3 章第 2 の 5（1）及び第 4 章第 2 の 5（1））。したがって、「この平均からのかい離を一切考慮せず、地震動を想定している」という債権者らの主張は誤りである。

イ 統計的グリーン関数法について

債権者らは、「断層モデルを用いた手法による地震動評価」を行う際に、債務者が（モデル化された震源断層の）各要素断層から放出される中小規模の地震波形を合成するのに用いている「統計的グリーン関数法」には、極めて大きな誤差（不確かさ）があり、「経験的グリーン関数法」による評価結果と大きな乖離が存在する旨主張する（債権者ら第 4 準備書面 63～65 頁）。

統計的グリーン関数法とは、震源断層面を細分化した小さな地震の破壊範囲（要素断層）に対応する評価地点の地震動として、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、これらの小さな地震波形を評価地点に到達する時間差等を考慮して足し合わせることで、震源断層面全体が破壊したときの地震動を評価する手法である。統計的グリーン関数法では、評価地点の地盤をモデル化することで地盤の増幅特性（サイト特性）を反映している（脚注 113 を参照）。

一方、経験的グリーン関数法は、各要素断層から生じる小さな地震の波形として、既往の地震観測記録を統計処理したものではなく、想定している地震と同一の震源域あるいはその近傍で発生した小規模地震の評価地点での観測記録をもとにしたものを利用する手法である。評価地点で得られた小規模な地震の観測記録には、既に当該地点における地盤の増幅特性（サイト特性）が含まれていると考えられるので、地下構造を調査してモデル化することなく、大規模地震による強震動を評価できることが利点であるとされている。

この統計的グリーン関数法と経験的グリーン関数法はどちらが優れているといったものではなく、統計的グリーン関数法も一般に用いられているものである。統計的グリーン関数法においても、評価地点の地下構造の調査を詳細に行い、地盤をモデル化することで地盤の増幅特性（サイト特性）を反映しているのであり、「経験的グリーン関数法は、・・・適切な近傍の地震がない場合には使えない。その場合には、統計的グリーン関数を用いるほかはない」（債権者ら第4準備書面 63～64 頁）と、あたかも統計的グリーン関数法が劣っているかのように述べる債権者らの主張は失当である。

なお、債権者らが、統計的グリーン関数法による結果と経験的グリーン関数法による結果との乖離を主張するのは、中部電力株式会社浜岡原子力発電所の例に依拠したものであり、このように他の原子力発電所の例を、本件各発電所の地震動に係る議論にそのまま援用するのは不適切である。

ウ 断層モデルを用いた手法による地震動評価について

債権者らは、強震動予測レシピ²⁰³による震源断層パラメータの設定手

²⁰³ 債務者が、断層モデルを用いた手法による地震動評価を行うにあたって参照している「レシピ」（甲 56 及び甲 202）は、甲 54 及び甲 201 を基礎に改訂された、最新の強震動予測レシピである（なお、甲

順を取り上げ、震源断層面積（ S ）と地震モーメント（ M_0 ）との関係や、震源断層面積に対するアスペリティ面積の比など、強震動予測レシピで用いるパラメータ間の経験的な関係を示した図にデータのばらつきが見られることから、同レシピに基づく地震動評価結果に大きな不確かさ（誤差）がある旨主張する（債権者ら第4準備書面 65～86 頁）。

そして、債権者らは、個々のパラメータをそれぞれ独立したもののように扱い、各パラメータにおいて最大（アスペリティ面積比は最小）の値をとって掛け合わせるのが妥当であるかのように述べる。

しかしながら、そもそも断層モデルを用いた手法による地震動評価では、パラメータ間の関係式を用いて多数のパラメータを設定しているところ、各パラメータが複数のパラメータと相関関係を持っているので、各パラメータを個々に取り上げたり、特定のパラメータの大小のみに着目したりして、地震動評価の妥当性を論じるのは適切ではない。

例えば、アスペリティの応力降下量（ $\Delta \sigma_a$ ）（単位面積当たりの値）は、 $\Delta \sigma_a = (S/S_a) \Delta \sigma$ （ $\Delta \sigma$ は震源断層面全体の単位面積当たりの平均応力降下量）という算定式で求められるため、震源断層面全体に占めるアスペリティの面積（ S_a ）²⁰⁴が 1/2 になれば、アスペリティの応力降下量（ $\Delta \sigma_a$ ）は 2 倍になる。しかし、震源特性のうち、原子力発電所の多くの設備に影響する短周期レベル（A）（震源が短い周期の揺れを発

54 と甲 201 は全く同じものである）。

²⁰⁴ 債務者は、震源断層面積（ S ）全体に占めるアスペリティ面積（ S_a ）の比を 22% と設定している。これについて、債権者らは、南海トラフの巨大地震モデル検討会が 12.44% という面積比を設定していることを挙げ、「最低限、面積比を平均の 2 分の 1 として取るのが、危険な原発の耐震設計上での安全側に立った考え方ということになる」（債権者ら第4準備書面 76 頁）などと主張するが、内陸地殻内地震とは発生メカニズムの全く異なる南海トラフの巨大地震（プレート間地震）の検討内容をそのまま採用すべき合理的理由はない。「レシピ」には、「最近の研究成果から、内陸地震によるアスペリティ総面積の占める割合は、断層総面積の平均 22%（Somerville et al., 1999），15%～27%（宮腰・他，2001）であり、拘束条件にはならないが、こうした値も参照しておく必要がある」（甲 56 及び甲 202，付録 3-9 頁）との記載があり、債務者がアスペリティ面積比を 22% と設定していることは何らおかしいものではない。

生させる能力を表す値)²⁰⁵は、
$$A = 4\pi \sqrt{\frac{S_a}{\pi}} \Delta\sigma_a \beta^2$$
という算定式で求められる（ β は地震発生層のS波速度）ことから、2倍になった $\Delta\sigma_a$ と1/2になった S_a とが打ち消しあうことになる。したがって、アスペリティの面積（ S_a ）が1/2になり、アスペリティの応力降下量（ $\Delta\sigma_a$ ）が2倍になったからといって、短周期レベル（ A ）も（アスペリティの応力降下量（ $\Delta\sigma_a$ ）に比例して）2倍になるわけではなく、したがって地震動の大きさも2倍になるわけではない。

また、短周期レベル（ A ）と地震モーメント（ M_0 ）との関係は、 $A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$ という算定式で表され、短周期レベル（ A ）は地震モーメント（ M_0 ）の1/3乗に比例するため、仮に地震モーメント（ M_0 ）が4倍になったとしても、短周期レベル（ A ）が4倍になるわけではない。

つまり、債権者らの、同じ断層面積（ S ）に対して「 M_0 が4倍の不確かさを持つのであれば、短周期レベルの地震動も4倍の値を取る必要がある。それが8倍だとすれば、8倍の値を取らなければならない」（債権者ら第4準備書面85頁）などという主張は、明らかに誤ったものなのである。

実際のところ、強震動予測レシピについては、甲56及び甲202の「レシピ」の冒頭にも記載されているとおり、「平成12年（2000年）鳥取県西部地震、平成15年（2003年）十勝沖地震、2005年福岡県西方沖の地震の・・・観測記録を用いた強震動予測手法の検証」が実施されており（甲56及び甲202、付録3-1頁）、現実には発生した地震との比較においても、その有効性が確認されているところである。

²⁰⁵ 脚注33を参照。

第7章 結語

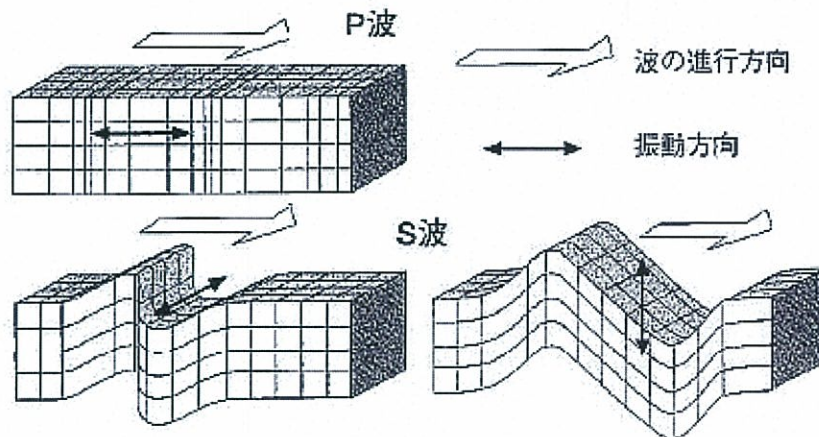
以上述べてきたとおり、債務者は、本件各発電所敷地周辺の地震発生状況、地質・地質構造に関して、詳細な調査・評価を実施した上で、それらの調査・評価結果に基づき、検討用地震を選定している。そして、敷地及び敷地周辺の地下構造の調査・評価結果も踏まえて、保守的な条件で「基本ケース」を設定するとともに、さらに様々な不確かさも適切に考慮した上で、最新の地震動評価手法を用いて検討用地震の地震動評価（「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価）を行っている。さらに「震源を特定せず策定する地震動」も評価した上で、本件各発電所の基準地震動を策定している。したがって、本件各発電所に基準地震動を超える地震動が到来することはまず考えられないところである。

そして、本件各発電所の「安全上重要な設備」は、全て、この基準地震動に対して耐震安全性を備えており、また、実際には、「安全上重要な設備」の耐震性は、基準地震動に対して余裕を有しているので、万一、本件各発電所に基準地震動を超える地震動が到来することがあっても、「安全上重要な設備」が直ちに機能喪失し、本件各発電所が危険な状態に陥ることにはならない。

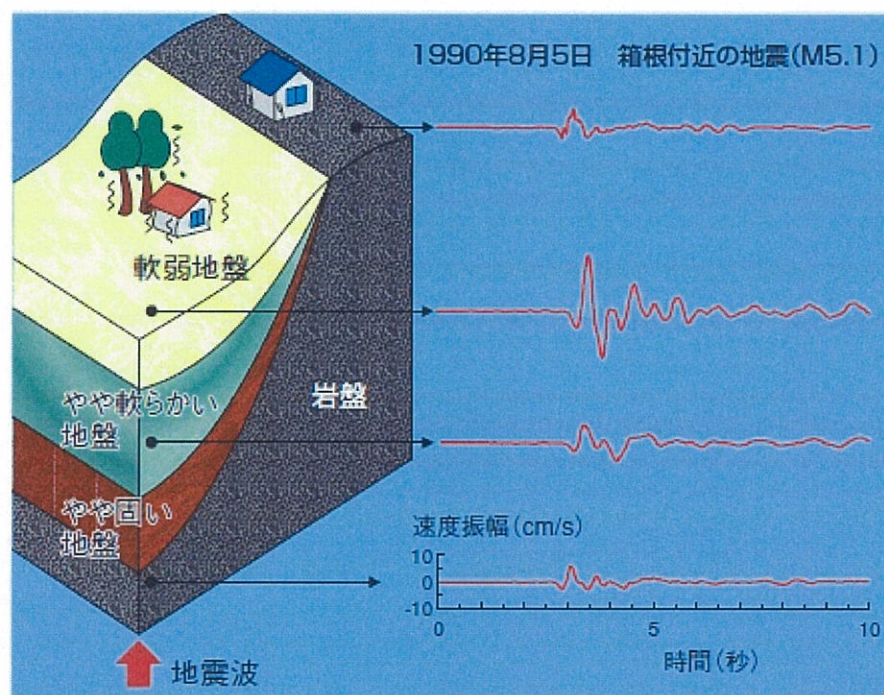
以上より、本件各発電所の地震に対する安全性は確保されており、地震に起因して、債権者らの人格権を侵害する具体的危険性が生じることはない。

以 上

(脚注図表)



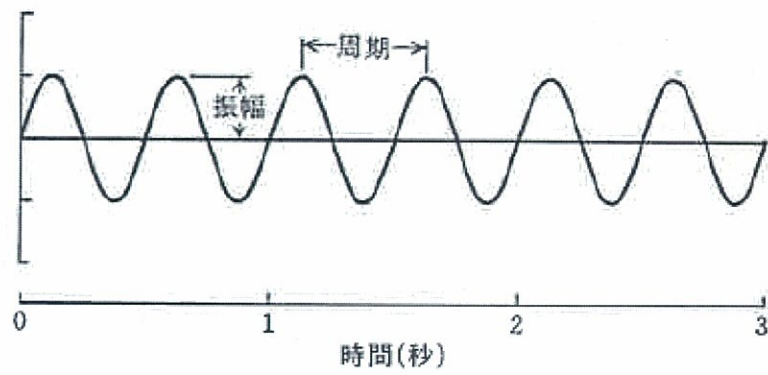
【脚注図表 1 P波とS波】



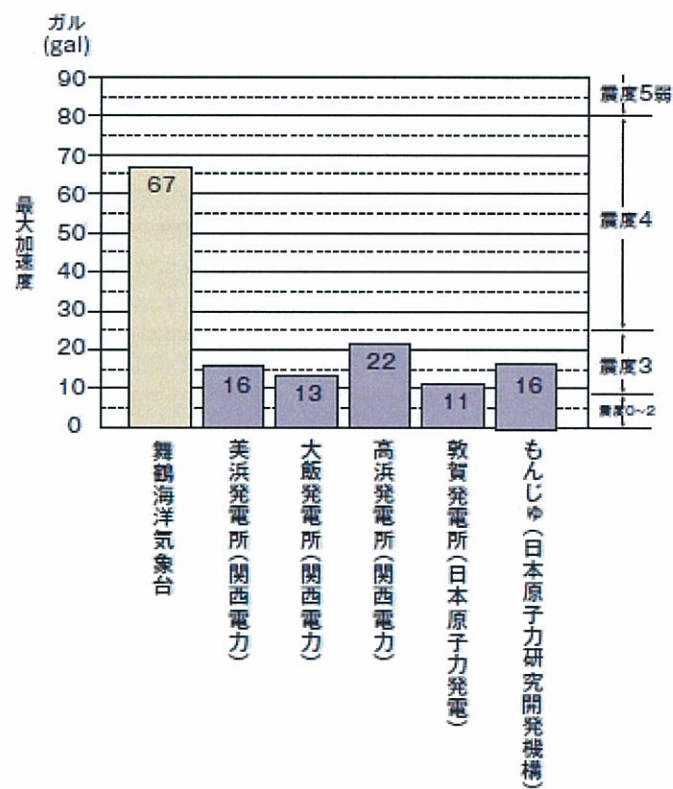
図は岩盤と軟弱な地盤を含む地下の構造を簡略化していますが、地震の記録は実際に観測されたものです。軟弱地盤では、岩盤に比べ振幅が約3倍に達しており、揺れている時間も長いことがわかります。
(工藤一嘉氏の図をもとに作成)

(地震調査研究推進本部ホームページより)

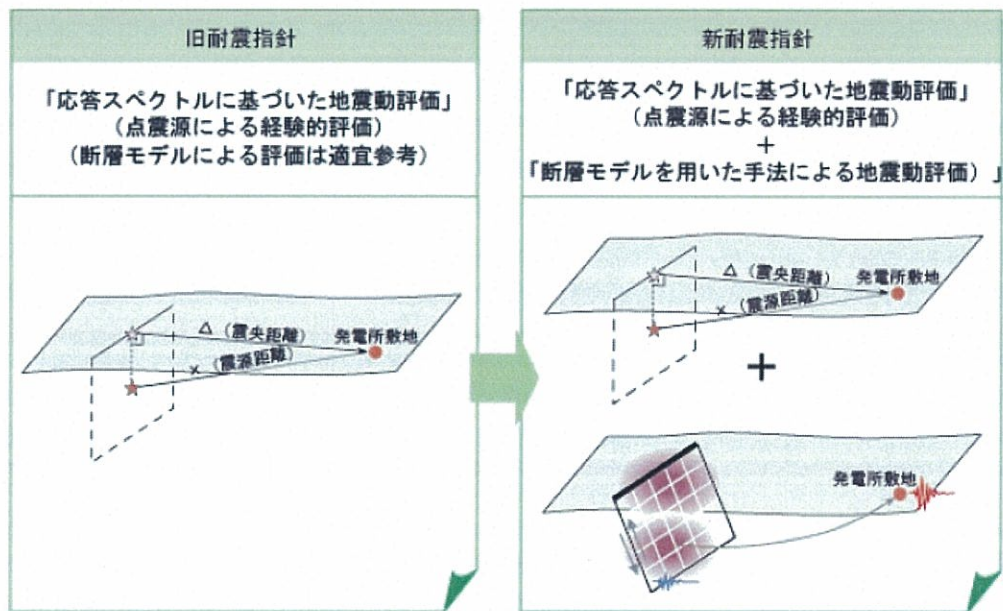
【脚注図表 2 地盤の固さと地震波の振幅】



【脚注図表 3 単振動の周期】

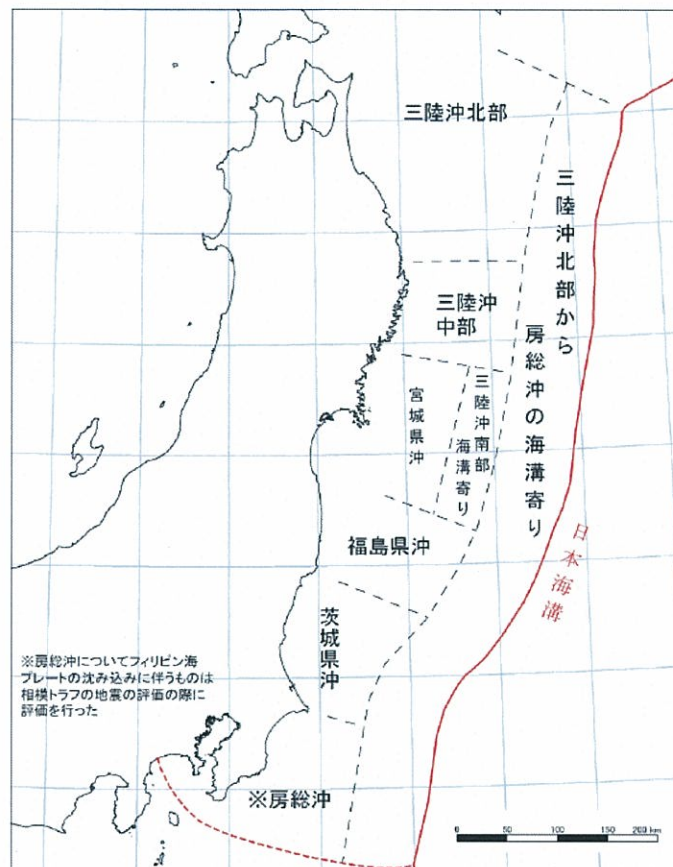


【脚注図表 4 兵庫県南部地震による若狭湾周辺の最大加速度観測値】



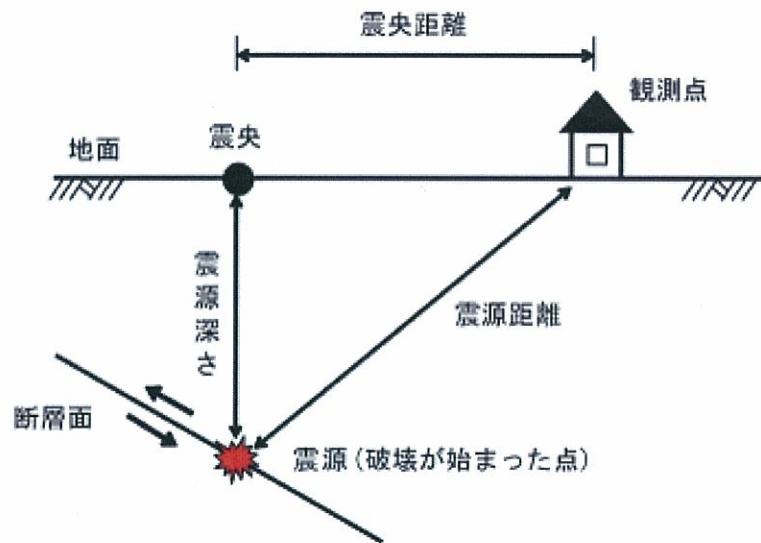
原子力安全委員会「新耐震指針の概要」より

【脚注図表 5 地震動評価手法】

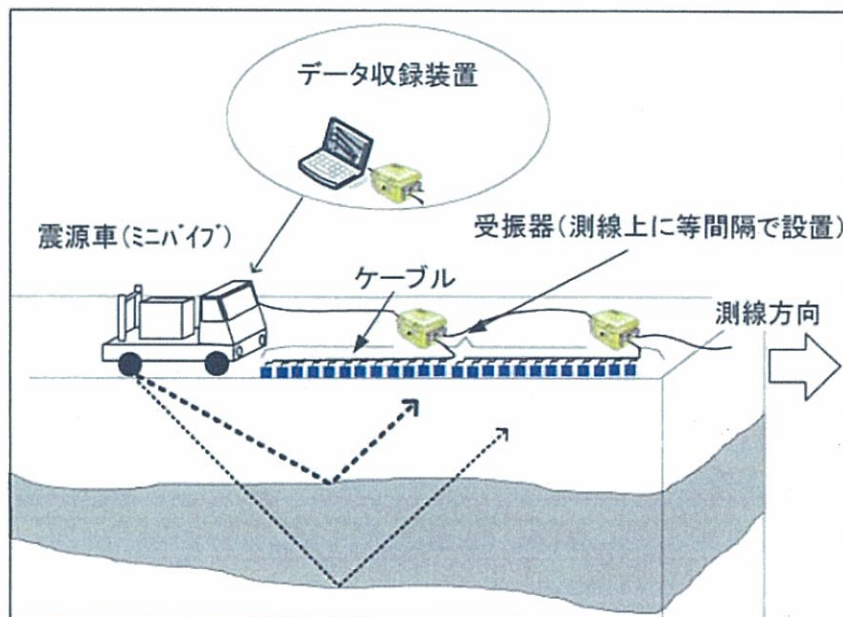


(地震調査研究推進本部の資料より)

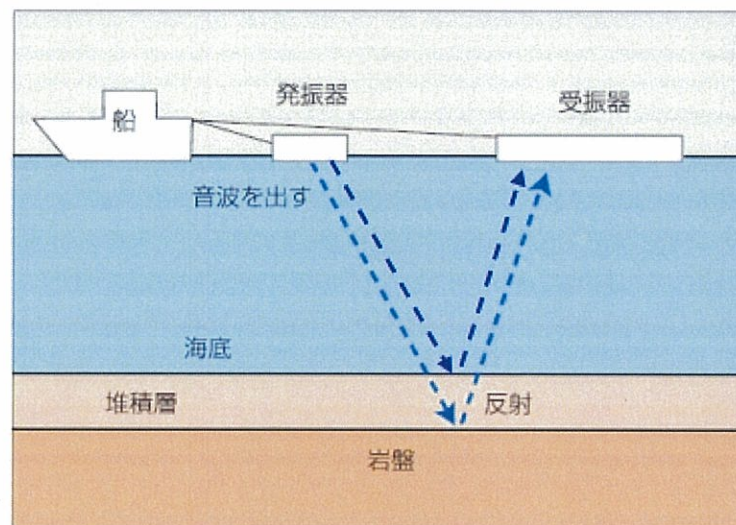
【脚注図表 6 三陸沖北部から房総沖の評価対象領域】



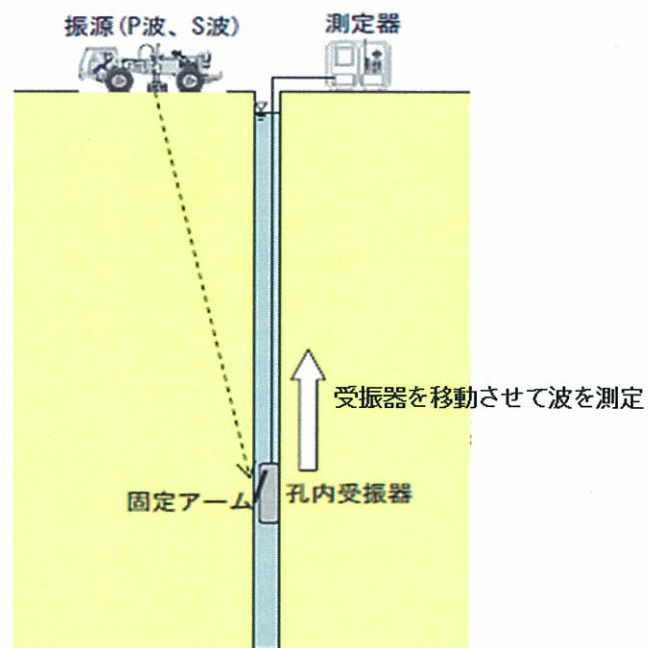
【脚注図表 7 震央距離】



【脚注図表 8 反射法地震探査】

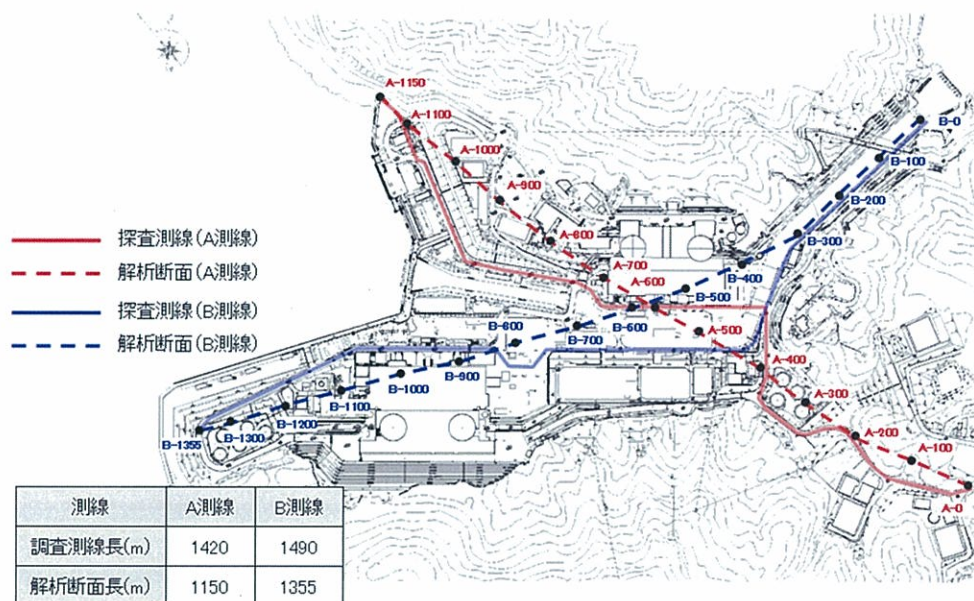


【脚注図表 9 海上音波探査】

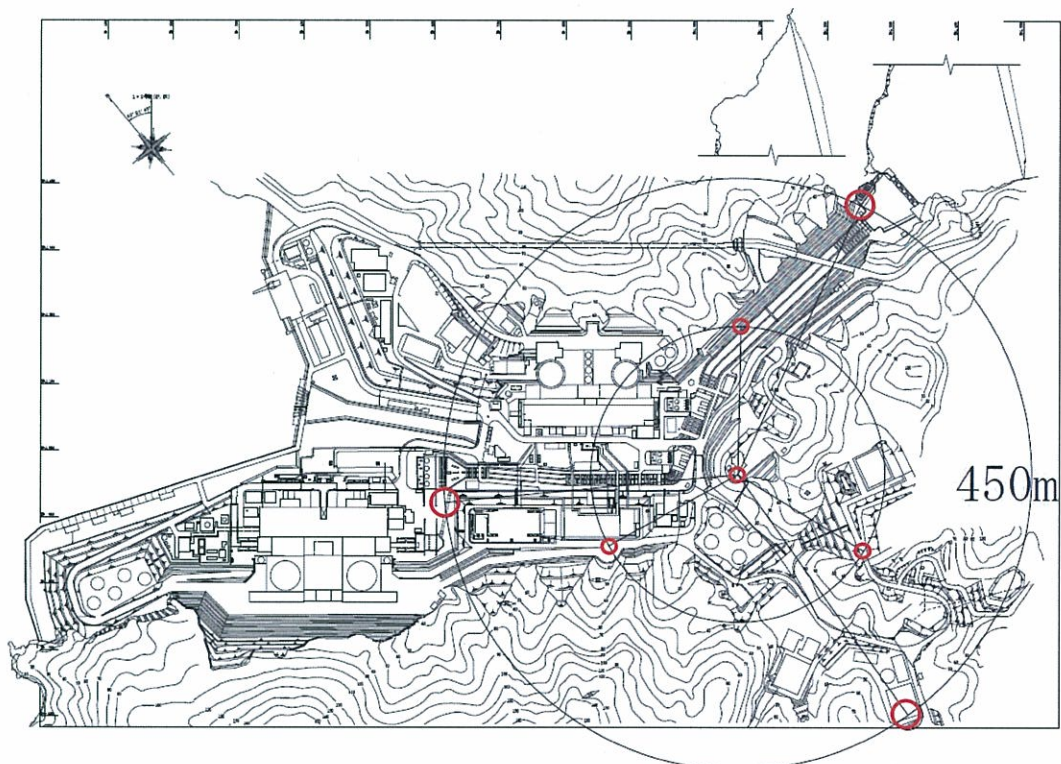


【脚注図表 10 P S 検層】

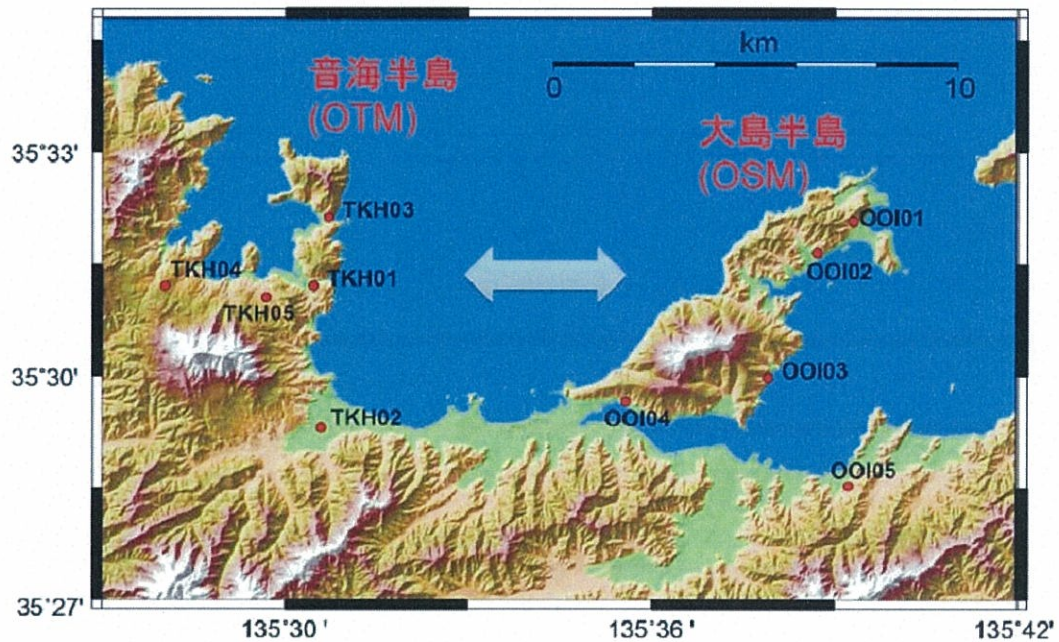
■ 本調査では測線配置が屈曲しているため、反射点分布のほぼ中央付近を通過する解析断面を設定した。



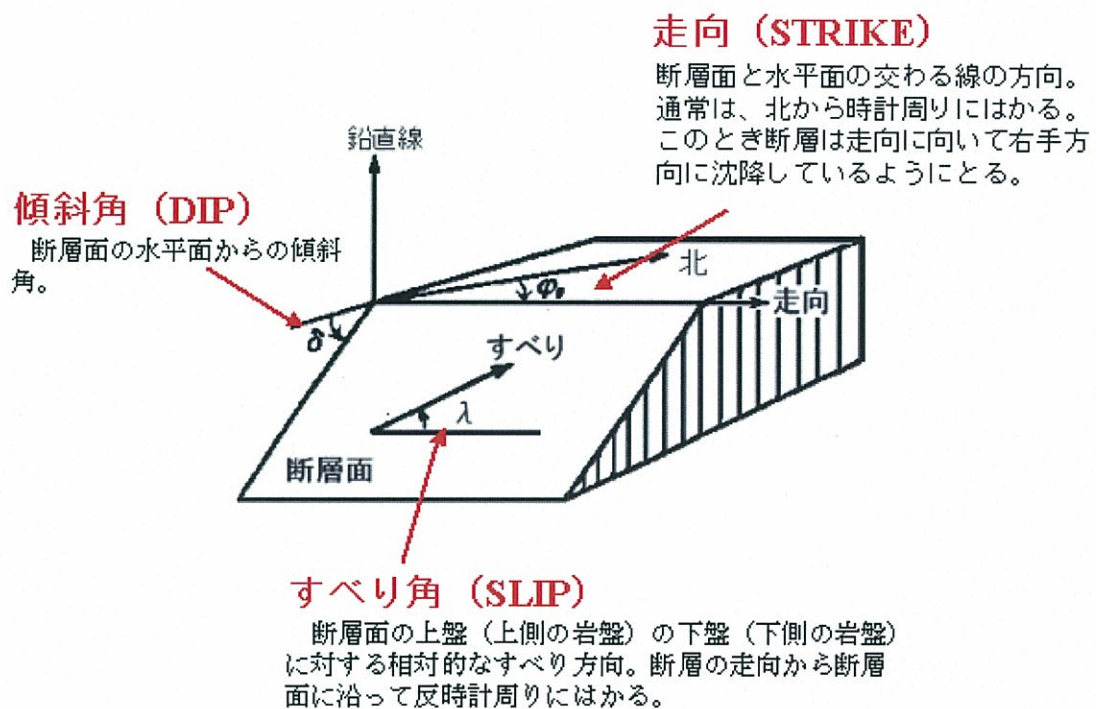
【脚注図表 1 1 高浜発電所敷地内における反射法地震探査】



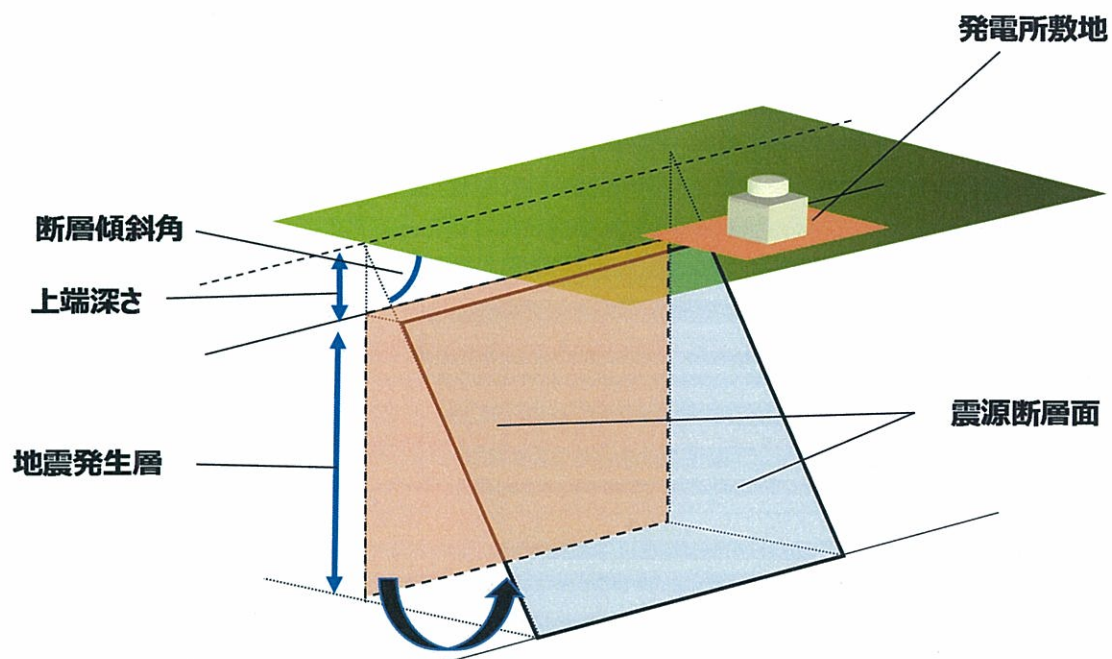
【脚注図表 1 2 高浜発電所敷地内での微動アレイ観測】



【脚注図表 1 3 地震波干渉法の地表面観測点】

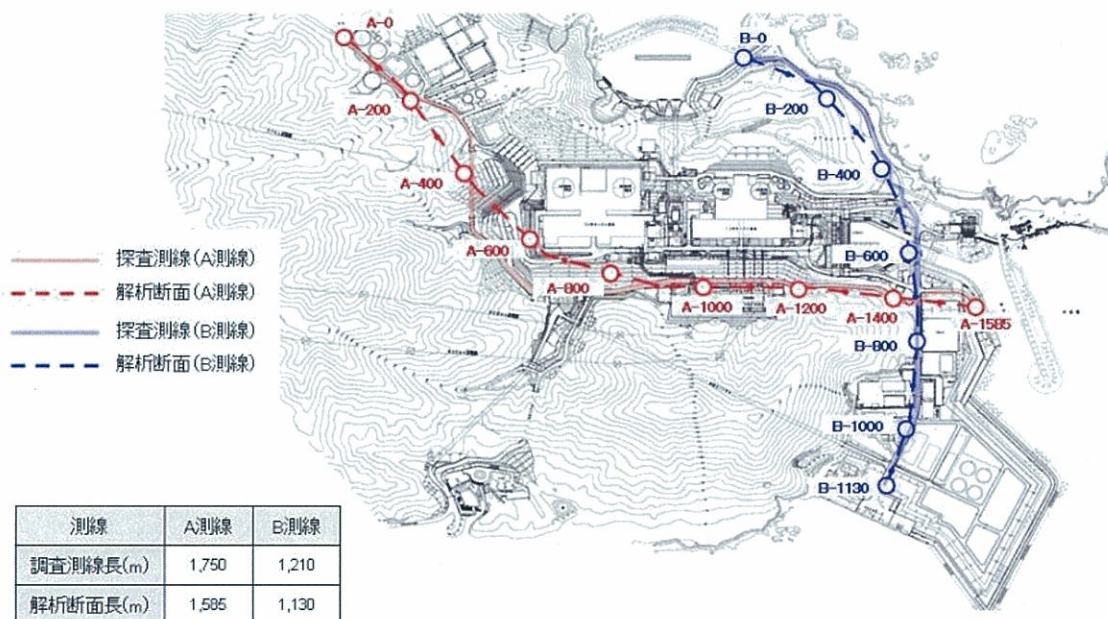


【脚注図表 1 4 断層の模式図（走向，傾斜角，すべり角等）】

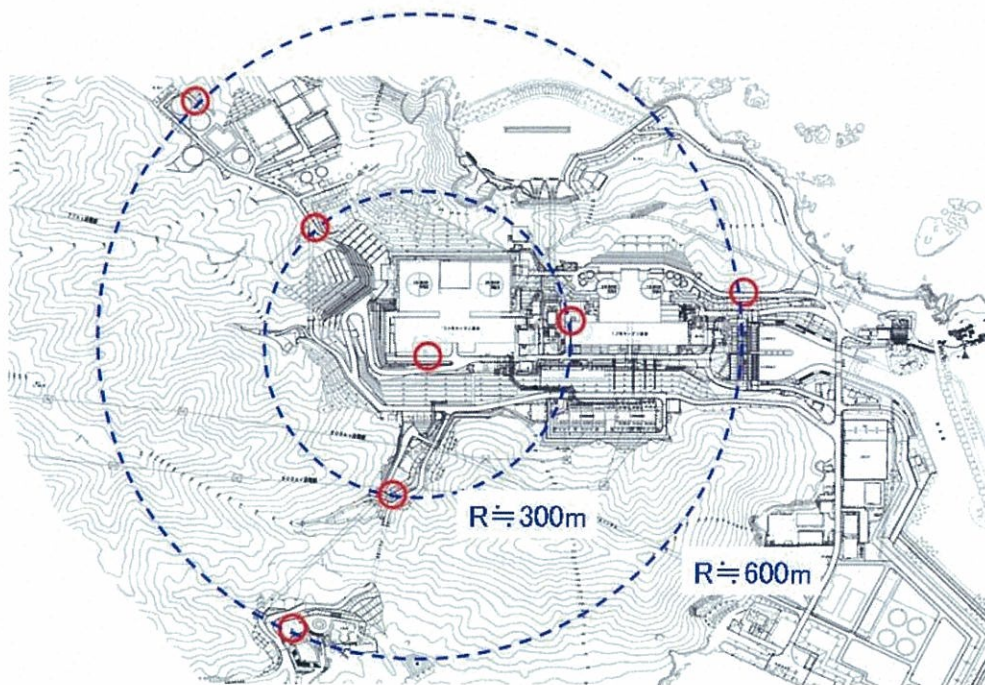


【脚注図表 1 5 断層面の傾斜角を変えることのイメージ】

■本調査では測線配置が屈曲しているため、反射点分布のほぼ中央付近を通過する解析断面を設定した。



【脚注図表 1 6 大飯発電所敷地内における反射法地震探査】



【脚注図表 1 7 大飯発電所敷地内での微動アレイ観測】